

日本学術会議・IFE フォーラム 公開シンポジウム報告

「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」



2022年6月6日

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

IFE フォーラム

目 次

1 はじめに	1
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)	3
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)	3
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)	4
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)	5
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)	5
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)	7
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	8
4.2 総合討論における質疑	9
4.2.1 パワーレーザー技術と新産業創成と TRL	10
4.2.2 熱エネルギー利用による CN への貢献について	10
4.2.3 ネットワーク・国際連携、人材育成	10
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	11
4.2.5 総合討論まとめ	12
5 閉会	12

6 付属説

6.1	講演資料 1 (野田 進)	-----	13
6.2	講演資料 2 (小林洋平)	-----	30
6.3	講演資料 3 (兒玉了祐)	-----	45
6.4	講演資料 4 (藤岡恵子)	-----	57
6.5	講演資料 5 (河内哲哉)	-----	63
6.6	講演資料 6 (落合 誠)	-----	70
6.7	講演資料 7 (久間和生)	-----	81

1. はじめに

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、去る 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の近藤駿介氏（写真 1）より、以下の趣旨の開会の辞があった。



写真 1 近藤駿介 委員長

「本日は、この公開シンポジウムにご参加賜り、誠にありがとうございます。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ました。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まで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す。

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いたしました。370 人を超える参加者を得ており、実りある会合といたたく、全力を尽くしますのでよろしくご協力のほどお願いします。」

引き続き、日本学術会議第三部 吉村忍部長（写真 2）から、「本日のこのシンポジウムで議論される内容につき、CN 全体に対する学術会議の大きな取り組みの一つとし

てしっかりと位置付け、他の分野とも連携しながら進めていければと考えております。」と期待の言葉をいただいた。



写真2 日本学術会議第三部 吉村忍 部長

続いて、IFE フォーラムの高西一光座長（写真3）より「我が国において、レーザー核融合エネルギーの研究開発を加速していくためには、将来の社会実装に向けたマイルストーンを共有し、産学官が連携して連続、非連続のイノベーションを興し続ける必要があります。



写真3 IFE フォーラム 高西一光 座長

また、その担い手である優秀な人材を育成し、輩出される仕組み作りも重要であると考えます。」と激励の言葉をいただいた。

最後に原子力委員会 上坂充委員長（写真4）から、「これまでレーザー加速などの研究に携わったこともあり、本日のパワーレーザーと高エネルギー密度科学に関するシンポジウムが実り多いものとなり、ハイパワーレーザーと応用が、日本の基盤技術として益々発展していくことを期待しています。」とパワーレーザー技術開発への期待が述べられた。



写真4 原子力委員会 上坂充 委員長

2. 基調講演-I (司会 犬竹正明 学術会議連携会員 東北大学名誉教授)

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- (講演資料1)

野田 進 (学術会議連携会員、京都大学工学研究科教授) (写真5)

フォトニック結晶レーザー (PCSEL) は、既存の半導体レーザーの欠点、すなわち、高ビーム品質・高出力動作 (=高輝度動作) が困難であるという欠点を克服し、他の大型レーザー (CO₂ レーザーやファイバレーザー等) を一新する可能性をもつとともに、2次元ビーム走査や任意のビーム形状を生成させることが可能という高機能性をも有する。

半導体レーザーは、小型・高効率・高制御性ゆえに、通信・情報・光記憶の分野で欠くことの出来ないキーデバイスとなっているが、既存の半導体レーザーの欠点は、高ビーム品質・高出力動作が困難なことである。高出力化のために面積を大きくすると、面内方向の光の状態を制御する機構が存在しないため、多くの不要モードが出現し、ビーム品質が著しく低下する。このことが、最近、注目を集める超スマート社会 (Society 5.0) を支えるスマートモビリティやスマート製造分野の発展のボトルネックとなっている。例えば、自動運転や、ロボットの自動走行などの目の働きをする LiDAR (Light Detection and Ranging) センシングの光源部には、ビーム品質の悪い既存の半導体レーザーを用いざるを得ないため、複雑な光学系とその制御・調整が必須であり、コストの増大、サイズの増大、さらには信頼性の低下等の問題を生じている。一方、スマート製造の核となるレーザー加工においては、現状は、CO₂ レーザーやファイバレーザーなどの大型で低効率のレーザーが用いられているが、カーボンニュートラルの観点から小型・低消費電力・低コスト化に適した半導体レーザーの活用が切望されており、ここでも半導体レーザーの高輝度化は必須と言える。

