

IFEフォーラム

レーザー核融合技術振興会

2022.9.30

No. 106

FORUM FLASH



HYPERIONプラント構想図

IFE
FORUM

IFEフォーラム

第31回 レーザー核融合技術振興会総会報告



大阪大学レーザー科学研究所 山本 和久

第31回レーザー核融合技術振興会総会が令和4年7月8日(金)ハイブリッド開催(レーザー科学研究所大ホールおよびZOOMにて)されました。樋口誠一幹事長(関西電力株式会社)より、定足数が満たされ総会が成立することが報告され、開会宣言がなされました。

杉浦博明会長(三菱電機株式会社)より退任の挨拶がありました。地球温暖化ガスを発生しないレーザー核融合への期待が高まっている状況において、振興会では、有識者会議開催に向けた準備、メガワット級高平均出力レーザーによる核融合炉基本設計チームを発足させたことが述べられました。続いて、新会長として選出された住友電気工業株式会社の重松昌行氏より挨拶がありました。レーザー核融合の機運は高まっており、米国NIFの点火・燃焼およびそれを受けての組織作り、日本においても高速点火方式でシミュレーションと実験が進んでいること、レーザー核融合を用いた水素製造など新たな方向性ができたこと、日本のスタートアップ企業が出てきたことなど、新たな局面を迎えていることが述べられました。振興会の会員各位には支援と協力をいただきたい旨がありました。

令和3年度事業報告・収支決算案について資料により、宮本修治副幹事長(兵庫県立大学)から説明がありました。令和3年度事業報告の主な活動報告として、パワーレーザーと高密度科学技術に関する有識者会議(以下有識者会議)において、令和4年4月会議開催に向けた準備を行ったこと、またメガワット級高平均出力レーザーによる核融合炉基本設計チーム活動を

組織化し、レーザー核融合戦略会議メンバーに加え、企業メンバーの参画を積極的に進めたとの説明がありました。また、国際交流・調査活動、講演会を含めた情報・広報活動としてのホームページ刷新についても報告がなされました。また、令和4年2月3日(水)開催された日本学術会議とIFEフォーラムとの共催による公開シンポジウム「将来のエネルギー科学技術に向けたパワーレーザーと高エネルギー密度科学の役割と展望」について三間罔興幹事より詳細報告がありました。事業報告および収支決算について、全会一致で承認されました。

令和4年度事業計画および予算案について資料により、宮本修治副幹事長から説明がありました。レーザー核融合技術振興会の方針説明に引き続き、主な活動として以下説明がなされました。

- ・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(令和4年4月)開催、その議論をもとに専門会議にて具体的方策の議論を行う。
- ・メガワット級高平均出力レーザーによる核融合炉基本設計チーム活動を推進、ワーキングおよび全体会議を開催し原理実証炉の基本設計を完成させる。

国際交流・調査活動、国際シンポジウム、講演会を含めた情報・広報活動についても説明があり、第6回アジアパシフィック物理学会プラズマ会議の支援、日本学術会議「ハイパワーレーザー技術と高エネルギー密度科学」小委員会の開催支援など行うことが報告されました。また、情報の公開をホームページで実施、アウトリーチ活動の充実を図るとのことでした。令和4年度事業計画および予算案について、全会一致で承認されました。

HYPERION構想

大阪大学レーザー科学研究所 重森 啓介

米国NIF (National Ignition Facility)における点火燃焼が実証されて以来、レーザー核融合炉の実現に向けた機運が一気に高まってきている。炉心プラズマ形成のマイルストーンが達成されたことから、今後は核融合炉工学に研究開発課題が徐々にシフトしていくことが予想されるとともに、レーザー核融合炉の早期実現に向けた取り組みが国内外で加速している。

我が国のレーザー核融合炉の概念設計やロードマップ策定などは、これまでIFEフォーラムの支援のもと継続的に行われ、直近ではレーザー核融合戦略会議においてそのアップデートが2020年になされている。この中で、高繰り返しメガワットレーザーによる未臨界核融合炉(L-Supreme)を新たにロードマップに据え、核融合炉の要素技術開発研究を効率よく実施させることを目玉としている。一方で、核融合炉の早期社会実装という目標を達成するには、そのゴール設定も重要な論点となる。これまでの核融合試験炉(例えばLIFT)においては、レーザー核融合で得られた熱エネルギーを最終的に電気エネルギーに変換し、グリッド送電を達成することをゴールと設定してきた。これはレーザー核融合を電気エネルギー源として位置付けてきたためであるが、この点でレーザー核融合に関してはやや技術的なハードルを高めているという見方もある。

