

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 (AMED-SENTAN)

研究開発課題名： (日本語) 超高感度迅速放射性炭素同位体分析装置の開発
(英語) Development of Lased Based System for Highly Sensitive and Rapid
Radioactive Carbon Analysis

研究開発担当者 (日本語) 名古屋大学大学院工学研究科量子工学専攻・教授・井口哲夫
所属 役職 氏名： (英語) Dept. Quantum Engineering, Nagoya University, Professor, Tetsuo Iguchi

実施期間： 平成28年 4月 1日 ~ 平成29年 3月31日

分担研究 (日本語) ^{14}C 試料分析プロトコルの開発と評価
開発課題名： (英語) The Development and Evaluation of Analytical Protocol for Radioactive
Carbon Samples

(2016年4月1日~2016年12月31日)

研究開発分担者 (日本語) 積水メディカル株式会社 創薬支援事業部 事業企画室長 大原 利成
所属 役職 氏名： (英語) SEKISUI MEDICAL CO., LTD. , Drug Development Solutions Division,
Business Planning & Development Department, Manager, Toshinari Oh-hara

(2017年1月1日~2017年3月31日)

研究開発分担者 (日本語) 積水メディカル株式会社 創薬支援事業部 創薬支援センター
受託試験室長 橋爪 研太
所属 役職 氏名： (英語) SEKISUI MEDICAL CO., LTD. , Drug Development Solutions Division,
Drug Development Solutions Center, Contract Research Department,
Manager, Kenta Hashizume

II. 成果の概要（総括研究報告）

ファイバレーザーベースの中赤外光周波数コム光源の開発を進めた。Er 添加ファイバ、および Yb 添加ファイバベースの 2 種の方式により、周期分極反転結晶における差周波混合で、波長 $4.5 \mu\text{m}$ 帯に中赤外コム光を生成することに成功した。更に、井口チームとの共同実験において、量子カスケードレーザーとのビート信号計測に成功し、生成した中赤外コム光のコム構造を高い SN 比で確認した。

また、名古屋大学・積水メディカル社で共同して CRDS プロトタイプ装置の開発を進めた。データ取込系の開発と、光源および共振器の安定性の評価した。また、放射性炭素(^{14}C)測定装置としての基礎性能評価を開始した。その結果、標準試料を用いた性能評価では良好な直線性を示し、算出された放射エネルギーは既存装置である液体シンチレーションカウンター(LSC)と同等の値を示した。この時サンプル中の ^{14}C 炭素量あたりの感度は LSC 以上であった。このことから現在の CRDS プロトタイプ装置が、LSC に準じた信頼性でより高感度な装置性能であると評価した。

We developed fiber laser based mid-infrared (MIR) optical frequency comb source. Er-doped fiber based, and Yb-doped fiber based systems were constructed and MIR comb was generated at $\lambda = 4.5 \mu\text{m}$ through difference frequency generation (DFG) in periodically poled nonlinear crystals. By the collaboration with Iguchi team, we conducted the beat signal measurement between MIR comb and QCL, and the comb structure of generated MIR comb was confirmed with high signal-to-noise ratio.

We advanced the development of CRDS prototype including data acquisition system. The stability of both the laser source and the cavity was evaluated. In addition we started basic performance evaluation as a radioactive carbon (^{14}C) measurement device with collators. As a result, the performance evaluation using the standard samples showed good linearity, and the calculated radioactivity amount was equivalent to that of the existent ^{14}C analyzer; liquid scintillation counter (LSC). At this time, the sensitivity per introduced ^{14}C amount was more than LSC. Therefore, it is estimated that the present CRDS prototype has higher sensitivity with the reliability according to LSC.

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 4件)

1. 西澤典彦, “特集: 赤外線光源 —近赤外光源からテラヘルツまで— ファイバレーザ,” 日本赤外線学会誌, 2016, 25, 2, 2-14.
2. M. Tsuzuki, L. Jin, M. Yamanaka, V. Sonnenchein, H. Tomita, A. Sato, T. Ohara, Y. Sakakibara, E. Omoda, H. Kataura, T. Iguchi, and N. Nishizawa, “Mid-infrared optical frequency comb based on difference frequency generation using high repetition rate Er-doped fiber laser with single wall carbon nanotube film,” Photonics Research, 2016, 4, 313-317.
3. L. Jin, M. Yamanaka, V. Sonnenschein, H. Tomita, T. Iguchi, A. Sato, T. Oh-hara, and N. Nishizawa, “Highly coherent tunable mid-infrared frequency comb pumped by supercontinuum at 1 μm ,” Applied Physics Express, 2017, 10, 012503-1-4.
4. Volker Sonnenschein, Ryohei Terabayashi, Hideki Tomita, Takahiro Hirotsu, Satoshi Yuruzume, Noriyoshi Hayashi, Lei Jin, Masahito Yamanaka, Norihiko Nishizawa, Atsushi Sato, Akane Omori, Akira Ideno, Toshinari Oh-hara and Tetsuo Iguchi, “Development of CO₂ Cavity Ring-Down Spectroscopy for Medical Applications”, JPS Conference Proceedings, 2016, 11, 060003
5. Ryohei Terabayashi, Volker Sonnenschein, Hideki Tomita, Noriyoshi Hayashi, Shusuke Kato, Lei Jin, Masahito Yamanaka, Norihiko Nishizawa, Atsushi Sato, Kohei Nozawa, Kenta Hashizume, Toshinari Oh-hara, Tetsuo Iguchi, “Optical Feedback in DFB Quantum Cascade Laser for Mid-Infrared Cavity Ring-down Spectroscopy”, Hyperfine Interactions, 2017, Accepted.

