

2020 年度実施方針

IoT 推進部

1. 件名

(大項目) 高輝度・高効率次世代レーザー技術開発

2. 根拠法

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十五条第二号

3. 背景及び目的・目標

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る。しかしながら、将来的に人口減少が進むと予想されており、社会構造の変革に対応した技術革新を取り入れることで従来のものづくり産業構造から脱却し、新産業革命を推進していくことが求められている。

近年の技術革新を鑑みるに、将来のものづくり産業では、あらゆる「もの」がインターネットでつながる IoT (Internet of Things) や人工知能の更なる活用により、クラウドを通じた生産設備の連携や人工知能を駆使した自動化・無人化が進むと考えられる。その中で、照射強度や照射時間などをデジタル制御しやすいレーザー加工は、将来のものづくり産業における最重要ツールの一つとして期待されている。例えば、科学技術イノベーション総合戦略 2016 (2016 年 5 月 24 日閣議決定) では、「新たな産業や技術基盤の創出の核となる先端レーザー等の量子ビーム利用技術の高度化」を「Society5.0」(超スマート社会) の実現に向けて重きを置くべき取組の一つとして位置づけている。また、第 5 期科学技術基本計画 (2016 年 1 月 22 日閣議決定) では、「超スマート社会」の実現に向けた新たな価値創出のコアとなる強みを有する基盤技術の一つとして、「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」の強化を図っている。

世界に目を向ければ、レーザー技術先進国である米国と、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に投資をしてきたドイツが世界をリードしているという現状がある。また、世界の工場として急速に成長した中国もレーザー関連分野において先進国を追い上げている。日本のものづくり産業が将来にわたって競争力を維持していくためには、高付加価値製品の製造に適した高精度・高品位加工に対応する次世代レーザー加工システムを世界に先立って開発し、早期実用化を進め、ものづくり業界へ広く普及させることが必要となる。

以上より、我が国ものづくり産業の競争力強化を図ることを目的に、国が先導して産学官の英知を集結し、高輝度で高効率な実用性の高いレーザー装置、これを組み込んだレーザー加工機、これらを活用するレーザー加工技術の開発を行う意義は変わらない。そこで、本プロジェクトにおいては、以下の研究開発を引き続き実施する。また、プロジェクト全体での成果も創出すべく、協調領域を形成する取り組みも引き続き推進する。なお、2018 年度に実施した中間評価結果を踏まえ、各研究開発項目と各テーマの位置づけを明確にし、再編することによって、成果の社会実装に向けた取り組みを加速する。

[委託事業]

研究開発項目① 「高品位レーザー加工技術の開発」

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。
- (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。

- (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。

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。
- (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。
- (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。

研究開発項目② 「高出力レーザーによる加工技術の開発」

最終目標 (2020 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 500J 級の固体パルスレーザー装置を開発し、同 1kJ 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。
- (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。

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。
 - ・ 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。
- (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。

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」

最終目標 (2020 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。

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。

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」

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。

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。

研究開発項目⑤ 「短波長レーザーによる加工技術の開発」

最終目標 (2020 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. 実施内容及び進捗 (達成) 状況

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た。

国立大学法人東京大学 物性研究所 教授 小林洋平をプロジェクトリーダーとし、国立大学法人東

京大学 大学院理学系研究科附属フotonサイエンス研究機構 特任准教授 田丸博晴、及び国立研究開発法人産業技術総合研究所 先端オペランド計測技術オープンイノベーションラボラトリ（兼 分析計測標準研究部門）ラボチーム長 黒田隆之助をサブプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施した。

4. 1 2019年度（委託）事業内容

研究開発項目① 「高品位レーザー加工技術の開発」

2019年度は、「レーザー加工技術の高度化」に重点的に取り組むべく実施した。

(1) 高品質・大口径波長変換素子の開発（実施体制：大阪大学）

2019年度は、高品質と大型化の両立に取り組み、1.5kg級の大型結晶の製作に成功した。大口径素子の作製技術の開発を進め、製造コストに影響する成長速度等の改善、品質安定化に加え、稼働時のUV吸収による熱影響への対策検討を行った。

(2) 深紫外・短パルスレーザー装置の開発（実施体制：スペクトロニクス株式会社、三菱電機株式会社）

2019年度は、スペクトロニクスと三菱電機とが協働して、基本波の高出力化・高ピークパワー化に取り組み、平均出力50W級光源の最適化設計、試作を行った。

(3) 深紫外・短パルスレーザー加工技術の開発（実施体制：三菱電機株式会社）

2019年度は、平均出力20W級の加工機システム1台を研究開発項目④の柏サイトに移設し、プラットフォームとして稼働させるとともに、加工技術の高度化開発の取り組みを開始した。これと並行して50W級加工機の光学系開発及びデータベースと連携した加工機システムの構築を検討した。

研究開発項目② 「高出力レーザーによる加工技術の開発」

2019年度は、「開発したレーザー技術の加工への応用実証」に重点的に取り組むべく実施した。

(1) 高輝度・高効率レーザー装置の開発（実施体制：浜松ホトニクス株式会社、大阪大学）

2019年度は、100J級高出力レーザー加工システムにおいて、半導体レーザー励起としては世界最高となる117Jの出力を達成した。引き続き250J級の高出力レーザー装置の設計及び試作に着手し、高出力LDモジュールをベースにパルスエネルギー250Jに向けた後段レーザー増幅部と冷却装置の構築を並行して進めた。設計技術においては、シミュレーションによる解析手法等を用いて、高出力レーザー装置の設計を通し、キロジュール級出力へのスケーラブルなレーザー設計手法確立に向け検討した。

(2) 高出力レーザーによる加工基盤技術の開発（実施体制：浜松ホトニクス株式会社、産業技術総合研究所、大阪大学）

2019年度は、100J級高出力レーザー加工システムやLDモジュール等を用いて、ユーザー機関からの実ニーズを踏まえた加工実証の取り組みを開始した。各種サンプルの加工試験及びその分析評価を行うとともに、材料物性を考慮したシミュレーション解析による予測技術を高め、加工結果予測に適用できるよう取り組んだ。得られた知見をもとに研究開発項目④の加工データベース構築との連携に向けた議論を開始した。

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」

2019年度は、以下6つのテーマを継続し、「レーザー技術の高度化」に重点的に取り組むべく実施した。【テーマ(3)、(6)はそれぞれ項目⑤のテーマ(1)、(2)へ移動】

(1) フォトニック結晶レーザーの短パルス化・短波長化

(2) 高品質AIN結晶基板を用いた最短波長領域高出力深紫外LDの研究開発

- (4) 高出力・高ビーム品質動作を可能とする新型面発光レーザーの研究開発
- (5) 高効率・高出力量子ドットレーザーの研究開発
- (7) 超高速利得スイッチ LD をシードとするレーザー加工用光源の開発
- (8) 分子振動を利用する高効率加工プロセス用中赤外高出力レーザー光源開発

(1) フォトニック結晶レーザーの短パルス化・短波長化 (実施体制：京都大学、スタンレー電気株式会社)

2019年度は、フォトニック結晶レーザー(PCSEL)の短パルス化では、高ピーク出力化に向けて発振面積を拡大するとともに、分割電極構造、ダブルホール構造等の改良及び分布ブラッグ反射鏡の導入を行い、ピーク出力 20W、パルス幅 30ps 級の動作を実現した。フォトニック結晶レーザー(PCSEL)の短波長化では、高出力 GaN 系 PCSEL の実現のため、出力効率を高める電極構造、非対称フォトニック結晶構造の導入等の最適化を進め、閾値電流密度をプロジェクト開始前から約 27 分の 1 に低減し、光出力～500mW を得ることに成功した。

(2) 高品質 AlN 結晶基板を用いた最短波長領域高出力深紫外 LD の研究開発 (実施体制：理化学研究所、山口大学)

2019年度は、ストライプ加工 PSS 上の AlN テンプレートの低転位領域上に貫通転位密度 $2 \times 10^8 \text{cm}^{-2} \sim 1 \times 10^9 \text{cm}^{-2}$ を実現し、内部量子効率(IQE)は 63% を測定した。さらに、高電流注入のため高濃度 p 型クラッド層の最適化検討と、深紫外 LD の試作に向けた電極構造の検討など進めた。

(4) 高出力・高ビーム品質動作を可能とする新型面発光レーザーの研究開発 (実施体制：東京工業大学、富士ゼロックス株式会社—再委託 産業技術総合研究所)

