

## 衛星搭載CO<sub>2</sub>モニタ用 1.6 μm帯CW変調DIALに関する検討

Feasibility study on 1.6 micron CW modulation DIAL system for global CO<sub>2</sub> monitoring

亀山 俊平、平野 嘉仁、上野 信一、杉本 伸夫\*、木村 俊義\*\*

Shumpei Kameyama, Yoshihito Hirano, Shinichi Ueno, Nobuo Sugimoto\*, and Toshiyoshi Kimura\*\*

三菱電機(株)、(独)国立環境研究所\*、(独)宇宙航空研究開発機構\*\*

Mitsubishi Electric Corporation, National Institute for Environmental Studies\*,

Japan Aerospace Exploration Agency\*\*

### Abstract

According to the recent increasing of atmospheric CO<sub>2</sub> concentration, the need for global CO<sub>2</sub> monitoring DIAL system is getting increasing. Recently, conventional coherent and incoherent lidar systems have been studied for application to this DIAL, but final conclusion about the best system configuration has not been determined yet. Here, we introduce a new concept of 1.6 micron DIAL system using CW modulation. The results of feasibility study on application to global CO<sub>2</sub> monitoring are also introduced.

### 1. まえがき

近年の急激なCO<sub>2</sub>濃度上昇に伴い、衛星搭載DIAL (Differential Absorption Lidar: )による地球規模でのCO<sub>2</sub>モニタに対する期待が高まっている。これに関し、インコヒーレントおよびコヒーレントライダの従来方式をDIALに適用したものがこれまで提案されているが<sup>1-3</sup>、いずれもメリット・デメリットを有しており、衛星搭載を踏まえた上での最適システムに関する結論が得られていないのが実状である。ここでは、CW強度変調をかけた光信号を送受する 1.6 μm帯DIALについて提案する。さらに本DIALによる衛星搭載CO<sub>2</sub>モニタの実現性について検討を行ったので報告する。

### 2. システム構成

システム構成を図1に示す。2つのLDから、ON・OFFに相当する2波長の 1.6 μm帯CW光を送信し、各々に対し異なる周波数で強度変調をかけ、カプラにより合波する。この光信号をファイバ増幅器により増幅後ハードターゲット(地表)に向けて送受する。光フィルタにより背景光を除去した後、光受信機により直接検波を行う。信号処理部では、FFTにより信号のスペクトルを求める。2波長に対し異なる2周波での強度変調を行っているため、スペクトル上においてこの2周波の位置に信号ピークが検出される。2つのピーク強度比からターゲットまでのパス内におけるCO<sub>2</sub>濃度の平均値を求める。本システムは全光ファイバ構成となっており、小型・高信頼、かつ配置自由度の高いシステムを実現しやすい。また、光ファイバのアスペクト比が高いため廃熱が容易であり、この観点からも衛星搭載に適した構成である。さらに本構成は、2波長同時・同軸送受信を実現できるため、2波長間の計測ボリュームおよびフットプリント位置を完全に同一化できるため計測精度において優位である。変調周波数をベースバンド帯とすることで高感度光受信が可能であり、直接検波を用いる他のライダ方式と比較し高受信S/N比も実現しやすい。

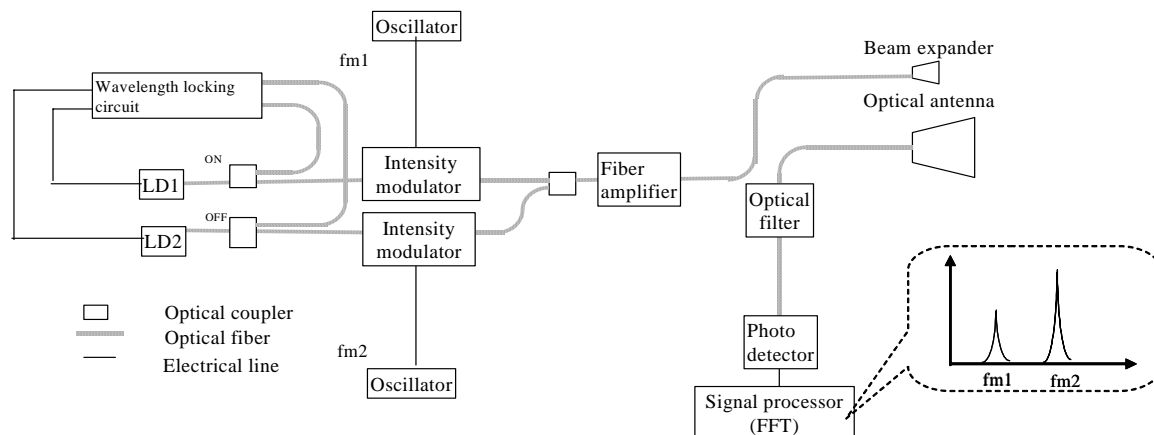


Fig. 1. System configuration.

