

令和 4 年 5 月 26 日現在

機関番号：14401

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2020～2021

課題番号：20K21892

研究課題名（和文）次世代低侵襲医療に資する超極細ファイバー先端LiDARの研究

研究課題名（英文）Research on ultra-fine fiber LiDAR that contributes to next-generation minimally invasive medicine

研究代表者

山本 和久（Yamamoto, Kazuhisa）

大阪大学・レーザー科学研究所・教授

研究者番号：90592535

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 5,000,000円

研究成果の概要（和文）：次世代の低侵襲手術ロボットの眼の役割を果たす新規技術の実現を目指して、内視鏡のカラー立体像を取得するための可視光LiDARの基礎研究を行った。可視光半導体レーザー（波長637nm）から短パルス光（1ns）をファイバーを通して閉所空間内のターゲットに照射し、反射光はファイバーを通して受光するTOF測定を行った。測定距離50mmにて精度0.95mmが得られ、目標値をクリアした。これにより、低侵襲の3D内視鏡の実現に向けた、可視光3D-LiDARの原理を検証できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

従来の内視鏡は直径数mmであり、2次元画像しか得られず、診療や手術で使用する際に限界があった。将来の次世代低侵襲医療においては内視鏡検査・手術の高度化が必要であり、体内へ挿入するファイバーの極細化はもとより、患部の3次元画像やラマン像の取得が必須である。本研究では、内視鏡のカラー3次元画像取得を想定し、光ファイバーを使った至近距離カラーLiDARの原理検証を行った。これにより将来は、低侵襲手術における目の役目を果たす内視鏡が現実化し、画期的なAI手術ロボットや低侵襲の体内深部ラマン診断へと発展する。

研究成果の概要（英文）：Aiming to realize a new technology that plays the role of the eye of the next-generation minimally invasive surgical robot, we conducted basic research on visible light LiDAR for acquiring color stereoscopic images of endoscopes. A short pulse light (1ns) from a visible light semiconductor laser (wavelength 637 nm) was irradiated to the target in the closed space through the fiber, and the reflected light was received through the fiber for TOF measurement. An accuracy of 0.95 mm was obtained at a measurement distance of 50 mm, clearing the target value. This allowed us to verify the principle of visible light 3D-LiDAR for the realization of a minimally invasive 3D endoscope.

研究分野：半導体レーザー応用システム工学

キーワード：内視鏡 LiDAR TOF 光ファイバ 測距

報告詳細

1. 研究開始当初の背景

LiDAR 技術開発は自動車、航空、気象の分野で開発が盛んである。車載用は自動運転用の目の役割として数十～数百 m 先の物体の検知を目的とし、航空機用では数 k m 先の乱気流の検知による危険回避に使用され、気象では雲の動きの観測による予報へ活用されており、今後、普及が期待される。これらは赤外レーザー光を使用しているが、最近、我々は可視光レーザーによるカラー画像・距離の一括取得が可能な従来にないカラーLiDAR の研究を提唱して研究を進めており、この技術の応用はさらに広がると思われる。

他方、医療ではステレオタイプ（両眼視差）の 3D 内視鏡の開発が盛んであるが、操作者の違和感や視覚疲労により普及が進展していない。したがって内視鏡での 3D 情報の取得は全く新たな観点から研究が望まれる。また患者への負担が軽くなったとは言え、内視鏡そのものの径が大きく（数 mm）、将来の高度化医療に向けてさらに低侵襲の内視鏡が望まれる。

我々は可視光半導体レーザーと光ファイバーを使った半導体レーザー応用システムの研究の実績があり（参考文献①-③）、保有するカラーLiDAR 技術とファイバー制御技術を融合することによる新規なファイバー先端 LiDAR の着想に至った。特に至近距離・狭所空間において本領を発揮するため、カラー3D 画像データが得られる革新的な内視鏡の実現に向けて次世代の低侵襲医療への貢献を目指す。

