

全固体赤外OPOを用いたメタン計測用長光路吸収ライダー Long-Path Absorption Lidar Using All-Solid-State Infrared Optical Parametric Oscillator for Measuring Methane

杉本伸夫¹, 湊 淳², 小林喬郎³

Nobuo Sugimoto¹, Atsushi Minato², Takao Kobayashi³

1 国立環境研, 2 茨城大学工学部, 3 福井大学工学部

1 National Institute for Environmental Studies, 2 Faculty of Engineering,
Ibaraki University, 3 Faculty of Engineering, Fukui University

Abstract A compact long-path absorption lidar system is being developed for measuring atmospheric methane. The system employs an all-solid-state optical parametric oscillator at 3.4 μm and a correlation method using a methane absorption cell.

1. はじめに

全固体化レーザーは高効率、高出力、小型、軽量、高耐環境性などの特長を持つ光源として、将来のライダー応用における重要な要素技術のひとつである。ここでは、全固体化レーザーの応用技術のひとつとして科学技術庁振興調整費総合研究のなかで開発しているメタン計測システムについて報告する。メタンは温室効果ガスとして地球温暖化研究のなかで注目されている分子のひとつである他、ガス漏れの検知においても計測が注目され、これまでもレーザー長光路吸収測定に関する多数の研究が行われている。本研究では、全固体赤外レーザーを光源として、地表面や建物などの散乱を用いてバックグランド大気中のメタンの測定が可能な小型の計測システムを開発することを目標としている。

2. 相関法による濃度測定

レーザー長光路吸収法による大気微量分子の測定では、通常はレーザー波長を測定対象分子の吸収線の前後で掃引してスペクトルを測定し、吸収の大きさから濃度を求める。あるいは吸収線のピークと吸収の無い波長の2波長を用いて差分吸収法により濃度を導出する。これらの方法はいずれも波長幅の狭いレーザー光源を必要とする。また、波長掃引の場合は掃引のための機構が、また差分吸収法では波長を切り替える機構か2台のレーザーが必要である。全固体赤外OPOを用いて小型のシステムを構築するために、本研究では別のアプローチを採った。すなわち、吸収線の幅よりも広いスペクトル幅を持つレーザーを光源として長光路吸収測定を行い、受信光を分光する方法である。また、分光を行うためにはメタンを封入した相関セルを用いる¹⁾。この方法では、マルチモードの線幅の広い1台のレーザーを光源として用いることができるためシステムが簡単で小型化が可能である。また、後に示すように、濃度測定はレーザーのスペクトル形状の揺らぎ等に依存しない。

Fig. 1に相関セルを用いた長光路吸収ライダーの概念を示す。レーザーは測定対象の1つの振動回転線をカバーする程度のスペクトル幅を持つ。レーザー光を大気中に送信し、散乱光を望遠鏡で受信する。受信光の一部を検出器Aで検知し、残りはメタンを封入した相関セルを通った後検出器Bで検知する。これらの強度を P_A 、 P_B と表す。また、送信光の一部を受信系に導き、同様に検出器A、Bで検知する。これらを P_{A0} 、 P_{B0} と表す。測定原理を単純化して考えれば相関セルはメタンによる吸収を受けない波長のみを透過するフィルターとみなすことができる。従って、 $P_{A0} - P_{B0}$ が送信光のうち吸収を受ける波長の強度、 P_{B0} が吸収を受けない波長の強度である。また、 $P_A - P_B$ が受信光のうち吸収を受ける波長の強度、 P_B が吸収を受けない波長の強度である。従って、通常の差分吸収の場合と同様に考えて、濃度を表す式は次のように書ける。

$$N = -\ln \left[\frac{(P_A - cP_B)P_{B0}}{(P_{A0} - cP_{B0})P_B} \right] / (\sigma_d L) \quad (1)$$

ここに c は吸収線の形状やシステムに依存する定数、 σ_d は実効的な差分吸収断面積、 L は光路長である

Fig. 2に示すように、 2928 cm^{-1} 付近のメタンの吸収線を考えて計算機シミュレーションを行った。レ

レーザーはマルチモードで、中心波長が 2928 cm^{-1} 、エンベロープはこの例では半値半幅 1 cm^{-1} 、モード間隔は 0.1 cm^{-1} で各モード独立に30パーセントの揺らぎがあるものと考えた。Fig. 2 ではあるショットのレーザースペクトルを示している。メタンセルは長さ1 cm、セル内のメタンの圧力は1気圧とした。光路長1 kmの大気中のメタンを測定する場合のシミュレーション結果をFig. 3に示す。図の横軸はメタン濃度で、標準状態の大気中のメタン濃度(約1.6 ppm)を1として表している。縦軸のNは、(1)式で求めた濃度の値で、(1)式によるメタン濃度導出の直線性が良いことを示している。図中の $\Delta N/N$ は1ショットの測定における濃度導出の誤差である。測定を制限する誤差要因はレーザーの揺らぎである。この結果は、1ショットの測定で大気中のメタンを約50パーセントの誤差で測定できることを示す。誤差は統計的なものであるので積算により低減される。

