

IFEフォーラム

レーザー核融合技術振興会

2021.9.16

No. 102

FORUM  
FLASH

28<sup>th</sup> IAEA Fusion Energy Conference (FEC 2020)

## FAST IGNITION LASER FUSION ENERGY RESEARCH IN JAPAN

- ◆ Summary of the progress of laser fusion research in Japan
- ◆ Novel approach of the implosion for the Fast Ignition scheme
- ◆ Physics of Isochoric Heating of the imploded plasma
- ◆ Prospects for the next stage of laser fusion research in Japan
- ◆ Summary



Wednesday 12 May 2021 - 08:30 – 10:25

2021年5月12日 レーザー科学研究所 児玉了祐所長による口頭講演の様子

IFE  
FORUM

IFEフォーラム

# 令和2年度 フォーラム委員会開催報告

大阪大学レーザー科学研究所 重森 啓介

標記委員会が2021年3月24日にオンラインで開催されました。はじめに小路幹事長の開会の宣言が行われ、引き続いて島本座長の挨拶があり、開催趣旨等の説明がなされました。

挨拶では、米国のNIFやフランスのLMJなど海外におけるレーザー核融合研究が急速に進展している一方で、世界的な脱炭素に向けた取り組みの機運が高まっていることを踏まえ、我が国におけるレーザー核融合研究開発に関する議論の重要性が提起されました。

## 令和2年度 レーザー核融合 技術振興会活動報告

最初の議題として、白神副幹事長より令和2年度の活動内容の報告が資料に沿って行われました。新型コロナウイルス感染症拡大防止のため、例年実施している講演会や対面での会議が行われず、書面での審議やオンライン会議で対応が行われた旨の報告がありました。

活動報告の最初の項目として、委員会関連活動に関する説明がありました。活動内容の一つとして、まず「IFEフォーラム パワーレーザーと高エネルギー密度科学技術に関する有識者会議」(略称:有識者会議)について、その設立からの経緯が紹介され、令和2年8月に専門委員会がオンライン・対面のハイブリッド形式で開催されたことが報告されました。専門委員会では、「パワーレーザーによる高エネルギー密度科学とレーザー核融合」の中核拠点形成に向けて、レーザー核融合戦略会議の成果、日本学術会議の提言内容、並びに広報活動などについて議論がなされ、そのアクションプランが検討されました。

また、令和元年度まで実施されたレーザー核融合戦略会議を引き継ぎ、令和2年度より「MW級平均出力レーザーによる核融合炉基本設計チーム活動」が開始されたことが報告されました。レーザー核融合戦略会議については、令和2年9月25日に活動の総括的報告会を開催し、活動の成果を報告書としてまとめ、活動を完了しました。この戦略会議の成果に基づき、新たな未臨界核融合炉を想定した基本設計チーム活動を始動したことが説明されました。

次の項目として、国際交流・調査および会議協賛等に関する報告が行われました。会議協賛に関しては、第4回アジアパシフィック物理学会プラズマ会議の若手博士・学生賞表彰に関する支援が前回に引き続き行われたことが説明されました。また、広報活動としてWebページの更新が計画されていることが報告されました。

## レーザー核融合開発研究と コ・クリエーションについて

次に大阪大学レーザー科学研究所の兒玉所長より、レーザー核融合研究とコ・クリエーションについて、資料に沿って説明が行われました。

まずレーザー核融合研究の内外の研究の現状に関する説明が行われました。高速点火FIREX研究に関しては、シミュレーションによる予測から十分に点火燃焼が設計できる段階にきていることが報告されました。

また、米国の国立点火施設(NIF)ではカプセルゲインがほぼ1に近づきつつある状態となり、2019年に日本と米国との間で結ばれたMOUに基づき、この点火燃焼状態での物理に関する研究を共同で行う方向ですすめていることが説明されました。

これらのレーザー核融合研究を定常運転装置において実施するため、学会会議マスタープランでも提案されている次期大型レーザー施設計画(J-EPoCH)に関する詳細な仕様とコンセプトに関する説明が行われました。J-EPoCHレーザーは多様なステークホルダーに供する装置であり、レーザー核融合研究にもその高繰り返し特性等を活かして未臨界核融合炉の実現や炉工学研究の進展が期待されています。