2. 研究の目的

現状の光ファイバーの直径を 2 桁凌駕する数十 μm 径の超極細ファイバーの先端を偏向することによって可視光レーザービームを走査し、測距による 3 次元画像を実現する。従来は得られなかった 3 次元カラー画像情報を低侵襲で得ることができる。3D 診察は勿論のこと、距離情報の付加によって内視鏡手術ロボットの目の役割を飛躍的に改善し、AI 手術も実現する。さらに超極細ファイバーであるためマイクロニードルとの融合により皮下や体内深部でのラマン診断へと発展する。まず内視鏡を超極細化するには、マイクロファイバーを使った従来とは全く異なる新たな受発光技術が必要となる。次に目の役割を果たすための 3 次元カラー画像を得るには、LiDAR (Laser Imaging Detection and Ranging ; レーザー画像検出と測距) の可視光化 (RGB 化) と至近距離化 (距離数十 mm、精度サブ mm 以下) の開発が必要となる。従来にない超極細化、患部のカラー画像と距離情報の取得による 3 次元カラー画像情報は、将来、画期的な AI 手術ロボットや低侵襲での体内深部のラマン診断や治療を現実化する。

3. 研究の方法

(1) ファイバー先端 LiDAR の構造 超極細ファイバー先端 LiDAR の構造は、マイクロ光フ

ファイバー（直径数十 μm ）の先端に LD 光走査機構と光検出機構を設ける。LD 光走査のためにファイバー先端に P ピエゾ素子を形成する（図 1）。ファイバーはシングルモードファイバーを多数束ねて構成し、検出時の分解能を上げる。ピエゾ素子への電力供給にはマイクロ光ファイバーに沿った配線を形成するが、光エネルギーによって直接駆動する機構も検討する。

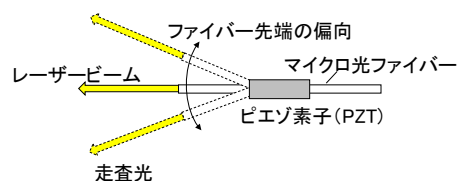


図 1 ファイバー先端 LiDAR の構造

(2) **実施内容** 本研究（2020～2021 年）ではファイバー LiDAR の要素技術として①ファイバーによる TOF (TOF; Time of flight 測距)、②至近距離・狭所閉空間での TOF（測定距離 50mm、精度 1mm 以下）の実証を行う。その後、実用化に向け 3 次元カラー画像取得のためのデバイス化（2023～2024 年）、システム化やロボット応用を目指す（2025～2027 年）

4. 研究成果（萌芽 2020～2021 年）

(1) 至近距離における TOF 検証

至近距離（数十 mm）では TOF 時間が数百 ps となるため高速化が必要である。まず超高速の半導体レーザー駆動回路によって赤色半導体レーザー（波長 637nm）からパルス幅 1ns の短パルスを 100kHz の繰り返し周波数で出射した。次にこの短パルス光をターゲット（白色反射板）に照射し、その反射光を超高速の高感度光検出器（APD:アバランシェフォトダイオード）と高速デジタルオシロを使って感度良く低ノイズで受光した（図 2）。この実験系にてターゲットまでの距離 40mm～200mm の範囲で TOF を測定したところ、距離 40～50mm の範囲で測定誤差は最大 0.9mm、50～100mm にて 2.7mm、100～200mm にて 4mm と良好な結果が得られ、至近距離（50mm 前後）での TOF 測定の原理が実証できた（図 3）。

