

**戦略的イノベーション創造プログラム (SIP)**  
**光・量子を活用した Society5.0 実現化技術**  
**研究開発計画**

**平成 30 年 8 月 10 日**

**内閣府**

**政策統括官 (科学技術・イノベーション担当)**

## 目次

研究開発計画の概要	1
1. 意義・目標等	1
2. 研究内容	1
3. 実施体制	1
4. 知財管理	1
5. 評価	1
6. 出口戦略	1
1. 意義・目標等	2
(1) 背景・国内外の状況	2
(2) 意義・政策的な重要性	2
(3) 目標・狙い	3
Society 5.0 実現に向けて	3
社会面の目標	3
産業的目標	4
技術的目標	4
制度面等での目標	5
グローバルベンチマーク	5
自治体等との連携	8
2. 研究開発の内容	9
(1) レーザー加工	9
CPS 型レーザー加工機システム研究開発	10
空間光制御技術に係る研究開発	12
フォトニック結晶レーザーに係る研究開発	14
(2) 光・量子通信	16
量子暗号技術	16
(3) 光電子情報処理	19
3. 実施体制	19

(1) 国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構の活用 .....	19
(2) 研究責任者の選定 .....	19
(3) 研究体制を最適化する工夫 .....	20
(4) 府省連携 .....	20
(5) 産業界からの貢献 .....	20
4. 知財に関する事項 .....	21
(1) 知財委員会 .....	21
(2) 知財権に関する取り決め .....	21
(3) バックグラウンド知財権の実施許諾 .....	22
(4) フォアグラウンド知財権の取扱い .....	22
(5) フォアグラウンド知財権の実施許諾 .....	22
(6) フォアグラウンド知財権の移転、専用実施権の設定・移転の承諾について .....	22
(7) 終了時の知財権取扱いについて .....	23
(8) 国外機関等(外国籍の企業、大学、研究者等)の参加について .....	23
5. 評価に関する事項 .....	23
(1) 評価主体 .....	23
(2) 実施時期 .....	23
(3) 評価項目・評価基準 .....	23
(4) 評価結果の反映方法 .....	23
(5) 結果の公開 .....	24
(6) 自己点検 .....	24
研究責任者による自己点検 .....	24
PDによる自己点検 .....	24
量研による自己点検 .....	24
6. 出口戦略 .....	24
(1) 出口指向の研究推進 .....	24
(2) 普及のための方策 .....	25
7. その他の重要事項 .....	26
(1) 根拠法令等 .....	26

(2) 弾力的な計画変更.....	26
(3) PD 及び担当の履歴.....	27

< 添付資料 >

○資金計画及び積算

○工程表

# 研究開発計画の概要

## 1. 意義・目標等

経済発展と社会的課題の解決を両立する、人間中心の社会となる Society 5.0 実現には、サイバー空間(仮想空間)とフィジカル空間(現実空間)を高度に融合させるサイバーフィジカルシステム(CPS)の構築が鍵。現在、IoT/AI からスマート製造へと投資が開始されているが、社会・産業界共通の投資を阻むボトルネックが存在。これらのボトルネックを解消するため、我が国が強みを有す光・量子技術を活用。当該技術の中から、重要かつ優先度の高い、レーザー加工、光・量子通信、光電子情報処理を選定して研究開発を実施することにより、Society 5.0 実現を加速度的に進展させる。

## 2. 研究内容

主な研究開発項目を以下に記す。

- (1) レーザー加工(レーザー加工市場におけるシェア奪還のための CPS 型レーザー加工機等の実現)
- (2) 光・量子通信(絶対に破られない暗号技術をサービスとして社会実装)
- (3) 光電子情報処理(生産性を飛躍的に高める組合せ最適化問題の高速処理の実現)

## 3. 実施体制

西田プログラムディレクター(以下「PD」という。)は、研究開発計画の策定や推進を担う。PD が議長、内閣府が事務局を務め、関係府省や専門家で構成する推進委員会が総合調整を行う。文部科学省所管法人である国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構運営費交付金を活用し、研究責任者の公募等を実施する。同法人のマネジメントにより、研究開発の進捗を管理する。

## 4. 知財管理

知財委員会を国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構の下に設置し、発明者や産業化を進める者のインセンティブを確保し、かつ、国民の利益の増大を図るべく、適切な知財管理を行う。

## 5. 評価

ガバニングボードによる毎年度末の評価前に、研究責任者及び PD による自己点検を実施し、自律的にも改善可能な体制とする。

## 6. 出口戦略

研究開発成果を確実に社会実装につなげるため、可能な限り、国内外の企業ネットワークに情報を開示したり、テストプラットフォームを提供して技術データを収集したりすることで、企業による評価例・採用実例等を、研究開発にフィードバックし事業化を目指す。

同時に、研究成果の積極的・戦略的な広報も実施し、企業等に限らず社会全般へ向けて成果の浸透を図る。

## 1. 意義・目標等

### (1) 背景・国内外の状況

経済発展と社会的課題の解決を両立し、一人一人の人間が中心となる社会である Society 5.0 実現のためには、サイバー空間(仮想空間)とフィジカル空間(現実空間)を高度に融合させたシステム、すなわち、サイバーフィジカルシステム(CPS)の構築が鍵となる。国内外の市場において、IoT / AI 関連及びIoT / AI の具体的な応用先としてのスマート製造分野に対する積極的な投資が開始されるなど、CPS 構築を推進する動きは進んでいる。

一方で、この流れを期待通りに進める上での懸念材料も顕在化してきている。例えば、IoT / AI 関連では、市場が将来的に要求する制御、通信、AI デバイス等を搭載した電子機器の進化(コスト/性能の指数の低減)が予想通り進展するか、また、スマート製造分野では、ネットワーク型の製造システムへの移行が実現するかが、見通せていない。さらに、サイバー空間におけるセキュリティ脅威は増加の一途を辿り、一旦障害が発生するとその影響はフィジカル空間において甚大な被害をもたらす懸念が高まっている。

この懸念材料がボトルネックとなって、民間企業の将来への投資マインドを低下させることが想定されるため、これらを取り除くための研究開発を国主導で加速し、関連業界が安心して投資を継続、拡大するように導いていく必要がある。

さらに、国外においても、米国では Industrial Internet、ドイツでは Industrie 4.0、中国では中国製造 2025 等、上記懸念材料を解消するため、国を挙げて IoT 社会や CPS の実現を強力に進めており、我が国の競争力の低下が懸念されている。

### (2) 意義・政策的な重要性

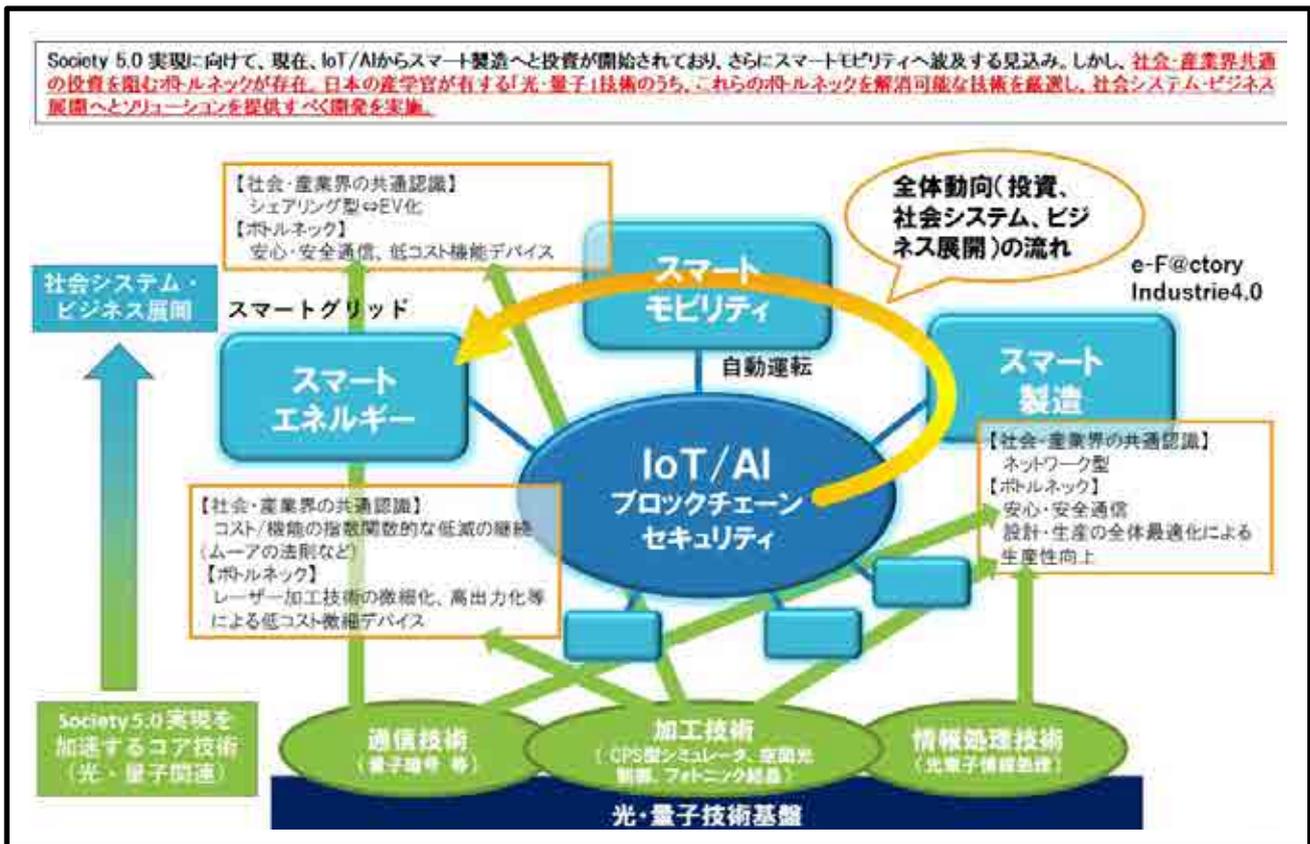
光・量子技術は、第 5 期科学技術基本計画において、「新たな価値創出のコアとなる強みを有する基盤技術」として位置づけられており、我が国が強みを有する分野である。この強みを活かし、上述で説明した Society 5.0 実現に向けた投資を阻むボトルネックを解消することで、民間企業の投資を促し、関連分野における国際的な競争力を高めることが重要である。

