

「次世代素材等レーザー加工技術開発プロジェクト」  
中間評価報告書

平成24年11月

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構  
研究評価委員会

平成24年11月

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構  
理事長 古川 一夫 殿

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構  
研究評価委員会 委員長 西村 吉雄

NEDO技術委員・技術委員会等規程第33条の規定に基づき、別添のとおり  
評価結果について報告します。

## 目次

|                     |          |
|---------------------|----------|
| はじめに                | 1        |
| 分科会委員名簿             | 2        |
| 審議経過                | 3        |
| 評価概要                | 4        |
| 研究評価委員会におけるコメント     | 7        |
| 研究評価委員会委員名簿         | 8        |
| <br>                |          |
| 第1章 評価              |          |
| 1. プロジェクト全体に関する評価結果 | 1-1      |
| 1. 1 総論             |          |
| 1. 2 各論             |          |
| 2. 評点結果             | 1-22     |
| <br>                |          |
| 第2章 評価対象プロジェクト      |          |
| 1. 事業原簿             | 2-1      |
| 2. 分科会における説明資料      | 2-2      |
| <br>                |          |
| 参考資料1 評価の実施方法       | 参考資料 1-1 |
| 参考資料2 分科会議事録        | 参考資料 2-1 |
| 参考資料3 評価結果の反映について   | 参考資料 3-1 |

## はじめに

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構においては、被評価プロジェクトごとに当該技術の外部専門家、有識者等によって構成される研究評価分科会を研究評価委員会によって設置し、同分科会にて被評価対象プロジェクトの研究評価を行い、評価報告書案を策定の上、研究評価委員会において確定している。

本書は、「次世代素材等レーザー加工技術開発プロジェクト」の中間評価報告書であり、第31回研究評価委員会において設置された「次世代素材等レーザー加工技術開発プロジェクト」（中間評価）研究評価分科会において評価報告書案を策定し、第33回研究評価委員会（平成24年11月13日）に諮り、確定されたものである。

平成24年11月  
独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構  
研究評価委員会

「次世代素材等レーザー加工技術開発プロジェクト」

中間評価分科会委員名簿

(平成24年8月現在)

|            | 氏名                   | 所属、役職                                      |
|------------|----------------------|--|
| 分科会長       | わたなべしゅんたろう<br>渡部 俊太郎 | 東京理科大学 総合研究機構 教授                           |
| 分科会長<br>代理 | とくら ひとし<br>戸倉 和      | 東京工業大学 大学院理工学研究科 教授                        |
| 委員         | おきの けいじ<br>沖野 圭司     | オムロンレーザーフロント株式会社 発振器事業部<br>取締役 発振器事業部長     |
|            | さいとう ゆういち<br>斎藤 裕一   | レーザージョブ株式会社 代表取締役社長                        |
|            | みどりかわ かつみ<br>緑川 克美   | 独立行政法人 理化学研究所 基幹研究所<br>緑川レーザー物理工学研究室 主任研究員 |
|            | やまぐち しげる<br>山口 滋     | 東海大学 大学院総合理工学研究科 教授                        |
|            | よねだ ひとき<br>米田 仁紀     | 電気通信大学 レーザー新世代研究センター センター長                 |

敬称略、五十音順

## 審議経過

### 第1回 分科会（平成24年8月3日）

#### 公開セッション

1. 開会、分科会の設置、資料の確認
2. 分科会の公開について
3. 評価の実施方法と評価報告書の構成について
4. プロジェクトの概要説明

#### 非公開セッション

5. プロジェクトの詳細説明
6. 全体を通しての質疑

#### 公開セッション

7. まとめ・講評
8. 今後の予定
9. 閉会

### 第33回研究評価委員会（平成24年11月13日）

## 評価概要

### 1. 総論

#### 1) 総合評価

ドイツとアメリカに先行を許した状況の中、日本の産業発展のため、レーザー開発プロジェクトを立ち上げたことは、当然の動きであり評価できる。また、定めた目標値については、達成されている部分が多くあり個別要素技術開発について努力がなされている。特に、基盤技術となる冷却技術・コンポーネント開発、産業応用に適したレーザー加算技術などを kW のレベルで試験し、それに応じた光学部品などの開発も並行して進んでいることは評価できる。

しかし、本プロジェクトは我が国のレーザー加工分野の世界的競争力を取り戻すという目的で実施されているが、ファイバーレーザー自体がキャッチアップ的である中、独自性を打ち出していくことが求められる。開発期間中にも、世界の経済情勢の大幅な変化や、海外競合メーカー技術の著しい技術進展がある。

さらに、切断接合技術開発 CFRP（炭素繊維強化プラスチック）加工用レーザーについて、成果を事業化するための具体的な計画を明らかにする必要があると考える。

#### 2) 今後に対する提言

レーザー加工に要求される仕様は本プロジェクトの立案時とは、大きく変わってきている。その点を考慮して時代の変化に応じ、当初の目標値に縛られることなく、もう一度世界の状況、国内のマーケットを素直に見直して、ターゲットを設定する必要がある。また、ファイバーレーザー加工装置の優位点が炭酸ガスレーザーに対しては導波路が使える、また他の固体レーザーに対してはコンパクトで安定な特性を生かした加工装置を考えるなど、どのような点にあるか再度見直しが必要である。

3つの個別テーマに注力することにより、諸外国の製品・開発部品に対して圧倒的な優位な立場をとれる要素技術を開発するなど、限られた項目でよいから、光るものをアピールしてほしい。また、新規内容で欧米に対して外国出願ができるような成果を上げてほしい。

### 2. 各論

#### 1) 事業の位置付け・必要性について

1980年～90年代に比べて、我が国のレーザー加工機産業は世界的に大きく遅

れをとっている。次世代のレーザー加工機として有望なファイバーレーザーや **Thin-Disk** レーザーのような先端的なものに関しては、自動車ならびに航空産業や太陽電池、次世代ディスプレイ等への応用が期待されており、早急に遅れを取り戻す必要がある。ファイバーレーザーを中心とした光源開発とこれを用いた加工技術開発は、今後のレーザー産業発展の中で必要な技術であり、この技術開発によって新たな産業の創造も可能と考えられることから、NEDO の関与は妥当である。

## 2) 研究開発マネジメントについて

世界的動向から、ナノ秒パルスレーザー開発に絞ったことは妥当であり、レーザー開発および加工速度等に関しては、数値目標を定量的に設定していることは評価できる。また、LD (半導体レーザー : **Laser Diode**) 励起高出力レーザーの開発実績がある大阪大学レーザー研と組む形をとったのは妥当である。

但し、最終的な目標がレーザー出力しか見えていない。単なる数字目標では陳腐化することがあり、他国のメーカーに対して優位に立てるような研究開発の目標を定めなおすべきと考える。また、ファイバーレーザーは海外メーカーが大きく先行しており、技術開発も積極的に取り組んでいることを認識した目標設定になっていない。海外先行メーカーの技術開発の実態を調査して計画にフィードバックすべきである。

また、市場調査に関しても十分とは言えない。加工の目的が **CFRP** 切断接合、アモルファスシリコンのアニール、粉末成形に限られているが、現在の国内の最終ユーザーの状況などを見てもっと柔軟な対応が必要になっている。当初に設定した計画にとらわれることなく、最終的に我が国のレーザー加工技術、加工産業に貢献が着実にできるように目標設定、開発計画、応用先を再考すべきであると考ええる。

## 3) 研究開発成果について

切断接合、表面処理、粉末成形技術とそれに対応したレーザー開発において、一部未達成の部分もあるが達成への道筋が示されており、全体としてほぼ中間目標を達成している。さらに、要素技術の研究開発を実施する上では、各実施者は技術開発能力があり、最終目標を達成できると考える。

一方、目標値はクリアしているが、そこにどのような新しい技術開発があったのか、また、外国の先端企業等に対してどのように技術優位性を獲得していくのか技術開発戦略が明確ではない。LD 励起のファイバーレーザーも固体レーザーもアメリカやドイツと比べ遅れている。今回ナノ秒パルスに特化したとは言え、世界的レベルに達するのは容易ではない。

#### 4) 実用化等の見通しについて

加工テーマを 3 つに分けているので、出口イメージは理解しやすい。また、高出力半導体レーザーおよび QCW（準連続発振）ファイバーレーザーの開発に関しては、実用可能性は高い。

一方、レーザーそのものの技術動向も大きく変化しており、また、ユーザーの状況も大きく変化してきている。アニール用システムは事業化するためのグリーンレーザーのイメージが湧かない。このレーザーは多段増幅も含めて複雑すぎる懸念を持った。また、QCW ファイバーレーザーの開発では、CW レーザーで安価な kW 級レーザーが市販されており、現状の CW レーザーに対する優位性をアピールする必要がある。今後、最終ユーザーとの連携を強めていく必要があり、そうなれば実用化の可能性を高めることができると考える。

## 研究評価委員会におけるコメント

第33回研究評価委員会（平成24年11月13日開催）に諮り、了承された。研究評価委員会から以下のコメントが出された。

プロジェクトの出口について、加工機であることを明確化すること。

ファイバーレーザー全般に関して欧米に遅れをとっている中、どのように競合していくのかという戦略が重要であり、後半においてはその視点をさらに強化して、かつ底上げをねらっていくことが必要。

最終ユーザーを明確にし、巻き込んでいくことが必要である。

## 研究評価委員会

委員名簿（敬称略、五十音順）

| 職 位       | 氏 名   | 所属、役職  |
|-----------|-------|--|
| 委員長       | 西村 吉雄 | 技術ジャーナリスト  |
| 委員長<br>代理 | 吉原 一紘 | オミクロンナノテクノロジージャパン株式会社<br>最高顧問                        |
| 委員        | 安宅 龍明 | 元一般社団法人ナノテクノロジービジネス推進協議会<br>企画運営推進会議 副議長             |
|           | 伊東 弘一 | 学校法人早稲田大学 理工学術院 総合研究所<br>客員教授（専任）                    |
|           | 稲葉 陽二 | 学校法人日本大学 法学部 教授                                      |
|           | 尾形 仁士 | 三菱電機株式会社 社友  |
|           | 小林 直人 | 学校法人早稲田大学 研究戦略センター 教授                                |
|           | 佐久間一郎 | 国立大学法人東京大学大学院 工学系研究科 附属医<br>療福祉工学開発評価研究センター センター長／教授 |
|           | 佐藤 了平 | 国立大学法人大阪大学 大学院工学研究科 マテリア<br>ル生産科学専攻（システムデザイン領域担当） 教授 |
|           | 菅野 純夫 | 国立大学法人東京大学 大学院新領域創成科学研究科<br>メディカルゲノム専攻 教授            |
|           | 宮島 篤  | 国立大学法人東京大学 分子細胞生物学研究所 教授                             |
|           | 吉川 典彦 | 国立大学法人名古屋大学 大学院工学研究科<br>マイクロ・ナノシステム工学専攻 教授           |

## 第1章 評価

この章では、分科会の総意である評価結果を枠内に掲載している。なお、枠の下の「○」「●」「・」が付された箇条書きは、評価委員のコメントを原文のまま、参考として掲載したものである。

## 1. プロジェクト全体に関する評価結果

### 1. 1 総論

#### 1) 総合評価

ドイツとアメリカに先行を許した状況の中、日本の産業発展のため、レーザー開発プロジェクトを立ち上げたことは、当然の動きであり評価できる。また、定めた目標値については、達成されている部分が多くあり個別要素技術開発について努力がなされている。特に、基盤技術となる冷却技術・コンポーネント開発、産業応用に適したレーザー加算技術などを kW のレベルで試験し、それに応じた光学部品などの開発も並行して進んでいることは評価できる。

しかし、本プロジェクトは我が国のレーザー加工分野の世界的競争力を取り戻すという目的で実施されているが、ファイバーレーザー自体がキャッチアップ的である中、独自性を打ち出していくことが求められる。開発期間中にも、世界の経済情勢の大幅な変化や、海外競合メーカー技術の著しい技術進展がある。

さらに、切断接合技術開発 CFRP（炭素繊維強化プラスチック）加工用レーザーについて、成果を事業化するための具体的な計画を明らかにする必要であると考えます。

#### 〈肯定的意見〉

- 10年間の空白があると言われる国内レーザー研究開発に国レベルで取り組むことになったことはレーザー事業に携わっている者にとって期待をしている。
- 中間目標として設定した目標値は、概ね達成している。
- 定めた目標値については、達成されている部分が多くあり個別要素技術開発について努力がなされていると判断され評価はできる。
- レーザー加工の新光源はファイバーレーザーである。そのためには LD の開発が必要であり、あるいは LD 自身も加工用光源足りうる。このような明確なトレンドにも拘らず、わが国の民間企業も国の研究機関も動きが遅く、ドイツとアメリカに先行を許した。このような状況の中、NEDO プロジェクトの推進は当然の動きである。その中で開発目標や出口戦略はそれ自体ではよく練れており、マネジメントも工夫されている。
- 我が国では、レーザー開発要求を含むプロジェクトにより、レーザー技術が進んできており、このプロジェクトのような新しいレーザー開発を含む予算が入ることは、重要である。特に、基盤技術となる冷却技術・コンポーネント開発、産業応用に適したレーザー加算技術などを kW のレベルで試験し、それに応じた光学部品などの開発も並行して進んでいることは

評価できる。

- 長いブランクを経てレーザー関連のプロジェクトを立ち上げられたことは評価に値する。ここでの成果が次に続くようにお願いしたい。
- 日本の産業発展のため、ドイツ、アメリカなどのレーザー産業の取組みを研究し、日本でのレーザーが関係する開発プロジェクトを立ち上げたことは、評価できる。

#### 〈問題点・改善すべき点〉

- 開発期間中にも、世界の経済情勢の大幅な変化や、海外の競合メーカーの技術の著しい技術進展があり、当初立てた達成年度では、優位性を維持できないものや、目標値も新規性のないものになっているものが見受けられる。ドイツでは、素材メーカーや、自動車産業などもプロジェクトの一員になり、光産業を立ち上げ、輸出産業を立ち上げることが目標になっている。
- 本プロジェクトは、我が国のレーザー加工分野の世界的競争力を取り戻すという目的で実施されているが、世界水準での位置づけがなされていない。最終目標の設定がキャッチアップ的であり、独自性に欠ける。また、特許もほとんどが国内に限られている点も問題である。今後独自性を強調し、それを伸ばすことが期待される。そのことが国際競争力に繋がるものと考えられる。
- 次世代のレーザー加工技術開発ということで、**Tax payer**が期待するのは、新しいレーザーが開発されたか、新しい加工技術が開発されたかの2点である。その意味で、これまでのところ、レーザー（特にアニール技術のグリーンレーザー化）に関しては、既存のパーツをくみ上げたのみになっているものが多く、技術開発で新しいものが生まれるというよりも、システムアップしたような印象である。また、加工という意味では、**CFRP** 切断接合、アモルファスシリコンのアニール、粉末成形が取り上げられているが、これが本当に将来を開ける次世代加工なのか疑問が残る（特に、液晶パネルの事業環境が大きく変化している中で、アニーリングの実用化（市場化）について）。粉末成形は、加工時間が数時間にわたり、表面精度は粉末の粒径で決まるものしかできない。いかに複雑な形状のものができるとも、それが産業にとって魅力的であるのか、きちんとした将来の市場ターゲットを持つ必要があるであろう。アニールは、これまでのところ照射方法そのものの範囲（波長、強度、パルス幅など）が使用レーザーを決めた点で固定されており、新しいレーザー加工の進展という要素があまり見られない。アニールプロセスで新規性がなくても、ファイバーレーザ

ーが光源となった特徴を活かした手法が開発されていけばいいが、現状ではそのようなアニール法という検討もなされていない。アニール、CFRP切断接合は最終応用者がプロジェクトに入っていない状態であり、どのようなアピールがこれでできるのか不明である。これらを早急に解決していく必要がある。

- プロジェクト終了後に製品を市場に提供するためには、例えば「レーザー高品位化技術」について成果を事業化するための企業が参加していない問題など実施体制の見直しが必要であると考える。第2に全般的にファイバーレーザー装置が他のレーザー装置と比較してどのような優位点があるか、また、どのような加工分野で利用されるべきか、十分な検討がなされていないと判断される。これらを解決するために、高出力レーザー加工機を製造販売している複数企業からの意見聴取を NEDO 側で独自に行い研究プロジェクトへの提言を行うべきであろう。
- CW とピコ秒・フェムト秒を排除し、ナノ秒に特化したため、レーザー開発も加工もやや窮屈になっている。必ずしもこれにこだわる必要はない。レーザー技術開発の成果を事業化する受け手がない場合がある。
- 以前成果を上げた CO<sub>2</sub> レーザーやエキシマレーザーの発振器開発に比べ、現状の発振器技術は海外メーカーに大きく水をあけられている。

#### 〈その他の意見〉

- ・ **QCW** ファイバーレーザーの研究開発は、「次世代素材等レーザー加工技術開発プロジェクト」公募当初にはなかったもので、昨年度突然に提起があったものであろうと判断される。**QCW** ファイバーレーザーの開発目標値は、②レーザー高品位化技術と③多波長複合加工技術とは独立しており、プロジェクトの所期目標の達成に寄与する点がほとんど見当たらない。今回の変更は「目標値の変更」に留まらないプロジェクト課題の大幅な変更にあたりと判断される。現在、「目標値を柔軟に変更しても良い」ということはプロジェクト期間内で認められているとのことである。しかし、開発課題そのものに変更、あるいは、公募当初にはなかったテーマをプロジェクトに加える際には、本来、新たに公募して新規参入する企業を募集すべきである。
- ・ 結果を早く出すために、日本のオリジナルなレーザー技術育成やその採用ではなく、すでにある海外レーザー技術を導入するような発言があった点が、プロジェクトの真の主旨にあっているのか気になった。
- ・ 全体として、予算の使われ方が分散しており、「次世代のレーザー加工」のどこに向かっているのかがクリアに見えない。高出力ファイバーレーザー

一に向かうのであれば、早急に LD、ファイバーを事業化ベースに載せる努力が必要で、それにとまなう特殊で、オリジナルな光学部品技術の開発が急務であろう。また次世代加工に重点を置くのであれば現状を打開するための R&D を積み上げた形にすべきではないかと思う。

- プロジェクトを通じて、学生、若い研究者の育成の場になっていると聞いているが、本プロジェクトは、個別の技術仕様値達成が目的のように感じた。
- プロジェクトで掲げた大項目だけでなく、小規模のレーザー開発や応用を発展すべきである。そのため光源技術開発センターや加工システム技術開発センターの役割が期待される。

## 2) 今後に対する提言

レーザー加工に要求される仕様は本プロジェクトの立案時とは、大きく変わってきている。その点を考慮して時代の変化に応じ、当初の目標値に縛られることなく、もう一度世界の状況、国内のマーケットを素直に見直して、ターゲットを設定する必要がある。また、ファイバーレーザー加工装置の優位点が炭酸ガスレーザーに対しては導波路が使える、また他の固体レーザーに対してはコンパクトで安定な特性を生かした加工装置を考えるなど、どのような点にあるか再度見直しが必要である。

3つの個別テーマに注力することにより、諸外国の製品・開発部品に対して圧倒的な優位な立場をとれる要素技術を開発するなど、限られた項目でよいから、光るものをアピールしてほしい。また、新規内容で欧米に対して外国出願ができるような成果を上げてほしい。

### 〈今後に対する提言〉

- ・ 時代の変化に応じ、見直すべきである。例えば、フラットパネルや太陽電池の市場環境は大きく変わっている。ただ単なる低価格化技術では生き残れない。総花的に目標を達成してよしとするのではなく、限られた項目でよいから、光るものをアピールしてほしい。集約化が期待される。
- ・ 液晶パネルの例をあげるまでもなく、レーザー加工に要求される仕様は本プロジェクトの選考時とは、大きく変わってきている。プロジェクトリーダーは、その点を考慮して当初の目標値に縛られることなく、柔軟に対応することに期待する。
- ・ 「レーザー」という名称がなくとも NEDO 内には、「高出力レーザー」や「高品位光学製品」を基盤技術とした研究開発プロジェクトが多く存在し、また、現在も進行している課題もある。個別の研究機関や企業の狭い範囲内の知見から、研究テーマを設定していると見受けられる点もあり、この結果従来の NEDO 内の研究開発成果が有効に活用されていないのではないかと思われる。従って、プロジェクトのマネージングに加え、NEDO 内で技術の水平展開することがより良いマネージングに結びつくであろう。NEDO 内の技術マップやロードマップの見直しを行うなどして、今後の応用技術開発を継続させていただきたい。
- ・ 光源の開発も含め、現在 3 テーマを見直し、再構築して 1 つにまとめる。日本が栄華を誇ってきたテレビ、ソーラパネルも急速に力を落とした。世の動きはとても速い。本プロジェクトは“レーザー”のキーワードで括られるので、テーマによってはレーザーによらない競争相手もチャンスを狙っている。

- ・ 中間ヒアリング時でも発言があったように、新たなファイバー事業を展開する余裕が、本プロジェクトには無いように思える。しかし最終年度まで海外の PCF を使用することが、本プロジェクトとして魅力を産めるのかどうか、もう一度考えていただきたい。一方、LD も諸外国に対抗するまで事業を確立するつもりなのかどうか、よく見えない。実際、国策レベルで市場開拓を含めて進めてきて、コストダウンにも成功している海外メーカーに勝つのは、これまでのレーザー関連のプロジェクト経緯から見ても難しいのではないかと思う。だからこそ、以下のことを進言する。1) 明確なマーケットを複数定め、それに向けてのレーザーのカスタマイズ、および、その加工実績の構築、2) 本プロジェクト終了時でも諸外国の製品・開発部品に対して圧倒的な優位な立場をとれる要素技術を開発する。
- ・ ファイバーレーザーの開発をターゲットとするならば、国内主要メーカーを複数参加させ、大学や研究機関が研究テーマをシェアして製品開発にフィードバックする体制が望ましい。

#### 〈その他の意見〉

- ・ ファイバーレーザー加工装置の優位点は、炭酸ガスレーザーや他の固体レーザーに対してどのような点にあるか再度見直しが必要である。また、経産省や NEDO で現在強いレーザー加工機の特許を持つ企業を集め意見交換の場を持つべきと考える。レーザー加工機市場が立ち上がったのは 1980 年代後半からであり、現在、その時期に得た多くの我国の特許が期限を迎えている。隣国から各種方面で違法な模倣がなされてきて我国の工作機各社は利益を失っているが、今後特許期限が切れたものについて模倣は合法的に加速する。レーザー加工機市場では、どのような技術要素を強くして保護しておくべきか国レベルで十分な検討をする重要な時期に来ていると考える。ファイバーレーザー加工機にとどまらず、今後の工作機メーカーの権益を守るという見地から、どのようなレーザー加工技術分野で知的財産権を抑えるか熟慮する必要がある。ここ 5 年をみると工作機械関連企業は、欧州・日本の連携でかろうじて、隣国大国のメーカーに対し技術と規模で勝ち得ているが、既に僅差になっている。レーザー技術を革新することと同様に戦略的にレーザー加工機の知的財産権を継続して押えていくことは喫緊の課題である。
- ・ プロジェクト内で R & D が分散的に行われている感が否めない。また真の意味での R & D と単に事業者の環境で難しかったことを打開しているものが混在されており、意識の上でもそれが混じったうえで予算、プロジェクト方針が決まっているように思える。さらに、当初計画から年次を経た今、

現在の R&D と並行して、もう一度世界の状況、国内のマーケットを素直に見直して、ターゲットを設定する必要があると思う。（これは非常に困難だと思うが、このまま継続するよりは終了時に評価が高いと感じる。）

- レーザーが医療関連製品の製造に使われる例は多い。人工関節などを粉末整形で作るテーマは、製品が認可されるまでには長い時間を要する。多くの方がこの理不尽さを指摘しているが、簡単に変わるとも思えない。本気で取り組むならばこのあたりも十分織り込んでいただきたい。
- 自動車メーカーなどの最終製品メーカーが、プロジェクトに参加する意義は大きい。
- このような大型プロジェクトは、人の育成の大きな機会であり、プロジェクト参加した学生、研究者が、引き続いて企業に就職してその仕事に従事し続けられるような環境整備も必要と思われる。このような人の育成に関するコメントがなかった。

## 1. 2 各論

### 1) 事業の位置付け・必要性について

1980年～90年代に比べて、我が国のレーザー加工機産業は世界的に大きく遅れをとっている。次世代のレーザー加工機として有望なファイバーレーザーやThin-Disk レーザーのような先端的なものに関しては、自動車ならびに航空産業や太陽電池、次世代ディスプレイ等への応用が期待されており、早急に遅れを取り戻す必要がある。ファイバーレーザーを中心とした光源開発とこれを用いた加工技術開発は、今後のレーザー産業発展の中で必要な技術であり、この技術開発によって新たな産業の創造も可能と考えられることから、NEDO の関与は妥当である。

#### 〈肯定的意見〉

- 1980年～90年代に比べて、我が国のレーザー加工機産業が世界的に大きく遅れをとっている。次世代のレーザー加工機として有望なファイバーレーザーやThin-Disk レーザーのような先端的なものに関しては、自動車ならびに航空産業や太陽電池、次世代ディスプレイ等への応用が期待されており、早急に遅れを取り戻す必要がある。
- ファイバーレーザー特に高出力、パルスレーザーの部分は、まだ世界的見ても競合が可能な部分があり、マーケットをつかめる可能性はあると思われる。ただし、この場合、すでに世界で数社が走っている状況で、プロジェクト終了時にはさらに先んじていることを考えると、すみわけもしくは部分的にでも圧倒的な技術差が必要になる。これらは、高品質化という点で我が国が得意とできる可能性があり、それを基軸にまとめることはいいと思う。
- ファイバーレーザーを中心とした光源開発とこれを用いた加工技術開発は「ロボット・新機械イノベーションプログラム」に合致する。NEDO の関与は妥当である。内外の技術動向、この分野の国際競争力などの状況から、事業目的は妥当である。
- レーザー発振器としてポテンシャルが大きく、今後産業用レーザーとして期待されるファイバーレーザーに絞り込んだことは妥当である。
- 本事業は重要であり、プロジェクト成果を利用して、一定の効果が認められると思われる。今後とも、研究開発課題目標設定の妥当性などを引き続き十分に検討して行くことが望まれる。
- これまでNEDO の活動にかかわる機会がなかったので、他のプロジェクトとの比較がしにくい。遠くから見ている限り本プロジェクトと似たレベルにあるのではないだろうか。レーザーにかかわっているものとしては、

是非とも高い評価をとれるように進めていただきたい。選択と集中を進めて事業が見えるように変わって行って欲しい。これまでの成果をもう一度反芻して、集中すべき点を探索することも良いのではないか。

- 半導体レーザー、ファイバーレーザー、第2高調波（SHG）、第3高調波（THG）などの取組みは、今後のレーザー産業発展の中で必要な技術であり、この技術開発によって新たな産業の創造も可能と思われる。

#### 〈問題点・改善すべき点〉

- 初期に検討されたと思うが、極短パルス（フェムト秒、ピコ秒）のレーザーなど、他のレーザー技術の日本での開発の課題もある。今回のテーマが、多くの中でなぜ選定されたのか不明な点があった。内外の技術開発動向や国際的な競争力のポジショニングなど、常に、情報を第三者が調査し、ポジショニングを明確にしておかないと技術は、陳腐なものになる。また、産業育成のためには、その技術を実現するためのコストも大きな要素であるが、その点での考察も事業ということを考えれば少ない。
- どうしても、今回のように応用が視野に入ったプロジェクトでは、応用時のパフォーマンスに重点化されやすい。NEDO そのものがそういう面があると思えるが、明確な産業展開が約束されていない状態でも、基盤技術、産業の種をまくという意味でNEDOプロジェクトを走らせることが必要である。その場合のターゲット設定、評価基準は、別に明確にしておかないと、学術でも産業応用でもない中途半端なものができるしまう恐れがある。今回のように最終ユーザーが未だ明確に決まっていない場合には、単なる数字目標では陳腐化することがあり、より原理実証に近いものをターゲットにしないと、うまくいかないだろう。
- レーザー加工機のユーザーを集めた聴取は行われているが、むしろ、工作機メーカーの意見を幅広く聴き、国策として工作機械メーカーが他国のメーカーに対して優位に立てるような研究開発の目標を定めなおすべきであろう。
- このプロジェクトの発足が遅れ気味のため、一層の開発スピードが要求される。大学などの開発の成果を引き継ぎ、事業化する企業が明確でない。
- 目標設定は、キャッチアップ的であり、最終的な目標がレーザー出力しか見えていない。

#### 〈その他の意見〉

- ・ 参入企業等が真摯に取り組んでこられたことは十分理解できる。ただ、方向性に誤りがないか、これまでの成果をもう一度反芻して、集中すべき点

を探索することも良いのではないか。最初の設定とは異なる点で期待できる技術開発の種が見つかるかも知れない。

- **QCW** レーザー研究開発課題の新たな設定は、「民間活動でやるべき範囲内」で、「公共性が高いことにより、NEDOの関与が必要される事業」ということに当たらないと判断できる。委員会で述べたように実施するのであれば公募が前提であると思われ、今後、目標値設定の変更であるのか課題の新たな設定であるのかはプロジェクトが透明性・公平性を高くして議論を願いたい。

## 2) 研究開発マネジメントについて

世界的動向から、ナノ秒パルスレーザー開発に絞ったことは妥当であり、レーザー開発および加工速度等に関しては、数値目標を定量的に設定していることは評価できる。また、LD（半導体レーザー：Laser Diode）励起高出力レーザーの開発実績がある大阪大学レーザー研と組む形をとったのは妥当である。

但し、最終的な目標がレーザー出力しか見えていない。単なる数字目標では陳腐化することがあり、他国のメーカーに対して優位に立てるような研究開発の目標を定めなおすべきと考える。また、ファイバーレーザーは海外メーカーが大きく先行しており、技術開発も積極的に取り組んでいることを認識した目標設定になっていない。海外先行メーカーの技術開発の実態を調査して計画にフィードバックすべきである。

また、市場調査に関しても十分とは言えない。加工の目的がCFRP切断接合、アモルファスシリコンのアニール、粉末成形に限られているが、現在の国内の最終ユーザーの状況などを見るともっと柔軟な対処が必要になっている。当初に設定した計画にとらわれることなく、最終的に我が国のレーザー加工技術、加工産業に貢献が着実にできるように目標設定、開発計画、応用先を再考すべきであると考えます。

### 〈肯定的意見〉

- 具体的な目標値が示されており最終目標を達成できると考える。研究実施の期間については、前倒しをしてほぼ目標を達成できている課題はさらに市場動向を見て目標を見直すべきであろう。
- 世界的動向から、ナノ秒パルスレーザー開発に絞ったことは妥当である。そのための応用を切断接合、表面処理、粉末成形に分け、各々のためのレーザー光源の目標を設定している。当初目標と年次計画は適当であった。
- 目標となる数字として挙げられているものは、レーザー性能に関しては、おおむね、まだ適用できる範囲にある。ただし、ファイバーレーザー分野は、ここで取り上げられているパルス化で高出力化の方向に向かっている面もあり、本プロジェクトでは手が付けられていない波長（1.5[通信帯利用]、 $2\mu\text{m}$ [eye safe]）や新しい技術（コヒーレント加算）も行われ始めている。これらの状況を考えれば、この目標数字だけで本プロジェクト終了時に優位性があるかどうかは注意が必要だ。逆に eye safe であったり、通信帯の優良な素子を転用できるメリット、さらには、高出力化へのスケールリングが容易である新たな方法などが出てきてしまうと、一気にユーザーはそっちに流れてしまう恐れがある。大学機関としてこれまでLD励起高出力レーザーの開発実績がある阪大レーザー研と組む形をとったのは

妥当だと言える。全体として、諸外国の状況はよく理解していると思う。

- 動向の調査が成されていることは理解できた。（ただし的確かどうかの議論は残る）
- レーザー開発および加工速度等に関しては、数値目標をあげ定量的に設定している。
- プロジェクト参加企業は、スケジュール、初期目標値に対する達成意欲があり、中間報告段階では、目標（中間）の数字の報告は、実施されたことは、評価できる。

#### 〈問題点・改善すべき点〉

- 本プロジェクトの中心課題としている **CFRP** 加工の市場調査に関して、十分とは言えない。また、最終増幅器にディスクレーザーを用いているため、ファイバーレーザー開発という大きな目標がぶれているように思える。
- レーザー開発、加工技術に関連するすべての企業が参加しているわけではない。それ自体は時代の流れかもしれない。必ずしも明確で大規模な市場が見えているわけではない。小規模でもたくさんの応用を見つける必要がある。
- 現在、ファイバーレーザーは海外メーカーが大きく先行しており、技術開発も積極的に取り組まれていることを認識した目標設定になっていない。レーザー発振機開発には複数の企業を参加させ、開発課題を分担して開発工程の短縮、効率化を図るべき。また、付帯技術（真空技術、光学技術など）はその専門性が高い企業の参加が必要と思われる。海外先行メーカーの技術開発の実態を調査して計画にフィードバックすべき。海外メーカーを使用している国内ユーザーから直接聞き取り調査を実施して、現状の問題点と今後の開発課題を把握することが重要である。
- 過去のプロジェクト運営の反省のせい、目標に定量性が強調されているが、単に数字をクリアすることを力技で行ったのでは全く意味がない。より高い性能までスケラブルな技術を使って達成したものでないなら、評価されるべきではないが、そのことがまるで評価に入っていない。**CFRP**の加工に関しては、速度、加工品位の2つしか目標に上がっていない。そもそも、速度を設定した理由は加工時間であろうが、しかし、短時間で高強度な光で切れば、逆に周りに対する熱影響も出てくるのが道理であり、ある程度高出力化した後は、（パルス幅を変えるなどしない限り）これらはトレードオフではないかと思う。また、本来、新たな加工技術を育てるのであれば、その **figure merit** はプロジェクト立案時にあるような既存のものでなく、自らの **R&D** の中で明らかになった限界と現状により決定さ

れるべきで、“よそのメーカーの製品より何%よくなる”では、目標が陳腐化する恐れがある。その意味で、開発計画も随時質的な見直しが必要であろう。一方、これらの目標数字・達成数字はレーザー開発側・最終使用者側にフィードバックされた形跡がまだない。このあたりのマネジメントもしていくべきであろう。加工の目的が CFRP 切断、ポリシリコンのアニール、粉末成形に限られているが、現在の国内の最終ユーザーの状況などを見てもっと柔軟な対処が必要になっていると思われる。当初に設定した計画にとらわれることなく、最終的に我が国のレーザー加工技術、加工産業に貢献が着実にできるように再考すべきではないかと思う。固体レーザーブースター（ジグザグスラブ）が増幅部として出てきてしまった感はぬぐえない。「現状で加工試験のためのレーザー光を得るために使う」、というロジックであればいいが、本当にこのような空間伝播させた MOPA 形式がマーケットから要求されているのか（ランニングコストと寿命の点）疑問が残る。また、大きなパルスエネルギーで想定されている応用が表面処理（アニール）となっているが、大面積化を目標にするのであれば、光源にコヒーレンスを必要としない多ビーム利用も視野に入れるべきであろう。これは、まさにマルチプルなシステムアップが得意なファイバーレーザーで実現できることであり、大きな可能性を持っていると思う。スラブ増幅器を使って長尺の集光を行ったとしても、そのスキャン方向には多重照射になるので本当の意味でのシームレスなアニールを謳うのであれば、1 ビーム kJ 級にならないと意味が出ないのではないかと思う。（すでに過去にエキシマレーザーの時代にこのような話はあった。）

- 他の項でも述べてきたが、“何を、どこまで、どうする”が絞られていない。何のためのプロジェクトか大局的な判断が必要である。昔はやった何でも国産化のにおいがしてならない。今はそんな時代ではない。

#### 〈その他の意見〉

- ・ 過去のレーザー加工プロジェクトになかったプロジェクトリーダー（PL）による統括方式が導入されている。プロジェクトを成功に導くために PL の役割は大きい。
- ・ このプロジェクトは長いブランクの後に頂いたものである。将来につなげるためにも、最終的な評価が高まるように、テーマの絞り込みなどを通じて進めてもらいたい。
- ・ 成果を見ると、加工試験がいくつか行われている。しかし、既存のレーザーシステムを用いて、そのパラメータの範囲で加工特性を評価しているので、我が国特異な状況を作ることには到底ならないのではないか。もっと

幅広い範囲での加工調査、実績を積み重ねなければ、単にできることをやっただけのプロジェクトになってしまう恐れがある。使えるレーザーで加工を最適化するのではなく、加工からレーザー要求を光源開発側につきつけるような形にならないと、いいプロジェクトにはなりにくいであろう。すでに検討されて、困難さが見つかっているならいいが、最終レンズのワーク距離 30cm を超えるような状況では、まだまだ光学設計の余裕があると思う。その意味で、光学設計、レンズ製作をこのプロジェクトでは外注し、プロジェクト内では実際のレーザーアニール特性から必要なレーザーパラメータの決定をフィードバックしていくような R&D をすべきであろう。LD レーザー、ファイバーレーザーの企業としては、国内唯一と言っているほど限定的なので、妥当というよりも境界条件のようになっている。その他メーカー、開発要求がいささかマイルドな部分でとどまっている気がする。このプロジェクトを見れば、誰も大口径ファイバーレーザーの開発をイメージするが、現在国内では技術があるものの製品化されているものではなく、欧州のメーカーのものを全世界で使っている状況にある。これを少しでも打開していかないと、我が国のファイバーレーザー開発はシステムアップのみになってしまい、優位性を出せないのではないかと懸念する。そうであれば、力点を移し、このようなファイバーも開発をさせてもいいのではないかと思う。LD メーカーに対しても、海外のファイバーカップル LD に対抗できるものがプロジェクト後に少なくとも 1 モデルでもいいので出すことを明確にさせた方がいいのではないか。すでに、数 100 W レベルが標準的に 200  $\mu$ m ファイバーカップルで出る時代になっており、NA、コア径においてその製品を凌駕できるものを要求していくのも必要であろう。これが技術的にできないとなれば、逆にコスト・信頼性でしか勝てる指標がなくなり、余計厳しくなるのではないかと思う。全体の体制を見ると、以上のような相互間の厳しい要求のぶつけ合い、全体としての厳しい目標設定変更をしている部分が無いように思える。最終形をあまり意識せず、はみ出た技術、ノウハウを抱えられるプロジェクトにしていただきたい。QCW レーザーの位置づけは、全体の加工プロジェクトの中でどこにも位置づけられていない。このレーザーが短パルス化するための試験機なのか、ファイバーの試験機なのかを明確にすべきで、プロジェクトの意向がはっきりしないとばらまきのプロジェクトと見えてしまう。すでにレーザー加工と言っても、1 つのレーザーパラメータを光源側で用意すれば済む時代ではなく、いかに応用に即した製品が準備できるかでユーザー側の受け入れメリットが違っている。パルス幅、波長、制御性、強度、繰り返し周波数、コヒーレンスなどカスタマイズされる要素

は明らかであり、変調がユーザー側で行えるようなシステムであれば、より魅力的になるのではないか。ユーザーが未定であるならば、これらパラメータの範囲を広げた光源技術と、新しい加工技術提案がこのプロジェクトには必要でないかと思う。ただし、定量的な数字目標があり、これが逆に部分的には飛び出た製品開発の大きな足かせとなり、数字の達成のみに集中している風潮があるのだと思う。このため、数字達成ができないことによる評価が落ちるのを恐れ、プロジェクト内容の変更は容易でなくしている。情勢への変化対応は必須であるが、その中でも産業が立ち上がり、競合メーカーが存在する場合と、そうでない場合によって対応を変える必要がある。今回のような場合には、よりフレキシブルな対応が取れるように NEDO 側も考える必要があるだろう。

### 3) 研究開発成果について

切断接合、表面処理、粉末成形技術とそれに対応したレーザー開発において、一部未達成の部分もあるが達成への道筋が示されており、全体としてほぼ中間目標を達成している。さらに、要素技術の研究開発を実施する上では、各実施者は技術開発能力があり、最終目標を達成できると考える。

一方、目標値はクリアしているが、そこにどのような新しい技術開発があったのか、また、外国の先端企業等に対してどのように技術優位性を獲得していくのか技術開発戦略が明確ではない。LD 励起のファイバーレーザーも固体レーザーもアメリカやドイツと比べ遅れている。今回ナノ秒パルスに特化したとは言え、世界的レベルに達するのは容易ではない。

#### 〈肯定的意見〉

- 各目標に対して担当研究機関や企業が努力をして概ねその中間目標を達成している。要素技術の研究開発を実施する上では、各実施者は技術開発能力があり、最終目標を達成できると考える。
- 当初設定した目標の達成度は妥当である。
- 切断接合、表面処理、粉末成形技術とそれに対応したレーザー開発において、一部未達成の部分もあるが、全体としてほぼ目標を達成している。未達成の部分も、達成への道筋が示されている。
- 参入企業や大学はしっかり活動してきているので、これまでの成果を精査し、見るべき点を抽出してみてもうかがう。
- 中間報告の目標値は、各報告は、その数値を達成している点は評価に値する。
- 設定した中間目標値は概ねクリアしている。
- おおむね数字としては達成している。

#### 〈問題点・改善すべき点〉

- 一般に LD 励起のファイバーレーザーも固体レーザーもアメリカやドイツと比べ遅れている。今回ナノ秒パルスに特化したとは言え、世界的レベルに達するのは容易ではない。
- 3つの柱となる研究課題において、研究機関と参加企業の組み合わせが、必ずしも研究開発の成果をユーザーとして反映させることになっていない。とりわけ、事業化のための企業が不参加な研究開発課題については開発目標に妥当性が必ずしも見いだせず、その開発期間も長いことから他の研究開発課題に影響が出ている。目標値を至急見直すべきである。
- 残念ながら市場拡大あるいは市場の創造につながることは未だ期待でき

ない。このまま続けても世界に誇る成果が出現するとも思えない。最初の計画が十分に練られていないこと、したがって参入企業が限られていることなどがその原因に挙げられる。直ちにテーマを絞り込み資源の集中をしてはどうか。手遅れとは思わない。

- 数字そのものが意味あるものなのかどうか、精査が必要なものがある。例えば、LD の寿命信頼性が 20000 時間とあるが、これは、単純計算でも試験に 2、3 年かかるものであり、もともとこのプロジェクトとしてこの時期に掲げることは意味がないものである。kW ブースター増幅器では繰り返し 75kHz となっているが、これだけを数字目標にするのは励起が CW で行われているので意味がない。パルス幅 3-10ns となっているが、これは非線形、光学ダメージが生じないという意味で書かれているものであろう。だとすれば、強度の形で書かないと目標にならない。ファイバーレーザーの高出力化でも  $M^2$  が  $<1.5$  となっているが、これは使用したロッド型フォトニッククリスタルファイバーで一意に決まってくるものであり、そのファイバーは購入したものであるから目標にする値でも達成した値でもないであろう。もし開発したファイバーがあるのであれば、その数字を挙げるべきである。QCW ファイバーレーザーでも、半導体レーザーの高速変調の確認という目標がある。この項目は、半導体レーザーを開発している側がやるのであれば、LD 素子開発などにフィードバックもかかるが、システムアップを行っている側が行ったものは、単にやってみたというだけの数字になってしまう。そのため、R&D の要素があまり見えない。ファイバーレーザーの高出力化に対する非線形性の評価も、現状としてスペクトルを測定したら非線形性が少なかったということで積極的な非線形性抑制をしているわけではない。現時点でもスペクトル上は非線形散乱が観測されているわけで、それを抑制する方法を開発し試行して、将来の高出力化に備えることが必要だと思われる。しかし、今のところ本プロジェクトとしてはこのような手法は見えない。ブースターアンプについては、波長が  $1\mu\text{m}$  であることが目標になっているが、すでにプロジェクトの設計段階で Yb 系  $1\mu\text{m}$  を使うことは決まっていたのだと思うから、これを目標にするのは陳腐である。パルス幅も 105ns となるが、これは、シード光のパルス幅を示しているのではないか。増幅媒質で高い引出効率を達成した状況でも、このパルス幅や波形が保たれているのかどうか。そのことが重要ではないかと思う。ホモジナイズビーム光学系に関しては、光学計算の開発が目標になっている。目標値 500mm 幅で 2.5% の均一性という数字がるが、示されているのは光源のコヒーレンスを入れた計算ではなく、光線追跡でのみ行われているものである。実際には、光源の面強度分

布、回折波の影響、コヒーレントスパイクのようなものを含めて一様性を評価することが必要であろう。光線追跡計算結果で一様性が得られたから OK というのは、実際の目標とはならない。レンズの研磨では、幅が 500mm 以上となっているが、レンズの開発目標では設計精度、指定された材料、表面粗さ、作られたものの形状精度などが示されていなければ評価にならない。以上のように、このプロジェクトでは、おそらく定量性を目標にすることを強いて行ったために、本当の開発目標に対して評価できる意味ある設定となっていない面が多々ある。目標に関して達成数字だけ示されても、本プロジェクトの真の成果にはならない。このあたりは、早急に改善すべきであろう。

- プロジェクト参加メーカーは、国際情勢が大きく変化していることを良くわかっているが、実際の開発に関しては、保守的な数字の見直ししかされていない。
- 目標値はクリアしているが、そこにどのような新しい技術開発があったのか明確でない。また、外国の先端企業等に対して、どのように優位性を獲得していくのか戦略が明確でない。

#### 〈その他の意見〉

- ・ 知的財産に関しては、一層の努力が望まれる。レーザー開発ではなかなか難しいが、加工技術では新規性のチャンスが十分ある。学会発表以外の情報発信が十分ではない。このプロジェクトを世界的に宣伝する必要がある。
- ・ このままの目標値管理により研究開発を続行するとプロジェクトの総合成果が十分に上がらず、国内でファイバーレーザーメーカーは残らないのではないかと危惧する。高出力レーザー加工機を製造販売している複数企業を技術開発プロジェクトに参考意見を提言するオブザーバーとして至急加え、ファイバーレーザーメーカーと技術者を国内に育成する体制を整えられたい。

#### 4) 実用化等の見通しについて

加工テーマを3つに分けているので、出口イメージは理解しやすい。また、高出力半導体レーザーおよびQCW（準連続発振）ファイバーレーザーの開発に関しては、実用可能性は高い。

一方、レーザーそのものの技術動向も大きく変化しており、また、ユーザーの状況も大きく変化してきている。アニール用システムは事業化するためのグリーンレーザーのイメージが湧かない。このレーザーは多段増幅も含めて複雑すぎる懸念を持った。また、QCWファイバーレーザーの開発では、CWレーザーで安価なkW級レーザーが市販されており、現状のCWレーザーに対する優位性をアピールする必要がある。今後、最終ユーザーとの連携を強めていく必要があり、そうなれば実用化の可能性を高めることができると考える。

##### 〈肯定的意見〉

- 高出力半導体レーザーおよびQCWファイバーレーザーの開発に関しては、実用可能性は高い。
- 実用化のイメージ、出口イメージは、②レーザー高品位化技術の開発以外は明確である。
- 加工テーマを3つに分けているので、出口イメージは理解しやすい。その中の小テーマまたはそれ以外の応用に対しては、レーザー加工システム開発センターのユーザー企業からある程度理解できる。事業化に関しては、半導体レーザーを特に期待したい。
- 初期に達成を目指した目標値は、当時の背景から理解できないものではない。現在も、そのイメージを肯定的に捉えて、実現を目指す姿勢がある。
- 強いて挙げるとすれば、事業化を志す姿勢が評価される。
- 出口イメージは明確になっていると思う。

##### 〈問題点・改善すべき点〉

- あまりにも出口が限定的になっているために、受け取る側の状況が変化した場合、出口となくなる可能性がある。マイルストーンに対しては数値的なものが挙げられているが、挑戦的なR&Dの部分が明確にはなっていない。あまりにも出口の定量評価を優先しているために、挑戦性が含まれ辛くなっている懸念がある。最終的には、国内に、このプロジェクトの出口となる産業が励起されることが望まれるが、その種を用意するだけ、ポテンシャルを示すだけでいいのか、このプロジェクトでは実用化（コストも考慮して現在使用されているものの代替）に結びつくのか明確にはされていない。ともすれば、光源を開発し、加工手法を示し、レーザ

一のパワーを上げることで加工速度を上げることをアピールしただけに終わってしまうのではないかと思う。そうならないように最終ユーザーとの連携を強めていく必要があり、そうなれば実用化の可能性を高めることができるであろう。

- 取り掛かり時点から、大きな世界経済の情勢変化があり、日本の産業のあり方も大きく変化している。レーザーそのものの技術動向も大きく変化しており、また、最終製品の製造メーカー（レーザーユーザー）の状況も大きく変化した。今後を見据えるなら、計画の変更の英断も必要な時期であると感じる。具体的には、海外競合メーカーの技術進展がはやく、QCW レーザーの一部見直しではなく、高出力のファイバーレーザーを、CW レーザー、QCW レーザーの観点からしっかりロードマップを見直し、計画時期の早期繰上げが必要。
- アニール用システムは事業化するためのグリーンレーザーのイメージが湧かない。このプロジェクトで開発するレーザーは、多段増幅も含め、複雑すぎて使えない。QCW ファイバーレーザーの開発では、現状の CW レーザーに対する優位性をアピールする必要がある。CW レーザーでは安価な kW 級レーザーが市販されているのだから。
- 第1は、①レーザー高出力化技術の開発では、研究開発事業化の成果が必ずしも他に使用されない課題があり、第三者への波及効果が大変薄いものと判断される。一方、企業2社の研究課題は重複する部分を含んでおりこのままであると単独企業の技術になる可能性がある。成果はそのプロジェクト内で必ず相互に使用するよう研究課題の割り振りを再検討するなど施策をして他の企業に波及できる体制にする必要がある。第2は、②レーザー高品位化技術の開発で事業化のための企業が不参加な点である。実用化のイメージ、出口イメージを CFRP など特殊な素材に限っているが、他のレーザー加工機に対する優位性が見いだせる可能性は今後も少なく、電子部品材料や半導体材料加工分野を見据えて出口の見直しは必須であろう。
- 光源については十分理解できていないが、ファイバーレーザーでは先行技術を本当に凌駕できるか心配である。またアニールシステムについては、市場がどの程度あるか、心配がある。

#### 〈その他の意見〉

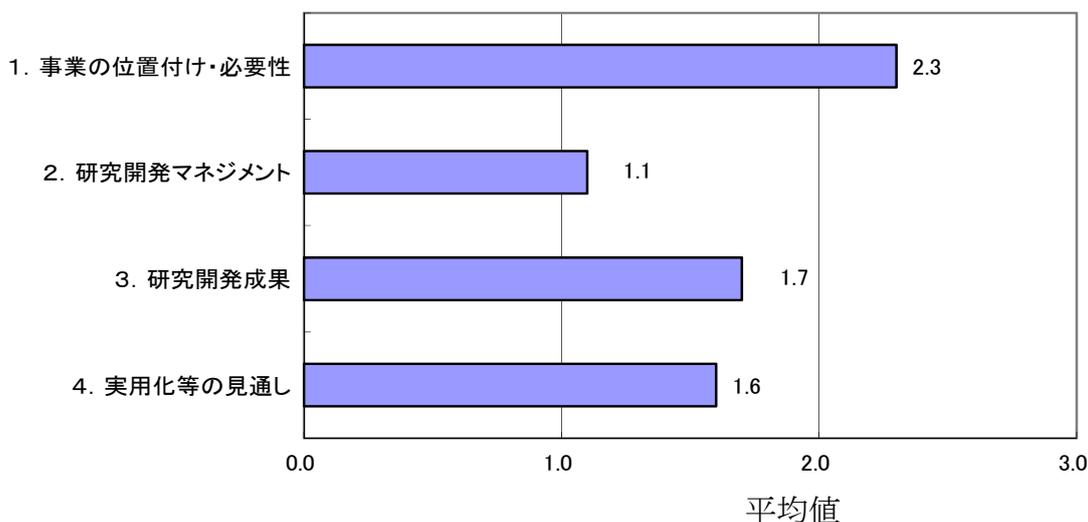
- ・ 通常、こういったプロジェクトでは開発された要素技術が転用されたり、開発された部品が市場に出て、他の研究や産業分野で使われたりすることが波及効果として期待される。その意味で、ファイバーカップル LD、フ

ファイバーレーザー材料などはそのポテンシャルを持っていると思う。ただし、一部、事業化に結びつける説明がなされているものもあったが、現状の状況ではプロジェクトのみに使われる部品の準備だけに終わる可能性もあり、今後、事業者は、より強くそれ以外の部分への貢献を意識して波及に努める必要があるだろう。人材育成に関しては、システムアップできる技術者は出るかもしれないが、根底から概念を覆すような研究者は生まれにくい状況にある。これは、挑戦的な課題が少ないことに基因していると思う。

- ファイバーレーザーも固体レーザーも励起レーザーはLDである。この分野で日本が遅れた理由は、高出力LDがなかったからである。高出力LDアレーとファイバーカップリングでは、このプロジェクトで世界的レベルに上げ、一般に市販してほしい。
- 本プロジェクト期間内に、単なるキャッチアップではない独自技術が生まれることを期待する。

### 3. 評点結果

#### 3. 1 プロジェクト全体



| 評価項目               | 平均値 | 素点 (注) |   |   |   |   |   |   |  |
|--------------------|-----|--------|---|---|---|---|---|---|--|
|                    |     | A      | A | B | B | C | A | B |  |
| 1. 事業の位置付け・必要性について | 2.3 | A      | A | B | B | C | A | B |  |
| 2. 研究開発マネジメントについて  | 1.1 | C      | B | C | C | D | B | C |  |
| 3. 研究開発成果について      | 1.7 | C      | B | B | B | C | B | B |  |
| 4. 実用化等の見通しについて    | 1.6 | C      | C | B | B | C | B | B |  |

(注) A=3, B=2, C=1, D=0 として事務局が数値に換算し、平均値を算出。

#### 〈判定基準〉

|                    |                   |
|--------------------|-------------------|
| 1. 事業の位置付け・必要性について | 3. 研究開発成果について     |
| ・非常に重要 →A          | ・非常によい →A         |
| ・重要 →B             | ・よい →B            |
| ・概ね妥当 →C           | ・概ね妥当 →C          |
| ・妥当性がない、又は失われた →D  | ・妥当とはいえない →D      |
| 2. 研究開発マネジメントについて  | 4. 実用化等の見通しについて   |
| ・非常によい →A          | ・明確 →A            |
| ・よい →B             | ・妥当 →B            |
| ・概ね適切 →C           | ・概ね妥当であるが、課題あり →C |
| ・適切とはいえない →D       | ・見通しが不明 →D        |

## 第2章 評価対象プロジェクト

1. 事業原簿

次ページより、当該事業の事業原簿を示す。

# 「次世代素材等レーザー加工技術開発プロジェクト」

## 事業原簿【公開】

|     |                                    |
|-----|------------------------------------|
| 担当部 | 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構<br>技術開発推進部 |
|-----|------------------------------------|

## —目次—

|                                   |         |
|-----------------------------------|---------|
| 概要                                | i-1     |
| I. 事業の位置付け・必要性について                |         |
| 1. NEDOの関与の必要性・制度への適合性            |         |
| 1.1 NEDOが関与することの意義                | I-1-1   |
| 1.2 実施の効果(費用対効果)                  | I-1-1   |
| 2. 事業の背景・目的・位置づけ                  | I-2-1   |
| II. 研究開発マネジメントについて                |         |
| 1. 事業の目標                          | II-1-1  |
| 2. 事業の計画内容                        |         |
| 2.1 研究開発項目                        | II-2-1  |
| 2.2 研究開発計画                        | II-3-1  |
| 2.3 研究開発の実施体制                     | II-4-1  |
| 2.4 研究の運営管理                       | II-5-1  |
| III. 研究開発成果について                   |         |
| 1. 事業全体の成果                        | III-1-1 |
| 2. 研究開発項目毎の成果                     |         |
| 2.1 研究開発項目① 半導体レーザーの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」の成果 | III-2-1 |
| 2.2 研究開発項目① 半導体レーザーの高出力化技術の開発     |         |
| 「(2) 半導体レーザーのファイバーカップル技術の開発」の成果   | III-3-1 |
| 2.3 研究開発項目② レーザー高品位化技術の研究開発       |         |
| 「(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」の成果      | III-4-1 |
| 2.4 研究開発項目② レーザー高品位化技術の研究開発       |         |
| 「(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」   |         |
| 「2) ファイバーレーザーのモジュール化技術の開発」の成果     | III-5-1 |
| 2.5 研究開発項目② レーザー高品位化技術の研究開発       |         |
| 「(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」   |         |
| 「3) ファイバーレーザーの高出力化技術の開発」の成果       | III-6-1 |
| 2.6 研究開発項目② レーザー高品位化技術の研究開発       |         |
| 「(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」   |         |
| 「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」の成果  | III-7-1 |
| 2.7 研究開発項目② レーザー高品位化技術の研究開発       |         |
| 「(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」の成果            | III-8-1 |
| 2.8 研究開発項目② レーザー高品位化技術の研究開発       |         |
| 「(2) パルスレーザー増幅(ブースター)技術の開発」       |         |
| 「2) アニールリング用ブースター増幅技術の開発」の成果      | III-9-1 |
| 2.9 研究開発項目② レーザー高品位化技術の研究開発       |         |
| 「(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」の成果                     | Ⅲ-10-1 |
| 2.10 研究開発項目② レーザー高品位化技術の研究開発                   |        |
| 「(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」                           |        |
| 「ファイバーレーザーの波長変換モジュール」の成果                       | Ⅲ-11-1 |
| 2.11 研究開発項目② レーザー高品位化技術の研究開発                   |        |
| 「(3) 高出力波長変換技術の開発」                             |        |
| 「2) 波長変換の高効率化技術の開発」の成果                         | Ⅲ-12-1 |
| 2.12 研究開発項目② レーザー高品位化技術の研究開発                   |        |
| 「(3) 高出力波長変換技術の開発」                             |        |
| 「3) 加工試験のための整備」の成果                             | Ⅲ-13-1 |
| 2.13 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」の成果                    | Ⅲ-14-1 |
| 2.14 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」                                |        |
| 「2) 複合材料加工プロセス・評価技術の開発」の成果                     | Ⅲ-15-1 |
| 2.15 研究開発項目③ 多波長複合加工技術の開発                      |        |
| 「(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」の成果                    | Ⅲ-16-1 |
| 2.16 研究開発項目③ 多波長複合加工技術の開発                      |        |
| 「(2) 表面処理技術の開発」                                |        |
| 「2) 大型光学部品研磨技術の開発」の成果                          | Ⅲ-17-1 |
| 2.17 研究開発項目③ 多波長複合加工技術の開発                      |        |
| 「(2) 表面処理技術の開発、                                |        |
| 「3) 高精度ビーム評価技術の開発」の成果                          | Ⅲ-18-1 |
| 2.18 研究開発項目③ 多波長複合加工技術の開発                      |        |
| 「(3) 粉末成形技術の開発」の成果                             | Ⅲ-19-1 |
| 2.19 研究開発項目④ 技術開発推進にかかる調査(先端技術、環境等)・評価・普及促進の成果 | Ⅲ-20-1 |

#### IV. 実用化、事業化の見通しについて

|  |       |
|--|-------|
| 1. 事業全体の实用化、事業化の見通しについて                    | Ⅳ-1-1 |
| 2. 研究開発項目毎の实用化、事業化の見通しについて                 |       |
| 2.1 研究開発項目① 半導体レーザーの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」の实用化、事業化の見通し | Ⅳ-2-1 |
| 2.2 研究開発項目① 半導体レーザーの高出力化技術の開発              |       |
| 「(2) 半導体レーザーのファイバーカップル技術の開発の实用化、事業化の見通し    | Ⅳ-3-1 |
| 2.3 研究開発項目② レーザー高品位化技術の研究開発                |       |
| 「(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」の实用化の見通し          | Ⅳ-4-1 |
| 2.4 研究開発項目② レーザー高品位化技術の研究開発                |       |
| 「(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」            |       |
| 「2) ファイバーレーザーのモジュール化技術の開発」の实用化の見通し         | Ⅳ-5-1 |
| 2.5 研究開発項目② レーザー高品位化技術の研究開発                |       |
| 「(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、            |       |
| 「3) ファイバーレーザーの高出力化技術の開発」の实用化の見通し           | Ⅳ-6-1 |
| 2.6 研究開発項目② レーザー高品位化技術の研究開発                |       |
| 「(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」            |       |

|   |         |
|---|---------|
| 「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」の実用化、事業化の見通し | IV-7-1  |
| 2.7 研究開発項目② レーザー高品位化技術の研究開発               |         |
| 「(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」の実用化の見通し               | IV-8-1  |
| 2.8 研究開発項目② レーザー高品位化技術の研究開発               |         |
| 「(2) パルスレーザー増幅(ブースター)技術の開発」               |         |
| 「2) アニール用ブースター増幅技術の開発」の実用化の見通し            | IV-9-1  |
| 2.9 研究開発項目② レーザー高品位化技術の研究開発               |         |
| 「(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」                      |         |
| 「アニール用レーザーの波長変換モジュール」の実用化の見通し             | IV-10-1 |
| 2.10 研究開発項目② レーザー高品位化技術の研究開発              |         |
| 「(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                      |         |
| 「ファイバーレーザーの波長変換モジュール」の実用化の見通し             | IV-11-1 |
| 2.11 研究開発項目② レーザー高品位化技術の研究開発              |         |
| 「(3) 高出力波長変換技術の開発」                        |         |
| 「2) 波長変換の高効率化技術の開発」の実用化の見通し               | IV-12-1 |
| 2.12 研究開発項目② レーザー高品位化技術の研究開発              |         |
| 「(3) 高出力波長変換技術の開発」                        |         |
| 「3) 加工試験のための整備」の実用化の見通し                   | IV-13-1 |
| 2.13 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」の実用化の見通し          | IV-14-1 |
| 2.14 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」                           |         |
| 「2) 複合材料加工プロセス・評価技術の開発」の実用化の見通し           | IV-15-1 |
| 2.15 研究開発項目③ 多波長複合加工技術の開発                 |         |
| 「(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」の実用化、事業化の見通し      | IV-16-1 |
| 2.16 研究開発項目③ 多波長複合加工技術の開発                 |         |
| 「(2) 表面処理技術の開発」                           |         |
| 「2) 大型光学部品研磨技術の開発」の実用化、事業化の見通し            | IV-17-1 |
| 2.17 研究開発項目③ 多波長複合加工技術の開発                 |         |
| 「(2) 表面処理技術の開発」                           |         |
| 「3) 高精度ビーム評価技術の開発」の実用化、事業化の見通し            | IV-18-1 |
| 2.18 研究開発項目③ 多波長複合加工技術の開発                 |         |
| 「(3) 粉末成形技術の開発」の実用化の見通し                   | IV-19-1 |

(添付資料)

- ・添付資料1 「次世代素材等レーザー加工技術開発プロジェクト基本計画
- ・添付資料2 特許論文リスト
- ・添付資料3 事前評価関連資料(事前評価書)

概要

|                    |   | 最終更新日    | 平成24年8月3日 |
|--------------------|---|----------|-----------|
| プログラム（又は<br>施策）名   |   |          |           |
| プロジェクト名            | 次世代素材等レーザー加工技術開発<br>プロジェクト  | プロジェクト番号 | P10006    |
| 担当推進部<br>/担当者      | 技術開発推進部 齋藤 弘一（平成24年5月～）<br>佐々木 健一（平成22年8月～平成24年4月）  |          |           |
| 0. 事業の概要           | <p>我が国における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加工技術の確立が求められている。次世代レーザー加工技術は、従来加工技術のブレークスルーとして、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期待されている。また、我が国の製造業における国際競争力の維持・強化、技術安全保障などの観点からも次世代レーザーの技術開発を国として取り組む必要性に迫られている。本事業では、「ユーザーニーズに適応した」かつ「国際競争力のある」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の研究開発を下記の開発項目により実施する。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>① レーザー高出力化技術の開発</li> <li>② レーザー高品位化技術の開発</li> <li>③ 多波長複合加工技術の開発</li> </ol>   |          |           |
| I. 事業の位置付け・必要性について | <p>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、欧米では莫大な開発予算による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巻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、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。</p>   |          |           |
| II. 研究開発マネジメントについて |   |          |           |
| 事業の目標              | <p>本事業では、「ユーザーニーズに適応した」かつ「国際競争力のある」をコンセプトに、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ため、以下の各研究開発項目の確立を目指す。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>① 高出力化技術開発<br/>(半導体レーザー高出力化技術・高信頼化技術、ファイバーカップル技術)</li> <li>② 高品位化技術開発<br/>(ファイバーレーザーのパルス制御・高性能化技術、パルスレーザー増幅技術、高出力波長変換技術)</li> <li>③ 多波長複合加工技術開発<br/>(炭素繊維複合材料の切断接合技術、有機EL・太陽電池デバイス等の表面処理技術、チタン合金の粉末成形技術)</li> </ol> <p>炭素繊維複合材料の切断接合では自動車の製造ラインに適用可能な加工速度と品質、有機EL・太陽電池デバイス・有機ELの表面処理では大面積化と品質、生体材料の粉末成形ではチタン合金を対象とした医療機器に適用可能な加工速度と品質を実現する国産の次世代レーザー加工システムを平成26年度までに開発することを目標とする。これらにより、省エネ・軽量化が要求される自動車・航空機、低コスト生産・高効率化が要求されるエネルギー・情報家電、高品位化・新医療機器開発が望まれている医療・介護等に幅広く寄与するものづくり基盤技術の強化が期待される。</p> |          |           |

|  |                                    |  |       |       |       |       |       |  |
|--|------------------------------------|--|-------|-------|-------|-------|-------|--|
| 事業の計画内容  | 主な実施事項                             | H21fy  | H22fy | H23fy | H24fy | H25fy |       |  |
|  | レーザーの高出力化技術の開発                     | →  |       |       |       |       |       |  |
|  | レーザーの高品位化技術の開発                     | →  |       |       |       |       |       |  |
|  | 多波長複合加工技術の開発                       | →  |       |       |       |       |       |  |
| 開発予算<br>(会計・勘定別に事業費の実績額を記載) (単位:百万円)<br>契約種類:<br>○をつける<br>(委託(○)助成( )共同研究(負担率 2/3)(○)) | 会計・勘定                              | H22fy  | H23fy | H24fy | H25fy | H26fy | 総額    |  |
|  | 一般会計                               | 673  | 1,089 | 0     | —     | —     | 1,762 |  |
|  | 特別会計<br>(電源・需給の別)                  | 0  | 0     | 1,169 | —     | —     | 1,169 |  |
|  | 加速予算<br>(成果普及費を含む)                 | 0  | 584   | 0     | —     | —     | 584   |  |
|  | 総予算額                               | 673  | 1,673 | 1,169 | —     | —     | 3,515 |  |
| 開発体制   | 経産省担当原課                            | 製造産業局産業機械課   |       |       |       |       |       |  |
|  | プロジェクトリーダー                         | 技術研究組合次世代レーザー加工技術研究所<br>研究総括理事 尾形仁士  |       |       |       |       |       |  |
|  | 委託先(*委託先が管理法人の場合は参加企業数および参加企業名も記載) | <p>○技術研究組合次世代レーザー加工技術研究所(参加 11 団体)<br/>(浜松ホトニクス(株)、古河電気工業(株)、(株)アルバック、ミヤチテクノス(株)、新日本工機(株)、(株)アспект、三菱化学(株)、(株)片岡製作所、公益財団法人レーザー技術総合研究所、独立行政法人産業技術総合研究所(加工システム技術開発センター)、一般財団法人製造科学技術センター)</p> <p>○大阪大学(レーザーエネルギー学研究所、接合科学研究所)</p> <p>○浜松ホトニクス(株)</p> <p>○(株)アルバック</p> <p>○古河電気工業(株)</p> |       |       |       |       |       |  |

| Ⅲ. 研究開発成果<br>について  | <p>(1) 研究開発の概要</p> <p>今後需要が伸びることが予想される新素材や次世代製品において、高出力で高品位な半導体ファイバーレーザーを用いて短時間でかつ高品質に加工ができる発振・加工技術の開発を、民間企業、大学、研究機関、経済産業省等が連携して実施し、早期実用化を目指す。以下の各研究開発項目の確立を目指す。</p> <p>① 高出力化技術開発（半導体レーザー高出力化技術・高信頼化技術、ファイバーカップル技術）<br/> ② 高品位化技術開発（ファイバーレーザーのパルス制御・高性能化技術、パルスレーザー増幅技術、高出力波長変換技術）<br/> ③ 波長複合加工技術開発（炭素繊維複合材料の切断接合技術、有機 EL・太陽電池デバイス等の表面処理技術、チタン合金の粉末成形技術）</p> <p>上記の各研究開発項目が連携することによってそれぞれの加工技術を確立する。炭素繊維複合材料の切断接合では自動車の製造ラインに適用可能な加工速度と品質、有機EL・太陽電池デバイス・有機ELの表面処理では大面積化と品質、生体材料の粉末成形ではチタン合金を対象とした医療機器に適用可能な加工速度と品質を実現する国産の次世代レーザー加工システムを平成 26 年度までに開発することを目指す。</p>   |  |  |    |      |           |  |   |           |   |  |           |   |  |         |  |
|--------------------|---|--|--|----|------|-----------|--|---|-----------|---|--|-----------|---|--|---------|--|
|                    | <p>(2) 研究開発目標と成果</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>目標</th> <th>達成状況</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>切断接合技術の開発</td> <td>CFRP 等の次世代素材をレーザーにより、高品位に加工できる技術を開発する。</td> <td>各種レーザーを用いて CFRP 素材の加工実験と評価を行い、高品位の CFRP 加工の見通しがついた。</td> </tr> <tr> <td>表面処理技術の開発</td> <td>フラットパネルディスプレイや太陽電池製造に適用できるレーザーSi アニール技術を開発する。</td> <td>アニール用レーザーを光源とし、均一なワイドビームを実現する光学系の構築が、順調に進んでいる。</td> </tr> <tr> <td>粉末成形技術の開発</td> <td>従来の粉末成形ではできなかったチタン等の材料を用いて、医療などに貢献できる粉末成形技術を開発する。</td> <td>小型プラットフォームを製作し、真空中でのチタン合金の成形技術を開発した。展示会に出品し、ユーザーにアピールすることができた。</td> </tr> <tr> <td>調査・普及促進</td> <td>プロジェクトの出口を幅広く外部に求めるため、有識者を含めてプロジェクトのテーマについて議論する。</td> <td>調査委員からの幅広い意見を聞き、国際的な技術動向などの調査を行った。分科会（WG）では今後のプロジェクトの展開につながる議論ができた。</td> </tr> </tbody> </table> |  |  | 目標 | 達成状況 | 切断接合技術の開発 | CFRP 等の次世代素材をレーザーにより、高品位に加工できる技術を開発する。 | 各種レーザーを用いて CFRP 素材の加工実験と評価を行い、高品位の CFRP 加工の見通しがついた。 | 表面処理技術の開発 | フラットパネルディスプレイや太陽電池製造に適用できるレーザーSi アニール技術を開発する。 | アニール用レーザーを光源とし、均一なワイドビームを実現する光学系の構築が、順調に進んでいる。 | 粉末成形技術の開発 | 従来の粉末成形ではできなかったチタン等の材料を用いて、医療などに貢献できる粉末成形技術を開発する。 | 小型プラットフォームを製作し、真空中でのチタン合金の成形技術を開発した。展示会に出品し、ユーザーにアピールすることができた。 | 調査・普及促進 | プロジェクトの出口を幅広く外部に求めるため、有識者を含めてプロジェクトのテーマについて議論する。 |
|                    | 目標  | 達成状況   |  |    |      |           |  |   |           |   |  |           |   |  |         |  |
| 切断接合技術の開発          | CFRP 等の次世代素材をレーザーにより、高品位に加工できる技術を開発する。  | 各種レーザーを用いて CFRP 素材の加工実験と評価を行い、高品位の CFRP 加工の見通しがついた。  |  |    |      |           |  |   |           |   |  |           |   |  |         |  |
| 表面処理技術の開発          | フラットパネルディスプレイや太陽電池製造に適用できるレーザーSi アニール技術を開発する。   | アニール用レーザーを光源とし、均一なワイドビームを実現する光学系の構築が、順調に進んでいる。   |  |    |      |           |  |   |           |   |  |           |   |  |         |  |
| 粉末成形技術の開発          | 従来の粉末成形ではできなかったチタン等の材料を用いて、医療などに貢献できる粉末成形技術を開発する。   | 小型プラットフォームを製作し、真空中でのチタン合金の成形技術を開発した。展示会に出品し、ユーザーにアピールすることができた。   |  |    |      |           |  |   |           |   |  |           |   |  |         |  |
| 調査・普及促進            | プロジェクトの出口を幅広く外部に求めるため、有識者を含めてプロジェクトのテーマについて議論する。  | 調査委員からの幅広い意見を聞き、国際的な技術動向などの調査を行った。分科会（WG）では今後のプロジェクトの展開につながる議論ができた。  |  |    |      |           |  |   |           |   |  |           |   |  |         |  |
|                    | 投稿論文  | 「査読付き」12 件、「その他」4 件  |  |    |      |           |  |   |           |   |  |           |   |  |         |  |
|                    | 特 許   | 「出願済」19 件（うち国際出願 1 件）  |  |    |      |           |  |   |           |   |  |           |   |  |         |  |
|                    | その他の外部発表<br>(プレス発表等)  | 「研究発表・講演」71 件、「展示会出展」2 件   |  |    |      |           |  |   |           |   |  |           |   |  |         |  |
| Ⅳ. 実用化、事業化の見通しについて | <p>これまでの開発より、3つの出口のCFRP切断接合、表面処理、粉末成形のどのテーマにおいても最終目標達成の見通しを得ている。最終目標を達成し、実用化と事業化への必要な基盤技術を確立し、事業化に向けた検討を進めていく方針である。<br/> 実用化、事業化の詳細は各実施者の報告による。</p>   |  |  |    |      |           |  |   |           |   |  |           |   |  |         |  |
| Ⅴ. 基本計画に関する事項      | 作成時期  | 平成 24 年 3 月 作成   |  |    |      |           |  |   |           |   |  |           |   |  |         |  |
|                    | 変更履歴  | (1) 平成 22 年 3 月制定。<br>(2) 平成 23 年 3 月、研究開発項目③「多波長複合加工技術の開発」の中間目標の変更により改訂。<br>(3) 平成 24 年 3 月、平成 24 年度の勘定が一般会計から特別会計への変更に伴い、プロジェクト名称改訂。 |  |    |      |           |  |   |           |   |  |           |   |  |         |  |

## I. 事業の位置づけ・必要性について

### 1. NEDO の関与の必要性・制度への適合性

#### 1.1 NEDO が関与することの意義

日本のレーザー開発は、経済産業省の大型開発プロジェクトだけでも、1977 年～2001 年にかけて CO<sub>2</sub> レーザー等の継続的な開発を行ってきた。

国家プロジェクトの取り組みにより、わが国のレーザー加工技術は、かろうじて先行集団の一角に位置し、わが国製造業の技術競争力を下支えしてきた。一方、欧米では産業技術および軍事技術として盛んに研究開発および産業応用が進められた。

わが国では 2001 年度以降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、欧米では国家支援が継続されてきており、レーザー技術の最先端領域である市場拡大が著しい半導体・ファイバーレーザーの分野において欧米に席卷されているのが現状である。

近年、産業用レーザー市場は海外で拡大し続けているものの、我が国は、メンテナンスコスト、レーザー加工技術等の開発で大きく遅れをとっている。

そのため、我が国に導入されている有望なレーザー装置は、ほぼ海外製であり完全にブラックボックス化されていることから、導入してもメンテナンス等を海外企業に頼らざるを得ない。

このままでは我が国のレーザー技術の空洞化が懸念され、革新的な部材の製造ができて自力で次世代製品を製造できないという事態に陥る可能性があり、我が国の製造業における国際競争力の維持・強化、技術力強化などの観点からも次世代レーザーの技術開発を国として取り組む必要性に迫られている。

#### 1.2 実施の効果(費用対効果)

高出力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普及が見込まれ、2030 年に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 2,200 億円の市場が期待される。

## 2. 事業の背景・目的・位置づけ

### 2.1 事業の背景

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、装置のメンテナンスサービスの遅延や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。

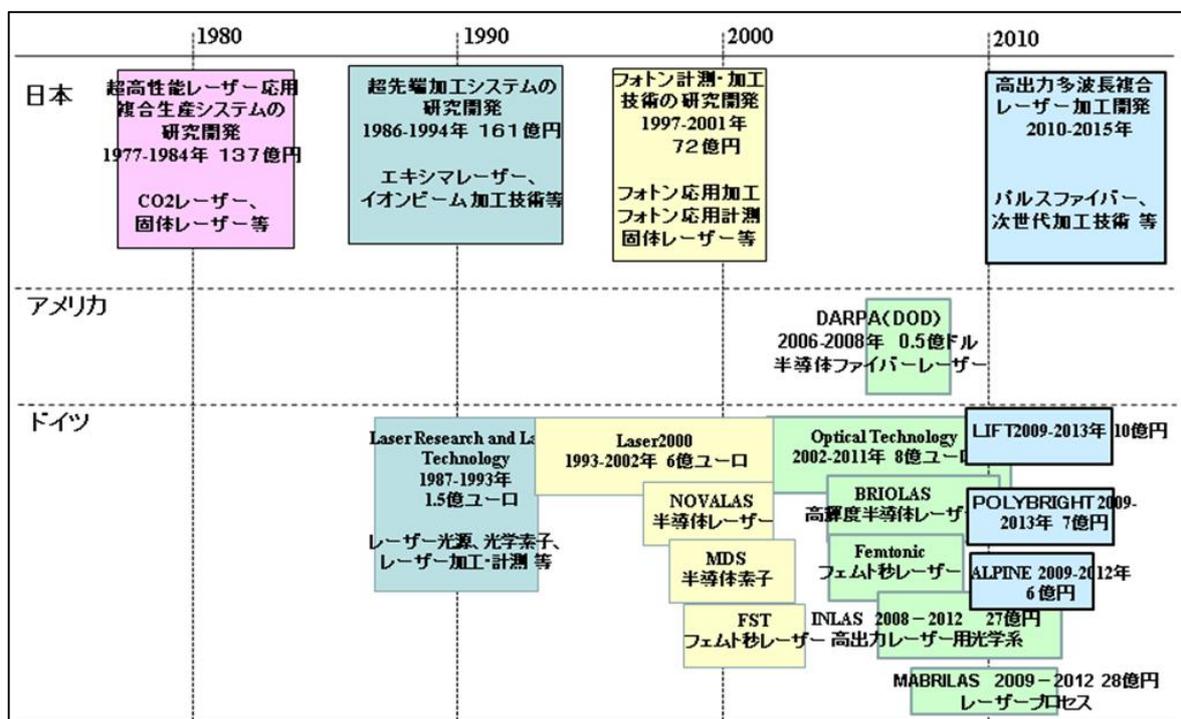


図 I - 1. 2. 1 レーザー開発状況

### 2.2 政策的重要性

本プロジェクトは、2009年12月に行われた総合科学技術会議（第87回）「優先度判定(SABC)及び改善・見直し指摘の結果」において、「S」※<sup>1</sup> 評価を受け積極的に実施すべきプロジェクトであると評価を受けて開始している。

#### コメント

- 今回開発しようとしているレーザーは長波長と短波長を組み合わせ、加工の精度、速度を高めたレーザーであり、難加工である炭素繊維複合材料や太陽電池などの機能性材料を高品位・高品質で加工することができるものであり、非常に重要である。
- レーザーの光源に近い企業とその応用に強い企業との連携として集中研究拠点体制で取り組む予定であり、効果の期待できる優れた施策である。
- 我が国製造業の国際競争力の維持・強化、技術安全保障の観点からも国産の次世

代レーザー技術を国として取り組む意味は大きく、海外の動向を踏まえつつ、コストパフォーマンスに留意しつつ明確な商品化イメージを持って、積極的に実施すべきである。

※1：特に重要で、府省連携等、効果的な実施体制が整備されるなど内容的にも極めて優れ、グリーンイノベーションなど、イノベーション創出・社会への展開の観点等から、特に重点的に資源を配分することで、積極的に実施すべきもの。

### 2.3 NEDO が関与する意義

我が国では、このようなレーザー発振器開発に必要な要素技術が大企業、中小企業、大学、研究機関に分散しており、製品化を見据えたレーザー技術の集約・システム化が進んでいなかったため、国が主導して、コンソーシアムによる技術開発プロジェクトを実施することで、技術の集約やシステム化を進めることが有効である。

また、本事業により企業が培ったレーザーの発振器、加工システム開発に必要な要素技術がレーザー光源技術、レーザー加工用デバイス、レーザー加工システム等として実用化がされることで、各産業における次世代製品の製造がレーザー加工によって促進される期待が高い。

### 2.4 研究開発の目的

本事業では、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を実現する加工技術の確立を目指す。

## Ⅱ 研究開発マネジメント

### 1. 事業の目標

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し、先進材料の利活用促進に貢献するため、レーザー加工システムの技術開発を行う。特に、先進材料の高加工品質と高生産性を実現することによって、従来手法では困難であった精密加工のブレイクスルー技術として実用に耐えるレーザー加工技術を確立する。先進材料の加工技術として、①切断接合技術、②表面処理技術、③粉末成形技術の研究開発を行う。

本事業では、我が国の企業・大学・研究機関が有するレーザー加工技術を集積することによって、高加工品質と高生産性を両立する加工システムの技術開発を平成 26 年度までに開発することを目標とする。

開発を行う加工技術：

- ① 切断接合技術開発：自動車の製造ラインに適用可能な炭素繊維複合材料(CFRP)の切断接合技術(加工速度と品質)を実現
- ② 表面処理技術開発：有機EL・太陽電池デバイスの表面処理技術では大面積化と表面改質を実現
- ③ 粉末成形技術開発：生体材料の粉末成形ではチタン合金を対象とした医療機器に適用可能な加工速度と品質を実現

#### 1.1 加工用レーザーの性能

図Ⅱ-1.1.1は、既存レーザーの性能と本プロジェクトで開発するレーザー装置の性能をプロットしている。開発ターゲットである3つの加工技術に必要なレーザーの性能は、切断接合技術開発では高パワーレーザー装置、表面処理技術開発ではパルスエネルギーが高い、粉末成形では繰り返し周波数が高い性能が必要であり、各々市販レーザーには無い特徴を有したレーザー装置開発を目標とした。

一方、高出力化技術では、先行している海外メーカーの2010年までのシングルエミッタ性能のトレンドを調査した結果(図Ⅱ-1.1.2)、高出力化する目標設定とした。プロジェクト開始後、中間目標値と同じ光出力15Wの製品がリリースされたが、2012年にスペックダウンされ、目標値は世界的に最高位である。さらに、アレイ化においては、開発したシングルエミッタを用い、高出力化のみならず、長寿命化の両立を目指す。

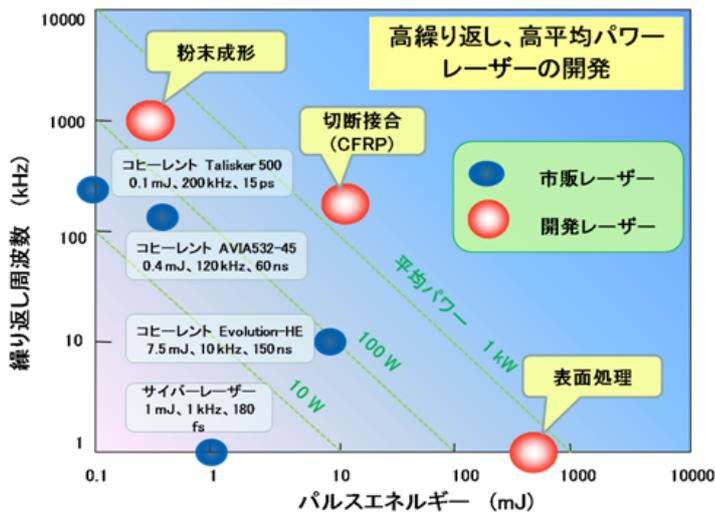


図 II - 1. 1. 1 開発レーザー性能

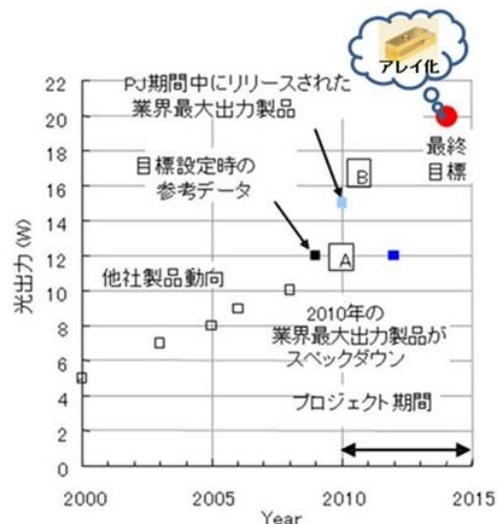


図 II - 1. 1. 2 シングルエミッタのトレンド

### 1.2 レーザー加工に求められる性能又は加工品質

現状の切断接合技術、表面処理技術、粉末成形技術及び、レーザーの性能などから、開発を目指すレーザー加工システムに求められる性能を検討した結果を表 II - 1. 2. 1 に示す。

表 II - 1. 2. 1 開発加工システムに求められる性能(品質)

| 項目     |        | 現行性能                       | 開発ターゲット            | 備考  |                |
|--------|--------|----------------------------|--------------------|---|----------------|
| 切断接合技術 | レーザー照射 | -                          | 高出力と二波長重畳等の多波長複合照射 | -   |                |
|        | 加工速度   | 切削加工0.1m/分、W/J加工1m/分       | 6m/分:              | 自動車の部材加工のタクトタイム   |                |
|        | 切断     | 反応層の厚み                     | 機械加工、W/Jは熱損傷を発生しない | 反応層の厚み: 100 μm以下  | ユーザー企業からのリクエスト |
|        |        | 引張り強度                      | -                  | 機械加工による引張り強度をゼロとして10%未満の低減に抑制                           | ユーザー企業からのリクエスト |
| 接合     | せん断強度  | 接着剤30MPa                   | 100MPa             | 当該部材の実用的に求められる接合強度の最高値を設定                               |                |
| 表面処理技術 | レーザー照射 | エキシマレーザー                   | グリーンレーザー           | -   |                |
|        | ビーム幅   | 400mm                      | 500mm以上            | 40inchTVクラスの基板加工が可能なサイズ以上                               |                |
| 粉末成形技術 | レーザー照射 | CW                         | CWとパルスの複合レーザー照射    | -   |                |
|        | 成形精度   | ±0.2mm                     | ±0.1mm             | 欧州製焼結積層成形装置の能力の50%向上。                                   |                |
|        | 成形時間   | 20時間<br>(高さ100mmサイズの基準パーツ) | 16時間以内             | 欧州製焼結積層成形装置の能力の20%アップ。                                  |                |
|        | 引張り強度  | -                          | Ti 840Mpa以上        | Ti-6Al-4Vの機械強度に関するASTM-F136とISC5832-3のいずれの規定値も満足する値を設定。 |                |

## 2.1 研究開発項目

### 2.1.1 レーザー加工装置の開発に必要な開発技術項目

1.2 及び 1.3 より、切断接合技術、表面処理技術、粉末成形技術に要求されるレーザー加工システムの性能を表Ⅱ-2.1.1 にまとめ、開発が必要な技術を以下のように分類した。

- ① レーザー高出力化技術の開発
- ② レーザー高品位化技術の開発
- ③ 多波長複合加工技術の開発

表Ⅱ-2.1.1 加工技術に対する要求と技術課題

|        | 要求性能                |  | 研究開発分類  |
|--------|---------------------|--|---|
|        | 項目                  | 仕様   |   |
| 切断接合技術 | 光源:<br>シングル<br>エミッタ | 波長: 近赤外帯(900nm帯)、出力: 20 W、効率: 65%、寿命: 50,000時間                             | ①レーザー高出力化技術<br>励起用半導体レーザーの高出力化・高信頼化<br>ファイバー導入におけるレーザー出力の損失低減 |
|        | 光源:<br>アレイ          | 波長: 近赤外帯(900nm帯)、出力: 300 W、効率: 60%、寿命: 50,000時間<br>自動組立が可能であること            |   |
|        | レーザー                | 繰り返し: 75-150kHz、出力パワー: 1.5kW、波長: 1064.1-1064.8nm<br>パルス幅: 3-10ns           | ②レーザーの高品位化技術<br>レーザー出力増幅及びビーム品質の保持                            |
|        | 切断性能                | 切断加工速度 6m/min、反応層厚み 100μm、引張強度 10%未満の低減、高出力レーザーと二波長重畳等の多波長複合照射             | ③多波長複合加工技術<br>加工システム、プロセスの構築                                  |
|        | 接合性能                | 切断加工速度 6m/min、引張せん断強度 100MPa   |   |
| 表面処理技術 | レーザー                | Green Laser、波長: 1μm帯、平均出力: 200~700W、<br>繰り返し周波数: 1~150 kHz、パルス幅: 0.5~200ns | ②レーザーの高品位化技術<br>レーザー出力増幅及びビーム品質の保持                            |
|        | ビーム<br>性能           | ワイドビーム: 幅500mm以上、  | ③多波長複合加工技術<br>ワイドビーム整形光学系技術の確立                                |
| 粉末成形技術 | レーザー                | 波長1μm帯、平均出力: 200~700W、繰り返し周波数: 1~150 kHz<br>パルス幅100ns                      | ②レーザーの高品位化技術<br>レーザー出力増幅及びビーム品質の保持                            |
|        | 成形                  | 材料: チタン(酸化防止技術)、成形精度: ±0.1mm、成形時間16時間<br>以内、CWとパルスの複合レーザー照射                | ③多波長複合加工技術<br>真空チャンバー型焼結積層造形技術                                |

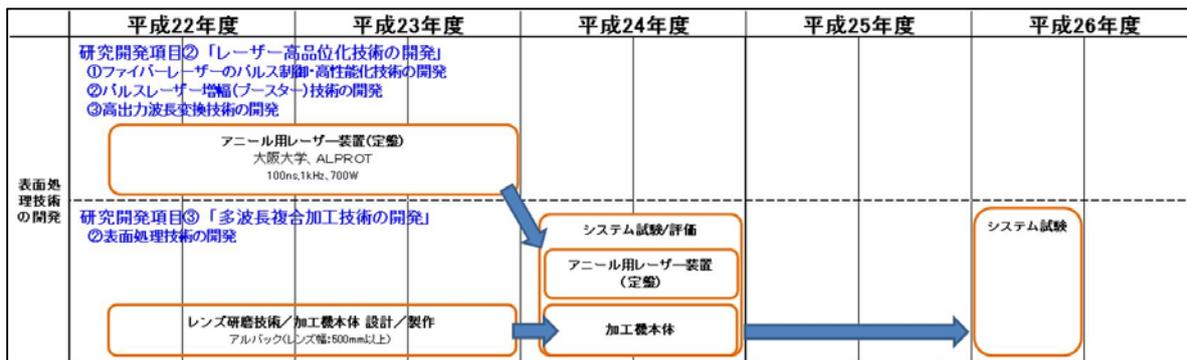
## 2.2 研究開発計画

レーザー加工システム単位技術課題に対する開発計画及び、開発予算を以下に示す。

### 2.2.1 切断接合技術開発計画

図Ⅱ－2.2.1 切断接合技術開発計画

### 2.2.2 表面処理技術開発計画



図Ⅱ－2.2.2 表面処理技術開発計画

### 2.2.3 表面処理技術開発計画

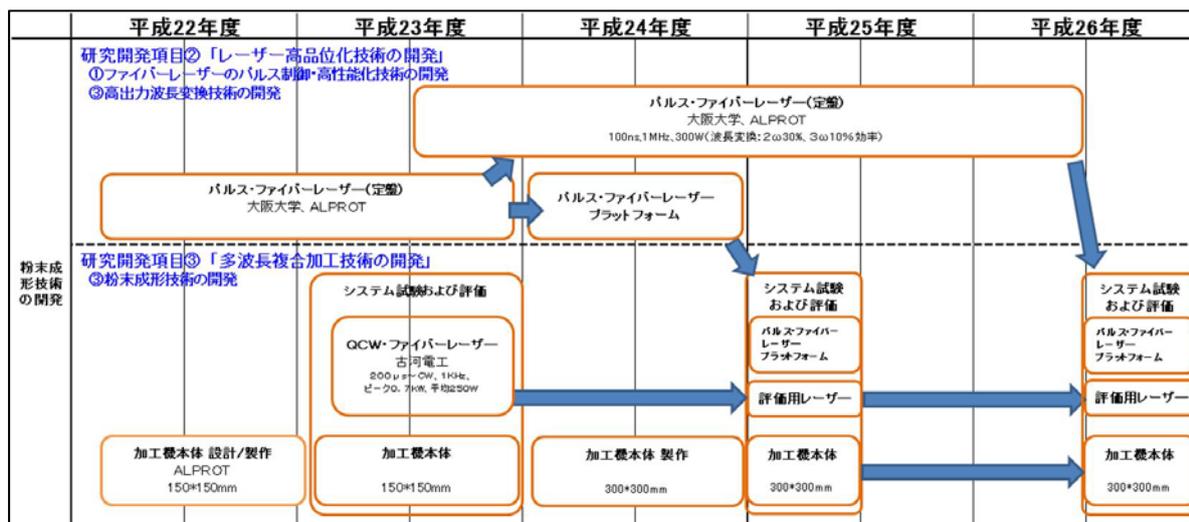


図 II - 2.2.3 粉末成形技術開発計画

### 2.2.4 開発予算計画

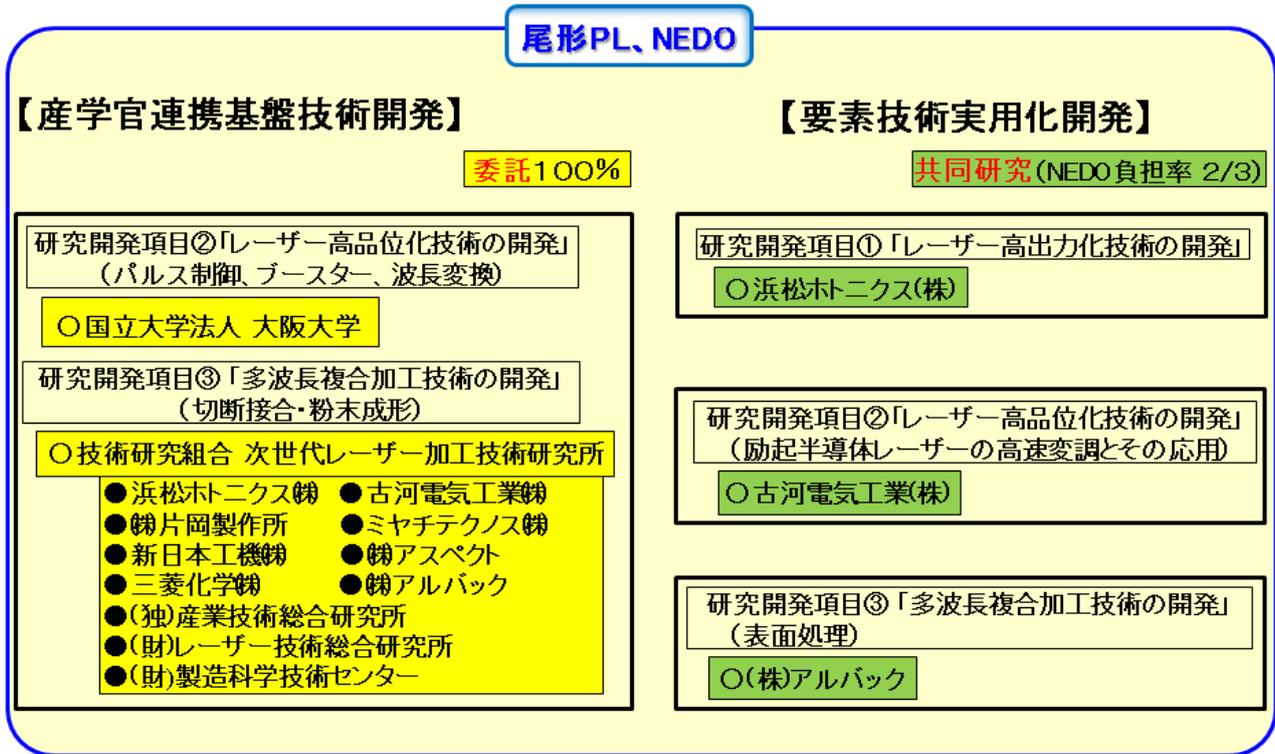
表 II - 2.2.1 プロジェクト予算

単位：百万円

|                 |                   | 平成22年度 | 平成23年度 | 平成24年度<br>(予算) | 総額    |
|-----------------|-------------------|--------|--------|----------------|-------|
| 開発実績<br>(事業費合計) | 総額                | 673    | 1,673  | 1,169          | 3,515 |
|                 | (委託)              | 449    | 547    | 634            | 1,630 |
|                 | (共同研究:<br>負担率2/3) | 224    | 542    | 535            | 1,301 |
|                 | (加速)              | 0      | 584    | 0              | 584   |

### 2.3 研究開発の実施体制

我が国では、このようなレーザー発振器開発に必要な要素技術が大企業、中小企業、大学、研究機関に分散しており、製品化を見据えたレーザー技術の集約・システム化が進んでいなかったため、コンソーシアムによる技術開発プロジェクトを実施することで、技術の集約やシステム化を進めることとした。



図Ⅱ-2.3.1 プロジェクト実施体制

## 2.4 研究開発の運営管理

プロジェクトリーダーとNEDOの研究開発の進捗管理、プロジェクト内の連携を図る組織体、及び実用化に向けてユーザーとの連携を図っている。

### 2.4.1 プロジェクトリーダーとNEDOの研究開発の進捗管理

#### ① レーザー推進連絡会議

実施者が一堂に会プロジェクト全体のスケジュール及び課題の確認。

#### ② 進捗確認シート

4半期に一度、研究進捗の報告、課題と今後のスケジュールを確認。

### 2.4.2 プロジェクトメンバーによる進捗管理

#### ① 光源開発センター

大阪大学(レーザー研、接合研)に高品位化技術の開発及び評価を集約。

#### ② 加工技術開発センター

産総研に加工システム(多波長複合技術)の構築を集約して開発を推進。

#### ③ プロジェクト技術開発会議

プロジェクトメンバーが光源とシステム関連を交互に開催する連絡会議。

### 2.4.3 実用化に向けたユーザーとの連携

技術的な方向性や最新技術の動向把握、技術情報等の収集。

プロジェクト成果活用が見込めるユーザー企業のメンバーからなる外部有識者やエンドユーザー、レーザー加工機メーカーとワーキンググループを構築し、成果の評価・普及促進を図り、実用化への検討を行う。

