

IFE フォーラム主催 公開シンポジウム

「レーザーフュージョンエネルギー
ー学術から産業へ新たな展開ー」
報告書

2024年3月7日

東京商工会議所 東商渋谷ホール

主催:IFE フォーラム

共催:大阪大学レーザー科学研究所

後援:オプトロニクス社, 株式会社 EX-Fusion, Blue Laser Fusion

協賛:レーザー学会, プラズマ・核融合学会,

パワーレーザーフォーラム, 光エレクトロニクスフォーラム

趣旨

米国 NIF (National Ignition Facility) におけるレーザー核融合点火・燃焼の実証を受けて、世界各地で、レーザー核融合研究はこれまでの学術研究から産業界と連携したエネルギー開発へと移行しつつある。官民がレーザー核融合研究に大きな投資を行うことが決定されるなど、世界で新たな動きが生まれてつつある。本シンポジウムでは、こうした新たな動向の中で、我が国がエネルギー開発において、ゲームチェンジャーとなるレーザー核融合エネルギーの可能性を議論した。

開会挨拶・来賓挨拶

主催者挨拶: 高西一光 IFE フォーラム座長

- ・一昨年に米国 NIF で達成された人類初の核融合点火を境に、世界各国では核融合研究からフュージョンエネルギー開発に舵を切り、例えばドイツなどでは自国の高い技術を背景にレーザーフュージョンへの大規模な資金投入が開始されている
- ・我が国でも大阪大学を中心に培ったレーザー核融合研究や高繰り返しハイパワーレーザー技術を軸に、レーザーフュージョンエネルギー開発において官民連携で世界を先導するゲームチェンジャーとなり得る可能性がある。



来賓あいさつ

森 英介 衆議院議員 エネルギー推進議員連盟会長

- ・我が国におけるレーザー核融合研究開発は、大阪大学で活発な研究が行われてきた。
- ・ここ 2、3 年で急速に進んでいる学術研究レベルから産業化への移行について、今がその大きな契機となっている。このような状況の中で、本シンポジウムにおいて有益な議論が行われることが期待される。



今枝 宗一郎 文部科学副大臣

- ・核融合研究開発は、学術研究から社会実装、商用化へと進みつつあり、国際競争が激化している。このような背景で我が国では、フュージョンエネルギーイノベーション戦略を策定し、さらにムーンショット型研究開発事業の 10 番目のテーマとしてフュージョンエネルギー開発を加えた。バイオや量子と並んでこのフュージョンエネルギーについても中長期的視点で投資の促進や規制改革をすすめるなど、政府を挙げて取り組んでいる。
- ・レーザー核融合は、米国の点火燃焼実証を契機に、商用炉に至る炉形式のうち最有力の



一つとして産業化への期待がもたれるとともに、そのレーザー技術に関しては他分野や産業への幅広いスピノアウトが見込まれる。文部科学省としても、ITER 計画の推進とともに学術研究として大阪大学レーザー科学研究所への支援を行い、今後は上記ムーンショット型研究開発等を活用し、さらなる発展を期待している。

松尾 泰樹 科学技術・イノベーション推進事務局 事務局長

- 内閣府で国家戦略としてのフュージョンイノベーション戦略を策定するに至った。そんな中で、レーザーフュージョンに関しては、エネルギーの取り出しはもちろんのこと、宇宙応用や先端医療など経済圏を成すという点で大きな期待がある。
- フュージョンエネルギーは多様な技術が集まって業態を成していくものであるため、アカデミア、産業界ほか多くの方々を集め、さらに人材育成で発展させていきたい。
- 永遠に 30 年後といわれてきたが、夢の 30 年から現実的な 30 年、より具体性をもったスケジュール感でこのフュージョンエネルギーを含む多様なエネルギー開発について、次世代に何を残せるのかということと皆さんと一緒に考えていきたい。