半導体レーザーの高輝度化を実現可能な唯一の半導体レーザーが、フォトニック結晶レーザー (PCSEL) である。本レーザーは、2次元面内の光の状態を制御可能で、不要モードの存在を許さない光共振器を形成可能なことを特徴とし、1mm Φ を超える、半導体レーザーでは極めて大きな面積でも、高ビーム品質かつ高出力動作が可能になってきている。さらに、フォトニック結晶の有する各種の光制御性ゆえに、任意の形状・偏光ビームの発生や、電氣的ビーム走査など、様々な機能性までが実現されている。

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 (講演資料2) 小林 洋平 (東京大学物性研究所教授) (写真5)

この講演は、この先50年で日本の人口が30%減少することから生じる社会問題を解決するために、労働生産性の向上が必要であるという課題提起から始める。脱炭素社会を実現するために省エネが必須であり、自動車の軽量化、電動化や半導体の微細化が求

められている。例えば自動車では軽量で高剛性であるが難加工性材料である CFRP や電気自動車用の電池などに使われる複合材料のレーザー加工も重要な検討課題である。レーザー加工はこれら難加工性材料にも対応可能であるが、条件出しに労力と時間がかかるという問題がある。そこで、レーザー加工のパラメータ決定のために深層学習を用いた AI を利用する研究を行っている。これまで、深層学習でレーザー加工の進捗度の評価や、シミュレータを開発することに成功している。また、ベイズ最適化などの最適化ループがレーザー加工において成立することも示されている。

深層学習などの AI を適用するためには高品位な教師データが大量に必要となる。そこで、レーザー加工を全自動化し、高品位なデータを取得するマイスターデータジェネレータと呼ばれる装置開発が行われた。これは 24 時間稼働できる装置であり、データ取得のスピード向上と大量データ取得が可能となった。

データ取得が人手に寄らず可能となったため、フィジカル空間とサイバー空間とを融合したサイバーフィジカルシステム (CPS) の構築が可能となった。レーザー加工の CPS をデモンストレーションし、現在はどうのように活用していくかを探っている。

レーザー加工では波長やパルス幅、繰り返し周波数などのパラメータを可変できるパワーレーザーが必要となる。これは一つのレーザー装置で実現することは困難であり、多数の装置を利用してデータを確保する必要がある。レーザー加工プラットフォームの利用とともに、複数の機関が所有するレーザー装置をネットワーク化して活用することも模索されている。

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 (講演資料 3)

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) (写真 5)

我が国の強みである「半導体レーザー、セラミック材料、光学薄膜」などパワーレーザー技術の分野に IoT 制御技術、AI 技術、センサー技術を統合し、国際競争力ある多目的の大型繰り返しパワーレーザー施設の重要性が指摘する。大型パワーレーザーの繰り返しを上げることで、統計精度の向上に伴いこれまで見えなかった詳細な物理過程が見出される可能性など量子真空物理や超高压物質科学開拓の可能性もある。またスマート化された大型パワーレーザーによる極限的なレーザー圧縮技術による超高压の量子物質状態実現の可能性を示すとともに、レーザー核融合の分野においては、CN に貢献する将来のエネルギー開発に必要なキーテクノロジー開発の加速の可能性と重要性を示す。このような強みを生かし世界をリードするには、大型の高平均出力レーザーを利用できるパワーレーザー中核拠点を作り、それを活用した国際連携プロジェクトを推進しグローバルに活躍できる人材を育成することが重要である。

3. 基調講演-II (司会 三間罔興 学術会議連携会員、大阪大学名誉教授)

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

(講演資料 4)

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) (写真 5)

日本のエネルギー利用において、投入された一次エネルギーの 60%以上が最終的に熱として廃棄されている。一方でエネルギー消費のうち 70%以上が化石燃料を用いた熱利用であり、カーボンニュートラル実現にとって、熱エネルギーの有効利用は必須の課題である。カーボンニュートラルへの熱利用の寄与は、(1)排熱低減や熱リユースによる省エネルギー、(2)再生可能エネルギー大量導入時の出力変動の平準化のための蓄エネルギー、(3)電化が困難な産業プロセスへの排熱利用、(4)太陽熱、地中熱など大きな賦存量があるけれど利用されていない再生可能エネルギー熱の活用、にまとめることができる。