2019年度は、VCSEL 増幅器の数 mm 以上の長尺化及び折り返し(2次元レイアウト)構造による集積構造の設計と試作を進め、顕在化したビーム品質劣化への対策を検討した。また、これとともに、駆動ドライバ、実装、集光光学系など周辺技術の開発を進め、ワット級パルス光出力の 1 次元ビームを射出する VCSEL 増幅器モジュールを具現化し、産総研サイトでのビーム評価実験を開始した。

(5) 高効率・高出力量子ドットレーザーの研究開発 (実施体制：東京大学—再委託 株式会社 QD レーザ、三菱電機株式会社)

2019年度は、前年度に引き続き高密度量子ドットの高均一化と高積層化を実施するとともに、層数等の構造最適化を検討した。また短波長化を目指した GaN 系材料の量子ドット製作にも着手した。高出力系量子ドットレーザーの実証については、共振器構造及び導波路構造を最適化しパッケージ化に取り組んだ。複数の量子ドットレーザーアレイからのビーム出力を外部光学系により合成させ、加工に適用可能な高出力モジュールを試作した。

(7) 超高速利得スイッチ LD をシードとするレーザー加工用光源の開発(実施体制：東京大学)

2019年度は、5～10ps 級の利得スイッチ LD の構造パラメータ検討と、多重量子井戸構造ウエハーの品質評価を行った。また、製造を担うファブレス及びファブ企業の調査を行った。

(8) 分子振動を利用する高効率加工プロセス用中赤外高出力レーザー光源開発(実施体制：産業技術総合研究所、高エネルギー加速器研究機構—再委託 東京理科大学、浜松ホトニクス株式会社)

2019年度は、東京理科大学の既存自由電子レーザー(FEL)施設にて表面レーザー加工装置を用い、波長、照射強度、照射時間をパラメータとして樹脂材料の加工評価を実施した。高エネルギーの長波長高出力の FEL システム開発については、光生成部であるアンジュレータ部の設置と調整を行い、レーザー発振の準備を進めた。高出力量子カスケードレーザー(QCL)の開発では、波長 8μm 帯において新型活性層構造の素子を試作し、1チップ当たり 600 mW の出力を

達成した。加工プロセスの開発と評価では、QCL レーザー照射による各種樹脂材料に対する加工試験を実施するとともに、当該波長領域でのレーザープロセスの評価に有効な計測手法の検討を行った。

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」

2019年度は、「レーザー加工技術の高度化」に重点的に取り組むべく実施した。

(1) レーザー加工プラットフォームの構築 (実施体制：東京大学－再委託 東北大学、産業技術総合研究所)

2019年度は、時間制御型レーザー加工テスト装置の開発では、高出力化、高輝度化、パルス制御に係る高度化の整備を行うとともに、プラットフォームでの加工試験を進めた。波長制御型レーザー加工テスト装置では、整備した加工テスト装置を用い、レーザー加工テストの運用を開始し、波長を中心とする加工のパラメータ依存性のデータを取得し評価を行った。これらを活用し加工条件と加工結果とを対応付けるデータベースについて、必要な項目の検討とデータの収集を進めた。また、研究実施項目①、⑤で開発するレーザー加工装置を加工プラットフォームに導入し利用を開始した。

(2) レーザー加工の計測評価基盤技術の開発 (実施体制：東京大学、産業技術総合研究所－再委託 早稲田大学)

2019年度は、レーザー加工プラットフォームにおける加工テストへの計測評価を開始した。評価結果を各プラットフォーム上にフィードバックし、最適な加工パラメータ抽出へと展開できるように、計測評価の手法の向上を図った。また、より汎用に計測評価を加工評価へ適用する手法や、必要なモデル、データベース、シミュレーション技術の連携についても検討を行うとともに、前年度までに構築した計測装置・計算機を活用して材料との相互作用に関するデータベース構築を進めた。

(3) レーザー加工技術の標準化・調査研究 (実施体制：産業技術総合研究所、東京大学)

2019年度は、ロードマップの更新を続け、調査研究の有用情報についてプロジェクト内で共有をはかり、レーザー加工に関するオープンロード戦略の議論を開始した。

研究開発項目⑤ 「短波長レーザーによる加工技術の開発」

2019年度は、以下4つのテーマについて、「開発したレーザー技術の加工への応用実証」に重点的に取り組んだ。

(1) 高効率加工用 GaN 系高出力・高ビーム品質半導体レーザーの開発 (実施体制：パナソニック株式会社、パナソニックスマートファクトリーソリューションズ株式会社)【旧：項目③－(3)】

2019年度は、2017～18年度までに開発した先鋭化技術の課題を克服する新構造を考案、検証した。また、2018年度までに構築した400nm帯BTU技術、モジュール実装技術のN増し評価により量産化の課題を抽出した。さらに、エミッタアレイ、BTUと回折格子を用いた400nm帯用外部共振型波長合成光学系の設計と基礎実験を行ない、発振器の基本設計を完了した。また、加工応用の検討に向け加工機の製作に着手した。

(2) 革新的小型・高効率UVレーザー光源の開発 (実施体制：株式会社金門光波、千葉工業大学、レーザー技術総合研究所)【旧：項目③－(6)】

2019年度は、出力0.5W(CW)タイプの320nm帯UVレーザー開発に注力した。波長変換前の基本波出力2Wの安定出力に向け試作機の評価を継続し、信頼性の向上を図った。また、応用実証のためユーザー評価に向けて、0.1W級UVレーザー光源試作機によるデモを進めた。

(3) 極短波長領域のハイブリッド ArF レーザー加工技術の開発 (実施体制：ギガフoton株式会社)【旧：項目④－(1)－c】

2019年度は、前年度開発した出力10W級のハイブリッド ArF レーザーの基本波部をサブナノ秒化し、これを前年度開発した加工機システムと合わせて項目④の柏サイトに移設し稼働させた。ユーザーの実ニーズをもとに、開発した193nmのレーザー加工技術の応用実証を進めた。

(4) 高輝度青色半導体レーザー及び加工技術の開発 (実施体制：大阪大学－共同実施 ヤマザキマザック株式会社、株式会社島津製作所)【旧：項目④－(1)－d】

2019年度は、500W級青色半導体レーザー光源の設計及び製作を進めると共に、加工特性を評価するための評価装置の開発を行った。また、600W級青色半導体レーザーマルチビーム集光ユニットを工作機械に組み込み、熔融池観察をリアルタイムでモニタリングするシステムの構築を行った。本システムにより得られる因子と溶接品質の結果の因果関係調査と、アプリケーションの検討を進めた。

4.2 外部評価結果

2018年度に中間評価を実施し、「本事業は加工用高出力レーザー光源を開発するだけでなく、レーザーの波長、パルス幅及びパワーと加工品質との相関をデータベース化するとともに、その結果をコンソーシアムを通じてユーザーに広く提供することによって、日本製のレーザーを用いたものづくりを推進するこれまでにない試みで高く評価できる。また、中間目標を概ね計画通りに達成していることも評価できる。一方、最終目標の達成が難しいテーマは目標の見直しや、テーマの改廃を、位置づけが明確でないテーマは再編成を、それぞれ検討するべきである。」との総合評価を受けた。また、2018年度の中間評価後に、研究開発項目③の6テーマを対象にステージゲート審査を実施し、6テーマ全てのステージゲート通過が認められた。このうち、項目③－3については外販をめざし取り組み強化をはかるべき、項目③－2及び、項目③－6については開発する波長を絞るなど内容を一部縮小するべきとの評価を受けた。

これら外部評価は、2019年度の事業に反映させた。

4.3 実績推移

	2016年度	2017年度	2018年度	2019年度
実績額推移 需給勘定(百万円)	2,000	2,113	2,461	2,259
特許出願件数(件)	2	24	48	52
論文発表数(報)	26	75	103	108
フォーラム等(件)	2	1	1	1

※2020年1月末時点、論文発表数には学会発表を含む

5. 事業内容

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。

国立大学法人東京大学 物性研究所 教授 小林洋平をプロジェクトリーダーとし、国立大学法人東京大学 大学院理学系研究科附属フotonサイエンス研究機構 特任准教授 田丸博晴、及び国立研究開発法人産業技術総合研究所 先端オペランド計測技術オープンイノベーションラボラトリ(兼 分析計測標準研究部門) ラボチーム長 黒田隆之助をサブプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施する。実施体制については、別紙を参照のこと。

5.1 2020年度(委託)事業内容

研究開発項目① 「高品位レーザー加工技術の開発」

2020年度は、前年度に引き続き「レーザー加工技術の高度化」に重点的に取り組む。

(1) 高品質・大口径波長変換素子の開発 (実施体制：大阪大学)

