



「レーザー核融合研究開発の動向シンポジウム」会場風景

2023年1月19日「レーザー学会学術講演会第43回年次大会シンポジウム」ウインクあいちにて開催

2022年米国核融合協会年會に 出席して

大阪大学レーザー科学研究所 兒玉 了祐

2022年12月7日～8日、米国ワシントンDCで年1度の米国核融合協会年會が開催され出席した。毎年この時期に開かれるのは、この會議がDOEと核融合コミュニティが一体となり議論するため、政府方針がある程度固まっているこの時期に開催されている。ただ、過去2年は新型コロナの影響で、リモート中心であったのが、今回は一部のリモート参加を除き基本的には、対面形式であった。

会場は、満員で、いわゆる日本でいう密な状態であった。当然マスクの着用はほとんど見られなかったが、よく見ると、政府関係者はしっかりマスク着用をしていた。私は米国の政府関係者ではないが、密な会場でマスク着用の方が気分的に楽だったので彼らに見倣い會議中マスクを着用していたが、日本と違い人の目は何処にもなく自由であることを思い出させてもらった。一方で、実は、地下鉄のすべての出入口にはマスク着用を奨励する看板が置いてあった。しかし、外で歩く人を見るとほぼすべてマスクは着用していないし地下鉄でも通常、乗客はしていない。ところが、帰国日の夜明け前に地下鉄に乗ると出勤の人々でかなり車両は混んでいたが會議程に密な状態ではなかった。しかし、なんと、乗客の60%以上がマスクを着用していた。実は客相手

のホテルのレセプションやベットメイキングをする人もほぼ全員マスクを着用していた。これは、首都ワシントンDC特有の現象なのかもしれないが面白い一面を見た気がした。

マスクのことはさておき、今回の年會は、コロナのことなどどこかに吹き飛んで、かなり盛り上がっていた。その理由の1つは、バイデン-ハリス政権が、2022年11月4日に「Net-Zero Game Changers Initiative」を発表し、アメリカの国立研究所に歴史的な投資を行うこと発表したことかと思われる。その中で、以下に示す5つの優先事項が挙げられている。

- ・建造物の効率的な冷暖房
- ・ネットゼロの航空産業
- ・ネットゼロの送電網と電力供給
- ・ネットゼロ循環型経済のための工業製品と燃料
- ・大規模核融合エネルギー

上記のように、最後に核融合エネルギーが挙げられている。核融合は既存の発電をはるかに超える影響を与える可能性があるということのようである。その中で、世界トップクラスの国立研究所システムを含む米国の科学研究への投資は、米国の経済競争力の中核であり、経済全体のイノベーションを可能にすると言っている。今回の政策は、科学上の大発見の核となり、米国のエネルギー、経済、国家安全保障の発展に不可欠な存在であり続けるエ

エネルギー省(DOE)の13の国立研究所を、長きにわたって後押しするものであるとしている。その施策として、2022年度にはインフレ削減法(IRA)の一環として、現在進行中の施設アップグレードと国立研究所インフラプロジェクトを加速させるため、15億5000万ドルの追加資金を投入するらしい。

ま たこれより前の同年9月22日には、米国エネルギー省のOffice of Science から「マイルストーンに基づく核融合開発プログラム」を開始することが発表されている。これは、2020年エネルギー法で認められたマイルストーンに基づく新しい核融合開発プログラムを開始するために、最大5,000万ドルを拠出するというものである。このプログラムは、国立研究所や大学などと協力して、核融合を技術的・商業的に実現するための核融合パイロットプラント(FPP)の設計に資する主要な技術的・商業的マイルストーンを達成する営利団体を支援するものである。このプログラムは、単に政府が独自に打ち出したものではない。核融合エネルギー科学諮問委員会、米国科学・工学・医学アカデミー、コミュニティ・ワークショップ、民間企業からの意見など、最近の報告書を参考にしている。特に2021年に出された米国科学・工学・医学アカデミーからの提言(<https://nap.nationalacademies.org/catalog/25991/bringing-fusion-to-the-us-grid>*)の影響が大きいと思える。

その主な柱は以下のとおりである。

- DOEと民間企業は、2030年代に核融合パイロットプラントで電力の実証を行うべきである。
- DOEは、官民一体となって、今すぐ前進すべきである。
- DOEと民間企業による早急な投資が必要

