

次世代レーザー実施方針



PD

遠藤 彰

(早稲田大学理工学研究所客員教授・上級研究員)

本技術領域では、CPS型レーザー加工と極短パルスレーザーの研究開発を一体となって連携することの重要性を鑑み、有機的な連携を確保して研究開発を実施する。

1 CPS型レーザー加工

(1) 概要

現在、レーザー加工機の世界市場規模は1.5兆円。自動車や半導体でレーザーの利用が進展しており、今後も年率5-10%程度の成長が見込まれている(Optech Consulting調べ)。一方、ものづくりの分野では、「サイバーフィジカルシステム(CPS)」による生産性向上の取り組みが加速している。レーザー加工分野においても、レーザー加工の学理解明や機械学習を活用したCPS型レーザー加工※を実現し、生産現場でのスマート生産体制構築につなげるための研究開発を実施する。

※CPS型レーザー加工

…機械学習や加工学理から予測されるレーザー加工結果から最適な加工パラメータを決定し、高精度・低コストなレーザー加工を行うこと

(2) Flagshipプロジェクトについて

①達成目標

- ・最適なレーザー加工条件を提案するCPS型レーザー加工を開発し、自動車車体のマルチ材料化や半導体の高精度加工など、生産現場でのスマート生産体制構築につなげる。

②具体的な研究開発事項

- ・加工データベースを用いた機械学習・強化学習を活用したCPS型レーザー加工(シミュレータ)の開発とそれを用いたレーザー加工機の開発
- ・加工学理の解明によりサイバー空間のみで加工シミュレーションが可能なCPS型レーザー加工(シミュレータ)の開発

③マイルストーン

【5年後】

- ・機械学習や強化学習を用いレーザー加工の代表的な対象材料である金属・半導体・誘電体に対して最適な加工パラメータを提案する「AI CPS 型レーザー加工」の POC（Proof of Concept）の達成

【6～8年後】

- ・自動車車体のマルチマテリアル化や半導体の高精度加工などに資する、AI CPS 型レーザー加工機のプロトタイプの開発

【10年後】

- ・加工学理の解明に基づき、新規の加工材料に対して最適な加工パラメータを提案する「学理 CPS 型レーザー加工」の POC の達成

④研究開発マネジメントについて

- ・協調領域と競争領域の設定について

【協調領域】

レーザー加工の高度化に対する需要の高い代表的な材料である金属・半導体・誘電体を対象に開発。TACMI コンソーシアムを活用し、開発状況を共有するとともに、各社のニーズについて意見交換を実施し開発に反映。

また、プロトタイプ機を用いたデモンストレーションを実施し、CPS 型レーザー加工の有用性・有効性を示すとともに、各社のレーザー加工機への導入を呼びかけ競争領域での開発参画を促す。

【競争領域】

各社が保有する独自データやソフトウェア技術の提供を受けつつ、各社のニーズ（材料、加工方法等）を踏まえた開発を実施し社会実装につなげる

- ・出口戦略について

独自もしくは第 2 期 SIP「光・量子を活用した Society 5.0 実現化技術」等のプロジェクトとも連携し、CPS 型レーザー加工機システムとして本プロジェクトの成果を統合。TACMI コンソーシアムとの意見交換で把握した各社のニーズを踏まえた CPS 型レーザー加工を社会実装する。

- ・研究マネジメント体制について

国内外の CPS に関する最新の動向を把握し、自らの研究開発目標・計画を常に世界動向を踏まえたものとするため、研究開発マネージャーも含めた体制を構築すること。

- ・国内の他事業等との連携について

AI CPS 型レーザー加工の開発に当たっては、NEDO「高輝度・高効率次世代レーザー技術開発」事業、第2期SIP「光・量子を活用した Society 5.0 実現化技術」と連携し、開発に必要なデータベースの効率的な構築に資する体制を構築

