

# 「高輝度・高効率次世代レーザー技術開発」基本計画

I o T推進部

## 1. 研究開発の目的・目標・内容

### (1) 研究開発の目的

#### ①政策的な重要性

天然資源の乏しい日本にとってものづくり産業は生命線であり、将来的に人口減少が進むと予想される中、社会構造の変革に対応した技術革新を戦略的に取り入れた新産業革命を推進していくことが重要である。「もの」のインターネット（Internet of Things : IoT）という言葉に代表されるように、身の回りのあらゆる「もの」がネットワークで繋がり、生産効率が最適化されていくと、これまでのものづくりの概念が一変する。将来のものづくりの現場では、デジタル制御と親和性が高いレーザー加工の重要性が一層増すと同時に、ものづくり機器のクラウド連携や知能化が進むと考えられ、これらを融合したレーザー加工システムは我が国のものづくりにおける最重要ツールの一つとして期待される。

現行の政策においても、「第5期科学技術基本計画」（2016年1月閣議決定）では、我が国の経済を支える基幹産業である製造業の競争力強化に向けて、新たな生産技術とICTとの融合により多様化するユーザーニーズに柔軟に対応するものづくり技術や、ユーザーに満足や感動を与える新たなビジネスモデル（コトづくり）が求められており、それに向けて革新的な計測技術、情報・エネルギー伝達技術、加工技術など、様々なコンポーネントの高度化によりシステムの差別化につながる「光・量子技術」の開発に重点的に取り組むとしている。同様に、ロボット・工作機械の知能化等の推進、計算科学・データ科学を駆使した革新的な機能性材料・構造材料等の創製、その開発期間の大幅な短縮を実現するとしている。我が国の強みであるこうした生産技術の高度化に加え、潜在的ニーズを先取りした新たな設計手法、ニーズに柔軟に対応可能な新たな加工・組立て技術、さらにはそれらを相互に連携させるプラットフォーム等の開発も推進するとしている。また、「科学技術イノベーション総合戦略2015における重点化対象施策について」（2015年9月、内閣府）では、科学技術イノベーションの創出に向けた政策課題の一つである経済・社会的課題の解決に向けた重要な取組として、産業競争力を生み出すバリューチェーンを11個形成するとし、我が国の強みを活かしIoTやビッグデータ等を駆使した新産業の育成に関わる具体的な技術課題として新たなものづくりシステムを取り上げている。さらに、「経済産業政策の重点」（2015年8月、経済産業省）では、中長期的な我が国の産業競争力の向上等のために投資すべき分野を中心に技術戦略を策定し、それに基づいて新たな研究開発プロジェクトを戦略的に企画・実施していくとし、その具体例としてレーザー技術を取り上げている。

現在、ものづくりの現場で広く用いられている切断、穴空け、溶接、接合等のレーザー加工技術は、消費電力や加工スループット、加工精度や品位の観点から必ずしも効率の良い方法とは言えない。「高い光出力のレーザー光を照射することによって、どうして物質が壊れるのか」という原理解明と、これまでにない短波長または短パルスのレーザー技術開発の両輪を動かすことにより、高効率、高スループット、高精度、高品位な加工が実現できると期待されている。また、先端レーザー技術は、先端加工にとどまらず安心・安全に資する環境計測や医療分野における診断・治療・殺菌などの幅広い応用において、日本のプレゼンス向上につながる重要な研究開発項目である。

我が国の高いものづくり力の保持、製造業による輸出競争力を将来にわたって保持して行くためには、これら次世代のレーザー加工機を早期にもものづくりの現場へ広く普及させられるよう、世界をリードできる高い競争力を備えたレーザー加工機産業を確立しなければならない。高輝度で高効率な実用性の高いレーザー装置およびこれを組み込んだレーザー加工機、レーザー加工技術の開発を行うことは、我が国ものづくり産業の競争力強化につながるが、これらの

開発・実用化を民間企業が単独で行うには非常に大きなリスクを伴うことから、産学官の英知を集結し、国が先導して開発を行う必要がある。産学官連携による本格的な研究開発体制を築き上げるにより、今後の日本の産業における価値創造へ繋がると期待される。

## ②我が国の状況

日本は、「超高性能レーザー応用複合生産システムの研究開発」（1977年～1984年）、「超先端加工システムの研究開発」（1986年～1994年）など、レーザー技術分野において国主導の大型研究開発プロジェクトを世界に先駆けて推し進め、CO<sub>2</sub>レーザーに代表されるガスレーザーやエキシマレーザーの開発では文字通り世界を先導し、レーザー加工機システムでも圧倒的な世界市場シェアを占めていた。しかし、1980年代末に日本で開発された光ファイバー通信システム向け光ファイバー増幅技術を応用して、ファイバーレーザーが1990年代に開発されると、ガスレーザーより小型・省電力なうえ、優れたビーム品質、製造現場における取扱い容易性、さらに2000年代初頭にかけて北米で進展した高出力化なども決め手となり、日本のものづくり現場へも海外製の高出力ファイバーレーザーが急速に浸透した。現在、こうしたファイバーレーザーに代表される高出力固体レーザー技術やそれを応用した加工システムにおいて、日本は海外勢の後塵を拝し、世界市場へ食い込めていないのが実情である。

