

# NIFS NEWS

ISSN 1884-1600



No.251



第 28 回国際土岐コンファレンスを開催

2019 DEC/2020 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28回国際土岐コンファレンス開催のご報告

三戸利行

>>> 研究最前線 ..... 6-7

圧力勾配が駆動する不安定性のハイブリッド・シミュレーション研究  
～イオン軌道の効果による抑制メカニズム～

佐藤雅彦

>>> トピックス ..... 8

日仏5機関がITERのための物理研究・若手教育を行う  
国際連携研究所を設立

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。「令和」という新しい時代となって迎える今年1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。

さて、現在、二酸化炭素をはじめとする温室効果ガスの増大による地球温暖化の問題は、全世界の人類の共通の課題となっています。昨年12月にマドリッドで開催された地球温暖化対策を話し合う国際会議「国連気候変動枠組条約第25回締約国会議」(COP25)では、190を超える国と地域が参加して、2015年にCOP21で採択された「パリ協定」の実施計画等について議論されました。会議では、温室効果ガス削減への対策強化の気運が高まる一方で、各国の二酸化炭素削減目標の強化等については、具体的な合意が得られませんでした。会議期間中、スウェーデンの高校生グレタさんがスピーチをし、温暖化対策への行動を呼びかけたのが話題になったのをご記憶の方も多いかと思います。洪水や干ばつ、酷暑や大型台風などをもたらす異常気象の増加など、海水面の上昇も含めて、地球温暖化の影響は観測されてきており、将来に向けて、特に多くの若者が強い危機感を抱き、行動しています。

パリ協定では、地球温暖化対策に先進国、発展途上国を問わず、すべての国が参加し、世界の平均気温の上昇を産業革命前と比べて2℃未満(努力目標1.5℃)に抑え、今世紀後半(2050年まで)には温室効果ガスの排出を実質的にゼロにすることを目標としています。日本では、「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」を令和元年6月に閣議決定し、脱炭素社会へ向けたイノベーションを推進して、「環境と成長の好循環」を実現し、2050年までに80%の削減に取り組むこととしています。しかし、COP25では、石炭火力発電の削減に言及できず、会場からは「化石賞」を授与

されるなど、多くの批判を受けました。

こうした状況の中、核融合エネルギーは、二酸化炭素を排出せず、資源もほぼ無尽蔵で、安全性も高いことから、その実現は地球温暖化問題解決の切り札となるはずですが、しかし残念ながら、今の開発ペースでは発電実証まで30年かかるため、2050年には間に合いません。このことに対して、核融合の研究を40年にわたって行ってきた身には、忸怩たる思いがあります。では、核融合エネルギーの実現は地球温暖化対策に貢献しないのでしょうか。いいえ、そんなことは決してありません。パリ協定の目標達成に向けて、再生可能エネルギーの普及が進むでしょうが、それを支える基盤エネルギー源が必須であり、当面、その役割は火力発電や原子力発電が担うことになります。また、一度環境中に増えた二酸化炭素などの長寿命な温室効果ガスは、能動的に固定しない限り、約100年間にわたって地球全体の気候や海水に影響を及ぼし続けます。そのため、100年後、200年後を見据え、エネルギー・環境問題の恒久的な解決を目指して、時間が経っても核融合エネルギーを是非とも実現する必要があります。

核融合エネルギーが実現すれば、100万年以上にわたり、人類はエネルギー・環境問題から解放されます。政府の「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」でも、重点的に取り組む施策として核融合エネルギーを取り上げ、「トカマク方式のITER計画や幅広いアプローチ活動の着実な推進と並行して、我が国独自のアイデアに基づくヘリカル方式等の研究を推進し、科学的・技術的実現性の確立を目指す。」と記載されるなど、長期的な戦略の一つとして挙げられています。

