

フォトニック結晶レーザー(PCSEL)によるスマート製造 ゲームチェンジとPCSEL拠点からの社会実装拡大

研究開発とSociety 5.0との橋渡しプログラム (BRIDGE)

研究開発等計画書
(令和5年度様式)

令和6年4月
文部科学省

○実施する重点課題に○を記載（複数選択可）

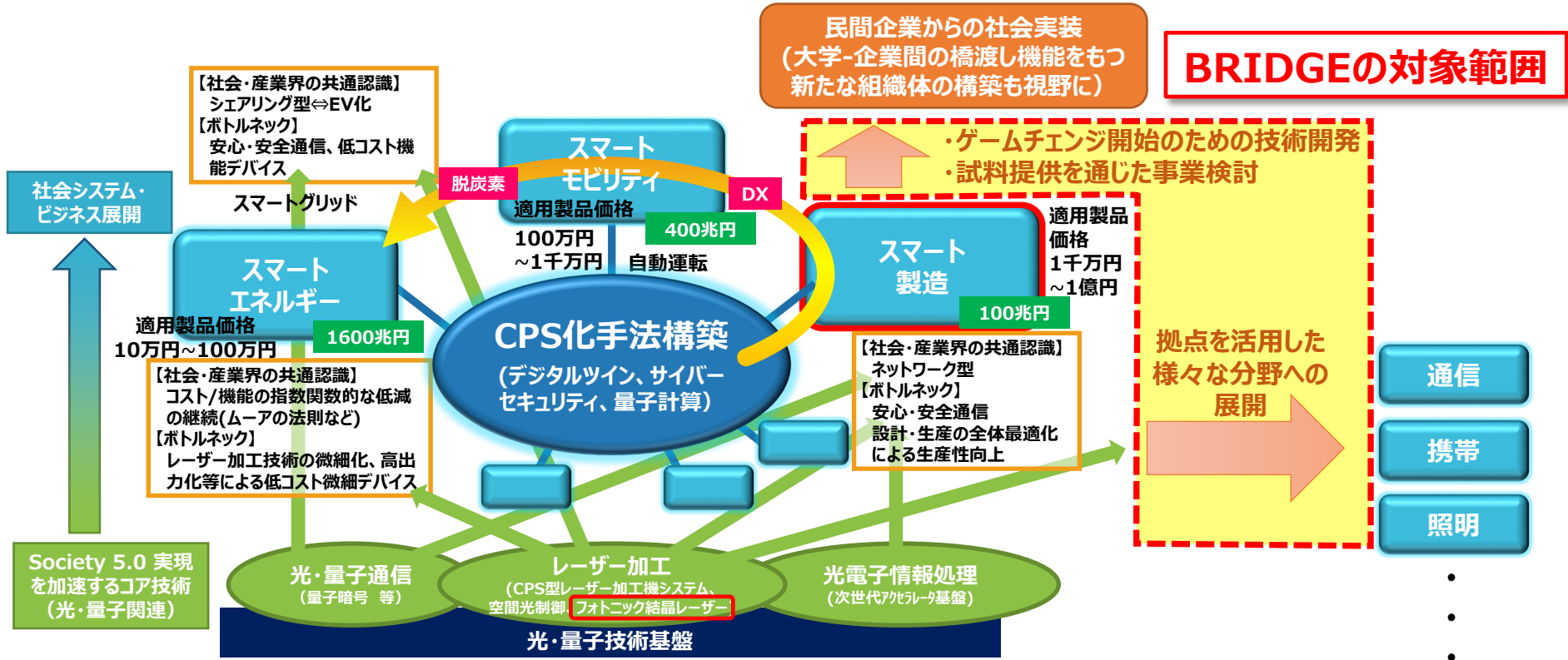
業務プロセス転換・政策転換に向けた取組	次期SIP/FSより抽出された取組	SIP成果の社会実装に向けた取組	スタートアップの事業創出に向けた取組	若手人材の育成に向けた取組	研究者や研究活動が不足解消の取組	国際標準戦略の促進に向けた取組
		○	○			—

○関連するSIP課題に○を記載（主となるもの）

持続可能なフードチェーン	ヘルスケア	包括的コミュニティ	学び方・働き方	海洋安全保障	スマートエネルギー	サーキュラーエコノミー	防災ネットワーク	インフラマネジメント	モビリティプラットフォーム	人協調型ロボティクス	バーチャルエコノミー	先進的量子技術基盤	マテリアルの事業化・育成エコ
												○	