磁場閉じ込め核融合と比較したレーザー核融合炉のアドバンテージの一つは、レーザー(ドライバー)、燃料供給、炉心プラズマ、炉本体、トリチウム関連設備、発電設備等について、核融合炉を構成するモジュールとして研究開発・建設できるという点にある。それぞれの要素技術の開発を個別に行うことにより、最適な炉システムの柔軟な設計が可能であるほか、効率的な技

術開発が実施可能である。一方でその設計の自由度は、レーザー核融合炉のインテグレーションという意味では課題となる。すなわちモジュール間の結合に技術的な成熟度が必要になるため、例えばそれぞれのモジュールやインターフェースのどこかで不具合が起こった場合、核融合熱出力の安定性に懸念が発生する。すなわちゴール設定をグリッド送電と設定すると、安定な電気出力の達成が必須となり、その達成に対する技術的ハードルが高くなる。

ここでレーザー核融合反応によって生成する熱出力という要素に着目すると、これまで既定路線であった熱出力による発電利用だけでなく、別の適用方法も考えられる。その最有力候補が核融合による熱エネルギーを利用した水素製造である。水素はカーボンニュートラル戦略の中核をなす分散型エネルギー源であり、さらにメタネーション等の多くの波及分野が見込まれる。この水素製造には様々な方式が提案されているが、製造の過程で二酸化炭素を全く排出しない「グリーン水素」が好ましいスキームとされている。例えば水素ステーション等で既に実用化されている方式は、天然ガスなど化石燃料を水(水蒸気)と反応させて水素を得るものであり、その過程で二酸化炭素が発生するため、トータルではカーボンニュートラルは成立しない。一方で、レーザー核融合で得られる高温(850℃以上)の熱エネルギーを利用することにより、①バイオマスをガス化、②IS法などの高温化学反応によりカーボンフリーの水素を製造することが可能である。詳細は紙面の都合上割愛するが、①に関しては木材に含まれるセルロースなどを高温の水蒸気雰囲気下で分解するプロセスであり、②は硫酸とヨウ素の2系統の化学反応

HYPERIONプラント構想図



を熱サイクルとして組み合わせて水を分解するプロセスである。

水素製造に必要な高温状態生成条件はLIFTでの設計値内であることから、LIFTのスペックをそのまま水素製造用の熱源と当てはめると、レーザー核融合による水素製造プラントというコンセプトが描ける。これがHYPERION構想である (HYPERION:HYdrogen-production Plant with Energy Reactor of Inertial fusiON) このコンセプトのメリットは、水素をプロダクトとすることにより、前述のように発電をゴールとする場合と比較して実現性を高めることができることにある。更に水素製造に関しては、2050年の水素販売価格の目標値が設定されていることから、この水素販売価格からバックキャストによってレーザー核融合炉システムのコスト最適化が可能になる。そして他の水素製造法との競争や競合を通してコア技術開発の能力を高めることも期待される。

以上を整理すると、これまでレーザー核融合試験炉として位置付けていたLIFTに関しては、そのマイルストーンを発電ではなく水素製造に切り替え、2040年を目標に水素製造プラントとしてのレーザー核融合炉システムを完成させる。この段階ではグリッド送電の実現は想定せず、発電とトリチウム増殖に関わる試験を並行して行う。水素製造と発電・トリチウム増殖試験を両

立させるため、それぞれの目的に応じた複数の炉(4基)を設置して使い分ける。各炉へは1台のレーザーシステムから光路を振り分け、それぞれの炉を1~4Hzで運転を行うことにより、水素製造を行いつつ別の炉でグリッド送電に向けた技術の熟成を行い、2050年にレーザー核融合発電を実現させるシナリオである。