保坂 伸 経済産業省 経済産業審議官

- 福島第一発電所の事故やウクライナ紛争などにより、世界のエネルギー事情が一変する事態となり、エネルギー安全保障、環境問題、そしてコストの問題に直面している。また、今後の人口増加、生成 AI 等にかかわるデータセンター等の世界エネルギー需要増大といった課題にも直面している。フュージョンエネルギーは、このような世界のエネルギー問題や脱炭素技術のゲームチェンジャーとなり得る。
- 核融合技術開発においては、研究機関や企業による開発だけでなく、よりハイリスクなイノベーション投資が必要になってくることから、政府としても支援のあり方を検討している。
- レーザーフュージョンエネルギーに関しては、レーザーそのものが半導体や医療分野など多くの分野で活用されており、サプライチェーンの維持強化に経済産業省としても支援を検討していきたい。

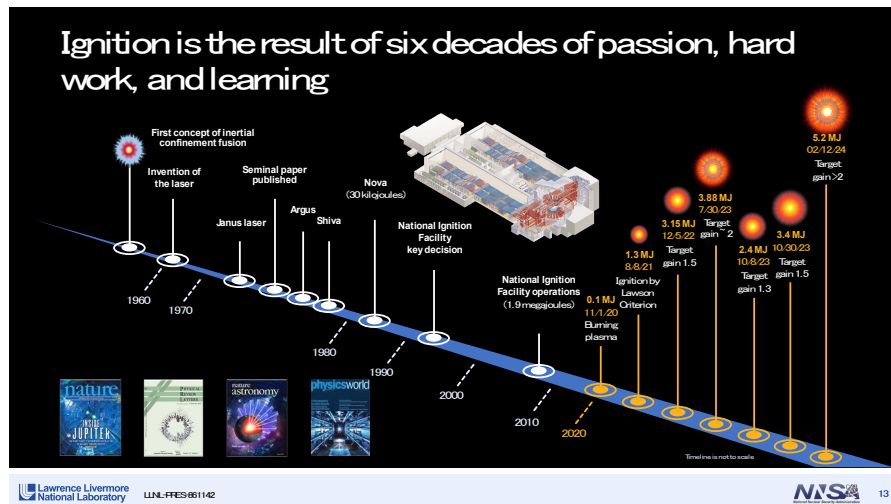


第1部 基調講演

1. 「レーザー核融合点火燃焼」

キム・ブディル所長代理 ジョン・エドワード(米国ローレンスリバモア国立研究所・上級顧問)

- これまでの実験結果の蓄積と機械学習の技法により、核融合出力が着実に増加している(24年2月には5.2 MJ; 利得: >2 が達成できている)。
- 今後、レーザー出力を3 MJまで上げることで、数10MJのフュージョンエネルギー発生、さらにエネルギー利得のスケールリング(予測曲線)を得る。
- 国際的な研究協力関係を築くことが重要であり、とりわけ日本との協力は重要であり、日米の協力をより強固なものとして、強固な連携を長く続けていきたい。



Japan and US enjoy existing collaborations in fusion and related areas



Japan-US HEDS meeting, LLNL, 2024

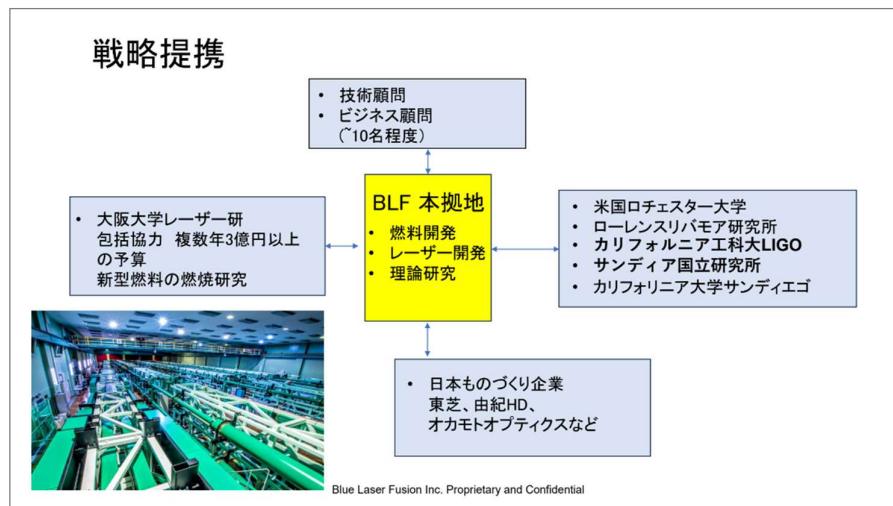
- US-Japan Science and Technology Agreement: the Project arrangement on high power laser and high energy density science as a new framework in the fields of fusion energy between DOE, U.S.A. and MEXT, Japan (2019.1.23~)
 - Office of ILE Osaka in LLNL established (2019)
 - MOUs signed between ILE Osaka and LLNL (2019.1, 2021.9)
- Extensive collaborations at each facilities including the high energy density physics experiments at NIF, LLNL, regular bilateral seminars with a total of 500 participants have been held. Graduate students are sent to LLNL for internships
- A preliminary meeting for a Workshop to realize the "Joint Experiment on Burn Physics of Fusion at NIF" committed in the 2021 MOU has been set up. (2024.3.1) at LLNL