資料1「フットニック結晶レーザー(PCSEL)によるスマート製造ゲームチェンジとPCSEL拠点からの社会実装拡大」の全体像(位置づけ)

フットニック結晶レーザー(PCSEL)は、**統合イノベーション戦略の中で「デジタル社会を支える戦略的基盤技術」として位置づけられる半導体**を用いた**超小型の光デバイス**である。SIP第2期では、**Society 5.0の実現**に向け、本レーザーがサイバー空間とフィジカル空間を融合したシステム (CPS) を**極めて安価かつ高性能に構築可能なキーデバイス**となることを実証した。さらに、様々な分野での社会実装を進めるための拠点を構築した。BRIDGEでは、本成果を活用して、①**スマート製造のゲームチェンジ** (=大型レーザーの一新) の開始に繋がる技術開発と事業検討、②拠点を活用した**各種分野 (通信、携帯応用等) への展開**も行う。



SIP第2期『光・量子を活用したSociety 5.0実現化技術』課題の概念

SIP/PDの提案・意見

資料2「フットニック結晶レーザー(PCSEL)によるスマート製造ゲームチェンジとPCSEL拠点からの社会実装拡大」の概要

【背景・現状・課題】

Society 5.0の中心をなす、スマート製造 (=デジタル化による自動的かつ効率的なものづくり) や、スマートモビリティ (=ロボットや車の自動運転等) では、**既存の質の悪い**半導体レーザーや、CO₂レーザー、ファイバーレーザー等の**大型・低効率・高コストなレーザーがボトルネック**となっている (図1上段)。

SIP第2期「光・量子を活用したSociety 5.0実現化技術」では、我が国発の半導体レーザー「**フットニック結晶レーザー (PCSEL)**」の高出力・高ビーム品質・狭ビーム拡がり動作 (=高輝度動作) や高機能動作を実現し、**システムの小型化・低コスト化**の可能性をLiDAR適用にて実証することに成功し、既存レーザーの**ボトルネック解消**の可能性を示した。また、PCSEL普及の核となる**社会実装拠点 (PCSEL拠点)** および**企業群の連携エコシステム** (図2) の構築をも行った。さらに、PCSELの精密設計と面積拡大 (3mmΦ) により、**CW動作において50W、M²~2**を実現し、**大型レーザーに匹敵する輝度 (1GWcm⁻²sr⁻¹ = 加工に必要な輝度)** にまで高めることに成功した。これにより、まさに**スマート製造のゲームチェンジ (=大型レーザーの一新)** の前段階に達した。

このようなPCSEL技術の著しい発展により、PCSELへのニーズは、国内外で劇的に増大し、100以上の企業・機関からの引き合いを得るに至っている。今後、世界中のニーズに応えつつ、我が国が世界をリードし続けるためには、**拠点を核としたPCSELの早期社会実装を加速する体制強化**が不可欠である。

【施策内容】

本施策では、特に、**スマート製造におけるゲームチェンジ**の開始を後押しするべく、SIP第2期を通じて構築された高輝度PCSELの**アレイ化や、単一素子での面積の拡大 (~1cm)** 等により、**輝度 ~1GWcm⁻²sr⁻¹を維持した状態でのレーザー加工産業への適用が可能なレベルまでの高出力化や、銅や難加工材の加工に適した短波長・高輝度化の研究開発**を加速させ、その社会実装へと繋ぐ。さらに、スマート製造分野に向けた開発を通じて拠点を充実させることで、拠点に関わる企業からの各種分野 (携帯応用、通信応用等) での社会実装加速にも繋げる。

【研究開発等の目標】

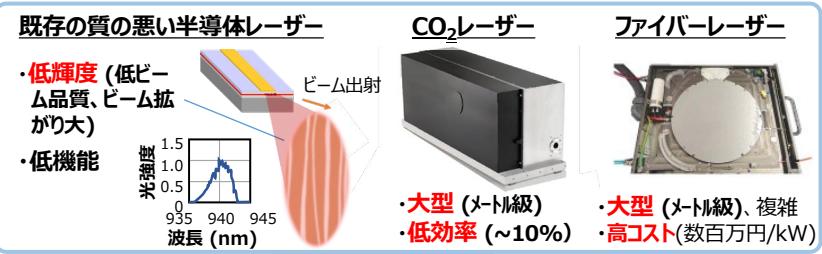
スマート製造における**ゲームチェンジ (=大型レーザーの一新)** 開始のため、加工分野で大型レーザーにて実現されている、**赤外域で数100ワット超級の出力をもつPCSELの実現**、および**銅等の加工に適した青色波長域で数W級の高出力PCSELの実現**を目指すとともに、拠点を核とするエコシステムに関わる企業からの幅広い社会実装・イノベーションに向けたPCSEL技術のさらなる深化を図る。

