

2023 年 3 月 28 日

「多元技術融合光プロセス研究会」 設立趣意書

理化学研究所 チームリーダー
杉岡 幸次

レーザーやランプなどをエネルギー源とした光プロセス技術は、電子産業、半導体産業、光学機器産業、ICT 産業、自動車産業、分析装置産業、医療機器産業、環境関連産業、合成化学産業、食品産業、農産業など、広範な産業分野へ展開している。光プロセス技術は、環境に優しくクリーンで制御性に優れたユーザーフレンドリーな非接触プロセス技術である。各種レーザー光源の高出力化・高品質化・高効率化や短波長化、超短パルス化技術さらにはそのマニピュレーション技術などの進化により、プロセシングの高速・高精度化、高機能化、高付加価値化、多様化・高集積化、並びに光プロセスでしか達成し得ないブレイクスルーなどに関して今後の一層の研究開発・技術革新が期待されている。光プロセス技術は、グリーン部素材、次世代自動車、二次電池、太陽電池、ロボット、環境・エネルギー機器、健康医療機器など、日本経済の 21 世紀の発展を支える戦略的産業分野において必須かつ基幹のプロセス技術として、産学官のシームレスな連携強化によりさらに不断の発展を継続すべき技術分野であると考えられる。近い将来、光産業分野は GDP で日本のシリコン・エレクトロニクス技術分野を凌駕するまでに発展するであろう。しかしこのトップランナーのバトンタッチが上手く行かず、さらにこれが日本の技術立国の基盤技術の核として活躍しなければ、日本の永続的発展はないであろう。

2000 年初頭から、高出力単一モードファイバーレーザー、高出力 LD (Laser Diode)、高出力ピコ秒・フェムト秒レーザー、高出力 VCSEL (Vertical Cavity Surface Emitting Laser: 垂直共振器面発光レーザー)、紫外 GaN-LD、深紫外ランプ等の新型光源技術が急速に進展した。我国の各種産業に前記光源を用いた光プロセス技術を導入し基幹産業に発展させる戦略の策定は焦眉之急である。新型光源技術の多くは、米国 DARPA (Defense Advanced Research Program Agency: 国防高等研究計画局)の先導で開拓されてきたといっても過言ではない。日本の ICT 不況の最中に何も日本政府が経済発展を目指した光技術開発プログラムを立ち上げない間に、米国・ドイツで先進 Photonics の科学技術が急速に進展した。ドイツではさらに、Horizon 2020 Program

を実施し、イノベーション戦略を強化している。またドイツの提唱する Industry 4.0 においてもレーザー加工は重要な役割を担っている。英国では、TSB (Technology Strategy Board: 技術戦略会議) を Innovate UK と改称し先導している。レーザー加工関連のイノベーション創出に関してのドイツの BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung: ドイツ連邦教育研究省) によるリーダーシップの貢献が大きいと思われる。東アジアに目を向ければ、中国のレーザー技術・レーザー加工技術は急展開している。韓国では光科学技術に関する大学のカリキュラムを整備し、光産業構築の人的投資は完了している。我が国でも近年になり、光技術分野に関わる経産省の NEDO (新エネルギー・産業技術総合開発機構)、内閣府の SIP(戦略的イノベーション創造プログラム)、ImPACT(革新的研究開発推進プログラム)、文科省の光・量子飛躍フラッグシッププログラム (Q-LEAP) の国家プロジェクトが次々と立ち上げられ、一躍光加工も脚光を浴びるようになってきた。

しかしながら、光プロセス装置は一般にまだ高価であり、信頼性や操作性、スループットなどの面では未発達な面が多々ある。それ故、光プロセスに最適化した材料やデバイス・システム設計の工夫や、マトリックス光学素子等の適用による並列化や加工プロセスのハイブリット化やビーム整形技術などによる工法の革新、先進的なビームデリバリー技術の導入、光プロセス過程のオンラインモニタリング技術やフィードバック制御技術の活用、AI や機械学習の導入など、ユーザーとメーカーが連携し多元技術を効果的に融合して、生産現場への導入・展開を促進する必要がある。それには、新型光源を用いた光プロセスデバイス・システムのユーザーとメーカー並びにシステムインテグレータや大学・公的研究機関とのシームレスな情報交換・共有・アライアンスにより、産学官一体で先導して、スピード感を持って研究開発を実施することが肝要である。