そのため、広範囲な光・量子技術から、重要かつ優先度の高い技術として、レーザー加工、光電子情報処理、光・量子通信の 3 項目を選定して研究開発を実施する。

例えば、スマート製造において実現要求が高いが、複雑な物理現象を伴うため物理モデルの構築が最も困難なレーザー加工の CPS 化の実現により、ほとんどの製造装置のスマート化が可能であることを先導実証することを目指す。これにより、スマート製造への投資を加速させることが期待され、生産現場における生産性の飛躍的な向上が達成されることになる。

また、Society 5.0 においては、スマート製造の他、スマートモビリティ、スマートエネルギー、スマート医療等の分野で秘匿性の高い個人情報やビジネス価値の高い企業情報等が産み出されるため、これらを安全に流通させバックアップ保管する必要がある。絶対に解読できない量子暗号通信技術と秘密分散バックアップ技術を統合し量子セキュアクラウド技術を整備することにより、企業やユーザーが様々な重要情報を安心して保管・共有し活用できるようになることは、Society 5.0 実現に向けて重要である。

このように、投資を阻むボトルネックを光・量子技術の研究開発によって解消し続けていくことで、日本の Society 5.0 社会実現に向けた投資を加速するとともに、我が国の競争力強化に大きく貢献する。



図表1 - 1 . 光・量子を活用した Society 5.0 実現化技術の全体背景

### (3) 目標・狙い

#### Society 5.0 実現に向けて

我が国が強みをもつ光・量子技術を活用し、Society 5.0 の実現に向けた投資のボトルネックをレーザー加工技術、光・量子通信技術、光電子情報処理技術によって解消する。例えば、スマート製造分野での投資のボトルネックとなっている CPS 型レーザー加工機システムの実装(レーザー加工のパラメータの初期選定のリードタイムの 9 割減)や、高精度かつ高スループットな加工を実現する空間光制御技術の実用化(10~100 倍の高速化)等を行い、製造業における生産性を質的に変革させるネットワーク型製造システムの構築に貢献することを目標とする。このようなボトルネックを取り除くことにより、民間企業による、IoT/AI の具体的な応用先としてのスマート製造、スマートモビリティ、スマートエネルギーへの潮流(投資、社会システム、ビジネス展開)を引き起こし、もって、Society 5.0 の実現を加速する。

#### 社会面の目標

Society 5.0 実現のために重要である CPS の構築に向け、レーザー加工、光・量子通信及び光電子情報処理に係る研究開発を実施し、CPS 型レーザー加工によるネットワーク型製造システムの構築の実現に貢献する。また、量子暗号の研究開発を実施し、将来暗号解読技術やサイバー攻撃技術が高度化しても秘匿

性の高い個人情報等がどんな計算機でも解読や不正改竄ができない、安全なデータバックアップ保管や高秘匿なデータ2次利用を可能にする量子セキュアクラウドサービスを実現する。

これらにより、我が国の産業の持続的な競争力の強化に寄与するスマート製造分野をはじめとする Society 5.0 実現に向けた民間の投資を加速させ、経済の発展並びに我が国及び国民の安全・安心を確保し、豊かで質の高い社会の実現を目指す。

## 産業的目標

上述のとおり、レーザー加工、光・量子通信及び光電子情報処理に関する研究開発により、スマート製造分野の投資のボトルネックを解消することで、CPS型レーザー加工によるネットワーク型製造システムを実現し、ものづくり産業の生産性の向上に貢献する。

また、加えて個別の技術においても、例えば、フォトリソグラフィ結晶レーザーのさらなる高輝度・高性能化による超小型レーザー加工システムの高性能光源開発を通じて生み出される、直近の応用展開(例えば、センシング、医療、生命科学への応用等)や、量子セキュアクラウドシステムの実用化による医療機関の保有する医療検査データなどの秘匿性の高い個人情報等のやり取り・管理の安全性向上の実現により、自動車産業、医療産業の各分野における我が国の競争力を高めることを目指していく。

## 技術的目標

### 【レーザー加工】

高精度かつ高スループット、さらには材料に応じた複雑な制御が求められるものづくりにおける製造装置に適用可能なCPS型レーザー加工機システムの開発を行う。具体的には、加工工程の実績や計測によるリアルタイムでの高度光制御を達成し、まずは電子部品製造分野における難加工材料など電子機器の製造工程に実装する。

また、高機能空間光制御デバイス(高耐光性、高速かつ高集積化)の開発を行い、非熱レーザー加工等の高精度かつ高スループットな加工技術を実用化する。さらに、フォトリソグラフィ結晶レーザーのさらなる高輝度・高性能化により、超小型直接加工半導体レーザー光源及び、センシング光源等としての展開を実証する。

### 【光・量子通信】

量子セキュアクラウドシステムの開発により、暗号解読技術やサイバー攻撃技術が高度化してもセキュリティが危殆化する恐れのないデータ流通・保管・利活用のネットワーク基盤を整備し、まずは医療分野等(電子カルテ・ゲノム解析情報・スマート製造分野)における適用に向けた実証を行う。

### 【光電子情報処理】

スマート製造の実現に係る組合せ最適化等の問題の解決を世界で最も高速に実現する光電子情報処理のソフトウェアを世界に先駆けて開発することを念頭に、内閣府「革新的研究開発推進プログラム(ImPACT)」、文部科学省「光・量子飛躍フラッグシッププログラム(Q-LEAP)」、経済産業省・NEDO「高効率・高速処理を可能とするAIチップ・次世代コンピューティングの技術開発事業」の状況を踏まえ、今後詳細を決定していく。

## 制度面等での目標

量子暗号について、企業が安心して装置の製造・サービスの提供を行うことができる環境整備に向け、物理乱数源と量子暗号技術に関する標準化活動を推進し、安全性保証基準・評価手法に関する文書を作成、国内外の標準化機関に提案する。

併せて、将来において評価・検定・認定を運用するためのエコシステムのモデルを構築、制度設計提案書の取りまとめを行い、関係省庁や諮問委員会等へ提案することを目指す。

## グローバルベンチマーク

【レーザー加工】

- CPS 型レーザー加工機システムに搭載予定の「光源」として、レーザー加工の今後の需要を想定し紫外～近赤外までの範囲を導入し、欧州と比較して、我が国で先んじて研究開発が進められている、量子物理モデル等をベースとした特定の加工方式に対応する汎用の加工モデルも受け入れ可能なシステムの構築を達成する。(図表1 - 2)
- 空間光制御デバイスの開発において重要となる「有感エリア」「光利用効率」「平面度」といった高精度な位相変調特性の点について、欧米に対する現在の優位性を保ちつつ、さらなる光耐性(有感エリアの拡大)や対応波長域の広域化(紫外光まで)を達成する。(図表1 - 3)
- フォトニック結晶レーザーは、半導体レーザーの中で既に世界最高レベルの輝度(図表1 - 4)を実現しているが、将来の超小型加工用光源としての活用を目指して、大型のファイバーレーザーや CO2 レーザーに迫る輝度の実現のため、高輝度フォトニック結晶レーザーを開発(注:その成果は、加工のみならず、様々な波及効果を持つ)していく。また、欧米に先駆け、他の光源に無い高出力・狭出射角・高い波長安定性という特長を有した光源を実現(図表1 - 5)し、機械駆動方式(数 kHz)より高速なスキャン(MHz)が可能な光源技術を欧米に先駆けて実現する。(図表1 - 5、6)

中心開発機関	国内機関	独国機関
主要光源 (一例)	紫外～近赤外	近赤外
特徴	量子物理モデルと蓄積データベース、人工知能技術をベースとした特定の加工方式に対応する汎用の加工モデルを構築し、短時間で機器の能力をサイバー側に回答	古典物理モデルと蓄積データベースを中心とした特定専用用途の加工モデルを加工対象ごとに構築し、高速に機器の能力をサイバー側に回答
開発フェーズ	開発中	開発構築中