Thank you for your partnership!

2. 「ゲームチェンジできるレーザー核融合」

中村 修二(カリフォルニア大学・特別教授、Blue Laser Fusion・CEO)

- Blue Laser Fusion 社では、独自のアイデアでレーザーパルスを高繰り返して 10 万倍に上げる方法を開発し、さらに中性子が発生しない手法も考案している。
- 大阪大学レーザー科学研究所は限られた予算の中で、非常に優秀な人材、経験があり、多くの成果を出している。我々は大阪大学と数億円規模の共同研究契約を締結した。
- 大阪大学が築いた技術、ネットワークを活用し、そして米国ではローレンスリバモア研との協力関係もある。日本企業には物づくりの技術を期待し、数年後には官民一体となって 5000 億円規模の実証炉を作り、2030 年前後には点火を実現し商業化に邁。



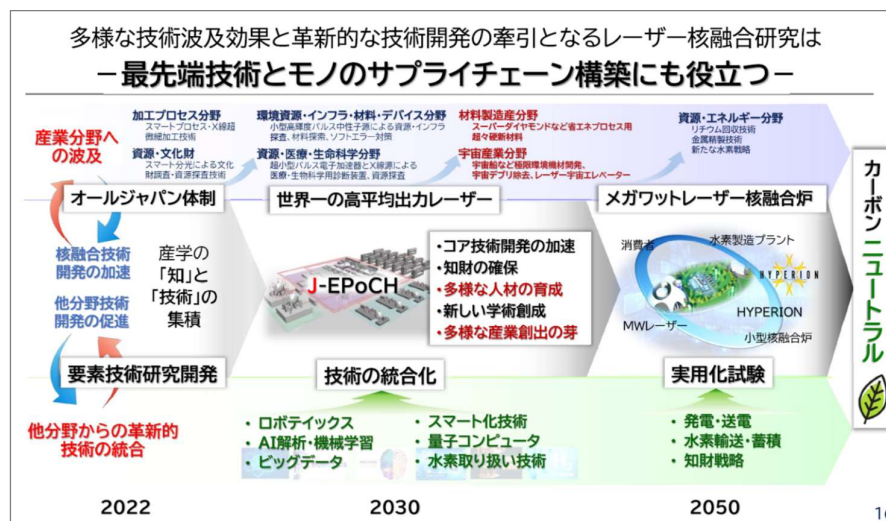
開発・実証炉建設ロードマップ

- フェーズ1 (2年) - OECの概念実証 (～50億円規模(すべてベンチャー投資資金で賄う))
1ペアの共振器でレーザー増幅、レーザー光源の開発、新型燃料投入、アルファ線の検出(核融合反応の確認!)
- フェーズ2 (2年) - リアクター実証炉 (～5000億円規模(公共プロジェクトとして政府支援も必要))
500以上のレーザーシステムの統合、さらにハイパワーのレーザー光源の開発、新型燃料の投入、点火を目指した実験着手
日本では、日本メーカーを中心とした開発コンソーシアムを組成。
日米両政府からの支援
- フェーズ3 (2030年前後) - 点火の実現 (商用化をみすえた民間プロジェクト)
1ギガワット級の発電炉の原型炉。中性子低減を実現する燃料での点火の実現。
商用化にめど

