

戦略的創造研究推進事業 CREST  
研究領域「新たな光機能や光物性の発現・利活用  
を基軸とする次世代フォトニクスの基盤技術」  
研究課題「変調フォトニック結晶レーザーによる  
2次元ビーム走査技術の開発」

研究終了報告書

研究期間 2017年10月～2023年3月

研究代表者:野田 進  
(京都大学大学院工学研究科、教授)

## § 1 研究実施の概要

### (1) 実施概要

近年、自動運転、セキュリティセンシング、ロボットの自動走行などへの関心が世界的に高まり、LiDAR (Light Detection and Ranging) と呼ばれる、レーザー光を用いた障害物や不審物(者)のセンシング技術の開発が急務となっている。その中でもキーデバイスとして開発が望まれているのが、ビーム出射方向を、非機械式で 2 次元かつ広範囲に走査可能な小型半導体レーザー光源である。本研究は、研究代表者独自のフォトニック結晶レーザーに、研究代表者が発明した「変調フォトニック結晶」の概念を導入し、電氣的に高速かつ広範囲の 2 次元ビーム走査を可能とするチップを開発し、レーザービーム走査技術の新たな方向性を生み出すことを目指すものである。

本研究の前半(中間評価前)では、研究開始段階において課題であった、安定な 2 次元発振を阻害していたフラットバンド発振と呼ばれる不要な発振を抑制するための 2 次元結合係数の増強方式を見出すとともに、光出力の増大を阻害していた原因を解明し、それを解決する新たな変調方式である「複合変調」方式を見出した。さらに、開始時点では L 字状のビーム走査の初期実証にとどまっていたことに対して、2 次元マトリクス駆動方式の構築を通じて、当初計画を前倒して、高出力(ワット級)・高ビーム品質アレイ化複合変調フォトニック結晶レーザーによる電氣的 2 次元ビーム走査を実現することに成功した。

さらに、中間評価後は、頂いたコメント「産業界とタッグを組んでアグレッシブにチャレンジしてもらいたい」に基づき、当初の計画を超える社会実装に向けた活動を様々に実施した。その1つ目として、面垂直出射型のフォトニック結晶レーザー(500 $\mu\text{m}\Phi$  のデバイスサイズ、半値幅 $\sim 0.1^\circ$ のビーム拡がり角)を開発し、その極めて狭いビーム拡がり角を活かした投光系レンズフリーのビーム走査型 LiDAR の構築を、ユーザー企業と連携して行った。レンズフリー特性を活かすことで、名刺サイズの超小型の、クラス最小高性能 LiDAR の構築に成功した。さらに、本 LiDAR を搭載した自動搬送ロボットをも構築し、スマートモビリティへの展開にも成功した。

社会実装に向けた取り組みの 2 つ目は、複合変調フォトニック結晶レーザーを活用した、「ビーム走査式」と「フラッシュ式」を融合した全く新たな非機械式 3 次元 LiDAR システムの考案と実現である。フラッシュ式 LiDAR は、様々な方向の障害物を一気に測距出来る一方で、反射率の低い黒い物体の測距が困難であるという課題を有している。本研究では、複合変調 2 次元ビーム走査チップを同時に用いることを提案し、検出困難な低反射率の物体を見つけ次第、その方向のみにビームを出射することで、正確な測距を可能とした。最終的に構築に成功した非機械式 3 次元 LiDAR は、フラッシュ光源をも変調フォトニック結晶レーザーで構築し、併せて、低反射物体の追従検出機能をも有するもので、名刺サイズの超小型のものとなった。

社会実装の拡大に向けた 3 つ目の取り組みは、モバイル応用を見据えた、超小型 LiDAR への展開である。複合変調フォトニック結晶レーザーの深化により、任意形状のビームを出射可能な新たな方式を考案し、外部光学系フリーのワンチップで、多点を同時に出射するストラクチャード・ライト光源を実現するとともに、ユーザー企業と連携して、投光系レンズフリーの超小型モバイル用測距モジュールを構築することに成功した。さらに、本コンセプトを発展させ、ワンチップから、任意のパターン(文字列や、ロゴマーク、絵など)を出射するデバイスの実現にも成功した。