図表1 - 2 CPS 型レーザー加工機システム開発

製品 (メーカー)	国内企業	独国企業	米国企業
有感エリア (mm)	16 x 12	15.4 x 8.6	7.68 x 7.68
有感エリア率 (%)	90	87	83.4
光利用効率 (%)	87-95	59-63	62
平面度 (λ)	1/20	1/10	1/7~1/12
DACビット数	12	8	8
線形性	高	中	低
対応波長域	可視~赤外	可視~赤外	可視~赤外

図表1 - 3 空間光制御技術の開発

開発機関・ 参画企業	国内機関	(参考)			
		米国企業等	米国企業等	米国企業等	国内企業等
レーザー 種類	フォトニック 結晶レーザー (PCSEL) 単一ブロードエリア デバイス	垂直共振器 面発光レーザー (VCSEL) アレイデバイス	半導体レーザー (ジエプリー ペロー型) 単一ブロードエリア デバイス	ファイバー レーザー	ガスレーザー
出力	5~10W	5~10W	5~10W	>1kW	>1kW
ビーム 品質	M <sup>2</sup> ~2	M <sup>2</sup> ~数10	M <sup>2</sup> ~数10	M <sup>2</sup> ~10	M <sup>2</sup> ~1
集光強度	~300MW/cm <sup>2</sup> sr	~5MW/cm <sup>2</sup> sr	~5MW/cm <sup>2</sup> sr	~1000MW/cm <sup>2</sup> sr	~1000MW/cm <sup>2</sup> sr
特徴	・小型・光分布集中 ・面積増で出力増 (ビーム品質維持)	・小型・光分散 ・面積増で出力 増(ビーム品 質劣化)	・小型 ・単独低出力 (ビーム品質悪)	・比較的大・高出力 ・部品寿命~数年 ・システムが大	・大・高出力 ・部品寿命~数年 ・発振器が大

図表1 - 4 半導体レーザー(加工)開発

開発機関、 参画企業	国内機関		独国企業等
種類	フォトニック結晶レーザー (PCSEL)		半導体レーザー (フアブリケーショントップ)
発光形態	一方向発光 (第一目標技術)	スキャン可 (将来技術)	端面発光
出力 (ピーク パワー)	30W以上 (可能性)	数W~10W以上 (可能性)	75W
拡がり角	0.2°以下	0.5°以下	10~30°
波長安定性	0.08nm/°C		0.27-0.28nm/°C
集光速度	・狭いビーム拡がり 高出力動作可 ・ビームを平行に するための外部 光学系不要	・電子的に2次元 ビーム走査可能 ・ビームを平行に するための外部 光学系不要	・ビームを平行にするための複雑な外部 光学系が不可欠 ・自身のビームスキャン不可 ・スタックが可能でスロープ効率高い
駆動方式	機械式	電子式	機械式
駆動用 外部光学系	有	無	有

図表1 - 5 フォトニック結晶レーザー開発

開発機関、 参画企業	国内機関	米国企業等	独国企業等	独国企業等	米国企業等
種類	PCSEL スキャン方式 (将来技術)	光フェーズド アレイ方式 (課題多い)	受光素子 分割方式	MEMS方式	モーター駆動 メカ方式
画角	±50°以上 (可能性)	120°	140°	60~210°	360°
駆動方式	電子式	熱式	-	機械式	機械式
スキャン 速度	MHz以上 (可能性)	× (数十kHz)	- (定着なし)	× (数十kHz)	× (数千Hz)

図表1 - 6 フォトニック結晶レーザー駆動方式開発

【光・量子通信】

- 安全な通信に加え、我が国独自の機能である安全なデータ保存を可能とする都市圏規模のネットワークカバレッジを持つ量子セキュアクラウド技術を開発する。(図表1 - 7、8)

開発機関	国内企業①		瑞西企業		半国企業
	①	②	①	②	
最大通信距離	~90km	~100km	~50km	~100km	~140km
鍵配送速度 (一例)	0.3~1Mbps @50km	10Mbps @10km	~1kbps @20km	>3kbps @50km	~100bps @~140km

図表1 - 7 量子暗号開発

光ファイバーによる暗号通信のベンチマーク

開発機関、参 画企業	国内企業等	英国企業等	中国企業等
システム	Tokyo QKD Network (2010~)	Quantum Communication Hub (構築中)	Quantum Backbone (2017~)
ネットワーク/レ ーザ範囲	100 km圏/6~8ノード	200 km圏/10ノード	2,000 km圏/32ノード
送受信速度	300 kbps/リンク	300 kbps/リンク	20 kbps/リンク
機能	安全な通信+ 安全なデータ保存	安全な通信	安全な通信
特徴	安全性の危殆化しないデー タ分散バックアップ機能を 試験運用中	最新の光通信制御(ネッ トワーク仮想化)技術によ る量子暗号網を構築中	世界最大規模(2,000km) の量子暗号ネットワークを 構築

図表 1 - 8 量子ネットワークサービスに向けた動向

### 自治体等との連携

地方自治体の産業振興施策とも連携し、当事業の成果の技術移転等を通じて産業の高度化・高付加価値化に貢献する。

## 2. 研究開発の内容

Society 5.0 実現のために重要である CPS の構築に向けて、光・量子技術を活用した、レーザー加工、光・量子通信及び光電子情報処理に係る研究開発を実施し、レーザー加工によるネットワーク型製造システムの構築の実現に貢献する。具体的には、シミュレーションによって最適な加工条件を導出し加工を実施する CPS 型レーザー加工機システムの開発、高品質なレーザー加工を高スループットで行うための空間光制御技術、センシング光源等にも応用可能な高ビーム品質・小型・省エネなフォトニック結晶レーザーの開発、ネットワーク型製造システムにおける安全・安心な通信を実現するための量子暗号技術などの開発を行う。

なお、研究開発においては、上述のネットワーク型製造システムの構築を目指すと同時に、各研究課題においても、個々の技術の特性を生かし、社会実装に向けた取り組みを実施していく。



図表2 - 1 . 光・量子を活用した Society 5.0 実現化技術の研究開発の概要

### (1) レーザー加工

担当サブPD: 安井 公治(三菱電機株式会社FAシステム事業本部産業メカトロニクス事業部 技師長)

Society 5.0 実現のために重要な、スマート製造技術をはじめとするものづくり分野の飛躍的な発展に資することを目的とし、コア技術である光・量子技術を基盤とした以下の研究開発を実施し、実装を実証する。

CPS 型レーザー加工機システムに係る研究開発

空間光制御技術に係る研究開発

フォトニック結晶レーザーに係る研究開発

## CPS 型レーザー加工機システム研究開発

研究責任者：公募により選定

### 研究開発の全体像：

最先端の電子機器に搭載される電子デバイスの製造分野では、半導体の露光、半導体素子の基板加工のほか、レーザーを代表とするビーム加工が多用されてきている。また、最先端製造ラインではレーザー加工なくしては成立しない状況も生まれつつあり、さらに広範囲な用途へのレーザー加工適用の要望が高い。一方で、これらの加工において、所望の加工を実現するための加工パラメータの抽出は、人間の経験と勘に頼る部分が依然として大きく、要望されている速度で新たなプロセスが開発されているとはいえない。本研究課題では、このパラメータ抽出に要する時間を大幅に短縮することを目的とした CPS 型レーザー加工機システムの実証を行う。具体的には、最新の光源技術、光学素子技術、光操作技術、加工システム技術、計測・評価技術、演算技術などを組み込んだ自動的にパラメータを変更可能なレーザー加工システム（自動パラメータ可変レーザー加工システム）、実績収集・学習用レーザー加工・計測システム、パラメータ抽出システムをそれぞれ構築する。初期の加工対象としては、Society 5.0 推進におけるキーデバイスである電子デバイス部品の高度化・低製造コスト化におけるボトルネックの解消に資する材料を対象に選定して実証を行う（電子部品製造分野における難加工材料など）。その後、さらに他の材料・加工へと対象を拡大するために必要な基盤を整備する。また、レーザー加工の CPS 化の実現と進展を支える、加工の物理モデルの構築および検証の手法の深化にも取り組む。

### 具体的な実施内容：

CPS 型レーザー加工機システムの基盤として、物理モデルや AI 技術などに基づく、パラメータ探索プログラムを導入する。このために、パラメータ変更、加工、観察、記録を自動で行うベースマシンを構築する。当装置は、パラメータ可変の光源、パラメータ可変域が大きな加工操作ユニット、各種の詳細観察・評価ユニット、リアルタイム観察ユニットおよび全体を一元的にコンピューター制御するシステムによって構成される。

