

## 平成 2 4 年度実施方針

技術開発推進部

1. 件名：プログラム名      ロボット・新機械イノベーションプログラム  
          (大項目)      「次世代素材等レーザー加工技術開発プロジェクト」

2. 根拠法：独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第 1 5 条第 1 項第 1 号二

### 3. 背景及び目的・目標

#### (1) 研究開発の目的

我が国におけるものづくりは、高精度・高効率の加工技術と高度な材料技術等に支えられ、タクトタイムの短縮、省エネ・省資源の実現等により、製造コストを抑制し、国際競争力のある商品を生み出している。最近では、低炭素社会の実現に向けた次世代製品の軽量化、高強度化、高機能化に対応した次世代加工技術の必要性が年々高まっている。一方で、従来加工技術のブレークスルーとしてかつ先進材料の非接触、高品位、高速加工を実現する技術として、レーザー加工技術が急速な進展を見せており、これまでの生産技術を革新する新しい基盤技術となりつつある。しかしながら、2001 年度以降、我が国においてレーザー技術に関する国家プロジェクトが実施されてこなかった一方で、欧米では大規模な国家支援が継続されており、こうした背景を受けて、レーザー技術の最先端領域であり市場拡大が著しい半導体ファイバーレーザーの分野を欧米に席卷されているのが現状である。低炭素社会に資する次世代製品の実現に先進的な我が国ユーザー企業は、レーザー加工装置を海外から調達して、先進材料の新しい加工技術の開発に着手しているものの、装置の導入コスト高、メンテナンスサービスの遅延やコスト高、ブラックボックス化等により、安心して開発が進められないだけでなく、その導入競争においても海外ライバル企業から遅れをとる懸念が生じている。

そこで本プロジェクトでは、我が国におけるレーザー技術を集積することによって高出力・高品位半導体ファイバーレーザー技術の開発を推進し、他国に先駆けて革新的なものづくり基盤技術として、軽くて強いが加工難易度が極めて高い炭素繊維複合材料等の先進材料の加工や、次世代製品の短時間で高品質な低コスト製造を実現する加工技術の確立を目指す。これにより本プロジェクト成果を活用した半導体ファイバーレーザー及びそれを搭載したレーザー加工機の実用化・事業化が見込まれ、レーザー加工機の国内市場を獲得したと想定した場合、約 2,300 億円の市場が期待される。なお、本プロジェクトは、我が国のものづくりを支えるコア技術の国際競争力強化を図る「ロボット・新機械イノベーションプログラム」の一環として行う。

#### (2) 研究開発の目標

(最終目標) 平成 2 6 年度

本プロジェクトでは、次の①～③の 3 項目を最終目標とし、各項目間で連携しながら、「ユーザーニーズに適応した」かつ「国際競争力のある」高出力・高品位の半導体ファイバーレーザー発

振技術及びそれを利用した加工技術を開発するとともに、次世代製品に向けたレーザー加工の基盤技術を確立する。

#### 研究開発項目① レーザー高出力化技術の開発

##### 1) 半導体レーザーの高出力化技術、高信頼性化技術の開発

・波長 : 近赤外帯 (研究開発項目②のレーザー励起に適していること)

・シングルエミッタ

出力	:	20W
電気-光変換効率	:	65%
信頼性 (寿命)	:	50,000 時間以上

・アレイ

出力	:	300W
電気-光変換効率	:	60%
信頼性 (寿命)	:	50,000 時間以上

※アレイにおいて自動組み立てが可能であること。

##### 2) 半導体レーザーのファイバーカップル技術の開発

・シングルエミッタ

ファイバー結合効率 (ファイバーコア径 105  $\mu$ m、NA0.15 相当) : 90%以上

・アレイ

ファイバー結合効率 (ファイバーコア径 105  $\mu$ m、NA0.15 相当) : 70%以上

#### 研究開発項目② レーザー高品位化技術の開発

加工目的に適した下記のような性能を達成する一つ又は複数のレーザーを開発すること。

##### 1) ファイバーレーザーのパルス制御・高性能化技術の開発

- ・基本波長 : 1  $\mu$ m 帯
- ・ビーム品質 : シングルモード、 $M^2 < 1.5$
- ・平均出力 : 10 ~ 200 W
- ・パルス幅 : 0.5 ~ 200 ns
- ・周波数 : 1 ~ 1,000 kHz

上記1)の最終目標は下記条件を満たすことが必須である。ただし、パルスレーザー増幅 (ブースター) を用いずに下記2)の最終目標が達成できるのであればこの限りではない。

※ブースターの種光として使用できること。ただし、ブースターを用いなくても研究開発項目③で使用できる場合は、種光として使用できなくても良い。

※研究開発項目③「多波長複合加工技術の開発」で使用でき、かつパルス波形制御ができること。

##### 2) パルスレーザー増幅 (ブースター) 技術の開発

- ・基本波長 : 1  $\mu$ m 帯
- ・平均出力 : 1 ~ 2 kW
- ・パルス幅 : 0.5 ~ 100 ns
- ・周波数 : 1 ~ 150 kHz

※研究開発項目③「多波長複合加工技術の開発」で使用できるコヒーレンス制御が可能であること。

### 3) 高出力波長変換技術の開発

- ・kW 級基本波パルス光に対して、基本波から 2 倍高調波への変換効率：30%以上
- ・kW 級基本波パルス光に対して、基本波から 3 倍高調波への変換効率：10%以上

## 研究開発項目③ 多波長複合加工技術の開発

### 1) 切断接合技術の開発

- ・切断および接合加工速度：6m/min 以上（大型部材として 1m 級サイズ以上、中型・小型部材として 50cm 級サイズ以上の CFRP 基材に対して、基材厚み 3mm 以上）
- ・加工品位
  - 切断：切断面において反応層の厚みが 100  $\mu$ m 以下
  - レーザー切断処理試料の引張り強度を 10%未満の低減に抑制
  - 接合：CFRP と金属板との接合において、凝集剥離で引張りせん断強度 100MPa 以上

