

令和 4 年 6 月 20 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19H02149

研究課題名（和文）包括的・高性能3次元イメージングプラットフォームの開拓

研究課題名（英文）Versatile High-Performance 3D Imaging Platform

研究代表者

セット ジ・イオン（Set, Sze Yun）

東京大学・先端科学技術研究センター・准教授

研究者番号：20530827

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究ではAMCW、FMCW、ToF方式のLiDARを開発し、高性能3次元測定技術を確立した。AMCW方式に関しては、データ損失を改善するためPMCW法を提案し、スペックル低減、計測レンジ拡大を行った。縦横分解能の向上のためにベッセルガウスビームを取り入れ、また測距誤りを除去する点群処理法を開発した。さらに非機械式ビーム走査法及びCAMPS法を提案し、三次元計測精度が得られた。FMCW方式に関しては、波長掃引非線形補償アルゴリズムを開発し、奥行分解能の改善に成功した。最後に、超短パルス光サンプリング方式を導入して分解能の向上を図った。そして、計算量の小さいパルス測定用アルゴリズムを開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年、先進諸国で少子高齢化が進み、多くの場面で人材不足が問題視されている。特に、産業を支える各種工場において部品の外観検査を行う人材不足は深刻である。これまで、部品の形状ずれ、歪み、傷、ひび割れ等の検査は職人の肉体労働に依存してきたが、高精度遠隔測量がこれを代替する有力候補とされている。本研究はインダストリー4.0特にスマートファクトリに資する3次元計測基盤技術を提供すると共に、人材不足問題の解決が期待できる。

本研究の学術的意義は、ハードウェアとソフトウェアの連携により高性能・高機能な光計測技術を実現することと、光の波としての資源をフル活用することで光3次元計測の未踏性能を開拓する点である。

研究成果の概要（英文）：In this research, we have developed AMCW, FMCW, and ToF LiDAR, and established high-performance 3D measurement technologies. Regarding the AMCW method, we proposed the PMCW method to improve data loss by the reduced speckle effects and expanded dynamic range. In addition, a Bessel-Gauss beam was developed to improve the vertical and horizontal spatial resolution, and a point cloud processing method was developed to eliminate ranging ambiguity errors. Furthermore, we proposed a non-mechanical beam scanning scheme and the CAMPS method and obtained a depth accuracy higher than that of the AMCW method. Regarding the FMCW approach, we have developed a wavelength sweeping nonlinearity compensation algorithm and succeeded in improving the depth resolution. Finally, an ultra-short pulse having a fs pulse width and optical sampling were introduced into the ToF method to realize high depth resolution. We also developed an algorithm for pulse measurement with a less amount of calculation.

研究分野：三次元レーザ計測

キーワード：三次元計測 レーザ形状計測 ビームスキャナ LIDAR 3Dイメージング 光計測 距離計 非機械式

1. 研究開始当初の背景

近年、2D 技術が浸透した社会で「3D 革命」が起きている。例えば、3D カメラ、3D スキャナ、3D プリンタ、3D ディスプレイに代表されるような技術躍進が「3D 革命」の典型的な例である。このような技術革命により推進され、現存する空間計測技術の頂点に君臨するのが Light Detection and Ranging (LiDAR) である。LiDAR を基盤技術とした 3D レーザスキャナは、自動運転システム等における空間計測システムの高性能化に大きく貢献している。特に、高精細な 3D レーザスキャナを用いて、コンピュータ統合生産システム等に対応した各種測定物の 3D モデル化や空間情報の取得のような多種多様な 3D サービスを「インダストリー4.0」へ導入することにおいては重要となる。

3D レーザスキャナのアプリケーションは年々開拓され、応用範囲が拡大してきている。工場における多種多様な部品の形状検査から、接触方式では成し遂げられなかった布素材等のソフトな物体の形状測定、カメラでは形状が捉えられなかった低光反射率を有する物体(黒ゴム素材)や高温物体(1000℃以上の鉄板や2000℃に上る転炉内壁)の形状測定、建造物や文化財の形状のデータベース化、トンネル・擁壁・トラス橋等のインフラストラクチャの形状測定等、3D レーザスキャナの応用範囲の拡大は留まることを知らない。さらに、「3D 革命」の旋風の中で大きく躍進した 3D プリンタと 3D レーザスキャナを組み合わせることで、新たなリバーシブルエンジニアリングの風を巻き起こすことが期待されている。例えば、設計図面を無い物体を生産する場面ではリバーシブルエンジニアリングが威力を発揮する。現在の 3D プリンタは 20 μm の分解能を実現できているのに対し、3D レーザスキャナは 10 μm 前後の分解能に到達しており、両者の性能の相性も非常に良い。また医療分野では、義肢等の人工装具やデンタルインプラント等の設計・作製に 3D プリンタ及び 3D レーザスキャナの組み合わせが活用されることが期待されている。

