

令和 4 年 6 月 3 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H03469

研究課題名(和文) 生体内代謝物解析のためのレーザー分光に基づく放射性炭素同位体分析法の開発

研究課題名(英文) Development of analytical method of radiocarbon based on laser spectroscopy for analysis of metabolites in living organisms

研究代表者

富田 英生 (Tomita, Hideki)

名古屋大学・工学研究科・准教授

研究者番号：20432239

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,500,000円

研究成果の概要(和文)：生体内代謝物解析のためのCRDSに基づく¹⁴C分析法を開発した。光路長の変調によるベースライン変動の抑制手法、吸着カラムを用いたCO₂分離・濃縮などを開発し、¹⁴C定量分析を高感度化した。それらの要素技術を用いて、高速液体クロマトグラフィーにて分画された試料中の¹⁴C分析を実証した。また、体外からの代謝物分布測定を念頭に、¹⁴Cから放出される粒子に起因する制動X線をイメージングするLa-GPSシンチレーション画像検出器を開発した。3Hへの適用性を示して¹⁴Cと3Hの二重標識標識によるイメージングへの展望を得るとともに、マウスに経口投与した¹⁴C標識化合物の体内位置のイメージングに成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究により、生体内での物質動態を「定量的」に評価するためのレーザー吸収分光に基づく¹⁴C分析法の高感度化が実現できた。高速液体クロマトグラフィーと本¹⁴C分析法を組み合わせることで代謝物プロファイル測定が実現できれば、創薬における薬物動態評価、生体内代謝メカニズムの解明や、さらに臨床現場にて応用されれば個別化治療を実現するための診断手法となりうると期待される。また、粒子に起因する制動X線イメージングにより、体外からの¹⁴Cと3Hの分布を測定できる可能性が示された。

研究成果の概要(英文)：An analytical method of radiocarbon based on cavity ring-down spectroscopy was developed for metabolites analysis. Suppression of baseline fluctuations by modulating the optical path length and separation/concentration of sample gas (carbon dioxide) by adopting adsorption columns were developed to improve the sensitivity of C-14 quantitative analysis. Using those techniques, C-14 analysis in samples fractionated by high-performance liquid chromatography was demonstrated. In addition, a La-GPS scintillator-based imaging detector was developed for in vitro metabolite distribution measurements. Imaging of bremsstrahlung caused by β -particles emitted from C-14 as well as tritium was demonstrated by using the detector. In vivo imaging of a mouse to detect the X-rays from a ¹⁴C solution orally administered was successfully demonstrated.

研究分野：量子ビーム理工学

キーワード：放射性炭素同位体 レーザー分光 同位体標識 代謝物分析

1. 研究開始当初の背景

生体を構成する主要元素（酸素、炭素、水素、窒素）の同位体の中で、放射性炭素同位体 ^{14}C は唯一の長半減期放射性核種（半減期：約 5730 年）である。炭素は環境・生物中に多数存在するため、環境学・地学・考古学・植物動態学・医学など様々な領域で ^{14}C はトレーサーとして利用されている。従来、 ^{14}C の分析には、液体シンチレーションカウンティング法や加速器質量分析法が用いられてきた。液体シンチレーションカウンティング法は、 ^{14}C の壊変に起因した β 線をテーブルトップサイズの装置で計数し ^{14}C の定量を行うものであるため、 ^{14}C 放射能が比較的高い試料を測定する場合には簡便かつ迅速な分析が可能であるが、より微量な ^{14}C 放射能を含む試料を測定する場合には、試料の精製などの前処理が不可欠であり、宇宙線等に起因するバックグラウンドによって検出限界が制限される。加速器質量分析法は ^{14}C の天然同位体比 ($\sim 10^{-12}$) を超える高アバンダンス感度な分析が可能であるため、 ^{14}C 年代測定のように極微量 ^{14}C の分析が求められる場合に広く用いられている。一方で、複雑な前処理や大型の装置を必要とし、分析のスループットも低く、 ^{14}C 分析の幅広い応用のボトルネックとなっていた。