2020年度は、高品質・大口径波長変換素子の量産化に向けた光学結晶の高品質・低コスト化に取り組み、平均光出力 50W、3000 時間以上使用可能な波長変換素子技術を確立し、信頼性を検証する。

(2) 深紫外・短パルスレーザー装置の開発 (実施体制：スペクトロニクス株式会社、三菱電機株式会社)

2020年度は、平均光出力 50W 級(単体出力)の深紫外・短パルスレーザー光源装置を完成させ、高安定性、高制御性の確保を検証する。また、更なる高出力化のため、2 台の光源出力を同期させる技術を確立する。

(3) 深紫外・短パルスレーザー加工技術の開発 (実施体制：三菱電機株式会社)

2020年度は、柏サイトに設置した平均出力 20W 級の加工機システムを用いて、ユーザーニーズをもとに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、加工技術の高度化開発に取り組み、最適加工の指針を得る。また、加工中の状態や加工結果を加工条件へフィードバックして加工を高度化していくデータ利活用型加工システムを立ち上げ、検証する。

研究開発項目② 「高出力レーザーによる加工技術の開発」

2020年度は、前年度に引き続き「開発したレーザー技術の加工への応用実証」に重点的に取り組む。

(1) 高輝度・高効率レーザー装置の開発 (実施体制：浜松ホトニクス株式会社、大阪大学)

2020年度は、光パルスエネルギー250J 級の高出力レーザー装置を完成させる。スケーラブルなレーザー設計手法を確立し、シミュレーションによる解析手法等を用いて、500J 級高出力レーザー装置の実現性を確認する。また、将来の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。

(2) 高出力レーザーによる加工基盤技術の開発 (実施体制：浜松ホトニクス株式会社、産業技術総合研究所、大阪大学)

2020年度は、ユーザーの実ニーズを踏まえ、250J 級出力への増強に対応するように加工システムを改良し、加工応用の実証に取り組み、その結果を加工システムにフィードバックしながら、高パルスエネルギーレーザーの新しい産業応用分野を開拓する。また、各種サンプルの加工試験及びその分析評価を行うとともに、材料物性を考慮したシミュレーション解析による予測技術が加工結果予測に適用できるか検証する。得られた知見をもとに研究開発項目④と連携して加工データベースを構築する。

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」

2020年度は、前年度に引き続き以下 6 つのテーマを継続し、「レーザー技術の高度化」に重点的に取り組む。【テーマ(3)、(6)は前年度より項目⑤へ移動】

(1) フォトニック結晶レーザーの短パルス化・短波長化

(2) 高品質 AlN 結晶基板を用いた最短波長領域高出力深紫外 LD の研究開発

(4) 高出力・高ビーム品質動作を可能とする新型面発光レーザーの研究開発

(5) 高効率・高出力量子ドットレーザーの研究開発

(7) 超高速利得スイッチ LD をシードとするレーザー加工用光源の開発

(8) 分子振動を利用する高効率加工プロセス用中赤外高出力レーザー光源開発

(1) フォトニック結晶レーザーの短パルス化・短波長化 (実施体制：京都大学、スタンレー

電気株式会社)

2020年度は、フォトリソグラフィ結晶レーザーの短パルス化では、高ピーク出力、パルス動作の実証を行う。目標とする、高ビーム品質 ($M^2 < 2$) で、波長 940~980nm、平均出力 W~10W 級、ピーク出力 100W 級、パルス幅 10~100ps の高平均出力・短パルス動作を実現させる。また、フォトリソグラフィ結晶レーザーの短波長化では、目標とする 400nm 波長帯にて、GaIn 系 PCSEL による高品質、ワット級高出力動作を実証する。いずれも開発した新規光源が有する諸性能を確認しつつ、応用先として加工を中心とした幅広い用途の実現可能性を示す。また、実用化に向けて残された課題を明確化する。

(2) 高品質 AlN 結晶基板を用いた最短波長領域高出力深紫外 LD の研究開発 (実施体制: 理化学研究所、山口大学)

2020年度は、AlN の結晶成長条件の検討を行い、貫通転位密度 $2 \times 10^8 \text{cm}^{-2}$ を実現、AlN テンプレート上の低転位領域上に AlGaIn 深紫外 LD 構造を作製し IQE70%程度を達成させる。高濃度 p 型クラッド層の開発では、電流密度 10KA/cm^2 、電流注入効率 60% 以上の高電流注入を実現させ、UVB~UVC (320nm~270nm) の LD を試作し、動作実証する。UV 域 LD 技術に資する諸性能評価を行うとともに、実用化に向けて残された課題を明確化する。

(4) 高出力・高ビーム品質動作を可能とする新型面発光レーザーの研究開発 (実施体制: 東京工業大学、富士ゼロックス株式会社—再委託 産業技術総合研究所)

2020年度は、VCSEL 増幅器の長尺化及び折り返し構造における長尺化の限界を究明するとともに、高出力化と高ビーム品質化を両立する集光光学設計を確立する。また、長尺面発光レーザー増幅器の集積光源として、目標性能とする光出力 100W 以上 (パルス動作)、ビーム品質 $M^2 < 2$ を達成する。アレイ化構造については、集積化光源の歩留り・信頼性の改善をしつつ、目標とする複数増幅器からの光出力 50W (CW) 以上、ビーム品質 $M^2 < 10$ を達成する。いずれも開発した新規光源が有する諸性能を確認しつつ、応用先用途の実現可能性を示すとともに、実用化に向けて残された課題を明確化する。

(5) 高効率・高出力量子ドットレーザーの研究開発 (実施体制: 東京大学—再委託 株式会社 QD レーザ、三菱電機株式会社)

2020年度は、高密度量子ドットの高均一化と高積層化で検討した最適構造をウェハに展開し、出力密度 10W/mm^2 を実証する。また、短波長化を目指した GaIn 系材料の量子ドットの技術基盤の確立を図る。高出力化については、高出力量子ドットレーザーアレイによる高出力モジュールを用いて集積出力 100W を達成する。さらに諸性能を明らかにしつつ、応用先における実現可能性を示すとともに、残された課題を明確にする。

(7) 超高速利得スイッチ LD をシードとするレーザー加工用光源の開発 (実施体制: 東京大学)

2020年度は、波長 1030nm 帯において、パルス幅 10ps 以下 (10ps~1ps 近傍) を達成できる超高速利得スイッチ LD を開発する。さらに、開発した超高速利得スイッチ LD を光増幅器と組み、諸性能を明らかにすることで、加工用光源としての利点と今後の課題を明確化する。また、将来の事業化を担う、ファブレス及びファブ企業との分散型協創体制を構築する。

(8) 分子振動を利用する高効率加工プロセス用中赤外高出力レーザー光源開発 (実施体制: 産業技術総合研究所、高エネルギー加速器研究機構—再委託 東京理科大学、浜松ホトニクス株式会社)

2020年度は、ワット級以上の高平均出力の中赤外自由電子レーザーを実現し、波長 5~20 μm の中赤外波長域において、プロセス適用評価を実施する。高出力量子カスケードレーザー (QCL) の開発では、出力 1W 以上の QCL 光源モジュールを開発するとともに、最適な中赤外波長の伝送ファイバーを選択し結合効率 80% 以上、集光径 100 μm 以下を達成する。加工プロセスの開発と評価については、代表的な樹脂材料 5 種以上について加工プロセス条件と評価法を確

立し、データベースを構築する。

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」

2020年度は、前年度に引き続き「レーザー加工技術の高度化」に重点的に取り組む。

(1) レーザー加工プラットフォームの構築 (実施体制：東京大学一再委託 東北大学、産業技術総合研究所)

2020年度は、プラットフォームのレーザー加工テスト装置として、最適加工パラメータ(波長・パルス幅・繰り返し周期など)の探索やその場計測が可能なレーザー加工機を運用し、必要なデータ収集を継続しつつ、加工条件と加工結果とを対応付けるデータベースを利用可能な状態に整備する。さらに、加工条件へのフィードバック方法を確定する。

(2) レーザー加工の計測評価基盤技術の開発 (実施体制：東京大学、産業技術総合研究所一再委託 早稲田大学)

2020年度は、レーザー加工プラットフォームにおける加工テストから得られた評価結果や、レーザー加工シミュレーション技術をもとに、材料との相互作用に関する深紫外領域、近赤外領域の物性データベース(材料、計算シミュレーション)を構築し、各プラットフォーム上にフィードバックし活用を開始する。さらに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、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 (実施体制：産業技術総合研究所、東京大学)

