



市民学術講演会を開催しました
市民説明会を開催しました
総研大 アジア冬の学校のご案内
第25回国際土岐コンファレンスのお知らせ

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

総研大・核融合科学専攻「夏の体験入学」

加 藤 太 治

核融合科学研究所（以下、NIFS）に併設されている総合研究大学院大学（以下、総研大）・物理科学研究科・核融合科学専攻では、核融合科学分野の研究を意欲ある若い学生に広く周知し、将来、本分野の研究を担う人材の発掘を目的として、2004年度から毎年「夏の体験入学」を開催しています。第12回目となる今年度の体験入学は、2015年8月24日から28日までの5日間の日程で開催されました。参加対象は大学の1年生から4年生、および高等専門学校の4、5年生ならびに専攻科生で、今回は38名の学生（内訳：大学生25名、高専生13名）が参加しました（写真1）。参加学生たちは、研究所内にある宿泊施設ヘリコンクラブに合宿して、核融合研究の最前線を体験しました。



写真1 参加学生と課題担当教員・在校生との集合写真

核融合科学の研究は、プラズマ物理学、原子物理学、電気工学、低温・超伝導工学、材料工学、真空工学、シミュレーション科学など多岐にわたっており、これらが密接に結びついて進められていることから、本専攻には幅広い専門分野の教員が揃っています。今回の体験入学には、プラズマ実験・加熱・計測系、核融合工学系、解析、理論・シミュレーション系から13課題（表1）が用意され、各課題に2名ないし4名の学生が、申込時に提出していただいた希望になるべく沿った形で配属されました。

体験入学の一日目は、開校式の後、各研究課題のテーマ概要説明、担当教員と大学院生ティーチングアシスタントの紹介、および参加学生の自己紹

課題名	担当教員
プラズマ実験・加熱・計測系	
放射線計測技術を用いたプラズマ中の高エネルギー粒子研究	小川国大、西谷健夫、磯部光孝
プラズマ計測のための重イオンビーム生成実験	清水昭博、井戸 毅
イメージングボロメータ用白金薄膜検出器の熱特性評価	向井清史、Peterson Byron
電子サイクロトロン波加熱のためのミリ波帯部品の特性評価	牧野良平、吉村泰夫、神尾修治、斎藤健二
HYPER-I装置を用いたプラズマ計測実験	吉村信次、永岡賢一
核融合工学系	
非常識な熱を受けられる画期的な液体ダイバータの開発	宮澤順一、後藤拓也
核融合プラズマと壁の相互作用基礎実験	廣岡慶彦、芦川直子
熱物質流動ループを用いた磁場下流動実験	八木重郎、能登裕之
跳べ！超伝導リニアカタパルト	柳 長門、本島 徹
解析、理論・シミュレーション系	
第一原理的手法によるプラズマ複雑現象のシミュレーション	長谷川裕記、大谷寛明、宇佐見俊介
イメージングデータ解析入門	大舘 暁、武村勇輝
プラズマの平衡解析入門	鈴木康浩、渡邊清政
核融合プラズマからのスペクトル線解析	村上 泉、鈴木千尋、加藤太治

表1 2015年度総研大夏の体験入学の課題一覧

介があり、各課題グループに分かれてオリエンテーションが行われました。休憩を挟んで、竹入康彦専攻長による特別講義（写真2）があり、参加学生は、人類が直面しているエネルギー問題から、研究開発が進められている核融合発電の原理、NIFSの大型ヘリカル装置（LHD）に代表されるような磁場閉じ込め核融合プラズマ研究の概要について学びました。講義後の質疑応答では、学生からの積極的な質問に翌日から始まる研究体験への意気込みを感じました。また、この日の夕方、研究所内の食堂で懇親会を催し、終始和やかな雰囲気の中、参加学生は教員や在校生との交流を深めていました。

実習が行われる二日目から四日目までは、毎日朝礼で始まりました。二日目の朝礼後にLHDの実験設備ならびにシミュレーション施設見学を行い、参加した学生は世界有数の研究設備を目の当たり