これに対し、超高感度なレーザー吸収分光法であるキャビティーリングダウン分光法 (Cavity Ring-Down Spectroscopy: CRDS) を用いて ^{14}C 分析を行う手法 (^{14}C -CRDS) は、高アバンダンス感度・迅速測定・コンパクトな装置構成・高スループットなどを実現しうる革新的 ^{14}C 分析法である。 ^{14}C により生体内での物質動態を「定量的」に評価することが可能であるため、生体試料に対する ^{14}C -CRDS が確立すれば、創薬における薬物動態評価、生体内代謝メカニズムの解明や、さらに臨床現場にて応用されれば個別化治療を実現するための診断手法となりうると期待される。このため、生体試料に対する CRDS に基づく ^{14}C 分析法の確立が求められてきた。

2. 研究の目的

本研究では、生体試料を対象に、生体内代謝物解析のための CRDS に基づく ^{14}C 分析法の開発を目的とした。このために、ヒトホット試験および代謝物分析に向けた ^{14}C -CRDS の高感度化と代謝物分析法の開発、 ^{14}C イメージング法および 2 重同位体標識薬剤の開発、を実施した。

3. 研究の方法

本研究では、 ^{14}C を定量するために、光共振器を用いた超高感度なレーザー吸収分光法の一つである CRDS を用いた (図 1 参照)。CRDS では、2 枚の高反射率ミラーで構築される光共振器内に試料を封じ込めて分析を行う。光共振器の入射光は周波数が共振条件に一致するときのみ多重反射され、内部に蓄積される。この時、光の滞在時間より十分に早く入射光を遮断すると透過光強度の指数関数的減衰を観測でき、減衰信号から減衰率: β を求めることで光吸収物質の数密度: N を定量できる。 ^{14}C を含む二酸化炭素 ($^{14}\text{CO}_2$) には中赤外領域における吸収線が存在しているため、 $^{14}\text{CO}_2$ の吸収線に対し CRDS を用いて数密度 ($\propto \beta$) を測定し、微量 ^{14}C の定量分析を行う。

特に、代謝物中の ^{14}C 分析のために、高速液体クロマトグラフィーと CRDS システムをカップリングした分析法の開発を行った。高速液体クロマトグラフィー— ^{14}C -CRDS の概念図を図 2 に示す。高速液体クロマトグラフィーに導入された試料は分離部を通過する際の時間差を利用して化合物 (代謝物) ごとに分画され、順次試料導入部にて燃焼された後、CRDS で ^{14}C 量が測定される。

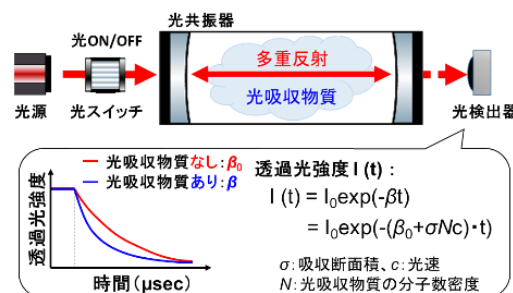


図 4 CO_2 濃縮にかかる時間の比較

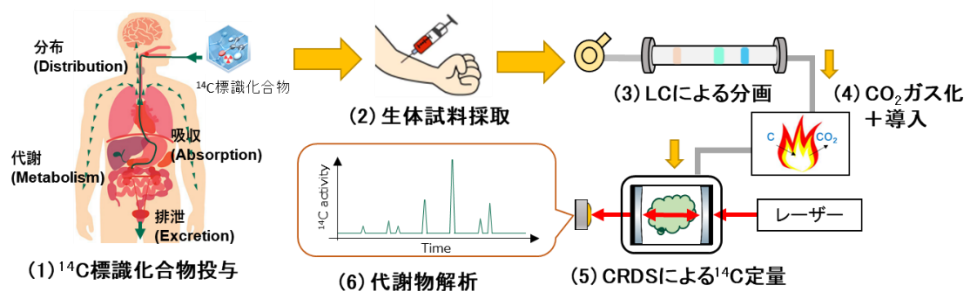


図 2 高速液体クロマトグラフィー— ^{14}C -CRDS の概念図

代謝イメージングのためには、投与した放射性核種標識化合物の生体内分布を測定する必要があるが、ベータ線のみを放出する核種である ^{14}C は、生体外部から放射線を測定する方法は無く、in-vivo イメージングは不可能と考えられており、従来、 ^{14}C は動物に投与後、切片を作成しベータ線感光材料などに密着させて分布を測定する必要があった。そこで、 ^{14}C の放出するベータ線が物質中で低エネルギーの制動 X 線を発生することに着目し、制動 X 線の画像化が可能ならシンチレータを用いたイメージング装置の開発を行った。