こ の施策を発表した時にDOE副長官は、「今日、米国を拠点とする核融合企業には、50億ドル近い民間資本が投資されている。本政権は、これらの企業と提携し、世界中でエネルギーの豊かさ」とエネルギー安全保障を提供する、核融合で動く

(*<https://nap.nationalacademies.org/catalog/25991/bringing-fusion-to-the-us-grid>)

未来に向けた進展を加速させるために協力することを熱望している。」と言っている。図1に示すように米国の核融合に対する投資は、今や米国政府をはるかにしのぐものとなっている。

政 府の動きだけでなく、2022年、米国では、磁場核融合、慣性核融合ともに大きな成果があり、またカーボンニュートラルへの貢献という旗印に米国政府による民間活力を後押しする施策と相まって、核融合コミュニティ全体がかなり盛り上がっている状況であった。このような中で、磁場核融合と慣性核融合の発表があるとともに英国、日本から研究の進捗状況が発表されていた。特に慣性核融合は、2021年8月のリバモア研究所での核融合の燃焼が実証され、エネルギー開発として慣性核融合の位置づけができるということで、DOEは、「リバモアをはじめ全米チームではエネルギー開発としてのレーザー核融合研究を再スタートさせる準備が整ってきた。」といている。もう1つ、プログラムで大きな割合を占めたのが、主にスタートアップであるが民間企業セッションとして2セッション/2時間30分が設けられていたことである。11件の発表のうち2件は日本からであった。

こ れらは、Fusion Power Associateのwebサイト(http://www.firefusionpower.org/fpa_annual_meet.html)に行っていたら、殆どの発表資料を見ることが可能である。これだけであれば、リモート参加の方が効率が良いのかもしれないが、リモート参加では得られない、対面だからこそ得られる情報もある。セッションとセッションの間の時間は、まさに対面だからできる情報交換の時間である。

D OEの人と話をした時、2つの重要なことを聞いた。1つは、産官学の連携に関することである。あるDOEの役人から、「米国は民間企業がかなり核融合に参加し、政府はそれを少し後押しする状況だが、なぜ日本は民間の参加をもっと増やさないのか」と問われた。個人的には、私もそう思うので、回答できずに、逆に彼に米国政府の核融合への民

間企業参入の推進に対して質問をした。「DOEが慣性核融合においてはエネルギー開発と安全保障の技術がオーバーラップしている部分があり効率的にエネルギー開発が可能であることを言っていたが、もしそうだとするとエネルギー開発で民間が多数入る場合、情報セキュリティが大変ではないか」と。それに対して彼は、「それは重要な問題ではない。重要なのは、総合技術の核融合が、米国企業の技術力を上げることであり、経済に重要である」と即答した。その時、なぜNet-Zero Game Changers Initiativeなのか。なぜそこに米国は核融合を入れているのか。ITERを進める仏国など欧州主導のNet-Zeroのゲームチェンジとは米国にとって何なのか。米国はご存じのように冷戦終焉の象徴としてスタートしたITER一辺倒ではない。独自の磁場核融合路線、慣性核融合路線をもって、そこにもかなりの投資がなされている。米国にとって、核融合はエネルギー戦略上重要なテーマであることはもちろんであるが、総合技術・統合技術であり、最先端技術の開発をけん引する重要なテーマであるとともに経済戦略の上で重要なテーマと考えているように思えた。

実はその時、もう1つ重要な情報を、DOEの人から得た。彼は、「来週の火曜日、リバモアと政府で重要な発表をする。でも今は言えない。」いくら聞いても彼からは「来週まで待て」という答えしかなかった。しかし、その話を聞く前に、リバモアからの報告の時に、核融合点火を実現する爆縮物理が分かったというようなことを言っていたことがピンときた。通常、リバモアの研究者は、2021年の成果を「核融合燃焼」とは言っていたが、エネルギーを増幅