3. 「レーザー核融合研究の拡がり」

児玉 了祐（大阪大学レーザー科学研究所・所長）

- 米国の点火燃焼実証とともに我が国の高繰り返しレーザー技術の飛躍と高速点火方式の理解が進んだ今こそ、レーザーフュージョンエネルギー実現へ向けた第2フェーズへ移行する時である。
- 「エネルギー資源がない日本」こそ、水素製造でレーザーフュージョンの早期実用化を目指す独自の戦略で、一早くレーザーフュージョンエネルギーを実用化し世界を先導できる国である。
- 多様な人・学術・技術を生み出す J-EPoCH 計画を推進し、レーザーフュージョンエネルギーに不可欠な多様な大量なサプライチェーン構築に喫緊に取り組むべきであり、そのカギは、産学官によるオールジャパン体制と国際連携である。



4. 「レーザーフュージョンエネルギー実現へのステップ」

松尾 一輝 (EX-Fusion・CEO)

- フュージョンエネルギーは技術の統合によって実現可能である。EX-Fusion 社ではレーザーの機器、燃料ペレット、鉛ブランケットなどの要素技術を高度化を目指し、最終的には技術を統合して発電を行う。
- レーザーフュージョン技術はレーザー加工、海水の淡水化、Liの回収、重イオン放射線治療など、他の分野でも応用できるほか、宇宙デブリの補足、除去に関しては、レーザーで燃料ペレットを狙い撃ちする技術が直接的に使用できる。
- これら技術を使った応用研究、市場開拓を行い、その売り上げをレーザーフュージョンエネルギーの実証炉へ還元する流れを作りたい。

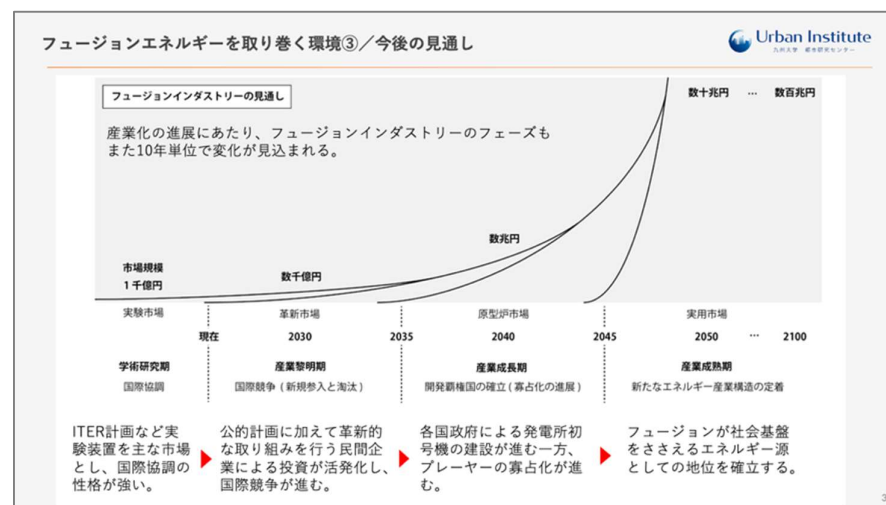


5. 「フュージョンエネルギーを取り巻く環境」

武田 秀太郎（九州大学都市研究センター・准教授）



- 過去 10 年間でフュージョンスタートアップの数が急激に増えており、米国では、その投資額もすでに国家予算を上回る状況である。さらに、公的プログラムではレーザーフュージョンなどが全体の 5%以下なのに対し、民間企業では 20%を上る。
- これまでフュージョンエネルギーはベースロード電源という目標への一本道であったが、ムーンショット型研究計画では小型動力源、宇宙推進器、水素源などの目標も掲げられており、多様なアウトプットが期待できる。
- すでに市場規模は数千億円に達している。これから各国政府による発電所建設が進めば、数兆円、数百兆円の規模になる。我が国が先んじて開発をすすめることにより、エネルギーの輸出国となることができる。



