

日米科学技術協力事業
核融合分野
30周年記念報告書

JPN/US

FUSION RESEARCH COLLABORATION



平成23年3月
日米核融合調整委員会

本報告書は、日米核融合調整委員会の責任のもとにとりまとめられた。

Stanley L. Milora (オークリッジ国立研究所), 小関隆久(日本原子力研究開発機構), 須藤滋(核融合科学研究所), James W. Van Dam (テキサス大学)の4名が、本報告書の編集に携わった。また、編集に当たっては、各分野・カテゴリーのキーパーソンからの報告を基本にした。

本報告書冊子体は、日米核融合調整委員会の承認のもとに核融合科学研究所により制作された。

本報告書の web 版は米国及び日本の主たる関連機関のウェブページにて公開されている。

**日米科学技術協力事業
核融合分野
30周年記念報告書**

平成 23 年 3 月

日米核融合調整委員会

序

2010年、日米核融合調整委員会（CCFE）は、記念すべき第30回を迎えました。この歴史的なCCFEは、IAEA核融合エネルギー会議（2010年10月13日、韓国大田）の折に開催されました。このような長期の協力関係は、日本とアメリカ合衆国の政府の力のみではなしえず、日米両国の多くの研究者が核融合研究の発展のためご尽力された賜物であり、ここに感謝申し上げます。

日本と米国の核融合研究協力の歴史は、1977年に福田首相とカーター大統領の間で協議したことに始まり、そこでの合意に基づいて、日本と米国の核融合研究開発を含んだ協力協定が結ばれました。これにより、CCFEが1979年8月に設置され、それ以来、共同研究活動は、着実に続けられてきました。我々は今までの日米両国間の核融合研究協力活動を高く評価しており、また、今後とも着実に協力を継続していく所存です。

核融合は、その燃料資源がほとんど無尽蔵であること、安全性が高いこと、そして環境に対する負荷が低いことを特長とする、非常に魅力的なエネルギー源です。核融合関連の研究が1950年代に始められて以来、世界中で大きな進歩があり、日米両国の研究協力は、この進歩に大いに貢献しました。これらの研究の成果に基づいて、核融合燃焼実験を行うITER計画が、中国、欧州連合、インド、日本、韓国、ロシア、そして、米国からなる7極の協力により現在進められています。しかし、経済的に魅力的な核融合炉を開発するためには、ITER計画における活動に加え、高ベータ定常プラズマの運転、トリチウム増殖技術、材料科学の発展といった多くの分野で集中的に研究を進める必要があります。日本と米国はそのような研究分野に適した実験装置を有しており、我々の研究協力をさらに強化していく必要があります。

20周年記念報告書が10年前に出版されたことから、本報告書は主に10年前から現在に至るまでの研究協力活動及びその成果に焦点を当て、まとめたものです。我々は、この報告書が多岐にわたる日米核融合研究協力を概観することに役立ち、今後とも日本と米国の核融合研究の更なる発展に寄与することを望みます。

日本国 文部科学省 研究開発局 研究開発戦略官
片岡 洋

アメリカ合衆国 エネルギー省 科学局 核融合エネルギー科学課長
エドモンド・シナコフスキー

目次

序

1章 はじめに	1
2章 核融合炉工学 (FTPC)	
2.1 目的	3
2.2 活動	3
2.3 運営	3
2.4 研究成果概要	4
2.4.1 超伝導マグネット分野	4
2.4.2 構造材料分野	5
2.4.3 プラズマ加熱関連工学	5
2.4.4 ブランケット分野	6
2.4.5 炉内/高熱流束材料機器	7
2.4.6 その他	8
2.5 研究成果ハイライト	10
3章 核融合物理学 (FPPC)	
3.1 目的	21
3.2 活動	21
3.3 運営	22
3.4 研究成果の概要とハイライト	23
3.4.1 定常運転	23
3.4.2 MHDと高ベータ	29
3.4.3 閉じ込め	33
3.4.4 プラズマ計測	40
3.4.5 高エネルギー密度科学	49
4章 核融合理論共同研究組織 (JIFT)	
4.1 目的	57
4.2 活動	57
4.3 運営	59
4.4 研究成果の概要とハイライト	60

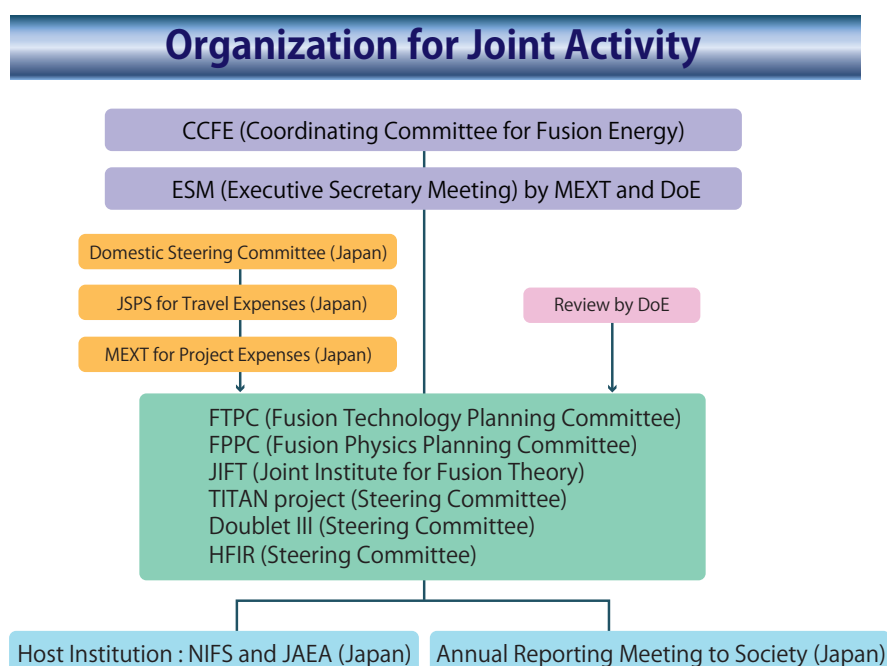
5章 JUPITER-II・TITAN計画	
5.1 日米協力による核融合炉工学研究の進展.....	77
5.2 研究目的、テーマ、使用装置.....	77
5.2.1 JUPITER-II計画（2001-2006年度）.....	77
5.2.2 TITAN計画（2007-2012年度）.....	79
5.3 運営組織.....	80
5.4 研究成果の概要とハイライト.....	82
5.4.1 JUPITER-II計画.....	82
5.4.2 TITAN計画.....	88
6章 DIII-D	
6.1 目的.....	97
6.2 活動.....	97
6.3 運営.....	97
6.4 研究成果の概要とハイライト.....	98
7章 HFIR	
7.1 目的.....	105
7.2 活動.....	105
7.3 運営.....	106
7.4 研究成果の概要とハイライト.....	106
8章 核融合アーカイブズ	
8.1 目的.....	121
8.2 研究組織.....	121
8.3 活動の概要.....	121
9章 安全視察活動	
9.1 背景および目的.....	125
9.2 JWG活動の概要.....	125
資料 A 論文リスト	A-1
資料 B 統計及び関連資料	
B.1 ワークショップ及び研究者派遣・招へい	A-95
B.2 安全視察記録	A-97

1章 はじめに

日本と米国が協力している核融合研究分野の活動を組織しているのは日米核融合調整委員会 (CCFE) であり、これは 1979 年 8 月に設立された。それ以来、研究協力活動は現在まで長年に渡って続けられている。歴史的な CCFE 第 30 回会議は、2010 年 10 月 13 日に韓国大田で開催され、会議終了後、日米核融合研究協力 30 周年祝賀会が開催され、日本と米国の共同議長がそれぞれ祝辞を述べ、日米関係者 30 名で祝った。

日米研究協力活動を遂行するための組織的構成を下図に示す。CCFE のもとに準備作業等の目的で事務局会合 (ESM) があり、そのもとに、研究領域に応じて核融合炉工学計画委員会 (FTPC)、核融合物理計画委員会 (FPPC)、核融合理論共同委員会 (JIFT)、TITAN プロジェクト、Doublet III や HFIR があり、それぞれの委員会で、当該年度の協力活動の実績と次年度の協力活動の提案リストを作成し ESM に提出する。各々の研究領域の委員会は日本及び米国の代表から構成されており、各研究領域の活動の運営に当たる。

研究協力活動を実施する日米双方の施設の安全対策を確認する安全視察活動は 2 年ごとに日米交互に行われている。日本からの視察団が米国の実験施設を訪問し、安全視察共同ワーキンググループを組織して施設の安全環境への提案などを含む安全調査レポートを作成し、公表している。そして、2 年後には、米国からの視察団が日本の施設の視察を行う。このようなルーチンが今までに 13 回実施された。このような安全視察活動は、研究協力活動を安全のもとに実施することについて大いに貢献した。



核融合研究アーカイブズの重要性もクローズアップされてきている。核融合アーカイブズのワークショップが UCLA で 2005 年に初めて開催された。核融合アーカイブズの重要性が認識され、核融合研究開発の歴史の記録は、核融合科学研究所の核融合科学アーカイブズに現在蓄えられている。

前回の 20 周年記念の日米研究協力活動報告書*は、2000 年 6 月に CCFE によって発表されている。同様に、30 周年記念を祝い、また、長年のプロジェクトを継続していることの説明責任を果たすため、前回の報告書以降の現在までの 10 年間の活動を主として報告書を公表することを決めた。

当報告書では、主たる研究成果をハイライトとして記載し、また、この 10 年間に行われた研究協力活動が元となった論文の出版リストを含めることとした。2010 年に実施された活動の一部は現在の報告書に含まれているが、実施中の活動などは次の機会に公表予定である。

全体として、核融合研究に関する日米研究協力活動は共同プロジェクト、出版論文、ワークショップや国際会議でのプレゼンテーションなどで成果を挙げており、非常に有意義だった。また、いろいろな種類の協力活動によって育まれた科学者としての友情と同僚意識により、両国での研究環境を強化することに大いに貢献した。

*日米研究協力20周年記念報告書は下記WEBサイトで閲覧することができる：

[1] <http://www.science.doe.gov/ofes/internationalactivities.shtml>

[2] <http://www.naka.jaea.go.jp/kankoubutu/PDF/JapanUs1980-2000.pdf>

[3] <http://www.nifs.ac.jp/collaboration/Japan-US/JapanUS-Report.pdf>

[4] <http://peaches.ph.utexas.edu/ifs/jift/anniversary.html>

2章 核融合炉工学 (FTPC)

2.1 目的

核融合炉工学共同計画委FTPC (Fusion Technology Planning Committee)は核融合エネルギーの実現を目的とする核融合炉工学研究に関する日米協力事業を担当しており、1991年から核融合物理共同計画委FPPC (Fusion Physics Planning Committee)とFTPCに分けて推進している。FTPCはさらに分野として、1) 超伝導マグネット分野、2) 構造材料分野、3) プラズマ加熱関連工学、4) ブランケット分野、5) 炉内/高熱流束材料機器、6) その他、から構成されている。尚、2001年度から共同プロジェクトJUPITER-II、および2007年度から同TITANが実施されているため、2) 構造材料分野と4) ブランケット分野に関してはこれらプロジェクトによって効率的且つ精力的に推進されてきている。また6) その他は、磁場核融合MFEあるいは慣性核融合IFEに関する炉設計、トリチウムシステム、燃料供給システム、等もカバーしている。

2.2 活動

共同研究は双方からの研究者派遣とワークショップによって進められている。実施場所については日米双方向のバランスを考慮しながら進めている。また、多くはないがTV会議システムや電子メールを使った共同研究活動も適宜活用している。この2000年から2009年の間に、米国でのFTPC活動としては、74件のワークショップと202人の研究者派遣が実施された。日本での活動としては、70件のワークショップと181人の研究者派遣が実施された。

2.3 運営

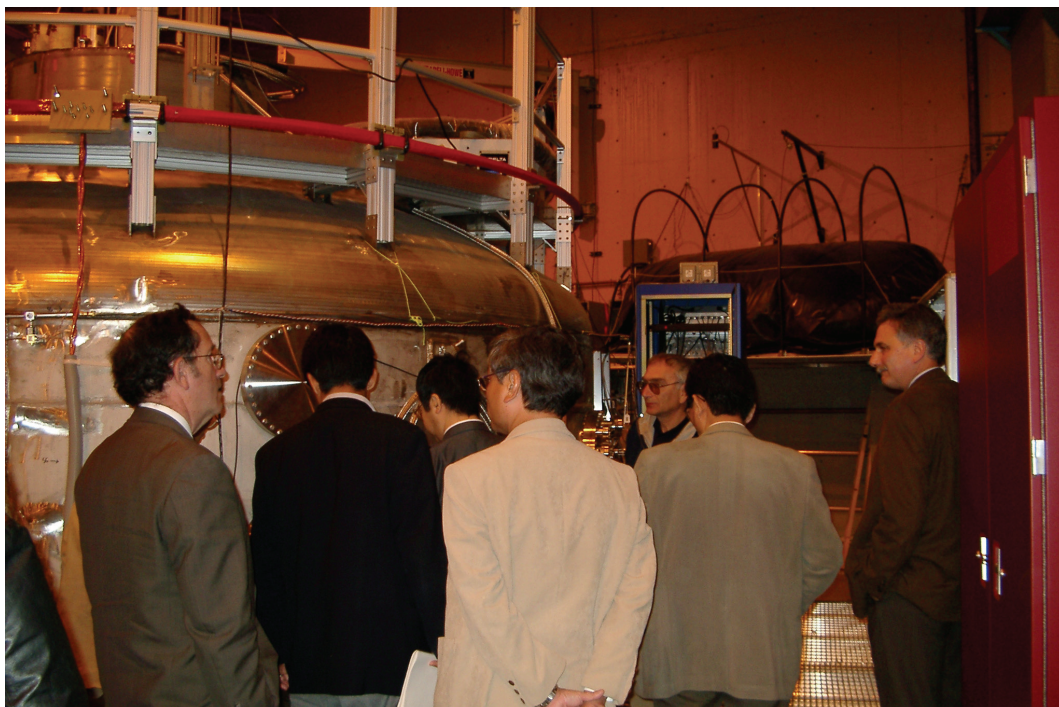
日米の大学の参画が重要であるため、FPPCの5つの構成分野は日本の大学から5名のキーパーソンが担当し、核融合科学研究所 (NIFS) からのキーパーソンと共に運営に当たっている。一方、FTPCに関しては、米国エネルギー省からのキーパーソンと日本原子力研究機構 (JAEA) およびNIFSからの各キーパーソンが運営に当たっている。またFTPCの運営には、日米双方の共同プロジェクトのキーパーソン及び関連する大学・研究機関からのオブザーバーも必要に応じて参加している。FTPCの運営会議は、通常、年に一回のTV会議と電子メールによって行われている。

2.4 研究成果概要

2.4.1 超伝導マグネット分野

冷却システムを有する大電流超伝導マグネットは核融合発電炉において重要機器である。過去10年間の日米協力では主に高温超伝導体HTSが集中的に検討された。何故ならば、高磁場での高い運転安定性を実現する可能性が高いからである。実際に、東京大学でのMini-RTプロジェクトとマサチューセッツ工科大学でのLDXプロジェクトでの磁気浮上マグネットシステムでは部分的に高温超伝導体が使用され、世界の核融合研究における最初の応用例となった。それ故に、2002年に東京大学にて高温超伝導線材における第1世代と称されるBi-2223線材の作製技術について議論する最初の高温超伝導システムに関する日米ワークショップが開催された。そして、2004年にマサチューセッツ工科大学にて開催された第2回目のワークショップではMini-RTやLDXの磁気浮上コイルにおけるファーストプラズマについて、2005年の第3回目の核融合研でのワークショップではそれぞれの将来計画が議論された。

2008年及び2009年においては、核融合マグネットを指向した大電流容量導体HTSとして第二世代のイットリウム系線材に関する共同研究を模索しながら、核融合研とマサチューセッツ工科大学の個々の研究者間で綿密な議論が継続的に行われた。



2004年10月にマサチューセッツ工科大のプラズマ科学核融合センターで開催の日米ワークショップ「ITERコイル試験における高温超伝導利用」でのLDX視察

2.4.2 構造材料分野

核融合発電炉におけるブランケットや炉内機器で使用される構造材料における主要な研究活動は、2001年から2006年のJUPITER-II計画及び2007年からのTITAN計画共同プロジェクトの枠内で効率的に実行された。これらのプロジェクトは中性子照射効果、伝熱流動工学、トリチウム挙動そしてこれらのモデル化の重要課題に集中した。

一方で核融合研とペンシルバニア州立大学において、核融合プラズマ加熱技術から派生した高出力マイクロ波技術がマイクロ波焼結技術分野に応用された。この粉末冶金過程は融点以下で進行するので、粒成長による偏析、再結晶化、不純物析出などを伴わないであろう。それ故に、2003年から核融合炉構造材料の候補材である低放射化バナジウム合金やフェライト鋼の高度化に資する研究開発のもと、核融合研とペンシルバニア州立大学間の共同研究が人物派遣交流によって緊密に行われた。この共同研究ではマイクロ波照射下での熱的不平衡反応の基礎的物理を明らかにする実りある研究成果が得られた。さらには、マイクロ波焼結技術を使用した二酸化炭素排出を低減する新しいアイデアが提案された。

2.4.3 プラズマ加熱関連工学

2000年以來、高周波加熱工学に関する日米協力が継続的に進められている。米国と日本の主要な研究機関が交互にホストになり、共同研究に関する情報交換と議論を目的にワークショップを開催した。その当時、日欧や欧米間で同様な会合が並行して開催されていた。そこで、会合の高効率化に向けて、日本、米国、欧州でホストを交代しながら開催する日米欧ワークショップを2007年に始めた。このワークショップでは、ITER や将来の大型プラズマ実験装置におけるプラズマ加熱機器に関する主要課題について議論するとともに、多くの新しい国際協力研究が企画され開始された。



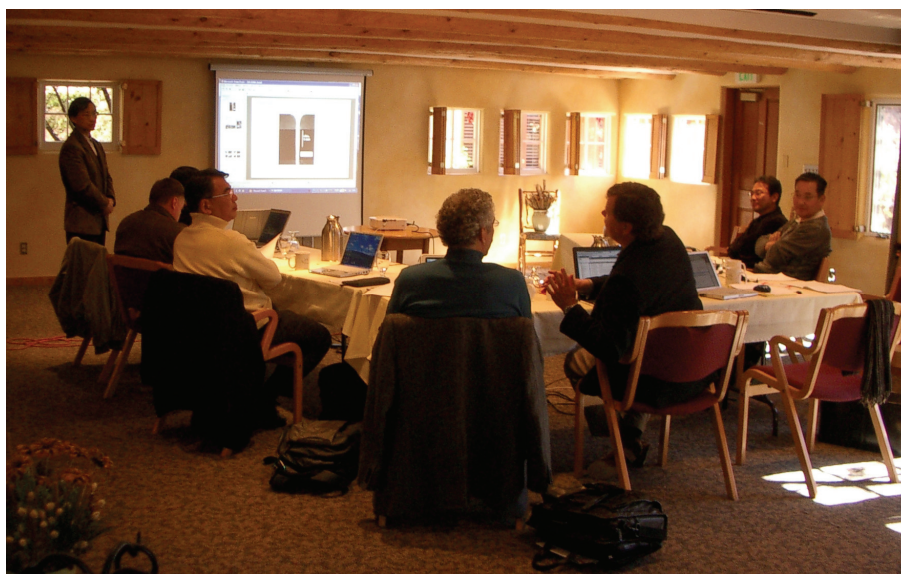
2006年に奈良で開催されたRF加熱工学に関するワークショップにて

研究者派遣交流では、核融合研のICRFグループと東京大学の研究グループは主にジェネラルアトミックスとアンテナについて実施し、核融合研と日本原子力研究開発機構のECHグループはジェネラルアトミックスとマサチューセッツ工科大学との間で共同研究を積極的に実施した。高出力ミリ波の伝送効率の向上は、喫緊の研究課題の1つであった。ジャイロトロンから出力されたマイクロ波ビームは、最適化された結合鏡を用いて高効率のコルゲート導波管で作られた伝送路に導かれなければならない。共同研究によって、ジャイロトロンからコルゲート導波管までの光学伝送経路に沿った強度分布発展を評価し、設計した光学系が正しく機能することを確認した。

2.4.4 ブランケット分野

ブランケットに関する主要な研究活動は、2001年から2006年のJUPITER-II計画及び2007年からのTITAN計画の共同プロジェクトの枠内で効率的に実行された。2001年から2006年で実行されたJUPITER-II計画においては、FLibe溶融塩ブランケットを中心に、高温・高プラントル数を有する強磁場環境でのFLibe溶融塩における乱流熱輸送のモデルを確立するために、強磁場下での流動や熱輸送現象について評価した。2007年からのTITAN計画においては、強磁場環境下での液体金属の熱流動機構やその制御手法について評価が行われている。両プロジェクトは日米の若手研究者の育成を大いに加速し、結果的にブランケットの具体的な設計と同時に核融合コミュニティの質を高めた。上記に記した2つの計画に加えて、1997年から、高出力密度装置や伝熱流動設計について議論するためのHPD（高出力密度）ワークショップが開催されている。このワークショップでは、高効率なエネルギー変換システムを達成するための重要な工学的課題に焦点を絞っている。ワークショップでの主な課題は、第一壁の冷却システムやブランケットシステムにおけるいくつかの概念の中での工学的課題を識別して解決することであり、それによって将来の開発計画のロードマップを提案することである。液体ブランケットシステムにおけるいくつかの概念に関しての情報交換はワークショップを通して継続されており、人的交流もまたこれらの重要課題の解決に向けて継続されている。具体的に議論されたのは、(1)高い除熱性能、整合性、柔軟なメンテナンス性能を備えた高熱流束材料の開発、(2)液体表面からの乱流熱伝達と磁場中での促進を含む自由表面流、(3)耐腐食被覆材料を用いた液体リチウムブランケットシステムとその構造の最適化、および(4)磁場下での熱輸送促進配管における高プラントル数かつ複雑な流れ場の計測技術、である。また、初期のワークショップでは、熱交換器を含むガス冷却および固気混相流冷却のシステムについて議論された。上記のHPDワークショップは、革新的ブランケットデザインについてのロードマップを示すことを目指して、

具体的ブランケット設計を鋭意進めているPWIグループとの共同で開催されている。



2006年11月にサンタフェで開催された日米ワークショップ「核融合における高出力密度機器システムと熱除去およびプラズマ材料相互作用」にて

2.4.5 炉内/高熱流束材料機器

このカテゴリーでは、10年間に、1)ダイバータ・プラズマ実験、2)集塵ダスト分析、3)壁コンディショニング分析、および4)これらのワークショップ、の大きく4つの研究活動が重点的に行われた。ダイバータプラズマの実験は名古屋大学NAGDIS-II及びカルフォルニア大学サンディエゴ校のPISCESを用いて人的交流を通して進められた。NAGDIS-IIでは、良く制御された直線プラズマの実験を通じて、非接触プラズマに関する物理の理解が著しく進んだ。工学研究については、タングステンをはじめとするプラズマ対向材料の詳細な特性を調べるための研究がPISCESにおける高粒子束条件下で進められた。国内最初の集塵ダスト解析がLHDにおいて2001年3月にアイダホ国立研究所との共同研究として実施された。得られた解析結果は、EUおよび米国のトカマク装置から得られたものと比較・検討された。ここで得られた実験手法は、後にJT-60U装置にも適用された。炉内機器におけるプラズマ対向面の壁コンディショニングは、良く制御された対向面によって高性能プラズマを再現性良く実現するために不可欠である。ボロンコーティングした壁試料の特性評価を行うため、DIII-DにおけるDiMOSを用いた実験が行われた。

この日米協力プログラムの初期段階から"次期核融合装置のための高熱流束機器およびプラズマ壁相互作用"に関するワークショップが、日本と米国ではほぼ毎年交互に開

催され、プラズマ壁相互作用 (PWI) に関する広範な議論が行われた。最近10年間は、ワークショップの話題はプラズマ物質相互作用 (PMI) に焦点を絞り、複合照射条件下の微視的機構の理解ならびにモデリング・数値シミュレーションを用いた炉内材料の振舞いの燃焼プラズマ装置への外挿に重点を置いた。

2.4.6 その他

核融合技術に関する他の主要研究活動の一つは炉設計である。核融合発電炉および関連する先進技術に関する日米ワークショップは10年以上ほぼ毎年開催されている。近年は、欧州をはじめとして中国を含む世界各国がこのワークショップに参加し、原型炉および商用炉の最適化に関する幅広い話題が議論されている。このワークショップに関連して2件の人的交流が行われた。これらのプログラムは、設計概念の相互評価と相互比較を通じて日米両国の炉設計研究の発展に寄与している。

慣性核融合ターゲットの製造、点火及び軌道に関するワークショップもまた開催された。互いの研究者が個別に有する詳細技術の情報が交換され、本研究分野における研究協力の拡大につながった。



2006年2月にEUからの参加者を交えての「核融合発電炉および関連する先進技術」に関する日米ワークショップにて

さらに重要な日米協力研究として、トリチウム取り扱いと制御技術に関する共同研究がある。日本国内の大学で行われた基礎研究で開発された解析手法が米国施設の実験

データ解析に適用された。日本国内には大量のトリチウムを扱える施設が無い
ため、本プログラムを通じて得られた情報は日本側の参加者にとって極めて
高い価値がある。また、本プログラムを通じ、若いトリチウム研究者の教育・
訓練に関し、重要な情報が交換された。

2.5 研究成果ハイライト

高温超伝導の核融合装置への応用研究

分野：炉工学

年度-課題番号：2001-FT1-2, 2004-FT1-2, 2005-FT1-1, 2009-FT1-1

実施責任者：三戸利行¹⁾、柳長門¹⁾、小川雄一²⁾、Joseph V. Minervini³⁾

所属：核融合科学研究所¹⁾、東京大学²⁾、マサチューセッツ工科大学³⁾

本研究課題では、高温超伝導コイルを核融合プラズマ実験装置に応用した世界初の例となる東京大学の Mini-RT 装置の研究開発を始めとし、本格的な実用化研究が緒に就いたばかりの高温超伝導の核融合実験装置への応用と言う先進的な研究課題に関する日米科学技術協力事業での成果について報告する。

2001 年に本研究課題がスタートした段階では、第一世代の高温超伝導線材である Bi2223 線材の工学的製法が確立し、その長尺化及び高性能化に日米の研究所、大学、企業がしのぎを削って開発を進めている状況であった。また、その応用研究においては、半導体引き上げ装置用高温超伝導コイルや高温超伝導トランスへの応用など産業応用や電力応用を始めとした研究開発で着実な進歩と大きな研究成果が得られつつある段階であった。しかし、実際のプラズマ実験に使用する装置に高温超伝導を応用するのは、やや時期尚早とも言えるこのような時期に、日米協力事業を基軸とした共同研究で、お互いに切磋琢磨しつつ研究を進めることにより、意義のある研究成果をあげることができたことは幸運であった。

最初の共同作業は、2002 年 2 月 4 日～6 日に「核融合プラズマ実験装置への高温超伝導コイルの応用」と題した日米ワークショップを東大山上会館で開催することから始まった。高温超伝導材料の電磁特性の新しい評価方法、第二世代の高温超伝導線材である Y 系テープ線材の開発研究から、高温超伝導を用いた核融合炉の設計検討に至る幅広い研究テーマに関して活発な議論がなされた。特に、磁気浮上コイルを用いた核融合プラズマ実験装置への高温超伝導応用に関して、米国のマサチューセッツ工科大学 (MIT) とコロンビア大学の共同で進められていた LDX 計画と東大、核融合研及び九大との共同で進められていた Mini-RT 計画について、双方の設計、開発計画等について活発な議論と意見交換を行い、後の研究開発に資する有意義な成果が得られた。

第 2 回の日米ワークショップは、2004 年 10 月 12 日～13 日に「核融合用高温超伝導応用及び ITER 試験結果」のテーマで米国 MIT で開催された。ワークショップの主議題として、共に装置が完成しプラズマ実験を開始した Mini-RT 装置と LDX 装置の R&D 経過を含む多岐にわたる研究成果が報告された。Mini-RT 装置は磁気浮上コイルに Bi2223 の高温超伝導コイルを用い

た世界初のプラズマ実験装置であり、2003 年 2 月にファーストプラズマの着火に成功し、2004 年 4 月には誤差±20 ミクロン以下の精度での 1 時間以上の磁気浮上に成功した。LDX 装置は、磁気浮上コイルに Nb₃Sn コイル、引き上げ磁場コイルに Bi2223 高温超伝導コイルを用いた装置であり、当初 Bi2223 コイルの製造に不具合が発生し、磁気浮上はできない状況だったが、2004 年 4 月にプラズマ実験を開始した。Mini-RT 装置の磁気浮上プラズマ実験及び LDX 装置のファーストプラズマ実験の写真を Fig. 1 及び Fig. 2 に示す。



Fig. 1. Levitation experiment of Mini-RT

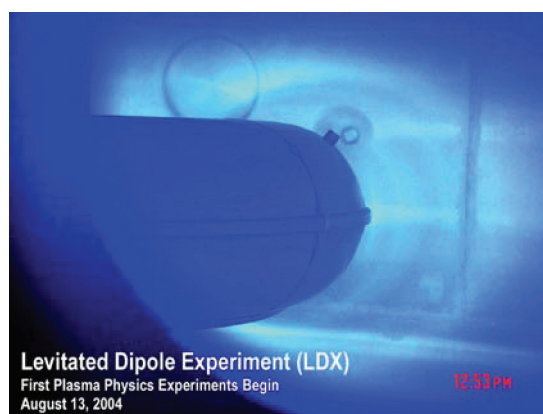


Fig. 2. First plasma experiment of LDX.

第 3 回目の日米ワークショップは、2005 年 12 月 9 日に「核融合プラズマ実験装置への高温超伝導コイルの応用」をテーマに、岐阜県土岐市で開催された。Mini-RT 及び LDX の成果を受け、核融合実験装置及び将来の核融合炉への高温超伝導応用までを見通した長期的な研究開発の必要性について、改めて日米双方の合意として認識された。2009 年度には、核融合用の大電流容量高温超伝導導体の開発課題について MIT において議論を行い、今後主流となる第二世代の Y 系高温超伝導導体を応用した共同研究のための準備を開始した。

核融合炉材のマイクロ波粉末冶金プロセスの研究

分野：核融合炉工学

年度-課題番号：2003-FT2-1, 2-3, 2004-FT2-1, 2-3, 2005-FT2-1, 2-3, 2006-FT2-1, 2-2, 2007-FT2-1, 2-2

氏名：佐藤元泰（実施責任者）

Dinesh Agrawal, Rustum Roy

所属：核融合科学研究所 Material Research Laboratory, Pennsylvania State University

ペンシルバニア大学は、2000年に、鉄系金属のマイクロ波による粉末冶金焼成を世界で初めて実証し、核融合研は、核融合実験用に開発した大電力マイクロ波によるセラミックなどの誘電体焼結の研究を進めていた。日米共同によって、マイクロ波による焼結の基礎研究と応用の最先端にある両者が共同し、効率よく研究を推進する枠組みが形成された。バナジウム鋼、フェライト鋼は核融合炉の炉材料として期待されている。マイクロ波による粉末冶金法は、熔融を伴わないので、再結晶化に伴う粒成長と偏析がない。さらに機械的、化学的性質に優れた材料を生み出す。粉末冶金を更に進めて、核融合炉壁の基礎材料にもなるマイクロ波による鉄鉱石の超高純度製錬法の開発が進められている。

(1) 物性物理学上の成果

初年度には、焼結過程の「In-Situ(その場観測)実験」を日本側が提案、機材を米国に持ち込んだ。ペンシルバニア大学の R. Roy 教授が予測していたマイクロ波焼結における選択加熱、微視的熱非平衡の存在を、焼結過程の直接観測によって、世界ではじめてした。この研究により、マイクロ波加熱では、単にギプスの自由エネルギー等に基づく静的平衡論ではなく、流動、熱非平衡を含む動的な知識が求められ、プラズマ、流体力学などとの連携によって、新しい材料学が生まれてきた。その後の数年間の研究は、マイクロ波という単色、すなわち、コヒーレントというエントロピーの低い振動が励起され、それが熱という乱雑形に落ちるエネルギー経路の究明に向かって進められた。

(2) 低炭素社会建設への貢献

この共同研究の具体的な利用として、日本では、鉄鉱石のマイクロ波還元の実用化を目指して研究に着手した。ペンシルバニア大学の材料学研究所は、2年前から、チタン鉱石のマイクロ波還元に関する研究を進めており、鉱石のマイクロ波還元について基礎研究の蓄積ができつつある。核融合研の大型化/実用化技術と、ペンシルバニア大学の基礎研究成果を交換することで、研究の一層の推進を図った。

共同討議によって、この製鋼法を用いた総合的省エネプロセスに関するスケールの大きなアイデアが浮上した。マイクロ波を適用することで、単位の銑鉄を作る時にコークスを燃焼させて発生する二酸化炭素の排出は、40%程度に削減するが、マイクロ波を発振させるための電力、すなわち火力発電所における二酸化炭素の排出を加算する必要がある、総合では20%程度の削減にすぎない。この問題を検討している過程で、太陽光発電を適用した総合的な製鉄システムの構想が生まれた。鉄鉱石を鉱山から運び出して、日本や米国に持ち込んで、製鉄するのではなく、現地で銑鉄に分離して運ぶ方法である。鉄鉱石はオーストラリアなどの砂漠地帯に多く産出する。太陽光は、ほとんど1年中安定に供給される。この電力を使用すれば、炭酸ガスの排出は、熱/炭素還元反応に必要な量に限られ、現在の高炉法にくらべて、二酸化炭素の排出を40%程度に削減できる。輸送における燃料消費、国内でのスラグ処理に必要な燃料を考慮すると、20~30%とさらに大きな削減効果が期待出来る。

マイクロ波電力の必要量を見積もる。500kW/トン・時である。つまり、1本のトンネルあたり毎時40トンとすると、20MWのマイクロ波となる。これは、セラミックス焼成炉の実績と鉄鉱石溶融実験のデータベースとして算定したグロスのマイクロ波電力である。このようなマイクロ波源の規模は、ITERやLHD、JT60等の大型核融合研究用の発振器に使用するジャイラトロンまたはクライストロンと同等である。核融合で開発した高周波技術の大規模な社会還元につながるものと期待される。

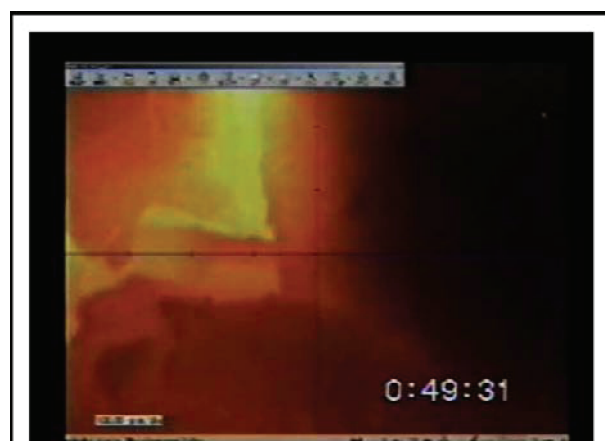


図1 Fe304のマイクロ波照射下のホットスポットの形成。数秒で移動してゆく熱的な強い非平衡の画像

高周波加熱技術

分野：核融合炉工学／定常運転

年度-課題番号：2000-FT3-8, 2000-FT3-7, 2001-FT3-01, 2002-FT3-5, 2003-FT3-3, 2003-FT3-2, 2005-FT3-4, 2006-FT3-1, 2006-FT3-2, 2008-FT3-2, 2008-FT3-4, 2009-FT3-2

実施責任者：武藤 敬、大久保 邦三、関 哲夫、高瀬 雄一¹⁾ C. Moeller²⁾

所属：核融合科学研究所、東京大学¹⁾ ジェネラルアトミックス社²⁾

日米の高周波加熱に関する技術協力は平成 12 年度から始まり、研究発表と情報交換、共同研究の議論のためのワークショップ (WS) が日米の主要な研究所に於いて交互に開催されてきた。この頃は日欧、米欧の同様の WS が並行して開かれており、効率化を図るために平成 19 年度からは日米欧の 3 極を構成メンバーとして輪番にて開催することになった。ワークショップと並行して研究者の相互交流も行われており、本事業に於いても ICRF 加熱ではコムラインアンテナについてジェネラルアトミックス社との協力が、ECH 加熱では MIT との協力が積極的に行われてきた。

各年度の WS におけるハイライトを以下に記述する。H12 年のプリンストンで開かれた WS では大電力ミリ波窓材としてのダイヤモンド窓が実用化に入り、真空封じ部の冷却構造について情報交換が行われ、その後のダイヤモンド窓の実用化を加速した。リモートステアリングアンテナの検討と大電力試験が開始され、ITER への適用の検討が報告された。JT-60 への ECH と ECCD 実験について報告があり、15keV への加熱と 0.2MA の電流駆動の成功が報告された。当時はミリ波の伝送効率が低いのが問題であった。ICRF 加熱ではアンテナの耐電圧向上のための研究が ORNL と ASDEX との共同研究としてスタートしたことが紹介された。LHD では 1 分の定常プラズマ実験が報告された。

H13 年の WS は犬山で開催され、米国からの参加者と欧州からも参加者があり、日欧のアンテナ技術に関する WS と合同で開催された。ECH のリモートステアリングアンテナの開発が進み、解析と実験が日米双方から報告され、有効性が確認された。また、ECH 実験が JT-60U, LHD, CHS, Heliotron-J, DIII-D で積極的に進められ、高電子温度、プラズマの不安定挙動 (NTM) の安定化、内部輸送障壁形成への効果、プラズマ生成の高効率化が報告された。

H14 年度はロサンゼルスで開かれ、この会議から米欧の高周波加熱技術 WS と合同となり、今まで独立に 2 極間で開いていた WS を 3 極で同時に開催し効率化を図ることが定例化した。ECH 関連ではリモートステアリングアンテナの開発が実験解析共に進み、入射角範囲を拡大する手法等が報告された。ジャイロ

トロンの開発が進み、原研から 110GHz で 1.3MW/1.5 秒、欧州の 140GHz で 0.9MW/55 秒が報告された。

H15 年度は原研で行われた。日米欧の 3 極に加え韓国 KSTAR からオブザーバー参加があり国際化が進んだ。以前の本ワークショップで共同研究が提案された NIFS と MIT の ECH 伝送系評価研究、原研と GA とのリモートステアリングアンテナの大電力試験の成果が報告された。

H17 年度は米国サンフランシスコ近傍にて開催された。この年に ITER のサイトが決定され、欧米からの発表は殆どが ITER 関連の検討であった。ITER の ICRF 源は 2.5MW のパッケージにて構成されることが決まり、具体的な検討が始まっている。ジャイロトロンは単管出力を上げる試みが各所で始まった。CPI 管は 1.5MW へ向けた試験が GA で始まり、米国では Gycom 管から国産管へ回帰が始まった。ドイツのカールスルーエでは W7-X 用の 140GHz ジャイロトロン管の開発が成功裏に行われていることと、ITER 用の 2MW/170GHz 管の開発が積極的に行われていることが紹介された。

H18 年は日本の奈良で開かれ、日米欧の 3 極からの参加がルーチン化した。ITER の本格的な始動を受けて、具体的な開発が本格化した。JAEA のジャイロトロンで 0.82MW/10 分が達成された。また、ICRF 加熱では LHD の 54 分 1.6GJ の長時間放電が報告され、定常運転への RF 加熱の適性が示された。

H20 年は開発が進むにつれて、所々の問題点が明らかになり、その課題解決への協力が話題になった。ECH ではダイヤモンド窓の個性が話題になり、寡占化による進展の障害が顕在化した。W7-X のジャイロトロンは量産品の性能不良が話題になり出したのもこの頃である。ICRF アンテナではアーキングの原因究明が本格化し、GA 等からアーク測定の方法が報告された。

H21 年度の WS ではジャイロトロン開発において JAEA が ITER の仕様 (1MW/30 分) をほぼ満たし、更なる向上を目指すなど進展が見られた。2MW 同軸ジャイロトロンも開発が進み、現実的な見通しが得られつつある。

WS 以外の日米協力では GA の C. Moeller と LHD 及び東京大学の間でコムラインアンテナに関する共同研究が実施された。TST-2 球状トカマクで計画されている低域混成波 (LHW) を使った電流立ち上げ実験で用いるためのコムラインアンテナに関する協力では、H18 年の派遣でアンテナの電気特性が測定され、使用予定周波数 200 MHz を含む 160 ~ 220 MHz の周波数領域で良好なパスバンドを有すること、また波数 $k_{\perp} \sim 22 \text{ m}^{-1}$ の進行波が励起されることが確認された。高パワー実験に用いるための対策の協力が進行中である。

電子サイクロトロン加熱装置伝送路におけるビーム結合・伝搬モード分析

分野：核融合炉工学

年度-課題番号：

2000-FT3-3, 2003-FT3-7, 2007-FT3-6, 2008-FT3-1

氏名：出射 浩 (実施責任者)、下妻 隆

Michael A. Shapiro, Richard J. Temkin

所属：(出射) 核融合科学研究所 (2000), 九州大学 (2003/2007/2008), (下妻) 核融合科学研究所, (M.A.S and R.J.T) Massachusetts Institute of Technology (MIT)

核融合科学研究所:大型ヘリカル装置(LHD)実験の主要電子加熱システムである電子サイクロトロン共鳴加熱(ECH)装置において、その大電力ミリ波伝送効率の向上が課題であった。発振源であるジャイロトロン管出力を「いかに主要伝送路であるコルゲート導波管へ最適結合させるか」が、効率改善のために重要である。本事業にて、最適結合のための位相補正鏡列の開発を米国MITグループと進めた¹。電界強度分布は、高電力試験でのターゲット紙の温度上昇分布より求められ、設計に必要な位相分布は求められた強度分布発展を説明できるものとして再構成(計算)される。開発された位相補正鏡列は、低電力試験にてその良好な動作が確認された²。(2000)

高効率伝送には、ビーム結合時のビーム位置、結合角を正確に(+/- 1mm, 0.2度)アライメントすることが重要である。ビーム結合において不要モード発生させ、その発生機構の解明、結合後の不要モードを含む放射ビームを用いた位相再構成過程の検証のため、図1に示すような1度の結合角をもつ原理実証実験を行った。まず、この放射ビームを用いて、再構成された位相分布と直接測定された位相分布が詳細に比較され、実験的に位相再構成法を検証した³。伝播位置 $z=150\text{mm}$ での再構成位相分布と、低電力試験による測定位相分布を図2示す。位相再構成には異なる伝播位置での強度分布発展を用いた。位相再構成された分布と測定位相分布は良く一致した。放射ビーム位置、ビーム径、ビーム非対称性、ビーム尖度を、高次を含むモーメントで評価し、伝播ビーム評価法を確立した。(2003)

位相再構成を用いて、伝送導波管自体のアライメントを行う方法を提案し、研究を展開した(図3)⁴。この際、導波管固有モードの放射電界・位相分布を「自由空間伝播波の固有モード」分布として定義できることに着想した。図1での原理実験にて、新たな固有モードを用い、一伝播距離での放射電界強度・位相分布測定から導波管内伝搬モードを分析できることを明らかにした⁵。(2007)

位相測定が行えない高電力試験、LHD-ECH 伝送系アライメントで、位相再構成法を用いない、新たなモード展開法を用いたモード分析法を提案した。再構

成・測定位相分布を用いず、導波管内伝搬モード分析が行えることを明らかにした。(2008)

具体的には LHD-ECH システムにおいて、ミリ波ビームの伝搬方向、モード成分(表1)⁶、導波管内での高周波電界分布を求め、当初の課題であった LHD-ECH システムでの伝送効率改善に大きく貢献した。さらに位相再構成法の実験的検証や、新たな「放射導波管固有モード」の定義、モード展開法の開発といった高周波・ミリ波工学にも大きな貢献をもたらす成果をあげた点は特筆に値する。MITグループは、位相再構成を含むコード計算・理論検討を担当し、日本側は低電力・高電力試験・評価を担当した。

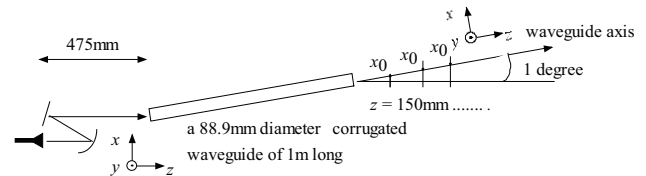


図1: ビーム結合・モード分析実験セットアップ

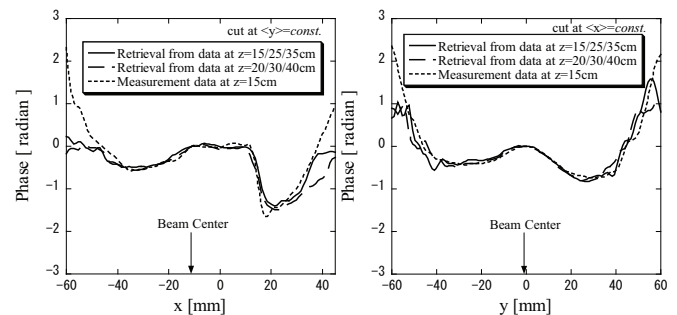


図2: 再構成・直接測定された位相分布

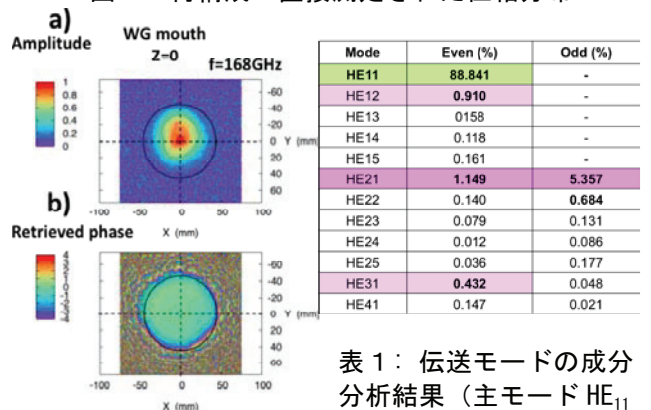


表1: 伝送モードの成分分析結果(主モードHE₁₁(89%)が伝送されている。他は不要モード)

- 図3: a): 測定振幅分布、 b): 再構成位相分布
- 1) M. A. Shapiro, *et al.*, Fusion Eng. and Design, **53** (2001) 537
 - 2) T. Notake, H. Idei, *et al.*, Fusion Eng. and Design, **73** (2005) 9
 - 3) H. Idei, *et al.*, IEEE Trans. on MTT, **54** (2006) 3899
 - 4) T. Shimozuma, H. Idei, *et al.*, JPFR, **81** (2005) 191
 - 5) H. Idei, T. Shimozuma, *et al.*, Proc. of IRMMW-THz 2007, 69
 - 6) T. Shimozuma, H. Idei, *et al.*, PRR, **5** (2010) S1029

Measurement of RF Transmission Mode in ITER Relevant ECH&CD Transmission Line

Category : Fusion Technology

Year-Number : 2007-FT3-3, 2008-FT3-5, 2009-FT3-3

Name: Yasuhisa Oda¹, Ken Kajiwara¹, Koji Takahashi¹, Atsushi Kasugai¹, Michael Shapiro², Richard J. Temkin², Keishi Sakamoto¹

Affiliation: ¹Plasma Heating Research Group, Naka Fusion Research Institute, Japan Atomic Energy Agency, 801-1 Mukoyama, Naka, Japan

²Plasma Science and Fusion Center, Massachusetts Institute of Technology, 167 Albany St., Cambridge, MA, USA

The 170 GHz transmission line (TL) for the electron cyclotron heating and current drive (ECH&CD) system in ITER requires more than 90% power transmission efficiency from the gyrotrons to the plasma using about 100 m length corrugated waveguides. For high transmission efficiency, the good purity of HE₁₁ mode is necessary (95%). In this study, the transmission mode in the 170 GHz high power long transmission test line for ITER, which consists of the 63.5 mm corrugated waveguides, was measured and the effect of higher order modes (HOMs) in ITER's transmission line is discussed.

The millimeter wave beam was generated by the 170 GHz high power gyrotron [1] and coupled into the corrugated waveguide through the Matching Optics Unit (MOU) constructed with two phase correcting mirrors. The power is transmitted to the dummy load. Two high power transmission test lines were prepared. One is a short range TL (7 m) and the other is a long range TL (40 m) as shown in Fig. 1. The direction of the RF power is selected by the waveguide switch. The TL system has 7 miter bends including the waveguide switch in the long range TL.

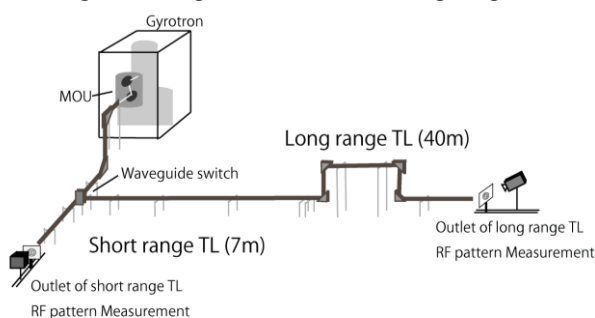


Fig. 1. Schematics of JAEA transmission test line. The diameter of the waveguide was 63.5 mm.

Using measured IR patterns, the mode content was retrieved using the MIT codes. A set of linearly polarized (LP) modes is used. In this analysis, the four LP modes are: fundamental mode LP₀₁ (HE₁₁), LP₁₁ (even and odd), and LP₀₂ (HE₁₂) modes. There was a small difference in the mode content between long TL and short TL. This indicates that the mixture of HE₁₁ and LP₁₁ modes could be

transmitted through the TL without significant mode conversion loss.

When two or more modes travel together down the waveguide, the center of the microwave beam will, in general, be offset from the axis. Also, when the modes reach the end of the waveguide, they will radiate into space with a tilt angle. The offset and tilt angle may be a problem in the launcher / antenna system for plasma heating and current drive. The case of two modes traveling in the waveguide has been analyzed in a recent paper by Kowalski et al. [2]. The paper shows that the offset varies with distance along the waveguide as a cosine wave, while the tilt angle varies as a sine - that is, the tilt angle is ninety degrees out of phase with the offset. With proper normalization, the square of the offset and the square of the tilt angle can be added to express a conservation theorem [2]. The variation of offset and tilt angle repeats with distance down the waveguide at the beat wavelength of the two modes. For the present case, we have most of the power in two modes - the HE₁₁ mode and the LP₁₁ mode - but there is still significant power in a series of higher modes. For the present case, the experimental values of the tilt angle and offset are plotted vs. extended waveguide length in Figs. 2 and 3 respectively. We also show fits to the tilt angle and offset using sine/cosine functions with a periodicity of 5 meters, which is the beat wavelength of the two major modes (LP₀₁ and LP₁₁). The measured values of tilt and offset agree well with the theoretical sine/cosine curve fits. We see from these results that as the microwaves propagate down the waveguide, they will always have some amount of either tilt or offset or both.

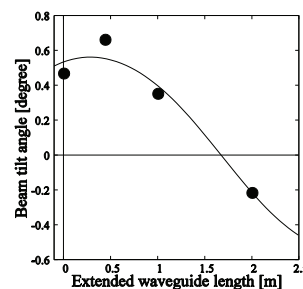


Fig.2. Dependence of tilt angle of radiated beam on length of extended waveguide.

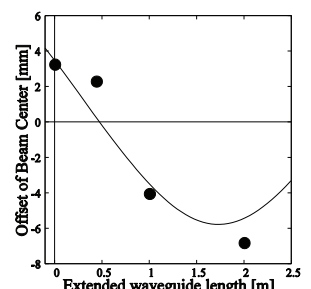


Fig.3. Dependence of offset of beam center at waveguide outlet on length of extended waveguide.

Thus the LP₁₁ mode generated at the TL input could affect the beam at the TL output which is an input for the launcher. The initial coupling efficiency at the MOU is important to improve the radiation characteristics from the launchers.

The research at MIT was supported by the US DOE OFES and the US ITER Project Office.

- [1] K. Sakamoto et al., Nature Phys. 3, 6 (2007), p. 411.
- [2] E. J. Kowalski et al., Proc. Intl. Conf. IR, MM and THz Waves, Busan, Korea, Paper R2D01, IEEE Conf. Proc., Sept. 2009.

核融合炉高出力密度装置と熱流動設計

分野：核融合炉工学／ダイバータ・ブランケット
年度-課題番号：2000-FT4-1, 2, 6, 7, 8 2001-FT4-01, 02, 07

2002-FT4-5, 2003-FT6-1, 2004-FT5-4, 2005-FT5-2, 2006-FT5-2, 2008-FT5-1

実施責任者：戸田三朗・橋爪秀利・*佐竹信一・結城和久、**Clemet Wong, ***Neil Morley

所属：東北大学・*富山大学、**General Atomics, ***UCLA

核融合炉の実用化のために解決しなければならない重要な工学的課題の1つであるエネルギー抽出の高効率化を目的として事業を実施している。本活動では、核融合炉の高出力密度化を目指したダイバータでの除熱システムに関して熱流動的観点からの議論を進め、最終的には、ITER でテストする予定のブランケットモジュール (TBM) ・動力炉のブランケットに関する議論へと発展してきた。特に、ワークショップでは液体ブランケットモジュールのコンセプトについての詳細な情報交換を行うと同時に、個別の重要な課題についての解析や実験のための派遣を進めている。具体的な課題として

1) 現在、提案されている第一壁冷却技術・液体ブランケットの工学的課題の抽出と関連した個々の現象の解明

2) 工学的課題の解決方法の模索と今後の開発計画の概要の構築

を中心的に取り上げている。これらの課題について日米WSにて議論を進めたことによって、以下のような成果が得られている。

1) 高熱流束機器開発においては、除熱性能・健全性・保守性といったような複数の要求を満足するシステムの可能性の検討が不可欠である。その1つの方法として液膜流冷却が考えられるが、液膜流表面はプラズマから強加熱により高温化し、プラズマ維持のためには液膜表面からの蒸発量を抑制する必要がある。このため、自由界面乱流に磁場を印加したDNS解析による乱流による液膜からの熱輸送機構の解明を行い、DNSを行い磁場の方向と乱流統計量との関係についてUCLAグループとともに考察した。その結果、磁場を印加した場合、磁場の方向に依らず渦構造は減少し、ストリーク構造も減少する。特に流れ方向に磁場を印加した場合、自由界面方向へのストリーク構造の伸張が見出された。¹⁾

2) Li液体ブランケットにおけるコーティング材の耐食性評価と構造材の最適化を行い、実現可能な絶縁材料の性能に基づいたブランケット設計への道筋が議論され、3層構造を持つ3面絶縁壁流路の提案へとつながり、基礎実験が進められている²⁾。

3) 高Pr流体であるFlibeに必要となる伝熱促進体まわりの可視化に適したプローブとして、複雑な内部構造に配慮して後方散乱型のプローブを選定した。更に、レーザを用いた流動可視化の際に問題となる屈折現象について議論され、屈折率調合法の導入と屈折の影響を低減可能な試験部の設計を実施した。これにより3本のレーザのクロスポイントを同一点にすることが可能となる。最終的にFlibeシミュラント流動試験装置への導入について具体的に検討し、試験部の取り付け、循環ポンプ選定、助走距離の確保、計測条件などについても検討を行った。これらの知見を活かして、ペブル充填管における除熱性能向上試験を実施し、データが蓄積されつつある³⁾。

4) 日本側が提案しているフリーベを使用したブランケット概念は、TBMとして提案するためには、構造材の使用上限温度の問題、第一壁冷却の問題があり、原型炉での使用を目標としていたが、本ワークショップでの議論の結果、構造材の上限温度の条件をクリアするためにフリーベの構成比を変化させ融点を下げることによってブランケットの設計が可能であること、除熱性能とTBRの低下の問題は、構造材の開発状況に応じてフリーベの構成比を元の設計値に戻すことによって、原型炉への段階的に発展させるシナリオを示すことができた⁴⁾。

以上のように、液体ブランケットシステム開発においては現状の技術の延長で達成可能なシステムを見据えることにより、今後の革新的なシステム開発のためのロードマップを構築することができ、今後の研究協力の方向性を明確に与えることが可能となった。このように、本活動は、ブランケット開発の進展に大きく寄与していると考えられる。

1) S. Satake et al., Fusion Engineering and Design, **61-62**, (2002), 95.

2) M. Aoyagi et al., ISFNT 9, (2009), China (to be published)..

3) N. Seto et al., Fusion Engineering and Design, **83**, (2008), 1102.

4) H. Hashizume et al, Fusion Science and Technology, **56**, (2009), 892.

プラズマ壁相互作用に関する研究 (NAGDIS-II によるダイバータ実験およびダスト、ボロン膜に対する表面分析)

分野：炉工学

年度-課題番号：2000-FP5-8, 2000-FT6-7, 2007-FT5-2, 2009-FP2-2

実施責任者：高村秀一*, S. Luckhardt**, P. Sharpe***, D. Petti***, 芦川直子****

所属：*名古屋大学工学研究科, **カルフォルニア州立大学サンディエゴ校, ***アイダホ国立工学研究所, ****核融合科学研究所,

炉工学分野, 特にプラズマ壁相互作用に関連する3つの研究課題 1) NAGDIS を用いた周辺プラズマシミュレーション研究, 2) LHD におけるダスト採取分析, および 3) DIII-D におけるボロン壁の分析評価に関する成果を本項では述べる。

次世代核融合装置での長時間/定常運転の実現のためには, ダイバータ板への熱負荷低減が必要不可欠である。非接触ダイバータは, ダイバータ板への熱負荷低減方法として最も有力な手法であると考えられている。カルフォルニア州立大学サンディエゴ校 (UCSD) との共同研究により, 非接触プラズマの発生機構が名古屋大学所有の高熱流ダイバープラズマ模擬試験装置 NAGDIS-II を用いて詳細に調べた。

可視分光計測により, プラズマの非接触化に伴い放射再結合による連続スペクトル及び三体再結合による高励起準位からの輝線スペクトルが明瞭に観測され, 体積再結合過程が非接触プラズマ発生に重要な役割を果たしていることが明らかになった。

さらに, 非接触プラズマ中のエネルギーバランスを理解するために, HeII (468.6nm) 線のドップラー拡がりを計測し, イオン温度を評価した。図1は, イオン温度と電子温度, 及び電子密度の中性ガス圧依存性を示している。ガス圧の上昇により, 電子密度は上昇するが, 6mTorr 以上になるとプラズマが非接触化し, 特に下流側 (down) の電子密度が急激に減少する (b)。一方ガス圧上昇により電子温度, イオン温度とも低下し, 非接触プラズマ発生時には下流側でイオン温度と電子温度が等しくなっていることが明らかになった (a)。この実験結果は, 電子温度が低下するために, 電子とイオンの温度緩和過程が重要であることを示している。さらにこの実験結果は, 2次元流体コードB2のシミュレーションにおいても再現され, 日米協力により非接触プラズマ発生時のエネルギーバランスが明らかになった。

本共同研究では, 当時ポスドク研究員であった D. Whyte (MIT), E. Hollmann (現在 UCSD) が名古屋大学に来訪し, 名古屋大学工学研究科博士後期課程に在籍していた西島大輔と実験を遂行した。本共同研究を契機として, 西島は UCSD グループの研究員として採用され, 現在日米協力の米国側キーパーソンとして活躍している。

P. Sharpe, D. Petti (アイダホ国立工学研究所) と相良 (核融合研) らは核融合装置における炉内ダストの堆積量および位置依存性に関する分析を行うため, ヘリカル型装置でデータを得ることを目的としLHD真空容器内で採取, その後分析を行った。その後まとめられた11装置との比較による結果から, LHDで採取されたダスト量は下部領域で 58.7mg/m^2 であり, JET, ASDEX等と比較すると桁違いに少ないことが報告された。また, 重力による影響を調べるため第一壁タイルの設置角度が異なる場所 (それぞれ $0\sim 30, 30\sim 60, 60\sim 90$ 度) でダスト採取を行った結果, 単位面積あたりの採取ダスト量は同程度であることが明らかとなった。

DIII-D ではボロン膜特性評価, およびダスト・ダイナミクスに関する実験に関し議論を行った。前者では DIII-D におけるボロニゼーションで被覆されたボロン膜の特性について X線光電子分光法 (XPS) を用いた化学結合状態の評価を行った。DIII-D 試料の特長は, 最表面において主に黒鉛による炭素組成比が高く, ボロンとの化学結合は主に B-B および B-C が顕著であり酸素不純物捕捉による酸化ボロンは相対的に低い値であった。つまりボロンによる酸素捕捉が維持された状態で実験サイクルを終了したことを示唆している。派遣期間中に試料駆動装置 (DiMOS) に関する実験に関する議論を行い, 後に 2008 年から芦川 (核融合研) と D. Rudakov (USCD) らによる DiMOS を用いたダスト・ダイナミクスに関する共同実験の実施に繋がることとなった。

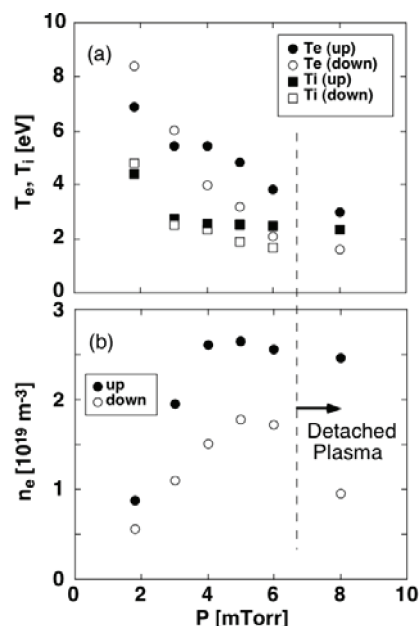


Fig. 1 Dependence of (a): electron temperature T_e and ion temperature T_i ; (b): electron density n_e , measured at upstream and downstream, on the neutral gas pressure P .

核融合炉における熱除去とプラズマ材料相互作用

分野：核融合炉工学

年度-課題番号：2000-FT5-1, 2001-FT5-04, 2002-FT5-1, 2003FT5-1, 2004-FT5-3, 2005-FT5-3, 2006-FT5-3, 2007-FT5-1, 2009-FT5-1

実施責任者：野田信明、上田良夫、R. Nygren

所属：核融合科学研究所、大阪大学、サンディア国立研究所

核融合炉のプラズマ対向機器は、高い熱・粒子負荷環境下において、年単位の長期間安定に動作する必要があり、同時に核燃焼プラズマとの共存性が担保されなくてはならない。このため、プラズマ対向機器、および対向材料の研究開発は、核融合炉の実現に不可欠であると認識されている。

本ワークショップでは、標記課題に関するタイムリーなトピックスを毎年取り上げて、日米間の情報交換を行い、本分野の研究の発展に貢献してきた。このワークショップで頻りに取上げられたプラズマ対向材料として最も重要な材料は、高融点・高熱伝導率という性質を持つタングステンであり、プラズマ材料相互作用、タングステン材料開発、タングステンダイバータ開発など様々なテーマについて、研究発表や議論が行なわれた。本稿では、これらのうち、近年大きく理解が進んだ、タングステンへの高フラックスヘリウムイオンや重水素イオン照射による表面状態変化（プリスタリング、バブル形成、ナノ構造形成）に関する成果について述べる。

名古屋大学の高村、大野らのグループによる、高密度プラズマ照射装置 NAGDIS を用いたタングステンへのヘリウム照射実験により、He バブルと呼ばれるサブミクロンオーダーのホールが 1600 K 程度以上の温度で形成されることが明らかになった¹⁾。この過程は、He の入射エネルギーが表面障壁エネルギー（約 6eV）を越えてタングステン内に侵入した場合に起こることが示された（図 1）。このエネルギーでは、タングステン原子のはじき出しは起こらないため、熱空孔にヘリウム原子が捕獲されて He-V 結合体が生成され、これがさらに集合体を形成することで生じると考えられている。また、温度が 1100 K 程度以上では、ナノ構造と呼ばれる太さが数 10 ナノメートルの綿毛状の構造が表面に形成されることも新たに発見された²⁾。これらの研究は、タングステンのヘリウム影響に関する先駆的な研究であった。その後、UCSD のグループ等も研究に参画し、ナノ構造の形成条件やその特性について、大きく研究が進んだ。

ITER においては、ダイバータのストライク点近傍を除き、表面温度は 200°C 程度以下と考えられている。このような低温条件下での重水素イオンとヘリウムイオンの照射影響についても近年精力的に研究が進み、

本ワークショップでも、熱心な議論が行なわれてきた。徳永らの UCSD での研究により、673K 以下の温度で高フラックスの重水素イオンを照射するとプリスタと呼ばれる表面構造が発生することが分かった。この構造は単結晶タングステンでも発生することが示されており、結晶粒界だけではなく、結晶粒内にも重水素が蓄積しうることが示された³⁾。

さらにこの低温条件下での重水素リテンションについても精力的に研究が進んだ。特にヘリウムと重水素の同時照射実験において、ヘリウムイオンが加わることで、プリスタリングの抑制や重水素蓄積量の大幅な低減が観測された（図 2）⁴⁾。

これら一連の研究により、ヘリウムイオンや重水素イオンが高フラックスでタングステンへ照射されることで、従来知られていなかった新たな現象が発生することが明らかになった。これらの現象の理解と制御は、ITER や原型炉におけるタングステン材料適応性評価における最も重要な課題となっている。

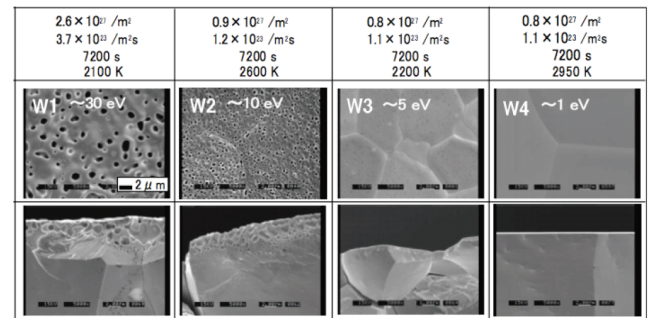


Fig. 1. The dependence of incident ion energy E_{in} for bubble and hole formation on the PM-W surface irradiated by low energy and high-flux He plasma.

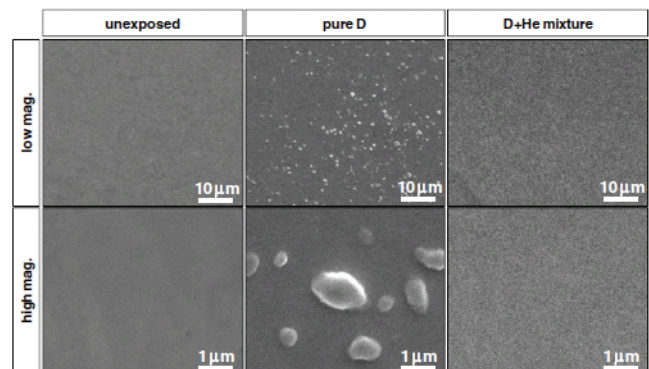


Fig. 2. Surface morphology of SR-W before and after an exposure to pure D plasma or D + He mixture plasma at $D \sim 5 \times 10^{25} \text{ m}^{-2}$, $T_s \sim 573\text{K}$ and $c_{He^+} \sim 20\%$.

1)D. Nishijima et al., J. Nucl. Mater. **313-316** (2004) 97.

2)S. Takamura et al., Plasma Fusion Res. **1**, 051 (2006).

3)K. Tokunaga et al., J. Nucl. Mater. **337-339** (2005) 887.

4)M. Miyamoto et al., Nucl. Fusion **49** (2009) 065035 (7pp).

核融合動力炉設計と関連先端炉工学技術

分野：核融合炉工学／炉設計

年度-課題番号：2000-FT6-2, 2001-FT6-06, 2003-FT6-4, 2004-FT6-2, 2005-FT6-3, 2006-FT6-1, 2007-FT6-2, 2007-FT6-4, 2008-FT6-2, 2009-FT6-1, 2009-FT6-3

実施責任者：小川雄一*, F. Najmabadi**, 後藤拓也*†

所属：*東京大学大学院新領域創成科学研究科、カリフォルニア大学サンディエゴ校（米）、（†2008年度より核融合科学研究所）

ITER後を見据えた原型炉・発電炉の設計研究を進めるにあたっては、核融合炉心プラズマと炉工学技術のトレードオフを考慮したシステムとしての最適化が必要であり、そのためには現在の大型装置での実験研究とITERでの機器開発を設計に反映させていくことおよび、これらを統一的に俯瞰するための理論的モデリングと計算機シミュレーションコードの開発が急務となっている。これらの課題について、日米欧を機軸とし、さらには中国なども含めた情報交換・研究協力の場として、ワークショップおよび研究者派遣を行ってきた。米国側はUCSDを中核としたARIESグループが、日本側は大学・核融合研・原子力機構・電中研などが関与してきた。また欧州の核融合炉設計グループも定期的に参加していると共に、中国からの参加もある。

本活動で相互比較・評価を行った核融合炉設計をまとめると以下ようになる。

@トカマク

日本：SSTR, Slim-CS, DREAM, VECTOR, IDLT, CREST, Demo-CREST

米国：ARIES-1~3, Pulsar, ARIES-RS, ARIES-AT, ARIES-ST

@ヘリカル

日本：FFHR シリーズ

米国：ARIES-CS

@レーザー

日本：KOYO, KOYO-Fast, FALCON-D

米国：HAPL

トカマクでは、経済性が早期実用化か、が主な論点であり、炉設計に違いが生じた。米国側は一貫して経済性を追求しており、よりコンパクトな核融合炉の設計を目指している。これは核分裂炉などの他のエネルギー源と競って、エネルギー市場に核融合が導入されるのは、電気代（COE）が現在の電源と同レベルになればならないという考え方に立っている。一方日本側は経済性も視野に入れるが、核融合エネルギーの様々な魅力を踏まえた社会受容性の向上と、早期実用化が肝要であるとの考え方に力点を置いている。これは、まさに日米のエネルギー事

情の違いを反映していると言えよう。因みに欧州はより確実な技術での早期実用化を、中国はハイブリッド炉も視野にいった核融合開発を其々進めている。

ヘリカル炉設計については、日本の核融合科学研究所の大型ヘリカル装置（LHD）の建設実績と実験結果を受けてLHD型ヘリオトロン型核融合炉FFHRの設計活動が進められており、プラズマパラメータの最適化および超伝導コイルの設計検討が進められている。設計領域解析のためのシステムコードの開発も進展しており、2008年度にはNIFSからの研究者派遣により米国・ARIESグループとの議論が行われ、ARIESグループのトカマクシステムコードとの比較を通じたコードの信頼性向上、異なる装置概念間の共通基盤のもとでの比較環境構築が進行中である。一方米国側は、経済性を重視し、コンパクトステラレータであるARIES-CSの設計を行っている。従って装置主半径は10m以下になっている。ここでも日米の考え方の違いが出ている。

レーザーに関して日本側は、液体壁チェンバーのKOYO, KOYO-Fast炉設計に加えて固体壁の検討を高速点火方式レーザー核融合炉FALCON-D設計で行っている。米国側はHAPL計画で固体壁の可能性を追求している。2007年に日本側から米国UCSDへ研究者が派遣され、日米双方で検討が進められていた固体壁方式について議論を行った。この結果米国で行われたタングステンのヘリウム照射実験およびその解析、フェライト鋼とタングステンの接合材への熱負荷試験の結果をFALCON-D炉設計へと適用した結果、日本で開発が進んでいる超微細粒タングステンをアーマ材とした低放射化フェライト鋼が高速点火方式レーザー核融合炉の第一壁候補材として適用可能であることが熱応力解析の結果から示された[1]。

このような各種炉設計を横断的に評価することにより、お互いの共通課題の抽出や相互理解が進んだ。例えば、ダイバータや第一壁負荷に関しては、レーザーのチェンバー技術と共通する。表1はそれを定量的に比較したものである。

表1 ダイバータ熱負荷とチェンバー壁負荷の比較

	ITER Type-I ELMs	ITER VDEs	ITER Disruptions	Typical IFE Operation (direct-drive NRL target)
Energy	<1 MJ/m ²	~ 50 MJ/m ²	~ 10 MJ/m ²	~ 0.1 MJ/m ²
Location	Surface near div. strike points	surface	surface	bulk (~ μm s)
Time	100-1000 μs	~ 0.3 s	~ 1 ms	~ 1-3 μs
Max. Temperature	melting/sublimation points	melting/sublimation points	melting/sublimation points	~ 1500-2000 °C (for dry wall)
Frequency	Few Hz	~ 1 per 100 cycles	~ 1 per 10 cycles	~ 10 Hz
Base Temperature	200-1000 °C	~ 100 °C	~ 100 °C	>500 °C

1) Goto, T. *et al.*, Nucl. Fusion **49** (2009) 075006 (8pp).

トリチウム取り扱い・制御技術

分野：炉工学

年度-課題番号：2001-FT-6-5, 2002-FT-6-7, 2002-FT-6-8, 2003-FT-6-7, 2004-FT-6-3, 2005-FT-6-4

実施責任者：西川正史, 奥野健二*, S. Willms**, C. Gentile***

所属：九州大学総合理工学研究院, *静岡大学理学部

LLNL, *PPPL

米国ではTSTA・原子力研究所協力協定によるグラムオーダーのトリチウムを使った各種装置の実証研究とこれらを総合したトリチウムループ試験とPPPL-TFTRの解体に伴うトカマク実験装置特にグラフィットタイルからのトリチウム除染研究が主なアクティビティーであることが特徴であったが、現在TSTAは閉鎖されトリチウム使用施設の除染と安定化の対象になっている。これらによる大量トリチウム取り扱いで得られる経験と我が国の大学において遂行されている関連基礎研究から得られる知見と総合することによって、核融合実験炉や関連実験装置における大量トリチウム取り扱いへの対応に見通しが得られつつある判断できる。実装置の性能実証を目的とした開発研究機関と基礎現象の解明を目的とした大学という質を異にする研究機関において得られる知見が、相互補填することによって核融合トリチウム実験システムをサブシステムの有機的結合体として捉えという化学工学的視点と相俟って、その高度化、安全性確保に貢献できる事例として本協力研究は大きな意味を持ったものといえよう。

TFTRやTSTAのトリチウム汚染物廃棄処理においてコンクリート固化法がとられているため、コンクリートからのトリチウム浸出が課題になるとのことであったが米国では地下水の心配のない地層への埋設で対処していた。またコンクリート壁のトリチウム汚染が将来の課題であると紹介された。筆者らはこれを基礎研究の観点から見ても興味ある研究課題と考えコンクリート中のトリチウムの移行挙動を、吸着、拡散および同位体交換反応等の化学工学的移動現象の集約と捉えてコンクリート中トリチウム移行モデル構築の研究を始めた。Fig. 1 は一方の面から少量のトリチウムを浸透させた場合の深さ方向のトリチウムの時間変化を測定しそれに筆者らのモデルを使って求めた推定値と比較したが両者の一致は良好である。構築したモデルを使ってコンクリート壁のトリチウム汚染の進行状況や気温・湿度の変化による壁からのトリチウム放出挙動の予測が行えるようになったが、サバンナリバー研究所の研究者から同研究所トリチウム施設における経験は筆者らの予測と一致しているとの評価が得られた。

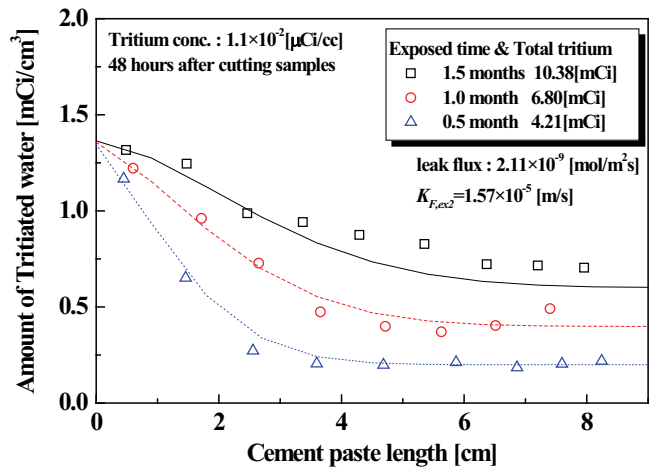


Fig. 1. Comparison of observed values and estimated values for distribution profile of tritium in concrete.

本事業に基づく交流を通じてプリンストンプラズマ物理研究所のTFTR装置の解体・廃棄処理の方法とその結果ならびにロスアラモス国立研究所においてTSTA閉鎖後同施設の除染において、除染および安定化計画の立案、排出された種々のトリチウム汚染物の取り扱いと廃棄方法、ならびに実地に採られた除染法について詳しく知ることができた。またこの作業における研究所内の協力体制や安定化後解体撤去に向けてとられているTSTAの監視体制の現状を知ることが出来た。これらの知見は将来日本の大学研究社による現象把握に基づく解析とあいまって将来核融合炉の建設に向けて大いに役立つものと期待できる。

また、米国のトリチウム研究ならびに取り扱いで指導的立場に立つロスアラモス研究所、サバンナリバー研究所、プリンストン大学、アイダホ研究所、ロチェスター大学等の担当者とITERに関連する米国のトリチウムに関する将来構想について議論を交わすことができた。一部の議論はJUPITER計画やTITAN計画に継承されている。

- 1)M. Nishikawa, K. Furuichi, H. Takata, "Study on permeation behavior of gaseous tritium through concrete walls," *Fusion Sci. and Technol.*, **50**, 521-527(2006).
- 2)K. Furuichi, H. Takata, T. Motoshima, S. Satake, M. Nishikawa, "Study on behavior of tritium in concrete wall," *J. Nucl. Mater.*, **350**, 246-253(2006).
- 3)K. Furuichi, H. Takata, M. Nishikawa, et al., "Evaluation of tritium behavior in concrete," *J. Nucl. Mater.*, **360-370**, 1243-1247(2007).

高速点火ターゲットの製作、射出、追尾

分野：炉工学

年度-課題番号：2002-FT6-5、2003-FT6-2、2003-FT6-8

実施責任者：乗松孝好、Dan Goodin

所属：大阪大学レーザー核融合研究センター、ジェネラルアトミクス（USA）

第2回ターゲットの製作、射出、追尾に関する日米ワークショップ（2002-FT6-5）は2003年2月3、4日に米国カリフォルニア州サンディエゴの General Atomics 社で開催された。本ワークショップの目的は日米の慣性核融合ターゲットの製作、射出、追尾に関する専門家が集い、標記課題の技術情報を交換し、学術の進展に貢献するためである。ターゲットに関する課題をレビューし、双方で研究された情報を公開し、分析し、それぞれの研究にフィードバックをかけるスタイルで行われた。

このワークショップを通して、以下の同意に至り、①～③は合意通り実行された。④は実験時期の問題で実現しなかった。

- ①次会ワークショップを日本で2004年に実施する。
- ②高分子コーティング開発部門長 A. Nikroo を2004年の9月に日本に派遣する（2003-FT6-2）
- ③岐阜大学の吉田弘樹を2004年3月に米国に派遣し、ターゲットインジェクションの実験に参画する。（2003-FT6-8）
- ④米国は高速点火用ターゲットの射出の実験を行う。

これらのワークショップ、研究者派遣で日本からはターゲット製作技術が、米国からはインジェクションの射出精度など、じっ寸法の実験装置でなければ得られない情報もたらされ、得られた成果は高速点火方式による実用炉の概念設計に生かされている。ワークショップの詳細は以下の通りである。

ワークショップの初日はターゲット製作に焦点を当て、2日目は射出と、追尾に焦点を当てて進められた。M. Campbell (GA 慣性核融合責任者) は高速点火の重要性を強調し、レーザー直接照射のみならず、間接照射やイオンビームドライバーでも有効であることを示した。高利得が期待できること、燃料カプセルの真球性などの精度に対する要求が緩和されること、コーン付きターゲットに対する専用の固体燃料層製作技術が必要であることが示された。

阪大レーザー研の乗松からは液体壁レーザー核融合炉に向けたターゲット製作、射出、追尾の展望、課題に関する報告がなされ[1]、実用炉に向けたロードマップが示された。

また、現在承認されている高速点火原理検証実験 FIREX-1[2]の現状が報告され、点火燃焼が期待される FIREX-II の計画がしめされた。

液体壁実用炉に向けた研究では最終光学系の金属蒸気汚染を防ぐために同期型回転シャッターとビームダクト内に低圧の水素ガスを入れることが提案された。

GA のターゲットグループ責任者 D. Goodin は慣性核融合ターゲットのコストについて議論した。現在の完全な手作りの状態から大量生産で4桁コストを下げる必要であるが、可能である見通しが報告された。中心点火方式で最もきわどい点と思われる課題は炉内でのターゲットの健全性である。間接照射方式ではターゲットの量産が課題であることを示した。蒸発防止膜のあるフォームシェルターゲットが界面重合法を用いて Shafer 社で研究されていることが報告された。また、重水素、三重水素を用いて均一な厚さを持つ固体燃料層製作技術がローレンスリバモア研究所で進められていることが報告された。GA では将来の大量生産法として流動床による中空固体燃料層の製作が研究されていることが報告された。固体燃料層を持つ極低温ターゲットが炉の中に投入されたときの熱負荷の計算が GA と USCSD との共同で進められている。

阪大レーザー研の長井らは極低密度フォームを、ポリメリル1ペンテンを用いて開発していることが報告された。溶媒のアルコールの種類により、構造が制御でき、液化炭酸ガスを利用した超臨界乾燥でアルコールを除去することによりフォームが作られ、固まり状態での最も低い密度は4mg/ccであり、これは十分目標値を達成している。中空化に課題が残る。

R. Petzoldt はターゲットインジェクション、トラッキングシステムの現状を報告した。システムは全長8mのガスガンと、17mのフライトチューブで構成され、実用炉と同じ大きさである。ターゲットは銃身の中でサポーと呼ばれる保護ケースの中に入れられ、打ち出された後、開放され、サポーは回収される。位置検出、軌道計算の準備が整い、見学コースに含まれた。

名古屋大学の遠藤他等は高速点火ターゲット用のインジェクション装置の設計を、岐阜大学の吉田等はトラッキング装置の結果を、茨城大学の辻等は路駐に投入されたターゲット保護するためにチューブを利用することを提案した。

1 T. Norimatsu, et al., Fusion Science and Technology, 52 (2007) 893.

2 H. Azechi et al., Nucl. Fusion 49 (2009) 104024

3章 核融合物理学 (FPPC)

3.1 目的

核融合物理学分野計画委員会 (FPPC) は、核融合プラズマ物理学分野の研究に関して、日米協力事業を組織・運営する役割を果たしている。日米協力活動の当初、実験的な分野での協力は、核融合技術を含むいろいろな概念を発展させるために実施された。その後、日米協力活動が活発化するに連れて、FPPC と核融合炉工学分野計画委員会 (FTPC) が 1991 年に分離することになった。

異なる装置間の実験結果をもとに、より普遍性の高い物理メカニズムを理解するために、1992 年以降、本分野の日米協力はプラズマ中心部の現象、プラズマ周辺部の振舞いと制御、プラズマ加熱と電流駆動、及び新しいアプローチと診断法のカテゴリーを設けて、これらを重点的に発展させるために実施された。その後 10 年以上経過して、2、3 年をかけて見直しを行った結果、研究の進展に応じてカテゴリーの名称を変更すること、また各カテゴリー間での活動の数のアンバランスを是正することが望ましいと結論した。その結果、2007 年に次のような 6 つのカテゴリー分けに変更した。即ちそれらのカテゴリーは 1) 計画委員会、2) 定常運転、3) MHD と高ベータ、4) 閉じ込め、5) 計測、6) 高エネルギー密度の科学、である。磁場閉じ込め方式と慣性閉じ込め方式のさまざまな概念の物理はこれらのカテゴリーにおいて、一緒に議論することができる。そして、それは我々が閉じ込めプラズマの複雑な性質をより一層深く理解することに役立つ。

3.2 活動

相互互惠の観点から、共同研究の実施場所の数が日米双方でできる限り釣り合っているように配慮しながら、ワークショップ及び研究者の派遣・招聘により共同研究を実施している。数は非常に少ないけれども、遠隔ビデオ会議システムや電子メールを使った共同研究も行っている。

日米共同事業の下、2000-2009 年の間に、285 のワークショップが米国で開催され、528 人の研究者は当該分野に関連したいろいろなテーマのもとで米国に行って研究を行った。日本では、米国の研究者が参加して 141 のワークショップが開催され、404 人の研究者が日本に来て研究を行った。

これらの数は以前の 20 年間と比べて、かなり増加した。以前の 20 年の期間では年に 14 件のワークショップが米国で実行され、また年間 32 人の研究者が米国に派遣された。一方、日本では年間 11 件のワークショップが開催され、年間 30 人の研究者が共同研究のために日本に来訪した。

最近の 10 年間の日米共同事業の下に行われた多くの研究活動の成果の内、特筆すべきものをハイライトとしてこの章の後半で紹介してある。

3.3 運営

FPPC の現在の運営委員会は、日本原子力研究開発機構 (JAEA) と核融合科学研究所 (NIFS) を含む日本の研究機関からのキーパーソンと米国のエネルギー省 (DoE) のキーパーソンにより構成されている。その中には、5 つのカテゴリーのそれぞれを担当する日本の研究機関に所属するキーパーソンを含んでいる。

FPPC の運営委員会は、また、米国と日本の大学を含む研究機関から、必要性に応じて、オブザーバーとして研究者が出席している。

FPPC の各カテゴリーの共同研究推進のため、日本側では、大学と NIFS からキーパーソンが指名されている。

当該運営委員会は通常遠隔ビデオ会議システムによって年に一回開催されているが、十分な意思疎通を図るために直接会っての会合も数年に 1 度は開催するようにしており、直近の直接会っての運営委員会は 2007 年 4 月に米国プリンストンプラズマ物理学研究所 (PPPL) で開催された。

3.4 研究成果の概要とハイライト

3.4.1 定常運転

ITER 時代にはいり、核融合プログラムの重要研究分野の一つに核融合プラズマの定常運転があげられている。この分野の日米共同研究課題として以下のものが取り上げられた。

- 1) 高周波によるプラズマ加熱と電流駆動
- 2) 負イオン NBI システムの改良
- 3) 波動とプラズマ電流スタートアップの物理 (球状トカマク)
- 4) SOL の揺動制御と関連するプラズマ壁相互作用
- 5) 定常運転における磁気再結合に起因する突発事象の回避

以下にそれぞれのトピックスをまとめる。

1) “プラズマ加熱と電流駆動”に関する共同研究は 2000 年から 2009 年の間に 7 回のワークショップによって実施された。参加者と発表件数は各々 193 人、169 件である。対象とする分野は ECH, ECCD, LHCD, HHFW, ICH であり、日本からは 8 装置での、また米国からは 5 装置の実験結果が示された。球状トカマクや LHD での EBW による電流駆動は最近の大きな成果と位置づけることができる。LHCD に関しては、TRIAM-1M での 5 時間を超える定常プラズマの demonstration, や C-mod や JT-60U での MA クラスの電流駆動によりその有用性が示されている。LHD においては定常運転が ICH によっても実証され、高速イオンの挙動についても新しい研究対象として議論されている。理論的な分野では RF 物理に関するコードのベンチマーク test の実施がこの共同研究の枠組みで議論されている。

2) “負イオン NBI システム”の共同研究は NIFS と PPPL の双方を中心に 2000-2009 年にわたって実施された。Cs を用いた負イオン NBI システムに関して 2 つの重要な改善が行われた。一つは定常運転中の成分比の時間発展を Doppler shift 分光により連続計測したこと、さらに Cs 消費量とタングステンフィラメントの連続観測もおこなったことである。この連続計測により微調整を可能とし、70 秒間の NBI の運転が実施できた。さらに Cs 消費量の関数としてビームの均一度を評価し連続運転の寿命予測が可能となった。

3) “電流立ち上げをふくむ波動物理”に関する共同研究は 2000-2009 年の間に東大、MIT、PPPL 間で実施された。この分野のトピックスは HHFW による加熱電流駆動、ソレノイドレスの電流立ち上げ、TORIC code シミュレーション、LHCD スタートアップである。ST 分野ではいくつかのスタートアップシナリオが検討されているが、この共同研究を通じて実機でテストされている。HHFW による共同実験は NSTX および TST-2 を用いて検証されソレノイドなしでの電流立ち上げに成功した。LHCD を用いた電流立ち上げは C-Mod で実施され 4.6GHz の密度限界でも可能であることを示した。MIT との共同研究では高ブートストラップ電流比をめざした電流ホール共同実験を計画している。

4) “SOL 物理と PWI”に関する共同研究はワークショップ並びに人材交流の両分野で実施した。前者は non-diffusive 輸送と dust 生成を対象としている。定常運転が可能な直線装置を用いて Blob 発生に関する研究を高密度プラズマ条件下でデタッチ、アタッチ双方のダイバーター条件を実現して行っている。PWI に関連しては定常運転の観点から高 Z 材料とプラズマの相互作用をマイクロ、マクロ双方の観測に基づき議論している。

5) “merging and magnetic reconnection”に関する共同研究は 2000-2009 年にわたってワークショップ形式で実施された。太陽、磁気圏、実験室の分野で実施された共同研究は観測結果の相互理解を深め、スケールの極端に異なる環境における普遍的な物理の創出に役立っている。この共同研究を通じて新しいプロジェクトである“実験室及び天文プラズマにおける磁気自己組織化研究センター”が米国 NSF および我が国の JSPS のサポートの基で動き出している。核融合分野においても定常運転における磁気再結合に起因する突発事象の制御は必須の課題でありこうした共同研究の成果が期待されている。

高周波加熱、電流駆動の物理ワークショップ

分野：核融合物理学／定常運転

年度-課題番号：2000-FP4-6, 2003-FP4-2, 2004-FP4-1, 2005-FP4-2, 2006-FP4-1, 2007-FP2-3, 2008-FP2-4, 2009-FP2-1

実施責任者：熊沢隆平、渡利徹夫、高瀬雄一¹⁾、市村真²⁾、久保伸、J.Hosea³⁾、R.Prater⁴⁾

所属：核融合科学研究所、¹⁾東京大学、²⁾筑波大学、³⁾プリンストンプラズマ物理研究所(PPPL)、⁴⁾ジェネラルアトミック社(GA)

高周波加熱、電流駆動の物理に関するワークショップは、この10年間に7回開催されている。総参加者は193名、総発表件数は169件であった。そのハイライトを実験分野と理論分野に分けて以下に報告する。

[実験分野]

実験装置：

日本側：LHD, JT-60U, LATE, TST-2, H-J, TRIAM-1M, GAMMA-10, QUEST 等

米国側：DIII-D, Alcator C-Mod, NSTX, HSX, MST 等

上記の実験装置で得られた実験結果を、ECH/ECCD, LHCD, HHFW および ICH のそれぞれの周波数領域に分類して報告する。

1) ECH/ECCD：電子サイクロトロン加熱・電流駆動

LHDにおける大電力ECHで、電子密度は $2 \times 10^{18} \text{m}^{-3}$ 程度ではあるが、電子温度 15keV が達成された。また電力変調実験により加熱吸収分布が詳細に測定され、ray軌道解析の結果と比較して良い一致が示された。X-Bおよび0-X-B変換法を利用した初期加熱実験が行われ、加熱の有効性が示された。ECH加熱システムを利用して、マイクロ波の協同トムソン散乱法でイオン速度分布計測の初期実験結果も実施されている。

D-111D, JT-60UにおけるECCDを用いた新古典ティアリングモード(NTM)の抑制に成功した。DIII-Dでは、MSE計測によりECCDでの詳細な電流分布が測定され、電流駆動効率とその駆動物理が明瞭にされた。これは後述するTORAY-GAコードおよびCQL3Dコードの進展が大きな貢献をしている。

LATEとTST-2において、ECHを用いた電流立ち上げに成功した。またQUESTにおいて実験が開始され、0-X-Bを用いた電流駆動で長時間運転が計画されている。

2) LHCD：低域混成共鳴電流駆動

TRIAM-1Mにおいて、5時間を超える長時間放電に成功した。C-Modで、LHCD電力 1.2MW を入射し、 $n_e \sim 5 \times 10^{19} \text{m}^{-3}$ のプラズマで 1MA の完全電流駆動を1秒間達成している。またJT-60UにおいてMSE計測値を用いて、ITB形成のための実時間電流分布制御実験が注目される。またJT-60Uにおいて、LHCDを用いて、電流立ち上げも、特筆すべき結果である。

3) HHFW：高調波速波加熱

NSTXにおいて3MWのHHFW加熱が成功し、電子温度 6keV の増加を得た。しかしながら低 $N\phi$ 加熱においてその加熱効率の劣化が観測され、周辺プラズマにおいて低域混成波周波数帯の波が伝播可能となるためであると推測した。そしてリチウム壁コンディショニング法により、周辺電子密度を減少させて低 $N\phi$ での加熱効率を向上させた。

4) ICH：イオンサイクロトロン波加熱

この手法における目覚ましい進展は、LHDにおけるICH実験である。ICH加熱プラズマが高周波加熱電力のみで維持されており、そのプラズマ特性はNBIプラズマと同等であった。そしてLHDプロジェクトの主目的である長時間プラズマ維持(一時間弱のプラズマ維持)に成功した。またこの長時間プラズマを利用して、 1MeV 以上の高エネルギーイオンが良好に閉込められていることを立証している。さらにオークリッジ国立研究所との共同研究で、設計・製作した折返型導波管アンテナを用いたプラズマ生成・加熱が初めて実証されたことも特筆すべきである。

C-Modでは、3個のアンテナセットを用いて6MW入射を達成した。加熱効率にアンテナ間の位相の差異は認められなかった。また位相コントラストイメージ(PCI)法を用いて、速波からモード変換したイオンサイクロトロン波を初めて観測した。これは後述する様に進展したAORSAコードの解析結果と比較する事により解明された結果である。

[理論分野]

米国では多額の研究資金を投入して、コード開発を開始した。この分野を研究する理論研究者の数の違いは大きい。日本では研究組織が無く個人研究ベースであるが、ほぼ同等に研究が進展している。

AORSA、TASKおよびTORICコードを基本に、複数のコードを結合して解析を実行している。具体的にはAORSA-CQL3Dコード、TORIC-CQL3Dコード、AORSA/TORIC-GENRAYコード、TASK/WM-FPなどに代表される。

例えばTASK/WM-FPコードを用いて、ICRF加熱時の高エネルギーイオンの時間発展がWM(Wave module: 波の分散式)とFP(フォッカープランク式)との統合により解析された。また粒子シミュレーションコードGNETとの組合せにより、高エネルギーイオンの振舞の計算も平行して進行している。

負イオン型中性粒子ビーム入射システムの性能改善研究

分野：核融合物理学／加熱
 年度-課題番号：2000-FP4-4, 2001-FP4-04, 2003-FP4-1, 2004-FP4-2, 2005-FP4-1, 2006-FP4-2, 2007-FP4-2
 実施責任者：岡 良秀, L. R. Grisham*
 所属：核融合科学研究所,
 *プリンストンプラズマ物理研究所

ハイパワー長パルス用負イオン型中性粒子入射装置, N-NBI は LHD-核融合プラズマの主加熱装置であり、主要機器としてセシウム (Cs) 添加型水素負イオン源システムが使われた。研究目的は 15MW LHD-N-NBI 実機を使って、負イオン源のビーム物理研究またシステムの性能改善の研究を進めハイパワービーム入射で長パルス入射を信頼性良く長期間運転できる様にし、および LHD-NNBI 加熱法の高性能化改善研究を目標にした。この為、NIFS による設計仕様を満足した負イオン源システム開発等に並行して、共同研究が TFTR 装置用重水素³30MW 級正イオン入射システムで経験豊富な PPPL 研と進められ、ならびにビーム分光法研究は JAEA 那珂研とも進められた。

主要な研究成果は、ハイパワービームの速度分布またビームストリッピングロス、分光法的手法で、LHD プラズマ加熱入射中に測定し (図 1)、~128 秒間までの長パルス時間幅に渡って速度/空間分布の時間展開を観測できた。パルス時間 (図 2) が経過すると負イオンは減少し、また負イオン生成の空間分布は変化した [1, 2]。原因はイオン源内で Cs リサイクル変化や電極表面上からの Cs 離脱に伴う H⁻イオンの表面生成場所の変化、加速ギャップでの負イオンストリッピング損失の影響と推察できた。本分光計測は、負イオン源の高性能化に一つの研究指針を明らかにでき、及び本法が LHD 用のみならず将来の ITER 用などハイパワーで長パルス用の NBI のビームモニターとして、非接触法であり極めて有効な手法であることが実証できた。次の成果は、長期間の負イオン源の運転データを系統的に解析するなどして Cs 消費量 (表 I) やアーク放電のタングステンフィラメント消耗量 (寿命) を実機で入射運転の場合について測定評価し [3] NBI 運転方法の改善や保守法の確立を進めることができた、更に負イオンと同時に加速されてしまう電子ビーム成分の評価 (図 3) [4] やビームブロッキング研究を行って N-NBI システムの加熱性能改善に大きく貢献できた。

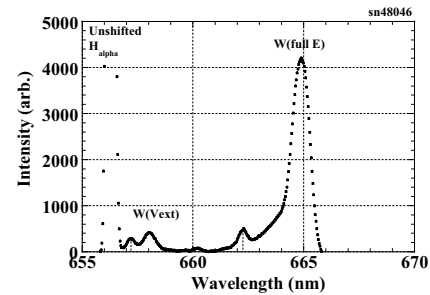


Fig.1 Doppler shift spectrum in H α light of the LHD-NNBI beam.

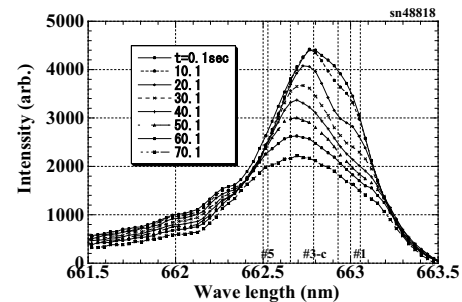


Fig.2 Temporal profile for full energy beam component for 74s long pulse injection (sn48818).
 Vfull=95kV, Iacc=14A (IS-2B).

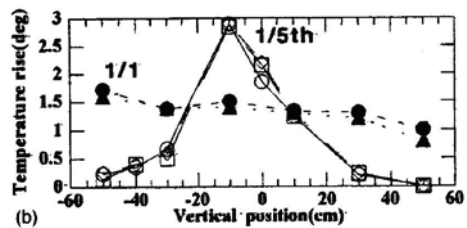


Fig.3 Temperature-rise profile on the dump for co-accelerated electron beam component with LHD-NNBI full-size(1/1) and 1/3rd-negative ion sources.

- 1) Y. Oka et al., Rev. Sci. Instrum. 77(2006)03A538
- 2) Y. Oka et al., Rev. Sci. Instrum. 79(2008)02C105
- 3) Y. Oka et al., Rev. Sci. Instrum. 75(2004)1803
- 4) Y. Oka et al., Rev. Sci. Instrum. 73(2002)1054

Table I. Tungsten filament weight loss and Cesium weight loss for LHD ion source								
Ion source	IS-1A	IS-1B	IS-1A	IS-1B	IS-2A	IS-2B	IS-3A	IS-3B
Run No.	10-a	10-a	10-b	10-b	10	10	10	10
W loss rate (mg/shot/source)	0.12	...	0.28	0.23	0.52	0.3
W atoms/shot/source ($\times 10^{18}$)	0.39	...	0.91	0.75	1.7	0.98
Coverage of W/shot/source (monolayer)	0.015	...	0.035	0.028	0.065	0.037
Cs loss rate (mg/shot/source)	0.4	...	1.58	1.57	0.62	0.6	0.17	0.31
Cs atoms/shot/source ($\times 10^{18}$)	7.18	7.13	2.8	2.7	0.77	1.4
Coverage of Cs/shot/source (monolayer)	1.04	1	0.4	0.39	0.11	0.2
Ratio of Cs coverage to W coverage	69	...	11	13	1.6	5.4

接触・非接触プラズマ中のバースト的プラズマ輸送解析

分野：物理（周辺プラズマ挙動）
 年度-課題番号：FP3-03, FP3-18
 実施責任者：大野哲靖*, S. Krasheninnikov**
 所属：*名古屋大学工学研究科, **カルフォルニア州立大学サンディエゴ校

ダイバータには炉心部から漏れ出てきた高温プラズマが局所的に流入することから、ダイバータ板は高い熱・粒子負荷にさらされる。特にITERの工学設計においては、ダイバータ板に流入するプラズマ熱流値は数十 MW/m²に達すると想定されている。ITERでは定常運転時にダイバータ板への熱負荷を5-10 MW/m²以下まで下げる必要があるとされており、これを実現させるための最も有力な方法の一つとして、非接触ダイバータ (Detached Divertor) の採用が考えられている。これは、ダイバータ領域の中性ガス圧を増加させ、プラズマとガスの相互作用によりプラズマ熱流を低減させるプラズマデタッチメント (Plasma Detachment) 現象を利用する方法である。非接触プラズマ形成の物理機構に関する研究は、日米協力事業において重点的に行われた。

一方、最外殻磁気面から離れた境界プラズマ領域の密度分布は指数的に減少せず、比較的密度の高いプラズマが第一壁近傍まで存在していることが分かっている。この現象は拡散過程で説明するには困難であり、対流的輸送が起因しているものと推測される。この非拡散的に磁力線を横切る輸送として、Plasma Blob輸送が注目されている。この現象は、磁力線に沿ってフィラメント状の構造を持つ高密度のプラズマの塊 (Plasma Blob) が、磁場を横切り炉壁へ向かって飛行する現象である。

本日米協力事業では、非接触プラズマにおいて、Plasma Blobによる径方向輸送が熱・粒子負荷分布の広域化（低減）に本質的な役割を果たしていることを明らかにした。

実験には直線型ダイバータプラズマ模擬実験装置を用いた。Fig. 1に示すように、中性ガス圧の増加によりプラズマが非接触化すると、周辺領域 ($r = 60$ mm) では、イオン飽和電流にPlasma Blob伝搬に伴うバースト的な静電揺動が明瞭に観測される。Fig. 2はガス圧に対するイオン飽和電流の平均値と揺動レベルの変化を示している。ガス圧の上昇に伴い、周辺領域の揺動レベルが上昇し、さらにイオン飽和電流の平均値も上昇しており、プラズマ分布が平坦化していることが分かる。

非接触プラズマ発生時のPlasma Blob輸送によるプラズマ分布の平坦化は、その後大型ヘリカル装置LHDでも観測されており、非接触プラズマを用いた熱・粒子負荷制御において、Plasma Blob輸送現象の理解が不可欠であることを示唆している。

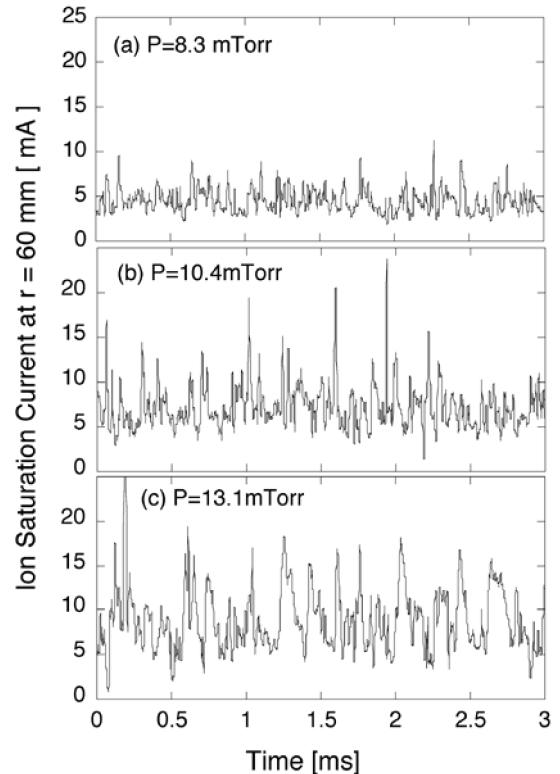


Fig. 1 Neutral pressure dependence of time evolution of I_{sat} at $r = 60$ mm.

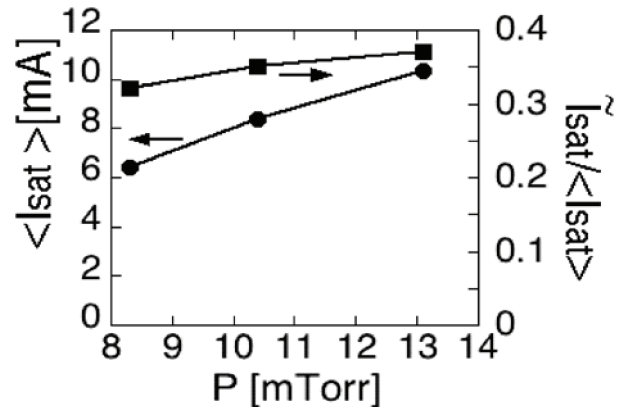


Fig. 2 The averaged value of I_{sat} and fluctuation level as a function of neutral pressure P .

- 1) N. Ohno, K. Furuta, S. Takamura, Journal of Plasma Fusion Research, Vol.80, No.4, 2004, pp.275-276.
- 2) N. Ohno, V. P. Budaev, K. Furuta, H. Miyoshi, S. Takamura, Contributions to Plasma Physics, Vol.44, No.1-3, 2004, pp.222-227.

核融合装置中のダスト輸送に関する研究

分野：物理（周辺プラズマ挙動）
 年度-課題番号：2006-FP3-3
 実施責任者：大野哲靖*， S. Krasheninnikov**
 所属：*名古屋大学工学研究科， **カルフォルニア州立大学サンディエゴ校

近年、多くの核融合装置において炭素系、金属系のダストの発生が観測されている。今後長時間放電維持が重要な研究課題となるが、それに伴い多量のダスト生成が懸念されている。核融合装置中のダスト発生に関連して、トリチウムを吸蔵した炭素系ダストの飛散、水素を吸蔵した高温の炭素系ダストと水分との反応による爆発などの安全上の問題、ダストの装置ギャップ間侵入による絶縁および気密性の劣化といった炉工学上の問題が指摘されている。さらに高温炉心プラズマ中でのダストの溶融、蒸発による多量な不純物の炉心プラズマへの混入が懸念されている。

しかし実験上のさまざまな制約により、核融合装置におけるダスト研究は現象論的な議論に限られてきた。特にトロイダルプラズマ装置でのダスト輸送に関しては、飛行しているダストのサイズや材質が不明なため、詳細な輸送解析を行うことが不可能であった。

本事業では、トロイダルダイバータプラズマ模擬試験装置を用いてダスト輸送実験を実施し、ダスト輸送コード(DUSTT)を用いたモデリングとの比較検討することにより、トロイダルプラズマ装置におけるダスト輸送、特にプラズマ流の影響を明らかにすることを目的とした。

装置の下側ポートから、Fig. 1のように超音波発生用の圧電セラミック振動子を挿入し、その上に直径5ミクロンの炭素系ダストを配置した。横方向からの高強度ランプによりダストを照らし、その散乱光を上部から高速度カメラにより撮像することにより、ダスト運動を観測した。

Fig. 2にプラズマ中に導入されたダストの運動の様子を示す。図の下側が大半径方向内側の強磁場側、上が大半径方向外側の弱磁場側である。図中の黒い塊の部分ダスト雲を示している。トロイダル磁場の向きが時計回り(左図)の時は、ダストは径方向外側に輸送される。また、磁場を反転させトロイダル磁場の向きが反時計回り(右図)になると、ダストの運動方向は反転し径方向内側に輸送されることが分かる。以上の実験結果を評価するために、ダスト駆動力の評価を行った。解析結果の一例をFig. 3に示す。本解析結果により核融合周辺のプラズマパラメータでは、イオン流とダスト間の摩擦力がダストに働く主要な力であることが分かった。観測されたダストの径方向輸送の駆動力としては、イオン反

磁性流とダスト間の摩擦力が主要な力であることが考えられる。

今回、既知のダストをトロイダルプラズマ導入しダスト輸送研究を行うことにより、初めてダスト輸送に関するモデリングとの定量的に比較・検討が可能となったことを強調したい。

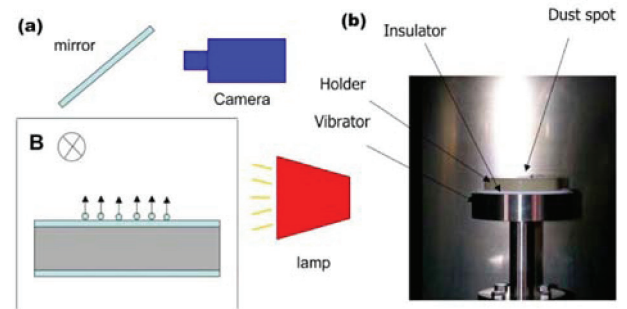


Fig. 1 Experimental Setup.

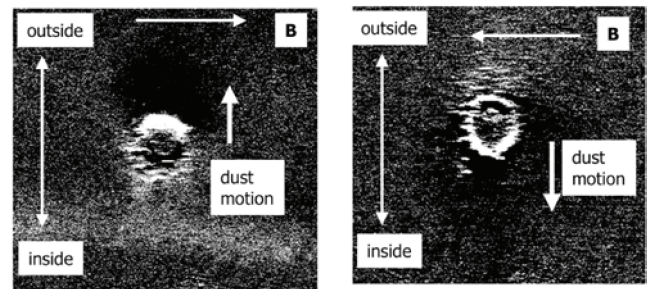


Fig. 2 Dust motion depending on a direction of magnetic field.

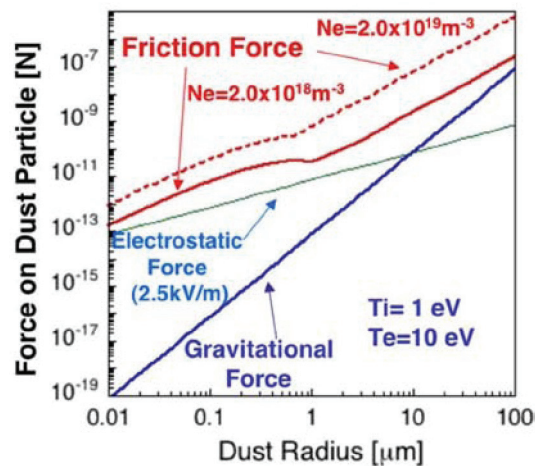


Fig. 3 Dependence of force acting on a dust particle on its radius.

- 1) N. Ohno, M. Yoshimi, M. Tokitani, *et al.*, Journal of Nuclear Materials, 390-391(2009)61-64.
- 2) Takashi Yamada, Noriaki Matsui, Noriyasu Ohno, *et al.*, Int. Symp. on EcoTopia Science, 2007, Nagoya, Japan
- 3) Takashi Yamada, Noriaki Matsui, Kengo Yada, Noriyasu Ohno, Makoto Takagi, 8th Workshop on Fine Particle Plasmas, 2007, Toki, Japan

3.4.2 MHDおよび高ベータ

1回目のトロイダルプラズマにおけるMHDモードの能動制御についての日米MHDワークショップは、第3回米国MHD会議と合同で1998年11月にサンディエゴで開催された。それ以後、日米MHDワークショップは毎年開催されている。これらの日米MHDワークショップにおいて、有用な研究情報が交換され、多様なMHD制御課題についての議論が行われた。高ベータプラズマの定常運転を達成するためには、種々の不安定性、特に新古典テアリングモード (NTM) および抵抗性壁モード (RWM) の安定化が必須である。トカマクおよびヘリカルプラズマに共通するMHD課題について議論がなされ、プラズマ制御物理における3次元効果の重要性が明らかとなった。

Rotamak で最初に開発された、磁場反転配位 (FRC) の定常電流駆動法である回転磁場 (RMF) 電流駆動を、より大型のワシントン大学の TCS 装置で更に発展させた。TCS グループの助けを借り、大阪大学の FIX 装置のために新たな RMF 電流駆動システムが開発された。RMF アンテナを金属の磁束保存真空容器内部に設置することで、維持された FRC プラズマを第一壁より隔離することができた。スフェロマックの逆ヘリシティー合体により、大きな磁束を持つ、扁平な FRC の高効率発生が達成できる。高ベータ FRC 生成に繋がる種々の逆ヘリシティー合体に関する共同研究が PPPL の MRX 装置で実施された。逆ヘリシティー合体におけるホール効果の役割を含め、FRC プラズマの並行および安定性、扁平 FRC の大域的安定性、中心ソレノイドによる維持に関する研究が行われた。

高エネルギー粒子連続モード (EPM) やアルフベン固有モード (AE) のような、高速イオン駆動 MHD 不安定性は、高速イオンや D-T 燃焼プラズマにおけるアルファ粒子の異常輸送を引き起こす。シンチレーターを使った損失高速イオンプローブ (SLIP) は PPPL との協力により、EPM/AE の存在下において損失した高速イオンをジャイロ半径およびピッチ角分解能をもって検出するため、最初 CHS に設置され、その後二つの SLIP が LHD に設置された。LHD では低密度プラズマが接線 NBI で加熱される場合に、繰り返して突発する磁気揺動 (おそらく EPM) がよく観測される。SLIP により、EPM バーストと同期した高速イオン損失が検出された。これにより、EPM はビームイオンの空間的再分配および損失を引き起こすことがわかった。

トロイダルプラズマのMHD安定性制御 能動的MHD制御の基礎過程

分野：核融合物理学／炉心プラズマ現象
 年度-課題番号：2003-FP2-2, 2004-FP2-9,
 実施責任者：山崎耕造、小関隆久
 岡林典男、Gerald Navratil
 所属：核融合科学研究所（現在：名古屋大学）、
 日本原子力研究開発機構、
 プリンストン大学プラズマ物理研究所、
 コロンビア大学

トロイダルプラズマの高性能化のためには、種々の不安定性を克服しなければならない。特にトカマクの定常・ベータ化に関連して、近年 RWM (Resistive Wall Mode) や NTM (Neoclassical Tearing Mode) の抑制が研究の主要課題となっている。

トカマクでのプラズマ不安定性の帰還制御に関する検討は、米国内では1996年にFSX (feedback stabilization tokamak) 計画として検討され (第1回米国内MHD会合)、その後、コロンビア大学 (HBT-EP) やGA (DIII-D) での非軸対称コイルフィードバック制御実験、ECH・ECCD実験として準備が進められてきた (第2回米国内会合)。日米WSとしては、第3回米国内MHD会合との合同で第1回日米ワークショップ「トロイダルプラズマ中のMHDモードの能動的制御」をサンディエゴのGAで開催した。

その発展として、交互に日米でWSを開催し、2004年2月2日～4日に第6回として、日本原子力研究所那珂研究所 (現在の日本原子力研究開発機構那珂核融合研究) にて、大型トカマクワークショップ、MHD・ディスラプション・制御に関するITPA (International Tokamak Physics Activity) 会合、の2会合を含めて、日米WSを開催した。米国内から11名、EUから9名、ロシアから2名、ITERから3名、日本の大学関連から18名、原研から15名の参加者を得て、日米の枠を超えた国際的な会合として開催できた。講演は30以上にのぼり、JT-60U, LHD, NSTX, NCSX, DIII-D, Alcator C-Mod, ASDEX-UG, ITER を含めて報告がなされた。会合でのセッションは、“stability in helical system and control (Ref.1)”, “stability in innovative confinement concept”, “non-ideal and non-linear MHD stability behavior”, “neoclassical tearing mode and steady state issues”, “stabilization and destabilization by wall, error field, rotation and others” であった。

また、2004年には米国物理学会の直後の1月21～23日に第7回WS「能動的MHD制御の基礎過程」を、米国プリンストン大学 プラズマ物理研究所にて、第9回米国内MHD会合との合同で開催した。日本から7名が参加し、欧州からの

参加者も含めて、合計40の講演が報告された。2人の著名なMHD研究者として、故Anders Bondeson博士と 故Torkil Jensen博士への記念講演も行われた。本ワークショップのセッションは、“modelling feedback, resistive wall modes (RWMs) (Ref.2)” “non-axisymmetric devices”, “plasma response to non-axisymmetric fields”, “ballooning, neoclassical tearing modes (NTMs) and other” “active control experiments” であった。

このワークショップにより、米国・欧州でのMHDプラズマ制御研究の動向を知ることができ、ヘリカルとトカマクのみならず、ST、RFP等を含めたトロイダルプラズマに共通のMHD実験・理論に関連する多くの知見を得ることができた。

特に、トカマクとヘリカルとの共通のMHD制御物理 (表1) に関して議論でき、現在注目されている制御物理での3D効果の重要性を明示できたのが、日米WSの成果である。

TABLE I Operational limits in tokamak and helical systems [from Ref.1]

	STANDARD TOKAMAK	STANDARD HELICAL
Confinement	Gyro-Bohm	Gyro-Bohm (Global) Helical Ripple Effect (Local)
Beta Limit	Kink-Ballooning Mode Resistive Wall Mode Neoclassical Tearing Mode	Low-n Pressure-Driven Mode
Density Limit	Radiation & MHD Collapses	Radiation Collapse
Pulse-Length Limit	Recycling Control Resistive Wall Mode Neoclassical Tearing Mode	Recycling Control Resistive mode (?)
Beyond limit	Thermal collapse Current quench	Thermal collapse

上記は、2003年と2004年だけの成果であるが、この日米WSは2010年度も米国ウイスコンシン大学で開催予定であり、通算13回目の会合である。このように長期にわたり日米WSが継続できているのは、米国側のトカマク制御に特化した研究計画と日本側のトロイダルプラズマ物理の幅広い研究計画との相乗効果による点にあると考えられる。特に、近年、トカマクのMHD安定性物理での3次元効果の重要性が指摘されてきており、トカマクとヘリカルシステムとの物理の接点の領域でもあり、今後益々重要になっていくと考えられている。

また、この日米WSの成果の一部として、雑誌PPFCに能動的MHD制御の特集号の掲載が予定されている。

- 1) Yamazaki, K., Kikuchi, M., J. Plasma Fusion Res. SERIES, Vol.5 (2003) pp 28-35.
- 2) Okabayashi, M., et al, Nucl. Fusion 45 (2005) 1715.

高ベータFRCプラズマの定常電流駆動と高効率形成

分野：核融合物理学/MHDと高ベータ
 年度-課題番号：2001-FP2-20, 2005-FP4-5
 実施責任者：井 通暁, A. Hoffman*, M. Yamada**
 所属：大阪大学, *University of Washington,
 **Princeton Plasma Physics Laboratory

高ベータ磁場閉じ込め配位である FRC (磁場反転配位) について、回転磁場を用いた準定常維持手法の確立および異極性プラズマ合体を用いた生成法のメカニズム解明に関する研究を実施した。FRC プラズマは 100%に近い高いベータ値を有しており、先進燃料核融合炉心としての可能性を秘めている一方で、(a)有力な追加熱・電流駆動手段が欠如、(b)テータピンチ法では捕捉磁束の大きなプラズマの形成が困難、といった問題点があり、特に閉じ込め改善に関する実験研究の進展が制限されてきた。

前者についてはプラズマ柱に直交する磁場を回転させることによって FRC プラズマの準定常電流駆動を行う手法の開発を行った。共同研究実施当時において、回転磁場による電流駆動手法は Flinders 大学 rotamak 装置における比較的小規模な実施例の後、ワシントン大学において大型の TCS 装置での実験計画が進行中であった。TCS グループの協力の下で技術的・物理的ノウハウを持ち帰り、大阪大学 FIX 装置にて新型回転磁場印加装置の開発を行った。先行研究との大きな違いは、回転磁場印加用アンテナを金属製磁束保存容器の内部に設置した点である。これによって、セパトリクスが装置壁から比較的離れた状態での準定常維持が実現された。Fig. 1 に典型的な放電波形を示す。回転磁場の印加とともにプラズマ中の磁場が反転し、FRC が形成されている。セパトリクス径は真空容器内径の 62%程度であり、およそ 1ms の準定常維持に成功した [1]。

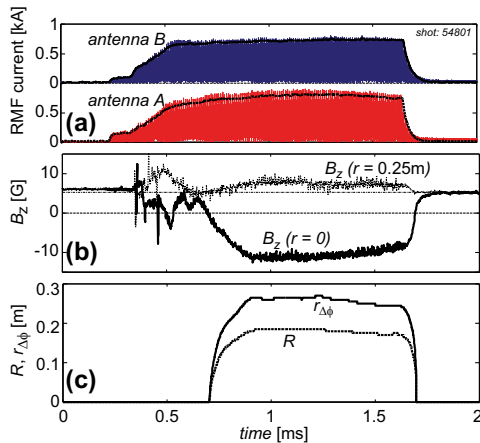


Fig. 1. Time evolutions of (a) RMF antenna currents, (b) axial magnetic field, and (c) separatrix and major radii [1].

また、捕捉磁束を増加させることが困難であるテータピンチ法に比べ、スフェロマックプラズマの異極性合体を用いた生成法の場合には半径の大きな FRC を比較的容易に形成することができ、将来的な中性粒子ビーム入射加熱の導入等の面で有利である。プラズマ合体法による高ベータ配位形成について、プリンストン大学の MRX 装置を用いて多角的な実験研究を実施し、異極性合体時の磁気リコネクションにおけるホール効果や、形成された FRC プラズマの巨視的安定性、中心ソレノイドコイルによる平衡維持の可能性等を検証した。Fig. 2 に、異極性合体におけるホール効果の検証例を示す [2]。互いに逆向きのトロイダル磁場を有するスフェロマックプラズマ同士の場合において、径方向に誘起されるリコネクション電流の向きを反転させることによって、巨視的な磁場構造が変化することが観測された。これは、ホール効果によって X 点近傍の磁力線が変形することに起因しており、同時にホール電界によるリコネクションの促進が確認された。さらに、巨視的な磁場構造の変化によってリコネクション下流領域の圧力に変化が現れ、X ポイントからのアウトフローの構造も影響を受けることを確認した。この他にも密度分布やトロイダルフロー等にリコネクション極性の影響が現れており、形成された FRC プラズマの安定性はこれらの複合的效果によって左右されているものと考えられる。

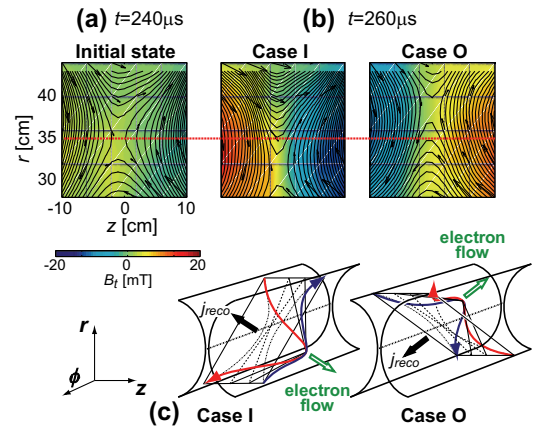


Fig. 2. Poloidal flux contours (solid lines) with poloidal magnetic field (arrows) and toroidal magnetic field (color coded) at $t=240 \mu\text{s}$ (a) and at $t=260 \mu\text{s}$ (b) in cases I (left) and O (right) counter-helicity merging, and corresponding three-dimensional illustrations of reconnecting field lines in the Hall-MHD regime (c) [2].

