

IFEフォーラム

レーザー核融合技術振興会

2021.12.20

No. 103

FORUM
FLASH

第30回レーザー核融合技術振興会 2021年7月14日 Zoom会議

レーザー核融合研究開発と カーボンニュートラル

- ・将来のエネルギー需要
- ・レーザー核融合研究の現状
- ・核融合研究開発に必要なパワーレーザーと応用
- ・カーボンニュートラルとレーザー核融合研究開発
- ・まとめ



大阪大学レーザー科学研究所
兒玉 了祐



2021年7月14日 兒玉 了祐教授による「レーザー核融合研究開発とカーボンニュートラル」講演

IFE
FORUM

IFEフォーラム

第30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、白神宏之

第30回レーザー核融合技術振興会総会
が令和3年7月14日(水)ハイブリッド開催
(レーザー科学研究所大会議室および
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)より挨拶がなされ、2050年カーボンニュートラルを見据え、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と述べられました。世界的に精力的に研究が行われており、我が国が引き続きレーザー核融合エネルギー開発を推進するためには、研究機関の開発力の充実、学術および産業イノベーションの創出、優秀な人材の継続した輩出が重要であり、本振興会の会員の支援と協力をいただきたい旨がありました。

令和2年度事業報告・収支決算案について資料により、白神宏之副幹事長(大阪大学レーザー科学研究所)から説明がありました。事業実施においては、コロナ禍で対面での会議、講演会を開催出来ず、順次書面決議またはオンライン開催に移行したことが述べられました。令和2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エネルギー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、「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などについて議論を行い、レーザー核融合戦略会議の提案を実現するためのアクションプラン、特に次期レーザー装置「J-EPoCH」を実現する方策について討議したことが紹介されました。またレーザー核融合戦略会議は令和2年9月25日に総括的報告会を実施、活動の成果を報告書として纏め、活動を完了し、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に引き継がれるとの説明がありました。また、国際交流・調査活動、講演会、見学会を含めた情報・広報活動についても報告がなされました。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3年度事業計画および収支予算案について資料により、白神宏之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、および有識者会議専門委員会を開催する。
- 「2050年問題におけるパワーレーザーと核融合

研究開発の役割に関するシンポジウム(仮)を学術会議との共催で開催する。

- 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」小委員会の活動を支援する。
- 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として、企業への説明会を経てキックオフ、ワーキングを実施する。

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5回アジアパシフィック物理学学会プラズマ会議の支援および光科学フォーラムサミットの共催など行うことが報告されました。また、ホームページの刷新、内容の充実を図るとのことでした。令和3年度事業計画および収支予算案について、全会一致で承認されました。

次に関連報告として、兒玉了祐所長(大阪大学レーザー科学研究所)より「レーザー核融合研究開発とカーボンニュートラル」とした講演がありました。

エネルギー需要と供給、レーザー核融合研究の経緯と現状のまとめの後、核融合燃焼物理は国際連携で、我が方は融合未臨界発電炉の実証で核融合炉に必要な技術開発を行い定常運転への技術知

識ストックを目指す展開を図る。そのために高繰り返しパワーレーザーを開発、これはパワーレーザー競争に新しい次元をもたらす。レーザー核融合は発電に限らず水素製造への応用の可能性があること、等が紹介されました。

引き続き、光産業創生大学院大学の森芳孝准教授より、「レーザー核融合戦略会議の活動報告～2030年以降を見据えたレーザー核融合研究開発の中長期展望」と題した講演がありました。

2010年代のレーザー核融合の進展、特に日米の成果のサーベイの後、レーザー核融合戦略会議の活動内容の報告がなされました。

2018年11月～2020年3月に、4件のワーキング(炉、ターゲット、レーザー、炉心)、3班(リソース、TRL評価、アウトリーチ)の活動を行い、炉システム評価シート、研究開発ロードマップ案、技術ビューを行った。海外の大型施設との共同研究、および国内で繰り返しハイパワーレーザーを基軸に据えたレーザー核融合研究開発を推進する。以上の結果に基づき、後継活動としてメガワット級レーザーによる核融合炉基本設計チームを設立、研究開発ロードマップ案を作成する計画、特に今後は企業との連携をスコープに活動すること、などが説明されました。