#### ① 技術調査委員会

実用化促進のため、レーザー及びレーザー加工の国際的な技術動向、標準化、新素材・加工、表面改質、粉末成形のユーザーからのニーズ等の把握。

#### ② 国際・戦略ワーキンググループ

現状のレーザー及びレーザー加工技術の動向と、今後どのようなレーザーとレーザー加工技術等の情報収集。

#### ③ 切断接合ワーキンググループ

CFRP素材の各種仕様とその加工や評価等に関するニーズ等の把握。

#### ④ 表面改質ワーキンググループ

フラットパネルメーカーの技術ニーズ、太陽電池領域におけるレーザー応用に関するニーズ等の把握。

#### ⑤ 粉末成形ワーキンググループ

粉末成形の医療関連活用に関する技術情報、レーザーを活用した造形技術に関するニーズ等の把握。

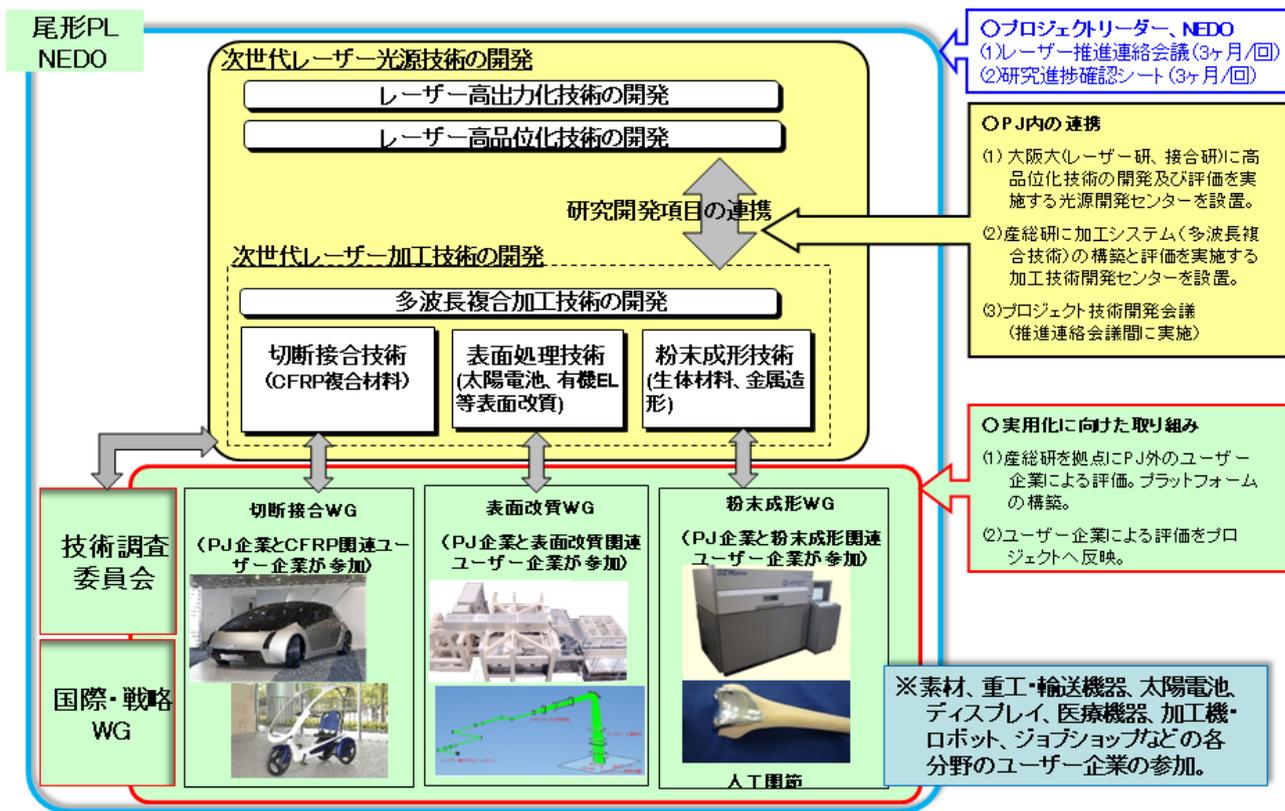


図 II - 2.4.1 プロジェクトの運営

## 2.4.2 情勢変化等への対応等

### 2.4.2.1 加速制度の活用

「多波長複合加工技術の開発の前倒し及び、レーザー高品位化技術の開発の目標値向上」及び、「レーザー高品位化技術の開発の事業化推進」の2テーマで活用した。

#### ① 「多波長複合加工技術の開発」の前倒し及び「レーザー高品位化技術の開発」の目標値向上

2010年12月の”74<sup>st</sup> Laser Materials Processing Conference(Tokyo)”において、ドイツの研究機関であるLZH (Laser Zentrum Hannover e.V.) は、航空分野や自動車分野への応用を目指し、数kW級レーザーを利用したCFRP切断に関する研究成果を発表し、更なる研究開発の実施を示唆した。このため、現行の開発計画ペースでは、ドイツに先行される可能性が発生したことから、平成24年度以降に計画していた切断接合技術開発（研究開発項目③「多波長複合加工技術の開発」）及び、研究開発項目②「レーザー高品位化技術の開発」について以下の加速を行った。

○ 平成24年度以降に計画していた切断接合技術開発（研究開発項目③「多波長複合加工技術の開発」）において、30W級パルス光源システムを平成23年度中に導入し、平成24年度以降に予定していたCFRPの切断接合実験を平成23年度から実施した。

○ 研究開発項目②「レーザー高品位化技術の開発」において、励起用半導体レーザー及び複合ビーム集光用光学系ユニットを導入し、半導体レーザー特性評価及びレーザー安定性評価をそれぞれ実施し、ファイバーレーザー出力の開発目標を200Wから300Wにし、更に、高出力波長変換技術について、波長変換素子のコート

及び均一冷却に関する最適化を実施し、2倍高調波への変換効率を30%から40%に、3倍高調波への変換効率を10%から13%にした。

これにより、平成 24 年度に計画していた CFRP 切断に関する開発を平成 23 年度に前倒しすることができ、また、開発目標をより高く設定することができる。そして、他国に先駆けて CFRP 等の先進材料の加工技術の確立を目指すとともに、レーザー高品位化技術を強化することにより、本技術分野における日本の国際競争優位を確保することができる。

## ② 「レーザー高品位化技術の開発」の事業化推進

2010 年 5 月の ” AKL 10-8th International Laser Technology Congress (Aachen, Germany) ” において、IPG PHOTONICSは、励起用レーザーの消費電力の低減が実現可能なQCWファイバーレーザーに関する研究成果を発表し、更なる研究開発の実施を示唆していたため、現行の開発計画ペースでは、励起用レーザーにおいて、世界をリードする欧米に先行される可能性が発生した。

このため、現行の開発計画ペースでは、励起用レーザーにおいて、世界をリードする欧米に先行される可能性が発生したことから、以下の加速を行った。

- 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」について、ファイバー増幅部分に高速変調半導体レーザーを適用し、ファイバー増幅部分の消費電力を現行の連続駆動の場合と比較して50%以上の効率向上を目標にした。
- 高速変調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、ピーク出力の目標値を300Wから700Wに変更した。

上記の目標を設定し、(株)古河電気工業との2/3共同研究契約によって実施し、研究開発成果によるファイバーレーザー発振器をQCWファイバーレーザーとしてパッケージ化し、早期に実用化を図る。

### 2.4.2.2 開発方針の修正

#### ① 表面処理技術開発(株)アルバック)

平成 23 年 10 月：当初計画のレンズ幅を 500mm と想定していたが、55inch wide を製品化するマーケット情報入手し、計画していたレンズ幅より、さらに幅広のビームの形成を早期に実現する必要性が発生した。そのため、ビーム幅を 500mm から 700mm に変更した。

#### ② レーザー高出力化技術(浜松ホトニクス(株))

「開発項目① レーザー高出力化技術」で開発している光源については、既存のレーザー装置の光源に適用することによって、市場への早期展開を目指すことにした。

### 2.4.2.3 開発方針の修正

基本計画、開発計画及び体制の見直しを検討。

- これまでの研究開発結果や成果を受け、より出口を意識して目標を具体化する。
- 中間評価結果および今後の情勢変化（研究進捗、計画の成立性および予算など）を総合的に鑑み、柔軟に対応する。
- ユーザーとのさらなる連携強化を図り、加工システム仕様へ反映する。

### Ⅲ. 研究開発成果について

#### 1. 事業全体の成果

本プロジェクトにおいて、成果の出口から見て次の3テーマの開発を行う。

CFRP切断接合技術の開発

表面処理（Siアニール）技術の開発

粉末成形技術の開発

それぞれの開発はレーザーの開発とそのレーザーを搭載した加工システムの開発から成っている。本プロジェクトではCFRP加工、表面処理、粉末成形の3つの加工システムの実用化、または事業化が求められているが、その3つの出口とは別に研究開発項目は3テーマから構成されている。

① 半導体レーザー開発

② レーザー開発（ファイバーレーザー、固体ブースタレーザー、波長変換技術）

③ 加工システム開発（CFRP切断接合、表面処理、粉末成形）

研究開発項目の詳細は、表Ⅲ-1.1の項目から構成されている。

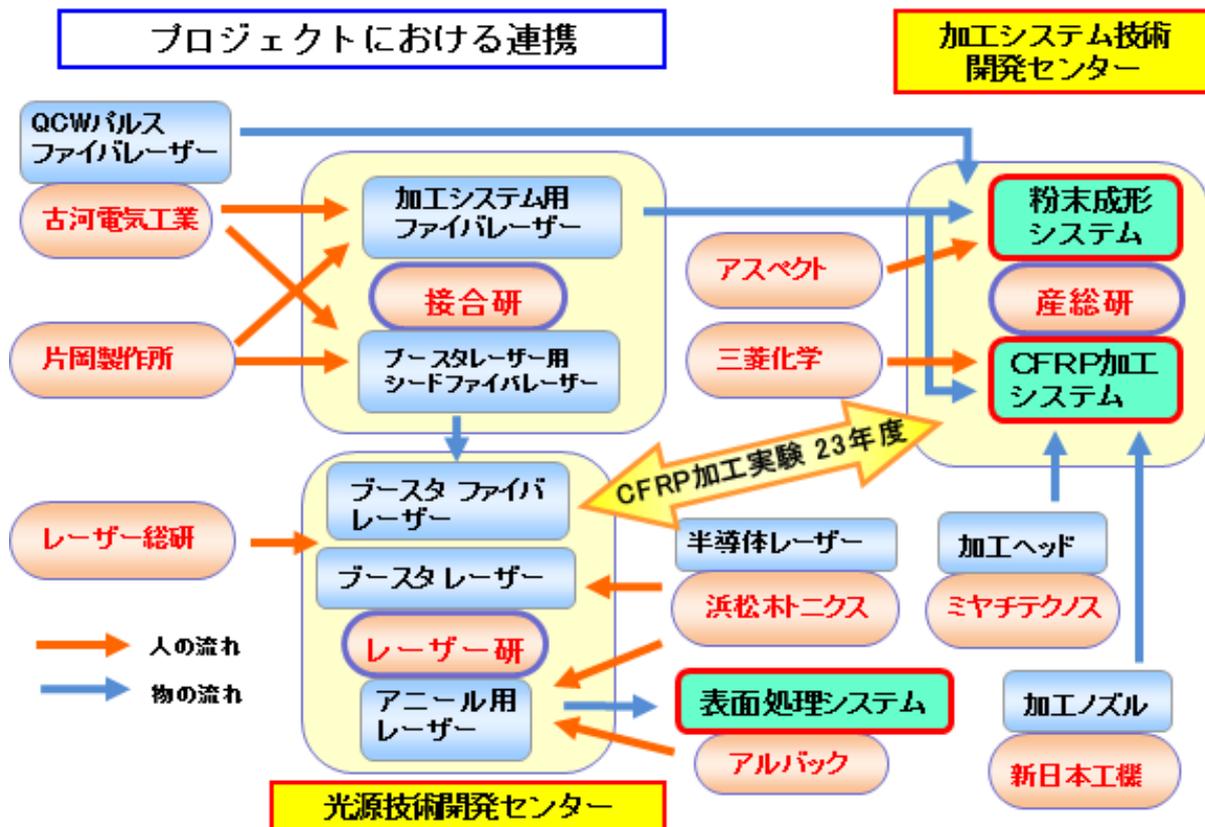
表Ⅲ-1.1 研究開発項目の詳細

|  |
|--|
| ① レーザー高出力化技術の開発 <2/3 共同研究> (浜松ホトニクス株式会社)<br>(1) 半導体レーザーの高出力化・高信頼化技術の開発<br>(2) 半導体レーザーのファイバーカップル技術の開発   |
| ② レーザー高品位化技術の開発<br>(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<br>1) ファイバーレーザーのパルス制御技術の開発 <委託><br>(ALPROT、大阪大学)<br>2) ファイバーレーザーのモジュール化技術の開発 <委託><br>(ALPROT、大阪大学)<br>3) ファイバーレーザーの高出力化技術の開発 <委託><br>(大阪大学)<br>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<br><2/3 共同研究> (古河電気工業株式会社)<br>(2) パルスレーザー増幅（ブースター）技術の開発 <委託><br>(ALPROT、大阪大学)<br>1) kW級ブースター増幅技術の開発<br>2) アニール用ブースター増幅技術の開発<br>(3) 高出力波長変換技術の開発 <委託> (ALPROT、大阪大学)<br>1) 波長変換モジュール化技術の開発<br>2) 波長変換の高効率化技術の開発<br>3) 加工試験のための整備 |

|  |
|--|
| ③ 多波長複合加工技術の開発<br>(1) 切断接合技術の開発 <委託> (ALPROT)<br>1) 複合材料高速切断接合システム技術の開発<br>2) 複合材料加工プロセス・評価技術の開発<br>(2) 表面処理技術の開発 <2/3 共同研究> (株式会社アルバック)<br>1) 高度ホモジナイズワイドビーム成形の開発<br>2) 大型光学部品研磨技術の開発<br>3) 高精度ビーム評価技術の開発<br>(3) 粉末成形技術の開発 <委託> (ALPROT)<br>1) 基本プラットフォームの開発及び成形精度の向上と高速化 |
| ④ 技術開発推進にかかる調査（先端技術、標準化等）・評価・普及促進<br><委託> (ALPROT)   |

(ALPROT：研究組合次世代レーザー加工技術研究所)

以上の研究開発を効率よく進めるために、本プロジェクトでは大阪大学内に光源技術開発センター、産業技術総合研究所（産総研）内に加工システム開発センターを設置している。図Ⅲ-1.1に示すように大阪大学の接合科学研究所（接合研）とレーザーエネルギー学研究センター（レーザー研）でレーザー光源開発、産総研で加工システム開発を集中的、かつ効率的に行う体制となっている。光源技術開発センターと加工システム開発センターには連携体制が構築され、平成23年度には大阪大学レーザー研においてCFRP加工実験を共同で行っている。



図Ⅲ-1.1 プロジェクトにおける連携体制

大きな流れとして「② レーザー高品位化技術の開発」で開発したレーザーを用いて、「③ 多波長複合加工技術の開発」を行う計画である。

### 1.1. 研究開発項目別の中間目標達成度

研究開発項目別の中間目標達成度について、表Ⅲ-1.1の順で簡単に説明する。平成24年7月31日時点で大幅に達成しているものは「◎」、平成24年7月31日時点で達成しているものは「○」、計画通り平成24年度中に達成見込みのものは「△」、平成24年度に目標に達しないものは「×」で、達成度を表わした。

#### ① レーザー高出力化技術の開発 (浜松ホトニクス)

##### ①-(1) 半導体レーザーの高出力化・高信頼化技術の開発

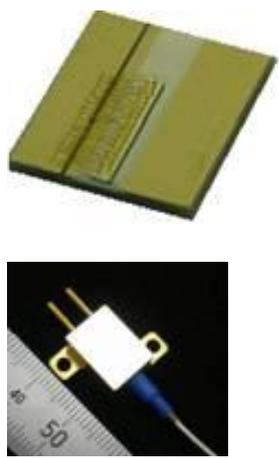
##### ①-(2) 半導体レーザーのファイバーカップル技術の開発

表Ⅲ-1.2に「①レーザー高出力化技術の開発」における中間目標値と現状の成果、および達成度を示す。また図Ⅲ-1.2には「① レーザー高出力化技術の開発」の概要を示した。半導体レーザーの開発において、主な課題は発熱の低減と発生した熱の除去である。これらを解決するため素子構造の最適化、ヒートシンクの改良を行い、出力特性の改善に結びつけた(図Ⅲ-1.2)。また高出力化と高信頼性を両立させるため、端面劣化抑制構造の開発も行った。これらの課題を解決することで、中間目標値の出力を達成した。寿命については現在測定中であるが、計画通り今年度中に達成の見込みである。半導体レーザーのファイバーカップル技術の開発においては、シングルエミッタのファイバー結合効率の中間目標値80%を達成し、アレイについても目標達成の見込みである。①の開発における中間目標に関してはすべて問題なく達成、もしくは今年度中に達成の見込みである。

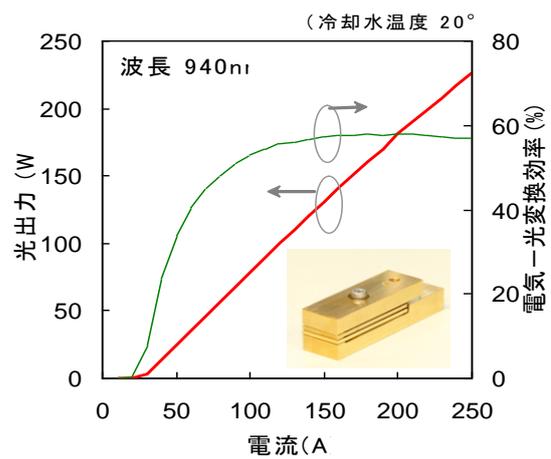
表Ⅲ-1.2 「①レーザー高出力化技術の開発」の成果、達成度

| 研究項目                              | 評価目標     |   |   | 成果                                    | 達成度 |
|-----------------------------------|----------|---|---|---------------------------------------|-----|
|                                   | 評価項目     | 中間目標(基本計画)  | 中間目標  |                                       |     |
| ①-(1)<br>半導体レーザーの高出力化技術・高信頼化技術の開発 | シングルエミッタ | 波長：近赤外帯<br>出力：15 W、効率：60%<br>寿命：20,000 時間以上           | 波長：近赤外帯<br>出力：15 W、効率：60%<br>寿命：20,000 時間                 | 900nm 帯<br>15 W、60%<br>確認中            | △   |
|                                   | アレイ      | 波長：近赤外帯<br>出力：200 W<br>電気-光変換効率：55%<br>寿命：20,000 時間以上 | 波長：近赤外帯<br>出力：200 W、効率：55%<br>寿命：20,000 時間<br>自動組立が可能である事 | 900nm 帯<br>200 W、55%<br>確認中<br>自動組立可能 | △   |
| ①-(2)<br>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<br>(コア径 105 μm、NA0.15<br>相当)：80%以上          | ファイバー結合効率：80%   | 80%以上                                 | ○   |
|                                   | アレイ      | ファイバー結合効率：<br>60%以上                                   | ファイバー結合効率：60%   | 仮組み時<br>60%以上                         | △   |

| 課題   | 解決策   |
|--|---|
| 発熱の低減と熱の除去<br>高出力と高信頼性の両立<br>ファイバ結合効率向上<br>(シングルエミッタ)<br>(アレイ) | 素子構造の最適化、ヒートシンク改良<br>端面劣化抑制構造の開発<br><br>素子特性・レンズ特性の最適化、<br>スマイル抑制、耐パワー性を有するコネクタ<br>開発 |



シングルエミッタ素子とファイバーモジュール



アレイの出力特性

図Ⅲ-1.2 「① レーザー高出力化技術の開発」の概要

② レーザー高品位化技術の開発

②-(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

(ALPROT、大阪大学)

②-(1)-1) ファイバーレーザーのパルス制御技術の開発

②-(1)-2) ファイバーレーザーのモジュール化技術の開発

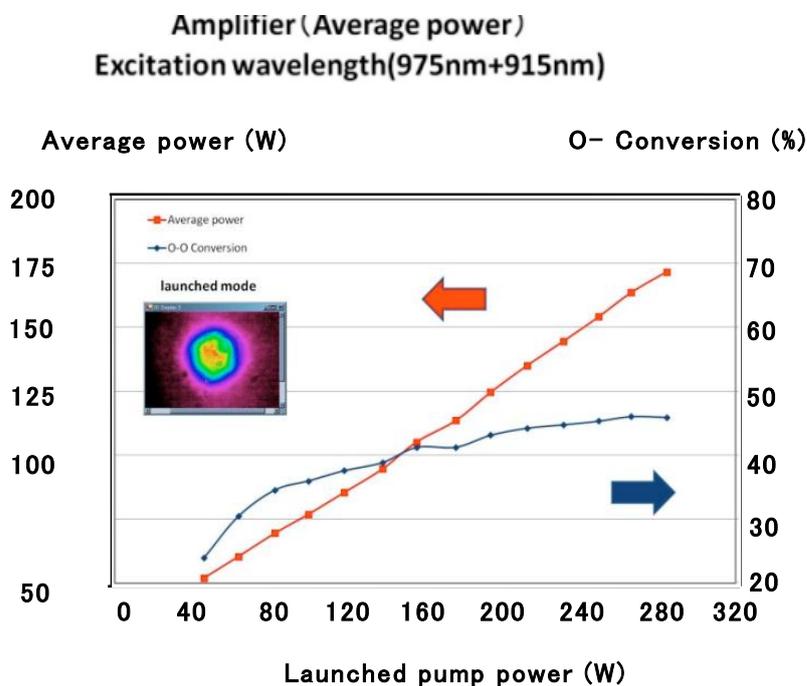
表Ⅲ-1.3 に「②-(1) ファイバーレーザーのパルス制御・高性能化技術の開発」における中間目標値と現状の成果、および達成度を示す。

パルスファイバーレーザーの開発において、主な課題は非線形効果（ラマン散乱）の抑制であり、増幅率、コア径、ファイバー長の最適化により解決を図った。また、最適なバンドパスフィルターを設計し除去することで、レーザー出力の高品質化を行った。またフォトニック・クリスタル・ファイバー（PCF）の吸収波長と励起波長の整合性をとり、効率よく増幅を行うことができた。

図Ⅲ-1.3 には半導体レーザーの励起パワーに対する平均出力と変換効率を示した。本開発においては中間目標出力を達成し、他項目も今年度中に目標達成の見込みである。

表Ⅲ-1.3 「②-(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」の  
成果、達成度

| 研究項目                             | 評価目標   |  |  | 成果   | 達成度 |
|----------------------------------|--|--|--|--|-----|
|                                  | 評価項目   | 中間目標<br>(基本計画)   | 中間目標   |  |     |
| ②-(1)-1<br>ファイバーレーザーのパルス制御技術の開発  | 粉末成形シーダ<br>平均出力<br>繰り返し周波数<br>ブースタシーダ<br>平均出力<br>繰り返し周波数 |  | 70W@パルス幅 100ns<br>1MHz<br><br>5W@パルス幅 3-10ns<br>75kHz            | 70W@パルス幅 100ns<br>1MHz<br><br>5W@パルス幅 3-10ns<br>75kHz  | ○   |
| ②-(1)-2<br>ファイバーレーザーのモジュール化技術の開発 | 平均出力<br>繰り返し周波数<br>基本波長<br>パルス幅<br><br>ビーム品質             | 5-100 W<br>1-1000 kHz<br>1 μm 帯<br>0.5-200 ns<br><br>シングルモード<br>M2 < 1.5 | 150W@100 ns<br>1 MHz<br>1064 nm<br>パルス幅可変：<br>10-200 ns<br>偏光：保持 | 171W@100 ns<br>1 MHz<br>1064 nm<br><br>100 ns<br>偏光：保持 | △   |



図Ⅲ-1. 3 ファイバーレーザーの平均出力と変換効率

② レーザー高品位化技術の開発

②-(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

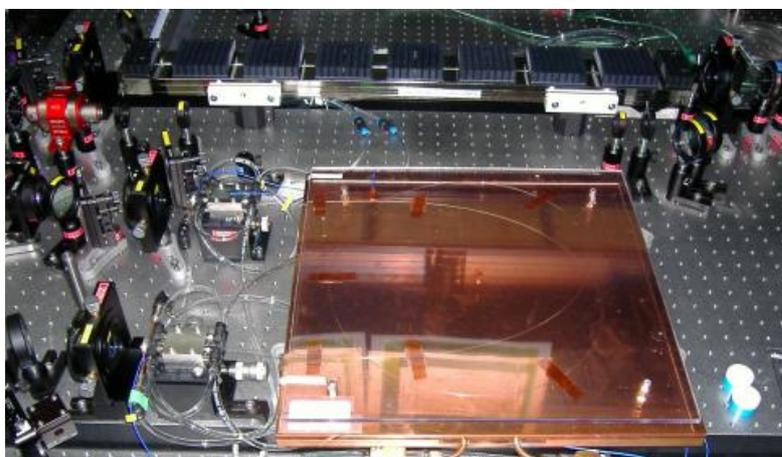
②-(1)-3) ファイバーレーザーの高出力化技術の開発 <委託> (大阪大学)

表Ⅲ-1.4 に「ファイバーレーザーの高出力化技術の開発」における中間目標値と現状の成果、および達成度を示す。また図Ⅲ-1.4 にファイバー増幅器の写真を示した。本開発における主な課題は発生した熱の除去である。この課題を解決するため PCF ロッドの固定方法と冷却方法を改善し、中間目標を達成した。出力パワーに関しては  $M^2=2\sim3$  で 200W を達成している。中間目標に関してはすべて問題なく達成、もしくは今年度中に達成の見込みである。

表Ⅲ-1.4 「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、達成度

| 研究項目                                     | 評価目標           |  | 成果   | 達成度 |
|--|----------------|--|--|-----|
|  | 中間目標<br>(基本計画) | 中間目標   |  |     |
| ②-(1)-3) ファイバーレーザーの高出力化技術の開発<br>ブースター注入用 |                | 繰り返し：75kHz<br>パワー：150W (1ビーム)<br>波長：1064.1-1064.8nm<br>パルス幅：3-10ns<br>$M^2$ : <1.5 | 77kHz<br>170W *<br>1064.1-1064.8nm<br>3-10ns 可変<br>1.5 | ○   |

\*  $M^2=2\sim3$  で 200W を達成



図Ⅲ-1.4 ファイバー増幅器

② レーザー高品位化技術の開発

②-(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

②-(1)-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

<2/3 共同研究> (古河電気工業)

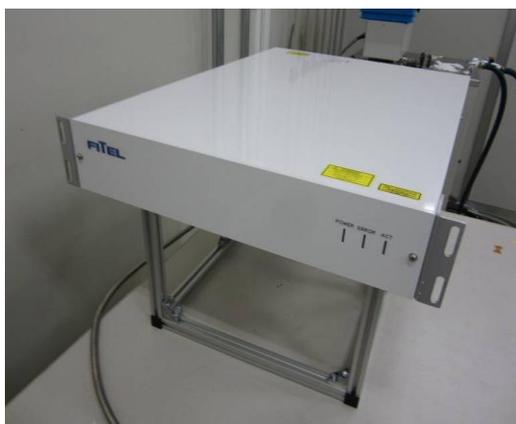
表Ⅲ-1.5 に「②-(1)-4) 励起半導体レーザーの高速変調とその応用技術の開発」における中間目標値と現状の成果、および達成度を示す。また図Ⅲ-1.5に開発品のQCWファイバーレーザー装置の外観を示した。この開発における課題は半導体レーザーの輝

度向上である。冷却構造を見直すことで、高輝度半導体レーザーを実現した。またQCWレーザー開発におけるファイバー非線形の低減という課題に対しては、ファイバーのモードフィールド径を最適化することで解決することができた。

開発したQCWレーザー2セットをそれぞれCFRP加工と粉末成形の技術開発の連携のため産総研に納入し、試験運用を開始した。

表Ⅲ-1.5「②-(1)-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」の成果、達成度

| 研究項目                            | 評価目標                            |                |                        | 成果                     | 達成度 |
|---------------------------------|---------------------------------|----------------|------------------------|------------------------|-----|
|                                 | 評価項目                            | 中間目標<br>(基本計画) | 中間目標                   |                        |     |
| ②-1)-4)<br>QCW ファイバー<br>レーザーの作製 | ピーク出力<br>平均出力<br>M <sup>2</sup> |                | 700W<br>250W<br>1.1 以下 | 800W<br>500W<br>1.1 以下 | ○   |



図Ⅲ-1.5 QCW ファイバーレーザー装置の外観

②-(2) パルスレーザー増幅（ブースター）技術の開発

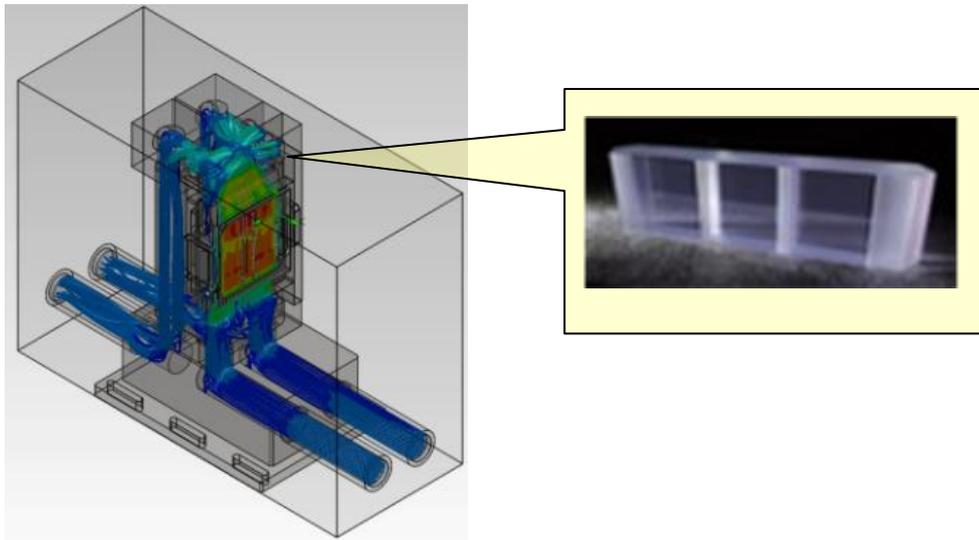
②-(2)-1) kW 級ブースター増幅技術の開発

< 委託 > (ALPROT、大阪大学)

表Ⅲ-1.6 に「②-(2) パルスレーザー増幅（ブースター）技術の開発」における中間目標値と現状の成果、および達成度を示す。本開発項目では、いかに効率よくレーザー増幅を行うかが課題である。励起半導体レーザーによって発生した熱の除去と効率的な増幅のため、Nd:YAGセラミック薄板のレーザー媒質をYAGブロックに接合するコンポジット構造を採用した。図Ⅲ-1.6にブースター増幅器とコンポジットYAGセラミック素子を示す。コンポジットYAGセラミック素子における発熱と冷却のシミュレーションコードを開発し、素子構造と冷却パラメータの最適化を図った。その結果、本テーマの開発における中間目標に関してはすべて達成、もしくは今年度中に達成の見込みである。

表Ⅲ-1.6 「②-(2)-1) kW級ブースター増幅技術の開発」の成果、達成度

| 研究項目                    | 評価目標                              |   |   | 成果   | 達成度 |
|-------------------------|-----------------------------------|---|---|--|-----|
|                         | 評価項目                              | 中間目標<br>(基本計画)                                | 中間目標  |  |     |
| ②-(2)-1) kW級ブースター増幅器の開発 | 繰り返し周波数<br>平均出力<br>波長(可変)<br>パルス幅 | 1-150 kHz<br>200-700 W<br>1 μm帯<br>0.5-100 ns | 75kHz<br>500-700W<br>1064.1-1064.8nm(最適化)<br>3-10ns | 75kHz<br>実測利得と計算予測で700W達成見込み<br>最適化中<br>3-10ns | △   |



図Ⅲ-1.6 ブースター増幅器とコンポジット YAG セラミック

②-(2) パルスレーザー増幅(ブースター)技術の開発

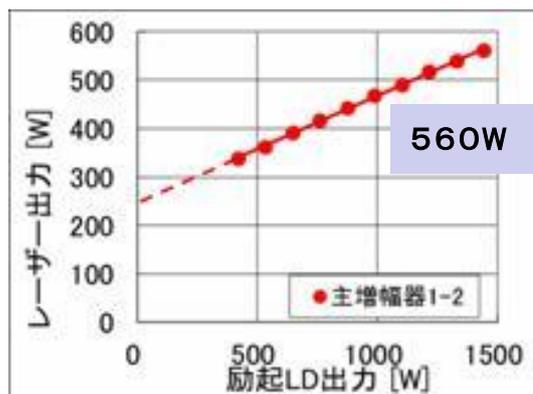
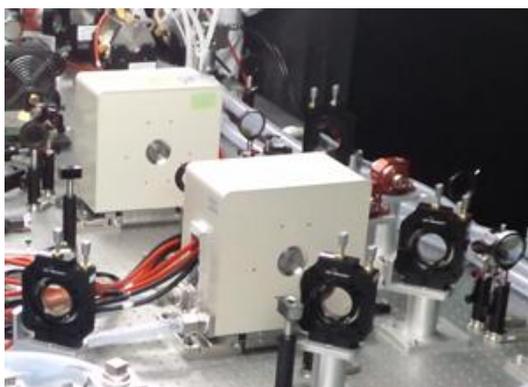
②-(2)-2) アニール用ブースター増幅技術の開発

<委託> (ALPROT、大阪大学)

表Ⅲ-1.7 に「②-(2)-2) アニール用ブースター増幅技術の開発」における中間目標値と現状の成果、および達成度を示す。プリアンプとメインアンプ2台で増幅し、560Wの高平均パワー出力を得ることに成功している。1 μm帯における基本波の開発においてはすべて中間目標を達成し、アニールシステムでの評価のめどが立った。

表Ⅲ-1.7 「②-(2)-2) アニール用ブースター増幅技術の開発」の成果、達成度

| 研究項目                                  | 評価目標           |  | 成果                                 | 達成度 |
|---------------------------------------|----------------|--|------------------------------------|-----|
|                                       | 中間目標<br>(基本計画) | 中間目標   |                                    |     |
| ②-(2)-2)<br>アニール用<br>ブースター増幅<br>技術の開発 |                | 波長： 1 μ m 帯 (基本波)<br>平均出力： 200~700W<br>繰り返し周波数： 1~150 kHz のうち、<br>最適値<br>パルス幅： 0.5~200ns のうち、最適値 | 1.064 μ m<br>560W<br>1kHz<br>105ns | ○   |



図Ⅲ-1.7 「アニール用レーザーシステム」の写真と平均出力

②-(3) 高出力波長変換技術の開発

<委託> (ALPROT、大阪大学)

②-(3)-1) 波長変換モジュール化技術の開発

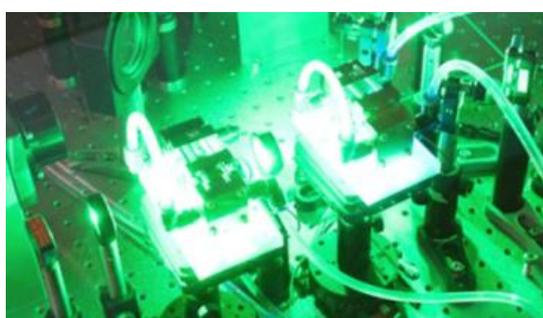
②-(3)-2) 波長変換の高効率化技術の開発

表Ⅲ-1.8 に「②-(3)高出力波長変換技術の開発」における中間目標値と現状の成果、および達成度を示す。「②-(3)-1) 波長変換モジュール化技術の開発」において、アニール用レーザーはパルス幅が長くピーク出力が低いため、波長変換の効率も低くなるという課題がある。レーザービームの集光強度を上げて波長変換の高効率化を図り、かつ光損傷を考慮した設計により課題を解決した。

また「②-(3)-2) 波長変換の高効率化技術の開発」においては、非常に高平均出力のレーザービームの波長変換を行うため、②-(3)-1)の開発以上に冷却と光損傷に対する対策が必要となる。これらを解決するため、ジグザグスラブ方式の波長変換という独創的なコンセプトを考案した。この結果、非常に高効率の波長変換を実現することができた。表Ⅲ-1.8記載の成果は低パワーで達成されているため、さらに高パワーでは高い効率が見込まれる。本テーマの開発における中間目標に関しては問題なく今年度中に達成の見込みである。図Ⅲ-1.8はジグザグスラブ方式の波長変換実験の装置写真である。

表Ⅲ-1.8 「②-(3)高出力波長変換技術の開発」の成果、達成度

| 研究項目                                      | 評価目標                           |                |                                     | 成果                                   | 達成度 |
|---|--------------------------------|----------------|-------------------------------------|--------------------------------------|-----|
|   | 評価項目                           | 中間目標<br>(基本計画) | 中間目標                                |                                      |     |
| ②-(3)-1)<br>アニーリング用<br>レーザーの波長<br>変換モジュール |                                |                | 変換効率 20%<br>(700W 基本波から)            | 20%<br>(360W 基本波から)                  | △   |
| ②-(3)-2) 波長<br>変換の高効率化<br>技術の開発           | 第2高調波<br>変換効率<br>第3高調波<br>変換効率 | ≥ 20%<br>≥ 6%  | ≥ 20% (基本波 500W)<br>≥ 6% (基本波 500W) | ≥ 60% (基本波 300W)<br>≥ 40% (基本波 160W) | △   |



図Ⅲ-1.8 ジグザグスラブ方式の波長変換実験

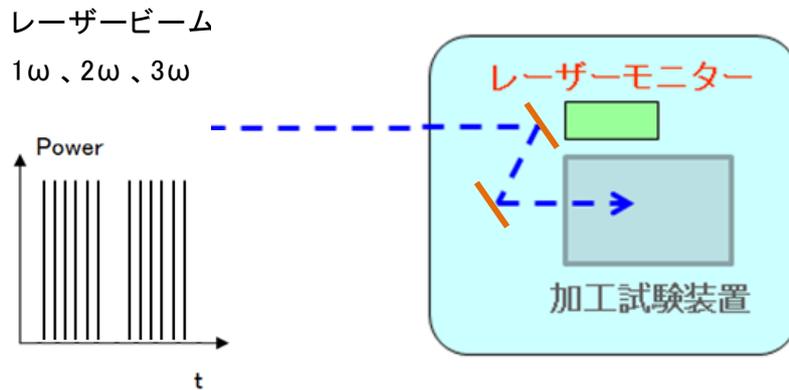
②-(3) 高出力波長変換技術の開発 <委託> (ALPROT、大阪大学)  
②-(3)-3) 加工試験のための整備

表Ⅲ-1.9に「②-(3)-3) 加工試験のための整備」における中間目標値と現状の成果、および達成度を示す。大阪大学レーザー研の現有YAGレーザーを改造し、3回のCFRP加工実験を産総研と共同で行った。1 $\omega$  (1064 nm)、2 $\omega$  (532 nm)、3 $\omega$  (355 nm) の波長でのレーザービーム照射におけるCFRPの加工特性を評価した。その結果、2 $\omega$ 、3 $\omega$ 、あるいは2波長照射の有意性を実証できた

図Ⅲ-1.9に測定系の概略を示す。

表Ⅲ-1.9 「②-(3)-3) 加工試験のための整備」の成果、達成度

| 研究項目                       | 評価目標           |   | 成果  | 達成度 |
|----------------------------|----------------|---|---|-----|
|                            | 中間目標<br>(基本計画) | 中間目標  |   |     |
| ②-(3)-3)<br>加工試験のた<br>めの整備 |                | 現有パルス YAG レーザーの<br>改造<br>実験エリアの整備<br>加工システム技術開発セン<br>ターと連携して CFRP 加工試<br>験を実施 | 現有パルス YAG レーザーの<br>改造した。<br>実験エリアの整備を行った。<br>加工システム技術開発セン<br>ターと連携して、3回の CFRP<br>加工試験を実施した。 | ○   |



図Ⅲ-1. 9 測定系の概略

③ 多波長複合加工技術の開発

③-(1) 切断接合技術の開発 <委託>

(ALPROT)

③-(1)-1) 複合材料高速切断接合システム技術の開発

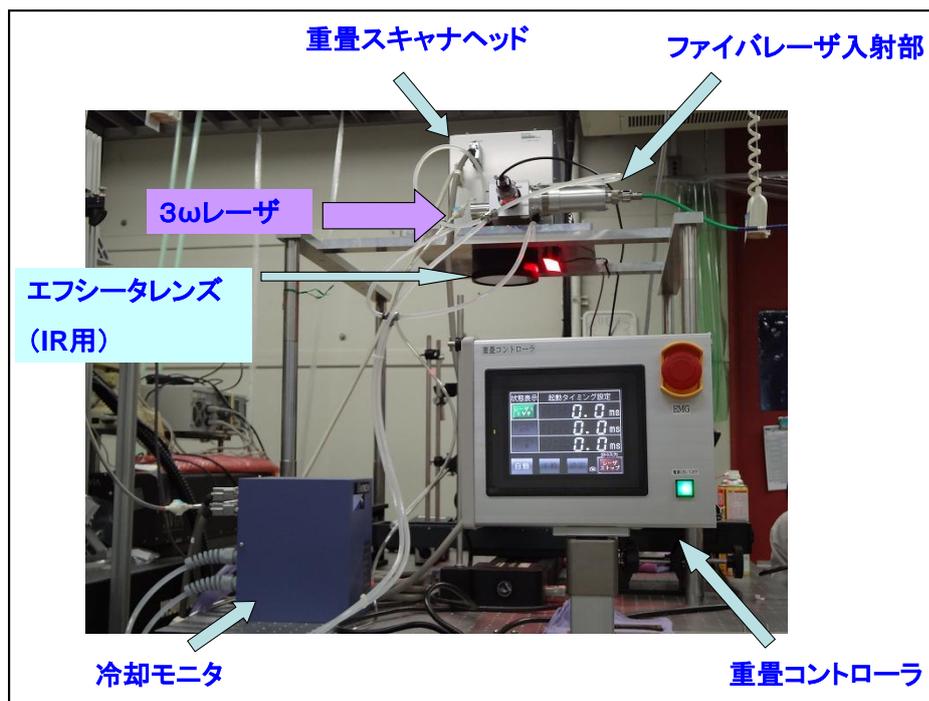
③-(1)-2) 複合材料加工プロセス・評価技術の開発

表Ⅲ-1.10 に「③-(1) 切断接合技術の開発」における中間目標値と現状の成果、および達成度を示す。複合レーザー照射を可能とする光学系、及びリモート加工が可能な加工ヘッドを開発し、高品位、高速度のCFRPレーザー加工を可能とするシステムの開発を行った。また、様々なレーザーを用いて切断とその評価を行い、切断パラメータの検討を行った。その結果、切断加工速度や反応層厚み、引張強度ではほぼ中間目標を達成できた。図Ⅲ-1.10はCFRPレーザー加工システムである。CFRPの接合については現在実験中であるが、CFRP素材の表面改質後に接合を行うことで計画通り今年度中に達成できる見込みである。

本テーマの開発に関しては、現在一部の中間目標を達成し未達成項目も達成の見通しを得ているため、今年度中に達成の見込みである。

表Ⅲ-1.10 「③-(1) 切断接合技術の開発」の成果、達成度

| 研究項目  | 評価目標   |  | 成果  | 達成度 |
|---|--|--|---|-----|
|   | 中間目標（基本計画）   | 中間目標   |   |     |
| ③-(1)-1)<br>複合材料高速切断接合システム技術の開発<br><br>③-(1)-2)<br>複合材料加工プロセス・評価技術の開発 | <ul style="list-style-type: none"> <li>複合レーザー照射方法を確立すること。</li> <li>加工メカニズムを明確にしつつ、加工プロセスを最適化。</li> <li>複合レーザー照射を可能とする光学系、及びリモート加工が可能な加工ヘッドを設計する。</li> <li>レーザー加工試料の評価技術を構築すること。</li> </ul> | 切断加工速度<br>2m/min 以上<br><br>反応層厚み<br>500 μm<br><br>引張強度<br>15%未満の低減<br>(参照強度に対して) | 1.5m/min (CFRP)<br>2m/min (CFRTP)<br><br>350 μm (CFRP)<br>300 μm (CFRTP)<br><br>10%未満 (CFRP)<br>20%未満 (CFRTP) | △   |
|   |  | 接合加工速度<br>2m/min 以上<br><br>引張せん断強度<br>50MPa                                      | 要素技術見極め<br>今年度中に達成<br>予定  | △   |



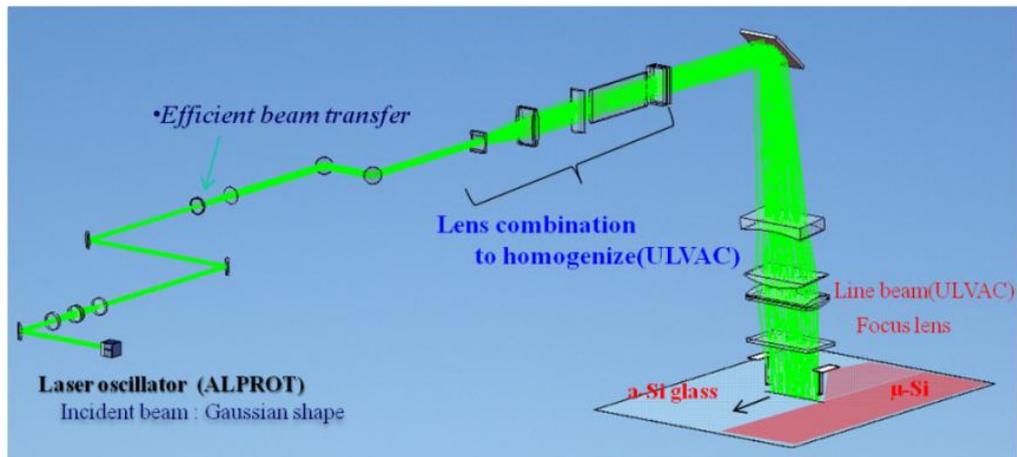
図Ⅲ-1.10 CFRP レーザー加工システム

- ③-(2) 表面処理技術の開発 <2/3 共同研究> (株式会社アルバック)
  - ③-(2)-1) 高度ホモジナイズワイドビーム成形の開発
  - ③-(2)-2) 大型光学部品研磨技術の開発
  - ③-(2)-3) 高精度ビーム評価技術の開発

表Ⅲ-1.11 に「③-(2) 表面処理技術の開発」における中間目標値と現状の成果、および達成度を示す。「大型レンズ研磨装置の開発」では大型異形光学部品の研磨加工技術の開発に成功している。ワイドビーム光学系のシミュレーション技術の確立においても、シミュレーション技術を開発し、ビーム評価ができた。図Ⅲ-1.11にはそのレーザー光線追跡シミュレーション結果の一例を示す。高度ホモジナイズ技術とワイドビーム整形光学系技術の開発、およびビームプロファイラの開発では、アニール用レーザーを搭載し評価を行う予定であり、中間目標に関して今年度中に達成の見込みである。

表Ⅲ-1.11 「③-(2) 表面処理技術の開発」の成果、達成度

| 研究項目               | 評価目標               |  |                                      | 成果                      | 達成度 |
|--------------------|--------------------|--|--------------------------------------|-------------------------|-----|
|                    | 評価項目               | 中間目標（基本計画）                                       | 中間目標                                 |                         |     |
| ③-(2)<br>表面処理技術の開発 | 大型レンズ研磨装置          | ・大型異形光学部品の研磨加工技術を開発すること。                         | 研磨幅：500mm                            | 700mm                   | △   |
|                    | ワイドビーム光学系のシミュレーション | ・光学シミュレーション技術を確立すること。                            | ビーム幅：500mm<br>集光幅：20 μm<br>照射均一性：±7% | 700mm<br>20 μm<br>±2.5% |     |
|                    | ワイドビームの形成          | ・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とワイドビーム整形光学系技術を開発する | ビーム幅：500mm<br>集光幅：20 μm<br>照射均一性：±7% | 未評価                     |     |
|                    | ビームモニタリング          | ・ワイドビームの形状及び照射均一性を評価するためのビームプロファイラを開発する。         | 測定精度：±2%以内<br>測定分解能：5 μm以下           | 未評価                     |     |



図Ⅲ-1.11 レーザー光線追跡シミュレーション結果の一例

③-(3) 粉末成形技術の開発 <委託> (ALPROT)

③-(3)-1) 基本プラットフォームの開発及び成形精度の向上と高速化

表Ⅲ-1.12 に「③-(3) 粉末成形技術の開発」における中間目標値と現状の成果、および達成度を示す。本テーマにおいて、真空下で動作可能な粉末焼結造形装置の開発に成功した。製作・実験開始を開始したが、かなり高速の成形に成功した。図Ⅲ-1.12 に小型プラットフォーム試作機および成形例を示す。また複合レーザー照射による粉末成形システムは大阪大学接合研と共同開発中であり、計画通りに開発が進んでいる。

加工プロセス（照射条件、予備加熱条件）の最適化、試料の評価技術の確立においても現在開発中であり、本テーマの開発における中間目標に関しては、すべて問題なく達成、もしくは今年度中に達成の見込みである。

表Ⅲ-1.12 「③-(3) 粉末成形技術の開発」の成果、達成度

| 研究項目                                | 評価目標   |   |  | 成果  | 達成度 |
|-------------------------------------|--|---|--|---|-----|
|                                     | 評価項目   | 中間目標（基本計画）  | 中間目標   |   |     |
| ③-(3)<br>基本プラットフォームの開発及び成形精度の向上と高速化 | <ul style="list-style-type: none"> <li>① 粉末焼結積層成形機構開発</li> <li>② 複合レーザー照射方法</li> <li>③ 加エプロセス</li> <li>④ 評価技術構築</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・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。</li> <li>・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。</li> <li>・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化</li> <li>・加工プロセス（照射条件、予備加熱条件）を最適化すること。</li> <li>・レーザー加工試料の評価技術を構築すること。</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・真空下においても動作可能</li> <li>・照射方法の確立</li> <li>・造形メカニズムの明確化</li> <li>・最適条件の確立</li> <li>・試料の評価技術を構築</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>製作・実験開始</li> <li>6時間（外挿）程度達成、+0.2mm</li> <li>検討終了・装置作成中（阪大）</li> <li>プロセス条件確立</li> <li>強度評価開始</li> <li>190MPa</li> </ul> | △   |



図Ⅲ-1.12 小型プラットフォーム試作機および成形例（チェスの駒）

④ 技術開発推進にかかる調査（先端技術、標準化等）・評価・普及促進

<委託>（ALPROT）

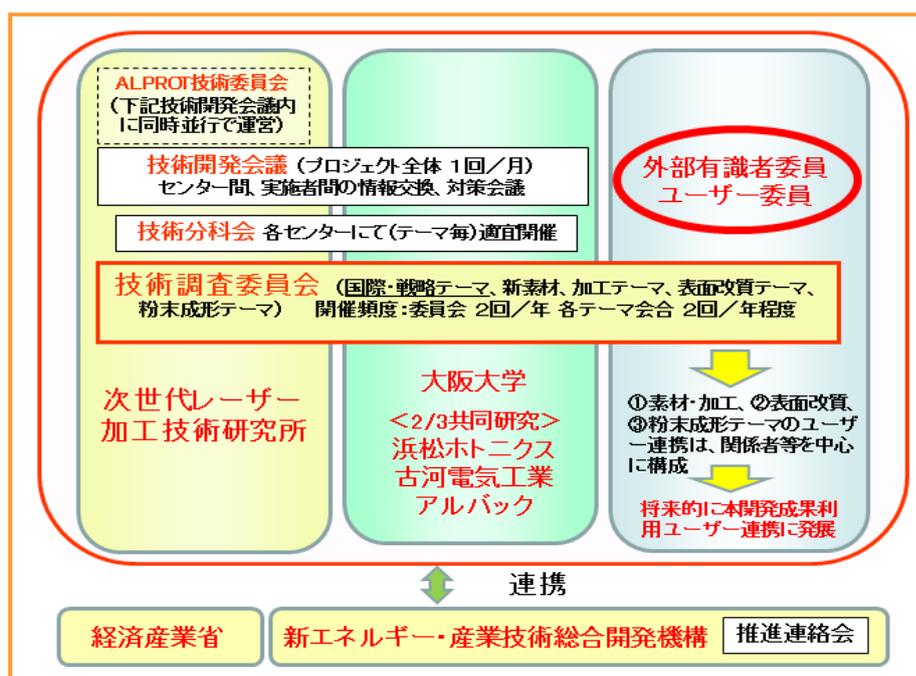
表Ⅲ-1.13に「④ 技術開発推進にかかる調査（先端技術、標準化等）・評価・普及促進」における中間目標値と現状の成果、および達成度を示す。

表Ⅲ-1.13 「④ 技術開発推進にかかる調査・評価・普及促進」の成果、達成度

| 研究項目                             | 評価目標           |   | 成果  | 達成度 |
|----------------------------------|----------------|---|---|-----|
|                                  | 中間目標<br>(基本計画) | 中間目標  |   |     |
| ④技術開発推進にかかる調査(先端技術、標準化等)・評価・普及促進 |                | <ul style="list-style-type: none"> <li>・レーザー光源の開発状況や使用状況の調査</li> <li>・エンドユーザーニーズを取り入れた光源開発の必要性の把握、および本開発製品の実用化の可能性を明確にする</li> <li>・製品実用化可能性を広げるため、開発中間時点での成果報告会を行う</li> </ul> | 技術調査委員会(2回)<br>国際・戦略WG(4回)<br>素材・加工WG(4回)<br>表面改質WG(4回)<br>粉末成形WG(4回)<br>を開催し、レーザー光源等の調査を行った。またユーザーニーズについて議論した。<br>成果報告会 7/30開催 | ○   |

本テーマの目標はレーザー光源とレーザー加工について有識者を交えた議論を行うことで、本プロジェクトのエンドユーザーニーズを調査することである。そのため、技術調査委員会と4ワーキンググループ(WG)の委員会を開催した。技術調査委員会を含めたプロジェクトの委員会や会議の連携図を図Ⅲ-1.13に示す。技術調査委員会とWGにおいては有識者の貴重な意見を聞くことができ、プロジェクトを超えてレーザー産業全般に対する活発な議論ができた。表Ⅲ-1.14は技術調査委員会とWGの議事内容である。詳細な議事内容については「④ 技術開発推進にかかる調査(先端技術、標準化等)・評価・普及促進」の項目で説明する。また図Ⅲ-1.14は第2回技術調査委員会の風景である。

ユーザー連携と開発成果物の普及促進のため、平成24年7月30日に成果報告会を開催した。中間目標に関してはすべて問題なく達成した。



図Ⅲ-1.13 委員会の連携図

表Ⅲ-1.14 技術調査委員会とWGの議事内容

| 委員会、WG      | 委員数 | 回数 | 議事内容   |
|-------------|-----|----|--|
| 技術調査委員会     | 25名 | 2回 | 実用化促進のため、ユーザーからのニーズの検討を行なった。レーザー及びレーザー加工の国際的な技術動向、標準化、新素材・加工、表面改質、粉末成形の各WGテーマのニーズについての報告、検討を行なった。  |
| 国際・戦略テーマWG  | 10名 | 4回 | 現状のレーザー及びレーザー加工技術の動向と、今後どのようなレーザーとレーザー加工技術が必要とされるかの検討を行なった。ドイツの自動車産業におけるレーザー加工や世界的技術動向の現状を把握した。<br>アジア地区の動向や Photonics West2012（国際会議と展示）の報告から日本の標準化戦略やニーズにマッチしたレーザー及びレーザー加工のあるべき姿を検討した。  |
| 新素材・加工テーマWG | 6名  | 4回 | 開発内容を確認し、ニーズ面からどのようなレーザーが必要か検討を行なった。CFRP素材の各種仕様とその加工や評価等についての報告が行なわれた。BMWや東レの取り組み等が紹介された。ユーザー側のニーズや加工スペック等が提示され、それらの加工が可能なレーザーや加工法についての検討を行なった。  |
| 表面改質テーマWG   | 7名  | 4回 | 本WGでは、ディスプレイや太陽電池の製作に最適なレーザー加工のあり方を検討することになった。ディスプレイ用途のレーザーアニールの開発目標値とその背景が報告された。<br>ディスプレイ領域の市場動向報告、フラットパネルメーカーの技術ニーズ、太陽電池領域におけるレーザー応用に関するニーズ検討を行なった。   |
| 粉末成形テーマWG   | 2名  | 4回 | 本研究開発の目標を報告し、粉末成形の医療関連活用に関する技術情報を検討した。レーザーを活用した造形技術の現状を報告した。ニーズとしてチタン粉末を活用した医療用部品の仕様等についての検討を行なった。<br>ICALEO2011（国際会議と展示）の粉末成形技術の状況の報告と、開発施策の小型プラットフォームの見学を行ない、ニーズに対しての目標の確認を行なった。Photonics2012の粉末成形、Additive Manufacturing シンポジウムの状況が報告された。 |



図Ⅲ-1.14 第2回技術調査委員会

以上、研究開発項目の概要をまとめた。今年度末の達成予定の中間目標に対して、すでに前倒しでかなりの項目が達成されている。それ以外の項目についても、これまでの開発研究と検討結果から今年度末には達成見通しが得られ、プロジェクトは順調に遂行されている。

## 1.2. 成果要約

1.1節では開発項目の概要を説明したが、3つの出口イメージと調査研究に対しての現在の達成状況の概略は表Ⅲ-1.15のようになっている。計画通り順調に開発は進み、中間目標も今年度末には計画通りすべて達成される見込みである。

表Ⅲ-1.15 現在の達成状況の概略

|           | 目標   | 達成状況  |
|-----------|--|---|
| 切断接合技術の開発 | CFRP等の次世代素材をレーザーにより、高品位に加工できる技術を開発する。            | 各種レーザーを用いてCFRP素材の加工実験と評価を行い、高品位のCFRP加工の見通しがついた。                     |
| 表面処理技術の開発 | フラットパネルディスプレイや太陽電池製造に適用できるレーザーSiアニール技術を開発する。     | アニール用レーザーを光源とし、均一なワイドビームを実現する光学系の構築が、順調に進んでいる。                      |
| 粉末成形技術の開発 | チタン等の材料を用いて、医療などに貢献できる粉末成形技術を開発する。               | 小型プラットフォームを製作し、真空中でのチタン合金の成形技術を開発した。展示会に出品し、ユーザーにアピールすることができた。      |
| 調査・普及促進   | プロジェクトの出口を幅広く外部に求めるため、有識者を含めてプロジェクトのテーマについて議論する。 | 調査委員からの幅広い意見を聞き、国際的な技術動向などの調査を行った。分科会(WG)では今後のプロジェクトの展開につながる議論ができた。 |

## 1.3 知的財産の取得および成果の普及

下記表Ⅲ-1.16に知的財産、論文などに関する件数を下記の表に示す。

表Ⅲ-1.16 特許・論文等発表件数一覧 平成24年7月31日現在

|                  | 平成22年度 | 平成23年度 | 平成24年度 | 計         |
|------------------|--------|--------|--------|-----------|
| 特許出願<br>(うち外国出願) | 1 (0)  | 10 (0) | 8 (1)  | 19 (1) 件  |
| 研究発表・講演          | 2      | 53     | 15     | 70 件      |
| 論文<br>(うち査読付き)   | 0 (0)  | 9 (7)  | 6 (4)  | 15 (11) 件 |
| 展示会への出展          | 0      | 1      | 1      | 2 件       |

### 1.3.1 知的財産の管理について

最先端技術の開発に関わる本プロジェクトでは、知的財産管理が重要である。ALPROTでは知的財産規程を定めて、組合員の出願特許を有効に活用している。



図Ⅲ-1.15 研究組合における知財マネジメント

### 1.3.2 成果の普及

外部発表や展示会への出品を行い、ユーザーニーズを直接把握し、成果の普及に努めた。

#### ・産総研オープンラボ

産総研オープンラボにおいて、研究組合の展示ブースを設営し、研究組合とプロジェクトの紹介パネルを展示した。来場者にプロジェクトの目的、内容、成果等について説明を行った。

日時： 平成 23 年 10 月 13～14 日

場所： 産業技術総合研究所 本部情報棟 1 階ロビー

#### ・展示会への出展

平成 24 年 6 月 20 日 (水)～22 日 (金)、東京ビックサイトにて「第 23 回設計・製造ソリューション展 (DMS)」が開催された。アспект社ブースにおいて、本プロジェクトで開発した粉末成形装置の展示とデモを行った。ユーザーニーズを直接調査できる良い機会であった。



・成果報告会の開催

本プロジェクト開発の関連技術の普及・促進を図るため、プロジェクト中間時点での成果報告会を開催した。本プロジェクトの成果をレーザー加工技術関係のユーザーに幅広く利用してもらうため、これまでのプロジェクト成果について報告した。またユーザー企業側からの視点も重要と考え、ユーザー連携の技術調査委員の講演を行った。

日時： 平成 24 年 7 月 30 日

場所： 品川フロントビル会議室

1.4. 最終目標達成への見通し

1.1 項と1.2 項で示した現時点での成果と目標達成に向けて検討した内容を基に、最終目標に向けての見通し（課題とその対応を含む）について以下の表にまとめた。

| 研究項目   | 評価目標と成果         |   |   | 最終目標の達成見通し<br>(課題とその対応)  |
|--|-----------------|---|---|--|
|  | 評価項目            | 最終目標  | 成果(現時点)   |  |
| ①高出力半導体レーザー開発<br>①-(1)<br>半導体レーザーの<br>高出力化技術・<br>高信頼化技術の<br>開発 | シングルエミッタ<br>アレイ | 波長：近赤外帯<br>出力：20 W、効率 65%<br>寿命 50,000 時間<br><br>出力 300 W<br>効率 60%<br><br>寿命 50,000 時間<br>自動組立が可能であること | 900nm 帯<br>15 W、60%以上<br>確認中<br><br>200 W<br>55%以上<br><br>確認中<br>自動組立可能 | 最終目標達成に向けての確認点である中間目標については、順調に開発が完了する見込みである。<br>最終目標は、素子の熱負荷が大きい状態で高出力化を実現し、かつ寿命を延ばすといった厳しい目標値となっている。<br>結晶構造、素子構造等について試作、検討を進め、課題の抽出とその解決策を見出すことで、最終目標を達成させる。 |
| ①-(2)<br>半導体レーザーの<br>ファイバーカップル<br>技術の開発                        | シングルエミッタ<br>アレイ | ファイバ結合効率<br>90%<br>ファイバ結合効率<br>70%  | 80%以上<br><br>仮組 60%以上   | 最終目標達成に向けての確認点である中間目標については、順調に開発が完了する見込みである。<br>最終目標を達成に向けては、よりエネルギー伝送効率の高い結合技術、光学系および調心技術の開発が必要である。それらの技術課題の抽出とその解決策を見出すことで、最終目標を達成させる。                       |

| 研究項目  | 評価目標と成果  |   |   | 最終目標の達成見通し<br>(課題とその対応)                                |
|---|--|---|---|--|
|   | 評価項目   | 最終目標  | 成果<br>(現時点)   |  |
| ②-(1)-1)<br>ファイバーレーザーのパルス制御技術の開発                  | 粉末成形シーダ<br>平均出力<br>繰り返し周波数<br>ブースタシーダ<br>平均出力<br>繰り返し周波数 | 中間目標と同じ<br>70W<br>@パルス幅 100ns,<br>1MHz<br><br>5W<br>@パルス幅 3-10ns<br>75kHz | 70W<br>@パルス幅 100ns<br>1MHz<br><br>5W<br>@パルス幅 3-10ns<br>75kHz | 最終目標は中間目標と同じで、達成済み                                     |
| ②-(1)-2)<br>レーザー高品位化技術の研究開発・ファイバーレーザーのモジュール化技術の開発 | 平均出力<br>繰り返し周波数<br>波長<br>パルス幅<br>偏光：保持                   | 150W@100 ns<br>1 MHz<br>1064 nm<br>100 ns<br>偏光：保持                        | 171 W @100 ns<br>1 MHz<br>1064 nm<br>100 ns<br>偏光：保持          | 順調に開発は進んでいる。フィルターの最適化と吸収長と励起波長の最適化に成功したので、最終目標は十分達成可能。 |

| 研究項目                            | 評価目標                   |   |   | 最終目標の達成見通し<br>(課題とその対応)  |  |
|---------------------------------|------------------------|---|---|--|--|
|                                 | 評価項目                   | 最終目標  | 成果(現時点)   |  |  |
| ②-(1)-3)<br>ファイバーレーザーの高出力化技術の開発 | ブースター注入用               | 繰り返し周波数<br>平均出力<br>波長<br>(可変)<br>パルス幅<br>M <sup>2</sup> | 75-150kHz<br>300W (2ビーム)<br>1064.1-1064.8nm<br>3-10ns<br><1.5 | 77kHz<br>170 W<br>1064.1-1064.8 nm<br>3-10ns 可変<br>1.5             | 1ビーム出力 150W は達成済み。<br>2ビーム偏光合成で 300W は確実に達成。 |
|                                 | ビーム波長合成                | 平均出力<br>波長  | 300W<br>1064, 1070nm  | 300W<br>1064, 1070,<br>1075nm                                      | パワー、2波長ともに達成。<br>効率>90%の波長合成にめど              |
| ②-(1)-4)<br>QCW ファイバーレーザーの開発    | ピーク出力<br>平均出力<br>ビーム品質 | 1.6kW<br>250W<br>M <sup>2</sup> <1.1                    | 800 W<br>500W<br>M <sup>2</sup> <1.1                          | 順調に開発は進んでいる。励起半導体の輝度向上とファイバーの非線形効果を低減し、ピーク出力を確保する。<br>最終目標は十分達成可能。 |  |

| 研究項目                          | 評価目標                              |   |  | 最終目標の達成見通し<br>(課題とその対応)   |
|-------------------------------|-----------------------------------|---|--|---|
|                               | 評価項目                              | 最終目標  | 成果(現時点)  |   |
| ②-(2)-1) kW級ブースター増幅器の開発       | 繰り返し周波数<br>平均出力<br>波長(可変)<br>パルス幅 | 75-150kHz<br>1.5kW<br>1064.1-1064.8nm<br>(最適化)<br>3-10ns                    | 75kHz<br>700W 達成見込<br>最適化中<br>3-10ns                   | 4kW LD 励起で>750W@75kHzを達成見込み。<br>よって、縦偏光 750W、横偏光 750W の 2 ビーム合成で 1.5kW 達成は確実。<br>出力 1 ビーム又は 2 ビームの選択は、波長変換の最適化と併せて決定。 |
| ②-(2)-2) アニリング用ブースター増幅技術の開発   | 波長<br>平均出力<br>繰り返し周波数<br>パルス幅     | 1 $\mu$ m 帯(基本波)<br>200~700W<br>1~150 kHz のうち、最適周波数<br>0.5~200ns のうち、最適パルス幅 | 1.064 $\mu$ m<br>560W<br>1kHz<br>105ns                 | 最終目標は中間目標と同じで、今年度中に全項目達成の予定   |
| ②-(3)-1) アニリング用レーザーの波長変換モジュール | 変換効率                              | 20%<br>(700W 基本波から)   | 20%<br>(360W 基本波)                                      | 順調に開発は進んでいる。波長変換結晶の光損傷を考慮した設計になっているため、最終目標は十分達成可能。  |
| ②-(3)-2) 波長変換の高効率化技術の開発       | 第2高調波変換効率<br>第3高調波変換効率            | $\geq 30\%$<br>(基本波 1.5kW)<br>$\geq 10\%$<br>(基本波 1.5kW)                    | $\geq 60\%$<br>(基本波 300W)<br>$\geq 40\%$<br>(基本波 160W) | 冷却構造の改良と偏光合成(ビーム当たり 750W 入力)によって熱負荷を半減することで、目標達成は可能。  |

| 研究項目   | 評価目標と成果                                      |   |   | 最終目標の達成見通し<br>(課題とその対応)   |
|--|--|---|---|---|
|  | 評価項目   | 最終目標  | 成果(現時点)   |   |
| ③-(1)<br>1) 複合材料高速切断接合システム技術の開発<br>2) 複合材料加工プロセス・評価技術の開発 | 切断加工速度<br>反応層厚み<br>引張強度<br>接合加工速度<br>引張せん断強度 | 6m/min<br>100 $\mu$ m<br>10%未満の低減<br>(参照強度に対して)<br>6m/min<br>100MPa | 1.5m/min(CFRP)<br>2m/min(CF RTP)<br>350 $\mu$ m(CFRP)<br>300 $\mu$ m(CF RTP)<br>10%未満(CFRP)<br>20%未満(CF RTP)<br>要素技術見極め<br>中<br>接着剤 20MPa | 順調に開発は進んでいる。波長、パルス幅と熱損傷の関係が明確になりつつあり、最終目標は十分達成可能<br>CFRP の表面改質により見通しあり、最終目標は十分達成可能。 |
| ③-(2) 表面処理技術の開発  | 大型レンズ研磨装置<br>ワイドビーム光学系の                      | 研磨幅: 500mm<br>ビーム幅: 500mm<br>集光幅: 20 $\mu$ m                        | 700mm<br>700mm<br>20 $\mu$ m  | 大型レンズ研磨機が完成したため、光学シミュレーションから導かれるサイズの大型レンズの製造が可能になった。                                |

|                     |  |  |                                   |   |
|---------------------|--|--|-----------------------------------|---|
|                     | シミュレーション<br><br>ワイドビームの形成<br><br>ビームモニタリング | 照射均一性： ±7%<br><br>ビーム幅： 500mm<br>集光幅： 20 μ m<br>照射均一性： ±7%<br><br>測定精度：±2%以内<br>測定分解能：5 μ m 以下 | ±2.5%<br><br>未評価<br><br>未評価       | これらとアニーリング用レーザーと組み合わせ、実際のビームの整形評価を実施し、最終目標を達成できる見込み       |
| ③-(3)<br>粉末成形システム開発 | 成形精度<br><br>成形速度<br>強度                     | ±0.1mm(100mm 基準パーツ)<br>16 時間以内<br>860MPa(チタン合金)  | +0.2mm<br><br>6 時間 (外挿)<br>190MPa | 精度は補正で対応可能。加工速度は問題なし。強度は積層ピッチを縮めて密度を向上することにより実現可能と予測している。 |

| 研究項目                                   | 評価目標と成果  |  | 最終目標の達成見通し<br>(課題とその対応)   |
|--|--|--|---|
|  | 最終目標   | 成果(現時点)                                      |   |
| ④ 技術開発推進にかかわる調査<br>(先端技術、標準化等)・評価・普及促進 | <ul style="list-style-type: none"> <li>開発光源および開発された光源を利用した加工システムのユーザーとの連携</li> <li>広範囲なものづくりに活用されるレーザー加工技術の実用化の可能性を明確にする</li> <li>本開発の成果報告会の開催</li> <li>レーザー加工実証試験の開催</li> </ul> | 技術調査委員会(2回)と各WG(それぞれ4回)を開催した。<br>成果報告会を開催した。 | 技術調査委員会と各WGを中心としてユーザー連携を進める予定。<br>成果報告会、加工実証試験を行い、成果の普及を図るが、最終目標達成は十分可能である。 |

以上の表で見ると、いずれの研究開発項目においても課題の見極めができています。またこれまでの開発研究により、その課題に対しては解決策の知見が得られています。その対応策に従い計画的に研究開発を遂行し、技術開発会議や調査委員会の議論を研究にフィードバックすることで、最終目標達成の見通しを得ています。同時に、今後はより応用面に目を向け、成果物の普及のためのユーザー連携の活動や調査にも視野を広げていくことが重要であると考えています。

## 2. 研究開発項目毎の成果

### 2.1 研究開発項目①「半導体レーザーの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」

(浜松ホトニクス株式会社)

#### 2.1.1 事業の目的・意義（目的・概要）

溶接、熱処理、焼き入れ等様々な用途に半導体レーザー（LD）が導入され、省電力化（低炭素排出）に寄与し、自動車産業をはじめとする産業競争力の向上に貢献している。LDに対する産業界からのニーズとして、LDのさらなる小型化、高効率化、また低コスト化の要求が高い。

このような背景を受けて、省資源化・小型化・低コスト化に貢献すべく、半導体レーザーの高出力化・高効率化を図った。

#### 2.1.2 研究開発目標と達成状況

中間目標に対する達成度として、初期特性に関しては現時点で全てクリアした。また寿命に関しては、平成24年度内には寿命20,000時間をクリア出来ると考えられることから、総じて中間目標を達成出来たといえる。

表Ⅲ-2.1.1 研究開発目標と達成状況

| 研究項目                                      | 評価目標         |  |  |
|---|--------------|--|--|
|   | 評価項目         | 中間目標   | 最終目標   |
| ①-(1)<br>半導体レーザーの<br>高出力化技術・<br>高信頼化技術の開発 | シングル<br>エミッタ | 波長:近赤外帯<br>出力: 15 W、効率: 60%<br>寿命: 20,000時間                  | 波長:近赤外帯<br>20 W、65%<br>50,000時間                  |
|   | アレイ          | 波長:近赤外帯<br>出力: 200 W、効率: 55%<br>寿命: 20,000時間<br>自動組立が可能であること | 波長:近赤外帯<br>300 W、60%<br>50,000時間<br>自動組立が可能であること |

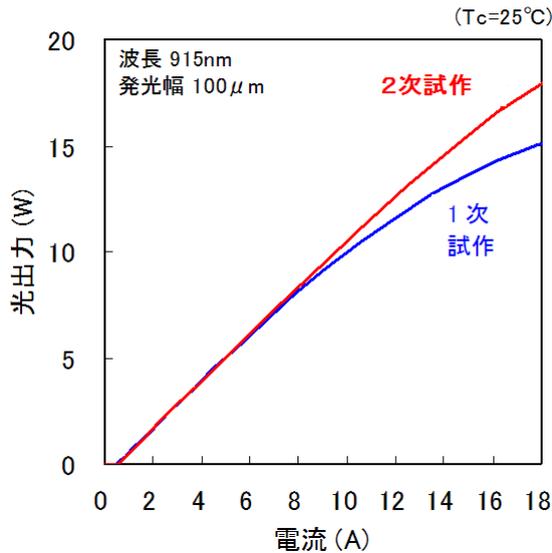
#### 2.1.3 成果の詳細

##### 2.1.3.1 シングルエミッタ

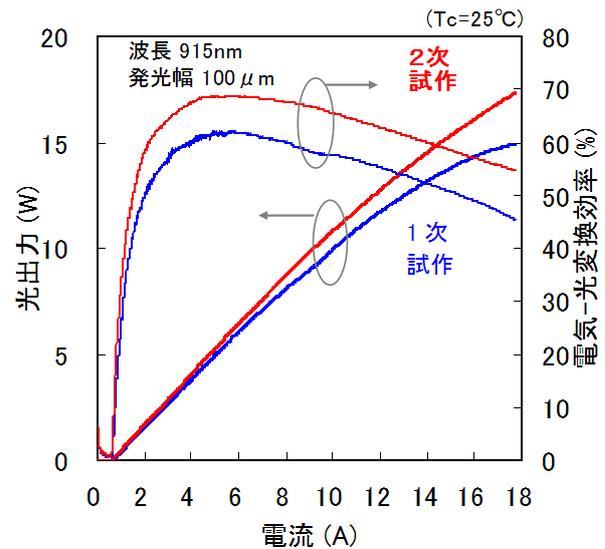
高出力時の発熱低減という課題に対して、素子構造の最適化により解決を図った。そのために高出力と高信頼性の両立シミュレーション技術を駆使し、計算で求められた最適パラメータを使用して、高出力時に出力飽和を起こさないLD素子を開発した。

計算および試作結果を図Ⅲ-2.1.1～図Ⅲ-2.1.2に示す。2次試作において、高出力時の熱負荷による光出力飽和が大きく改善され、中間目標の達成が確認された。

また高出力と高信頼性の両立といった課題に対しては、端面劣化抑制構造を開発した。現在、連続駆動試験による寿命時間の確認を行っており、平成24年度内に寿命20,000時間を確認する。



図Ⅲ-2.1.1 計算結果



図Ⅲ-2.1.2 試作した素子の光出力特性

### 2.1.3.2 アレイ

高出力時の発熱の低減と熱の除去といった課題に対して、素子構造の最適化、ヒートシンク改良といった手法で解決した。また社有技術を利用することで、今回開発したアレイのスマイルを $1\mu\text{m}$ 以下に低減させ、自動組立に対応出来るようにした。

試作したアレイ LD の光出力特性を図Ⅲ-2.1.3 に示す。同図より中間目標である光出力 200W、電気光変換効率 55%の達成が確認される。寿命については現在確認作業を行っており、光出力の急速な低下は認められず、数千時間にわたり安定に動作している。平成 24 年度内に信頼性 20,000 時間を確認する。

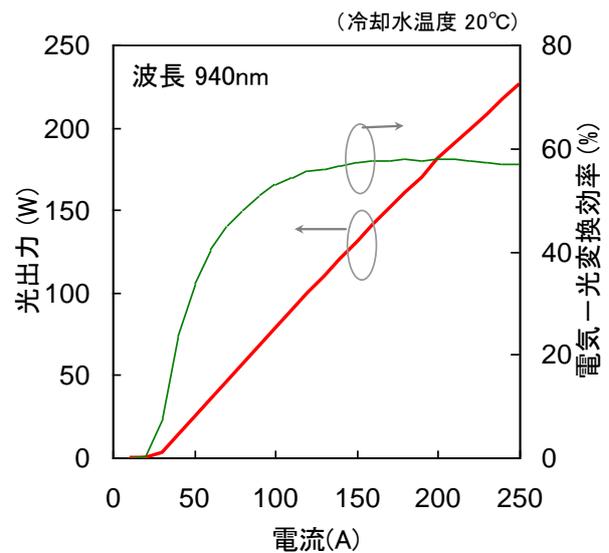


図-2.1.3 アレイ LD の光出力特性

### 2.1.4 最終目標の達成見通し

前述したように最終目標達成に向けての確認点である中間目標については、順調に開発が完了する見込みである。

しかし最終目標達成には、素子の熱負荷が大きい状態で高出力化を実現し、かつ寿命を延ばすといった非常に厳しい目標値となっている。最終目標達成に向け、平成 25 年度は結晶構造、素子構造等について試作、検討を進め、課題の抽出とその解決策を見出す。

#### 2.1.5 知的財産権および成果の普及

知的財産権および外部発表に関しては、2.2 研究開発項目①「半導体レーザーの高出力化技術の開発」、「(2) 半導体レーザーのファイバーカップル技術の開発」と密接に関係しており、切り離すことが難しいことから、次項でまとめて報告する。

## 2.2 研究開発項目①「半導体レーザーの高出力化技術の開発」

### 「(2) 半導体レーザーのファイバーカップル技術の開発」

(浜松ホトニクス株式会社)

#### 2.2.1 事業の目的・意義（目的・概要）

溶接、熱処理、焼き入れ等様々な用途に半導体レーザー（LD）が導入され、省電力化（低炭素排出）に寄与し、自動車産業をはじめとする産業競争力の向上に貢献している。LDに対する産業界からのニーズとして、LDのさらなる小型化、高効率化、また低コスト化の要求が高く、またロボットで使用する場合には、レーザー光出射部の軽量化、小型化が必須となる。

このような背景を受けて、ユーザーフレンドリーな光源とすべく、高輝度ファイバー結合技術の開発を行なった。

#### 2.2.2 研究開発目標と達成状況

シングルエミッタに関しては現時点で中間目標をクリアした。アレイに関しては仮組状態で中間目標をクリアしており、平成 24 年度中にモジュール状態で目標を達成する。

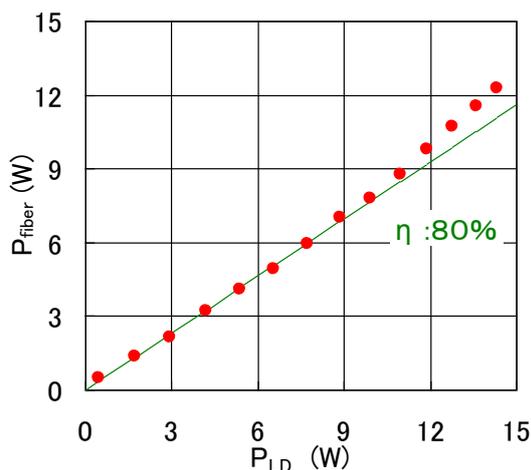
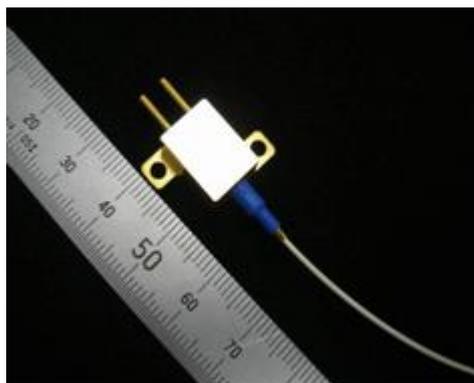
表Ⅲ-2.2.1 研究開発目標と達成状況

| 研究項目                                    | 評価目標         |                |                |
|---|--------------|----------------|----------------|
|   | 評価項目         | 中間目標           | 最終目標           |
| ①-(2)<br>半導体レーザーの<br>ファイバーカップル<br>技術の開発 | シングル<br>エミッタ | ファイバー結合効率: 80% | ファイバー結合効率: 90% |
|   | アレイ          | ファイバー結合効率: 60% | ファイバー結合効率: 70% |

#### 2.2.3 成果の詳細

##### 2.2.3.1 シングルエミッタ

ファイバー結合効率向上のために、素子特性・レンズ特性の最適化を行った。ファイバーモジュール化した試作品の外観と、素子出力とファイバー出力の関係を図Ⅲ-2.2.1 に示す。目標としてきた結合効率 80%（ファイバー出射面でのフレネル反射を除く）を達成することを確認した。



図Ⅲ-2.2.1 シングルエミッタファイバーモジュール外観とそのファイバー結合特性

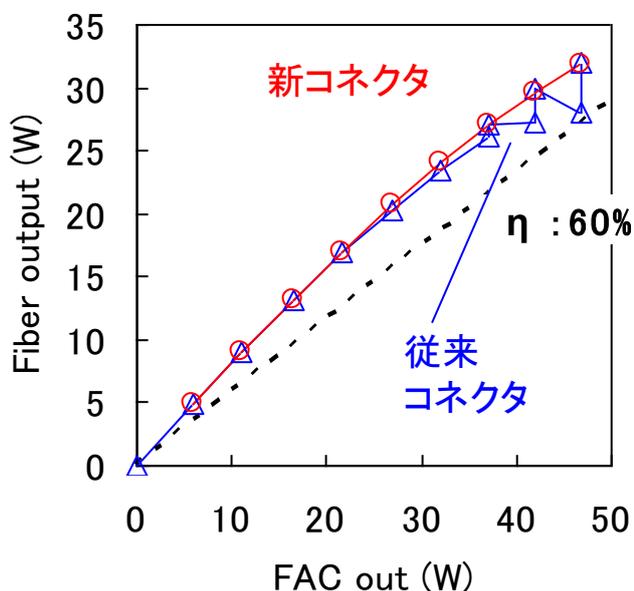
### 2.2.3.2 アレイ

ファイバー結合効率を向上させるために、スマイル抑制、耐パワー性を有するコネクタ開発を行った。

図Ⅲ-2.2.2 はアレイのファースト軸コリメート光出力（FAC out）に対するファイバー出力の関係を示す。

スマイルを抑制したアレイを使用することで高効率結合が実現されている。

また従来のコネクタでは高出力光導入時調芯ずれを起こし、再調芯を行う必要があったが、新規コネクタを使用することにより、安定的に高結合効率が得られることを確認した。



図Ⅲ-2.2.2 アレイのファイバー出力特性

### 2.2.4 最終目標の達成見通し

最終目標達成に向けての確認点である中間目標については、順調に開発が完了する見込みである。最終目標を達成に向けては、よりエネルギー伝送効率の高い結合技術、光学系および調心技術の開発が必要であり、それら技術課題の抽出とその解決策を見出だす。

### 2.2.5 知的財産権および成果の普及

「(1) 半導体レーザーの高出力化技術・高信頼化技術の開発」および「(2) 半導体レーザーのファイバーカップル技術の開発」に関して知的財産権及び外部発表の件数

をまとめたものを表Ⅲ-2.2.2に示す。素子開発とファイバー結合技術開発を密接に連携して開発することにより、多くの知的財産を生み出し、またその成果を社会に還元することができた。

表Ⅲ-2.2.2 知的財産権および外部発表件数

| 年度               | 平成 22 年  | 平成 23 年  | 平成 24 年  | 計          |
|------------------|----------|----------|----------|------------|
| 特許出願<br>(うち外国出願) | 1<br>(0) | 2<br>(0) | 5<br>(0) | 8件<br>(0件) |
| 論文(うち査読付き)       | 0(0)     | 2(2)     | 3(3)     | 5件(5件)     |
| 研究発表・講演          | 1        | 4        | 4        | 9件         |

## 2.3 研究開発項目②「レーザー高品位化技術の研究開発」

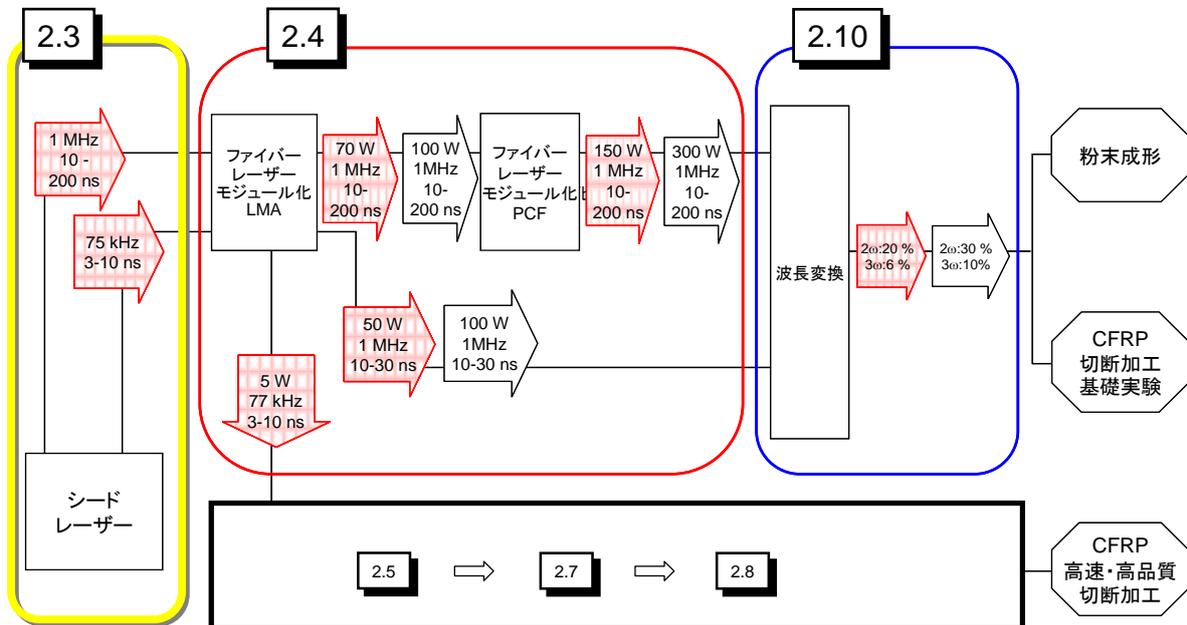
「(1) ファイバーレーザーのパルス制御・高性能化技術の開発」

「1) ファイバーレーザーのパルス制御技術の開発」

(阪大接合研、古河電工)

### 2.3.1 事業の背景・意義（目的・概要）

本研究開発では、図Ⅲ-2.3.1 に示したように粉末成形、CFRP 切断加工基礎実験、およびCFRP高速・高品位切断加工用パルスファイバーレーザーを開発することを目的としている。粉末成形用レーザーには、②-(1)-1)にてシードレーザーを開発する。粉末成形用には、パルス幅 100 ns および 10 ns を中間目標とする。CFRP 用には、パルス幅 3-10 ns、繰り返し周波数 77kHz を中間目標とする。両中間目標については、平成 24 年度末までに達成するとともに、本開発項目の最終目標とする。本項では、図Ⅲ-2.3.1 中の枠（黄色）で示した部分②-(1)-1)について記述する。



図Ⅲ-2.3.1 目的別に開発されるパルスファイバーレーザー開発目標：中間目標（矢印赤）と最終目標（矢印白）

### 2.3.2 研究開発目標と根拠

粉末成形において成形体の構造制御の高度化に必要なレーザーには、100 ns 程度のパルス幅が要求される。成形速度から繰り返し周波数には 1MHz 程度必要となる。CFRP 切断加工基礎実験用には、パルス幅 10ns が必要となる。②-(1)-1)で開発するパルスファイバーレーザー（シード光）光源は、10ns～ 200 ns の範囲でパルス幅 10ns と 100ns を選択可能で、～1MHz の高速繰り返し出力を中間目標とする

CFRP 加工用レーザーには、10ns 以下のパルス幅が求められる。②-(1)-3 高出力化技術開発においてシード光源として要求される出力を得るため、半導体レーザーの直接変調出力を用い、3～10ns のパルス発生および、偏光保持イットリビウムクラッド励起

ファイバー増幅器を開発し、77kHz で出力させる。本レーザーは後段の出力特性向上のため、1nm 程度の波長チューニングを可能とする。また、②-(1)-3 において、高出力化のため、異なる波長のレーザーを 2 台用意し合波させるため、波長 1070nm の同一特性のパルスレーザーを開発する。

粉末成形および CFRP 加工システム化のため、上記の特性を有するシードレーザーユニットを作成する。中間目標値を表Ⅲ-2.3.1 及び表Ⅲ-2.3.2 にまとめる。

表Ⅲ-2.3.1 粉末成形用シードレーザー中間目標値

| 項目          | Min. | Typ. | Max. | 備考 |
|-------------|------|------|------|----|
| 波長 (nm)     |      | 1064 |      |    |
| パルス幅 (ns)   |      |      | 100  |    |
| 繰返周波数 (kHz) |      | 1000 |      |    |

表Ⅲ-2.3.2 CFRP 加工用シードレーザー中間目標値

| 項目          | Min. | Typ. | Max. | 備考                        |
|-------------|------|------|------|---------------------------|
| 波長 (nm)     |      | 1064 | 1070 | 1064nm 及び<br>1070nm 各 1 台 |
| パルス幅 (ns)   | 3    | 5    | 10   |                           |
| 繰返周波数 (kHz) |      | 77   |      |                           |

### 2.3.3 研究開発スケジュール

平成 24 年度はシードレーザーの特性向上を推進し、②-(1)-2)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を実施する。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。CFRP 加工用シードレーザーについては波長多重化のため同期動作も配慮した設計を実施する。粉末成形用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実施する。

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へフィードバック。②-(1)-2)および②-(1)-3)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。

### 2.3.4 研究開発目標と達成状況

研究開発目標に対して現時点での達成度を表Ⅲ-2.3.3 および表Ⅲ-2.3.4 に示す。

表Ⅲ-2.3.3 粉末成形用シードレーザーの開発目標と達成度

| 項目     | 中間目標       | 最終目標       | 成果          | 中間目標の達成度 |
|--------|------------|------------|-------------|----------|
| 波長     | 1064nm     | 1064nm     | 1064nm      | ○        |
| パルス幅   | 100ns      | 100ns      | 100ns       | ○        |
| パルス幅可変 | 10ns-200ns | 10ns-200ns | 10ns, 100ns | △        |
| 繰返し周波数 | 1MHz       | 1MHz       | 1MHz        | ○        |
| 偏光     | 直線         | 直線         | 直線          | ○        |

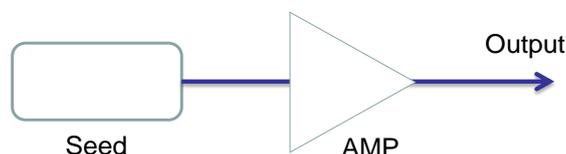
中間目標の達成度：○達成、△今年度中に達成見込み、×今年度中未達成

表Ⅲ-2.3.4 CFRP 加工用シードレーザーの開発目標と達成度

| 項目      | 中間目標           | 最終目標           | 成果             | 中間目標の達成度 |
|---------|----------------|----------------|----------------|----------|
| 波長      | 1064nm, 1070nm | 1064nm, 1070nm | 1064nm, 1070nm | ○        |
| パルス幅    | 5ns            | 5ns            | 5ns            | ○        |
| パルス波形可変 | 3ns-10ns       | 3ns-10ns       | 3ns, 5-10ns    | ○        |
| 繰返し周波数  | 77kHz          | 77kHz          | 77kHz          | ○        |
| 偏光      | 直線             | 直線             | 直線             | ○        |

中間目標の達成度：○達成、△今年度中に達成見込み、×今年度中未達成

### 2.3.5 成果の詳細



図Ⅲ-2.3.5 パルスファイバーレーザーの構成

図Ⅲ-2.3.1 にパルスレーザーの構成を示す。シードレーザーは、ファイバーレーザー (FL) または半導体レーザーを用い開発する。ファイバーレーザーベースでは、外部変調器を用いることで、短パルス発生を行った。半導体レーザーは、高速変調特性に優位性がある。両者の特性を生かし、粉末成形用 CFRP 用に最適な Seed に用いて開発を進めた。両者の比較を表Ⅲ-2.3.5 に示す。

表Ⅲ-2.3.5 Seedレーザー特性比較

| 項目       | ファイバーレーザー | 半導体レーザー | 備考             |
|----------|-----------|---------|----------------|
| 高出力化     | ○         | △       | パルス幅、繰返し周波数に依存 |
| 短パルス化    | △         | ◎       |                |
| 繰返し周波数可変 | ◎         | ◎       |                |
| 波長可変性    | △         | ◎       |                |

### 2.3.6 最終目標の達成の見通し

2.3.4に示したように中間目標を最終目標としている

### 2.3.7 知的財産権 及び 成果の普及

本プロジェクトにおけるファイバーレーザー開発に必要な知財として「特開2007-142380」「特開2011-187825」がある。成果の普及として、平成23年度は、16件の研究発表・講演を行っている。平成24年度については、3件行っている。

## 2.4 研究開発項目②「レーザー高品位化技術の研究開発」

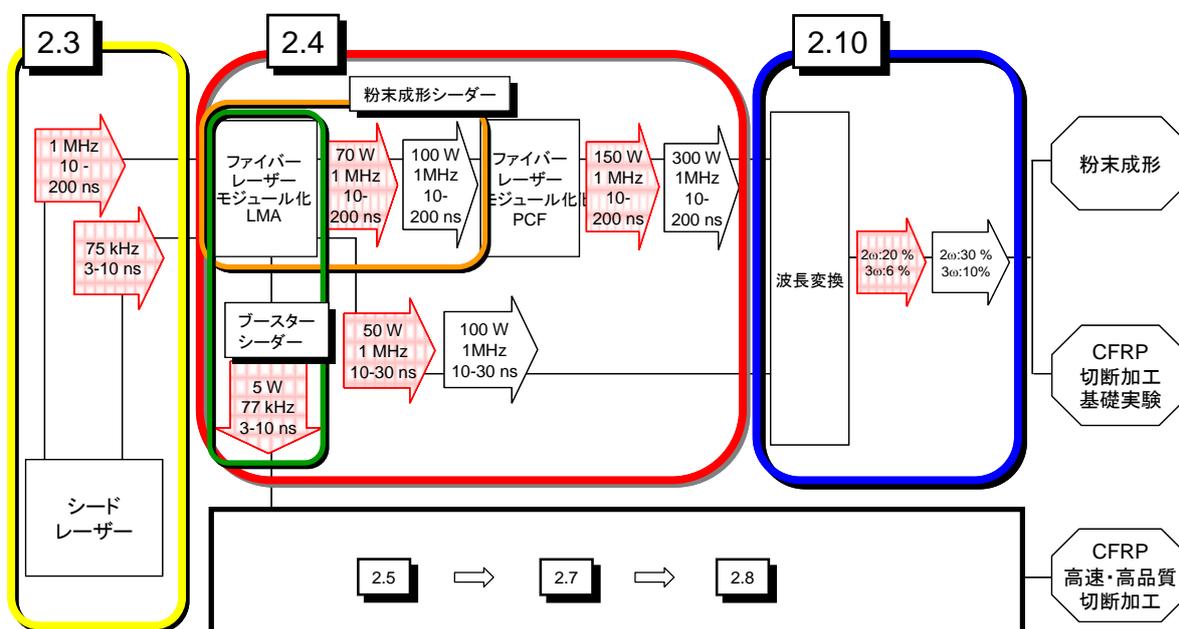
「(1) ファイバーレーザーのパルス制御・高性能化技術の開発」

「2) ファイバーレーザーのモジュール化技術の開発」

(阪大接合研、古河電工、片岡製作所)

### 2.4.1 事業の背景・意義（目的・概要）

本研究開発では、図Ⅲ-2.4.1に示したように粉末成形用レーザーには、②-(1)-1)で開発した繰り返し周波数 1MHz、パルス幅 100 ns のシードレーザーを LMA ファイバーレーザーモジュールにより中間目標と出力して、平均 70W、最終目標として平均出力 100W まで増幅し、さらにフォトニッククリスタルファイバーレーザーモジュールにより、中間目標として平均出力 150W、最終目標として平均出力 300W まで増幅する。CFRP 切断加工基礎実験用レーザーには②-(1)-1)で開発した繰り返し周波数 1MHz、パルス幅 10 ns のシードレーザーを 50 W まで増幅する。CFRP 高速・高品質切断加工用レーザーには、②-(1)-1)で開発した繰り返し周波数 77 kHz、パルス幅 3-10 ns のシードレーザーを平均出力 5 W まで増幅する。図Ⅲ-2.4.1 中に示したように繰り返し周波数 1MHz、パルス幅 100 ns、平均出力 70W(中間目標)および平均出力 100W(最終目標)の LMA ファイバーレーザーモジュールを「粉末成形シーダー」、繰り返し周波数 77 kHz、パルス幅 3-10 ns、平均出力 5 W の LMA ファイバーレーザーモジュールを「ブースターシーダー」と呼ぶことにする。