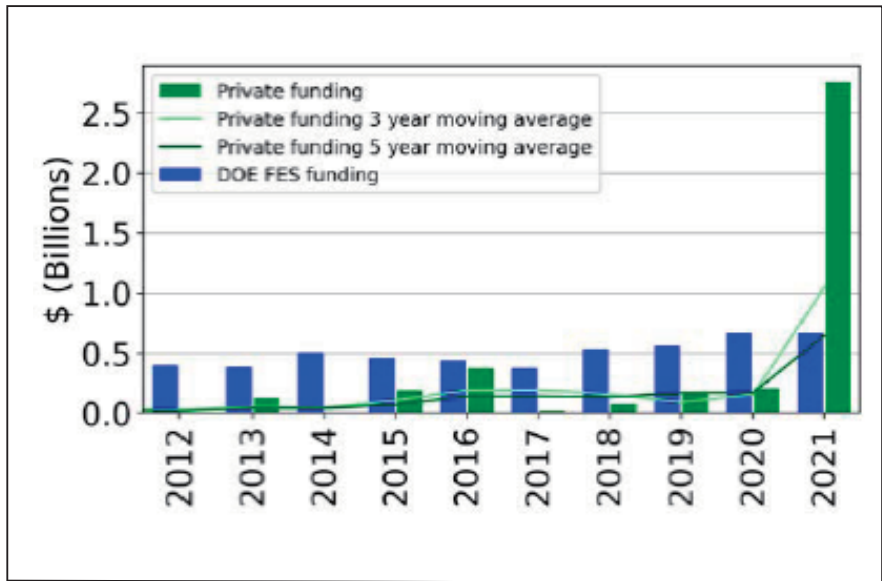


図1 米国の核融合予算(エネルギー省投資予算と民間投資額)

する「核融合点火」とは、決してこの1年の間、言わなかった。また資料を見ても点火と言うことは避けて燃焼のための爆縮物理と言っていた。それをストレートに点火を口に出していたので、不思議に思った。それもそのはずである。この時(12月7日)には既に(12月5日)核融合点火を実現していたのである。緘口令が敷かれていたようであるが、彼との会話で核融合点火を実現したのだと勝手に思い、早く次の週の火曜日が来てほしいと思ったのを今でも明確に覚えている。

最後に、今回は新型コロナの影響で、私自身、海外出張は3年ぶりであった。リモート参加でも良いようにも思ったが、パワーレーザーに関するDOE-文科省の日米科学技術協定締結でお世話になったDOEの方が退職されるとともに表彰されるということもあり対面での参加を決めた。その結果、リモートでは決して得られない重要な情報を得ることができ有意義な海外出張ができたように思える。