これらの推進のためには、熱の需要と供給の間の空間的差異を解消する蓄熱・熱輸送技術が重要である。熱輸送・蓄熱は長年にわたって開発されてきた多くの材料を用いて広い温度域に対応できる成熟した技術であり、近年はデジタルサイエンスやマテリアル・インフォマティックスの手法を用いた工学系以外の広い分野の研究者の参画による新しい発想の蓄熱・熱輸送材も提案されている。今後は、熱源や用途に応じた利用システム設計を進めることで、経済性・利便性を向上させ広く社会実装してゆくことが期待されている。熱利用システムを社会に導入する事例として地域熱供給がある。現在 19 都道府県の 134 地域で運用されており、コンビナート内の複数の工場間での熱利用も各地で展開されている。

今後の一層の進展のためには、情報の整備や政策的支援も必要である。FITのような制度的支援や、EUや英国で発表されている熱利用戦略のような中長期的な熱利用の方針を政府主導で示すことによって、企業や自治体の熱利用事業への参画やインフラ整備が促進されるだろう。技術にとどまらない未来のエネルギー利用社会のビジョン創成と共有も重要である。そのさきがけとして、種子島など主に離島で地域の産業や生活と共生する熱利用システムの実証試験が行われている。

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 (講演資料 5)

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) (写真 5)

量子ビーム (Quantum Beam) という言葉は日本発の言葉であり、国の施策には 2005 年の原子力政策大綱において「高度に制御された高品位の放射線、すなわち、中性子、イオンビーム、レーザー、放射光などの「量子ビーム」が利用可能となっている」という形で登場する。またその際に、これまで放射線の範疇に入っていなかったレーザー(光

量子)が放射線の一つとして組み込まれている。現在は、医療、工業、農業の様々な放射線利用の領域(経済規模4兆円(2018))において量子ビーム技術といえる放射線の制御・高度化がなされており、量子ビームの重要性がますます高まっているといえる。

量子ビームの最も重要なキーテクノロジーの一つは加速器であり、その加速器を大幅に小型化させる可能性を持つのがレーザー加速原理である。レーザー加速器の実現を通じて電子線やイオンビームをはじめとしてX線、ガンマ線源、更には中性子や中間子、RIなどの発生装置の小型化や、学術目的の超大型加速器を現実的なサイズに抑えることが可能になると考えられている。

レーザー加速研究の最近の進捗として、レーザー電子加速の場合には、高強度レーザーをガス中に集光して電子の航跡場を作ることで加速長20cmに対して8GeVまでの電子ビーム発生に成功している。また、レーザー加速で得られた電子バンチをアンジュレータに入射することでFELの発振が確認されるなど、新しい電子加速器実現に向けて着実に研究開発が進んでいる。レーザーイオン加速の場合には、イオンの質量が電子に比べて重いためにイオンをそのまま航跡場に乘せて加速することは難しい。そこで、レーザーを固体薄膜に照射することで薄膜裏面側に電荷分離状態を生成し、その電場(数10兆V/m)を利用してイオンを引き出して加速する研究が行われている。加速長0.1mm程度で、陽子を98MeV、銀の多価イオン(45価イオン)を20MeV/u(2.2GeV)まで加速した成果が報告されている。レーザーイオン加速は多価イオン生成と加速を同時に行うことができるため、特に重イオン加速器の前段部ライナックに置き換わる可能性が注目されている。このようなレーザー加速器実現に向けた試みの一例として、量研では重粒子線がん治療装置の小型化(量子メスプロジェクト)が進められている。重粒子線がん治療は高い治療効果が期待できる手法として注目されているが、装置の規模が大きいため治療コストを低くできないという問題がある。そこで、量研では、レーザー加速によるイオンビーム入射器と超電導技術を用いた小型サイクロトロン及びガントリーを組み合わせることで病院の建屋に収まるサイズの小型の重粒子線がん治療装置の開発を進めている。

レーザー駆動量子ビームの産業応用、医療応用などを進めていくうえで最も重要な課題はレーザーの高平均出力化(または高繰り返し化)と高安定化の実現になる。量子メス用イオンビーム入射器や中性子線発生とそのラジオグラフィへの応用などは、超短パルスレーザーの平均出力が現状の1桁~2桁程度向上すれば実用化の範疇に入ってくる一方で、RI製造やADSによる消滅処理などの提案を実現させていくためには、高出力化にともなう排熱技術、光学素子の大型化を避けるためのビーム結合技術、高耐力光学素子技術、超短パルス(広帯域化)技術、新しいレーザー媒質の開拓等々の光関連技術の底上げが必要不可欠である。そのためにも、多種多様な人材が集い、レーザー技術やそれを支える光学技術そしてレーザー駆動の量子ビーム利用技術を醸成し発展させていく中核的拠点を形成していくことが重要である。

