

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.210



研究所に自生するスマレ

研究最前線 …… 2-7

「壁材の原子運動を、コンピュータで予想する」 中村 浩章
「小型電子ビームイオントラップを用いたタングステン多価イオンの分光計測」 坂上 裕之
「核融合炉材料のタングステン被覆」 長坂 琢也

特 集 …… 8-10

「国際連携部会 ～国際的プレゼンテーションの向上を目指して～」 居田 克巳
「平成24年度総合研究大学院大学アジア冬の学校(AWS2012)」 石黒 静児

特集 退職にあたって …… 11-14

「核融合を目指して40年」 川端 一男
「38年間の研究人生を振り返って」 朝倉 大和
「あつという間の研究生活でした」 富田 幸博
「これまでを振り返って」 河本 俊和

トピックス …… 14-16

「ジャパン・スーパーサイエンス・フェア2012に参加して」 柳 長門
「理科工作教室の活動について」
「高校生職場体験(インターンシップ)」
「Fusion フェスタ in Tokyoのご案内」
「ACCESS」

2013
FEB/MAR

壁材の原子運動を、コンピュータで予想する

中村 浩章

核融合科学研究所の大型ヘリカル装置(LHD)の容器のプラズマと接触する部分は、損傷を防ぐため耐熱性の高い炭素材料が使われています。最近では、タングステンなどの金属材料の検討も行われるようになってきました。このような固体の材料が、プラズマにさらされた場合の耐久性についての情報が、壁の材料を選定するために必要になります。ところが、実験ではプラズマが固体にぶつかって結晶構造が壊れる瞬間の様子を調べることはなかなか容易ではありません。そこで、「数値実験研究プロジェクト」のプラズマ壁相互作用シミュレーショングループでは、コンピュータ上で運動方程式を解いて固体原子の動的な振舞いを調べています。この記事では、ここ数年間にわたる炭素材料のシミュレーションについて紹介します。

炭素材には図1のように様々な種類の結晶構造(グラファイト(黒鉛)・ダイヤモンド・アモルファスカーボン)があります。これを同素体といいます。この物質に水素のプラズマが照射されるとどうなるかを、分子動力学法という計算方法で調べました。

分子動力学法では、数千個ないし数千万個の膨大な粒子についてのニュートンの運動方程式を計算します。本来運動方程式には、粒

子の位置座標の空間微分や時間微分の項がありますが、分子動力学法では、“微分”を“差分”という演算で近似します。また、分子動力学法では原子間に働く力を計算するためにポテンシャルが必要になります。高校の物理で習いますが、ポテンシャルを空間微分すると力を求めることができます。我々は、炭素原子と水素原子の間のポテンシャルとして、ブレンナーが1990年代にカーボンナノチューブの研究用に開発したポテンシャルを改良したものを用いました。このような分子動力学法プログラムを組み上げ、炭素同素体への水素を照射した際の反応を調べてきました。

グラファイト(図1(a))は、「ハチの巣」構造をとるグラフェンという分子が何層にも重なってできています。グラファイトにプラズ

マがぶつかった場合、炭化水素 C_2H_2 が生成されるという実験報告がありました。しかし、グラフェンは安定な分子で実験から想定されている程度のエネルギーの水素がぶつかっても炭素間の結合を切ることは困難なので、炭化水素 C_2H_2 を作り出す仕組みが分かりませんでした。この考えを確かめるため、図1(a)のようなグラファイトの上部から、水素をぶつけるシミュレーションを行いました。水素を大量にぶつくと、水素を跳ね返していたグラファイトがやがて壊れていくことを確認できましたが、予想通り炭化水素 C_2H_2 は発生せず、数個の炭素がつながった鎖状の炭素分子が発生するのみでした。そこで、我々は知恵を絞り、グラファイトの向きを変える新たなシミュレーションを行いました(図2)。今度は端にいる炭素は共有結合の手に余裕があるため水素と容易に結合し、炭化水素 C_2H_2 が発生しました。この現象により、グラファイトの端がある場合は、水素の照射に対してもろくなることが分かりました。

この現象をさらに確かめるため、図3のようにグラファイトのハチの巣構造と端部の両方に水素をぶつけるシミュレーションを行いました。その結果、グラファイトの端部が先ず壊れ、その影響で、ハチの巣構造も壊れていくという様子が確認されました。また、壊れ

た結果、端部が「棚田(たなだ)」のような構造になることが分かりました。

シミュレーションから得られたグラファイトの壊れるこのような現象が、本当に現実起きるかを調べるため、名古屋大学大学院工学研究科の大野哲靖教授に実験をしてもらいました。実験では、なるべく理想的な結晶構造に近い高配向熱分解黒鉛(HOPG)を使って水素照射をしてもらいました(図4)。照射前の試料の中央部(a)と側面部(b)には亀裂などがほとんどありません。水素を照射後には、中央部(c)は照射前と変わりませんが、側面部(d)は、「棚田」構造になりました。この実験より、我々のシミュレーション結果の正しさを裏付けることができました。

現在、我々は炭素以外のタングステンなどの物質を扱えるように密度汎関数法と呼ばれる量子力学計算を行い、核融合炉で使う候補材のポテンシャルの開発を行っています。このポテンシャルを使って、数値実験プロジェクトの炉材に関する部分のシミュレーションとしていろいろな物質材料の耐久性を調べていきたいと考えています。

(基礎物理シミュレーション研究系 准教授)

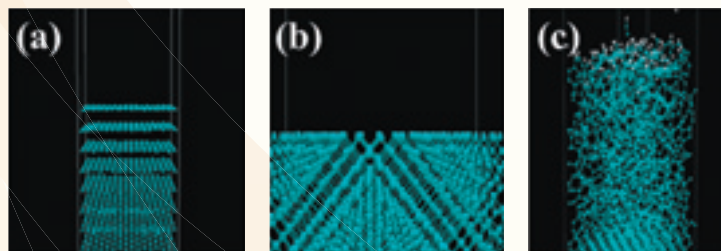


図1 炭素同素体の結晶構造。(a)グラファイト、(b)ダイヤモンド、(c)アモルファスカーボン。

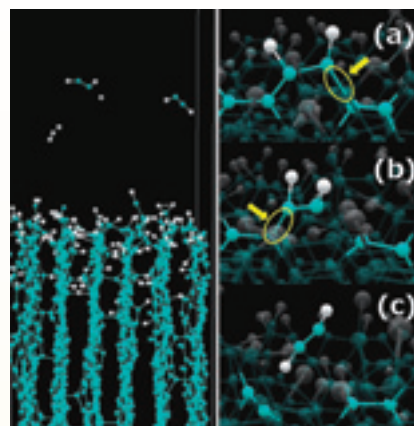


図2 グラファイトの端側に水素を照射した場合のシミュレーションの様子。炭化水素 C_2H_2 が発生することを突き止めました。青色粒子が炭素、白色粒子が水素。(a)水素がグラファイトの端部の炭素に結合することで、炭素の結合を一つ切ります。(b)そして、もう一つの炭素の結合も切れ、(c) C_2H_2 が発生する反応の様子を見つけました。