図Ⅲ-2.4.1 目的別に開発されるパルスファイバーレーザー開発目標：中間目標（矢印赤）と最終目標（矢印白）

### 2.4.2 研究開発目標と根拠

粉末成形において成形体の構造制御の高度化に必要なレーザーには、100 ns 程度の

パルス幅が要求される。成形速度から繰り返し周波数には 1MHz、平均出力には 300 W 程度必要となる。CFRP 切断加工基礎実験用には、パルス幅 10ns が必要となる。CFRP 高速・高品質加工用レーザーについては、パルス幅 3-10 ns、繰り返し周波数 1 MHz、平均出力 50 W 程度が必要となる。CFRP 高速・高品質切断加工用レーザーは、②-(1)-3 および②-(2)-1 で所望の平均出力に増幅されるが、そのレーザー増幅器に供給するレーザーには、パルス幅 3-10 ns、繰り返し周波数 77 kHz、平均出力 5 W 要求されるので、同平均出力を目標値とした。本レーザーの波長は 1064 nm であるが、後段の出力特性向上のため、1nm 程度の波長チューニングを可能とするように開発した。また、②-(1)-3 において、高出力化のため、異なる波長のレーザーを 2 台用意し合波させるため、波長 1070nm の同一特性のパルスレーザーを開発する。

粉末成形用レーザーの出力として、②-(1)-1 で開発する繰り返し周波数 1 MHz、パルス幅 100 ns のシードレーザーを最終目標として平均出力 300 W まで増幅することが必要となる。そのために、LMA ファイバー増幅により最終目標として平均出力 100W を達成し、その後、フォトニッククリスタルファイバー増幅により平均出力 300W を得る方法を選択した。中間目標値と最終目標値を表 III-2.4.1 に示す。

表 III-2.4.1 粉末成形用パルスファイバーレーザーモジュール開発の中間目標値と最終目標値

| 研究項目  | 評価項目              |  |  |
|---|-------------------|--|--|
|   | 評価項目              | 中間目標   | 最終目標   |
| ②レーザー高品位化技術の研究開発<br>(1)ファイバーレーザーの<br>パルス制御・高性能化技術の開発<br>2)ファイバーレーザーの<br>モジュール化技術の開発 | ブースター<br>シードレーザー  | 出力: 5 W@5 ns<br>繰り返し: 77 kHz<br>波長: 1064 nm, 1070 nm<br>パルス幅(可変): 3 ns - 10 ns<br>偏光: 直線 | 中間目標を最終目標とする   |
|   | 粉末成形シードレーザー       | 出力: 70 W@100 ns<br>繰り返し: 1 MHz<br>波長: 1064 nm<br>パルス幅(可変): 10 ns - 200 ns<br>偏光: 直線      | 出力: 100 W@100 ns<br>繰り返し: 1 MHz<br>波長: 1064 nm<br>パルス幅(可変): 10 ns - 200 ns<br>偏光: 直線 |
|   | PCF増幅             | 出力: 150 W@100 ns<br>偏光: 保持   | 出力: 300 W@100 ns<br>偏光: 保持   |
|   | CFRP切断加工基礎実験用レーザー | 出力: 50 W@10 ns<br>繰り返し: 1 MHz<br>波長: 1064 nm<br>偏光: 直線                                   | 出力: 100 W@10-30 ns<br>繰り返し: 1 MHz<br>波長: 1064 nm<br>偏光: 直線                           |

CFRP 切断加工基礎実験用には、短パルス化が必要で、②-(1)-1 にてシードレーザーの短パルス化を行い、本研究開発では、パルス幅を保持したまま平均出力 50W までの増幅を行った。

CFRP 高速・高品質切断加工用レーザーの平均出力 1.5kW、繰り返し周波数 150 kHz およびパルス幅 3-10 ns を最終的に得るために、本研究では、発振波長 1064nm と 1070 nm のそれぞれのそれぞれのレーザーにおいて、パルス幅 3-10 ns、繰り返し周波数 77 kHz、平均出力 5 W を開発目標とした。

### 2.4.3 研究開発スケジュール

平成24年6月までの実績及び最終目標達成までの予定を表Ⅲ-2.4.5に示す。平成24年度はシードレーザーの特性向上を推進し、②-(1)-2)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を実施する。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。ブースターシードレーザーについては波長多重化のため同期動作も配慮した設計を実施する。粉末成形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実施する。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へフィードバック。②-(1)-2)および②-(1)-3)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。

### 2.4.4 研究開発目標と達成状況

研究開発目標に対して現時点での達成度を表Ⅲ-2.4.2、表Ⅲ-2.4.3および表Ⅲ-2.4.4に示す。

表Ⅲ-2.4.2 粉末成形用パルスファイバーレーザーの開発目標と達成状況

| 研究項目  | 評価項目    |   |  | 成果  | 達成度                        |
|---|---------|---|--|---|----------------------------|
|   | 評価項目    | 中間目標  | 最終目標   |   |                            |
| ②レーザー高品位化技術の研究開発<br>(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<br>2)ファイバーレーザーのモジュール化技術の開発 | 粉末成形シード | 出力: 70 W@100 ns<br>繰り返し: 1 MHz<br>波長: 1064 nm<br>パルス幅: 100 ns<br>パルス幅(可変): 10 ns - 200 ns<br>偏光: 直線 | 出力: 100 W@100 ns<br>繰り返し: 1 MHz<br>波長: 1064 nm<br>パルス幅: 100 ns<br>パルス幅(可変): 10 ns - 200 ns<br>偏光: 直線 | 出力: 70 W@100 ns<br>繰り返し: 1 MHz<br>波長: 1064 nm<br>パルス幅: 100 ns<br>パルス幅(可変): 10 ns、100 ns<br>偏光: 直線 | ○<br>○<br>○<br>○<br>△<br>○ |
|   | PCF増幅   | 出力: 150 W@100 ns<br>偏光: 保持  | 出力: 300 W@100 ns<br>偏光: 保持   | 出力: 171 W@100 ns<br>偏光: 保持  | ○<br>○                     |

中間目標の達成度：○達成、△今年度中に達成見込み、×今年度中未達成

表Ⅲ-2.4.3 CFRP切断加工基礎実験用パルスファイバーレーザー開発目標と達成状況

| 項目      | 中間目標   | 最終目標    | 成果     | 中間目標の達成度 |
|---------|--------|---------|--------|----------|
| 波長      | 1064nm | 1064nm  | 1064nm | ○        |
| パルス幅    | 10ns   | 10-30ns | 10ns   | ○        |
| 繰り返し周波数 | 1MHz   | 1MHz    | 1MHz   | ○        |
| 出力      | 50W    | 100W    | 50W    | ○        |
| 偏光      | 直線     | 直線      | 直線     | ○        |

中間目標の達成度：○達成、△今年度中に達成見込み、×今年度中未達成

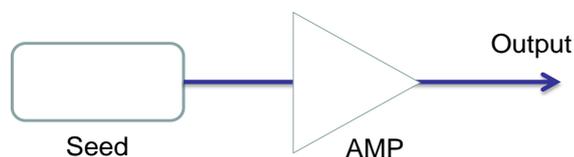
表Ⅲ－2.4.4 ブースターシーダー開発目標と達成状況

| 項目      | 中間目標           | 最終目標           | 成果             | 中間目標の達成度 |
|---------|----------------|----------------|----------------|----------|
| 波長      | 1064nm, 1070nm | 1064nm, 1070nm | 1064nm, 1070nm | ○        |
| パルス幅    | 5ns            | 5ns            | 5ns            | ○        |
| パルス波形可変 | 3ns-10ns       | 3ns-10ns       | 3ns, 5-10ns    | ○        |
| 繰返し周波数  | 77kHz          | 77kHz          | 77kHz          | ○        |
| 出力      | 5W@ 5ns, 77kHz | 5W@ 5ns, 77kHz | 5W@ 5ns, 77kHz | ○        |
| 偏光      | 直線             | 直線             | 直線             | ○        |

中間目標の達成度：○達成、△今年度中に達成見込み、×今年度中未達成

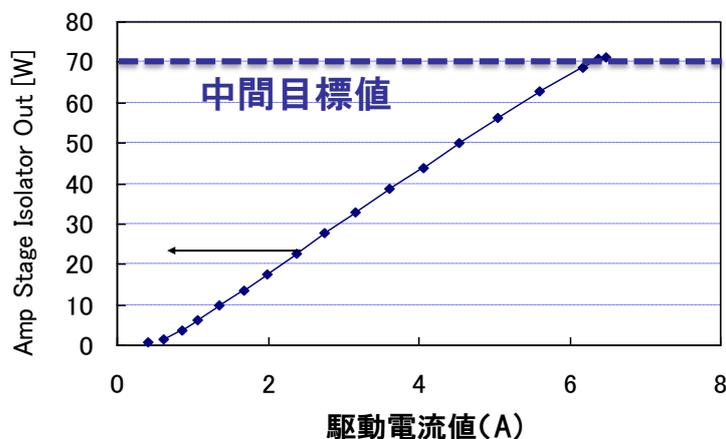
## 2.4.5 成果の詳細

### 【粉末成形シーダーの開発】



図Ⅲ－2.4.2 パルスファイバーレーザーの構成

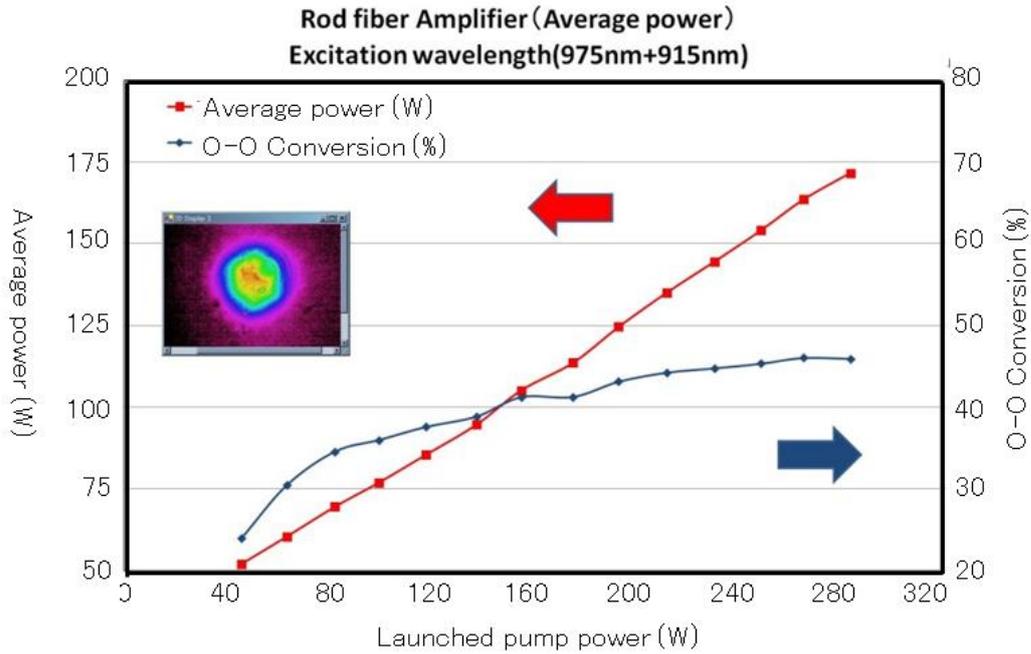
図Ⅲ－2.4.2 にパルスレーザーの構成を示す。シードレーザー (Seed) は、外部変調により初期の目標値である 10ns 及び 100ns パルスを発生させる。Seed からの出力パルスは、クラッド励起イッテルビウムファイバーを用いて増幅される。各増幅器は、最終パルスの出力スペクトルの信号-ノイズ比、ビーム品質を考慮し、増幅器の最適化を行った。出力特性を図Ⅲ－2.4.3 に示す。結果、中間目標値である 70W 出力を達成した。



図Ⅲ－2.4.3 出力特性

上述のシードレーザーを、フォトニッククリスタルファイバーレーザーモジュールにより、中間目標として平均出力 150W のところを、図Ⅲ－2.4.4 に示すように 171 W

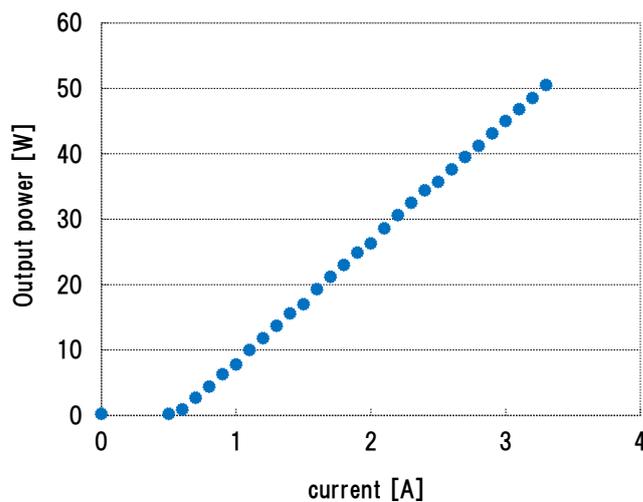
までの増幅に成功した。



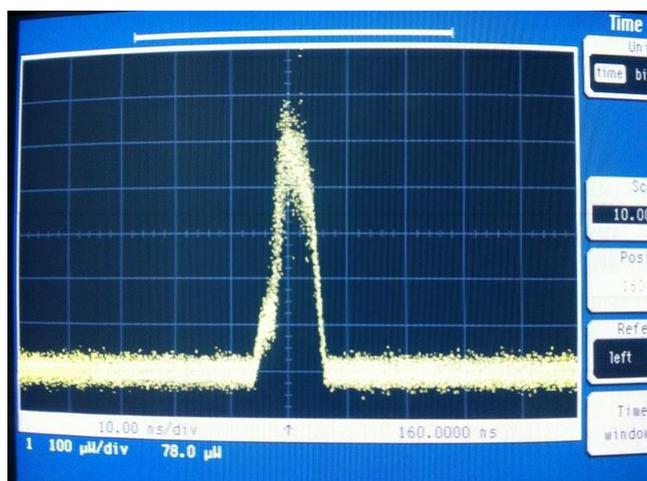
図Ⅲ－2.4.4 フォトニッククリスタルファイバーモジュールの出力特性

【CFRP 切断加工基礎実験用レーザーの開発】

上述のパルス増幅技術及び、後述する CFRP 用シードレーザーの開発技術を応用し、パルスアンプの増幅条件及び非線形効果の抑圧条件を最適化することにより、パルス幅 10ns 繰り返し周波数 1MHz において、50W 出力を達成した。 図Ⅲ－2.4.5 に出力特性、図Ⅲ－2.4.6 にパルス波形を示す



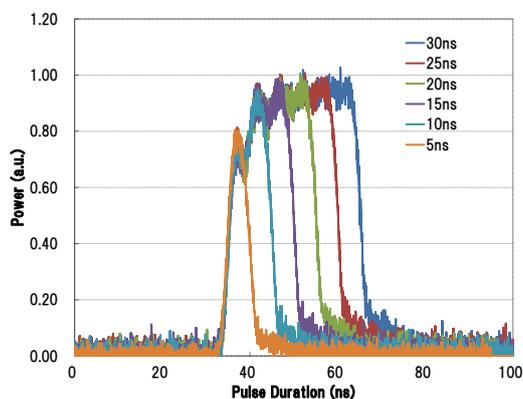
図Ⅲ－2.4.5 出力特性 10ns 1MHz



図Ⅲ-2.4.6 パルス波形特性 10ns 1MHz 50W

【ブースターシーダーの開発】

Seed は、直接変調により、3~10ns の短パルス発生を行う。パルス幅および繰り返し周波数を可変させるため、プログラマブルなパルス発生が可能な直接変調用半導体レーザー駆動基板を用いた。図Ⅲ-2.4.7 に Seed パルス出力の一例として、5ns~30ns までパルス幅の可変性を示す。本 Seed 光源から出力される光パルスを、クラッド励起イッテルビウムファイバーアンプを用いて、目標出力まで増幅させる。出力特性を図Ⅲ-2.4.8 に示す。中間目標値である、5ns 77KHz 時 5W 出力を達成した。Seed レーザーの中心波長は、動作温度により制御する。図Ⅲ-2.4.9 に出力パルススペクトルを示す。



図Ⅲ-2.4.7 直接変調半導体レーザー出力(5~30ns)

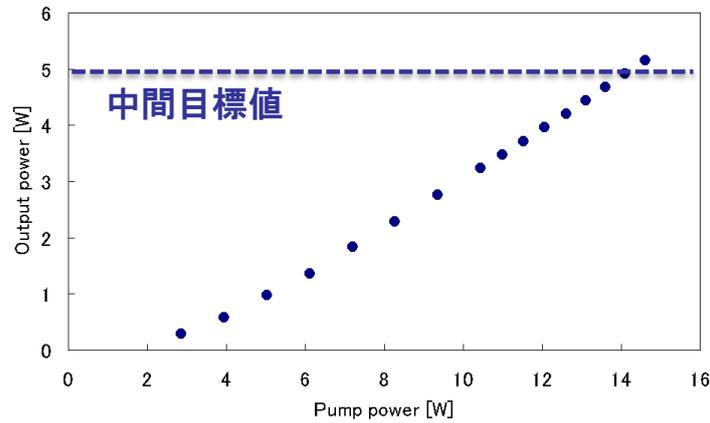


図 III-2.4.8 出力特性 (5ns 77kHz)

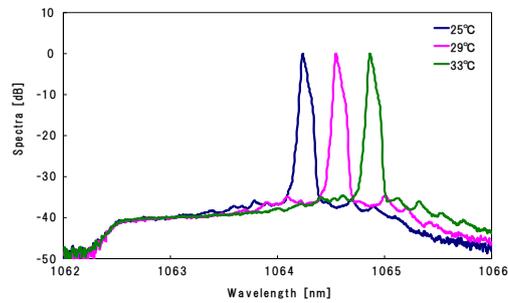


図 III-2.4.9 出力パルススペクトルの波長可変性

上述の特性を有するパルスレーザーをそれぞれ 2 式作成し、大阪大学接合研およびレーザー研に収め、高出力増幅用のシードレーザーとして評価を進めている。CFRP 加工用シードレーザーは、2 ビーム合波を行うため、1070nm の波長の異なる同一特性のパルスレーザーを作成した。図 III-2.4.10 にパルスレーザーユニットの外観を示す。



図 III-2.4.10 パルスレーザーユニット外観

一連の開発を通じ、CFRP 切断加工基礎実験用として偏波保持型の 50W 以上のパルスファイバーレーザー、10ns 以下の高いピークパワー出力のパルスレーザーの開発に成

功した。ファイバーレーザーの高輝度特性や取り扱いの容易さに加え、高出力化、短パルス化、パルス幅や繰り返し可変性、偏波保持出力により、粉末成形や CFRP 加工などの成形及び加工条件の最適化開発に重要な光源の特性を（加工条件）を大きく変化させることが可能となった。

#### 2.4.6 最終目標の達成の見通し

最終目標の達成見込みを表Ⅲ-2.4.5 に示す。

表Ⅲ-2.4.5 最終目標、成果および最終目標到達見込み

| 項目                         | 最終目標   | 成果   | 最終目標の到達見込み   |
|----------------------------|--|--|--|
| 【粉末成形ブースター】                | 平均出力：100 W@100 ns<br>繰り返し周波数：1 MHz<br>波長：1064 nm<br>パルス幅：100ns<br>パルス幅可変：<br>10 ns - 200 ns<br>偏光：直線 | 平均出力：70 W@100 ns<br>繰り返し周波数：1 Hz<br>波長：1064 nm<br>パルス幅：100ns<br>パルス幅可変：<br>10 ns - 200 ns<br>偏光：直線               | PCF を用いた高出力パルス増幅器に <input/> 入力する前段のファイバーパルスレーザーの中間目標を達成。出力も最終目標の7割に達しており、プロジェクト期間内に目標達成の見通し。 |
| 【PCF 増幅】                   | 平均出力：300 W<br>偏光：保持  | 平均出力：171 W<br>偏光：保持  |  |
| CFRP 切断加工基礎実験用パルスファイバーレーザー | 波長：1064 nm<br>パルス幅：10-30 ns<br>繰り返し周波数：1 MHz<br>平均出力：100 W<br>偏光：直線                                  | 波長：1064 nm<br>パルス幅：10 ns<br>繰り返し周波数：1 Hz<br>平均出力：50 W<br>偏光：直線   | 高繰り返し短パルス発生技術を確立。本プロジェクト終了までに励起光出力の増加及び増幅条件の最適化により目標達成の見通し。                                  |
| ブースターシード                   | 中間目標を最終目標とする。  | 出力：5W@5ns, 77kHz<br>繰り返し周波数：<br>77kHz<br>波長：1064nm, 1070nm<br>パルス幅：5ns<br>パルス波形可変：<br>3ns, 5 ns - 10 ns<br>偏光：直線 |  |

#### 2.4.7 知的財産権 及び 成果の普及

本プロジェクトにおけるファイバーレーザー開発に必要な知財として「特開2007-142380」「特開2011-187825」がある。平成24年8月中に「PCFの劣化を抑制する制御方法」および「PCFの空間モードを改善する制御技術」を出願予定である。成果の普及として、平成23年度は、16件の研究発表・講演を行っている。平成24年度については、3件行っている。

## 2.5 研究開発項目②「レーザー高品位化技術の研究開発」

- 「(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」
- 「(3) ファイバーレーザーの高出力化技術の開発」
- 「(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」
- 「(3) 高出力波長変換技術の開発」
- 「(2) 波長変換の高効率化技術の開発」

### CFRP 加工用レーザーの全体構成とその概要

#### (1) システム構成

システムは、図1に示すように、ファイバーフロントエンド、ブースター増幅器及び波長変換部から構成する。基本計画書のブースター増幅器の目標平均出力（1.5kW）を達成するために、Nd:YAG/YAG コンポジットセラミック増幅器を採用し、そのエネルギー取り出し効率を高めるために注入平均パワーを300Wと設定した。この注入パワーを実現するために、150W×2ビームのファイバーフロントエンドを用いる。また、高調波変換については、2倍高調波変換（SHG）、3倍高調波変換（THG）において、各々40%、13%の変換効率が最終目標である。フロントエンド、ブースター増幅器及び波長変換の個々の課題は図1に示す通りであり、システム全体を通して光路設計とビーム結合の最適化を図る。

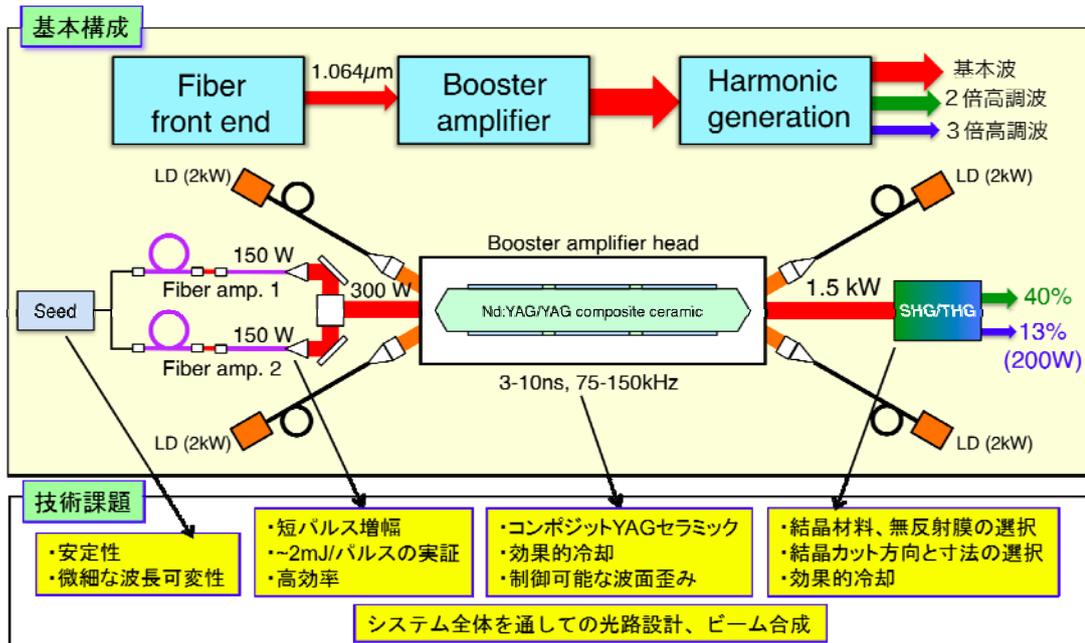


図1 CFRP加工用レーザーの全体構成図

#### (2) 開発体制

以下の開発体制で研究を行っている。

種光：

ALPROT（古河電工）が供給

ファイバー増幅器：

光源技術開発センター阪大レーザー研(以下、阪大レーザー研)が中心となり、光源技術開発センター阪大接合研(以下、接合研)、ALPROT(片岡製作所)と連携して開発する。

ブースター増幅器：

阪大レーザー研が中心となり、ALPROT(片岡製作所、レーザー総研)と連携して開発する。

波長変換：

阪大レーザー研が中心となり、ALPROT(レーザー総研)と連携して開発する。

### (3) 開発目標の位置づけ

図2にパルス幅、繰り返し周波数及び平均出力の目標値をプロットし、市販レーザーと比較した。本プロジェクトでは従来の市販レーザーでは対応できない10nsを切るパルス幅で、繰り返し周波数も高い領域を目指している。また、平均出力に関しても、基本波、2倍高調波、3倍高調波ともにトップの性能を目指している。

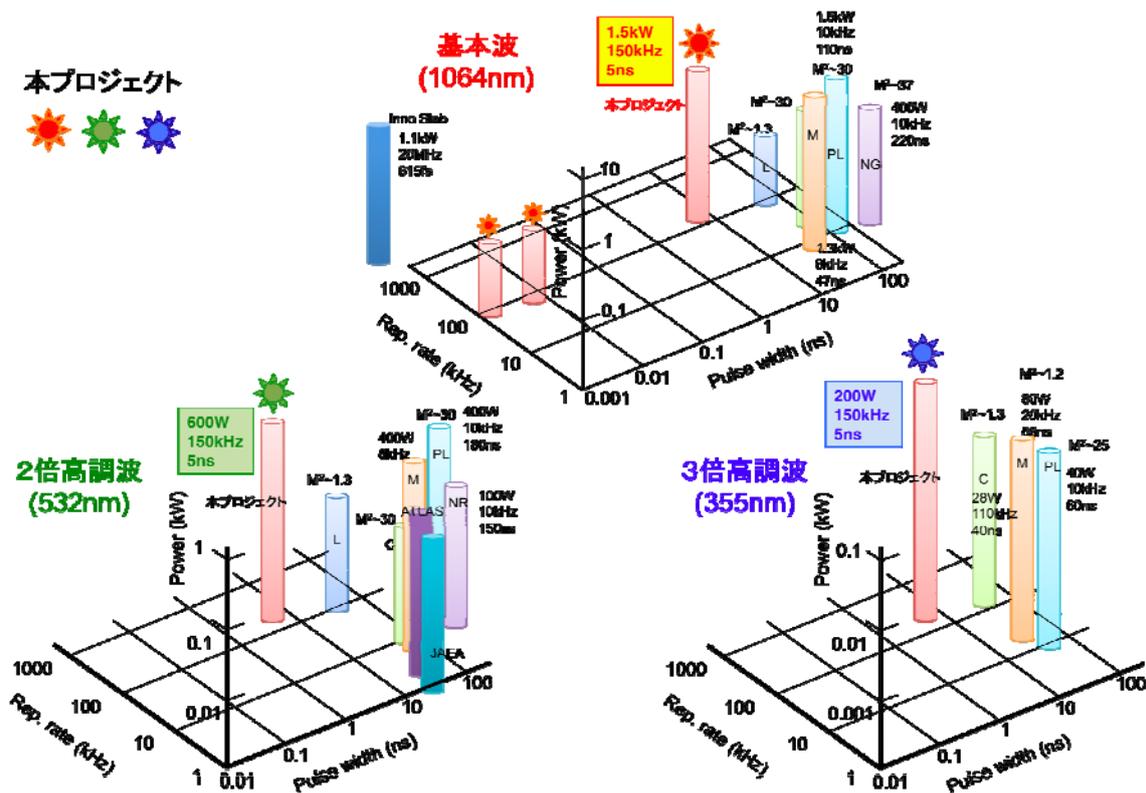


図2 レーザー性能の市販品との比較

## 2.5 研究開発項目②「レーザー高品位化技術の研究開発」

「(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」

「3) ファイバーレーザーの高出力化技術の開発」

(阪大レーザー研、阪大接合研、ALPROT(古河電工、片岡製作所))

※CFRP加工用レーザーの全体構成とその概要を「Ⅲ-6-1、2」頁に記載

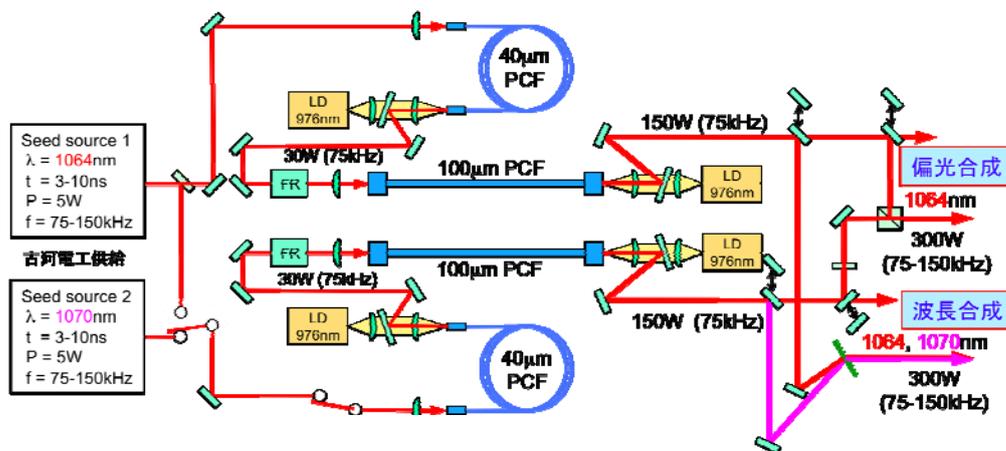
### 2.5.1 事業の背景・意義（目的・概要）

連続発振（CW）ファイバーレーザーは、10kW級の出力を高ビーム品質で達成している。一方、パルスファイバーレーザーは、非線形光学効果や損傷により出力が制限されている。このため、高効率・高平均出力・高ビーム品質パルスファイバーレーザーの開発を行う。

### 2.5.2 研究開発目標と根拠

図Ⅲ-2.5.1に高出力ファイバーレーザーシステムの構成図を示す。増幅部はコア径40 $\mu\text{m}$ 及び100 $\mu\text{m}$ のYb添加フォトニック結晶ファイバーで構成される。励起源は波長976nmのCW半導体レーザーである。この増幅器を2ビーム分設置し、古河電工が供給する種光源（波長1064.1-1064.8nm、パルス幅3-10ns、繰り返し75-150kHz、平均パワー5W）からのパルス列を1ビームあたり150Wまで増幅する。さらに、2ビームを偏光合成して、300Wを後段のブースター増幅器（ジグザグアクティブミラー型Nd:YAGコンポジットセラミック増幅器）の入力として注入する。

また、基本計画書のただし書きに記載されているように、ファイバーレーザー単独で「多波長複合加工技術の開発」に活用できることも、レーザーの高効率化の観点から重要である。そのために、本プロジェクトでは、上記のブースター増幅器注入用のファイバーレーザーの構成を変えることなく、機能付加によって2ビーム波長合成の開発を行い、多波長多ビーム合成技術に基づくスケーラブルな高出力化技術の基盤技術確立につなげる。



図Ⅲ-2.5.1 高出力ファイバーレーザーシステムの構成図

ブースター注入用及び2ビーム波長合成に関する研究開発目標と根拠は以下の通りである。

#### (1) ブースター注入用

基本計画書に記載されているように、ファイバーレーザーの出力は後段のパルスレーザー増幅器（ブースター増幅器）の種光として用いられるため、ブースター増幅器に適した条件で供給する必要がある。以下に、研究開発目標とそれらの根拠を述べる。

##### パルスエネルギー

目標値：2mJ/pulse

設定根拠：既存のフォトニック結晶ファイバーのコア直径は100 $\mu$ m（モードフィールド直径=約80 $\mu$ m）である。パルス幅10nsに対するレーザー損傷閾値からこの目標値を設定した。

##### 繰り返し周波数

目標値：75-150kHz

設定根拠：CFRP切断加工において、前のパルスが生成するブルームの影響を避けることができるパルス繰り返し周波数を設定した。但し、ファイバーレーザー、及び後段のブースター増幅器ともに効率を維持したままさらに繰り返し周波数を上げることは容易であることから、パルス増幅としては困難な条件（比較的低繰り返しで高パルスエネルギー）に目標設定した。

##### 出力パワー

目標値：300W（2ビーム）

設定根拠：CFRP加工速度への要求仕様から、後段のブースター増幅器の出力は1.5kWとなっている。ブースター増幅器において、単純化した光路設計（単一パスあるいはダブルパス）においてエネルギー抽出効率を高めるには、十分な種光パワーが必要である。ファイバー増幅器のビーム当たり出力が150W（2mJ/pulse $\times$ 75kHz）であることから、ファイバーレーザーの2ビーム出力を合成して、300Wをブースターに入力することが妥当である。

##### 波長

目標値：1064.1-1064.8nm（可変）

設定根拠：ブースター増幅器のレーザー材料であるNd:YAGの利得ピーク波長の温度依存性（1nm/200K）、及び計算から予測されるNd:YAGレーザーの最大温度から、上記の波長可変範囲を設定した。ファイバーレーザーとブースター増幅器のシステム化段階では、種光源の波長を最適値に同調する。

##### パルス幅

目標値：3-10ns

設定根拠：CFRP切断加工の品質（反応層（熱変性領域の幅） $<$ 100 $\mu$ m）から要請されるパルス幅を最大値に設定した。一方、パルス幅を短くすることによってファイバー出力端面の損傷が問題となる。繰り返し周波数を設定目標の最大値（150kHz）にすると、パルスエネルギーは1mJ/pulseとなり、レーザー損傷閾値に関するパルス

幅の2乗則から、損傷回避に必要なパルス幅の下限は約3nsとなる。

### M<sup>2</sup>

目標値：1.5

設定根拠：想定されるフォトニック結晶ファイバー増幅器のコア直径（100μm）とNA（0.02）で決まる値（ほぼ限界値）に設定した。

## (2) 2ビーム波長合成

### 出力パワー

目標値：300W

設定根拠：上記ブースター注入用ファイバー増幅器の1ビームを異なる波長で動作させて、回折格子で合成する。回折格子の効率は90-95%が可能であるので、ファイバー損傷のマーゼンの範囲内で300Wは可能である。

### 波長

目標値：1064nmと1070nm

設定根拠：2ビーム波長合成によるスケーラブルな高出力化の技術的実証であるため、ブースター注入用と増幅特性が同等で、かつ回折格子による合成において十分な入射角度差となる波長を選択した。

これらの最終目標と中間目標を併せて表Ⅲ-2.5.1に示す。

表Ⅲ-2.5.1 ファイバーレーザーの高出力化の研究開発目標と根拠

| ファイバーの高出力化   |                 |  |                          |                       |
|--|-----------------|--|--------------------------|-----------------------|
| 項目   | 最終目標            | 設定根拠   | 中間目標                     | 設定根拠                  |
| ブースター増幅器注入用：後段のNd:YAGブースター増幅器に適切な仕様のパルス列を供給する。(基本計画書の範囲内)            |                 |  |                          |                       |
| エネルギー  | 2mJ/pulse       | 100μmコアファイバーの損傷閾値                              | 2mJ/pulse                | -----                 |
| 繰り返し   | 75-150kHz       | 前のパルスが生成するブルームによる影響を避ける                        | 75kHz                    | -----                 |
| 平均出力   | 300W<br>(2ビーム)  | 後段のNd:YAGブースター増幅器の取り出し効率を向上させる。<br>150W×2ビーム構成 | 150W                     | 2mJ/pulse×75kHz(1ビーム) |
| 波長(可変)   | 1064.1-1064.8nm | Nd:YAGブースター増幅器の利得中心波長の温度依存性に対応                 | 1064.1-1064.8nm          | -----                 |
| パルス幅   | 3-10ns          | 下限:ファイバー損傷抑制。<br>上限:熱変性領域の低減                   | 3-10ns                   | -----                 |
| M <sup>2</sup>   | <1.5            | 100μmコアフォトニック結晶ファイバーの限界値                       | <1.5                     | -----                 |
| 2ビーム波長合成：高品位のファイバーレーザーの利点を活用して、多ビーム合成によるスケーラブルな高出力パルスレーザーの基盤技術を開発する。 |                 |  |                          |                       |
| 出力パワー  | 300W            | 2ビームを異なる波長で動作させて合成。                            | 波長合成の試験をH24年度内に開始(業務計画書) |                       |
| 波長   | 1064, 1070nm    | 利得の低い長波長側で特性評価のため(1050nm帯は既存装置のデータを活用)         |                          |                       |

### 2.5.3 研究開発スケジュール

表Ⅲ-2.5.2に示すスケジュールで開発を進めている。ブースター注入用ファイバーレーザー（波長：1064nm帯）に関しては、昨年度までに基本的な特性試験を完了し、今年度に入って全ての中間目標を達成した。今後、ブースター増幅器との組み合わせ試験に入る。

2ビームの波長合成については、波長1070nmの試験を行い、150Wの目標値を達成した。次年度に2波長合成試験を行い、目標合成出力300Wを達成する計画である。

表Ⅲ-2.5.2 ファイバーレーザーの高出力化の開発スケジュール

| ファイバーの高出力化  |      |      |      |      |      |                 |
|---|------|------|------|------|------|-----------------|
| 項目  | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 最終目標値           |
| <b>ブースター増幅器注入用：後段のNd:YAGブースター増幅器に適切な仕様のパルス列を供給。</b> |      |      |      |      |      |                 |
| エネルギー   |      | ▲    | ●    |      |      | 2mJ/pulse       |
| 繰り返し  |      | ▲    | ●    |      |      | 75-150kHz       |
| 平均出力  |      | ▲    | ●    |      |      | 300W            |
| 波長(可変)  |      | ▲    | ●    |      |      | 1064.1-1064.8nm |
| パルス幅  |      | ▲    | ●    |      |      | 3-10ns          |
| M <sup>2</sup>                                      |      | ▲    | ●    |      |      | <1.5            |
| <b>2ビーム波長合成：多ビーム合成によるスケラブルな高出力パルスレーザーの基盤技術を開発。</b>  |      |      |      |      |      |                 |
| 出力パワー   |      |      | ▲    | ●    |      | 300W            |
| 波長  |      |      | ▲    | ●    |      | 1064, 1070nm    |

#### 2.5.4 研究開発目標と達成状況

ブースター注入用(波長1064nm帯)としては、全ての項目について目標値を達成し、今年度後半にはブースター増幅器との組み合わせ試験に移行する。また、最終目標の300Wを達成するための2ビーム偏光合成試験を行うとともに、100μmコアファイバーの冷却構造を改善し、目標性能を大幅に超える出力パワーにおいても高ビーム品質の実現を目指す。CFRP加工のためのパルス幅の最適化(数nsのパルス幅)については、ファイバーの破壊試験となるため、ブースター増幅器との組み合わせ試験の進捗状況を見て判断する。

表Ⅲ-2.5.3 ファイバーレーザーの高出力化の達成状況

| ファイバーの高出力化         |                 |  |      |                |
|--------------------|-----------------|--|------|----------------|
| 項目                 | 中間目標            | 成果   | 達成度  | 今後の課題          |
| <b>ブースター増幅器注入用</b> |                 |  |      |                |
| 1) エネルギー           | 2mJ/pulse       | 2.1mJ/pulse (9.5ns)                                      | ○    | 数nsでの試験        |
| 2) 繰り返し            | 75kHz           | 77kHz  | ○    |                |
| 3) 出力パワー           | 150W            | 150W (M <sup>2</sup> =1.5)<br>200W (M <sup>2</sup> =2-3) | ○    | 偏光合成の前倒し<br>実証 |
| 4) 波長(可変)          | 1064.1-1064.8nm | 1064.1-1064.8nm  | ○    |                |
| 5) パルス幅            | 3-10ns          | 3-10ns(可変)   | ○    | 最適パルス幅対応       |
| 6) M <sup>2</sup>  | <1.5            | 1.5 (100-170W)   | ○    | 冷却構造の改善        |
| <b>2ビーム波長合成</b>    |                 |  |      |                |
| 1) 出力パワー           | —               | 2波長で各々に150W  | ◎前倒し | 2波長合成の実証       |
| 2) 波長              | 1070nm          | 1070, 1075nm   | ○    |                |

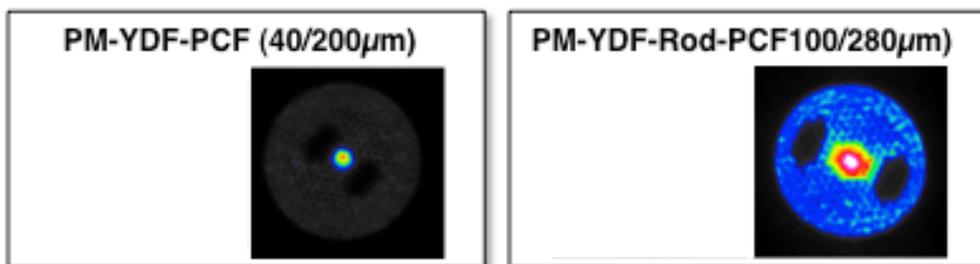
◎ 大幅達成、○達成、△達成見込み、×未達

2ビーム波長合成については、波長1070nm、1075nmでの増幅試験を完了し、150W(M<sup>2</sup>=1.5)、200W(M<sup>2</sup>=2-3)の出力パワーを前倒し達成した。高耐力・高効率の石英製

透過型回折格子（開発者：キヤノン、東大物性研）の導入によって、今年度中に2ビーム合成 300W を前倒し達成できる見込みである。

### 2.5.5 成果の詳細

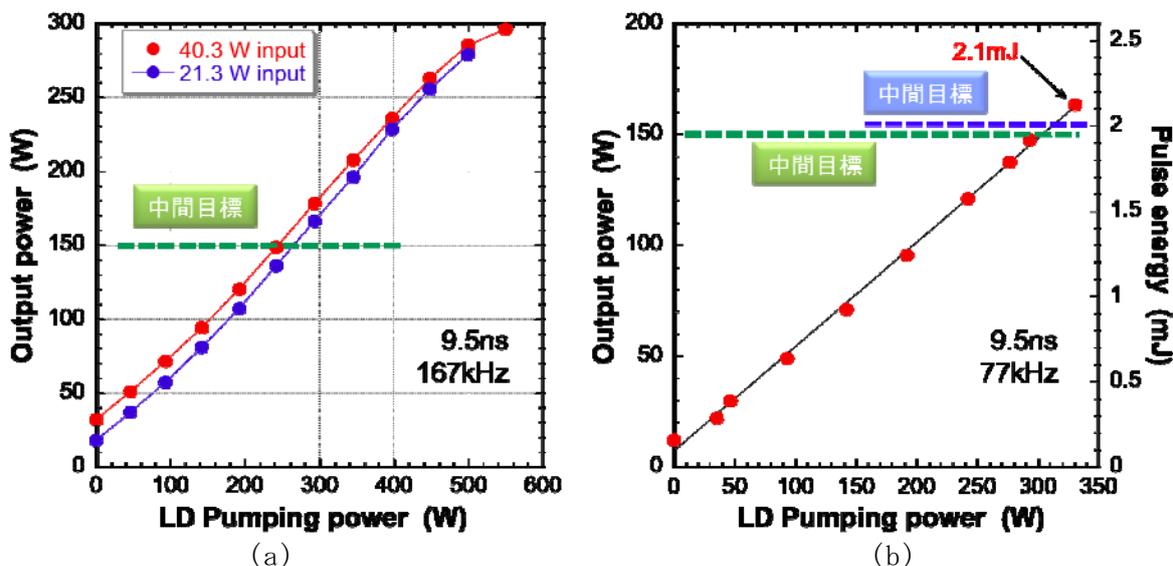
ファイバーシステム（構成図：図Ⅲ-2.5.1）は、LD 直接変調発振器部と偏波保持シングルファイバーモード増幅器部（以上古河電工供給）、フォトニック結晶ファイバー(PCF)の 40 $\mu\text{m}$  コア径と 100 $\mu\text{m}$  の PCF ロッドファイバー増幅器部で構成した。各々のファイバー断面図を図Ⅲ-2.5.2 に示す。PCF は Yb 添加コアを囲む様に配置された空孔によって、ファイバーの NA 値を制御できるファイバーであり、NA 値 0.02-0.03 を実現し、優れた出力ビーム性能が得られた。



図Ⅲ-2.5.2 PCF ファイバーの出力ビームパターン

#### (1) ブースター注入用ファイバーシステムの成果

図Ⅲ-2.5.1 の上側の1ビーム（ファイバー①）について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 75-150kHz、高ビーム品質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。この最適化に基づき、全く同じものをもう1台（ファイバー②、図Ⅲ-2.5.1 の下側のビーム）構築する。2台のファイバーレーザーを同一波長で動作させて、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ことを目的としている。



図Ⅲ-2.5.3 ファイバー①の増幅試験結果。(a):平均パワーの試験、(b):1パルスエネルギー取り出し試験。

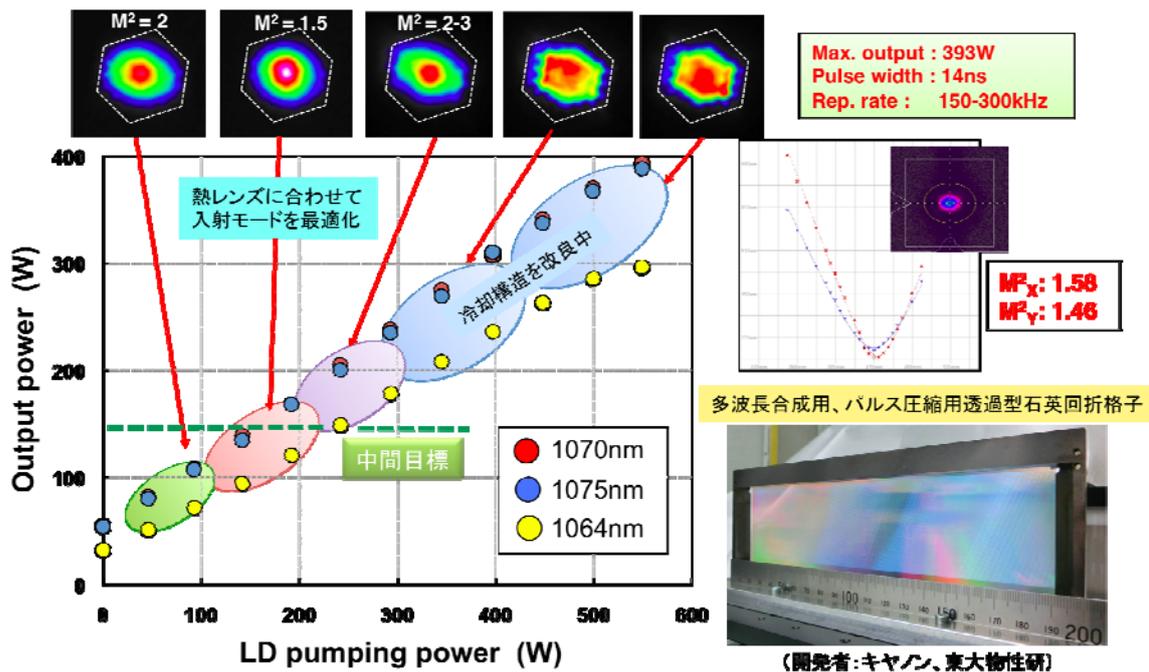
図Ⅲ-2.5-3(a)は、入射パワー21、40W時のCW LD励起パワーに対する増幅出力特性を示す。パルス幅 9.5ns、繰り返し周波 167 kHz の試験を行い、レーザー損傷と非線形過程 (SBS、SRS) を考慮した結果、中間目標値である 150W を大幅に超える平均出力 296W を達成し、約 50% の高効率エネルギー抽出が可能であることを実証した。

また、図Ⅲ-2.5-3(b)は、繰り返し数 77kHz 動作時の 1 パルスエネルギー取り出し実験の増幅特性を示す。中間目標値である 2mJ 出力に対し、レーザー損傷閾値に近い 2.12mJ (ピークパワー 223kW) のパルスエネルギーを達成した。

## (2) 2 波長合成技術開発における成果

ファイバー②をファイバー①と異なる波長で動作させ、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ことを目的としている。

波長 1070nm 帯の種光源を用い、ファイバー②で増幅試験を行い、図Ⅲ-2.5.4 に示す出力特性が得られた。ここでは、中間目標 150W と  $M^2=1.5$  を両立させて達成するために、種光注入の空間モードがコア径 100 $\mu\text{m}$  ロッドファイバーの熱レンズ効果を相殺するように調整した。結果として、150W ( $M^2=1.5$ ) を達成し、200W (抽出効率 > 60%) においても良好なビーム品質 ( $M^2=2-3$ ) を実証した。現在、冷却構造のさらなる改善を行うことによって、さらなる高出力と高ビーム品質の両立を目指している。



図Ⅲ-2.5.4 異なる波長での増幅試験及びビーム品質の評価

上記のように、異なる波長で個々に 150W 出力が可能となったことから、2 波長合成試験を今年度前倒し試験する計画である。そのために必要な高効率 (回折効率 > 90%) で波面特性の良い石英製透過型回折格子について、国産技術 (図Ⅲ-2.5.4 の右下の写真、キヤノン製、共同開発機関: 東大物性研) 活用の見通しが立った。現在、この回折格子の高耐力無反射層の設計とレーザー耐力試験について、同社と検討を開始して

いる。

#### 2.5.6 最終目標の達成の見通し

##### (1) ブースター注入用

最終目標：75-150kHz, 300W, 1064.1-1064.8nm, 3-10ns,  $M^2 < 1.5$  (平成 26 年度末)

達成見通し：2 ビーム各々 150W を達成しており、偏光合成により最終目標達成は容易である。

##### (2) 2 ビーム波長合成

最終目標：75-150kHz, 300W, 1064nm 及び 1070nm, 3-10ns,  $M^2 < 1.5$  (平成 26 年度末)

達成見通し：2 ビーム個々に 1064nm で 150W、1070nm で >150W を達成している。回折格子の効率 (>90%) とファイバー出力のマーヅンから評価して、波長合成の最終目標達成は容易である。

#### 2.5.7 知的財産権及び成果の普及

高出力動作のファイバーレーザーの技術について、光源技術開発センター接合研サイトの片岡製作所と連携して開発を行っている。特に、ロッド型 PCF ファイバーの冷却構造、入射ビームの空間モードとファイバー熱レンズの相殺などのノウハウが蓄積されており、これらに関する特許出願を検討している。また、接合研サイトと連携して開発された技術は、加工技術開発センター産総研サイトに納入されるファイバーレーザーに活用されている。

また、本プロジェクトで得られた出力パワー (162W@77kHz、296W@167kHz、パルス幅約 10ns) は、市販のパルスファイバーレーザー (パルス幅数 10ns) の性能を上回っており、製品化された場合の競争力は十分高いと考えられる。

## 2.6 研究開発項目②「レーザー高品位化技術の研究開発」

「(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」

「(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」

(古河電気工業株式会社)

### 2.6.1 背景及び目的

本事業は「高出力多ファイバーレーザー加工基盤技術開発プロジェクト」で進めている次世代レーザー加工技術の研究開発に係わり、昨今のファイバーレーザーの技術動向を踏まえて従来検討してきたレーザーの特性向上と加工適用分野の拡大を狙って、②レーザー高品位化技術の開発のなかの1項目として、(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」という主題でファイバーレーザー励起半導体レーザーの変調特性改善と信頼性の確保、高速変調可能な励起半導体レーザーの②-(2)「ファイバーレーザーのモジュール化技術の開発」のブースターアンプ部分への適用、さらに高速変調励起半導体レーザーを使ったQCWレーザーの開発を進める。本開発ではさらにプロジェクトの他の実施項目と連携をとりながら加工技術の開発も実施する。

ファイバーレーザー技術の優位性は発振効率の高さや待機電力が小さいという性能から実現できる省エネの効果、ファイバー伝搬に伴うデリバリーの容易さ、さらに高いビーム品質、ビーム品質の高さから活用できるガルバノ等のスキャナ技術との親和性、励起半導体技術の進化にともなう高信頼、メンテナンスフリー機能、等々従来の他のレーザー技術と比較して多数のアドバンテージが見出されており、それに伴い既存のレーザー技術であるランプ励起の固体レーザーや、炭酸ガスレーザーが既に使われている分野での置き換えが進んでいるが、この部分では既存の国産製品が海外製品へと置き換わる動きになっている。レーザー加工機にとって発振器は非常に重要な構成部品であり、製品の安定供給、設計のカスタマイズ、情報の開示性の観点から国内製のファイバーレーザー製品の出現が渴望されている。

半導体レーザー技術はファイバーレーザー技術の一つの基幹技術となっているが、従来の励起方式と比較した場合の大きな特徴である高速変調性能を活用する事でレーザー加工の性能向上が期待されている。QCWファイバーレーザーは既存のCWファイバーレーザーの基本設計を踏襲することで構成が簡単で安価な部品コストを維持しながら、励起半導体レーザーの高速パルス駆動により高いビーム品質を維持したままCW連続光と比較すると熱影響の小さな加工を実現することが出来、切断、溶接、AM等の幅広い用途で今後の応用展開が期待されている。

## 2.6.2 研究開発目標と根拠

### QCW ファイバーレーザーの開発

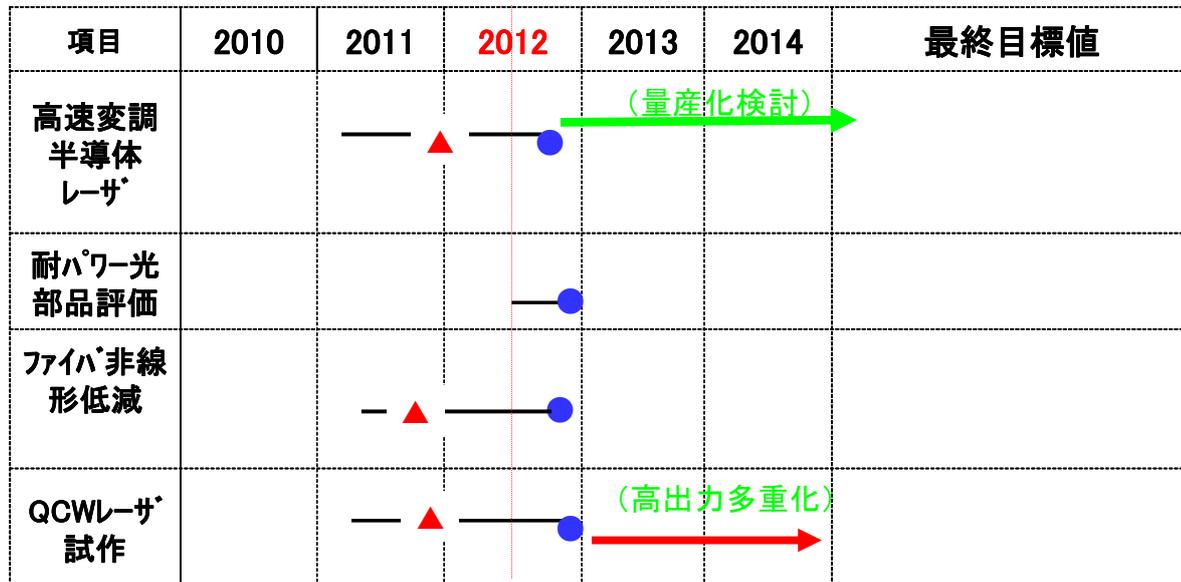
大電流高速変調が可能な励起半導体レーザーを連続駆動用ファイバーレーザーキャビティの励起に適用し、QCW (Quasi Continuous Wave ; 疑似連続駆動) 動作するファイバーレーザーを実際に試作する。23 年度に目標とする特性は平均出力 250W で、パルス駆動時ピーク出力 700W、パルス幅 200  $\mu$  sec $\sim$ CW、中心波長 1080nm $\pm$ 20nm とする。レーザー装置として筐体の実装されたレーザーを試作し、加工拠点での評価のために提出する。ピーク 700W の目標値については既存の CW ファイバーレーザーの性能と早期の試作による加工拠点からの早期のフィードバックを実現するべく決定した。

24 年度の開発については、開発した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、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、実際に筐体の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。目標の設定根拠としては金属材料の溶接を主用途とする要求仕様をまず考慮し、同等な設計コンセプトとなっている海外競合製品の仕様を超える性能を確保することも考慮し、また開発期間内に現状のファイバーレーザー技術から十分達成しうる目標として設定した。

| 最終目標                              | 設定根拠   | 中間目標<br>(23 年度)                  | 設定根拠  |
|-----------------------------------|--|----------------------------------|---|
| ピーク 1.6kW<br>平均 250W<br>M2=1.1 以下 | 金属材料の溶接を主用途とする要求仕様から設定した。<br><br>また海外競合製品の仕様を超える性能を確保することを考慮した。<br><br>現状のファイバーレーザー技術から十分達成しうる目標として設定した。 | ピーク 700W<br>平均 250W<br>M2=1.1 以下 | 最終目標の半分のピークパワーとし、技術的に短納期で装置化を行うことができ、なおかつ、既存のレーザーと比較してパルスピークを利用した加工が期待でき、さらに早い時点で加工拠点に試作レーザーを提出することによりしてフィードバックをもらえるような設定をした。 |

2.6.3 研究開発スケジュール

表Ⅲ-2.6.1 研究開発スケジュール



2.6.4 研究開発目標と達成状況

表Ⅲ-2.6.2 研究開発目標と達成状況 (まとめ)

| 研究項目          | 評価目標  |            |  | 成果   | 達成度 |
|---------------|-------|------------|--|--|-----|
|               | 評価項目  | 中間目標(基本計画) | 中間目標   |  |     |
| QCWファイバレーザの作製 | ピーク出力 |            | ピーク出力:700W<br>平均出力:250W<br>M <sup>2</sup> :1.1以下 | ピーク出力:800W<br>平均出力:500W<br>M <sup>2</sup> :1.1以下 | ○   |

## 2.6.5 成果の詳細

### QCW ファイバーレーザーの開発

ピーク出力 700W、平均出力 250W 以上、 $M^2 < 1.1$  を実現した QCW 動作可能なファイバーレーザーを作成した。

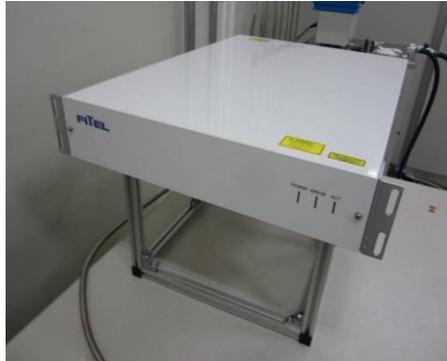


図 III-2.6.1 試作した QCW ファイバーレーザー

試作したピーク出力 700W のファイバーレーザーを用いて、CFRP の試験片の切断検討を行った。ピーク出力 700W 時において、1kHz、duty20%、切断速度 10mm/s の条件で切断加工を行った。CW 条件での切断結果と比較して表面状態として熱影響の小さな切断を実現することができた。



図 III-2.6.2 CFRP 切断検討

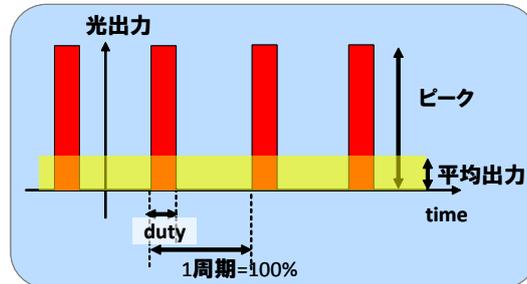


図 III-2.6.3 パルス形状

## 2.6.6 最終目標達成の見通し

表Ⅲ-2.6.4 現状の成果と最終目標達成の見通し

| 研究項目                 | 評価目標と成果     |  |                         | 最終目標の達成見通し   |
|----------------------|-------------|--|-------------------------|--|
|                      | 評価項目        | 最終目標                                       | 成果(現時点)                 |  |
| 5.1.3 QCWファイバレーザーの開発 | QCWファイバレーザー | ピーク出力: 1.6W<br>平均出力: 250W<br>ビーム品質: M2<1.1 | 800 W<br>500W<br>M2<1.1 | (課題とその対応)<br>順調に開発は進んでいる。<br>励起半導体の輝度向上と<br>ファイバ非線形の低減を行い<br>ピーク出力を確保する。<br>最終目標は十分達成可能。 |

## 2.6.7 知的財産権および成果の普及

特許出願については平成 23 年度に 8 件の出願を行った。

関連する研究発表、講演を平成 23 年度に 5 件実施した。

学会発表等

1. ”シングルモードファイバレーザーの開発と加工事例 “ 2011 年 4 月 22 日 シンポジウム「パワーファイバレーザーとその産業応用」
2. ”シングルモードファイバレーザーの特性と加工事例” 2011 年 10 月 17 日 レーザー学会第 419 研究会
3. “シングルモードファイバレーザーの特性と加工応用” 2011 年 10 月 28 日 レーザー学会東京支部第 13 回先進レーザー応用技術セミナー
4. ”High power single-mode fiber laser and a multi-mode delivery cable” Photonics West 2012
5. “シングルモードファイバレーザーの技術と加工応用” 2012 年 2 月 1 日 レーザー学会学術講演会第 32 回年次大会シンポジウム

## 2.7 研究開発項目②「レーザー高品位化技術の研究開発」

### 「(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」

(阪大レーザー研、ALPROT(浜松ホトニクス、レーザー総研))

※CFRP加工用レーザーの全体構成とその概要を「Ⅲ-6-1、2」頁に記載

#### 2.7.1 事業の背景・意義（目的・概要）

ファイバーレーザーからの出力を kW クラスまで増幅するためのブースター増幅器（半導体レーザー（LD）励起セラミック近赤外固体レーザー増幅器）を開発する。本プロジェクトで取り上げられている加工技術においてより難易度の高い CFRP 加工において、高スループットと加工品位（反応層（熱変性領域）を小さくすること）を両立するには、レーザーに対して次の点を考慮しなければならない。

##### 平均出力

スループットの観点から、1.5kW 以上（基本計画書における目標の上限値）を確保する。

##### パルス幅

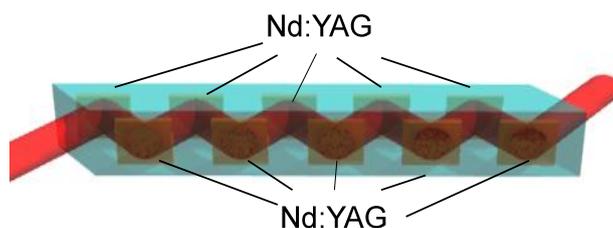
従来の市販レーザーのような長パルス（10ns 以上）の場合、平均出力を高くすることは容易であるが熱変性領域が拡大するため、短パルスが有効である。

##### 繰り返し周波数

繰り返し周波数を極端に高くし CW に近づければ、所要の平均出力を得ることは容易である。しかしながら、断続的なアブレーションによって CFRP を切断するため、先行パルスによるアブレーションルームが後続パルスに影響を与えないよう、繰り返し周波数の最適化が必要である。

#### 2.7.2 研究開発目標と根拠

レーザー材料として我が国の技術であり、熱伝導と効率に優れる Nd:YAG セラミックを採用する。また、増幅器の構成としては、優れた冷却性能が期待される薄型ディスクを採用する。薄型ディスクの欠点である増幅利得が小さいことを補償するため、図Ⅲ-2.7.1 に示すような増幅媒体が有効である。そのために、無添加 YAG セラミックに Nd 添加の薄型ディスク YAG セラミックを数枚張り付けて集積化し、全反射ジグザグ型光路を用いてアクティブミラー増幅器として作用させるとともに、反射膜による熱伝導（冷却効率）の劣化を回避する。



図Ⅲ-2.7.1 集積化ジグザグ型アクティブミラー増幅器（概念図）

表Ⅲ-2.7.1 に目標値と設定根拠を示す。

表Ⅲ-2.7.1 目標値と設定根拠

| kW級ブースター増幅器の開発 |                      |  |                      |                                 |
|----------------|----------------------|--|----------------------|---------------------------------|
| 項目             | 最終目標                 | 設定根拠   | 中間目標                 | 設定根拠                            |
| 繰り返し           | 75-150kHz            | CFRP加工からの要請(ブルーム中でのパルス重なり)平均パワーに対して、さらなる高繰り返し化は容易。 | 75kHz                | CFRP加工からの要請(ブルーム中でのパルス重なり)      |
| 平均出力           | 1.5kW                | CFRP加工からの要請(加工速度)                                  | 500-700W             | 最終目標の1/2スケールプロトタイプ              |
| 波長             | 1064.1-1064.8nm(最適化) | Nd:YAGレーザーの動作温度に依存するピーク利得波長に最適化                    | 1064.1-1064.8nm(最適化) | Nd:YAGレーザーの動作温度に依存するピーク利得波長に最適化 |
| パルス幅           | 3-10ns               | CFRP加工からの要請(加工品位の向上)                               | 3-10ns               | CFRP加工からの要請(加工品位の向上)            |

上記の目標設定根拠は、「(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」「3) ファイバーレーザーの高出力化技術の開発」の成果と基本的に同じであるため、それらの説明を割愛し、妥当性を検証する。(詳細は、中間評価会に譲る。)

CW レーザーによる厚さ 3mm の CFRP 切断のデータから、平均出力 1.5kW において 6m/min の切断が可能であると評価でき、単位レーザーエネルギー当たりの CFRP 切削質量は約 6μg/J である。しかしながら、反応層(熱変性領域)の幅は数 100μm にも及び加工品質の低下が深刻である。レーザーパワーを  $P_L$ 、吸収率を  $\eta_{abs}$ 、損失パワーを  $P_{loss}$  とすると、パワーバランスは次式で与えられる。

$$\eta_{abs}P_L = v_s w d \rho (c_p \Delta T + h_s) + P_{loss}$$

ここで  $v_s$ 、 $w$ 、 $d$ 、 $\rho$  は各々、掃引速度、切断幅、切断深さ、CFRP 密度であり、 $c_p \Delta T$  は処理温度までの加熱エネルギー、 $h_s$  は蒸発エンタルピーである。パルス幅が短いレーザーアブレーションの場合、 $w$  はレーザースポットサイズに近づき、反応層の拡大を抑制するために切断効率が向上し、実験データに基づき上式は以下のように近似できる。

$$\eta_{abs}P_L \approx v_s w d \rho \times (43\text{kJ/g})$$

一方、反応層の増大を抑制する(横方向への熱伝導に打ち勝って高速でアブレーションさせる)ためには、 $10^9$ - $10^{10}$  W/cm<sup>2</sup> のレーザー照射強度が必要であると言われている。これらの考察から、レーザー照射の基本設計は以下のように求めることができる。

CFRP 素材：炭素繊維含有量 50%、厚さ 3mm

レーザー条件：パルス幅 10ns, パルスエネルギー 10mJ/pulse,

繰り返し周波数 150kHz, 出力パワー 1.5kW

スポット直径：100μm (アスペクト比=厚さ/スポットサイズ=30)

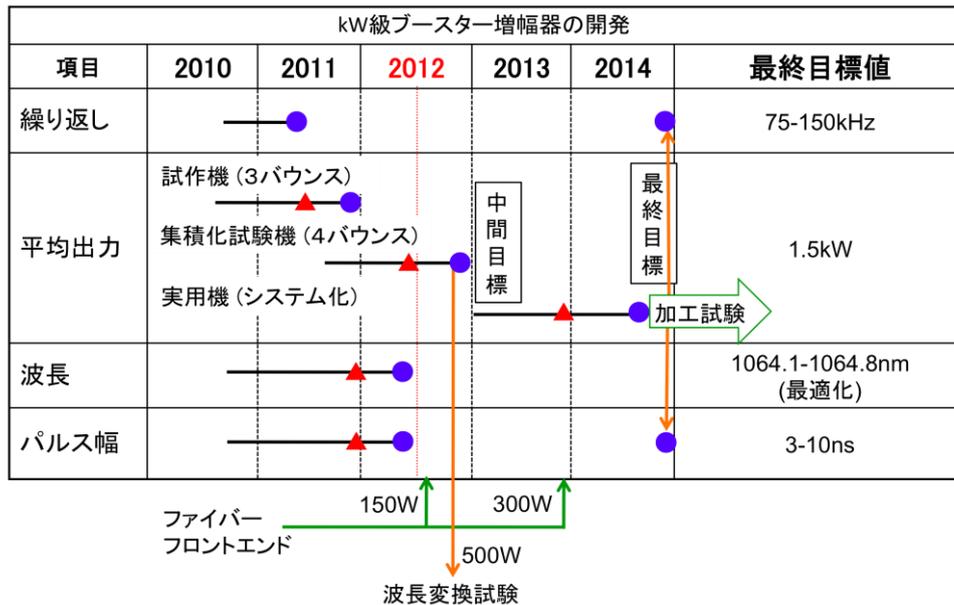
照射強度： $10^{10}$  W/cm<sup>2</sup> (吸収率：75%)、パルス当たりのアブレーション深さ：~20μm

掃引速度：5-8m/s (45-75 回掃引)、切断速度：6m/min

### 2.7.3 研究開発スケジュール

表Ⅲ-2.7.2に研究開発スケジュールを示す。ブースター本体は、試作機（図Ⅲ-2.7.1に示すジグザグ光路は3バウンス）で熱特性と利得を評価し、集積化試作機（4バウンス光路であり、実用機の1/2スケール）で冷却方式を改善し、最適波長等の性能評価を行った後に、実用機につなぐ。今年度後半にファイバーフロントエンドから150Wを供給し、中間目標（500-700W）を達成するとともに、その出力を波長変換試験に供給する。来年度には、ファイバーフロントエンドから300Wを供給し、実用機で最終目標（1.5kW）を達成するとともに、加工試験に供する。

表Ⅲ-2.7.2 研究開発スケジュール



### 2.7.4 研究開発目標と達成状況

試作機（3バウンス光路）の利得試験結果に基づき、集積化試作機（4バウンス光路）では中間目標を達成可能であることがシミュレーションによって明らかとなっている。基本計画にはないが CFRP 加工において重要な性能である波面特性に関しても、試作機（3バウンス光路）を用いて波面の評価を行った。波面歪みの大部分を占める defocus 成分は凹レンズで補正でき、高次の波面歪みは可変形鏡で補正可能である。

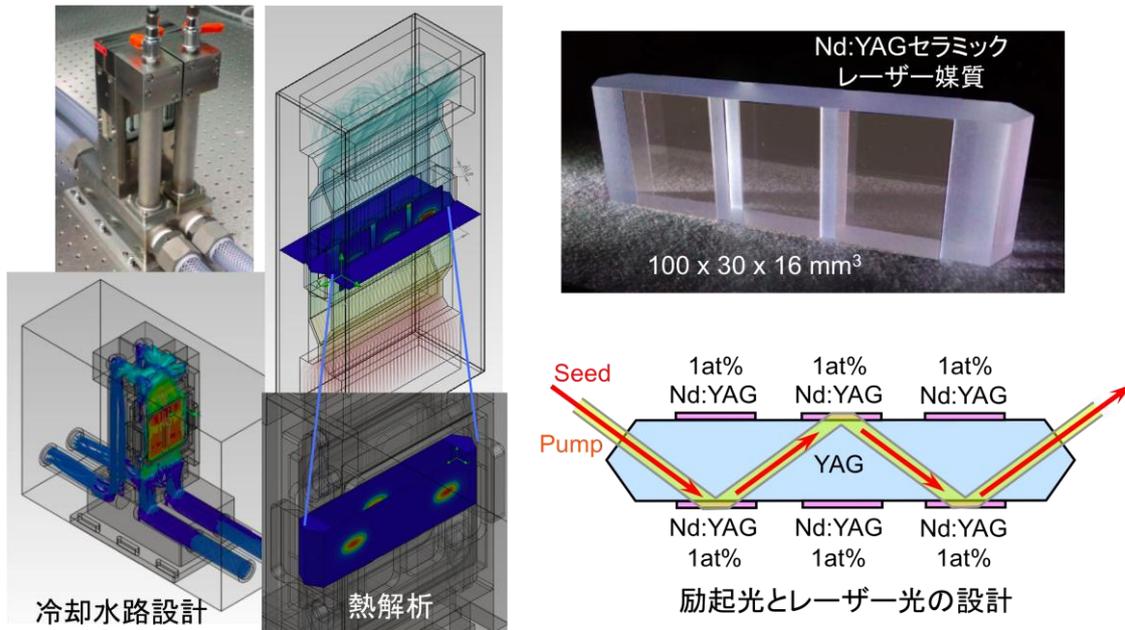
表Ⅲ-2.7.3 ブースター増幅器の達成状況

| kW級ブースター増幅器の開発 |                          |                                |                       |  |
|----------------|--------------------------|--------------------------------|-----------------------|--|
|                | 中間目標                     | 成果                             | 達成度                   | 今後の課題  |
| 1) 繰り返し        | 75kHz                    | CW LD励起<br>75kHz種光             | ○                     |  |
| 2) 平均出力        | 500-700W                 | 利得の実測値<br>に基づくシミュレーション<br>600W | △<br>(H25年3月<br>達成予定) | ファイバーフロント<br>エンドからの<br>150Wを種光として<br>増幅試験。<br>500W出力を波長<br>変換実験に供給 |
| 3) 波長          | 1064.1-1064.8nm<br>(最適化) | 最適化データ<br>取得                   | △<br>(H25年3月<br>達成予定) | 集積化ブー<br>スター試験(500-<br>700W)でさらに最<br>適化。                           |
| 4) パルス幅        | 3-10ns                   | 3-10ns<br>種光                   | ○                     |  |

◎ 大幅達成、○達成、△達成見込み、×未達

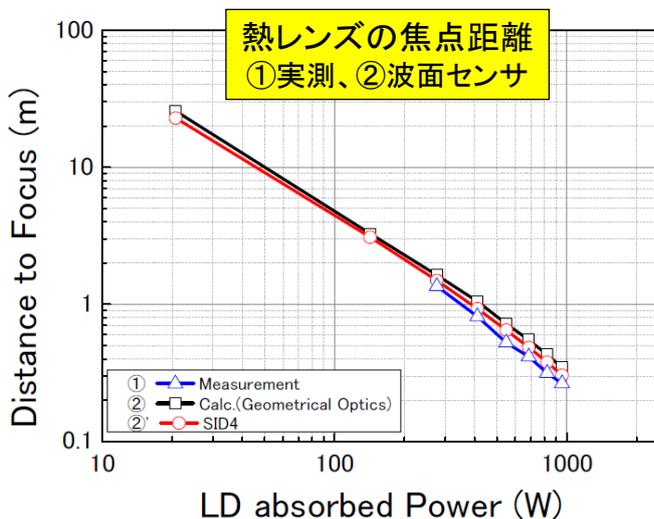
### 2.7.5 成果の詳細

ジグザグアクティブミラー増幅器の試作機（3バウンス光路）を、図Ⅲ-2.7.2に示すような熱解析に基づいて設計・製作した。コンポジットセラミックは同図の写真に示すように、長さ100mm×高さ30mm×幅16mmの無添加YAGセラミックの両面に厚さ1mmのNd:YAGセラミック（添加濃度1at%）を合計6枚 optical bonding したものである。励起LD光（CW）とレーザー光は同軸に伝搬し、全反射によって3回バウンスする構造である。



図Ⅲ-2.7.2 ジグザグ型アクティブミラー増幅器（試作機）

励起用LDは、ファイバー出力の1kW LD 4台で構成する。励起ビームの伝播特性を計測した結果、十分な均一性を保って増幅器中を約7mmのビーム径で伝搬した。プローブ光を用いてレーザー波面変化を計測した結果、波面歪みのPV (Peak to Valley) 値は、最大20λ程度であった。波面変化の主成分は、ゼルニケの defocus 成分であり、



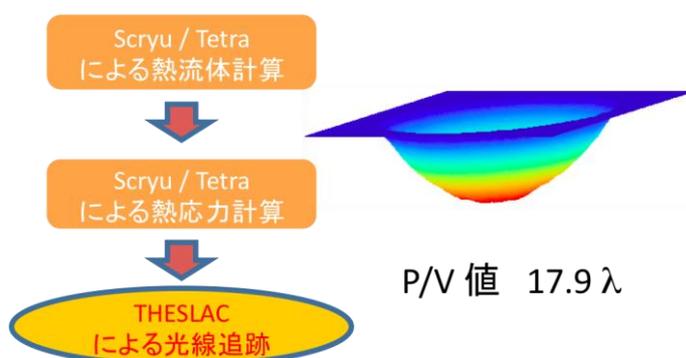
図Ⅲ-2.7.3 熱レンズ焦点距離

|                       | 位相パターン(正面) | 位相(3D) | PtV(λ) |
|-----------------------|------------|--------|--------|
| Coma Y<br>Z           |            |        | 1.799  |
| Spherical Aberr.<br>I |            |        | 1.831  |
| Second. Astig 0-<br>I |            |        | 2.064  |
| Second Coma Y<br>Z    |            |        | 1.907  |

図Ⅲ-2.7.4 ゼルニケ高次成分

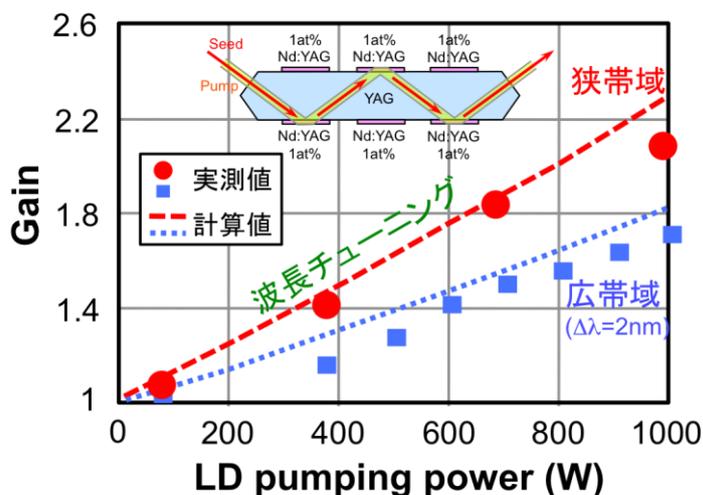
図Ⅲ-2.7.3 に示すように励起強度が上がるにつれ、熱レンズ焦点距離は短くなり、1kW 励起では 30cm 程度であった。この defocus 成分はレンズ光学系を用いて補正が可能である。図Ⅲ-2.7.4 にゼルニケの高次成分を示す。Coma、Spherical、Second Astig. 等が観測されているが、PV 値は、 $2\lambda$  程度と defocus 成分に比べ 1 桁小さい。これらの高次成分は可変形鏡を用いて補正を行うことができる。

次のステップとして集積化試作機（4 バウンス光路）を設計するにあたり、このような熱的波面歪みを正確に評価する必要があるため、計算機シミュレーションによって増幅器の熱特性を評価する手法を確立した（図Ⅲ-2.7.5）。Scryu/Tetra 熱解析ソフトによって熱流体計算を行い、その温度分布に基づいて熱応力計算（変形の計算）を行う。求めた温度分布と変形量を独自開発の TESLAC コードに入力して光線追跡計算し、波面歪みを求める。これらの計算を実験結果でベンチマーキングし、集積化試作機の設計に反映させた。



図Ⅲ-2.7.5 熱レンズ効果の計算機シミュレーション

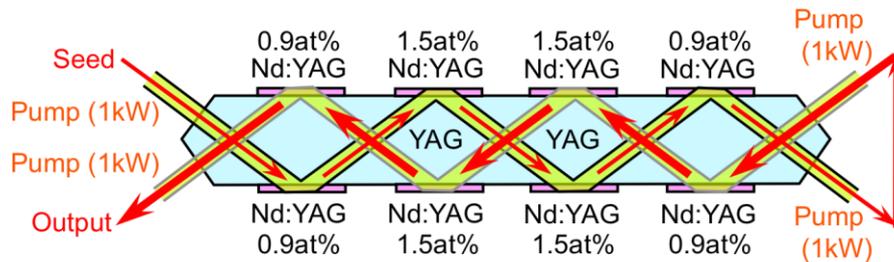
図Ⅲ-2.7.6 に試作増幅器利得の LD 励起パワー依存性を示す。LD 励起は両サイドから行っている。励起パワーに依存する Nd:YAG の温度変化に対応させて狭帯域光（図中の●）の波長を調整し、単一パス利得を求めた。得られた結果は計算予測（図中赤波線）とよく一致した。



図Ⅲ-2.7.6 試作増幅器利得の LD 励起パワー依存性

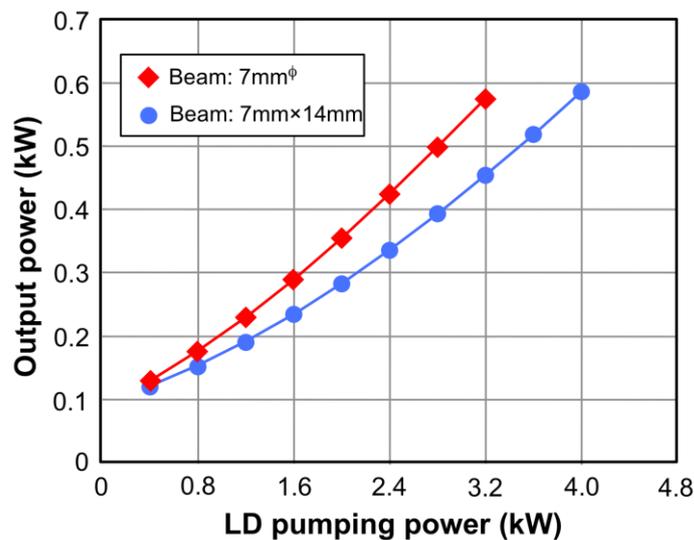
この実験結果と計算機シミュレーションによる熱解析から、1 枚目と 3 枚目の Nd:YAG

薄型ディスクの中心部分では 77℃まで温度が上昇しているのに対し、2 枚目の Nd:YAG 薄型ディスクの中心部分では 66℃と評価された。このように、Nd:YAG 薄型ディスクごとに温度が異なると利得の低下を招くために、集積化試作機（4 バウンス光路）では図Ⅲ-2.7.7 に示すような構造を採用した。片側 4 枚の Nd:YAG 薄型ディスクの内、両サイドの 2 枚の Nd 添加量を 0.9at%、中央の 2 枚を 1.5at%とすることによって、温度上昇を同じ値にすることができる。



図Ⅲ-2.7.7 集積化試作機の増幅媒体構造

ファイバーフロントエンドから 150W を注入した場合の、励起 LD パワーに対するレーザー出力の計算結果を図Ⅲ-2.7.8 に示す。ここでレーザー光は、図Ⅲ-2.7.7 に示す全ての Nd:YAG 薄型ディスクを 1 回ずつ通過する（単一パス）。レーザービームサイズとして 7mm $\phi$ （◆）、7mm $\times$ 14mm の楕円（●）の 2 種類について計算した結果、単一パスによって中間目標を達成できる見通しを得た。また、ダブルパス光路を用いれば、さらに出力を増大させることができる。



図Ⅲ-2.7.8 集積化試作機の平均出力のシミュレーション予測

### 2.7.6 最終目標の達成の見通し

中間目標の平均出力 500~700W を達成する見通しを得た。ファイバーフロントエンド（平均出力 150W）と組み合わせた増幅試験については、7月から開始の予定である。

これと併せて、増幅器設計のためのシミュレーションコードの開発と高精度化を実施し、励起光の吸収分布、レーザー媒質の温度分布・熱歪み分布、ビーム伝播中のレーザー波面について、実験結果を用いてベンチマーキングを行った。また、高繰返し

動作時の反転分布、パルス増幅についてのシミュレーションコード開発は完了しており、今後実験結果と比較しながら高精度化を実施する。

集積化試作機は実用機の 1/2 スケールであり、これをそのまま 2 倍の大きさに拡張して 1.5kW を達成するか、あるいは後段の波長変換結晶の熱負荷低減を考慮して、ブースター増幅器を 2 台並列 (750W×2 台) とするかは、今年度後半の研究進捗状況を見てどちらかを選択する。

#### 2.7.7 知的財産権及び成果の普及

実施計画書は、本プロジェクトが開始される以前の特許に基づいて立案されている。特に、薄型ディスク増幅器やコンポジット型ジグザグスラブ (図Ⅲ-2.7.2 の写真のセラミック構造) の特許ならびに知見が活用されている。また、ブースター増幅器の冷却性能の向上手法に関して、特許出願に向けて明細書作成の最終段階にある。

成果の波及については、コンパクトな増幅器から 1.5kW のレーザー出力が得られれば、高繰り返し高出力レーザーの加工を含む産業応用への展開が加速されると期待される。

## 2.8 研究開発項目②「レーザー高品位化技術の研究開発」

「(2) パルスレーザー増幅（ブースター）技術の開発」

「2) アニール用ブースター増幅技術の開発」

(大阪大学レーザー研、ALPROT（浜松ホトニクス、アルバック）)

### 2.8.1 事業の背景・意義（目的・概要）

低温ポリシリコン TFT を用いた液晶(LCD)や有機発光ダイオード (OLED) は、高精細、高画質（優れた諧調性、高速応答性）なフラットパネルディスプレイ (FPD) として注目されている。この低温ポリシリコン TFT の製造を支える重要な工程の一つがレーザーアニールであり、現状ではエキシマレーザーアニール装置により生産が行われている。エキシマレーザーアニール装置は、レーザー発振管・光学部品の活性ガスによる損傷と活性ガス純度の劣化があり、日常的なメンテナンスが必要不可欠であり、ランニングコスト増にもなっている。このため、動作が安定で、取扱いが容易な高出力固体グリーンレーザー装置の開発が求められている。また、高エネルギーレーザーにより生成できるワイドビームで継ぎ目のない大型 FPD 用高品位アニールプロセスが可能となる。超ワイドビームによる大型 FPD 用アニールレーザープロセスが今後の FPD 市場の発展に寄与すると期待されており、高エネルギー・高平均出力のパルスグリーンレーザーの開発が必要不可欠である。

従来の技術であるエキシマレーザーアニールとの比較を表Ⅲ-2.8.1 に示す。プロセスウィンドウが広いというメリットがある上、繰り返し周波数が高くラインビーム長もさらに伸ばしたアニールプロセスが可能であるためスループットを向上させることが出来る。高品質アニールプロセスかつ、メンテナンス時間の大幅削減ができる。

表Ⅲ-2.8.1 エキシマレーザーアニールとグリーンレーザーアニールの比較

| 項目                                     | エキシマレーザー XeCl   | 本開発 YAG2 $\omega$   |
|--|---|---|
| 波長                                     | 308nm   | 532nm   |
| プロセスウィンドウ<br>*エネルギー密度と移動度の関係<br>(FWHM) | 0.35~0.5J/cm <sup>2</sup><br>→ $\Delta$ 0.15J/cm <sup>2</sup> | 0.55~0.95J/cm <sup>2</sup><br>→ $\Delta$ 0.4J/cm <sup>2</sup> |
| 繰り返し周波数                                | 300Hz   | 1kHz  |
| ラインビーム長                                | 450mm   | $\geq$ 500mm  |

第5世代の最大 1150mm×1300mm の基板を均一に少ないスキャン回数でアニールすることができる光源であり、十分な加工性能を発揮できるレーザー出力特性である。本開発によるレーザー装置はポリシリコン生成の均質化や加工速度向上に貢献でき、今後さらなるパネルサイズの拡大に向けて基礎となる評価データが取得できる。

### 2.8.2 研究開発目標と根拠

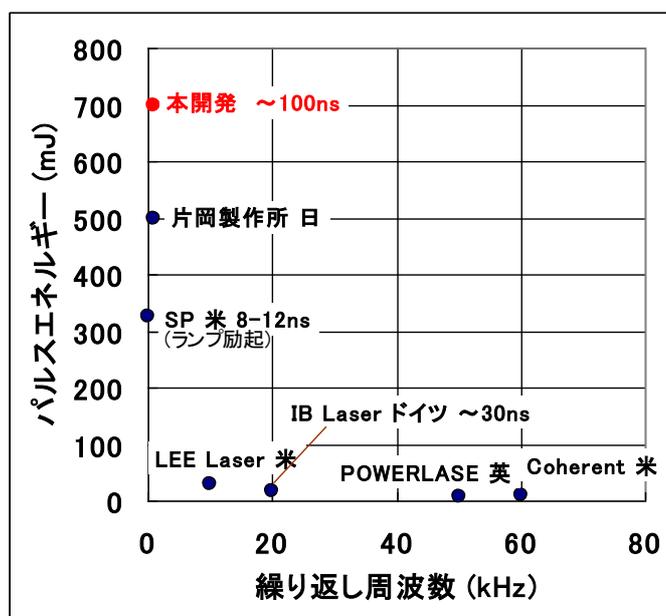
アニールプロセス用にグリーンレーザーによるアニール効果が確認されており、高エネルギー・高平均出力のレーザー装置が要望されている。グリーンレーザーを発生させるために、波長 1 $\mu$ m 帯の基本波レーザーを波長変換することで高出力グリーンレーザーを発生させる。所望の

加工性能を得るためには波長  $1\mu\text{m}$  帯、平均出力  $200\text{W}\sim 700\text{W}$ 、繰り返し周波数  $1\sim 150\text{kHz}$  のうち最適周波数（後に  $1\text{kHz}$  と決定）、パルス幅  $0.5\text{ns}\sim 200\text{ns}$  のうち最適パルス幅（後に  $70\sim 100\text{ns}$  と決定）が必要であり、これを中間目標とした。研究開発目標と設定根拠を表Ⅲ-2.8.2 に示す。

表Ⅲ-2.8.2 研究開発目標と設定根拠

| 項目      | 中間目標                             | 設定根拠  |
|---------|----------------------------------|---|
| 波長      | $1\mu\text{m}$ 帯(基本波)            | グリーン光(波長 $532\text{nm}$ )によるアニーリングが効果的に作用することから、高出力グリーン光を発生させるために基本波を $1\mu\text{m}$ 帯とした |
| 平均出力    | $200\sim 700\text{W}$            | グリーン光で $140\text{W}$ を得るために必要な基本波出力   |
| 繰り返し周波数 | $1\sim 150\text{kHz}$ のうち最適周波数   | 実用性の高い加工速度を得るために必要な繰り返し周波数  |
| パルス幅    | $0.5\sim 200\text{ns}$ のうち最適パルス幅 | 十分なアニーリング効果を得るために必要とされるパルス幅   |

発生させたグリーンレーザー光を空間的に均一なラインビームに整形しアニーリングを行う。均一パターンを形成するためには光干渉効果が起こらないようにする必要があり、空間横モードマルチ、無偏光を特徴とするレーザー光にする必要があり、これらに留意したレーザー装置開発を行う。図Ⅲ-2.8.1 に市販のレーザー装置を比較したグラフを示す。繰り返し周波数が数 kHz 程度で高エネルギー出力のレーザー装置は少なく、本開発は世界的にもトップレベルの全固体レーザー装置の開発となる。



図Ⅲ-2.8.1 市販レーザー装置の比較

### 2.8.3 研究開発スケジュール

アニーリング用レーザーの研究開発スケジュールを表Ⅲ-2.8.3に示す。

開発初期にレーザーの基本仕様となるレーザー波長、最適な繰り返し周波数、最適なパルス幅を決定し、基本仕様を満足した状態で200～700Wのレーザー出力を達成させる。基本波出力を達成した後に2.9節に示す波長変換モジュールにより波長変換しグリーン出力を得る。最終的に高出力グリーン光を2.15節で示すホモジナイズワイドビーム成形をしてアニーリング加工評価を実施し、加工システムに付随するビーム成形技術に反映させる。

表Ⅲ-2.8.3 アニーリング用レーザー開発スケジュール

| 項目      | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 最終目標値                 |
|---------|------|------|------|------|------|-----------------------|
| 波長      | ●    |      |      |      |      | 1 μm 帯(基本波)           |
| 平均出力    |      | ▲    | ●    |      |      | 200～700W              |
| 繰り返し周波数 |      | ●    |      |      |      | 1～150kHz のうち最適繰り返し周波数 |
| パルス幅    |      | ▲    | ●    |      |      | 0.5ns～200ns のうち最適パルス幅 |
| 変換効率    |      | ▲    | ●    | ●    |      | ≥20% (基本波入力 700W)     |

### 2.8.4 研究開発目標と達成状況

研究開発目標と達成状況を表Ⅲ-2.8.4に示す。繰り返し周波数は1～150kHzのうち最適周波数、パルス幅は0.5ns～200nsのうち最適なパルス幅としているが、予備実験により繰り返し周波数1kHz、パルス幅70ns～100nsがアニーリング加工に適しているため、これを目標として開発を行った。レーザー波長1.064 μm、繰り返し周波数1kHz、パルス幅105nsにおいてレーザー出力560Wを達成した。中間目標である200～700Wの出力は十分得られており、さらに用意しているブースター増幅器により700Wを達成出来る見通しが立った。

表Ⅲ-2.8.4 研究開発項目と達成状況

| 項目      | 中間目標                | 成果       | 達成度 | 今後の課題                   |
|---------|---------------------|----------|-----|-------------------------|
| 波長      | 1 μm 帯(基本波)         | 1.064 μm | ○   | 最終段の増幅器を駆動し、さらに出力を向上させる |
| 平均出力    | 200～700W            | 560W     |     |                         |
| 繰り返し周波数 | 1～150kHz のうち最適周波数   | 1kHz     |     |                         |
| パルス幅    | 0.5～200ns のうち最適パルス幅 | 105ns    |     |                         |

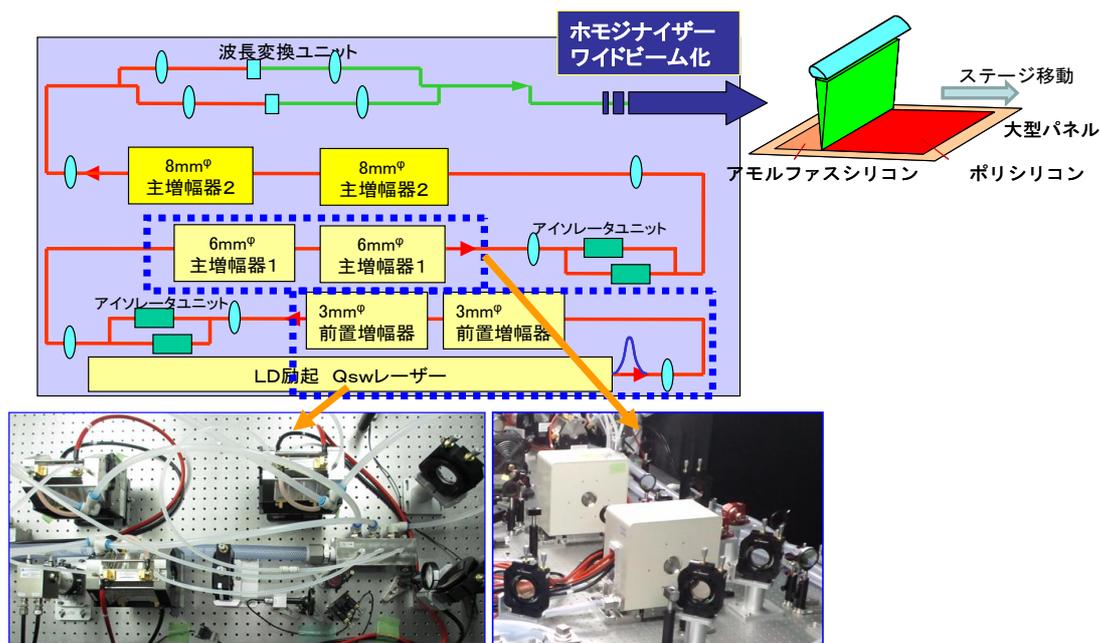
◎大幅達成、○達成、△今年度中に達成見込み、×未達

## 2.8.5 成果の詳細

種光となる発振器と数台の増幅器からなる多段増幅方式により高エネルギーを発生させ、得られた高出力基本波を波長変換することでアニーリングに必要なグリーンレーザー出力を得る。出力エネルギーの増大は増幅器の追加で達成可能であり、パルス幅や繰り返し周波数を可変することも可能である。増幅器の追加で問題となるのが寄生発振の抑制及び熱レンズ効果や熱複屈折によるレーザー光の波面歪みやバイフォーカスの連続が起因する空間モードの変化である。

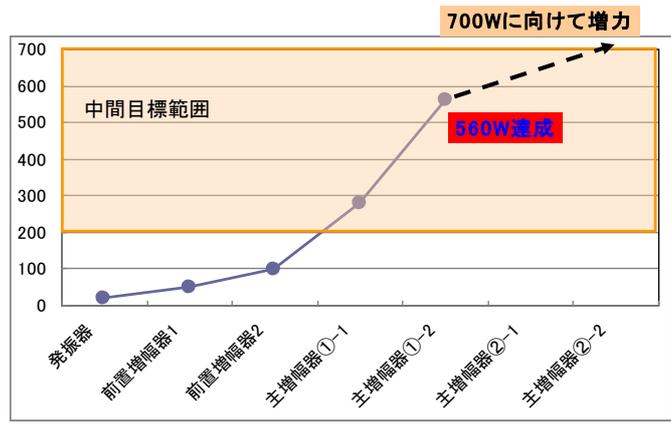
キーコンポーネントとなるレーザーヘッド（発振器、前置増幅器、主増幅器）の励起分布、熱レンズ焦点距離、小信号利得を測定し、その特性を基に多段増幅レーザーシステムを構築した。種光となる発振器ではパルス幅 100ns を得るために長共振器を構築し、出力 19W (19mJ×1kHz) でパルス幅 105ns が得られた。またビーム品質  $M^2$  値は 15 前後が得られているのを確認した。光干渉しにくくかつ加工時の集光性能を得るには十分な特性である。この種光を増幅し 2 台の前置増幅器で 90W まで増力し、次の 2 台の主増幅器 1 で 560W の出力が得られた。光学配置、伝搬ビーム径の最適化を行うことで、予備実験で得られていた 350W の出力より大幅にレーザー出力が向上した。

