

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
—我が国のレーザー核融合研究開発の推進に向けて—



有識者会議 風景(衆議院第一議員会館 国際会議場)

令和6年3月

IFE フォーラム有識者会議

議長 近藤駿介

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

—我が国のレーザー核融合研究開発の推進に向けて—

(目次)

有識者会議議員・専門委員会委員名簿	ii
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 エグゼクティブサマリー	iv
1. 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設置の経緯	1
2. 日米シンポジウム「ハイパワーレーザーによる高エネルギー密度科学技術の展望」 （概要）	3
3. 第3回レーザー核融合によるエネルギー開発に向けた有識者会議（概要）	5
4. 第1回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	6
5. 日本学術会議・IFE フォーラムシンポジウム（概要）	12
6. 第2回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	16
7. 日本学術会議 見解「多様な知が活躍できる大型パワーレーザー施設の実現と国際的な 中核拠点の構築」（要旨）	21
8. 海外の IFE 開発戦略	25
8.1 米国 IFE 開発戦略	25
8.2 ドイツ IFE 開発戦略	29
9. 今後の取り組みと展望	31

参考資料（IFE フォーラム ホームページ有識者会議参照）

- A1. 日米シンポジウム「ハイパワーレーザーによる高エネルギー密度科学技術の展望」
- A2. 第3回レーザー核融合によるエネルギー開発に向けた有識者会議
- A3. 日本学術会議 総合工学委員会 エネルギーと科学技術に関する分科会
パワーレーザー技術と高エネルギー密度科学小委員会シンポジウム
(共同開催 IFE フォーラム)
- A4. 米国国会下院、科学技術と宇宙委員会 エネルギー部会証言記録 (2021. 9. 11)
- A5. 海外の IFE 開発戦略
 - A5.1 米国 IFE 開発戦略
 - A5.2 ドイツ IFE 開発戦略
- A6. 日本学術会議見解「多様な知が活躍できる大型パワーレーザー施設の実現と国際的な
中核拠点の構築」

有識者会議議員・専門委員会委員名簿

有識者会議議員 (2019. 4.)

議長	近藤 駿介	原子力発電環境整備機構理事長・元原子力委員会委員長
議員	故有馬 朗人	根津育英会武蔵学園学園長・東京大学名誉教授
	井澤 靖和	レーザー技術総合研究所所長・大阪大学名誉教授
	大石 富彦	関西電力株式会社 執行役常務 (IFE フォーラム座長)
	大森 達夫	三菱電機株式会社開発本部主席技監 (IFE フォーラム座長代理)
	神納祐一郎	三菱重工業株式会社 技術戦略推進室 フェローアドバイザー
	河内 哲哉	量子科学技術研究会開発機構 関西光科学研究所 所長
	久間 和生	農業・食品産業技術総合研究機構 理事長 (レーザー学会 会長)
	兒玉 了祐	大阪大学レーザー科学研究所所長
	塩谷 立	衆議院議員
	故柘植 綾夫	日本工学会元会長・顧問
	永宮 正治	理化学研究所 研究顧問
	中井 貞雄	大阪大学 名誉教授
	原田 憲治	前衆議院議員
	森 英介	衆議院議員
	山地 憲治	地球環境産業技術研究機構 理事長・研究所長
	渡辺美代子	科学技術振興機構 シニアフェロー

専門委員会委員 (2019. 4.)

委員長	近藤 駿介	原子力発電環境整備機構 理事長
副委員長	三間 圀興	大阪大学 名誉教授 (IFE フォーラム座長代理)
	疇地 宏	大阪大学 名誉教授
	犬竹 正明	東北大学 名誉教授
	植田 憲一	電気通信大学 特任教授
	岡野 邦彦	慶応義塾大学 理工学部 教授
	川嶋 利幸	浜松ホトニクス 呉松産業開発研究所 副所長
	加藤 義章	光産業創成大学院大学 特任教授
	兒玉 了祐	大阪大学レーザー科学研究所 所長
	笹尾真実子	同志社大学 嘱託研究員・東北大学 名誉教授
	白神 宏之	大阪大学レーザー科学研究所 教授
	緑川 克美	理化学研究所 光量子工学研究センター長
	森 孝芳	光産業素創成大学院大学 准教授
	故望月 孝晏	兵庫県立大学 特任教授

有識者会議議員(2020. 4)

家 正則 国立天文台 名誉教授
高西 一光 関西電力株式会社 執行役常務 (IFE フォーラム座長)

専門委員会委員(2020. 4)

岩本 晃史 核融合科学研究所 低温工学研究部門 准教授

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

エグゼクティブサマリー

2019年1月米国ワシントン DC で開催された日米シンポジウム「ハイパワーレーザーによる高エネルギー密度科学技術の展望」（2019年1月23, 24日）（2章と IFE フォーラムホームページ 有識者会議 資料番号 A1. 参照）と、2016年から2019年までの第1期第1回、第2回ならびに第3回レーザー核融合によるエネルギー開発に向けた有識者会議（3章と IFE フォーラムホームページ 有識者会議 資料番号 A2 参照）の議論を受けて、2019年4月第2期有識者会議を設置した。第2期有識者会議では以下の取り組みを実現するための具体的な方策を議論することになった。

- 1) パワーレーザーを用いた高エネルギー密度科学は、レーザー核融合などのエネルギー開発に加え、固体・プラズマ・真空の極限状態の学術（高エネルギー密度科学）の創成とさまざまな産業イノベーションにつながる新しい技術の創出が多く期待できる学際分野として、世界的にその重要性が増すとともに大きく進展している。我が国は、レーザー核融合と高エネルギー密度科学に関する多くの実績とそれを推進するためのパワーレーザー技術における国際的競争力を有しており、速やかにこの分野の研究拠点を確立すること。
- 2) 我が国の革新的なパワーレーザーに関連する国際競争力ある技術をオールジャパン体制で統合することで、世界初の高繰り返しパワーレーザー複合施設を実現する必要がある。さらに AI・IoT 技術により多様なユーザーに対応できるスマート化技術を導入することで、最先端学術の開拓から社会を豊かにする身近な技術開発まで、幅広い研究者が利用できる国際的な知の拠点を作ること。
- 3) さらに、「国際的な連携を推進する要」となる上記分野の中核拠点を確立し、高エネルギー物理学、宇宙物理学、プラズマ物理学などの基礎科学やレーザー核融合などのエネルギー学、物質材料科学、レーザー工学、プロセス工学、情報科学など多様な学術の飛躍的発展とともに、産業構造の変革やグローバルに活躍できる人材の育成に貢献すること。

第1回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（2019年10月）ならびに第2回有識者会議（2022年4月）を開催し、レーザー核融合研究開発の推進方策を審議した。一方、2022年2月には日本学術会議と IFE フォーラムの共同主催で公開シンポジウム「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」を開催し、学術界の動向を有識者会議に議論に反映した。

2回の有識者会議で出された意見の取りまとめにつき近藤議長より以下の提案があった。「有識者会議としてはこれまでの議論を踏まえて、わが国の政策、施策においてこれまでの審議で出された提案・意見が重要ということを世に問う必要がある。その問うべき内容をきちんと整理することが大事である。そのため、これまでの有識者会議からの意見

を踏まえてさらに提案を精緻化していく必要がある。これだけ世の中が変わってきたことも考慮し、いただいた指摘を参考にして提案を精査する作業を行い、説得力のある提言を社会と共有できるようにしたい。」

議長提案の取りまとめは、日本学術会議 総合工学委員会 エネルギーと科学技術に関する分科会と、分科会に設置された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における「見解：多様な知が活躍できる大型パワーレーザー施設の実現と国際的な中核拠点の構築」の作成作業と並行して進められた。展望・提案の作成作業にあたっては、以下の有識者会議等からの意見とその後の動向を反映した。

- 1) 1日に1回か2回の爆縮実験結果をデータサイエンスにかけるため、米国では10年間の実験結果をずっとため続けて、それを基に機械学習をさせて最適化していった。そのため、NIFが2009年に完成して2014年の点火実証を目指していたが達成できず、その後一つずつ課題を解決して成功に至った。我が国では、高繰り返しプラズマ実験で得たビッグデータを機械学習に取り入れるべきである。その延長で、核融合の反応そのものの最適化をすることをすすめ、核融合炉につなげるべきである。
- 2) アメリカ DOE のオフィス・オブ・フュージョン・エナジー・サイエンス (OFES) が主催のワークショップで非常に活発な議論が行われ Time is Now がキーワードになった (8章参照, 並びに、IFE フォーラムホームページ 有識者会議資料番号 A5.1 参照)。また、ヨーロッパ (ドイツ) でもフュージョンエネルギー開発の機運が高まっている (8章参照, 並びに IFE フォーラムホームページ 有識者会議資料番号 A5.2 参照)。その表現は、核融合はいつも 20 年先 30 年先と言っていたがだいぶ状況が変わってきたということである。我が国も至急対応すべきである。
- 3) J-EPoCH 構想をオールジャパンで産官民一体となってハイパワーレーザーの学術応用を進めれば、レーザー核融合の実現を加速でき世界を先導できる。その推進には、2021 年夏に創設したレーザー核融合スタートアップ企業 EX-Fusion との連携が重要である。
- 4) J-EPoCH 構想が非常にまとまってきている。ここまで来たらナショナルプロジェクトとして、きちっと取り上げることが目標になる。国として取り上げるには、世の中が「うん、そうだな」とならないといけない。この点につき、さらなるアドバイスが必要である。
- 5) 第 55 回原産年次大会のパネル討論「若手が考える原子力の未来」で、民間資金によるフュージョンエネルギーイノベーションが話題となった (原子力産業新聞 2022. 4. 15)。今や核融合の世界に民間資金がどんどん入ってきている。世界では民間資金の投入は 2020 年で累計が 2,000 億円、2021 年には 1,000 億増えて 3,000 億になっており、核融合を目指した研究に民間の資金が入っている。このメッセージは「政府よ、頑張れ」ということで、世の中の研究開発のモデルが変わっていることを念頭に置くべきである。

- 6) その後、日本学術会議の見解が公表されるとともに（7章並びに、IFE フォーラム ホームページ 有識者会議 資料番号 A6. 参照）、文部科学省の学術研究の大型プロジェクトの推進に関する基本構想—2023 ロードマップに選ばれた 12 計画の一つとして大阪大学レーザー科学研究所が中心となり提案した構想「多様な知が活躍できる パワーレーザー国際共創プラットフォーム」(J-EPoCH 計画)が採択された(詳細は https://www.mext.go.jp/content/20231222-mxt_gakkikan-000033259_1.pdf 参照)。