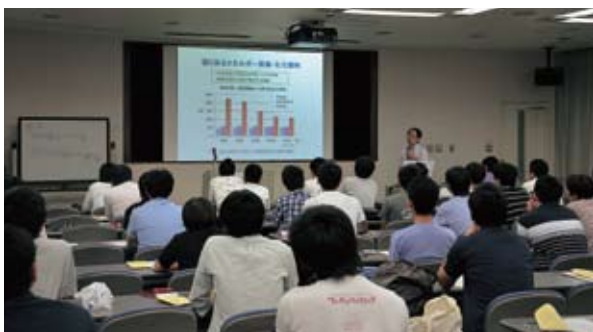


写真2 竹入専攻長による特別講義の様子

にして感心している様子でした。見学後、いよいよ参加学生は配属された各課題実習に取り掛かりました。いずれも担当教員が実際に取り組んでいる専門的な研究課題に熱心に取り組んでいました（写真3）。また、忙しい実習の合間をみつけて、各課題グループで自主的に、他の課題実習の様子の見学も行われていました。

研究者へのキャリアパスに関心のある学生を対象に、二日目の夕食後にヘリコンクラブの交流サロンでキャリアビルディングを開催しました。本企画は任意参加でしたが、結果32名が参加し盛況でした。本専攻の若手教員3名をパネリストにむかえ、座談会形式で研究者になるために大事なことなどいくつかのテーマでそれぞれの経験から答えてもらい、それに対する学生との質疑応答が和やかな雰囲気の中で行われました。学生は皆パネリストの話を熱心に聴いて、研究内容に関することから私生活に至るまで、おのこの関心のあることをパネリストに質問し、たいへん参考になったようです。

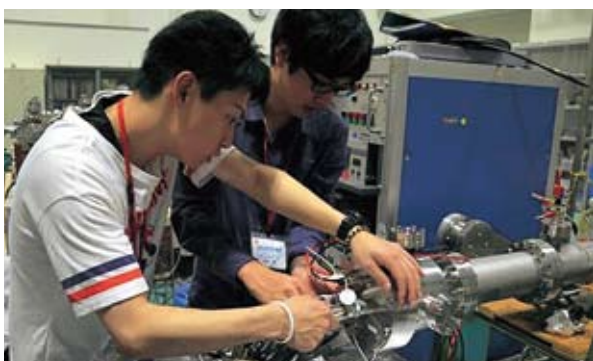


写真3 研究体験の様子

五日目最終日の報告会では、実習成果の概要を各課題1分に要領よくまとめてそれぞれ口頭発表するプレポスターを行い、引き続き、苦労して仕上げたポスターが掲示された会場で訪れた参加者

に対して実習の詳しい内容の説明を行いました。学生たちは、結果だけでなく体験を通して学んだことを活き活きと発表していました。報告会には、今回課題を担当した指導教員だけでなく、他の教員や在校生も参加して大変活気のあるものになりました（写真4）。

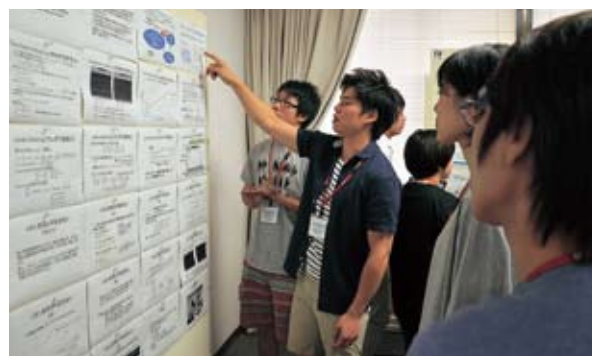


写真4 最終日のポスター発表の様子

報告会の後、NIFSの岡村昇一リサーチアドミニストレータから各発表に対する講評、本専攻第一期生の榊原悟副専攻長から専攻紹介と入学案内をしていただきました。閉校式では、竹入専攻長の閉会のあいさつの後、全体写真撮影を行い、全日程を終了しました。