アニーリング用レーザーの配置図を図Ⅲ-2.8.2 に示す。また、レーザー増幅器毎のレーザー出力結果を図Ⅲ-2.8.3 に示す。



図Ⅲ-2.8.2 アニーリング用レーザー配置図及びレーザーヘッド部

波長  $1.064 \mu\text{m}$ 、繰り返し周波数 1kHz、パルス幅 105ns での増幅結果であり、主増幅器①後で 560W を達成した。パルス幅は増幅後のナローイング等の影響も無く 105ns であった。中間目標である 200~700W は達成しており、最終段の 2 台の主増幅器②により最大出力目標である 700W を達成させ、波長変換試験を行う。波長変換も含め年度内に達成可能であり、Ⅲ-2.15 節で実施しているビーム成形技術との連携により加工評価実験までの目処が立った。



図Ⅲ-2.8.3 レーザー増幅器毎のレーザー出力結果

## 2.9 研究開発項目②「レーザー高品位化技術の研究開発」

### 「(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」

(大阪大学レーザー研、ALPROT (浜松ホトニクス、アルバック) )

### 2.9.1 事業の背景・意義 (目的・概要)

FPDの大型化に伴い、アモルファスシリコンのポリシリコン化が重要になる。そのためにはアニーリングレーザーによる表面改質が有効であり、パルスグリーンレーザーでの均一照射が必要である。高出力のグリーンレーザーを得るためには $1\mu\text{m}$ 帯のレーザー光を波長変換結晶に通して二倍高調波を発生させる方法が適切である。パルス幅が $100\text{ns}$ 程度のため一般的な光学素子の損傷閾値である $10\text{J}/\text{cm}^2$ に集光しても強度が $100\text{MW}/\text{cm}^2$ 程度にしかならない。波長変換効率はレーザー強度の自乗に比例して向上するため十分な波長変換効率が得られない。また、マルチモードであることも起因して波長変換効率は低い。また、光損傷閾値近傍のレーザー強度を入射させる設計をすると長時間の使用で波長変換結晶が損傷するため実用化には向かない。そのために高出力レーザーの波長変換効率の向上は重要な課題となっている。

### 2.9.2 研究開発目標と根拠

アニーリング用波長変換モジュールの研究開発目標と設定根拠を表Ⅲ-2.9.1に示す。グリーン光はアニーリングが効果的に作用することから選択肢の一つとして選定されており、メンテナンスフリーで高出力レーザーを発生させるために半導体励起固体レーザーでかつ実績が多いNd:YAGレーザー(波長 $1.064\mu\text{m}$ )の2倍高調波発生(Second Harmonic Generation:SHG)(波長 $0.532\mu\text{m}$ )が適している。レーザーシステムは従来技術を使うことで早期に加工評価に結びつけることができ、実用化の近道と考えられる。

表Ⅲ-2.9.1 研究開発目標と設定根拠

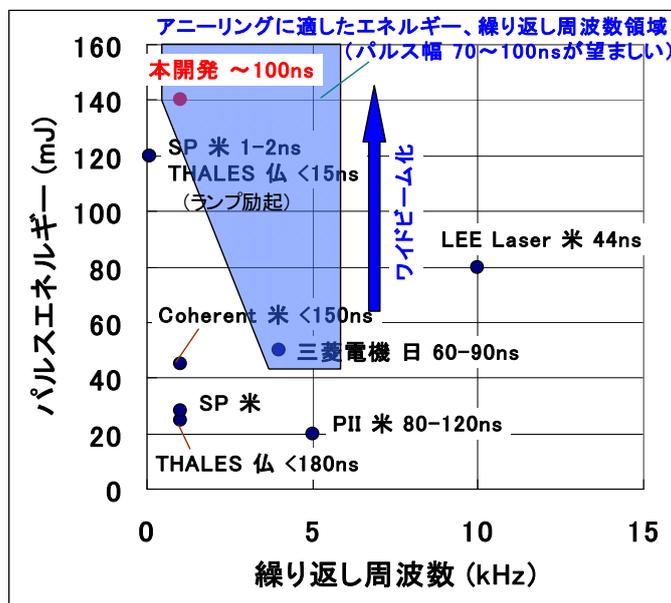
| 項目   | 中間目標                               | 設定根拠  |
|------|------------------------------------|---|
| 変換効率 | $\geq 20\%$ (基本波入力 $700\text{W}$ ) | $500\text{mm}$ のワイドビームによりアニーリングを達成するには $140\text{mJ}$ ( $140\text{W}/1\text{kHz}$ )のパルスエネルギーが必要であり、予備実験で得られた限界値近くの効率を基に決定 |

アニーリング用レーザー装置としてターゲットにしている加工方法が $500\text{mm}$ のラインビームによるアニーリングであり、必要とされるレーザー出力はグリーン光において $140\text{W}$ ( $140\text{mJ}\times 1\text{kHz}$ )である。この出力を達成するためには波長変換効率を上げることが重要であり、目標を波長変換効率 $20\%$ 以上として開発を行う。アニーリングとして必要な $140\text{W}$ のレーザー出力を得るには、基本波出力を $700\text{W}$ として波長変換効率 $20\%$ 以上で達成できる。また、レーザーのパルス幅は $70\text{ns}\sim 100\text{ns}$ が適しており、 $100\text{ns}$ 程度を目標として開発を行う。 $20\%$ の波長変換効率は $100\text{ns}$ のロングパルスでは限界性能に近く、光損傷回避を考慮したモジュール化技術が必要となる。

市販の高出力固体グリーンレーザー装置の比較を図Ⅲ-2.9.1に示す。

アニーリングに適したパルス幅( $70\text{ns}\sim 100\text{ns}$ )でかつ繰り返し周波数が数 $\text{kHz}$ の高エネルギーレーザー装置は世界的に見ても市販されておらず、開発目標の一つである $500\text{mm}$ のワイドビームに対

応させるエネルギー(140mJ)は世界トップレベルの開発目標といえる。500mm のワイドビームは 40 インチクラスの液晶テレビ用 FPD を 1 回のスキャンでアニーリング出来るため、継ぎ目等で発生するムラが無い高品質な加工が可能である。140mJ の出力エネルギーでは、55 インチ以上の FPD のアニーリングにも適用出来る出力を要しており、700mm 超のワイドビーム化の準備も進んでいる。



図III-2.9.1 市販のグリーンレーザー装置比較

### 2.9.3 研究開発スケジュール

アニーリング用波長変換モジュール開発スケジュールを表III-2.9.2に示す。

基本波  $1.064\mu\text{m}$  で 700W 出力のレーザーを発生させ、波長実験を行う。初期の段階で予備実験をしており、360W の出力ではパルス幅 90ns で波長変換効率 20%以上が得られており、700W 基本波入力用波長変換モジュールの開発を進めている。

波長変換実験で目標を達成出来る目処は立っており、年度内にアニーリング用レーザーとして完成させ、III-2.15 節に示しているホモジナイズワイドビーム光学系と連携させて加工評価試験を行う。

表III-2.9.2 アニーリング用波長変換モジュール開発スケジュール

| 項目      | 2010 | 2011 | 2012 | 2013  | 2014 | 最終目標値                    |
|---------|------|------|------|-------|------|--------------------------|
| 波長      | ●    |      |      |       |      | 1 $\mu\text{m}$ 帯(基本波)   |
| 平均出力    |      | ▲    | ●    |       |      | 200~700W                 |
| 繰り返し周波数 |      | ●    |      |       |      | 1~150kHz のうち最適繰り返し周波数    |
| パルス幅    |      | ▲    | ●    |       |      | 0.5ns~200ns のうち最適パルス幅    |
| 変換効率    |      | ▲    | ●    | ..... |      | $\geq 20\%$ (基本波入力 700W) |

## 2.9.4 研究開発目標と達成状況

表Ⅲ-2.9.3 にアニーリング用波長変換モジュールの研究開発目標と達成状況を示す。

予備実験では 360W(350mJ×1kHz)の基本波レーザー光を波長変換することで 90W 以上の出力（波長変換効率 $\geq 20\%$ ）を得ている。このときパルス幅は 90ns であり良好な結果が得られている。さらに高エネルギーの波長変換では波長変換結晶内の温度分布が起因して波長変換効率を低下させることも考えられ、波長変換の角度許容幅や温度許容幅による変換効率低下を極力抑えるようにする必要がある。そのため、発散角を出来るだけ抑制するように光路設計を行うことが重要である。

予備実験で得られたデータを基に波長変換素子への入射レーザー強度を決めており、同等の波長変換効率を得られる見通しである。温度分布は抑制する必要がある一方で、入射ビーム径が大きくなるため発散角は抑えることができ、波長変換効率に有利な点もあり、バランスを考慮して配置することで目標達成が可能である。アニーリング用レーザーの開発に於いて 700W 基本波のレーザー出力を達成した後、波長変換試験が行えるように準備を進めており、平成 24 年 8 月中には目標達成見込みである。

表Ⅲ-2.9.3 研究開発目標と達成状況

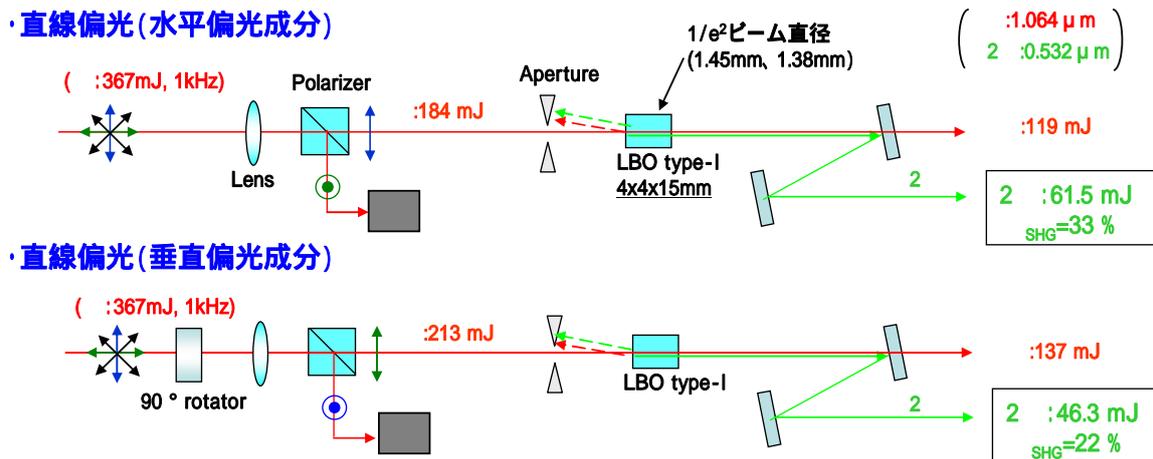
| 項目   | 目標                          | 成果                          | 達成度 | 今後の課題                 |
|------|-----------------------------|-----------------------------|-----|-----------------------|
| 変換効率 | $\geq 20\%$<br>(700W 基本波から) | $\geq 20\%$<br>(360W 基本波から) | △   | (平成 24 年 8 月<br>達成予定) |

◎ 大幅達成、○達成、△今年度中に達成見込み、×未達

## 2.9.5 成果の詳細

必要とされるグリーン光のエネルギーが 140mJ であるため、光損傷回避するためにはビーム径を大きくする必要があり、バルク型結晶を採用する。また、一般的な波長変換結晶の中で比較的波長変換効率（電気光学定数）が高くレーザー耐力の高い LBO 結晶を波長変換結晶として選定し、波長変換モジュールの開発を行った。

波長変換の予備実験として 360W の基本波(1.064  $\mu\text{m}$ )をマルチモード、無偏向、パルス幅 90ns、繰り返し周波数 1kHz で発生させ、波長変換試験を行った。結晶の切り出し角度により大きく分けてタイプ I やタイプ II と呼ばれる変換方法がある。図Ⅲ-2.9.2 に LBO タイプ I を使った波長変換の予備実験の配置図を示す。ランダム偏光のレーザー光からポラライザーを使って水平偏光成分を取り出し波長変換を行った。基本波入射エネルギー184mJ に対してグリーン光は 61.5mJ が得られた。また、偏光を 90 度回転させる 90 度ローテータを配置することで垂直偏光成分を水平偏光成分に変換し、同じ実験系により波長変換を行ったところ、基本波入射エネルギー213mJ に対してグリーン光で 46.3mJ が得られた。タイプ I では 20%~30%の波長変換効率を得られた。最大の変換効率を得たのは集光フルーエンスが約 10J/cm<sup>2</sup> の場合であり、光損傷閾値近傍で得られたデータである。またタイプ II では波長変換効率が 17%程度であり、タイプ I に比べて十分な効率は得られなかった。波長変換効率を示す光学定数においても LBO 結晶の場合はタイプ I の方が 20%程度高い数値であり、700W のレーザー光を波長変換するための波長変換モジュールではタイプ I の LBO 結晶を使用することとした。また、結晶表面にある無反射コートは光損傷閾値が低いため、コーティング無しの LBO 結晶により波長変換試験を行う。



図III-2. 9. 2 LBO タイプ I による波長変換予備実験配置図

ロングパルスで高効率の波長変換を達成することで、さらなる出力増強が必要となった場合にも MOPA システムによる基本波レーザー出力を向上させるだけで、グリーン光出力を増加させることができるメリットがある。また、波長変換結晶に光損傷が起ころうとしても、簡易に波長変換素子を取り替えることができる構造になっており、メンテナンス性も考慮している。さらなるワイドビーム化の準備も進んでおり、グリーン光出力増大には欠かせない波長変換モジュールである。また、高効率で波長変換を達成することはシステム全体の効率を上げることにもつながり、低コスト化に直接繋がる。実用化には高い波長変換効率を維持したまま、光損傷を起こしにくくすることが重要課題である。消耗品のように波長変換素子を交換していたこれまでの加工システムとは違い、信頼性の高い波長変換モジュールを提供するために高エネルギー、高繰り返し周波数のレーザー光により波長変換の評価・検証を重ね実用化に繋げることが重要である。

## 2.10 研究開発項目②「レーザー高品位化技術の研究開発」

### 「(3) 高出力波長変換技術の開発」

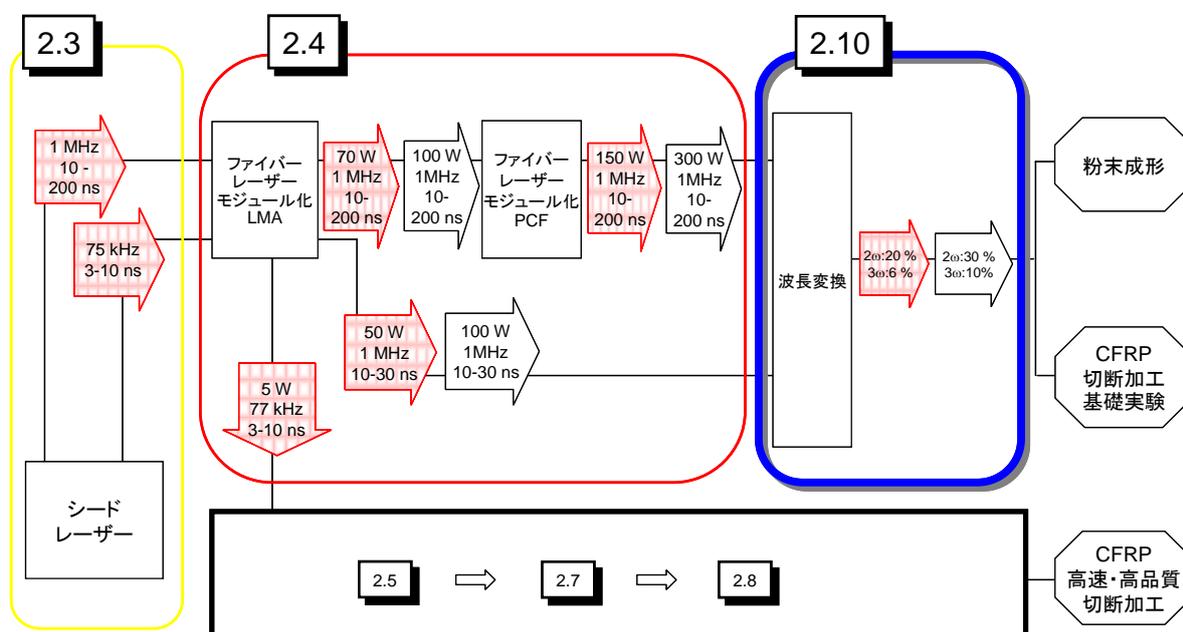
#### 「1) 波長変換モジュール化技術の開発

「ファイバーレーザーの波長変換モジュール」

(阪大接合研、古河電工、片岡製作所)

#### 2.10.1 事業の背景・意義（目的・概要）

本研究開発では、図Ⅲ-2.10.1に示したように、②-(1)-2)でモジュール化したファイバーレーザーを導入し、CFRP切断に関する基礎技術開発を推進する。本基礎技術開発において、レーザー光の短波長化が要求されているので、高効率波長変換器を得るために波長変換モジュール化技術の開発を行う。



図Ⅲ-2.10.1 目的別に開発されるパルスファイバーレーザー開発目標：中間目標（矢印赤）と最終目標（矢印白）

#### 2.10.2 研究開発目標と根拠

図Ⅲ-2.10.1に示したように、ファイバーレーザーの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%を中間目標としている。基本波の入力に伴う波長変換結晶の温度上昇を考慮すると、最終目標の変換効率30%を達成するには、中間段階で最低限この程度の変換効率が必要である。

また基本波から3倍高調波への変換効率：6%以上とする。基本波の高入力に伴う波長変換結晶の温度上昇を考慮すると、最終目標の変換効率10%を達成するには、中間段階で最低限この程度の変換効率が必要である。

### 2.10.3 研究開発スケジュール

今年度前半に、第2高調波への変換効率20%を達成し、後半に第3高調波への変換効率6%を達成する。

### 2.10.4 研究開発目標と達成状況

表Ⅲ-2.10.1 にファイバーレーザーの波長変換モジュール開発目標と達成状況を示す。

表Ⅲ-2.10.1 ファイバーレーザーの波長変換モジュール開発目標と達成状況

| 項目                  | 中間目標値                 | 成果        | 達成度 |
|---------------------|-----------------------|-----------|-----|
| ファイバーレーザーの波長変換モジュール | 2倍高調波：20%<br>3倍高調波：6% | 2倍高調波：10% | △   |

### 2.10.5 成果の詳細

開発したファイバーレーザーを用いて、波長変換の基礎実験を行い、波長変換モジュール開発を進めた。その結果、現在、第2高調波で10%の変換効率を達成した。一方で、市販のNd:YAGレーザーを使用して当該波長変換モジュールの評価を行い、この時点で中間目標値の変換効率を達成した。この結果を受けて、ファイバーレーザーの、より高出力、短パルス化が必要なが分かった。また、波長変換の結晶について、国産の結晶が海外のメーカー品と比して同等以上の性能を有していることが分かった

### 2.10.6 最終目標の達成の見通し

開発したファイバーレーザーを用いて、波長変換の基礎実験を行い、波長変換モジュール開発を進めた。その結果、2倍高調波で10%の変換効率を達成した。一方で、市販のNd:YAGレーザーを使用して当該波長変換モジュールの評価を行った。その結果2倍高調波で43%、3倍高調波で9%の変換効率を達成した。表Ⅲ-2.10-3に、実験に使用した市販のNd:YAGレーザーと本プロジェクトで開発するファイバーレーザーのスペックの違いをまとめた。表Ⅲ-2.10-3からわかるように市販のNd:YAGレーザーは、他のレーザーに比べて最もレーザーピーク出力が高い。波長変換効率は、波長変換結晶内のレーザーピーク強度に依存する。そのため、市販のNd:YAGレーザーの場合と同様な波長変換効率を得るためには、結晶内のレーザー集光径を小さくすることにより実現できる。今後、波長変換効率増大のための集光光学系の最適化に取り組む。また、高効率波長変換には、結晶の品質の良否も関係してくる。使用したレーザーは、市販のNd:YAGレーザーである。結晶のメーカーによる品質の違いも、変換効率に関係してくることが分かった。また、この時良い成績を出した方の結晶は国産品であり、国産の結晶が海外のメーカー品と比して同等以上の性能を有していることが示された。

表Ⅲ-2.10-3 市販 Nd:YAG レーザー、CFRP 切断加工基礎実験用パルスファイバーレーザーおよび粉末成形用パルスファイバーレーザーの比較

|               | Nd:YAGレーザー | CFRP切断加工基礎実験用パルスファイバーレーザー | 粉末成形用パルスファイバーレーザー |
|---------------|------------|---------------------------|-------------------|
| 平均出力 (W)      | 23         | 50                        | 150               |
| パルス幅 (ns)     | 40         | 10                        | 100               |
| 繰り返し周波数 (kHz) | 10         | 1000                      | 1000              |
| ピーク出力 (W)     | 58000      | 5000                      | 1500              |

#### 2.10.7 知的財産権及び成果の普及

成果の普及として、平成 23 年度は、16 件の研究発表・講演を行った。平成 24 年度については、3 件行っている。

## 2.11 研究開発項目②「レーザー高品位化技術の研究開発」

### 「(3) 高出力波長変換技術の開発」

#### 「2) 波長変換の高効率化技術の開発」

(阪大レーザー研、ALPROT(レーザー総研))

※CFRP加工用レーザーの全体構成とその概要を「Ⅲ-6-1、2」頁に記載

### 2.11.1 事業の背景・意義（目的・概要）

高出力レーザーの高調波変換では、結晶がレーザー光を吸収し発熱する。このため結晶中でビーム断面内及び光軸方向に温度分布が発生し、空間的に位相整合条件が変化して変換効率が低下する。この問題を解決するために、結晶の周囲から熱を除去する必要があり、結晶の冷却方式および、波長変換スキームに関する研究開発を行う。

### 2.11.2 研究開発目標と根拠

最終目標とその根拠は以下の通りである。

最終目標

2倍高調波変換効率：40%以上（基本波入力1.5kW）

3倍高調波変換効率：13%以上（基本波入力1.5kW）

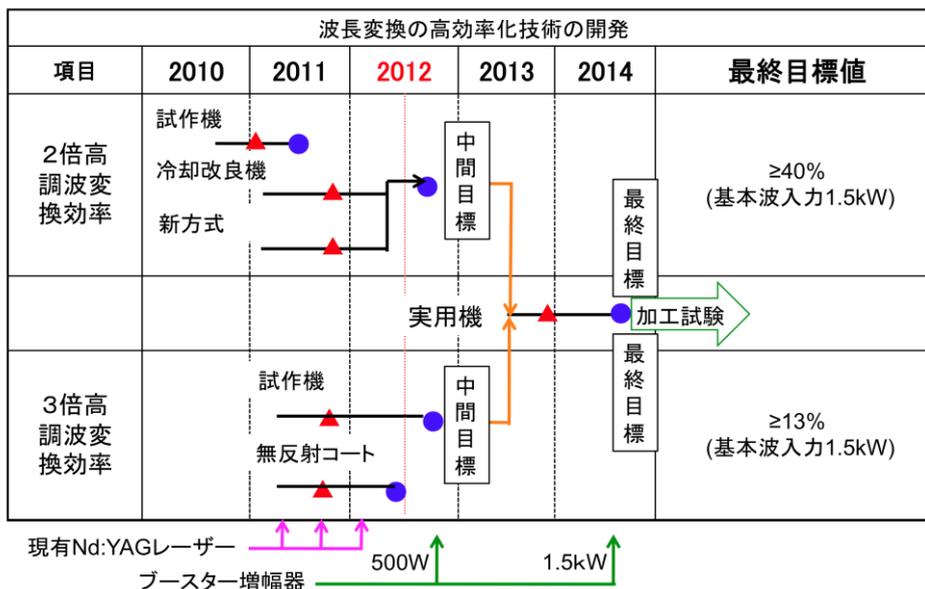
設定根拠

CFRP切断加工において短波長ほど加工品位が向上する観点から要請されたものである。なお、目標値は、波長532nmの市販レーザーの最高性能(400W, 10kHz, 180ns,  $M^2 \approx 30$ )に比べて格段に高出力、短パルス(600W, 3-10ns)であり、波長355nmの市販レーザーの最高性能(80W, 20kHz, 58ns)に比べても格段に高出力、短パルス(200W, 3-10ns)である。

### 2.11.3 研究開発スケジュール

表Ⅲ-2.11.1に示すスケジュールで開発を進めている。

表Ⅲ-2.11.1 波長変換の高効率化技術の開発スケジュール



2倍高調波変換については、現有のNd:YAGレーザーを用いた試作機試験のデータに基づいて吸収の少ない結晶を選択するとともに冷却構造を改善し、基本波入力300W(中間目標500W入力)までの試験を完了している。また、さらなる冷却効率の改善を目指して、結晶配置の改良および新方式の波長変換の予備試験も昨年度に完了している。今後、ブースター増幅器との組み合わせ試験に入る。一方、3倍高調波変換については、同じく吸収の少ない結晶の選択と冷却構造の改善を行い、基本波入力160W(中間目標500W入力)までの試験を完了している。

今年度後半には、ブースター増幅器から供給される500W基本波を用いて波長変換試験を行い、中間目標を達成する。また、最終年度には1.5kW基本波入力において最終目標を達成する。

#### 2.11.4 研究開発目標と達成状況

2倍高調波変換については、中間目標(基本波入力>500Wにおいて変換効率>20%以上、すなわち平均出力>100W)に対して、基本波入力300Wにおいて変換効率65%(平均出力200W)を達成している。結晶における光吸収係数は短波長ほど大きいいため、吸収による発熱パワーとしては、中間目標の2倍の試験を完了したことと等価である。従って、基本波入力>500Wにおいて確実に中間目標を達成できる。

3倍高調波変換については、中間目標(基本波入力>500Wにおいて変換効率>6%以上、すなわち平均出力>30W)に対して、基本波入力160Wにおいて変換効率43%(平均出力65W)を達成している。3倍高調波変換用結晶における吸収による発熱パワーについても(光吸収係数は3倍高調波でもっとも大きい)、中間目標の2倍の試験を完了したことと等価である。従って、基本波入力>500Wにおいて確実に中間目標を達成できる。

現在、これらの波長変換試験は現有のNd:YAGレーザーを用いて行っているが、今年度後半にはブースター増幅器との組み合わせ試験に移行する。

表Ⅲ-2.11.2 波長変換の高効率化技術の達成状況

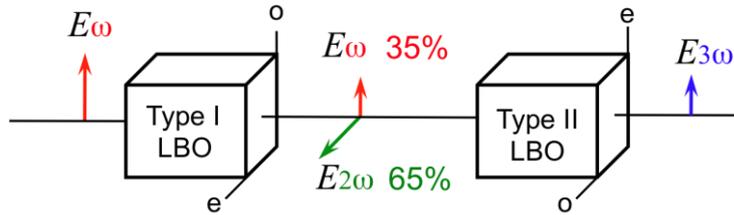
| 波長変換の高効率化技術の開発 |                              |                            |                       |                   |
|----------------|------------------------------|----------------------------|-----------------------|-------------------|
| 項目             | 中間目標                         | 成果                         | 達成度                   | 今後の課題             |
| 1) 2倍高調波変換効率   | 20%以上<br>基本波入力<br>500W、75kHz | 65%<br>基本波入力<br>300W、10kHz | △<br>(H25年3月<br>達成予定) | 500W熱負荷<br>高繰返し動作 |
| 2) 3倍高調波変換効率   | 6%以上<br>基本波入力<br>500W、75kHz  | 43%<br>基本波入力<br>150W、10kHz | △<br>(H25年3月<br>達成予定) | 500W熱負荷<br>高繰返し動作 |

#### 2.11.5 成果の詳細

##### (1) 波長変換結晶の構成

図Ⅲ-2.11.1に波長変換結晶の構成を示す。用いる結晶はLBOであり、2倍高調波変換用はType I、3倍高調波変換用はType IIとし、シリーズに配置する。この配置において、2倍高調波変換用結晶には常光線の基本波を入射し、2倍高調波出力は異常光線である。この直交2偏光を3倍高調波変換用結晶に入射して、異常光線の3倍高調波を発生さ

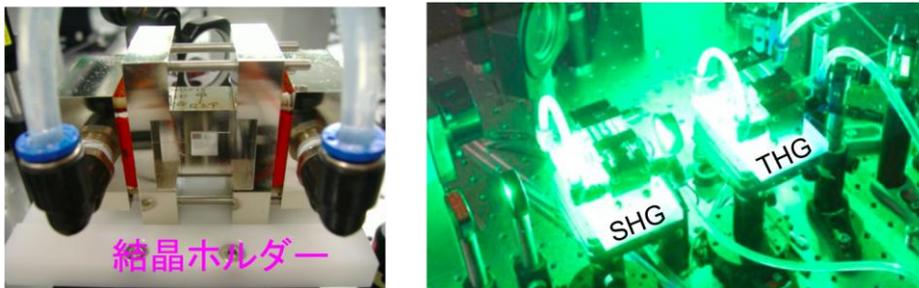
せる。3倍高調波変換では、基本波の光子1個と2倍高調波の光子1個から3倍高調波の光子1個が発生する。したがって、3倍高調波変換の効率を高くするには、基本波と2倍高調波のパワー比が1:2、すなわち2倍高調波変換効率としては約60%であることが理想的である。



図Ⅲ-2.11.1 波長変換結晶の構成と偏光の組み合わせ

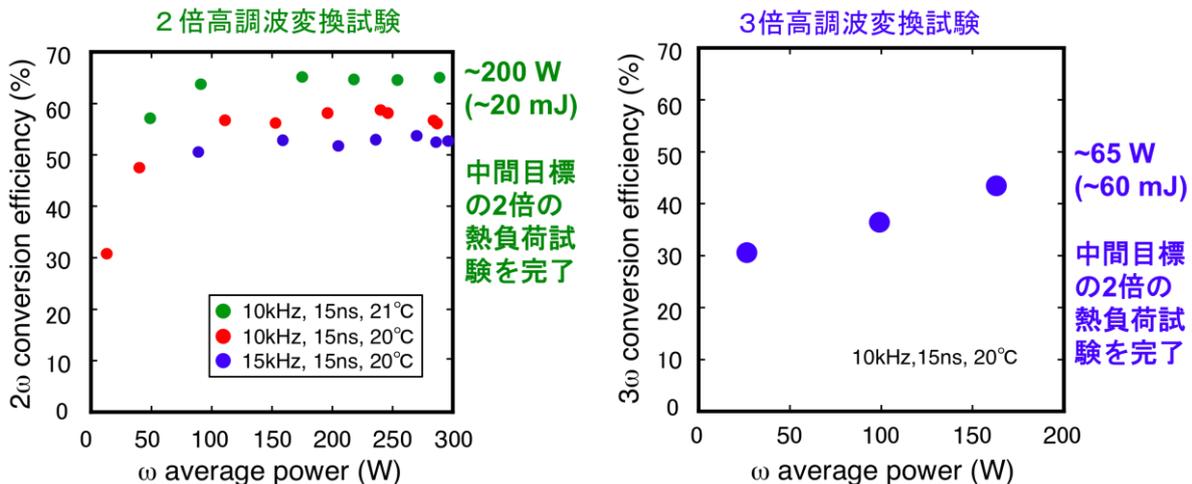
(2) 中間評価に比べて2倍の熱負荷での高効率波長変換試験

まず、予備試験を行い、その結果に基づいてより吸収の少ない結晶を選択するとともに、冷却構造の改良を行った。結晶ホルダーと冷却構造、及び波長変換の様子を図Ⅲ-2.11.2に示す。結晶は左右からペルチェ冷却し、2次冷却は水冷である。



図Ⅲ-2.11.2 結晶ホルダー(左)と波長変換の様子(右)

2倍高調波変換及び3倍高調波変換の試験結果を図Ⅲ-2.11.3に示す。2倍高調波変換においては、理想的な変換効率>60%を基本波入力300Wで実証し、中間目標(2倍高調波出力100W)の2倍の熱負荷試験を完了した。同様に3倍高調波変換を行い、これについても中間目標(3倍高調波出力30W)の2倍の熱負荷試験を完了した。これらの結果から、基本波入力500Wにおいて、各々の中間目標20%と6%の達成は確実であると結論できる。

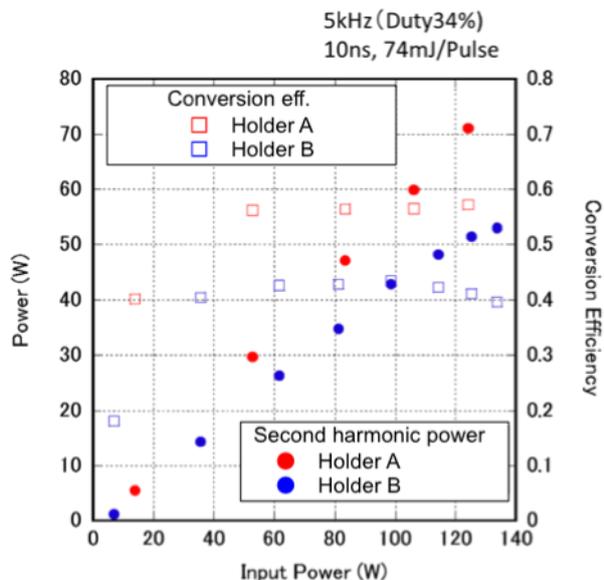


図Ⅲ-2.11.3 2倍高調波変換(左)及び3倍高調波変換(右)の試験結果

(3) 結晶配置の改良による温度勾配の発生を抑制

図Ⅲ-2.11.4に結晶ホルダの構造を示す。図Ⅲ-2.11.5に2倍高調波変換の結果を示す。改良前の結晶配置（ホルダ B）の場合は、変換効率が40%台にとどまっており、熱の影響により変換効率が低下していく（図中の●□プロット点）。一方、改良型結晶配置（ホルダ A）では、約60%の変換効率が観測されており、入力パワーの増加に伴う熱の影響がみられていない（図中の●□プロット点）。これらの結果から、結晶ホルダ内での結晶配置の最適化によって、発熱による変換効率の低下を抑制できることが分かった。

非公開



図Ⅲ-2.11.5 2倍高調波変換結果

図Ⅲ-2.11.4 改良型結晶ホルダ

(4) 新方式の2倍高調波変換

2倍高調波変換に関する新しい手法を試験した。図Ⅲ-2.11.6、7に結晶の概要と実際の結晶加工の設計例を示す。

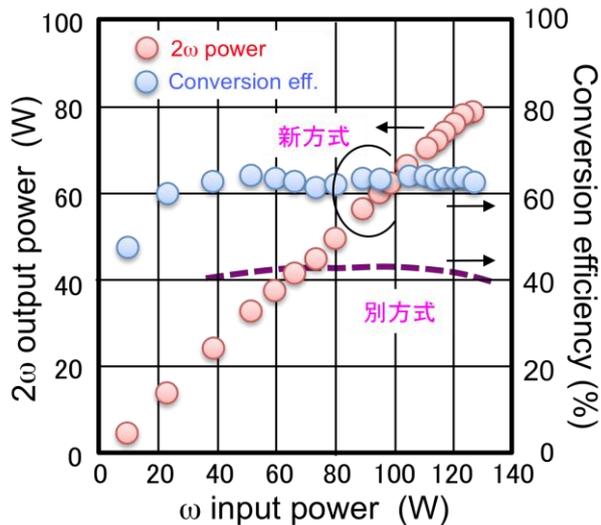
非公開

図Ⅲ-2.11.6 新方式の概念図

非公開

図Ⅲ-2.11.7 結晶加工の設計

非公開



図Ⅲ-2.11.9 新方式での波長変換の結果

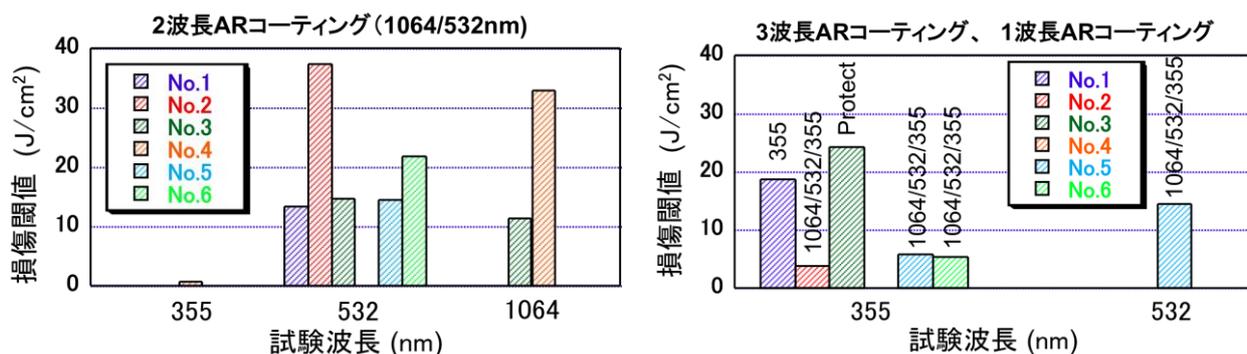
図Ⅲ-2.11.8 新方式波長変換の実験

図Ⅲ-2.11.8 に実験装置の写真を示す。図Ⅲ-2.11.9 に新方式の結晶を使って 2 倍高調波の発生を行った結果を示す。5kHz、10ns、120W 入力に対して、2 倍高調波 80W、変換効率 65%を達成した。

(5) 高レーザー耐力無反射コーティング膜の検討

LBO 結晶上に国内メーカー製の無反射コートを実施し、それらのレーザー損傷閾値をパルス幅 10ns の条件で測定した。その結果を図Ⅲ-2.11.10 に示す。2 倍高調波変換用結晶の無反射コーティング、ならびに 2 倍高調波変換用結晶の入射側については、同図左に示すように十分な耐力の 2 波長（1064nm/532nm）無反射コーティングが入射可能である。

一方、3 倍高調波変換用結晶の出射側の無反射コーティングについては、3 波長（1064nm/532nm/355nm）の無反射コーティングの損傷閾値は 5J/cm<sup>2</sup>程度であった。安全係数を 2 倍に仮定すると 250MW/cm<sup>2</sup> のビーム強度となり、最終的に必要なパワー密度ぎりぎりとなることから 3 波長のコーティングでは難しい。これに対して、355nm 単独でのコーティングでは、19J/cm<sup>2</sup> という耐力が得られており十分に使用できる。



図Ⅲ-2.11.10 無反射コーティングの損傷閾値. 左：2 波長（1064nm/532nm）、右：3 波長（1064nm/532nm/355nm）及び 1 波長（355nm）コーティング.

2.11.6 最終目標の達成の見通し

(1) 2 倍高調波変換効率

基本波 300W 入力に対して 60%以上の変換を達成しており、このときの 2 倍高調波出力は 200W である。したがって、1.5kW を偏光分離して 750W×2 ビームとした場合の 2 倍高調波出力は 300W であり、現在の冷却手法に格段の改善を必要としない。また、ごく最近の試験では、基本波 420W 入力時に 240W の 2 倍高調波出力（変換効率 57%）を得ており、2 倍高調波吸収による熱負荷が最終目標の条件と同程度まで高い変換効率を保持できることを確認している。したがって、現在の冷却手法と偏光合成技術の併用により最終目標を十分に達成できる。

(2) 3 倍高調波変換効率

基本波 160W 入力に対して 43%の変換を達成しており、このときの 3 倍高調波出力は 65W であるとともに、変換効率の低下は観測されていない。したがって、1.5kW を偏光

分離して  $750\text{W} \times 2$  ビームとした場合の 3 倍高調波出力は  $100\text{W}$  であり、現在の冷却手法に格段の改善を必要としないこと、及び 2 倍高調波の変換効率が最終目標よりも高くとれることが予測される。したがって、 $750\text{W} \times 2$  ビーム波長変換と偏光合成技術の併用により目標を十分に達成できると予測できる。

#### 2.11.7 知的財産権及び成果の普及

結晶冷却の構造や新方式のバウンス型光路の波長変換については、今後特許出願を検討する。これらの波長変換のノウハウについては、本プロジェクト内で必要に応じて共有するとともに、他の高平均出力波長変換が必要な分野でも大いに活用可能と期待される。

## 2.12 研究開発項目②「レーザー高品位化技術の研究開発」

### 「(3) 高出力波長変換技術の開発」

#### 「3) 加工試験のための整備」

(阪大レーザー研)

※CFRP 加工用レーザーの全体構成とその概要を「Ⅲ-6-1、2」頁に記載

### 2.12.1 事業の背景・意義（目的・概要）

kW 級レーザーの開発と併行して、市販レーザーよりも高出力の基本波、2倍、3倍高調波を CFRP の切断加工実験に供給し、加工速度見積もりと最適レーザー条件（パルス幅、波長等）の探索に資する。

### 2.12.2 研究開発目標と根拠

市販レーザーよりも高出力であることを基準とし、基本波 100W、2倍高調波 50W、3倍高調波 30W を供給する。

### 2.12.3 研究開発スケジュール

阪大レーザー研の現有 Nd:YAG レーザーに機能を付加し、平成 23 年度第 2 四半期からレーザー供給を開始し、年度内に基本波、2倍高調波、3倍高調波の供給体制を順次整備する。

### 2.12.4 研究開発目標と達成状況

これまでに以下のレーザーを CFRP の切断加工実験に供給した。

| 波長           | 目標   | 供給実績                  |
|--------------|------|-----------------------|
| 基本波（1064nm）  | 100W | 100W（20, 30kHz, 10ns） |
| 2倍高調波（532nm） | 50W  | 50W（30kHz, 5-10ns）    |
| 基本波+2倍高調波    | 100W | 100W（30kHz, 10ns）     |
| 3倍高調波（355nm） | 30W  | 50W（30kHz, 2ns）       |

### 2.12.5 成果の詳細

平均出力 50-100W、パルス幅<10ns のレーザーによる CFRP の切断加工の本格的実験を行うことによって、1.5kW レーザーによる加工速度評価が可能となった。また、CFRP 厚さの最終目標の 2 倍（6mm）もレーザー切断可能であること、炭酸ガスレーザーや CW ファイバーレーザーに比べて反応層が大幅に軽減できること、加工品質の最終目標（<100μm）が達成可能であることを実証するなど、本プロジェクトにおける CFRP 加工の最終目標達成への見通しを得ることができた。（詳細は、Ⅲ-15 参照。）

### 2.12.6 最終目標の達成の見通し

該当しない。

2.12.7 知的財産権及び成果の普及  
該当しない。

## 2.13 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」

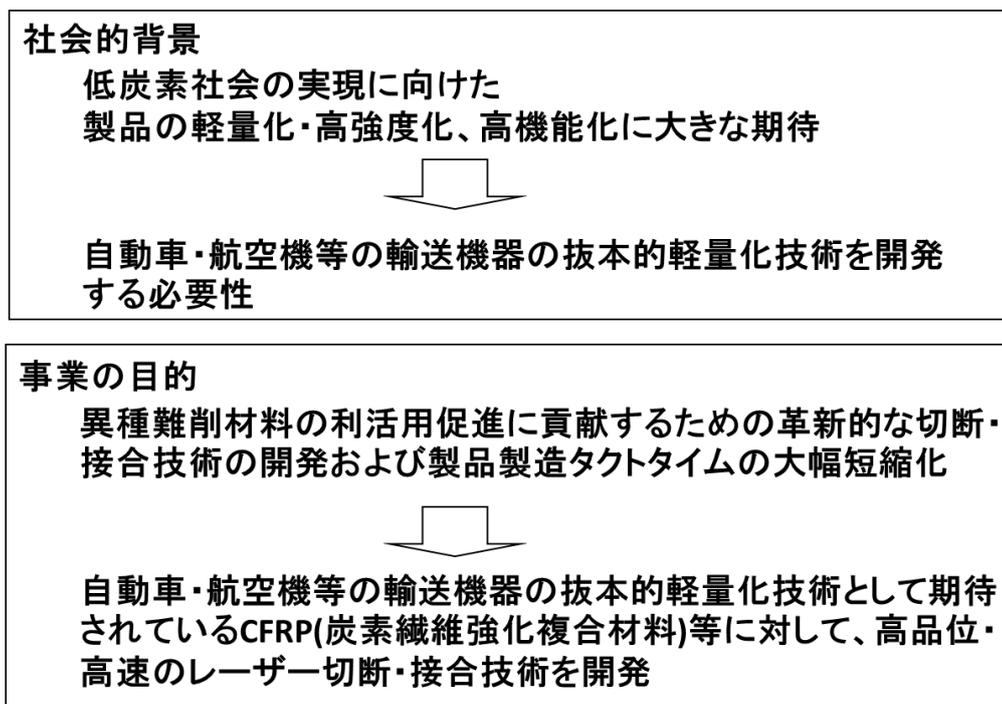
#### 「① 複合材料高速切断接合システム技術の開発」

(技術研究組合次世代レーザー加工技術研究所：ミヤチテクノス、新日本工機、三菱化学、産業技術総合研究所)

### 2.13.1 事業の背景・意義（目的・概要） (2.14.1 も含む)

本プロジェクトで開発するパルスファイバーレーザーの高出力化技術ならびに高品位化技術を実用的に有用な技術とするためには、加工機システムとして機能を統合させて最適化する必要がある。特に、先進材料の非接触、高品位、高速加工を実現することによって、従来手法では困難であった精密加工のブレークスルー技術として実用に耐える次世代レーザー加工技術を確立する。CFRP(炭素繊維強化複合材料)等の複合材料は、自動車・航空機等の輸送機器の抜本的軽量化技術として期待されている。しかしながら、異種難削材であることから、革新的な製造技術として高精度な切断・接合技術の開発が要望されており、さらに製品製造タクトタイムの大幅短縮化が喫緊の課題である。

本研究開発項目では、CFRPに代表される複合材料に対して自動車・航空機用途の基材を検討対象とし、高品位・高速のレーザー切断接合技術を開発する。具体的には、中型・小型部材を加工するための高速掃引リモート加工ヘッドの開発、自動車のフードやルーフ等の大型部材の加工を行う高速高精度制御加工ノズルの開発、ならびに、プロセス・評価技術の研究開発を行う。以上の研究開発から、低炭素社会の実現に向けた製品の軽量化・高強度化、高機能化に大きな期待が寄せられている先進材料の利活用促進に貢献する。特に、先進材料の非接触、高品位、高速加工を実現することによって、従来手法では困難であった精密加工のブレークスルー技術として実用に耐える次世代レーザー加工技術を確立する（スキームⅢ-2.13.1）。



スキームⅢ-2.13.1 事業の背景・意義・目的・概要

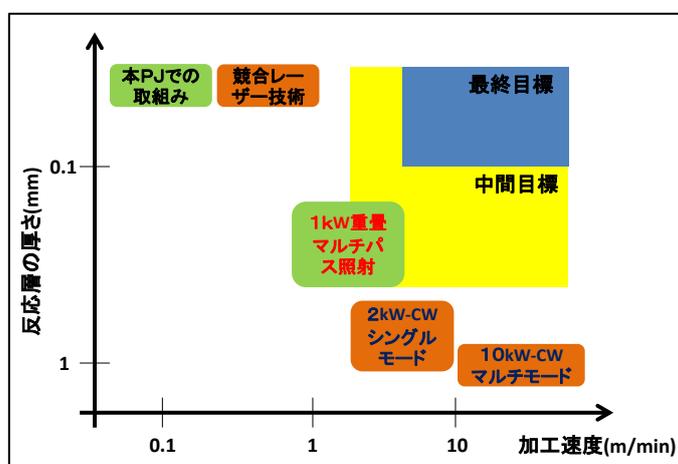
### 2.13.2 研究開発目標と根拠 (2.14.2 も含む)

本研究開発項目は、技術研究組合 次世代レーザー加工技術研究所(ALPROT)に所属する4組織によって実施され、研究開発を効果的に促進するために他の参画組織と連携して研究を行っている。研究項目の担当組織分担内容を以下に示す。また、研究開発目標と設定根拠については、ユーザーにとって魅力的な開発内容とすることに留意している(表Ⅲ-2.13.1、図Ⅲ-2.13.1)。

- | 研 究 項 目                           | (担 当 組 織)  |
|-----------------------------------|------------|
| 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                 | (ミヤチテクノス)  |
| ・高速高精度制御加工ノズルの開発                  | (新日本工機)    |
| 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              | (4組織の合同)   |
| ・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 | (三菱化学、産総研) |

表Ⅲ-2.13.1 研究開発目標と根拠

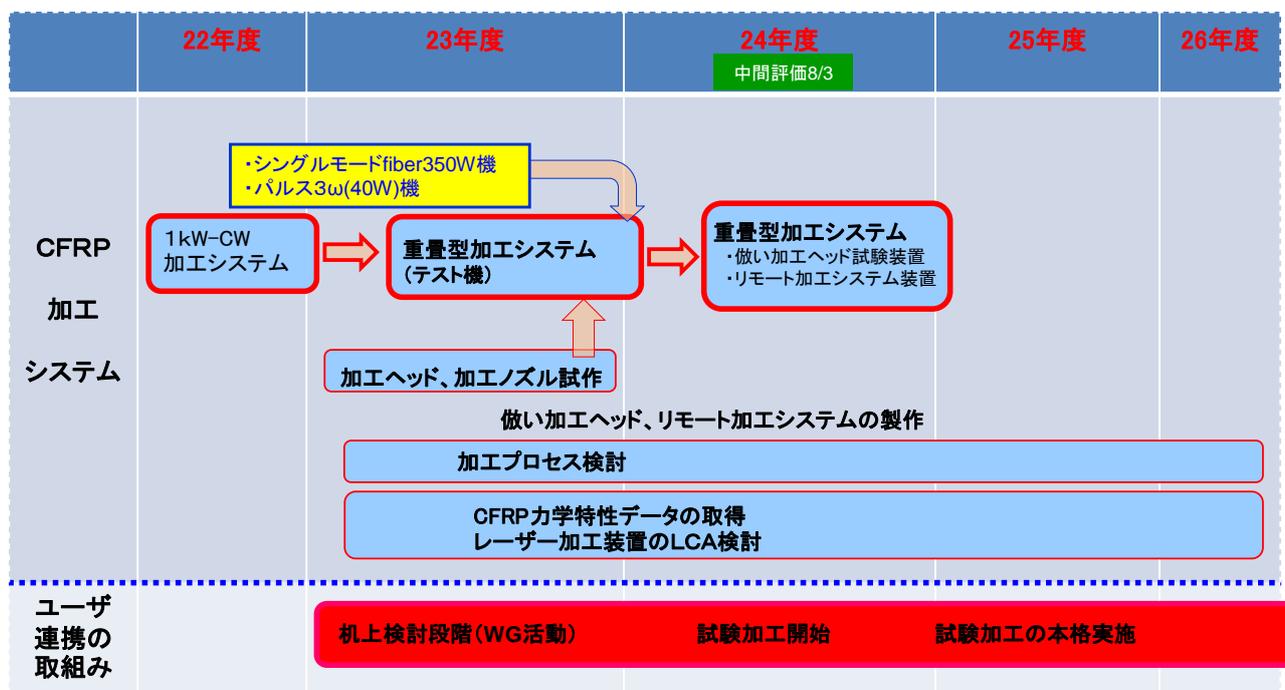
| 項目       | 最終目標  | 設定根拠   | 中間目標  | 設定根拠   |
|----------|---|--|---|--|
| 加工速度     | 6 m/min以上                                   | 自動車製造時におけるフードやルーフ等の大型部材の加工を <b>タクトタイム1分以内</b> に完了させるため                   | 2 m/min以上                                   | 開発するレーザー技術の適否判断材料として最終目標の1/3を設定                    |
| 加工品位(切断) | 反応層の厚み:<br>100 μm以下<br>引張強度:<br>10%未満の低減に抑制 | 加工時に発生する部材の熱損傷を定量的に評価するために設定、機械加工と比較した場合の加工時劣化を1割以内に抑制する(ユーザー企業からのリクエスト) | 反応層の厚み:<br>500 μm以下<br>引張強度:<br>15%未満の低減に抑制 | 開発するレーザー技術の適否判断材料として最終目標の500%(反応層厚み)、150%(引張強度)を設定 |
| 加工品位(接合) | CFRPと金属板との接合において、凝集剥離で引張せん断強度100 MPa以上      | 実用的に求められている当該部材の接合強度の最高値を設定  | 引張せん断強度50 MPa以上(凝集剥離)                       | 開発するレーザー技術の適否判断材料として最終目標の1/2を設定                    |



図Ⅲ-2.13.1 CFRP 切断における所要スペック概要

### 2.13.3 研究開発スケジュール (2.14.3 も含む)

研究開発目標を達成するには、高出力レーザー装置に適用可能な照射システム技術ならびに加工プロセス・評価技術を構築することが重要である。さらに、波長  $1\omega + 3\omega$  および  $1\omega + 2\omega$  を対象とする2波長重畳技術の開発が高品位・高速加工の鍵技術になると考えている。したがって、光源開発と連携し、照射システム技術および加工プロセス・評価技術を並行して研究を行い、各々知見をフィードバックさせる。平成23年度末までに重畳型加工システム(テスト機)を完成させ、平成24年度に機能を更新させる。テスト機用の光源として、プロジェクト開発品のシングルモードファイバーレーザー機およびパルス  $3\omega$  レーザー機を導入している。本研究開発における特徴的な取組みとして、プロジェクト実施期間内におけるユーザー連携が挙げられる。一般にユーザー連携はプロジェクト終了後に実用化・事業化段階で行われることが過去多かったが、平成23年度から机上検討(委員会・ワーキング活動)を中心とするユーザー連携を既に実施している。平成24年度からは試験加工を実施することを計画しており、現在準備を進めている(図III-2.13.2)。



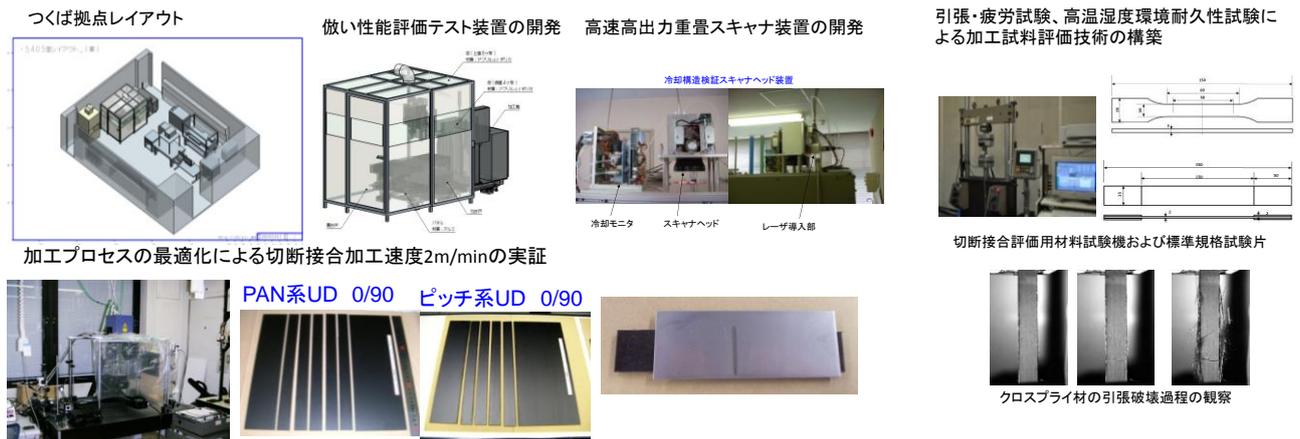
表III-2.13.2 開発スケジュール

## 2.13.4 研究開発目標の達成状況 (2.14.4 も含む)

図Ⅲ-2.13.2には「③-(1)切断接合技術の開発」における研究開発目標と達成状況を示す。現時点において、中間目標について一部達成、または、平成24年度末までに全て達成見込みの予定である。今年度中に達成見込みとなっている項目については、加工システムが現在も構築中であるために、性能向上を図りながら並行して検討を行っていることから現時点では未達状態となっている。

◎ 大幅達成、○達成、△達成見込み、×未達

| 研究開発項目       | 評価項目と目標値 | 目標値      |          | 成果<br>CFRP系          | 成果<br>CFRTP系       | 達成度<br>CFRT系、CFRTP系  |
|--------------|----------|----------|----------|----------------------|--------------------|----------------------|
|              |          | 中間目標     | 最終目標     |                      |                    |                      |
| 1) 切断加工技術の開発 | 切断加工速度   | 2m/min以上 | 6m/min   | 1.5m/min<br>(1kW-CW) | 2m/min<br>(1kW-CW) | △、○<br>(H24年12月達成予定) |
|              | 反応層厚み    | 500μ m以下 | 100μ m以下 | 350μ m以下             | 300μ m以下           | ○、○                  |
|              | 引張強度     | 15%未満の低減 | 10%未満の低減 | 10%未満                | 20%未満              | ◎、△<br>(H24年12月達成予定) |
| 2) 接合加工技術の開発 | 接合加工速度   | 2m/min以上 | 6m/min   | 要素技術見<br>極め          | 要素技術見<br>極め        | △、△<br>(H25年2月達成予定)  |
|              | 引張せん断強度  | 50MPa    | 100MPa   | 見通しあり                | 見通しあり              | △、△<br>(H25年2月達成予定)  |

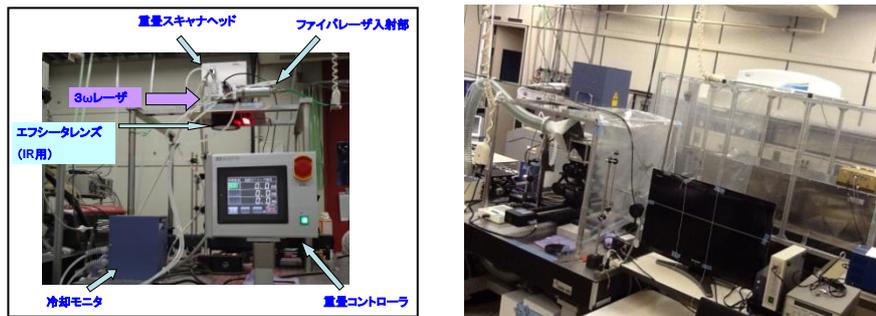


図Ⅲ-2.13.2 研究開発目標と達成状況

## 2.13.5 成果の詳細

### ○高速掃引リモート加工ヘッドの開発（ALPROT：ミヤチテクノス株式会社）

複合レーザー照射によるリモート加工が可能な複合レーザー加工ヘッドの開発を目的として、高品位・高速加工を実現する複合レーザー照射によるリモート加工可能な複合レーザー加工ヘッド（スキャナー光学系）の設計を行い、基本波＋第三高調波、ならびに、基本波＋第二高調波を複合させる高速高出力重畳型スキャナ装置を製作した。基本波＋第三高調波については、冷却構造を最適化した。（図Ⅲ-2.13.3）。



図Ⅲ-2.13.3 高速掃引リモート加工ヘッドの開発

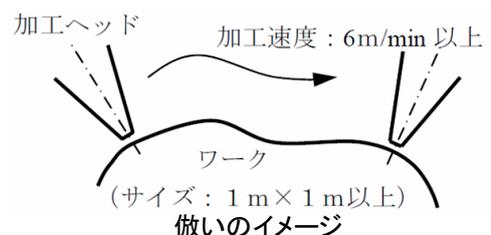
### ○高速高精度制御加工ノズルの開発（ALPROT：新日本工機株式会社）

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するための基礎テストを実施した。並行して倣い性能を評価するテスト装置の開発を進め、平成23年度末に産総研内のつくば拠点に設置した。テスト結果を反映させた高速高精度制御の倣い加工ヘッドの設計・製作を現在行っており、可動部の軽量化と高剛性化を行った倣い加工ヘッドを用いた加工テストを平成24年度内に実施する。テスト機の外観図Ⅲ-2.13.5に、図Ⅲ-2.13.6に倣いのイメージを示す。（※高速倣い技術：ワークと加工ノズルのギャップを一定に保つ技術）

光学式センサーの単体評価テストを進めながら、CFRP切断中に発生するブルームと、これが光学式倣いセンサーに及ぼす影響等を調査した。現状、CFRP切断中に発生するブルームの強さが、光学式倣いセンサーの性能に大きく影響することが判明した。倣いセンサーとして、光学式センサー、他の方式のセンサー、または、他の制御方法についてその適否を鋭意検討中である（図Ⅲ-2.13.7）。



図Ⅲ-2.13.5 テスト機の外観



図Ⅲ-2.13.6 倣いのイメージ

| ハズ数 | ME-30 | 測定値 (mm)                               | MP-27 | No. 1                                 | No. 5 | No. 9                                 |  |                                      |  |                                      |
|-----|-------|--|-------|---------------------------------------|-------|---------------------------------------|--|--------------------------------------|--|--------------------------------------|
| 1   |       | X=26.6<br>X'=45.3<br>Y=45.3<br>Y'***   |       | X=4.8<br>X'=15.5<br>Y=2.6<br>Y'=20.7  |       | X=5.9<br>X'=14.6<br>Y=15.4<br>Y'=27.3 |  | X=3.8<br>X'=15.1<br>Y=3.3<br>Y'=33.3 |  | X=4.4<br>X'=18.4<br>Y=3.9<br>Y'=32.7 |
| 5   |       | X=14.5<br>X'=49.2<br>Y=29.3<br>Y'***   |       | X=6.4<br>X'=11.8<br>Y=2.8<br>Y'=19.4  |       | X=4.8<br>X'=12.2<br>Y=2.8<br>Y'=13.0  |  | X=4.4<br>X'=10.7<br>Y=1.3<br>Y'=13.0 |  | X=3.8<br>X'=8.9<br>Y=1.0<br>Y'=12.7  |
| 10  |       | X=8.7<br>X'=38.3<br>Y=21.3<br>Y'***    |       | X=6.1<br>X'=10.6<br>Y=11.0<br>Y'=17.9 |       | X=4.9<br>X'=13.4<br>Y=3.7<br>Y'=18.4  |  | X=3.5<br>X'=8.4<br>Y=0.6<br>Y'=10.3  |  | X=3.5<br>X'=7.3<br>Y=0.9<br>Y'=10.7  |
| 15  |       | X=11.4<br>X'=45.7<br>Y=22.9<br>Y'***   |       | X=6.4<br>X'=11.3<br>Y=13.9<br>Y'=19.7 |       | X=5.9<br>X'=17.6<br>Y=1.3<br>Y'=15.1  |  | X=3.5<br>X'=8.6<br>Y=0.6<br>Y'=10.6  |  | X=3.7<br>X'=8.3<br>Y=0.7<br>Y'=14.2  |
| 20  |       | X=9.0<br>X'=42.2<br>Y=16.2<br>Y'=46.6  |       | X=8.8<br>X'=11.3<br>Y=14.4<br>Y'=23.3 |       | X=4.5<br>X'=12.5<br>Y=2.9<br>Y'=14.6  |  | X=3.8<br>X'=8.4<br>Y=0.8<br>Y'=13.2  |  | X=3.9<br>X'=11.5<br>Y=0.8<br>Y'=17.4 |
| 25  |       | X=14.3<br>X'=45.8<br>Y=20.3<br>Y'=46.7 |       | X=6.4<br>X'=10.1<br>Y=14.6<br>Y'=17.3 |       | X=6.7<br>X'=10.1<br>Y=9.8<br>Y'=16.5  |  | X=3.4<br>X'=10.3<br>Y=0.8<br>Y'=15.4 |  | X=3.2<br>X'=13.2<br>Y=0.4<br>Y'=19.8 |
| 30  |       | X=18.1<br>X'=49.4<br>Y=17.9<br>Y'=41.3 |       | X=4.4<br>X'=9.1<br>Y=10.0<br>Y'=12.0  |       | X=8.1<br>X'=13.9<br>Y=1.1<br>Y'=19.1  |  | X=3.5<br>X'=18.0<br>Y=0.9<br>Y'=22.2 |  | X=4.7<br>X'=18.9<br>Y=0.5<br>Y'=29.0 |

図Ⅲ-2. 13. 7 CFRP 切断中に発生するブルーム形状観察

## 2. 13. 6 最終目標の達成の見通し

2. 14. 6 にまとめて記載。

## 2. 13. 7 知的財産権及び成果の普及

2. 14. 7 にまとめて記載。

## 2.14 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」

「② 複合材料加工プロセス・評価技術の開発」

(技術研究組合次世代レーザー加工技術研究所：ミヤチテクノス、新日本工機、三菱化学、産業技術総合研究所)

### 2.14.1 事業の背景・意義 (目的・概要)

2.13.1 にまとめて記載。

### 2.14.2 研究開発目標と根拠

2.13.2 にまとめて記載。

### 2.14.3 研究開発スケジュール

2.13.3 にまとめて記載。

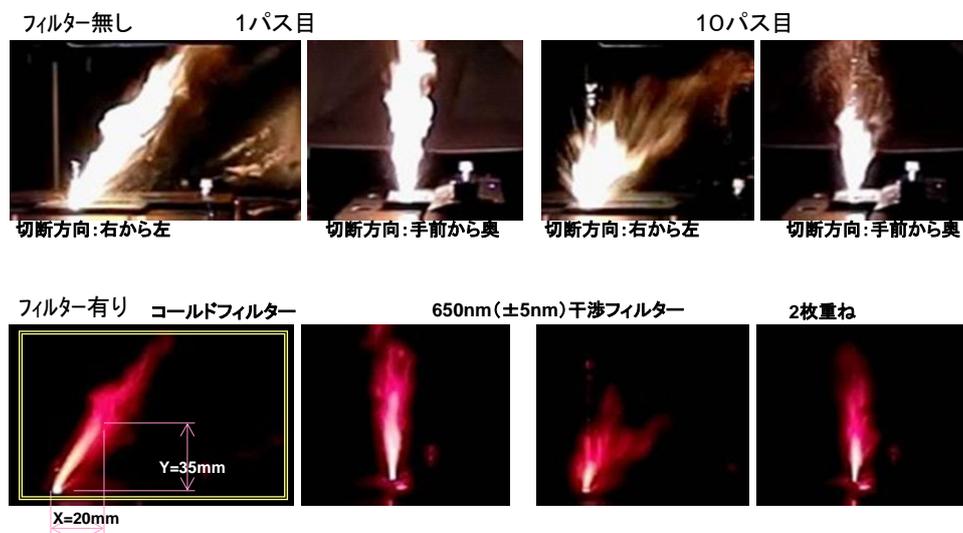
### 2.14.4 研究開発目標と達成状況

2.13.4 にまとめて記載。

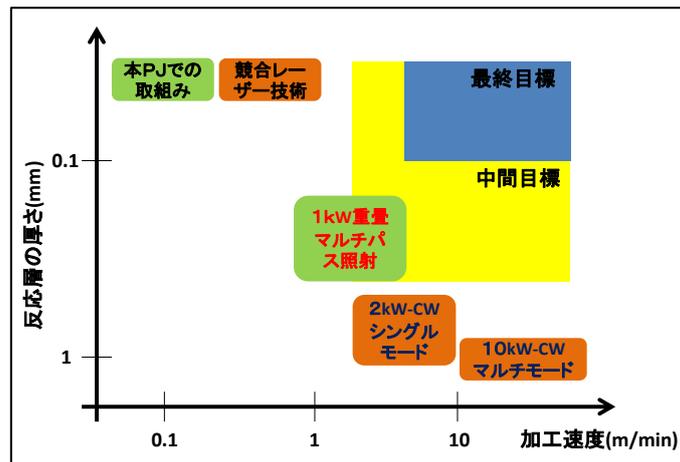
### 2.14.5 成果の詳細

○多波長複合レーザー加工プロセスの最適化 (ALPROT：ミヤチテクノス、新日本工機、三菱化学、産業技術総合研究所)

最先端の各種 CFRP 材を入手し、1kW 級加工システム試験機等を用いて CFRP 切断実験をつくば拠点にて実施した。加工プロセスにおける制御因子の抽出ならびにレーザーの諸特性 (波長、出力等) を変えたレーザー切断加工の比較対照試験を行った。具体的には、加工点のリアルタイム画像を高速ビデオカメラによって観測し、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ならびに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確立した。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検討を進めている。

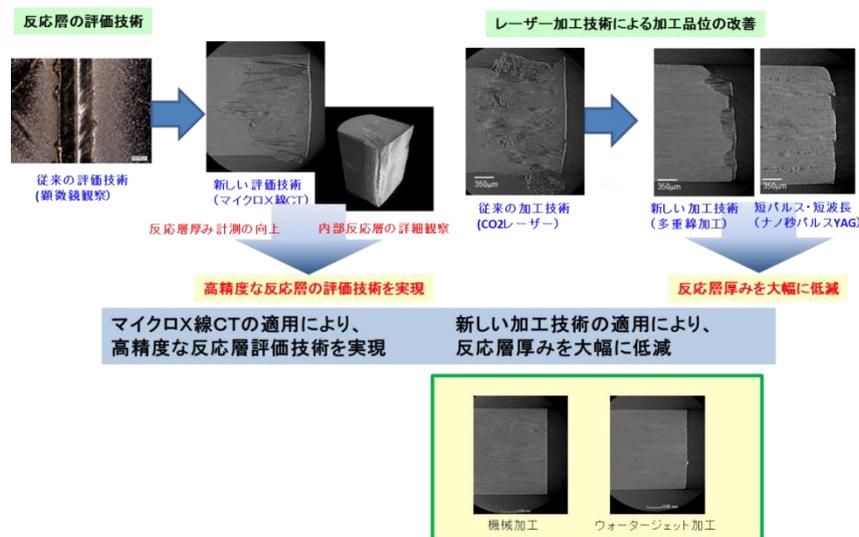


図III-2.14.1 加工点のリアルタイム画像 (高速ビデオカメラ観測)



図Ⅲ-2.14.2 高出力パルス光源での加工試験の結果概要

CFRP のレーザー切断加工試料の加工品位評価において、主な課題はレーザー切断時の反応層厚みの高精度な測定評価技術である。従来の測定評価では、光学顕微鏡や走査型電子顕微鏡による表面反応層の観察や研磨を施した後の断面観察手法であるが、表面反応層の観察では内部構造を観察できないこと、研磨による断面観察では反応層の樹脂や繊維が欠落するなど問題があった。これらを解決するため、非破壊検査手法である高分解能マイクロX線CTを適用した(図Ⅲ-2.14.3)。マイクロX線CTでは反応層がコントラストの違いによって観察できる。また、どの方位層で反応層が大きいかなど高精度な反応層の評価技術を実現した。また、開発段階にあるレーザー切断加工技術では、従来の炭酸ガスレーザー等による加工よりも反応層厚みを大幅に低減することが可能となった。例えば、クロスプライ材の1kW<sub>CW</sub>ファイバーレーザーによる多重線加工では最大350 $\mu$ m、ナノ秒パルスYAGレーザーでは最大150 $\mu$ mとなり、中間目標(反応層厚み:500 $\mu$ m以下)を達成した。また、ナノ秒の短パルス効果、2倍高調波(2 $\omega$ )や基本波と2倍高調波の複合照射による波長効果によってその領域がさらに小さくなる見通しを得た。なお、図中に示した従来加工法である機械加工やウォータージェット加工法により切断した試料の加工断面には、反応層は全く観察されないが、加工速度が0.1~0.35m/minと遅い。今後は開発レーザーによる加工技術、短パルス・短波長効果を系統的に調べ、加工品位と加工速度との両立を目指して最終目標を達成する。



図Ⅲ-2.14.3 CFRP のレーザー切断加工評価技術の概要

○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 (ALPROT：三菱化学、産業技術総合研究所)

CFRP のレーザー切断加工試料評価技術において、主な課題はレーザー切断後の試験片による最適な強度評価技術である。レーザー切断後の試験片では、切断面の加工品位が力学特性に影響を与えることが予測される。また、CFRP が自動車等に使用される場合、エンジンルーム内の温度は 70-120°C に達し、湿度も 80-95% にもなる (参照：自動車エレクトロニクスと信頼性 電子材料(1979)) ため、使用環境が力学特性に影響を与えることが予測される。これらを解決するため、波長、出力、加工速度等を変えたレーザー加工試験片を用いて引張試験・疲労試験・環境試験を行い、その強度評価及び破壊解析を実施した (図 III-2.14.4)。なお、引張・疲労試験は JIS K7164 (ASTM-D3039)、JIS K7083 (ASTM-D3479) 等の標準規格に準拠した。1kW\_CW ファイバーレーザーやナノ秒パルス YAG レーザーを用いて多重線加工を行った CFRP 材料では、参照強度 (機械加工後の試験片の引張強度) に対して、中間目標値 (参照強度に対して 15% 未満の強度低下の抑制) を上回る引張強度の実現に成功した (図 III-2.14.5)。一方、CFRTP 系試料では現在参照強度に対して 80% 程度の強度であるが、QCW ファイバーレーザー (ミリ秒パルス) 加工試料では約 93% の強度を実現しており、切断要素技術の見極めができています。また、レーザー加工試験片の反応層厚さは繊維配向によって異なること、樹脂相に耐熱樹脂 (融点 250°C) を用いて反応層を軽減でき、その引張強度の低下を抑制 (反応層は非耐熱樹脂を用いた CFRP よりも 10% 軽減、引張強度は参照強度に対して約 5% 低下に抑制) できることが明らかになっている。今後は、本プロジェクトで開発するレーザー・加工技術を用いて CFRP を加工し、引張・疲労、環境等の強度評価を系統的に行い、強度評価手法を確立するとともに、繊維配向や樹脂相の組み合わせ等による CFRP 材料の構造最適化を行い、最終目標 (参照強度に対して 10% 未満の強度低下の抑制) を達成する見込みである。

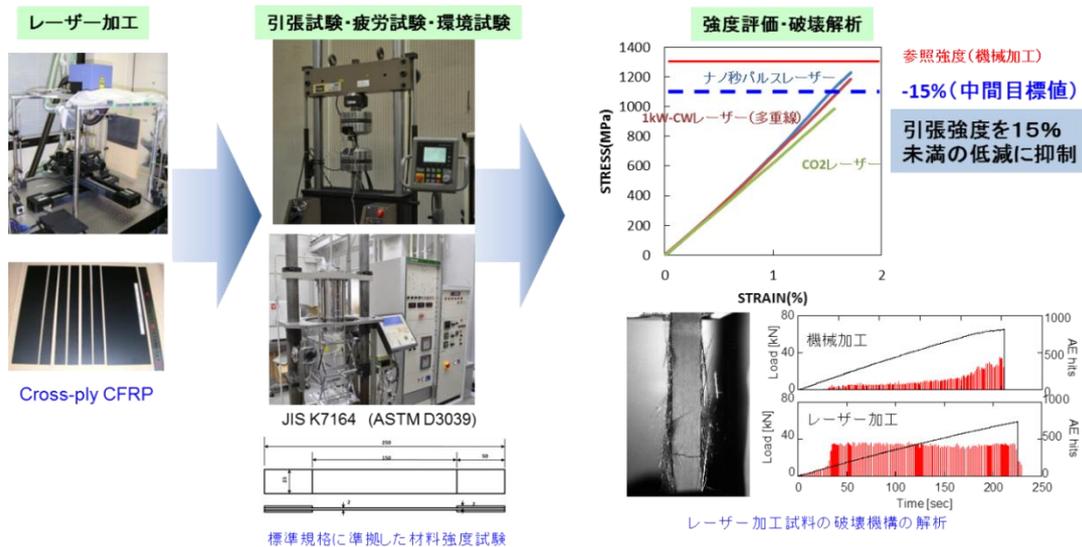
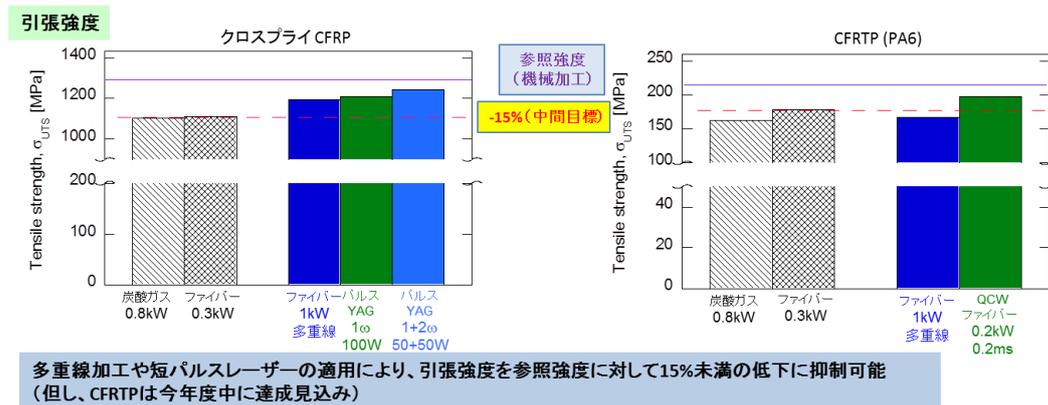
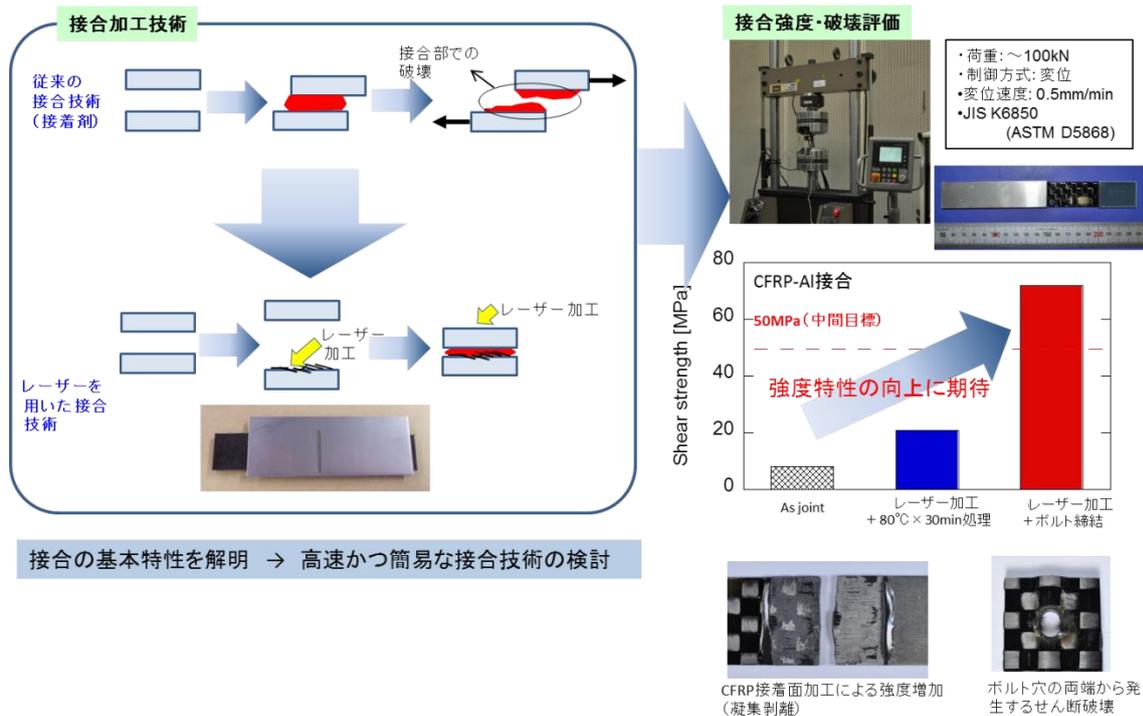


図 III-2.14.4 CFRP のレーザー切断加工試料評価技術の概要



図III-2.14.5 各種CFRP材の引張強度

図III-2.14.6にはCFRPと金属のレーザー接合加工評価技術の開発における概要と現状の成果を示す。開発レーザーによる接合加工技術が一定の成果を上げてからでないとは詳細な検討はできないが、紫外パルスレーザーを用いて表面加工を行い、接合に関する基本特性を調べた。従来の異材接合技術では、接着剤やボルト締結を用いる方法が一般的である。しかし、この方法では接合部の強度は接着剤やボルトに依存する。実際に汎用自動車用接着剤を用いてCFRP-アルミニウム合金(A6061)接合材を作製し引張試験を行ったところ、引張せん断強度は約10MPaであった(試験方法はJIS K6850(ASM-D5868)に準拠)。そこで本開発では、レーザー加工を適用した新しい接合技術を検討している。図に示すようにCFRPの接合面にレーザー照射により樹脂を昇華させ接着し加熱を行う。これによって、アンカー効果(接着層と繊維の絡み)及び接合部の一体化により母材を超えるせん断強度の上昇が期待される。実際、レーザーによる表面改質を行ったCFRPにアルミニウム合金を接着し引張せん断強度を測定した結果、約21MPaに上昇した。また、他の方法としてボルト締結による検討を行った。従来、ボルト締結による穴あけ加工は超硬ドリルによる手法があるが、加工に時間を要したり、円孔周りに容易にバリが発生し加工品位に問題がある。そこで、レーザーによる高速穴あけ加工を適用し、ボルト締結後の引張せん断強度を評価したところ、CFRP材からせん断破壊したときのせん断強度が約71MPaとなり中間目標を上回る成果を得ている。今後は、開発レーザーを用いたアンカー効果及び接合部の一体化の効果を用いた接合技術の開発を重点的に行い、接合の基本特性を解明するとともに、CFRPと金属との異材接合に関する高速かつ簡易な接合技術の開発をする方針である。



図III-2. 14. 6 CFRP と金属のレーザー接合加工試料評価技術開発概要

## 2. 14. 6 最終目標と達成の見通し

2. 13 項と 2. 14 項で示した現時点における成果と目標達成に向けて検討した内容を基に、最終目標の達成の見通しについて表III-2. 14. 1 にまとめた。切断加工技術においては、波長、パルス幅と熱損傷の関係が明確になりつつある。また、接合加工技術においては、CFRP の接合面を表面改質する等による要素技術の見極めができており、最終目標は十分に達成可能である。

表III-2. 14. 1 最終目標と達成の見通し

| 研究項目                  | 評価目標と成果           |                        |                                 | 最終目標の達成見通し  |
|-----------------------|-------------------|------------------------|---------------------------------|---|
|                       | 評価項目              | 最終目標                   | 成果(現時点)                         |   |
| 5.1.4多波長複合照射加工技術開発    | 切断加工速度            | 6m/min                 | 1.5m/min(CFRP)<br>2m/min(CFRTP) | (課題とその対応)   |
|                       | 反応層厚み             | 100 μm                 | 350 μm(CFRP)<br>300 μm(CFRTP)   |   |
| 1)複合材料高速切断接合システム技術の開発 | 引張強度              | 10%未満の低減<br>(参照強度に対して) | 10%未満(CFRP)<br>20%未満(CFRTP)     | 順調に開発は進んでいる。波長、パルス幅と熱損傷の関係が明確になりつつあり、最終目標は十分達成可能。 |
| 2)複合材料加工プロセス・評価技術の開発  | 切断加工速度<br>引張せん断強度 | 6m/min<br>100MPa       | 要素技術見極め中<br>見通しあり               |   |

#### 2.14.7 知的財産権及び成果の普及

現時点における知的財産権出願状況、及び、対外発表等の成果の普及について表Ⅲ-2.14.2に示す。対外発表等の成果の普及については今後も積極的な情報発信を行っていくが、特許出願にかんしても平成24年度中にさらに3件出願する予定で作業を進めている。

表Ⅲ-2.14.2 知的財産権及び成果の普及

|              | 22年度 | 23年度 | 24年度 | 計     |
|--------------|------|------|------|-------|
| 特許出願(うち外国出願) | 0    | 0    | 1(0) | 1(0)件 |
| 論文(査読付き)     | 0(0) | 5(3) | 3(3) | 8(6)件 |
| 研究発表・講演      | 1    | 13   | 5    | 17件   |
| 受賞実績         | 0    | 0    | 0    | 0件    |
| 新聞・雑誌等への掲載   | 0    | 0    | 0    | 0件    |
| 展示会への出展      | 0    | 1    | 1    | 2件    |

※ : 平成24年度7月31日現在

## 2.15 研究開発項目③ 「多波長複合加工技術の開発」

### 「(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型の開発」

(株式会社アルバック)

### 2.15.1 事業の背景・意義（目的・概要）

有機 EL ディスプレイ、液晶ディスプレイに代表される、フラットパネルディスプレイ（以下 FPD）産業は、日本が世界に誇る産業基盤の一つである。次世代の高品位、省エネルギー、高画質 FPD の達成のために低温ポリシリコン(LTPS) 工程が使われると考えられている。高安定性、長寿命の特長を持つ大出力レーザーを用いることにより、安定化多結晶処理を施す事で、次世代 FPD の課題を達成できると期待される。本研究開発では、高品位なレーザー加工による表面処理技術を開発する目的で、均一化ビーム成型に必要な高度ホモジナイズワイドビーム成型について説明する。

#### 高度ホモジナイズと集光特性

LTPS で用いられるレーザー光は、互いに相いれない性質をビームに求める事になる。一つはビーム品質を維持した事による集光性能であり、他方は均一な照射分布を必要とする加工から見た照射均一性への要請である。集光性能について触れておきたい。現在、LTPS 工程では、多くはガスレーザーが用いられている。これは歴史的に固体レーザーが産業応用を確実のものと出来なかった事に起因するだろう。また、小規模であるが、固体レーザーを用いた LTPS も研究されており、パネル点灯試作なども行われている。この事例は、比較的見通しの良い物理諸量を与える。具体的には、量産ライン現場で求められるビーム仕様、コスト、タクト、メンテナンス性等である。従って、これらの知見から、グリーンレーザー光を用いた場合の多結晶化に必要なエネルギー密度がわかる。集光幅は表面改質に必要なエネルギー密度を確保しつつ、加工物(薄膜)の破壊を引き起こさない領域となる。パルス動作するビームを用いる場合、時間的なピークパワーの最大値と空間的な最大強度位置が生じる空間 - 時間タイミングにおいて、レーザー照射対象物は数桁に渡るエネルギー照射強度の変化を経験する。この急峻なエネルギー変化によって、吸収 - 溶解 - (冷却) - 凝固(多結晶成長)へと導かれる。薄膜破壊を生じない領域で過冷却状態を効率よく実現する必要性から、レーザー光のエネルギー密度、パルス幅、ビーム品質が与えられるのである。現在開発中の大出力グリーンパルスレーザーの仕様決定に展開される。

量産性能を有する装置では、その装置構成から要請されるワーキングディスタンス(W.D)を備えなければならない。そこで、ワイドビームの最終集光レンズは W.D=300 mm 以上を設計した。

照射ワイドビームの均一性について触れる。当然ながら、ビームの集光性能はコヒーレント性で示される。集光性能が高いビーム品質では到達集光径が回折限界まで達する。しかしそのビーム品質の為に、干渉性を高く有する事になる。均一照射を必要とするワイドビーム成型では、ビームの干渉性が高い場合に、干渉縞の抑制が難しくなる。ビーム干渉を強く生じた場合、加工対象物の表面には、干渉縞のパターンがは

つきりと記憶されることになり、品質劣化を生じる結果となる。この干渉縞は膜面のモフォロジーとして特に影響を及ぼす事になる。具体的には多結晶化膜の表面電位の違いによる TFT 特性のばらつきに影響することが近年、明らかにされつつある。ワイドビームの均一性には単なるレーザー光の照射均一性に留まらず、結晶化膜の結晶粒径と粒界の程度、表面突起などの多くの要素が含まれる。当然、膜構成依存も多く存在することは言うまでも無い。多くのパラメーターが存在するが、膜の多結晶化を施すエネルギードライバーとしてのワイドビームには、高い照射均一性が求められると考えられる。従って、レーザー発振器と共に外部に配置した光学系を駆使して、均一ワイドビームを実現することになる。ここで言う、均一化技術は大きく 2 つの要件が要求される。一つはエネルギーロスが少ないこと。少なくとも所望の LTPS に必要なエネルギー密度が確保されなければならない。もう一つは均一化方向にコヒーレント性を下げて干渉性を抑制することである。

固体レーザーを用いた LTPS では、加工尤度の観点、及び適正レーザー波長の選択から、波長変換の技術による第 2 高調波への変換が必要となる。その変換効率を高めてエネルギーの有効活用が求められる。波長変換技術に関する沢山の知見から、波長変換結晶内に入射する基本波ビームのコヒーレント性が高いことが最も良い条件となる事が判っている。合わせて、入射パルス時間幅の短いこと、ビーム内の偏光が直線偏光であること等が求められる。これらの条件は、レーザーエネルギー有効活用の観点で優位性を示すが、LTPS で求められるような加工品質の均一性が重要になる用途ではむしろ不利となる。加工の均一性とビーム品質は、トレードオフの関係であると言える。コヒーレント性を制御して集光性能を確保したビームエネルギーを生成する技術と、照射均一性の達成に必要な干渉縞の影響を抑制することが重要な開発課題となる。よって高度なホモジナイズ技術の確立が避けられないのである。

均一化ワイドビームの生成に関する従来技術の代表として、透過型グレーティングを用いた構成や、フライアイと呼ばれる多眼レンズによるビームレットへの分岐技術が知られている。これらの前例は、コヒーレント性の比較的低い光源種に対して応用される場合や、ホモジナイズ作用によるエネルギーロスがあまり気にならない微小加工用途に限定されている。更に付け加えるならば同一箇所加工が複数回のパルスエネルギー照射で成立するプロセスであるが故に採用される技術である。特に加工材料側の溶融後の凝集過程における緩和効果が十分に期待できる場合に採用となる。LTPS で採用される第 2 高調波レーザーの表面改質は、パルス毎の多結晶化過程であるので、材料溶融時の照射パターンそのものが履歴として残る。一例として、照射パターン内に不均一分布がある場合の多結晶化後の膜面内を詳細に観察すると、結晶化率の違いが加工領域内に点在し、膜面内に作製された TFT の諸特性がバラつくことが確認されている。このバラつきによって加工品質が悪い状態であると判断される。

以上のように、グリーンレーザーを用いた LTPS は長寿命と言う固体レーザーである点が魅力的な特徴であるが、精度が必要なビームの均一性を得つつ、低コストで生産性に富む量産装置のレベルにまで仕上げる事がこれまでは困難であった。この技術要請に応えられるワイドビーム成形を目指す事が本開発の使命である。

## 2.15.2 研究開発目標と根拠

本開発項目における目標は表Ⅲ-2.15-1の通りである。最終目標として500mm幅ビームの形成を目指す。FPD分野の技術の進展は非常に急速に推移するため、常に市場要求に目を光らせ、常に最新の情報をキャッチできる体制を維持する必要がある。

表Ⅲ-2.15-1 研究開発目標値。ワイドビーム形成のためのモデル計算による実現性評価、実ビームによるワイドビーム具現化、ビーム形成に必要な大型レンズの製造、ビームの高精度測定 of 各項目である。

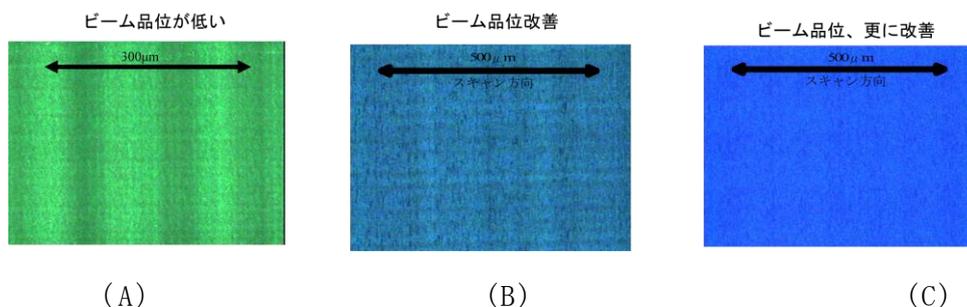
表Ⅲ-2.15-1 研究開発目標値

| 項目              | 最終目標   | 設定根拠                        | 中間目標                  | 設定根拠                                      |
|-----------------|--|-----------------------------|-----------------------|---|
| ③-(2) 表面処理技術の開発 | 1) 光学シミュレーション<br>ビーム幅: 500mm<br>集光幅: 20 μm<br>照射均一性: ±7% | 中間目標にて達成                    | 500mm<br>20 μm<br>±7% | 市場に要求されるビーム幅と結晶化の品質を確保するためのエネルギー密度・分布の経験値 |
|                 | 1) ワイドビームの成形<br>ビーム幅: 500mm<br>集光幅: 20 μm<br>照射均一性: ±7%  |                             | 500mm<br>20 μm<br>±7% |   |
|                 | 2) 大型光学部品研磨<br>研磨幅: 500mm                                |                             | 500mm                 |   |
|                 | 3) 高精度ビーム評価<br>測定精度: ±2%以内<br>測定分解能: 5 μm以下              | 市場に要求されるビーム品質を測定するための経験的許容値 | —                     | —   |

### 市場競争力

ここでは、産業応用を意図した視点から、最も需要が多い40インチワイドのパネルサイズを想定し、500mm以上のワイドビームを目標値とした。光源と加工品質に求められる諸量が明らかなので、照射均一性については±7%以下を目標として開発を行った。

既存レーザー設備を用いたホモジナイズ性の改善を確認



図Ⅲ-2.15-1 多結晶化膜面観察(微分干渉モード)

図Ⅲ-2.15-1は、弊社既存のレーザー設備を用いて多結晶化処理された膜面の表面観察イメージである。イメージ(A)では、ビーム内の干渉パターンによる分布があるこ

とが確認された。液晶パネルでの薄膜半導体デバイスの駆動では回路補正によるディスプレイの品位は確保可能だが、自発光型ディスプレイでは品位確保は困難なレベルにあると言える。イメージ(B)では、ビーム内の干渉パターンを抑制した時のメーシである。イメージ(A)に比して、大きな干渉による濃淡構造は減った。しかしモフォロジーの改善を必要とするレベルにあると判断される。イメージ(C)では、更なる光学パターン改善を施したことによる、モフォロジーの改善イメージである。モフォロジーは劇的に改善され、均一な状態であることが確認された(一部、膜構成の改善も寄与している)。

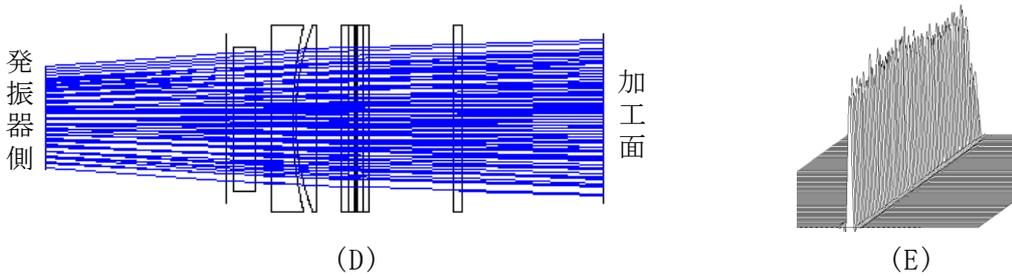


図 III-2.15-2 140 mm ワイドビームのレイトレースと照射分布図

図 III-2.15-2 は既存アニールシステムの改善前の光学特性(図 III-2.15-1A, B に相当)を示している。イメージ(D)では、加工点でのビームは末広りの特性であることがわかる。実際には、よりレーザー発振器側に位置する導波路分岐によるビームの多分岐原理により、約 5 本~7 本のビーム成分となっており、互いのビーム成分が交互に重なりながら加工面まで伝搬しているのである。イメージ(E)は照射分布を鳥瞰図として示している。登頂部位の高さ(=強度)がスパイク構造を有していること、均一性が悪い事がシミュレートされている。

加工面近傍でのビームの広がり、多光束干渉として知られるメカニズムで、定在波を発生し、その定在波が加工面内の多結晶過程に履歴を残す。この顕著な結果がイメージ(A)である。左右方向に  $50 \mu\text{m}$  程度の間隔で、濃淡模様が確認される。更に微細構造を有していることが確認出来る。

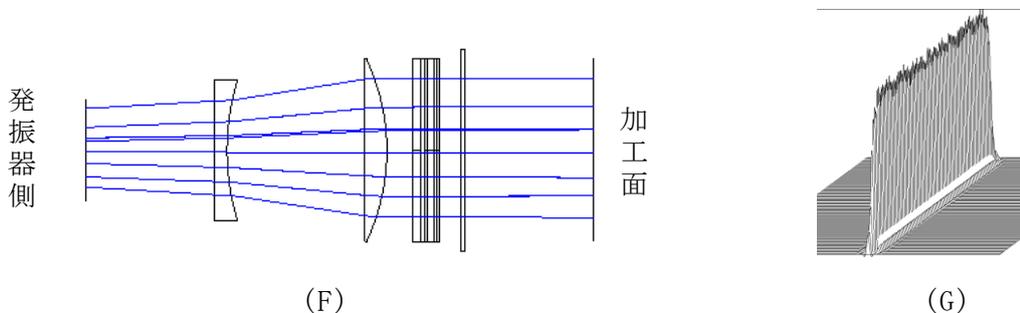
均一アニールに向けて

干渉による縞パターンの抑制は、大きく分けて 3 つの方法が検討された。

- [ I ] 多光束干渉の原理から、ビーム同士が交差する互いになす角度を限りなく小さくする。よって計算上は、著しくきめ細かい縞パターンの生成となり、マクロ的には均一な平面パターンと見なせる。モフォロジーをどこまで細かく微細パターンとするかである。
- [ II ] レーザー発振源は同一の光源である。従って、光の発生起源を同じにすることから、本質的には可干渉性を有している。ビーム面内に、光学的なローパスフィルターを配置して、光伝達特性(OTF)を抑制することが有効と考えられる。但し、集光性能は劣化させない。

[Ⅲ] レンズ幅を大きく扱う様な光学系において、光軸中心近傍と、外周光線において、非球面収差が顕著となる。適切なレンズパワー配置を設計し、ワイドビーム全域に渡り、平行照射ビーム条件が成立するようにする。