4. 研究成果

A. CRDS に基づく ^{14}C 分析法の高感度化と代謝物分析法の開発

CRDS に基づく ^{14}C 分析の感度を制限する一因である CRDS で取得する吸収スペクトルにおけるバックグラウンド変動を抑制する手法を検討した。CRDS では、高反射率光共振器内での光の減衰率を測定することで $^{14}\text{CO}_2$ の分子数密度を定量するが、共振器を構成する高反射面以外の光学素子（光学窓、レンズなど）表面での意図しない反射によっても、共鳴が起こるため、見かけ上、減衰率がレーザーの波長に対して周期的に変動する（エタロン効果）。このようなバックグラウンドの変動は測定において系統的な誤差となり、測定感度を制限する大きな要因である。そこで、エタロン効果が起こる光路長を変調してエタロン効果の影響をキャンセルする手法を ^{14}C -CRDS システムに適用し、その有用性を評価した。他のエタロン効果抑制法と組み合わせることで CRDS スペクトルのバックグラウンド変動が抑制できることを実証した（図 3）。

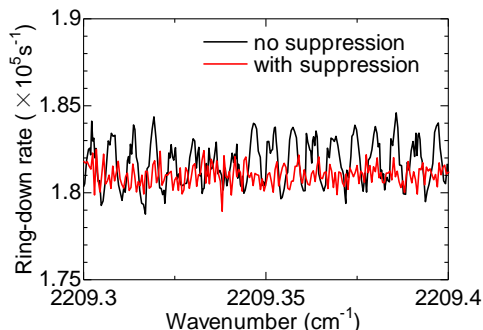


図 3 光路長の変調によるバックグラウンドの抑制

代謝物の定量分析に向けて、高速液体クロマトグラフィーの分画試料中の ^{14}C を測定するには、少量の試料での分析を実現することが求められるため、炭素含有試料の燃焼酸化によって生成された CO_2 の CRDS への導入法の開発を行った。そこで、CRDS ガスセル中の CO_2 分圧を高めるために、液体窒素トラップ、および、吸着カラムを用いた CO_2 分離・濃縮について検討した。液体窒素トラップは、液体窒素に浸した管中に試料ガスを流すことで CO_2 を固化し、減圧により夾雑成分を除去することで CO_2 を分離濃縮する方法である。一方、吸着カラムを用いた手法では、カラムに CO_2 分子を吸着させた後、減圧により夾雑ガスを取り除く。両手法ともに加熱することで CO_2 を脱離できる。両手法の性能を比較するために、総炭素量を一定に調整したグルコース溶液を用いて、CRDS セルに導入される CO_2 分圧を測定した。図 4 に二種類の試料導入システムで減圧時間を変えて測定した CO_2 分圧の結果を示す。液体窒素トラップと比較し、吸着カラムでは減圧時間 10 s で CO_2 分圧約 60% に到達し、そのばらつきも約 1% と約 7 分の 1 に低減されることが確認できた。また、分画試料中には、移動相の有機溶媒により炭素が持ち込まれる。その影響を評価し、前処理・試料導入部にて十分に低減されることが確認できた。