- 1) Inomoto, M., et al., Phys. Rev. Lett. **99** (2007) 175003
- 2) Inomoto, M., et al., Phys. Rev. Lett. **97** (2006) 135002

LHDにおける高エネルギー粒子計測

分野：核融合物理学／炉心プラズマ現象
 年度-課題番号：2003-FP2-4
 実施責任者：磯部光孝, Douglass. S. Darrow*
 所属：核融合科学研究所, *プリンストンプラズマ物理研究所

将来の核燃焼プラズマにおいて、D-T 反応生成高速 α 粒子は、背景プラズマの主な加熱源として、核燃焼状態を維持する重要な役割を担う。仮に何らかの理由で α 粒子が損失した場合、核燃焼状態の維持が困難になるだけでなく、損失 α 粒子による第一壁への局所的な熱負荷の結果、装置に致命的損傷を与える恐れがある。以前ヘリカル系プラズマ研究においては、非軸対称磁場リップルによる高速イオンの軌道の問題が議論の中心の一つであった。その後の磁場配位研究の進展に加え、またヘリカル系においても強力な中性粒子ビーム (NB) 入射加熱が行われるようになった結果、CHS、W7-AS、LHD において NB 入射時にアルヴェン固有モード (AE) や高速粒子モード (EPM) に代表される高速イオン励起 MHD 不安定性が観測されるようになった。

LHD では、NB 入射加熱時に励起される AE/EPM に起因する損失高速イオンの計測に、シンチレータ型損失高速イオンプローブ (SLIP) が用いられている。SLIP は、プリンストンプラズマ物理研究所 (PPPL) にて提案・開発され、TFTR における MeV 領域にある核反応生成物、NB 入射高速イオン等の高速イオンの損失成分の検出に使われた[1]。1997 年に SLIP に詳しい PPPL の Darrow 博士を核融合科学研究所へ招聘し、高速イオン励起 MHD 不安定性が引き起こす高速イオンの異常輸送を調べる目的で SLIP を CHS 実験に導入した[2]。その後、SLIP を LHD へ適用するにあたり、日米科学技術事業核融合分野の支援の下、Darrow 博士に幾度か短期で来所していただいた。博士の熱心な協力により、今では LHD に2機の SLIP が装備され[3]、高速イオンの損失軌道の問題、並びに、AE/EPM による高速イオンの排出の有無に関する議論が可能となった。

図 1 に、SLIP の基本動作を示す。まず、高速イオンが軌道損失してくる可能性がある位置を粒子軌道計算により調査し、その後その位置にて真空容器内に存在する磁力線を利用し、ラーモア半径 ρ_L の大きなイオンのみを2段のアパチャーを通してシンチレータ板が設置されている検出器内部へと導く。 ρ_L の大きい (小さい) 高速イオンは、アパチャーから遠い (近い) 位置に衝突し、また、アパチャー面からの垂線に対する高速イオンの衝突位置の分布は、ピッチ角 ($\chi = \arccos(v_{\parallel}/v)$) に相当することから、損失高速イオンの衝突によるシンチレータ板上に現

れる発光の二次元分布を測定することにより、損失高速イオンのエネルギーとピッチ角の情報が同時に取得出来る。LHD では、接線 NB をバランス入射した際に EPM と考えられる回帰的磁気バーストがしばしば発生する。図 2 に、その際に観測された高速イオンの異常輸送・損失を示すデータを示す。磁気バーストに伴い、接線方向に視野を持つ E//B 型中性粒子分析器 (NPA) により測定された co-通過粒子に由来する高速中性粒子束 ($E \sim 150$ keV, $\chi \sim 40$ 度) がスパイク状に増大し、同時に SLIP 信号 ($E \sim 160$ keV, $\chi \sim 30$ 度) も増大する。高速中性粒子束の増大は、プラズマコア部を co-方向に周回していた高速イオンが、EPM により中性粒子密度の高い大半径方向周辺部へと輸送された事を意味している。また、SLIP は LHD の大半径方向外側に設置され軌道が磁気面から大半径方向外側に偏差する co-通過高速イオン、並びに、遷移軌道を持つイオンを検出するように設計されていることから、EPM により co-通過高速イオンが大半径方向周辺部へと輸送され、その一部が損失に至ることが明らかとなった。

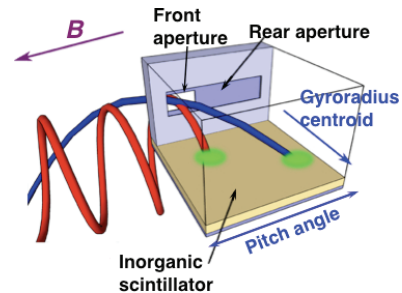


Fig. 1. Basic function of scintillator-based lost fast ion probe.

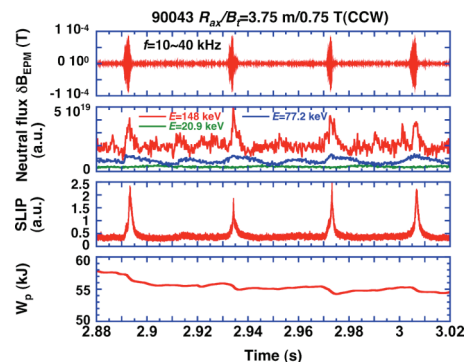


Fig. 2. Time traces of δB_{EPM} at the Mirnov coil position, charge exchange fast neutrals for three different particle energies, beam-ion loss rate to SLIP ($E \sim 160$ keV, $\chi \sim 30$ deg.) and W_p .

- 1) Zweben, S.J., Nuclear Fusion **29** (1989) 825.
- 2) Isobe, M. et al., Rev. Sci. Instrum. **12** (1999) 4589.
- 3) Isobe, M. et al., Fus. Sci. Technol. to be appeared in July 2010.

3.4.3 閉じ込め

米国と日本の中で、閉じ込め物理実験の相互協力研究が推進されてきた。

1例は、プリンストンプラズマ物理研究所 (PPPL) の球状トーラス実験装置 NSTX での同軸ヘリシティ入射 (CHI) の実験と、ヘリシティ入射による兵庫県立大学の球状トーラス (HIST) の実験に関連する日米人的交流プログラムである。この日米協力の目的は、球状トーラス (ST) におけるヘリシティ入射による電流駆動とスタートアップ法の適用可能性を追求することにあった。結果として、関連した実験は成功し、現在の共同研究は、遷移的なヘリシティ入射実験に移行している。これらの実験成果は、将来の閉じ込め装置に対する当該の手法の適用可能性を実証した。

NSTX については、別の共同研究として垂直磁場によるプラズマ電流のランプアップの実験が実施された。そこで得られた実験成果は、九州大学で QUEST 装置の閉じ込め実験に適用されつつある。

ST を含むトカマクの高周波 (RF) 電磁波伝搬の物理に関する日米の共同研究が、東京大学、プリンストンプラズマ物理研究所 (米国)、マサチューセッツ工科大学プラズマ核融合研究センター (PSFC) 等の研究グループにより実施された。また関連した日本と PPPL との間での遠隔実験テストが成功裏に実施された。この共同研究では、スタートアップ実験が2年に渡って実施され、逐次成果が改善されたが、プラズマ開始の実験には成功したもの、電流のランプアップにはつながっていない。

MIT での共同研究では、ICRF の速波および低域混成波 (LHW) を用いた加熱と電流駆動実験が、高磁場トカマク Alcator C-Mod を用いて実施された。

更に、プラズマ閉じ込め理論の観点から、2流体低衝突平衡モデルの日米共同研究と、その高速回転する高性能球状トーラスへの適用が、日本の新潟大学のグループと NSTX のグループとで実施された。計算結果は、静的または、ゆっくりとした流れをもつプラズマ平衡とは、その特性が著しく異なることを明らかにした。

プラズマ合体と磁気リコネクションの物理に関する日米ワークショップは、物理学の最近の進歩と、それをプラズマ合体/磁気リコネクションへ適用するための議論を展開おこなうことを目的として開催されてきた。第1回 MR ワークショップ (MR2000) は、日本の東京大学で開催され、MR2000 後、MR200X ワークショップは、50-60 人の招待講演・参加講演によって、毎年、米国か日本で開催されてきた。これらの活動を基盤

として、新しいリコネクションとダイナモの COE プロジェクト、すなわち、実験室と宇宙のプラズマにおける自己組織化現象の研究が 2008 年度の米国国立科学機構(NSF) のプロジェクトとして、また 2010 年度の日本学術振興会 (JSPS) のプロジェクトとして採択され、現在、磁気レコネクションと磁気レコネクションによって引き起こされる自己組織化に関する日米協力の新たなステージを切り開きつつある。

一方、トロイダルプラズマにおける MHD モードの能動制御の第 1 回日米 MHD ワークショップが、米国国内の MHD 第 3 回会合と合同で、米国サンディエゴで開催された。このワークショップの拡張として、「トロイダルプラズマの MHD 安定性制御」に関する第 6 回 MHD ワークショップが、2004 年に日本の (原研) 那珂研究所で開催された。また「能動的磁気流体制御の基礎過程」に関する第 7 回日米 MHD ワークショップが、2004 年に PPPL で開催された。これらの日米 MHD ワークショップでは、有用な研究情報の交換が日本、米国および EU との間で行われ、トカマク、ヘリカルおよび RFP における MHD 制御の多くの課題が議論され、大変有意義であった。

同軸ヘリシティ入射による球状トラスプラズマのスタートアップと電流駆動

分野：核融合物理学／高ベータ、加熱と電流駆動
 年度-課題番号：2000-FP4-9, 2001-FP4-07, 2003-FP4-5, 2004-FP4-3, 2006-FP4-3, 2007-FP3-4, 2007-FP3-5
 実施責任者：永田正義、Roger Raman*
 所属：姫路工業大学／兵庫県立大学, ワシントン大学*

球状トラス (ST) はその低アスペクト比の特長によって中心ポスト内の空間的制限により、オーミック加熱コイルのフラックスが十分とれないため、電流の立ち上げと維持が大きな課題である。そのため、高周波電流駆動や同軸ヘリシティ入射 (Coaxial Helicity Injection: CHI) 法などの非誘導電流駆動法が試験されている。この手法が実施されている ST 装置として、HIT-II (ワシントン大) [1]、NSTX (プリンストン大学プラズマ物理研: PPPL) [2]、HIST (兵庫県立大) [3] がある。NSTX での CHI 研究はワシントン大の T. Jarboe、B. A. Nelson、R. Raman の研究グループが中心となって先導しており、R. Raman は NSTX-CHI 実験の担当責任者であり、日米協力事業による日本からの派遣者 (永田) の受け入れ世話人である。本協力研究の目的は CHI 手法による高ベータ ST プラズマの電流スタートアップと維持を実現し、この方式の有用性を明確にすることである。

NSTX での CHI 実験のための全体構成図を図 1 (a) に示す。初期の CHI 実験では 50MW の DC 電源を用いており、入射電圧 1kV、入射電流 25 kA の条件下で最大 390 kA のプラズマ電流 I_t を 300ms の間駆動することに成功した。この実験において日本側の実施責任者は主に多チャンネル分光計測を担当し、CHI で発生する不純物挙動、不純物ドップラー分光計測によるイオン温度とトロイダル回転速度を調べた [4]。図 2 に示した測定結果により、 $n=1$ のトロイダルモードの MHD 振動とプラズマの $E \times B$ 方向のトロイダル回

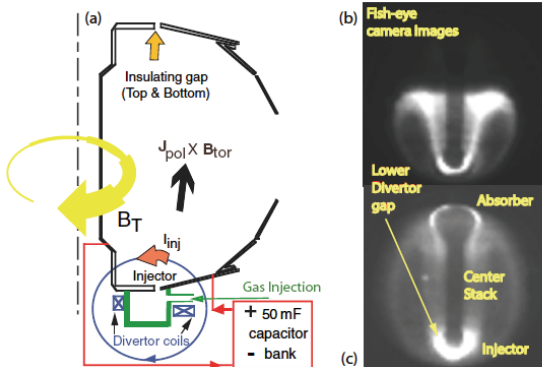


Fig. 1. Schematic showing application of CHI in NSTX (a), fast camera fish-eye image of the plasma during the early phase (b) and later in time of the CHI start-up discharge (c).

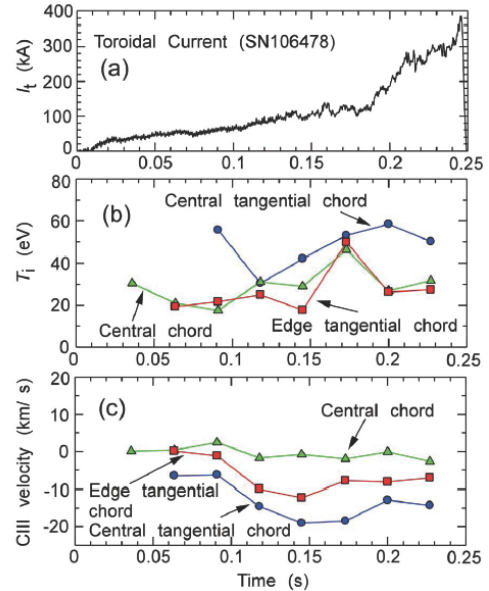


Fig. 2. Time evolution of the toroidal current I_t (a), Doppler ion temperature $T_{i,D}$ (b) and CHI ion flow velocity (c)

転が確認され、ワシントン大 HIT-II で提案された CHI 電流駆動モデル [1] の妥当性が検証された。

DC 的な CHI 電流駆動では、入射電流の輸送に MHD 緩和が必要であり、その機構の検証と十分な閉じた磁気面形成の有無が課題であった。その改善として、プラズマのスタートアップのみに着目した Transient-CHI 法を新たに提案し、その初期実験を開始した。この transient CHI 法では DC 電源の代わりにコンデンサー電源 (50mF, 2kV) を用いており、入射電流 3kA で 120kA 以上のプラズマ電流の立ち上げに成功した。また、電流増幅率は約 40 である。平衡コード解析と図 1 (b) (c) に示したカメラ映像図から、十分な閉じた磁束をもつ平衡配位が形成されていることが示された。閉じた磁束内の電流は 160kA である。Transient CHI 法による電流立ち上げ後、オーミック加熱 (OH) 電流駆動とカップリングさせる実験を実施した。入射電流 3kA の CHI スタートアップで得られた $I_t=100$ kA に OH カップリングすることで、ピーク値で $I_t=700$ kA を記録し、さらに NBI 入射によって H モード放電 ($T_e > 0.8$ keV) が達成された。これらの成果によって、CHI 法の有用性と将来の大型 ST 装置への適応の可能性について確認することができた。

- 1) T.R. Jarboe et al., Nucl. Fusion **41** (2001) 679.
- 2) M. Ono et al., Nucl. Fusion **41** (2001) 1435.
- 3) M. Nagata et al., Phys. Plasmas **10** (2003) 2932.
- 4) M. Nagata et al., Plasma and Fusion Research: Rapid Communications **2** (2007) 0035.
- 5) R. Raman, et al., Nucl. Fusion **49** (2009) 65006.

NSTXにおける垂直磁場によるプラズマ電流ランプアップ実験

分野：核融合物理学／閉じ込め

年度-課題番号：2000-FP2-18, 2001-FP2-18,
2002-FP2-15, 2003-FP2-13, 2005-FP2-13,
2006-FP2-6, 2008-FP4-3

実施責任者：御手洗 修, C. Kessel, M. Ono, M. Peng
所属：九州東海大学, PPPL, ORNL

研究の目的と背景：

スフェリカルトカマク (ST) においては中心ソレノイド (CS) を設置する空間が乏しいので、それなしでプラズマ電流を立ち上げる技術が望まれている。その有望な技術の一つに申請者が提唱している垂直磁場によってプラズマ電流を駆動する方法がある。これはすでに JT60U, TST-2, MAST において効果は確認されており、同様な結果を NSTX でも期待して日米科学技術事業に応募した。

研究課題と特筆すべき成果：

2000~2006 年度は NSTX にて、NSTX における垂直磁場コイルによって実際にプラズマ電流が駆動されるか否かをまずプラズマ電流平坦時の追加熱実験時において確認し、ついで加熱パワ 印加を立ち上げ時にシフトしプラズマ電流立ち上げを補助する実験を行うことを目標とした。なお 2008 年度からは CTF のプラズマ電流立ち上げの共同研究を ORNL と行っているが、基本的にテーマは共通である。

1. 特筆すべき成果：

数年にわたって NSTX に通いつめたがマシンの関係上結局は遠隔実験で実験を行った。図 1 に示すように RF によって OH コイル電流が一定値の場合、1 ショットのみプラズマ電流がわずかに増加する結果が得られたが、当初の期待を裏切るものではあった。また、Fig. 2 に示すように NBI では全くプラズマ電流の増加は観測されなかった。それらの原因はまだ明らかではないが、RF に関しては、プラズマ境界とアンテナの距離が広がり RF パワーが入射できなくなること、NBI に関してはベースとなるプラズマ電流がまだ 500kA 程度と

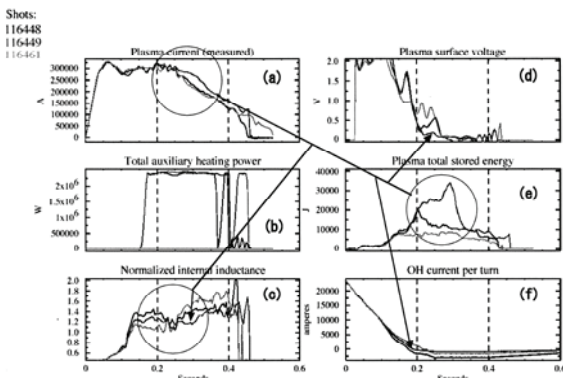


Fig. 1 OH clamp experiments in NSTX. (a) the plasma current, (b) RF power, (c) the internal inductance, (d) the surface loop voltage, (e) plasma energy, and (f) Ohmic coil current. (#115448 and #116449: RF with OH clamp. #116461 No RF with OH clamp.)

低く、高エネルギー閉じ込めに有効な 1MA 程度あったら観測されていた可能性はある。また、内部インダクタンスの小さいフェーズで行うと効果が顕著に表れるはずであるが、それが大きくなる後半部で実験を行ったからでもあると現在は考えている [1]。

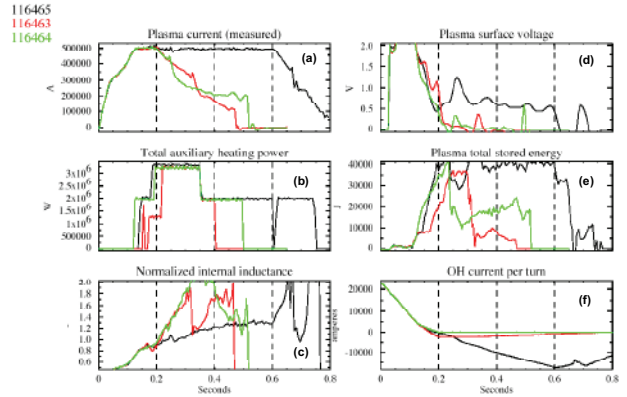


Fig. 2. OH clamp experiments in NSTX. (a) the plasma current, (b) NBI power, (c) the internal inductance, (d) the surface loop voltage, (e) plasma energy, and (f) Ohmic coil current. (#116463 and #116464: NBI with OH clamp. #116465 No OH clamp.)

2. STのOH運転, CTFに関する研究：

NSTX において、現場でなければ得られない重要な運転情報を得た。即ち OH 放電の詳細な運転波形を詳しく知ることができた。NSTX は磁場ヌル点を作るのにポロイダルコイル電流波形の精密な制御を行っている。従って、高性能な電源制御系が初期フェーズで準備できない QUEST 装置においてはキャンセルコイル (CC) 法を用いるのがベストという結論を得て、実際に CC を設置し第 2 ショット目からプラズマ電流を得ることに成功した。このように日米協力事業で得た知識が QUEST 実験で非常に役立った。

CTF のプラズマ電流立ち上げも同様な考えた方で研究を行っているが、ECRH と NBI を用いて CS なしで 16MA 程度まで立ち上げることができるが、最近では小型 CS を用いて初期立ち上げをより信頼性のある方法を採用する方向で共同研究を進めている [2]。

3. 日米共同研究結果のまとめ：

NSTX 共同研究ではやや negative な結果であったが、そこで得た経験を国内の ST 装置に生かすことができた。その結果 QUEST ではオーミックランプ (OH 電流一定) 時に垂直磁場でプラズマ電流が駆動されている明白な実験結果が得られた。このように日米科学協力事業でなければ得られなかった経験、知識を国内装置の実験に最終的に生かすことができ、かつ本研究の初期の目的も国内の装置において確認できたのは本事業による活動の大きな成果である。

- (1) 御手洗 修, チャールズ・ケッセル, 広瀬 章 「スフェリカルトカマクにおけるプラズマ電流立ち上げ」電気学会論文誌, Vol.129, No. 9/Sec. A (2009) p605.
- (2) O. Mitarai et al., 再投稿準備中

高周波波動物理に関する研究協力

分野：核融合物理学／定常運転、加熱・電流駆動
年度-課題番号：2000-FP4-8, 2001-FP4-8, 2002-FP4-6, 2003-FP4-3, 2004-FP4-4, 2005-FP2-6, 2006-FP4-4, 2007-FP2-4, 2008-FP2-1, 2009-FP2-4
実施責任者：高瀬 雄一, M. Ono*, J.R. Wilson*, J.E. Menard*, R.R. Parker**, P.T. Bonoli**, J.C. Wright**
所属：東京大学 大学院新領域創成科学研究科, *PPPL, **MIT PSFC

トカマク [球状トカマク (ST) を含む] における高周波波動物理に関する以下の一連の研究協力をプリンストン大学プラズマ物理研究所 (PPPL) およびマサチューセッツ工科大学プラズマ科学核融合センター (MIT PSFC) のグループと行ってきた。

- FuY 2000: NSTX における高次速波を用いた加熱実験
01: NSTX における高次速波を用いた加熱・電流駆動実験
02: NSTX における高次高調速波電流駆動実験
03: NSTX における電流駆動・電流立ち上げ実験
04: NSTX におけるソレノイドなし電流立ち上げ実験
05: NSTX におけるソレノイドなし電流立ち上げ
06: TORIC による TST-2 における HHFW 加熱・電流駆動解析
07: 低域混成波による電流駆動・電流分布制御実験
08: 低域混成波による電流駆動実験
09: TST-2 における LHCD シナリオの TORIC-LH によるシミュレーション

STは高ベータプラズマを安定に閉じ込められるという長所をもつが、これはプラズマの誘電率が高いことを意味する。高誘電率プラズマで有効に加熱・電流駆動に使える可能性のある波として高次高調速波 (HHFW) がある。東大のTST-2とPPPLのNSTXはSTのHHFW加熱・電流駆動という課題を共有しており、NSTXにおけるHHFW実験で協力を開始し、電子加熱について重要な実験結果を得たほか、HHFWによるプラズマ生成実験の解析を行い、アンテナ負荷抵抗の中性ガス圧依存性を明らかにした。一方、日本ではJT-60UおよびTST-2で、OHコイルを使わないプラズマ電流 (I_p) 立ち上げの実績をあげていたため、NSTXにおける実験シナリオを開発し、実験提案を作成した。実験を派遣期間中に予定していても、実験装置の都合上、そのとおり実施できないことがあったので、遠隔でも実験を実施できる (単なる参加ではなく、セッションリーダーを務める) 環境を整え、2004年には東大から遠隔で実験を行った。実験は段階的にシナリオを改良しながら2年間にわたって行ったが、プラズマ生成はできるものの、 I_p 立ち上げには至らなかった。その原因はプラズマ生成領域における予備電離パワー不足であることが明らかとなった。

MITはでSTとは対照的な高磁場トカマク Alcator C-Modでイオンサイクロトロン周波数帯の速波 (FW) および低域混成波 (LHW) を用いた加熱・電流駆動研究を行っており、世界最高水準の全波解析波動コードTORICおよびTORIC-LHを用いた実験との直接比較を行っている。TORICおよびTORIC-LHコードをSTプラズマという、通常のトカマクからかけ離れた領域に適用することで、コードの誤りを同定することに貢献した。両コードにはその後改良が順次加えられ、現在ではSTプラズマのHHFWおよびLHWにも対応できるようになっている。その後、TST-2ではLHWを用いた I_p 立ち上げ研究を行うこととなり、この実験で用いるシナリオの検討をTORIC-LHを用いて行った。光線追跡法では回折効果は考慮されないが、TORIC-LHはこれを正しく扱うことができる利点をもつ。解析の結果、低 I_p ・低密度のプラズマはLHWによる電流駆動に適しているが、 I_p および密度が高くなってくると、LHWは周辺部でしか伝播できなくなるため、密度を低く保つこと、および波数スペクトルの制御が重要であることがわかり、TST-2の I_p 立ち上げ実験への指針が与えられた。Alcator C-Modでは、永年かけて準備してきたLHWによる電流駆動 (LHCD) 実験が開始された。これは現在では日米を通じて唯一のLHCD実験である。LHCD実験の研究協力は2年間にわたって行った。2007年は入射可能なLHパワーが事実上0.5 MW以下に制限されていたため、電流駆動の密度限界の原因の一つと考えられているパラメトリック不安定性の研究に焦点を絞って実験を行った。トロイダル磁場コイル不具合のため、派遣期間中に実験はできなかったが、帰国後遠隔でセッションリーダーとして実験を実施した。4.6 GHzの周波数を使った場合でも、重水素プラズマにおけるLHWと電子の相互作用の密度上限は $1 \times 10^{20} \text{ m}^{-3}$ 程度であることが明らかとなった。これは、ITERのLHCD周波数選択に対し重要なインプットとなる結果である。2008年には、広範囲にわたる連続的な密度スキャンを行い、4.6 GHzのLHCDに対する密度限界が $1 \times 10^{20} \text{ m}^{-3}$ 程度であること、これがLH波数スペクトルやトロイダル磁場に大きく依存しないことがわかった。電子温度が5 keV程度まで上昇すると、LHWの吸収分布が広がる兆候も観測された。また、今後Alcator C-Modにおける先進トカマクプラズマを実現させるため、プラズマ電流立ち上げ時にLHCDを使った電流ホールおよび内部輸送障壁形成を目指した実験提案を作成した。

MR2001-2009ワークショップ（プラズマ合体と磁気リコネクションの物理）

分野：核融合物理学／定常運転
 年度-課題番号：2008-FP3-2, 2009-FP3-2 等
 実施責任者：小野靖
 所属：東京大学大学院新領域創成科学研究科

MR ワークショップは（日米リコネクションワークショップ）は磁気リコネクションとプラズマ合体の物理と応用の最新の研究成果を議論するために、プラズマ合体実験を中心とする磁気リコネクション室内実験を中心に、太陽衛星観測、地球磁気圏衛星観測、理論・シミュレーションの4つのリコネクション研究分野が連携して発展させてきた。第1回は2000年2月29日～3月4日に行われたMR2000国際会議であり、この4研究分野がはじめて連携し、130名の出席者が最新の物理と応用について議論した。その後、MRワークショップは毎年、日米のキーパーソンが50-60名集まり、日米交互に開催されてきた。図1に日米の10台の主要実験設備の内、4台の写真を示す。一連のワークショップにより、主要4分野のリコネクションには利点、欠点があることが明確になった。遠距離からの太陽衛星観測はX線画像など有用な2次元画像計測が可能であるが、磁場、電流密度といった局所のプラズマパラメータの計測には制約があり、計測点を衛星数で制約される（多くの場合1基）磁気圏衛星観測は逆に局所パラメータは磁場から粒子のエネルギー分布まで計測できるが、空間分布の情報が少ない。理論・シミュレーションはどこの部分のどんな物理も検証が可能であるが、ある仮定に基づく範囲での検証である。室内実験は、仮定無くプラズマのリコネクションを2次元、3次元で計測できる意味で極めて有用であるが、

プラズマ規模の制約からレイノルズ数などに制約がある。本ワークショップがもたらした大きな成果は、これが主要4分野の連携につながり、相補的に利用することによってリコネクション物理の解明と応用開拓に大きな進展が見られたことである。この10年間では、異常抵抗によるリコネクションの高速化は磁気圏、実験室、理論の連携が進み、また太陽、実験室、理論の連携により、リコネクション加熱はコロナ加熱の研究が球状トカマク(ST)や磁場反転配位(FRC)の急速プラズマ加熱への応用へ結びついた。プリンストン大学プラズマ物理研究所で行われた最新のMR2009の議論のハイライトは、(1)ひので衛星のコロナと彩層のリコネクションによるジェット噴出、(2)実験室と理論におけるフレアとマイクロジェットの物理の解明、(3)リコネクションの非熱的粒子加熱と加速の物理、(4)実験室におけるリコネクションにおけるプラズマローの役割、(5)磁気圏と実験室に置けるリコネクションの二流体効果、(6)磁気圏、太陽、実験室におけるプラズモイド放出によるリコネクションの高速化、(7)理論主導によるリコネクションの相対論効果の物理、(8)3分野によるフレアのトリガ機構、(9)実験室主導の3次元リコネクションの物理、等である。こうした日米協力は更に発展し、最終的にリコネクション・ダイナモに関する国際COEが米国NSFで2008年、日本学術振興会（先端研究拠点事業）で2010年に認められるに至っており、MRワークショップの活動は内外から評価されると共に新たな段階に入ったと言える。

- 1) 小野等, プラズマ核融合学会誌 77 (2001) 948-954.

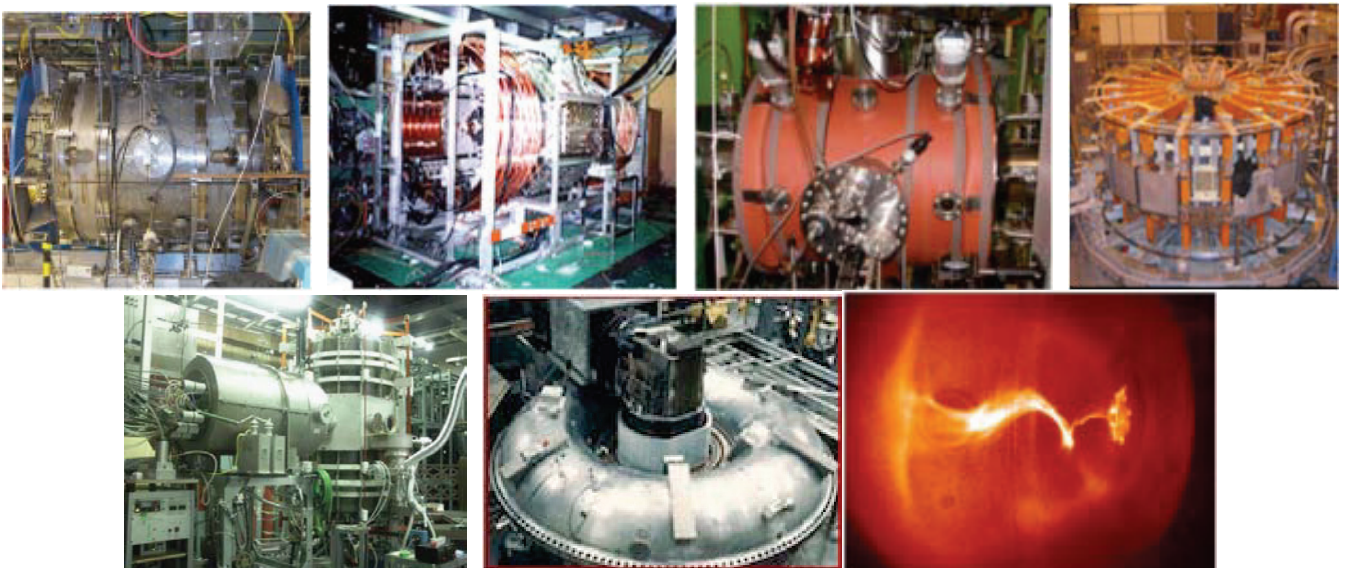


Fig. 1: リコネクション室内実験装置：左上から順にプリンストン大学 MRX、東京大学 TS-4、スワルスモア大学 SSX、MIT の VTF 装置、東京大学 UTST、ウィスコンシン大学 MST、カリフォルニア工科大学リコネクション実験

2流体低衝突平衡モデルと高速回転ハイパフォーマンス球状トラスへの応用

分野：核融合物理学/高ベータ

年度-課題番号：2008-FP3-6, 2009-FP3-6

実施責任者：石田昭男、L.C. Steinhauer*, Y.-K. M. Peng**

所属：新潟大学、*ワシントン大学レドモンドプラズマ物理研究所、**オクリッジ国立研究所

多流体高衝突軸対称平衡モデルは文献[1]で開発された。各流体の面関数

$$Y_\alpha = \psi + (m_\alpha/q_\alpha) R u_{\alpha\psi} \quad \alpha = i(\text{イオン}) \text{ or } e(\text{電子})$$

が重要な働きをする。ここに ψ はポロイダル磁束、 $u_{\alpha\psi}$ は各流体のトロイダル流速である。断熱条件[1]に代わって、この低衝突モデルでは等温条件 $T_\alpha = T_\alpha(Y_\alpha)$ を採用する。この条件は、1) イオン流体のポロイダル流速はトロイダル流速よりも小さいことと 2) 定式化の対称性を考慮すると、文献[20]の(67), (68)式から導出される。方程式系は 2 階偏微分方程式と各流体のベルヌーイ関係式からなる。この平衡モデルの有効性を実証するため高速回転するハイパフォーマンス NSTX の平衡再構成を行った。計算結果を表と図1、2に示す。アスペクト比 A 、偏長さ κ 、 q 値は NSTX のパラメータ領域にある。[表] 図1は再構成したプロファイルと NSTX ショット113460(文献[3]の図2)との比較を示す。電子温度、イオン温度、密度、トロイダル流速の最大値を表に示す。磁気軸におけるイオンのトロイダル流速はほぼイオン熱速度に等しい。この結果として、各流体のトロイダル電流密度は正味のトロイダル電流密度よりもかなり大きい。[表] この結果は静止平衡や低速回転平衡と際立って異なっている。図2はイオン流体に働く力のバランスを示す。圧力勾配力(赤)はローレンツ力(青)よりもかなり大きく、 $\mathbf{E} + \mathbf{u} \times \mathbf{B} = 0$ の関係は成立せず 2 流体効果は無視できない。遠心力(紫)も磁気軸近傍で重要で、大きな 2 流体効果の結果として、磁場を横切る流れを支配するのは $\mathbf{E} \times \mathbf{B}$ ドリフトでなく各流体の反磁性ドリフトである。このような平衡においては $\mathbf{E} \times \mathbf{B}$ ドリフトシアーによるフルートモード安定化の有効性は懐疑的である。イオン電流は圧倒的に磁力線方向に流れている。これは成分 $j_{i\theta} B_z$ が正味のローレンツ力 $(\mathbf{j} \times \mathbf{B})_R$ よりも十分大きいことから理解される。イオン熱速度に近いイオン流体の磁力線方向の大きな流れの1つの重要な帰結は、周回イオンの割合を増加し、捕捉イオンの割合を減少することである。これは、標準的な新古典輸送理論とそれに伴うプラズマ輸送(エネルギー、運動量、粒子)に影響を与えるものと推測される。[4]

表 計算された物理量

$A = 1.4$	$T_{e,max} = 1.1 \text{ keV}$
$\kappa_{95} = 2.4$	$T_{i,max} = 1.3 \text{ keV}$
$q_0 = 1.5$	$n_{max} = 0.6 \times 10^{20} \text{ m}^{-3}$
$q_{95} = 10.3$	$u_{i\phi,max} = 249 \text{ km/s}$
$\beta_T = 0.1$	$(u_{i\phi}/v_{th,i})_{axis} = 0.9$
$I_p = 1.2 \text{ MA}$	$(j_{i\theta}/j_\theta)_{axis} = 2.9$
$f_{2F} = 1.9$	$(j_{e\theta}/j_\theta)_{axis} = -1.9$

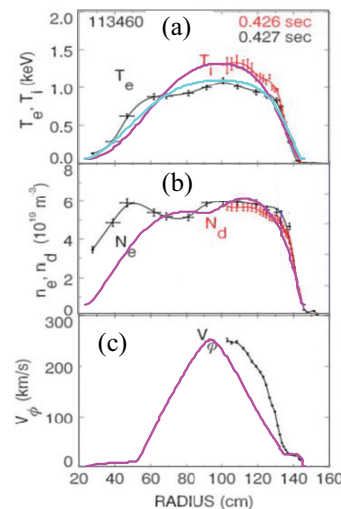


図1. 数値再構成された平衡のプロファイルと NSTX ショット113460(文献[3]の図2)との比較: a) 計算されたイオン温度(ピンク)と電子温度(シアン); b) 計算された数密度(ピンク); c) 計算されたイオントロイダル流速(ピンク).

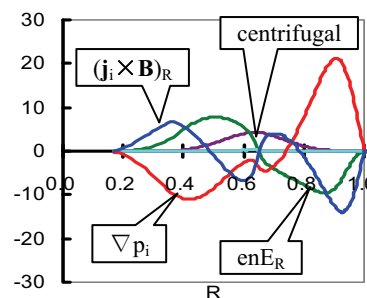


図2. イオン流体に働く力のバランス: 圧力勾配力(赤)、ローレンツ力(青)、電気力(緑)、遠心力(紫)

[1] L.C. Steinhauer, Phys. Plasmas **6**, 2734 (1999).

[2] J.J. Ramos, Phys. Plasmas **12**, 052102 (2005).

[3] Y.-K.M. Peng et al., Plasma Phys. Control. Fusion **47**, B263 (2005).

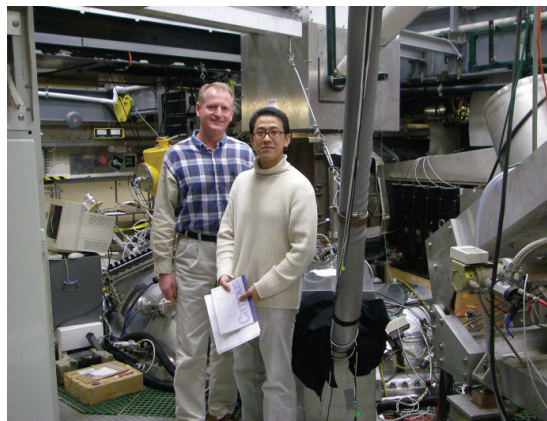
[4] The present result was submitted to Phys. Rev. Letters, April, 2010.

3.4.4 プラズマ計測

プラズマ計測分野は、核融合プラズマ実験研究における日米協力事業においてもっとも活発に交流が行われている協力分野の一つにあたる。様々な種類の先進的計測機器の開発協力がこれまでに実施されてきている。その代表的なものとしては、ミリ波技術を用いて、プラズマの2次元、3次元構造の可視化を目指したイメージング計測法の開発研究がある。カリフォルニア大学デービス校（主要メンバー：N.C. Luhmann教授、C. Momier博士）と九州大学（間瀬教授、伊藤研究員）の間では、プラズマのイメージング計測法の推進のために、様々な種類のミリ波デバイスの開発において共同研究を進めてきている。その具体例として、 1×16 素子アレイ型ビーム整形アンテナ、 1×8 素子アレイ型ステアリングアンテナがカリフォルニア大学デービス校、九州大学、そして九州日立マクセル社の協力によって精密電鍍加工技術を利用して開発された。この素子は、DIII-D、LHD、KSTAR、TEXTOR装置において、マイクロ波イメージング反射計測、電子サイクロトロン放射イメージング計測に用いられている。



2005年にプリンストンプラズマ物理研究所において開催されたマイクロ波計測の日米WSにおけるNCSX装置ツアー



日米協力研究の実施担当者である秋山博士とBrower博士、後方はマディソンのMST逆磁場ピンチプラズマ実験装置

シリコン表面障壁型検出器を利用した中性粒子計測器の開発研究が、オークリッジ国立研究所と核融合科学研究所の間で1998年から始まった。この共同研究は、米国側から、大型ヘリカル装置における高速イオン分布を研究するために提案されたものである。この計測手法の特徴は、低エネルギー粒子を観測できること、液体窒素冷却により低雑音化できること、水平方向に6チャンネルをもち、垂直方向にスキャン可能なことである。大型ヘリカル装置の磁気軸位置に対する粒子スペクトルの依存性が調べられ、理論予測と一致する実験結果が得られている。広島大学の西野教授はプリンストンプラズマ物理研究所のStephan Paul博士とRobert Kaita博士と一緒にイオンフローの2次元分布計測システム

の開発を進め、NSTX 装置において最初の測定を行った。ジョンホプキンス大学と核融合科学研究所の間では、不純物輸送を調べる先進的計測装置の開発研究が行われた。計測システムの構成要素であるトレーサー内臓型固体ペレット(TESPeL)を核融合科学研究所において開発し、多層膜ミラーを利用した分光器はジョンホプキンス大学において開発された。この計測システムでは、荷電交換分光計測において避けることのできない視線積分の効果を激減できるという特長を有している。この計測システムは現在、大型ヘリカル装置と NSTX に適用されている。小型プラズマ中性子源の開発に関する日米ワークショップが 1983 年に関西大学において最初に開始され、その後、日米交互に開催されてきている。最新のワークショップは、米国マディソン市のウイスコンシン大学において 2009 年 10 月 12 日から 13 日にかけて開催された。日本からの 12 名を含めて約 55 名の参加者があり、中性子分析評価に加えて、宇宙推進力、n 型半導体製作への応用、プラズマ物理、プラズマ中性子源に関する施設工学に関しての活発な議論が行なわれた。実験と数値解析のモデリングに関して大きな進展が見られた。磁化ホローカソード、電子注入によるカソード形成、軸方向磁場を用いた円筒形状装置などの実験装置改良に向けた新しいアイデアの議論が行なわれた。

日米協力事業の進展による実験データの増大に対応するために、より早いデータ転送を目的として TCP 加速法のテストが日米間で行われた。試験結果では Gibit Ethernet 能力の 90% を達成している。ネットワーク間を経由する転送性能試験が、1 Gbps SINET3 と MIT と核融合科学研究所間の ESnet 接続を用いて、より広い帯域を実現するために実施された。



核融合科学研究所のデータ収集グループの
MIT の MDSplus 研究室の訪問



2008 年にカリフォルニア大学デービス校
において開催されたミリ波プラズマ計測の
日米 WS における集合写真

磁場閉じ込めプラズマのための先進マイクロ波計測システムの開発

分野：核融合物理学／計測

年度-課題番号：2004-FP5-18, 2007-FP5-6, 2009-FP5-2

実施責任者：間瀬 淳, Neville C. Luhmann, Jr.

所属：九州大学産学連携センター，カリフォルニア大学デービス校（UCD）

本協力研究は、1980年代初期、磁場閉じ込めプラズマにおけるミリ波・サブミリ波計測の重要性が認識されてきたことに端を発している。当時は、電磁波の透過および散乱過程が計測に利用されていた。プラズマの密度が増加するにつれ、電磁波の反射を利用した反射法が1990年代より用いられるようになった。反射法は、空間・時間分解に優れている共に、干渉計やトムソン散乱と比較して、単一の測定径路のみが必要で、装置へのアクセスも良いという特長を有している。マイクロ波およびミリ波技術の進歩は、計算機技術の進歩とあいまって、プラズマ密度／温度の二・三次元分布と揺動スペクトルの可視化という新しい計測法を実現した。¹⁾ 本協力研究の主課題は、「マイクロ波・ミリ波先進デバイスの研究」および「開発された計測システムの大型磁場閉じ込め装置への適用」である。

本協力は、ワークショップの実施および研究者の相互派遣で構成されている。得られた成果は、マイクロ波電子デバイスの製作から、これらデバイスで構成される計測システムの開発と実機適用まで多岐にわたっている。マイクロ波イメージング、例えば、電子サイクロトロン放射イメージング（ECEI）あるいはマイクロ波イメージング反射計（MIR）の構築は、顕著な成果の一つである。²⁾

図1はMIRの概略を示している。システムは、結像光学系、平面型アレイ検出器、および多チャンネル中間周波数（IF）受信機で構成されている。光学系は、光線追跡コードあるいは有限差分時間領域（FDTD）法計算機コードを用いて決定される。検出器は、アンテナアレイと周波数変換素子で構成されており、ショットキバリアダイオードミキサが各アンテナに接合されている。日米両グループにより、

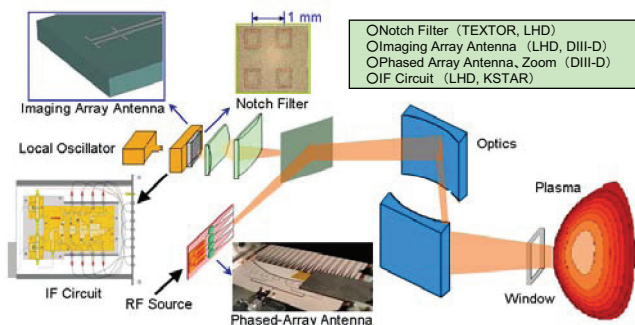


Fig. 1. Configuration of microwave imaging system.

ボウタイアンテナ、デュアルダイポールアンテナ、八木・宇田アンテナ等のアンテナ素子が開発されている。イメージングアレイの比較研究は、優れた性能を有するアンテナを作り出した。ヘテロダイン検波後に使用する多チャンネルIF回路も検討されてきた。マイクロ波集積回路技術により作成されたパワーデバイスはIF出力を8分割する。したがって、本システムにより、アレイ検出器数に対応するポロイダル方向あるいはトロイダル方向の位置×8（半径方向位置）信号の二次元あるいは三次元情報が得られることになる。図1には九州大学で開発された新しいIF回路も示されている。この回路には、バンドパスフィルタがCOMラインの両側に設置されており、優れた特性を有することが確かめられている。本IFシステムは、日韓核融合協力のもと、KSTAR トカマクのECEヘテロダイン装置に用いられている。

KASTECおよびUCDのグループは、マイクロ波デバイス製作への新しい微細加工技術の適用も検討してきた。九州日立マクセル・九大によるEF2およびUCDによるLIGAである。これらの技術を用いて、周波数110-170 GHzのノッチフィルタの製作が実現している。³⁾ 特性は、従来のエッチング技術によるものと比べ優れていることが検証されている。ノッチフィルタは、UCD-PPPL（米国）およびFOM（オランダ）グループによりTEXTORおよびDIII-Dに設置されたECEIシステムに適用されている。

これらイメージング装置を用い、TEXTOR、DIII-DおよびLHDにおけるプラズマ密度／温度の二・三次元分布、及びそれら揺動成分の動的構造測定が実現してきた。これら測定は、安定性、波動現象、及び揺動輸送などの物理課題の解明に寄与している。^{4,5)}

マイクロ波・ミリ波先進デバイスの継続的な開発が次世代のイメージングシステムの実現に不可欠である。現在進行中のものとして、高周波フィルタとともに、ビーム偏向デバイス、高性能アンテナなどが挙げられる。⁶⁾

最近では、デバイスの製作や評価が協力の中心となっているため、日本から米国への研究者派遣は若手研究者が中心となっている。派遣期間は2-3週間の範囲であるが、計測システムを用いた実験を進めていく場合は、さらに長期の派遣も必要となる。また、米国から日本への若手研究者の派遣も望ましい。これにより新しい日米交流グループの形成に発展していくものと考えている。

- 1) A. Mase *et al.*, Plasma Device Operations 17 (2009) 98.
- 2) H. Park *et al.*, Rev. Sci. Instrum. 74 (2003) 4239.
- 3) Z. Shen *et al.*, Plasma Fusion 2 (2007) S1030.
- 4) H. Park *et al.*, Phys. Rev. Lett. 96 (2006) 195003.
- 5) S. Yamaguchi *et al.*, Rev. Sci. Instrum. 79 (2008) 10F111.
- 6) L. Yang *et al.*, IEEE Trans. MTT-56 (2008) 767.

マイクロ波反射計の開発研究

分野：核融合物理学／計測

年度-課題番号：2002-FP5-37, 2005-FP5-21, 2006-FP5-16

実施責任者：江尻 晶, William Peebles, Shigeyuki Kubota

所属：東京大学 大学院新領域創成科学研究科, カルフォルニア大学ロサンゼルス校

東京大学と UCLA マイクロ波計測グループの共同研究としてプリンストンプラズマ物理研究所に於いて、NSTX 装置のプラズマを測定対象として相関反射計の開発と高周波波動測定を行った。

相関反射計とは、2つの反射計の揺動の相関を測定するものである。本共同研究では、反射計の相関を調べることで、磁力線のピッチ角測定、磁場測定を試みた。

一般にプラズマ中の揺動は磁力線方向に長い相関長を持ち、磁力線と垂直方向には短い相関長を持つ。2つの反射計が同じ磁力線上を測定している場合は高い相関、測定している磁力線が異なる場合には低い相関が期待される。磁力線のピッチ角測定を目的に3つのマイクロ波反射計の相関を測定した。2つは同じポロイダル断面に存在し、そのうち一つの周波数を掃引して、径方向相関を測定した。この場合、周波数が一致した場合に同じ位置を測定するので、相関は高くなる。3つ目は、トロイダル方向に離れた位置に設置した。一方の掃引周波数が他方の固定周波数に一致したときに相関が大きくなること、すなわち、同じ磁気面を測定している時に相関が高くなることを確認した。しかしながら、様々な条件で測定した結果、この相関のポロイダル距離に対する依存性は明瞭ではない。すなわち、同じ磁力線を測定したときのみ相関が大きくなるわけではなく、ピッチ角測定を検証することはできなかった。このことは、ポロイダル方向の相関が比較的長いためと考えられる。ピッチ角測定のためには、平行方向の相関長、ポロイダル方向の相関長、マイクロ波反射計のスポットサイズ、2つの反射計測定位置間の距離が適切な関係にある必要がある。

同じ視線で X モードと 0 モードの反射計信号の相関測定を行った。同じ位置を測定した場合に相関が大きくなるが、X モードのカットオフ周波数は、磁場と密度に依存し、0 モードのカットオフ周波数は密度に依存する。したがって、同じ位置を測定する時の周波数は異なる。このことを用いて NSTX プラズマの磁場強度を求めることに成功した [1]。

NSTX 装置では HHFW (30 MHz) による電子加熱実験が行われているが、条件によっては、周辺部でパラメトリック・崩壊不安定性が発生し、電子加熱の効率が悪化している。プラズマ中の波動を測定する手

法として波動による電子密度振動をマイクロ波反射計で検出する手法がある。そこで、プラズマ中の波動の定量的な測定を目指してヘテロダイン反射計を用いて測定を行った。中間周波数を 28.5 MHz にした場合、波動成分は $30-28.5=1.5$ MHz に現れると期待される。図 2(a)に反射計の参照信号のパワースペクトルを示す。スペクトルは 1.5 MHz に鋭いピークを示す。参照信号はプラズマには依存しないので、このピークは、HHFW がノイズとなってマイクロ波発振器に影響を与えて、発振器が HHFW によって 30 MHz で変調を受けた結果と考えることができる。一方、プラズマからの反射波のスペクトルは、1.5 MHz の周波数拡がりの非常に狭い成分 (赤) とその周りのブロードな成分 (青) から構成される。詳細な解析を行った結果、前者は先に述べた発振器の変調成分であることを確認した。一方、後者は、プラズマ中の波動成分を表していると考えられる。そこで、パワースペクトルの大きさから波動成分の上限を評価した。密度振動の振幅は 0.2 rad 以下であり、波動電場のポロイダル成分に換算すると 20 kV/m となった。

TST-2 では、別のタイプのシステムを構築し、十分なノイズ対策を行った結果、高周波波動をよりよい精度で測定することに成功した [2]。

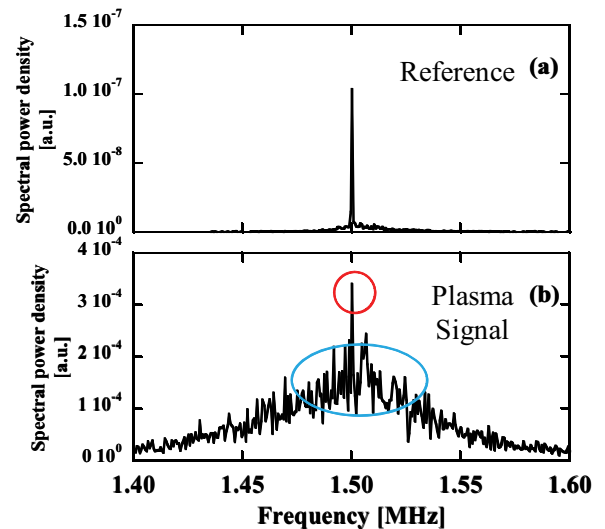


Fig. 1. Power spectrum of the reference signal (a) and that of the plasma signal of the heterodyne microwave reflectometer, during the HHFW heating in NSXT.

- 1) M. Gilmore, W.A. Peebles., S. Kubota, X.V. Nguyen, and A. Ejiri, Rev. Sci. Instrum. **74** (2003) 1467-1472.
- 2) T. Yamada, A. Ejiri, Y. Shimada, T. Oosako, J. Tsujimura, and Y. Takase and H. Kasahara, Rev. Sci. Instrum. **78** (2007) 083502.

2次元イオンフロー計測装置の開発

分野：核融合物理学／計測

年度-課題番号：2009-FP5-7, 2008-FP5-4, 2007-FP5-7

実施責任者：西野信博, Stefan F. Paul, Lane Roquemore, Robert Kaita

所属：広島大学大学院工学研究科, プリンストンプラズマ物理研究所 (PPPL)

本計測装置は、当初空間1点計測であったS. F. Paulの手法SWIFT (shifted wavelength/Interference Filter Technique)¹を空間2次元計測に拡張したものである。SWIFTによるDopplerシフト量測定の方法を述べる。Fig. 1のように波長透過特性に線形性を持たせた干渉フィルター (IF) 二つを用いていることが特徴である。コリメートさせた入射光をビームスプリッター (BS) で分けてこの二つのIFを透過させる。すると、入射光の中心波長によって二つのIFを通ったそれぞれの入射光の強度が線形に変化する。一つのIFを通った入射光の強度が増大すれば、他方のそれは減少する。あらかじめ波長透過特性が正確に分かっているならば、この光量の比をとることにより中心波長のシフト量が計算できる。従って、波長変化の原因がドップラーシフトのみであれば、直ちにドップラーシフトが算出できたことになる。この手法を空間2次元計測にするには、原理的にセンサー部分を2次元にすればよい。そこで、時間分解能の高い高速カメラを2次元センサーとして使用して、当初、プラズマエッジのフロー計測のために、サブミリ秒以下でイオンフロー計測が可能なシステムを組むことを目標にした²。最終的な目標は、10マイクロ秒程度の時間分解能で乱流内の速度分布を計測することにある。Fig. 2にプロトタイプとして組んだ光学系をNSTXにインストールした概略図を示す。光学系は、すでに校正をしているが、念のため光学系のスループットを確認するために、通常のD放電をフィルターなしで行った。この段階で、光量は十分あり、数千コマ毎秒 (FPS) で測定できた。次に、フィルターを入れ、通常放電では画像がほとんど映らないことを確認した。その後、He放電のXMPを提案し、He放電を実施した。Fig. 3に二つのフィルターを通したセンタースタック付近の画像を示す。赤い線は光量の比をとるために二つの画像中の対応する場所を同定した線である。特に、センタースタックの中心を見ている赤い線の左端ではIREやDisruption以外の放電時は光量の比がほぼ一定と思われた。また、右端のプラズマエッジ部分では、IREやDisruption以外の放電時においても光量の比が変化することが分かった。このことは、イオンのフローを計測していることを示唆するものである³。今後、さらにシステムを改良す

る余地がまだまだあるが、原理検証は終わったといえる。

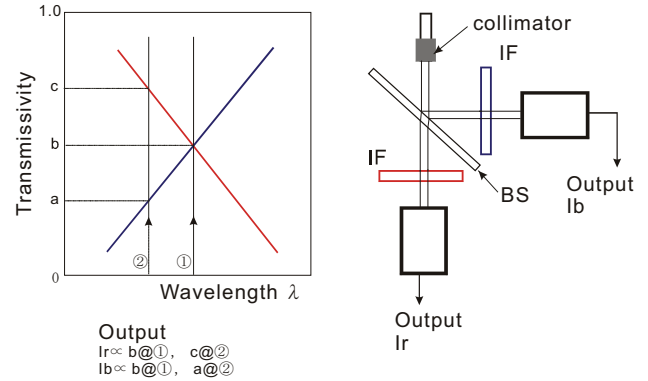


Fig. 1. Doppler shift measurement using two filters

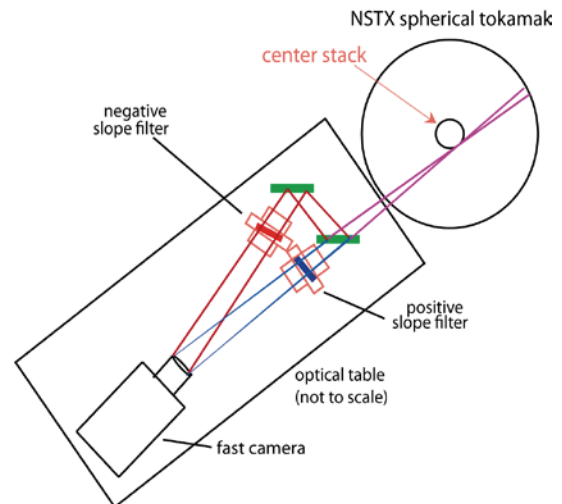


Fig. 2. Proto-type of SWIFT installed in NSTX

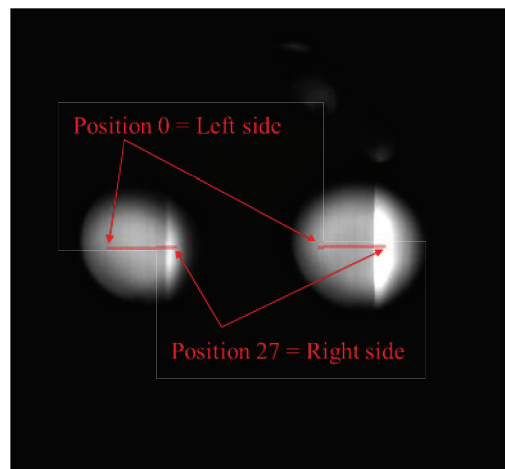


Fig.3 He discharge plasma near center stack

- 1) Paul, S. F., Rev. Sci. Instrum. **74** (2003) 2098
- 2) Paul, S. F., et al., Presentation in APS-DPP06
- 3) Nishino, N., et al., JPFSR **8** (2009) 640

核融合中性子計測のためのコンパクトプラズマ中性子源

分野：計測

年度-課題番号：2009-FP5-1, 2008-FP5-8,
2006-FP5-1

実施責任者：大西 正視, Gerald Kulcinski

所属：関西大学、システム理工学部、ウイスコンシン大学

小型プラズマ中性子源は Fig. 1 に示すような簡単な構造（同心球状に陰極と陽極を配置）をしている。真空容器を数 Pa. 以下に排気し、重水素ガスを数 Pa. 封入し、電極間に数 10kV の電圧を印加すればグロー放電が生起する。生じたイオンは陰極に向かって加速され、中心に収束する。加速イオン同士、あるいは加速イオンと背景重水素分子とが核融合を起こし、中性子を発生させる。この装置を慣性静電閉じ込め（IEC）核融合と呼ぶ。

Fig. 2 に種々の IEC 装置で、これまで達成された毎秒当りの中性子発生量を示す。¹⁾ 青い棒グラフは日本、赤い棒グラフは米の装置による結果である。ほぼ、全ての装置で $10^6 \sim 10^7$ (1/sec) の中性子生成を達成している。ただ、黄色の棒グラフは 6 個のイオン銃¹⁾ を用いた装置の結果であり、より高い中性子発生量を記録している。校正用中性子源に要求される発生量は 10^9 (1/sec) 以上であるので、中性子生成量を大きく増加させるには加速ビーム同士の核融合反応を起こす必要がある。そのためには、低圧動作、イオン銃の設置、イオン源による大電流放電および超高圧電源の使用である。

IEC 装置はマグネトロン放電を用いれば、0.01Pa より低圧で動作が可能で、この場合、中性子生成量がガス圧に逆比例する結果が得られている。²⁾ これは加速イオン同士の核融合が生じていることを示す結果として興味深い。同じ依存性が 6 個のイオン銃を備えた装置においても観測されている。¹⁾ 軽水素ガスを用いた 5A の大電流放電が実証された。このときのピーク電圧は 70kV, ガス圧 0.2Pa, パルス幅 6 μ 秒である。加速イオンのエネルギーをさらに上げるべく 300kV, 60mA の超高圧定常電源が開発されている。これは D-D 反応以外に中性子を発生しない He3-He3 核融合を研究する目的にも使用される。

飛行時間測定法による計測精度の向上により、核融合が陰極内で 50%生じていることを明らかにした。一方、D-He³ 反応は大部分が陰極での核融合であることも明らかにされた。この計測により、D-D 反応が陰極での反応であるという批判を明白に否定した。核融合生成イオンが電荷交換した中性粒子からのスペクトル分光により、加速イオンのエネルギーおよび加速イオンの種類 (D⁺, D⁺⁺, D⁺⁺⁺) を同定した。

校正用中性子源以外の応用も広く研究されている。地雷探査用中性子源に IEC 装置が利用され、

高い性能を発揮した。テロに使われる高濃縮ウランおよび爆発物の発見の基礎実験が行なわれ、有効性が示された。円筒形 IEC 装置が提案され、球形状 IEC とほぼ同等な中性子発生量を観測した。円筒形 IEC は空間に一様に中性子が生成される利点を利用し、中性子核変換を用いた半導体製造に使用可能であることが示された。メッシュ陰極の代わりに、タングステンを用いて、ヘリウムイオンを打ち込む実験により核融合炉の第一壁の試験が可能であることが示された。このように、IEC 中性子源は校正用中性子源の開発を目標にしているが、小型の中性子源の特徴を生かして、他の工学、医学、社会安全に寄与できる可能性があり、それも視野に入れ日米協力の下、研究を行なっている。

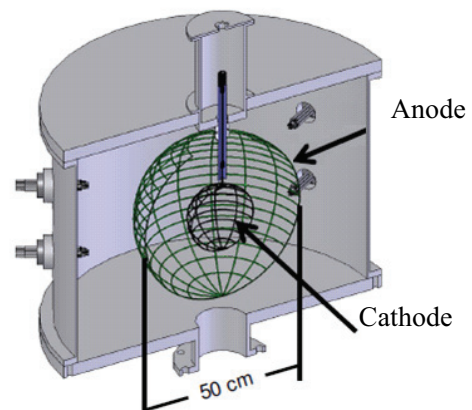


Fig. 1. Schematic view of IEC device.¹⁾

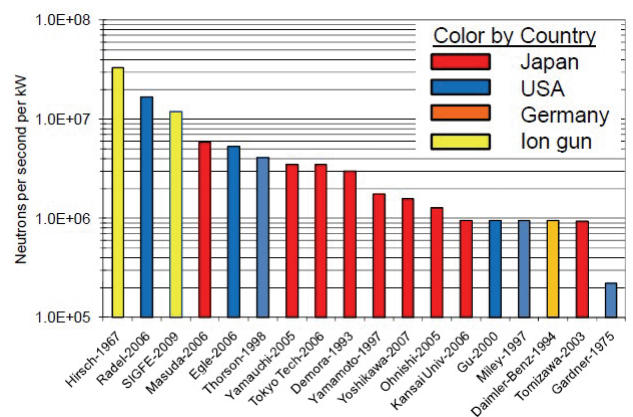


Fig. 2. Neutron production rate of IEC devices.

- 1) R.L. Hirsh, J. Appl. Phys. 38,4522(1967) and B. Egle, 11th US-Japan Workshop on Compact Plasma Neutron Source for Neutron Assay (2009).
- 2) K. Masuda, ibid.
- 3) K. Tomiyasu, ibid.

トレーサ内蔵ペレット(TE SPEL)を用いた真空紫外光イメージング研究

分野：核融合物理学／計測

年度-課題番号：2003-FP5-8, 2004-FP5-26, 2006-FP5-22, 2007-FP5-15

実施責任者：田村直樹, D. Stutman*, H. Kugel**, 須藤滋

所属：核融合科学研究所, *ジョンズ・ホプキンス大学,

**プリンストンプラズマ物理研究所(PPPL)

核融合科学研究所(NIFS)の大型ヘリカル装置(Large Helical Device: LHD)において構築しているトレーサ内蔵固体ペレット(Tracer-Encapsulated Solid Pellet: TESPEL)を用いた高精度不純物輸送計測システムにおいて、視線積分の影響を大幅に低減できる荷電交換分光計測(Charge eXchange Spectroscopy: CXS)は重要な要素となっている。ただし、それまでの準備的研究により、高エネルギー負イオン中性粒子ビームを用いた CXS により高効率で信号を得るためには測定波長領域を軟 X 線域から真空紫外域とする必要があることが分かっていた。そこで本課題では、軟 X 線域から真空紫外域に対して高空間分解能、高感度かつ高効率な分光システムを開発することを目的とし、軟 X 線や真空紫外光に対して高い反射率を有する多層膜反射鏡(Multi-Layer Mirror: MLM)を用いた分光計測に関して豊富な知識や経験を有している Johns Hopkins University(JHU)のプラズマ分光研究グループ(受入責任者: Dan Stutman 博士)と協力して開発を進めた。

はじめに、MLM を用いた分光器の性能確認を目的として、JHU グループが製作した Mg XII($\lambda = 45.5 \text{ \AA}$)測定用 Ni/C 平面 MLM を用いた超軟 X 線分光器の試作機を LHD に取り付け、同分光器による測定を Dan Stutman 博士と共同で行った。その結果を図1に示す。図より明らかなように、同分光器の試作機により、TESPEL によって LHD プラズマ中に入射されたマグネシウムトレーサからの信号を高い S/N 比で得ることに成功した [1, 2]。この成果を受け、NIFS グループでは、

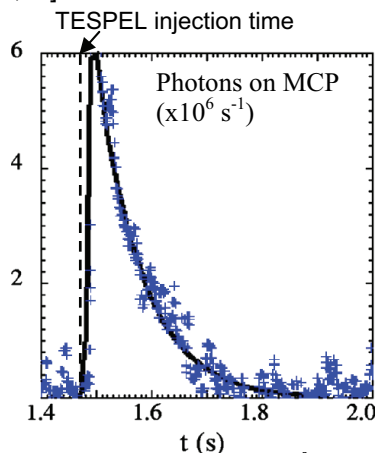


Fig. 1. Background subtracted 45.5 \AA signal (+) and MIST simulation assuming 7×10^{17} Mg atoms injected at $r/a < 0.7$ and $1.5 \text{ m}^2/\text{s}$ constant diffusivity [from Ref. 1].

全荷電交換断面積は小さくなるものの、測定される光のうち、荷電交換光による割合がより高くなる F IX($\lambda = 80 \text{ \AA}$)測定用 Ru/B₄C 平面 MLM を用いた超軟 X 線分光器を製作した。一方、JHU グループは、日本側が提供した Li III($\lambda = 135 \text{ \AA}$)測定用 Mo/Si 凹面 MLM を用いて、本課題の最終目標である高空間分解分光計測を容易に達成させることのできるイメージング分光器を製作した。Mo/Si 凹面 MLM を用いた超軟 X 線イメージング分光器の試作機は、テストデータを取得するために、Dan Stutman 博士が参画していたプリンストンプラズマ物理研究所の球状トカマク実験装置(NSTX)に取り付けられた。そこで、同イメージング分光器による実験データ取得を加速させるために、NSTX に取り付けられていたリチウムペレット入射装置を用いて、NSTX プラズマに対する TESPEL 入射実験を実施した。図2(a)に高速度カメラによって撮影された NSTX プラズマに入射された TESPEL の溶発雲を、図2(b)に同イメージング分光器からの信号の時間発展を示す。図2(a)より、NSTX プラズマ中に首尾良く TESPEL が入射されていることが分かる。また、図2(b)より明らかなように、同イメージング分光器により TESPEL によって NSTX プラズマ中に入射されたりチウムトレーサからの信号を高い S/N 比で得ることに成功した [3]。これらの成果を受け、LHD において構築している高精度不純物輸送計測システムの完成度を更に高めることができた。

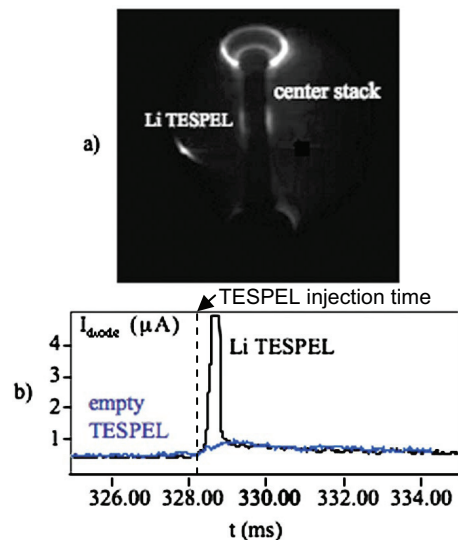


Fig. 2. (a) Image in Li I light of LiH-filled TESPEL, injected in low density NSTX L mode. (b) Telescope traces following injection of empty and LiH-filled TESPELs in low density L mode. A current amplifier with 10^6 V/A gain and no diode bias was used in this measurement.[from Ref. 3]

- 1) D. Kalinina et al., J. Plasma Fusion Res. **80** (2004) 545.
- 2) D. Stutman et al., Rev. Sci. Instrum. **76** (2005) 013508.
- 3) D. Stutman et al., Rev. Sci. Instrum. **77** (2006) 10F330.

核融合バーチャルラボラトリ構築のためのデータアクセス最適化の研究

分野：核融合物理学／計測
 年度-課題番号：2008-FP5-7, 2009-FP5-13
 実施責任者：中西秀哉, Joshua A. Stillerman
 所属：核融合科学研究所, マサチューセッツ工科大学 (MIT)

核融合研究を含めた「ビッグサイエンス」と呼ばれる理工学分野では、実験・観測装置の大型化・少数化（『選択と集中』）が世界的に進んでおり、広帯域な遠距離ネットワークを用いた実験データの伝送・共有が始められている。

TCP/IP はインターネット通信の実質的標準として、こうした環境実現に欠かせない技術基盤の一つであるが、遠距離広帯域通信網において大幅な速度低下を起こす Long Fat-pipe Network (LFN) 問題が存在することが知られている [1]。特に海外接続などでは、物理帯域に比べ極端に低い実効転送速度しか得られず、核融合研究などで求められる大規模な実験データ伝送・共有への大きな妨げとなっている。

国内での事例を挙げると、SINET3 上の核融合分野専用閉域網 SNET（帯域 1 Gbps）において、往復遅延時間 RTT~20 ms（距離約 1000 km に相当）の NIFS~九大間で、Windows/Linux 等の標準 OS による実効転送速度は 40 Mbps 程度にとどまっている。日米間のように RTT が 200 ms 前後ある場合、TCP/IP 平均通信速度が~数 Mbps しか得られない事も多い。

こうした LFN 問題解消のため、国内 SNET 上のデータ共有では市販の WAN 帯域活用装置を導入、NIFS~九州大学間で約 300 Mbps まで利用帯域改善を図っている。しかし 1 Gbps の物理帯域に対する利用率は依然 30% 止まりであり、二地点間での改善装置であるため多地点対応が高コストになる等、学術用途向けとしては問題点があった [2]。

この日米事業では、TCP 遠距離通信の高速化技術確立と実験データシステムへの応用を目指して、NIFS、MIT 合同で日米（NIFS~MIT）間の TCP 通信高速化試験を実施した [2]。TCP ウィンドウサイズ等、OS の通信関連パラメータとパケット送信ペーシング制御の最適組合せを探った結果、物理帯域 1 Gbps 上で、NIFS~九大間実績を 2.5 倍上回る平均~750 Mbps を安定して得ることに成功した。（Fig. 1）

日米間の長距離で物理帯域 1 Gbps の約 90% に迫る速度を得られた事で、肥大化している実験データの国際的共有に技術的目途がつけられ、ITER など次世代実験に求められる海外幹線帯域（10 Gbps~）のフル活用も期待される。今後更に帯域保証（QoS）による高信頼化試験等も共同実施する計画である。

他方、遠隔データ参照には上述のようなデータ転送による方法以外に、遠隔データの表示画面を転送する方式があり、双方並行して有効性の検証を図

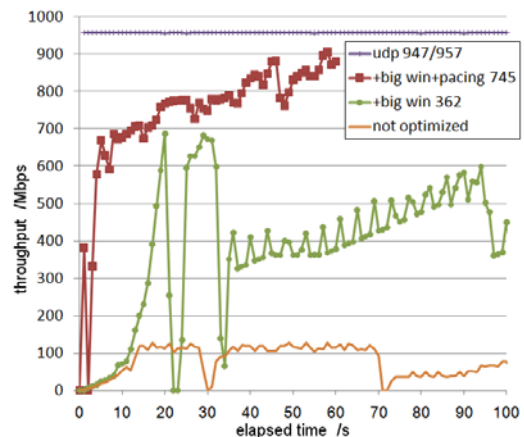


Fig. 1. LFN test results between NIFS and MIT

っている。Fig. 2 の通り、米国 MIT にある C-Mod 実験のデータを近接するコンピュータ上で参照・可視化し、表示を日本まで圧縮転送する試験を実施した。

遠隔からのアクセス応答は通信のトランザクション量に支配されるため、(i)方式でもデータアクセスに必要なトランザクション数を減らすことで遠隔データアクセスの改善を確認できたが、(ii),(iii)方式で画面の圧縮転送を行う X Window サーバ NX [3]を用いた方が、更に応答性がよいことも確かめられた。

その他、データ量の間断ない伸びにより、大量データの 80% が 3 年以内の新しいものである状況が生じており、一般に使われるデータキャッシュ方式では改善効果が乏しいという結論も得ている。

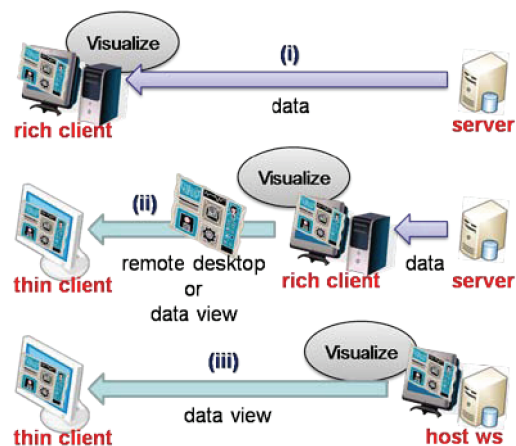


Fig. 2. Possible methods for distant data access: Using MDSplus client/server, US-JA tests were done on (i)~(iii) methods.

- 1) Nakamura, M., *et al.*, Proc. ISPAN (2004) 294.
- 2) Nakanishi, H., *et al.*, Proc. 7th IAEA TM on Control, Data Acquisition, and Remote Participation for Fusion Research, Aix en Provence, France, 15-19 June 2009.
- 3) <http://www.nomachine.com/>

シリコンダイオードアレイを用いた中性粒子計測

分野：核融合物理学／計測
 年度-課題番号：2004-FP5-19, 2003-FP5-15
 実施責任者：尾崎 哲、ジム・ライオン
 所属：核融合科学研究所、オークリッジ国立研究所

シリコン表面障壁型検出器 (SD-NPA) を用いた高エネルギー中性粒子の計測は1998年よりスタートした簡単な方法で中性粒子の空間分布を得る計測である。この計画は米国側より提案され共同でLHDに適用し、他の計測器とともに高エネルギー粒子の挙動を解明することを目指すものである。特徴としては、この種の検出器としては比較的低エネルギーまで測定が可能であること、窒素冷却によりノイズが小さいこと、また水平方向に6チャンネル、垂直方向は稼動スリットを設けることでプラズマ全域をカバーでき、2次元空間分布測定が可能である。時間分解能は原理的にはmsレベル以下でも可能であるが、物理的に意味あるエネルギースペクトルを得るには100ms程度である¹⁾。

図1は装置主要部および駆動部分の概念図である。LHDでは実験中の入室が不能なため、すべての操作は遠隔操作が必要で、かつデータ収集はすべて自動的に行なわれる。図2はLHDでの垂直方向の視線、図3はLHDでの水平方向の視線を示す。LHDはプラズマ形状が複雑で観測している視線がわずかに変化するだけで、ピッチ角や等価半径が異なる。ここでピッチ角はその場所での磁力線と視線との成す角である。図4の左右の図はそれぞれ視線上のピッチ角、視線上の等価半径を表す。

図5は磁気軸を変化させたときのスペクトルの違いを示す。ヘリカル装置では磁気面と粒子軌道面が異なっており、標準配位では粒子軌道面は磁気面より内側にある。粒子軌道面は磁場配位によって大きく変えることができないが磁気面は垂直磁場の強度を変えることでシフトさせることができる。内側に寄せるとプラズマの平衡の観点からは悪化するが粒子の閉じ込めにおいては、磁気面と粒子軌道面が一致するため閉じ込めがよくなる。つまり、粒子はプラズマから出てしまうと周辺に存在する背景中性粒子との荷電交換により大半が失われてしまうため、スペクトル上で観測されにくい。図5は各チャンネルごとの磁気軸を変化させたときのスペクトルの変化である。磁気軸をより内寄せにすることで高いエネルギーの粒子まで観測されていることが分かる。この分析器から得られた結果は理論的予測と一致していることが明らかにされた。

LHDではより高いプラズマパラメータを得る、特により高いイオン温度を得る目的のため高い電荷のガスがプラズマターゲットとして用いられる。これはイオン密度を下げて入力パワーをできるだけイ

オンに集中的に注入できるためである。ここでは、通常の水素の他にネオン、アルゴンのプラズマが用いられた。高いZのプラズマでは比較的高いエネルギーでもより大きなフラックスが得られている。これは入射したNBI粒子は高Zイオンほどピッチ角散乱が大きいことを示している。このことがイオンへのエネルギー注入を促進し、高Zプラズマで高いイオン温度が得られる要因になっている。このようにSD-NPAでは両者におけるスペクトルの違いを観察することができる。

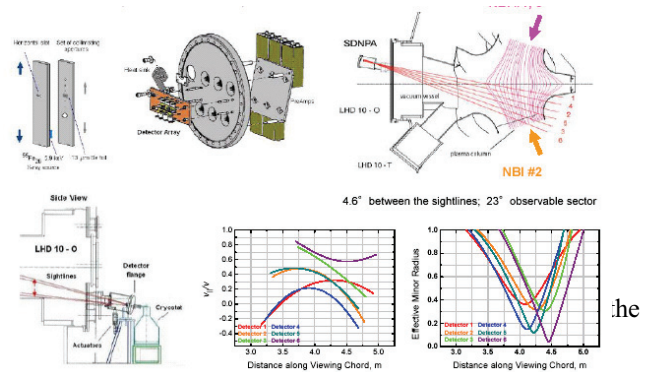


図1 (左上) 装置主要部および駆動部分
 図2 (左下) LHDへ設置図および視線 (垂直方向)
 図3 (右上) LHDへ設置図および視線 (水平方向)
 図4 (右下) (左) 視線上のピッチ角 (右) 等価半径

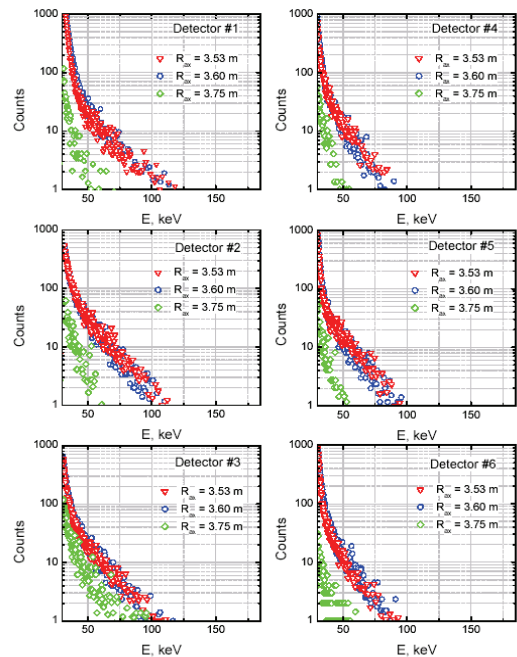


図5 磁気軸をパラメータにした各視線ごとのスペクトル

1) P.R. Goncharov, J.F. Lyon, T. Ozaki, S. Sudo, et al. JPFERS, 5 (2001), pp. 159 - 162.

3.4.5 高エネルギー密度科学

過去十年間、高エネルギー密度科学に関する日米協力事業は、両国の高密度プラズマならびに慣性核融合研究において重要な役割を果たしてきた。同協力事業では（１）高速点火の理論・シミュレーション（２）衝撃点火（３）高速点火ターゲットの製作、射出、追尾（４）重イオンビーム核融合（５）ウォームデンスマターのプラズマデバイス（６）高速点火実験（７）実験室宇宙物理、といった研究領域がカバーされた。協力研究を開始すると共に共同実験を促進するため、いくつかのワークショップや人材交流が実施された。

高速点火における理論・シミュレーションに対する主幹研究者は、日本からは三間および長友（阪大レーザー研）、米国からは Y. Sentoku（ネバダ大）、G. Shvets（テキサス大）、R. Stephens（GA）、C.S. Liu（メリーランド大）であった。ワークショップ４件、実験グループとの共同ワークショップ１件の都合５件のワークショップが開催された。これらワークショップの中心テーマは統合コードの開発と実験による確認であった。阪大、摂南大、核融合研の合同チームは、F13 と名付けられた PIC コード、フォッカープランクコード、輻射流体コードといった本質的に異なる３つが統合されたコードを開発した。一方、ネバダ大、GA、ローレンスリバモア研のチームは、PICKLS と呼ばれる衝突効果を考慮した PIC コードと LSP と呼ばれるハイブリッドコードを開発した。これらのコードを使って、高速点火において重要となる相対論的電子の生成と輸送、そして結果としての燃料の加熱が研究された。阪大の田中と GA の R. Stephens 等の実験グループとの共同研究により、相対論電子のエネルギースペクトル、輸送、流体力学、高速点火ターゲットの総合性能といった物理が研究された。実験成果において特筆すべきは、阪大レーザー研の GXII やペタワットレーザーやロチェスター大の OMEGA-EP といったレーザー装置を使って、コーンターゲットの流体特性、加熱過程、統合性能といった物理研究が行なわれた点であろう。阪大から提案された衝撃点火は米国 NRL と阪大との間で共同研究が行なわれた。主幹研究者は、レーザー研から疇地、村上、NRL から S. Obenschain であった。両グループは、衝撃点火ターゲットを使って、薄膜ターゲットの加速実験、さらに衝撃点火統合実験などを行なった。マイルストーンとなる成果は、秒速 1000km という超高速の達成と衝突効果による中性子数の 100 倍の増倍である。これらの実験は阪大の GXII レーザート NRL の NIKE KrF レーザーを使って実施された。中性子の 100 倍増幅の結果は *Physical Review Letters* に掲載された。

ターゲット製作、射出、追跡における共同研究では、阪大レーザー研の乗松と GA の D. Goodin が主幹研究者であった。米国で２件、日本で１件のワークショップが開催された。この研究領域の目的は、高速点火ターゲットの製作と関連する低密度フォームの R&D、リアクターサイズターゲットの追跡であった。GA、阪大レーザー研、核融合研の共同研究によって、フォームクライオターゲットが開発された。より高品質のターゲット開発が続行されている。

重イオンビーム核融合 (HIF) 研究領域では、4 件のワークショップと 3 件の人材交流が、川田 (宇都宮大)、小川 (東京工大)、G. Logan (ローレンス・バークレイ)、R. Davidson (プリンストン大)等によって実施された。長年にわたって、日本の研究者達は米国研究者達と、ターゲット設計、ドライバー技術、ビーム輸送物理、標的の射出といった研究領域において、共同研究を行なってきた。最近、レーリーテラー不安定生を効果的に抑制する新しいターゲットが提案された。

高速点火核融合の理論シミュレーションとターゲット設計に関するワークショップ

分野 高エネルギー密度科学

年度-課題番号 : 2003-FP5-25, 2004-FP5-30, 2005-JF1-3, 2007-FP5-8

実施責任者 : 三間 罔興、長友 英夫、Y.Sentoku, G.Shvets, R. Stephens, C.S.Liu

所属 : 大阪大学レーザーエネルギー学研究センター
University Nevada Reno, University Texas Austin, General Atomics, University Maryland

高速点火レーザー核融合プラズマを包括的にシミュレーションする統合コードの実現を目指してワークショップを組織し実施した。ワークショップでは、高速点火に関わる物理の数値モデル化と実験データによるバリデーション、複数個のシミュレーションの統合、並びにそれを利用した高速点火ターゲット設計がトピックスになった。

米国で2回、我が国で2回のワークショップを実施した。米国より LLNL(A. Kemp, R. Town, S. Wilks, S. Hatchett, M. Key, B. Langdon) GA and Univ. Nevada (Y. Sentoku), GA (R. Stephens), LANL(R. Mason), UCLA (W.Mori), Univ. Texas, Austin (G. Shvets, T.Ditmyer), PPPL (NatFisch), U. Maryland (C.S. Liu), Univ. Rochester (J. Myatt, C. Ren) 等が協力者であった。日本からの協力者は、大阪大学(三間罔興、長友英夫、城崎知至、田中和夫、白神宏之、疇地宏、兒玉了祐、等)核融合科学研究所(坂上仁志)、摂南大学(田口俊弘)、九州大学(中尾安幸)、レーザー総研(砂原淳)等であった。

シミュレーションコードで記述すべき物理は、爆縮のレーザー吸収と放射流体力学、超高強度レーザープラズマ相互作用と高エネルギー電子の発生、高エネルギー電子の輸送とエネルギー緩和、並びに核融合燃焼にまたがっている。レーザープラズマは、状態方程式が理想プラズマからかけ離れている高密度低温状態から理想プラズマに近い高温低密度プラズマまで多様であり、流体力学とレーザープラズマ相互作用を単一のコードで処理することが大変困難な対象である。上記の協力者の専門分野は、レーザープラズマ相互作用、放射流体力学の理論と放射流体、電子のエネルギー輸送と緩和過程、並びにコードバリデーションのための実験、ならびにターゲット設計にまたがっている。

ワークショップで得られた成果は以下の通りである。図1に示すように、3種類の高度を結合することにより、高速点火核融合の統合シミュレーションを実施することが可能になった。この開発過程で、米国の統合コード LSP と比較検討を行い、その信頼性の検証行なった。米国側も、複数コードの結合の必要性を認めるに至った。また、図2に示すように、発生する高速電子のエネルギースペクトルがプレプラズマの密度スケールによることが米国グループにより明らかにされた。

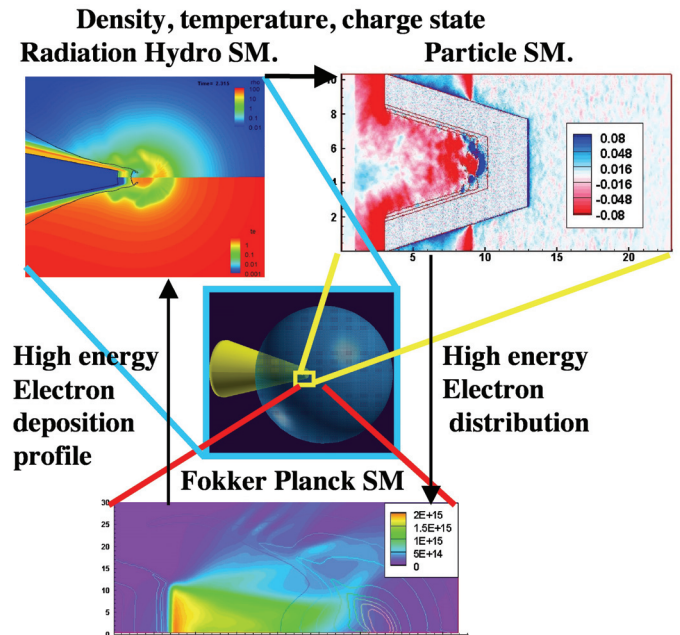


Fig. 1. FI³ (Fast Ignition Integrated Interconnecting Code) Radiation Hydro simulation, particle simulation and Fokker-Planck simulation are interconnected.

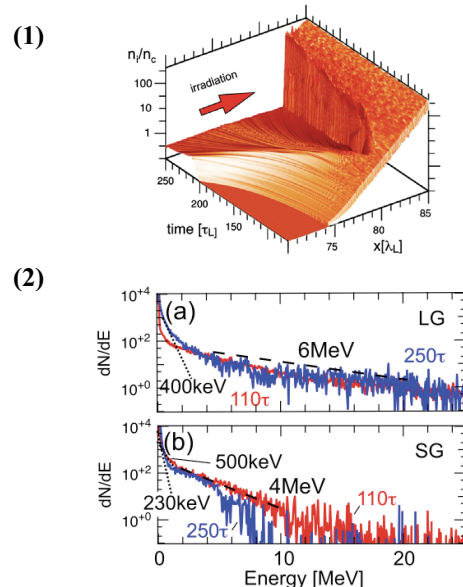


Fig. 2. (1) time dependent density profile of plasmas interacting with pico second heating pulse, (2) electron energy spectrum for long scale (a) and short scale cases.

- 1) H. Sakagami, *et al.*, *Laser Part. Beams* **22**, 41(2004); **24**, 191 (2006).
- 2) A. Kemp, Y. Sentku, *et al.*, *PRL* 101(2008)075004.

高速点火に関する要素及び積分型の研究に関して

分野：高エネルギー密度科学
 年度-課題番号：2002-FP5-13
 実施責任者：田中和夫、Richard Stephens
 所属：大阪大学、General Atomics

レーザー慣性核融合の高速点火手法の研究は、相対論的なレーザーと物質の相互作用の多くの側面を持つとともに、積分型の実験を利用してこの高速点火手法が有効に機能するかどうかということも研究する必要がある。要素研究に関しては、超高強度レーザーによる高速電子の発生の詳細を含む。積分型の研究に関しては、高速点火のモデル実験を含んでおり、この実験においてはペタワットレベルの超高強度レーザーを用いることにより、爆縮コアの強制開発をすることができたのでそれを紹介する。

この共同研究は、米国の General Atomics 社の Richard Stevens とローレンスリヴァモア国立研究所のマックスタバックらの研究者とともに行われた。

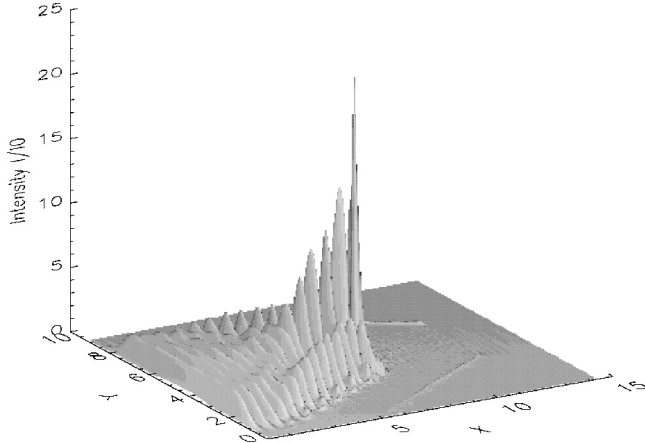


図 1 の説明：三次元の PIC シミュレーションにおいて、 54° のコーンに垂直に入る超高強度レーザーの電解を表しています。電解集中がコーンの軸上にそって起こっていることが明確に示されています。もとのレーザー強度 4×10^{18} ワット/cm² よりさらに 20 倍のレーザー強度の増加が確認されています。X と Y 方向はレーザーの波長 1 ミクロンで規格化されています。図は 100 フェムト秒でのタイミングで、超高強度レーザーのパルスは 20 フェムト秒です。シミュレーションのボックスは $14 \times 9 \times 9$ ミクロンのサイズでした。

大阪大学のレーザー核融合研究センターにおいて、激光 12 号のレーザーシステムの横にペタワットレーザーシステムが建設された。このペタワットシステムは 50cm のビーム直径を持っており、0.5ps のパルス幅で 500J のレーザーエネルギーをターゲット上に運ぶことができる。レーザー波長は 1053nm であり、波長バンド幅は 5nm である。激光レーザーシステムは 12 本のグリーンレーザービームを持っており、先のペタワットの発信機のレーザー光を共通しているために、2 つのシステムの同期は 10 ピコ秒以内である。

激光レーザーシステムの方は、波長 532nm で、2.5kJ のレーザーエネルギーをパルス幅 1.2ns のほぼ矩形に近いパルス幅でターゲット上にエネルギーを運ぶことができる。2 つのレーザーシステムは、高速点火のモデル実験を行うた

めに使われた。ここでは、激光レーザーシステムによって爆縮された燃料コアを高速に加熱するために、金コーンを通してペタワットレーザーパルスを入力した。金コーンは 30° の開口角度を持ち、先端の直径は $50 \mu\text{m}$ であり、先端の壁の厚みは $5 \mu\text{m}$ であった。爆縮用のターゲットの直径が $500 \mu\text{m}$ であり、壁の厚みは $7 \mu\text{m}$ の重水素化されたプラスチックのものをを用いた。典型的なレーザー強度のコーン内での分布に関しては図 1 に示している。これは、PIC シミュレーションによって計算されたものである。金のコーンを使うことによって、レーザー強度が増加していることがわかる。

激光 12 号の 9 本のレーザービームを使い、この重水素化プラスチックのシェルを爆縮した。レーザーのパルス幅は 1.2ns で、レーザーの波長は 532nm であり、レーザーエネルギーは 2.5kJ であった。ランダム位相板を全てのビームに挿入して用いた。爆縮の挙動に関しては一次元の流体行動を用いて予測を行った。爆縮のタイミングは X 線のストリークカメラを用いて観測し、この結果は流体シミュレーションとよい一致を見せた。爆縮が最大になるタイミングで、ペタワットレーザーの 300J、パルス幅 0.6ps を金コーンのチップに向かって注入した。ペタワット加熱を用いない場合は、 10^4 個の中性子が爆縮からのみ観測された。0.5 ペタワット PW の超高強度レーザーパルスを最大爆縮のタイミングで金コーンを通して注入すると、中性子の発生率は約 1000 倍増えて、 10^7 個となった。コアの温度は以前の我々の実験で 100TW の加熱レーザーを使った場合に、爆縮コアの温度は 300eV 程度であるということがわかっている。今回 1000 倍の中性子の増加を見るためには、温度の増加率は $300 \sim 800 \text{eV}$ に加熱されたものと考えられる。図 2 にその結果を示している。

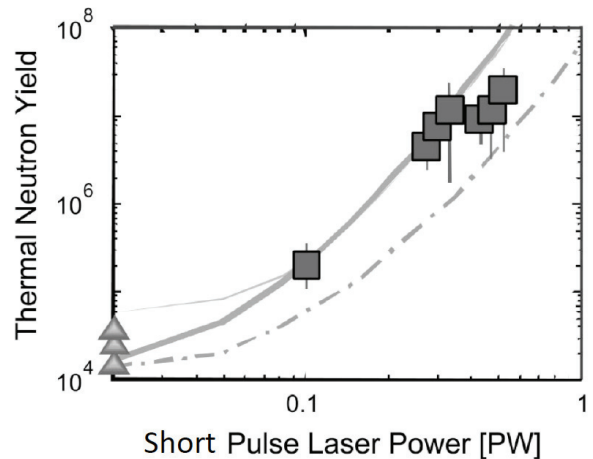


図 2 の説明：中性子対高速加熱レーザーのパワー Δ は高速点火、高速加熱なしのデータである。口は高速点火、高速加熱をした場合のデータを示している。

1. KA Tanaka et al., PHYSICS OF PLASMAS 10, 1925 (2003)
2. R Kodama et al., Nature, 412, 7989, (2001); R Kodama et al., *ibid.* 418, 933 (2002).

衝撃点火に関する日米ワークショップ

分野：高エネルギー密度科学
 年度-課題番号：2009-FP6-3
 実施責任者：村上匡且、長友英夫、城崎知至、渡利威士、有川安信、Steve Obenscain
 所属：大阪大学レーザーエネルギー学研究中心、Naval Research Laboratory

現在、米国の国立点火施設 (NIF) やフランスのレーザーメガジュール (LMJ) といった巨大レーザー核融合実験施設で、慣性核融合の点火燃焼が現実のものになろうとしている。これら二大施設が目指す核融合点火は、米国などを中心に 1970 年代から着実に研究が積み重ねられてきた中心点火と呼ばれる方式を採用している。この方式では、球状の燃料ペレットを四方八方から多数のレーザービーム（あるいは軟 X 線）で照射し、主燃料を固体密度の 3-4 千倍という超高密度に圧縮することが高エネルギー利得の必要条件となる。しかし、それだけでは点火・燃焼は起きない。中心部のホットスポットと呼ばれる低密度・高温燃料部を点火に足るだけの温度 (5keV) と面密度 (ρR) 値 (0.4 g/cm²) を持つところまで外部主燃料自身の爆縮過程を通して圧縮してやる必要がある。特に流体不安定性の観点から、こうした自己圧縮による点火ホットスポット実現は困難を極め、その克服の歴史がレーザー核融合の歴史そのものと言っても過言ではない。

高速点火の主流方式は、金等の高 Z 物質への超高強度のペタワット (PW) レーザーを照射により生成される高エネルギー電子ビームによって圧縮燃料を外部から強制加熱することで、その外縁部を点火に至らしめるといったものである。この高速点火方式は中心点火方式に比べて一桁少ない投入エネルギーで点火するポテンシャルを持っている。阪大レーザー研における PW レーザーを用いたこれまでの実験で、入射レーザーの 2 割程度のエネルギーがコアプラズマの熱エネルギーに変換されたことが確認されている。現在、高速点火の基礎研究は日本のみならず世界各国で高い関心を持って続けられている。しかしながら、高速点火研究においては、超高強度レーザーと物質との相互作用や相対論的電子ビームのプラズマ中の輸送といった核心となる物理が未だ十分解明されていないのが現実である。

高速点火の問題を原理的に解決する方策として数年前に「衝撃点火」[1, 2] と呼ばれる第 3 の点火方式が阪大レーザー研より提案された。漏斗状の金属物質 (コーン) の内外に球殻燃料層を装着したものをターゲット構造とする。まずコーン左部の主燃料層をレーザーにより爆縮させ中心部に高密度の圧縮主燃料を形成する。次に別のレーザーによってコーン右部の燃料小片 (インパクター) を超高速に加速

速して、先の圧縮主燃料に激突させて高温点火部を形成するものである。

衝撃点火に必要な飛翔体の速度は、従来の点火方式で必要とされる 3-5 倍に対応する 1000 - 1500 km/s である。従来は、流体の不安定性により加速の途中で燃料層が破断されるため、こうした超高速まで加速する事は到底不可能であると考えられていた。これに対し、阪大レーザー研ではプラスチック中に金属元素を少量混入させるなどの新たな手法を確立し、この手法によって流体不安定性を抑え、安定した飛翔体の加速が実現できることとなった。その結果、平板ターゲットを使った実験で日米の合同実験グループは世界最高記録~1000 km/s を達成することができた (図 1 参照)。

こうして超高速に物体を加速する技術を確立し衝撃点火の基本デザインに基づいた統合実験を行った。実験では、主燃料とインパクターを加速するそれぞれのレーザーのタイミングを調整しながら生成する中性子数を計測した。その結果、衝突効果が無い場合に比べて、中性子が 100 倍も増幅される事を確認した (図 2 参照)。この結果は、衝撃点火方式の有効性を証明するものであり、この実験事実により概念実証を達成した [3]。

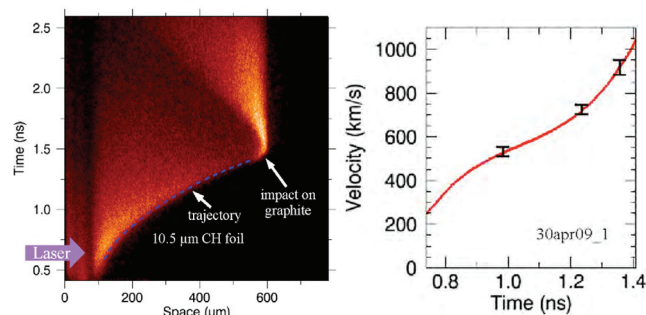


Fig. 1. X-ray image of impact collision (left) and temporal evolution of the velocity

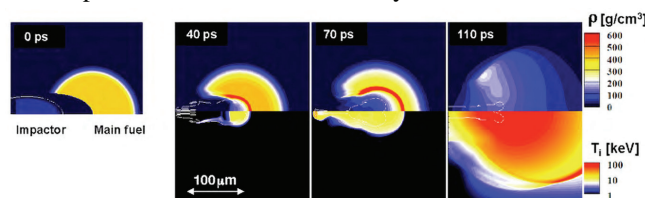


Fig. 2. Snapshots of density and temperature distributions obtained from the two-dimensional simulation. At $t = 110$ ps, ignition and burn can be observed with temperatures > 30 keV.

- 1) Murakami, M. and Nagatomo, H., Nucl. Inst. & Meth. Phys. Res. A **544** (2005) 67.
- 2) Azechi, H., *et al.*, Nucl. Fusion **49** (2009) 104024.
- 3) Azechi, H., *et al.*, Phys. Rev. Lett. **102** (2009) 235002.

プラズマデバイスを用いたレーザー超高圧凝縮物性診断

分野：核融合物理学／定常運転
 年度-課題番号：2006-FP5-26, 2007-FP6-17
 実施責任者：兒玉了祐、尾崎典雅
 所属：大阪大学大学院工学研究科

高強度プロトン生成に向けた相対論プラズマシャッターの開発

近年の超短パルス高強度レーザーの発展により、 10^{22} W/cm² ものパルス強度が実現されている^[1]。しかしながら、ピーク強度の増加に伴い、メインパルスと、ASE 光に起因するペDESTAL や、プリパルスとの間で高いコントラストが必要となる。高調波発生やプロトン加速のような高強度場の実験を行うためには、プリパルスフリーで高コントラストのレーザーパルスを使用することが肝要である。実験データや PIC シミュレーションの結果によれば、生成されるプロトンの最大エネルギーはターゲットの厚さに強く依存していることが示されている^[2]。

そこで、高強度レーザーパルスにおけるサブ 100 ps のコントラストを改善し、薄膜ターゲットとの相互作用を実験的に検討するために、相対論的透過型プラズマシャッター（図 1）の開発を行った。相対論的プラズマシャッターとなる薄膜をメインターゲットの上流に配置すると、レーザーパルスの前方部が薄膜を完全にイオン化する。このシャッターを機能させるためには、アブレーションされた薄膜において、ピーク電子密度が非相対論臨界密度より大きく、一方相対論的臨界密度より小さくしなければなるように、膨張していく必要が有る。このプラズマにおいて、レーザーパルスの高強度部は透過することができ、低強度部では透過できないという条件が実現され、これによってコントラストが向上する。本研究では、プラズマシャッターの有無に対し、高エネルギープロトンを異なる角度で計測することによって、コントラストの改善を確認した。このプラズマシャッターを用いて、30 nm 厚のターゲットから 1.8 MeV のプロトンの生成を確認することができた。一方、シャッター無し場合にはプロトンは生成しなかった。相対論的プラズマシャッターは、より高強度のレーザーに対しても適用可能な極めてシンプルなデバイスである。

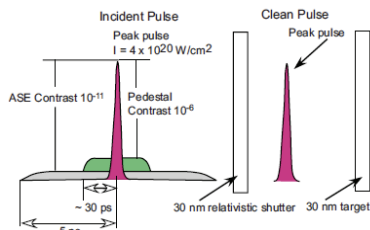


Fig. 1: Schematic of the relativistic plasma shutter for ultraintense laser pulses.

レーザー駆動的動的圧縮された物質のプロトンバックライト実験

高強度レーザーをはじめとした大型パルスパワー施設の開発に伴い、新しい高エネルギー密度物理の研究が各国で行われている^[3]。高エネルギー密度の物質状態を生成するために、衝撃圧縮の方法が用いられ、基本ユゴニオまたはオフユゴニオの状態に関して物性研究などが行われている。しかしながら、衝撃圧縮実験でルーティンに用いられる現状の可視域の光を用いた計測法では、密度などの重要な物理量を直接取得することはできない。状態方程式研究などでは、この密度の不確かさが理論モデルの検証などにおいて決定的な問題となっている。さらに、NIF や LMJ などの超大型レーザーによって実現される物質状態は、圧力では 10 TPa を超えることが予想され、衝撃波の輻射などの影響でこれ迄の診断計測技術が適用できるかは未知数である。従って、この領域で状態量を直接計測できる新しい計測技術の開発が重要である。高エネルギープロトンを用いたラジオグラフィは WDM 状態の物質をプローブする新しい診断技術である。プロトンの方法は、X 線に比べても、十分な分解能や SN 比、透過能を持ち、種々の実験に応用される可能性を秘めている。

実験では、ナノ秒のレーザービームを”ショックターゲット”に照射して衝撃波を生成し、バックライトされる試料を圧縮した。同期したピコ秒超短パルスレーザーをバックライトターゲットに照射し、プロトンビーム光源を生成した。スタックした RCF を衝撃波進行方向と垂直に配置して、倍率 10 倍以上のラジオグラフィを取得することに成功した。各フィルムにおけるプロトンの透過率を考慮して、3.5-15 MeV の範囲で時分割された衝撃現象の高品質なスナップショットが得られた（図 2）。本手法による in situ な WDM 状態の診断に初めて成功した。

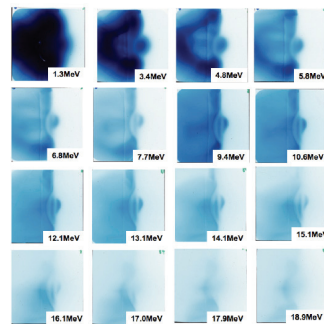


Fig. 2: Whole RCF set for a snapshot taken 7 ns after the main ns pulse beams.

- 1) S. W. Bahk et al., Opt. Lett. 29, 2837 (2004).
- 2) S. S. Bulanov et al., Med. Phys. 35, 1770 (2008).
- 3) Frontiers in high energy density physics, N.R.Concil, The National Academy Press (2003).

高速点火ターゲットの製作、射出、追尾

分野：高エネルギー密度科学
 年度-課題番号：2001-FP5-37, 2004-FP5-8,
 実施責任者：乗松孝好, Goodin*
 所属：大阪大学レーザー核融合研究センター,
 General Atomics, USA

高速点火ターゲットの製作、射出、追尾に関するワークショップが2001年に米国 General Atomics 社で、2004年に阪大レーザー研で、2007年には再び米国で開催された。以下は2004年までの成果を論文の報告[1]をもとにまとめたものである。

高速点火ターゲットは追加熱レーザー導入用のコーン付きターゲットと、コーンがないターゲットに分類される。コーン付きターゲットでは球殻状の固体燃料層を作るのに低密度フォームに液体燃料を含ませ、固化して用いる。このターゲットではフォームの製作が現時点での課題となっている。フォームは核融合プラズマにとっては不純物となり、X線輻射ロスが増加するので、できるだけ低密度であることが望ましい。図1(a)は圧縮ビームを1MJにした場合のターゲット利得を追加熱レーザーのエネルギーとフォーム密度をパラメータにしてプロットしたものである。30mg/ccでも点火状態に持って行くことは可能であるが、低密度化により余裕を持って利得>100の条件を満たすことができることが分かる。現在までに実現されているフォーム密度は43mg/cc程度で、さらに低くする必要がある。

このようなフォームターゲットに燃料を充填するには、従来の拡散充填よりも直接液体水素中に浸けて含浸させる方法が有効である。燃料球殻の一部に小さな孔を開けておき、直接液体燃料に浸け、レーザー等で加熱する液中加熱法で、フォームの部分だけ選択的に液体燃料を充填することができる。また、図1(b)の様に、ガス導入管を使うことも考えられる。

これらの基本技術は既に存在し、課題は燃料充填量の精度を1%以下の誤差に抑えることができるかどうかである。

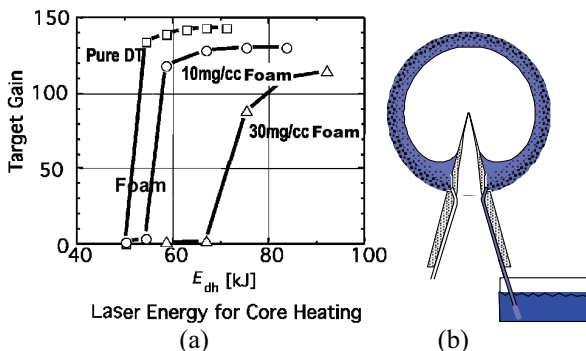


Fig. 1 The gain curve of fast ignition target with foam (a) and the way of fuel loading by a tube (b).

高速点火ターゲットの場合、コーンの有無にかかわらず断熱状態で固体密度の1000倍近くに圧縮し、10keV以上に追加熱される必要がある。そのため、できるだけ均一で球対称な固体燃料層を作ることは重要な課題である。

コーンのないターゲットの場合、固体燃料製作技術は中心点火用ターゲットの製作技術がそのまま用いることができる。米国ロチェスター大学にあるオメガクライオターゲットハンドリング装置の完成により、直径0.9mm厚さ3 μ mのプラスチックシェルターゲットの中に厚さ100 μ mの固体燃料層を作る技術が急速に進歩している。

固体燃料層の内面の凹凸も高密度圧縮に影響するため、バックライト法で測定された(図2(a))。内面で一部の光は全反射されるため、固体燃料層の表面は白いリングと黒い部分の境界に相当する。(図2(b))この部分を角度の関数として表示したものが図2(c)であり、そのフーリエ変換したものが図2(d)である。固体燃料層の内面の凸凹は0.8 μ m程度に抑えられていることが分かる。

この方法では一つの切断面のみ解析であるが、ターゲットを回転することにより、全ての投影角度での検査が可能である。

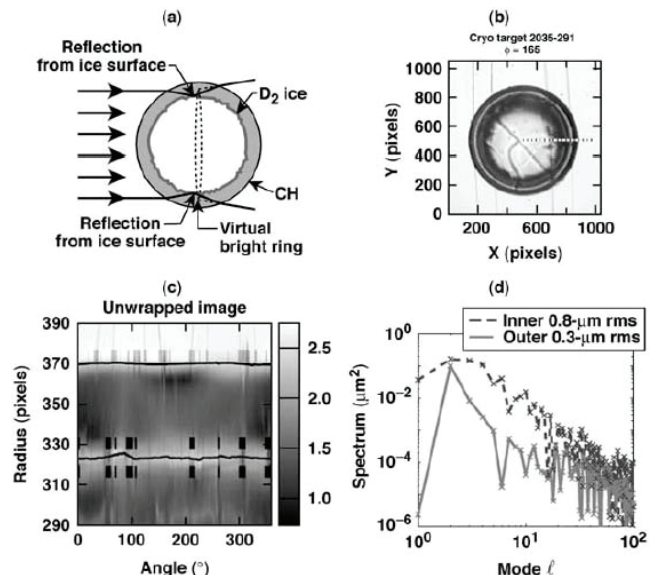


Fig. 2 Quality of solid Dr layer for corn-less fast ignition target developed at Rochester University.

[1] T. Norimatsu et al., Fusion Sci. Technol., 49 pp483 (2006)

重イオンビーム慣性核融合における燃料標的からの安定的な核融合エネルギーの解放

分野: 高エネルギー密度科学

年度-課題番号: 2000-FP5-1, 2001-FP5-19, 2004-FP5-17, 2005-FP5-1, 2006-FP5-10, 2007-FP6-3, 2008-FP6-1

実施責任者: *S. Kawata, *M. Ogawa, *K. Horioka, *Y. Oguri, *M. Murakami, *K. Takayama, *H. Yoneda, *G. Logan, *J. Barnard, *R. Davidson

所属: *宇都宮大学, *1 東京工業大学, *2 大阪大学, *3 高エネルギー加速器研究機構, *4 電気通信大学, *5 HIF-VNL, Lawrence Berkeley National Lab., *6 Princeton University

重イオンビーム慣性核融合に関する研究について、長年米国重イオンビーム慣性核融合研究機構との共同研究を実施し様々な成果を得た。具体的には、重イオン加速器、ビーム輸送、重イオンビームと物質との相互作用、核融合燃料標的の重イオンビームによる爆縮、さらにwarm dense matter physics (WDMP) やRayleigh-Taylor (R-T) 不安定性の成長制御などについて具体的な成果が得られた[1-3]。重イオンビームは以下のユニークな特徴を持っている: 1) 高精度の高いビーム制御性。ビームパルス波形、粒子エネルギー、ビーム軸の位置、イオン種などに非常に高い制御性が実現されている。2) イオンビームエネルギー付与が空間時間的に高精度に制御でき、その物理が解明されている。3) 高いイオンビームの生成効率 (30~40%程度)。

共同研究の最近の成果の一部を以下に示す。複数本のイオンビーム照射が詳細に調べられた (図1 参照) [1]。慣性核融合燃料標的の爆縮不均一は数%に抑える必要がある。一方、球状の燃料標的は核融合炉の中で中心の位置から多少ずれることも想定される。そこで、燃料球の炉中心からのずれに対しても安定的に核融合エネルギーが解放される必要がある。このずれについてロバストなビーム照射配置についても研究し、200- 300 mmの燃料球のずれを許容する新しい照射配置を見つけた[1]。従来の照射方法では 50- 100 mm程度しか許されなかった。

一方、核融合燃料標的の爆縮の際には、大きな加速度により燃料を固体密度の千倍程度まで圧縮するため、R-T 不安定性が生じる。そこでこの爆縮の均一化についても研究を行った[2]。重イオンビームは、500 mm 以上の広い幅にわたってビームエネルギーを核融合燃料標的内の物質に与える。そのため、物質の内部に大きな密度勾配を持った高い圧力の領域が燃料を押しことになる。この長い距離の密度勾配が R-T 不安定性の安定化に貢献することがまずわかる。さらにイオンビームの軸を高精度に 100 MHz~1 GHz で、振幅を数百 mm~1 mm 程度で振動さ

せられるため、これを利用し爆縮加速度の時間空間的な振動を生じさせ、R-T 不安定の成長抑制できることも初めて見つけた (図3) [2]。

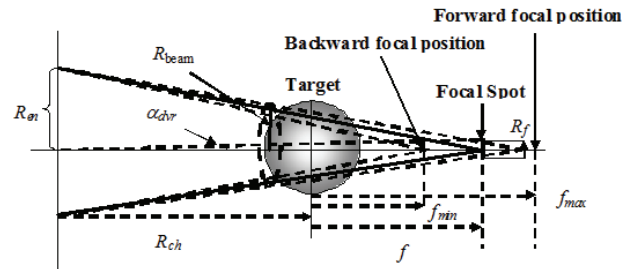


Fig. 1. The relationship between a beam emittance and the divergence angle. The HIB illumination is precisely computed.

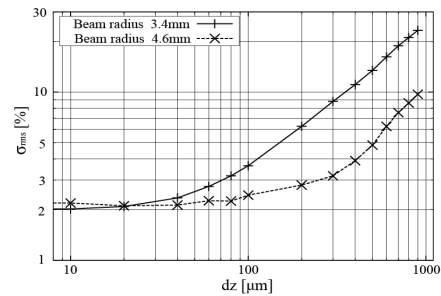


Fig. 2. The rms nonuniformity versus the pellet displacement dz in a reactor chamber for the beam radius of 3.4 mm and 4.6 mm, a pellet of the Al layer structure, the external pellet radius of 4.0 mm and the 32 HIBs system. $\Delta\theta = 2$ degree.

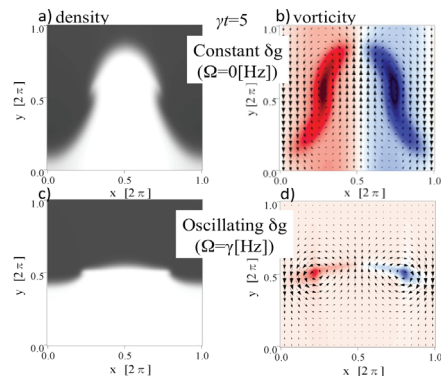


Fig. 3 The Rayleigh-Taylor (R-T) instability control example results under the oscillating acceleration. The R-T instability growth is controlled and reduced significantly by the oscillating acceleration perturbation, induced by the HIB axis wobbling.

- 1) T. Someya *et al.*, Phys. Rev. ST-AB 7 (2004) 044701.
- 2) S.Kawata *et al.*, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. A, **606** (2009) 152.
- 3) K. Horioka *et al.*, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. A, **606** (2009) 1.

