

2 μ m コヒーレント差分吸収風ライダーによる CO₂ 計測: ハードターゲット

CO₂ measurement by coherent 2 μ m differential absorption and wind lidar: hard target return

石井昌憲, 小山瑞樹*, Philippe Baron, 岩井宏徳, 水谷耕平, 板部敏和

S. Ishii, M. Koyama*, P. Baron, H. Iwai, K. Mizutani, and T. Itabe

情報通信研究機構, *首都大学東京

NICT, *Tokyo Metropolitan University

Abstract

A coherent 2 μ m differential absorption and wind lidar (Co2DiaWiL) was used to examine the detection sensitivity of a 2 μ m integrated path differential absorption (IPDA) lidar. Experimental CO₂ measurement was conducted using the Co2DiaWiL and atmospheric (aerosol) and hard target (surface) returns in December, 2010. The results obtained by the hard target returns were examined in detailed and those are also compared with those measured by the atmospheric returns and the *in situ* sensor. In this paper we provide descriptions of experimental horizontal CO₂ measurements with the hard target.

1. はじめに

情報通信研究機構 (NICT, 東京都小金井市) では、温室効果ガスの一つである CO₂ 濃度を計測するために目に安全な 2 μ m レーザを用いたコヒーレント差分吸収・風ライダー (Co2DiaWiL) の開発を行ってきた。これまで Co2DiaWiL を用いてエアロゾル散乱による水平方向や鉛直方向の CO₂ 計測実験について報告を行ってきた。将来の航空機や宇宙から高精度に CO₂ 計測では、地表面散乱 (ハードターゲット) を利用する Integrated path differential absorption lidar (IPDA ライダー) が有望視されている。NICT は 2010 年 12 月に測定対象としてハードターゲット (地表面) を利用した IPDA ライダーによる CO₂ 計測実験を行った。本発表では、その実験結果について報告する。

2. コヒーレント差分吸収・風ライダー

Co2DiaWiL の諸元とブロック図を Table1 と Fig.1 に示す。レーザの波長は、CO₂ が吸収しない Off 波長 λ_{off} は 2051.250 nm、CO₂ が吸収する On 波長 λ_{on} は 2051.034 nm を用いてハードターゲットの実験を行った。On 波長のオフセット量は、CO₂ の吸収線 R30 の中心から 6.5 GHz である。レーザの出力と繰り返し周波数は、80mJ と 30Hz である。On 波長と Off 波長のレーザを 1 ショット毎に切り換えてデータが取得した。ハードターゲットからの受光信号を検出するために、ノイズレベルはショットノイズ限界のもとで、光ヘテロダイン検波を行った。ハードターゲットからの受光パワーは、FFT を用いてパワースペクトルから求めた。CO₂ 濃度 (ρ_{CO_2}) は次式によって与えられる:

$$\rho_{\text{CO}_2} = \frac{1}{2 \cdot n_{\text{air}} \cdot \Delta\sigma \cdot (R_1 - R_2)} \cdot (\tau - \tau_{\text{H}_2\text{O}}) \quad (1)$$

τ は、距離 R_1 から R_2 までの光学的厚さ、 $\tau_{\text{H}_2\text{O}}$ は水蒸気による光学的厚さ、 n_{air} は乾燥空気密度、 $\Delta\sigma$ は on 波長と off 波長の CO₂ 吸収断面積の差である。 n_{air} は気温・気圧・湿度に依存し、on 波長と off 波長の CO₂ 吸収断面積 (σ_{on} , σ_{off}) は気温・気圧に依存する。それらの値は、NICT の敷地内に設置された自動気象計器で測定された値を用いて求められた。 τ は、次式によって与えられる:

$$\tau = \frac{1}{2} \cdot \log \left(\frac{P_{\text{on}}(R_1) \cdot P_{\text{off}}(R_2)}{P_{\text{off}}(R_1) \cdot P_{\text{on}}(R_2)} \right) \quad (2)$$

ここで、距離 $P_{i=\text{on, off}}$ は距離 $R_{i=1,2}$ におけるパワーである。

Fig.2 は NICT からハードターゲット方向の地形断面図である。ハードターゲットは NICT から南に約 7.1km に位置する丘である。レーザはほぼ水平に射出した。射出されたレーザの高さは NICT 付近では地表面から約 20m であるが、ハードターゲット付近では地表面から約 60m に位置した。距離 R は射出パルスの時刻とハードターゲットの時刻をピーク検出によって調べ、ハードターゲットを起点として距離を決定した。本実験では、ピーク検出による射出パルスの時刻とハードターゲットと時刻のバラツキ等を考慮して、距離分解能を 150m に設定して解析を行った。