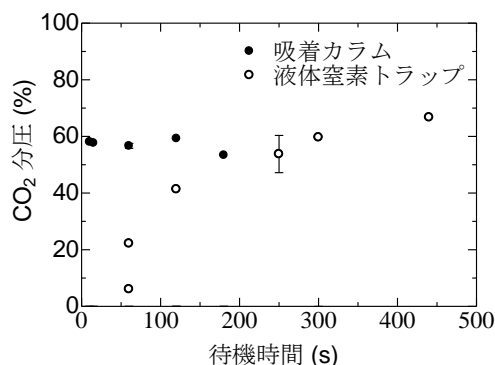


図 4 CO_2 分離・濃縮による CRDS ガスセル CO_2 分圧の変化

これらの要素技術に基づき、スペクトルから算出した $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比に全炭素量をかけ合わせることで ^{14}C 量を評価した結果、導入 ^{14}C 量 3.4~340 mBq の領域で線形性を得ることができ、不確かさ 5%（導入 ^{14}C 量 3.4 mBq の場合）を達成した。また、高速液体クロマトグラフィーにて分画された試料を ^{14}C -CRDS 装置に導入し、 ^{14}C 分析を実証した。

CRDS に基づく ^{14}C 分析法の感度をさらに向上させる手法として、二酸化炭素の光吸収過程における飽和効果を利用した飽和吸収 CRDS がある。そこで、飽和吸収 CRDS を行う実験系を構築し、信号取得に成功した。しかし、当初の装置では、飽和効果が低く、共振器内光強度を高める必要があることが明らかとなった。 ^{14}C -CRDS 分析システムにて用いられる光共振器の共鳴条件が数 kHz である一方で、光源である量子カスケードレーザーの発振線幅は数 MHz であるため、量子カスケードレーザーの発振線幅を共鳴条件に対して十分なレベルで狭帯域・安定化することで、CRDS 用光共振器内の光子密度を高めることができる。そこで、外部共振器を構築し、それからの光を量

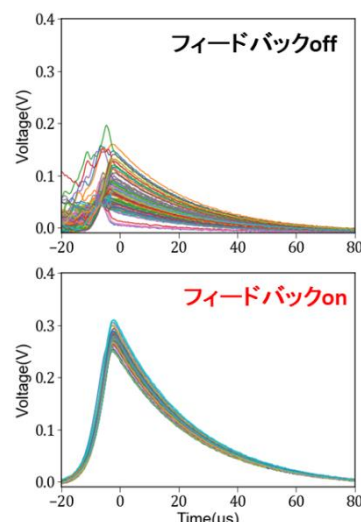


図 5 光フィードバックによる量子カスケードレーザーの安定化

子カスケードレーザー素子に対して戻すことで線幅を狭帯域化する光フィードバック法の開発を行った。これにより、量子カスケードレーザーの安定化・狭帯域化が実現でき(図5)、飽和吸収CRDS信号が改善された。また、 ^{14}C の導入量と飽和吸収CRDSによる減衰率に比例関係があることが確認できた。

B. ^{14}C イメージング法および2重同位体標識薬剤の開発

体外からの代謝物分布測定を念頭におき、 ^{14}C から放出される β 粒子を用いたイメージング法を開発した。開発した装置は0.5 mm/1.0 mm厚のLa-GPSシンチレータを位置有感型光電子増倍管(PSPMT)に光学系結合した構造で、平行穴コリメータを装着可能な構造とした(図6)。開発した装置の固有空間分解能(FWHM)は、 ^{14}C の放出する制動放射線に対してコリメータなしで約1 mm、ありで約2 mmであった。エネルギースペクトルは平均エネルギーが約30 keVのなだらかな分布が得られた。この装置を用いて ^{14}C 溶液からの制動放射線を明瞭に画像化できた。また、マウスに経口投与した ^{14}C 標識化合物の体内位置のイメージングする実験を行った。図7(a)に撮像中のマウスの光学画像を示す。開発したLa-GPSイメージング装置を用いて、コリメータありで1時間撮像したマウスの腹部に集積した ^{14}C から放出される制動X線の画像を図7(b)示す。また光学画像との融合画像を図7(c)に示す。マウスの腹部(胃)に集積した ^{14}C を体外から明瞭に画像化することができた。さらに、トリチウムから β 線に起因する制動X線イメージングも実現した。

本手法はトリチウムに対しても適用できる可能性があるため、 ^{14}C と ^3H の標識によるイメージングに応用できる可能性を示した。これらを踏まえて、代謝イメージングのための炭素同位体標識薬剤の候補化合物としてメチオニンを用いることとし、細胞を用いた代謝物解析の基礎的検討を実施したが、実験的な検証には至らなかった。