一方、こうした高出力レーザーに不可欠な基幹部品（励起光源）として多用される半導体レーザーダイオード（LD）の研究開発については、特に光ファイバー通信システム向けの高機能・高信頼な赤外線LD技術で他国の追随を許さず、圧倒的に世界をリードしており、世界の通信ネットワークを支えている。また、小型・高効率発光を目指した次世代LD基盤技術についても、日本オリジナルの優れた提案がなされている。さらに、光ディスク機器向けに開発が進められた赤色や青色の可視LDについても、世界市場をほぼ独占している。

## ③世界の取組状況

レーザー技術先進国の米国、および国主導のプロジェクトを通じて絶え間なくレーザー関連分野の研究開発へ投資してきたドイツが世界をリードしている。

Industrie4.0を標榜し次世代のものづくり分野で世界をリードすべく、国を挙げてのものづくり分野の技術開発に取り組んでいるのがドイツである。高出力レーザー技術やレーザー加工技術については、総額8億ユーロの巨費を投じて推し進めた光技術分野全般の研究開発フレームワーク「Photonik Forschung Deutschland」（2002年～2011年）の柱として、研究開発を重点的に推し進めた。その中心的な役割を果たしてきたのは、フラウンホーファー研究機構Fraunhofer Gesellschaftのレーザー技術研究所Institut für Lasertechnik（ILT）である。ILTが主導して、高出力レーザーに関連する幅広い要素技術毎に開発期間3年程度の中規模な産学官プロジェクトが設定され、それらを多数並行して進めることにより、プロジェクト間の高い相乗効果が得られている。開発成果は、ドイツを代表する工作機械メーカーであるTrumpf社等のレーザー加工システムの形で、世界のものづくり現場へ広く普及している。こうした研究開発の枠組みを通じて、次世代技術開発・産業界への技術成果移転・人材育成が効率的に行われている。現在、光関連分野全般で世界をリードし続けるべく、後継となる新たな研究開発フレームワーク「Agenda Photonik 2020」を掲げ、国を挙げて研究開発を後押ししている。

欧州ではこの他にも、旧東欧諸国を中心に構成された高出力レーザー開発コンソーシアムExtreme Light Infrastructure（ELI）のように、欧州委員会の7th Framework Programme（FP7）やHorizon2020、あるいは各国政府の助成等を受けた大型プロジェクトを通じて高出力レーザーの技術革新を推し進めている。

レーザー技術先進国の北米においては、加工向け高出力レーザーの技術開発は民間企業中心に進められている。1990年代にファイバーレーザーが登場して以降、その実用化・高出力化で北米が世界をリードしている。その中心はIPGで、2015年時点における加工向け高出力ファイバーレーザーの市場シェアの実に80%強を占めるに至る。また、フラットパネルディスプレイの高品位化に欠かせない、アモルファスSi膜を易動度の高いポリシリコンへ改質させるレーザーアニール工程用途向けには、Coherentの高出力エキシマレーザーが世界のディスプレイメーカーの製造ラインにおいてやはり高いシェアを占めている。また、次世代のものづく

りを支えるIoTや人工知能(AI)、ネットワーク分野でも、Intel、IBM、Google、Cisco Systemsなど世界をリードするICT企業を多数要している。

この他、世界の工場として急速に成長した中国も、加工向け高出力レーザー装置の励起光源モジュールなど、主要コンポーネントの技術開発で先進国を追い上げている。

#### ④本事業のねらい

一企業では成しえない、非連続でインパクトの大きな次世代ものづくり技術の基盤技術開発として、高出力レーザー技術・物性物理・IoT技術の融合・連携による革新的なレーザー加工技術の開発を加速する。

具体的には、これまでにない高輝度(高出力・高ビーム品質)かつ高効率なレーザー技術およびそれを用いたレーザー加工技術の開発支援等を、学理に立脚したレーザー加工現象解明や計測評価技術開発、データベース構築とともに、産学官連携ナショナルプロジェクトとして行う。これにより、経験や勘に頼った従来のものづくり文化に変革をもたらし、先端素材や半導体レーザー技術等の日本の強みも活かすことにより、日本のものづくりの優位性を確保する。

### (2) 研究開発の目標

#### ①アウトプット目標

本事業では、レーザー加工の高品位化・高スループット化および省エネルギー化を進めるため、従来にない高輝度(高出力・高ビーム品質)かつ高効率なレーザー装置、およびそれらを用いた実用的なレーザー加工技術を開発する。レーザーとしては、市場ニーズが顕在化しているにも関わらず実用化できていない青～深紫外域の短波長レーザーや超短パルスレーザー、高パルスエネルギーレーザーを開発する。また、高機能化・低コスト化に対する市場からの継続的な要求に応えるため、革新的な次々世代レーザー基盤技術を開発する。

具体的な目標としては、事業終了時において(別紙1)研究開発計画の研究開発項目①～⑤の最終目標を達成することとする。

#### ②アウトカム目標

本事業により開発されたレーザー装置、これを組み込んだレーザー加工機、およびこれらを活用して加工された製品などの普及により、CO<sub>2</sub>削減および加工市場のシェア確保をアウトカム目標とする。本事業がもたらす省エネ効果は、CO<sub>2</sub>換算で2030年に655万t/年の削減を見込んでいる。見積りに当たっては、本研究成果(機器、応用製品)が既存技術を置き換える形で順次社会実装され、波及効果が起きるものと仮定している。市場に関しては、2030年のレーザー加工システムの予想約200億ドルのシェア35%を目指す。