光源としては、経済産業省・NEDO「高輝度・高効率次世代レーザー技術開発」事業（NEDO レーザー事業）等関連するプロジェクトによって実用化された最新技術の動向も考慮の元、非線形光学素子などを用いた波長変換方式も含め、レーザー加工において今後需要が高まることが想定されていて、日本が強みを持つ、短波長領域の光源を重要なターゲットに見据えつつ、赤外から紫外までの範囲で、実用稼働可能な範囲で広く動的にパラメータ変更できるシステムを評価・導入する。光源パラメータとしては、波長、輝度、パルス幅、繰り返し周波数、などを基本とし、パルス内波形、パルスバーストパターンなど、評価の進展に応じて、検討の幅を広げる。加工操作ユニットとしては、光操作系として高輝度・短パルス化・短波長化する光源に対応する最新の技術を導入するとともに、スキャン速度、スキャンパターンなどについて制御範囲を広く取り、機械学習などに適した広いパラメータ空間におけるデータ取得を可能とするように設計する。上記について、基盤部分をモジュラーな設計とし、運用・評価に基づき、複数の有望な光源、詳細観察・評価ユニット

およびリアルタイム観察ユニットの組み合わせについて順次評価実証機を構築し、その全体によって「実績収集・学習用レーザー加工システム・パラメータ抽出システム」を構成する。本システムの運用成果を後述の、可用性を重視する実証機に展開するためには、リアルタイム観察ユニットから得られる簡便な情報を詳細観察・評価ユニットから得られる詳細な情報と結びつけることが重要となる。これは、相互の相関情報のみでは必ずしも十分ではないことが予想されるが、文部科学省「Q-LEAP」等のプロジェクトによって得られる、基盤的物性研究に基づく光と物質の相互作用の学理と情報を活用して解決できるよう、連携体制を整備して進める。

上記システムを運用し、ターゲット材料・ターゲット加工(電子部品製造分野における難加工材料など、市場インパクトの大きいものを選定)について、広範なパラメータ領域における、加工データ取得を行い、機械学習などの手法により、加工パラメータと結果の相関が取れるデータベースの構築を行う。市場需要の高い特定のアプリケーションについては、CPS 化のために必要な物理モデルの構築を目的とした、光-材料相互作用の定量化に必要な研究開発にも取り組む。

さらに、取得した知見を元に、学習ではなく、想定される実際の加工にチューンした実証用のサブセット構成のユニット設計を行い、自動パラメータ可変レーザー加工システムとして実装する。本システムは、光源や加工操作ユニットのパラメータ可変範囲について必要十分な範囲に限定し、一方で可用性、安定性などを重視した構成とする。また、必要なリアルタイム観察システムのデータに基づいて、学習用システムにて加工対象に応じて学習・構築されたデータベースとアルゴリズムを用いて、自動で最適化されたパラメータによる加工ができる構成となることを目指す。

輝度：単位面積、単位立体角あたりの光出力

#### 社会実装:

社会実装にあたっては、NEDO レーザー事業等とも連携する。具体的には、同事業参画法人が中心となって設立したコンソーシアム等、広くユーザー企業との連携を図るために構築されたコミュニティ等との連携を検討し、そこに本研究課題で開発した機器を加工プラットフォームとして提供して、ユーザー企業等に加工パラメータ抽出等に試用してもらい、その評価を開発にフィードバックする。この過程でこれにかかわる人・材料・ニーズ情報・評価情報の形で民間からの資源を広く受け入れるとともにマーケティングを行うことを検討する。

一方、「Q-LEAP」等とも連携し、加工実績データを提供することにより、産業ニーズの高い加工に対する最適パラメータ推定のアルゴリズムの開発の推進に寄与する。「Q-LEAP」等の成果に基づき、本システムのソフトウェアも更新できる体制を構築することで、ニーズに対応しつづける体制を整備する。

このほか、文部科学省・科学技術振興機構「COI-STREAM」事業等の先行して実施されている産学連携事業における関連するテーマを実施している拠点との連携についても検討し、重要課題の抽出、社会実装や出口戦略の立案などの共有と、成果のシナジー効果が得られるよう留意する。

ものづくり工程全体の CPS 化のボトルネックであるレーザー加工において CPS 型システムを実証することで、スマート製造全体への投資を喚起するかたちで本成果の社会での認知を図る。具体的には、CPS 化の要望が強く今後の成長分野とみなせる分野において、従来のレーザー加工では最も実現が困難であり

ながら、レーザー加工の高速性、フレキシブル性からレーザー適用の要望が強く、従って産業界へのインパクトが大きな、例えば電子部品製造分野での難加工材料の加工を実証する。さらに、従来の産業分野で応用されている切断、溶接などの分野や、今後市場の立ち上がりが期待される3Dプリンタや表面改質などの新用途についても関連プロジェクトと連携して本プログラムの成果を適宜提供することにより、レーザー加工を要求する産業全体の底上げに貢献することも狙う。

#### 研究目標:

##### 2020年度までの中間目標

○ 実績収集・学習用レーザー加工・計測システムによって学習した情報を基に、自動パラメータ可変レーザー加工システムの機能を遠隔更新し、加工性能を向上させるシステム(TRL5)の検証を実施。

##### 2022年度までの最終目標

○ 自動パラメータ可変レーザー加工システムの実証としてTRL7を目指すとともに、実績収集・学習用レーザー加工・計測システムの実証としてTRL5を目指し、当システムで収集したデータを基に、さらに加工性能を向上させるシステムの検証を実施。これらの成果により、パラメータ抽出に要する時間を大幅に短縮し、加工方式の初期選定時におけるリードタイムを9割削減することを目指す。

#### 空間光制御技術に係る研究開発

研究責任者: 公募により選定

#### 研究開発の全体像:

我が国の産業を支えてきた「ものづくり」技術において、レーザー加工技術は科学技術立国である日本の蓄積してきた「材料」「レーザー」「光制御」「光計測」「システムインテグレーション」によって構築される融合技術である。このレーザー加工技術は、サイバー空間とフィジカル空間をつなぐデバイスの高機能化や加工が難しいが高機能である材料の高精度な加工等を実現する技術であり、スマート製造やスマートモビリティ等への寄与を通じて、Society 5.0を実現する技術となりうる。そのため、レーザー加工におけるボトルネックを克服する技術の実現が望まれている。

具体的には、軽さと剛性を兼備する新規材料の加工、曲面を多用した複雑なデザインの導入や新製品の投入時期の短縮化などに対応するための、高精度かつ高スループットな加工技術の実現である。特に、輸送機械などで注目される軽量・高剛性な材料であるCFRP(炭素繊維強化プラスチック)は、その素材の持つ非常に硬い特性から、現技術では、きれいに切断するための十分な加工精度が得られない、加工形状に制限がある等の課題があり、高精度かつ高スループットなレーザー加工への期待が大きい。

本研究開発は、光の2次元位相分布を高精度に制御可能な空間光制御デバイス(Spatial light modulator: SLM)とその応用技術をベースとして、高品質なレーザー加工を高スループットで実現し、レーザー加工を飛躍的に高度化するための研究開発を行い、Society 5.0実現の加速的進展に資するスマート製造の実現に寄与する。具体的には、SLMの高精度化開発(大面積化、紫外光対応、高速化、高集積化)、および、それをを用いた加工と計測を一体化した高精度レーザー加工モジュールの実用化を目標として開発を行う。

本研究開発で実現する高機能 SLM は、例えば、CFRP や新世代半導体素子 (low-k 材料や Cu 素材等) の加工において、短パルスレーザー加工により非熱加工が実現され、従来の熱加工と比較して飛躍的な高精度化が可能となる。

#### 具体的な実施内容:

以下に、2つの主要な開発項目を記す。これらの実現により、高精度かつ高スループットな次世代レーザー加工技術の実用化を目指す。

##### 1) 産業に適用可能な光・量子制御デバイスの高性能化

液晶型 SLM において高い平均出力をもつ加工用レーザーの利用に十分耐えることができる耐光強度を持たせるために、SLM を構成する主要な要素について、反射ミラーの最適設計、透明導電膜の最適な成膜技術、液晶材料の最適化を行い、十分な耐光性デバイスを実現する。また、光変調材料・構成要素 (ミラー、透明導電膜、無反射ミラー) の最適化により、レーザー加工に用いられる近赤外光から紫外光までの波長帯に、それぞれ対応するための SLM の開発を行い、多点同時加工を実証する。加えて、耐光性向上を目指した大面積化、平面度向上による高精度化、半導体微細加工技術を用いた高速・高集積化などにより、さらに高精度な位相変調機能を有する空間光制御デバイスを開発し、高スループットの高出力レーザー加工を目指す。例として、難加工物のレーザー加工で注目される非熱加工を実現するための超短パルスレーザーや、微細加工に特長を持つ紫外光レーザーに対応する SLM の開発を行う。

##### 2) 産業応用を加速する光・量子制御モジュールの構築

平均出力 100W 級の CW レーザー光源や平均出力 10W 級の短パルスレーザー光源と SLM を用いてレーザー光のビームパターン制御時の集光特性および材料加工性能を評価する。次のステップとして、一般的な産業用途に必要な出力レベルに増強したレーザー光源を用いて、同種のデータを取得する。このレーザー光源と SLM により、レーザー加工機を構築し、レーザー光のビームパターンを、加工形状や加工対象に応じて制御し、パラメータを最適化することにより、スループットが従来手法に比べて 1~2 桁向上できることを確認する。さらに、最終段階においては実用化に向けて加工機メーカー等への技術移転を視野に「実用化試験用プラットフォーム (仮称)」を構築し、ユーザー等と連携した加工試験を実施し実用化を目指す。