最後に、この有意義な出張をサポートして下さったIFEフォーラムに、この場を借りて心からお礼を申し上げます。

レーザー学会学術講演会第43回年次大会シンポジウム

レーザー核融合研究開発の動向

一点火燃焼を踏まえた2040年エネルギー変換炉実現戦略一の報告

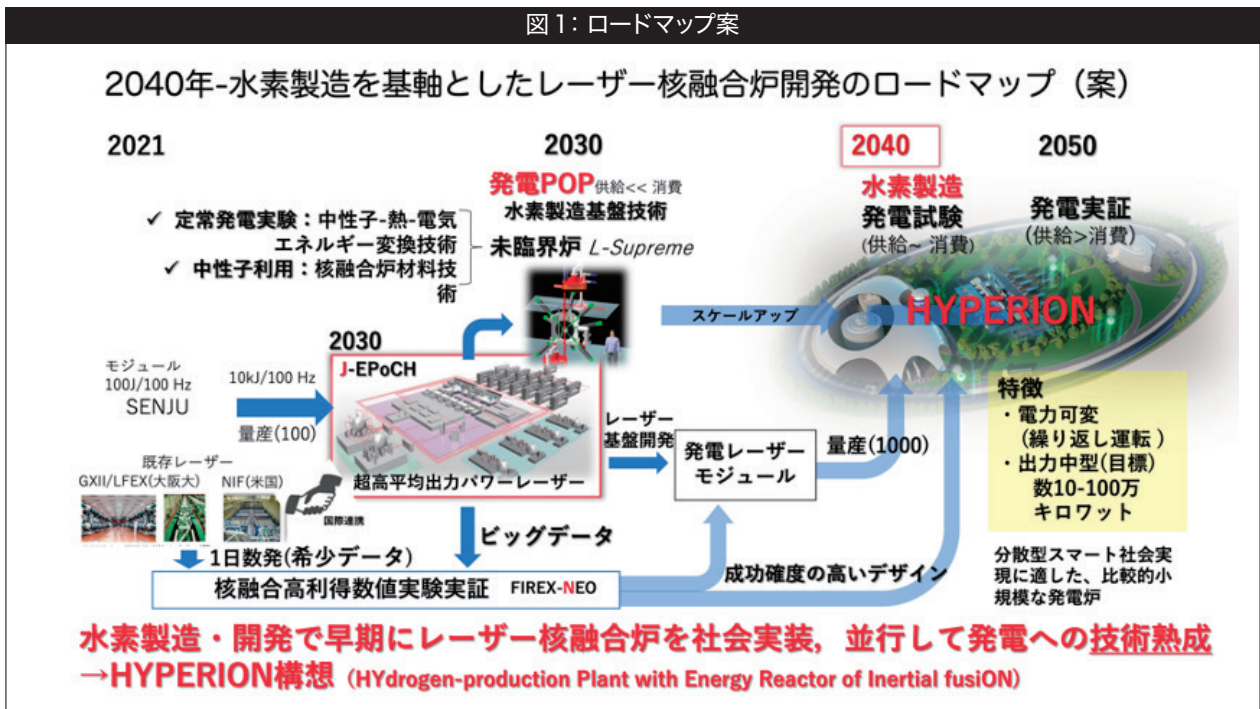
光産業創成大学院大学 森 芳孝

2023年1月19日、JR名古屋駅前の複合施設ウインクあいちで開催されたレーザー学会学術講演会第43回年次大会において、表題シンポジウムを開催しました。シンポジウムの会場は満席で立ち見の方もおられる中、活発な議論が交わされました。このように注目を浴びた背景には、気候変動対策に向けた核融合エネルギーへの関心と、2022年12月5日に米国のローレンス・リバモア研究所国立点火施設(NIF)で達成されたレーザー投入エネルギーを超える核融合エネルギーの達成があると思われます。国内のレーザー核融合に関する大学、国立研究所、

民間企業、スタートアップ企業の関係者が一同に会し、活発な議論が交わされました。シンポジウムの詳細は、レーザー研究2023年3月号にまとめています：森芳孝、重森啓介「レーザー核融合研究開発の動向-レーザー学会学術講演会第43回年次大会シンポジウムの記録-」、レーザー研究51巻、No.3 p.188-p.193 (2023)、ここでは、その内容の要約を示します。

趣旨説明では、大阪大学レーザー科学研究所の重森啓介氏より、国内のレーザー核融合研究開発

図1：ロードマップ案



ロードマップ案(図1)が揭示され、シンポジウム講演内容との関連性が示されました(図1)。2040年代にHYPERION:Hydrogen-production Plant with Energy Reactor of Inertial FusiONでレーザー核融合による水素製造と発電試験を実施し、2050年代に発電実証を実現する構想です。

HYPERION実現の要として多目的ハイパワーレーザー施設J-EPoCH:Japan Establishment for Power laser Community Harvestが据えられています。趣旨説明の最後に、米国の慣性核融合エネルギー計画立案の責任者であるローレンス・リバモア研究所のTammy Ma博士から本シンポジウムへのビデオメッセージが紹介され、核融合エネルギー実現にむけた日米の連携とシンポジウム開催のお祝いが述べられました。

最初の講演は、大阪大学レーザー科学研究所藤岡慎介氏によるNIFにおける点火燃焼実証と利得達成に関する解説です。点火の定義について報道及び学術業界内において様々な情報が行き交う現状を踏まえて、点火・燃焼・損益均衡(ブレイクイーブン)の定義の整理と磁場閉じ込め核融合におけるQ値との違いが丁寧に説明されました。解説された内容は、レーザー研究3月号に掲載されています:藤岡慎介「米国ローレンス・リバモア国立研究所National Ignition Facilityにおける自己点火実証」、レーザー研究 51巻、No.3 p.183-p.187 (2023)。

引き続き、大阪大学レーザー科学研究所千徳靖彦氏より、最適なレーザー核融合を目指す数値レーザー核融合プロジェクト(FIREX-NEO)の紹介がされました。FIREX-NEOでは、理論研究と実験研究の両輪で、レーザー核融合の高利得デザインの研究と必要な基礎研究が推進されています。レーザー核融合科学の領域展開として、先進的点火デザインや極限磁場物性なども意識して、学術的テーマで学生を惹きつけ、次世代の研究者を育成することが使命であることが強調されました。

核融合科学研究所の岩本晃史氏からは、メガワッ

ト級レーザーによる核融合炉(未臨界研究炉)基本設計チームの活動状況が紹介されました。未臨界研究炉では、J-EPoCHレーザーの最大エネルギー10kJを考慮し、LHARTと呼ばれる低密度高温プラズマを生成可能なターゲットデザインを採用し、重水素三重水素核融合反応により、レーザーショットあたり 10^{13} 個の中性を発生させます。レーザーを1Hzで運用した際、核融合中性子出力は20Wとなり利用した熱変換とトリチウム増殖の基礎研究を行うことが可能となります。基本設計の仕様から建設費を概算し、報告書にまとめる作業が進められています。

