

# 直接検波法による高精度 1.6 $\mu$ m CO<sub>2</sub>-DIAL の開発

Development of the high accuracy 1.6  $\mu$  m CO<sub>2</sub>-DIAL with the direct detection technique

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、中里真久、酒井 哲（気象研）、塚本 誠、誉田高行（英弘精機）

C. Nagasawa<sup>1</sup>, M. Abo<sup>1</sup>, Y. Shibata<sup>1</sup>, T. Nagai<sup>2</sup>,  
M. Nakazato<sup>2</sup>, T. Sakai<sup>2</sup>, M. Tsukamoto<sup>3</sup> and T. Honda<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Tokyo Metropolitan University, <sup>2</sup>Meteorological Research Institute,  
<sup>3</sup>Eco Instruments Corporation

## ABSTRACT

We have developed a 1.6  $\mu$  m differential absorption lidar (DIAL) technique to perform high accurate measurements of vertical carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) concentration profiles in the atmosphere. The accurate vertical CO<sub>2</sub> profiles are highly desirable in the inverse method to improve quantification and understanding of the global budget of CO<sub>2</sub> and also global climate change. Our next generation 1.6  $\mu$  m DIAL system consists of the OPG (Optical Parametric Generator) transmitter that is excited by the LD pumped Nd:YAG laser with high repetition rate (500Hz) and the receiving optics that included the near-infrared photomultiplier tube with high quantum efficiency operating at the photon counting mode and the narrowband interference filter (bandwidth:0.5nm). This 1.6  $\mu$  m DIAL system is available to measure the vertical CO<sub>2</sub> concentration profiles for nighttime and daytime with the temperature and wind profiles.

## 1. はじめに

我々は、2007年に波長 1.6  $\mu$  m のレーザーを用いた直接検波方式の CO<sub>2</sub>-DIAL の最初の実験に成功した(Sakaizawa et al. 2009)。この技術を更に高度化し、CO<sub>2</sub>の濃度測定精度 0.3%を目標として2008年度から次世代の CO<sub>2</sub>-DIAL の開発に着手している。高精度の CO<sub>2</sub>鉛直濃度分布測定を実現するためには、気温と気圧のデータが不可欠である。

本研究では、気温・気圧および風速も考慮した次世代 CO<sub>2</sub> ライダー技術の開発を目指している。今回は、これまでのハードとソフトの開発の進捗状況の概要と、昼間の CO<sub>2</sub> 鉛直濃度分布測定実験結果を報告する。

## 2. 次世代システムの概要

次世代 CO<sub>2</sub>-DIAL の開発にあたっては、鉛直 CO<sub>2</sub> 濃度分布観測での優位性から、2  $\mu$  m 帯のコヒーレント方式ではなく、引き続き 1.6  $\mu$  m 帯の波長を利用した直接検波方式の差分吸収法ライダー (DIAL) をベースにした。CO<sub>2</sub>濃度の測定に使用する CO<sub>2</sub>分子の吸収線スペクトル形状(吸収線中心の強度や線幅)は、周囲の気温・気圧に依存するが、気圧による吸収強度の変化が小さい波長(気圧不動点  $\lambda_p$ )が存在するので、CO<sub>2</sub>濃度測定の際、吸収線の中心波長  $\lambda_p$  と裾(吸収の少ない波長  $\lambda_{off}$ )に加え、この気圧不動点の波長を追加し、他の波長と強度を比較することで気温の測定が可能である。また、気圧データに関しては、客観解析データを利用することでも相当な精度での CO<sub>2</sub>濃度測定も可能である。この詳細な解析

は、本研究会の堂面他の発表において報告する。

CO<sub>2</sub>濃度の測定では、使用する CO<sub>2</sub>の吸収線幅が非常に狭いことから、レーザーの波長同調精度が高精度であることが求められる。この波長同調精度は、散乱体が大気の流れ、すなわち風とともに移動することから発生する散乱光のドップラーシフト量に比べて十分に良いことから、受信した波長のドップラーシフトを検出することで風速を測定することもできる。(図1)

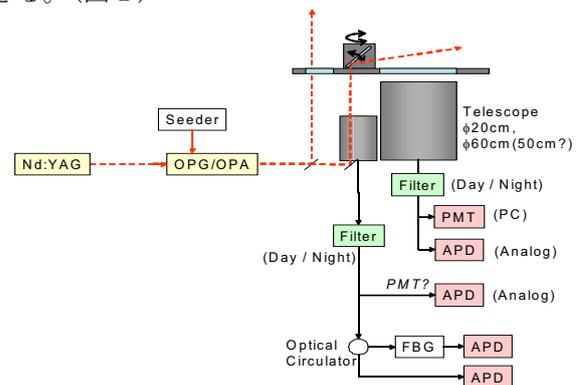


Fig. 1 Schematic diagram of the next generation 1.6  $\mu$  m CO<sub>2</sub> DIAL

## 3. 送信部の開発

技術的な開発要素として、送信部においては波長幅が非常に狭い CO<sub>2</sub>の吸収線にレーザーの発振波長を同調させる技術とその同調の安定化、レーザーの高出力化等の技術開発要素がある。このような送信