レーザー核融合戦略会議(2018年11月～2020年3月)
レーザー核融合の中長期的な戦略を検討する

ポイント (Team, Action, & Fun)

- 第1点：中長期的な戦略が検討可能なチーム形成
- 第2点：レーザー核融合炉の将来像を見据える
- 第3点：これから実行できる項目を見定める

IFEフォーラム支援の委員会
主催 光産業創成大 森
委員37名、オブザーバー2名、20機関

4つのワーキング(編成)：
炉(工、物理)：、ターゲット、レーザー、炉心
3つの班(編成)：
リソース、TRL評価、アウトリーチ

第1回全体委員会集合写真 2018.11.27 於後大レーザー班
参加者21名(ネット参加、オブザーバー含む)

集中議論のため、合宿を実施(2019年9月3,4日)

2019年9月3,4日 浜松合宿 光産業創成大

2021年7月14日
森 芳孝准教授による
レーザー核融合戦略会議
活動に関する報告

米国NIF装置における レーザー核融合点火燃焼達成に関する報告

大阪大学レーザー科学研究所 白神 宏之

報道等で既にご存じの方も多いかと思いますが、今年の8月に米国ローレンスリバモア国立研究所の超大型レーザー装置NIF (National Ignition Facility) において、1.9MJの投入レーザーエネルギーに対して1.35MJの核融合出力(中性子+ α 粒子)の発生に成功し、ついにレーザー核融合研究の大目標であったDT核融合反応の点火燃焼が世界で初めて達成されたことが報じられました。これは、レーザー核融合における最重要物理過程である核融合反応 α 粒子による燃料の自己加熱から燃料が燃え広がる広がる核融合点火燃焼が実現した結果であり、核融合出力エネルギー/レーザー投入エネルギー=0.7に達することによりブレークイーブン条件(=1)もほぼ達成したもので、慣性核融合研究における大きなマイルストーンを越えたと言えます。

8月8日のショットの後、このニュースは8月中旬頃にはBBC、New York Times、Nature誌、Science誌等で速報的に報道され、会議報告としては、9月15日にNIFの成果に関する報告会(Initial Results from the 1.3 MJ NIF Shot, オンライン)、9月22日にIFSA2021 (12th Inertial Conference on Inertial Fusion Science and Applications, オンライン)、11月8日~12日の米国物理学会プラズマ物理部会年会(APS-DPP2021, Pittsburghおよびオンライン)、11月23日のプラズマ・核融合学会(オンライン)等において多数の特別講演等で詳しく報告されました。

この成果は2020年にPhysical Review Letter誌にて

発表され続いて2021年5月の国際原子力機関核融合エネルギー会議(IAEA-FEC2021)で発表された設計概念での実験的検証をさらに進めてこれが成功し今回大幅な出力増加を達成したものであり、その後も実験的検証が続行されています。

今回の成果は、燃料ターゲットの爆縮に関する精緻な物理的理解と、極めて高度なレーザー、ターゲット、プラズマ診断、理論シミュレーションの先進的技術の統合的成果といえます。今回成功しているのは”Hybrid E”と呼ばれる設計コンセプトで、以下の様な改良がなされています。

- 燃料球サイズの大型化: ホーラムと呼ばれる円筒型の金属キャビティの中でレーザーから変換された輻射エネルギーの燃料球への結合効率を上げるため、直径910ミクロンから1100ミクロンに拡大したこと。
- ホーラム両端のレーザー入射口サイズの縮小: ホーラムからの輻射の逃げを低減させたこと。
- ホーラムに入射するレーザービーム間でのエネルギーの移動: 燃料球サイズを大きくすることによる爆縮対称性の低下を抑制するため、CBET (Cross Beam Energy Transfer) と呼ばれるプラズマ現象を利用して強度分布を制御したこと。
- レーザー波形制御: 高精度のレーザーパルス波形制御により、燃料球の爆縮時間とレーザーパルスの終端時刻を正確に一致させたこと。
- ターゲット品質の向上: 従来見られたシェル表面のピット、シェル層内部の欠陥、異物質のコンタミネーションを大幅に低減したこと。