また、レーザー核融合研究のようなエネルギー開発研究においては、様々なステークホルダーとの共創(コ・クリエーション)が必須であり、更に最近の社会情勢の変化により新たな可能性が出てきていることが提起されました。ここではいくつかのコ・クリエーションの具体例が挙げられ、産業界や他分野との技術的な共創、学術面における様々な分野間の知の共創に関する内容とその例が示されました。

レーザー核融合研究はこれらコ・クリエーション、すなわち学術と技術との統合・収斂によって推進できる魅力的なサイエンスであることが説明されました。

## 令和3年度レーザー核融合 技術振興会活動方針

三間座長代理より、令和3年度の活動方針が説明されました。内外でのレーザー核融合に関する研究動向の変化を踏まえ、IFEフォーラムの活動指針に基づき、

- 1) レーザー核融合エネルギーの実現を加速するためのパワーレーザーによる高エネルギー密度科学に関する国家的研究開発拠点の実現を支援する。
- 2) レーザー核融合エネルギー開発に関する検討活動を実施し、レーザー核融合研究開発ロードマップに基づいて核融合炉基本設計をアップデートするとともに、国際連携プロジェクトの実現を支援する。
- 3) レーザー核融合に関する国際会議・シンポジウム等の開催を支援する。
- 4) レーザー核融合研究やパワーレーザー技術に関する国内外の動向を調査するとともに、広報活動・啓発活動を行う。
- 5) レーザー核融合研究やパワーレーザー技術分野における若手人材育成を支援する。

以上の5点について、その内容の確認が行われ承認されました。

## 意見交換

以上の報告を踏まえて、意見交換が行われました。ゼロカーボン・カーボンニュートラル戦略においてレーザー核融合が非常に重要な位置にあり、今後の海外との競争も見据えて早急に我が国独自の技術開発をすすめるべきとの意見が出ました。また、J-EPoCHの実現にはコミュニティからの強力なサポート、例えばホワイトペーパーの作成などが重要であるとの指摘がなされました。そして世界最高の装置をもって次代の人材を惹きつけ、教育・育成していくことの重要性が議論されました。活発な議論のうちに閉会となりました。

# 28<sup>th</sup> IAEA Fusion Energy Conference (IAEA/FEC2020) 会議報告

大阪大学レーザー科学研究所 白神 宏之

国際原子力機関 (IAEA) 主催による核融合エネルギー会議 (FEC) は1961年に第1回が開催されて以降、2年ごとに各国持ち回りで開催され、今回その第28回会議が、ITER機構・フランス原子力局 (CEA) 共催により5月10日～14日にオンラインで開催された。

プレナリーや口頭発表は事前に録画したものが発表時間に配信され、各セッションの最後に座長と発表者が画面に現れ、チャットで聴衆から出された質問を座長が取り上げ、発表者が答えるという形式であった。FEC2020はそのネーミングにあるように、本来は2020年9月に仏国ニース市にて開催される予定だったが、コロナ禍が終息せず今年5月に延期され、さらに完全オンライン開催となったものである。この会議は毎回規模を増しており、今回の発表講演件数は全体で726件、参加者数は1000人を超えた。

会議全体を見たとき、磁場閉じ込め核融合関係ではやはりITER建設の報告が大きく取り上げられ、ITER機構長のB.Bigotから2025年のファーストプラズマ発生に向けて順調に建設が進んでいると強調された。また、我が国のJT-60 SAについては、量研機構那珂核融合研究所副所長の鎌田より、本体及び周辺装置の建設が完了し昨年からの統合コミッショニングを開始したことが報告された。

慣性核融合エネルギー分野 (IFE) における最大のニュースは、米国ローレンスリバモア研究所 (LLNL) の National Ignition Facility (NIF) における成果である (同