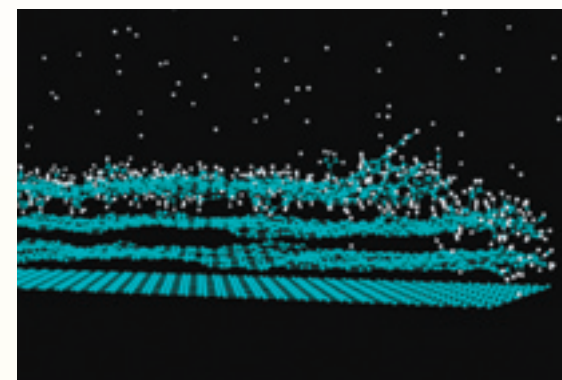


図3 グラファイトに水素を照射した場合のコンピュータシミュレーションの様子。炭素原子(青球)によって構成されたグラファイトに、写真の上方から水素原子(白球)がぶつかっています。

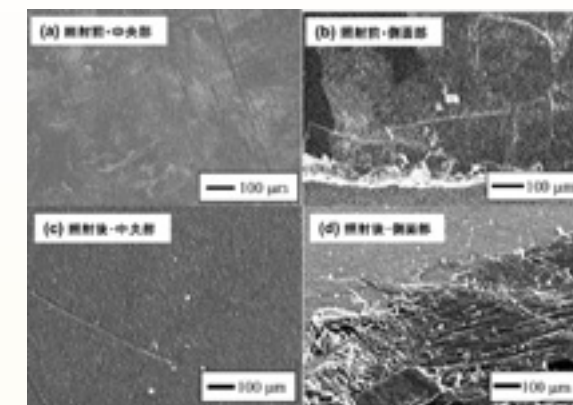


図4 黒鉛にプラズマを照射する前後の電子顕微鏡の画像。高配向熱分解黒鉛の中心部(a)は、プラズマにさらされた後(c)でも殆ど損傷していません。一方で、端部では照射前(b)と照射後(d)で比べて、層が剥がれたように壊れることが確認できました。(この写真は、名古屋大学大学院工学研究科・大野哲靖教授から提供していただきました。)

小型電子ビームイオントラップを用いたタングステン多価イオンの分光計測

坂上 裕之

原子は、中心部分に正の電荷を持った原子核とそれを取り巻く複数の電子から成っています。その一つの電子を取り去るとイオンになります。これらを一価のイオンと呼びます。Na⁺やK⁺など健康飲料等でおなじみのイオンがそうです。一つの電子ではなく複数の電子を取り去ることも可能で、そのようなイオンを多価イオンと呼び、取り去られた電子の数がq個のときq価の多価イオン(図1)と呼びます。

核融合プラズマのような高温プラズマの中では、原子はプラズマ内の高エネルギー電子と衝突を繰り返し、次々と電子を剥ぎ取られ

多価イオンになってしまいます。特に重たい原子、例えば核融合装置の壁(プラズマ対向壁)に使われるタングステン(W)という熱に強い金属の原子1個あたりには74個もの電子が取り巻いています。そのようなタングステン原子が、粒子衝撃により壁から叩き出され、ひとたび不純物としてプラズマ内部に混入すると、どんどん電子が剥ぎ取られ(イオン化)40価、50価のタングステン多価イオン(W⁴⁰⁺、W⁵⁰⁺)がプラズマ中に存在することもありえるのです。このような多価イオンはエネルギーを光として外に放出してしまうというやっかいな現象を引き起こしてしまいます。せっかくプラズマを温めているのに、混入した不純物多価イオンが冷やしてしまうわけです。従って核融合を研究する上でプラズマ中でのタングステン多価イオンの発光や挙動を知ることが非常に重要となってくるのです。そこで我々は、独自に多価イオン源Compact Electron Beam Ion Trap(CoBIT)を開発し、タングステン多価イオンをイオン源内部で制御して生成することで、核融合プラズマ中に存在するであろうタングステン多価イオンの生成過程や発光過程の基礎研究を進めています。