我国では、4大重点課題の1つのナノテクノロジーを見ても、トップダウン・アプローチとボトムアップ・アプローチの二者択一の議論になりがちである。両者のアプローチの優劣ではなく、如何にパラダイムシフトし、産業としてもナノテクノロジーを継続的に発展させていくかを考えた場合、トップダウン・アプローチとボトムアップ・アプローチを融合し、既存のエレクトロニクス・フォトニクス技術に適時に適用するかが必須である。日本の長い歴史に鑑みると、いわゆる排他的な議論でなく、いろいろな文化・技術・工芸を建設的に取り込み融合させて、現在の日本が出来上がった。まさに温故知新の視点が必要であるが、我国の最近の科学技術のみが、依然としてヨーロッパの古典的要素還元型の科学技術パラダイムから脱し切れていない。先進国は既に水平統合型のパラダイムシフトを完了しつつある。

光プロセスの発展の礎は、先進光源技術と光源メーカーを一つの焦点に、加工技術と光源ユーザーをもう一つの焦点とし、両焦点からの距離の和が常に一定な楕円のパラダイムを構築し、この楕円を社会的合理性の中で発展をさせるように捉えたい。両焦点からの距離の和を大きくし面積を拡大させることは、光プロセス技術・光産業の発展であ

り、さらに両焦点の離心率を小さくすることは真の融合光プロセス技術の構築になることは論を待たない。片方の焦点から出射される光は、他方の焦点に収束する。光源技術は、真の産業の新規光源としての高い性能を備えなければならず、学術論文的瞬間最大性能の追求ではない。プロセスも、光のコヒーレンス、パルス幅、スペクトル、光強度、パルス波形、偏光ならびに材料物性の光学パラメータから、材料との相互作用メカニズムの基礎的支配過程を解明しつつ、スループットと市場を視野に入れた制御技術開発が肝要である。さらに材料も、光プロセスに最適になるようにワークの物質・材料物性を修飾する技術も必要である。最近では CFRP などの複合材料が既存の航空機・自動車分野のアルミ合金・鋼板を代替されつつあり、それらの材料に加工対してレーザー技術の適用が期待されている。

前記背景に鑑みて、本「多元技術融合光プロセス研究会」の設立の趣旨は、まさにこの問題意識を端としており、多元技術融合光プロセスに関する技術および動向についての産学官の技術交流・情報交換を行うことにより、もって我国の光産業技術の振興に資することを目的とする。これは、単なる浅く広い光技術・プロセス技術の融合ではなく、深遠な光基礎科学、物質・材料科学、マルチスケールプロセス工学、プロセスソフトウェア技術、実装技術などの多重の科学・技術を“同一の楕円”のプラットフォームで建設的に *in depth discussion* し、英知を発信して、技術ソリューション・創発(emergence)することである。それはあたかも、日常の医療現場での難病の治療法開発のために、基礎医学、iPS、ES 細胞を用いた再生医療の科学技術を現場の臨床系の医師と連携して同一のプラットフォームで患者の社会復帰のアウトカムの視点から、基礎研究者が研究開発するのに似ている。すなわち日常の製造現場に、深い科学技術を投入・融合することである。技術分野でもデバイス技術・システム技術の分離ではなく融合であり、シーズ・ニーズの分離の議論では無く、川上・川下の議論ではなく、川で船を漕ぎ、両岸・川の上下流を行き来するフィードバックの融合知(merger of knowledge)である。

本研究会における具体的なアプローチとしては、すでに各種の新型光源を用いた光プロセスの試用の経験のあるメーカーなどからの現場への導入における技術課題の抽出と、光と物質の相互作用過程の理解からこれら問題点や技術課題に対する会員相互の情報交流や大学・研究機関による新たな技術シーズも交えての建設的自由討議等による解決策の探索や現象の解明、並びに会員連携による戦略的な取り組みの強化と水平展開による光産業技術振興への貢献を考えてゆく。産業がグローバル展開する中、海外の最新情報の提供にも努める。副次的に、新しい技術開発プロジェクトが自然に産生されることを期待したい。