研究所のP.Patelのプレナリー講演および同A.Zylstraによる口頭講演)。NIFにおける照射は間接照射方式と呼ばれ、金で出来た円筒形 (ホーラム: 直径5~6 mm、長さ10 mm程度) の両端から内部に向かってNIFの192ビームの出力レーザーエネルギー1.9 MJを照射し、ホーラム内のプラズマで発生した軟X線により中心にセットされた燃料カプセル (直径約2 mm) を照射し爆縮する。NIFにおける実験開始当初の2011年ごろにおいては核融合出力 (中性子+ $\alpha$ 粒子) はわずか数kJで当時はかなり批判的に評価されたが、その後レーザー技術、燃料ターゲット技術、プラズマ物理の理解、ターゲット設計などに段階的に技術改良・高精度化がなされ、2013年頃に出力25 kJ、2019年には56 kJとなった。今回の成果では、これまでのターゲット設計にさらに新しいコンセプトを導入し、また精緻なレーザー照射およびプラズマ制御によって爆縮効率および一様性を大きく向上した結果、1.9 MJのNIFレーザーで発生し燃料ペレットに照射されたX線エネルギー250 kJに対して核融合出力エネルギー170 kJ、両者の比であるペレット利得0.68が達成された。燃料ペレット単体としては入力エネルギーを超える出力エネルギーを出すブレークイーブン (ペレット利得>1.0) 達成まであと一歩と言え、ホーラムの効率も含むターゲット全体の利得 (=核融合出力/投入レーザーエネルギー) としても10%レベルに達している。圧縮燃料内部ではすでに核融合反応生成アルファ粒子による燃料の自己加熱が実現しており、出力170 kJは自己加熱が無いとした場合の5.7倍に達している。(彼らは30倍が完全な核融合点火燃焼と定義している。) 今後、さらなる高精度化およびレーザー出力向上 (2.6 MJへの増強計画) により点火燃焼を達成すべく既に具体的準備が進められているとのこと。いよいよ核融合点火燃焼の実現を射程内に入れたよ

うで、今後の核融合研究全体に大きなインパクトを与えることが期待される。

日本からは、大阪大学レーザー科学研究所から2件の口頭発表(兒玉、河仲)がなされた。日本におけるIFEは、大阪大学レーザー科学研究所を中心としたFIREX-I計画として高速点火核融合を目標として進められている。金コーンを取り付けた中実模擬燃料球を爆縮レーザー(Gekko-XII)で個体密度の10倍程度の密度に圧縮し、そこにコーンを通じて1 kJの加熱レーザー(LFEX)を投入して、爆縮コアプラズマを電子温度2 keVまで加熱することに成功したと報告がなされ、高速点火方式が高い効率で高温高密度状態を達成できることを示した(兒玉)。ハイパワーレーザーの開発では、高繰り返し高平均出力のレーザーの開発が進んでいることについて報告があった(河仲)。既に10 J/100 Hzのシステムが稼働しており、次段階100 J/100 Hzシステムの開発が進んでいる。これの100ビームを結合することによる10 kJ/100 HzのメガワットレーザーシステムJ-EPoCHが提案された。高繰り返し実験により大量の実験データが得られることを利用しデータ駆動によるレーザー核融合の新しい展開が提案された(兒玉)。

IFE分野では上記のプレナリー・口頭講演の他に17件のポスター発表があったが、なかでもロシア・レベデフ研究所のE.Koreshevaによるレーザー核融合用高繰り返し非接触ターゲット製作・供給システムの開発に質疑が集

中していた。

なお、会議のサイドイベントの一つとして、“Celebrating 60 Years of Fusion Energy Conferences”なる動画が最終日にサイト上で公開された。これは1961年の第1回から今に至るこの会議の開催を軸として核融合研究の進展を振り返る約40分の番組だが、内容的には欧米の磁場閉じ込め核融合研究がほとんどで、それ以外の例えばJT-60などの日本の核融合研究における大きな貢献等への言及はほとんどゼロだった。さらには、NIFや阪大を含めレーザー/IFEに関しては全くもって触れられておらず著しくバランスを欠いたものであったのは大変残念であると言わざるを得ない。

今回はコロナ渦の事情によりオンライン開催となったが、やはり議論がしにくかったことは否めない。また、海外出張における移動時間が不要なのは良いのだが、開催は欧州時間でのリアルタイムなので逆に時差がそのまま現れ、米・アジア等からの参加者の負担は大きかった。その点においては、発表後も録画にアクセス出来、さらに会議終了後8月までサイトがオープンしており、会期中と同様に発表を視聴できたのはありがたい配慮であった。

次回の第29回IAEA/FEC会議は2023年10月に英国ロンドン市にて開催予定であるが、これが実会議となることを願うばかりである。



大阪大学レーザー科学研究所 三間 罔興 / 余語 覚文

レーザーの発明当初より、レーザー核融合をはじめとするハイパワーレーザー誘起の原子核反応が重要な研究テーマになってきた。とくに、CPA(チャープパルス増幅)の発明による超高強度レーザーの実現

で、様々なレーザー生成量子ビームと原子核との相互作用の研究が急速に広がっている。関連して、大阪大学と光産業創成大学院大学は浜松ホトニクスとの協力を得てJSTのプログラムA-STEP事業でレーザー駆動中性子源