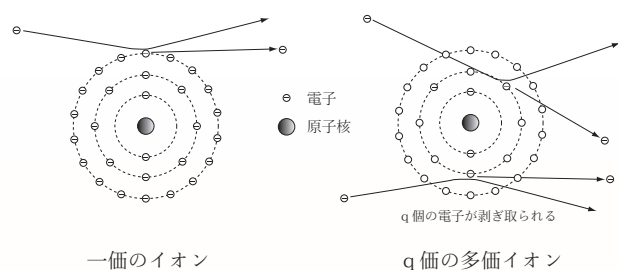


図1 多価イオンのイメージ図です。

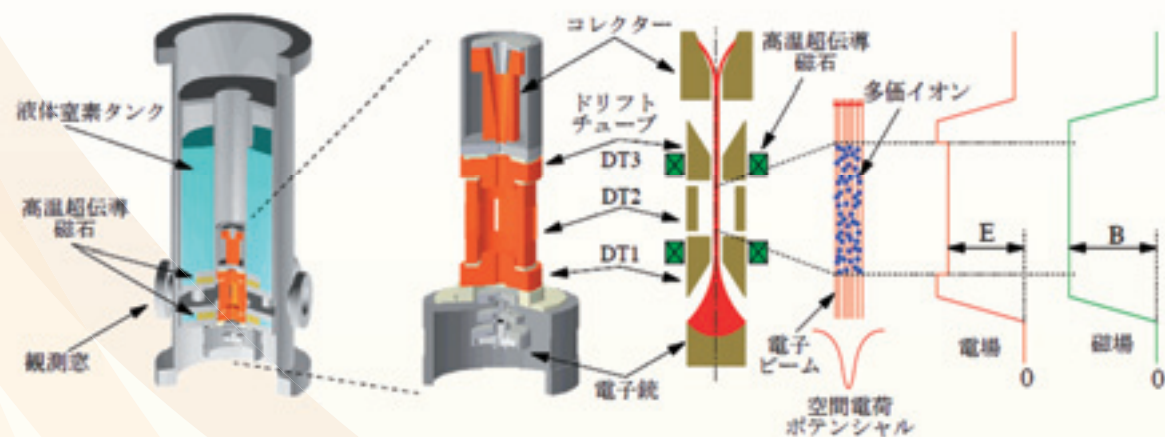


図2 CoBIT(小型電子ビームイオントラップ)の概略図です。

CoBITは電子ビームイオントラップと呼ばれる多価イオン源の一種で、図2にその概略図を示します。この多価イオン源は、高効率に多価イオンを生成することが可能で、閉じ込め領域にイオンを閉じ込め、その多価イオンからの発光を連続的に観測することができます。CoBITはイオンを閉じ込める装置とそれを貫く高エネルギー電子ビームから成り、その主な構成部品は、電子銃、ドリフトチューブ(DT1~3)、電子コレクター、超伝導磁石です。ドリフトチューブは三つに分割された円筒型電極から成り、そこに井戸型の電場Eを印加することによって井戸の部分にイオンを閉じ込めます。電子ビームの径方向には、超伝導磁石による軸方向の強磁場Bと高密度に圧縮された電子ビームのマイナスの空間電荷ポテンシャルによって(プラス)イオンを閉じ込めます。このように三次元的に閉じ込められたイオンは、高エネルギー電子によって一価が二価、二価が三価というように次から次へと電子を剥ぎ取られ多価イオンになっていきます。閉じ込められた多価イオンからの光は、観測窓から分光器に導かれ、波長に分けて観測されます。今回、我々は、このイオン源専用の分光器も独自に開発し、非常に弱い光までも観測できるようになりました。CoBITの電子ビームは、種々のプラズマ光源のような広がったエネルギーを持つ電子とは異なり、エネルギーをある決まった値にすることが可能で、多価イオンの価数を制御しやすく、従って発光線の解析も非常にシンプルになり、研究がしやすいという非常に大きな利点があります。この利点を利用し、核融合プラズマで発光するタングステン多価イオンの複雑なスペクトル(光を波長で分けたもの)をCoBITで観測した比較的シンプルなスペクトルと比較することで、その発光線群がどのような価数のイオンから光っているのかなどを解析することが可能になりました。

図3(a),(b)は、それぞれ2つの異なる電子エネルギーでの、CoBITで観測された、極端紫外(EUV)と呼ばれる波長領域のタングステン多価イオンの発光線スペクトルです。電子エネルギーの違いにより、強く発光している、つまりCoBITの中に存在する割合の大きなタ

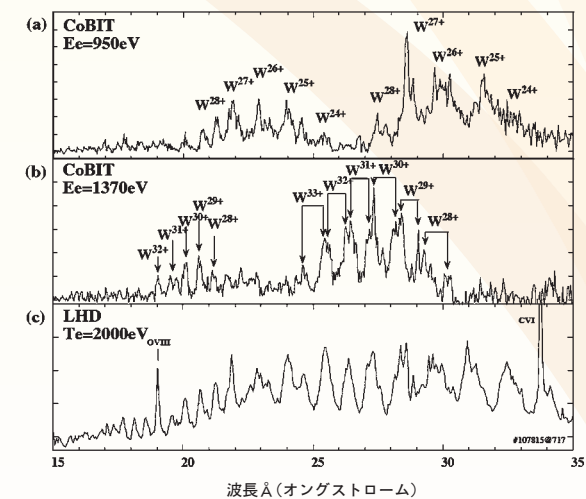


図3 (a),(b): タングステン多価イオンの価数を同定したCoBITのタングステン発光スペクトルです。それぞれ電子ビームエネルギーEe=950eV,1370eVです。エネルギーが高いと、より価数の高い多価のイオンが生成されていることが分かります。(c): LHDにタングステンペレットを入射したときの発光スペクトルです。プラズマ中心部での電子温度がおよそ3千4百万度(Te=2000eV)のときに観測されたものです。CoBITで同定した発光線群に対応したピークが表れているのが分かります。横軸の波長λ(オングストローム)の1Åは一億分の1センチメートルです。また図中、O VIIIは7価の酸素イオン、C VIIは5価の炭素イオンからの発光線をそれぞれ示しています。

ングステン多価イオンの価数が違うことがわかります。図3(c)は、大型ヘリカル装置(LHD)へタングステンのペレット(固体粒)を入射した時に観測されたEUV領域での典型的な発光線スペクトルです。これらを比較するとCoBITで現れる発光線のピークがLHDのスペクトルに表れるピークにそれぞれ対応していることが分かります。このようなプラズマからの発光線の詳細な同定は、CoBITによって初めて可能となりました。

このようにプラズマ中の多価イオンの解析に非常に有効なツールであるCoBITは、電気通信大学との共同研究により独自に開発された実験装置です。我々は本装置によって、低エネルギー領域では世界に先駆けて重元素多価イオンからの発光線スペクトルの研究を始めました。今後もより精度の高い、体系的な多価イオンデータを提供していく予定です。

(核融合システム研究系 助教)

核融合炉材料のタングステン被覆

長坂 琢也

核融合炉のプラズマに面した機器の材料表面を優れた特性を有するものに改質あるいは保護するために、基板材料の性能を劣化させることなくタングステンを被覆する技術開発が進められています。タングステンは金属の中で最も溶ける温度(融点)が高く(3410°C)、非常に重い(1ccあたり19.3g)ことなどが良く知られていますが、この他に、プラズマによる損耗率が低い(削られにくい)、燃料である水素を吸収しにくい、熱伝導率が高いなど、核融合炉で使用するのに好ましい性質をもっています。

しかし、タングステン被覆はそう簡単ではありません。タングステンは高融点であるがゆえに、どうしても被覆処理の温度が高くなり、基板材料が傷んでしまうからです。さらに、核融合炉では大面積(約500平方メートル：畳300畳分)で比較的厚い(0.1ミリメートル以上)被覆が必要となりますので、手法は限られます。

現在、被覆の手法として有望なのは、プラズマスプレー法、ロウ付け法、拡散接合法などです。プラズマスプレー法では、タングステンの微粒子を、アルゴンと水素の高温プラズマ中で溶かし、基板材料にスプレーします(図1)。溶けたタングステンは基板に到達するとすぐに冷やされて固まるので、基板が溶け

てしまうことはなく、比較的熱負荷が小さくて済みます。溶けたタングステンは基板へ当たるときの衝撃で扁平になり、被覆は扁平なタングステンが積み重なった層状構造になります。図2は実際にプラズマスプレー法でタングステン被覆をした基板材料の断面写真です。基板の材質と被覆の厚さが様々ですが、この方法は、基板の種類や形状を選ばず、スプレーの回数を変えることで被覆の厚さを自在に変えられるのが特長です。この方法によって、基板材料よりも優れた熱伝導率と強度を有するタングステン被覆に成功しました。また、この方法では溶解や焼結で作られたタングステンよりも欠陥を多く含むことも明らかになりました。図3は図2の被覆部分にある欠陥の拡大写真を示しており、プラズマ中で溶け残ったタングステンの粒子(図中のa)の周りに隙間欠陥(図中のb)ができていたり、扁平なタングステンの層と層の間に隙間欠陥(図中のc)ができていことがわかります。このような欠陥の存在により被覆タングステンの密度は熔融タングステンの密度の89%であり、その熱伝導率や強度は、密度100%のタングステンの1/2~1/3ですが、それでも基板材料よりも良いので、この程度の劣化は許容範囲と考えられます。

