

古賀隆治 和田修己 小坂 恵 佐野博也*
Ryuji Koga, Osami Wada, Megumi Kosaka and Hiroya Sano*
岡山大学工学部 Faculty of Engineering, Okayama Univ.,
* 福山大学工学部 Faculty of Engineering, Fukuyama Univ.

SYNOPSIS: Is proposed a method to measure atmospheric methane density with temporal resolution of 100 μ s. The method exploit the chirping characteristic of a Pb-salt diode laser with mid-infrared spectral region along with extended analog and digital signal processing techniques. Basic ideas are mentioned.

1. まえがき 筆者らは、鉛塩半導体レーザ (Pb-TDL) を用いた大気中メタン濃度計測の試みを続けている。これまでに、CW方式により計測精度の改善を続けて来たが、最近、大気揺らぎによる限界に到達した。これとは別に、パルス電源でPb-TDLを駆動する時のチャープを利用した実時間分光システムを開発し、燃焼現象の研究に応用した。これを更に大気メタンの動態計測に応用することを検討した。

2. 大気メタン濃度の揺らぎとシンチレーション
図1は筆者らが、試作した Pb-TDL 応用装置 (M8システム) を用いて測定した大気中メタンガス濃度の実測値である。測定の間隔は 4.2 s であるが、それに近い時間幅での濃度値の激しい揺らぎが記録されている。この結果は、M8システムの性能に一部問題があつて定量的には信用できないものであるが、この揺らぎの存在そのものは否定できず、結論を得るためには更に

時間分解能と精度を上げる必要のあることが判る。

中赤外域に於けるメタンの吸収係数は、強い線の代表値で $\alpha = 100 \text{ m}^{-1}$ 程度であり、濃度 $c = 1.7 \text{ ppm}$ を仮定し、実用的に強く、かつ信号処理上都合の良い減衰量 $\tau = 10^{-2}$ を得るためには、光路長 $L = \tau / c \alpha \approx 60 \text{ m}$ となる。しかしこの長さの光路を大気中にとると、大気揺らぎのために、積分時間を十分にとっても単純には精度が上がらないことが知られている。大気中の長光路を透過した光ビームの強度揺らぎ (シンチレーション) を実測し、モデルにフィッティングした例を図2に示す。²⁾ この特徴は、光路長に依存する、ある周波数から急激に揺らぎの強さが減少していることであり、言い替えると十分短い時間の幅でみる限り大気には揺らぎは存在せず、あたかも“凍りついて”いるかのように見えることが想像される。この現象を利用するための方式がここで提案しようとする、高速・繰り返し掃引によ

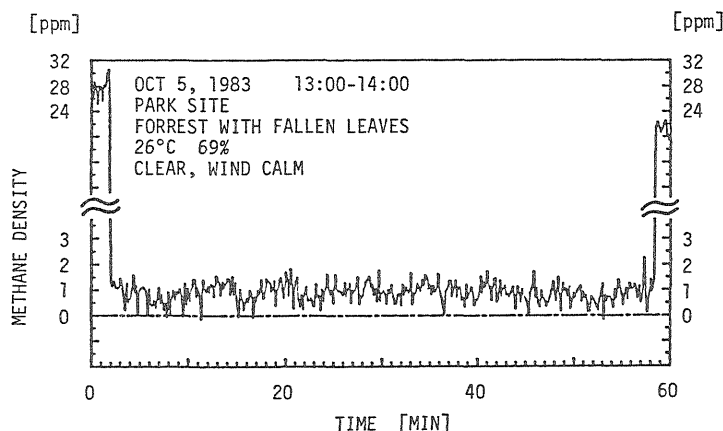


Fig.1 A record of atmospheric methane density in an urban park site.

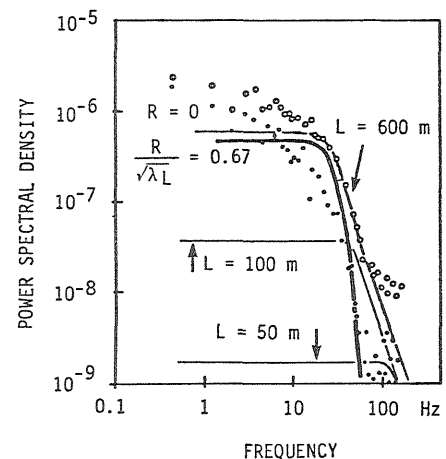


Fig.2 Experimental and theoretical spectra of atmospheric scintillation.²⁾

る分光測定法である。

3. 高速繰り返しスペクトル測定法

鉛塩半導体レーザー(Pb-TDL)を幅 $10\mu\text{s}$ 程度のパルス電流で駆動すると約 2cm^{-1} の幅で一方向にチャープする。これを利用したシステム概念図を図3に示す。レーザーの出力は、一つのパルス出力期間中にも変化するので、これを赤外検出器IRD#1で、測定しようとするガスの標準スペクトルをIRD#2で、 $50\sim 100\text{m}$ の折返し光路を経た信号光強度をIRD#3で検出する。これら3種類の信号の更に対数をとったものを、それぞれ v_1, v_2 および v_3 とすると次のように表わされる。