#### ③アウトカム目標達成に向けての取組

アウトカム目標の達成に向けて、実施者は研究開発段階から想定されるユーザー企業を巻き込んで、市場性の高いレーザー機器を開発し事業化・製造販売に努める。また、市場拡大に向け、内外の産業機器メーカー製加工機へこれらを組み込んで販売することを推進する。さらに、開発された要素技術を統合した高効率多機能レーザー加工システムを開発することで、さらなる市場拡大を目指す。

NEDOは、本事業により開発されたレーザー装置、これを組み込んだレーザー加工機、およびこれらを活用して加工された製品などの普及に向け、内外の技術開発動向、政策動向、市場動向等について調査し、技術の普及方策を分析・検討する。また、技術推進委員会等を設置して研究開発の進捗管理や目標見直しを適宜行うなど、細やかなマネジメントを実行することで、社会ニーズに合った研究開発を推進し、確実な実用化へと繋げる。

### (3) 研究開発の内容

多様な波長・出力・パルス幅のレーザー加工技術の応用展開や加工メカニズム解明を含め、技術的な全体俯瞰を行い、レーザー技術やレーザー加工技術のあるべき姿、その実現に向けた

課題、目標設定、検討方針についての全体戦略を策定、PDCAサイクルを回しながら開発を進める。上記目標を達成するために、以下の研究開発項目について各項目間の連携にも配慮しながら、別紙の研究開発計画に基づき研究開発を実施する。

- 研究開発項目①：「高品位レーザー加工技術の開発」
- 研究開発項目②：「高出力レーザーによる加工技術の開発」
- 研究開発項目③：「次々世代加工に向けた新規光源・要素技術開発」
- 研究開発項目④：「次世代レーザー及び加工の共通基盤技術開発」
- 研究開発項目⑤：「短波長レーザーによる加工技術の開発」

本研究開発は、実用化まで長期間を要するハイリスクな「基盤的技術」に対して、産学官の複数事業者が互いのノウハウ等を持ちより協調して実施する事業であることから、原則、委託事業として実施する。

## 2. 研究開発の実施方式

### (1) 研究開発の実施体制

プロジェクトマネージャーにNEDO IoT推進部 柿沼 遼を任命して、プロジェクトの進行全体を企画・管理し、プロジェクトに求められる技術的成果及び政策的効果を最大化させる。

NEDOは公募によって研究開発実施者を選定する。研究開発実施者は、企業や大学等の研究機関等（以下、「団体」という。）のうち、原則として日本国内に研究開発拠点を有するものを対象とし、単独又は複数で研究開発に参加するものとする。ただし、国外の団体の特別の研究開発能力や研究施設等の活用又は国際標準獲得の観点から必要な場合は、当該の研究開発等に限り国外の団体と連携して実施することができるものとする。

研究開発能力を最大限に活用し、効率的かつ効果的に研究開発を推進する観点から、NEDOは国立大学法人東京大学 物性研究所 教授 小林洋平を研究開発責任者（プロジェクトリーダー）とし、各実施者はプロジェクトリーダーの下で研究開発を実施する。

本事業は、次世代レーザー加工技術の開発に加え、これを支える基盤技術の確立も目的としているため、研究開発実施者はNEDOと協議の上、可能な限り研究拠点を集約して、プロジェクトリーダーの指揮の下、コンソーシアム等を設立し組織的に知見・ノウハウを蓄積しながら研究開発等を推進する。研究開発実施者は、コンソーシアム等の活動を通じてレーザー加工プラットフォーム及びデータベースの構築活動を協力して推進する。

### (2) 研究開発の運営管理

NEDOは、研究開発全体の管理・執行に責任を負い、研究開発の進捗のほか、外部環境の変化等を適時に把握し、必要な措置を講じるものとする。運営管理は、効率的かつ効果的な方法を取り入れることとし、次に掲げる事項を実施する。

#### ①研究開発の進捗把握・管理

NEDOは、プロジェクトリーダーや研究開発実施者と緊密に連携し、研究開発の進捗状況を把握する。また、外部有識者で構成するアドバイザリーボード等を組織し、定期的に技術的評価等を受け、目標達成の見通しを常に把握することに努める。

#### ②技術分野における動向の把握・分析

NEDOは、プロジェクトで取り組む技術分野について、内外の技術開発動向、政策動向、市場動向等について調査し、技術の普及方策を分析、検討する。なお、調査の効率化の観点から、本プロジェクトにおいて委託事業として実施する。

### (3) その他

本プロジェクトは非連続ナショナルプロジェクトとして取扱う。

## 3. 研究開発の実施期間

本研究開発の期間は、2016年度から2021年度までの6年間とする。

## 4. 評価に関する事項

NEDOは、技術評価実施規程に基づき、技術的及び政策的観点から研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義並びに将来の産業への波及効果等について、プロジェクト評価を実施する。

評価の時期は、中間評価を2018年度、前倒し事後評価を2021年度とし、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて、前倒しする等、適宜見直すものとする。また、中間評価結果を踏まえ必要に応じて研究開発の加速・縮小・中止等の見直しを迅速に行う。

## 5. その他重要事項

### (1) 研究開発成果の取扱い

#### ①共通基盤技術の形成に資する成果の普及

得られた研究成果については、可能な限り、保有する特許等の活用も含め、NEDO、実施者とも普及に努めるものとする。

また、新産業革命で先行するドイツ等の動きも見極めつつ、世界の製造現場に広く受け入れられるユーザー視点の国際標準化を日本がリードできるよう、大学や研究開発法人等の拠点化計画などを活用して日本が強みとする素材産業をはじめ内外の供給者／需要者を幅広く巻き込んだ産学官オープンイノベーション体制（コンソーシアム等）の構築をめざす。さらに、プロジェクト実施中ないしは終了後に、プロジェクト成果の波及と人材育成を目的とした枠組みを大学等に設置することに努めるものとする。