### 2) 表面処理技術の開発

- ・ワイドビーム：幅 500mm 以上、集光幅 40  $\mu$ m 程度（FWHM）@グリーンレーザー
- ・ビーム照射不均一性： $\pm 7\%$ 以内（平均強度分布）
- ・ビーム測定精度： $\pm 2\%$ 以内
- ・測定空間分解能：5  $\mu$ m 以下

### 3) 粉末成形技術の開発

- ・成形精度の向上と高速化
  - 成形精度： $\pm 0.1$ mm（100mm サイズ基準パーツ）
  - 成形時間：16 時間以内（高さ 100mm サイズ基準パーツ）
  - 引張り強度：チタン合金 840MPa 以上（生体部品用途）

（中間目標）平成 24 年度

## 研究開発項目① レーザー高出力化技術の開発

### 1) 半導体レーザーの高出力化技術、高信頼化技術の開発

- ・波長：近赤外帯（研究開発項目②のレーザー励起に適していること）
- ・シングルエミッタ

出力	:	15 W
電気-光変換効率	:	60%
信頼性（寿命）	:	20,000 時間以上

- ・アレイ

出力	:	200 W
電気-光変換効率	:	55 %
信頼性（寿命）	:	20,000 時間以上

※アレイにおいて自動組み立てが可能であること。

## 2) 半導体レーザーのファイバーカップル技術の開発

- ・シングルエミッタ

ファイバー結合効率（ファイバーコア径 105  $\mu\text{m}$ 、NA0.15 相当）： 80%以上

- ・アレイ

ファイバー結合効率（ファイバーコア径 105  $\mu\text{m}$ 、NA0.15 相当）： 60%以上

## 研究開発項目② レーザー高品位化技術の開発

### 1) ファイバーレーザーのパルス制御・高性能化技術の開発

- ・基本波長：1  $\mu\text{m}$  帯
- ・ビーム品質：シングルモード、 $M^2 < 1.5$
- ・平均出力：5 ~ 100 W
- ・パルス幅：0.5 ~ 200 ns
- ・周波数：1 ~ 1000 kHz

上記1) の中間目標は下記条件を満たすことが必須である。ただし、パルスレーザー増幅（ブースター）を用いずに下記2) の中間目標が達成できるのであればこの限りではない。

※ブースターの種光として使用できること。ただし、ブースターを用いなくても研究開発項目③で使用できる場合は、種光として使用できなくても良い。

※研究開発項目③「多波長複合加工技術の開発」で使用でき、かつパルス波形制御ができること。

### 2) パルスレーザー増幅（ブースター）技術の開発

- ・基本波長：1  $\mu\text{m}$  帯
- ・平均出力：200 ~ 700 W
- ・パルス幅：0.5 ~ 100 ns
- ・周波数：1 ~ 150 kHz

※研究開発項目③「多波長複合加工技術の開発」で使用できるコヒーレンス制御が可能であること。

### 3) 高出力波長変換技術の開発

- ・数百 W 級基本波パルス光に対して、基本波から 2 倍高調波への変換効率：20%以上
- ・数百 W 級基本波パルス光に対して、基本波から 3 倍高調波への変換効率：6%以上

## 研究開発項目③ 多波長複合加工技術の開発

### 1) 切断接合技術の開発

- ・切断および接合加工速度：2m/min 以上（CFRP 基材厚み 3mm 以上）
- ・加工品位

切断：切断面において反応層の厚みが 500  $\mu\text{m}$  以下

引張り強度を 15%未満の低減に抑制

接合：CFRP と金属板との接合において、凝集剥離で引張りせん断強度 50MPa 以上

### 2) 表面処理技術の開発

- ・高精度加工された異形レンズ類を用いた高度ホモジナイズ技術（基礎ホモジナイズ光学系技術）とワイドビーム整形光学系技術を開発するとともに、光学シミュレーション技術を確立

すること。

- ・大型異形光学部品の研磨加工技術を開発すること。
- ・ワイドビームの形状の評価、及び照射均一性を確保するためのビームプロファイラーを開発すること。

### 3) 粉末成形技術の開発

- ・真空下においても動作可能な粉末焼結積層造形機構を開発すること。
- ・異なる発振形式のレーザーを用いた複合レーザー照射方法を確立すること。
- ・複合レーザー照射による粉末積層造形メカニズムを明確にしつつ、加工プロセス（照射条件、予備加熱条件）を最適化すること。
- ・レーザー加工試料の評価技術を構築すること。

## 4. 実施内容及び進捗（達成）状況

技術研究組合次世代レーザー加工技術研究所 研究総括理事 尾形 仁士氏をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施した。実施体制については、別紙を参照のこと。

### 4. 1 平成23年度（委託または共同研究）事業内容

研究開発項目①レーザー高出力化技術の開発

#### (1) 半導体レーザーの高出力化技術、高信頼化技術の開発

平成22年度に導入した装置、および新たに導入する高精度LD素子組立装置、MOCVD（有機金属化学気相成長）装置を用いて、中間目標を達成可能な結晶成長、素子形成および組立方法の確立を行うとともに、高出力化、高信頼化に向けた結晶構造、素子構造の最適化のためには、結晶成長、出射端面の高品位化ならびにその安定化が必要不可欠となるため、プラズマCVD装置、反応性イオンエッチング装置、研磨装置、素子自動実装機を追加導入した。さらにホール測定装置、発振波長の面内分布を測定するための顕微フोटルミネッセンス測定装置、表面評価装置、エネルギー分散型X線分析装置、熱解析シミュレータを導入し、設計どおりの結晶構造・素子構造が得られているかどうか分析・解析、評価し、その情報を結晶成長プロセス、素子組立プロセスに迅速にフィードバックすることで高出力化・高信頼化検討を行った。

中間目標である信頼性（寿命）20,000時間を加速条件で確認するためには、多チャンネルでの評価が必要となり、そのための素子LD用・アレイLD用大電流駆動装置を導入し、評価体制を整えた。

