

NIFS NEWS

ISSN 1884-1600

NIFS

No.245



2018 DEC/2019 JAN

>>> 新年のご挨拶 …… 2-3

年頭にあたって

竹入康彦

>>> 特集 …… 4-5

第27回国際土岐コンファレンス・第13回アジア太平洋プラズマ理論
コンファレンス開催のご報告

石黒静児

>>> 研究最前線 …… 6-7

国際共同研究で進めるプラズマ電子温度・密度分布計測の高速化

安原 亮

>>> トピックス …… 8

新年賀詞交歓会を行いました

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

年頭にあたって

核融合科学研究所長 竹入 康彦

新年、明けましておめでとうございます。今年、2019年が皆様にとって、実り多き輝かしい年となりますよう祈念いたします。研究所では今年5月に創立30周年を迎えます。この節目にあたり、研究所の今後の発展に向けた決意を新たに、核融合エネルギーの早期実現を目指した研究活動を更に強化させる所存です。今年1年、多くの研究成果が上げられるよう、研究所職員一同、全力で取り組んでまいりますので、どうぞよろしくお願い申し上げます。

大型ヘリカル装置（LHD）の重水素実験も第2年次のプラズマ実験を実施しているところですが、今、このLHD重水素実験は世界で注目されています。昨年10月下旬に国際原子力機関（IAEA）の核融合エネルギー会議がインドで開催されました。これは核融合に関する世界最大の会議で、各国から700件以上の発表が行われましたが、最終日の総括報告の冒頭で、ドイツのヘリカル型装置W7-Xの実験開始と並んで、LHDの重水素実験開始が最も注目されるトピックスとして1番目に紹介されるとともに、LHDの1億2,000万度のイオン温度達成のグラフが引用されました。さらに、プラズマ閉じ込めの同位体効果の解明は重要であることを指摘した次のスライドでは、世界最大のトカマク型装置であるJETと並んで、LHDの同位体効果に関する研究成果が引用されました。核融合に関して最も権威のある会議で、世界の核融合研究におけるLHD研究の重要性が示され、大きな注目を集めました。今後も更に重水素実験の研究成果を積み上げて、定常運転性能に優れたヘリカル型装置が有する将来の核融合炉としての優位性を世界に示していく所存です。

LHDの重水素実験が開始されたことにより、核融合炉を見通せる高温定常プラズマの実証とその学術研究、及び環状プラズマの総合的理解を行う

ことを目的としたLHDプロジェクトは最終段階に入りました。そのため、LHDプロジェクトの完遂を目指すのに並行して、ポストLHD計画に向けた次期計画を策定する必要があります。現在、核融合コミュニティにおいて活発な議論が行われていますが、どのような学術研究を展開するのか、定常核融合炉を実現するためには何を明らかにするのか、という視点からプロジェクトとしての課題設定を行うことが重要であると考えています。大学共同利用機関である核融合研は、核融合コミュニティの中心としてこうした議論をとりまとめ、次期計画を他の分野の大型学術研究プロジェクトと競い合える内容に高めていくことが必要であると考えています。

さて、国内外の核融合研究は、国際協力によりフランスで建設中の国際熱核融合実験炉（ITER）における2025年のファースト・プラズマ、2035年の核融合燃焼実験開始を見据えて、核融合発電を行う原型炉開発へ向けて大きく動き出そうとしています。文部科学省に設置された核融合科学技術委員会では、「核融合原型炉研究開発の推進に向けて」を策定し、原型炉の技術開発課題をまとめた「アクションプラン」を作成するとともに、昨年、総合的に開発工程を整理した「原型炉研究開発ロードマップ」をとりまとめました。

このロードマップでは、原型炉建設への移行判断は、ITERによる核融合燃焼実験の開始以降の2030年代後半になることが示されています。こうした状況の中、将来の原型炉・核融合炉へ向けた長期にわたる研究開発を進めるにあたり、大学の役割が重要となります。アクションプランにおいて、大学や核融合研が担うべき課題として、先進的な中長期課題を取り上げ、大学と核融合研との共同研究として実施するシステムの制度設計をこの間、文部科学省及び量子科学技術研究開発機