報告会での感想や体験入学についてのアンケートからは、本事業への満足度が大変高いことがうかがえました。また、ここ数年、過去に本事業に参加した学生が本専攻を受験しており、総研大の広報事業としての成果が目に見えるようになってきています。今回の参加学生の中から、将来の核融合研究を担う研究者が現れてくれることを期待しています。なお、これまでの体験入学の課題概要や参加学生の体験談などをNIFSのホームページ（<http://soken.nifs.ac.jp/open/index.html>）で公開しています。

最後に、本体験入学は、総研大の「新入生確保のための広報的事业」ならびに「コース別教育プログラム」、および核融合科学研究会からのご支援により実施することができました。ここに厚く御礼申し上げます。

核融合システム研究系 准教授

総合研究大学院大学・物理科学研究科・核融合科学専攻 / 併任

プラズマの集団的な振る舞いを理解するための実験研究

武村 勇輝

磁場で作ったドーナツ状のかごの中に高温高密度プラズマを長時間閉じ込めることができれば、核融合反応を持続させることができます。ただ、プラズマはまるで与えられたかごが気に入らないとでもいうようにかごを変形し、かごの閉じ込め性能の劣化やかごの破壊をもたらすことがあります。かごの変形はプラズマを構成している多数の荷電粒子の「集団的」な振る舞いが引き起こす電流や磁場によって生じます。このようなプラズマの振る舞いを理解するには、ばらばらに動き回る個々の荷電粒子の運動よりも、荷電粒子の集団的な運動に焦点を当てることが重要です。個々の荷電粒子の運動はニュートン力学モデルにより記述されますが、荷電粒子の集団的な振る舞いは MHD (Magnetohydrodynamics、磁気流体) モデルにより記述されます。MHD モデルで取り扱うのが妥当な空間尺度の大きなプラズマ現象を MHD 現象と呼び、ここでは MHD 現象を理解するための実験的な研究手法と大型ヘリカル装置 (LHD) における実験結果を紹介します。

MHD 不安定性

かごの中にプラズマを閉じ込めるには、第一にかごとプラズマの間に働く力が釣り合っていないと成りません。これを平衡状態と呼びます。このときのプラズマはまるでかごを気に入っているかのように落ち着いています。ただ、平衡状態でありさえすれば、かごの中で静かにしていてくれるかということそうではありません。何らかの要因により生じたプラズマの揺らぎ (揺動) が増大していくことで、元の平衡状態を壊すことがあるからです。これを MHD 不安定性と呼び、たとえば、MHD 不安定性はプラズマ温度の急激な低下 (崩壊現象) をもたらし、高温プラズマの生成が困難になることもあります。

MHD 不安定性は一種類だけでなく、様々な不安定性が存在します。それらは不安定性の駆動機構や

空間構造などの特徴により分類されています。一例を挙げると、プラズマ圧力勾配を駆動力とし、図 1 のように実際はマトリョーシカ人形のように入れ子状になっているかごの一部分を変形する不安定性があります。不安定性によって生じる変形はある面に局在化することが予測されています。また、この変形はドーナツ全域に及び、巻き寿司のような構造になっているため、異なる断面で見ても変形の仕方が似ているという特徴もあります。

揺動計測

実験装置で観測された不安定性の回避・抑制手法を確立するためには、不安定性の正体を明らかにする必要があります。そのためには、計測結果と MHD モデルとの比較が不可欠です。よって、まずはまるで中身の見えない箱の中に入っているものが何であるかを手で確かめるように、不安定性の特徴を一つ一つ実験的に調べていくことが求められます。そのときに手の役割を果たすのが揺動計測です。