#### 社会実装:

時空間制御による高機能加工技術を確立し、熱 / 非熱加工の自在な切り替え、同時 3次元多点加工を実現させ、一例として、製造工程における高精度加工処理の高速化 (現在の 10~100 倍程度) を目指す。

#### 研究目標:

##### 1) 産業に適用可能な光・量子制御デバイスの高性能化

##### 2020 年度までの中間目標

- 耐光性を 1 桁以上 (平均強度: 100 W レベル) かつ位相制御精度を 1/100 波長以下に向上させた SLM の実現

## 2022年度までの最終目標

○ 数倍大きな光制御面積かつ高耐光性の紫外光用 SLM、及び3桁以上の高速応答性を持つ SLM デバイスを実現

これらにより、高出力レーザー加工の高性能化に必要な SLM デバイス製造技術を獲得し、100～1,000倍程度の生産性向上を実証する。

## 2) 産業応用を加速する光・量子制御モジュールの構築

### 2020年度までの中間目標

○ 一般的産業用途用レーザーに SLM を組み合わせたモジュールによるレーザー加工の実施

### 2022年度までの最終目標

○ 高スループットでのレーザー加工の実現。「実用化試験用プラットフォーム(仮称)」における、ユーザー等と連携した加工試験の実施

これらにより、高出力レーザー加工の実用化を推進

## フォトリック結晶レーザーに係る研究開発

研究責任者：公募により選定

### 研究開発の全体像：

半導体レーザーは、小型・安価・低消費電力・高制御性という優れた特徴を有するものの、輝度において、他の大型レーザーの10分の一程度以下( $\sim 100 \text{ MWcm}^{-2}\text{sr}^{-1}$ )に留まっており、スマート製造を支える半導体レーザー(LD)単体での小型・高効率加工の実現や、スマートモビリティを支えるセンシング技術の発展、健康社会を支える医療、生命科学への応用を困難としてきた。この限界を打破するためには、大面積でのコヒーレント動作が不可欠であり、この実現が期待される唯一の半導体レーザーが「フォトリック結晶レーザー」である。このレーザーは、我が国発の半導体レーザーであり、2018年3月に世界で初めて、上記の輝度の壁、 $100 \text{ MWcm}^{-2}\text{sr}^{-1}$ を3倍も上回る $300 \text{ MWcm}^{-2}\text{sr}^{-1}$ を達成し、直接レーザー加工やセンシングへの応用に必要な輝度である $1 \text{ GWcm}^{-2}\text{sr}^{-1}$ がターゲットに入ってきている段階にある。

本研究開発では、この進展著しいフォトリック結晶レーザー技術を発展させ、一層の高輝度化(=高ビーム品質・高出力化)を図っていく。具体的には、将来のスマート加工への応用を見据え、輝度 $1 \text{ GWcm}^{-2}\text{sr}^{-1}$ をCW(=連続)状態で実現可能なデバイス基盤技術の確立を目指していく。また、その開発過程において、得られる光源技術は、センシングを始め、医療や生命科学などの様々な分野へと応用展開可能と考えられる。直近の出口として、ここでは、輝度 $1 \text{ GWcm}^{-2}\text{sr}^{-1}$ 動作をナノ秒パルス状態で実現し、Society 5.0の実現に重要なスマートモビリティを支えるセンシング光源の実現を目標とする。さらに、電子的ビーム走査機能の付加などフォトリック結晶レーザーそのもののスマート化の実現を、より将来技術の目標として推進していく。

### 具体的な実施内容：

フォトリック結晶レーザーの高輝度化を図り、Society 5.0を支える将来的なスマート加工(レーザー加工)

への展開のため、高輝度(1 GWcm<sup>-2</sup>sr<sup>-1</sup>: ビーム品質(M<sup>2</sup>)~2、出力 10 W 超級)・CW 動作のためのデバイス基盤技術開発と、その合波技術(100 W 超級)の開発を実施する。

併せて、直近の様々な出口の1つとして、スマートモビリティへの応用が可能なセンシング光源のための高輝度(1 GWcm<sup>-2</sup>sr<sup>-1</sup>: ビーム品質(M<sup>2</sup>)~2、出力 10 W 超級)・ナノ秒パルス光源の開発を実施する。

さらに、フォトニック結晶レーザーのスマート化(電子的ビーム走査やビームパターンの最適化)も行い、我が国の独創レーザーのさらなる高度化の基礎を築いていく。

#### **社会実装:**

本研究開発により、フォトニック結晶レーザーの高輝度 CW 動作のためのデバイス基盤技術が確立されるため、終了後数年以内に、高効率・高スループット対応が可能な、コンパクトで安価な加工システムとしての社会実装、さらには将来のオンデマンドなスマート加工への展開が期待される。

上記の研究開発の直近の出口の1つとして、高輝度ナノ秒パルス光源が実現されるために、高指向性かつ高い安定性をもつセンシングシステムに向けた社会実装が期待される。これにより、先行品が抱える課題(サイズ、コスト、信頼性)を根本的に克服されるものと期待される。

さらに、フォトニック結晶レーザーのスマート化により電子的走査技術を付加することで、将来にわたって持続可能な市場優位性を確保することが可能になる。

本研究開発成果に関心のある製造メーカーに技術供与を図り、社会実装を大いに進めていく。

#### **開発目標:**

##### **1) CW およびパルス動作型の高輝度フォトニック結晶レーザー光源の開発**

###### **2020 年度までの中間目標**

- CW およびパルス動作型の高輝度フォトニック結晶レーザーの実現のための要素技術の確立  
(高輝度化を可能とする DBR 構造や基礎吸収抑制構造を導入した 2 重格子点フォトニック結晶レーザーの試作(狭発散角 < 0.2 °、スロープ効率 0.8 ~ 1 W/A の達成)、安定した CW 動作を可能とする温度分布補償フォトニック結晶構造の設計、合波系の構築、ナノ秒パルス電気回路試作)

###### **2022 年度までの最終目標**

- フォトニック結晶レーザーの高輝度(1 GWcm<sup>-2</sup>sr<sup>-1</sup>: ビーム品質(M<sup>2</sup>)~2、出力 10 W 超級)CW 動作のための基盤技術およびその合波技術に目途をつけ、レーザー加工光源への適用性を実証
- フォトニック結晶レーザーの高輝度(1 GWcm<sup>-2</sup>sr<sup>-1</sup>)ナノ秒パルス動作を達成し、ビーム整形光学系不要、かつ高い SN 比、高い環境変化耐性を有するフォトニック結晶レーザーを実現

##### **2) フォトニック結晶レーザーのスマート化**

###### **2020 年度までの中間目標**

- 様々な方向へビーム出射可能なフォトニック結晶の開発、機械学習手法の初期検討(様々な電流注入とビーム形状の相関関係の機械学習)

###### **2022 年度までの最終目標**

- フォトニック結晶レーザーのスマート化(電子的ビーム走査や機械学習との融合)により、電氣的制御に

よる狙った方向へのビーム出射、及び機械学習によるビーム形状制御の開発完了

## (2) 光・量子通信

担当サブPD: 佐々木 雅英

(国立研究開発法人 情報通信研究機構 未来ICT研究所 主管研究員)

### 量子暗号技術

研究責任者: 公募により選定

#### 研究開発の全体像:

現代社会では、計算技術や AI、監視カメラやセンシング技術、医療技術の進展などにより、今後、ビジネス価値が高く、機密性確保が必要となる重要デジタル情報(ゲノム・医療情報等)が次々と生み出されている。それらの2次利用で生み出される情報は、一度漏洩すれば複数の家系・世代にわたり永続的に生命や社会生活を脅かすリスクが高く、実際に被害が出た際、訴訟リスク・被害補償額が莫大になる恐れがあるため、世紀単位の超長期間にわたって機密性と改竄耐性(完全性)を確保する必要がある。

そのような中、現在のインターネットセキュリティを支える公開鍵暗号技術を解読可能な量子コンピューターが2030年頃に登場すると予想されている。また、諜報機関や大手ネット企業ではすでに可能な技術である<sup>1</sup>『“Store now, read later”-attack<sup>1</sup>』も、現代暗号のみでは対処不可能なセキュリティ脅威である。

本研究開発では、Society 5.0を支えるサイバー空間の超長期セキュリティを確保し、将来にわたりサイバーセキュリティ脅威に晒されることのない安全なデータの流通・保管・利活用を実現するための新技術を開発し社会実装することを目標とする。

量子暗号は、どんな計算機でも解読できないことを証明できる現在唯一の暗号通信技術であり、重要デジタル情報の通信を保護する手段として期待される。しかし、既存の暗号技術に比べて割高であり暗号装置市場競争力が低かったり、推奨標準の整備が遅れているなどの課題がある。また、量子暗号自体は通信の安全性を保証するものでデータ保存の安全性までは保証できない。そこで、市場競争力のある装置開発や標準化の取り組みを進めるとともに、量子暗号技術と従来から利用されている重要デジタル情報を安全に保管する手段としての秘密分散手法を組み合わせることで、理論上、将来にわたり機密漏洩を完全に防ぐデータ保管を初めて実現する。