2020年度は、レーザー加工に関するオープンクローズド戦略の議論を継続し、調査データをもとに市場ベースのロードマップを作成し提案する。レーザー加工機メーカーの協力のもと、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作成する。

研究開発項目⑤ 「短波長レーザーによる加工技術の開発」

2020年度は、前年度に引き続き以下4つのテーマを実施し、「開発したレーザー技術の加工への応用実証」に重点的に取り組む。

(1) 高効率加工用 GaN 系高出力・高ビーム品質半導体レーザーの開発 (実施体制：パナソニック株式会社、パナソニックスマートファクトリーソリューションズ株式会社)【旧：項目③- (3)】

2020年度は、先鋭化主要技術を統合し目標とするアレイ素子性能を達成させる。さらに発振器として筐体に組み込み、数百本の波長合成を行うことで、ビーム品質の劣化を抑えつつ、発振器出力を高める。また、N増し評価/信頼性評価における課題対策を実施し、事業化に向け準備する。さらに、本レーザー加工機をレーザー加工プラットフォームに設置し、研究開発項目④と連携して、高ビーム品質 GaN 系レーザーが有する諸材料/諸加工法に対する潜在能力と、実ニーズに基づく加工分野での応用先を明確化する。

(2) 革新的小型・高効率 UV レーザー光源の開発 (実施体制：株式会社金門光波、千葉工業大学、レーザー技術総合研究所)【旧：項目③- (6)】

2020年度は、0.5W級 UV レーザー光源のプロトタイプの目標性能(光出力 $\geq 0.5W(CW)$ 、 $M^2 \leq 1.2$)と信頼性を確認し技術を確立させる。また、先行して製作した0.1W級 UV レーザー光源試作機によるユーザー評価からフィードバックを受け、加工用途での実証を行う。さらに、研究開発項目④と連携し320nm帯 UV レーザー光源が有する潜在能力の明確化と、加工分野での応用先を探るとともに、実用化に向けて残された課題を明確化する。

(3) 極短波長領域のハイブリッド ArF レーザー加工技術の開発 (実施体制：ギガフォトン株

式会社)【旧：項目④－(1)－c】

2020年度は、193nm帯ハイブリッドArFレーザー光源の開発については、目標性能とするパルス幅0.5ns級、平均光出力10W以上、ピーク出力3.3MW以上、 $M^2 \leq 2$ を達成する。また、193nm用光学素子の耐性評価を継続し、開発品の検証を行う。選定した難加工材の加工応用例について加工実証を行い、既存技術に対する加工スループットの優位性を示す。柏サイトに設置したレーザー加工装置については、研究開発項目④と連携して加工条件と加工結果とを対応付けるデータの収集に取り組み、有望加工用途における最適加工の指針を得るとともに、実用化に向けた残課題を明確化する。

(4)高輝度青色半導体レーザー及び加工技術の開発 (実施体制：大阪大学－共同実施 ヤマザキマザック株式会社、株式会社島津製作所)【旧：項目④－(1)－d】

2020年度は、500W級青色半導体レーザー光源ユニット開発を完成させ、単一ファイバーからの出力1.5kW級の青色半導体レーザー光源を実現する。ファイバーコア径は600 μm 以下として目標出力密度を達成し、その加工特性を評価する。また、600W級青色半導体レーザーマルチビーム集光ユニットを搭載したIoT対応型工作機械について、溶融池観察のリアルタイムモニタリング及びフィードバック制御技術の確立と検証を行い、溶接に適用させた場合の加工特性のデータベースを構築する。さらに、加工プラットフォームの吹田サイトに整備した3Dプリンタを活用しつつ、既存の技術に対する優位性の実証を行い、実用化に向けた課題を明確化する。

5. 2 2020年度事業規模

委託事業 需給勘定 2,000百万円(継続)

※事業規模については、変動があり得る。

6. 事業の実施方式

6. 1 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扱う。

7. その他重要事項

7. 1 評価の方法

NEDOは、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、技術評価実施規程に基づき、プロジェクト評価を実施する。本プロジェクトは、今年度が最終年度であり、事後評価を2021年度に実施する。

7. 2 運営・管理

本プロジェクトでは、世界的に競争の激化している青色～紫外域の短波長高輝度レーザーの開発において、世界トップレベルの目覚ましい技術的成果を上げており、加速的に研究を進捗させることにより、当該技術分野における国際競争上の優位性が確立できることが期待されるテーマや、さらにアウトプットの押し上げ効果が期待できるテーマについて、実用化、事業化の取り組みを加速し予算の重点化を行う。また、最終目標を達成が見込まれる技術的成果があり、実用化や普及に至るまでに相当の開発リスク、期間を伴うテーマについても、取り組みを加速し予算の重点化を行う。今年度は最終年度であることから、基本計画に予定されている通り、事後評価を翌年度の2021年度に実施するものとし、本年度中に、本研究開発の成果を成果報告会等で公開する。

7. 3 知財マネジメントにかかる運用

「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プロジェクトを実施する。

7. 4 データマネジメントにかかる運用

本プロジェクトは、2018年度に開始した研究開発項目③－（7）、③－（8）について、「NEDOプロジェクトにおけるデータマネジメントに係る基本方針（委託者指定データを指定しない場合）」を適用する。

7. 5 TACMIコンソーシアムとの連携

TACMIコンソーシアム会員の協力を得てテストユースや加工サンプルの評価等を進め、実施計画へのフィードバックを行う。また、出口イメージを明確にすることや新しいイノベーションを生み出すことを狙い、コンソーシアム会員との交流を進める。

8. スケジュール

8. 1 本年度のスケジュール

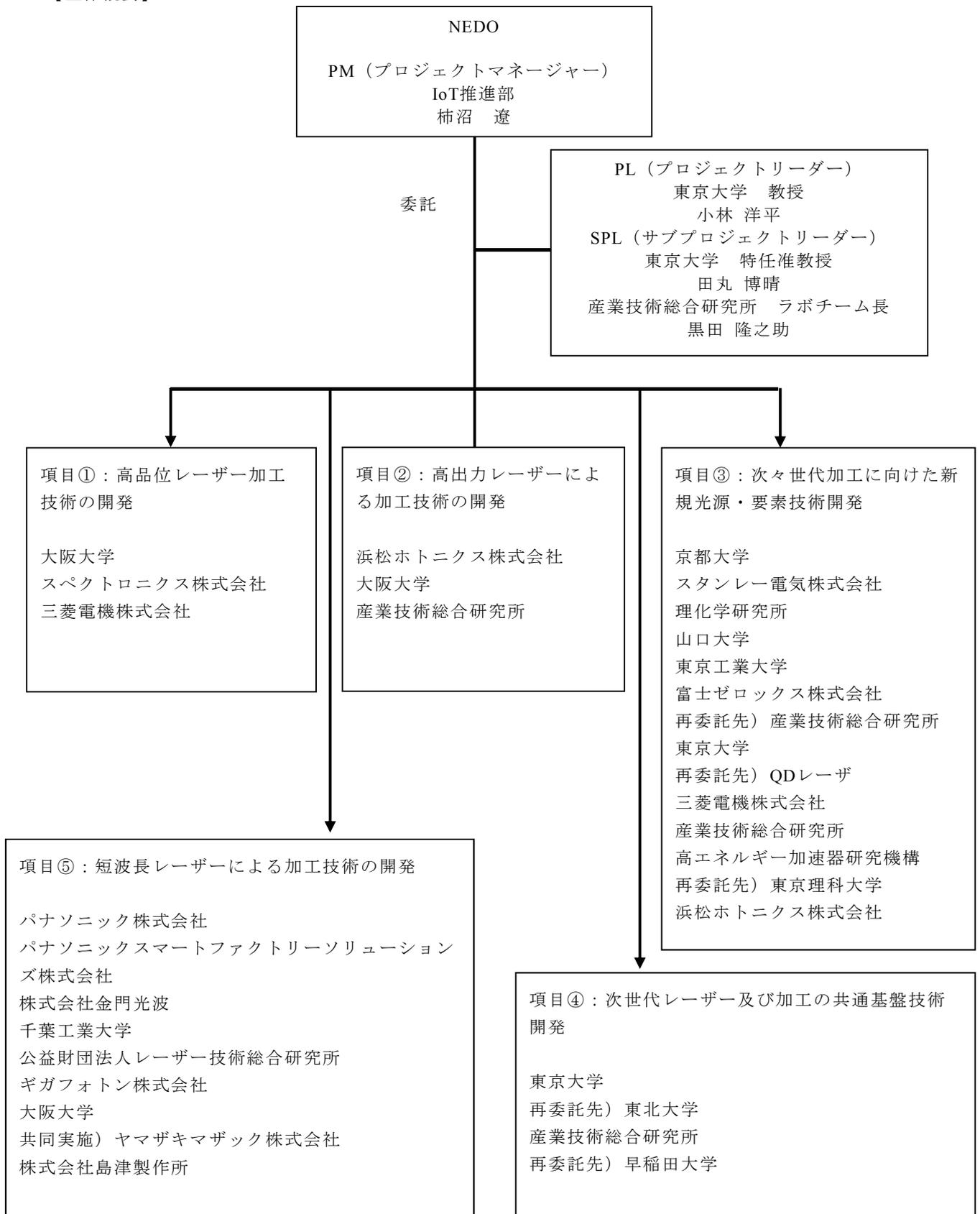
2020年5月頃 第6回推進会議
2020年8月頃 第6回アドバイザー委員会
2020年12月～2021年1月頃 成果報告会