COP25で、将来に危機感を覚えて地球温暖化の解決に向けて行動している若者達を見て、こうした若者達の力を結集すれば核融合エネルギーの

実現に結びつくのではないかと感じました。そのためには、まず、核融合の魅力・必要性を多くの若者にしっかりと伝えること、それにより、核融合エネルギーをこの手で実現しようという意欲にあふれた若者を増やすこと、そして、こうした若者を30年、40年後に実際に核融合エネルギーを実現する人材に育成することが必要です。これらは早急に取り組まなければならない重要な課題と言えるでしょう。

昨今、高校の物理の教科書に「核融合」や「プラズマ」といった言葉がほとんど見当たらなくなり、また、マスコミでの報道も少ないことなどから、多くの若者が「核融合」を知りません。そのため、核融合やプラズマの研究を目指して大学院に進学する学生はあまり多くないというのが現状です。一方、中国では、政府が将来のエネルギー源として核融合を位置付けていることもあり、核融合は宇宙、AIに並ぶ若者に人気の研究分野です。そのため競争も激しく、多くの優秀な若者が集まるなど、中国における核融合研究の大幅な進展の原動力となっています。このように、核融合関連の研究を目指す若者を増やすことは研究分野の活性化に対して極めて重要で、若者をはじめとした広範な国民に核融合について幅広く知ってもらうアウトリーチ活動を、これまでも増して強化することが求められています。

そうした取り組みの一環として、文部科学省の主導の下、研究所では量子科学技術研究開発機構(QST)と協力して、昨年11月に文部科学省のウェブサイト「核融合研究のホームページ」を掲載しました([https://www.mext.go.jp/a\\_menu/shinkou/fusion/](https://www.mext.go.jp/a_menu/shinkou/fusion/))。核融合エネルギーとは何か、に始まり、LHDやJT-60SA、ITERをはじめとする核融合に関する様々な情報が掲載されています。是非、アクセスしてみてください。その中で、全国の大学の研究者の協力の下「プラズマ・核融合が学べる大学一覧」をまとめ、どの大学でどのような研究が行われているのかを紹介しています。また、核融合科学研究所やQSTなどが行う様々なイベントを紹介するなど、核融合の知名度アップを図ってい

ます。

多くの若者に核融合に対して関心を持ってもらい、「プラズマ・核融合が学べる大学」に集まって、将来、核融合エネルギーを実現する人材になってほしいと思います。そのためには人材育成システムを強化する必要があり、核融合科学研究所では、大学共同利用機関として、あるいは、総合研究大学院大学の核融合科学専攻として、国際的に活躍できる総合理工学者を輩出する核融合人材育成プログラムを現在検討しています。そして、近い将来、このプログラムを全国の大学院生に提供することを考えています。

このように、令和の時代の核融合研究は、LHDをはじめとした研究を一層推進するのと並行して、広範な国民、特に若い世代の支持・支援を絶えず受けられるよう、アウトリーチ活動を強化し、核融合エネルギーの実現を実際に担う若手人材の育成にしっかりと取り組むことが求められています。

昨年、核融合科学研究所は創立30周年を迎えました。平成の30年とともに歩んできた研究所ですが、新たな令和の時代に踏み出し、研究の推進に加え、こうしたアウトリーチ活動や人材育成に積極的に取り組むなど、更なる発展を期しています。それに対応して、記念事業の一環として創設しました「核融合エネルギー研究推進基金」を継続的に運用して、研究環境整備に加えて、アウトリーチ活動、特に、若手人材育成の推進に活用することができれば、と考えています。そうしたことが可能となるよう、引き続き、基金への幅広いご寄附をお願いいたします。

核融合エネルギーの実現は、地球温暖化をはじめとするエネルギー・環境問題の恒久的解決となることから、世代を超えて、人類が必要としている課題です。それに貢献すべく、多くの研究成果が上げられるよう、LHDをはじめとする研究活動を更に強化させるとともに、アウトリーチ活動や人材育成も積極的に推進していく所存です。今年1年、研究所職員一同、全力で取り組んでまいりますので、引き続き、ご指導ご支援をどうぞよろしくお願い申し上げます。

