

課題番号	Q19K-01
課題名 (和文)	デュアル EOM コム分光における SSB 変調器を用いた 25GHz モード間隔自動補間法の開発
課題名 (英文)	Development of automatic interpolation method of 25 GHz mode spacing in dual EOM comb spectroscopy by using SSB modulator.
研究代表者	所属 (学部、学科・学系・系列、職位) 東京電機大学工学部、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) 東京電機大学工学研究科、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) 東京電機大学工学研究科、電気電子工学専攻 電子光情報コース、大学院生 氏名 村山 大誠
	所属 (学部、学科・学系・系列、職位) 東京電機大学工学研究科、電気電子工学専攻 電子光情報コース、大学院生 氏名 森田 拓海
	所属 (学部、学科・学系・系列、職位)  氏名

#### 研究成果の概要 (和文)

環境ガス計測や呼気分析による健康診断に必要なリアルタイム分光計測装置を構築する為に、我々が開発した1台のフリーランニング連続発振半導体レーザーと多段の電気光学変調器を用いたデュアルコム分光計測システムの自動補間を、SSB変調器を用いて行う手法の開発を行った。SSB変調器をシードレーザーの波長シフターとして用いる為の、搬送波と片側の側帯波を抑制する為の最適なバイアス条件を明らかにした。

#### 研究成果の概要 (英文)

In order to construct a real-time spectroscopic measurement device necessary for environmental gas measurement and health diagnosis by breath analysis, we have developed an automatic interpolation technique for our dual-comb spectroscopic measurement system with one free-running continuously wave semiconductor laser and multi-stage electro-optical modulator by using an SSB modulator. We could clarify the optimum bias conditions for suppressing the carrier wave and one side band wave for using the SSB modulator as a wavelength shifter for the seed laser.

### 1. 研究開始当初の背景

レーザーの位相同期を必要とせず専門家でも手軽に扱え、ロバストでフィールド環境でも利用可能な、1台のフリーランニング連続発振半導体レーザーと多段の電気光学変調器を用いた電子機器と光ファイバー結合ベースの新たなデュアルコムリアルタイム分光計測装置の開発を我々は行ってきた。

### 2. 研究の目的

しかしながら 25GHz の高繰り返し周波数は広いスペクトル帯域や高速計測や高 SN 比を得るには有利であるが、光周波数コムの輝線スペクトル間隔も 25 GHz と広がるので、それより高い波長分解能を必要とする計測ではスペクトル補間を行う必要があり、従来の計測では HCN ガスの吸収線スペクトルを測定するのに、シードレーザーの周波数を 250 MHz ずつシフトさせながら測定した 100 個のスペクトルを手動で重ねる事で補間を行う必要があり、手間と時間を要し、デュアルコム分光法の高速度の特長を実際には活かせず、リアルタイム分光に繋がられていなかった。そこで、1 回の計測で補間が完了する自動補間法を開発する事が本研究の目的である。

### 3. 研究の方法

図 1 に本手法の実験系の構成図を示す。デュアルコム計測で得られるダウンコンバートスペクトルの中心波長はシードレーザー波長にはよらず AOM 周波数で決まる。そこで、シードレーザー光の波長を SSB 変調器により変調器駆動 RF 周波数に応じて定量的に正確にシフトさせる事で、AOM 周波数とシードレーザーの波長を正確に同期してスキャンさせながらデータ取得を行う事で、1 回の計測で自動的に補間が行われたデュアルコム分光スペクトルの測定が可能となる。

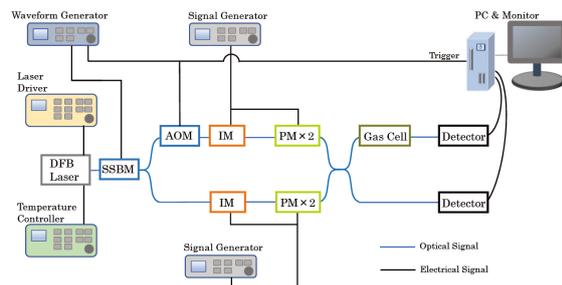


図 1 自動補間実験系の構成図

### 4. 研究成果

#### (1) SSB 変調器のバイアス条件の最適化

通常の強度変調器は周波数の前後に二つの側帯波が生成される為にレーザー光の周波数シフトに用いる事が出来ない。本研究で用いる SSB 変調器は二つのサブマッハツェンダー導波路がメインマッハツェンダー導波路の各アームに並列に配置された構造を持ち、それぞれに印加するバイアス電圧を適切に調整する事で入力光及び片側の側帯波を干渉を利用して抑制することが可能となり、光周波数シフターとして用いる事が出来る。本研究では最適なバイアス電圧条件について調べた。図 2 にその実験系を示す。