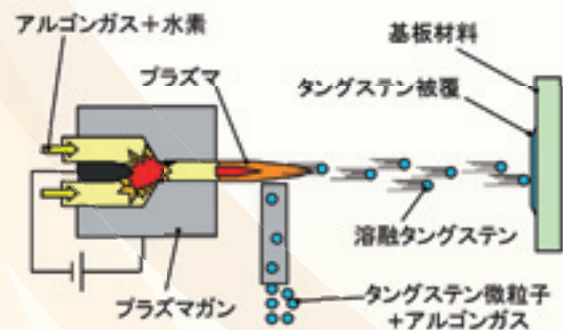


図1 プラズマスプレー法の原理

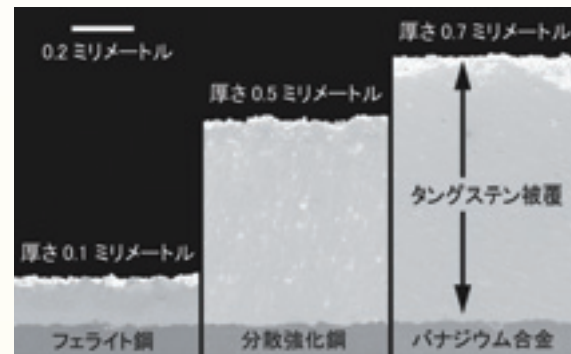


図2 タングステン被覆された核融合炉材料の断面
分散強化鋼は核融合炉用フェライト鋼の強度を改良した材料です。

ロウ付け法、拡散接合法では、上記のような隙間欠陥のない密度100%のタングステンを基板材料に貼り付けます。ロウ付け法では、タングステンよりも融点の低いロウ材(鉄などの金属に、さらに融点を下げるホウ素やシリコンが添加されたもの等)を、タングステンと基板材料でサンドイッチして、荷重をかけながら熱処理します。熱処理でロウ材が溶けて、接着剤の役目を果たします。拡散接合法は、この接着剤すら使用せず、単純にタングステンと基板材料をお互いに接触させて、荷重をかけた状態で熱処理をして、原子の拡散(陶器の焼成と同じ原理)で接合する方法です。必要な熱処理温度はプラズマスプレー法よりだいぶ高くなり、ロウ付け法で1200°C程度、拡散接合法で1500°C程度になります。この温度では基板の変質が起こることがあります。また、あらかじめタングステンを接合面と同じ形状に加工し、なおかつ接合の際に全ての面に必要な荷重がかかるようにしなければなりませんので、現実的には、ロウ付け法、拡散接合法が使えるのは比較的単純な形状での接合に限られます。

このようなタングステン被覆処理の際の熱負荷によって、基板が変質するのかどうかを、被覆後のバナジウム合金基板の衝撃試験により明らかにしました(図4)。衝撃試験では、材料が破壊するときに吸収するエネルギーを測定します。吸収エネルギーが大きいほど壊れにくく良い材料であるといえます。被覆前

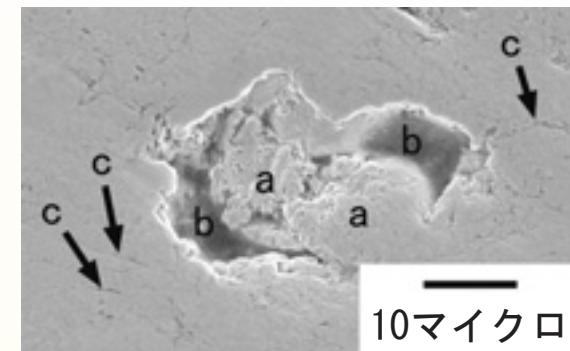


図3 プラズマスプレー被覆の欠陥
aはプラズマ中で溶かされずに残ったタングステンの粒子です。
bはその粒子のまわりにできた隙間欠陥です。
cは溶融したあとに扁平になったタングステンの層の間の隙間欠陥です。

の吸収エネルギーは84ジュールです。ロウ付け法で被覆した基板の吸収エネルギー(図中のロウ付けまま)は被覆前と同じですが、プラズマスプレー法で被覆した基板の吸収エネルギー(図中のスプレーまま)は55ジュールとなっていて、被覆前に比べて小さくなってしまったことがわかります。これは、プラズマ中に含まれる水素をバナジウム合金が吸収して硬くなり、脆くなったことが原因でした。脆くなった基板を真空中400°Cの熱処理で脱水素したところ、吸収エネルギーを被覆前の値まで回復させることができました(図中で400°C熱処理)。いずれの被覆も、被覆ままで、あるいは適切な熱処理をすれば室温の衝撃エネルギーの低下が無いことがわかりました。今後は、核融合炉環境で長時間使用した場合でも、吸収エネルギーが低下しないことを確認する予定です。

これらの被覆を核融合炉で使用できるかどうかを検討するため、現在、核融合科学研究所と京都大学、九州大学を中心とした多くの大学が参加している共同研究で、各種評価がなされています。どの被覆法が最も優れているかということ議論するのではなく、それぞれの被覆の特長を生かし、うまく組み合わせ使用することが重要です。

(核融合システム研究系 准教授)

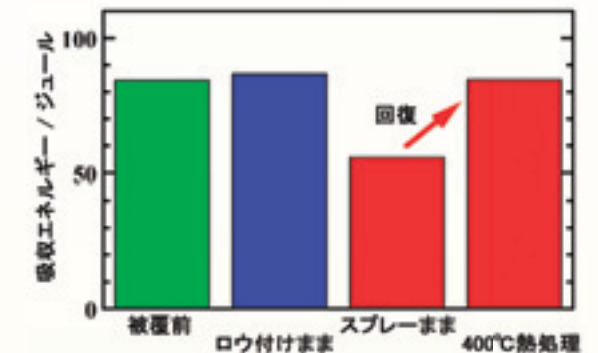


図4 室温の衝撃試験で得られた吸収エネルギー
シャルピーVノッチ試験片(寸法3.3×3.3×25.4ミリメートル)を使用しています。
縦軸は基板のバナジウム合金が破壊するときに、1センチメートル四方あたりどれだけのエネルギーを吸収するのかわわっています。
プラズマスプレー被覆後の熱処理の時間は1時間です。

国際連携部会 ～国際的プレステージの向上を目指して～

居 田 克 巳

2010年に核融合科学研究所の「連携研究プロジェクト」という組織の中に「国際連携部会」を立ちあげました。「国際連携部会」は研究所及び日本の研究者の国際的プレステージの向上を目指しています。具体的な活動内容としては、1)国際会議における招待講演・口頭発表獲得のプロモーション、2)核融合科学研究所主催の国際会議のサポート、3)新たな国際会議の主導、4)ITERへの戦略的寄与があげられます。

