

平成 28 年度 委託研究開発成果報告書

I. 基本情報

事業名： (日本語) 医療分野研究成果展開事業 先端計測分析技術・機器開発プログラム
(英語) Medical Research and Development Programs Focused on Technology
Transfers: Development of Advanced Measurement and Analysis Systems

研究開発課題名： (日本語) KTN 光偏向器を用いた Enface-OCT システムの開発
(英語) Development of Enface-OCT system using KTN optical beam deflector

研究開発担当者 (日本語) 大学院医学系研究科 教授 近江 雅人
所属 役職 氏名： (英語) Graduate School of Medicine, Professor, Masato Ohmi

実施期間： 平成 25 年 10 月 1 日 ～ 平成 29 年 3 月 31 日

分担研究 (日本語) KTN 光偏向デバイスの開発
開発課題名： (英語) Development of KTN optical beam deflector device

研究開発分担者 (日本語) 日本電信電話株式会社 デバイスイノベーションセンタ
所属 役職 氏名： 主幹研究員 阪本 匡
(英語) Device Innovation Center, NTT Corporation,
Senior Research Engineer, Tadashi Sakamoto

分担研究 (日本語) 本装置の発汗異常症診断への応用
開発課題名： (英語) Application to diagnosis of sweating abnormalities using this system

研究開発分担者 (日本語) 国立大学法人東京医科歯科大学大学院医歯学総合研究科
所属 役職 氏名： 教授 横関 博雄
(英語) Graduate School of Medical and Dental Sciences, Tokyo Medical and
Dental University, Professor, Hiroo Yokozeki

II. 成果の概要（総括研究報告）

和文

大阪大学大学院医学系研究科教授 近江 雅人、日本電信電話株式会社デバイスイノベーションセンターの研究グループは、タンタル酸ニオブ酸カリウム (KTN) 結晶の光偏向器としての機能を利用した高速な鉛直断面光断層干渉計測システム (Enface-OCT) の開発に成功した。KTN 結晶は可変焦点レンズ、プリズム用途として期待される新デバイスであり、同研究グループは印加電圧に対しレーザー光の出射角度を高速 (200kHz) 制御可能な偏向器としての特性に着目し、光断層干渉計測 (OCT) 技術に適用することで、従来のタイムドメイン方式 OCT では達成することができなかった世界最高速のフレームレート 1000frm を実現した。

Enface-OCT 干渉光学系は光ファイバークップラー、光サーキュレーターを用いたマッハツェンダー型干渉計である。光源には出力 50 mW、中心波長 1.31 μm の SLD 光源を用いた。このイメージングシステムでは、2 台の KTN 光偏向器が用いられる。1 台目の KTN 光偏向器は高速スキャン (200kHz) を行い、2 台目の KTN 光偏向器は低速スキャン (1kHz) を行い 2 次元ビーム走査を実現する。実験では、ヒト指先における 2 次元 En-face OCT 画像とボリュームレンダリング像を構築した。撮像条件は 1 軸目 KTN 光偏向器に 200 kHz で x 軸方向を走査し、2 軸目 KTN 光偏向器に 1 kHz で y 軸方向を走査した。En-face OCT 画像は 500(x) \times 200(y) ピクセルで構築し、実際のサイズは x 方向に 0.7 mm、y 方向に 1.1 mm である。この 2 次元 OCT 画像を 1000 フレーム/秒の速さで取得出来た。この取得レートは En-face OCT として最高速であり、SS-OCT のスピードに匹敵する。さらに、参照光可動ミラーを 2.5 Hz で動かし 3 次元ボリュームデータを取得した。3D 像は 0.7(x) \times 1.1(y) \times 2.0(z) mm の測定範囲を 500(x) \times 200(y) \times 200(z) ボクセルで構成し、このボリュームデータを 5 ボリューム/秒で取得することに成功した。また、取得した 3 次元データから再構成することで任意の断面画像を得ることができる。

本研究開発の皮膚科診断応用においては、東京医科歯科大大学院 横関博雄教授のもとで、汗腺の 3D-OCT のデータ解析より汗腺の体積を求め、汗腺膨張率を評価した。汗腺のボリュームレンダリング画像の x-y 平面スライスから、汗腺の重心を求める。重心の分布をもとに汗腺の長さ、平均導管断面積、体積を計測した。これらの結果より、OCT を用いて角層内の汗管の体積と発汗量測定装置を用いた最大発汗量とは正の相関関係が認められた。将来的には、高速な 3 次元生体組織構造計測の利点を生かすことで皮膚疾患診断のための解析、様々な診断分野への応用が期待される。

英文

Prof. Masato Ohmi from Osaka University and researchers of NTT Device Innovation Center developed novel ultrahigh speed en face OCT system using two axis KTN optical beam deflectors. The KTN crystal has a very large electro-optic (EO) effect, which changes its refractive index when a voltage is applied and bends the path of a light beam in a new direction. The deflection effect of the KTN exhibits a fast response of up to several hundred KHz and a fairly large light deflection angle. Considering this performance, we proposed a novel high-speed en face OCT system that used a KTN optical deflector as the sample probe. We have succeeded in obtaining en face OCT images of human fingerprint with a frame rate of 1000 fps. This is the highest speed obtained using time domain en face OCT imaging in the world.

