

1.6 μ m帯CW変調CO₂モニタDIAL地上検証モデルの開発

Development of ground-based 1.6 micron CW modulation ground-based DIAL system for CO₂ monitoring

亀山 俊平、今城 勝治、平野 嘉仁、上野 信一、川上 修司*、中島 正勝*

Shumpei Kameyama, Masaharu Imaki, Yoshihito Hirano, Shinichi Ueno,

Shuji Kawakami*, and Masakatsu Nakajima*

三菱電機（株）、（独）宇宙航空研究開発機構*

Mitsubishi Electric Corporation, Japan Aerospace Exploration Agency*

Abstract

We have demonstrated the 1.6 micron CW modulation hard-target Differential Absorption Lidar (DIAL) system for CO₂ sensing. In this system, ON and OFF wavelength laser lights are intensity modulated with CW signal. Received lights of the two wavelengths from the hard-target are discriminated by modulation frequencies in electrical signal domain. Since the optical circuit is fiber-based, the system can be compact, flexible, and reliable. It is shown that stable CO₂ concentration measurement corresponding to 4 ppm(rms) can be realized in the measurement time of 32s.

1. まえがき

衛星からの地球規模でのCO₂モニタ用センサとして、DIAL(Differential Absorption Lidar)への期待が高まっている。これまでに、従来型のコヒーレント・インコヒーレント方式のライダをCO₂モニタDIALに適用したものが報告されているが（文献[1]-[4]）、高い計測精度を実現し、かつ衛星搭載時の要求を満足する点において、課題が残されているのが現状である。これに対し我々は、上記課題を克服できる新たなシステム方式として、CW変調DIALを考案した（文献[5]）。ここでは、衛星搭載センサへの適用を目指した、波長1.6 μ m帯本DIAL地上検証モデルを開発したので報告する。

2. システム構成

システム構成を図1に示す。1.6 μ m帯のON/OFF 2波長の光信号を波長ロックユニット（文献[6]）から出力する。光送受信ユニットでは2つの光信号に異なる周波数のCW強度変調をかけ合波する。この光信号をファイバ増幅器で高出力化し、一部をタップした後に光アンテナユニットを介しハードターゲットに向け送受する。ターゲットからの散乱光を直接検波により電気信号に変換し、信号処理ユニットに送る。信号処理信号処理ユニットでは、モニタ光と散乱光の直接検波信号のスペクトルをFFTにより求める。波長に対し異なる2周波での強度変調を行っているため、スペクトル上においてこの2周波の位置に信号ピークが検出される。2つのピーク強度比からターゲットまでのパス内におけるCO₂濃度の平均値を求める。本システムは全光ファイバ型構成であり、小型・高信頼かつ配置自由度が高い。また本構成は2波長同時・同一光軸送受信を実現できるため2波長間の計測ボリュームとフットプリントを同一化でき、2波長を交互に送受する従来方式に対し計測精度において優位である。また、変調周波数をベースバンド帯（10kHz帯）としているため高感度光受信が可能であり、直接検波を用いる他のライダ方式と比較し高受信S/N比も実現しやすい。システムの外観写真を図2に示す。光波長は1572.992nm(ON)、1573.193nm(OFF)である。また、送信パワー：1W、受信開口：110mmであり、変調周波数を上記ベースバンド帯において可変する機能を有している。

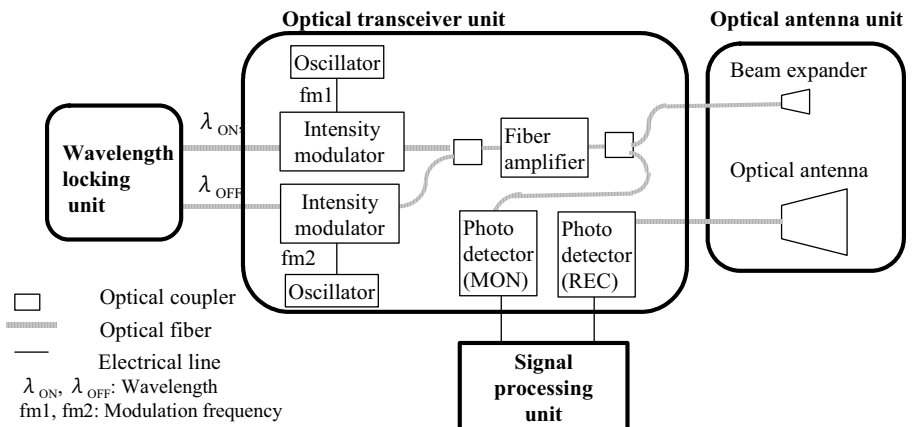


Fig. 1. System configuration.