このHYPERION構想はLIFTの位置付けを置き換えるものであるが、技術的にはLIFTの設計で得られたノウハウを十分に活用できる、そして、LIFTの前段階に計画されているL-Supremeの役割がHYPERION構想の実現に対して非常に重要となる。L-Supremeは高繰り返しメガワットパワーレーザー「J-EPoCH」に接続し、レーザー核融合エネルギー(中性子エネルギー)を熱エネルギーそして電気エネルギーに変換する試験炉として概念設計がなされている。HYPERIONの詳細設計や建設で必要となる要素技術開発の要としての役割をL-Supremeを担うことになる。L-Supremeの開発にあたっては、既存技術を最大限活用する方針の下で基本設計活動が現在進行中である。今後は水素製造という新しい基軸を加え、レーザー核融合炉全体の研究開発の幅を更に広げる必要がある。そしてこれらの技術的アウトプットを踏まえた技術的な蓄積を基に、HYPERION構想を具体的な提案に関せさせるべく、詳細な設計を進める予定である。

世界の核融合 スタートアップの動向

株式会社EX-Fusion 代表 松尾 一輝

世界の核融合 スタートアップを取り巻く環境

世界で核融合への関心は日に日に高まり続けている。昨年だけで世界の核融合スタートアップは28億ドル以上の新たな民間投資を獲得し、政府からの助成金も1億1700万ドルを超えた。昨年1年間で世界の民間核融合企業への投資総額は2倍以上に増え、その累計総額は47億ドルに到達している。

本稿では現在急速に注目が集まりつつある核融合について、なぜ投資が集まるのか、その中でレーザー核融合はどのような立ち位置となりうるのかを自身がレーザー核融合商用炉の実現を目指した会社を経営している立場から、私見を述べたいと思う。

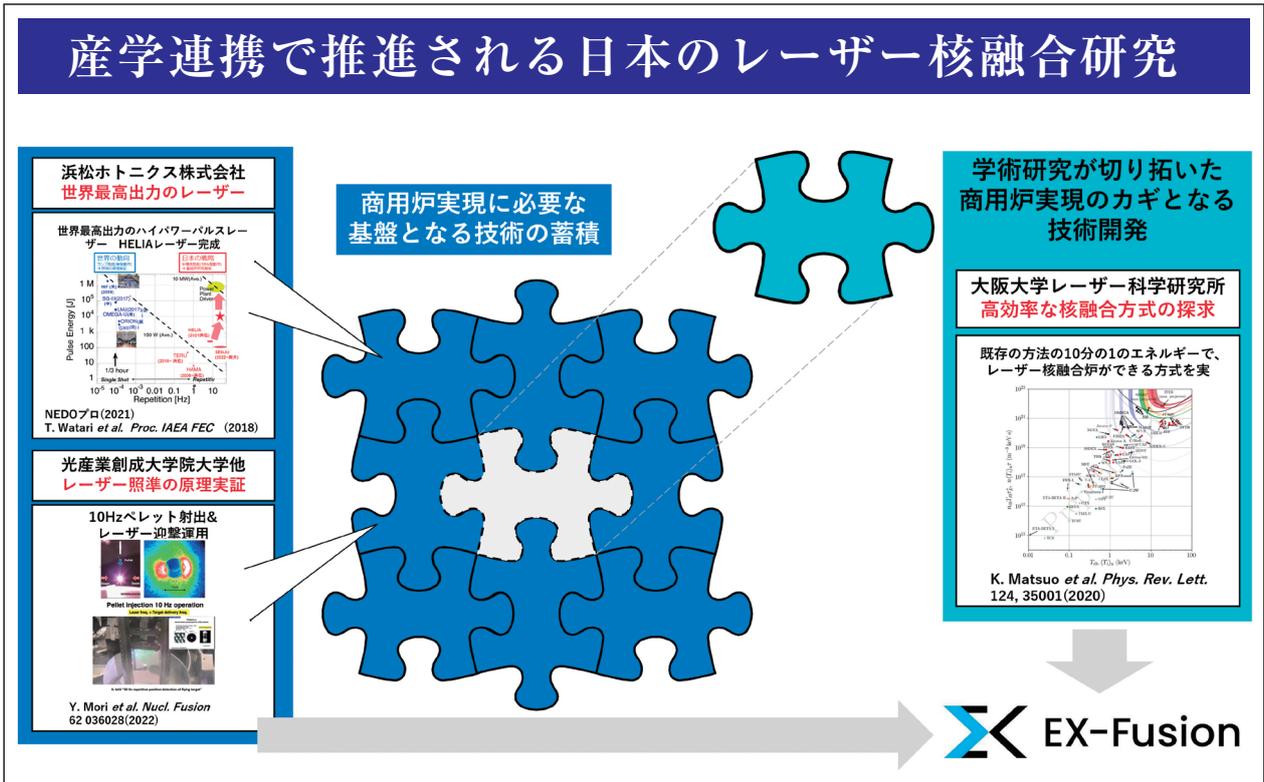
関心が高まり続ける背景には主に3つの背景があると考えている。1つは核融合に関する学術的、技術的な進展である。世界の核融合民間企業が所属し、アメリカを拠点に核融合市場分析を行っているFIA (Fusion Industry Association) という団体によれば、特に2021年の12ヶ月間は、核融合エネルギーの歴史書が書かれるとき、核融合が研究所から市場へ出て行くことが明らかになった転換点として見られると評価されている。

