

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

NIFS NEWS

No.214



オープンキャンパスを開催しました

2013
OCT/NOV

特 集 …… 2-3

2013年度核融合科学研究所 オープンキャンパス(一般公開)
「世界に誇るプラズマ科学の最先端」 金子 修

研究最前線 …… 4

H α イメージングで水素負イオン源の引出領域を可視化する 池田 勝則

会議報告 …… 6-7

第11回核融合工学に関する国際シンポジウム 田村 仁
第19回国際ステラレータ/ヘリオトロンワークショップ 小川 国大
16th International Conference on Fusion Reactor Materials 菱沼 良光
15th International Conference on Ion Sources 木崎 雅志

トピックス …… 8

平成25年度実験室内消火訓練を実施
平成25年度防災訓練を実施

2013年度核融合科学研究所 オープンキャンパス(一般公開) 「世界に誇るプラズマ科学の最先端」



LHDの模型を前に核融合の説明



初登場！ 絵本「はじめての核融合」



2013年11月9日(土)に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。さわやかな秋晴れに恵まれ、満開のコスモスとともにおよそ2,000名の方々をお迎えすることができました。今年、「世界に誇るプラズマ科学の最先端」をテーマとし、研究所で行っている最先端の研究を一般の方々に分かりやすく知っていただけるように数多くのイベントを用意しました。研究所の正面玄関(核融合ひろば)では、昨年好評だった研究所紹介コーナー「核融合研ってどんどこ？」を更に充実し、ミニレクチャー、パネル説明、コンピュータによる核融合炉運転シミュレータの展示などで、研究所の最新の研究内容とその研究成果が、将来の核融合炉開発にどのようなつながっていくのかについて、分かりやすく説明しました。また、将来開発される核融合炉の大きさを実感していただけるように、核融合ひろばの天井からは横幅6メートル、高さ6メートルの実物大核融合炉の断面図(の一部)を掲示しました。その規模の大きさや装置設計がここまで進んでいることに皆さん驚かれたようです。

公開講座は第1部を「はじめての核融合」、第2部を「星と海からのエネルギー」と題し、2部構成で開催しました。第1部は、今年、核融合科学研究所で制作した絵本を教科書にして、核融合の仕組みにつ

いて学んでいくという、はじめての方にも親しみやすい内容としました。この絵本では、子供たちにも大人気の核融合科学研究所のマスコットキャラクター“プラズまくん”とその仲間たちが、エネルギーを生み出す化石燃料資源が地球上でなくなりつつあること、その代わりのエネルギー源として何が考えられ、その中で核融合エネルギーがいかに有用であるかについてやさしく解説しています。オープンキャンパスから生まれたこの絵本を通して、研究所では、今後も、核融合科学の紹介を進めていきます。第2部では、はじめに、地球史、人類史、特に産業革命以降の歴史を振り返りながら、核融合エネルギーの必要性について考えました。そして、核融合発電の仕組みを、ポップコーンや焚き火などの身近なもので例えながら、動画もふんだんに取り入れて解説しました。会場の皆さんも、ユーモアあふれる説明をお聞きになり、核融合発電の仕組みを知り、核融合炉開発に向けた最新の研究成果に触れると同時に、研究者の熱意も感じていただけたのではないのでしょうか。第1部、2部共に、会場は130名以上の聴衆で満席となり、講演内容に関するご質問をたくさんいただきました。ご来場の皆様のエネルギー問題への関心の高さと、核融合エネルギーへの期待が伝わってきました。

バーチャル館では大型のスーパーコンピュータを見ていただきました。複雑なプラズマ物理の理解には膨大な計算量が必要であるため、計算機も大型になることに皆さん納得されていました。また、研究所の大型ヘリカル実験装置(LHD)の内部を疑似体験できる「バーチャルリアリティLHD」や、「3D立体視ゲーム～核融合スペーストラベラー～」も楽しんでいただきました。また、自分だけのシールを作れる体験型イベントでは、撮影した写真を“プラズ

