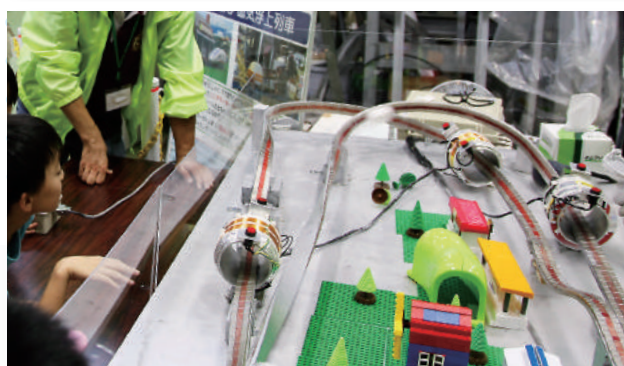
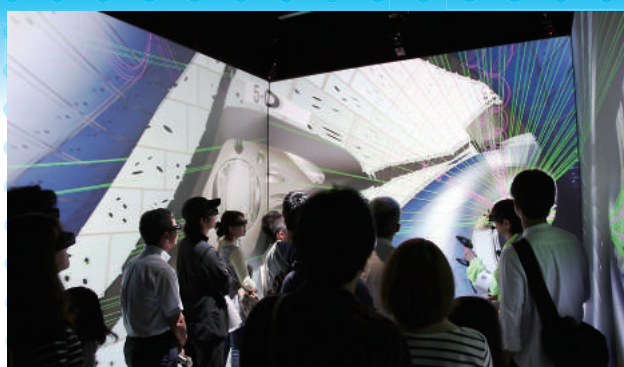


NIFS NEWS

ISSN 1884-1600

NIFS

No.232



核融合科学研究所オープンキャンパス 2016 を開催

2016 OCT/NOV

>>> 特集 …… 2-3

核融合科学研究所オープンキャンパス2016
「きて!みて!さわって!プラズマワールド」

高畑一也

>>> 研究最前線 …… 4-5

重い元素の多価イオンが発する新しい波長の光を発見
～極端紫外スペクトルの実験データベースを構築～

鈴木千尋

>>> 会議報告 …… 6-7

第22回核融合エネルギー技術に関する国際会議 (TOFE22)
第29回核融合技術シンポジウム (SOFT2016)

柳 長門
菱沼良光

>>> トピックス …… 8

平成28年度防災訓練を実施
総研大 アジア冬の学校のご案内
米国の大学と国際学術交流に関する覚書を締結

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 2016 「きて！みて！さわって！プラズマワールド」

高 畑 一 也

10月8日(土)に、恒例の核融合科学研究所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19回目になります。今回の「きて！みて！さわって！プラズマワールド」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だけます。もちろん、施設の一般公開として、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）やドラマの撮影にも使われた制御室、普段は見る事ができないスーパーコンピュータもご覧いただきました。当日は幸いなことに、朝からの雨も開場のころには上がり、2,000名の方が来場されました。足下の悪い中、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では、LHDの直径1.2メートルの真空排気用ポートを特別に開放し、普段は見る事ができないプラズマ真空容器内部を公開しました。少し遠目での公開でしたが、ヘリカルコイルの振れた構造を実感していただけたと思います。また、より装置に近付いて見ていただけるよう、フロアレベルの職員用通路を使って装置の周り一周していただきました。来場者からは「解説してくれたスタッフの皆さんが熱心で分かりやすかったです。」「今年はLHDの中まで見せていただきありがとうございました。」など、嬉しい感想をいただきました。

さて、テーマに「さわって！」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、今回はソーラー風車、セラミック折り



解説を聞いてからLHD見学ツアーに出発！



LHD見学ツアーで真空容器の中を覗いています

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。数に限りがあるため、先着順や抽選制にしなければならないことがとても残念でした。他にも「さわる」ことができる体験型の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、超伝導磁気浮上列車、ペットボトルロケット