3. 赤外全固体OPOを光源とする長光路吸収ライダーの開発

現在、製作中の長光路吸収システムは、cw半導体レーザーで励起したQスイッチNd:YAGレーザーを励起光源とするKTAを用いたOPOを光源とする(日本電気製)。波長 $3.416 \mu\text{m}$ における出力は約10 μJ 、繰り返し数は1 kHzである。ヘッド部の大きさは約 $33 \times 11.5 \times 7.3 \text{ cm}^3$ でYAGを励起する半導体レーザー光はファイバーでヘッド部に送られる。このレーザーを用いる場合、シミュレーションによると約1秒間の測定で約2パーセントの精度で大気中のメタンの計測が可能である。また、15 cmの受信望遠鏡を用いて、数百mまで、ハードターゲットを用いた測定が可能である。

参考文献 1) N.Sugimoto, A. Minato, T.Kobayashi, CLEO /Pacific Rim, p.35 (1995).

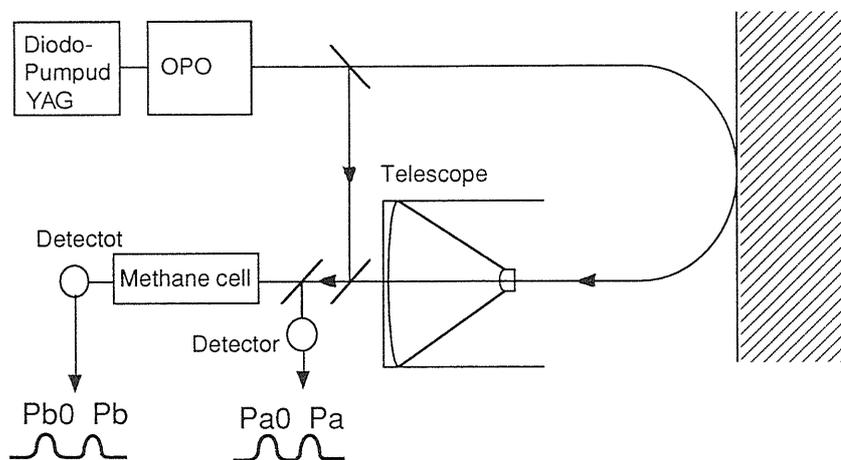


Fig. 1 Concept of long-path absorption lidar using gas correlation method

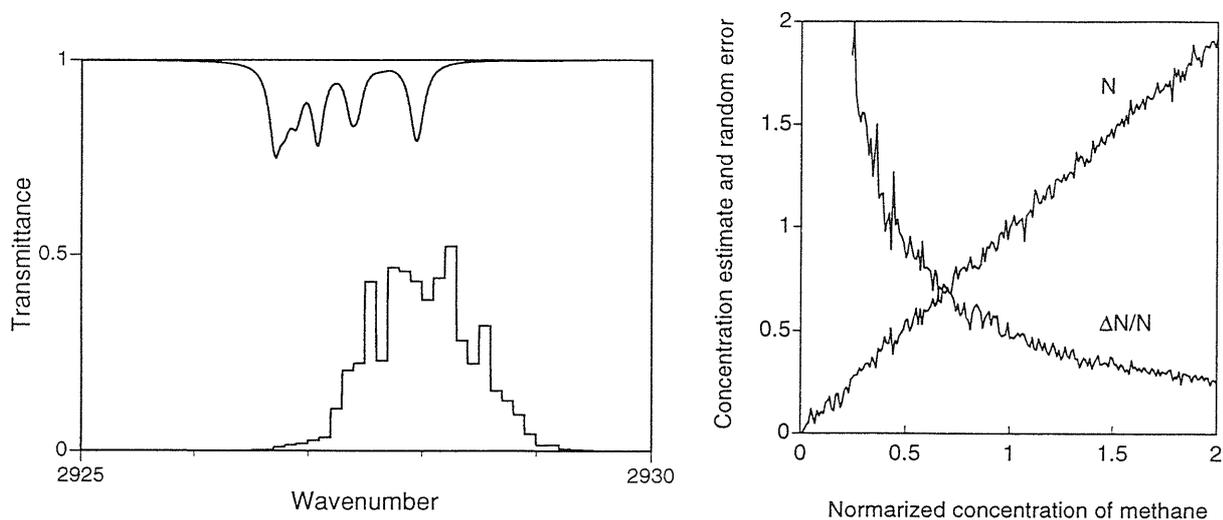


Fig. 2 Spectra of laser and absorption of methane. Fig. 3 Result of the simulation.