本研究で得られた成果は ^{14}C 分析のみならず、CRDSの高感度化による微量同位体分子の分析や ^{14}C 以外の放射性核種を含む分子の検出にも応用できると考えられ、応用展開が期待される。

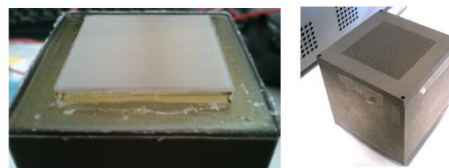
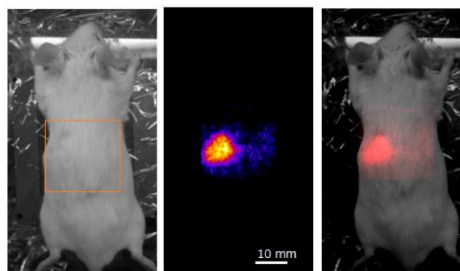


図6 La-GPS シンチレータを用いた制動X線イメージングシステムの外観



(a) (b) (c)
図7 マウスに経口投与した ^{14}C 標識化合物の体内位置のイメージング

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Seiichi Yamamoto, Kouhei Nakanishi, Takako Furukawa and Hideki Tomita	4. 巻 5
2. 論文標題 Possibility analysis of bremsstrahlung x-ray imaging of C-14 radionuclide using a LaGPS radiation imaging system	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Biomedical Physics & Engineering Express	6. 最初と最後の頁 035024 ~ 035024
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/2057-1976/ab12bd	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 Seiichi Yamamoto, Kouhei Nakanishi, Takako Furukawa, Hideki Tomita, Kei Kamada and Akira Yoshikawa	4. 巻 15
2. 論文標題 Imaging of bremsstrahlung X-rays from tritium water in a plastic bag using a LaGPS radiation imaging system	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Instrumentation	6. 最初と最後の頁 P04006 ~ P04006
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1748-0221/15/04/P04006	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 V. Sonnenschein, R. Terabayashi, H. Tomita, S. Kato, N. Hayashi, S. Takeda, L. Jin, M. Yamanaka, N. Nishizawa, A. Sato, K. Yoshida, and T. Iguchi	4. 巻 124
2. 論文標題 A cavity ring-down spectrometer for study of biomedical radiocarbon-labeled samples	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 033101 ~ 033101
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5041015	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 Ryohei Terabayashi, Volker Sonnenschein, Hideki Tomita, Noriyoshi Hayashi, Shusuke Kato, Shin Takeda, Lei Jin, Masahito Yamanaka, Norihiko Nishizawa, Atsushi Sato, Kohei Nozawa, Kenji Yoshida and Tetsuo Iguchi	4. 巻 24
2. 論文標題 Background Noise Reduction in Mid-Infrared Cavity Ring-Down Spectroscopy for Radiocarbon Analysis	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 JPS Conf. Proceedings	6. 最初と最後の頁 11024
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSCP.24.011024	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 Terabayashi Ryohei, Saito Keisuke, Sonnenschein Volker, Okuyama Yuki, Iguchi Testuo, Yamanaka Masahito, Nishizawa Norihiko, Yoshida Kenji, Ninomiya Shinichi, Tomita Hideki	4. 巻 59
2. 論文標題 Mid-infrared cavity ring-down spectroscopy using DFB quantum cascade laser with optical feedback for radiocarbon detection	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 092007 ~ 092007
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/abb20e	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 Yamamoto Seiichi, Tomita Hideki	4. 巻 168
2. 論文標題 Comparison of light outputs, decay times, and imaging performance of a ZnS(Ag) scintillator for alpha particles, beta particles, and gamma photons	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Radiation and Isotopes	6. 最初と最後の頁 109527 ~ 109527
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.apradiso.2020.109527	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 Yamamoto Seiichi, Tomita Hideki, Terabayashi Ryohei, Yoshida Kenji, Nakanishi Kouhei, Furukawa Takako, Kamada Kei, Yoshikawa Akira	4. 巻 -
2. 論文標題 In-vivo imaging of a mouse by detecting bremsstrahlung X-rays from ¹⁴ C using a La-GPS imaging system	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Nuclear Science and Technology	6. 最初と最後の頁 1-12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/00223131.2022.2050319	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 6件 / うち国際学会 7件)

