

NIFS NEWS

ISSN 1884-1600

NIFS

No.238



核融合科学研究所オープンキャンパス 2017 を開催



2017 OCT/NOV

>>> 特 集 …… 2-3

核融合科学研究所オープンキャンパス2017
「体感!体験!プラズマエネルギー」

高畑一也

>>> 研究最前線 …… 4-5

ダイバータへのプラズマ熱流削減を解明する
高精度コンピュータシミュレーションを目指して

Theerasarn Pianpanit, 石黒静児

>>> 会議報告 …… 6-8

第13回核融合炉技術に関する国際シンポジウム
(ISFNT-13)

時谷政行

第21回国際ステラレーター・ヘリオトロンワークショップ

後藤拓也

第15回高エネルギー粒子に関する国際原子力機関
(IAEA) 技術会合

關 良輔

>>> トピックス …… 8

平成29年度防災訓練を実施

大学共同利用機関法人 自然科学研究機構

核融合科学研究所

核融合科学研究所オープンキャンパス2017 「体感！体験！プラズマエネルギー」

高 畑 一 也

10月28日（土）に、恒例のオープンキャンパス（一般公開）を開催しました。オープンキャンパスは、プラズマや核融合の研究内容や成果を、幅広い年齢層の方々に理解していただくため、1998年から毎年開催し、今回で20回目になります。「体感！体験！プラズマエネルギー」のテーマのとおり、楽しんで科学に触れることができる体験型イベントです。職員が毎回アイデアを出し合って、自ら製作した科学実験などを企画するため、通常の科学館では見られない展示をご覧いた



スーパーコンピュータの公開風景

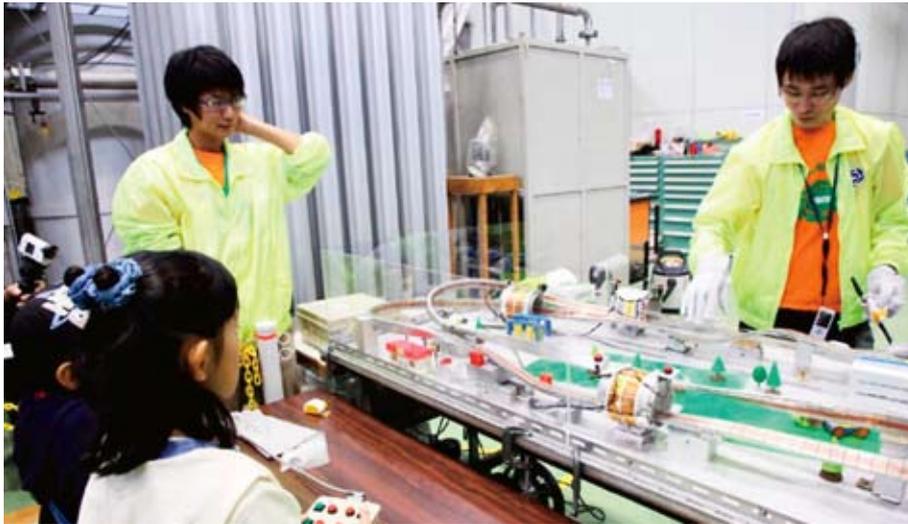
だけます。もちろん、施設の一般公開として、ドラマの撮影にも使われた制御室、普段は見るできないスーパーコンピュータも間近でご覧いただきました。当日は雨が降ったりやんだりの一日でしたが、1,500名の方が来場されました。あいにくの雨の中、お越しいただいた来場者の皆さまに感謝いたします。

今回のオープンキャンパスから、世界最大級の超伝導プラズマ実験装置である大型ヘリカル装置（LHD）の見学は、室内が管理区域に設定されたため、事前申込制となりました。また応募多数のため、抽選となりました。この情報が広く行き渡っておらず、当日残念に思われた来場者もいらっしゃったようです。次回は、広報をしっかりとし、より多くの方に見ていただけるよう努力いたします。

さて、テーマに「体験！」とあるように、オープンキャンパスでは、様々な体験型イベントを開催しました。中でも工作教室は最も人気がある企画で、今回は振動ロボット、セラミック折り紙、セラミックプレート、LHD型分光器の4種類の工作教室を開催しました。今回から抽選制の企画を