2. 研究の目的

本研究は、従来のレーザ距離計測法である ToF 方式、FMCW 方式、AMCW 方式に対して、根本的に異なる偏波変調連続光方式を提案し、その実現を目的とする。本提案手法により、従来から致命的とされてきた課題を解決し、更なる高感度・高分解能・高機能を兼ね備えた包括的な 3D 計測システムの実現を目指す。

具体的には、以下の研究開発項目を射程に入れて推進する予定である。

- ① 干渉性フェージングの抑圧
- ② 集光系の焦点深度拡張
- ③ ビームスキャニングの非機械式化

3. 研究の方法

① レーザスキャナに固有の干渉性フェージングの抑圧

レーザ光を測定物に照射する際、測定物の表面粗さにより複数の光路が生じ得る。照射角度によっては、この光路差がレーザ波長の半波長の整数倍となる照射角度が存在し、光路間の干渉により打ち消し合い、受信光パワーが極端に低下するという問題がある。本現象は干渉性フェージングであり、レーザスキャナに特有の測定制限要因である。これまでの申請者らの研究により、このような干渉性フェージングは照射光の偏波状態に依存することが分かっている。そこで、申請者らは上術の干渉性フェージングの偏波依存性を利用し、照射光の偏波状態を下図のようにスクランブリングすることでフェージングを抑圧することを提案した。

本研究では、送信部に適切な高速偏波変調を施すことで偏波スクランブリングを実現させる。続いて、受光部はデジタルコヒーレント技術を用いることで偏波復調を実施する。このような極限受光感度を有する技術を 3D 計測に導入することで、最高水準の受光デバイスを確立させる予定である。レーザスキャナの測定制限要因であるフェージングを抑圧する機能も兼ね備えており、高精細で包括的な 3D 計測を実現する。

② 集光系の焦点深度拡張

ビームフォーミングはレーザスキャナにおいて触手のような役割を果たす。工業計測等で用いられる高精細レーザスキャナは基本的に集光光学系に基づいており、集光スポットにおけるビーム径は 100 μm オーダであり、高い方位角及び仰角方向の分解能を有する。しかし、焦点深度は mm オーダであり、測定環境によっては合焦を行う必要が生じる。通常、このような合焦には機械駆動方式が用いられ、時間・コスト・省エネ等の観点から見ると極めて競争力に欠けている。そこで、申請者らは擬似ベッセルビームを生成することで集光スポットの最小化を図ると同時に焦点深度の拡張を目指す。申請者らの提案の核心となるコンセプトは、円錐レンズを用いてガウシアンビームを擬似ベッセルビームに変換することである。円錐レンズによりビームが二手に分かれ、相互が交差して重畳した空間にベッセルビームが形成される。このような擬似ベッセルビームの伝搬距離は一般的な集光系(ガウシアンビーム)より長く、カスタマイズできる等の利点を備えている。また、擬似ベッセルビームのメインローブのサイズは 100 μm オーダ

に調整することができる。しかし、このような極小メインローブを実現するためには円錐レンズのウェッジ角を 10^{-2} 度オーダーに加工する必要があり、現存技術では実現が厳しい。さらに、サイドローブはメインローブ強度ピークの 15% 前後のピークを有しており、測定制限要因の一つになる。円錐レンズでメインローブのサイズの最小化を図ると同時にサイドローブも抑圧させる。これにより、高精細 3D 形状計測における極めて高品質な集光系を実現する。

③ ビームスキャンニングの非機械式化

現在のレーザスキャナの掃引機構は機械駆動に基づいており、コストが極めて高い。例えば、妥当なパフォーマンスを有する自動運転車用 LiDAR の価格は自動車一台と同等の価格であるのも、機械式スキャナヘッドのような精密機器が価格を押し上げているためである。機械式スキャンニングヘッドはコストの課題以外に、高速測定のボトルネックにもなっている。これに対して、フラッシュ式の 3D レーザスキャナも研究開発されているが、視野が狭く空間分解能が低い等の問題がある。このような市場の現状を踏まえて、申請者らは非機械式で視野の広い 3D レーザスキャナを提供することを検討している。具体的には回折格子による仰角方向の掃引による、分散同調型波長掃引光源を適用することで実現する。本波長掃引光源は、チャープドファイバブラッググレーティングのような波長分散デバイス、半導体光増幅器（反射タイプ）、そして半導体光増幅器を駆動する電気回路から成り立ち、競合の波長掃引光源と比較してデバイス点数が極めて少なく、競争力が高い技術の結集した三次元計測システムを実現する。