### 3. 検討における前提条件

本検討におけるCO<sub>2</sub>濃度、所要精度、衛星高度、計測時間は、370ppmv、1ppmv、666km、16sとした。大気・エアロゾルモデルには米国標準大気・Ruralを用いた。アルベドおよび地表分光輝度は 0.1 および 9W/m<sup>2</sup>/sr/μmとした。想定するシステムパラメータ値を表1に示す。

### 4. 波長選定結果および誤差解析結果

ON 波長に対する主な要求は、(1)H<sub>2</sub>O による吸収が小さいこと、(2)地表付近の Weighting function が高いこと、および(3)気温誤差感度が小さいことである。これらの要求に基づき、表2に示す ON 波長および吸収線を選定した。誤差解析を行い、計測精度に及ぼす影響をまとめたものを表3に示す。

Table 2. Summary on selected ON wavelength.

Parameters		Value
Wavenumber [cm <sup>-1</sup> ]		6327.1310
Transmittance on CO <sub>2</sub> absorption		0.843
Absorption line	Center [cm <sup>-1</sup> ]	6327.0609
	Intensity [cm/mol.]	1.26 × 10 <sup>-23</sup>
	L. S. E. [cm <sup>-1</sup> ]	234.08
	Width [cm <sup>-1</sup> ]	0.0701

### 5. 所要送信パワーに関する検討

前提条件、所要受信 S/N 比、およびライダ方程式により求めた所要送信パワーを図2に示す。信号および雑音を計算機上で擬似発生させるモンテカルロシミュレーションを用いて上記所要受信 S/N 比の導出を行い、この値を 58.5dB に設定した。ON/OFF パワー比は上述のシミュレーションを用いた最適化検討により、1dB に設定した。図中横軸は、光受信機帯域幅であり、トランスインピーダンスゲインに対応している。昼間条件では上述した地表分光輝度を想定しているのに対し、夜間条件ではこのパラメータを無視している。図から、狭帯域幅・高ゲインの領域において昼間条件における所要パワーが、夜間条件での値に対し顕著に高くなっている。これは、受信機雑音において背景光ショット雑音が支配的となっていることによる。受信開口 100cm、受信帯域幅 100Hz の場合において、所要パワーは数十 W 程度となっている。

### 6. まとめ

CW強度変調を用いる 1.6μm帯全光ファイバ型DIALについて述べた。このDIALのシステム構成を示すとともに、衛星搭載CO<sub>2</sub>モニタへの適用性について検討した。計測精度 1ppmvを実現するのに要する送信パワーは、受信帯域幅 100Hz、受信開口 100cmの条件において数十W程度である。

### 参考文献

- [1] G. J. Koch et al., Appl. Opt., 43, 5092, 2004.
- [2] M. W. Phillips et al., Proceedings of coherent laser radar conference, 118, 2005.
- [3] P. H. Flamant, Proceedings of coherent laser radar conference, 11, 110, 2005.

Table 1. Estimated system parameters.

Component	Parameter	Value
Optical antenna	Aperture diameter	50cm~100cm
	Transmittance	-0.5dB
	FOV	0.2 mrad
Optical filter	Transmittance	-1 dB
	Wavelength width	0.3 nm
Photo-detector	Avalanche gain	1
	Dark current	0.1 pA
	Temperature	233 K
	G- B product	10 <sup>12</sup> ohm Hz
	Quantum efficiency	-1dB

Table 3. Summary on error sources.

Error source	Error sensitivity
H <sub>2</sub> O differential absorption	0.03 ppmv
Aerosol differential absorption	< 0.01 ppmv
Temperature estimation Error	0.15 ppmv/K
Altitude estimation Error	0.06 ppmv/m
Wavelength instability	0.25ppmv/MHz
Laser linewidth	0.001 ppmv/MHz

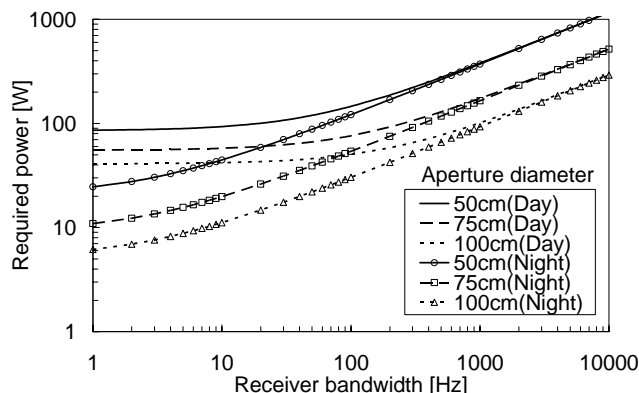


Fig. 2. Required power versus receiver bandwidth.