

1.6 μm 直接検波 DIAL による CO_2 濃度の垂直・水平分布観測 Observations of vertical and horizontal distribution of CO_2 by the direct detection 1.6 μm CO_2 -DIAL

長澤親生、阿保 真、柴田泰邦（首都大学東京システムデザイン研究科）
永井智広（気象研）、塚本 誠（英弘精機）

C. Nagasawa¹, M. Abo¹, Y. Shibata¹, T. Nagai² and M. Tsukamoto³

¹Tokyo Metropolitan University, ²Meteorological Research Institute,
³Eko Instruments Corporation

ABSTRACT

In comparison with the ground-based monitoring network, CO_2 measurements for vertical profiles in the troposphere have been limited to campaign-style aircraft and commercial airline observations with the limited spatial and temporal coverage. We have developed a direct detection 1.6 μm differential absorption lidar (DIAL) technique to perform range-resolved measurements of vertical and horizontal CO_2 concentration profiles in the atmosphere. Our 1.6 μm DIAL system consists of the Optical Parametric Generator (OPG) transmitter that excited by the LD pumped Nd:YAG laser with high repetition rate (500 Hz) and the receiving optics that included the near-infrared photomultiplier tube with high quantum efficiency operating at the photon counting mode, the telescope with 60cm aperture and the automatic scanning mirror system with a 25 cm aperture telescope. We report the new 1.6 μm DIAL system that can measure simultaneously the temperature profiles with the CO_2 concentration profiles in the atmosphere because of improvement of the CO_2 density and mixing ratio measurement accuracy.

1. はじめに

大気中の二酸化炭素 (CO_2) 濃度の高度分布観測は、航空機観測や気球観測で可能であるが、空間分布および時系列変動の観測には、差分吸収ライダー (DIAL) が有用である。我々は、波長 1.6 μm のレーザを用いた直接検波方式の CO_2 -DIAL の初期実験に成功 (Sakaizawa et al. 2009) して以後、1.6 μm の新たなレーザの開発、高感度の光電子増倍管の利用、望遠鏡の大口径化、吸収波長 (ON 波長) と非吸収波長 (OFF 波長) の散乱による消散特性を一致させるための高速な ON-OFF 波長の切替の実現、昼間観測のための狭帯域干渉フィルターの導入などを行ってきた (長澤, 2011)。現在は、開発した CO_2 -DIAL をコンテナに搭載し、地上付近の CO_2 濃度の水平分布と対流圏上部までの垂直観測実験を行っている。

2. CO_2 -DIAL システム

対流圏上部までの CO_2 観測を可能にするためには波長 1.6 μm 帯で高出力の同調可能なパルスレーザが求められる。我々は擬位相整合 (QPM: Quasi Phase Matching) デバイスである PPMgLT (Periodically poled Mg-doped LiTaO_3) を用いた OPG (Optical Parametric Generator) で送信出力を得ている。OPG にはシーダ光として波長制御された DFBレーザを注入することによりパルス光の波長を制御している。繰返し周波数は 500 Hz, ビームは TEM_{00}

モードである。また、 CO_2 濃度を高高度まで高精度で測定するには吸収断面積を正確に知る必要があるため気温分布の同時観測が必須であり、そのために 3 波長のレーザを 1 ショットごとに切り替えながら、送信を行う。Fig. 1 に 3 波長 CO_2 -DIAL システムのブロック図を示す。

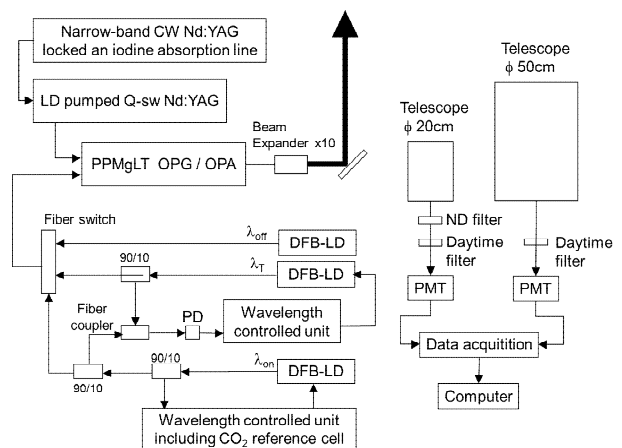


Fig.1 Schematic diagram of the 1.6 μm CO_2 DIAL system.

