

# FMCW 変調方式 1.6 $\mu\text{m}$ 帯 CO<sub>2</sub> 計測 LAS の開発

Development of FMCW modulation 1.6 micron laser absorption spectrometer for CO<sub>2</sub> sensing

今城 勝治<sup>†</sup>, 亀山 俊平<sup>†</sup>, 高林 幹夫<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>, Mikio Takabayashi, 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

We have studied the global CO<sub>2</sub> monitoring from the space-borne active sensor. We have developed the FMCW (Frequency Modulated Continues Wave) modulation 1.6 $\mu\text{m}$  Laser Absorption Spectrometer (LAS) system. Using the FMCW technique, received signal frequency is corresponding to the distance of the target. Therefore, the received signal from cirrus and the hard-target can be discriminated. In this paper, we present the concept of the FMCW LAS system and first results of CO<sub>2</sub> measurement.

## 1. はじめに

我々は、衛星搭載センサへの適用を目指したCO<sub>2</sub>濃度計測のためのCW変調方式LAS (Laser Absorption Spectroscopy)の研究開発を行っており、これまでに地上検証モデルの試作を行ってきた[1-4]。本装置では、CO<sub>2</sub>分子に対する吸収波長と非吸収波長の2波長のレーザ光を1本のビームで送信し、構造物や樹木等のハードターゲットからの反射光を受光する。このとき、吸収波長と非吸収波長の受光量差からDAOD (Differential Absorption Optical Depth: 差分光学的厚さ)を計測し、ターゲットまでの距離からターゲットまでの光路中のCO<sub>2</sub>濃度を計測する。これまでの開発により、晴天大気中において4ppm以下相当のCO<sub>2</sub>濃度の計測精度実現に至っている。しかし、シーラスを介した計測においては、シーラスからの反射光の影響により、ターゲットまでのDAODの計測値に変化が生じ、算出するCO<sub>2</sub>濃度積算値の精度が低下すると予測される。

本論文では、複数ターゲットからの受信信号のスペクトルにおいて、ターゲット距離に応じた周波数に変換し、シーラスからの散乱成分と地表からの散乱成分を切り分けることを目的とした、FMCW変調方式LAS地上検証モデルを開発したので報告する。

## 2. システム構成

システム構成を図1に示す。1.6 $\mu\text{m}$  帯における吸収波長と非吸収波長に対して、周波数差が一定の異なる周波数で変調をかけて 2 波長同時送受を行い、直接検波により受信光を電気信号に変換する。受信したモニタ信号と受信信号を信号処理部に取り込み、各変調周波数でミキシング演算とFFT 演算を行う。その結果、変復調間でターゲットまでの往復時間分だけ遅延が生じているため、この時間に相当する周波数にピークをもつスペクトルが生じる。さらに、吸収波長と非吸収波長における受信スペクトルのパワー比より、ターゲットまでの光学的厚さ(差分吸収量)を導出する。

一方、ハードターゲットまでの測距法に関して、モニタ光受信信号と反射光受信信号との相互相関関数によりピーク位置を導出し、距離を求める。

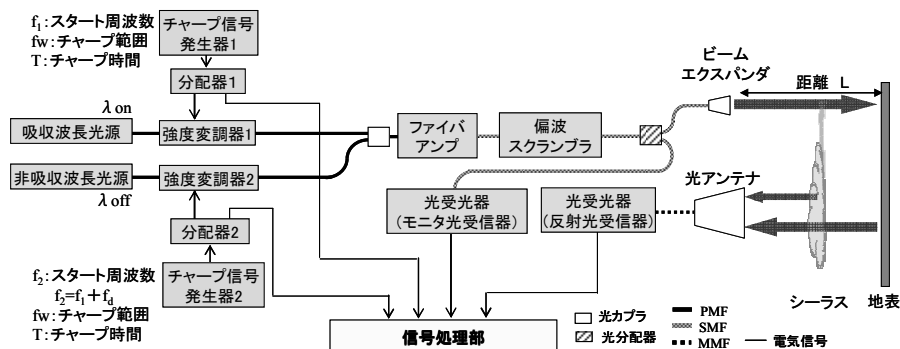


Fig.1 Schematic of the FMCW modulation laser absorption spectrometer.