本研究は、京都大学、ローム、三菱電機が、総合研究グループを形成しつつ、さらに多くの産業会のユーザー企業をも巻き込んで推進した。これにより、上述の通り、社会実装に向けた大きな進展が得られた。また、このような取り組みを通じて得られた産業界からの様々なフィードバックを踏まえ、さらに先の(つまり、次々世代の)LiDAR への展開に向けた、長距離アイセーフ測距を可能とするフォトニック結晶レーザーの短パルス・高ピークパワー化や、水中 LiDAR などに適した水の吸収の小さな青色フォトニック結晶レーザーの開発と水中 LiDAR の初期実証など、新たな展開の芽も出てきており、今後のセンシング応用に革新をもたらす重要な技術を、数多く構築することが出来たといえる。

## (2) 顕著な成果

### <優れた基礎研究としての成果>

#### 1. 安定かつ高出力・高ビーム品質動作が可能な「複合変調フォトニック結晶レーザー」のコンセプトの創出と電氣的 2 次元ビーム走査の実証

##### 概要:

研究開始段階において課題であった、ビーム形状の乱れや、光出力が mW レベルと低いという課題に対して、2 次元結合の増強のための楕円格子点を採用するとともに、空孔の位置とサイズの両方に変調を与えた「複合変調」が、高出力かつ高ビーム品質の理想的なビーム走査レーザーを実現するための鍵となることを見出した。以上を通じて、変調フォトニック結晶の本質的・体系的理解を深め、安定・高出力動作が可能な変調フォトニック結晶レーザー、すなわち、複合変調フォトニック結晶レーザーのコンセプトを確立することに成功した。さらに、MOVPE 法を用いた空孔埋め込み再成長法による作製法を構築するとともに、ビーム出射面を電極等で遮ることのない、裏面に電極を集約したアレイ構造の形成法をも構築し、当初計画を前倒しして、ワット級・高ビーム品質の広範囲 2 次元ビーム走査の実現に成功した。

##### (主要な論文)

- Y. Tanaka, A. Nishigo, K. Kitamura, J. Gellela, and S. Noda, "Modulated photonic-crystal surface-emitting laser with elliptical lattice points for two-dimensional coupling enhancement," *AIP Advances* **9**, 115204 (2019).
- R. Sakata, K. Ishizaki, M. De Zoysa, S. Fukuhara, T. Inoue, Y. Tanaka, K. Iwata, R. Hatsuta, M. Yoshida, J. Gellela, and S. Noda, "Dually modulated photonic crystals enabling high-power high-beam-quality two-dimensional beam scanning lasers," *Nature Communications* **11**, 3487, (2020).

#### 2. 複合変調フォトニック結晶の深化による外部光学系フリーでの自在なビームパターン生成

##### 概要:

当初の計画を超える新たな展開として、自在な形状のビームを出射可能な複合変調フォトニック結晶レーザーの開発に成功したことが挙げられる。狙いとする様々なビーム形状の逆フーリエ変換を最適化位相補正のもとで行いつつ、格子点の位置と大きさを変調することで、レンズや DOE 等の外部光学系を用いることなく、任意形状のビームを生成可能な手法を開発した。単一の素子で、 $30^\circ \times 30^\circ$  の広範囲フラッシュ照射、100 点以上の多点同時照射、さらには「Kyoto Univ.」の文字列や京大のロゴマーク、富嶽三十六景といった絵画などの複雑なパターンを、自由自在に実現することに成功した。