#### ②成果の産業化

実施者は、アドバイザーボード等との議論を踏まえ、本研究開発から得られる研究開発成果の産業面での着実な活用を図るため、本研究開発の終了後に実施すべき取り組みのあり方や研究開発成果の産業面での活用のビジネスモデルを本研究開発の目的・目標に沿って立案するとともに、立案した取り組みのあり方とビジネスモデルについて、研究開発の進捗等を考慮して、本研究開発期間中に必要な見直しを行う。

また、実施者は、上述の取り組みとビジネスモデルを本研究開発終了後に実行に移し、成果の産業面での活用に努めるものとする。

#### ③標準化等との連携

レーザー加工特性を系統的に評価するにあたっては、評価結果どうしを正しく比較できるよう、試料の形状・純度・前処理等に関する基準サンプルや、加工環境・加工条件・モニタリング対象・評価手法等の共通化も重要である。こうしたレーザー加工に関連する標準化提案やこれを戦略的に活用する枠組みの構築について検討する。

また、知見の蓄積がまだ十分とは言えない短波長・短パルスの高出力レーザー光の利用については、人体への影響、安全作業、保護具、安全設備、許認可等が従来の知識に基づく関連法規で適切にカバーされるかどうか明らかではないことから、法整備や規制緩和を含めた制度面の在り方について調査研究を行い、必要と判断した場合には、関連省庁・団体とも連携して提言をまとめる有識者委員会を設置する。調査を進めるにあたっては、本研究開発から得られるデータなども活用する。

#### ④知的財産権の帰属

研究開発成果に関わる知的財産権については、「国立研究法人新エネルギー・産業技術総合開発機構新エネルギー・産業技術業務方法書」第25条の規定等に基づき、原則として、すべて委託先に帰属させることとする。

#### ⑤知財マネジメントに係る運用

「高輝度・高効率次世代レーザー技術開発」プロジェクトにおける知財マネジメント基本方針」に従って運用する。

#### ⑥データマネジメントに係る運用

本プロジェクトは、「NEDOプロジェクトにおけるデータマネジメント基本方針（委託者指定データを指定しない場合）」を適用する。

### (2) 基本計画の変更

NEDOは、当該研究開発の進捗状況及びその評価結果、社会・経済的状況、国内外の研究開発動向、産業技術政策動向、研究開発費の確保状況等、プロジェクト内外の情勢変化を総合的に勘案し、必要に応じて目標達成に向けた改善策をアドバイザーボードの助言も取り入れて検討し、達成目標、実施期間、実施体制等、プロジェクト基本計画の見直しを弾力的に行うものとする。

### (3) 根拠法

本プロジェクトは、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第15条第2号に基づき実施する。

### (4) その他：関係省庁の施策との連携体制の構築

本プロジェクトを効率よく運営するために、NEDOが実施する関連プロジェクトと必要に応じて連携する。

## 6. 基本計画の改訂履歴

(1) 2016年4月、制定。

(2) 2017年2月、非連続ナショナルプロジェクトに認定されたことに伴い改訂。

(3) 2017年8月、基盤技術の確立と成果の普及に向けて設立するコンソーシアムの位置づけを明確化するため改訂。

(4) 2019年2月、中間評価結果を踏まえ、各研究開発項目の位置づけと重点的に取り組む内容を明確にするため改訂。

(5) 2020年2月、プロジェクトマネージャーの変更に伴い改訂。

(6) 2021年3月、新型コロナウイルス感染症の拡大に伴い、研究開発の実施期間を延長。

## (別紙1) 研究開発計画

### 研究開発項目①「高品位レーザー加工技術の開発」

#### 1. 研究開発の必要性

レーザー加工がものづくりの中心的役割を果たすと期待されている中で、パルス幅や繰り返し周期、出力等を必要に応じてプログラマブルに設定可能なレーザー加工システムは、最も重要な開発項目の一つに位置づけられる。

特に、切削加工において、高付加価値製品の生産に適した高品位レーザー加工システムを実現するにあたっては、熱に起因した素材の物理化学的な変質や形状荒れ等を抑制すべく、従来とは異なる原理に基づいたレーザー加工技術が必要である。そのため、少ない光子数で原子間結合を切ることが有効であり、光子エネルギーの高い青～深紫外域で発光するレーザーを用いれば、少ない光子数で原子間結合を切ることができるため、現在、主流で用いられている波長域の短波長化が有望視されるアプローチである。また、高い電場強度で極めて短時間のうちに原子間結合を切るという短パルス化のアプローチも有効であり、これらを組み合わせた新しいレーザー加工技術の開発が最適であると考えられる。

一方、こうした状況のもと、炭素繊維やガラス繊維などの先端素材を含む複合材を応用した製品が普及するにつれて、産業界からは現行の機械加工からレーザー加工へ置き換えたいという要望も高まっている。しかし、現在実用化されている青～深紫外域のレーザー装置では、生産ラインの加工スループット所要を満たせるだけの十分な平均出力を達成できていないのが実情である。こうした要望に応えるには、高出力な短波長・短パルスレーザー装置を組み込んだレーザー加工機が不可欠である。

