

NIFS NEWS

ISSN 1884-1600

NIFS

No.243



総研大・核融合科学専攻「夏の体験入学」参加者集合写真

2018 AUG/SEP

>>> 特集 …… 2-3

総研大・核融合科学専攻「夏の体験入学」

高橋裕己

>>> 研究最前線 …… 4-7

設計の弱点を見抜く「技」～クライオポンプの熱構造設計～

村瀬尊則

デマンドリアルタイム監視システムの開発

長原一樹

>>> トピックス …… 8

核融合科学研究所創立30周年記念事業「核融合エネルギー研究推進基金」ご支援のお願い

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

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」

高橋 裕 己

8月20日から24日までの5日間の日程で、核融合科学研究所（以下「NIFS」）において、「夏の体験入学」を開催しました。

NIFSに併設されている国立大学法人・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、2004年から毎年「夏の体験入学」を開催しています。同専攻では、「夏の体験入学」を総研大核融合科学専攻の志望者獲得を第一義的な目的とし、さらに、将来の核融合エネルギーの実現に向けた人材育成、社会への情報発信・広報等を重要な位置づけとして、大学の1年生から4年生及び高等専門学校（高専）の4、5年生と専攻科生を対象に行ってきました。15回目となる今回は、38名（内訳：大学生25名、高専生13名）が参加しました（表紙写真参照）。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」に宿泊しながら、核融合研究の最前線を体験しました。

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、同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・計測系から7課題、核融合工学系から4課題、解析・理論・シミュレーション系から3課題の計14の課題が用意され、各課題に2名から3名の学生が、申込時に表明していただいた希望に沿って配属されました。

体験入学の1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及び参加学生の自己紹介後、大型ヘリカル装置（LHD）の実験設備並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にして感心している様子でした。その後、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で、参加学生は教員や在学生との交流を深めていました。

実習が行われる2日目から4日目までは、毎日朝礼で始まりました。朝礼後、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扱っている実験機器や計算機を用いて、専門的な研究課題に熱心に取り組んでいました（写真1）。2日目の夕方に、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、LHDに代表される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。特別講義の聴講を終えた後、研究者へのキャリアパスに関心のある学生を対象に、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。この企画は



写真1 研究体験の様子



写真2 竹入専攻長による特別講義の様子

任意参加でしたが、結果、34名の学生が出席し大盛況でした。NIFSの若手研究者2名をパネリストに迎え、座談会形式で、どういった道筋を経て核融合研究者になったのか、研究者になるために大事なことは何か、など、いくつかのテーマでパネリストの経験から発表が行われ、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、各々関心のあることをパネリストに質問し、大変参考になったようです。

5日目最終日の報告会では、実習成果の概要を要領よくまとめて各課題1分で口頭発表するプレポスター発表を行いました。その後、苦労して仕上げたポスターが掲示された会場で、報告会参加者ら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生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、他の教員や在学生、職場体験で訪れていた地元の中学生ら、多数の参加があり、会場は活気に溢れていました。(写真3)。

報告会の後、NIFSの岡村昇一特任教授から各発

表に対する講評、榊原悟副専攻長からの専攻紹介及び入学案内が行われ、最後に竹入専攻長から閉会の挨拶があり、全日程を終了しました。

最終日に参加学生が提出した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伺えました。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。体験入学に参加した学生の中から、数年後、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総研大核融合科学専攻のホームページ (<http://soken.nifs.ac.jp/open/>) 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的事业」及び「コース別教育プログラム」並びに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。

(プラズマ加熱物理研究系 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/兼任)



写真3 ポスター発表の様子

設計の弱点を見抜く「技」～クライオポンプの熱構造設計～

村瀬 尊 則

『探偵術において最も重要なのは、数多くの事実の中から、どれが付随的な事柄でどれが重大な事柄なのかを見分ける能力です。』これは名探偵シャーロック・ホームズの小説に出てくる台詞ですが、エンジニアにとっても、この「探偵術」は必要不可欠な能力です。特に、設計の初期段階において、設計のどこに問題が存在するのかを見つけ出すのは名探偵（ベテラン設計者）でも容易ではありません。そこで活躍するのが、探偵7つ道具ならぬ、シミュレーション技術「CAE解析」です。コンピュータを使う設計というと、CAD（Computer Aided Design）を思い浮かべる方がいらっしゃるかもしれませんが、CADはコンピュータで図面設計を支援する技術、一方、コンピュータ上での実験に当たるのが、CAE（Computer Aided Engineering）です。今回は、大型ヘリカル装置（LHD）内部で使う真空排気装置の一つである「ダイバータクライオポンプ」（詳細は、NIFSニュース2017/223号の「研究最前線」をご覧ください）を例にして、CAE解析を活用した設計についてご紹介します。