構と検討してきました。その結果、双方向型、LHD計画、一般に続く第4の共同研究システムとして、「原型炉研究開発共同研究」を2019年度より立ち上げることとなりました。この共同研究システムを通して、核融合研と大学による炉工学に関する共同研究をネットワーク化して、炉工学研究基盤を構築することにより、大学の研究力の強化に貢献するとともに、20~30年後の原型炉、それに続く商用炉を実現する人材の育成にも貢献したいと考えています。

冒頭でも述べましたように、平成元年の5月29日に創設された核融合科学研究所は、今年、創立30周年という大きな節目を迎えます。また、平成9年に本部機能を土岐市へ移転したことから、今年が土岐市移転22周年ともなります。平成の時代とともに歩んできた研究所ですが、これまでの歴史を振り返るとともに、今後の更なる発展を期して創立30周年記念事業を実施することとしました。記念式典を5月25日に開催する予定ですが、その他にも土岐市との共同イベント、記念学術講演会等も企画しています。また、記念事業の一環として、「核融合エネルギー研究推進基金」を創設し、企業、法人はもとより、関係者、研究所OBをはじめとした個人、さらには一般の方々に幅広く寄附をお願いしています。基金は、人材育成事業、研究環境整備事業、アウトリーチ活動等への活用を予定していますので、ご支援いただけますようよろしくお願いいたします。

研究所の30年を振り返る時、土岐市をはじめとする地域からのご支援の大切さを改めて感じます。市民説明会、理科工作教室、出前授業、研究所見学などをはじめとする地域との様々な交流活動、広報活動等を通じて、多くの市民の皆様に重水素実験をはじめとする研究所の研究活動に対するご理解とご支援をいただくとともに、地域との交流・連携を強めさせていただいています。改めましてお礼申し上げます。実験の安全管理の意識を更に高め、こうした地域との信頼関係を更に強固なものとするのが、研究所の研究活動をより一層発展させることにつながると考えています。

昨年は自然災害の多い年でした。これが地球温暖化の影響であるかは短絡的には言えませんが、二酸化炭素増大による地球温暖化が少しずつ、しかし確実に進行しているのは事実でしょう。地球温暖化対策の国際枠組み「パリ協定」の順守に向けて、欧州（EU）は2050年までに域内の温室効果ガス排出量を実質的にゼロに抑えたとの長期目標を掲げました。二酸化炭素を排出せず、燃料資源が無尽蔵の核融合エネルギーは、その達成に向けて中心的な存在でなければならないのですが、残念ながら、現状の開発ペースでは、これに貢献することはできません。

研究開発は着実に進展していますが、核融合エネルギーの実現、普及には、あと50年はかかりそうです。しかし現在、化石燃料に頼っている基盤エネルギー源を、温室効果ガスを排出しないエネルギー源に代えない限り、温暖化の問題は解決しないのも事実かと思えます。再生可能エネルギーは基盤エネルギー源とはなりません。そのため、核融合エネルギーが実現しない限り、この問題は解決しないと言っても過言ではないかと思えます。こうした状況を認識して、核融合エネルギーの早期実現へ向けた研究開発に責任を持って取り組む必要があります。一方で、核融合エネルギーの実現には100年規模の、人の一生を超える長期にわたる研究開発が必要となってきています。そのため、核融合の研究開発に対する広範な国民の支持・支援が世代を超えて絶えず受けられるよう、しっかりと継続的に説明することが必須となります。そうした広報活動、アウトリーチ活動が、今後ますます重要になってくるでしょう。

核融合エネルギーは、時間がかかっても是非とも実現しなければなりません。時間的余裕はもうあまりありません。1年1年、確実に研究成果を積み上げて、1日でも早くヘリカル型定常核融合炉が実現できるよう、研究所一同、今年1年頑張る所存です。本年も引き続き、ご支援、ご指導の程、よろしくお願いいたします。

第27回国際土岐コンファレンス 第13回アジア太平洋プラズマ理論コンファレンス開催のご報告

石 黒 静 児

第27回国際土岐コンファレンス及び第13回アジア太平洋プラズマ理論コンファレンスを、平成30年11月19日から11月22日まで、岐阜県土岐市のセラトピア土岐を会場として合同開催しましたのでご報告をいたします。なお、今回から土岐コンファレンスの会議名に副題を設けず、恒久的な会議名として「プラズマ・核融合に関する国際土岐コンファレンス」といたしました。