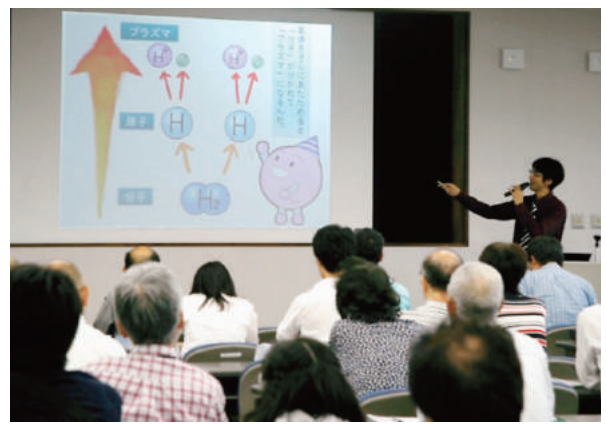
工作教室でソーラー風車を作っている様子



プラズマボールを体験する子どもたち

トなどです。実際に道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。

職員による核融合やその応用分野に関する講演会も、例年人気を集めている企画です。今回は、伊藤篤史准教授による「はじめての核融合」、柳長門教授による「みんなと地球に役立つ超伝導 核融合～医療～そして」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、盛んに質問がでていました。



講演会の様子

来年度のオープンキャンパスは、大型ヘリカル実験棟の一部が管理区域になることで、会場が狭くなったり、ご覧いただけないところも出てきたりします。その分、より密度の濃い展示、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2016実行委員会 委員長)



プラズマくと仲間たち
(左からミナモ、とつくりとつくん、プラズマくん、志野田茶太郎)

重い元素の多価イオンが発する新しい波長の光を発見 ～極端紫外スペクトルの実験データベースを構築～

鈴木 千尋

よく知られているように、原子は正の電荷を持つ原子核と、その周りを取りまく複数の（負の電荷を持つ）電子から構成されており、原子全体としては電氣的に中性です。原子からいくつか電子を取り去る（電離する）と、全体として正の電荷を持つ正イオンとなります。プラズマは電離気体とも呼ばれるように、高温に加熱することにより気体が電離され、はぎ取られた電子と正イオンが乱雑に飛び回っている状態です。取り去られた電子が1つの場合は1価の正イオンですが、プラズマの温度が上昇するにつれて、次々と複数の電子がはぎ取られていき、イオンの価数が上昇していきます。このようなイオンは多価イオンと呼ばれます。

原子やイオンの内部の電子は、いくつかの異なるエネルギー状態を取ることができ、最低エネルギーの状態を基底状態、それ以外の状態を励起状態と呼びます。基底状態にある原子やイオンが、電子との衝突などによりエネルギーを受け取ると、励起状態に変化した後、より安定な低いエネルギー状態に戻ろうとしますが、その際に余分なエネルギーを光（スペクトル線）として放出します。その光の波長は、放出前後の状態のエネルギー差に反比例し、元素の種類やイオンの価数によって決まる固有の値となります。したがって、プラズマから出てくる光を分光器で波長に分けて、光の波長に対する強度分布（発光スペクトル）を計測することにより、プラズマ中に存在する元素の種類や価数が分かります。

炭素、酸素、鉄などの比較的軽い元素については、原子やイオンの発光スペクトルがすでに詳細に調べられ、各元素のスペクトル線についてのデータベースも公開されています。しかし、元素周期表で第5周期以降にある高原子番号の元素（例えば、スズや金など）で、特に多価イオンからの発光については、その生成に特殊な装置が必要であることなどから、スペクトル線の波長さえ、実験によって調べられていない元素もあります。これらの元素の多価イオンの中には、後述のように核融合研究やプラズマの産業応用

研究において重要なものも含まれており、発光スペクトルの物理的理解が求められています。

核融合科学研究所の大型ヘリカル装置（LHD）で生成される高温プラズマにおいても、炭素や鉄などのプラズマ対向壁に由来する不純物の多価イオンからの発光スペクトルが観測されます。これらは発光によってエネルギーを閉じ込め領域の外に放出し、プラズマを冷却してしまうので、プラズマ閉じ込めの観点からは好ましくありません。一方、基礎的な原子物理学の観点からは、LHDは超高温プラズマを安定して比較的長時間閉じ込めることができるため、高原子番号の元素をごく少量混入させることによって、高価数の多価イオンを容易に生成して、その発光スペクトルを調べることが可能な、数少ない光源ともいえます。また、プラズマの温度や密度などが正確に測定できるため、発光スペクトルの理論予測の実験的検証に役立つデータベースが得られると考えられます。

そこで、元素周期表で第5周期および第6周期に位置する、スズ、ガドリニウム、タングステン、金、ピスマスなどの重い元素を、LHDの高温プラズマ中で多価イオンにし、極端紫外領域（波長1～15ナノメートル程度）の発光スペクトルを、斜入射型真空紫外分光器（図1）を用いて系統的に観