現在、青～深紫外域におけるレーザー加工分野は未開拓で知見も乏しいことから、非破壊非接触その場観察技術とIoTを駆使して素材の加工状態を多角的に捉え、人工知能と組合せることで最適加工パラメータを自動的に探索可能なシステムの構築が重要である。また、この結果を学理へフィードバックすることにより、設計段階に於いて加工形状や品質・コスト（スループット、消費電力）の高精度予測までも視野に入れた、新しいものづくり時代を主導するに相応しいレーザー加工プラットフォームの開発が必要である。

#### 2. 研究開発の具体的内容

##### (1) 高品質・大口径波長変換素子の開発

- 赤外域（波長1ミクロン帯）の高出力レーザー光を紫外域へ波長変換可能な、信頼性の高い波長変換素子を開発する。

##### (2) 深紫外・短パルスレーザー装置の開発

- 固体レーザー装置または半導体レーザーダイオード（LD）から成る光源に、必要に応じて光増幅器や波長変換器、合波器等を組み合わせることで、パルス幅・繰り返し周期および出力を制御可能な、深紫外域で発振する短パルスレーザー装置を開発する。

##### (3) 深紫外・短パルスレーザー加工技術の開発

- 深紫外・短パルスレーザー装置に、加工時の様々な物理現象を非破壊非接触その場観察可能な測定装置群を組み合わせたレーザー加工機を試作し、仕上げ等の後処理工程も含めた全消費電力に対する加工スループットが大きな、高品位レーザー加工プロセスを開発する。

#### 3. 達成目標

【中間目標（2018年度）】

(1) 高品質・大口径波長変換素子の開発

- 赤外域(波長1ミクロン帯)のレーザー光を深紫外域へ波長変換可能な非線形光学結晶の、大型結晶育成技術(直径30mm以上※)を開発する(※現状は約10mm)。

(2) 深紫外・短パルスレーザー装置の開発

- 深紫外域において平均光出力20W※かつ発振パルス幅10ps級の深紫外・短パルスレーザー装置を開発する(※現在商用化されている266nm帯パルスレーザー装置における平均光出力3~6Wの約3~6倍)。

(3) 深紫外・短パルスレーザー加工技術の開発

- レーザー加工の評価基準、および必要な加工パラメータ設定に関する指針を明らかにする。
- 深紫外・短パルスレーザー装置に、加工時の様々な物理現象をその場観察可能な測定装置を組み合わせたレーザー加工評価システムを構築する。

【最終目標(2020年度)】

(1) 高品質・大口径波長変換素子の開発

- 赤外域(波長1ミクロン帯)から深紫外域へ波長変換後に平均光出力50W※以上取り出すことが可能な、信頼性の高い波長変換素子を開発する(※現在商用化されている266nm帯パルスレーザー装置における平均光出力3~6Wの約8~16倍)。

(2) 深紫外・短パルスレーザー装置の開発

- 深紫外域においてパルス幅10ps級で発振する波長変換器集積ファイバーレーザーを用いた、平均光出力50W※の深紫外・短パルスレーザー装置を開発する(※現在商用化されている266nm帯パルスレーザー装置における平均光出力3~6Wの約8~16倍)。

(3) 深紫外・短パルスレーザー加工技術の開発

- 電子部品加工や金属薄膜加工等の高品位微細加工において、その場観察した加工状態をもとに加工パラメータへフィードバックし、素材に適した加工状態を探索可能で実用的な深紫外・短パルスレーザー加工システムを開発する。

#### 4. 特記事項

(1) 社会情勢の変化、他国の動向等を踏まえ、必要に応じて目標の見直しを行うこととする。

(2) 加工物理研究の結果を随時フィードバックしつつレーザー開発を実施する。学理との融合においては他プロジェクトとの連携が図れるように考慮する。

## 研究開発項目②「高出力レーザーによる加工技術の開発」

### 1. 研究開発の必要性

近年、温室効果ガスの主な排出源である自動車・航空機をはじめとする輸送機器の抜本的軽量化技術として、レーザーピーニングによる金属部材・構造体の高強度化技術や、レーザーフォーミングによる再現性に優れた成形技術が注目されている。しかしながら、現在製品化されているレーザー装置では1パルスあたりのエネルギーが低く、生産現場で求められる加工スループットを満足できないという課題がある。こうした用途には、高い光パルスエネルギー（キロジュール（kJ）級）と高スループット（キロワット（kW）級）を両立する新しい大出力パルスレーザー技術の開発が求められている。

こうした高出力レーザーを実現する主な構成要素は、光ファイバー出力の高輝度な励起光源、高出力・高信頼で大型化も容易な利得媒質、および光合波器である。励起光源としては、日本の強みである半導体レーザーダイオード（LD）技術を活かすことにより、小型・省電力で信頼性が高く量産にも適した高出力励起光源モジュールを実現できると期待される。また、励起光源の高輝度化が進むことにより、LDモジュールの出力ビームで素材を直接レーザー加工する応用も視野に入ってくる。これは、レーザー加工システムの大幅な小型・低コスト化をもたらし、レーザー加工関連市場の拡大や新しい応用の開拓にも繋がると期待される。利得媒質としては、高品質・高信頼で大型化や量産性にも優れる、日本オリジナルのレーザーセラミックス（利得媒質）技術を活かすことができる。さらに、光合波器についても、光ファイバー通信向け製品の技術開発の蓄積を活かすことで、量産に適した実用的な製品が実現できると見込まれる。このように、レーザー高出力化で先行する諸外国を凌駕する小型・高効率・高繰り返しの高出力レーザー装置が、国産の優れた基盤技術を組合せることで十分実現できると考えられる。