近年、プラズマ科学は核融合関連ばかりでなく様々な分野へと大きな拡がりを見せています。ここ数年の土岐コンファレンスでは、この流れを受け、特定の分野に限定せず核融合、宇宙、医療応用、農業応用、材料加工など幅広い分野を対象として、それらの共通性と多様性に目を向けて開催してきました。

一方、アジア太平洋プラズマ理論コンファレンスはプラズマ科学全般に関する理論・シミュレーションの会議で、磁場閉じ込め核融合、スペースプラズマ、レーザープラズマ相互作用、低温プラズマ、基礎プラズマからそれらの応用まで広い分野を対象としています。1996年に第一回会議が催されて以来、アジア及び環太平洋諸国で開催されており、日本での開催は9年ぶり4回目となります。合同開催であることから、幅広い分野の共通性を探る手段として、理論・シミュレーション研究を一つの軸とし、シミュレーション技法や可視化も主要な課題に取り上げました。



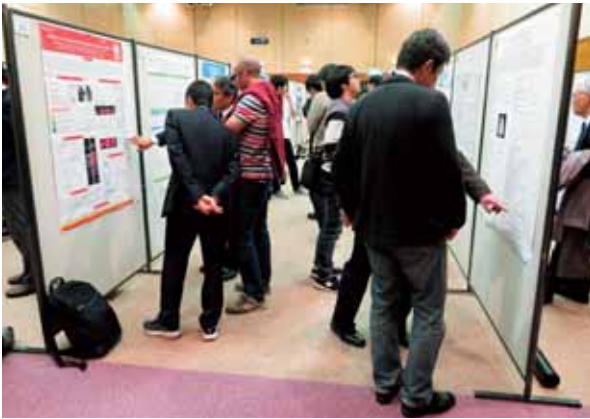
開会式の様子

会議開催により学術的体系化や分野間連携の拡大、さらには核融合科学研究所を中核とした国際的学術拠点形成の促進と、特に若手にとっては国際交流経験の蓄積などが期待されます。

開催期間を通じて、本会議には16カ国から総数221名の参加があり、活発な議論が展開されました。会期中にはバンケットを、続く日程では市民学術講演会を企画し、会議参加者や地元の皆様との交流の良い機会となりました。

開会式においては、竹入康彦所長の開会挨拶の後、古屋圭司衆議院議員（ご代読）、大野泰正参議院議員（ご代読）、加藤靖也土岐市長、吉澤菜穂美文部科学省研究開発戦略官付核融合科学専門官からご祝辞を賜りました。また、渡辺猛之参議院議員からはご祝辞をお寄せいただきました。加藤辰亥土岐市議会議長、加藤淳一土岐市議会副議長、加藤輔之瑞浪市議会副議長、加藤淳司土岐市副市長、山田恭正土岐市教育長、水野龍雄土岐市総務部長にはご臨席をいただきました。特に地元の方々の長年の温かいご支援を大変ありがたく存じております。開会式後に撮影しました参加者の集合写真を表紙に示します。

本会議では、チョンソク・チャン教授（米国・プリンストンプラズマ物理研究所）、ドナルド・スポン博士（米国・オークリッジ国立研究所）、洲鎌英雄教授（核融合科学研究所）、藤岡慎介教授（大阪大学）に、それぞれ「米国SciDACプログラム及びエクサスケールコンピュータプロジェクトの下でのXGCコードによるジャイロ運動論物理」、「アルベン波とホイッスラー波の周波数領域における高エネルギー粒子駆動不安定性」、「数値実験炉研究プロジェクトの最近の進展」、「マルチピコ秒超高強度レーザーによる磁化高速加熱を用いたレーザー核融合における点火への段階的アプローチ」についての基調講演をいただきました。これら4件の講演に加えて、19名の招待講演者に幅広い分野にわたる最新の研究成果を発表いただ



ポスターセッションの様子

きました。一般講演としては口頭発表7件、ポスター発表158件の合計165件の発表がありました。これらの発表から投稿・査読を経たものがプラズマ・核融合学会の学術誌Plasma and Fusion Researchにおいて出版されることとなります。

会期中には、「バンケット」を実施し、会議参加者は地元の方々や所員と歓談を楽しみました。バンケットにおいては、加藤土岐市長に歓迎の挨拶をいただくとともに、チャン教授、スポン博士らからご祝辞をいただきました。チャン教授、スポン博士ともに核融合科学研究所と共同研究を行っており、長年の交流に関するお話が印象的でした。

