

2019 年度実施方針

I o T 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 I o T (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易いレーザー加工は、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 2 0 1 6 (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」の強化を図るとしている。

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 10 p s 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 10 p s 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 500 J 級の固体パルスレーザー装置を開発し、同 1 k J 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 10 k W 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 100 J 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 須永吉彦を任命して、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ォトン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 分析計測標準研究部門 主任研究員 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 2018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」

(1) 高品質・大口径波長変換素子の開発（実施体制：大阪大学）

2018年度は、前年度に引き続き以下のサブテーマを実施した。

a) 高レーザー損傷耐性結晶の開発

2017年度までの基礎検討技術を組み合わせ、導入した大型装置を用いて高出力ピコ秒レーザーに適用可能な高レーザー損傷耐性の実現に取り組んだ。素子寿命（出力の経時劣化耐性）はプロジェクト開始時の1.5倍に向上させることに目途をつけた。

b) 大型結晶作製技術の開発

2017年度までの検討を踏まえ、大型結晶（重量1kg）において、高品質・高均質性となるCLBOの結晶成長技術を確立させた。大口径30mm角断面素子を作製し、①-(2)で開発するピコ秒光源への搭載を行うと共に長期安定性試験を進め、実用性を評価しつつ更なる改良を行った。

(2) 短波長・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）

2018年度は、前年度に引き続きピコ秒高出力深紫外光源の開発を実施した。266nm帯、平均出力20W級の高出力深紫外光源の最適化設計・評価を行い、試作光源を製作した。また、前年度開発した制御システムの実装検証を行った。試作機は、①-(3)「短波長・短パルス幅レーザー加工技術の開発」用と④「次世代レーザー及び加工の共通基盤技術開発」用として各1台を提供した。平均出力50W級の光源開発については、MOPA基本波部、波長変換部の最適化設計と動作確認に取り組むとともに、実験検証を行った。

(3) 短波長・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）

2018年度は、前年度に引き続き以下のサブテーマを実施した。

a) 高出力DUV加工プラットフォームの開発

10W級加工機での動作評価を踏まえて、20W級に向けた加工光学系の改良設計、試作を行った。改良試作光学系と①-(2)で開発された20W級光源をベースシステムに結合することで20W級の加工システムを構築した。

b) 研究開発項目④と連携した次世代加工要素技術開発

その場観察のための小型モニター系を試作し加工機に組み込んだ。また、データ利活用型の加工機システム実現に向けてデータ通信の動作確認を行った。

研究開発項目② 「高出力レーザーによる加工技術の開発」

(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）

2018年度は、前年度に引き続き以下のサブテーマを実施した。

a) 高出力パルスレーザー装置の開発

2017年度に検討した改良方策を施した高出力LDモジュール試作2号機を試作し、諸特性を評価して中間目標である10kW（1kJ×10Hz）出力に目途をつけた。前年度までに試作した100J級レーザーの前段部増幅器等を改良し、2018年度に試作した後段部増幅器と統合して100J級高出力レーザー装置を構築し、諸特性の評価を行い、パルスエネルギー100Jの出力に目途をつけた。そして得られた結果を基に、キロジュール級レーザーにむけたスケラブルな基本設計技術を確認した。また、高出力レーザー装置の光出力を(2)で構築する加工システムへ供給し、これと連動した動作の見通しを得た。

b) 高出力パルスレーザーの基本設計技術の開発

100J級レーザー増幅器等に関するエネルギー特性、熱特性、ビーム品質等の特性改善のための方策を検討し、キロジュール級レーザーの基本設計技術にフィードバックした。

(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)

2018年度は、前年度に引き続き以下のサブテーマを実施した。

a) 高出力レーザー加工システムの開発

1)で開発した高出力レーザー装置を用いて、レーザー伝送部、レーザー集光部、サンプル保持部および駆動部、計測モニター部、システム制御部等からなる100 J級レーザー出力に対応した高出力レーザー加工システムを構築し、基本仕様を満足しつつ、10~100 GW/cm²の強度で繰り返し照射可能なことを確認した。

b) 高出力レーザーの加工技術の開発

既存の高出力レーザー装置を用いて、サンプルへの照射試験およびシミュレーションによる解析結果や分析・評価結果と比較検討することで、材料の深部の領域への応力分布を付与する等の従来を凌駕する新しい加工技術を開発した。また、ここで得られた知見をa)で構築する高出力レーザー加工システムにフィードバックした。

c) 計測分析評価技術の開発

b)で検討する加工技術の検証と作成した加工サンプルの分析・評価を通して、高パルスエネルギーを照射された試料の状態変化を非接触で分析・観察するために必要な計測技術の仕様を明らかにした。

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」

2018年度は、前年度に引き続き以下の(1)~(6)のテーマを実施すると共に、(7)、(8)の2テーマを公募により追加し実施した。

- (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
- (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
- (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
- (6) 革新的小型・高効率UVレーザー光源の開発
- (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)

2018年度は、前年度に引き続き以下のサブテーマを実施した。

a) フォトニック結晶レーザー(PCSEL)の短パルス化

2017年度に得られた、短パルスPCSELデバイスの評価結果について、数値計算結果と定量的な比較を行い、作製デバイスの活性層の利得係数やキャリア寿命等の物理パラメータの推定を行った。その後、デバイス設計へフィードバックを行い、高平均出力・短パルス動作を実現するための最適なデバイス構造を見出した。これらの結果を踏まえたデバイスの試作・評価を進め、短パルスPCSELの高ピークパワー化に目途をつけた。

b) フォトニック結晶レーザー(PCSEL)の短波長化

これまでに得られたフォトニック結晶構造の設計結果を踏まえたデバイス試作を行うとともに、材料の吸収係数低減や、活性層利得向上を実現するための、各層のエピ条件の探索を実施し、PCSEL作製に反映させることにより、低閾値GaN系PCSELの発振を実現した。また、GaN系PCSELの高出力動作に向けた基礎検討として、面垂直方向への放射係数の増大が期待できる非対称性の高い格子点構造の検討や、出射光を遮らない窓状電極の導入についての検討などを行った。

(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)

2018年度は、前年度に引き続き以下のサブテーマを実施した。

- a) サファイア基板上高品質AlN結晶の開発
高温アニール装置を導入し、「高温アニール法」によるAlN結晶の転位の低減効果を実証した。また、「アンモニアパルス供給多段成長法」と「高温アニール法」を併用して用いて $5 \times 10^8 \text{ cm}^{-2}$ 程度の貫通転位密度のAlNテンプレートを製造した。
- b) 加工サファイア基板上高品質AlN結晶基板の実現
加工サファイア基板(PSS)上AlN結晶成長を用いて、原子層が平坦でかつ貫通転移密度が 10^7 cm^{-2} 台のAlN結晶を実現し、深紫外LD用のテンプレートとして供給した。
- c) 深紫外活性層の高い内部量子効率(IQE)の実現
「アンモニアパルス供給多段成長法」と「高温アニール法」を用いて作製されたAlNテンプレート上にLD構造を作製し50%程度のIQEを実現した。また、InAlGaIn量子井戸活性層の成膜の検討を行った。
- d) 高濃度p型クラッド層と高い注入効率の実現
高ホール濃度化とMQB電子ブロック層の導入を行うことによりLD構造への 1.5 KA/cm^2 程度の注入電流密度を実現した。また、高注入時の注入効率の向上を検討した。
- e) UVB~UVC領域深紫外LDの実現とその高出力化
UVB領域の波長280-320nmの深紫外LDの動作実証について、光ポンプ発振の動作を確認し、引き続き課題抽出を行った。
- f) AlN単結晶基板上高出力深紫外LDの実現
単結晶AlN基板上へのAlGaIn量子井戸発光層の成膜の検討を行った。

