

小型・長光路吸収センサーによる温室効果分子の富士山頂での観測

小林喬郎¹、椎名達雄²、久世宏明²、矢吹正教³、三浦和彦⁴

¹元福井大学、²千葉大学、³京都大学、⁴東京理科大学

Compact / Long -Path Absorption Sensors for Greenhouse Gas Measurements at the Mt. Fuji Observatory

Takao KOBAYSHI¹, Tatsuo SHIINA², Hiroaki KUZE², Masanori YABUKI³, Kazuhiko MIURA⁴

¹ University of Fukui, ² Chiba University, ³ Kyoto University, ⁴ Tokyo University of Science

Abstract: We report the long-path absorption detection of a greenhouse gas (CH₄) and a volcanic gas (H₂S) by using compact laser sensors recently conducted in the vicinity of the Mt. Fuji Observatory located at the altitude of 3776 m.

Key Words: Compact absorption lidar sensor, Greenhouse gases, Extreme environment sensing

1. はじめに

地球温暖化に関する温室効果分子の高精度計測法として差分吸収方式のライダーが利用されている。通常は大型の装置構成が利用されているが、本研究では極めて小型のライダーに回帰性反射板 (Retro-reflector) を利用した新たな計測法を開発した。その動作特性を調べるため、富士山頂上の測候所周辺の大気中の温室効果メタン分子と火山噴出分子の硫化水素の測定を行った。ハワイのマウナロア山では温室効果ガスの測定が種々行われおり、また、富士山測候所でも室内に吸引した CO₂ などの常時測定が行われている。これに対して、室外の大気中のガスを測定するもので、高感度かつ高精度の特性が期待される。

2. 装置の構成と特性

2.1 小型差分吸収ライダーの構成

片手で持てるサイズの小型の差分吸収方式ライダーとして、粗面体からの散乱光を利用する方式で既に開発されて市販されている¹⁾³⁾。この装置の概略を図1に示す。

半導体レーザーLDの中心波長は 1.6537 μ m で出力が 10mW、粗面散乱体を反射体として利用して約 20m までの距離で 0.45ppm \cdot m の柱密度の大気中メタンの高感度検出が可能である。分子の吸収線の中心波長に LD の波長を固定して、安定に計測するため位相変調と同期検出法を用いている。

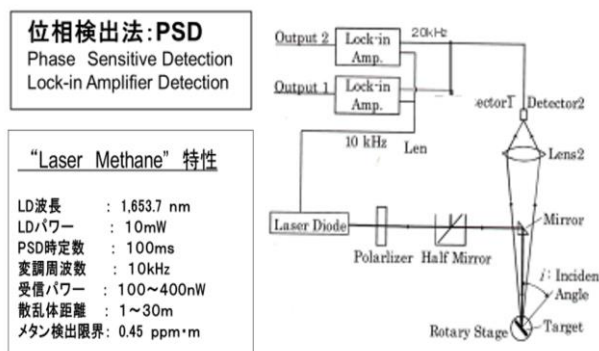


図1.メタン計測ライダーの構成と特性

2.2 回帰性反射板を用いる長光路吸収法⁴⁾

回帰性反射体として、従来のレトロ反射鏡に加えて、微小なレトロ反射構造を集積した平面状のレトロ反射板は道路標識などに利用されている。この反射光の広がり角は数度以内で、送信用のレーザー光が元の位置に戻ってくる。この特性を利用する長光路吸収方式のライダーの特性を比較する。

受信パワー P_r と反射体までの光路長 L の関係は、次の3つの場合に分類される。

1) レトロ反射鏡で送信光が内部に集光されている条件では、

$$P_r / P_0 = k_1 T^2 \quad (1)$$

2) レトロ反射板で送信光が内部に集光される場合には、

$$P_r / P_0 = k_2 T^2 (D / \theta_r L)^2 \quad (2)$$

3) レトロ反射板で送信光が反射板の外部に広がる条件では、

$$P_r / P_0 = k_3 T^2 (D \cdot D_r / \theta_r \cdot \theta_r)^2 L^{-4} \quad (3)$$

となる。ここで、 P_0 は送信光電力、 $k_1 \sim k_3$ は装置係数、 D と D_r は受信レンズと反射板の直径、 θ_t と θ_r は送信光と反射板のビーム広がり角である。これらの関係から、(1)の理想的な場合に比べて(2)と(3)では光路長 L の2乗や4乗に反比例するが、粗面の散乱体の場合に比較すると極めて大きな受信光が得られることが特長である。