J-EPoCH 構想提案の要約は次の通りである。

「パワーレーザーは、学術創成や新技術創出が期待され、飛躍的に 進展している分野である。本案は、我が国の強みを活かした独自の高繰り返し大型パワーレーザーによる国際共創プラットフォームをオールジャパン体制で構築し、量子真空の探査、核融合エネルギーの探求(プラズマ)、超高压新奇量子物質の創生(固体)を通して、エネルギー密度の高い極限的な量子科学の開拓で世界を先導するとともに、同一空間で学際・国際・産学連携等を推進することで、科学技術イノベーション環境創出、産業構造変革や 人材育成への貢献を目指すものである。」この構想は 10 年計画である。

なお、科学技術・学術審議会学術分科会研究環境基盤部会 学術研究の大型プロジェクトに関する作業部会の評価は以下の通りである。

「我が国が強みを持つ「高繰り返しパワーレーザーを生かして先導的な研究を行うことで、物質 科学、材料科学、プラズマ科学、宇宙物理学など広い分野への応用が期待できる。また、実施主体は共同利用・共同 研究において十分な実績を持ち、コミュニティ の形成を含めた準備状況も十分に進展していることが認められる。」と高い評価をしている。一方、留意点として「技術的優位性と計画は高いレベルにある一方、見込まれる学術的成果の見通しについて、更なる具体化・明確化が必要である。また、技術革新のスピードが速い分野であり、日本の持つ技術的な優位性を長期にわたって保つための戦略を持った拠点運営が求められる。」が挙げられている。

以上の議論・動向を踏まえ、有識者会議はレーザーフュージョンエネルギー開発の産官学の連携と今後 20 年、30 年先の動向を考え、以下を展望・提案とする。

- 1) J-EPoCH 構想では、オールジャパンで産官学が一体となってハイパワーレーザーが開く科学技術を推進し、レーザーフュージョンエネルギーの実現に向け世界を先導すること。
- 2) レーザーフュージョンエネルギー開発の推進には広範な炉工学技術の開発が必要であり、磁場閉じ込めフュージョンエネルギー開発やレーザー核融合スタートアップ企業などとの官民の連携が重要である。
- 3) J-EPoCH 構想のさらなる計画の精査をすすめ、ナショナルプロジェクトとしてきちっと予算化されることが当面の目標である。国として取り上げるには、世の中が「うん、そうだな」とならないといけない。

- 4) 今や世界でフュージョンエネルギー開発を目指した研究への民間資金の流入が続いている。このメッセージは「政府よ、頑張れ」ということであり世の中の研究開発のモデルが変わってきている。これを念頭に置き 20 年、30 年後の長期戦略を構築すべきである。

1. 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

設置経緯

はじめに

パワーレーザーが拓く極限状態（高エネルギー密度状態）の科学技術・学術は、核融合エネルギーをはじめ、医療応用、実験室天文学、新物質材料創成、レーザー加工、半導体製造技術、社会インフラ診断等のフロンティア技術イノベーションの源泉である。また、パワーレーザーの社会的ニーズが急激に高まっている。これまでの有識者会議の議論（参考資料 A1）と、2019 年 1 月米国ワシントン DC で開催された日米シンポジウム「ハイパワーレーザーによる高エネルギー密度科学技術の展望」（2019 年 1 月 23 日, 24 日）（参考資料 A1）と、第 3 回レーザー核融合によるエネルギー開発に向けた有識者会議（2019 年 2 月 27 日）（参考資料 A2）の議論を受けて、この分野の我が国の取り組みを一層推進するため、引き続き有識者会議を設置することになった。

内外の動向：

2018 年には、“CPA レーザーの提案・実証により G. Mourou と D. Strickland の師弟がノーベル物理学賞を受賞”、“欧州の LaserLab Europe AISBL 施策”、“米国科学アカデミーのレポートにもとづき LaserNet US が設立” [1]、さらに、米国エネルギー省核融合エネルギー科学部（OFES）の“核融合エネルギー科学と新しい量子情報科学分野融合事業：[Fusion Energy Sciences Roundtable on Quantum Information Science]での高エネルギー密度実験室プラズマ（HEDLP）の推進”等の新しい動きが相次いだ。また、NIF 実験により、レーザー核融合点火を見通せるようになる [2] と共に、我が国では高速点火実験が進展した [3]。さらに、2019 年 1 月には、日本学術会議主催の“ハイパワーレーザーによる高エネルギー密度科学に関する日米シンポジウム”が開催され、日米両政府代表により新たな日米科学技術協力事業が調印された [4]。

設置目的

上述の内外の動向より、中長期的な科学技術分野の牽引役としてパワーレーザー関連分野への期待は大きい。この様な情勢をふまえ、パワーレーザー科学技術を先導してきたわが国が引き続き国際社会でリーダーシップを維持するため、有識者会議による今後の推進方策を検討する事が喫緊の課題であり、検討の場として有識者会議を設置した。

審議事項

- 1) レーザー核融合をはじめとするパワーレーザーと高エネルギー密度科学分野の研究推進方策 [5]、
- 2) 国際研究ネットワーク拠点構想 [4]、
- 3) 将来の科学技術を担う人材の養成と国際連携、
- 4) 第 6 期科学技術基本計画への提言

有識者会議名（設置期間）

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
(2019. 4. ～2022. 3.)

注

- [1] 米国ナショナル科学アカデミー (NAS) のレポート “Opportunities in Intense Ultrafast Lasers” は、ハイパワーレーザーが開く科学の重要性を指摘し、昨年、Laser Net US が立ち上がった。
(<https://nap.nationalacademies.org/catalog/24939/opportunities-in-intense-ultrafast-lasers-reaching-for-the-brightest-light> 参照)
- [2] レーザー核融合研究の新しい展開
NIF による点火実験の進展で、核融合出力 50kJ 超を実現した。これは、爆縮プラズマの全エネルギーの 2 倍となる。すなわち、プラズマ利得： $Q=2$ を意味し、4 MJ NIF で点火を見通せるようになった。その後、2022 年 12 月には核融合出力は 3.15MJ 達した。これは、投入したレーザーパルスエネルギーの 1.5 倍であり、所謂、Break-even を達成したことになる。
- [3] FIREX プロジェクト：磁場高速点火による高効率爆縮プラズマ加熱の実証
「Nature Communications 誌」に出版、読売新聞報道 2018. 10. 19
- [4] 2019. 1. 23-24 のワシントン DC の日米シンポジウム「ハイパワーレーザーによる高エネルギー密度科学の展望」が開催され、同時に日米両政府（文部省、DOE）により、高エネルギー密度科学分野の日米科学技術協力事業が調印された。
- [5] 第 24 期 日本学術会議 マスタープラン：大型研究計画募集・審査。
日本学術会議は第 6 期科学技術計画（2021-2025）策定に参画

2. 「ハイパワーレーザーによる高エネルギー密度科学技術の展望」

日米シンポジウム（概要）

- 1) 主 催：日本学術会議 総合工学委員会エネルギーと科学技術に関する分科会
- 2) 共 催：国立大学法人大阪大学レーザー科学研究所、
国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構関西光科学研究所、
国立研究開発法人理化学研究所放射光科学研究センター、
ローレンスリバモア国立研究所、
ロチェスター大学レーザーエネルギー学研究所、
SLAC 国立加速器研究所 Linac Coherent Light Source
- 3) 後 援：IFE フォーラム、在アメリカ合衆国日本大使館
- 4) 協 賛：一般社団法人レーザー学会、一般社団法人日本物理学会、一般社団法人プラズマ核融合学会
- 5) 日時：平成 31 年(2019 年)1 月 23 日（水）～ 24 日（木）
- 6) 場 所：Embassy of Japan in the United States of America, Washington D. C. USA
- 7) 要旨：ハイパワーレーザーは、原子力や核融合への応用等エネルギー科学技術に深く関わっている。パワーレーザーが拓く極限状態（高エネルギー密度状態）の科学は、その基盤であり、レーザー加工・プロセス、新物質創成、核融合等の科学技術・産業イノベーションの源泉にもなっている。本日米シンポジウムでは、当該分野の我が国内外の研究開発の現状を確認し、「高エネルギー密度科学分野の日米協力に向けた事業」の推進方策が議論された。我が国内外で大小さまざまなハイパワーレーザー研究施設が稼働を開始し、国際的に高エネルギー密度科学研究が急速に展開している。本分野における研究開発の進展と日米連携につき意見交換するため、平成 27 年 9 月開催の米国ローレンスリバモア研究所におけるシンポジウムに続き、日米シンポジウムを駐米日本大使館で開催した。このシンポジウムは前回のシンポジウムで提起された国際連携協力の推進方策を議論すると共に、新たな取り組みとして検討が進んでいる高エネルギー密度科学とレーザー核融合に関する日米協力の枠組みにつき、日本学術会議の行動規範[1] を遵守し「科学・技術のデュアルユース問題に関する検討委員会」報告の指針[2]に準拠して議論した。その結果、このシンポジウムで、レーザー核融合エネルギー開発に現状と今後取り組むべき研究開発計画が日米で共有され、日米協力の新しい枠組みが US DOE OFE Acting Director Prof. James Van Dam と文部科学省大臣官房審議官 渡辺その子により調印された（写真参照）。



調印書の交換（左 James Van Dam、右 渡辺その子）

（詳細は IFE フォーラムホームページ 有識者会議 資料番号 A1. 参照）

[1] <http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-22-s168-1.pdf>

[2] <http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-22-h166-1.pdf>

3. 第3回レーザー核融合によるエネルギー開発に向けた有識者会議

(2019年2月27日) (概要)

IFE フォーラムは標記有識者会議を設置し 2017年9月レーザー核融合エネルギー開発に関する提言をまとめ、近藤議長より戸谷一夫文部科学省事務次官に説明し、提出した。提出時、事務次官より「パワーレーザーに関連する科学技術を発展拡大させる事により、レーザー核融合の実現を目指すのが適切である」とのコメントがあった。また、議員からの意見でも、パワーレーザーの学術と産業応用を広く視野に入れて、レーザー核融合研究開発を進める事が適切であるとされた。その後、2019年1月23日、24日には、日本学术会议主催の日米シンポジウムが、米国コロンビア特別区ワシントン市の日本大使館において開催され、同時に「高エネルギー密度科学に関する日米協力事業」のプロジェクト構想(Project Arrangement)が署名され、高エネルギー密度科学推進の気運が高まっている。

