

開放光路型LASシステムの受信光強度揺らぎ抑圧性能の評価

Estimation of reducing performance of the fluctuation of received power on an open-air type LAS system

周藤 正樹, 香川 直己
Masaki Suto, Naoki Kagawa

福山大学 工学部 電子・電気工学科
Department of Electronic and Electrical Engineering, Fukuyama University

Abstract : We develop a real-time atmospheric gas monitoring system with the laser absorption spectrometry (LAS). Since the system employs open-air-path and measures the column density, insensitiveness of the inhomogeneous distribution of the target gas density has been possible. On the other hand, deteriorating the measurement accuracy because of the optical fluctuation becomes the important problem of the system. So a few trial reducing schemes are installed in the system. Some experimental results are described to show the performance of optical fluctuation reduction.

1. まえがき

温室効果ガス計測法として、レーザ光線を大気伝播させる開放光路型がある。これは局所的に分布するガスの全体的な濃度を無侵襲かつ実時間測定することが可能である。しかし、大気擾乱を起因とする受信光強度揺らぎ(Scintillation Noise)が測定精度の劣化を招く。我々は耐受信光強度揺らぎ性能を有するガスモニタの開発を行っており[1]、本稿では揺らぎの抑圧性能の評価を行い、その結果からメタンガスの実環境測定において予想される受光揺らぎとガス濃度に相当する絶対吸収量のパワースペクトル密度関数(PSDF)の比較を行い、抑圧手法の有効性を検証した。

2. 測定系の構成

メタンが比較的強い吸収を持つ波長、1.6 μ m帯のDFB半導体レーザ(NLK1U5C1TA)を光源として使用し、LDの発振波数はモジュール温度で対象とする吸収線を選択し、駆動電流量を変化させることで吸収線の掃引を行う[2]。LDから出射されたレーザ光線は非軸放物面鏡で平行ビームに整形され、大気中を伝播した後、PD(G8421-03)で検出される。その受信光パワ信号とLDモジュール内のPDで検出された出射光パワ信号からアナログ演算回路[3,4]によってガスの絶対吸収量を抽出する。

3. 受信光強度揺らぎの抑圧手法

Fig.1に吸収線列の模式図を示す。吸収線はガス濃度、ベースライン変化は受光揺らぎの成分にそれぞれ相当する。受光揺らぎの統計的性質と電気系白色雑音のトレードオフから、吸収線の掃引時間を5[ms]と決定している[5]。この時間は、受光揺らぎの変動周期より十分短いため、揺らぎは一定値とみなすことができる。揺らぎ成分のみが現れる区間はその値をトラックし、吸収線の現れる5[ms]間は直前の値をホールドすることで、ベースラインをトレースする。時間フィルタ処理によって吸収線と受光揺らぎ成分の分離を行っている[6]。

4. 受信光強度揺らぎの抑圧性能の評価

受光揺らぎの絶対吸収量換算したPSDFは、

$$W_s(f) = \begin{cases} \Omega & (f \leq f_{sc}) \\ \Omega \left(\frac{f}{f_{sc}}\right)^{-\frac{8}{3}} & (f > f_{sc}) \end{cases} \quad (1)$$

と表される[7]。ΩはPSDFのフラットレベルを表し、大気の流れ方、波長λ[m]、伝播光路長L[m]、平均風速v_⊥[m/s]に依存する。また、f_{sc}は遮断周波数[Hz]を表す。メタンの吸収線は2ν₃バンドのQ₍₆₎線を対象とするため、λ=1665.9[nm]に対する受光揺らぎの理論PSDFをFig.2に細線で示す。

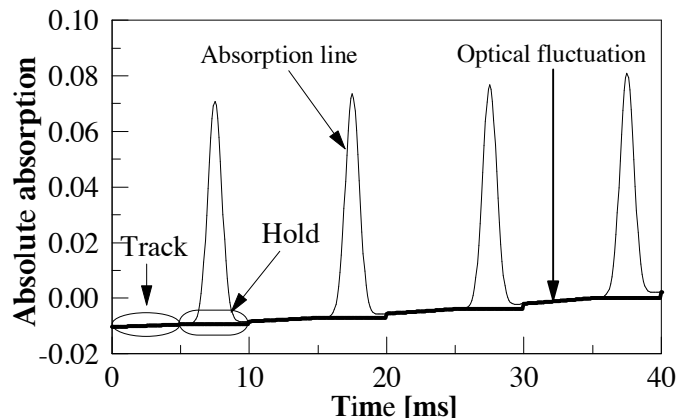


Fig. 1 Sketch of absorption lines and optical fluctuation

地表付近の自然環境下における測定を考慮し光路長 $L=60$ [m]、平均風速 $v_{\perp}=0.5$ [m/s]、 $\Omega=6\times 10^{-6}$ 、 $f_{sc}=29$ [Hz]とした。次に、受光揺らぎの抑圧手法の性能を見積もるため、移動ステージを用いて検出器を振動させ、受光揺らぎを模擬し実験を行った。受光揺らぎの抑圧率は、検出器を固定した(0Hz)場合の受光揺らぎ成分に対する、0.5[Hz]から2[Hz]まで0.5[Hz]間隔で検出器を振動させた場合の受光揺らぎ成分の比率から求めた。Fig.3にその結果を示し、実線は実験結果に対する最小二乗法による近似曲線を示している。低い周波数領域での抑圧率が高いことがわかる。ここで、Fig.2の受信光強度揺らぎの理論PSDFはFig.3の周波数特性で抑圧されると考えられ、抑圧率を減じるとFig.2の太線になる。また、大気中ガスによる絶対吸収量の変動の理論PSDFは、