##### (主要な学会発表・論文)

- R. Sakata, K. Ishizaki, M. De Zoysa, T. Inoue, A. Imamura, H. Zhao, and S. Noda, "Generation of various beam patterns based on dually modulated photonic-crystal surface-emitting Lasers," 28<sup>th</sup> International Semiconductor Laser Conference (ISLC 2022), MB-02, Oct. 17 (2022).  
(最も優れた発表論文として、Best Paper Award を受賞。)
- R. Sakata, K. Ishizaki, M. De Zoysa, K. Kitamura, T. Inoue, J. Gellela, and S. Noda, "Photonic-crystal surface-emitting lasers with modulated photonic crystals enabling 2D beam scanning and various beam pattern emission," *Applied Physics Letters -Perspective-* **122**, 130503 (2023) (Invited, Featured Article).

#### 3. 次々世代 LiDAR への展開に向けたフォトニック結晶レーザーの深化

##### 概要:

当初の計画を超える新たな展開として、フォトニック結晶レーザーのさらなる深化を図った。

アイセーフでありながら、長距離の測距を行うために、レーザーの短パルス・高ピークパワー動作が要求されることを踏まえて、フォトニック結晶のバンド端周波数に、面内で適切な勾配をもたせることで、短パルス(～数 10ps)・高ピークパワー動作が可能であることを見出し、その実証に成功した。また、水中 LiDAR などの応用に向けて、水の吸収の少ない青色領域のフォトニック結晶レーザーへの展開をも行い、ワット級の高ビーム品質・高出力動作を実現することにも成功した。

(主要な学会発表・論文)

- T. Inoue, R. Morita, K. Nigo, M. Yoshida, K. Ishizaki, M. De Zoysa, and S. Noda, "Self-Q-switched photonic-crystal lasers with band-edge frequency gradation," 28<sup>th</sup> International Semiconductor Laser Conference (ISLC 2022), MB-03, Oct. 17 (2022).
- T. Inoue, R. Morita, K. Nigo, M. Yoshida, M. De Zoysa, K. Ishizaki, and S. Noda, "Self-evolving photonic crystals for ultrafast photonics," *Nature Communications* **14**, 50 (2023).
- K. Emoto, T. Koizumi, M. Hirose, M. Jutori, T. Inoue, K. Ishizaki, M. De Zoysa, H. Togawa, and S. Noda, "Wide-bandgap GaN-based watt-class photonic-crystal lasers," *Communications Materials*\* **3**, 72 (2022). (\*: Nature 系の新たなオンライン雑誌)

## <科学技術イノベーションに大きく寄与する成果>

### 1. フォトニック結晶レーザーの狭発散角特性を活かしたレンズフリーLiDAR への展開

概要:

中間評価において頂いたコメントを踏まえて、当初計画に無かった新たな展開として、垂直射出型のフォトニック結晶レーザーを用いた、投光系レンズフリーLiDAR を構築した。ビーム拡がり角が極めて狭く、レンズフリーで、30m という遠方でも 5cm 未満という極めて小さなビームスポット径が得られるという特長を活かして、これまでの LiDAR で不可欠であった複雑なレンズ系を用いずに、LiDAR を構築することに成功した。さらに、レンズフリー特性を活かした小型化を行い、名刺サイズの小型で、クラス最小の LiDAR を実現し、本 LiDAR を用いた搬送ロボットの自動走行にも成功した。レンズ系が不要かつ、そのアライメントも不要でありながら、きわめて高い分解能を実現出来ていることから、ユーザー企業を含めて驚嘆の声を頂いており、LiDAR システムの大幅な簡素化・高性能化に繋がる結果と位置付けられ、大きなイノベーション創出に貢献する成果といえる。

(論文)

- M. Yoshida, M. De Zoysa, K. Ishizaki, Y. Tanaka, M. Kawasaki, R. Hatsuta, B.-S. Song, J. Gellera, and S. Noda, "Double-lattice photonic-crystal resonators enabling high-brightness semiconductor lasers with symmetric narrow-divergence beams," *Nature Materials* **18**, 121 (2019).
- M. Yoshida, M. De Zoysa, K. Ishizaki, W. Kunishi, T. Inoue, K. Izumi, R. Hatsuta, and S. Noda, "Photonic-crystal lasers with high-quality narrow-divergence symmetric beams and their application to LiDAR," *Journal of Physics: Photonics* **3**, 022006 (2021) (Topical Review, Invited).