【社会実装の目標】

BRIDGE終了後2~3年後に、①**関連企業 (BRIDGE参画企業や、関連分野の中小企業やスタートアップ等)** からの、高出力PCSELやそれらを組み込んだ加工システムの**製品化・活用**や、**大学と企業**の間の橋渡し機能をもつ**新たな組織体からの先端PCSELの提供**等を通じて、世界中の様々な製品での活用開始によるスマート製造におけるゲームチェンジ開始。②拠点に関わる各種企業からの**社会実装の拡大**による様々な製品 (携帯、通信応用等) での活用。

【対象施策の出口戦略】

SIP第3期を始めとする他省庁の施策との連携や、**社会実装を加速する大学-企業間の橋渡し機能をもつ新たな組織体 (先端PCSELの先行的な提供機能をも有する)** の創出の支援、**NEDO等の事業での支援**を念頭に、社会実装拡大やグローバル展開を後押しする。



↓ ボトルネック解消 ↓

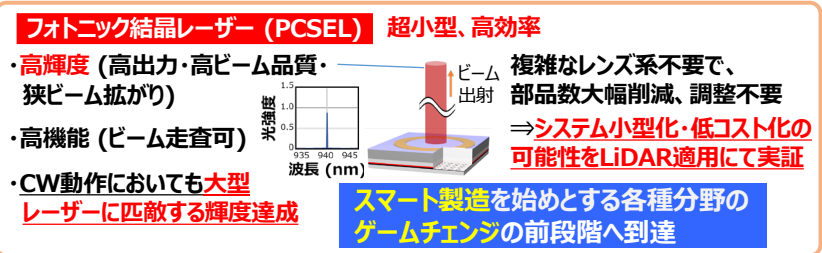


図1: (上段) スマート製造、スマートモビリティを実現する上での既存レーザーのボトルネック。(下段) フォトニック結晶レーザーによるボトルネック解消とスマート製造等におけるゲームチェンジ前段階への到達。

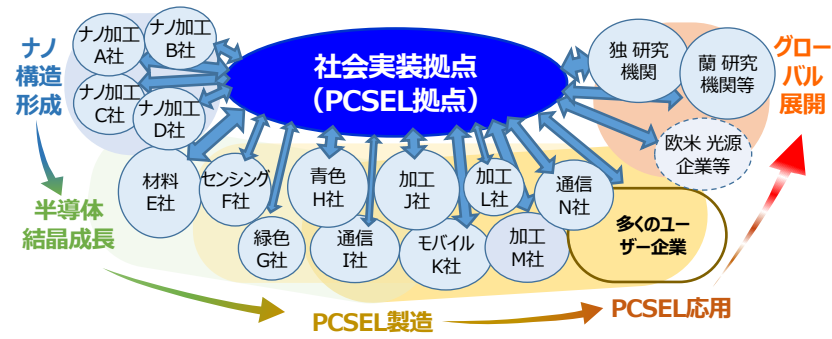


図2: 社会実装拠点 (PCSEL拠点) と企業群の連携エコシステムの構築。

○統合イノベーション戦略や各種戦略等との整合性

フットニック結晶レーザー（PCSEL）は半導体デバイス（チップ）であり、半導体は統合イノベーション戦略の中で「デジタル社会を支える戦略的基盤技術」として位置づけられている。また、戦略の中核となるSociety 5.0の実現に向け、SIP第2期でコンセプト実証した通り、サイバー空間とフィジカル空間を融合したスマート製造・スマートモビリティ等を普及させるキーデバイスと位置付けられる。従って、各種の戦略と本施策の整合性は極めて高い。