（端面発光LD）中間目標達成に向けて一次試作および評価を実施し、問題点を抽出した。

（面発光型LD）平成22年度に得られたシミュレーション結果および基礎実験結果で、低消費電力化、光出力熱飽和の緩和の観点から、DBR層の最適化による低電圧化が非常に重要であることが明らかとなった。この知見を活かして、「100 $\mu$ m $\phi$ 径の単素子で600mA時の動作電圧を現行の3.5Vから3.0V以下へと低減し、単素子あたりのジュール熱を20%以上低減させる」ための結晶構造最適化に着手した。アレイ化の試作に着手し、単素子での試作成果を活用しながら、アレイ化に伴う問題点の抽出を行った。低電圧化による光出力熱飽和の改善については、新たに追加導入するレーザーダイオードパルス駆動電源、パルス特性評価用オシロスコープ、光ス

ペクトラムアナライザを用いて、CW 駆動時との違いを比較・検討することで、低電圧化による効率向上を評価できる体制を整えた。

(共同研究先：浜松ホトニクス (株))

## (2) 半導体レーザーのファイバーカップル技術の開発

高精度ファイバーモジュール自動調芯装置を導入し、NA0.15 ファイバーを使用した調芯固定技術を検討した。調芯固定前の結合効率としてシングルエミッタで中間目標値である結合効率 80%をクリアすることにより、調芯技術確立の確認を行った。

アレイについては、NA0.15 ファイバーを使用したバラック状態での調芯を行い、設計値と実測値との比較を行うことで、設計の問題点を明らかにした。

平成 22 年度に設計した高出力光の調芯固定に耐えうるコネクタを試作した。

(共同研究先：浜松ホトニクス (株))

## 研究開発項目② レーザー高品位化技術の開発

### (1) ファイバーレーザーのパルス制御・高性能化技術の開発

#### 1) ファイバーレーザーのパルス制御技術の開発

3~10ns、75kHz のシードレーザーについては後段増幅器での波長多重化による出力の増大を進めるために新たに波長が異なる DFB 半導体レーザーを導入した。また前年度に試作を進めたパルス制御機構の改良を進めて、任意波形生成が可能なプログラムの基本プラットフォームを完成させた。

100ns、1MHz のシードレーザーについては、パルス幅を 10ns まで短くすることで、増幅した際にパルスピークがより高くなる方向の光源の最適化開発を進めた。

(委託先：国立大学法人大阪大学、技術研究組合次世代レーザー加工技術研究所)

#### 2) ファイバーレーザーのモジュール化技術の開発

シングルモードファイバー増幅器とコア径 15~30  $\mu$ m LMA ファイバー増幅器により 10ns、1MHz、50W 以上のファイバーレーザーを開発した。またフォトリソククリスタルファイバー (PCF) 増幅器の技術開発を進展する 22 年度に引き続きレーザーの性能を評価するための加工用レーザー実践型評価システムを構築し、評価実験を行った。また、当該システムの性能向上のため、CW レーザーとの結合光学系や掃引照射システムの設計・基礎実験を行うとともに、レーザー出力向上のために、PCF や励起 LD、結合光学系の設計・基礎実験を行った。

(委託先：国立大学法人大阪大学、技術研究組合次世代レーザー加工技術研究所)

#### 3) ファイバーレーザーの高出力化技術の開発

種光源、ファイバー前置増幅器及びファイバー主増幅器を結合したファイバーレーザーシステム 1 を構築し、出力 100W までの動作試験を行った。

(委託先：国立大学法人大阪大学、技術研究組合次世代レーザー加工技術研究所)

#### 4) 励起半導体レーザーの高速変調とその応用技術の開発

変調可能な励起半導体レーザーの開発においては、波長 900nm 帯のファイバーレーザー励起用ファイバー結合型半導体レーザーの開発を進めた。特性としては出力 25W NA=0.15、コア径 105 $\mu$ m において、信頼性（寿命）50,000 時間以上を確保する条件で、変調パルス幅 5 $\mu$ sec~CW、立ち上がり立ち下がり速度：2 $\mu$ sec 以下の変調特性を実現する初期特性を目標とした。23 年度の開発では初期特性を実現するモジュールの実現のために試作のための製造装置、特性評価装置の調達および技術調査を実施した。

変調励起半導体レーザーのファイバー増幅器への応用開発においては、前項の(4)-1)で開発された半導体レーザーを使って、②-(1)1)で開発を進めている MOPA 構成のファイバーレーザーにおいて、最も消費電力が大きい最終段ファイバー増幅部分において連続駆動の場合と比較して 50%以上の効率向上を実現する事を目標とした。23 年度の研究では装置化のための大電流高速変調可能なレーザー駆動回路の設計開発を実施した。

QCW ファイバーレーザーの開発においては、大電流高速変調が可能な励起半導体レーザーを連続駆動用ファイバーレーザーキャビティの励起に適用し、QCW (Quasi Continuous Wave ; 疑似連続駆動)動作するファイバーレーザーを実際に試作した。目標とする特性は平均出力 250W で、パルス駆動時ピーク出力 700W、パルス幅 200 $\mu$ sec~CW、中心波長 1080nm $\pm$ 20nm とした。レーザー装置として筐体に実装されたレーザーを試作し、加工拠点での評価のために提出した。また、デリバリーファイバーの接続装置となる、ファイバーファイバー結合器の開発に着手した。23 年度では技術調査とコンセプト基礎検討、設計作業を進めた。

(共同研究先：古河電気工業株式会社、再委託先：東北学院大学)

#### (2) パルスレーザー増幅（ブースター）技術の開発

##### 1) kW 級ブースター増幅器の開発

試作増幅器の試験結果と改良された計算コードに基づいて、集積化ブースター増幅器の試作機的设计・製作を行った。現有の 50W 級種光源を用いて、集積化ブースター増幅器の動作特性を調べた。これらの成果に基づいて、kW 級集積化ブースター増幅器を設計した。また、ブースターのコンパクト化については、平成 22 年度の検討に基づき増幅器ヘッドと LD 照射光学系のコンパクト化設計・試作を行うとともに、ビーム品質の高精度評価装置を整備した。(委託先：国立大学法人大阪大学、技術研究組合次世代レーザー加工技術研究所)