4. 研究成果

(1) AMCW レーザスキャナ(図 1)の点群の測距誤り点の合成手法を確立し、測距不確定性を緩和した[7]。また、点群の空間的連続性及び強度連続性の相関を利用して位相接続を行うことで、最大測定範囲を広げた。次に、APD、PIN PD、PIN PD+EDFA を光検出に用いた場合の感度を比較し、PIN PD+EDFA が SNR は APD に比べ 15dB 高いことを計算により示した。ここで用いた EDFA は EDF の中間地点に光アイソレータを挿入し、逆行する ASE を遮断することで SNR の向上を図った。この結果、一般的な EDFA を前置増幅に用いた場合より 8dB SNR が高いことを実験的に確認した。レーザスキャナに固有の干渉性フェージングの抑圧に取り組み、所望以上の成果を挙げた。本現象はレーザスペckルに起因しており、データ損失・劣化を引き起こす。我々は本現象の偏波依存性を観測し、PMCW 方式を導入することで、スペckル低減に成功した。そして、金属物において損失データの約 20%、非金属物においては 30~90%を救済した。三次元計測においてこのような偏波を利用したスペckル低減は初の試みである。さらに、これまで光三次元計測には存在しなかった素材判別への道筋も開拓された。本成果は国際学術雑誌に 1 本論文が採択され[13]、招待講演 1 件が発表された[16]。

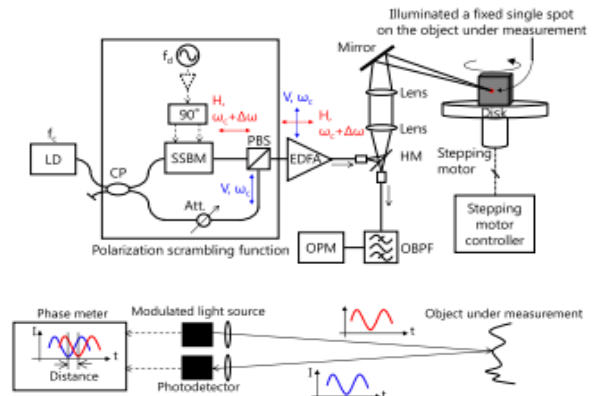


図 1 AMCW システム

(2) レーザスキャナの縦横分解能を向上させるために、ベッセルビームフォーミングに取り組んだ。ビームフォーミング(図 2)の構成は極めて簡素である上、1mm 以下メインローブを保持した状態で 2m 以上に渡る伝搬距離を実験により確認した。この伝搬距離は集光系ガウシアンビームの焦点深度の 200 倍以上で、メインローブはコリメート光の 1/3 以下である。さらに、ベッセルビーム方式を AMCW 距離計に導入し、測距に成功した。レーザ距離系において、ベッセルビームを用いた例は初めてである。本成果は国際学術雑誌に 1 本論文が採択された[4]。

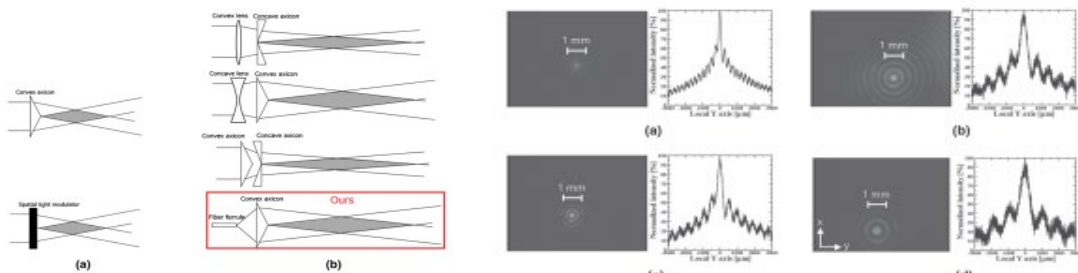


図 2 ベッセルビームフォーミング

(3) レーザスキャナの受信部については、より感度を上げるためにコヒーレント受信器の構築に取り掛かってきた。現状では、FMCW レーザスキャナ系を構築して、我々のコヒーレント受信器の性能を評価している。デジタルコヒーレント方式(図3)を導入して取得した干渉信号をデータ処理し、位相不確定性に起因する画像縮退と波長掃引非線形性を補償し、測定深度と奥行分解能を向上させた。FMCW方式に関しては、ソフトウェア方面からアプローチした。具体的には、波長掃引光源の掃引非線形性補償のソフトウェアによるリニアライズを実施した[17]。また、FMCW方式の他の応用例であるOCTにおいて、位相不確定性に起因する画像縮退と波長掃引非線形性を補償し、測定深度と奥行分解能を改善した[9]。これらは当初の計画外の成果であり、学術雑誌に1本[9]、国内会議に1本論文が採択された[17]。