一方、レーザーピーニングやレーザーフォーミングについてはまだその加工原理の解明が十分進んでおらず、これらの技術を使いこなしてものづくり現場での要求に応える高い制御性や安定性を確立するには、高出力レーザーによる系統的な加工基盤技術の開発が不可欠である。

### 2. 研究開発の具体的内容

#### (1) 高輝度・高効率レーザー装置の開発

- 将来のキロジュール級レーザー装置向け励起光源への適用を目指して、LDの高輝度化、波長制御、高出力化、高信頼化技術を開発する。また、高効率冷却技術を開発し、従来技術を凌駕する高出力LDモジュールを実現する。
- この高出力LDモジュールを用いて光励起された光学非線形結晶を効率良く冷却することにより高繰り返しパルス発振動作を可能とした、キロジュール級パルスレーザー装置を開発する。

#### (2) 高出力レーザーによる加工基盤技術の開発

- 高パルスエネルギーレーザー照射加工の非破壊非接触その場観察技術、及び分析評価技術を開発し、加工予測に適用する技術を確立する。また、高パルスエネルギーレーザーの新たな産業応用を開拓する。

### 3. 達成目標

#### 【中間目標（2018年度）】

#### (1) 高輝度・高効率レーザー装置の開発

- 平均光出力10kW級\*の高出力LDモジュールを開発する（\*現在商用化されている高出力LDモジュールにおける値0.5～1kWの約10～20倍）。
- キロジュール級パルスレーザー装置の基本設計技術を確立する。
- 光パルスエネルギー100ジュール（J）超級\*の固体パルスレーザー装置を開発する（\*現

在商用化されている固体パルスレーザー装置における値10～20Jの約5～10倍)。

(2) 高出力レーザーによる加工基盤技術の開発

- 光パルスエネルギー100J級のレーザー加工システムを構築する。

【最終目標 (2021年度)】

(1) 高輝度・高効率レーザー装置の開発

- 光パルスエネルギー500ジュール (J) 級\*の固体パルスレーザー装置を開発し、同1キロジュール級固体パルスレーザー装置の実現可能性を明らかにする (\*現在商用化されている固体パルスレーザー装置における値10～20Jの約25～50倍)。

(2) 高出力レーザーによる加工基盤技術の開発

- 高パルスエネルギーレーザー照射による物質の状態変化の非破壊非接触その場観察技術、及び分析評価技術を開発し、加工結果予測に適用する技術を確立する。また、高パルスエネルギーレーザーの新たな産業応用を開拓する。

#### 4. 特記事項

(1) 社会情勢の変化、他国の動向等を踏まえ、必要に応じて目標の見直しを行うこととする。

(2) 加工プロセスの実証研究にあたっては、開発した技術の有効性を検証できるユーザー機関を協力機関として確保する。ユーザー機関との連携した取り組みの結果を随時フィードバックしつつ研究開発を実施する。

## 研究開発項目③「次々世代加工に向けた新規光源・要素技術開発」

### 1. 研究開発の必要性

現行のレーザー加工では、光源として主に波長10ミクロン帯のCO<sub>2</sub>レーザーや、同1ミクロン帯のYAGレーザー・ファイバーレーザー等の固体レーザーが用いられている。また、マーキングや半導体の製造・検査工程向けなどには、こうした固体レーザーに波長変換器を組み合わせて、可視域（光周波数2倍：波長1/2）や紫外域（光周波数3倍：波長1/3）の波長を生成する光源も広く用いられている。今後市場の拡大が見込まれる、先端素材を用いた高付加価値製品の高品位多品種生産を目指すものづくり業界からは、こうした加工に有利となる、光源の短波長化・短パルス化が期待されている。また、加工向けの実用的な光源がまだ開発されていない波長域のレーザー装置開発をはじめ、より品位の高い加工を目指した光パルス形状最適制御、出射ビーム特性（形状・輝度・広がり角）の向上、発振波長や出力の安定制御、反射戻り光耐力向上なども重要である。さらに、レーザー加工システムの小型化・低電力化・低コスト化のカギとなるサイズの大きな既存光源から半導体レーザーダイオード（LD）への置き換えなども求められていくと予想される。特に、加工に関する知見の乏しい波長域の開拓や光パルス形状制御は、従来の知見の延長線上には無い新しいレーザー加工の概念を産み出す可能性を秘めている。また、日本が世界をリードするLD技術分野において、ものづくり現場の要求に応える、日本オリジナルの革新的な加工向けLD基盤技術が開発・実用化されれば、現在欧米にリードされているレーザー加工分野の勢力図を塗り替える切り札にも成り得る。また、レーザー加工以外にも、殺菌・浄水、医療・バイオ産業、光記録、照明、樹脂硬化・形成、印刷・塗装、非破壊検査、環境計測等、幅広い応用分野の開拓が期待できる。

こうした次々世代の加工光源に求められる優れた特性を実現するにあたっては、LD素子・レーザー発振器の革新的な基盤技術だけではなく、高い光ファイバー結合効率や温度安定化、超高速・大電流パルス駆動に対応した信号配線などを可能とするパッケージ・モジュール化技術、合波技術、レーザー駆動回路技術、監視・制御技術など、光源本来の性能を引き出す周辺要素技術の開発も必須である。