工作教室で振動ロボットを作っている様子



磁気浮上列車を操縦する子どもたち

減らし、より多くの方に体験いただけるように工夫しました。ほかにも「体感！」することができる展示物を数多くご覧いただきました。ここでは一部しか紹介できませんが、プラズマボール、核融合炉運転シミュレータ、バーチャルリアリティLHD、放射線測定体験、形状記憶合金、不思議な液体、磁気浮上列車、ペットボトルロケット、空気砲などです。実際に実験器具に触ることにより、より科学を身近に感じていただけたと思います。

職員によるエネルギーや核融合に関する講演会も、例年人気を集めている企画です。今回は、土屋隼人助教による「核融合エネルギー教室～エネルギーをつくろう～」、森崎友宏教授による「核融合科学のすすめ」の2部構成の講演会を開催しました。どちらも会場が満員となる100名近い方に聴講いただき、講演の後も、盛んに質問が出て



科学実験を交えた講演会の様子

いました。

今年のオープンキャンパスでお披露目となったのが、研究所の新しいマスコットキャラクター「ヘリカちゃん」です。今年は、プラズマくんや地域のキャラクターたちと来場者をお迎えしました。これからもイベント等で登場するヘリカちゃんをよろしくお願いいたします。



手前からヘリカちゃん、プラズマくん、志野田茶太郎、ミナモ、うながつば

今年、イベントの配置が全面的に変更になったことから、来場者の皆様にご不便をおかけしたかもしれません。皆様からいただいたご意見を参考に、実行委員会で見直しを行い、来年は、より密度の濃い、分かりやすい展示、公開を企画いたしますので、皆さまのお越しをお待ちしています。

(装置工学・応用物理研究系 教授
／オープンキャンパス2017実行委員会委員長)

ダイバータへのプラズマ熱流削減を解明する 高精度コンピュータシミュレーションを目指して

Theerasarn Pianpanit, 石黒 静 児

プラズマ磁場閉じ込め実験装置においては、高温のプラズマを磁場の力で容器の壁から離すことによって、プラズマの温度が下がったり、プラズマが装置の壁を傷めたりすることを防いでいますが、僅かな量のプラズマが、内部の揺動やプラズマ粒子同士の衝突などによって外に漏れ出てきます。実際の装置では、磁場の形状を工夫することによって、漏れ出たプラズマが特別に配置されたプラズマ対向壁(ダイバータ板)に当たるようにしています。しかしながら、核融合発電を実現できるような将来の大規模な実験装置では、このプラズマの熱によるダイバータ板の損傷が非常に大きくなるのが予想されており、この熱流をいかにして減らすかが重要な課題となっています。この課題を解決する方法として、低温の中性ガスをダイバータ板の近傍に導入して熱を逃がしてやり、ダイバータ板への熱流を低減する「非接触プラズマ」が提案され、核融合科学研究所の大型ヘリカル装置(LHD)でも、生成条件を探る研究が行われています。また、大学の研究室の小規模な実験装置では、詳細な計測を行いやすいという利点を生かして、「非接触プラズマ」生成に関わる様々な条件やその状態に至る物理過程を探る研究が行われています。

私たちは、この「非接触プラズマ」の詳細な物理機構解明を目指した高精度なコンピュータシミュレーションコードの開発を進めています。プラズマは非常に多くの数のプラスの電荷を帯びたイオンとマイナスの電荷を帯びた電子からできており、それらが電氣的に相互作用します。また、非接触プラズマにおいては、これらの荷電粒子が中性ガスの粒子と衝突して起こる中性粒子の電離過程や荷電交換衝突といった物理過程も重要な役割を果たします。そこで、荷電粒子の運動を物理法則に基づいて追跡しつつ、個々の荷電粒子が中性粒子と衝突して反応する過程も追跡する手法を採用しました。これは非常に精密なシミュレーション手法ですが、計算時間が非常に多くかかるため核融合プラズマの研究ではあまり多くは用いられていませ

ん。小規模な直線型装置と同じスケールでシミュレーションすることを最初の目標として、現代の並列実行型スーパーコンピュータを効率よく活用できるように最適化したコードを開発し、これまでに直線型装置全体の約10分の1の大きさのモデルでシミュレーションを行い、ダイバータ板近傍でのプラズマ温度の低下及びダイバータ板への熱流の削減など、非接触プラズマに特徴的な事象を再現することに成功しました。

