

次世代分光技術デュアルコム分光による 多成分ガスの高精度・リアルタイム分析技術の開発

国立研究開発法人 産業技術総合研究所、ネオアーク株式会社

研究要旨

宇宙において多種の微量ガス種を検出し分析する技術として、「デュアルコム分光法」を利用した高精度ガス分析装置を提案する。宇宙における有人閉鎖環境では、人体や装置から発生する微量かつ多成分の有害ガスが蓄積し、クルーへの健康被害を引き起こすことが知られている。さらに宇宙探査の観点より、その場での物質分析は資源探査において不可欠な技術として挙げられている。本提案では、非破壊・非接触・多成分の同時測定が可能なフーリエ変換型赤外分光 (FTIR) をベンチマークとし、それに代わる高精度、高速、かつ小型軽量な装置の開発の可能性を示すことを目的とする。

デュアルコム分光法とは

「光コム」は時間軸上では超短光パルス列であり、周波数 (波長) 軸上では数十メガヘルツから数百メガヘルツの間隔で、並ぶ櫛 (くし: comb) 状のスペクトルを持っている (図1)。櫛の歯の本数は100万本を優に超え、その帯域は数百テラヘルツにおよぶ。デュアルコム分光法は、その広大な光周波数の帯域を電氣的に扱える周波数帯 (例えば数十メガヘルツ) に圧縮して観察する方法である (図2、図3)。光コムをガスに吸収させ、もう1台の光コムで干渉させると、ガスの吸収スペクトルが櫛の歯の間隔の分解能で観察できる。

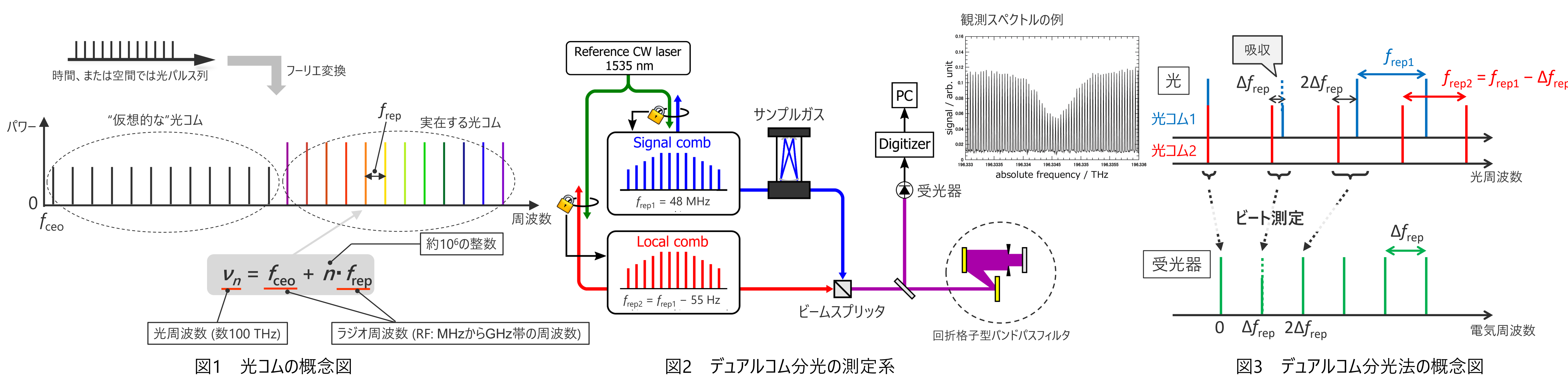


図1 光コムの概念図

図2 デュアルコム分光の測定系

図3 デュアルコム分光法の概念図

開発成果1: 想定される宇宙船内有毒ガスの検出感度、および精度

測定した透過率スペクトル (図4) の背景スペクトルは、二台の光コムのスペクトル形状の影響を受けた形状を持つ。今回はスムージングによる背景スペクトルの推定と除去による透過率スペクトルへの変換を行った (図5)。そして、これに既知の透過率を組合せ、ガスの圧力を算出した。これらをメタン、メタノール、アンモニア、ホルムアルデヒドの4種のガスに適用し、大気圧換算した光路長1 m当たりの検出感度 ($\text{m} \cdot \mu\text{mol/mol}$) を算出した。