多くの過去の知見を基軸に高度ホモジナイズワイドビーム成形では、導波路型のビームレット分割法と、平行多光束ビーム生成による微細パターン内在のビーム技術と（Ⅰ、Ⅱ）、大型ワイドビームの為の大型異型レンズデザイン（Ⅲ）の開発を行った。言うまでも無く、薄膜半導体デバイス基盤の膜改善も同時に行われている。図Ⅲ-2.15-1(C)が改善結果を実験的に示したものである。イメージ(A)、(B)に比してモフォロジーの改善が飛躍的になされていることが明らかである。この結果は特に電流駆動型のTFTで顕著に影響を受ける。モフォロジーがパネル品位を左右するため、発光の妨げにならない均一性が求められるのである。



図Ⅲ-2.15-3 140 mmワイドビームのレイトレースと照射分布図

図Ⅲ-2.15-3は改善された光学系の例である。図中のビームの線数は減らして図示している。加工面に入射するビームの多くは垂直入射条件にした。但し完全に垂直入射成分となっていない条件下であった。このことは照射分布図(G)により推察される（実際の実験では、レンズの加工精度等、計算値とのずれがあった為、もう少し大きな干渉縞の発生があったと推察できた）。近軸中心ビーム成分と外周部のビーム成分に対して収差補正が不十分な為、140 mm幅に渡り照射エネルギー均一性は向上しているが、アニール特性としてのモフォロジーまで加味した均一性はわずかな改善に留まった。このような条件下では図Ⅲ-2.15-1(B)の様なモフォロジーとなる。光路内へのローパスフィルターを挿入した効果と平行光デザインによる干渉縞の抑制で改善されたと考えられる。しかし、照射パターンと干渉によるパターンとの差分が認められ、原因追究を行った。干渉による縞模様の影響の他に、レンズ表面研磨ムラによるアニールムラが認められるに至った。

この様な考えを推し進めて、更にレンズのデザインを改善した。詳細は大型光学部品研磨技術の開発Ⅲ-17に譲るが、レンズ表面の研磨精度に起因するムラがアニール表面のモフォロジー形成に影響している知見を得た。高精度研磨を施したレンズを用いて、同じく図Ⅲ-2.15-3(F)と同等の光学系を構築し、140mm幅程度のワイドビームを用いて得た結果が図Ⅲ-2.15-1(C)である。

平行光は不完全である事を先に述べた。これはビームの広がりや有限の初期ビーム

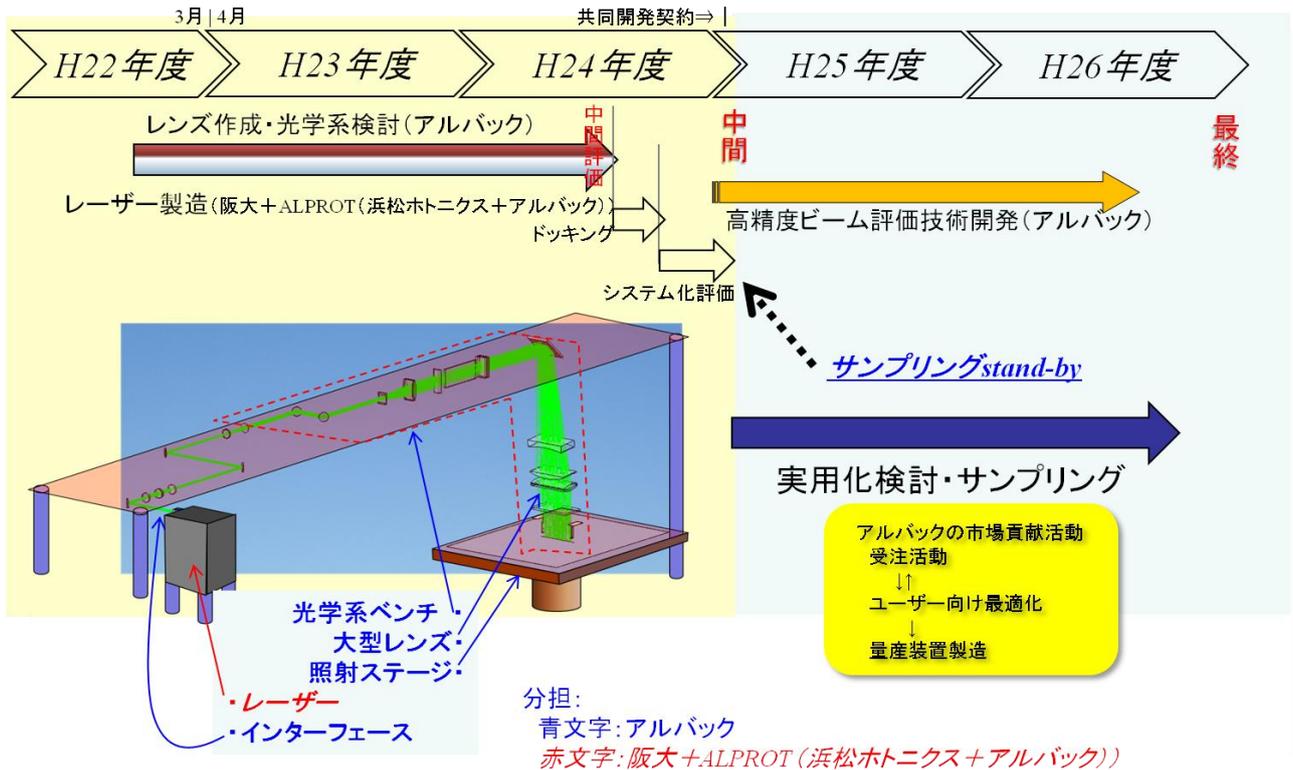
径より拡張することになるので、球面収差が大きく影響するからである。球面収差の抑制手段として、幾種類かのガラス種を用いて補正配置とすることが主流であろう。色消しなども代表的な方法のひとつである。更に近年では、非球面レンズを用いた光学系のデザインが可能な場合がある。球面収差は非球面化したレンズを用いる事で、容易に改善されることが知られている。多くは丸型レンズにおいて実用化されている。

異型レンズの曲面加工において、非球面処理はいまだ未開発領域であろう。特に研磨面の処理と曲率の保証が困難と思われる。従って、ワイドビーム成形には、球面加工のレンズの組み合わせが主流のデザイン条件となる。大型のシリンドリカルレンズともなると高精度研磨加工は未踏技術領域と言わざるを得なかった。同時に大型レンズの取り扱いおよび装置への組み込み(アライメント)は、非常に困難な作業である。故にレンズ構成枚数を減らして調整箇所を少なくすることが必須命題である。イメージ(F)に示すように、幅広方向に寄与するレンズ間の距離を比較的大きくとりながら、ビームの広がりをおだやかにすることと、レンズの母材そのものを厚くして屈折率媒質内のビーム伝搬距離を長くすることで均一性の向上を得る為の収差抑制法をデザインルールの中に見出した。レンズの厚みが増す事で体積に比例した自重となる欠点がある。しかしガラス種を増やさず、球面加工形状レンズだけで均一ワイドビームを達成するには他に解が無い。先にも書き述べたが、実際にはホモジナイズ導波路においてビームレットに多分岐したビームが取り扱われる。それぞれのビーム成分に適した大型異型レンズの曲面加工はそれぞれに固有の数値となるはずである。この開発ではワイドレンズの曲率をなるべく大きくすることで、近軸ビーム外の成分への非球面収差量が最小限に抑えられる工夫が同時に盛り込まれた。

ペッツバール則を加味したレンズパワー設計とビーム光路内に挿入したローパスフィルターと導波路でのビーム分岐数を～10本程度に向上させることにも成功して均一精度を向上することが可能となった。これらの知見は光学デザインのみならず、既存装置にて実験的に裏付けられた。

### 2.15.3 研究開発スケジュール

FPD産業では装置導入に対する投資周期が短いため、開発期間もなるべく短期間に行う事が望ましい。よって、5カ年計画の内、前半で各コンポーネントの個別評価とそれらの連動運転が出来るデモ装置の完成を目指す。後半は実際のパネル製造に近い現場でサンプリングを行いつつ、製造装置への作り込みと更なる要求性能への拡張性を模索する。図Ⅲ-2.15-4 参照。



図Ⅲ-2.15-4 開発スケジュール

図Ⅲ-2.15-4 開発スケジュール。アニール装置の構成要素の内、レーザー発振器を阪大+ALPROT(浜松ホトニクス+アルバック)担当で、その他の要素をアルバック単独の担当にて開発し、前半でアニール結晶化のデモ処理が出来るようにする。

#### 2.15.4 研究開発目標と達成状況

光学系では500(挑戦目標700)mm幅のワイドビームを形成する必要があるが、モデル計算による現実性と実ビームによる具現化の確認が評価項目となる。表Ⅲ-2.15-2参照。

表Ⅲ-2.15-2 ワイドビーム形成の目標値。モデル計算での実現性評価と実ビームでの具現化について、目標値を設けた。

表Ⅲ-2.15-2 ワイドビーム形成の目標値

|                         | 目標                | 成果                | 達成度                | 今後の課題<br>補足の資料                      |
|-------------------------|-------------------|-------------------|--------------------|-------------------------------------|
| 1) ホモジナイズビーム<br>光学計算の開発 | 500mm幅以上<br>±7%以下 | 700mm幅<br>±2.5%以下 | ◎                  | 目標値は達成。挑戦目標まで達成見込み                  |
| ワイドビームの開発<br>実ワイドビームの形成 | 500mm幅以上<br>±7%以下 | 未評価               | △(H24年12月<br>達成予定) | 別項で開発する大出力レーザー発振機と光学系部品のドッキング後に評価開始 |

## 2.15.5 成果の詳細

### ワイドビーム形成のモデル計算

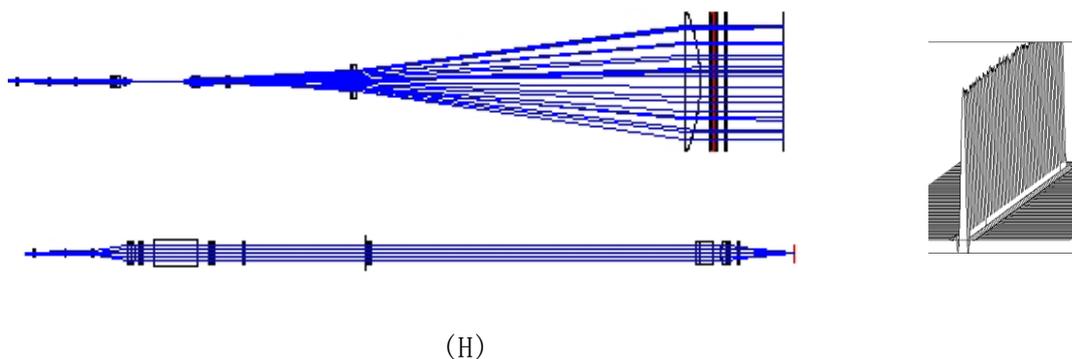


図 III-2.15-5 700 mmワイドビームのレイトレースと照射分布図

図 III-2.15-5 イメージ(H)には、最終目標値である 500mm 幅を大幅に超える 700 mm 対応ワイドビームのデザインを示している。干渉による縞の発生を抑制する方法と、球面レンズのみで構成された大型異型レンズ搭載の全容である。ホモジナイズされたビームは幅広方向に対して、徐々に広がる光学系とした。他方、集光方向はそのビーム品質を維持しつつ最終段の集光レンズによって集光される。イメージ(I)は照射分布図である。イメージ(E)、(G)に比して、パターンが大きく改善されている事が確認出来る(頭頂部の図が切れているのはソフトによる計算値の描画エリアのバグ)。

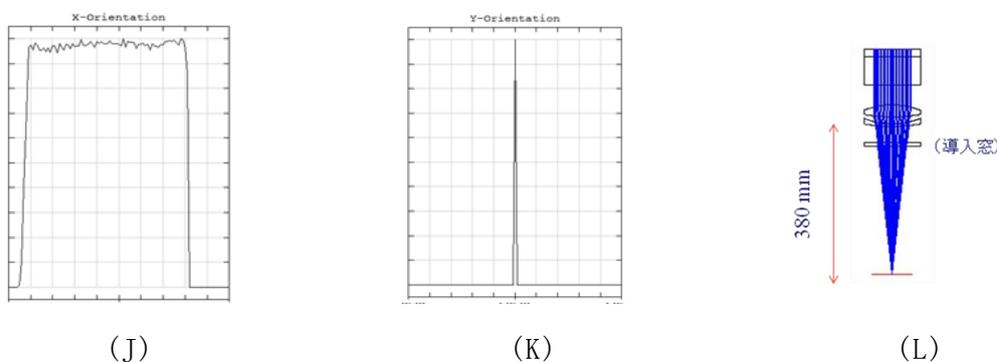
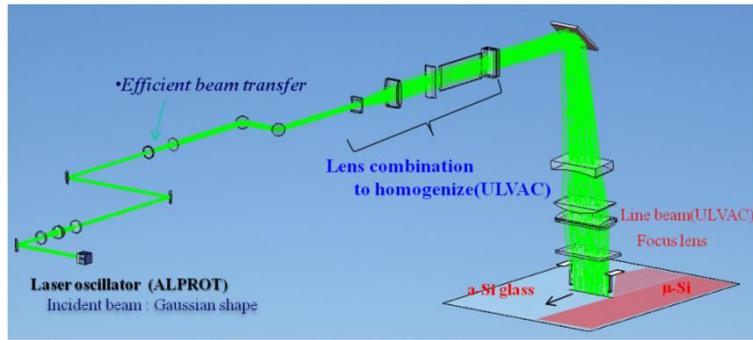


図 III-2.15-6 700 mmワイドビームの幅広方向の分布と集光方向特性

図 III-2.15-6には 700 mm 幅ワイドビームのシミュレーション 1D プロファイルを示す。イメージ(J)より、全幅に渡って均一性が  $\pm 2.5\%$  内に収まるモデリングが達成できた。目標値を上回る改善が行えた。イメージ(K)では、ビームの集光方向の特性を示している。所望の  $< 40 \mu\text{m}$  を達成するモデリングが行えた事を示している。イメージ(L)では、十分なワーキングディスタンスを確保できたことを示しており、装置化への展望を明らかにした。



図Ⅲ-2.15-7 実際の装置搭載をイメージした場合の光学系の配置

図Ⅲ-2.15-7は、実際の装置搭載をイメージした場合の光学系の配置とビーム伝搬の様子を描いたものである。55型ワイドのパネルサイズが一度にアニールできる仕様となる。

#### 実ビームでの形成

別項目(②-(2)-2)、②-(3)-1))にて開発している高品位大出力レーザーを完成させ、次項の大型異形レンズと組み合わせて具現化する予定である。

#### 2.15.6 最終目標の達成の見通し

最終目標はビームのモデル計算については現時点で基本計画の目標値を達成しているが、計画策定以降の市場調査結果を鑑み、挑戦的目標として更にビームを拡幅した目標を設定した上でこれも達成できた。一方、実ビームの幅広形整形については前出の大出力レーザーの完成を待って評価する予定である。表Ⅲ-2.15-3参照。

表Ⅲ-2.15-3 研究課題の最終目標の達成見通し

| 研究課題                         | 最終目標(平成26年度末)   | 達成見通し                                    |
|------------------------------|---|--|
| (2)-1) 高度ホモジナイズワイドビーム形成技術の開発 | 目標: 500mm幅/±7%ビーム<br>見込み: 光学シミュレーションでは達成済<br>実ビームではH24年末に達成予定 | 700mm幅/±2.5%の試算結果では達成。実ビームでの達成はH24年末の予定。 |

#### 2.15.7 知的財産権及び成果の普及

特許出願等状況は以下の通りである。表Ⅲ-2.15-4参照。

表Ⅲ-2.15-4 知的財産権の状況。

|              | 2010以前 | 2010 | 2011 | 2012 | 計  |
|--------------|--------|------|------|------|----|
| 特許出願(うち外国出願) | 1      |      |      |      | 1件 |
| 論文(査読付き)     |        |      |      |      | 無し |
| 研究発表・講演      |        |      |      |      | 無し |
| 受賞実績         |        |      |      |      | 無し |
| 新聞・雑誌等への掲載   |        |      |      |      | 無し |
| 展示会への出展      |        |      |      |      | 無し |

## 2.16 研究開発項目③ 「多波長複合加工技術の開発」

### 「(2) 表面処理技術の開発」

### 「2) 大型光学部品研磨技術の開発」

(株式会社アルバック)

#### 2.16.1 事業の背景・意義（目的・概要）

大型異型光学部品研磨技術について

前項「1) 高度ホモジナイズワイドビーム成形の開発において、設計された光学レンズの加工を行う技術の確立についてまとめる。ここでは特にレンズ研磨の中でも大型で、シリンドリカル形状、メニスカス形状を加工可能とする研磨機の作製と、研磨技術に伴う内容を述べる。

背景として、フラットパネルの産業用途では、ワイドビームによる一括処理が行われている。市場の先行装置としては、ガスレーザーをエネルギー源としたものが知られている。今日、450 mm幅ビームが量産実績レベルで稼働中である。それ以上の幅広仕様になると生産性が十分に担保できない技術課題を抱えている様子も聞こえてきている。メーカーの公称は 750 mm幅程度と思われる。しかし生産現場との認識の乖離が大きい。

このような装置の日本製は実在しない。主要構成要素はドイツからの調達である。具体的にはエキシマレーザー発振器と大型レンズアレイおよび周辺機器一式である。加えて開発環境も国内にはなく、ドイツを中心とする独占状況にある。

ガスレーザーは半導体のプロセス世界で強く求められ、発展してきた側面がある。その恩恵を受けて、フラットパネル技術領域でも応用用途が見出され、生産には欠かせない装置へと成長した。しかし、ガスレーザー特有のコスト問題、照射エネルギー不安定性、高度な光学系の調整などでコストが上昇する。加えて、光学レンズ類の設計および部品調達もドイツ技術を輸入している実態である。高精度研磨技術は無く、加工精度の保証は無く、実際に装置に組み込んで加工品位を確認しながらレンズの完成度を評価する方法がとられている。彼らの大型レンズの加工方法は、研磨では無く切削に近い方法と職人による仕上げ加工に依存している様子がうかがえる。ガスレーザーではコヒーレント長が短く、LTPS になんとか使えるといった具合である。実力としては 700 mm幅を超えるアニールシステムは立ちあがっていない。

省みて、これらの基幹要素を国内に保有する必要性が自明の理として大いに検討された。しかし、国内の光学系の開発環境を調査すると、大型の異型レンズ研磨加工環境が存在せず、小規模にとどまることが独自の調査の結果、明らかとなった。研磨技術に集約される事として、寸法精度、面粗さなど、研磨レンズの評価手法も乏しい事も認められ、大型で高精度の研磨技術を要求した場合、国内での対応が出来なかった。

とりまく環境

昨今の FPD 業界の産業的勢力分布は、アジアを中心とした韓国、台湾、特に近年では中国へと移行していると言って過言ではない。国内の技術力の低下と、特に人件費に代表されるコストが製品の競争力を低下させている側面は甘んじて享受するところ

である。同時に最終製品の技術力優位な差別化が陳腐化しているきらいがある。価格競争では完全に引き離された様相である。最終製品の市場競争力が低下し、ブランド戦略も危ぶまれている今日の中で、唯一、生産装置技術力が優位にあると分析される。

量産工場へ視点を移してみる。アジア諸国においても生産装置の自社開発による技術力が向上してきており、日本のメーカー装置の圧倒的な優位性が目立たなくなってきた。コモディティ化した生産装置類はコスト競争力を失い海外での生産に移行するか、事業そのものを移管している例が珍しくない。核となる装置類だけが国内技術で維持されている状況下では、企業活動そのものが脅かされる。

レーザー応用装置では、先に述べたようにドイツの独壇場であるが、性能とコスト課題が実態にそぐわない。しかし、パネルメーカーでは、必要性に迫られてコスト高のレーザー装置を配備しているのである。

### 2.16.2 研究開発目標と根拠

本開発テーマでは、これらの背景を踏まえ、最終製品の高機能化を意図した開発に着手した。生産現場で求められる実践力のある装置仕様を調査して、短期に開発を達成する事で貢献する。前項の 2.15.2 参照。

当該プロジェクト発足時には、ワイドビームに求められる幅は 500 mm 程度を想定していた。これは一般家庭に普及するディスプレイサイズと周辺生産技術水準に照らして目標値とした経緯がある。近年、我々の調査によれば、生産装置世代が大幅にすすむ事を予測した。従い、55 型ワイド仕様のパネルサイズが効率よくアニール処理できるようにワイドビームの最終目標値の前倒し及び更なる拡張対応を行った。当然ながら、異型レンズ研磨機の設計も変更を行い、>700 mm 幅ビームが狙えるレンズ研磨装置へと改修した。

### 2.16.3 研究開発スケジュール

前項の 2.15.3 参照。

### 2.16.4 研究開発目標と達成状況

光学系では 500(挑戦目標 700)mm 幅のワイドビームを形成する必要があるためビーム長以上の幅を持つ、高度に精細研磨された大型シリンドリカルレンズを得根ければならない。従って、国内初の大型レンズに対応できるレンズ研磨機の製造と高精細研磨大型レンズの作成が評価項目となる。表 III-2.16-1 参照。

表 III-2.16-1 大型レンズの精細研磨の目標値。アニール用途のビーム形成に必要な研磨精度での有効レンズサイズの目標値が設けられている。

表Ⅲ-2.16-1 大型レンズの精細研磨の目標値

|                            | 目標       | 成果     | 達成度 | 今後の課題<br>補足の資料 |
|----------------------------|----------|--------|-----|----------------|
| 2) レンズ研磨技術の開発<br>研磨機とレンズ作成 | 500mm幅以上 | 700mm幅 | ◎   |                |

### 2.16.5 成果の詳細

#### 研磨装置



図Ⅲ-2.16-1 大型異型レンズ研磨装置の外観(粗研磨/仕上げ研磨共通タイプ)

図Ⅲ-2.16-1 に大型異型レンズ研磨対応の研磨機外観を示す。中央ステージの上にはダミーガラスによる研磨途中の状態が見て取れる。レンズの長手方向は 700 mm オーバーのサイズとなる。高精度研磨を実現するために、研磨パッド可動部の剛力を向上させ、大型レンズ加工への対応範囲を大幅に向上させた。上面可動部は吊り天井構造を採用して、支点からの研磨皿へ掛る加重配分を均等化する工夫をした。稼働方向は装置奥行き方向のみの 1 軸直線往復運動を正確に行う。ストロークは 100 mm 程度であるが、直線性を  $100 \mu\text{m}$  以下に抑えるべく軸調整がなされている。下部ステージは 900 mm × 900 mm のサイズである。ステージ稼働方向は、左右のみの 1 軸直線往復運動を行う。同様に直線性を  $100 \mu\text{m}$  以下となるように調整されている。ストロークは 200 mm 程度に留めている。



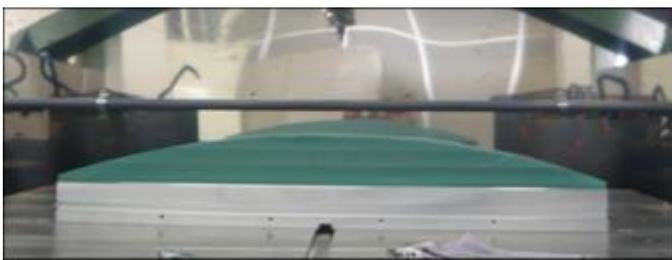
図Ⅲ-2.16-2 研磨加工ステージ部詳細

図Ⅲ-2.16-2 は研磨皿を加工している工程である。光学的にシミュレートされたレンズデザインデータを基に、研磨皿を作製する。粗取り段階の型皿としては、旋盤等の別に設けられた加工装置にて作製する。その後、研磨加工機を用いて皿の形状を整える。研磨精度を決める要素を多分に占める治具となる。材質は A1 を用いた。その後、ある程度の曲率を確認できた所で、パッド材を上皿と下皿の間に挟み込み、更に曲面加工を行う。その様にして作られたパッド曲面が実際にガラスを研磨する為の参照となる。



図Ⅲ-2.16-3 異型レンズ用途の研磨皿例

図Ⅲ-2.16-2 の工程で、加工された研磨皿の仕上げイメージを図Ⅲ-2.16-3 に示す。これはレンズ形状や曲率等が異なると、その面の数だけ必要となる治具である。この後、研磨皿の表面には高精度の研磨段階(追い込み仕上げ)で、パッド研磨またはピッチ研磨となるため、それぞれが治具に貼り付けられることになる。



図Ⅲ-2.16-4 大型シリンドリカルレンズ(700mm オーバー)

図Ⅲ-2.16-4 には仕上げ工程終了後のレンズを示している。曲率の仕上げ精度は 3 次元測定器 UA3P 等の市販測定機器を併用した。市販 UA3P の測定ステージは大型ガラスが搭載できないので、改造して大型レンズ搭載可能な準備を行った。所望の外形をモニターしながら、研磨作業を続ける方式である。粗摺りから始まる工程そのものは、通常の球面レンズ加工と差はない。球面加工では、高精度の研磨面を得るために、オスカータイプが多用される。これは円運動を取り入れた研磨方式になる(詳細割愛)。容易に高精度研磨が達成できることで知られている。シリンドリカルレンズなどの異

型レンズ研磨では、円運動を研磨工程に採用することが困難である。加えて、原理的に研磨皿のガラス母材に加えられる荷重バランスが取りにくい構造を有しているため、偏った荷重研磨をしてしまう癖が本質的に回避できない。これらの特徴の為に、多くのレンズメーカーがシリンドリカルレンズに代表される、異型レンズの高精度研磨は困難対象であると認識している。シリンドリカルレンズの高精度研磨は、大型になるほど困難さが増すことになる。量産性も低い加工対象なので、敬遠されることが多い。

### 研磨精度向上

研磨工程の間、レンズ形状を常にモニターする構造はとりにくい。研磨皿が往復運動してガラス面との接触している箇所には、研磨剤を常に注ぐ必要があるからである。レンズ研磨の進捗は研磨を止めて確認することを繰り返す地道な作業となる。適度な経験より、研磨の完成度を高めてゆくのである。

研磨皿の荷重がガラスの両端や中央部で均等になる様な工夫が盛り込まれた。従来の装置では掛る荷重が上皿を吊るす支柱の中央部に配置している為、レンズ長手方向の端部で機械的にビビリが生じてしまう。結果、レンズ表面には微少な波打つ筋が発生してしまった。同時に研磨剤の流れがガラス全体に均一に流れない為に、パッド面のガラス面へのアタリが良くない事象が発生した。レンズとしては中央部位と両端部で研磨精度に大きな隔たりが生じ、事実上、中央部しか磨けていない事になる。大型の異型幅広レンズ加工が困難であるのはこの為であった。ガラス全体に均一な力で研磨の荷重を掛ける事が困難である事、研磨剤の流れが偏る事が如実に証明された。これら原因を追及して、対策を講じた。

- 1) 上皿の稼働範囲にあるビビリを無くすために支柱の剛性を更に増強した。同時にパッド材とピッチ材の使い分けを行った。
- 2) 研磨剤の選定を行った。レンズ両端部での研磨剤の回りこみを改善する為、活性剤粒を小さくした。従って研磨時間の長期化になるデメリットを許容する。
- 3) 研磨剤温度の管理を厳しく行った。

機械的剛性を強める事で、ガラス面と上皿との摩擦で生じるビビリを剛勢力により抑え込んだ。但し、強めすぎると荷重のバランスを崩し、指定曲率以上の歪みを中央部で促進してしまう。ここで研磨剤の掛け方を端部に増やすなどの管理を行った。また流れ込み量をピッチ研磨工程では全体的に抑制した。研磨剤を小さいサイズを用いる事で、研磨速度を遅くした。その為、レンズ母材と研磨皿の放熱作用で研磨剤の温度が最適値より大幅にずれてしまった。この放熱量を見越した研磨剤の温度管理を強化した。

### 研磨精度判断

最初の段階では、各研磨工程段階での研磨仕上げの到達の判断は通常の光学検査手法を使って行った。その後に顕在化処理を施す。この顕在化処理を行う事で、特に微

少な研磨ムラを検出しやすくする。

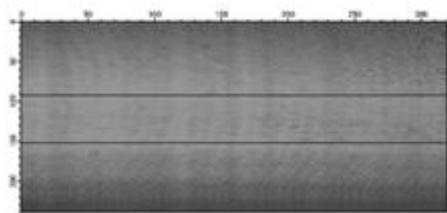


図 III-2.16-5(A)

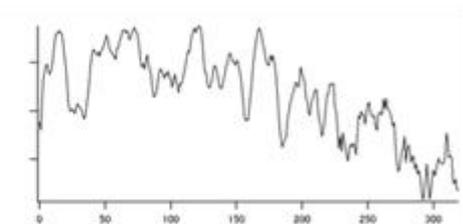


図 III-2.16-5(B)

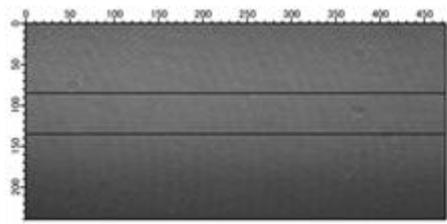


図 III-2.16-6(A)

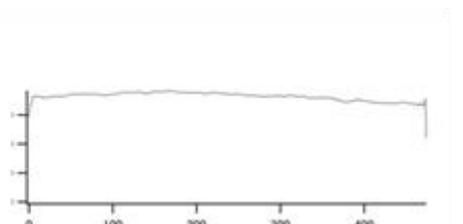


図 III-2.16-6(B)

図 III-2.16-5(A) は研磨不十分なレンズ表面の微小な凹凸に起因するスペックルを観察している。

十分にコリメートされた平行光をレンズに照射し、その透過光の波面乱れを高感度に検出する方法を採用している。図 III-2.16-5(B) にはレンズ中心部位の1次元プロファイルを示した。光学的な顕在化処理を行うことで、リアルタイムに広域の加工状態が確認出来るのである。UA3P では広域のリアルタイム測定には不向きである。従って、外形寸法の測定には使えても、広域の表面研磨状態を決定できない弱点がある。AFM などの機器類でも大型のサンプルとなると用途に役立たないと言わざるを得ない。顕在化の手法は、研磨途中にあるレンズを治具から完全に切り外すことなく、反射方式でも検査可能であるので、実研磨面そのもののモニターとして適用される。従い、研磨の進捗管理、完成度の判定が容易となるのである。図 III-2.16-6(B) には、研磨面の微小な凹凸に起因する脈り構造が広域に渡り劇的に改善された結果を示している。高精度研磨面を有するレンズを搭載したアニール実験結果を図 III-2.16-7(C) に示す。

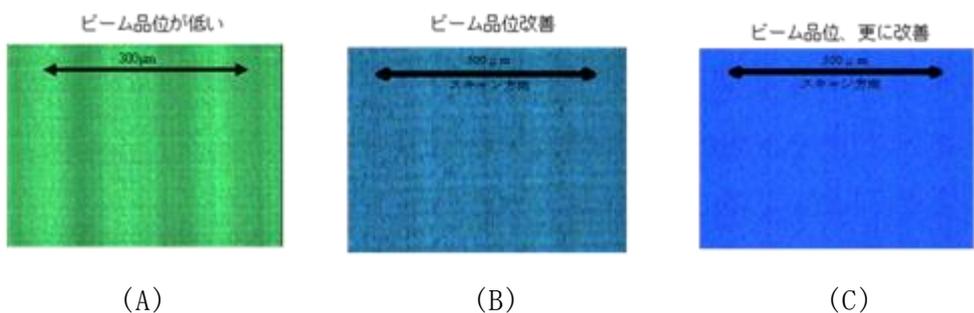
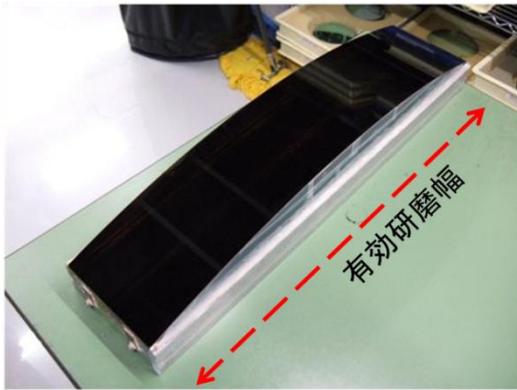


図 III-2.16-7 高精度研磨面を有するレンズを搭載したアニール実験結果

我々は、顕在化処理による観察と研磨を繰り返しながら所望の縞ムラの無い高精度の研磨面を有する大型のシリンダリカルレンズの加工技術に到達したと言える。研磨結果の写真を図 III-2.16-8 に示す。



図Ⅲ-2.16-8 本開発で製造されたレンズ研磨機で高精細研磨されたレンズ

### 2.16.6 最終目標の達成の見通し

基本計画における最終目標は 500mm の有効研磨幅であるが、計画策定以降の市場調査結果を鑑み、挑戦的目標として更にビームを拡幅した目標(700mm 幅)を設定した上でこれも達成できた。表Ⅲ-2.16-2 参照。

表Ⅲ-2.16-2 研究課題の最終目標の達成見通し

| 研究課題                 | 最終目標(平成26年度末)                   | 達成見通し                                     |
|----------------------|---------------------------------|---|
| (2)-2) 大型光学部品研磨技術の開発 | 目標:500mm幅の高精細研磨機の製造<br>見込み:既に達成 | 挑戦目標700mm幅に拡幅した設計でレンズを製造中。<br>H24/8月完成予定。 |

### 2.16.7 知的財産権 及び 成果の普及

特許出願等状況は前項 2.15.7 参照。

## 2.17 研究開発項目③ 「多波長複合加工技術の開発」

### 「(2) 表面処理技術の開発」

### 「(3) 高精度ビーム評価技術の開発」

(株式会社アルバック)

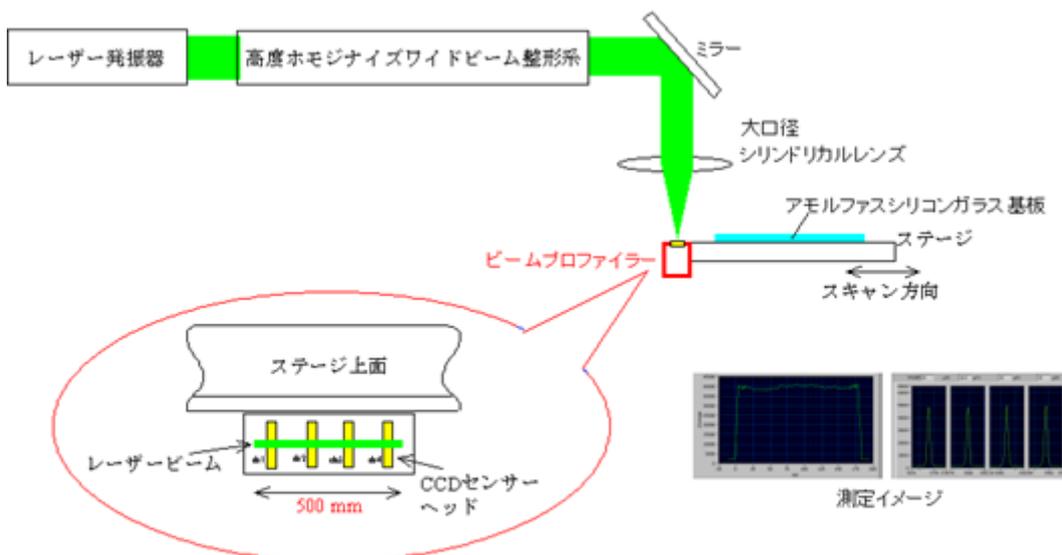
#### 2.17.1 事業の背景・意義（目的・概要）

2.15、2.16 項に記されているように、レーザーアニール用途のラインビームは照射エネルギーの均一性が重要となる。従って、アニール基板へのレーザー照射位置でのビームエネルギーの測定に関しても高精度測定が必要となる。

#### 2.17.2 研究開発目標と根拠

前々項、前項にて光学成形したワイドビームの照射焦点位置でのビーム形状、強度分布、集光程度を確認するツールとして、ビームプロファイラを設計・製作する。(前項の 2.15.2 参照。)

高繰り返しレーザービームを測定するので、高速動作可能な高分解能の診断技術が必要となる。測定は画像処理機能を有した PC に接続した高速動作を伴う CCD センサーヘッドを照射領域に適宜移動して画像取得を行う。(図Ⅲ-2.17-1)



大型ステージ端に取り付けられたセンサーを用いて加工近傍の照射均一性と、集光幅を測定する。

図Ⅲ-2.17-1 照射位置近傍に設けたビームプロファイラ

このテーマは実際にアニール加工ステージ装置に各種ワイドレンズ系が搭載され、同時に浜松ホトニクス殿、大阪大学殿と共同で開発中の大出力グリーンレーザー発振器とがドッキングされた暁に必要なビーム評価測定機器の開発となる。

#### 2.17.3 研究開発スケジュール

開発しようとしているユニットは、CCDセンサー、光学部品、高速信号処理機構からなり、可能な限り市販の汎用品の組合せで安価に構成する必要がある。また、光学設

計、回路設計等に工夫を凝らし、信頼性の高いユニットを目指す。構成部品の入手、各設計、組立、信頼性等の評価期間が必要になる。開発のスケジュールを図Ⅲ-2.17-2に示す。



図Ⅲ-2.17-2 開発スケジュール

現在、本項目は未着手である(但しビーム幅 700mm オーバー仕様として)。周辺の開発進捗を鑑みて、平成 24 年度末の開発着手で検討している。(前項の 2.15.3 参照)

#### 2.17.4 研究開発目標と達成状況

大出力レーザー発振機と光学系を組み合わせて実ビームを形成し、そのエネルギー分布を測定する。この時に要求される測定精度は表 III-2.16-1 となる。

表Ⅲ-2.17-1 高精度ビーム評価技術の開発の目標値。実ビームでの評価を予定している。

表Ⅲ-2.17-1 高精度ビーム評価技術の開発の目標値

|                  | 目標                                | 成果  | 達成度                | 今後の課題<br>補足の資料                      |
|------------------|-----------------------------------|-----|--------------------|-------------------------------------|
| 3) 高精度ビーム評価技術の開発 | 測定精度:<br>±2%以内<br>測定分解能:<br>5μm以下 | 未評価 | △(H26年12月<br>達成予定) | 別項で開発する大出力レーザー発振機と光学系部品のドッキング後に評価開始 |

#### 2.17.5 成果の詳細

300mm 幅ビームにおける測定テストは進めているが、700mm 幅(挑戦目標)のワイドビームでは、実ビームの形成時期に合わせて評価を開始する予定である。

#### 2.17.6 最終目標の達成の見通し

実ビームでの評価を計画しているため、目標達成は中間目標以降の予定である。表Ⅲ-2.17-2 参照。

表Ⅲ-2.17-2 研究課題の最終目標の達成見通し

| 研究課題                 | 最終目標(平成26年度末)   | 達成見通し  |
|----------------------|---|--|
| (2)-3) 高精度ビーム評価技術の開発 | <b>目標:</b> 測定精度±2%以内<br>空間分解能 5μm以下<br><b>見込み:</b> H26年度末 | ライン状の実ビームの形成をH24年末に予定しているため、これを使用した評価はH25年度以降達成予定。 |

#### 2.17.7 知的財産権 及び 成果の普及

特許出願等状況は前項 2.15.7 参照。

## 2.18 研究開発項目③ 多波長複合加工技術の開発

### 「(3) 粉末成形技術の開発」の成果

(アспект、産総研実施)

#### 2.18.1 事業の背景・意義 (目的・概要)

最初に本項目で行う粉末成形技術の概要について記す。粉末成形技術としては、粉末冶金、射出成形 (Injection Molding) 等もあるが、次世代の加工法として期待され、レーザー加工を有効に利用できるシステムである積層造形法を用いた成形システムの開発を行うこととした。今回最終製品として医療用の部品を当初開発の目標品としたが、医療用部品では、ポーラス・緻密の使い分けや軽量化のための方策が求められ、さらに個人対応という点では一品生産が可能な事が求められる。これらを実現する方法として後述のように粉末積層成形技術は優れた手法である。

粉末積層成形技術は、古くは Rapid Prototype (RP) 技術や Rapid Manufacturing (RM) 技術として、素早く形状を作る技術として進展してきたが、最近は一歩進んだ形として通常の加工法では担えない形状を作る新しい加工技術との位置付けへと進化し、2009年1月の ASTM 国際会議で Additive Manufacturing (AM) 技術と呼ぶことに統一された。RP、RM と呼んでいた時代は 3D のデータから一品物を素早く作る技術として、切削や金型利用の加工技術の試作としての位置づけであった。すなわち基本は切削やプレス加工での成形であり、3D-CAD で作ったデータや、形状測定データを基に素早く形にする事が主体であった。一方 AM 技術としては、粉末積層造形法の特徴を生かし、切削や金型加工では実現できない構造の作成技術として、新しい加工技術の位置付けでのものづくり技術となっている。表Ⅲ-2.18.1 に一般的な加工法との比較、図Ⅲ-2.18.1 に粉末成形システムの目指す姿を示す。この表と図で示した通り、RP、RM 時代の一品加工にも特徴があるが、切削、鋳造、鍛造・板金プレス加工では実現できない製品を自由に作成できる事が AM 技術としての最大の価値である。この自由度は粉末積層成形技術の作成方法に因るものである。粉末積層成形技術は、図Ⅲ-2.18.2 および、図Ⅲ-2.18.3 に示したように、最初に作成する構造を 3D のデータとして用意し、これを積層厚さ毎にスライスしたデータとして再構築する。製造システムでは、積層厚さ分の粉原料を正確に敷き詰め、スライスデータの造形部分だけをレーザーや電子線により結合させる。これを一層ずつ造形データすべての層を積み重ねることにより形状を生み出す。加工の厚さが積層厚さのため、切削では工具が入らない、鋳造では中子が複雑すぎて作れない、鍛造・プレスでは不可能な構造の内部を自在な形状に作成することが可能である。さらに結合させる領域の最小のサイズは粉の原料寸法やレーザーや電子線のビーム径、分解能等で決まるが、 $10\mu\text{m}\sim 0.1\text{mm}$  程度のオーダーとなる。粉の結合状態はレーザーや電子線によるエネルギーを変化させることにより調整可能であり、緻密な構造も、空孔を残すポーラス構造も作れる特徴がある。これらの特徴を生かして、複雑な内部構造により強度は十分だが軽量のユニット、熱交換の効率を最大化するような内部構造を持つ熱交換器、航空機・自動車等向けに、隙間を使った複雑形状の部品類等他の加工では実現できなかった部品を作成し、最終製品の高性能化や高機能化に資する技術としての真価が期待されている。特に医療用の人工関節等の製品は個人個人に応じた製品の実現が望まれるが、この粉末成形法を用いることにより実現可能であ

り、欧米を含め開発が進められている。

表Ⅲ-2.18.1 粉末成形法（積層造形）と一般的加工法の比較

|         | 粉末積層成形                             | 切削等                        | 鑄造等                         | プレス等  |
|---------|------------------------------------|----------------------------|-----------------------------|---|
| 原料      | 粉末                                 | ブロック状                      | 溶融体                         | 板・ブロック  |
| 成形方法    | 積み上げ                               | 削り出し                       | 鑄込み                         | 変形  |
| 精度      | △                                  | ◎                          | △                           | ○   |
| 量産      | ○                                  | ○                          | △                           | ◎   |
| 一品加工    | ◎                                  | ○                          | ○                           | ×   |
| 材料調整    | ○                                  | ×                          | ○                           | ×   |
| 自由な形状作成 | ◎<br>成形に使わなかった原料の分離が可能な事等<br>僅かな制約 | △<br>工具が入り加工が出来る形状で<br>有る事 | △<br>型の形状・中子の固定等<br>ライナー部必要 | △<br>加工（塑性変形）の限界以下<br>型から外れる<br>加工方向が基本的には1方向 |
| 構造の自由度  | ◎                                  | ×                          | ×                           | △<br>(部分的強化)                                  |

# 粉末成形システムの目指す姿

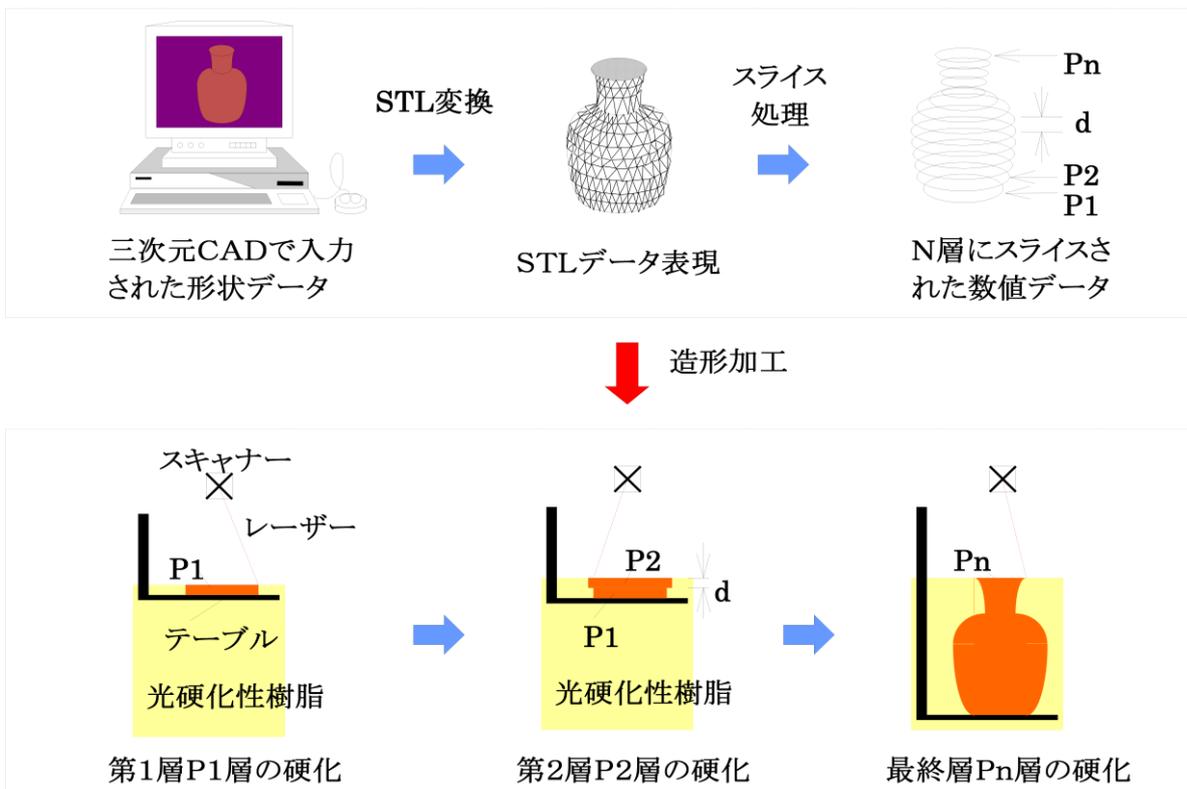
切削・鋳造・プレス  
の代替加工ではなく  
新しい加工システムとして  
自由な製品設計に寄与する

## 粉末成形システム

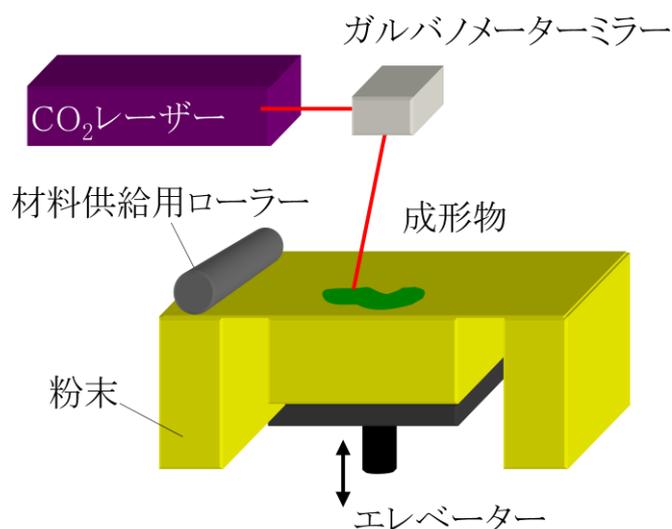
<薄い層構造を作成し積み上げる>  
形状の自由度が高い3D-CADの形をそのまま実現  
緻密・ポーラス等構造の違いを同時に作成  
粉を混ぜる～材質を制御できる



図Ⅲ-2. 18. 1 粉末成形システムの目指す姿



図Ⅲ-2. 18. 2 粉末積層成形の成形方法概要図



図Ⅲ-2.18.3 粉末積層成形装置の概要

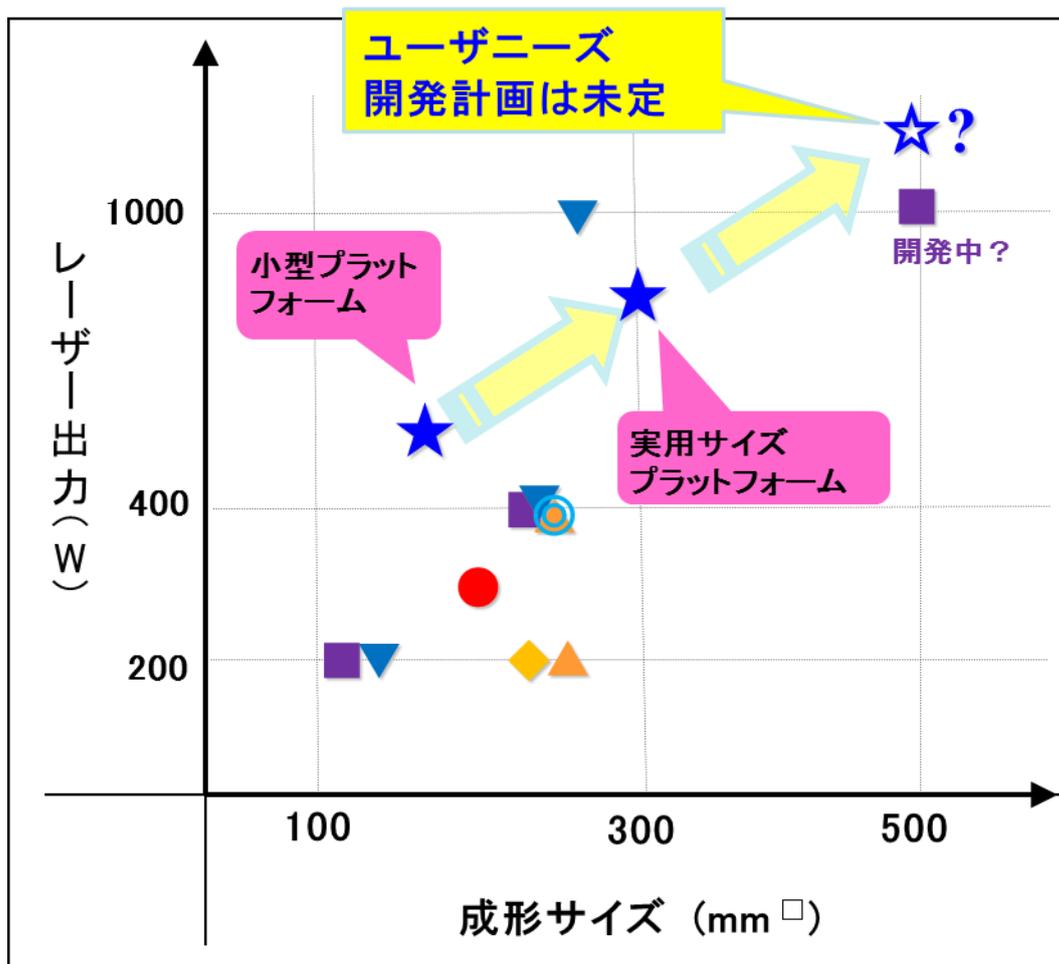
次に国内外での金属粉末による積層造形装置の開発動向について記載する。AM 技術はヨーロッパ、アメリカ、日本という先進国での開発が進んでいる技術であり、競合技術についてもこれらの地域・国による。図Ⅲ-2.18.4 に金属用粉末積層造形機の成形サイズとレーザー出力比較を示す。

ヨーロッパでは、ドイツに 3 社、イギリスに 1 社、スウェーデンに 1 社があり最大勢力となっている。A 社は 250×250 サイズのプラットフォームのみで、CW の 200W と 400W の 2 種類の装置が製品化されているが、造形環境は造形室内に強制的に加圧アルゴンガスを注入したアルゴン置換雰囲気であり、酸素は完全に除去できていない。B 社は A 社と同じく 250×250 サイズのプラットフォームで、CW の 200W のみが製品化されている。造形環境は A 社と同様である。C 社は 125×125、250×250、280×280 の 3 サイズのプラットフォームが製品化されており、それぞれ全て CW レーザーの 100W/200W、200W/400W、400W/1000W という構成で、Low/High 2 台のレーザーを搭載している。成形する部品の外郭は、低速度、Low Power、ガウシアンビームで走査し、内部構造の塗りつぶしは、高速度、High Power、ハットトップビームでレーザーを切り替えて走査をすることで高速性を高めるといった特徴を有している。D 社は現時点では 125×125 (CW200W)、250×250 (CW400W) の 2 サイズのプラットフォームを製品化している。500×500 (CW1000W) の大型サイズの開発をしているとの記事が 2 年ほど前に報じられていたが、いまだ製品化はされていないようである。C 社と D 社は真空注型装置も事業として手がけていることから、造形環境を一旦真空にしてから加圧アルゴンガスを注入しており、A 社や B 社の装置よりも造形環境における酸素濃度が低く抑えられているようである。F 社は 200×200 サイズとやや小さめのプラットフォームであるものの、光源としては唯一電子線描画を持ち、装置の能力としては非常に高出力で高速な電子ビーム走査が可能であるが、実ユーザーからの情報に依れば、実際の成形では 300W 程度の出力で走査しているとのことである。なお、F 社の装置は電子線を利用する関係で  $10^{-2}$ Pa 程度の真空造形室での加工を行っている。

日本では E 社がある。E 社は加工精度を高めるため、造形室内に NC の工作機械を内蔵し、粉末造形と NC 切削加工を交互に行うシステムとして特徴がある。E 社の装置は金型の要求精度を満足するために開発された金型造形用の専用機として開発されたが、最近では部品の成形も可能なようになってきているようである。

アメリカでは G 社が D 社の OEM 供給を受けているが、自社開発はしていない。ただし、アメリカにおいては 2012 年より 3 年弱のプロジェクトとして、DoD (Department of Defense) , NASA, DoE、NSF 等が 300 万ドルの予算規模の開発を進めることになっている。したがって、日本国内の活性化を進めないと自動車・航空機・医療等の産業における最終製品での優位性が危惧される。

以上を踏まえ当初医療用の製品製造技術として、チタン合金をターゲットとした粉末成形システムの開発を行うこととした。人工関節では患者の体格によるが最大 250mm 程の大きさが求められることもあり、300mm クラスの製品を自在に作れることをターゲットとしている。この大きさであれば、波及効果として自動車や航空機等への展開も期待できる。



- ▲A社(独)
  - 250<sup>□</sup>, 200W (CW)
  - 250<sup>□</sup>, 400W (CW)
- ◆B社(独)
  - 250<sup>□</sup>, 200W (CW)
- ▼C社(独)
  - 125<sup>□</sup>, 100/200W (CW, 切替)
  - 250<sup>□</sup>, 200/400W (CW, 切替)
  - 280<sup>□</sup>, 400/1000W (CW, 切替)
- D社(英)
  - 125<sup>□</sup>, 200W (CW)
  - 250<sup>□</sup>, 400W (CW)
  - 500<sup>□</sup>, 1000W (CW, 開発中?)

- ◎E社
  - 250<sup>□</sup>, 400W (CW)

**真空成形環境**

- F社(スウェーデン)
  - 200<sup>□</sup>, 50-3000W (電子線)
  - 300W (実使用出力)
- ★本プロジェクト
  - 150<sup>□</sup>, 500W (QCW平均実力値)
  - 300<sup>□</sup>, 500W+300W (重畳)

図Ⅲ-2. 18. 4 金属用粉末積層造形機の成形サイズとレーザー出力比較

## 2.18.2 研究開発目標と根拠

これらの開発状況等を踏まえ、既存技術より進化したシステムとして開発を行う事を目標に、1) 真空成形技術、2) パルスおよび重畳レーザー技術、という二つの特徴を持つ装置を開発することとした。また他社製品では、ベースプレートと呼ぶ金属板を設置し、その上に造形を進める手法を中心としているが、不連続な造形や、重ねて多数の製品の成形を行えるようにベースプレートを使わない技術としての確立を目指した。

具体的な目標としては、中間目標として

- ① 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。
- ② 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。
- ③ 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。
- ④ レーザー加工試料の評価技術を構築すること。

の4項目である。真空中での成形装置は電子線を利用するF社製のものが唯一あるが、レーザーを使用した装置は存在していない。また、レーザーについても市場にある全ての装置はCWレーザーを利用しているものであり、複合レーザー照射の照射方法、プロセス条件は未知である。真空下での装置を目標としたのは、金属材料の造形において、粉末の金属材料は粒子径が小さくなると消防法上の危険物の指定を受けているように、空気中の酸素との反応が強く、場合によっては発火・爆発等の危険を伴うリスクがある他、製品についても酸化し品質の低下を招く。特に粉末成形では、製品を薄くスライスし積み重ねるため、製品の内部まで酸化した状態となるため、酸化防止の対処が必須である。通常市場の装置では不活性ガスを利用しているが、原料のストック部に大量に入れた粉の中に含まれる空気分を完全に除去することは難しい。一方真空では、 $1 \times 10^{-3} \text{Pa}$  オーダーの真空度を確保すれば、内部の分子の平均自由行程が1m程度となり、容易に酸素分圧を下げられる。さらに粉の表面の水分の吸着なども考慮しておくことが必要だが、真空下の方が蒸気圧が下がるため脱離しやすくなり、この点においても酸化リスクの低減が図れる。また仮に不活性ガスを導入する場合にも一度真空にしてからの導入する方が、酸素分圧を下げやすく安定した加工に繋がる。そこで今回の開発では真空での装置開発とした。一方、真空装置にも課題があり、積層造形の機構上、駆動部が多く、特に駆動機構の真空シール部への金属粉の影響は明らかではない。金属粉の装置内への浮遊（特に真空の引き始め・ベントによる大気解放時）の発生のしやすさ等の課題等解決が必要な内容を持つため、まずは装置を具現化し各種の条件に付いて最適化を進めることを第一の目標とした。その後その結果を踏まえ実用化サイズの装置を開発し、300mmクラスの人工関節等の試験作成を実現することとした。

加えてレーザー光源についても市販の装置は全てCW光を利用しているが、製品品質の向上を目的とし、パルス光の優位性を生かした装置開発とした。CW光では、製品製造時にはレーザーパワーと走査のパラメータが利用可能なパラメータとなる。一方パルス光では繰り返し周波数、duty というパラメータの利用が可能となる。熱を与えない時間が存

在することにより、材料の温度を下げる効果と、空間的に熱を与える領域、与えない領域を生み出す事が可能という違いがある。自由な形状をした製品は小さな領域だけを造形する場合と広い面積を造形する場合があり、造形の条件を変化させる必要がある。連続した線で塗りつぶす CW では均質化が難しいが、無数の点により描画するパルス光では安定した造形が可能となると期待できる。さらに、パルス光だけでは平均的な熱量が不足する場合、弱い CW 光と重畳することにより安定造形する手法について開発を目指す。パルスレーザーと重畳レーザーについては大阪大学を中心に開発し、ALPROT において開発する加工装置と組み合わせ実現する。既存の加工法と異なるため、レーザー光の照射方法の確立や、加工条件の最適化が重要であり、これを中間目標としている。

また、造形品についてその特性評価技術は、バルク材料と同等の試験方法はあるが、粉末造形では欠点として内部に空孔を持つような欠陥を生じるリスクがあり、このリスクに対して評価できる手法が望まれる。装置が完成し試験片の開始後評価方法について構築することとした。

最終目標としては

- ① 成形精度：±0.1 mm (100 mm サイズ基準パーツ)
- ② 成形時間：16 時間以内 (高さ 100 mm サイズ基準パーツ)
- ③ 引張強度：チタン合金 840 MPa 以上 (生体部品用途)

である。中間目標において造形技術が確立したのち、粉末造形技術を実用的な装置として利用可能にするための目標値として設定している。それぞれの目標値の位置づけとして、成形精度は粉末成形の欠点とされており、原料の粉の粗さが表面に残る点と、粉の隙間に生じる空孔を埋めるためと材料の縮小、残留応力等を原因とする精度の低下がある。現在市場の他社製品では実際の成形精度が±0.2mm 程度であり、その半分を成形目標とした。

成形時間は金属粉末積層造形装置のユーザーに事前ヒアリングしたところ、現在使用している金属粉末積層造形装置で高さ 100mm のものを造形するのに、現状 20 時間程度かかっているとのことなので、その能力の 2 割アップの設定とした。

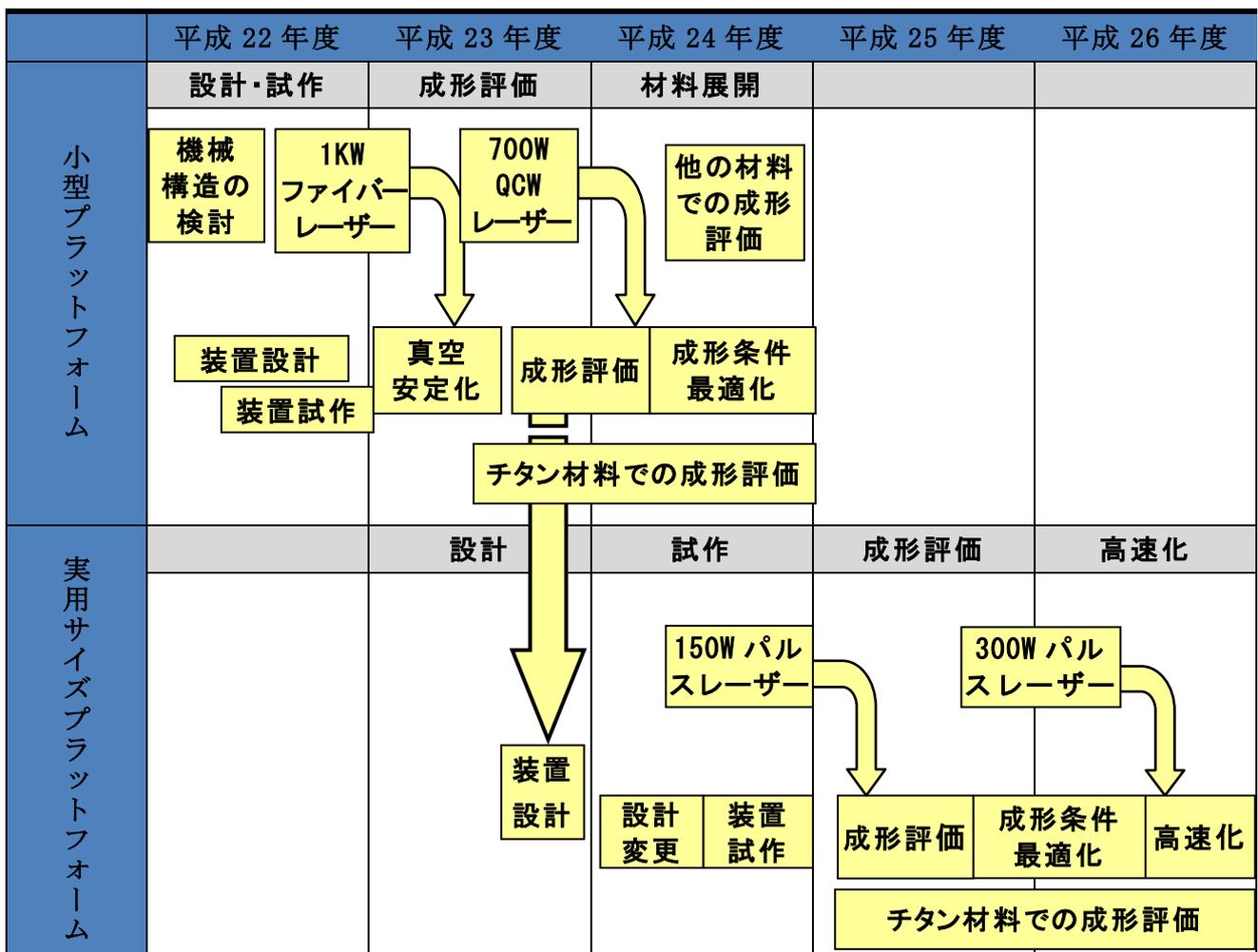
引張強度は、医療用チタン材に関する ASTM F136 の Ti-6Al-4V ELI 規定値 795MPa (0.2%耐力) の 5%増しの値とした。この規格を満足しないと製品化は実現できない。なお、国内で調達できるチタン原料粉は JIS 規格に基づき購入でき、バルクの規格として 930MPa である。その 1 割減である。なお、“ELI”は Extra Low Interstitial Elements で、エリー材と呼ぶ 64 チタンの材料の一種である。Ti-6Al-4V でも「酸素、窒素、水素及び鉄の含有率を特別に低く抑えている」材料である。

### 2.18.3 研究開発スケジュール

研究開発スケジュールを、表Ⅲ-2.18.2 研究開発スケジュール に示す。平成 22 年度と平成 23 年度は実用型のプラットフォームの作成に先立ち、小型のプラットフォームを用いた、真空装置、リコータ、シリンダ等の設計・試作・動作確認等を経て、同装置を用いた成形実験を行い評価および最適化を実施した。これらの結果を同時進行的に実用化サイズプラットフォームの設計へ反映させた。平成 24 年度には実用型プラットフォームの試作を完了し、ALPROT と大阪大学で開発する重畳型レーザーを搭載し、高品質な成形試験を行い実用化へ繋ぐ。

なお、平成 24 年度については、計画変更を行いチタン以外の材料についても成形の実験を行い、医療以外の分野への実用化展開を早期に実現できるようにする。そのためユーザーからのニーズ調査などを行い、ニーズの高い材料について検討する。

表Ⅲ-2.18.2 研究開発スケジュール



## 2.18.4 研究開発目標と達成状況

中間目標の達成度については現時点では以下の通りである。

(達成度の基準：◎大幅達成、○達成、△今年度達成見込み、×未達)

- ① 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。  
真空下においても動作可能な粉末供給や積層動作に適合した部品選定と機械構造を検討し、成形環境を真空にした小型プラットフォームの試作を完了した。  
したがって達成度は○とした。
- ② 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。  
大阪大学と連携して、複合レーザー照射方法として、穴あきミラーを使用する方式や、偏光ミラーを使用する方式も検討したが、ダイクロイックミラーを使用して重畳する方式が2ビームの結合効率が一番良いことから、最終的にダイクロイックミラーを使用複合レーザー照射方法の確立を進めている。今年度中には完了見込みだが現時点では準備中であることから、達成度は△とした。
- ③ 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。  
QCW レーザーを小型プラットフォーム機に搭載し、CW レーザーと、パルスレーザーでの成形物の違いの評価と加工プロセスの最適化を実施中である。平行して大阪大学のパルスレーザーを用いて照射実験を実施することにより、粉末積層造形メカニズムの明確化を進めている。  
今年度中には完了見込みだが現時点では完了していないことから、達成度は△とした。
- ④ レーザー加工試料の評価技術を構築すること。  
チタン粉末による成形物の形状を定め、それを分析することにより、成形条件と成形物の組織、構造、密度、機械物性の評価と評価技術の構築を実施した。したがって達成度は○とした。

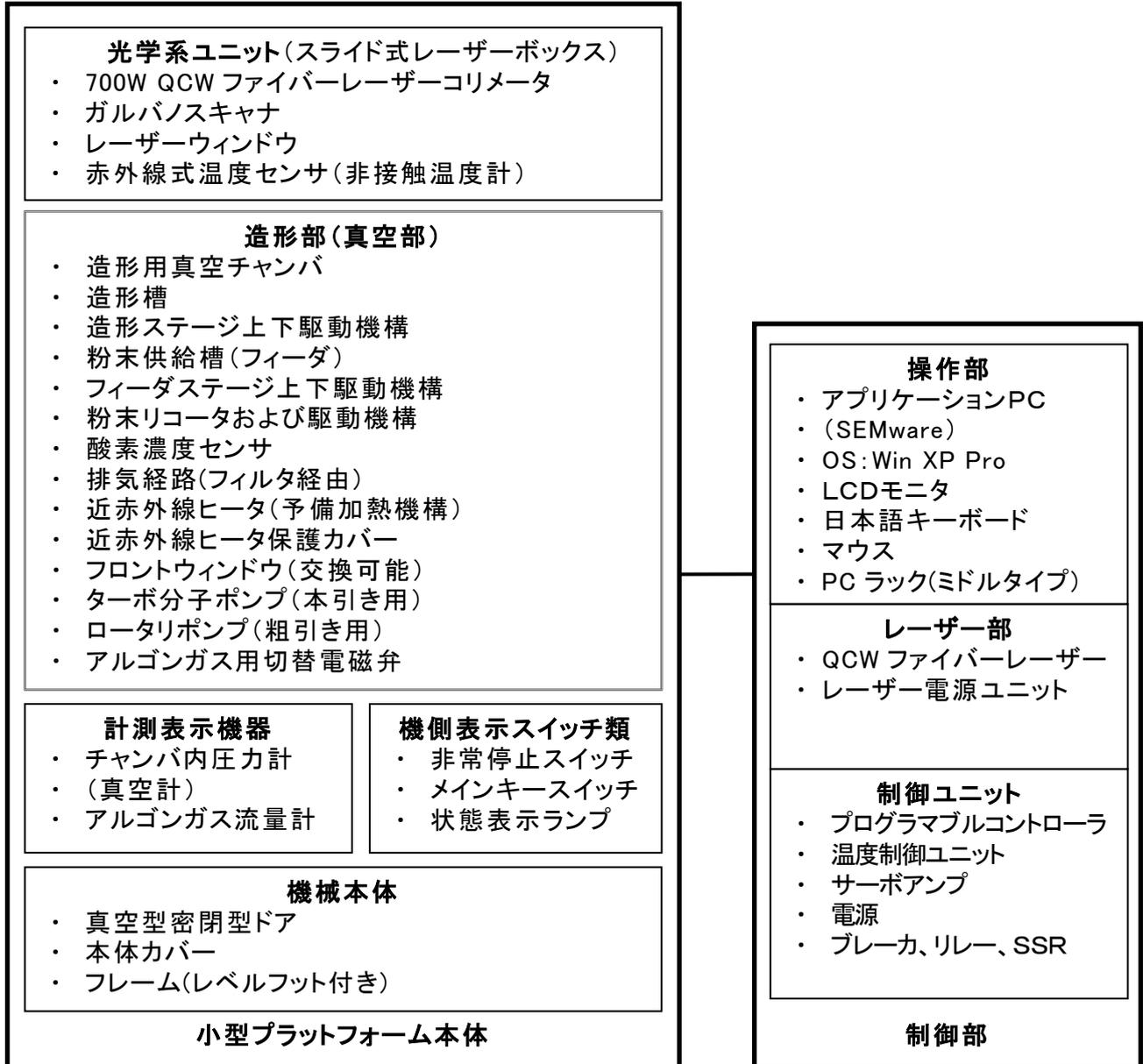
### 2.18.5 成果の詳細

以下現在までの開発の状況について記す。

真空下においても動作可能な粉末供給や積層動作に適合した部品選定と機械構造を検討し、成形環境を真空にした小型プラットフォームの試作を完了した。機械構造としては、ステンレスおよびアルミを使用した真空チャンバ内に造形用のシステムを組み込む方式を採用した。図Ⅲ-2.18.5 に小型プラットフォーム外観、図Ⅲ-2.18.6 に小型プラットフォーム試作機のシステム構成図、表Ⅲ-2.18.3 に小型プラットフォーム試作機の基本的な仕様を示す。



図Ⅲ-2.18.5 開発した小型プラットフォームの外観



図Ⅲ-2.18.6 開発した小型プラットフォーム試作機のシステム構成図

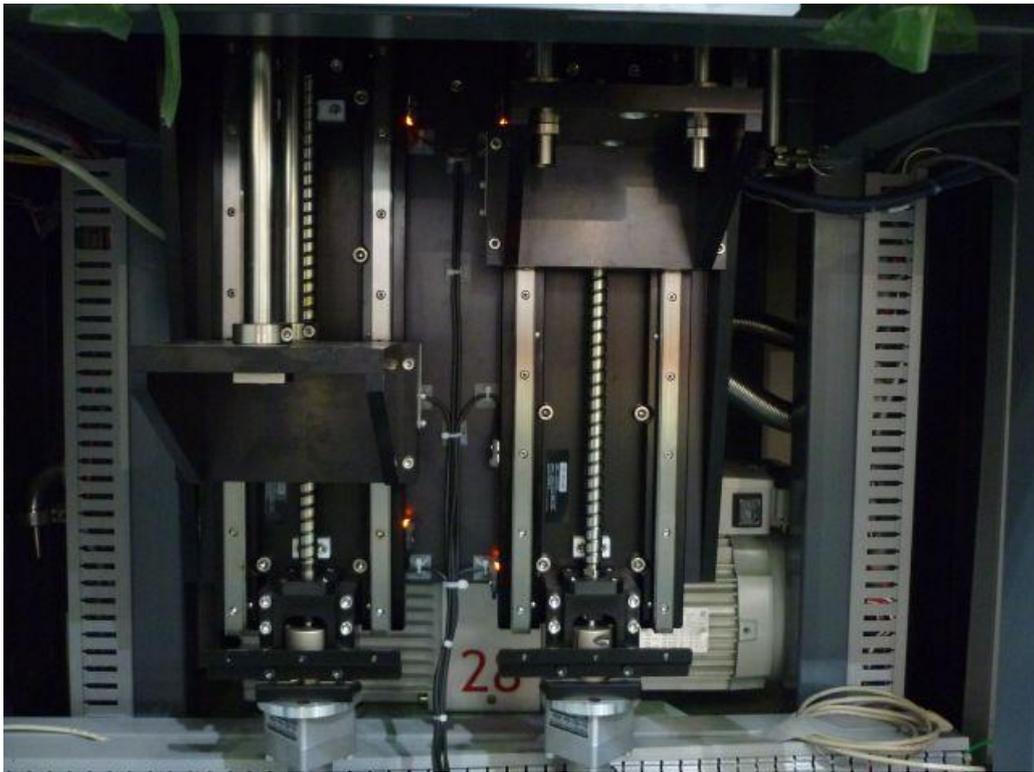
表Ⅲ-2.18.3 小型プラットフォーム試作機の基本的な仕様

| 機械本体           |   |
|----------------|---|
| 有効ワークエリア       | X:120 × Y:120 × Z:200 mm  |
| 造形ステージサイズ      | X:150 × Y:150mm<br>(レーザービーム最大照射範囲 X:135 × Y:135mm)  |
| 最小積層ピッチ        | 0.05mm  |
| 造形室構造          | 真空構造(真空圧 10 <sup>-2</sup> Pa 以下)<br>真空ポンプは、ロータリポンプ(粗引き)とターボ分子ポンプ(本引き)の2種類を使用                    |
| 材料酸化防止、真空開放機構  | 不活性ガス(アルゴンガス)充填(酸素濃度センサ付き)  |
| 造形ステージ駆動機構     | AC サーボモーターボールネジ駆動方式   |
| 粉末積層機構         | 片持ち構造ブレードリコータ(ローラリコータ搭載可)   |
| 粉末材料供給方式       | 非交換カートリッジ方式   |
| 材料加熱           | 真空用近赤外線クォーツヒータ  |
| レーザー光学系        |   |
| 搭載レーザー         | プロジェクト新規開発品<br>QCW ファイバーレーザー  |
| レーザービーム走査      | ガルバノミラー方式<br>(近赤外線仕様、リニアトランスレータ付き)  |
| 制御部            |   |
| 機械制御装置         | プログラマブルコントローラ   |
| データ処理装置        | デスクトップパソコン<br>Pentium4 3GHz 以上<br>17 インチ液晶モニタ<br>Windows <sup>®</sup> XP Professional           |
| アプリケーションソフトウェア | 日本語オリジナルソフトウェア<br>SEMware   |
| 入力データ          | STL フォーマット  |
| その他            |   |
| 電源             | AC200V 三相 20A(ヒータ)<br>AC200V 単相 30A(QCW レーザー用)<br>AC200V 単相 10A(レーザーチラー用)<br>AC100V 単相 30A(制御用) |
| 動作環境           | 20℃～28℃(造形中は±2℃以内), 湿度 70%以下  |
| 寸法および重量        | 本体:1,260(W)×963(D)×662(H)<br>制御装置:853(W)×557(D)×700(H)<br>総重量:500kg                             |

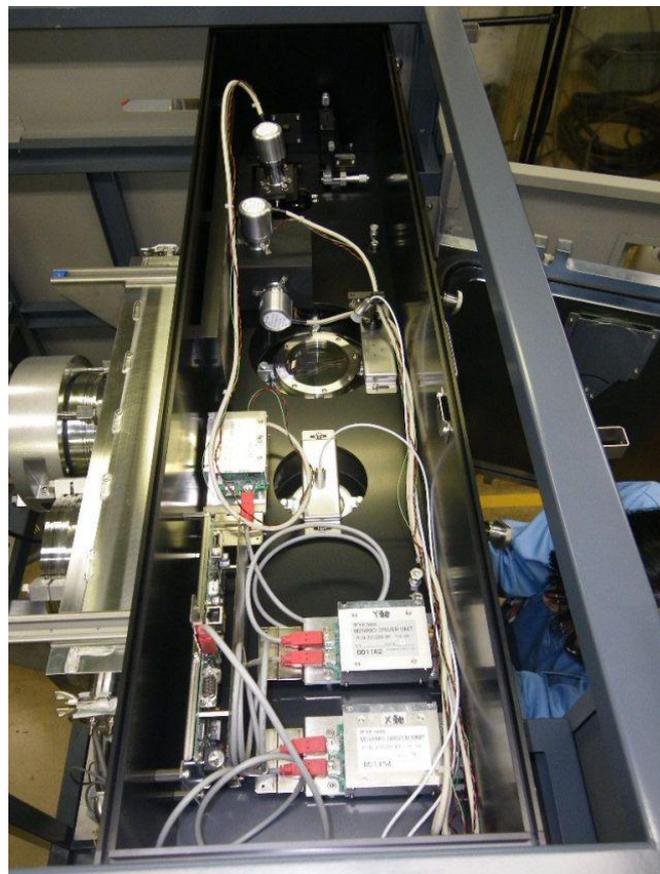
造形装置の構成としては、原料となる粉末を準備しておく粉末供給槽（フィーダ）、フィーダから造形場所に金属粉末を敷くりコータという粉末積層機構、真空装置外に設置したレーザー光源とガルバノ・ミラー・スキャナという光源関連装置、真空チャンバと真空ポンプの真空機構、制御用 PC や各種センサ類という制御機構から構成される。順次開発した内容を以下に記す。

粉末積層機構としては、金属粉末材料は樹脂粉末材料に比較して比重が大きく、同じ容量を取り扱おうと大荷重に耐える構造で製作する必要がある。たとえば今回の研究開発では 6-4 チタン (Ti-6%Al-4%V) 合金を使用しているが、この比重は 4.7 程度である。大気圧の窒素ガス雰囲気下の装置では樹脂材料を用いているが、その比重は最大でも 1.5 程度なので、3 倍以上重たいことになる。150×150×200 の造形ボリュームに多少の余裕分が加わり、単純計算では最大で 21kg 程度の重量となる。しかし、粉末のかさ密度は高くても 0.5 程度なので、実際の粉末の重量は「容積×比重」の約半分程度で、10kg 程度となる。なお、金属粉末材料は造形開始後に粉末供給槽（フィーダ）から徐々に造形槽に移動するため、造形ステージとフィーダステージは荷重の変動にも耐える構造になっていなければならない。したがって、造形ステージ駆動機構およびフィーダステージ駆動機構には、図 III-2.18.7 に示す通り、大荷重とその荷重の変動にも影響されにくく精度の高い位置決めが可能な AC サーボモータボールネジ駆動方式を採用した。粉末積層造形装置では造形エリアに取り付けたステージ機構を用いて 1 層分の厚さを下げる。逆にフィーダ側では一層分の粉の量に相当する厚さ分、ステージを持ち上げる。持ち上がった粉末はリコータを用いて造形エリアに敷くことになる。フィーダと造形部では、造形高さに安定分のボリュームを加えた量を保持し、かつ各層 0.1mm 以下で正確に動作させる必要がある。さらに粉末の出し入れのためカートリッジ式の造形構造を作る方が有利であり、そのための着脱機構および、真空容積をできる限り小さくする方が真空度を高くするのに有利であること、真空内は機械油などの利用が不適であり、駆動機構は真空外に設置する必要があることから、各種の機構を新規に開発し、チタンを設置した場合にも 0.01mm での精度での動作が可能となっている。

光源関係の構成としては、装置外に設置したレーザー光源から光ファイバーを利用し装置へ導入する。粉面上にフォーカスしたレーザー光を走査するため、デジタル制御式ガルバノ・ミラー・スキャナ装置（図 III-2.18.8）を設置し、レーザー光を X Y Z 方向に走査しながら必要な造形パターンへの照射を実現している。ガルバノ・ミラー・スキャナは真空外に設置されているため、真空内の造形粉面へは真空装置の上面境界に取り付けられたレーザーウィンドウ（光学窓）を経由して導入している。ガルバノスキャナでのレーザー光の走査速度は粉面上で最大 2m/s とし、最終目標である高速造形速度を確保できるようにしている。今回の装置では、金属造形の最適化として、造形形状や走査パターンに応じてレーザーパワーや走査速度を変化させる高度の制御を行えるようにしてある。



図Ⅲ-2.18.7 ACサーボモータボールネジ駆動方式



図Ⅲ-2.18.8 ガルバノ・ミラー・スキャナ装置

真空チャンバとしては、ステンレス製の容器とアルミ製の扉機構を持ち、内部に原料粉の供給様フィーダ、造形エリア、原料粉のリコータ、余分な原料粉を改修するボックスからなり図Ⅲ-2.18.9のような内部構造となっている。真空ポンプには、粗排気用ロータリベーンポンプ（図Ⅲ-2.18.10）と主排気用ターボ分子ポンプ（図Ⅲ-2.18.11）を設置し、実際の成形条件で $1 \times 10^{-3}$  Pa程度が確保できている。真空計としては、ピエゾ式とホットフィラメント式真空計を設置してある。ターボ分子ポンプは400L/minクラスのポンプであり、装置サイズが小型といえる点からも十分な性能である。実際の成形試験では、ロータリベーンポンプクラス $2 \times 10$  Pa程度では、残留酸素の影響によると思われる製品の変色が見られ十分な成形とならなかった。ターボ分子ポンプの効果が見られる十分な真空度としては $2 \times 10^{-2}$  Pa程度と見込んでおり、ここまでの真空度への到達時間は30分弱であった。真空到達時間は短いに越したことは無いが、真空引き開始後に他の造形準備作業があるため、実用上は全く問題がなく、製造装置としても十分な性能とすることができた。時間経過に対する真空圧のグラフを図Ⅲ-2.18.12および図Ⅲ-2.18.13に示す。図Ⅲ-2.18.12は粗排気用ロータリベーンポンプによる真空圧、図Ⅲ-2.18.13主排気用ターボ分子ポンプによる真空圧を示している。主排気用ターボ分子ポンプは粗排気用ロータリベーンポンプが動作開始して18分経過後に動作開始しており、図Ⅲ-2.18.13の横軸の時間はその後の経過時間を示している。



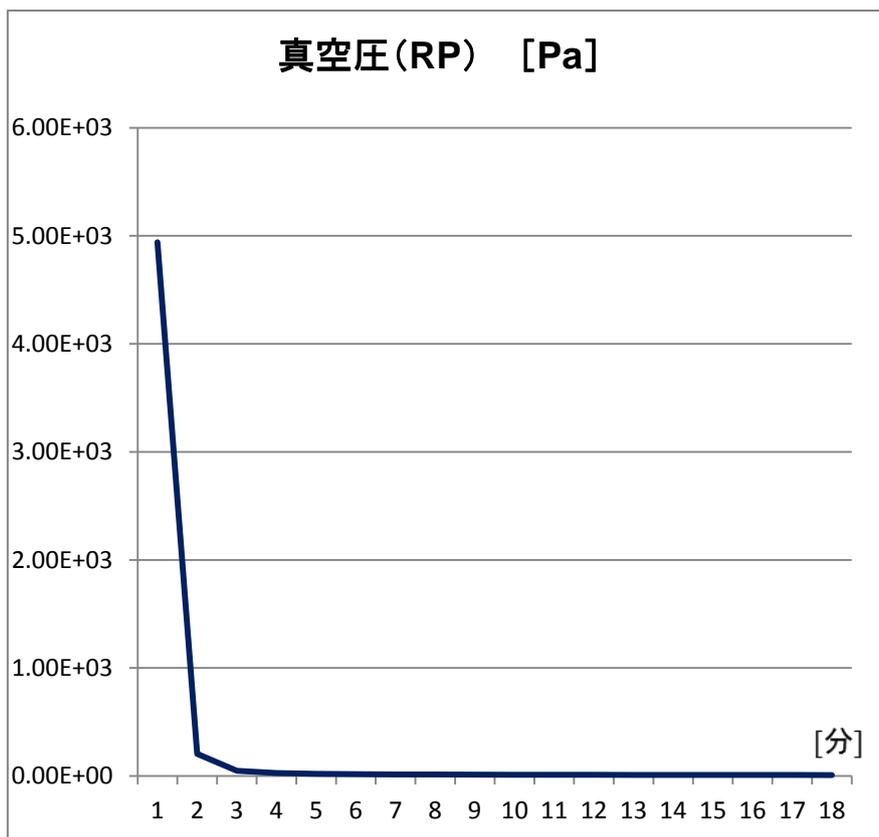
図Ⅲ-2.18.9 真空チャンバ内部の様子



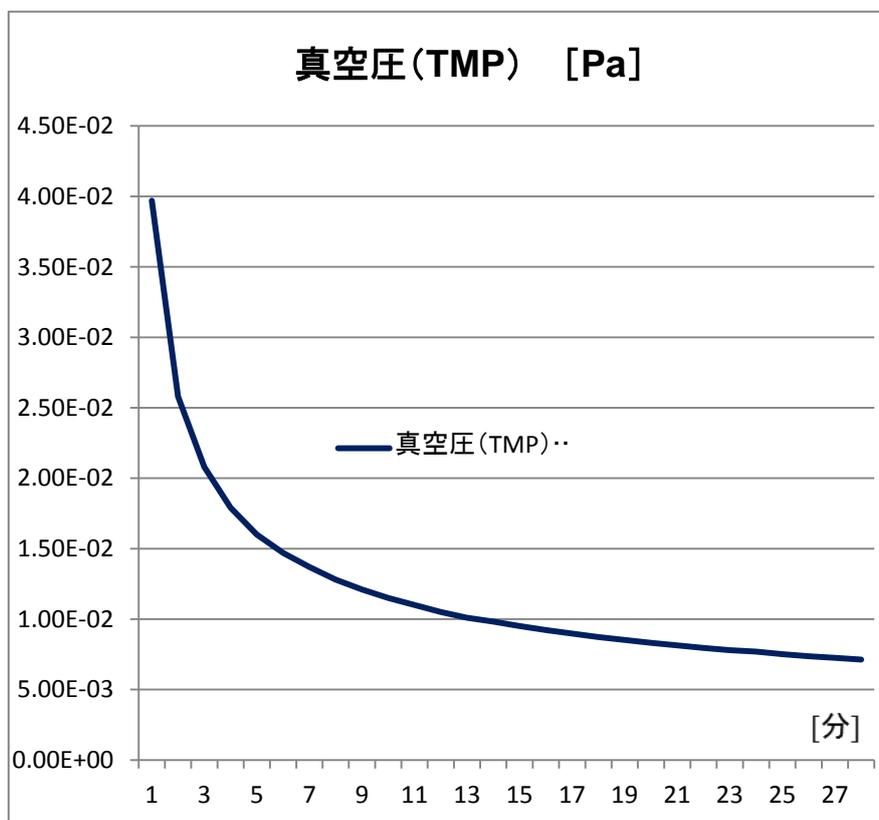
図Ⅲ-2.18.10 粗排気用ロータリベーンポンプ



図Ⅲ-2.18.11 主排気ターボ分子ポンプ



図Ⅲ-2. 18. 12 粗排気用ロータリベーンポンプによる真空圧



図Ⅲ-2. 18. 13 主排気用ターボ分子ポンプによる真空圧

ソフトウェアについては、アスペクト社製の粉末積層造形装置 SEMplice シリーズのアプリケーションソフトウェア SEMware をベースとし、真空型小型プラットフォームへの対応として、チタン成形の安定成形、成形物の高密度化や高精度化を図るための改良を実施した。

光源関係としては、プロジェクトで開発したレーザーが提供されるまでの期間において、当初は溶接用の 1KW ファイバーレーザー (CW) を搭載し開発を進めたが、レーザー出力をリアルタイムに変更できないことや、ガルバノ・ミラー・スキャナの走査速度に対しての出力応答に遅れにより、最適成形条件を十分に導くことができなかった。しかしながら、全体として大まかなパワーの算定や、スキャン方法等に関する知見を得ることができた。金属 (チタン) 粉末では樹脂粉末とは状況が異なり、細かな制御が必要であることが明らかとなった。実際にチタン粉末をしっかりと焼結させるレーザー出力でいきなり成形を行った例を図 III-2.18.14 に示すが、開発初期の成形品は表面がでこぼこしたり数珠玉のように丸まって溶けたりする現象が確認できた。この状況では製品の凹凸が大きく、リコータブレードによる粉敷きの際に積層厚さ 0.2~0.3mm はこの凹凸の方が高く、リコータブレードと成形物が接触し、粉内で動かしてしまい、安定した成形は実現できなかった。



図 III-2.18.14 開発初期の成形品

造形装置の高度化にはレーザー光源の変更が重要であった。パルスレーザーについては、短時間での熱吸収、熱伝導速度以下での加熱の終了という瞬間的な熔融凝固は表面張力による球状化を抑える、蒸発も抑える等の効果が期待できるので、プロジェクト内での開発を進めているが、現時点では未完成状況である。そこで、このパルス状加熱、安定加熱という状況を確保するため、計画を変更し、プロジェクト内で切断用として古河電工が開発していた QCW レーザーを利用した実験を行うこととした。平成 23 年度末にレーザー装置を導入しパラメータを自在に変更した実験を開始した。特に立体形状においては、作成形状での走査線の長短・それまでの成形形状ボリュームによる熱の蓄積、下層の造形物の有無等が異なる状況での造形が必須である。このような初期状態の違いを踏まえたうえで安定な造形を行う必要がある。

これらの結果を踏まえ、より複雑な形状を持つ製品の造形実験を行った。図Ⅲ-2.18.15は試作した小型プラットフォーム機で成形したチェスの駒のサンプルである。加工プロセス（照射条件、予備加熱条件）の最適化により反りのない形状が現されていることに加え、真空下で成形したことからチタンの金属色が損なわれていないことがわかる。



図Ⅲ-2.18.15 小型プラットフォーム試作機で成形したチェスの駒

以上述べたように小型プラットフォームの試作が完了し、成形条件の構築を進めている。装置性能としては現在十分なレベルである。この成果を踏まえ実用化プラットフォームの試作機の設計と製作にかかっている。現在詳細な設計の修正や本プロジェクトで光源グループが開発した 700W QCW レーザーを小型プラットフォーム機に搭載し、CW と、疑似パルスでの成形物の違いの評価を進めており、平行して大阪大学のパルスレーザーを使用した照射実験を進めることにより、粉末積層造形メカニズムの明確化を進めている。加工プロセス（照射条件、予備加熱条件）の最適化については引き続き実施中である。

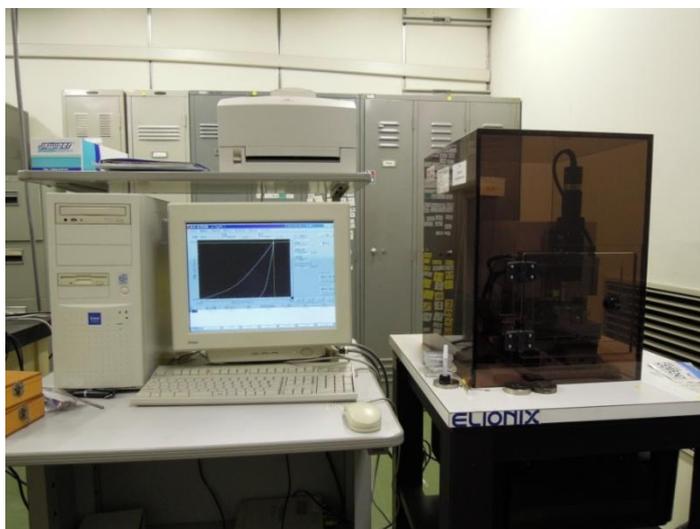
異なる発振形式のレーザーを用いた複合レーザー照射方法の確立については、大阪大学と連携しダイクロイックミラーを使用して重畳する方式で製作を進めている。

レーザー加工試料の評価技術としては、光学顕微鏡、SEM(Scanning Electron Microscope)等による観察、機械的強度評価およびX線CTスキャナによる内部構造評価等を実施している。機械的強度評価としては、マイクロ硬さ試験機を用いた硬さ測定、引張試験である。

密度測定は、現状として開放型ポーラス構造部があるためにアルキメデス法が不適當であることから、形状寸法と重量から求める手法とした。その結果、初期の溶接用レーザー用いたサンプルでは緻密な Ti6Al4V 合金の値に対し 50%程度と空乏が多いことが判った。その後造形条件の見直しから 70%程度に向上している。現在さらに高密度化するための条件出しを行っている。

硬さ測定には、エリオニクス社製、ENT-1100(図Ⅲ-2.18.16)を用い三角錐形 Berkovich 圧子 先端稜間角  $115^\circ$  を用い、荷重 5g、保持時間 10 秒で実験した。測定結果について、200W 造形の測定結果を図Ⅲ-2.18.17 に、レーザーパワー毎の平均値を図Ⅲ-2.18.4 に示す。図Ⅲ-2.18.17 の様に測定にばらつきが生じている。結果は  $288\sim 369 \text{ mgf}/\mu\text{m}^2$  と

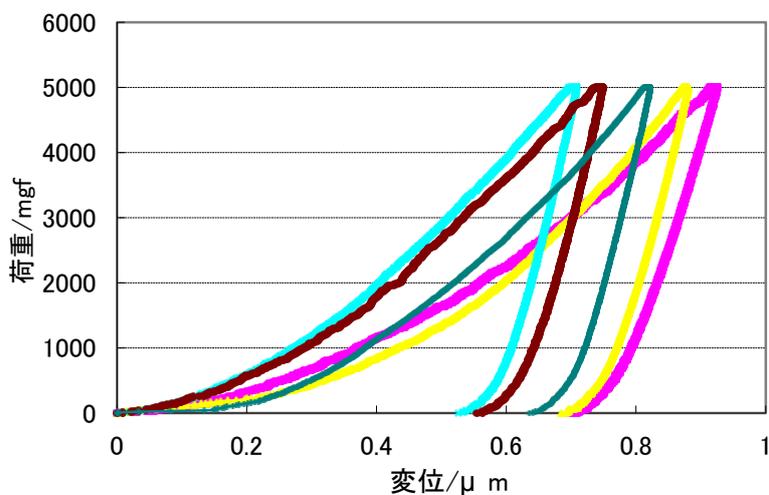
なった。測定方法の違いの影響があり相当値としての比較になるが、Ti6Al4V 合金の JIS 値 375 HV に比べ若干低い値と考えられる。内部の焼結が不十分であり、空孔が生じていることによる影響は測定結果の標準偏差の大きさに現れたと考えられる。



図Ⅲ-2.18.16 エリオニクス社製硬さ試験機 ENT-1100

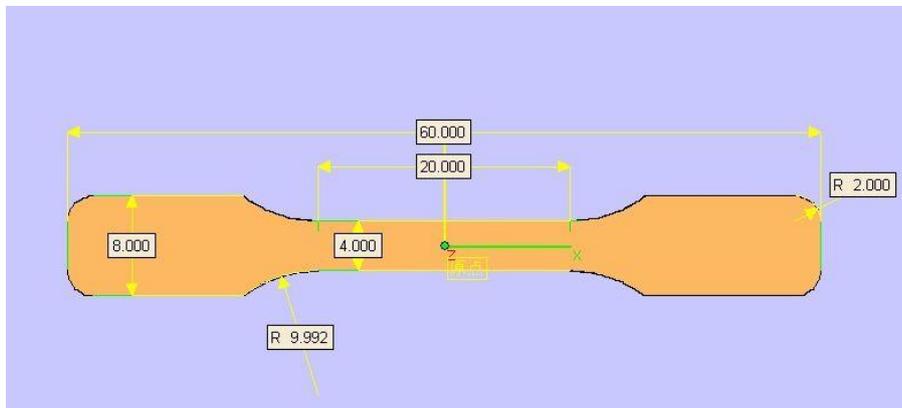
表Ⅲ-2.18.4 硬さ測定例

| レーザーパワー(W) | 硬さ (mgf/ $\mu\text{m}^2$ ) |
|------------|----------------------------|
| 120        | 305 ± 65                   |
| 150        | 354 ± 61                   |
| 200        | 288 ± 65                   |
| 300        | 369 ± 33                   |



図Ⅲ-2.18.17 硬さ測定例 (200W)