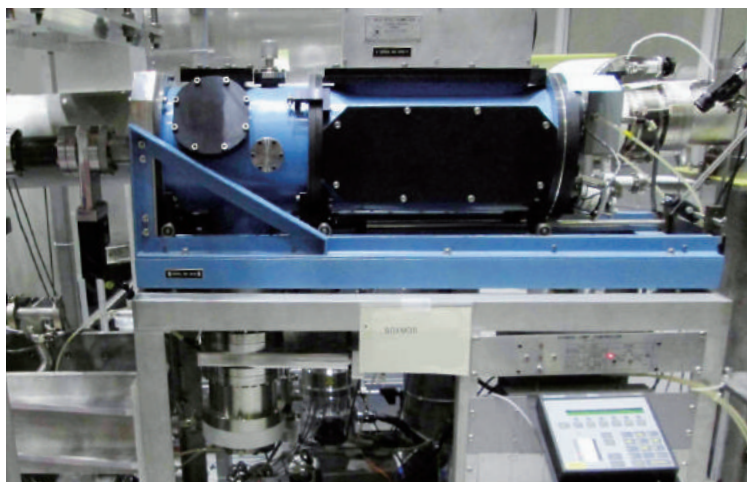


図1 斜入射型真空紫外分光器。極端紫外領域の光は空气中を透過できないため、機器全体が真空容器の中（青色の部分）に収められています。LHDプラズマからの発光は向かって左側から入射し、回折格子で分光されたのち、発光スペクトルとして検出されます。

測しました。この実験ではまず、高温プラズマ中の不純物の挙動を調べる目的で開発された、トレーサー内蔵固体ペレット (TESPEL) 装置を活用して、ごく少量の重い元素をプラズマ中に入射しました。その後、プラズマの加熱パワーを制御して、電子温度の高い状態から低い状態に変化させました。こうすることで、プラズマ中で支配的となるイオンの価数が電子温度に対応して変わることにより、スペクトルが劇的に変化する様子を一度の放電でまとめて計測することに成功しました (図 2)。一連の元素について発光スペクトルを原子番号順に整理すると、似た構造をもつスペクトル線が、原子番号の増加とともに短波長側へ移動していく様子が明瞭に分かります。このような解析の結果、原子番号が 65、67、69 の元素である、テルビウム (Tb)、ホルミウム (Ho)、ツリウム (Tm) の多価イオンの新たなスペクトル線を、世界で初めて実験的に発見しました (表 1)。理論的に予測される波長によく一致しているスペクトル線と、系統的にややずれているスペクトル線があります。この結果は、複雑な多価イオンの電子エネルギー構造の理論計算には、まだ改善の余地があることを示唆しており、理論予測の検証に有用なデータです。

同様の方法で、原子番号 50 ~ 83 の範囲のうち、これまでに半数以上の元素が LHD で系統的に調べられています。このうちスズなどは、次世代の半導体加工技術として期待されている極端紫外線リソグラフィ用のプラズマ光源材料として研究が進められており、金やビスマスは、いわゆる水の窓領域を用いた高コントラスト生体顕微鏡の光源材料の候補となっています。タングステン、国際熱

核融合実験炉 (ITER) におけるプラズマ対向材料として使用されるため、プラズマ中に混入したタングステン多価イオンの発光メカニズムの理解が求められています。本研究で得られた一連の実験データベースは、これらの研究開発において、シミュレーションの精度向上などに役立つ基礎データを提供するものです。

(高温プラズマ物理研究系 助教)

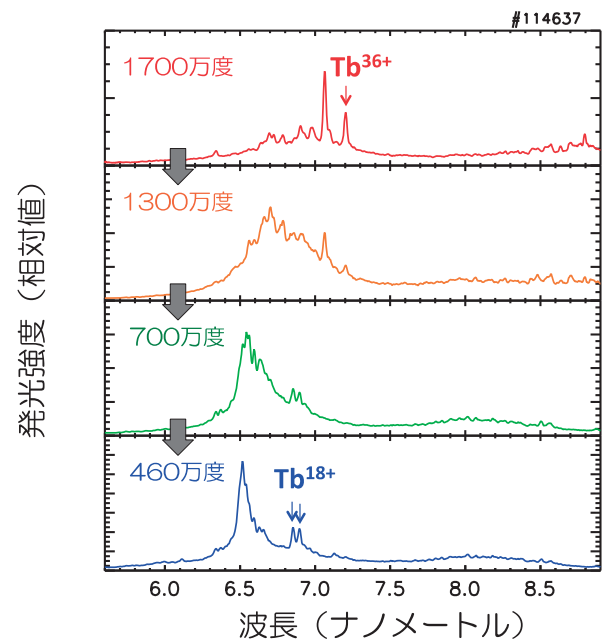


図 2 温度の変化ともなうテルビウム (原子番号 65) イオンの発光スペクトルの変化。波長 7.203 ナノメートルのピークが 36 価イオンのスペクトル線、6.852 ナノメートルと 6.896 ナノメートルの両ピークが 18 価のスペクトル線です。