9. 実施方針の改定履歴

（1）2020年2月、制定

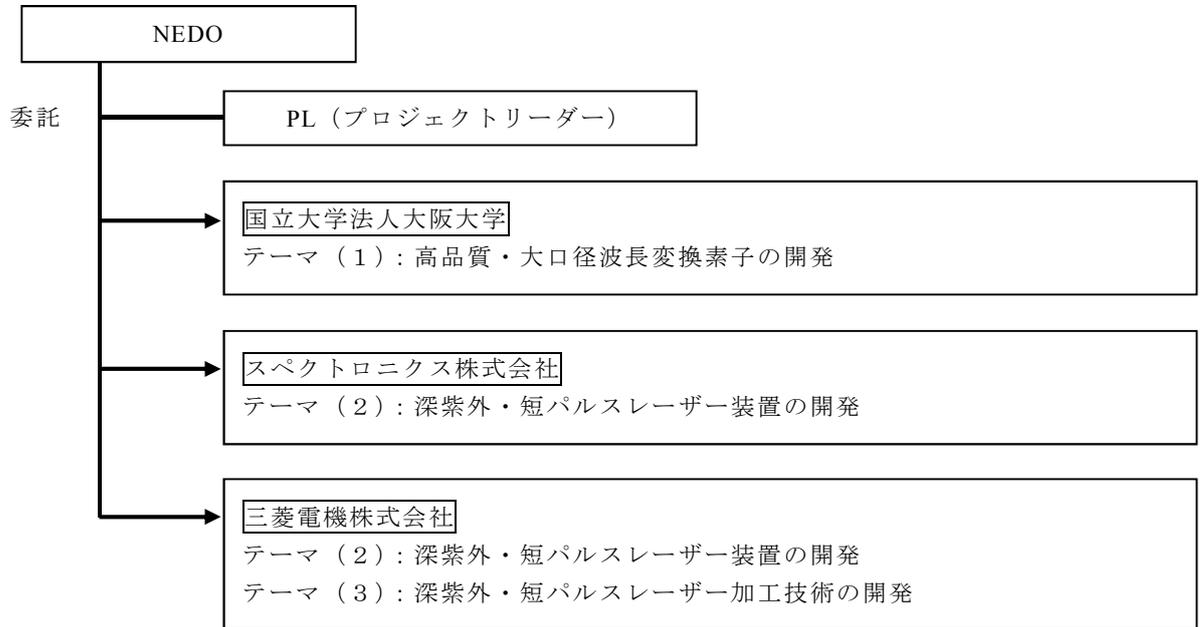
(別紙) 実施体制図

【全体概要】

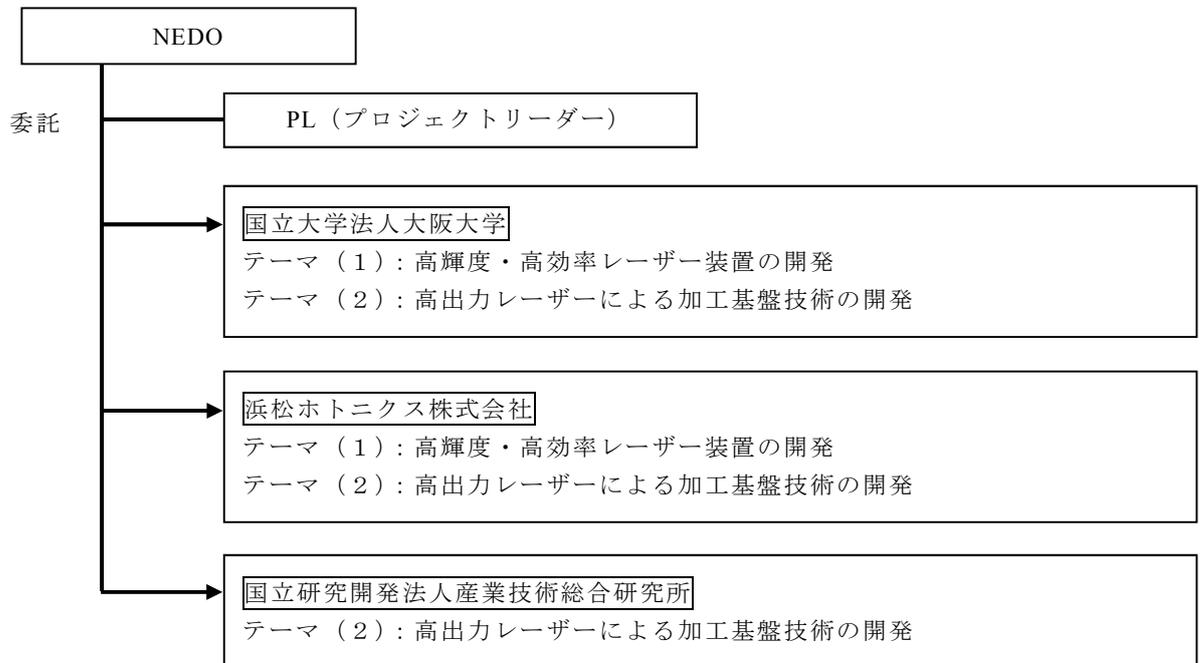


【項目別詳細】

< 研究開発項目①：高品位レーザー加工技術の開発 >

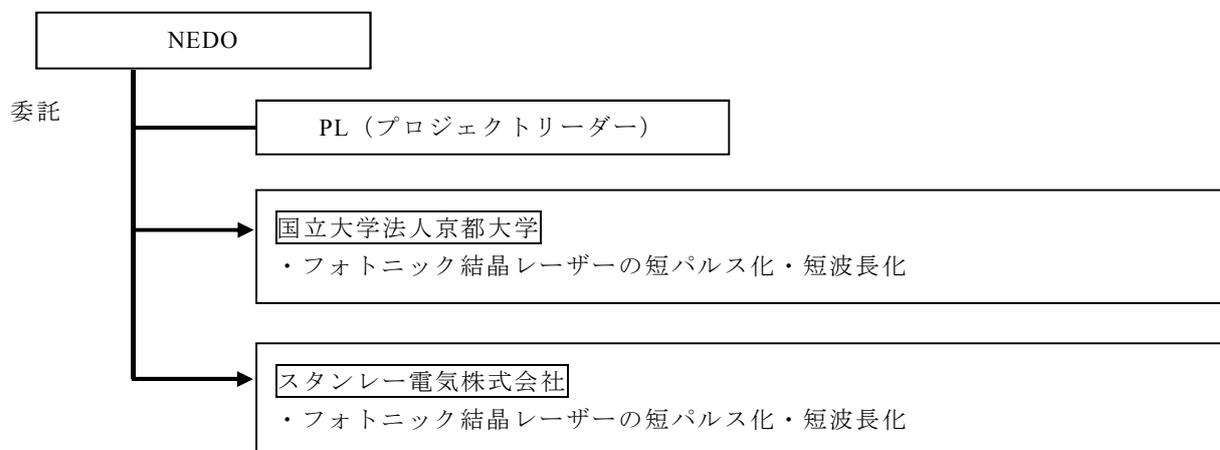


< 研究開発項目②：高出力レーザーによる加工技術の開発 >

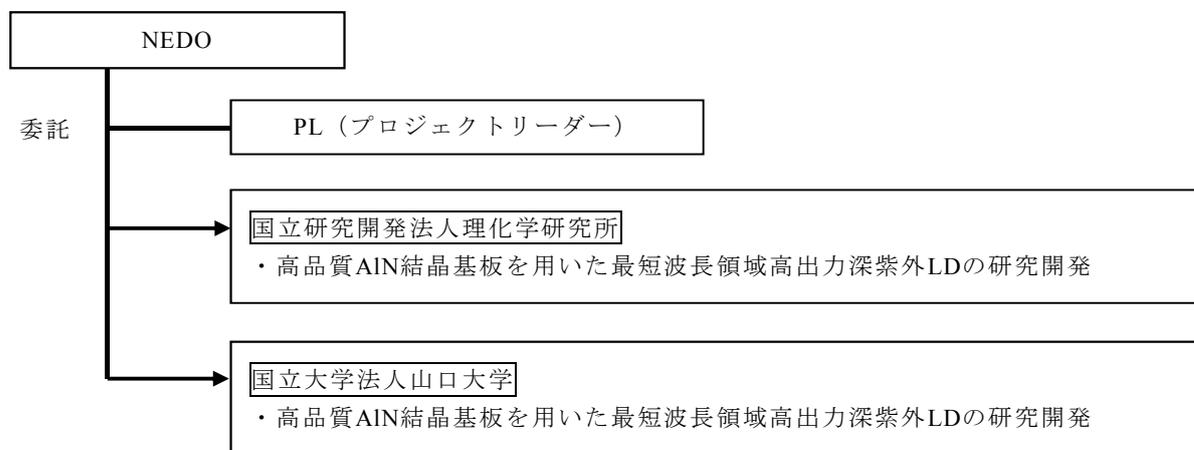