第2部 パネル討論会:「学術研究から産業への変革について」

コーディネーター: 筑本知子(大阪大学・教授) (写真左より)

パネリスト: 晝馬 明(浜松ホトニクス・会長)
西辻陽平(住友商事・企画・戦略部 Incubation ライン長)
高林幹夫(三菱電機先端技術総合研究所・所長)
中村修二(カリフォルニア大学・特別教授、Blue Laser Fusion・CEO)
松尾一輝(EX-fusion 社・CEO)
高西一光(IFE フォーラム座長、関西電力・執行役常務)
飛田健次(東北大学大学院工学研究科・教授)
武田秀太郎(九州大学都市研究センター・准教授)
兒玉了祐(大阪大学レーザー科学研究所・所長)



- 【ポイント1】レーザーフュージョン実現及び実用化の時期、早期実用化のボトルネックまたは課題: 電力会社としてはできるだけ早期にレーザーフュージョン発電の実現を期待。レーザーフュージョンエネルギーの多様な利用方法により、より早期のフュージョンエネルギー実用化と電力源としての実用化への加速につながる。
- 【ポイント2】レーザーフュージョンを日本で取り組むことの意義や日本の強み: 日本は高い技術をもっている。日本が持っている技術と強みを見直し、オールジャパンでしっかりまとまっていけばもっと強くなれるはずである。
- 【ポイント3】サプライチェーンの見通し、サイバー空間の活用、多様な人材育成の必要性: 大量のものを高品質で作る技術が日本の強みでもあると考える。レーザー以外の分野も産業界全体からの参入の意気込みが出てくることが重要。また高度な監視制御が必要であり、ハードウェアに関するAI人材が日本の強みになる。多様な人が関わり、それを生かしていけるテーマの一つが総合科学であるレーザーフュージョンであり、そういう場ができれば新たな価値あるイノベーションがまた起こる可能性がある。
- 【ポイント4】産官学や国際連携などの必要性: 産官学連携で競争と協調の両立と切り分けが重要。人材育成のほか、安全、規制、標準化等は協調して取り組むべきであり、政府のリーダーシップを期待。このような大きなシステムは民間だけでは難しく、公的資金を取り入れながら民間の資金をも取り入れて、民間のリスクを下げていくような方策が必要。産官学オールジャパンでの取り組み体制が重要。

閉会挨拶(シンポジウムのサマリー)