##### 2) アニールリング用ブースター増幅技術の開発

平成 22 年度に着手した増幅システムの前半部の試作を完了させた。増幅器ヘッドの構造最適化をおこない、増幅システムの後半部（主増幅器 2（2 段目））を試作した。

(委託先：国立大学法人大阪大学、技術研究組合次世代レーザー加工技術研究所)

#### (3) 高出力波長変換技術の開発

### 1) 波長変換モジュール化技術の開発

アニーリング用レーザーの波長変換モジュールの開発においては、平成22年度に得られた実験結果を基に、波長変換モジュールの詳細設計を行い、波長変換結晶、冷却システム、伝送光学素子及び制御素子などの部品から構成される波長変換モジュールを試作した。

ファイバーレーザーの波長変換モジュールの開発においては、平成22年度得られた実験結果を基に波長変換モジュール化技術開発を行った。平成23年度前半は、開発した波長変換モジュールに、既存のレーザー光を入射し、波長変換特性を評価した。平成23年度後半には、②-(1)-2)で開発した50W級のファイバーレーザーを導入し、波長変換モジュールの波長変換特性を評価した。得られた結果に基づいて100W級レーザー用波長変換モジュールの開発を進めた。

(委託先：国立大学法人大阪大学、技術研究組合次世代レーザー加工技術研究所)

### 2) 波長変換の高効率化技術の開発

平成22年度の成果に基づき、波長変換装置の改良を行い、基本波入力を増大させて3倍高調波変換の特性を明らかにした。併せて、3倍高調波変換の試験を開始した。波長変換装置の熱解析を実施した。ビーム特性の詳細な計測を実施した。波長変換用の計算コードの改良を行った。また、波長変換のさらなる効率向上については、平成22年度の検討に基づきブラスターのビーム品質の効果やレーザーの伝搬方向の温度分布の評価をし、結晶長と入射レーザー強度の最適化を図るとともに、波長変換特性に対する結晶の品質と無反射コートの影響を明らかにした。

(委託先：国立大学法人大阪大学、技術研究組合次世代レーザー加工技術研究所)

### 3) 加工試験のための整備

平成22年度の方針に基づき、現有パルスYAGレーザーの改造(CW動作化)を実施するとともに、CFRP加工特性評価のための実験エリアの整備(ブースと現有パルスYAGレーザーからのパルス供給光路の設置、2倍高調波、3倍高調波変換器及びそれらのモニターの設置)を実施した。また、これと併行して、現有パルスYAGレーザーによる加工試験を開始した。

(委託先：国立大学法人大阪大学、技術研究組合次世代レーザー加工技術研究所)

## 研究開発項目③ 多波長複合加工技術の開発

### (1) 切断接合技術の開発

#### 1) 複合材料高速切断接合システム技術の開発

「高速掃引リモート加工ヘッドの開発」においては、高速高出力重畳型スキャナ装置を製作し、冷却構造、レンズ材料選定、色収差補正を最適化した。

「高速高精度制御加工ノズルの開発」においては、高速倣い技術を開発するための倣いセンサー評価システムを設計製作し、最適倣いシステムを構築した。

(委託先：技術研究組合次世代レーザー加工技術研究所)



## 2) 複合材料加工プロセス・評価技術の開発

「多波長複合レーザー加工プロセスの最適化」においては、新日本工機が主導して加工点のリアルタイム画像を高速ビデオカメラを用いて観測した。加工の進行状態と同時に、加工点の音響信号、反応光（赤外光、可視光など）を収集するモニター技術の開発をミヤチテクノスが行い、時間分解型分析法を駆使した加工プロセスのその場観察法を産業技術総合研究所が確立した。三菱化学が最先端の各種 CFRP 材を準備・提供した。さらに、高出力型 3 倍高調波パルス光源を用いた熱損傷抑制型レーザー重畳照射技術開発を産業技術総合研究所が主導して検討着手するとともに、大阪大学レーザー研の現有パルス YAG レーザーを改造した装置での加工検討を産業技術総合研究所が主導して実施した。古河電工開発品の 700W ピーク出力の QCW ファイバーレーザーを用いた重畳型高速加工技術開発を、産業技術総合研究所が主導して検討着手した。これらの情報を基に、加工反応や加工点からの信号を基に加工プロセスの概要を掌握し、加工プロセス条件の最適化ならびに加工高品位化の問題点抽出を 4 機関合同で進めた。

「レーザー加工に適した CFRP 材料の構造最適化及び加工試料評価技術」においては、射出成形板およびプリプレグ積層板から構成される CFRP 材料を用いて、レーザーの諸特性（波長、パルス幅、エネルギー、出力等）、加工速度などを変えたレーザー切断や接合加工後の力学特性を把握するため、産総研において JIS K7165（ASTM-D3039）等に準拠した静的引張試験、疲労試験、高温耐久性試験を行い、データを取得した。また、複合負荷環境下（高温、引張、水）での耐久性試験実施のため既存試験装置の改造を行った。レーザー加工モニタリング技術では三菱化学と産総研が A E 評価によりデータを取得する。試料評価結果は速やかに CFRP 材料の構造最適化に反映させ、三菱化学㈱が最適化 CFRP 材料を既存素材の組み合わせにより試作した。

※ L C A : ライフサイクルアセスメント (Life Cycle Assessment) の略。製品や製造工程に対する、環境影響評価の手法。

(委託先：技術研究組合次世代レーザー加工技術研究所)

## (2) 表面処理技術の開発

### 1) 高度ホモジナイズワイドビーム成形の開発

入手可能なレーザー源を用いた机上実験（ミニモデル実験）により、ホモジナイズ光学部位を中心としたワイドビーム光学系の実験的検討を実施し、光学性能の改善点の抽出を行った。これをベースに改善点を盛り込んだホモジナイズワイドビーム光学系を設計し、これを構成する大型レンズ一式の研磨・検査を行った。

(共同研究先：(株) アルバック)