図1に写っているドーム型の装置が、クライオポンプです。ご覧のとおり、長細い装置で、断面のサイズは約20センチメートル、長さは約3メートルあります。金太郎飴のように、どこで切っても同じ断面構造となっています。LHDの内部には、プラズマにならなかった余分な水素ガスを速やかに取り除くダイバータと呼ばれる排出機構があり、

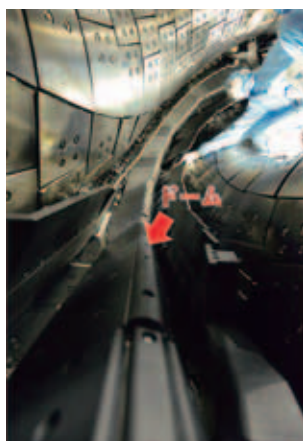


図1 真空容器内に設置されたクライオポンプ

その排気ポンプとして使われるのがクライオポンプです。クライオポンプの中には、無数の細かい孔を持つ活性炭が貼り付いた吸着パネル（図2）が内蔵されています。活性炭をマイナス250度以下に冷やすと、ポンプ機能を発揮するようになります。そのため、吸着パネルの周りに防護壁

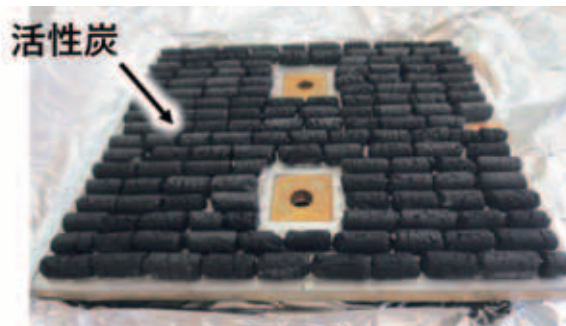


図2 クライオポンプ内部の吸着パネル。表面には活性炭がびっしり貼り付けてあります。

（シールド）をつくり、1,000度以上に加熱されるダイバータ板の輻射熱（太陽や薪ストーブの熱など、直接電磁波で伝わる熱のことをいいます）から守らなければなりません。その一方で、ポンプとして機能するには、できる限り大きな排気口も必要です。このように相反する条件を、図1のような狭い場所でクリアしなければならないのです。

そこで、まず図3のような断面構造のプロトタイプが設計されました。プラズマの熱から守るため、ドーム型の耐熱タイルが配置され、その下にクライオポンプが設置されています。クライオポンプは、ルーバーと呼ばれるブラインド形状の排気口を持った水冷シールドと液体窒素シールドで冷却されるシールドの、二段階のシールドで吸着パネルを守っています。この構造は、従来の経験やノウハ

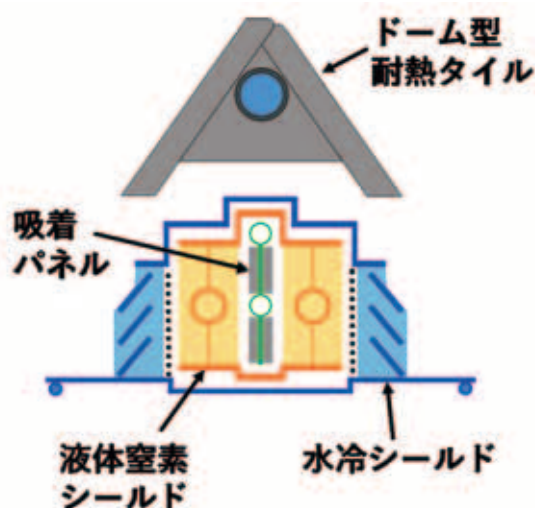


図3 プロトタイプ型クライオポンプの断面模式図

ウに基づいて設計されています。これをLHDに合った、熱に強く、高性能なポンプへとパワーアップすることが、今回の使命です。

さて、いよいよここからCAE解析の出番です。3次元CADで製作した構造データを使い、密度や比熱、熱伝導率（熱の伝わりやすさ）といった材質を設定し、周囲から輻射熱を加えます。さらに、冷却水の温度、真空容器への固定方法など、できるだけ実際の環境に近い条件を模擬して計算を行います。このCAE解析のおかげで、計算結果として各シールドの温度分布（図4）、熱による変形、応力やひずみ量など様々な情報が手に入ります。探偵ホームズは、靴に付いた土など一見些細な物事をよく観察し、事件を解く鍵となる証拠を見つけ、事件の真相に迫っていきます。今回の『事件』は、吸着パネルの温度が思ったように下がっていないことでした。そこで熱の流れを確認すると、冷却水の流量で決まる冷却水で除去可能な最大熱量に対して、実際に除去されている熱量が2割程度の低い値に留まっていることが分かりました。ここに着目し詳しく調べてみると、水冷シールドに来た熱の一部がそのまま通過してしまい、その結果、液体窒素シールドや吸着パネルの負担が大きくなっていることが分かりました。この手掛かりから、「もっと熱をしっかりと受け止める水冷シールド構造にできないか?」、「ルーバーを無くし、排気口を下にすればどうか?」、「窒素シールドも簡素化し

