



## 中赤外キャビティリングダウン分光に基づく $^{14}\text{C}$ 分析システムの高感度化に関する研究

Sensitivity Improvement of  $^{14}\text{C}$  Analysis based on Mid-Infrared Cavity Ring-down Spectroscopy

名古屋大学<sup>1</sup>, 科学技術振興機構さきがけ<sup>2</sup>, 積水メディカル<sup>3</sup>, 島津製作所<sup>4</sup>

○(PC)寺林 稜平<sup>1</sup>, 齊藤 圭亮<sup>1</sup>, Volker Sonnenschein<sup>1</sup>, 奥山 雄貴<sup>1</sup>, 富田 英生<sup>1,2</sup>, 仲田 (狩野) 麻奈<sup>1</sup>,  
山中 真仁<sup>1</sup>, 西澤 典彦<sup>1</sup>, 吉田 賢二<sup>3</sup>, 二宮 真一<sup>3</sup>, 川嶋 悠太<sup>4</sup>,  
真野 和音<sup>4</sup>, 池原 辰弥<sup>4</sup>, 古宮 哲夫<sup>4</sup>, 神谷 直浩<sup>4</sup>, 井口 哲夫<sup>1</sup>  
Nagoya Univ.<sup>1</sup>, JST PRESTO<sup>2</sup>, Sekisui Medical<sup>3</sup>, Shimadzu<sup>4</sup>  
○(PC)Ryohei Terabayashi<sup>1</sup>, Keisuke Saito<sup>1</sup>, Volker Sonnenschein<sup>1</sup>, Yuki Okuyama<sup>1</sup>, Hideki Tomita<sup>1,2</sup>,  
Mana Kano-Nakata<sup>1</sup>, Masahito Yamanaka<sup>1</sup>, Norihiko Nishizawa<sup>1</sup>, Kenji Yoshida<sup>3</sup>, Shinichi Ninomiya<sup>3</sup>,  
Yoko Furihata<sup>4</sup>, Yuta Kawashima<sup>4</sup>, Kazune Mano<sup>4</sup>, Tatsuya Ikehara<sup>4</sup>, Tetsuo Furumiya<sup>4</sup>, Naohiro Kamiya<sup>4</sup>  
and Tetsuo Iguchi<sup>1</sup>

E-mail: terabayashi.ryouhei@h.mbox.nagoya-u.ac.jp

**1. はじめに** 放射性炭素  $^{14}\text{C}$  は炭素唯一の長半減期放射性同位体であり、 $^{14}\text{C}$  を用いたトレーサー応用は生体・環境中の様々な動態を高感度に評価する手法として有用である。一方、これに伴う  $^{14}\text{C}$  分析には、高感度と高いスループットを両立した手法が求められるが、現状はそのような手法な存在しない。そこで既存の分析手法に代わる新規  $^{14}\text{C}$  分析法として、高反射率光共振器内での多重反射を利用したキャビティリングダウン分光法 (Cavity Ring-down Spectroscopy: CRDS) により、 $^{14}\text{C}$  を含んだ二酸化炭素分子の中赤外域吸収を測定する  $^{14}\text{C}$  分析法 ( $^{14}\text{C}$ -CRDS) を提案し、開発を進めている。これまでに中赤外域で発信する分布帰還形量子カスケードレーザー (DFB-QCL) を光源とした  $^{14}\text{C}$ -CRDS 分析システムを構築し、天然同位体比にあと一桁まで迫る感度を達成し、医学や生命農学におけるトレーサー応用への適用実証を行ってきた[1,2]。今後、多種多様な  $^{14}\text{C}$  トレーサー応用に本システムを適用するためには、あと一桁以上の感度向上 (天然同位体比 $\sim 10^{-12}$  レベル) が求められる。そこで本研究では、開発中の分析システムの高感度化を目標とし、DFB-QCL 発振周波数の狭帯域化法の開発を行った。

**2. DFB-QCL の狭帯域化**  $^{14}\text{C}$ -CRDS において用いられる光共振器 (反射率  $R > 99.98$ ) の共鳴条件は数 kHz 程度と非常に厳しい。このため、DFB-QCL の発振線幅を共鳴条件に対して十分なレベルで狭帯域化し、その周波数を安定化することで、高強度・高安定な信号取得につながり、大幅な感度の向上が見込める。そこで、外部共振器を構築し、DFB-QCL のレーザー光の一部を素子に戻すことで、線幅を狭帯域化する手法 (受動フィードバック法) の開発を行った。Fig. 1 に受動フィードバック法の体系を示す。DFB-QCL 光を 50:50 ビームスプリッターにより 2 つに分け、一方は CRDS 測定用の体系に、もう一方を受動フィードバック法のための外部共振器系に入射させた。CRDS 光共振器からの透過光をフィードバック On/Off で取得した結果を Fig. 2 に示す。CRDS 光共振器の共振器長はピエゾ素子によって十分遅く掃引した。フィードバック Off の場合 (従来)、DFB-QCL 発振線幅 (数百 kHz) が共鳴条件に対して大きく、かつその周波数が不安定なため、透過光は低強度でノイズが見られたが、On の場合にはノイズは見られず、高強度かつ高安定な透過光を取得できた。これより、受動フィードバックにより、DFB-QCL の線幅が CRDS 共振器共鳴条件と同程度 (数 kHz) まで狭帯域化されたことが分かった。今後、本手法により狭帯域化した DFB-QCL を用いて  $^{14}\text{C}$  試料の分析を行い、詳細な性能評価を行う予定である。

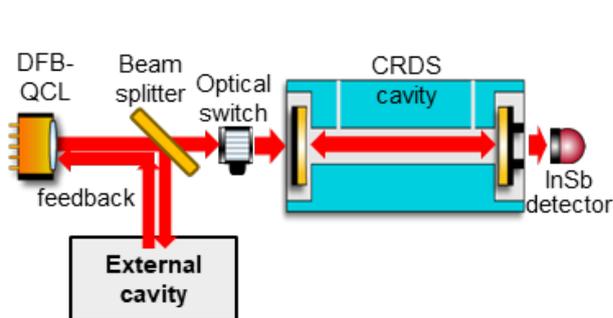


Fig. 1 実験体系

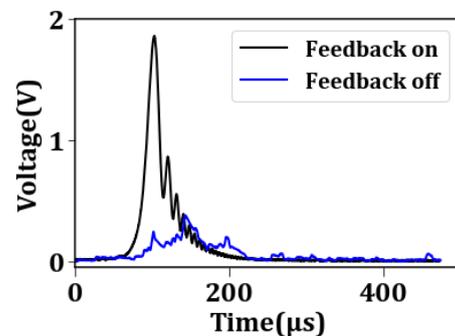


Fig. 2 透過光信号の比較

参考文献 [1] V. Sonnenschein *et al.*, J. Appl. Phys. **124**, 033101 (2018). [2] 寺林稜平ら, 第 80 回応用物理学会秋季学術講演会, 20a-E305-10 (2019).

謝辞 本研究の一部は JSPS 科研費 18H03469, さきがけ量子生体 JPMJPR19G7 の支援を受けて実施されました。