- 燃料注入用のパイプの改良: 従来直径40ミクロン程度だったチューブを10ミクロン、さらに2ミクロンまで細くして爆縮の擾乱の原因を抑えたこと。

これらの結果、自己加熱・燃焼に足る燃料の密度×温度(=圧力)の上昇に至ったものと考えられます。

燃料プラズマについては、120種以上もの計測装置(多くは新技術を導入している)によるプラズマ状態の多角的解析が行われており、中性子像やX線像から燃焼領域が拡大したことが観測されています。これらにより初めて α 粒子による主燃料加熱が輻射等の損失を上回り途中からイオン温度が急上昇、つまり点火燃焼したことが判明しています。また、シミュレーションでは、データ駆動型解析を用いた設計がなされているようです。これらの結果、カプセルゲイン(=核融合出力/燃料カプセルへの投入エネルギー)=6、ターゲットゲイン(=核融合出力/投入レーザーエネルギー)=0.7が達成されたこととなります。現在、さらにターゲット物理を検証し出力を上げることを目的とした実験が継続して進められており、その勝算はあるようです。

これらの成果を受けて早速、レーザー核融合をIFE(Inertial Fusion Energy)として位置づけた研究展開を図ろうという気運の新しい動きとして、IFE Science and Technology Community Strategic Planning WorkshopのKickoff会議が11月16日に開催されました。現在ロチェスター大学レーザーエネルギー学研究

所所長のMike Campbell氏をはじめ米国の主立った研究所の代表や主要研究者による様々な報告・提案がなされました。ここでは大阪大学レーザー科学研究所児玉所長も参加し“Progress and Prospect of IFE Research in Japan”と題した講演を行い、日本からも議論にコミットしています。次回は2月22-23日に開催予定とのこと。今後の展開が期待されます。ワークショップのプログラムは以下のとおりです。

Agenda: Tuesday, November 16, 2021

Time (PT)	Speaker	Topic
8:00am - 8:15am	Alex Zylstra	Kickoff/goals
8:15am - 8:45am	Mike Campbell	IFE overview
8:45am - 9:15am	John Perkins	IFE target designs
9:15am - 9:45am	Steve Obenschain	HAPL
9:45am - 10:00am	— Break	
10:00am - 10:30am	Mike Dunne	LIFE
10:30am - 10:50am	Matt Gomez	MagLIF
10:50am - 11:10am	Thomas Schenkel	HIF
11:10am - 11:40am	Omar Hurricane	N210808
11:40am - 11:50am	— Break	
11:50am - 12:10pm	Robbie Scott	UK perspective
12:10pm - 12:30pm	Ryosuke Kodama	Asia perspective
12:30pm - 12:50pm	Todd Ditmire	Perspective
12:50pm - 13:00pm	Peter Seidl	Call for whitepapers

今回の点火燃焼実現により炉心プラズマとしてはレーザー核融合が実現可能であることが実証されたことになり、炉心プラズマ研究としては今後はターゲット利得を~1レベルから~100レベルへと上げる方策をとる必要があります。一方、炉工としてはレーザー核融合炉設計は未開拓の部分も多いですが、磁場閉じ込め核融合を目的として研究開発されている炉工技術とも共通する部分は多く、これらの炉工研究者のレーザー核融合への参画が期待されます。

磁場閉じ込め核融合のITERにおけるDTプラズマ実験開始が今から10年以上も先の2035年に設定されていることを考えると、現時点での慣性核融合における炉心プラズマの点火燃焼の成果は特筆すべきものであると言えるでしょう。

慣性核融合研究は新しいフェイズに入り、今後、核融合エネルギー開発としてより現実的なアプローチとなり、クリーンエネルギーとしての期待がますます大きくなると考えられます。

2021年 アジア太平洋物理学会 プラズマ物理分科会 (AAPPS-DPP2021)報告

大阪大学レーザー科学研究所 三間 圀興

表記の国際会議が、九州大学大学院情報科学・電気工学研究科の白谷正治教授(図1下段中央)が実行委員長となり2021年9月26日(日)から10月1日(金)まで、オンラインで開催された。参加者はのべ1000人超であった。

オープニングは、AAPPS-DPP(Division of Plasma Physics, Association of Asia-Pacific Physical Societies)会長Wan Baonian教授 中国科学院プラズマ物理研究所所長(図1下段右)の開会の辞を皮切りに、九州大学 石橋達朗総長の挨拶ならびに、AAPPS-DPP代表理事 菊池満教授の学会趣旨説明で会議は始まった。