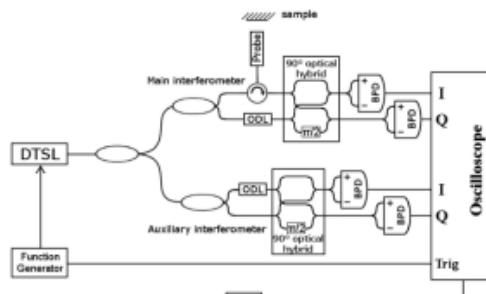


図3 デジタルコヒーレント方式

(4) 非機械式レーザビーム掃引方式(図4)を新規提案し、測距に成功した。本掃引機構には、回折格子を含む光学部と当研究室の独自技術である分散同調型波長掃引光源を実装した。原理確認実験としてAMCW距離系を構築し、新規提案した非機械式レーザビーム掃引方式と組み合わせ、10kHzでの非機械式ラインスキャンを実現した[5]。

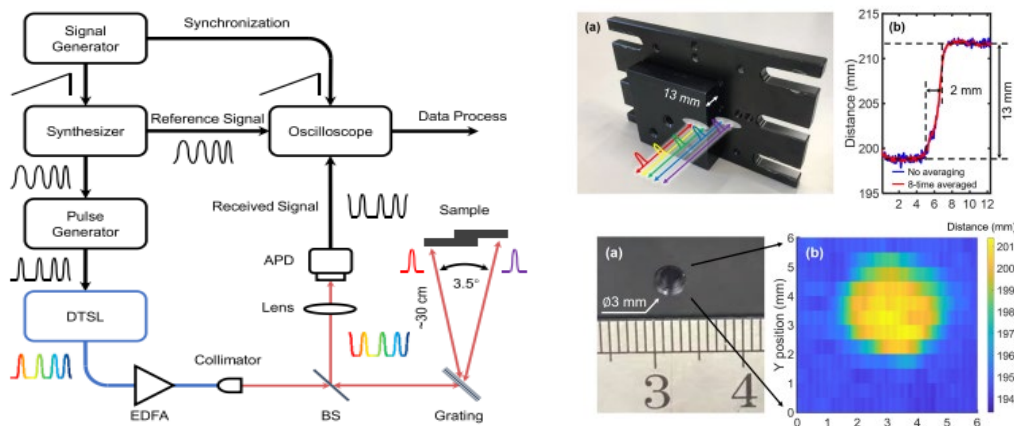


図4 非機械式レーザビーム掃引システム

(5) 主にレーザスキャナの3大方式AMCW、FMCW、ToFに取り組んだ。AMCW方式においては実用性を高める上で必要なことを一つ一つクリアした。測距不確定性問題の解決、各検波方式の感度に関する理論的理解、低雑音光増幅器による感度改善の実験的検証、受光ダイナミックレンジの拡大(図4)[8]、ベッセルガウスビームによる焦点深度の拡大及びその理論的理解[4]、そして非機械式ビーム掃引等の要素技術の導入も完了した。本研究の果は学術雑誌に2本[4][8]、国際会議に2本、国内会議・研究会に2本論文が採択された。

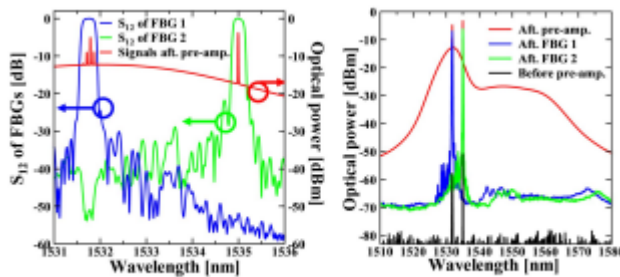


図5 低雑音光増幅器による受光感度の向上

(6) 当初計画外のToF方式にも取り組んだ。fs幅の短パルス及び光サンプリングの導入による空間分解能の向上を検討した。特に短パルス測定の際のアルゴリズムの改良により計算量を削減した。また光パルス列を符号化することで、相互干渉除去に有用であることを示唆し、その基礎実験を行った。こちらに関してもソフトウェア方面からアプローチし、奥行分解能の向上、レーザスキャナの重要課題である相互干渉の除去を示唆する基礎実験データを取得することができた。本成果は国際会議に1本論文が採択された[14]。

(7) 他分野である自由空間光(FSO)通信に関する調査研究を実施した。レーザスキャナは空間系光学に属し、構成としてはFSO通信システムと同じである。したがって、FSO通信に関する知識を深めることはレーザスキャナの研究においても関係がある。また、6G通信では、通信器がセンシング機能を持つことが重視されており、FSO通信の送受信器に測距機能を備えることも考えたい。本調査研究に関しては、国際会議に1本招待論文が採択された[15]。

(8) 三次元計測用のためのレーザ光の開発を進め、当初計画外複数レーザ光源の研究開発も行いました[1][2][3][6][10][11]。その他に、レーザスキャナの受光ダイナミックレンジの向上に取り組んだ。ここでは、光電的AGCを導入し、ダイナミックレンジを10dB以上拡大した。本成果は国際会議に1本論文が採択され、国内会議にも1本論文が発表された[19]。