○重点課題要件との整合性

SIP第2期において、PCSELにより、既存光源のもつボトルネックの解消が可能なが実証され、PCSEL拠点およびエコシステムの構築により、社会実装体制が構築された。加えて、スマート製造のゲームチェンジ開始の前段階とも言える、**PCSELのCW高輝度化（加工に必要な輝度： $1\text{GWcm}^{-2}\text{sr}^{-1}$ ）が実現**された。本施策で、**レーザー加工産業への適用が可能なレベルまでの高出力化**が実現されると、**スマート製造分野に、まさにゲームチェンジ [=大型のCO₂レーザーやファイバーレーザー（キロワットあたり数百万円）を一新し、圧倒的に低コスト化すること] が開始可能な段階**にまで達することになり、その採算性も極めて高いと見込まれる。さらに、昨近の**DX化**への要求、**脱炭素**や**半導体**への投資の増大等、経済・社会情勢が劇的に変化している中で、**デジタル化に適した小型・高効率・高機能PCSEL**は、スマート製造のみならず、通信、携帯等の様々な分野にもゲームチェンジを起こすと期待され、**早期社会実装への要求が世界的に拡大**している。以上のように、重要課題要件との整合性は極めて高い。

○SIP型マネジメント体制の構築

本施策においては、省内PDのもと、進捗確認と連携を推進する運営委員会（仮）を設置し、ピアレビューおよび自己点検により、レビュー結果を推進方針に反映する体制とする。

○民間研究開発投資誘発効果、財政支出の効率化

本研究開発推進の**波及効果**は、**スマート製造のみならず、通信、携帯応用、照明、宇宙等へと大きく広がる**ことが期待されるため、市場への波及規模は**数兆円以上**と非常に大きく、極めて大きな民間研究開発投資誘発効果が期待される。

○民間からの貢献額（マッチングファンド）

[想定される民間からの貢献額]

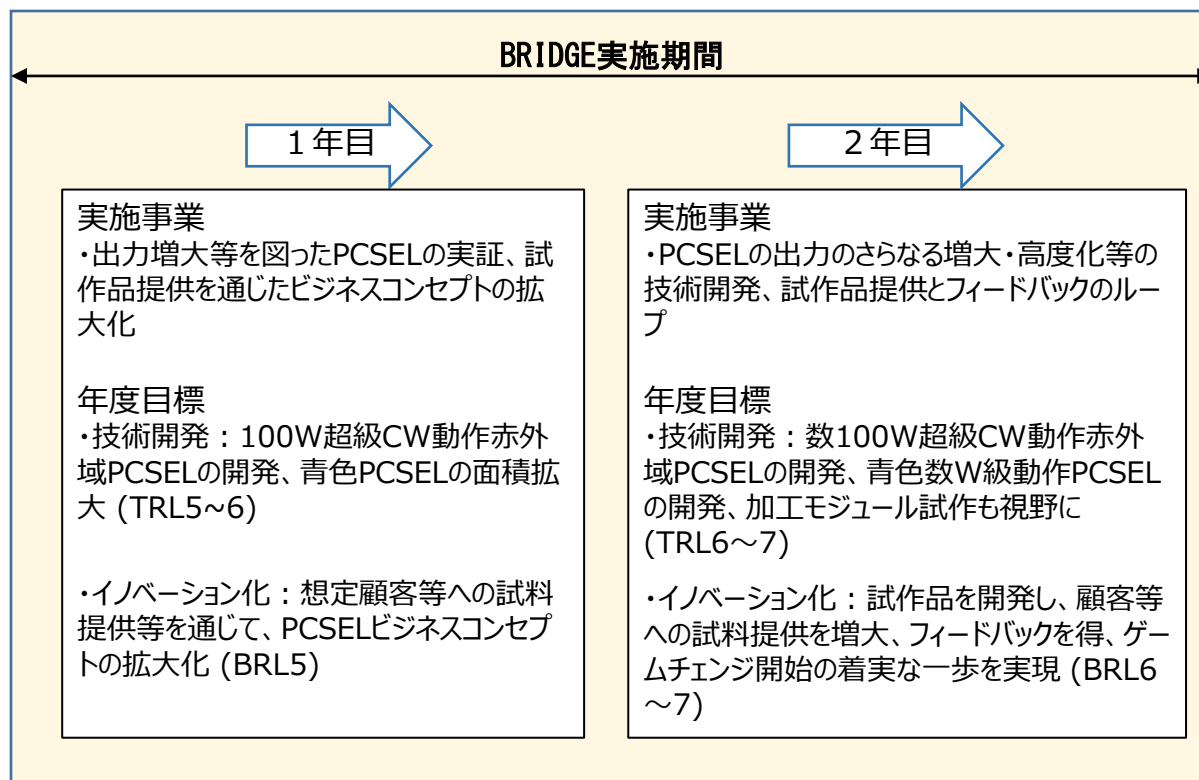
- ・参画企業からの貢献：一社あたり4,000万円/年以上（共同研究費、人件費等）
 - ・その他、拠点に関連するエコシステム構成企業からの貢献
- 以上による**マッチング率：30%以上**を想定