3.3 エネルギー最適化に向けた東芝の取り組み

(講演資料 6)

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) (写真 5)

東芝エネルギーシステムズ株式会社ではエネルギーを「つくる」「おくる」「ためる」「かしこくつかう」の全領域に幅広く技術・製品・サービスを提供している。その研究開発組織であるエネルギーシステム技術開発センターでは、現在の主力エネルギー事業領域はもちろん、将来に向けた先端研究を行っており、カーボンニュートラルの推進、インフラレジリエンスの向上、Quality of Life(QoL)の向上に関連する技術で社会に貢献している。

カーボンニュートラルでは、例えば洋上風況解析技術を活用した洋上風力発電の最適な配置・運用の提案、再生可能エネルギーと需要のエネルギーマッチング、エネルギーを水素に転換する Power to Gas(P2G)など環境・エネルギー分野の研究開発に取り組んでいる。

また、近年、地震や台風など災害時の停電リスクが顕在化してきており、これらの悪影響に対する抵抗・回復力であるレジリエンスの向上が求められてきている。そこで、太陽光パネルや蓄電池などの分散型電源の導入による効果を、不確実な災害発生を確率的に考慮して定量的に評価する手法を開発している。

さらに QoL 分野では、例えば「切らないがん治療」に取り組んでいる。長年取り組んできた重粒子がん治療装置では、超電導回転ガントリーや量子メスなどの機能・性能向上に貢献してきた。また近年では、放射線核種を用いた標的核医学治療が世界的に立ち上がりつつあり、半減期 7 時間のアルファ核種であるアスタチン (At-211) の製造・利用に向けた開発も行っている。この他にも、多様なエネルギーニーズに応える電源として、固体減速材とヒートパイプを用いたマイクロリアクターの開発、電源供給・熱供給・水素製造を組み合わせたエネルギー マネジメントの検討も行っている。

エネルギー分野以外でも、宇宙線ミュオンの散乱・透過を用いて物質判別するコンテナスキャナや、シールド工法等によるトンネル工事時の異常(空洞など)発生検知を行う診断装置の開発を行っている。レーザー応用としては、マイクロチップレーザーによるレーザー超音波法などのユビキタスな検査計測システム、レーザーピーニングによる応力腐食割れ予防や疲労強度改善などに取り組んでいる。

今後ともカーボンニュートラル、レジリエンス、QoLに関連する技術開発に取り組み、特に QoL 分野では、超電導、加速器、レーザーなど量子応用技術の活用を展開していく。

4. 総合討論

上記の基調講演を受けて、写真 5 にある 9 名の方々：コーディネーター笹尾真美子氏(東北大名誉教授)と講演者ならびに久間和生氏(レーザー学会会長)と岩田夏弥氏(阪

大准教授)で総合討論を行い、シンポジウムが総括した。

総合討論の冒頭、CNに向けたレーザー技術の応用につき久間和生氏の講演で、以下に示すレーザー学会の活動の紹介があった。

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 (講演資料7)

(久間和生 レーザー学会会長 国立研究開発法人農業・食品産業技術研究機構 理事長) (写真5)

地球温暖化は世界的な課題である。気温上昇の主な原因は、人為的な二酸化炭素、メタン、一酸化二窒素など温室効果ガス (GHG) の排出であり、GHG の排出を大幅に削減しない限り、21 世紀中頃に気温上昇が 2℃を超えると予測されている。日本は、2030 年に GHG 排出を 46%削減し、2050 年にはカーボンニュートラル (CN) を実現することを国際社会に表明している。

経済産業省は、2020 年 12 月に「2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」を策定し、経済発展と温暖化抑制の両立に向けて重点的に取り組む 14 の重要分野を特定した。レーザー技術は、光通信、照明、自動車等での利用が拡大しているとともに、農業、レーザー核融合など新分野への展開が加速しているなど、14 の重要分野うち 7 分野に貢献できる重要技術である。今後、半導体レーザーの更なる小型・低消費電力化により、レーザー技術の適用拡大が促進される。