て、より排気しやすい構造にできないか?」などの改良案が浮かんできました。このコンセプトをもとに20種類以上の設計案をCAE解析で検討した結果、多くのアイデアを盛り込んだ図5のような構造にたどり着きました。また、構造の検討には3Dプリンターで作った模型（図6）も活用しています。頭の中に描いたアイデアを、実際に手に取って形状を実感できるので、新たな改善提案にも役立ちます。

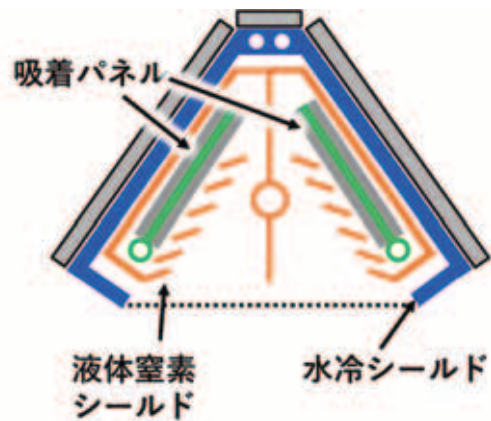


図5 CAE解析を用いて改良したクライオポンプの断面模式図



図6 3次元CADのデータをもとに3Dプリンターで製作した改良型クライオポンプの模型

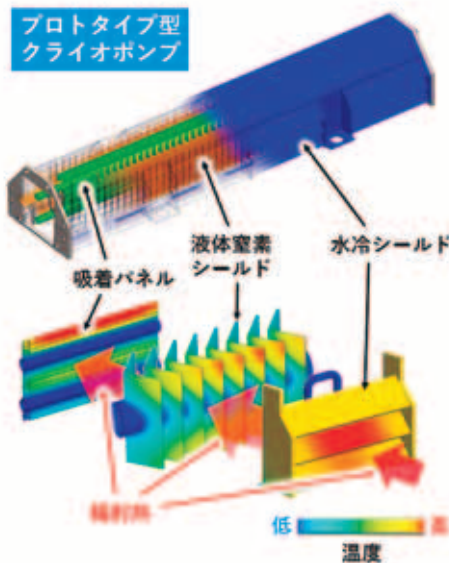


図4 プロトタイプ型クライオポンプのCAD図およびCAE解析の結果（温度分布）

こうした設計プロセスにより、LHDに適合する耐熱性の高い構造が実現できたほか、吸着パネルの面積は2倍以上に改善し、高性能化させることができました。このような熱構造設計を経て、クライオポンプはLHDに設置され、現在、多くのプラズマ実験で使われています。

今や設計になくてはならない、道具というより探偵ホームズの相棒「ワトソン」のような存在となっているCAE解析。この瞬間にも、新たな装置を生み出すべく設計の最前線で活躍しています。

（技術部装置技術課 実験応用技術係長）

デマンドリアルタイム監視システムの開発

長原 一樹

プラズマ実験には、大きな電力を必要とする装置が数多く使われます。その中でも特に大きな電力を使用する装置には、プラズマを加熱する装置や、超伝導コイルに供給する液体ヘリウムを作る装置などがあります。プラズマ実験用電力の受電システムは、1つのシステムに不具合が発生したときのために予備のシステムが1つあります。また停電が発生

して電力会社からの電力供給が停止した場合、各種装置は停止してしまいますが、連続で運転し続けなければならない装置も多数あります。その対策として停電時には自家発電機の電力に切り換えます(図1)。

一般のご家庭の電力は、使用できる最大電流の大きさ(アンペア)で契約されます。契約のアンペアより大きい電流を使用した場合はブレーカが落ちます。一方、工場や病院など大きな電力を使う施設では、過去1年間で使用した電力の最大値によって毎年契約が更新されます。使用電力はデマンドメーターによって測定されます。デマンドとは、30分間の使用電力の平均値です(図2)。つまり使用電力は30分ごとに測定されます。