1 “Store now, read later”-attack

現時点では解読不可能であっても、仮にデータを盗聴し保存しておき、将来高度な計算機が登場したときに過去に遡って全データを解読する技術。

#### 具体的な実施内容:

##### 1) 量子暗号技術

量子暗号には、使う検出器のタイプに応じて、BB84方式<sup>2</sup>とCV-QKD方式<sup>3</sup>という2つの方式があり、

本研究開発では、両方式を使用して研究開発を行う。

BB84 方式は、現在、一部の部品を海外から調達して製造しているため、部品から装置製造までの国産化を目的として、高い鍵配送性能を維持した上で、部品の集約、モジュール化、ソフト化及び市販品の活用等により、市場競争力のある量子暗号装置を開発する。

CV-QKD 方式を使用しての研究開発では、大学 - 企業間連携により、企業へ CV-QKD 技術の移転を図るとともに、雑音耐性と光多重度を向上させ、さらにユーザー環境で安定かつ高信頼動作させるための技術開発を行い、研究試作品を完成させる。

また、両方式に共通の課題となっている下記の事項についても、研究開発を進める。

#### i) 安全性保証技術の標準化

量子暗号の絶対安全性を実環境で保証するために、基礎理論、実験、対策実装、検証のサイクルを継続的に実施し、サイドチャンネル攻撃対策を実装する。これらの取組みを着実に実施し、安全性保証技術の継続的な高度化を行い、順次標準化する。

#### ii) 物理乱数源の小型化

量子暗号の鍵生成の根幹となる物理乱数源について、高速化するとともに、サイズを従来比の 2 分の一まで小型化させる。

#### iii) 検定基準・推奨方式リストの整備

メーカーが適正な物理乱数源、量子暗号装置を製造・販売し、ユーザーがそれらを安心して利用するためには、検定基準や推奨方式リストの整備が必要となる。我が国には、まだその体制が無いため、将来の運用に向けた予備調査と運用に必要な基礎データの蓄積、エコシステムとして機能する制度設計提案を取りまとめる。

## 2 BB84 方式

光の粒である光子を検出するための単一光子検出器を用いる量子暗号の代表的なプロトコル。物理法則が許すあらゆる盗聴攻撃、あらゆる計算能力を持つ計算機でも解読不可能なことが証明されている。以前より最も研究開発されてきており、現在、企業が試験稼働させている方式である。あらゆる盗聴の可能性を完全に排除する必要がある安全保障分野等のハイエンド用途が想定される。

## 3 CV-QKD 方式

光の位相・振幅を検出するホモダイン検出器を用いる量子暗号のプロトコル。通信路への攻撃手法があるクラスの物理操作に限定されるが、その攻撃も当面の技術では実装が極めて困難であり、かつあらゆる計算能力を持つ計算機でも解読できないことが証明されている。光通信用の光ファイバ内でも、共存して動作可能であるため、既存光通信インフラへの適用が期待できるというメリットがある。BB84 方式よりも低コストでの開発が可能であるため、主に民生のハイエンド用途が想定される。

## 2) 量子セキュアクラウド技術

量子セキュアクラウド機能を実現するため、秘密分散技術、物理乱数源、量子暗号技術、電子署名・認証技術、秘匿計算技術を統合する。その際、量子セキュアクラウド機能を実現するためには、処理量の爆発的増加への対処と暗号鍵の非可逆性の担保が不可欠である。これらの解決に向けて、高速かつ軽量の

秘密分散・秘匿計算技術と暗号鍵管理を統合運用するための最適なミドルウェアアプリケーションインターフェースを開発する。

### 3) 社会実装

代表的なアプリケーションとして、医療情報ストレージネットワークや企業・国家等重要インフラ網などを想定し、これらの分野の潜在ユーザーと連携しながら、社会実装を進める。

特に、それぞれの用途で扱うべき情報資産を、機密性の度合い、データサイズ、利活用の頻度等の観点から分類・優先付けし、ユーザーが必要とするデータに適時にアクセスし必要な処理やデータ復元が可能なアプリケーションを開発する。また、データ保管の際には、異なる組織間でもデータを相互参照できるよう、共通のデータフォーマットに変換するゲートウェイ機能も開発する。

#### 研究目標:

##### 1) 量子暗号技術

###### 2020年度までの中間目標

- 現在の BB84 装置における鍵配送性能を維持し、耐タンパー性対策とサイドチャネル攻撃対策の実装を完了。また、小型化・コスト低減を実現した 1 次試作品の開発及び評価・検証を完了
- CV-QKD 方式の大学から企業への技術移転、及び準製品化に必要な検討を完了し、1 次試作品の開発に着手
- 安全性保証技術に関し、国内外で標準化するためのドキュメントを作成及び公開。CRYPTREC もしくはそれに相当する組織において継続的に更新・改定する体制を整備
- 物理乱数源に関し、速度を現状比 10 倍までの高速化を達成

###### 2022年度までの最終目標

- ハイエンドユーザーからの受注獲得を目標に、従来比 4 分の一の低価格化を実現した BB84 装置を開発
- CV-QKD 方式装置に関して、企業による準製品化(ユーザー環境で稼動可能な研究試作品)を完了
- 物理乱数源に関して、現状比 10 倍の高速化(生成速度 ~ 数 Gbps)かつ従来比の 2 分の一の小型化を実現し、企業へ技術移転を達成
- 物理乱数源、量子暗号技術の安全性保証、検定基準、推奨方式リストの策定と更新を継続的に行うための制度設計提案書を取りまとめ、提言を実施

##### 2) 量子セキュアクラウド技術

###### 2020年度までの中間目標

- 秘密分散・秘匿計算の軽量化技術、及びこれらを鍵の安全な管理・運用と統合するためのミドルウェアの試作・評価を完了。フィールドテストベッド上でのプログラム実装に着手

###### 2022年度までの最終目標

- 秘密分散・秘匿計算の軽量化技術と鍵管理・運用を統合するミドルウェアのプログラム実装を完了し、フィールドテストベッド上でオープンテストベッド化を達成

### 3) 社会実装

#### 2020 年度までの中間目標

- 医療情報ストレージネットワーク分野において、主要なアプリケーションソフトウェアの開発と検証を完了。電子カルテ等の超長期セキュアなバックアップ機能を実現。医療情報の安全な 2 次利用に向けた高度計算技術の試作と評価を完了
- 企業・国家等重要インフラ分野において、実データを扱うためのアプリケーションソフトウェアを開発し、模擬実験を実施、ユーザーと共同検証し、ユーザー環境でのネットワーク構築に着手

#### 2022 年度までの最終目標

- 医療情報ストレージネットワーク分野と企業・国家等重要インフラ分野において、都市圏スケールの 3 拠点程度のネットワークでユーザーによる試験運用の成果を反映し、運用ユーザー拡大のためのビジネスモデルの構築を完了

### (3) 光電子情報処理

担当サブ PD: 具体的な研究開発内容が決定するまで PD が兼任

スマート製造の実現に必要なネットワーク上のリソースの組合せ最適化等の問題を高速で処理する光電子情報処理のソフトウェア、ミドルウェア開発を行い、クラウドサービスを実施し、開発したソフトウェアを企業等に提供・フィードバックをもらい開発に活用するとともに、個別企業の具体的な要求に基づくソフトウェア開発につなげることを念頭に、内閣府「ImPACT」、文部科学省「Q-LEAP」、経済産業省・NEDO「高効率・高速処理を可能とする AI チップ・次世代コンピューティングの技術開発事業」の状況を踏まえ、今後詳細を決定する。

そのため 2018 年度は、上記検討にあたって、必要な調査を実施する。

## 3. 実施体制

### (1) 国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構の活用

本件は、国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構(以下「量研」という。)への運営費交付金を活用し、図表 3 - 1 のような体制で実施する。量研は、PD や推進委員会を補佐し、研究責任者の公募、契約の締結、資金の管理、研究開発の進捗管理、PD 等への自己点検結果の報告、関連する調査・分析などを行う。

### (2) 研究責任者の選定

量研は、本研究開発計画に基づき、研究責任者を公募等により選定する。

審査基準等の審査の進め方は、量研が内閣府等と相談し、決定する。

研究責任者、研究責任者の共同研究予定者、研究責任者からの委託(量研からみると再委託) 予定者等の利害関係者は、当該研究責任者等の審査に参加しない。利害関係者の定義は、量研が定めている規定等に準じ、必要に応じPD及び内閣府等に相談し、変更する。