(3) 高効率加工用GaIn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)

2018年度は、レーザーモジュールの信頼性を向上させる構造を設計し80W動作品として仕上げた。また、2017年度に設計した400nm帯ビームツイスターユニット(BTU)を試作し、本モジュールに集積させる技術を構築した。レーザービーム高品質化技術については設計手法の妥当性を実験により検証した。さらに、短波長レーザー加工の応用研究に着手した。

(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)

2018年度は、前年度に引き続き以下のサブテーマを実施した。

- a) 高出力面発光レーザーの研究開発
2017年度に引き続き、面発光レーザーと面発光レーザー増幅器を横方向にモノリシックに集積した高出力光源のモード安定化と、高出力化とビーム品質の両立に取り組み、1cm角のチップサイズで、出力1kW以上、ビーム品質 $M^2 < 2$ の高出力・高ビーム品質動作を行う実現可能性を理論的に明らかにした。実験的には、面発光レーザー・増幅器集積光源を実現し、光出力 $> 1\text{W}$ (パルス動作)、ビーム品質 $M^2 < 2$ の見通しを得た。
- b) 高効率・大規模アレイ化と周辺技術の研究開発
スローライトモードの安定化する設計を行うと共に、長尺素子との光結合形状を最適化し結合効率を向上した。面発光レーザー増幅器の長尺化試作と評価を実施し、面発光レーザー増幅器長尺化による高出力化を実現し、光出力5W以上の見通しを得た。

(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)

2018年度は、前年度に引き続き以下のサブテーマを実施した。

- a) 高密度量子ドット形成技術基盤の開発
2017年度に得られた成果を踏まえ、10層以上の積層量子ドット構造を形成するとともに、これまでの成果をレーザー素子用ウェハ成長技術に展開した。また、量子ドットレーザーの性能向上に向けて、量子ドットの更なる高密度化・高均一化も図った。
- b) 高出力量子ドットレーザーの設計と実現可能性実証

これまでに最適化された設計と開発されたデバイス作製プロセスを基礎に、高密度量子ドット形成技術基盤の開発成果も取り入れることにより、レーザー出力 $1\text{W}/\text{mm}^2$ 超の動作可能性を実証した。

c) 高出力量子ドットレーザー加工応用に向けた周辺要素技術開発

量子ドットレーザーを高冷却パッケージに搭載して動作特性を評価するとともに、複数発光点の発振ビームを結合する外部光学系により、加工応用に適した集積ビームを実現した。さらに、既存半導体レーザーとの特性比較を行うことにより、量子ドットレーザーの特長を活かした加工応用に向けた指針を得るとともに課題を明らかにした。

(6) 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、大阪大学、レーザー技術総合研究所)

2018年度は、前年度に引き続き以下のサブテーマを実施した。

a) 0.5W/2W級UVレーザー光源の設計、製作、及び評価

可視光基本波ファイバレーザーのCW(連続波)出力2Wの達成に向け、前年度に引き続き、励起効率の向上、共振器内ロス低減等の特性改善を進めた。UVレーザー光源用の高耐力コーティングの設計、製作、及び評価を行うとともに、UV変換効率25%を達成するため、外部共振器位相ロック制御システムの高精度化を実施した。また、以上の開発技術を搭載した発振器部と電源からなる0.5W級UVレーザー試作機の製作を行った。

b) 10W級次世代UVレーザーに関する要素技術の開発

UV光10W出力(CW)に向けた主発振器出力増幅器(MOPA)構成の検討を行うとともに、ダブルクラッドファイバの径拡大や励起コンバイナについて開発検討を進めた。

(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)

パルス幅10ピコ秒から1ピコ秒近傍までをカバーする超高速利得スイッチLDを実現するため、2018年度は研究開発環境の整備と基礎検討を進めた。活性層の高利得化となる新たな構造導入を試み、有効な多重量子井戸の層数やダブルヘテロ構造の厚みなど基礎事項の調査と、条件出しおよび最適化を行った。

(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一再委託 東京理科大学、浜松ホトニクス株式会社)

5~20 μm の中赤外波長域で波長制御可能な高出力レーザー光源の開発と、加工プロセスへの活用検討を開始した。2018年度は、研究開発環境の整備を進めるとともに、基礎検討に着手した。東京理科大の常伝導加速器型自由電子レーザー(FEL-TUS)を光源とするレーザー加工装置の設計及び開発を進めつつ、照射対象となる有機樹脂材料等の探索を実施した。これと並行し、高エネルギー加速器研究機構(KEK)の超伝導加速器(cERL)による中赤外自由電子レーザー(FEL)システムの詳細設計を行った。また、高出力量子カスケードレーザー(QCL)と伝送技術の開発では、新型活性層構造の設計と、集光レンズ光学系の設計に着手し、実験環境の整備を行った。

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」

(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、ギガフォトン株式会社、大阪大学一共同実施 株式会社島津製作所(~2017年9月)、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(2017年10月~))

2018年度は、前年度に引き続き以下のサブテーマを実施した。

a) 時間制御型レーザー加工テスト装置の開発

サブピコ秒~サブナノ秒域パルス幅可変の高出力時間制御型レーザーの構築を行い平均100W以上の動作試験を行うとともに、試験加工装置と協調して動作させる技術を開発して、試作機として加工評価と組み合わせたテスト加工プラットフォーム利用を開始した。

広帯域パルス幅可変半導体レーザーについては、2017年度試作素子の利得スイッチパルス幅とピーク強度の限界、時間制御性の詳細測定を行い、10 p s から 1 μ s までの制御のための改良型素子の試作検討を行った。

b) 波長制御型レーザー加工テスト装置の開発

これまでの知見をもとに波長制御型の加工テスト装置を構築し、レーザー加工プラットフォームを構成する装置の一つとした。また、④-(2)-a)とともに、加工とシミュレーションとの比較を行い、シミュレーション手法の評価方法を確立した。また、必要に応じて、シミュレーションと差異について実験的に検証を行った。

c) 極短波長領域のハイブリッドA r Fレーザー加工技術の開発

既存のハイブリッドA r Fレーザー装置に加工システムを付加した試作加工機の製作に着手し、年度内完成の目途を得た。並行して、既存のA r Fレーザー、および比較参照としてK r Fレーザーを用いた加工評価を実施した。また、2017年度に製作したシード用固体オシレータ基本波部及び波長変換部を用いて、高い集光性による高ブルーエンス化を可能とするパルス幅 1 n s、出力 10WのハイブリッドA r Fレーザーの開発を行い、出力目標を達成した。

d) 高輝度青色半導体レーザー及び加工技術の開発

100W級青色半導体レーザーを3ビーム重畳させた300W級青色半導体レーザーマルチビーム集光ユニットを開発し、世界初となる高輝度青色半導体レーザー搭載複合加工機を実現した。また、ファイバー一本あたりの出力 200W、波長 400~530 n mで波長コンバイン方式を用いた高輝度青色半導体レーザー光源を開発し、更にこれを5本集約させ直径 400 μ mのファイバーに導入し出力 1kWとすることに成功した。開発した装置を用いて銅材料の高品質な溶接を行うための基礎実験を進めた。

e) レーザー加工プラットフォームの整備と運営、レーザー加工データベースの構築

テストプラットフォームの運用を開始した。また、それぞれの装置で統一的に評価する方法を策定の後、データベース構築を開始した。

(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一
再委託 早稲田大学)