まくん”で飾り付けたシールを作り、記念にプレゼントいたしました。プラズマ館では、テーブルの上で生成したプラズマを見て、触れていただき、LHDの超高温プラズマとの違いを紹介しました。LHD館では、世界最大のヘリカル型プラズマ閉じ込め装置であるLHDや加熱装置を見学していただき、超高温プラズマを作る方法を知っていただきました。未来マテリアル工房では、身近に触れることの少ない特殊な材料を手にとっていただき、その不思議な性質を分かりやすく解説しました。超伝導館では、高温超伝導体を利用した磁気浮上列車(リニアモーターカー)が注目を集めていました。「放射線測定体験」の企画では、身近に存在する放射線を自分で測定してもらい、放射線についての正しい理解を深めていただけました。毎年抽選になるほど大人気の工作企画では、セラミック折り紙、サッカーロボットをご自身で作っていただきました。また、研究所に併設されている総合研究大学院大学や連携大学院の紹介を行い、将来の核融合研究者を目指す若い人たちに、どうすれば研究者になれるのかを分かりやすく説明する「核融合研究者への道」というコーナーも設けました。

高校生科学研究室では、4校から5件の研究成果の展示・口頭発表が行われました。厳正な審査の結果、口頭発表では、愛知県立一宮高等学校の「青の洞窟～神秘的な青に迫れ～」、展示発表では、愛知県立熱田高等学校の「イルカの視覚の研究」が、それぞれ最優秀発表賞に選ばれ、小森彰夫所長から表彰状が手渡されました。また、所内7カ所には、ラリー形式で核融合科学の面白さを体験しながら楽しく学べるクイズコーナーが設けられ、子供たちに親御さんと一緒に挑戦してもらいました。成績優秀者にはプラズマ博士認定証が授与され、今年はおおよそ500名もの

プラズマ博士が誕生しました。

また、野外でも様々な企画を行いました。芝生広場では子供たちがプラズまくん、多治見市のマスコット“うながっば”、下石陶磁器工業協同組合の“とっくりとつくん”と楽しく遊んでいました。遊んだ後にももらえるヘリウム風船は大好評でした。別の広場ではペットボトルロケットの打ち上げ大会があり、高く打ち上がったロケットに子供たちの歓声が湧きました。グラウンドでは、第12回NIFS杯少年サッカー交流大会を開催しました。16チームが4つのトーナメントに分かれて熱戦を繰り広げ、一宮FCが見事優勝しました。準優勝はFCボルティスでした。

絶好の行楽日和にもかかわらず、子供からご年配の方まで数多くの方々にご来場いただき、誠にありがとうございました。お帰りの際には、研究所スタッフがこの日のために育てた満開のコスモスを感謝の気持ちを込めてプレゼントさせていただきました。研究所ではオープンキャンパスを毎年開催しています。来年も皆様お誘い合わせの上、足をお運びいただければ幸いです。

2013年度核融合科学研究所オープンキャンパス実行委員長
金子 修



スーパーコンピュータの中はどうなっているのかな？



ロボット工作に熱中する子供たち

H α イメージングで水素負イオン源の引出領域を可視化する

池田 勝 則

大型ヘリカル装置(LHD)ではプラズマを加熱する手法の一つとして、中性粒子入射加熱装置(NBI)を使用しています。この装置から入射された高エネルギーの水素原子はプラズマ中の水素イオンと荷電交換することで高エネルギーの水素イオンに置き換わり、結果としてプラズマ全体のイオン温度を上昇させます。LHDのNBIでは水素負イオン源(図1)を開発してLHD実験の当初から高エネルギー水素ビームの生成及び入射に成功しています。

ここで「水素負イオン」という聞き慣れない言葉が出てきました。水素原子は陽子1個と電子1個で構成されています。例えばLHDの水素プラズマでは原子の結合が解けてバラバラの状態になり、正の電荷を持つ陽子(水素の正イオン)と負の電荷を持つ電子になっています。イオン源の中の

水素プラズマも同様に電子と正イオンに分離しやすいので、加熱ビームとして正イオンビームを利用するのが最も簡単であり、多くの実験装置では正イオン源を用いたNBIでプラズマ加熱を行ってきました。しかしながら水素の正イオンはエネルギーを上げていくと中性化(イオンから原子に変換すること)させることができなくなります。一方で負の電荷を持つ水素負イオンはエネルギーを上げて中性化の効率が落ちないため高エネルギービーム生成には水素負イオンが必要不可欠になります。水素負イオンは陽子1個と電子2個で構成され、水素の原子に電子を付着させることで実現できます。この反応は低温のプラズマ中にごく僅か存在していますが、生成量を劇的に上昇させる「表面生成」と呼ばれる方法の発見がブレイクスルーとなりました。この方法では電子が放出されやすい低仕事関数の金属表面状態を作り、その表面近くで低温のプラズマを作ることで水素原子やイオンに電子を付着させます(図2)。生成された水素負イオンはビーム引出穴から電位差を用いて引き出され、ビームに必要なエネルギーまで加速されて放出されます。このイオン源内での水素負イオンの分布と挙動を観測できれば、ビーム分布の最適化や安定したNBIの運転に役立ちます。

