

# 1.6 $\mu\text{m}$ 帯 CW 変調 $\text{CO}_2$ 計測 LAS 地上検証モデルにおける精度分析

Performance analysis on ground based 1.6 micron CW modulation laser absorption spectrometer for  $\text{CO}_2$  sensing

今城 勝治<sup>†</sup>, 亀山 俊平<sup>†</sup>, 平野 嘉仁<sup>†</sup>, 上野 信一<sup>†</sup>, 境澤 大亮<sup>††</sup>, 川上 修司<sup>††</sup>, 中島 正勝<sup>††</sup>  
Masaharu Imaki<sup>†</sup>, Shumpei Kameyama<sup>†</sup>, Yoshihito Hirano<sup>†</sup>, Shinichi Ueno<sup>†</sup>,  
Daisuke Sakaizawa<sup>††</sup>, Shuji Kawakami<sup>††</sup>, Masakatsu Nakajima<sup>††</sup>

三菱電機(株)<sup>†</sup>, (独)宇宙航空研究開発機構<sup>††</sup>  
Mitsubishi Electric Corporation<sup>†</sup>, Japan Aerospace Exploration Agency<sup>††</sup>

## Abstract

For the application to the global  $\text{CO}_2$  monitoring from the space-borne active sensor have been studied. We have developed the Laser Absorption Sensor (LAS) system for ground-based  $\text{CO}_2$  monitoring using the wavelength of 1.6 micron. Furthermore, we have also reported about measurement result with short time fluctuation corresponding to the concentration of 4 ppm (rms) in 32 s intervals and 1 km path. In this paper, we discuss how to achieve this performance.

## 1. はじめに

近年の地球温暖化に伴い、衛星搭載アクティブ光学センサによる地球規模  $\text{CO}_2$  濃度計測への期待が高まっている。これに対して、我々は、衛星搭載に適した小型・高信頼かつ高速・高精度計測を実現できる波長 1.6  $\mu\text{m}$  帯 CW 変調方式  $\text{CO}_2$  計測 LAS (Laser Absorption Spectrometer)を考案[1]し、地上検証モデル[2]を開発して方式の有効性を実証した。この装置では、計測パス 2.5km で精度 1ppm 以下相当の高い機器校正精度を実現しており、この精度実現に至る過程では、検証実験の積み重ねによる精度分析に基づき工夫を施した。本発表では、この内容を紹介する。

## 2. システム構成

Fig.1 に CW 変調 LAS 地上検証モデルの構成を示す。波長ロックユニットでは、1.6  $\mu\text{m}$  帯の  $\text{CO}_2$  の吸収波長 (on 波長)と非吸収波長 (off 波長)の光信号出力する[3]。光送受信ユニットでは、2 つの光信号に異なる周波数の強度変調をかけて合波してファイバ増幅器で高出力化し、パワーモニタ用として一部を分岐した後に光アンテナユニットを介してハードターゲットに向けて送受する。受信したターゲットからの散乱光を直接検波により電気信号に変換し、信号処理ユニットに送る。信号処理ユニットでは、モニタ光と散乱光の直接検波信号のスペクトルを FFT により求め、周波数の異なる 2 つのピーク強度比からターゲットまでの光路長の  $\text{CO}_2$  濃度の平均値を計測する。

本装置で用いる 1.6  $\mu\text{m}$  帯の 2 波長の差は約 0.2nm と微小であるが、各々に独立なスペックル効果が生じ、2波長の受光パワーに差を生じさせ光学的厚さの計測に影響を及ぼすスペックル雑音として影響を及ぼす。この雑音レベルは、送信ビーム波長とフットプリントサイズ、ビーム走査幅、および通常の大気揺らぎから決まる。この影響を抑圧するため、光アンテナユニットに送信ビーム微動機構等を付加する工夫を施した。

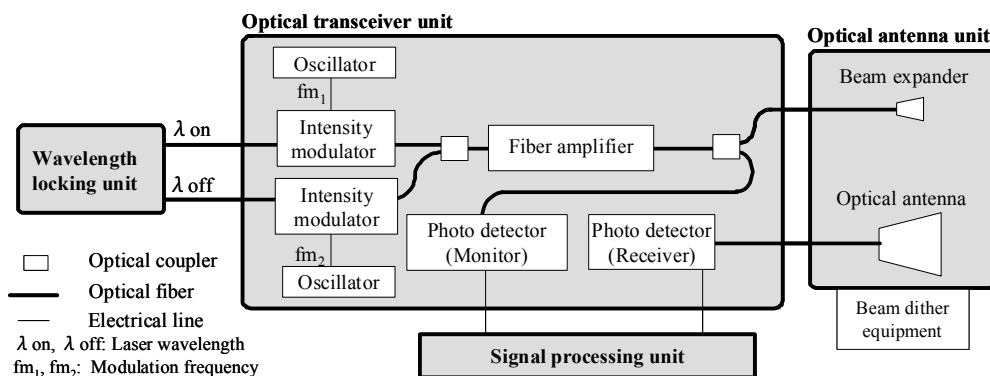


Fig.1 Schematic of the CW modulation laser absorption spectrometer.