本研究開発項目では、将来のレーザー加工技術に資する新しいレーザー構造創出や波長域開拓に向けた基盤技術や周辺要素技術を開発し、加工をはじめとする幅広い応用を探る。

### 2. 研究開発の具体的内容

#### (1) 新規構造LD基盤技術及び周辺要素技術の開発

- 高輝度化、高出力化、省電力化、短波長化、小型化等に資する、革新的な新規構造LD基盤技術及びLD素子本来の性能を引き出す周辺要素技術を開発し、加工をはじめとする幅広い応用を探る。

#### (2) 新しい波長域及び短パルスレーザー基盤技術の開発

- 既存のレーザー加工機でカバーされていない波長域・パルス幅で発振可能な光源に関する基盤技術を開発し、加工をはじめとする幅広い応用を探る。

### 3. 達成目標

#### 【中間目標（2018年度）】

#### (1) 新規構造LD基盤技術及び周辺要素技術の開発

- 高輝度化・高出力化・省電力化・短波長化・小型化等に資する独創的な新規LD構造に関する設計論を確立し、これに基づいて実現可能な諸性能を定量的に明らかにする。また、要素技術を開発し、光源試作を通じてその実現可能性を明らかにする。

#### (2) 新しい波長域及び短パルスレーザー基盤技術の開発

- 既存のレーザー加工機でカバーされていない波長域・パルス幅で発振可能な光源に関する設計論を確立し、これに基づいて実現可能な諸性能を定量的に明らかにする。また、要素技術を開発し、光源試作を通じてその実現可能性を明らかにする。

#### 【最終目標（2021年度）】

- 開発した新規光源の性能検証を行い、出力あるいはエネルギー効率等が2018年度時点における既存技術と比較して10倍以上となること、あるいは従来の光源にはない性能を有することを示す。
- 開発した新規光源の応用先として加工を中心に幅広く探り、諸性能を明らかにしつつ実現可能性を示す。また、実用化に向けて残された課題を明確にする。

## 4. 特記事項

（1）社会情勢の変化、他国の動向等を踏まえ、必要に応じて目標の見直しや実施課題の整理を行うこととする。

（2）開発する加工システムによる実証研究の結果を随時フィードバックしつつ研究開発を実施する。実証研究にあっては、成果の有効性を検証できるユーザー企業を協力機関として確保する。

（3）開発した光源については、（2）の取り組み等を通じて実用化に向けた技術課題を早期に洗い出し、その解決に向けた研究開発を実施計画へ適宜反映するよう努める。

## 研究開発項目④「次世代レーザー及び加工の共通基盤技術開発」

### 1. 研究開発の必要性

レーザー加工において我が国が従来にない方式を提案し、世界を先導していくためにはレーザー装置開発とレーザー加工との融合に加え、レーザー加工における学理創生が重要な課題となっている。どのパラメータを最適化すると物質が効率よく加工できるのかを、レーザー加工機を用いた実験的手法と理論的考察とを組み合わせることで導出することが出来れば、どのパラメータのレーザーを開発すべきかが定まるからである。特にパラメータを振りながら加工の様子をモニターすることは、物理層であるレーザー加工機とサイバー層である計算機との融合によるIoTの具現化において重要な課題である。

高品位レーザー加工の実現に向けた非熱的加工条件の探索にはパルス幅を熱的～非熱的クロスオーバー領域とされるピコ秒 (ps) オーダーの時間領域で探る必要があるとともに、これまで加工に用いられていない青～深紫外域における加工についての知見を得ることが重要となる。本プロジェクトで開発する試作機を用いてレーザー加工テストプラットフォームを構築し、ユーザーによる試作を通じて重要なパラメータの導出手法を開発する必要がある。こうして実験的に得られたパラメータと光-物質相互作用の考察から得られる光加工の学理との相互フィードバックにより新しいものづくりを目指す。これらを効率的、有機的に進めるための産学官連携によるプラットフォームづくりは、新しいものづくりに必須である。

この他、国内の知を産業に昇華させるまでの障壁をいかに乗り越えるかを解決する新しい仕組みの構築も求められており、常にものづくり産業のニーズを把握し、市場動向の調査研究を進めながら行う必要がある。

### 2. 研究開発の具体的内容

#### (1) レーザー加工プラットフォームの構築

- レーザー加工における波長とパルス幅、パルスエネルギー等のパラメータについて、加工対象に対してどのように決定するべきかを実験的に導出するためのレーザー加工評価システムを開発する。また、レーザー加工プラットフォーム構築に必要となる、パルス幅や繰り返し周期、出力を広範に制御できるレーザー装置を開発する。さらに、物性評価や解析に基づいて加工レシピのデータベース構築に繋がる知を蓄積し、レーザー加工機及びレーザー装置開発にフィードバックするためのレーザー加工プラットフォームとその運用の枠組みを構築する。

#### (2) レーザー加工の計測評価基盤技術の開発

- 加工パラメータの組合せは膨大であるため、本事業で開発したレーザー装置を用いて、出力・波長・パルス幅・繰り返し周期といった様々なパラメータによって被加工物質にどのような変化が現れるかを調べる先端計測技術を構築する。また、他の研究開発項目すべてに共通する基盤研究の位置づけとして、本プロジェクトの実施者と密に連携・協調し、知を共有しながら研究開発を行う。これらの取り組みを通じて、将来の加工技術に結びつく光源技術および測定技術における共通基盤技術の研究を推進し新たな価値創造の芽をはぐくむ。