## 第28回国際土岐コンファレンス開催のご報告

三 戸 利 行

プラズマ・核融合研究に関する第28回国際土岐コンファレンス（ITC）を、令和元年11月5日から11月8日まで、岐阜県土岐市のセラトピア土岐を会場に開催しましたのでご報告をいたします。国際土岐コンファレンスは、核融合科学研究所が創立した1989年以降ほぼ毎年土岐市で開催され、今回で28回目の開催となります。今回の会議では、プラズマ・核融合分野の実験・理論・シミュレーション研究の幅広い最新の成果発表に加えて、今後の核融合実験装置や将来の核融合炉に適用が検討されている超伝導及び低温システムに関する特別セッションを低温工学・超電導学会 超電導応用研究会と共同で開催しました。同時に、超伝導関係の企業7社による展示も併設しました。開催期間を通じて、本会議には11か国から225名の参加があり、活発な議論が展開されました。会期中にはエクスカーションとバンケットを、11月9日に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。

開会式では、竹入康彦所長の開会挨拶に続き、古屋圭司衆議院議員（ご代読）、大野泰正参議院議員（ご代読）、加藤淳司土岐市長、近江麻美文部科学省研究開発局研究開発戦略官付室長補佐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。山田正和土岐市議会議長、水野哲男土岐市議会副議長、杉浦司美土岐市議会議会運営委員会委員長、各務和彦土岐市議会総務産業建水委員会委員長、鷺見直人土岐市副市長、下原孝一土岐市総務部長にはご臨席をいただきました。創立30周年を迎えた研究所への地元の方々の長年にわたる温かいご支援に感謝申し上げます。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、栗原研一那珂核融合研究所長（量子科学技術研究開発機構）、ヴォルフガング・スタ

ウトナー博士（米国・ジェネラルエレクトリック）、リチャード・J・クルツ博士（米国・パシフィックノースウェスト国立研究所）、長壁正樹大型ヘリカル装置計画実験統括主幹（核融合科学研究所）によって、それぞれ「国際熱核融合実験炉ITERと完成間近のJT-60SAプロジェクトの現況」、「核融合炉のための超伝導テクノロジーと極低温 —現状と傾向—」、「核融合の構造物用鉄合金の微細構造と機械特性に関するヘリウムと照射損傷の影響」、「LHD重水素実験の最近の成果」と題した基調講演が行われました。これら4件の講演に加えて、20名の招待講演者による幅広い分野にわたる最新の研究成果の発表がありました。一般講演の口頭発表13件、ポスター発表151件を含めて合計188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。

会議3日目の午後には、会議参加者向けにエクスカーションとバンケットを実施しました。エクスカーションでは、近隣の中山道広重美術館（恵那市）と中島醸造株式会社（瑞浪市）を訪れ、それぞれ浮世絵版画体験と酒蔵見学を通して日本の歴史・文化に触れていただいた後、核融合科学研究所の見学を行いました。同日の夜に開催されたバンケットにおいては、加藤土岐市長の歓迎の挨拶の後、プラズマ・核融合研究の更なる発展に寄与するために新設されたITC学生優秀発表賞の表彰式が執り行われました。特に素晴らしい発表を行ったジャビル・アル・サラミ氏（九州大学）、花井啓利氏（東海大学）、アンジ・ブディ・クルニアワン氏（東京工業大学）の3名には賞状及び核融合エネルギー研究推進基金より副賞が授与されました。その後、クルツ博士の乾杯のご発声につづいて、会議参加者は久しぶりに再会した研究仲間

や地元の方々と歓談を楽しみ大いに盛り上がりしました。

11月9日には、同じセラトピア土岐において、一般市民の方を対象とした市民学術講演会を開催しました。今回は、株式会社デンソー技術企画部 MaaS戦略室長の豊田千寿夫氏を講師に招き、「新しいモビリティ社会の実現に向けて」という題目でご講演をいただきました。講演では、現在、世界で起こっているモビリティ（ヒトやモノの移動）の100年に1度の大変革をテーマに、新しいモビリティ社会への取り組みについて、自動車の発展の歴史から現在起こっている変革、そしてモビリティの将来像まで丁寧に説明いただきました。講演後、約70名の参加者からは矢継ぎ早に質問が