プラズマ中で生じている揺動を観測したいときは、プラズマ温度・密度の揺動のほか、プラズマ

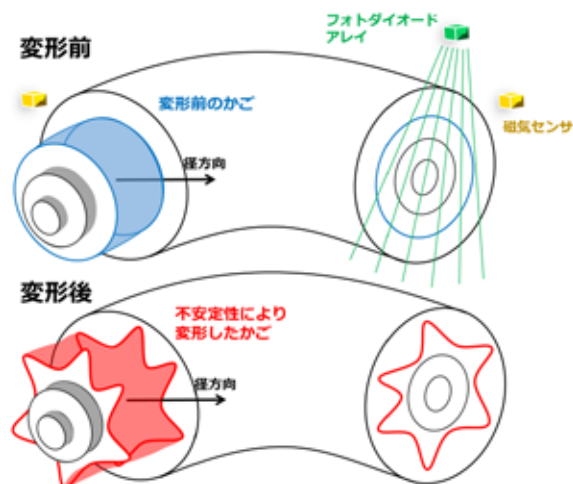


図1 MHD 不安定性によるかごの変形。かごは入れ子状になっています。MHD 不安定性により青色のかごは赤色のかごのように変形します。ほかの断面でも同ような変形が見られます。

から放射される電磁波による放射強度の揺動、プラズマが作る磁場の揺動を計測します。放射強度の計測には、一般的に光センサとして使用されているフォトダイオードを用います。また、磁場の揺動はコイルなどの磁気センサにより計測します。

計測した揺動を取り扱う際に注意しなければならないのが、不安定性以外の要因で生じた揺動も含まれているということです。ただ、図1のような不安定性は離れた場所でも同じような変形をしているため、二つの場所で計測した揺動から似ている成分を抜き出すことで、不安定性起因の揺動が得られます。

このようにして得られた揺動は不安定性の特徴を色濃く反映しています。揺動振幅の増加はかこの変形の増大、つまり、不安定性の成長を表していて、また、不安定性がプラズマ中で回転している場合、周波数は不安定性の回転速度に対応します。図1のような空間構造も特徴のうちの一つです。

LHD における MHD 現象の観測結果

では LHD において崩壊現象を引き起こす MHD 不安定性の計測結果を紹介します。図2の磁場揺動振幅が急増する前と後の時刻の電子温度分布をみると、揺動振幅が急増する前は放物線型であった温度分布の中心部が、揺動成長後は半分以下まで低