4章 核融合理論共同研究組織 (JIFT)

4.1 目的

核融合理論共同研究組織(JIFT)プログラムの主たる目的は、(1)プラズマの理論的な理解を進めることであり、特に磁場閉じ込め核融合プラズマの安定性、平衡状態、加熱、および輸送を重視している。(2)非線形プラズマ現象を理解するため、その基盤となる理論及び計算手法を発展させることである。これらの目的は、2種類の学术交流プログラム、すなわち、ワークショップと研究者派遣を利用した米国と日本の科学者間の共同研究を通じて追及されている。

4.2 活動

毎年、JIFT プログラムは、具体的なトピックスを持った4つのワークショップ(それぞれの国で2つずつ)および6人の研究者派遣(それぞれの国から3人ずつ)で構成される。これまで成功裏に進めてきた28年間の活動を通じて、JIFTは166人の研究者長期派遣と102のワークショップの開催の援助をしてきた。



「プラズマ物理における先進的シミュレーション手法」に関する JIFT
ワークショップの参加者(2009年12月、核融合科学研究所において)

- ワークショップでは概して15~30人の参加があり、(ワークショップ毎に異なるが)非開催地から通常3人から7人の研究者がワークショップに参加している。米国と日本以外の国からの科学者も、オブザーバーやもしくは多数国参加として、

JIFT ワークショップへしばしば招待されている。

- 毎年、双方に約3人ずつの研究者派遣がなされており、内1名は「JIFT 客員教授」として派遣先の国によって経費の援助がされ、「派遣研究者」と呼ばれるその他の研究者は派遣元の国によって援助されている。派遣研究者の訪問は、通常数週間から2カ月あるいは3カ月間にわたって続き、他方、客員教授は通常3カ月間滞在する。

JIFT のワークショップや研究者派遣で取り上げる課題や参加研究者は、当面の重要な課題ばかりでなく基礎的な問題も含めて、磁場閉じ込め核融合研究において重大と思われる問題点の中から全体のバランスを見て選ばれる。その際、双方の国での具体的な可能性や関心も考慮されている。JIFT 計画を推薦するに当たっては、JIFT 運営委員会の日本と米国の双方の委員が提案された課題の適性について吟味し、同意をすることとなっている。



「超高強度レーザープラズマに関する理論とシミュレーション」JIFT ワークショップの参加者(2008年11月、テキサス大学オースティン校にて)

計算機共同プロジェクト計画と呼ばれる JIFT 研究交流部門は、LLNL の MFE 計算機センター(現在、LBNL の NERSC)と名古屋のプラズマ研究所の計算機センターの間で専用のデータリンクを利用するため、1985年に設立された。日米科学技術協力事業(核融合分野)の初期には、データ集合を送信しあったり、他方の国の物理研究者が一方の国の計算機施設を遠隔で利用したりする上で、この JIFT データリンクが唯一の手段であった。しかしながら、現在通常のインターネットが十分に高速な通信手段を科学者

に提供するようになり、低域あるいは中域の帯域幅の回線を通して自分の所属機関の計算機に遠隔でアクセスできたり、データの交換ができたりしている。米国と日本の JIFT 共同研究者間で議論を重ねた後、ダラスで開催された JIFT 運営委員会の定例会合(2008 年 11 月 19 日)で、核融合に対するデータリンク及びデータリンク計画に関する Annex II 公式文書の満了を受け、日本の 2008 会計年度末をもって JIFT 研究者派遣活動の計算機共同プロジェクト計画部門を終結させることに決定した。JIFT 運営委員会は、データリンク及び計算機共同プロジェクト計画の歴史と業績に関する 30 ページの報告書を作成した(<http://peaches.ph.utexas.edu/ifs/jift/references.html>)。

研究者派遣活動に関する年次計画を含む JIFT プログラムに関する情報は、米国側の米国 JIFT WEB サイト <http://peaches.ph.utexas.edu/ifs/jift/>で見ることができる。対応する日本側 JIFT WEB サイト <http://www-nsrp.nifs.ac.jp/JIFT/>は、これまでの JIFT 年次報告書と日本での JIFT 会合などの情報とともに 2008 年に起ちあげられた。

4.3 運営

JIFT には、それぞれの国から 4 人ずつ、8 人で構成される運営委員会がある。委員のうち 2 人が日本と米国の共同議長である。運営委員会の他の二人は、米国と日本の共同の執行幹事であり、日々進行する JIFT 活動の進展に関する管理を担当している。米国側の共同議長と共同執行幹事はテキサス大学オースティン校核融合理論研究所の所長及び副所長である。日本の共同議長は核融合科学研究所数値実験研究総主幹であり、日本の共同執行幹事は核融合科学研究所ヘリカル研究部核融合理論シミュレーション研究系研究主幹である。さらに日本側には、日本の大学と独立行政法人日本原子力研究開発機構の様々な意見を反映するため、幾人かの委員からなる顧問委員会がある。また、米国側には、米国の大学と国立研究所の様々な意見を反映するため、幾人かの委員からなる顧問委員会がある。

JIFT 運営委員会は、他の会合とうまく適合するようにワークショップを企画している。また、関心の高い実験研究者にもワークショップへの参加を促したり、他の国からも関連がある適切な研究者を招待してワークショップへの参加を促したりしている。

日米科学技術協力事業(核融合分野)における基礎理論分野の交流を担う主な事業として、JIFT は核融合物理計画委員会(FPPC)と核融合炉工学計画委員会(FTPC)と協調しながら活動している。特に、JIFT の活動は 4 つの FPPC 領域の活動、すなわち、コアプラズマ現象、及び周辺プラズマの挙動と制御、加熱と電流駆動、新しい手法と診断という 4 つの領域の活動と調整されている。



JIFT 運営委員会会合の参加者(2004 年 11 月)

4.4 研究成果の概要とハイライト

長年のJIFTプログラムにより広範な領域で多くの成果が得られてきた。とりわけ以下の点の特筆されるだろう。最近の理論研究の成果や技術、方向性に対する効率的な情報交換のチャンネルがJIFTによって提供されてきた。JIFTの活動によって、流体乱流や統計物理、計算機科学、宇宙プラズマ物理など関連分野からの熱心な参加を生み出し、その結果、核融合研究に新たな科学的手段が導入され、核融合物理をより高いレベルへ到達することを可能にしてきている。JIFTの研究者派遣は、国際的な共同研究の便宜を効果的に与えることに寄与してきた。そして、JIFTプログラムにおいて大規模シミュレーション研究を重要視することによって、両国のスーパーコンピュータ資源やプログラム作成の専門的知識から重要で相互的な利益を得てきている。

JIFTを通じて、米国と日本の核融合理論コミュニティーの間に緊密で長期的な科学に関する研究交流が打ち立てられてきた。その結果、これらの共同研究を長年にわたって利用してきた年長の科学者だけでなく、若手研究者あるいは時として上級クラスの大学院生までも、研究経験の積むための機会を多く得てきた。達成した業績の中からいくつかのハイライトを以下に示す。

JIFTの活動によって、レビュー論文や本とともに、数多くの科学論文が発表されてきた。また、主要な国際会議(例えば、2年ごとに開催されるIAEA核融合エネルギー会議)でなされた招待講演の数においても、JIFTの研究は特徴づけられてきた。

アルフベン固有モードのシミュレーション研究

分野：核融合理論共同研究組織 (JIFT)

年度-課題番号：2000-JF1-9, 2004-JF1-12, 2006-JF1-4

実施責任者：藤堂 泰, D. A. Spong*, H. L. Berk**, B. N. Breizman**

所属：核融合科学研究所, *オークリッジ国立研究所 (ORNL), **テキサス大学核融合理論研究所 (IFS)

藤堂は 2000 年と 2005 年に IFS を訪問し、H. L. Berk, B. N. Breizman と協力してトロイダルアルフベン固有モード (TAE) バーストと TAE 時間発展における非線形 MHD 効果に関するシミュレーション研究を行った。TAE バーストは、中性粒子ビームの入射に伴って複数の AE が同期して繰り返し不安定化する現象であり、それに付随した高速イオン損失とともに多くの環状磁場閉じ込め装置で観測されている。TFTR での実験とほぼ等しい条件下での TAE バーストの計算機シミュレーションに世界で初めて成功し、複数モードの同期したバースト、バースト時間間隔、1 回のバーストによる高速イオン損失割合、および高速イオン蓄積エネルギーなど多くの実験結果を再現した¹⁾。図 1 は代表的なシミュレーション結果であり、高速イオンの各小半径における密度の時間発展と主要な 2 つの固有モード振幅の時間発展が示されている。高速イオンの輸送・損失機構を理解するために、定常振幅の単独 TAE を考慮した高速イオン軌道のポアンカレプロットを作成して位相空間構造を解析した。その結果、複数 TAE の共鳴の重なりと、単独 TAE によって形成された複数の非線形共鳴の重なりによって形成された複数の非線形共鳴の重なりによって起因する KAM 面の消失の双方の寄与によって、高速イオンの輸送・損失が発生することが明らかになった。共鳴の重なりによって複数 TAE と共鳴する粒子を媒介として、複数 TAE の挙動が同期するのである。

一方で、シミュレーション結果における TAE の飽和振幅は $\delta B/B \sim 10^{-2}$ であり、実験のプラズマ変位計測から推定されるレベルよりもおよそ 1 桁大きな値であった。そこで、非線形 MHD 方程式と高エネルギー粒子を連結したシミュレーションに加えて、MHD 方程式を線形化したシミュレーションを行って、両者の結果を比較することにより、TAE 時間発展における非線形 MHD 効果を検証することにした。その結果²⁾、TAE 不安定性の飽和振幅が $\delta B/B \sim 10^{-3}$ の場合には、非線形 MHD シミュレーションと線形 MHD シミュレーションの結果に大きな違いはなかった。それとは対照的に、線形 MHD シミュレーション結果の飽和振幅が $\delta B/B \sim 10^{-2}$ の場合には、非線形 MHD シミュレーションの飽和レベルはその約半分に低減した。この飽和レベル低減は、MHD 非線形性によって形成されるトロイダルモード数 $n=0$ および高 n モードから生じる散逸に起因する。また、非線形 MHD シミュレーションで

は、TAE 不安定性の飽和後に MHD 非線形性によって励起される測地線音響モード (GAM) が観測された。

Spong は 2007 年に核融合研を訪問し、LHD を含むステラレータ配位におけるアルフベン固有モードを研究した。ステラレータおよびリップル磁場トカマクなどの 3 次元配位におけるシアアルフベンスペクトルは、トロイダル方向の磁場の非一様性から生じるモード間結合によって濃密な分布を示す。Spong は Jacobi-Davidson 法に基づいた新しいアルゴリズムを開発し簡約化 MHD モデルに適用した³⁾。この手法は事前に入力された周波数近辺に存在する固有モードのみを計算することができる。LHD のために解析した TAE の 3 次元構造が図 2 に示されている。

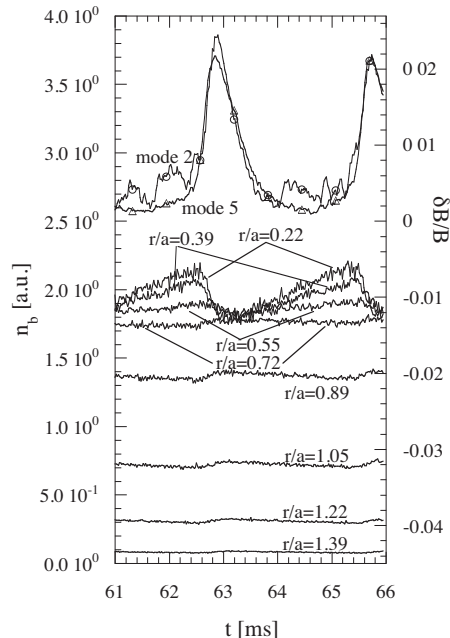


Fig.1. Time evolution of the dominant two modes and the co-injected beam ion density at various minor radius¹⁾.

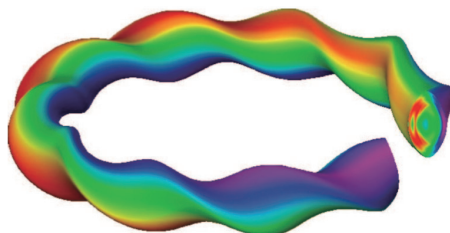


Fig.2. Three-dimensional eigenmode structure for a TAE mode in LHD³⁾.

- 1) Y. Todo, H. L. Berk, and B. N. Breizman, Phys. Plasmas **10**, 2888 (2003).
- 2) Y. Todo, H. L. Berk, and B. N. Breizman, to appear in Nucl. Fusion **50** (2010).
- 3) D. A. Spong, E. D'Azevedo, and Y. Todo, Phys. Plasmas **17**, 022106 (2010).

磁場閉じ込めプラズマ中のドリフト波乱流のジャイロ運動論的シミュレーション

分野：核融合理論

年度-課題番号：2002-JF1-10, 2008-JF1-12,

実施責任者：渡邊智彦, W. Horton*

所属：核融合科学研究所、* テキサス大学核融合理論研究所(米)

本研究テーマは、2002年11月、米国側からの招聘研究員として、テキサス大学核融合理論研究所 (IFS) に渡邊が滞在した際の共同研究として開始された。2002年以降も共同研究は様々な形で継続されてきた。その後2008年にテキサス大学 IFS から W. Horton 教授を核融合科学研究所に3ヶ月招聘した折りに、より緊密な共同研究を進めることができた。以下では、そのうちの2つの共同研究テーマについて報告する。

i) GKVコードを用いた共同研究

トロイダル磁場閉じ込めプラズマにおけるドリフト波乱流による異常輸送を解析するために、ジャイロ運動論的方程式を5次元位相空間中の非線形偏微分方程式として解くことのできるシミュレーション・コード GKV の開発を核融合科学研究所で進めてきた。これを用いて、トカマクや大型ヘリカル装置 (LHD) におけるイオン温度勾配 (ITG) 乱流によるイオン異常熱輸送とゾーナルフローに関する研究が精力的に進められている。

5次元位相空間を扱うシミュレーションは非常に大規模なものとなり、超並列スーパーコンピュータを用いた効率的な計算処理の実現がその成否の鍵を握る。我々は GKV コードおよび MEGA コード (後者は高エネルギー粒子閉じ込め解析のために核融合研の藤堂泰教授により開発された) を米国 NERSC の Franklin とテキサス大学の Ranger に移植し、その実効性能を日本のいくつかのマシンと比較した。移植された両コードは、1万コアを超える高い並列度においても良好な並列実効性能を実現することが示された (Fig.1 参照)。

ii) 電子温度勾配乱流のシミュレーション

磁場閉じ込めプラズマにおける電子異常熱輸送の一因として、電子温度勾配 (ETG) によって駆動される乱流輸送があげられる。Horton 教授らのグループにおいては、以前から2次元流体シミュレーションを用いた ETG 乱流の研究が行われていた。一方、日本側では、総研大の仲田資季氏を中心にスラブ ETG 乱流のジャイロ運動論的シミュレーション研究を行ってきた。Horton 教授の核融合研滞在中に、ETG 乱流輸送に関する共同研究を進めた [2]。

Fig. 2 は、スラブ ETG 乱流シミュレーションで得られた静電ポテンシャルと電子温度揺動のカラー等

値図である。乱流状態 (左) から、整然と渦列が整った構造が自発的に作られるとともに乱流輸送が大きく低減することが見いだされた。

この共同研究は、現在、トカマクおよび直線型磁場閉じ込め装置における ETG 乱流とゾーナルフローの研究へと発展している。

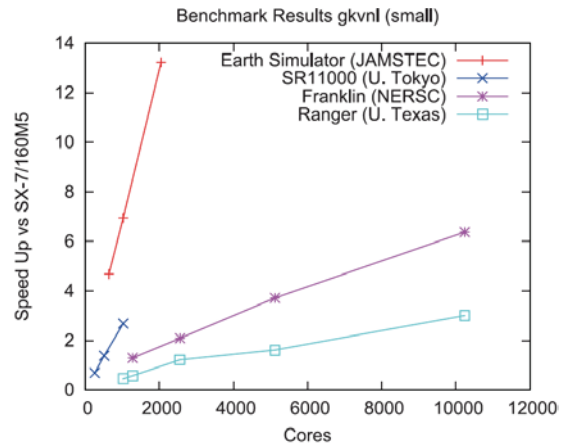


Fig. 1. Computational performance of GKV code on several massively-parallel supercomputers. Horizontal axis is normalized by the computation speed measured by using the NEC SX-7/160M5 system (after Ref. [1]).

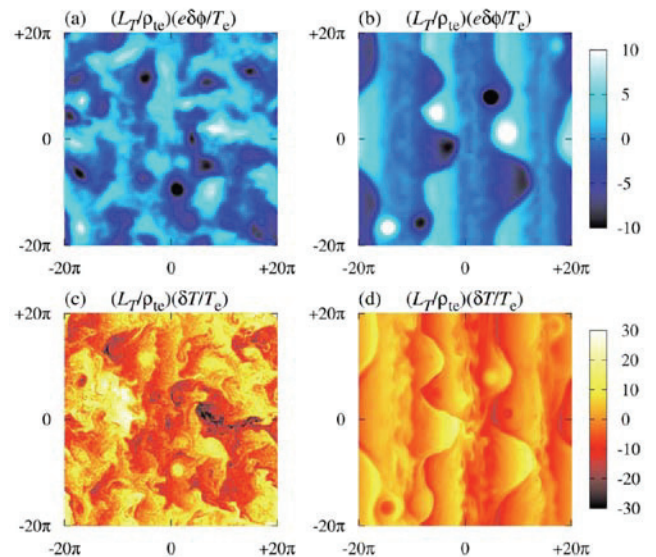


Fig. 2. Potential [(a) and (b)] and temperature [(c) and (d)] fluctuations found in the slab ETG mode simulation during turbulent [(a) and (c)] and quiescent [(b) and (d)] phases (after Ref. [2]).

- 1) T.-H. Watanabe, Y. Todo, and W. Horton, Plasma Fusion Res. **3**, (2008) 061.
- 2) M. Nakata, T.-H. Watanabe, H. Sugama, and W. Horton, Phys. Plasmas **17**, 042306 (2010).

JIFT Workshops on Theoretical Analyses in Helical Plasmas

Category: JIFT

Year/Number: 2004-JF1-01

Names: D. Monticello (PPPL), N. Nakajima (NIFS)

Dr. Monticello and Dr. Nakajima organized a series of two workshops on theoretical physics issues in 3D toroidal magnetic confinement systems.

1. First workshop (Princeton, 2002)

A workshop entitled “Theoretical Consideration on Helical Plasmas” organized by Dr. Nakajima (NIFS) and Dr. Monticello (PPPL) was held in Princeton on November 18-21, 2002. Sixteen talks were presented. The talks focused mostly on stellarator experiments that were operating at the time of the conference (LHD, Heliotron-J, W7-AS, and HSX) and on proposed experiments such as QPS, W7-X, and NCSX. A synopsis of all the talks was prepared by Nakajima and Monticello and published in the May 2003 edition of *Stellarator News* [1]. The talks were posted on the workshop website [2]. Several results from this workshop are shown in Figs. 1-3 here.

2. Second workshop (Kyoto, 2005)

A follow-on workshop, entitled “Progress of theoretical analyses in three dimensional configurations,” with the same two organizers, was held in Kyoto on January 25-27, 2005. There were five participants from the US and seventeen from Japan. The US representatives were A. Boozer (Columbia), C. Hegna (Wisconsin), L. Sugiyama (MIT), A. Ware (Montana), and D. Monticello (PPPL). The talks covered a wide range of stellarator physics, including equilibrium, MHD stability, kinetic stability, pellet ablation, and edge physics. Probably most interesting were the details of theoretical analyses of the experiments on the Large Helical Device (NIFS) that attained plasma beta of 4.2%. A report on the workshop, with a synopsis by the US participants, was presented to the US stellarator physics community on February 10, 2005, as part of the National Stellarator Theory seminar series. The talks were posted on the workshop website [3]. This information was also announced in *Stellarator News*.

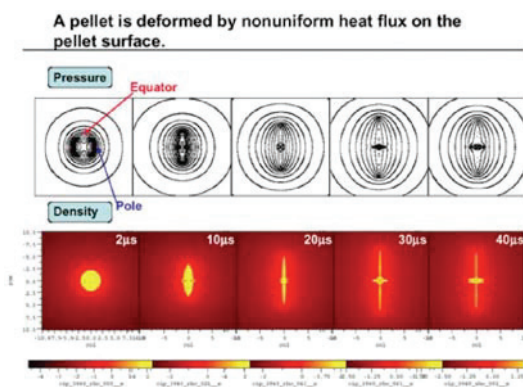


Fig. 1. Pellet deformed by non-uniform heat flux [from a talk by R. Ishizaki, R. Nakajima, and P. B. Parks]

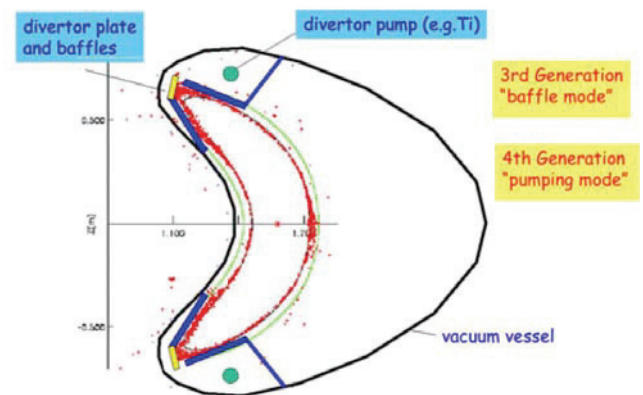


Fig. 2. NCSX divertor model with field line traces [from talk by A. Grossman et al.]

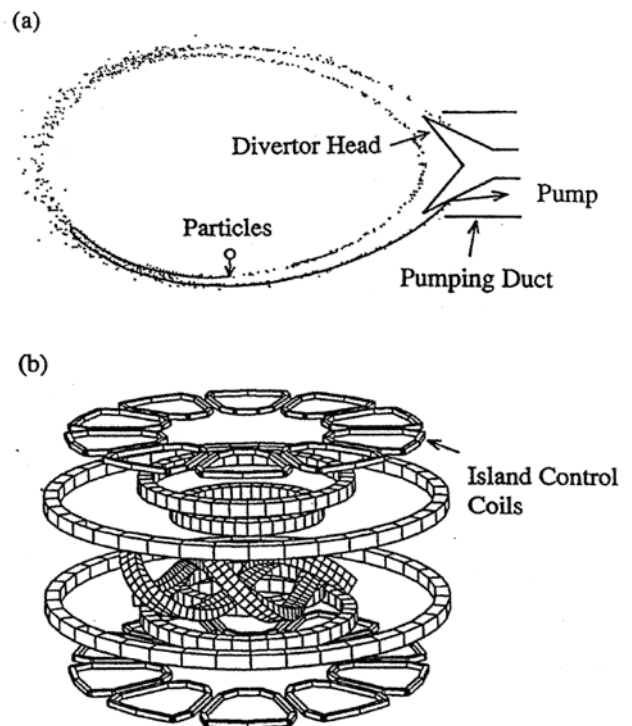


Fig. 3. Local Island Divertor (LID) using $m/n = 1/1$ [from talk by R. Kanno]

- [1] <http://www.ornl.gov/sci/fed/stelnews>.
- [2] <http://www.pppl.gov/ncsx/Scientificconf/JIFT/JIFT.html>
- [3] <http://www.center.iae.kyoto-u.ac.jp/kondok/meetings/jift/presentations.html>

Micro-Instability Analysis of Toroidal Confinement Devices

Category: JIFT

Year/Number: 2004-JF1-04

Names: G. Rewoldt (PPPL), H. Shirai (JAEA), N. Nakajima (NIFS)

Dr. Rewoldt has been involved in three general areas of work for the Joint Institute for Fusion Theory program. He made many trips to Japan under its auspices. These areas of research were:

(1) Ideal MHD equilibrium and stability analysis of stellarator/heliotron devices, in particular Heliotron-E, using the STEP code, a modified version of the PEST code, which implements the so-called stellarator expansion. This work was done in collaboration with J.L. Johnson (PPPL), M. Wakatani and Y. Nakamura (Kyoto University Plasma Physics Laboratory), and others, over the period from 1985 to 1991.

(2) Linear and quasi-linear gyro-kinetic micro-instability analysis of the JT-60U tokamak using the FULL code, in collaboration with K.W. Hill, W.M. Tang, and others (PPPL) and H. Shirai, Y. Kishimoto, and many others (JAERI). This work involved calculations of linear growth rates and real frequencies and ratios of quasi-linear fluxes, using realistic experimental density and temperature profiles and MHD equilibria, over the period from 1999 to 2005.

(3) Linear gyrokinetic micro-instability analysis of the LHD stellarator using the FULL code, in collaboration with L.-P. Ku and W.M. Tang (PPPL), W.A. Cooper (CRPP-EPFL), and H. Sugama, N. Nakajima, K.Y. Watanabe, S. Murakami, H. Yamada, and many others (NIFS), over the period from 2000 to 2003. In these calculations, modes such as trapped-electron modes and ion temperature gradient modes can be unstable, with contributions from both toroidal curvature and helical curvature to resonances of both toroidally trapped and helically trapped electrons.

Numerous publications resulted from these joint collaborations. Selected papers are listed below [1-5].

- [1] R. Nazikian, K. Shinohara, G.J. Kramer, E. Valeo, K. Hill, T.S. Hahm, G. Rewoldt, S. Ide, Y. Koide, Y. Oyama, H. Shirai, W. Tang, "Measurement of Turbulence Decorrelation during Transport Barrier Formation in a High Temperature Fusion Plasma," *Phys. Rev. Lett.* **94**, 135002 (2005).
- [2] H. Takenaga, S. Higashijima, N. Oyama, L.G. Bruskin, Y. Koide, S. Ide, H. Shirai, Y. Sakamoto, T. Suzuki, K.W. Hill, G. Rewoldt, G.J. Kramer, R. Nazikian, T. Takizuka, T. Fujita, A. Sakasai, Y. Kamada, H. Kubo, and JT-60 Team, "Relationship between particle and heat transport in JT-60U plasmas with internal transport barrier," *Nuclear Fusion* **43**, 1235-1245 (2003).
- [3] G. Rewoldt, L.-P. Ku, W. M. Tang, H. Sugama, N. Nakajima, K. Y. Watanabe, S. Murakami, H. Yamada, and W. A. Cooper, "Microinstability Studies for the

Large Helical Device," *Nuclear Fusion* **42**, 1047-1054 (2002).

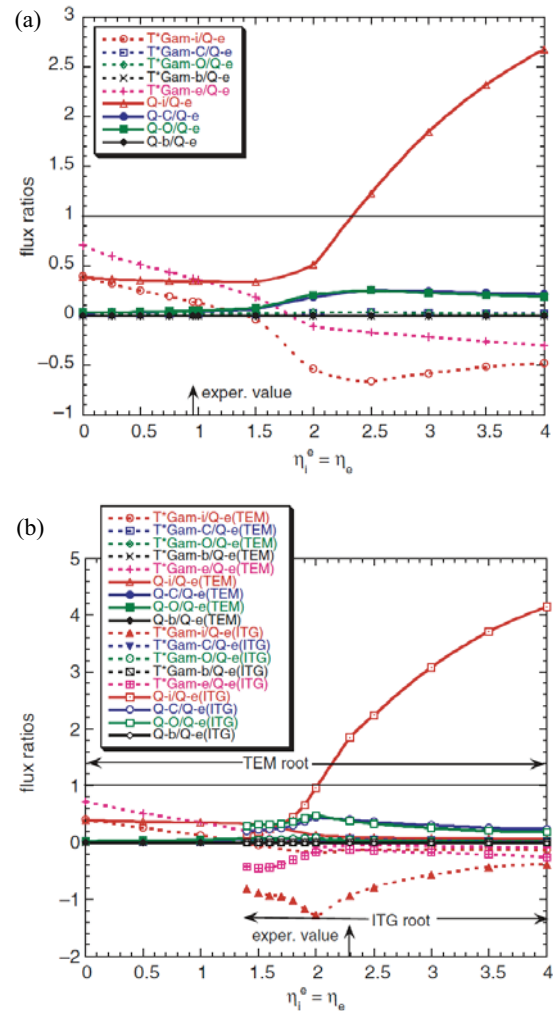


Fig. 1. Quasilinear particle flux Γ and energy flux Q as functions of the electron temperature gradient parameter, compared to experimental values. [from Ref. 3]

- [4] G. Rewoldt, L.-P. Ku, W.M. Tang, H. Sugama, N. Nakajima, K. Y. Watanabe, S. Murakami, and H. Yamada, "Drift Mode Calculations for the Large Helical Device," *Phys. Plasmas* **7**, 4942-4947 (2000).
- [5] Y. Sakamoto, T. Suzuki, S. Ide, Y. Koide, H. Takenaga, Y. Kamada, T. Fujita, T. Fukuda, T. Takizuka, H. Shirai, N. Oyama, Y. Miura, K.W. Hill, G. Rewoldt, and JT-60 Team. "Properties of Internal Transport Barrier Formation in JT-60U," presented at 19th IAEA Fusion Energy Conference 2002; *Nucl. Fusion* **44**, 876-882 (2004).

Effect of Resistive Wall on External Kink Modes

Category: JIFT

Year/Number: 2004-JF1-06

Names: M.S. Chu (GA), K. Ichiguchi (NIFS)

Dr. Chu from General Atomics spent three months at NIFS as the JIFT Visiting Professor (September 1–November 31, 2004). During this time, he performed research in collaboration with Dr. K. Ichiguchi concerning the possibility of resistive wall modes in 3D magnetic confinement configurations.

The external kink mode is one of the most serious instabilities that affect plasma confinement. Its growth rate is usually fast, outside the range of feasibility for plasma control. The external kink mode can be stabilized by the presence of a nearby perfect conducting wall. When the resistivity of the wall is taken into account, the external kink mode is changed into the resistive wall mode (RWM). Its growth rate then reduces to the inverse of the flux diffusion time through the resistive wall. The RWM with its slower growth rate can be stabilized either by plasma rotation or magnetic feedback. In configurations without toroidal symmetry, plasma rotation is relatively small and not expected to stabilize the RWM. Therefore, magnetic feedback must be relied upon to stabilize the RWM in non-axisymmetric configurations. As preparation for the design for feedback control of the RWM, the growth rate of the RWM in these configurations was investigated.

A method was formulated for the systematic computation of the growth rate of the RWM in weakly unstable 3D configurations by using results from ideal stability codes. It was shown that the growth rate of the RWM is given, approximately, by the rate at which the available free energy for the ideal external kink mode (with the wall at infinity) can be dissipated by the resistive wall. By relying on the concepts of energy and dissipation, the method is readily connected with other MHD codes and provides an independent and useful method of studying the physics of RWM.

This formulation was demonstrated by coupling to the ideal MHD code KSTEP to study the stability of the RWM in LHD plasmas. It is found that in terms of plasma current, a very limited range of the plasma equilibria can have its external kink mode affected by the presence of the resistive wall, i.e., the plasma quickly transits from being stable with respect to the external kink mode to being unstable even when the wall is upon on the plasma. Nevertheless, it was demonstrated that the proposed method can be used to evaluate the growth rate of the RWM in any 3D configurations readily. The growth rate in the advanced stellarators can also be calculated by employing full 3D codes such as CAS3D and TERPSICHORE instead of the KSTEP code.

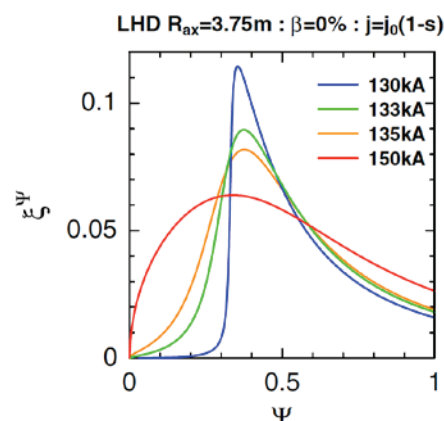


Fig. 1. Radial profile of the plasma displacement of the unstable ideal kink mode across the flux surfaces.

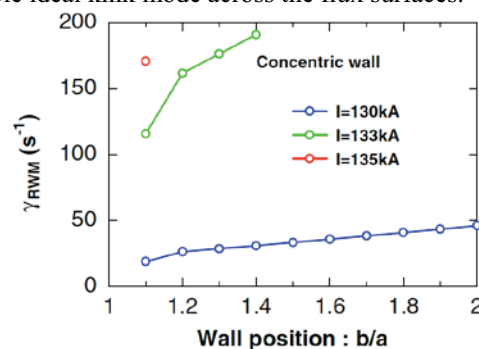


Fig. 2. Computed growth of the Resistive Wall Mode (RWM) as a function of the wall position [from Ref. 1].

- [1] M. S. Chu and K. Ichiguchi, “Effect of the resistive wall on the growth rate of weakly unstable external kink mode in general 3D configuration,” *Nucl. Fusion* **45**, 804 (2005).

無衝突衝撃波における粒子加速と平行電場

分野： JIFT
 年度-課題番号： 2004-JF1-14, 2009-JF-3
 実施責任者: 大澤幸治, W. Mori*, J. Van Dam**,
 W. Horton**
 所属： 名古屋大学, *カリフォルニア大学(米),
 **核融合理論研究所(米)

JIFTの研究者派遣プログラムで 2004 年にカリフォルニア大学ロサンゼルス校(UCLA) とテキサス大学オースティン校核融合理論研究所(IFS)へ、2009年に再びIFSへ行く機会を得た。これらの研究機関のW. Mori, J. Leboeuf, V. Decyk, W. Horton, G. Chiu, J. Van Dam, およびH. Berk等のプラズマ物理学者と粒子加速、非線形波の構造、およびシミュレーション方法について共同研究を行ったが、特に中心的なテーマは非線形磁気音波における磁力線方向の電場 E_{\parallel} であった [1]。

理想磁気流体においては平行電場 E_{\parallel} はゼロであり、高温プラズマにおける低周波の現象では E_{\parallel} は極めて弱いと一般的に考えられていた。しかし、磁気音波衝撃波においては E_{\parallel} は強くなることを最近見出した [2, 3]。すなわち、小振幅 ($\varepsilon \ll 1$) 磁気音波中の平行擬ポテンシャル F (E_{\parallel} の磁場 B に沿った積分) の大きさが高ベータの時には $eF \sim \varepsilon \Gamma_e T_e$ の程度 (Γ_e は電子の比熱比)、低ベータの時は $eF \sim \varepsilon^2 m_i v_A^2$ であることを理論と相対論的電磁粒子シミュレーションで示した。更に、 $\varepsilon \sim O(1)$ の大振幅磁気音波 (衝撃波) ではベータ値に依らず $eF \sim \varepsilon (m_i v_A^2 + \Gamma_e T_e)$ の関係が成り立つ。図 1 は衝撃波の場合の理論とシミュレーション結果を示す [2]。この研究はさらに電子・陽電子・イオンプラズマにも拡張された [3]。陽電子は F を小さくする働きをし、純粋な電子・陽電子プラズマでは F はゼロとなる。これは磁力線に沿う陽電子加速が陽電子密度の上昇とともに弱くなる [4] というシミュレーション結果を説明する。

平行電場は電子加速 [5] と陽電子加速 [4] において重要な働きをし、一方、相対論的イオンの多段加速の理論においては小さいとして無視された [6]。 E_{\parallel} に対する上の新しい理論を受けて、私どもはこれらの加速機構に対する E_{\parallel} の効果を改めて検討した。研究には粒子シミュレーションと 2 種類のテスト粒子計算を用いた。1つのテスト粒子計算では相対論的運動方程式に全電場を用い、もう1つのテスト粒子計算では磁場に対して直角な電場を用いた。

この研究によって以下のことが示された [1]。 E_{\parallel} が無いときには衝撃波の主パルス後部における電子反射が起こらず、したがって、文献 [5] で報告された電子加速も捕捉も起こらない (全電場で計算されたテスト電子と直角電場で計算されたテスト電子の位相空間を図 2 に示す)。文献 [4] で研究された、電

子・陽電子・イオンプラズマにおける陽電子加速はほぼ磁力線方向であり、したがって、もしも $E_{\parallel} = 0$ であればこのタイプの加速は起こらない。相対論的イオンに対する E_{\parallel} の効果は粒子エネルギーが増大するにつれて小さくなるので、 E_{\parallel} を無視する文献 [6] の理論的取り扱いは正当化される。

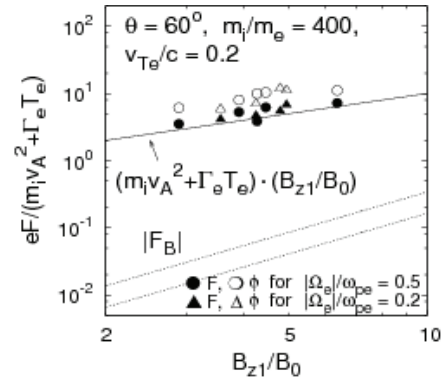


図 1 平行擬ポテンシャルの振幅依存性。黒い丸と三角は衝撃中の F を、白い丸と三角は電位を示す [2]。

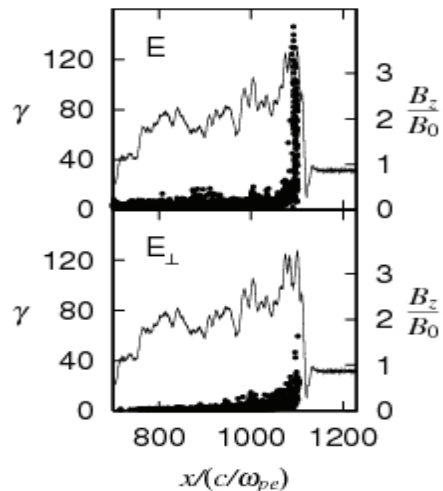


図 2 テスト電子の位相空間 (x, γ)。上図は全電場を用いて、下図は直角電場を用いて計算された。上図では多数の超相対論的電子 ($\gamma > 100$) が存在する [1]。

- 1) S. Takahashi, H. Kawai, Y. Ohsawa, S. Usami, C. Chiu, and W. Horton, Phys. Plasmas **16**, 112308 (2009).
- 2) S. Takahashi and Y. Ohsawa, Phys. Plasmas **14**, 112305 (2007).
- 3) S. Takahashi, M. Sato, and Y. Ohsawa, Phys. Plasmas **15**, 082309 (2008).
- 4) H. Hasegawa and Y. Ohsawa, Phys. Plasmas **12**, 012312 (2005); H. Hasegawa, K. Kato, and Y. Ohsawa, *ibid.* **12**, 082306 (2005).
- 5) N. Bessho and Y. Ohsawa, Phys. Plasmas **6**, 3076 (1999); *ibid.* **9**, 979 (2002).
- 6) S. Usami and Y. Ohsawa, Phys. Plasmas **9**, 1069 (2002); *ibid.* **11**, 3203 (2004).

Analysis of Axisymmetric Equilibria with Flows in Non-Ideal Fluid Models

Category: JIFT

Year/Number: 2005-JF1-05

Names: A. Ito (NIFS), N. Nakajima (NIFS), J.J. Ramos (MIT)

Dr. Ramos visited NIFS in the summer of 2005 and carried out theoretical studies in collaboration with Dr. Ito and Prof. Nakajima to investigate properties of axisymmetric plasma equilibria with mass flows, within the framework of several non-ideal fluid models.

1. Ellipticity of Axisymmetry Equilibria with Flow and Pressure Anisotropy

The first part of the work was based on a Hall-MHD model with cold ions, zero-mass electrons and finite electron pressure anisotropy [1]. This model included a closure consistent with dynamical evolution equations for the parallel heat fluxes and yielded a homogeneous plasma dispersion relation identical to the one derived from kinetic theory. The ellipticity criteria for the partial differential equations of axisymmetric single-fluid and Hall magnetohydrodynamic (MHD) equilibria with flow and pressure anisotropy are investigated. In the limit of vanishing ion skin depth, it reduces to a single-fluid model with anisotropic pressure, which predicts mirror and firehose instability thresholds in agreement with kinetic theory. In the single-fluid description of plasmas, axisymmetric toroidal equilibria with flow are obtained by solving the so-called generalized Grad-Shafranov (GS) equation and the Bernoulli law. In the absence of poloidal flow, the equilibrium is elliptic if the kinetic stability conditions for the firehose and mirror modes are satisfied. Conditions for ellipticity of the axisymmetric toroidal equilibria with flows were derived and shown to be related to the velocities of waves in the kinetic-consistent dispersion relation. These conditions are different from those for the double-adiabatic Chew-Goldberger-Low model. For anisotropic Hall MHD, a set of anisotropic-pressure equilibrium equations has been derived. It consists of the coupled GS equations for the magnetic flux and the ion stream function and the Bernoulli law for ions. Unlike the isotropic case, in the presence of pressure anisotropy, the characteristic determinants for each GS equation are coupled and cannot be examined their ellipticity separately. One can find the conditions for ellipticity of such systems involving higher order derivatives by examining the existence of wave type solutions, a method also applicable to second order differential equations. If we consider a wave propagating in one-dimensional space and time and having discontinuity across the wave front, ellipticity of the coupled GS equations requires the non-existence of real values of the velocity of the wave front. A sufficient condition for ellipticity was obtained that corresponds to a poloidal flow velocity slightly smaller than the sound velocity.

2. High-Beta Axisymmetric Equilibria with Flow

The second part of the work was devoted to reduced-MHD models with high-beta and large-aspect-ratio orderings [2]. In improved confinement modes of magnetically confined plasmas where high-beta is achieved, equilibrium flows play important roles like the suppression of instability and turbulent transport. At the sharp boundary of a well-confined region, the scale lengths characteristic of microscopic effects not included in single-fluid magnetohydrodynamics (MHD) cannot be neglected. Small scale effects on flowing equilibria due to the Hall current have been studied with two-fluid or Hall MHD models. However, these models are consistent with kinetic theory only for cold ions [1]. In order to include the hot ion effects that are relevant to fusion plasmas, an extension of the model is necessary. A consistent treatment of hot ions in a two-fluid framework must include the ion gyroviscosity and other finite Larmor radius (FLR) effects. A two-fluid equilibrium system including Hall and finite ion Larmor radius effects was derived for flows comparable to the poloidal Alfvén velocity, showing that the ion gyroviscosity produces a shift of the Alfvén singularity. A single-fluid system was derived for flows comparable to the poloidal sound velocity, a case that requires keeping higher-order terms in the aspect ratio expansion before the singular velocity points can be shown. Since the formulation of higher-order equations is involved, here we restricted our analysis of the poloidal-sonic flow to the single-fluid case, planning to extend our present results with the inclusion of two-fluid, hot ion effects in future work. The singularity at a poloidal flow velocity equal to the poloidal sound velocity was recovered in the higher order equations. The orderings in this study provide the simplest models that include ion FLR effects on toroidal equilibria with flow. As such, they should be just considered as convenient working hypotheses that allow our analytic study of such effects. The resulting equations can be easily solved numerically to yield flowing equilibria without singularity and their solutions can be used as initial states or for comparison with saturated states of reduced model nonlinear simulations.

- [1] A. Ito, J.J. Ramos and N. Nakajima, "Ellipticity of axisymmetric equilibria with flow and pressure anisotropy in single-fluid and Hall magnetohydrodynamics," *Phys. Plasmas* **14**, 062502 (2007).
- [2] A. Ito, J.J. Ramos and N. Nakajima, "High-Beta Axisymmetric Equilibria with Flow in Reduced Single-Fluid and Two-Fluid Models," *Plasma Fusion Res.* **3**, 034 (2008).

LHDのMHD高精度シミュレーションによるバルーニング不安定性シミュレーション研究

分野：JIFT

年度-課題番号：2005-JF1-11, 2009-JF-4

実施責任者：三浦英昭, *S. Mahajan, *W. Horton

Affiliation：National Institute for Fusion Science, *Institute for Fusion Studies (USA)

所属：核融合科学研究所, *テキサス大学核融合研究所

我々は核融合科学研究所の大型ヘリカル装置(LHD)のMHD/拡張MHDシミュレーションを行っている。我々の研究では、高波数バルーニングモードの飽和機構を適切に理解するため、高解像度シミュレーションを行ってきた。従来、LHDにおけるMHD不安定性の飽和は圧力分布の局所的な平坦化によるものと考えられてきた。しかし、従来のシミュレーションは平均化手法を使った簡約化MHD方程式を解くものであったため、LHDの3次元形状の影響や流体の圧縮性、高波数バルーニングモードの影響は理解されないうままになっていた。

この問題を理解するため、簡約化を行わない完全3次元圧縮性MHD方程式のシミュレーションを、高波数までの解像度をもつMHDコードMINOS(MHD In Non-Orthogonal System)を用いて行った。このシミュレーションから、MHD不安定性の飽和機構には、圧力の平坦化の他に、圧縮性による線形不安定性の抑制機構、トロイダル方向に流れを生成することで不安定性のポロイダル断面への影響を低下させる機構の少なくとも3種類があることが明らかになった。

^{1,2)} JIFT-JF1-11では、このような不安定性の飽和機構及び高精度シミュレーションについての共同研究を行った。この共同研究の後、磁力線平行方向と垂直方向を高精度手法で分離しつつシミュレーションを行い、高波数バルーニングモードが成長する場合には上記の3つの機構よりも磁力線平行方向の熱伝導が大きな役割を果たしている事を明らかにした。

³⁾ (Fig. 1は、高波数バルーニングモードの成長を、LHD形状と重ねて表示したものである。)

本研究は更に、二流体効果への拡張と計算時間の短縮を意図して、拡張MHD方程式のLarge Eddy Simulation (LES)の研究へと発展しつつある。

(2009-JF-4.) LESでは方程式の非線形項をモデル化しなければならず、また、今後の数値実験の実施に寄与するためには、粒子と場の相互作用を考えなければならない。現在、単純化したテスト問題を通じて、これらの課題の解決に取り組んでいる(Fig. 2)。これについての初期段階の研究成果は4), 5)を参照されたい。

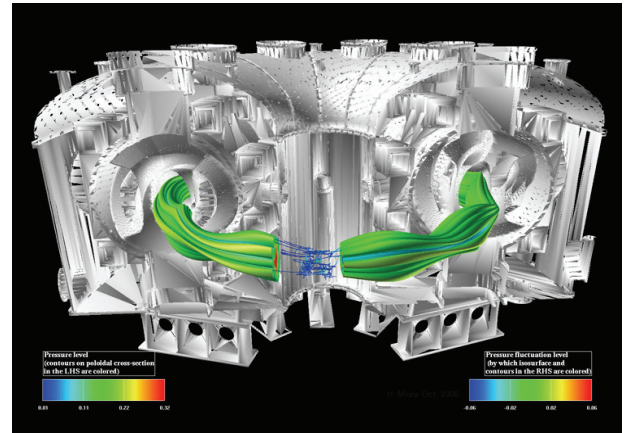


Fig.1: Isosurface of the pressure in the MHD simulation of LHD. The flute-like structures represent growth of the ballooning-modes.

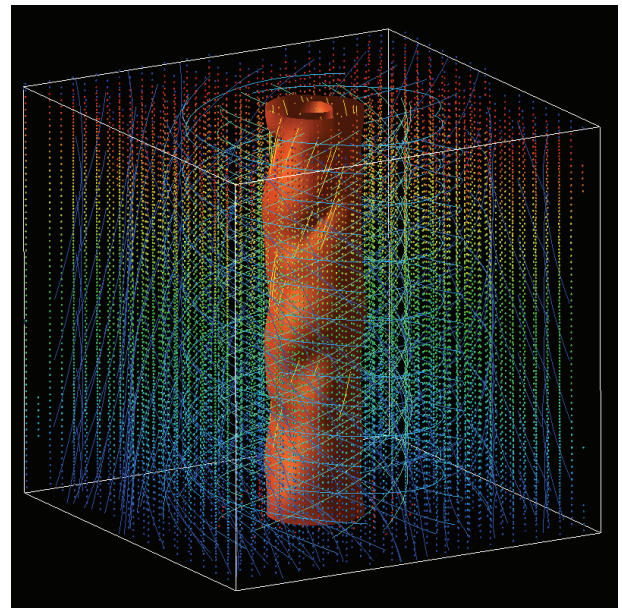


Fig.2: Test particle simulations with a vortex.

- 1) H. Miura et al, Fusion Sci. & Tech. Vol.51 (2007) 8-19.
- 2) H. Miura et al. AIP Conference Proceedings Vol.871 (2007) pp.157-168
- 3) H. Miura and N. Nakajima, to appear in Nuclear Fusion (2010).
- 4) H. Miura and N. Nakajima, submitted to 23rd IAEA FEC (Oct. 2010, Dajeon, Korea)
- 5) W. Horton, C. Correa, H. Miura, B. Rodenborn, Bull. 2009 APS April Meeting Vol.54 .

カオス拡散を伴う磁気リコネクションにおけるエネルギー変換

分野：核融合理論

年度-課題番号：2006-JF1-12,

実施責任者：大谷寛明, Wendell Horton*, Tomio Petrosky**, 堀内利得

所属：核融合科学研究所, *)テキサス大学オースティン校核融合理論研究所, **)テキサス大学オースティン校複雑量子系センター

本研究テーマは、2005年10月から2006年1月まで、客員教授して、テキサス大学オースティン校複雑量子系センターの T.Petrosky 博士が NIFS に滞在した際の共同研究として開始された。それ以降も共同研究は様々な形で継続されてきた。2007年にテキサス大学オースティン校核融合理論研究所 (IFS) に大谷 (NIFS) が訪問し、JIFT 計画の援助によって2ヶ月間滞在した折りに、IFS の Horton 教授にも本共同研究にご参画いただき、より緊密な共同研究を進めることができた。以下では、そのうちの1つの共同研究テーマについて報告する。

磁場凍結条件の破れにおけるメアンダリング粒子の役割

開放系3次元粒子シミュレーションコード PASMO は磁気リコネクション研究のために NIFS で開発されてきた。PASMO を使って、無衝突駆動型磁気リコネクション現象におけるダイナミクスやプラズマ不安定性について調べている。

上流境界に加えられた駆動電場によって、プラズマのフローと磁気フラックスが上流から中心へと向かう。駆動電場は粒子の運動論的效果によって電流シートへと侵入し、その中心に到達すると、磁気リコネクションを誘発する。

駆動フローの影響で無衝突リコネクションが発生するイオン拡散領域近傍では、圧力テンソル項 $\frac{1}{qn} \frac{\partial \Pi_{yz}}{\partial y}$ によって磁場凍結条件が破られる (図1)。ここで q は電荷, n は数密度, Π_{ij} は圧力テンソルである。圧力テンソルは、リコネクション発生領域近傍における複雑な粒子の運動「メアンダリング運動」に起因するものである。このメアンダリング運動と圧力テンソルの関係を調べるため、簡単なモデルを構築した。このモデルで用いた近似は以下のとおりである。(i)メアンダリング運動の平均的な振幅は粒子の位置と局所イオンラーマー半径で決められる。(ii)磁場は線形で変化する。(iii)拡散領域の大きさはメアンダリング運動の振幅と等しい。(iv)圧力テンソルは、semi-cold プラズマ近似で与えられる。このモデルのもとで、圧力テンソル項を求めると、

$$\frac{1}{qn} \frac{\partial \Pi_{yz}}{\partial y} = -\frac{1}{qn} \frac{mnE_z B'_x v_{th} (B_x'^2 y^2 - B_y^2)}{(B_x'^2 y^2 + B_y^2)^2}, \quad (1)$$

のように導かれる。ここで m は質量, B'_x は B_x の線形変化の係数である。図1は force-balance 方程式

$$E_z + (u \times B)_z = \frac{m}{q} \left\{ \frac{\partial}{\partial t} + (u \cdot \nabla) \right\} u_z + \frac{1}{qn} \left(\frac{\partial \Pi_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \Pi_{yz}}{\partial y} \right) \quad (2)$$

と解析解 (Eq. (1)) の空間 profile を示している。ここで, u は flow velocity である。この解の変化傾向 (オレンジ色の線) は、シミュレーション結果の圧力テンソル項 $\frac{1}{qn} \frac{\partial \Pi_{yz}}{\partial y}$ (空色) と一致している。このことから、メアンダリング運動は無衝突リコネクションにおいて重要な役割を果たしていることが分かる。

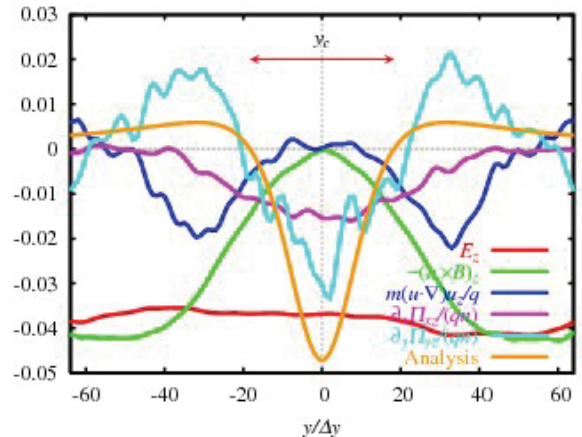


Fig. 1. Spatial profiles of terms of the force balance equation (Eq.(2)) for ion and analytic solution (Eq.(1)) of $\frac{1}{qn} \frac{\partial \Pi_{yz}}{\partial y}$ along y direction through the reconnection point. Red, green, blue, magenta, sky blue and orange lines show E_z , $-(u \times B)_z$, $m(u \cdot \nabla) u_z / q$, $\frac{1}{qn} \frac{\partial \Pi_{xz}}{\partial x}$, $\frac{1}{qn} \frac{\partial \Pi_{yz}}{\partial y}$ in the simulation result, and analytic solution of $\frac{1}{qn} \frac{\partial \Pi_{yz}}{\partial y}$, respectively.

1) H.Ohtani, W.Horton, T.Petrosky and R.Horiuchi: J. Plasma Fusion Res. SERIES, Vol.8, (2009), pp.203-207.

抵抗性壁モード安定性および外的不整磁場による磁気島生成に対するプラズマ回転効果

分野：核融合理論

年度-課題番号：2006-JF1-11, 2007-JF1-5, 2008-JF1-6

実施責任者：古川 勝¹⁾, Linjin Zheng²⁾

所属：¹⁾東京大学 大学院新領域創成科学研究科, ²⁾テキサス大学オースティン校核融合研究所

トカマクプラズマ放電の高ベータ化、長時間化に伴い、比較的遅い時間スケールの MHD 現象、例えば抵抗性壁モード (Resistive Wall Mode, RWM) や新古典テアリングモード (Neoclassical Tearing Mode, NTM) がディスラプションや閉じ込め性能の劣化を招き、核融合開発の観点で深刻な問題となっている。またそれらの物理的理解も重要課題である。実験的には、プラズマのトロイダル回転が RWM を安定化することが示され、また安定化に必要な回転速度が外的要因による不整磁場と密接に関連していることが明らかになっている。この外的不整磁場は、プラズマ中に浸透し増幅され、共鳴面で磁気島を生成し得るため、NTM と密接に関連している。つまりこれらの問題は切り離し難い要素が絡み合っている。このような状況を踏まえ、本研究の目的は、プラズマ回転がある状況下での RWM 安定性や不整磁場による磁気島生成に関する理論モデルや解析方法の開発、シミュレーションによる検証等を行うことである。

まず、我々は、低ベータ簡約化 MHD シミュレーションを円柱配位で行い、不整磁場の浸透に対するプラズマ回転の効果について調べた¹⁾。回転とプラズマ端での不整磁場を固定し、過渡的運動の後の定常状態を観察した。平衡の回転速度がゆっくりと変化する場合には、本研究で求めた準定常状態を連続的につないだ時間変化をすると考えられる。Fig. 1 には、有理面での摂動磁束 $|\psi_{2/1}(r_s)|$ を回転速度 v_{0s} に対して示している。 $|\psi_{2/1}(r_s)|$ 、つまり有理面に生成される磁気島幅は、 v_{0s} がある閾値よりも大きくなると急激に減少し始める。電気抵抗 η が小さいほどこの閾値は小さい。これは、回転によって、Alfvén 共鳴面近傍に生成される抵抗層が有理面の両側 2 枚に分解し、回転が十分に速いときには 2 枚の電流シートが有理面に重ならない状態となって十分な遮蔽効果が得られるためであると考えられる。 η が小さいほど、遅い回転でもこの状態に達する。さらに、浸透した不整磁場が作る回転減速トルクも計算し、 v_{0s} が十分に速い領域ではトルクは v_{0s} に比例し、また η に依らないことを示した。

回転によって 2 枚の抵抗層が分離する状況は、実は従来の漸近接続理論で扱うのが難しい。他にも従来の漸近接続理論に内在する困難を解決するため、我々は新しい数値接続法を開発した²⁾。これは、有理面近傍の内部層を無限に薄い層とする漸近接続では

なく、有限幅の内部層を用いた直接接続である。主な利点は、負磁気シアプラズマで安全係数の最小値が有理数となる場合にも使えること、特異点を数値計算で扱う必要がなく精度が得られやすいこと、初期値問題としての定式化も容易であること等である。円柱配位でテアリング (シングル, ダブル)、内部キック、交換型モードについて線形安定性計算を行い、従来の理論的結果と良い一致を得た。

さらに、 η が空間勾配をもつ場合に生じ得る「電流交換型テアリングモード」を新たに発見した³⁾。 Fig. 2 は、そのモード構造であり、有理面 $r=0.5$ で $\psi_{2/1}$ が有限つまり磁気島が生成されることがわかる。

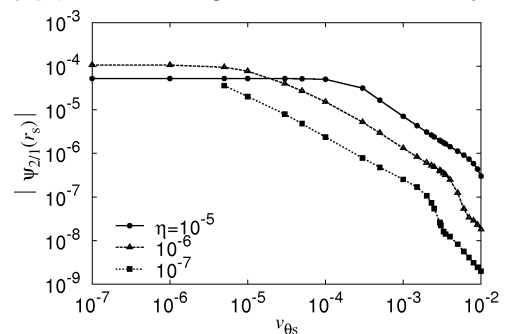


Fig. 1. Magnetic flux of the penetrated error field $|\psi_{2/1}(r_s)|$ versus the rotation speed at the rational surface.

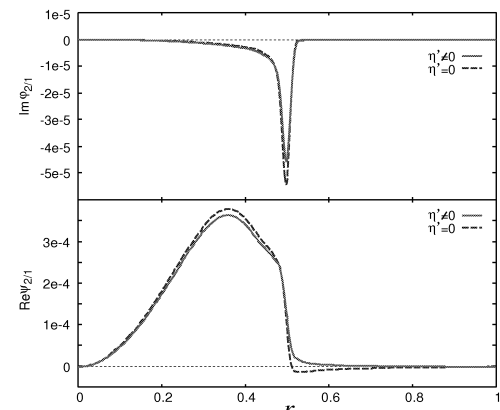


Fig. 2. Mode structure of newly-discovered “current-interchange tearing mode”.

1) M. Furukawa and L. -J. Zheng, Nucl. Fusion **49** (2009) 075018; The 22th IAEA Fusion Energy Conference, TH/P9-13 (2008).

2) M. Furukawa, S. Tokuda and L. -J. Zheng, Phys. Plasmas (accepted, 2010); The 50th Ann. Meeting Div. Plasma Phys., American Phys. Soc., CP6.73 (2008).

3) L. -J. Zheng and M. Furukawa, Phys. Plasmas (accepted, 2010); L. -J. Zheng and J. W. Van Dam, The 51th Ann. Meeting Div. Plasma Phys., American Phys. Soc., UP8.84 (2009).

JIFT Workshop on Gyrokinetic Simulation of Plasma Transport

Category: JIFT

Year/Number: 2007-JF1-1

Names: T. S. Hahm (PPPL), H. Sugama (NIFS)

This workshop was held at the High Temperature Plasma Center, Kashiwa Campus, The University of Tokyo, September 24 and 25, 2007.

The workshop consisted of 4 sessions: (I) Recent Progress in Gyrokinetic Simulation, (II) Theory and Experiments on Momentum Transport, (III) Theory and Simulation of Electric Fields and Flows, and (IV) Multi-Scale Physics, New Fluid Simulation.

In addition, there was a special lecture entitled “Plasma Waves and Instabilities in Shear Flow—A Frontier of Functional Analysis beyond von Neumann’s Theorem.” Talks were presented by 11 scientists from Japan, 2 from US, and 2 from EU. Recent results from theoretical and simulation studies about plasma transport based on gyrokinetic and gyrofluid models were reported. Comparative studies of theoretical modeling and experimental results of toroidal momentum transport in tokamaks and helical systems were made. Also, topics such as zonal flows, geodesic acoustic modes, and multi-scale interactions in ion temperature gradient (ITG) turbulence were discussed.

Several papers that were subsequently published acknowledged simulating scientific exchanges during this workshop. One such paper [1] presented a refined formulation of the gyrokinetic equations for plasmas with large flow shears caused by an equilibrium electric field. Through the choice of a more suitable equilibrium drift velocity for the reference frame of a charge particle, the accuracy of the gyrokinetic equations can be significantly improved. Another paper [2] showed the derivation of an energy conserving set consisting of the fully electromagnetic nonlinear gyrokinetic Vlasov equation and Maxwell’s equations, where this set of equations is applicable both to L-mode turbulence with large amplitude and to H-mode turbulence in the presence of large ExB shear. A third paper [3] described how plasma parameter scans—such as the plasma current, neutral beam heating power, and electron density—had been used to obtain properties of the toroidal momentum diffusivity and the convection velocity in H-mode plasmas in the JT-69U experimental facility.

- [1] G. Kawamura and A. Fukuyama, “Refinement of the gyrokinetic equations for edge plasmas with large flow shear,” *Phys. Plasmas* **15**, 042304 (2008).
- [2] T.S. Hahm, Lu Wang, and J. Madsen, “Fully electromagnetic nonlinear gyrokinetic equations for tokamak edge turbulence,” *Phys. Plasmas* **16**, 022305 (2009).

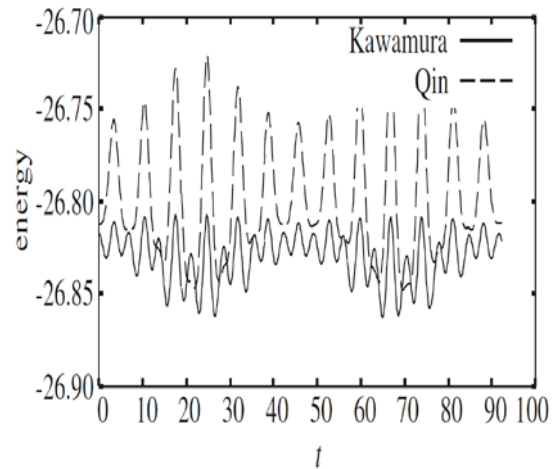


Fig. 1. Time evolution of the particle energy as calculated with a refined version of the gyrokinetic equations for large flow shear, compared to the previous analysis of Qin [from Ref. 1]

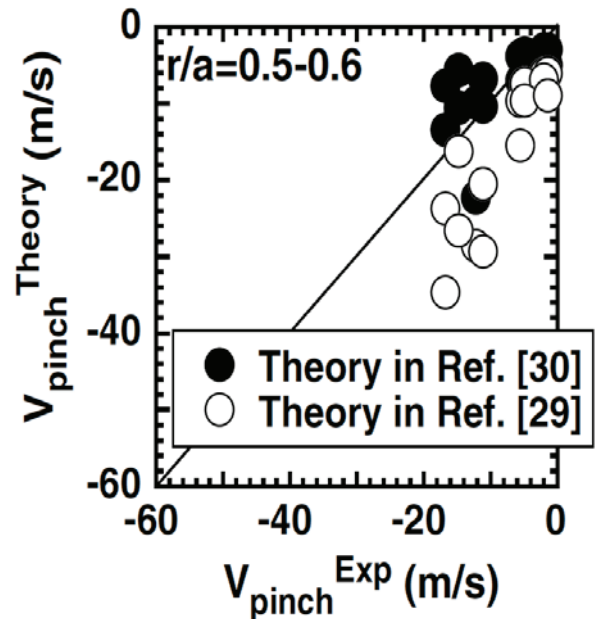


Fig. 2. Comparison of the pinch velocity from modulation experiments in JT-60U with that calculated from two theories [from Ref. 3]

- [3] M. Yoshida, Y. Kamada, H. Takenaga, et al., “Characteristics of momentum transport in JT-60U H-mode plasmas,” *Nucl. Fusion* **49**, 115028 (2009).

高速点火核融合における相対論的高速電子輸送解析

分野：核融合理論共同研究組織
 年度-課題番号：2007-JF1-10
 実施責任者：城崎 知至, Y. Sentoku*
 所属：大阪大学レーザーエネルギー学研究センター,
 *ネバダ大学レノ校

高速点火核融合においては、あらかじめ爆縮した高密度コアに、超高強度レーザーを照射して極短時間(～10ピコ秒)にコアを点火温度まで加熱し、核融合点火燃焼を実現する。この加熱過程では、加熱用レーザー導波路確保のために金コーンが用いられる。加熱レーザーのエネルギーは高速点火原理実証実験第一期(FIREX-I)では10kJ、将来の燃焼実験においては～100kJとなる。このため、金コーンは加熱レーザーにより発生する高速電子により加熱され10keV以上に達し、高電離度に達することが予測される。このような高Z物質が高電離度に達した場合、コーン内部に入射した高速電子は、クーロン相互作用によりエネルギーの一部を失うとともに、散乱によりそのビーム性が失われることが懸念される。これまで、このような高電離度に達した金コーンとのレーザープラズマ相互作用、並びに金コーン中での高速電子輸送を考慮した解析はなく、本派遣事業において、はじめてその影響を評価した。

解析は、1次元PIC・Fokker-Planck結合シミュレーションにより行った。最初に、ネバダ大リノ校 Sentoku 博士の衝突・電離過程を考慮したPICコードを用いて加熱レーザーと金コーンとの相対論的レーザー相互作用を評価した。さらに、粒子計算により得られる高速電子スペクトルを金コーンチップへの入射電子スペクトルとして用い、派遣研究者の相対論的Fokker-Planckコードによりコーンチップ内での高速電子輸送計算を行った。

粒子シミュレーションより得られた高速電子プロファイルを Fig.1 に示す。シミュレーションではコーンチップ材として従来用いられている金と代替材として低ZのCHを用いた。レーザー照射初期はいずれの場合も電離が進んでいないため、電子ビーム強度に材質による差異は見られない。しかし電離が進むにつれ、高Z材である金の場合にはビーム強度が著しく低下している。高Z材中では、発生した高速電子がバルク電子との衝突でエネルギーを失うとともに、高電離に達した金原子により散乱されるためである。その結果として、散乱と減速の影響を強く受け、生成時に比べてコーンチップから放出される高速電子のビームエネルギーは大きく低下し、ビーム広がりが大きくなることが示された。特に、コア加熱に寄与する1MeV以下の電子はこの影響が大きいことが明らかとなった。

次にPICシミュレーションより得られた高速電子プロファイルをFokker-Planckシミュレーションにおける入射電子ビーム条件に用い、コア加熱計算を行った。得られた結果を Fig.2(コア温度の時間発展)ならびに Table I に示す。

高Z材の金コーンの場合に比べ、低Z材のCHを用いた場合は、コア加熱率が2倍高くなっていることが分かる。

以上の結果より、コア加熱の観点からは、衝突・散乱の影響を抑えるためにコーンチップ材には低Z材が好ましいことが示された。

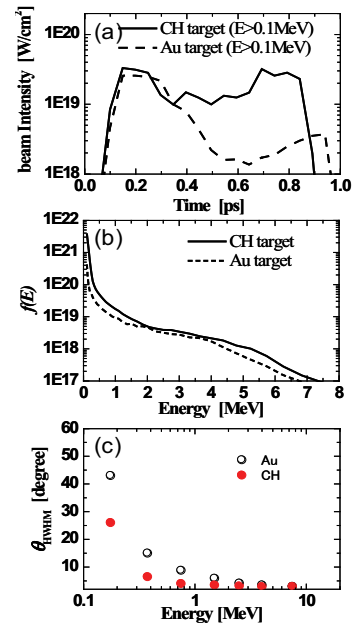


Fig.1. Comparison of observed fast electron profiles between Au and CH cone tips. (a) Beam intensity, (b) energy spectrum and (c) angular spread (full width at half maximum of angular distribution). In both cases the ionization is considered.

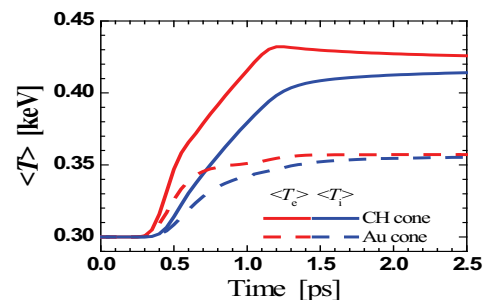


Fig.2. Temporal evolution of averaged electron (red) and ion (blue) temperatures in the core region ($\rho > 1 \text{ g/cm}^3$). The solid lines stand for the CH cone case, the dashed lines for the Au cone case.

Table I. Comparison of core heating properties

	Au cone	CH cone
Source energy [MJ/cm^2]	7.34	15.26
E_{dep} in cone* [MJ/cm^2]	0.78	1.53
E_{dep} in core* [MJ/cm^2]	1.62	3.57
$\Delta\langle T_e \rangle$ [keV]	0.057	0.13
$\Delta\langle T_i \rangle$ [keV]	0.055	0.11

* E_{dep} is deposited energy of fast electrons

準ヘリカル対称プラズマにおけるICRF少数イオン加熱のシミュレーション研究

分野：JIFT

年度－課題番号：2008-JF1-7

実施責任者：村上定義, K. Likin*, J. Talmadge*

所属：京都大学工学研究科原子核工学専攻,

* ウィスコンシン大学 HSX プラズマ研究室

HSX 装置は準ヘリカル対称性 (QHS) 磁場配位を持つ唯一の実験装置であり、ヘリカル系における磁場配位最適化を考えた場合、非常に重要な実験装置の一つである。HSX 装置では電子サイクロトロン加熱実験が行われ、QHS 磁場配位において輸送が改善し、高い電子温度が得られることが分かった。これは、QHS 配位において期待される新古典輸送の改善によるものと考えられる。また同時に、QHS 磁場配位においては、ヘリカル系装置において問題となる捕捉粒子の軌道が改善され、プラズマ加熱により発生する高エネルギー粒子閉じ込めも改善されると考えられる。しかしながら、粒子のエネルギーが増加する時、捕捉イオンの軌道が複雑なものに変化することが明らかになった。

一方、HSX 装置においては、電子とイオンを同時に加熱することが出来るイオンサイクロトロン (ICRF) 加熱実験が計画されている。これらのことから、ICRF 加熱効率の詳細な検討が必要とされている。本研究では GNET コード [1] を用いて、HSX 装置の QHS 配位における ICRF 少数イオン加熱の研究を行った。約 100kW 程度の加熱パワーを仮定し、加熱効率の評価を行った。また、シミュレーションにおいては以下のプラズマパラメータを仮定した。電子およびイオン温度: $T_{e0} = T_{i0} = 200\text{eV}$, プラズマ密度: $n_{e0} = 2 \times 10^{19}\text{m}^{-3}$, 磁場強度: $B_0 = 2.0\text{T}$.

まず計算時間を短縮するため、GNET コードを比較的強い RF 電場約 2.5kV/m を仮定し、共鳴磁場強度 B_{res} を変化させて加熱効率の共鳴面位置依存性を調べた。結果として、 $B_{res}/B_0 \sim 1.02$ において加熱効率が最大となることが分かった。次に実効的な加熱領域 r_{eff} を考慮した場合の加熱効率の B_{res} 依存性について図 1 に示す。 $r_{eff}/a = 0.66$ および 0.8 の両方の場合に、 $B_{res}/B_0 \sim 1.02$ で最適な共鳴面位置となっていることが示された。

次に、求めた最適な B_{res} を仮定し、GNET コードを用いて定常解が求まるまで計算を行い、HSX 装置における ICRF 加熱のシミュレーションを行った。図 2 は GNET コードで計算された ICRF 加熱によるテイルイオン分布を示した [$r/a = 0.1 - 0.25$ (左), $r/a = 0.5$ (中), $r/a = 0.75$ (右)]。イオン熱速度の 20 倍 (約 40keV) を超えるテイルイオン分布が共鳴面付近に発生していることが分かった。また、損失イオンの速度空間分布は LHD の場合とは異なり、ピッチ角空間に広がりを持つことが分かった。これは、捕捉粒子と通過粒子の遷移が重要である LHD の場合とは異なる損失機構が重要であることを示している。

小半径方向の RF 電場パワー吸収分布は共鳴面付近で鋭いピークを示すが、高エネルギー粒子圧力分布および加熱吸収分布は、有限軌道幅効果によると思われる広がった分布が得られた。これは有限軌道幅効果による径方向の優位な拡散が存在することを示している。

加熱効率 η に関しては、以下の様な結果が得られた。 $P \sim 58\text{kW} \rightarrow \eta = 0.47$, $P \sim 97\text{kW} \rightarrow \eta = 0.34$ また、中性粒子の密度が加熱効率を約 10% も変化させることが分かった。これらのことから、さらに詳細な検討が必要であると考えられる。

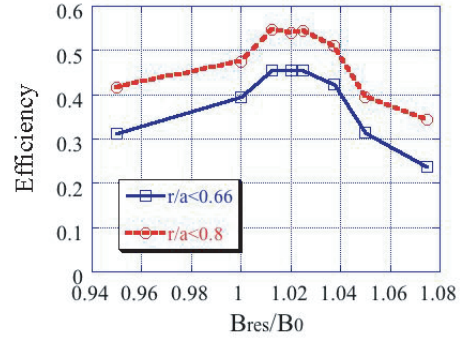


Fig. 1: Heating efficiencies assuming the effective confinement minor radius in the HSX.

[1] S. Murakami, et al., Nucl. Fusion **46**, S425 (2006).

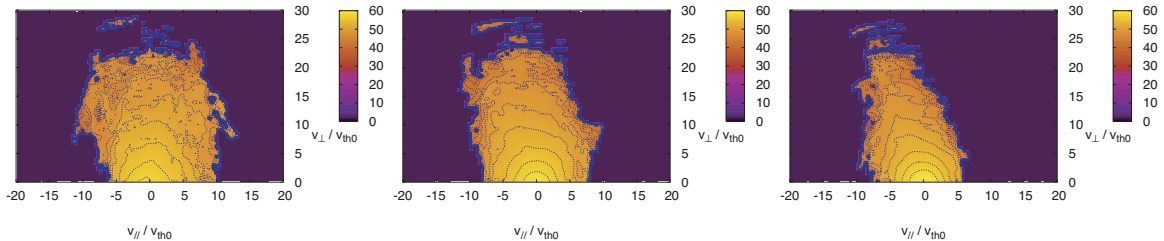


Fig. 2: Minority ion distribution in the velocity space in the HSX at the three minor radius points; $r/a = 0.1 - 0.25$ (left), $r/a = 0.5$ (center) and $r/a = 0.75$ (right).

δf法を用いた非軸対称プラズマにおける新古典輸送シミュレーション研究

分野：核融合理論／輸送シミュレーション
 年度-課題番号：2008-JF1-8
 実施責任者：佐竹 真介, Weixing Wang*
 所属：核融合科学研究所, プリンストンプラズマ物理研究所 (PPPL)*

トラスプラズマにおける新古典輸送現象は、閉じ込め磁場配位における最低限レベルのプラズマ粒子・熱輸送を決定する理論であり、プラズマ閉じ込め装置の輸送解析における重要な基礎をなすものである。閉じ込め磁場の軸対称性を仮定するトカマク型配位に比較して、核融合科学研究所のLHD実験装置のような非軸対称配位においては、新古典輸送は次の2つの影響を強く反映した、より複雑なものとなる。1つは、磁場強度の局所的なリップルに捕捉された粒子のガイディングセンター軌道が大きくドリフトすることによる新古典輸送の増大、もう1つは径電場の影響である。粒子拡散が本質的に両極性であるトカマクと違い、リップル捕捉粒子の径方向粒子束は径電場の影響を強く受け、イオンと電子の粒子束が釣り合う両極性径電場がプラズマ中に自発的に形成される。この両極性電場は磁場配位や温度・密度分布によって複数の根を持つ場合があり、どちらの根が実現されるかによって新古典輸送の大きさ変わる。

非軸対称プラズマにおける新古典輸送を高精度に解くためには、磁気座標系を用いた詳細な磁場配位の表現のもとでのガイディングセンター運動の計算、保存則を満たすクーロン衝突項の導入、そして求められる新古典粒子束と両極性径電場分布の無矛盾な扱い、などが求められる。佐竹らは、δfモンテカルロ法に基づいた非軸対称プラズマにおける新古典輸送・径電場形成のシミュレーションコード”FORTEC-3D”¹⁾を開発してきた。このシミュレーション法の数値スキームの改良や、LHD以外の非軸対称プラズマでの新古典輸送計算の応用に向けた研究の推進を目指し、FORTEC-3Dの原型となる新古典輸送コードを開発した米国PPPLのDr. Weixing Wangとディスカッションを行うために、PPPLに2008年10月22日から12月22日までの2ヶ月間滞在した。

JIFT研究計画提出時には、PPPLにおいて非軸対称プラズマ閉じ込め実験装置NCSXが建設中だったので、研究目標の一つとしてFORTEC-3DのNCSX磁場配位への適用を考えていたが、訪問直前になってNCSX計画の中止が発表された。そのため、訪問当初は主にδf法における数値スキームについてWang氏とディスカッションを行った。FORTEC-3Dはプラズマ全領域のドリフト運動論方程式を同時に解くグローバルコードであり、また粒子軌道の磁気面からのずれ

(有限軌道幅効果)を含んだ高度な計算を行う。しかし従来の局所的新古典理論との比較や、有限軌道幅効果の重要な電子輸送を扱う場合に、単一磁気面でのゼロ軌道幅極限近似の計算が行えると計算時間の短縮にもつながる。Wang氏が以前トカマクの場合に行ったゼロ軌道幅極限での計算法を非軸対称配位に当てはめた場合、シミュレーション粒子のエネルギーに誤差の蓄積が起こることを佐竹は発見していた。その解決法を2人で議論した。その成果は翌年春の日本物理学会において発表した²⁾。

また、滞在途中にPPPLの球状トカマク装置NSTXに関し、外部摂動磁場の影響による新古典トロイダル粘性(NTV)の計算にFORTEC-3Dが使えないかという打診を受けた。当時、NSTXを含むいくつかトカマクにおいて、ELM制御のために微弱な非軸対称摂動磁場をかけるという実験が注目を集めていた³⁾が、NTVがプラズマ回転を減衰させ、抵抗性壁モードの安定性などに影響を与えることが懸念されており、既存の解析的な新古典理論よりも定量的に信頼性の高い計算法を彼らは捜していた。そこでPPPLでこの問題に取り組んでいたA. Boozer, J.-K. Park, S. Sabbagh氏らも交え議論を重ねつつ、FORTEC-3Dによるプラズマ分布関数の数値計算から圧力テンソルの非等方性とNTVを直接的に評価する方法の定式化を滞在期間中に完成させた。この研究は帰国後も継続され、昨年PPPLで行われたISHW2009において数値計算コードの初歩的なベンチマーク結果について発表した⁴⁾。PPPLの研究者らとは現在もこの研究テーマで共同研究を続けており、JIFTプログラムによる訪問が新しい共同研究を始めるよいきっかけとなった。

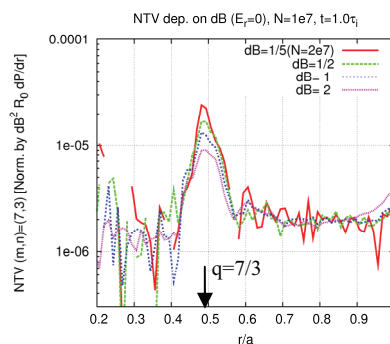


Fig. 1. トカマクに微弱な摂動磁場をかけた場合のNTV計算例。摂動磁場と共鳴する $q=7/3$ の磁気面においてピークが見られる。また、NTVが摂動磁場強度の2乗(δB^2)に比例することが分かった。

- 1) S. Satake et al, Plasma Fusion Res. 3, S1062 (2008).
- 2) “新古典輸送理論におけるゼロ軌道幅近似モデルの再検討”, 2009年3月27日、日本物理学会第64回年会
- 3) W. Zhu et al, Phys. Rev. Lett. 96, 225002 (2006)
- 4) S. Satake et al, “Calculation of Neoclassical Toroidal Viscosity in Tokamaks with Broken Toroidal Symmetry”, ISHW2009, PPPL Oct. 13, P02-21.

Reduced Nonlinear Dynamics for Turbulent Transport In Toroidal Confinement Devices

Category: JIFT

Year/Number: 2008-JF1-12

Names: W. Horton (IFS Texas), H. Sugama (NIFS),
T.-H. Watanabe (NIFS)

In about 2000, we became interested in new techniques to analyze ion temperature gradient (ITG) driven turbulence. For the infinite chain of linked fluid transport equations, we wanted to find a fluid closure that would reproduce the most important aspects of the full gyrokinetic equations. In the 1990s, we had completed a series of studies of fluid turbulence theory and simulations for the resistive-g mode and the Hasegawa–Wakatani drift wave model. Our fluid simulations showed that nonlinear interactions in the unstable spectrum produced sheared azimuthal ExB flows and an oscillation in the parallel thermal flux. The question was how to find an accurate ITG gyrofluid model.

We wanted a new closure procedure with parallel heat fluxes that would give accurate nonlinear energy conservation laws and correct entropy production functions. Using the unstable Vlasov-Poisson ion temperature gradient (ITG) modes, we searched for closures that reproduced the unstable and stable spectra. This implied preserving the time-reversal symmetry of the collisionless kinetic equation. After studying the closure of Mattor and Parker (1997), we eventually found a closure that preserves time reversibility and whose unstable-stable spectrum agrees fairly well with that from the plasma dispersion function of the exact kinetic equation. The key point is that the new non-dissipative collisionless closure method enabled the very accurate calculations of the parallel thermal flux driven by temperature fluctuations that are required.

Our result [1] led to a series of simulations and derivations of reduced gyrofluid equations [2]. The most recent concerned zonal flows driven by turbulence [3], simulated with the GKV code.

The GKV code of Sugama and Watanabe is now widely used for turbulence simulations. It solves for the fluctuation distribution function directly on high-resolution parallel velocity grids, which allows accurate tracking of the phase and amplitude of higher order parallel velocity moments. Comparison with the Hammett-Perkins closure showed that the GKV solutions reproduce the radial turbulent thermal flux more accurately.

During Horton’s three-month visit to NIFS in 2007 as the JIFT Visiting Professor, the GKV code was benchmarked on several large-scale parallel computers, including Ranger at the University of Texas and Blue Gene at ORNL. The code showed good linear scaling with the number of processors.

This joint work is continuing. The new closure models are now being used in the pseudo-spectral simulations with ion-temperature-gradient and electron-temperature-gradient turbulence gyrofluid models.

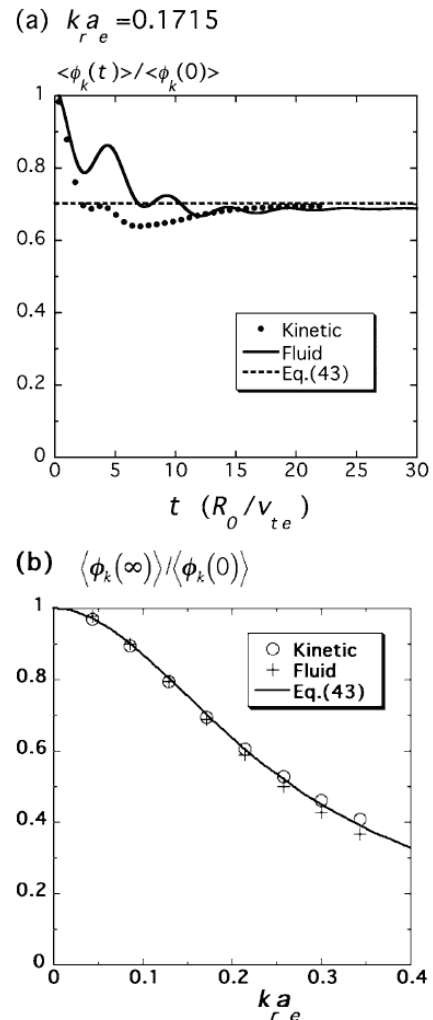


Fig. 1. Time evolution of the zonal flow potential, comparing kinetic and fluid results, as functions of (a) time and (b) wave number. [from Ref. 3]

- [1] H. Sugama, T.-H.Watanabe, and W. Horton, “Collisionless kinetic-fluid closure and its application to the three-mode ITG system,” *Phys. Plasmas* **8**, 2617 (2001).
- [2] H. Sugama, T.-H.Watanabe, and W. Horton, “Comparison between kinetic and fluid simulations of slab ITG driven turbulence,” *Phys. Plasmas* **10**, 726 (2003).
- [3] H. Sugama, T.-H.Watanabe, and W. Horton, “Collisionless kinetic-fluid model of zonal flows in toroidal plasma,” *Phys. Plasmas* **14**, 022502 (2007).

Anisotropic Pressure Diffusion in the HINT Code

Category: JIFT

Year/Number: 2009-JF-9

Names: S. Hudson (PPPL), N. Nakajima (NIFS)

Dr. Hudson from PPPL spent three months at NIFS as the JIFT Visiting Professor (summer 2009). During this time, he performed research in collaboration with Dr. N. Nakajima concerning how to realistically and efficiently compute MHD equilibria in the presence of chaotic magnetic fields.

Analyses of plasma behavior often begin with a description of the ideal magnetohydrodynamic equilibrium, this being the simplest model capable of approximating macroscopic force balance. For perfectly axisymmetric tokamaks this is a comparatively simple task, since a nested, continuous family of flux surfaces exists, i.e. the field is integrable. The ideal equilibrium equation can be reduced to the Grad-Shafranov equation, and equilibria can be found numerically. In contrast, for stellarators and perturbed tokamaks, the magnetic fields are generally non-integrable and a different approach is required.

Stellarators are designed to have good flux-surfaces, but without a continuous symmetry, perfectly integrable fields cannot be achieved. The HINT and HINT2 codes developed at NIFS, and the PIES code developed at PPPL, seek solutions to the ideal force balance equation in stellarator geometry without assuming a nested family of flux surfaces. HINT uses a relaxation algorithm, whereas PIES is based on an iterative scheme with magnetic coordinates. However, neither code adequately treats the fractal structure of pressure in a chaotic field.

A generally chaotic field will be a fractal mix of KAM surfaces, islands, and irregular field lines. Some field lines trace out structures that are infinitely complex, such as the unstable manifold. Interspersed between these irregular field-lines are periodic orbits; arbitrarily small, high-order island chains; and irrational field-lines, which may or may not trace out smooth flux surfaces. Generally, there is no region of space foliated with flux surfaces and magnetic islands and irregular field-lines will emerge at the infinitely many rational surfaces that exist between any pair of KAM surfaces. When the field is chaotic, it is extremely difficult to calculate the ideal MHD equilibrium.

In ideal force balance, the structure of the pressure is tied to the structure of the field. Thus, a continuous, nontrivial pressure has an uncountable infinity of discontinuities in the pressure gradient. The equilibrium solutions are pathological when the fields are chaotic and therefore unsuitable for numerical calculations.

If the pressure and magnetic field are continuous, the only nontrivial solutions have an uncountable infinity of discontinuities in the pressure gradient and current. The problems arise from the arbitrarily small length scales in the structure of the field, and the consequence of ideal force balance that the pressure is constant along the field-lines. A simple method to ameliorate the singularities is to include a small but finite perpendicular diffusion. A self-

consistent set of equilibrium equations is then described. Some algorithmic approaches aimed at solving these equations were investigated.

There is nothing radical about approximating an ideal MHD equilibrium by a resistive steady state, but we have come to this conclusion by considering the impact of chaotic fields on MHD equilibria, and requiring that the pressure be continuous. Since the equilibrium solutions are pathological when the field is chaotic, a nearly-ideal, resistive steady state equilibrium is the simplest model capable of computing coherent, self-consistent MHD equilibria with continuous (and non-fractal) pressure. Work towards implementing the anisotropic pressure diffusion into the HINT code has begun. Our approach, which is both computationally efficient and consistent with the structure of the HINT code, is to use locally field aligned coordinates that separate the large parallel transport from the small perpendicular transport, and thus reduces so-called “numerical diffusion.” We hope to present computational results in the near future.

- [1] S. R. Hudson and N. Nakajima, “Pressure, chaotic magnetic fields, and magnetohydro-dynamic equilibria,” *Phys. Plasmas* **17**, 052511 (2009).

5章 JUPITER-II・TITAN計画

5.1 日米協力による核融合炉工学研究の進展

日米共同プロジェクトでは、1981年度に開始されたRTNS-II計画、1987年度からのFFTF/MOTA計画、1995年度からのJUPITER計画において、主に材料の照射試験を中心に共同研究が行われた。RTNS-II計画では、米国にあった世界最強のD-T中性子源を用いた核融合中性子照射実験が行われた。この計画では低照射量ながら、日本の高度な電子顕微鏡観察技術や微小試験片技術が駆使され、D-T中性子による照射欠陥の発生と蓄積過程、組織と強度の相関などについて広範囲かつ高精度な成果が得られた。

FFTF/MOTA計画では、核融合炉材料の目標照射量である100dpaレベルでの中性子重照射効果の研究に取り組み、基礎学理に基づいた低照射から高照射にいたる損傷発達過程と材料特性変化を明らかにした。

以上の照射実験は、単純化された定常条件で照射を行った後の特性変化の研究であったが、JUPITER計画では、照射中のみに起こる特性変化、変動環境および複合環境における材料挙動の研究に取り組み、絶縁セラミックスの照射誘起伝導、温度変動照射効果、複合核変換効果などを明らかにし、核融合環境における材料挙動に関して貴重な成果を得た。

5.2 研究目的、テーマ、使用装置

5.2.1 JUPITER-II計画（2001-2006年度）

これ以前の研究では、候補材料の照射下挙動とそれに基づく材料開発を中心テーマとして進めてきたが、ブランケットにおいては、構造材料は単体ではなく接合、被覆等が施され、材料システムとして考える必要がある。さらにブランケットは増殖材、冷却材との組み合わせにより特有な技術課題があり、それらの要素技術の開発と統合化を行う必要がある。ブランケット設計研究の進展に伴い、幾つかの先進的な設計概念が提案され、必要な技術課題が具体的になりつつある。

本計画では、高エネルギー中性子による誘導放射能を著しく低減できる低放射化構造材料と、高いトリチウム増殖と高熱効率を可能とする増殖材／冷却材の組み合わせからなる、「自己冷却液体ブランケット」および「高温ガス冷却ブランケット」システムについて、ブランケットの製作・運転に必要な各種の要素技術の開発研究を行うとともに、

開発の鍵となる材料システムの照射下健全性の評価を行うことを目的とした。本計画ではさらに、各ブランケットシステムの総合評価と材料システムのモデリングによる検討を行い、実用化に向けての開発指針を明らかにした。

5.2.1.1 JUPITER-II計画研究課題とタスク一覧

表5-1に、JUPITER-II計画の研究課題とタスク一覧を示す。

5.2.1.2 アメリカの使用施設

(a) 安全・トリチウム応用研究施設 STAR (Safety and Tritium Applied Research) [INL]

アイダホ国立研究所に2001年から立ち上がった、16,000 Ci のトリチウムを使用できる研究施設であり、トリチウムプラズマ照射試験、液体増殖材のトリチウム挙動の研究に用いられている。トリチウムだけでなく、中性子照射材やベリリウムなどを使用できるのが特徴である。

(b) 高中性子束同位体炉 HFIR (High Flux Isotope Reactor) [ORNL]

HFIRはオークリッジ国立研究所にある定格100MWの研究用混合スペクトル炉である。現在85MWで運転を続けており、2035年まで運転する予定となっている。放射性同位元素の生産目的で作られたが、高速中性子および熱中性子束がともに世界最高レベルの高さをもっているため、原子力用材料の照射装置として、また中性子散乱などに幅広く使われている。雰囲気制御や高度温度制御照射、低照射量から高照射量までの照射が可能であるのが特徴である。HFIRで照射した試験片の一部は東北大学金研大洗センターに輸送され、ホットラボにおける照射後試験に用いられた。

表 5-1 JUPITER-II 計画のタスク構成

タスク		サブタスク	内容
タスク1: 自己冷却 液体ブランケット システム	1-1: 熔融塩 Flibe システム	1-1-A: Flibe の 純化と取扱い、 トリチウム化学、 安全性	Flibe の純化、移 行挙動、REDOX 制御とトリチウム 挙動の研究
		1-1-B: Flibe の 熱流動シミュレ ーション	Flibe模擬流体の 磁場下熱流動特 性
	1-2: バナジウ ム合金構 造・液体リ チウムシ ステム	1-2-A: MHD低 減セラミック コーティング	液体リチウムブラ ンケット用絶縁被 覆開発
		1-2-B:リチウム キャプセル照射	バナジウム合金の 液体リチウム環 境下照射効果
タスク2: 高温ガス冷却固体ブラ ンケットシステム	2-1: SiC/SiC複 合材料の 基礎課題と製造	SiC/SiC製作技術 開発	
	2-2: SiC/ヘリウ ムシステムの熱 機械特性	ヘリウム冷却ブラ ンケット熱構造特 性	
	2-3:ヘリウムキャ プセル照射	SiC/SiC高温照射 試験	
タスク3: ブランケットシステム モデリング	3-1:設計統合モ デリング	先進ブランケット 統合モデル構築	
	3-2:材料システ ムモデリング	マルチスケール材 料モデリング	

(c) 強磁場熱流動試験装置(MTOR) [UCLA]

幅15cm、長さ1mにわたり最大2Tの均一磁場を発生するBOBマグネットを含む強磁場熱流動試験装置であり、液体金属流動試験から高プラントル流体を模擬した電解液を用いたMHD流動実験まで幅広く対応したハイブリッドタイプの実験施設である。

5.2.2 TITAN計画 (2007-2012年度)

ブランケットは熱とトリチウムの回収を目的とする機器システムであり、従って、熱とトリチウムの移行に関して、第一壁、回収系を含めた制御の見通しを明らかにする必要がある。本計画では、JUPITER-II計画におけるブランケット研究を引き継ぎ、第一壁、回収系まで対象を広げ、「磁場および慣性核融合炉システムにおけるトリチウム・熱流動制御」というテーマで、核融合炉の第一壁、ブランケット、熱交換・トリチウム回収系各要素に跨るトリチウム移行と熱流動のメカニズムを、核融合炉特有の照射、高熱負荷、循環流動、強磁場環境下で明らかにすることを目的とする。また、統合モデルの構築を通じて、代表的な候補液体ブランケットシステムのトリチウム増殖、漏洩、インベントリー、熱回収性能等の評価を行い、核融合炉の第一壁・ブランケット開発に向けての今後の重点的な取り組みに向けて必要なデータベースを得ることを目指す。

表 5-2 TITAN 計画のタスク構成

タスク	サブタスク	使用装置	達成目標
タスク1 物質・熱輸 送現象	1-1 第一壁トリチウム・物質移行	TPE PISCES	第一壁における物質移行、トリチウムインベントリー、第一壁とブランケット間のトリチウム移行を求める
	1-2 ブランケットトリチウム移行	STAR	液体ブランケット要素間のトリチウム移行特性を明らかにする
	1-3 熱流動制御とモデリング	MTOR	強磁場環境での熱流動実験と比較モデリングを進める
タスク2 照射複合効果	2-1 照射・トリチウム複合効果	HFIR STAR	トリチウムの第一壁材、構造材における移行特性に及ぼす照射効果を求める
	2-2 接合・被覆システムの健全性	HFIR	接合・被覆材料システムの照射下健全性とトリチウム・ヘリウム同時生成効果を明らかにする
	2-3 動的変形挙動	HFIR	構造材料の照射下動的変形挙動とトリチウム・ヘリウム生成の効果を求める
共通タスク システム統 合モデル	MFE/IFE システム 統合モデリング		第一壁-ブランケット-回収系システムの物質・熱輸送に関する統合モデルを構築し、炉システム設計に反映させる

5.2.2.1 TITAN計画研究課題とタスク一覧

JUPITER-II では、対象をブランケットに限り、先進システムの要素技術開発を行った。TITAN計画では、第一壁、ブランケット、回収系を跨るトリチウムと熱の制御の要素技術開発とシステム統合を行う。表5-2に研究課題とタスクを示す。

5.2.2.2 主な使用施設

TITAN計画では、JUPITER-II計画で使用した装置に加え、以下の装置を利用した。

(d) プラズマ表面相互作用試験装置 PISCES [UCSD]

ベリリウムを含む高密度プラズマを生成できるプラズマシミュレータ。パルスレーザーを装備し、プラズマ・パルス熱負荷同時照射が可能。さらに、プラズマ診断装置や試料表面分析装置も充実している。

5.3 運営組織

表5-3にJUPITER-II計画の運営組織を、表5-4にTITAN計画の運営組織を示す。運営委員会が年1回開かれ、当該年度成果のまとめ、次年度計画の立案が行われる。

表 5-3 JUPITER-II 計画の運営組織

			日本		米国	
タスク			タスク調整官	副	タスク調整官	副
タスク1: 自己冷却 液体ブランケットシステム	1-1: 溶融塩 Flibe システム	1-1-A: Flibe の純化と取扱い、トリチウム化学、安全性	寺井隆幸	奥野健二/ 西川正史	D.A. Petti	R.A. Anderl
		1-1-B: Flibe の熱流動シミュレーション	戸田三朗/ 功刀貴彰	功刀貴彰/ 横峯健彦	M.A. Abdou	N. Morley
	1-2: バナジウム合金構造・液体リチウムシステム	1-2-A: MHD低減セラミックコーティング	室賀健夫	室賀健夫	R.J. Kurtz	B.A. Pint
		1-2-B: リチウムキャプセル照射	室賀健夫	松井秀樹		G.R. Odette
タスク2: 高温ガス冷却固体ブランケットシステム	2-1: SiC/SiC複合材料の基礎課題と製造		長谷川晃	檜木達也	R.H. Jones/ L.L. Snead	Y. Katoh
	2-2: SiC/ヘリウムシステムの熱機械特性			清水昭比古		A. Ying
	2-3: ヘリウムキャプセル照射			長谷川晃		L.L. Snead
タスク3: ブランケットシステムモデリング	3-1: 設計統合モデリング		相良明男	橋爪秀利	N.M. Ghoniem	D. Sze
	3-2: 材料システムモデリング			関村直人		R.E. Stoller

表 5-4 TITAN 計画の運営組織



タスク	サブタスク	日本側			アメリカ側		
		タスク責任者	サブタスク責任者	副責任者	タスク責任者	サブタスク責任者	副責任者
タスク1： 物質・熱輸送現象	1-1 第一壁トリチウム・物質移行	寺井隆幸 (東大)	上田良夫 (阪大)	大野智晴 (名大) 徳永和俊 (九大)	D. Sze (UCSD)	R. Doerner (UCSD)	
	1-2 ブランケットトリチウム移行		寺井隆幸 (東大)	小西哲之 (京大) 深田 智 (九大)		P. Sharpe (INL)	P. Calderoni (INL)
	1-3 熱流動制御とモデリング		功刀資彰 (京大)	横峯健彦 (九大)		N. Morley (UCLA)	K. Messadek (UCLA)
タスク2： 照射複合効果	2-1 照射・トリチウム複合効果	木村晃彦 (京大)	波多野雄治 (富山大)	大矢恭久 (静岡大)	R. Kurtz (PNNL)	M. Sokolov (ORNL)	Y. Katoh (ORNL) P. Calderoni (INL)
	2-2 接合・被覆システムの健全性		木村晃彦 (京大)	橋本直幸 (北大)		T. Yamamoto (UCSB)	M. Sokolov (ORNL)
	2-3 動的変形挙動		長谷川晃 (東北大)	檜木達也 (京大)		Y. Katoh (ORNL)	
共通タスク： システム統合モデル	MFE/IFEシステム統合モデリング	相良明男 (NIFS)	相良明男 (NIFS)	橋爪秀利 (東北大) 栗松孝好 (阪大)	R. Nygren (SNL)	R. Nygren (SNL)	
Lab-Liaison		東北大大洗： 四藤樹男 (東北大)			ORNL： INL：	R. Stoller (ORNL) P. Sharpe (INL)	
IFE-Liaison		田中和夫 (阪大)	見玉了祐 (阪大) 米田仁紀 (電通大)		M. Tillack (UCSD)		

参考文献

[JUPITER-II計画] K. Abe, A. Kohyama, S. Tanaka, C. Namba, T. Terai, T. Kunugi, T. Muroga, A. Hasegawa, A. Sagara, S. Berk, S.J. Zinkle, D.K. Sze, D.A. Petti, M.A. Abdou, N.B. Morley, R.J. Kurtz, L.L. Snead, N.M. Ghoniem, “Development of advanced blanket performance under irradiation and system integration through JUPITER-II project”, Fusion Engineering and Design, 83 (2008) 842-849

[TITAN計画] T. Muroga, D.K. Sze, K. Okuno, T. Terai, A. Kimura, R. Kurtz, A. Sagara, R. Nygren, Y. Ueda, R. Doerner, P. Sharpe, T. Kunugi, N. Morley, Y. Hatano, M. Sokolov, T. Yamamoto, A. Hasegawa, Y. Katoh, N. Ohno, K. Tokunaga, S. Konishi, S. Fukada, P. Calderoni, T. Yokomine, K. Messadek, Y. Oya, N. Hashimoto, T. Hinoki, H. Hashizume, T. Norimatsu, T. Shikama, R. Stoller, K.A. Tanaka, M. Tillack, “Midterm Summary of Japan-US Fusion Cooperation Program TITAN”, 19th Topical Meeting on the Technology of Fusion Energy November 7-11, 2010, Las Vegas, Nevada, submitted.

5.4 研究成果の概要とハイライト

5.4.1 JUPITER-II計画

JUPITER-II計画には、日本から15大学、約60名の研究者、学生が、アメリカから10機関、約50名の研究者、学生が参加した。以下にタスクごとの主な参加者を示す。

表5-5 JUPITER-II計画への参加者リスト

タスク		サブタスク	日本側参加者	アメリカ側参加者
タスク1: 自己冷却液体ブランケットシステム	1-1: 溶融塩Flibeシステム	1-1-A: Flibeの純化と取扱い、トリチウム化学、安全性	寺井隆幸、田中知、鈴木晶大、西村秀俊(東大)、西川正史、深田智、片山一成(九大)、奥野健二、大矢恭久(静岡大)、波多野雄二、原正憲(富山大)、相良明男(NIFS)	D. A. Petti, G.R. Smolik, Michael F. Simpson, John P. Sharpe, R.A. Anderl (INL), Dai-Kai Sze (UCSD)
		1-1-B: Flibeの熱流動シミュレーション	功刀資彰、河原全作(京大)、横峯健彦、江原真司、中拂博之(九大)、佐竹信一(東理大)、戸田三朗、橋爪秀利、結城和久(東北大)	M. A. Abdou, N. B. Morley, J. Takeuchi, R. Miraghaie, S. Smolentsev, H. Huang, Y. Tajima, T. Sketchley, J. Burris (UCLA)
	1-2: バナジウム合金構造・液体リチウムシステム	1-2-A: MHD低減セラミックコーティング	室賀健夫、長坂琢也、田中照也(NIFS)、寺井隆幸、鈴木晶大、Z. Yao、澤田明彦(東大)、阿部勝憲、佐藤学、藤原充啓(東北大)	B.A. Pint, M. Li, P. F. Tortorelli (ORNL), A. Jankowski (LLNL)
		1-2-B: リチウムキャプセル照射	室賀健夫、長坂琢也(NIFS)、福元謙一(福井大)、松井秀樹、阿部勝憲、佐藤学、栗下裕明(東北大)、渡辺英雄、吉田直亮、(九大)大貫惣明(北大)	R.J. Kurtz, D.S. Gelles, M.B. Toloczko (PNNL) D.T. Hoelzer, M. Li, S.J. Zinkle (ORNL), G.R. Odette, T. Yamamoto (UCSB)
タスク2: 高温ガス冷却固体ブランケットシステム	2-1: SiC/SiC複合材料の基礎課題と製造	檜木達也、香山晃、野澤貴史、近藤創介、岸本弘立、下田一哉(京大)長谷川晃(東北大)、柴山環樹(北大)	Y. Katoh, L.L. Snead, B.A. Pint, S.J. Zinkle, E. Lara-Curzio, H-T. Lin, R.A. Lowden, G.C. McLaughlin (ORNL) C.H. Henager, Jr., G.E. Youngblood, R.H. Jones, C.A. Lewinsohn (PNNL)	
	2-2: SiC/ヘリウムシステムの熱機械特性	清水昭比古、横峯健彦(九大)、長谷川晃(東北大)、香山晃、小西哲之(京大)	A. Ying, M. Abdou, A. Abou-Sena, J. An and T. Sketchley (UCLA), Y. Katoh (ORNL)	
	2-3: ヘリウムキャプセル照射	長谷川晃、野上修平(東北大)檜木達也、香山晃、野澤貴史、近藤創介、小沢和巳(京大)、柴山環樹(北大)	Y. Katoh, L.L. Snead, B.A. Pint, S.J. Zinkle, J.L. McDuffee (ORNL), C.H. Henager, Jr., G.E. Youngblood (PNNL), N.B. Morley (UCLA)	
タスク3: ブランケットシステムモデリング	3-1: 設計統合モデリング	相良明男、田中照也(NIFS)、深田智、西川正史(九大)、田中知、寺井隆幸、鈴木晶大(東大)、戸田三朗、橋爪秀利、結城和久、千葉信也(東北大)佐竹信一(東理大)、功刀資彰(京大)	N.M. Ghoniem, S. Sharafat, M.Z. Youssef (UCLA), Da-Kai Sze (UCSD)	
	3-2: 材料システムモデリング	関村直人、沖田泰平、阿部弘亨(東大)、森下和功、渡辺淑之(京大)、佐藤学、二田伸康、松井秀樹(東北大)	B.D. Wirth (UC Berkeley), T. Diaz de la Rubia, W.G. Wolfer (LLNL), N.M. Ghoniem, S. Sharafat (UCLA), H.L. Heinisch, F. Gao, R.J. Kurtz (PNNL), G.R. Odette (UCSB), R.E. Stoller (ORNL)	

タスク1-1-A : Flibeの純化と取扱い、トリチウム化学、安全性

分野： JUPITER-II

タスク： 1-1-A

実施責任者： 寺井隆幸/D. Petti

所属： 東京大学/INEEL

先進ブランケット概念として、自己冷却 Flibe (2LiF+BeF₂ 混合熔融塩) ブランケットが検討されている。Flibe は熔融塩原子炉の減速材として利用が計画され、その熱物性等は得られていたが、化学物性、特に大量トリチウム取り扱いの必要な Flibe/トリチウム化学挙動の研究はそれほど行われてこなかった。Flibe の特徴として、融点が 459°C で少し高いものの、化学的に安定、低密度で、MHD 効果が小さく、ポンプ動力も少なくすみ、冷却剤、増殖材として兼用することができる利点がある。なお、中性子増殖能力はそれほど高くなく、TBR > 1 を達成するためには Be 増倍材が必要である。

Flibe を核融合炉の自己冷却増殖材として利用する概念設計¹⁾ を考えると、特にトリチウムインベントリ、トリチウム回収装置設計のための基本的物性の溶解度と拡散係数が求められていないことが認識されていた。また Flibe 使用上克服すべき課題として、Li が核反応してトリチウムに代わるとトリチウム化学形が TF となる。構造材としてフェライト鋼の使用が考えられるが、腐食性の TF を還元雰囲気にするための Be 挿入の速度論的効果が本研究計画で試された。

具体的研究課題²⁾として、(1)Flibe 取扱法の確立、(2)Flibe 中の不純物精製、(3)Flibe 蒸発率測定、(4)精製後の Flibe を使用した Be による酸化還元制御法の確立、(5)精製した Flibe 中のトリチウム溶解度と拡散係数の測定を行った。実験は、図に示す米国アイダホ研究所の STAR (Safety and Tritium Applied Research Facility)実験室で行われた。

Flibe 中に HF を吹き込み、同時に Be 棒を Flibe 中に挿入したときの HF 濃度変化、すなわち Flibe 酸化還元制御の実験を行った。Flibe 熔融塩中に長時間 HF+He ガス混合物 (HF 濃度 100-1000ppm) を流量 300mL/min の流速で供給し、酸素不純物を除去した後、Be 棒 (直径 7.6mm、高さ 3cm) を一定時間 Flibe 中に挿入した。固体の Be を一定時間浸漬させると、HF 濃度は一度ゼロ付近まで低下する。これは Flibe 中に物理的に Be が溶解した後、Be+2HF = BeF₂+H₂ の反応で、HF が還元され、H₂ になると同時に BeF₂ が Flibe 中に溶解するからである。適当な反応速度定数、Be の溶解速度を入力することにより計算した結果は、実験値とよく一致した^{3,4)}。全ての実験で、HF から H₂ への反応は二次反応で、反応速度定数は、1.5x10⁶mol/m³s であった。Be の浸漬時間を最大 1 時間まで変化させたところ、Be の溶解速度は、線形で、溶出率は 8.9x10⁻⁸Be/(Li₂BeF₄)/s で表せた。Be の浸漬をさらに長時間続けた後の Flibe 中の溶解 Be 量を

ICP-MS で測定したところ、Be の Flibe への飽和溶解量は 2.7x10⁻⁴Be/Li₂BeF₄であった。

Be を浸漬しないときと十分長時間 Flibe 浸漬したとき、低放射化フェライト鋼 JLF-1 を Flibe に浸漬し、腐食状況を測定した。Be を浸漬しないときには、Flibe 中の Fe と Cr の濃度は増加し、JLF-1 の腐食速度が増加した。一方、Be を浸漬したとき、Fe と Cr の侵出率は減少し、Be により酸化還元制御が働くとともに、Fe と Cr の腐食が 0.1mm/hr 以下に押さえられることが認められた。

フリーベの酸化還元制御を行わないときの、水素同位体の物質移動を測定した⁵⁻⁸⁾。また、トリチウム拡散ポットを使用してトリチウムを含む水素同位体の溶解度と拡散係数を測定した^{9,10)}。Flibe 中の水素同位体溶解度と拡散係数はともに Flibe の酸化還元状態によって大きく異なることが認められた。H₂ と D₂ は Be の酸化還元制御がないとき、水素同位体は QF (Q=H, D, T) の形で存在していることが分かり、絶対値と温度変化とも異なることが認められた。また酸化還元制御が働くときは、Q₂ が存在分子形と予想され、その結果もすべて以下の Arrhenius の関係式にまとめることができた。

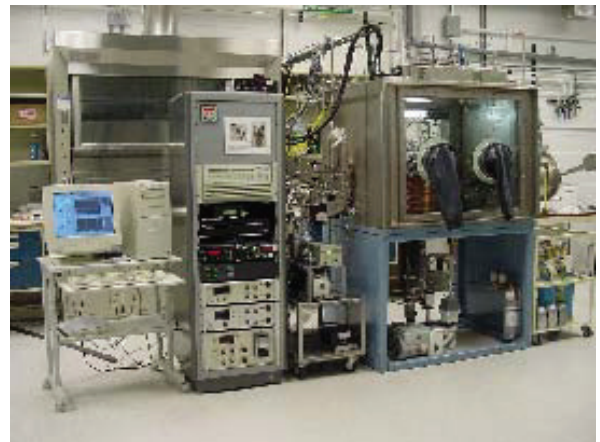


図. Flibe 取り扱いグローブボックスとガス分析装置

- 1) Sagara, A., *et al.*, Fus. Sci. Tech., 47 (2005) 524-529.
- 2) Petti, D. A., *et al.*, Fus. Eng. Des., 81 (2006) 1439-1449.
- 3) Fukada, S., *et al.*, J. Nucl. Mater., 367-370 (2007) 1190-1196.
- 4) Simpson, M. F., *et al.*, Fus. Eng. Des., 81 (2006) 541-547.
- 5) Fukada, S., *et al.*, Fus. Eng. Des., 61-62 (2002) 783-788.
- 6) Fukada, S., *et al.*, Fus. Sci. Tech., 44 (2003) 410-414.
- 7) Fukada, S., *et al.*, Proc. of the 6th International Be Workshop, Miyazaki, Japan, Dec. 3-5, 2003, 275-286.
- 8) Anderl, R. A., *et al.*, Proc. of the 6th International Be workshop, Miyazaki, Japan, Dec. 3-5, 2003, 265-274.
- 9) Fukada, S., *et al.*, Fus. Sci. Tech., 48 (2005) 666-669.
- 10) Calderoni, O., *et al.*, Fus. Eng. Des., 83 (2008) 1331-1334.

タスク1-1-B : FLiBeの熱流動シミュレーション

分野 : JUPITER-II

タスク : 1-1-B

実施責任者 : 功刀資彰 / M. Abdou

所属 : 京都大学 / UCLA

熔融塩 FLiBe は、高温安定性に優れ、電磁流体力学 (Magneto-Hydro-Dynamics: MHD) の圧力損失が低い魅力的な自己増殖冷却材であるが、冷却材に FLiBe を用いたブランケット設計では、いくつかの課題が指摘されている : 1) FLiBe の熱伝導率が低いこと (1.0 W/mK)、2) 融点近傍で高い動粘性を示すこと (11.5 mm²/s at 500°C)、3) トリチウム増殖能力が小さいため付加的な中性子増倍材を必要とすること、4) 構造材は 650°C 以上の高温環境に耐えられることなどである。この高粘性と低熱伝導率を有する FLiBe は高プラントル数流体と呼ばれ、十分大きな伝熱性能を引き出すためには、強い磁場環境下でも流れを大きく乱して乱流状態を形成する必要がある。従って、高プラントル数流体の熱流動特性に及ぼす磁場の影響を調べることはきわめて重要な課題である。

図は、UCLA に設置した円管内乱流熱流動実験装置 “FLiHy” (FLiBe Hydrodynamics) の概要図である。試験には FLiBe 模擬流体として、プラントル数が同等な 30%濃度の KOH 水溶液を用いた。円管内の流速分布の測定には PIV (Particle Image Velocimetry) 法を適用し、非磁場及び磁場下の円管内乱流速度分布と乱流統計量を求めた。

管直径 D と平均速度 U 及び動粘度 ν に基づくレイノルズ数 $Re=11300$ における、普遍速度分布 (横軸は壁面摩擦速度 で規格化した壁からの無次元距離、縦軸は無次元化した速度) を測定した。DNS 結果¹⁾ と PIV 計測結果は良く一致しており、文献値²⁾とも良く一致していることを確認した。従って、本計測手法は十分な測定精度を有していると言える。また、非磁場条件での熱伝達実験を実施し、円管内乱流の発達領域で壁面熱伝達率が Dittus-Boelter 相関式と 10%以内で一致することを確認した^{3,4)}。

磁場下の MHD 乱流挙動を把握するため、300A の電流を流して最大 2 テスラの磁場を発生させ、1.4m 長の磁場内に形成された幅 15cm×高さ 25cm×長さ 1m の一様磁場空間 (主流方向の磁場変動は約 5%) に試験流路を設置し、磁場強さを表す無次元数であるハルトマン数 $Ha=0\sim 20$ について円管内の平均流速を測定した。 Ha が増加する (つまり、磁場強度が増加する) に従い、平均速度分布の形状が平坦化する様子が確認された。これと同時に、壁面近傍では Ha の増加に伴って急峻になり、「ハルトマン流れ」の特徴が再現された。

$Re=5300$ における主流方向速度成分の速度変動強度 の径方向分布を測定した。非磁場下の乱流に対

する DNS 結果から、 Ha が増加するに従い乱流強度が減少していることが確認された。この結果は、磁場を印加による Lorentz 力による「乱流の層流化」の発生を示していると考えられた。これらの結果は、MHD 円管乱流の DNS⁵⁾ と一致しており、MHD 乱流モデリング⁶⁾にも反映された。

熱伝達実験は、2 テスラの磁場下で FLiHy ループ試験部の一部を加熱テープで一様加熱して実施した⁷⁾。 $Re=9000$ の場合の無次元温度 T^+ の分布を壁からの距離 y^+ で評価したところ、 $Ha=0$ (非磁場条件) の場合は既存の Kader 相関式と一致したが、 $Ha=5$ と $Ha=10$ の実験結果は相関式から離れていた。これは、MHD 流れでは、非 MHD 流に比べて管内の流体温度が上昇することを意味しており、伝熱から見た磁場による「乱流の層流化」の証拠であると考えられる。

以上、円管内の FLiBe 模擬流体の非 MHD 乱流特性を、PIV 法を適用して計測し、既存 DNS データベースと極めてよい一致を示したことから、本 PIV 計測法の精度と適用妥当性を検証した。また、FLiHy ループが流動実験装置として十分な精度を有していることも確認できた。さらに、PIV 計測法を用いて MHD 乱流の流動特性について平均流速分布を測定し、ハルトマン流れを確認するとともに、MHD 乱流統計量の結果から、磁場効果による「乱流の層流化」現象が生じていることを定量的に示すことができた。また、熱伝達実験を実施し、管内温度分布や管軸方向熱伝達から、磁場効果による「乱流の層流化」の発生を確認できた。

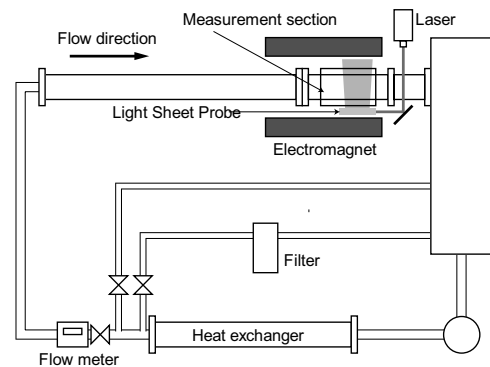


図. FLiHy 実験装置概要

- 1) Satake, S., *et al.*, Lecture Notes in Computer Science 1940, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, (2000).
- 2) Eggels, J. G. M., *et al.*, J. Fluid Mech., 268, 175, (1994).
- 3) Takeuchi, J., *et al.*, Fus. Eng. Des., 81, 601, (2006).
- 4) Takeuchi, J., *et al.*, Fus. Eng. Des. in printing (2008).
- 5) Satake, S., *et al.*, J. Turbulence, 3, 020, (2002).
- 6) Smolentsev, S., *et al.*, Int. J. Eng. Sci., 40, 693, (2002).
- 7) Nakaharai, H., *et al.*, Experimental Thermal and Fluid Science, 32-1, 23 (2007).

タスク1-2：バナジウム合金構造・液体リチウムシステム

分野： JUPITER-II

タスク： 1-2

実施責任者： 室賀健夫/R. Kurtz

所属： 核融合研/PNNL

バナジウム合金を構造材料に、液体リチウムを増殖材・冷却材に用いるブランケットは、熱輸送能力が大きく、中性子増倍用ベリリウムが不要なため構造がコンパクトかつシンプルになる魅力の高いシステムとして期待されている。バナジウム合金に関しては、近年高純度 V-4Cr-4Ti 合金 (NIFS-HEAT-2) の大量製造と部材製作技術の進歩によりブランケット試験体の製作の見通しが得られつつある。一方、このシステムには幾つかの重要課題がある。第1は、強磁場下で導電性流体であるリチウムを流す事によって生じる MHD 圧力損失であるが、これに関しては配管内部に絶縁被覆を施す事により低減が可能と見込まれている。第2はバナジウム合金の耐照射特性である。バナジウム合金自体は一般に耐照射性に優れているが、溶接部、被覆界面、様々な加工熱履歴を経た部材の照射挙動は確認されていない。また、バナジウム合金の高温使用限界を定める照射下クリープに関してのデータは殆ど無いのが現状である。本タスクにおいては、上記の主要課題を中心に要素技術の高度化を達成し、ブランケット開発の見通しを明らかにする事を目的とした。

MHD 低減絶縁被覆材の開発としては、(i)MHD 低減絶縁被覆の素材候補セラミックスの選定、(ii)絶縁性等についての確認、(iii)被覆手法の開発、(iv)被覆に生ずるクラックへの対策といった段階を踏んで開発を進めた。MHD 低減絶縁セラミックス選定の第一段階として、液体リチウムとの共存性¹⁾や高温での電気抵抗率、照射誘起導電²⁾、バナジウム合金上への薄膜形成などの評価の結果、アークプラズマ蒸着法により作製した酸化エルビウム被覆を選定した。この酸化エルビウム被覆について、液体リチウムによる腐食や割れなどを総合した絶縁特性を評価するために、高温液体リチウムを電極とした電気抵抗測定を実施した。クラック対策のため、耐食用金属被覆を MHD 被覆上に施す二重被覆(図参照)と、バナジウム合金表面近傍に酸素をあらかじめ導入し液体リチウムに溶解した金属エルビウムと反応を起こさせてクラック中に酸化エルビウムを生成させる in-situ 修復法の検討を行った結果、液体リチウム電極による高い絶縁性が確認されたほか、液体リチウム自然対流ループにおいて、優れた耐食性が確認された³⁾。以上のように、酸化エルビウムに対して二重被覆を行う事により、MHD 低減絶縁被覆の開発が可能である事が確認された。今後、候補材、被覆法、クラック修復法に幅を持たせる事が期待されるとともに、

本計画では対象としなかった配管内面への被覆作製の開発が期待される。

バナジウム合金の耐照射特性としては、(a)液体リチウム中での不純物移行によるバナジウム合金の強度変化^{4,5)}、(b)液体金属雰囲気下中性子照射における V-4Cr-4Ti 合金の照射下クリープ特性⁵⁻⁷⁾、(c)核融合炉用 V-Cr-Ti 系合金の高性能化⁸⁻¹⁰⁾、(d)液体リチウム中でのバナジウム合金溶接材の耐照射脆化特性^{11,12)}の評価を実施した。(a)については、液体リチウム中ではバナジウム合金の C, N の濃度は上昇するが、Ti-C-N 析出物として固定されるために強度への寄与は小さく、一方で、O 濃度は低下し、これによる Ti-C-O 析出物の減少と固溶 O の減少によって、973 K 以上での最大引張強度が低下することが明らかとなった。この温度域での設計応力を決定するためには、他にクリープ強度も評価する必要がある、今後の課題である。全伸びについては液体リチウム浸漬後も 10 %以上あり、顕著な延性低下は見られなかった。(b)については、HFIR や JOYO などにおける照射実験により照射下クリープ挙動の基本的パラメータが得られ、V-4Cr-4Ti の照射下健全性評価および使用寿命評価への指針が得られた。また、本研究で確立した照射クリープ試料作製、液体金属環境制御型照射キャプセル製作・実験手法・解体技術、照射クリープ試験片寸法測定技法は、バナジウム合金だけでなく、改良型ステンレス鋼の照射下クリープ試験にも応用され、現在活用されている。

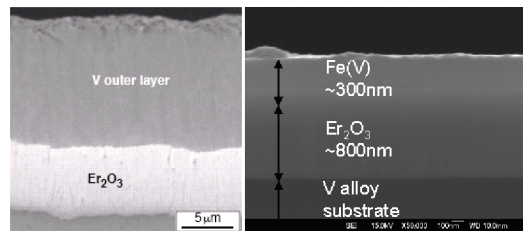


図. V-4Cr-4Ti 上に作製した酸化エルビウムとバナジウムまたは鉄の二重被覆(左:電子ビーム蒸着法、右:RFスパッタ法)

- 1) Pint, B. A., *et al.*, J. Nucl. Mater., 329-333 (2004) 119-124.
- 2) 田中照也、他、プラズマ・核融合学会誌、83-4 (2007) 391-39.
- 3) Pint, B. A., *et al.*, J. Nucl. Mater., 印刷中
- 4) Nagasaka, T., *et al.*, Fus. Eng. Des., 81 (2006) 307-313.
- 5) Meimei Li., *et al.*, J. Nucl. Mater., 367-370 (2007) 788-793.
- 6) Fukumoto, K., *et al.*, J. Nucl. Mater., 367-370 (2007) 834-838.
- 7) Nagasaka, T., *et al.*, Nucl. Fus., 46 (2006) 618-625.
- 8) Satou, M., *et al.*, Proc. 21th IAEA Fusion Energy Conference, (2006).
- 9) Chuto, T., *et al.*, STP-1447 (2004) 693-701.
- 10) Chuto, T., *et al.*, J. Nucl. Mater., 326 (2004) 1-8.
- 11) Nagasaka, T., *et al.*, Mater. Trans., 46 (2005) 498-502.
- 12) Watanabe, H., *et al.*, J. Nucl. Mater., 367-370 (2007) 794-799.