上記の状況を受けて、今後の推進方策を議論することを目的に2019年2月27日第3回有識者会議が大阪大学東京ブランチにて開催された。

講演と報告に続き、「我が国のハイパワーレーザーと高エネルギー密度科学研究ネットワーク拠点」と「次期有識者会議のあり方」が審議され設置が決定された。会議で出された意見は以下通りである。

- ・ ネットワーク拠点については、最先端の光の創成を目指したネットワーク研究拠点プログラムが2017年に終了し、パワーレーザー関連技術のフロンティアを開拓する上で、研究施設の整備が重要。
- ・ 持続的な研究分野の発展には、人材養成が欠かせない。キャリアパスを開拓する上でも、産官学が一体となった取り組みが重要。
- ・ ハイパワーレーザーによる研究対象を出来るだけ広い視野で捉えることが重要。
- ・ LaserNet US, Laser Lab Europe 等、諸外国のネットワーク拠点の取り組みと連携・競争できる研究拠点が必要。
- ・ 社会への説明責任：アウトリーチへの取り組みが重要。
- ・ 研究成果をベースに次期計画の達成目標を明確に示す事が重要。

以上の意見をふまえて引き続き、有識者会議において、パワーレーザー、高エネルギー密度科学とレーザー核融合の推進方策を審議するため、次期有識者会議の設置が決定された。

(詳細は IFE フォーラムホームページ 有識者会議 資料番号 A2. 参照)

4. 第1回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

標記の第1回 IFE フォーラム有識者会議は、東京の世界貿易センタービルにおいて令和元年(2019年)10月18日(金)開催された。有識者会議議員ならびに専門委員会委員には、各界のリーダーに就任いただいた。2018年度までの有識者会議に引き続き、原子力発電環境整備機構 近藤駿介理事長が議長に就任した。

前回の有識者会議の議論を経て、今年度からは関連分野も巻き込んでより広い観点からレーザー核融合研究推進方策につき助言をいただく事になった。会議は写真1の近藤議長の挨拶から始まった。科学技術・イノベーションの推進において本有識者会議の役割の重要性が述べられた。引き続き、三菱電機株式会社大森達夫主席技監、塩谷立衆議院議員、森英介衆議院議員(写真2、写真3)より挨拶があり、レーザー核融合やパワーレーザーの研究開発推進への期待が述べられた。



写真1 近藤議長就任挨拶



写真2 塩谷立議員挨拶と大森達夫議員、永宮正治議員

また、オブザーバーとして出席いただいた 文部科学省研究開発局 新井知彦研究開発戦略官から、挨拶ならびにスピーチで、核融合研究が国の重要施策として位置付けられていることと文部科学省の研究開発政策の検討状況につき発言があった(写真 4)。関係して、我が国内外における核融合ベンチャー につき質問があり、「核融合は投資に値する分野であり、完成品というよりコア技術の開発に投資が期待される。公的機関の経費だけでは限界があるので産業界の協力も得て、米国等のベンチャー企業の仕組みを参考に考えていきたい。」との回答があった。

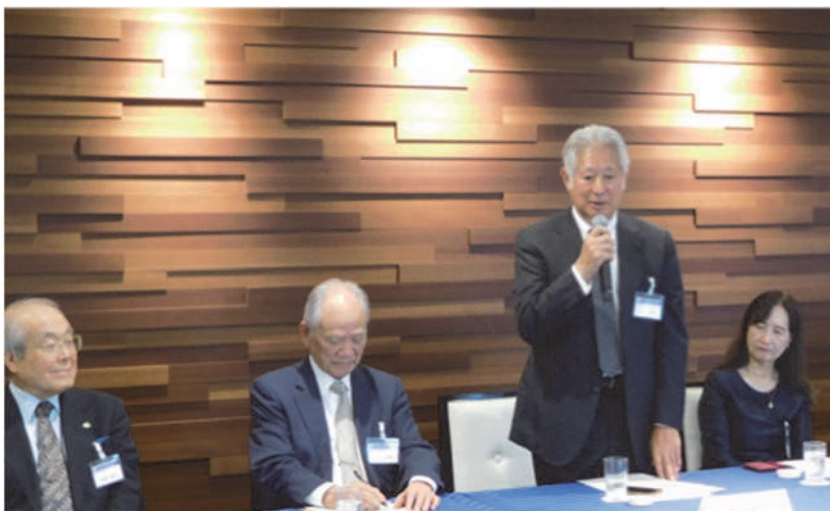


写真 3 森英介議員挨拶と渡辺美代子議員、中井貞雄議員、柘植綾夫議員



写真 4 新井研究開発戦略官スピーチ

「基調講演」 有馬朗人根津育英会武蔵学園 学園長・東京大学名誉教授から、「日本のエネルギー安全性の将来を保障せよ」と題する講演があった(写真 5)。講演では以下の議論があった。

- ・論文数が減少しているなど日本の学術に危機を感じており、国立公立大学の運営費や高等教育費が増加しないことを憂慮している。



写真 5 故有馬朗人議員講演

- ・今後エネルギー需要が増大する。温暖化も危険水域。エネルギー関連技術の開発が必要である。バイオ燃料に日本の木材資源を使用して欲しい。
- ・次世代原子力発電も研究費の問題で国内は進んでいない。海外ではベンチャーも入って開発している。
- ・核融合研究では ITER プロジェクトの早期達成を期待したい。レーザー核融合にも期待している。

「報告」

レーザー核融合とその関連分野の推進方策に関する審議に先立ち、最近の動向につき、大阪大学レーザー科学研究所児玉所長、日本学術会議エネルギーと科学技術分科会パワーレーザー技術と高エネルギー密度科学小委員会 三間幹事、IFE フォーラムレーザー核融合戦略委員会 森芳孝委員長より報告があり、以下の質疑があった。

「大阪大学レーザー科学研究所の動向」

- ・レーザー核融合研究と高エネルギー密度科学研究推進戦略について報告があり、10kJ/ns, 繰り返し 100Hz (MW) の J-EPoCH レーザー施設を開発・設置する国際的な産学共同研究・共同利用研究拠点が提案された。
- ・新しい繰り返し高出力パワーレーザー技術を利用する未臨界レーザー核融合炉実験を含む我が国のレーザー核融合研究開発戦略が提案された。

「質問」

- ・炉工学の観点から炉システムの弱点も検討すべきではないか。

「回答」

- ・戦略会議でもその検討が始まっているので、是非応援して欲しい。

「質問」

- ・マルチレーザービームのコンセプトが優れている。放射線廃棄物処理にも使えるか。

「回答」

- ・発生する中性子を利用すれば可能となる。

「質問」

- ・「炉」を目指した研究であることで期待が持てる。ただし、炉まで考えると中性子の扱いなど、気をつけるべき点が多い。

「回答」

- ・「炉」としての解決すべき問題は多々あるため、しっかりと検討していく。

「日本学術会議小委員会報告」

日本学術会議総合工学委員会エネルギーと科学技術に関する分科会のハイパワーレーザーによる高エネルギー密度科学小委員会において「パワーレーザー技術と高エネルギー密度科学と産業創成」に関する提言を出すべく議論を行っている。

「質問」

- ・多様性と革新的科学技術を推進する装置整備や産学連携・人材育成まで提言に含めるべきである。
- ・学術会議では、学者のための科学とされていたものを社会のための科学とするために政府・市民間の対話を進めている。2050年の日本の未来像も議論しており、展望を各分野でまとめている最中で、環境・エネルギーに関する章がある。

「回答」

- ・パワーレーザーの環境・エネルギー分野への利用についても提案したい。

「レーザー核融合戦略会議報告」

・レーザー核融合は阪大に加え、浜松ホトニクス・光産業創成大でも技術開発が進んでおり、炉につながる技術が急速に進展している。未臨界レーザー核融合炉構想を検討しつつある。

「質疑」

- ・戦略会議で具体的に問題としてかかっているものはなにか。
(回答) 現在は核融合発電を目標にかかげ実現にむけた戦略を議論している。
- ・レーザー核融合のための企業は存在しない。企業の参加をどの様に進めるのか。
(回答) まだその仕組みが出来ていない。次の段階になる。
- ・合宿など次の世代を担う学生を積極的に参加させてもらいたいサポートはどうか。
(回答) IFE フォーラムからの支援を受けたい。
- ・課題は多くあるが、特に実現できないとレーザー核融合炉そのものが成立しなくなる課題は何かという所を議論して提案することを望む。

「審議」

レーザー核融合、パワーレーザーと高エネルギー密度科学に関する有識者による審議は以下の通り。

- ・戦略会議で発電炉の実現を目標としたことは評価できる。
 - ・ハイパワーレーザーの利用として、温暖化対策、放射線廃棄物処理、宇宙デブリ処理、核融合推進力ロケットなど多くの用途が期待できる。
 - ・国立大学法人化のときに運営費交付金は減らさない、高等教育資金を増やすとされていたがそうはなっていない。この点につき、以下のコメントがあった。
- 1) 総合科学技術・イノベーション会議において山極日本学術会議会長が主張してくれている。
 - 2) 阪大レーザー研の論文数も運営費交付金の減少に伴い減少している。資金の減少は外部資金を増やし補っているが、資金の出方が重要である。
 - 3) 若手の人件費が減っているのが特に問題。
 - 4) 交付金減少は施設を運営することからすると、装置運転資金が減ることよりマシンタイム減、研究力低下が起きる。大型施設の運営の仕組みを考える必要がある。
 - ・熱核融合に対し、重イオンやミューオン核融合など他の方式はどうか。関連するコメントとして、
- 1) レーザー核融合戦略会議の中には重イオンの人も入っている。重イオンは装置規模が大きくなる問題がある。
 - 2) 他の方式の状況も調べ、多様性のある戦略会議にしたい。
 - ・トリチウムなど扱いに慎重が求められるものも核融合戦略にしっかり組み込むべき。
 - ・コミュニティの規模は小さいと広がらないため、いろいろな分野と関係をつけて他の分野にこちらが参加するだけでなく、他の分野からもこちらに出向いていくことが必要である。欧州や中国の動きをモデルとする必要がある。
 - ・レーザー基盤技術は核融合以外にも様々な応用が可能である。コミュニティの話を聞いてそれらに応えるレーザー提案を作った。戦略会議にも阪大以外の多方面から人を集めた。
 - ・研究の多様性に反しているが、ヘリカル方式・トカマク方式の選択を迫られているようである。これに関連して以下のコメントがあった。