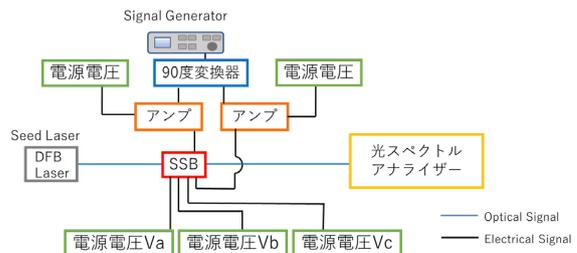


図 2 SSB 変調器特性の測定系

図 3 はバイアスを印加していない時の SSB 変調器からの出力光のスペクトルを示す。入力光の両側に側帯波が発生している。

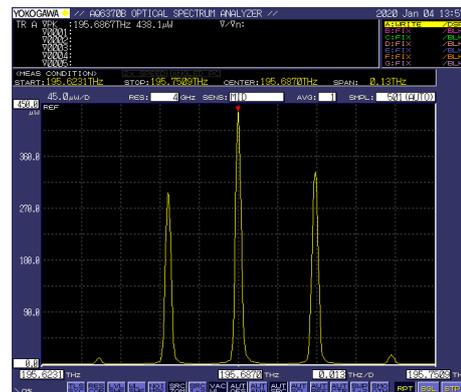
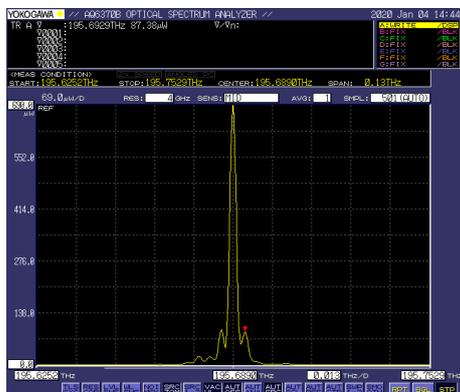


図 3 バイアス印加無し

図 4 は変調周波数 2 GHz の時に、片方の側帯波のみが出力されるようにバイアス電圧を  $V_a = 0V$ 、 $V_b = 0V$ 、 $V_c = 5V$  に調整を行った結果である。バイアス電圧の調整により入力光スペクトル

及び片側の側帯波が抑制出来ている事が分かる。



一方図5は変調周波数を 27 GHz にした時のバイアス電圧を調整した結果である。適切なバイアス電圧は  $V_a = 0V$ ,  $V_b = 0V$ ,  $V_c = 9V$  であった。このように、適切なバイアス電圧は変調周波数に依存する為に、シードレーザー周波数のシフト量に合わせてバイアス電圧の調整が必要となる事が判った。



(1) 12.5 GHz 固定発振器を用いたデュアルコム計測系の構築

図1の実験系に示すように、SSB変調器を用いた 25 GHz モード間隔自動補間を行う為には、デュアルコム生成用電気光学変調器を駆動する2台の Signal Generator の他に、新たに SSB 変調器の変調周波数をスキャンさせる為の Waveform Generator が必要となる。しかしながら研究室には周波数可変なシンセサイザが2台しかない

為に、図6に示したようにコムの生成に用いている Signal Generator の内の1台を、12.5 GHz の固定発振器からの信号を通倍器を用いて2倍の 25 GHz に変換し、25 GHz 狭線幅フィルターを通して変換されなかった 12.5 GHz の信号を除去する事で得られる 25 GHz の信号源に置き換えた実験を行った。図7にこの新たな実験系でアセチレンガスの吸収線の測定を行ったデュアルコム計測スペクトルを示す。赤線が計測値で、緑線は HITRAN データベースからの値であり、データベースと良く一致したアセチレンガス吸収線スペクトルの計測に成功した。

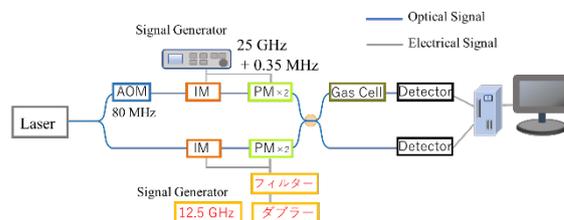


図6 12.5 GHz 発振器を用いた実験系

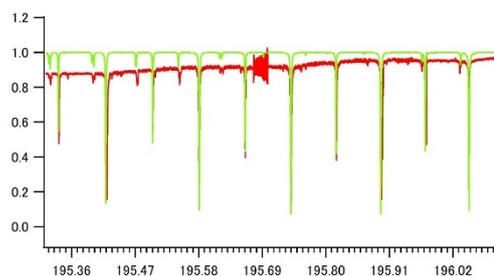


図7 アセチレンの吸収線スペクトル

今後は、図6の実験系にSSB変調器を組み入れて自動補間系の構築を行い、デュアルEOMコムを用いた実用的なリアルタイム分光装置を完成させ、様々なリアルタイム分光計測に活かす事を目指す。

5. 主な発表論文等

[学会発表] (計1件)

- ① 大原憲、宇田祥平、石澤淳、日達研一、Picque Nathalie、Haensch Theodor、西川正、「デュアル EOM コム分光の自動補間法によるアセチレン吸収線スペクトル測定」、第80回応用物理学会秋季学術講演会、2019年9月19日、北海道札幌市、19p-E205-7。