タスク2：高温ガス冷却ブランケットシステム

分野： JUPITER-II

タスク：2

実施責任者：長谷川晃/R. H. Jones

所属：東北大学/PNNL

SiC/SiC 複合材料の高温強度と低放射化特性を活かしたヘリウムガス冷却固体増殖ブランケットは、1000°C以上のガス出口温度と50%以上の高いプラント熱効率を実現できる可能性があり、発電実用炉の立場から極めて魅力的なシステムである。タスク2の目的は、新たな材料設計や開発指針に基づいた材料開発と熱機械特性や耐照射特性の評価に基づき、先進SiC/SiC複合材料を用いた高効率ヘリウムガス冷却ブランケットシステムの実現性を示すことである。この目的を達成するために、サブタスク2-1：SiC/SiC複合材料の基礎課題と製造、2-2：ペブルベッドシステムにおける熱機械的特性、2-3：高温ヘリウム環境キャプセル照射を構成し研究開発を進めた。

サブタスク2-1¹⁻⁸⁾では、材料開発と基本的な特性評価を行うとともに、開発した材料をタスク2全体に供給し効果的な役割を果たした。日本製の原料繊維を用いて、米国の施設で材料開発を行うなど、理想的な日米協力を進めた。具体的な成果としては、CVI-SiC/SiC や NITE-SiC/SiC (図参照) などの先進SiC/SiC複合材料に関する広範囲な研究開発と特性評価、先進接合・被覆技術、高緻密材料の研究、先進評価技術の開発、SiCと増殖材との共存性の評価、材料供給及び提言などが挙げられる。

サブタスク2-2¹⁰⁻¹³⁾では、ペブル層の熱機械特性を調査し、それがSiC/SiCを構造材とする2種のヘリウム冷却固体ブランケット設計に及ぼす影響を検討してきた。ペブルと構造材壁との界面コンダクタンスに関する設計値は一定値を用いることはできず、ペブル層の熱機械状態と構造材の動的境界条件によって変化する。SiC構造材とペブル間の熱膨張率の差によって生ずる熱応力は、ペブルを破碎、それによるペブル構造の変化は、ペブル層とブランケット構造材との分離、すなわち界面における空隙を形成する可能性がある。このことは、増殖材の大きな温度上昇に直結する危険性を示唆し、ARIES-I型の設計をより困難にする。一方で、ブランケット内で発生する熱回収をペブル間接触熱伝達ではなく強制対流に頼るDREAM型の場合、この危険性を緩和することは可能である。しかし、高温ヘリウム流からトリチウムを効率的に回収する技術の開発が必須となる。

サブタスク2-3¹⁴⁻²¹⁾では、革新的な材料戦略を基に開発した先進SiC/SiC複合材料を用いて高効率なガス冷却ブランケットシステムを設計しその実現可能性を示すため、HFIRを利用してガス冷却ブランケットで検討されている材料システムの中性子照射を行

いそれらの耐照射特性に関して評価を実施した。1000°C、約4dpaまでは照射に対する抵抗性が認められた。また、HFIRでは網羅できない照射条件について、国内のJMTRやJOYOを利用して中性子照射を実施すると共に、国内のイオン照射設備も利用して、SiCの核融合環境下で特徴的な核変換で生成するHeと照射欠陥の相互作用についてHFIRを補完するデータの収集を行った。これまでの照射研究により、先進SiC/SiC複合材料の優れた耐照射特性が明らかになると共にSiC/SiC複合材料設計の耐照射特性に関する材料設計指針が有効であることを確認した。これらから、SiC/SiC複合材料を用いて高温ガス冷却システムが構築可能である見通しをたてることが出来た。

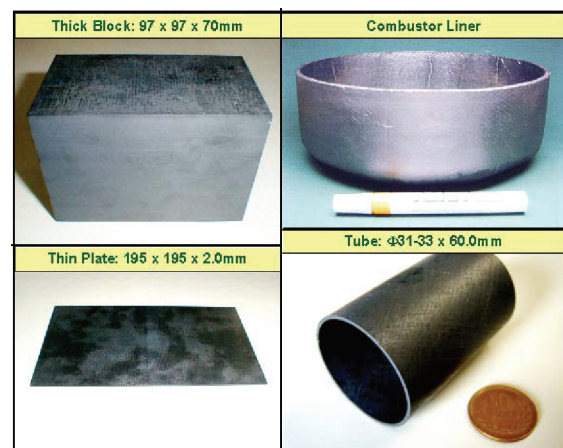


図. 種々の形状のNITE-SiC/SiC複合材料

- 1)Hironaka, K., *et al.*, J. Nucl. Mater. 307 (2002) 1093-1097.
- 2)Nozawa, T., *et al.*, Ceram. Trans. 139 (2002) 127-138.
- 3)Hinoki, T., *et al.*, Ceram. Trans. 144 (2002) 55-67.
- 4)Hashiba, M., *et al.*, J. Vac. Soc. Japan 45 (2002) 145-148.
- 5)Hino, T., *et al.*, Fus. Sci. Tech. 43 (2003) 184-190.
- 6)Katoh, Y., *et al.*, J. Am. Ceram. Soc. 88 (2005) 3088-3095.
- 7)Nozawa T., *et al.*, Mater. Trans. 46 (2005) 543-551.
- 8)Katoh, Y., *et al.*, Key Engineering Materials 287 (2005) 346-351.
- 9)Ying, A., *et al.*, J. Nucl. Mater., 329-333 (2004) 1605-1609.
- 10)Longhurst, G. R., *et al.*, Proc. 6th IEA International Workshop on Beryllium Technology for Fusion, Miyazaki, Japan, March 2004.
- 11)An, Z., *et al.*, Fus. Sci. Tech., 47-4 (2005) 1101-1105.
- 12)Calderoni, P., *et al.*, Fus. Eng. Des., 81 (2006) 607-612.
- 13)An, Z., Ying, A., Abdou, M., Journal of Nuclear Materials, 367-370 (2007) 1393-1397
- 14)Hinoki, T., *et al.*, J. Nucl. Mater., 307-311 (2002) 1157-1162.
- 15)Katoh, Y., *et al.*, 19th IAEA Fusion Energy Conference, Vol. IAEA-CN-94 pp. FT/P1-03 2002.
- 16)Kondo, S., *et al.*, Fus. Sci. Tech., 44 (2003) 181-185.
- 17)Nogami, S., *et al.*, J. Nuc. Mater., 329-333, (2004), 577-581.
- 18)Nogami, S., *et al.*, STP 1447, (2004), 655-669.
- 19)Nozawa, T., *et al.*, J. ASTM Int., 2[2] (2005).
- 20)Ozawa, K., *et al.*, Mater. Trans. 47 (2006) 207-210.
- 21)Katoh, Y., *et al.*, J. Nucl. Mater., 367-370 (2007) 758-763.

タスク3：ブランケットシステムモデリング

分野： JUPITER-II

タスク： 3

実施責任者： 相良明男 / N. Ghoniem

所属： 核融合研 / UCLA

ブランケットシステムの工学モデル構築には、基礎的知見に基づくモデル化が必要である。本タスクでは、基礎実験による先進ブランケットシステムの開発とともに、これらに必要な要素モデルをミクロな物理的基盤に基づいた計算機シミュレーションによって構築し、設計データベースの構築を進めた。また、ブランケットシステムの挙動予測を目指して、核融合炉環境でのモデルの階層的及び有機的結合と高度化を進め、これを検証する手段を考察した。

ブランケットモデリング¹⁻⁶⁾として、まず、Flibeブランケット第一壁における効率的な冷却システムを確立するため、溶融塩強制循環ループ TNT (Tohoku-NIFS Thermofluid Loop)を用いて高温環境かつ高 Pr 数流体の熱伝達促進技術、ならびに高温溶融塩に関する取り扱い技術に関する知見を取得した。これらの球充填管熱伝達実験の結果と内部流動構造の可視化を基に、高 Re、高 Pr 数において適用可能な伝熱相関式を構築した。さらに、得られた伝熱相関式を用いて、ブランケットへの適用可能性を評価した結果、設計条件の最適化による ITER-TBM への適用可能性が示された。次に、溶融塩 Flibe からのトリチウム回収システムについて、ヘリカル型核融合炉の概念設計 FFHR-2 を対象とし、定常運転時の温度条件に基づき、核融合炉全体のトリチウム物質収支を評価した。その結果、有望となる Flibe 自己冷却トリチウム回収システムは、トリチウム透過装置と気液向流充填塔であることが判明した。

材料モデリング⁷⁻¹¹⁾として、(1)照射場評価の高度化 (NPRIM コードの開発)、(2)照射下材料ミクロ変化のマルチスケールモデリング要素技術開発、(3)照射下材料の機械特性変化予測に必要な照射欠陥-転位間相互作用のモデル開発や被覆材の界面強度に関する第一原理計算評価などを行った。(1)の NPRIM は、Windows や Macintosh 上での動作が可能であり、また、ユーザーフレンドリーなインターフェイスをもつ。例えば、クリックひとつで、HFIR 炉や JMTR 炉などの主な材料試験炉の中性子スペクトルを選択することが可能になっている。(2)について、照射下材料内で起こる現象は、時間的にも空間的にもエネルギー的にもマルチスケールな現象である (図参照)。このような現象を正しく理解し、照射下材料挙動を精度よく予測するためには、分子動力学解析、キネティックモンテカルロ法、加速器結合型電子顕微鏡によるイオン照射その場観察実験など、複数の理論解析手法や実験手法を相補的に活用しながら、

問題の本質に迫っていく必要がある。本タスクでは、材料照射損傷の要素過程である欠陥集合体の拡散挙動、および、欠陥集合体の核生成・成長過程について検討した。その結果、転位ループ中の格子間原子組成やポイド中の空孔組成とそれぞれの核生成挙動などに関して、有益な知見が得られた。(3)について、照射材料の機械特性変化は、照射によって材料内に形成された格子欠陥と転位との相互作用で決まるため、外部応力により移動する転位と照射によって形成した積層欠陥四面体の間に働く相互作用の大きさを、分子動力学法を用いて評価した。また、MHD 絶縁被覆による界面強度評価を行うために、バナジウム金属の表面にカルシアを皮膜した系の理想界面強度を第一原理手法を用いて評価した。

ヘリカル型発電炉における先進液体ブランケットシステムのトリチウム増殖性能や放射線遮蔽性能等のニュートロニクス特性を評価するために、輸送計算コード MCNP を利用した 3 次元中性子・γ線輸送計算システムの構築を行った¹²⁻¹⁴⁾。これにより、概念設計段階におけるニュートロニクス特性評価の実施と設計改良へのフィードバックを迅速に繰り返すことを可能とした。

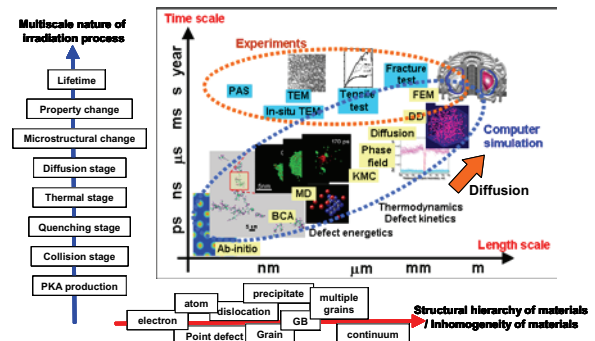


図. マルチスケールな現象である照射損傷プロセス

- 1) Toda, S., *et al.*, *Fus. Eng. Des.*, 63-64 (2002) 405-409.
- 2) Satoh, T., *et al.*, *Fus. Sci. Tech.*, 52-3 (2007) 618-624.
- 3) Yuki, K., *et al.*, *J. Thermophys. Heat Transfer*, 22-4 (2008) 638-648.
- 4) Hashizume H., *et al.*, *Fus. Eng. Des.*, 81 (2006) 1431-1438.
- 5) Fukada, S., *et al.*, *Fus. Sci. Tech.*, 48 (2005) 666-669.
- 6) Sagara, A., *et al.*, *Fus. Sci. Tech.*, 47 (2005) 524-529.
- 7) Sekimura N., *et al.*, *Proc. 2002 Sym. Nuclear Data* (2003) 283-288; *Proc. 11th Int. Sym. Reactor Dosimetry*, (2003) 84-92.
- 8) Sharafat, S., *et al.*, "FusionNET: An Interactive Online Material Properties Database Serving the Larger Fusion Community".
- 9) Morishita, K., *et al.*, *Nucl. Instrum. Meth. B255* (2007) 52-56.
- 10) Abe, H., *et al.*, *Mater. Trans.* 46 (2005) 433-439.
- 11) Satou M., *et al.*, *J. Nucl. Mater.*, 329-333 (2004) 1571-1574.
- 12) Tanaka, T., *et al.*, *Fus. Eng. Des.* 81 (2006) 2761-2766.
- 13) Tanaka, T., *et al.*, *Nucl. Fus.* 48 (2008) 035005.
- 14) Sagara, A., *et al.*, *Fus. Eng. Des.* 83(2008) 1690-1695.

4.2 TITAN計画

TAN計画には、日本から20大学、約70名の研究者、学生が、アメリカから10機関、約50名の研究者、学生が参加した。以下にタスクごとの主な参加者を示す。

表5-6 TITAN計画への参加者リスト

タスク	サブタスク	日本側参加者	アメリカ側参加者
タスク1 物質・熱輸 送現象	1-1 第一壁トリチウム・物質移行	上田良夫(阪大)、徳永和俊、大塚哲平(九大)、大野哲靖、梶田信(名大)、宮本光貴(島根大)、永田正義、菊池祐介(兵庫県立大)	R.P.Doerner, D. Nishijima, M. Baldwin (UCSD), P. Sharpe, M. Shimada (INL)
	1-2 ブランケットトリチウム移行	寺井隆幸(東大)、深田智、片山一成、枝尾祐希(九大)、小西哲之、山本 靖、亀井敬史、登尾一幸(京大)	P. Sharpe, P. Calderoni, M. Shimada (INL), D.-K. Sze (UCSD)
	1-3 熱流動制御とモデリング	功刀資彰、河原全作、植木祥高(京大)、横峯健彦、深田 智(九大)、佐竹信一、結城和久(東理大)、橋爪秀利、江原真司(東北大)、近藤正聡(NIFS)	N. Morley, K. Messadek, S. Smolentsev, A. Ying, M. Dagher, J. Takeuchi, M. Abdou (UCLA), R. Munipalli (Hypercomp), C. Wong (GA), P. Calderoni (INL), D.-K. Sze (UCSD)
タスク2 照射複合効果	2-1 照射・トリチウム複合効果	波多野雄治(富山大)、大矢恭久(静岡大)、原 正憲、赤丸悟士、張 鋌、野崎天生(富山大)、小田卓司(東大)、小林 真(静岡大)、佐藤紘一(京大)、栗下裕明、永井康介、外山 健(東北大)	M. Sokolov, Y. Katoh (ORNL), P. Calderoni(INL), R. Stoller (ORNL), T. Yamamoto (UCSB), P. Sharpe, M. Shimada, S. Shultz(INL), R. Kolasinski (SNL)
	2-2 接合・被覆システムの健全性	木村晃彦、笠田竜太、藪内聖皓(京大)、鶴飼重治、大貫惣明、橋本直幸(北大)、長谷川晃、栗下裕明(東北大)、渡辺英雄(九大)、長坂琢也(NIFS)	Roger Stoller, Michel Sokolov, Yutai Katoh(ORNL), Takuya Yamamoto(UCSB), Rick Kurtz(PNNL)
	2-3 動的変形挙動	長谷川晃(東北大)、檜木達也(京大)、柴山環樹(北大)、四竈樹男、野上修平、且井宏和(東北大)、近藤創介(京大)、崔龍範(広島大)	Y. Katoh, L.L. Snead, E. Byun, K. Ozawa, R. Stoller (ORNL), C. Henager, R. Kurtz (PNNL), S. Sharafat, N. Morley (UCLA)
共通タスク システム統合モデル	MFE/IFE システム統合モデリング	相良明男(NIFS)、乗松孝好(阪大)、橋爪秀利(東北大)、森下和功、小西哲之、功刀資彰、木村晃彦(京大)、横峯健彦、深田智(九大)、寺井隆幸(東大)	R. Nygren(SNL), R. Causey, P. Sharpe (INL), D. Sze, R. Raffray(UCSD), M. Abdou, N. Morley, S. Smolentsev, A. Ying, K. Messadek, N. Ghoniem, S. Sharafat(UCLA)

タスク1-1： 第一壁トリチウム・物質移行

分野： TITAN

タスク： 1-1

実施責任者： 上田良夫, R. Doerner

所属： 大阪大学、UCSD

1. 研究の背景と目的

核融合炉内におけるトリチウム挙動の理解とその制御は核融合炉実現のために最も重要な課題の一つである。特に、複数イオンやパルス熱負荷同時照射のような炉内複雑環境下でのトリチウム挙動や壁材料の物質移行挙動については、まだ不明確な点が多い。また、ブランケットの表面には損耗低減のためのアーマー材をコーティングすることが予定されているが、そのような複合材料中のトリチウム挙動もほとんど調べられていない。

本タスクは、トリチウムプラズマや、ベリリウム混合プラズマ、レーザーパルス照射等の手法を用いて、炉内複雑環境下でのトリチウム・壁材料物質移行を明らかにすることを目的とする。

2. 研究計画

本タスクでは、以下の研究を行なう。

(1) トリチウムプラズマ照射により、タングステンとその被覆材について、材料内トリチウム拡散・蓄積挙動を明らかにする。

(2) Be/He/D 混合プラズマをタングステンに照射し、表面混合層の形成機構と D 蓄積の関係を明らかにする。特に、高温条件 (>1100 K) と低温条件 (~600 K) での He 影響を明らかにする。

(3) プラズマパルス同時照射による Be/W 材料の損耗特性を明らかにする。

3. 使用施設・装置と実験方法

アイダホ国立研究所 (INL) のトリチウムプラズマ実験装置 (TPE) を用いて、対象材料にトリチウム・重水素混合プラズマ (T/D=0.1~0.5%) を照射し、試料を乾式切断した後、IP でトリチウム分布を測定する。

カリフォルニア大学サンディエゴ校 (UCSD) のプラズマ表面相互作用研究装置 (PISCES) を用いて、Be/He/D 混合プラズマ照射を行ない、昇温脱離法による D 蓄積量評価や TEM による表面微細組織の観察を行なう。またパルスレーザー照射による Be/W のアブレーションを分光的に調べる。

4. 前半における主な成果

トリチウムプラズマ照射装置 (TPE) による実験結果

(1) 乾式切断法と IP (イメージングプレート) 法を用いて、トリチウムプラズマ照射された材料中の

トリチウム分布を測定する手法を開発し、トリチウムプラズマ照射 (TPE 装置) されたタングステン、フェライト鋼 (F82H)、W 被覆フェライト鋼中のトリチウム分布を得た。タングステンは、表面近傍を除き、ほぼ拡散で説明できる分布であった。また、フェライト鋼にタングステンを被覆した材料では、フェライト鋼中へのトリチウム拡散が抑制された。

プラズマ表面相互作用研究装置 (PISCES) による研究成果

(1) タングステンへの D/He 混合プラズマ照射を低温条件 (573 K) で行なったところ、重水素の吸蔵量が 2 桁以上減少し、プリスタリングの発生が抑制された。TEM による測定で、He ナノバブル層の厚みが 20-30 nm であることが分かり (図 1)、この層が重水素の内部拡散を抑制し、重水素蓄積量を減少させたと考えられる。

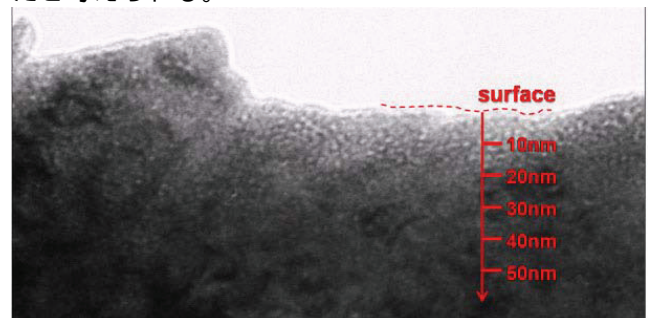


図 1 重水素とヘリウムの混合プラズマを照射したタングステン表面近傍の He バブル深さ分布 (温度 573 K)

(2) タングステンへの He プラズマ照射を高温条件 (>1100 K) で行ない、様々なタングステン試料でナノ構造が発生することが分かった。

(3) 固体ベリリウムとベリリウム堆積層への重水素プラズマ・レーザー同時照射実験を行ない、Be の損耗に伴って生じる Be 原子と BeD 分子のアブレーションルーム構造を明らかにした。

国内研究

(1) Be/W 混合層の形成過程のシミュレーションを行なった。

(2) D/He 予照射を行なったタングステンへのパルスプラズマ照射影響を評価した。

5. 今後の計画と将来への発展

TITAN の枠組みでの研究は、前半 3 年間で終了するが、日米協力事業の核融合炉工学分野で、これまでに得られた知見に立脚した共同研究を継続する予定である。また、これまでの結果を受け、国内での研究活動もさらに発展することが期待される。

タスク1-2：ブランケットトリチウム移行

分野：TITAN

タスク：1-2

実施責任者：寺井隆幸，深田智，小西哲之，P. Sharfpe, P. Calderoni

所属：東京大学，九州大学，京都大学，INL

背景と目的

核融合システムにおいて、トリチウムはブランケット中の増殖材の中性子捕獲により生成し、それを取り出しリサイクルすることで燃料として用いられる。液体増殖材を用いた場合、トリチウムと液体増殖材の相互作用はシステムの可能性を定める最重要物理プロセスの一つである。というのは、このプロセスが、燃料過程（増殖比、トリチウムの使用可能量など）、出力取り出し（熱輸送能力、熱サイクル効率など）、安全（トリチウムインベントリー、放出など）と密接につながっているからである。ブランケットは定常運転されるので、トリチウムの液体増殖材中の溶解度の高精度評価は、液体増殖材を用いたすべてのシステム（磁場閉じ込め、慣性閉じ込め、ハイブリッドシステムなど）における基本的な設計必要データである。ここでいう溶解度とは、溶解トリチウム濃度と液体表面平衡分圧の関係を示す関数である。他の重要な輸送特性である拡散係数と質量輸送係数もトリチウム回収システムと冷却材純化システムの選択と最適化で重要な役割を果たす。（二重機能ブランケットでは、この二つのシステムは別の流体により作動する）

本タスクで検討中の、ブランケットにおけるもう一つのトリチウム輸送の課題は、トリチウム透過バリアーの評価である。これは、核融合システムにおけるトリチウムの環境放出を規制値以下に抑える上で本質的な役割を担う可能性がある。トリチウム透過バリアーの製作自身はタスク活動に含まれないが、日米の協力で製作が行われ、TITANの枠内で評価が行われることが期待される。

試験計画

1. ブランケット条件における鉛リチウム共晶合金（LLE）の水素同位体溶解度の測定。
2. 極低濃度における構造材と透過バリアーにおけるトリチウム透過。
3. ブランケット条件におけるLLEからのトリチウム回収に関する研究。
4. 核融合炉ブランケットからのトリチウム回収のモデリングとシステム設計。

装置

STARにおけるトリチウムグローボックス等の試験装置を利用する。

主な結果

初期は静的環境におけるLLEの水素溶解度測定に重点を置いた。下図は最初に得られたデータであり、液面での導入圧力が10Pa-100kPa、300-650°Cのときの水素の溶解度を示す。点線で示すデータはF. ReiterとA. Aielloによるもので、文献値が幅広い範囲に広がることを示している。本計画の初期の結果は、いくつかの暗黙の仮定を取り入れていたが、前半3年間においてそれらの問題が明らかになり、材料、テスト手順、システム構成などを精査し、さらに複雑な試験マトリックスにより溶解度を精密に評価することとした。このシステム最適化は継続中である。

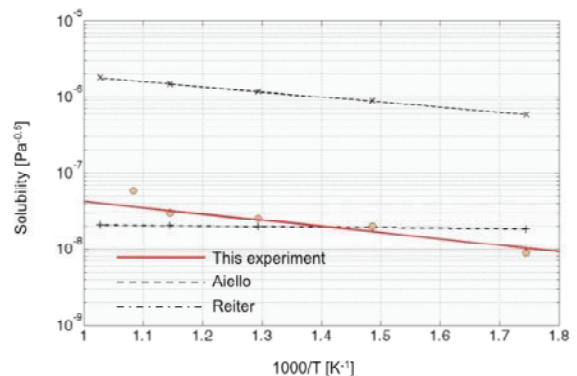


図 LLEにおける水素溶解度評価（初期の結果）

真空透過法を用いた、LLEからのトリチウム回収試験用強制対流試験の予備概念設計を進めた。これにより単一レググループの主コンポーネントを定義した。さらなる設計とループ建設については今後の検討待ちである。

今後の方針

2010年度に水素試験の継続と並行して、トリチウムを用いた溶解度測定試験が行われる。ここではベンチトップ試験機（2号機）が用いられるが、この装置はその後改造し、他の輸送特性（拡散係数、質量輸送係数）の評価に用いられる。最後の2年間において、トリチウム透過バリアーの評価が可能と見込まれる。

タスク1-3：熱流動制御とモデリング

分野：TITAN

タスク：1-3

実施責任者:(STC) 功刀資彰, Neil Morley,
(DSTC) 横峯健彦, Karim Messadek

所属：京都大学, カリフォルニア大学ロサンゼルス校 (UCLA), 九州大学

液体金属ブランケットにおける強磁場下の熱流動は、プラズマ閉じ込め磁場と相互作用し、MHD (magnetohydrodynamics)の影響を大きく受ける点に特徴がある。強磁場下の液体属流の流速分布、流動不安定性及び冷却管内流量配分は、除熱と熱溜まりの形成、腐食、トリチウム輸送および漏洩に大きな影響を与えるため、MHD 熱流動メカニズムの解明と流動制御が課題となっている。このため、本タスクでは強磁場環境での MHD 熱流動特性の把握とモデリング構築を進めている。強磁場下での MHD 熱流動特性を把握するため、UCLA に設置されている幅約 15cm、長さ約 1m の長尺空間に最大 2T の均一磁場を発生させる強磁場熱流動試験装置 MTOR (Magneto-Thermofluid Omnibus Research) 施設を用いて実験研究を行っている。

強磁場下の液体金属流量配分試験

ブランケット内流路に必ず存在するマニホールドを模擬 (単流路から平行三流路に分岐) した電気絶縁壁流路を用い、三流路への流量配分に対する磁場効果、絶縁壁の効果について検討を行った。作動流体として常温で液体である水銀を用い、各分岐流路の流量は電気ポテンシャル・プローブを用いて計測した。その結果、電磁力 (Ha) と慣性力 (Re) の比 $N = Ha^2/Re$ が 90 を超えた領域では均一に流量分配されることを明らかにした (Fig. 1)[1]。

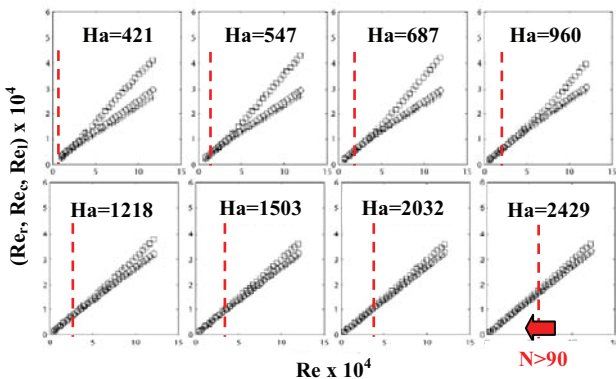


Fig. 1. 強磁場下での液体金属流量配分試験

リチウム鉛流速計測法開発および界面効果

本タスクでは、液体金属冷却材の候補であるリチウム鉛 (PbLi) を用いた実験を計画しており、冷却管内の PbLi 流速分布を把握するため、高温超音波ドップラー流速計測法 (HT-UDV) に必要な PbLi 音響物

性値を実験から取得し [2]、PbLi 流動に対する HT-UDV を確立した。PbLi の壁面濡れ性に起因する界面効果が MHD 流動に与える影響を検討するため、シリコン・カーバイド (SiC) 上での PbLi 接触角の測定と SiC-PbLi 界面電気抵抗の測定から界面効果の定量的評価を行った。

MHDモデリング・数値シミュレーション

強磁場環境での熱流動制御法の構築に向けて MHD モデリングおよび数値シミュレーションを行い、熱輸送に与える MHD 乱流の影響を検討した。また、ブランケット設計によっては重要性が指摘されている強磁場環境下での混合対流現象 (ポンプによる強制対流と浮力効果による自然対流が共存する現象) についても、MHD 疑似 2 次元乱流のモデリングおよび数値シミュレーションを行い、強磁場と浮力効果の複合熱流動現象の詳細な理解を深めた (Fig. 2) [3]。

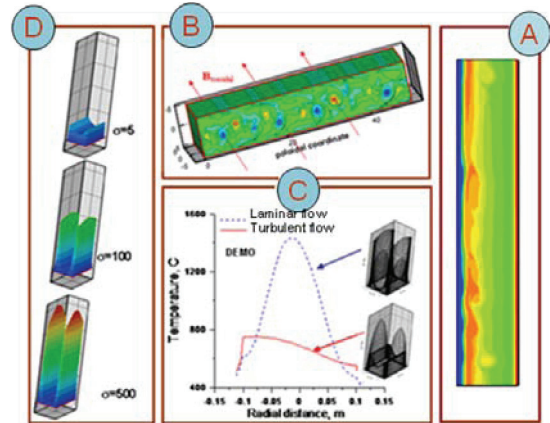


Fig. 2. A:MHD 浮力乱流 B:MHD 疑似 2 次元乱流
C:温度分布への影響 D:M 型速度分布

本タスクでは今後、強磁場下の PbLi 熱流動特性の把握に焦点をあてた研究を進めていく予定である。現在は、建設を行ってきた PbLi 流動試験ループの試験部に HT-UDV 計測系を取り付け、MTOR 施設を使用した非磁場・強磁場環境での PbLi 流速場の測定試験に着手している。計画後半には、PbLi 流動試験ループを用いて電気絶縁板挿入法や絶縁被膜等の主要な MHD 圧力低減技術の実験的研究を順次実施していく計画である。このように実験研究と数値解析研究の相互活用を通じ、強磁場環境での MHD 熱流動特性の把握と界面効果を含む MHD モデリングを進め、本タスクの最終目標である核融合炉液体ブランケットに対する MHD 熱流動解析モデルを確立する。

- 1) Messadek, K. *et al.*, Magnetohydrodynamics, 45 (2009) 233-238.
- 2) Ueki, Y. *et al.*, Fusion Sci. & Tech., 56 (2009) 846-850.
- 3) Smolentsev, S. *et al.*, Fusion Eng. & Des., 83 (2008), 771-783.

タスク2-1：照射・トリチウム複合効果

分野：TITAN

タスク：2-1

実施責任者：波多野雄治，大矢恭久，Mikhail Sokolov, Yutai Katoh, Patrick Calderoni

所属：富山大学，静岡大学，オークリッジ国立研究所 (ORNL)，アイダホ国立研究所 (INL)

核融合炉プラズマ対向機器中のトリチウム移行・滞留を評価するためには、中性子照射の影響の解明が必要不可欠である。現在、プラズマ対向材料として W が有望視されているが、その最大の理由の一つが極めて小さいトリチウム溶解度であり、またそれによる炉内トリチウム滞留量低減への期待である。しかし、イオン照射実験で W 中の照射欠陥が水素同位体を強く捕獲することが明らかになり、中性子照射により W 中のトリチウム滞留量が著しく増大することが懸念されはじめ、中性子照射効果の解明が急務となっている。また、このような捕獲サイトの形成は移行挙動にも大きな影響を及ぼす。そこで本研究では中性子照射欠陥とトリチウムの相互作用を解明することを目的として、純 W および水素同位体挙動が表面の影響を受けにくく参照材料に適する Ni について、ORNL の研究炉 HFIR において中性子照射を実施すると共に、INL においてトリチウム滞留量および脱離測定を調べている。これまでに達成した成果の概要を以下に述べる。

(1) 照射マトリックスの決定

中性子照射による誘導放射能の低減の観点からは試料は小さい方が好ましい。一方、試料が小さいと滞留量・昇温脱離スペクトル測定の精度は低下する。そこで試料の誘導放射能を計算コードで予測すると共に、予想される滞留量から昇温脱離スペクトルの測定精度を慎重に評価し、これらの結果から直径 6 mm、厚さ 0.2 mm のディスク状試料がトリチウム実験に最適と結論した。また微細組織観察用として、直径 3 mm、厚さ 0.2 mm の試料も調製した。

照射温度は研究期間、炉条件、照射組織等を考慮し次のように設定した。すなわち、キャプセルの設計が容易で速やかに照射が開始できる 50°C (HFIR 冷却水温度)、現状の核融合装置や ITER の壁温度に相当する 300°C、原型炉で想定される壁温度に近い 650°C (W のみ) とした。W では 50 および 300°C においては格子間原子のみが拡散するのに対し、650°C では空孔の拡散も十分活性化されポイド等の成長が起こる。Ni については 50°C では格子間原子のみが拡散し、300°C では空孔も活発に移動する。従って、上述の温度条件で照射組織が著しく異なる試料が得られる。照射期間は約 1 日、1 ヶ月間、1 年間 (W のみ) とした。W では 0.025、0.3、2.4 dpa、Ni では 0.1 およ

び 1.2 dpa の照射量が得られる。既に 50 および 300°C での 1 ヶ月以内の照射を完了した。

(2) 低線量照射 W 試料からの重水素の昇温脱離スペクトル測定

50°C で 0.025 dpa 照射した W 試料を INL に輸送し、TPE で重水素プラズマに曝露した。本研究の試料は TPE の標準サイズ (直径 1 インチ、厚さ約 1 mm) に比べ著しく小さく且つ薄いため、試料ホルダーの設計変更や熱電対への精密駆動機構取付けなど微小試験片を用いるための種々の改良を行った。なお、中性子照射材は表面が黒色に変色していた。照射中試料は Mo 被覆材中に封入されていたが、リークが生じ冷却水により酸化が生じたものと推察された。この汚染物は重水素プラズマに曝露すると除去された。

Fig. 1 は 200°C、フラックス $5.0 \times 10^{21} \text{ D m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ において重水素プラズマに曝露したのち測定した、世界初となる中性子照射 W からの重水素の昇温脱離スペクトルである (フルエンス $3.6 \times 10^{25} \text{ D m}^{-2}$)。中性子照射材からの脱離スペクトルは非照射材と比べ、(1) 低温領域でスパイク状の脱離が生じている、(2) より高温まで脱離が継続している、などの明らかな特徴が見られる。低温で見られたスパイク状の脱離は側面や背面に残存した酸化膜に起因すると推察された。一方、高温領域でのスペクトルはイオン照射で欠陥を導入した W からの脱離スペクトルに酷似しており、照射欠陥によるトラップ効果に起因すると考えるのが自然である。

0.025 dpa という低い照射量で中性子照射効果を示唆する結果を得たことは重要な成果である。今後、中性子照射材の表面洗浄法を確立した上で、より照射量の高い試料についてトリチウムを含む水素同位体挙動を調べる予定である。

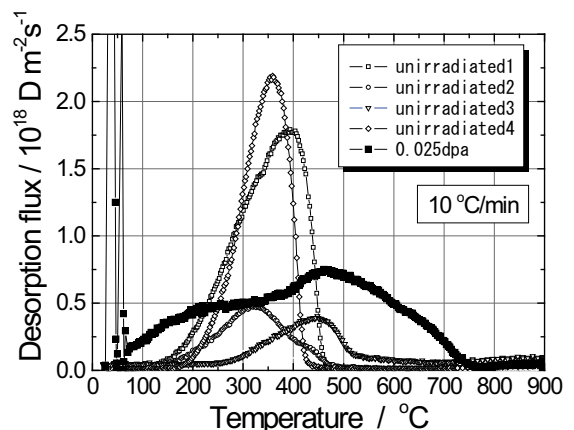


図 1. 50°C、0.025 dpa 照射したタンゲステンからの重水素脱離の予備試験データ。非照射材のスペクトルも比較のために示す。

タスク2-2：接合・被覆システムの健全性

分野：TITAN

Task：2-2

研究者：木村晃彦¹、橋本直幸²、Takuya Yamamoto³、Michel Sokolov⁴

所属：¹京都大学、²北海道大学、³カリフォルニア大学サンタバーバラ校、⁴オークリッジ国立研究所

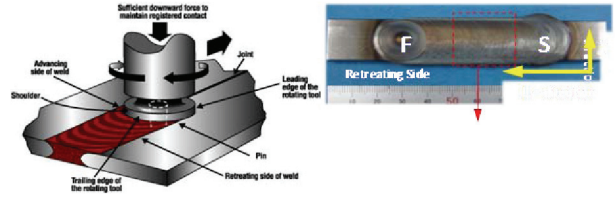


図1：先進構造材料の接合技術として摩擦攪拌接合法を採用し、その良好な適応性が確認されている。

低放射化鉄鋼材料を構造材料とした ITER テストブランケットの製作技術は既に実用段階にあるが、実環境での利用を念頭においた場合には、さらに開発すべき課題が残されている。特に、ブランケットを創り上げるためには、良好な接合・被覆部の製作技術が不可欠であり、例えば、DEMO 炉用の水冷却固体ブランケットの場合、溶接線の長さはブランケット一個あたり 500m と試算されており、接合・被覆部の健全性がブランケットの寿命を決定する重要な因子になると推測される。

そこで、本タスクでは、DEMO 炉をターゲットとする第一壁の被覆技術や先進構造材料の溶接・接合技術開発を行い、被覆部や溶接・接合部に及ぼす照射影響評価を行うことを目的とする。

接合・被覆の対象材料としては、酸化物分散強化 (ODS) 鋼、バナジウム合金および SiC 複合材料である。ODS 鋼は、低放射化フェライト鋼との併用が期待されることから、ODS 鋼の同種接合や低放射化フェライト鋼との異種接合技術開発を進めた。ODS 鋼は、低放射化フェライト鋼に比べ、使用最高温度が 150°C 程度高いため、ブランケットの高効率化が可能である。しかし、一般の溶接法ではナノスケールの酸化物粒子の分散状況を変えてしまうため、他の接合法を開発する必要がある。本研究では、ODS 鋼 (16Cr-4Al-2W-0.35Y₂O₃) の摩擦攪拌接合および固相拡散接合の技術開発を行い、その照射下健全性を評価することを第一の目的としている。

摩擦攪拌接合 (図 1) は、回転速度 800rpm、走査速度 50mm/min で実施した。摩擦攪拌処理は、結晶粒径の粗大化を招き、室温における強度を顕著に低下させたが、ODS 鋼に期待されている高温強度については、わずかな低下にとどまり、実用化の可能性を確認することができた。

固相拡散接合は、1200°C、25MPa、1 時間の条件で実施した。接合部インサート材の有無の影響を調査した。インサート材は融点が 1200°C 以下のため、その部分だけは溶融することから液相拡散接合とも呼ばれる。その結果、図 2 に示す様に、固相接合材および液相接合材ともに、引張強度は未接合材と同等であることを確認した。一方、伸びに関しては、液

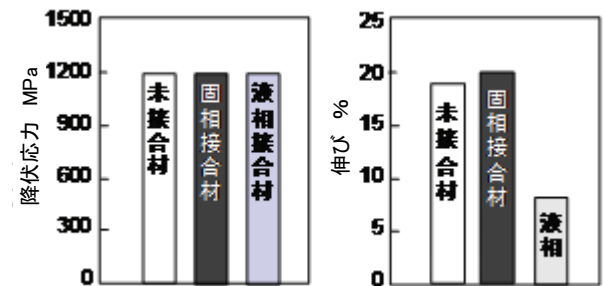


図2：ODS 鋼を対象とする固相あるいは液相拡散接合技術が開発され、未接合材に匹敵する接合強度および接合後の延性が確認されている。

相接合材は未接合材の半分以下に減少したが、固相接合材では伸びの低下が全く認められず、ほぼ完全な接合強度を得ることに成功した。

核融合エネルギーの実現に向けた第一壁およびダイバータの製作においては、W 被覆技術が不可欠である。W の最大の難点は、その低すぎる破壊靱性であり、室温において全く塑性変形しない点である。高熱負荷を断続的に受ける対抗材料は、高融点でかつ優れた熱疲労特性を持つことが要求され、それを支える支持構造体との十分な連結強度を維持できるものでなければならない。本研究では、W-ODS 鋼の固相・液相技術開発も行った。その結果、1240°C での拡散接合により、界面強度が 300MPa という極めて高いねじり強度の達成に成功した。また、真空プラズマプレー (VPS) 法を用いた VPS-W の熱衝撃特性評価において、4.8 MW/m² で 16 サイクルの負荷試験に耐える W 被覆 ODS 鋼の作製にも成功した。

以上、TITAN 事業、Task2-2 におけるこれまでの (前期終了時点) 成果として、

- 1) ODS 鋼の同種接合技術を開発した。
- 2) W-ODS 鋼の接合強度として 300MPa を達成した。
- 3) VPS-W の熱衝撃試験において、4.8MW/m²、16 サイクル無損傷を達成した。

タスク2-3 : 動的変形挙動

分野 : TITAN

タスク : 2-3

実施責任者: 長谷川晃, 檜木達也, Yutai Katoh

所属 : 東北大学、京都大学、オークリッジ国立研究所 (ORNL)

1. 研究の背景と目的

照射下クリープは照射下でのみ起こる動的な変形挙動で、特に熱クリープが大きい温度領域において中性子照射下で使われる場合、その寸法安定性に影響する可能性があることから、核融合などの中性子照射環境で使用される材料においては重要な照射特性の一つである。核融合炉機器で使われる炭化硅素 (SiC) 基の低放射化材料においても照射下クリープは考慮すべき重要な特性である。それは核融合炉ではプラズマ側からの中性子照射や熱入力によって、大きな温度勾配やスエリングの勾配が生じ、そのため機器部材中には構造部材としての応力に加えて、大きな二次応力が発生する可能性があるからである。特に液体金属ブランケットの熱絶縁・電気絶縁用に使われる流路内挿入物などでその影響評価が求められている。

しかしこれまで SiC について中性子照射環境下での照射下クリープについてのデータはほとんどなかった。一方、Price によって開発された曲げによる弾性ひずみ負荷とその緩和を測定する実験手法[1]が後にセラミックスの熱クリープに適用した曲げ応力緩和 (BSR) 試験法が使われるようになり、これを照射下クリープに適用する研究が進められてきた。近年 Katoh らによって高純度で化学量論組成の CVD で作成した SiC に対し照射下での BSR 試験を適用することでクリープパラメータの決定に有効であることが報告されている[2,3]。

このような従来の研究を背景として、最近開発された低放射化先進 SiC 複合材料における照射下の動的変形挙動であるクリープ特性の評価を目的として、BSR 法による SiC およびその複合材料の照射下クリープ研究が TITAN 計画における照射下動的変形挙動としてタスク 2-3 における第一期の研究として計画された。まずモノリシック SiC や SiC のモデル複合材料、複合材料の各要素の材料を使って、中性子照射下における応力緩和と遷移クリープの解明を目的とした。さらに BSR の挙動における照射量、照射温度依存性を求めることで、SiC における点欠陥蓄積によるスエリングと遷移クリープの挙動についても調べることにした。

2. 実験方法

照射後クリープ試験のために、SiC の曲げ試験を照射する際に使う標準的な照射キャプセルを採用した。これに試験片を曲げて固定した BSR 治具を4つずつ装着した。照射下での緩和の基礎的挙動を調べるた

めに、照射試料は CVD で作成した多結晶体の SiC や単結晶を用いた。これらの試料から 40mm x 1mm x 0.05, 0.1 および 0.15mm の試験片を切り出した。試験片の厚みを変えることで同一曲げ半径での負荷応力の変化をさせた。これにより約 100、200、300MPa の応力を負荷した。このキャプセルをオークリッジ国立研究所の HFIR を用いて照射し、照射温度は 300、500、800、1200°C とし、水カラビットを用いて炉の運転中でのキャプセルの挿入・取り出しを行って 0.01、0.11 照射を行い、固定ラビットを用いて約 1dpa の照射を行った。

3. 結果

図 1 に高純度の CVD-SiC の多結晶材における応力緩和係数の負荷応力依存性における照射温度と照射量の結果を示す[5]。この結果から、応力緩和がスエリングが大きく異なる 300°C および 500°C でもほぼ同じ程度に起こること、また初期応力の大きさに寄らずほぼ一定であることが明らかとなった。非照射データ[4]や微細組織と比較検討した詳細な解析は現在進行中である。第一期の照射計画により、BSR 法での初期ひずみ負荷法の有効性が示され、これにより照射下での定常クリープ試験に使用可能であることが分かった。

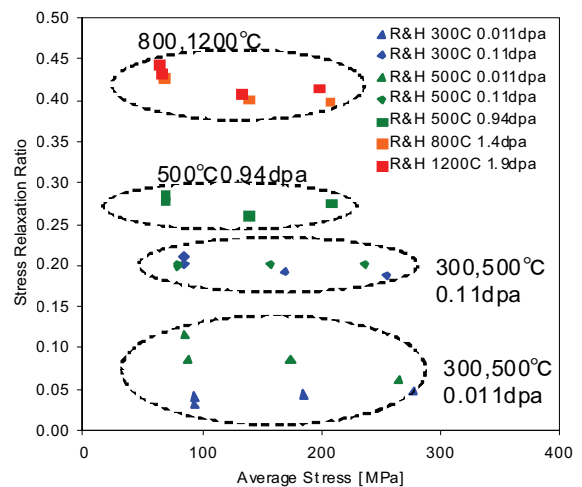


図 1. HFIR 照射した CVD-SiC の応力緩和係数

- [1] R.J. Price, Nuclear Technology 35 (1977) 320-336
- [2] Y. Katoh, Y.B. Choi, T. Hinoki, Fusion Materials Semi-Annual Progress Reports, DOE/ER-0313/45 (2008) 140-145
- [3] Y. Katoh, T. Hinoki, K. Ozawa, Y. Choi, A. Hasegawa, L. L. Snead, Properties of Advanced SiC Fiber Composites Irradiated at High Temperatures: Results from US/Japan HFIR-18J Experiment, Journal of Nuclear Materials (submitted)
- [4] K. Abe, S. Nogami, A. Hasegawa, T. Hinoki, T. Nozawa Study on Stress Relaxation Behavior of Silicon Carbide by BSR method, Journal of Nuclear Materials (submitted)
- [5] Y. Katoh, T. Hinoki, A. Hasegawa et al. to be submitted.

共通タスク：MFE/IFEシステム統合モデリング

分野：TITAN

タスク：共通タスク

実施責任者：相良明男，橋爪秀利，乗松孝好，Richard Nygren

所属：核融合研，東北大，阪大レーザー，サンディア国立研究所（SNL）

1. 研究の背景と目的

磁場核融合炉(MFE)と慣性核融合炉(IFE)の開発に必要な炉工学基礎の形成を目指して、増殖トリチウムと核反応生成エネルギーの時間的、空間的移行に関する挙動予測とその制御に関する(1) TITANの各タスク実験でのモデリング研究を横断的に連携することによって、(2) 炉工学システム最適化設計に向けての統合モデルを構築すること、(3) 同時に各要素インターフェース研究の整合性の向上を図るとともに、(4) 各タスクへの課題をフィードバックすることにより、タスク相互の整合性の高い研究推進に反映させること、を目的として、共同研究を進めている。

2. 研究計画

計画の前半では、(1) プラズマ壁第1壁から材料・ブランケットシステムを包括する統合モデリングのための主要パラメータのリストアップ、各要素モデリングと物理背景の整理、(2) 磁場核融合炉と慣性核融合炉の参照設計および運転条件とパラメータのレビュー、(3) トリチウム・熱システムに関する具体的な解析、を実施し、後半では、炉工学設計に向けての各タスクの研究結果の整理と、ブランケット・システムモデリングへの連携・統合を先導すると共に、各タスクの実験研究へのフィードバックの促進を計画している。

3. 前半における主な成果

(1) プラズマ壁第1壁から材料・ブランケットシステムを包括する主要パラメータ、各要素モデリングと物理背景、システム統合への現状と課題、等について整理作業を実施し、25項目の作業テーブルを作成した。今後は、これを作業ベースとして、共同作業を継続的に実施推進する。

(2) 周辺プラズマ領域から第1壁、ブランケットの中性子工学、材料照射効果、伝熱流動、トリチウム熱回収、の各要素研究分野を、モデリングの観点で連結したレビューを実施し、課題の整理と研究者間の情報共通化を進めた。

(3) ステラレータ／ヘリオトロン型の炉設計 FFHR, ARIES-CS, HSR について総合的レビューを実施し、炉

工学関連の共通課題として、ブランケット空間の制約の中で、ブランケットの長寿命化と交換保守が課題であることを明らかにした。

(4) 溶融塩 Flibe と金属 LiPb のブランケットシステムでのトリチウム透過漏洩を評価し、濃度依存の律速過程のモデル化が急務であることが分かった。

4. 今後の計画と将来への発展

(1) 統合モデリングに向けて基幹要素を絞り込むこと、

(2) 各タスクの実験成果をデータベース化およびモデル化すること、

これらによって将来への発展として、

(3) 増殖トリチウムと核反応生成エネルギーに関するミクロな物質・熱・流動挙動に基づく、炉内・炉外構造要素間にわたるマクロな移行挙動に関するシステム統合モデル構築の研究基盤形成、

(4) 核融合炉のトリチウム・流動システム構築に向けての整合性の高い研究方針への反映、

(5) 磁場核融合炉、慣性核融合炉設計でのブランケットシステムの最適化への反映、

(6) 設計での新しいブレイクスルーの創成と新しい実験研究課題の創成、等が期待できる。

item	task	parameters	model	physics	assessment	coupling / remarks	Coupling
PFCS							
erosion	1.1	N,Te,Ti,SOL,G (edge), impurity	REDEP HEIGHTS	*sheath *sputtering	Input: plasma edge, angular-		
BLANKET							
nuclear response functions from		material, plasma source, geometry,	MCNP, TRIM ANISN			coupling for activation	all material property
LM thermfluid		Geometry, material properties,	HIMAG	3D potential	good for complex geometries and 3D	also applicable to	
TRIT RECOVERY							
extraction			ASPEN, Wilms/Merill				
MATERIALS		dose, dose rate, material, particle	codes: molecular	binary collisions,			thermomechanics, tritium

図1 主要パラメータ 25 項目の作業テーブル

1) 相良明男、乗松孝好、他、日本原子力学会誌、50(6)(2008)-51(7)(2009).

2) A. Sagara, Y. Igitkhanov, F. Najmabadi, Fusion Eng. Des., in press.

3) S. Fukada, Y. Edao, A. Sagara, Fusion Eng. Des., in press.

6章 DIII-D

6.1 目的

DIII-D計画の共同研究活動は、高三角度の非円形断面プラズマ、ダブルヌルダイバータ配位、および様々な電流駆動システムを使用して、核融合エネルギーのためのトカマクの最適化に向けた科学的基盤を確立するために延長されてきた。過去10年間でのこれらの活動の目的は、高性能定常プラズマにおける物理を理解し、定常運転法を確立することである。

6.2 活動

日本原子力研究所 (JAERI) は、2005年10月からは日本原子力研究開発機構 (JAEA)、米国サンディエゴのゼネラルアトミック社 (GA) にあるDIII-Dトカマク装置を用いた、米国エネルギー省との研究協力協定を延長した。本契約は、30年の原研 (後に原子力機構) とGA社での密接な共同研究作業を提供して来た。原子力機構は、過去10年間に、少なくとも合計で100人週の研究者や技術者をGAへ派遣している。

共同研究活動は、DIII-D実験計画や情報交換に参加することで実施した。先進トカマク物理、ダイバータ特性、Hモードなどの閉じ込め改善、高ベータ物理と制御、電子サイクロトロン加熱電流駆動、プラズマ計測開発、トカマクの安定性理論などのいくつかの分野で進展があった。また、DIII-Dでのこれらの共同研究は、JT-60の研究計画を補完するものであった。

この共同研究の経験は、原子力機構とGA社の科学者やエンジニアの間に相互の尊敬と不朽の友情を育てた。この協力は、この10年間で大きく進展し、日本のJT-60計画や世界の核融合計画の改善に貢献するだけでなく、重要な科学的成果をもたらした。

6.3 運営

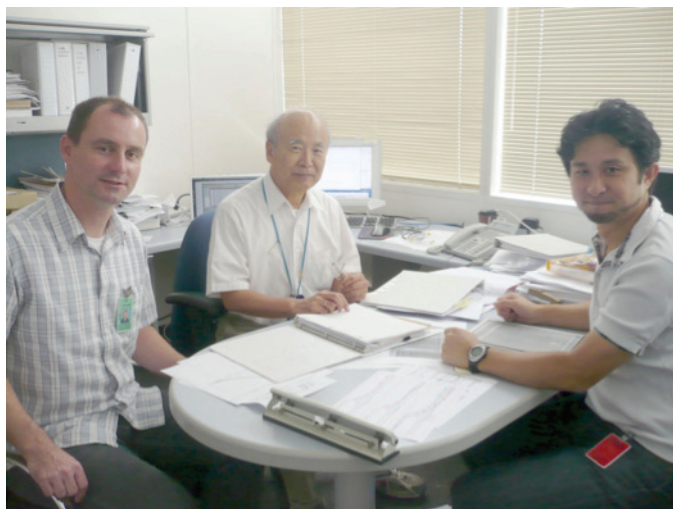
共同作業計画を調整するために米国エネルギー省と原研/原子力機構との間で、運営委員会が米国サンディエゴのGA社で毎年開催された。委員会は、原子力機構、DOEとGAの代表者から成る。運営委員会は、先進的プラズマ物理や、特にITER計画を推進するための協力の成果や発展の可能性を議論した。委員会は、各年度におけるDIII-Dへの原子力機構からの人員交流の提案を検討し、承認を推奨した。当委員会は、ときには「トカマク実験のエネルギー省-原子力機構技術計画」や「DIII-D諮問委員会」の会議に合わせて開催され、その事は技術的な議論を活発化し、より緊密な協力を進める事となった。

6.4 研究成果の概要とハイライト

過去 10 年間の協力の主要な課題は、高ベータ、高閉じ込め、定常プラズマに向けた進展に向けられた。2001～07 年において、DIII-D および原子力機構の両者の計画に支援された共同研究は、より一層先進的なトカマク (AT) 研究、特に、周辺局在モード (ELM) の安定性、粒子制御の開発、新古典テアリングモード (NTM) と抵抗性壁モード不安定性 (RWM) の抑制、真空容器の放射化の研究、プラズマ端安定性物理と電流密度の計測、輸送障壁の研究、ITER のハイブリッドシナリオ、および電子サイクロトロン加熱 (ECH) の技術、NBI と先進制御技術である。

2008 年には、23 年に亘る JT-60 の実験の完遂の機会に際し、DIII-D チームは、JT-60 装置を活用した優れた先進トカマク物理研究と、魅力的な将来の核融合エネルギー源への道を指したことで、JT-60 チームを賞賛した。

2008～09 年には、DIII-D および原子力機構の両者により、先進トカマクの進展に向けた共同研究、特に RWM のプラズマ回転効果の研究、QH モードプラズマ、エッジの安定性の物理学、先進的制御研究とテストブランケットモジュール (TBM) のリップルの効果が、継続的に支援された。これらの活動は、DIII-D と JT-60SA 計画に直接的に有益であり、ITER における物理課題の解決に貢献した。



RWM 物理の討論 (GA 社にて、2010 年)

近年の顕著な成果の一つは、アルヴェーン速度の 0.3% 程度の低いトロイダル回転が RWMs の抑制効果を持っていることを発見したことである。この回転の値は、軸対称な磁場への誤差磁場の適用によって生じる電磁ブレーキ効果から予測される、これまでの理論や実験よりも小さいものでした。JT-60 と DIII-D の共同研究を通じて得られたこれらの成果は、回転によって RWM が安定化および制御できる可能性があるものとして、先進的なトカマク炉の設計に大きな影響を与えた。

粒子・熱輸送は、この共同の枠組みで実施するもう一つの重要な研究領域であり、プラズマ端付近でペデスタル構造を持った輸送障壁の研究が重要課題となっている。グラシーELM、QHモード、およびII型ELMなどのいくつかの小振幅ELMかELMフリーによって、良好な閉じ込め特性が、DIII-D、JFT-2M、JT-60U、その他のトカマク装置で得られた。すべてのこれらの領域で、ダイバータのターゲット上でのELMによる瞬時的熱負荷は、従来型のI型ELMと比較して大幅に削減することを示した。これらの小振幅ELMまたはELMフリーの領域は、無次元のペデスタルパラメータやプラズマ形状/配位に関するパラメータで分類することができた。

適切に高いベータ、高い閉じ込め性能と部分的に誘導電流駆動を用いたハイブリッド・シナリオに加えて、大きなブートストラップ電流、高ベータ、高閉じ込めを持つ先進運転シナリオを模擬する放電が共同で研究された。ITERの定常運転を見通した完全非誘導電流駆動を有し、壁による安定化された放電で、高ベータによる先進トカマクプラズマが、電流緩和時間以上持続された。

多くの先駆的な成果が、DIII-DとJT-60装置間での共同研究を通して、特にDIII-Dの高出力電子サイクロトロン(EC)システム、高分解能のプラズマ診断と先進的実時間NTM制御機能の結果として、EC電流駆動(ECCD)によるNTM安定化の研究が得られた。DIII-DとJT-60のその他のトカマク装置との協力では、NTM発生の臨界磁気島の幅が調べられた。NTMの安定化のために必要なECパワーを推定し、臨界磁気島はイオンのバナナ幅の約2倍であることがわかった。これは、安定化のシナリオを確立するうえで重要である。さらに、ITERにおける実時間NTMの安定化のための必要条件が検討された。この研究は、NTMの先制的安定化のためのNTMの発生する前にモードが現れると予測される有理面に予めEC電流駆動を入射することで導いた。この実行可能性は、JT-60とDIII-Dの両方の高ベータ領域において示された。より最近では、変調したEC電流駆動によるNTMの安定化がDIII-DとJT-60の間の緊密な研究共同の努力の結果として示された。

Stabilization of Neoclassical Tearing Modes by Electron Cyclotron Current Drive

Category : Doublet III

Year-Number : 2001-DO-4, 2003-DO-6, 2004-DO-3

Name: A. Isayama, R.J. La Haye*, R. Prater*

Affiliation: Japan Atomic Energy Research Institute,
*General Atomics

Neoclassical tearing mode (NTM) is an magnetohydrodynamic (MHD) instability which appears in high- β plasmas with positive magnetic shear (β is the ratio of the plasma pressure to the magnetic pressure). Since the NTMs degrade the plasma confinement through the formation of magnetic islands, stabilization of the NTMs is required to sustain a high- β plasma. Localized current drive at the mode rational surface using electron cyclotron (EC) waves, electron cyclotron current drive (ECCD), is considered to be the most promising method for NTM stabilization due to the capability of high magnitude of current drive density and high accuracy of current drive location.

Both JT-60U and DIII-D devices have the capability of detailed investigation on NTM physics because they equip (a) high-power heating system to obtain a high-beta plasma, (b) high-power EC wave system to actively stabilize NTMs, (c) high temporal and spatial resolution diagnostics to measure and control NTMs and (d) advanced plasma control system for real-time NTM stabilization. A number of leading results have been reported from the both devices. For example, most recently, NTM stabilization by modulated ECCD was demonstrated [1, 2]. Against the backdrop of these results, close research collaboration has been continued between JT-60U and DIII-D.

It is known that NTM islands have the property of spontaneous shrinkage at small island width due to several stabilization effects, and such shrinkage has also been observed experimentally. Investigation on the island width at which the spontaneous shrinkage begins, which is referred to as the marginal island width, is important in estimating the required EC wave power and establishing the scenario for NTM stabilization. In collaboration with ASDEX-U (Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, Germany), DIII-D and JT-60U, the marginal island width for an $m/n = 3/2$ NTM was investigated. Here, m and n are the poloidal and toroidal mode numbers, respectively. It was found that the marginal island is about twice the ion banana width (Fig. 1) [3]. In addition, based on the results and experiences in ASDEX-U, DIII-D and JT-60U, requirement for real-time NTM stabilization in ITER was also investigated [4].

Stabilization of NTMs by ECCD is usually achieved by injecting EC waves inside the NTM islands. As a new strategy, ECCD at the mode rational surface before the NTM onset, what we call preemptive stabilization, was developed and the effectiveness was successfully demonstrated in JT-60U [5, 6]. Preemptive stabilization in a higher- β regime was demonstrated in DIII-D with participation of JT-60 staffs. Experiments using a newly developed real-time control system were successfully conducted, where equilibrium reconstruction with current density measurement and identification of the mode

location were performed in real time [7]. Typical example is shown in Fig. 2. In the discharge, the beta value was raised to the no-wall ideal MHD limit by suppressing the onset of an $m/n = 2/1$ NTM. Soon after the switch-off of the ECCD, an $m/n = 2/1$ NTM appeared. This result shows the effectiveness of the preemptive ECCD.

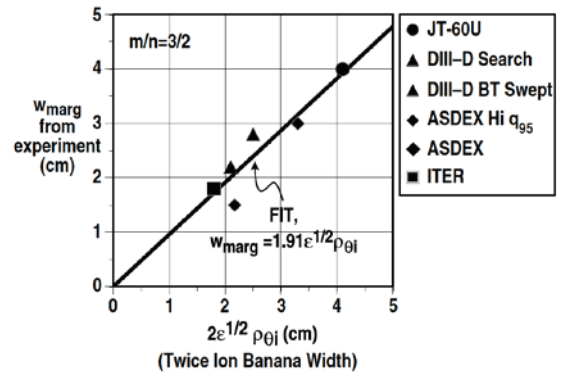


Fig. 1. Marginal island widths in ASDEX-U, DIII-D and JT-60U versus twice the ion banana width. Expected marginal island width in ITER is also shown. [from Ref. 3]

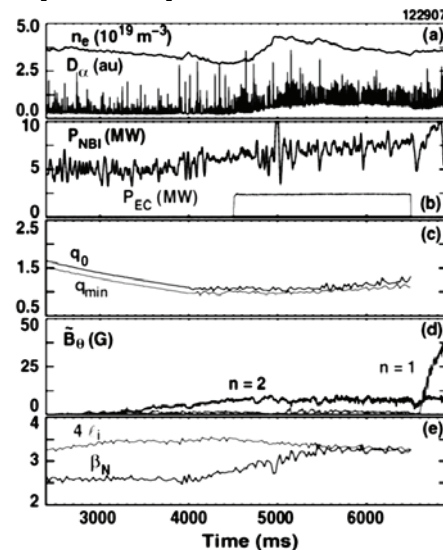


Fig. 2. Evolution of plasma behavior of a preemptive ECCD discharge in DIII-D. (a) line-averaged density and D_α emission, (b) EC wave power and time-averaged neutral beam power, (c) central and minimum value of safety factor, (d) amplitudes of $n = 2$ and $n = 1$ tearing modes and (e) normalized beta and four times the internal inductance (an estimate of the beta limit for the ideal $n = 1$ kink mode in the absence of a conducting wall). [from Ref. 7]

- 1) Isayama, A. *et al.*, Nucl. Fusion **49** (2009) 055006
- 2) Volpe, F. *et al.*, Phys. Plasmas **16** (2009) 102502
- 3) La Haye, R.J. *et al.*, Nucl. Fusion **46** (2006) 451
- 4) La Haye, R.J. *et al.*, Nucl. Fusion **49** (2009) 045005
- 5) Nagasaki, K. *et al.*, Nucl. Fusion **43** (2003) L7
- 6) Isayama, A. *et al.*, Phys. Plasmas **12** (2005) 056117
- 7) Prater, R. *et al.*, Nucl. Fusion **47** (2007) 371

High-brightness and low-divergence lithium neutral beam for a Zeeman polarimetry on JT-60U

Category : Doublet III

Year-Number : 2005-DO-9,

Name: A. Kojima, K. Kamiya, T. Fujita, H. Kubo, H. Iguchi*.

Affiliation: Japan Atomic Energy Agency, *National Institute for Fusion Science.

Lithium beam probes (LiBP) are powerful diagnostic for pedestal studies since the electron density and the pitch angle of the magnetic field line in edge plasmas can be measured from the beam emission signal and its polarization angle. In order to measure the edge plasmas with high-spatial and high-temporal resolutions, high-performance neutral lithium beams are required. In the previous works on DIII-D, direct measurements of the edge current density was carried out by use of 30 keV, >10mA lithium beams [1]. Recently, JT-60U planned to install the LiBP for the measurement of the edge electron density and current density. For the LiBP on JT-60U, the optimum beam energy was lower than that for DIII-D because of lower pedestal density. However, the large beam current was also required to obtain a high S/N ratio. Such beams are strongly affected by the space charge effects and easy to spread. Therefore, a high-brightness and low-divergence neutral lithium beam source with low energy of 10 keV has been developed on JT-60U.

In order to obtain a large current over 10 mA, a thermionic ion source heated by an electron beam has been developed. The diameter of the ion emitter is 50 mm which is made from porous tungsten with porosity of 30 %. The porous tungsten disk is mounted on the molybdenum holder as shown in Fig. 1. The acceleration voltage of 1.5 kV for the electron beam is applied between the disk and a tungsten filament behind the disk. The surface temperature of the disk reaches to 1500 °C with the typical heating power of 1.3 kW. The extracted ion current can exceed 10 mA in this case. The maximum power of the electron beam heating is 5 kW which is enough to make β eucryptite ($\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) soaked in the disk.

The beam optics has been designed after detailed numerical simulation taking the space charge effects into



Fig. 1. The electron beam heated ion source with a 50 mm porous tungsten disk and a molybdenum holder.

account because a low divergence angle of the neutral lithium beam is required in terms of the narrow spectrum of the beam emission and the high transmission of the long beam line of 6.5 m. Although the beam energy of 10 keV is relatively low, an extraction electrode installed in front of the ion source can produce a large current beam over 10 mA.

The newly-developed ion gun has been operated on a test stand which simulates the diagnostic geometry on JT-60U. The ion beam current of 10mA at a beam energy of 10 keV is successfully extracted from the ion source and focused by Einzel lens. The FWHM (Full Width at Half Maximum) radius of the ion beam at the neutralizer is about 9 mm. A sodium vapor neutralizer neutralizes the collimated ion beam fully at the temperature of 300 °C. The neutral beam profiles have been measured at two locations of the beam line at 2.3 m (beam monitor position) and 6.5 m (plasma region) from the neutralizer. The HWHM radius of the neutral beam of 26mm and the equivalent beam current of 3 mA with the beam divergence angle of 0.2 degree which is the half-angle divergence have been obtained. Those parameters satisfy the requirements of the Zeeman polarimetry. Furthermore, a long pulse extraction with a current of 10 mA and duration of 50 seconds has been attained [2].

After developing the detectors, the LiBP has been installed on JT-60U. The LiBP has 20 viewing chords in the edge region $r/a = 0.8 \sim 1.0$ with a spatial resolution of 1 cm. Etalon and band-pass filters are applied to separate the polarized spectrum of the beam emission. In order to tune the etalon filters, a new technique in which the Doppler shifted spectrum is varied by sweeping the beam energy has been developed and has demonstrated the availability [3].

The electron density profiles in the edge region have been measured by using the LiBP with a temporal resolution up to 0.5 ms. In addition, an ELM cycle in cases of type I and grassy ELMs have been observed [4]. The collapse of density pedestal of grassy ELMs is smaller (<20%) and the radial extent is narrower (~ 5 cm) than those of type I ELMs ($\sim 30\%$, >15 cm). The measurement of the edge current density has been also achieved by using the LiBP [3]. Time evolution of the edge current density profiles have been determined for the current ramp up/down in the OH plasmas. Moreover, the edge current density profile having the local peak of 0.15–0.25 MA/m² at $r/a \sim 0.9$ has been identified in the H-mode plasma. The local peak might be caused by the strong pressure gradient in the edge pedestal region.

[1] D. M. Thomas et.al., Phys. Rev. Lett. **93**, 065003 (2004)

[2] A. Kojima et al., Rev. Sci. Instrum. **79**, 093502 (2008).

[3] K. Kamiya et al., Rev. Sci. Instrum. **81**, 033502 (2010).

[4] A. Kojima et al., Nucl. Fusion **49**, 115008 (2009).

Numerical Method for the Stability Analysis of Ideal MHD Modes with a Wide Range of Toroidal Mode Numbers in Tokamaks

Category : Doublet III

Year-Number : 2004-DO-2, 2005-DO-2,

Name: N. Aiba, S. Tokuda, M. S. Chu¹, P. B. Snyder¹

Affiliation: Japan Atomic Energy Agency, ¹General
Atomics

In tokamaks, an ideal magnetohydrodynamic (MHD) instability attracts attention as one of key issues for a high performance operation. This is because a low- n MHD mode often restricts a plasma performance (beta limit), and intermediate / high- n MHD modes sometimes determine an edge pedestal performance, where n is a toroidal mode number. To identify the stability of these MHD modes, we have invented the effective numerical method for the stability analysis of ideal MHD modes with the physical model based on the two-dimensional Newcomb equation in combination with the conventional compression-less ideal MHD model. The MARG2D code has been developed based on this numerical method, and realizes to analyze the stability of ideal MHD modes with a wide range of toroidal mode number n [1,2]. In this collaboration, we execute the benchmarking test of this MARG2D code with the DCON code [3] for a low- n mode stability analysis, and that with the ELITE code [4,5] for an intermediate / high- n mode analysis.

Figure (a) shows the dependence of the β_N limit on the wall position d/a . These dependences identified with MARG2D and DCON are almost identical to each other. Unfortunately, since the DCON code used in this benchmarking (ver. 3.2) cannot output the marginally stable eigenfunction, we cannot compare the radial structure of the eigenfunction. However, in a up-down symmetric equilibrium, the benchmarking tests between MARG2D and the ERATOJ code [6] have been executed in Ref. [2], and the radial structures of the marginally stable eigenfunctions have been identified as almost same as each other.

Figure (b) shows the toroidal mode number n dependence of the growth rate γ normalized with the toroidal Alfvén frequency on the magnetic axis ω_A . The agreement between MARG2D and ELITE is quite good, and as shown in Ref. [7], the radial structures of the most unstable eigenfunction obtained with MARG2D and ELITE are almost identical to each other. The results of these benchmarking tests show the validity of the MARG2D code for the stability analysis of not only low- n but also intermediate / high- n MHD modes [7].

With this code, we investigated the MHD stability property in JT-60SA, the complemented device for ITER focusing on effect of the plasma shape. These stability analyses show that the highly shaped plasma designed for achieving high performance discharges in JT-60SA is suitable for stabilizing not only low toroidal mode number MHD modes, which restrict the β_N limit of discharges, but also intermediate to high toroidal mode number MHD modes, which relate to the edge pedestal performance and

ELM phenomena. For not only the experimental analysis of existing devices but also the design of ITER and JT-60SA, MARG2D realizes the stability analysis of the various kinds of ideal MHD modes that restrict the beta limit and the pedestal performance.

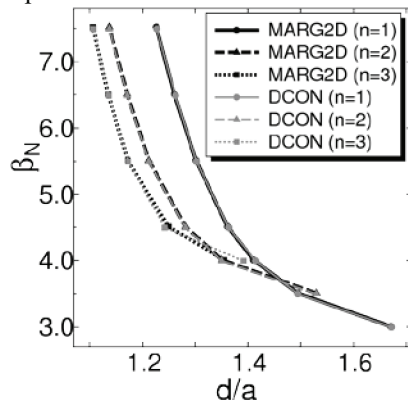


Fig. 1: Dependence of the β_N limit on the wall position d/a . Each dependence of the β_N limit restricted by the $n = 1, 2, 3$ MHD modes stability estimated with MARG2D is almost identical to that calculated with DCON.

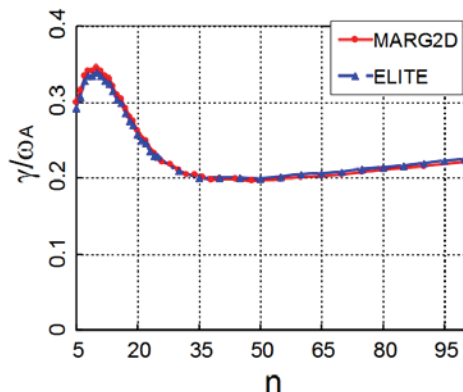


Fig. 2: Dependence of γ / ω_A on n calculated with MARG2D (solid line) and ELITE (broken line). The agreement between both codes is quite good.

- [1] S. Tokuda and T. Watanabe, Phys. Plasmas 6, 3012 (1999).
- [2] N. Aiba, S. Tokuda, T. Ishizawa, and M. Okamoto, Comput. Phys. Commun. 175, 269 (2006).
- [3] A. H. Glasser and M. S. Chance, in Bull. Am. Phys. Soc., volume 42, page 1848, 1997.
- [4] H. R. Wilson, P. B. Snyder, R. L. Miller, and G. T. A. Huysmans, Phys. Plasmas 9, 1277 (2002).
- [5] P. B. Snyder et al., Phys. Plasmas 9, 2037 (2002).
- [6] R. Gruber and J. Rappaz, Finite Elements Methods in Linear Ideal Magnetohydrodynamics, Berlin: Springer, 1985.
- [7] N. Aiba, S. Tokuda, T. Fujita, T. Ozeki, M. S. Chu, P. B. Snyder, and H. R. Wilson, Plasma Fusion Res. 2, 010 (2007).

Rotation effect on RWM stabilization

Category : Doublet III

Year-Number : 2003-DO-5, 2004-DO-6, 2006-DO-2

Name: M. Takechi, G. Matsunaga, N. Aiba, H. Reimerdes¹, A.M. Garofalo¹, G. L. Jackson², M. Okabayashi³, E. J Strait², M. S. Chu² and Y. In⁴

Affiliation: JAEA, ¹Columbia University, ²General Atomics, ³PPPL, ⁴FARTECH, Inc.

To realize an economical fusion reactor, stabilization of the low- n kink-ballooning mode is necessary: An economical fusion reactor, in its steady state, relies largely on the spontaneously flowing bootstrap current for its plasma current that produces the confining magnetic field, because this can reduce the externally driven current. But such plasma has generally a hollow current profile and is susceptible to the low- n kink-ballooning mode, which can limit the achievable beta. The growth rate of the external kink-ballooning mode can be reduced with a close-fitting conducting wall, and the resulting mode, the so-called resistive-wall mode (RWM), has a growth time corresponding to the time constant of the relaxation of the wall current [1]. There are two different procedures for stabilizing RWM. The first is the feedback control stabilization using externally applied nonaxisymmetric magnetic fields with coils in order to compensate for the diffusion of flux [2]. The second is stabilization of RWM by toroidal plasma rotation. Bondeson and Ward showed that RWM could be fully stabilized with resistive walls when the plasma rotation is sufficiently large [3]. Both theories and experiments imply that the critical rotation velocity is around 1% - 2% of the Alfvén velocity. This estimated critical rotation is comparable to a predicted toroidal rotation of 2% of the Alfvén velocity at plasma center and much larger than 0.3% of that in the peripheral region including the $q =$ integer surface for the ITER advanced scenario. The most significant problem in the previous experiment is that investigation of the critical rotation is performed with magnetic braking by adding an asymmetric magnetic field, the so-called error field. It has been pointed out that the error field plays a very important role in the destabilization of RWM and should be substantially reduced near the no-wall limit. Since RWM stability itself is affected by the error field, which is the origin of magnetic braking, we should not use magnetic braking in the investigation of critical rotation.

A very low rotation threshold was obtained in the JT-60U in an investigation of the critical rotation for stabilizing RWM by controlling the toroidal plasma rotation with changing the combination of tangential neutral beams (NBs) without magnetic braking [4-6]. The observed critical rotation is $V_{\phi} \sim 20$ km/s and corresponds to 0.3% of the Alfvén velocity at the $q = 2$ surface, much smaller than the previous prediction with magnetic braking (Fig. 1). This low critical rotation does not increase as increases toward the ideal wall limit. Also an ITER relevant low rotation ($\sim 0.4\%$ of the Alfvén velocity)

stabilization of RWM is demonstrated for 50 times the skin time of the first wall. These results indicate that for large plasmas such as in future fusion reactors with low rotation, the requirement of the additional feedback control system for stabilizing RWM is much reduced.

Around the same time, similar experiments were performed on DIII-D. High- β DIII-D experiments with the new capability of balanced neutral beam injection also show that the resistive wall mode (RWM) remains stable when the plasma rotation is lowered to a fraction of a per cent of the Alfvén frequency by reducing the injection of angular momentum in discharges with minimized magnetic field errors [7,8]. A toroidal rotation frequency of less than 10 krad/s at the $q = 2$ surface corresponding to 0.3% of the inverse of the toroidal Alfvén time is sufficient to sustain the plasma pressure above the ideal MHD no-wall stability limit (Fig. 1). The low-rotation threshold is found to be consistent with predictions by a kinetic model of RWM damping. Previous DIII-D experiments yielded a high plasma rotation threshold (of order a few per cent of the Alfvén frequency) for RWM stabilization when resonant magnetic braking was applied to lower the plasma rotation. They propose that the previously observed rotation threshold can be explained as the entrance into a forbidden band of rotation that results from torque balance including the resonant field amplification by the stable RWM.

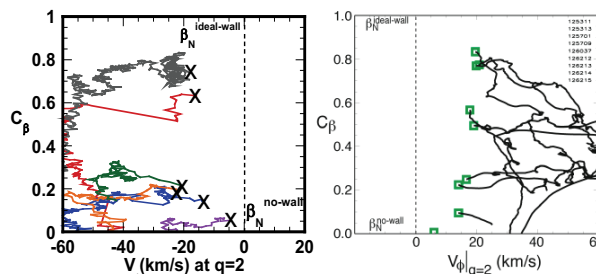


Fig. 1. Trajectories of the C_β versus toroidal rotation at $q = 2$ for JT-60U (left) and DIII-D (right). The crosses and squares denote the onset points of RWM on JT-60U and DIII-D, respectively [6,8].

- [1] D. Pfirsch and H. Tasso, Nucl. Fusion **11**, 259 (1971).
- [2] C. M. Bishop, Plasma Phys. Controlled Fusion **31**, 1179 (1989).
- [3] A. Bondeson and D. J. Ward, Phys. Rev. Lett. **72**, 2709 (1994).
- [4] G. Matsunaga *et al.*, Europhys. Conf. Abstr. **301**, 02.003 (2006).
- [5] M. Takechi *et al.*, Phys. Rev. Lett. **98**, 055002 (2007).
- [6] M. Takechi *et al.*, in *Proceedings of the 21st IAEA Fusion Energy Conference, Chengdu, China, 2006*, http://www-pub.iaea.org/MTCD/Meetings/FEC2006/ex_7-1rb.pdf.
- [7] H. Reimerdes *et al.*, Phys. Rev. Lett. **98**, 055001 (2007).
- [8] A. M. Garofalo *et al.*, in *Proceedings of the 21st IAEA Fusion Energy Conference, Chengdu, China, 2006*, http://www-pub.iaea.org/MTCD/Meetings/FEC2006/ex_7-1ra.pdf.

7章 HFIR

本共同研究計画では、これまで30年間にわたる日米の研究者のたゆまぬ努力により、核融合炉開発に寄与するべく、構造材料の照射損傷に関する科学的及び工学的な成果が得られて来ている。

7.1 目的

共同研究計画の目的は、日米の核融合炉用の構造材料及び機能材料について、高い弾き出し損傷量及びヘリウム量までの照射の影響をオークリッジ国立研究所の高中性子束アイソトープ炉(HFIR)をもちいて評価することである。この結果から、特性値及び挙動に関するデータベースを構築し、これを通じて、将来の核融合炉に日米の材料を使用する場合、それらが発揮すると期待される性能を評価するものである。そして、これを実現するに必要となる、共同研究の立案、実施及び評価も含まれている。

7.2 活動

本共同研究の活動は、以下の項目に関するものである。

- (1)共同研究の計画立案
- (2)HFIR をもちいる照射実験の立案と実施
- (3)材料の特性評価及び照射後試験に関わる技術開発
- (4)共同研究を実施するための人員及び情報の交換
- (5)共同実験で得られた成果の交換

これまで、5期にわたる計画を実施した(各5-6年間)。これら第1期から第5期までの計画は、それぞれ1983年、1988年、1994年、1999年及び2004年に開始され、さらに第5期を引き継ぐ計画が2009年から始まり2014年まで予定されている。

第1期計画での中心的な課題は、高い弾き出し損傷とヘリウム濃度が組み合わさって作用した場合における、米国及び日本のオーステナイト鋼の機械的特性変化及びスウェリング挙動の評価である。第2期計画での重要課題もオーステナイト鋼の照射挙動であるが、特に、ヘリウム原子の生成速度と弾き出し損傷の生成速度の比率(He/dpa 比)を、核融合条件での値に正確に調整した「スペクトル調整照射法」(熱中性子と高速中性子の割合を遮蔽材で制御した核分裂炉照射法で、ニッケルを含む合金に適用可能)を用いた精度を高めた評価を、多様な溶接部分を対象に含めて実施した。第3期計画では、一転して、DEMO炉のための先進的な材料の探索を開始した。低放射化フェライト鋼(RAF/M)、バナジウム合金、SiC/SiC 複合材料及びTiAl 金属間化合物の照射挙動の評価を開始するとともに、セラミックス(アルミナ等)や SiC/SiC 複合材料の熱伝導及び電気伝導の照射下その場測定手法を開

発し、照射実験を行った。第 4 期計画では、(a) 運転中の第一壁及びブランケット構造材料の挙動を予測する方法の開発を、原子力機構と JFE が開発した低放射化フェライト鋼 F82H を対象に行いつつ、機械的特性に関する質の高い照射材料データベースを構築すること、(b) F82H 及び関連した鋼を用いて、弾き出し損傷とヘリウム原子の同時生成による材料損傷が、体心立方格子(BCC)合金の塑性及び破壊挙動に影響を及ぼす基本的な機構の解明を目的に定めた。第 5 期計画については、日米双方の一致した認識である、ITER TBM の設計、製作及び運転の検討に不可欠と考えられる、低放射化フェライト鋼の照射挙動を提供することを、共同研究計画の主な目的の一つとしつつ、加えて、ナノスケールで微細組織等を制御し、弾き出し損傷及びヘリウム生成の影響の抑制を試みた材料について、その照射挙動の評価を行うとした。これらの活動から、DEMO 炉の重要機器に用いる革新的な低放射化フェライト合金に関する科学的な基盤の整備も期待した。

7.3 運営

共同研究計画全体の運営については、運営会議を設けて実施してきた。運営会議は 4 人のメンバーで構成され、JAEA 及び DOE の双方から各々 2 名ずつ指名される。運営会議は、以下に示す項目を担当する。

- (1) 共同研究の計画立案、JAEA 及び DOE からの資金の分担を含む年間実施計画を定める。
- (2) 経費の評価と支出の検討を行う。
- (3) 論文の発表計画を検討する。
- (4) 人員派遣について検討する。
- (5) 年間実施予定案、予算及び人員派遣予定案を JAEA 及び DOE に勧告し、承認を得る。
- (6) 当該年度の計画実施状況報告、予算の分担と人員派遣を含む次年度の共同研究計画案を作成し、担当者を通じて、日米の核融合エネルギーに関する調整委員会に提案し、JAEA 及び DOE の承認を得る。

7.4 研究成果の概要とハイライト

第 1 期から第 3 期については、前回も報告があるが、これらについても、はじめに簡単に触れる。

第 1 期計画での主な成果の一つは、日米双方のオーステナイト鋼の化学組成及び熱処理条件の最適化である。第 2 期計画では、(i) 核融合条件での正確なヘリウム原子の生成速度と弾き出し損傷の生成速度の比(He/dpa 比)による照射実験実施、(ii) 溶接部における、複雑な組織等を持つ材料の照射挙動評価が指摘できる。第 1 期及び第 2 期計画の結果は、ITER の第一壁でのオーステナイト鋼の使用条件の決定に用いられた。なお、当初想定されたオーステナイト鋼の使用条件は、結果として、ITER での材料の使用条件とは異なる点が増え

た。

第3期計画での重要成果の一つに、日米の低放射化フェライト鋼の開発を挙げることができる。これらの鋼は、従来の非低放射化鋼に比べて照射特性が優れ、また使用後の誘導放射能が少ないことが期待されている。第3期計画でのその他の成果を挙げれば、セラミックス等の照射下の電氣的及び熱的特性の測定方法開発が指摘できる。

第4期計画においては、以下の成果が指摘できる。(a) 微細組織及び機械的性質に対するヘリウムの影響を評価する手法の開発と、これに用いる強度試験片の形状最適化による小型化の実現(キャプセルに装荷できる試験片の数を増す)、(b) 低放射化フェライト鋼よりもさらに先進的な材料、例えば、優れた照射特性を持つ SiC/SiC 複合材料の開発、(c) 低放射化フェライト鋼(参照材料 F82H)の照射特性への知見の向上と、これによる照射下クリープ挙動の応力や照射量依存性の理解、引張特性への熱処理条件の影響の理解等の向上。

試験片の小型化(微小試験片材料試験技術の開発)については、第4期及び第5期計画でも改良を進め、例えば、予亀裂付き曲げ試験片の小型化を実現した。照射による機械的特性変化のうち、破壊靱性値や延性の低下は、低放射化フェライト鋼の ITER TBM 及び DEMO の真空容器内機器への適用の鍵を握る事柄である。第5期計画では、照射量 20dpa、温度 300°C から 500°C の範囲での照射挙動評価を行い、照射材料データベースの拡充を図った(第4期計画の期間中に照射を開始した)。試料には、F82H、F82H のバリエーション、米国の低放射化フェライト鋼等が用いられた。F82H のバリエーションは、熱処理条件の厳密化データ取得及びタンタル添加量の影響評価を目的としたヒートである。結果は、照射後の残留延性及び破壊靱性値(延性脆性遷移温度 DBTT を含む)が、核融合機器への利用に適切な範囲を保つことを示した。すなわち、照射後の DBTT(100°C 以下を保った)は想定使用温度よりも十分に低く、また残留延性(7.9dpa 照射後で 50%以上)も相当高い値を示した。これらの重要特性への照射効果に関しては、低放射化フェライト鋼である F82H 及び ORNL の 9Cr 鋼は、いずれも、照射量 20dpa までの範囲では、真空容器内機器に適用できる特性を示した。特に、ORNL の 9Cr 鋼及び F82H のバリエーションは、照射後の DBTT が室温以下との優れた挙動を示した。この結果及び延性低下や DBTT 上昇が照射量に対して飽和傾向を示すことは、これらのヒートがより高い照射量まで利用できることを示唆している。微細組織観察により、バリエーション(熱処理条件の厳密化用のヒート)が優れた特性を示す機構が明らかにされつつ有る。先進的なナノ複合材料(NCFs)及び SiC/SiC 複合材料について指摘すれば、時効及び照射下でのナノ分散酸化物粒子の安定性が高いこと、及び化学量論比が 1 に近い高純度 SiC/SiC 複合材料では、照射による強度特性変化が少ないことを明示できた。高いレベルの弾き出し損傷量及びヘリウム量をもたらす体心立方合金の塑性変形及び破壊機構に対する影響の解明、及び照射による影響を軽減するためのナノスケールでの材料の微細組織の改良についても進捗が得られている。すなわち、ニッケルを含む合金によるコーティング法を用いることで、低放射化フェライト鋼に任意の He/dpa 比で、ヘリウム原子と弾き出し損傷を H F I R 照射中に与える方法(試料表面のみで達成されるが)の実証に成功し、

さらに原子レベル及びマクロ領域における照射効果モデルの構築にも進捗が得られた。これらのモデル化や新しい実験手法の開発により、照射損傷がもたらす体心立方合金の塑性変形及び破壊挙動の機構への影響に関する基本的な理解に加えて、高照射構造物の構造設計手法開発の基盤形成についても進展が得られている。第5期計画に引き続く活動では、TBM 開発に向けて He/dpa 比を核融合条件(10appmHe/dpa)に正確に調整した低放射化フェライト鋼の照射を行い、これまで評価例が比較的少ない、疲労挙動及び照射下クリープ挙動のデータ取得を進めるとともに、重要性が高い残留延性及び破壊靱性値の評価を溶接部に対しても行い、これによりデータベースの拡充に加えてマクロ的挙動のモデルの構築を進める。このような評価に加え、高損傷量(50dpa 及び 500appmHe 以上)での照射特性評価を通じて、DEMO への適用に関する知識ベースの拡充を目指している。モデリングの活動は、高照射構造物の設計手法開発で重要な役割を持つとともに、NFC や SiC/SiC 複合材料等の革新的な材料の開発にも重要である。

これまでの5期にわたる共同実験計画での成果を以下に列記する。また、各ハイライトについての資料を付す。

(i) オーステナイト鋼

(i-1) 高照射量までの挙動評価(50dpa まで)(第1期計画)

(i-2) 溶接部の照射挙動評価(第2期計画)

(i-3) 核融合条件での正確な He/dpa 比での照射を実現する、スペクトル調整照射法の開発と適用(第1期及び第2期計画)

(i-4) オーステナイト鋼の破壊靱性値(第2期計画)

(i-5) 照射誘起応力腐食割れ(IASCC)評価(第3期計画)

(ii) その場照射実験手法

(ii-1) セラミックス等の照射下熱伝導及び電気伝導のその場照射実験(第3期照射)

(iii) 低放射化フェライト鋼(RAF/M 鋼)

(iii-1) 低放射化フェライト鋼の開発(第2期及び第3期計画)

(iii-2) 低放射化フェライト鋼の破壊挙動(破壊靱性値及び延性脆性遷移温度)(第4期及び第5期計画、ハイライトの No. 1、2、3 及び4)

(iii-3) 熱処理条件の緻密化と微量添加元素であるタンタルの効果(第5期、ハイライトの No. 1、4 及び5)

(iii-4) 照射下クリープ(第4期計画、ハイライトの No. 1 及び7)

(iv) 試験法開発

(iv-1) 微小試験片材料試験法(第4期及び第5期計画、ハイライトの No. 4 及び7)

(iv-2) その場ヘリウム注入法(第5期計画)

(v) モデリング

(v-1) 材料中でのヘリウム原子の挙動(第5期計画、ハイライトのNo. 8)

(v-2) 照射した低放射化フェライト鋼の構成式(第5期計画、ハイライトのNo. 1及び9)

(vi) 革新的材料の開発

(vi-1) SiC/SiC 複合材料(第4期及び第5期計画、ハイライトのNo. 10)

(vi-2) ナノフェライト複合材料(第4期及び第5期計画、ハイライトのNo. 1)

Irradiation effects on deformation and fracture of reduced activation ferritic steels

Category: Fusion engineering/HFIR

Year-Number : 04-09 - No. 1

K.Shiba, E.Wakai, T.Sawai, M.Ando, H.Tanigawa, T.Hirose, R.L.Klueh*, R.E.Stoller*, G.R.Odette**, S.Jitsukawa JAEA, *ORNL, **UCSB

Reduced activation ferritic steels (RAFTs) are candidate structural materials for in-vessel components of a DEMO. The service temperature is expected to range between 300 and 550°C while 14MeV D-T fusion neutron irradiation introduces displacement damage to 100-150 dpa and damage from transmutation produced atoms (e.g. He atoms with production rate of 10-15 appmHe/dpa) to cause reductions of elongation, fracture toughness and fatigue life, as well as dimensional changes by irradiation creep and swelling[1]. Therefore, the DOE-JAEA collaborative experimental program using HFIR has been conducted to investigate the irradiation response of RAFTs. Japan's F82H was chosen as a reference heat with objective of producing an irradiation materials database, while analyzing deformation and fracture for the modeling of the irradiation effects. The results indicate that degradation by displacement damage is manageable for the doses examined [2]. Moreover, tightening/optimization of heat treatment conditions reduced radiation-induced embrittlement, suggesting the feasibility of RAFTs for the DEMO[2, 3]. Analysis on deformation and fracture also provided post-irradiation constitutive equations. This and the fracture behavior are essential for developing a design methodology.

Effects of irradiation on tensile, fracture and creep properties are summarized, as well as the analysis of deformation. Methods to improve post irradiation fracture resistance are also introduced.

1) Tensile property: Below 400°C, irradiation often causes hardening and reduction of elongation (see, Fig. 1). The reduction of elongation has been recognized as an issue, however detailed analysis revealed that relatively large ductility remained even after irradiation [4]. Moreover, tightening/optimization of the heat treatment condition was found to keep post irradiation ductility even higher [3].

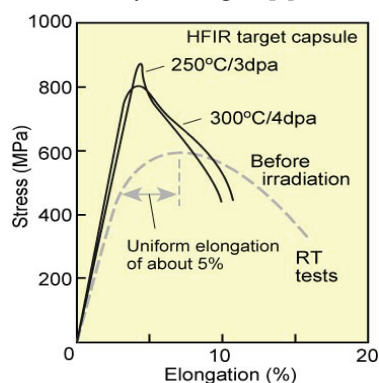


Fig.1 Engineering stress-strain relations of F82H before and after irradiation[2]. Irradiation reduces elongation (One of the issues).

2) Fracture toughness: Below 400°C, irradiation also reduces fracture toughness and upper shelf energy, and increases the shift in ductile to brittle transition temperature (DBTT). Fig. 2 shows DBTT-shift of several ferritic steels by irradiation. It should be noted that DBTT-shifts of RAFTs are smaller than those of conventional steels. 14 MeV high energy D-T neutrons introduce He atoms at a high rate and is thought to cause additional toughness degradation. Doping of ⁵⁸Ni and ¹⁰B introduces He atoms during irradiation of RAFT in HFIR. Fractography revealed that 300-400appmHe introduced a change in

the mechanism of cracking to promote failure at crystallographic boundaries, although it introduced no apparent change in DBTT-shift [4, 5]. On the other hand, reduction of the post irradiation DBTT has been successfully achieved by tightening/optimization of heat treatment condition before irradiation (see, Fig. 3) [5].

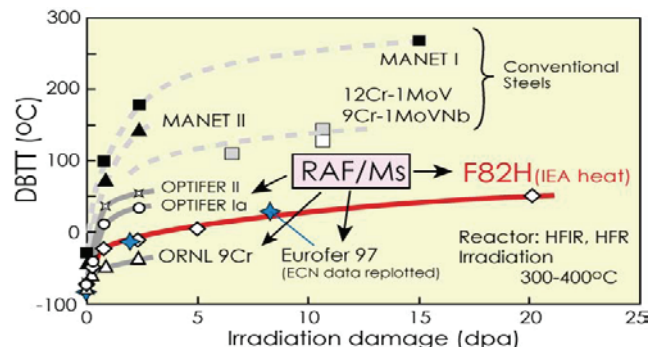


Fig.2 Damage level dependence of DBTT for F82H [2].

F82H exhibits smaller DBTT-shift than conventional steels.

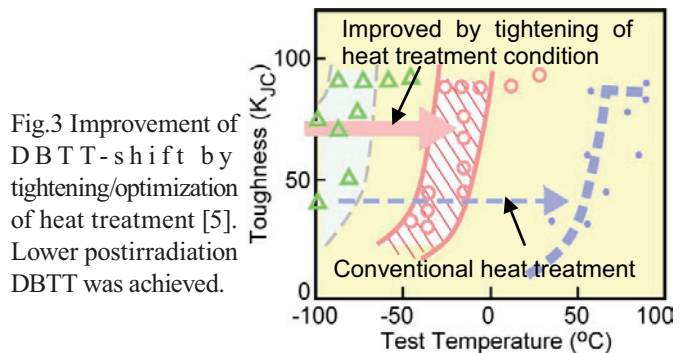


Fig.3 Improvement of DBTT-shift by tightening/optimization of heat treatment [5]. Lower postirradiation DBTT was achieved.

3) Irradiation creep: Irradiation creep strain has been evaluated from diametral change of pressurized tube specimens. At 300 and 500°C, creep strains were rather small and almost proportional to hoop stress below 380 and 180 MPa, respectively [6].

4) Modeling of deformation and fracture (Macroscopic models): Analysis of the deformation of tensile specimens with macroscopic defects (e.g. holes) has been conducted to evaluate constitutive equation after irradiation [7]. The strain distribution was measured with 3D image analysis equipment and optical microscopy. Either Ludwik or Swift type constitutive equations was applied, and stress-strain relations have been successfully reproduced to fracture strain levels. This provides the fundamentals required for a design methodology for components under intense neutron irradiation [2].

5) Microstructure and alloy development: Microstructural examinations including fractography have been conducted. The results indicate the deteriorating effects of inclusions containing Ti and N, as well as that by other complex inclusions [8]. Dispersion of Ti and Y containing nano-scale oxide particles in RAFT has been successfully achieved by mechanical alloying. One of the alloys, 14YWT exhibited superior strength at high temperatures [9].

- [1]S.Jitsukawa et al., J. Nucl. Mater., 329-333(2004)39-46
- [2]S.Jitsukawa et al., Nuclear Fusion 49 (2009) 115006
- [3]M.Ando et al., J. Nucl. Mater., 386-388 (2009) 315-318
- [4]R.L.Klueh et al., J. Nucl. Mater., 357 (2006) 156-168
- [5]N. Okubo et al., to be published
- [6]M.Ando et al., J. Nucl. Mater., 367-370(2007)122-126
- [7]G.R.Odette et al., J. Nucl. Mater., 307-311(2002)171-178
- [8]H.Tanigawa et al., J. Nucl. Mater., 367-370(2007)42-47
- [9]D.T.Hoetzer et al., J.Nucl.Mater.,367-370(2007)166-172

Fracture Toughness of HFIR Irradiated Tempered Martensitic Steels

Category : Fusion engineering/HFIR

Year-Number : 2004-09 - No.2,

Name: Takuya Yamamoto¹, Mikhail A. Sokolov², G. Robert Odette¹

Affiliation: ¹University of California Santa Barbara, ²Oak Ridge National Laboratory

Irradiation embrittlement, as characterized by upward shifts (ΔT_o) in the cleavage fracture toughness master curve (MC), is one of the key issues that control the operation window of the 8-9Cr-1-2W normalized and tempered martensitic steels (TMS) in fusion reactor first wall applications. At irradiation temperatures less than $\approx 400^\circ\text{C}$, the ΔT_o are primarily due to irradiation hardening, $\Delta\sigma_y$. One of the keys to understand and model the mechanism is to obtain the correlation between ΔT_o and $\Delta\sigma_y$.

Large number of small pre-cracked bend bar (PCBB) specimens, with single or multiple cracks, of several TMS were irradiated from 300 to 500 $^\circ\text{C}$ in HFIR target capsules, JP26 and JP-27, up to ≈ 22 dpa. Figure 1 summarizes the results for F82H IEA and F82H mod.3 heats. Figure 1a shows ΔT_o of the IEA heat as a function of neutron dose at four irradiation temperatures. There are clear trend showing less embrittlement at higher irradiation temperature corresponding to the irradiation hardening trend, except: 1) the 300 $^\circ\text{C}$ embrittlement trend shows no sign of saturation up to 20 dpa, 2) the embrittlement insists beyond the temperature of $\approx 450^\circ\text{C}$ where the irradiation hardening turns to softening regime. The F82H mod.3 heat seems to show less embrittlement than the IEA heat at the same dose level; however this needs further confirmation.

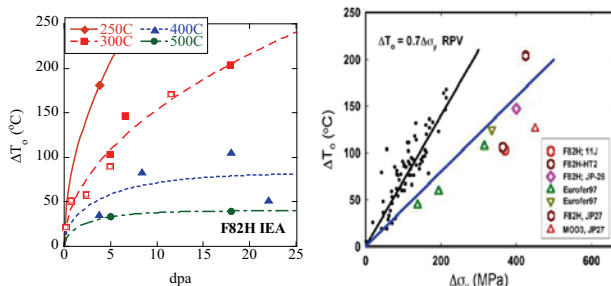


Fig. 1 a) Toughness reference temperature shift, ΔT_o , of F82H IEA heat as a function dpa at four irradiation temperatures; b) ΔT_o vs. $\Delta\sigma_y$ relation for various TMS steels obtained using PCBB specimens, compared to RPV database by Sokolov et al.[1]

Figure 1b summarizes relation between ΔT_o and $\Delta\sigma_y$ for the TMS measured using similar small specimens, compared with reactor pressure vessel (RPV) steel data collected by Sokolov [1] primarily using larger specimens. The TMS data show $\Delta T_o/\Delta\sigma_y$ ratio of ≈ 0.4 significantly smaller than that for RPV steels ≈ 0.7 . The major reasons for the low $\Delta T_o/\Delta\sigma_y$ ratio are believed to be due to 1) loss of strain hardening capacity in the irradiated TMS, and 2) constraint loss (CL) in the small specimens. The fracture toughness, K_{Jm} , measured using small specimens is generally higher than those obtained from larger,

conventional specimens, due to both statistical stressed volume (SV) and CL size effects. Size adjustment procedure developed for RPV steel [2] has successfully been applied to a large database of F82H K_{Jm} measured on specimens of various size and geometry [3]. The size adjustment procedure has been applied to a subset of the JP-26 irradiated specimen data. The CL adjustment is based on finite element analyses (FEA) of the crack tip stress field for actual specimen geometry compared to an ideal small scale yielding condition. The SV effect is adjusted by modified $B^{-1/4}$ scaling as is incorporated in ASTM E 1921 Master Curve standard. Details are given in ref [4]. Figure 2a shows B-adjusted toughness data before (K_{JB}) and after (K_{Jr}) the CL adjustment for F82H-IEA irradiated to ≈ 7 dpa at 300 $^\circ\text{C}$. The CL adjustment resulted in $\Delta T_o \approx 200^\circ\text{C}$, $\approx 60^\circ\text{C}$ more than the unadjusted case. The $\Delta T_o/\Delta\sigma_y$ of ≈ 0.56 after adjustment is consistent with larger CT specimen data as shown in Figure 2b, while it is still smaller than the RPV data. The effect of strain-hardening loss in irradiated TMS can be accounted for using the change in flow stress, resulting in more consistent $\Delta T_o/\Delta\langle\sigma_{fl}\rangle \approx 0.68$ in good agreement with the theoretical study by Odette et al. [5] shown in Figure 2c. The CL-adjusted ΔT_o data also showed good agreement with a hardening based prediction model [6] shown in Figure 2d. This research is on going.

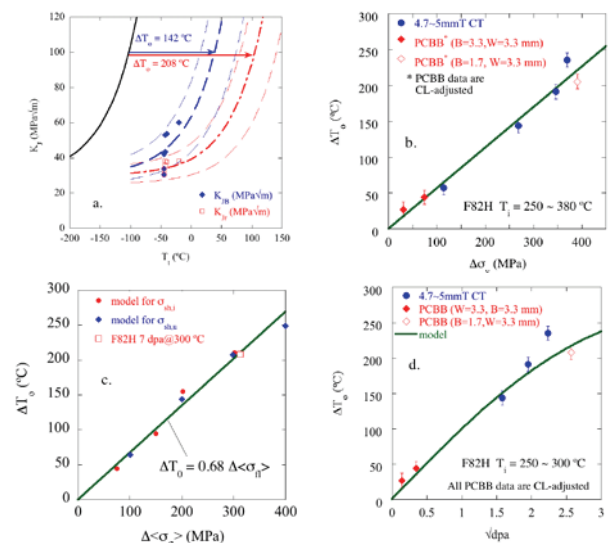


Fig. 2 a) 1T-conveted toughness data with MCs before (K_{JB}) and after (K_{Jr}) CL adjustment; b) ΔT_o vs. $\Delta\sigma_y$ relations in CL-adjusted PCBB or CT specimens of irradiated F82H-IEA; c) ΔT_o vs. $\Delta\langle\sigma_{fl}\rangle$ (flow stress change) compared with theoretical relation study[5]; d) ΔT_o in relatively high constraint specimens of F82H irradiated at $\approx 300^\circ\text{C}$ with a model prediction[6].

[1] Sokolov, M.A. et al., ASTM STP-1325(1999)167

[2] Rathbun, H.J. et al., Eng. Fract. Mech 73 (2006) 2723

[3] Odette, G.R. et al., J. Nucl. Mater. 329-333 (2004) 1243

[4] Yamamoto, T. et al., accepted for J. Nucl. Mater. (2010)

[5] Odette, G.R. et al., J. Nucl. Mater. 367-270 (2007) 561

[6] Yamamoto T. et al., J. Nucl. Mater. 356 (2006) 27

Charpy impact properties of reduced-activation ferritic/martensitic steels irradiated in HFIR up to 20 dpa

Category: Fusion engineering/HFIR

Year-Number : 04-09 - No. 3

H. Tanigawa, M.A. Sokolov*, R.L.Klueh*, K. Shiba
JAEA, *ORNL.

Irradiation up to 11 dpa at temperatures below 400°C indicated that the magnitude of the shift in ductile-brittle transition temperature (DBTT) to a higher temperature depends on irradiation dose. This is important because 100°C is expected to be the lowest temperature of fusion reactor blankets [1-3]. Current interest is to determine whether or not there is a dose at which the change in DBTT saturates, and to know the degradation level of toughness at saturation. Additionally, the effect of transmutation-formed helium on the mechanical properties, especially fracture toughness, is one of the most important issues that need to be understood for expected power plant reactor application. The effects of irradiation up to 20 dpa on the Charpy impact properties of reduced-activation ferritic/martensitic steels (RAFTs) were investigated.

The irradiation dose dependence of the shift in DBTT (Δ DBTT) for F82H-IEA is summarized in Fig. 1. Irradiation up to 5 dpa at 300°C shifted the DBTT up to near room temperature, and there was no obvious indication suggesting a saturation of the DBTT shift. On the other hand, the DBTT was not further increased by an increase in irradiation from 11 dpa [3] to 20 dpa at 380°C. This result indicates the Δ DBTT induced by irradiation around 380°C was saturated at 11 dpa.

The effects of prior austenite grain size on DBTT shift were investigated by comparing F82H-IEA (ASTM grain size 3.3) to F82H-HT2 (ASTM grain size 6.5). The fine grain structure in F82H-HT2 was obtained by renormalizing F82H-IEA using a lower austenitization temperature (920°C). The results show that the DBTT of both unirradiated and irradiated HT2 are slightly ($\sim 20^\circ\text{C}$) lower than for F82H-IEA, and the finer-grain F82H-HT2 has a higher USE than F82H-IEA. (see Fig. 2). From these results, it is concluded that F82H-HT2 benefited from the fine grain size after irradiation compared to F82H-IEA steel.

The correlation between Δ DBTT and yield stress increase ($\Delta\sigma_y$) is shown in Fig. 3 for F82H-IEA, F82H-HT2, F82H+2Ni, 9Cr-2WVTa and JLF-1. The three F82H variants follow the same trend. Ni-doped specimens are also on the same trend. From these data, the large Δ DBTT of Ni-doped F82H could be explained as the effect of radiation hardening, just as the other steels. The values for 9Cr-2WVTa and JLF-1 are slightly lower than the main trend. The reason for this difference between F82H and the two 9Cr steels was not clarified in this study, and will be investigated further in the future.

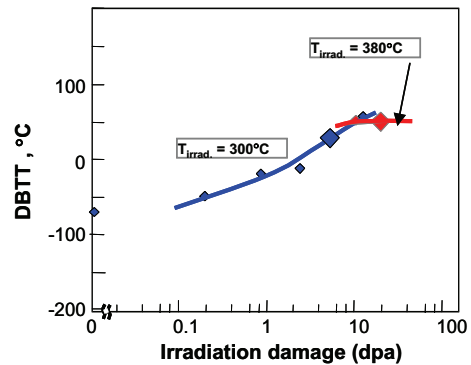


Fig. 1. Irradiation damage dependence of the DBTT of F82H-IEA irradiated at 300°C and 380°C. Data points indicated by small squares were reported elsewhere [3].

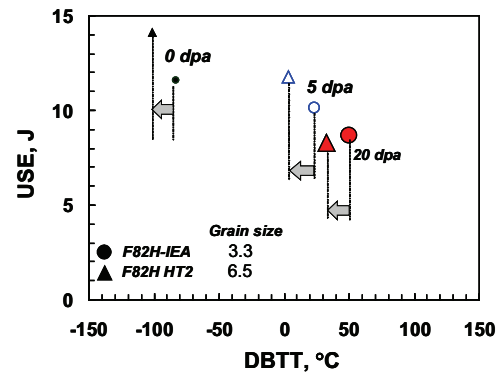


Fig. 2. Effect of prior austenite grain size on Charpy impact properties.

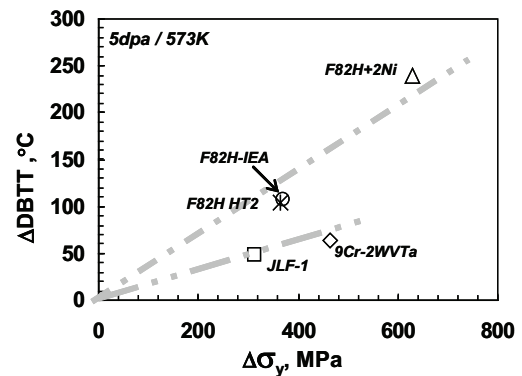


Fig. 3. Relation between DBTT shift and yield stress increase.

1. K. Shiba, M. Suzuki and A. Hishinuma, J. Nucl. Mater. 233-237 (1996) 309
2. K. Shiba and A. Hishinuma, J. Nucl. Mater. 283-287 (2000) 474
3. R.L. Klueh, M.A. Sokolov, K. Shiba, Y. Miwa and J.P. Robertson, J. Nucl. Mater. 283-287 (2000) 4784.

Heat Treatment Effect on Fracture Toughness of F82H Irradiated at HFIR

Category: Fusion engineering/HFIR

Year-Number : 2004-09 - No. 4

N. Okubo, M.A. Sokolov*, H. Tanigawa, T. Hirose, S. Jitsukawa, T. Sawai and R. Stoller*
JAEA, *ORNL.

The reduced activation ferritic/martensitic (RAF/M) steel F82H is recognized to be a leading candidate material for in-vessel components in a future fusion DEMO reactor, as well as that for ITER test blanket modules (TBM) in Japan [1]. Examination of the neutron irradiation response of RAF/M steels has been carried out mainly in DOE-JAEA collaborative experiments using the High Flux Isotope Reactor at Oak Ridge National Laboratory. F82H is the reference heat for the collaborative experiments. The results of recently completed post-irradiation examination demonstrated a remarkable improvement in the irradiation-induced degradation of fracture toughness after optimizing and tightening the heat treatment condition. The degradation of fracture toughness was evaluated by the shift of ductile to brittle transition temperature (DBTT-shift). The optimization and tightening of tempering condition are also revealed to be effective for maintaining post-irradiation ductility. DBTT-shift and reduction of ductility by irradiation have been recognized to be critical issues for RAF/M steels; therefore, the beneficial effect of the optimization of tempering condition may be to extend the service conditions of RAF/M steels.

After irradiation, the DBTT is known to be dominated by hardness or flow stress level. Some of the tensile results of irradiated weld joint specimens indicated that the post-irradiation flow stress level might be reduced by modification of tempering conditions [2]. Based on this knowledge, ion and neutron irradiation experiments have been carried out to examine the dependence of post-irradiation hardness and ductility on tempering conditions using hardness and tensile specimens, respectively [3]. The specimens were tempered between 700 and 800°C for 0.5 to 10 hrs before irradiation. Results showed that longer tempering times are beneficial for reducing the post-irradiation hardness. Miniaturized bend bar specimens (half size of 1/3-CVN specimen) with fatigue pre-crack were tempered at higher temperature and/or for longer time. The specimens were irradiated to 20 dpa and tested at several temperatures. Figure 1 shows the results. Data points for IEA-F82H show the result at a reference tempering condition of 750 °C for 1h. Data for a longer tempering time (700°C for 10 hrs), noted as a “Mod1 Series” clearly exhibit lower DBTT after irradiation. The DBTTs are about 0 and 50°C for Mod1 and IEA, respectively. The DBTT reduced by about 50°C. Although the 20 dpa damage level is much less than the target of 100 dpa for DEMO, the tendency for the DBTT-shift to saturate with increasing damage level suggests that the large improvement of irradiation

performance of DBTT would be maintained at higher damage levels.

Results of irradiation experiments on mechanical properties at temperatures from 250 to 500°C at damage levels up to 20 dpa indicated that the irradiation effects were in a manageable range. Improvements of post-irradiation toughness and ductility by optimization and tightening of tempering condition are quite beneficial to expand the service condition of RAF/M and seem to deliver more flexibility for DEMO design. The methodology of improving post-irradiation toughness and ductility is also expected to be applicable for other RAF/M steels.

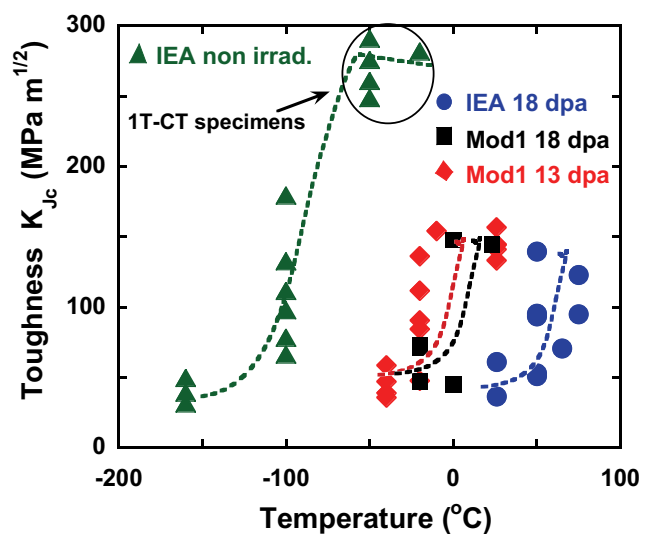


Fig. 1. Temperature dependence of fracture toughness of F82H specimens irradiated to 18 dpa. Results indicate remarkable reduction of radiation effect on fracture toughness due to optimization/tightening of tempering condition. Miniaturized bend bar specimens were used. Data shown in circle were measured from large size (1T-CT:1 inch thickness) specimens.

[1] A. Hishinuma, A. Kohyama, R. L. Klueh, et al., J. Nucl. Mater. 258-263(1998)193.

[2] K. Shiba, R.L. Klueh, Y. Miwa, N. Igawa and J.P. Robertson, DOE/ER-0313/28(2000)131.

[3] M. Ando, H. Tanigawa, E. Wakai, and R.E. Stoller, J. Nucl. Mater. 386-388(2009)315.

Microstructure and hardness variation in a TIG weldment of irradiated F82H

Category: Fusion engineering/HFIR

Year-Number : 04-09 - No. 5

H. Tanigawa, M. Ando, T. Sawai, K. Shiba, R.L.Klueh*, R.E.Stoller*, N. Hashimoto**
 JAEA, *ORNL, **Hokkaido Univ.

To validate the potential of reduced-activation ferritic/martensitic steel (RAFM) as a structural material for fusion power plants, the methodology for joining the steel to form welds with adequate toughness before and after irradiation must be developed. An irradiated tungsten inert-gas (TIG) weld (weld metal, base metal and heat-affected zone (HAZ)) of the IEA-modified F82H (F82H-IEA) was investigated. Post-irradiation tensile tests and a hardness trace across the irradiated weld joint was conducted to investigate the mechanical property changes of the TIG weld and to identify the location of the weld that was involved with this low hardening.

Post-irradiation tensile tests of F82H-IEA TIG weldment specimens were conducted. The results indicated that the weld metal exhibited nearly the same irradiation hardening as the base metal, but the HAZ showed far less hardening than the base metal (Fig. 1).

The microstructure of the TIG weldment is shown in Fig. 2. The microstructure consisted of 3 regions; i.e., weld metal, HAZ, and base metal. The HAZ can be further divided into 3 regions with obviously different microstructures, and those regions are denoted with circled numbers in Fig. 2. Here we call the boundary line between region 1 and region 2 the transformation line, since the α - γ transformation occurred during welding within the region inside these lines. It should be noted that the microstructure of the weld metal was rather fine except for the last pass region, and the HAZ was wider than that of a single-pass weldment, since a multi-pass TIG weld was used.

The microhardness profiles across the weld joint are shown in Fig. 3. Figure 3 (a) shows that minimum hardness was obtained for both unirradiated and irradiated specimens in the “over-tempered region,” the region next to the transformation line in region 1. On the other hand, both the minimum ΔH_v and the minimum hardening ratio were obtained in the “over-tempered region” (region 1) and “fine-grain region” (region 2) located next to the transformation line in region 2.

The tensile results suggest that a TIG weld joint of F82H exhibited low irradiation hardening in a tensile test, compared to the base metal, and microhardness tests and microstructure observation revealed that the over-tempered zone in the HAZ exhibited similar good performance, i.e., low irradiation hardening. Hashimoto et.al. performed transmission electron microscopy to analyze the microstructure of these regions in the irradiated weldments [2]. No visible dislocation loops were observed in the over-tempered region and the fine-grained region. Small dislocation loops were the main microstructural features in

F82H irradiated up to 5 dpa at 573K. This result indicates that more active point defect absorption and recombination took place in those regions, and they show smaller irradiation hardening as a result.

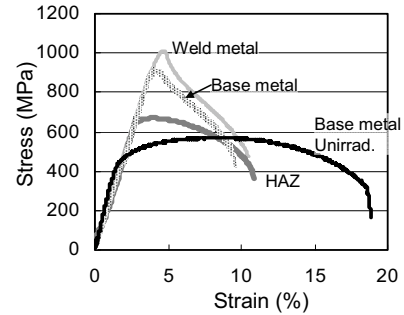


Fig. 1. Tensile results of irradiated weldments and unirradiated base metal [1].

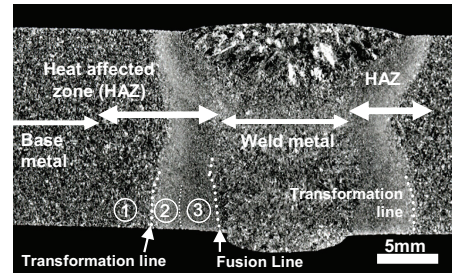


Fig. 2. Microstructure of TIG weldment and the definitions of the different regions.

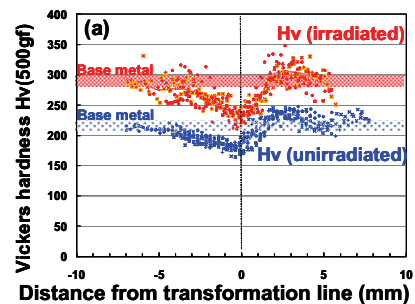


Fig. 3. The profile of hardness over irradiated and unirradiated weldments

1. K. Shiba, R.L. Klueh, Y. Miwa, N. Igawa, and J.P. Robertson, Fusion materials semiannual progress report, DOE/ER-0313/28 (2000) 131
2. N. Hashimoto, R.L. Klueh, M. Ando, H. Tanigawa, T. Sawai, K. Shiba, Fusion Sci. and Tech. 44 (2003) 490

Irradiation effects on precipitation in reduced activation ferritic steels

Category: Fusion engineering/HFIR

Year-Number : 04-09 - No. 6

H. Tanigawa, H. Sakasegawa, R.L.Klueh*, R.E.Stoller*
JAEA, *ORNL

Reduced-activation ferritic/martensitic steels (RAFTs), such as F82H-IEA and its variants, ORNL9Cr-2WVTa, JLF-1 and 2%Ni-doped F82H, show a variety of changes in ductile-brittle transition temperature (DBTT) and yield stress after irradiation at 573K up to 5 dpa [1]. These differences could not be interpreted as an effect of irradiation hardening caused by dislocation loop formation.

The effects of irradiation on precipitation of RAFTs were investigated to determine how these effects might affect the mechanical properties. The precipitation behavior of the irradiated steels was examined by weight analysis, X-ray diffraction analysis and chemical analysis on extraction residue.

The mass of extracted residue before and after irradiation is shown in Fig. 1. Here the mass of residue obtained with the coarse filter (column denoted 'Large') is interpreted as the value corresponding to the mass of large precipitates, and the difference of mass obtained with the fine filter and the coarse filter (column denoted 'Small') is interpreted as that of the small precipitates. These results indicate that during irradiation (1) the mass of larger precipitates increased in F82H-IEA, JLF-1, ORNL9Cr and F82H+2Ni, (2) small mass change occurred in F82H HT2, (3) small precipitates disappeared in JLF-1, and (4) the amount of small precipitates doubled in F82H+2Ni.

The chemical composition of extracted residue was analyzed and the results show that (1) the precipitates consisted mainly of Cr, Fe, V and W, (2) Cr increased after irradiation of each RAFT except for JLF-1, and (3) W decreased after irradiation. It should be noted that (1) about half of the Ta was included in precipitates before irradiation but dissolved after irradiation in JLF-1 and ORNL9Cr, and (2) the amount of Ni in precipitates from F82H+2Ni doubled after irradiation.

The XRD analysis of extracted residue (Fig. 2) revealed that the majority of precipitates are $M_{23}C_6$ type (denoted with diamond mark) for all unirradiated and irradiated steels. Three distinctive peaks (denoted with triangle) are observed on unirradiated JLF-1 and ORNL9Cr, and those peaks are not detected on irradiated specimens. There is no exact match pattern for those peaks, but the best match is for the TaC. This supposition is quite reasonable as a high number density of Ta- and V-rich precipitates is observed in these steels[2], and this agrees with the change of V and Ta mass in precipitates. The reason for these peak offsets from TaC could be that MX is a combination of V- and Ta-rich carbides, nitrides, and carbonitrides (M: Ta, V, Ti; X: C, N). The other feature obtained from Fig. 2 is

the decrease of the $M_{23}C_6$ peaks of F82H-2Ni after irradiation. It also should be noted that the spectra of all irradiated specimens tended to have broad and shallow peaks with the median about 42 degrees.

These analyses suggest that irradiation caused (1) an increase of the amount of precipitates (mainly $M_{23}C_6$), (2) an increase of Cr and decrease of W contained in precipitates, and (3) the disappearance of MX (TaC) in ORNL9Cr and JLF-1.

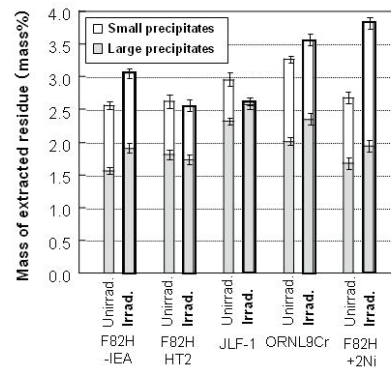


Fig. 1. Mass of residue of unirradiated and irradiated RAFTs extracted with coarse filter (Large) and fine filter (Large + Small).

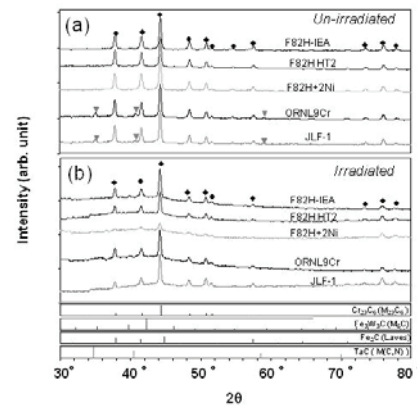


Fig. 2. XRD peaks of extracted residue from unirradiated and irradiated RAFTs. Peaks marked with diamonds correspond to the peaks from $M_{23}C_6$, and those marked with triangles correspond to peaks from MX (TaC).

1. H. Tanigawa, M. A. Sokolov, K. Shiba and R. L. Klueh: Fusion Sci. Tech. 44 (2003) 206
2. H. Tanigawa, H. Sakasegawa, S. J. Zinkle, R. L. Klueh and A. Kohyama: Fusion Materials Semiannual Progress Report, (U.S. Dept. of Energy, Office of Fusion Energy Science) DOE/ER-0313/35 (2003) pp. 30–32.

