

メタンガス遠隔吸収センサーの超高感度化

Extremely sensitive remote methane-gas absorption sensors

加納慎平、椎名達雄 (千葉大学)、小林喬郎 (福井大学)

Shimpei Kano, Tatsuo Shiina(Chiba univ.), Takao Kobayashi(Fukui univ.)

Abstract

Industrial pipeline networks of methane gas are extended widely and its legal safety inspection will be tightened in the near future. In this situation, highly sensitive and remote sensing systems of methane gas leak are required. A compact and high sensitive laser methane sensor with a sensitivity of 2ppm · m column density has been realized for detection range around 30m. In this research, we have started to develop a highly sensitive absorption methane sensor with sensitivity less than 1ppm · m for use in various scientific and industrial applications.

1.はじめに

メタンガスの遠隔吸収センサーは現代社会において広い必要性がある。例えば、平常時および災害時における天然ガス設備や配管からのガス漏洩検出やメタンハイドレートの探査などの工業分野や、地球温暖化の温室効果ガスとしての広域の大気中メタンガス濃度の計測、さらには生命探査のための火星大気中の微量なメタンガス濃度の計測などの科学的応用が期待されている。現在、ガス漏洩の光検出には一般的には 1.65 μ m 帯 LD 光源を用いた測定器が実用化されているが、その感度は、柱密度は約 2ppm · m で測定範囲は約 30m と近距離である^[1]。今後パイプラインの超遠距離化や広域化が進められ、さらに法定点検の効率化や画像測定による保安の高信頼化が必要とされている^[2]。本研究では、長距離遠隔測定と柱密度 1ppm·m 以下の測定が可能な超高感度のメタンガス遠隔吸収センサーの実現に向けて、必要条件の検討と装置の開発に着手した

2. メタンの吸収特性

本研究ではメタンガスの 2 ν_3 帯 R(3) 線 (6047cm⁻¹)の吸収測定のため、波長 1.653 μ m の LD (Anritsu 製) を用い、圧力 200Torr で 7.5cm 長のメタンを封入した参照用セルを通して吸収特性を測定した。Fig.1 にその吸収線のスペクトルの測定結果を示す。これより吸収線の半値全幅は 40pm と算出された。LD に付加されているペルチェ温度制御素子による等温動作 (波長固定) では 5 pm 程の波長ドリフトが観察された。それが感度に及ぼす影響を軽減させるために、出力光の一部を参照用ガスセルに通し、その吸収量の変化を位相検波によって温度コントローラにフィードバックして波長

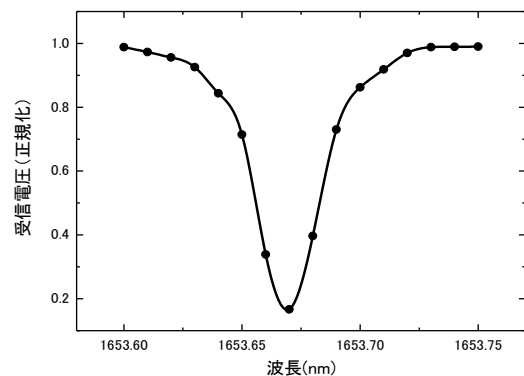


Fig.1 CH₄ の 2 ν_3 帯 R(3)線
吸収スペクトル

の安定化を図った。

3. 2f 検波法による測定

超高感度でのメタンガス計測を実現するため、Fig.2 の構成の波長変調分光法 (WMS; Wavelength modulation spectroscopy) での 2f 検波法を用いた。すなわち、レーザー発振波長を周波数 f で変調し、2つの PSD (Phase-sensitive detection: 位相検出器) で f とその高調波 $2f$ を参照電圧として光検出出力を PSD から出力するものである。これによって得られる $2f$ 信号出力 V_{2f} はメタンの柱密度に比例する。また f 信号出力 V_f により LD 中心波長を吸収線の中心にロックすることができる。その結果、 $2f$ 信号を f 信号で規格化することで LD 波長のドリフトを無くして柱密度が測定できる。

この実験では LD 光を $f=10\text{kHz}$ にして波長を変調した。Fig.3 に参照セルでの波長変化による V_f と V_{2f} の変化スペクトルを示す。 V_f は吸収スペクトルの 1 次微分係数、 V_{2f} は 2 次微分係数に対応している。

柱密度 $1\text{ppm}\cdot\text{m}$ の感度を実現するためには 6×10^{-5} の微少な吸収の測定が可能な波長制御特性と信号光の高 S/N 測定が必要なが判明した。

4.まとめ

メタンガスの遠隔吸収センサーの超高感度化に必要な条件を検討した。その結果、柱密度 $1\text{ppm}\cdot\text{m}$ 以下の高感度かつ高精度測定には、LD の発振波長のドリフトを位相検波によって高安定に制御を加えること、また高い S/N 比での信号測定が必要なが判明した。今後、これらの条件を満たしてメタンガス遠隔吸収センサーの超高感度化を目指したい。

参考文献

- [1] 井関孝弥、田井秀男；レーザー研究、**29**,3, pp.142-146 (2001).
- [2] 小林喬郎、杉本伸夫、久世宏明；レーザー研究、**33**,5,pp.295-299 (2005).

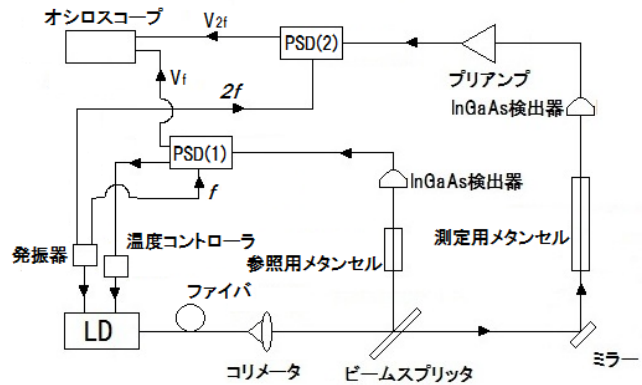


Fig.2 測定装置の構成

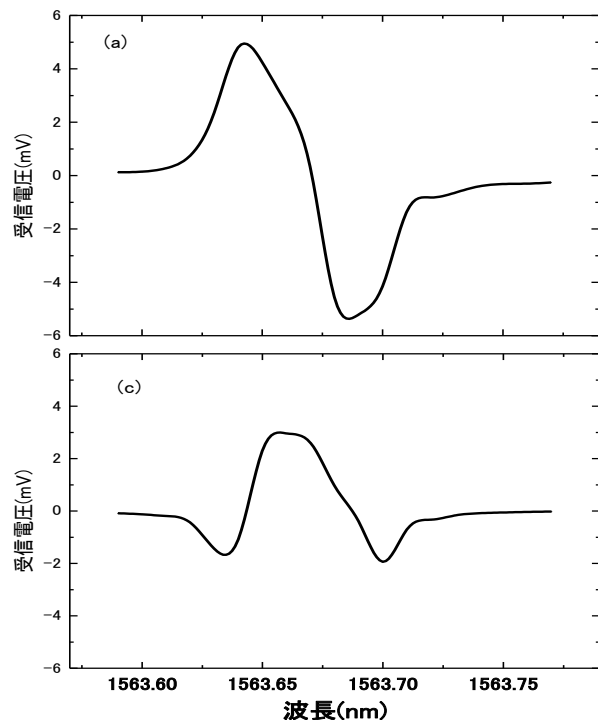


Fig.3 参照セルの吸収スペクトル
(a) f 信号 V_f , (b) $2f$ 信号 V_{2f} の変化