飛び出し、生活に直結する身近な問題への市民の方々の関心の高さがうかがえました。講師の豊田千寿夫氏とご来場いただきました市民の皆様にご挨拶申し上げます。

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、NPO法人核融合科学研究所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。

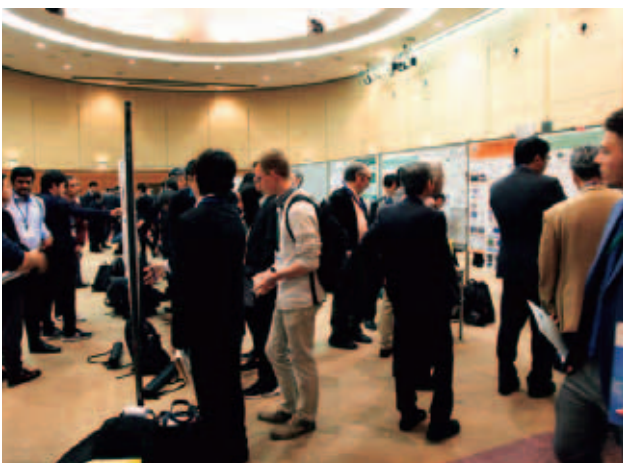
（装置工学・応用物理研究系 研究主幹・教授／  
ITC28現地実行委員長）



開会式の様子



ITC学生優秀発表賞受賞者（左から3名）



ポスターセッションの様子



市民学術講演会の様子

# 圧力勾配が駆動する不安定性のハイブリッド・シミュレーション研究 ～イオン軌道の効果による抑制メカニズム～

佐藤 雅彦

核融合炉の実現には、高温高密度のプラズマを安定に閉じ込める必要があります。プラズマの圧力は中心部ほど高く、プラズマ内部には圧力の勾配が存在しています。この圧力の勾配が大きくなりすぎると、プラズマが不安定になり、その圧力勾配をなだらかにしようとする現象が発生します。このような現象は圧力勾配駆動型不安定性と呼ばれています。この不安定性が起きると、内側の高い圧力のプラズマと、外側の低い圧力のプラズマが混じり合うため、高いプラズマ圧力を維持することができなくなってしまいます。このため、プラズマの圧力を高く維持するためには、圧力勾配駆動型不安定性を抑制していく必要があります。

圧力勾配駆動型不安定性のようにプラズマ全体のスケールで変化する巨視的現象は、磁気流体力学(MHD)現象と呼ばれています。これまでMHD現象は、個々の荷電粒子の運動の効果は考慮せずに、プラズマを流体とみなしたMHDモデルで解析することができると考えられてきました。実際、MHDモデルは、ヘリカルプラズマ、トカマクプラズマ他、様々なプラズマのMHD現象の解析に対して幅広く使用されています。しかしながら、MHDモデルでも次のような問題があります。LHD実験結果で得られている大きな圧力勾配を持つ安定なプラズマに対して、MHDモデルによる解析を行うと、プラズマが不安定になることが理論的に予測されることがあります。なぜ、MHDモデルによる理論予測よりも、LHDの実験で得られているプラズマは穏やかなのでしょうか？

この問題の原因を調べるために、本研究では、MHDモデルを改良した「運動論的MHDモデル」を用いたシミュレーションを行いました。このモデルはイオン運動の効果(運動論的效果)を扱うもので、プラズマを構成するイオンを粒子運動モデル、電子を流体モデルで同時に取り扱うハイブリッド・シミュレーションにより解析を行っています。つまり、このモデルにより、MHDモデルでは考慮し

ていなかった、イオンが持つ様々な軌道の効果を含めた解析が可能です。この運動論的MHDモデルに基づくシミュレーションにより、圧力勾配駆動型不安定性の解析を行ったところ、MHDモデルによるシミュレーション結果よりも、不安定性が抑えられることが分かりました。その抑制メカニズムについて調べたところ、「捕捉イオン」が不安定性の抑制に重要な役割をしていることが分かりました。