(2) 学会・シンポジウム等における口頭・ポスター発表

1. “Tunable mid-infrared optical frequency comb based on supercontinuum at 1 μm wavelength range,” (口頭), L. Jin, M. Yamanaka, V. Sonnenschein, H. Tomita, T. Iguchi, A. Sato, A. Omori, A. Ideno, T. Oh-hara, and N. Nishizawa, ALPS2016, Yokohama, Japan, 17-20, May 2016 (国内)
2. “1 μm 帯スーパーコンティニュームを用いた高コヒーレンス波長可変中赤外光周波数コム光源の開発,” (口頭), 金磊, 山中真仁, S. Volker, 富田英生, 井口哲夫, 佐藤淳史, 大森茜, 井出野晃, 大原利成, 西澤典彦, 第76回応用物理学会秋季学術講演会, 新潟, 9/13-16, 2016 (国内)
3. “Highly coherent tunable mid-infrared optical frequency comb seeded by high power supercontinuum at 1 μm ,” (口頭), L. Jin, M. Yamanaka, V. Sonnenschein, H. Tomita, T. Iguchi, A. Sato, A. Omori, A. Ideno, T. Oh-hara, and N. Nishizawa, Advanced Solid State Lasers (ASSL) 2016, Boston, USA, 2016/10/30-2016/11/3 (国外)
4. “Highly functional ultrashort pulse fiber laser and their applications,” (口頭・招待講演), N. Nishizawa, The 9th Asian Symposium on Intense Laser Science (ASILS'9), Ninh Binh City, Vietnam, 2016/11/6-2016/11/10 (国外)
5. “Yb 添加ファイバレーザベース波長可変 MIR コムの生成,” (口頭), 金磊, 山中真仁, S. Volker, 富田英生, 井口哲夫, 佐藤淳史, 大森茜, 井出野晃, 大原利成, 西澤典彦, レーザー学会第496回研究会「ファイバレーザ技術」, 名古屋大学, 2016/11/18 (国内)

6. “フェムト秒モード同期ファイバレーザーの進展,” (口頭),西澤典彦,金磊,山中真仁,レーザー学会 学術講演会第 37 回年次大会,徳島大学,2017/1/7-9 (国内)
7. “Soliton pumping based mid-infrared optical frequency comb,” (口頭),金磊,山中真仁,S. Volker, 富田英生,井口哲夫,佐藤淳史,井出野晃,大原利成,西澤典彦,第 64 回応用物理学会春季学術講演会, 横浜,2017/3/14-17 (国内)
8. “Mid-infrared comb generation at 3 μm through DFG using high repetition rate Er-doped fiber laser with SWNT,” (口頭),M. Tsuzuki, Y. Nomura, L. Jin, M. Yamanaka, V. Sonnenschein, H. Tomita, T. Iguchi, A. Sato, A. Omori, A. Ideno, T. Ohara, Y. Sakakibara, E. Omoda, H. Kataura, Y. Sakakibara, and N. Nishizawa, ALPS2016, 横浜,2016/5/17-20 (国内)
9. 生体試料中放射性炭素同位体分析のためのキャビティーリングダウン分光システムの開発, 口頭,寺林稜平, Volker Sonnenschein, 富田英生, 林紀善, 弘津嵩大, 緩詰聡士, 金磊, 山中真仁, 西澤典彦, 佐藤淳史, 野沢耕平, 橋爪研太, 大原利成, 井口哲夫, 第 53 回アイソトープ・放射線 研究発表会,東京大学弥生講堂,2016 年 7 月 7 日, (国内) 若手優秀講演賞受賞
10. ^{14}C を用いた薬物動態解明のための微量炭素同位体分析システムの開発, ポスター,林 紀善,寺 林 稜平,Volker Sonnenschein,加藤 修介,富田 英生,金 磊,山中 真仁,西澤 典彦,佐藤 淳史,野沢 耕平,橋爪 研太,大原 利成,井口 哲夫,第 28 回放射線夏の学校,南房総リゾートイン白浜,2016 年 8 月 3 日, (国内)
11. キャビティーリングダウン分光に基づく放射性炭素同位体分析システムの開発, 口頭,富田英生, 寺林稜平, Volker Sonnenschein, 林 紀善, 佐藤 淳史, 井口哲夫, 金 磊, 山中 真仁, 西澤 典彦, 大原 利成, 橋爪 研太, 野沢 耕平, 日本原子力学会 2016 年秋の大会,久留米シティプラザ,2016 年 9 月 7~9 日, (国内)
12. キャビティーリングダウン分光に基づく放射性炭素同位体分析システムの開発, 口頭,寺林 稜 平, Sonnenschein Volker, 林 紀善, 加藤 修介, 富田 英生, 金 磊, 山中 真仁, 西澤 典彦, 佐 藤 淳史, 野沢 耕平, 橋爪 研太, 大原 利成, 井口 哲夫, 第 77 回応用物理学会秋季学術講演会, 朱鷺メッセ,2016 年 9 月 16 日, (国内)
13. Optical feedback in a distributed feedback quantum cascade laser and linewidth reduction for cavity ring-down spectroscopy, ポ ス タ ー ,Volker Thomas Sonnenschein,Ryohei Terabayashi,Noriyoshi Hayashi,Shuusuke Kato,Hideki Tomita,Lei Jin,Masahito Yamanaka,Norihiko Nishizawa,Atsushi Sato,Kohei Nozawa,Kenta Hashizume,Toshinari Oh-Hara,Tetsuo Iguchi,第 77 回応用物理学会秋季学術講演会,朱鷺メッセ,2016 年 9 月 14 日, (国内)
14. キャビティーリングダウン分光に基づく放射性炭素同位体分析のための波長較正システムの開 発, 口頭,加藤 修介,Volker Sonnenschein,寺林 稜平,林 紀善,富田 英生,金 磊,山中 真仁,西澤 典彦,佐藤 淳史,野沢 耕平,橋爪 研太,大原 利成,井口 哲夫, 日本原子力学会中部支部第 48 回研 究発表会,名古屋大学,2016 年 12 月 14 日, (国内)
15. Cavity Ring-Down Spectroscopy for ^{14}C Isotope Analysis of Biomedical Samples, 口 頭,Sonnenschein Volker Thomas,Terabayashi Ryohei,Tomita Hideki,Hyashi Noriyoshi,Kato Shusuke,Jin Lei,Yamanaka Masahito,Nishizawa Norihiko,Sato Atsushi,Nozawa Kohei,Hashizume Kenta,Oh-hara Toshinari,Iguchi Tetsuo, 第 64 回応用物理学会春季学術講 演会,パシフィコ横浜,2017 年 3 月 17 日, (国内)