1. 発表者名 山本誠一、中西恒平、古川高子、富田英生、吉田賢二
2. 発表標題 ベータ線放出核種：炭素 14 in-vivo イメージング装置の開発
3. 学会等名 日本分子イメージング学会 第14回 学会総会・学術集会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山本誠一、中西恒平、古川高子、富田英生
2. 発表標題 ベータ線放出核種の制動X線in-vivoイメージング装置開発と応用
3. 学会等名 第15回小動物インピボイメージング研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Seiichi Yamamoto, Hideki Tomita, Ryohei Terabayashi, Kenji Yoshida, Kouhei Nakanishi, Takako Furukawa, Kei Kamada and Akira Yoshikawa
2. 発表標題 In-vivo imaging of bremsstrahlung X-ray from C-14 radionuclide using a high resolution LaGPS radiation imaging system
3. 学会等名 IEEE Medical Imaging Conference 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 H. Tomita, V. Sonnenschein, R. Terabayashi, K. Saito, T. Iguchi, S. Yamamoto, T. Furukawa, N. Nishizawa, M. Yamanaka, K. Yoshida, S. Ninomiya
2. 発表標題 Development of imaging and laser-based trace analysis of radioactive carbon isotope for biomedical applications
3. 学会等名 IEEE Medical Imaging Conference 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 富田 英生, Volker Sonnenschein, 寺林 稜平, 齊藤 圭亮, 山中 真仁, 西澤 典彦, 井口 哲夫, 吉田 賢二, 二宮 真一, 神谷 直浩
2. 発表標題 放射性炭素同位体分析のための周波数コムを用いたキャピティブーリングダウン分光法の開発
3. 学会等名 日本原子力学会2019秋の大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 富田 英生
2. 発表標題 レーザーによる極微量放射性物質の分析
3. 学会等名 電気学会調査専門委員会「福島第一原子力発電所廃炉に関わる放射線計測技術調査専門委員会」2019年度第2回専門委員会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 寺林 稜平, 齊藤 圭亮, Volker Sonnenschein, 奥山 雄貴, 富田 英生, 仲田（狩野） 麻奈, 山中 真仁, 西澤 典彦, 吉田 賢二, 二宮 真一, 川嶋 悠太, 真野 和音, 池原 辰弥, 古宮 哲夫, 神谷 直浩, 井口 哲夫
2. 発表標題 中赤外キャビティリングダウン分光に基づく14C分析システムの高感度化に関する研究
3. 学会等名 第67回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tetsuo Iguchi, Ryohei Terabayashi, Volker Sonnenschein, Hideki Tomita, Keisuke Saito, Masahito Yamanaka, Norihiko Nishizawa, Kenji Yoshida, Naohiro Kamiya
2. 発表標題 Development of On-line Detection Method of Gaseous Radioisotopes by Cavity Ring-down Laser Spectroscopy
3. 学会等名 International Topical Workshop on Fukushima Decommissioning Research (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ryohei Terabayashi, Volker Sonnenschein, Hideki Tomita, Keisuke Saito, Shusuke Kato, Shin Takeda, Masahito Yamanaka, Norihiko Nishizawa, Mana Kano-Nakata, Kenji Yoshida, Naohiro Kamiya, Seiichi Yamamoto, Takako Furukawa, Tetsuo Iguchi
2. 発表標題 Development of Radiocarbon Analysis System with Mid-Infrared Cavity Ring-down Spectroscopy for biological and environmental tracer applications
