

課題番号	Q17K-01
課題名（和文）	デュアルコム分光による環境ガス計測システムの開発
課題名（英文）	Environmental gas monitoring system based on dual-comb spectroscopy
研究代表者	所属（学部、学科・学系・系列、職位） 工学部、電子システム工学科、教授 氏名 西川 正
共同研究者	所属（学部、学科・学系・系列、職位） 工学研究科、電気電子工学専攻 電子光情報コース、大学院生 氏名 宇田 祥平
	所属（学部、学科・学系・系列、職位） 工学研究科、電気電子工学専攻 電子光情報コース、大学院生 氏名 大原 憲
	所属（学部、学科・学系・系列、職位） 氏名
	所属（学部、学科・学系・系列、職位） 氏名

研究成果の概要（和文）

我々はデュアル電気光学変調コム分光における 25 GHz モード間隔の自動補間手法の実証に成功した。シアン化水素の 0.8 THz 以上に渡る吸収線スペクトルを 250 MHz の分解能で、わずか 9.3 ms のシングルショット計測で測定する事が出来た。温室効果ガスの二酸化炭素の吸収線スペクトルの測定も行い、ガス種とその濃度が検出可能な事も示した。本手法により、広スペクトル帯域、高分解能、高速なリアルタイム分光計測を実現する為の実用的なシステムを提供する事が出来る。

研究成果の概要（英文）

We have demonstrated an automatic technique for interpolating a 25 GHz mode spacing in dual EOM comb spectroscopy. The absorption spectra of hydrogen cyanide with a resolution of 250 MHz for a full spectral band above 0.8 THz can be measured with a single-shot recording time of 9.3 ms. The absorption spectrum of carbon dioxide was also measured to show that the type of gas and its concentration could be detected. This method provides a practical platform for broadband, high-resolution, high-speed real-time spectroscopy.

1. 研究開始当初の背景

近年、繰返し周波数が僅かに異なる2台のモードロックレーザーを用いたデュアルコム分光法が、広いスペクトル領域にわたる高分解能分光を高速に行う手段として注目され、環境ガス計測による環境モニタリングへの適用等が期待されている。しかしながら、2台のレーザーを複雑な制御機構を用いて高精度に同期する必要があり、レーザーの専門家は使っても一般ユーザーの利用は難しく、本分光法を広く普及させる為の障害となっていた。

2. 研究の目的

筆者は、大学の海外研修制度を利用して、光周波数コムでノーベル物理学賞を受けたドイツのマックス・プランク量子光学研究所(MPQ)の T. W. Hänsch 教授の研究室に滞在し、モードロックレーザーやその位相制御を必要としない、電気光学変調器(EOM)を用いた新たなデュアルコム分光手法の研究を実施した。しかしながら、EOM 光周波数コムのモード間隔が 25 GHz と大変広いために、その間の環境ガス吸収線スペクトルを取得する為には、連続発振半導体レーザーの周波数を 250MHz ずつシフトさせながら測定した 100 個のスペクトルを重ね合わせる必要があり手間を要しリアルタイムモニタリングを行う上で問題となっていた。そこでコムのモード間隔を自動的に補間して分光スペクトルを一度に取得する方法の開発を行いその問題点を克服する。

3. 研究の方法

我々が提唱したデュアル EOM コム分光法では、光周波数コムのモード中心となるシードレーザー光波長をダウンコンバートした RF 領域スペクトルの中心周波数は、AOM の駆動周波数と等しくなる。従って、シード半導体レーザーの波長をシフトさせながら、そのシフト量に同期させて AOM 駆動周波数をスキャンして光周波数コム間の時間軸上の干渉信号を高速フォトディテクターで受けて AD 変換器で記録することで、フーリエ変換後に得られるダウンコンバートスペクトルは、光周波数コムのモード間隔 25GHz の間に補間したスペクトルとなる。

4. 研究成果

図 1 に本手法を用いて、 $H^{13}C^{14}N$ ガスの吸収線スペクトルを測定した結果を示す。ガスセル長は 16.5 cm でガス圧力は 25 Torr であった。自動補間法の導入により、0.8 THz 以上のスペクトル帯域に渡る 250 MHz 分解能の測定を、わずか 9.3 ms のシングルショット計測で得る事が出来るようになった。

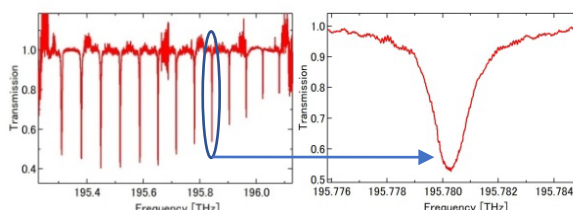


図 1 $H^{13}C^{14}N$ ガス吸収線スペクトル

また、図 2 に温室効果ガスである二酸化炭素の吸収線スペクトルの測定結果を示す。破線は HITARN データベースを元にしたスペクトルの計算値であるが、測定結果とよく一致しており、吸収線の波長と透過率からガスの種類と濃度の同定が可能となる。

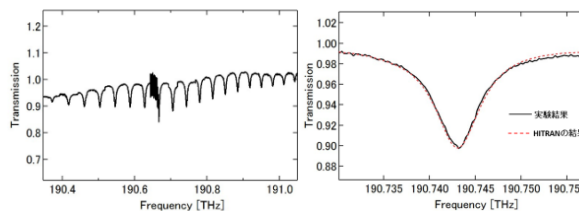


図 2 CO_2 ガス吸収線スペクトル

5. 主な発表論文等 [学会発表] (計 3 件)

- ① T. Nishikawa, A. Oohara, S. Uda, A. Ishizawa, K. Hitachi, N. Picqué, and T. Hänsch, "Automatic Interpolation of 25 GHz Mode Spacing in Dual EOM Comb Spectroscopy," Conference on Lasers and Electro-optics (CLEO2019), San Jose (USA), 5-10 May 2019, SF1I.3.
- ② 大原憲, 宇田祥平, 石澤淳, 日達研一, Nathalie Picqué, Theodor Hänsch, 西川正, 「デュアル EOM コム分光における 25GHz モード間隔の自動補間法」、レーザー学会第 39 回年次大会、2019 年 1 月 12 日、B-12pVII-5.
- ③ 宇田祥平, 大原憲, 石澤淳, 日達研一, 西川正, 「デュアル電気光学変調コム分光法によるアセチレン吸収線スペクトル測定」、レーザー学会第 38 回年次大会、2018 年 1 月 24 日、E-24pIII-10.