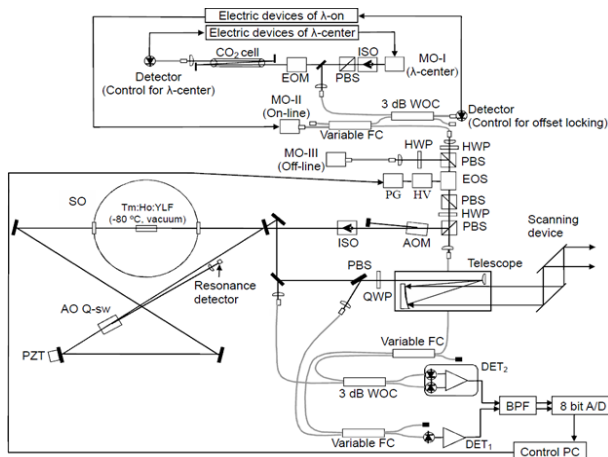


Fig. 1 Block diagram of Co2DiaWiL.

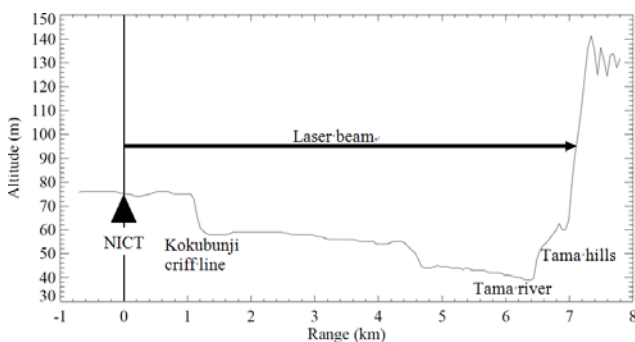


Fig. 2 Cross section towards the hard target

Table1 Specifications of Co2DiaWiL.

Transmitter	
Laser	: Tm:Ho:YLF
Wavelength	: 2051.058 nm (On)
	: 2051.250 nm (Off)
Pulse energy	: 80 mJ/pulse
Pulse width	: 150 nsec
Pulse Repetition	: 30 Hz
Receiver	
Clear diameter	: 10 cmΦ
Detector	: InGaAs PIN Photo Diode
Data Processing	
Signal processing	: 8 Bit A/D
Sampling frequency	: 500 MHz
Sampling points	: 131072 (約40 km相当)
Scanner	
Clear diameter	: 10 cmΦ
Elevation angle	: -20-200°
Azimuth angle	: -10-370°
Scanning speed	: 0°-60°/sec

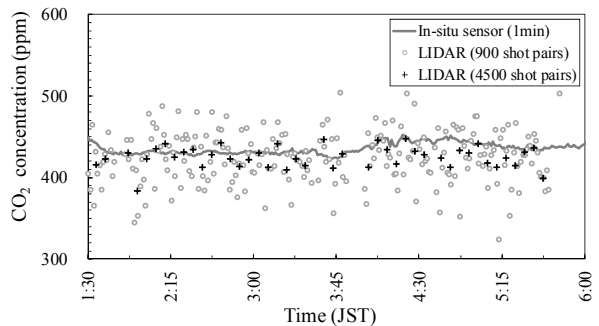


Fig. 3 Temporal variations of CO₂ concentrations measured by Co2DiaWiL and *in situ* instrument on December 11, 2010: (+) 900 shot pairs and (○) 4500 shot pairs. Laser frequency offset was 6.5 GHz for horizontal CO₂ measurement.

3.実験結果

Fig.3は2010年12月11日の夜半から未明にハードターゲットを利用して計測したCO₂濃度の時間変化である。○(900ショットペア)と+(4500ショットペア)はIPDAライダーの測定から得られたCO₂の濃度、灰色の実線はNICTに設置された*in situ*センサーである。ショット数を増やすことにより強度揺らぎ影響が小さくなることが分かる。4500ショットペアによるIPDAライダーの結果は、*in situ*センサーよりやや小さい傾向を示しているが、*in situ*センサーは単独一点の測定であり、IPDAライダーと地理的、空間的な違いがある点を考慮すべきである。従って、今回の結果は必ずしもバイアスを示唆する結果ではない。900ショットペア、4500ショットペアのランダム誤差は、それぞれ5.3%、2.5%であった。

4. まとめ

コヒーレントライダーによる測距アルゴリズムを開発した。ハードターゲットを利用し、IPDAライダーによるCO₂計測実験を行った。4500ショットペアの計測でランダム誤差2.5%の計測ができることが分かった。今後は、さらに測定誤差の低減を目指す予定である。