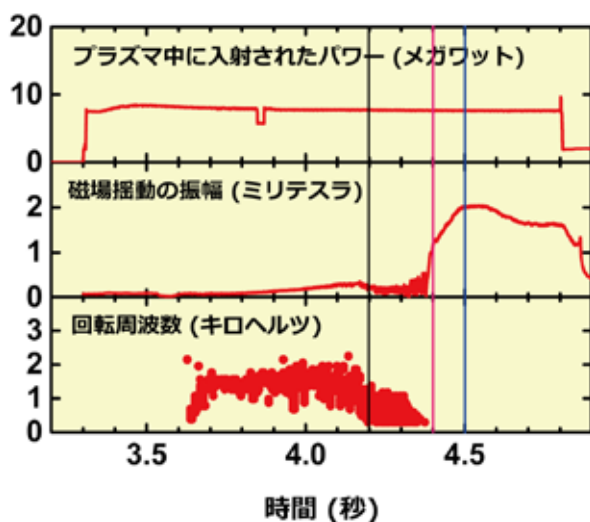


図2 LHD において崩壊現象をもたらす MHD 不安定性を観測した典型的な放電波形。3本の縦線は図3の電子温度分布の時刻に対応している。

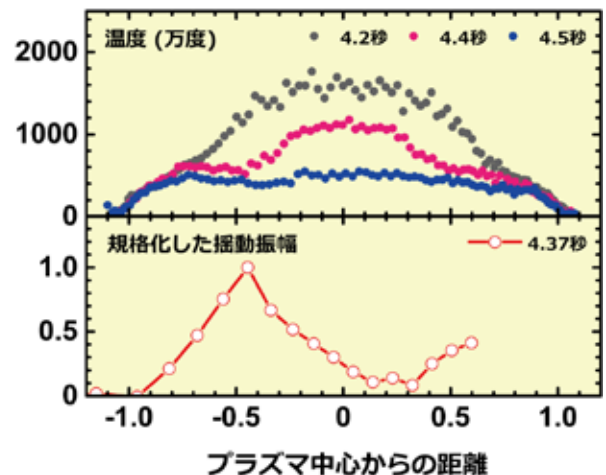


図3 電子温度分布と不安定性停止直前の4.37秒における揺動振幅の径方向分布。フォトダイオードアレイにより計測した揺動振幅は最大値で規格化している。プラズマ中心からの距離は0がプラズマ中心で1がプラズマ端を示す。

下し、平坦な分布になっています(図3上)。この間、プラズマを加熱するためにプラズマ中に入射されたパワーに変化はありません。さらに、回転の減速とともに揺動振幅が増加している様子や停止直後に揺動が急増している様子はまるで自転車に乗った人が速度を落としてふらつき、停止した時に転ぶようです。このように揺動の成長に対して回転が重要な役割を担っている可能性が示されました。さらに、フォトダイオードアレイにより回転停止前の4.37秒における規格化した揺動振幅の径方向分布を計測することで(図3下)、ある面に局在化した空間構造であることがわかりました。これは図1で紹介した不安定性の空間構造と類似しています。このように今回は不安定性の特徴の一部分について紹介しましたが、複雑なプラズマの振る舞いを理解するには多くの実験事実を積み上げることが必要です。

プラズマ中で生じる現象は今回取り上げた現象に留まらず多種多様なので、広い視野を持って、今後も実験側から MHD 現象の理解に貢献したいと考えています。

(高密度プラズマ物理研究系 助教)

第 42 回プラズマ物理に関する欧州物理学会会議

神 尾 修 治

2015 年 6 月 22 日から 26 日にかけてポルトガルリスボンにて、第 42 回プラズマ物理に関する欧州物理学会会議（42nd European Physical Society Conference on Plasma Physics:EPS）が開催されました。今年は、口頭発表 163 件・ポスター発表 574 件の発表がなされ、会議では有意義な議論・情報交換が行われました。

会議中には 2015 年 Hannes Alfvén 賞の発表が行われ、米国・プリンストン大学の Nathaniel Fisch 教授が、プラズマ波相互作用の理解および高周波の効率的な電流駆動の応用への貢献を評価され受賞しました。受賞講演は「Controlling Plasma Wave – and Vice Versa」というタイトルで、プラズマと波の相互作用がプラズマ制御に及ぼす影響について、小型装置における実験と理論の両面から解説がなされ、多くの質問があり盛り上がりしました。会議では、磁場閉じ込め核融合、ピームプラズマと慣性核融合、低温プラズマ、基礎プラズマと宇宙プラズマの 4 つの分野に分かれて興味深い発表が行われました。核融合科学研究所からは 9 名の参加があり、それぞれポスター発表がありました。筆者は、「LHD における種々のアンテナによる ICRF 加熱特性の研究」というタイトルで、近年の大型ヘリカル装置（LHD）における ICRF を用いた長時間放電の成果、およびこれを実現するための ICRF 加熱特性について分析した結果を報告しました。特に少数イオン比やアンテナ電流位相に対する加熱効率の分析結果は反響が大きく、実験結果について多くの研究者と議論しました。全体の半数を占める磁場閉じ込め核融合における発表では、ITER-like Wall や ELM 輸送などの H モード閉じ込めに関連した研究をはじめ、ITER 実験を見据えた研究の報告が多くなされました。核融合エネルギー開発のための欧州コンソーシアムである EUROfusion による EUROfusion セッションでは ITER の新組織体制の発表、ロードマップの紹介、ITER 計画における種々のリスク緩和についての検