The en-face OCT imaging optics is composed by Mach-Zehnder interferometer, in which the light source is a super-luminescent diode (SLD) light with an output of 50 mW around a central wavelength of 1.31 μm . In the imaging system, we use two KTN beam deflectors for two-dimensional en face OCT imaging. The fast scanning is performed at 200 kHz by the first KTN beam deflector, while the slow scanning is performed at 1 kHz by the second KTN beam deflector. In the preliminary experiment, we acquired human fingerprint images using TD en face OCT system. The first KTN beam deflector operated at 200 kHz in the x-direction, whereas the second KTN deflector scans operated at 1000 Hz in the y-direction. The 500×200 pixel images covered a sample area of approximately $0.7 \text{ mm} \times 1.1 \text{ mm}$ (x, y). The image acquisition rate was 1000 fps, which is the highest speed obtained using en face OCT imaging and is comparable to the speed of SS-OCT systems. Furthermore, during 3D imaging, in addition to the operation of two axis KTN beam deflectors of the sample arm, a reference mirror is moved for stacking en face OCT images. All the data from 3D-OCT scanning were stored in the data acquisition board. The volume size of a 3D image was $500 \times 200 \times 200$ voxels (x, y, z) with a 3D data acquisition rate of 5 volumes/s. The measurement ranges were $0.7 \text{ mm} \times 1.1 \text{ mm} \times 2.0 \text{ mm}$.

We and Prof. Hiroo Yokozeki from Tokyo Medical and Dental University developed and analyzed the rate of volume expansion of eccrine sweat gland by use of the data analysis of the 3D-OCT images of sweat gland. The gravity center of the sweat gland is determined by the x-y OCT image of the 3D volume rendering data. The length of the sweat gland as well as the average slice area and the volume are measured according to the distribution of the gravity center. It is found that there is a positive correlation between the volume of the sweat gland from the OCT measurement and the maximum perspiration from the perspiration meter. Our development permits in vivo real-time imaging with fewer motion artifacts including 3D imaging of the object and this technique will lead to useful clinical applications.

III. 成果の外部への発表

(1) 学会誌・雑誌等における論文一覧(国内誌 1件、国際誌 1件)

1. Ohmi M, Application to skin physiology using optical coherence tomography, LASER THERAPY, 2016, Vol. 25, No. 4, 251-258.
2. 新屋佑介, 今井欽之, 豊田誠治, 小林潤也, 阪本匡, 近江雅人, KTN 光偏向器を用いた高速 En face 方式 TD-OCT の開発, レーザー研究, Vol. 45, No. 3, 175-180.

(2) 学会・シンポジウム等における口頭・ポスター発表

1. Ultrahigh speed time-domain en face optical coherence tomography using KTN optical beam deflector, ポスター, Shinya Y, Imai T, Toyoda S, Kobayashi J, Sakamoto T, Ohmi M, Optics & Photonics International Congress (OPIC2016), 2016/5/19, 国内.
2. Progress of high-speed optical coherence tomography, 口頭, Ohmi M, Optics & Photonics International Congress (OPIC2016), 2016/5/19, 国内.
3. KTN 光偏向器を用いた高速鉛直断面方式タイムドメイン OCT の開発, 口頭, 新屋佑介, 田中千晶, 近江雅人, 今井欽之, 上野雅浩, 豊田誠治, 阪本匡, 第 29 回レーザー医学会関西地方会, 2016/7/9, 国内.
4. Dynamic analysis of mental sweating of eccrine sweat gland of human fingertip by time-sequential piled-up en face optical coherence tomography Images, ポスター, Ohmi M, Wada Y, Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology (EMBC 2016), 2016/8/18, 国外.
5. デジタル画像処理を用いた OCT における汗腺の 3 次元構造解析と手掌多汗症診断への応用, 口頭, 宮田浩史, 近江雅人, 横関博雄, 第 24 回日本発汗学会総会, 2016/8/27, 国内.
6. OCT (光コヒーレンストモグラフィ) による、掌蹠多汗症患者の発汗動態解析, 口頭, 加藤恒平, 横関博雄, 西澤綾, 須川佳彦, 近江雅人, 第 24 回日本発汗学会総会, 2016/8/27, 国内.
7. ヒト指先の 3 次元 OCT 画像からの汗腺抽出とその構造解析, ポスター, 宮田浩史, 近江雅人, 日本光学会年次学術講演会(OPJ2016), 2016/11/1, 国内.
8. KTN 光偏向器を用いた高速 En face 方式 TD-OCT システムの開発, ポスター, 新屋佑介, 今井欽之, 豊田誠治, 小林潤也, 阪本匡, 近江雅人, 日本光学会年次学術講演会(OPJ2016), 2016/11/2, 国内.
9. 2 軸 KTN 光偏向器を用いた高速 En face OCT システムの開発, 口頭, 新屋佑介, 田頭了, 今井欽之, 辰己詔子, 豊田誠治, 阪本匡, 近江雅人, レーザー学会学術講演会第 37 回年次大会, 2017/1/9, 国内.
10. ヒト指先の 3 次元 OCT 画像からの汗管抽出とその構造解析, 口頭, 宮田浩史, 坂田夕夏, 近江雅人, レーザー学会学術講演会第 37 回年次大会, 2017/1/9, 国内.
11. High frame-rate en face optical coherence tomography system using KTN optical beam deflector, ポスター, Ohmi M, Shinya Y, Imai T, Toyoda S, Kobayashi J, Sakamoto T, Photonics West 2017, 2017/1/29, 国外.

(3) 「国民との科学・技術対話社会」に対する取り組み

1. OCT 高速化技術の進展と生理学分野への応用, 近江雅人, 日本学術振興会 第 179 委員会 第 44 回研究会, 2016/10/20, 国内.

(4) 特許出願