< 研究開発項目③：次々世代加工に向けた新規光源・要素技術開発 >

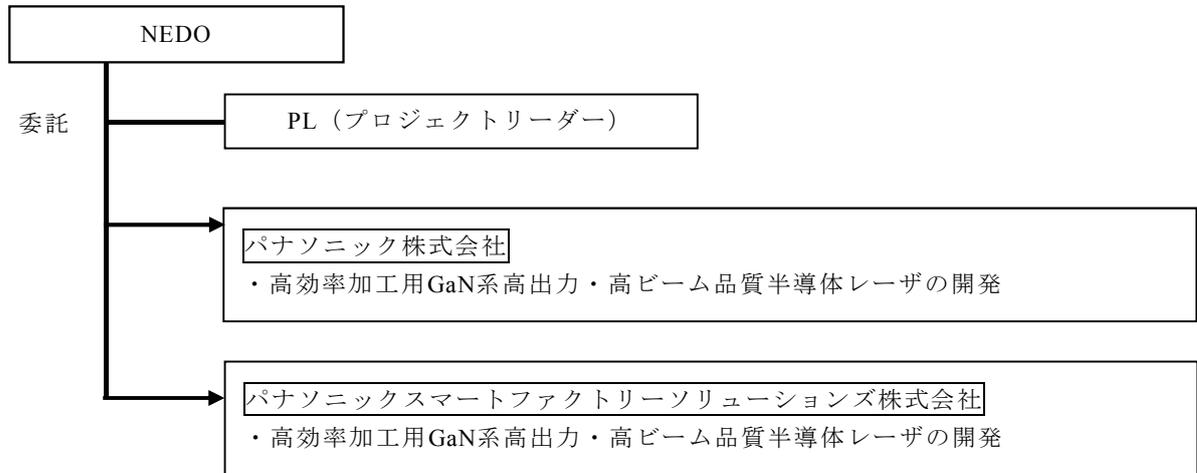
【テーマ（１）：フォトニック結晶レーザーの短パルス化・短波長化】



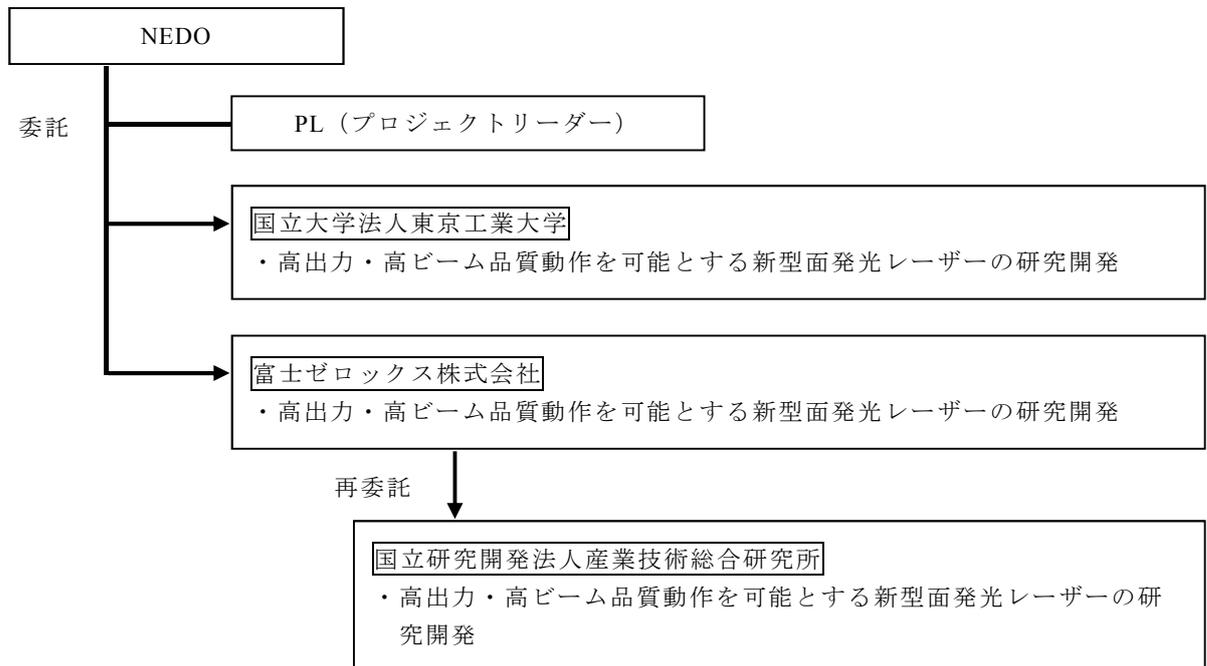
【テーマ（２）：高品質AlN結晶基板を用いた最短波長領域高出力深紫外LDの研究開発】



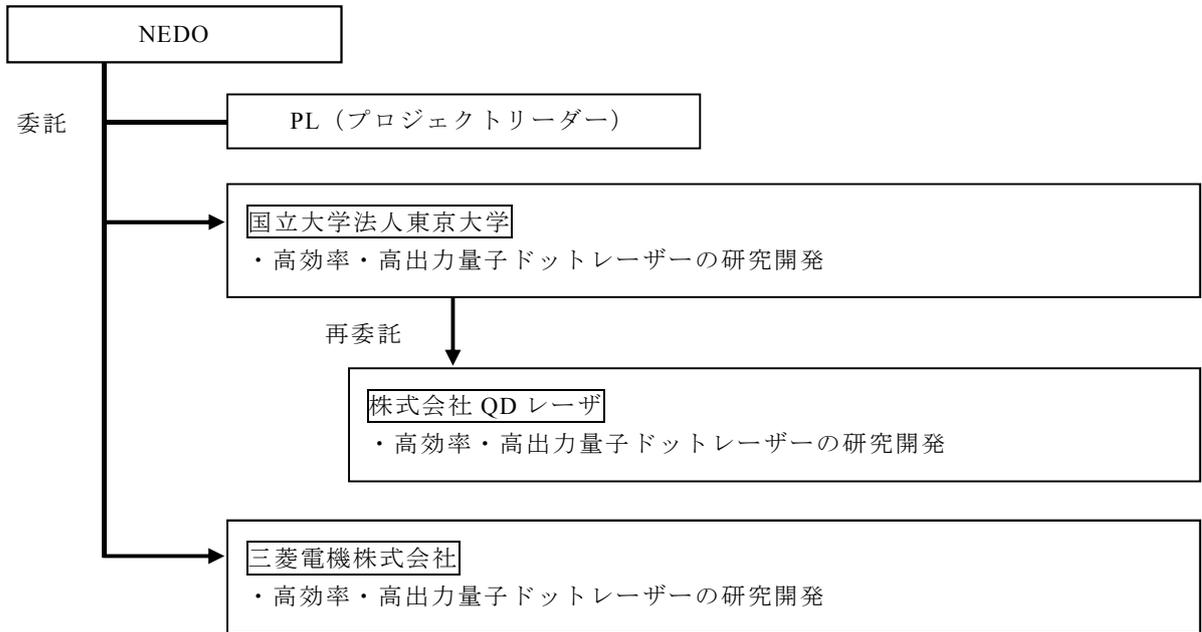
【テーマ（3）：高効率加工用GaN系高出力・高ビーム品質半導体レーザーの開発】（～2019年3月）