核融合科学研究所では、1年のうち約4ヶ月のプラズマ実験期間に大きな電力が使用されます。その中でも数日の実験では特に大きな電力が使用されます。もしプラズマ実験期間にデマンドが契約の値を超えると、その時点で当初の契約より高い電力で契約が更新されます。一般家庭と同様、契約電力が上がれば基本料金も上がります。とはいえ、プラズマ実験のための電力が、経費削減のために減らされては本末転倒です。よってプラズマ実験を最優先しつつデマンドを契約の値以内とするために電力監視が必要となります。

従来は、デマンドの変化を定期的に表示する所内限定のwebページを作り、それを使って電力監視を行っていました。webページではプラズマ実験用電力全体のデマンド値と、主な装置の使用電力を監視することができます。図3のようにデマンドは数値またはグラフで見ること

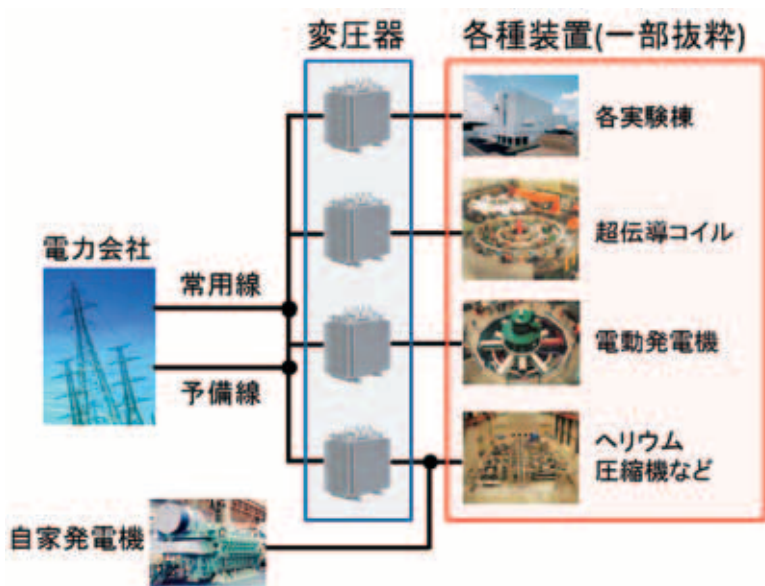


図1 プラズマ実験用の受電設備(概略図)

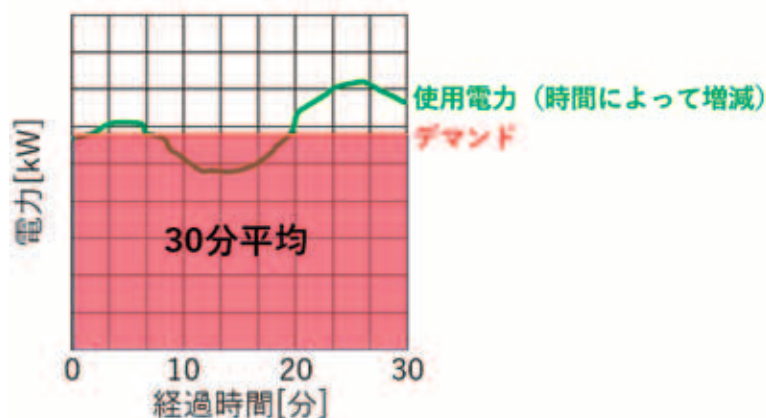


図2 デマンドについて

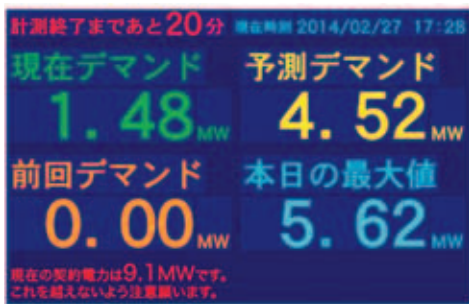


図3 デマンド監視Webページ

ができます。

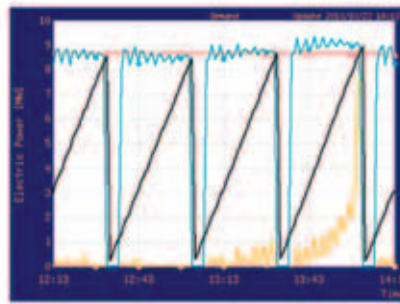
デマンドが契約電力に迫る場合は、このwebページを利用して、現在行っている実験との関係が比較的小さく、かつ大きな電力を消費している装置を探し、可能であれば停止します。停止できない場合は、プラズマ実験を一時的に止めることもあります。ただwebページを使った電力監視には問題点があり、データの更新が1分ごとにしか行われないため、細かな電力の変化を監視できません。その間にも実際のデマンドは増加し続けるため、デマンドに最大で1分間分の誤差が生じます。この問題のせいで、デマンドが契約電力を超えるか超えないかの瀬戸際の場合の監視が非常に難しくなっていました。