続いて、チャンドラセクハール賞(プラズマ・宇宙物理学者、インドのノーベル賞受賞者の記念賞)、プラズマイノベーション賞、U30若手研究者賞、U40若手研究者賞授与式があった。2021年度のチャンドラセクハール賞は、韓国のトカマク核融合のリーダーであるS.K.Hahmソウル大学教授が受賞し、メダルと賞金2000ドルが授与された。

U30若手研究者賞には、非常にレベルの高い23件の応募が、我が国をはじめ中国、インド、韓国、オーストラリア、台湾よりあった。選考委員長(IFEフォーラム座長代理)三間(図1上段左)と岸本泰明(京大教授)、Hantao Ji(米国プリンストン大学教授、米国)、

ZhengMing Sheng(上海交通大学教授、中国)、Y.K.In(科学技術大学教授、韓国)、Arnab Choudhuri(Indian Institute of Science教授、インド)の6名の選考委員による書面審査とZoomによる合議で、6名の受賞者を決定した。受賞者には、賞状(図1下段左)と盾、ならびに賞金300ドルが授与された。2021年度の受賞者の国、分野、氏名、所属は以下の通りであった。

日本

Kento Katagiri(レーザープラズマ)

大阪大学大学院工学研究科(図1中段右端)

Munehito Shoda(天体プラズマ)

National Astronomical Observatory of Japan(図1上段中央)

中国

Guanqi Dong(磁場核融合プラズマ)

Southwestern Institute of Physics

China National Nuclear Corporation Chengdu(欠席)

Honghong Wu(天体プラズマ)

School of Earth and Space Sciences

Peking University(図1中段中央)

インド

Riddhi Bandyopadhyay(天体プラズマ)

Department of Astrophysical Sciences,

Princeton University(図1中段左)



図1 開会式ならびに30歳未満(U30)若手研究者省受賞者

韓国

Sang Kyeun Kim (磁場核融合プラズマ)
 Department of Nuclear Engineering
 Seoul National University (図1上段右)

開会式の後、約600件のプレナリー講演、招待講演、受賞講演、一般講演と73件のポスターが5日間にわたり発表された。このうち、招待講演の国別の分布は中国103件、日本97件、米国77件、インド38件、イギリス25件、ドイツ21件、フランス18件などであった。プレナリーと招待講演件数の分野別の内訳は以下の通りであった。

プラズマ応用	72件
プラズマ基礎	64件
プラズマ横断分野	35件
磁場核融合基礎	62件
レーザープラズマ・核融合	57件
磁場閉じ込め核融合	142件
天体プラズマ	103件

レーザープラズマと応用やレーザー核融合に関しては、新方式レーザー核融合の提案と超高強度レーザープラズマに関する講演が注目された。とくに、我が国からの高平均出力ハイパワーレーザーの技術開発、高速点火核融合、高密度プラズマ物性研究、レーザー放射線源の医療応用などの研究成果が特筆される。

最終日の10月1日(金曜日)の夕刻午後8時30分より閉会式があり、Wan Baonian 学会会長より今回の会議運営の九州大学の支援に対し謝辞が述べられた。また、菊池満 A APPS-DPP 代表理事より、次期会長にインドアーメダバッドプラズマ研究所 Abji Sen 教授が就任するとともに、2022年度の学会が千葉大学の松元亮治教授を実行委員長として開催されることがアナウンスされた。

最後にIFEフォーラムに、アジア太平洋物理学会一プラズマ分科会のこれまでの支援を感謝するとともに、引き続きのご厚情をお願いいたします。

編集後記

今年の8月にNIFにおいてレーザー核融合燃焼が実証され、レーザー核融合は新たなステップに進みました。これまでの炉心プラズマ物理の理解を柱とした研究から、より現実味のあるレーザー核融合炉の実現に向けた開発的な研究に移行します。

核融合は夢の技術から投資の対象へと変貌し、欧米を中心に多くの核融合ベンチャーが競争の段階に入っています。産業界を基盤とするIFEフォーラムは、今まさにその活動を次のフェーズへと本格化すべき時がやってきました。

来る年も今後とも皆さまのご指導、ご鞭撻のほど、どうぞよろしく願いいたします。

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>