これらの活動の中で特に力を入れているのが、国際会議における招待講演の獲得です。一般に国際会議では、招待講演・口頭発表・ポスター発表の3種類があります。このうち、口頭発表・ポスター発表は、会議主催者が作ったホームページを見て参加する側が応募します。口頭発表は数に制限があるので、主催者側は其中で関心の高いものを口頭発表に選びます。一方、特に注目されている研究に関しては主催者側が委員会を開いて、事前に講演を依頼します。これが招待講演です。従って、招待講演を依頼されることは、その研究が世界的に高く評価されていることを意味しますので、研究者、研究所、さらに日本の研究グループにとって名誉なことです。研究の進展が急速になった昨今においては、ただ、招待講演が依頼されるのを待つだけでは不十分で、本研究所、日本の研究の成果を売り込むことも重要となっています。

招待講演・口頭発表の場所は図1に示されるような大きな会場です。会議の規模にもよりますが、100人以上の聴衆を前に日頃の研究成果を30-60分かけて講演し、その後は活発な議論が行われます。発表はプロジェクターを用いて実験データ等を示し、英語で行います。

図2に本研究所の研究者が大型ヘリカル装置の実験結果について講演している様子を示します。



図1 招待講演・口頭発表会場(第24回IAEA主催核融合エネルギー国際会議)



図2 本研究所の研究者による講演風景(第17回MHD安定性制御・米国-日本MHDワークショップ)

一方ポスター発表は、各人が研究成果を図3で示されるようにボードに貼ってその前に立ちます。そこへ他の研究者が訪れて、まさに顔をつき合わせての議論が行われます。興味深い研究成果には多くの人が集まり、人だかりができて通れないこともあります。発表時間は2時間程度です。口頭発表に比べて多くの人に聞いてもらうということではできませんが、より深い議論ができるという特徴があります。



図3 ポスター会場の様子(第1回アジア太平洋輸送作業グループ会合)

あるトピックスに特化した国際会議は100人以下の小規模なものが多いのですが、このような会議では研究成果の妥当性や重要性等の学術的な議論に重点がおかれます。そういった議論の場に積極的に参加して、自分の意見を述べる事ができる若手研究者を育てることも、本部会の目的の一つになっています。またこのような会議では参加者はお互い顔見知りで、リラックスしたムードで会議が進められることが多く、一般に図4のような記念の集合写真が撮られます。こうした雰囲気は学術的な研究に関する意見交換を行うには重要なことで、冗談を交えた講演をする研究者も多くいます。

小規模な会議のもう一つの特徴は、国際的な研究者仲間を作りやすいということです。そこでは共同研究の打ち合わせが、会議のコーヒーブレイクといわれる休憩時間に多く行われます。同じ研究を行っている外国の研究者とは日頃から切磋琢磨しながら研究していますが、研究成果の意見交換をするだけではなく、お互いが相手の研究所を訪れて共同研究を行います。コーヒーを飲みながらの雑談から、新しいアイデアが出てくるといったこともまれではありません。

国際連携部会では、本研究所の若手研究者が世界を舞台に活躍できるようにサポートしています。より多くの研究者が活躍することによって、本研究所、さらには日本の国際的評価も高まります。社会では「人は財産なり」とよく言われますが、研究所においても人材の育成が最も大事です。その財産の価値を上げることが、国際連携部会の役割だと考えています。国際連携部会で支援を行った国際会議発表に関してはhttp://www.nifs.ac.jp/crp/kokusai_renkei.htmlに詳細を掲載しています。

(連携研究プロジェクト 国際連携部会部会長)
(高温プラズマ物理研究系 教授)



図4 会議の参加者の集合写真(高温超伝導体の核融合マグネット応用に関する第1回国際ワークショップ)

平成24年度総合研究大学院大学アジア冬の学校(AWS2012)

石黒 静児

平成25年1月29日から2月1日まで総合研究大学院大学(総研大)アジア冬の学校(AWS2012)が核融合科学研究所(NIFS)で開催されました。海外からは中国、韓国、インド、台湾、エジプト、ロシア、ハンガリーの7つの国と地域から15名、国内からは9名の総計24名の参加がありました。初日の開校式では小森彰夫所長の歓迎の挨拶の後、研究所図書館棟前での記念撮影、核融合科学研究所の紹介などが行われました。

2日目には核融合研究の発展、プラズマ粒子シミュレーション、核融合炉の燃料供給の研究に関する講義があり、その後、参加者および総研大生をはじめとするNIFSで活動している学生や研究者のポスター発表会が開催され活発な議論が行われました。このポスター発表会は核融合科学専攻で学ぶ総研大生の研究活動を理解してもらうとともに参加者とNIFSスタッフとの交流を図ることを目的として毎回開催されています。

3日目には、周辺プラズマ、材料のシミュレーションおよび電磁場計測に関する講義、大型ヘリカル装置(LHD)の見学、バーチャルリアリティ(VR)装置ComplexCopeでの3次元仮想空間体験が行われました。LHD見学では実際の大型装置とともに過去に作られた装置なども見学し、VRでは、参加者一人一人が実際に装置を操作してVR空間を移動しながらシミュレーションデータの解析を行う



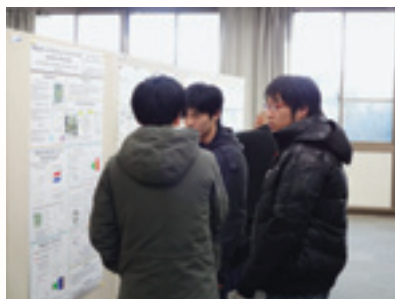
参加者による集合写真

など、貴重な体験をしました。最終日にはジャイロ運動論シミュレーションの講義および総研大の紹介に引き続いて閉校式を行い、4日間のスケジュールを終えました。

この総研大アジア冬の学校は総研大物理科学研究科の5専攻の教育・研究活動を国内外の学生や若手研究者に広く供するために、平成16年度より開催されています。本年度は、「世界を眺める新しい目」を5専攻共通テーマ、「プラズマ物理と核融合科学における複合的アプローチ」を核融合科学専攻のサブテーマとし、例年と同様にシミュレーション科学教育講座との共催として行われました。

参加学生の中には総研大への進学希望者もあり、総研大およびNIFSの活動を国内外に知ってもらうための企画として重要な役割を果たしています。

(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/併任)



ポスター発表の様子



バーチャルリアリティ装置ComplexCopeでの3次元仮想空間体験

「核融合を目指して40年」

川端 一男



今年の3月で40年以上に渉る研究生生活にピリオドをうつことになる訳ですが、名古屋大学プラズマ研究所に就職してから早いもので35年を越えてしまいました。大学院生時代を含めると40年以上の時間が過ぎてしまったこととなります。その頃よく言われていたことに大学院生の三種の神器があります。それは期限内に博士号を取り、就職し、家庭を持つことであったと記憶しています。私自身はその教えを忠実に守ったことになる訳ですが、その頃、大学院生一人に対して、ほぼ1台の実験装置があり、ほとんど一人で全てのことをやらなくてはならない時代であり、今は大きな違いがありました。私自身は比較的大きなグループに所属していましたが、それでも装置の保守からプラズマ発生、その計測までをほぼ一人でこなすこととなります。

