

平間正幸・小林高郎・稲場文男

M. Hirama, T. Kobayashi, H. Inaba

東北大学電気通信研究所

Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University

1. はじめに

最近、光ファイバの研究開発が急速に進展し可視から近赤外域での光の低損失伝送路の実用化と共に、周辺技術も応用に開発されて来ている。このため、光通信のみならず種々の理化学計測や工業計測へのファイバ応用も活発に進められている。我々はこのような光ファイバ技術のリモートセンシングへの新しい応用の一つとして、大気汚染ガスや危険ガス、鉱道中の爆発ガスなどの流出の遠隔分光計測法を検討して来た。その一つの試みとして前回は可視域レーザーを用いたNO<sub>2</sub>ガスの差分吸収計測について発表した。今回は、さらにこの光ファイバ遠隔計測システムを高感度化するために、微分分光法の採用を検討したので、その装置の構成と動作特性の測定結果を報告する。

2. 微分分光計測法

微分分光法は、測定しようとするスペクトル内の波長を微小に変化させそれに伴う信号出力の変動成分を選択的に測定する原理によるものである。<sup>5),6)</sup>本実験では広いスペクトル光源を用いて、波長変調は受信端で行う方式を採用した。Fig. 1に光ファイバを用いた微分分光計測装置の基本的ブロック図を示す。光源には高輝度タングステンランプ(3500K)を用い、その光を送信用多モードファイバ(コア径50μm,長さ20~500m)中に集光して、気体吸収セルまで伝送する。セル中を透過した光は再び集光され受信用多モードファイバ(コア径50μm)で送信点に戻され、波長変調装置に入る。その出力光を光検出器で検出し、ロックイン増幅器で同期検出する。この1次微分、または2次微分成分によりセル中の分子の吸収量が高感度で測定

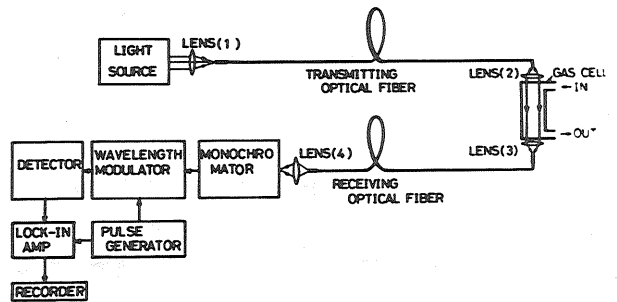


Fig. 1 光ファイバを用いた微分分光吸収遠隔測定装置の基本的ブロック図

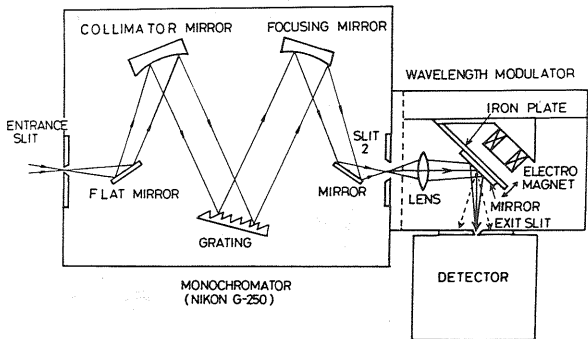


Fig. 2 微分吸収分光のための波長変調装置の基本構成図

され、その濃度が求められる。Fig. 2に微分分光のための波長変調装置の構成図を示す。小型分光器からの出力端に電磁石駆動の反射鏡を取り付け、その角度を周期的に変化させることにより、透過波長の微小変化を実現している。

3. NO<sub>2</sub>およびH<sub>2</sub>Oガスの吸収スペクトル測定

Fig. 3にNO<sub>2</sub>ガスの吸収スペクトル(a)と微分吸収スペクトル(b)の測定結果を示す。光検出器として、S-20光電面の光電子増倍管(HTV

R374)を用い、吸収セル長は  $l = 50\text{cm}$  である。波長変調周波数は  $170\text{Hz}$  であり、波長変調振幅は  $0.4\text{nm}$  であり測定を行った。また、比較のため Fig. 4 に Ar-Laser の二波長 ( $496.5\text{nm}$  および  $514.5\text{nm}$ ) を用いた光ファイバ差分吸収測定システムによる  $\text{NO}_2$  ガスの測定結果を示す。この場合の光路長も  $50\text{cm}$  である。

この両方式の信号対雑音比を同一  $\text{NO}_2$  濃度の条件と比較すると Fig. 3 の微分吸収分光法では 418、Fig. 4 の差分吸収分光法の場合は 83 となり、最小検出可能濃度はそれぞれ  $41(\text{ppm/m})$ 、 $17(\text{ppm/m})$  と評価される。この結果からも微分吸収分光法が感度的に優れていることが分かる。

次に、Fig. 5 に  $\text{H}_2\text{O}$  の (201-000) Band ( $0.94\mu\text{m}$  付近) の吸収スペクトル (a) と微分吸収スペクトル (b) の測定例を示す。ここでは、光検出器は S-1 光電面の光電子増倍管 (R316) を用い温度  $T = 20^\circ\text{C}$ 、相対湿度  $H = 100\%$ 、セル長  $1\text{m}$ 、Column density  $w = 0.020\text{g/cm}^2$  を行った。この測定結果から、最小検出可能密度は  $N_{\text{min}} = 1.8 \times 10^{-3}\text{g/cm}^3$  と見積られる。これより  $T = 20^\circ\text{C}$ 、 $H = 50\%$  の場合の  $\text{H}_2\text{O}$  量 ( $N = 8.7 \times 10^{-3}\text{g/cm}^3$ ) は光路長  $1\text{m}$  で測定可能であることがわかった。