$$v_1 = \ln P_0(t) / P_N \quad (1)$$

$$v_2 = \ln P_0(t) / P_N - \alpha(t) c_R L_R \quad (2)$$

$$v_3 = \ln \eta + \ln P_0(t) / P_N - \alpha(t) c_X L_X + n \quad (3)$$

但し $\alpha = \alpha(t)$ は対象ガスの吸収係数で、レーザー周波数がチャープする事により、時刻によって変化する。 n は大気揺らぎより遥かに高い周波数成分を持つ雑音である。以上の3種の信号が得られると、筆者らがかねてより開発してきた随伴スペクトル処理によって大気ガス濃度 c_X を各掃引毎に知ることが出来る。この値は、大気の揺らぎに無関係なので、これを更に累算したものは大気揺らぎの影響を受けないことになる。

4. ハードウェアによる実現 この原理を実行するためには、 10MHz のバンド幅を有するアナログ信号処理系と、それに見合う速度のデジタル処理系が必要である。筆者らはかつて自作の実時間デジタル信号処理装置によりこの原理を確認しているが、最近では、超高速A/D変換器、デジタルシグナルプロセッサ(DSP)などの

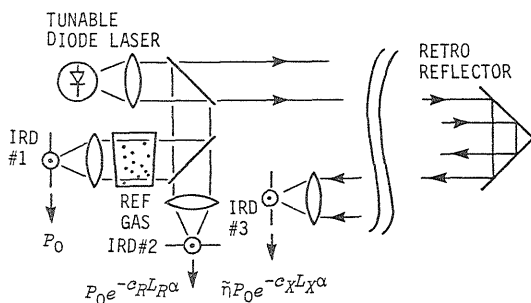


Fig.3 Schematic illustration of long-path spectrometry system for *in situ* atmospheric methane density measurement.

大規模集積回路が開発されており、いっそう高性能のものを製作することが容易である。

前記(1)~(3)式の表現ではいわゆる零次の信号を用いているが、このままではレーザー出力の変動のほうが大気ガスの信号に比べて数桁も大きくて電子信号処理系に要求されるダイナミックレンジが過大となり実現不可能となる。これに対し、二階差分スペクトルを用いるとこの問題が解決されることは、すでにCW駆動方式で経験済みである。しかし、レーザー周波数のチャープを利用したこの方式では、CW駆動方式のように、高調波法を採れないので、トランスバーサルフィルタを用いて直接時間領域で差分をとる必要がある。図4に、試作したものをを用いて大気圧メタンのスペクトルの二階差分を得た例を示す。トランスバーサルフィルタの有限時間応答(FIR)特性から、メタンスペクトルがレーザーパルスの前後縁の信号の影響を受けていないことが示されている。

5. あとがき 上記のように素子に関しては概ね確認を済ませているが、システムとしての動作は信頼性に欠けていて実験を行なうところまで行っていない。現在、市販のデジタル信号記録装置と、パソコンで駆動されるDSPボードを用いたシステムを試作しその動作の検討を行なっている。

参考文献 1)小坂ほか, 第12回レーザーセンシングシンポジウム, G10(1988). 2)A.G.Kjelaas and P.E. Nordal, Appl.Opt. Vol.21 [14] (1982)2481-2488.

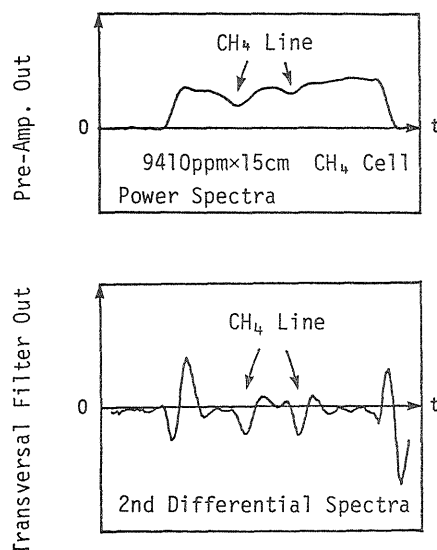


Fig.4 Direct spectrum (upper trace) and a difference of the 2nd order spectrum (lower trace) for the transmitted chirping laser pulse. Methane lines are clearly separated from the leading or trailing edge of the laser pulse.