レーザーの特徴を実現するために、これまで使われてきた OPO (Optical Parametric Oscillator) 方式から擬似位相整合結晶の特徴を十分考慮した OPG (Optical Parametric Generator) 方式およびこれに OPA を付加する方式を新たに採用した。この方式により極めて容易に波長の同調が可能になった。詳細は、本研究会の柴田他の発表において報告する。

#### 4. 昼間観測

CO<sub>2</sub> 濃度と気温の鉛直分布観測では昼夜を問わない観測を目標とするため、昼間の背景光を軽減する目的で受信部に半値幅が 0.5nm の狭帯域フィルターを 2 枚重ねて用いた。図 2 に干渉フィルターの透過曲線を示す。緑と茶色の曲線が、それぞれの干渉フィルターの透過曲線であり、重ねると赤色の透過曲線となり、より雑光を軽減することができる。DIAL における ON/OFF ラインを透過させるためには、これより狭い透過幅のフィルターを用いることは困難である。また、一般的な干渉フィルターより透過率が top hut で、透過曲線の両ウィングの傾きが急峻な設計となっている。

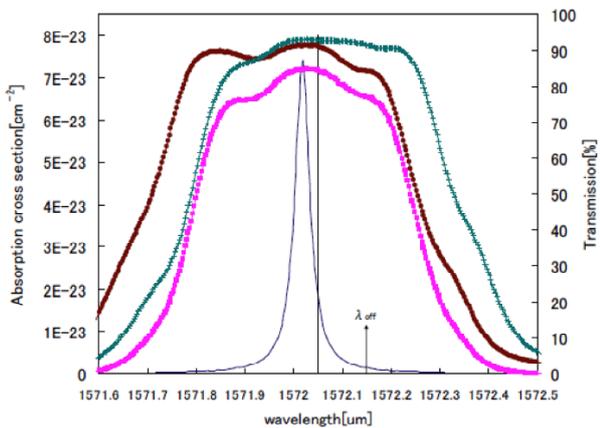


Fig.2 Transmission curves of the interference filter for daytime measurements

このフィルターを用いて、昼間の背景光強度測定実験を行った。図 3 に測定結果を示す。太陽南中時でも視野を 0.5mrad まで絞れば、十分フォトンカウントモードで観測可能であることが分かる。

更にこのフィルターを用いて、2010 年 2 月 14 日の午後 2 時過ぎに昼間 DIAL 観測実験を行った。レーザーの出力は、0.6mJ、繰り返しは 400Hz、受信鏡の直径は 35cm、PMT の量子効率、2.5% のものを用いた。受信鏡の向きは垂直上方である。図 4 に得られた CO<sub>2</sub> の鉛直濃度分布を示す。

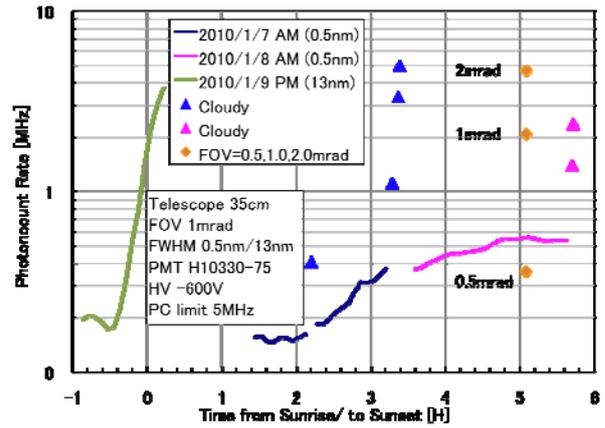


Fig.3 The measurement results of background light during the daytime

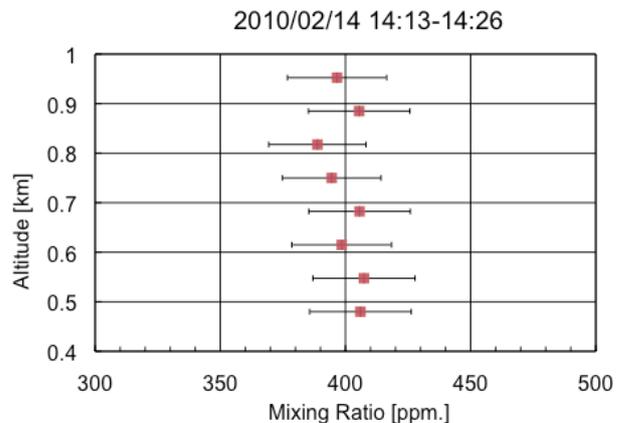


Fig.4 An example of CO<sub>2</sub> vertical profiles measured during daytime

#### 5. まとめ

今回は、次世代 1.6 μm CO<sub>2</sub>-DIAL の開発状況と 1.6 μm 帯で光子計数法による昼間観測が問題なく行えることを実験的に示した。DIAL による CO<sub>2</sub> 観測は、鉛直分布を連続して観測することが可能であることから、航空機観測などでは得られないデータが得られ、地球温暖化に関する研究をより推進することになる。

#### 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」により行われている。

#### 参考文献

D. Sakaizawa et al., Applied Optics, 48(4), 748, 2009