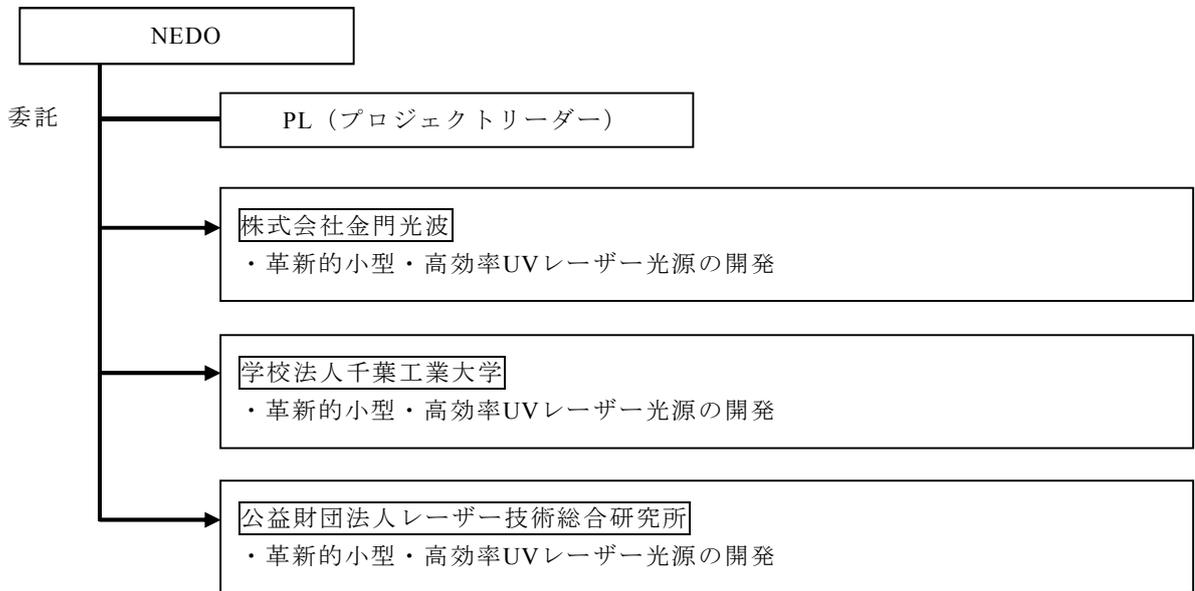
【テーマ（4）：高出力・高ビーム品質動作を可能とする新型面発光レーザーの研究開発】