- 1)核融合研は研究の多様性をもって進めたいと考えている。
- 2)国はトカマク ITER をすすめているがそれに集中することを最終決定したわけではない。ただし国の方針の位置づけでは、ヘリカル・レーザーは学術となっている。
- 3)選択に関して、レーザー方式では高速点火を選んだが、最終ターゲットが違うだけで、他の方式にも転換は可能であり、そこはレーザーのフレキシビリティかが生きている。
 - ・パワーレーザーの産業化している応用は現在レーザー加工しかない。インフラの検査にはコストがまだ高く実用的でない。パワーレーザーフォーラムでも応用も含めて議論してほしい。
 - ・企業としてもピーニング等様々な応用研究を進めており、核融合も応援している。
 - ・レーザー加工に着目されているが、その他の産業応用についても、レーザーのコスト評価も含めて検討を進めている。

「今後の方針」最後に、以上の多くの意見を生かす方法につき審議した。その結果、今後の有識者会議の進め方として、次の方針が決定された。

- ・今後、できるだけ早い時期に有識者会議専門委員会を開催し、レーザー核融合戦略会議の審議状況の報告を受け、IFE フォーラム提言等の対応を考える。
- ・時期を見て第2回有識者会議を実施する。

5. 日本学術会議・IFE フォーラム 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」 (概要)

表記公開シンポジウムが日本学術会議（総合工学委員会エネルギーと科学技術に関する分科会）と IFE フォーラムの主催により、2022 年 2 月 3 日オンラインで開催された。大阪大学レーザー科学研究所を主会場として Zoom Webinar で配信され、のべ 400 名以上の参加があった。

会議の冒頭、エネルギーと科学技術分科会パワーレーザー技術と高エネルギー密度科学小委員会委員長近藤駿介より、以下の趣旨説明があった。

日本学術会議総合工学委員会エネルギーと科学技術に関する分科会は、2020 年 6 月に、「パワーレーザー技術と高エネルギー密度科学の量子的飛躍と産業創成」と題する提言を公表した。この提言は、「レーザー核融合」、「高圧物質科学」、「レーザー生成量子ビーム利用」、「レーザープロセス」等に関する研究開発が、次世代のエネルギー科学技術・産業活動への貢献とこれを担う人材育成の観点も踏まえて、激しい国際競争のもとで推進されているので、我が国としてはこれらに伍して進めてきているパワーレーザー・高エネルギー密度科学の研究開発を一層強化し、世界最高レベルの繰り返し・高出力の大型パワーレーザー施設を設置し、新たな学術の開拓や産業創成に繋がる価値創造・人材育成にオールジャパンで取り組むべきというものである。

分科会はこの提言を踏まえて、この分野の研究開発を、我が国のエネルギー科学技術の進展に必須の新技术・新材料の創成と人材育成に寄与することも視野に入れてどう強化すべきかにつき、熱エネルギー利用や熱・電気エネルギー変換に関する分野からの入力も得て議論することは、2050 年カーボンニュートラル(CN)が唱えられている今、時宜を得ていると考え関連分野の取り組みの報告とパネル討論とで構成されるこのシンポジウムを開催することになった。

基調講演、パネル討論を経てシンポジウムの議論を総括すると以下の通りである。

- 1) 研究計画を立てるにあたり、TRL (Technology Readiness Levels) を評価し実現までのロードマップを作成して議論する必要がある。TRL はまだまだアカデミアにはなじみの薄い言葉である。TRL5 は実験室の中での原理実証であり、これは普段やっている研究とほぼ同じである。しかし、TRL6~7 ぐらいまで行くのは一段とハードルが高い。ハイパワーレーザーがもたらす先にあるゴールには、いろいろなものがある。高繰り返しパワーレーザーは物理学などの学術応用のみならず産業応用に広がっていくのが共通認識だが、学術応用での TRL 評価も考えるとよい。
- 2) 米国ではパワーレーザー施設の連携を米国では 10 機関ぐらいで行っている。その

中でまとまって施設整備をやっている。我が国も、米国のネットワークとリンクしパワーレーザーの施設連携を行うことが重要である。現在、我が国のレーザーネットワークにはレーザー加工分野のデジタルトランスフォーメーション(DX)がある。人材育成を含めた形で国際連携を進めるべきである。

最近の日本の科学技術の低下が問題になっている。一つの原因は、海外の一流の機関に行って自ら研究する意欲を持つ若手研究者の数の減少である。その結果として、海外との共著論文が著しく減っている。中核拠点での研究開発では、海外の拠点とのネットワークで若手研究者の育成も含めて行う必要がある。

- 3) 世界で多数の大型パワーレーザー施設では、真空の物理から核融合燃焼プラズマの科学まで、新しい領域が展開されようとしている。世界と共に日本がこれからの世界に必要とされる学術や産業を先導していくためには、最先端の研究をできる環境が重要である。J-EPoCHなどの大型パワーレーザー施設は、世界と伍する研究環境を提供するものである。研究拠点が国内にあるのは、日本の若い学生やこの分野に進もうと思っている若手研究者にとって、とても励みになることである。

以上の議論により、「パワーレーザーと高エネルギー密度科学は、科学技術・産業技術における Society5.0 の実現ならびに CN の達成に重要な役割を果たすものであり、長期的に我が国がこの分野の研究開発において世界を牽引するには、国際的人材育成のため“世界の道場”としての中核拠点を国内に持つべき」であり、ひいては国際的にリーダーシップを取れる人材の育成に資すると結論された。

上記のシンポジウムの講演の内容は以下の参考図に示す趣旨で、「学術の動向」の特集として出版された。また、シンポジウムのプログラムは以下の通りである。

プログラム

1. はじめに
2. 基調講演-I
 - 2.1 フォトニック結晶面発光レーザーの進展と展望 -究極の半導体パワーレーザーの実現を目指して
野田 進 (学術会議連携会員、京都大学工学研究科教授)
 - 2.2 エネルギー科学におけるレーザープロセッシングの課題と展望
小林 洋平 (東京大学物性研究所教授)
 - 2.3 パワーレーザー・高エネルギー密度科学の課題と展望
兒玉了祐 (学術会議連携会員、阪大レーザー科学研究所所長)
3. 基調講演-II
 - 3.1 カーボンニュートラル実現に向けた熱エネルギー利用の現状と展望
藤岡恵子 (学術会議特任連携会員 株式会社ファンクショナル・フルイッド代表取締役社長)
 - 3.2 エネルギー科学技術におけるレーザー駆動量子ビームの利用
河内哲哉 (国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構 関西研究所所長)

3.3 エネルギー最適化に向けた東芝の取り組み

落合 誠（東芝エネルギーシステムズ株式会社エネルギーシステム開発センター
ジェネラルマネージャー）

4. 総合討論

4.1 カーボンニュートラルに向けたレーザー技術の応用

4.2 総合討論における質疑

4.2.1 パワーレーザー技術と新産業創成と TRL

4.2.2 熱エネルギー利用による CN への貢献について

4.2.3 ネットワーク・国際連携、人材育成

4.2.4 エネルギー科学技術と学術研究のあり方と研究開発中核拠点

4.2.5 総合討論まとめ

5. 閉会

（詳細は IFE フォーラムホームページ 有識者会議 資料番号 A3. 参照）

特集
2

パワーレーザーと 高エネルギー密度科学技術の 進展と新産業創成

レーザーは指向性と収束性に優れたほぼ単一波長の電磁波（コヒーレント光）であり、その科学技術の進歩により高い空間的コヒーレンス及び時間的コヒーレンスを備えた強い光や時間幅の短い高強度パルス光（以下では、両方を合わせてパワーレーザーと呼ぶ。）の発生が可能になって、医療、工業、情報、原子力、科学研究分野等多方面に応用が広がっている。パワーレーザーのエネルギー集中性を生かして発生できる星の内部のような超高圧状態における物質の振る舞いを探求する科学や短パルスレーザーによる加工・物づくりを制御・最適化する技術は、「高エネルギー密度科学技術」と呼ばれる。この科学技術はパワーレーザー技術の進歩とともに発展し、学術創成及び新技術創出に貢献することが近年特に強く期待されている。

日本学術会議総合工学委員会エネルギーと科学技術に関する分科会は、この分野で世界に伍する成果を上げてきた我が国は引き続きこの分野における世界の牽引者の一翼を担うべきとの考えから、その方策を「パワーレーザー技術と高エネルギー密度科学の量子的飛躍と産業創成」と題する提言として取り纏め、2020年6月16日に公表した。

本特集は、この提言と、2022年2月開催の日本学術会議・IFEフォーラム共催のシンポジウム「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」を踏まえ、パワーレーザーを利用する科学技術活動の最近の動向を紹介するものである。

具体的には、このシンポジウムに登壇した第一線を担う研究者から寄稿を得て、1) フォトニック結晶レーザーのハイパワー化に関する研究開発とそれがもたらすスマート製造、スマートモビリティの革新的コア技術、2) 我が国に求められる労働生産性の向上や省エネルギー技術の追求に対してパワーレーザーがもたらす、物づくりのCyber-Physical Systemの構築や機械加工からレーザー加工への転換という重要な貢献、3) 激しい国際競争のもとで推進されている「レーザー核融合」の実現と「高圧物質科学」の開拓の一翼を担い、次世代のエネルギー科学技術・産業に貢献することを旨とし、我が国における世界最高レベルの繰り返し・高出力の大型パワーレーザー施設整備のあり方、4) パワーレーザー技術の進歩に伴って進展する超高強度レーザーを用いた様々な量子ビームの発生技術の医療、原子力エネルギー利用等様々な分野への応用の動向、という4つのフロンティアにおける取り組みを社会に示したい。

日本学術会議連携会員
原子力発電環境整備機構理事長
近藤駿介

日本学術会議連携会員
大阪大学レーザー科学研究所招聘教授
三間園興

参考図 学術の動向 28巻1号（2023年1月） 特集「パワーレーザーと高エネルギー密度科学技術の進展と新産業創成」の趣旨

（ https://www.jstage.jst.go.jp/browse/tits/28/1/_contents/-char/ja 参照）

6. 第2回 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

第2回 IFE フォーラム有識者会議は2022年4月14日（木）東京都千代田区衆議院第一議員会館 国際会議場において開催された。この会場で開催できるようになったのは塩谷立衆議院議員の好意によるものである。会議は写真1のような円卓形式で開催された。