従来の問題点を解消してより良い電力監視を行うためには、電力会社と同じ方法でデマンドを計測する必要があると考えました。電力会社はデマンドメーターという装置を使ってデマンドを計測しています。デマンドメーターには一定の電力ごとに、電圧信号（パルス）を出力する機能があるため、これを利用することにしました。

新たに開発したデマンドリアルタイム監視システムは図4のように、デマンドメーター、パルス検出器、自作のパルス受信ユニット、カウンタボ



図4 デマンドリアルタイム監視システム



ード内蔵のパソコンで構成されています。まずデマンドメーターが電力値をパルス信号に変換します。次にパルス検出器でそのパルスを検出します。デマンドメーターが出力するパルスは微弱なのでパルス検出器で増幅して出力します。パルス検出器は電力監視

を行う部屋から数百メートル離れています。そこで、パルスを低ノイズかつ高速で遠くに送るため、一旦光に変換して送信します。その後パルス受信ユニットで電気信号に再度変換して受信します。最後にパルス受信ユニットからのパルスを、カウンタボード内蔵のパソコンでカウントします。カウントされた数値は、プログラムによりデマンドに換算され、図5のように画面に表示されます。

デマンドリアルタイム監視システムを導入したことにより、電力会社のデマンドメーターと同程度の更新頻度（目安としてはプラズマ実験時で5、6秒に1回）で監視できるようになりました。また計測値の精度も良くなりました。従来のwebページの誤差が数十キロワットであったのに対し、デマンドリアルタイム監視システムでは数キロワットとなりました。

電力監視は地味な作業ではありますが、プラズマ実験の自由度や予算など、様々な観点から重要な作業と言えます。今後も適切な電力監視を行い、プラズマ実験に貢献したいと考えています。

(技術部装置技術課 電源技術係)



図5 監視画面

核融合科学研究所創立30周年記念事業「核融合エネルギー研究推進基金」ご支援のお願い

核融合科学研究所は、2019年5月29日をもちまして、創立30周年（土岐市移転22周年）を迎えます。このような節目に当たり、研究所の今後の一層の発展を祈念し、「核融合科学研究所創立30周年記念事業」を実施することとしました。記念事業では、人材育成事業及びアウトリーチ活動並びに記念式典等を実施していきたいと考えております。

このため、記念事業の準備及び運営等に充てるための基金として、新たに「核融合エネルギー研究推進基金」を創設いたしました。

皆様におかれましては、本研究所が創立30周年を機に更に飛躍していくためにも、是非ともこの趣旨にご賛同いただき、ご支援を賜りますようお願い申し上げます。

「核融合エネルギー研究推進基金」へのご寄附は
ホームページ又は下記URLからお願いします

URL : <http://www.nifs.ac.jp/30th/>



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21日にパロー文化ホール（岐阜県多治見市）において、「Building the Future」をテーマに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230名の方にご参加いただきました。

前半は、徳留 真一郎 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所准教授が、「イプシロンロケットの開発と宇宙輸送システムの将来」と題して、宇宙科学研究所のロケット開発史や、今まさに開発と改良が進められているイプシロンロケットなどについて解説しました。

後半は、竹入 康彦 核融合科学研究所長が、「大型ヘリカル装置LHD 20年の軌跡」と題して、将来の核融合発電を目指した研究の進展や、LHDの建設から20年にわたって行われてきた実験の成果などについて紹介しました。



市民学術講演会の様子

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25日～7月12日）、多治見市（7月17日～8月1日）及び瑞浪市（8月7日）において、「核融合研究の進展と大型ヘリカル装置（LHD）の研究成果」について、市民説明会を開催しました。

説明会には土岐市7会場で112名、多治見市15会場で105名、瑞浪市1会場で18名の方にご参加をいただき、LHDを用いたプラズマ研究の内容と、2017年3月から開始した重水素ガスを用いた実験（重水素実験）第1年次の実施結果、本年10月上旬から開始予定の重水素実験第2年次の準備状況及び安全管理や情報公開の体制等について、研究所から説明を行いました。

説明会では安全性に関する質問のほか、「核融合発電を早期に実現するにはどのようなことが必要ですか？」など、核融合研究の今後について期待を寄せる質問もいただきました。



下石公民館で説明を行う竹入所長



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.243

2018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。