

## 耐シンチレーション性能を有する開放型LASシステムの性能評価

Estimation of Property of an open-air type laser absorption atmospheric gas monitor with ability of reducing the fluctuation of incident optical power

香川直己、周藤正樹

Naoki KAGAWA, Masaki SUTOU

福山大学 工学部 電子・電気工学科

Dept. of Electronic & Electrical Eng., Fukuyama University

**Abstract:** We developed a real-time and open-path atmospheric gas monitoring system with the laser absorption spectrometry (LAS). In the system, deteriorating the measurement accuracy because of the optical fluctuation became problem. So an analog processing unit was constructed and contained into the system to reduce the optical fluctuation. Some experiments were carried out and their results showed us the system had meaningful reliability and accuracy because of good agreement of monitoring results with the absolute humidity. Moreover the system had possibility of detecting the density fluctuation resulting from the gas divergence and diffusing.

## 1. まえがき

レーザ吸収分光分析法(LAS)によるガス濃度計測装置の多くは、多重反射セルを用いたクローズドパス型であるため、空間的なガス分布が一様な場所でのみ測定精度が保障されるが、本測定系はレーザ光線を数十m大気伝播させるオープンパスとしている。これは、ガス濃度の空間平均値の計測を目的としているためであるが、一方で大気擾乱などによる受信光強度揺らぎが精度劣化の原因となる。本稿では受信光強度揺らぎの抑圧アルゴリズムに基づき設計したアナログ演算回路を用い、大気中湿度の変動の計測実験を行ったので、その効果を報告する。

## 2. システム

## 2.1 概要

測定系の概要をFig. 1に示す。光源は水による赤外共鳴吸収を対象とするため、 $1.3\mu\text{m}$ 帯CW-DFB半導体レーザ(NX8304BE-CC)を使用している。レーザ発振の中心波長はレーザモジュールの温度により制御し、吸収線の掃引は鋸歯状駆動電流の100Hzの繰り返しで行う。掃引周波数は大気揺らぎの変動周波数と予想されるシステムの電気的ノイズのトレードオフから設定した。レーザはシングルモード光ファイバ付のモジュールに格納されているため、これを光コネクタ付きコリメートレンズにより直径数ミリメートルの平行ビームに形成し、さらに、ビームエクスパンダにより直径約20mmに拡張し大気に出射する。大気中を透過したプローブ光は受光部の $1.3\mu\text{m}$ に感度中心をもつPD(PD1300F)群で検出される。受信信号は光電圧変換回路で電圧信号に変換されるが、この受光部のPD群はアレイ状に配置しあり、それぞれのPDの出力は加算することで、シンチレーションによる受信光強度変動の軽減を担う。アナログ演算回路は、受信光パワ信号と出射光パワ信号から次節に述べる処理を行い絶対吸収量を算出する。絶対吸収量に相当する電圧信号は量子化したのちコンピュータにて記録と表示を行う。

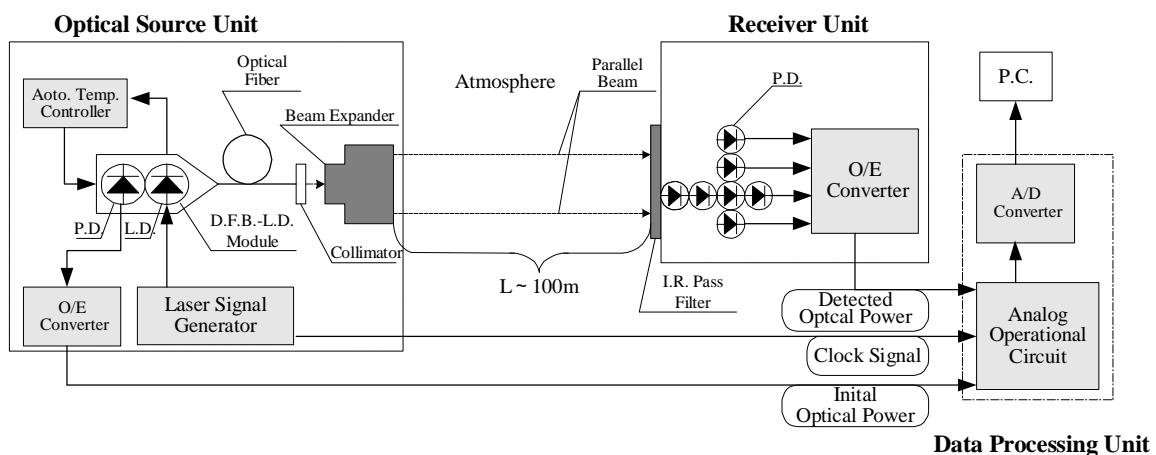


Fig. 1 Schematic diagram of experimental setup.