○想定するユーザー

本施策における研究開発成果は、スマート製造分野に革新・ゲームチェンジをもたらす第一歩となると期待されており、世界中から注目を集めている。想定ユーザーは、**レーザー加工や3Dプリンタに関わる業界を代表する企業群**や、**中小企業・町工場関連企業、モノづくりスタートアップ、大学-企業間の橋渡し機能をもつ新たな組織体等、多岐にわたる**。さらに、スマート製造分野のみならず、**様々な応用分野（図3）への波及効果**をもつため、**新興事業（例えば水中LiDAR応用等）を含めて想定されるユーザーは莫大**である。



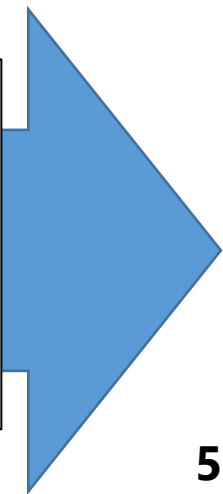
図3: PCSELの様々な分野への波及。



各省庁の施策

実施後の民間企業からの様々な社会実装を前提とした各省庁での実施事項

- ・ SIP第3期を始めとする他省庁の施策との連携
- ・ 大学-企業間の橋渡し機能をもつ新たな組織体の形成の支援や、NEDO等の支援事業を念頭とした社会実装拡大やグローバル展開の後押し
- ・ 将来的な赤外PCSELのさらなる輝度増大等、中・長期的な研究開発について、別のプロジェクトを形成



実施体制

各省PD：
寒川哲臣
SIP/PD

量子科学技術
研究開発機構
(QST)

右記実施体制

SIP第3期「先進的量子技術基盤の社会実装課題への応用促進」と連携する。SIP型のマネジメント体制とし、研究推進法人であるQSTが施策の円滑な推進や進捗管理を担当し、各省PDによるマネジメントが適切に行われるように整備する。SIP推進のために、得られた知見・成果の円滑な展開を行う。

◆ 対象施策実施体制

SIP第2期成果（PCSEL技術）を、早期の社会実装へと繋げるための開発の強化
京都大学（PCSEL拠点）

サブテーマ①「スマート製造分野におけるゲームチェンジ」に関わる企業

A社

実施事項
赤外域GaAs系高出力PCSELの開発（EV車ボディ加工等）

B社

実施事項
青色GaN系高出力PCSELの開発（銅等の金属の微細加工等）

サブテーマ②「拠点を介した各種企業からの社会実装・イノベーション」に関わる企業群

上記以外のスマート製造に関わる民間企業、光通信や携帯応用関連の民間企業、等

実施事項

京大PCSEL拠点との連携を深め、各分野におけるデータ・ノウハウの蓄積、社会実装への展開を強化

資料6 「フットニック結晶レーザー(PCSEL)によるスマート製造ゲームチェンジとPCSEL拠点からの社会実装拡大」の目標及び達成状況(1年目)

○施策全体の目標：
 本施策では、特に、スマート製造におけるゲームチェンジを目指し、赤外域PCSELのレーザー加工産業への適用が可能なレベルまでの高出力化や、青色PCSELの高輝度・高出力化を進め、関連企業からの早期社会実装を目指す。本施策を通じて、拠点そのものが発展することで、広く拠点に関わる企業からの社会実装・イノベーションが加速されることも期待される。
 1年目は、技術面では、アレイ化や面積拡大等により出力増大を図ったPCSEL等の実証・デモンストレーション等を行う (TRL5~6程度) とともに、社会実装に向けて、想定顧客等へのデバイス提供等を通じてビジネスコンセプトの検証を推進 (BRL5程度) する。