学理 CPS 型レーザー加工の開発に当たっては、加工学理の解明に関する戦略的な連携体制を構築すること。

(3) 基礎基盤研究

①実施する研究テーマ

- ・レーザー加工による材料強靱化指導原理の構築

超短パルスレーザー加工時の原子スケールの損傷機構を解明することにより、原子スケール損傷を欠陥ではなく、材料強化プロセスとして高度化し、材料強靱化の指導原理を構築

- ・微細構造物形成過程解明のためのオペランド計測技術

先端ビームによるオペランド計測を実施することで微細構造の大きさや密度を決定するレーザーと物質との相互作用に関する物理機構を解明し、新しい表面機能性付与のためのレーザー加工基盤を構築

②留意事項

- ・研究実施に当たっては次世代レーザー加工に関するネットワーク型研究拠点に参画し、Flagship プロジェクトと相補的かつ相乗的な効果を出すこと。

2 極短パルスレーザー

(1) 概要

現在、パルス幅が 10~100 フェムト (10^{-15}) 秒のパルスレーザーが市販されており、学術研究や産業において利用が進んでいるが、超高速の現象を対象とする研究は、現在、更に短い時間スケールであるアト (10^{-18}) 秒の科学へと進展をみせている。アト秒は原子や分子の中の電子が動く時間スケールであることから、学術研究においては電子レベルでの化学反応のメカニズムの解明等への貢献が期待されている。またその先にある産業利用においては、高性能な光触媒・太陽電池や超高速高密度な磁気デバイス等の開発につながると期待されている。これらを踏まえて、アト秒パルスレーザーの光源及び利用に係る計測装置の開発を行う。

(2) Flagship プロジェクトについて

①達成目標

- ・将来的なアト秒パルスレーザーの産業利用を見据えつつ、学術研究での利用を促進するため、小型で安定的に使用できる高繰り返し型及び高強度型の光源のプロトタイプ（TRL6）を実現する。利用に係る計測装置については、産業応用まで見据えられる計測分野を対象とし、外部の研究者も利用可能なプロトタイプ（TRL6）を実現する。

②具体的な研究開発事項

【光源】

（i）高繰り返し型

- ・小型で安定的に使用でき、波長は真空紫外から軟 X 線領域までとし、計測時間短縮等を達成するため繰り返し数を現状より増加させた光源のプロトタイプの開発を実施する。

（ii）高強度型

- ・小型で安定的に使用でき、波長は真空紫外から軟 X 線領域までとし、軟 X 線領域における 2 光子過程等の非線形光学現象の観測等を達成するためピークパワーを現状より増加させた光源のプロトタイプの開発を実施する。

【計測装置】

- ・開発された光源を用いて産業応用まで見据えられる計測分野を対象とし、外部の研究者も利用可能なプロトタイプの開発を実施する。

【超高速光デバイスの開発】

- ・磁性体の時空間超高速過程を、アト秒パルスを用いた顕微計測を行い、光磁気記録メモリー（光演算子、光シャッター、光センサー）を開発

③マイルストーン

【光源】

（i）高繰り返し型

- ・4年後については、直前のパルスによる電子励起の影響を解消しながら対象を高速で計測するため、繰り返し数の目標を 10kHz とする。波長は真空紫外から軟 X 線領域（30-2nm） とする。外部の研究者も利用可能な小型で安定的に動作する光源のプロトタイプを実現する。
- ・9年後については、直前のパルスによる影響が残らない物質に対応し計測時間を大幅に短縮するため、繰り返し数の目標を 2MHz とする。波長は真空紫外領域（120-15nm） とする。外部の研究者も利用可能な小型で安定的に動作する光源のプロトタイプを実現する。

(ii) 高強度型

- ・ 5年後については、軟 X 線領域で 2 光子過程等の非線形光学現象等の観測に利用するため、ピークパワーの目標を 1GW とする。波長は 真空紫外から軟 X 線領域 (30-2nm) とする。外部の研究者も利用可能な小型で安定的に動作する光源のプロトタイプを実現する。
- ・ 10 年後については、軟 X 線領域で 2 光子過程等の非線形光学現象等の観測に利用するため、ピークパワーの目標を 1~10GW とする。波長は 真空紫外から軟 X 線領域 (30-2nm) とする。外部の研究者も利用可能な小型で安定的に動作する光源のプロトタイプを実現する。