現在は開発してきた CO_2 -DIAL システムを移動可能なコンテナに搭載した。搭載したコンテナ (トレーラ) の写真を Fig. 2 に、コンテナに搭載したシステムの概略図を Fig. 3 に示す。高高度までの CO_2 濃

度測定のために直径 60cm の受信望遠鏡を搭載し、水平方向への測定のためにスキャン機能を持つ直径 25cm の受信鏡を搭載している。Table 1 に主な仕様を示す。



Fig.2 The 1.6 μm CO₂ DIAL container.

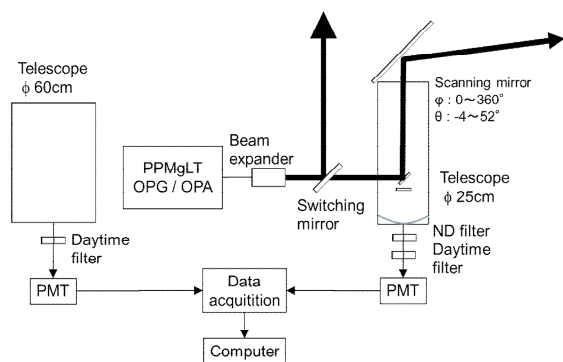


Fig.3 Schematic diagram of the scanning 1.6 μm CO₂ DIAL system installed in the container.

Table 1. Specifications of the three-wavelength 1.6 μm CO₂ DIAL system.

Laser Energy	6.5 mJ/pulse
Laser Wavelength	$\lambda_{\text{on}} = 1572.992 \text{ nm}$ $\lambda_{\text{off}} = 1573.137 \text{ nm}$ $\lambda_{\text{T}} = 1573.007 \text{ nm}$
Pulse Repetition Rate	On : 250 Hz Off, T : 125 Hz
Telescope Aperture	Vertical : 60 cm Scan : 25 cm
PMT Quantum Efficiency	Vertical : 8.0 % Scan : 2.0 %

3. CO₂ 水平・垂直分布観測

スキャンニング機能を持つ DIAL システムを用いた観測例を Fig. 4 に示す。これは首都大学東京日野キャンパスから北西の方向約 1.5km に中央高速道路八王子インターチェンジがあり、その上空の CO₂ 濃度を観測した例である。ほとんど無風状態であったため、徐々に CO₂ 濃度の高い気塊が上昇している様子が確認できた。

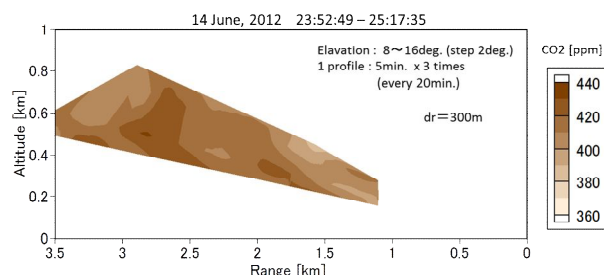


Fig.4 An example of CO₂ distribution measured by scanning DIAL.

CO₂-DIAL による CO₂ 濃度の観測には、CO₂ 吸収線の温度依存性が、大きな誤差要因となる。本研究では、3 波長のレーザを交互に送信し、観測光路上の気温分布も同時に観測することにより、CO₂ 濃度の精度向上を目指している。Fig. 5 に CO₂ 濃度の垂直分布観測例を示す。

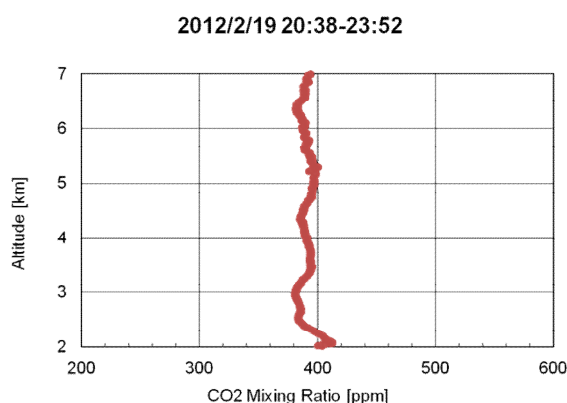


Fig.5 An example of a vertical CO₂ mixing ratio profile.

4. まとめ

直接検波方式の 1.6 μm CO₂-DIAL を移動可能なコンテナに搭載し、3 波長観測による上部対流圏までの CO₂ 濃度プロファイルの高精度観測並びにスキャン観測による CO₂ 濃度の 3 次元観測が可能になった。今後トレーラを移動しての他の測器との比較観測、発生源・吸収源での観測等を計画している。

謝辞

本研究は科学技術振興機構「先端計測分析技術・機器開発事業」により行われた。

参考文献

D. Sakaizawa et al., Applied Optics, 48(4), 748, 2009
長澤, レーザー研究, 39(8), 585-589, 2011