### 2) 大型光学部品研磨技術の開発

初年度に引き続き、レンズ研磨装置開発を行った。コヒーレント性の高いレーザー機器に大口径レンズが搭載される場合、レンズ表面の面精度や微小凹凸が最も重要な仕様となる。実際のレーザー設置環境を模擬したベンチテストを設けて、レンズ研磨評価の指針を確立し、レンズメーカーでの出荷検査工程に組み込み、ワイドビームを形成するための光学系を構成するレ

ンズ一式を製造した。

(共同研究先：(株) アルバック)

### 3) 高精度ビーム評価技術の開発

集中研で開発された発振器、高度ホモジナイズ光学系と、大型のワイドレンズ、ビームプロファイラーをシステム化する設計を行った。制御要素、ソフト開発、連動動作、安全対策、終夜運転監視体制なども考慮して、連続運転を行うシステムを設計した。

集中研において開発されたレーザー発振器の単体試験を含め、システム要素の評価を行った。

(共同研究先：(株) アルバック)

### (3) 粉末成形技術の開発

アスペクトは平成22年度に試作した小型プラットフォームの装置評価と成形評価を実施した。産総研は小型プラットフォームの真空下におけるチタン粉末の成形物を分析し、成形条件と成形物の組織、構造、密度、機械物性との関係を把握することでアスペクトと共同で複合レーザー照射による粉末造形メカニズムの明確化と加工プロセスの最適化を実施した。さらに、成形の高精度化と高速化を実現するために実用サイズプラットフォームの成形環境を真空にした設計を実施した。小型プラットフォームには②-(1)-4)で開発される古河電工の700W ピーク出力のQCWファイバーレーザー装置の適用も検討した。

(委託先：技術研究組合次世代レーザー加工技術研究所)

## 4. 2 実績推移

	22年度	23年度
実績額推移		
① 一般勘定 (百万円)	561	1492
特許出願件数 (件)	1件	7件
論文発表数 (報)	3件	47件

## 5. 事業内容

技術研究組合次世代レーザー加工技術研究所 研究総括理事 尾形 仁士氏を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 平成24年度 (委託または共同研究) 事業内容

研究開発項目① レーザー高出力化技術の開発

#### (1) 半導体レーザーの高出力化技術・高信頼化技術の開発

(端面発光LD) 平成23年度に抽出した問題に関して、対策を施した第二次試作を行い、中間目標であるシングルエミッタ15W、アレイ200Wの出力を実現する。またアレイ用特性評価装置を導入し、プロセスされたアレイを早い段階で選別することにより、効率的な開発体制を築く。

(面発光型 LD) 赤外線顕微鏡を導入して試作した面発光 LD アレイの冷却温度分布を評価し、熱的特性を改善することにより、アレイ 出力 200W を達成する。

(共同研究先：浜松ホトニクス (株))

## (2) 半導体レーザーのファイバーカップル技術の開発

シングルエミッタにおいては、平成 23 年度の調芯技術の確立に引き続き、固定技術を確認することで、中間目標値である結合効率 80% をクリアしたファイバー出力型モジュールについて評価を行う。

アレイについては、平成 23 年度に明らかとなった設計の問題点を解決し、調心および固定技術に活かすことで、中間目標である結合効率 60% をクリアしたファイバー出力型モジュールを実現する。

(共同研究先：浜松ホトニクス (株))

## 研究開発項目② レーザー高品位化技術の開発

### (1) ファイバーレーザーのパルス制御・高性能化技術の開発

#### 1) ファイバーレーザーのパルス制御技術の開発

平成 23 年度に引き続き古河電気工業が大阪大学接合科学研究所を拠点としてシードレーザーの特性向上を推進し、②- (1) - 2) 「ファイバーレーザーのモジュール化技術の開発」のモジュール化および②- (1) - 3) 「ファイバーレーザーの高出力化技術の開発」の成果で得られる出力波形に対しシードレーザーのパルス形状をフィードバック制御する総合動作試験と全体最適化の作業となる。

2 種類のシードレーザーに関してはファームウェア、ソフトウェアの改良を主体に行い、制御回路のハードウェア設計にこれを反映させる。3~10ns のシードレーザーについては波長多重化も行われるのでその同期動作も配慮した設計を進める。10~200ns のシードレーザーに関してはパルス幅可変機能と任意波形生成機能についての最適化を行う。

シードレーザーの開発に関しては古河電気工業が行い、大阪大学接合科学研究所がその特性評価を進める。

大阪大学接合科学研究所は、古河電気工業に協力して、開発されたそれぞれのシードレーザーの評価を行い、それらのデータをシードレーザー開発にフィードバックする。これにより、②- (1) - 2) 「ファイバーレーザーのモジュール化技術の開発」および②- (1) - 3) 「ファイバーレーザーの高出力化技術の開発」の中間目標を達成するために必要なパルス幅可変機能および任意波形制御技術開発を推進する。

(委託先：国立大学法人大阪大学、技術研究組合次世代レーザー加工技術研究所)

#### 2) ファイバーレーザーのモジュール化技術の開発

古河電気工業は引き続きパッケージ化されたレーザーモジュールの信頼性も含めた特性の安定

化に関する開発を推進する。②- (1) - 1)「ファイバーレーザーのパルス制御技術の開発」の成果で得られた10~200nsの範囲でパルス幅可変、さらに任意波形発生が可能なシードレーザーに対して最適動作するような出力100Wの多段Ybファイバー増幅器を作製し、パッケージ化する。半導体レーザーの信頼性試験設備を導入する事により、改良を進めた励起光源の信頼性の基礎特性を確認する。

片岡製作所は、PCFを用いた光増幅技術開発を行い、中間目標である10~200ns、1MHz、150W出力を達成する。PCFを用いた増幅技術の開発は、②- (1) - 3)「ファイバーレーザーの高出力化技術の開発」を行う大阪大学レーザーエネルギー学研究中心と連携して進める。

大阪大学接合科学研究所は、開発されたファイバーレーザーからのビームを評価するとともに、古河電気工業および片岡製作所と協力して②- (3) - 1)「ファイバーレーザーの波長変換モジュール化技術の開発」の中間目標の波長変換効率を達成するために必要なビーム特性を有したファイバーレーザーモジュールを開発する。