Creep behavior of RAFM irradiated at 300 and 500°C up to 5 dpa

Category: Fusion engineering/HFIR

Year-Number : 1999-2004 - No. 7

M. Ando, M. Li*, M. L. Grossbeck*, L. T. Gibson*,

H. Tanigawa, K. Shiba, S. Jitsukawa,

Y. Kohno**, A. Kohyama**

JAEA, *ORNL, **Muroran Institute of Technology

Reduced activation ferritic/martensitic steels (RAFM) are the most promising candidates for blanket structural materials for fusion reactors. Irradiation creep has been recognized as one of the most important properties for engineering data due to the blanket structural design. Several researchers have reported on irradiation creep and void swelling behavior of austenitic stainless steels (Type 316 and PCA) and ferritic steels (HT9 and 9Cr-1Mo) irradiated above 400°C [1-6]. In addition, some results of irradiation creep experiments on RAFM above 390°C have been reported by the Japan/US collaboration program for fusion materials [7]. For fusion reactors, it is anticipated that irradiation creep of RAFM at lower temperatures could be also significant, and this would have a large impact on the life expectancy of a water-cooled blanket system. However, irradiation creep behavior of RAFM at temperatures below 400°C has not yet been reported.

In HFIR Phase IV program, creep tube specimens irradiated up to 5dpa at 300 and 500°C were measured in ORNL Hot Laboratory.

The materials were the RAFM steels (F82H prepared by JAERI and JLF-1 prepared by MEXT). The tube specimens had dimensions of 4.57mm outside diameter and 22.4mm length with a 0.2mm wall thickness as shown in Fig. 1. End caps were electron beam welded to the tube segments, and the specimens were pressurized with high purity helium (99.999% He) to obtain the desired hoop stresses at the irradiation temperatures. The hoop stresses ranged from 0 to 400MPa at the irradiation temperature. The diameter of these tubes was measured in PNNL before irradiation. Irradiation was performed in HFIR up to 5dpa. The tubes were measured with a non-contacting laser micrometer system.

Fig. 2 shows the relationship between the total diametral strain and the hoop stress in RAFM irradiated at 300 and 500°C. RAFM steels exhibit similar irradiation creep behavior at 300°C up to 5dpa. The irradiation creep in these steels irradiated at 300°C is almost linearly dependent on the hoop stress level less than 380MPa. Above 380MPa, creep strain tends to increase strongly with increasing stress. For 500°C irradiation, the irradiation creep of F82H is linearly dependent on the hoop stress level below 180MPa. At higher stress levels, the creep strain increased strongly in these steels because thermal creep had also occurred during irradiation.

A small piece was cut from the center of each irradiated tube after diametral measurement. The microstructural examination with FIBed samples and replica films was carried out using TEM. At 300°C irradiation, a microstructure in hoop stress level 250MPa was similar to a microstructure with not-pressurized tube. Precipitates also were observed along Lath and prior γ -boundaries. As results of extraction replica sample, finer spherical precipitations were observed in highest hoop stress level. At 500°C irradiation, large precipitations (>200nm) were observed along the grain boundary in hoop stress level 200MPa.

These results provide the irradiation creep data for a materials database for blanket structural design in fusion reactors.

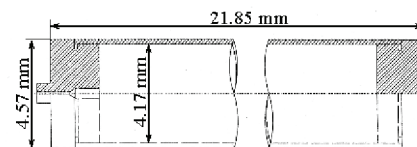


Fig. 1 Geometry of creep tube specimen

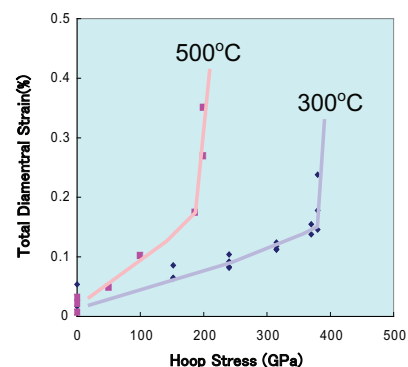


Fig. 2 Hoop stress dependence of irradiation creep at 300 and 500°C.

1. A.F.Rowcliffe and M.L.Grossbeck, J.Nucl.Mater. 122-123(1984)181-190.
2. R. J. Puigh, J.Nucl.Mater. 141-143 (1986)954-959.
3. M.L.Grossbeck and J.A.Horak, J.Nucl.Mater. 155-157(1988)1001-1005.
4. F.A.Garner and R.J.Puigh, J.Nucl.Mater.179-181(1991)577-580.
5. M.B.Toloczko, F.A.Garner, C.R.Eiholzer, J.Nucl.Mater. 212-215(1994)604-607.
6. M. B. Toloczko, B. R. Grambau, F. A. Garner and K. Abe, Proc. on Effects of Radiation on Materials, 20th Symp., ASTM STP 1405 (2001) 557.
7. A.Kohyama, Y.Kohno, K.Asakura, M.Yoshino, C.Namba, C.R.Eiholzer, J.Nucl.Mater. 212-215(1994)751-754.

Plastic property and fracture condition of structural steels after irradiation

Category: Fusion engineering/HFIR

Year-Number : 04-09 - No. 8

K.Suzuki, T.Taguchi, N.Okubo and S.Jitsukawa, JAEA

At temperatures lower than 700K, irradiation often cause a severe hardening to introduce a large change in stress-strain relation [1]. The present authors, however, have indicated that the plastic property before and after irradiation may be expressed by a simple equation of $\sigma = A(\epsilon_0 + \epsilon_p)^n$ (1) where ϵ_0 , ϵ_p , A and n are an equivalent plastic strain by irradiation hardening, plastic strain, strength coefficient and work hardening exponent, respectively; A and n are the constants without regard to the hardening level by irradiation. Similar discussion has been also made in several researches [2-6]. The present authors also indicated the relatively large margin to ductile fracture was remained even after irradiation to some tens of dpas. In case the equation (1) is applicable for the plastic property of irradiated alloys, ductile fracture condition under tensile forces may be estimated by e.g. Hill's or Ghosh's criteria [7, 8]. In other words, irradiation hardened steel which has been recognized as a quasi-brittle material is still ductile enough depending on the deformation mode. In the present paper, plastic properties of irradiated steels are introduced. Features of structural design criteria for intensely irradiated steel component are also introduced.

A reduced activation ferritic steel F82H (0.1C-7.8Cr-2W-0.04Ta-Fe bal.) in normalized and tempered condition was used. Tensile specimens of the steels were irradiated to 5 to 30 dpa at temperatures between 250 to 400C in HFIR (some of the specimens were irradiated in JMTR). Size of the gage region is 7.6mm long-1.5mm wide-0.76mm-thickness. Specimens were also obtained from cold worked plates. All the mechanical tests on irradiated specimens were performed at room temperature in JMTR hot cell. The images of gage region during deformation were recorded continuously. Irradiation hardening caused to reduce tensile elongation (especially, uniform elongation often reduced to zero) and to occur plastic instability, as seen in the engineering stress-strain relation in the literature [1]. The area at minimum cross section of the specimen during the tensile test was evaluated from the image of the necked region. From the area during testing and the engineering stress-strain relation, an approximate true stress-true strain (Ts-s) curve has been obtained (strain is in logarithmic strain). Results for the specimens irradiated to 0, 5 and 20 dpa are shown in Fig. 1 (a). The curves for 5 and 20 dpa irradiated specimens were shifted along strain axis to overlap the Ts-s curve of the unirradiated specimen (see also Fig. 2(b)). The figure clearly shows that the curves overlap well with each other, indicating that the equation (1) is applicable for the Ts-s relation before and after irradiation without regard to irradiation damage levels. The values of ϵ_0 applied for the curves of the specimens irradiated to 5 and 20 dpa were of 0.33 and 0.7, respectively. Even after irradiation to 20 dpa, residual ductility was about 30% of that before irradiation. Indeed, as seen in Fig.2, effect of structural discontinuity (circular hole at the center of the strip) was observed to be relaxed during deformation before cracking had occurred [2]; general yield occurred before the load attained maximum suggesting considerable level of margin remained even for the specimen with discontinuity after irradiation and this was followed by neck development (images of the deformed specimens were also reported

[2]). Moreover, bend testing on simulated irradiation hardened specimen by cold working exhibited no apparent plastic instability. As indicated above, the margin to fracture can be determined as a function of deformation mode either by calculation or experiment. This is also true for austenitics [4]. Structural design criteria assuring the structural integrity of intensely irradiated steel component delivering more freedom to designing comparing with current methodology has began to be developed based on the analysis of plastic and ductile fracture condition behavior after irradiation[2].

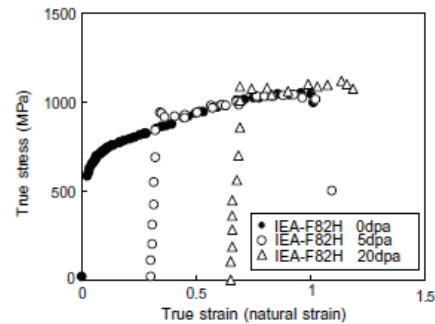


Fig. 1 (a) True stress-strain relations after 0, 5 and 20 dpa irradiation

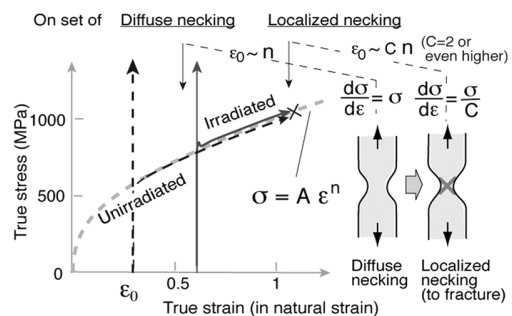


Fig.1(b) Illustration of the relation between True stress-strain relations of unirradiated and irradiation hardened specimens.

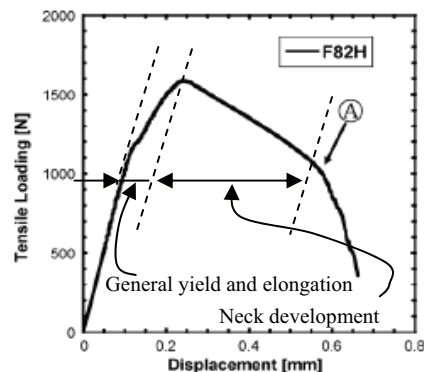


Fig. 2 Load-displacement curve of the irradiated plate tensile specimen with a hole (a discontinuity) at the center [2]

of the deformed specimens were also reported

- [1]S.Jitsukawa et al., Nuclear Fusion 49 (2009) 115006
- [2]K.Suzuki, Nucl. Eng. Design 240(2010)1290
- [3]T.Taguchi, et al., J. Nucl. Mater., 335(2004)457,
- [4]S.Jitsukawa, et. al., J. Nucl. Mater. 271&272(1999)162
- [5]R.J.DiMelfi et al., J. Nucl. Mater., 252 (1998) 171
- [6]T.S.Byun, K.Farrel, Acta Mater. 52(2004)1597
- [7]R.Hill, J. Mech. Phys. Solids 1 (1952) 19
- [8]A.K.Ghosh, in: D.P.Koistein, N.M. Wang (Eds.), Mechanics of sheet metal forming, Plenum, 1987, p.287

High Fluence Radiation Effects on Advanced SiC/SiC Composites

Category : Fusion Engineering / HFIR(No. 9)
 Year Number: 99-09 – No. 9
 Name: Y. Katoh, T. Nozawa*, L.L. Snead
 Affiliation: ORNL, *JAEA

Silicon carbide (SiC) has been studied for fission fuel applications for several decades, and for the past two decades as the base material for SiC fiber-reinforced SiC-matrix (SiC/SiC) composites, a potential high-temperature, low-activation structural material for fusion energy. The primary focus of study has been the development of a radiation stable material, given the poor as-irradiated performance of early materials. Over the past decade significant progress has been made towards this goal with the development of what is now considered a nuclear grade SiC/SiC composite composed of high purity, near-stoichiometric, and dense fibers and matrix. However, these composite materials have not been demonstrated to retain such fundamental properties as strength and dimensional stability under the high-dose irradiation typical of power reactor blankets. In the DOE/JAEA fusion materials collaboration, the high-dose stability of the current nuclear grade SiC/SiC composite was examined.

The material examined was chemically vapor-infiltrated (CVI) SiC matrix, Hi-Nicalon™ Type-S (HNLS) SiC fiber-reinforced composite with multilayer pyrocarbon/SiC interphase. Rectangular flexure beams measuring 50.2 x 6.35 x 2.63 (mm) were irradiated in HFIR to ~41 dpa at 800°C. Post-irradiation mechanical properties are briefly discussed in the present report, whereas the more detailed report is found elsewhere.[1]

The results of the post-irradiation examination are summarized in Table 1. The composite material retained its unirradiated ultimate and the proportional limit stresses after irradiation. Moreover, no significant increase in data scatter was observed for either property. Slight increases in both the ultimate and proportional limit stresses may have been the case, but this increase is not statistically significant. Examples of the recorded load – crosshead displacement curves are presented in Fig. 1, showing no noticeable difference between the unirradiated and irradiated conditions. From these observations and accepted composite theory it can be reasonably concluded that no significant effect of irradiation on either the fracture energy of the matrix material, CVI SiC or the statistical strength properties of the reinforcing fibers.

The fracture surfaces of the broken samples were examined, and high magnification images of both the composite fracture surfaces and the fiber fracture surfaces were compared for regions under tensile stress during testing. The composite fracture surfaces were characterized by generally very short yet finite fiber pull-out length and debond/slide at the interface of the fiber and the interphase whether or not the material has been irradiated. Both the unirradiated and irradiated fiber surfaces appear to be typical of those observed for intact Hi-Nicalon™ Type-S

fibers, presenting river-like patterns originating from indefinite mirrors around the fracture origins either on the surface or at the fiber interior. No significant difference in the fracture surfaces, irradiated and unirradiated, was observed.

The swelling and the through-thickness thermal conductivity, shown in Table 1, indicated the absence of progressive property evolution beyond a few dpa, proving true saturation in key properties[2]. The electrical resistivity measurement revealed a transition from the unirradiated nearly temperature-independent conduction of pyrocarbon interphase into a reduced, moderately temperature-dependent conduction[1]. The effect of irradiation on the composite electrical resistivity appeared to be relatively minor. Overall, outstanding irradiation resistance of the nuclear grade SiC/SiC composite to neutron irradiation to a dose exceeding 40 dpa at temperature of 800°C was demonstrated.

Table 1. Summary of unirradiated and irradiated properties.

	2D-HNLS/	ML/CVI-SiC
Irradiation Temperature [°C]		800
Fast Fluence [dpa]	Unirr.	40.7
Mass Density [g/cm ³]	~2.4	~2.4
Swelling [%]	n/a	0.68 (0.01)
RT Thermal Conductivity [W/m-K]	~9.8	~2.7
Young's Modulus [GPa]	212 (10)	210 (8)
Number of Flexural Tests	8	7
Proportional Limit Stress [MPa]	317 (27)	330 (20)
Ultimate Stress [MPa]	444 (34)	461 (48)

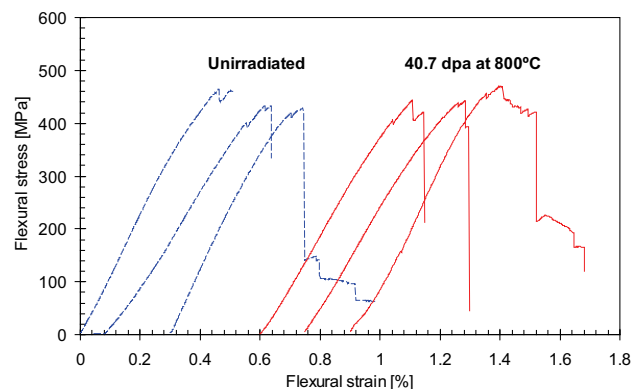


Fig. 1. Examples of four-point flexural load – crosshead displacement curves for unirradiated and irradiated Hi-Nicalon™ Type S, CVI SiC matrix composites. Charts are offset for visibility purpose.

[1] Y. Katoh, T. Nozawa, L.L. Snead, K. Ozawa, H. Tanigawa, *J. Nucl. Mater.*, (submitted).

[2] Y. Katoh, L.L. Snead, T. Nozawa, S. Kondo, J.T. Busby, *J. Nucl. Mater.*, (2010).

Modeling the Influence of Helium on Iron-based Alloys

Category : Fusion Engineering / HFIR

Year-Number : 2004-09 - No. 10

Name: R. E. Stoller, S. Jitsukawa*, D. M. Stewart

Affiliation: ORNL, *JAEA

In fusion applications, helium created by transmutation plays an important role in the response of reduced-activation ferritic/martensitic (RAFM) steels to neutron radiation damage. We have performed extensive atomistic simulations using the ORNL 3-body Fe–He interatomic potential [1] combined with three interatomic potentials for the iron matrix. Interstitial helium is very mobile and coalesces together to form clusters; the growth and mobility of these clusters has been investigated. When an interstitial He cluster reaches sufficient size, it punches out an Fe interstitial, creating an immobile helium–vacancy cluster. If more helium atoms join it, more Fe interstitials can be created; the He–V defect is a nascent bubble. These mechanisms have been investigated together in simulations that examine the nucleation of He defects. Mobile interstitial He clusters and helium bubbles from 1 to 6 nm in diameter were also simulated separately.

Helium-vacancy cluster growth and coalescence were studied in molecular dynamics simulations to investigate the nucleation of helium bubbles from interstitial helium atoms using the Ackland iron and ORNL He–Fe potentials. He interstitial cluster growth, coalescence and Frenkel pair creation were almost negligible at 200K but prevalent at all higher temperatures. The temperature affected not just the rate but also the nature of the defect creation process. The higher the temperature, the faster He atoms and clusters diffuse, which makes coalescence occur faster. This is balanced by higher temperatures leading to small clusters being broken up, delaying the creation of larger, stable clusters. The result is that the cluster size distribution is temperature dependant; higher temperatures lead to fewer but larger clusters. Higher temperatures also increase the number of Frenkel pairs likely to be emitted from a larger He–V cluster.

Diffusion rates for clusters of 1 to 6 interstitial helium atoms were calculated for several combinations of potentials. Various combination of Fe and HE-Fe potentials were compared. In general, larger clusters were found to diffuse slower, however there were significant differences between the potentials. He-2 clusters tended to have a similar or lower energy barrier than single interstitial helium atoms but still diffuse slower due to a lower pre-exponential factor. The ORNL and Wilson potentials show significantly higher barriers for He-3 and larger. The J–N potential shows barriers of about 0.06eV for clusters of 1 to 4 interstitials, with the pre-exponential factor decreasing with increasing cluster size. He-5 was found to have a (usually substantially) lower migration barrier than He-4 with all combinations of potentials used. A possible explanation is that the tetrahedral arrangement of He-4 is much more stable due to its high symmetry that matches the symmetry of the Fe matrix. He-5 configurations are far less symmetrical and, in some potentials, allow for rapid 1D diffusion.

In the investigation of helium bubbles, it was found that the helium atoms stand off a small distance from the surface iron atoms, leaving a gap between the He and Fe matrix atoms on the surface of the bubble [2]. The gap was large enough that the He atoms rarely come close enough to an iron atom to invoke the 3-body component of the ORNL Fe–He potential (range 2.2Å), so their interactions are effectively described by the pair part of the potential. The helium density oscillates enough to suggest a shell structure to the arrangement of atoms, but not enough to suggest solid helium. This agrees with predictions that the helium in the bubble would not be solid. In a void, the surface matrix atoms relax inwards slightly, reducing the volume of the void. At higher temperatures, they move in more due to the thermal expansion of the iron. Adding helium to the void pushes the atoms outwards, increasing the volume again. The more helium added, the further the bubble expands. There is a point where the forces balance and the bubble is neither expanded nor contracted; the surface atoms are at the same place as they would be in a perfect lattice. We use this point as our condition for equilibrium. The equilibrium He/V ratio is temperature and size dependant. In general, the equilibrium He/V ratio is lower for higher temperatures and larger bubbles.

Figure 1 shows the dilation of a 2 nm diameter bubble as a function of He/V ratio for different temperatures. The equilibrium ratio for each temperature can be determined by where it crosses the horizontal zero line. At 2 nm, the curves for the different temperatures are close together and the equilibrium He/V ratios lie in the range 0.4–0.55; for larger bubbles, the curves spread out more (not shown).

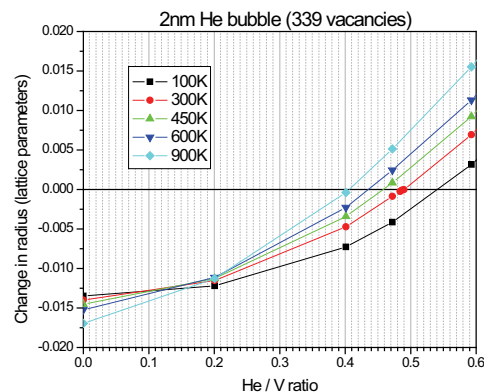


Fig. 1. Dilation of 2 nm bubbles as a function of He/V ratio at different temperatures.

- [1] R. E. Stoller, S. I. Golubov, P. J. Kamenski, T. Seletskaiia, and Yu. N. Osetsky, *Phil. Mag.* 90 (2010) 923.
- [2] D. M. Stewart, Yu. N. Osetsky, R. E. Stoller, S. I. Golubov, T. Seletskaiia, and P. J. Kamenski, *Phil. Mag.* 90 (2010) 935.

8章 核融合アーカイブズ

8.1 目的

Edward H. Carrによれば、歴史とは過去と現在の対話である。自然科学の分野においても、現在と未来を考察するために過去の歴史に注意を払う必要がある。核融合研究において将来計画を立案するに当たって、歴史から教訓を得ることが出来る。その際、アーカイブズは歴史を調べる上での証拠となる。一方、核融合のような巨大科学においては、市民に対する説明責任を果たす上でもアーカイブズは必須である。日本では核融合研に公式な組織が出来た。米国では、アーカイブズそのものは非常に進んでいるので、核融合アーカイブズが促進されることが期待される。核融合アーカイブズは、自国における研究に関する歴史的資料のみならず、日米両国の研究において重要な一角を占める日米協力も対象とすべきである。

8.2 研究組織

UCLAは米国アーカイブズの拠点の一つであり、UCLAのMohamed Abdou教授は核融合研究者としてアーカイブズに理解のある人物である。このため、同教授と核融合アーカイブ室長の松岡啓介教授がキーパーソンとなって日米協力事業として核融合アーカイブズに関する日米ワークショップを実施した。

8.3 活動の概要

日本の大学における核融合アーカイブズは名大プラズマ研が核融合研を構成すべく改組され土岐に移転したことに端を発する。プラズマ研初代所長の故伏見康治教授の膨大な書類が土岐サイトに運ばれ、整理・登録が名大および核融合研の名誉教授の多大な協力の下に核融合研において始められた。1999年には核融合研の共同研究としての核融合アーカイブズが日大の西尾成子教授を代表者として始まった。程なくして、大学共同利用機関を基盤機関（NIFS, KEK, NAOなど）とする総合研究大学院大学（総研大）において自然科学のアーカイブズが、特に巨大科学を中心に、始まった。UCLAのSharon Traweek教授が総研大のアーカイブズに大きな役割を果たした。核融合研でのそれまでの実績と総研大の菅原寛孝教授の働きかけによって、2005年1月1日に核融合研に核融合アーカイブ室（以後、アーカイブ室）が設立された。

アーカイブ室は核融合研究を行っている国内の大学及び総研大葉山本部及び基盤機関と協力して活動を行っている。PPPLでは司書のAdriana Popescu女史が資料の整理・登録を行っていた。核融合アーカイブズの日米ワークショップがアーカイブ室設立のすぐ後に提案され、12月に米国において実施された。ワークショップは2部構成であった。一つはUCLAにおいて12月12,13日に開催されたワークショッ

プ、あと一つは12月15日にPPPLにおいて行われた Kenneth M.Young 氏と吉川庄一氏に対するインタビューである。UCLA での発表者とそのトピックスは以下の通りである。

“Welcome”	M. Abdou (UCLA)
“Address (representing Japan)”	K. Matsuoka (NIFS)
“Establishment of Fusion Science Archives and its activities”	K. Matsuoka
“Importance of archives in natural science including nuclear fusion”	S. Traweek (UCLA)
“History and Archives of Inter-University Research Institute: Related to Digital Contents in NIFS and Sokendai”	N. Abe (Sokendai)
“A History of progress in magnetic fusion energy”	T. K. Fowler (UC Berkeley)
“Archiving of nuclear fusion research at NIFS”	C. Namba (NIFS)
“Archiving studies from chronological aspects”	K. Kimura (NIFS)
“Role of Inter-University Institute in early days of nuclear fusion research in Japan”	H. Obayashi (NIFS)
<i>- Visit and Discussion at Center for Information as Evidence, UCLA -</i>	
“The early days of Project Matterhorn”	F. F. Chen (UCLA)
“Short history of Heliotron research and archiving activities in Kyoto University”	T. Mizuuchi (Kyoto Univ.)
“Preservation and access of fusion research archives”	A. Popescu (PPPL)
“International 4 year archive collaboration among physical scientists and social scientists”	S. Traweek
“Complementary study of fusion science archives by means of oral history”	J. Fujita (NIFS)
“Oral history projects with American research scientists”	M. Meldrum (UCLA)
“Suggestions for Fusion Archives”	T. Tamano (GA)

日本からは、アーカイブ室の活動の概要、ヘリオトロン装置の歴史、横断検索に必要なデジタルアーカイブズ、年表作成、オーラルヒストリー等の話題が紹介された。米国側からは、アーカイブズの重要性、初期の核融合研究等が報告された。



WS in UCLA. 左から、玉野、A.Popescu、F.Chen、富田。

インタビューは予め用意された質問を基に行われた。

Young 氏へのインタビューでは、同氏の PPPL 以前の研究、C-ステラレータの ST トカマクへの転換、TFTR における計測、ITER に対するコメント等がトピックスであった。吉川氏は、日本の核融合に多大な影響を及ぼされたことから、インタビューでは日本との関わりが主な話題となった。インタビュー記録は、登録番号が付けられアーカイブ室の資料となっている。

著名な研究者のオーラルヒストリーはその後も継続され、2009年11月には大河千

弘氏に詳細な予備調査の上で、ご自宅にて日本語で話を伺った（日米協力とは別予算）。主な話題は、初期の核融合研究への関わり、GA でのマルチポール実験、吉川氏と同じく日本に大きな影響を与えられたので、日本との関わりについてであった。



At PPPL. 左から（前列） 難波、安倍、水内、木村、（後列） 岡林、松岡、富田、藤田、大林。



吉川庄一氏（中央）へのインタビュー。
2005年12月15日。



K.M.Young 氏（左から2人目）へのインタビュー。
2005年12月15日。



大河千弘氏（右から2人目）へのインタビュー。
2009年11月18、19日。

ワークショップ以降の核融合アーカイブ室の活動は、総研大の基盤機関、特に国文学研究資料館、高エネルギー加速器研究機構、分子科学研究所との協力の下に、次図に示すように多数の機関に保存されている資料目録の横断検索の構築を目指している。横断検索は国際標準である EAD（符号化記録史料記述）に基づいたものである。核融合研において、EAD システムは完成し、登録される資料の数は日ごとに増加している。米国のアーカイブズ関連の機関を後日訪問した（日米協力とは別予算）。CDL（California Digital Library）、OAC（Online Archive of California）、LBL Archives、SLAC & Stanford Univ. Archives、UCLA（Information Studies Dept., University Archives、Digital Library Program、Japanese Studies、East Asian Library、Oral

History Research Center, Center for Society and Genetics), NARA (National Archives and Records Administration) 及び LOC (Library of Congress) である。これらの訪問によって、多くの有益な情報を得た。また、いくつかの機関、例えば、LOC における横断検索システムの充実振りにはインパクトを受けた。米国はアーカイブズの最先端国のひとつであるが、核融合に関しては、系統的なアーカイブズが構築されていない。アーカイブズに関する日米協力の最終目標は EAD に基づいた両国のデータベースの横断検索が可能になることである。米国の核融合アーカイブズの構築を期待しつつ、日本側としては、更なる努力を重ねてアーカイブズの整備に努める必要がある。

ArchivesTies
 個人保存記録資料を統合
 Online Union Catalog for Archival
 Materials
 永久保存記録資料電子網上総合目録

NATIONAL INSTITUTE OF JAPANESE LITERATURES
 DEPARTMENT OF ARCHIVAL STUDIES + OFFICE OF ARCHIVES SERVICES

NII 国文学研究資料館 about "archivesTies" NIIJ Archives & Collections データベース Arch. Databases Help

開始メニュー Startup menu > EAD-XML検索システム Retrieval System: 詳細検索 Advanced Search | 資料数一覧 (100件ずつ) List of collection titles (100 at a time)

検索結果一覧 Search results

検索条件: [検索手段全体 Entire finding aid (プラズマ)] AND [取蔵 Repository (核融合科学研究所)]
 該当件数: 1412件 (1-20件目)

AND [検索手段全体 Entire finding aid] [検索/Search] 表示件数 [20]

1 2 3 4 5 6 7 8 9 >> 該当レコードが1000件を超えているためソートできません。

自然科学研究機構核融合科学研究所核融合アーカイブ室

nifs-001-ichikawa-y collection

-->市川芳彦 寄贈資料
 (1980/1997) 書架延長 Linear meter: 0.8m 数量 Extent: 81件items

nifs-001-ichikawa-y/1 series

-->箱B310分資料
 (1980/1997) 1992. () 0.4 37 ダンボール1箱 (自筆原稿, コピー, 冊子) .

nifs-001-ichikawa-y/2 series

-->箱B311分資料
 (1981/1993) 1981, 1983. () 0.4 44 自筆原稿, コピー, 印刷物, 新聞記事.

nifs-002-sekiguchi-t collection

-->関口忠 寄贈資料
 (1950/2005) 書架延長 Linear meter: 7.6m 数量 Extent: 417件items

nifs-002-sekiguchi-t/6 series

-->箱B092分資料
 (1961/1989) 0.4 9 ダンボール1箱 (青焼き, コピー, 冊子) .

nifs-002-sekiguchi-t/14 series

-->箱B096分資料
 (1978/2004) 0.4 44 ダンボール1箱 (印刷物, コピー, 冊子) .

+---箱B

nifs-002-sekiguchi-t/15-2/sekiguchi-t-B081-02 file

-->社団法人 プラズマ・核融合学会.
 1993. 05-2005. 09. (1993/2005) 1 謄写版印刷物, コピー.

nifs-002-sekiguchi-t/15-8/sekiguchi-t-B081-08 item

-->1990 ITER, 閉じ込めの進歩.
 1990. (1990) 1 冊子.

+---早川幸男 寄贈資料

nifs-003-hayakawa-s/2 series

-->箱B303b.
 (1962/1977) 0.4 90 ダンボール1箱 (青焼き, 印刷物, 冊子, コピー) .

nifs-003-hayakawa-s/2-1/hayakawa-s-B303b-06 file

-->名古屋大学プラズマ研究所(2) Part2 (1974).
 (1973/1975) 1974. () 23 青焼き, 印刷物, コピー.

nifs-003-hayakawa-s/2-1-1/303-06-01 item

-->第1回 準定常トラス閉じ込め実験装置概念図 他(第2図-第15図).
 1973.11.14. (1973) 1 青焼き(7枚), コピー(9枚).

nifs-003-hayakawa-s/2-1-2/303-06-02 item

-->拡大推進本部作業過程.
 1973.11-1974.03. (1973) 1 コピー(1枚).

「プラズマ」を入力して検索した場合の例。市川芳彦教授、故関口忠教授、故早川幸男教授から提供された資料が階層構造の下にパソコン上に表示される。階層構造は EAD の特徴である。NIFS の資料目録は KEK、分子研と共に国文学研究資料館のサーバーに収納されている。国文研では人文科学系の研究機関や図書館の間の膨大なデータベースを横断検索するシステムが構築されている。

9章 安全視察活動

9.1 背景および目的

1992年初頭に、日本人研究者が訪問先の米国の研究所にて、漏れた窒素ガスにより酸欠に陥るといふ事故が発生した。これをきっかけに、日米間で議論が行われ、お互いに核融合研究施設の安全巡視を実施することとなった。そして、共同研究下における様々な安全に関する課題を理解し、対処する、即ちこれらの課題を精査し、解決策を考案し、双方の研究機関に対し提言することを目的とし、日米安全視察共同作業グループ（JWG）が結成された。核融合研究施設におけるJWGの活動は、情報および視点を共有する機会を提供し、結果として特に両国の国立研究所や大学における共同研究者を念頭においた人的安全へのより一層の注意を喚起している。

JWGによる研究施設視察の目的は、核融合研究施設を視察し、研究者や安全管理関係者と議論することにより、各研究施設における環境、安全、健康（ES&H）管理活動の実際的な側面を形式ばらずに評価することにある。この活動により、JWGのメンバーは情報を共有し、人体および物品に対する被害の確率を低減させるための提言を提供することが可能となる。JWGはある研究機関で採用されているよい安全対策は、他の研究機関のES&H活動を改善するために利用されることを推奨し、国際共同研究者に必要な安全オリエンテーションプログラムについて助言を行う。

付録B.2に1995年度以降のJWG視察がまとめてある。過去10年間の活動の概略は次節にまとめてある。この期間、JWGはアメリカおよび日本の研究施設を2年ごとに交互に視察した。JWG視察の詳細な報告書は <http://www.pppl.gov/esh.cfm> に掲載されている。

9.2 JWG活動の概要

第9回JWG（日より米：2002年3月18-22日）

日本からの視察団は、研究機関長の安全に対する責任感に大きく印象づけられた。ほとんどの機関では、EHS/ESH管理者は機関長に直属している。統合安全管理（ISM）は視察した全ての機関で実施されていた。ISMの基本的ガイドラインはエネルギー省（DOE）が規定するが、その実施は各研究機関に特有のニーズに合わせて行われる。各機関は総合的な訓練プログラムを有しており、これらは危険に対する自覚を高め、事故の回数を減らすのに役立っている。多くの機関ではEHS/ESH関連情報は容易に入手可能である。

日本では、東海村のJCO事故が安全対策の再検討を促し、多くの改良がなされたが、まだ英語版安全マニュアルの改訂が必要である。今回は、これまでに比べより小さい大学規模の研究施設の視察を加え、これらの機関で安全対策をどのように行っているかを調査した。最近の事故ならびにヒヤリハットの事例およびそれらについてどのような対策がとられているかの情報を得られたことは非常に有用であった。

第10回JWG（米より日：2004年2月16-25日）

アメリカからの視察団は、ほとんどの研究施設において、1999年の安全視察で指摘された事項に対して対処され進歩があったことに大きく印象づけられた。各研究施設において、研究活動概要および安全対策活動全体についての説明があり、その後現場の視察を行った。視察後に、管理者および研究者との会合で指摘事項を報告した。多くの場合、視察中に指摘した事項に対し、その場で対応が行われた。このような行動は、安全に対する積極的な態度の表れであり、高く評価される。

ガスボンベは使用中は固定されていなければならない。カートに乗せられている、減圧弁つきのボンベは固定されているとは見做されない。電気コードは工業用の二層絶縁されているものであるべきである。接地線バイパスアダプターの使用は個別に精査し、できる限り排除されるべきである。接地線のついている装置は、安全のため必ず接地するべきである。

2004年4月から国立大学が厚生労働省の安全監督を受けることに伴い、新たな安全基準を満たすことが課せられると予測されている。この監督官庁により大学に対し安全指導が行われ、研究室の安全環境改善に積極的に寄与すると考えられる。

ほとんどの視察先は、高い安全レベルを保っている、もしくは安全に関しての改善が認められた。このような改善は、JWGの指摘事項および間もなく到来する大学の安全体制の変化に対応するために行っているとの説明があった。しかし一つの研究室では安全が悪化しており、指摘された重大な事項に直ちに対応することが求められる。大学は安全対策にかけられる費用に制限があるので、大きなコストをかけずにできる安全対策法が求められる。日々の実験前の安全チェックリストに基づく点検、実験日ごとに安全担当のキーパーソンを任命すること、月例のクリーンアップ、絵のついた警告サインの使用などは全て安価にできる安全対策である。

第11回JWG（日より米：2006年2月22-27日）

今回は初めて慣性核融合の代表（乗松教授）および炉工学の代表（香山教授）が参加した。日本からの視察団は、前回の視察以来、安全記録が大きく改善されたことに注目した。ほとんどの研究機関ではISMの概念に基づいてES&H対策が行われている。ISMの基本的ガイドラインはDOEが規定するが、その実施は各研究機関に特有のニーズに合わせて行われる。各機関は総合的な訓練プログラムを有しており、これらは危険に対する自覚を高め、事故の回数を減らすのに役立っている。多くの機関ではES&H関連情報は電子的に容易に入手できる。2006年のJWGによる安全視察は総合的に高く評価される。特に二国間で安全対策方針に違いがあることを相互認識したことは特筆できる。外部から多数の共同研究者や業者が活動する研究施設では、全員が安全に対する十分な知識をもっていることが非常に重要である。

第12回JWG（米より日：2008年3月10-21日）

視察した研究所および大学の全体的印象は非常に良かった。2004年2月の行った前回のアメリカから日本への視察時からの大きな変化は、大学は法人として企業と同等の安全基準の遵守を課せられるようになったことである。新たに課せられた安全基準を満たすには相当の費用がかかるとの報告があったが、全般的に研究施設はよりクリーンで、散らかっておらず、工具もよく整頓されていた。以前に比べ、ガスボンベの安全への配慮が改善され、より多くの安全サインが使われており、一般工業安全に対する配慮がなされていた。いつものことであるが、年間予算の大きい施設ではより細やかな安全対策がなされている。定量化されているわけではないが、安全に配慮された施設はよりクリーンで、生産性が高く、作業効率も高いという、よく知られた安全原理がある。

視察した全ての研究施設で、多くの人の入れる大型フランジ等があったが、閉所であるとの表示はほとんど見られなかった。いくつかの研究施設では、このような空間に人が入るための正式な手続きが定められていなかった。閉所はどのような作業にもつきものであり、事故防止のためその認識は基本である。閉所での死亡事故は酸欠、有毒または発火性ガスのため起こることが多いので、このような重大な危険性が起こりうる閉所は、要許可証閉所と指定し、人が入る前には空気テストを行い、人が入っている間は連続的にモニターしていなければならない。閉所に関する米国職業安全衛生管理局（OSHA）の規定に関する情報が提供された。

米国の落下防止対策に関する情報も提供された。米国では落下防止製品は4種類に分類

される。1. 落下阻止、2. 位置決め、3. 懸垂、4. 救助。高所から落下する危険性がある場合は落下阻止器具を使わなければならない。一般的に1.8m以上の高所で作業するときには落下阻止器具が必要である。ショック吸収引き綱付きの全身装着帯が推奨される。全身装着帯は身体全体に力を分散させ、ショック吸収引き綱は落下阻止力を低減させる。位置決め器具は作業者の手を拘束することなく作業者の位置を固定する。作業者が後ろに振り返ると動作するが、落下阻止機能は持たない。懸垂器具は自由に手が使える体勢で作業者をぶら下げて支持するもので、窓拭きやペンキ塗りで広く使われている。積極的な落下防止対策を考える際には、落下した場合の救助法について事前計画を練る必要がある。

アメリカからの視察団は、2004年の視察時以降にいくつかの新たな実験装置が建設され、運転されていることに留意した。新装置が建設されることは健全な研究計画の現れであると共に、このような安全巡視を継続する必要があることを意味する。

第13回JWG（日より米：2010年2月22-25日）

今回の日本からの視察団は、4人の内3人(西村教授:核融合科学研究所、関准教授:核融合科学研究所、助川研究員:日本原子力研究開発機構)が始めての参加であった。日本からの視察団は、研究機関の安全に対する関心の高さや組織に大きく印象づけられた。米国ではほとんどの研究機関でISMの概念に基づくES&H対策が行われている。ISMの基本的ガイドラインはDOEが規定しているが、その実施は各研究機関の裁量で行われる。各機関は総合的な訓練プログラムを有しており、これらは危険に対する認識を深め、事故を減らすのに役立っている。多くの機関ではES&H関連情報は電子的に容易に入手でき、訓練プログラムの申し込みもオンラインでできる。また、必要な訓練プログラムの受講履歴もオンライン管理されており、未受講者に対しては入域許可の停止等の処置が自動的にとられている機関もある。2009年のJWGによる安全視察は総合的に高く評価される。特に二国間で安全対策方針に違いがあること、米国内でも地域により基準に違いがあることを認識したことは特筆できる。外部から多数の共同研究者や業者が活動する研究施設では、全員が安全に対する十分な知識をもっていることが非常に重要である。従って、こうした安全に対する基準の違いを踏まえた安全教育の重要性をあらためて認識することができた。

資料

資料 A 論文リスト

資料 B 統計及び関連資料

資料 A 論文リスト

CHAPTER 2 FTPC

2.4.1 Superconducting Magnets

1. Journal Paper

No	Year	Authors	Title of Paper	Journal	Vol. (Year) Page (Start) -Page(End) or Identification No.	Year-Category-No.
1	2002	N. Yanagi, J. Morikawa, T. Mito, Y. Ogawa, S. Hamaguchi, H. Chikaraishi, M. Iwakuma, T. Uede, I. Itoh, S. Nose, and S. Fukui	Engineering Research and Development of Magnetically Levitated High-Temperature Superconducting Coil System for Mini-RT Project	IEEE Trans. Appl. Supercond	12 (2002) 948-951	2001-FT1-2
2	2003	Y. Ogawa, J. Morikawa, T. Mito, N. Yanagi, M. Iwakuma, H. Nihei, K. Ohkuni, D. Hori, S. Yamakoshi, I. Itoh, S. Nose, and T. Uede	Construction and Operation of an Internal Coil Device with a High Temperature Superconductor	IEEE Trans. Appl. Supercond	13 (2003) 643-644	2001-FT1-2
3	2003	T. Mito, N. Yanagi, Y. Hishinuma, Y. Ogawa, J. Morikawa, K. Ohkuni, M. Iwakuma, T. Uede, S. Nose, I. Itoh and S. Fukui	Engineering Design of the Mini-RT Device	IEEE Trans. Appl. Supercond	13 (2003) 1500-1503	2001-FT1-2
4	2003	N. Yanagi, T. Mito, Y. Hishinuma, Y. Ogawa, J. Morokawa, K. Ohkuni, M. Iwakuma, T. Uede, S. Nose, and I. Itoh	Excitation Test Results of the HTS Floating Coil for the Mini-RT Project	IEEE Trans. Appl. Supercond	13 (2003) 1504-1507	2001-FT1-2
5	2004	N. Yanagi, T. Mito, J. Morikawa, Y. Ogawa, K. Ohkuni, D. Hori, S. Yamakoshi, M. Iwakuma, T. Uede, I. Itoh, M. Fukagawa, and S. Fukui	Experiments of the HTS Floating Coil System in the Mini-RT Project	IEEE Trans. Appl. Supercond	14 (2004) 1539-1542	2001-FT1-2
6	2004	T. Hemmi, K. Takahata, T. Mito, A. Iwamoto, H. Tamura, and N. Yanagi	Experimental Apparatus for Measuring the Characteristics of HTS Coils under Controllable Magnetic Field, Orientation and Temperature	IEEE Trans. Appl. Supercond	14 (2004) 1806-1809	2001-FT1-2
7	2005	N. Yanagi, T. Mito, T. Hemmi, K. Seo, J. Morikawa, Y. Ogawa, and M. Iwakuma	Effective Resistance of the HTS Floating Coil of the Mini-RT Project	IEEE Trans. Appl. Supercond	15 (2005) 1399-1402	2004-FT1-2
8	2005	T. Hemmi, N. Yanagi, K. Seo, R. Maekawa, K. Takahata, and T. Mito	Experimental Evaluation of Loss Generation in HTS Coils Under Various Conditions	IEEE Trans. Appl. Supercond	15 (2005) 1711-1714	2004-FT1-2
9	2006	Y. Ogawa, J. Morikawa, T. Mito, N. Yanagi, and M. Iwakuma	Application of high-temperature superconducting coil for internal ring devices	Fusion Engineering and Design	81 (2006) 2361-2369	2005-FT1-1
10	2006	T. Mito, A. Sagara, S. Imagawa, S. Yamada, K. Takahata, N. Yanagi, H. Chikaraishi, R. Maekawa, A. Iwamoto, S. Hamaguchi, M. Sato, N. Noda, K. Yamauchi, A. Komori, and O. Motojima	Applied superconductivity and cryogenic research activities in NIFS	Fusion Engineering and Design	81 (2006) 2389-2400	2005-FT1-1
11	2006	T. Hemmi, N. Yanagi, G. Bansal, K. Seo, K. Takahata, and T. Mito	Electromagnetic behavior of HTS coils in persistent current operations	Fusion Engineering and Design	81 (2006) 2463-2466	2005-FT1-1

2.4.2 Structural Materials

1. Journal Paper

No	Year	Authors	Title of Paper	Journal	Vol. (Year) Page (Start) -Page(End) or Identification No.	Year-Category-No.
1	2001	K. Morishita, T. Diaz de la Rubia and A. Kimura	Mobility of Self-interstitial Atom Clusters in Vanadium, Tantalum and Copper	Nuclear Instruments and Methods in Physical Research B	180 (2001) 66-71	2001 MM-32
2	2002	A. Kimura, R. Kasada, K. Morishita, R. Sugano, A. Hasegawa, K. Abe, T. Yamamoto, H. Matsui, N. Yoshida, B.D. Wirth and T.D. de la Rubia	High Resistance to Helium Embrittlement in Reduced Activation Martensitic Steels	J. Nucl. Mater	307-311 (2002) 521-526	2002 MM-27 MM-28

3	2002	S. Jitsukawa, M. Tamura, B. van der Schaaf, R.L. Kleuh, A. Alamo, C. Petersen, M. Schirra, P Spaetig, G.R. Odette, A.A. Tavassoli, K. Shiba, A. Kohyama and A. Kimura	Development of an Extensive Database of Mechanical and Physical Properties for Reduced-Activation Martensitic Steel F82H	J. Nucl. Mater	307-311 (2002) 179-186	2002 MM-27 MM-28
4	2002	R.L. Klueh, D.S. Gelles, S. Jitsukawa, A. Kimura, G.R. Odette, B. van der Schaaf and M. Victoria	Ferritic/Martensitic Steels – Overview of Recent Results	J. Nucl. Mater	307-311 (2002) 455-465	2002 MM-27 MM-28
5	2004	D. C. Dube, P.D. Ramesh, J. Cheng, M.T. Lanagan, D. Agrawal and R. Roy	Experimental evidence of redistribution of fields during processing in a high-power microwave cavity	Appl. Phys. Lett.	85 (16) (2004) 3632-3624	2004-FT2-1
6	2004	S. Jitsukawa, A. Kimura, A. Kohyama, R.L. Klueh, A.A. Tavassoli, B. van der Schaaf, G.R. Odette, J.W. Rensman, M. Victoria and C. Petersen	Recent Results of the Reduced Activation Ferritic/Martensitic Steel Development	J. Nucl. Mater	329-333 (2004) 39-46	2004 FT2-2
7	2005	S.A. Maloy, M.R. James, T.J. Romero, M.B. Toloczko, R.J. Kurtz and A. Kimura	Tensile properties of the NLF reduced activation ferritic/martensitic steels after irradiation in a fast reactor spectrum to a maximum dose of 67 dpa	J. Nucl. Mater.	341 (2005) 141-147	2004 FT2-2
8	2007	Kotaro ISHIZAKI, Kazuhiro NAGATA	Selectivity of Microwave Energy Consumption in the Reduction of Fe ₃ O ₄ with Carbon Black in Mixed Powder	ISIJ.	47 (2007) 811-816	2004-FT2-1, 2005-FT2-1, 2006-FT2-1, 2007-FT2-1
9	2008	V.D. Buchelnikov, D. V. Louzguine-Luzgin, G.Q. Xie, S. Li, N. Yoshikawa, M.Sato	Heating of metallic powders by microwaves: Experiment and theory	J. Appl. Phys.	104 (2008) 113505	2004-FT2-1,2-3, 2005-FT2-1,2-3, 2006-FT2-1,2-2, 2007-FT2-1,2-2
10	2008	A.P. Anzulevich, I.V. Bychkov, and A.Inoue	Numerical study of microwave heating of micrometer size metal particles	ISIJ (Iron and Steel Institute of Japan)	48 (2008) 681-684	2004-FT2-1, 2005-FT2-1, 2006-FT2-1, 2007-FT2-1
11	2008	H.Tanigawa, T.Hirose, K.Shiba, R.Kasada, E.Wakai, H.Serizawa, Y.Kawahito, S.Jitsukawa, A.Kimura, Y.Kohno, A.Kohyama, S.Katayama, H.Mori, K.Nishimoto, R.L.Klueh, M.A.Sokolov, R.E.Stoller, S.J.Zinkle	Technical issues of reduced activation ferritic/martensitic steels for fabrication of ITER test blanket modules	Fusion Engineering and Design	83 (2008) 1471-1476	2008 MM- 19
12	2009	M. Tanaka, H. Kono, and K. Maruyama	Selective heating mechanism of magnetic metal oxides by a microwave magnetic field	Phys. Rev. B	79 (2009) 10442	2004-FT2-1,2-3, 2005-FT2-1,2-3, 2006-FT2-1,2-2, 2007-FT2-1,2-2
13	2009	M.Ignatenko, M.Tanaka, and M.Sato	Handling Technology of Mega-Watt Millimeter-Waves For Optimized Heating of Fusion Plasmas	Jpn.J.Appl.Phys.	48 (2009) 067001	2004-FT2-1,2-3, 2005-FT2-1,2-3, 2006-FT2-1,2-2, 2007-FT2-1,2-2
14	2009	A. Matsubara, S. Takayama, S. Okajima and M. Sato	Evolution of the near-UV emission spectrum associated with the reduction process in the microwave iron making	J. Microwave Power Electromagnetic Energy	42 (2008) 4	2004-FT2-1,2-3, 2005-FT2-1,2-3, 2006-FT2-1,2-2, 2007-FT2-1,2-2

2. Conference Paper

No	Year	Authors	Title of Paper	Conference Name	Month Date, Year, Place, Country	Year-Category-No.
1	2001	K. Morishita, R. Sugano, B.D. Wirth, H. Iwakiri, T. Diaz de la Rubia, N. Yoshida and A. Kimura	Atomistic Simulation Study of Helium Behavior in Iron and Helium Desorption Experiments	Proc. of the CARET Symposium on Advanced Research of Energy Technology	March 18-16,2001, Sapporo, Japan	2001-MM-32
2	2004	M. Sato, S.Takayama	Microwave Sintering Technology in Japan	4th International Congress on Microwave and Rf Applications	Nov.7-11, Texas Austin	2004-FT2-1,
3	2008	M. Sato, K. Nagata, A. Matsubara, S.Takayama	Greener Steel Making Process by Microwave Irradiation with Discharges	ICPOS2008	June 15-19 (2008) Karlsruhe, Germany	2004-FT2-1, 2005-FT2-1, 2006-FT2-1, 2007-FT2-1
4	2009	M. Sato, N. Nishi, M. Tanaka, A.Matsubara, S Takayama, H. Fukushima, M. Ignatenko, Rustum Roy, Dinesh Agrawal, J. Fukusima	Formation of Nano-Domains by Microscopic Thermal Non-Equilibrium Generated in GHz High Frequency Microwave Field	1st Global Cong MW Energy Applications, August 2008, Japan	Aug.7-10,2008, Otsu, Japan	2004-FT2-1,2-3, 2005-FT2-1,2-3, 2006-FT2-1,2-2, 2007-FT2-1,2-2

5	2009	M.Sato	Microwave Excited Non-equilibrium Reaction Field that Brings Revolution to Key Industries of 21 Century · IEICE MWE2009 · 2009	IEICE MWE2009	Nov. 16-18, 2009, Yokohama, Japan	2004-FT2-1, 2005-FT2-1, 2006-FT2-1, 2007-FT2-1
6	2009	M.Tanaka, H.Kono, K.Maruyama, and M.Ignatenko	Classical and Quantum Mechanical Theories of Microwave Heating of Magnetic Materials	12th AMPERE International Conference 2009	Sep 16-21, Karlsruhe, Germany (AMPERE Europe, The 2009 Best Paper Award)	2004-FT2-1,2-3, 2005-FT2-1,2-3, 2006-FT2-1,2-2, 2007-FT2-1,2-2
7	2009	K.Nagata, K. Ishizaki, M.Kanazawa, T. Hayashi, M.Sato, A.Matsubara, S.Takayama, O.Motojima, D.Agrawal, R. Roy	A Concept of Microwave Furnace for Steel Making in Industry Scale	12th AMPERE International Conference 2009	Sep 16-21, Karlsruhe, Germany	2004-FT2-1, 2005-FT2-1, 2006-FT2-1, 2007-FT2-1

2.4.3 Plasma Heating Related Technologies

1. Journal Paper

No	Year	Authors	Title of Paper	Journal	Vol. (Year) Page (Start) -Page(End) or Identification No.	Year-Category-No.
1	2001	M. A. Shapiro, T. S. Chu, D. R. Denison, M. Sato, T. Shimozuma, R. J. Temkin	Design of correcting mirrors for a gyrotron used at Large Helical Device	Fusion Engineering and Design	53 (2001) 537-544	2005-FT3-5 2003-FT3-7 2000-FT3-3
2	2002	N. Takeuchi, R. Kumazawa, K. Saito, T. Watari, T. Seki, et al.	The radio frequency characteristics of the combine antenna	Journal of Plasma Fusion Research SERIES	5 (2002) 314-317	2002-FT3-2
3	2004	N. Takeuchi, T. Seki, Y. Torii, K. Saito, T. Watari, et al.	Variation of N// and its effect on fast wave electron heating on LHD	Journal of Plasma Fusion Research SERIES	6 (2004) 642-646	2003-FT3-3
4	2004	Y. Takase, C.P. Moeller, T. Seki, N. Takeuchi, T. Watari, et al.	Development of a fishbone travelling wave antenna for LHD	Nuclear Fusion	44 (2004) 296-302	2003-FT3-3
5	2005	N. Takeuchi, T. Seki, K. Saito, T. Watari, R. Kumazawa, et al.	Studies of the electrical properties of the LHD combine antenna	Fusion Science and Technology	48 (2005) 1267-1284	2003-FT3-3
6	2005	T. Shimozuma, H. Idei, M. A. Shapiro, R. J. Temkin, S. Ito, T. Notake, S. Kubo, Y. Yoshimura, S. Kobayashi, Y. Mizuno, Y. Takita, K. Ohkubo	Alignment Method of ECH Transmission Lines Based on the Moment and Phase Retrieval Method Using IR Images	J. Plasma Fusion Res.	81 (2005) 191 - 196	2005-FT3-5 2003-FT3-7 2000-FT3-3
7	2009	T. Shimozuma, S. Kubo, Y. Yoshimura H. Igami, H. Takahashi, Y. Takita, S. Kobayashi, S. Ito, Y. Mizuno, H. Idei, T. Notake, M. A. Shapir, R. J. Temkin, F. Felici, T. Goodman, O. Sauter, R. Minami, T. Kariya, T. Imai and T. Mutoh	Handling Technology of Mega-Watt Millimeter-Waves For Optimized Heating of Fusion Plasmas	Journal of Microwave Power & Electromagnetic Energy	43 (2009) 60-70	2007-FT3-6 2008-FT3-1 2009-FT3-3
8	2010	T. Shimozuma, H. Idei, M. A. Shapiro, R. J. Temkin, S. Kubo, H. Igami, Y. Yoshimura, H. Takahashi, S. Ito, S. Kobayashi, Y. Mizuno, Y. Takita and T. Mutoh	Mode-Content Analysis and Field Reconstruction of Propagating Waves in Corrugated Waveguides of an ECH System	Plasma and Fusion Research	5 (2010) S1029-1-5	2007-FT3-6 2008-FT3-1 2009-FT3-3

2. Conference Paper

No	Year	Authors	Title of Paper	Conference Name	Month Date, Year, Place, Country	Year-Category-No.
1	2001	N. Takeuchi, K. Saito, R. Kumazawa, T. Watari, et al.	The Radio Frequency Characteristics of the Combine antenna	The 12th International Toki Conference	Dec. 11-14, 2001, Toki, Japan	2002-FT3-2
2	2003	N. Takeuchi, T. Seki, Y. Torii, K. Saito, et al.	Ray tracing calculation for the fast wave electron heating on LHD	The 13th International Toki Conference	Dec. 9-12, 2003, Toki, Japan	2003-FT3-3
3	2003	T. Shimozuma, H. Idei, M. A. Shapiro, T. Notake, S. Ito, S. Kubo, R. J. Temkin and K. Ohkubo	Alignment Method of Transmission Lines Based on the Moment and Phase Retrieval Method Using IR images	EU-US-JA RF heating technology workshop 2003	Sept. 25-26, Tokai, Ibaragi, Japan	2000-FT3-3 2005-FT3-5
4	2004	T. Shimozuma, H. Idei, M. A. Shapiro, R. J. Temkin, S. Ito, T. Notake, S. Kubo, Y. Yoshimura, S. Kobayashi, Y. Mizuno, Y. Takita and K. Ohkubo	Alignment Method of Transmission Lines Based on the Moment and Phase Retrieval Method Using IR images	15th Nuclear Fusion Energy Conference	June 17-18, 2004, Sendai, Japan	2003-FT3-7 2000-FT3-3

5	2005	T. Shimozuma, S. Kubo, Y. Yoshimura, H. Igami, H. Idei, T. Notake, S. Ito, S. Kobayashi, Y. Mizuno, Y. Takita, M. A. Shapiro, R. J. Temkin, K. Ohkubo and T. Mutoh	Improvement of ECH System for High Performance Experiments in LHD	EU-US-JA RF heating technology workshop 2005	Jun. 15-18, 2005, Santa Cruz, California, USA	2005-FT3-5
6	2007	T. Oosako, et al.	Combine Antenna for Lower Hybrid Current Start-up Experiments in Tokyo Spherical Tokamak-2	Korea-Japan workshop on heating technology of Fusion plasmas	Oct.16-17, 2007, Jeju, Korea	2005-FT3-2 2006-FT3-2
7	2007	T. Shimozuma, H. Idei, M. Shapiro, R.J. Temkin, S. Kubo, Y. Yoshimura, H. Igami, T. Notake, S. Ito, S. Kobayashi, Y. Mizuno, Y. Takita, T. Mutoh	Efficiency improvement in long-distance transmission of high-power millimeter waves by propagating mode analysis in corrugated waveguides	24th annual meeting of the Japan Soc. of Plasma Physics and Nuclear Fusion Research	Nov. 27-30, 2007, Himeji, JAPAN	2007-FT3-6 2009-FT3-3
8	2008	T. Shimozuma, H. Idei, M. A. Shapiro, R. J. Temkin, S. Kubo, H. Igami, Y. Yoshimura, H. Takahashi, S. Ito, S. Kobayashi, Y. Mizuno, Y. Takita and T. Mutoh	Propagating Mode Contents in the Corrugated Waveguides of ECH System for Precise Alignment	18th International Toki Conference (ITC18)	Dec. 9 - 12, 2008, Toki, Japan	2007-FT3-6 2008-FT3-1 2009-FT3-3
9	2008	T. Shimozuma, H. Idei, M. A. Shapiro, R. J. Temkin, S. Kubo, Y. Yoshimura, H. Igami, H. Takahashi, S. Ito, S. Kobayashi, Y. Mizuno, Y. Takita and T. Mutoh	In-situ mode analysis of high power millimeter-waves propagating in the corrugated waveguide	25th annual meeting of the Japan Soc. of Plasma Physics and Nuclear Fusion Research	Dec. 2-5, 2008, Utsunomiya, Japan	2007-FT3-6 2008-FT3-1 2009-FT3-3
10	2008	T. Shimozuma, H. Idei, M. A. Shapiro, R. J. Temkin, S. Kubo, Y. Yoshimura, H. Igami, H. Takahashi, T. Notake, S. Ito, S. Kobayashi, Y. Mizuno, Y. Takita and T. Mutoh	Propagating Mode Analysis and Field Reconstruction in the Corrugated Waveguides of a High Power Electron Cyclotron Heating System	IRMMW-THz 2008	Sept. 15-19, 2008, Pasadena, California USA	2007-FT3-6 2008-FT3-1 2009-FT3-3
11	2008	T. Shimozuma, S. Kubo, Y. Yoshimura, H. Igami, H. Takahashi, Y. Takita, S. Kobayashi, S. Ito, Y. Mizuno, H. Idei, T. Notake, M. A. Shapiro, R. J. Temkin, F. Felici, T. Goodman, O. Sauter, and T. Mutoh	Recent Studies toward Improvement of Total ECH Efficiency in LHD	US-EU-JPN RF Heating Technology Workshop 2008	Sept. 10-12, 2008, San Diego, California, USA	2009-FT3-3
12	2008	T. Shimozuma, S. Kubo, Y. Yoshimura, H. Igami, H. Takahashi, Y. Takita, S. Kobayashi, S. Ito, Y. Mizuno, H. Idei, T. Notake, M. A. Shapiro, R. J. Temkin, F. Felici, T. Goodman, O. Sauter, R. Minami, T. Kariya, T. Imai and T. Mutoh	HANDLING TECHNOLOGY OF MEGA-WATT MILLIMETER-WAVES FOR OPTIMIZED HEATING OF FUSION PLASMAS	Global Congress on Microwave Energy Applications GCMEA 2008 MAJIC 1st	Aug. 4-8, 2008, Otsu, JAPAN	2007-FT3-6 2008-FT3-1 2009-FT3-3
13	2009	M. Shapiro, E. Kowalski, B. Munroe, E. Nanni, J. Sirigiri, D. Tax, R. Temkin et al.	Losses, Multimode Propagation and Mode Conversion in ECH Transmission Lines	US-EU-JPN RF Heating Technology Workshop 2009	Sept. 16-18, 2009, Fukuoka, Japan	2009-FT3-3
14	2009	T. Shimozuma, H. Takahashi, S. Ito, Y. Mizuno et al.	Improvement of Overall Efficiency in Large Scale ECH System for LHD	26th annual meeting of the Japan Soc. of Plasma Physics and Nuclear Fusion Research	Dec. 1-4, 2009, Kyoto, Japan	2009-FT3-3
15	2009	T. Shimozuma, S. Kubo, Y. Yoshimura, H. Igami, H. Takahashi, R. Ikeda, N. Tamura, S. Kobayashi, S. Ito, Y. Mizuno, Y. Takita, T. Mutoh, R. Minami, T. Kariya, T. Imai, H. Idei, M.A. Shapiro, R.J. Temkin, F. Felici, T. Goodman, and O. Sauter	Activities on Realization of High-Power and Steady-State ECRH System and Achievement of High Performance Plasmas in LHD	18th Topical Conference on Radio Frequency Power in Plasmas	Jun. 24 - 26, 2009, Gent, Belgium	2007-FT3-6 2008-FT3-1 2009-FT3-3

2.4.4 Blankets

1. Journal Paper

No	Year	Authors	Title of Paper	Journal	Vol. (Year) Page (Start) -Page(End) or Identification No.	Year-Category-No.
1	2000	S.Ebara, S.toda and H.Hahsizume	Application of Porous Matrix to High Heat Load Removal	Heat and Mass Transfer	36 (2000) 273-276	2000-FT4-8
2	2000	B. van der Schaaf, D.S. Gelles, S. Jitsukawa, A. Kimura, R.L. Klueh, A. Moslang and G.R. Odette	Progress and Critical Issues of Reduced Activation Ferritic/Martensitic Steel Development	J. Nucl. Mater	283-287 (2000) 52-59	2000 FT4-13 MM-3 MM-25 MM-26
3	2002	S. Satake, T. Kunugi, and S. Smolentsev	Advances in direct numerical simulation for MHD modeling of free surface flows	Fusion Engineering and Design	61-62 (2002) 95-102	2000-FT4-7
4	2005	Masumi Okumura, Kazuhisa Yuki, Hidetoshi Hashizume, Akio Sagara	Evaluation of Flow Structure in Packed-Bed Tube by Visualization Experiment	Fusion Science and Technology	47 (4) (2005) 1089-1093	2000-FT4-6
5	2006	Shin-Ya Chiba, Kazuhisa Yuki, Hidetoshi Hashizume, Saburo Toda, Akio Sagara	Numerical research on heat transfer enhancement for high Prandtl-number Fluid	Fusion Engineering and Design	81 (2006) 513-517	2005-FT5-2
6	2007	Masaaki Satake, Kazuhisa Yuki, Hidetoshi Hashizume	Reproduction of behavior of 2-D channel flow with two rods by using k-e model	Fusion Science and Technology	52 (4) (2007) 817-820	2006-FT5-2
7	2009	H. Hashizume, K. Yuki, N. Seto, A. Sagara	Feasibility Study of Flibe TBM baaed on Thermofluid Analysis	Fusion Science and Technology	56 (2) (2009) 892-896	2008-FT5-1

2. Conference Paper

No	Year	Authors	Title of Paper	Conference Name	Month Date, Year, Place, Country	Year-Category-No.
1	2002	S. Satake, T. Kunugi, and S. Smolentsev	Advances in direct numerical simulation for MHD modeling of free surface flows	Int. Symp. Fusion Nuclear Technology 6	April 7-12, 2002, San Diego, USA	2000-FT4-7
2	2003	K. Yuki, K. Okuyama, S. Toda, H. Hashizume, T. Muramatsu	Investigation of Non-Isothermal Fluid Mixing and Wall Temperature Fluctuation in At-Junction which has a 90-degree Bend in the Upstream Area	NURETH-10	October 5-9, 2003, Seoul, Korea	2000-FT4-6
3	2006	S. Toda, K. Yuki, S. Ebara, Y. Kunikata, J. Abei and H. Hashizume	Development of an Advanced Cooling Device Using Porous Media with Active Boiling Flow Counter to High Heat Flux	Int. Symp. Fusion Nuclear Technology 6	August 13-18, Sydney, Australia	2002-FT4-5

2.4.5 In-Vessel/High Heat Flux Materials and Components

1. Journal Paper

No	Year	Authors	Title of Paper	Journal	Vol. (Year) Page (Start) -Page(End) or Identification No.	Year-Category-No.
1	2001	E. M. Hollmann, D.G. Whyte, D. Nishijima, N. Ohno et al.	Evidence for the importance of radial transport in plasma detachment in the Nagoya University Divertor Simulator (NAGDIS-II)	Physics of Plasmas	8 (2001) 3314-3320	2000-FP5-8
2	2002	R. E. Nygren	Actively cooled plasma facing components for long pulse high power operation	Fusion Engineering and Design	60 (2002) 547-564	2002-FT5-1
3	2002	K. Tokunaga, R. P. Doerner, R. Seraydarian, N. Noda, N. Yoshida, T. Sogabe, T. Kato and B. Schedler	Modification of tungsten coated carbon by low energy and high flux deuterium irradiation	Journal of Nuclear Materials	307-311(2002) 126-129	2000- FT5-10
4	2003	R.P. Doerner, M.J. Baldwin, S.I. Krasheninnikov, D.G. Whyte	Behavior of high temperature liquid surfaces in contact with plasma	Journal of Nuclear Materials	313-316 (2003) 383-387	2002-FT5-1
5	2003	Y. Ueda, K. Tobita, Y. Katoh	PSI issues at plasma facing surfaces of blankets in fusion reactors	Journal of Nuclear Materials	313-316 (2003) 32-41	2002-FT5-1
6	2003	J.P. Sharpe, V. Rohde, the ASDEX-Upgrade experimental team, A. Sagara, H. Suzuki, A. Komori, O. Motojima and the LHD experimental group	Characterization of dust collected from ASDEX-Upgrade and LHD	Journal of nuclear materials	313-316 (2003) 455-459	2000-FT6-7

7	2003	K. Tokunaga, R. P. Doerner, R. Seraydarian, N. Noda, Y. Kubota, N. Yoshida, T. Sogabe, T. Kato and B. Schedler	Surface morphology and helium retention on tungsten exposed to low energy and high flux helium plasma	Journal of Nuclear Materials	313-316 (2003) 92-96	2001-FT5-06
8	2004	D. Nishijima, M.Y. Ye, N. Ohno, S. Takamura	Incident ion energy dependence of bubble formation on tungsten surface with low energy and high flux helium plasma irradiation	Journal of Nuclear Materials	313-316 (2004) 97	2004-FT5-3
9	2005	Hisae Togashi, Kazuhisa Yuki, Hidetoshi Hashizume	Heat Transfer Enhancement Technique with Copper Porous Media	Fusion Science and Technology	47 (2005) 740-745	2004-FT5-4
10	2005	K. Tokunaga, M.J. Baldwin, R.P. Doerner, N. Noda, Y. Kubota, N. Yoshida, T. Sogabe, T. Kato and B. Schedler	Blister formation and deuterium retention on tungsten exposed to low energy and high flux deuterium plasma	Journal of Nuclear Materials	337-339 (2005) 887-891	2005-FT5-3 2001-FT5-06
11	2006	R.E. Nygren, M.A. Ulrickson, T.J. Tanaka, D.L. Youchison, T.J. Lutz, J. Bullock, K.J. Hollis	ITER first wall Module 19—The US effort	Fusion Engineering and Design	81 (2006) 387-392	2005-FT5-3
12	2006	S. TAKAMURA, N. OHNO, D. NISHIJIMA and S. KAJITA	Formation of Nanostructured Tungsten with Arborescent Shape due to Helium Plasma Irradiation	Plasma and Fusion Research	1 (2006) 051	2005-FT5-3
13	2007	N. Ohno, S. Kajita, Dai Nishijima, S. Takamura	Surface modification at tungsten and tungsten coated graphite due to low energy and high fluence plasma and laser pulse irradiation	Journal of Nuclear Materials	363-365 (2007) 1153-1159	2007-FT5-1
14	2009	C.P.C. Wong	Innovative tokamak DEMO first wall and divertor material concepts	Journal of Nuclear Materials	390-391 (2009) 1026-1028	2007-FT5-1
15	2009	J.P. Sharpe, R.D. Kolasinski, M. Shimada, P. Calderoni, R.A. Causey	Retention behavior in tungsten and molybdenum exposed to high fluences of deuterium ions in TPE	Journal of Nuclear Materials	390-391 (2009) 709-712	2009-FT5-1
16	2009	M. Miyamoto, D. Nishijima, Y. Ueda, R.P. Doerner, H. Kurishita, M.J. Baldwin, et al.	Observations of suppressed retention and blistering for tungsten exposed to deuterium-helium mixture plasmas	Nuclear Fusion	49 (2009) 065035	2009-FT5-1
17	2009	R.A. Causey, R. Doerner, H. Fraser, R.D. Kolasinski, J. Smugeresky, K. Umstadter, R. Williams	Defects in tungsten responsible for molecular hydrogen isotope retention after exposure to low energy plasmas	Journal of Nuclear Materials	390-391 (2009) 717-720	2009-FT5-1
18	2009	S. Sharafat, A. Takahashi, Q. Hu, N.M. Ghoniem	A description of bubble growth and gas release of helium implanted tungsten	Journal of Nuclear Materials	386-388 (2009) 900-903	2005-FT5-3
19	2010	H. Kurishita, S. Matsuo, H. Arakawa, T. Sakamoto, et al.	Development of re-crystallized W-1.1%TiC with enhanced room-temperature ductility and radiation performance	Journal of Nuclear Materials	398 (2010) 87-92	2009-FT5-1

2. Conference Paper

No	Year	Authors	Title of Paper	Conference Name	Month Date, Year, Place, Country	Year-Category-No.
1	2002	Y. Ueda, K. Tobita, Y. Katoh	PSI issues at plasma facing surfaces of blankets in fusion reactors	15th International Conference on Plasma Surface Interactions in Controlled Fusion Devices	May 27 - May 31, 2002, Gifu, Japan	2002-FT5-1
2	2003	T. Muroga, H. Watanabe, K. Fukumoto, M. Satou, A. Kimura, S.J. Zinkle, N. Hashimoto, D.T. Hoelzer and A.L. Qualls	Summary of the Varying Temperature Irradiation Experiment in HFIR	Proc. of 15th Topical Meeting on the Technology of Fusion Energy (TOFE-15), Fusion Science and Technology	Nov.17-21, 2002, Washington, D.C., USA	2003 FT5-2 MM-30
3	2004	R. P. Doerner, M. J. Baldwin, S. I. Krasheninnikov, and K. Schmid	High temperature erosion of Beryllium	16th International Conference on Plasma Surface Interactions in Controlled Fusion Devices	May 24-28, 2004, Portland, USA	2002-FT5-1

4	2007	Kazuhiya Yuki, Akira Matsui, Hidetoshi Hashizume	Heat removal performance of particle-sintered porous media counter to heat flux input and its phase change characteristics	Second international conference on porous media and its applications in science, engineering and industry	June 17-22,2007,Hawaii, USA	2005-FT5-2
5	2009	H. Kurishita	Markedly Refined W added with TiC Exhibiting Low DBTT and High Radiation Durability	14th International Conference on Fusion Reactor Materials	Sept. 6-11, 2009, Sapporo, Japan	2009-FT5-1
6	2009	R. Nygren	Making Tungsten Work	14th International Conference on Fusion Reactor Materials	Sept. 6-11, 2009, Sapporo, Japan	2009-FT5-1

2.4.6 Others

1. Journal Paper

No	Year	Authors	Title of Paper	Journal	Vol. (Year) Page (Start) -Page(End) or Identification No.	Year-Category-No.
1	2003	R. Tsuji	Flying metal pipe for target transport in inertial fusion energy reactor	Fusion Science and Technol.	43 (2003) 327-333	2002-FT6-5
2	2003	T. Norimatsu, K. Nagai, T. Takeda, K. Mima, and T. Yamanaka	Update for the drag force on an injected pellet and target fabrication for Inertial fusion	Fusion Sci. Technol.	43 (2003) 339-345	2002-FT6-5
3	2005	K. Nagai, H. Azechi, F. Ito, A. Iwamoto, Y. Izawa, T. Johozaki, R. Kodama, K. Mima, T. Mito, M. Nakai, N. Nemoto, T. Norimatsu, Y. Ono, K. Shigemori, H. Shiraga, K. A. Tanaka	Foam materials for cryogenic targets of fast ignition realization experiment (FIREX)	Nucl. Fusion	45 (2005) 1277-1283	2002-FT6-5
4	2006	K. Furuichi, H. Takata, T. Motoshima, S. Satake, M. Nishikawa	Study on behavior of tritium in concrete wall	Journal of Nuclear Materials	350 (2006) 246-253	2002-FT6-7 2004-FT6-3
5	2006	M. Nishikawa, K. Furuichi, H. Takata	Study on permeation behavior of gaseous tritium through concrete walls	Fusion Science and Technology	50 (2006) 521-527	2002-FT6-7 2004-FT6-3
6	2007	K. Furuichi, H. Takata, T. Motoshima, S. Satake, M. Nishikawa	Evaluation of tritium behavior in concrete	Journal of Nuclear Materials	360-370 (2007) 1243-1247	2002-FT6-7 2004-FT6-3
7	2008	T. Goto, Y. Ogawa, K. Okano et al.	Analysis of a core plasma dynamics and dry wall chamber for fast-ignition IFE power plant	Journal of Physics: Conference Series	112 (2008) 032038 (4pp)	2008-FT6-4
8	2009	T. Goto, Y. Someya, Y. Ogawa et al.	Conceptual design of fast-ignition laser fusion reactor FALCON-D	Nuclear Fusion	49 (2009) 075006 (8pp)	2008-FT6-4

2. Conference Paper

No	Year	Authors	Title of Paper	Conference Name	Month Date, Year, Place, Country	Year-Category-No.
1	2003	T. Norimatsu, K. Nagai, T. Yamanaka and Y. Izawa	Experimental Simulation on Protection of Final Optics from Metal Vapor in a Wet-Wall Laser Fusion Reactor	Inertial Fusion Science and Application	Monterey, USA	2002-FT6-5
2	2004	T. Norimastu, H. Azechi, et al.	Development of Key Technologies in DPSSL System for Fast-ignition, Laser Fusion Reactor - FIREX, HALNA, and Protection of Final Optics	20th IAEA Fusion Energy Conference	1-6 Nov. (2004), Vilamoura, Portugal, FT/2-1Rb	2002-FT6-5
3	2007	T. Goto, Y. Someya, Y. Ogawa et al.	Analysis of a core plasma dynamics and dry wall chamber for fast-ignition IFE power plant	The fifth International Conference on Inertial Fusion Sciences and Applications (IFSA2007)	9-14 September 2007, Kobe, Japan	2007-FT6-4
4	2008	T. Goto, Y. Someya, Y. Ogawa et al.	Conceptual design of fast-ignition laser fusion reactor FALCON-D	22nd IAEA FEC	13-18 October 2008, Geneva, Switzerland	2007-FT6-4

CHAPTER 3 FPPC

The publication lists in the four categories of 3.4.1 Steady-state Operation, 3.4.2 MHD and High Beta, 3.4.3 Confinement, 3.4.4 Diagnostics are combined into the following list, because some papers are difficult to be sorted into one category.

1. Journal Paper

No	Year	Authors	Title of Paper	Journal	Vol. (Year) Page (Start) -Page(End) or Identification No.	Year-Category-No.
1	2000	Y. Ono and M. Inomoto	Ultra-High Beta Spherical Tokamak Formation by Use of Oblate Field-Reversed Configuration	Physics of Plasmas	7 (2000) 1863-1869	2000-FP2-14
2	2001	Y.Oka, Y.Takeiri, K.Tsumori, M.Osakabe, O.Kaneko, K.Ikeda, M.Hamabe, E.Asano, T.Kawamoto, L.Grisham	Performance of LHD-NBI H-ion source	Rev.Sci.Instrum.	73 (2002) 1054-1057	2001-FP4-04
3	2001	M. Ono, M.G. Bell, M. Nagata, et al.	Overview of the initial NSTX experimental results	Nuclear Fusion	41 (2001) 1435-1447	2000-FP4-8 2000-FP4-9
4	2001	N.Iwasawa, A.Ishida, L.C.Steinhauer	Linear Gyroviscous Stability of Field-Reversed Configurations with Static Equilibrium	Physics of Plasmas	8 (2001) 1240-1247	2001-FP2-1
5	2001	Y. Ono, M. Inomoto, Y. Ueda, T. Matsuyama and Y. Murata	Fast Compression of Current Sheet during Externally Driven Magnetic Reconnection	Earth, Planets and Space	53 (2001) 521-526	2001-FP2-8
6	2001	L.C.Steinhauer, H.Yamada, A.Ishida	Two-Fluid Flowing Equilibria of Compact Plasmas	Physics of Plasmas	8 (2001) 4053-4061	2001-FP2-1
7	2001	Y. Ono, M. Inomoto, T. Matsuyama, T. Murakami and T. Tawara	Ultra-High-Beta Spherical Tokamak Experiment by Use of Torus Plasma Merging in TS-3 Spherical Torus Device	Nuclear Fusion	41 (2001) 971-980	2001FP2-8
8	2001	Y. Ono, M. Inomoto, Y. Ueda and T. Matsuyama	Fast Magnetic Reconnection with Anomalous Resistivity and Its Application	Science and Technology of Advanced Material	2 (2001) 473-482	2001-FP2-8
9	2001	Y. Ueda and Y. Ono	High-Power Heating of Spherical Tori by Use of Merging / Reconnection Phenomena	Earth, Planets and Space	53 (2001) 527-531	2000-FP2-8 2000-FP2-9
10	2001	Y. Ueda and Y. Ono	Experimental Comparison of Compact RFPs, Spheromaks, and STs Using Controlled Current Drive	Nuclear Fusion	41 (2001) 981-984	2000-FP2-9
11	2002	Y.Torii, R.Kumazawa, T.Watari et al.	ICRF Heating on LHD using Folded Waveguide Antenna	Journal of Plasma Fusion Research	SERIES 5 (2002) 310-313	2000-FP4-6
12	2002	Y.Torii, R.Kumazawa, T.Seki et al.	Plasma Production Experiments using a Folded Waveguide Antenna on LHD	Nuclear Fusion	42, 6 (2002) 679-688	2000-FP4-6
13	2002	A. L. Balandin and Y. Ono	Tomographic Determination of Plasma Velocity with the Use of Ion Doppler Spectroscopy	European Physical Journal D	17 (2002) 337-344	2002FP2-1
14	2002	R Sakamoto, H Yamada et al.	Ablation and subsequent Density Redistribution of Fueling Pellets Injected into LHD Plasmas	29th EPS Conference on Plasma Physics and Controlled Fusion	ECA 26B (2002) P1.074	2001-FP2-17
15	2003	P.R. Goncharov, J.F. Lyon, T. Ozaki, S. Sudo and LHD Experimental Group	A Numerical Approach to the Localization of Passive Line Integrated Neutral Particle Measurements on LHD	Journal of Plasma and Fusion Research Series	6 (2003)	2003-FP5-15
16	2003	P.R. Goncharov, T. Saida, N. Tamura, T. Ozaki, M. Sasao, M. Isobe, S. Sudo, K.V. Khlopenkov, A.V. Krasilnikov, V.Yu. Sergeev, and LHD Experimental Groups	Development and Initial Operation of the Pellet Charge Exchange Diagnostic on LHD Heliotron	Review of Scientific Instruments	74 (2003) 1869-1872	2003-FP5-15
17	2003	Tetsuo Ozaki, Sadayoshi Murakami, et al.	Spatial resolved high energy particle diagnostic system using time-of-flight neutral particle energy analyzer in Large Helical Device	Review of Scientific Instruments	74-3 (2003) 1878-1882	2003-FP5-15
18	2003	D. Mueller, M. Ono, M.G. Bell, ..., M. Nagata, ..., et al.	Results of NSTX Heating Experiments	IEEE Trans. Plasma Science	31 (2003) 60-67	2001-FP4-07 2001-FP4-8 2002-FP4-6 2002-FP5-37

19	2003	M.Gilmore, W.A.Peebles., S.Kubota, X.V.Nguyen, and A.Ejiri	Progress toward a practical magnetic field diagnostic for low-field fusion plasmas based on dual mode correlation reflectometry	Rev. Sci. Instrum.	74 (2003) 1469-1472	2002-FP5-37
20	2003	Y.Oka, K.Tsumori, Y.Takeiri, K.Ikeda, O.Kaneko, K.Nagaoka, M.Osakabe, E.Asano, T.Kawamoto, T.Kondo, M.Sato, L.Grisham, A.Honda, N.Umeda, T.Yamamoto	Studied of H- source for large helical device-neutral beam injector(invited)	Rev.Sci.Instrum.	75 (2004) 1803-1808	2003-FP4-1
21	2003	J.R. Wilson, et al.	Exploration of high harmonic fast wave heating on the National Spherical Tokamak Experiment	Phys. Plasmas	10 (2003) 1733-1738	2001-FP4-8 2002-FP4-6
22	2003	A. L. Balandin, Y. Ono and Y. Murata	Radial Velocity Profile Reconstruction by Ion Doppler Spectroscopy Measurements	European Physical Journal D	27 (2003) 125-130	2003FP2-8
23	2003	E.J. Synakowski, M.G. Bell, ...,M. Nagata,..., et al.	The national spherical torus experiment (NSTX) research programme and progress towards high beta, long pulse operating scenarios	Nucl. Fusion	43 (2003) 1653-1664	2001-FP4-8 2001-FP4-7 2002-FP4-6
24	2003	M. Ono, M.G. Bell,...,M. Nagata,..., et al.	Progress towards high-performance, steady-state spherical torus	Plasma Phys. Control. Fusion	45 (2003) A335-A350	2001-FP4-7 2001-FP4-8 2002-FP4-6
25	2003	Y. Ono, T. Kimura, E. Kawamori, Y. Murata, S. Miyazaki, Y. Ueda, M. Inomoto, A. L. Balandin and M. Katsurai	First and Second-Stable Spherical Tokamaks in Reconnection Heating Experiments	Nuclear Fusion	43 (2003) 789-794	2003FP4-4
26	2003	Y. Ono, T. Kimura, T. Murata, S. Miyazaki, Y. Ueda, M. Inomoto, K. Arimoto, A. L. Balandin	High-Beta Characteristics of First and Second-Stable Spherical Tokamaks in Reconnection Heating Experiments of TS-3	Fusion Energy 2002	(2003) EX/P3-15	2002FP4-5
27	2003	Y. Ono, T. Matsuyama, K. Umeda and E. Kawamori	Spontaneous and Artificial Generation of Sheared Flow in Oblate FRCs	Nuclear Fusion	43 (2003) 649-654	2003FP2-8
28	2003	M. Isobe, D.S. Darrow, J. Kotani, A. Shimizu, C. Suzuki, Y. Yoshimura, T. Minami, C. Takahashi, K. Nagaoka, S. Nishimura, K. Toi, K. Matsuoka, S. Okamura, and the CHS group	Energy and pitch angle-resolved measurements of escaping helically trapped energetic ions at small major radius side of CHS	Review of Scientific Instruments	74 (2003) 1739-1742	2003-FP-2-4
29	2003	H. Gota, K. Fujimoto, Y. Ohkuma, T. Takahashi, and Y. Nogi	Separatrix shapes and internal structures of a field-reversed configuration plasma	Phys. Plasmas	10 (2003) 4763-4770	2004-FP5-37
30	2003	H. Gota, T. Akiyama, K. Fujimoto, Y. Ohkuma, Ts. Takahashi, and Y. Nogi	Separatrix shape measurement on field-reversed configuration plasmas	Rev. Sci. Instrum.	74 (2003) 2318-2323	2004-FP5-37
31	2004	P.R. Goncharov, T. Ozaki, S. Sudo, N. Tamura, et al.	Digital Processing of Solid State Detector Signals in Pellet Charge Exchange Measurements on LHD	Review of Scientific Instruments	75 (2004) 3613-3615	2003-FP5-15
32	2004	T.Ozaki, P.Goncharov, S.Murakami, S.Sudo, H.Sanuki, et al.	Two-dimensional scanning high-energy particle diagnostic system in Large Helical Device	Review of Scientific Instruments	75-10 (2004) 3604-3606	2003-FP5-15
33	2004	H. Nakanishi, T. Hochin, M. Kojima, LABCOM group	Search and retrieval method of similar plasma waveforms	Fusion Engineering and Design	71 (2004) 189-193	2004-FP5-39
34	2004	M. Ignatenko, A. Mase, L. Bruskin et al.	Microwave Imaging Reflectometry of Corrugated Metal Targets	J. Plasma Fusion Res	80, 2 (2004) 87-89	2004-FP5-18
35	2004	M. Ignatenko, A. Mase, L. G. Bruskin et al.	Effects of Asymmetry and Target Location on Microwave Imaging Reflectometry	Rev. Sci. Instrum	75, 10 (2004) 3810-3812	2004-FP5-18
36	2004	Y. Kogi, K. Uchida, A. Mase et al.	Ultrashort-Pulse Reflectometer on LHD	Rev. Sci. Instrum	75, 10 (2004) 3837-3839	2004-FP5-18

37	2004	A. Ishida, C. O. Haraahap, L. C. Steinhauer, Y-K.M. Peng	Ellipticity Criterion for Flowing two-fluid High Equilibrium	Physics of Plasmas	11 (2004) 5297-5301	2003-FP2-12
38	2004	E. Kawamori and Y. Ono	Ion Kinetic Relaxation of Two Merging Spheromaks to an FRC	Journal of Plasma and Fusion Research	79 (2004) 1109-1110	2004FP2-1
39	2004	R Sakamoto, H Yamada et al.	Observation of pellet ablation behaviour on the large helical device	Nuclear Fusion	44 (2004) 624-630	2001-FP2-17
40	2004	Y. Ono and K. Umeda	FRC Formation Process of Two Colliding Spheromaks with Counterhelicity	IEEJ Transactions on Fundamentals and Materials	124-A (2004) 62-67	2004FP2-1
41	2004	M. Nishiura, M. Isobe, T. Saida, M. Sasao and D.S. Darrow	Scintillator probe diagnostic for high energy particles escaped from Large Helical Device	Review of Scientific Instruments	75 (2004) 3646-3648	2003-FP-2-4
42	2004	D. Kalinina, S. Sudo, D. Stutman, M. Finkenthal, N. Tamura, K. Sato, A. Matsubara and LHD Experimental Group	Development of the Ultrasoft X-Ray Diagnostic for Impurity Transport Studies with a Tracer-Encapsulated Solid Pellet Injection on LHD	Journal of Plasma and Fusion Research	80 (2004) 545-546	2004-FP5-26
43	2004	Ts. Takahashi, H. Gota, T. Fujino, M. Okada, T. Asai, K. Fujimoto, Y. Ohkuma, and Y. Nogi	Multichannel optical diagnostic system for field-reversed configuration plasmas	Rev. Sci. Instrum.	75 (2004) 5205-5212	2005-FP2-1
44	2005	S. Sudo, N. Tamura, D.V. Kalinina, K. Sato, A. Matsubara, S. Inagaki, P.R. Goncharov, T. Ozaki, et al.	New Multi-functional Diagnostic Method with Tracer-encapsulated Pellet Injection on LHD	AIP Conference Proc	771 (2005) 13-22	2004-FP5-19
45	2005	M. Ignatenko, A. Mase, L. Bruskin et al.	Numerical Study of Microwave Imaging Reflectometer for a Tandem Mirror Device	Trans. Fusion Sci. Tech	47, 1T (2005) 183-186	2004-FP5-18
46	2005	Y. Nagayama, A. Mase	Microwave Imaging	J. Plasma Fusion Res	81, 5 (2005) 337-348	2004-FP5-18
47	2005	M. Ignatenko, A. Mase, Y. Kogi et al.	Numerical Study of the Location of the Microwave Imaging Reflectometry Object Plane	J. Plasma Fusion Res	81, 6 (2005) 419-420	2004-FP5-18
48	2005	Y. Kogi, A. Mase, K. Kudo et al.	Development of New Detector for Millimeter-Wave Imaging	Proc. Joint 30th Int. Conf. on Infrared and Millimeter Waves and 14th Int. Conf. on Terahertz Electronics, Williamsburg	(2005) 604-605	2004-FP5-18
49	2005	M. Ignatenko, A. Mase, L. Bruskin et al.	Numerical Study of Microwave Imaging Reflectometry for Measurements of Density Fluctuations Spectra for GAMMA10 Geometry	Proc. 12th Int. Symp. on Laser-Aided Plasma Diagnostics	(2005) 371-376	2004-FP5-18
50	2005	Y.Oka, K.Ikeda, Y.Takeiri, K.Tsumori, O.Kaneko, K.Nagaoka, M.Osakabe, E.Asano, T.Kondo, M.Sato, M.Shibuya, L.Grisham, N.Umeda, A.Honda, Y.Ikeda, T.Yamamoto	Doppler-shift spectra of Ha lines from negative-ion-based neutral beams for large helical device neutral beam injection	Rev.Sci.Instrum.	77 (2006) 03A538-1-4	2005-FP4-1
51	2005	S.M. Kaye, et al.	Progress towards high performance plasmas in the National Spherical Torus Experiment (NSTX)	Nucl. Fusion	45 (2005) S168-S180	2003-FP4-3 2004-FP4-4
52	2005	D. Gates, et al.	Progress towards steady state on NSTX	Nucl. Fusion	46 (2006) S22-S28	2003-FP4-3 2004-FP4-4
53	2005	A. Ishida, C.Z.Cheng, Y-K.M.Peng	Properties of low and medium frequency modes in two-fluid plasma	Physics of Plasmas	12 (2005) 052113 (9 pages)	2004-FP2-12
54	2005	A. L. Balandin and Y. Ono	The method of series expansion for 3-D vector tomography reconstruction	Journal of Computational Physics	202 (2005) 52-64	2005FP2-1
55	2005	D. Gates, et al.	Progress towards steady state on NSTX	Nucl. Fusion	46 (2006) S22-S28	2003-FP4-3 2004-FP4-4
56	2005	E. Kawamori and Y. Ono	Effect of Ion Skin Depth on Relaxation of Merging Spheromaks to a Field-Reversed Configuration	Physical Review Letters	95 (2005) 085003	2005FP2-1

57	2005	E. Kawamori, Y. Murata, K. Umeda, D. Hirota, T. Ogawa, T. Sumikawa, T. Iwama, K. Ishii, T. Kado, T. Itagaki, M. Katsuraj, A. Balandin, Y. Ono,	Ion kinetic effect on bifurcated relaxation to a field-reversed configuration in TS-4 CT experiment	Nucl. Fusion	45 (2005) 843-848	2005FP2-1
58	2005	M. Ono, M.G. Bell, R.E. Bell, ...,M.Nagata,..., et al.	Status and Plans for the National Spherical Torus Experimental Research Facility	IEEJ Trans. FM	125 (2005) 868-880	2003-FP4-5 2004-FP4-3
59	2005	R. Raman, T. R. Jarboe, M.G. Bell, D. Mueller, B.A. Nelson, B. Leblanc, C. Bush, M. Nagata, T. Biewer	Solenoid-free plasma startup in NSTX using coaxial helicity injection	IEEJ Trans. FM	125 (2005) 895-901	2003-FP4-5 2004-FP4-3
60	2005	Y. Ono and M. Inomoto	Heating Properties of Merging/Reconnection Startup of High-Beta ST	IEEJ Transactions on Fundamentals and Materials	125-A (2005) 958-959	2004FP4-5
61	2005	Y. Ono, K. Umeda and A. L. Balandin,	Direct Access to Burning Spherical Tokamak Experiment by Pulsed High-Power Heating of Magnetic Reconnection	Fusion Energy 2004	(2005) ICP6/44	2004FP4-5
62	2005	D. Stutman, M. Finkenthal, L. Delgado-Aparicio, K. Tritz, N. Tamura, D. Kalinina, A. Matsubara, K. Sato and S. Sudo	High throughput ultrasoft x-ray polychromator for embedded impurity pellet injection studies	Review of Scientific Instruments	76 (2005) 013508	2006-FP5-22
63	2005	T. Asai, M. Nagata, H.Koguchi, S.Kiyama, Y. Hirano, Y.Yagi, H. Sakakita	Fiest Results of Magnetized Plasma Flow Injection on the TPE-RX Reversed -Field Pinch	JPFR	81 (2005) 335-336	2005-FP2-1
64	2006	Ozaki T., Goncharov P., Sudo S., Seki T., Murakami S., Veschev E., Lyon J	Horizontal, vertical and radial high-energy particle distribution measurement system in Large Helical Device	Review of Scientific Instruments	77 (2006) 10E917	2004-FP5-19
65	2006	T.Ozaki, P.Goncharov, T.Amano, I.Yamada, T.Saida, S.Murakami, S.Sudo, et al	Neutral particle measurement in high Z plasma in Large Helical Device	JPFR Series	7 (2006) 22-26	2004-FP5-19
66	2006	Goncharov P.R., Ozaki T., Sudo S., Tamura N., Veshchev E.A., Sergeev V.Yu., Krasilnikov A.V.	Local pellet based and line-integrated non perturbing charge exchange measurements with a compact neutral particle analyzer on Large Helical Device	Review of Scientific Instruments	77 (2006) 10F119	2004-FP5-19
67	2006	Goncharov P.R., Ozaki T., Sudo S., Tamura N., Kalinina D.V., Veshchev E.A., Sergeev V.Yu.	Active Neutral Particle Diagnostics on LHD by Locally Enhanced Charge Exchange on an Impurity Pellet Ablation Cloud	Fus. Sci. and Tech.	50 (2) (2006) 222-228	2004-FP5-19
68	2006	P.R. Goncharov, T. Ozaki, J.F. Lyon, S. Sudo and LHD Experimental Group	Diagnostics of Charge Exchange Neutrals from Multi-Ion-Species NBI-Heated Plasmas on LHD	Journal of Plasma and Fusion Research Series	7 (2006) 18-21	2004-FP5-19
69	2006	S. Sudo, Y. Nagayama, M. Emoto et al.	Control, data acquisition and remote participation for steady-state operation in LHD	Fusion Engineering and Des.	81, 15-17 (2006) 1713	2004-FP5-19
70	2006	Veshchev E.A., Goncharov P.R., Ozaki T., Sudo S., Lyon J.F	Chord integrated neutral particle diagnostic data analysis for neutral beam injection and ion cyclotron radio frequency heated plasma in a complex Large Helical Device geometry	Review of Scientific Instruments	77 (2006) 10F116	2004-FP5-19
71	2006	Veshchev E.A., Ozaki T., Goncharov P.R., Sudo S.	Initial angle resolved measurements of fast neutrals using a multichannel linear AXUV detector system on LHD	Review of Scientific Instruments	77 (2006) 10F129	2004-FP5-19
72	2006	T. Takamatsu, K. Masuda, T. Kyunai, H. Toku and K. Yoshikawa	Inertial electrostatic confinement fusion device with an ion source using a magnetron discharge	Nuclear Fusion	46 (2006) 142-148	2006-FP5-1

73	2006	K.Yamauchi, S.Ohura, M.Watanabe, A.Okino, T.Kohno, E.Hotta and M.Yuura,	Performance of Neutron/Proton Source Based on Ion-Source-Assisted Cylindrical Radially Convergent Beam Fusion	IEEJ Trans. FM	126-A (2006) 1177-1182	2006-FP5-1
74	2006	K. Noborio, Y. Yamamoto, Y. Ueno, S. Konishi	Confinement of ions in an inertial electrostatic confinement fusion (IECF) device and its influence on neutron production rate	Fusion Engineering and Design	81 (2006) 1701-1705	2006-FP5-1
75	2006	H. Nakanishi, T. Hochin, M. Kojima, LABCOM group	Similar pattern search for time-sectional oscillation in huge plasma waveform database	Fusion Engineering and Design	81 (2006) 2003-2007	2004-FP5-39
76	2006	Z. Shen, N. Ito, E. Sakata, C. W. Domier, Y. Liang, N. C. Luhmann, Jr., and A. Mase	Frequency Selective Surface Notch Filter for use in a Millimeter Wave Imaging System	Proc. 2006 IEEE Int. Symposium on Antennas and Propagation	(2006) 4191-4194	2004-FP5-18
77	2006	M. Ignatenko, A. Mase, L. G. Bruskin et al.	Numerical Study of Microwave Imaging Reflectometry for Measurements of Density Fluctuations in a Tandem Mirror Plasma	Nucl. Fusion	46 (2006) S760-S770	2004-FP5-18
78	2006	N. Ito, A. Mase, Y. Kogi et al.	Development of Low-Loss Millimeter-Wave Antennas Using Electro-Fine-Forming Fabrication	Conf. Digest of 2006 Joint 31st Int. Conf. on Infrared and Millimeter Waves and 14th Int. Conf. on Terahertz Electronics	(2006) 268-269	2004-FP5-18
79	2006	Y. Yokota, A. Mase, Y. Kogi et al.	Reconstruction of Edge Density Profiles Using Ultrashort-Pulse Reflectometry in LHD	Plasma Fusion Res.	1 (2006) 40/1-2	2004-FP5-18
80	2006	A. Mase, Y. Yokota, K. Uchida et al.	Remote Experiment of Ultrashort-Pulse Reflectometry on LHD	Rev. Sci. Instrum	77, 10 (2006) 10E916/1-3	2004-FP5-18
81	2006	N. Ito, A. Mase, N. Seko et al.	Surface Treatment of PTFE and PFEP by Radiation Grafting	Jpn. J.Appl. Phys	45, 12 (2006) 9244-9246	2004-FP5-18
82	2006	D. Gates, et al.	Effect of plasma shaping on performance in the National Spherical Torus Experiment	Phys. Plasmas	13 (2006) 056122	2005-FP2-6
83	2006	E. Kawamori, T. Sumikawa, Y. Ono, and A. Balandin	Measurement of global instability of compact torus by three-dimensional tomography	Review of Scientific Instruments	77 (2006) 093503-093508	2006FP4-5
84	2006	L. C. Steinhauer, A. Ishida	Nearby-fluids equilibria – I: formalism and transition to single-fluid magnetohydrodynamics	Physics of Plasmas	13 (2006) 052513 (9 pages)	2005-FP2-12
85	2006	L. Steinhauer, H. Guo, A. Hoffman, A. Ishida, D. Ryutov	Modeling of field-reversed configuration experiment with large safety factor	Physics of Plasmas	13 (2006) 056119 (7pages)	2002-FP2-16
86	2006	M. Inomoto, S.P. Gerhardt, M. Yamada, H. Ji, E. Belova, A. Kuritsyn, Y. Ren	Coupling between Global Geometry and the Local Hall Effect Leading to Reconnection-Layer Symmetry Breaking	Phys. Rev. Lett.	97 (2006) 135002	2005-FP4-5
87	2006	S.P. Gerhardt, E. Belova, M. Inomoto, M. Yamada, H. Ji, Y. Ren, A. Kuritsyn	Equilibrium and stability studies of oblate field-reversed configurations in the Magnetic Reconnection Experiment	Phys. Plasmas	13 (2006) 112508	2005-FP4-5
88	2006	T. Sumikawa, K. Yamashita, M. Onoda, T. Tokuzawa, E. Kawamori and Y. Ono	Development of the two-dimensional Thomson scattering diagnostic system by use of multiple reflection and time-of-flight of laser light	Plasma and Fusion Research	1 (2006) 014-106	2005FP2-4
89	2006	M. Isobe, K. Toi, H. Matsushita, K. Goto, C. Suzuki, K. Nagaoka, N. Nakajima, S. Yamamoto, S. Murakami, A. Shimizu, Y. Yoshimura, T. Akiyama, T. Minami, M. Nishiura, S. Nishimura, D.S. Darrow, D.A. Spong, K. Shinohara, M. Sasao, K. Matsuoka, S. Okamura and the CHS team	Studies of fast-ion transport induced by energetic particle modes using fast-particle diagnostics with high time resolution in CHS	Nuclear Fusion	46 (2006) S918-S925	2003-FP-2-4

90	2006	M. Isobe, K. Goto, K. Toi, K. Nagaoka, C. Suzuki, Y. Yoshimura, T. Akiyama, S. Nishimura, A. Shimizu, M. Nishiura, K. Matsuoka, S. Okamura, D.S. Darrow and CHS team	Design and initial operation of lost fast-ion probe based on thin Faraday films in CHS	Review of Scientific Instruments	77 (2006) 10F508	2003-FP-2-4
91	2006	D. Stutman, K. Tritz, L. Delgado-Aparicio, M. Finkenthal, G. Suliman, L. Roquemore, R. Kaita, H. Kugel, D. Johnson, N. Tamura, K. Sato, S. Sudo, C. Tarrío	High throughput measurements of soft x-ray impurity emission using a multilayer mirror telescope	Review of Scientific Instruments	77 (2006) 10F330	2006-FP5-22
92	2006	TAKAHASHI T., HIRANO Y., ASAI T., TAKAHASHI Ts., TOMITA Y., MIZUGUCHI N., and KONDOH Y.	Beam Ion Loss due to Charge Exchange Process in the Open Field Region of a Field-Reversed Configuration	JSPR	81 (2005) RC0100, 1-2	2005-FP2-1
93	2006	T. Fujino, H. Gota, Y. Hasegawa, Y. Kanamaru, K. Fujimoto, T. Asai, T. Takahashi, and Y. Nogi	Control of translating velocity using pulse field on field-reversed configuration plasmas	Phys. Plasmas	13 (2006) 012511 1-6	2004-FP5-37
94	2006	K. Fujimoto, M. Okada, H. Gota, Y. Hasegawa, T. Fujino, T. Asai, T. Takahashi, Y. Nogi, and Y. Ohkuma	Wobble motion on field-reversed configuration plasmas	Phys. Plasmas	12 (2005) 102513 1-7	2004-FP5-37
95	2007	T. Ozaki, P. Goncharov, E. Veschev, S. Sudo, T. Seki and N. Tamura	High-energy neutral particle measurements simulated α particle diagnostics in Large Helical Device	Fusion Engineering and Design	82 (2007) 1251-1257	2004-FP5-19
96	2007	T.Ozaki, P.Goncharov, E.Veschev, S.Sudo, N.Tamura, TESPEL Group and LHD Experimental Group	Helium measurements using the pellet charge exchange in Large Helical Device	Plasma and Fusion Research	2 (2007) S1072/1-4	2004-FP5-19
97	2007	P.R. Goncharov, T. Ozaki, E.A. Veshchev, S. Sudo	A Method for Reconstruction of the Neutral Particle Source Function in Helical Magnetically Confined Plasm	JPFR Series	2 (2007) S1074	2004-FP5-19
98	2007	T. Muto, R. Kumazawa, T. Seki, K. Saito, H. Kasahara, Y. Nakamura, S. Masuzaki, S. Kubo, Y. Takeiri, T. Shimozuma, Y. Yoshimura, H. Igami, T. Watanabe, H. Ogawa, J. Miyazawa, M. Shoji, N. Ashikawa, K. Nishimura, M. Osakabe, K. Tsumori, K. Ikeda, K. Nagaoka, Y. Oka, H. Chikaraishi, H. Funaba, S. Morita, M. Goto, S. Inagaki, K. Narihara, T. Tokuzawa, R. Sakamoto, T. Morisaki, B.J. Peterson, K. Tanaka, H. Nakanishi, M. Nishiura, T. Ozaki, et al	Steady-state operation and high energy particle production of MeV energy in the Large Helical Device	Nuclear Fusion	47, 9 (2007) 1250	2004-FP5-19
99	2007	K. Yoshikawa, K. Masuda, T. Takamatsu, E. Hotta, K. Yamauchi, S. Shiroya, T. Misawa, Y. Takahashi, M. Ohnishi and H. Osawa	Research and Development on Humanitarian Landmine Detection System by Use of a Compact D-D Fusion Neutron Source	Fusion Science and Technology	52 (2007) 1092-1095	2006-FP5-1
100	2007	T. Nishi, K. Yoneda, K. Masuda and K. Yoshikawa	Development of Excited Helium Beam Injector for Electric Field Measurement by Laser-Induced Fluorescence Method	Fusion Science and Technology	52 (2007) 1061-1065	2006-FP5-1
101	2007	K. Masuda and K. Yoshikawa	Development of a Time-independent Particle-In-Cell Code for Simulating DC Discharges in Inertial Electrostatic Confinement Devices	Fusion Science and Technology	52 (2007) 1119-1123	2006-FP5-1

102	2007	T. Takamatsu, T. Fujimoto, K. Masuda and K. Yoshikawa	Spatial Distribution of D-D Neutrons of a Compact Water-Cooled Inertial Electrostatic Confinement Device	Fusion Science and Technology	52 (2007) 1114-1118	2006-FP5-1
103	2007	K. Yoshikawa, K. Masuda, T. Takamatsu, S. Shiroya, T. Misawa, E. Hotta, M. Ohnishi, K. Yamauchi, H. Osawa and Y. Takahashi	Research and Development of a Compact Discharge-driven D-D Fusion Neutron Source for Explosive Detection	Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B	261 (2007) 299-302	2006-FP5-1
104	2007	H.Osawa, S.Yoshimura,T. Tabata, M. Ohnishi	Glow Discharge Characteristics in Relation to Anode Size in Inertial Electrostatic Confinement Fusion	Journal of the Vacuum Society of Japan	50 (2007) 362-365	2006-FP5-1
105	2007	M.Ohnishi, H. Osawa, T. Furukawa, T. Suma	Development of Convergent D-D Fusion Neutron Generator with Larger Pulse Current	Fusion Science and Technology	52 (2007) 1101-1104	2006-FP5-1
106	2007	A. Mase, Y. Kogi, H. Hojo et al.	Progress in Microwave Diagnostics and Physics Issues in Magnetically Confined Plasmas	Trans. Fusion Sci. Tech	51, 2T (2007) 52-57	2004-FP5-18
107	2007	Z. Shen, N. Ito, E. Sakata, C. W. Domier, N. C. Luhmann, Jr. and A. Mase	20 GHz to 40 GHz Beam Shaping/Steering Phased Antenna Array System using Fermi Tapered Slot Antenna	Proc. 2007 IEEE MTT-S Int. Symp	(2007) 1887-1890	2004-FP5-18
108	2007	Z. Shen, N. Ito, E. Sakata, C. W. Domier, N. C. Luhmann, Jr. and A. Mase	D-Band Double Dipole Antenna for Use in Millimeter Wave Imaging Systems	Proc. 2007 IEEE Int. Symp. on Antennas and Propagation. Hawaii	2007	2004-FP5-18
109	2007	N. Ito, A. Mase, Y. Kogi et al.	Development of Planar Components Using Advanced Fabrication	Conf. Digest of 2007 Joint 32nd Int. Conf. on Infrared and Millimeter Waves and 15th Int. Conf. on Terahertz Electronics	(2007) 1010-1011	2007-FP5-6
110	2007	Z. Shen, N. Ito, Z. Xia, C. W. Domier, A. Mase, and N. C. Luhmann, Jr.	Wide Bandwidth Mixer Array Development in Millimeter Wave Imaging Systems for Plasma Diagnostics	Conf. Digest of 2007 Joint 32nd Int. Conf. on Infrared and Millimeter Waves and 15th Int. Conf. on Terahertz Electronics	(2007) 791-792	2007-FP5-6
111	2007	A. Mase, Y. Kogi, N. Ito et al.	Microwave Imaging for Plasma Diagnostics and Its Applications	Proc. 13th Int. Symp on Laser-Aided Plasma Diagnostics	(2007) 15-19	2007-FP5-6
112	2007	P. Zhang, C. W. Domier, Z. Shen, N. C. Luhmann, Jr., H. K. Park, A. J. H. Donne, N. Ito, and A. Mase	Wideband ECEI Upgrade for Increased Plasma Coverage	Proc. 13th Int. Symp on Laser-Aided Plasma Diagnostics	(2007) 20-23	2007-FP5-6
113	2007	Z. Shen, L. Yang, N. C. Luhmann, Jr., C. W. Domier, N. Ito, Y. Kogi, Y. Liang, A. Mase, H. Park, E. Sakata, W. Tsai, Z. G. Xia, P. Zhang	Advanced Microwave/Millimeter-Wave Imaging Technology	Plasma Fusion Res	2 (2007) S1019/1-9	2007-FP5-6
114	2007	Z. Shen, N. Ito, Y. Liang, L. Lin, C. W. Domier, M. Johnson, N. C. Luhmann, Jr., A. Mase, and E. Sakata	Protection Filters in ECEI Systems for Plasma Diagnostics	Plasma Fusion Res	2 (2007) S1030/1-5	2007-FP5-6
115	2007	Y. Kogi, T. Sakoda, A. Mase et al.	Development of ECE Imaging System on LHD	Plasma Fusion Res	2 (2007) S1032/1-4	2007-FP5-6
116	2007	N. Ito, A. Mase, Y. Kogi et al.	Advanced Fabrication Method of Planar Components for Plasma Diagnostics	Plasma Fusion Res	2 (2007) S1042/1-4	2007-FP5-6
117	2007	Z. Shen, C. W. Domier, N. C. Luhmann, Jr. N. Ito, A. Mase, A. J. H. Donne, and H. Park	2-D Passive Millimeter wave Imaging System for Plasma Diagnostics	Proc. 2007 Asia Pacific Microwave Conf.	(2007) 321-324	2007-FP5-6
118	2007	T. Yamada, A. Ejiri, Y. Shimada, T. Oosako, J. Tsujimura, Y. Takase and H. Kasahara	Direct measurement of density oscillation induced by a radio-frequency wave	Rev. Sci. Instrum.	78 (2007) 083502	2006-FP5-16

119	2007	Y.Oka, K.Tsumori, K.Ikeda, O.Kaneko, K.Nagaoka, M.Osakabe, Y.Takeiri, E.Asano, S.Komada, T.Kondo, M.sato, M.Shibuya, L.R.Grisham, Y.Ikeda, M.Hanada, N.Umeda	Spectroscopic observations of beam and source plasma light and testing Cs-deposition monitor in the large area negative ion source for LHD-NBI	Rev.Sci.Instrum.	79 (2008) 02C105-1-5	2007-FP2-2
120	2007	J.E. Menard, et al.	Overview of recent physics results from the National Spherical Torus Experiment (NSTX)	Nucl. Fusion	47 (2007) S645-S657	2005-FP2-6
121	2007	M. Inomoto, Y. Ono	Merging formation and current amplification of field-reversed configuration	IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering	2 (2007) 424-430	2007FP4-1
122	2007	E. Kawamori, T. Sumikawa, H. Imanaka, R. Imazawa, K. Yamashita, T. Hayamizu and Y. Ono,	Sustainment of FRC-equilibrium by use of a centre solenoid in TS-4	Nuclear Fusion	47 (2007) 1232-1237	2007FP4-1
123	2007	M. Nagata, R. Raman, V. Soukhanowskii, B.A. Nelson, T.R. Jarboe, D.Mueller and the NSTX	ExB Plasma rotation and n=1 oscillation observed in the NSTX-CHI experiments	Plasma and Fusion Research: Rapid Communications	2 (2007) 0035	2004-FP4-3
124	2007	S.Masamune et al.	Research Plans for Low-Aspect Ratio Reversed Field Pinch	Trans. Fusion Sci. Technol.	51 (2007) 197-199	2006-FP2-7
125	2007	S.P. Gerhardt, E.V. Belova, M. Yamada, H. Ji, M. Inomoto, Y. Ren, B. McGeehan	Inductive Sustainment of a Field-Reversed Configuration Stabilized by Shaping, Magnetic Diffusion, and Finite-Larmor-Radius Effects	Phys. Rev. Lett.	99 (2007) 245003	2005-FP4-5
126	2007	T. Sumikawa, K. Yamashita, E. Kawamori, K. Narihara and Y. Ono	Development of 2-D Thomson Scattering Measurement Using Multiple Reflection and the Time-of-Flight of Laser Light	Plasma and Fusion Research	2 (2007) S1108-1-4	2007FP4-1
127	2007	Y. Ono, R. Imazawa, H. Imanaka, T. Hayamizu, M. Inomoto, M. Sato, E. Kawamori, A. Ejiri, Y. Takase, T. Asai, T. Takahashi	Transient and Intermittent Magnetic Reconnection in TS-3 / UTST Merging Startup Experiments	Fusion Energy 2006	(2007) EX/P7-12	2007FP3-2
128	2007	M. Isobe, S. Okamura, K. Nagaoka, M. Osakabe, K. Toi, Y. Yoshimura, K. Matsuoka, M. Sasao, D.S. Darrow	Fast-ion-diagnostics for CHS experiment	Plasma Fusion Research	2 (2007) S1076	2003-FP-2-4
129	2007	Toshiki TAKAHASHI, Hidefumi YAMAURA, Fusaki P. IIZIMA, Yoshiomi KONDOH, Tomohiko ASAI, Tsutomu TAKAHASHI, Yoshiki MATSUZAWA, Taichi OKANO, Yoichi HIRANO, Naoki MIZUGUCHI, Yukihiko TOMITA and Shigeru INAGAKI	A New Explanation for Toroidal Spin-Up of a Field-Reversed Configuration	Plasma and Fusion Research	2008 (2007) 1-2	2007-FP3-1
130	2007	T. Asai, Y. Matsuzawa, T. Okano, T. Kiguchi, K. Sakuraba, Ts. Takahashi, To. Takahashi, Y. Hirano, N. Mizuguchi, and Y. Tomita	Heating and Particle Build-Up of Field-Reversed Configuration due to Neutral Particle Injection in a Translation Process	Transaction of Fusion Science and Technology	51 (2T) (2007) 379-381	2007-FP3-1
131	2007	Hidefumi Yamaura, Toshiki Takahashi, Yoshiomi Kondoh, Tomohiko Asai, Tsutomu Takahashi	Rotation of a Field-Reversed Configuration due to Resistive Flux Decay Confinement	Transaction of Fusion Science and Technology	51 (2T) (2007) 373-375	2006-FP2-3
132	2008	Tetsuo Ozaki, Pavel R. Goncharov, Evgeny A. Veshchev, Shigeru Sudo, Tetsuo SEKI, Hirofumi KASAHARA, Yuichi TAKASE, Takuya OHSAKO	Helium ion observation during 3rd harmonic ion cyclotron heating in Large Helical Device	Plasma and Fusion Research	3 (2008) S1084/1-4	2004-FP5-19

133	2008	T.Ozaki, P.Goncharov, E.Veshchev, N.Tamura, S.Sudo, T. Seki, H. Kasahara, Y. Takase, and T. Ohsako	Pellet Charge Exchange Helium measurement Using Neutral Particle Analyzer in Large Helical Device	Review of Scientific Instruments	79 (2008) 10E518/1-4	2004-FP5-19
134	2008	P. Goncharov, T. Ozaki, I. Tolstikhina et al.	Calculation of Light Impurity Pellet Induced Fluxes of Charge Exchange Neutral Particles Escaping from Magnetically Confined Toroidal Plasmas	Review of Scientific Instruments	79 (2008) 10E312	2004-FP5-19
135	2008	P. Goncharov, T. Ozaki, E. Veshchev et al	Analysis of Anisotropic Suprathermal Ion Distributions Using Multidirectional Measurements of Escaping Neutral Atom Fluxes	Review of Scientific Instruments	79 (2008) 10F311	2004-FP5-19
136	2008	Goncharov P.R., Ozaki T., Veshchev E.A. and Sudo S	Ion Distribution Function Evaluation Using Escaping Neutral Atom Kinetic Energy Samples	Plasma and Fusion Research	3 (2008) S1083	2004-FP5-19
137	2008	E. Veshchev, T. Ozaki, P. Goncharov, et al.	Analysis of the Impurities Influence on the Attenuation of Fast Particles and the Shape of the Measured Fast Ion Spectra in the Large Helical Device (LHD)	Review of Scientific Instruments	79 (2008) 10E310	2004-FP5-19
138	2008	E. Veshchev, P. Goncharov, T. Ozaki et al	Simulation of Angle and Energy Resolved Fluxes of Escaping Neutral Particles from Fusion Plasmas with Anisotropic Ion Distributions	Plasma and Fusion Research Series	3 (2008) S1035	2004-FP5-19
139	2008	N. NISHINO, S. PAUL, R. KAITA and A.L. ROQUEMORE	Status of Two-Dimensional Ion Velocity Measurement System in NSTX	JPFRS	8 (2008) 640-644	2008-FP5-4 2007-FP5-7
140	2008	T. Hochin, K. Koyama, H. Nakanishi, M. Kojima, LABCOM group	Extension of frequency-based dissimilarity for retrieving similar plasma waveforms	Fusion Engineering and Design	83 (2008) 417-420	2004-FP5-39
141	2008	T. Liang, X. Kong, Z. Shen, C.W. Domier and N.C. Luhmann, Jr., Hyeon K. Park, N. Ito, A. Mase, and E. Sakata	New Advances of the ECE Plasma Visualization System for KSTAR Tokamak	Proc. Joint Workshop on ECE and ECRH, Yosemite	2008	2007-FP5-6
142	2008	Lu. Yang, N. Ito, C. W. Domier, N. C. Luhmann, Jr. and A. Mase	18- to 40 GHz Beam Shaping/Steering Phased Antenna Array System using Fermi Antenna	IEEE Trans. Microw. Theory Tech.	56, 4 (2008) 767-773	2007-FP5-6
143	2008	Y. Yokota, A. Mase, Y. Kogi et al.	Measurement of Edge Density Profiles of Large Helical Device Plasmas Using an Ultrashort-Pulse Reflectometer	Rev. Sci. Instrum	79, 5 (2008) 056106/1-3	2007-FP5-6
144	2008	N. Ito, A. Mase, Y. Kogi et al.	New Advanced Fabrication Technique for Millimeter-Wave Planar Components based on Fluororesin Substrates using Graft Polymerization	Jpn. J. Appl. Phys	47, 6 (2008) 4755-4758	2007-FP5-6
145	2008	Y. Yokota, A. Mase, Y. Kogi et al.	Reconstruction of Edge Density Profiles on LHD Using Ultrashort-Pulse Reflectometry	Rev. Sci. Instrum	79, 10 (2008) 10F112/1-3	2007-FP5-6
146	2008	Y. Yokota, A. Mase, Y. Kogi et al.	Ultra-Wide Band Radar Reflectometer for Measurement of Plasma Density Profiles	Proc. 11th IEEE Int. Conf, on Communication Technology	(2008) 313-315	2007-FP5-6
147	2008	Q.R. Marksteiner, T.S. Pedersen, J.W. Berkery, M.S. Hahm, J.M. Mendez, B. Durand De Gevigney, and H. Himura	Observations of an ion-driven instability in non-neutral plasmas confined on magnetic surfaces	Phys. Rev. Lett.	100 (2008) 065002-1 – 065002-4	2005-FP5-17