3. 実験結果

3.1 メタン分子密度の時間変化の測定

図2にメタン濃度の測定結果を示す。レトロ反射板を用いて光路長を26mに設置して、14時28分から21時00分まで測定した。縦軸は分子の柱密度(Colum Concentration)であり、1m当たりの濃度は約1.25ppmとなり、現状の世界の平均値とほぼ一致している。

また、14時から18時頃までの昼間は濃度揺らぎが大きく、夜間に入ると変化が少なくなることが示されている。なお、19時から20時ころまでのデータ欠損はPC電源の不具合の結果である。

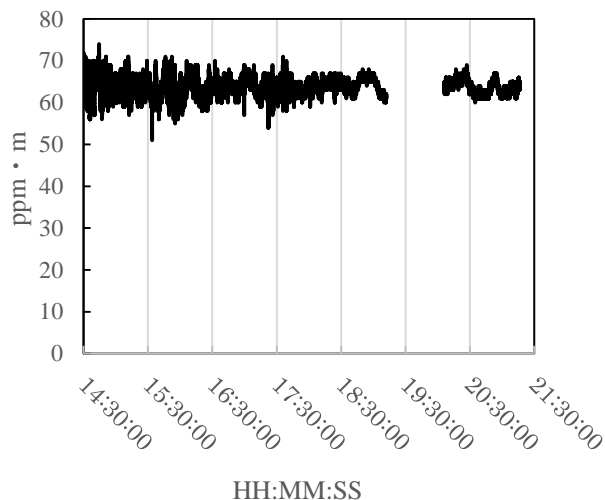


図2 メタン(CH₄)の柱密度の時間変化

3.2 硫化水素の柱密度測定

次に、LD波長が1.5772μmのセンサーを用いて、硫化水素分子の測定を行った。図3に硫化水素分子の柱密度の測定結果を示す。メタンの測定と同時に同じレトロ反射板を利用した。時間は19時、20時、21時の最初の1分間の測定値を比較している。メタンと比較すると夜間の時間が進むと密度が増加し

ていることが分かる。また、この柱密度の値は相対値であり、今後、標準濃度のセルを用いた校正が必要である。

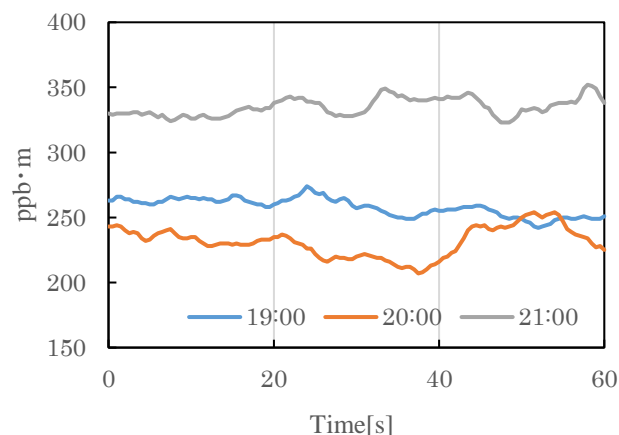


図3 硫化水素(H₂S)の柱密度の時間変化(相対値)

4. 結論

以上の結果から、大気中のメタンと硫化水素の濃度の実時間での測定が実現できた。光路長は26mであったが、数mでの測定も可能であった。小型で低電力での動作が高山などの極限的な環境でも実現可能なことが示された。今後はこの小型センサーによる長距離での高感度測定やCO₂等の多種の分子の計測等の新たな利用分野の拡大を図ることを目指したい。

謝辞

この研究で用いた小型吸収方式レーザーセンサーに関して東京ガス TGES(株)の皆様へ感謝を致します。

5. 参考文献

- 1) 井関孝弥、田井秀夫：レーザー研究、29,3 (2001)
- 2) 小林喬郎、杉本伸夫、久世宏明：レーザー研究 33,5 (2007) 295.
- 3) 椎名達雄、小林喬郎：32回レーザーセンシングシンポジウム予稿集、p-32 (2014).
- 4) H. Saito, N. Manago, K. Kuriyama, H. Kuze: Optics Letters, 30,11 (2015) 2565.