11月23日には同じセラトピア土岐を会場として、一般市民を対象とした市民学術講演会が開催されました。今回は、名古屋大学高等研究院の森島邦博特任助教を講師にお招きし、「宇宙線イメージングによるエジプトのクフ王のピラミッド調査～未知の巨大空間の発見」という演題でご講演をいただきました。約280名の方が来場され、サテライト会場も満員になる盛況ぶりでした。名古屋大学の素粒子物理学の研究で数々の新粒子を発

見してきた原子核乾板をピラミッドに持ち込んで、その内部の未知の空間を探るといふ、素粒子物理学と考古学を結んだ最先端の研究について、原子核乾板の作成からピラミッド内に入っての乾板の設置の様子などの映像も交えて分かりやすく丁寧に解説いただきました。空から絶えず地球表面に降り注ぎ、私たちの体の中を通過しているミュー粒子という素粒子を原子核乾板で捉えて、巨大な古代遺跡の内部構造を探る壮大なお話にご来場の方々も心を奪われている様子でした。その後の質疑においても、ご来場の方から多数の質問がなされ、大変な盛り上がりを見せました。森島講師は本講演で紹介された原子核乾板の核融合研究への応用を視野に入れて、以前の土岐コンファレンスでも講演されたそうです。思いがけないところで繋がる科学の興味深さと、30年近く続けてきた土岐コンファレンスが分野を超えた研究交流にも貢献できていることを実感しました。森島邦博講師と、そして、とても熱心に講演を聞いてくださいました多くの市民の方々に、改めて御礼申し上げます。

最後になりますが、本会議は岐阜県、土岐市、一般社団法人プラズマ・核融合学会、特定非営利活動法人核融合科学研究会のご後援をいただき、また、市民学術講演会には上記に加えて岐阜県教育委員会、土岐市教育委員会、中部ESD拠点協議会にもご後援をいただきました。ここに御礼申し上げます。

(基礎物理シミュレーション研究系 研究主幹・教授/
ITC27&APPTC2018 現地実行委員長)



市民学術講演会の様子

国際共同研究で進める プラズマ電子温度・密度分布計測の高速化

安原 亮

みなさんは、ガリレオ・ガリレイという名前を聞いたことがあるかと思います。彼は、16世紀後半からイタリアで活躍した科学者で、天体観測とそれに基づく科学的な分析によって地動説を主張しました。これが原因で、カトリック教会に異端宣告を受けた際に発したとされる「それでも地球は動く」という言葉は非常に有名です。その彼の研究に大きく貢献した計測器が、当時の最先端技術である“望遠鏡”です。ガリレオは、この高性能な計測器を用いて、星の動きを詳細に観測、考察し、地動説を確信しました。また自ら性能を向上させ、月にクレーターがあることや、木星の衛星を発見しました。ガリレオの深い考察や天文学の新発見には、高性能な計測技術が不可欠だったと言えるのです。

さて、大型ヘリカル装置（LHD）で行われている核融合プラズマの研究でも、計測技術は非常に重要です。核融合プラズマの状態を知るために、プラズマの温度や密度といった情報を正確に計測する必要があります。LHDプラズマ中の電子の温度の計測にはトムソン散乱計測という手法が用いられます。1億度を超える高温プラズマの温度計測には、ガラス棒でできた市販の温度計は使えません。たちまち溶けてしまうからです。そこで強力なレーザー光をプラズマ中に入射して、プラズマ中の電子にレーザー光が衝突するときに発生する「トムソン散乱光」を測定することでプラズマ中の電子の温度を評価します（図1参照）。プラズマ中の電子は、動き回っているため、発生するトムソン散乱光はドップラー効果によって、入射したレーザー光とは違う色に変わります。この色の変化はプラズマの温度によって決まっているため、トムソン散乱光の色を見ることでプラズマの電子温度を知ることができるのです。またこの時、

トムソン散乱光の明るさを見ることでプラズマの電子密度を知ることができます。LHDで使用されているトムソン散乱計測装置は、最大144空間点で電子温度・密度分布の計測を行うことが可能です。空間分解能という点では世界トップレベルの性能を誇っています。ガリレオ同様、我々もこの高空間分解の計測器を用いて、これまでLHDプラズマ性能の向上や核融合プラズマの新発見などの成果を挙げてきました。