148	2008	S. P. Gerhardt, E. V. Belova, M. Yamada, H. Ji, Y. Ren, B. McGeehan, M. Inomoto	Field-reversed configuration formation scheme utilizing a spheromak and solenoid induction	Phys. Plasmas	15 (2008) 032503	2005-FP4-5
149	2008	S.P. Gerhardt, E.V. Belova, M. Yamada, H. Ji, M. Inomoto, C.M. Jacobson, R. Maqueda, B. McGeehan, Y. Ren	Inductive sustainment of oblate field-reversed configurations with the assistance of magnetic diffusion, shaping, and finite-Larmor radius stabilization	Phys. Plasmas	15 (2008) 022503	2005-FP4-5
150	2008	S.P. Gerhardt, E.V. Belova, M. Yamada, H. Ji, M. Inomoto, Y. Ren, B. McGeehan	New method for inductively forming an oblate field reversed configuration from a spheromak	Nucl. Fusion	48 (2008) 032001	2005-FP4-5
151	2008	T. Kanki, L. C. Steinhauer, M. Nagata	Two-Fluid Flowing Equilibria of Helicity Injected Spherical Torus with Non-Uniform Density	Plasma and Fusion Research	3 (2008) S1066-1 - S1066-7	2006-FP2-7
152	2008	T.S. Pedersen, J.W. Berkery, A.H. Boozer, P.W. Brenner, B. Durand de Gevigney, M.S. Hahm, Q.R. Marksteiner, and H. Himura	Dynamics of electron-rich plasmas in the CNT stellarator	Plasma and Fusion Research	3 (2008) S1022-1 – S1022-6	2005-FP5-17
153	2008	Y. Ono, R. Imazawa, H. Imanaka, Y. Hayashi, S. Ito, M. Nakagawa, T. Yamada, M. Inomoto, A. Ejiri, Y. Takase, T. Asai, T. Takahashi, H. Sakakita, S. Kiyama, Y. Hirano, H. Koguchi, C. Z. Cheng	Ion and Electron Heating Characteristics of Magnetic Reconnection in TS-3 and UTST Merging Startup Experiments	Fusion Energy 2008	(2008) EX/P9-4	2008FP3-1
154	2008	Y. Matsuzawa, T. Asai, Ts. Takahashi, and To. Takahashi	Effects of background neutral particles on a field-reversed configuration plasma in the translation process	Phys. Plasmas	15 (2008) 082504, 1-8	2007-FP3-1
155	2009	Tetsuo Ozaki, Pavel R. Goncharov, Evgeny A. Veshchev Naoki Tamura, Tetsuo SEKI	Radial Profiles of High-Energy Particles in NBI and ICH Plasmas Measured by Pellet Charge Exchange Technique on Large Helical Device	Journal of Plasma and Fusion Research Series	8 (2009) 1089-1094	2004-FP5-19
156	2009	K. Masuda, T. Nakagawa, T. Kajiwara, H. Zen, K. Yoshikawa and K. Nagasaki	Built-In Ion Source for Inertial Electrostatic Confinement in Low Pressure Regime	Fusion Science and Technology	56 (2009) 523-527	2009-FP5-1
157	2009	K. Masuda, T. Fujimoto, T. Nakagawa, H. Zen, T. Kajiwara, K. Nagasaki and K. Yoshikawa	Diagnostic System Development for D-D and D-3He Reaction Distributions in an Inertial Electrostatic Confinement Device by Collimated Proton Measurements	Fusion Science and Technology	56 (2009) 528-532	2009-FP5-1
158	2009	K. Yoshikawa, K. Masuda, T. Takamatsu, Y. Yamamoto, H. Toku, T. Fujimoto, E. Hotta, K. Yamauchi, M. Ohnishi, H. Osawa, S. Shiroya, T. Misawa, Y. Takahashi, Y. Kubo and T. Doi	Results of the Development of the Humanitarian Landmine Detection System by a Compact Fusion Neutron Source and Dual Sensors	AIP Conference Proceedings	1099 (2009) 652-655	2009-FP5-1
159	2009	K. Masuda, T. Takamatsu, K. Yoshikawa, T. Misawa, S. Shiroya, Y. Takahashi, T. Fujimoto, T. Nakagawa, T. Kajiwara and K. Nagasaki	Research and Development of Compact Neutron Sources based on Inertial Electrostatic Confinement Fusion	AIP Conference Proceedings	1099 (2009) 652-655	2008-FP5-8
160	2009	K.Tomiyasu, K.Yokoyama, K.Yamauchi, M.Watanabe, A.Okino, and E.Hotta	Effects of Cusp Magnetic Field in a Cylindrical Radially Convergent Beam Fusion Device	Fusion Science and Technology	56 (2009) 967-971	2008-FP5-8
161	2009	Y. Yamamoto, A. Ishidou, K. Noborio, S. Konishi	Neutron Beam Generation by the Cylindrical Fusion Neutron Source	Fusion Science and Technology	56 (2009) 761-765	2008-FP5-8

162	2009	A. Mase, Y. Kogi, N. Ito et al.	Advancement of Microwave Diagnostics for Magnetically Confined Plasmas	Plasma Devices and Operations	17, 2 (2009) 98-116	2007-FP5-6
163	2009	K. Akaki, A. Mase, Y. Kogi et al.	Study of Dual-Dipole Antenna Array for Millimeter Wave Imaging	Proc. 34th Int. Conf. on Infrared, Millimeter, and Terahertz Wave	(2009) R5E41-0055	2009-FP5-2
164	2009	A. Sanpei, K. Okj, R. Ikezoe, et al.	Equilibrium reconstruction and estimation of neoclassical effect in low-aspect-ratio RFP experiments on RELAX	J. Phys. Soc. Jpn	78, No.1(2009) 013501	2006-FP2-8
165	2009	A. Sanpei, K. Okj, R. Ikezoe, et al.	Characterization of equilibria in a low-aspect-ratio RFP	J. Plasma Fusion Res. SERIES	8 (2009) 1066	2006-FP2-8
166	2009	R. Raman, T.R. Jarboe, M.Nagata, et al.	Solenoid-free plasma start-up in NSTX using transient CHI	Nucler Fusion	49 (2009) 65006-65011	2006-FP4-3 2007-FP3-5
167	2009	T. Asai, Y. Matsuzawa, N. Yamamoto, K. Takao, H. Tamura, M. Hiyoshi, T. Sasaki, Ts. Takahashi, Y. Nogi, M. Inomoto, To. Takahashi, J. Miyazawa, Y. Narushima	Translation of Field-Reversed Configuration into a Confinement Region Filled with Neutral Gas	Journal of Plasma and Fusion Research SERIES (JPFR SERIES)	8 (2009) 1058-1061	2009-FP3-3
168	2009	Y. Matsuzawa, T. Asai, Ts. Takahashi, To. Takahashi, et al.	Particle and Energy Recovery Process of a High-Beta Compact Toroid Translated Along an Asymmetric Mirror Field	Fusion Science and Technology	55(2T) (2009) 76-81	2008-FP4-1
169	2009	N. Yamamoto, Y. Matsuzawa, T. Asai, Ts. Takahashi, To. Takahashi, et al.	Self-Generated Toroidal Flow in a High-Beta Compact Toroid with Mirror Configuration	Fusion Science and Technology	55(2T) (2009) 87-90	2008-FP4-1
170	2010	H. Nakanishi, et al.	Clustered Data Storage for Multi-site Fusion Experiments	Plasma and Fusion Research	5 (2010) S1042	2008-FP5-7

2. Conference Paper

No	Year	Authors	Title of Paper	Conference Name	Month Date, Year, Place, Country	Year-Category-No.
1	2000	A. L. Balandin, Y. Ono	3-D tomography diagnostic system for spherical tokamaks	43rd Annual Meeting of the Division of Plasma Physics, APS	Nov. 2000, Quebec Canada	2000-FP2-14
2	2000	Y. Ono, T. Murakami, M. Inomoto, Y. Ueda, T. Matsuyama, and H. Hayashiya	Fast Reconnection Mechanisms in TS-3 Merging Experiment	University of Tokyo Symposium 2000 on Magnetic Reconnection in Space and Laboratory Plasmas,	Feb.-Mar., 2000, Tokyo, Japan	2000-FP2-8
3	2000	Y. Ono, Y. Ueda, T. Matsuyama, M. Tsuruda, M. Inomoto, H. Hayashiya, M.Katsurai	Formation of Compact RFP, Spheromak and ST in TS-3 Device and Their Merging Magnetic Reconnection	43rd Annual Meeting of the Division of Plasma Physics, APS	Nov. 2000, Quebec, Canada	2000-FP2-9
4	2000	Y.Torii, R.Kumazawa, T.Watari et al.	Ray tracing calculation of shear Alfvén wave on LHD	13th International Toki Conference on Plasma Physics and Controlled Nuclear Fusion	Dec.9-12, 2000, Toki, Japan	2000-FP4-6
5	2001	B.P. LeBlanc, et al.	High-Harmonic Fast-Wave Heating in NSTX	14th Top. Conf. on Radio Frequency Power in Plasmas	2001, Oxnard, California	2000-FP4-8
6	2001	Y.Torii, R.Kumazawa, T.Watari et al.	Ion Bernstein wave heating using folded waveguide antenna on LHD	Joint Conference of 12th International Toki Conference on Plasma Physics and Controlled Nuclear Fusion and 3rd General Scientific Assembly of Asia Plasma and Fusion Association	Dec.11-14, 2001, Toki, Japan	2000-FP4-6
7	2001	J.R. Wilson, et al.	Plasma Response to the Application of 30 MHz RF Power in the NSTX Device	14th Top. Conf. on Radio Frequency Power in Plasmas	2001, Oxnard, California	2000-FP4-8
8	2001	Y. Ono	Recent Progress of Laboratory Reconnection Experiment at TS-3/ 4	US-Japan Workshop on Physics of Plasma Merging and Magnetic Reconnection	May, 2001, Princeton, USA	2001-FP2-8

9	2001	Y. Ono	Recent Progress of Laboratory Reconnection Experiments at TS-3 and 4	IPELS(Interrelation between Plasma Experiments in Laboratory and Space) '01	Jul. 2001, Niseko, Japan	2001-FP2-8
10	2001	J.C. Hosea, et al.	Results of High Harmonic Fast Wave Heating Experiments on NSTX	28th EPS Conf. on Controlled Fusion and Plasma Physics	June 18-22, 2001, Funchal, Portugal	2000-FP4-8
11	2001	Y. Ono, Y. Ueda, T. Matsuyama, T. Murata, M. Inomoto and M. Katsurai	Ultra-High-Beta Spherical Tokamak Experiments in TS-3 and 4	Joint Meeting of the 2nd International Atomic Energy Agency Technical Committee Meeting on Spherical Tori and 7th International Spherical Torus Workshop	Aug, 2001, Sao Jose dos Campos, Brazil	2001-FP4-6
12	2002	R. Raman, M. Bell,....,M. Nagata,...., et al.	Coaxial Helicity Injection for plasma start-up in NSTX	29th European Physical Society Meeting on Controlled Fusion and Plasma Physics	June 17-21, 2002, Montreux, Switzerland	2001-FP4-07
13	2002	Y. Ono	Current Sheet Structures in TS-3 and 4 Reconnection Experiments	US-Japan Symposium on Plasma Merging and Magnetic Reconnection (MR2002)	Nov. 2002, Hakone, Japan	2002-FP2-1
14	2002	A. Mase, Y. Kogi, M. Ohashi et al.	Electron Cyclotron Emission Imaging on LHD	The 14th Topical Conference on High- Temperature Plasma Diagnostics	Jul. 8-11, 2002, Madison, USA	
15	2002	Y. Ono, E. Kawamori, T. Matsuyama, M. Tsuruda, T. Kimura, K. Sato, T. Okazakio	Helicity Evolutions of Merging spheromaks with Co- and Counter-Helicity in TS-3 and 4 Experiments	34th Science Assembly of the Committee on Space Research (COSPER)	Oct. 2002, Houston, TX, USA	2002-FP2-1
16	2002	A. Mase, Y. Kogi, K. Kawahata et al.	Progress in Millimeter-Wave Imaging Diagnostics	The 4th International Conference on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement	Jul. 1-4, 2002, Jeju, Korea	
17	2002	T.R. Jarboe, R. Raman,....,M. Nagata,...., et al.	Progress with Helicity Injection Current Drive	The 19th IAEA Fusion Energy Conference	Oct. 14-19, 2002, Lyon, France	2001-FP4-07
18	2002	Y. Ono	Reconnection Startup/ Heating of High-Beta Spherical Tokamaks (STs) in TS-3/ 4 Experiments	45th Annual Meeting of the Division of Plasma Physics, APS	Nov. 2002, Orlando, FL, USA	2002-FP4-5
19	2002	E.J. Synakowski, M.G. Bell,,M. Nagata,...., et al.	The National Spherical Torus Experiment (NSTX) Research Program and Progress Towards High Beta, Long Pulse Operating Scenarios	The 19th IAEA Fusion Energy Conference	Oct. 14-19, 2002, Lyon, France	2001-FP4-07
20	2003	Y. Ono and TS-3/4 group	Current Sheet / Plasmod Ejections and Plasma Heating in TS-3 and 4 Reconnection Experiments	MR2003 Symposium / Fifth US-Japan Symposium on Magnetic Reconnection, Plasma Merging and Magnetic Jet	Nov. 2003, Los Angeles, CA, U.S.A.	2003-FP2-8
21	2003	M. Isobe, H. Matsushita, D.S. Darrow, Y. Yoshimura, T. Minami, A. Shimizu, K. Nagaoka, M. Nishiura, C. Suzuki, S. Nishimura, T. Akiyama, K. Ida, K. Toi, K. Matsuoka and S. Okamura	Experimental study on losses of energetic ions by use of diagnostic neutral beam in CHS	8th IAEA Technical Meeting on Energetic Particles in Magnetic Confinement Systems	Oct. 6-8, 2003, San Diego, USA	2003-FP-2-4
22	2003	Y. Ono	Formation and stability of compact RFP in TS-3 and 4 experiment	The 9th-IEA/RFP-Workshop	Mar. 2003, Tsukubas, Japan	2002-FP4-5
23	2003	A. Ishida, C.O. Harahap, L.C. Steinhauer, Y.-K. M. Peng	Improved formalism for flowing two-fluid equilibrium and its application to ST	The 13th Toki Conference	December 9-12, 2003, Toki, Japan	2003-FP2-12
24	2003	Y. Ono	Ion Heating Characteristics of Magnetic Reconnection in TS-3 and 4 Merging Experiments	Seventh International Workshop on the Interrelationship between Plasma Experiments in the Laboratory and in Space	July, 2003, Whitefish, MN, U.S.A.	2003-FP2-8

25	2003	Y. Ono	Japanese Reconnection COE Project	General Meeting of Center for Magnetic Self-Organization in Laboratory and Astrophysical Plasmas,	Nov., 2003, Chicago, IL, U.S.A	2003-FP2-8
26	2003	S. Kubota, W.A. Peebles, X.V. Nguyen, A. Ejiri, R. Kaita, A.L. Roquemore, G. Taylor	Millimeter-Wave Measurements on NSTX	APS Division of Plasma Physics Meeting 2003	Oct. 27-31, 2003, Albuquerque, USA	2002-FP5-37
27	2004	M. Isobe, H. Matsushita, Y. Yoshimura, K. Nagaoka, T. Minami, T. Akiyama, C. Suzuki, S. Nishimura, M. Nishiura, K. Toi, K. Matsuoka, S. Okamura, D.A. Spong and D.S. Darrow	Collisional ripple transport of neutral beam-injected energetic ions in low aspect ratio helical system CHS	46th Annual Meeting of the Division of Plasma Physics	November 15-19, 2004 Savannah, GA, USA	2003-FP-2-4
28	2004	M. Ignatenko, A. Mase, L. Bruskin et al.	Effects of asymmetry and target location on microwave imaging reflectometry	The 16th Topical Conference on High-Temperature Plasma Diagnostics	Apr. 19-22, 2004, San Diego, USA	2004-FP5-18
29	2004	M. Ignatenko, A. Mase, L. Bruskin, Y. Kogi, H. Hojo	Numerical Study of Microwave Imaging Reflectometer for a Tandem Mirror Device	The 5th International Conference on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement	Jul. 7-9, 2004, Novosibirsk, Russia	2004-FP5-18
30	2004	Y. Ono and TS-3/4 group	Transient and Intermittent Magnetic Reconnections in TS-3/ 4 Tokamak Merging Experiments	International workshop on "Explosive Phenomena in Magnetized Plasma - New Development of Reconnection Research	Mar. 2004, Kyoto, Kyoto, Japan	2004-FP2-1
31	2004	Y. Kogi, K. Uchida, A. Mase et al.	Ultrashort-pulse reflectometer on LHD	The 15th Topical Conference on High-Temperature Plasma Diagnostics	Apr. 19-22, 2004, San Diego, USA	2004-FP5-18
32	2005	Y. Kogi, A. Mase, K. Kudo et al.	Development of New Detector for Millimeter-Wave Imaging	The 30th International Conference on Infrared and Millimeter Waves	Sept. 19-23, 2005, Williamsburg, USA	2004-FP5-18
33	2005	S.P. Gerhardt, M. Yamada, H. Ji, M. Inomoto	Equilibrium Reconstruction Techniques Applied to Compact Toroid Plasmas in MRX	American Physics Society, 47th Annual Meeting of the Division of Plasma Physics	Oct. 24-28, Denver, USA	2005-FP4-5
34	2005	Y. Ren, M. Yamada, S.P. Gerhardt, H. Ji, R. Kulsrud, A. Kuritsyn, M. Inomoto	Experimental Studies of the Hall Effect and Fluctuations in MRX	American Physics Society, 47th Annual Meeting of the Division of Plasma Physics	Oct. 24-28, Denver, USA	2005-FP4-5
35	2005	Y. Ono and TS-3/4 Group	Heating Properties of Merging Startup in TS-3/4/5 High-Beta ST Experiments	48th Annual Meeting of the Division of Plasma Physics, APS	2005 Denver, Co, USA	2004-FP4-5
36	2005	Y. Ono	Heating Properties of Merging/ Reconnection Startup in TS-3/4 High-Beta ST Experiments	Joint Meeting of the 3rd IAEA Technical Meeting of Spherical Tori and the 11th International Workshop on Spherical Torus	Oct. 2005 St. Petersburg, Russia	2005-FP2-4
37	2005	T.Ozaki, P.Goncharov, S.Murakami, E.Veschev, S.Sudo, et al.	Horizontal and Vertical Structure of the High-Energy Particle Distribution in large Helical Device	Proceedings of a Technical Meeting Takayama	Nov. 9-11, 2005, IAEA-TM-27024	2003-FP5-15
38	2005	A. Mase, L. Bruskin, Y. Kogi et al.	Microwave Imaging and Reflectometry for LHD Plasma	US-Japan Workshop on Study of Advanced Fluctuation Diagnostic Method	Mar. 21-23, 2005, Princeton, USA	2004-FP5-18
39	2005	M. Ignatenko, A. Mase, L. Bruskin et al.	Numerical Study of Microwave Imaging Reflectometry for Measurements of Density Fluctuations Spectra for GAMMA10 Geometry	The 12th International Symposium on Laser-Aided Plasma Diagnostics	Sept. 26-29, 2005, Snowbird, USA	2004-FP5-18
40	2005	M. Inomoto, S. P. Gerhardt, Y. Yamada, H. Ji, B. McGeehan, A. Kuritsyn, Y. Ren, E. Belova	Reconnection and Ion Acceleration Processes during Counter Helicity Merging of Spheromaks in the MRX	American Physics Society, 47th Annual Meeting of the Division of Plasma Physics	Oct. 24-28, Denver, USA	2005-FP4-5

41	2005	S.P. Gerhardt, M. Inomoto, M. Yamada, H. Ji, A.J. Carver, A. Kuritsyn, B. McGeehan, Y. Ren	Stability Studies of Compact Toroid Plasmas in MRX	American Physics Society, 47th Annual Meeting of the Division of Plasma Physics	Oct. 24–28, Denver, USA	2005-FP4-5
42	2005	M. Isobe, K. Toi ¹ , H. Matsushita, K. Goto, N. Nakajima ¹ , S. Yamamoto, S. Murakami, A. Shimizu, C. Suzuki, K. Nagaoka, Y. Yoshimura, T. Akiyama, T. Minami, M. Nishiura, S. Nishimura, K. Matsuoka, S. Okamura, D.S. Darrow, D.A. Spong, K. Shinohara, M. Sasao and CHS team	Studies on fast ion transport induced by energetic particle modes using fast particle diagnostics with high time resolution in CHS	9th IAEA Technical Meeting on Energetic Particles in Magnetic Confinement Systems	November 9 - 11, 2005, Takayama, Japan	2003-FP-2-4
43	2005	M. Yamada, H. Ji, S. Gerhardt, M. Inomoto, R. Kulsrud, A. Kuritsyn, Y. Ren	Study of Two-Fluid Effects during Magnetic Reconnection in a Laboratory Experiment	American Physics Society, 47th Annual Meeting of the Division of Plasma Physics	Oct. 24–28, Denver, USA	2005-FP4-5
44	2005	E.V. Belova, R.C. Davidson, H. Ji, M. Yamada, S.P. Gerhardt, M. Inomoto	Three-dimensional Hall-MHD simulations of counter-helicity spheromak merging and FRC formation	American Physics Society, 47th Annual Meeting of the Division of Plasma Physics	Oct. 24–28, Denver, USA	2005-FP4-5
45	2005	Y.Hasegawa, et al.	Wobble Motion Field Reversed Configuration Plasmas	The American Physical Society Division Plasma Physics	Oct. 24-28, Denver, USA	2004-FP5-37
46	2006	N. Ito, A. Mase, Y. Kogi et al.	Advanced Fabrication Method of Planar Components for Plasma Diagnostics	The 16th International Toki Conference	Dec. 5-8, 2006, Toki, Japan	2004-FP5-18
47	2006	N. C. Luhmann, Jr., C.W. Domier, N. Ito, Y. Liang, A. Mase, H. Park, E. Sakata, Z. Shen, W. Tsai, Z. G.. Xia, Lu Yang, P. Zhang	Advanced Microwave/Millimeter-Wave Imaging Technology	The 16th International Toki Conference	Dec. 5-8, 2006, Toki, Japan	2004-FP5-18
48	2006	H. Kiguchi, et. al.	Application of magnetized coaxial plasma gun for external control of field reversed configuration	The American Physical Society Division Plasma Physics	Oct.30-Nov.2, 2006, Philadelphia, USA	2006-FP2-3
49	2006	L. C. Steinhauer, T. Kanki, A. Ishida	Computation of Two-Fluid, Flowing Equilibria	48th Annual Meeting of the Division of Plasma Physics	Oct. 30-Nov. 3 2006, Philadelphia, USA	2006-FP2-7
50	2006	K. Yoshikawa, K. Masuda, T. Takamatsu, S. Shiroya, T. Misawa, Y. Takahashi, M. Ohnishi, H. Osawa, E. Hotta and K. Yamauchi	Current Status of Humanitarian Landmine Detection with a Compact Water-Cooled IEC Device	8th US-Japan Workshop on Inertial Electrostatic Confinement Fusion	May 10-12, 2006, Osaka, Japan	2006-FP5-1
51	2006	K.Yamauchi, S.Ohura, K.Nozaki, M.Watanabe, A.Okino, T.Kohno and E.Hotta	D-D and D-3He Proton Measurements of Cylindrical Inertial Electrostatic Confinement Fusion	8th US-Japan IEC Workshop	May 10-12, 2006, Osaka, Japan	2006-FP5-1
52	2006	K.Yamauchi, S.Ohura, K.Nozaki, M.Watanabe, A.Okino, T.Kohno, E.Hotta, and M.Yuura	D-D and D-3He Proton Measurements of Cylindrical Radially Convergent Beam Fusion	33rd IEEE International Conference on Plasma Science	June 4-8, 2006, Traverse City, Michigan, USA	2006-FP5-1
53	2006	K. Masuda, S. Ohkawa, T. Takamatsu and K. Yoshikawa	Development of a Two-Dimensional Code for Simulating IEC Discharges	8th US-Japan Workshop on Inertial Electrostatic Confinement Fusion	May 10-12, 2006, Osaka, Japan	2006-FP5-1
54	2006	Y. Kogi, T. Sakoda, A. Mase et al.	Development of ECE Imaging System on LHD	The 16th International Toki Conference	Dec. 5-8, 2006, Toki, Japan	2004-FP5-18
55	2006	N. Ito, A. Mase, N. Seko et al.	Development of Low-Loss Millimeter-Wave Antennas on Fluorine Substrate Using Electro-Fine-Forming Fabrication	The 2006 Asia-Pacific Microwave Conference	Dec. 13-15, 2006, Yokohama, Japan	2004-FP5-18

56	2006	H. Osawa, S. Yoshimura, T. Tabata, M. Ohnishi	Discharge Characteristics of Anode Size in an Inertial Electrostatic Confinement Fusion	22nd Int. Symp. on Discharges and Electrical Insulation in Vacuum	Sep. 25-29, 2006, Matsue, Japan	2006-FP5-1
57	2006	K. Noborio, Y. Yamamoto, Y. Ueno, S. Konishi	Evaluation of the Reaction Rate between Beam Particles and Adsorbed Particles on the Electrode of IECF Device	8th US-Japan Workshop on Inertial Electrostatic Confinement Fusion	May 10-12, 2006, Osaka, Japan	2006-FP5-1
58	2006	M. Yamada, Y. Ren, H. Ji, S. Gerhardt, M. Inomoto, R. Kulsrud, S. Dorfman	Experimental Study of Two-fluid Effects on Magnetic Reconnection	American Physics Society, 48th Annual Meeting of the Division of Plasma Physics	Oct. 30–Nov. 3, Philadelphia, USA	2005-FP4-5
59	2006	M. Isobe, K. Toi, K. Nagaoka, C. Suzuki, K. Goto, T. Akiyama, T. Minami, S. Murakami, N. Nakajima, S. Nishimura, M. Nishiura, A. Shimizu, S. Yamamoto, Y. Yoshimura, M. Sasao, K. Matsuoka, S. Okamura and D.A. Spong	Fast-ion-driven MHD instabilities and consequent fast ion losses in the compact helical system	21st IAEA Fusion Energy Conference	Oct. 16-21, 2006, Chengdu, China	2003-FP-2-4
60	2006	J. W. Berkery, T. S. Pedersen, J. P. Kremer, R. G. Lefrancois, Q. R. Marksteiner, A. H. Boozer, H. E. Myricreiersen, F. Dahlgreen, H. Himura, and X. Sarasola	First studies of pure electron plasmas in the Columbia Non-neutral Torus	The 8th International Workshop on Non-Neutral Plasmas	June 16-20, 2006, Aarhus, Denmark	2005-FP5-17
61	2006	T. Ozaki, P. Goncharov, N. Tamura et al.	High Energy Particle Measurement using Compact Neutral Particle Energy Analyzer in Large Helical Device	International Conference on Research and Applications of Plasmas 2005	January, 2006, Opole, Poland	2004-FP5-19
62	2006	D. Stutman, K. Tritz, L. Delgado-Aparicio, M. Finkenthal, G. Suliman, L. Roquemore, R. Kaita, H. Kugel, D. Johnson, N. Tamura, K. Sato, S. Sudo, C. Tarrío	High throughput measurements of soft x-ray impurity emission using a multilayer mirror telescope	High Temperature Plasma Diagnostics	May. 7-11, 2006, Williamsburg, USA	2006-FP5-22
63	2006	T. Nishi, K. Yoneda, K. Masuda and K. Yoshikawa	Highly Efficient Production of Excited Neutral Helium Beams for Spectroscopic Diagnostics of Electric Fields in IEC Plasma	2nd JGSEE and Kyoto Joint International Conference on Sustainable Energy and Environment	Nov. 21-23, 2006, Bangkok, Thailand	2006-FP5-1
64	2006	T. Nishi, K. Yoneda, K. Masuda and K. Yoshikawa	Highly Efficient Production of Excited Neutral Helium Beams for Spectroscopic Diagnostics of Electric Fields in IEC Plasma	8th US-Japan Workshop on Inertial Electrostatic Confinement Fusion	May 10-12, 2006, Osaka, Japan	2006-FP5-1
65	2006	H. Osawa, M. Ohnishi, T. Furukawa, T. Suma, T. Takamatsu, K. Masuda, K. Yoshikawa	Improvement of Discharge Stability of Inertial electrostatic Confinement Fusion Device	Seventeenth American Nuclear Society Topical Meeting on the Technology of Fusion Energy	Nov. 12-15, 2006, Albuquerque, NM, USA	2006-FP5-1
66	2006	T. Takamatsu, T. Oishi, K. Masuda and K. Yoshikawa	Improvement of Inertial Electrostatic Confinement Device by Low Operating Gas Pressure using Magnetron- Discharge-Based Ion Source	IEEE 22nd International Symposium on Discharges and Electrical Insulation in Vacuum	Sept. 25-29, 2006, Matsue, Japan	2006-FP5-1
67	2006	A. Mase, Y. Kogi, N. Ito et al.	Industrial Applications of Microwave Active Diagnostics	Int. Workshop on Microwave Devices, Systems and their Applications	Dec. 12-13 2006, Fukuoka, Japan	2004-FP5-18
68	2006	T. Fujimoto, T. Oishi, H. Zen, T. Takamatsu, K. Masuda and K. Yoshikawa	Intensity Distribution of D-3He Fusion Reaction Rate in an IEC Device	IEEE/NPSS 22nd Symposium on Fusion Engineering	Jun. 17-21, 2007, Albuquerque, NM, USA	2006-FP5-1
69	2006	S. PAUL, R. KAITA, A.L. ROQUEMORE and N. NISHINO	Ion velocity measurements on NSTX using the SWIFT diagnostic (Shifted Wavelength/Interference Filter Technique)	APS-DPP06	Oct. 30–November 3 2006; Philadelphia, Pennsylvania	2007-FP5-7

70	2006	K. Yoshikawa, K. Masuda, T. Takamatsu, S. Shiroya, T. Misawa, M. Ohnishi, H. Osawa, E. Hotta and K. Yamauchi	Landmine detection by a compact fusion neutron source	International Workshop on "Humanitarian Landmine Detection and Detection of Illicit Materials"	Mar. 7-9, 2007, Kyoto, Japan	2006-FP5-1
71	2006	A. Mase, Y. Kogi, N. Ito et al.	Microwave Diagnostics	The 3rd Japan-Korea Seminar on Advanced Diagnostics for Steady-State Fusion Plasma	Aug. 31-Sept. 3, 2006, Matsushima, Japan	2004-FP5-18
72	2006	H. Osawa, S. Yoshimura, M. Ohnishi	Neutron Production of the IECF Device in Different Size of Anode	8th US-Japan Workshop on Inertial Electrostatic Confinement Fusion	May 10-12, 2006, Osaka, Japan	2006-FP5-1
73	2006	Y.Matsuzawa, et al.	Optical diagnostic System for Neural Particle Deensity of Field reversed Configuration	The American Physical Society Division Plasma Physics	May 7-11, Williamsburg, USA	2006-FP2-3
74	2006	M. Ohnishi, H. Osawa	Overview of IEC research in Kansai University	8th US-Japan Workshop on Inertial Electrostatic Confinement Fusion	May 10-12, 2006, Osaka, Japan	2006-FP5-1
75	2006	O.Mitarai	Plasma current ramp-up and ignition in the Component Test Facility (CTF)	US-Japan workshop	Jan. 24-25, 2006, University of Los Angeles (San Diego),USA	2006-FP2-6
76	2006	K.Nozaki, K.Yamauchi, S.Ohura, M.Watanabe, A.Okino, and E.Hotta	Preliminary Study of Beam-Beam Reactions in IEC Fusion Device	22nd Int. Symp. on Discharges and Electrical Insulation in Vacuum	Sep. 25-29, 2006, Matsue, Japan	2006-FP5-1
77	2006	A. Mase, Y. Kogi, H. Hojo et al.	Progress in Microwave Diagnostics and Physics Issues in Magnetically Confined Plasmas	The 6th International Conference on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement	Jul. 17-21, 2006, Tsukuba, Japan	2004-FP5-18
78	2006	Z. Shen, N. Ito, C.W. Domier, N.C. Luhmann, Jr., A. Mase, E. Sakata	Protection Filters in ECEI Systems for Plasma Diagnostics	The 16th International Toki Conference	Dec. 5-8, 2006, Toki, Japan	2004-FP5-18
79	2006	T. Takamatsu, T. Oishi, S. Ogawa, K. Masuda and K. Yoshikawa	Recent R&D in IEC Neutron Source at Kyoto University	8th US-Japan Workshop on Inertial Electrostatic Confinement Fusion	May 10-12, 2006, Osaka, Japan	2006-FP5-1
80	2006	T.Yamada, A. Ejiri, et al.	Reflectometry for Density Fluctuation and Profile Measurements in TST-2	16th Internat. Toki Conf.	Dec. 5-8, 2006, Toki, Japan	2005-FP5-21
81	2006	A. Mase, Y. Yokota, K. Uchida et al.	Remote Experiment of Ultrashort-Pulse Reflectometry on LHD	The 16th APS Topical Conference on High Temperature Plasma Diagnostics	May 7-12, 2006, Williamsburg, USA	2004-FP5-18
82	2006	K. Yoshikawa, K. Masuda, Y. Yamamoto and T. Takamatsu	Research and Development on a Compact Discharge-Based Fusion Neutron/Proton Source for Advanced Technologies	3rd Symposium on Sustainable Energy System	Aug. 30-Sept. 1, 2006, Kyoto, Japan	2006-FP5-1
83	2006	K. Yoshikawa, K. Masuda, T. Takamatsu, S. Shiroya, T. Misawa, Y. Takahashi, E. Hotta, K. Yamauchi, M. Ohnishi and H. Osawa	Research and Development on a Compact Discharge-Driven D-D Fusion Neutron Source for Explosive Detection	2nd JGSEE and Kyoto Joint International Conference on Sustainable Energy and Environment	Nov. 21-23, 2006, Bangkok, Thailand	2006-FP5-1
84	2006	K. Masuda, S. Ogawa, T. Takamatsu and K. Yoshikawa	Simultaneous Measurements of Neutrons and Energetic Protons from D-D and D-3He Fusion Reactions in an Inertial Electrostatic Confinement Device	IEEE 22nd International Symposium on Discharges and Electrical Insulation in Vacuum	Sept. 25-29, 2006, Matsue, Japan	2006-FP5-1
85	2006	T. Oishi, S. Ogawa, T. Takamatsu, H. Zen, K. Masuda and K. Yoshikawa	Spatial Distribution of D-3He Advanced Fuels Fusion Reactions in an Inertial Electrostatic Confinement Device	8th US-Japan Workshop on Inertial Electrostatic Confinement Fusion	May 10-12, 2006, Osaka, Japan	2006-FP5-1
86	2006	K. Masuda, K. Yoshikawa, T. Ohishi, S. Ogawa, H. Zen and T. Takamatsu	Spatial Distribution of D-D/D-3He Advanced Fuels Fusion Reactions in an Inertial Electrostatic Confinement Device	21st IAEA Fusion Energy Conference	Oct, 16-21, 2006, Chengdu, China	2006-FP5-1

87	2006	Eiki Hotta and Tokyo Tech IEC Group	Status and Prospect of Inertial Electrostatic Confinement Devices as Neutron/Proton Sources	The 3rd International Symposium on Sustainable Energy System	Aug, 30–Sep. 1, 2006, Kyoto, Japan	2006-FP5-1
88	2006	S.P. Gerhardt, M. Inomoto, E. Belova, M. Yamada, H. Ji, Y. Ren, S. Dorfman, E. Martin	Studies of Equilibrium and Stability of Oblate FRCs in the Magnetic Reconnection Experiment	American Physics Society, 48th Annual Meeting of the Division of Plasma Physics	Oct. 30–Nov. 3, Philadelphia, USA	2005-FP4-5
89	2006	S.P. Gerhardt, M. Inomoto, E.V. Belova, M. Yamada, H. Ji, Y. Ren	Studies of Free-Boundary Field-reversed Configurations with Improved Stability in the Magnetic Reconnection Experiment	21st IAEA Fusion Energy Conference	Oct. 16-21, 2006, Chengdu, China	2005-FP4-5
90	2006	K. Saito, S. Murakami, M. Osakabe, M. Nishimura, T. Seki, T. Ozaki et al.	Study of High-energy Ion Tail Formation with Second Harmonic ICRF Heating and NBI in LHD	IAEA Fusion Energy conference 2006	October, 2006, IAEA-CN-149, EX/P6-17	2004-FP5-19
91	2006	Kanamaru, et al.	Tilt instability at formation phase	The American Physical Society Division Plasma Physics	Oct.30-Nov.2, Philadelphia	2006-FP2-3
92	2006	Y. Ono	Transient and Intermittent Magnetic Reconnections in TS-3/4 Merging Experiments and Their Extension to UTST High-Beta ST Experiment	Petschek Memorial Conference	March 2006, College Park, Maryland, USA	2005-FP2-4
93	2006	Y. Ono	US/Japan Cooperation in Fusion Energy Research	2006 US/Japan Workshop on Compact Torus Plasmas, The Role of Flow in Compact Torus Plasmas	Nov. 2-4, 2006, , Swarthmore College PA, USA	2006-FP4-5
94	2007	L. Yang, N. Ito, C. W. Domier, N. C. Luhmann, Jr., A. Mase	20 GHz to 40 GHz Beam Shaping/Steering Phased Antenna Array System using Fermi Tapered Slot Antenna	The IEEE MTT-S International Microwave Symposium	Jun. 3-8, 2007, Honolulu, USA	2004-FP5-18
95	2007	Z. Shen, C. W. Domier, N. C. Luhmann, Jr. N. Ito, A. Mase, A. J. H. Donne, H. Park	2-D Passive Millimeter wave Imaging System for Plasma Diagnostics	The 2007 Asia Pacific Microwave Conference	Dec. 11-14, 2007, Bangkok, Thailand	2007-FP5-6
96	2007	K. Yoshikawa, K. Masuda, T. Takamatsu, S. Shiroya, T. Misawa, Y. Takahashi, E. Hotta, K. Yamauchi, M. Ohnishi, H. Osawa	Anti-Personnel Landmine Detection by Use of an IEC Neutron Source	9th US-Japan Workshop on Inertial Electrostatic Confinement Fusion	May 22-24, 2007, Argonne, IL, USA	2006-FP5-1
97	2007	M. Ohnishi, Y. Tsuji, N. Yoshida, H. Osawa	Characteristics in Pulse Operation of IEC Device with Confronting Two Plasma Sources	9th US-Japan Workshop on Inertial Electrostatic Confinement Fusion	May 22-24, 2007, Argonne, IL, USA	2006-FP5-1
98	2007	T. Oosako, et al.	Combine Antenna for Lower Hybrid Current Start-up Experiments in Tokyo Spherical Tokamak-2	Korea-Japan workshop on heating technology of Fusion plasmas	Oct.16-17, 2007, Jeju, Korea	2005-FT3-2 2006-FT3-2
99	2007	Y. Ono	Current Sheet Dynamics in TS-3 and TS-4 Tokamak Reconnection Experiments	The 9th International Workshop on the Interrelationship between Plasma Experiments in Laboratory and Space	Aug. 2007, Palm Cove Resort, Cairns, Australia	2007-FP3-2
100	2007	Y. Ono, Y. Hayashi, H. Imanaka and R. Imazawa:	Current Sheet Dynamics in TS-4 Tokamak Reconnection Experiment	50th Annual Meeting of the Division of Plasma Physics, APS	Nov. 2007, Orlando, FL, USA	2007-FP3-2
101	2007	Z. Shen, N. Ito, E. Sakata, C. W. Domier, N. C. Luhmann, Jr. A. Mase	D-Band Double Dipole Antenna for Use in Millimeter Wave Imaging Systems	The 2007 IEEE International Symposium on Antenna and Propagation	Jun. 9-15, 2007, Honolulu USA	2004-FP5-18
102	2007	K. Tomiyasu and E. Hotta	Design for Medical Radioisotope Production Using a Compact Fusion Proton Source	The Second MIT-Tokyo Tech Symp. on Innovative Nuclear Energy System (TM-INES2)	Jul. 2007, Kamakura, Japan	2006-FP5-1
103	2007	N. Yoshida, Y. Tsuji, H. Osawa, M. Ohnishi	Development of Fast Numerical Code Based on Direct Interaction of Charged Particles	9th US-Japan Workshop on Inertial Electrostatic Confinement Fusion	May 22-24, 2007, Argonne, IL, USA	2006-FP5-1

104	2007	A. Mase, Y. Kogi, N. Ito et al.	Development of Microwave Diagnostic Systems and their Application	U.S.-Japan Workshop on Millimeter-Wave Plasma Diagnostics	Feb. 25-27, 2008, UC Davis, USA	2007-FP5-6
105	2007	N. Ito, A. Mase, Y. Kogi et al.	Development of Planar Components Using Advanced Fabrication	The Joint 32nd International Conference on Infrared and Millimeter Waves and 15th International Conference on Terahertz Electronics	Sept. 2-7, 2007, Cardiff, U.K.	2007-FP5-6
106	2007	K. Masuda, K. Yoshikawa, T. Misawa, K. Yamauchi, Y. Takahashi, S. Shiroya, E. Hotta, M. Ohnishi and H. Osawa	Directional detection of nitrogen and hydrogen in explosives by use of a DD-fusion-driven thermal neutron source	NATO Advanced Research Workshop on "Detection of Liquid Explosives and Flammable Agents in Connection with Terrorist Actions"	Oct. 17-19, 2007, Saint-Petersburg, Russia	2006-FP5-1
107	2007	H. Osawa, N. Yoshida, M. Ohnishi	FDTD Simulation on RF Ion Source for IEC	9th US-Japan Workshop on Inertial Electrostatic Confinement Fusion	May 22-24, 2007, Argonne, IL, USA	2006-FP5-1
108	2007	Tetsuo OZAKI, Pavel R.GONCHAROV, Evgeny VESHCHEV, et al.	Helium ion observation during 3rd harmonic ion cyclotron heating in Large Helical Device	International Toki Conference	Oct. 16-19, 2007, Toki, Japan	2004-FP5-19
109	2007	T.Ozaki, P.Goncharov, E.Veschev, S.Sudo, N.Tamura, et al.	Helium measurements simulating alpha-particle diagnostics by the pellet charge exchange in Large Helical Device	Proc. of INTERNATIONAL WORKSHOP ON BURNING PLASMA DIAGNOSTICS	September 24 - 28, 2007, Varenna, Italy	2004-FP5-19
110	2007	H. Horibe, M. Ohnishi, H. Osawa	High Voltage Pulse Modulator	9th US-Japan Workshop on Inertial Electrostatic Confinement Fusion	May 22-24, 2007, Argonne, IL, USA	2006-FP5-1
111	2007	Y.Tsujii, N. Yoshida, H. Osawa, M. Ohnishi	IEC Research of Kansai University	9th US-Japan Workshop on Inertial Electrostatic Confinement Fusion	May 22-24, 2007, Argonne, IL, USA	2006-FP5-1
112	2007	N. Tamura, K. Sato, H. Funaba, S. Sudo, K. Tritz, D. Stutman, L. Delgado-Aparicio, M. Finkenthal, H. Kugel, R. Kaita, L. Roquemore, M. Bell, V. Soukhanovskii	Impact of a tracer-encapsulated solid pellet injection on NSTX plasmas	13th International Workshop on Spherical Torus	Oct. 10-12, 2007, Fukuoka, Japan	2007-FP5-15
113	2007	T. Fujimoto, T. Oishi, H. Zen, T. Takamatsu, K. Masuda and K. Yoshikawa	Intensity Distribution of D-3He Fusion reaction Rate in an IEC Device	9th US-Japan Workshop on Inertial Electrostatic Confinement Fusion	May 22-24, 2007, Argonne, IL, USA	2006-FP5-1
114	2007	Y. Takase, et al.	LHCD Scenarios for Spherical Tokamak Plasmas	17th Top. Conf. on Radio Frequency Power in Plasmas Clearwater, 2007	May 7-9, 2007, Clearwater, Florida, USA	2006-FP4-4
115	2007	K.Yamauchi, K.Nozaki, M.Watanabe, A.Okino and E.Hotta	Low Pressure IECF Operation Using Differentially-Pumped Ion Sources	9th US-Japan IEC Workshop on Small Plasma and Accelerator Neutron Sources	May 22-24, 2007 Argonne, USA	2006-FP5-1
116	2007	A. Mase, Y. Kogi, N. Ito et al.	Microwave Imaging for Plasma Diagnostics and Its Applications	The 13th International Symposium on Laser-Aided Plasma Diagnostics	Sept. 18-21, 2007, Takayama, Japan	2007-FP5-6
117	2007	A. Sanpei, S. Masamune, R. Ikezoe, et al.	Neoclassical RFP equilibria with reactor regime parameters	12th IEA/RFP Workshop	Mar 26-28, 2007, Kyoto, Japan	2006-FP2-8
118	2007	A. Ishida, L.C. Steinhauer, Y.-K. M. Peng	Numerical computation for two-fluid MHD equilibria with flow	The 13th International Workshop on Spherical Tori 2007	October 10-12, 2007, Fukuoka, Japan	2006-FP2-4
119	2007	K.Yamauchi, K.Tomiyasu, M.Watanabe, A.Okino and E.Hotta	Overview of IECF Research at Tokyo Institute of Technology	9th US-Japan IEC Workshop on Small Plasma and Accelerator Neutron Sources	May 22-24, 2007, Argonne, USA	2006-FP5-1
120	2007	T. Kanki, L. C. Steinhauer, M. Nagata	Partially Relaxed Two-Fluid Flowing Equilibria in Helicity-Driven Spherical Torus	US-Japan Workshop on Innovative Active Control for High Performance Confinement of Compact Toroid	Sep. 18-20 2007, Tokyo, Japan	2006-FP2-7

121	2007	K. Yoshikawa, S. Shiroya, E. Hotta, M. Ohnishi, T. Misawa and K. Masuda	Research and Development of a Compact Discharge-Driven D-D Fusion Neutron Source And Advanced Gamma-ray Detection System for the Detection of Explosives	2nd Research Coordination Meeting of the IAEA's Coordinated Research Project on "Neutron Based Techniques for the Detection of Illicit Materials and Explosives"	Nov. 12-16, 2007, Mumbai, India	2006-FP5-1
122	2007	K. Yoshikawa, K. Masuda, T. Misawa, T. Takamatsu, K. Yamauchi, Y. Takahashi, S. Shiroya, E. Hotta, M. Ohnishi and H. Osawa	Research and Development of Humanitarian Landmine Detection System by a Compact Discharge-Type Fusion Neutron Source	SPIE Defense and Security Symposium	Apr. 9-13, 2007, Orlando, Florida, USA	2006-FP5-1
123	2007	T. Misawa, K. Yoshikawa, K. Masuda, T. Takamatsu, T. Fujimoto, K. Yamauchi, E. Hotta, Y. Takahashi, T. Yagi, Y. Yamamoto, S. Shiroya, M. Ohnishi, H. Osawa, Y. Kubo, M. Tabei, Y. Sugihara and T. Doi	Research and Development of Landmine Detection System using a Compact Fusion Neutron	IAEA Technical Meeting on Use of Combined Devices for Humanitarian Demining and Explosives Detection	Nov. 26-30, 2007, Vienna, Austria	2006-FP5-1
124	2007	Y. Ono	Transient and Explosive Magnetic Reconnections in TS-3 and 4 Merging Experiments	The US-Japan Symposium on Plasma Merging and Magnetic Reconnection	Mar. 2007 St. Michael MD, USA	2007-FP3-2
125	2007	Y. Ono	Transient and Intermittent Magnetic Reconnections in TS-3 Spherical Tokamak Merging Experiment	National Cheng Kung University Symposium	Jan. 4-7, 2007, Tainan, Taiwan	2007-FP3-2
126	2007	T. Kanki, L. C. Steinhauer, M. Nagata	Two-Fluid Flowing Equilibria of Helicity Injected Spherical Torus with Non-Uniform Density	Joint Conference of the 17th International Toki Conference on Physics of Flows and Turbulence in Plasmas and the 16th International Stellarator/Heliotron Workshop 2007	15-19 Oct. 2007, Toki, Japan	2006-FP2-7
127	2007	Z. Shen, N. Ito, Z. Xia, C. W. Domier, A. Mase, and N. C. Luhmann, Jr.	Wide Bandwidth Mixer Array Development in Millimeter Wave Imaging Systems for Plasma Diagnostics	The Joint 32nd International Conference on Infrared and Millimeter Waves and 15th International Conference on Terahertz Electronics	Sept. 2-7, 2007, Cardiff, U.K.	2007-FP5-6
128	2007	P. Zhang, C. W. Domier, Z. Shen, N. C. Luhmann, Jr., H. K. Park, A. J. H. Donne, N. Ito, A. Mase	Wideband ECEI Upgrade for Increased Plasma Coverage	The 13th International Symposium on Laser-Aided Plasma Diagnostics	Sept. 18-21, 2007, Takayama, Japan	2007-FP5-6
129	2008	A. Mase, Y. Kogi, N. Ito et al.	Advancement of Microwave/ Millimeter-Wave Diagnostics in Magnetically Confined Plasma	The 2008 Int. Workshop on Frontiers in Space and Fusion Energy Sciences	Nov. 6-8, 2008, Tainan, Taiwan	2007-FP5-6
130	2008	A. Mase, Y. Kogi, N. Ito et al.	Advancements of Microwave Diagnostics and Their Applications	The 11th IEEE International Conference on Communication Technology	Nov. 10-12, 2008, Hangzhou, PR China	2007-FP5-6
131	2008	A. Sanpei, K. Oki, R. Ikezoe, et al.	Characterization of equilibria in a low-aspect-ratio RFP	ICPP2008	Sep. 8-12, 2008, Fukuoka, Japan	2006-FP2-8
132	2008	T. Ozaki, Pavel R. Goncharov, Evgeny A. Veshchev, Shigeru Sudo, Tsuguhiro Watanabe, High-Energy Particle Group and LHD Experimental Group	Comparison of neutral particle flux decay times on the NBI plasmas in Large Helical Device	International Toki Conference	2008.12.9-12 Toki, Japan	2004-FP5-19
133	2008	R. Raman, B.A. Nelson, ..., M. Nagata, ..., et al.	Coupling solenoid-free Coaxial Helicity Injection started discharges to induction in NSTX	The 4th IAEA Technical Meeting on Spherical Tori and 14th International Workshop on Spherical Torus	Oct. 7-10, 2008, Roma, Italy	2006-FP4-3 2007-FP3-5

134	2008	K.Yokoyama, K.Tomiyasu, M.Watanabe and E.Hotta	Development of a Coaxial Double Cylindrical Inertial Electrostatic Confinement Device	10th US-Japan Workshop on Inertial Electrostatic Confinement Fusion	Dec. 2008, Kyoto, Japan	2008-FP5-8
135	2008	T. Nakagawa, K. Masuda, T. Kajiwara, H. Zen, K. Yoshikawa and K. Nagasaki	Development of an IEC Device Driven by a Magnetron Ion Source for Low Pressure Operation	10th US-Japan Workshop on Inertial Electrostatic Confinement Fusion	Dec. 9-11, 2008, Kyoto, Japan	2008-FP5-8
136	2008	N. Ito, A. Mase, Y. Kogi et al.	Development of Planar Devices Using Low-Loss Materials	The 11th IEEE International Conference on Communication Technology	Nov. 10-12, 2008, Hangzhou, PR China	2007-FP5-6
137	2008	Y. Yokota, A. Mase, Y. Kogi et al.	Development of Ultrashort-Pulse Reflectometry for Density Profile Measurement in LHD	The International Congree on Plasma Physics 2008	Sept. 8-12, 2008, Fukuoka, Japan	2007-FP5-6
138	2008	T. Kajiwara, K. Masuda, T. Nakagawa, H. Zen and K. Nagasaki	Double-grid IEC for Energy Recovery from Escaping Electron Beams	10th US-Japan Workshop on Inertial Electrostatic Confinement Fusion	Dec. 9-11, 2008, Kyoto, Japan	2008-FP5-8
139	2008	K.Tomiyasu, K.Yokoyama, M.Watanabe, A.Okino and E.Hotta	Effects of Cusp Magnetic Field in a Cylindrical Radially Convergent Beam Fusion Device	18th Topical Mtg. on the Technology of Fusion Energy	Sep. 2008, California, USA	2008-FP5-8
140	2008	K. Noborio, T. Kanagae, Y. Yamamoto, S. Konishi	Generation of Neutron Beam by the Cylindrical Fusion Neutron Source -- Designing by using MCNP Transport Code --	10th US-Japan Workshop on Inertial Electrostatic Confinement Fusion	Dec. 9-11, 2008, Kyoto, Japan	2008-FP5-8
141	2008	Y.Yamamoto, A. Ishidou, K. Noborio, S. Konishi	Generation of Neutron Beam by the Cylindrical Fusion Neutron Source -- Objective and Targets --	10th US-Japan Workshop on Inertial Electrostatic Confinement Fusion	Dec. 9-11, 2008, Kyoto, Japan	2008-FP5-8
142	2008	H. Horibe, M. Ohnishi, H. Osawa	High Voltage Power Supply -some plasma plications-	10th US-Japan Workshop on Inertial Electrostatic Confinement Fusion	Dec. 9-11, 2008, Kyoto, Japan	2008-FP5-8
143	2008	A. Ishida, L.C. Steinhauer, Y.-K. M. Peng	Multi-fluid MHD equilibria for ST plasmas with near-sonic flow and reduced trapped ion fraction	35th EPS Plasma Physics Meeting	9-13 June, 2008, Hersonissos, Crete, Greece	2008-FP3-6
144	2008	A. Sanpei, S. Masamune, R. Ikezoe, et al.	Neoclassical Equilibrium in a Low-Aspect Ratio RFP Machine RELAX	35th EPS Meeting	June 9-13, 2008, Hersonissos, Greek	2006-FP2-8
145	2008	M. Inomoto, Y. Ono	Nonlinear mode couplings in linear plasmas	The US-Japan Workshop on Magnetic Reconnection 2008,	Mar. 2008. 52, Okinawa, Japan	2008-FP3-1
146	2008	K. Masuda, Y. Yamamoto, K. Noborio, T. Nakagawa, T. Kajiwara, H. Zen, K. Nagasaki and K. Yoshikawa	Overview of IEC Research at Kyoto University	10th US-Japan Workshop on Inertial Electrostatic Confinement Fusion	Dec. 9-11, 2008, Kyoto, Japan	2008-FP5-8
147	2008	K.Tomiyasu, K.Yokoyama, M.Watanabe, and E.Hotta	Particle-in-Cell Simulation of Magnetic-assist Electrostatic Confinement Fusion	10th US-Japan Workshop on Inertial Electrostatic Confinement Fusion	Dec. 9-11, 2008, Kyoto, Japan	2008-FP5-8
148	2008	T.Ozaki, P.Goncharov, E.Veshchev, N.Tamura, S.Sudo, T.Seki, H.Kasahara, high Energy Particle Groupe, Wave Heating Group and LHD Experimental Group	Pellet charge exchange helium measurement using neutral particle analyzer in Large Helical Device	High Temperature Plasma Diagnostics	May 11-15, 2008, Albuquerque, NM, USA	2004-FP5-19
149	2008	K. Sakuraba, et al.	Plasma Dynamics in Translation Process of Field Reversed Configuration	The American Physical Society Division Plasma Physics	Nov. 12-16, Orland, USA	2007-FP3-1

150	2008	Tetsuo OZAKI, Pavel R.GONCHAROV, Evgeny VESHCHEV, Naoki TAMURA, Shigeru SUDO, Tetsuo SEKI, Hiroshi KASAHARA, High Energy Particle Group	Radial Profiles of High-Energy Particles in NBI and ICH Plasmas Measured by Pellet Charge Exchange Technique on Large Helical Device	ICPP	Sep. 8-12, 2008 Fukuoka, Japan	2004-FP5-19
151	2008	Y. Ono	Recent Progress in TS-4 and UTST ST Merging	51st Annual Meeting of the Division of Plasma Physics, APS	Nov. 2008, Dallas, TX, USA	2008-FP3-1
152	2008	Y. Ono, Toru Ii, Y. Hayamshi, T. Yamada, M. Inomoto	Recent Progress of TS-4 Magnetic Reconnection Experiment	The First International Workshop on "Frontiers In Space and Fusion Energy Sciences	Nov. 2008. Tainan, Taiwan	2008-FP3-1
153	2008	H. Himura, K. Nakamura, D. Sugimoto, A. Sanpei, S. Masamune, M. Isobe, F. Sano	Recent progress on toroidal nonneutral plasmas confined on heliotron magnetic surfaces	The 9th International Workshop on Non-Neutral Plasmas	June. 16-20, 2008, NY, USA	2008-FP4-2
154	2008	Y. Yokota, A. Mase, Y. Kogi et al.	Reconstruction of Edge Density Profiles on LHD Using Ultrashort-Pulse Reflectometry	The 17th APS Topical Conference on High-Temperature Plasma Diagnostics	May 11-15, 2008, Albuquerque, USA	2007-FP5-6
155	2008	S. Takaichi, A. Mase, Y. Kogi et al.	Simulation Study and Experiment of Breast Cancer Detection Using an Ultrashort-Pulse Radar	The 2008 Asia Pacific Microwave Conference	Dec. 16-19, 2008, Hong Kong, China	2007-FP5-6
156	2008	R. Raman, T.R. Jarboe, M. Nagata, et al.	Solenoid-free Plasma Start-up in NSTX using Transient CHI	The 22nd IAEA Fusion Energy Conference	Oct. 13-18, 2008, Geneva, Swiss	2006-FP4-3 2007-FP3-5
157	2008	N. NISHINO, S. PAUL, R. KAITA and A.L. ROQUEMORE	Status of Two-Dimensional Ion Velocity Measurement System in NSTX	Int. Conference of Plasma Physics 2008	Sep. 8-12, 2008, Fukuoka, Japan	2008-FP5-4-2007-FP5-7
158	2008	Q. R. Marksteiner, T. S. Pedersen, J. W. Berkery, M. S. Hahn, J. M. Mendez, B. D. de Gevigney, P. Ennever, D. Boyle, M Shulman, and H. Himura	Studies of a parallel force balance breaking instability in a stellarator	The 9th International Workshop on Non-Neutral Plasmas	June. 16-20, 2008, NY, USA	2008-FP4-2
159	2008	H. Osawa, T. Miyashita, K. Kitagawa, M. Ohnishi	Two Ion Sources Operation on Inertial Electrostatic Confinement Fusion Device	10th US-Japan Workshop on Inertial Electrostatic Confinement Fusion	Dec. 9-11, 2008, Kyoto, Japan	2008-FP5-8
160	2008	T. Kanki, L. C. Steinhauer, M. Nagata	Two-Fluid Flowing Equilibria of Spherical Torus Sustained by Coaxial Helicity Injection	49th Annual Meeting of the Division of Plasma Physics	Nov. 12-16, 2007, Orlando, USA	2006-FP2-7
161	2008	Y. Yokota, A. Mase, Y. Kogi et al.	Ultra-Wide Band Radar Reflectometer for Measurement of Plasma Density Profiles	The 11th IEEE International Conference on Communication Technology	Nov. 10-12, 2008, Hangzhou, PR China	2007-FP5-6
162	2009	Y. Ono	3-D Fast Reconnection in TS-3 and 4 Merging Experiments	2009 US - Japan Workshop on Reconnection	Oct. 5 - 7 2009, Madison, WI, USA	2009-FP4-1
163	2009	K. Masuda, T. Nakagawa, T. Kajiwara, K. Yoshikawa and K. Nagasaki	An Inertial Electrostatic Confinement Fusion Device Driven by a Built-In Ring-Shaped Ion Source in Low Pressure Regime	2nd Int. Conf. on Microelectronics and Plasma Technology	Sep. 2009, Busan, Korea	2008-FP5-8
164	2009	T. Ozaki, M. Koga, H. Shiraga, R. Kato, S. Kashiwagi, G. Itoyama, H. Sakagami and FIREX group	Calibration of the compact electron spectrometer for FIREX-I project in Gekko XII	ITC19	Dec. 8-11, 2009 Toki, Japan	2004-FP5-19
165	2009	T. Yamamoto, Y. Nagayama, H. Nakanishi, et al.	Configuration of the Virtual Laboratory for Fusion Researches in Japan	7th IAEA Technical Meeting on Control, Data Acquisition, and Remote Participation for Fusion Research	Jun. 15-19, 2009, Aix-en-Provence, France	2008-FP5-7
166	2009	T. Ozaki, M. Koga, H. Shiraga, H. Azechi, H. Sakagami and FIREX Group	DEVELOPMENT OF THE COMPACT ELECTRON SPECTROMETER FOR THE FIREX-I PROJECT IN GEKKO XII	Inertial Fusion Science and Application	Sep 6-11, 2009 San Francisco, CA	2004-FP5-19

167	2009	K. Tomiyasu, K. Yokoyama, M. Watanabe, A. Okino and E. Hotta	Discharge Characteristics of Magnetic-assisted Electrostatic Confinement Device	2nd Int. Conf. on Microelectronics and Plasma Technology	Sep. 2009, Busan, Korea	2008-FP5-8
168	2009	T. Kajiwara, K. Masuda, K. Yoshikawa and K. Nagasaki	Double-grid IEC for Energy Recovery from Escaping Electron Beams	2nd International Conference on Microelectronics and Plasma Technology	Sept. 23-25, 2009, Busan, Korea	2008-FP5-8
169	2009	T. Kajiwara, K. Masuda, J. Kipritidis and K. Nagasaki	Double-grid IEC for Recovery of Energy from Escaping Electron Beams	11th US-Japan Workshop on Inertial Electrostatic Confinement Fusion	Oct. 12-13, 2009, Madison, Wisconsin, USA	2009-FP5-1
170	2009	K. Kitagawa, T. Miyashita, A. Maeda, I. Nakano, H. Osawa, M. Ohnishi	Drawing Out Electrode of Ion Beam for IEC	11th US-Japan Workshop on Inertial Electrostatic Confinement Fusion	Oct. 12-13, 2009, Madison, Wisconsin, USA	2009-FP5-1
171	2009	M. Isobe, K. Ogawa, K. Toi, M. Osakabe, K. Nagaoka, A. Shimizu, D.A. Spong, CHS and LHD experiment groups	Effect of energetic-ion-driven MHD instabilities on energetic-ion-transport in Compact Helical System and Large Helical Device	17th International Stellarator/Heliotron Workshop	Oct. 12-16, 2009, Princeton, New Jersey, USA	2003-FP-2-4
172	2009	K.Tomiyasu, K.Yokoyama, Y.Jinushi, M.Watanabe, and E.Hotta	Experimental Study of Magnetic-Assisted Electrostatic Confinement	11th US-Japan Workshop on Inertial Electrostatic Confinement Fusion	Oct.12-14, 2009, Madison, WI, USA	2009-FP5-1
173	2009	T. Hochin, Y. Yamauchi, H. Nomiya, H. Nakanishi, M. Kojima	Fast Subsequence Matching in PlasmaWaveform Databases	5th International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing (IIHMSP2009)	Sep. 12-14, 2009, Kyoto, Japan	2004-FP5-39
174	2009	K. Noborio, T. Kanagae, Y. Yamamoto, S. Konishi	Generation of Sharp and Thermalized Neutron Beam using Cylindrical Fusion Neutron Source	11th US-Japan Workshop on Inertial Electrostatic Confinement Fusion	Oct. 12-13, 2009, Madison, Wisconsin, USA	2009-FP5-1
175	2009	A. Maeda, T. Miyashita, K. Kitagawa, I. Nakano, H. Osawa, M. Ohnishi	High Current Operation on IEC	11th US-Japan Workshop on Inertial Electrostatic Confinement Fusion	Oct. 12-13, 2009, Madison, Wisconsin, USA	2009-FP5-1
176	2009	T. Hochin, Y. Yamauchi, H. Nakanishi, M. Kojima, H. Nomiya	Indexing of Plasma Waveforms for Accelerating Search and Retrieval of Their Subsequences	7th IAEA Technical Meeting on Control, Data Acquisition, and Remote Participation for Fusion Research	Jun. 15-19, 2009, Aix-en-Provence, France	2004-FP5-39
177	2009	H. Nakanishi, T. Yamamoto, M. Emoto, Y. Nagayama, K. Kawahata, et al.	LABCOM/X Experiment Data Platform and Fusion Virtual Laboratory in Japan	7th IAEA Technical Meeting on Control, Data Acquisition, and Remote Participation for Fusion Research	Jun. 15-19, 2009, Aix-en-Provence, France	2008-FP5-7
178	2009	K.Yokoyama, Y.Jinushi, K.Tomiyasu, M.Watanabe and E.Hotta	Neutron Flux Distribution in a Coaxial Double Cylindrical Device	11th US-Japan Workshop on Inertial Electrostatic Confinement Fusion	Oct.12-14, 2009, Madison, WI, USA	2009-FP5-1
179	2009	H. Osawa, T. Miyashita, A. Maeda, I. Nakano, M. Ohnishi	Neutron Production with Confronting Ion Sources on Inertial Electrostatic Confinement Fusion Device	2nd Int. Conf. on Microelectronics and Plasma Technology	Sep. 2009, Busan, Korea	2008-FP5-8
180	2009	J. Kipritidis, J. Khachan and K. Masuda	Optical diagnostics and numerical modeling of a gaseous discharge Inertial Electrostatic Confinement device	11th US-Japan Workshop on Inertial Electrostatic Confinement Fusion	Oct. 12-13, 2009, Madison, Wisconsin, USA	2009-FP5-1
181	2009	K. Masuda, J. Kipritidis, T. Kajiwara, T. Nakagawa, K. Nagasaki, Y. Yamamoto, K. Noborio and T. Kanagae	Overview of Kyoto University Research and Considerations for an IEC Device Driven by a Built-In Ring-Shaped Ion Source	11th US-Japan Workshop on Inertial Electrostatic Confinement Fusion	Oct. 12-13, 2009, Madison, Wisconsin, USA	2009-FP5-1
182	2009	Y. Ono	Physics and applications of impulsive 3-D magnetic reconnection	2009 International Workshop on Frontiers In Space and Fusion Energy Sciences (2009 FISFES)	Nov. 30-Dec. 3, 2009, Tainan, Taiwan	2009-FP4-1

183	2009	Y. Haraguchi, H. Hojo, Y. Ishii et al.	Preliminary Simulation Study for Microwave Imaging Reflectometry	The 19th International Toki Conference (ITC-19)	Dec. 8-11, 2009, Toki, Japan	2009-FP5-2
184	2009	A. Mase, N. Ito, D. Zhang et al.	Progress in Microwave Diagnostics and their Applications	The 2009 International Workshop on Frontiers in Space and Fusion Energy Sciences	Nov. 30-Dec. 3, 2009, Tainan, Taiwan	2009-FP5-2
185	2009	A. Mase, Y. Kogi, N. Ito et al.	Progress in Microwave Diagnostics Related to LHD Collaborative Research	The 8th Japan-Australia Plasma Diagnostics Workshop	Feb. 2-5, 2009, Murramarang, Australia	2007-FP5-6
186	2009	T. Yamamoto, Y. Nagayama, H. Nakanishi, et al.	Progress of the Virtual Laboratory for Fusion Researches in Japan	12th International Conference on Accelerator and Large Experimental Physics Control Systems (ICALEPCS2009)	Oct. 12-16, 2009, Kobe, Japan	2008-FP5-7
187	2009	Y. Yokota, A. Mase Y. Kogi et al.	Reconstruction Method of X-Mode Ultrashort-Pulse Reflectometry in LHD	The 14th International Symposium on Laser Aided Plasma Diagnostics	Sept. 21-24, Castelbrando, Italy	2009-FP5-2
188	2009	Y. Takase, et al.	RF Experiments on TST-2	51st Annual Meeting of APS/DPP	Nov. 2-6, 2009, Atlanta, Georgia	2009-FP2-4
189	2009	K. Akaki, A. Mase, Y. Kogi et al.	Study of Dual-Dipole Antenna Array for Millimeter Wave Imaging	The. 34th Int. Conf. on Infrared, Millimeter, and Terahertz Wave	Sept. 11-15, 2009, Busan, Korea	2009-FP5-2
190	2009	J.A. Stillerman, W. Burke, B. Labombard	Sub-sample Time-base Resolution in a Heterogeneous Distributed Data Acquisition Environment	12th International Conference on Accelerator and Large Experimental Physics Control Systems (ICALEPCS2009)	Oct. 12-16, 2009, Kobe, Japan	2009-FP5-13
191	2009	Y. Ono	Three dimensional magnetic reconnection in torus plasma merging experiments	US-Japan Workshop on Physics of Plasma Merging and Magnetic Reconnection	Mar. 2-4, 2009, Princeton, NJ, USA	2009-FP4-1
192	2009	H. Horibe, M. Ohnishi, H. Osawa	Useful Information for High Voltage Power Supply	2nd International Conference on Microelectronics and Plasma Technology	Sept. 23-25, 2009, Busan, Korea	2008-FP5-8
193	2010	A. Mase, N. Ito, D. Zhang et al.	Application of Microwave Diagnostic Systems to Medical and Assisted Technology	International Workshop on Microwave Devices, Systems, and their Applications 2010	Mar. 16-17, 2010, Fukuoka, Japan	2009-FP5-2

3.4.5 High Energy Density Science

1. Journal Paper

No	Year	Authors	Title of Paper	Journal	Vol. (Year) Page (Start) -Page(End) or Identification No.	Year-Category-No.
1	2000	K. Fujita, A. Sunahara, K.A. Tanaka, N. Isumi, T. Jitsuno, N. Miyanaga, T. Miyakoshi, H. Otani, M. Fukao, H. Heya, Y. Ochi, Y. Kitagawa, R. Kodama, K. Mima, H. Nishimura, T. Norimatsu, Y. Sentoku, H. Takane, T. Yamanaka	Model experiments of fast ignition with coaxial high-power laser beams	SPIE	4424 (2000) 37-44	2000-FP5-18
2	2000	T. Kadono, M. Yoshida, E. Takahashi, I. Matsushima, Y. Owadano, N. Ozaki, K. Fujita, M. Nakano, K.A. Tanaka, H. Takenaka and K. Kondo	Flyer acceleration by a high-power KrF laser with a long pulse duration	Journal of Applied Physics	88 (2000) 2943-2947	2000-FP5-18

3	2000	K.A. Tanaka, M.M. Allen, A. Pukhov, R. Kodama, H. Fujita, Y. Kato, T. Kawasaki, Y. Kitagawa, K. Mima, N. Morio, H. Shiraga, M. Iwata, T. Miyakoshi, and T. Yamanaka	Evidence of relativistic laser beam filamentation in back-reflected images	Phys. Rev. E	62 (2000) 2672-2677	2000-FP5-18
4	2000	K.A. Tanaka, R. Kodama, H. Fujita, M. Heya, N. Izumi, Y. Kato, Y. Kitagawa, K. Mima, N. Miyanaga, T. Norimatsu, A. Pukhov, A. Sunahara, K. Takahashi, M. Allen, H. Habara, T. Iwatani, T. Matusita, T. Kawasaki, T. Komeno, O. Maekawa, S. Matsuo, T. Shozaki, Ka Suzuki, H. Yoshida, T. Yamanaka, Y. Sentoku, F. Weber, T.W. Barbee,Jr., and L. DaSilva	Studies of ultra-intense laser plasma interactions for fast ignition	Physics of Plasmas	7 (2000) 2014-2022	2000-FP5-18
5	2000	K. Wakabayashi, S. Hattori, T. Tange, Y. Fujimoto, M. Yoshida, N. Kozu, K.A. Tanaka, N. Ozaki, Y. Sasatani, H. Takenaka, K.G. Nakamura and K. Kodo	Laser-induced shock compression of tantalum to 1.7 Tpa	Jpn.J.Appl.Phys.	39 (2000) 1815-1816	2000-FP5-18
6	2000	T. Miyakoshi, K.A. Tanaka, R. Kodama, K. Mima, T. Yamanaka, Y. Kitagawa, H. Fujita, N. Miyanaga, T. Norimatsu, T. Kawasaki, N. Izumi, J. Sunahara, Y. Sentoku, K. Takahashi, H. Habara, M. Mori, T. Matsushita, T. Sonomoto, H. Setoguchi, T. Koase, T. Iwatani, Y. Tohyama, M. Tanpo, PWM group, Go group, Mt group and T group	Study of ultra-intense laser propagation with measurement of back-scattered light image and spectrum	SPIE	3886 (2000) 505-512	2000-FP5-18
7	2000	K. Takahashi, R. Kodama, K.A. Tanaka, H. Hashimoto, Y. Kato, K. Mima, F.A. Weber, T.W. Barbee,Jr, and L.B. Da Silva	Laser-Hole Boring into Overdense Plasmas Measured with Soft X-Ray Laser Probing	Phys.Rev.Lett.	84 (2000) 2405-2408	2000-FP5-18
8	2000	K. Mima, K.A. Tanaka and R. Kodama	Experimental research on Fast Ignitor	Inertial Fusion Sciences and Application, edited by C. Labaune,W J. Hogan, K.A. Tanaka	(2000) 381-391	2000-FP5-18
9	2000	K.A. Tanaka, M. Hara, N. Ozaki, Y. Sasatani, S.I. Anisimov, K. Kondo, M. Nakano, K. Nishihara, H. Takenaka, M. Yoshida and K. Mima	Multi-layered flyer accelerated by laser induced shock waves	Phys. of Plasmas	7 (2000) 676-681	2000-FP5-18
10	2000	R. Kodama, K.A. Tanaka, Y. Sentoku, T. Matsushita, K. Takahashi, H. Fujita, Y. Kitagawa, Y. Kato, T. Yamanaka, and K. Mima	Long-Scale Jet Formation with Specularly Reflected Light in Ultraintense Laser-Plasma Interactions	Phys.Rev.Lett.	84 (2000) 674-677	2000-FP5-18
11	2000	K.A. Tanaka, R. Kodama, N. Izumi, K.Takahashi, M. Heya, H. Fujita, Y. Kato, Y. Kitagawa, K. Mima, N. Miyanaga, T. Norimatsu, Y. Sentoku, A. Sunahara, H. Takabe, T. Yamanaka, T. Koase, T.I watani, F. Ohtani, T. Miyakoshi, H. Habara, M. Tanpo, S. Tohyama, F.A. Weber, T.W. Barbee Jr. , and L.B. Dasilva	Self-focusing and its related interactions at very high laser intensities for fast ignition at Osaka University	C.R.Acad.Sci.Paris,t.1,Serie IV	2000 (2000) 737-744	2000-FP5-18

12	2001	Y. Kitagawa, Y. Sentoku, S. Akamatsu, M. Mori, Y. Tohyama, R. Kodama, K. A. Tanaka, H. Fujita, H. Yoshida, S. Matsuo, T. Jitsuno, T. Kawasaki, S. Sakabe, H. Nishimura, Y. Izawa, K. Mima, and T. Yamanaka	Progress of fast ignitor studies and Petawatt laser construction at Osaka University	Physics of Plasmas	9-5 (2001) 2202-2207	2002-FP5-30
13	2001	T. Kadono, M. Yoshida, N. K. Mitani, T. Matsumura, E. Takahashi, I. Matsushima, Y. Owadano, Y. Sasatani, K. Fujita, N. Ozaki, K. Takamatsu, M. Nakano, K. A. Tanaka, H. Takenaka, H. Ito, and K. Kondo	Flyer acceleration experiments using a KrF laser system with a long pulse duration and pressure and thickness of isobaric zone induced in impacted materials	Laser and Particle Beams	19 (2001) 623-630	2002-FP5-30
14	2001	Yoshihiro Murakami, Yoneyoshi Kitagawa, Yasuhiko Sentoku, Michiaki Mori, Ryosuke Kodama, Kazuo A. Tanaka, Kunioki Mima, and Tatsuhiko Yamanaka	Observation of proton rear emission and possible gigagauss scale magnetic fields from ultra-intense laser illuminated plastic target	Physics of Plasmas	8-9 (2001) 4138-4143	2002-FP5-30
15	2001	R. Kodama, P.A. Norreys, K. Mima, A. Evans, R.G. Evans, H. Fujita, Y. Kitagawa, K. Krushelnick, T. Miyakoshi, N. Miyanaga, T. Norimatsu, S.J. Rose, T. Shozaki, K. Shigemori, A. Sunahara, M. Tanpo, K.A. Tanaka, Y. Tohyama, T. Yamanaka and M. Zepf	Fast heating of ultrahigh-density plasma as a step towards laser fusion ignition	Nature	412 (2001) 798-802	2002-FP5-30
16	2001	Il Woo Choi, H. Daido, N. Sakaya, Y. Tohyama, N. Izumi, R. Kodama, Y. Kitagawa, K.A. Tanaka and K. Mima	Prepulse Effect for Recombining Plasma Produced by Ultrashort High-Intensity Lasers	Jpn.J.Appl.Phys.	40 (2001) 1443-1447	2002-FP5-30
17	2001	N. Ozaki, Y. Sasatani, K. Kishida, M. Nakano, M. Miyanaga, K. Nagai, K. Nishihara, T. Norimatsu, K.A. Tanaka, Y. Fujimoto, K. Wakabayashi, S. Hattori, T. Tange, K. Kondo, M. Yoshida, N. Kozu, M. Ishiguchi, H. Takenaka	Planar shock wave generated by uniform irradiation from two overlapped partially coherent laser beams	J. Appl. Phys.	89 (2001) 2571-2575	2002-FP5-30
18	2001	R. Kodama, K. Mima, K. A. Tanaka, Y. Kitagawa, H. Fujita, K. Takahashi, A. Sunahara, K. Fujita, H. Habara, T. Jitsuno, Y. Sentoku, T. Matsushita, T. Miyakoshi, N. Miyanaga, T. Norimatsu, H. Setoguchi, T. Sonomoto, M. Tanpo, Y. Toyama, and T. Yamanaka	Fast Ignitor research at the Institute of Laser Engineering, Osaka University	Physics of Plasmas	8-5 (2001) 2268-2274	2002-FP5-30
19	2001	J. Sasaki, T. Nakamura, Y. Uchida, T. Someya, K. Shimizu, M. Shitamura, T. Teramoto, A. B. Blagoev and S. Kawata	Beam Non-Uniformity Smoothing Using Density Valley Formed by Heavy Ion Beam Deposition in Inertial Confinement Fusion Fuel Pellet	Jpn. J. Appl. Phys.	40 (2001) 968-971	2000-FP5-1
20	2001	M. Ogawa, Y. Oguri, U. Neuner, K. Nishigori, A. Sakumi, K. Shibata, J. Kobayashi, M. Kojima, M. Yoshida and J. Hasegawa	Laser Heated dE/dX Experiments in Japan	Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. A	464 (2001) 72-79	2000-FP5-1
21	2001	K. Shibata, A. Sakumi, R. Sato, K. Tsubuku, T. Nishimoto, J. Hasegawa, M. Ogawa and Y. Oguri	Experimental Investigation of the Coulomb Logarithm in Beam-Plasma Interaction	Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. A	464 (2001) 225-230	2000-FP5-1

22	2001	A. Sakumi, K. Shibata, R. Sato, K. Tsubuku, T. Nishimoto, J. Hasegawa, M. Ogawa, Y. Oguri and T. Katayama	Energy Dependence of the Stopping Power of MeV 16O Ions in a Laser-Produced Plasma	Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. A	464 (2001) 231-236	2000-FP5-1
23	2001	M. Kojima, K. Nishigori, M. Yoshida, A. Sakumi, J. Hasegawa, U. Funk, U. Neuner, Y. Oguri and M. Ogawa	Laser Plasma Induced from Solid Hydrogen for Beam-Plasma Interaction	Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. A	464 (2001) 262-266	2000-FP5-1
24	2001	J. Hasegawa, Y. Nakajima, K. Sakai, M. Yoshida, S. Fukuda, K. Nishigori, M. Kojima, Y. Oguri, M. Nakajima, K. Horioka, M. Ogawa, U. Neuner and T. Murakami	Energy Loss of 6MeV/u Iron Ions in Partially Ionized Helium Plasma	Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. A	464 (2001) 440-444	2000-FP5-1
25	2001	M. Yoshida, J. Hasegawa, Y. Oguri, M. Ogawa, M. Nakajima, K. Horioka and M. Shiho	A simple Time-Resolved Emittance Measurement of a Laser Ion Source with a Digital Camera	Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. A	464 (2001) 582-586	2000-FP5-1
26	2001	M. Ogawa, Y. Oguri, J. Hasegawa, T. Aoki, U. Neuner, A. Sakumi, K. Nishigori, K. Shibata, M. Kojima, M. Yoshida, Y. Nakajima, M. Nakajima and K. Horioka	Stopping Power of Heavy Ions in Hot Dense Plasmas	Acta Physica Polonica B	32 (2001) 945-956	2000-FP5-1
27	2002	R.Kodama,K.A.Tanaka,S.Fujioka,H.Fujita,H.Habara,Y.Izawa,T.Jitsuno,Y.Kitagawa,K.Krushelnick,K.Mima,N.Miyanaga,K.Nagai,P.Norreys,T.Norimatsu,K.Shigemori,H.Shiraga,Y.Toyama,M.Zepf and T.Yamanaka	Fast heating of super-solid density plasmas towards laser fusion ignition	Plasma Physics And Controlled Fusion	44 (2002) B109-B119	2002-FP5-30
28	2002	H. Shiraga, K. Shigemori, Y. Toyama, S. Fujioka, H. Azechi, H. Fujita, H.Habara, T. Hall, Y. Izawa, T. Jitsuno, Y. Kitagawa, K. M. Krushelnics, K. L. Lancaster, K. Mima, K. Nagai, M. Nakai, H. Nishimura, T.Norimatsu, P. A. Norreys, S.Sakabe, K. A. Tanaka, A. Youssef, M. Zepf, T. Yamanaka	Fast heating scalable to laser fusion ignition	Nature	418 (2002) 933-934	2002-FP5-30
29	2002	Keiji Nagai, Takayoshi Norimatsu, Tatsuhiko Yamanaka, Tsutomu Nishibe, Norimasa Ozaki, Kikuo Takamatsu, Takatoshi Ono, Motohiro Nakano, and Kazuo A. Tanaka	Single Molecular Membrane Glue Technique for Laser Driven Shock Experiments	Jpn. J. Appl. Phys.	41 (2002) L1184-L1186	2002-FP5-30
30	2002	T. Miyakoshi, M. S. Jovanovic, Y. Kitagawa, R. Kodama, K. Mima, A. A. Offenberger, K. A. Tanaka, and T. Yamanaka	Stimulated Raman back-scattering from a mm-scale inhomogeneous plasma irradiated with ultra-intense laser pulse	Physics of Plasmas	9-8 (2002) 3552-3557	2002-FP5-30
31	2002	Jian Zheng, K. A. Tanaka, T. Miyakoshi, Y. Kitagawa, R. Kodama, T.Kurahashi, and T. Yamanaka	Spectrum of transition radiation from hot electrons generated in ultra-intense laser plasma interaction	Physics of Plasmas	9-8 (2002) 3610-3616	2002-FP5-30
32	2002	Jian Zheng, K. A. Tanaka, Y. Sentoku, A. A. Offenberger, Y. Kitagawa, R. Kodama, T. Kurahashi, K. Mima, and T. Yamanaka	Harmonic emission with cyclotron satellite structure due to strong magnetic fields produced by ultra-intense laser-plasma interaction	Physics of Plasmas	9-8 (2002) 3193-3196	2002-FP5-30

33	2002	N. Izumi, Y. Sentoku, H. Habara, K. Takahashi, F. Ohtani, T. Sonomoto, R. Kodama, T. Norimatsu, H. Fujita, Y. Kitagawa, K. Mima, K. A. Tanaka, and T. Yamanaka	Observation of neutron spectrum produced by fast deuterons via ultraintense laser plasma interactions	Physical Review E	65 (2002) 036413-1-036413-10	2002-FP5-30
34	2002	S. Morita, M. Goto, S. Kubo et al.	Behaviour of ion temperature in electron and ion heating regimes observed with ECH, NBI and ICRF discharges of LHD	Nuclear Fusion	42 (2002) 1179-1183	2002-FP5-10
35	2002	S. Morita, Y. Shirai, M. Goto et al.	Observation of ablation and acceleration of impurity pellets in the presence of energetic ions in the CHS heliotron/torsatron	Nuclear Fusion	42 (2002) 876-880	2002-FP5-10
36	2002	T. Norimatsu, K. Nagai, T. Yamanaka, T. Endo, H. Yoshida, Y. Sakagami	Activities on target fabrication and injection toward laser fusion energy in Japan	Fusion Eng. Desig.	63 (2002) 587-596	2001-FP5-37
37	2002	I. Golovkin, R. Mancini, S. Louis, Y. Ochi, K. Fujita, et al.	Spectroscopic Determination of Dynamic Plasma Gradients in Implosion Cores	Physical Review Letters	88 (2002) 0450021-0450024	2000-ML-1
38	2002	Y. Ochi, I. Golovkin, R. C. Mancini, M. Fukao, A. Sunahara, et al.	Diagnostics of Electron Temperature and Density Gradients in Laser Imploded Core Plasmas	Inertial Fusion Science and Application 2001	136-139	2000-ML-1
39	2002	K. Shibata, K. Tsubuku, T. Nishimoto, J. Hasegawa, M. Ogawa, Y. Oguri and A. Sakumi	Experimental Study on the Feasibility of Hot Plasmas as Stripping Media for MeV Heavy Ions	J. Appl. Phys.	91 (2002) 4833-4839	2001-FP5-19
40	2002	M. Kojima, M. Mitomo, T. Sasaki, J. Hasegawa and M. Ogawa	Charge-State Distribution and Energy Loss of 3.2-MeV Oxygen Ions in Laser Plasma Produced from Solid Hydrogen	Laser Part. Beams	20 (2002) 475-478	2001-FP5-19
41	2002	T. Kikuchi, M. Nakajima and K. Horioka	Bunching Dynamics and Transport Window of Intense Ion Beams in Final Beam Buncher	Laser Part. Beams	20 (2002) 589-593	2001-FP5-19
42	2002	K. Horioka, M. Nakajima, M. Watanabe, E. Hotta, M. Shiho, M. Ogawa and J. Hasegawa	Repetitive Induction Voltage Modulator for Heavy Ion Fusion	Laser Part. Beams	20 (2002) 609-612	2001-FP5-19
43	2002	K. Takayama, J. Kishiro, Makoto Sakuda, Y. Shimosaki and M. Wake	Superbunch Hadron Colliders	Phys. Rev. Lett.	88 (2002) 144801-1-4	2001-FP5-19
44	2002	T. Kikuchi, M. Nakajima and K. Horioka	A Concept of Quasi-Equilibrium, Recirculating Bunch Compressor for Heavy Ion Fusion	J. Plasma Fusion Res. Series	20 (2002) 589-593	2001-FP5-19
45	2002	T. Kikuchi, M. Nakajima and K. Horioka	A Quasi-Equilibrium Beam Compression in a Recirculator for Heavy Ion Inertial Fusion	Phys. Plasmas	9 (2002) 3476-3482	2001-FP5-19
46	2002	M. Masnavi, M. Nakajima and K. Horioka	Effect of Opacity on Neon-like Argon, and Krypton Line Intensity Ratios in Static, and Cylindrically Imploding High-Density Plasmas	Jpn. J. Appl. Phys.	41 (2002) 5392-5398	2001-FP5-19
47	2002	M. Watanabe, M. Nakajima, M. Shiho, K. Takayama, J. Kishiro and K. Horioka	Magnetic Core Characteristics for High Repetition Induction Modulator	Rev. Sci. Instrum.	73 (2002) 1756-1760	2001-FP5-19
48	2002	T.Zh. Esirkepov, S.V. Bulanov, K. Nishihara, T. Tajima, F. Pegorano, V.S. Khoroshkov, K. Mima, H. Daido, Y. Kato, Y. Kitagawa, K. Nagai, and S. Sakabe	Proposed Double-Layer Target for the Generation of High-Quality Laser-Accelerated Ion Beams	Phys. Rev. Lett.	89 (2002) 175003-1-4	2002-FP5-11
49	2003	Jian Zheng, K. A. Tanaka, T. Miyakoshi, Y. Kitagawa, R. Kodama, T. Kurahashi, and T. Yamanaka	Theoretical study of transition radiation from hot electrons generated in the laser-solid interaction	Physics of Plasmas	10- (2003) 2994	2003-FP5-32
50	2003	H. Habara, R. Kodama, Y. Sentoku, N. Izumi, Y. Kitagawa, K. A. Tanaka, K. Mima, and T. Yamanaka	Momentum distribution of accelerated ions in ultra-intense laser-plasma interactions via neutron spectroscopy	Physics of Plasmas	10- (2003) 3712	2003-FP5-32

51	2003	N. Ozaki, K. A. Tanaka, Y. Sasatani, K. Fujita, K. Takamatsu, and M. Nakan, M. Yoshida, K. Okada, E. Takahashi, and Y. Owadano, H. Takenaka, and K. Kondo	Hugoniot measurements for polyimide with laser and explosives	Physics of Plasmas	10-6 (2003) 2475	2003-FP5-32
52	2003	R.B.Stephens, S.P.Hatchett, R. E. Turner, K.A. Tanaka, R. Kodama	Implosion of Indirectly Driven Reentrant-Cone Shell Target	Physical Review Letters	91-18 (2003) 185001-1-185001-4	2003-FP5-32
53	2003	K. Takamatsu, N. Ozaki, K. A. Tanaka, T. Ono, K. Nagai, M. Nakai, T. Watari, A. Sunahara, M. Nakano, T. Kataoka, H. Takenaka, M. Yoshida, K. Kondo, and T. Yamanaka	Equation-of-state measurements of polyimide at pressures up to 5.8 TPa using low-density foam with laser-driven shock waves	Physical Review E	67 (2003) 056406-1-5	2003-FP5-32
54	2003	K. A. Tanaka, R. Kodama, K. Mima, Y. Kitagawa, H. Fujita, N. Miyanaga, K. Nagai, T. Norimatsu, T. Sato, Y. Sentoku, K. Shigemori, A. Sunahara, T. Shozaki, M. Tanpo, S. Tohyama, T. Yabuuchi, J. Zheng, and T. Yamanaka	Basic and Integrated studies for fast ignition	Physics of Plasmas	10-5, Part2, (2003) 1925-1930	2003-FP5-32
55	2003	K. Okada, K. Wakabayashi, H. Takenaka, H. Nagao, K. Kondo, T. Ono, K. Takamatsu, N. Ozaki, K. Nagai, M. Nakai, K. A. Tanaka, and M. Yoshida	Experimental Technique for Launching miniature flying plates using laser pulses	Int. Jour. Impact Eng.	29 (2003) 497	2003-FP5-32
56	2003	H.Nishimura, T.Kawamura, R.Matsui et al.	Ka spectroscopy to study energy transport in ultrahigh-intensity laser produced plasmas	Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer	81 (2003) 327-337	2003-FP5-9
57	2003	H. Yoneda, H. Morikami, K. Ueda et al.	Ultrashort-Pulse Laser Ellipsometric Pump-Probe Experiments on Gold Targets	Physical Review Letters	91 (2003) 075004-1 - 075004-4	2003-FP5-9
58	2003	T. Norimatsu, K. Nagai, T. Takeda, K. Mima, and T. Yamanaka	Update for the drag force on an injected pellet and target fabrication for inertial fusion	Fusion Sci. Technol.	43 (2003) 339-345	2001-FP5-37
59	2003	Y. Ochi, I. Golovkin, R.C. Mancini, I. Uschmann, A. Sunahara, et al.	Temporal evolution of temperature and density profiles of a laser compressed core	Review of Scientific Instruments	74 (2003) 237-246	2000-ML-1
60	2003	T. Nakamura and S. Kawata	Origin of Protons Accelerated by an Intense Laser and the Dependence of Their Energy on the Plasma Density	Phys. Rev. E	67 (2003) 026403-1-10	2001-FP5-19
61	2003	T. Someya, S. Kawata, T. Nakamura, A.I. Ogoyski, K. Shimizu and J. Sasaki	Beam Final Transport and Direct-Drive Pellet Implosion in Heavy-Ion Fusion	Fusion Sci. Technol.	43 (2003) 282-289	2001-FP5-19
62	2003	A.I. Ogoyski, T. Someya, S. Kawata and T. Sasaki	Heavy Ion Beam Irradiation Non-Uniformity in Inertial Fusion	Phys. Lett. A	315/5 (2003) 372-377	2001-FP5-19
63	2003	T. Someya, Aleksandar Ogoyski, S. Kawata and T. Sasaki	Heavy Ion Beam Illumination Uniformity in Heavy Ion Beam Inertial Confinement Fusion	IEEJ Trans. FM	124 (2003) 85-90	2001-FP5-19
64	2003	Q. Kong, S. Miyazaki, S. Kawata, K. Miyauchi, K. Nakajima, S. Masuda, N. Miyanaga and Y.K. Ho	Electron Bunch Acceleration and Trapping by the Ponderomotive Force of an Intense Short-Pulse Laser	Phys. Plasmas	10 (2003) 4605-4608	2001-FP5-19
65	2003	S. Miyazaki, Q. Kong, S. Kawata and J. Limpouch	Micro Electron Bunch Generation by Intense Short Pulse Laser	J. Phys. D: Appl. Phys.	36 (2003) 2878-2882	2001-FP5-19
66	2003	J. Hasegawa, N. Yokota, Y. Kobayashi, M. Yoshida, M. Kojima, T. Sasaki, H. Fukuda, M. Ogawa and Y. Oguri	Stopping Power of Dense Helium Plasma for Fast Heavy Ions	Laser Part. Beams	21 (2003) 7-11	2001-FP5-19
67	2003	S. Kawata, T. Someya, T. Nakamura, S. Miyazaki, K. Shimizu and A. Ogoyski	Heavy Ion Beam Final Transport Through an Insulator Guide in HIF	Laser Part. Beams	21 (2003) 27-32	2001-FP5-19

68	2003	J.-L. Vay, S. Kawata, T. Nakamura, J. Sasaki, T. Someya and C. Deutsch	Conducting versus Insulating Walls in a Heavy Ion Reaction Chamber	Laser Part. Beams	21 (2003) 41-46	2001-FP5-19
69	2003	M. Ogawa, M. Yoshida, M. Nakajima, J. Hasegawa, S. Fukata, K. Horioka and Y. Oguri	High-Current Laser Ion Source Based on a Low-Power Laser	Laser Part. Beams	21 (2003) 633-638	2001-FP5-19
70	2003	M. Yoshida, J. Hasegawa, J. W. Kwan, Y. Oguri, M. Nakajima, K. Horioka and M. Ogawa	Grid-Controlled Extraction of Low-Charged Ions from a Laser Ion Source	Jpn. J. Appl. Phys.	42 (2003) 5367-5371	2001-FP5-19
71	2003	T. Fujii, Y. Oishi, T. Nayuki, Y. Takizawa, K. Nemoto, T. Kayojiji, K. Horioka, Y. Okano, Y. Hironaka, K.G. Nakamura and K. Kondo	MeV-Order Proton and Carbon Ion Acceleration by Irradiation of 60-fs TW Laser Pulses on Thin Copper Tape	Appl. Phys. Lett.	83 (2003) 1524-1526	2001-FP5-19
72	2003	T. Kikuchi, M. Nakajima and K. Horioka	Beam Dynamics Simulation in Final Beam Bunching of Heavy Ion Inertial Fusion	J. Plasma Fusion Res. Seires	79 (2003) 105-106	2001-FP5-19
73	2004	R. Kodama, Y.Sentoku, Z. L.Chen, G. R. Kumar, S. P. Hatchett, Y. Toyama, T. E. Cowan, R. R. Freeman, J. Fuchs, Y. Izawa, M. H. Key, Y. Kitagawa, K. Kondo, T. Matsuoka, H. Nakamura, M. Nakatsutsumi, P. A. Norreys, T. Norimatsu, R. A. Snavely, R. B. Stephens, M. Tambo, K. A. Tanaka, & T. Yabuuchi	Plasma devices to guide and collimate a high density of Mev electrons	Nature	432 (2004) 1005-1008	2004-FP5-11
74	2004	Kazuo A. Tanaka, Toshinori Yabuuchi, Takashi Sato, Ryosuke Kodama, Yoneyoshi Kitagawa, Teruyoshi Takahashi, Toshiji Ikeda, Yoshihide Honda and Shuuichi Okuda	Calibration of imaging plate for high energy electron spectrometer	Review of Scientific Instruments	76 (2004) 013507.1-5	2004-FP5-11
75	2004	R. Kodama, H. Azechi, H. Fujita, H. Habara, Y. Izawa, T. Jitsuno, T. Jozaki, Y. Kitagawa, K. Krushelnick, T. Matsuoka, K. Mima, N. Miyanaga, K. Nagai, H. Nagatomo, M. Nakai, H. Nishimura, T. Norimatsu, P. Norreys, K. Shigemori, H. Shiraga, A. Sunahara, K.A. Tanaka, M. Tanpo, Y. Toyama, K. Tsubakimoto, T. Yamanaka and M. Zepf	Fast Plasma Heating in a Cone-Attached Geometry-Towards Fusion Ignition	Nuclear Fusion	44 (2004) S276-S283	2004-FP5-11
76	2004	Kazuo A Tanaka, R Kodama, Y Kitagawa, K Kondo, K Mima, H Azechi, Z Chen, S Fujioka, H Fujita, T Johzaki, A Lei, T Matsuoka, K Mima, N Miyanaga, K Nagai, H Nagatomo, H Nishimura, T Norimatsu, K Shigemori, H Shiraga, M Tanpo, Y Tohyama, T Yabuuchi, J Zheng, Y Izawa, P A Norreys, R Stephens and S Hatchett	Progress and perspectives of fast ignition	Plasma Phys. Control. Fusion	46 No12B (2004) B41-49	2004-FP5-11
77	2004	K. Adumi, K. A. Tanaka, T. Matsuoka, T. Kurahashi, T. Yabuuchi, Y. Kitagawa, R. Kodama, K. Sawai, K. Suzuki, K. Okabe, T. Sera, T. Norimatsu and Y. Izawa	Characterization of preplasma produced by an ultrahigh intensity laser system	Physics of Plasmas	11-8 (2004) 3721-3725	2004-FP5-11

78	2004	Yoneyoshi Kitagawa, Yasuhiko Sentoku, Shin Akamatsu, Wataru Sakamoto, Ryosuke Kodama, Kazuo A. Tanaka, Ken Azumi, Takayoshi Norimatsu, Takeshi Matsuoka, Hisanori Fujita, and Hidetsugu Yoshida	Electron Acceleration in an Ultraintense-Laser-Illuminated Capillary	Physical review Letters	92-20 (2004) 205002-1-4	2004-FP5-11
79	2004	M. Koenig, T. Vinci, A. Benuzzi-Mounaix, S. Lepape, N. Ozaki, S. Bouquet, L. Boireau, S. Leygnac, C. Michaut, C. Stehle, J. P. Chieze, D. Batani, T. Hall, K. Tanaka, M. Yoshida	Radiative shock experiments at LULI	Astrophysics and Space Science	298 (2004) 69-74(6)	2004-FP5-11
80	2004	K. Okada, K. Wakabayashi, H. Takenaka, H. Nagao, K. Kondo, T. Ono, K. Takamatsu, N. Ozaki, K. Nagai, M. Nakai, K. A. Tanaka, and M. Yoshida, Int. Jour. Impact Characterization of preplasma produced by an ultrahigh intensity laser system, K. Adumi, K. A. Tanaka, T. Matsuoka, T. Kurahashi, T. Yabuuchi, Y. Kitagawa, R. Kodama, K. Sawai, K. Suzuki, K. Okabe, T. Sera, T. Norimatsu, and Y. Izawa	Experimental Technique for Launching miniature flying plates using laser pulses	Physics of Plasmas	11-8 (2004) 3721-3725	2004-FP5-11
81	2004	ONO Takatoshi, TANAKA Kazuo A. and OZAKI Norimasa	Equation-of-State Measurements by Laser-Induced Shock Compression Equation-of-State Measurements for Inertial-Fusion Pellet Materials	J. Plasma Fusion Res.	80-6 (2004) 442-446	2004-FP5-11
82	2004	OZAKI Norimasa, TANAKA Kazuo A., ONO Takatoshi, TAKAMATSU Kikuo, NAGAI Keiji, SHIGEMORI Keisuke, NAKAI Mitsuo, MIYANAGA Noriaki, AZECHI Hiroshi and YAMANAKA Tatsuhiro	Characterization of GEKKO/HIPER-Driven Shock Waves for Equation-of-State Experiments in Ultra-High-Pressure Regime	Journal of Plasma and Fusion Research	80-6 (2004) 486-491	2004-FP5-11
83	2004	ONO Takatoshi, TANAKA Kazuo A., OZAKI Norimasa, SHIOTA Takeshi, NAGAI Keiji, SHIGEMORI Keisuke, NAKANO Motohiro and KATAOKA Toshihiro	Simultaneous Measurement of Temperature, Pressure and Shock-Wave Velocity of Compressed Polystyrene	J. Plasma Fusion Res.	80-6 (2004) 476-481	2004-FP5-11
84	2004	OZAKI Norimasa and TANAKA Kazuo A	Laser-Driven Equation-of-State Measurements	J. Plasma Fusion Res.	80-6 (2004) 432-437	2004-FP5-11
85	2004	P. A. Norreys, K. L. Lancaster, C. D. Murphy, H. Habara, S. Karsch, R. J. Clarke, J. Collier, R. Heathcote, C. Hernandez-Gomez, S. Hawkes, D. Neely, M. H. R. Hutchinson, R. G. Evans, M. Borghesi, L. Romagnani, M. Zepf, K. Akli, J. A. King, B. Zhang, R. R. Freeman, A. J. MacKinnon, S. P. Hatchett, P. Patel, R. Snavely, M. H. Key, A. Nikroo, R. Stephens, C. Stoeckl, K. A. Tanaka, T. Norimatsu, Y. Toyama, and R. Kodama	Integrated implosion/heating studies for advanced fast ignition	Physics of Plasmas	11-5 (2004) 2746-2753	2004-FP5-11

86	2004	Jian Zheng, K. A. Tanaka, T. Sato, T. Yabuuchi, T. Kurahashi, Y. Kitagawa, R. Kodama, T. Norimatsu, and T. Yamanaka	Study of Hot Electrons by Measurement of Optical Emission from the Rear Surface of a Metallic Foil Irradiated with Ultraintense Laser Pulse	Physical review Letters	92-16 (2004) 165001-1-4	2004-FP5-11
87	2004	Z.L.Chen,R.Kodama,T.Matsuo ka,M.Tampo,K.A.Tanaka,T.Tsutsumi,and T.Yabuuchi	High-energy electrons produced in subpicosecond laser-plasma interactions from subrelativistic laser intensities to relativistic intensities	Physical Review E	69, 3 (2004) 036405	2004-FP5-11
88	2004	H. Habara, R. Kodama, Y. Sentoku, N. Izumi, Y. Kitagawa, K. A. Tanaka, K. Mima, and T. Yamanaka	Fast ion acceleration in ultraintense laser interactions with an overdense plasma	PHYSICAL REVIEW E	69 (2004) 036407-1-10	2004-FP5-11
89	2004	K. Sueda, G. Miyaji, N. Miyanaga et al.	Laguerre-Gaussian beam generated with a multilevel spiral phase plate for high intensity laser pulses	Optics Express	12 (2004) 3548-3543	2004-FP5-9
90	2004	S. Sakabe, S. Shimizu, M. Hashida et al.	Generation of high-energy protons from the Coulomb explosion of hydrogen clusters by intense femtosecond laser pulses	Physical Review A	69 (2004) 023203-1 - 023203-5	2004-FP5-9
91	2004	J. A. Koch, S. W. Haana, R. C. Mancini	Multispectral imaging of continuum emission for determination of temperature and density profiles inside implosion plasmas	Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer	88 (2004) 433-445	2004-FP5-9
92	2004	T. E. Cowan, J. Fuchs, H. Ruh et al.	Ultralow Emittance, Multi-MeV Proton Beams from a Laser Virtual-Cathode Plasma Accelerator	Physical Reveiw Letters	92 (2004) 204801-1 - 204801-4	2004-FP5-9
93	2004	Y. Sentoku, K. Mima, H. Ruhl, Y. Toyama, R. Kodama, and T.E. Cowan	Laser light and hot electron micro focusing using a conical target	Physics of Plasmas	11 (2004) 3083-3087	2002-FP5-25
94	2004	Toshi hi ro Taguchi and Thomas M. Ant onsen, Jr.	Resonant Heat ing of a Cluster Plasma by Intense Laser Light	Phy.Rev. Lett.	92 (2004) 5003-5008	2004-FP5-30
95	2004	H. Shiraga, S. Fujioka, P. A. Jaanimagi, C. Stoeckl, R. B. Stephens, H. Nagatomo, K. A. Tanaka, R. Kodama, and H. Azechi	Multi-imaging x-ray streak camera for ultrahigh-speed two-dimensional x-ray imaging of imploded core plasmas	Review of Scientific Instruments	75-10 (2004) 3921-3925	2002-FP5-33 2003-FP5-28 2003-FP5-29 2004-FP5-11
96	2004	Yoshio Wada,Yasuo Shigemoto,Atsushi Ogata	Ion Production Enhancement by Rear-Focusing and Prepulse in Ultrashort-Pulse Laser Interaction with Foil Targets	Jpn. J. Appl. Phys.	43 (2004) L996-999	2004-FP5-28
97	2004	A.I. Ogoyski, T. Someya and S. Kawata	Code OK1 – Simulation of Multi-Beam Irradiation in Heavy Ion Fusion	Comput. Phys. Commun.	157 (2004) 160-172	2004-FP5-17
98	2004	S. Miyazaki, Q. Kong, K. Miyauchi, S. Kawata and J. Limpouch	Micro Electron Bunch Acceleration and Trapping by Intense Short Laser Pulse in Vacuum	IEEJ Trans. FM	124 (2004) 461-466	2004-FP5-17
99	2004	Q. Kong, S. Miyazaki, S. Kawata, K. Miyauchi, K. Sakai, Y.K. Ho, K. Nakajima, N. Miyanaga, J. Limpouch and A.A. Andreev	Electron Bunch Trapping and Compression by an Intense Focused Pulse Laser	Phys. Rev. E	69 (2004) 056502-1-11	2004-FP5-17
100	2004	A.I. Ogoyski, S. Kawata and T. Someya:	Code OK2 –A Simulation Code of Ion Illumination on an Arbitrary Shape and Structure Target -	Comput. Phys. Commun.	161 (2004) 143-150	2004-FP5-17
101	2004	K. Miyauchi, S. Miyazaki, K. Sakai, S. Kawata, Q. Kong, A.A. Andreev and T. Kikuchi	Laser Electron Acceleration by a Plasma Separator	Phys. Plasmas	11 (2004) 4878-4881	2004-FP5-17
102	2004	A.I. Ogoyski, T. Someya and S. Kawata	32-Beam Irradiation on a Spherical HIF Pellet	J. Phys. D: Appl. Phys.	37 (2004) 2392-2394	2004-FP5-17
103	2004	Y. Shimosaki, E. Nakamura, K. Takayama, K. Torikai, M. Watanabe, M. Nakajima and K. Horioka	Beam-Dynamic Effects of a Droop in an Induction Accelerating Voltage	Phys. Rev. ST-AB	7 (2004) 014201-1-8	2004-FP5-17

104	2004	T. Kikuchi, M. Nakajima, K. Horioka and T. Katayama	Beam Instability Induced by Space Charge Oscillation during Final Beam Bunching for Heavy Ion Inertial Fusion	Phys. Rev. ST-AB	7 (2004) 034201-1-9	2004-FP5-17
105	2004	T. Someya, A.I. Ogoyski, S. Kawata and T. Sasaki	Heavy-Ion Beam Illumination on a Direct-Driven Pellet in Heavy-Ion Inertial Fusion	Phys. Rev. ST-AB	7 (2004) 044701-1-13	2004-FP5-17
106	2004	Yoneyoshi Kitagawa, Yasuhiko Sentoku, Shin Akamatsu, Wataru Sakamoto, Ryosuke Kodama, Kazuo A. Tanaka, Ken Azumi, Takayoshi Norimatsu, Takeshi Matsuoka, Hisanori Fujita, Hidetsugu Yoshida	Electron Acceleration in an Ultra-intense Laser Illuminated Capillary	Phys. Rev. Lett.	92-20 (2004) 205002-1-4	2004-FP5-11
107	2005	N. Ozaki, T. Ono, K. Takamatsu, K. A. Tanaka, M. Nakano, T. Kataoka, M. Yoshida, K. Wakabayashi, M. Nakai, K. Nagai, K. Shigemori, K. Kondo	Equation-of-state measurements for polystyrene at multi-TPa pressures in laser direct-drive experiments	Physics of Plasmas	12 (2005) 124503	2005-FP5-23
108	2005	A. Youssef, R. Kodama, H. Habara, K. A. Tanaka, Y. Sentoku, M. Tambo, and Y. Toyama	Broad-range neutron spectra identification in ultraintense laser interactions with carbon-deuterated plasma	Physics of Plasmas	12 (2005) 110703	2005-FP5-23
109	2005	J Zhang, Y T Li, Z M Sheng, Y Y Ma, Z Jin, Z L Chen, R Kodama, T Matsuoka, M Tambo, K A Tanaka, T Tsutsumi and T Yabuuchi	Bulk acceleration of ions intense laser interaction with foams	Plasma Physics and Controlled Fusion	47 (2005) B879-889	2005-FP5-23
110	2005	H Nishimura, Y Inubushi, M Ochiai, T Kai, T Kawamura, S Fujioka, M Hashida, S Simizu, S Sakabe, R Kodama, K A Tanaka, S kato, F Koike, S Nakazaki, H Nagatomo, T Johzaki and K Mima	Study of fast electron transport in hot dense matter using x-ray spectroscopy	Plasma Physics and Controlled Fusion	47 (2005) B823-83	2005-FP5-9 2005-FP5-23
111	2005	Keiji Nagai, H. Azechi, F. Ito, A. Iwamoto, Y. Izawa, T. Johzaki, R. Kodama, K. Mima, T. Mito, M. Nakai, N. Nemoto, T. Norimatsu, Y. Ono, K. Shigemori, H. Shiraga and K. A. Tanaka	Foam materials for cryogenic targets of fast ignition realization experiment (FIREX)	Nuclear Fusion	45 (2005) 1277-1283	2005-FP5-23 2005-FP5-27
112	2005	Y. Kitagawa, Y. Sentoku, K. Tanaka, R. Kodama, H. Nishimura, M. Nakai, T. Norimatsu, A. Sunahara	Fast Heating of Spherically Imploded Plasmas with PW laser light	Journal of Plasma and Fusion Research	81 (2005) 5, 384-390	2005-FP5-23
113	2005	Jian Zheng, and C.X.Yu, Z. J. Zheng, K. A. Tanaka	Cherenkov radiation generated by a beam of electrons revisited	Physics of Plasmas	12 (2005) 093105	2005-FP5-23
114	2005	R. B. Campbell, R. Kodama, T. A. Mehlhorn, K. A. Tanaka and D. R. Welch	Simulation of Heating-Compressed Fast-Ignition Cores by Petawatt Laser-Generated Electrons	Phys. Rev. Lett.	94 (2005) 055001.1-4	2005-FP5-23
115	2005	Y. Kitagawa, Y. Sentoku, S. Akamatsu, W. Sakamoto, K. Tanaka, R. Kodama, H. Nishimura, Y. Inubushi, M. Nakai, T. Watari, T. Norimatsu, A. Sunahara	Petawatt-laser Direct Heating of Uniformly Imploded Deuterated-polystyrene Shell Target	Phys. Rev. E	71 (2005) 016403-1-016403-5	2005-FP5-23
116	2005	S. Sakabe, K. Takahashi, M. Hashida et al.	Elements and their transitions feasible for NEET	Atomic Data and Nuclear Data Tables	91 (2005) 1-7	2005-FP5-9
117	2005	J. Fuchs, Y. Sentoku, S. Karsch et al.	Comparison of Laser Ion Acceleration from the Front and Rear Surfaces of Thin Foils	Physical Review Letters	95 (2005) 045004-1 -045004-4	2005-FP5-9
118	2005	B. M. Hegelich, B. Albright, P. Audebert et al.	Spectral properties of laser-accelerated mid-Z MeV/u ion beams	Physics of Plasmas	12 (2005) 056314-1 - 056314-5	2005-FP5-9

119	2005	A. J. Kemp and H. Ruhl	Multispecies ion acceleration off laser-irradiated water droplets	Physics of Plasmas	12 (2005) 033105-1 - 033105-10	2005-FP5-9
120	2005	B. Yaakobi, C. Stoeckl, W. Seka et al.	Measurement of preheat due to fast electrons in laser implosions of cryogenic deuterium targets	Physics of Plasmas	12 (2005) 062703-1 - 062703-6	2005-FP5-9
121	2005	J. A. King, K. Aki, B. Zhang et al.	Ti Ka radiography of Cu-doped plastic microshell implosions via spherically bent crystal imaging	Applied Physics Letters	86 (2005) 191501-1 - 191501-3	2005-FP5-9
122	2005	S. Tokita, J. Kawanaka, M. Fujita, T. Kawashima, and Y. Izawa	Efficient High-average-power operation of Q-switched cryogenic Yb:YAG laser oscillator	Jpn. J. Appl. Phys	44 (2005) L1529-L1531	2005-FP5-27
123	2005	K. Kasuya, T. Norimatsu, S. Nakai, A. Prokopiuk and W. Mroz	Peripheral Elements and Technology Associated with Pulsed Power Inertial Fusion; IFE Chamber Wall Ablations with High-flux Pulsed Beams Including Ions and UV Laser Lights	IAEA-TECDOC-1460, IAEA	(2005) 39-46	2005-FP5-27
124	2005	K. Kasuya, W. Mroz, A. Prokopiuk and T. Norimatsu	Recent Results of Excimer Laser Ablations and Visible Laser Diagnostics Applied to Nuclear Fusion and Material Sciences	Proceedings of SPIE International Congress on Optics and Optoelectronics, Conference on Laser and Application	SPIE-5958 [1T] (2005) 1-15	2005-FP5-27
125	2005	V. K. Tripathi, ^a T. Taguchi, ^b and C. S. Liu	Plasma channel charging by an intense short pulse laser and ion Coulomb explosion	Physics of Plasmas	12 (2005) 043106, 1-7	2004-FP5-30
126	2005	Tabak, M; Clark, DS; Hatchett, SP; Key, MH; Lasinski, BF; Snavely, RA; Wilks, SC; Town, RP; Stephens, R; Campbell, EM; Kodama, R; Mima, K; Tanaka, KA; Atzeni, S; Freeman, R	Review of progress in fast ignition	Physics of Plasmas	12 (2005) 057305	2005-FP5-10 2005-FP5-23
127	2005	R. B. Stephens, S. P. Hatchett, M. Tabak, C. Stoeckl, H. Shiraga, S. Fujioka, M. Bonino, A. Nikroo, R. Petrasso, T. C. Sangster, J. Smith, and K. A. Tanaka	Implosion Hydrodynamics of Fast Ignition Targets	Physics of Plasmas	12-5 (2005) 056312-1-7	2002-FP5-33 2003-FP5-28 2003-FP5-29 2005-FP5-23
128	2005	Yoshio Wada	Optimum Target Position of Ion Production in Ultrashort-Pulse Laser Interaction with Foil Targets under the Existence of Prepulses	Jpn. J. Appl. Phys.	44 (2005) 3299-3306	2004-FP5-28
129	2005	Y. Oguri, J. Hasegawa, J. Kaneko, M. Ogawa and K. Horioka	Stopping of Low-Energy Highly Charged Ions in Dense Plasmas	Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. A	544 (2005) 76-83	2004-FP5-17
130	2005	S. Kawata, R. Sonobe, T. Someya and T. Kikuchi	Final Beam Transport in HIF	Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. A	544 (2005) 98-103	2004-FP5-17
131	2005	T. Kikuchi, T. Someya, S. Kawata, M. Nakajima, K. Horioka and T. Katayama	Beam Dynamics and Emittance Growth during Final Beam Bunching in HIF Driver Systems	Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. A	544 (2005) 262-267	2004-FP5-17
132	2005	T. Kikuchi, S.M. Lund, T. Katayama and S. Kawata	Bunch Compression in a Ring for Future RIKEN Projects	Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. A	544 (2005) 393-397	2004-FP5-17
133	2005	T. Someya, S. Kawata, T. Kikuchi and A.I. Ogoyski	HIB Illumination on a Target in HIF	Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. A	544 (2005) 406-411	2004-FP5-17
134	2005	K. Sakai, K. Miyauchi, S. Miyazaki, Q. Kong, T. Kikuchi and S. Kawata	Electron Bunch Acceleration by an Intense Laser Pulse with a Plasma Separator	IEEJ Trans. FM	125 (2005) 247-253	2004-FP5-17
135	2005	T. Kikuchi, T. Someya and S. Kawata	Beam Pulse Duration Dependence on Target Implosion in Heavy Ion Fusion	IEEJ Trans. FM	125 (2005) 515-520	2004-FP5-17
136	2005	S. Kawata, Q. Kong, S. Miyazaki, K. Miyauchi, R. Sonobe and K. Sakai	Electron Bunch Acceleration and Trapping by Ponderomotive Force of an Intense Short-Pulse Laser	Laser Part. Beams	23 (2005) 61-67	2004-FP5-17

137	2005	S. Miyazaki, R. Sonobe, T. Kikuchi and S. Kawata	High-Energy Proton Generation and Suppression of Transverse Proton Divergence by Localized Electrons in a Laser-Foil Interaction	Phys. Rev. E	71 (2005) 056403-1-8	2004-FP5-17
138	2005	S. Miyazaki, S. Kawata, Q. Kong, K. Miyauchi, K. Sakai, S. Hasumi, R. Sonobe and T. Kikuchi	Generation of Micro Electron Beam by an Intense Short-Pulse Laser of TEM(1,0)+TEM(0,1) Mode in Vacuum	J. Phys. D: Appl. Phys.	38 (2005) 1665-1673	2004-FP5-17
139	2005	R. Sonobe, S. Kawata, S. Miyazaki, M. Nakamura and T. Kikuchi	Suppression of Transverse Proton Beam Divergence by Controlled Electron Cloud in Laser-Plasma Interactions	Phys. Plasmas	12 (2005) 073104-1-6	2004-FP5-17
140	2005	S. Miyazawa, A.I. Ogoyski, S. Kawata, J. Someya and T. Kikuchi	Robust Heavy Ion Beam Illumination against a Direct-Drive-Pellet Displacement in Inertial Confinement Fusion	Phys. Plasmas	12 (2005) 122702-1-9	2004-FP5-17
141	2005	Y. Oguri, K. Kashiwagi, J. Kaneko, J. Hasegawa, M. Yoshida and M. Ogawa	Extraction of High-Intensity Ion Beams from a Laser Plasma by a Pulsed Spherical Diode	Phys. Rev. ST-AB	8 (2005) 060401-1-8	2004-FP5-17
142	2005	T. Kikuchi, T. Katayama, K. Horioka and S. Kawata	Selected Momentum Correction Using Induction-Voltage Modulator for Low-Flux Ion Beams	Phys. Rev. ST-AB	8 (2005) 080402-1-6	2004-FP5-17
143	2005	Y. Oishi, T. Nayuki, T. Fujii, Y. Takizawa, X. Wang, T. Yamazaki, K. Nemoto, T. Sekiya, K. Horioka and A.A. Andreev	Measurement of Source Profile of Proton Beams Generated by Ultraintense Laser Pulses Using a Thomson Mass Spectrometer	J. Appl. Phys.	97 (2005) 104906-1-4	2004-FP5-17
144	2005	K. Takayama, K. Koseki, K. Torikai, A. Tokuchi, E. Nakamura, Y. Arakida, Y. Shimosaki, M. Wake, T. Kouno, K. Horioka, S. Igarashi, T. Iwashita, A. Kawasaki, J. Kishiro, M. Sakuda, H. Sato, M. Shiho, M. Shirakata, T. Sueno, T. Toyama, M. Watanabe and I. Yamane	Observation of the Acceleration of a Single Bunch by Using the Induction Device in the KEK Proton Synchrotron	Phys. Rev. Lett.	94 (2005) 144801-1-4	2004-FP5-17
145	2006	K. Yamamoto, H. Furukawa, T. Johzaki, Y. Kozaki, Y. Hirooka, Y. Ueda, M. Nishikawa, K. Tanaka	Study on Thermal Responses of Dry Walls in Laser Fusion Reactors	Journal of Plasma Research	82-12 (2006)	2007-FP5-9
146	2006	H. Habara, K. Adumi, T. Yabuuchi, T. Nakamura, Z. L. Chen, M. Kashiwara, R. Kodama, K. Kondo, G. R. Kumar, L. A. Lei, T. Matsuoka, K. Mima, and K. A. Tanaka	Surface Acceleration of Fast Electrons with Relativistic Self-Focusing in Preformed Plasma	Physical Review Letters	97 (2006) 095004	2007-FP5-9
147	2006	A. Benuzzi-Mounaix, M. Koenig, A. Ravasio, T. Vinci, N. Ozaki, M. Rabec le Gloahec, B. Loupiau, G. Huser, E. Henry, S. Bouquet, C. Michaut, D. Hicks, A. MacKinnon, P. Patel, H.S. Park, S. Le Pape, T. Boehly, M. Borghesi, C. Cecchetti, M. Notley, R. Clark, S. Bandyopadhyay, S. Atzeni, A. Schiavi, Y. Aglitskiy, A. Faenov, T. Pikuz, D. Batani, R. Dezulian, K.A. Tanaka	Laser-driven shock waves for the study of extreme matter states	Plasma Physics and Controlled Fusion	48-12B (2006) B347-358	2007-FP5-9
148	2006	Kazuo A. Tanaka, R. Kodama, Peter A. Norreys	Internal Experiments of Fast Ignition Research	Fusion Science and Technology	49-3 (2006) 342-357	2007-FP5-9
149	2006	K. Kondo, H. Maeda, Y. Hama, S. Morita, A. Zoubir, R. Kodama, K. A. Tanaka, Y. Kitagawa and Y. Izawa	Control of amplified optical parametric fluorescense for hybrid chirped-pulse amplification	J. Opt. Soc. Am B.	23 (2006) 231-235	2007-FP5-9

