

ハードターゲットを利用した DIAL による CO₂ 計測

Observation of CO₂ using Hsrdtarget with DIAL

小山瑞樹^{1,2}, 石井昌憲², 水谷耕平²

Mizuki Koyama^{1,2}, Shoken Ishii², Kohei Mizutani²

1.首都大学東京 2.情報通信研究機構

1.Tokyo Metropolitan University 2.National Institute of Information and Communications Technology

Abstract

CO₂ is one of the key gases to contribute to greenhouse effect. A coherent differential absorption lidar (DIAL) from space is promising means to understand carbon cycle. CO₂ measurement using distributed aerosol from space is difficult due to weak backscatter signal. So using hardtarget such as ground surface is foreseen method. In this paper we discuss methods for CO₂ measurement with hardtarget.

1.はじめに

近年地球温暖化問題への関心が高まってきている。地球温暖化は温室効果ガスの二酸化炭素(CO₂)の急速な増加が主な原因と考えられている。現在 CO₂ 濃度はその場計測によって計測が行われているが、炭素循環をよりよく理解するために CO₂ の広範囲の計測が求められており、差分吸収ライダー(DIAL: Differential Absorption Lidar)を航空機や衛星に搭載して計測する方法が考えられている。これまで DIAL による CO₂ 計測はエアロゾル等の後方散乱を利用した計測が行われてきた。しかし、DIAL を衛星や航空機に搭載する場合、距離が長くなるのでエアロゾル等から後方散乱されてくる信号は小さくなる。そのため、航空機や衛星に搭載しての計測では地球表面(ハードターゲット)の反射を利用した方法が考えられている。本発表では地上でハードターゲット(建物の壁面等)を利用した CO₂ の計測方法について報告する。

2.差分吸収ライダー

Fig.1 に情報通信研究機構(NICT)で開発されたコヒーレント方式の DIAL のブロック図を示す。レーザーは安定化した単一波長を射出する 2 つの Tm:Ho:YLF 連続発振レーザー(マスターレーザー)とパルスレーザー(スレイブレーザー)を使用している。注入同期の目的で使われている連続発振レーザーは CO₂ に吸収される波長(on-line=2050.967[nm])と吸収されない波長(off-line=2051.250[nm])のレーザー光を射出している。on-line はオフセットロックによって波長を 2051.002~2051.058[nm]間で任意の波長にずらすことができる。マスターレーザーから射出されたレーザー光は 2 つに分かれ、一方はディテクターに向かい光ヘテロダイン検出時の参照光として扱われ、もう一方は音響光学素子(AOM)に入り、周波数が 105[MHz]でオフセットされる。AOM から出たレーザー光はパルスレーザーに入り、ramp and fire technique[1]によって、出力 80[mJ] パルス幅 140[ns]繰り返し周波数 30[Hz]の単一波長パルスレーザーが射出される。軸外し望遠鏡から射出されたレーザー光はエアロゾルやハードターゲット等によって後方散乱され、同じ望遠鏡で受光される。受光された信号はシングルディテクターに検波され、8bit A/D コンバータを用いてサンプリング周波数 500[MHz]、サンプリング数 131072 でデジタル化されコンピュータに保存される。

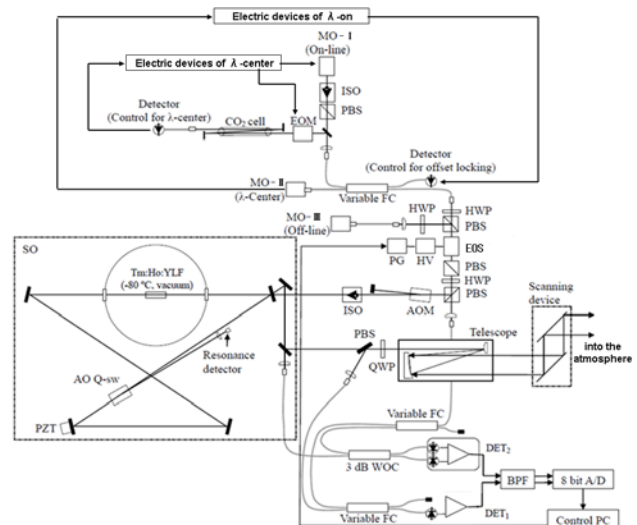


Fig.1 diagram of DIAL

3.差分吸収ライダー方程式

off-line に対しての差分吸収ライダー方程式は

$$P_{i=off,on}(R) = K_i(R) \cdot E_i \cdot \exp(-2 \int_0^R (\rho_{CO_2}(r) \cdot n_a(r) \cdot \sigma_i(r)) dr) , \quad K_i(R) = K_i \cdot \frac{\beta_i(R)}{R^2} \exp\left(-2 \int_0^R \alpha_i(r) dr\right) \quad (1)$$