#### (3) レーザー加工技術の標準化・調査研究

- 加工特性を系統的に評価するにあたっては、評価結果どうしを正しく比較できるよう、試料の形状・純度・前処理・加工環境等に関する基準サンプルや標準作業も重要な課題である。これらの在り方について検討し、日本が主導して標準化を進めるとともに、戦略的にこれを利活用する枠組みを構築する。また、ものづくり産業（材料、部品、自動車や航空機など）の企業や加工技術を横断的に見渡せる有識者等へのヒアリング、内外の技術動向や政策・標準化・安全性に関する調査研究など、本研究開発の方向性検討に

必要な活動を積極的進めると同時に、研究開発計画へ適宜反映させることにより、高輝度・高効率次世代レーザー技術開発の効果的な推進に繋げる。産学官が連携したこれらの活動を通じて、次世代技術開発・産業界への技術成果移転・人材育成に努める。

### 3. 達成目標

#### 【中間目標（2018年度）】

##### (1) レーザー加工プラットフォームの構築

- 研究開発項目①で開発された短波長・短パルスレーザー装置を応用して、レーザー加工プラットフォームを構築する。

##### (2) レーザー加工の計測評価基盤技術の開発

- レーザー加工時のプロセスモニタリングのカギとなる、加工部の非破壊非接触その場観察手法を提案する。
- 加工状態を的確に表す物理パラメータの定義に関する指針を明らかにする。

##### (3) レーザー加工技術の標準化・調査研究

- 基準サンプルや標準作業に関する指針を明らかにする。
- レーザー加工技術に関する調査研究を行い、技術ロードマップを策定する。

#### 【最終目標（2020年度）】

##### (1) レーザー加工プラットフォームの構築

- 最適加工パラメータ（波長・パルス幅・繰り返し周期など）の探索が可能なレーザー加工機を試作・運用し、加工条件と加工結果とを対応付けるデータベースを構築する。

##### (2) レーザー加工の計測評価基盤技術の開発

- レーザー加工シミュレーション技術と加工結果とを結び付けるうえで不可欠な、物性評価技術や先端計測技術を産学官が連携して確立する。
- レーザー加工現象を予測するための解析モデルを構築し、加工結果との比較を通じてその妥当性や適用限界を示し、最適加工レシピの導出やものづくり現場における新しい設計手法の体系化にあたって解決すべき課題を明らかにする。

##### (3) レーザー加工技術の標準化・調査研究

- レーザー加工機メーカーと共同で、レーザー加工におけるプロセスモニタリング技術に関する指針をまとめる。

## 研究開発項目⑤「短波長レーザーによる加工技術の開発」

### 1. 研究開発の必要性

現在、ものづくりの現場で広く用いられている切断、穴空け、溶接、接合等のレーザー加工技術は、消費電力や加工スループット、加工精度や品位の観点から必ずしも効率の良い方法とは言えない。解決策の一つとして、短波長レーザーの活用が有望視されている。これは、短波長域においてエネルギー吸収率が高まる材料が多く、高効率な加工の実現が期待できるためである。

一方で、加工用途に用いることが可能な実用的な短波長レーザー装置は事実上存在しない。主には、加工用途に応用可能な輝度を有するレーザー装置が存在しないためである。市場ニーズが拡大してきていることから、海外との競争も激化しつつある。世界に先立ち、紫外または青色域の高輝度短波長レーザー装置を開発し、レーザー加工技術の開発を合わせて行うことが必要不可欠である。

### 2. 研究開発の具体的内容

#### (1) 高輝度短波長レーザー装置の開発

- ものづくりの現場で広く用いられている既存の切断、穴あけ、溶接、接合等のレーザー加工技術の高機能化・低コスト化に資する、紫外または青色域の高輝度短波長レーザー装置を開発する。

#### (2) 高輝度短波長レーザーによる加工基盤技術の開発

- 高輝度短波長レーザー装置を搭載したレーザー加工システムの開発、あるいは高輝度短波長レーザー装置を用いたレーザー加工試験を通じ、高輝度短波長レーザーによる加工技術を確立する。また、高輝度短波長レーザーの新たな産業応用を開拓する。

### 3. 達成目標

#### 【最終目標（2021年度）】

#### (1) 高輝度短波長レーザー装置の開発

- 開発したレーザー装置の性能検証を行い、出力あるいはエネルギー効率等が2018年度時点における既存技術と比較して10倍以上となること、あるいは従来の光源にはない性能を有することを示す。
- 開発したレーザー装置の2023年度中の事業化に向け、残された課題を明確にする。

#### (2) 高輝度短波長レーザーによる加工基盤技術の開発

- 開発した高輝度短波長レーザーを用いることで、既存の技術ではできない加工が実現できることを実証する。
- 開発したレーザー装置の加工分野での応用先を探り、実現可能性を示す。また、実用化に向けて残された課題を明確にする。

### 4. 特記事項

(1) 社会情勢の変化、他国の動向等を踏まえ、必要に応じて目標の見直しを行うこととする。

(2) 加工プロセスの実証研究にあたっては、開発した技術の有効性を検証できるユーザー機関を協力機関として確保する。ユーザー機関との連携した取り組みの結果を随時フィードバックしつつ研究開発を実施する。

(別紙2) 研究開発スケジュール