討について報告がありました。大型プロジェクトにおけるリスク緩和に関連して、核融合ロードマップにおけるヘリカル型の重要性についての言及があり、EUROfusion ステラレータプロジェクトのドイツ・W7-X 装置への研究協力体制についての紹介がありました。

次回の EPS 会議は 2016 年 7 月 4 日から 8 日の日程で、ベルギーのルーヴェンにて開催される予定です。

（プラズマ加熱物理研究系 助教）



学会会場 リスボン・ベレン文化センター



ポスター会場の様子

第24回プラズマ数値シミュレーション国際会議

石澤 明 宏

2015年8月12日から14日まで米国コロラド州ゴールデンで、第24回プラズマ数値シミュレーション国際会議(ICNSP)が開催されました。ゴールデンはロッキー山脈の玄関口に位置し避暑地として有名な場所で、テーブルマウンテンと呼ばれる平たい山頂を持つ山が象徴の町です。夏季の日本と比較して湿度が低くとても過ごしやすい場所でした。会議参加者は100人程度で、日本からは10件の発表がありました。会議中に賞が発表されDawson賞はTech-X社のJ. Cary博士、Buneman賞はコロラド大学のN. Maksimovic氏とS. Parker教授に、それぞれ贈られました。

核融合科学研究所からは6件の発表があり、そのうち招待講演発表は以下3件になります。三浦英昭准教授はレイリーテイラー不安定性およびケルビンヘルムホルツ不安定性へのホール効果およびジャイロ粘性効果を拡張MHDシミュレーションにより調べた結果を発表しました。さらに、一様で等方性を持つ乱流へのこれらの効果も調べ、不安定性や乱流への影響は短波長の揺動で著しくなることを示しました。総合研究大学院大学学生の羽鳥智栄氏は適合格子細分化法(AMR)を用いて二流体シミュレーションコードを拡張し、レイリーテイラー不安定性の階層的なシミュレーション結果を示しました。そして、既存のコードに容易に組み込むことが可能なAMRライブラリおよびAMRを用いたシミュレーション結果の階層的なデータ可視化ソフトウェアの開発についても報告しました。筆者はジャイロ運動論シミュレーションコードGKV+を用いた大型ヘリカル装置(LHD)プラズマにおける乱流粒子・熱輸送の解析を報告しました。そして、運動論的電子効果によってイオン温度勾配不安定性の成長率が增大することを示し、その効果によりLHD放電の低温度状態における熱輸送が再現されることを示しました。その結果、LHDのNBI放電において観測された低温度状態から高温度状態への熱流束の遷移の再現に成功しました。ま

た、乱流による粒子拡散は小半径原点方向であり、新古典拡散と相殺することにより実験観測に対応する値は小さくなることを示しました。

会議全体では、より大規模かつより高精度なプラズマのシミュレーションを行うための手法および、それによる最新の成果が報告されました。今回は開催地ゴールデンが、NIMRODのチームメンバーが多く所属するTech-X社の所在地であるボルダーに近いこともあって同チームからの発表が多くありました(NIMRODは拡張MHD方程式を3次元配位で解くシミュレーションコードです。)。このチームからの発表の中で特に目を引いたのが、部分的に運動論方程式を解くハイブリッドシミュレーションを開発し、外部からの局所電流駆動によるテアリングモード安定化(磁気島を小さくする)に向けての数値シミュレーションに着手していたことです。

次回は2年後2017年にベルギーで開催予定です。

(核融合理論シミュレーション研究系 助教)



口頭発表の会場風景

TOPICS

トピックス

市民学術講演会を開催しました

核融合科学研究所は、7月11日にセラミックパーク MINO 国際会議場（岐阜県多治見市）において、「MRJの挑戦・LHDが拓く新たな世界」をテーマとした市民学術講演会を開催し、多治見市、土岐市、瑞浪市を中心に約250名の方にご参加いただきました。