写真1 会議場風景（衆議院第一議員会館 国際会議場）

会議に先立ち、長年この有識者会議でご助言いただいた故有馬彰人先生のご逝去を悼み黙祷を捧げた。続いて、有識者会議議長 近藤駿介（原子力発電環境整備機構理事長）より、以下の開会の辞があった。

「この有識者会議はこれまでに各方面に対して、レーザー核融合の実現を目指して、関連分野の拡大を視野に入れて、人材育成に関する中核的な拠点を整備すべしという提言をしてきたところです。一方、学術会議では2020年6月に、このことに関する専門家から構成される小委員会で、2年にわたって議論を踏まえた検討を基にして、「パワーレーザー技術と高エネルギー密度科学の量子的飛躍と産業創成」というタイトルで提言を公表しました。この提言は、多岐にわたる分野の諸課題の解決に寄与する多様な研究を推進するの

に適した、多ビーム高繰り返し的大型パワーレーザー装置をもつ中核的研究拠点を整備するべきとしています。

この会議のメインテーマであります慣性核融合では、2009年に米国が国立点火施設、NIFを完成させて、自己点火の達成を世界中が見守っていました。以来、担当者は懸命な努力を重ねて実験とシミュレーションによりパラメーターをサーベイし、ターゲットならびに入力レーザー波形を改良し、2021年8月、自己点火を実現することに成功し、初めて慣性核融合の原理が実証されました。

実用化に至るには、いわゆる魔の川とか死の谷とかダーウィンの海とかをいかに乗り越えていくかの議論をこれから始めなければなりません。私どものこの場の議論において、日本としてこの状況において、今後取り組むべきことをどう設計し、世の中に説いていくか、あるいは支援を求めていくかということを検討する有意義な場となりますことを祈念して、私の開会のあいさつといたします。」

続いて、主催者を代表して IFE フォーラム座長 高西一光（関西電力 執行役常務）の挨拶の後、森英介衆議院議員ならびに塩谷立衆議院議員より挨拶をいただいた。



写真2 高西一光 IFE フォーラム座長（左）、森英介 衆議院議員（中央）
塩谷立 衆議院議員（右）

会議冒頭の基調講演としてレーザー学会会長 久間和生（(農業・食品産業技術総合研究機構理事長)より、以下のパワーレーザー関連の科学技術への期待が述べられた。

「レーザー学会の会長としての仕事の一つとして、2050年カーボンニュートラルへのレーザー技術の貢献につき提言書を作り今年の1月に公表した。この提言書では、レーザー技術がカーボンニュートラル実現に向けて非常に有効であるとしています。

レーザーは非常に普及が進んでおりますが、レーザー技術をまだまだ発展させなくてはなりません。例えば出力をさらに上げるとか、波長領域を拡大することによって、光通信

であるとか照明とか自動車とかの利用がどんどん増えるはずで、さらに農業の世界とか、今日話題になるレーザー核融合で新しい分野が広がっています。

特に半導体レーザーは、日本が非常に強い分野で、ここを一つの武器にしてさらに強くすることが必要だと思っています。例えば 50%60%程度の効率を 80%以上にすることによって、世の中の光の世界が大きく変わると思います。従いまして、先ほど冒頭で申し上げましたように、レーザー学会では所属の先生方をお願いして、2050 年カーボンニュートラルにレーザーがどれだけ貢献できるかをいろいろと調べました。レーザー技術を応用したエネルギーの生成、あるいはレーザーを使ったシステムが促進されていくと期待を膨らませています。」

レーザー学会会長の講演に続き、本会議の主題である「パワーレーザーと高エネルギー科学技術」の動向と我が国の開発戦略につき大阪大学レーザー科学研究所児玉了祐所長より以下の説明があり審議を開始した。児玉所長の説明概要を以下のようであった。

「パワーレーザー中核拠点構想(J-EPoCH 構想)を提案させていただきたい。これまでのパワーレーザーの研究開発では、エネルギーをできるだけ大きくして、核融合の点火燃焼を実証するとか、レーザー強度を強くして新しい極限の状態を作り学術を展開することが追求されてきた。これに対し、2015 年以降の関係コミュニティの議論で、高い繰り返し率の平均出力の大きいレーザーで世界を先導するべきとなった。その結果、繰り返し率を上げることで、新しい学術、新しい技術を多く生み出すことができ、さらに最近のデータサイエンスに必要なビッグデータを繰り返しレーザーにより得ることができる。

一方、アメリカの核融合実験施設 NIF でレーザー核融合の点火燃焼がほぼ実現し、新たなエネルギー源となる可能性が出てきた。カーボンニュートラル 2050 年が社会的な課題で、そこからバックキャストすると 2030 年ごろまでに、レーザー核融合未臨界炉の実証が必要となる。アメリカの核融合点火は 1 日に 2 回ぐらいしか打てないレーザーであり、大阪大学の現在のレーザーも 1 時間か 2 時間に 1 回しか打てない。一方、高平均出力のレーザーがいろんなところで開発が進められており、レーザー加工などに向け繰り返しレーザー開発が進んでいる。われわれも 10 年ぐらい前から半導体レーザーを励起光源にして、日本が得意のセラミックレーザーを増幅媒質とする開発を進めている。その結果、現在、1 秒間に 100 回打てるレーザー開発を進めている。2050 年のカーボンニュートラルに向け、レーザー核融合発電所ではターゲット利得 100 が要求される。これに対し、熱源を直接水素製造に使うことでより低いターゲット利得でエネルギー応用が可能となり、技術開発のハードルも下がる。

以上まとめると、2030 年までに多目的な高繰り返し大型レーザー(J-EPoCH)を用いた研究開発を開始することが重要であり、レーザー核融合で世界を先導するためには、中核拠点を早期に立ち上げることが不可欠である。さらに、中核拠点により知財を確保することや人材育成の活性化が不可欠である。特に、2030 年以降の研究開発の展開を考えたとき、急がなければいけないのは人材育成である。2050 年を見越して人材を育てるには、繰り返しパワーレーザーを多目的に多くの研究分野の方に使ってもらわなければならない。これまでも提言してきたように繰り返しパワーレーザーは、新しい材料を作り出すとか、あるいは宇宙のゴミを取り除く手段とかいろんな目的に使うことが可能である。結果

的に世界から人が集まって、人材が育つと思っている。我が国の今後の推進方策につき、ご意見を賜れば幸いである。」

上記の兒玉所長の提案を受けて審議があり、多くの貴重な意見をいただいた。いくつかの意見と質疑応答を紹介すると以下の通りです。

Q: NIF によって、核融合点火に成功したというのは大きなことだと思います。その後の諸課題として、1) さらに核融合利得を高くすること。2) 日本として繰り返しを経るなりして、点火を目指す。3) エネルギー応用として水素を製造する。その中でどこに力を入れてやろうとしているのか?

A: 日本は「炉」を目指し、繰り返しのところに中心を置いて、できるだけ早く知財を押しえていくとか、人を育てるというところに注力したいと思っている。

Q: NIF で、ニューラルネットワークなどを使ってパラメーター調整がうまくいき、画期的に性能が上がったと思いますが。ニューラルネットワークは何をやって、どういう物理の進展につながったのか。

A: 1日に1回か2回の爆縮実験結果をデータサイエンスにかけるため、米国では10年間の実験結果をずっとため続けて、それを基に機械学習をさせて最適化していった。

そのため、NIF が 2009 年に完成して 2014 年の点火実証を目指していたが達成できず、その後一つずつ課題を解決して成功に至った。我々も、プラズマ実験で機械学習を取り入れるためビッグデータを蓄えるようにしています。その延長で、核融合の反応そのものの最適化をすることを始めかけている。同様のことが核融合炉になっても必要と考えている。

関連して、以下のコメントをいただいた。

C: アメリカ DOE のオフィス・オブ・フュージョン・エナジー・サイエンス (OFES) が主催で、今年の 2 月の下旬に、ワークショップが開かれ、日本から視聴した。非常に活発な議論が行われ Time is Now がキーワードになった。そんなような表現で、核融合はいつも 20 年先 30 年先と言っていたがだいぶ状況が変わってきた印象を持った。

C: 初めて J-EPoCH 構想を聞いたのは 5 年前 (2016 年) である。以来、これならオールジャパンで動いて、産官民一体となって、ハイパーレーザーの学術、応用、そしてレーザー核融合の実現を加速でき、世界を先導できると私は感じた。私はジェイポック構想に刺激されて、昨年夏にレーザー核融合スタートアップ EX-Fusion を有志 3 人で設立した。

C: 兒玉先生の話が非常にまとまってきた印象である。ここまで来たらナショナルプロジェクトとして、きちっと取り上げる動きが出てくるのが目標になる。国として取り上げるには、世の中が「うん、そうだな」とならないといけない。この点につき、何かいいアドバイスが必要である。

C: 「若手が考える原子力の将来、民間資金による核融合イノベーション」というタイトルの講演があった。今や核融合の世界に民間資金がどんどん入ってきており 2020 年で累計が 2,000 億円、1 年後 2021 年には 1,000 億増えて 3,000 億になったとのことである。それぐらい核融合を目指した研究に民間の資金が入っている。このメッセージは「政府よ、頑張れ」ということで、世の中の研究開発のモデルが変わってきているということを念頭に置く必要がある。

以上の質疑とコメントをもとに、近藤議長より今後の活動につき以下の提案があった。「有識者会議としては専門家の議論を踏まえて、わが国の政策、施策において本日の議題が重要ということを世に問う必要がある。その問うべき内容をきちんとすることが大事である。そのため、本日の提案とご意見を踏まえてさらに精緻化していく必要がある。これだけ世の中が変わってきたことも考慮し、いただいたご指摘を参考にして提案を精査する作業を有識者会議専門委員会で行い、説得力のある提言を社会と共有できるようにしたい。」と会議が総括され閉幕した。

7. 日本学術会議 見解「多様な知が活躍できる大型パワーレーザー施設の 実現と国際的な中核拠点の構築」 (要旨)

この見解の原案は、総合工学委員会 エネルギーと科学技術分科会 ならびに、当分科会に設置された 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 で取りまとめられたものである。