の開発と利用研究を実施した。これに並行して、IFEフォーラムでは我が国内外のレーザー中性子源の研究開発の現状、課題と展望を調査し2019年に報告書を取りまとめた。

方、第1回Nuclear Photonics国際会議がローレンスリバモア研究所のC. BartyやJAEAの羽島良一等の共同議長により、2016年10月米国カリフォルニア州モンレーにおいて開催された。2018年第2回会議は、ルーマニアのBrasovにおいて、ELI-NP(田中和夫所長)の主催で開催された。今回は第3回で、大阪大学レーザー科学研究所(共同議長 余語覚文准教授)と核物理研究センター(共同議長 民井淳教授)の共同主催で開催された。今回のInternational Conference on Nuclear Photonics(NP2020)は、元々2021年6月7日～11日の日程で倉敷市にて開催予定であったが、コロナ禍の影響で1年延期され、2021年6月7日～11日オンライン開催となった。会議の目的は、高強度レーザー科学、加速器科学から素粒子・核物理学に及ぶ新領域である「ニュークリア

フォトニクス」を旗印に、幅広い分野の研究者が分野横断型研究を展開することであった。

**冒**頭、レーザー科学研究所 児玉了祐所長の歓迎の言葉があり、引き続き基調講演で会議は始まった。初日、2日目のセッションの冒頭で2件の基調講演があった。初日は、イスラエルのWeizmann InstituteのVictor Malka教授よりレーザー電子加速とその応用、第2日はドイツのコロン大学のAndreas Zilges教授より単色ガンマ線光核科学とその応用につき講演があった。

**筆**者が特に着目したのは、IAEA(国連の国際原子力機構)の技術委員会との共催による特別企画「レーザー駆動中性子源とX線源の進展」であった。セッションの冒頭、IAEAの加速器分野の技術委員会の担当官であるDr.Sotirios Charisopoulosより、「加速器科学とその応用に関するIAEAの取り組み」につき、報告があった。2019年2月25日～28日の間には、ウィーンのIAEA本部において、図1に示すレーザー駆動中性子に関する諮問会議(Consultancy Meeting)が、ドイツのダルムシ



図1 IAEAコンサルティングミーティング2019年2月、ウィーン

ユタット工科大学M. Roth 教授の呼びかけによって開催された(図1参照)。我が国からは、大阪大学レーザー科学研究所の余語覚文准教授が出席し、我が国の取り組みとして、JST A-STEPプロジェクトなどの研究開発の現状を報告した。その結果を受けて、今回の Nuclear Photonics国際会議に併設して、技術委員会が開催されることになった。また、今後のレーザー中性子源に関する検討課題として、1)短パルス高ピークフラックスのレーザー中性子源の技術開発、2)その利用技術の検討と開発、3)核拡散防止に向けた核安全保障への利用、ならびに4)若手人材育成と開発途上国への支援 等が取り上げられた。

**続**いて、ドイツ、フランス、イギリス、日本からの研究開発の現状と将来展望が紹介された。特に、我が国とドイツ(ダルムシュタット工科大学)が並行して進めている、レーザー中性子源の短パルス性を生かした中性子原子核共鳴相互作用の実験が注目を浴びた。その最近の成果を以下紹介する。

**図** 2、図3のように、コンパクトなエピソード(エネルギーが1万度の熱エネルギー程度)のレーザー中性子源の開発が進んでいる。レーザー駆動中性子の発生源は数ミリメートルであり、かつパルス幅がナノ秒以下である。そのため、コンパクトなモデレーターでパルス幅サブマイクロ秒のエピソード中性子源となることが期待されている。本会議で、ダルムシュタット工科大学と大阪大学レーザー科学研究所における原子核共鳴吸収実験で、パルス幅計測の結果が報告された。

**L** FEX レーザーを図2左下のように、イオンビーム発生用のピッチャータarget(CDフォイル)に入射し、発生するMeVの重水素ビームを背後のキャッチャータarget(Beブロック)に入射し中性子を発生する。発生した中性子を役3cmのコンパクトな高密度プラスチック

