

温室効果ガス計測のための差分吸収ライダーの開発②

Development of Coherent Differential absorption lidar for greenhouse gas measurement II

石井昌憲, 水谷耕平, 岩井宏徳, 青木哲郎, 小山瑞樹*, 板部敏和, 佐藤 篤**, 浅井和弘**

S. Ishii, K. Mizutani, H. Iwai, T. Aoki, M. Koyama*, T. Itabe, A. Sato**, and K. Asai**

情報通信研究機構, *首都大学東京, **東北工業大学

NICT, * Tokyo Metropolitan University, ** Tohoku Institute of Technology

Abstract

The National Institute of Information and Communications Technology (NICT) developed a differential absorption lidar for atmospheric CO₂ measurement. We introduced the differential absorption lidar at the last symposium. Experimental measurements were made, and we succeeded to obtain CO₂ concentration. Results of the lidar measurements were compared with those measured by a co-located *in situ* sensor and the results obtained by the lidar agreed well with those by the *in situ* sensor. We improved the lidar to emit laser pulse in any direction with a new 2-axis scanning system. We will present recent results and the new 2-axis coherent differential absorption lidar.

1. はじめに

情報通信研究機構(東京小金井市)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 μmレーザを用いたコヒーレント差分吸収ライダー開発を行っている。前回の本シンポジウムでは、開発状況について報告を行った。開発されたコヒーレント差分吸収ライダーを用いて、試験観測実験が行なわれ、データ取得に成功した。地上設置の測定データとも比較を行い、両者の結果は良く一致していた。情報通信研究機構では、さらに任意の方向にレーザを射出できるように2軸走査機能を追加した。本発表では、これまでの結果と2軸走査方式コヒーレント差分吸収ライダーの概要について報告する。

2. 差分吸収コヒーレントライダー

コヒーレント差分吸収ライダーの諸元を表1に示す。本ライダーはTm:Ho:YLFを用いた単一波長高出力パルスレーザを用いる。レーザの平均出力は約2.0 W(繰返し:30 Hz, パルスエネルギー:70 mJ)まで、運用可能である。光を吸収する波長(λ_{on})と光を吸収しない波長(λ_{off})は、2050.967 nmと2051.250 nmである。受光系は軸外式望遠鏡、3dB光カプラー、バランスレシーバーより構成され、光信号は光ヘテロダイン検波によって電気信号へと変換される。電気信号は8bitのADコンバータを用いてデジタル信号と変換される。 λ_{on} と λ_{off} それぞれの波長の受信電力は、AD変換されたデジタル信号から決定した^{1,2}。

CO₂の導出は、Slope法を用いて濃度の導出を行う。Slope法は、観測点から距離Rまでにおいて、 λ_{on} と λ_{off} それぞれの波長によって得られた受信電力の比から光学的厚さ $\tau(0, R)$ を求め、距離に対する光学的厚さから濃度を導出する方法である。 $\tau(0, R)$ は、

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

と与えられる。ここで、 $P_{i=on, off}$ は受信電力、 ρ_{CO_2} はCO₂濃度(ppm)、 n_a は乾燥大気中の数密度(個/m³) (気温・気圧・湿度に依存)、 σ_i はCO₂の吸収断面積(m²) (気温・気圧に依存)。距離でこの τ を微分すると、Rまでの気柱中のCO₂濃度は、

$$\rho_{CO_2}(r) = \frac{1}{n_a(r) \{\sigma_{ON}(r) - \sigma_{OFF}(r)\}} \cdot \frac{d\tau}{dr} \quad (2)$$

と与えられる。Slope法によるCO₂濃度導出は、 $d\tau/dr$ の決定方法が重要であり、その決定精度はCO₂濃度の誤差に影響する。 $d\tau/dr$ は、距離毎の光学的厚さの誤差が次式によって計算され、

$$\frac{\sigma(\tau)}{\tau} = \frac{1}{2\tau} \sqrt{\frac{\text{var}(P_{ON})}{P_{ON}^2} + \frac{\text{var}(P_{OFF})}{P_{OFF}^2} - 2 \frac{\text{cov}(P_{ON}, P_{OFF})}{P_{ON} \cdot P_{OFF}}} \quad (3)$$

その距離毎の光学的厚さに対し重みづけを行い、最小二乗法を用いて決定された。また、 n_a は気温・気圧・湿度、 σ_1 は気温・気圧に依存する。CO₂濃度を導出する際は、必要不可欠なデータである。情報通信研究機構では、地上4階ビル屋上に自動気象測器を設置し、1分間隔で取得されたデータを用いた。

3. まとめ

情報通信研究機構では地上での試験観測実験を行い、性能評価を行っている。これまでの試験観測結果から距離2.5-3km範囲で測定が可能であった、吸収光路長を1500m、積算時間10分の測定時間として、CO₂濃度の気柱測定精度は、ランダムエラー約1.0%、バイアス1-2%、という結果が得られている。今後、測定距離をさらに延ばすために、オフセットロック部をレーザ発振器に組み込んでいく予定である。

参考文献

- 1 R. Frehlich, S. M. Hannon, and S. W. Henderson, App. Opt. Vol. 36, pp. 3491-3499, 1997
- 2 B. J. Rye and R. M. Hardesty, App. Opt. Vol. 36, pp. 9425-9436 1997

Table1 Specifications of 2-axis DIAL system

Transmitter

Laser	: Tm:Ho: YLF
Wavelength	: 2050.967 nm (On)
	: 2051.250 nm (Off)
Pulse energy	: 70 mJ/pulse
Pulse width	: 140 nsec
Pulse Repetition:	30 Hz

Receiver

Clear diameter	: 10 cmφ
Detector:	InGaAs Balanced receiver

Data Processing

Signal processing	: 8 Bit A/D
Sampling frequency	: 500 MHz
Sampling points	: 130816

Scanner

Effective clear diameter	10 cmφ
Elevation angle	-20-200°
Azimuth angle	-10-370°
Angle resolution	0.01°
Pointing accuracy	0.01°
Surface flatness	≤ λ/10
Scanning speed	0°-60°/sec



Fig.1 (Upper) exterior of a lidar container and a 2-axis waterproof scanning system, and (lower panel) 2-axis coherent DIAL Installed in a container for the lidar measurement.