本島前所長とは、博士コース3年を迎えたプラズマ若手の夏の学校の校長と副校長として運命的な出会いを感じました。本島前所長は、ヘリオトロン装置でのプラズマ生成と加熱、私はJIPP-IVステラレータ装置での、プラズマ生成と加熱に取り組んでいました。同じヘリカル系でのプラズマ生成と閉じ込め研究であり、モスクワで開催された国際会議でその成果を発表した記憶があります。

大学院を修了して、プラズマ研究所に就職することになりますが、その頃やっと高温のプラズマの生成に成功したと記憶しています。JIPPT-IIの時代には、私自身は装置の組み立てから参加したことになる訳ですが、ここでは、主にプラズマ計測を担当しました。丁度、高温プラズマの発生、その加熱、計測に分かれていった時代に相当します。ここでは、高温のプラズマをいかにして生成し閉じ込めるかが大きな問題でした。丁度、トカマク装置の全盛期を迎えることとなります。

平成元年に核融合科学研究所が誕生します。研究所の職員として、プラズマ計測研究系に所属してからは、大型ヘリカル装置(LHD)の建屋の建設とプラズマ計測を担当することになる訳ですが、平成10年の3月末に最初のプラズマの火が点いたときは興奮しました。私にとって、初めての超伝導装置でのプラズマ発生となりました。今までトカマク装置の接線画面しか見たことがありませんでしたが、ヘリカル装置での初めてのプラズマは磁気軸付近より立ち

上がり、そこで消えていくプラズマでした。この様子に感動を覚えたものです。この後、後に企画調整官となる濱田元主幹と一緒にLHDのプラズマ計測を立ち上げていきました。

LHDの実験が順調にスタートした後、計測実験棟の2階の施設を利用して、毎年夏の終わりの2週間にわたって平成17年度より賢材塾を実施してきました。地元岐阜県の次代を担っていく若手経営者を中心として毎年20名程度を募集して実施してきました。初回は、柳田元岐阜大学学長を中心として、3回目からは澤岡大同工業大学学長を中心として実施し、技術のわかる経営者を育てることを目的として開催してきました。



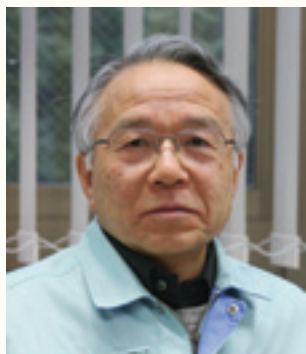
平成16年度より高温プラズマ物理研究系主幹として、LHDの計測機器の配置や測定を担当しました。LHDの実験が順調に立ち上がったこともあり、次代を担っていく若い人の教育、大学院生教育が重要となります。この関係では、総合研究大学院大学の授業を担当することになりました。この1月に初めての総合研究大学院大学卒業の教授が誕生したこととなります。核融合研究は、ITER時代となり、2020年代の後半にその結果を待つこととなりますが、若い人材の新しい感覚に期待したいと思います。

最後になりましたが、核融合プラズマの研究に取り組んで40年以上になりますが、最初はもう少し早く実現出来るのでは?と思いましたが、核融合発電はまだ実現していません。皆様のご努力に期待したいと思います。

(高温プラズマ物理研究系 研究主幹)

「38年間の研究人生を振り返って」

朝倉大和



原子力エネルギー開発に憧れて、大学で原子核工学を学び、卒業後は日立製作所の研究所で原子力発電プラント関連の研究開発業務に従事することになったのが社会人としての研究人生の始まり(1975年)となりました。

日立在籍時は、研究所、工場でBWRプラント(沸騰水型原子力発電所)の水質管理面からの放射能低減技術の開発に従事してきました。技術開発のねらいは定期検査時に作業従事者が受ける放射線被曝量の低減です。GEから技術導入した初期のプラントに比べて、日本で改良した最新プラントの被曝実績は1/10以下に低下しており、その一部に水質面での改良技術も貢献できたかなーと思っています。水質管理面での改善技術は効果が一定せず、“水もの”と悪口を言われることもありましたが、それなりに生きがいと満足感も感じてました。

当時の研究人生を振り返って感じるのは、企業における研究活動には常にビジネス的な制約が避けられないという厳しい現実です。研究所に入所した頃は会社の業績も好調で、自発研究と言われる基礎研究にも潤沢な予算配分がなされました。当時の研究所長の意向もあり、海外の一流の研究者との議論を積極的に奨励する雰囲気の中で、自己満足に終わる研究も多かったと思いますが、充実した研究の思い出を重ねることができました。その後、脱原子力の世論の強まりとともに、日立の原子力事業の業績も厳しくなり、研究にもコスト意識が要求されるようになりました。特に工場に移り、研究所に依頼研究を出す立場になってからはその苦労を日々味わいました。理屈は単純で、研究予算として1千万円/年を維持しようとする、企業ではこの研究で10億円/年の売上(利益率1%として)

を見込む必要があります。

25年間勤めました日立製作所を退社し、2001年の1月1日から核融合科学研究所・安全管理センターに奉職し、以来12年間、新しい研究人生を歩ませていただくことになりました。核融合開発研究というよりは、安全管理という裏方的な業務が主体になりましたが、毎年度の研究予算獲得の苦労からも解放され、自由闊達な雰囲気の中で大学や民間との共同研究や科研費特定領域研究も含めて充実した研究人生を再び経験させていただくことができました。

そのような中で、「3.11」の大震災が発生し、それに伴う福島原発事故の惨状はそれまで確固としていた原子力研究者としての人生観を根本から揺さぶるインパクトがありました。2年近く経過後の現状を見るにつけ、脱原発の世論の高まりはよく理解できます。一方、日本のエネルギー事情や電化社会の現状を考えると、原子力エネルギーの安全な有効利用はこれからも追究すべき課題と理解せざるを得ません。そのためには、原子力の安全研究や核融合炉の実用化研究の推進への大学や国の研究機関による真摯な貢献がますます重要と感じています。また、“放射能”なるものを一方的に拒否しないで、**相手をよく知って、上手に付き合うこと**に対する国民のコンセンサスが必要不可欠と思うこのごろです。

最後に、38年間の研究人生を振り返り、多くの人々に支えられてきたことを痛感しています。核融合研で長年担当させていただいた放射線取扱主任者や衛生管理者業務も含めて、日々サポート下さったいろんな場面を思い出しつつ心から感謝いたします。有難うございました。

(装置工学・応用物理研究系 教授)