表 1 LHD で初めて実験的に発見されたスペクトル線のリスト。

イオン	遷移 (下準位-上準位)	波長の実験値 (ナノメートル)	波長の理論予測値 (ナノメートル)
Tb ³⁶⁺	3d ¹⁰ 4p ² P _{1/2} - 3d ¹⁰ 4d ² D _{3/2}	7.203	7.202
Ho ³⁸⁺	3d ¹⁰ 4p ² P _{1/2} - 3d ¹⁰ 4d ² D _{3/2}	6.614	6.609
Tm ⁴⁰⁺	3d ¹⁰ 4p ² P _{1/2} - 3d ¹⁰ 4d ² D _{3/2}	6.072	6.069
Tm ²²⁺	4d ¹⁰ 4f ² F _{7/2} - 4d ⁹ 4f ² ² G _{9/2}	5.933	5.767
Tm ²²⁺	4d ¹⁰ 4f ² F _{5/2} - 4d ⁹ 4f ² ² G _{7/2}	5.986	5.817

第22回核融合エネルギー技術に関する国際会議 (TOFE22)

柳 長 門

2016年8月22日から8月25日までの4日間、米国フィラデルフィアのシェラトン・フィラデルフィア・ソサエティ・ヒルにおいて第22回核融合エネルギー技術に関する国際会議 (22nd Topical Meeting on the Technology of Fusion Energy, TOFE 22) が開催されました。TOFEは、米国原子力学会の核融合部会として2年に1回の頻度で開催されている核融合工学技術に関する会議です。今回は、フィラデルフィアから近いプリンストン・プラズマ物理研究所によって主催されました。会議には米国国内をはじめ、欧州、日本、韓国、中国、他の国々から約200名の参加者がおり、口頭発表約110件、ポスター発表約90件がありました。

会議では、主なトピックスとして、世界の主要な研究施設における最新の研究成果について報告がありました。今回は、特に、ドイツのW7-X装置の建設完了と実験開始について報告が行われ、大きなマイルストーンと位置付けられました。また、国際プロジェクトとして建設が進んでいるITERとJT-60SAについて、最新の状況が報告されました。核融合科学研究所からは、口頭発表3件とポスター

発表4件の、合わせて7件の発表がありました。このうち、大型ヘリカル装置 (LHD) の最新成果と今後の実験計画については、長壁正樹 LHD 計画実験統括主幹から基調講演として報告がありました。また、相良明男核融合工学研究研究総主幹からは、ヘリカル型核融合炉の設計と工学開発の進展について報告がありました。さらに、日本全体の核融合炉材料開発の現状について、室賀健夫副所長によるレビュー講演があり、いずれも世界の研究者の関心を大いに集めました。

フィラデルフィアは、アメリカ合衆国の独立宣言が行われた町であり、会議場近くにはその舞台となった州議事堂や、独立のシンボルとなった「自由の鐘」等があり、米国の歴史の出発点を感じることができました。また、ここは、映画「ロッキー」でも有名となった町であり、映画の各所に出てきた場所の雰囲気懐かしく感じることができました。次回の TOFE 23 は、2年後の2018年にフロリダ州オーランドにて開催されます。

(装置工学・応用物理研究系 教授)



相良明男核融合工学研究研究総主幹の口頭発表の様子

第29回核融合技術シンポジウム (SOFT2016)

菱沼良光

2016年9月5日から9月9日の期間において第29回核融合技術シンポジウム(Symposium on Fusion Technology)が、チェコ共和国のプラハ市内を流れるヴルタヴァ(ドイツ語名:モルダウ)川沿いのプラハコングレスセンターで開催されました。本会議は、隔年で開催され、最新の核融合工学に関する研究開発の成果や将来の核融合炉の建設や設計について議論する場になっており、毎回1,000名程度の参加がある活気に満ちた会議です。今回も参加者総数は950名で、日本からはドイツ、イタリアに続いて3番目に多い90名の参加があり、核融合技術の進展における日本の多大な貢献がうかがえました。核融合科学研究所(NIFS)からは、核融合工学プロジェクトのメンバーを中心に11名が参加し、筆者は"Development of the bronze processed Nb₃Sn multifilamentary wires using Cu-Sn-Zn ternary alloy matrix"という題名で、核融合原型炉応用に必要不可欠な高強度 Nb₃Sn 超伝導線材の実現に向けた、新しい概念に基づいた線材化プロセス開発についてポスター発表を行いました。本プロセスは、従来の手法よりも簡便であるブロンズ母材の固溶強化というアプローチを提案するものです。大手の電機メーカーや研究機関の研究者に固溶強化による高強度化のメリットを理解していただいた上で、Cu-Sn-Zn 三元系ブロンズ合金の具体的な溶製方法や三元系ブロンズを用いた Nb₃Sn 極細多芯線材加工及び超伝導特性について議論し、今後に向けた大きな指針を得ることができました。