3. 計測結果

本システムでは、ON/OFF 2波長の装置内における光伝搬特性の同一性が、CO₂計測の限界精度を決める。この限界精度を確認するため、光アンテナ部直前に拡散反射体を設置して送受信を行いCO₂吸収が存在しない系での校正実験を行った。実験では、モニタ・受信の両信号のスペクトルにおける2波長成分のパワー比を求め、さらにこのパワー比のモニタ・受信間の比を求めた。CO₂吸収が存在しないため、この値は0dBとなるのが理想である。この値の時間変化を図3に示す。変調周波数は10kHz(ON), 11kHz(OFF)、計測時間は32sである。周囲温度の影響を確認するため、第2縦軸に示す温度変化の下で計測を行った。図から分かるように、温度変化に影響されることなく、精度0.006dB(rms)の安定した結果が得られている。次に、距離1kmの樹木ターゲットに対し送受信を行い、CO₂濃度の計測を行った。変調周波数、計測時間は上述と同じである。比較のため、CO₂メータ(柴田科学製COX-2)をシステム近傍に配置して同時測定を行い、本システムの結果と比較した。計測結果を図4に示す。図から、短期変動4ppm程度の安定した結果が得られていることが分かる。また、日変動に関しCO₂メータの結果と一致しており、DIALの計測結果妥当性についても確認できる。

4. まとめ

全光ファイバ型 1.6 μ m帯CW変調CO₂モニタDIAL地上検証モデルを開発した。校正実験を行い、精度0.006dB(rms)の安定した計測が可能であることを確認した。さらにCO₂濃度計測実験を行い、短期変動4ppm程度の安定した結果が得られること、日変動に関しCO₂メータの結果と一致することを確認した。

参考文献

- [1] R. M. Menzies and D. M. Tratt, Appl. Opt., 42, 6569, 2003.
- [2] G. J. Koch et al., Appl. Opt., 43, 5092, 2004.
- [3] P. H. Flamant, Proc. of Int. Laser Radar Conf., 347, 2006.
- [4] A. Amediek et al., Proc. of Int. Laser Radar conf., 143, 2006.
- [5] US patent, No. 7,361,922.
- [6] 今城他、レーザーセンシングシンポジウム予稿集 (2008)

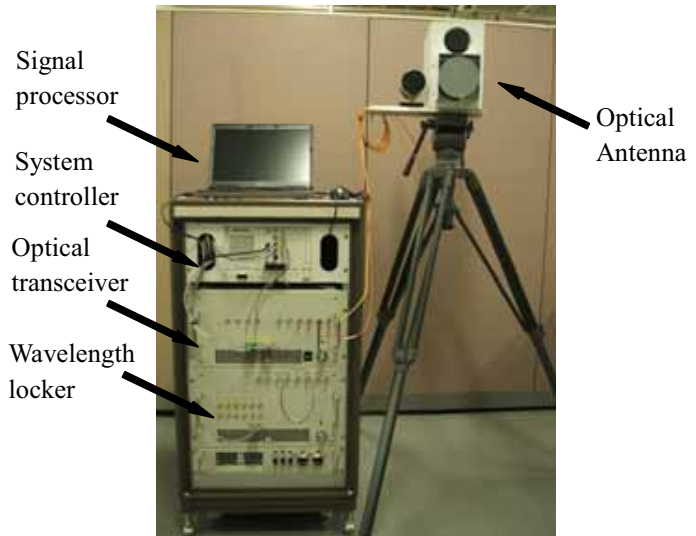


Fig. 2. Appearance of system.

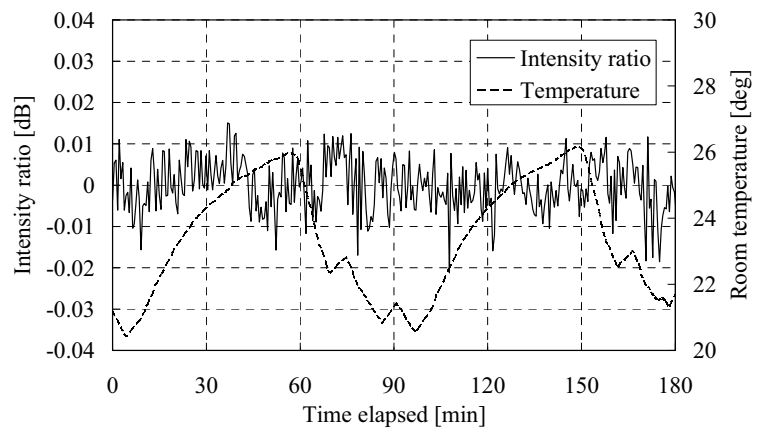


Fig. 3. Result of calibration test with room temperature changing..

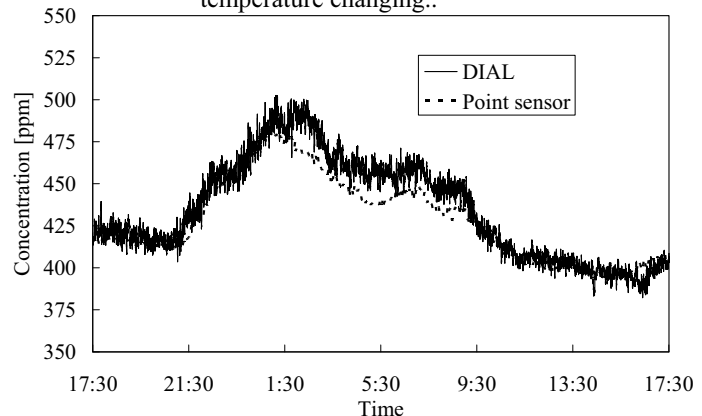


Fig. 4. Time record of CO₂ concentration measured by the DIAL and the CO₂ meter.