(委託先：国立大学法人大阪大学、技術研究組合次世代レーザー加工技術研究所)

### 3) ファイバーレーザーの高出力化技術の開発

ファイバーレーザーシステム1の励起条件と伝搬モード制御を最適化し、中間目標(出力150W、パルス幅3~10ns、繰り返し周波数75kHz、 $M^2 < 1.5$ )を達成するとともに、ブースター増幅器への注入に供する。これと併せて、もう1台のファイバーレーザーシステム2を構築する。2台のファイバーレーザーシステムを同一波長で動作させて、低出力にて2ビーム偏光合成法の試験を行い、1本に合成されたビームの安定性やビーム品質等の課題を明らかにするとともにその解決手法を開発する。さらに、ファイバーレーザーシステム2をファイバーレーザーシステム1と異なる波長で動作させ、低出力にて2ビーム波長合成法の試験を行い、1本に合成されたビームの安定性やビーム品質等の課題を明らかにするとともに最適な波長合成手法を開発する。

(委託先：国立大学法人大阪大学、技術研究組合次世代レーザー加工技術研究所)

### 4) 励起半導体レーザーの高速変調とその応用技術の開発

#### a) 変調可能な励起半導体レーザーの開発

引き続き波長900nm帯のファイバーレーザー励起用ファイバー結合型半導体レーザーの開発を進める。特性としては出力25W NA=0.15、コア径105 $\mu$ mにおいて、信頼性(寿命)50,000時間以上を確保する条件で、変調パルス幅5 $\mu$ sec~CW、立ち上がり立ち下がり速度:2 $\mu$ sec以下の変調特性を実現する初期特性を目標とする。24年度の開発ではレーザーモジュールの試作を行い初期特性を確保すると共に、連続駆動試験を通じて信頼性の評価も開始する。

#### b) 変調励起半導体レーザーのファイバー増幅器への応用開発

前項の4)-a)で開発された半導体レーザーを使って、②-(1)①で開発を進めているMOPA構成のファイバーレーザーにおいて、最も消費電力が大きい最終段ファイバー増幅部分において連続駆動の場合と比較して50%以上の効率向上を実現する事を目標とする。24年度の開発ではレーザーモジュールの試作を行い初期特性を確保すると共に、100個以上のレーザーモジュールの試作を行い連続駆動試験を通じて信頼性の評価を完了し実用上問題ないレベルでの信頼性を確保させる。

#### c) QCW ファイバーレーザーの開発

QCW レーザー本体開発（古河電気工業株式会社）

4)-a)で開発した励起半導体レーザーを連続駆動用ファイバレーザーキャビティの励起に適用し、平均出力 250W、パルス駆動時ピーク出力 1600W、パルス幅 200  $\mu$  sec $\sim$ CW、中心波長 1080nm $\pm$ 20nm を実現するレーザーの開発を行う。23 年度で得られた試作結果を基に、加工特性を考慮したレーザー設計を行い、実際に筐体を実装されたレーザーを試作し、加工拠点での評価のために提出する。

ファイバー-ファイバー結合器（東北学院大学）

デリバリーファイバーの接続装置であるファイバー-ファイバー結合器の試作を行い、本体装置との結合実験を実施する。

（共同研究先：古河電気工業株式会社、再委託先：東北学院大学）

### （2）パルスレーザー増幅（ブースター）技術の開発

#### 1) kW 級ブースター増幅器の開発

大阪大学レーザーエネルギー学研究センターが kW 級集積化ブースター増幅器を製作し、②-（1）-3)「ファイバーレーザーの高出力化技術の開発」の成果に基づき供給されるファイバーレーザーシステムと結合し、3 機関が下記の分担で協力して動作試験を行う。ファイバーレーザーシステム 1（最大出力 150W）との結合試験では、中間目標である 0.7kW 程度までの出力において浜松ホトニクスが中心となって利得特性、冷却特性、及びビーム特性を明らかにして、大阪大学レーザーエネルギー学研究センターがビーム伝搬光路を改良し、レーザー技術総合研究所が LD 励起分布に起因するセラミック中での温度分布の低減方法を考案する。さらに、大阪大学レーザーエネルギー学研究センターが偏光合成されたビームを用いて低出力で増幅試験を行い、偏光合成されたビームに対する伝搬光路の最適化を図る。これらの成果に基づき、300W 入力時の増幅特性を予測し、最終目標達成のための指針を得る。

また、ブースターのコンパクト化については、平成 23 年度に試作した装置を試験し、当初設計に基づく試作増幅器と性能比較することによって、ブースター増幅器の最終設計にフィードバックする。

（委託先：国立大学法人大阪大学、技術研究組合次世代レーザー加工技術研究所）

#### 2) アニールリング用ブースター増幅技術の開発

大阪大学レーザーエネルギー学研究センターは、インフラ設備の提供、必要部品調達を継続する。

浜松ホトニクスが中心となって増幅システムを完成させ、その光源性能を評価する。

大阪大学レーザーエネルギー学研究センターはその評価結果について検証し、出力、ビーム品質、ビーム出射方向の安定性等の改善を図るための指針を提示する。

また当該増幅システムの仕様が中間目標に達するのを確認した後、浜松ホトニクスは、アルバックからの設計指針に基づき、アニール加工の実用化に必要なシステム性能（筐体の強靭性、防振対策などの安定性）を付加する。

(委託先：国立大学法人大阪大学、技術研究組合次世代レーザー加工技術研究所)

### (3) 高出力波長変換技術の開発

#### 1) 波長変換モジュール化技術の開発

「アニーリング用レーザーの波長変換モジュールの開発」においては、浜松ホトニクスはアニーリング用波長変換モジュールの試作を完了し、その特性を評価する。大阪大学レーザーエネルギー学研究中心はその結果について検証する。アニーリング処理実用化の観点からアルバックが波長変換モジュールの総合性能を評価する。評価結果に基づいて改良を行った後に、浜松ホトニクスにより②- (2) - 2) の加工システム中に本波長変換モジュールの組込を行う。