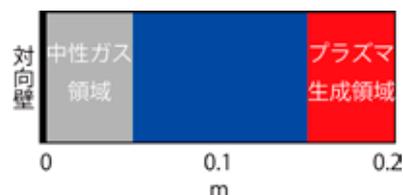


図1 シミュレーションの配位。左側の境界に対向壁(ダイバータ板)を配置しています。赤がプラズマ生成領域、灰色が中性ガス領域になっています。

図1はシミュレーションの配位の模式図です。小型の直線型実験装置に対応した配位を採用しており、左の端にダイバータ板、その前面に中性ガス領域、右側にプラズマ生成領域を配置しています。プラズマ生成領域から左側のプラズマダイバータ板に向かって流れていくイオンと電子は、ダイバータ板の前で中性ガスの粒子と衝突します。なお、中性ガスはプラズマより低い温度となっています。図2はプラズマの電子の温度、イオンの温度及び電子の密度の空間分布が時間の経過とともに変化していく様子を示しています。ダイバータ板から0.02mの領域のイオン温度と電子温度の変化をご覧ください。時間とともにイオン温度は下がっていきませんが、4マイクロ秒では、イオン温度より電子温度がかなり高いことが分かります。なお、シミュレーションは装置内部にプラズマが存在しない状態から始め、時刻0秒でプラズマ生成を開始しています。8マイクロ秒ではイオン温度はさらに低下していますが電子温度の低下はそれより大きく、結果としてイオン温度に近い値となっています。12マイクロ秒では、

電子温度はイオン温度にさらに近づき、ダイバータ板前面でプラズマ生成領域の温度の10分の1以下になっています。その一方で時間とともに上昇したダイバータ板前面の電子密度はプラズマ生成領域の密度の倍以上になっています。このように、急峻な温度と密度の勾配を持つ非接触プラズマが生成されていることが分かります。

非接触プラズマ生成の物理的な過程は以下のとおりです。まず、プラズマ生成領域より流れてきたイオンと中性粒子との間に、中性粒子の電子がイオンに乗り移る荷電交換衝突という物理過程が起こり、そのためにイオン温度が低下します。それは、図2で中性ガス領域の境界である0.05mの近傍でイオン温度がダイバータ板に向かって急激に低下していることに対応しています。次に、2体クーロン衝突というイオンと電子の直接的な相互作用により電子からイオンへのエネルギーの流れが生じ、電子の温度がイオン温度に近づいていきます。この一連の過程は、直線装置で行われた実験及びその実験結果を説明するための流体コードの計算結果と整合しており、それは私たちのシ