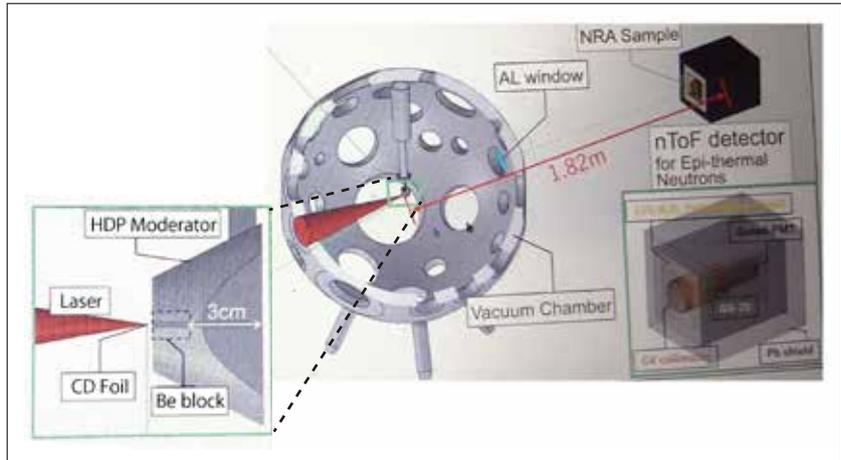


図2 レーザー中性子源発生装置 (大阪大学レーザー科学研究所提供)

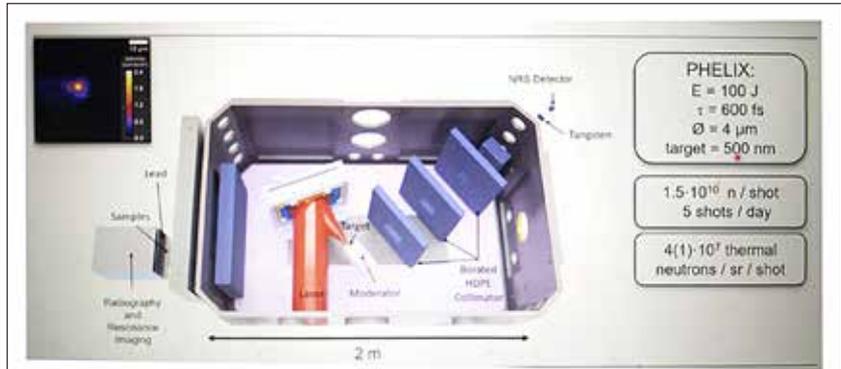


図3 ドイツの重イオンビーム研究所(GSI)のレーザー中性子源による核共鳴スペクトル計測装置の概念図。(NP2020 GSI 講演資料より)

クのモデレータに通すことで、高速中性子から熱中性子に渡る色々な短パルス中性子を発生することが可能となる。役1.8mのTOFで核共鳴吸収スペクトルの計測に成功している。

**以**上が今回のIAEA 技術会議のホットトピックスであり、今後の研究の展開が期待される。以上の話題以外にも、宇宙の原子核生成の研究やレーザーガンマ線による原子核のスペクトロスコピー、電子陽電子プラズマ、真空の非線形電磁気学等につき、最近の研究の進展につき活発な議論が展開され、大阪大学核物理研究センターの中野貴志センター長の閉会の挨拶をもって、会議は成功裏に閉幕した。

**最**後に、この分野は比較的新しい高強度レーザーが開く科学技術分野であり、今後急速に質と規模とを高めることを期待したい。

## 編集後記

カーボンニュートラルを2050年に目指すという政府の宣言により、省庁だけでなく企業もそれに向けて大きな動きが出ています。国内のCO<sub>2</sub>排出量は年10億トンを超えており、達成するためにはかなりの技術革新が必要であり、その道のりは遠いと思われま

す。火力発電を再生可能エネルギーに置き換えるという話もありますが、太陽光発電、風力発電などの再生可能エネルギーは安定供給が課題となり、また最近では自然破壊も指摘されています。やはりここはCO<sub>2</sub>排出のない核融合の登場ではないでしょうか。

レーザー核融合は米国NIFにおいてブレークイーブン達成が近く、日本でも研究開発が加速することを期待しています。

---

編集委員 樋口 誠一(関西電力)、白神 宏之(大阪大学)  
重森 啓介(大阪大学)、山本 和久(大阪大学)

## 連絡先

公益財団法人 レーザー技術総合研究所  
IFEフォーラム/レーザー核融合技術振興会事務局

〒550-0004 大阪市西区靱本町1-8-4  
大阪科学技術センタービル4F  
TEL (06) 6443-6311  
FAX (06) 6443-6313

URL:<http://www.ilt.or.jp/forum/index.html>