テーマ	サブテーマ		当年度目標	目標の達成状況 (年度末報告)
フットニック結晶レーザー(PCSEL)によるスマート製造ゲームチェンジとPCSEL拠点からの社会実装拡大	スマート製造分野におけるゲームチェンジ	赤外域GaAs系高出力PCSELの開発 (EV車ボディ加工等)	<ul style="list-style-type: none"> ・技術開発 (TRL5~6) アレイ化や面積拡大等による100W超級CW動作の実現。数100W超級動作に向けた実装・放熱、駆動系設計等の見通し。 ・イノベーション化 (BRL5) 想定顧客等への現状のPCSELの提供等。 	<ul style="list-style-type: none"> ・技術開発 3mmΦ PCSEL×4個のアレイ化に着手し、アレイ化による出力増大 (200W) を達成。アレイ数増大や面積拡大で、さらなる出力増大が期待。 実装・放熱治具の設計、駆動方式 (直列/並列接続) の検討等をも鋭意進め、要素技術構築に見通し。 ・イノベーション化 海外を含むスマート製造関連企業等との議論を行い、高輝度PCSELの提供やデモ加工等を開始。
		青色GaN系高出力PCSELの開発 (銅等の金属の微細加工等)	<ul style="list-style-type: none"> ・技術開発 (TRL5~6) 面積拡大等による、1W級CW動作の実現。高ビーム品質動作のための検討。 ・イノベーション化の進捗 (BRL5) 想定顧客等への現状のPCSELのデモ等。 	<ul style="list-style-type: none"> ・技術開発 従来の300μmΦから400μmΦへの面積拡大を図り、0.8W出力を達成し、ほぼ1WのCW級動作を実現。面積拡大により、さらなる高出力化が期待。 デバイスの温度分布の評価法の構築等を通じて、高ビーム品質動作のための検討に着手し、目標達成に見通し。 ・イノベーション化 PCSEL拠点でのGaN系PCSELのデモ展示等を推進。
	拠点を介した各種企業からの社会実装・イノベーション	上記スマート製造における社会実装・イノベーションに向けた取り組みを通じて、様々な波長・応用におけるPCSELの開発、データ・ノウハウの蓄積を図り、拠点そのものを発展・充実。	上記のスマート製造に関連する成果等の データ・ノウハウの蓄積を進め、拠点を充実化 。それをもとに、 拠点参画企業との連携 が活発化。	

資料6 「フォトニック結晶レーザー(PCSEL)によるスマート製造ゲームチェンジとPCSEL拠点からの社会実装拡大」の目標及び達成状況(2年目)

○施策全体の目標：

本施策では、特に、スマート製造におけるゲームチェンジを目指し、赤外域PCSELのレーザー加工産業への適用が可能なレベルまでの高出力化や、青色PCSELの高輝度・高出力化を進め、関連企業からの早期社会実装を目指す。本施策を通じて、拠点そのものが発展することで、広く拠点に関わる企業からの社会実装・イノベーションが加速されることも期待される。

2年目は、技術面では、PCSELの出力のさらなる増大・高度化等の開発を行う (TRL6~7程度) とともに、社会実装に向けて、想定顧客等へのデバイス提供等の増大・フィードバックを通じて、ゲームチェンジ開始への一歩を実現 (BRL6~7程度) する。

テーマ	サブテーマ	当年度目標	目標の達成状況 (年度末報告)
フォトニック結晶レーザー(PCSEL)によるスマート製造ゲームチェンジとPCSEL拠点からの社会実装拡大	スマート製造分野におけるゲームチェンジ	<ul style="list-style-type: none"> ・技術開発 (TRL6~7) アレイ数増大やさらなる面積拡大等による、数100W超級CW動作の実現。加工モジュールの試作。 ・イノベーション化 (BRL6~7) 高出力光源の試作品の顧客等への提供の増大、フィードバック。 	—
	青色GaN系高出力PCSELの開発 (銅等の金属の微細加工等)	<ul style="list-style-type: none"> ・技術開発 (TRL6~7) 面積のさらなる拡大、閾値低減等による、数W級CW動作の実現。大面積デバイスの高ビーム品質化。 ・イノベーション化 (BRL6~7) 想定顧客等へのデモの拡大、試料提供の開始、フィードバック。 	—
	拠点を介した各種企業からの社会実装・イノベーション	上記スマート製造における社会実装・イノベーションに向けた取り組みを通じて、拠点・エコシステムに関わる企業からの社会実装加速のための基盤を構築。	—