カリフォルニアの国立点火施設(NIF)で初めて制御された核融合点火が観測され、オックスフォードの欧州トーラス共同研究施設(JET)では核融合反応により、これまでの記録を更新するエネルギーが生み出された。これまでの長年にわたる科学研究の成果が結集された大きなマイルストーンが達成されたとして世界の各メディアでも大きく報道され、そのことが民間で核融合研究開発への資金流入にも影響している。

世界の気候変動に関する報道も世界が核融合に注目する大きな動機の一つとなっている。報道機関は、各国が掲げた二酸化炭素の排出量削減目標を達成できていないこと、干ばつ、熱波、異常気象などの影響が悪化していることを報道し続けており、特に欧米諸国では熱波で毎年のように死者が発生し、気候変動の影響が実生活にも影響を与えるということもあり、人々の気候変動リスクに関する関心が高まり続けている。

また昨年発生したロシアのウクライナ侵攻も核融合企業への資金流入を加速させることに繋がっていくと考えられる。ロシアに膨大な化石燃料資源がなければ、戦争のための資金を調達することも、ウクライナに侵攻する勇気もなかったであろうと報じられ、欧米の統一的な対応は、部分的にはエネルギーに関わる話でもある。

核融合の燃料は海水から作られる重水素、自給自足する三重水素であり、この技術が確立され世界に普及すれば地政学的なリスクの回避にもつながる。気候変動リスクだけではなく、長期的な視野に立った時に世界の平和の確保に役立つとされていることも資金流入の増加につながっていると考えられる。



今後の核融合 スタートアップの動向

上記のような背景から、核融合発電を目指した核融合スタートアップにも大きな投資が実行されるようになってきたことで、核融合スタートアップも独自に核融合エネルギーが機能することを示す概念実証装置を作ることができるようになってきた。一方で、民間企業が取り組むからと言ってすぐに商用機ができるかと言われればそうではなく、実現にはまだまだ多くの研究開発課題が残されている。

多くの核融合スタートアップは政府がこの努力の真のパートナーになることを強く要望しており、公的資金による核融合アプローチと私的資金による核融合アプローチとの間の「競争」ではなく、官民のパートナーシップを構築しなければならないと考え行動している。米国では、米国エネルギー省と科学技術政策室が主催する「商業核融合エネルギーのための大胆な10年ビジョ

ン」を計画するサミットに多くの核融合スタートアップが参加し、官民パートナーシップを前提として10年後、全米の新しい核融合技術拠点に、規模、アプローチ、燃料の異なる複数の核融合パイロットプラントを建設するという計画が策定されようとしている。

今後も上記のような官民のパートナーシップは強化され、民間からのリスクマネーの供給と、政府からの公的資金投入により、多くの核融合スタートアップが実証炉の建設、および商用炉実現のための大規模で大胆な研究開発を進めていくと考えられる。

世界のレーザー核融合 スタートアップを取り巻く 環境と動向

核融合の中でもレーザー核融合発電は、運転サイクルを制御することで負荷変動に対応することができるという優れた特徴を有しているため、既存の発電システムをすべて脱炭素化できる高いポテンシャルを有する。