$$W_s(f) = 4.38C_{nl}^2 \left(\frac{2\pi}{\lambda} \right)^2 \left(\frac{2\pi f}{v_{\perp}} \right)^{-\frac{8}{3}} \quad (2)$$

で表現される[7]。 C_{nl}^2 は虚屈折率構造パラメータと呼ばれ、吸収物質の濃度の乱れ具合に依存する値である。例として C_{nl}^2 を 10^{-18} と 10^{-17} の場合のPSDFをそれぞれ破線で示す。絶対吸収量は変動周波数に対して-8/3の傾きをもち、測定対象ガスの濃度変動が大きいほどレベルが上昇する。また、測定環境の条件によって異なるが、10Hz以下の低い周波数領域の変動成分は大気中ガスの輸送に寄与する変動であると考えられる[7]。この低い周波数帯のガス吸収量の変動は、本来、受光揺らぎのノイズに埋もてしまうが、揺らぎ成分の抑圧を行うことで、この帯域のノイズレベルを減少させることができるため、ガス濃度変動の情報を得られると考えられる。

6. むすび

受光揺らぎの抑圧性能を確認し、実測定においても、受光揺らぎから、大気中メタンガスの輸送に寄与する濃度変動を測定可能であると予想される。自然環境下で抑圧効果を検証し、濃度変動の低い周波数成分を捉えることができるか検証する予定である。

6. 参考文献

- [1]香川, 周藤, 第57回中支連大, p.5, (2006).
- [2]香川, 福山大学工学部記要, Vol. 22, pp-1-6, (1998)
- [3]周藤, 香川, 第58回中支連大, p.118, (2007).
- [4]M.Sutou, N.Kagawa, SICE Annual Conference 2007 Proceedings, pp397-400, (2007)
- [5]平岡, 香川, 電学論, Vol.117-C, No.11., (1997)
- [6]N.Kagawa, M,Sutou, 2008 IEEE I2MTC Proceedings, pp1243-1248, (2008)
- [7]古賀, 香川, 大気を探る-マイクロからグローバルの大気光学, 研究報告集, 第1号, pp23-31, (1997)

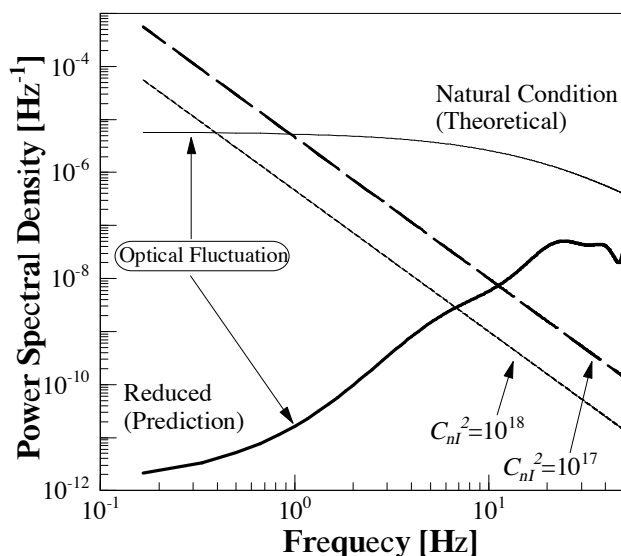


Fig. 2 PSDF of the optical fluctuation and the absolute absorption of gas.

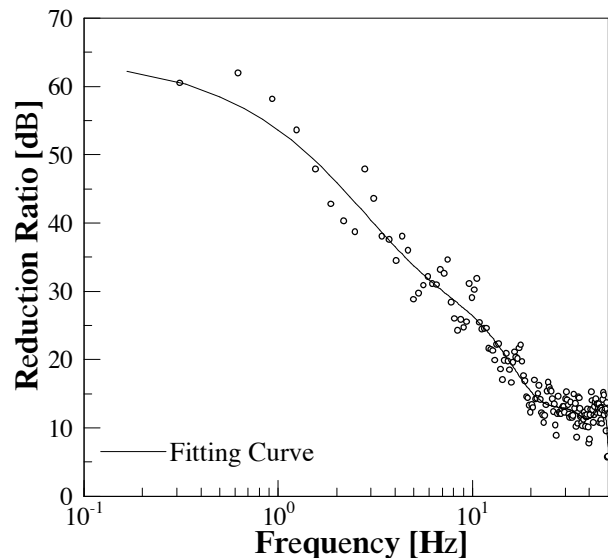


Fig. 3 Reduction ratio of the received power fluctuation against shaking frequency. Solid line shows a fitting curve.