前半は、小祝 弘道 三菱航空機株式会社技術顧問が、「MRJの挑戦 -MRJに結実した先進技術と複合材技術の歩み-」と題して講演されました。日本での民間旅客機の開発実績や三菱重工業の航空機製造の歩みをわかりやすく説明するとともに、三菱航空機が独自に進める日本初のジェット旅客機（MRJ）で使用された、様々な先進技術や構造の軽量化に貢献する複合材技術について、紹介されました。

後半は、竹入 康彦 核融合科学研究所長が、「LHDが拓く新たな世界」と題して、日本が独自に開発してきたヘリオトロン型核融合プラズマ実験装置における核融合プラズマ研究の進展や、医療・産業へのプラズマ応用について紹介しました。



小祝弘道技術顧問の講演

市民説明会を開催しました

核融合科学研究所は、土岐市（6月22日～7月2日）、多治見市（7月16日～7月29日）および瑞浪市（7月30日）において、「核融合研究の進展と核融合科学研究所の重水素実験計画」について、市民説明会を開催しました。

説明会には、土岐市8会場で168名、多治見市14会場で132名、瑞浪市1会場で33名の方にご参加をいただきました。説明会では、資源エネルギー問題と核融合エネルギーの特長、大型ヘリカル装置（LHD）における研究の進展状況、研究所が計画している重水素実験の必要性和その安全性について、研究所から説明を行いました。また、重水素実験開始に向けて、災害時に岐阜県・三市との連絡のため整備を進めている衛星電話、トリチウム除去装置、安全管理組織などについて説明しました。並びに岐阜県・三市によって核融合科学研究所安全監視委員会が設置されたことについて報告しました。



下石公民館（土岐市）での竹入所長による説明会の様子

総研大 アジア冬の学校のご案内

2015年12月1日（火）から4日（金）までの日程で総合研究大学院大学（総研大）アジア冬の学校を開催します。この総研大アジア冬の学校は、5専攻（機能分子科学専攻、構造分子科学専攻、天文科学専攻、宇宙科学専攻、核融合科学専攻）で行っている研究・教育活動を、日本国内を含むアジア諸国の大学生、大学院生及び若手研究者の育成に広く供すべく、平成16年度より毎年開催してきました。本年度は、核融合科学専攻、機能分子科学専攻、構造分子科学専攻の3専攻合同で「未来のエネルギーへの複合的アプローチ」をテーマとし、核融合科学専攻の講義では、プラズマ物理の基礎から核融合を目指したプラズマ実験、核融合プラズマやプラズマの複雑現象のシミュレーションまで幅広く行うことを予定しております。また、参加者の研究に関するポスター発表や参加者と職員との交流の場としての懇親会、NIFS および分子科学研究所の実験施設の見学等の企画も予定しています。

核融合科学研究・プラズマ科学研究に関心のある方の参加をお待ちしております。詳細は、webサイトをご覧ください。
<http://nsrp.nifs.ac.jp/aws2015/index-j.shtml>

第25回国際土岐コンファレンスのお知らせ

核融合科学研究所は、第25回国際土岐コンファレンス（ITC25）を岐阜県土岐市のセラトピア土岐で、2015年11月3日（火）から6日（金）まで開催します。本年は、「Creating the Future -Innovative Science of Plasma and Fusion-」（未来を拓け！-プラズマ・核融合科学の革新-）というテーマで、国内外の研究者が研究成果の発表や議論を行います。

会期中、11月3日（火）に開催される市民学術講演会では、公益財団法人東濃地震科学研究所の副主席主任研究員木股文昭先生に、「火山噴火のメカニズムとその予知研究の現状 -御嶽山におけるケーススタディー-」をテーマに講演をしていただきます。市民の皆様のご来場をお待ちしております。詳細は、webサイト（<http://itc.nifs.ac.jp/index.html>）をご覧ください。



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.225

2015年8,9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権を複写したい方は(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。

一般社団法人学術著作権協会 〒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 著作権の転載・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。