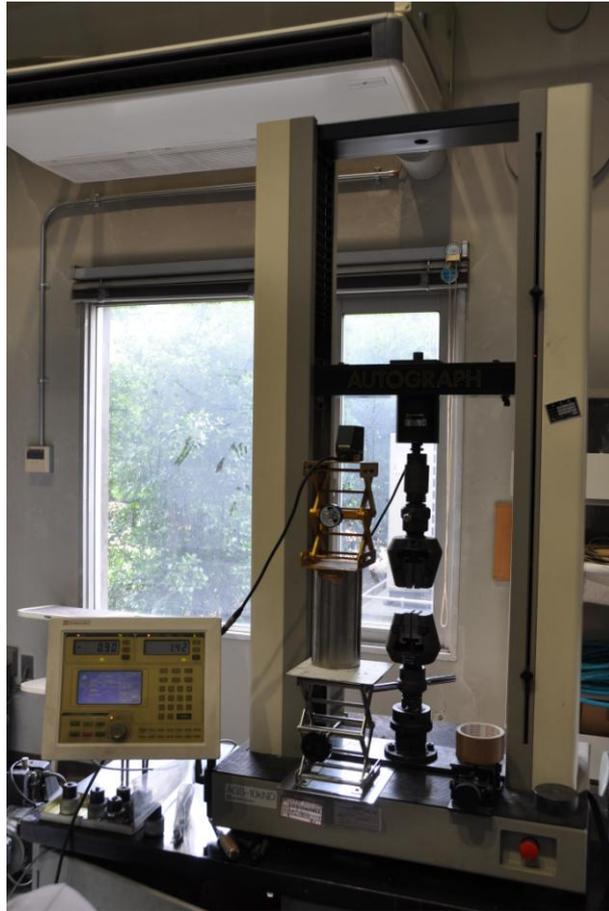
引張試験については、島津製作所製 Autograph AGS-10 kND を利用して行った。引張速度一定で実験し、5mm/min で実験した。ロードセルは 10kN の物を用いた。変位はキーエンス社製のレーザー変位計を用いて測定ベッドの位置を用いている。今回は試験片のサイズが小さいのと十分な強度が得られていないので、ひずみゲージや評点間の計測は行わず、概算による算出とした。図Ⅲ-2.18.18 にチタン粉末による成形物の機械物性評価形状、図Ⅲ-2.18.19 に実際の試験片、図Ⅲ-2.18.20 に試験装置の写真を示す。荷重変位線図の例を図Ⅲ-2.18.21 に示す。結果はほぼ直線的に伸び、破断している。破断面を観察すると、図Ⅲ-2.18.22 のように層状構造が見られ、全体の焼結となっていない事が分かる。そのため、空孔も多く実際の断面積が小さい点と、焼結が行われた薄膜層の集合体としての測定になったため、十分な強度となっていない事が分かった。破断強度は 190~198MPa になった。今後積層間隔を小さくして焼結状態を向上する必要がある。



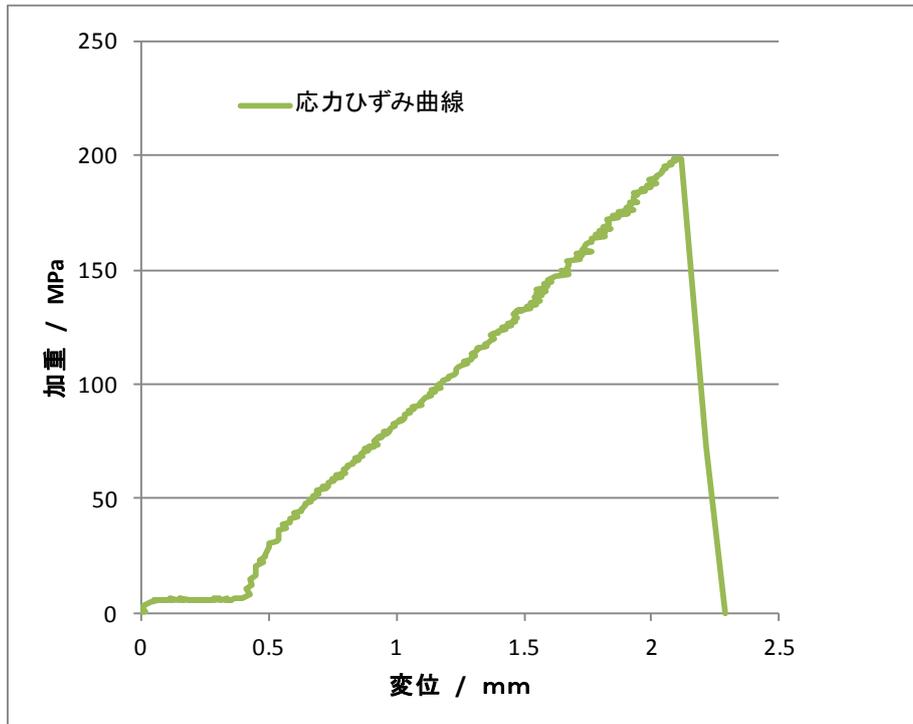
図Ⅲ-2.18.18 チタン粉末による成形物の機械物性評価形状



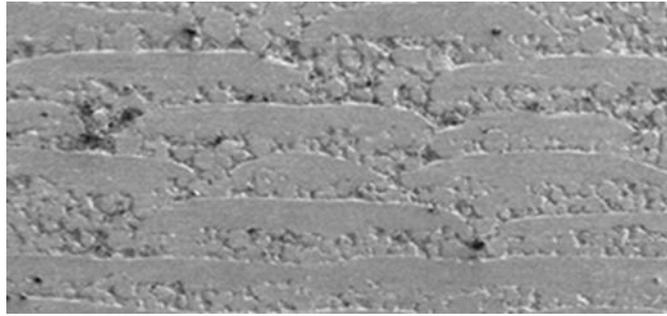
図Ⅲ-2.18.19 実際に作成した引張試験片



図Ⅲ-2.18.20 引張試験機（島津製作所 AGS-10kND）

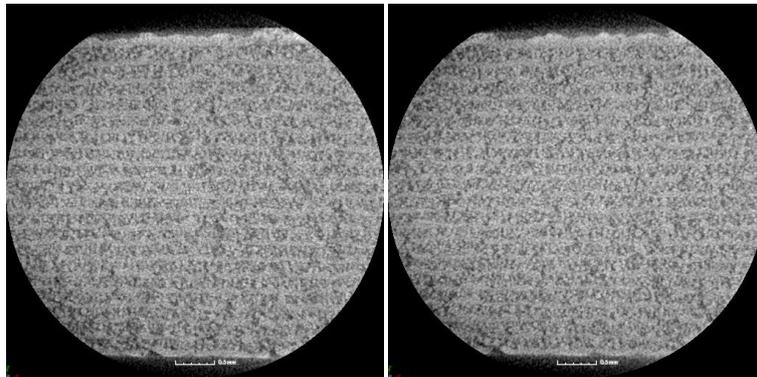


図Ⅲ-2.18.21 加重変位線図



図Ⅲ-2. 18. 22 試験片断面

さらに CT スキャナを用いた内部構造評価を行った。実験は XMS 社（ヤマト科学）TDM1000H-S $\mu$  / TDM1600H-II を用いている。タングステンフィラメントを用い、100keV の加速電圧である。サンプル中の  $\Phi$  5mm、長さ 5mm の領域を測定した。試験片の長手方向の位置の違いによる断面写真を図Ⅲ2. 18. 23 に示す。この試験片は溶接用レーザーを用いた 200W 造形サンプルである。位置が変わってもほぼ均一に溶融が進んだ面と不十分な面が積層構造となっている事が分かる。断面を切断し、光学顕微鏡・SEM で観察した場合と同じ結果であり、CT スキャナを用いると非破壊で内部構造が把握できる事が分かる。サンプルの層の間隔は 0.2mm であり、レーザーの溶融が表面に留まり、内部まで十分に結合できていない様子が分かる。レーザー光の吸収は表面で生じるため、表面の温度は十分に上がるが、粉の接触点からの伝熱がまだ不十分で内部まで十分な溶融には至っていない。積層間隔と粉末の粒度分布を変えて、リコート後のかさ密度を可能な限り向上する事が有効な解決策と予測している。



図Ⅲ-2. 18. 23 CT スキャナ測定例(200W 造形品)

測定位置で（左）26 層目、（右）256 層目

以上の結果から、粉末積層造形品の評価としては、非破壊で内部構造が大きく検討できる X 線 CT スキャナが非常に有効であること。引張試験も強度測定には有効であるが、硬さ試験は必ずしも実際の品質を表していない事が分かる。

## 2.18.6 最終目標の達成の見通し

最終目標の達成度については現時点では以下の通りである。

### ① 成形精度：±0.1 mm（100 mm サイズ基準パーツ）

現在のところ+0.2mm である。熱の伝わりにより想定より大きな領域が焼結しているためと考えられ、複合レーザーによる微妙な熱量の制御に加え、より正確な温度制御とそれに併せた描画条件の設定により最終目標値の達成を目指している。また造形寸法により成形精度が異なっている。補正プログラムの最適化等を検討し、最終目標値の達成を目指す。

### ② 成形時間：16 時間以内（高さ 100 mm サイズ基準パーツ）

一番大きなチェス駒（キング）の高さは 77mm で、成形時間は約 4 時間であることから、高さ 100 mm サイズ基準パーツを造形した場合には比例計算で 5 時間半程度と予測できる。現在密度が低く、焼結のためレーザー照射時間を延ばして対応する、粉の大きさを小さくして積層厚さを薄くする等による対応策を検討しているが、時間にして 2.9 倍の余裕があるので、目標値は達成できると考えられる。

### ③ 引張り強度：チタン合金 840 MPa 以上（生体部品用途）

190MPa ～198MPa と現状は低い。密度が低く、ミルフィーユ型の積層構造となっている事が原因である。積層間隔を小さくして厚さ方向の焼結状態の改善により最終目標値到達を目指す。

## 2.18.7 知的財産権及び成果の普及

(発表等)

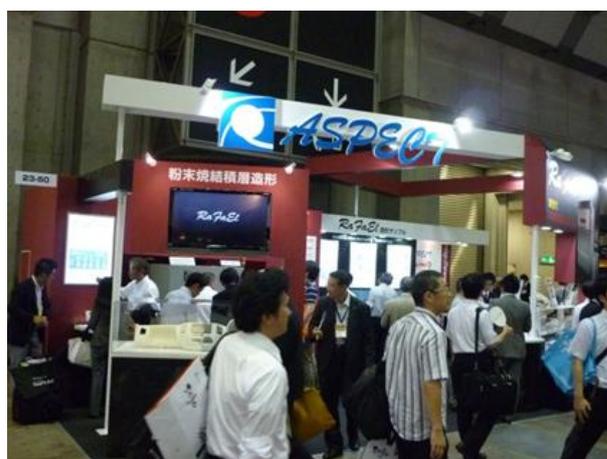
表Ⅲ-2.18.5 に示す通り、特許については平成 24 年度に国内出願 1 件、国際出願 1 件、論文については合計 3 件 (図Ⅲ-2.18.24 AM シンポジウムでの発表)、外部発表としては東京ビッグサイトで平成 24 年 6 月 20 日から 22 日において開催された設計製造ソリューション展で、今回開発した小型プラットフォームを出展し、潜在ユーザーの掘り起こしを実施した。会場の様子を図Ⅲ-2.18.25 に示す。なお、今年から設計製造ソリューション展に医療関係の展示会が合同開催となったため、医療ビジネスに携わっている潜在ユーザーがアスペクト社のブースを訪れ、興味深く話を聞く姿が連日見受けられた。

表Ⅲ-2.18.5 特許、論文、外部発表等の件数 (内訳)

| 区分<br>年度 | 特許出願 |     |        | 論文   |               | その他外部発表<br>(プレス発表等)      |
|----------|------|-----|--------|------|---------------|--------------------------|
|          | 国内   | 外国  | PCT 出願 | 査読付き | その他           |                          |
| 平成 22 年度 | 0 件  | 0 件 | 0 件    | 0 件  | 0 件           | 0 件                      |
| 平成 23 年度 | 0 件  | 0 件 | 0 件    | 0 件  | 1 件<br>(口頭発表) | 0 件                      |
| 平成 24 年度 | 1 件  | 1 件 | 0 件    | 0 件  | 2 件<br>(口頭発表) | 1 件<br>(設計製造ソリューション展に出展) |



図Ⅲ-2.18.24 AM シンポジウム



図Ⅲ-2.18.25 設計製造ソリューション展

## 2.19 研究開発項目④「技術開発推進にかかる調査(先端技術、環境等)・評価・普及促進の成果」

(ALPROT)

実用化、事業化を研究開発と同時進行で推進する上で、プロジェクト関係者、必要に応じた外部有識者、プロジェクト成果活用ユーザー企業メンバーからなる技術調査委員会を構成。本研究開発の技術的な方向性や最新技術の動向把握、分析等国内外の情報をいち早く入手(例、応用物理学会、レーザー学会、ICALEO(International Congress on Application of Lasers and Electro-Optics)、Photonic West ASSP(Advanced Solid-State photonics)、LPM, E-mars(欧州材料学会)、Cleo等調査分析結果を開発計画内に反映する。また、本開発成果の活用による製品製造に関わる素材・製品加工・実用化生産システムの可能性評価、本開発技術およびそれら成果を利用した製品製造工程の環境対応等幅広い視点で、プロジェクトに対する進捗、環境影響等分析を行い、時々刻々変わる技術動向の中でより効率的な開発推進、高信頼性製品の確立、高ロバスト性を確保するため、外部有識者やエンドユーザー、レーザー加工機メーカーとの連絡を密にして技術開発項目の内容や進捗を明確にし、開発推進計画に織り込む。そのほか、本開発技術の幅広い普及を目指し、可能な範囲での技術交流を目的とした成果報告会、セミナー、シンポジウムを実施する。それら報告会等を通じ、可能な範囲で成果を活用したレーザー加工技術のエンドユーザー、レーザー加工機メーカーに利用してもらい、その評価を受け、今後の開発内容の見直し等に活用する。

[平成22年度]

プロジェクト関係者、外部有識者を中心として、本研究開発の技術的な方向性や最新技術の動向把握、分析等国内外の技術や市場等情報を入手し、調査分析を行い開発計画内に反映する。また、本開発に関わる評価、環境対応等幅広い視点で、プロジェクトに対する影響分析を行い、時々刻々変わる技術の進捗方向の正当性を明確にし、開発推進計画に織り込む。また、平成22年度の段階における、ユーザー参加企業、レーザー加工機メーカーが求めるスペック等の条件を記載した参加企業リストを作成し、プロジェクトでのアウトプットとエンドユーザー企業、レーザー加工機メーカーの要求スペックをリスト表として作成しプロジェクト内に発信を行なった。

[平成23年度]

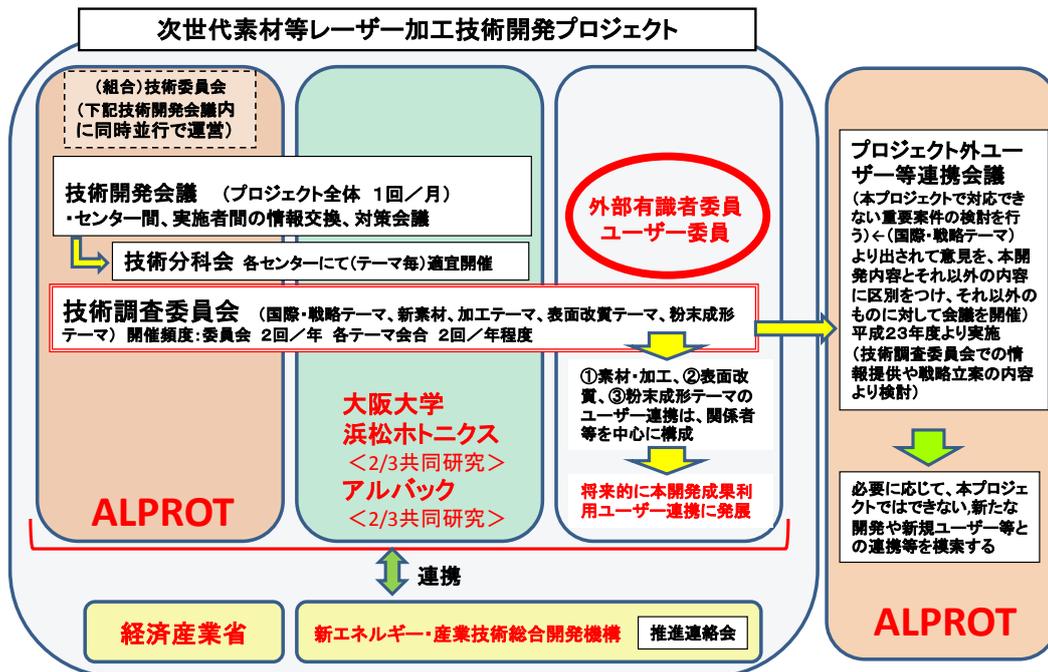
プロジェクト関係者、外部有識者を中心として、本研究開発の技術的な方向性や最新技術の動向把握、分析等国内外の技術や市場等情報を入手し、調査分析を行い開発計画内に反映する。また、本開発に関わる、評価、環境対応等幅広い視点で、プロジェクトに対する影響分析を行い、時々刻々変わる技術の進捗方向の正当性を明確にし、開発推進計画に織り込む。平成22年度に作成した、ユーザー参加企業、レーザー加工機メーカーが求めるスペック等の条件を記載した参加企業リストを拡充、整備し、プロジェクトでのアウトプットとエンドユーザー企業、レーザー加工機メーカーの要求スペックのリスト表を拡充、整備しプロジェクト内に発信を行なった。

[平成24年度]

プロジェクト関係者、外部有識者、エンドユーザー企業を中心として、本研究開発の技術的な方向性や最新技術の動向把握、分析等国内外の技術や市場等情報を入手し、調査分析を行い開発計画内に反映する。また、本開発に関わる評価、環境対応等幅広い視点で、プロジェクトに対する影響分析を行い、時々刻々変わる国内外の本開発の関連技術の進捗・内容を適宜確認する。本開発内容や進捗状況と比較、実用化製品化の活用可能な技術開発の方向性を見直しを行い、開発推進計画に織り込む。また、本開発の可能な範囲での技術の普及・促進を行うための報告会、セミナー、シンポジウムを実施する。それら報告会等を通じ、成果をレーザー加工技術のユーザーに利用してもらい、その評価を受け、今後の開発内容の見直し等に活用する。平成23年度までに作成した、ユーザー参加企業、レーザー加工機メーカーが求めるスペック等の条件を記載した参加企業リストを拡充、整備し、プロジェクトでのアウトプットとエンドユーザー企業、レーザー加工機メーカーの要求スペックのリスト表を拡充、整備しプロジェクト内に発信する。

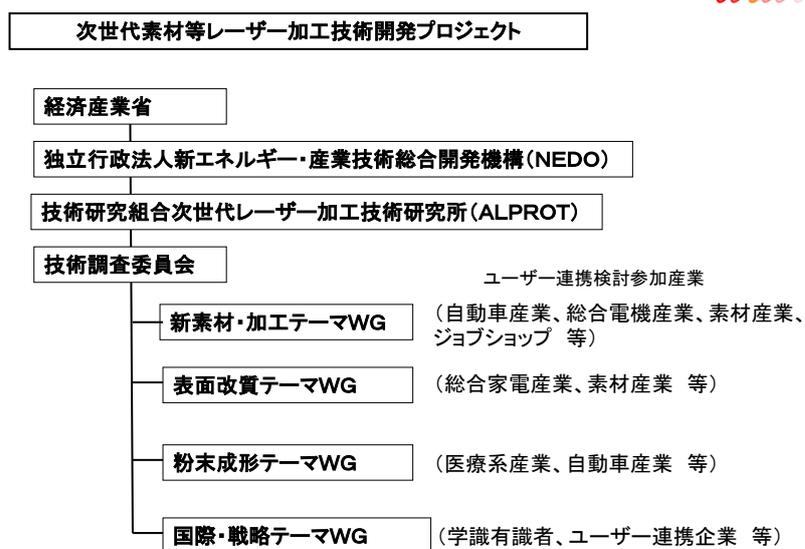
ユーザー、レーザー加工機メーカーとプロジェクトの窓口となり、ユーザーがプロトタイプ、デモ機を使用した結果を集約、課題、問題点を報告し、開発スペック等の見直しのベースとする。また、評価方法、守秘義務の扱い方、体制を構築する。

| 事業項目   | 22年度          |                   |                     |               | 23年度              |                          |                     |               | 24年度                   |                       |                    |               |
|--|---------------|-------------------|---------------------|---------------|-------------------|--------------------------|---------------------|---------------|------------------------|-----------------------|--------------------|---------------|
|  | 第1<br>四半<br>期 | 第2<br>四半<br>期     | 第3<br>四半<br>期       | 第4<br>四半<br>期 | 第1<br>四半<br>期     | 第2<br>四半<br>期            | 第3<br>四半<br>期       | 第4<br>四半<br>期 | 第1<br>四半<br>期          | 第2<br>四半<br>期         | 第3<br>四半<br>期      | 第4<br>四半<br>期 |
| ④技術開発推進にかかる調査（先端技術、環境等）・評価・普及促進<br>1)最先端技術・市場調査<br>2)開発成果の利用促進検討<br>3)環境等検討<br>4)成果普及・促進シンポジウム |               | 最先端技術の現状確認および市場調査 | 開発成果利用レーザー加工メーカーの調査 |               | 最先端技術の動向調査および市場調査 | 開発成果利用加工メーカーニーズスペック分析・検討 | レーザー加工システム環境等動向評価調査 |               | 最先端システム化技術の動向調査および市場調査 | ニーズスペックの實現性評価手法・体制の検討 | レーザー加工システム環境等最適化調査 | 中間実証試験・シンポジウム |



成果 (ユーザー企業リストの作成:平成24年6月1日現在)

ユーザー企業として、技術調査委員会委員に各主要ユーザー産業企業をリストアップ、それぞれの企業のメンバーがリスト化されている。また、7月30日開催のプロジェクトとしては初めての中間成果報告会(ユーザー連携シンポジウム)により、広く一般に広報し、ユーザーニーズ等の収集等を行なった。



ニーズ表に関しては以下のような成果をとりまとめた（抜粋）

| 要求ニーズ  | 基本計画   | ニーズと基本計画の違い   |
|--|--|---|
| <p>会社別 自動車メーカー</p> <p>製品別 構造材</p> <p>部品別 プラントホーム(台車部)<br/>外板(フード、ルーフ)</p> <p>加工手法別</p> <p>CFRP板(連続繊維、短繊維)の外形加工</p> <p>用途:車体形成(構造部品)</p> <p>要求スベック</p> <p>CFRP種別: PAN系、ビッチ系</p> <p>厚さ: 2~3mm</p> <p>タクトタイム: 1分以内</p> <p>レーザー出力</p> <p>波長</p> <p>評価手法</p> <p>強度試験(引張試験、圧縮試験、疲労試験、衝撃試験)</p> | <p>研究開発項目③「多波長複合加工技術の開発」</p> <p>研究開発の必要性</p> <p>本プロジェクトで開発するバルスファイバレーザーの高出力化技術ならびに高品位化技術を要用的に有用なものとするために、加工機システムとして機能を統合させて最適化するとともに、低炭素社会の実現に向けた製品の軽量化・高強度化・高機能化に大きな期待が寄せられている先進材料の活用促進のためのレーザー加工技術を開発する必要がある。特に、先進材料の非接触、高品位、高速加工を実現することによって、従来手法では困難であった精密加工のブレークスルー技術として実用に耐える次世代レーザー加工技術を確立する。</p> <p>1) 切断接合技術の開発</p> <p>CFRP(炭素繊維強化複合材料)等の複合材料は、自動車・航空機等の輸送機器の抜本的軽量化技術として期待されている。しかしながら、異種難削材であることから、革新的な製造技術として高精度な切断・接合技術の開発が要望されており、さらに製品製造タクトタイムの大幅短縮化が喫緊の課題である。本研究開発では、CFRPに代表される複合材料に対して自動車・航空機用途の基材を検討対象とし、高品位・高速のレーザー切断接合技術を開発する。具体的には、中型・小型部材を加工するための高速導引リモート加工ヘッドの開発、自動車のフードやルーフ等の大型部材の加工を行う高速高精度制御加工ノズルの開発、ならびに、プロセス・評価技術の研究開発を行う。</p> <p>① 複合材料高速切断接合システム技術の開発</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・高速導引リモート加工ヘッドの開発: 複合レーザー照射によるリモート加工が可能な複合レーザー加工ヘッドの開発を行う。</li> <li>・高速高精度制御加工ノズルの開発: 可動部の軽量化と高剛性化ならびに高速微細加工技術の開発を行う(高速微細加工技術: ワークと加工ノズルのキャッチを一定に保つ技術)。</li> </ul> <p>② 複合材料加工プロセス・評価技術の開発</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・多波長複合レーザー加工プロセスの最適化: 高品位・高速加工を実現する高速走査重量照射技術の開発、ならびにインプロセスモニタリング技術を確立する。</li> <li>・レーザー加工に適したCFRP材料の構造最適化及び加工試験評価技術: 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、ならびに、加工後試料の特性評価手法を確立する。</li> </ul> <p>最終目標(平成26年度)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>① 切断接合技術の開発</li> <li>・切断および接合加工速度: 6 m/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50 cm級サイズ以上のCFRP基材に対して、基材厚み3 mm以上)</li> <li>・加工品位 切断: 切断面において反応層の厚みが100 μ 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</li> <li>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100 MPa以上 (CFRP基材厚み3 mm、金属板厚み2 mm)</li> </ul> | <p>(ニーズ)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・素材: CFRP2~3mm厚</li> <li>・外形加工(タクトタイム1分以内)</li> </ul> <p>(基本計画)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・CFRP3mm厚、6m/min以上</li> <li>・切断面において反応層の厚みが100 μ m以下</li> <li>・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</li> </ul> |

(委員会の開催状況)

技術調査（ユーザー連携）委員会及び各ワーキンググループ検討概要

出席者は委員とプロジェクト開発実施者、NEDO、METI、事務局

| 委員会、WG      | 委員数 | 回数 | 議事内容   |
|-------------|-----|----|--|
| 技術調査委員会     | 25名 | 2回 | 実用化促進のため、ユーザーからのニーズの検討を行なった。レーザー及びレーザー加工の国際的な技術動向、標準化、新素材・加工、表面改質、粉末成形の各WGテーマのニーズについての報告、検討を行い、ユーザーニーズのマッチングを行なった。   |
| 国際・戦略テーマWG  | 10名 | 4回 | 現状のレーザー及びレーザー加工技術の動向と、今後どのようなレーザーとレーザー加工技術が必要とされるかの検討を行なった。ドイツの自動車産業におけるレーザー加工や世界的技術動向の現状を把握した。アジア地区の動向やPhotonics West2012（国際会議と展示）の報告から日本の標準化戦略やニーズにマッチしたレーザー及びレーザー加工のあるべき姿を検討し、開発スペックとの比較を行なった。  |
| 新素材・加工テーマWG | 6名  | 3回 | 開発内容の確認し、ニーズ面からどのようなレーザーが必要か検討を行なった。CFRP素材の各種仕様とその加工や評価等についての報告が行なわれた。BMWや東レの取り組み等が紹介された。ユーザー側のニーズや加工スペック等が提示され、それらの加工が可能なレーザーや加工法についての検討を行い、開発スペックとの比較を行なった。  |
| 表面改質テーマWG   | 7名  | 4回 | 本WGでは、ディスプレイや太陽電池の製作に最適なレーザー加工のあり方を検討することになった。ディスプレイ用途のレーザーアニールの開発目標値とその背景が報告された。ディスプレイ領域の市場動向報告、フラットパネルメーカーの技術ニーズ、太陽電池領域におけるレーザー応用に関するニーズ検討を行い、開発スペックとの比較を行なった。   |
| 粉末成形テーマWG   | 2名  | 4回 | 本研究開発の目標を報告し、粉末成形の医療関連活用に関する技術情報を検討した。レーザーを活用した造形技術の現状を報告した。ニーズとしてチタン粉末を活用した医療用部品の仕様等についての検討を行い、開発スペックとの比較を行なった。ICAL02011（国際会議と展示）の粉末成形技術の状況の報告と、開発施策の小型プラットフォームの見学を行ない、ニーズに対しての目標の確認を行なった。Photonics2012の粉末成形、Additive Manufacturingシンポジウムの状況が報告された。 |

## IV. 実用化、事業化の見通しについて

### 1. 実用化・事業化に向けた取り組みと見通し

このプロジェクトでは実用化・事業化を以下のように定義している。

「実用化」： 既存製品の性能向上や新製品の開発に活用できる段階まで、プロジェクトで開発した技術を整備する。

「事業化」： プロジェクトで開発した成果物を製品として販売し、会社の事業として展開していく。

要約すれば、実用化は技術の展開、事業化は製品の展開である。

これまでの開発より、3つの出口のCFRP切断接合、表面処理、粉末成形のどのテーマにおいても最終目標達成の見通しを得ている。最終目標を達成し、実用化と事業化への必要な基盤技術を確立し、事業化に向けた検討を進めていく方針である。

以下、実用化、事業化の詳細は各実施者の報告に譲るが、実用化、事業化の見通しについてプロジェクト全体を俯瞰して説明する。

#### 1.1 研究開発項目別の取り組みと製品イメージ

本プロジェクトは「2/3 共同研究」と「委託研究」から成り、それぞれの実用化・事業化に向けた取り組みは異なっている。事業化を計画している項目は 2/3 共同研究の

- ・高出力半導体レーザー開発（浜松ホトニクス株式会社）
- ・ファイバーレーザー開発（古河電気工業株式会社）
- ・アニール用システム開発（株式会社アルバック）

である。各社の本プロジェクト成果から派生する製品はその製品イメージと市場が明確であり、各社の販売体制の中で製品展開が適確になされるものである。事業化に対する取り組みは、問題なく行われると確信している。

大阪大学、産総研で開発を行っている参加企業は、大阪大学、産総研と共に開発成果の実用化をめざしていく。

- ・レーザー増幅技術開発と波長変換技術開発
- ・多波長複合照射加工技術開発
- ・アニール用レーザー開発
- ・粉末成形用レーザー開発
- ・粉末成形システム開発

以上のプロジェクト成果技術は想定市場での技術的優位性の検討を行い、製品展開が可能であれば事業化に結び付けることを計画している。プロジェクトの成果そのものを事業化できなくても、プロジェクトで開発した技術を取り入れて既存製品の性能向上を図り、新製品の開発に活用していくことを積極的に進めていく。産総研で実施の多波長複合照射加工技術開発では、「高速高精度制御加工ノズル」と「リモート加工ヘッド」を実用化可能な成果として考えている。

粉末成形システムは展示会にも出品し、製品展開の可能性もすでに視野に入れている。製品イメージも明確で実施企業も意欲的であり、事業化に結び付けられるものであると期待している。

大阪大学、産総研においては、それぞれの先端的な研究にも本プロジェクトの成果

は活用できるものである。

研究開発項目別の取り組みと製品イメージの詳細は各実施者の記載に譲る。

## 1.2 実用化・事業化に向けた課題と課題解決の方針

事業化に向けた課題では、技術的課題と事業実施体制の課題の2つがあるものと考えられる。技術的課題については、これまで述べたように最終目標達成に向けての課題の見極めができ、最終目標達成の見通しを得ているため、大きな問題はないと考えている。事業化に向けては低コスト化やコンパクト化等の技術的課題が想定されるが、各社に蓄積された製品化のための技術を活用することで解決できるものである。実施体制についても販売やサポート等の体制は各社で整備されているため、問題なく体制の構築ができるものと考えられる。

実用化を想定した開発項目では、製品展開の可能性を見極め、事業化できるものは製品として販売していくスキームである。実用化においても事業化と同様の技術的課題と実施体制の課題が生じるものと考えられるが、事業化の場合と同様に各社のサポート体制によって解決できると考えている。

詳細は各実施者の記載に譲る。

## 1.3 事業化までのシナリオ

事業化の3項目については事業化までのシナリオは明確に描かれている。販売体制、サポート体制を含めて、事業化までの道すじは明瞭である。

実用化を想定した開発項目においても、製品展開の可能性を見極めたうえで、事業化に対応していく計画である。

詳細は各実施者の記載に譲る。

## 1.4 波及効果

以上述べたように、本プロジェクトで開発した技術や製品は広く産業界に普及可能であると考えている。表IV-1.1にプロジェクトの3つの出口成果の波及効果を示した。

CFRP切断接合技術の波及産業としては自動車産業と航空機産業を想定している。自動車産業では現在普通車にもCFRP素材導入の検討が行われているが、省エネ、CO<sub>2</sub>削減の観点より高い確率でCFRP素材の導入が行われるものと考えられる。CFRP素材導入の場合には、生産性の高さよりレーザー加工技術が汎用的技術になるものと期待される。航空機産業においてはCFRP素材の導入はさらに加速されるものと考えられるが、加工方法の検討も重要な課題である。この分野においてレーザー加工技術がどこまで導入されるかは未定であるが、レーザー加工技術の優位性をアピールしていきたい。

表面処理技術の波及は家電産業と太陽電池産業を想定している。日本国内のテレビ産業はアジア勢の著しい進展に押されてしぼんでしまった感があるが、ITテレビやスマートフォン等への展開が期待されている。また太陽電池パネルの普及も加速されているため、表面処理技術はこれらの産業では重要な位置づけであり、本プロジェクト開発成果の波及も見込まれる。

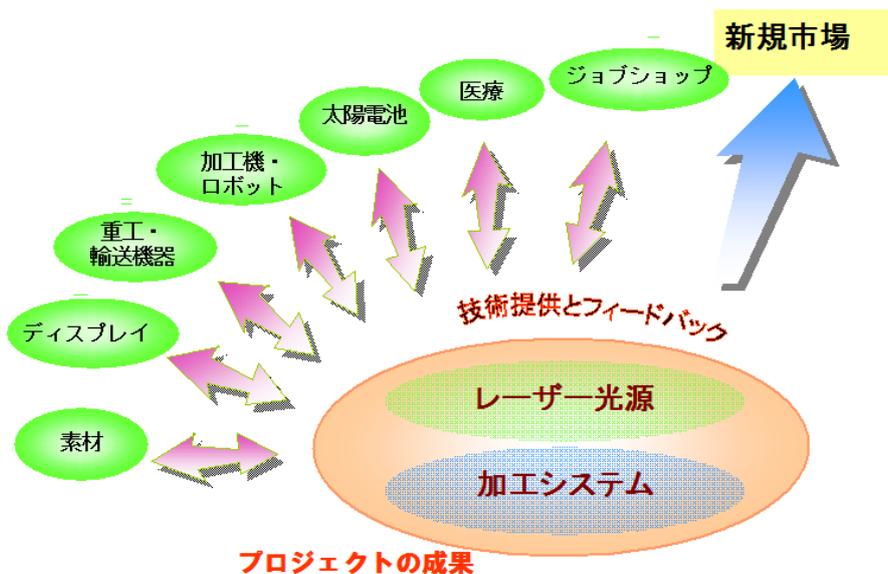
粉末成形技術の波及については多品種小量生産部品の生産を視野に入れ、医療産業

と航空・宇宙産業を想定している。医療産業では医療用パーツの実用化検討がなされている。厚生省の認可取得等の課題はあるが、人体代替部品という基本的には多品種小量部品への展開は非常に波及効果が大いものと考えられる。また、航空・宇宙分野においても、高機能で多品種小量生産部品が要求されるため、粉末成形技術は最適である。自動車産業や他産業においても切削・プレス等既存技術では製造不可能な製品が実現できるため、本プロジェクト成果の普及の可能性を秘めている。

図IV-1.1に示すように、本プロジェクトは様々な産業に対してレーザー加工手段を提供することで、産業界への波及効果は大いものと考えている。産業界との連携と情報のフィードバックにより、新規市場が生まれることにも期待している。

表IV-1.1 プロジェクト成果の波及効果

| テーマ       | 波及産業       | 2010                | 2015          | 2020 | 2025 |
|-----------|------------|---------------------|---------------|------|------|
| 切断接合技術の開発 | 自動車        | CFRP 素材導入の検討        | 試作、実用化試験 検証実験 | 実用化  |      |
|           | 航空機        | レーザー加工技術導入の検討       | 試作、実用化試験 検証実験 | 実用化  |      |
| 表面処理技術の開発 | 家電         | IT テレビ、スマートフォン等への展開 | 実用化試験         | 実用化  |      |
|           | 太陽電池       | 太陽電池パネルへの展開         | 実用化試験         | 実用化  |      |
| 粉末成形技術の開発 | 医療         | 医療用パーツの実用化検討        | 実用化試験 認定試験    | 実用化  |      |
|           | 自動車<br>航空機 | 多品種小量生産部品への実用化検討    | 実用化試験         | 実用化  |      |



図IV-1.1 様々な産業への普及効果

## 2. 研究開発項目毎の実用化、事業化の見通しについて

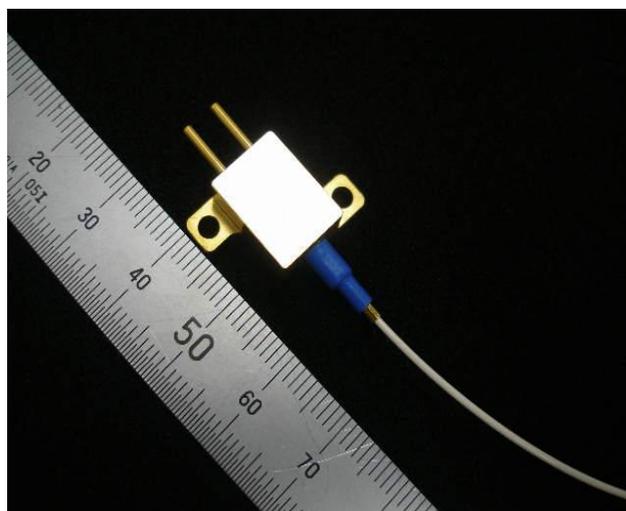
### 2.1、2.2 研究開発項目①「半導体レーザーの高出力化技術の開発」

「(1) 半導体レーザーの高出力化技術・高信頼化技術の開発」

「(2) 半導体レーザーのファイバーカップル技術の開発

(浜松ホトニクス株式会社)

本プロジェクトで開発した半導体レーザーの高出力化技術・高信頼化技術及びそのファイバーカップリング技術は、例えばファイバーモジュール（図IV-2.1.1）といった形で具現化されており、ファイバーモジュールは、ファイバーレーザーの励起源、レーザー半田付、樹脂溶着などに用いられる加工用LDモジュール（図IV-2.1.2）としての適用が考えられる。



図IV-2.1.1 シングルエミッタファイバーモジュール



図IV-2.1.2 加工用レーザーモジュール例

また今回得られた技術成果は、加工用レーザー装置（図IV-2.1.3）の性能向上、環境負荷軽減に寄与するものと考えられる。平成19年度に開催された次世代レーザー技術活用調査委員会報告資料にもあるように、従来のCO<sub>2</sub>やYAGなどのレーザー光源より、半導体レーザーは他の加工用レーザーに比べエネルギー変換効率の点で優れており、省電力化（低炭素排出）、低ランニングコスト化の点で極めて導入効果が高い。今回開発された技術が適用されれば、エネルギーの効率的な利用に対してより高い効果が期待される。



**図IV-2.1.3 加工用レーザー装置の例：ダイレクトダイオードレーザー(DDL)およびファイバ出力型DDL**

例えばアレイの高出力化により、kW級を実現するためにスタックするアレイ数を低減出来る。これによりレアアース材料の省資源化が可能となる。また電気光変換効率が向上することでエネルギー消費量が抑制され、低炭素化社会に貢献できる。さらに水冷ヒートシンクにおける腐食防止効果は半導体レーザーの長寿命化を促進し、省資源につながるものと期待される。

こうした利点および低コスト化による競争力を活かし、プロジェクト終了後、本プロジェクトで得られた成果を既存製品へ反映させることにより競争力の高い半導体レーザー応用製品への展開が可能となる。

平成32年における高出力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国内年間生産額としては、2,200億円が期待されている。本プロジェクトの成果は、レーザー加工用光源およびファイバーレーザー用励起源に活かされる。レーザー加工機価格における半導体レーザーの占める割合は、おおよそ15～25%程度である。

## 2.3 研究開発項目②「レーザー高品位化技術の研究開発」

「(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」

(阪大接合研、古河電工)

### 2.3.1 実用化・事業家の見通し

IV-5 (②-(1)-2)) 2.4.1、IV-8 (②-(2)-1)) 2.7.1 実用化、事業化見通しに準じる。

### 2.3.2 実用化、事業化までのシナリオ

IV-5 (②-(1)-2)) 2.4.2 実用化、事業化までのシナリオに準じる。

### 2.3.3 波及効果

IV-5 (②-(1)-2)) 2.4.3、IV-8 (②-(2)-1)) 2.7.2 波及効果に準じる。

## 2.4 研究開発項目②「レーザー高品位化技術の研究開発」

「(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」

「(2) ファイバーレーザーのモジュール化技術の開発」

(阪大接合研、古河電工、片岡製作所)

### 2.4.1 実用化・事業化の見通し

表IV-2.4.1 粉末成形シーダーと PCF増幅器の実用化、事業化の見通し

|             | 2010 | 2011                      | 2012                               | 2013           | 2014 | 2015 ~      | 2018         |
|-------------|------|---------------------------|------------------------------------|----------------|------|-------------|--------------|
| 1) 粉末成形シーダー |      | 70 W@100ns<br>高平均出力       | 100W @10ns<br>-100ns<br>高出力・パルス幅可変 |                |      |             |              |
| 2) PCF増幅器   |      | 50 W@10ns<br>短パルス・高ピークパワー | 中間目標達成のための技術開発                     | 最終目標達成のための技術開発 |      | コスト低減・信頼性評価 | 実用化準備<br>実用化 |

プロジェクト終了後、コスト低減と信頼性評価を行い、実用化の準備に取り組んだ後、2018年度の実用化を目指す。

### 2.4.2 実用化・事業化までのシナリオ

- ・ 粉末成形システム用レーザー
- ・ 再生可能エネルギー及び省エネルギー市場への参入
- ・ 多品種少量生産への対応

### 2.4.3 波及効果

- ・ 省エネ、CO<sub>2</sub>削減への貢献
- ・ 国際競争力の強化
- ・ 電子機器など新技術開発へ貢献

## 2.5 研究開発項目②「レーザー高品位化技術の研究開発」

「(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」

「3) ファイバーレーザーの高出力化技術の開発」

(阪大レーザー研、阪大接合研、ALPROT(古河電工、片岡製作所))

### 2.5.1 実用化の見通し

本プロジェクトで開発したパルスファイバーレーザーは、従来に短パルス (<10ns) でかつ世界最高のパルスエネルギーと平均出力 (>200W) を実現しているだけでなく、高光-光変換効率 (>50%)、パルス幅可変性、繰り返し周波数可変性、波長可変性の特徴を併せ持っている。

実用機のプロトタイプとしては、阪大接合研サイトにおいて ALPROT(片岡製作所)が製作するファイバーレーザーに技術集約され、加工技術開発センター(産総研)に製品納入される予定である。今後、パルス幅、繰り返し周波数、出力平均パワー、波長をカスタマイズ供給することによって、エンドユーザーの要求仕様に適したコンパクトレーザーとして実用化が期待される。

### 2.5.2 波及効果

レーザー加工分野のみならず、表IV-2.5.1のように多様な科学技術・学術用のレーザーとして実用に供することができると期待される。また、波長変換技術との組み合わせによって、応用分野はさらに拡がると考えられる。

表IV-2.5.1 応用が期待される分野

|                   |           | ファイバー技術          | ブースター技術       | 波長変換       |
|-------------------|-----------|------------------|---------------|------------|
| エレクトロニクス・<br>機械分野 | 微細加工      | 高ビーム品質           |               | 加工対象拡大     |
|                   | アニール      | 横モード制御           |               | コヒーレンス制御   |
| 原子力分野             | ピーニング     | 衝撃波圧力の増大         |               |            |
|                   | 除染        | ファイバー結合          |               | 除染対象拡大     |
|                   | 解体        |                  | 解体速度向上        |            |
| 航空・運輸分野           | ピーニング     | 衝撃波圧力の増大         |               |            |
|                   | レーザー超音波   |                  | 診断速度向上        | 検出感度向上     |
| 宇宙分野              | 太陽光励起レーザー |                  | 高温動作におけるビーム品質 |            |
|                   | デブリ除去     |                  | デブリ除去性能       |            |
| 科学技術分野            | 分光        | 広帯域光源            |               | 広帯域光源      |
|                   | 超短パルス     | コンパクトfs光源        |               |            |
|                   | VUV~XUV   | ビーム結合による<br>高出力化 |               | OPCPA fs光源 |
|                   | THZ       | コンパクトfs光源        |               |            |

## 2.6 研究開発項目②「レーザー高品位化技術の研究開発」

「(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」

「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」

(古河電気工業株式会社)

### 2.6.1 実用化・事業化の見通し

QCW ファイバーレーザーは今回の開発当初から実用化を考慮した設計を配慮している。製品化にあたってはコストと信頼性についての検証が必要になってくる。

QCW ファイバーレーザーはランプ励起固体レーザー分野での置き換えがまず期待されており、レーザーの出力としては最大でも数 100W 程度、産業分野としてはマイクロレーザー加工に分類される市場で、最も大きな需要は金属溶接で、また切断についても微細加工や高反射材料での適用が期待される。

### 2.6.1 事業化までのシナリオ

図 VII-2.6.3 事業化までのシナリオ

|         |   |
|---------|---|
| 製品イメージ  | ユーザーニーズに合致した高品質、低コスト、高信頼、使い勝手                           |
| 売り上げ見込み | (市場の規模、成長性)<br>LPSSL、DPSSL、炭酸ガスレーザーの置き換え需要              |
| 効果      | (シェアアップ、コスト削減、省エネ、CO2 削減)<br>電気 - 光変換高効率<br>⇒省エネ、CO2 削減 |

### 2.6.3 波及効果

マイクロ加工分野とともに、kW 出力以上のレーザーが使われるマクロ加工市場についてもファイバレーザーの用途拡大が進んでいる。レーザー加工製品市場のなかで最も大きな市場が炭酸ガスレーザーによる二次元板金切断分野である。本開発の延長としてさらに多重化を行い、マクロ市場を睨んだ製品開発も可能である。

## 2.7 研究開発項目②「レーザー高品位化技術の研究開発」

### 「(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」

(阪大レーザー研、ALPROT(浜松ホトニクス、レーザー総研))

#### 2.7.1 実用化の見通し

本プロジェクトで開発している「kW級ブースター増幅器」は、国産のLDを励起源とし、レーザー材料としてこれも国産技術であるNd:YAGセラミックを用いている。また、増幅媒体としては、開発グループの特許に基づき、コンポジットセラミックを用いた全反射ジグザグ光路型のアクティブミラーを採用している。

一般的なアクティブミラーとジグザグスラブの利点を併せもった新しいタイプの増幅器であり、数100W～kW級の出力にフレキシブルに対応可能である。

#### 2.7.2 波及効果

レーザー加工分野のみならず、表IV-2.7.1のように多様な科学技術・学術用のレーザーとして実用に供することができると期待される。

表IV-2.7.1 応用が期待される分野

|                   |               | ファイバー技術          | ブースター技術           | 波長変換       |
|-------------------|---------------|------------------|-------------------|------------|
| エレクトロニクス・<br>機械分野 | 微細加工          | 高ビーム品質           |                   | 加工対象拡大     |
|                   | アニール          | 横モード制御           |                   | コヒーレンス制御   |
| 原子力分野             | ピーニング         | 衝撃波圧力の増大         |                   |            |
|                   | 除染            | ファイバー結合          |                   | 除染対象拡大     |
|                   | 解体            |                  | 解体速度向上            |            |
| 航空・運輸分野           | ピーニング         | 衝撃波圧力の増大         |                   |            |
|                   | レーザー超音波       |                  | 診断速度向上            | 検出感度向上     |
| 宇宙分野              | 太陽光励起<br>レーザー |                  | 高温動作におけ<br>るビーム品質 |            |
|                   | デブリ除去         |                  | デブリ除去性能           |            |
| 科学技術分野            | 分光            | 広帯域光源            |                   | 広帯域光源      |
|                   | 超短パルス         | コンパクトfs光源        |                   |            |
|                   | VUV～XUV       | ビーム結合による<br>高出力化 |                   | OPCPA fs光源 |
|                   | THZ           | コンパクトfs光源        |                   |            |

## 2.8 研究開発項目② 「レーザー高品位化技術の研究開発」

### 「(2) パルスレーザー増幅（ブースター）技術の開発」

#### 「(2)アニーリング用ブースター増幅技術の開発」の実用化の見通し

(大阪大学レーザー研、ALPROT（浜松ホトニクス、アルバック）)

### 2.8.1 実用化の見通し

本アニーリング用レーザー装置はフラットパネルディスプレイの大型化に伴う 500mm 幅のワイドビームによるアニール加工ができるレーザー出力を有しており実用性が高い。500mm 以上のワイドビームにも適応できる出力があり今後の FPD 市場の拡大にも寄与すると考えられる。実用化に向けたスキームを表IV-2.8.1 に示す。

表IV-2.8.1 実用化への見通し

|                             | 2010 | 2011 | 2012       | 2013 | 2014 | 2015 | ～ | 2020 |
|-----------------------------|------|------|------------|------|------|------|---|------|
| ②-(2)-2)アニーリング用ブースター増幅技術の開発 |      |      | 中間(最終)目標試作 |      |      | 実用化  |   |      |
| ②-(3)-1)波長変換モジュール技術の開発      |      |      | 中間(最終)目標試作 |      |      |      |   |      |

2012 年度中にアニーリング用レーザーの出力目標を達成させ、ホモジナイズドワイドビーム光学系によりアニールプロセスに必要な均一パターンを生成し加工評価試験を行う。そこで得られたデータを基にアニーリングレーザーシステム全体の実用化への課題を抽出する。

本レーザーアニーリング加工システムは、現在実用化されている海外製エキシマレーザー（ガスレーザー）を用いたアニーリングシステムと比べて、全固体レーザー化により、高効率・長寿命であり、メンテナンス性も高いものとなっており、国産技術により実現できるメリットは大きい。



図IV-2.8.1 製品イメージ写真

製品イメージを図IV-2.8.1 に示す。

このアニーリング用レーザー装置は、発展の予想される大型テレビやスマートフォン市場で有用であり、製造スループットの向上による製造コストの削減にも期待できる。

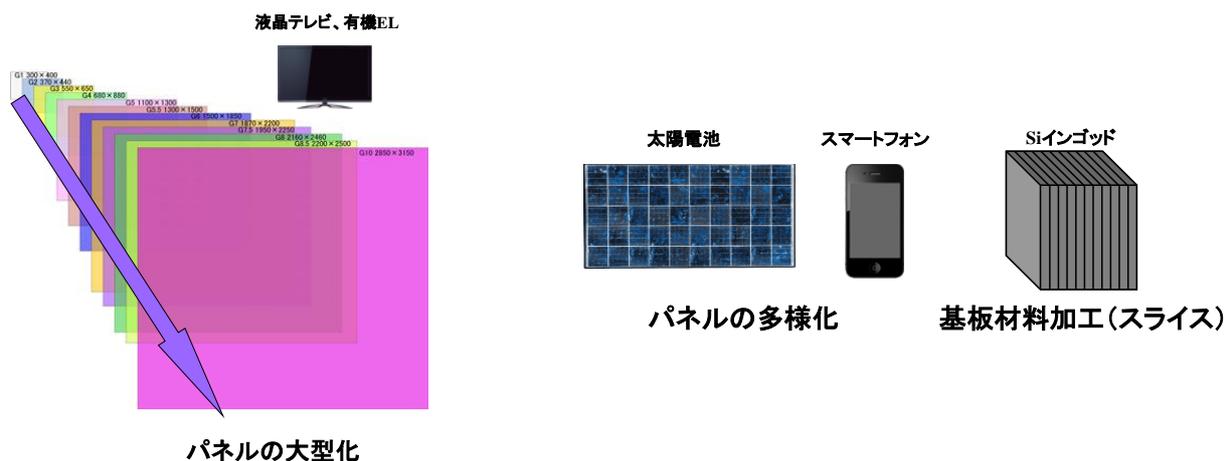
## 2.8.2 実用化に向けた技術課題

実用化にはレーザーの特性以外にレーザー装置の生産性、信頼性、メンテナンス性、低コスト化が求められる。信頼性向上、メンテナンスフリーにするには励起用半導体レーザーをCW駆動にした方が長寿命で有利となる。また、生産性やメンテナンス性を考えるとレーザーヘッドや光学素子といったコンポーネントの数を出来るだけ少なくした方が良く、これらを統合したレーザー装置の開発が重要となる。付加価値の高い高品位加工技術構築により世界をリードできると考えられる。

## 2.8.2 波及効果

FPDは40インチ市場から55インチ市場へ移行しつつある。今後さらなる大型化も考えられ、加速度的に大型化するFPD用アニールレーザー装置としてさらに進化させることが可能である。

予想される加工用途のイメージ図を図IV-2.8.2に示す。FPDや太陽電池のアニールのみならずスマートフォンなどの強化ガラスの湾曲切断や穴開け、太陽電池のP1~P4プロセスレーザー、シリコンインゴットのスライスによるカーフロス削減といったレーザー加工技術の応用が拡がり、今後要求されるレーザー加工用途の増加が予想される。また世界的にみてもトップクラスの性能を持つ加工装置であり、シリコン基板の加工における基礎データの取得や新素材の加工実証にも有望である。



図IV-2.8.2 予想される加工用途

## 2.9 研究開発項目②「レーザー高品位化技術の研究開発」

### 「(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」

(大阪大学レーザー研、ALPROT (浜松ホトニクス、アルバック) )

### 2.9.1 実用化の見通し

本波長変換モジュールはアニーリング用レーザーに必要な不可欠なコンポーネントであり、多くの加工技術に重要である高エネルギーグリーン光を発生させることが可能である。

実用化に向けた見通しを表IV-2.9.1 に示す。

表IV-2.9.1 実用化への見通し

|                             | 2010       | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | ～ | 2020 |
|-----------------------------|------------|------|------|------|------|------|---|------|
| ②-(2)-2)アニーリング用ブースター増幅技術の開発 | 中間(最終)目標試作 |      |      |      |      | 実用化  |   |      |
| ②-(3)-1)波長変換モジュール技術の開発      | 中間(最終)目標試作 |      |      |      |      |      |   |      |

2012 年度中にアニーリング用レーザー装置内に波長変換モジュールを組み込み、グリーン出力を得る。グリーン出力を均一なワイドビームに成形し加工評価を行い、実用化へ向けた課題を抽出し実用化へと結びつけていく。

### 2.9.2 波及効果

IV-2.8 節で示した Si 基板を中心とした FPD や太陽電池のアニーリングを始め、複合ガラス材料の加工にも利用でき、期待されている。

グリーン光はサファイヤ基板加工等の他のレーザー加工への適用にも有望であり、さらに本波長変換技術は他の波長にも展開でき、幅広い表面改質分野における生産性向上に寄与することが期待できる。

## 2.10 研究開発項目②「レーザー高品位化技術の研究開発」

### 「(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

#### 「ファイバーレーザーの波長変換モジュール」

(阪大接合研、古河電工、片岡製作所)

### 2.10.1 実用化・事業家の見通し

IV - 5(②-(1)-2)) 2.4.1 実用化・事業化見通しに準じる。

### 2.10.2 実用化・事業化までのシナリオ

IV - 5(②-(1)-2)) 2.4.2 実用化・事業化までのシナリオに準じる。

### 2.10.3 波及効果

IV - 5(②-(1)-2)) 2.4.3 波及効果に準じる。

## 2.11 研究開発項目②「レーザー高品位化技術の研究開発」

「(3) 高出力波長変換技術の開発」

「2) 波長変換の高効率化技術の開発」

(阪大レーザー研、ALPROT(レーザー総研))

### 2.11.1 実用化の見通し

本プロジェクトで開発している波長変換は、数 100 入力に対して効率 60%の 2 倍高調波変換、40%の 3 倍高調波変換を可能とするものであり、kW 級入力にも対応可能な高平均出力可視・紫外レーザー技術である。また、この波長変換素子はスタンドアロンであり、Nd:YAG 以外の波長のレーザーにも簡単な設計変更によって対応可能である。

### 2.11.2 波及効果

レーザー加工分野のみならず、表 IV-2.7.1 のように多様な科学技術・学術用のレーザーとして実用に供することができると期待される。

表 IV-2.11.1 応用が期待される分野

|                   |               | ファイバー技術          | ブースター技術           | 波長変換       |
|-------------------|---------------|------------------|-------------------|------------|
| エレクトロニクス・<br>機械分野 | 微細加工          | 高ビーム品質           |                   | 加工対象拡大     |
|                   | アニール          | 横モード制御           |                   | コヒーレンス制御   |
| 原子力分野             | ピーニング         | 衝撃波圧力の増大         |                   |            |
|                   | 除染            | ファイバー結合          |                   | 除染対象拡大     |
|                   | 解体            |                  | 解体速度向上            |            |
| 航空・運輸分野           | ピーニング         | 衝撃波圧力の増大         |                   |            |
|                   | レーザー超音波       |                  | 診断速度向上            | 検出感度向上     |
| 宇宙分野              | 太陽光励起<br>レーザー |                  | 高温動作における<br>ビーム品質 |            |
|                   | デブリ除去         |                  | デブリ除去性能           |            |
| 科学技術分野            | 分光            | 広帯域光源            |                   | 広帯域光源      |
|                   | 超短パルス         | コンパクトfs光源        |                   |            |
|                   | VUV~XUV       | ビーム結合による<br>高出力化 |                   | OPCPA fs光源 |
|                   | THZ           | コンパクトfs光源        |                   |            |

## 2.12 研究開発項目②「レーザー高品位化技術の研究開発」

### 「(3) 高出力波長変換技術の開発」

#### 「3) 加工試験のための整備」

(阪大レーザー研)

この課題は、ALPROT（産総研）における CFRP 切断試験を加速（Ⅲ-15）するための取り組みのために、市販レーザーよりも高出力の基本波、2倍、3倍高調波を CFRP の切断加工実験に供給し、加工速度見積もりと最適レーザー条件（パルス幅、波長等）の探索に資することができた。

なお、この整備自体が実用化を目指すものではないため、実用化の見通し等に関する記載は割愛する。

## 2.13, 2.14 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」

#### 「2) 複合材料加工プロセス・評価技術の開発」

### 2.13.1, 2.14.1 実用化の見通し

現時点における実用化の見通しについて図 IV-2.13.1 に示す。「③-(1)切断接合技術の開発」における技術課題は高出力レーザー装置に適用可能な照射システム技術ならびに加工プロセス・評価技術を構築することにある。そのためには高速削り技術を開発するための高速高精度制御加工ノズルの開発と、複合レーザー照射によるリモート加工を可能にする高速掃引リモート加工ヘッドの開発が必要であるとともに、実用化可能な成果として考えられる。これらの技術は、加工プロセス・評価技術の開発と連携して、今後2年間での試作および実用化試験を行ったのち、検証実験を得て実用化する見通しである。また、プロジェクト終了後すぐに実用化するための施策として、ユーザー連携を実施しており、ニーズに合致した技術や製品の実用化を計画している。

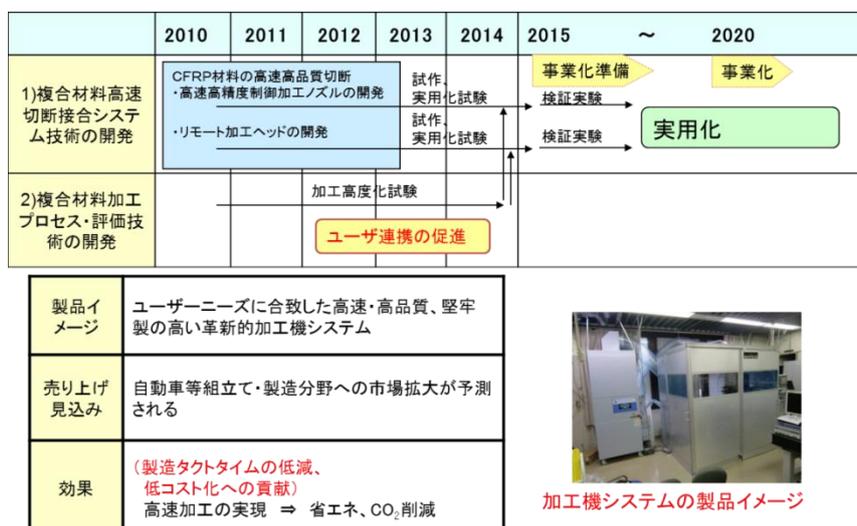


図 IV-2.13.1 実用化の見通し

### 2.13.2, 2.14.2 実用化までのシナリオ

現時点における実用化までのシナリオについて、ミヤチテクノスを中心とした高速掃引リモート加工ヘッドの開発では、開発される高出力パルスファイバーレーザーや高出力波長変換レーザー等を用いたリモート加工技術を構築し、スキャナ制御技術、スキャナ高耐力化技術、リモートロボット技術等を並行開発することによって、それぞれの技術が完成次第、同社の保有する既存分野への展開を想定している。また、市場動向により CFRP 加工分野への展開も図る。新日本工機を中心とした高速高精度制御加工ノズルの開発では、同社が自動車や航空機等輸送機器製造プロセスに展開する事業化能力を有することから、本開発終了後に事業化フェーズへの展開を進める。

### 2.13.3, 2.14.3 波及効果

本プロジェクトで開発した技術の波及産業としては自動車産業と航空機産業を想定している。自動車産業では現在量産自動車にも CFRP 素材の導入の検討が行われているが、省エネ・CO<sub>2</sub>削減の

観点より前倒しで素材の導入が行われるものと考えられる。CFRP 素材の導入の場合には生産性の高さよりレーザー加工技術が汎用的技術になると期待される。航空機産業においては CFRP 素材の導入はさらに加速されるものと想定され、生産性の高い加工技術の導入の検討は重要な課題である。また、自動車や航空機等輸送機器製造業界の輸送機器製造プロセスに事業展開するだけでなく、以下の関連分野にも大きく波及すると考えている。

- ・ 汎用材料への高速レーザー切断
- ・ 汎用材料への高速レーザー穴あけ

信頼性ならびに堅牢性に優れたレーザー加工機システムは、広汎な製造業分野から開発が期待されており、今後ユーザー連携の取組みからも技術ニーズを吸収していきたい。

## 2.15 研究開発項目③「多波長複合加工技術の開発」

### 「(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型の開発」

(株式会社アルバック)

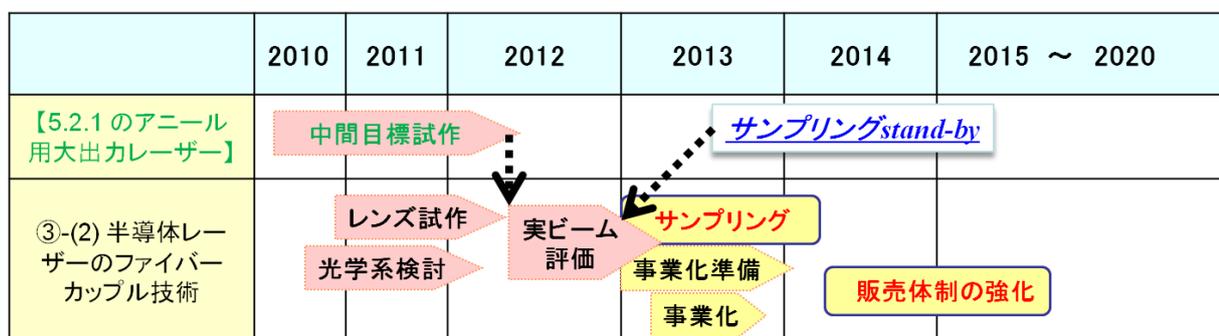
### 2.15.1 実用化・事業化の見通し

Ⅲ章の2.15において、開発成果について述べた。想定ユーザーとの密な情報共有と市場要求仕様等の観点で実践技術として開発レベルを高く堅持して邁進してきた。LTPSの市場において、極めて劣勢な状況下にあった工程を担う装置に対して、自国の技術を中心に加速的に引き上げた成果を報告できた。特に小規模の装置を用いた実験と他の多くの知見を基に高度なデザイン基礎を構築できたことは大いに評価したい。

### 2.15.2 実用化・事業化までのシナリオ

事業化への目処として、光学デザイン技術のみならず、実際にあわせて開発された大型異型レンズ研磨装置の開発も成功裏に終える見通しがつき、大型装置への搭載が可能な状況が構築できた。よって、早期のエンドユーザーとのパネル試作レベルでの実験的検討が行えると思われる。

事業化に向けた活動として、ユーザーに近い位置でのサンプリングを計画している。市場の最新情報を更新し、ニーズを正確に掴み、本技術を生産装置仕様にまで改良する事で本開発の目的である生産現場への貢献を果たす。(図IV-2.15-1参照)



図IV-2.15-1 事業化を目指したロードマップ

### 2.15.3 波及効果

ディスプレイ業界のみでなく、太陽電池(PV)分野での薄膜結晶化工程やその他の表面処理加工工程での応用範囲が期待できる。(図IV-2.15-2参照)

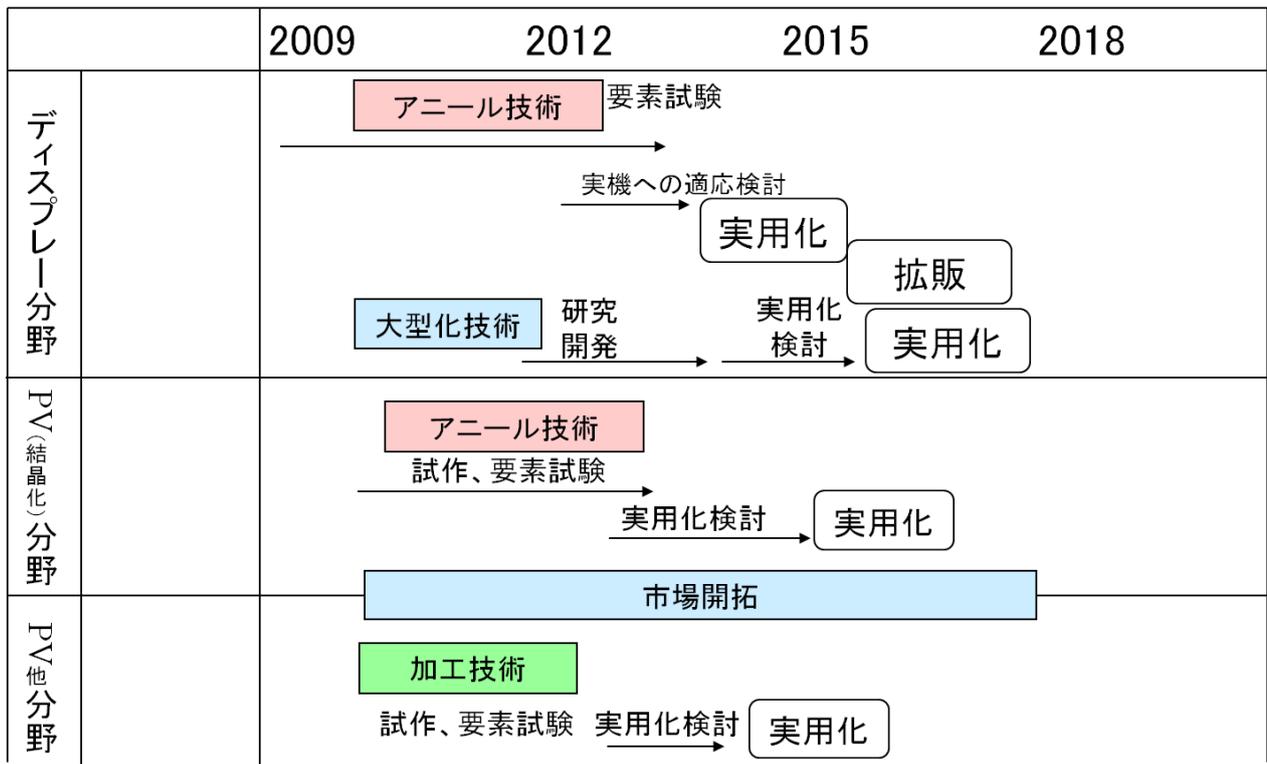


図 IV-2.15-2 多分野に向けたレーザー加工技術の開発ロードマップ

## 2.16 研究開発項目③「多波長複合加工技術の開発」

### 「(2) 表面処理技術の開発」

#### 「1) 大型光学部品研磨技術の開発」

(株式会社アルバック)

### 2.16.1 実用化・事業化の見通し

Ⅲ章のⅢ-17 2.16において、開発成果について述べた。市場動向の情報をタイムリーにキャッチアップして、市場競争力のある装置提案が可能な開発環境を整えるに至ったと考えられる。また、この研磨機器の国内配備では、多くの応用アプリケーションへの展開が可能と思われ、国際的に技術優位の実力が示されるものと考えられる。

事業化への目処として、光学デザイン技術のみならず、実際にあわせて開発された大型異型レンズ研磨装置の開発も成功裏に終える見通しがつき、大型装置への搭載が可能な状況が構築できた。よって、早期のエンドユーザーとのパネル試作レベルでの実験的検討が行えると思われる。

### 2.16.2 実用化・事業化までのシナリオ

Ⅳ-16 2.15.2 参照。

### 2.16.3 波及効果

Ⅳ-16 2.15.3 参照。

## 2.17 研究開発項目③「多波長複合加工技術の開発」

### 「(2) 表面処理技術の開発」

#### 「1) ビーム評価技術の開発」

(株式会社アルバック)

### 2.17.1 実用化・事業化の見通し

市場動向を鑑みて、当初の開発計画よりも到達値を大幅に上方修正して対応した。ワイドビームの設計とレンズ研磨に関する所で明らかにした様に、国内の陳腐化した、またはコモディティー化した装置群との決別を明らかにした。

本テーマでは、ワイドビームの300mm幅相当の中間目標に対して進められてきたが、急激な市場変化に伴う変化への対応を優先した。この為、周辺要素の上方修正が負荷となったことでビーム評価機器開発は本年度の後半着手へと優先順位をつけた。しかし、出口イメージを明らかにすることと、タイムリーな市場投入には間に合わせる段取りで対応中である。

### 2.17.2 実用化・事業化までのシナリオ

IV-16 2.15.2 参照。

### 2.17.3 波及効果

IV-16 2.15.3 参照。

## 2.18 研究開発項目③「多波長複合加工技術の開発」

### 「(3) 粉末成形技術の開発」

(アспект、産総研実施)

#### 2.18.1 実用化・事業化の見通し

現在までのところ開発が順調に進んでいることもあり、早期の実用化が可能となると考えている。実用化としては、当初計画の医療用をはじめ、多様な用途向けへの波及についても後述のようにスムーズな実用化・事業化を目指す。

プロジェクト終了後、量産型造形技術の開発を完了させ、その直後から受託成形の販売活動を進めることにより、開発装置の市場評価を高め、年度末には装置も2台程度の販売を期待している。その後は年に5台から20台程度の販売を見込んでいる。さらに装置販売の台数に応じた材料販売と装置保守の販売も必然的に販売して行く。

実用化、事業化へ向けた技術的な課題と対策として、粉末積層技術に特化した形状やデザインの普及を促進する必要があると考えている。欧米では従来加工法では実現不可能で付加価値の高い形状のデザインへの適用事例などをシンポジウムで発表するなど積極的な活動が既に行われている。国内においてもシンポジウムや展示会などで適用事例を提供することにより、普及促進活動を地道に行う必要がある。並行してユーザーニーズに応じた成形品の品質の安定化を図る必要がある。特に日本のユーザーは保守的で従来加工法で得られる品質が常に保証されていないと新技術の採用にためらう傾向がある。従って、安定した品質が得られる成形条件の確立と、それを担保する評価技術の構築が必須である。さらに実用化、事業化へ非常に重要なのが材料のコストである。いくら付加価値の高い技術でもほぼ同じ形状で同じ品質の部品を作成するのに従来工法の数倍の費用がかかるようでは技術の普及が望めない。樹脂粉末の積層造形事業においても、10年前の材料価格に対して現在はほぼ半額となっているが、マーケットは4倍以上に広がっている。従って、材料メーカーに対して事業開始時期から普及促進のためにマージンを取りすぎないように交渉するとともに、当初は受託造形により普及活動に努め、生産量の拡大により、更なる材料価格の低減を推進していく必要がある。

#### 2.18.2 実用化・事業化までのシナリオ

医療分野、特に人工関節の成形の実用化については、2019年までには医療機関に対し人工関節を提供することを計画している。現在、ある医療機器メーカーが、先端医療開発特区において、「革新的な医療機器の開発」という分野の「生体融合を可能とする人工関節の患者別受注生産モデルの構築」という課題で、人工関節の事業化へ向けて研究を進めている。同社はチタン合金粉末を電子ビームにより直接焼結できる海外メーカー製のラピッドプロトタイピング装置を導入しており、その装置による薬事法の認可の準備を進めている。今回開発している装置では電子ビームではなく、近赤外線レーザーを使用しており方式が異なることから、認可を受けるためには、動物実験（前臨床試験）で有効性や安全性を十分に確認した後に、健康な人やその疾患の患者に対しての治験を実施する必要がある。しかし、同じ材料を使用して同レベル以上の真空度の成形環境で成形された部品の認可は、全く初めて実施するよりも敷居は下がっていると予測している。とは言え、プロ

ジェットの研究開発完了から最低3年は見ておく必要があると考えているが、同社の協力を得て、当該装置により製造された人工関節や人工骨に要求される仕様を実現すべく、必要とされる機能を装置の開発段階から組み込んでおり、比較的順調に進めることができるかと予測している。薬事法の認可を得られた後は同社と協力して人工関節や人工骨を供給・販売開始すると同時に装置や材料を国内外へ販売を推進していく。同社のルートと競合しないエンドユーザーへは販売代理店経由で販売する予定である。

### 2.18.3 波及効果

一般産業分野における実用化については、2016年までに金属造形の受託造形を提供することを計画している。国内のマーケットは新しい技術に保守的なユーザーが多く、いきなりの装置販売は難しいと考えている。そのため、まずはユーザーが装置を購入せずに金属積層造形による部品を利用、評価できるしくみを提供することにより、普及を促進することが重要である。したがって、AMシンポジウムや設計製造ソリューション展などの展示会において、真空環境下で成形可能な国産の積層造形装置が製品化されたことを発表することで潜在ユーザーの掘り起こしを図る。同時にアспект社の富士技術センターに今回開発した金属造形装置を設置し、ユーザーからのさまざまなデータにより、部品を造形することで徐々に利用者の裾野を拡げていく。

自動車産業ではチタンよりもアルミニウム合金の方が需要が高いと予測される。従って、自動車業界のユーザーと連携しながらアルミ材料の成形技術の確立に向け、試作、要素試験により、実用化を推進する必要がある。幸い粉末成形ワーキンググループには大手自動車メーカーの研究員の方も参画しているため、課題解決のために協力していただけると考えている。

航空宇宙分野では既に2012年から欧米ではジェットエンジンにAM技術の適用が開始されている。特にブレードの部分は高温になるために複雑な冷却構造がブレード内部に組み込まれていることからAM技術を活用したチタン合金の成形が進められている。航空宇宙産業は要求品質が厳しく、品質の安定と安全性の確認に時間がかかると予測しているが、海外では実用化が進んでいくことから、いずれ今回開発した装置と技術が必要とされることは確実であると考えている。

さまざまな一般産業分野への新しい適用事例としてスペアパーツオンデマンドが今後伸びていくと予測している。スペアパーツオンデマンドは保守部品のデータのみ管理しておき、保守部品を必要とときに必要な場所で製作し基本的には保守部品を在庫しないという展開である。国土が狭く資源の無い日本において、いつ使用するかわからない保守部品のために、その部品やその部品を作るための金型を10年以上も保管しなければならないことは非効率的である。さらに保守部品が必要な場所は、保守部品を在庫している場所とは限らないため、当然保管場所から必要とされる場所へ輸送しなければならない。AM技術により必要な部品を必要とときに必要な場所に一番近いAM装置設置で保守部品を製作すれば、金型が不要となり、製造コストの削減のみならず、輸送にかかる費用も最低限となり、省エネ効果とCO2の削減に貢献することが可能となる。

なお、アメリカではH25fyからDOD (Department of Defense)、NASA他の公募により、粉末積層造形法に関するプロジェクトが開始されようとしている。これは約3年間で30

億円相当のプロジェクトであり、医療分野のほか、航空宇宙産業などの分野向けに金属部品等の開発を進めるものである。このようなプロジェクトがドイツでも実施されている模様であり、今後新規の市場の確立が進むと考えられる。特に本積層造形法では、既存の加工技術の切削・プレス成形・鋳造などに比較し、形状の自由度が高く効率を優先した冷却流路内臓部品や軽量構造、さらに緻密体とポーラス体の混合体や傾斜機能材料といった材料構造の選択性等、他の製造技術では実現できない構造を実現できることから、空間的な制約や軽量化が期待されるような航空機、宇宙機器に始まり、自動車、発電設備、化学プラント等への大きな展開が期待できる。展示会等を通じた普及活動により、これらの製品の設計者に新しい積層造形技術を認知してもらい、粉末積層造形法を新しい加工技術の位置づけとして普及し、大きな市場の確保を目指している。

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

技術開発推進部

## 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

本事業は、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。）において、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目的とした「ロボット・新機械イノベーションプログラム」の一環として実施するものとする。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。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。「高出力・高品位」かつ「低コスト」な半導体ファイバーレーザー技術及びそれを利用した加工技術は、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として期待されている。

#### ②国内外の状況

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、欧米では莫大な開発予算による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。

#### ③本事業のねらい

本事業では、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。

#### ④本事業のアウトカム

これらの取り組みにより、高出力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普及が見込まれ、2030年に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2,200億円の市場が期待される。

### (2) 研究開発の目標

本事業では、「ユーザーニーズに適応した」かつ「国際競争力のある」をコンセプトに、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。

具体的な目標としては、プロジェクト3年経過時点において（別紙）研究開発計画の研究開発項目①から③の中間目標を、プロジェクト終了時において（別紙）研究開発計画の研究開発項目の①から③の最終目標を達成することとする。

### （3）研究開発の内容

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。

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り、原則、委託事業として実施する。ただし、上記以外のもの<sup>(※1)</sup>は、共同研究事業（NEDO負担率：2/3）として実施する。

※1 民間企業単独、民間企業のみでの連携、大学等の単独等、産学官連携とならないもの。  
[委託事業、（共同研究事業（NEDO負担率：2/3））]

- ① レーザー高出力化技術の開発
- ② レーザー高品位化技術の開発
- ③ 多波長複合加工技術の開発

## 2. 研究開発の実施方式

### （1）研究開発の実施体制

本研究開発は、NEDOが単独ないし複数の企業、大学等の研究機関（原則、国内に研究開発拠点を有していること。）から公募によって研究開発実施者を選定後、必要に応じて共同研究契約等を締結する研究体を構築し、委託（または、共同研究）して実施する。

共同研究開発に参加する各研究開発グループの有する研究開発ポテンシャルの最大限の活用により効率的な研究開発の推進を図る観点から、研究体にはNEDOが委託先決定後に委嘱する研究開発責任者（プロジェクトリーダー）を置き、その下に研究者を可能な限り結集して効果的な研究開発を実施する。

本研究開発の実施にあたっては、NEDO機械システム部が研究開発の進捗を見ながら積極的に関与して推進する。

### （2）研究開発の運営管理

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。また、外部有識者の意見を運営管理に反映させる。

## 3. 研究開発の実施期間

本研究開発の期間は、平成22年度から平成26年度までの5年間とする。

## 4. 評価に関する事項

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、成果の技術的意義ならびに将来の産業への波及効果等について、外部有識者による研究開発の中間評価を平成24年度、事後評価を平成27年度に実施し、中間評価結果を踏まえ、必要に応じその結

果を後年度の研究開発に反映することとする。なお、平成26年度までの各年度中に推進委員会等で各研究開発内容を評価し、必要に応じ、プロジェクトの加速・縮小・中止等見直しを迅速に行う。評価の時期については、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に応じて、前倒しする等、適宜見直すものとする。

## 5. その他の重要事項

### (1) 成果の取扱い

#### ①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。

#### ②成果の産業化

- a) 実施者は、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組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、立案した取組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。
- b) 実施者は、上記a)で立案した取組とビジネスモデルを本研究開発終了後、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知的財産権の帰属

委託研究開発（および共同研究）の成果に関わる知的財産権については、「独立行政法人新エネルギー・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26条の規定等に基づき、原則として、すべて受託先に帰属させることとする。

なお、ユーザーニーズに適應し、かつ国際競争力を有する製品・サービスの構築を見据えた知財管理を適切に行うこととする。

### (2) 基本計画の変更

NEDOは、研究開発内容の妥当性を確保するため、社会・経済的状況、内外の研究開発動向、産業技術政策動向、プログラム基本計画の変更、評価結果、研究開発費の確保状況、当該研究開発の進捗状況等を総合的に勘案し、達成目標、実施期間、研究開発体制等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、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第15条第1項第1号二に基づき実施する。

## 6. 基本計画の改訂履歴

- (1) 平成22年3月、制定。
- (2) 平成23年3月、研究開発項目③「多波長複合加工技術の開発」の中間目標の変更により、改訂
- (3) 平成24年3月、需給勘定への変更に伴うプロジェクト名及び根拠法、並びに所管部署名の変更による改訂

(別紙) 研究開発計画

研究開発項目① 「レーザー高出力化技術の開発」

1. 研究開発の必要性

レーザーの発明以来50年が経過してこれまで様々な方式のレーザー技術が開発されてきた。その中で光ファイバー及び半導体レーザーを用いるレーザーの発振方式は、最も高輝度、高効率であり、同等の特性を得るために必要な消費電力も最も小さい。高出力化技術開発では光ファイバーから出射される最大限の特性を持つレーザーの開発を目指す。波長、偏光、空間モード、時間制御を自在に制御できるレーザー技術を、国際的にも競争力があるコストで実現する。開発の成果を根幹に発展させたレーザー技術は、今後幅広い応用が考えられ、低炭素化社会を実現する上で非常に重要であると考えられる。ここでは、光ファイバー及び半導体レーザーを用いるレーザーの高出力化技術開発として(1)半導体レーザーの高出力化技術、高信頼化技術の開発、(2)半導体レーザーのファイバーカップル技術の開発を行う。

2. 研究開発の具体的内容

(1) 半導体レーザーの高出力化技術、高信頼化技術の開発

半導体レーザーは世界的に高出力化が進んでいる。高出力化には発熱の抑制と、発生した熱の排熱が2大テーマである。発熱抑制について、結晶成長技術及び作製プロセスの開発を行い、従来構造に比べ飛躍的な高出力化を図るための結晶構造、新規素子構造、作製プロセスの検討等により、高出力領域での効率と信頼性を両立した高出力半導体レーザーの実現を目指す。排熱については、これまで培った従来型の放熱技術を取り入れるとともに、最適化を図る。自動組立てが可能な高出力、低コストの半導体レーザーに資する技術開発を行う。

(2) 半導体レーザーのファイバーカップル技術の開発

素子の配置設計、光ファイバー構造の検討を行い、半導体レーザーから発生させたレーザー光を無駄なく光ファイバーに伝送出来る技術を開発する。精密自動制御技術の採用と高速調心ソフト開発により、国際競争力を有する製造プロセスを確立する。

3. 達成目標

(1) 最終目標 (平成26年度)

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

- ・アレイ

|          |               |
|----------|---------------|
| 出力       | : 300 W       |
| 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

## (2) 中間目標（平成24年度）

### 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  $\mu$  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  $\mu$  m、NA0.15 相当）： 60%以上

## 4. 特記事項

- (1) 研究開発項目②、③と連携して、レーザー高出力化技術の開発を進めるものとする。
- (2) 研究開発項目③で得られた実証試験の結果をフィードバックしつつ研究開発を実施する。
- (3) 開発成果の有効性を実証できるユーザー機関を協力機関として確保し、適宜開発成果の実証試験を行い、その結果を研究開発項目②、③の開発に対してフィードバックしつつ研究開発を実施するのが望ましい。

## 研究開発項目② 「レーザー高品位化技術の開発」

### 1. 研究開発の必要性

CFRP（炭素繊維強化複合材料）に代表される複合材料の切断において、従来のウォータージェットやミリング機械加工は、素材構造の破壊や剥離等の障害が発生するため加工品質が不十分であるばかりでなく、量産に耐える生産性の達成が極めて困難である。さらに、複合材料と金属の接合においても既存技術での対応が困難とされている。このように、複合材料の高加工品質と高生産性を両立する新技術の開発が喫緊の課題となっている。機械加工に替わる手法として、金属等の切断、溶接に用いられてきた近赤外～赤外域の連続発振レーザーの適用が試みられているが、低融点材料と高融点材料が混在している複合材料では熱的変性の問題が大きく実用化は困難である。ここでは、加工品質が主にレーザーパルスの諸特性（波長、パルス幅、パルスエネルギー、集光スポットサイズ）に依存し、加工速度が平均出力（パルスエネルギー×繰り返し周波数）に依存することを利用し、複合材料の高加工品質と高生産性の両立を実現する高品位・高出力パルスファイバーレーザーの研究開発を行う。また、そのようなレーザー技術は、フラットパネルディスプレイ、太陽電池等デバイスの表面処理、チタン等の粉末成形に対しても有効である。具体的には、(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、(2) パルスレーザー増幅（ブースター）技術の開発、(3) 高出力波長変換技術の開発を行う。

### 2. 研究開発の具体的内容

#### (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

任意のパルス波形の発生が可能な光源とパルス波形整形された光をファイバー増幅し、所望のパワーまで出力を向上させるレーザー技術を開発する。本レーザー技術は、研究開発項目①で開発された半導体レーザーモジュールをファイバー増幅段で励起用光源として使用し、構成上後置されるパルスレーザー増幅技術、高出力波長変換技術と組み合わせることを想定している。任意波形制御パルスファイバーレーザー光源出力をパルスレーザー増幅器で増幅出来得る出力まで高めるための希土類元素添加レーザー用ファイバーで構成されるファイバーアンプを開発する。

#### (2) パルスレーザー増幅（ブースター）技術の開発

ファイバーレーザーからの出力を kW クラスまで増幅するための増幅器（半導体レーザー励起セラミック近赤外固体レーザー増幅器等）を開発する。増幅過程においてビーム品質を維持することにより、2 倍高調波及び 3 倍高調波への波長変換効率のさらなる効率向上を目指す。将来的に実用機に搭載するためには、高効率、コンパクト、低コストのための新たな技術開発が不可欠である。その要求に応えるには、半導体レーザーモジュールの高輝度化による強励起密度の実現、新たなセラミックレーザー技術の開発、十分な冷却性能を有する増幅器構造、及びコンパクトな多重パス増幅光路の検討を行う。また、加工条件の最適化研究に供することを想定しているので、この増幅器には、加工品質及び高生産性に重点を置いた性能が求められる。すなわち、パルス繰り返し周波数は数 kHz～数百 kHz 程度に設定し、加工特性の評価や最適条件出しに必要なパルスエネルギーを比較的小型の増幅器で達成する。パルス幅の可変制御については、ファイバーレーザーの出力パルス幅を変化させることにより対応する。さらに、パルス光源及びファイバーアンプからの出力を増幅後、ビームポインティング安定性及び出力安定性等についての評価を行う。

### (3) 高出力波長変換技術の開発

高出力のレーザー光が波長変換結晶に入射すると、波長変換結晶の光吸収による熱発生に伴い結晶内での温度分布が生じるため、2倍高調波及び3倍高調波への変換効率の低下を招く。ここでは、波長変換結晶により高出力レーザー光（基本波）を2倍高調波及び3倍高調波に高効率変換するための技術開発を行う。具体的には、変換効率向上のために、波長変換結晶のマウント技術、冷却方式の最適化技術等の温度分布制御技術の開発を行う。

## 3. 達成目標

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) 最終目標（平成26年度）

#### 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：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、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。

※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：1 ～ 2 kW
- ・パルス幅：0.5 ～ 100 ns
- ・周波数：1～150 kHz

※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

### (2) 中間目標（平成24年度）

#### 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：1～1,000 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。

※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

※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

#### 4. 特記事項

- (1) 研究開発項目①、③と連携して、レーザー高品位化技術の開発を進めるものとする。
- (2) 研究開発項目③で得られた実証試験の結果をフィードバックしつつ研究開発を実施する。
- (3) 開発成果の有効性を実証できるユーザー機関を協力機関として確保し、適宜開発成果の実証試験を行い、その結果を研究開発項目①、③の開発に対してフィードバックしつつ研究開発を実施するのが望ましい。

## 研究開発項目③ 「多波長複合加工技術の開発」

### 1. 研究開発の必要性

本プロジェクトで開発するパルスファイバーレーザーの高出力化技術ならびに高品位化技術を実用的に有用なものとするためには、加工機システムとして機能を統合させて最適化するとともに、低炭素社会の実現に向けた製品の軽量化・高強度化、高機能化に大きな期待が寄せられている先進材料の利活用促進に貢献するためのレーザー加工技術を開発する必要がある。特に、先進材料の非接触、高品位、高速加工を実現することによって、従来手法では困難であった精密加工のブレイクスルー技術として実用に耐える次世代レーザー加工技術を確立する。先進材料の加工技術として、(1) 切断接合技術、(2) 表面処理技術、(3) 粉末成形技術の3つの研究開発を行う。

### 2. 研究開発の具体的内容

#### (1) 切断接合技術の開発

CFRP(炭素繊維強化複合材料)等の複合材料は、自動車・航空機等の輸送機器の抜本的軽量化技術として期待されている。しかしながら、異種難削材であることから、革新的な製造技術として高精度な切断・接合技術の開発が要望されており、さらに製品製造タクトタイムの大幅短縮化が喫緊の課題である。本研究開発では、CFRPに代表される複合材料に対して自動車・航空機用途の基材を検討対象とし、高品位・高速のレーザー切断接合技術を開発する。具体的には、中型・小型部材を加工するための高速掃引リモート加工ヘッドの開発、自動車のフードやルーフ等の大型部材の加工を行う高速高精度制御加工ノズルの開発、ならびに、プロセス・評価技術の研究開発を行う。具体的には以下の通り。

#### 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：複合レーザー照射によるリモート加工が可能な複合レーザー加工ヘッドの開発を行う。
- ・高速高精度制御加工ノズルの開発：可動部の軽量化と高剛性化ならびに高速微細技術の開発を行う（高速微細技術：ワークと加工ノズルのギャップを一定に保つ技術）。

#### 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：高品位・高速加工を実現する高速走査重畳照射技術の開発、ならびにインプロセスモニタリング技術を確立する。
- ・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：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、ならびに、加工後試料の特性評価手法を確立する。

#### (2) 表面処理技術の開発

有機ELディスプレイ、液晶ディスプレイに代表されるフラットパネルディスプレイ(以下FPD)産業は、日本が世界に誇る産業基盤の一つである。次世代の高品位、省エネルギー、高画質FPDの実現のために、多層膜ガラス基板におけるアモルファスシリコン膜の低温ポリシリコン(LTPS)技術が期待されている。優れた安定性、長寿命の特長を持つ大出力レーザーを用いてアモルファスシリコン膜の安定化多結晶処理を施すことにより、次世代FPDの課題を達成できると期待されている。また、薄膜系太陽電池(以下PV)もLTPS技術の導入が検討されており、太陽電池の特性改善が期待されている。本研究開発では、

高品位なレーザー表面処理技術を開発する。具体的には以下のとおり。

#### ①高度ホモジナイズワイドビーム整形の開発

FPD/PV 作製工程では極めて厳しいレーザー照射均一性が必要である。レーザー照射強度分布は、主に LTPS の多結晶性とその電気特性に影響を与える。ここでは、レーザー照射の均一性向上を目的とした高度ホモジナイズ技術と、ワイドビーム整形光学系の開発を行う。高精度加工された異形レンズ類を多用して加工ワーク近傍までレーザービームをデリバリーし、光学系の最適化を図ることにより、低コストで信頼性のある整形光学系を開発する。

#### ②大型光学部品研磨技術の開発

現在、高精度で表面改質に適した大型異形レンズ加工技術は無い。ここでは、大型異形レンズの研磨加工におけるレンズ表面の粗さ低減を実現するため、研磨機器剛性の検討及び広域軸出し技術を開発し、高品位ワイドビーム整形に寄与する。

#### ③高精度ビーム評価技術の開発

整形される高度なワイドビームの品質は独自に評価しなければならない。ワイドビームの形状を評価し、照射均一性を確保するためのビームプロファイラーの開発を行う。具体的には、ワイドビーム全域に渡り、ビームの集光性、輝度分布、パターンを高速、高分解能で診断する技術を開発する。

### (3) 粉末成形技術の開発

省エネルギー・省資源の観点から、製品の軽量化・薄肉化、それに伴う高強度化が進められており、レーザー焼結積層造形法によるチタン合金等の製品の開発や少量多品種生産の需要が年々高まっている。しかしながら、軽量難加工材料であるチタン合金やアルミニウム合金のレーザー焼結積層造形は未だ実現されておらず、我が国産業界の要求仕様に応える技術の開発が急務である。特に、成形サイズ、成形精度、最小成形厚みに関して、実ユーザーの要求を反映した基本プラットフォームの開発が切望されている。本研究開発では、チタン合金等の軽量難加工材料のレーザーによる粉末成形を可能にする基本プラットフォームを開発し、粉末成形の精度向上と高速化を図るものとする。具体的には以下の通り。

#### ①基本プラットフォームの開発及び成形精度の向上と高速化

チタン合金等のレーザー焼結積層造形においては、成形環境をできるだけ真空中に近い状態にする必要がある。ここでは真空中において動作可能な粉末供給システム及び積層システムを開発し、真空チャンバ型の粉末焼結積層造形技術及び基本プラットフォームの開発を行う。基本プラットフォームの開発では、パルスファイバーレーザーに適した光学系システムや効率的なレーザー照射のための予備加熱機構の検討を行うとともに、内部残留応力を軽減するレーザー照射パターンの最適化を行う。次段階として、高性能・高出力パルスファイバーレーザーの搭載による成形の高速化と成形条件の最適化、及びレーザー照射パターンの改善によりさらなる成形精度の向上を図る。

### 3. 達成目標

#### (1) 最終目標（平成26年度）

### ①切断接合技術の開発

- ・切断および接合加工速度：6 m/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 50 cm 級サイズ以上の CFRP 基材に対して、基材厚み 3 mm 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 100 MPa 以上（CFRP 基材厚み 3 mm、金属板厚み 2 mm）

### ②表面処理技術の開発

- ・ワイドビーム：幅 500 mm 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（100 mm サイズ基準パーツ）
  - 成形時間：16 時間以内（高さ 100 mm サイズ基準パーツ）
  - 引張り強度：チタン合金 840 MPa 以上（生体部品用途）

## (2) 中間目標（平成 24 年度）

### ①切断接合技術の開発

- ・切断および接合加工速度：2 m/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  $\mu$ 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. 特記事項

- (1) 研究開発項目①、②と連携して、レーザー加工技術の開発を進めるものとする。
- (2) 開発成果の有効性を実証できるユーザー機関を協力機関として確保し、適宜開発成果の実証試験を行い、その結果を研究開発項目①、②の開発に対してフィードバックしつつ研究開発を実施するのが望ましい。
- (3) 達成目標にある材料特性値は、米国材料試験協会の ASTM 規格に準拠した試験方法で達成することが望ましい。

## 特許論文リスト

## 添付資料2

研究開発項目①「レーザー高出力化技術の開発」  
浜松ホトニクス㈱

| 番号 | 出願者         | 出願番号 | 国内<br>国外<br>PCT | 出願日 | 状態 | 名 称 | 発明者 |
|----|-------------|------|-----------------|-----|----|-----|-----|
| 1  | 浜松ホトニクス株式会社 | 非公開  | 国内              | 非公開 | 出願 | 非公開 | 非公開 |
| 2  | 浜松ホトニクス株式会社 | 非公開  | 国内              | 非公開 | 出願 | 非公開 | 非公開 |
| 3  | 浜松ホトニクス株式会社 | 非公開  | 国内              | 非公開 | 出願 | 非公開 | 非公開 |
| 4  | 浜松ホトニクス株式会社 | 非公開  | 国内              | 非公開 | 出願 | 非公開 | 非公開 |
| 5  | 浜松ホトニクス株式会社 | 非公開  | 国内              | 非公開 | 出願 | 非公開 | 非公開 |
| 6  | 浜松ホトニクス株式会社 | 非公開  | 国内              | 非公開 | 出願 | 非公開 | 非公開 |
| 7  | 浜松ホトニクス株式会社 | 非公開  | 国内              | 非公開 | 出願 | 非公開 | 非公開 |
| 8  | 浜松ホトニクス株式会社 | 非公開  | 国内              | 非公開 | 出願 | 非公開 | 非公開 |

研究開発項目②「レーザー高品位化技術の開発」  
古河電気工業株式会社

| 番号 | 出願者        | 出願番号 | 国内<br>国外<br>PCT | 出願日 | 状態 | 名 称 | 発明者 |
|----|------------|------|-----------------|-----|----|-----|-----|
| 1  | 古河電気工業株式会社 | 非公開  | 国内              | 非公開 | 出願 | 非公開 | 非公開 |
| 2  | 古河電気工業株式会社 | 非公開  | 国内              | 非公開 | 出願 | 非公開 | 非公開 |
| 3  | 古河電気工業株式会社 | 非公開  | 国内              | 非公開 | 出願 | 非公開 | 非公開 |
| 4  | 古河電気工業株式会社 | 非公開  | 国内              | 非公開 | 出願 | 非公開 | 非公開 |
| 5  | 古河電気工業株式会社 | 非公開  | 国内              | 非公開 | 出願 | 非公開 | 非公開 |
| 6  | 古河電気工業株式会社 | 非公開  | 国内              | 非公開 | 出願 | 非公開 | 非公開 |
| 7  | 古河電気工業株式会社 | 非公開  | 国内              | 非公開 | 出願 | 非公開 | 非公開 |
| 8  | 古河電気工業株式会社 | 非公開  | 国内              | 非公開 | 出願 | 非公開 | 非公開 |

研究開発項目③「多波長複合加工技術の開発」(切断接合・粉末成形)  
技術研究組合 次世代レーザー加工技術研究所

| 番号 | 出願者                     | 出願番号 | 国内<br>国外<br>PCT | 出願日         | 状態    | 名 称            | 発明者   |
|----|-------------------------|------|-----------------|-------------|-------|----------------|-------|
| 1  | 浜松ホトニクス株式会社<br>(ALPROT) | 未定   | 国内              | 2012/7月出願予定 | 出願準備中 | レーザー増幅媒質の冷却方法  | 伊山功一他 |
| 2  | 株式会社アスペクト<br>(ALPROT)   | 未定   | 国内              | 2012/7月出願予定 | 出願準備中 | 粉末造形装置         | 萩原正他  |
| 3  | ミヤチテクノス株式会社<br>(ALPROT) | 未定   | 国内              | 2012/7月出願予定 | 出願準備中 | 高出力レーザー用スキャナ装置 | 長嶋崇弘他 |