プラズマ中のイオンの軌道は大きく分けて二つのタイプがあります。一つは図1(a)で示しているようなトーラス方向に周回運動を行い、磁場の強いところも弱いところも通過できる「通過イオン」です。もう一つは図1(b)で示しているような、磁場の弱い領域(図1の青色の領域)で往復運動を行う「捕捉イオン」です。捕捉イオンは、磁場に垂直方向の速度に対して、磁場に平行方向の速度が小さく、磁場が強い場所を通過することができません。このため、磁場が弱い領域で往復運動をします。同時に、その往復運動の中心も磁場の弱い領域に沿って移動しており、このような運動は歳差ドリフト運動と

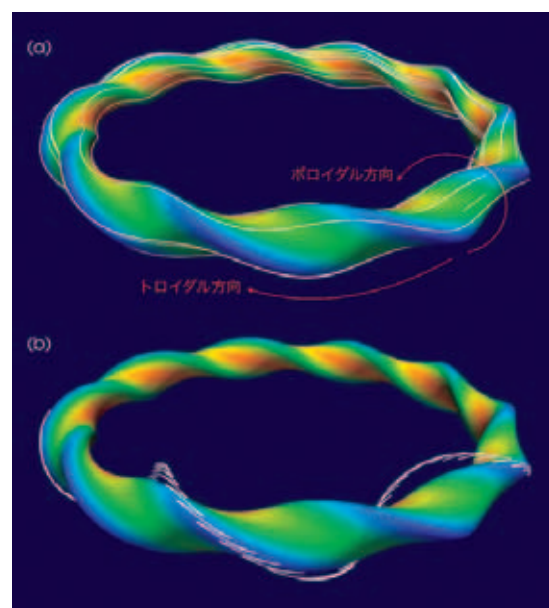


図1 LHDプラズマにおける典型的な(a)通過イオンと(b)捕捉イオンの軌道(白線)。面上の色は磁場強度を示しており、赤色は磁場強度が強く、青色は磁場強度が弱い領域に対応しています。

呼ばれています。LHDプラズマでは磁場強度が弱い領域がヘリカルコイルにより螺旋状に現れるため、トロイダル方向だけでなく、ポロイダル方向にも、歳差ドリフト運動が存在することが大きな特徴です。トカマク等の軸対称なプラズマ中の捕捉イオンの歳差ドリフト運動は、トロイダル方向のみです。ここで、圧力勾配駆動型不安定性による揺動の分布と、捕捉イオンの軌道の位置関係を考えることにします。図2は電子圧力の揺動分布と捕捉イオンの軌道を表します。赤色の領域は揺動により電子圧力が増えたところ、青色の領域は電子圧力が減ったところですが、LHDの捕捉イオンは歳差ドリフト運動を行うため、赤色の領域と青色の領域を交互に短時間で通過していくことが可能です。この通過時間が、揺動振幅が成長する時間よりも短い場合、イオンと揺動との相互作用が弱くなり、揺動は成長しにくくなると考えられます。この歳差ドリフト運動の効果を見るために、人為的に歳差ドリフト運動を除いた場合と、歳差ドリフト運動を含んだ場合の計算を実施し、両者の結果を比較しました。