(展示)

- 拡がり角の極めて狭いフォトニック結晶レーザーや、それを搭載した小型・高分解能の LiDAR システムについて、多くの展示会等で展示し、実際に目に触れて頂く形での、情報発信を行った。

出展した代表的な展示会等: 光とレーザーの科学技術フェア 2020、【光・レーザー技術展】Photonix 2020、第 13 回オートモーティブワールド クルマの先端技術展、OPIE 2021、Society 5.0 科学博@東京スカイツリータウン、OPIE 2022、ISLC 2022 併設展示会、PDW2022 展示会、オランダ High Tech Campus, Automotive Campus.

## 2. 非機械式 2 次元ビーム走査技術に基づく、ビーム走査・フラッシュ融合型の新たな非機械式 3 次元 LiDAR の開発

### 概要:

任意の方向へのビーム出射が可能な複合変調フォトニック結晶レーザーアレイチップを用いた、新たな LiDAR システムを考案・開発した。通常のフラッシュ LiDAR においては、視野範囲を一括照射・測距することに起因して、反射率の低い物体の測距が困難であるという課題が存在する。本研究では、開発したビーム走査チップを用い、低反射物体に選択的にビーム照射することで、通常では検出困難な物体でも検出することが可能となるという発想のもと、フラッシュ式と走査式を組み合わせた全く新たな非機械式 3 次元 LiDAR を考案した。続いて、ユーザー企業と連携して、その原理実証を行った後、変調フォトニック結晶の概念を深化させ、単一素子で広範囲フラッシュ照射可能なレーザー光源までも開発し、ビーム走査チップと組み合わせて、名刺サイズの超小型 LiDAR システム構築に成功した。本システムは、低反射物体の追従・測距も可能な本研究独自の新規の先進的な非機械式 3 次元 LiDAR であり、新たなイノベーションの創出に繋がる成果といえる。

### (学会発表・論文等)

- M. De Zoysa, R. Sakata, K. Ishizaki, T. Inoue, M. Yoshida, J. Gellea, Y. Mineyama, T. Akahori, S. Aoyama, and S. Noda, "Non-mechanical 3D LiDAR system based on flash and beam-scanning dually-modulated photonic-crystal lasers," 28<sup>th</sup> International Semiconductor Laser Conference (ISLC 2022), TuB-07, Oct. 18 (2022).
- M. De Zoysa, R. Sakata, K. Ishizaki, T. Inoue, M. Yoshida, J. Gellea, Y. Mineyama, T. Akahori, S. Aoyama, and S. Noda, "Non-mechanical three-dimensional LiDAR system based on flash and beam-scanning dually modulated photonic crystal lasers," *Optica* **10**, 264 (2023).

### (主要な特許出願)

- 特願 2019-129075 (2019 年 7 月 11 日) 「3 次元センシングシステム」野田進、久志本琢也、デゾイサメーナカ、田中良典、宮井英次、國師渡。
- 特願 2020-059842 (2020 年 3 月 30 日) 「3 次元センシングシステム」野田進、久志本琢也、デゾイサメーナカ、田中良典、宮井英次、國師渡、石崎賢司。

### (展示)

- ビーム走査デバイスやフラッシュ照射デバイス、さらにそれらを搭載したビーム走査式とフラッシュ式を融合した新たな非機械式 LiDAR を、京都大学に形成したフォトニック結晶レーザー拠点のデモルームに常設展示し、拠点に訪問して頂いた企業・機関の皆様にご覧頂き、その優位性を実感頂いた。(数 10 以上の国内外の企業・機関、オランダからの訪問団(約 30 名)、ドイツ フラウンホーファー等へと、デモを行った。)