3. 学会等名 PLATAN 2019, Mainz - International Conference Merger of the Poznan Meeting on Lasers and Trapping Devices in Atomic Nuclei Research and the International Conference on Laser Probing (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Keisuke Saito, Ryohei Terabayashi, Mana Kano-Nakata, Volker Sonnenschein, Hideki Tomita, Kenji Yoshida, Tetsuo Iguchi
2. 発表標題 Biological Tracer Application of Radiocarbon Analysis System with Mid-Infrared Laser Absorption Spectroscopy
3. 学会等名 THE 10th INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON RADIATION SAFETY AND DETECTION (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 寺林 稜平, Volker Sonnenschein, 富田 英生, 齋藤 圭亮, 奥山 雄貴, 山中 真仁, 西澤 典彦, 仲田(狩野) 麻奈, 吉田 賢二, 二宮 真一, 山本 誠一, 古川 高子
2. 発表標題 高感度中赤外レーザー分光に基づく放射性炭素分析法の開発とトレーサー応用への適用検討
3. 学会等名 次世代放射線シンポジウム2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 齋藤 圭亮, 寺林 稜平, Volker Sonnenschein, 富田 英生, 吉田 賢二, 真野 和音, 池原 辰弥, 古宮 哲夫, 神谷 直浩, 井口 哲夫
2. 発表標題 放射性炭素同位体分析のためのキャピティリングダウン分光におけるエタロン効果の低減
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 富田 英生
2. 発表標題 レーザー共鳴イオン化および吸収分光と用いた微量放射性核種分析法の開発
3. 学会等名 日本原子力学会2019年春の大会(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 寺林 稜平, Volker Sonnenschein, 富田 英生, 仲田(狩野) 麻奈, 加藤 修介, 武田 農, 齊藤 圭亮, 山中 真仁, 西澤 典彦, 吉田 賢二, 神谷 直浩, 井口 哲夫
2. 発表標題 生体・環境トレーザー応用のための中赤外キャピティリングダウン分光に基づく放射性炭素分析システムの開発
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 寺林 稜平, Volker Sonnenschein, 富田 英生, 加藤 修介, 武田 農, 齊藤 圭亮, 仲田(狩野) 麻奈, 山中 真仁, 西澤 典彦, 吉田 賢二, 神谷 直浩, 井口 哲夫
2. 発表標題 中赤外レーザー分光に基づく放射性炭素分析の生体トレーザー応用に向けた研究
3. 学会等名 第33回KEK研究会「放射線検出器とその応用」
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 富田英生
2. 発表標題 レーザー分光法を用いた高感度放射性核種分析
3. 学会等名 早稲田大学・東京都市大学 共同原子力専攻 第15回未来エネルギーシンポジウム 「放射線計測の最前線」(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 寺林 稜平, Volker Sonnenschein, 富田 英生, 仲田(狩野) 麻奈, 加藤 修介, 武田 農, 金 磊, 山中 真仁, 西澤 典彦, 齊藤 圭亮, 吉田賢二, 井口 哲夫
2. 発表標題 生体・環境トレーザー応用に向けた中赤外キャピティリングダウン分光に基づくC-14分析法の開発
3. 学会等名 日本原子力学会2018年秋の大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 加藤 修介, Volker Sonnenschein, 寺林 稜平, 武田 晨, 富田 英生, 金 磊, 山中 真仁, 西澤 典彦, 吉田 賢二, 齋藤 圭亮, 井口 哲夫
2. 発表標題 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(5)
3. 学会等名 第79回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 武田 晨, 寺林 稜平, Volker Sonnenschein, 加藤 修介, 富田 英生, 西澤 典彦, 吉田 賢二, 井口 哲夫
2. 発表標題 中赤外キャビティーリングダウン分光におけるバックグラウンドノイズの低減
3. 学会等名 第79回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 富田英生, Volker Sonnenschein, 寺林稜平, 加藤修介, 武田晨, 齋藤圭亮, 山中真仁, 西澤典彦, 井口哲夫, 吉田賢二
2. 発表標題 中赤外キャビティーリングダウン分光に基づく微量ガス分析法の開発
3. 学会等名 Post-ASLIBS2017 International Symposium 第5回 先端計測技術の応用展開に関するシンポジウム Fifth symposium on applications of advanced measurement technologies (SAAMT2018) (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ryohei Terabayashi, Volker Sonnenschein, Hideki Tomita, Noriyoshi Hayashi, Shusuke Kato, Shin Takeda, Lei Jin, Masahito Yamanaka, Norihiko Nishizawa, Atsushi Sato, Kenji Yoshida, Kohei Nozawa, Tetsuo Iguchi