会議冒頭の基調講演では、ITER 機構の B. Bigot 機構長とドイツ・マックスプランクプラズマ物理研究所の Wendelstein 7-X(W7-X) プロジェクトの長である T. Klinger 博士の講演が印象的でした。Bigot 機構長からは、2025年のファーストプラズマを目指した建設計画の遵守と機構内のガバナンス強化を進めるとの強い意志表明が示されました。ITER 計画は、核融合発電の試金石でもあり、Bigot 機構長には強いリーダーシップが期待される所です。Klinger 博士からは、NIFS の大型ヘリカル装置(LHD)と同じヘリカル型装置である W7-X の建設経緯、ファーストプラズマの成果及び将来計画が報告されました。Klinger 博士は、NIFS の外部評価委員会委員の1人でもあり、講演の中で装置建設における LHD の貢献についても触れられました。今後は、LHD のライバルともなる W7-X 装置の動向が注目されます。

次回の SOFT2018 は、2018年9月17日から21日の日程でイタリアのシチリア島で開催される予定です。

(核融合システム研究系 准教授)



図1 会議場サロンから眺めたプラハ城



図2 基調講演をする ITER 機構の Bigot 機構長

平成28年度防災訓練を実施

核融合科学研究所は、9月30日に、土岐市南消防署の協力を得て防災訓練を実施し、職員や学生など所員291名が参加しました。

訓練は、9時30分に震度6弱の大地震が発生し、研究所構内の食堂厨房で職員が負傷する事態と火災が発生したという想定の下、危機管理指揮本部の室内に災害警戒本部を立ち上げ、初期消火活動等に対応する自衛消防隊を「本部隊」と「地区隊」の2部隊に分けた組織体制で実施しました。

自衛消防隊員は、関係機関への通報、ライフライン状況確認、実験設備の安全確認の活動を迅速に行いました。10時30分には警戒態勢の解除とともに防災訓練が終了し、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、「自衛消防隊員と消防職員との連携を図れるようにしてほしい。」との講評があり、竹入康彦所長は、所員に対し「予想外の事態にも対応できるように日頃から意識してほしい。」と話しました。



危機管理指揮本部



消火器訓練

総研大 アジア冬の学校のご案内

2016年12月12日（月）から14日（水）までの日程で、総合研究大学院大学（総研大）アジア冬の学校をチェンマイ大学（タイ）にて開催します。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るべく、平成16年度より毎年開催してきました。

本年度の核融合科学専攻では、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、幅広い授業を行うことを予定しています。

詳細については、下記webサイトをご覧ください。

<http://nsrp.nifs.ac.jp/aws2016/index.html>

米国・ウィスコンシン大学マディソン校工学部と国際学術交流に関する覚書を締結

核融合科学研究所は、米国のウィスコンシン大学マディソン校工学部と、核融合研究における研究協力関係を推進するため、平成28年9月に国際学術交流に関する覚書を締結しました。

ウィスコンシン大学マディソン校工学部は、これまでも長年にわたって核融合研究を推進しており、現在、ヘリカル方式の中規模実験装置HSX、核融合プラズマの理論・シミュレーション研究などで世界的にも顕著な成果を挙げています。優秀な大学院生の活発な研究活動も広く知られるところです。

覚書締結を記念して、マディソンにて、覚書締結記念ワークショップを開催しました。竹入康彦核融合科学研究所長の挨拶（代読）に続き、覚書の交換、両機関間の共同研究のこれまでの経緯、今後の可能性などについて議論を行いました。来年早々には、先方の大学院生が核融合科学研究所に2か月間来訪し、LHD実験データを用いた研究を行うなど、具体的な交流計画も策定されました。

核融合科学研究所が国際学術交流協定を締結した海外研究機関は、これで24機関となりました。ますます幅広い国際共同研究が展開されることが期待されます。



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.232

2016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、直接本研究所へご連絡ください。