選定の結果は、PD及び内閣府の了承をもって確定とする。

### **(3) 研究体制を最適化する工夫**

PDは、研究開発項目ごとに置くサブPDを統括し、各サブPDとの協議を踏まえ、研究課題や研究責任者の変更・入替・追加など研究体制を決定する。

研究開発項目ごとに、当該分野の技術の全体像を客観的に把握し、研究責任者と議論を行えるサブPDを配置する。サブPDは、担当する研究開発項目の責任者として、研究開発マネジメントを行い、各研究課題の研究を推進する。また、サブPDは、研究課題の進捗状況、関係機関等で実施する技術調査等の結果や社会情勢の変化に応じ、研究課題の研究内容・研究目標・必要経費・研究体制(変更・入替・追加を含む)、他の関連プロジェクトの成果の導入・統合など出口戦略の案を検討し、マネジメント会議に提案、PDの承認を得る。

PDの意思決定を補佐するため、量研にマネジメント会議を設置する。マネジメント会議では、本研究開発の全体方針の決定及び目標の設定、研究開発の進捗管理、各研究課題の研究内容、研究目標、必要経費、研究体制の変更・入替・追加等サブPDから提案された内容の検討を行う。

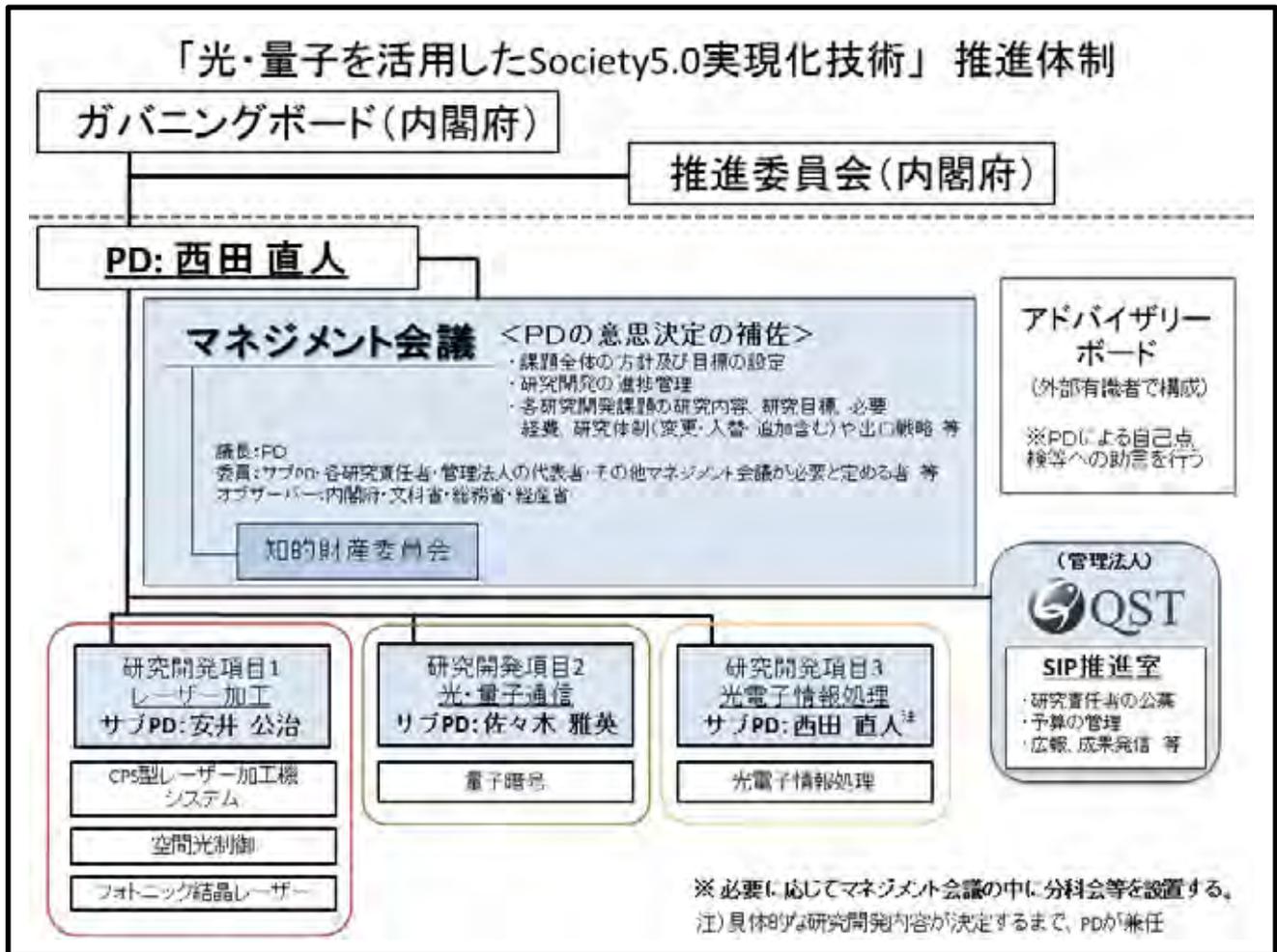
PDによる自己点検等への助言を行うため、量研に外部有識者で構成するアドバイザリーボード(仮称)を設置する。

### **(4) 府省連携**

PD、サブPDの研究開発マネジメントの下、内閣府・総務省・文部科学省・経済産業省が、各府省で実施している関連する事業で開発された技術をSIPで活用するなど、社会実装に向けて、緊密に連携する。

### **(5) 産業界からの貢献**

今後の産業界からの貢献(人的、物的貢献を含む。)は、研究開発費の総額(国と産業界からの貢献との合計)の15%~30%程度を期待している。



**図表 3 - 1 実施体制**

#### 4. 知財に関する事項

研究開発の成功と成果の実用化・事業化による国益の実現を確実にするため、優れた人材・機関の参加を促すためのインセンティブを確保するとともに、知的財産等について適切な管理を行う。

##### (1) 知財委員会

課題または課題を構成する研究項目ごとに、知財委員会を量研に置く。

知財委員会は、それを設置した機関が担った研究開発成果に関する論文発表及び特許等(以下「知財権」という。)の出願・維持等の方針決定等のほか、必要に応じ知財権の実施許諾に関する調整等を行う。

知財委員会は、原則として PD または PD の代理人、主要な関係者、専門家等から構成する。

知財委員会の詳細な運営方法等は、知財委員会を設置する機関において定める。

##### (2) 知財権に関する取り決め

量研は、秘密保持、バックグラウンド知財権(研究責任者やその所属機関等が、プログラム参加前から保

有していた知財権及びプログラム参加後に SIP の事業費によらず取得した知財権)、フォアグラウンド知財権 (プログラムの中で SIP の事業費により発生した知財権) の扱い等について、予め委託先との契約等により定めておく。

### **(3) バックグラウンド知財権の実施許諾**

他のプログラム参加者へのバックグラウンド知財権の実施許諾は、知財権者が定める条件に従い(あるいは、「プログラム参加者間の合意に従い」)、知財権者が許諾可能とする。

当該条件などの知財権者の対応が、SIP の推進(研究開発のみならず、成果の実用化・事業化を含む)に支障を及ぼすおそれがある場合、知財委員会において調整し、合理的な解決策を得る。

### **(4) フォアグラウンド知財権の取扱い**

フォアグラウンド知財権は、原則として産業技術力強化法(平成十二年法律第四十四号)第 19 条第 1 項を適用し、発明者である研究責任者の所属機関(委託先)に帰属させる。

再委託先等が発明し、再委託先等に知財権を帰属させる時は、知財委員会による承諾を必要とする。その際、知財委員会は条件を付すことができる。

知財権者に事業化の意志が乏しい場合、知財委員会は、積極的に事業化を目指す者による知財権の保有、積極的に事業化を目指す者への実施権の設定を推奨する。

参加期間中に脱退する者に対しては、当該参加期間中に SIP の事業費により得た成果(複数年度参加の場合は、参加当初からの全ての成果)の全部または一部に関して、脱退時に量研が無償譲渡させること及び実施権を設定できることとする。

知財権の出願・維持等にかかる費用は、原則として知財権者による負担とする。共同出願の場合は、持ち分比率、費用負担は、共同出願者による協議によって定める。

### **(5) フォアグラウンド知財権の実施許諾**

他のプログラム参加者へのフォアグラウンド知財権の実施許諾は、知財権者が定める条件に従い(あるいは、「プログラム参加者間の合意に従い」)、知財権者が許諾可能とする。

第三者へのフォアグラウンド知財権の実施許諾は、プログラム参加者よりも有利な条件にはしない範囲で知財権者が定める条件に従い、知財権者が許諾可能とする。

当該条件などの知財権者の対応が SIP の推進(研究開発のみならず、成果の実用化・事業化を含む)に支障を及ぼすおそれがある場合、知財委員会において調整し、合理的な解決策を得る。

### **(6) フォアグラウンド知財権の移転、専用実施権の設定・移転の承諾について**

産業技術力強化法(平成十二年法律第四十四号)第 19 条第 1 項第 4 号に基づき、フォアグラウンド知財権の移転、専用実施権の設定・移転には、合併・分割による移転の場合や子会社・親会社への知財権の移転、専用実施権の設定・移転の場合等(以下「合併等に伴う知財権の移転等の場合等」という。)を除き、量研の承認を必要とする。