2. 発表標題 Mid Infrared Cavity Ring-Down Spectroscopy for Radiocarbon Analysis toward Medical Applications
3. 学会等名 7th Advanced Lasers and Photon Sources (ALPS2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ryohei Terabayashi ,Volker Sonnenschein,Hideki Tomita,Shusuke Kato, Shin Takeda, Keisuke Saito, Masahito Yamanaka, Norihiko Nishizawa, Kenji Yoshida, Lei Jin, Tetsuo Iguchi
2. 発表標題 Development of Novel Method of Radiocarbon Detection based on Mid-Infrared Cavity Ring-Down Spectroscopy
3. 学会等名 Fukushima Research Conference on Development of Analytical Techniques in Waste Management 2018 (FRCWM2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 富田 英生、奥山 雄貴、岩元 一輝、齊藤 圭亮、寺林 稜平、Volker Sonnenschein、吉田賢二、二宮真一、山本 誠一、古川 高子
2. 発表標題 薬物代謝物測定のための液体クロマトグラフィー-14Cキャピティールングダウン分光法の開発
3. 学会等名 応用物理学会 2021年秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 奥山 雄貴、岩元 一輝、寺林 稜平、ゾンネンシャイン フォルカ、齊藤 圭亮、川嶋 悠太、池原 辰弥、真野 和音、古宮 哲夫、東條 公資、二宮 真一、吉田 賢二、富田 英生
2. 発表標題 [講演奨励賞受賞記念講演] キャピティールングダウン分光を用いた放射性炭素同位体分析システムの定量性評価
3. 学会等名 応用物理学会2021年秋季学術講演会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 奥山雄貴、齊藤圭亮、寺林稜平、Volker Sonnenschein、川嶋悠太、池原辰弥、真野和音、古宮哲夫、神谷直浩、吉田賢二、二宮真一、富田英生
2. 発表標題 中赤外レーザー分光による放射性炭素分析法のための試料導入システムの開発
3. 学会等名 次世代放射線シンポジウム2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 富田 英生
2. 発表標題 レーザーによる微量同位体の分析・分離と 宇宙素粒子研究への応用の可能性
3. 学会等名 第7回極低放射能技術研究会(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 齊藤 圭亮, 寺林 稜平, Volker Sonnenschein, 奥山 雄貴, 富田 英生, 吉田 賢二, 二宮 真一, 真野 和音, 池原 辰也, 川嶋 悠太, 古宮 哲夫, 神谷 直浩
2. 発表標題 放射性炭素分析のための光フィードバック - キャビティリングダウン分光法の開発
3. 学会等名 日本原子力学会2020秋の大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 奥山雄貴、岩元一輝、寺林稜平、Volker Sonnenschein、齊藤圭亮、川嶋悠太、池原辰弥、真野和音、古宮哲夫、東條公資、二宮真一、吉田賢二、富田英生
2. 発表標題 キャビティリングダウン分光を用いた放射性炭素同位体分析システムの定量性評価
3. 学会等名 応用物理学会2021年春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 奥山雄貴、齊藤圭亮、寺林稜平、Volker Sonnenschein、川嶋悠太、池原辰弥、真野和音、古宮哲夫、神谷直浩、吉田賢二、二宮真一、富田英生
2. 発表標題 キャビティリングダウン分光による放射性炭素分析法のための試料導入システムの開発
3. 学会等名 応用物理学会2020年秋季学術講演会
4. 発表年 2020年

〔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
研究分担者	山本 誠一 (Yamamoto Seiichi) (00290768)	名古屋大学・医学系研究科(保健)・教授 (13901)	
研究分担者	古川 高子 (Furukawa Takako) (00221557)	名古屋大学・医学系研究科(保健)・教授 (13901)	
研究分担者	SONNENSCH Volker (Sonnenschein Volker) (80813261)	名古屋大学・工学研究科・助教 (13901)	
研究分担者	寺林 稜平 (Terabayashi Ryohei) (10870272)	東京大学・大学院工学系研究科(工学部)・助教 (12601)	

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