「ファイバーレーザーの波長変換モジュールの開発」においては、大阪大学接合科学研究所はPCFにより増幅されたレーザー光（基本波）を開発する波長変換モジュールを用い、中間目標値である波長変換効率、2倍高調波：20%、3倍高調波：6%を達成する。具体的には、②- (1) - 2) 「ファイバーレーザーのモジュール化技術の開発」で開発した加工用レーザー実践型評価システムを用い、得られた2倍高調波及び3倍高調波の評価結果をファイバーレーザーモジュール開発と波長変換モジュール開発にフィードバックして開発を進め、波長変換効率の中間目標値を達成する。

古河電気工業と片岡製作所は、大阪大学接合科学研究所に協力し、波長変換効率の中間目標値を達成するためにファイバーレーザーモジュールから出力されるレーザービーム特性の最適化を行う。

(委託先：国立大学法人大阪大学、技術研究組合次世代レーザー加工技術研究所)

#### 2) 波長変換の高効率化技術の開発

大阪大学レーザーエネルギー学研究中心とレーザー技術総合研究所は協力して、②- (2) - 1) 「kW級ブースター増幅器の開発」のブースター増幅器の出力光を用いて数百W級のレーザー光の波長変換試験を行う。レーザー技術総合研究所は主として波長変換装置の熱解析を行い、レーザーエネルギー学研究中心は主として基本波と2倍高調波のビーム品質の改善を行い、中間目標（2倍高調波変換効率>20%、3倍高調波変換効率>6%）を達成する。大阪大学レーザーエネルギー学研究中心は、kW級基本波入力に向けた出力スケールリングを評価する。レーザー技術総合研究所は、実験結果と計算コードの結果を詳細に比較し、コードの改良を行う。

また、波長変換のさらなる効率向上については、平成23年度に得られた知見をもとにして、ブースターの高ビーム品質化と結晶の最適化を行い、中間目標の早期達成と、最終目標値の上乗せのための波長変換装置の設計を行う。

(委託先：国立大学法人大阪大学、技術研究組合次世代レーザー加工技術研究所)

### 3) 加工試験のための整備

平成23年度に整備した装置（現有パルスYAGレーザーをCW動作化し、2倍高調波、3倍高調波パルスを出力する装置）を用いて、加工システム技術開発センターと光源技術開発センターが連携してCFRP加工試験を実施して最適レーザー条件を探索するとともに、ファイバーレーザー及びブースターの設計にフィードバックする。

(委託先：国立大学法人大阪大学、技術研究組合次世代レーザー加工技術研究所)

### 研究開発項目③ 多波長複合加工技術の開発

#### (1) 切断接合技術の開発

##### 1) 複合材料高速切断接合システム技術の開発

「高速掃引リモート加工ヘッドの開発」においては、CFRP加工の最適化を図るための加工品質を確保するビーム制御技術(ソフトウェア)を開発するとともに、デモ用加工システムを製作する。

「高速高精度制御加工ノズルの開発」においては、高速倣い技術を開発するための倣い加工ヘッドを設計製作し加工テストを実施する。

(委託先：技術研究組合次世代レーザー加工技術研究所)

##### 2) 複合材料加工プロセス・評価技術の開発

「多波長複合レーザー加工プロセスの最適化」においては、ミヤチテクノスが高出力型3倍高調波パルス光源を活用した熱損傷抑制型kW級レーザー重畳照射技術を確立するとともに、kW級レーザー高速掃引時の加工プロセス現象の精密解析をX線CTスキャン装置および高速度サーモカメラ等を駆使して4機関合同で行う。古河電工開発品の1600Wピーク出力QCWファイバーレーザー装置、ならびに大阪大学レーザー研の現有パルスYAGレーザーを改造した装置の基本波、2倍高調波及び3倍高調波での加工検討を産業技術総合研究所が主導して実施し、高出力型パルスレーザーの有用性を明らかにする。三菱化学が最先端の各種CFRP材を準備・提供する。さらに、平成24年度末において、加工機システムとして機能を統合させて、切断・接合処理を行った加工面ならびに加工部周囲への熱損傷低減照射方法の最適化・高度化研究を新日本工機およびミヤチテクノスがすすめる。これら開発を進めている加工機システムは準備体制が整い次第、速やかにユーザー企業に開放して素材メーカー、加工機メーカー、ユーザー等との垂直連携を図るとともに、より多くのものづくり企業がレーザー加工技術を活用するための基盤プラットフォームの拠点を産業技術総合研究所が主導して環境整備する。

「レーザー加工に適したCFRP材料の構造最適化及び加工試料評価技術」においては、射出成形板およびプリプレグ積層板から構成されるCFRP材料を用いて、レーザーの諸特性(波長、パルス幅、エネルギー、出力等)、加工速度などを変えたレーザー切断や接合加工後の力学特性を把握するため、産業技術総合研究所ではJIS K7165 (ASTM-D3039)等に準拠した静的引張試験、疲労試験、耐久性試験を行い、データを取得する。試験後のマクロ及びマイクロフラクトグラフィ的検討により、損傷部位、損傷モードを系統的に整理する。また、レーザー加工プロセスのモニタリング技術に関しては、三菱化学の担当によりAE評価からデータを取得するとともに、動的破壊挙動の判定指針および加工品位及び加工欠陥の評価手法を構築する。これらの試料評価から得られた結果を総合的に集約し、レーザー照射時の反応層(熱損傷層)を極力低減する材料構造の最適化を三菱化学が既存素材の組み合わせにより行い、中間目標を達成する。さらに、CFRP材料のレーザー加工に係わるLCA評価を産業技術総合研究所が取りまとめ、環境負荷の少ない加工工程設

計および材料・製品の開発について指針を得る。

(委託先：技術研究組合次世代レーザー加工技術研究所)

## (2) 表面処理技術の開発

### 1) 高度ホモジナイズワイドビーム成形の開発

大出力レーザー光源、ホモジナイズ光学系、大型ワイドレンズを配置して実機に搭載可能な他の光学部品、光学システムとして構築し、ワイドビームを成形して目標値を達成する。