16. 生体試料中放射性炭素同位体分析に向けた中赤外キャビティールーリングダウン分光システムの開発, 口頭, 寺林稜平, Volker Sonnenschein, 富田英生, 林紀善, 加藤修介, 金磊, 山中真仁, 西澤典彦, 佐藤淳史, 野沢耕平, 橋爪研太, 大原利成, 井口哲夫, 日本原子力学会 2017 年春の年会, 東海大学湘南キャンパス, 2017 年 3 月 27 日, (国内)
17. Cavity Ring-Down Spectroscopy for ^{14}C Isotope Analysis of Biomedical Samples, 口頭, Volker Sonnenschein, Ryohei Terabayashi, Hideki Tomita, Noriyoshi Hayashi, Shusuke Kato, Lei Jin, Masahito Yamanaka, Norihiko Nishizawa, Atsushi Sato, Kohei Nozawa, Kenta Hashizume, Toshinari Oh-hara, Tetsuo Iguchi, 放射線検出器とその応用(第 31 回), 高エネルギー加速器研究機構, 2017 年 1 月 24 日, (国内)
18. レーザー分光を用いた放射性同位体分析法の開発, 口頭・招待講演, 富田英生, 平成 28 年度電気学会北陸支部学術講演会, 2016 年 10 月 11 日, (国内)
19. Cavity Ring-Down Spectroscopy of $^{14}\text{CO}_2$ for medical applications, 口頭, Volker Sonnenschein, et al., X International Workshop Application of Lasers and Storage Devices in Atomic Nuclei Research, Poznan, 2016 年 5 月 16~19 日, (国外)
20. Development of Cavity Ring-Down Spectroscopy for Carbon Isotope Analysis of Biomedical Samples, 口頭, Volker Sonnenschein, Ryohei Terabayashi, Hideki Tomita, Noriyoshi Hayashi, Shusuke Kato, Lei Jin, Masahito Yamanaka, Norihiko Nishizawa, Atsushi Sato, Kohei Nozawa, Kenta Hashizume, Toshinari Oh-hara, and Tetsuo Iguchi, DPG spring meeting 2017, Mainz, Germany, 2017/3/10, (国外)

(3) 「国民との科学・技術対話社会」に対する取り組み

1. “超短パルスファイバレーザー技術の親展と応用展開,” 西澤典彦, 第 23 回レーザー夏の学校, 2016/9/4, 国内
2. “ファイバレーザー応用技術の基礎,” 西澤典彦, レーザー科学技術フェア, 2016/11/16, 国内
3. “超高感度 近赤外～中赤外レーザー吸収分光法と微量ガス分析への応用”, 富田英生, テクノ・フェア名大 2016, 2016/9/2, 国内

(4) 特許出願

日本 特許出願 1 件

(特許出願番号・内容については公開を希望しない)