### 3. ゼロ点校正実験

光アンテナ直前に拡散ターゲットを配置し、CO<sub>2</sub> 吸収の存在しない光路を構築して光送受信を行い、2.5km の光路長想定時の CO<sub>2</sub> 濃度計測値を計測してゼロ点 (=0ppm) の校正実験を行った。Fig.2 にゼロ点校正時の CO<sub>2</sub> 濃度の時間変化を示す。変調周波数  $f_{m1}$  と  $f_{m2}$  はそれぞれ 100kHz と 101kHz であり、計測時間は 4 秒である。ビーム微動機構の効果を確認するため、ビーム微動機構動作時と非動作時における特性を連続的に測定した。ビーム微動機構を動作させていない場合には測定値が大きく揺らいでいるのを確認できる。それに対し、各機構を動作させている場合には測定値が安定しているのを確認できる。このときの校正精度は 0.8ppm(rms)相当である。

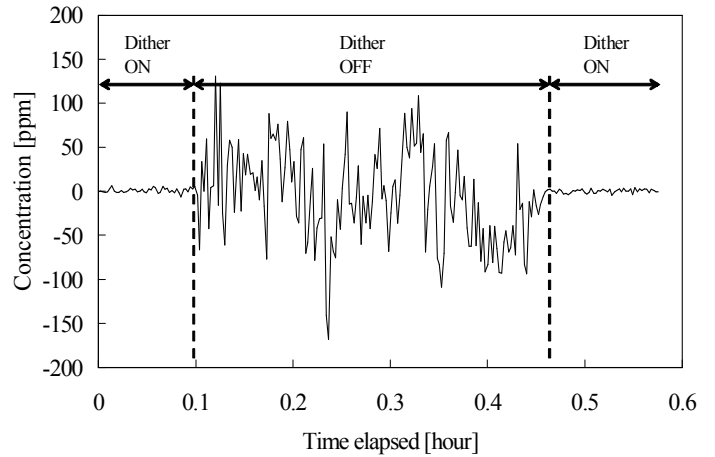
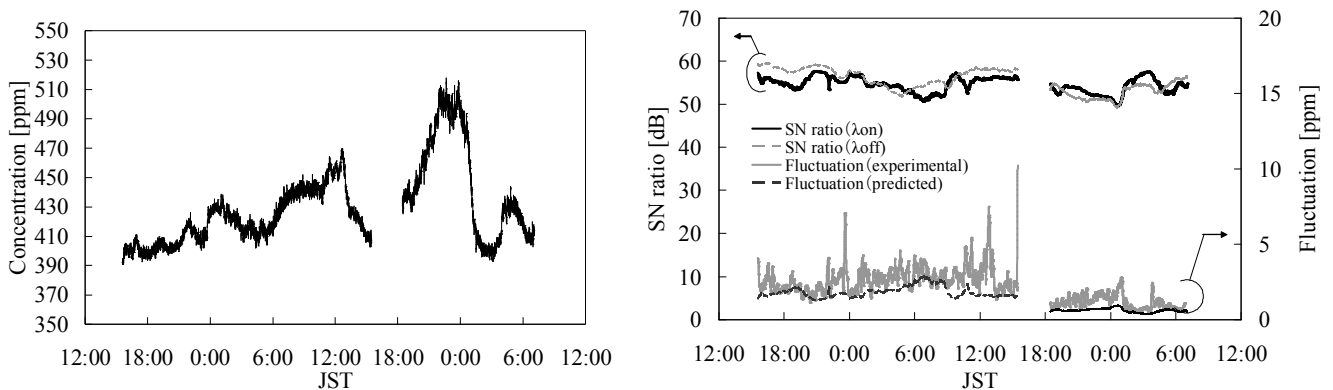


Fig.2 Calibration result.

### 4. CO<sub>2</sub> 濃度計測実験

CO<sub>2</sub> 濃度計測結果例を Fig.3(a)に示す。変調周波数  $f_{m1}$  と  $f_{m2}$  はそれぞれ 100kHz と 101kHz であり、計測時間は 32 秒、ターゲットは距離 2.5km の樹木とした。雑音源を受信機雑音として求めた場合のこの計測における受信 SN 比を Fig.3(b)に示す。また、これらの SN 比と計測パスで得られる光学的厚さから CO<sub>2</sub> 濃度計測における短時間変動を推定し、Fig.3(a)から求めた実測値と比較した結果を Fig.3(b)の第二縦軸に示す。図中、短時間変動の実測値は予測値に対し若干高くなっていることが確認できる。この結果より、本計測においては、受信 SN 比よりスペックル雑音が CO<sub>2</sub> 濃度計測値の変動量を制限していると考えられる。



(a) CO<sub>2</sub> concentration measurement

(b) SN ratio and fluctuation

Fig.3 Time record of CO<sub>2</sub> concentration measurement

### 5. まとめ

1.6 μm 帯 CW 変調 LAS 地上検証モデルに関して、CO<sub>2</sub> 濃度計測値の変動量が受信 SN 比とスペックル雑音に起因することを示した。精度分析の結果、ゼロ点校正実験において、0.8ppm(rms)相当の校正精度での計測が可能であることを確認した。さらに CO<sub>2</sub> 濃度計測実験においては、スペックル雑音が CO<sub>2</sub> 濃度計測値の変動量を制限していることを確認した。

### 参考文献

- [1] S. Kameyama, and Y. Hirano, US Patent No. 7,361,922.
- [2] S. Kameyama *et al.*, Opt. Lett, vol.34, pp.1513-1515, (2009).
- [3] 今城他, 26 回レーザセンシングシンポジウム予稿集, pp.40-41 (2008).