作成の背景

高エネルギー密度科学は、パワーレーザー技術の進歩とともに発展し、学術創成及び新技術創出に貢献することが近年特に強く期待されている学際分野である。我が国は、この分野において世界に伍する成果を上げてきたことに鑑みて、引き続きこの分野における牽引者の一翼を担うべきとの考えから、日本学術会議総合工学委員会エネルギーと科学技術に関する分科会より提言「パワーレーザー技術と高エネルギー密度科学の量子的飛躍と産業創成」(2020年6月16日)が公表された。そこでは、世界最高レベルの繰り返し・高出力の大型パワーレーザー施設を高エネルギー密度科学推進の中核拠点として世界に先駆けて設置し、新たな学術の開拓や産業創成につながる価値創造・人材育成を行うべきであるとされた。

同提言公表後もパワーレーザー技術と高エネルギー密度科学は著しく進展を続け、大型パワーレーザー施設の開発やネットワーク化が多く先進国で進められている。我が国においては、最近、繰り返し動作が可能な大型パワーレーザーを実現するための技術的ブレークスルーがあった。また、米国においては、2021年に核融合でエネルギーを取り出すために不可欠な自律的な核融合燃焼が実証され、人類史上初めてエネルギー増幅の入口に到達するなどの新展開があった。このような進展を基に、米国における官民によるレーザー核融合エネルギー開発や、欧米中における高エネルギー密度科学推進体制の充実に向けた顕著な動きがある。

このようなパワーレーザー技術と高エネルギー密度科学の飛躍的な進展と急激な変化の中、機を逸することなく我が国の強みをいかした喫緊の取組が、我が国がこの分野で世界を先導していくためには、不可欠な状況にある。

現状及び問題・課題

パワーレーザーは、光の力で従来見えなかったものを見えるようにしたり、これまで地上に存在しない極限状態をつくり出したりできる。例えば、パワーレーザー光を髪の毛の半分程度の小さな領域に集めると、瞬間的 ($10^{-9}\sim 10^{-12}$ 秒程度) に 10 万～1 千万気圧の固体や 1 千万～数億気圧のプラズマ状態を実現できる。パワーレーザーは、このようなエネルギー密度の高い極限状態をつくり出し宇宙や物質の本質探求に関わる新しい学術を創成できるとともに、エネルギー、材料、デバイスなど社会に役立つ多様な新技術を生み出すことができる。そのため、パワーレーザーによる高エネルギー密度科学として世界中で重要性が増し競争が激化している。

我が国は、この学際性豊かな高エネルギー密度科学に関する多くの実績とそれを推進するためのパワーレーザー技術における競争力を有している。

一方で、パワーレーザーを用いた高エネルギー密度科学の国際的な重要性にもかかわらず、我が国では、強みを生かし競争力ある技術を集約した多様な知が活躍できるオールジャパン体制の要となる高エネルギー密度科学の中核拠点が整備されていない。

また、我が国の強みとなる要素技術の活用に関しても、例えば、セラミックレーザー等日本発の技術が海外ではいち早く大型プロジェクトで採用されている一方、日本では強みとなる要素技術を生かしたプロジェクトが少なく、その活用に関しても遅れている。

新しい時代に即し多様な知が活躍できる国際競争力ある高繰り返し大型パワーレーザー施設を有した中核拠点を速やかに実現するため、技術開発の現状と課題、中核拠点で切り拓かれる学術・科学技術の展望、さらには人的資本・技術的資源の広がりをも明確にする必要がある。

これをもとに、多様な「知の創造」と「知の具現化」が実現できる高エネルギー密度科学の分野において世界を先導するとともに、他の学術分野への波及と持続的発展を可能とする社会への貢献を目指した学術研究の構想を明らかにする必要がある。

見解の内容

パワーレーザーを用いた高エネルギー密度科学は、多様な「知の創造」と「知の具現化」を実現できる学際分野として、世界的にその重要性が増すとともに飛躍的に発展している。特に最近では、パワーレーザーの技術的ブレークスルーや、レーザー核融合研究のマイルストーン達成、それに続く米国政府の高エネルギー密度科学推進本格化の動きなど、大きな進展があった。このような飛躍的な進展と急激な変化の中、我が国がこの分野で世界を先導していくためには、独自の戦略の下で機を逸することなく我が国の強みを活かした中核拠点を実現するべきである。そのため、多様なステークホルダーの意見を取り入れながら、以下に取り組むべきである。

- ・パワーレーザーに関する我が国の強みである競争力ある様々な要素技術を速やかに統合・集約し、システム構築と実装を加速し、高繰り返しの大型パワーレーザー施設を世界に先駆けて実現することに挑戦する。これにより、激しい国際競争において、多様な知の活躍による様々な共創を実現し競争力あるパワーレーザー施設を有した国際的な中核拠点を構築する（参考図参照）。
- ・加えて、中核拠点で切り拓かれる学術・科学技術の展望及び人的資本・技術的資源の広がりをも明確にし、当分野において世界を先導するオールジャパン体制を強化する。

これらの取組により、多様な「知の創造」と「知の具現化」を実現する高エネルギー密度科学という大樹を育み、基礎科学、物質材料科学、生命科学、エネルギー学から通信・プロセス技術など様々な分野・領域に横断的なレーザー科学という浩大な学術・科学技術創成の柱を形成できるとともに、エネルギー学や物質科学などと幅広く連携することで、我が国の学術と社会の持続的発展に貢献できる。

見解の目次

1	はじめに	1
(1)	世界を先導できる分野実現へのビジョン	1
(2)	背景と趣旨	1
①	背景	1
②	趣旨	2
2	国際競争力ある大型パワーレーザー施設の実現性	3
(1)	世界の大型パワーレーザー施設	3
(2)	変革する大型パワーレーザー施設	4
(3)	国際競争力ある大型パワーレーザー施設実現へ向けた技術的課題	4
①	レーザーシステムと光学素子	4
②	レーザー駆動量子ビーム	6
③	多目的に活用できる高繰り返し大型パワーレーザー施設	6
3	高繰り返しパワーレーザーを有した中核拠点で拓かれる学際的な学術	8
(1)	高エネルギー密度状態の固体物質材料科学	8
①	レーザープロセス工学	8
②	物質材料科学のための診断技術	9
③	原子過程が支配的な高エネルギー密度物質科学	10
④	超高圧状態の物理学と地球・惑星科学	11
⑤	超高圧状態の物質材料科学	12
(2)	高エネルギー密度状態のプラズマサイエンス	13
①	プラズマ物理学	13
②	レーザー宇宙物理学	14
③	レーザー核融合科学	15
④	レーザープラズマ加速物理と加速器科学	16
(3)	高エネルギー密度場の科学	17
①	超高強度場物理学	17
②	量子真空物理学	18
4	人的資本・技術的資源の拡大による社会への貢献	19
(1)	新たな人材育成	19
(2)	施設連携による分野の広がり	19
(3)	社会が必要とする技術の発展	20
①	将来、実用化が期待される先端技術創出への貢献	20
②	産業や国家の持続的発展の基盤となる重要な技術力維持・強化への貢献	20
③	グリーントランスフォーメーション (GX) への貢献	21
5	おわりに	22

(詳細は IFE フォーラムホームページ 有識者会議 資料番号 A6. 参照)

学術研究構想

競争力あるパワーレーザーによる高エネルギー密度科学の中核拠点

- ・学術の飛躍的發展
- ・産業構造の変革
- ・グローバル人材育成



ビジョン

多様な「知の創造」と「知の具現化」を実現する学術・科学技術創成の杜を創る



参考図 将来ビジョンと実現へのロードマップ (出典：小委員会作成)

8. 海外の IFE 開発戦略

海外においては、国とスタートアップ企業が連携してレーザー核融合も含めフュージョンエネルギー開発の気運が高まっている。ここでは、米国とドイツの最近の動きを取り上げ紹介する。

8.1 米国の IFE 開発戦略

2021.8月のNIFによるBreak-even達成を受け(参考図1参照)、米国DOE OFES主催のワークショップ: BASIC RESEARCH NEEDS WORKSHOP ON INERTIAL FUSION ENERGY(議長Tammy Ma, LLNL, 共同議長Ricardo Betti, University of Rochester)が2022年6月開催された。その後、ワークショップのレポート: Report of the fusion energy sciences workshop on inertial fusion energy(2023.1.1)が出版された。このレポートのExecutive Summaryにもとづく米国のIFE開発戦略の概要を紹介する(レポートの詳細は参考資料A5.1を参照)。

DOE OFESのワークショップへの諮問は以下の5点であった。

- 1) IFE研究の現状
- 2) 研究のプライオリティー 優先するIFE開発領域を明らかにすること
- 3) いろいろな方式およびコンポーネントの研究開発におけるTechnology Readiness Level (TRL)を明らかにすること
- 4) MFE R&Dと共通する領域を明らかにし、IFE固有の開発項目を明らかにすること
- 5) 官民のパートナーシップの役割

上記諮問に対しワークショップで明らかになった点は以下のとおりであった。

- 1) IFEはMFEと異なる技術的優位性とリスクを持った期待されるフュージョンエネルギーの方式である。従って、IFEを重要なフュージョンエネルギー研究開発分野と位置付けるべきである。
- 2) NIFによる核融合点火とブレークイーブンの達成はイナーシャルフュージョンエネルギー開発における重要なマイルストーンである。(参考図1参照)
- 3) NIFによる点火を含め、米国のIFE関連の科学技術の発展は過去数十年にわたり主として安全保障の予算によるものであるが、その結果として、米国はIFE科学技術のリーダーとなった。
- 4) 米国において、民間企業は核融合エネルギー商用化を進めており、官民の連携はいろいろな核融合方式の開発を加速すると期待される。
- 5) 新しい技術の習得とテストを加速しIFE開発を加速するには、専用の新しい施設もしくはアップグレードした施設が必要である。それらの施設で得られる結果をスケールアップすることにより、物理研究をはじめ各種コンセプトのテスト、核融合炉のコンポーネントやサブシステムの開発装置となる。
- 6) ICFのシミュレーションコードは過去数十年にわたる投資と施作により、NNSA(国家核安全保証)の国立研究所において作られたものであるが、IFE科学技術の発展