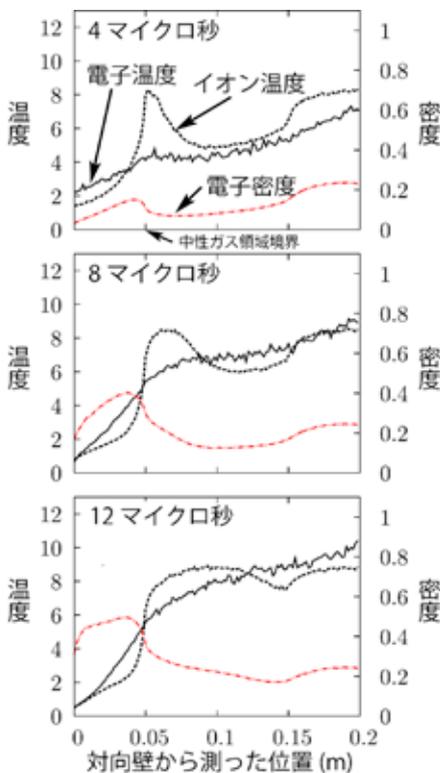


図2 イオン温度、電子温度及び電子の密度の空間分布の時間変化。ここで、温度は電子ボルト単位、密度は1立方メートルあたり千兆個の単位で表示してあります。

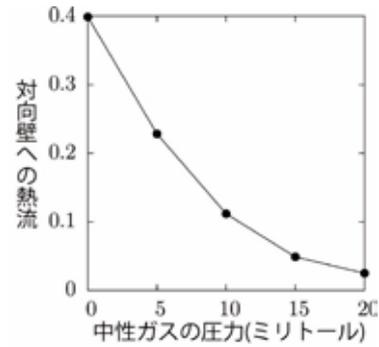


図3 中性ガスの圧力に対するダイバータ板への熱流束。ここで熱流は1平方メートルあたり10万ワットの単位です。

ミュレーションが非接触プラズマを概ね再現していることを示しています。図3は、中性ガスの圧力に対するダイバータ板への熱流を示しています。5ミリトルから20ミリトルへとガスの圧力を上げていくと、熱流は大きく減少します。20ミリトルでは、中性ガスを導入していない場合に比べて、熱流は約10分の1となっており、顕著な熱流削減効果が見られました。なおここで用いているトルは圧力の単位で1トルが133.32パスカルに相当します。

ここで紹介したシミュレーションでは、プラズマの温度が非常に低くなった際に重要となるイオンと電子の再結合過程は組み込まれていません。また、実際の装置よりも小さいモデルを採用しているために一部に調整パラメータを必要としています。現在は再結合過程の導入に向けた検討及びコードをさらに効率的にする研究を行っています。「非接触プラズマ」の研究では装置の大きさ、プラズマの温度、中性ガスの供給方法と種類などの条件により異なった様相が現れており、それらを統一的に理解することはできていません。本シミュレーション研究では、異なった条件をもつ実験を横断的に説明、予測するとともに、その制御方法を提案可能とすることを目標としてコード開発を進めています。

Theerasarn Pianpanit : 総合研究大学院大学 物理科学研究科
核融合科学専攻 5年一貫制博士課程5年
石黒静児 : 基礎物理シミュレーション研究系 研究主幹・教授
総合研究大学院大学 物理科学研究科
核融合科学専攻担当

第13回核融合炉技術に関する国際シンポジウム (ISFNT-13)

時谷政行

第13回核融合炉技術に関する国際シンポジウム (ISFNT-13) が、2017年9月25日から29日の日程で、「みやこめっせ (京都市)」にて開催されました。本シンポジウムの目的は、核融合炉技術に関する最新の研究成果を世界中の研究者間で話し合い、互いが抱えている研究課題の解決を促進することです。第1回目は1988年に東京で開催され、今回で13回目となる歴史あるシンポジウムです。毎回の参加者数が500名近くになる大きなシンポジウムですが、今回も総参加者数は511名で、そのうち日本からの参加者数が124名と最も多く、次いで中国、ドイツの順でした。核融合炉技術の研究発展に日本の研究者が大きく貢献している事実が伺えます。核融合科学研究所 (NIFS) からは、核融合工学研究プロジェクトのメンバーを中心に15名が参加しました。筆者は核融合炉の炉心プラズマから不純物を排気するために設置され、大きな熱・粒子負荷を受ける「ダイバータ」という機器で発生する、材料の損耗や損傷過程についての最新の実験結果をポスター発表しました。

NIFSからの口頭発表では、写真に示す2件の発表がありました。宮澤順一教授からは、新しいアイデアに基づいたダイバータを将来のヘリカル型核融合炉に設置する場合の利点と、メンテナンス

の方法について最新の成果が招待講演として発表されました。また、長壁正樹大型ヘリカル装置計画実験統括主幹からは、2017年3月から7月まで大型ヘリカル装置 (LHD) で初めて実施された、重水素ガスを用いた実験(重水素実験)で得られた研究成果が全体講演として発表されました。2件の発表に対して会場から多くの質問があり、活発な議論が繰り広げられました。NIFSの研究内容への注目の高さを感じました。

最終日の基調講演では、ITER機構のB. Bigot機構長から、超大型国際プロジェクト「ITER計画」の現状について講演がありました。ITERは日本、欧州、ロシア、米国、韓国、中国、インドの7極による国際協力の下、フランスのサン・ポール・レ・デュランスに建設されている、人類初の燃焼実証のための核融合実験炉です。講演では、参加各国が分担して製作を進めている大型機器の順調な製作状況が紹介され、2025年のファーストプラズマに向けて着々と準備が進められている様子がよく分かりました。