<参考文献>

- ① Zihao Zhao, Lei Jin, **Sze Yun Set**, and Shinji Yamashita, "Broadband similariton generation in a mode-locked Yb-doped fiber laser," *Opt. Lett.* 47, 2022, 2238-2241
- ② Z. Zhang, X. Sun, P. Yuan, S. Yokokawa, Y. Zheng, H. Jiang, L. Jin, A. S. Anisimov, E. I. Kauppinen, R. Xiang, S. Maruyama, S. Yamashita, **S. Y. Set***, "SWCNT@BNNT with 1D van der Waals Heterostructure with a High Optical Damage Threshold for Laser Mode-locking," *Journal of Lightwave Technology*, 39, 2021, 5875-5883
- ③ Z. Zhao, L. Jin*, **S. Y. Set**, and S. Yamashita, "2.5 GHz harmonic mode locking from a femtosecond Yb-doped fiber laser with high fundamental repetition rate," *Opt. Lett.* 46, 2021, 3621-3624
- ④ C. Zhang, Z. Zhang, S. Liu, L. Jin, Y. Sugiura, **S. Y. Set***, Shinji Yamashita, and Fumihiko Ito, "Amplitude-modulated continuous-wave laser rangefinder employing Bessel-Gauss beamforming," *Appl. Opt.* 60, 2021, 7485-7491
- ⑤ Zheyuan Zhang, Chao Zhang, Takuma Shirahata, Shinji Yamashita, and **Sze Y. Set***, "Overall Non-Mechanical Spectrally Steered LiDAR Using Chirped Amplitude-Modulated Phase-Shift Method," *Journal of Lightwave Technology*, 40, 2022, 1902-1913
- ⑥ Riku Imamura, Tomoki S.L.P. Suzuki, Rammaru Ishida, Shun Fujii, **Sze Yun Set**, Shinji Yamashita, Takasumi Tanabe, "Saturable Absorption of CNT and Fabrication of Erbium-doped Microresonator for On-chip Mode-locked Laser," *IEEJ Transactions on Electronics, Information and Systems*, 142, 2022, 395-400
- ⑦ C. Zhang, Z. Zhang, Y. Tian, **S. Y. Set**, and S. Yamashita, "Comprehensive Ranging Disambiguation for Amplitude-Modulated Continuous-Wave Laser Scanner with Focusing Optics," *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 70, Art no. 8500711, 2020, 1-11
- ⑧ C. Zhang, **S. Y. Set**, and S. Yamashita, "Enhancement in Dynamic Range of Amplitude-Modulated Continuous-Wave Laser Scanner having a Coaxial Configuration," *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 70, Art no. 8500310, 2020, 1-10
- ⑨ T. Shirahata, **S. Y. Set**, and S. Yamashita, "Compensation of phase-uncertainty-induced impairments in dispersion-tuned swept laser OCT using digital coherent detection," *J. Lightwave Technol.* 38, 2020, 6492-6498
- ⑩ H. Jiang, Y. Huang, Z. Zhao, T. Shirahata, L. Jin, S. Yamashita, and **S. Y. Set***, "Laser mode locking using a single-mode-fiber coil with enhanced polarization-dependent loss," *Opt. Lett.* 45, 2020, 2866-2869
- ⑪ Y. Zhu, Z. Cui, X. Sun, T. Shirahata, L. Jin, S. Yamashita, **S. Y. Set***, "Fiber-based dynamically tunable Lyot filter for dual-wavelength and tunable single-wavelength mode-locking of fiber lasers," *Optics Express*, 28, 2020, 27250-27257
- ⑫ J. Wu, G. Yue, W. Chen, Z. Xing, J. Wang, W.R. Wong, Z. Cheng*, **S. Y. Set**, G. S. Murugan, X. Wang, T. Liu "On-Chip Optical Gas Sensors Based on Group-IV Materials," *ACS Photonics*, 7, 2020, 2923-2940
- ⑬ C. Zhang, S. Liu, N. Hayashi, **S. Y. Set** and S. Yamashita, "Polarization-Insensitive Laser Scanning and Profiling Using Amplitude-Modulated CW Scheme," in *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 69, 2019, 4496-4506
- ⑭ Y. Ishizaki, C. Zhang, **S. Y. Set**, and S. Yamashita, "A novel software-based optical sampling scheme for high-precision and interference-free time-of-flight LiDAR", in *Proc. CLEO2020, AF3M.1*, San Jose, May 2020.
- ⑮ C. Zhang, K. Uyama, Z. Zhang, L. Jin, **S. Y. Set**, and S. Yamashita, "Recent Trends in Coherent Free-Space Optical Communications", *SPIE Photonics West OPTO, OE802-17*, San Francisco, U. S., Mar. 2021. **(Invited)**
- ⑯ **S. Y. Set** "Emerging Technologies for 3D Laser Rangefinder", *JSAP Annual Meetings Extended Abstracts The 81st JSAP Autumn Meeting 2020. (Invited)*
- ⑰ 山口尚紀, 白畑卓磨, 張超, 山内隆典, 鈴木巨生, セットジイオン, 山下真司, "光周波数変調連続波型測距システムの掃引非線形性補償手法の検討", 応用物理学会秋季学術講演会, 8p-Z19-23, 2020年9月
- ⑱ Chao Zhang, Sifan Liu, Zheyuan Zhang, Fulin Xiang, Neisei Hayashi, Lei Jin, **Sze Yun Set**, Shinji Yamashita, "Amplitude-modulated continuous-wave laser scanner employing adaptive gain control for avoidance of receiver saturation," *Proc. SPIE 11287, Photonic Instrumentation Engineering VII*, 1128708, 2020
- ⑲ S. Liu, C. Zhang, N. Hayashi, L. Jin, **S. Y. Set**, and S. Yamashita, "AMCW 3D Laser Scanner Employing Optical Attenuator for Avoidance of Receiver Saturation", 応用物理学会秋季学術講演会, 20p-E313-16, 北海道大学札幌キャンパス, 2019年9月