2018年度は、前年度に引き続き以下のサブテーマを実施した。

a) 計測評価基盤技術

前年度までに設計および開発を進めた計測評価手法について、実際の加工に適用するための開発を進めた。材料評価は典型的な対象材料への適用を開始し、加工中観察や加工後計測評価において、試行をはじめた実サンプルへの適用など、加工プラットフォームの構築と連携した計測評価を開始した。また計測評価を行ったデータのアーカイブを試み、可能な情報からプロジェクト内で共有をはかることにより、データベースに必要とされる項目や、レーザー加工時のプロセスモニタリングの観察手法、加工状態を的確に表す物理パラメータの定義について議論と検討を進めた。

b) レーザー加工のための材料との相互作用データベース構築

開発してきたエリブソメトリー装置に関して、測定時間の短縮化や直線偏光反射率測定機能についての改良を行った。また分子軌道計算などによる吸収スペクトルの理論予測に着手した。これら手法を用いて各種材料のスペクトル計測を進めていき、光学係数データベースの雛形案を作成した。

(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)

テストプラットフォームで統一的に扱うべき材料や加工法について基準サンプルや標準作業に関する指針を作成した。2018年度時点でのレーザー加工技術ロードマップを策定した。

4. 2 実績推移

	2016年度	2017年度	2018年度
実績額推移 需給勘定（百万円）	2,000	2,113	2,487
特許出願件数（件）	2	24	27
論文発表数（報）	26	75	76
フォーラム等（件）	2	1	1

※2019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 須永吉彦を任命して、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ォトン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 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。

(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、前年度に引き続き1kgおよび1.5kg級の大型結晶の製作と、大口径素子の作製技術の開発を進め、高品質と大型化の両立に取り組む。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う。

(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を行い、試作光源を作製する。試作機は、①- (3) に加工技術の開発用として1台を提供し、1台を信頼性試験に用いる。

(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）

2019年度は、前年度試作した平均出力20W級の加工機システムを項目④の柏サイトに移設し稼働させ、ユーザーの実ニーズをもとに、加工技術の高度化開発の取り組みを開始する。これと並行して50W級加工機の光学系開発およびデータベースと連携した加工機システムの構築を行う。

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。

(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、250J級の高出力レーザー装置の設計および試作に着手する。10kW（1kJ×10Hz）級の高出力LDモジュールをベースにパルスエネルギー250Jに向けた後段のレーザー増幅部の構築を開始するとともに、冷却装置の構築も並行して進める。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、250J級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を確立する。

(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)

2019年度は、前年度に構築した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、ユーザー機関の実ニーズを踏まえながら新たな加工技術を検討し、応用実証の取り組みを開始する。各種サンプルの加工試験およ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む。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」

2019年度は、以下6つのテーマを継続し実施する。いずれも「レーザー技術の高度化」に重点的に取り組む。【テーマ(3)、(6)はそれぞれ新項目⑤のテーマ(1)、(2)へ移動した。】

- (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)

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させ、分割電極構造、ダブルホール構造等の最適化を行う。フォトニック結晶レーザー(PCSEL)の短波長化については、ワット級の高出力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)

2019年度は、前年度に引き続き、ストライプ加工PSS上でのAlNの結晶成長条件の検討を行い、AlNテンプレートの低転位領域上にAlGaN深紫外LD構造を作製しIQEを向上させる。さらに、高濃度p型クラッド層と高電流注入の検討を行い、UVA領域での深紫外LDの試作と評価を進める。

(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)

2019年度は、2次元レイアウトによって1cm角のチップ内に増幅器導波路を引き回した集積構造の検討を進め、高出力化と高ビーム品質化の両立を可能にする設計を確立する。アレイ化構造については、アレイ状の面発光レーザー増幅器をモジュール化した構造の検討を進める。

(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)

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する。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する。高出力量子ドットレーザーの実証については、共振器構造および導波路構造を最適化しパッケージ化に取り組む。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)

2019年度は、前年度に引き続き10ps級の利得スイッチLDの検討を行い、試作品を完成させ、歩留まりの評価を行う。1次試作で複数の構造設計パラメータの組み合わせから適正設計パラメータ組み合わせの探索を行い、2次試作で適正設計の素子の性能と歩留まりの定量評価を行う。また更なる高利得化と5ps級および1ps近傍の利得スイッチLDの開発と評価を進める。

(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)

2019年度は、既存の東京理科大FEL施設にて表面レーザー加工装置を用いて照射パラメータと加工速度・加工精度等の関係を調査する。開発する高エネ研の長波長高出力のFELシステムについては、光生成部である挿入光源(アンジュレータ)の設置と調整を行い、レーザー発振の出力試験を行うとともに、加工評価を開始する。高出力量子カスケードレーザーの開発では、新型活性層構造を用いた素子を試作し、1チップ当たり500mW以上の出力を実現する。また、集光レンズ光学系の設計を完了し、ビーム整形技術を開発する。加工プロセスの開発と評価については、レーザープロセス試験システムを用いて3種以上の樹脂材料に対するレーザー試験を実施し、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を確定する。

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」

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。

(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、高輝度化を行うとともに、プラットフォームでの加工試験を進める。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う。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る。また、研究実施項目①で開発する深紫外・短パルスレーザー加工機などのレーザー装置を加工プラットフォームに導入し利用を開始する。

(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—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する。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、計測評価の手法も向上させる。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)

ロードマップの更新を続け、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」

2019年度は、以下4つのテーマを本項目に移して実施する。「開発したレーザー技術の加工への応用実証」にそれぞれ重点的に取り組む。

(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)】

2019年度は、2017～18年度までに開発した先鋭化技術をエミッタアレイに展開する。回折格子等による波長合成素子を用いた光学系の設計と基礎実験を行ない、基本設計を完了させる。また、2018年度までに構築した400nm帯BTUを、レーザーアレイ素子の基本横モード発振に対応させる。80W級レーザーアレイ素子のn増評価により課題を抽出するとともに、信頼性評価に着手する。さらに、加工応用の検討に向け加工機の製作に着手する。

(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)】

2019年度は、波長変換出力0.5WタイプのUVレーザー開発に注力する。基本波出力2Wの安定出力に向け試作機の評価を継続し、信頼性の向上を図る。また、応用実証のためユーザー評価に向けた準備を行う。

(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】

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る。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に着手する。

(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】

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う。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開発を行う。さらに、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を調査し、適切なアプリケーションの検討も同時に進める。

5. 2 2019年度事業規模

委託事業 需給勘定 2,250百万円(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 複数年度契約の実施

既契約を延長する、または新規契約を締結する場合には、最長で2020年度までの複数年度契約を行う。

7. 2 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. 3 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