次回のISFNT-14は、2019年9月23日から27日の日程で、ハンガリーの首都ブダペストで開催されます。

(核融合システム研究系 助教)



宮澤順一教授の招待講演



長壁正樹大型ヘリカル装置計画実験統括主幹の全体講演

第21回国際ステラレーター・ヘリオトロンワークショップ 後藤拓也

2017年10月2日から10月6日の日程で、京都大学エネルギー理工学研究所ヘリオトロングループの主催により、第21回国際ステラレーター・ヘリオトロンワークショップが京都大学芝蘭会館において開催されました。今回は13か国から151名の研究者が参加し、日本での開催ということもあり日本からの参加が71名と約半数を占め、次いでアメリカの27名、ドイツの23名の順でした。

会議冒頭の安藤裕衆議院議員、北野正雄京都大学副学長、そして本ワークショップの国際プログラム委員長を務められたスペイン・エネルギー・環境・技術研究センター (CIEMAT) のC. Hidalgo博士の挨拶の後、核融合科学研究所所長でITER機構名誉機構長でもある本島修未来エネルギー研究協会会長のレクチャー講演が行われ、1977年に行われた本ワークショップの第1回からの歴史が振り返られました。続いて本研究所の森崎友宏大型ヘリカル装置計画研究総主幹とドイツ・マックスプランクプラズマ物理研究所 (IPP) のT. Pedersen博士による招待講演が行われ、本年3月に開始された本研究所の大型ヘリカル装置 (LHD) の重水素実験の初期成果、一昨年12月に運転が開始されたIPPのWendelstein 7-X装置の初期実験の結果がそれぞれ報告されました。両者とも聴衆の大きな関心を集め、ヘリカル方式の研究がこの二大装置によって先導され大きく進展す

る時代になったことが印象づけられました。初日午後には、イオン熱輸送、電子熱輸送、粒子輸送といった輸送チャンネルの分離に関する特別セッションも設けられ、本研究所の居田克巳教授をはじめ4名の講演者からの講演と議論が行われ、会場からも多くの質問が飛んでいました。

一般講演は「輸送・閉じ込めに対する3次元効果」、「不純物輸送、周辺プラズマ物理とプラズマ壁相互作用」、「高エネルギー粒子とMHDおよび輸送との間の相互作用」、「理論・シミュレーションとその検証」、「エネルギー、粒子および運動量輸送」、「炉設計研究」の大きく6つのトピックからなり、今回は理論・シミュレーション関連の発表が多く、中でも磁場配位の最適化やそのためのコイル設計コード開発について複数の発表があり、各国で次期装置や発電炉を見据えた動きが活発化しつつあることを感じさせました。

本研究所からはLHD実験の成果として、増崎貴教授がダイバータプラズマ特性の水素・重水素放電間の比較について、高橋裕己准教授が重水素実験における内部輸送障壁のあるプラズマの閉じ込め特性について、大館暁准教授が重水素実験における高エネルギー粒子駆動の抵抗性交換型不安定性モードについてそれぞれ招待講演を行いました。また仲田資季助教がトカマク及びステラレータにおける乱流と帯状流に対する同位体効果の理論解析結果について、筆者がヘリオトロン型核融合原型炉の運転領域解析について招待講演を行いました。その他にも本研究所からは総研大からの発表を合わせて4件の口頭発表と31件のポスター発表がありました。これは全発表の約3割に相当し、それ以外にも本研究所の職員が共著者に入る発表も多く見られ、本研究所が世界におけるヘリカル系の研究をリードしていることが改めて示されました。

次回はウィスコンシン大学の主催により、2019年9月23日から27日の日程で米国・ウィスコンシン州マディソンで開催される予定です。

(核融合システム研究系 助教)



森崎友宏大型ヘリカル装置計画研究総主幹による招待講演の様子

第15回高エネルギー粒子に関する国際原子力機関 (IAEA) 技術会合

關 良 輔

2017年9月5日から9月8日までの4日間、米国プリンストンプラズマ物理研究所において、第15回磁場閉じ込めシステムにおける高エネルギー粒子に関する国際原子力機関 (IAEA) 技術会合が開催されました。IAEAが主催する本技術会合は、1989年にキエフで第1回が開催され、その後隔年で世界各国にて開催されています。会合では、磁場閉じ込め核融合プラズマにおける高エネルギー粒子の閉じ込めの課題について、実験と理論の双方から議論されます。