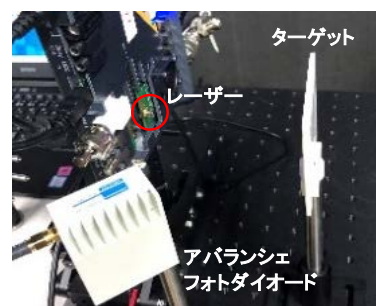


図 2 至近距離 TOF 実験装置

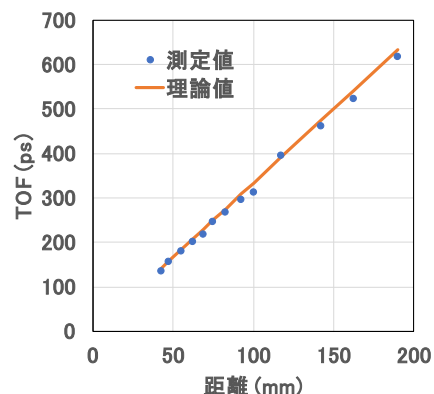


図 3 至近距離 TOF

(2) 光ファイバーによる至近距離・狭所閉空間での TOF の実証

次に可視光半導体レーザーの短パルス光（波長 637nm、パルス幅 1ns、周波数 100kHz）を、ファイバーを通してターゲットに照射し、反射光はファイバーを通して受光して TOF 測定を行った。腹腔内を想定して、ターゲットとファイバー先端は内寸 50mm×50mm×50mm の狭閉空間内に配置した。反射光は超高速の光検出器（アバランシェフォトダイオード）にて電気信号に変換して、超高速デジタルオシロにて時間差を測定した。狭閉空間は、内側 6 面に高反射率の反射材を張り付けた高反射閉空間実験ボックスとした（図 4）。TOF

の S/N を上げるためデジタルオシロスコープにて統計処理を行い、平均値と標準偏差を求めた。その結果、TOF 測定距離 50mm において測定精度（標準偏差）0.95mm が得られ、目標値をクリアした（図 5）。この結果により、本研究の最終目的である低侵襲の 3D 内視鏡の実現に向けた、光ファイバーを使ったカラー 3D-LiDAR の原理を検証できた。

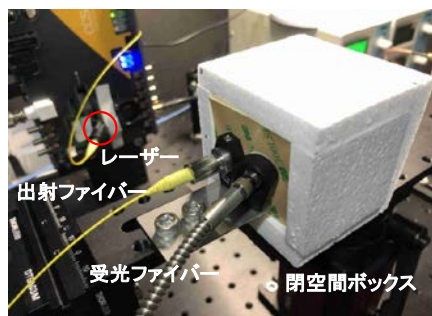


図 4 光ファイバーを使った TOF 実験装置

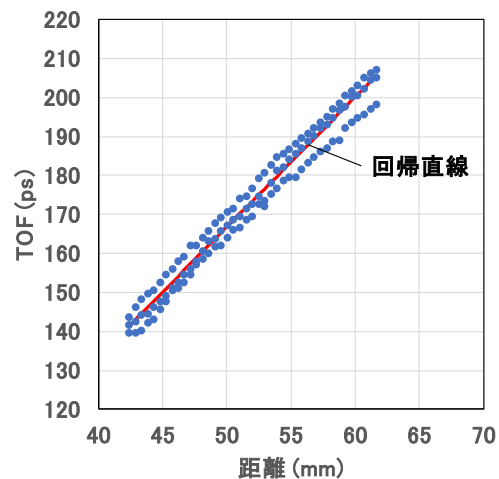


図 5 光ファイバーを使った TOF

<引用文献>

- ① J. Kinoshita, H. Aizawa, A. Takamori, K. Yamamoto, H. Murata, K. Tojo, Angular dependence of screen speckle and fiber speckle of coupled output of nine high-power blue laser diodes through a multi-mode fiber, *Optical Review*, vol. 23, p. 121, 2016.
- ② 前田 重雄, 山本 和久, 走査型レーザー照明の植物栽培光源への応用, *レーザー研究*, 44 巻, p. 716, 2016.
- ③ M. Ishino, T. Kitamura, A. Takamori, J. Kinoshita, N. Hasegawa, M. Nishikino, K. Yamamoto, Scanning 3D-LiDAR based on visible laser diode for sensor-integrated variable distribution lighting, *Optical Review*, vol. 26, p. 213, 2019.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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
--	---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------