#### 4. 微分分光法の検討と考察

次に微分分光法と二波長差分吸収法の検出感度について検討する。光ファイバを用いた差分吸収法における最小検出可能濃度  $N_{\text{min}}$  は

$$N_{\text{min}} = \frac{1}{\sigma l} \sqrt{\left(\frac{\delta P_r}{P_r}\right)^2 + \left(\frac{\delta P_n}{P_r}\right)^2} \quad (1)$$

となる。ここで  $P_r$  は二波長間での信号電力差、 $\delta P_r$  は光検出器のショット雑音成分、 $\delta P_n$  は光ファイバのモード変換に基づく雑音成分である。二波長での差分吸収法では受信電力が大きい場合  $\delta P_r \ll \delta P_n$  となり、(1)式は

$$N_{\text{min}} = \frac{1}{\sigma l} \frac{\delta P_n}{P_r} \quad (2)$$

と表わされ、光ファイバに起因する雑音成分で  $N_{\text{min}}$  が決定される。

一方、微分分光法では波長変調法を用いることにより、光ファイバのモード変換雑音成分が軽減され  $\delta P_n < \delta P_r$  とすることができ、この

$$N_{\text{min}} = \frac{1}{\sigma l} \frac{\delta P_r}{P_r} \quad (3)$$

となり、(2)式の  $N_{\text{min}}$  よりも小さくすることが可能と考えられる。従って微分分光法を用いるこ

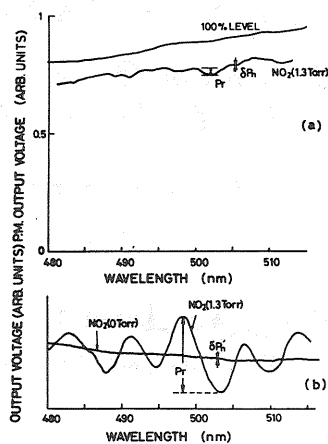


Fig. 3. 光ファイバ測定系を用いた  $\text{NO}_2$  分子の吸収スペクトルの測定結果 (a) 吸収スペクトル (b) 微分吸収スペクトル

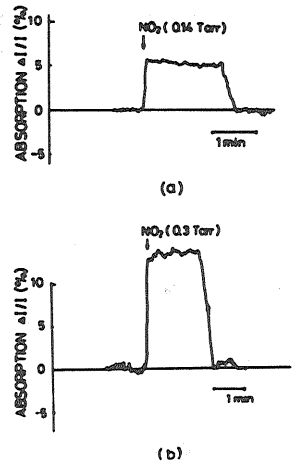


Fig. 4. 二波長 Ar-Laser 光による  $\text{NO}_2$  分子の差分吸収値の測定結果 (a) 光ファイバ長  $20\text{m}$  (b)  $500\text{m}$

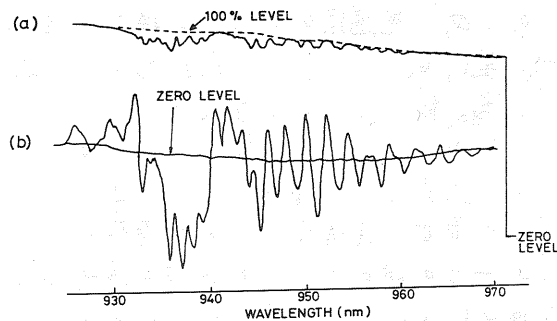


Fig. 5.  $\text{H}_2\text{O}$  分子の (201-000) バンドの吸収スペクトルの測定結果 (a) 吸収スペクトル (b) 微分吸収スペクトル

とにより、光ファイバのモード伝送特性の変動にはほとんど依存しない測定が実現出来る。この結果は、ファイバによる遠隔分光計測を行う際の大きな利点となる。しかし、現在のロングステーションの光源では、測定可能ファイバ長が数  $100\text{m}$  に制限されるが、色素レーザーなどの利用により測定可能距離は数  $\text{km}$  まで延長出来るものと期待される。また、大気中の環境レベルの  $\text{NO}_2$  (約  $20\text{ppb}$ ) の測定にはセル長として  $200\text{m}$  程度が必要であり現在長光路 White Cell を検討する。

4. おわりに  
光ファイバを利用した本実験では、微分分光法を採用して  $\text{NO}_2$  と  $\text{H}_2\text{O}$  分子の測定を行い、 $N_{\text{min}}$  が  $\text{NO}_2$  では約  $41(\text{ppm/m})$ 、 $\text{H}_2\text{O}$  では重量密度約  $1.8\text{g/cm}^3$  が得られた。本システムで色素レーザー等の波長可変レーザーを有効に利用し、長光路セルと組み合わせることによりさらに高感度化が可能であろう。

文献  
1) H. INABA, T. KOBAYASHI, M. HIRAMA, M. HAMZA: Elect. Lett. 15, 749 (1979)  
2) 小村 平岡, M. HAMZA, 雑誌名: 光通信 5, 15 (1979)  
3) 平岡, 小村, M. HAMZA, 雑誌名: 8855 春季応用物理学講演会報告集 4a-p-7 (1980)  
4) 小村, 平岡, M. HAMZA, 雑誌名: 8855 春季応用物理学講演会報告集 4a-p-7 (1980)  
5) D.T. Williams, R.N. Hagen, Jr.: Appl. Opt. 9, 1547 (1970)  
6) G. Bonfiglioli, et. al.: Appl. Opt. 6, 1447 (1967)