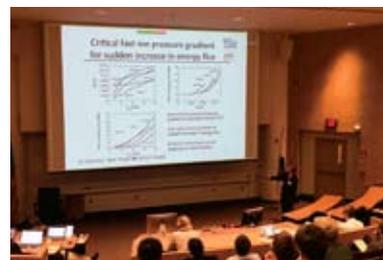
今回の会合では、日本、米国、フランス、ドイツ、イギリス、中国等の世界各国から約80名の参加者があり、招待講演13件、口頭発表24件、ポスター発表45件の発表がありました。これらの発表では、高エネルギー粒子に由来するMHD不安定性実験における観測結果や、それらの観測結果を説明する数値モデルの構築や数値解析との比較などが話題の中心でした。

核融合科学研究所からは、招待講演1件、口頭発表3件及びポスター発表4件、計8件の発表を行いました。藤堂泰核融合理論シミュレーション研究系研究主幹は、高エネルギー粒子由来のMHD不安定性の解析を目的とする電磁流体と荷電粒子運動を取り扱うハイブリッドコードの紹介及びそれによる研究成果

について招待講演を行いました。不安定性による高エネルギー粒子の圧力制限やバースト的に高エネルギー粒子の輸送が起きる条件等

について報告がなされ、多くの聴衆の関心を集めました。また、大型ヘリカル装置 (LHD) の重水素実験における高エネルギー閉じ込め研究の進展として、磯部光孝教授から新たにLHDに導入された中性子計測システムの紹介とそれによる最新の実験結果について口頭発表が行われました。筆者は、LHDにおいて観測された高エネルギー粒子励起MHD不安定性に起因する高エネルギーイオン損失の観測結果についてハイブリッドコードを使って再現し、その結果についてポスター発表を行いました。

今回は、核融合科学研究所がホストとなり、2019年に日本で開催される予定です。



藤堂泰核融合理論シミュレーション研究系研究主幹・教授による招待講演の様子

(プラズマ加熱物理研究系 助教)

TOPICS

トピックス

平成29年度防災訓練を実施

核融合科学研究所は、11月6日 (月) に、土岐市南消防署の協力を得て防災訓練を実施しました。職員や学生など所員317名の参加がありました。

訓練は、震度6弱の大地震が発生し、研究所構内の食堂厨房で所員が負傷、続いて出火したという想定で行われました。9時30分の訓練開始後、職員で構成する自衛消防隊の隊員は、統括管理者の指揮の下、関係機関への通報、電気・ガス・水道等のライフライン状況確認、実験設備の高圧ガス・危険物質等における安全確認の活動を迅速に行いました。

10時20分に、負傷者の搬出、火災の鎮火及び所員の安否の確認が完了し、警戒態勢の解除とともに防災訓練が終了、引き続き、所員による屋内消火栓と消火器の取扱い訓練が行われました。土岐市南消防署からは、「緊急時には、指示を待つことなく、自発的に行動してほしい。」との講評がありました。また、竹入康彦所長からは、所員に対し「全所員が自発的に行動できるようになるために、更に習熟して行ってほしい。」との挨拶がありました。



負傷者搬送訓練を行う自衛消防隊



大学共同利用機関法人 自然科学研究機構

核融合科学研究所 発行

NIFS NEWS

No.238

2017年10,11月号

〒509-5292 岐阜県土岐市下石町322-6
TEL : 0572-58-2222(代) FAX : 0572-58-2601
URL : <http://www.nifs.ac.jp/>
E-mail : nifs-news@nifs.ac.jp

※過去のニュースはホームページにてご覧いただけます。

複写される
方へ

本紙に掲載された著作物を複写したい方は(社)日本複写権センターと包括複写特許契約を締結されている企業の方でない限り、著作権者から複写権等の行使の委託を受けている次の団体から許諾を受けてください。

一般社団法人著作権協会 〒107-0052 東京都港区赤坂9-6-41 乃木坂ビル3F
TEL:03-3475-5618 FAX:03-3475-5619 E-mail:info@jaacc.jp 著作物の転載・翻訳のような、複写以外の許諾は、直接本研究へご連絡ください。