## 3. モバイル用超小型測距システムへの展開

### 概要:

単一素子から、レンズや DOE を用いずに、多数の点状ビームを出射出来る新たな光源技術を開発し、モバイル用超小型測距モジュールの構築を、ユーザー企業と連携して行った。モバイル応用では、使用出来る電流に制限があること等を考慮し、多点ビームの各点の強度を必要な範囲で十分に得るために、異なる視野範囲をカバーする多点出射複合変調フォトニック結晶レーザーをアレイ化する方式を検討した。実際に、8 点同時出射素子の 4 アレイからなる合計の FOV $\sim$ 80° 程度のデバイスを開発し、超小型測距モジュールの構築および測距のデモンストラーションに成功した。さらに、28 点同時出射素子の 4 アレイにより、さらに広い範囲(FOV $\sim$ 120°)へと展開することにも成功した。モバイル分野では、年間、億個レベルの出荷が期待出来るなど、大きな市場展開が期待出来ることに加えて、超小型 LiDAR により、自動車に多数の LiDAR を搭載して自動運転を本格化させるといった展開へもつながっていくことが期待出来る。

(主要な特許出願)

- ・ 特願 2021-28588 (2021 年 2 月 25 日)「2 次元フォトニック結晶面発光レーザー」野田進、デゾイサ メーナカ、坂田諒一、石崎賢司、井上卓也、吉田昌宏。
- ・ 特願 2021-147897 (2021 年 9 月 10 日)「2 次元フォトニック結晶レーザー」野田進、坂田諒一、井上卓也、石崎賢司、デゾイサ メーナカ。

(展示)

- ・ 多点同時出射デバイスや、任意のパターンが出射可能なデバイスを、京都大学に形成した拠点のデモルームに常設展示し、拠点に訪問して頂いた企業・機関の皆様にご覧頂き、高い関心を集めた。(数 10 以上の国内外の企業・機関、オランダからの訪問団(約 30 名)、ドイツ フラウンホーファー等へと、デモを行った。)

## <代表的な論文>

1. **R. Sakata, K. Ishizaki, M. De Zoysa, S. Fukuhara, T. Inoue, Y. Tanaka, K. Iwata, R. Hatsuta, M. Yoshida, J. Gellesta, and S. Noda, "Dually modulated photonic crystals enabling high-power high-beam-quality two-dimensional beam scanning lasers," *Nature Communications* 11, 3487 (2020).**

概要:

<優れた基礎研究としての成果 1>でも述べた、複合変調フォトニック結晶レーザーのコンセプトの創出と、電気的な高出力・高ビーム品質 2 次元ビーム走査を実現した成果をまとめた論文である。研究開始段階において課題であった光出力が mW レベルと低いという課題に対して、フォトニック結晶を構成する空孔をナノアンテナとみなすナノアンテナ理論の構築を通じて、空孔の位置とサイズの両方に変調を与えた「複合変調」が、高出力かつ高ビーム品質の理想的なビーム走査レーザーを実現するための鍵となることを見出すとともに、マトリクス状に配置した複合変調フォトニック結晶レーザーを開発し、電気的な高出力・高ビーム品質 2 次元ビーム走査を実現した成果をまとめている。本成果について、国内および海外でのプレス発表を行い、国内外から大きな反響があり、NHK でのテレビ報道や新聞等での報道がなされ、多数の海外メディア(7 機関以上)でも報道された。

2. **M. Yoshida, M. De Zoysa, K. Ishizaki, W. Kunishi, T. Inoue, K. Izumi, R. Hatsuta, and S. Noda, "Photonic-crystal lasers with high-quality narrow-divergence symmetric beams and their application to LiDAR," *Journal of Physics: Photonics* 3, 022006 (2021) (Topical Review, Invited).**

概要:

<科学技術イノベーションに大きく寄与する成果 1>でも述べた、当初計画に無かった新たな展開として、垂直出射型のフォトニック結晶レーザーを用いた、投光系レンズフリー LiDAR を構築した結果をまとめた論文である。ビーム拡がり角が極めて狭く、レンズフリーで、30m という遠方でも 5cm 未満という極めて小さなビームスポット径が得られるという特長を活かして、これまでの LiDAR で不可欠であった複雑なレンズ系を用いずに、LiDAR を構築することに成功した。この成果は、その後、名刺サイズの小型で、クラス最小 LiDAR を実現し、本 LiDAR を用いた搬送ロボットの自動走行に成功することにも繋がっている。レンズ系が不要かつ、そのアライメントも不要でありながら、きわめて高い分解能を実現出来ていることから、ユーザー企業を含めて驚嘆の声を頂いており、LiDAR システムの大幅な簡素化・高性能化に繋がる結果と位置付けられ、大きなイノベーション創出に貢献する成果といえる。なお、本成果についても、プレス発表を行い、国内外から大きな反響があり、NHK でのテレビ報道や新聞等での報道がなされた。

3. M. De Zoysa, R. Sakata, K. Ishizaki, T. Inoue, M. Yoshida, J. Gellela, Y. Mineyama, T. Akahori, S. Aoyama, and S. Noda, "Non-mechanical three-dimensional LiDAR system based on flash and beam-scanning dually modulated photonic crystal lasers," *Optica* 10, 264 (2023).

概要:

< 科学技術イノベーションに大きく寄与する成果 2 >でも述べた、ビーム走査型とフラッシュ型を融合した、新たな LiDAR の構築の成果についてまとめた論文である。先述のように、通常のフラッシュ LiDAR においては、視野範囲内を一括照射・測距することに起因して、反射率の低い物体の測距が困難であるという課題が存在している。この課題を受け、フラッシュ式と、ビーム走査式を組み合わせた全く新たな非機械式 3 次元 LiDAR システムを提案し、実証を行った。これにより、フラッシュ式では、検出困難な低反射物体をも検出可能となった。最終的には、ビーム走査型レーザー光源、単一素子広範囲フラッシュ照射光源、レーザー駆動用ドライバー回路、カメラユニット、制御ユニットを一体化し、名刺サイズの小型化に成功するとともに、黒い物体の追尾にも成功した。なお、本成果が、米国光学会 (Optica) からニュースリリースにて紹介され、多くの海外メディアで広く報道され、非機械式の新たな LiDAR として世界中で注目されている。

上記以外の重要な論文として、以下の 3 件が挙げられる。

4. R. Sakata, K. Ishizaki, M. De Zoysa, K. Kitamura, T. Inoue, J. Gellela, and S. Noda, "Photonic-crystal surface-emitting lasers with modulated photonic crystals enabling 2D beam scanning and various beam pattern emission," *Applied Physics Letters -Perspective-* 122, 130503 (2023) (Invited, Featured Article).
5. T. Inoue, R. Morita, K. Nigo, M. Yoshida, M. De Zoysa, K. Ishizaki, and S. Noda, "Self-evolving photonic crystals for ultrafast photonics," *Nature Communications* 14, 50 (2023).
6. K. Emoto, T. Koizumi, M. Hirose, M. Jutori, T. Inoue, K. Ishizaki, M. De Zoysa, H. Togawa, and S. Noda, "Wide-bandgap GaN-based watt-class photonic-crystal lasers," *Communications Materials*\* 3, 72 (2022). (\*: Nature 系の新たなオンライン雑誌)

概要:

論文 4 は、< 優れた基礎研究としての成果 2 >でも述べた、複合変調フォトニック結晶の深化による外部光学系フリーでの自在なビームパターン生成についてまとめた論文である。具体的には、逆フーリエ変換に基づいて複合変調を行うことで、レンズや DOE 等の外部光学系を用いることなく、単一の素子から、 $30^\circ \times 30^\circ$  の広範囲フラッシュ照射、100 点以上の多点同時照射、さらには「Kyoto Univ.」の文字列や京大のロゴマーク、富嶽三十六景の絵画などの複雑なパターンを、自由自在に実現することに成功した。本成果は、半導体レーザー国際会議 (ISLC 2022) で、Best Paper Award をも受賞しており、今後、モバイル用 LiDAR への展開等を通じて、大きな市場展開にも繋がる成果と位置付けられる。

論文 5,6 では、アイセーフかつ長距離の測距に向けたフォトニック結晶レーザーの短パルス・高ピークパワー化や、水中 LiDAR などの応用に向けた、水の吸収の少ない青色領域でのフォトニック結晶レーザーのワット級高ビーム品質動作を実現することにも成功した。これらは、次々世代における新たな LiDAR 開発に革新をもたらす重要な新技術と位置付けられる。

## § 2 研究実施体制

### (1) 研究チームの体制について

研究代表者グループ(総合研究推進グループ:京大+ローム+三菱電機)

研究代表者:

野田 進(京都大学大学院工学研究科 教授)

研究項目:

本総合研究推進グループにより、本プロジェクト全体を遂行した。具体的には、2次元ビーム走査可能なフォトニック結晶レーザーチップの実現に向け、変調フォトニック結晶の本質的・体系的理解と安定な高出力動作の実現、アレイ化2次元ビーム走査デバイスの作製と評価、さらには、中間評価におけるコメントに基づく、当初の計画を超える社会実装に向けた様々な活動を、本総合研究推進グループが一丸となって、推進した。

### (2) 国内外の研究者や産業界等との連携によるネットワーク形成の状況について

本研究にて開発を行った種々のフォトニック結晶レーザーの LiDAR への適用性の実証のために、多くのユーザー企業との密な連携・ネットワーク形成を行った。具体的には、社会実装に向けた取り組みの1つ目として、ロボット用の LiDAR システムの開発・販売の実績のあるユーザー企業との連携を進めた。まず、垂直出射型のフォトニック結晶レーザーの評価を行って頂いた結果、既存の半導体レーザーでは必須となる複雑なレンズシステム無しで、極めて狭い拡がり角が得られることに、驚嘆の声を頂き、それが密な連携へとつながり、§1 で述べたような、全く新たな超小型レンズフリーLiDARの実現へとつながった。

さらに、社会実装に向けた取り組みの2つ目として、フラッシュ LiDAR システムの開発・販売の実績のあるユーザー企業と密に連携し、フラッシュ式とビーム走査式を組み合わせた新たな非機械式3次元 LiDAR システムの実現に繋がった。

社会実装の拡大に向けた3つ目の取り組みとして、モバイルセンサー分野の有力企業との連携をも行った。本研究で開発した、多点ビームを同時に射出可能なストラクチャード・ライトの発生可能な複合変調フォトニック結晶レーザーを、その企業へ提供し、企業が得意とする単一光子アバランシェフォトダイオード (SPAD) アレイ検出器との組み合わせに成功し、光学系フリー測距モジュールの POC へと展開を行った。また、同企業からの申し出により、「先端スマートセンシング」寄附講座が2022年4月から京都大学に開設され、さらに密な連携へと発展している。

国際的な連携として、ドイツ、オランダ等との連携も推進した。具体的には、ドイツのブラウンホーファー研究機構 (IMS 研究所、ISIT 研究所) の SPAD や Micro Electro Mechanical Systems (MEMS) の技術とフォトニック結晶レーザーを組み合わせ Next Level Photonics と称する新たな LiDAR システムの構築を開始している。また、オランダの High Tech Campus や Automotive Campus において、開発した面垂直出射型フォトニック結晶レーザーとそれを搭載した小型の走査型 LiDAR の常設展示なども行っており、様々な連携が今後広がっていくことが期待出来る。