150	2006	Y. Hama, K. Kondo, A. Zoubir, T. Honda, R. Kodama, K. A. Tanaka, and K. Mima	Single-shot two-dimensional spectral interferometry for ultrafast laser-produced plasmas	Optics Letters	31-13 (2006) 1917-9	2007-FP5-9
151	2006	Lei AL, Tanaka KA, Pukhov A, Kodama R, Yabuuchi T, Adumi K, Freeman RR, Izawa Y, Kitagawa Y, Kondo K, Kumar GR, Matsuoka T, Mima K, Norimatsu T, Shorokhov O, Snavely R, Zheng	Relativistic laser channeling into high-density plasmas	J, JOURNAL DE PHYSIQUE IV	133 (2006) 409-412	2007-FP5-9
152	2006	A. L. Lei, K. A. Tanaka, R. Kodama, G. R. Kumar, K. Nagai, T. Norimatsu, T. Yabuuchi, and K. Mima	Optimum Hot Electron Production with Low-Density Foams for Laser Fusion by Fast Ignition	Physical Review Letters	96-25 (2006) 255006	2007-FP5-9
153	2006	H. Nagao, K. G. Nakamura, K. Kondo, N. Ozaki, K. Takamatsu, T. Ono, T. Shiota, D. Ichinose, K. A. Tanaka, K. Wakabayashi, K. Okada, M. Yoshida, M. Nakai, K. Nagai, K. Shigemori, T. Sakaiya, K. Otani	Hugoniot measurement of diamond under laser shock compression up to 2 Tpa	Physics of Plasmas	13 (2006) 052705	2007-FP5-9
154	2006	E. M. Campbell, R. Freeman, K. A. Tanaka	ENTIRE BOOK No.3 issue dedicates for Fast Ignition Progress(20 papers)	Fusion Science and Technology	49-3 (2006) 249-552	2007-FP5-9
155	2006	S. P. Hatchett, D. Clark, M. Tabak, R. E. Turner, C. Stoeckl, R. B. Stephens, H. Shiraga, K. Tanaka	Hydrodynamics of Conically Guided Fast Ignition Targets	Fusion Science and Technology	49-3 (2006) 327-341	2007-FP5-9
156	2006	Z. L. Chen, G. R. Kumar, Z. M. Sheng, T. Matsuoka, Y. Sentoku, M. Tambo, K. A. Tanaka, T. Tsutsumi, T. Yabuuchi, and R. Kodama	Transient Electrostatic Fields and Related Energetic Proton Generation with a Plasma Fiber	Physical Review Letters	96 (2006) 084802	2007-FP5-9
157	2006	R. Morea, H. Yonedab, H. Morikami	Short-pulse lasers and electron dynamics in warm dense matter	Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer	99 (2006) 409-424	2005-FP5-9
158	2006	J. D. Zuegel, S. Borneis, C. Barty et al.	Laser challenges for fast ignition	Fusion Science and Technology	49 (2006) 453-482	2005-FP5-9
159	2006	S. Sakabe, K. Shirai, M. Hashida et al.	Skinning of argon clusters by Coulomb explosion induced with an intense femtosecond laser pulse	Physical Review A	74 (2006) 043205-1 - 043205-5	2005-FP5-9
160	2006	B. J. Albright, L. Yin, B. M. Hegelich et al.	Theory of Laser Acceleration of Light-Ion Beams from Interaction of Ultrahigh-Intensity Lasers with Layered Targets	Physical Review Letters	97 (2006) 115002-1 - 115002-4	2005-FP5-9
161	2006	R. J. Mason	Heating Mechanisms in Short-Pulse Laser-Driven Cone Targets	Physical Review Letters	96 (2006) 035001-1 - 035001-4	2005-FP5-9
162	2006	W. Theobald, K. Akl, R. Clarke et al.	Hot surface ionic line emission and cold K-inner shell emission from petawatt-laser-irradiated Cu foil targets	Physics of Plasmas	13 (2006) 043102-1 - 043102-11	2005-FP5-9
163	2006	Fuyumi ITO, Keiji NAGAI, Mitsuo NAKAI, Takayoshi NORIMATSU, Andrei NIKITENKO, Sergei TOLOLONNIKOV, Elena KORESHEVA, Takashi FUJIMURA, Hiroshi AZECHI, and Kunioki MIMA	Low-Density-Plastic-Foam Capsule of Resorcinol/Formalin and (Phloroglucinolcarboxylic acid)/Formalin Resins for Fast Ignition Realization Experiment (FIREX) in Laser Fusion Research	Jpn. J. Appl. Phys Part 2	45 (11) (2006) L335-L338	2005-FP5-27
164	2006	K.Kasuya, Y.Kinoshita, T.Norimatsu, S.Nakai, W.Mroz and A.Prokopiuk	First Wall Ablations with High-Flux Pulsed Proton Beams and UV Laser Lights for IFE Reactor Design Base	Fusion Engineering and Design	81, 8-14 (2006) 1653-1659	2005-FP5-27
165	2006	T. Norimatsu, D. Harding, R. Stephens, A. Kikroo, R. Petzoldt, H. Yoshida, K. Nagai and Y. Izawa	Fabrication, Injection, and Tracking of Fast Ignition Targets: Status and Future Prospects	Fusion Sci. Technol.	49 (2006) 483-499	2001-FP5-37 2004-FP5-8 2005-FP5-27

166	2006	Y. Mori, Y. Sentoku, K.Kondo, K. Tsuji, N. Nakanii, S.Fukumochi,M.Kashihara, K. Kimura, K. Takeda, K. A. Tanaka,T. Norimatsu, Tsuyoshi Tanimoto, H. Nakamura, M. Tampo, R. Kodama, E. Miura, K. Mima, and Y. Kitagawa	Autoinjection of electrons into a wake field using a capillary with attached cone	Physics of Plasmas	16 (2009) 123103, 1-6	2004-FP5-30
167	2006	M. Adachi, M. Miura, S. Kato, K. Koyama, S. Masuda, T. Watanabe, H. Okamoto, A. Ogata and M. Tanimoto	Cascade acceleration of electrons by laser wakefield and direct laser field	Jpn. J. Appl. Phys.	45 (2006) 4214-4218	2004-FP5-28
168	2006	S. Miyazaki, R. Sonobe, T. Kikuchi and S. Kawata	Production of Low-Emittance MeV Protons by Localized Electrons	Laser Physics	16 (2006) 248–251	2005-FP5-1
169	2006	T. Kikuchi, T. Someya, S. Kawata, M. Nakajima, K. Horioka and T. Katayama	Beam Dynamics Simulation during Final Bunching and Transport for Heavy Ion Inertial Fusion	Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. A	558 (2006) 122-126	2005-FP5-1
170	2006	S. Miyazaki, K. Miyauchi, K. Sakai, T. Kikuchi and S. Kawata	High Energy Electron Bunch Generation by Using a Plasma Separator	Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. A	558 (2006) 260-264	2005-FP5-1
171	2006	S. Miyazaki, R. Sonobe, T. Kikuchi and S. Kawata	Suppression of High Energy Proton Beam Divergence in Laser-Foil Interaction	Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. A	558 (2006) 265-270	2005-FP5-1
172	2006	S. Miyazaki, N. Okazaki, R. Sonobe, Q. Kong, S. Kawata, A.A. Andreev and J. Limpouch	Ion Focusing Effect of Electron Cloud Produced by Laser-Plasma Interaction	Laser Part. Beams	24 (2006) 157-161	2005-FP5-1
173	2006	T. Kawamura, K. Horioka and F. Koike	Potential of K-alpha Radiation by Energetic Ionic Particles for High Energy Density Plasma Diagnostics	Laser Part. Beams	24 (2006) 261-267	2005-FP5-1
174	2006	K. Sakai, S. Miyazaki, S. Kawata, S. Hasumi and T. Kikuchi	High-Energy-Density Attosecond Electron Beam Production by Intense Short-Pulse Laser with a Plasma Separator	Laser Part. Beams	24 (2006) 321-327	2005-FP5-1
175	2006	T. Someya, K. Miyazawa, T. Kikuchi and S. Kawata	Direct-Indirect Mixture Implosion in Heavy Ion Fusion	Laser Part. Beams	24 (2006) 359-369	2005-FP5-1
176	2006	K. Kondo, M. Nakajima, T. Kawamura and K. Horioka	Compact Pulse Power Device for Generation of One-Dimensional Strong Shock Waves	Rev. Sci. Instrum.	77 (2006) 036104-1-3	2005-FP5-1
177	2006	Y. Shimosaki, K. Takayama and K. Torikai	Quasidiabatic, Nonfocusing Transition-Energy Crossing	Phys. Rev. Lett.	96 (2006) 134801-1-4	2005-FP5-1
178	2006	J. Psikal, J. Limpouch, S. Kawata and A.A. Andreev	PIC Simulations of Femtosecond Interactions with Mass-Limited Targets	Czech. J. Phys.	56 Suppl. D (2006) D1-D6	2005-FP5-1
179	2006	N. Yugami, K. Ninomiya, K. Kobayashi and H. Noda	Observation of Millimeter Range Radiation with TM01 Mode by Laser Plasma Interaction Experiments	Japanese Journal of Applied Physics	45 (2006) L1051-L1053	2006-FP5-23
180	2006	N. Yugami, N. Ohata, K. Yaegashi and H. Kawanago	Measurement of Submilliwatt, Picosecond Terahertz Emission from a Femtosecond-Laser-Pumped Solid-State DC to AC Radiation Converter Based on a ZnSe Crystal	Review of Scientific Instruments	77 (2006) 116102/1–3	2006-FP5-23
181	2007	K. Mima, K.A. Tanaka, R. Kodama, T. Johzaki, H. Nagatomo, H. Shiraga, N. Miyanaga, M. Murakamo, H. Azechi, M. nakai, T. Norimatsu, K. nagai, T. Taguchi, and H. Sakagami	Recent results and future prospects of laser fusion research at ILE, Osaka	The European Physical Journal D	44 (2007) 259-264	2007-FP6-8

182	2007	A.L. Lei, A. Pukhov, R. Kodama, T. Yabuuchi, K. Adumi, K. Endo, R. R. Freeman, H. Habara, Y. Kitagawa, K. Kondo, G. R. Kumar, T. Matsuoka, K. Mima, H. Nagatomo, T. Norimatsu, O. Shorokhov, R. Snavely, X. Q. Yang, J. Zheng, and K. A. Tanaka	Relativistic laser channeling in plasmas for fast ignition	Physical Review E	76 (2007) 066403	2007-FP6-8
183	2007	Y. Ueda, M. Toda, M. Nishikawa, K. Kondo, K.A. Tanaka	Effects of repetitive ELM-like heat pulses on tungsten surface morphology	Fusion Engineering and Design	82 (2007) 1904-1910	2007-FP6-8
184	2007	Zheng Jian, Li Zhi-Chao, Zhang Hui, Yu Chang-Xuan, Yabuuchi Toshinori and Tanaka Kazuo	Effect of sheath potential on electromagnetic radiation emitted from the rear surface of a metallic foil target	Chinese Physics	16-10 (2007) 3010-3015	2007-FP6-8
185	2007	Toshinori Yabuuchi, Yasuhiko Sentoku, Takeshi Matsuoka, Hideaki Habara, Ken Adumi, Zenglin Chen, Ryosuke Kodama, Kiminori Kondo, Anle Lei, Kunioki Mima, Motonobu Tampo, Tsuyoshi Tanimoto, and Kazuo A. Tanaka	Influence of Electrostatic and Magnetic Fields on Hot Electron Emission in Ultra-Intense Laser Matter Interactions	Plasma and Fusion Research	2 (2007) 015	2007-FP6-8
186	2007	T. Yabuuchi, K. Adumi, H. Habara, R. Kodama, K. Kondo, T. Tanimoto, K. A. Tanaka, Y. Sentoku, T. Matsuoka, Z. L. Chen, M. Tampo, A. L. Lei, and K. Mima	On the behavior of ultraintense laser produced hot electrons in self-excited fields	Physics of Plasmas	14-4 (2007) 040706	2007-FP6-8
187	2007	Toshinori Yabuuchi, Hideaki Habara, Motonobu Tampo, Ryosuke Kodama, Shinya Awano, Kiminori Kondo, Kunioki Mima and Kazuo A. Tanaka	Zonal Proton Generation from Target Edges Using Ultra-Intense Laser Pulse	Plasma Fusion Research	2 (2007) 003	2007-FP5-9
188	2007	H. Kiriya, M. Mori, Y.i Nakai et al.	High-energy, high-contrast, multiterawatt laser pulses by optical parametric chirpedpulse amplification	Optics Letters	32 (2007) 2315-2317	2005-FP5-9
189	2007	O. Matsumoto, T. Kanabe, R. Yasuhara, T. Kurita, T. Sekina, T. Kawashima, T. Norimatsu, Y. Izawa, M. Nakatsuka, M. Miyamoto, H. Kan, Y. Tsuchiya, H. Hsurukawa, and S. Motokoshi	Analysis and Evaluation of Zig-zag Slab Amplifier with Optical Diamond Geometry	Jpn. J. Appl. Phys	46-3A (2007) 1021-1027	2005-FP5-27
190	2007	Shigeki Tokita, Junji Kawanaka, Yasukazu Izawa, Masayuki Fujita, Toshiyuki Kawashima	23.7-W picosecond cryogenic-Yb:YAG multipass amplifier	Opt. Express	15-7 (2007) 3955-3961	2005-FP5-27
191	2007	T. Norimatsu, J. Kawanaka, M. Miyanaga, H. Azechi, K. Mima, H. Furukawa, Y. Kozaki, K. Tomabechei	Conceptual Design of Fast Ignition Power Plant KOYO-F Driven by Cooled YB:YAG Ceramic Laser	Fusion Science Technol.	52 (2007) 893-900	2001-FP5-37 2004-FP5-8
192	2007	S. Kawata, K. Horioka, M. Murakami, Y. Oguri, J. Hasegawa, K. Takayama, H. Yoneda, K. Miyazawa, T. Someya, A.I. Ogoyski, M. Seino, T. Kikuchi, T. Kawamura and M. Ogawa	Studies on Heavy Ion Fusion and High Energy Density Physics in Japan	Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. A	577 (2007) 21-29	2006-FP5-10
193	2007	T. Kikuchi, K. Horioka, M. Nakajima and S. Kawata	Beam Dynamics during Longitudinal Bunch Compression of High-Current Heavy-Ion Beams	Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. A	577 (2007) 103-109	2006-FP5-10 2007-FP6-20

194	2007	K. Horioka, T. Kawamaru, M. Nakajima, T. Sasaki, K. Kondo, Y. Yano, T. Ishii, M. Ogawa, Y. Oguri, J. Hasegawa, S. Kawata, T. Kikuchi and K. Takayama	High-Energy-Density Physics Researches Based on Heavy Ion Accelerator and Pulse Power Devices	Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. A	577 (2007) 298-302	2006-FP5-10
195	2007	K. Katagiri, S. Nishinomiya, T. Niinou, J. Kaneko, J. Hasegawa, M. Ogawa and Y. Oguri	Development of a Non-Ideal Plasma Target for Non-Linear Beam-Plasma Interaction Experiments	Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. A	577 (2007) 303-308	2006-FP5-10
196	2007	S. Nishinomiya, K. Katagiri, T. Niinou, J. Kaneko, H. Fukuda, J. Hasegawa, M. Ogawa and Y. Oguri	Experimental Apparatus for the Measurement of Non-Linear Stopping of Low-Energy Heavy Ions	Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. A	577 (2007) 309-312	2006-FP5-10
197	2007	S. Kawata, K. Miyazawa, A.I. Ogoyski, T. Someya and T. Kikuchi	Robust Heavy-Ion-Beam Illumination in Direct-Driven Heavy-Ion Inertial Fusion	Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. A	577 (2007) 327-331	2006-FP5-10
198	2007	S. Kawata, K. Miyazawa, T. Kikuchi and T. Someya	Direct-Indirect Mixed Implosion Mode in Heavy Ion Inertial Fusion	Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. A	577 (2007) 332-336	2006-FP5-10
199	2007	J. Hasegawa, S. Hirai, K. Katagiri, M. Yonaha, H. Fukuda, Y. Oguri, M. Ogawa and T. Murakami	Interaction Experiments Using Thin-Foil-Discharge Warm-Dense Plasma	Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. A	577 (2007) 376-380	2006-FP5-10
200	2007	Y. Oguri, T. Niinou, S. Nishinomiya, K. Katagiri, J. Kaneko, J. Hasegawa and M. Ogawa	Firsov Approach to Heavy-Ion Stopping in Warm Matter Using a Finite-Temperature Thomas-Fermi Model	Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. A	577 (2007) 381-385	2006-FP5-10
201	2007	S. Hasumi, S. Miyazaki, S. Kawata, Q. Kong, K. Sakai, T. Watanabe and T. Kikuchi	Generation of High-Density Atto-Second Electron Bunch by Intense Short Pulse Laser	IEEJ Trans. FM	127 (2007) 199-204	2006-FP5-10
202	2007	K. Takayama, Y. Arakida, T. Iwashita, Y. Shimosaki, T. Dixit and K. Torikai	All-ion accelerators: An injector-free synchrotron	J. Appl. Phys.	101 (2007) 063304-1-7	2006-FP5-10
203	2007	M. Nakamura, S. Kawata, R. Sonobe, Q. Kong, S. Miyazaki, N. Onuma and T. Kikuchi	Robustness of a Tailored Hole Target in Laser-Produced Collimated Proton Beam Generation	J. Appl. Phys.	101 (2007) 113305-1-7	2006-FP5-10
204	2007	K. Katagiri, J. Hasegawa, T. Niinou and Y. Oguri	Time-Resolved Measurement of a Shock-Driven Plasma Target for Interaction Experiments between Heavy-Ions and Plasmas	J. Appl. Phys.	102 (2007) 113304-1-8	2006-FP5-10
205	2007	K. Takayama, Y. Arakida, T. Dixit, T. Iwashita, T. Kono, E. Nakamura, K. Otsuka, Y. Shimosaki, K. Torikai and M. Wake	Experimental Demonstration of the Induction Synchrotron	Phys. Rev. Lett.	98 (2007) 054801-1-4	2006-FP5-10
206	2007	T. Higashiguchi, N. Ohata, K. Li and N. Yugami	Observation of Temporal Behavior of the Emission Frequency from an Ultrashort, High-Power and Compact Millimeter-Wave Source	Applied Physics Letters	90 (2007) 111503/1-3	2006-FP5-23
207	2008	T. Tanimoto, Kazuhide Ohta, Hideaki Habara, Toshinori Yabuuchi, Ryouyusuke Kodama, Motonobu Tampo, Jian Zheng, and Kazuo A. Tanaka	Use of imaging plates at near saturation for high energy density particles	REVIEW OF SCIENTIFIC INSTRUMENTS	79 (2008) 10E910	2008-FP6-7
208	2008	T Matsuoka, A Lei, T Yabuuchi, K Adumi, J Zheng, R Kodama, K Sawai, K Suzuki, Y Kitagawa, T Norimatsu, K Nagai, H Nagatomo, Y Izawa, K Mima, Y Sentoku and K A Tanaka	Focus optimization of relativistic self-focusing for anomalous laser penetration into overdense plasmas (super-penetration)	Plasma Phys. Control. Fusion	50-10 (2008) 105011 (16pp)	2008-FP6-7

209	2008	N Nakanii, K Kondo, Y Mori, E Miura, K Tsuji, K Takeda, S Fukumochi, M Kashihara, T Tanimoto, H Nakamura, T Ishikura, M Tampo, R Kodama, Y Kitagawa, K Mima and K A Tanaka	Electron acceleration in imploded hollow cylinder	J. Phys.: Conf. Ser.	112 (2008) 042041 (4pp)	2008-FP6-7
210	2008	ILE, H Habara, G Xu, T Jitsuno, R Kodama, K Suzuki, K Sawai, C P J Barty, T Kawasaki, H Kitamura, K Kondo, K Mima, N Miyanaga, Y Nakata, H Shiraga, K A Tanaka, K Tsubakimoto and M C Rushford	Pulse compression using segmented grating in Gekko MII system	J. Phys.: Conf. Ser.	112 (2008) 032017 (4pp)	2008-FP6-7
211	2008	W Yu, L Cao, H Xu, A Lei, X Yang, K A Tanaka and R Kodama	Plasma hole boring by multiple short-pulse lasers	J. Phys.: Conf. Ser.	112 (2008) 022100 (4pp)	2008-FP6-7
212	2008	T Jitsuno, S Motokoshi, T Okamoto, T Mikami, D Smith, M L Schattenburg, H Kitamura, H Matsuo, T Kawasaki, K Kondo, H Shiraga, Y Nakata, H Habara, K Tsubakimoto, R Kodama, K A Tanaka, N Miyanaga and K Mima	Development of 91 cm size gratings and mirrors for LEFX laser system	J. Phys.: Conf. Ser.	112 (2008) 032002 (4pp)	2008-FP6-7
213	2008	N Nakanii, K Kondo, S Suzuki, T Kobayashi, T Asaka, K Yanagida, K Tsuji, K Makino, T Yamane, T Yabuuchi, S Miyamoto, K Horikawa, T Aratani, M Kashihara, Y Mori, H Hanaki, Y Kitagawa, K Mima and K A Tanaka	Absolute calibration of imaging plate for electron spectrometer measuring GeV-class electrons	J. Phys.: Conf. Ser.	112 (2008) 032073 (4pp)	2008-FP6-7
214	2008	T Yabuuchi, Y Sentoku, H Habara, T Matsuoka, K Adumi, Z Chen, R Kodama, K Kondo, A L Lei, K Mima, M Tampo, T Tanimoto and K A Tanaka	Hot electron emission limited by self-excited fields from targets irradiated by ultra-intense laser pulses	J. Phys.: Conf. Ser.	112 (2008) 022093 (4pp)	2008-FP6-7
215	2008	H Nakajima, M Yamaura, Y Shimada, M Fujita and K A Tanaka	Ground penetrating radar using a microwave radiated from laser-induced plasma	J. Phys.: Conf. Ser.	112 (2008) 042086 (4pp)	2008-FP6-7
216	2008	T Tanimoto, A L Lei, T Yabuuchi, H Habara, K Kondo, R Kodama, K Mima and K A Tanaka	Hot electron spatial distribution under presence of laser light self-focusing in over-dense plasmas	J. Phys.: Conf. Ser.	112 (2008) 022095 (4pp)	2008-FP6-7
217	2008	A Lei, W Yu, Y Tian, H Xu, X Wang, X Yang, V K Senecha, K A Tanaka and R Kodama	Effect of focus position on a high intensity laser propagation in a dense plasma	J. Phys.: Conf. Ser.	112 (2008) 022089 (4pp)	2008-FP6-7
218	2008	H. Nakamura, Y. Sentoku, T. Matsuoka, K. Kondo, M. Nakatsutsumi, T. Norimatsu, H. Shiraga, K.A. Tanaka, T. Yabuuchi and R. Kodama	Fast heating of cylindrical imploded plasmas by PW laser light	Physical Review Letters	100 (2008) 165001	2008-FP6-7
219	2008	J. S. Green, V. M. Ovchinnikov, R. G. Evans, K. U. Akli, H. Azechi, F. N. Beg, C. Bellei, R. R. Freeman, H. Habara, et al.	Effect of Laser Intensity on Fast-Electron-Beam Divergence in Solid-Density Plasmas	Physical Review Letters	100 (2008) 015003	2008-FP6-7
220	2008	N. Nakanii, K. Kondo, Y. Kuramitsu et al.	Spectrum modulation of relativistic electrons by laser wakefield	Applied Physics Letters	93 (2008) 081501-1 - 081501-3	2005-FP5-9 2008-FP6-7

221	2008	M. C. Rushford, J. A. Britten, C. P. J. Barty et al.	Split-aperture laser pulse compressor design tolerant to alignment and line-density differences	Optics Letters	33, 16 (2008) 1902-1904	2005-FP5-9 2008-FP6-7
222	2008	A. G. MacPhee, K. U. Akli, F. N. Beg, C. D. Chen, H. Chen, R. Clarke, D. S. Hey, R. R. Freeman, A. J. Kemp, M. H. Key, J. A. King, S. Le Pape, A. Link, T. Y. Ma, H. Nakamura, D. T. Offermann, V. M. Ovchinnikov, P. K. Patel, T. W. Phillips, R. B. Stephens, R. Town, Y. Y. Tsui, M. S. Wei, L. D. Van Woerkom, and A. J. Mackinnon	Diagnostics for fast ignition science	Review of Scientific Instruments	79 (2008) 10F302	2006-FP5-26 2007-FP6-17
223	2008	O. Matsumoto, T. Kurita, R. Yasuhara, T. Sekina, T. Ikegawa, T. Kawashima, J. Kawanaka, N. Miyanaga, T. Norimatsu, Y. Izawa, M. Nakatsuka, M. Miyamoto, H. Kan, and T. Kanabe	Analysis of Parasitic Oscillation and Evaluation of Amplifier Module of Zig-zag Slab Lase System	Jpn. J. Appl. Phys	47-7 (2008) 5441-5449	2005-FP5-27
224	2008	O. Matsumoto, T. Kanabe, R. Yasuhara, T. Kurita, T. Sekine, T. Kawashima, T. Norimatsu, Y. Izawa, M. Nakatsuka, M. Miyamoto, H. Kan, H. Furukawa, and S. Motokoshi	Analysis and Evaluation of Laser-Induced Damage of Zig-zag Slab Laser Amplifier	Jpn. J. Appl. Phys	47-6 (2008) 4531-4539	2005-FP5-27
225	2008	Y. Izawa, N. Miyanaga, J. Kawanaka, K. Yamakawa	High Power Lasers and Their New Applications	J. Opt. Soc. Korea	12-3 (2008) 178-185	2005-FP5-27
226	2008	Ryo Yasuhara, Toshiyuki Kawashima, Takashi Sekine, Takashi Kurita, Tadashi Ikegawa, Osamu Matsumoto, Masahiro Miyamoto, Hirofumi Kan, Hidetsugu Yoshida, Junji Kawanaka, Masahiro Nakatsuka, Noriaki Miyana, Yasukazu Izawa, and Tadashi Kanabe	213W average power of 2.4 GW pulsed thermally controlled Nd:glass zigzag slab laser with a stimulated Brillouin scattering mirror	Opt. Lett	33-15 (2008) 1711-1713	2005-FP5-27
227	2008	D. R. Farley, K. Shigemori, M. Murakami, and H. Azechi	Non-Dimensional Scaling of Impact Fast Ignition Experiments	J. Phys.: Conf. Ser.	112 (2008) 022071:1-6	2009-FP6-3
228	2008	S. Kawata, K. Miyazawa, A.I. Ogoyskii, T. Kikuchi, Y. Akasaka and Y. Iizuka	Direct-Indirect Hybrid Mode Implosion in Heavy Ion Inertial Fusion	J. Phys. Conf. Ser.	112 (2008) 032028-1-4	2007-FP6-3
229	2008	T. Sasaki, Y. Yano, M. Nakajima, T. Kawamura and K. Horioka	A Comparative Study of Equation of State and Conductivity for Warm Dense Matter Using Pulsed-Power Wire Discharges in Water	J. Phys. Conf. Ser.	112 (2008) 042026-1-4	2007-FP6-3
230	2008	T. Sasaki, T. Kikuchi, M. Nakajima, T. Kawamura and K. Horioka	Tamped Target for Warm Dense Matter Experiments Using Intense Heavy Ion Beam	J. Phys. Conf. Ser.	112 (2008) 042027-1-4	2007-FP6-3
231	2008	K. Kondo, M. Nakajima, K. Kawamura and K. Horioka	Relaxation Layer in Electro-Magnetically Driven Strong Shocks	J. Phys. Conf. Ser.	112 (2008) 042028-1-3	2007-FP6-3
232	2008	S. Kawata, M. Nakamura, Q. Kong, Y. Nodera, N. Onuma and T. Kikuchi	Collimated Ion Beam by a Tailored Target Illuminated by an Intense Short Pulse Laser	J. Phys. Conf. Ser.	112 (2008) 042044-1-4	2007-FP6-3
233	2008	S.Kawata, M.Nakamura, R.Sonobe, S.Miyazaki, N.Onuma, Y.Nodera and T.Kikuchi	Collimated Ion Beam by a Laser-Illuminated Tailored Hole Target	IEEE Trans. Plasma Sci.	36 (2008) 363-369	2007-FP6-3
234	2008	Y. Nodera, S. Kawata, N. Onuma, J. Limpouch, O. Klimo and T. Kikuchi	Improvement of Energy Conversion Efficiency from Laser to Proton Beam in a Laser-Foil Interaction	Phys. Rev. E	78 (2008) 046401-1-6	2007-FP6-3

235	2008	K. Katagiri, J. Hasegawa, S. Nishinomiya, H. Ikagawa and Y. Oguri	Development of a Coaxial Tapered Electromagnetic Shock Tube for Beam-Plasma Non-Linear Interaction Experiments	Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. B	266 (2008) 2161-2164	2007-FP6-3
236	2008	S. Nishinomiya, K. Katagiri, T. Niinou, J. Kaneko, H. Fukuda, J. Hasegawa, M. Ogawa and Y. Oguri	Time-Resolved Measurement of Energy Loss of Low-Energy Heavy Ions in a Plasma Using a Surface-Barrier Charged-Particle Detector	Prog. Nucl. Energy	50 (2008) 606-610	2007-FP6-3
237	2008	T. Sasaki, Y. Yano, M. Nakajima, T. Kawamura and K. Horioka	Evaluation of Copper Conductivity in Warm Dense State Using Exploding Wire in Water	Prog. Nucl. Energy	50 (2008) 611-615	2007-FP6-3
238	2008	M. H. Key et al.	Fast ignition relevant study of the flux of high intensity laser-generated electrons via a hollow cone into a laser-imploded plasma	Physics of Plasmas	15 (2008) 022701	2007-FP6-10
239	2008	Y. Ueno, G. Soumagne, A. Sumitani, A. Endo, T. Higashiguchi, and N. Yugami	Reduction of debris of a CO2 laser-produced Sn plasma extreme ultraviolet source using a magnetic field	Applied Physics Letters	92 (2008) 211503	2006-FP5-23
240	2009	A.L.Lei et al.	Study of ultraintense laser propagation in overdense plasmas of fast ignition	Physics of Plasmas	16 (2009) 056307	2008-FP6-7
241	2009	Y. Mori, Y. Sentoku, K. Kondo, K. Tsuji, N. Nakanii, S. Fukumochi, M.Kashihara, K. Kimura, K. Takeda, K. A. Tanaka, T. Norimatsu, Tsuyoshi Tanimoto, H. Nakamura, M. Tampo, R. Kodama, E. Miura, K. Mima, and Y. Kitagawa	Autoinjection of electrons into a wake field using a capillary with attached cone	Physics of Plasmas	16 (2009) 123103	2008-FP6-7
242	2009	T. Yabuuchi, A. Das, G. R. Kumar, H. Habara, P. K. Kaw, R. Kodama, K. Mima, P. A. Norreys, S. Sengupta, and K. A. Tanaka	Evidence of anomalous resistivity for hot electron propagation through a dense fusion core in fast ignition experiments	New Journal of Physics	11 (2009) 093031 (9pp)	2008-FP6-7
243	2009	Kazuo A. Tanaka	Summary of inertial fusion sessions	Nuclear Fusion	49 (2009) 104004 (8pp)	2008-FP6-7
244	2009	Tsuyoshi Tanimoto, H. Habara, R. Kodama, M. Nakatsutsumi, Kazuo A. Tanaka, K. L. Lancaster, J. S. Green, R. H. H. Scott, M. Sherlock, Peter A. Norreys, R. G. Evans, M. G. Haines, S. Kar, M. Zepf, J. King, T. Ma, M. S. Wei, T. Yabuuchi, F. N. Beg, M. H. Key, P. Nilson, R. B. Stephens, H. Azechi, K. Nagai, T. Norimatsu, K. Takeda, J. Valente, and J. R. Davies	Measurements of fast electron scaling generated by petawatt laser systems	Physics of Plasmas	16 (2009) 062703	2008-FP6-7
245	2009	Y. Mori, Y. Sentoku, K. Kondo et al.	Autoinjection of electrons into a wake field using a capillary with attached cone	Physics of Plasmas	16 (2009) 123103-1 -123103-6	2005-FP5-9
246	2009	K. L. Lancaster, M. Sherlock, J. S. Green, C. D. Gregory, P. Hakel, K. U. Akli, F. N. Beg, S. N. Chen,,R. R. Freeman, H. Habara, R. Heathcote, D. S. Hey, K. Highbarger, M. H. Key, R. Kodama, K. Krushelnick, H. Nakamura, M. Nakatsutsumi, J. Pasley, R. B. Stephens, M. Storm, M. Tampo, W. Theobald, L. Van Woerkom, R. L. Weber, M. S. Wei, N. C. Woolsey, T. Yabuuchi, and P. A. Norreys	Effect of reentrant cone geometry on energy transport in intense laser-plasma interactions	Physical Review E	80 (2009) 045401	2006-FP5-26 2007-FP6-17

247	2009	S. A. Reed, T. Matsuoka, S. Bulanov, M. Tampo, V. Chvykov, G. Kalintchenko, P. Rousseau, V. Yanovsky, R. Kodama, D. W. Litzenberg, K. Krushelnick, and A. Maksimchuk	Relativistic plasma shutter for ultraintense laser pulses	Applied Physics Letters	94 (2009) 201117	2006-FP5-26 2007-FP6-17
248	2009	T. Kikuchi, K. Horioka	Beam Behavior under a Non-Stationary State in High-Current Heavy-Ion Beams	Nuclear Instruments and Methods in Physics Research	A 606 (2009) 31-36	2009-FP6-4 2009-FP6-8
249	2009	S.M. Lund, T. Kikuchi, R.C. Davidson	Generation of initial kinetic distributions for simulation of long-pulse charged particle beams with high space-charge intensity	Physical Review Special Topics - Accelerator and Beams	12 (2009) 114801-1-50	2008-FP6-1 2009-FP6-4 2009-FP6-8
250	2009	Hong-bo Cai ¹ , Kunioki Mima ¹ , Wei-min Zhou ¹ , Tomoyuki Jozaki ¹ , Hideo Nagatomo ¹ , Atsushi Sunahara ¹ , and Rodney J. Mason ²	Enhancement of the number of high energy electrons deposited to the compressed pellet via double cone in fast ignition	Physical Review Letters	102 (2009) 1245001	2005-FP5-10
251	2009	S.Yu. Gus'kov and M. Murakami	Fast ignition by detonating hydrodynamic flow	J. Russian Laser Research	30 (2009) 279-295	2009-FP6-3
252	2009	T. Sasaki, T. Asai, T. Takahashi, T. Kikuchi, M. Nakajima, K. Horioka and K. Takayama	Planned for High Energy Density Physics Based on All Ion Accelerator Facility	J. Plasma Fusion Res. Seires	8 (2009) 174-178	2008-FP6-1
253	2009	Y. Iizuka, S. Kawata T. Koderu, A.I. Ogoyski and T. Kikuchi	Direct-Indirect Hybrid Implosion in Heavy Ion Inertial Fusion	J. Plasma Fusion Res. Seires	8 (2009) 1200-1203	2008-FP6-1
254	2009	T. Kikuchi and K. Horioka	Halo Formation and Emittance Growth during Bunch Compression of High-Current Heavy Ion Beams	J. Plasma Fusion Res. Seires	8 (2009) 1230-1233	2008-FP6-1 2009-FP6-4 2009-FP6-8
255	2009	K. Horioka, T. Kawamura, M. Nakajima, T. Sasaki, K. Kondo, Y. Oguri, J. Hasegawa, M. Ogawa, S. Kawata, T. Kikuchi, M. Murakami and K. Takayama	Activities on Heavy Ion Inertial Fusion and Beam-Driven High Energy Density Science in Japan	Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. A	606 (2009) 1-5	2008-FP6-1
256	2009	T. Kikuchi and K. Horioka	Beam Behavior under a Non-Stationary State in High-Current Heavy-Ion Beams	Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. A	606 (2009) 31-36	2008-FP6-1
257	2009	S. Kawata, Y. Iizuka, Y. Koderu, A.I. Ogoyski and T. Kikuchi	Robust Fuel Target in Heavy Ion Inertial Fusion	Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. A	606 (2009) 152-156	2008-FP6-1
258	2009	T. Sasaki, T. Kikuchi, M. Nakajima, T. Kawamura and K. Horioka	Quasi-Staticly Tamped Target for Warm Dense Matter Experiments Based on All Ion Accelerator	Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. A	606 (2009) 161-164	2008-FP6-1
259	2009	Y. Iizuka, T. Kikuchi, S. Kawata and A.I. Ogoyski	Study on Target Structure for Direct-Indirect Hybrid Implosion Mode in Heavy Ion Inertial Fusion	Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. A	606 (2009) 165-168	2008-FP6-1
260	2009	J. Hasegawa, H. Ikagawa, S. Nishinomiya, T. Watahiki and Y. Oguri	Beam-Plasma Interaction Experiments Using Electromagnetically Driven Shock Waves	Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. A	606 (2009) 205-211	2008-FP6-1
261	2009	K. Kondo, M. Nakajima, T. Kawamura and K. Horioka	Atomic Process in Electro-Magnetically Driven Shock Wave	Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. A	606 (2009) 223-225	2008-FP6-1
262	2009	T. Kikuchi and K. Horioka	Static Analysis of Possible Emittance Growth of Intense Charged Particle Beams with Thermal Equilibrium Distribution	Phys. Plasmas	16 (2009) 050703-1-4	2008-FP6-1 2009-FP6-4 2009-FP6-8
263	2009	Y. Aoyama, M. Nakajima and K. Horioka	Counter-Facing Plasma Focus System as a Repetitive and/or Long-Pulse High Energy Density Plasma Source	Phys. Plasmas	16 (2009) 110701-1-3	2008-FP6-1
264	2009	S. Kawata, Y. Nodera, J. Limpouch and O. Klimo	Efficient Production of Proton Beam in Laser-Illuminated Tailored Microstructured Target	IEEE Trans. Plasma Sci.	37 (2009) 481-486	2008-FP6-1

265	2009	A. Andreev, K. Platonov and S. Kawata	Ion Acceleration by Short High Intensity Laser Pulse in Small Target Sets	Laser Part. Beams	27 (2009) 449-457	2008-FP6-1
266	2009	Takeshi Higashiguchi and Noboru Yugami	Short-pulse, high-power microwave source with a laser-induced sheet plasma mirror	Journal of Applied Physics	105 (2009) 093301	2006-FP5-23
267	2009	Makoto Nakagawa, Ryosuke Kodama, Takeshi Higashiguchi, and Noboru Yugami	Generation of terahertz radiation via an electromagnetically induced transparency at ion acoustic frequency region in laser-produced dense plasmas	Physical Review E	80 (2009) 025402	2006-FP5-23
268	2010	Hideaki Habara, Kazuhide Ohta, and Kazuo A. Tanaka, G. Ravindra Kumar, M. Krishnamurthy, Subhendu Kahaly, Sudipta Mondal, Manoj kumar Bhuyan, and R. Rajeev, Jian Zheng	Direct, Absolute, and In Situ Measurement of Fast Electron Transport via Cherenkov Emission	Physical Review Letters	104 (2010) 055001	2008-FP6-7
269	2010	Hideaki Habara, Kazuhide Ohta, Kazuo A. Tanaka, G. Ravindra Kumar, M. Krishnamurthy, Subhendu Kahaly, Sudipta Mondal, Manoj kumar Bhuyan, R. Rajeev, and Jian Zheng	Measurement of high energy density electrons via observation of Cherenkov radiation	Phys. Plasmas	17 (2010) 056306	2008-FP6-7

2. Conference Paper

No	Year	Authors	Title of Paper	Conference Name	Month Date, Year, Place, Country	Year-Category-No.
1	2000	I. Golovkin, R. Mancini, S. Louis, Y. Ochi, K. Fujita, et al.	A Spectroscopy Diagnostics of Plasma Gradients In ICF Imploded Cores	Topical Conference on High Temperature Plasma Diagnostics	June 18-22, 2000, Tucson, USA	2000-ML-1
2	2000	Y. Ochi, K. Fujita, M. Fukao, I. Niki, H. Nishimura, et al.	Diagnostics of imploded core plasma dynamics using time-resolved x-ray spectra and x-ray monochromatic images	APS 42nd annual meeting of DPP	Oct. 23-27, 2000, Quebec, Canada	2000-ML-1
3	2000	I. Golovkin, R. Mancini, S. Louis, Y. Ochi, K. Fujita, et al.	Spectroscopic determination of plasma gradients in ICF imploded cores	Radiative Properties of Hot Dense Matter	Oct.30-Nov.3, 1999, Santa Barbara, USA	2000-ML-1
4	2001	H.Nishimura, Y.Ochi, T.Kawamura, K.Fujita, I.Golovkin, R.Mancini, et al.	X-ray spectroscopic measurement of laser imploded hot core and its extension to fast igniter experiments	5th Fast Ignitor Workshop	Jne 18-22, 2001, Madeira, Portugal	2000-ML-1
5	2001	Y. Ochi, K. Fujita, M. Fukao, A. Sunahara, H. Nishimura, et al.	Diagnostics of Electron Temperature and Density Gradients in Laser Imploded Core Plasmas	2nd International Conference on Inertial Fusion Sciences and Applications	Sep.10-14, 2001, Kyoto, Japan	2000-ML-1
6	2001	Y. Ochi, K. Fujita, M. Fukao, H. Nishimura, A. Sunahara, et al.	X-ray spectroscopic measurements of temporal variation of ICF core plasma gradients	APS 43rd annual meeting of DPP	Oct.29-Nov.2, 2001, Long Beach, USA	2000-ML-1
7	2001	T. Nakamura, M. Shitamura, Y. Uchida and S. Kawata	Constrained Interpolation Profile Scheme for Solving the Hyper-Dimensional Vlasov-Maxwell System in Laser-Plasma	The 2nd International Conference on Inertial Fusion Sciences and Applications (IFSA2001)	Sep. 9-14, 2001, Kyoto, Japan	2000-FP5-1
8	2001	Y. Uchida, T. Nakamura, K. Shimizu, M. Shitamura and S. Kawata	Direct Numerical Solution of Collision Term in the Fokker-Planck Equation Toward a Laser-Plasma Interaction	The 2nd International Conference on Inertial Fusion Sciences and Applications (IFSA2001)	Sep. 9-14, 2001, Kyoto, Japan	2000-FP5-1
9	2001	J. Hasegawa, Y. Nakajima, K. Sakai, Y. Oguri, M. Nakajima, K. Horioka and M. Ogawa	Development of High-Brightness Ion Sources Using Moderate Power Lasers	The 2nd International Conference on Inertial Fusion Sciences and Applications (IFSA2001)	Sep. 9-14, 2001, Kyoto, Japan	2000-FP5-1
10	2001	Y. Oguri, K. Tsubuku, K. Shibata, T. Nishimoto, J. Hasegawa and M. Ogawa	Charge-Changing Processes of Low-Energy Heavy Ions in a Dense Non-Hydrogenic Plasma	The 2nd International Conference on Inertial Fusion Sciences and Applications (IFSA2001)	Sep. 9-14, 2001, Kyoto, Japan	2000-FP5-1
11	2002	Y. Ochi, I. Golovkin, R.C. Mancini, I. Uschmann, A. Sunahara, et al.	Evolution of Temperature and Density Profiles of a Laser Compressed Core	Topical Conference on High-Temperature Plasma Diagnostics	Jul. 8-11, 2002, Madison, USA	2000-ML-1
12	2003	H. Shiraga, S. Fujioka, R. Kodama, K.A. Tanaka, R.B. Stephens, P. Jaanimagi, C. Stoeckl, T.C. Sangster, D. D. Meyerhofer, S.P. Hatchett	10-ps X-Ray Imaging of Cone-Shell Target Implosion at OMEGA laser	3rd International Conference on Inertial Fusion Science and Applications	September 8-12, 2003, Double Tree Hotel, Monterey, California, USA	2002-FP5-33 2003-FP5-28
13	2003	T. Kikuchi, T. Katayama, M. Nakajima and K. Horioka	Emittance Growth and Particle Distributions during Final Beam Bunching in Heavy Ion Fusion Driver	Asian Particle Accelerator Conference (APAC2004)	Mar. 22-26, 2004, Gyeongju, Korea	2001-FP5-19
14	2003	T. Kikuchi, S.M. Lund and T. Katayama	Possible Parameters for Bunch Compression in a Ring in Future RIKEN Projects	Asian Particle Accelerator Conference (APAC2004)	Mar. 22-26, 2004, Gyeongju, Korea	2001-FP5-19
15	2003	S. Kawata, Shuji Miyazaki, Qing Kong, Koichi Miyauchi, Jiri Limpouch and A.A. Andreev	High Energy Particle Acceleration by High-Power Laser	The 9th Conference on Laser Optics (LO2003)	Jun. 30-Jul. 4, 2003, St. Petersburg, Russia	2001-FP5-19
16	2004	Hiroyuki Shiraga	Multi-Imaging X-Ray Streak Camera for Diagnosing Laser-Imploded Core Plasmas (invited)	15th Topical Conference on High-Temperature Plasma Diagnostics	April 19-22, 2004, San Diego, USA	2002-FP5-33 2003-FP5-28 2003-FP5-29
17	2004	Hiroyuki Shiraga	Dynamics of imploded shell target with cone for fast ignition observed with Multi-Imaging X-ray Streak Camera (invited)	International Workshop on Fast Ignition and High Field Physics 2004	April 25-29, 2004, Kyoto, Japan	2002-FP5-33 2003-FP5-28 2003-FP5-29

18	2004	H. Shiraga, S. Fujioka, H. Nagatomo, R. Kodama, K.A. Tanaka, H. Azechi, R.B. Stephens, P. Jaanimagi, C. Stoeckl, D. D. Meyerhofer, S.P. Hatchett	Imploded Core Plasma Dynamics of Cone-Shell Targets	46th Annual Meeting of the Division of Plasma Physics, American Physical Society	Nov. 15-19, 2004, Savannah, GA, USA	2002-FP5-33 2003-FP5-28 2003-FP5-29
19	2004	H. Shiraga	A new approach toward time- and space-resolved measurements of fast ignition	Japan-US Workshop on High Irradiance Laser and Plasma Diagnostic Technologies	Nov. 29-Dec. 1, 2004, Osaka, Japan	2002-FP5-33 2003-FP5-28 2003-FP5-29
20	2004	K. Koyama, E. Miura, S. Kato, N. Saito, M. Adachi, A. Ogata, S. Masuda, and M. Tanimoto	Generation of Quasi-monoenergetic High-energy Electron Beam by Plasma Wave	Eleventh Advanced Accelerator Concepts Workshop	Jun. 21-26, 2004, Stony Brook, New York, USA	2004-FP5-28
21	2004	Yoshio Wada, Yasuo Shigemoto, and Atsushi Ogata	Ion Production Enhancement by Rear-Focusing and Prepulse in Ultrashort-Pulse Laser Interaction with Foil Targets	Eleventh Advanced Accelerator Concepts Workshop	Jun. 21-26, 2004, Stony Brook, New York, USA	2004-FP5-28
22	2004	Yoneyoshi Kitagawa, Mitsuru Uesaka, Kazuyoshi Koyama, Kazuhisa Nakajima, Toshiki Tajima, Hiroyuki Daido, Atsushi Ogata, Koshichi Nemoto, Yasushi Nishida, Noboru Yugami, Shuji Miyamoto, and Katsuhiko Dobashi	Review of Advanced Accelerator Concepts R & D in Japan	Eleventh Advanced Accelerator Concepts Workshop	Jun. 21-26, 2004, Stony Brook, New York, USA	2004-FP5-28
23	2004	S. Kawata, T. Someya, T. Kikuchi and A.I. Ogoyski	Final Transport and Target Illumination	The 15th International Symposium on Heavy Ion Inertial Fusion	Jun. 7-11, 2004, Princeton, NJ, USA	2004-FP5-17
24	2004	T.kikuchi, T.Someya, S. Kawata, N. Nakajima, K. Horioka and T. Katayama	Beam Dynamics Simulation during Final Bunching and Transport for Heavy Ion Inertial Fusion	International Computational Accelerator Physics (ICAP2004)	Jun. 29-Jul. 2, 2004, St. Petersburg, Russia	2004-FP5-17
25	2005	K.Kasuya, T.Norimatsu, S. Nakai, A.Prokopiuk and W.Mroz	IFE Chamber Wall Ablations with High-Flux Pulsed Beams Including Ions and UV Laser Lights	Third Technical Meeting on Physics and Technology of Inertial Fusion Energy Targets and Chambers	October 11-13, 2004, KAIST, Daejeon, Republic of Korea	2005-FP5-27
26	2005	K.Kasuya, T.Notimatsu, K.Nagai, et al.	Observation of Various Material Surfaces Irradiated and Cratered with Focused ArF Laser Lights	15th International Symposium on Gas Flow and Chemical Lasers & High Power Laser Conference	30 August-3 September 2004, Prague, Czech Republic	2005-FP5-27
27	2005	K.Kasuya, T.Notimatsu, S.Nakai, T.J.Renk, and W. Mroz	Material Surface Ablation with Light and Medium-Mass Pulsed Ion Beams for Future IFE Reactor Design	Eighth Japan-China Symposium on Materials for Advanced Energy Systems and Fission & Fusion Engineering	October 4-8, 2004, Sendai, Miyagi, Japan, 47-52 (2005)	2005-FP5-27
28	2005	H. Shiraga, H. Nagatomo, S. Fujioka, R. Kodama, K.A. Tanaka, R.B. Stephens, P. Jaanimagi, C. Stoeckl	Nonuniform Core and Jet Formation in Cone-Shell Implosion	4th International Conference on Inertial Fusion Sciences and Applications	September 4-9, 2005, Biarritz, France	2002-FP5-33 2003-FP5-28 2003-FP5-29
29	2005	T. Kikuchi, T. Someya, S. Kawata, M. Nakajima and K. Horioka	Instability and Emittance Growth in High-Current Heavy Ion Beam Bunching	The 32nd IEEE International Conference on Plasma Science 2005 (ICOPS2005)	Jun. 13-17, 2005, Monterey, CA, USA	2004-FP5-17
30	2005	T. Kikuchi, T. Someya, S. Kawata, M. Nakajima and K. Horioka	Emittance Growth and Instability induced by Space Charge Effect during Final Beam Bunching in HIF Accelerator System	The 4th International Conference on Inertial Fusion Sciences and Applications (IFSA2005)	Sep. 4-9, 2005, Biarritz, France	2004-FP5-17
31	2005	T. Kikuchi, T. Someya, M. Seino, K. Miyazawa, S. Kawata, M. Nakajima and K. Horioka	Effect of Dipole Mode Oscillation during High-Current Heavy Ion Beam Transport and Longitudinal Compression	The 47th Annual Meeting of the American Physical Society Division of Plasma Physics	Oct. 24-28, 2005, Denver, CO, USA	2004-FP5-17
32	2005	T. Kikuchi, S. Kawata, T. Someya, K. Horioka, M. Nakajima and T. Katayama	Beam Dynamics and Pulse Duration Control During Final Beam Bunching in Driver System for Heavy Ion Inertial Fusion	2005 Particle Accelerator Conference (PAC05)	May 16-20, 2005, Knoxville, TN, USA	2004-FP5-17

33	2006	S. Kawata, K. Horioka, M. Murakami, Y. Oguri, J. Hasegawa, K. Takayama, H. Yoneda, T. Kikuchi, T. Kawamura and M. Ogawa	Studies on Heavy Ion Fusion and High Energy Density Physics in Japan	The 16th International Symposium on Heavy Ion Inertial Fusion	Jul. 9-14, 2006, Saint-Malo, France	2005-FP5-1
34	2006	K. Li, K. Ninomiya, T. Higashiguchi and N. Yugami	Generation EM Waves by Laser Plasma Interaction Experiments in Utsunomiya University	12th Advanced Accelerator Concepts Workshop	July 10–15, 2006, Lake Geneva, Wisconsin, USA	2006-FP5-23
35	2006	N. Ohata, T. Higashiguchi, H. Kawanago, K. Yaegashi, I. Takano, K. Li and N. Yugami	Experiments of Frequency Upshift by Use of a Laser-Produced Ionization Front	12th Advanced Accelerator Concepts Workshop	July 10–15, 2006, Lake Geneva, Wisconsin, USA	2006-FP5-23
36	2007	K.Kasuya, S.Ozawa, S.Suzuki, K.Esato, M.Akiba, W.Mroz, A.Prokopiuk, M.Sato, K.Shimoda, T.Norimatsu, M.Nakai, K.Nagai, T.Ohshige, H.Furukawa	Applications of Laser and Particle Beam Apparatuses to Fusion Reactor Plasma Facing Surface Research Works	4th IAEA Technical Meeting on Physics and Technology of IFE Targets and Chambers	September 13, 2007, Kobe, Japan	2005-FP5-27
37	2007	T. Kikuchi, S. Kawata and K. Horioka	Particle Dynamics at Stagnation Point during Longitudinal Bunch Compression of High Current Beams	2007 Particle Accelerator Conference (PAC07)	Jun. 25-29, 2007, Albuquerque, NM, USA	2006-FP5-10 2007-FP6-20
38	2007	T. Kikuchi, S. Kawata and K. Takayama	Half-Mini Beta Optics with a Bunch Rotation for Warm Dense Matter Science Facility in KEK	2007 Particle Accelerator Conference (PAC07)	Jun. 25-29, 2007, Albuquerque, NM, USA	2006-FP5-10 2007-FP6-20
39	2007	S. Kawata, M. Nakamura, R. Sonobe, S. Miyazaki, N. Onuma and T. Kikuchi	Collimated Ion Beam by a Laser-Illuminated Tailored Target	2007 IEEE Pulsed Power and Plasma Science Conference	Jun. 17-22, 2007, Albuquerque, New Mexico, USA	2006-FP5-10
40	2007	S. Kawata, K. Miyazawa, A.I. Ogoyskii, T. Kikuchi, Y. Akasaka and Y. Iizuka	Direct-Indirect Hybrid Mode Implosion in Heavy Ion Inertial Fusion	The 5th International Conference on Inertial Fusion Sciences and Applications (IFSA2007)	Sep. 9-14, 2007, Kobe, Japan	2006-FP5-10
41	2007	Nobuo Ohata, Kun Li, Hiroshi Kawanago, Kenta Yaegashi, Takeshi Higashiguchi, and Noboru Yugami	High power, 1-THz source based on a femtosecond laser-pumped DC to AC Radiation Converter scheme	CLEO EUROPE	June 17-22, 2007, Munich, Germany	2006-FP5-23
42	2007	Kun Li, Tsukasa Oshima, Masafumi Hikita, Takeshi Higashiguchi, and Noboru Yugami	Optical guiding in gas-filled capillary discharge plasmas waveguide for electron acceleration application	CLEO EUROPE	June 17-22, 2007, Munich, Germany	2006-FP5-23
43	2007	Nobuo Ohata, Kenta Yaegashi, Kun Li, Takeshi Higashiguchi, and Noboru Yugami	THz radiation from a DARC source via a laser-produced relativistic ionization front	SPIE Optics East	Sep. 2007, Boston, USA	2006-FP5-23
44	2008	N. Ozaki (invited)	Extreme Off-Hugoniot Generated by Reverberating Shock Compression	International Workshop on Warm Dense Matter	Mar. 15-19, 2009, Hakone, Japan	2006-FP5-26 2007-FP6-17
45	2008	S. Kawata, Y. Nodera, N. Onuma, M. Nakamura, R. Sonobe, T. Kikuchi, Q. Kong, P.X. Wang, J. Limpouch, O. Klimo and A. Andreev	Laser-Produced Collimated Proton Beam by a Tailored Thin Foil Target	The 35th IEEE International Conference on Plasma Science (ICOPS2008)	Jun. 15-19, 2008, Karlsruhe, Germany	2007-FP6-3
46	2008	S. Kawata, Y. Nodera, J. Limpouch, O. Klimo and A. Andreev	Efficient Collimated-Proton Beam Generation by an Intense-Laser-Illuminated Tailored Target	The 12th International Conference on Laser Optics	Jun. 23-28, 2008, St. Petersburg, Russia	2007-FP6-3
47	2008	S. Kawata, Y. Iizuka, Y. Kodera, A.I. Ogoyski and T. Kikuchi	Robust Fuel Target in heavy ion inertial fusion	The 17th International Symposium on Heavy Ion Inertial Fusion (HIF2008)	Aug. 4-8, 2008, Tokyo, Japan	2007-FP6-3
48	2008	K. Horioka, T. Kawamura, M. Nakajima, T. Sasaki, K. Kondo, Y. Oguri, J. Hasegawa, M. Ogawa, S. Kawata, T. Kikuchi, M. Murakami and K. Takayama	Activities on Heavy Ion Inertial Fusion and Beam-Driven High Energy Density Science in Japan	The 17th International Symposium on Heavy Ion Inertial Fusion (HIF2008)	Aug. 4-8, 2008, Tokyo, Japan	2007-FP6-3

49	2008	H. Habara et al.	Electron acceleration in ultra-intense laser (>10 ¹⁸ Wcm ⁻²) interactions with sub-micron structured targets	The 50th Annual meeting of Division of Plasma Physics, American Physical Society	Nov. 17-21, 2008, Dallas, USA	2008-FP6-5
50	2008	H. Habara et al.	Study of ultra-intense laser propagation in overdense plasmas for fast ignition (invited)	The 50th Annual meeting of Division of Plasma Physics, American Physical Society	Nov. 17-21, 2008, Dallas, USA	2008-FP6-5
51	2008	Takeshi Higashiguchi, Hiromitsu Terauchi, Jin-xiang Bai, and Noboru Yugami	Plasma Parameter of a Capillary Discharge-Produced Plasma Channel to Guide an Ultrashort Laser Pulse	13th Advanced Accelerator Concept Workshop	July, 2008, Santa Cruz, USA	2006-FP5-23
52	2008	Masashi Kudo, Takeshi Higashiguchi, and Noboru Yugami	Compression of An Ultrashort Laser Pulse via Self-Phase Modulation in An Argon Channel	13th Advanced Accelerator Concept Workshop	July, 2008, Santa Cruz, USA	2006-FP5-23
53	2008	Takeshi Higashiguchi, Hideyuki Hasegawa, Hirofumi Nishimai, Noboru Yugami, and Patric Muggli	Frequency Upshift and Radiation of the THz Electromagnetic Wave via an Ultrashort-Laser-Produced Ionization Front	13th Advanced Accelerator Concept Workshop	July, 2008, Santa Cruz, USA	2006-FP5-23
54	2009	Hideaki Habara, Masashi Yamamoto, Takahiro Kurahashi, Kenji Kida and Kazuo A. Tanaka	Development of High-Order Harmonic Light Spectrometer for Observation of Strong Magnetic Field Generated by Fast Electrons in Laser-Plasma Interactions	Proceedings of the 14th International Congress on Plasma Physics (ICPP2008)	2009.9.8-12, Fukuoka, Japan	2008-FP6-7
55	2009	A. Okabayashi, T. Yabuuchi, H. Habara, and K. A. Tanaka	Monte-Carlo Simulations for Heating of Superdense Matter by Relativistic Electrons	Proceedings of the 14th International Congress on Plasma Physics (ICPP2008)	2009.9.8-12, Fukuoka, Japan	2008-FP6-7
56	2009	H. Nakamura, Y. Arikawa, H. Habara, M. Isobe, R. Kodama, M. Koga, M. Nakai, H. Nishimura, T. Ozaki, Y. Sakawa, N. Sarukura, H. Shiraga, KA. Tanaka, H. Azechi	Developments of nuclear diagnostics for fast ignition experiments in laser fusion (invited)	The 238th ACS National Meeting & Exposition Fall 2009	Aug. 16-20,2009, Washington DC, USA	2006-FP5-26 2007-FP6-17
57	2009	N. Ozaki (invited)	Extreme off-Hugoniot experiments using high-power laser	International Conference on High Pressure Science and Technology (AIRAPT 2009)	July 26-31, 2009, Tokyo, Japan	2006-FP5-26 2007-FP6-17
58	2009	N. Ozaki, K. Miyanishi, T. Sano, T. Kimura, T. Endo, Fumio Kawamura, A. Hirose, R. Kodama, E. Brambrink, A. Benuzzi-Mounaix, A. Diziere, H. Wei, M. Koenig, Tommaso Vinci, R. Smith, O. Sakata, Youichi Sakawa	Attempts of pressure standard material's isentrope measurement and semiconductor/metal sample recovery using laser-driven ramp compression	16th. American Physical Society Topical Conference on Shock Compression on Condensed Matter	June 28- July 3, Nashville, USA	2006-FP5-26 2007-FP6-17
59	2009	T. Kikuchi, K. Horioka	Possible emittance growth due to nonuniform particle distribution in beams with thermal equilibrium condition	Particle Accelerator Conference 2009 (PAC09)	May 4-8, 2009, Vancouver, Canada	2009-FP6-4 2009-FP6-8
60	2009	T. Kikuchi, T. Sasaki, Nob. Harada, A. Namptom, C. Buttapeng, K. Horioka, K. Takayama	Beamline for warm dense matter experiment using the KEK digital accelerator	Particle Accelerator Conference 2009 (PAC09)	May 4-8, 2009, Vancouver, Canada	2009-FP6-4 2009-FP6-8
61	2009	M. Murakami, H. Nagatomo	Progress on impact ignition	7th Direct Drive and Fast Ignition Workshop	Nov 2-6, 2009, Washington DC, USA	2009-FP6-3
62	2009	T. Kikuchi and K. Horioka	Possible Emittance Growth due to Nonuniform Particle Distribution in Beams with Thermal Equilibrium Condition	Particle Accelerator Conference 2009 (PAC09)	May 4-8, 2009, Vancouver, Canada	2008-FP6-1
63	2009	T. Kikuchi, T. Sasaki, Nob. Harada, A. Namptom, C. Buttapeng, K. Horioka and K. Takayama	Beamline for Warm Dense Matter Experiment Using the KEK Digital Accelerator	Particle Accelerator Conference 2009 (PAC09)	May 4-8, 2009, Vancouver, Canada	2008-FP6-1

64	2009	S. Kawata	Efficient Laser Ion Beam Generation	The 7th Direct Drive and Fast Ignition Workshop	May 3-6, 2009, Prague, Czech Republic	2008-FP6-1
65	2009	S. Kawata, Y. Nodera, K. Takahashi, Y. Ma, Z. Sheng, O. Klimo, J. Limpouch, Q. Kong, A. Andreev and P. Wang	Efficient Laser Ion acceleration in an Intense-Short Pulse Laser Foil Interaction	The 8th Pacific Rim Conference on Lasers and Electro-Optics	Aug. 31-Sep. 3, 2009, Shanghai, China	2008-FP6-1
66	2009	J. Hasegawa, Y. Oguri, K. Horioka, T. Kikuchi, T. Sasaki, S. Kawata and K. Takayama	A Beam-Driven Warm-Dense-Matter Experiment Using Quasi-Isentropically Compressed Targets	The 6th International Conference on Inertial Fusion Sciences and Applications (IFSA2009)	Sep. 6-11, 2009, San Francisco, CA, USA	2008-FP6-1
67	2009	Noboru Yugami, Takeshi Higashiguchi, and Ryosuke Kodama	Possibility of high power THz radiation via electromagnetically induced transparency at ion acoustic frequency region in laser-produced dense plasmas	SPIE Europe	Apr. 2009, Prague, Czech Republic	2006-FP5-23
68	2009	Takeshi Higashiguchi, Hiromitsu Terauchi, Jin-xiang Bai, Noboru Yugami, and Toyohiko Yatagai	Plasma diagnostics of a capillary plasma using pulse power	SPIE Europe	Apr. 2009, Prague, Czech Republic	2006-FP5-23
69	2009	Takeshi Higashiguchi, Masashi Kudo, Noboru Yugami, and Eiji J. Takahashi	Compression of an ultrashort laser pulse via self-modulation in argon gas	SPIE Europe	Apr. 2009, Prague, Czech Republic	2006-FP5-23

CHAPTER 4 JIFT

1. Journal Paper

No	Year	Authors	Title of Paper	Journal	Vol. (Year) Page (Start) -Page(End) or Identification No.	Year-Category-No.
1	2000	W. C. Chou, R. Matsumoto, T. Tajima, M. Umekawa, and K. Shibata	Dynamics of the Parker-Jeans instability in a galactic gaseous disk	Ap. J.	538 (2000) 710-727	2000-JF1-06
2	2000	N. Mizuguchi, T. Hayashi, and T. Sato	Convective loss of heat energy excited in the edge region of spherical tokamak	Contributions to Plasma Physics	40-3-4 (2000) 316-321	2000-JF1-07
3	2000	N.N. Gorelenkov, S. Bernabei, C. Z. Cheng, K. Hill, R. Nazikian, S. Kaye, Y. Kusama, G. J. Kramer, K. Shinohara, T. Ozeki, and M. V. Gorelenkova	Stability properties of toroidal Alfvén modes driven by fast particles	Nucl. Fusion	40-7 (2000) 1311-1323	2000-JF2-05
4	2000	S. M. Mahajan and Z. Yoshida	A collisionless self-organizing model for the high-confinement (H-mode) boundary layer	Phys. Plasmas	7-2 (2000) 635-649	2000-JF1-01
5	2000	G. Rewoldt, L.-P. Ku, W. M. Tang, H. Sugama, N. Nakajima, K. Y. Watanabe, S. Murakami, H. Yamada, and W. A. Cooper	Drift mode calculations for the Large Helical Device	Phys. Plasmas	7 (2000) 4942-4297	2000-JF1-04
6	2000	H. Sugama	Gyrokinetic field theory	Phys. Plasmas	7 (2000) 466-480	2000-JF2-06
7	2000	A. Zhidkov, A. Sasaki, and T. Tajima	Emission of MeV multiple-charged ions from metallic foils irradiated with an ultrashort laser pulse	Phys. Rev. E	61-3 (2000) R2224-R2227	2000-JF1-06
8	2000	A. Zhidkov, A. Sasaki, T. Utsumi, I. Fukumoto, T. Tajima, et al.	Prepulse effects on the interaction of intense femtosecond laser pulses with high-Z solids	Phys. Rev. E	62-5 (2000) 7232-7240	2000-JF1-06
9	2000	A. Zhidkov, A. Sasaki, and T. Tajima	Energetic multiple charged ion source on short pulse laser irradiated foils	Rev. Sci. Instr.	71 (2000) 931-934	2000-JF1-06
10	2001	S. Ohsaki, N. Shatashvili, Z. Yoshida and S. M. Mahajan	Magnetofluid coupling: Eruptive events in the Solar Corona	Astrophys. J.	559 (2001) L61-L65	2000-JF1-09
11	2001	Shuichi Ohsaki, Zensho Yoshida, Nana Shatashvili, and Swadesh M. Mahajan	Eruptive events in the solar atmosphere	Institute for Fusion Studies	Report No. IFS-927 (2001)	2000-JF1-01
12	2001	T.-H. Watanabe, H. Sugama, and T. Sato	A nondissipative simulation method for the drift kinetic equation	J. Phys. Soc. Jpn.	70-12 (2001) 3565-3576	2001-JF2-08
13	2001	Hantao Ji, Jeremy Goodman, and Akira Kageyama	Magnetorotational instability in a rotating liquid metal annulus	Mon. Not. R. Astron. Soc.	325 (2001) L1-L5	2000-JF1-11
14	2001	A. Maluckov, N. Nakajima, M. Okamoto, S. Murakami, and R. Kanno	Statistical properties of the particle radial diffusion in a radially bounded irregular magnetic field	National Institute for Fusion Science	Report No. NIFS-715 (2001)	2001-JF1-10
15	2001	K. Shinohara, Y. Kusama, G. J. Kramer, M. Takechi, A. Morioka, M. Ishikawa, N. Oyama, K. Tobita, T. Ozeki, S. Takeji, S. Moriyama, T. Fujita, T. Oikawa, T. Suzuki, T. Nishitani, T. Kondoh, S. Lee, M. Kuriyama, N. N. Gorelenkov, R. Nazikian, G. Y. Fu, C. Z. Cheng, and A. Fukuyama	Alfvén eigenmodes driven by Alfvénic beam ions in JT-60U	Nucl. Fusion	41 (2001) 603	2001-JF1-05

16	2001	K. Ichiguchi, M. Wakatani, T. Unemura, T. Tatsuno, and B. A. Carreras	Improved stability due to local pressure flattening in stellarators	Nucl. Fusion	41-2 (2001) 181-187	2001-JF1-13
17	2001	B. A. Carreras, V. E. Lynch, K. Ichiguchi, M. Wakatani, and T. Tatsuno	On the application of local asymptotic criteria to stellarator stability	Phys. Plasmas	8-3 (2001) 990-996	2001-JF1-13
18	2001	S. M. Mahajan, R. Miklaszewski, K. I. Nikol'skaya, and N. L. Shatashvili	Formation and primary heating of the solar corona: Theory and simulation	Phys. Plasmas	8-4 (2001) 1340-1357	2000-JF1-01
19	2001	J. Q. Dong, W. Horton, and Y. Kishimoto	Gyrokinetic study of ion temperature gradient instability in vicinity of flux surfaces with reversed magnetic shear	Phys. Plasmas	8-1 (2001) 167-173	2000-JF1-02
20	2001	H. Sugama, T.-H. Watanabe, and W. Horton	Collisionless kinetic-fluid closure and its application to the three-mode ion temperature gradient driven system	Phys. Plasmas	8-6 (2001) 2617-2628	2001-JF1-08
21	2001	Z. Yoshida, S. M. Mahajan, S. Ohsaki, M. Iqbal, and N. Shatashvili	Beltrami fields in plasmas: High-confinement mode boundary layers and high beta equilibria	Phys. Plasmas	8-5 (2001) 2125-2131	2001-JF1-09
22	2001	A. G. Zhidkov, A. Sasaki, I. Fukumoto and T. Tajima, et al.	Pulse duration effect on the distribution of energetic particles produced by intense femtosecond laser pulses irradiating solids	Phys. Plasmas	8-8 (2001) 3718-3723	2001-JF2-04
23	2001	F. Volponi, Z. Yoshida, and S. Mahajan	Asymptotic analysis and renormalized perturbation theory of non-Hermitian dynamics	Phys. Rev. E	64 (2001) 026312-1-6	2000-JF1-01
24	2001	T. Tatsuno, V. Berezhiani, and S. M. Mahajan	Vortex solitons: Mass, energy, and angular momentum bunching in relativistic electron-positron plasmas	Phys. Rev. E	63 (2001) 046403-1-7	2000-JF1-01
25	2001	Francesco Volponi, Swadesh M. Mahajan, and Zensho Yoshida	Asymptotic analysis and renormalized perturbation theory of the non-Hermitian dynamics of an inviscid vortex	Phys. Rev. E	64 (2001) 026312	2001-JF1-09
26	2001	T. Tajima, Y. Kishimoto, and T. Masaki	Cluster fusion	Physica Scripta	T89 (2001) 45-48	2001-JF2-04
27	2001	A. Maluckov, N. Nakajima, M. Okamoto, S. Murakami, and R. Kanno	Statistical properties of the neoclassical diffusion in a tokamak equilibrium	Plasma Phys. Control. Fusion	43 (2001) 1211-1226	2001-JF1-10
28	2001	N. N. Gorelenkov, S. Bernabei, C. Z. Cheng, G. Y. Fu, K. Hill, S. Kaye, G. J. Kramer, Y. Kusama, K. Shinohara, R. Nazikian, T. Ozeki, and W. Park	Fast Particle Effects on the Internal Kink, Fishbone and Alfvén Modes	Princeton Plasma Physics Laboratory	Report No. PPPL-3512 (2001)	2000-JF1-05
29	2001	D. R. Mikkelsen, H. Shirai, N. Asakura, T. Fujita, T. Fukuda, T. Hatae, S. Ide, A. Isayama, Y. Kamada, Y. Kawano, Y. Koide, O. Naito, Y. Sakamoto, T. Takizuka, and H. Urano	Correlation between core and pedestal temperatures in JT-60U: Experiment and modeling	Princeton Plasma Physics Laboratory	Report No. PPPL-3512 (2001)	2001-JF1-04
30	2002	S. Ohsaki, N. Shatashvili, Z. Yoshida and S. M. Mahajan	Energy transformation mechanism in the Solar atmosphere associated with magnetofluid Coupling: Explosive and eruptive events	Astrophys. J.	570 (2002) 395-407	2000-JF1-09

31	2002	Swadesh M. Mahajan, Komunela I. Nikol'skaya, Nana L. Shatashvili, and Zensho Yoshida	Generation of flows in the solar atmosphere due to magnetofluid coupling	Astrophys. J.	576 (2002) L161-164	2001-JF1-09
32	2002	Y. Todo, H. L. Berk, and B. N. Breizman	Simulation study of beam ion loss due to Alfvén eigenmode bursts	NIFS	Report No. NIFS-749 (2002)	2001-JF2-05
33	2002	G. Rewoldt, K.W. Hill, R. Nazikian, W.M. Tang, H. Shirai, Y. Sakamoto, Y. Kishimoto, S. Ide, and T. Fujita	Radial patterns of instability and transport in JT-60U internal transport barrier discharges	Nucl. Fusion	42-4 (2002) 403-411	2000-JF1-03
34	2002	W. Horton, F. Porcelli, P. Zhu, A. Aydemir, Y. Kishimoto, and T. Tajima	Ignitor physics assessment and confinement projects	Nucl. Fusion	42 (2002) 169-179	2001-JF1-08
35	2002	K. Shinohara, M. Takechi, M. Ishikawa, Y. Kusama, N. N. Gorelenkov, C. Z. Cheng, A. Morioka, N. Oyama, K. Tobita, T. Ozeki, G. J. Kramer, and R. Nazikian	Recent progress of Alfvén eigenmode experiments using N-NB in JT-60U tokamak	Nucl. Fusion	42 (2002) 942-948	2001-JF2-05
36	2002	G. Rewoldt, L.-P. Ku, W.M. Tang, H. Sugama, N. Nakajima, K. Y. Watanabe, S. Murakami, H. Yamada, and W. A. Cooper	Microinstability studies for the Large Helical Device	Nuclear Fusion	42 (2002) 1047-1054	2001-JF1-06
37	2002	A. Ito, Z. Yoshida, T. Tatsuno, S. Ohsaki, and S.M. Mahajan	Kelvin-Helmholtz instability in Beltrami fields	Phys. Plasmas	9-12 (2002) 4856-4862	2001-JF1-09
38	2002	Y. Kishimoto, T. Masaki, and T. Tajima	High energy ions and nuclear fusion in laser-plasma interaction	Phys. Plasmas	9 (2002) 589-601	2001-JF2-04
39	2002	V. I. Berezhiani, S. M. Mahajan, Z. Yoshida, and M. Pekker	Dynamics of self-trapped singular beams in an underdense plasma	Phys. Rev. E	65-4 (2002) 046415	2001-JF1-09
40	2002	Z. Yoshida and S. M. Mahajan	Variational principles and self-organization in two-fluid plasmas	Phys. Rev. Lett.	88-9 (2002) 095001-1-4	2001-JF1-09
41	2002	V. I. Berezhiani, S. M. Mahajan, Z. Yoshida, and M. Ohhashi	Self-trapping of strong electromagnetic beams in relativistic plasmas	PHYSICAL REVIEW E	65 (2002) 047402	2000-JF1-01
42	2003	Oleg Batishchev, Ritoku Horiuchi	Scope of Simulation Science	a special issue of Computer Physics Communications Journal (UK) http://web.mit.edu/ned/ICNSP/abstracts.html	about 75 refereed articles (400 pages)	2003-JF1-05
43	2003	Z. Yoshida, S. Ohsaki, A. Ito, and S. M. Mahajan	Stability of Beltrami flows	J. Math. Phys.	44 (2003) 2168	2003-JF1-10
44	2003	M. Yagi	Report of US-Japan JIFT Workshop on Structures and Self-Organization in Turbulent Plasmas and Fluids	Journal of Plasma and Fusion Research	79 (2003) 1197	2003-JF1-06
45	2003	D. R. Mikkelsen, H. Shirai, H. Urano, T. Takizuka, Y. Kamada, T. Hatae, Y. Koide, N. Asakura, T. Fujita, T. Fukuda, S. Ide, A. Isayama, Y. Kawano, O. Naito, and Y. Sakamoto	Stiff temperature profiles in JT-60U ELMy H-mode plasmas	Nucl. Fusion	43 (2003) 30	2001-JF1-04

46	2003	H. Takenaga, S. Higashijima, N. Oyama, L.G. Bruskin, Y. Koide, S. Ide, H. Shirai, Y. Sakamoto, T. Suzuki, K.W. Hill, G. Rewoldt, G.J. Kramer, R. Nazikian, T. Takizuka, T. Fujita, A. Sakasai, Y. Kamada, H. Kubo, and JT-60 Team	Relationship between particle and heat transport in JT-60U plasmas with internal transport barrier	Nuclear Fusion	43 (2003) 1235-1245	2000-JF1-04
47	2003	H. Sugama, T.-H. Watanabe, and W. Horton	Comparison between kinetic and fluid simulations of slab ion temperature gradient driven turbulence	Phys. Plasmas	10 (2003) 726	2001-JF2-08 2002-JF2-2 2002-JF2-10
48	2003	H. Sugama, T.-H. Watanabe, and W. Horton	Comparison between kinetic and fluid simulations of slab ion temperature gradient driven turbulence	Phys. Plasmas	10 (2003) 726-736	2002-JF1-10
49	2003	Y. Todo, H. L. Berk, and B. N. Breizman	Simulation of intermittent beam ion loss in a Tokamak Fusion Test Reactor experiment	Physics of Plasmas	10-7 (2003) 2888-2902	2000-JF1-09
50	2004	R. Horiuchi, H. Ohtani, and A. Ishizawa	Structure formation and dynamical behavior of kinetic plasmas controlled by magnetic reconnection	Computer Physics Communications	164 (2004) 17-32	2004-JF1-16
51	2004	Steve Jardin, Atsushi Fukuyama	Theory-Based Modeling and Integrated Simulation of Burning Plasma (II)	http://w3.pppl.gov/usjapanim		2004-JF1-09
52	2004	Noriyoshi Nakajima, Donald Monticello	Progress of Theoretical Analyses in Three Dimensional Configuration	http://www.center.iae.kyoto-u.ac.jp/kondok/meetings/jift/presentations.html		2004-JF1-01
53	2004	Guoyong Fu, Yasushi Todo	Physics of Energetic Particles	http://www.mfescience.org/TTF2005/		2004-JF1-08
54	2004	Y. Todo, H. L. Berk, and B. N. Breizman	Energetic ion transport due to Alfvén eigenmode bursts	Journal of Plasma and Fusion Research SERIES	6 (2004) 69-73	2004-JF1-12
55	2004	S. Ohsaki and S. M. Mahajan	Hall current and Alfvén wave	Phys. Plasmas	11 (2004) 898	2003-JF1-10
56	2004	E. Hameiri and R. Torasso	Linear stability of static equilibrium states in the Hall-magnetohydrodynamics model	Phys. Plasmas	11 (2004) 4934	2004-JF1-05
57	2004	C. Chiu, W. Horton, and Y. Ohsawa	Large acceleration of electrons by the microstructure of quasi-normal shocks	Phys. Plasmas	submitted for publication	2004-JF1-14
58	2004	S. I. Krasheninnikov, Y. Tomita, R. D. Smirnov, and R. K. Janev	On dust dynamics in tokamak edge plasmas	Physics of Plasmas	11 (2004) 3141 (10p)	2003-JF1-04
59	2004	E. Hameiri	Linear Stability of a Hall-MHD Equilibrium with Discontinuity		to be submitted for publication	2004-JF1-05
60	2005	J. Ramos et al.		Bull. Am. Phys. Soc.	50-8 (2005) UP1-5	2005-JF1-05
61	2005	Atsushi Fukuyama, Steven Jardin	Integrated Modeling of Multi-Scale Physics in Fusion Plasmas	http://pbsi.nucleng.kyoto-u.ac.jp/bpsi/usjws3/index.html		2005-JF1-02
62	2005	Donald Monticello, Noriyoshi Nakajima	Issues in Theoretical Analyses for Three Dimensional Configurations	http://w3.pppl.gov/~shudson/JIFT/2006/JIFT2006.html		2005-JF1-06

63	2005	Ritoku Horiuchi, Oleg Batishchev	New Development of Simulation Science	http://www.tcsc.nifs.ac.jp/icnsp/US-JapanSimulationWorkshop.html		2005-JF1-03
64	2005	M. S. Chu and K. Ichiguchi	Effect of the Resistive Wall on the Growth Rate of Weakly Unstable External Kink Mode in General 3D Configurations	Nucl. Fusion	45 (2005) 804-813	2004-JF1-06
65	2005	E. Hameiri, A. Ishizawa, and A. Ishida	Waves in the Hall-Magnetohydrodynamics Model	Phys. Plasmas	12-7 (2005) 072109-1-13	2004-JF1-05
66	2005	R. Nazikian, K. Shinohara, G.J. Kramer, E. Valeo, K. Hill, T.S. Hahm, G. Rewoldt, S. Ide, Y. Koide, Y. Oyama, H. Shirai, W. Tang	Measurement of Turbulence Decorrelation during Transport Barrier Formation in a High Temperature Fusion Plasma	Phys. Rev. Lett.	94 (2005) 135002	2004-JF1-04
67	2005	P. H. Diamond, S.-I. Itoh, K. Itoh and T. S. Hahm	Zonal Flows in Plasma—A Review	Plasma Physics and Controlled Fusion	47 (2005) R35-R161	2003-JF1-05
68	2005	Ritoku Horiuchi, Oleg Batishchev	New Development of Simulation Science	special issue of Journal of Plasma Physics (UK)	include about 120 refereed articles	2005-JF1-03
69	2006	Noriyoshi Nakajima, Donald A. Spong	Progress of Extended MHD Models	http://www.dss.nifs.ac.jp/todo/US-Japan2007/		2006-JF1-01
70	2006	H. Miura, N. Nakajima, T. Hayashi, and M. Okamoto	Vortical toroidal and compressible motions in 3D MHD simulations of LHD	J. Plasma Phys	72 (2006) 1095-1099	2005-JF1-10
71	2006	K. Ichiguchi and B. A. Carreras	Multi-Scale Approach to the Solution of Nonlinear MHD Evolution of Heliotron Plasma	Journal of Plasma Physics	72 (2006) 1117-1121	2005-JF1-10
72	2006	S. Murakami et al.	A global simulation study of ICRF heating in the LHD	Nucl. Fusion	46 (2006) S425-S432	2005-JF1-08
73	2007	H. Miura, N. Nakajima, T. Hayashi and M. Okamoto	Nonlinear Evolution of MHD Instability in LHD	Fusion Science and Technology	51 (2007) 8-19	2005-JF1-10
74	2007	F. L. Waelbroeck, J. W. Van Dam, Ritoku Horiuchi	Numerical simulation of complex plasmas	http://workshops.ph.utexas.edu/sw/index.php		2007-JF1-7
75	2007	Donald B. Batchelor, Atsushi Fukuyama	Integrated Modeling of Multi-Physics in Fusion Plasmas II	http://www.cswim.org/meetings/us-japan-2007/		2006-JF1-06
76	2007	D. A. Spong, J. H. Harris, A. S. Ware, S. P. Hirshman and L. A. Berry	Shear Flow Generation in Stellarators—Configurational Variations	Nucl. Fusion	47 (2007) 626-633	2006-JF1-04
77	2007	S. Toda, K. Itoh, A. Fujisawa, S.-I. Itoh, M. Yagi, A. Fukuyama, P.-H. Diamond, and K. Ida	Transport analysis of the effect of zonal flows on electron internal transport barriers in toroidal helical plasmas	Nucl. Fusion	47 (2007) 914-919	2007-JF1-11
78	2007	M. Furukawa and L.-J. Zheng	Alfvén resonance effect on the error-field-induced magnetic islands in rotating plasmas	Nucl. Fusion	submitted	2007-JF1-5
79	2007	A. Ito, J.J. Ramos and N. Nakajima	Ellipticity of axisymmetric equilibria with flow and pressure anisotropy in single-fluid and Hall magnetohydrodynamics	Phys. Plasmas	14 (2007) 062502	2005-JF1-05

80	2007	T. Nakamura, K. Mima, H. Sakagami, and T. Johzaki	Electron surface acceleration on a solid capillary target inner wall irradiated with ultra-intense laser pulses	Phys. Plasmas	14 (2007) 053112	2006-JF1-02 2007-JF1-02 2007-JF1-10
81	2007	B. N. Rogers, S. Kobayashi, P. Ricci, W. Dorland, J. Drake, and T. Tatsuno	Gyrokinetic Simulations of Collisionless Magnetic Reconnection	Physics of Plasmas	14 (2007) 092110-092110-10	2006-JF1-03
82	2007	H. Sugama, T.-H. Watanabe, and W. Horton	Collisionless kinetic-fluid model of zonal flows in toroidal plasmas	Physics of Plasmas	14-2 (2007) 022502-1-18	2007-JF2-7
83	2007	T. Nakamura, K. Mima, et al.	Electron surface interaction on a solid capillary inner surface irradiated with ultra-intense laser pulses	Physics of Plasmas	to be published	2006-JF1-02
84	2008	R. Kanno, M. Nunami, S. Satake, H. Takamaru and M. Okamoto	Transport Modeling of Edge Plasma in an $m/n=1/1$ Magnetic Island	Contributions to Plasma Physics	48 (2008) 106-110	2006-JF1-13
85	2008	Gennady Shvets, and Kunioki Mima	Theory and Simulation on Ultra-Intense Laser Plasmas	http://peaches.ph.utexas.edu/ifs/jift2008-intenselaser.html		2008-JF1-3
86	2008	Alex Arefiev, Hiroaki Ohtani	Progress of Multi-Scale Simulation Models	http://peaches.ph.utexas.edu/ifs/jift2008-simulationmodels.html		2008-JF1-1
87	2008	Y. Todo, G. Y. Fu	Energetic Particle Physics in Toroidal Plasmas	http://www.dss.nifs.ac.jp/todo/US-Japan2008		2008-JF1-9
88	2008	S. M. Mahajan and H. Miura	Linear superposition of nonlinear wave	J. Phys. Plasmas	10 (2008) 1-8	2005-JF1-10
89	2008	G. Kawamura and A. Fukuyama	Refinement of the gyrokinetic equations for edge plasmas with large flow shear	Phys. Plasmas	15 (2008) 042304	2006-JF1-06
90	2008	T. Cho, V. P. Pastukov, W. Horton, T. Mumakura, M. Hirata, J. Kohagura, N. V. Chudin, and J. Pratt	Active Control of Internal Transport Barrier Formation Due to Off-Axis Electron-Cyclotron Heating in Gamma 10 Experiments	Phys. Plasmas	15 (2008) 056120	2008-JF1-12
91	2008	Y. Todo, N. Nakajima, M. Osakabe, S. Yamamoto, and D. A. Spong	Simulation Study of Energetic Ion Transport due to Alfvén Eigenmodes in LHD Plasma	Plasma and Fusion Research	3 (2008) S1074	2006-JF1-04
92	2008	R. Kanno, M. Nunami, S. Satake, H. Takamaru, Y. Tomita, K. Nakajima, M. Okamoto and N. Ohyaabu	Monte-Carlo Simulation of Neoclassical Transport in Magnetic Islands and Ergodic Regions	Plasma and Fusion Research	3 (2008) S1060	2006-JF1-13
93	2008	K. Ichiguchi and B. A. Carreras	Mercier Stability Improvement in Nonlinear Development of LHD Plasma	Plasma and Fusion Research	3 (2008) S1033	2007-JF1-09
94	2008	T.-H. Watanabe, Y. Todo, and W. Horton	Benchmark Tests of Fusion Plasma Simulation Codes for Studying Microturbulence and Energetic-Particle Dynamics	Plasma and Fusion Research	3 (2008) 061	2008-JF1-12

95	2009	Y. Todo, S. Murakami, T. Yamamoto, A. Fukuyama, D. A. Spong, S. Yamamoto, M. Osakabe, and N. Nakajima	Numerical Analyses of Energetic Particles in LHD	Fusion Science and Technology	submitted	2008-JF1-9
96	2009	K. Toi, M. Isobe, M. Osakabe, F. Watanabe, K. Ogawa, S. Yamamoto, N. Nakajima, D.A. Spong, K. Ida, T. Ido, T. Ito, S. Morita, K. Nagaoka, K. Narihara, M. Nishiura, S. Ohdachi, S. Sakakibara, A. Shimizu, K. Tanaka, Y. Todo, T. Tokuzawa, A. Weller and LHD Experiment Group	MHD Modes Destabilized by Energetic Ions on LHD	Fusion Science and Technology	submitted	2008-JF1-9
97	2009	H. Ohtani and A. Arefiev	Advanced Simulation Methods in Plasmas	http://www.dss.nifs.ac.jp/ohtani/JIFT2009/		2009-JF-8
98	2009	K. Ichiguchi and B. A Carreras	Multi-Scale MHD Simulation Incorporating Pressure Transport Equation for LHD Plasmas	J. Plasma Fusion Res. SERIES	8 (2009) 1171-1175	2007-JF1-9
99	2009	H. Ohtani, W. Horton, T. Petrosky, and R. Horiuchi	Energy Conversion in Magnetic Reconnection with Chaos Diffusion	J. Plasma Fusion Res. SERIES	8 (2009) 203-207	2008-JF1-12
100	2009	Y. Nagashima, S.-I. Itoh, K. Itoh, A. Fujisawa, S. Inagaki, Y. Kawai, S. Shinohara, M. Fukao, T. Yamada, K. Terasaka, T. Maruta, K. Kamatak, H. Arakawa, M. Yagi, N. Kasuya, G. Tynan, P. H. Diamond, and Y. Takase	Reynolds Stress Measurements for Investigation of Nonlinear Processes of Turbulence in the Large Mirror Device and in the Large Mirror Device-Upgrade	J. Plasma Fusion Res. SERIES	8 (2009) 50-54	2009-JF-2
101	2009	D. A. Spong, Y. Todo, M. Osakabe, L. Berry, B. N. Breizman, D. L. Brower, C. B. Deng, A. Konies, E. D'Azevedo	Energetic particle physics issues for three-dimensional toroidal configurations	Nucl. Fusion	submitted	2006-JF1-04
102	2009	M. Furukawa and L. J. Zheng	Suppression of error-field-induced magnetic islands by Alfvén resonance effect in rotating plasmas	Nuclear Fusion	49 (2009) 075018 (6 pp)	2008-JF1-6
103	2009	T. S. Hahm, Lu Wang, and J. Madsen	Fully electromagnetic nonlinear gyrokinetic equations for tokamak edge turbulence	Phys. Plasmas	16 (2009) 022305	2007-JF1-1
104	2009	M. Furukawa, S. Tokuda, and L. J. Zheng	A numerical matching technique for resistive magnetohydrodynamics modes	Phys. Plasmas	17 (2010) 052502	2008-JF1-6
105	2009	H.B. Cai, K. Mima, W.M. Zhou, T. Jozaki, H. Nagatomo, A. Sunahara, R.J. Mason	Enhancing the Number of High-Energy Electrons Deposited to a Compressed Pellet via Double Cones in Fast Ignition	Phys. Rev. Lett.	102 (2009) 245001	2009-JF-7
106	2009	S. Takahashi, H. Kawai, Y. Ohsawa, S. Usami, C. Chiu, and W. Horton	The effect of parallel electric field in shock waves on the acceleration of relativistic ions, electrons, and positrons	Physics of Plasmas	16-11 (2009) 112308-1-10	2009-JF-3
107	2009	A. Arefiev	Generation of fast ions by microclusters	Plasma and Fusion Research	accepted for publication	2009-JF-10
108	2009	T. Johzaki, Y. Sentoku, et al.	Core heating properties in FIREX-I - influence of cone tip	Plasma Phys. Control. Fusion	51 (2009) 014002 (15pp)	2009-JF-5

109	2010	D. A. Spong, B. N. Breizman, D.L. Brower, E. D'Azevedo, C. B. Deng, A. Konies, Y. Todo, and K. Toi	Energetic particle-driven instabilities in general toroidal configurations	Contributions to Plasma Physics	50 (8) (2010) 708-712	2006-JF1-1
110	2010	K. Toi, M. Isobe, M. Osakabe, K. Ogawa, D. Spong, Y. Todo, and LHD Experiment Group	Overview of Studies on Energetic Ion Driven MHD Instabilities in Stellarator/Helical Plasmas and Comparison with Tokamaks	Contributions to Plasma Physics	50 (6-7) (2010) 493-500	2006-JF1-1
111	2010	Paul Bonoli and Atsushi Fukuyama	Integrated Modeling and Simulation in Toroidal Plasmas	http://www.psf.mit.edu/JIFT09/JIFT09.html		2009-JF-1
112	2010	D. A. Spong, E. D'Azevedo, and Y. Todo	Clustered frequency analysis of shear Alfvén modes in stellarators	Physics of Plasmas	17 (2010) 022106	2006-JF1-1
113	2010	M. Natata, T.-H. Watanabe, H. Sugama, and W. Horton	Formation of coherent vortex streets and transport reduction in electron temperature gradient driven turbulence	Physics of Plasmas	17-4 (2010) 042306-1-13	2008-JF1-12
114	2010	S. R. Hudson and N. Nakajima	Pressure, chaotic magnetic fields and MHD equilibria	Physics of Plasmas	17 (2010) 052511	2009-JF-9
115	2010	K. Saito, K. Ichiguchi, and N. Ohyabu	Interaction between static magnetic islands and interchange modes in a straight heliotron plasma with high resistivity	Phys. Plasmas	17, 6 (2010) 062504-1-14	2007-JF1-9

2. Conference Paper

No	Year	Authors	Title of Paper	Conference Name	Month Date, Year, Place, Country	Year-Category-No.
1	2000	Y. Todo, T.-H. Watanabe, H.-B. Park, and T. Sato	Fokker-Planck Simulation Study of Alfvén Eigenmode Burst	18th IAEA Fusion Energy Conference	October 4-10, 2000, Sorrento, Italy	2000-JF1-09
2	2000	N. N. Gorelenkov, S. Bernabei, C. Z. Cheng, G. Y. Fu, K. Hill, S. Kaye, G. J. Kramer, Y. Kusama, K. Shinohara, R. Nazikian, T. Ozeki, and W. Park	Fast Particle Effects on the Internal Kink, Fishbone and Alfvén Modes	The 18th International Conference on Plasma Physics and Controlled Nuclear Fusion Research	October 4-10, 2000, Sorrento, Italy	2000-JF1-05
3	2001	Y. Todo and T. Sato	Kinetic-magnetohydrodynamic simulation study of fast ions and toroidal Alfvén eigenmode	The 17th Conference	October 18-24, 1998, Yokohama Japan (IAEA, Vienna, 1999)	2000-JF1-05
4	2001	C. Z. Cheng, N. N. Gorelenkov, G. J. Kramer, R. Nazikian, Y. Kusama, K. Shinohara, and T. Ozeki	N-NBI excitation of frequency chirping modes in JT-60U experiments	The 7th IAEA Technical Committee Meeting on Energetic Particles in Magnetic Confinement Systems	October 8-11, 2001, Gothenberg, Sweden	2001-JF2-05
5	2001	K. Shinohara, M. Takechi, M. Ishikawa, Y. Kusama, N. N. Gorelenkov, C. Z. Cheng, A. Morioka, N. Oyama, K. Tobita, T. Ozeki, G. J. Kramer, and R. Nazikian	Recent progress of Alfvén eigenmode experiments using NNB in JT-60U tokamak	The 7th IAEA Technical Committee Meeting on Energetic Particles in Magnetic Confinement Systems	Oct. 8-11, 2001, Gothenberg, Sweden	2001-JF2-05
6	2002	S. M. Mahajan, R. D. Hazeltine, and Z. Yoshida	General Fluid Theories, Variational Principles and Self-Organization	19th IAEA Fusion Energy Conference	October 14-19, 2002, Lyon, France	2001-JF1-09
7	2002	Y. Todo, H. L. Berk, and B. N. Breizman	Simulation study of beam ion loss due to Alfvén eigenmode bursts	19th IAEA Fusion Energy Conference	October 14-19, 2002, Lyon, France	2002-JF2-19

8	2002	H. Naitou, T. Kobayashi, M. Yagi, T. Matsumoto, S. Tokuda, Y. Kishimoto, and J.-N. Leboeuf	Interaction between MHD modes and vortices	6th Kyushu-Okinawa-Yamaguchi Branch Division Meeting of Japan Society of Plasma Science and Nuclear Fusion Research	December 13, 2002, Saga, Japan	2001-JF2-01
9	2002	Y. Sakamoto, T. Suzuki, S. Ide, Y. Koide, H. Takenaga, Y. Kamada, T. Fujita, T. Fukuda, T. Takizuka, H. Shirai, N. Oyama, Y. Miura, K.W. Hill, G. Rewoldt, and JT-60 Team	Properties of Internal Transport Barrier Formation in JT-60U	The 19th International Atomic Energy Agency's (IAEA) Fusion Energy Conference 2002 (CN-94)	October 14-19, 2002, Lyon, France	2000-JF1-04
10	2002	H. Takenaga, S. Higashijima, N. Oyama, L.G. Bruskin, Y. Koide, S. Ide, H. Shirai, Y. Sakamoto, T. Suzuki, K.W. Hill, G. Rewoldt, G.J. Kramer, R. Nazikian, T. Takizuka, T. Fujita, A. Sakasai, Y. Kamada, H. Kubo, and JT-60 Team	Relationship between particle and heat transport in JT-60U plasmas with internal transport barrier	The 19th International Atomic Energy Agency's (IAEA) Fusion Energy Conference 2002 (CN-94)	October 14-19, 2002, Lyon, France	2000-JF1-04
11	2002	K.W. Hill, D.R. Ernst, D. Mikkelsen, G. Rewoldt, S. Higashijima, N. Asakura, H. Shirai, T. Takizuka, S. Konoshima, Y. Kamada, H. Kubo, and Y. Miura	Study of Integrated High-Performance Regimes with Impurity Injection in JT-60U Discharges	The 19th International Atomic Energy Agency's (IAEA) Fusion Energy Conference 2002 (CN-94)	October 14-19, 2002, Lyon, France	2001-JF1-04
12	2002	H. Yamada, S. Murakami, et al.	Response of Density and Temperature Profiles to Heat Deposition Profile and Its Impact on Global Scaling in LHD	The 19th International Atomic Energy Agency's (IAEA) Fusion Energy Conference 2002 (CN-94)	October 14-19, 2002, Lyon, France	2002-JF2-02 2002-JF2-07
13	2002	M. Yokoyama, K. Itoh, S. Okamura, K. Matsuoka, N. Nakajima, S.-I. Itoh, G.H. Neilson, M.C. Zarnstorff, and G. Rewoldt	Drift Reversal Capability in Helical Systems	The 19th International Atomic Energy Agency's (IAEA) Fusion Energy Conference 2002 (CN-94)	October 14-19, 2002, Lyon, France	2002-JF2-20 2002-JF2-8
14	2003	Ishida, H. Caesar, L. C. Steinhauer, and Y.-K. M. Peng	Improved Formalism for Flowing Two-Fluid Equilibrium and Its Application to ST	The 13th International Toki Conference on Plasma Physics and Controlled Nuclear Fusion	December 9-12, 2003, Toki, Japan	2003-JF1-03
15	2003	S. I. Krasheninnikov, D. D. Ryutov, and G. Yu	Large plasma pressure perturbations and radial convective transport in a tokamak	The 13th International Toki Conference on Plasma Physics and Controlled Nuclear Fusion	December 9-12, 2003, Toki, Japan	2003-JF1-04
16	2003	T.-H. Watanabe, H. Sugama, W. Horton, and H.V. Wong	A non-dissipative closure model for mirror instability in a collisionless plasma	The 2003 International Sherwood Fusion Theory Conference	April 28-30, 2003, Texas, USA	2002-JF1-10
17	2003	S. I. Krasheninnikov	Blobs in edge plasmas	The Meeting on Advances in Nonlinear Fluid and Plasma Dynamics	December 3-4, 2003, Kyushu University, Japan	2003-JF1-04
18	2003	S. I. Krasheninnikov, Y. Tomita, R. D. Smirnov, and R. K. Janev	On dust dynamics in tokamak edge plasmas	The US-Japan JIFT Workshop on Theory-based Modeling and Integrated Simulation of Burning Plasmas	December 15-17, 2003, Kyoto, Japan	2003-JF1-04

19	2003	H. Naitou, J.-N. Leboeuf, H. Nagahara, T. Kobayashi, M. Yagi, T. Matsumoto, S. Tokuda	Vortex Generation and Collisionless Internal Kink Mode in Tokamaks	U.S.-Japan Joint Institute for Fusion Theory Workshop on Structures and Self-Organization in Turbulent Plasmas and Fluids	September 19, 22-23, 2003, San Diego, USA	2003-JF1-08
20	2004	A. Fukuyama et al.	Advanced Transport Modeling of Toroidal Plasmas with Transport Barriers	20th IAEA Fusion Energy Conference	November 1-6, 2004, Vilamoura, Portugal	2004-JF1-09
21	2004	M. Yagi, S. Yoshida, S.-I. Itoh, H. Naitou, H. Nagahara, J.-N. Leboeuf, K. Itoh, T. Matsumoto, S. Tokuda, and M. Azumi	Nonlinear simulation of tearing mode and m=1 internal kink mode based on kinetic RMHD model	The 20th IAEA Fusion Energy Conference	November 1-6, 2004, Vilamoura, Portugal	2003-JF1-08
22	2006	K. Ichiguchi and B. A. Carreras	Multi-Scale Simulation of Heliotron Plasma	Joint Workshop of NIFS Cooperative Programs 2006 for MHD Theory and Related Topics	September 14-15, 2006, Toki, Japan	2006-JF2-08
23	2007	H. Ohtani, R. Horiuchi, and W. Horton	Three dimensional particle simulations of driven magnetic reconnection	2007 International Sherwood Fusion Theory Conference	April 23-25, 2007, Annapolis, USA	2006-JF1-12
24	2007	H. Ohtani, R. Horiuchi, W. Horton, and T. Petrosky	Energy release between fields and particles, and change of velocity distribution in collisionless driven reconnection	2007 US-Japan Workshop on Magnetic Reconnection	March 26-29, 2007, St.Michaels, USA	2006-JF1-12
25	2007	H. Ohtani, R. Horiuchi, and W. Horton	Dynamics of magnetic dissipation region in collisionless driven reconnection in open system	20th International Conference on Numerical Simulation of Plasmas	October 10-12, 2007, Austin, USA	2006-JF1-12
26	2007	J. Pratt and W. Horton	Drift Waves and Stability in the GAMMA-10	49th American Physical Society Division of Plasma Physics Annual Meeting	November 12-16, 2007, Orlando, USA	2007-JF1-4
27	2007	J. Pratt, W. Horton, J.-H. Kim, and H. L. Berk	Drift Wave Fluctuation in Tandem Mirrors with Anchor Cells and Sheared Flows	International Sherwood Fusion Theory Conference	April 23-25, 2007, Annapolis, USA	2007-JF1-4
28	2007	R. Kanno, M. Nunami, S. Satake, H. Takamaru and M. Okamoto	Transport Modeling of Edge Plasma in an m/n=1/1 Magnetic Island	The 11th International Workshop on Plasma Edge Theory in Fusion Devices	23-25 May 2007, Takayama, Japan	2006-JF1-13
29	2007	R. Kanno, M. Nunami, S. Satake, H. Takamaru, Y. Tomita, K. Nakajima, M. Okamoto and N. Ohyabu	Monte-Carlo Simulation of Neoclassical Transport in Magnetic Islands and Ergodic Regions	The Joint Conference of 17th International Toki Conference (ITC) on Physics of Flows and Turbulence in Plasmas and 16th International Stellarator/Heliotron Workshop (ISHW) 2007	15-19 October 2007, Toki, Japan	2006-JF1-13
30	2007	W. Horton, J.-H. Kim, E. Asp, T. Hoang, T.-H. Watanabe, and H. Sugama	Drift Wave Turbulence	Turbulent Transport in Fusion Plasmas, First ITER International Summer School	July 16-20, 2007, Aix-en-Provence, France	2007-JF1-1
31	2007	Atsushi Ito, Jesus. J. Ramos, and Noriyoshi Nakajima	High-beta axisymmetric equilibria with flow in reduced single-fluid and two-fluid models	Workshop of NIFS Cooperative Programs 2007 'Progress of MHD Theory and Related Topics'	1-2 November, 2007, Toki, Japan	2005-JF1-05
32	2007	Noriyoshi Nakajima, Satoru Sakakibara, Kiyomasa Watanabe, Stuart Hudson, and Chris Hegna	Analysis of MHD stability in high-beta plasmas in LHD	Workshop of NIFS Cooperative Programs 2007 'Progress of MHD Theory and Related Topics'	1-2 November, 2007, Toki, Japan	2005-JF1-06

33	2007	K. Ichiguchi and B. A Carreras	Mercier Stability Improvement in Nonlinear Development of Heliotron Plasma	Workshop of NIFS Cooperative Programs 2007 'Progress of MHD Theory and Related Topics'	1-2 November, 2007, Toki, Japan	2007-JF1-09
34	2008	M. Furukawa, S. Tokuda, and L.-J. Zheng	Tearing mode stability analysis via a new numerical matching technique for resistive MHD	50th Annual Meeting of the Division of Plasma Physics, American Physical Society	November 17-21, 2008, Dallas, USA	2008-JF1-6
35	2008	H. Ohtani, W. Horton. T. Petrosky, and R. Horiuchi	Energy Conversion in Magnetic Reconnection with Chaos Diffusion	2008 International Congress on Plasma Physics	September 8-12, 2008, Fukuoka, Japan	2006-JF1-12
36	2008	H. Ohtani, R. Horiuchi, W. Horton, and T. Petrosky	Energy release in Magnetic Reconnection with Chaos Diffusion	2008 International Sherwood Fusion Theory Conference	March 30 - April 2, 2008, Boulder, USA	2006-JF1-12
37	2008	A. H. Glasser	Preconditioning and Scalability of Implicit Extended MHD Plasma Simulation by FEETI-DP Domain Substructuring	20th International Conference on Numerical Simulation of Plasmas	October 10-12, 2008, Austin, USA	2007-JF1-6
38	2008	Y. Todo, M. Osakabe, et al	Simulation Study of Interaction between Energetic Ions and Alfvén Eigenmodes in LHD	22nd IAEA Fusion Energy Conference	October 13-18, 2008, Geneva, Switzerland	2008-JF1-9
39	2008	M. Furukawa and L.-J. Zheng	Suppression of error-field-induced magnetic islands by Alfvén resonance effect in rotating plasmas	22th IAEA Fusion Energy Conference	Oct. 13-18, 2008, Geneva, Switzerland	2008-JF1-6
40	2008	T. Johzaki, Y. Sentoku, H. Sakagami, H. Nagatomo, K. Mima, and Y. Nakao	Core Heating Properties in FIREX-I – Influence of Cone Tip	35th European Physical Society Plasma Physics Conference	June 09-13, 2008, Crete, Greece	2007-JF1-10
41	2008	H. Ohtani, W. Horton. T. Petrosky, and R. Horiuchi	Role of Chaotic Orbits of Meandering Particles in Magnetic Reconnection	50th Annual Meeting of the Division of Plasma Physics, American Physical Society	November 17-21, 2008, Dallas, USA	2008-JF1-12
42	2008	K. Uzawa, T. H. Watanabe, H. Sugama, N. Nakajima, and W. Horton	Zonal Flows from Parametric Decays in ITG Turbulence and the Internal Gravity Wave Paradigm	50th Annual Meeting of the Division of Plasma Physics, American Physical Society	November 17-21, 2008, Dallas, USA	2008-JF1-12
43	2008	M. Nakata, T. H. Watanabe, and W. Horton	Gyrokinetic Analysis of Vortex Structures and Distribution Functions in Slab ETG Turbulence	50th Annual Meeting of the Division of Plasma Physics, American Physical Society	November 17-21, 2008, Dallas, USA	2008-JF1-12
44	2008	W. Horton and H. Miura	Dust Devil Dynamics	50th Annual Meeting of the Division of Plasma Physics, American Physical Society	November 17-21, 2008, Dallas, USA	2008-JF1-12
45	2010	L. Zheng and M. Furukawa	Current-interchange Tearing Modes: Conversion from Interchange-type Modes to Tearing Modes	IAEA Fusion Energy Conference	11-16 October, 2010, Daejeon, Korea	2009-JF-11
46	2010	S. Murakami, K. Itoh, L. Zheng, J. W. Van Dam, and A. Fukuyama	Simulation Study of Toroidal Flow Generation by the ICRF Minority Heating	IAEA Fusion Energy Conference	11-16 October, 2010, Daejeon, Korea	2009-JF-11
47	2010	W. Horton, O. Yamagishi, and A. Sen	Electron temperature gradient drift mode in the Columbia Linear Mirror	The International Sherwood Fusion Theory Conference	19-21 April, 2010, Seattle, Washington, USA	2009-JF-6
48	2010	O. Yamagishi, W. Horton, F. L. Waelbroeck, P. J. Morrison, and C. Correa	Numerical study of zonal flow generation with the Hasegawa-Wakatani model and comparison with linear predictions	U.S. Transport Task Force Workshop	13-16 April, 2010, Annapolis, Maryland, Spain	2009-JF-6

CHAPTER 5 JUPITER-II

Task 1-1A Flibe Handling/Tritium Chemistry

No	Year	Authors	Title of Paper	Journal	(Year) Page (Start) -Page(End) or Identification No.
1	2001	Sagara, A., Yamanishi H., Uda T., Motojima, O., Kunigi, T., Matsumoto, Y., Wu, Y., Matsui, H., Takahasi, T., Yamamoto, T., Toda, S., Mitarai, O., Satake, S., Terai, T., Tanaka, S., Fukada, S., Nishikawa, M., Shimizu, A., Yoshida, N.	Studies on Flibe Blanket Designs in Helical Reactor FFHR	Fusion Technology	39 (2001) 753-757
2	2001	Terai, T., Suzuki, A., Tanaka, S.	Tritium Release from Li ₂ BeF ₄ Molten Salt Breeder under Neutron Irradiation at Elevated Temperature	Fusion Technology	39 (2001) 768-772
3	2001	Terai, T., Nishimura, H., Yamaguchi, K., Yamawaki, M., Suzuki, A., Muroga, T., Sagara, A. and Motojima, O.	Compatibility of Structural Materials with Li ₂ BeF ₄ Molten Salt Breeder	Fusion Technology	39 (2001) 784-788
4	2001	Nishimura, H., Suzuki, A., Terai, T., Yamawaki, M., Tanaka, S., Sagara A., and Motojima, O	Chemical Behavior of Li ₂ BeF ₄ Molten Salt as a Liquid Tritium Breeder	Fusion Engineering and Design	58-59 (2001) 667-672
5	2002	Petti, D.A., Anderl, R.A., Smolik, G.R., Sze, D.-K., Terai T. and Tanaka, S.	JUPITER-II Flibe Tritium Chemistry and Safety Experimental Program	Fusion Science and Technology	41 (2002) 807-811
6	2002	Fukada, S., Nishikawa, M., Sagara A. and Terai, T.	Mass-Transport Properties to Estimate Rates of Tritium Recovery from FLIBE Blanket	Fusion Science and Technology	41 (2002) 1054-1058
7	2002	Fukada, S. Anderl, R.A., Hatano, Y., Schuetz, S.T., Pawelko, R.J., Petti, D.A., Smolik, G.R., Terai, T., Nishikawa, M., Tanaka S. and Sagara, A.	Initial Studies of Tritium Behavior in Flibe and Flibe-facing Material	Fusion Engineering and Design	61-62 (2002) 783-788
8	2002	Nishimura, H., Terai, T., Yamawaki, M., Tanaka, S., Sagara A. and Motojima, O.	Compatibility of Ferritic Steels with Li ₂ BeF ₄ Molten Salt Breeder	Journal of Nuclear materials	307-311 (2002) 1355-1359
9	2003	Fukada, S., Anderl, R.A., Pawelko, R.J., Smolik, G.R., Schultz, S.T., O'Brien, J.E., Nishimura, H., Hatano, Y., Terai, T., Petti, D.A., Sze, D.-K. and Tanaka, S.	FLIBE-D2 Permeation Experiment and Analysis	Fusion Engineering and Technology	44 (2003) 410-414
10	2004	Smolik, G., Pawelko, R., Morimoto, Y., Okuno, K., Anderl, R., Petti, D.A. and Terai, T.	Mobilization Measurements from Flibe under Argon and Air Flow	Journal of Nuclear Materials	329-333 (2004) 1322-1326
11	2004	Anderl, R.A., Fukada, S., Smolik, G.R., Pawelko, R.J., Schuetz, S.T., Sharpe, J.P., Merrill, B.J., Petti, D.A., Nishimura, H., Terai T. and Tanaka, S.	Deuterium/tritium Behavior in Flibe and Flibe-facing Materials	Journal of Nuclear Materials	329-333 (2004) 1327-1331
12	2006	Fukada, S., Morisaki, A., Sagara A. and Terai, T.	Control of Tritium in FFHR-2 Self-cooled Flibe Blanket	Fusion Engineering and Design	81 (2006) 477-483
13	2006	Fukada, S., Morisaki, A.	Hydrogen permeability through a mixed molten salt of LiF, NaF and KF (Flinak) as a heat-transfer fluid	Journal of Nuclear Materials	358 (2006) 235-242
14	2006	Simpson, M.F., Smolik, G.R., Sharpe, J.P., Anderl, R.A., Petti, D.A., Hatano, Y., Hara, M., Oya, Y., Fukada, S., Tanaka, S., Terai T., and Sze, D.-K	Quantitative Measurement of Beryllium-controlled Redox of Hydrogen Fluoride in Molten Flibe	Fusion Engineering and Design	81 (2006) 541-547

15	2006	Hara, M., Hatano, Y., Simpson, M.F., Smolik, G.R., Sharpe, J.P., Oya, Y., Okuno, K., Nishikawa, M., Terai, T., Tanaka, S., Anderl, R.A., Petti D.A. and Sze, D.-K	Interactions between Molten Flibe and Metallic Be	Fusion Engineering and Design	81 (2006) 561-566
16	2006	Klix, A., Suzuki A. and Terai, T.	Study of Tritium Migration in Liquid Li ₂ BeF ₄ with Ab initio Molecular Dynamics	Fusion Engineering and Design	81 (2006) 713-717
17	2006	Kimura, A., Kasada, R., Kohyama, A., Konishi, S., Enoda, M., Akiba, M., Jitsukawa, S., Ukai, S., Terai T. and Sagara, A.	Ferritic Steel-blanket Systems Integration R&D-Compatibility Assessment	Fusion Engineering and Design	81 (2006) 909-916
18	2006	Sagara, A., Imagawa, S., Tanaka, T., Muroga, T., Kubota, Y., Dolan, T., Hashizume, H., Kunugi, T., Fukada, S., Shimizu, A., Terai T. and Mitarai, O.	Carbon Tiles as Spectral-shifter for Long-life Liquid Blanket in LHD-type Reactor FFHR	Fusion Engineering and Design	81 (2006) 1299-1304
19	2006	Petti, D.A., Smolik, G.R., Simpson, M.F., Sharpe, J.P., Anderl, R.A., Fukada, S., Hatano, Y., Hara, M., Oya, Y., Terai, T., Sze, D.-K. and Tanaka, S.	JUPITER-II Molten Salt Flibe Research: An Update on Tritium, Mobilization and Redox Chemistry Experiments	Fusion Engineering and Design	81 (2006) 1439-1449
20	2007	Fukada, S., Simpson, M.F., Anderl, R.A., Sharpe, J.P., Katayama, K., Smolik, G.R., Oya, Y., Terai, T., Okuno, K., Hara, M., Petti, D.A., Tanaka, S., Sze, D.-K. and Sagara, A.	Reaction Rate of Beryllium with Fluorine Ion for Flibe Redox Control	Journal of Nuclear Materials	367-370 (2007) 1190-1196
21	2007	Calderoni, P., Sharpe, J.P., Hara M. and Oya, Y.	Measurement of tritium permeation in flibe	Fusion Engineering and Design	367-370, Part 2 (2007) 1190-1196

Task 1-1B Thermofluid Characteristics of Flibe Simulant

22	2001	Chiba, S., Toda, S., Yuki, K. and Sagara, A.	Heat Transfer Enhancement for a Molten Salt FLiBe Channel	Fusion Technology	39 (2001) 779-783
23	2001	Sagara, A., Yamanishi, H., Uda, T., Motojima, O., Mitarai, O., Kunugi, T., Matsumoto, Y., Satake, S., Wu, Y., Terai, T., Tanaka, S., Matsui, H., Takahashi, S., Yamamoto, T., Toda, S., Fukada, S., Nishikawa, M., Shimizu, A. and Yoshida, N.	Studies in Flibe Blanket Designs in Helical Reactor FFHR	Fusion Technology	39 (2001) 753-757
24	2001	Kunugi, T., Satake, S. and Sagara, A.	Direct Numerical Simulation of Turbulent Free-Surface High Prandtl Number Fluid Flows in Fusion Reactors	Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A	464 (2001) 165-171
25	2001/2002	Smolentsev, S., Abdou, M. A., Kunugi, T., Morley, N. B., Satake, S. and Ying, A.	Modeling of Liquid Walls in Apex Study	International Journal of Applied Electro-Magnetics and Mechanics	13 (2001/2002) 373-379
26	2002	Satake, S., Kunugi, T. and Smolentsev, S.	Advances in Direct Numerical Simulation for MHD Modeling of Free Surface Flows	Fusion Engineering Design	61-62 (2002) 95-102
27	2002	Freeze, B., Dagher, M., Sketchley, T., Morley, N. B., Smolentsev, S. and Abdou, M. A.	FLIHY experimental facilities for studying open channel turbulent flows and heat transfer	Fusion Engineering Design	63-64 (2002) 391-395
28	2002	Smolentsev, S., Freeze, B., Morley, N. B. and Abdou, M. A.	Experimental study of turbulent supercritical open channel water flow as applied to the CLIFF concept	Fusion Engineering Design	63-64 (2002) 397-403
29	2002	Toda, S., Chiba, S., Yuki, K., Omae, M. and Sagara, S.	Experimental research on molten salt thermofluid technology using a high-temperature molten salt loop applied for a fusion reactor flibe blanket	Fusion Engineering Design	63-64 (2002) 405-409.
30	2002	Kunugi, T. and Satake, S.	Approaches of Fusion Science to Global Warming from the Perspective of Thermofluid Research	Fusion Engineering Design	63-64 (2002) 665-672

31	2002	Smolentsev, S., Abdou, M. A., Morley, N. B., Ying, A. and Kunugi, T.	Application of the "K-epsilon" model to open channel flows in a magnetic field	International Journal of Engineering Science	40 (2002) 693-711
32	2002	Freeze, B., Smolentsev, S., Morley, N. B. and Abdou, M. A.	Characterization of the Effect of Froude Number on Surface Waves and Heat Transfer in Inclined Turbulent Open Channel Water Flows	International Journal of Heat and Mass Transfer	46 (2002) 3765-3775
33	2002	Satake, S., Kunugi, T. and Smolentsev, S.	DNS of Turbulent Pipe Flow in a Transverse Magnetic Field	Journal of Turbulence	3 (2002) 020 (http://jot.iop.org/)
34	2002	Satake, S., Kunugi, T. and Smolentsev, S.	Direct numerical simulation of MHD turbulent free surface flow	Transaction JSME	68 (2002) 755-760
35	2004	Smolentsev, S., Morley, N. B., Freeze, B., Miraghaie, R., Nave, J. C., Banerjee, S., Ying, A. and Abdou, M. A.	Thermofluid Modeling and Experiments for Free Surface Flows of Low-Conductivity Fluid in Fusion Systems	Fusion Engineering Design,	72 (2004) 63-81
36	2005	Chiba, S., Omae, M., Yuki, K., Hashizume, H., Toda, S. and Sagara, A.	Experimental research on heat transfer enhancement for high Prandtl-number fluid	Fusion Science and Technology	47 (2005) 569-573
37	2005	Morley, N. B., Malang, S. and Kirillov, I.	Thermofluid Magnetohydrodynamic Issues for Liquid Breeders	Fusion Science and Technology	47 (2005) 488-501
38	2005	Okumura, M., Yuki, K., Hashizume, H. and Sagara, A.	Evaluation of Flow Structure in Packed-Bed Tube by Visualization Experiment	Fusion Science and Technology	47 (2005) 1089-1093
39	2005	Sagara, A., Tanaka, T., Muroga, T., Hashizume, H., Kunugi, T., Fukada, S. and Shimizu, A.	Innovative liquid breeder blanket design activities in Japan	Fusion Science and Technology	47 (2005) 524-529
40	2005	Smolentsev, S., Miraghaie, R. and Abdou, M. A.	MHD Effects on Heat Transfer in a Molten Salt Blanket	Fusion Science and Technology	47 (2005) 559-563
41	2005	Smolentsev, S., and Miraghaie, R.	Study of a Free Surface in Open-Channel Water Flows in the Regime from weak to strong Turbulence	International Journal of Multiphase Flow	31 (2005) 921-939
42	2005	Abdou, M. A., Morley, N. B., Ying, A., Smolentsev, S. and Calderoni, P.	Overview of fusion blanket R&D in the US over the last decade	Nuclear Engineering and Technology	37 (2005) 401-422
43	2005/2006	Li, F-Ch., Kunugi, T. and Serizawa, A.	MHD effect on flow structures and heat transfer characteristics of liquid metal-gas annular flow in a vertical pipe	International Journal of Heat and Mass Transfer	48 (2005/2006) 2571-2581
44	2006	Morley, N. B., Abdou, M. A., Anderson, M., Calderoni, P., Kurtz, R. J., Nygren, R., Raffray, R., Sawan, M., Sharpe, P., Smolentsev, S., Willms, S. and Ying, A.	Overview of Fusion Nuclear Technology in the US	Fusion Engineering Design	81 (2006) 33-43
45	2006	Satake, S., Kunugi, T., Naito, N. and Sagara, A.	Direct numerical simulation of MHD flow with electrically conducting wall	Fusion Engineering Design	81 (2006) 367-374
46	2006	Chiba, S., Yuki, K., Hashizume, H., Toda, S. and Sagara, A.	Numerical research on heat transfer enhancement for high Prandtl-number fluid	Fusion Engineering Design	81 (2006) 513-517
47	2006	Satake, M., Yuki, K., Chiba, S. and Hashizume, H.	Numerical analysis of MHD flow structure behind a square rod	Fusion Engineering Design	81 (2006) 525-532
48	2006	Takeuchi, J., Satake, S., Miraghaie, R., Yuki, K., Yokomine, T., Kunugi, T., Morley, N. B. and Abdou M. A.	Study of heat transfer enhancement / suppression for molten salt flows in a large diameter circular pipe: Part one – Benchmarking,	Fusion Engineering Design	81 (2006) 601-606
49	2006	Satake, S., Kunugi, T., Takase, K. and Ose, Y.	Direct numerical simulation of turbulent channel flow under a uniform magnetic field for large-scale structures at high Reynolds number	Physics of Fluids	18 (2006) 125106