現在、日本を始め、米国、仏国、英国、中国、ロシアを中心に世界中で研究開発が行われており、様々な核融合の手法の中でも特に実現可能性の高い方式の一つである。

レーザー核融合の研究開発は2021年に跳躍期を迎えた。2021年の8月、中心点火方式でのレーザー核融合点火を目指す米国のローレンスリバモア国立研究所では、レーザー核融合実験で1.3MJの核融合出力を観測し、50年来の炉心プラズマのマイルストーンである核融合点火が実証された。この成果を受け、米国では、凍結していたレーザー核融合炉研究開発プログラムの再開が検討されている。

国のプロジェクトが活気づく一方で、ここ数年の間に、ドイツやオーストラリアでもレーザー核融合スタートアップが設立されているが、他の方式で核融合を目指しているスタートアップと比較すると資金調達額ではやや後塵を拝している印象がある。

現在までに最も多くの民間投資を集めているCommonwealth Fusion Systemsは2018年創業と核融合スタートアップの中でも比較的若い企業であるにもかかわらず、すでに18億ドルもの資金調達を完了している。Commonwealth Fusion Systemsはマサチューセッツ工科大学(MIT)からスピナウトした大学発スタートアップであり、MITが40年以上にわたり研究開発を進めてきた球状トカマク方式の核融合の知見やアセットを最大限活用できることを最大の強みとしている。

これまでレーザー核融合を主導してきた多くの国では国立研究所で研究開発が行われており、民間の企業がレーザー核融合並びに大型レーザー関連の技術にアクセスすることは容易ではないため、これまでの技術の蓄積やアセットを十分に活用できないことが障壁として存在していると考えられる。

日本を拠点とする EX-Fusion社の役割

レーザー核融合の研究は、数時間に1回の割合で稼働するフラッシュランプ励起の大型レーザーを駆使し

た炉心プラズマの点火燃焼原理実証に注力されてきた。大阪大学レーザー科学研究所では高速点火方式が提案され、高速点火方式での核融合は従来の中心点火方式に比べて、より高い効率で点火条件を達成できる可能性を秘めていることを実験的に実証し、世界のレーザー核融合研究を先導してきた。

また半導体レーザー励起固体レーザーの出現により、高繰り返しレーザーによる核融合研究が可能となった。例えば、浜松ホトニクス社は、2021年6月に世界最大出力250ジュール半導体励起固体レーザーHELIAを整備した。大阪大学と量子科学技術研究開発機構は、革新的なパワーレーザーを中心とした多用途施設(J-EPoCH: Japan Establishment for a Power-laser Community Harvest)構想を提案している。

これまでの学術研究に加えて国内では、世界に先駆けて、高繰り返しレーザーによる核融合研究が萌芽し、多目的高繰り返しハイパワーレーザー施設の提案により、その芽を育む土壌が整備されようとしており、世界的にも技術面で大きな優位性を保っている。これら高繰り返しハイパワーパルスレーザーは、レーザー核融合のみならず、レーザー加工、レーザープラズマ推進や、次世代半導体製造に必要とされるEUV光源、重粒子線がん治療のためのレーザー加速イオン源など、多様なレーザープラズマ応用の研究開発の源泉でもある。

EX-Fusion社は、レーザー核融合商用炉の実現および、その関連技術の社会実装を行うため、これまでレーザー核融合研究開発を遂行してきた大阪大学レーザー科学研究所、及び光産業創成大学院大学の研究者により、大阪大学発スタートアップとして2021年7月に設立された。

日本を拠点とするレーザー核融合のスタートアップとしての地位を確立することで、国内外の民間資本を集め、高い開発リスクを受け入れながら、実用化に必要な技術開発を加速していきたいと考えている。さらに、レーザー核融合商用炉実現を目指す過程で得られる最先端の光制御技術・知見等を活用し、エネルギー分野にとどまらず、様々な産業分野の技術開発に貢献していくことを目指している。

編集後記

現在の経済、社会情勢はエネルギー、食料、安全、地球環境のどれにおいても将来が見通せない状況です。核融合エネルギー開発は、将来これらの問題の多くを解決する可能性を持っています。とはいえ、レーザー核融合エネルギー開発にはまだまだ多くの工学的研究開発が必要で、人材開発も重要となっており、アカデミアとインダストリーが協力して、着実な進歩が望まれます。

PS：本年度より、レーザー核融合技術振興会の副幹事長を担当させていただきます宮本です。フォーラムフラッシュの編集委員も担当いたします。よろしくお願いいたします。

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/>