レーザー学会では、産学の専門家によるタスクフォースを立ち上げ、レーザー技術が CN 実現にどのように貢献できるかを検討し、2022 年 1 月に提言書「2050 年カーボンニュートラルへのレーザー技術の貢献」を公表した。レーザー技術は、国内で 10~20%、世界で 5~10%の GHG 削減に貢献できるポテンシャルがある。以下に、CN 実現に貢献できる注目すべきレーザー技術を 3 点紹介する。

① レーザー核融合

2021 年 8 月に米国ローレンス・リバモア国立研究所がレーザーによる世界初の核融合燃焼に成功した。日本でも、大阪大学レーザー科学研究所 (ILE) を中心にレーザー核融合の実現に取り組んでいる。ILE では、2050 年 CN 実現に貢献するため、核融合による高温を利用した安価な水素製造を実用化の第 1 段階とする計画である。

② レーザースマート照明

レーザー走査とセンシングにより、室内の必要な部分のみ照らすことで超低消費電力 (LED 照明の十分の一以下) を可能とする。このとき、AI により人の動きや周囲の環境変化を検知・予測することで違和感なく照らすことができる。

③ スマート農業

高効率のレーザー光源を植物工場に利用することで大幅に消費電力を削減する。また、AI による検知とレーザー照射を組み合わせた害虫の狙撃や雑草の除去により、農薬使用に伴う GHG 排出を削減する。さらに、レーザーを用いた光センサーにより土壌の肥沃

土や、土壌中の病原菌・有用微生物の状態を把握し、生育環境の最適制御を行うことで土壌からの GHG 排出削減と収量の最大化を両立する。

2050 年 CN 実現に向けてこのようにレーザー技術の応用を拡大するには、Society5.0 を具体化するレーザー技術と ICT の融合が最重要課題である。レーザー学会は、カーボンニュートラル実現に資するレーザー技術の発展に向けて、学術の振興と新分野・融合分野の開拓、社会・産業界での実用化、人材育成に務める。