久間 和生 レーザー学会 会長

- 我が国では、大阪大学を中心に世界最高性能のガラスレーザー開発や、高効率で点火が可能な高速点火方式の実証など、世界に誇る成果を挙げてきた。そして2022年に米国において世界ではじめて核融合点火燃焼が実証され、フュージョンエネルギーが現実のものとなってきた。ここで中村修二先生が開発された青色半導体のように、不可能とされている画期的な技術が開発されれば、実用化への道が一気に開ける。
- 米国のローレンス・リバモア国立研究所の成功を受け、世界各国でレーザーフュージョンエネルギーの開発に大規模な投資が始まるなど、**実用化に向けた大競争時代の幕が開かれた**。エネルギーの9割を輸入に依存している我が国にとって、日本がフュージョンエネルギーを実現すれば、我が国のエネルギー問題を解決できるだけでなく、エネルギー輸出大国になる可能性を秘めている。エネルギー安全保障における日本の立ち位置を変える、まさしくゲームチェンジャーとなるインパクトの大きな技術で、その実用化と産業化を一気に進めるべきである。
- 本日の講演やパネルディスカッションで紹介された**高繰り返しパワーレーザー技術に関連する我が国の材料技術やデバイス技術は世界を圧倒しており、これに磁場閉じ込め核融合で培った技術をレーザーフュージョンエネルギー開発に取り入れ、今のタイミングで資金を投入すれば、日本は優位に立てるチャンスである**。
- ここでレーザーフュージョンエネルギーを実現するために強化すべきポイントとして2項目が挙げられる。1つ目は、AIを中心としたICTの徹底的な活用である。私が内閣府総合科学技術・イノベーション会議議員時代に創出したSociety 5.0のコンセプトをレーザーフュージョンエネルギーシステムに導入することが必須である。Society 5.0が目指すのは「サイバー空間とフィジカル空間の高度な融合」を通じて新たな価値を創出することであり、エネルギー、交通、医療、農業など、すべての分野にAI、ビッグデータ、センシング技術等を核としたサイバーフィジカルシステムを導入することを提唱した。これまでのようにハードウェアのみのビジネスが、米国や中国に負けてきたことの繰り返しとならないよう、反省すべき時に来ていると思われる。AI、ビッグデータ、ロボティクスを核とした**サイバーフィジカルシステムを徹底的に活用した我が国独自のレーザーフュージョンエネルギーの実現を加速すべきである**。
- 2つ目は、**関係府省の連携**である。レーザーフュージョンエネルギーがベース電源になるにはまだ時間を要する。一方、レーザーフュージョンエネルギー実現に向けて開発された技術は多様な分野で活用されるはずである。例えば、スペースデブリの除去、高温を活用した水素の生成など、開発された要素技術を早期に活用し、産業化していくことが重要である。このような技術の展開を実践するには、総合力が必要となる。日本政府は、昨年4月にフュージョンエネルギー・イノベーション戦略を決定し、フュージョンエネルギーの実用化・産業化に向けて舵を切った。内閣府をはじめ、文科省、経産省、総務省など関係府省



が縦割りを乗り越え総合力を発揮し、システムの開発や応用を推進することで、レーザーフュージョンエネルギー技術を産業の大きな柱に育てることが可能となる。是非とも関係府省の強力な横連携をお願いする次第である。

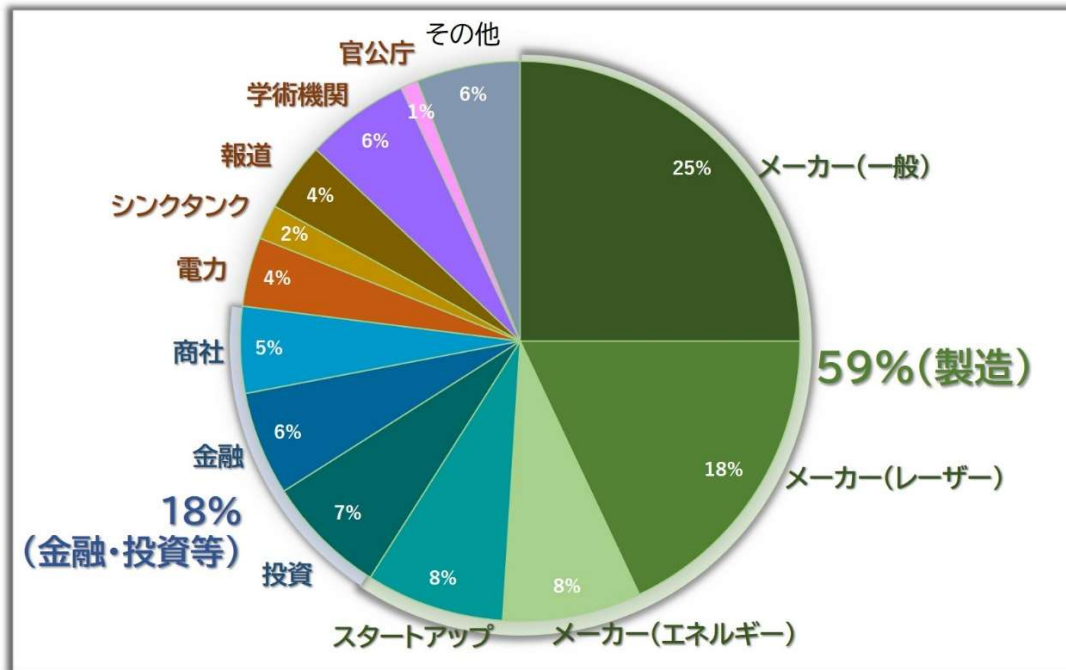
- 本日のシンポジウムをきっかけとして、産学官連携をさらに強化し、レーザーフュージョンエネルギーの実用化と産業化が加速されることを期待している。その結果として、新しい価値を創出し、再び我が国が世界をリードし、日本再生に導いていただきたい。