【論文】

研究開発項目①「レーザー高出力化技術の開発」  
浜松ホトニクス(株)

| 番号 | 所属・発表者  | 題名  | 発表誌名                                | 査読 | 発表年月日         |
|----|---|---|-------------------------------------|----|---------------|
| 1  | 浜松ホトニクス株式会社・前田純也、森田剛徳、宮本昌浩、宮島博文、吉田治正  | ファイバレーザ励起用半導体レーザの開発動向   | レーザー加工学会誌                           | 有  | 2012/3/       |
| 2  | HAMAMATSU PHOTONICS K.K.・Akira Higuchi, Hideyuki Naito, Kousuke Torii, Masahiro Miyamoto, Junya Maeda, Takenori Morita, Hirofumi Miyajima, and Harumasa Yoshida                           | High power density vertical-cavity surface-emitting lasers with ion implanted isolated current aperture,    | Optics Express                      | 有  | 2012/2/6      |
| 3  | HAMAMATSU PHOTONICS K.K.・Nobuto Kageyama, Takenori Morita, Kousuke Torii, Motoki Takauji, Takehito Nagakura, Junya Maeda, Hirofumi Miyajima, Harumasa Yoshida                             | Newly developed high power laser diode bars   | Proc. SPIE, 8241                    | 有  | 2012/1/30     |
| 4  | HAMAMATSU PHOTONICS K.K.・Nobuto Kageyama, Kousuke Torii, Takenori Morita, Motoki Takauji, Takehito Nagakura, Junya Maeda, Hirofumi Miyajima, Harumasa Yoshida                             | Efficient and reliable high power laser diode bars with low smile implementation.                           | IEEE JOURNAL OF QUANTUM ELECTRONICS | 有  | 2012/5/11     |
| 5  | HAMAMATSU PHOTONICS K.K.・Hideyuki Naito, Masahiro Miyamoto, Yuta Aoki, Akira Higuchi, Kousuke Torii, Takehito Nagakura, Takenori Morita, Junya Maeda, Hirofumi Miyajima, Harumasa Yoshida | Short-Pulse Operation of a High Power-Density Proton-Implanted Vertical-Cavity Surface-Emitting Laser Array | Applied Physics Express             | 有  | 2012年 accept済 |

研究開発項目②「レーザー高品位化技術の開発」(パルス制御、ブースター、波長変換)  
大阪大学

| 番号 | 所属・発表者        | 題名  | 発表誌名   | 査読 | 発表年月日     |
|----|---------------|---|--------|----|-----------|
| 1  | 阪大レーザー研 吉田英次他 | Yb添加大口径ホトニッククリスタルファイバーを用いた高ピーク、高平均出力MOPAレーザーシステムの開発 | レーザー研究 | 有  | 2012.6投稿中 |

研究開発項目②「レーザー高品位化技術の開発」  
古河電気工業株式会社

| 番号 | 所属・発表者          | 題名                     | 発表誌名             | 査読 | 発表年月日     |
|----|-----------------|------------------------|------------------|----|-----------|
| 1  | 古河電気工業株式会社 藤崎 晃 | 加工用ファイバレーザの基礎と応用       | 応用物理2011年12月号    | 無し | 2011/12/1 |
| 2  | 古河電気工業株式会社 藤崎 晃 | シングルモードファイバレーザの開発と加工事例 | レーザー加工学会誌2012年   | 無し | 2012/2/1  |
| 3  | 古河電気工業株式会社 藤崎 晃 | シングルモードファイバレーザの特性と加工応用 | OplueE 2011年11月号 | 無し | 2012/11/1 |
| 4  | 古河電気工業株式会社 藤崎 晃 | シングルモードファイバレーザの開発と加工事例 | レーザー協会誌2012年2    | 無し | 2012/2/1  |

研究開発項目③「多波長複合加工技術の開発」(切断接合・粉末成形)

技術研究組合 次世代レーザー加工技術研究所

| 番号 | 所属・発表者   | 題名  | 発表誌名   | 査読 | 発表年月日   |
|----|--|---|--|----|---------|
| 1  | 産総研、ALPROT<br>新納 弘之、黒崎諒三   | Laser cutting of carbon fiber reinforced plastics (CFRP) by UV pulsed laser ablation                                    | Proc. of SPIE Vol. 7920 792019-1 (2011)  | 有  | 2011/5  |
| 2  | 産総研、ミヤチテクノス(株)、新日本工機(株)、三菱化学、ALPROT<br>新納弘之、川口喜三、佐藤正健、奈良崎愛子、黒崎諒三、原田祥久、中山伸一、加瀬純平、松下正文、古川航一、西野充晃 | 炭素繊維強化樹脂(CFRP)のレーザー精密加工   | 平成23年電気学会電子・情報・システム部門大会講演論文集、OS11-5、p.956-959(2011)  | 無  | 2011/9  |
| 3  | 産総研、ALPROT、筑波大学<br>Y.Harada, K. Kawai, T.Suzuki, T.Teramoto                                    | Evaluation of Cutting Process on the Tensile and Fatigue strength of CFRP Composites                                    | Materials Science Forum, 06-709 (2012), pp.649-654   | 有  | 2012/1  |
| 4  | 産総研、ALPROT<br>新納弘之   | 特集「レーザー精密加工の最新動向」:総論  | オプトロニクス2011年11月号、p.86-89(2011)   | 無  | 2011/11 |
| 5  | ALPROT、産総研、三菱化学、筑波大学<br>Y. Harada, K. Kawai, M. Nishino, H. Niino, T. Suzuki and T. Teramoto   | Effect of Fiber Orientation on Tensile Properties of Carbon Fiber Reinforced Plastic (CFRP) using Laser Cutting Process | Proceedings of 12th Japan International SAMPE Symposium & Exhibition (JISSE12), (2011), PMC-3.             | 有  | 2011/11 |
| 6  | 産総研、ALPROT<br>Y. Harada, T. Suzuki, M. Nishino, H. Niino                                       | Investigation on the Tensile Strength of CFRP/CFRTP Manufacturing using High-Power Lasers                               | Proceedings of International Symposium on Laser Processing for CFRP and Composite Materials, p.4-4 (2012). | 有  | 2012/4  |
| 7  | ALPROT、三菱化学、産総研<br>西野充晃、原田祥久、鈴木隆之、新納弘之   | Acoustic damage detection in laser-cut CFRP composite materials   | Proc. of SPIE, vol. 8243, p.82431C-1 (2012)  | 有  | 2012/5  |
| 8  | ALPROT、産総研、三菱化学、筑波大学<br>Y. Harada, T. Ito, T. Suzuki, M. Nishino, H. Niino, T. Teramoto        | Environmental Effects on Mechanical Behavior of CFRP using Laser Cutting Process  | Proceedings of 15th European Conference on Composite Materials, (2012)                                     | 有  | 2012/6  |
| 9  | ALPROT、産総研、アスペクト<br>中野禪、堀場欣紀、松崎邦男、佐々雅祥、清水透、萩原正   | レーザー応用粉末積層造形法による金属成形装置の開発   | 平成24年度塑性加工春季講演会講演論文集   | 無  | 2012/6  |
| 10 | ALPROT、AIST<br>Osamu Matsumoto, Hiroyuki Niino, Hitoshi Ogata                                  | High-power Pulsed Fiber Laser and Processing Technology Project   | Proceedings of LPM2012 - the 13th International Symposium on Laser Precision Microfabrication              | 無  | 2012/7  |

【研究発表・講演】

研究開発項目①「レーザー高出力化技術の開発」  
浜松ホトニクス(株)

| 番号 | 所属・発表者   | 題名   | 発表会・講演会名   | 発表・講演日      |
|----|--|--|--|-------------|
| 1  | 浜松ホトニクス株式会社・前田純也、鄭宇進、桂祐樹、森田剛徳、宮本昌浩、宮島博文、吉田治正   | ファイバーレーザー用半導体レーザーの開発動向について   | シンポジウム「パワーファイバーレーザーとその産業応用」【依頼講演】                                  | 2011/4/22   |
| 2  | HAMAMATSU PHOTONICS K.K.・Nobuto Kageyama, Takenori Morita, Kousuke Torii, Motoki Takauji, Takehito Nagakura, Junya Maeda, Hirofumi Miyajima, Harumasa Yoshida                    | Newly developed high power laser diode bars  | SPIE Photonics West 2012【発表審査有・口頭発表】                               | 2012/1/22   |
| 3  | 浜松ホトニクス株式会社・影山進人、森田剛徳、鳥井康介、高氏基喜、長倉建人、前田純也、宮島博文、吉田治正  | 900nm帯高出力LDバーの開発   | レーザー学会学術講演会第32回年次大会  | 2012/1/31   |
| 4  | 浜松ホトニクス株式会社・樋口彰、宮本昌浩、内藤秀幸、鳥井康介、青木優太、前田純也、森田剛徳、吉田治正、宮島博文  | 高輝度面発光レーザーの開発  | レーザー学会学術講演会第32回年次大会  | 2012/1/31   |
| 5  | 浜松ホトニクス株式会社・前田純也、遠藤和幸、森田剛徳、宮本昌浩、宮島博文、吉田治正  | ファイバ結合型ブロードエリア半導体レーザーの開発   | レーザー学会学術講演会第32回年次大会  | 2012/1/31   |
| 6  | HAMAMATSU PHOTONICS K.K.・Junya Maeda, Takenori Morita, Kazuyuki Endo, Kousuke Torii, Masahiro Miyamoto, Hirofumi Miyajima, Harumasa Yoshida                                      | Investigation of High Efficiency Fiber-coupled Laser Diode Modules for Fiber Laser Pumping | The 1st Advanced Laser and Photon Sources (ALPS'12)【発表審査有・口頭発表】    | 2012/4/27   |
| 7  | HAMAMATSU PHOTONICS K.K.・Takenori Morita, Nobuto Kageyama, Kousuke Torii, Takehito Nagakura, Motoki Takauji, Junya Maeda, Masahiro Miyamoto, Hirofumi Miyajima, Harumasa Yoshida | Developments of High-Power 9xx-nm Single Emitter Laser Diodes and Laser Diode Bar,         | 2012 IEEE Photonics Society Summer Topical Meetings【発表審査有・口頭発表】    | 2012/7/10予定 |
| 8  | HAMAMATSU PHOTONICS K.K.・Takenori Morita, Takehito Nagakura, Kousuke Torii, Motoki Takauji, Junya Maeda, Masahiro Miyamoto, Hirofumi Miyajima, Harumasa Yoshida                  | High-Power and High-Efficiency 915 nm Broad-Area Laser Diodes with Window Structure        | 23rd IEEE International Semiconductor Laser Conference【発表審査有・口頭発表】 | 2012/10/9予定 |
| 9  | 吉田治正、森田剛徳、宮本昌浩、前田純也、宮島博文   | 加工レーザー開発   | 次世代素材等レーザー加工技術開発プロジェクト「ユーザー連携実用化推進シンポジウム(成果(中間)報告会)」               | 2012/7/30予定 |

研究開発項目②「レーザー高品位化技術の開発」(パルス制御、ブースター、波長変換)  
大阪大学(レーザー研)

| 番号 | 所属・発表者                | 題名                | 発表会・講演会名        | 発表・講演日    |
|----|-----------------------|-------------------|-----------------|-----------|
| 1  | 阪大レーザー研 Ravi Bhushan他 | パルスレーザー増幅技術の開発(1) | 第72回応用物理学会学術講演会 | 2011/8/30 |

|    |  |  |                                       |           |
|----|--|--|---------------------------------------|-----------|
| 2  | 阪大レーザー研 伊山功一他                            | パルスレーザー増幅技術の開発(2)  | 第72回応用物理学学会学術講演会                      | 2011/8/30 |
| 3  | 阪大レーザー研 吉田英次他                            | 高出力パルス動作 Ybファイバーレーザーシステム   | レーザー学会学術講演会 第32回年次大会                  | 2012/1/30 |
| 4  | 阪大レーザー研 伊山功一他                            | パルスレーザー増幅技術の開発(3)  | 第59回応用物理学関係連合講演会                      | 2012/3/15 |
| 5  | ALPROT, 片岡製作所 山村健他                       | 高出力パルス動作 Ybファイバーレーザーシステムの開発  | 第59回応用物理学関係連合講演会                      | 2012/3/16 |
| 6  | ILE, Osaka Univ.<br>H.Yoshida et al.     | High-peak and high-average-power polarization-maintained Yb-doped PCF fiber laser system       | Advance Lasers and Photon Source 2012 | 2012/4/27 |
| 7  | ILE, Osaka Univ.<br>R.Bhushan et al.     | Development of a Compact Diode Pumped High Power Nd:YAG Amplifier                              | Advance Lasers and Photon Source 2012 | 2012/4/27 |
| 8  | ILE, Osaka Univ.<br>K.Tsubakimoto et al. | 240W, 10kHz Green Laser from Harmonic Converted Nd:YAG MOPA                                    | Advance Lasers and Photon Source 2012 | 2012/4/27 |
| 9  | ILE, Osaka Univ.<br>H.Fujita et al.      | High-repetition and high-average-power Nd:YAG amplifier pumped by 4-kW LDs                     | Advance Lasers and Photon Source 2012 | 2012/4/27 |
| 10 | ILE, Osaka Univ.<br>H.Fujita et al.      | High-repetition and High-average-power Nd:YAG Active Mirror Amplifier Pumped by High Power LDs | The 8th Asia Pacific Laser Sinposium  | 2012/5/29 |

研究開発項目②「レーザー高品位化技術の開発」(パルス制御、プースター、波長変換)  
大阪大学(接合研)

| 番号 | 所属・発表者            | 題名                           | 発表会・講演会名   | 発表・講演日    |
|----|-------------------|------------------------------|--|-----------|
| 1  | 接合研<br>塚本雅裕       | 産学連携による多波長複合レーザー加工技術開発への取り組み | 第75回レーザー加工学会講演会  | 2011/5/11 |
| 2  | 接合研<br>塚本雅裕, 阿部信行 | 産学連携による高出力レーザー加工基盤技術開発への取り組み | 第8回 スマートプロセス研究センター産学連携シンポジウムー 産学連携の最新成果とスマートプロセス研究の新シーズー                           | 2011/6/20 |
| 3  | 接合研<br>塚本雅裕       | 産学連携による高出力レーザー加工技術開発への取り組み   | 第10回レーザー学会「マイクロ固体フォトニクスの新展開ージャイアントマイクロフォトニクスの創成ー」専門委員会 第2回「ジャイアントマイクロフォトニクス II」研究会 | 2011/7/29 |
| 4  | 接合研<br>塚本雅裕       | 「次世代レーザー加工」特集号によせて           | レーザー研究, 39, 9 (2011), 672-673.   | 2011/9/1  |

|    |  |   |  |            |
|----|--|---|--|------------|
| 5  | 接合研<br>塚本雅裕  | 産学連携による次世代レーザー加工基盤技術開発への取り組み  | レーザー学会、第419回 研究会「レーザー加工」                         | 2011/10/17 |
| 6  | 接合研,2)近畿大学,3)レーザー総研<br>中井一樹, 2)成山達也, 2)中野人志,<br>塚本雅裕, 升野振一郎, 高橋謙次郎,<br>阿部信行, 3)藤田雅之  | ナノ秒レーザーによる炭素繊維強化プラスチックの高品質加工  | (社)高温学会 平成23年度秋季総合学術講演会                          | 2011/11/21 |
| 7  | 接合研<br>塚本雅裕  | 次世代レーザー加工技術開発大型プロジェクト   | 日本光学会年次学術講演会                                     | 2011/11/29 |
| 8  | 接合研<br>塚本雅裕  | 紫外線ナノ秒レーザーを用いた炭素繊維強化プラスチック基板の切断   | 第76回レーザー加工学会講演会                                  | 2011/12/5  |
| 9  | 接合研,2)近畿大学,3)レーザー総研<br>2)成山達也, 2)中野人志, 塚本雅裕,<br>升野振一郎, 高橋謙次郎, 阿部信行,<br>中井一樹, 3)藤田雅之  | 炭素繊維強化プラスチックの高品質加工のためのナノ秒レーザー照射   | 第76回レーザー加工学会講演会                                  | 2011/12/5  |
| 10 | 接合研<br>塚本雅裕  | 期待される次世代加工用レーザー   | 先端光テクノロジー展2011                                   | 2011/12/9  |
| 11 | 接合研,2)近畿大学,3)レーザー総研<br>中井一樹, 2)成山達也, 2)中野人志,<br>塚本雅裕, 升野振一郎, 高橋謙次郎,<br>阿部信行, 3)藤田雅之  | 短パルスレーザーによる炭素繊維強化プラスチックの高品質加工 I - 熱硬化性樹脂により成形した炭素繊維クロス材の加工特性 -  | レーザー学会学術講演会第32回年次大会 (TKP仙台カンファレンスセンタ、仙台)         | 2012/1/31  |
| 12 | 接合研,2)近畿大学,3)レーザー総研<br>2)成山達也, 2)中野人志, 塚本雅裕,<br>升野振一郎, 高橋謙次郎, 阿部信行,<br>中井一樹, 3)藤田雅之  | 短パルスレーザーによる炭素繊維強化プラスチックの高品質加工 II - 熱可塑性樹脂により形成したチョップド材の加工特性 -   | レーザー学会学術講演会第32回年次大会 (TKP仙台カンファレンスセンタ、仙台)         | 2012/1/31  |
| 13 | 接合研<br>塚本雅裕  | レーザー加工プロジェクト  | 大阪大学光科学研究企画 ワーキング/レーザー加工計測コンソーシアム                | 2012/2/11  |
| 14 | 接合研<br>塚本雅裕  | 産学連携による高出力レーザー加工技術開発  | 2011(平成23)年度第4回 光材料・応用技術研究会「レーザー非線形光学技術」         | 2012/3/2   |
| 15 | 接合研<br>塚本雅裕  | 期待される次世代加工用レーザー   | レーザープラットフォーム協議会平成23年度第3回フォーラム「次世代レーザーによる高品質加工」   | 2012/3/13  |
| 16 | 接合研<br>塚本雅裕  | CFRP切断技術について「短パルスレーザーを用いた炭素繊維強化プラスチック材料加工」  | レーザー学会第10回「次世代産業用レーザー専門委員会」(㈱アマダ富士宮事業所、静岡)       | 2012/3/30  |
| 17 | Joining and Welding Research Institute, Osaka University,2)Department of Electric and Electronic Engineering, Kinki University,3)Institute of Laser Technology K. Takahashi, S. Masuno, M.Tsukamoto, K. Nakai, 2)T. Nariyama, 2)H. Nakano, 3)M. Hujita | Study in 2nd and 3rd Harmonic Generations from the Fiber Laser and the CFRP Processing with the Laser Light | LPCC2012   | 2012/4/27  |
| 18 | 接合研<br>塚本雅裕  | 次世代レーザー加工の動向 - レーザの未来への可能性  | AMADA Innovation Fair 2012 in Global 併催テクニカルセミナー | 2012/5/18  |

研究開発項目②「レーザー高品位化技術の開発」  
古河電気工業株式会社

| 番号 | 所属・発表者          | 題名  | 発表会・講演会名                          | 発表・講演日     |
|----|-----------------|---|-----------------------------------|------------|
| 1  | 古河電気工業株式会社 藤崎 晃 | シングルモードファイバ<br>レーザーの開発と加工事例   | LASR EXPO シンポジウム                  | 2011/4/22  |
| 2  | 古河電気工業株式会社 藤崎 晃 | シングルモードファイバ<br>レーザーの特性と加工事例   | レーザー学会第419研究会                     | 2011/10/17 |
| 3  | 古河電気工業株式会社 藤崎 晃 | シングルモードファイバ<br>レーザーの特性と加工事例   | レーザー学会東京支部 第13回<br>先進レーザー応用技術セミナー | 2011/10/28 |
| 4  | 古河電気工業株式会社 柏木孝介 | high power single mode<br>fiber laser and a<br>multimode delivery cable | Photonics West 2012 LASE          | 2012/1/29  |
| 5  | 古河電気工業株式会社 藤崎 晃 | シングルモードファイバ<br>レーザーの技術と加工応用   | レーザー学会学術講演会第32<br>回年次大会シンポジウム     | 2012/2/1   |

研究開発項目③「多波長複合加工技術の開発」(切断接合・粉末成形)  
技術研究組合 次世代レーザー加工技術研究所

| 番号 | 所属・発表者   | 題名  | 発表会・講演会名  | 発表・講演日    |
|----|--|---|---|-----------|
| 1  | 産総研<br>新納弘之  | グリーンイノベーションを<br>実現するレーザープロセッ<br>シング技術   | 第58 回応用物理学関係連合講<br>演会シンポジウム   | 2011/3/24 |
| 2  | ALPROT<br>尾形仁士   | 次世代レーザー加工プロ<br>ジェクト   | レーザー EXPO 光科学フォー<br>ラムサミット(パシフィック横浜、神<br>奈川)  | 2011/4/21 |
| 3  | ALPROT<br>神谷保  | ALPROTの多波長複合<br>レーザー加工技術開発へ<br>の取り組み  | レーザー EXPO シンポジウム<br>(パシフィック横浜、神奈川)  | 2011/4/22 |
| 4  | ALPROT<br>松本 修   | レーザーによる新産業創<br>成-次世代レーザー加工<br>技術プロジェクト  | レーザー学会総会(ホテル阪急<br>エキスポパーク、大阪)   | 2011/5/25 |
| 5  | ALPROT<br>神谷保  | 1.5 kWパルスレーザーの概<br>要(国プロレーザー開発の概<br>要)  | 中部レーザー応用技術研究会 第<br>80回研究会(特別講演会)名古<br>屋大学VBL3階 ベンチャーホー<br>ル   | 2011/5/25 |
| 6  | 産総研,筑波大学<br>Y.Harada, T.Suzuki and<br>T.Teramoto                                     | Evaluation of Cutting<br>Process on the Tensile<br>and Fatigue strength of<br>CFRP Composites | THERMEC' 2011, International<br>Conference on Processing &<br>Manufacturing of Advanced<br>Materials, (Quebec, Canada),<br>COMP-1-5 | 2011/8/1  |
| 7  | 浜松ホトニクス、レーザー研、レー<br>ザー総研<br>伊山 功一、Ravi Bhushan、古河<br>裕之、椿本孝治、吉田英次、藤田<br>尚徳、藤田雅之、宮永憲明 | パルスレーザー増幅技術<br>の開発(2)   | 第72 回応用物理学学会学術講演<br>会(山形大学、山形)、30p-J-8  | 2011/8/30 |

|    |   |   |   |               |
|----|---|---|---|---------------|
| 8  | ALPROT、産総研、ミヤチテクノス、新日本工機、三菱化学<br>新納弘之、川口喜三、佐藤正健、奈良崎愛子、黒崎諒三、原田祥久、中山伸一、加瀬純平、松下正文、古川航一、西野充晃  | 炭素繊維強化樹脂(CFRP)のレーザー精密加工   | 平成23年電気学会 電子・情報・システム部門大会(富山大学、富山)、OS11-5  | 2011/9/9      |
| 9  | 新納弘之<br>産総研   | 炭素繊維強化樹脂(CFRP)のレーザー精密加工   | 第5回複合材加工技術研究部会(栃木県産業技術センター、栃木)  | 2011/10/4     |
| 10 | ALPROT、産総研、三菱化学、筑波大学<br>原田祥久、鈴木隆之、新納弘之、川井恭平、寺本徳郎、西野充晃   | PAN系炭素繊維強化プラスチックの引張破壊特性とレーザー加工の影響   | 日本金属学会2011年秋期(第149回)大会(沖縄コンベンションセンター、沖縄)No.35   | 2011/11/8     |
| 11 | ALPROT、産総研、三菱化学、筑波大学<br>Y. Harada, K. Kawai, M. Nishino, H. Niino, T. Suzuki and T. Teramoto  | Effect of Fiber Orientation on Tensile Properties of Carbon Fiber Reinforced Plastic (CFRP) using Laser Cutting Process | 12th Japan International SAMPE Symposium & Exhibition (JISSE12)、(東京ファッションタウンビル、東京)、PMC-3. | 2011/11/9     |
| 12 | ALPROT、産総研、ミヤチテクノス、新日本工機、三菱化学<br>H. Niino, Y. Kawaguchi, T. Sato, A. Narazaki, R. Kurosaki, Y. Harada, S. Nakayama, J. Kase, M. Matsushita, K. Furukawa, and M. Nishino | Laser cutting of carbon fiber reinforced plastics (CFRP)  | 11th INTERNATIONAL CONFERENCE ON LASER ABLATION(COLA2011), (Cancún, México), No.314       | 2011/11/14-17 |
| 13 | ALPROT、産総研、三菱化学<br>原田祥久、鈴木隆之、新納弘之、西野充晃  | レーザー加工後のCFRP強度特性評価  | レーザー加工学会第76回講演会、東京大学生産技術研究所   | 2011/12/5     |
| 14 | ALPROT、産総研、筑波大学<br>原田祥久、伊藤泰亮、鈴木隆之、寺本徳郎1,3   | 炭素繊維複合材料のレーザー加工と高温湿度環境耐久性評価技術   | TXテクノロジー・ショーケース in つくば 2012(つくば国際会議場、茨城)、P-90   | 2012/1/13     |
| 15 | ALPROT、産総研、アスペクト<br>中野禪、清水透、松崎邦男、堀場 欣紀、佐々 雅祥、萩原 正   | 真空中におけるチタン粉末レーザー積層造形  | 第2回AMシンポジウム 東京大学生産技術研究所 コンベンションホール  | 2012/1/25     |
| 16 | ALPROT、産総研、三菱化学<br>西野充晃、原田祥久、鈴木隆之、新納弘之  | Acoustic damage detection in laser-cut CFRP composite materials   | PhotonicsWest2012国際会議(米国サンフランシスコ、モスコーン会議場)8243-49   | 2012/1/24     |
| 17 | ALPROT、産総研、ミヤチテクノス、新日本工機、三菱化学<br>新納弘之、川口喜三、佐藤正健、奈良崎愛子、黒崎諒三、原田祥久、中山伸一、加瀬純平、松下正文、古川航一、西野充晃  | Laser cutting of carbon fiber reinforced plastics (CFRP)  | PhotonicsWest2012国際会議(米国サンフランシスコ、モスコーン会議場) 8243-42  | 2012/1/24     |
| 18 | ALPROT、産総研、三菱化学<br>原田祥久、鈴木隆之、新納弘之、西野充晃  | CFRPのレーザー加工技術とその強度特性評価に関する研究  | レーザー学会学術講演会第32回年次大会、TKP仙台カンファレンスセンター  | 2012/1/30     |

|    |  |   |   |              |
|----|--|---|---|--------------|
| 19 | 新納弘之, 川口喜三, 佐藤正健, 奈良崎愛子, 黒崎諒三, 原田祥久, 長嶋崇弘, 加瀬純平, 松下正文, 古川航一, 西野充晃<br>ALPROT、産総研、ミヤチテクノス、新日本工機、三菱化学 | 炭素繊維強化樹脂のレーザー精密加工   | レーザー学会学術講演会第32回年次大会、TKP仙台カンファレンスセンター、D.30pII-7  | 2012/1/30    |
| 20 | 産総研<br>新納弘之  | 炭素繊維強化樹脂のレーザー精密加工   | 産総研・電子光技術研究部門第1回電子光技術シンポジウム(産総研・臨海副都心センター別館)  | 2012/2/22    |
| 21 | ALPROT<br>神谷保  | ALPROTの多波長複合レーザー加工技術開発  | 産総研・電子光技術研究部門第1回電子光技術シンポジウム(産総研・臨海副都心センター別館)  | 2012/2/22    |
| 22 | 片岡製作所、レーザー研、接合研、レーザー総研<br>山村健、吉田英次、石川正博、椿本孝治、藤田尚徳、宮永憲明、塚本雅裕、酒川友一                                   | 高出力パルス動作Ybファイバーレーザーシステムの開発  | 第59回応用物理学会学術講演会(早稲田大学)  | 2012/3/15-18 |
| 23 | 浜松ホトニクス、レーザー研、レーザー総研伊山功一, Ravi Bhushan, 古河裕之, 椿本孝治, 吉田英次, 藤田尚徳, 藤田雅之, 宮永憲明                         | パルスレーザー増幅技術の開発(3)   | 第59回応用物理学関係連合講演会(早稲田大学早稲田中・高等学校 興風館)15p-GP6-8   | 2012/3/15    |
| 24 | 産総研、ALPROT<br>Y. Harada, T. Suzuki, M. Nishino, H. Niino   | Investigation on the Tensile Strength of CFRP/CFRTP Manufacturing using High-Power Lasers | International Symposium on Laser Processing for CFRP and Composite Materials(パシフィコ横浜、神奈川)   | 2012/4/27    |
| 25 | ALPROT、産総研<br>新納弘之   | レーザー加工技術の発展とイノベーションネットワークの構築  | 光エレクトロニクス第130委員会第282回研究会(森戸記念館、飯田橋)   | 2012/5/16    |
| 26 | ALPROT、産総研、アспект<br>清水透、中野禪、松崎邦男、堀場欣紀、佐々 雅祥、萩原 正  | チタン製品のレーザー積層造形(SLM)と造形雰囲気と製品に与える影響  | 粉体粉末冶金協会平成24年度春季大会(京都工芸繊維大学)  | 2012/5/23    |
| 27 | ALPROT、産総研、アспект<br>清水透、中野禪、松崎邦男、堀場欣紀、佐々 雅祥、萩原 正  | レーザー応用粉末積層造形法による金属成形装置の開発   | 平成24年度塑性加工春季講演会(コマツウエイ総合研修センター/石川県こまつ芸術劇場うらら)   | 2012/6/7     |
| 28 | ALPROT<br>松本 修   | High-power Pulsed Fiber Laser and Processing Technology Project                           | 13th International Symposium on Laser Precision Microfabrication June 12-15, 2012, The Catholic University of America, Washington, DC | 2012/6/12    |
| 29 | ALPROT、産総研、三菱化学、筑波大学<br>Y. Harada, T. Ito, T. Suzuki, M. Nishino, H. Niino, T. Teramoto            | Environmental Effects of Mechanical Behavior of CFRP using Laser Cutting Process          | 15th European Conference on Composite Materials (ECCM15), (Venice, Italy)   | 2012/6/27    |
| 30 | 筑波大、産総研、ALPROT、三菱化学<br>川井恭平、原田祥久、鈴木隆之、寺本徳郎、西野充晃、新納弘之   | 高出力レーザー加工を用いた炭素繊維強化複合材料の劣化・損傷機構   | 日本保全学会・第9回学術講演会、(一橋大学一橋講堂、東京)、E3-4  | 2012/7/27    |

【展示会】

研究開発項目③「多波長複合加工技術の開発」(切断接合・粉末成形)  
技術研究組合 次世代レーザー加工技術研究所

| 番号 | 所属         | 展示会名              | 出願日              |
|----|------------|-------------------|------------------|
| 1  | 産業技術総合研究所  | 産総研オープンラボ         | 2011/10/13~10/14 |
| 2  | 株式会社アспект | 第23回設計・製造ソリューション展 | 2012/6/20~6/22   |

## 事前評価書（案）

|            |   | 作成日 | 平成22年1月5日 |
|------------|---|-----|-----------|
| 1. 事業名称    | 高出力多波長複合レーザー加工基盤技術開発プロジェクト<br>(ロボット・新機械イノベーションプログラム)  |     |           |
| 2. 推進部署名   | 機械システム技術開発部   |     |           |
| 3. 事業概要    | <p>(1) 概要：</p> <p>我が国における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加工技術の確立が求められている。次世代レーザー加工技術は、従来加工技術のブレイクスルーとして、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期待されている。また、我が国の製造業における国際競争力の維持・強化、技術安全保障などの観点からも次世代レーザーの技術開発を国として取り組む必要性に迫られている。本事業では、「ユーザーニーズに適応した」かつ「国際競争力のある」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の研究開発を下記の開発項目により実施する。</p> <p>① レーザー高出力化技術の開発<br/>② レーザー高品位化技術の開発<br/>③ 多波長複合加工技術の開発</p> <p>(2) 事業規模：総事業費35億円（平成22年度事業費7億円）（予定）<br/>(3) 事業期間：平成22年度～26年度（5年間）</p>  |     |           |
| 4. 評価の検討状況 | <p>(1) 事業の位置付け・必要性</p> <p>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などに支えられ、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イクスルーとして、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。日本のレーザー開発は、経済産業省の大型開発プロジェクトだけでも、1977年～2001年にかけてCO<sub>2</sub>レーザー等の継続的な開発を行ってきた。海外では、産業技術としてのみならず、軍事技術としても盛んに研究開発が進められ、産業応用される中で、このような国家プロジェクトの取り組みにより、わが国のレーザー加工技術はかろうじて先行団の一角に位置し、わが国製造業の技術競争力を下支えしてきた。しかしながら、わが国での2001年度以降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、欧米では国家支援が継続されてきており、こうしたことを背景として、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では欧米に席卷されているのが現状である。近年、産業用レーザー市場は海外で拡大し続けているものの、我が国は、装置コスト、メンテナンスコスト、レーザー加工技術等の開発面で大きく遅れをとっている。そのため我が国に導入されている有望なレーザー発振器は、ほぼ海外製であり完全にブラックボックス化されていることから、導入してもメンテナンス等を海外企業に頼らざるを得ない。このままでは我が国のレーザー技術の空洞化が懸念され、革新的な部材の製造ができて自力で次世代製品を製造できないという事態に陥る可能性があり、我が国の製造業における国際競争力の維持・強化、技術安全保障などの観点からも次世代レーザーの技術開発を国として取り組む必要性に迫られている。</p> |     |           |

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半導体ファイバーレーザー技術の開発を推進し、他国にはまねができない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。

## (2) 研究開発目標の妥当性

### <目標>

本プロジェクトでは、「ユーザーニーズに適応した」かつ「国際競争力のある」をコンセプトに、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。

具体的には、以下の通り。

- ① レーザー高出力化技術の開発：半導体レーザーの高出力化技術及び高信頼化技術、半導体レーザーのファイバーカップル技術
- ② レーザー高品位化技術の開発：ファイバーレーザーのパルス制御・高性能化技術、パルスレーザー増幅技術、高出力波長変換技術
- ③ 多波長複合加工技術の開発：切断接合技術、表面処理技術、粉末成形技術

### <妥当性>

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、高機能化が進む中、短時間で高品質な低コスト製造を実現する手段として、レーザー加工技術は必要不可欠であり、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の開発は必須である。研究開発目標には、次世代の半導体ファイバーレーザーの産業化に向けて必要となる技術課題が抽出されている。

## (3) 研究開発マネジメント

研究開発全体の管理・執行に責任を有するNEDOは、公募により最適な垂直統合型研究開発体制を構築し、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。また、適宜外部有識者の意見を運営管理に反映させる。

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、成果の技術的意義ならびに将来の産業への波及効果等について、外部有識者による研究開発の中間評価を平成24年度、事後評価を平成27年度に実施し、中間評価結果を踏まえ、必要に応じその結果を後年度の研究開発に反映することとする。なお、平成26年度までの各年度中に推進委員会等で各研究開発内容を評価し、必要に応じ、プロジェクトの加速・縮小・中止等見直しを迅速に行う。評価の時期については、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に応じて、前倒しする等、適宜見直すものとする。

## (4) 研究開発成果

本事業により得られた研究開発成果は、自動車・航空機、環境・エネルギー、情報家電、医療・福祉等の先端基盤技術のみならず、産業全体に幅広く波及効果が期待できる。

具体的には、低コストかつ高出力・高品位な励起用半導体光源やファイバーレーザー、及びそれを搭載した加工システムが市場に投入され、革新的なレーザー加工の実現とともに、低炭素社会の実現に向けて貢献が期待される炭素繊維複合材やチタン等の先進材料の切断・接合・成形加工や、薄膜太陽電池デバイス、有機ELディスプレイ等の表面処理加工が可能となり、それらを用いた次世代製品の実現が期待できる。

(5) 実用化・事業化の見通し

プロジェクト終了5年後の2019年以降に本事業成果を活用した半導体ファイバーレーザー発振器及びそれを搭載した加工システムの実用化・事業化が見込まれる。

(6) その他特記事項

特になし。

5. 総合評価

以上、4. の評価結果により、NEDOの実施する事業として適切である。

## 2. 分科会における説明資料

次ページより、プロジェクト推進・実施者が、分科会においてプロジェクトを説明する際に使用した資料を示す。

# 「次世代素材等レーザー加工技術開発プロジェクト」 次世代レーザー加工技術の研究開発

(2010年度～2014年度 5年間)

## プロジェクトの概要 (公開)

NEDO  
技術開発推進部

2012年8月3日

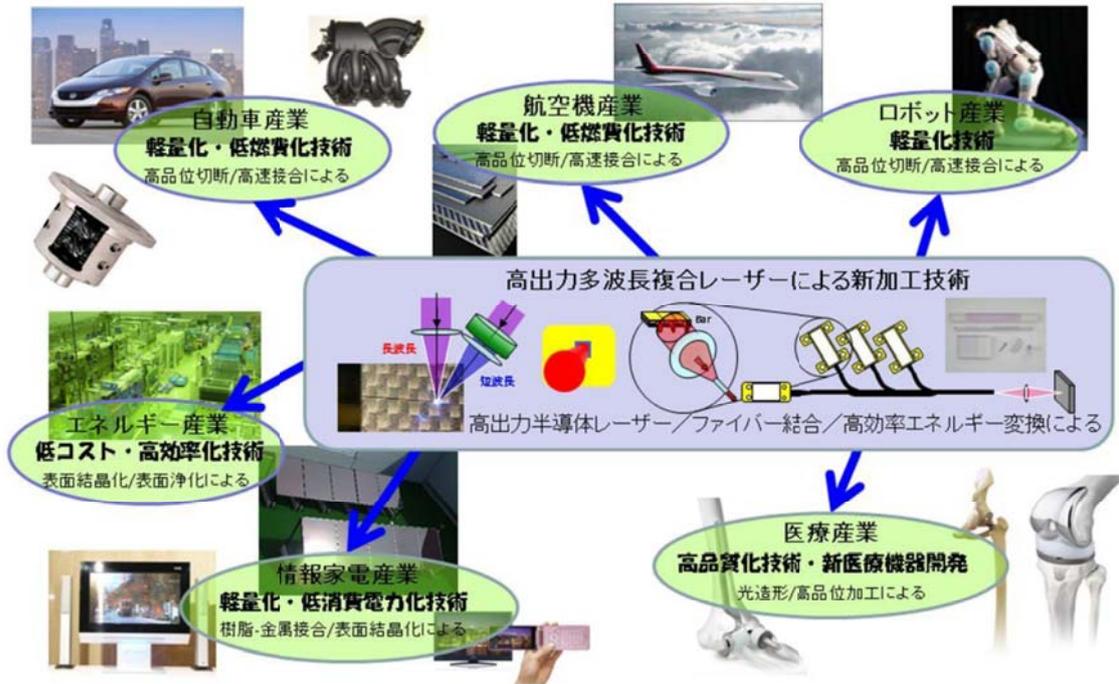
報告内容

公開

|                          |        |
|--------------------------|--------|
| <b>I 事業の位置付け・必要性について</b> | ……NEDO |
| II 研究開発マネジメントについて        | ……NEDO |
| III-1 研究開発成果について(全体概要)   | ……PL   |
| IV-1 実用化の見通しについて(全体概要)   | ……PL   |

事業目的

次世代製品製造の核となる新たなレーザー加工技術を、企業・大学・研究機関が有する技術を集約・システム化するコンソーシアム方式により確立する。



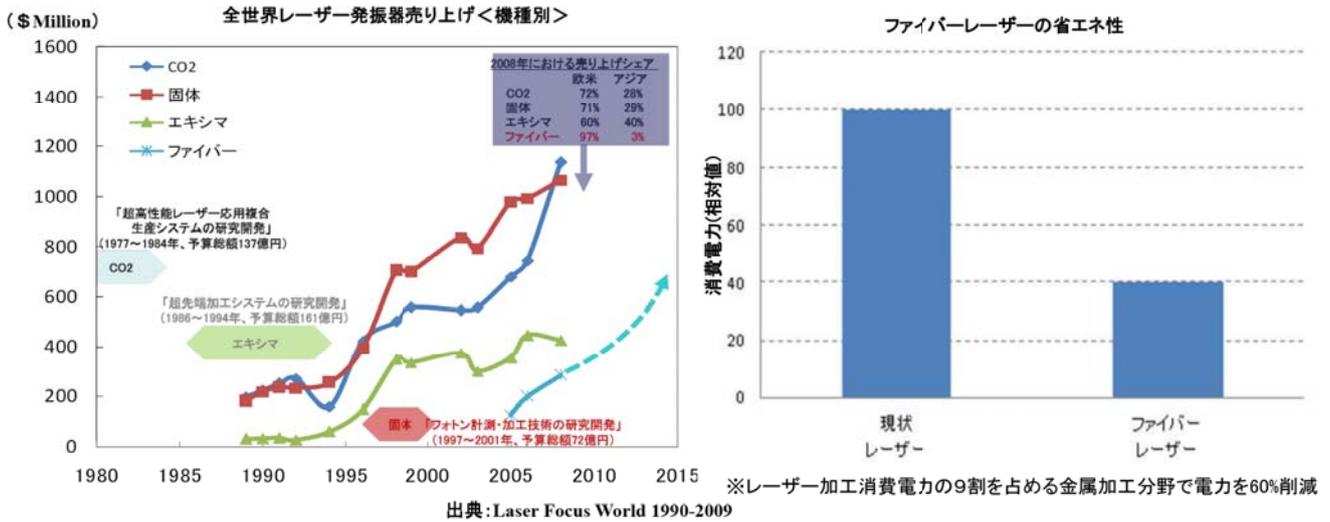
高出力多波長複合レーザーによる新加工技術の狙い

- 高品質:加工品に応じた諸特性(波長、パルス幅、パルスエネルギー、集光スポットサイズ等)の制御
- 高速化:平均出力(パルスエネルギー×繰り返し周波数)の高出力
- 省エネ:製品の軽量化等先端材料のための高効率な加工システム



我が国の企業・大学・研究機関が有するレーザー加工技術を集積することによって、高加工品質と高生産性を両立する加工システムの技術開発を実施

ファイバーレーザーを取り巻く環境

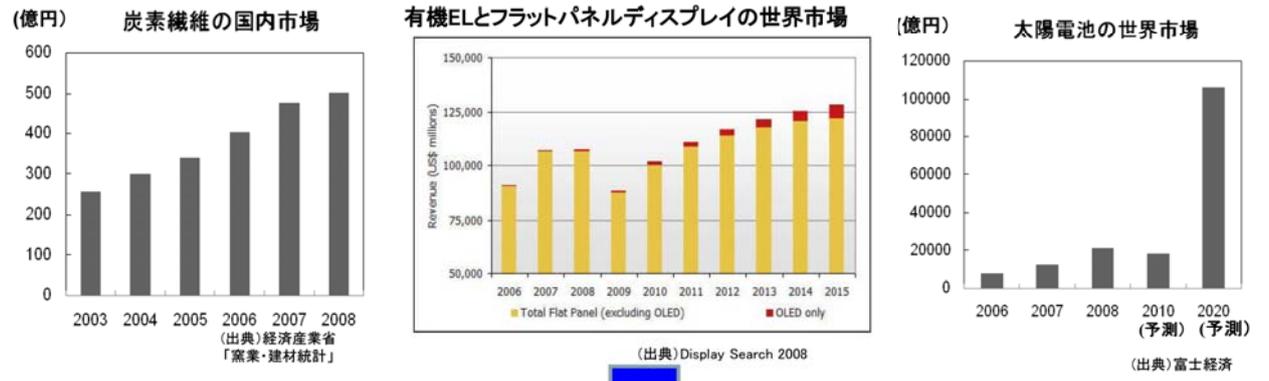


ターゲットとなる製品

- 炭素繊維の国内市場は、2008年に約500億円に達しており、2003年のほぼ2倍に成長。また今後、量産自動車に波及した場合さらなる成長を期待。
- 有機ELやフラットパネルディスプレイの市場は、2015年には約1250億ドルまで成長と予測。
- 太陽電池の世界市場は、2008年に約2兆円。今後、2020年には10兆円まで成長と予測。



これらの成長産業に本開発レーザー加工技術が適用された場合、レーザー市場は大きく拡大



ターゲットを明確にしたレーザー加工システムの開発

ユーザーからの意見

**炭素繊維材料**

- ボーイングなどの航空機の機体に50%以上の部品、MRJでは尾翼等に使用されようとしており、今後も増える見込み。しかし、現状の加工では、切削性が非常に悪く、工具の摩耗や切断面の品質劣化が本格的な普及への課題。レーザー加工のような非接触で、切断面の劣化の少ない加工機が必要。  
(重工業メーカー)
- 切断や穴明け加工は、現状の機械加工では刃具の摩耗・損傷の問題や大きな固定ジグが必要で加工時間がかかる。レーザー加工は固定ジグが不要で、条件設定で出力等が変更ができ、効率的に行えるツールとして有用、加工ツールとして製造ラインに入れることができれば、普通車でも適用は拡大する。  
(自動車メーカー A社、B社)

**太陽電池**

- 普及に向けた低コスト化と高品質化が重要。低コストプロセスと製品性能の向上が実現でき、かつメンテナンス性に優れた加工装置が必要。メンテナンス性に優れ、結晶制御が可能なレーザーが開発されれば、将来にわたり太陽電池市場での国内メーカーの国際競争力強化に役立つ。  
(太陽電池メーカー A社、B社)



有識者\*からの意見

21世紀は光の世紀。レーザーの最も重要な応用分野は民生用途。特に重要なのは、レーザー加工、光通信、外科手術、光記録が挙げられる。ものづくり技術を支える光技術の活用を期待。

※有識者：  
 ・荒田吉明氏(日本学士院会員、大阪大学名誉教授)  
 ・吉川弘之氏(科学技術振興機構 研究開発戦略センター長 前)産業技術総合研究所理事長  
 ・Charles H. Townes氏(ノーベル物理学受賞者 University of California/Berkeley 大阪大学にてインタビュー)  
 ・Nicolaas Bloembergen氏(ノーベル物理学受賞者 University of Arizona, International Journal of Modern Physics B, 18(2004))

既存技術との比較(炭素繊維材料の切断加工)

**現行加工法 <工具による機械加工>**

- > 油・砥粒等の表面汚染の弊害発生
- > 切断面にバリやチップが発生
- > 工具が摩耗(ウォータージェット加工ではノズル内部が摩耗)
- > 加工時間がかかる(0.3~1m/分)

**<現行レーザー(高出力CO<sub>2</sub>)による加工>**

- > 切断面から1mm程度まで焼けが発生
- > 切断面には剥離が発生
- > 有害な煙、臭いが発生

**多波長複合レーザーによる切断加工(イメージ)**

- > 表面汚染なし
- > きれいな切断面
- > 非接触(工具が不要)
- > 高速切断可能(5~10m/分)

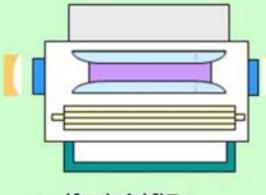
ブレークスルー

**重量: ▲20%**  
 例えば、B767→B787  
 60トン→48トン

**重量: ▲30%**  
 例えば、1380kg→970kg

既存技術との比較(表面処理)

**現行加工法 <ガスレーザー方式>**



ブレードスル

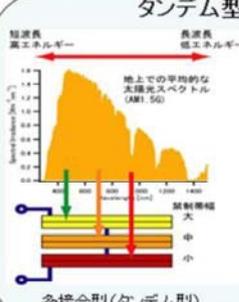
- ガス寿命が短い
- 制御された結晶成長が困難
- 放電磨耗品が多い
- 周期メンテナンスの頻度が多い

**アニーリングレーザーによる表面改質加工(イメージ)**



- 全固体レーザー(長寿命)
- 微結晶成長が可能
- エネルギー安定性が向上
- 高画質・高速動画再生性能の改善等

**タンデム型薄膜シリコン系**



吸収波長域の異なる層を積層させたもの

- ・変換効率(10~14%)
- ・原料が少なくて済む
- ・市場規模が急激に増加

↓

低コスト化  
高効率化

多接合型(タンデム型)

**アウトカム: 薄膜太陽電池、有機ELディスプレイなど**



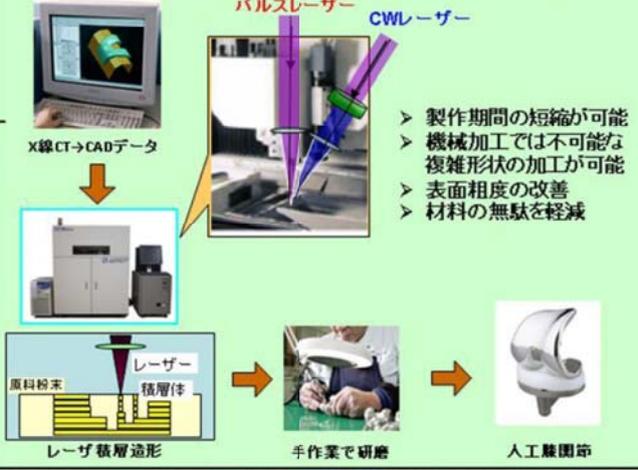
既存技術との比較(成型)

**現行加工法(精密铸造→切削加工)**



- 製作期間がかかる
- 複雑な形状は加工不可能
- 铸造品の表面粗度は粗いため機械加工必須
- 铸造品の機械加工の位置合わせのため大きめに製作して切削するため材料の無駄が多い

**複合レーザー積層造形法による人工生体部品成型法**



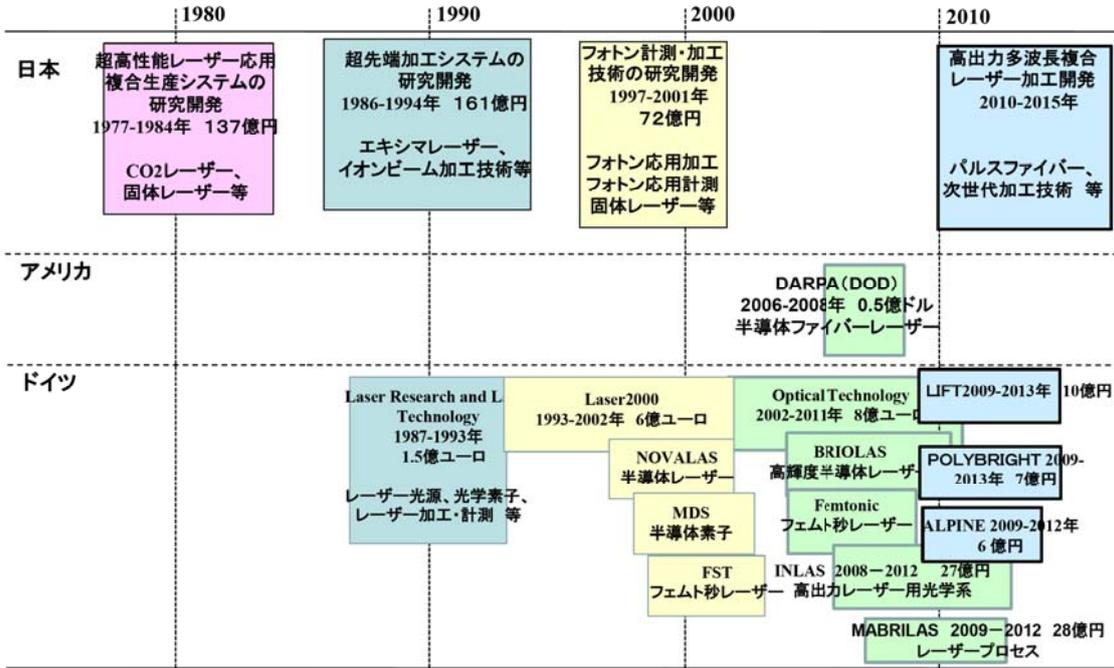
- 製作期間の短縮が可能
- 機械加工では不可能な複雑形状の加工が可能
- 表面粗度の改善
- 材料の無駄を軽減

**アウトカム: 人工骨、人工関節などの製作期間短縮、材料の無駄の軽減**



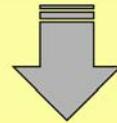
レーザー加工技術の国家プロジェクト

- ・ 日本は先行してプロジェクトを開始：炭酸ガスレーザーの開発では日本は世界をリード。  
(現在、炭酸ガスレーザーのトップメーカーは、トルンプ(独)、アマダ(日)、ヤマザキマザック(日)、三菱電機(日))
- ・ ドイツは1987年以降継続してプロジェクトを推進：今やドイツが世界をリード。
- ・ アメリカは、IPG社がファイバーレーザーの開発では世界をリード。



政策的重要性

総合科学技術会議(第87回:2009年12月)  
「優先度判定(SABC)の及び改善・見直し指摘の結果」



判定  
“S”

S:特に重要で、府省連携等、効果的な実施体制が整備されるなど内容的にも極めて優れ、グリーンイノベーションなど、イノベーション創出・社会への展開の観点等から、特に重点的に資源を配分することで、積極的に実施すべきもの。

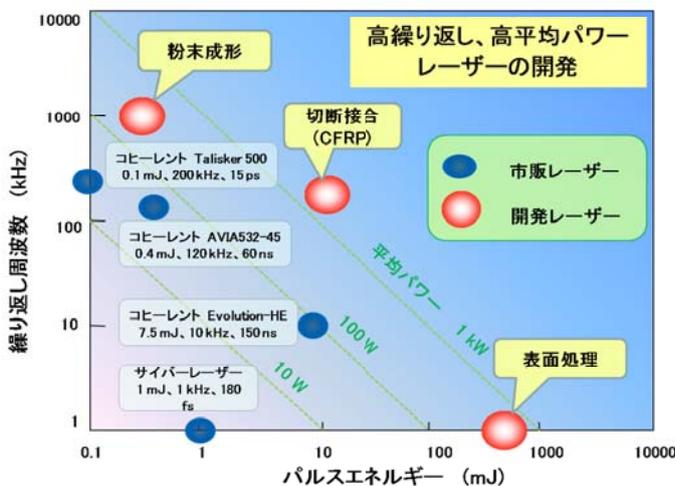
コメント:

- 今回開発しようとしているレーザーは長波長と短波長を組み合わせ、加工の精度、速度を高めたレーザーであり、難加工である炭素繊維複合材料や太陽電池などの機能性材料を高品位・高品質で加工することができるものであり、非常に重要である。
- レーザーの光源に近い企業とその応用に強い企業との連携として集中研究拠点体制で取り組む予定であり、効果の期待できる優れた施策である。
- 我が国製造業の国際競争力の維持・強化、技術安全保障の観点からも国産の次世代レーザー技術を国として取り組む意味は大きく、海外の動向を踏まえつつ、コストパフォーマンスに留意しつつ明確な商品化イメージを持って、積極的に実施すべきである。

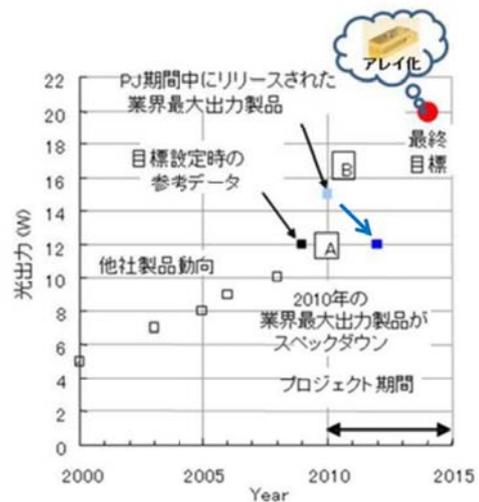
- I 事業の位置付け・必要性について .....NEDO
- II 研究開発マネジメントについて .....NEDO
- III-1 研究開発成果について(全体概要) .....PL
- IV-1 実用化の見通しについて(全体概要) .....PL

2. 研究開発マネジメントについて 研究開発目標の妥当性

CFRP、表面処理および粉末成型用  
レーザー加工装置に求められる性能



レーザー発振器に求められる性能  
(シングルエミッタ)



## 各レーザー加工装置に求められる性能

| 項目     |        | 現行性能                         | 開発ターゲット            | 備考  |                |
|--------|--------|------------------------------|--------------------|---|----------------|
| 切断接合技術 | レーザー照射 | —                            | 高出力と二波長重畳等の多波長複合照射 | —   |                |
|        | 加工速度   | 切削加工0.1m/分、W/J加工1m/分         | 6m/分:              | 自動車の部材加工のタクトタイム   |                |
|        | 切断     | 反応層の厚み                       | 機械加工、W/Jは熱損傷を発生しない | 反応層の厚み: 100 μ m以下                                       | ユーザー企業からのリクエスト |
|        |        | 引張り強度                        | —                  | 機械加工による引張り強度をゼロとして10%未満の低減に抑制                           | ユーザー企業からのリクエスト |
| 接合     | せん断強度  | 接着剤30MPa                     | 100MPa             | 当該部材の実用的に求められる接合強度の最高値を設定                               |                |
| 表面処理技術 | レーザー照射 | エキシマレーザー                     | グリーンレーザー           | —   |                |
|        | ビーム幅   | 400mm                        | 500mm以上            | 40inchTVクラスの基板加工が可能なサイズ以上                               |                |
| 粉末成形技術 | レーザー照射 | CW                           | CWとパルスの複合レーザー照射    | —   |                |
|        | 成形精度   | ±0.2mm                       | ±0.1mm             | 欧州製焼結積層成形装置の能力の50%向上。                                   |                |
|        | 成形時間   | 20 時間<br>(高さ100 mmサイズの基準パーツ) | 16 時間以内            | 欧州製焼結積層成形装置の能力の20%アップ。                                  |                |
|        | 引張り強度  | —                            | Ti 840Mpa以上        | Ti-6Al-4Vの機械強度に関するASTM-F136とISO5832-3のいずれの規定値も満足する値を設定。 |                |

事業原簿 I, II

15

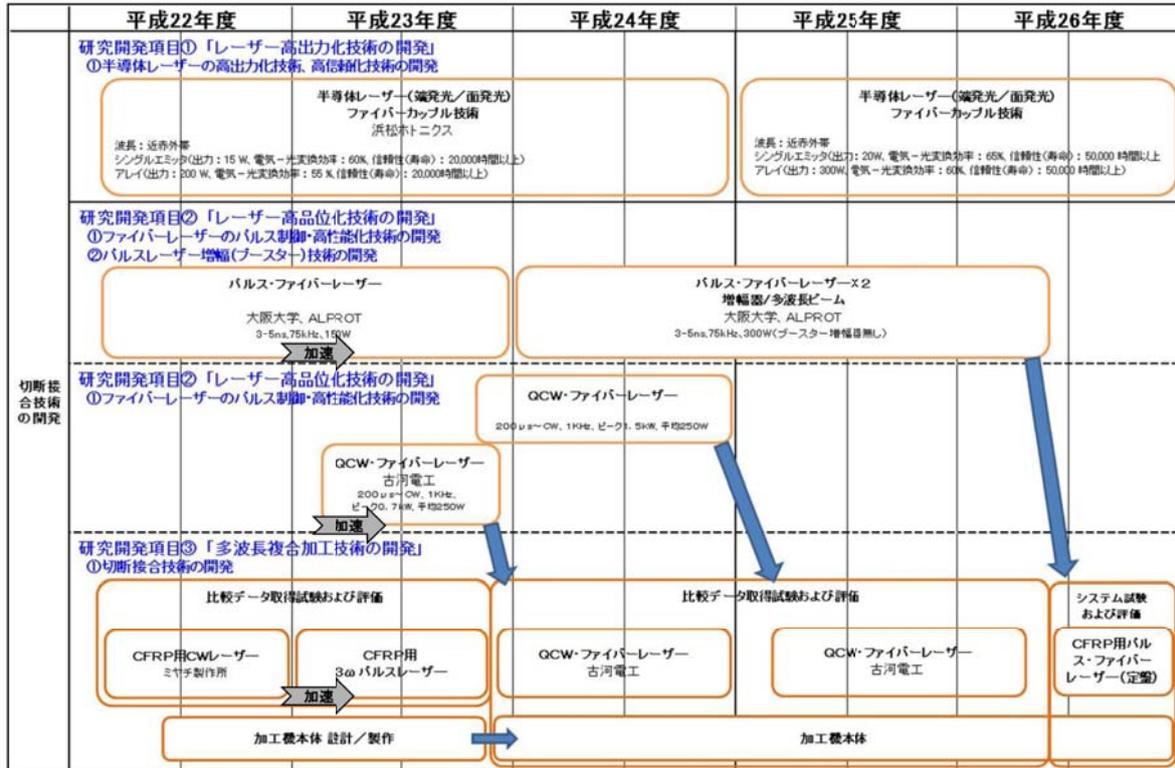
## 各加工技術に対する要求性能

|        | 要求性能                |   | 研究開発分類  |
|--------|---------------------|---|---|
|        | 項目                  | 仕様  |   |
| 切断接合技術 | 光源:<br>シングル<br>エミッタ | 波長:近赤外帯(900nm帯)、出力: 20 W、効率: 65%、寿命: 50,000 時間                              | ①レーザー高出力化技術<br>励起用半導体レーザーの高出力化・高信頼化<br>ファイバー導入におけるレーザー出力の損失低減 |
|        | 光源:<br>アレイ          | 波長:近赤外帯(900nm帯)、出力: 300 W、効率: 60%、寿命: 50,000時間<br>自動組立が可能であること              |   |
|        | レーザー                | 繰り返し: 75-150kHz、出力パワー: 1.5kW、波長: 1064.1-1064.8nm<br>パルス幅: 3-10ns            | ②レーザーの高品位化技術<br>レーザー出力増幅及びビーム品質の保持                            |
|        | 切断性能                | 切断加工速度 6m/min、反応層厚み 100μ m、引張強度 10%未満の低減、高出力レーザーと二波長重畳等の多波長複合照射             | ③多波長複合加工技術<br>加工システム、プロセスの構築                                  |
|        | 接合性能                | 切断加工速度 6m/min、引張せん断強度 100MPa  |   |
| 表面処理技術 | レーザー                | Green Laser、波長: 1μ m帯、平均出力: 200~700W、<br>繰り返し周波数: 1~150 kHz、パルス幅: 0.5~200ns | ②レーザーの高品位化技術<br>レーザー出力増幅及びビーム品質の保持                            |
|        | ビーム<br>性能           | ワイドビーム: 幅500mm以上、   | ③多波長複合加工技術<br>ワイドビーム整形光学系技術の確立                                |
| 粉末成形技術 | レーザー                | 波長1μ m帯、平均出力: 200~700W、繰り返し周波数: 1~150 kHz<br>パルス幅100ns                      | ②レーザーの高品位化技術<br>レーザー出力増幅及びビーム品質の保持                            |
|        | 成形                  | 材料: チタン(酸化防止技術)、成形精度: ±0.1mm、成形時間16時間<br>以内、CWとパルスの複合レーザー照射                 | ③多波長複合加工技術<br>真空チャンバー型焼結積層造形技術                                |

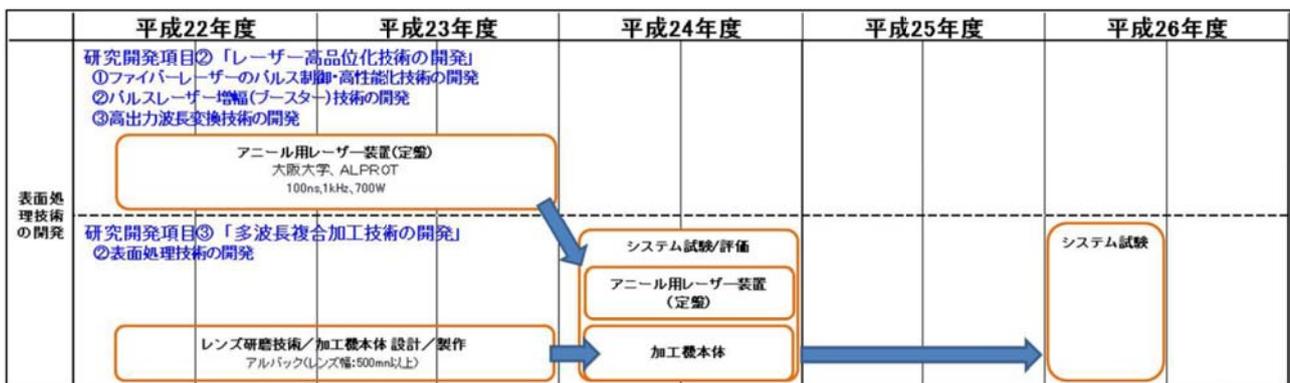
事業原簿 I, II

16

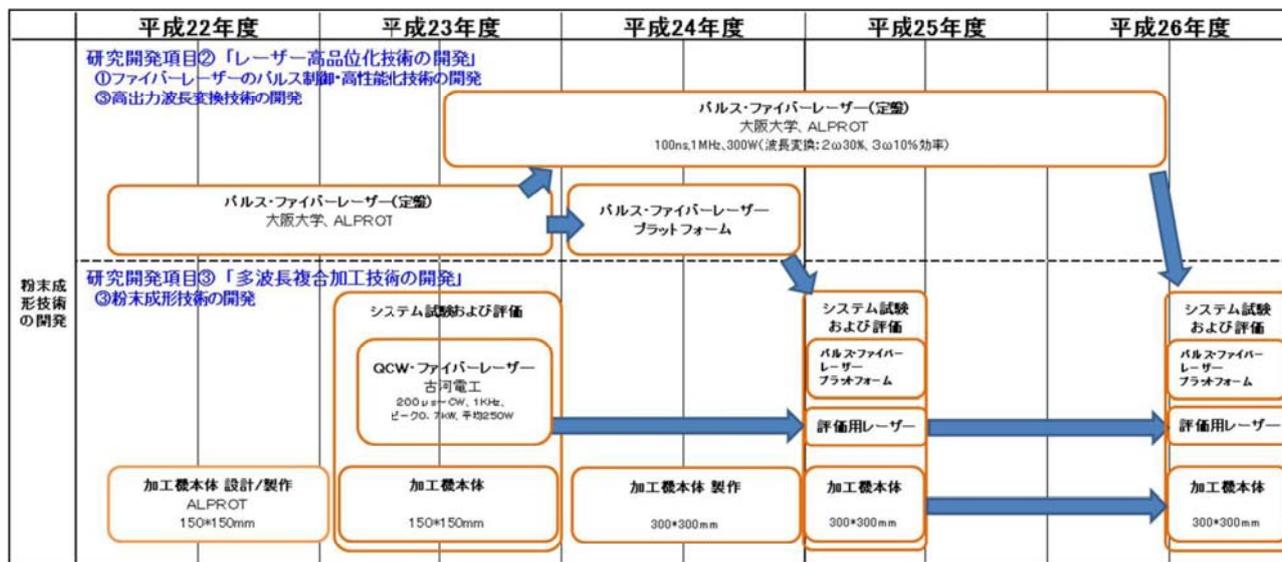
切断接合技術の開発計画



表面処理技術の開発計画



粉末成形技術の開発計画

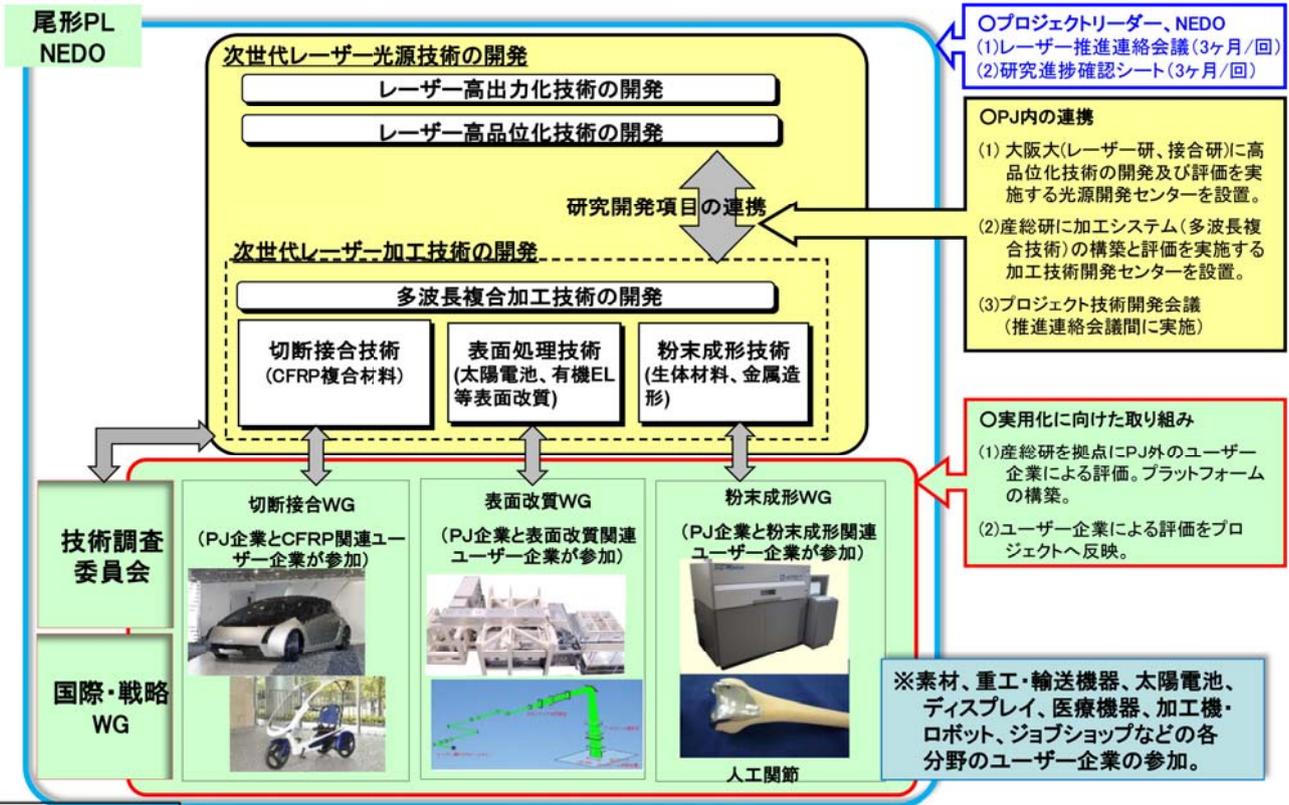


予算

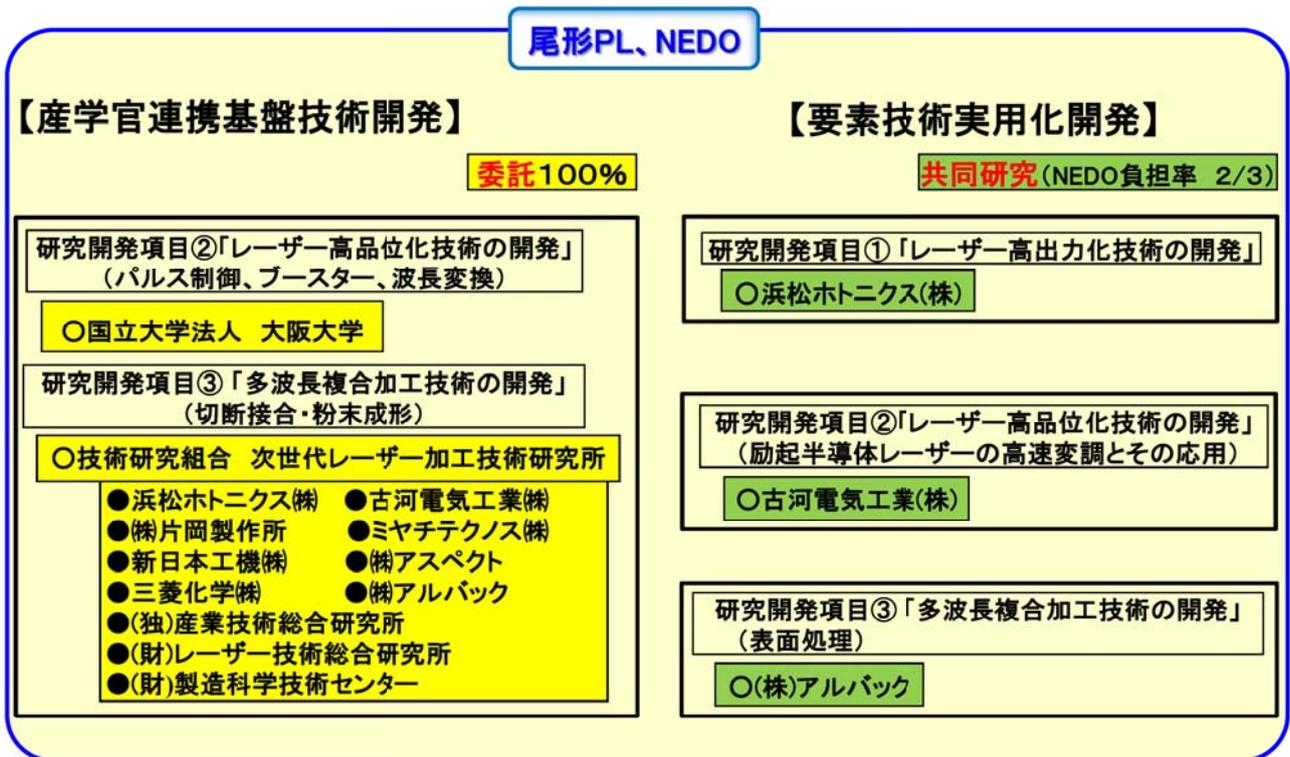
(単位:百万円)

|                 |                   | 平成22年度 | 平成23年度 | 平成24年度<br>(予算) | 総額    |
|-----------------|-------------------|--------|--------|----------------|-------|
| 開発実績<br>(事業費合計) | 総額                | 673    | 1,673  | 1,169          | 3,515 |
|                 | (委託)              | 449    | 547    | 634            | 1,630 |
|                 | (共同研究:<br>負担率2/3) | 224    | 542    | 535            | 1,301 |
|                 | (加速)              | 0      | 584    | 0              | 584   |

PJの運営



実施体制



## 加速制度の活用

| 件名                                      | 金額<br>(百万円) | 背景  | 実施内容   |
|---|-------------|---|--|
| ①多波長複合加工技術の開発の前倒し及び、レーザー高品位化技術の開発の目標値向上 | 300         | 2010年12月にドイツの研究機関は、航空分野や自動車分野への応用を目指し、数kW級レーザーを利用したCFRP切断に関する研究成果を発表し、更なる研究開発の実施を示唆した。*PJの開発計画では、ドイツの研究機関に、先行される可能性が発生した。<br>また、レーザー高品位化技術を強化することにより、本技術分野における日本の国際競争優位を確保することができる。<br>※LZH(Laser Zentrum Hannover e.V. ドイツ)が2010年12月の "74 <sup>th</sup> Laser Materials Processing Conference(Tokyo)"で発表 | ○研究開発項目③「多波長複合加工技術の開発」<br>30W級パルス3ω光源システムを導入し、CFRPの切断実験を2011年度から実施。<br>○研究開発項目②「レーザー高品位化技術の開発」<br>・励起用半導体レーザー及び複合ビーム集光光学系ユニットを導入し、半導体レーザー特性評価及びレーザー安定性評価を実施し、ファイバーレーザー出力を200W⇒300Wに目標の向上を図った。<br>・波長変換素子のコート及び均一冷却に関する最適化を実施し、2倍高調波への変換効率を30%⇒40%に、3倍高調波への変換効率を10%⇒13%に向上を波長変換効率の性能目標の向上を図った。  |
| ②「レーザー高品位化技術の開発」の事業化推進                  | 284         | 2010年5月の"AKL'10-8th International Laser Technology Congress (Aachen,Germany)"において、IPG PHOTONICSは、励起用レーザーの消費電力の低減が実現可能なQCWファイバーレーザーに関する研究成果を発表し、更なる研究開発の実施を示唆していたため、現行の開発計画ベースでは、励起用レーザーにおいて、世界をリードする欧米に先行される可能性が発生した。   | 研究開発項目②「レーザー高品位化技術の開発」の目標値を高度化することにより研究開発を加速し、更に研究成果の実用化を推進するために、古河電気工業㈱のテーマの一部を2/3共同研究契約に変更し、研究開発成果によるファイバーレーザー発振機をQCWファイバーレーザーとしてパッケージ化し、実用化を図った。<br>○ファイバー増幅部分に高速変調半導体レーザーを適用し、ファイバー増幅部分の消費電力を現行の連続駆動の場合と比較して50%以上の効率向上を目標にした。<br>○(1)ファイバーレーザーのパルス制御・高性能化技術<br>高速変調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、ピーク出力の目標値を300Wから700Wに変更した。 |

## 開発方針の修正

| 年/月      | 修正内容  |
|----------|---|
| 平成23年10月 | 「表面処理技術」では、55inch wide を製品化するマーケット情報入手し、計画していたレンズ幅より、さらに幅広いビームの形成を早期に実現する必要が発生した。そのため、ビーム幅を500mmから700mmに変更した。 |
| 平成23年12月 | 「開発項目① レーザー高出力化技術」で開発している光源については、既存のレーザー装置の光源に適用することによって、市場への早期展開を目指すことにした。                                   |

## PJの運営

## ○基本計画、開発計画及び体制の見直し(検討中)

- ・これまでの研究開発結果や成果を受け、より出口を意識して目標を具体化する。
- ・また、中間評価結果および今後の情勢変化(研究進捗、計画の成立性および予算など)を総合的に鑑み、柔軟に対応する。
- ・ユーザーとのさらなる連携強化を図り、加工システム仕様へ反映する。

「次世代素材等レーザー加工技術開発プロジェクト」  
(中間評価)  
2010年度～2014年度(5年間)

プロジェクトの概要 (公開)

Ⅲ-1 研究開発成果について (全体概要)  
Ⅳ-1 実用化の見通しについて(全体概要)

プロジェクトリーダー 尾形仁士

事業原簿 Ⅲ-1

2012年8月3日

1

Ⅲ. 研究開発成果について 目標の達成度

公開

4. プロジェクト概要説明

4.2 「研究成果」及び「実用化の見通し」

プロジェクトの3つの出口と技術調査  
プロジェクトにおける連携

- 研究開発成果について  
研究開発項目別の中間目標達成度  
知的財産の取得および成果の普及  
最終目標達成への見通し
- 実用化、事業化の見通しについて  
事業化までのシナリオ  
波及効果

事業原簿 Ⅲ-1

2

プロジェクトの3つの出口と技術調査

切断接合技術の開発 (大阪大学、ALPROT、浜松ホトニクス、古河電気工業)

高出力半導体レーザー開発

増幅技術開発と波長変換技術開発

QCWファイバーレーザー開発

多波長複合照射加工技術開発

CFRP加工システム

表面処理技術の開発 (大阪大学、ALPROT、アルバック)

アニール用レーザー開発

アニール用システム開発

表面処理システム

粉末成形技術の開発 (大阪大学、ALPROT)

粉末成形用レーザー開発

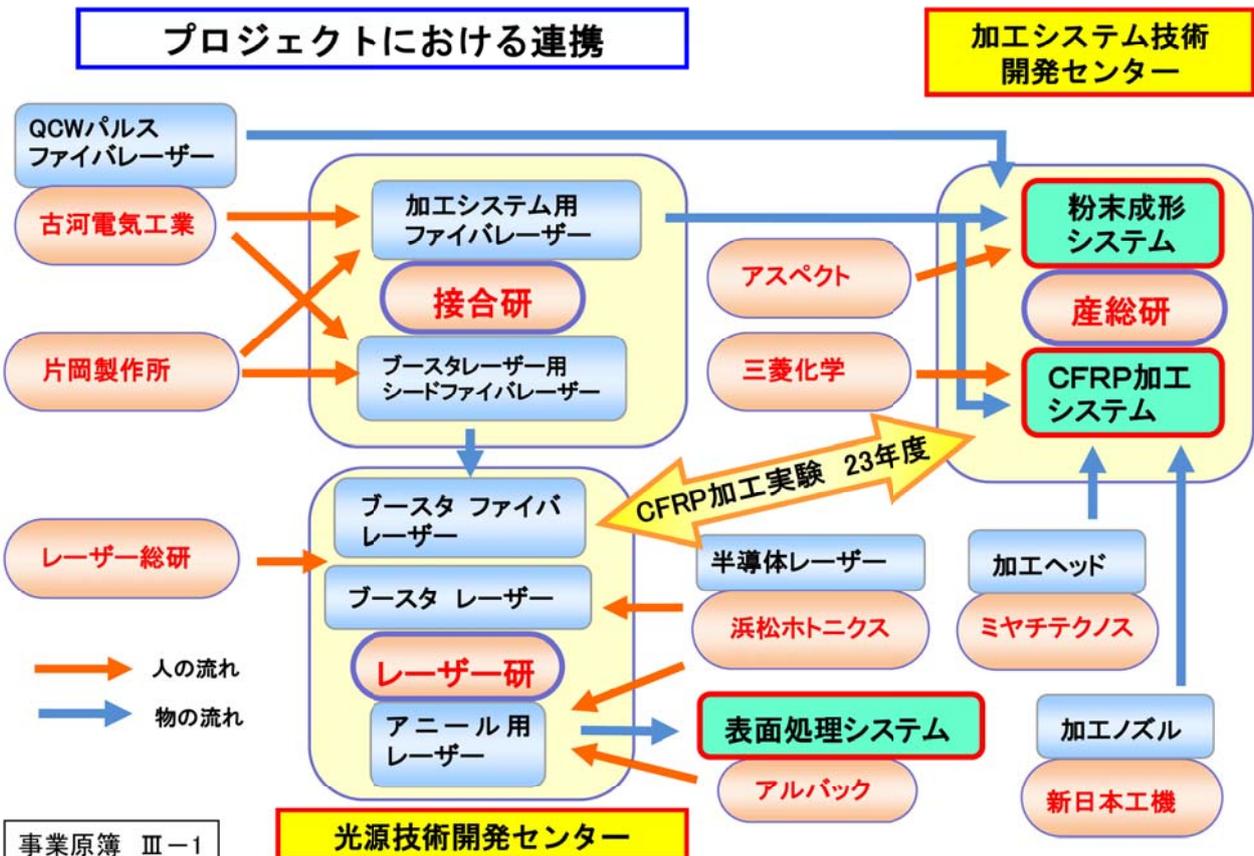
粉末成形システム開発

粉末成形システム

実用化  
事業化

調査・普及促進

プロジェクトにおける連携



プロジェクト全体の目標、および達成状況

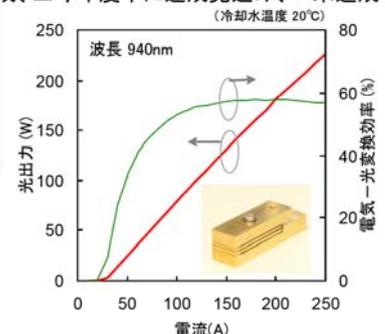
|           | 目標   | 達成状況  |
|-----------|--|---|
| 切断接合技術の開発 | CFRP等の次世代素材をレーザーにより、高品位に加工できる技術を開発する。            | 各種レーザーを用いてCFRP素材の加工実験と評価を行い、高品位のCFRP加工の見通しがついた。                     |
| 表面処理技術の開発 | フラットパネルディスプレイや太陽電池製造に適用できるレーザーSiアニール技術を開発する。     | アニール用レーザーを光源とし、均一なワイドビームを実現する光学系の構築が、順調に進んでいる。                      |
| 粉末成形技術の開発 | チタン等の材料を用いて、医療などに貢献できる粉末成形技術を開発する。               | 小型プラットフォームを製作し、真空中でのチタン合金の成形技術を開発した。展示会に出品し、ユーザーにアピールすることができた。      |
| 調査・普及促進   | プロジェクトの出口を幅広く外部に求めるため、有識者を含めてプロジェクトのテーマについて議論する。 | 調査委員からの幅広い意見を聞き、国際的な技術動向などの調査を行った。分科会(WG)では今後のプロジェクトの展開につながる議論ができた。 |

切断接合技術の開発 高出力半導体レーザー開発(浜松ホトニクス)

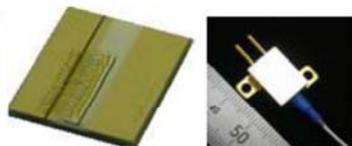
| 研究項目                                      | 評価目標         |  |  | 成果                                   | 達成度 |
|---|--------------|--|--|--------------------------------------|-----|
|   | 評価項目         | 中間目標(基本計画)   | 中間目標   |                                      |     |
| ①-(1)<br>半導体レーザーの<br>高出力化技術・<br>高信頼化技術の開発 | シングル<br>エミッタ | 波長:近赤外帯<br>出力: 15 W 効率: 60%<br>寿命: 20,000 時間以上                           | 波長:近赤外帯<br>出力: 15 W、効率: 60%<br>寿命: 20,000時間                  | 900nm帯<br>15 W、60%<br>確認中            | △   |
|   | アレイ          | 波長:近赤外帯<br>出力: 200 W<br>電気-光変換効率: 55%<br>寿命: 20,000 時間以上<br>自動組立が可能であること | 波長:近赤外帯<br>出力: 200 W、効率: 55%<br>寿命: 20,000時間<br>自動組立が可能であること | 900nm帯<br>200 W、55%<br>確認中<br>自動組立可能 | △   |
| ①-(2)<br>半導体レーザーの<br>ファイバーカプ<br>ル技術の開発    | シングル<br>エミッタ | ファイバー結合効率(コア径105<br>μm、NA0.15相当): 80%以上                                  | ファイバー結合効率: 80%以上   | 80%以上                                | ○   |
|   | アレイ          | ファイバー結合効率: 60%以上   | ファイバー結合効率: 60%以上   | 仮組時60%以上                             | △   |

中間目標の達成度: ◎大幅達成、○達成、△今年度中に達成見込み、×未達成

| 課題   | 中間目標達成のための解決策   |
|--|---|
| 発熱の低減と熱の除去<br>高出力と高信頼性の両立<br>ファイバ結合効率向上(シングルエミッタ)<br>(アレイ) | 素子構造の最適化、ヒートシンク改良<br>端面劣化抑制構造の開発<br>素子特性・レンズ特性の最適化、<br>スマイル抑制、耐パワー性を有するコネクタ開発 |



中間目標に関しては  
問題なく達成、もしくは達成見込み



シングルエミッタ素子 と ファイバモジュール

アレイの出力特性

切断接合技術の開発 増幅技術開発と波長変換技術開発 (大阪大学、ALPROT)

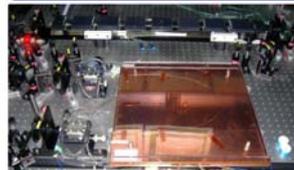
| 研究項目                         | 評価目標   |   |  | 成果   | 達成度 |
|------------------------------|--|---|--|--|-----|
|                              | 評価項目   | 中間目標(基本計画)  | 中間目標   |  |     |
| ②-(1)-3) ファイバーレーザーの高出力化技術の開発 | 繰り返し周波数<br>平均出力<br>波長(可変)<br>パルス幅、M <sup>2</sup> |   | 75kHz<br>150W (1ビーム)<br>1064.1-1064.8nm<br>3-10ns、<1.5     | 77kHz<br>170W<br>1064.1-1064.8nm<br>3-10ns可変、1.5                     | ○   |
| ②-(2)-1) kW級ブースター増幅器の開発      | 繰り返し周波数<br>平均出力<br>波長(可変)<br>パルス幅                | 1-150 kHz<br>200 - 700 W<br>1 μm帯<br>0.5 - 100 ns | 75kHz<br>500-700W<br>1064.1-1064.8nm (最適化)<br>3-10ns       | 75kHz<br>実測利得と計算予測で700W達成見込み<br>最適化中<br>3-10ns                       | △   |
| ②-(3)-2) 波長変換の高効率化技術の開発      | 第2高調波変換効率<br>第3高調波変換効率                           | ≥20%<br>≥6%                                       | ≥20% (基本波500W)<br>≥6% (基本波500W)                            | ≥60% (基本波300W)<br>≥40% (基本波160W)                                     | △   |
| ②-(3)-3) 加工試験のための整備          |  |   | 現有YAGレーザーの改造<br>実験エリアの整備<br>加工システム技術開発センターと連携してCFRP加工試験を実施 | 現有パルスYAGレーザーの改造した。実験エリアの整備を行った。加工システム技術開発センターと連携して、3回のCFRP加工試験を実施した。 | ○   |

中間目標の達成度: ◎大幅達成、○達成、△今年度中に達成見込み、×未達成

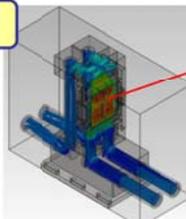
| 課題             | 解決策                                       |
|----------------|---|
| システムコンセプトと発熱対策 | 高出力ファイバー<br>コンポジットセラミック<br>波長変換結晶の独創的な熱対策 |

パーツごとに中間目標を達成又は達成にめど。年度後半に全システム組み上げ。

M<sup>2</sup>=2~3では200 W達成!



ファイバー増幅器



ブースター増幅器



SHG/THG

事業原簿 Ⅲ-1

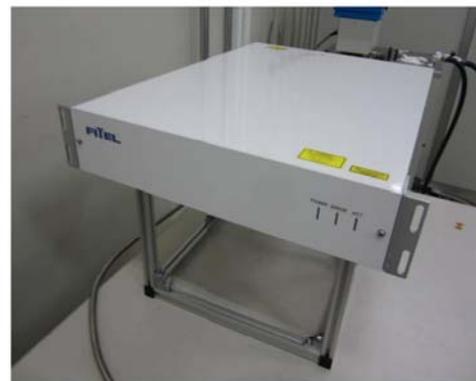
切断接合技術の開発 QCWファイバレーザ開発 (古河電気工業)

| 研究項目                   | 評価目標                            |            |                       | 成果                    | 達成度 |
|------------------------|---------------------------------|------------|-----------------------|-----------------------|-----|
|                        | 評価項目                            | 中間目標(基本計画) | 中間目標                  |                       |     |
| ②-(1)-4) QCWファイバレーザの作製 | ピーク出力<br>平均出力<br>M <sup>2</sup> |            | 700W<br>250W<br>1.1以下 | 800W<br>500W<br>1.1以下 | ○   |

中間目標の達成度: ◎大幅達成、○達成、△今年度中に達成見込み、×未達成

| 課題                     | 解決策                             |
|------------------------|---------------------------------|
| 半導体レーザの輝度向上とファイバ非線形の低減 | 50W超LDの実現<br>ファイバのモードフィールド径の最適化 |

23年度中間目標を予定通り達成、産総研で試験運用を開始した



開発したファイバレーザ

事業原簿Ⅲ-1

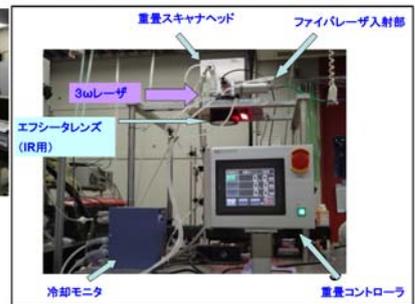
Ⅲ. 研究開発成果について 中間目標の達成度

切断接合技術の開発 多波長複合照射加工技術開発 (ALPROT)

| 研究項目   | 評価目標   |   | 成果  | 達成度 |
|--|--|---|---|-----|
|  | 中間目標 (基本計画)  | 中間目標  |   |     |
| ③-(1)<br>1) 複合材料高速切断接合システム技術の開発<br>2) 複合材料加工プロセス・評価技術の開発 | <ul style="list-style-type: none"> <li>複合レーザー照射方法を確立すること。</li> <li>加工メカニズムを明確にしつつ、加工プロセスを最適化。</li> <li>複合レーザー照射を可能とする光学系、及びリモート加工が可能な加工ヘッドを設計する。</li> <li>レーザー加工試料の評価技術を構築すること。</li> </ul> | 切断加工速度<br>2m/min以上<br>反応層厚み<br>500μ m<br>引張強度<br>15%未満の低減<br>(参照強度に対して) | 1.5m/min (CFRP)<br>2m/min (CFRTP)<br>350μ m (CFRP)<br>300μ m (CFRTP)<br>10%未満(CFRP)<br>20%未満(CFRTP) | △   |
|  |  | 接合加工速度<br>2m/min以上<br>引張せん断強 50MPa                                      | 要素技術見極め中。<br>今年度中に達成予定  | △   |

中間目標の達成度: ◎大幅達成、○達成、△達成見込み(今年度中)、×未達

| 課題                            | 解決策                             |
|-------------------------------|---------------------------------|
| (切断)加工速度の向上<br>(接合)接合要素技術の見極め | (切断)複合照射による速度向上<br>(接合)CFRP表面改質 |



一部の中間目標を達成、未達成項目もめどあり

事業原簿 Ⅲ-1

Ⅲ. 研究開発成果について 中間目標の達成度

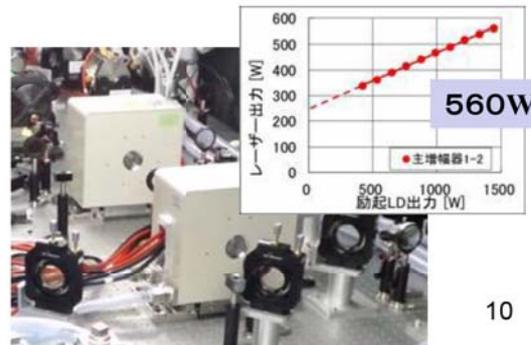
表面処理技術の開発 アニーリング用レーザー開発 (大阪大学、ALPROT)

| 研究項目                             | 評価目標                              |             |   | 成果                                | 達成度 |
|----------------------------------|-----------------------------------|-------------|---|-----------------------------------|-----|
|                                  | 評価項目                              | 中間目標 (基本計画) | 中間目標  |                                   |     |
| ②-(2)-2<br>アニーリング用ブースター増幅技術の開発   | 波長<br>平均出力<br>繰り返し周波数<br><br>パルス幅 |             | 1μ m帯(基本波)<br>200~700W<br>1~150 kHzのうち、<br>最適周波数<br>0.5~200nsのうち、<br>最適パルス幅 | 1.064μ m<br>560W<br>1kHz<br>105ns | ○   |
| ②-(3)-1<br>アニーリング用レーザーの波長変換モジュール | 変換効率                              |             | 20% (700Wの基本波から)  | 20% (360W基本波)                     | △   |

中間目標の達成度: ◎大幅達成、○達成、△今年度中に達成見込み、×未達成

| 課題                | 解決策                   |
|-------------------|-----------------------|
| ロングパルスでの波長変換の高効率化 | 光損傷を考慮した設計により信頼性も向上する |

基本波では中間目標を達成し、アニーリング評価へのめどが立った!



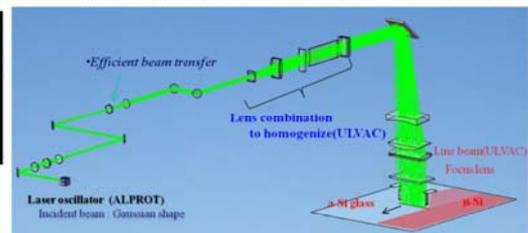
事業原簿 Ⅲ-1

表面処理技術の開発 アニール用システムの開発 (アルバック)

| 研究項目               | 評価目標               |  |   | 成果                      | 達成度 |
|--------------------|--------------------|--|---|-------------------------|-----|
|                    | 評価項目               | 中間目標(基本計画)                                       | 中間目標                                    |                         |     |
| ③-(2)<br>表面処理技術の開発 | 大型レンズ研磨装置          | ・大型異形光学部品の研磨加工技術を開発すること。                         | 研磨幅: 500mm                              | 700mm                   | △   |
|                    | ワイドビーム光学系のシミュレーション | ・光学シミュレーション技術を確立すること。                            | ビーム幅: 500mm<br>集光幅: 20μ m<br>照射均一性: ±7% | 700mm<br>20μ m<br>±2.5% |     |
|                    | ワイドビームの形成          | ・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とワイドビーム整形光学系技術を開発する | ビーム幅: 500mm<br>集光幅: 20μ m<br>照射均一性: ±7% | 未評価                     |     |
|                    | ビームモニタリング          | ・ワイドビームの形状及び照射均一性を評価するためのビームプロファイラを開発する。         | 測定精度: ±2%以内<br>測定分解能: 5μ m以下            | 未評価                     |     |

中間目標の達成度: ◎大幅達成、○達成、△今年度中に達成見込み、×未達成

| 課題                   | 解決策                    |
|----------------------|------------------------|
| ビーム集光面でのラインビームの均一性確保 | 各レンズの研磨精度と組合せによる光学系の設計 |



構成部品の各仕様は達成。組合せ評価で中間成果確認。

事業原簿 Ⅲ-1

大型レンズ研磨機は別用途向けレンズの研磨でも活用できる見込み

粉末成形技術の開発 粉末成形用レーザー開発(大阪大学、ALPROT)

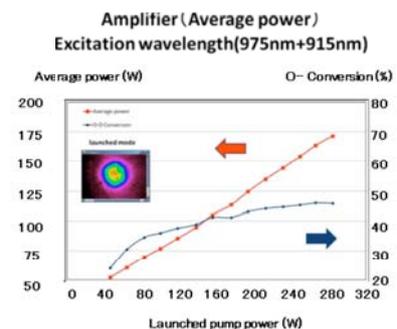
| 研究項目   | 評価目標                                     |  |   | 成果   | 達成度 |
|--|--|--|---|--|-----|
|  | 評価項目                                     | 中間目標(基本計画)   | 中間目標  |  |     |
| ②「レーザー高品位化技術の研究開発」<br>(1)ファイバーレーザーのパルス制御・高性能化技術の開発 | 粉末成形シーダ<br>平均出力<br>繰り返し周波数               |  | 70W@パルス幅100ns<br>1MHz   | 70W@パルス幅100ns<br>1MHz                                | ○   |
|  | ブースタシーダ<br>平均出力<br>繰り返し周波数               |  | 5W<br>@パルス幅3-10ns<br>75kHz                                      | 5W<br>@パルス幅3-10ns,<br>75kHz                          |     |
| 2)ファイバーレーザーのモジュール化技術の開発                            | 平均出力<br>繰り返し周波数<br>基本波長<br>パルス幅<br>ビーム品質 | 5 ~ 100 W<br>1~1000 kHz<br>1 μ m帯<br>0.5 ~ 200 ns<br>シングルモード<br>M2 < 1.5 | 150 W@100 ns<br>1 MHz<br>1064 nm<br>パルス幅可変: 10-200 ns<br>偏光: 保持 | 171 W@100 ns<br>1 MHz<br>1064 nm<br>100 ns<br>偏光: 保持 | △   |

中間目標の達成度: ◎大幅達成、○達成、△今年度中に達成見込み、×未達成

| 課題  | 解決策  |
|---|--|
| 非線形効果の発生<br>フォトニック・クリスタル・ファイバー(PCF)の励起効率の向上 | 増幅率、コア径、ファイバー長の最適化、バンドパスフィルターの最適設計<br>PCF吸収波長と励起波長を最適化した |

中間目標出力を達成し、他項目も達成のめど!