今回開発したイメージング計測装置は、プラズマから放射される光を2次元分布として計測しま

す。波長選択は光学フィルターを用い、レンズを使ってイメージコンジット(光ファイバーを束ねた管)に集光します。これは入射したイメージをそのままの形で対面から出力できる特殊なガラス管です。この対面をCCDカメラに接続します。観測領域が狭くて、なおかつ高電圧を印加するために、この特殊な光学系を使用しています。計測するのは水素のバルマー線(H α 線)で656ナノメートルの波長を持ちます。このH α 線は太陽から放射されている光の一つです。H α 線の発光強度は水素原子の中の電子の励起(エネルギー準位が上がること)と脱励起(エネルギー準位が下がること)によって決まり、エネルギー差が光として放出されます。したがって、励起された状態の水素原子の数にH α 線の発光強度は依存するのですが、水素負イオンが多く存在する特殊な場合には、水素正イオンと負イオンが衝突することで電荷を交換する相互中性化反応が起こり、その反応で水素原子が励起されます。水素負イオン源の電極近傍では電子温度が低いため、電子との衝突による励起より相互中性化反応による励起が顕著に現れます。引出穴から負イオンをビームとして引き出した時には空間に存在する負イオンが減少し、その結果として相互中性化反応によるH α 線の発光強度が減少するため、2次元のH α 線の発光強度分布を計測し、ビーム引き出し前後の差分を取ると電極表面近傍の水素負イオンの引き出し分布が分かるという仕組みです。

本研究で得られた典型的な結果を図3に示します。まず、観測ポートから見える領域の写真(図3(a))を見てみましょう。ビームの元となるプラズマ放電は視野の左方向にあります。負イオンはプラズマ電極表面の引出穴から引き出されて右の方向へ向かいます。円形の引出穴はプラズマ電極表面上に規則正しく並んでいて、観測視線とプラズマ電極の角度が小さいために、見た目上は台形のような形状で撮影されます。カメラの視線の中心からプラズマ電極までの距離は11mmで電極の幅はおよそ30cmとなっています。図3(b)はH α 線の波長の2次元イメージになります。ここでは空間位置が把握しやすいようにイオン源内部構造物をワイヤーフレームで書き足しています。このイオン源ではフィラメントを用いたプラズマ放電を行っているため、対面と電極穴付近にフィラメントからの放射光が反射しています。視線の中心ではこの背景放射光は5%程度に抑えられており、H α 光の分布がほぼ一様に分布していることが確かめられました。図3(c)はビーム引き出し中のH α 光

分布からビーム引き出し前の分布の差分をイメージ化したものです。ここでは、赤色が減少している領域、緑色が変化無しの領域、青色が上昇している領域を示しています。電極穴の真横にスポット状の強いH α 光の減少が観測されています。H α の減少は負イオンの減少を示しています。この結果から、電極表面で生成された負イオンが引き出し領域に広く分布していること、またその負イオンがイオン源の空間領域の広範囲から電極穴を通過して引き出されていることが実験的に確かめられました。この成果は負イオン引き出しの物理的機構を知る上で重要な知見で、負イオン生成とビーム引き出しに関わる数値計算モデルの構築、均一な負イオンビーム生成及び高パワーで安定な運転技術の確立などの負イオン源方式のNBI装置の重要課題の解決に貢献します。

(プラズマ加熱物理研究系 助教)