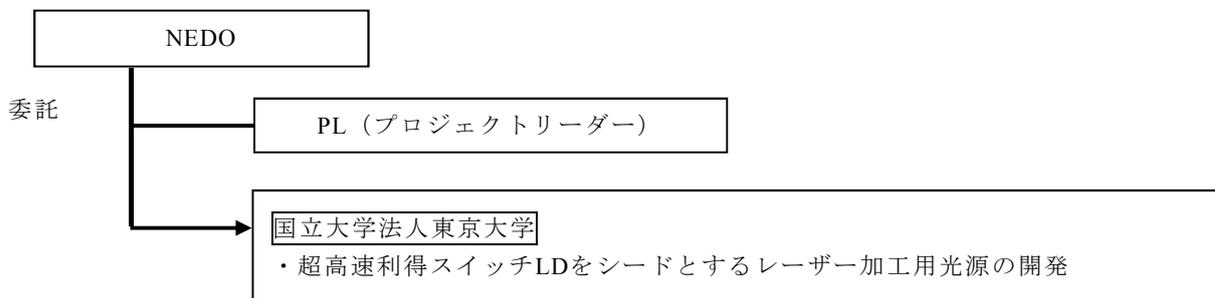
【テーマ（５）：高効率・高出力量子ドットレーザーの研究開発】



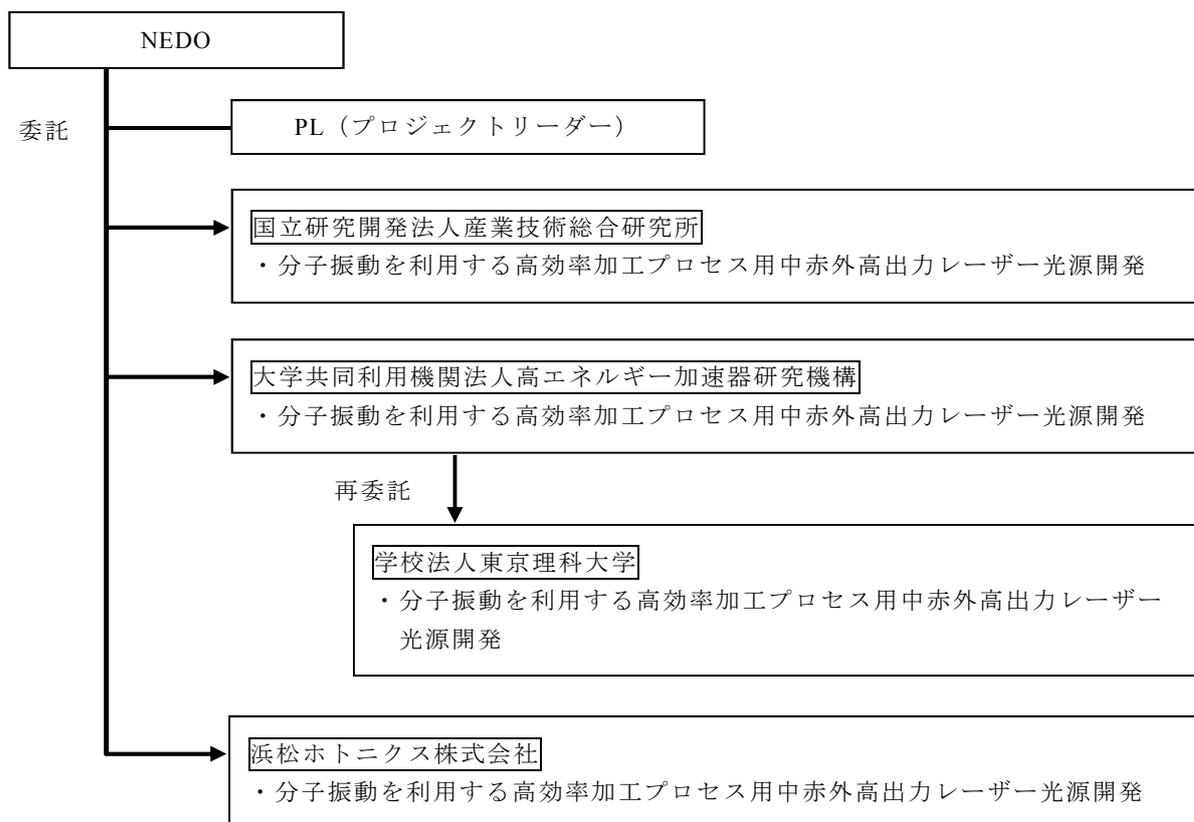
【テーマ（６）：革新的小型・高効率UVレーザー光源の開発】（～2019年3月）



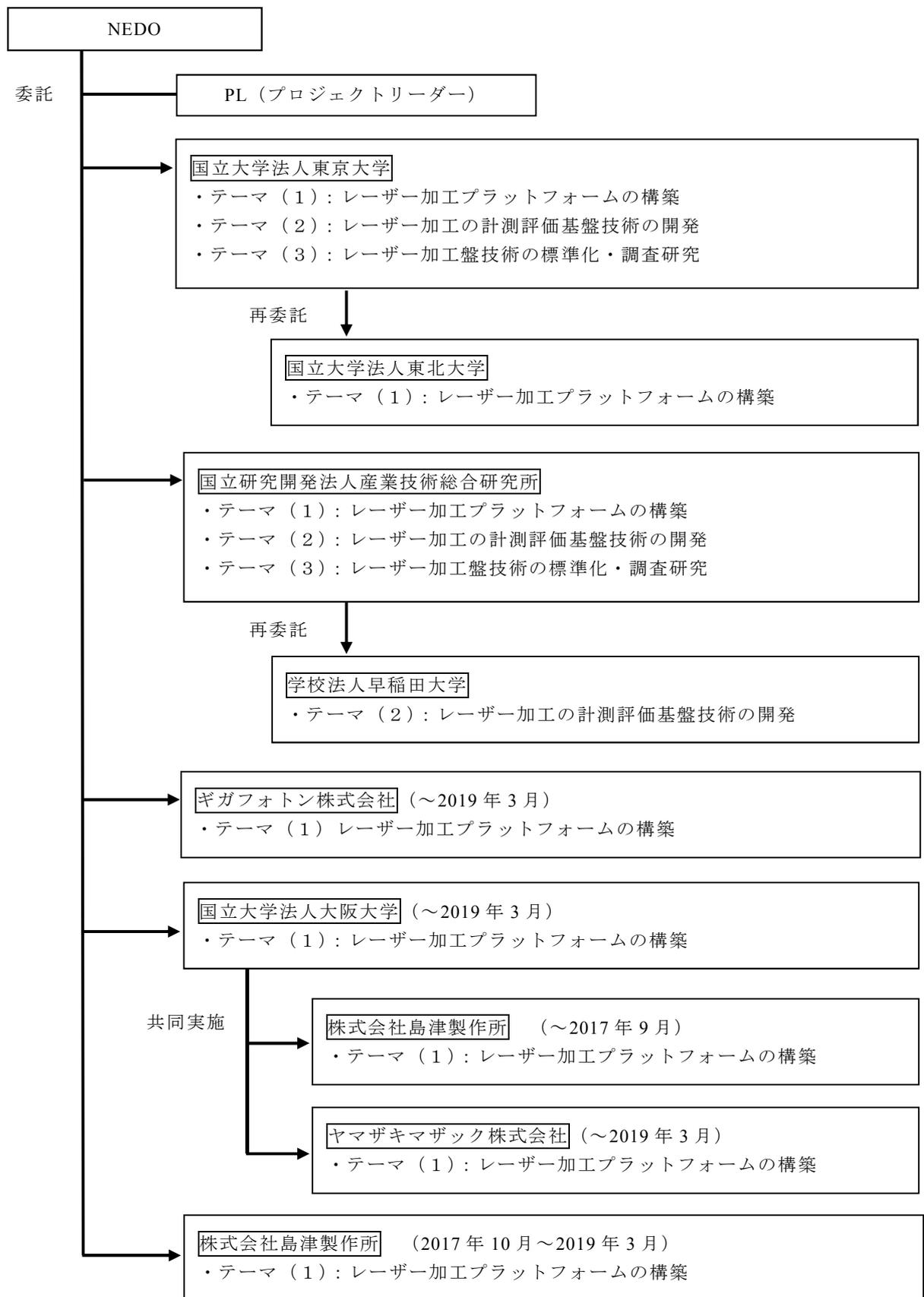
【テーマ（7）：超高速利得スイッチLDをシードとするレーザー加工用光源の開発】（2018年12月～）



【テーマ（8）：分子振動を利用する高効率加工プロセス用中赤外高出力レーザー光源開発】（2018年12月～）

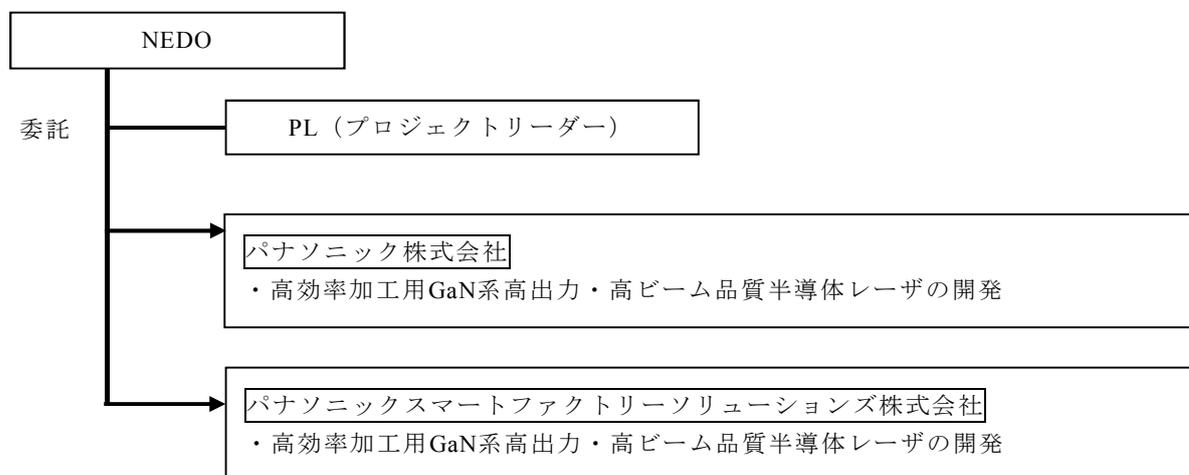


< 研究開発項目④：次世代レーザー及び加工の共通基盤技術開発 >

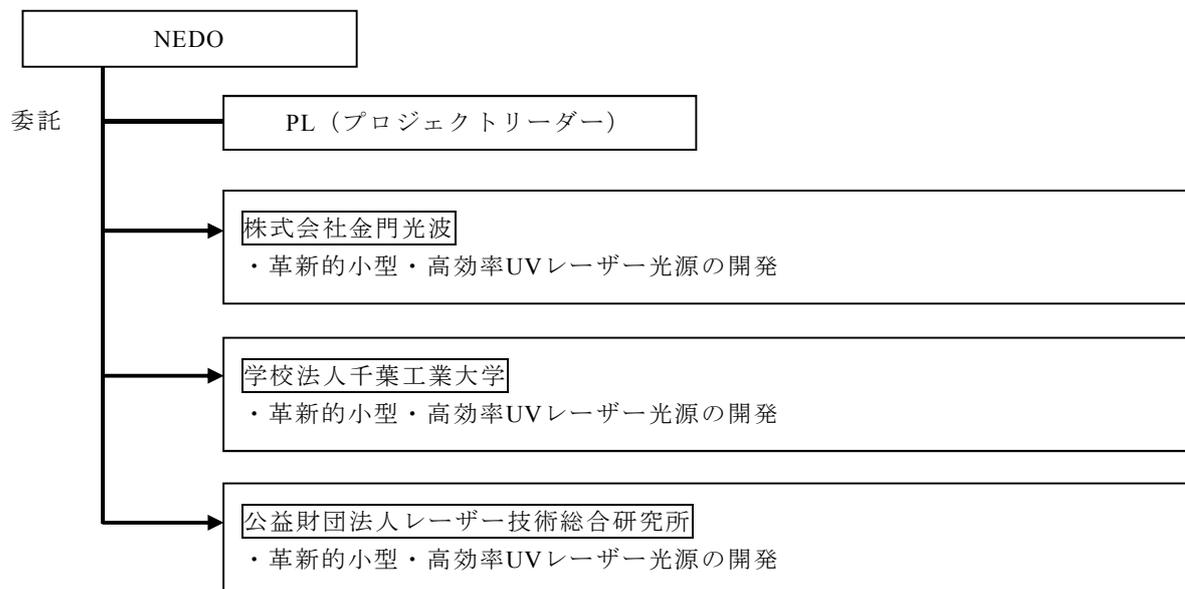


< 研究開発項目⑤：短波長レーザーによる加工技術の開発 > (2019年4月～)

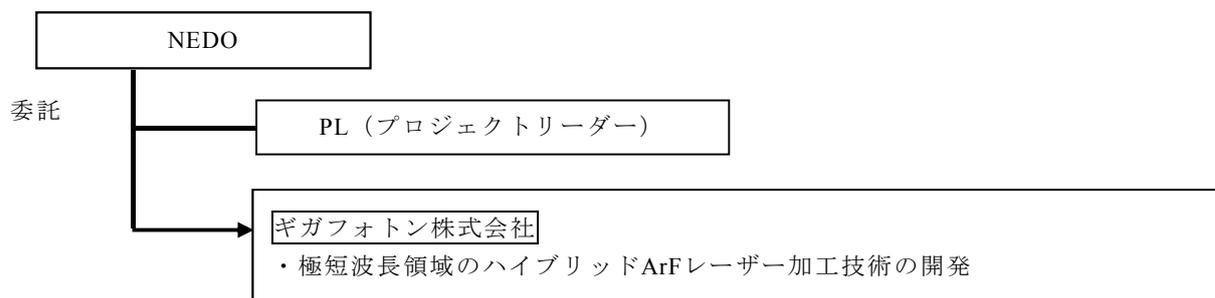
【テーマ（１）：高効率加工用GaN系高出力・高ビーム品質半導体レーザーの開発】



【テーマ（２）：革新的小型・高効率UVレーザー光源の開発】



【テーマ（3）：極短波長領域のハイブリッドArFレーザー加工技術の開発】



【テーマ（4）：高輝度青色半導体レーザー及び加工技術の開発】