## 2.2 絶対吸収量の算出

絶対吸収量の算出はLambert-Beerの法則に基づき絶対吸収量  $\chi(\nu)$  を陽とした次式、すなわち、

$$\chi(\nu) = \ln P_o(\nu) - \ln P_r(\nu, t) + \ln \eta(t) \quad \dots (1)$$

を用いた。ここで  $P_r(\nu)$  は受信光パワー、 $\eta(t)$  は受信効率を表し、そして  $P_o(\nu)$  は出射光パワーである。絶対吸収量  $\chi(\nu)$  とガス濃度  $C$  には比例の関係がある。

本システムでは、式(1)の演算を自作のアナログ回路に担わせた。まず対数演算に支障をきたす電気系のオフセット電圧や背景光により生ずるドリフト電圧をサンプルホールドIC(AD585)によって除去する。次に対数アンプ(AD8304)を用いて対数変換する。最後にもう一方の演算系統で対数演算した出射光パワーを減算することで吸収スペクトルを得、これを積分処理することで絶対吸収量を求める。受信光効率  $\eta(t)$  は受信光の変動成分を表すものである。大気揺らぎのカットオフ周波数は数Hz程度であるため、それよりも高い100Hzの掃引周波数(掃引時間10ms)で受信光強度揺らぎもオフセットとみなせる。したがって、これを10msの掃引時間のはじめの5msでサンプルし、続く5msでそのサンプル値を差し引き除く。Fig.2は受信光強度揺らぎ成分とそこから抽出された絶対吸収量の時間変動である。

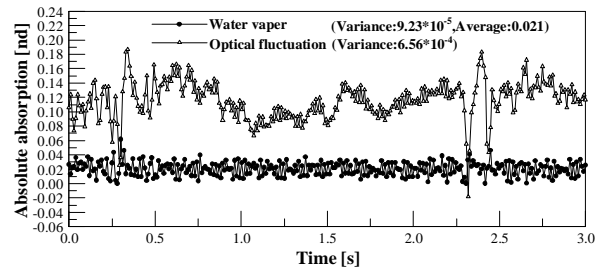


Fig.2 Temporal variations of the optical fluctuation and absolute absorption obtained under the agitated atmospheric condition.

## 3. 大気中水蒸気の測定実験

本測定系を用いて、大気中の水蒸気濃度を計測した。Fig.3は100分間のデジタル湿度計との比較測定の結果である。それぞれ測定値の平均値で規格化した。本測定システムの計測結果の概略はデジタル湿度計のそれとよく一致しているが、加えて、細かな変動を示していることがわかる。これは、湿度の上昇に伴い現れていることから、水蒸気の拡散の様子を計測できていたものと考えられる。

Fig.4は横軸にデジタル湿度計より得た絶対湿度を、縦軸に本システムによる算出結果をとり、その相関性を評価したものである。図中の直線は回帰一次直線である。相関係数は0.98であり、高い相関性を示した。

## 4. むすび

信号のダイナミックレンジを拡大する能力を有したアナログ演算回路を測定系に導入し、大気揺らぎや機械的なドリフトを起因とする受光パワーの揺らぎに対して安定な開放大気型LASシステムの開発を行った。

本測定システムは絶対湿度の計測において高い測定精度を有し、さらにガスの湧き出しと拡散を起因とする濃度揺らぎを検出できる可能性があることがわかった。今後は実環境でのガス濃度計測を行う予定である。

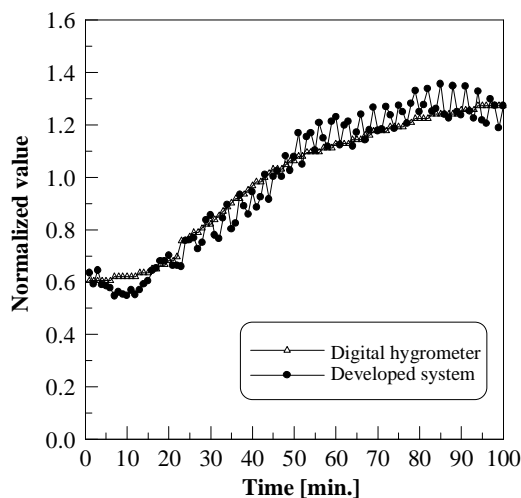


Fig.3 Results of 100-minute monitoring of water vapor with the developed system and the digital hygrometer.

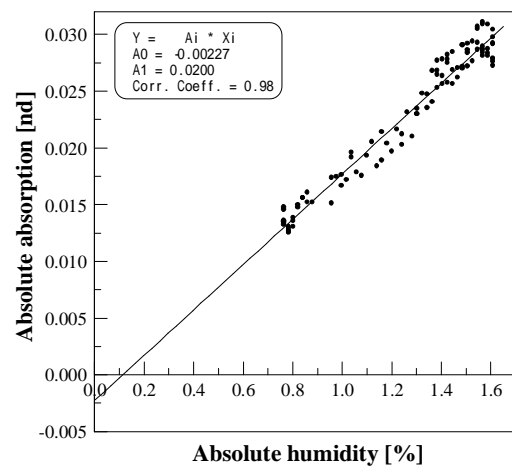


Fig.4 Correlation between the absolute absorption from the developed system and the absolute humidity from the commercial hygrometer.