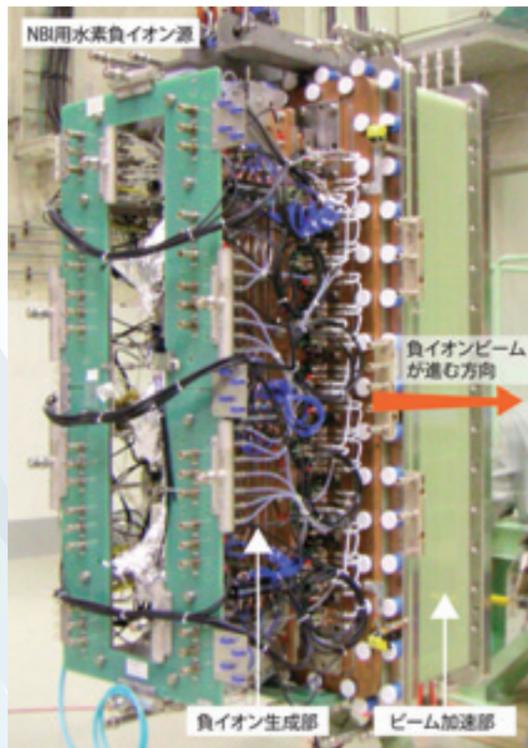


図1 LHD用水素負イオン源

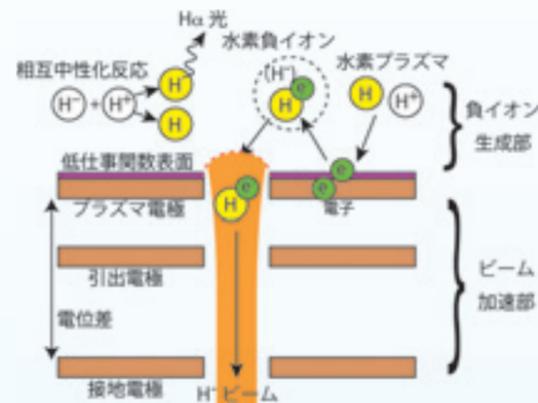


図2 水素負イオンの表面生成とビーム引き出し

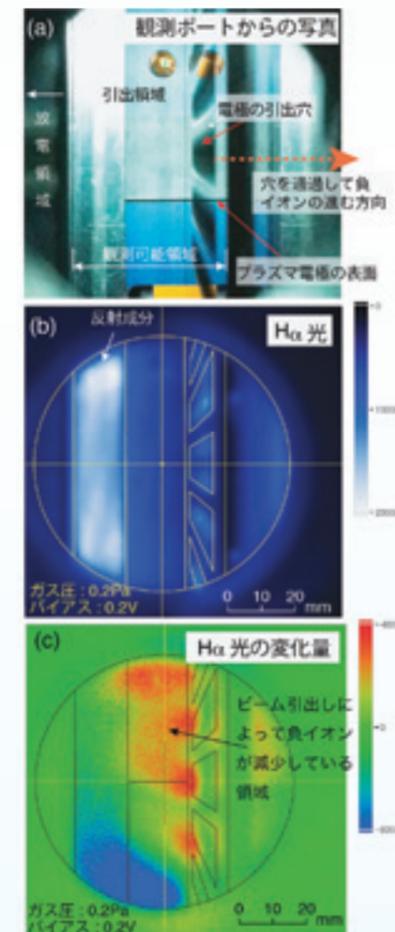


図3 (a)観測ポートからの写真、(b)H α 光の2次元イメージ、(c)H α 光の差分イメージ

第11回核融合工学に関する国際シンポジウム

田村 仁

第11回核融合工学に関する国際シンポジウム(ISFNT-11)が、スペイン・バルセロナで2013年9月15日から20日に開催されました。ISFNTは、2～3年ごとにアジア、ヨーロッパ、米国で開かれ、過去に日本でも3度開催された経緯があり、日本の貢献度が非常に高い国際会議です。今回の会議では、世界中から約800名の参加があり、500件以上の研究報告が基調講演、一般講演(3部屋でのパラレルセッション)、ポスター発表に分かれて行われました。本研究所からは9名(うち2名は学生)が参加し、ヘリカル炉設計と核融合炉材料に関する研究について成果を発表しました。特にヘリカル炉設計については、本研究所の相良明男教授より口頭発表があり、プロジェクトで進めている研究の成果が紹介されました。筆者は、ヘリカル炉での超伝導コイルの支持と真空容器形状について保守交換を考慮した構造の検討について発表しました。基調講演では、本島修ITER機構長からサイトの