となる。ここで K_i はシステムの定数、 E_i はレーザーのパルスエネルギー[J/pulse]、 β_i はエアロゾルの後方散乱係数[1/m/sr]、 R はターゲットまでの距離[m]、 α_i はエアロゾルや大気分子による消散係数[1/m]、 ρ_{CO_2} は CO_2 濃度(混合比)、 n_a は乾燥大気中の数密度[個/m³]、 σ_i は CO_2 の吸収断面積[m²]を表す。on-line についても同様に考え、 $P_{on}(R)/P_{off}(R)$ を計算し、光学的厚さ $\tau(0, R)$ を式(2)のように置く。式(2)を計算すると式(3)となりこれを使って CO_2 濃度を求める。

$$\tau(0, R) = \int_0^R \rho_{CO_2}(r) \cdot n_a(r) \cdot (\sigma_{on}(r) - \sigma_{off}(r)) dr = \frac{1}{2} \ln \left(\frac{P_{off}}{P_{on}} \right) \quad (2) , \quad \rho_{CO_2}(r) = \frac{1}{n_a(r) \cdot (\sigma_{on}(r) - \sigma_{off}(r))} \cdot \frac{\tau}{r} \quad (3)$$

4.観測・結果

2010年6月10日 NICT から約 6000 [m]離れた煙突(ハードターゲット)に向けて観測を行った。このとき、on-line の波長は 2051.034[nm]を利用して観測を行った。Fig.2 にハードターゲットに当たったときの受信信号を、Fig.3 にショットごとの信号がハードターゲットに当たるまでの距離を示す。Fig.3 からショットごとでハードターゲットに当たるまでの距離が変化していることがわかる。そのため、ハードターゲットを利用した観測では、レーザーが射出された点ではなく、ピークになった点を起点として range bin を分けた(Fig.2 参照)。Fig.4 は同日 11:42 から 10 分間のデータを積算し平均化した、距離と光学的厚さ、パワーの関係である。光学的厚さのグラフは前述の方法を利用して解析したもの(optical depth①)とレーザーが射出された点を起点として range bin を分けていったもの(optical depth②)を表す。ハードターゲットでの光学的厚さの値と 2000[m]付近での光学的厚さから CO_2 を計算すると 398.32[ppm]となった。同時刻に NICT で行ったその場計測では 392.2[ppm]であった。

5.まとめ

本発表では、ハードターゲットを利用した観測の検討を行った。今後も観測を続け、ハードターゲット近傍での解析手法による光学的厚さの違い等の検討を行っていく予定である。

参考文献

[1]S.W.Henderson, E.H.Yuen, and E.S.Fry, "Fast resonance-detection technique for single frequency operation of injection-seeded Nd:YAG laser", Opt.Lett, vol.5, p.p715-717, 1986

[2]Fabien Gibert, Pierre H.Flamant, Dider Bruneau, and Claude Loth, "Two-micrometer heterodyne differential absorption lidar measurements of the atmospheric CO_2 mixing ratio in boundary layer", Appl Opt, 45, p.p4448-4458, 2006

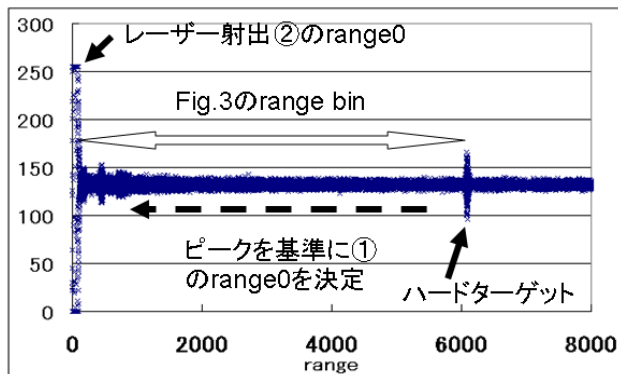


Fig.2 signal from hardtarget

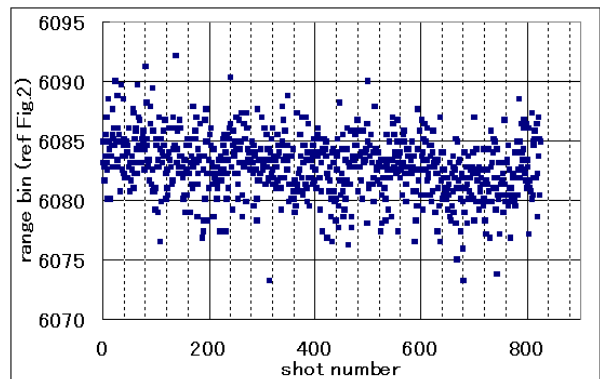


Fig.3 peak range as a function of shot

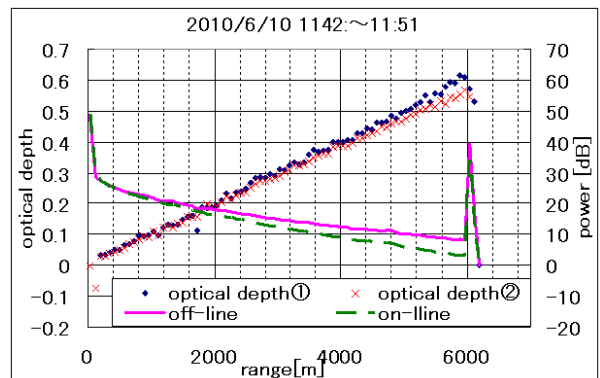


Fig.4 Optical depth estimate and power as a function of range