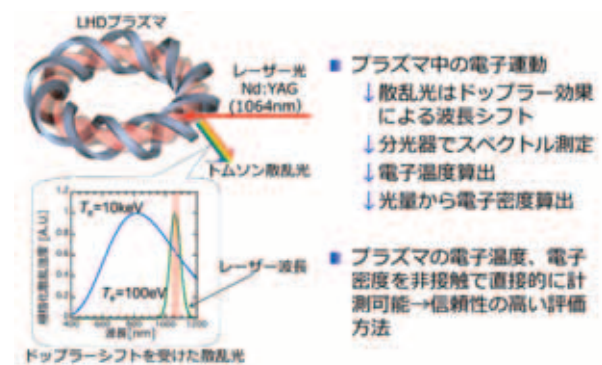


図1 トムソン散乱によるプラズマの電子温度・密度計測

では、このような高空間分解能LHDトムソン散乱装置を、さらに高性能化することを考えてみたいと思います。前段で説明したようにLHDのトムソン散乱計測装置は、世界最高の空間分解能を持っています。これはプラズマの細かい形状を観測する能力が、非常に高いということを意味しています。しかしながら、ガリレオが観測していた月と比べて、プラズマは非常に早く、時々刻々と形状が変化してしまいます。したがって空間分解能だけでなく、どれだけ早く繰り返し計測できるかという、時間分解能が非常に重要になります。LHDのトムソン散乱計測装置の繰り返し周波数は、10～100ヘルツに対応しています。これを高繰り返し・高時間分解能化することで、過渡的なプラズマ応答を含む高速なプラズマ現象の電子温

度・密度分布を精密測定することが可能となり、今まで見てきた物理現象の深い理解や新発見が望めるのです。トムソン散乱計測の高速化は、計画段階のものも含めて世界的な潮流となってきました。例えばドイツのマックスプランクプラズマ物理研究所のヘリカル装置W7-Xでは、レーザー技術で先端を行くドイツの半導体励起固体レーザーを導入して1キロヘルツ (kHz=1,000ヘルツ) のオペレーションを模索しています。またイギリスの球状トカマク装置MASTでも8台のレーザーを使ったキロヘルツオーダーの高速トムソン散乱計測が行われています。このような状況は、時間分解能の向上が、新たな物理現象発見へのクリアな研究戦略であるためだと推測されます。

LHDでは、数年間の基礎的な検討を経て、2017年から米国ウィスコンシン大学マディソン校との国際共同研究プロジェクトとして、最大15キロヘルツで計測可能なトムソン散乱計測装置の開発を進めています。導入するシステムは、通常の30ヘルツのトムソン散乱計測を行いながら、これとは独立の2つのバーストモード（間欠運転）を持つレーザーを導入することで15キロヘルツの高速バーストモード（15ミリ秒 (ms=1/1,000秒) 間動作、225パルス）、1キロヘルツ（50ミリ秒動作、50パルス）のスローバーストモードでの計測が可能となります（図2参照）。LHDに設置する主要構成装置の一部は米国エネルギー省の支援を受けたウィスコンシン大学からの提供で、費用負担も含めて双方で本プロジェクトを展開しています。11月には提供装置に関わる契約の締結が終了し、現在急ピッチで、LHDへの導入を目指して開発を進めています。

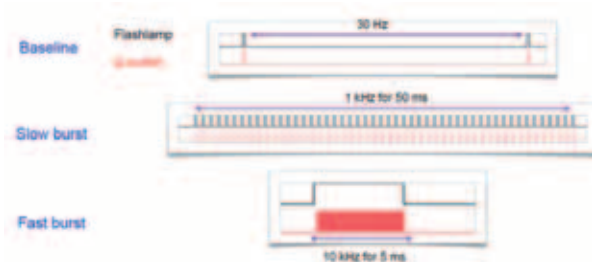


図2 高速トムソン散乱導入後の時間分解能別測定モード

本装置の肝は、トムソン散乱計測装置用のレーザーにあります。レーザーの高繰り返し化では、固体レーザー媒質内での発熱により、熱レンズ効果といった熱光学効果が問題となります（熱光学効果はいわゆる「かげろう」として一般に知られるものと同じ現象）。これはレーザー光の出力低下や光学損傷の原因となり、レーザーの高出力化を制限します。