「あっという間の研究生活でした」

富田幸博



これまでの研究生活は長いようでもあり、あっという間に過ぎたようにも感じられます。最初にプラズマ・核融合に興味を持ったのは、高校生の時に新聞で「名古屋大学プラズマ研究所」の記事を見た時でした。そして大学4回生で研究室を選ぶ際に、この研究が進んでいました「板谷研究室」を選択しました。そこでは板谷良平先生が実験、百田弘先生が理論、そして阿部宏尹先生がシミュレーション研究を遂行されており、活気ある研究室でした。それ以降プラズマ・核融合の研究を続けてきました。百田先生と理論研究を行っていらっしゃいました先輩に若谷誠宏、滝塚知典、関省吾、平野洋一らの諸先生がおられ、後輩には福山淳、内藤裕志、中島嘉徳などの先生がいらっしゃいます。今から考えれば錚々たるメンバーでした。大学時代は百田先生のご指導で理論研究を行い、百田先生の先進性もあるのですが、将来の核融合であるアドヴァンスド燃料核融合の理論研究を始めました。その間、百田先生からは研究の厳しさを学びました。当時、就職浪人も珍しくなかったのですが、幸い名古屋大学・プラズマ研究所の毛利明博先生の相対論的電子ビーム(REB: Relativistic Electron Beam)によるプラズマの閉じ込め実験のグループに加わることができました。昨年定年退職された成原一途先生が既に実験を行っていらっしゃいました。そこでは、実験データ収集と解析のための計算機システムの構築を行いました。REB発生用のMarx generator(多段式インパルス発生器)の点検修理などで油まみれのことも多々ありました。その後、核融合科学研究所設立の折りに毛利先生は京都大学に移られ、プラズマ研究所に移られていた百田先生とD-³He燃料核融合の理論研究を再開しました。この燃料核融合は中性子の発生が少なく、反応生成物の多くが荷電粒子ですので高効率のエネルギー変換が期待されますが、100キロ電子ボルトの高温プラ

ズマが要請されて、シンクロトロン輻射損失を減少させるために高ベータプラズマ配位が要請されます。その一つが磁場反転配位(FRC: Field-Reversed Configuration)で、それを用いた核融合炉設計の共同研究を行いました。それは全国的な共同研究で、大阪大学の後藤誠一、大井正一、日本大学の野木靖之、新潟大学の石田昭男、九州大学の西川正史など多くの諸先生の協力で「D-³He/ FRC 核融合炉“ARTEMIS”」として結実しました。その後FRC研究も進展してきましたが、高ベータプラズマ配位の研究推進が望まれます。

その後、核融合科学研究所では周辺プラズマの研究を開始し、羽鳥尹承先生や朱少平さんと粒子シミュレーションを用いたプラズマの接する壁近傍のシース形成の課題に取り組みました。そんな折に共同研究者のウクライナ・キエフ大学Yuri Chutov教授からRoman Smirnovさんを紹介され、総研大の学生として迎え入れました。理論解析と粒子シミュレーションを用いた研究で、プラズマの接する壁近傍の微粒子(ダスト粒子)の振る舞いを明らかにしました。その後、彼はカリフォルニア大学サンディエゴ校でトカマクプラズマ中でのダスト粒子挙動解析コードを開発しました。私も独自にプラズマ中でのダスト粒子挙動解析コードを開発し、日中協力事業として、中国科学院等离子体物理研究所の罗广南教授、核工業西南物理研究院の严龙文教授の研究グループとダスト粒子に関する共同研究を推進しています。

まだまだやりたい研究が多くあり、核融合エネルギー開発にお役に立てるかどうかわかりませんが研究を続けるつもりです。

これまでの間に多くの方々にご協力をいただき誠にありがとうございました。

(核融合理論シミュレーション研究系 准教授)

「これまでを振り返って」

河本 俊和

私は名古屋大学プラズマ研究所に文部技官として採用され約37年間、研究所で過ごしました。東山サイト時代は、プラズマ基礎実験を支援するため、真空、弱電、高周波、低温、計測の技術などを修得し、また、ルビーレーザーを用いたトムソン散乱装置(光路設計、迷光対策、レーザー発振と受光、データ取込と処理、その他)で物理計測を担当していた時期もあり、プラズマ実験にも関わることが出来ました。期間限定で「高周波封じ込め機構を利用したリチウム同位体分離」実験の為、磁場発生コイル以外は一から設計し、それを元に製作してもらい、実験装置を研究者に提供できたことは、機械屋としてのモノづくり冥利に尽きると思っています。ただ、装置の名付け役も仰せつかりましたが、最後まで正式名称を付けなかったことが、今となっては悔やまれます。土岐サイトの前半は、プラズマの追加熱手段としての中性粒子入射装置の部分設計(真空排気系、プラズマ電極、その他)や装置

運転、保守全体、人材育成(運転員を含む)などに携わりました。後半は、プラズマ計測各種機器の全体把握や各計測機器の運転保守支援、人材育成などに携わり、2年前より計測機器等共同利用小委員会委員の一員として、全国のプラズマ・核融合関係者に各種計測機器共同利用貸出の利便性を提供してきました。また、文部科学省が専門高校等向けに全国規模で企画、実施していた「日本版・デュアルシステム」で、近隣の工業高校3年の生徒数名を核融合科学研究所の受入れ担当組織の一員として、約7年間座学を含み実学としての科学実験等を研究所内で生徒と一緒に、高校内部で年度末にある発表までを一サイクルとして対応してきました。その他、毎年開催される研究所のオープン・キャンパスや東京お台場の日本科学未来館で、小学生向けのロボット工作企画の責任者やスタッフとしての活動も行ってきました。このように、今までハード(装置)とソフト(人)のバランスを保ちながら仕事が出来たことは、私を取り巻く多くの方々のお付き合いの中で、皆さんに育ていただいたお陰であったと心から感謝しております。長い間本当にありがとうございました。

(技術部計測技術課課長代理)

TOPICS トピックス

ジャパン・スーパーサイエンス・フェア2012に参加して

柳 長門

2012年11月に京都市の立命館高等学校において開催された第2回ジャパン・スーパーサイエンス・フェアに参加し、「人工太陽-核融合の実現と人類の融合に向けて」と題した英語講演を行いました。立命館高校は長年にわたり科学教育の国際化に取り組んでおり、スーパーサイエンスハイスクール(SSH)事業の一環として海外の高校生を招待して科学研究発表会を行っています。今回は19の国と地域から30校130名の高校生と50名の先生方が来日し、日本国内10校の高校生と一緒に一週間の科学イベントを楽しみました。