建設状況や2020年のファーストプラズマに向けたスケジュールとその実現のための課題について報告があった他、DEMO炉(原型炉)に関して、ヨーロッパ(EFDA-CSU GarchingのF.Romanelli氏)、日本(大阪大学の堀池寛氏)、韓国(NFRIのG.S. Lee氏)から各極の考え方やロードマップについて報告がありました。全体として「ITERからDEMO炉へのロードマップ」が今回の大きなテーマとなっており、ロードマップパネルと題した総合的な討論の場が設けられ、活発な議論がなされました。また、ITERの実験成果を踏まえ、早い段階で原型炉に進むためには、より高性能な材料を開発することが求められており、特に中性子負荷を受ける材料の試験に必要とされる新たな照射装置の建設が中国、ロシア、米国から提案されました。次回のISFNTは韓国・済州島で2015年9月に開催されます。

(核融合システム研究系 准教授)

第19回国際ステラレーター/ヘリオトロンワークショップ

小川 国大

2013年9月16日から20日にかけて、イタリア北部に位置するヴェネト州パドヴァのパドヴァ大学とサン・ガエターノシビックセンターにおいて、第19回国際ステラレーター/ヘリオトロンワークショップが開催されました。今回は、第16回国際エネルギー機関逆磁場ピンチワークショップとの合同開催でした。会議1日目には、冒頭のウェルカムスピーチの後、山田弘司大型ヘリカル装置計画研究総主幹からこれまでのステラレーター/ヘリオトロン研究の成果について基調講演がありました。講演後においては、ステラレーター/ヘリオトロンの研究者のみならず、逆磁場ピンチの研究者からも質問があり、大変活発な議論が展開されました。筆者は、「大型ヘリカル装置(LHD)における高エネルギーイオンと共鳴するMHD不安定性、並びに非共鳴の不安定性に起因する高エネルギーイオン損失」と題して、招待講演として発表する機会をいただきました。これは、LHDの様々な放電を対象に損失高エネルギーイオンプローブを駆使した実験観測並びに磁場揺動を考慮した粒子軌道追跡数値シミュレーションから、プラズマの

不安定性が高エネルギーイオン閉じ込めに与える影響に関して考察した結果をまとめたものです。今回のワークショップには、13ヶ国から計188名が参加し、全部で168件の発表がありました。核融合科学研究所からは総勢31名が参加し、招待講演を含む口頭発表が9件、ポスター発表が23件あり、当該分野を先導する核融合科学研究所の存在感が大きなものであることを改めて実感しました。ポスター発表では、幅広い分野(プラズマ物理、計測、加熱技術、装置工学等)の発表があり、それぞれ活発な議論が展開されました。次回は2年後の2015年にドイツ北東部のグライフスヴァルトで開催される予定です。

(高温プラズマ物理研究系 助教)



パドヴァ大学で行われた山田弘司研究総主幹の基調講演の様子

16th International Conference on Fusion Reactor Materials

菱沼 良光

中国北京市内のキャピタルホテルで開催(10月20日～26日)された第16回International Conference on Fusion Reactor Materials(ICFRM-16)に出席しました。本国際会議は、核融合炉で使用される構造材料や機能性材料についての研究情報を交換及び議論する場として、当該分野では最大規模のものです。今回の参加者総数は約400名という盛況な会議でした。核融合科学研究所(NIFS)からは筆者を含めて6名(うち2名は総合研究大学院大学生)が、国内の大学等からは60名近くが参加し、当該分野における日本のコミュニティの貢献を改めて認識しました。会議全体の印象では、低放射化フェライト鋼及びODS(酸化物分散強化)鋼の研究が増加しているようです。また、最近ITERで使用されることが決定したタングステン材料に関する製作技術や物性研究が世界的に行われており、今後の展開が期待されています。

筆者は、2件のポスター発表を行いました。一つは、液体リチウム及び溶融塩ブランケットシステムに必須な大面積機能性酸化物被覆に向けて化学気相法を用いたプロセスを開発し、機能性酸化物被覆層の高度化

の一つである二重被覆による厚膜化・高結晶化とその微細組織に関する研究成果について、もう一つは将来の核融合発電炉を指向した低放射化V3Ga超伝導線材の開発状況についてです。二つの研究は共に、NIFSが主導的に進めている研究であり、今後の研究活動に役立つ知見及び情報を得ることができました。