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 13件／うち国際共著 1件／うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Zhao Zihao, Jin Lei, Set Sze Yun, Yamashita Shinji	4. 巻 47
2. 論文標題 Broadband similariton generation in a mode-locked Yb-doped fiber laser	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Optics Letters	6. 最初と最後の頁 2238 ~ 2238
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OL.456808	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Zhang Zheyuan, Sun Xiangnan, Yuan Pengtao, Yokokawa Shoko, Zheng Yongjia, Jiang Hongbo, Jin Lei, Anisimov Anton, Kauppinen Esko, Xiang Rong, Maruyama Shigeo, Yamashita Shinji, Set Sze Y.	4. 巻 39
2. 論文標題 SWCNT@BNNT With 1D Van Der Waals Heterostructure With a High Optical Damage Threshold for Laser Mode-Locking	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Lightwave Technology	6. 最初と最後の頁 5875 ~ 5883
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/JLT.2021.3092522	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Zhao Zihao, Jin Lei, Set Sze Yun, Yamashita Shinji	4. 巻 46
2. 論文標題 2.5 GHz harmonic mode locking from a femtosecond Yb-doped fiber laser with high fundamental repetition rate	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Optics Letters	6. 最初と最後の頁 3621 ~ 3621
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OL.431735	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Zhang Chao, Zhang Zheyuan, Liu Sifan, Jin Lei, Sugiura Yohei, Set Sze Yun, Yamashita Shinji, Ito Fumihiko	4. 巻 60
2. 論文標題 Amplitude-modulated continuous-wave laser rangefinder employing Bessel-Gauss beamforming	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Optics	6. 最初と最後の頁 7485 ~ 7491
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/AO.432556	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Zhang Zheyuan, Zhang Chao, Shirahata Takuma, Yamashita Shinji, Set Sze Y.	4. 巻 40
2. 論文標題 Overall Non-Mechanical Spectrally Steered LiDAR Using Chirped Amplitude-Modulated Phase-Shift Method	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Lightwave Technology	6. 最初と最後の頁 1902 ~ 1913
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/JLT.2021.3131027	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Imamura Riku, Suzuki Tomoki S.L.P., Ishida Rammaru, Fujii Shun, Set Sze Yun, Yamashita Shinji, Tanabe Takasumi	4. 巻 142
2. 論文標題 Saturable Absorption of CNT and Fabrication of Erbium-doped Microresonator for On-chip Mode-locked Laser	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Electronics, Information and Systems	6. 最初と最後の頁 395 ~ 400
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejieiss.142.395	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Zhang Chao, Zhang Zheyuan, Tian Yuchen, Set Sze Yun, Yamashita Shinji	4. 巻 70
2. 論文標題 Comprehensive Ranging Disambiguation for Amplitude-Modulated Continuous-Wave Laser Scanner With Focusing Optics	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement	6. 最初と最後の頁 1 ~ 11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TIM.2020.3026441	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Zhang Chao, Set Sze Yun, Yamashita Shinji	4. 巻 70
2. 論文標題 Enhancement in Dynamic Range of Amplitude-Modulated Continuous-Wave Laser Scanner Having a Coaxial Configuration	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement	6. 最初と最後の頁 1 ~ 10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TIM.2020.3011768	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Shirahata Takuma, Set Sze Y., Yamashita Shinji	4. 巻 38
2. 論文標題 Compensation of Phase-Uncertainty-Induced Impairments in Dispersion-Tuned Swept Laser OCT using Digital Coherent Detection	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Lightwave Technology	6. 最初と最後の頁 6492 ~ 6498
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/JLT.2020.3013104	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Jiang Hongbo, Huang Yunpeng, Zhao Zihao, Shirahata Takuma, Jin Lei, Yamashita Shinji, Set Sze Y.	4. 巻 45
2. 論文標題 Laser mode locking using a single-mode-fiber coil with enhanced polarization-dependent loss	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Optics Letters	6. 最初と最後の頁 2866 ~ 2866
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OL.393093	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Zhu Yuanjun, Cui Zekun, Sun Xiangnan, Shirahata Takuma, Jin Lei, Yamashita Shinji, Set Sze Yun	4. 巻 28
2. 論文標題 Fiber-based dynamically tunable Lyot filter for dual-wavelength and tunable single-wavelength mode-locking of fiber lasers	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 27250 ~ 27257
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.402173	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Wu Jingwen, Yue Gongcheng, Chen Weicheng, Xing Zhengkun, Wang Jiaqi, Wong Wei Ru, Cheng Zhenzhou, Set Sze Yun, Senthil Murugan Ganapathy, Wang Xingjun, Liu Tiegen	4. 巻 7
2. 論文標題 On-Chip Optical Gas Sensors Based on Group-IV Materials	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Photonics	6. 最初と最後の頁 2923 ~ 2940
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsp Photonics.0c00976	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 C. Zhang, S. Liu, N. Hayashi, S. Y. Set, and S. Yamashita	4. 巻 Early Access
2. 論文標題 Polarization-Insensitive Laser Scanning and Profiling using Amplitude-Modulated CW Scheme	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement	6. 最初と最後の頁 Early Access
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TIM.2019.2946429	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計29件 (うち招待講演 7件 / うち国際学会 20件)