4.2 総合討論における質疑

基調講演と久間氏の講演を踏まえて、パネラーならびに会場の中で意見交換がなされた。以下の4つの視点で出された意見の概要は以下の通りである。

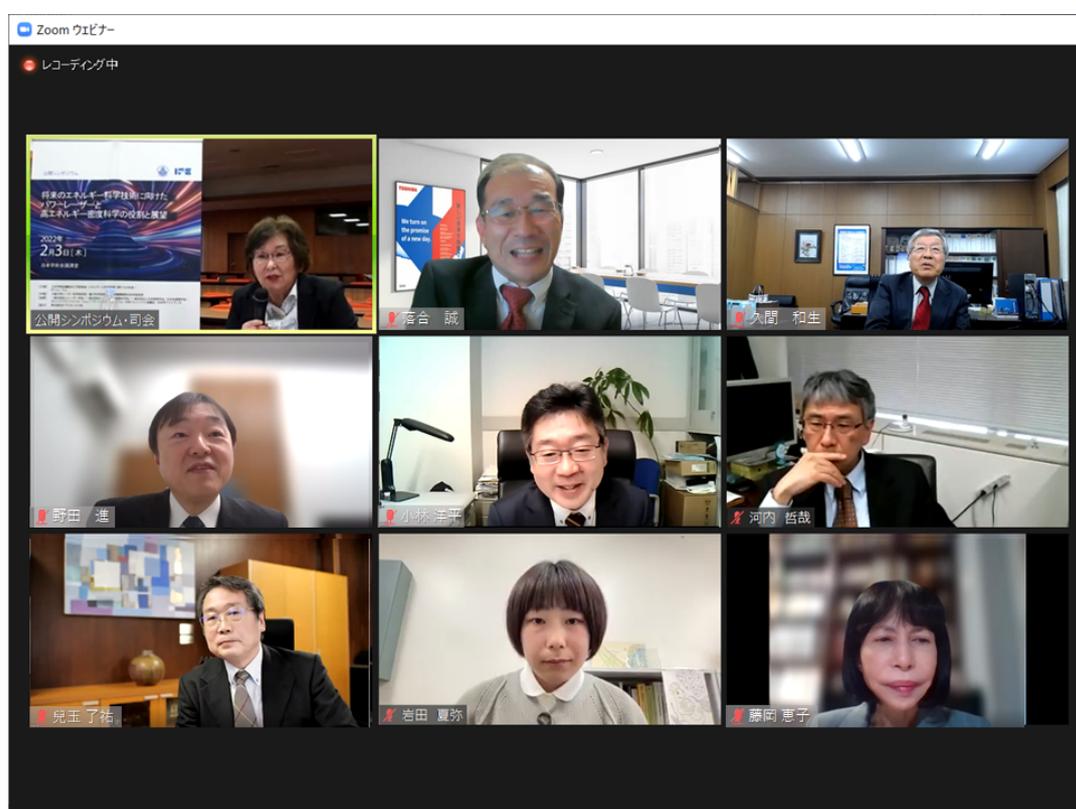


写真5 総合討論パネラー（左上から右下）
笹尾真実子（コーディネータ）、落合誠、久間和生、野田進、
小林洋平、河内哲哉、兒玉了祐、岩田夏弥、藤岡恵子（敬称略）

4.2.1 パワーレーザー技術と新産業創成と TRL

- 1) 持続的に研究開発を進め、その成果を時機を見極めて事業化する。その過程のいろいろなステージで人材を育てる必要がある。
- 2) 今回の新型コロナウイルス感染症拡大で、学生たちが何を望んでいるかわかつ

た。リモート、いわゆるサイバー空間での活動はできても、やはりリアルな活動を求めていることがわかった。リアルとサイバーが一緒になった形で展開していくことの有用性がクローズアップされた。さらに言えば、本当に人が集まる空間、すなわち国内に国際的競争力のある拠点で海外の拠点と連携・競争することが重要である。

- 3) 研究計画を立てるにあたり、TRL (Technology Readiness Levels) の評価をふまえて、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。
- 4) 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。
- 5) 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。

4.2.2 熱エネルギー利用による CN への貢献について

- 1) 水素製造・メタネーションは日本のカーボンニュートラルの中で非常に大きな柱になっている。核融合による水素製造は選択肢が増えることになり、大変重要である。
- 2) 核融合炉からどんな熱が出てくるかは非常に興味がある。多量に 200℃ くらいの熱が出るのであれば、この温度域の熱を利用する技術は現在でも非常に成熟しているが、社会システムとしてうまく生かすためのインフラや制度の完備が課題である。
- 3) レーザー加工技術は、熱エネルギー利用にとって重要な熱伝達、流体と電熱と熱伝達を促進するような表面加工や、蒸発を促進するような表面加工、あるいは材料開発自体にも応用が考えられる。
- 4) マイクロリアクターによる水素製造技術に対する位置付けを考慮する必要がある。

4.2.3 ネットワーク・国際連携、人材育成

- 1) 米国ではパワーレーザー施設の連携を 10 機関ぐらいで行っていて、まとめ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。
- 2) 現在、我が国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) に関するネットワークがある。人材育成を含めた形で国際連携を進めるべきである。
- 3) 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。

- 4) 現在の日本の企業では海外の経験があることがプラスになる。以前は会社の留学制度の応募が非常に高い倍率だったのが、最近は何倍も上がらないのが問題である。実際海外に行ってみて、その社会の中で自分の実力だけでやってみるというモチベーションを如何に上げていくかが課題である。

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

- 1) パワーレーザーは、高エネルギー密度状態での複雑な相互作用を通して、物質がどのような姿を見せてくれるのか、そしてどんな機能を発現するのかといった研究を可能にするものである。その解明には個別の分野ではなくて、物理、化学、数学といったさまざまな学術分野の融合研究を展開していくことが鍵である。
- 2) 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。
- 3) 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。
- 4) 自然科学から社会実装につなげるには、産官学が融合したネットワーク拠点を国内に作ることを有効である。
- 5) 中核拠点での共同利用・共同研究は、研究成果の評価基準、新しい課題創出、共通のブレークスルーポイントを持つことができるメリットがある。
- 6) 我が国の人口減少は大きな問題であり、人材育成がさまざまな分野の共通課題である。人口が減じた分を補うには知財生産効率を上げる必要がある。若い人々が今まで以上に科学技術に強い関心を持てるような政策が必要である。
- 7) 中核拠点を作ることによって、ドクターを取った人たちの活躍する現場（キャリアパス）ができ、大学院の研究がそのまま研究者としての道につながる人材育成の場となることが期待される。

4.2.5 総合討論まとめ

以上の総合討論により、「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。

5. 閉会

最後に疇地宏氏（総合工学委員会エネルギーと科学技術に関する分科会委員長）（写真6）より閉会の辞が述べられ盛会裏にシンポジウムは閉幕した。



写真6 総合工学委員会エネルギーと科学技術分科会 疇地宏 委員長

学術会議ホームページ：

<https://www.sc.j.go.jp/ja/event/2022/317-s-0203.html>