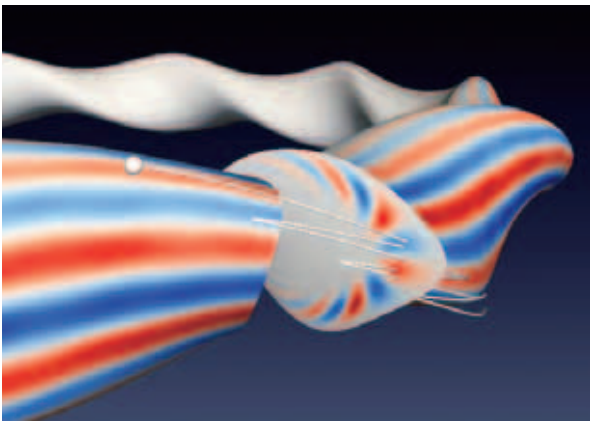


図2 圧力勾配駆動型不安定性による電子圧力の揺動分布と捕捉イオンの軌道（白線）。赤色は電子圧力が増える領域、青色は電子圧力が減る領域に対応しています。

図3(a)はポロイダル断面でのイオン圧力の揺動分布で、この図中の黒線に沿ったイオン圧力の揺動分布を、図3(b)(c)に示します。歳差ドリフト運動が無い場合(b)と歳差ドリフト運動がある場合(c)を比較すると、ある場合の方がイオン圧力の揺動振幅が小さくなって、不安定性が抑制されていることが分かります。また図3(b)(c)では、イオン圧力を、通過イオンからの寄与分、捕捉イオンからの寄与分に分けた分布も示しています。歳差ドリフト運動によって、捕捉イオンからの寄与分が減少しており、

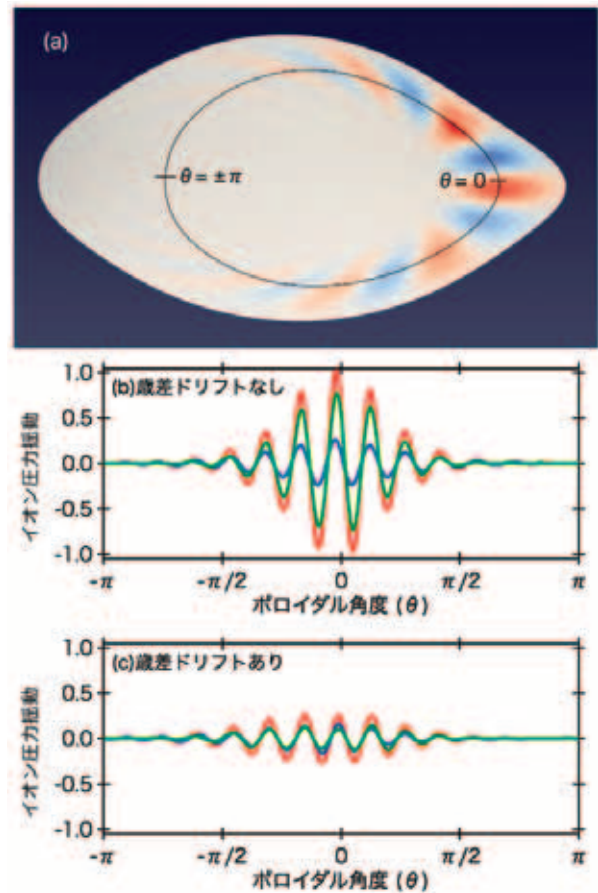


図3 (a)はポロイダル断面で見たイオン圧力の揺動分布。(b)と(c)は、(a)の図中の黒線に沿って見たイオン圧力揺動分布。(b)は歳差ドリフトなし、(c)は歳差ドリフトありの場合です。この2つの場合の電子圧力揺動の振幅は等しく、縦軸はその電子圧力揺動振幅で規格化しています。赤線はイオン圧力、緑線はイオン圧力のうち、捕捉イオンからの寄与分、青線はイオン圧力のうち、通過イオンからの寄与分を示しています。

捕捉イオンと揺動の相互作用が弱くなっていることが確認できました。この運動論的MHDモデルによるシミュレーション解析から、LHDプラズマでは、捕捉イオンが持つ特有の運動がMHD不安定性を抑制する上で重要な役割をすることが分かりました。

今後は、シミュレーション結果と実験結果との比較・検証を行うことで、計算モデルの改良を進めます。そして、LHDプラズマをはじめとする3次元トーラスプラズマ中で見られるMHD現象を予測するため、高精度な計算モデルへと発展させていきます。

(核融合理論シミュレーション研究系 助教)