私の講演では、環境問題や再生可能エネルギー、原子力エネルギーについて話をした後、今世紀半ばに「第3の選択肢」となることが期待される核融合エネルギーについて研究の現状やその意義について説明しました。特に、国際熱核融合実験炉ITERプロジェクトに象徴されるように核融合研究は国際協力が最も活発な分野であるとともに、それなくしては実現が難しいことを話したところ、国際的な視野を持つ高校生達に熱心に聞いてもらうことができました。また、講演の途中には3次元超伝導磁気浮上列車の実演を行い、大いに楽しんでもらいました。参加した高校生達の学力レベルとモチベーションの高さには驚きの連続でしたが、同時にこの企画を長年にわたって成功させている立命館高校の先生方の努力に感銘を受けました。言語や人種を越えて集まった高校生達の目の輝きに、未来への期待が高まりました。

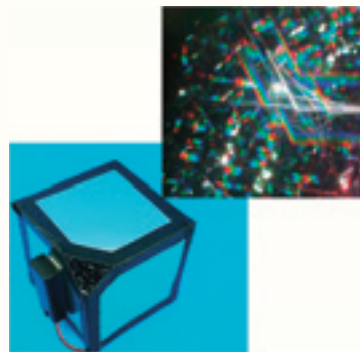
前回に引き続き今回もこのイベントに核融合科学研究所のSSH受け入れ活動の一環として参加しました。

(装置工学・応用物理研究系 准教授)



ケニアの高校生、先生と一緒に記念撮影

理科工作教室の活動について



星空万華鏡



レーザーガン型の光通信機



松ぼっくりのクリスマスツリー

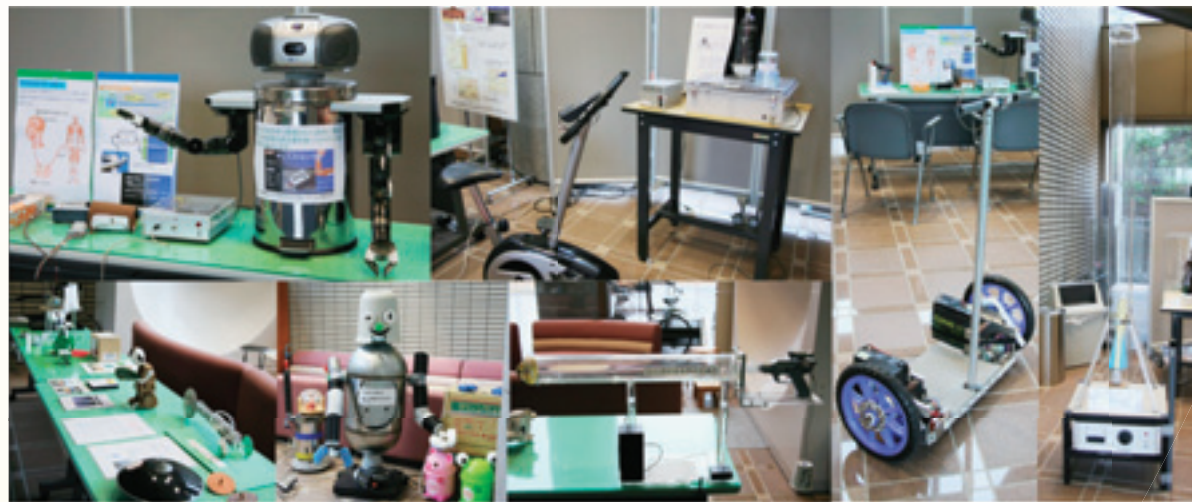
『星空万華鏡』『レーザーガン型の光通信機』『松ぼっくりのクリスマスツリー』を御存知でしょうか？

核融合科学研究所(NIFS)では、広報活動の一環として、科学の面白さを伝えるために、主に東濃三市の児童を対象に、地元地区の児童館等へ出向いて理科工作教室を行っています。

今年度の活動実績としては、34件(児童数約1,200人)の理科工作教室を実施しました。内容をご紹介しますと、先に挙げた他にも、『パネ電話』『迷路脱出口ロボット』『ミラクル花火』『UFOブーメラン』(まだまだたくさんありますが紙面の都合上割愛させていただきます。全部ご紹介できないのが惜しい!)などがあります。これらは、発案から材料の準備、工作指導までNIFSスタッフによって行われています。工作教室に参加した児童らは、工作作業に没頭し、出来上がった作品を通して科学の不思議に触れていました。児童らの科学への興味である「なぜ？」がたくさん生まれています。また、科学工作教室は科学への興味だけでなく、地域児童の交流の場としても役立っています。

NIFS所内でも、キッズコーナーとして理科工作教室活動の作品に触れていただくことができます。こちらには、山内健治先生の考案されたたくさんの科学玩具や多治見工業高等学校との教育連携活動からヒントを得た電磁力ロケットやセグウェイ型二輪車(小さなお子さまなら乗ることができます。)が展示されています。

最後になりましたが、今後ともNIFSの活動を広めるとともに、児童へ科学の楽しさの普及に努めていきますので、よろしくお願いいたします。



キッズコーナーに展示されている科学玩具

高校生職場体験

核融合科学研究所では、高等学校との教育連携活動の一つとして、2月5日から7日までの3日間、岐阜県立土岐商業高等学校の生徒の職場体験を受け入れました。参加した8名の生徒は、技術部と管理部に分かれて、核融合研究を支える様々な業務を体験しました。



Fusion フェスタ in Tokyoのご案内

未来エネルギーとして期待されている核融合の研究を紹介する『Fusion フェスタ in Tokyo』が、日本科学未来館において平成25年5月3日(金・祝)に開催します。講演のほか、ご家族で楽しめる科学工作体験、科学教室もあります。皆様のお越しをお待ちしています。

開催日時：平成25年5月3日(金・祝) 10:00~17:00(最終入場16:30)

会場：日本科学未来館 7F(東京都江東区青海2-3-6) 入場無料

特別講演：『新機軸イオンエンジンが拓く「はやぶさ」1号/2号小惑星探査』

宇宙航空研究開発機構・月惑星探査プログラムグループ

プログラムディレクター・はやぶさ2プロジェクトマネージャー 國中 均

[お問い合わせ先]

自然科学研究機構 核融合科学研究所 管理部研究支援課 〒509-5292 岐阜県土岐市下石町322-6 TEL: 0572-58-2040

URL: <http://www.nifs.ac.jp/welcome/tokyo2013/index.html>

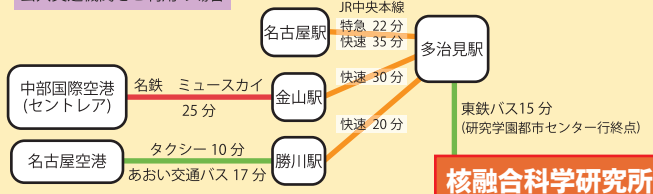


昨年の会場の様子

アクセス ACCESS



公共交通機関をご利用の場合



高速道路をご利用の場合

- ・中央自動車道 多治見または土岐 IC から 20分
- ・東海環状自動車道 土岐南多治見 IC から 5分

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.210 (2013年2, 3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、直接本研究所へご連絡ください。