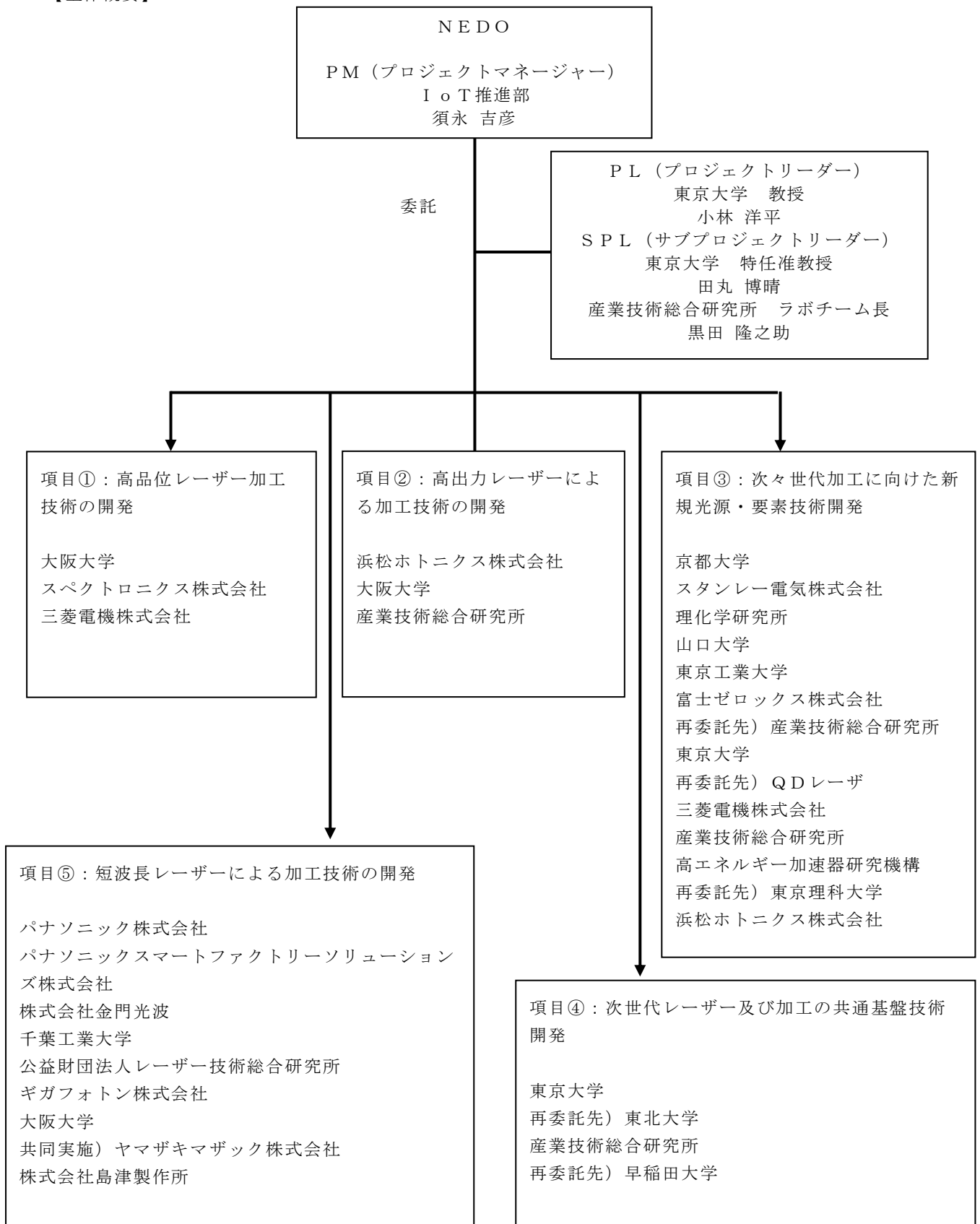
アドバイザー委員会を1～2回、推進会議を1～2回開催する。

9. 実施方針の改定履歴

(1) 2019年2月、制定

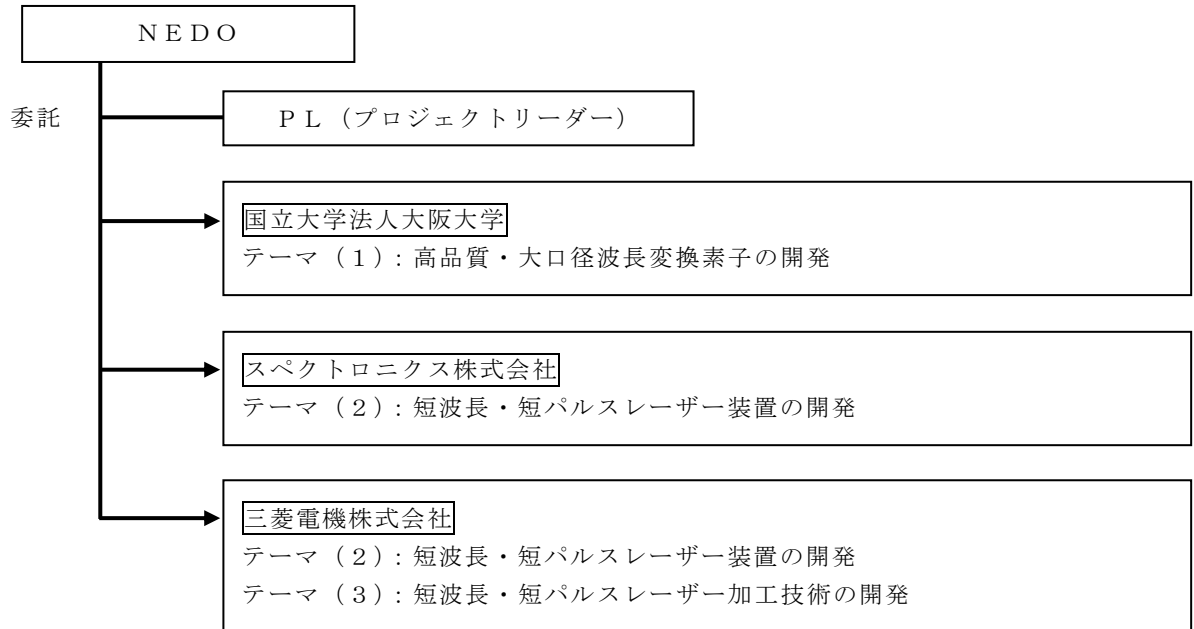
(別紙) 実施体制図

【全体概要】

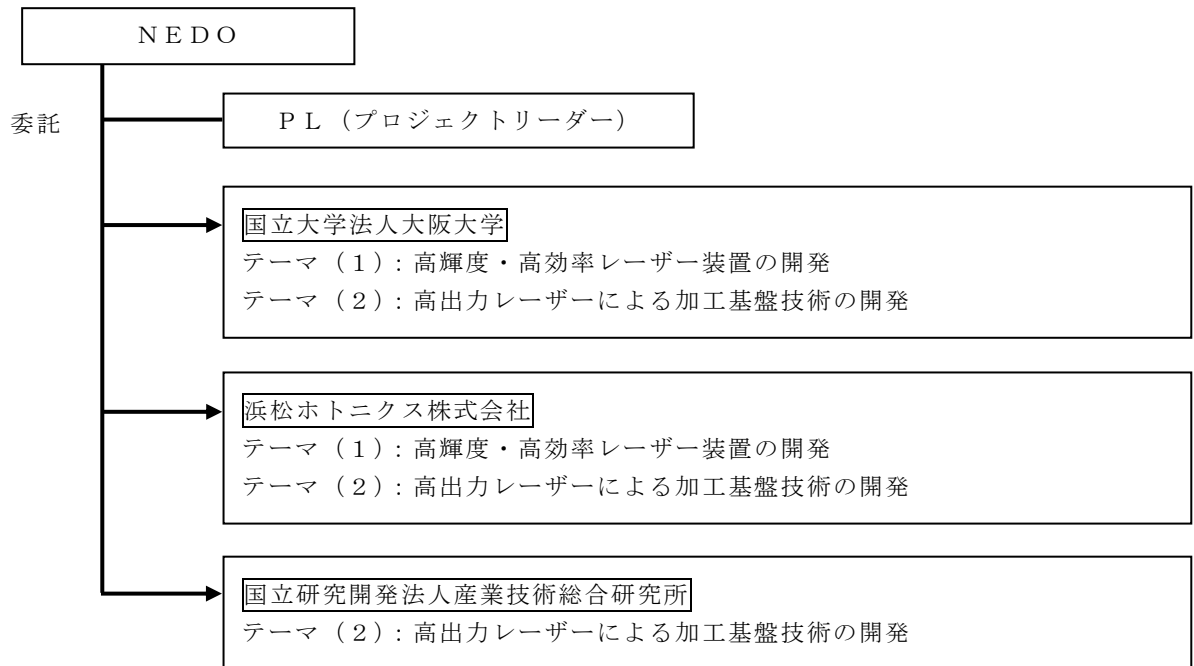


【項目別詳細】

< 研究開発項目①：高品位レーザー加工技術の開発 >