に非常に重要な貢献をしている。

7) プラズマ核融合研究の広がりをさらに発展させ、より広い分野への貢献と他分野との連携をすすめる必要がある。

8) TRLについては参考図2のように、Ignition & reactor level gain の達成度について

Laser Indirect Drive はレベル4

Laser Direct Drive (including Shock Ignition) はレベル3

Fast Ignition はレベル2

Heavy Ion Fusion はレベル1、

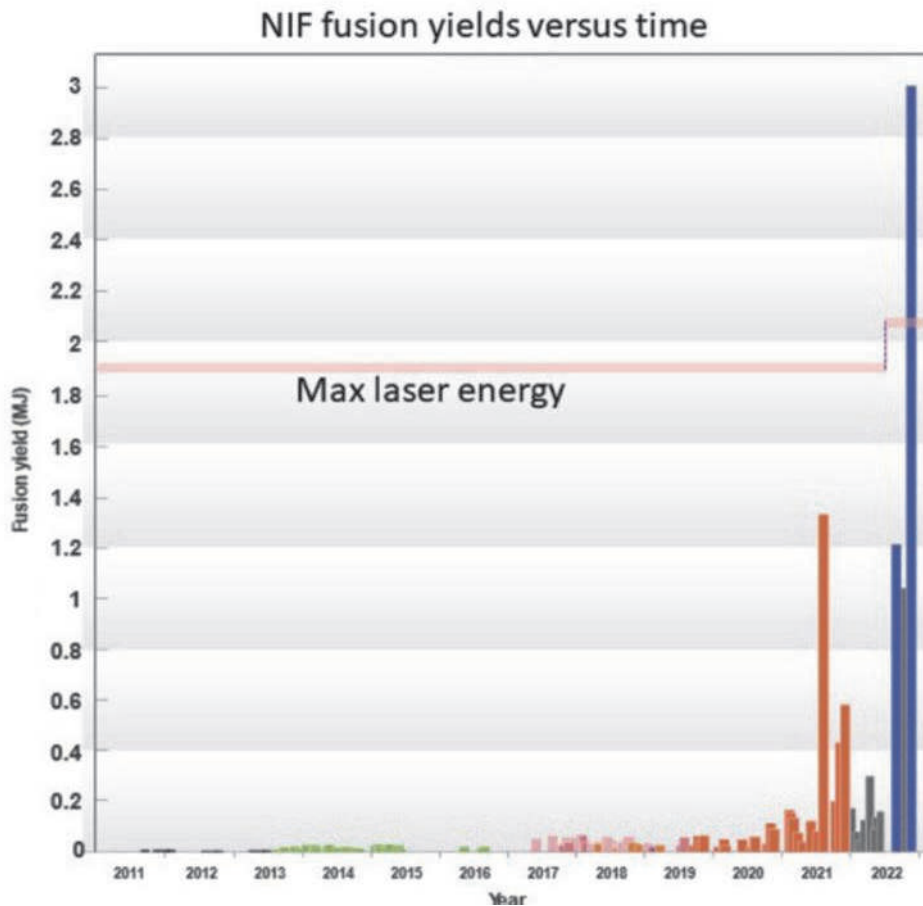
Magnetically Driven Fusion はレベル3

としている。

なお、技術成熟度レベル(TRL (Technology Readiness Levels:TRL)技術成熟度レベル(Technology readiness levels ,TRL)は 技術開発水準/技術成熟度評価であり、体系的な分析に基づいて、新技術の開発のレベルを評価するために使用する基準である。

- ・ Level 1 - 基礎理論の着想段階
- ・ Level 2 - 技術要素の適応、応用範囲の明確化
- ・ Level 3 - 技術実証のデモンストレーション([Proof of Concept](#))
- ・ Level 4 - ラボレベルでの実証
- ・ Level 5 - シミュレート及び実空間での実証
- ・ Level 6 - 地上でのシステムとしての技術成立性の確認
- ・ Level 7 - 宇宙空間でのシステムとしての技術成立性の確認
- ・ Level 8 - システムの運用テスト、認証試験
- ・ Level 9 - 最終段階、実運用

以上のワークショップの結果を受けて、US DOE OFES は2023.12に3箇所のIFE開発のハブとなる研究所(ローレンスリバモア研究所、ロチェスター大学、コロラド州立大学)に42 M\$ の2024年度予算措置を決定し、IFEの開発をMFEと並行して進めることになった。



参考図1 In December 2022, a shot on the NIF produced more than 3.15 MJ of fusion yield, achieving ignition, a long-sought-after landmark in inertial confinement fusion (ICF) research.

NIFの核融合利得は投入したレーザーパルスエネルギーの1.5倍に達した。その後、2023年12月には核融合利得2倍を達成した。今後、利得10を目指し、レーザーのアップグレードも含め実験を進める予定である。

<i>IFE Concepts</i> →	Laser Indirect Drive	Laser Direct Drive (including Shock Ignition)	Fast Ignition	Heavy Ion Fusion	Magnetically Driven Fusion
<i>Critical aspects for IFE development</i> ↓					
Demonstration of ignition and reactor-level gain	4	3	2	1	3
Manufacturing and mass production of reactor-compatible targets	2	2	2	2	1
Driver technology at reactor-compatible energy, efficiency, and repetition rate	4	4	3	2	3
Target injection, tracking, and engagement at reactor-compatible specifications	2	2	2	2	1
Chamber design and first wall materials	1	1	1	1	1
Maturity of Theory and Simulations	3	3	2	2	2
Availability of diagnostic capabilities for critical measurements	3	3	2	2	2

参考図 2 各種 IFE 方式に対する TRL

(英文 Executive Summary は IFE フォーラムホームページ 有識者会議 資料番号 A5.1 参照)

英文レポート全文は

https://arpa-e.energy.gov/sites/default/files/A04-Ma-FusionWorkshop_03-07-23.pdf を参照

8.2 ドイツ IFE 開発戦略

ドイツの教育研究省（BMBF）の委員会が取りまとめたレポート

（2023年5月）より

ドイツの Bettina Stark Watzinger BMBF 大臣は、BMBF の諮問へのレーザー核融合研究に関する委員会の答申を発表した。その中で、核融合研究分野におけるドイツの立ち位置と、可能性について以下の声明を行った。「核融合研究を次のレベルまで引き上げ、核融合発電所を早期に実現したい。将来のフュージョンエネルギー開発に関して、ドイツは先端を走っており、その優位性を活かし、テクノロジーに関しては前提を設けずに、野心的に取り組む必要がある。そのための資金を提供したい。委員会の報告書は、国家核融合研究の戦略的方向転換および初の核融合発電所建設へのロードマップ策定の第一歩となるものである。新たな資金提供プログラムは、磁気核融合とレーザー核融合の両方に対応できるようにし、的を絞って核融合研究の促進を強化することとしている。また、「核融合発電所の建設のためのドイツ企業の強化と、核融合エコシステムの構築であり、企業が研究機関のノウハウと必要なインフラにアクセスできるようにすることである。そのため、企業もアクセスできる共同利用テスト施設をもつさまざまなテーマ分野のハブをつくる予定であるとしている。」

レーザー核融合に関して、報告書は以下の提案をしている。

商業用レーザー駆動 IFE を実現するには、燃焼プラズマの理解、効率的な炉用レーザードライバとターゲットの開発、核融合炉の環境に耐えられる材料開発、複雑な工学的問題の解決など、いくつかの課題に取り組む必要がある。現在、世界規模のプログラムが慣性フュージョンエネルギーに向けて強力的に推進し始めているが、これまでの取り組みはターゲット物理に集中して行われたため、本格的な慣性フュージョンエネルギー固有の技術開発が必要である。プラズマ物理学と炉チャンバーに関わる研究開発は IFE と MFE で異なるが、特定のコンポーネント、特に核融合生成プラズマから離れたコンポーネントについて、はいくつかの重要共通の技術がある。ドイツは今後の計画を策定する際に、これらの分野では MFE 核融合技術における強みを活用する必要がある。成功に向けて、ドイツの IFE 関係者は技術開発のリーダーシップを取り、開発を強化する必要がある。

フュージョンエネルギー研究開発のポートフォリオには、基礎的なプラズマ科学だけでなく、核融合発電所のための技術および工学研究を含める必要があり、包括的な研究開発戦略を決定するにあたり、IFE 炉設計研究に重点を置く必要がある。これにより、関連する重点技術開発にリソースを集中し、IFE コンセプトの将来のリスクの軽減が期待される。ドイツにとって重要でコストパフォーマンスの高いテクノロジーの成長を促進するには、ハブにおける実現可能なテクノロジー、コンピテンシー、開発体制の整備が必要である。核融合研究と商業化の急速な促進には、オープンイノベーションを原則とするべきである。

ドイツの研究開発のハブは、緊急度の高い順に次の領域となる。

1) レーザー技術開発において、ドイツは世界をリードする専門知識を保有しており、慣性フュージョンエネルギー（IFE）の開発で世界のリーダーシップを取ることができる。IFE 原型炉用の有望なドライバーの開発として、レーザードライバーおよびマルチギガワットレーザーの機能の向上に重点を置くことで、ドイツは、レーザー業界のリーダーとしての地位を活用して、IFE 用の高度な高出力レーザーの競争力のある生産のための強固な基盤を築くことができる。これにより、国際市場におけるドイツの競争力が強化され、新たな独特のユニークなセールスポイント（USP）が生まれる。迅速に対応しなければ、レーザー市場での競争の優位性を長期的に失う可能性がある。

2) IFE ではコスト効率の高い大量生産の核融合ターゲットが必要である。現在、要求される量と品質を満たすことができるサプライヤーは世界中にない。ドイツはすでにターゲット製造技術における膨大な専門知識と能力を持っている。すなわち、発泡体コーティングの球形カプセルの製造、金属加工、および検証技術の専門知識を有しており、ターゲット開発で先頭に立つ機会がある。目標開発への投資を怠れば、重要なエネルギー市場を逃し、IFE 核融合炉の重要な部品を外国に依存することになり、経済的な不確実性とエネルギー安全保障のリスクが生じる可能性がある。専門家委員会は、IFE ターゲットとインジェクターを大量生産するための強力なプログラムを確立し、正確なターゲットングを実証することを推奨する。

3) プラズマが点火して放出するエネルギーを受ける炉壁として、構造材料、機能材料、および装甲材料の開発が将来の核融合発電プラントの最大の課題であり、発電プラントのリアクターチャンバーの工学設計の制約となる。これには、中性子、X 線、デブリにさらされる光学材料開発が含まれる。これらすべての分野において、ドイツは豊富な経験を持ち、材料特性評価のための研究機関を有しており、核融合炉の材料モデリングやシミュレーションの能力を有している。この分野はドイツの MFE プログラムと重複する部分が多く有しており、連携により開発が加速すると期待される。ドイツの研究機関がこの分野に参加しなければ、ドイツの官民セクターは将来の発展において重要な役割を果たす機会を失われることになる。