### 3. CO<sub>2</sub>濃度計測実験

最初に、ターゲット距離に応じた周波数に変換され、シーラスやエアロゾルからの散乱成分とハードターゲットからの反射成分が分離できるかを確認した。実験では、樹木等のハードターゲットに照射した場合の受信信号と、空にビームを照射し、エアロゾル散乱のみの受信信号を取得した。このときの変調周波数は20kHz~120kHzであり、チャープ時間は1sである。

図2に、モニタ光受信信号と受信信号との相互相関関数を示す。ハードターゲットからの受信信号では、距離2500mの位置にピークが立っており、エアロゾルのみの受信信号では、距離600mの位置にピークが立っていることを確認できる。距離600mは、本装置の送受信光学系の結合効率が1となる距離であり、最もエアロゾルからの散乱光を受信し易い距離である。

図3に、吸収波長における受信スペクトルを示す。エアロゾル散乱のみの受信スペクトルは、ピーク周波数が151Hzであるのに対し、ハードターゲットからの受信スペクトルは、ピーク周波数は152Hzであった。距離差1900mの場合、周波数差は1.26Hzであるため、本スペクトルのピーク周波数の差は妥当であると考えられる。

以上の結果から、本構成により、シーラスを介したハードターゲットの測定においても、シーラスの影響を受けることなく測定できると考えられる。

次に、距離2.5kmの樹木ターゲットに対し送受信を行い、CO<sub>2</sub>濃度の計測を行った。また、CO<sub>2</sub>メータをシステム近傍に配置して同時測定を行い、本システムの結果と比較した。計測結果を図4に示す。日変動に関して、CO<sub>2</sub>メータの結果と一致しており、LASの計測の基本動作を確認することができた。

### 4. まとめ

我々は、FMCW変調方式LASを開発し、大気CO<sub>2</sub>濃度の計測を初めて実施した。その結果、シーラスを介した計測においても、ターゲット間のみの吸収量を測定できることを実証した。今後、測定精度に関する検証を行う。

### 参考文献

- [1] S. Kameyama *et al.*, Opt. Lett., **34**, 1513-1515 (2009).
- [2] D. Sakaizawa *et al.*, J. Appl. Remote Sens., **4**, 043548 (2010).
- [3] S. Kameyama *et al.*, Appl. Opt., **50**, 1560-1569 (2011).
- [4] S. Kameyama *et al.*, Appl. Opt., **50**, 2055-2068 (2011).

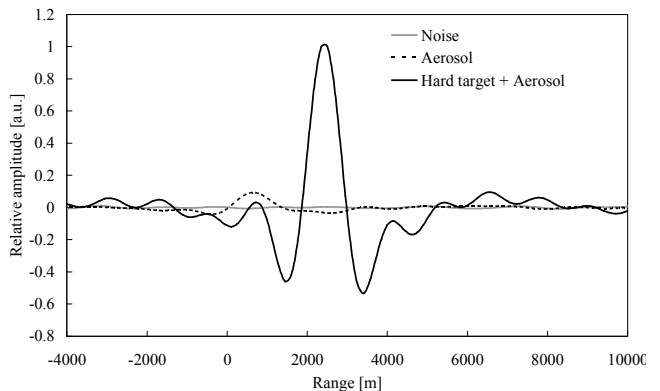


Fig.2 Cross correlation functions with monitor and received signal.

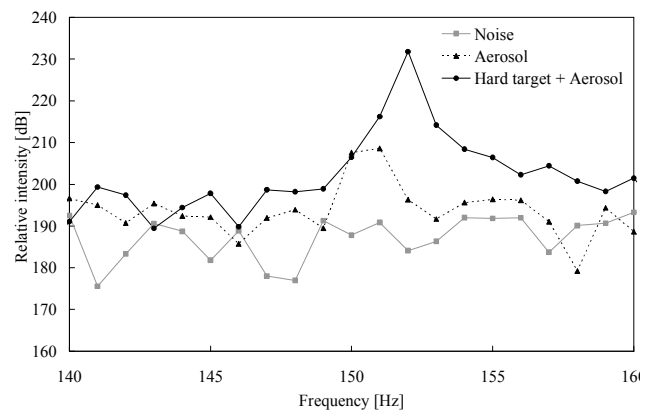


Fig.3 Received spectrum of absorption wavelength.

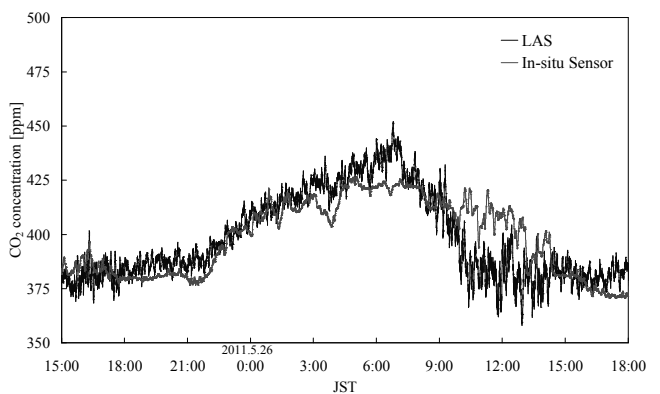


Fig.4 Time record of CO<sub>2</sub> concentration measured by the LAS and the CO<sub>2</sub> meter.