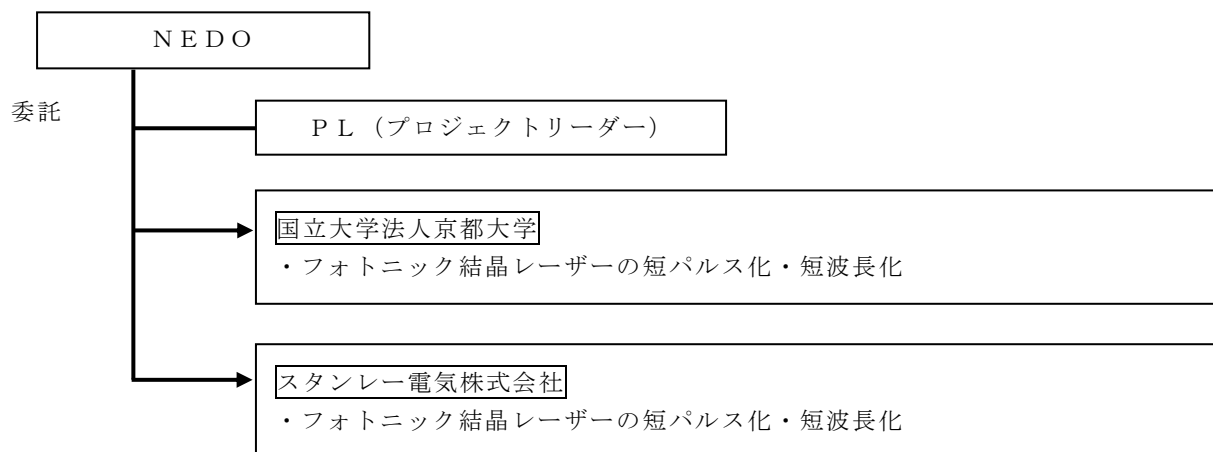


< 研究開発項目②：高出力レーザーによる加工技術の開発 >

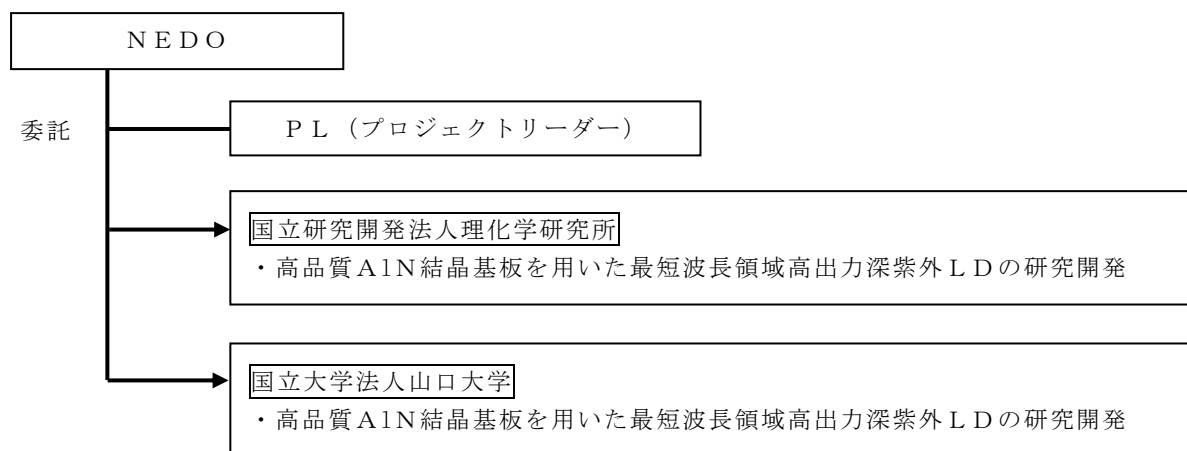


< 研究開発項目③：次々世代加工に向けた新規光源・要素技術開発 >

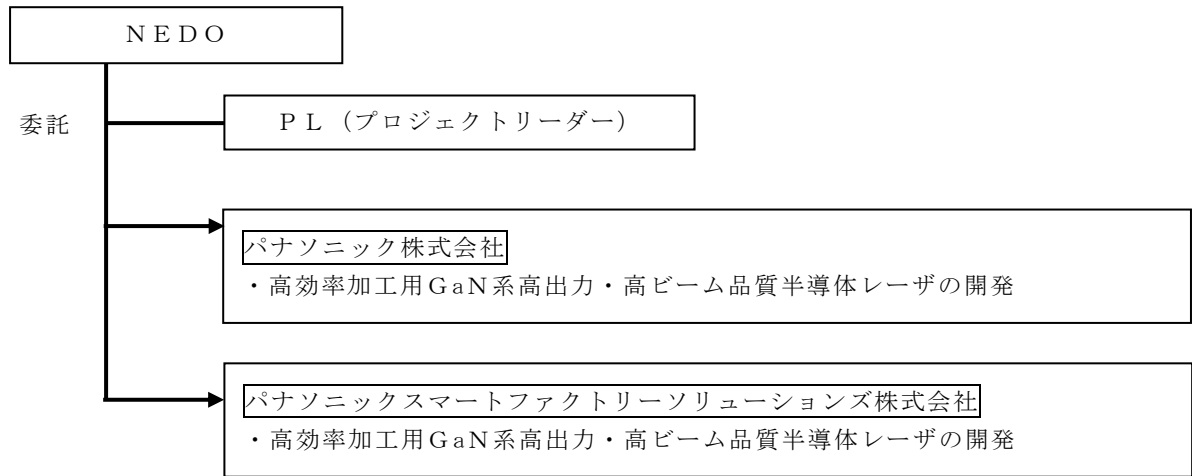
【テーマ（１）：フォトリソグラフィ結晶レーザーの短パルス化・短波長化】



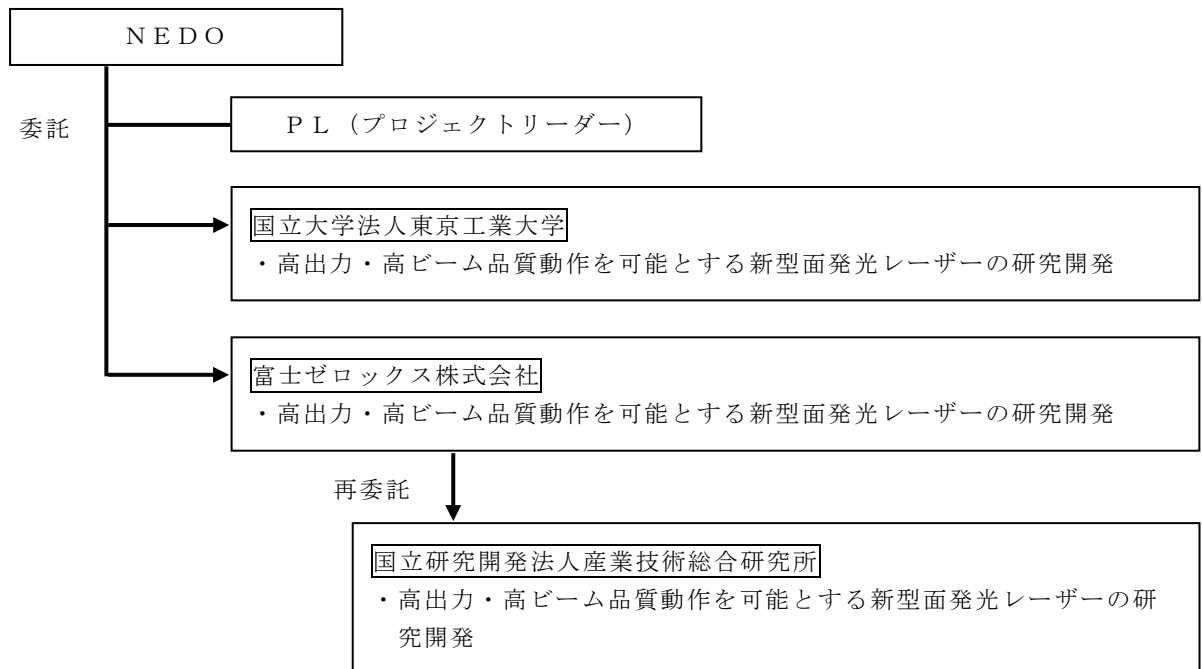