◎本研究会における研究対象と主な課題

本研究会で研究対象とする分野は、smart consumer electronics、半導体パワーモジュール、二次電池、ロボット、環境・エネルギー機器、健康医療機器など、日本経済の

将来の持続的発展を支える戦略的基幹産業分野である。この産業分野で重要な役割を果たす GaN、SiC 等の半導体材料、有機電子材料、光機能材料、高機能セラミックス、複合材料、金属材料、バイオ・生体材料、磁性材料などであり、その構造形態は、ナノ物質（粒子、チューブ、シート等）、薄膜、多層構造、3次元構造、極薄構造、微細チップなど多様である。また、本研究会で研究対象とする光プロセスには、物質の選択的改質、表面マイクロ・ナノ構造化、除去加工・付加加工、穴あけ、切断、異種接合、3次元加工(3Dプリンティング等)、機能材料の成膜、創製、各種デバイスの調整やリペアリング、電子回路等のパターニングやスクライビング、光描画配線など多岐にわたる。

これらのうちのどれを研究会で取り上げてゆくかは、会員相互の自由な意見交換、討議に基づき、ユーザーニーズを勘案し、幹事会で審議して採択する。幹事会は、我国の光プロセス分野の産官学の専門家から構成されている。2023年度は、「多元技術融合光プロセス」をキーワードとして、光プロセス用の先進レーザー等光源技術とそのマニピュレーション技術、光プロセスの基礎と先端技術、デバイス・材料技術、システム技術など関連トピックスのテーマを適切・適時に選択してゆく。

◎期待される成果

前述のように、紫外全固体レーザーやフェムト秒・ピコ秒レーザー、高出力単一モードファイバーレーザー、高出力 VCSEL、ファイバー結合型高輝度ダイレクト LD 等の新型光源技術の活用が進めば、グリーン部素材、環境負荷の小さな次世代自動車・航空機、二次電池、ロボット、環境・エネルギー機器、健康医療機器など、日本経済の将来の持続的発展を支える戦略的産業分野での大きな革新が期待できる産業技術は数多い。例えば輸送機器の軽量化及び高性能化に有用な複合材料 CFRP 等の高品質加工、極薄半導体チップや青紫色発光素子等のダイシングや、高密度回路部品、FPD 用部品、ICT 機器部品の加工や実装、SiC、GaN 等のパワー電子デバイスのプロセス、半導体 IC、太陽電池、燃料電池等のパターニングや実装、光ファイバーやフォトニックデバイスのマイクロ加工、マイクロバイオセンサやリアクター、ナノバイオチップなどの加工、さらにはタンパク質の結晶化と加工、医療用ステント・インプラント等の加工などの様々な分野において、従来製品と比較して革新的性能向上やプロセスの簡略化、環境負荷の軽減、外国製品との差別化などを達成することができ、産業界に与える貢献やそれらが及ぼす波及効果はきわめて大きい。

◎2023 年度継続設置について

前述の趣旨の下に平成 17 年度に本研究会を設置し、年度ごとに 5 回の研究交流会を開催してきた。会員には、光源デバイス開発者から、複合的な加工環境で光を高度に用いた加工プロセスを導入するエンドユーザー、光と物質との相互作用の基礎過程の研究者など、様々な光学・技術的専門を有するエキスパートが結集し、研究交流会において

は、毎回斯界の第一人者の講演を中心に、建設的で活発な議論・交流が繰り広げられてきた。その結果、本研究会の名前の由来である、「光プロセスに関する多元的技術融合」も効果的に進展し、会員にその重要性が理解・浸透したものである。更に平成 19 年度からは、年に 1 回の研究交流会を東京以外の地域で開催し、生産設備または研究施設の見学会を併催した。その結果、関東地域以外の会員の参加も容易となり、会員相互の交流も全国に広がった。

2023 年度も本研究会を継続設置し、会員間の連携強化を図るとともに、漸く定着し始めた「多元技術融合」の概念を更に産業界へ浸透・発展させたい。本研究会の取り扱う分野は非常に広範囲であるため、複数年度に亘って様々な切り口で話題を提供し、様々な分野間の技術交流による「多元光技術融合」を図ってゆく。2023 年度および 2024 年度も会員の意見を聞きながら、各年度初めに多元的な光技術を包含するテーマを適時に発掘・設定し、運営してゆく予定である。