### 2) 大型光学部品研磨技術の開発

### 3) 高精度ビーム評価技術の開発

市販のビームプロファイラーでは本プロジェクトで開発する極端な細長い形状のワイドビームの測定は不可能である。このため、ワイドビームの評価をおこなう専用のビームプロファイル測定器の開発が必要となる。ビームプロファイル測定機器は、ワイドビーム形状の測定とビーム整形時の調整監視モニターとしての機能が必要である。監視モニターとしてはリアルタイムなビーム形状測定が必要であり、これらの機能を有する専用測定器の設計に着手する。

アニール実験準備では、LTPS 装置の総合評価を開始する。装置の各部位（ステージ、レーザー発振器、光学系、インフラなど）の安定性、安全性、信頼性の評価を進める。安全性の確保を最重要項目とし、終夜連続運転試験を開始して、想定寿命部品類の劣化、磨耗、交換タイミングなどを評価する。

(共同研究先：(株) アルバック)

## (3) 粉末成形技術の開発

アスペクトは自社の樹脂粉末用中型粉末焼結積層造形装置をベースにして、産総研と共同で成形環境を真空にした実用サイズプラットフォーム（成形サイズ：250mm×250mm×300mm以上）の試作を実施する。実用サイズプラットフォームに本プロジェクトで開発する複合レーザーを搭載し、成形条件の最適化を実施することにより、成形の高精度化と高速化をめざした複合レーザー照射方法を確立する。さらに、レーザーの重畳手法やそれぞれのパワー、材料の温度計測等を精度良く行い、加工装置へのフィードバック装置の評価機構を追加する。また、複数光源利用のための光学系の高度化（光路の複数化や個別制御）等の装置改良を実施する。

産総研は実用サイズプラットフォームの真空下におけるチタン粉末の成形物を分析し、成形条件と成形物の組織、構造、密度、機械物性との関係を把握することでアスペクトと共同でレーザー加工試料の評価技術を構築する。特に粉末成形の優位性として、非均質な製品（材料、構造）の成形が可能であることから、これらの加工・評価試験を実施し、その優位性を示すとともに、実用装置で必要となる性能を明らかにする。

また、当初計画でのチタン製品の加工から、さらに材質や構造の展開を図り、チタン以外の材料、例えばステンレス、タングステン、アルミ等や構造として他の加工手段では得られない立体複雑構造の加工などを実現するため、その加工・評価試験を実施する。



なお、ユーザー連携の可能性を探るため、小型プラットフォームを展示会等で紹介していく。

(委託先：技術研究組合次世代レーザー加工技術研究所)

## 5. 2 平成24年度事業規模

エネルギー需給勘定 1,111百万円(新規)

(注) 事業規模については、変動があり得る。

## 6. その他重要事項

### (1) 評価の方法

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(以下、「NEDO」という。)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の観点から、推進委員会等で各研究開発内容について内部評価を実施する。

### (2) 運営・管理

研究開発全体の管理・執行に責任を有するNEDOは、経済産業省及びプロジェクトリーダーと密接な関係を維持しつつ、プログラムの目的及び目標並びに本研究開発の目的及び目標に照らして適切な運営管理を実施する。具体的には、外部有識者の意見を運営管理に反映させるほか、プロジェクトリーダー等を通じてプロジェクトの進捗について報告を受けること等を行う。

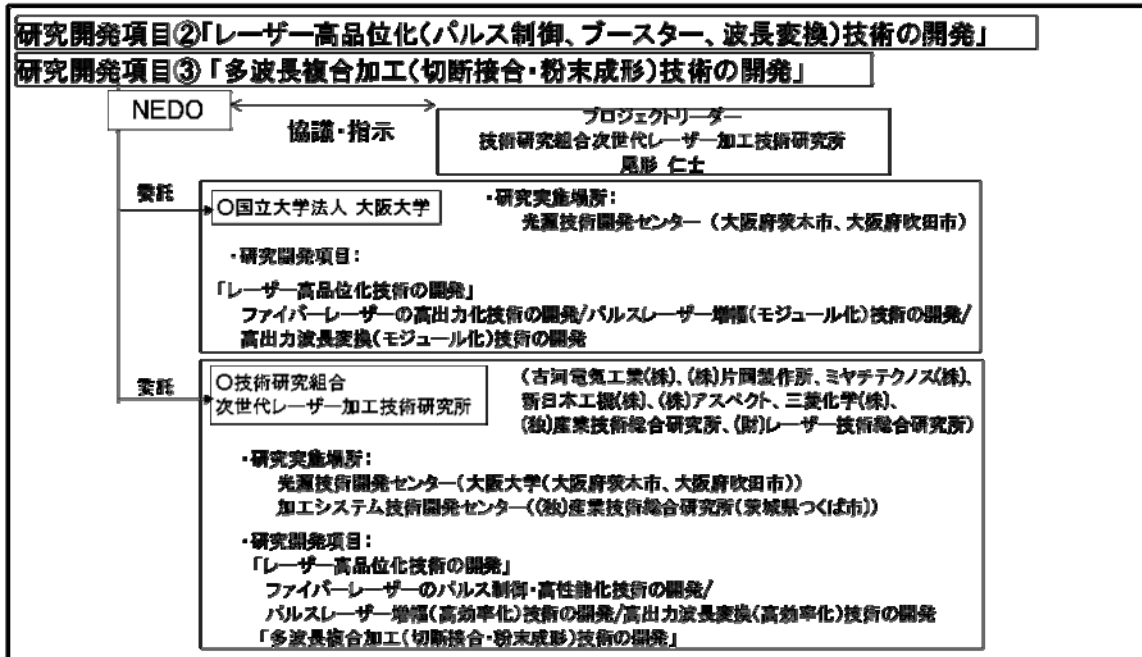
### (3) 複数年度契約の実施

平成22～24年度の複数年度契約とする。

## 7. 実施方針の改訂履歴

(1) 平成24年3月、制定。

### 【産学官連携基盤技術開発】



### 【要素技術実用化開発】