【テーマ（２）：高品質AlN結晶基板を用いた最短波長領域高出力深紫外LDの研究開発】



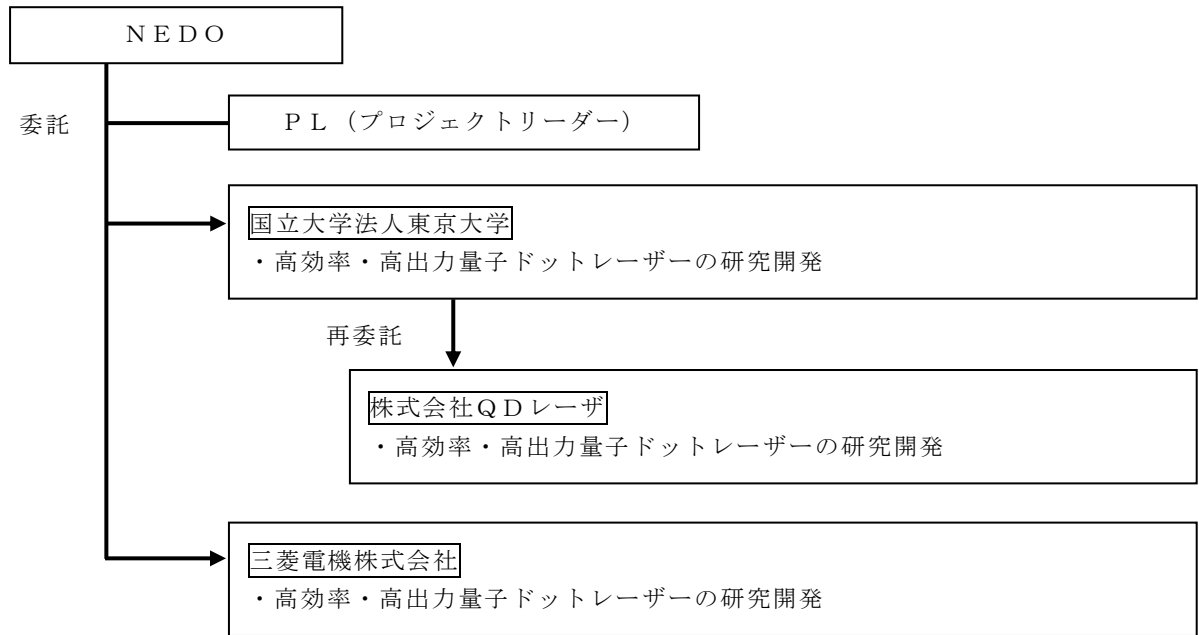
【テーマ（３）：高効率加工用 GaN 系高出力・高ビーム品質半導体レーザーの開発】（～2019年3月）



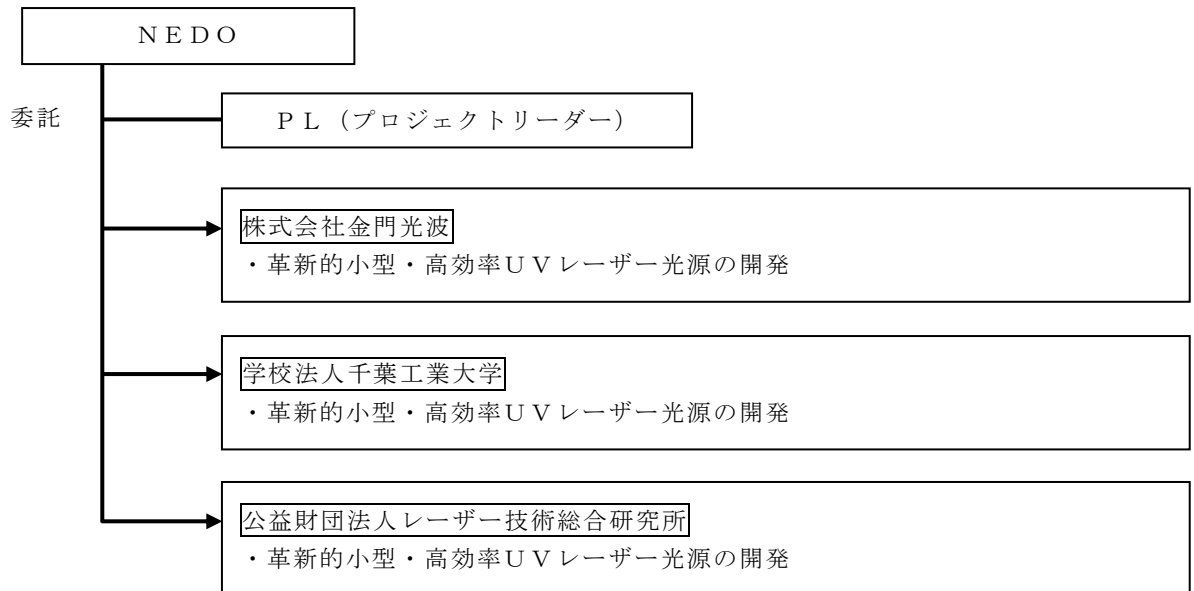
【テーマ（４）：高出力・高ビーム品質動作を可能とする新型面発光レーザーの研究開発】