参考:

• シンポジウム出席者数と内訳

参加者数:434名

内訳:一般参加者(335名)、
来賓・主催者・関係者(75名)、
報道関係者(25名)



IFEフォーラム主催 公開シンポジウム

レーザー フュージョンエネルギー

— 学術から産業へ新たな展開 —

2024年

3/7

13:30-17:00

東京商工会議所 5階 東商渋谷ホール

PROGRAM

主催者開会挨拶

高西 一光 | IFEフォーラム座長

来賓挨拶

今枝 宗一郎 | 文部科学副大臣

松尾 泰樹 | 内閣府・科学技術・イノベーション推進事務局長

保坂 伸 | 経済産業審議官

第1部 基調講演

座長 田中 和夫 | ELI-NP元所長

レーザー核融合点火燃焼

キム・ブディル | 米国ローレンスリバモア国立研究・所長

ゲームチェンジできる

レーザー核融合

中村 修二 | カリフォルニア大学・特別教授,
Blue Laser Fusion・CEO

レーザー核融合研究の拡がり

兒玉了祐 | 大阪大学レーザー科学研究所・所長

レーザーフュージョンエネルギー 実現へのステップ

松尾 一輝 | EX-Fusion・CEO

フュージョンエネルギーを 取り巻く環境

武田 秀太郎 | 九州大学都市研究センター・准教授

第2部 パネル討論会

学術研究から産業への変革について

コーディネータ

筑本 知子 | 大阪大学・教授

パネリスト

晝馬 明 | 浜松ホトニクス・会長

西辻 陽平 | 住友商事・エネルギーイノベーション・
イニシアチブ企画・戦略部Incubationライン長

高林 幹夫 | 三菱電機先端技術総合研究所・所長

中村 修二 | カリフォルニア大学・特別教授
Blue Laser Fusion・CEO

松尾 一輝 | EX-Fusion・CEO

高西 一光 | IFEフォーラム座長, 関西電力執行役常務

飛田 健次 | 東北大学・教授

武田 秀太郎 | 九州大学・准教授

兒玉了祐 | 大阪大学・教授

閉会挨拶

久間 和生 | レーザー学会会長

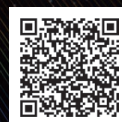
共催: 大阪大学レーザー科学研究所

協賛: EX-Fusion/Blue Laser Fusion/オプトロニクス社/レーザー技術総合研究所

後援: プラズマ・核融合学会/レーザー学会/パワーレーザーフォーラム/
光エレクトロニクスフォーラム

先着300名

<https://www.ilt.or.jp/ife-forum/event/sympo2024>



シンポジウム開催趣旨

米国NIF (National Ignition Facility) におけるレーザー核融合点火・燃焼の実証を受けて、世界各地で、レーザー核融合研究はこれまでの学術研究から産業界と連携したエネルギー開発へと移行しつつある。米国政府は、「核融合は発電をはるかに超える影響を与える可能性がある」と認識し、経済競争力を強化するため、2022年11月に「Net-Zero Game Changers Initiative」の優先事項の1つとして大規模フュージョンエネルギーを位置づけた。またドイツでは、国内のレーザー技術レベルの優位性を活かし、フュージョンエネルギーに大きな投資を行うことが決定されるなど、世界で新たな動きが生まれつつある。

本シンポジウムでは、こうした新たな動向の中で、我が国のエネルギー開発において、ゲームチェンジャーとなるレーザーフュージョンエネルギーの可能性を議論する。



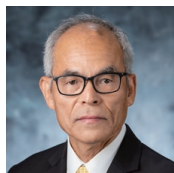
HYPERION: Hydrogen-production Plant with Energy Reactor of Inertial-fusion