合併等に伴う知財権の移転等の場合等には、知財権者は量研との契約に基づき、量研の承認を必要とす

る。

合併等に伴う知財権の移転等の後であっても量研は当該知財権にかかる再実施権付実施権を保有可能とする。当該条件を受け入れられない場合、移転を認めない。

### **(7) 終了時の知財権取扱いについて**

研究開発終了時に、保有希望者がいない知財権等については、知財委員会において対応(放棄、あるいは、量研による承継)を協議する。

### **(8) 国外機関等(外国籍の企業、大学、研究者等)の参加について**

当該国外機関等の参加が課題推進上必要な場合、参加を可能とする。

適切な執行管理の観点から、研究開発の受託等にかかる事務処理が可能な窓口または代理人が国内に存在することを原則とする。

国外機関等については、知財権は量研と国外機関等の共有とする。

## **5. 評価に関する事項**

### **(1) 評価主体**

PD と量研等が行う自己点検結果の報告を参考に、ガバニングボードが外部の専門家等を招いて行う。この際、ガバニングボードは分野または課題ごとに開催することもできる。

### **(2) 実施時期**

事前評価、毎年度末の評価、最終評価とする。

終了後、一定の時間(原則として3年)が経過した後、必要に応じて追跡評価を行う。

上記のほか、必要に応じて年度途中等に評価を行うことも可能とする。

### **(3) 評価項目・評価基準**

「国の研究開発評価に関する大綱的指針(平成28年12月21日、内閣総理大臣決定)」を踏まえ、必要性、効率性、有効性等を評価する観点から、評価項目・評価基準は以下のとおりとする。評価は、達成・未達の判定のみに終わらず、その原因・要因等の分析や改善方策の提案等も行う。

意義の重要性、SIPの制度の目的との整合性。

目標(特にアウトカム目標)の妥当性、目標達成に向けた工程表の達成度合い。

適切なマネジメントがなされているか。特に府省連携の効果がどのように発揮されているか。

実用化・事業化への戦略性、達成度合い。

最終評価の際には、見込まれる効果あるいは波及効果。終了後のフォローアップの方法等が適切かつ明確に設定されているか。

### **(4) 評価結果の反映方法**

事前評価は、次年度以降の計画に関して行い、次年度以降の計画等に反映させる。

年度末の評価は、当該年度までの実績と次年度以降の計画等に関して行い、次年度以降の計画等に反映させる。

最終評価は、最終年度までの実績に関して行い、終了後のフォローアップ等に反映させる。

追跡評価は、各課題の成果の実用化・事業化の進捗に関して行い、改善方策の提案等を行う。

## (5) 結果の公開

評価結果は原則として公開する。

評価を行うガバニングボードは、非公開の研究開発情報等も扱うため、非公開とする。

## (6) 自己点検

### 研究責任者による自己点検

PD が自己点検を行う研究責任者を選定する(原則として、各研究項目の主要な研究者・研究機関を選定)。

選定された研究責任者は、5.(3)の評価項目・評価基準を準用し、前回の評価後の実績及び今後の計画の双方について点検を行い、達成・未達の判定のみならず、その原因・要因等の分析や改善方策等を取りまとめる。

### PD による自己点検

PD が研究責任者による自己点検の結果を見ながら、かつ、必要に応じてアドバイザリーボードの意見を参考にしつつ、5.(3)の評価項目・評価基準を準用し、PD 自身、量研及び各研究責任者の実績及び今後の計画の双方に関して点検を行い、達成・未達の判定のみならず、その原因・要因等の分析や改善方策等を取りまとめる。その結果をもって各研究責任者等の研究継続の是非等を決めるとともに、研究責任者等に対して必要な助言を与える。これにより、自律的にも改善可能な体制とする。

これらの結果を基に、PD は量研の支援を得て、ガバニングボードに向けた資料を作成する。

### 量研による自己点検

量研による自己点検は、予算執行上の事務手続を適正に実施しているかどうか等について行う。

## 6. 出口戦略

我が国の強みである光・量子技術を活用して、レーザー加工技術、光・量子通信技術、光電子情報処理技術の研究開発を行い、スマート製造、スマートモビリティ(自動運転)、スマートエネルギーを実現することにより、民間投資を促し、我が国の産業競争力を確保・発展させていく。

### (1) 出口指向の研究推進

#### 企業ネットワークの活用連携

本研究開発成果を広く市場に普及するためには、市場支配力を有する企業群からの評価を早い段階で獲

得する事が必須であるため、可能な限り、国内外の企業ネットワーク(例えば、電子機器分野)に研究開発成果を開示した上で、各企業での実装に向けての議論を行い、具体的な評価例・採用実例をもって、実際に社会実装が可能な成果であるか早期に判断し、研究開発にフィードバックする。

例えば、CPS 型レーザー加工機システムの開発では広くステークスホルダーが使用できるテストプラットフォームを提供し、試作加工による技術データを収集し、システム性能の向上に役立てる。

#### 関連する他の課題との連携

- ・CPS 型レーザー加工機システムに係る研究開発については、文部科学省「Q-LEAP」や経済産業省・NEDO「高輝度・高効率次世代レーザー技術開発」等の研究成果を本 SIP 事業に糾合することで研究開発を加速していく。
- ・量子暗号については、内閣府「ImPACT 量子人工脳を量子ネットワークでつなぐ高度知識社会基盤の実現」の「超長期セキュア秘密分散保管技術」と秘匿計算技術等を組み合わせることで、量子セキュアクラウド技術を実現する。また、第 2 期 SIP の他課題に対し、超長期セキュリティを確保するための先端的なコア技術の提供等を行い、本技術の普及を図っていくことを模索していく。
- ・光電子情報処理については、内閣府「ImPACT 量子人工脳を量子ネットワークでつなぐ高度知識社会基盤の実現」、文部科学省「Q-LEAP」、経済産業省・NEDO「高効率・高速処理を可能とする AI チップ・次世代コンピューティングの技術開発事業」の状況を踏まえ、今後検討していく。

#### SIP で行う範囲と研究成果の引き取り先

- ・各研究課題において、その基盤技術や研究開発の進展度によっては技術成熟度は異なるが、全体的には TRL7 の実現を目指す。
- ・各研究課題に参画する企業や、知財等のライセンスを受けた企業により、研究成果を市場に製品・サービスとして投入を行う。具体的な研究成果の出口戦略については、別添工程表を参照のこと。

#### 参画企業からの人的、物的、資金的貢献

- ・参画企業は、人材・設備・ノウハウ等を提供し、研究開発の推進に貢献する。また研究開発や事業化の見通しの進展に伴い、製品化に向けた研究開発等のための資金を拠出する。なお、具体的な資金の見通しについては、別添工程表を参照のこと。

## (2) 普及のための方策

上述の企業ネットワークの利用による成果の普及・展開を行うとともに、社会実装のリソースとして、既存の民間企業やベンチャー企業(大学や研究機関から生まれるスタートアップ企業)等をビジネスベースで活用し、中小企業も含め研究成果の普及を展開していく。特に、CPS 型レーザー加工機システムについては、連携する事業や、関係するコンソーシアム等の枠組み等を活用し、普及を図っていく。

また、研究開発成果の積極的・戦略的な広報活動を実施し、国内外の企業等への研究開発成果の浸透を図り、世界シェアの拡大を行い、関連業界のフラッグシップを目指す。特に、実機によるデモ等インパクトのあるイベントを関連企業だけでなく一般・マスコミ向けに実施し、マスメディアに積極的に成果を露出することも念

頭に活動を進めていく。そのため、研究開発期間初期より、管理法人に広報(プロモーション)強化のための専任人員を雇用する。

## **7. その他の重要事項**

### **(1) 根拠法令等**

本件は、内閣府設置法(平成 11 年法律第 89 号)第 4 条第 3 項第 7 号の 3、科学技術イノベーション創造推進費に関する基本方針(平成 26 年 5 月 23 日、総合科学技術・イノベーション会議)、戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)第 2 期(平成 29 年度補正予算措置分)の実施方針(平成 30 年 3 月 29 日、総合科学技術・イノベーション会議)、戦略的イノベーション創造プログラム運用指針(平成 26 年 5 月 23 日、総合科学技術・イノベーション会議ガバニングボード)に基づき実施する。

### **(2) 弾力的な計画変更**

本計画は、成果を最速かつ最大化させる観点から、臨機応変に見直すこととする。

全ての研究課題に関して、プロジェクトを一律 5 年とせず、当該時点での新たな需要向けのテーマを他の関連事業での成果を踏まえて追加するなど、柔軟に研究課題を編成する。

### (3) PD 及び担当の履歴

#### PD



西田 直人(2018年6月~)

#### 担当参事官(企画官)



千嶋 博  
(2018年4月~)



西山 崇志  
(2018年4月~)

#### 担当



龍 政彦  
(2018年4月~)

## 添付資料 資金計画及び積算

2018年度 合計 2,500百万円

(内訳)

1. 研究費等(一般管理費・間接経費を含む) (研究開発項目毎内訳)	2,360百万円
(1) レーザー加工	1,905百万円
(2) 光・量子通信	449百万円
(3) 光電子情報処理	6百万円
2. 事業推進費(人件費、評価費、会議費等)	140百万円
計	2,500百万円