事業原簿 Ⅲ-1



粉末成形技術の開発 5.3.2 粉末成形システム開発 (ALPROT)

| 研究項目                       | 評価目標   |  |   | 成果   | 達成度 |
|----------------------------|--|--|---|--|-----|
|                            | 評価項目   | 中間目標(基本計画)   | 中間目標  |  |     |
| 基本プラットフォームの開発及び成形精度の向上と高速化 | ①粉末焼結積層成形機構開発<br>②複合レーザー照射方法<br>③加エプロセス<br>④評価技術構築 | ・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。<br>・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。<br>・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。<br>・レーザー加工試料の評価技術を構築すること。 | 真空下においても動作可能<br><br>照射方法の確立<br><br>造形メカニズムの明確化<br>最適条件の確立<br><br>試料の評価技術を構築 | 製作・実験開始<br>6時間(外挿)程度達成、精度+0.2mm<br><br>検討終了・装置作成中(阪大)<br>検討中<br><br>プロセス条件確立<br><br>強度評価開始 | △   |

中間目標の達成度: ◎大幅達成、○達成、△今年度中に達成見込み、×未達成

| 課題                        | 解決策                                       |
|---------------------------|---|
| 成形環境(真空度、温度)の安定化と成形品の強度向上 | 成形環境の正確な把握と制御への帰還、および成形形状によるレーザー出力最適制御の確立 |



小型プラットフォーム試作機および成形例

13

高速成形を実現できた

事業原簿 Ⅲ-1

5.4 調査・普及促進 (ALPROT)

| 研究項目                             | 評価目標       |   | 成果  | 達成度 |
|----------------------------------|------------|---|---|-----|
|                                  | 中間目標(基本計画) | 中間目標  |   |     |
| ④技術開発推進にかかる調査(先端技術、標準化等)・評価・普及促進 |            | ・レーザー光源の開発状況や使用状況の調査<br><br>・エンドユーザーニーズを取り入れた光源開発の必要性の把握、および本開発製品の実用化の可能性を明確にする<br><br>・製品実用化可能性を広げるため、開発中間時点での成果報告会をおこなう | 技術調査委員会(2回)<br>国際・戦略WG(4回)<br>素材・加工WG(3回)<br>表面改質WG(4回)<br>粉末成形WG(4回)<br>を開催し、レーザー光源等の調査を行った。またユーザーニーズについて議論した。<br>成果報告会 7/30開催 | ○   |

中間目標の達成度: ◎大幅達成、○達成、△今年度中に達成見込み、×未達成

有識者の貴重な意見を聞くことができた

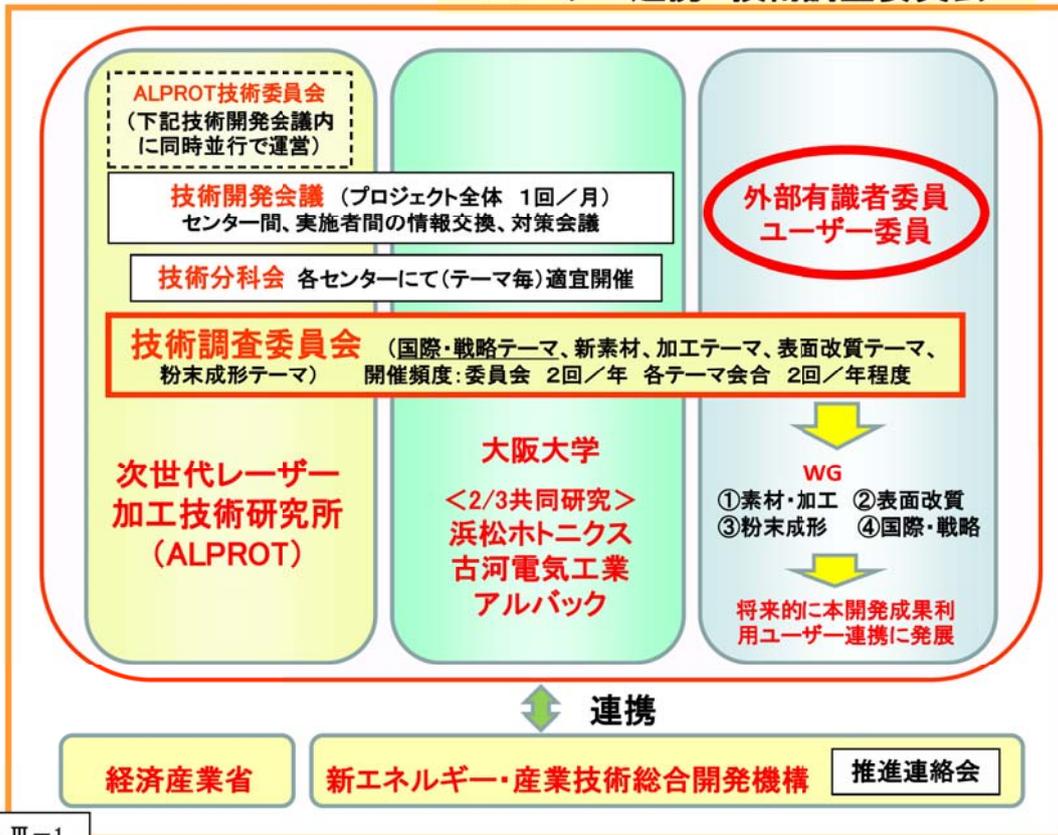


第2回技術調査委員会

事業原簿 Ⅲ-1

5.4 調査・普及促進 (ALPROT)

ユーザー連携 技術調査委員会



事業原簿 Ⅲ-1

5.4 調査・普及促進 (ALPROT)

技術調査委員会とWG

出席者は委員とプロジェクト開発実施者、NEDO、METI、ALPROT事務局

| 委員会、WG      | 委員数 | 回数 | 議事内容   |
|-------------|-----|----|--|
| 技術調査委員会     | 25名 | 2回 | 実用化促進のため、ユーザーからのニーズの検討を行なった。レーザー及びレーザー加工の国際的な技術動向、標準化、新素材・加工、表面改質、粉末成形の各WGテーマのニーズに関しての報告、検討を行なった。  |
| 国際・戦略テーマWG  | 10名 | 4回 | 現状のレーザー及びレーザー加工技術の動向と、今後どのようなレーザーとレーザー加工技術が必要とされるかの検討を行なった。ドイツの自動車産業におけるレーザー加工や世界的技術動向の現状を把握した。アジア地区の動向やPhotonics West2012（国際会議と展示）の報告から日本の標準化戦略やニーズにマッチしたレーザー及びレーザー加工のあるべき姿を検討した。   |
| 新素材・加工テーマWG | 6名  | 4回 | 開発内容を確認し、ニーズ面からどのようなレーザーが必要か検討を行なった。CFRP素材の各種仕様とその加工や評価等に関する報告が行なわれた。BMWや東レの取り組み等が紹介された。ユーザー側のニーズや加工スペック等が提示され、それらの加工が可能なレーザーや加工法に関する検討を行なった。  |
| 表面改質テーマWG   | 7名  | 4回 | 本WGでは、ディスプレイや太陽電池の製作に最適なレーザー加工のあり方を検討することになった。ディスプレイ用途のレーザーアニールの開発目標値とその背景が報告された。ディスプレイ領域の市場動向報告、フラットパネルメーカーの技術ニーズ、太陽電池領域におけるレーザー応用に関するニーズ検討を行なった。   |
| 粉末成形テーマWG   | 2名  | 4回 | 本研究開発の目標を報告し、粉末成形の医療関連活用に技術情報を検討した。レーザーを活用した造形技術の現状を報告した。ニーズとしてチタン粉末を活用した医療用部品の仕様等に関する検討を行なった。ICAL02011（国際会議と展示）の粉末成形技術の状況の報告と、開発施策の小型プラットフォームの見学を行ない、ニーズに対しての目標の確認を行なった。Photonics2012の粉末成形、Additive Manufacturingシンポジウムの状況が報告された。 |

事業原簿 Ⅲ-1

詳細は各実施者の報告へ

### 知的財産の取得、および成果の普及

|              | 平成22年度 | 平成23年度 | 平成24年度 | 計        |
|--------------|--------|--------|--------|----------|
| 特許出願(うち外国出願) | 1(0)   | 10(0)  | 8(1)   | 19(1) 件  |
| 研究発表・講演      | 2      | 53     | 15     | 70 件     |
| 論文(査読付き)     | 0(0)   | 9(7)   | 7(5)   | 16(12) 件 |
| 展示会への出展      | 0      | 1      | 1      | 2 件      |

平成24年度7月31日現在

### ALPROTにおける知財マネジメント ALPROT知的財産権取扱規程にもとづく



「外部発表・展示会」

産総研オープンラボにおいて、研究組合の展示ブースを設定し、研究組合とプロジェクトの紹介パネルを展示した。来場者にプロジェクトの目的、内容、成果等について説明を行った。

日時：平成23年10月13～14日  
場所：産業技術総合研究所 本部情報棟ロビー

「展示会への出展」

平成24年6月20日(水)～22日(金)、東京ビックサイトにて「第23回設計・製造ソリューション展(DMS)」が開催された。

アспект社ブースにおいて、本プロジェクトで開発した粉末成形装置の展示とデモを行い、好評を博した。



事業原簿 Ⅲ-1

「成果報告会の開催」

本プロジェクト開発の関連技術の普及・促進を図るため、プロジェクト中間時点での成果報告会を開催した。本プロジェクトの成果を幅広くレーザー加工技術関係のユーザーに利用してもらうため、これまでのプロジェクト成果について報告した。またユーザー企業側からの視点も重要と考え、ユーザー連携の技術調査委員に講演を行った。

日時：平成24年7月30日  
場所：品川フロントビル会議室

次世代素材等レーザー加工技術開発プロジェクト  
「ユーザー連携実用化推進シンポジウム（成果（中間）報告会）」  
～次世代レーザー加工システムに立脚する日本のものづくりの今後～

**開催案内**

日時：平成24年7月30日（月） 13：00～17：00  
会場：品川フロントビル会議室A（品川フロントビル地下1階）  
東京都港区港南2-3-13  
<http://www.front-c.jp/access/index.html>

主催：技術研究組合次世代レーザー加工技術研究所（ALPROT）  
定員：120名（申込受付先着順、定員に成り次第締切らせて頂きます）  
参加費：無料  
申込方法：添付参加申込書にてお申し込み下さい。

**開催趣旨**

日本のものづくりは、国際競争力や自然災害、継続する円高等様々な課題が顕在化しており、また、国策等により著しい経済発展、技術発展を遂げているもしくは遂げようとしている中国、アジア等国は、新たな技術を見事に導入し、物産隆盛の発展

| 研究項目   | 評価目標と成果             |  |  | 最終目標の達成見通し<br>(課題とその対応)  |
|--|---------------------|--|--|--|
|  | 評価項目                | 最終目標   | 成果(現時点)  |  |
| <b>高出力半導体レーザー開発</b><br><br>①-(1)<br>半導体レーザーの高出力化技術・高信頼化技術の開発 | シングルエミッタ<br><br>アレイ | 波長：近赤外帯<br><br>出力：20 W、効率65%<br>寿命50,000時間<br><br>出力300 W<br>効率60%<br>寿命50,000時間<br>自動組立が可能であること | 900nm帯<br><br>15 W、60%以上<br>確認中<br><br>200 W<br>55%以上<br>確認中<br>自動組立可能 | 最終目標達成に向けての確認点である中間目標については、順調に開発が完了する見込みである。<br>最終目標は、素子の熱負荷が大きい状態で高出力化を実現し、かつ寿命を延ばすといった厳しい目標値となっている。<br>結晶構造、素子構造等について試作、検討を進め、課題の抽出とその解決策を見出すことで、最終目標を達成させる。 |
| ①-(2)<br>半導体レーザーのファイバカップル技術の開発                               | シングルエミッタ<br>アレイ     | ファイバ結合効率 90%<br>ファイバ結合効率 70%   | 80%以上<br>仮組60%以上   | 最終目標達成に向けての確認点である中間目標については、順調に開発が完了する見込みである。<br>最終目標を達成に向けては、よりエネルギー伝送効率の高い結合技術、光学系および調心技術の開発が必要である。それらの技術課題の抽出とその解決策を見出すことで、最終目標を達成させる。                       |

| 研究項目  |          | 評価目標   |  |   | 最終目標の達成見通し<br>(課題とその対応)   |
|---|----------|--|--|---|---|
|   |          | 評価項目   | 最終目標   | 成果(現時点)   |   |
| 増幅技術開発<br>と波長変換技術開発<br>②-(1)-3) ファイバーレーザー<br>の高出力化技術の開発 | ブースター注入用 | 繰り返し<br>平均出力<br>波長(可変)<br>パルス幅<br>M <sup>2</sup> | 75-150kHz<br>300W(2ビーム)<br>1064.1-1064.8nm<br>3-10ns<br><1.5 | 77kHz<br>170W<br>1064.1-1064.8nm<br>3-10ns可変<br>1.5 | 1ビーム出力150Wは達成済み。<br><br>2ビーム偏光合成で300Wは確実に達成。  |
|   | 2ビーム波長合成 | 平均出力<br>波長                                       | 300W<br>1064, 1070nm   | 300W<br>1064, 1070, 1075nm                          | パワー、2波長ともに達成。<br>効率>90%の波長合成にめど   |
| ②-(2)-1) kW級ブースター増幅器の開発                                 |          | 繰り返し周波数<br>平均出力<br>波長(可変)<br>パルス幅                | 75-150kHz<br>1.5kW<br>1064.1-1064.8nm<br>(最適化)<br>3-10ns     | 75kHz<br>700W達成見込み<br>最適化中<br>3-10ns                | 4kW LD励起で>750W@75kHzを達成見込み。<br>よって、縦偏光750W、横偏光750Wの2ビーム偏光合成で1.5kW達成は確実。<br>出力1ビーム又は2ビームの選択は、波長変換の最適化と併せて決定。 |
| ②-(3)-2) 波長変換の高効率化技術の開発                                 |          | 第2高調波変換効率<br>第3高調波変換効率                           | ≥30%(基本波1.5kW)<br>≥10%(基本波1.5kW)                             | ≥60%(基本波300W)<br>≥40%(基本波160W)                      | 冷却構造の改良と上記偏光合成(ビーム当たり750W入力)によって熱負荷を半減することで、目標達成は可能。  |

事業原簿 Ⅲ-1

| 研究項目                     | 評価目標と成果                |                                       |                                      | 最終目標の達成見通し<br>(課題とその対応)   |
|--------------------------|------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|---|
|                          | 評価項目                   | 最終目標                                  | 成果(現時点)                              |   |
| ②-(1)-4) QCWファイバーレーザーの開発 | ピーク出力<br>平均出力<br>ビーム品質 | 1.5 kW<br>250W<br>M <sup>2</sup> <1.1 | 800 W<br>500W<br>M <sup>2</sup> <1.1 | 順調に開発は進んでいる。<br>励起半導体の輝度向上とファイバの非線形効果を低減し、ピーク出力を確保する。<br>最終目標は十分達成可能。 |

| 研究項目   | 評価目標と成果           |                        |                                 | 最終目標の達成見通し<br>(課題とその対応)                              |
|--|-------------------|------------------------|---------------------------------|--|
|  | 評価項目              | 最終目標                   | 成果(現時点)                         |  |
| 多波長複合照射加工技術開発<br>③-(1)<br>1) 複合材料高速切断接合システム技術の開発 | 切断加工速度            | 6m/min                 | 1.5m/min(CFRP)<br>2m/min(CFRTP) | 順調に開発は進んでいる。<br>波長、パルス幅と熱損傷の関係が明確になりつつあり、最終目標は十分達成可能 |
|  | 反応層厚み             | 100μ m                 | 350μ m(CFRP)<br>300μ m(CFRTP)   |  |
| 2) 複合材料加工プロセス・評価技術の開発                            | 引張強度              | 10%未満の低減<br>(参照強度に対して) | 10%未満(CFRP)<br>20%未満(CFRTP)     | CFRPの表面改質をすることで、最終目標は十分達成可能。                         |
|  | 接合加工速度<br>引張せん断強度 | 6m/min<br>100MPa       | 要素技術見極め<br>接着剤20MPa             |  |

事業原簿 Ⅲ-1

| 研究項目   | 評価目標と成果   |  |  | 最終目標の達成見通し<br>(課題とその対応)   |
|--|---|--|--|---|
|  | 評価項目  | 最終目標   | 成果(現時点)  |   |
| <b>アニール用レーザー開発</b><br>②-(2)-2) アニール用ブースター増幅技術の開発 | 波長<br>平均出力<br>繰り返し周波数<br>パルス幅                             | 1μ m帯(基本波)<br>200~700W<br>1~150 kHzのうち、<br>最適周波数<br>0.5~200nsのうち、<br>最適パルス幅  | 1.064μ m<br>560W<br>1kHz<br>105ns              | 最終目標は中間目標と同じで、今年度中に全項目達成の予定   |
| ②-(3)-1) アニール用レーザーの波長変換モジュール                     | 変換効率  | 20% (700W基本波)  | 20% (360W基本波)                                  | 順調に開発は進んでいる。最終目標は十分達成可能。  |
| <b>アニール用システムの開発</b><br>③-(2) 表面処理技術の開発           | 大型レンズ研磨装置<br>ワイドビーム光学系のシミュレーション<br>ワイドビームの形成<br>ビームモニタリング | 研磨幅: 500mm<br>ビーム幅: 500mm<br>集光幅: 20μ m<br>照射均一性: ±7%<br>ビーム幅: 500mm<br>集光幅: 20μ m<br>照射均一性: ±7%<br>測定精度: ±2%以内<br>測定分解能: 5μ m以下 | 700mm<br>700mm<br>20μ m<br>±2.5%<br>未評価<br>未評価 | 大型レンズ研磨機が完成したため、光学シミュレーションから導かれるサイズの大型レンズの製造が可能になった。<br>これらの光学系とアニール用レーザーを組み合わせ、実際のビームの整形評価を実施し、最終目標を達成できる見込み |

| 研究項目   | 評価目標と成果   |   |   | 最終目標の達成見通し<br>(課題とその対応)                                    |
|--|---|---|---|--|
|  | 評価項目  | 最終目標  | 成果(現時点)   |  |
| <b>粉末成形用レーザー開発</b><br>②-(1)-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<br>ファイバーレーザーのパルス制御技術の開発 | 粉末成形シーダ<br>平均出力<br>繰り返し周波数<br>ブースターシーダ<br>平均出力<br>繰り返し周波数 | 中間目標を最終目標とする<br>70W<br>@パルス幅100ns<br>1MHz<br>5W<br>@パルス幅3-10ns<br>75kHz | 70W<br>@パルス幅100ns<br>1MHz<br>5W<br>@パルス幅3-10ns<br>75kHz | 最終目標は中間目標と同じであり、すでに達成                                      |
| ②-(1)-2) ファイバーレーザーのモジュール化技術の開発   | 平均出力<br>繰り返し周波数<br>基本波長<br>パルス幅<br>ビーム品質                  | 150 W@100 ns<br>1 MHz<br>1064 nm<br>100 ns<br>偏光: 保持                    | 171 W @100 ns<br>1 MHz<br>1064 nm<br>100 ns<br>偏光: 保持   | 順調に開発は進んでいる。<br>フィルターの最適化と吸収長と励起波長の最適化に成功したので、最終目標は十分達成可能。 |

| 研究項目                    | 評価目標と成果            |   |                             | 最終目標の達成見通し<br>(課題とその対応)   |
|-------------------------|--------------------|---|-----------------------------|---|
|                         | 評価項目               | 最終目標  | 成果(現時点)                     |   |
| ③-(3)<br>粉末成形システム<br>開発 | 成形精度<br>成形速度<br>強度 | ±0.1mm(100mm基準パーツ)<br>16時間以内<br>860MPa(チタン合金) | +0.2mm<br>6時間(外挿)<br>190MPa | 精度は補正で対応可能。<br>加工速度は問題なし。<br>強度は積層ピッチを縮めて<br>密度を向上することにより<br>実現可能と予測している。 |

| 研究項目  | 評価目標と成果  |  | 最終目標の達成見通し<br>(課題とその対応)   |
|---|--|--|---|
|   | 最終目標   | 成果(現時点)  |   |
| 調査・普及促進<br>④技術開発推進にか<br>かる調査(先端技術、<br>標準化等)・評価・普及<br>促進 | <ul style="list-style-type: none"> <li>開発光源および開発された光源を利用した加工システムのユーザーとの連携</li> <li>広範囲なものづくりに活用されるレーザー加工技術の実用化の可能性を明確にする</li> <li>本開発の成果報告会の開催</li> <li>レーザー加工実証試験の開催</li> </ul> | 技術調査委員会<br>(2回)と各WG(それ<br>ぞれ4回)を開催し<br>た。<br>成果報告会を開催<br>した。 | 技術調査委員会と各WGを<br>中心としてユーザー連携を<br>進める予定。<br>成果報告会、加工実証試<br>験をおこない、成果の普及<br>を図るが、最終目標達成は<br>十分可能である。 |

すべての研究項目で課題とその解決策が明確であり、達成見通しも得られている。

**「事業化」の定義** : プロジェクトで開発した成果物を製品として販売し、会社の事業として展開していく。

「2/3共同研究」の成果

事業化までのシナリオは明確に描かれている。製品イメージと市場も明確であり、販売体制、サポート体制を含めて、事業化までの道すじは明瞭

**「実用化」の定義** : 既存製品の性能向上や新製品の開発に活用できる段階まで、プロジェクトで開発した技術を整備する。

「委託研究」の成果

成果想定市場での技術的優位性の検討を行い、製品展開の可能性を見極めて、可能であれば事業化に結び付ける

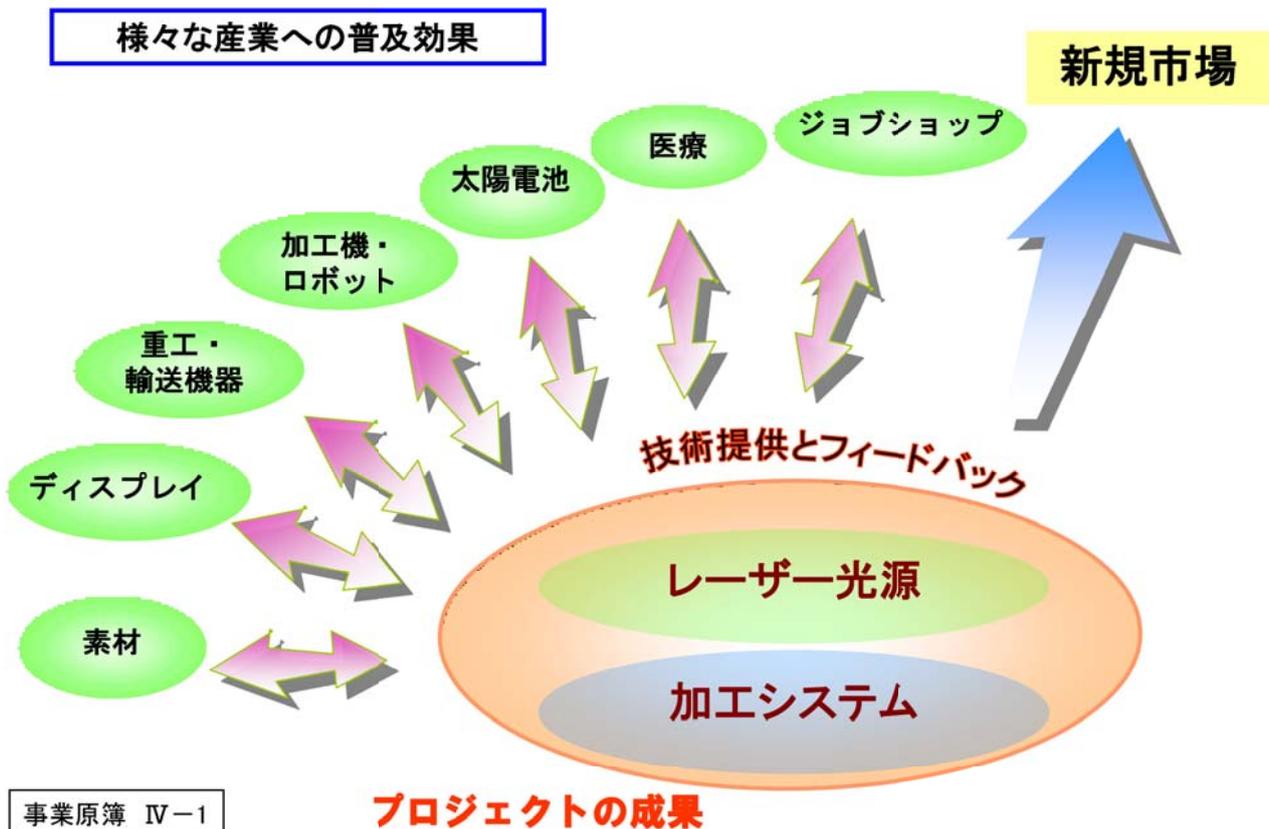
⇒ 実際の実用化、事業化の詳細は各実施者の報告へ

IV . 実用化、事業化の見通しについて 波及効果

| テーマ       | 波及産業       | 2010               | 2015            | 2020 | 2025   |
|-----------|------------|--------------------|-----------------|------|--------|
| 切断接合技術の開発 | 自動車        | CFRP素材導入の検討        | 試作、実用化試験 → 検証実験 | →    | 実用化    |
|           | 航空機        | レーザー加工技術導入の検討      | 試作、実用化試験 → 検証実験 | →    | 実用化    |
| 表面処理技術の開発 | 家電         | ITテレビ、スマートフォン等への展開 | → 実用化試験         | →    | 実用化事業化 |
|           | 太陽電池       | 太陽電池パネルへの展開        | → 実用化試験         | →    | 実用化事業化 |
| 粉末成形技術の開発 | 医療         | 医療用パーツの実用化検討       | → 実用化試験 → 認定試験  | →    | 実用化事業化 |
|           | 自動車<br>航空機 | 多品種小量生産部品への実用化検討   | → 実用化試験         | →    | 実用化事業化 |

事業原簿 IV-1

IV . 実用化、事業化の見通しについて 波及効果



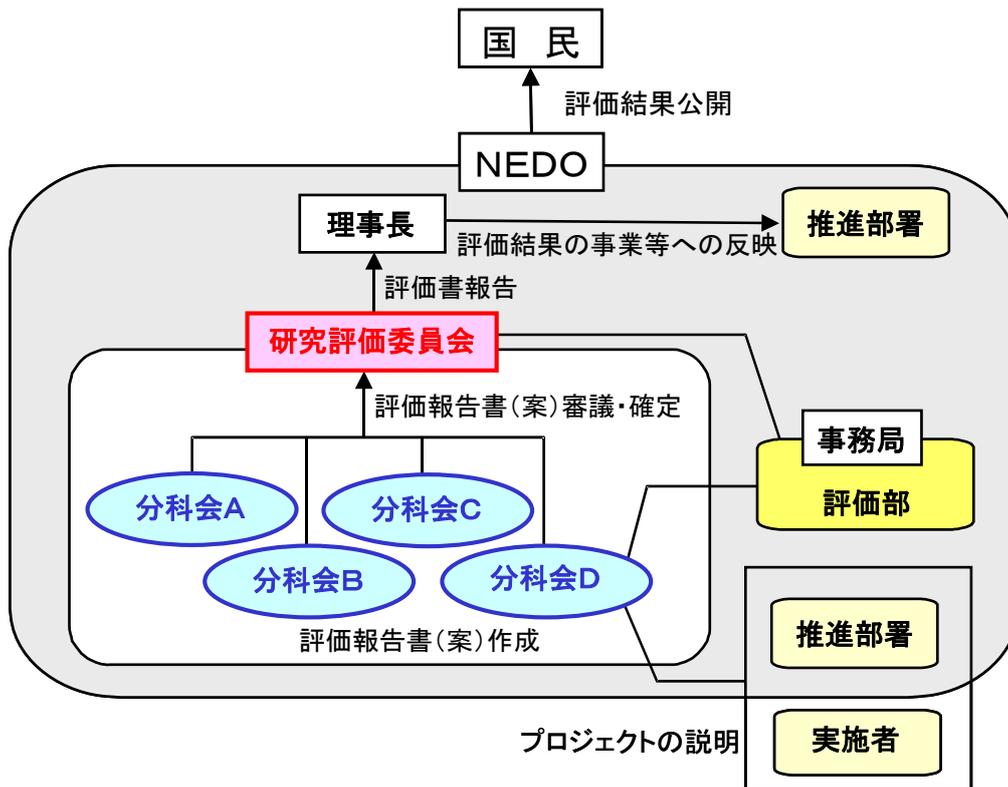
事業原簿 IV-1

## 参考資料 1 評価の実施方法

本評価は、「技術評価実施規程」（平成 15 年 10 月制定）に基づいて研究評価を実施する。

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）における研究評価の手順は、以下のように被評価プロジェクトごとに分科会を設置し、同分科会にて研究評価を行い、評価報告書（案）を策定の上、研究評価委員会において確定している。

- 「NEDO 技術委員・技術委員会等規程」に基づき研究評価委員会を設置
- 研究評価委員会はその下に分科会を設置



## 1. 評価の目的

評価の目的は「技術評価実施規程」において。

- 業務の高度化等の自己改革を促進する
- 社会に対する説明責任を履行するとともに、  
経済・社会ニーズを取り込む
- 評価結果を資源配分に反映させ、資源の重点化及び業務の効率化を  
促進する

としている。

本評価においては、この趣旨を踏まえ、本事業の意義、研究開発目標・計画の妥当性、計画を比較した達成度、成果の意義、成果の実用化の可能性等について検討・評価した。

## 2. 評価者

技術評価実施規程に基づき、事業の目的や態様に即した外部の専門家、有識者からなる委員会方式により評価を行う。分科会委員選定に当たっては以下の事項に配慮して行う。

- 科学技術全般に知見のある専門家、有識者
- 当該研究開発の分野の知見を有する専門家
- 研究開発マネジメントの専門家、経済学、環境問題、国際標準、その他社会的ニーズ関連の専門家、有識者
- 産業界の専門家、有識者
- ジャーナリスト

また、評価に対する中立性確保の観点から事業の推進側関係者を選任対象から除外し、また、事前評価の妥当性を判断するとの側面にかんがみ、事前評価に関与していない者を主体とする。

これらに基づき、分科会委員名簿にある7名を選任した。

なお、本分科会の事務局については、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構評価部が担当した。

## 3. 評価対象

平成22年度に開始された「次世代素材等レーザー加工技術開発プロジェクト」プロジェクトを評価対象とした。

なお、分科会においては、当該事業の推進部署から提出された事業原簿、プ

プロジェクトの内容、成果に関する資料をもって評価した。

#### 4. 評価方法

分科会においては、当該事業の推進部署及び研究実施者からのヒアリングと、それを踏まえた分科会委員による評価コメント作成、評点法による評価及び実施者側等との議論等により評価作業を進めた。

なお、評価の透明性確保の観点から、知的財産保護の上で支障が生じると認められる場合等を除き、原則として分科会は公開とし、研究実施者と意見を交換する形で審議を行うこととした。

#### 5. 評価項目・評価基準

分科会においては、次に掲げる「評価項目・評価基準」で評価を行った。これは、研究評価委員会による『各分科会における評価項目・評価基準は、被評価プロジェクトの性格、中間・事後評価の別等に応じて、各分科会において判断すべきものである。』との考え方に従い、第1回分科会において、事務局が、研究評価委員会により示された「標準的評価項目・評価基準」（参考資料1-8頁参照）をもとに改定案を提示し、承認されたものである。

プロジェクト全体に係わる評価においては、主に事業の目的、計画、運営、達成度、成果の意義や実用化への見通し等について評価した。各個別テーマに係る評価については、主にその目標に対する達成度等について評価した。

## 評価項目・評価基準

### 1. 事業の位置付け・必要性について

#### 1. 事業の位置付け・必要性について

##### (1)NEDOの事業としての妥当性

- ・ 「ロボット・新機械イノベーションプログラム」の目標達成のために寄与しているか。
- ・ 民間活動のみでは改善できないものであること、又は公共性が高いことにより、NEDOの関与が必要とされる事業か。
- ・ 当該事業を実施することによりもたらされる効果が、投じた予算との比較において十分であるか。

##### (2)事業目的の妥当性

- ・ 内外の技術開発動向、国際競争力の状況、エネルギー需給動向、市場動向、政策動向、国際貢献の可能性等から見て、事業の目的は妥当か。

#### 2. 研究開発マネジメントについて

##### (1)研究開発目標の妥当性

- ・ 内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、戦略的な目標が設定されているか。
- ・ 具体的かつ明確な開発目標を可能な限り定量的に設定しているか。
- ・ 目標達成度を測定・判断するための適切な指標が設定されているか。

##### (2)研究開発計画の妥当性

- ・ 目標達成のために妥当なスケジュール、予算（各個別研究テーマ毎の配分を含む）となっているか。
- ・ 目標達成に必要な要素技術を取り上げているか。
- ・ 研究開発フローにおける要素技術間の関係、順序は適切か。
- ・ 継続プロジェクトや長期プロジェクトの場合、技術蓄積を、実用化の観点から絞り込んだうえで活用が図られているか。

##### (3)研究開発実施の事業体制の妥当性

- ・ 適切な研究開発チーム構成での実施体制になっているか。
- ・ 真に技術力と事業化能力を有する企業を実施者として選定しているか。

- ・ 全体を統括するプロジェクトリーダー等が選任され、十分に活躍できる環境が整備されているか。
- ・ 目標達成及び効率的実施のために必要な実施者間の連携が十分に行われる体制となっているか。
- ・ 実用化シナリオに基づき、成果の受け取り手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、関与を求める体制を整えているか。

#### (4)研究開発成果の実用化に向けたマネジメントの妥当性

- ・ 成果の実用化につなげる戦略が明確になっているか。
- ・ 成果の実用化につなげる知財マネジメントの方針が明確に示され、かつ妥当なものか。

#### (5)情勢変化への対応等

- ・ 進捗状況を常に把握し、社会・経済の情勢の変化及び政策・技術動向に機敏かつ適切に対応しているか。
- ・ 計画見直しの方針は一貫しているか（中途半端な計画見直しが研究方針の揺らぎとなっていないか）。計画見直しを適切に実施しているか。

### 3. 研究開発成果について

#### (1)中間目標の達成度

- ・ 成果は目標値をクリアしているか。
- ・ 全体としての目標達成はどの程度か。
- ・ 目標未達成の場合、目標達成までの課題を把握し、課題解決の方針が明確になっているか。

#### (2)成果の意義

- ・ 成果は市場の拡大或いは市場の創造につながることが期待できるか。
- ・ 成果は、世界初あるいは世界最高水準か。
- ・ 成果は、新たな技術領域を開拓することが期待できるか。
- ・ 成果は汎用性があるか。
- ・ 投入された予算に見合った成果が得られているか。
- ・ 成果は、他の競合技術と比較して優位性があるか。

(3)知的財産権等の取得及び標準化の取組

- ・ 知的財産権等の取扱（特許や意匠登録出願、著作権や回路配置利用権の登録、品種登録出願、営業機密の管理等）は事業戦略、または実用化計画に沿って国内外に適切に行われているか。

(4)成果の普及

- ・ 論文の発表は、研究内容を踏まえ適切に行われているか。
- ・ 成果の受取手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、適切に成果を普及しているか。また、普及の見通しは立っているか。
- ・ 一般に向けて広く情報発信をしているか。

(5)成果の最終目標の達成可能性

- ・ 最終目標を達成できる見込みか。
- ・ 最終目標に向け、課題とその解決の道筋が明確に示され、かつ妥当なものか。

4. 実用化等の見通しについて

(1)成果の実用化可能性

- ・ 実用化イメージ・出口イメージが明確になっているか。
- ・ 実用化イメージ・出口イメージに基づき、開発の各段階でマイルストーンを明確にしているか。それを踏まえ、引き続き研究開発が行われる見通しは立っているか。

(2)波及効果

- ・ 成果は関連分野への波及効果（技術的・経済的・社会的）を期待できるものか。
- ・ プロジェクトの実施自体が当該分野の研究開発や人材育成等を促進するなどの波及効果を生じているか。

研究項目 5.1 の内、5.1.1「高出力半導体レーザー開発（事業化）」、5.1.3「QCWファイバーレーザー開発（事業化）」、5.2 の内、5.2.2「アニール用システムの開発（事業化）」に対しては、以下を適用。

(1)成果の実用化可能性

- ・ 産業技術としての見極め（適用可能性の明確化）ができているか。
- ・ 実用化に向けて課題が明確になっているか。課題解決の方針が明確になっているか。

(2)事業化までのシナリオ

- ・ 成果は市場やユーザーのニーズに合致しているか。
- ・ 市場の規模や成長性、コストダウン、競合技術との比較、導入普及、事業化までの期間、事業化とそれに伴う経済効果等の見通しは立っているか。

(3)波及効果

- ・ 成果は関連分野への波及効果（技術的・経済的・社会的）を期待できるものか。
- ・ プロジェクトの実施自体が当該分野の研究開発や人材育成等を促進するなどの波及効果を生じているか。

## 標準的評価項目・評価基準（中間評価）

2010. 3. 26

### 【中間評価 標準的評価項目・評価基準の位置付け（基本的考え方）】

標準的評価項目・評価基準は、第25回研究評価委員会（平成22年3月26日付）において以下のとおり定められている。（本文中の記載例による1…、2…、3…、4…が標準的評価項目、それぞれの項目中の(1)…、(2)…が標準的評価基準、それぞれの基準中の…が視点）

ただし、これらの標準的評価項目・評価基準は、研究開発プロジェクトの中間評価における標準的な評価の視点であり、各分科会における評価項目・評価基準は、被評価プロジェクトの性格等に応じて、各分科会において判断すべきものである。

#### 1. 事業の位置付け・必要性について

##### (1) NEDOの事業としての妥当性

- ・ 特定の施策（プログラム）、制度の下で実施する事業の場合、当該施策・制度の目標達成のために寄与しているか。
- ・ 民間活動のみでは改善できないものであること、又は公共性が高いことにより、NEDOの関与が必要とされる事業か。
- ・ 当該事業を実施することによりもたらされる効果が、投じた予算との比較において十分であるか。

##### (2) 事業目的の妥当性

- ・ 内外の技術開発動向、国際競争力の状況、エネルギー需給動向、市場動向、政策動向、国際貢献の可能性等から見て、事業の目的は妥当か。

#### 2. 研究開発マネジメントについて

##### (1) 研究開発目標の妥当性

- ・ 内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、戦略的な目標が設定されているか。
- ・ 具体的かつ明確な開発目標を可能な限り定量的に設定しているか。
- ・ 目標達成度を測定・判断するための適切な指標が設定されているか。

## (2)研究開発計画の妥当性

- ・ 目標達成のために妥当なスケジュール、予算（各個別研究テーマ毎の配分を含む）となっているか。
- ・ 目標達成に必要な要素技術を取り上げているか。
- ・ 研究開発フローにおける要素技術間の関係、順序は適切か。
- ・ 継続プロジェクトや長期プロジェクトの場合、技術蓄積を、実用化の観点から絞り込んだうえで活用が図られているか。

## (3)研究開発実施の事業体制の妥当性

- ・ 適切な研究開発チーム構成での実施体制になっているか。
- ・ 真に技術力と事業化能力を有する企業を実施者として選定しているか。
- ・ 研究管理法人を經由する場合、研究管理法人が真に必要な役割を担っているか。
- ・ 全体を統括するプロジェクトリーダー等が選任され、十分に活躍できる環境が整備されているか。
- ・ 目標達成及び効率的実施のために必要な実施者間の連携 and/or 競争が十分に行われる体制となっているか。
- ・ 実用化シナリオに基づき、成果の受け取り手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、関与を求める体制を整えているか。

## (4)研究開発成果の実用化、事業化に向けたマネジメントの妥当性

- ・ 成果の実用化、事業化につなげる戦略が明確になっているか。
- ・ 成果の実用化、事業化につなげる知財マネジメントの方針が明確に示され、かつ妥当なものか。

## (5)情勢変化への対応等

- ・ 進捗状況を常に把握し、社会・経済の情勢の変化及び政策・技術動向に機敏かつ適切に対応しているか。
- ・ 計画見直しの方針は一貫しているか（中途半端な計画見直しが研究方針の揺らぎとなっていないか）。計画見直しを適切に実施しているか。

## 3. 研究開発成果について

### (1)中間目標の達成度

- ・ 成果は目標値をクリアしているか。
- ・ 全体としての目標達成はどの程度か。

- ・ 目標未達成の場合、目標達成までの課題を把握し、課題解決の方針が明確になっているか。

## (2)成果の意義

- ・ 成果は市場の拡大或いは市場の創造につながる事が期待できるか。
- ・ 成果は、世界初あるいは世界最高水準か。
- ・ 成果は、新たな技術領域を開拓する事が期待できるか。
- ・ 成果は汎用性があるか。
- ・ 投入された予算に見合った成果が得られているか。
- ・ 成果は、他の競合技術と比較して優位性があるか。

## (3)知的財産権等の取得及び標準化の取組

- ・ 知的財産権等の取扱（特許や意匠登録出願、著作権や回路配置利用権の登録、品種登録出願、営業機密の管理等）は事業戦略、または実用化計画に沿って国内外に適切に行われているか。
- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、得られた研究開発の成果に基づく国際標準化に向けた提案等の取組が適切に行われているか。

## (4)成果の普及

- ・ 論文の発表は、研究内容を踏まえ適切に行われているか。
- ・ 成果の受取手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、適切に成果を普及しているか。また、普及の見通しは立っているか。
- ・ 一般に向けて広く情報発信をしているか。

## (5)成果の最終目標の達成可能性

- ・ 最終目標を達成できる見込みか。
- ・ 最終目標に向け、課題とその解決の道筋が明確に示され、かつ妥当なものか。

# 4. 実用化、事業化の見通しについて

## (1)成果の実用化可能性

- ・ 産業技術としての見極め（適用可能性の明確化）ができているか。
- ・ 実用化に向けて課題が明確になっているか。課題解決の方針が明確になっているか。
- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、国際規格化等、標準整備

に向けた見通しが得られているか。

(2)事業化までのシナリオ

- ・ 成果は市場やユーザーのニーズに合致しているか。
- ・ 市場の規模や成長性、コストダウン、競合技術との比較、導入普及、事業化までの期間、事業化とそれに伴う経済効果等の見通しは立っているか。

(3)波及効果

- ・ 成果は関連分野への波及効果（技術的・経済的・社会的）を期待できるものか。
- ・ プロジェクトの実施自体が当該分野の研究開発や人材育成等を促進するなどの波及効果を生じているか。

※基礎的・基盤的研究及び知的基盤・標準整備等の研究開発の場合は、以下の項目・基準による。

\*基礎的・基盤的研究開発の場合

## 2. 研究開発マネジメントについて

### (1)研究開発目標の妥当性

- ・内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、戦略的な目標が設定されているか。
- ・具体的かつ明確な開発目標を可能な限り定量的に設定しているか。
- ・目標達成度を測定・判断するための適切な指標が設定されているか。

### (2)研究開発計画の妥当性

- ・目標達成のために妥当なスケジュール、予算（各個別研究テーマ毎の配分を含む）となっているか。
- ・目標達成に必要な要素技術を取り上げているか。
- ・研究開発フローにおける要素技術間の関係、順序は適切か。
- ・継続プロジェクトや長期プロジェクトの場合、技術蓄積を、実用化の観点から絞り込んだうえで活用が図られているか。

### (3)研究開発実施の事業体制の妥当性

- ・適切な研究開発チーム構成での実施体制になっているか。
- ・真に技術力と事業化能力を有する企業を実施者として選定しているか。
- ・研究管理法人を経由する場合、研究管理法人が真に必要な役割を担っているか。
- ・全体を統括するプロジェクトリーダー等が選任され、十分に活躍できる環境が整備されているか。
- ・目標達成及び効率的実施のために必要な実施者間の連携 and/or 競争が十分に行われる体制となっているか。
- ・実用化シナリオに基づき、成果の受け取り手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、関与を求める体制を整えているか。

### (4)研究開発成果の実用化に向けたマネジメントの妥当性

- ・成果の実用化につなげる戦略が明確になっているか。
- ・成果の実用化につなげる知財マネジメントの方針が明確に示され、かつ妥当なものか。

#### (5)情勢変化への対応等

- ・ 進捗状況を常に把握し、社会・経済の情勢の変化及び政策・技術動向に機敏かつ適切に対応しているか。
- ・ 計画見直しの方針は一貫しているか（中途半端な計画見直しが研究方針の揺らぎとなっていないか）。計画見直しを適切に実施しているか。

### 3. 研究開発成果について

#### (1)中間目標の達成度

- ・ 成果は目標値をクリアしているか。
- ・ 全体としての目標達成はどの程度か。
- ・ 目標未達成の場合、目標達成までの課題を把握し、課題解決の方針が明確になっているか。

#### (2)成果の意義

- ・ 成果は市場の拡大或いは市場の創造につながることを期待できるか。
- ・ 成果は、世界初あるいは世界最高水準か。
- ・ 成果は、新たな技術領域を開拓することが期待できるか。
- ・ 成果は汎用性があるか。
- ・ 投入された予算に見合った成果が得られているか。
- ・ 成果は、他の競合技術と比較して優位性があるか。

#### (3)知的財産権等の取得及び標準化の取組

- ・ 知的財産権等の取扱（特許や意匠登録出願、著作権や回路配置利用権の登録、品種登録出願、営業機密の管理等）は事業戦略、または実用化計画に沿って国内外に適切に行われているか。
- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、得られた研究開発の成果に基づく国際標準化に向けた提案等の取組が適切に行われているか。

#### (4)成果の普及

- ・ 論文の発表は、研究内容を踏まえ適切に行われているか。
- ・ 成果の受取手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、適切に成果を普及しているか。また、普及の見通しは立っているか。
- ・ 一般に向けて広く情報発信をしているか。

#### (5)成果の最終目標の達成可能性

- ・ 最終目標を達成できる見込みか。
- ・ 最終目標に向け、課題とその解決の道筋が明確に示され、かつ妥当なものか。

### 4. 実用化の見通しについて

#### (1)成果の実用化可能性

- ・ 実用化イメージ・出口イメージが明確になっているか。
- ・ 実用化イメージ・出口イメージに基づき、開発の各段階でマイルストーンを明確にしているか。それを踏まえ、引き続き研究開発が行われる見通しは立っているか。
- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、国際規格化等、標準整備に向けた見通しが得られているか。

#### (2)波及効果

- ・ 成果は関連分野への波及効果（技術的・経済的・社会的）を期待できるものか。
- ・ プロジェクトの実施自体が当該分野の研究開発や人材育成等を促進するなどの波及効果を生じているか。

\* 知的基盤・標準整備等の研究開発の場合

### 2. 研究開発マネジメントについて

#### (1)研究開発目標の妥当性

- ・ 内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、戦略的な目標が設定されているか。
- ・ 具体的かつ明確な開発目標を可能な限り定量的に設定しているか。
- ・ 目標達成度を測定・判断するための適切な指標が設定されているか。

#### (2)研究開発計画の妥当性

- ・ 目標達成のために妥当なスケジュール、予算（各個別研究テーマ毎の配分を含む）となっているか。
- ・ 目標達成に必要な要素技術を取り上げているか。
- ・ 研究開発フローにおける要素技術間の関係、順序は適切か。
- ・ 継続プロジェクトや長期プロジェクトの場合、技術蓄積を、実用化の観点から絞り込んだうえで活用が図られているか。

### (3)研究開発実施の事業体制の妥当性

- ・ 適切な研究開発チーム構成での実施体制になっているか。
- ・ 真に技術力と事業化能力を有する企業を実施者として選定しているか。
- ・ 研究管理法人を経由する場合、研究管理法人が真に必要な役割を担っているか。
- ・ 全体を統括するプロジェクトリーダー等が選任され、十分に活躍できる環境が整備されているか。
- ・ 目標達成及び効率的実施のために必要な実施者間の連携 and/or 競争が十分に行われる体制となっているか。
- ・ 実用化シナリオに基づき、成果の受け取り手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、関与を求める体制を整えているか。

### (4)研究開発成果の実用化に向けたマネジメントの妥当性

- ・ 成果の実用化につなげる戦略が明確になっているか。
- ・ 成果の実用化につなげる知財マネジメントの方針が明確に示され、かつ妥当なものか。

### (5)情勢変化への対応等

- ・ 進捗状況を常に把握し、社会・経済の情勢の変化及び政策・技術動向に機敏かつ適切に対応しているか。
- ・ 計画見直しの方針は一貫しているか（中途半端な計画見直しが研究方針の揺らぎとなっていないか）。計画見直しを適切に実施しているか。

## 3. 研究開発成果について

### (1)中間目標の達成度

- ・ 成果は目標値をクリアしているか。
- ・ 全体としての目標達成はどの程度か。
- ・ 目標未達成の場合、目標達成までの課題を把握し、課題解決の方針が明確になっているか。

### (2)成果の意義

- ・ 成果は市場の拡大或いは市場の創造につながることが期待できるか。
- ・ 成果は、世界初あるいは世界最高水準か。
- ・ 成果は、新たな技術領域を開拓することが期待できるか。
- ・ 成果は汎用性があるか。

- ・ 投入された予算に見合った成果が得られているか。
- ・ 成果は公開性が確保されているか。

### (3)知的財産権等の取得及び標準化の取組

- ・ 研究内容に新規性がある場合、知的財産権等の取扱（特許や意匠登録出願、著作権や回路配置利用権の登録、品種登録出願、営業機密の管理等）は事業戦略、または実用化計画に沿って国内外に適切に行われているか。
- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、得られた研究開発の成果に基づく国際標準化に向けた提案等の取組が適切に行われているか。

### (4)成果の普及

- ・ 論文の発表は、研究内容を踏まえ適切に行われているか。
- ・ 成果の受取手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、適切に成果を普及しているか。また、普及の見通しは立っているか。
- ・ 一般に向けて広く情報発信をしているか。

### (5)成果の最終目標の達成可能性

- ・ 最終目標を達成できる見込みか。
- ・ 最終目標に向け、課題とその解決の道筋が明確に示され、かつ妥当なものか。

## 4. 実用化の見通しについて

### (1)成果の実用化可能性

- ・ 整備した知的基盤についての利用は実際にあるか、その見通しが得られているか。
- ・ 公共財として知的基盤を供給、維持するための体制は整備されているか、その見込みはあるか。
- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、国際規格化等、標準整備に向けた見通しが得られているか。
- ・ J I S 化、標準整備に向けた見通しが得られているか。注) 国内標準に限る
- ・ 一般向け広報は積極的になされているか。

### (2)波及効果

- ・ 成果は関連分野への波及効果（技術的・経済的・社会的）を期待できるものか。

- ・ プロジェクトの実施自体が当該分野の研究開発や人材育成等を促進するなどの波及効果を生じているか。

参考資料 2 分科会議事録

研究評価委員会  
「次世代素材等レーザー加工技術開発プロジェクト」中間評価分科会  
議事録

日 時：平成24年8月3日（金）10：20～17：45

場 所：WTC コンファレンスセンター Room A（世界貿易センタービル3階）

出席者（敬称略、順不同）

<分科会委員>

分科会長 渡部 俊太郎 東京理科大学 総合研究機構 教授  
分科会長代理 戸倉 和 東京工業大学 大学院理工学研究科 教授  
委員 沖野 圭司 オムロンレーザーフロント株式会社 発振器事業部 取締役 発振器事業部長  
委員 斎藤 裕一 レーザージョブ株式会社 代表取締役社長  
委員 緑川 克美 独立行政法人 理化学研究所 基幹研究所 緑川レーザー物理工学研究室  
主任研究員  
委員 山口 滋 東海大学 大学院総合理工学研究科 教授  
委員 米田 仁紀 電気通信大学 レーザー新世代研究センター 教授

<推進者>

大平 英二 NEDO 技術開発推進部 主任研究員  
齋藤 弘一 NEDO 技術開発推進部 主査  
草川 剛 NEDO 技術開発推進部 主査  
徳増 伸二 NEDO 技術開発推進部 課長  
高津佐 功助 NEDO 技術開発推進部 職員

<実施者>

尾形 仁士 (PL) 次世代レーザー加工技術研究所(ALPROT) 研究総括理事  
神谷 保 次世代レーザー加工技術研究所(ALPROT) 専務  
松本 修 次世代レーザー加工技術研究所(ALPROT) 研究部長  
間野 隆久 次世代レーザー加工技術研究所(ALPROT) 研究部長代理  
西野 充晃 三菱化学株式会社 RD 戦略室部長代理  
長嶋 崇弘 ミヤチテクノス株式会社 開発本部 主任技師  
藤田 雅之 レーザー技術総合研究所 レーザープロセス研究チーム 主席研究員  
宮永 憲明 大阪大学 レーザーエネルギー学研究センター 教授  
藤田 尚徳 大阪大学 レーザーエネルギー学研究センター 准教授  
吉田 英次 大阪大学 レーザーエネルギー学研究センター 技術専門職員  
椿本 孝治 大阪大学 レーザーエネルギー学研究センター 助教  
塚本 雅裕 大阪大学 接合科学研究所 准教授  
阿部 信行 大阪大学 接合科学研究所 准教授  
升野 振一郎 大阪大学 接合科学研究所 特任研究員  
高橋 謙次郎 大阪大学 接合科学研究所 特任研究員  
松下 正文 新日本工機株式会社 新事業開発本部 新事業推進室 専門課長

酒川 友一 株式会社片岡製作所 先端レーザ研究所 所長  
萩原 正 株式会社アспект LS 事業部 取締役 LS 事業部長  
堀場 欣紀 株式会社アспект LS 事業部 RD チーム サブリーダー  
佐々 雅祥 株式会社アспект LS 事業部 RD チーム サブリーダー  
松崎 邦男 独立行政法人産業技術総合研究所 先進製造プロセス研究部門  
難加工材成形研究 Gr. グループリーダー  
中野 禅 独立行政法人産業技術総合研究所 先進製造プロセス研究部門  
難加工材成形研究 Gr. 主任研究員  
清水 透 独立行政法人産業技術総合研究所 先進製造プロセス研究部門  
難加工材成形研究 Gr. 主任研究員  
新納 弘之 独立行政法人産業技術総合研究所 環境化学技術研究部門  
レーザー化学プロセス Gr. 主幹研究員  
原田 祥久 独立行政法人産業技術総合研究所 先進製造プロセス研究部門  
機能・構造予測検証研究 Gr. 主任研究員  
吉田 治正 浜松ホトニクス株式会社 開発本部 グループ長代理  
川嶋 利幸 浜松ホトニクス株式会社 開発本部 グループ長代理  
加藤 義則 浜松ホトニクス株式会社 開発本部 部員  
鈴木 篤哉 浜松ホトニクス株式会社 産学官連携部 専任部員  
森田 剛徳 浜松ホトニクス株式会社 開発本部 専任部員  
宮本 昌浩 浜松ホトニクス株式会社 開発本部 部員  
前田 純也 浜松ホトニクス株式会社 開発本部 専任部員  
大越 春喜 古河電気工業株式会社 ファイテルフォトニクス研究所 所長  
藤崎 晃 古河電気工業株式会社 ファイテルフォトニクス研究所 主査  
松下 俊一 古河電気工業株式会社 ファイテルフォトニクス研究所 主査  
行谷 武 古河電気工業株式会社 研究開発本部 企画部 主査  
菊池 正志 株式会社アルバック FPD・PV 事業部 理事兼フェロー  
大西 芳紀 株式会社アルバック FPD・PV 事業部 主事  
中村 文生 株式会社アルバック FPD・PV 事業部 係長

<企画調整>

伊吹 信一郎 NEDO 総務企画部 職員

<事務局>

竹下 満 NEDO 評価部 部長  
三上 強 NEDO 評価部 主幹  
梶田 保之 NEDO 評価部 主査

一般傍聴者 なし

## 議事次第

(公開セッション)

1. 開会、分科会の設置、資料の確認
2. 分科会の公開について
3. 評価の実施方法及び評価報告書の構成について
4. プロジェクトの概要説明 (公開)
  - 4.1 「事業の位置付け・必要性」及び「研究開発マネジメント」
  - 4.2 「研究開発成果」及び「実用化等の見通し」

(非公開セッション)

5. プロジェクトの詳細説明
  - 5.1 切断接合技術の開発
    - 5.1.1 高出力半導体レーザー開発 (事業化)
    - 5.1.2 増幅技術開発と波長変換技術開発
    - 5.1.3 QCW ファイバーレーザー開発 (事業化)
    - 5.1.4 多波長複合照射加工技術開発
    - 5.1.5 普及促進の取り組み
  - 5.2 表面処理技術の開発
    - 5.2.1 アニール用レーザー開発
    - 5.2.2 アニール用システムの開発 (事業化)
    - 5.2.3 普及促進の取り組み
  - 5.3 粉末成形技術の開発
    - 5.3.1 粉末成形用レーザー開発
    - 5.3.2 粉末成形システム開発
    - 5.3.3 普及促進の取り組み
6. 全体を通しての質疑

(公開セッション)

7. まとめ・講評
8. 今後の予定
9. 閉会

## 議事内容

(公開セッション)

### 1. 開会 (分科会成立の確認、挨拶、資料の確認)

- ・開会宣言 (事務局)
- ・研究評価委員会分科会の設置について、資料1-1、1-2に基づき事務局より説明。
- ・渡部分科会長挨拶
- ・出席者 (委員、推進者、実施者、事務局) の紹介 (事務局、推進者)
- ・配布資料確認 (事務局)

### 2. 分科会の公開について

事務局より資料2-1及び2-2に基づき説明し、議題5、「プロジェクトの詳細説明」、議題6、「全体を通しての質疑」を非公開とすることが了承された。

### 3. 評価の実施方法及び評価報告書の構成について

評価の手順を事務局より資料3-1～3-5に基づき説明し、了承された。

また、評価報告書の構成を事務局より資料4に基づき説明し、事務局案どおり了承された。

### 4. プロジェクトの概要説明

#### (1) 事業の位置付け・必要性、研究開発マネジメント

推進者より資料6に基づき説明が行われた。

#### (2) 研究開発成果及び実用化等の見通し

実施者より資料6に基づき説明が行われた。

**【渡部分科会長】** ただいまのご説明に対しまして、ご意見、ご質問等がございましたらお願いします。技術の詳細については、のちほど議題5で議論いたしますので、ここでは主に事業の位置付け・必要性、マネジメントについてのご意見をお願いいたします。よろしくをお願いします。

**【戸倉分科会長代理】** 最初に NEDO からご説明いただきましたが、中身がすごく濃くてなかなか追いつけません。ですからもう少し説明がわかるように、われわれの頭が追いつけるようなお話をぜひともしていただきたい。一生懸命聴いているのですが、不勉強のところもあって追いつかないので、せつかくのお話ですからそうしていただけるととてもありがたいと思いました。

一つ質問です。いまこのプロジェクトは、三つのテーマをやっていますが、たぶん説明されるのにとてご苦労が多いのではないかと思います。というのは、三つのテーマ間の脈絡がほとんどわからないプロジェクトであると、私は感じました。それぞれはすばらしい課題をお持ちだと思いますが、これを統合して考えるときにどのように理解すればよろしいのか、何かサジェスチョンをいただければと思います。

**【尾形 (実施者: PL)】** このプロジェクトで統一して取り組んでいるテーマは、「高出力のパルス・ファイバーレーザーの技術を確立して、それをうまく適用できるテーマとして CFRP (炭素繊維強化プラスチック) とシリコンのアニールと粉末成形をやりたい」という方が手を挙げられたというのが大きな道筋で、一番の目標は高出力のパルス・ファイバー技術を確立することです。

**【戸倉分科会長代理】** わかりました。ではこれから引き続いてそういう根っこのもとに立ち上げたという視点で見させていただきます。

**【沖野委員】** このプロジェクトを開始したときから、世界の経済の状況や産業の状況は大きく変化してきて、その変化に対応するために加速制度があったり、開発方針の変更をされたりしていると思います。特にフラットパネルディスプレイの業界では、ここでいろいろ修正を加えられている以上に日本の産業の情勢は変わってきていて、ここで変更しているスピードで本当にいいのかどうか、非常に疑問を

持ちましたが、コメントをいただければと思います。

【尾形(実施者)】 非常に残念ながら、国内のフラットパネルディスプレイの事業が、苦しい状況になっていることは少なくともこのプロジェクトがスタートする3年前には想定できなかったことだと思います。ただし、ワールドワイドには、この液晶のディスプレイ、および今後は有機ELがどうなるかわかりませんが、有機ELに対しても非常に期待が大きい。ワールドワイドのマーケットはあまり変化していないのではないかと考えています。そういう意味では、これは実際に担当されているアルバック社からも違うご意見ならお話ししてもらいたいのですが、私としては、国内は残念ですがワールドワイドにはいい技術を持って出ていけば、この成果を活用できるマーケットは依然としてある。しかも今後有望ではないかと考えています。

【菊池(実施者)】 いまPLがおっしゃった海外勢が強くなっているという話と、ここでちょっと申し上げようと思っておりましたが、幸いなことにディスプレイの大型化で、皆さん、テレビが非常に安くなっていることは実感されていると思います。いまPLがおっしゃったような有機ELテレビ、もしくはスマートフォンの有機ELは、本格生産検討のスタートがようやく日本でも始まった。そういうところに私どもがいま開発しているものを応用していければいいということで、ディスプレイの中の日本の位置付けが、2~3年前に比べると、皆さんのやる気も出てきて、ご存じのようにジャパンディスプレイという会社が、これも一種の国の補助予算のかたちで出てきましたが、そういう動きになっています。そのあたりも含めて午後に少しお話をさせていただければと思います。

【沖野委員】 アニール用途は、ファインピッチになって、しかも高速に動作させるための技術だと思えますが、アニールしなくてもいい、たとえばIGZO(酸化物半導体:インジウム、ガリウム、亜鉛、酸素の元素記号の頭文字を取った通称)パネルなど新しい技術も出てきています。そこにもコメントをいただければと思います。

【菊池(実施者)】 これについてお話ししようと思って、資料を少し用意していたのですが、IGZOと今回開発している低温ポリシリコンの結晶化は、私どものいまの見方では、応用製品で分かれていきそうだというシナリオです。たとえば東工大の先生が開発されたIGZOは、大画面、低コスト、従来のアモルファスシリコンというテレビがありますが、これよりも少し上のレベルというそういう応用のほうに流れていきそうです。

ところで、低温ポリシリコンの技術の応用はご存じのようにいままで中小型、携帯という市場がメインでした。大型化、なおかつ大画面ハイディフィニションテレビではモビリティの観点で申し上げますと、従来の酸化物半導体、IGZOが量産レベルの現状品では10ぐらいですが、その上(40以上)が必要とされ(低温ポリシリコンの技術で達成可能です)、このため、このような方向性はこの業界では定まってきているのではないかと考えています。

【斎藤委員】 いまはアプリケーションのほうの話でしたが、私がまず概要をお聞きしたときに、あとで細かくご紹介があると思いますが、実はいま私どももレーザー発振器を何種類か使っていますが、CO2以外は全部海外製です。日本で売っていないことも事実です。唯一可能性があるのはファイバーレーザーだと思います。いまさらほかのレーザーを追いかけても、たぶん欧米にはなかなか追いつかないのは事実ですので、ファイバーレーザーに特化してやっていくのはいいと思います。当然、欧米の先行しているメーカーは、どんどん開発、もしくは高出力化を含めてやっていますが、そのキャッチアップ、ターゲットはどのような感じでとらえているのか、お聞かせ願えませんか。

【尾形(実施者)】 私どものターゲットは、あくまでもパルス・ファイバーレーザーです。しかもCFRPについてはパルスの形状、あるいは波長、ピークの高さなどは何が最適かということがまだよくわかっておりません。そういったことに対する指針が与えられるような実験をこの中でやり遂げていきたいと思っています。

いま世界で行われているパルス・ファイバーレーザーの性能についていろいろ調べていますが、ここで目標にしているもので、すでに実現されているものはまだないと思っています。詳しいスペックはあとで各テーマのところで説明していただきますが、すでにどこかでできていて、それを後追いしている状況では決してないと思っています。

シリコンのアニールに関しては、1980年代からいろいろやられています。いま、渡部分科会長がやっておられたエキシマレーザーが中心ですが、グリーンレーザーの効果もいろいろ検証されてきていますので、シリコンのアニールに関してはどういうレーザーのスペックがいいかは、だいたい想定ができています。

3番目のテーマである粉末成形についても、レーザーで成形をすることは、まだそれほど一般的ではありません。これもどれぐらいの波長やパルス幅で、どれぐらいの繰り返しで照射すればいいか等、まだ最適の具体的な条件が明らかになっていません。そういったことをこのプロジェクトの中でやっていきたいと思っています。そういう実験ができるような性能を持つレーザーをこのプロジェクトの中で供給していきたいと思っています。あとのところで各実施者から詳細のスペックを示していただきたいと思います。

【緑川委員】 二つ質問があります。一つは、このプロジェクトの基本的な戦略は、たぶん我が国のレーザー技術と加工技術を発展させて国際競争力をつけることだと思いますが、特許の出願を見るとほとんど国内です。そのようなかたちでよろしいのか。それから二つ目は、中間目標はほぼ達成しているとおっしゃいましたが、詳細はたぶん午後の発表でなさるのだと思いますが、たとえば加工のクオリティなどでいまだどういう状況なのか、すばらしいものができつつあるとか、思ったよりも難しいとか、そのへんのクオリティに関して少しコメントをいただけますか。

【尾形(実施者)】 最初のご質問ですが、私もそのとおりでと思っています。今後、この事業の状況を踏まえて、今後海外にも出願をすることを願ひもし、取り組んでいきたいと思っています。いまの状況がベストだとは思っておりませんので、大いに改善する余地はあると思っています。

次の質問の加工の例ですが、たとえばCFRPに関して申し上げますと、最近CFRPの加工をやったという報告、論文等が少しずつ出始めていますが、これまでCFRPという言葉で片づけられていて、CFRPの中身、構成しているファイバーの材料の由来、あるいはそれを包んでいる樹脂の種類が非常にたくさんありますので、そういったことがあまり述べられずに、材料のこともあまり触れられずにいろいろ報告されていることが多い。このプロジェクトではCFRPの素材ごとにいくつか代表例を各社から供給していただいて、その由来がはっきりしている材料で、それに対してきっちりした加工の条件も決めて、いろいろなデータを出してきている。そういった部分をきちっとしています。

また粉末成形については、先ほどご紹介したようにすでにアスペクト社が、小型の装置ですが、東京ビッグサイトの展示会に出して、実際にその場で粉末成形の製作までできるようになっていますので、かなり特徴的なレーザーではないかと思っています。

【山口委員】 大変すばらしい開発がいろいろ進んでいるようで何よりですが、尾形PLの発表のところで、私が最初にご質問しようと思っていたのですが、切断接合技術の開発というテーマで、先に事業主体がないと言われてしまったので質問しようがないのかもしれない。

パルスのファイバーレーザーというと、切断接合が一番大きいところではないかと思いますが、事業主体がこの中になくていいのかどうか、私は大変疑問に思っています。いただいた資料のこのところの中を見ても、最初に戸倉分科会長代理からご質問があったどれとどれが関係しているかというところ、パルス・ファイバーレーザーに関係した事業主体のものがまったくないことは、このままでいいのか私は大変疑問です。目指すところに対して大学と研究機関ぐらいがやっていて、事業主体がまったくないというのは大丈夫なのか不安に思います。

また戸倉分科会長代理が言われたように、たとえば励起用のLD（半導体レーザー：Laser Diode）とパルスのファイバーレーザーはどう関係しているかというところが、あまりよくわかりません。ある一面で言うと、プロジェクトのフレキシビリティを上げるという意味で、これは古河電工社からQCW（準連続発振：Quasi-Continuous Wave）のご提案があつて進められているようです。これはいい制度とも思えますし、しかし逆に言うと公募をかけたならこれができる方は大勢いらっしやって、入ってこられる方はもっと多くなって、プロジェクト全体が活性化することもあるのではないかと。こういうことはやらないで進めてしまつてよろしいのでしょうか。

またこれをサツと見せていただくと、午後の発表にもあることと思いますが、IPG フォトニクス社とあまり変わらないか、あるいは以下ぐらいではないかと思えるのですが、こういうフレキシビリティが多いものをサツとやると、QCW はもともとパルスのファイバーレーザーとは関係がないように見えますが、このままでよろしいのでしょうか。

【尾形（実施者）】 1点目のCFRPに関する加工装置の（パルス・ファイバーレーザーに関係した）事業者がないというご指摘ですが、これはまったくそのとおりです。私だけではなくて、たとえば経済産業省等でもいろいろ努力していただきましたが、結局手を挙げる方がいなかったというのが実情です。現在このユーザーのいろいろなご意見を聞くようなところには、カーメーカーなどがいくつか入っていただいています。CFRPについては次世代の材料という意識は非常に強く持っていますが、たとえば材料のコストがまだ高い等、なかなか積極的に手を挙げるところがないのが現状です。

したがってレーザーの加工機をやっているところも様子見というのが現状で、その様子見の原因の一つが、たとえば切断接合のための非常に性能がいい加工機がないために逡巡されている。材料が高いという要素もあります。そういったところをこのプロジェクトで打破できれば、いいデータを示していければ、手を挙げるところが出てくるのではないかと。このプロジェクトで最終目標にしているようなものを待っていたのでは5年先になりますので、できるだけ既存のレーザーでできるようなものを集めて、早くデータを出したいと取り組んでいます。そういう背景で取り組んでいます。

ファイバーレーザーの事業者がないというご指摘もありましたが、いまの私どもの組合に参加してやっつけている企業の中には、すべてのパーツを自ら全部準備して事業にするとところはないかもしれませんが、一部ファイバーレーザーの事業化を志向して参加していただいている企業もあります。

最後のご質問、QCW は、パルス・ファイバーとは関係ないのではないかとというのは、そのとおりであると思いますが、先ほど申し上げたようにCFRP、あるいは粉末成形の加工のデータを早く取得するうえで、かなり有望な光源ではないかと23年度から、特にNEDOの加速で取り入れていただいで取り組んでいるのが背景です。お答えになっていないかもしれませんが、以上のような背景もご理解いただければと思います。

【山口委員】 すみません、少し言い過ぎたところもあるかもしれませんが、CFRPなどの加工は、渡部分科会長もいらっしやって、また産総研の新納先生もこちらの中にいらっしやいますが、20年以上前にエキシマレーザーで加工しようというところがあつて、1kW ぐらいのエキシマレーザーがあればきれいにいくのではないかと話が出ていたようにも記憶しています。また素材は変わっているかとは思いますが紫外線の速い繰り返しのレーザーはいま残っているのを探するのが難しいかもしれませんが、コストの関係等でいま一度立ち消えになっているようなところもあります。

実はあまりデータベースが整理されていないかもしれませんが、20年以上前の航空機のメーカーのところはかなりデータを出された方がドイツにもいらっしやいますし、いま改めて出てきていますが、新たに研究者が参入したようなかたちで、25年ぐらい前のところをひっくり返すと、かなりいろいろなデータが出てくると思います。ぜひそんなところをもう一回ご参考に取り組んでいただきたいとい

う所感を持ちました。

【米田委員】 私も同じような印象をすごく持っています。これは事業主体としては、目標があって、最終目標があって、それについて要素分割をして、大学、研究所が光源をつくったというかたちです。ところがこれは NEDO の問題なのかもしれませんが、そういうところに数値目標を挙げろと言って、数値目標がクリアされていればいいというかたちになっている。ところが、それはアウトプットが完全に決まっている場合に、たとえば効率何%で、光をいくつかくださいといったものが出た段階では、その数値目標は正しいかもしれませんが、そのアウトプットもぼやけている。

いま山口委員が言われたように、ある種、いろいろなデータも比較しているわけではないところで、さらにその先走り加工等のところをやっているとと言われると、いまの状態からフィードバックがかかって、実は光源をこう変えてくれということもありえないと、これはプロジェクトとして成り立たない。先にやっているということは、そこからのフィードバックで光源がまったく変わらなくてはいけない。それがないのであれば、別に先走りをする必要はない。マネジメントという意味では、そういうところの視点がまったくないのは、非常に不思議だと思いました。

それと NEDO でたとえば中期目標として、こうやって数字を上げろと言われてこういうかたちになっているだろうと思いますが、われわれとしては中でどういう技術があって、この数字が上がったのか、上がらなかったのか、そちらのほうが大事で、そこを持っていないと、ただ単に力技で、ちょっと頑張ったらここになりましたというのでは、諸外国には勝てない。それが先ほど緑川先生が言われたように特許の問題にも絡んでくるのだらうし、数字が上がればいいというスタイルを、この中間の目標としてやるのはマネジメントとしては非常にまずいと感じました。

日本のメーカーは、あまりやっていないというところは、われわれもすごく感じています。だからこそ NEDO のお金を入れてエンカレッジしたというのは、僕はありだと思っているので、それならそういうかたちに行っていただければいいとその部分は思います。

先ほどのものとちょっと似ているのですが、要素光源はこういうふうにしてくださいと言って数字を与えているだけではなくて、開発項目を与えています。たとえばファイバーレーザーでいまお話が出た CFRP だと、高出力化とブースターの光源の開発、波長変換のかたちになっています。ところがそれ自身が合っていたのか間違っていたのか、数値目標自身が合っていたのか間違っていたのか、この2年間で変わったのか変わらなかったのか。それをジャッジするところがどこにもないような気がします。

ほかの委員の方も言われましたが、世界の情勢はずっと動いていて、もしかしたら5年間たったら、これはどこにでもあるようなものができてしまう可能性もあるわけです。これだけのお金を投資して、技術としてここは光るものが出てきたからいいでしょうという言い方は、たぶんできるので、そこを持っていないといけないというだけではなくて、開発目標自身が、実はこの手法ではだめだったということ、特に中間目標のところをチェックしないと、このあと違うところに行ってしまうこともありうる。それがどこでやられているのか、それを曲げる力はどこかにあるのか、どこかで示していたかないといけないと思いました。

【尾形（実施者）】 最初におっしゃった CFRP に関して、いろいろなレーザーを持ってきてデータを取得していることと、この最終目標との関係がはっきりしないというご趣旨のご質問だったと思います。

先ほども申し上げたように2点、その背景にあって、一つは CFRP の加工についてレーザーのベストな条件がまだそれほどよくわかっていないことです。ではなぜこういう最終目標をつくったのだというところにつながるかもしれませんが、それは置いておくとして、それが背景の一つです。もう一つは、ハイパワーを目指したレーザーの開発が、少し時間がかかるということで、この5年間のプロジェクトの中で CFRP の加工に関する有効なデータを出すには、早くから既存のレーザーでもいいか

らとにかく持ってきて、いろいろなデータを出したいという二つの背景があって、こういったことをいろいろやっています。

最後のこの目標が陳腐化していることにならないかということとも関連ですが、これはプロジェクトの中でも、いま抱えているナノセクのパルスで、それがベストかということについて議論をしており、たぶんこの午後の詳細のお話のところでもご質問が出てくると想定しており、ぜひ議論もしていただきたいのですが、そういった修正をできればこの評価委員会の場でもいろいろなご意見を伺って、よりベストな目標を設定し直すこともやっていきたいと思っています。

2点目は、私の話の中では全然そういった技術的なこととお話ししませんでしたのでご質問だったと思いますが、どのような新しい技術がこの中にあるのかということについては、午後の実施者の発表を聞いていただいて、その点をぜひご指摘いただきたいと思います。以上です。

**【新納(実施者)】** ただいまプロジェクトの目標設定、ないしプロジェクトの立ち上がりの時期のことに関してご質問がありましたので、その背景についてかかわった者の一人としてご説明させていただきます。

本プロジェクトは、現在3年目の中盤ですが、開始前1年の段階で、フィージビリティスタディ、FSを実施して、このCFRPの加工に関しては2点検討しました。このプロジェクト自身がCFRPに関して申しますと、いわゆる普通乗用車の製造工程にこのCFRPを使うために資する加工技術を導入するには、どのような加工技術が有望であるかを調べるためにFSを行い、競合技術としてどのようなベンチマークがあるのか、既存のレーザー技術としてどのような実力があるのか、その2点をプロジェクト開始前1年のときに調べました。

競合技術としては、機械加工、およびウォータージェット加工をターゲットにしてこの2点に関しては、現在航空機製造において使われている技術です。レーザー技術に関しては、当時市販されているレーザーの代表選手三つを選択しました。一つは、kW級のCWハイパワーレーザー(連続波発振: Continuous Wave)、フェムト秒レーザー、再生増幅器型の1kHz・1W級、それから短波長の355nmの3のDPSSレーザー(半導体励起固体レーザー: Diode-Pumped Solid-State Lasers)、4.5W・30kHzの三つのレーザーを使いました。

まず競合技術に関して、品位の点では非常にすばらしかったのですが、いわゆる自動車製造を考えると、タクトタイムを加工することとして、毎分数m、このプロジェクトでは6mに設定していますが、そのような加工速度を考えた場合に、機械加工の場合は毎分10cm程度、ウォータージェットにおいては毎分1m程度がもう限界値であることがわかっており、この技術では自動車製造は無理であるという判断をその時点で行いました。

その三つのレーザーに関してkW級のファイバーレーザーは加工速度に対しては見通しがありましたが、午後また具体的なデータをご紹介しますが、残念ながら熱損傷等々が加工面に起きて、品位の点で著しく問題があることが判明しました。フェムト秒レーザー、355nmのレーザーに関しては、加工品位は良かったのですが、残念ながらパワー不足の点で速度が数cmのオーダーでした。それらの検討に基づいて、この自動車製造を目指したCFRP適用を図るためには、kW級のレーザーを導入することがパワー的に必須であると同時に、既存のCWを使っていたのでは品位の面でも追いつかないということで、パルス状のkW級のレーザーを開発しようという流れがあります。

**【戸倉分科会長代理】** 尾形PLのスライド15のご説明の中で、われわれがいただいているのに右側に少し付け加えられた資料があったように思います。スライドに出てきたものとわれわれがいただいているもので少し絵が違う。リストが出ていましたが、それが見えなかったのも、これは配ってはいけないものなのか、いただけるのであれば見たいというところです。

**【尾形(実施者)】** 詳細のほうに入っています。

【戸倉分科会長代理】 わかりました。こちらの黒いところですね。

【渡部分科会長】 最後に私も質問させていただきます。たぶん実施者側もわれわれ評価委員も共通して持っている考え方は、この分野は遅れてしまったという認識だと思います。したがって NEDO でアクティベートしなければいけない。ここまでは共通だと思います。ところが、いま世界的にはドイツを中心として非常に強力である。そうするとこのプロジェクトは、総花的にやらずに特徴はこうだということを出していくことを考えないとアピールしないのではないかと。先ほど意見もありましたように、このプロジェクトのあと、どこの会社がパルス・ファイバーレーザーをつくってくれるのだというところが残念ながら抜けているわけです。そのことが一つです。

それから CFRP であれ、何であれ、新しい加工をいかにつくっていくか、その特徴を出すかということを考えていただきたいというのが私の意見ですが、何かコメントがありましたら。

【尾形（実施者）】 いまのご質問は、ファイバーレーザーをだれが供給するかというご質問でよろしいでしょうか。

間違いがあれば訂正していただきたいのですが、いまのところは、たとえば参加していただいている古河電工社、その一部については浜松ホトニクス社、あるいはレーザーの装置をやっている片岡製作所社などは、このプロジェクトで得られた成果を活用して、何らかのかたちで事業にしたい、あるいは新日本工機社もそういったことを考えて参加されておられると私も期待しています。

【大平（推進部）】 NEDO から一言申し上げます。研究開発目標や研究開発実施体制のご指摘をいただきました。私どもは本プロジェクトを当初からこの体制、もしくはこの目標ですべて決まり、5 年間これ以上まったく手を着けないということは一切ありません。この中間評価等の結果、もしくは最近データが出てきましたので、そこにあるユーザーのご意見を詰めて、たとえば後半に移るに当たり目標を改定する、もしくはいいデータを出して、これだったら参加してみようかという企業さんの声があれば、追加的なプレーヤーを増やしていくことも柔軟に対応していきたいと思っています。

まだ具体的にどういった人を入れようかということころまでは至っていませんが、だれが実現化していくのかということについては、常に意識をしながら考えていきたいと思っています。

【渡部分科会長】 それでは時間も来ましたので、詳細の質問はまたできると思います。それではこれで午前中の予定を終わり、お昼の休憩を取りたいと思います。再開は 12 時 50 分です。

(非公開セッション)

## 5. プロジェクトの詳細説明

省略

## 6. 全体を通しての質疑

省略

(公開セッション)

## 7. まとめ・講評

【米田委員】 途中でも出ていましたが、プロジェクトというかたちで三つが平行にただ走っているという印象が強くありました。個々のところで見つけたもので一番大事なものが現在していると思うので、そういうものが明らかになるようなことをやっていただいたほうが、こちら側にいる評価委員はキャッチアップしやすいと思います。

これは最初にも言いましたが、NEDOのプロジェクトでは、たぶん数値目標を挙げろと言われていて、それについて、それができましたというかたちでは、それが本当にアドバンテージを取ったのかどうかはわれわれにはすごくわかりにくい。いただいた資料を読んでも、どこがそれにあたるのか、キラッと光るものなのかということのほうが大事だと思いますので、これはやっている人ではなくて、NEDOに向かっただけのコメントですが、そういったところが技術的には非常に大事だということがあります。

それからプロジェクト全体の印象を言いますと、何か手法ありきで決まっているところがあって、それはこういうプロジェクトの場合、短い時間で成果を挙げろと言われていて、仕方がないところが半分はあると思いますが、どこかにフレキシビリティをもって、やり方を含めて、途中でだめだったらだめとか、新しいものを常に見つけていくという手法にしないと、「これだけの予算を使って、出てきたものがこれだけですか」と言われる可能性が高くなってしまいます。それは非常にまずいので、キラッと光るものが散りばめられたものにしていただきたいと思いました。

【山口委員】 次世代素材等レーザー加工技術開発プロジェクトという名前がついていて、基本計画の開発項目の中で、レーザー高出力化技術、高品位化技術、多波長複合技術ということで、米田委員もご指摘になったように、これが本来のキーワードだと思います。しかし今日聞かせていただくと、多波長ではなくて、QCWのほうが大事だということが出てきました。これは多波長には関係がない。いまのラピッドプロトタイプングも多波長はあまり関係なくて、単一波長になっています。これは高品位化なのか、多波長なのか、それともレーザー高出力化なのか、どこが利用されているのかということが大変わかりにくくなっているように思いました。

もう一つは多波長ということで、先ほど私はNEDOの中にもレーザーがいろいろあるじゃないですかと申し上げました。これは大変難しいのかもしれませんが、新納先生がやられているようなCFRPで行きますと、EUVA(技術研究組合極端紫外線露光システム技術開発機構)の持っている炭酸ガスレーザーのパルスの技術というのは素晴らしくて、元をただせば、ジェネレーターとして100kWぐらい出るような要素技術がもうすでに日本の中にあって、いまは落として10~20kW/パルスで使われている部分があります。

できるか、できないかわかりませんが、こういうものが素材の加工に使われて、ナノ秒単位で炭酸ガスレーザーが20kW出るというのは、ほかの国にはありませんから、ファイバーと比較するのも大変有用だと思います。一度どこかでご検討されたらいいと思います。

あともう一つこのプロジェクト全般で言いますと、私も最近はレーザーを離れて、先生を自分の機構(東海大学創造科学技術開発機構)の中へ取ってきて育成し、その後学科に配するというをやっている、学科からは希望する先生が配属されないと大反対を受けます。それで育てたレーザーがどこへ使われるというのが最後のところにあつたように思いますが、高出力パルスのパルスレーザーを引き取っていただく会社と分野を決めておかないと、つくったものがどうなのかというところがあります。

たぶん目標値があつて育成されているのですが、引き取っていただくところを決めないと、エキシマレーザー、炭酸ガスレーザーはそれなりに残ったと思いますが、ファイバーレーザーとして残

っていくところがどこなのかというところが若干見えない部分があります。

加工機のメーカーは、すでに板金もファイバーレーザーを使うところも出てきていますので、ただ単に使っているところというわけではなくて、加工機のメーカーの大きなところ、アマダ社やヤマザキマザック社は製品を出されていますから、ぜひ一度ヒアリングをされてはいかがでしょうかというのが私のコメントです。

**【緑川委員】** 全体をお聞きして、このプロジェクトが約3年前に始まりまして、今日は中間評価なので、皆さんが掲げた中間目標に達しているかどうかというご発表が多かったのですが、数値目標としては達しているのではないかと思います。

ただ3年前に始まったときから、液晶のパネルが日本の産業界でだんだん地位を失っていくように、産業もどんどん変わっています。今後2年間どうい変化があるかわかりませんが、そのへんはPLの尾形さんにはよく見ていただく。これは最初の採択のときもコメントしたのですが、最初の目標に固執することなく、とらわれることなく、フレキシブルにやっていただきたい。

それからファイバーレーザーに関しては、日本が遅れていたもので、これが始まったという経緯がありますので、どうしてもキャッチアップ的なことにならざるを得ないと思いますが、ここまで来たので、あと2年間で、どのグループでもかまいませんから、とにかく何か一つこのプロジェクトでまったく新しい成果を出していただいて、ぜひ次につなげる。そして次は、独自の技術でプロジェクトを立てるようなことを期待したいと思います。

**【斎藤委員】** 私どもは中小企業で、国と県の補助金を貰っていろいろなテーマに取り組んでおりますが、その観点から見て、本当に今回の三つのテーマがそれに値するのかなというのが率直な感想です。たしかに規模はそれぞれ大きいのかもかもしれませんが、ピンと来ないような印象が残りました。

なぜかという、私どもがテーマに掲げるのは、それが企業の事業、特に売上げや業績に影響するからです。これをこうやらないと事業が継続しないというものの中にはあって、補助金をいただいて、その事業を何とかお金に換えないと、開発が次に続かないという切迫感があるのです。

今回この三つのテーマをお聞きしていると、最初の切断接合は企業がついていませんから、研究のための研究のレベルは脱していませんし、アニールについては、いま頃こんなことをやっているのか、ここでこんなテーマをやらなければいけないのかという感じを持ちました。最後のテーマについては、先行している欧米のメーカーを後追いしてキャッチアップするというものです。

空白の10年があったレーザー技術の開発を埋めようということで始まったとお聞きしていますが、本当に日本でレーザーの空白の10年を埋めるのに、これだけの金を使う必要があるのかと率直に思います。ただ何かをスタートさせなければいけないということでスタートしていると思うので、そうであれば一つでも何か具体的な結果を残す。いまは総花的になっていると思いますから、あと2年、具体的にターゲットを絞って、結果を出していただきたいと思います。

**【沖野委員】** 本当にここ数年、経済環境の変化が非常に激しくて、やっている方たちも大変だと思いますが、5年かけて莫大な開発投資をされているわけですから、国民の立場から見れば、それでどういう結果が出るかというところは非常に注目されていると思います。

今日いろいろ話を聞きまして、これだけの売上げにつながるという具体的な数値を出された方もいらしたのですが、いまここに出ている数字は、まだまだ非常に少ないのではないかと思います。

ただ、ここでいろいろ開発されていることを次につなげるということが非常に大切だと思います。いまアニリングでSHG (Second Harmonic Generation : 入力レーザーに対し、非線形の結晶を通すことにより、その2倍の周波数のレーザーを得ること) の高出力がやられています、いろいろなアプリケーションがあると思いますし、さらにTHG (Third Harmonic Generation : 第3次高調波発生) などにも利用すれば、さらにアプリケーションを広げることができます。このプロジェクト

の中でやるかどうかは別にして、日本の産業が発達できるような技術があると思います。そういうところでも結果を出していただきたいと思いました。

**【戸倉分科会長代理】** 朝ご挨拶させていただきましたが、皆さん、日々大変ご苦労されているなどというのをいろいろ聞かせていただきまして、よく理解いたしました。

緑川委員のお話にもありましたように、最初の目標を設定されましたが、これはある面では動的、生き物ですから、相手も動くし、世の中も動きますから、設定を適宜読み換えるということも必要だろうと思っています。いままでいろいろな発明がされてきましたが、最初の目標のところには到達したというよりも、まったく違うゴールに行き、素晴らしいことをやったという例もたくさんあるわけですから、そういう点で単に目標を達成したというだけでなく、違うところに光を見出さずにはいられないように、攻めていただければ、大変ありがたいと思っております。本日はどうもありがとうございました。

**【渡部分科会長】** レーザー関係の国家プロジェクトは、炭酸ガスから始まって、エキシマレーザー、固体レーザー、今回はファイバーということで、思えば、最初のプロジェクトは私が電総研に入ってからです。私は加わりませんでした。次のエキシマレーザーは私自身がやっております、大学に移っておりましたので、最終評価をやらせていただきました。それからフォトンテクノロジーというのは、私も末端に加わっております。今回のプロジェクトは4番目ですが、この間にプロジェクトの性格が変わってきたと考えています。

少なくとも前回までのテクノロジーは、とにかくみんなが集まって、目標は一点豪華主義で、特に製品とは結びつかないような感じでしたが、組合として知見を共有する中で、どこかが実用化すればいいというプロジェクトでした。今回に関して言えば、世の中がすっかり変わって、いかに実用化がなされて雇用を生み出すかということが一番重要ではないかと思えます。要するにわれわれの評価などはどうでもいいのです。これから何か新しいものが生まれて、産業が生まれて、雇用が生まれれば、われわれの評価などはどうでもいい。ただそれは最も厳しい評価だと思います。

そういうわけで、前は目標を掲げて、ほとんど100%実現しましたという感じだったのですが、それではあまり意味がない。先ほど来いろいろ意見が出ているように、フレキシブルに考えてもらいたい。最初に100Wと言っていて、100Wに到達したので、これで100%ですというのはほとんど意味がない。フレキシブルに考えて、どうか重点的にアピールできるような成果を挙げてもらいたいと思います。

推進部長あるいはプロジェクトリーダーから何か一言あれば、お願いします。

**【尾形(実施者)】** 今日は長時間にわたりまして、熱心にわれわれのプロジェクトについてコメント、ご示唆をいろいろいただきまして、どうもありがとうございました。

皆様のご意見を分科会長にまとめていただきましたが、最初の目標は目標として、しかしそれなりに世の中も動いているわけだから、もう少しフレキシブルに考えてはどうかということ、それから結果を出して、次につなげる開発をぜひ志向してほしいといったところが皆様のご示唆だったと思っております。

最後に、冒頭にも申し上げましたが、CFRPについてはそれを加工機として実際に世の中に出していきたいという企業がこのプロジェクトには参加しておりません。CFRPが特に自動車用にはいかに使われていくかの目途が立たないということで、いろいろな機械メーカー等に話をさせていただいていますが、まだいろいろ返事をいただいていないというのが現状です。

しかしCFRPの材料自身は日本が世界のマーケットのほとんどを牛耳っている分野ですので、それに対する新しい加工法に関する指針を出せるようなことを行って、材料メーカーあるいは機械メーカーにぜひ振り向いていただきたいという思いを持って進めております。十分な設備ではないのですが、

先ほどの新納さんの話にありましたように、これから産総研に機械を設置して、いろいろな加工実験をしていただけるような準備がある程度整いましたので、そういったことを含めて、ユーザー及び機械メーカー等に参画していただけるよう真剣に取り組んでいきたいと思っております。

そういった趣旨でわれわれが取り組んでいるということを、周りの皆さんに吹聴していただき、ぜひプロジェクトを周知していただきたいと思っております。どうもありがとうございました。

**【大平（推進者）】** 本日は長時間にわたり、ご指摘等いただきまして、大変ありがとうございました。本日いただきましたご意見、もしくは最終的にいただく報告書については、私どもがきっちりプロジェクトに反映していくというのが責務です。特に冒頭に説明いたしましたが、なかなか説明がわかりづらい。キラリと光るもの、PR していくものが十分に理解できていないのではないかと。これはNEDOの責任です。

このプロジェクトを運営するにあたって、やはり成果を単に数値だけではなく、わかりやすくメッセージとして広く打ち出していくといったことに重点を置きながら、今後取り組んでいきたいと思っています。またご指摘にあった他のプロジェクトとの連携、NEDO にいろいろな成果があります。EUV（極端紫外：Extreme Ultra-Violet）の話については、別の部署がやっているわけですが、こういったところとの情報交換にも重点を置きながら取り組んでいきたいと思っています。

最近、評価においては特に数値が言われている中で、数値ではなくて、目に見えるもの、社会の雇用を創出していくもの、それはある意味厳しい評価になるかもしれませんが、私どもも非常に勇気をいただいたところです。

こういったことを念頭に置きながら、今後のプロジェクト運営においては、限られた資源をより必要なところ、重点的なところに投入し、一体となって進めていきたいと思っております。本日はどうもありがとうございました。

**【渡部分科会長】** それではこれで終わらせていただきます。長時間にわたり、ご説明、ご審議を賜り、まことにありがとうございました。特に実施者側は準備が大変だったと思いますが、本当にありがとうございました。

8. 今後の予定

9. 閉会

## 配布資料

- 資料 1-1 研究評価委員会分科会の設置について
- 資料 1-2 NEDO 技術委員・技術委員会等規程
- 資料 2-1 研究評価委員会分科会の公開について (案)
- 資料 2-2 研究評価委員会関係の公開について
- 資料 2-3 研究評価委員会分科会における秘密情報の守秘について
- 資料 2-4 研究評価委員会分科会における非公開資料の取り扱いについて
- 資料 3-1 NEDO における研究評価について
- 資料 3-2 技術評価実施規程
- 資料 3-3 評価項目・評価基準
- 資料 3-4 評点法の実施について (案)
- 資料 3-5 評価コメント及び評点票 (案)
- 資料 4 評価報告書の構成について (案)
- 資料 5-1 事業原簿 (公開)
- 資料 5-2 事業原簿 (非公開)
- 資料 6 プロジェクトの概要説明資料 (公開)
  - 4.1 事業の位置付け・必要性及び研究開発マネジメント
  - 4.2 研究開発成果及び実用化等の見通し
- 資料 7-1-1 プロジェクトの詳細説明資料 (非公開)
  - 5.1 切断接合技術の開発
    - 5.1.1 高出力半導体レーザー開発 (事業化)
- 資料 7-1-2 プロジェクトの詳細説明資料 (非公開)
  - 5.1 切断接合技術の開発
    - 5.1.2 増幅技術開発と波長変換技術開発
- 資料 7-1-3 プロジェクトの詳細説明資料 (非公開)
  - 5.1 切断接合技術の開発
    - 5.1.3 QCW ファイバーレーザー開発 (事業化)
- 資料 7-1-4 プロジェクトの詳細説明資料 (非公開)
  - 5.1 切断接合技術の開発
    - 5.1.4 多波長複合照射加工技術開発
- 資料 7-1-5 プロジェクトの詳細説明資料 (非公開)
  - 5.1 切断接合技術の開発
    - 5.1.5 普及促進の取り組み
- 資料 7-2-1 プロジェクトの詳細説明資料 (非公開)
  - 5.2 表面処理技術の開発
    - 5.2.1 アニール用レーザー開発
- 資料 7-2-2 プロジェクトの詳細説明資料 (非公開)
  - 5.2 表面処理技術の開発

5.2.2 アニール用システムの開発（事業化）

資料 7-2-3 プロジェクトの詳細説明資料（非公開）

5.2 表面処理技術の開発

5.2.3 普及促進の取り組み

資料 7-3-1 プロジェクトの詳細説明資料（非公開）

5.3 粉末成形技術の開発

5.3.1 粉末成形用レーザー開発

資料 7-3-2 プロジェクトの詳細説明資料（非公開）

5.3 粉末成形技術の開発

5.3.2 粉末成形システム開発

資料 7-3-3 プロジェクトの詳細説明資料（非公開）

5.3 粉末成形技術の開発

5.3.3 普及促進の取り組み

資料 8 今後の予定

以上

## 参考資料 3

評価結果の反映について

「次世代素材等レーザー加工技術開発プロジェクト」（中間評価）の評価結果の反映について

| 評価のポイント  | 反映（対処方針）のポイント   |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>・ファイバーレーザーを中心とした光源開発とこれを用いた加工技術開発は、今後のレーザー産業発展の中で必要な技術であり、この技術開発によって新たな産業の創造も可能と考えられることから、NEDOの関与は妥当である。また、定めた目標値については、達成されている部分が多くあり個別要素技術開発について努力がなされている。</li> <li>・外国の先端企業等に対してどのように優位性を獲得していくのか技術開発戦略を明確にし、研究開発の目標を定めなおすべきである。</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・パルスレーザー出力（1.5kW）は 6m/分を達成するために必要な出力。但し、パルス幅、波長などの条件については、固定した目標を設定せず、CFRP 材料に応じて適切なものを見いだす。<br/>基本計画、平成 25 年度からの実施方針へ反映</li> <li>・加工試験を前倒しにて実施するとともに、必要となる資源（資金・人材）を重点化<br/>基本計画、平成 25 年度からの実施方針へ反映</li> <li>・表面加工については、世界最高水準の固体レーザーを開発したところ、ディスプレイメーカーによる評価を実施し、早期実用化を図ることにより優位性を確保<br/>平成 25 年度からの実施方針へ反映</li> <li>・表面処理技術及び粉末成形技術に用いるレーザーについては、初期の目的性能を達成したため終了<br/>平成 25 年度からの実施方針へ反映</li> </ul> |

本研究評価委員会報告は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）評価部が委員会の事務局として編集しています。

平成24年11月

NEDO 評価部

部長 竹下 満

主幹 三上 強

担当 梶田 保之

\* 研究評価委員会に関する情報は NEDO のホームページに掲載しています。

(<http://www.nedo.go.jp/iinkai/kenkyuu/index.html>)

〒212-8554 神奈川県川崎市幸区大宮町1310番地

ミュージア川崎セントラルタワー20F

TEL 044-520-5161 FAX 044-520-5162