基調講演者



ジョン・エドワーズ氏 (John Edwards) ローレンスリバモア国立研究所・上級顧問 (キム・ブディル所長の代理講演)

1990年、ロンドンのインペリアル・カレッジで博士号を取得。1998年、ローレンスリバモア国立研究所に入所。2011年、高エネルギー密度物理学における流体力学への貢献とリバモア研究所の国立点火施設 (NIF) における核融合点火キャンペーンでのリーダーシップが評価され、米国物理学会フェローを授与。"高エネルギー密度物理学と商業的核融合発電源につながる点火の最終的な達成のための国立点火施設 (NIF) に関する科学プログラムのリーダーシップ"を評価され、2014年、商用電源としての核融合の開発を加速させる上で、卓越した指導的資質を示した人物を表彰する米国核融合協会の Leadership Awardsを受賞。



中村 修二氏 カリフォルニア大学・特別教授 Blue Laser Fusion CEO

1979年、徳島大学修士課程を修了。その後、1999年まで日亜化学工業 (株) に勤務。当時の物理学では、不可能とされていた窒化ガリウム系を用いて青色LEDと紫色半導体レーザーを発明。1994年には、同大学から工学博士号を取得。2000年に米国に移住し、カリフォルニア大学材料物性工学部の教授となる。2014年には、青色LEDの発明によりノーベル物理学賞を受賞。2021年には、Queen Elizabeth賞を受賞。論文は700件以上発表している。米国に移住後、SoraaとSoraa Laser Diodeの2つの会社を共同創業。2022年11月には、3つ目の会社として早稲田大学ベンチャーズの太田裕朗氏と共同で米国においてBlue Laser Fusionを創業。



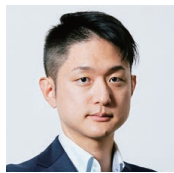
兒玉 了祐氏 大阪大学レーザー科学研究所・所長

1990年、大阪大学で博士号を取得。パワーレーザーの開発からレーザー核融合研究など、高エネルギー密度科学の開拓に従事。一連の成果は、Nature誌などの630編以上の学術論文誌に掲載され、米国核融合協会Excellence Awards (2002年)、米国物理学会John Dawson Award (2006年)、米国原子力学会Edward Teller Medal (2021年)などの学会賞を受賞。また、日本学術振興会賞 (2006年) や Daiwa-Adrian Prize (2007年) など国内外の財団からも学術賞を受賞し、紫綬褒章 (2023年) の栄誉に輝き、米国物理学会フェロー (2008年)、露国科学アカデミー名誉博士 (2015年)、レーザー学会フェロー (2019年) も受ける。



松尾 一輝氏 EX-Fusion・CEO

2020年、大阪大学で博士号を取得。同年米カリフォルニア大学サンディエゴ校博士研究員。2021年より現職。大阪大学在籍時は、我が国独自の高速点火方式のレーザー核融合プラズマ研究に従事。従来方式と比べて10倍以上高い効率で核融合プラズマ生成を実証し、2020年に日本物理学会より第17回若手奨励賞を受賞。現在はレーザー核融合商用炉実用化を目指す国内唯一の民間企業EX-Fusion社を設立し、2023年7月、シードラウンドで18億円の資金調達を終え、これまで国内の研究機関が遂行してきた研究成果を基盤として開発を加速。



武田 秀太郎氏 九州大学都市研究センター・核融合エネルギー部門 部門長・准教授

2018年、京都大学で博士号を取得。2019年、ハーバード大学で修士号を取得。同年、京都フュージョンリング株式会社を共同創業しChief Strategistを務める。2020年、国際原子力機関プロジェクト准担当官を経て現職。フュージョンエネルギーの社会実装にかかるイノベーション政策や環境経済影響に関する研究を推進。また、文科省核融合科学技術委員会タスクフォース主査代理や日本学術会議若手アカデミー分科会委員長・連携会員なども務める。Assoc. of Energy Eng. Int'l Young Energy Pro. of the Year Award (2018年)、IAEA事務局長 特別功労賞 (2020年) や英国物理学会 若手キャリア賞 (2021年) を受賞。