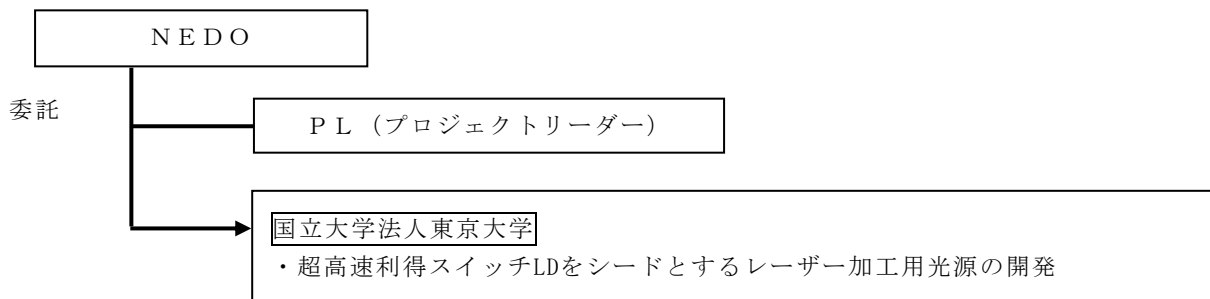
【テーマ（５）：高効率・高出力量子ドットレーザーの研究開発】



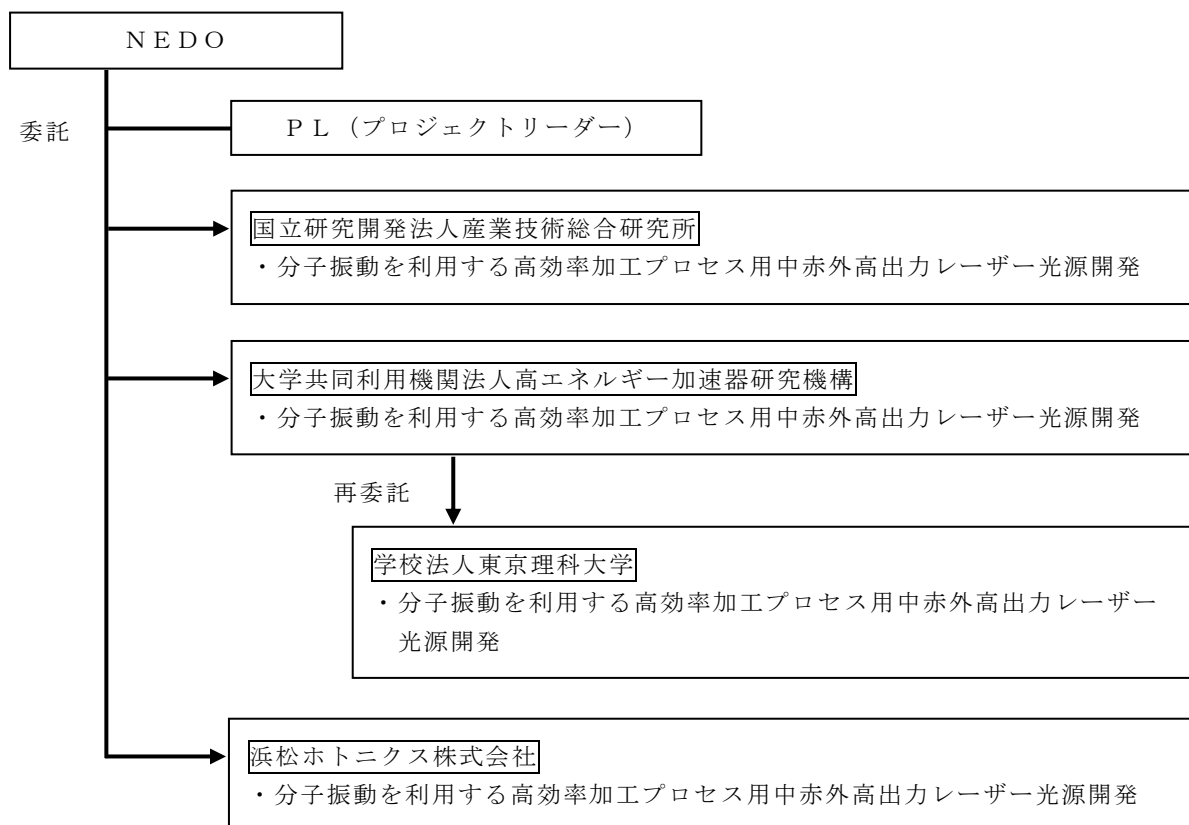
【テーマ（６）：革新的小型・高効率UVレーザー光源の開発】（～2019年3月）



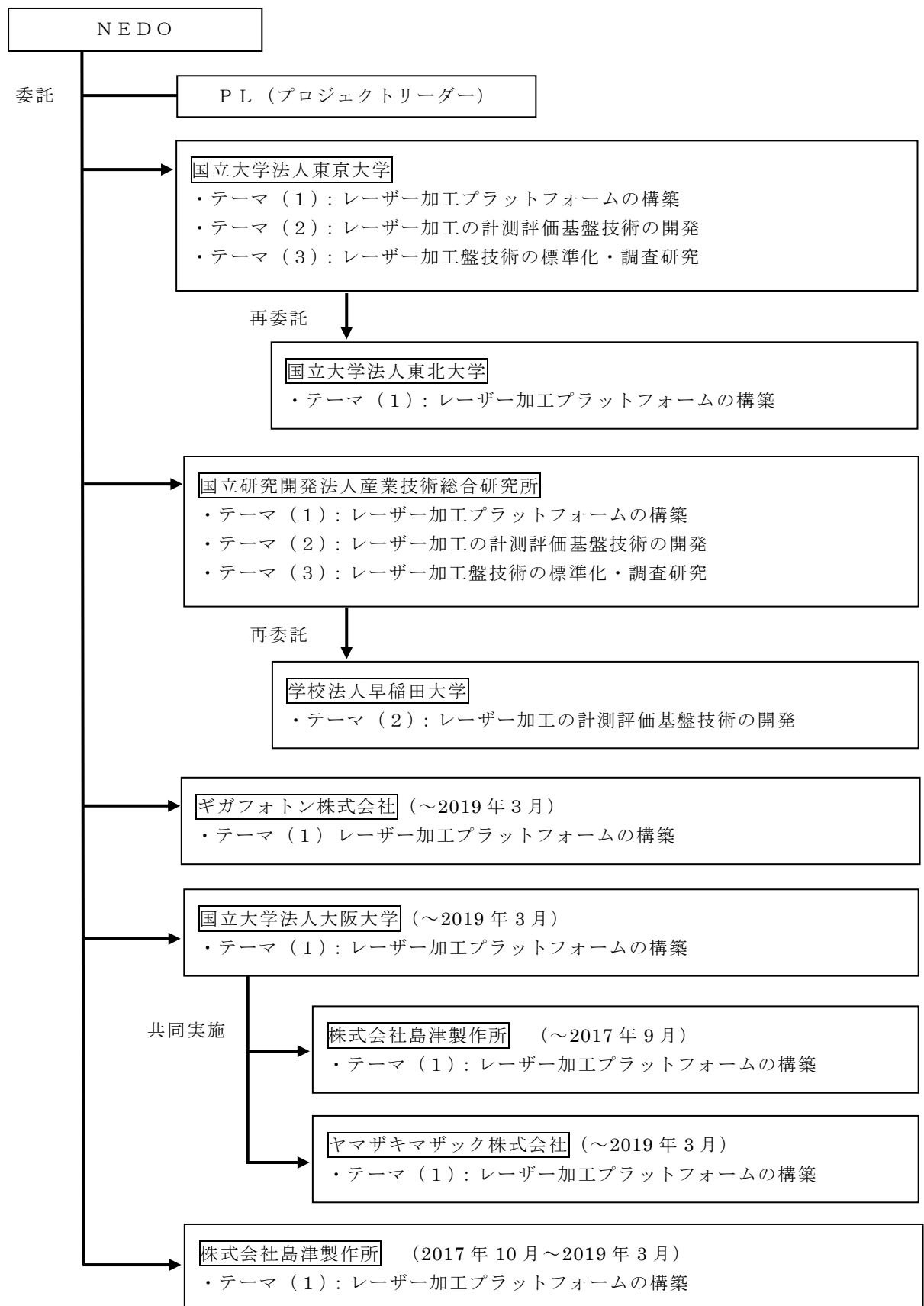
【テーマ（7）：超高速利得スイッチLDをシードとするレーザー加工用光源の開発】（2018年12月～）