浜松ホトニクス株式会社の関根尊史氏からは、繰り返し動作レーザーダイオード励起100J超級レーザーの開発状況と展望について紹介がありました。レーザーダイオード励起低温ヘリウムガス冷却ディスク型Yb:YAGセラミクスレーザーの開発を進めており、253J、0.2Hzで稼働するHELIA:High Energy Laser for Industrial Applicationの開発に成功し、100J、10Hz動作を実証しています。この成果を踏まえて、1kJ、10Hzレーザーの概念設計を進めていく方針が紹介されました。

株式会社EX-Fusionの松尾一輝氏からは、レーザー核融合の社会実装を加速する株式会社EX-Fusionの取り組みが紹介されました。株式会社EX-Fusionは、大阪と浜松の2拠点で開発研究を推進しており、特許化されている大学のシーズ技術を基盤として、レーザーの高精度時空間制御に挑んでいます。レーザー核融合商用炉の実現と新産業の創出を同時に実現するビジョンが紹介されました。

最後の講演は、大阪大学レーザー科学研究所兒玉了祐氏による多目的繰り返しパワーレーザーによるコクレーションの紹介です。パワーレーザーがもたらす新たな可視化と極限状態創出の可能性に触れられ、平均出力100kWを超える多目的の大型繰り返しパワーレーザーJ-EPoCHの実現にむけたモジュールレーザーSENJYUの開発状況などについて言及されました。

総合討論では、司会の光産業創成大学院大学の森芳孝より、レーザー核融合の技術課題として以下の3つが掲げられ、講演との対応が示されました。

レーザー核融合の技術課題

(1) 高利得の達成:

なるべく少ないレーザーエネルギーでなるべく多くの核融合エネルギーを得る(藤岡氏、千徳氏)

(2) 核融合中性子の利用:

電気や水素等、社会が利用できる形態へのエネルギー変換、及び核反応を通じた燃焼トリウムを増殖(岩本氏)

(3) 定常運転:

10H程度の繰り返しレーザードライバーを要としてシステム運用(関根氏、松尾氏、兒玉氏)

その後4つの総合討論テーマについて、講演者及び会場参加者と議論が交わされました。

- (1) 米国NIF利得達成が高利得設計に与える影響
- (2) 多目的繰り返しパワーレーザーの実現に向けて
- (3) レーザー核融合未臨界炉の検討状況
- (4) 民間・スタートアップとの連携

議論を踏まえ、司会者より、レーザー核融合は次の時代に突入したという総合討論の締めが示されました。司会者の締めの口上は以下となります。

「これまでは、シングルショットレーザーの時代であり、科学的ブレークイブンを達成した。これからは、繰り返しハイパワーレーザーの時代であり、投入電力以上の供給電力を得るための工学的ブレークイブンを目標とする。そのためには、高速点火方式に代表される高利得ターゲットデザイン、レーザー核融合戦略会議で議論されたような繰り返しハイパワーレーザーによる核融合研究開発構想、J-EPoCH構想に代表される繰り返しハイパワーレーザーが必要となる。いずれも、国内において知見と技術の蓄積があり、国際的競争力を有している。国内のレーザー核融合研究開発を推進する組織の器も、国の学術機関、民間企業、スタートアップ企業と拮がりつつある。当事者に対しては、レーザー核融合炉の実現には乗り越えるべき課題があるが、一步一步進んでいきたい。コミュニティを支えていただいている関係者の皆様には、温かいご支援を賜りたい。」



会場の様子

編集後記

オンラインを含めたニュース、TV、雑誌などのメディアで“核融合”という言葉を目にしない日はないほど国民に知れ渡って来ました。国民の大部分が、核分裂との違いを知らなかった(気にしなかった)時代はようやく終わりを告げ、興味はいつ実用化するの?という段階に入ったようです。

編集後記の論調も2020年後半ぐらいから積極的な言葉が使われており、大きく転換したのだと感じます。次の進展が大変楽しみです。

編集委員 樋口 誠一(関西電力)、宮本 修治(兵庫県立大学)
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:<https://www.ilt.or.jp/ife-forum/>