そこで本研究では、媒質内に温度分布が発生する前に、レーザー増幅を行うことで熱光学効果を回避して1ミリ秒以下の時間幅で複数回パルスを発生させるレーザー装置を開発します。図3 (a) に示すように固体レーザーをフラッシュランプで光励起すると、図3 (b) のようにレーザーロッドの冷却過程で温度分布が発生してしまいます。しかしながら冷却過程の初期段階のごく短い時間では、ロッド外への熱伝達が間に合わず温度分布平坦な状況が生まれます（図3 (c)）。この平坦な温度分布が保たれている時間内にレーザーを高繰り返し動作させることで、レーザーの熱光学効果の問題を回避して、高速なトムソン散乱装置を実現することができるのです。

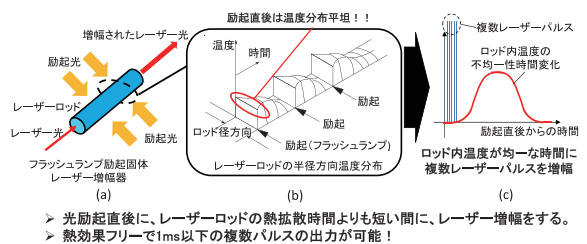


図3 高速トムソン計測用レーザーのバーストモード熱分布

ガリレオが、高性能な望遠鏡を用いて天文学の重要な発見を成し遂げたように、LHDにおいても、高速な電子温度・密度分布の計測装置を導入することで研究の更なる発展を得たいと思っています。17世紀に月を望遠鏡で眺めた時に、思い掛けずクレーターを発見したときのガリレオの高揚感は想像するだけでワクワクしてきます。LHDでもそんな新発見が期待できると、国際共同研究チーム一丸となって準備を進めています。

(高温プラズマ物理研究系 准教授)

新年賀詞交歓会を行いました

平成31年1月7日に管理・福利棟4階第1会議室にて、新年賀詞交歓会を行いました。竹入康彦所長から職員へ年頭の挨拶があった後、平成30年中の学会賞等受賞者の紹介がありました。

平成30年 学会賞等の受賞者（職名は受賞当時のものです）

受賞日	賞 名	受 賞 者
H30.1.23	日本シミュレーション学会 Outstanding Presentation Award	中村 浩章 教授 大谷 寛明 准教授
H30.3.18	応用物理学会プラズマエレクトロニクス分科会 第16回プラズマエレクトロニクス賞	後藤 基志 准教授 中野 治久 助教
H30.6.3	自然科学研究機構 第7回若手研究者賞	仲田 資季 助教
H30.6.29	第12回核融合エネルギー連合講演会 若手優秀発表賞	柳原 洸太 (名古屋大学大学院工学研究科エネルギー理工学専攻)
H30.8.9	第9回日韓セミナー ポスター賞	Nilam Nimavat (総合研究大学院大学物理科学研究科核融合科学専攻)
H30.8.10	未来エネルギー研究協会 第18回若手研究者のためのサマースクール ベストディスカッション賞	畔上 彰 (名古屋大学大学院理学研究科素粒子宇宙物理学専攻)
H30.8.31	プラズマ科学のフロンティア2018研究会 学生ポスター賞	鎌田 慧介 (名古屋大学大学院理学研究科素粒子宇宙物理学専攻)
H30.9.5	日本原子力学会材料部会 第10回日本原子力学会材料部会奨励賞	申 晶潔 特任研究員
H30.11.16	AAPPS-DPP (Association of Asia Pacific Physical Societies, Division of Plasma Physics) Akira Hasegawa Poster Prize	沼波 政倫 准教授
H30.11.20	核融合科学研究所 大学院コロキウム 学生優秀発表賞	松永 信之介 (総合研究大学院大学物理科学研究科核融合科学専攻)
H30.11.28	平成30年材料照射研究会 (ゼロエミッション・エネルギー研究拠点研究会) 優秀ポスター発表賞	申 晶潔 特任研究員
H30.12.5	プラズマ・核融合学会 紅宝賞	伊神 弘恵 准教授



竹入所長による年頭の挨拶



平成30年中の学会賞等受賞者らによる記念撮影



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.245

2018年12,2019年1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、直接本研究へご連絡ください。