本会議開催中に、バナジウム合金に関するIEA(国際エネルギー機関)ミーティングにも出席しました。日本・中国・米国・ロシアから最新のトピックスが紹介され、バナジウム合金開発が着実に進んでいることが分かりました。今後、更なるバナジウム合金開発の進展にはコミュニティの拡大を図ることが大切で、NIFSがその中心的役割を果たすことが大切であると再認識しました。

次回は2015年10月にドイツのアーヘンで開催される予定です。

(核融合システム研究系 助教)



口頭発表会場の風景

15th International Conference on Ion Sources

木崎 雅志

2013年9月9日から13日までの5日間、千葉県幕張メッセを会場として15th International Conference on Ion Sources(ICIS'13)が開催されました。本会議は、2年ごとに、各大陸持ち回りで開催され、今回は放射線医学総合研究所の主催の下、日本で開催されました。参加者数は約270名で、内訳は日本100名、ヨーロッパ90名、アジア60名、アメリカ20名です。本会議では、核融合や高エネルギー物理学等の学術分野をはじめとして、半導体等の産業分野におけるイオン源に関する最新の研究成果が発表されました。

核融合分野では、ドイツのマックス・プランク研究所のグループが開発を進めている、国際熱核融合実験炉(ITER)のプラズマ加熱用水素負イオン源の1/2スケール実験機に関して、良好な初期結果を得たこと及び今後の展望について報告がありました。核融合科学研究所からは、口頭発表2件とポスター発表2件の計4件の発表を行いました。池田勝則助教

が発表した、負イオンの動きを2次元イメージとして計測した結果に対しては特に大きな関心が寄せられ、会議最終日の総括で、注目論文の一つとして取り上げられました。(今号の研究最前線に掲載)

次回は、2年後の2015年にBrookhaven National Laboratoryの主催で、アメリカ・ニューヨーク市で開催される予定です。

(プラズマ加熱物理研究系 助教)



ICIS'13参加者の全体写真

平成25年度実験室内消火訓練を実施

核融合科学研究所では、毎年、大型ヘリカル装置（LHD）の実験期間中に、消火訓練を実施しています。今年は、プラズマ実験開始の翌日にあたる平成25年10月3日（木）に実施し、実験関係者約100名が参加しました。

訓練は、大型ヘリカル実験棟本体室内のLHD上部に設置されているLIDコイルから出火したという想定で行いました。9時15分に火災報知器を模擬発報させて訓練を開始し、インターロックによる実験停止動作を確認した後、制御室の実験責任者の指示により、安全確保や装置停止などの非常時の措置が取られました。9時37分には、現場対応班が本体室の模擬出火現場で初期消火活動を行い、2分後に模擬鎮火しました。この間、緊急連絡体制に従った関係部署への模擬連絡も迅速に行われ、一連の対応状況は制御室に掲示したチェックシートに集約されました。

訓練終了後には、非常時における、指示系統および状況確認の手順ならびに消火体制などについて、訓練内容に沿って改めて確認しました。



空気呼吸器を着用し炭酸ガス消火器による初期消火活動にあたる班員



チェックシートにより対応状況を確認する実験責任者と制御室連絡員

平成25年度防災訓練を実施

核融合科学研究所では、10月28日（月）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、関係業者など所員256名が参加しました。

訓練は、震度6弱の大地震が発生、研究所構内の食堂厨房で負傷者が発生し、出火したという想定で行われました。9時30分に地震発生を模擬放送をして訓練を開始し、統括管理者の指示により、直ちに対策本部の設置と自衛防災隊の編成が行われました。自衛防災隊は、救護班や誘導班など5つの班で編成されており、班ごとに消防署・関係機関への通報、緊急車両の誘導、実験設備の安全確認などの活動を迅速に行いました。この間に、統括管理者から一斉避難の指示が出され、訓練に参加した所員全員が構内の避難場所へ速やかに避難しました。10時45分には、負傷者の搬出、火災の鎮火、全所員の安否確認などが完了し、警戒態勢の解除とともに防災訓練が終了しました。

訓練終了後には、土岐市南消防署による高所作業車を用いた救出活動の実演や、所員による消火栓と消火器の取扱い訓練が行われました。



高所作業車による救出活動の実演



誘導班による緊急車両の誘導



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.214 (2013年10, 11月号)

〒509-5292 岐阜県土岐市下石町322-6
TEL: 0572-58-2222 (代表) 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》

本誌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。