【計測装置】

- ・ 10 年後に、開発した光源を用いた産業応用を見据えられる計測装置のプロトタイプを実現する。例えば物質の化学組成、電子状態、磁気構造の時間変化の計測が可能な走査型軟 X 線顕微鏡、細胞などの生物試料の細胞内微細構造の解明が可能なコヒーレント回折顕微鏡、化学反応の過渡状態における電子状態の追跡及び光触媒や太陽電池材料中での超高速の電子移動の測定が可能な軟 X 線過渡吸収測定装置、超高速電子応答を計測可能な光電子分光装置等

【超高速光デバイスの開発】

- ・ 5 年後については、アト秒パルスを用いた顕微鏡による磁化誘起第二高調波の時間ダイナミクスの観測を実施。
- ・ 10 年後については、光演算子、光シャッター、光センサーのデバイスのプロトタイプを開発。

④研究開発マネジメントについて

- ・ 協調領域、競争領域の設定

【協調領域】

共通プラットフォームとして外部の研究者が安定に使用できる完成度の高い技術を用いる光源（高出力励起レーザー光源等）および計測装置のプロトタイプの開発

【競争領域】

独自性・先進性が高い計測手法、新奇性の高い機能を持つデバイスの開発やデバイス製作の技術。さらには、中赤外領域の光検出器および光学素子の開発

- ・ 出口戦略について

先端的技術開発力を持つ企業の参画によって、光源と先端計測装置のシステム化等

によるプロトタイプ製品化への共同開発を進める。

光源開発及び計測装置開発を行う過程で、製品化への道筋が見えた場合には、積極的にベンチャーの設立を促し、日本がリードする市場を開拓することを目指す。

・ 研究マネジメント体制について

国内外のアト秒レーザーに関する最新の動向を把握し、出口戦略を見据えながら自らの研究開発目標・計画を常に国際的な競争力の高いものとするため、必要な研究開発マネージャーを含めた体制を構築

(3) 基礎基盤研究

①実施する研究テーマ

・ 強相関量子物質におけるアト秒光機能の開拓

強相関量子物質（有機物超伝導体、銅酸化物高温超伝導体、キタエフ量子スピン液体物質等）の非線形アト（ 10^{-18} ）秒ダイナミクスを明らかにし、そのペタ（ 10^{15} ）ヘルツ光機能を開拓

・ 自由電子レーザーで駆動する高繰り返しアト秒光源のための基礎基盤技術

自由電子レーザーを用いた中赤外の波長領域でのパルス発生と、これを利用した高次高調波による固体レーザーを超える高繰り返し型（10MHz 以上）アト秒 X 線の発生

②留意事項について

・ 研究実施に当たっては次世代レーザーに関するネットワーク型研究拠点に参画し、Flagship プロジェクトと相補的かつ相乗的な効果を出すこと。

3 人材育成について

10 年事業としての意義を活かした取り組みを実施し、次世代を先導する卓越した若手人材を育成する。

【優秀な大学院学生のための研究環境整備】

ネットワーク型研究拠点に参画する卓越した大学院学生を、積極的に研究員として雇用する等、優秀な博士課程学生が経済的に自立して研究を行う環境を確保する。

【若手研究者育成プログラム】

若手研究者（准教授クラス）に、PI として独立した研究室を運用する機会を提供し、次世代をリードする PI を育成する。

【若手研究者・大学院生交流支援】

光科学分野の若手研究者・大学院学生の交流を支援し、光科学分野全体の発展に貢献する。

4 その他

- ・マイルストーン、目標・計画は最新の国内外の研究開発動向を踏まえたベンチマークのもと、出口戦略を見据えて、定期的に見直していくことが重要である。