50	2007	Nakaharai, H., Takeuchi, J., Yokomine, T., Kunugi, T., Satake, S., Morley, N. B. and Abdou, M. A	The influence of a magnetic field on turbulent heat transfer of high Prandtl number fluid	Experimental Thermal and Fluid Science	32 (2007) 23-28
51	2007	Takeuchi, J., Satake, S., Kunugi, T., Yokomine, T., Morley, N. B., and Abdou, M. A.	Development of PIV technique under magnetic fields and measurement of turbulent pipe flow of FLIBE simulant fluid	Fusion Science and Technology	52 (2007) 860-864
52	2007	Nakaharai, H., Takami, S., Yokomine, T., Ebara, S., Shimizu, A.	Numerical study of heat transfer characteristics in a tube with regularly spaced twisted tape	Fusion Science and Technology	52 (2007) 855-859
53	2007	Yokomine, T., Takeuchi, J., Nakaharai, H., Satake, S., Kunugi, T., Morley, N. B., Abdou, M. A.	Experimental investigation of turbulent heat transfer of high Prandtl number fluid flow under strong magnetic field	Fusion Science and Technology	52 (2007) 625-629
54	2007	Satoh, T., Yuki, K., Chiba, S., Hashizume, H. and Sagara, S.	Heat Transfer Performance for High Prandtl and High Temperature Molten Salt Flow in Sphere-Packed Pipes	Fusion Science and Technology	52 (2007) 618-624
55	2008	Seto, N., Yuki, K., Hashizume, H., Sagara, A.	Heat transfer and pressure drop correlations of sphere-packed pipes for a wide range of Re and Pr	Fusion Engineering and Design	83, 7-9 (2008) 1102-1107
56	2008	Takeuchi, J., Satake, S., Kunugi, T., Yokomine, T., Morley, N. B. and Abdou, M.A.	Experimental study on MHD effects on turbulent flow of FLIBE stimulant fluid in a circular pipe	Fusion Engineering and Design	83, 7-9 (2008) 1082-1086
57	2008	Y. Yamamoto, T. Kunugi, S. Satake, S. Smolentsev	DNS and k-epsilon model simulation of MHD turbulent channel flows with heat transfer	Fusion Engineering and Design	83, 7-9 (2008) 1309-1312

Task 1-2A MHD coating for V/Li systems

58	2002	Fujiwara, M., Natesan, K., Satou, M., Hasegawa, A., and Abe, K.	Effects of doping elements on oxidation properties of V-Cr-Ti type alloys in several environments	Journal of Nuclear Materials	307-311 (2002) 601-604
59	2002	Pint, B.A., DeVan, J.H. and DiStefano, J.R.	Temperature Limits on Compatibility of Insulating Ceramics in Lithium	Journal of Nuclear Materials	307-311 (2002) 1344-50
60	2002	Suzuki, A., Koch, F., Maier, H., Nishimura, H., and Muroga, T.	Fabrication of ceramics coatings on NIFS-HEAT by arc-source plasma-assisted deposition method for fusion blanket application	Journal of Plasma Fusion Research SERIES	5 (2002) 551-555
61	2002	Sakurai, T., Yoneoka, T., Tanaka, S., Suzuki, A., Muroga, T.	Control of nitrogen concentration in liquid lithium by hot trapping	Fusion Engineering and Design	61-62 (2002) 763-768
62	2002	Smith, D.L., Konys, J., Muroga T. and Evitkhin, V.	Development of coating for fusion power applications	Journal of Nuclear Materials	307-311 (2002) 1314-1322
63	2002	Sakurai, T. Yoneoka, T., Tanaka, S., Suzuki, A. and Muroga, T.	Control of the nitrogen concentration in liquid lithium by the hot trap method	Journal of Nuclear Materials	307-311 (2002) 1380-1384
64	2003	Pint, B.A., DiStefano J.R. and Tortorelli, P.F.	High Temperature Compatibility Issues for Fusion Reactor Structural Materials	Fusion Science and Technology	44 (2003) 433-40
65	2003	Suzuki, A., Muroga, T., Pint, B.A., Yoneoka, T., Tanaka, S.	Corrosion behaviour of AlN for self-cooled Li/V blanket application	Fusion Engineering and Design	69 (2003) 397-401
66	2004	Pint, B.A., Tortorelli, P.F., Jankowski, A., J. Hayes, J., Muroga, T., Suzuki, A., Yeliseyeva, O.I., and Chernov, V.M.	Recent progress in the development of electrically insulating coatings for a liquid lithium blanket	Journal of Nuclear Materials	329-333 (2004) 119-124
67	2004	Tanaka, T., Suzuki, A., Muroga, T., Sato, F., Iida T. and Nishitani T.	Radiation induced conductivity of ceramic coating materials under 14 MeV neutron irradiation	Journal of Nuclear Materials	329-333 (2004) 1434-1437
68	2004	Yao, Z., Suzuki, A., Muroga T. and Katahira, K.	Chemical formation of erbium oxide layer on V-4Cr-4Ti during exposure to liquid lithium doped with erbium	Journal of Nuclear Materials	329-333(2004) 1414-1418
69	2005	Pint, B.A., More, K.L., Meyer, H.M. and DiStefano, J.R.	Recent Progress Addressing Compatibility Issues Relevant to Fusion Environments	Fusion Science and Technology	47 (2005) 851-855
70	2005	Suzuki, A., Muroga, T., Yoneoka, T., Tanaka, S.	Compatibility of compound oxides with liquid lithium for fusion reactor blanket application	Journal of Physics and Chemistry of Solids	66 (2005) 690-693

71	2005	Tanaka, T., Shikama, T., Narui, M., Tsuchiya, B., Suzuki A. and Muroga T.	Evaluation of insulating property of ceramic materials for V/Li blanket system under fission reactor irradiation	Fusion Engineering and Design	75-79 (2005) 933-937
72	2005	Sawada, A., Suzuki, A., Maier, H., Koch, F., Terai T. and Muroga T.	Fabrication of yttrium oxide and erbium oxide coatings by PVD methods	Fusion Engineering and Design	75-79 (2005) 737-740
73	2005	Yao, Z., Suzuki, A., Muroga, T., Katahira, K.	In situ formation and chemical stability of Er ₂ O ₃ coating on V-4Cr-4Ti in liquid lithium	Fusion Engineering and Design	75-79 (2005) 1015-1019
74	2006	Nagasaka, T., Muroga, T., Li, M., Hoelzer, D.T., Zinkle, S.J., Grossbeck, M.L., and Matsui, H.	Tensile property of low activation vanadium alloy after liquid lithium exposure	Fusion Engineering and Design	81 (2006) 307-313
75	2006	Jankowski, A. F., Saw, C. K., Ferreira, J. L., Harper, J. S., Hayes J. P. and Pint, B. A.	Morphology, Microstructure and Residual Stress in EB-PVD Erbia Coatings	Journal of Materials Science	42 (2006) 5722-5727
76	2006	Pint, B. A., Moser, J. L. and Tortorelli, P. F.	Liquid Metal Compatibility Issues for Test Blanket Modules	Fusion Engineering and Design	81 (2006) 901-908
77	2006	Yao, Z., Suzuki, A., Muroga T. and Nagasaka T.	Structural stability and self-healing capability of Er ₂ O ₃ in situ coating on V-4Cr-4Ti in liquid lithium	Fusion Engineering and Design	81 (2006) 2887-2892
78	2006	Tanaka, T., Nagayasu, R., Sato, F., Muroga, T., Ikeda, T. and Iida, T.	Comparison of electrical properties of ceramic insulators under gamma ray and ion irradiation	Fusion Engineering and Design	81(2006) 1027-1031
79	2006	Yao, Z., Suzuki, A., Muroga, T., Yeliseyeva O. and Nagasaka, T.	The in situ growth of Er ₂ O ₃ coatings on V-4Cr-4Ti in liquid lithium	Fusion Engineering and Design	81(2006) 951-956
80	2007	Muroga, L., Chen, J.M., Chernov, V.M., Fukumoto, K., Hoelzer, D.T., Kurtz, R.J., Nagasaka, T., Pint, B.A., Satou, M., Suzuki A., and Watanabe, H.	Review of advances in development of vanadium alloys and MHD insulator coatings	Journal of Nuclear Materials	367-370 (2007) 780-787
81	2007	Li, M, Nagasaka, T, Hoelzer, DT, Grossbeck, ML, Zinkle, SJ, Muroga, T, Fukumoto, K, Matsui, H, and Narui, M	Biaxial thermal creep of two heats of V-4Cr-4Ti at 700 and 800 °C in a liquid lithium environment	Journal of Nuclear Materials	367-370 (2007) 788-793
82	2007	Pint, B. A., Moser, J. L., Jankowski, A. and Hayes, J.	Compatibility of Multi-Layer, Electrically Insulating Coatings For the Vanadium-Lithium Blanket	Journal of Nuclear Materials	367-370 (2007) 1165-1169
83	2007	Nagura, M., Kondoh, M., Suzuki, A., Muroga T., and Terai, T.	Experimental Study on Corrosion of Ceramic materials in National Convection Lithium Loop	Fusion Science and Technology	52 (2007) 625-629
84	2007	Tanaka, T., Nagayasu, R., Sawada, A., Ikeda, T., Sato, F., Suzuki, A., Muroga T. and Iida T.	Electrical insulating property of ceramic coating materials in radiation and high-temperature environment	Journal of Nuclear Materials	367-370 (2007) 1155-1159
85	2009	Pint, B. A., Pawel, S. J., Howell, M., Moser, J. L., Garner, G. W., Santella, M. L., Tortorelli, P. F., Wiffen, F. W. and DiStefano, J. R.	Initial Characterization of V-4Cr-4Ti and MHD Coatings Exposed to Flowing Li,	Journal of Nuclear Materials	386-388, 30 (2009) 712-715

Task 1-2B Vanadium Alloy Capsule Irradiation

86	2002	Nagasaka, T., Heo, N. J., Muroga T., and Imamura, M.	Examination of fabrication process parameters for improvement of low-activation vanadium alloys	Fusion Engineering and Design	61-62 (2002) 757-762
87	2002	Heo, N. J., Nagasaka, T., Muroga, T., Nishimura, A., Shinozaki K., and Takeshita, N.	Metallurgical and mechanical properties of laser weldment for low activation V-4Cr-4Ti alloy	Fusion Engineering and Design	61-62 (2002) 749-755
88	2002	Nishimura, A., Nagasaka T., and Muroga, T.	Fracture toughness of high-purity V-4Cr-4Ti alloy (NIFS-HEAT-2) at room temperature	Journal of Nuclear Materials	307-311 (2002) 571-575
89	2002	Watanabe, H., Suda, M., Muroga, T., and Yoshida, N.	Oxide formation of a purified V-4Cr-4Ti alloy during heat treatment and ion irradiation	Journal of Nuclear Materials	307-311 (2002) 408-412
90	2002	Grossbeck, M. L., King, J. F., Nagasaka T., and David, S. A.	Gas tungsten arc welding of vanadium alloys with impurity control	Journal of Nuclear Materials	307-311 (2002) 1590-1594

91	2002	Heo, N. J., Nagasaka, T., Muroga, T., and Matsui, H.	Effect of impurity levels on precipitation behavior in the low-activation V-4Cr-4Ti alloys	Journal of Nuclear Materials	307-311 (2002) 620-624
92	2002	Chuto, T., Satou, M., Hasegawa, A., Abe, K., Nagasaka T., and Muroga, T.	Fabrication using a levitation melting method of V-4Cr-4Ti-Si-Al-Y alloys and their mechanical properties	Journal of Nuclear Materials	307-311 (2002) 555-559
93	2002	Nagasaka, T., Muroga, T., Grossbeck, M. L., and Yamamoto, T.	Effects of post-weld heat treatment conditions on hardness, microstructures and impact properties of vanadium alloys	Journal of Nuclear Materials	307-311 (2002) 1595-1599
94	2002	Nagasaka, T., Muroga, T., Wu, W.C., Xu, Z.Y., and Imamura, M.	Low Activation Characteristics of Several Heats of V-4Cr-4Ti Ingot	Journal of Plasma and Fusion Research SERIES	5 (2002) 545-550
95	2002	Gelles, DS	Microstructural examination of irradiated and unirradiated V-4Cr-4Ti pressurized creep tubes	Journal of Nuclear Materials	307-311 (2002) 393-397
96	2002	Toloczko, MB, Kurtz, RJ, Hasegawa, A, and Abe, K	Shear punch tests performed using a new low compliance test fixture	Journal of Nuclear Materials	307-311 (2002) 1619-1623
97	2002	Hoelzer, DT and Rowcliffe, AF	Investigating solute interactions in V-4Cr-4Ti based on tensile deformation behavior of vanadium	Journal of Nuclear Materials	307-311 (2002) 596-600
98	2002	Odette, GR, He, MY, Donahue, EG, Spatig, P, and Yamamoto, T.	Modeling the multiscale mechanics of flow localization-ductility loss in irradiation damaged bcc alloys	Journal of Nuclear Materials	307-311 (2002) 171-178
99	2002	Lucas, GE, Odette, GR, Sokolov, M, Spatig, P, Yamamoto, T, Jung, P	Recent progress in small specimen test technology	Journal of Nuclear Materials	307-311 (2002) 1600-1608
100	2002	Odette, GR, He, M, Gragg, D, Klingensmith, D, Lucas, GE	Some recent innovations in small specimen testing	Journal of Nuclear Materials	307-311 (2002) 1643-1648
101	2002	Zinkle, SJ, Hashimoto, N, Hoelzer, DT, Qualls, AL, Muroga, T, and Singh, BN	Effect of periodic temperature variations on the microstructure of neutron-irradiated metals	Journal of Nuclear Materials	307-311 (2002) 192-196
102	2003	Nagasaka, T., Muroga, T., and Iikubo, T.	Development of tubing technique for high-purity low activation vanadium alloys	Fusion Science and Technology	44 (2003) 465-469
103	2003	Heo, N., Nagasaka, T., Muroga, T., Nishimura, A., Shinozaki, K., Watanabe, H.	Mechanical properties of laser weldment of V-4Cr-4Ti alloy	Fusion Science and Technology	44 (2003) 470-474
104	2004	Fukumoto, K., Matsui, H., Narui, M., Nagasaka, T., Muroga, T.	Manufacturing pressurized creep tubes from highly purified V-4Cr-4Ti alloys, NIFS-Heat2	Journal of Nuclear Materials	335 (2004) 103-107
105	2004	Koyama, M., Fukumoto, K., Matsui, H.	Effects of purity on high temperature mechanical properties of vanadium alloys	Journal of Nuclear Materials	329-333 (2004) 442-446
106	2004	Fukumoto, K., Matsui, H., Muroga, T., Zinkle, S. J., Hoelzer, D. T., Snead, L. L.	Varying temperature effects on mechanical properties of vanadium alloys during neutron irradiation	Journal of Nuclear Materials	329-333 (2004) 472-476
107	2004	Sugiyama, M., Fukumoto, K., Matsui, H.	Dislocation channel formation process in V—Cr—Ti alloys irradiated below 300 °C	Journal of Nuclear Materials	329-333 (2004) 467-471
108	2004	Chuto, T., Satou, M., Hasegawa, A., Abe, K., Muroga T., and Yamamoto, N.	Effects of small amount of additional elements on control of interstitial impurities and mechanical properties of V-4Cr-4Ti-Si-Al-Y	Journal of Nuclear Materials	326 (2004) 1-8
109	2004	Chuto, T., Satou, M., Hasegawa, A., Abe, K., Muroga, T., and Yamamoto, N.	Changes in mechanical properties of high-purity V-4Cr-4Ti-Si, Al, Y alloys after neutron irradiation at relatively low temperatures	ASTM Special Technical Publications STP	1447 (2004) 693-701
110	2004	Kurtz, R.J, Abe, K., Chernov, V.M., Hoelzer, D.T., Matsui, H., Muroga, T., and Odette, G.R.	Recent progress on development of vanadium alloys for fusion	Journal of Nuclear Materials	329-333 (2004) 47-55
111	2004	Watanabe, H., Nagamine M., Yamasaki, K., Yoshida, N., Nagasaka, T., Muroga, T., Shinozaki, K	Effects of Ion Irradiation on Yag Laser Welded V-4Cr-4Ti Alloy	Journal of Plasma Fusion Res	80, No.10 (2004) 889-894
112	2005	Muroga, T., Nagasaka, T., Nishimura A., and Chen, J.M.	Improvement of Vanadium Alloys by Precipitate Control for Structural Component of Fusion Reactors	Materials Science Forum	475-479 (2005) 1449-1454

113	2005	Muroga, T.	Vanadium Alloys for Fusion Blanket Applications	Materials Transactions	46 (2005) 405-411
114	2005	Nagasaka, T., Muroga, T., Watanabe, H., Yamasaki, K., Heo, N.-J., Shinozaki K., and Narui M.	Recovery of hardness, impact properties and microstructure of neutron-irradiated weld joint of a fusion candidate vanadium alloys	Materials Transactions	46 (2005) 498-502
115	2005	Nagasaka, T., Muroga, T., Noda, N., Kawamura M., and Ise, H.	Tungsten Coating on Low Activation Vanadium Alloy by Plasma Spray Process	Fusion Science and Technology	47 (2005) 876-880
116	2005	Lee, CY, Donahue, EG, and Odette, GR, "," Advances in Fracture and Strength, Pts 1-4, Key Engineering Materials	Verification of mechanical properties of a V-4Cr-4Ti alloy using finite element method	Key Engineering Materials	297 - 300 (2005) 1013-1018
117	2005	Watanabe, H., Nagamine, M., Yamasaki, A., Yoshida, N., Nagasaka, T., Muroga, T.	The microstructure of laser welded V-4Cr-4Ti alloy after ion irradiation	Materials Science Forum Volumes	475-479 (2005) 1491-1496
118	2005	Fukumoto, K., Takahashi, S., Kurtz, R.J., Smith, D.L., and Matsui, H.	Microstructural examination of V-(Fe or Cr)-Ti alloys after thermal-creep or irradiation-creep tests	Journal of Nuclear Materials	341 (2005) 83-89
119	2005	Fukumoto, K., Takahashi, K., Anma, Y., Matsui, H.	Effect of Impurities on Microstructural Evolution and Deformation Process of Ion-Irradiated V-Cr-Ti alloys	Materials Transactions	46 (2005) 503-510
120	2005	Kurishita, H., Kuwabara, T., Hasegawa, M., Kobayashi, S., and Nakai, K.	Microstructural control to improve the resistance to radiation embrittlement in vanadium	Journal of Nuclear Materials	343 (2005) 318-32
121	2006	Nagasaka, T., Muroga, T., Li, M., Hoelzer, D.T., Zinkle, S.J., Grossbeck, M.L., and Matsui, H.	Tensile property of low activation vanadium alloy after liquid lithium exposure	Fusion Engineering and Design	81 (2006) 307-313
122	2006	Nagasaka, T., Muroga, T., Fukumoto, K., Watanabe, H., Grossbeck, M.L., and Chen, J.M.	Development of fabrication technology for low activation vanadium alloys as fusion blanket structural materials	Nucl. Fusion	46 No 5 (2006) 618-625
123	2007	Muroga, L., Chen, J.M., Chernov, V.M., Fukumoto, K., Hoelzer, D.T., Kurtz, R.J., Nagasaka, T., Pint, B.A., Satou, M., Suzuki A., and Watanabe, H.	Review of advances in development of vanadium alloys and MHD insulator coatings	Journal of Nuclear Materials	367-370(2007) 780-787
124	2007	Li, M., Nagasaka, T., Hoelzer, D.T., Grossbeck, M.L., Zinkle, S.J., Muroga, T., Fukumoto, K., Matsui, H., and Narui, M.	Biaxial thermal creep of two heats of V-4Cr-4Ti at 700 and 800 °C in a liquid lithium environment	Journal of Nuclear Materials	367-370 (2007) 788-793
125	2007	Fukumoto, K., Nagasaka, T., Muroga, T., Nita, N., Matsui, H.	Creep mechanism of highly purified V-4Cr-4Ti alloys during thermal creep in a vacuum	Journal of Nuclear Materials	367-370 (2007) 834-838
126	2007	Fukumoto, K., Sugiyama, M., Matsui, H.	Features of dislocation channeling in neutron-irradiated V-(Fe, Cr)-Ti alloy	Journal of Nuclear Materials	367-370 (2007) 829-833
127	2007	Watanabe, H., Yamasaki, K., Higashizima, A., Yoshida, N., Nagasaka, T., Muroga, T.	The microstructure of laser welded V-4Cr-4Ti alloy after neutron irradiation	Journal of Nuclear Materials	367-370 (2007) 794-799
128	2007	Rowcliffe, A.F., Hoelzer, D.T., Kurtz, R.J., and Young, C.M.	Oxidation behavior of a V-4Cr-4Ti alloy during the commercial processing of thin-wall tubing	Journal of Nuclear Materials	367-370 (2007) 839-843
129	2007	Gelles, D.S., Toloczko, M.B., and Kurtz, R.J.	Thermal creep mechanisms in V-4Cr-4Ti pressurized tube specimens	Journal of Nuclear Materials	367-370 (2007) 869-875
130	2009	Li, M., Hoelzer, D.T., Grossbeck M.L., Rowcliffe, A.F., Zinkle, S.J., and Kurtz, R.J.	Irradiation creep of the US Heat 832665 of V-4Cr-4Ti	Journal of Nuclear Materials	386-388 (2009) 618-621
131	2009	Muroga, T., Nagasaka, T., Li, Y., and Chen, J.M.	Microstructure of Creep-deformed V-4Cr-4Ti Strengthened by Precipitation and Cold Rolling	Journal of Nuclear Materials	386-388 (2009) 606-609
132	2009	Watanabe, H., Higashizima, A., Yoshida, N., Nagasaka, T., Muroga, T.	The Microstructure of Laser Welded Y Doped V-4Cr-4Ti Alloys after Ion Irradiation	Journal of Nuclear Materials	386-388 (2009) 598-601

133	2008	Watanabe, H., Yamasaki, M., Higashizima, A., Yoshida, N., Nagasaka, T., Muroga, T., Shinozaki, K.	The Effects of Postwelding Heat Treatment on Microstructural Evolution of Yag Laser Welded V-4Cr-4Ti Alloy	Journal of plasma and fusion research	84(1) (2008) 46-50
Task 2-1 SiC/SiC Fundamentals and Material Processing					
134	2006	Y. Katoh, T. Nozawa, L.L. Snead, T. Hinoki and A. Kohyama	Property tailorability for advanced CVI silicon carbide composites for fusion	Fusion Engineering and Design	81 (2006) 937-944
135	2005	Katoh, Y., Nozawa, T., Snead, L.L., , J. Am. Ceram. Soc.	Mechanical properties of thin pyrolytic carbon interphase SiC-Matrix composites reinforced with near-stoichiometric SiC fibers	Journal of the American Ceramic Society	88 (2005) 3088-3095
136	2005	Katoh Y., Snead, L.L., Nozawa, T., Hinoki, T., Kohyama, A., Igawa, N., Taguchi, T.	Mechanical properties of chemically vapor-infiltrated silicon carbide structural composites with thin carbon interphases for fusion and advanced fission applications	Mater. Trans.	46 (2005) 527-535
137	2005	Nozawa, T., Katoh, Y., Kohyama, A	Evaluation of tensile properties of SiC/SiC composites with miniaturized specimens	Mater. Trans	46 (2005) 543-551
138	2005	Igawa, N., Taguchi, T., Nozawa, T., Snead, L.L., Hinoki, T., McLaughl, J.C., Katoh, Y., Jitsukawa, S., Kohyama	Fabrication of SiC fiber reinforced SiC composite by chemical vapor infiltration for excellent mechanical properties	Journal of Physics and Chemistry of Solids	66 (2005) 551-554
139	2005	Nozawa, T., Katoh, Y., Snead, L.L., Hinoki, T., Kohyama, A.	Tensile and thermal properties of chemically vapor-infiltrated silicon carbide composites with various high-modulus fiber reinforcements	Ceram. Eng. and Sci. Proc.	26 (2005) 311-318
140	2005	Katoh, Y., Nozawa, T., Kotani, M., Ozawa, K., Kohyama, A	Microstructures and flexural properties of high temperature-pyrolyzed PIP-SiC/SiC composites	Key Eng. Mater.	287 (2005) 346-351
141	2004	Taguchi, T., Nozawa, T., Igawa, N., Katoh, Y., Jitsukawa, S., Kohyama, A., Hinoki, T., Snead, L.L.	Fabrication of advanced SiC fiber/F-CVI SiC matrix composites with SiC/C multi-layer interphase	J. Nucl. Mater.	329-33 (2004) 572-576
142	2004	Nozawa, T., Ozawa, K., Katoh, Y., Kohyama, A.	Effect of heat treatment on microstructure and mechanical properties of stoichiometric SiC/SiC composites	Mater. Trans	45 (2004) 307-310
143	2004	Katoh, Y., Lowden, R.A., Yang, W., Nozawa, T., Hinoki, T., Kohyama, A.	Fast Fracture Properties of Thin Interphase Silicon Carbide Composites, in: M. Singh, R.J. Kerans, E. Lara-Curzio, R. Naslain (Eds.), High Temperature Ceramic Matrix Composites 5	The American Ceramic Society, Westerville, OH	(2004) 169-174
144	2004	Y. Katoh, A. Kohyama, T. Nozawa and M. Sato	SiC/SiC composites through transient eutectic-phase route for fusion applications	Journal of Nuclear Materials	329-333, Part 1 (2004) 587-591
145	2004	S.J. Son, K.H. Park, Y. Katoh and A. Kohyama	Interfacial reactions and mechanical properties of W-SiC in-situ joints for plasma facing components	Journal of Nuclear Materials	329-333, Part 2 (2004) 1549-1552
146	2003	Nozawa, T., Katoh, Y., Kohyama, A., Lara-Curzi E.	Specimen Size Effect on the Tensile and Shear Properties of the High-Crystalline and High-Dense SiC/SiC Composites	Ceram. Eng. and Sci. Proc.	24 (2003) 415-420
147	2003	Y. Katoh, A. Kohyama, T. Hinoki and L.L. Snead	Progress in SiC-Based Ceramic Composites for Fusion Applications	Fusion Science and Technology	44 (2003) 155-162
148	2003	W. Yang, A. Kohyama, Y.T. Katoh, H. Araki, J.N. Yu and T. Noda	Effect of Carbon and Silicon Carbide/Carbon Interlayers on the Mechanical Behavior of Tyranno-SA-Fiber-Reinforced Silicon Carbide-Matrix Composites	Journal of the American Ceramic Society	86, 5 (2003) 851-856
149	2003	S.M. Dong, Y. Katoh and A. Kohyama	Processing optimization and mechanical evaluation of hot pressed 2D Tyranno-SA/SiC composites	Journal of the European Ceramic Society	23 (2003) 1223-1231
150	2003	T. Hino, T. Jinushi, Y. Hirohata, M. Hashiba, Y. Yamauchi, Y. Katoh and A. Kohyama	Helium Gas Permeability of SiC/SiC Composite Developed for Blanket Component	Fusion Science and Technology	43 (2003) 184-190

151	2003	J.S. Park, Y. Katoh and A. Kohyama	Measurements of continuous R-curve behavior in ceramic matrix composites	Ceramic Engineering and Science Proceedings	24 (2003) 421-426
152	2002	Igawa, N., Taguchi, T., Snead, L.L., Katoh, Y., Jitsukawa, S., Kohyama, A., McLaughl, J.C.	Optimizing the fabrication process for superior mechanical properties in the FCVISiC matrix/stoichiometric SiC fiber composite system,	J. Nucl. Mater.	307 (2002) 1205-1209
153	2002	Nozawa, T., Katoh, Y., Kohyama, A., Lara-Curzi, E.	Advances in Ceramic Matrix Composites VIII: Ceramic Transactions	The American Ceramic Society, Westerville, OH	139 (2002) 127-138
154	2002	Nozawa, T., Hinoki, T., Katoh, Y., Kohyama, A., Lara-Curzi, E.(Eds.)	Specimen Size Effects on the Tensile Properties of 2D/3D SiC/SiC Composites	ASTM International, West Conshohocken, PA	2002
155	2002	W. Yang, A. Kohyama, T. Noda, Y. Katoh, T. Hinoki, H. Araki and J. Yu	Interfacial characterization of CVI-SiC/SiC composites	Journal of Nuclear Materials	307-311, Part 2 (2002) 1088-1092
156	2002	K. Hironaka, T. Nozawa, T. Hinoki, N. Igawa, Y. Katoh, L.L. Snead and A. Kohyama	High-temperature tensile strength of near-stoichiometric SiC/SiC composites	Journal of Nuclear Materials	307-311, Part 2 (2002) 1093-1097
157	2002	Y. Hirohata, T. Jinushi, Y. Yamauchi, M. Hashiba, T. Hino, Y. Katoh and A. Kohyama	Gas permeability of SiC/SiC composites as fusion reactor material	Fusion Engineering and Design	61-62 (2002) 699-704
158	2002	Y. Katoh, S.M. Dong and A. Kohyama	Thermo-mechanical properties and microstructure of silicon carbide composites fabricated by nano-infiltrated transient eutectoid process	Fusion Engineering and Design	61-62 (2002) 723-731
159	2002	J.S. Park, Y. Katoh, A. Kohyama, S.P. Lee and H.K. Yoon	Evaluation of fracture toughness of ceramic matrix composites using small specimens	Fusion Engineering and Design	61-62 (2002) 733-738
160	2002	W. Yang, H. Araki, T. Noda, Q. Hu, H. Suzuki, Y. Katoh and A. Kohyama	Effects of Interlayers on Interfacial Shear Strength and Flexural Properties of Tyranno-SA Fiber-Reinforced CVI-SiC/SiC Composites	Ceramic Transactions	144 (2002) 273-280
161	2002	J.S. Park, Y. Katoh, A. Kohyama and H.K. Yoon	Fracture Resistance Evaluation of Ceramic Matrix Composites	Ceramic Transactions	144 (2002) 263-272
162	2002	T. Nozawa, K. Hironaka, Y. Katoh, A. Kohyama, T. Taguchi, S. Jitsukawa and L.L. Snead	Tensile Strength of Chemical Vapor Infiltrated Advanced SiC Fiber Composites at Elevated Temperatures	Ceramic Transactions	144 (2002) 245-252
163	2002	Y. Katoh, S.M. Dong and A. Kohyama	A Novel Processing Technique of Silicon Carbide-Based Ceramic Composites for High Temperature Applications	Ceramic Transactions	144 (2002) 77-86
164	2002	T. Taguchi, N. Igawa, S. Jitsukawa, T. Nozawa, Y. Katoh, A. Kohyama, L.L. Snead and J.C. McLaughlin	Optimizing the Fabrication process for excellent mechanical properties in Stoichiometric SiC Fiber / FCVI SiC Matrix Composites	Ceramic Transactions	144 (2002) 69-76
165	2002	T. Hinoki, L.L. Snead, T. Taguchi, N. Igawa, W. Yang, T. Nozawa, Y. Katoh and A. Kohyama	Optimization and Characterization of Chemical Vapor Infiltrated SiC/SiC Composites	Ceramic Transactions	144 (2002) 55-67
166	2002	J.S. Park, Y. Katoh and A. Kohyama	Preliminary Study of Influence of Test Specimen Size on the Fracture Behaviour of 2D Woven Ceramic Matrix Composites	26th Annual Conference on Composites, Advanced Ceramics, Materials, and Structures: A: Ceramic Engineering and Science Proceedings	23, 3 (2002) 469-475
167	2002	K. Hironaka, T. Nozawa, T. Hinoki, Y. Katoh, A. Kohyama, T. Taguchi, N. Igawa and L.L. Snead	High Temperature Tensile Properties of Near-Stoichiometric SiC Fiber-Reinforced SiC Matrix Composites	26th Annual Conference on Composites, Advanced Ceramics, Materials, and Structures: A: Ceramic Engineering and Science Proceedings	23, 3 (2002) 403-409
168	2002	Y. Katoh, A. Kohyama, S.M. Dong, T. Hinoki and J.J. Kai	Microstructure and Properties of Liquid Phase Sintered SiC/SiC Composites	26th Annual Conference on Composites, Advanced Ceramics, Materials, and Structures: A: Ceramic Engineering and Science Proceedings	23, 3 (2002) 362-370

Task 2-2 SiC System Thermomechanics

169	2004	Ying, A., Yokomine, T. Shimizu, A., Abdou, M., Kohyama, A.	Impact of Material System Thermomechanics Performance on He-Cooled Ceramic Breeder Blanket Designs with SiCf/SiC	Journal of Nuclear Materials	329-333, Part 2 (August 2004) 1605 - 1609
-----	------	--	--	------------------------------	---

170	2004	G. R. Longhurst, L. L. Snead, A. Abou-Sena	The Status of Beryllium Research for Fusion in the United States	Proceedings of the 6th IEA International Workshop on Beryllium Technology for Fusion, Miyazaki, Japan, March 2004	
171	2005	An, Z., Ying, A., Abdou, M.	Experimental and numerical study of ceramic breeder pebble bed thermal deformation behavior	Fusion Science & Technology	47 (4) (May 2005) 1101 - 1105
172	2005	Abou-Sena, A., Ying, A., Abdou, M.	Effective thermal conductivity of lithium ceramic pebble beds for fusion blankets: a review	Fusion Science & Technology	47 (4) (May 2005) 1094 - 1100
173	2005	Z. An, A. Ying, M. Abdou	Experimental and numerical study on the thermomechanical properties of ceramic pebble bed structure	Proc. 2005 Joint ASME/ASCE/SES Conference on Mechanics and Materials (McMat2005), Baton Rouge, LA (06/01/2005)	
174	2005	Z. An, A. Ying and M. Abdou	Thermo-mechanical analysis of ITER test unit cell under pulse operation	Proceedings of 21st IEEE/NPSS Symposium on Fusion Engineering 2005, Oct. 2005	
175	2006	Ali Abou-Sena, Alice Ying, Mohamed Abdou	Experimental Measurements of the Effective Thermal Conductivity of a Lithium Titanate (Li ₂ TiO ₃) Pebbles-Packed Beds	Journal of Materials Processing Technology	181 (January 2006) 206-212
176	2006	Calderoni, P., Ying, A., Sketchley, T., Abdou, M.	Experimental Study of the Interaction of Ceramic Breeder Pebble Beds with Structural Materials under Thermo-Mechanical Loads	Fusion Engineering & Design	81 (1-7) (February 2006) 607 - 612
177		An, Z., Ying, A., Abdou, M.	Numerical characterization of thermo-mechanical performance of breeder pebble beds	Proceedings of the 12th International Conference on Fusion Reactor Materials (ICFRM-12), to be published in Journal of Nuclear Materials (2006)	

Task 2-3 SiC Capsule Irradiation

178	2002	Hinoki, T., Snead, L.L., Katoh, Y., Hasegawa, A., Nozawa, T., Kohyama, A	The effect of high dose/high temperature irradiation on high purity fibers and their silicon carbide composites	J. Nucl. Mater.	307 (2002) 1157-116
179	2002	Nozawa, T., Hinoki, T., Katoh, Y., Kohyama, A.	Effects of fibers and fabrication processes on mechanical properties of neutron irradiated SiC/SiC composites	Journal of Nuclear Materials	307 (2002) 1173-1177
180	2002	Hinoki, T., Katoh, Y., Kohyama, A.	Effect of fiber properties on neutron irradiated SiC/SiC composites	Mater. Trans	43 (2002) 617-621
181	2002	H. Kishimoto, Y. Katoh and A. Kohyama	Microstructural stability of SiC and SiC/SiC composites under high temperature irradiation environment	Journal of Nuclear Materials	307-311, Part 2 (2002) 1130-1134
182	2002	K.H. Park, Y. Katoh, H. Kishimoto and A. Kohyama	Evaluation of dual-ion irradiated β -SiC by means of indentation methods	Journal of Nuclear Materials	307-311, Part 2 (2002) 1187-1190
183	2002	Y. Katoh, H. Kishimoto and A. Kohyama	The influences of irradiation temperature and helium production on the dimensional stability of silicon carbide	Journal of Nuclear Materials	307-311, Part 2 (2002) 1221-1226
184	2002	Y. Katoh, H. Kishimoto and A. Kohyama	Low Temperature Swelling in Beta-SiC Associated with Point Defect Accumulation	Materials Transactions	43 (2002) 612-616
185	2002	S. Nogami, A. Hasegawa, L. L. Snead	Indentation fracture toughness of neutron irradiated silicon carbide	Journal of Nuclear Materials	307-311, Part 2 (2002) 1163-1167
186	2002	A. Hasegawa, S. Nogami, T. Aizawa, K. Katou and K. Abe	Mechanical property change and swelling behavior of SiC fiber after light-ion irradiation	Journal of Nuclear Materials	307-311, Part 2 (2002) 1152-1156
187	2002	S. Nogami, S. Ohtsuka, M. B. Toloczko, A. Hasegawa and K. Abe	Analysis of possible deformation mechanisms in helium-ion irradiated SiC	Journal of Nuclear Materials	307-311, Part 2 (2002) 1178-1182
188	2003	Y. Katoh, M. Ando and A. Kohyama	Radiation and helium effects on microstructures, nano-indentation properties and deformation behavior in ferrous alloys	Journal of Nuclear Materials	323, Issues 2-3, (2003) 251-262

189	2003	K.H. Park, S. Kondo, Y. Katoh and A. Kohyama	Mechanical Properties of -SiC After Si- and Dual Si + He-Ion Irradiation at Various Temperatures	Fusion Science and Technology	44 (2003) 455-459
190	2003	S. Kondo, K.H. Park, Y. Katoh and A. Kohyama	High Temperature Ion-Irradiation Effects on Microstructural Evolution in β -SiC	Fusion Science and Technology	44 (2003) 181-185
191	2003	A.Hasegawa, S.Nogami, S.Miwa, K.Abe, T.Taguchi, N.Igawa	Synergistic Effect of Displacement Damage, Helium and Hydrogen of Silicon Carbide Composite	Fusion Science and Technology	44 (1) (2003) 175-180
192	2004	Nogami, S., Hasegawa, Snead, L.L., Jones, R.H. Abe, K.	Effect of He pre-implantation and neutron irradiation on mechanical properties of SiC/SiC composite	Journal of Nuclear Materials	329–333 (2004) 577–581
193	2004	Nozawa, T., Hinoki, T., Snead, L.L., Katoh, Y., Kohyama, A.	Neutron irradiation effects on high-crystallinity and near-stoichiometry SiC fibers and their composites	Journal of Nuclear Materials	329-33 (2004) 544-548
194	2004	Nogami, S., Miwa, M., Hasegawa, A., Abe, K.	Mechanical and Structural Property Change of Monolithic SiC and Advanced SiC/SiC Composites due to Low Temperature He ⁺ -ion Irradiation and Post-irradiation High Temperature Annealing	American Society for Testing and Materials (ASTM) STP 1447	1447 (2004) 655-669
195	2004	Hasegawa, A., Miwa, S., Nogami, S., Taniguchi, A., Taguchi, T., Abe, K.	Study of hydrogen effects on microstructural development of SiC base materials under simultaneous irradiation with He- and Si-ion irradiation conditions	Journal of Nuclear Materials	329-333 (2004) 582-586
196	2005	Miwa, S., Hasegawa, A., Taguchi, T., Igawa, N., Abe, K.	Cavity Formation in a SiC/SiC Composites under Simultaneous Irradiation of Hydrogen, Helium and Silicon Ions	Materials Transactions	46(3) (2005) 536-542
197	2005	Nozawa, T., Ozawa, K., Kondo, S., Hinoki, T., Katoh, Y., Snead, L.L., Kohyama, A., Tensile	Flexural, and Shear Properties of Neutron Irradiated SiC/SiC Composites with Different Fiber-Matrix Interfaces	J. ASTM Int.	2 (2005) 12884-12881-12813
198	2005	Katoh, Y., Snead, L.L.	Bend stress relaxation creep of CVD silicon carbide	Ceram. Eng. and Sci. Proc.	26 (2005) 265-272
199	2005	Katoh, Y., Snead, L.L.	Mechanical Properties of Cubic Silicon Carbide after Neutron Irradiation at Elevated Temperatures	J. ASTM Int. 2	(2005) 12377-12371-12313
200	2005	Kondo, S., Katoh, Y., Kishimoto, H., Hinoki, T., Kohyama, A.	Swelling and Recovery Behavior in Silicon Carbide Irradiated at High Temperature	Proceedings of 2005 International Congress on Advances in Nuclear Power Plants (ICAPP-05),2005	2782-2787
201	2005	T. Hinoki and A. Kohyama	Current status of SiC/SiC composites for nuclear applications	Annales de chimie science des matériaux	30[6] (2005) 659-671
202	2005	A. Kohyama	Current Status of Fusion Reactor Structural Materials R&D	Materials Transactions	46[3] (2005) 384-393
203	2005	A. Kohyama, K. Abe, A. Kimura, T. Muroga and S. Jitsukawa	Recent Accomplishments and Future Prospects of Materials R&D in Japan	Fusion Science and Technology	47[4] (2005) 836-843
204	2005	K. Ozawa, S. Kondo, T. Hinoki, K. Jimbo and A. Kohyama	Cavity Swelling Behavior in SiC/SiC Under Charged Particle Irradiation	Fusion Science and Technology	47[4] (2005) 871-75
205	2005	H. Kishimoto, K. Ozawa, S. Kondo and A. Kohyama	Effects of Dual-Ion Irradiation on the Swelling of SiC/SiC Composites	Materials Transactions	46 [8] (2005) 1923-1927
206	2005	H. Kishimoto, T. Hinoki, K. Ozawa, K.-H. Park, S. Kondo and A. Kohyama	Dimension stability analysis of nite sic/sic composite using ion bombardments for the investigation of reliability as fusion materials	Ceramic Engineering and Science Proceedings	26[8] (2005) 215-222
207	2006	Katoh, Y., Nozawa, T., Snead, L.L., Hinoki, T., Kohyama, A.	Property tailorability for advanced CVI silicon carbide composites for fusion	Fusion Eng. and Design	81 (2006) 937-944
208	2006	Katoh, Y., Hashimoto, N., Kondo, S., Snead, L.L., Kohyama, A.	Microstructural Development in Cubic Silicon Carbide during Irradiation at Elevated Temperatures	Journal of Nuclear Materials	351 (2006) 228-240
209	2006	Ozawa, K., Hinoki, T., Nozawa, T., Katoh, Y., Maki, Y., Kondo, S., Ikeda, S., Kohyama, A.	Evaluation of Fiber/Matrix Interfacial Strength of Neutron Irradiated SiC/SiC Composites Using Hysteresis Loop Analysis of Tensile Test	Mater. Trans.	47 (2006) 207-210
210	2006	Katoh, Y., Snead, L.L., Nozawa, T., Windes, W.E., Morley N.B.	Advanced Radiation-Resistant Ceramic Composites	Advances in Science and Technology	45 (2006) 1915-1924
211	2006	Y. Katoh, N. Hashimoto, S. Kondo, L.L. Snead and A. Kohyama	Microstructural development in cubic silicon carbide during irradiation at elevated temperatures	Journal of Nuclear Materials	351, Issues 1-3 (2006) 228-240

212	2006	K. Ozawa, T. Nozawa, T. Hinoki and A. Kohyama	The effects of irradiation-induced swelling of constituents on mechanical properties of advanced SiC/SiC composites	Ceramic Engineering and Science Proceedings	27 (5) (2006) 157-167
213	2009	Nogami, S., Murayama, T., Nagata, Y., Hasegawa A.	Compatibility between SiC and Li Ceramics for Solid Breeding Blanket System	Journal of Nuclear Materials	386-388 (2009) 628-630
214	2008	Nogami, S., Otake, N., Hasegawa, A., Katoh, Y., Yoshikawa, A., Satou, M., Oya, Y., Okuno, K.	Oxidation behavior of SiC/SiC composites for helium cooled solid breeder	Fusion Engineering and Design	83, Issues 10-12 (2008) 1490-1494
215	2007	Nozawa, T., Katoh, Y., Snead, L.L.	The Effect of Neutron Irradiation on Interfacial Shear Properties of Multilayered Interphase SiC/SiC Composite	Journal of Nuclear Materials	3670-370 (2007) 685-691
216	2007	Katoh, Y., Nozawa, T., Snead, L.L., Hinoki, T.	Effect of Neutron Irradiation on Tensile Properties of Unidirectional Silicon Carbide Composites	Journal of Nuclear Materials	367-370 (2007) 774-779
217	2007	Katoh, Y., Snead, L.L., Hinoki, T., Kondo, S., Kohyama, A	Irradiation Creep of Chemically Vapor Deposited Silicon Carbide as Estimated by Bend Stress Relaxation Method	Journal of Nuclear Materials	367-370 (2007) 758-763
218	2007	Ozawa, K., Nozawa, T., Katoh, Y., Hinoki, T., Kohyama, A.	Mechanical Properties and Microstructure of Advanced SiC/SiC composites after Neutron Irradiation	Journal of Nuclear Materials	367-370 (2007) 713-718
219	2007	Katoh, Y., Snead, L.L., Henager, C.H., Hasegawa, A., Kohyama, A., Riccardi, B., Hegema, J.B.J.	Current status and critical issues for development of SiC composites for fusion applications	Journal of Nuclear Materials	367-370 (2007) 659-671
220		Kondo, S., Katoh, Y., Kohyama, A.	Stoichiometric constraint for dislocation loop growth in silicon carbide	Ceram. Eng. and Sci. Proc.	submitted (2007)
221	2007	Nozawa, T., Katoh, Y., Snead, L.L.	The Effects of Neutron Irradiation on the Interfacial Shear Strength of SiC/SiC Composites	Journal of Nuclear Materials	367-370, Part 1 (2007) 685-691

Task 3-1 Design-based Integration Modeling

222	2002	Fukada, S., Nishikawa, M., Sagara, A., Terai, T.	Mass-Transport Properties to Estimate Rates of Tritium Recovery from Flibe Blanket	Fusion Science & Technology	41 (2002) 1054-1058
223	2002	Hashizume, H., Usui, Y., Kitajima, S., Hida, T., Sagara, A.	Numerical analysis of MHD flow in remountable first wall	Fusion Engineering and Design	61-62 (2002) 251-254
224	2002	Toda, S., Chiba, S., Yuki, K., Omae, M., Sagara, A.	Experimental research on molten salt thermofluid technology using a high-temperature molten salt loop applied for a fusion reactor Flibe blanket	Fusion Engineering and Design	63-64 (2002) 405-409
225	2003	Kunugi, T., Matsumoto, Y., Sagara, A.	A new cooling concept of free surface flow balanced with surface tension for FFHR	Fusion Engineering and Design	65 (2003) 381-385
226	2004	Hashizume, H., Usui, Y., Kitajima, S., Sagara, A.	New concept of the first wall to reduce MHD pressure drop	International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics	19, No.1-4 (2004) 591-595
227	2005	Sagara, A., Imagawa, S., Mitarai, O., Dolan, T., Tanaka, T., Kubota, Y., Yamazaki, K., Watanabe, K.Y., Mizuguchi, N., Muroga, T., Noda, N., Kaneko, O., Yamada, H., Ohyabu, N., Uda, T., Komori, A., Sudo, S., and Motojima, O.	Improved structure and long-life blanket concepts for heliotron reactors	Nuclear Fusion	45 (2005) 258-263
228	2005	Sagara, A., Tanaka, T., Muroga, T., Hashizume, H., Kunugi, T., Fukada, S., Shimizu, A.	Innovative Liquid Breeder Blanket Design Activities in Japan	Fusion Science and Technology	47 (2005) 524-529
229	2005	Okumura, M., Yuki, K., Hashizume, H., Sagara, A.	Evaluation of Flow Structure in Packed-Bed Tube by Visualization Experiment	Fusion Science and Technology	47 (2005) 1089-1093
230	2005	Chiba, S., Omae, M., Yuki, K., Hashizume, H., Toda, S., Sagara, A.	Experimental Research on Heat Transfer Enhancement for High Prandtl-Number Fluid Experimental Research on Heat Transfer Enhancement for High Prandtl-Number Fluid	Fusion Science and Technology	47, No.4 (2005) 569-573
231	2005	Tanaka, T., Muroga, T., Sagara, A.	Tritium Self-Sufficiency and Neutron Shielding Performance of Self-Cooled Liquid Blanket System for Helical Reactor	Fusion Science and Technology	47 (2005) 530-534
232	2005	Fukada, S., Anderl, R.A., Sagara, A., Nishikawa, M.	Diffusion Coefficient of Tritium Through Molten Salt Flibe and Rate of Tritium Leak from Fusion Reactor System	Fusion Science and Technology	48 (2005) 666-669

233	2006	Satake, S., Kunugi, T., Naito, N., Sagara, A.	Direct numerical simulation of MHD flow with electrically conducting wall	Fusion Engineering and Design	81(2006) 367-374
234	2006	Fukada, S., Morisaki, A., Sagara, A., Terai, T.	Control of tritium in FFHR-2 self-cooled Flibe blanket	Fusion Engineering and Design	81 (2006) 477-483
235	2006	Chiba, S, Yuki, K., Hashizume, H., Toda, S., Sagara, A.	Numerical research on heat transfer enhancement for high Prandtl-number fluid	Fusion Engineering and Design	81 (2006) 513-517
236	2006	Muroga, T., Tanaka, T., Sagara, A.	Blanket neutronics of Li/vanadium-alloy and Flibe/vanadium-alloy systems for FFHR	Fusion Engineering and Design	81 (2006) 1203-1209
237	2006	Sagara, A., Imagawa, S., Tanaka, T., Muroga, T., Kubota, Y., Dolan, T., Hashizume, H., Kunugi, T., Fukada, S., Shimizu, A., Terai, T., Mitarai, O.	Carbon tiles as spectral-shifter for long-life liquid blanket in LHD-type reactor FFHR	Fusion Engineering and Design	81 (2006) 1299-1304
238	2006	Sagara, A., Mitarai, O., Imagawa, S., Morisaki, T., Tanaka, T., Mizuguchi, N., Dolan, T., Miyazawa, J., Takahata, K., Chikaraishi, H., Yamada, S., Seo, K., Sakamoto, R., Masuzaki, S., Muroga, T., Yamada, H., Fukada, S., Hashizume, H., Yamazaki, K., Mito, T., Kaneko, O., Mutoh, T., Ohyabu, N., Noda, N., Komori, A., Sudo, S., Motojima, O., and FFHR design group	Conceptual design activities and key issues on LHD-type reactor FFHR	Fusion Engineering and Design	81 (2006) 2703-2712
239	2006	Tanaka, T., Sagara, A., Muroga, T., Youssef, M.Z.	Development of three-dimensional neutronics calculation system for design studies on helical reactor FFHR	Fusion Engineering and Design	81 (2006) 2761-2766
240	2008	Tanaka, T., Sagara, A., Muroga, T., Youssef, M.Z.	Neutronics Investigation of Advanced Self-Cooled Liquid Blanket Systems in Helical Reactor	Nuclear Fusion	48, No. 3 (2008) 035005
241	2007	Muroga, T., Tanaka, T., Li, Z., Sagara, A., and Sze, D.K.	Tritium control for Flibe/V-alloy blanket system	Fusion Science & Technology	52 (2007) 682-686
242	2007	Satoh, T., Yuki, K., Chiba, S., Hashizume, H., Sagara, A.	Heat Transfer Performance for High Prandtl and High Temperature Molten Salt Flow in Sphere-Packed Pipes	Fusion Science & Technology	52 (2007) 618-624
243	2007	Fukada, S., Katayama, K., Terai, T., Sagara, A.	Recovery of Tritium from Flibe Blanket in Fusion Reactor	Fusion Science & Technology	52 (2007) 677-681

Task 3-2 Materials Modeling

244	2001	Morishita, K., Wirth, B.D., Diaz de la Rubia, T., Kimura, A.	Effects of Helium on Radiation Damage Processes in Iron	Proc. Fourth Pacific Rim Int. Conf. on Advanced Materials and Processing (PRICM4), (The Japan Institute of Metals, 2001)	1383-1386
245	2001	Morishita, K., Sugano, R., Iwakiri, H., Yoshida, N., Kimura, A.	Thermal helium desorption from α -Iron	Proc. Fourth Pacific Rim Int. Conf. on Advanced Materials and Processing (PRICM4), (The Japan Institute of Metals, 2001)	1395-1398
246	2002	Sugano, R., Morishita, K., Iwakiri, H., Yoshida, N.	Effects of dislocation on thermal helium desorption from iron and ferritic steel	Journal of Nuclear Materials	307-311 (2002) 941-945
247	2002	Iwakiri, H., Morishita, K., Yoshida, N.	Effects of helium bombardment on the deuterium behavior in tungsten	Journal of Nuclear Materials	307-311 (2002) 135-138
248	2003	Morishita, K., Sugano, R., Wirth B.D., Diaz de la Rubia, T.	Thermal stability of helium-vacancy clusters in iron	Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B	202 (2003) 76-81
249	2003	Morishita, K., Sugano, R., Wirth, B.D.	MD and KMC modeling of the formation and migration of He-V clusters in Fe	Journal of Nuclear Materials	323 (2003) 243-250
250	2003	Morishita, K., Sugano, R., Wirth, B.D.	Thermal stability of helium-vacancy clusters and bubble formation	Fusion Science Technology	44 (2) (2003) 441-445
251	2003	Sugano, R., Morishita, K., Kimura, A	Helium accumulation behavior in iron based model alloys	Fusion Science Technology	44 (2) (2003) 446-449
252	2004	Sugano, R., Morishita, K., Kimura, A., Iwakiri, H., Yoshida, N.	Microstructural evolution in Fe and Fe-Cr model alloys after He ⁺ ion irradiations	Journal of Nuclear Materials	329-333 (2004) 942-946

253	2004	Morishita, K., Sugano, R.	Atomistic Modeling of Helium Bubble Formation in Fe during Irradiation	Conference proceedings of Second International Conference on Multiscale Materials Modeling (MMM-II), UCLA, Los Angeles, CA, USA, 2004	525-527
254	2004	Satou, M., Komatsu, N., Sawada, T., Abe, K.	Calculation of electronic structure at bonding interface between vanadium and oxide ceramics for insulator coating applications	Journal of Nuclear Materials	329-333 (2004) 1571-1574
255	2004	Satou, M., Abe, K., Kioussis, N., Ghoniem, N.	Ideal Interfacial Strength Between Vanadium and Oxide Ceramics	Second International Conference on Multiscale Materials Modeling Proceedings (2004)	135-137
256	2005	Okita, T., Wolfer, W.G., Garner, F.A., Sekimura, N.	Effects of titanium additions to austenitic ternary alloys on microstructural evolution and void swelling	Philosophical Magazine	85 No.18/21 (2005) 2033
257	2006	Morishita, K., Sugano, R.	Mechanism map for nucleation and growth of helium bubbles in metals	Journal of Nuclear Materials	353 (2006) 52-65
258	2007	Morishita, K., Sugano, R.	Modeling of Helium Bubble Migration in bcc Fe	Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B	255 (2007) 52-56
259	2007	Watanabe, Y., Iwakiri, H., Yoshida, N., Morishita, K., Kohyama, A.	Formation of interstitial loops in tungsten under helium ion irradiation: Rate theory modeling and experiment	Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B	255 (2007) 32-36
260	2007	Morishita, K.	Atomistic evaluation of the point defect capture efficiency of He-V clusters in α -Fe	Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B	255 (2007) 41-46
261	2007	Morishita, K.	Nucleation path of helium bubbles in metals during irradiation	Philosophical Magazine	87 (2007) 1139-1158
262	2009	Morishita, K., Watanabe, Y., Kohyama, A., Heinisch, H.L., Gao, F.	Nucleation and growth of vacancy clusters in β -SiC during irradiation	Journal of Nuclear Materials	386-388 (2009) 30-32
263	2007	Okita, T., Sato, T., Sekimura, N., Iwai, T., Garner, F.A.	The Synergistic Influence of Temperature and Displacement Rate on Microstructural Evolution of Ion-Irradiated Model Austenitic Alloy Fe-15Cr-16Ni	Journal of Nuclear Materials	367-370, Part 2 (2007) 930-934
264	2007	Hu, Q., Sharafat, S., Ghoniem, N.	Modeling Space-Time Dependent Helium Bubble Evolution in Tungsten Armor Under IFE Conditions	Fusion Science & Technology	52 [3] (2007) 574-578

CHAPTER 5 TITAN

1. Journal Paper

Task 1-1 Tritium and mass transfer in first wall

No	Year	Authors	Title of Paper	Journal	Vol. (Year) Page (Start) -Page(End) or Identification No.
1	2007	D. Nishijima, R. P. Doerner, M. J. Baldwin, E. M. Hollmann, and R. P. Seraydarian, Y. Ueda	Spectroscopic determination of the singly ionized helium density in low electron temperature plasmas mixed with helium in a linear divertor plasma simulator	Phys. Plasmas	14 (2007) 103509
2	2007	S. Kajita, S. Takamura, N. Ohno, T. Nishimoto	Alleviation of Damaged Tungsten Having Helium Holes/Bubbles by Use of Transient Heat Load	Plasma Fusion Res.	2 (2007) 9-10
3	2007	N. Ohno, S. Kajita, D. Nishijima, S. Takamura	Surface Modification at Tungsten and Tungsten coated Graphite due to Low Energy and High Fluence Plasma and Laser Pulse Irradiation	J. Nucl. Mater.	363-365 (2007) 1153-1159
4	2007	S. Kajita, S. Takamura, N. Ohno, D. Nishijima, H. Iwakiri, N. Yoshida	Sub-ms Laser Pulse Irradiation on Tungsten Target Damaged by Exposure to Helium Plasma	Nucl. Fusion	47 (2007) 1358-1366
5	2007	S. Kajita, N. Ohno, S. Takamura, W. Sakaguchi, D. Nishijima	Plasma-assisted Laser Ablation of Tungsten: Reduction in Ablation Power Threshold Due to Bursting of Holes/Bubbles	Applied Phys. Lett.	91 (2007) 261501
6	2008	M. J. Baldwin and R. P. Doerner	Helium induced nanoscopic morphology	Nucl. Fusion	48 (2008) 035001
7	2009	S. Kajita, N. Ohno, W. Sakaguchi, M. Takagi	Visualized blow-off from helium irradiated tungsten in response to ELM-like heat load	Plasma Fusion Res.	4 (2009) 4
8	2009	S. Kajita, S. Takamura, N. Ohno	Prompt ignition of a unipolar arc on helium irradiated tungsten	Nucl. Fusion	49 (2009) 032002
9	2009	W. Sakaguchi, S. Kajita, N. Ohno, M. Takagi	In situ reflectivity of tungsten mirrors under helium plasma exposure	J. Nucl. Mater.	390-391 (2009) 179-182
10	2009	S. Kajita, W. Sakaguchi, N. Ohno	Formation and mitigation of fiberform nanostructured tungsten by helium and sub-ms laser pulse irradiations	Plasma Devices and Operations	17 (2009) 165-173
11	2009	Shin Kajita, Shuichi Takamura and Noriyasu Ohno	Prompt ignition of a unipolar arc on helium irradiated tungsten	Nucl. Fusion	49 (2009) 032002
12	2009	Shin Kajita, Wataru Sakaguchi, Noriyasu Ohno, Naoaki Yoshida, Tsubasa Saeki	Formation process of tungsten nanostructure by the exposure to helium plasma under fusion relevant plasma conditions	Nucl. Fusion	49 (2009) 095005
13	2009	N. Ohno, M. Yoshimi, M. Tokitani, S. Takamura, K. Tokunaga, N. Yoshida	Spherical cauliflower-like carbon dust formed by interaction between deuterium plasma and graphite target and its internal structure	J. Nucl. Mater.	390-391 (2009) 61-64
14	2009	K R Umstadter, R Doerner and G Tynan	Effect of bulk temperature on erosion of tungsten plasma-facing components subject to simultaneous deuterium plasma and heat pulses	Phys. Scr.	T138 (2009) 014047
15	2009	K.R. Umstadter, R. Doerner, G. Tynan	Enhanced erosion of tungsten plasma-facing components subject to simultaneous heat pulses and deuterium plasma	J. Nucl. Mater.	386-388 (2009) 751-755
16	2009	M. Miyamoto, D. Nishijima, Y. Ueda, R.P. Doerner	Observations of suppressed retention and blistering for tungsten exposed to deuterium-helium mixture plasmas	Nucl. Fusion	49 (2009) 065035
17	2009	M.J. Baldwin, R.P. Doerner, D. Nishijima, K. Tokunaga, Y. Ueda	The effects of high fluence mixed-species (deuterium, helium, beryllium)	J. Nucl. Mater.	390-391 (2009) 886-890
18	2010	K. Tokunaga, M.J. Baldwin, R.P. Doerner, D. Nishijima, H. Kurishita, T. Fujiwara, K. Araki, Y. Miyamoto, N. Ohno and Y. Ueda	Nanoscale surface morphology of tungsten induced by Be-seeded D-He plasma exposure	J. Nucl. Mater.	to be published

Task 1-2 Tritium behavior in blanket systems

19	2008	S. Fukada, Y. Edao, Y. Maeda, T. Norimatsu	Tritium recovery system for Li-Pb of Inertial Fusion Reactor	Fusion Eng. Des.	83 (2008) 747-751
20	2008	J. P. Sharpe, N.B. Morley, T. Terai, T. Kunugi, T. Yokomine, K. Messadek, S. Smolentsev, S. Konishi, S. Fukada	US/Japan TITAN collaboration activities on tritium and MHD flow control for lead-lithium eutectic blankets	TOFE-18	Sep-08
21	2008	P. Calderoni, P. Sharpe, S. Konishi, K. Noborio, T. Kamei, T. Terai	Measurement of hydrogen and deuterium solubility in the eutectic lead-lithium alloy Name of Conference	SOFT-25	Sep-08
22	2008	Y. Maeda, S. Fukada, Y. Edao	Solubility, diffusivity and isotopic exchange rate of hydrogen isotopes in Li-Pb	Fusion Sci. Tech.	54 (2008) 131-134
23	2009	Y. Edao, S. Fukada, H. Noguchi, Y. Maeda, K. Katayama	Isotope effects of hydrogen isotope absorption and diffusion in $\text{Li}_{0.17}\text{Pb}_{0.83}$ eutectic alloy	Fusion Sci. Tech.	56 (2009) 831-835
24	2009	D. Masuyama, T. Oda, S. Fukada, S. Tanaka	Chemical state and diffusion behavior of hydrogen isotopes in liquid lithium-lead	Chem. Phys. Let.	483 (2009) 214-218
25	2009	S. Fukada, Y. Edao, T. Norimatsu	Design of tritium recovery system for laser fusion reactor	Annual Report of NIFS	(2009) 496
26	2010	Y. Edao, H. Noguchi, S. Fukada	Experiment of hydrogen isotopes permeating through Li-Pb with diffusion, dissolution and isotopic exchange	J. Nucl. Mater.	submitted
27	2010	S. Fukada, Y. Edao	Unresolved issues on tritium mass transfer in Li-Pb liquid blankets	J. Nucl. Mater.	submitted
28	2010	S. Fukada, Y. Edao, A. Sagara	Effects of simultaneous transfer of heat and tritium through Li-Pb or Flibe blanket	Fusion Eng. Des.	In press
29	2010	Y. Edao, H. Noguchi, S. Fukada	Isotopic exchange rate between hydrogen and deuterium in the process of permeating through $\text{Li}_{0.17}\text{Pb}_{0.83}$	Fusion Eng. Des.	In press
30	2010	R. Nadaoka, K. Uriu, Y. Yamamoto, and S. Konishi	Diffusion and Solution of Hydrogen Isotopes in Lithium-Lead Blanket	Proc. Of the 23rd SOFE	SP4A-4 (2010)
31	2010	S. Konishi and Y.Wu	LiPb blankets for TBM and DEMO	Fusion Eng. Des.	submitted

Task 1-3 Flow control and thermofluid modeling

32	2007	J. Takeuchi, S. Satake, T. Kunugi, T. Yokomine, N. Morley, M. Abdou	Development Of PIV Technique Under Magnetic Fields And Measurement Of Turbulent Pipe Flow Of Flibe Simulant Fluid	Fusion Sci. Tech.	52 (2007) 860-864
33	2007	T. Yokomine, J. Takeuchi, H. Nakaharai, S. Satake, T. Kunugi, N. Morley, M. Abdou	Experimental Investigation Of Turbulent Heat Transfer Of High Prandtl Number Fluid Flow Under Strong Magnetic Field	Fusion Sci. Tech.	52 (2007) 625-629
34	2007	H. Nakaharai, J. Takeuchi, T. Yokomine, T. Kunugi, S. Satake, N. Morley, M. Abdou	The influence of a magnetic field on turbulent heat transfer of high Prandtl number fluid	Experimental Thermal and Fluid Science	32 (2007) 23–28
35	2007	S. Smolentsev, R. Moreau	One-Equation Model for Quasi-Two-Dimensional Turbulent Magnetohydrodynamic Flows	Phys. Fluids	19 (2007) 078101
36	2007	A. Beltrán, S. Cuevas, S. Smolentsev	Instabilities in the Flow past Localized Magnetic Fields	J. Phys.: Conference Series	64 (2007) 012009
37	2008	J. Takeuchi, S. Satake, N. Morley, T. Kunugi, T. Yokomine, M. Abdou	Experimental study of MHD effects on turbulent flow of Flibe simulant fluid in a circular pipe	Fusion Eng. Des.	83 (2008) 1082–1086
38	2008	Y. Yamamoto, T. Kunugi, S. Satake, S. Smolentsev	DNS and $k-\epsilon$ model simulation of MHD turbulent channel flows with heat transfer	Fusion Eng. Des.	83 (2008) 1309-1312
39	2008	K. Yuki, M. Okumura, H. Hashizume, S. Toda, N. Morley, A. Sagara	Flow visualization and heat transfer characteristics for sphere-packed pipes	J. Thermophys. Heat Transfer	22(4) (2008) 638-648

40	2008	S. Satake, N. Yoshida, T. Kunugi, K. Takase, Y. Ose, T. Kano	DNS of turbulent heat transfer under a uniform magnetic field at high Reynolds number	Fusion Eng. Des.	83 (2008) 1092-1096
41	2008	S. Smolentsev, N.B. Morley, C. Wong and M. Abdou	MHD and heat transfer considerations for the US DCLL blanket for DEMO and ITER TBM	Fusion Eng. Des.	83 (2008) 1788-1791
42	2008	S. Smolentsev, R. Moreau, M. Abdou	Characterization of Key Magnetohydrodynamic Phenomena in PbLi Flows for the US DCLL Blanket	Fusion Eng. Des.	83 (2008) 771-783
43	2008	N. Morley, Y. Katoh, S. Malang, B.A. Pint, A.R. Raffray, S. Sharafat, S. Smolentsev, G.E. Youngblood	Recent Research and Development for the Dual-Coolant Blanket Concept in the US	Fusion Eng. Des.	83 (2008) 920-927
44	2008	N. Morley, M.-J. Ni, R. Munipalli, P. Huang, M. Abdou	MHD simulations of liquid metal flow through a toroidally-oriented manifold	Fusion Eng. Des.	83 (2008) 1335-1339
45	2009	Y.Ueki, M.Hirabayashi, T.Kunugi, T. Yokomine and K. Ara	Acoustic Properties of Pb-17Li Alloy for Ultrasonic Doppler Velocimetry	Fusion Sci. Tech.	56 (2009) 846-850
46	2009	N.Morley, A.Medina, M.Abdou	Measurement of Specific Electrical Contact Resistance Between SiC and Lead-Lithium Eutectic Alloy	Fusion Sci. Tech.	56 (2009) 195-200
47	2009	S.Smolentsev, S. Malang	Double-Layer Flow Channel Insert for Electric and Thermal Insulation in the Dual-Coolant Lead-Lithium Blanket	Fusion Sci. Tech.	56 (2009) 201-205
48	2009	N.Vetcha, S. Smolentsev, M.Abdou	Theoretical Study of Mixed Convection in Poloidal Flows of DCLL Blanket	Fusion Sci. Tech.	56 (2009) 851-855
49	2009	K. Messadek, M.Abdou	Experimental study of the MHD flow in a prototypic inlet manifold section of the DCLL blanket	Magnetohydrodynamics	45 (2009) 233-238
50	2009	R. Moreau, S. Smolentsev, S. Cuevas	Flow in an Insulating Rectangular Duct at the Entry of a Magnet	Magnetohydrodynamics	45 (2009) 181-192
51	2010	S. Smolentsev, S. Cuevas, A. Beltrán	Induced Electric Current-Based Formulation in Computations of Low Magnetic Reynolds Number Magnetohydrodynamic Flows	J. Comput. Phys	229 (2010) 1558-1572
52	2010	S. Smolentsev, Z.Xu, Ch.Pan, M.Abdou	Numerical and Experimental Studies of MHD flow in a Rectangular Duct with a Non-Conducting Flow Insert	Magnetohydrodynamics	46 (2010) 99-111
53	2010	Y.Ueki, T.Kunugi, M. Kondo, A.Sagara, N.Morley, M.Abdou	Consideration of Alumina Coating Fabricated by Sol-gel Method for PbLi Flow	Zero-Carbon Energy Kyoto 2009 (Springer Book)	(2010) 373-379
54	2010	Y.Ueki, T.Kunugi, N.Morley, M.Abdou	Consideration of Alumina Coating Fabricated by Sol-gel Process as MHD Coating against Liquid Pb-17Li	Fusion Eng. Des.	2010 in press
55	2010	S. Smolentsev, R. Moreau, L. Bühler, C. Mistrangelo	MHD Thermofluid Issues of Liquid-Metal Blankets: Phenomena and Advances	Fusion Eng. Des.	2010 in press
56	2010	S. Smolentsev, C. Wong, S. Malang, M. Dagher, M. Abdou	MHD Considerations for the DCLL Inboard Blanket and Access Ducts	Fusion Eng. Des.	In press
57	2010	C.P.C. Wong, M. Abdou, M. Dagher, Y. Katoh, R.J. Kurtz, S. Malang, E.P. Marriott, B.J. Merrill, K. Messadek, N.B. Morley, M.E. Sawan, S. Sharafat, S. Smolentsev, D.K. Sze, S. Willms, A. Ying, M.Z. Youssef	An Overview of the US DCLL ITER-TBM Program	Fusion Eng. Des.	In press

Task2-1 Irradiation-tritium synergism

58	2008	Y. Oya, P. Calderoni, M. Shimada, Y. Hatano, R. Kolasinski, P. Sharpe, K. Okuno	Deuterium Retention and Desorption Behaviors in Tungsten Exposed to TPE	SOFT-25	Sep. 15-19, 2008, Rostock, Germany
59	2009	Y. Hatano, M. Hara, Y. Oya, P. Calderoni, P. Sharpe, M. Shimada, Y. Katoh, T. Yamamoto	Tungsten Related Activities in Japan-US Joint Research Project TITAN Task 2-1	ICFRM-14	Sep. 6-11, 2009, Sapporo, Japan
60	2009	Y. Oya, Y. Inagaki, S. Suzuki, H. Ishikawa, Y. Kikuchi, A. Yoshikawa, T. Iwakiri, N. Ashikawa, A. Sagara, N. Yoshida, K. Okuno	Behavior of hydrogen isotope retention in carbon implanted tungsten	J. Nucl. Mater.	390-391 (2009) 622-625
61	2009	Y. Oya, S. Suzuki, W. Wang, R. Kurata, M. Kobayashi, N. Ashikawa, A. Sagara, N. Yoshida, K. Okuno	Correlation between deuterium retention and microstructure change for tungsten under triple ion implantation	Phys. Scr.	T138 (2009) 014051
62	2009	M. Kobayashi, S. Suzuki, W. Wang, R. Kurata, K. Kida, N. Ashikawa, A. Sagara, N. Yoshida, Y. Oya, K. Okuno	Trapping behaviour of deuterium ions implanted into tungsten simultaneously with carbon ions	Phys. Scr.	T138 (2009) 014050
63	2010	R. D. Kolasinski, M. Shimada, T. Otsuka, J. M. Shea, T. R. Allen, P. Calderoni, J. P. Sharpe, and R. A. Causey	Hydrogen isotope retention, surface profile and depth profile of polycrystalline tungsten exposed to high flux deuterium plasma	Phys. Scr.	(2009) 014042

Task2-2 Joining and coating integrity

64	2007	N. Baluc, D. S. Gelles, S. Jitsukawa, A. Kimura, R. L. Klueh, G. R. Odette, B. van der Schaaf and Jinnan Yu	Status of Reduced Activation Ferritic/martensitic Steel Development	J. Nucl. Mater	367-370 (2007) 33-41
65	2007	A. Kimura, R. Kasada, A. Kohyama, H. Tanigawa, T. Hirose, K. Shiba, S. Jitsukawa, S. Ohtsuka, S. Ukai, M.A. Sokolov, et al.	Recent Progress in US-Japan Collaborative Research on Ferritic Steels R&D	J. Nucl. Mater	367-370 (2007) 60-67
66	2007	J.S. Lee, C.H. Jang, I.S. Kim and A. Kimura	Embrittlement and Hardening during Thermal Aging of High Cr Oxide Dispersion Strengthened Alloys	J. Nucl. Mater	367-370 (2007) 229-233
67	2007	H.S. Cho, R. Kasada and A. Kimura	Effects of Neutron Irradiation on the Tensile Properties of High-Cr Oxide Dispersion Strengthened Ferritic Steels	J. Nucl. Mater	367-370 (2007) 239-243
68	2007	C.P.C. Wong, V. Chernov, A. Kimura, Y. Katoh, N. Morley, T. Muroga, K.W. Song, Y.C. Wu and M. Zmitko	ITER-Test Blanket Module Functional Materials	J. Nucl. Mater	367-370 (2007) 1287-1292
69	2007	K. Yutani, H. Kishimoto, R. Kasada and A. Kimura	Evaluation of Helium effects on Swelling Behavior of Oxide Dispersion Strengthened Ferritic Steels under Ion Irradiation	J. Nucl. Mater	367-370 (2007) 423-427
70	2007	M.A. Sokolov, A. Kimura, H. Tanigawa and S. Jitsukawa	Fracture Toughness Characterization of JLF-1 Steel after Irradiation in HFIR to 5 dpa	J. Nucl. Mater	367-370 (2007) 644-647
71	2007	S.Ukai and S. Ohtsuka	Nano-mesoscopic Structural Control in 9Cr-ODS Ferritic/martensitic Steels	Energy Mater.	2(1) (2007) 26-35
72	2007	E.M.Tabakin, S.V.Kuzmin, Yu.V.Ivanovich, S.Ukai, et al.	Investigation of Y2O3 Distribution in Welding Joints of Thin Claddings from Dispersion-hardened Steel	Atomic Energy	102(6) (2007) 430

73	2007	S.Yamashita, N.Akasaka, S.Ukai, et al.	Microstructural Development of a Heavily Neutron-irradiated ODS Ferritic Steel (MA957) at Elevated Temperature	J. Nucl. Mater.	367-370 (2007) 202
74	2008	Y. Katoh, T. Hinoki, H.C. Jung, J.S. Park, S. Konishi, M. Ferraris	DEVELOPMENT AND EVALUATION OF SILICON CARBIDE JOINTS FOR APPLICATIONS IN RADIATION ENVIRONMENT	Fusion Materials Semi-Annual Progress Reports	DOE/ER-0313/44 (2008) 26-32
75	2009	C. Chun Fu, A. Kimura, M. Samaras, M. Serrano de Caro, R E. Stoller	Materials for Future Fusion and Fission Technologies	Materials Research Society Symposium Proceedings	December 2-4, 2008, Boston, Massachusetts, USA
76	2009	C. Park, K. Noborio, R. Kasada, Y. Yamamoto, G. Nam, S. Konishi	Compatibility of materials for advanced blanket with liquid LiPb	23rd Symposium on Fusion Engineering	May31-June 5, 2009, San Diego,California, USA
77	2009	N. Okuda, R. Kasada, A. Kimura	Statistical evaluation of anisotropic fracture behavior of ODS ferritic steels by using small push tests	J. Nucl. Mater.	386-388 (2009) 974-978
78	2009	A.Hasegawa, M. Ejiri, S. Nogami, M. Ishiga, R. Kasada, A. Kimura, K. Abe,S. Jitsukawa	Effects of helium on ductile-brittle transition behavior of reduced-activation ferritic steels after high-concentration helium implantation at high temperature	Journal of Nuclear Materials	386-388 (2009) 241-244
79	2009	H.Kishimoto, R. Kasada, O. Hashitomi, A. Kimura	Stability of Y-Ti complex oxides in Fe-16Cr-0.1Ti ODS ferritic steel before and after heavy-ion irradiation	Journal of Nuclear Materials	386-388 (2009) 533-536H
80	2009	T. Nagasaka, R. Kasada, A. Kimura, Y. Ueda, T. Muroga	Thermophysical properties and microstructure of plasma-sprayed tungsten coating on low activation materials	Fusion Sci. Tech.	56 (2009) 1053-1057
81	2009	H. Watanabe, A. Higashijima, N. Yoshida, T. Nagasaka and T. Muroga	The microstructure of laser welded Y doped V-4Cr-4Ti alloys after ion irradiation	J. Nucl. Mater.	386-388 (2009) 598-601
82	2009	N. Hara, S. Nogami, T. Nagasaka, A. Hasegawa, H. Tanigawa, T. Muroga	Mechanical Property Changes and Irradiation Hardening Due to Dissimilar Metal Welding with Reduced Activation Ferritic/Martensitic Steel and 316L Stainless Steel	Fusion Sci. Tech.	56 (2009) 318-322
83	2010	Naoko Oono, Sanghoon Noh, Noriyuki Iwata, Takuya Nagasaka, Ryuta Kasada, Akihiko Kimura	Metallurgical analysis of ODS steel/Tungsten joints	J. Nucl. Mater.	submitted
84	2010	R. Kasada, S.G. Lee, J. Isselin, J.H. Lee, T. Omura, A. Kimura, T. Okuda, M. Inoue, S. Ukai, S. Ohnuki, T. Fujisawa, F. Abe	Anisotropy in Tensile and Ductile-Brittle Transition Behavior of ODS Ferritic Steels	J. Nucl. Mater.	submitted
85	2010	M. Nono, T. Nakajima, M. Iwama, R. Kasada, A. Kimura	SCC Behavior of SUS316L in The High Temperature Pressurized Water Environment	J. Nucl. Mater.	submitted
86	2010	Sanghoon Noh, R. Kasada, A. Kimura, Seung Hwan C. Park, S. Hirano	Microstructure and Mechanical Properties of Friction Stir Processed ODS ferritic steels	J. Nucl. Mater.	submitted
87	2010	K. Yabuuchi, H. Yano, R. Kasada, A. Kimura	Dose dependence of irradiation hardening of binary ferritic alloys irradiated with Fe ³⁺ ions	J. Nucl. Mater.	submitted
88	2010	J. ISSELIN, R. Kasada, A. Kimura, T. Okuda, M. Inoue, S. Ukai, S. Ohnuki, T. Fujiwara, T. F. Abe	Evaluation of Fracture Behavior of Recrystallized and Aged High-Cr ODS Ferritic Steels	J. Nucl. Mater.	submitted
89	2010	H. Noto, S. Ukai, S. Hayashi and A. Kimura	Transient Liquid-Phase (TLP) Bonding of ODS Martensitic Steels	J. Nucl. Mater.	to be published

90	2010	Y. Sugino, S. Ukai and S. Hayashi	Directional Recrystallization of ODS Alloys by Means of Zone Annealing	J. Nucl. Mater.	to be published
91	2010	M. Yamamoto, S. Ukai, S. Hayashi, T. Kaito and S. Ohtsuka	Reverse Phase Transformation from Ferrite to Austenite in 9CrODS Ferritic Steels	J. Nucl. Mater.	to be published
92	2010	S. Ukai, M. Yamamoto, N. Chikata, S. Hayashi, T. Kaito, S. Ohtsuka, T. Azuma and S. Ohsaki	Ultra High-Strength of AUSFOMed 9CrODS Ferritic Steels	J. Nucl. Mater.	to be published
93	2010	M. Ferraris, M. Salvo, V. Casalegno, Y. Katoh, A. Kohyama, T. Hinoki	Joining of SiC-based materials for nuclear energy applications	J. Nucl. Mater.	submitted
94	2010	Charles H. Henager, Jr.	Low-Activation Joining of SiC/SiC Composites for Fusion Applications	J. Nucl. Mater.	submitted
95	2010	Hun-Chea Jung, Tatsuya Hinoki, Yutai Katoh, Akira Kohyama	Development of the testing method of shear stress for NITE-SiC joining material	J. Nucl. Mater.	submitted
96	2010	M. Ferraris, A. Ventrella, M. Salvo, H. Shaohua, V. Casalegno, S. Rizzo, Y. Katoh, H. Jung, T. Hinoki, A. Kohyama	Joining of SiC and SiC/SiC for nuclear applications	Ceramic Engineering & Science Proceedings	submitted
97	2010	N. Hashimoto, H. Tanigawa, H. Kinoshita, and S. Ohnuki	Multiple-beam Irradiation Effects in Electron-Beam-Welded F82H Joint	J. Nucl. Mater.	submitted
98	2010	H Seto, N. Hashimoto, H. Kinoshita, and S. Ohnuki	Effects of multi-beam irradiation on defect formation in Fe-Cr alloys	J. Nucl. Mater.	submitted
99	2010	T. Nagasaka, T. Muroga, H. Watanabe, R. Kasada, N. Iwata, A. Kimura	Mechanical property of V-4Cr-4Ti alloy after first wall coating with tungsten	J. Nucl. Mater.	submitted
100	2010	N. Hashimoto, H. Seto, N. Yamaguchi, H. Kinoshita, and S. Ohnuki	Multiple-beam Irradiation Effects in Ferritic steels and EB-Welded F82H Joint	Materials Research Society 2010 Spring Meeting	Apr. 5-9, 2010, San Francisco, USA

Task2-3 Dynamic deformation

101	2008	Y. Katoh, K. Ozawa, L.L. Snead, Y.B.Choi, T. Hinoki, A. Hasegawa	MECHANICAL CHARACTERIZATION OF SILICON CARBIDE COMPOSITES FOR HFIR-18J EXPERIMENT IN UNIRRADIATED CONDITION	Fusion Materials Semi-Annual Progress Reports	DOE/ER-0313/45 (2008) 21-34
102	2008	Y. Katoh, Y.B.Choi, T. Hinoki	TITAN TASK 2-3 SILICON CARBIDE BEND STRESS RELAXATION CREEP EXPERIMENT	Fusion Materials Semi-Annual Progress Reports	DOE/ER-0313/45 (2008) 140-145
103	2009	Shuhei Nogami, Akira Hasegawa, Takahide Murayama, Nobuyuki Otake, Manabu Satou, Katsunori Abe	Compatibility between SiC and Li ceramics for solid breeding blanket system	J. Nucl. Mater.	386-388 (2009) 218-221
104	2009	T. Nozawa, T. Hinoki, A. Hasegawa, A. Kohyama, Y. Katoh, L.L. Snead, C.H. Henager, J.B.J. Hegeman	Recent advances and issues in development of silicon carbide composites for fusion applications	J. Nucl. Mater.	386 (2009) 622-627
105	2009	K. Shimoda, J.S. Park, T. Hinoki, A. Kohyama	Microstructural optimization of high-temperature SiC/SiC composites by NITE process	J. Nucl. Mater.	386 (2009) 634-638
106	2009	K. Shimoda, A. Kohyama, T. Hinoki	High mechanical performance SiC/SiC composites by NITE process with tailoring of appropriate fabrication temperature to fiber volume fraction	COMPOSITES SCIENCE AND TECHNOLOGY	69[10] (2009) 1623-1628
107	2008	K. Shimoda, J.S. Park, T. Hinoki, A. Kohyama	Influence of pyrolytic carbon interface thickness on microstructure and mechanical properties of SiC/SiC composites by NITE process	COMPOSITES SCIENCE AND TECHNOLOGY	68[1] (2008) 98-105

108	2010	K. Abe, S. Nogami, A. Hasegawa, T. Hinoki, T. Nozawa	Study on Stress Relaxation Behavior of Silicon Carbide by BSR method	J. Nucl. Mater.	submitted
109	2010	Y. B. Choi, T. Hinoki, K. Ozawa, Y. Katoh	Tansthickness Tensile Properties of NITE SiC/SiC Composite Irradiated at High Temperature	J. Nucl. Mater.	submitted
110	2010	Yutai Katoh, Tatsuya Hinoki, Kazumi Ozawa, Yong-Bum Choi, Akira Hasegawa, Lance L. Snead	Properties of Advanced SiC Fiber Composites Irradiated at High Temperatures: Results from US/Japan HFIR-18J Experiment	J. Nucl. Mater.	submitted

Common Task MFE/IFE system integration modeling

111	2010	Akio Sagara, Yuri Igitkhanov, Farrokh Najmabadi	Review of stellarator/heliotron design issues towards MFE DEMO	Fusion Eng. Des.	In press.
112	2010	S. Fukada, Y. Edao, A. Sagara	Effects of simultaneous transfer of heat and tritium through Li-Pb or Flibe blanket	J. Nucl. Mater.	In press.

2. Conference Paper

Task 1-1 Tritium and mass transfer in first wall

No	Year	Authors	Title of Paper	Conference Name	Month Date, Year, Place, Country
1	2010	K.Tokunaga, M.J. Baldwin, D. Nishijima, R.P. Doerner, S. Nagata, B.Tsuchiya, H. Kurishita, T. Fujiwara, K.Araki, Y. Miyamoto, N. Ohno and Y. Ueda	Properties of re-deposited layer formed by Be seeded D-He mixture plasma tungsten interactions	PSI-19	May 24-28, 2010, San Diego, USA
2	2010	T. Otsuka, M. Shimada, R. Kolasinski, et al.	Application of tritium imaging plate technique to examine tritium behaviors on the surface and in the bulk of plasma exposed materials	PSI-19	May. 24-28, 2010, San Diego, USA
3	2010	T. Otsuka, M. Shimada, T. Tanabe, et al.	Behavior of tritium near surface region of metals exposed to tritium plasma	Tritium-9	Oct. 24-29, 2010, Nara, Japan
4	2010	Noriyasu Ohno, Shin Kajita, Yuki Hirahata, Masato Yamagiwa, Makoto Takagi	Influence of Crystallographic Orientation on Helium Bubble and Fuzz Structure Formation in Tungsten	PSI-19	May 24-28, 2010, San Diego, U.S.A.
5	2010	Y. Kikuchi, D. Nishijima, M. Nakatsuka, K. Ando, T. Higashi, N. Fukumoto, M. Nagata, R.P. Doerner, Y. Ueda	Experimental Study of Plasma-Material Interaction Under ELM-like Heat Loads	PSI-19	May 24-28, 2010, San Diego, U.S.A.
6	2010	M. Miyamoto, D. Nishijima, M.J. Baldwin, R.P. Doerner, Y. Ueda, Y. Yasunaga, N. Yoshida, and K. Ono	Microscopic Damage of Tungsten Exposed to Deuterium-Helium Mixture Plasma in PISCES and Its Impacts on Retention Property	PSI-19	May 24-28, 2010, San Diego, U.S.A.

Task 1-2 Tritium behavior in blanket systems

7	2010	Y. Edao, H. Noguchi, H. Okitsu, S. Fukada	Permeation behavior of two-component hydrogen isotopes in lithium-lead eutectic alloy	Tritium-9	Oct. 24-29, 2010, Nara, Japan
8	2010	S. Konishi, T. Shibata, K. Noborio, and Y. Yamamoto	Strategy for environmentally and socially attractive fusion tritium system	Tritium-9	Oct. 24-29, 2010, Nara, Japan
9	2010	S. Konishi, M. Ichinose, and Y. Yamamoto	Fusion-Biomass Hybrid Concept and its Implication in Fusion Development	23rd IAEA Fusion Energy Conference	10-16 October 2010 Daejeon, Republic of Korea

Task 1-3 Flow control and thermofluid modeling

10	2010	Y.Ueki, K.Nagai, T.Kunugi et al.	Contact Angle Measurement of Molten Lead-Lithium on Silicon Carbide Surfaces	SOFT-26	Sep. 28- Oct. 1, 2010, Porto, Portugal
----	------	----------------------------------	--	---------	--

Task2-1 Irradiation-tritium synergism

11	2010	M. Shimada, Y. Hatano, P. Calderoni, T. Oda, Y. Oya, M. Sokolov, K. Zhang, R. Kolasinski, J. P. Sharpe	Deuterium Retention in Neutron-Irradiated Tungsten and Molybdenum Exposed to High Flux Plasma in TPE	PSI-19	May 24-28, 2010, San Diego, USA
12	2010	T. Oda, M. Shimada, K. Zhang, P. Calderoni, Y. Oya, M. Sokolov, R. Kolasinski, J. P. Sharpe, Y. Hatano	Behavior of Hydrogen Isotopes Loaded into Neutron-Irradiated Tungsten by TPE Plasma Exposure	Tritium-9	Oct. 24-29, 2010, Nara, Japan
13	2010	Masashi Shimada, Y. Hatano, P. Calderoni, T. Oda, Y. Oya, M. Sokolov, K. Zhang, R. Kolasinski, and J. P. Sharpe	First Results from Deuterium Retention in Neutron-Irradiated Tungsten	10th International Workshop on Hydrogen Isotopes in Fusion Reactor Materials	May 31- June 2, 2010 Pleasanton, California, USA

Task2-2 Joining and coating integrity

14	2010	R. Kasada, H. Takahashi, H. Kishimoto, K. Yutani, A. Kimura	Superior Radiation Resistance of ODS Ferritic Steels	PRICM7	August 1-6, 2010, Cairns, Australia
15	2010	K. Yabuuchi, M. Saito, R. Kasada, A. Kimura	Neutron Irradiation Hardening of Fe-based Binary Alloys	PRICM7	August 1-6, 2010, Cairns, Australia
16	2010	Y.Takayama, R.Kasada, K.Yabuuchi, A.Kimura, D.Hamaguchi, M.Ando, H.Tanigawa	Evaluation of irradiation hardening of Fe-ion irradiated F82H by nano-indentation techniques	PRICM7	August 1-6, 2010, Cairns, Australia
17	2010	Sanghoon Noh, R. Kasada, N. Oono, T. Nagasaka, A. Kimura	Joining of ODS steels and Tungsten for Fusion Applications	PRICM7	August 1-6, 2010, Cairns, Australia

CHAPTER 6 Doublet III

1. Journal Paper

No	Year	Authors	Title of Paper	Journal	Vol. (Year) Page (Start) - Page(End) or Identification No.
1	2001	H. Takenaga, et al.	Comparison of particle confinement in the high confinement mode plasmas with the edge localized mode of the Japan Atomic Energy Research Institute Tokamak-60 Upgrade and DIII-D tokamak	Phys. Plasmas	8 (2001) 1607-1611
2	2001	L.L. Lao, et al.	Dependence of Edge Stability on Plasma Shape and Local Pressure Gradients in the DIII-D and JT-60U Tokamaks	Nucl. Fusion	41 (2001) 295-300
3	2001	H. Takenaga, et al.	Study of particle pumping characteristics for different pumping geometries in JT-60U and DIII-D divertors	Nucl. Fusion	41 (2001) 1777-1767
4	2001	Y. Kamada, et al.	Extended JT-60U plasma regimes for high integrated performance	Nucl. Fusion	41 (2001) 1311-1325
5	2002	C.C. Petty, et al.	Analysis of current drive using MSE polarimetry without equilibrium reconstruction	Nucl. Fusion	42 (2002) 1124-1133
6	2003	G.D. Porter, et al.	Simulation on the effect of plasma flows in DIII-D, JET, and JT-60U	J. Nucl. Mater.	313-316 (2003) 1085-1088
7	2003	A. Loarte, et al.	Characteristics of type I ELM energy and particle losses in existing devices and their extrapolation to ITER	Plasma Phys. Control. Fusion	45 (2003) 1549-1569
8	2003	P. Gohil, et al.	Increased understanding of the dynamics and transport in ITB plasmas from multi-machine comparisons	Nucl. Fusion	43 (2003) 708-715
9	2003	T. Fujita, et al.	Overview of JT-60U results leading to high integrated performance in reactor-relevant regimes	Nucl. Fusion	43 (2003) 1527-1539
10	2005	N. Oyama, et al.	Energy loss for grassy ELMs and effects of plasma rotation on the ELM characteristics in JT-60U	Nucl. Fusion	45 (2005) 871-881
11	2005	S. Ide, et al.	Overview of JT-60U progress towards steady-state advanced tokamak	Nucl. Fusion	45 (2005) S48-S62
12	2006	R.J. La Haye, et al.	Cross-machine bench-marking for ITER of neoclassical tearing mode stabilization by electron cyclotron current drive	Nucl. Fusion	46 (2006) 451-461
13	2006	T. Fujita, et al.	Steady state operation research in JT-60U with extended pulse length	Nucl. Fusion	46 (2006) S3-S12
14	2006	N. Oyama, et al.	Pedestal conditions for small ELM regimes in tokamaks	Plasma Phys. Control. Fusion	48 (2006) A171-A181
15	2007	R. Prater, et al.	Stabilization and prevention of the 2/1 neoclassical tearing mode for improved performance in DIII-D	Nucl. Fusion	47 (2007) 371-377
16	2007	D.C. McDonald, et al.	Recent progress on the development and analysis of the ITPA global H-mode confinement database	Nucl. Fusion	47 (2007) 147-174
17	2007	J.D. Callen, et al.	Experimental tests of paleoclassical transport	Nucl. Fusion	47 (2007) 1449-1457
18	2007	C.F. Maggi, et al.	Characteristics of the H-mode pedestal in improved confinement scenarios in ASDEX Upgrade, DIII-D, JET and JT-60U	Nucl. Fusion	47 (2007) 535-551
19	2007	K. Kamiya, et al.	Edge localized modes; Recent experimental findings and related issues	Plasma Phys. Control. Fusion	49 (2007) s43-s62
20	2007	N. Aiba, et al.	Numerical Method for the Stability Analysis of Ideal MHD Modes with a Wide Range of Toroidal Mode Numbers in Tokamaks	Plasma Fusion Res.	2 (2007) 010_1-010_8
21	2007	A. Kojima, et al.	Numerical Simulation of a High-Brightness Lithium Ion Gun for a Zeeman Polarimetry on JT-60U	Plasma Fusion Res.	2 (2007) S1104_1-S1104_4

22	2007	A.M. Garofalo, et al.	Stability and control of resistive wall modes in high beta, low rotation DIII-D plasmas	Nucl. Fusion	47 (2007) 1121-1130
23	2007	H. Reimerdes, et al.	Reduced Critical Rotation for Resistive-Wall Mode Stabilization in a Near-Axisymmetric Configuration	Phys. Rev. Lett.	98 (2007) 055001_1-055004
24	2007	M. Takechi, et al.	Identification of a Low Plasma-Rotation Threshold for Stabilization of the Resistive-Wall Mode	Phys. Rev. Lett.	98 (2007) 055002_1-055004
25	2007	J.E. Rice, et al.	Inter-machine comparison of intrinsic toroidal rotation in tokamaks	Nucl. Fusion	47 (2007) 1618-1624
26	2007	H. Takenaga, et al.	Overview of JT-60U results for the development of a steady-state advanced tokamak scenario	Nucl. Fusion	47 (2007) S563-S578
27	2008	A. Kojima, et al.	Development of a high-brightness and low-divergence lithium neutral beam for a Zeeman polarimetry on JT-60U	Rev. Sci. Instrum.	79 (2008) 093502_1-093502_5
28	2008	A. Kirk, et al.	Comparison of the spatial and temporal structure of type-I ELMs	J. Phys.: Conf. Ser.	123 (2008) 012011_1-012011_10
29	2009	R.J. La Haye, et al.	Prospects for stabilization of neoclassical tearing modes by electron cyclotron current drive in ITER	Nucl. Fusion	49 (2009) 045005_1-045005_8
30	2009	M. Murakami, et al.	Off-axis neutral beam current drive for advanced scenario development in DIII-D	Nucl. Fusion	49 (2009) 065031_1-065031_8
31	2009	J.M. Park, et al.	Validation of on- and off-axis neutral beam current drive against experiment in DIII-D	Phys. Plasmas	16 (2009) 092508_1-092508_8
32	2009	P.B. Snyder, et al.	Pedestal stability comparison and ITER pedestal prediction	Nucl. Fusion	49 (2009) 085035_1-085035_8
33	2009	N. Oyama, et al.	Overview of JT-60U results towards the establishment of advanced tokamak operation	Nucl. Fusion	49 (2009) 104007_1-104007_16
34	2010	K. Kamiya, et al.	Zeeman polarimetry measurement for edge current density determination using Li-beam probe on JT-60U	Rev. Sci. Instrum.	81 (2010) 033502_1-033502_8

2. Conference Paper

No	Year	Authors	Title of Paper	Conference Name	Month Date, Year, Place, Country
1	2002	T. Oikawa, et al.	Comparison of large and small ELM regimes in JT-60U and DIII-D	American Physical Society, 44th Annual Meeting of the Division of Plasma Physics	Nov. 11-15, 2002, Orlando, Florida
2	2004	N. Oyama, et al.	Energy loss for grassy ELMs and effects of plasma rotation on the ELM characteristics in JT-60U	20th IAEA Fusion Energy Conference (FEC2004)	Nov.1-6, 2004, Vilamoura, Portugal
3	2006	R.J. La Haye, et al.	Evaluating electron cyclotron current drive stabilization of neoclassical tearing modes in ITER- Implications of Experiments in ASDEX-U, DIII-D, JET, and JT-60U	21st IAEA Fusion Energy Conference (FEC 2006)	Oct.16-21, 2006, Chengdu, China
4	2006	D.C. McDonald, et al.	Multi-machine dimensionless transport experiments	21st IAEA Fusion Energy Conference (FEC 2006)	Oct.16-21, 2006, Chengdu, China
5	2006	R. Prater, et al.	Prevention of the 2/1 neoclassical tearing mode in DIII-D	21st IAEA Fusion Energy Conference (FEC 2006)	Oct.16-21, 2006, Chengdu, China
6	2006	J.E. Rice, et al.	Inter-machine comparison of intrinsic toroidal rotation	21st IAEA Fusion Energy Conference (FEC 2006)	Oct.16-21, 2006, Chengdu, China
7	2008	R.J. La Haye, et al.	Prospects for stabilization of neoclassical tearing modes by electron cyclotron current drive in ITER	22nd IAEA Fusion Energy Conference (FEC 2008)	Oct.13-18, 2008, Geneva, Switzerland
8	2008	G. Viad, et al.	Particle simulation of energetic particle driven Alfvén modes	22nd IAEA Fusion Energy Conference (FEC 2008)	Oct.13-18, 2008, Geneva, Switzerland
9	2008	M. Murakami, et al.	Off-axis neutral beam current drive for advanced scenario development in DIII-D	22nd IAEA Fusion Energy Conference (FEC 2008)	Oct.13-18, 2008, Geneva, Switzerland

CHAPTER 7 HFIR

1. Journal Paper

No	Year	Authors	Title of Paper	Journal	Vol. (Year) Page (Start) - Page(End) or Identification No.
1	2000	N. Hashimoto, et al.	Microstructure of austenitic stainless steels irradiated at 400°C in the ORR and the HFIR spectral tailoring experiment	J. Nucl. Mater.	280 (2000) 186-195
2	2000	E. Wakai, et al.	Tensile properties and damage microstructures in ORR/HFIR-irradiated austenitic stainless steels	J. Nucl. Mater.	283-287 (2000) 435-439
3	2000	E. Wakai, et al.	Effect of helium production on swelling of F82H irradiated in HFIR	J. Nucl. Mater.	283-287 (2000) 799-805
4	2000	R. L. Klueh, et al.	Embrittlement of reduced-activation ferritic/martensitic steels irradiated in HFIR at 300°C and 400°C	J. Nucl. Mater.	283-287 (2000) 478-482
5	2000	Y. Miwa, et al.	Swelling of F82H irradiated at 673 K up to 51 dpa in HFIR	J. Nucl. Mater.	283-287 (2000) 334-338
6	2000	Y. Miwa, et al.	Microstructures in Ti–Al intermetallic compounds irradiated at 673 K in HFIR	J. Nucl. Mater.	283-287 (2000) 273-277
7	2000	K. Shiba, et al.	Tensile behavior of F82H with and without spectral tailoring	J. Nucl. Mater.	283-287 (2000) 358-361
8	2000	L.L. Snead, et al.	In situ thermal conductivity measurement of ceramics in a fast neutron environment	J. Nucl. Mater.	283-287 (2000) 545-550
9	2000	K. Shiba, et al.	Low-temperature irradiation effects on tensile and Charpy properties of low-activation ferritic steels	J. Nucl. Mater.	283-287 (2000) 474-477
10	2002	E. Wakai, et al.	Swelling of cold-worked austenitic stainless steels irradiated in HFIR under spectrally tailored conditions	J. Nucl. Mater.	307-311 (2002) 352-356
11	2002	E. Wakai, et al.	Microstructural study of irradiated isotopically tailored F82H steel	J. Nucl. Mater.	307-311 (2002) 203-211
12	2002	D. S. Gelles, et al.	Recent results for the ferritics isotopic tailoring (FIST) experiment	J. Nucl. Mater.	307-311 (2002) 212-216
13	2002	N. Hashimoto, et al.	Pros and cons of nickel- and boron-doping to study helium effects in ferritic/martensitic steels	J. Nucl. Mater.	307-311 (2002) 222-228
14	2002	S. Jitsukawa, et al.	Development of an extensive database of mechanical and physical properties for reduced-activation martensitic steel F82H	J. Nucl. Mater.	307-311 (2002) 179-186
15	2002	R.L. Klueh, et al.	Ferritic/martensitic steels – overview of recent results	J. Nucl. Mater.	307-311 (2002) 455-465
16	2002	E. Wakai, et al.	Effect of triple ion beams in ferritic/martensitic steel on swelling behavior	J. Nucl. Mater.	307-311 (2002) 278-282

17	2002	Y. Miwa, et al.	Irradiation-assisted SCC susceptibility of HIPed 316LN-IG stainless steel irradiated at 473 K to 1 dpa	J. Nucl. Mater.	307-311 (2002) 347-351
18	2002	M. Ando, et al.	Evaluation of hardening behaviour of ion irradiated reduced activation ferritic/martensitic steels by an ultra-micro-indentation technique	J. Nucl. Mater.	307-311 (2002) 260-265
19	2002	G. E. Lucas, et al.	Recent progress in small specimen test technology	J. Nucl. Mater.	307-311 (2002) 1600-1608
20	2002	T. Sawai, et al.	Swelling behavior of TIG-welded F82H IEA heat	J. Nucl. Mater.	307-311 (2002) 312-316
21	2002	G. R. Odette, et al.	Some recent innovations in small specimen testing	J. Nucl. Mater.	307-311 (2002) 1643-1648
22	2003	E. Wakai, et al.	Swelling behavior of F82H steel irradiated by triple/dual ion beams	J. Nucl. Mater.	318 (2003) 267-273
23	2004	H. Tanigawa, et al.	Microstructure property analysis of HFIR-irradiated reduced-activation ferritic/martensitic steels	J. Nucl. Mater.	329-333 (2004) 283-288
24	2004	T. Taguchi, et al.	Post irradiation plastic properties of F82H derived from the instrumented tensile tests	J. Nucl. Mater.	335 (2004) 457-461
25	2004	S. Jitsukawa, et al.	Recent results of the reduced activation ferritic/martensitic steel development	J. Nucl. Mater.	329-333 (2004) 39-46
26	2004	K. Shiba, et al.	Reduced activation martensitic steels as a structural material for ITER test blanket	J. Nucl. Mater.	329-333 (2004) 243-247
27	2004	T. Nozawa, et al.	Neutron irradiation effects on high-crystallinity and near-stoichiometry SiC fibers and their composites	J. Nucl. Mater.	329-333 (2004) 544-548
28	2004	T. Tsukada, et al.	Effects of water and irradiation temperatures on IASCC susceptibility of type 316 stainless steel	J. Nucl. Mater.	329-333 (2004) 657-662
29	2004	M. Ando, et al.	Synergistic effect of displacement damage and helium atoms on radiation hardening in F82H at TIARA facility	J. Nucl. Mater.	329-333 (2004) 1137-1141
30	2005	N. Okubo, et al.	Heat treatment effects on microstructures and DBTT of F82H steel doped with boron and nitrogen	Mater. Trans.	46 (2005) 193-195
31	2005	E. Wakai, et al.	Effects of helium production and heat treatment on neutron irradiation hardening of F82H steels irradiated with neutrons	Mater. Trans.	46 (2005) 481-486
32	2005	N. Okubo, et al.	Tempering treatment effect on mechanical properties of F82H steel doped with boron and nitrogen	Mater. Trans.	46 (2005) 1779-1782
33	2005	E. Wakai, et al.	Radiation hardening and -embrittlement due to He production in F82H steel irradiated at 250 °C in JMTR	J. Nucl. Mater.	343 (2005) 285-296
34	2006	E. Wakai, et al.	Mechanical properties of small size specimens of F82H steel	Fusion Eng. Des.	81 (2006) 1077-1084

35	2006	R.L. Klueh, et al.	Mechanical properties of neutron-irradiated nickel-containing martensitic steels: II. Review and analysis of helium-effects studies	J. Nucl. Mater.	357 (2006) 169-182
36	2006	R.L. Klueh, et al.	Mechanical properties of neutron-irradiated nickel-containing martensitic steels: I. Experimental study	J. Nucl. Mater.	357 (2006) 156-168
37	2006	T. Sawai, et al.	Microstructural evolution of SINQ irradiated austenitic stainless steels	J. Nucl. Mater.	356 (2006) 118-121
38	2006	E. Wakai, et al.	Effect of gas atoms and displacement damage on mechanical properties and microstructures of F82H	J. Nucl. Mater.	356 (2006) 95-104
39	2007	M.A. Sokolov, et al.	Fracture toughness and Charpy impact properties of several RAFMS before and after irradiation in HFIR	J. Nucl. Mater.	367-370 (2007) 68-73
40	2007	M.A. Sokolov, et al.	Fracture toughness characterization of JLF-1 steel after irradiation in HFIR to 5 dpa	J. Nucl. Mater.	367-370 (2007) 644-647
41	2007	E. Wakai, et al.	Effect of heat treatments on tensile properties of F82H steel irradiated by neutrons	J. Nucl. Mater.	367-370 (2007) 74-80
42	2007	M. Ando, et al.	Creep behavior of reduced activation ferritic/martensitic steels irradiated at 573 and 773 K up to 5 dpa	J. Nucl. Mater.	367-370 (2007) 122-126
43	2007	N. Okubo, et al.	Effects of heat treatment and irradiation on mechanical properties in F82H steel doped with boron and nitrogen	J. Nucl. Mater.	367-370 (2007) 107-111
44	2007	H. Tanigawa, et al.	Radiation induced phase instability of precipitates in reduced-activation ferritic/martensitic steels	J. Nucl. Mater.	367-370 (2007) 132-136
45	2007	T. Yamamoto, et al.	The transport and fate of helium in nanostructured ferritic alloys at fusion relevant He/dpa ratios and dpa rates	J. Nucl. Mater.	367-370 (2007) 399-410
46	2007	G.E. Lucas, et al.	The role of small specimen test technology in fusion materials development	J. Nucl. Mater.	367-370 (2007) 1549-1556
47	2007	R.L. Klueh, et al.	Mechanical properties of irradiated 9Cr–2WVTa steel with and without nickel	J. Nucl. Mater.	367-370 (2007) 102-106
48	2007	A. Kimura, et al.	Recent progress in US–Japan collaborative research on ferritic steels R&D	J. Nucl. Mater.	367-370 (2007) 60-67
49	2007	R.J. Kurtz, et al.	The transport and fate of helium in martensitic steels at fusion relevant He/dpa ratios and dpa rates	J. Nucl. Mater.	367-370 (2007) 417-422
50	2007	T. Nozawa, et al.	The effects of neutron irradiation on shear properties of monolayered PyC and multilayered PyC/SiC interfaces of SiC/SiC composites	J. Nucl. Mater.	367-370 (2007) 685-691
51	2007	Y. Miwa, et al.	SCC behavior of solid-HIPed and irradiated type 316LN-IG stainless steel in oxygenated or hydrogenated water at 423–603 K	J. Nucl. Mater.	367-370 (2007) 1175-1179
52	2007	H. Tanigawa, et al.	Irradiation effects on precipitation and its impact on the mechanical properties of reduced-activation ferritic/martensitic steels	J. Nucl. Mater.	367-370 (2007) 42-47

53	2008	H. Tanigawa, et al.	Technical issues of reduced activation ferritic/martensitic steels for fabrication of ITER test blanket modules	Fusion Eng. Des.	83 (2008) 1471-1476
54	2008	R.L. Klueh, et al.	Mechanical properties of unirradiated and irradiated reduced-activation martensitic steels with and without nickel compared to properties of commercial steels	J. Nucl. Mater.	374 (2008) 220-228
55	2008	R.L. Klueh, et al.	Embrittlement of irradiated ferritic/martensitic steels in the absence of irradiation hardening	J. Nucl. Mater.	377 (2008) 427-437
56	2008	R.L. Klueh	Reduced-activation steels: Future development for improved creep strength	J. Nucl. Mater.	378 (2008) 159-166
57	2009	S. Jitsukawa, et al.	Irradiation effects on reduced activation ferritic/martensitic steels – tensile, impact, fatigue properties and modeling	Nucl. Fusion	49 (2009) 115006
58	2009	Y. Miwa, et al.	Stress corrosion cracking susceptibility of a reduced-activation martensitic steel F82H	J. Nucl. Mater.	386-388 (2009) 703-707
59	2009	T. Yamamoto, et al.	Helium effects on microstructural evolution in tempered martensitic steels: In situ helium implanter studies in HFIR	J. Nucl. Mater.	386-388 (2009) 338-341
60	2009	M. Ando, et al.	Effect of two-steps heat treatments on irradiation hardening in F82H irradiated at 573 K	J. Nucl. Mater.	386-388 (2009) 315-318
61	2009	T. Nozawa, et al.	The effect of neutron irradiation on the fiber/matrix interphase of silicon carbide composites	J. Nucl. Mater.	384 (2009) 195-211
62	2009	R.L. Klueh, et al.	Embrittlement of irradiated F82H in the absence of irradiation hardening	J. Nucl. Mater.	386-388 (2009) 191-194
63	2009	J. Nagakawa, et al.	Creep behavior of the F82H steel under irradiation with 17 MeV protons at 300 °C	J. Nucl. Mater.	386-388 (2009) 264-267
64	2009	R.J. Kurtz, et al.	Recent progress toward development of reduced activation ferritic/martensitic steels for fusion structural applications	J. Nucl. Mater.	386-388 (2009) 411-417
65	2010	E. Wakai, et al.	Reduction method of DBTT shift due to irradiation for reduced-activation ferritic/martensitic steels	J. Nucl. Mater.	398 (2010) 64-67

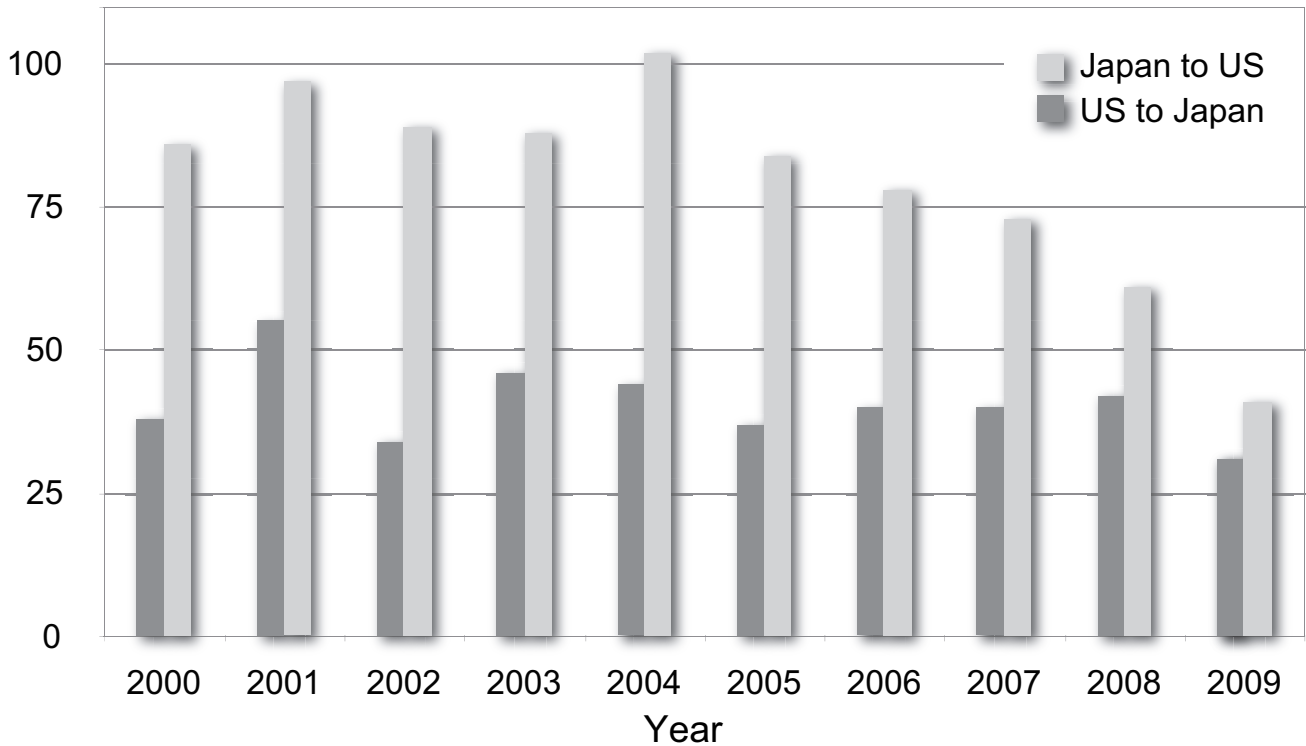
資料 B 統計及び関連資料

資料 B.1 ワークショップ及び
研究者派遣・招へい

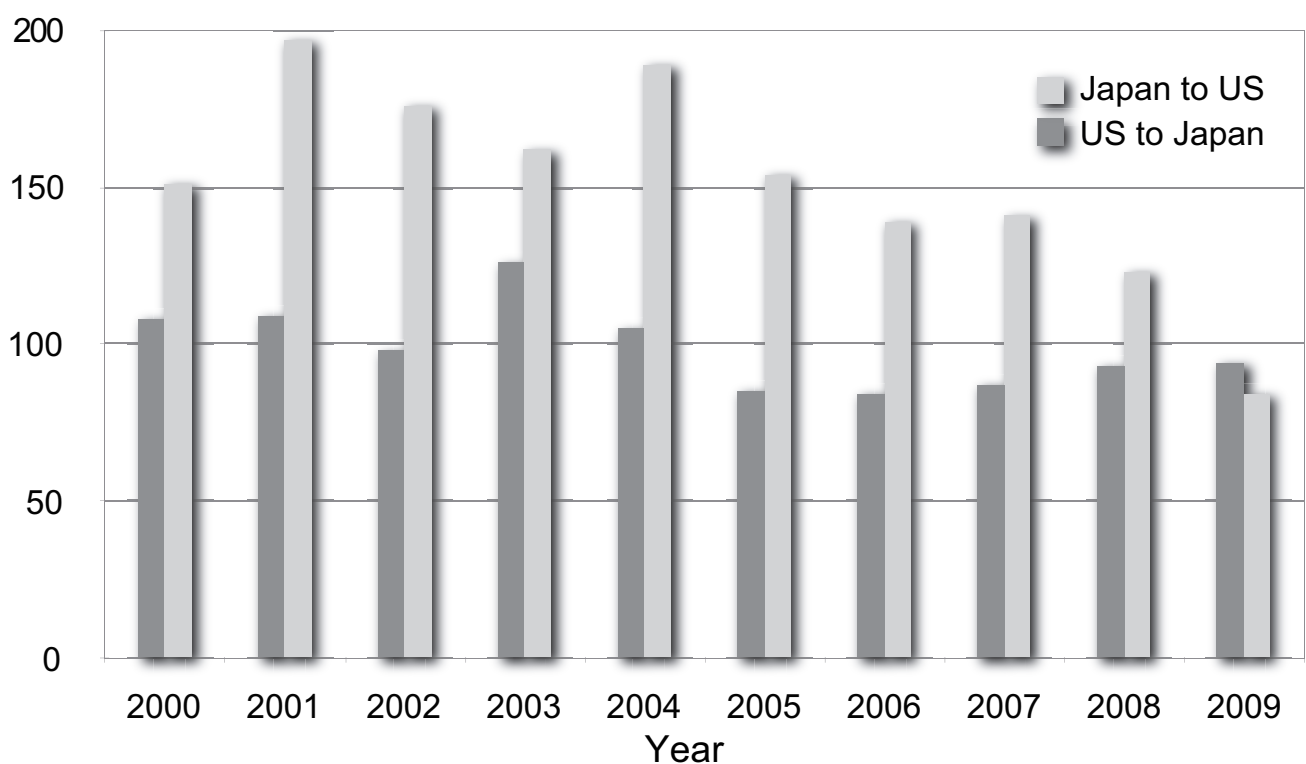
資料 B.2 安全視察記録

資料 B.1 ワークショップ及び研究者派遣・招へい

Number of Workshops



Number of Personnel Exchanges



資料 B.2 安全視察記録

5th: FuY 1995 (Japan -> US)

Visited Sites:	
University of Texas at Austin (TEXAS)	July 21,1995
Pacific Northwest Laboratory at Richland (PNL)	July 24
University of Wisconsin at Madison (WISC)	July 26
Massachusetts Institute of Technology (MIT)	July 28
Princeton Plasma Physics Laboratory (PPPL)	July 31
Japanese Participants :	
Hideo Okada,	Japan Atomic Energy Research Institute (7/21-7/31)
Hiromi Hirabayashi,	National Institute for Fusion Science (7/24-7/31)
Masatsugu Shimizu,	Japan Atomic Energy Research Institute (7/21-7/31)
Teruo Tamano,	University of Tsukuba (7/21-7/31)
Hiroaki Kurishita,	Tohoku University (7/24)

6th: FuY 1996 (US -> Japan)

Visited Sites:	
National Institute for Fusion Science (NIFS), Toki	June 19,1996
National Institute for Fusion Science (NIFS), Nagoya	June 20
Nagoya University	June 20
Kyoto University	June 21
Kyushu University	June 24
University of Tokyo	June 25
University of Tsukuba	June 26
Japan Atomic Energy Research Institute (JAERI)	June 27
US Participants :	
Richard L. Savercool,	General Atomics
Joseph A. Smith,	Princeton Plasma Physics Laboratory

7th: FuY 1997 (Japan -> US)

Visited Sites:	
Oak Ridge National Laboratory (ORNL)	July 9, 1997
General Atomics (GA)	July 11
University of California at San Diego (UCSD)	July 12
University of California at Los Angeles (UCLA)	July 14
Lawrence Livermore National Laboratory (LLNL)	July 16
University of California at Davis, Livermore (UCD)	July 18
Japanese Participants :	
Keisuke Hasegawa,	Japan Atomic Energy Research Institute
Masatsugu Shimizu,	Japan Atomic Energy Research Institute
Yoichi Sakuma,	National Institute for Fusion Science

8th: FuY 1999 (US -> Japan)

Visited Sites:	
Japan Atomic Energy Research Institute (JAERI)	November 1, 1999
University of Tsukuba	November 2
Tohoku University	November 4
University of Tokyo	November 5
National Institute for Fusion Science (NIFS)	November 8
Nagoya University	November 9
Kyushu University	November 10
Osaka University	November 11
Kyoto University	November 12
Toyama University	November 15
US Participants :	
Richard L. Savercool,	General Atomics
Lee. Cadwallader,	Idaho National Engineering & Environmental Laboratory

9th: FuY 2001 (Japan -> US)

Visited Sites:	
Massachusetts Institute of Technology (MIT)	March 18, 2002
Princeton Plasma Physics Laboratory (PPPL)	March 19
University of California at San Diego (UCSD)	March 20
General Atomics (GA)	March 20
Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL)	March 21
Lawrence Livermore National Laboratory (LLNL)	March 21
Japanese Participants :	
Yuichi Takase,	University of Tokyo
Naoyuki Miya,	Japan Atomic Energy Research Institute
Kozo Matsushita,	Japan Atomic Energy Research Institute
Tatsuhiko Uda,	National Institute for Fusion Science
Ken'ichi Takagi,	National Institute for Fusion Science
Isao Ohtake,	National Institute for Fusion Science

10th: FuY 2003 (US -> Japan)

Visited Sites:	
Tohoku University	February 16, 2004
National Institute for Fusion Science (NIFS)	February 18
Nagoya University	February 19
University of Tokyo	February 20
Japan Atomic Energy Research Institute (JAERI)	February 23
University of Tsukuba	February 24
Kyoto University	February 25
Osaka University	February 26
Kyushu University	February 25
US Participants :	
Richard L. Savercool,	General Atomics (2/14-2/28)
Mathew Fulton,	Massachusetts Institute of Technology (2/14-2/19)
Michael Viola,	Princeton Plasma Physics Laboratory (2/14-2/19)
Lee. Cadwallader,	Idaho National Engineering & Environmental Laboratory (2/19-2/28)

11th: FuY 2005 (Japan -> US)

Visited Sites:	
Princeton Plasma Physics Laboratory (PPPL)	February 22, 2006
Laboratory for Laser Energetics of Univ. Rochester	February 23
Oak Ridge National Laboratory (ORNL)	February 24
General Atomics (GA)	February 27
University of California at San Diego (UCSD)	February 27
Japanese Participants :	
Hiroimi Hayashi,	National Institute for Fusion Science
Nobuyuki Hosogane,	Japan Atomic Energy Agency
Akira Kohyama,	Kyoto University
Takayoshi Norimatsu,	Osaka University
Yuichi Takase,	University of Tokyo
Tatsuhiko Uda,	National Institute for Fusion Science

12th: FuY 2007 (US -> Japan)

Visited Sites:	
University of Tokyo	March 10, 2008
University of Tsukuba	March 11
Tohoku University	March 12
Kyoto University, Yoshida	March 13
Kyoto University, Uji	March 14
Kyushu University	March 17
Osaka University	March 18
National Institute for Fusion Science (NIFS)	March 19
Japan Atomic Energy Research Institute (JAERI)	March 21
US Participants :	
Richard L. Savercool,	General Atomics
Keith Rule,	Princeton Plasma Physics Laboratory
Lee. Cadwallader,	Idaho National Engineering & Environmental Laboratory

13th : FuY 2009 (Japan -> US)

Visited Sites:	
General Atomics (GA)	February 22, 2010
Massachusetts Institute of Technology (MIT)	February 23
Princeton Plasma Physics Laboratory (PPPL)	February 24
University of Wisconsin at Madison (WISC)	February 25
Japanese Participants :	
Kiyohiko Nishimura,	National Institute for Fusion Science
Yuichi Takase,	University of Tokyo
Tetsuo Seki,	National Institute for Fusion Science
Atsuhiko M. Sukegawa,	Japan Atomic Energy Agency