1. 発表者名 C. Zhang, K. Uyama, Z. Zhang, L. Jin, S. Y. Set, and S. Yamashita
2. 発表標題 Recent Trends in Coherent Free-Space Optical Communications
3. 学会等名 SPIE Photonics West (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 張超, セットジイヨン, 山下真司
2. 発表標題 振幅変調連続波型レーザスキャナに関する研究
3. 学会等名 電子情報通信学会光ファイバ応用技術研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 S. Y. Set
2. 発表標題 Emerging Technologies for 3D Laser Rangefinder
3. 学会等名 応用物理学会秋季学術講演会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山口尚紀, 白畑卓磨, 張超, 山内隆典, 鈴木巨生, セットジイヨン, 山下真司
2. 発表標題 光周波数変調連続波型測距システムの掃引非線形性補償手法の検討
3. 学会等名 応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 C. Zhang, S. Liu, Z. Zhang, L. Jin, S. Y. Set, and S. Yamashita
2. 発表標題 Amplitude- Modulated Continuous-Wave Light Detection and Ranging with Bessel Beamforming
3. 学会等名 Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Y. Ishizaki, C. Zhang, S. Y. Set, and S. Yamashita
2. 発表標題 A novel software-based optical sampling scheme for high-precision and interference-free time-of-flight LiDAR
3. 学会等名 Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Z. Zhang, C. Zhang, T. Shirahata, S. Yamashita, and S. Y. Set
2. 発表標題 Non-mechanical scanning AMCW laser rangefinder using wavelength-swept dispersion-tuned fiber laser
3. 学会等名 Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1 . 発表者名 C. Zhang, N. Hayashi, S. Y. Set, and S. Yamashita
2 . 発表標題 Irradiation angle dependence and polarization dependence in 3D geometry measurement using AMCW LiDAR
3 . 学会等名 SPIE Photonics West LASE (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 C. Zhang, N. Hayashi, S. Y. Set, and S. Yamashita
2 . 発表標題 Polarization-insensitive amplitude-modulated CW LiDAR
3 . 学会等名 OSA/IEEE Conference on Laser and Electro-Optics (CLEO) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 L. Jin, S. Y. Set, and S. Yamashita
2 . 発表標題 Fiber Laser Sources for Next Generation Photonic Applications
3 . 学会等名 8th Applied Optics and Photonics China (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 S. Liu, C. Zhang, N. Hayashi, L. Jin, S. Y. Set, and S. Yamashita
2 . 発表標題 AMCW 3D laser scanner employing optical attenuator for avoidance of receiver saturation
3 . 学会等名 応用物理学会秋季学術講演会
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 白畑卓磨, セットジイオン, 山下真司
2. 発表標題 デジタルコヒーレント受信による波長掃引非線形性の測定と補償
3. 学会等名 応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Y. Set, and S. Yamashita
2. 発表標題 Omnipotent fiber lasers for digital frontier photonic sensing
3. 学会等名 1st PKU-UTokyo-NII Joint Forum on Information Science (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Y. Set, C. Zhang, and S. Yamashita
2. 発表標題 3D Laser Scanner with AMCW LiDAR
3. 学会等名 Laser Taiwan (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 L. Jin, C. Zhang, S.Y. Set, and S. Yamashita
2. 発表標題 Advanced fiber lasers for intelligent bio-imaging, 3D imaging, environmental sensing applications
3. 学会等名 Advanced Fiber Laser (AFL) Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1 . 発表者名 C. Zhang, S. Liu, Z. Zhang, F. Xiang, N. Hayashi, L. Jin, S. Y. Set, and S. Yamashita
2 . 発表標題 Recovery of defocused 3D data for focusing-optics-based amplitude-modulated continuous-wave laser scanner
3 . 学会等名 SPIE Future Sensing Technologies (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 S. Liu, C. Zhang, N. Hayashi, L. Jin, S. Y. Set, and S. Yamashita
2 . 発表標題 Amplitude-modulated continuous-wave 3D laser scanner employing optical gain control for avoidance of receiver saturation
3 . 学会等名 SPIE International Conference on Optical Instrument and Technology (OIT) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 S. Yokokawa, K. Endo, L. Jin, S. Y. Set, and S. Yamashita