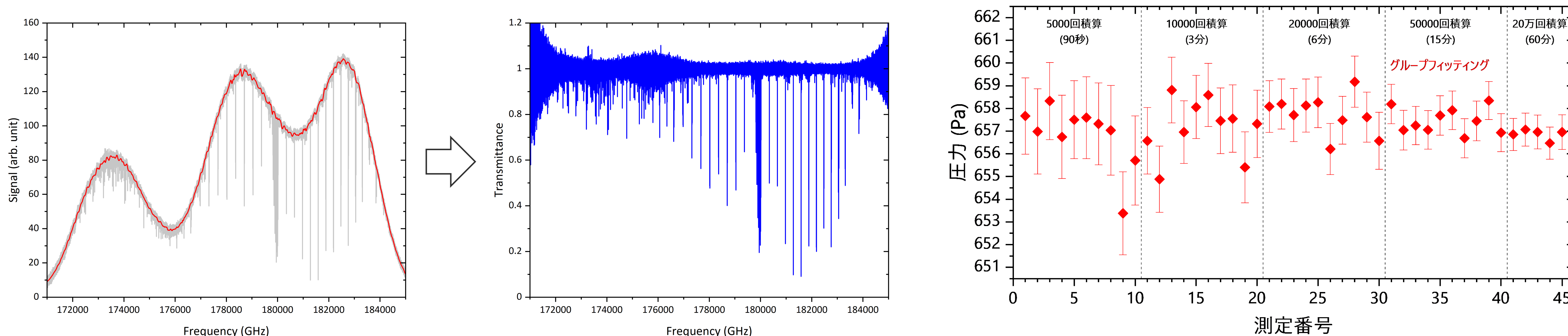


図4 測定されたスペクトルの生データ (メタン)

図5 左図から算出された透過率スペクトル

図6 吸収率から圧力を算出 (メタン)

開発成果2: 光コム装置の心臓部「モード同期レーザ」の小型軽量化

デュアルコム分光法を宇宙で利用するためには、装置の小型軽量・省電力化が必須である。本研究では、光コムの発生装置であり、心臓部とも言えるモード同期レーザの小型軽量省・電力化を行い、 f_{CEO} 信号を観察し、正常動作を確認した。目標は $200 \times 200 \times 100 \text{ mm}^3$ (達成)、質量500 g (達成)、消費電力5 W (準備中) である。

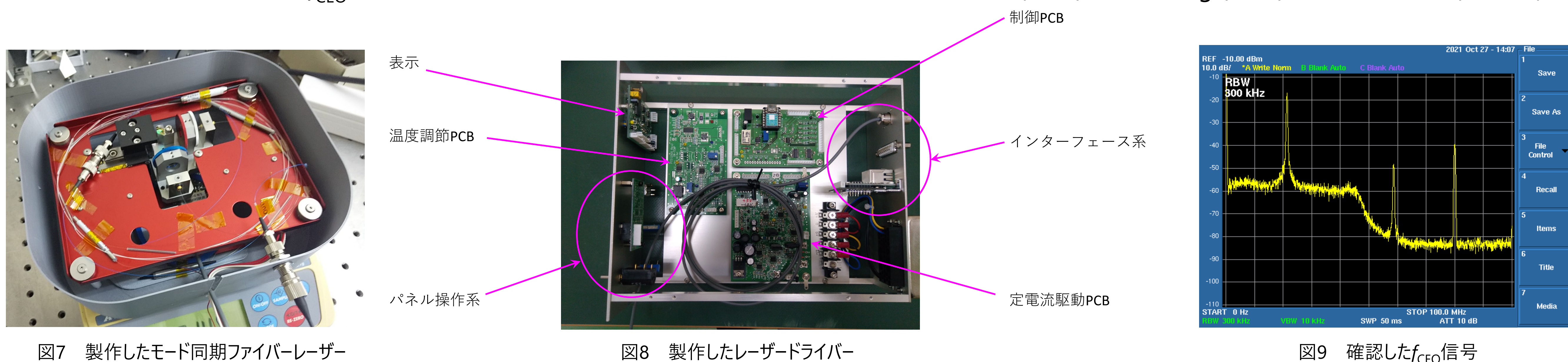


図7 製作したモード同期ファイバーレーザ

図8 製作したレーザードライバ

図9 確認した f_{CEO} 信号