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

Development of radioactive carbon isotope analysis system based on cavity ring-down laser spectroscopy

*富田英生[1], 寺林稜平[1], Volker Sonnenschein[1], 林 紀善[1], 佐藤 淳史[2], 井口哲夫[1], 金 磊[1], 山中 真仁[1], 西澤 典彦[1], 大原 利成[2], 橋爪 研太[2], 野沢 耕平[2]

[1]名古屋大学大学院工学研究科, [2]積水メディカル(株)創薬支援センター

超高感度なレーザー吸収分光法として知られているキャビティーリングダウン分光を用いた ^{14}C 分析プロトタイプシステムを構築し、^{14}C 標識化合物を用いて ^{14}C 分析性能の評価を行った。

キーワード：放射性炭素(^{14}C), レーザー分光, 微量同位体分析

1. 緒言

長半減期放射性炭素同位体（^{14}C）は、原子炉廃止措置で発生する廃棄物の余裕深度処分等で評価すべき主要な核種の一つである。また、生体中の薬物動態評価を行うマイクロドーズ試験などでは、トレーサーとして ^{14}C が用いられている。従来の加速器質量分析法や液体シンチレーションカウンティング法では、高アバンダンス感度・高スループット（バッチ試料の迅速な測定、または、連続モニタリング）・低コストを同時に満たすことは容易でなく、^{14}C 分析の利用拡大に向けて分析法の高度化が求められている。そこで、本研究では光共振器内での多重反射を用いた超高感度なレーザー吸収分光であるキャビティーリングダウン分光法（Cavity Ring-Down spectroscopy: CRDS）を用いた分析システム（^{14}C-CRDS）の開発を行っている。^{14}C 分析プロトタイプシステムを構築し、^{14}C 標識化合物を用いて ^{14}C 分析性能の評価を行った。

2. ^{14}C-CRDS システムの概要

^{14}C-CRDS システムの概要を Fig.1 に示す。分析対象試料を燃焼酸化し、試料中の炭素を CO_2 化した後、分光ガスセルに導入する。気体分子の振動・回転準位は、それを構成する同位体の種類（質量）により僅かに異なるため、^{14}C を含む CO_2（$^{14}CO_2$）の吸収線を $^{12}CO_2$ や $^{13}CO_2$ などと区別して光吸収量を測定できれば、$^{14}CO_2$ の分子数密度より ^{14}C の定量が可能である。ここで、極微量な ^{14}C に起因する光吸収量を増大させるために、高反射率ミラーで構成された光共振器内での多重反射を利用する。$^{14}CO_2$ の吸収線を区別できるほどの狭帯域な発振線幅を持つ連続レーザー光を光共振器に入射し、共鳴した時点で入射光を光遮断素子により遮断すると、光共振器からの透過光強度が指数関数的に減衰する。この減衰率 β は光共振器内に光吸収物質（断面積: σ、数密度: N）が存在すると、増加する（$\beta=\beta_0+\sigma Nc$、c: 光速、β_0: 光共振器固有の減衰率）。減衰率 β は数 μ s、つまり、実効的な光路長は数 km、であるため、高アバンダンス感度を有する分析システムを実現できる。

3. ^{14}C 分析プロトタイプシステムによる ^{14}C 分析

^{14}C グルコース試料を用いて、^{14}C-CRDS プロトタイプシステムによる $^{14}CO_2$ 吸収スペクトルの測定を行った。結果を Fig.2 に示す。導入試料量に応じた $^{14}CO_2$ 吸収ピークの変化が確認され、検出限界量が見積もられた。今後、他分子の吸収線による干渉抑制のためのガス冷却システムの構築やレーザー光源・システムの安定化を行い、検出下限のさらなる向上と ^{14}C 定量手順の確立を目指す予定である。

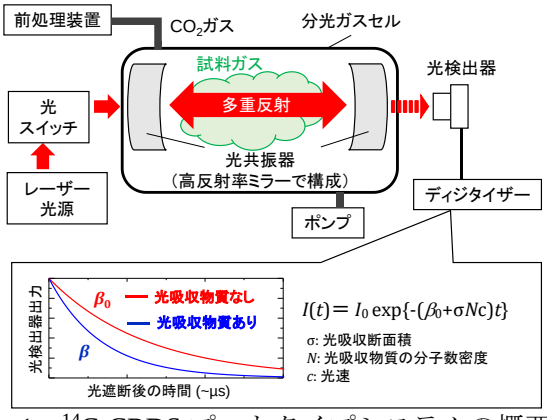


Fig.1 ^{14}C-CRDS プロトタイプシステムの概要

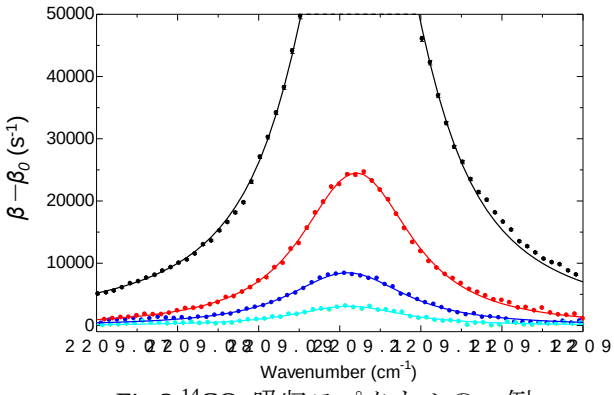


Fig.2 $^{14}CO_2$ 吸収スペクトルの一例

謝辞 本研究は、国立研究開発法人日本医療研究開発機構研究成果展開事業（先端計測分析技術・機器開発プログラム）による成果の一部である。

*Hideki Tomita[1], Ryohei Terabayashi[1], Volker Sonnenschein[1], Noriyoshi Hayashi[1], Atsushi Sato[2], Tetsuo Iguchi[1], Lei Jin[1], Masahito Yamanaka[1], Norihiko Nishizawa[1], Toshinari Oh-hara[2], Kenta Hashizume[2], and Kohei Nozawa[2]
[1]Nagoya Univ. [2]Sekisui Medical Co., Ltd. Drug Development Solutions Center