（英文 Executive Summary は IFE フォーラムホームページ 有識者会議 資料番号 A5.2. 参照）

また、英文レポート全文は

https://www.bmbf.de/SharedDocs/Downloads/de/2023/230522-memorandum-laser-inertial-fusion-energy.pdf?__blob=publicationFile&v=1%E2%80%82 を参照)

9. 今後の取り組みと展望

2 回の有識者会議で出された意見の取りまとめにあたり、近藤議長より以下の提案があった。「有識者会議としてはこれまでの議論を踏まえて、わが国の政策、施策においてこれまで審議した議題が重要ということ世に問う必要がある。その問うべき内容をきちんとすることが大事である。そのため、これまでの提案と意見を踏まえてさらに精緻化していく必要がある。これだけ世の中が変わってきたことも考慮し、いただいた指摘を参考に提案を精査する作業を行い、説得力のある提言を社会と共有できるようにしたい。」

上記の作業と展望の取りまとめは、日本学術会議 総合工学委員会 エネルギーと科学技術に関する分科会と、分科会に設置された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における「見解：多様な知が活躍できる大型パワーレーザー施設の実現と国際的な中核拠点の構築」の作成作業と並行して進めた。展望・提案の作成作業にあたっては、以下の有識者会議等の意見とその後の動向を反映した。

- 1) 1日に1回か2回の爆縮実験結果をデータサイエンスにかけるため、米国では10年間の実験結果をずっとため続けて、それを基に機械学習をさせて最適化していた。そのため、NIFが2009年に完成して2014年の点火実証を目指していたが達成できず、その後一つずつ課題を解決して成功に至った。我が国では、高繰り返しプラズマ実験で得たビッグデータを機械学習に取り入れるべきである。その延長で、核融合の反応そのものの最適化をすることをすすめ、核融合炉につなげるべきである。
- 2) アメリカ DOE のオフィス・オブ・フュージョン・エナジー・サイエンス (OFES) が主催のワークショップで非常に活発な議論が行われ Time is Now がキーワードになった (8章並びに、IFE フォーラムホームページ 有識者会議 参考資料 A4.1)。また、ヨーロッパでもフュージョンエネルギー開発の機運が高まっている (8章並びに、IFE フォーラムホームページ 有識者会議 参考資料 A4.2)。その表現は、核融合はいつも20年先30年先と言っていたがだいぶ状況が変わってきたということである。我が国も至急対応すべきである。
- 3) J-EPoCH 構想をオールジャパンで産官民一体となってハイパワーレーザーの学術応用を進めれば、レーザー核融合の実現を加速でき世界を先導できる。その推進には、2021年夏に創設したレーザー核融合スタートアップ企業 EX-Fusion との連携が重要である。
- 4) J-EPoCH 構想が非常にまとまってきた。ここまで来たらナショナルプロジェクトとして、きちっと取り上げることが目標になる。国として取り上げるには、世の中が「うん、そうだな」とならないといけない。この点につき、さらなるアドバイスが必要である。
- 5) 第55回原産年次大会のパネル討論「若手が考える原子力の未来」で、民間資金によるフュージョンエネルギーイノベーションが話題となった (原子力産業新聞 2022.4.15)。今や核融合の世界に民間資金がどんどん入ってきている。世界では

民間資金の投入は2020年で累計が2,000億円、2021年には1,000億増えて3,000億になっており、核融合を目指した研究に民間の資金が入っている。このメッセージは「政府よ、頑張れ」ということで、世の中の研究開発のモデルが変わっていることを念頭に置くべきである。

- 6) その後、日本学術会議の見解(7章並びに、IFEフォーラムホームページ 有識者会議 A6参照)が2023年7月に公表されるとともに、2023年12月、文部科学省の学術研究の大型プロジェクトの推進に関する基本構想ー2023ロードマップの12の計画の一つに大阪大学レーザー科学研究所が中心となり提案した構想「多様な知が活躍できる パワーレーザー国際共創プラットフォーム」(J-EPoCH計画)が採択された(参考図参照)。その構想提案の要約は次の通りである。

「パワーレーザーは、学術創成や新技術創出が期待され、飛躍的に進展している分野である。本案は、我が国の強みを活かした独自の高繰り返し大型パワーレーザーによる国際共創プラットフォームをオールジャパン体制で構築し、量子真空の探査、核融合エネルギーの探求(プラズマ)、超高压新奇量子物質の創生(固体)を通して、エネルギー密度の高い極限的な量子科学の開拓で世界を先導するとともに、同一空間で学際・国際・産学連携等を推進することで、科学技術イノベーション環境創出、産業構造変革や人材育成への貢献を目指すものである。」この構想は10年計画である。

なお、この決定に至る科学技術・学術審議会学術分科会研究環境基盤部会学術研究の大型プロジェクトに関する作業部会の評価は、以下の通りである。

「我が国が強みを持つ「高繰り返しパワーレーザーを生かして先導的な研究を行うことで、物質科学、材料科学、プラズマ科学、宇宙物理学など広い分野への応用が期待できる。また、実施主体は共同利用・共同研究において十分な実績を持ち、コミュニティの形成を含めた準備状況も十分に進展していることが認められる。」と高い評価をしている。一方、留意点として「技術的優位性と計画は高いレベルにある一方、見込まれる学術的成果の見通しについて、更なる具体化・明確化が必要である。また、技術革新のスピードが速い分野であり、日本の持つ技術的な優位性を長期にわたって保つための戦略を持った拠点運営が求められる。」が挙げられている。

(詳細は https://www.mext.go.jp/content/20231222-mxt_gakkikan-000033259_1.pdf 参照)。

以上の状況を踏まえ、有識者会議はレーザーフュージョンエネルギー開発の産官学の連携と今後20年、30年先の動向を考え、以下を展望・提案とする。

- 1) J-EPoCH構想では、オールジャパンで産官学が一体となってハイパワーレーザーが開く科学技術を推進し、レーザーフュージョンエネルギーの実現に向け世界を先導すること。
- 2) レーザーフュージョンエネルギー開発の推進には広範な炉工学技術の開発が必要

であり、磁場閉じ込めフュージョンエネルギー開発やレーザー核融合スタートアップ企業などとの官民の連携が重要である。

- 3) J-EPoCH 構想のさらなる計画の精査をすすめ、ナショナルプロジェクトとしてきちっと予算化されることが当面の目標である。国として取り上げるには、世の中が「うん、そうだな」とならないといけない。
- 4) 今や世界でフュージョンエネルギー開発を目指した研究への民間資金の流入がつつんでいる。このメッセージは「政府よ、頑張れ」ということであり世の中の研究開発のモデルが変わってきている。これを念頭に置き 20 年、30 年後の長期戦略を構築すべきである。

国として大型プロジェクトの優先度を明らかにする観点から、「学術研究の大型プロジェクトの推進に関する基本構想（ロードマップ）」を策定

※これまで、2010、2012、2014、2017、2020年に策定

◆ **ロードマップ2023の策定**

- ✓ 「ロードマップ2023」の対象は、実施期間が5～10年程度、予算規模が概ね数十億から2000億円程度の研究計画
- ✓ 公募の結果、申請のあった47件の研究計画について、科学技術・学術審議会において、幅広い分野の専門家によるきめ細かい審査を実施し、**12計画を掲載した「ロードマップ2023」を策定**
- ✓ 「ロードマップ2023」には、各掲載計画の基礎的な情報のほか、審査の過程で指摘された「主な優れている点」「主な課題・留意点」を掲載

<ロードマップ2023 掲載計画>

※カッコ内は実施主体（中核機関）
※ * はロードマップ2020からの継続掲載（5計画）

- ・ BSL-4施設を中核とした感染症研究拠点の形成*（長崎大学）
- ・ スピントロニクス・量子情報学術研究基盤と連携ネットワーク*（東京大学）
- ・ 多様な知が活躍できるパワーレーザー国際共創プラットフォーム：J-EPoCH計画（大阪大学レーザー科学研究所）
- ・ 極低放射能環境でのニュートリノ研究（東北大学ニュートリノ科学研究センター）
- ・ IceCube-Gen2 国際ニュートリノ天文台による高エネルギーニュートリノ天文学・物理学研究（千葉大学ハドロン宇宙国際研究センター）
- ・ CTA国際宇宙ガンマ線天文台（東京大学宇宙線研究所）
- ・ 強磁場コラボラトリー：統合された次世代全日本強磁場施設の形成*（東京大学物性研究所）
- ・ 30m光学赤外線望遠鏡計画TMT（自然科学研究機構国立天文台）
- ・ 超高温プラズマの「マイクロ集団現象」と核融合科学（自然科学研究機構核融合科学研究所）
- ・ LiteBIRD—熱いビッグバン以前の宇宙を探索する宇宙マイクロ波背景放射偏光観測衛星*（宇宙航空研究開発機構）
- ・ アト秒レーザー科学研究施設*（東京大学）
- ・ 統合全球海洋観測システムOneArgoの構築と海洋融合研究の推進（東北大学）

29

参考図 ロードマップ 2023 策定概要と 12 計画のリスト

編集後記

この活動報告は、IFE フォーラム有識者会議の議長を務めるとともに、日本学術会議総合工学委員会エネルギーと科学技術に関する分科会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委員長として IFE フォーラムと日本学術会議が共同主催した国内シンポジウムと日米シンポジウムを企画し、見解をまとめていただいた近藤駿介先生の主導による活動の成果をまとめたものです。3年間にわたる上記の活動では、大阪大学レーザー科学研究所所長兒玉了祐先生の支援とご助言、並びに、日本学術会議 総合工学委員会エネルギーと科学技術に関する分科会の委員長疇地宏先生をはじめとする分科会委員各位と、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犬竹正明副委員長をはじめとする委員各位から賜った多くの貴重な意見に深く感謝いたします。

最後に、有識者会議を主催していただいた IFE フォーラムに感謝するとともに、本報告書が 2050 年に向けた我が国のレーザーフュージョンエネルギー(IFE)開発推進の起爆剤となることを祈念します。

令和 6 年 3 月 編集担当 有識者会議専門委員会副委員長 三間 罔興

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