【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～）

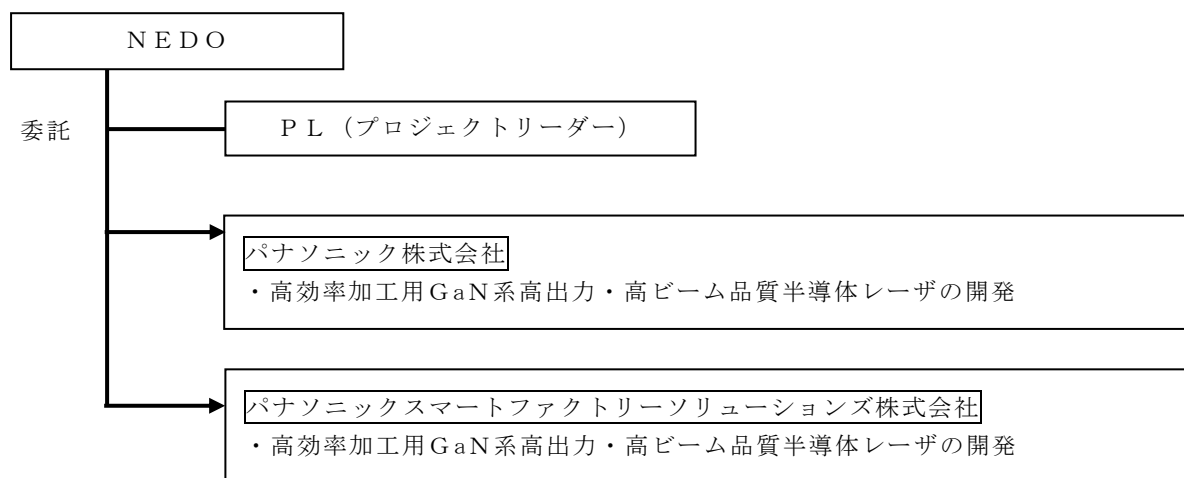


<研究開発項目④：次世代レーザー及び加工の共通基盤技術開発>

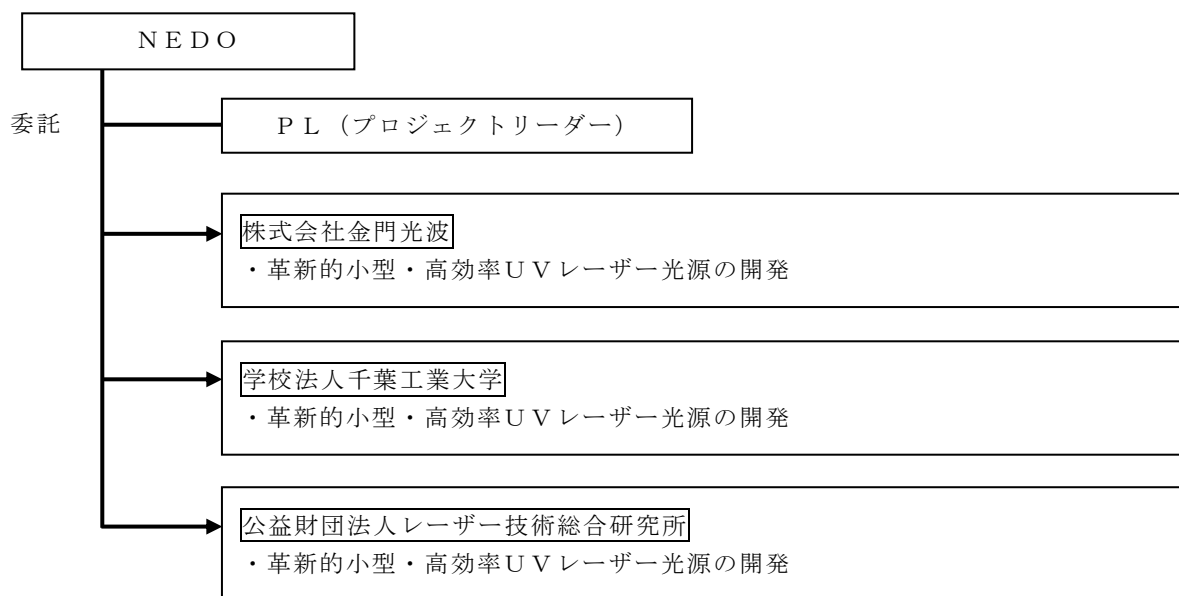


< 研究開発項目⑤：短波長レーザーによる加工技術の開発 > (2019年4月～)

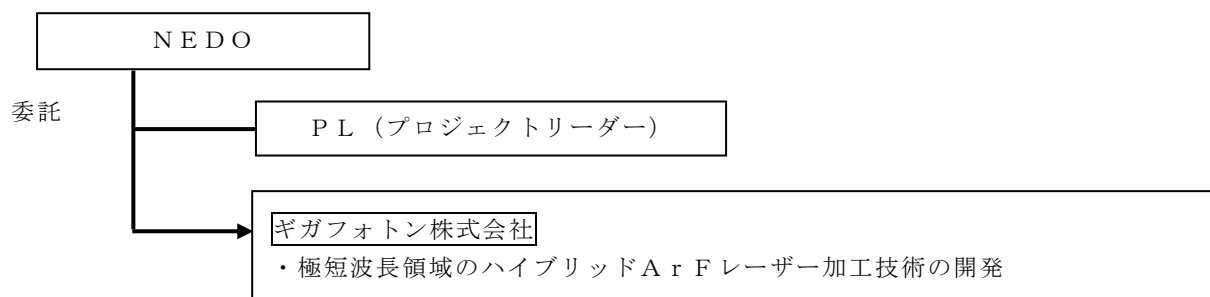
【テーマ(1)：高効率加工用GaN系高出力・高ビーム品質半導体レーザーの開発】



【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A r F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】