### 日仏5機関がITERのための物理研究・若手教育を行う国際連携研究所を設立



調印式が行われた九州大学伊都キャンパス椎木講堂応接室での記念撮影

令和元年10月10日、核融合科学研究所（NIFS）を含む日仏の5機関は、南フランスで建設が進む国際熱核融合実験炉（ITER）に係わる基礎研究推進と人材育成を目的とした国際連携協定に調印し、「ITER 物理のための基礎プラズマ日仏連携研究所」（Laboratoire International Associé：LIA、本部オフィスを設置しないバーチャルな研究所）を発足させました。連携協定に参加したのは、NIFS、九州大学、大阪大学、フランス国立科学研究センター（CNRS）、エクス・マルセイユ大学の5機関です。

NIFSは、エクス・マルセイユ大学と既に学術交流協定を結んでおり、また、CNRSも含め核融合科学並びにプラズマ物理学の理論研究を中心とした共同研究を行ってきました。新たに発足したLIAでは、ITER計画の成功のため解明が必要とされる基礎的な物理課題として挙げられている、プラズマの乱流輸送現象、高エネルギー粒子閉じ込め、プラズマ壁相互作用に関する国際共同研究の推進、並びに当該分野の世界に通用する若手の育成に寄与していきます。

### 新年賀詞交歓会を行いました

令和2年1月6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。竹入康彦所長から所員へ年頭の挨拶があった後、平成31年及び令和元年中の学会賞等受賞者の紹介がありました。



#### 平成31年及び令和元年

#### 学会賞等の受賞者（職名は受賞当時のものです）

平成31年及び令和元年中の

学会賞等受賞者らによる記念撮影▶

受賞日	賞	名	受賞者
H31.03.22	第2回SOKENDAI賞		熊谷 公紀 (総合研究大学院大学 物理学研究科 核融合科学専攻)
H31.03.22	第2回核融合科学研究所大学院コロキウム学生優秀発表賞		森本 純毅 (総合研究大学院大学 物理学研究科 核融合科学専攻)
H31.03.27	第74回年次大会 (2019年) 日本物理学会学生優秀発表賞		波場 泰昭 (名古屋大学理学研究科 素粒子宇宙物理学専攻)
R1.05.16	An outstanding poster presentation made by a student at the 23rd Topical Conference on Radiofrequency Power in Plasmas		柳原 洸太 (名古屋大学工学研究科 エネルギー理工学専攻)
R1.05.24	PFMC-17 Poster Prize		時谷 政行 准教授
R1.07.07	第8回自然科学研究機構若手研究者賞		時谷 政行 准教授
R1.09.12	日本原子力学会ポスター賞 (アイデア賞)		山崎 樂 (総合研究大学院大学 物理学研究科 核融合科学専攻)
R1.09.17	Top Peer Reviewer Award		伊藤 淳 助教
R1.09.18	第3回核融合科学研究所大学院コロキウム学生優秀発表賞		Nilam Balkrishna NIMAVAT (総合研究大学院大学 物理学研究科 核融合科学専攻)
R1.09.18	第3回核融合科学研究所大学院コロキウム学生優秀発表賞		山崎 樂 (総合研究大学院大学 物理学研究科 核融合科学専攻)
R1.10.03	Outstanding Presentation Award Recommendation		後藤 勇樹 (名古屋大学工学研究科 エネルギー理工学専攻)
R1.10.19	2019年秋季大会 日本物理学会学生優秀発表賞		波場 泰昭 (名古屋大学理学研究科 素粒子宇宙物理学専攻)
R1.10.19	2019年秋季大会 日本物理学会学生優秀発表賞		大津 貴志 (名古屋大学理学研究科 素粒子宇宙物理学専攻)
R1.11.08	AAPPS-DPP2019 Poster Prize		西浦 正樹 准教授
R1.11.22	第21回関西表面技術フォーラムめつき技術奨励賞		高田 卓 助教
R1.11.26	平成30年度JT-60共同研究優秀賞		居田 克巳 教授



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.251

2019年12,2020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](mailto: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。