2 . 発表標題 Ultra-broadband Yb-doped fiber mode-locked laser and its applications in gas sensing and bioimaging
3 . 学会等名 SPIE International Conference on Optical Instrument and Technology (OIT) (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 C. Zhang, S. Liu, Z. Zhang, F. Xiang, N. Hayashi, L. Jin, S. Y. Set, and S. Yamashita
2 . 発表標題 Amplitude-modulated continuous-wave laser scanner employing adaptive gain control for avoidance of receiver saturation
3 . 学会等名 SPIE Photonics West OPTO (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1. 発表者名 S. Yokokawa, K. Endo, L. Jin, S. Y. Set, and S. Yamashita
2. 発表標題 Coherent light source with 106-nm broadband spectrum generated directly from Yb-doped fiber oscillator
3. 学会等名 SPIE Photonics West LASE (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 張超, 劉斯凡, 張哲元, セットジイオン, 山下真司
2. 発表標題 ベッセルビームフォーミングを用いた振幅変調連続光距離計
3. 学会等名 応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Z. Zhang, C. Zhang, T. Shirahata, S. Yamashita, and S. Y. Set
2. 発表標題 Non-mechanical scanning AMCW laser rangefinder using wavelength-swept dispersion-tuned fiber laser
3. 学会等名 応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 張超, 劉斯凡, 金磊, セットジイオン, 山下真司
2. 発表標題 振幅変調連続波レーザスキャナにおける測距不確定性除去
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石崎優, 張超, セットジイヨン, 山下真司
2. 発表標題 高精細・干渉フリーTime-of-flight LiDARのためのソフトウェア補正に基づく光サンプリングシステム
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 C. Zhang, S. Liu, Z. Zhang, N. Hayashi, L. Jin, S. Y. Set, and S. Yamashita
2. 発表標題 Comprehensive ranging disambiguation for amplitude-modulated continuous wave laser scanner
3. 学会等名 SPIE Photonics Europe (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Z. Zhang, C. Zhang, T. Shirahata, S. Yamashita, and S. Y. Set
2. 発表標題 Non-mechanical scanning AMCW laser rangefinder using wavelength-swept dispersion-tuned fiber laser
3. 学会等名 OSA/IEEE Conference of Lasers and Electro-optics (CLEO) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 S. Yokokawa, L. Jin, S. Y. Set, and S. Yamashita
2. 発表標題 Ultra-broadband spectrum generation from a stretched-pulse mode-locked Yb-doped fiber laser at high repetition ratee, " Conference of Lasers and Electro-optics (CLEO)
3. 学会等名 OSA/IEEE Conference of Lasers and Electro-optics (CLEO) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Y. Ishizaki, C. Zhang, S. Y. Set, and S. Yamashita
2. 発表標題 A novel software-based optical sampling scheme for high-precision and interference-free time-of-flight LIDAR
3. 学会等名 OSA/IEEE Conference of Lasers and Electro-optics (CLEO) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 C. Zhang, S. Liu, Z. Zhang, L. Jin, S. Y. Set, and S. Yamashita
2. 発表標題 Amplitude-modulated continuous-wave light detection and ranging with Bessel beamforming
3. 学会等名 OSA/IEEE Conference of Lasers and Electro-optics (CLEO) (国際学会)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計3件

産業財産権の名称 計測装置	発明者 セツジヨウ, 張哲元, 張超, 山下真司	権利者 東京大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2021-079270	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 偏光方向ディスクリミネータ、デュアル出力レーザ、及び偏光方向弁別方法	発明者 セツジヨウ, 宇山 康太, 山下真司	権利者 東京大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2022-070433	出願年 2022年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 フィルタ装置、波長可変レーザ、及び波長調整方法	発明者 セツジヨウ, 孫相楠, 山下真司	権利者 東京大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2022-79706	出願年 2022年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

山下ゼット研ウェブページ
<http://www.cntp.t.u-tokyo.ac.jp/publications/>
<http://www.cntp.t.u-tokyo.ac.jp/eagle-3d-photonics/>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	張 超 (Zhang Chao)		
研究協力者	山下 真司 (Yamashita Shinji)		
研究協力者	金 磊 (Jin Lei)		

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関		
中国	天津大学		