

NO₂ Measurement by a Differential Absorption Lidar
using a Simultaneous Two Wavelength Dye Laser
pumped by a Nitrogen Laser

斉藤 保典 藤本 哲知 野村 彰夫 鹿野 哲生
Yasunori SAITO, Tetsunori FUJIMOTO, Akio NOMURA and Tetsuo KANO

信州大学工学部情報工学科

Department of Information Engineering, Faculty of Engineering,
Shinshu University

1.) はじめに

大気中の汚染物質、特にNO₂は光化学スモッグの原因物質の一つとして注目されている。その濃度を測定する手法の一つに、物質の吸収を利用した差分吸収方式レーザーレーダがある。これは物質の吸収スペクトルの極大の波長と極小の波長に同調した二波長のレーザー光を用い物質による吸収量の差から濃度を求めるものである。

我々は、これまでレーザーレーダ用光源として、窒素レーザー励起同時二波長発振色素レーザーの開発を行ってきた。この色素レーザーは、共振器内部に調素子として誘電体多層膜干渉フィルタを二枚使用しており、同一光路上に同時二波長発振が得られる。¹⁾この色素レーザーを用いた長光路差分吸収方式レーザーレーダを構成し、NO₂濃度測定を行な、たので報告する。

2.) 測定原理

長光路差分吸収方式レーザーレーダは、測定対象物質(NO₂)の吸収スペクトルの極大の波長(λ_{on})と極小の波長(λ_{off})に同調された二波長のレーザー光を大気中に射出し、反射体からの二波長の信号比により、反射体までに存在する測定対象物質の平均濃度を求めるものである。

距離Rに対応する受信信号 $P_{\lambda i}$ は次式で表わされる²⁾

$$P_{\lambda i} = \frac{P_{0,\lambda i} \cdot K_{\lambda i} \cdot \beta_{\lambda i}}{R^2} \exp \left[-2 \int_0^R (\alpha_{\lambda i} + \alpha_{\lambda i} N(r)) dr \right] \quad (1)$$

λ_i : λ_{on} , λ_{off}

$P_{0,\lambda i}$: 送信信号

$K_{\lambda i}$: システムの効率

$\beta_{\lambda i}$: 反射体の反射率

$\alpha_{\lambda i}$: 測定対象物質以外の物質の消散係数

$\alpha_{\lambda i}$: 測定対象物質の吸収断面積 $N(r)$: 測定対象物質の濃度

λ_{on} , λ_{off} に対する(1)式の比をとることにより、反射体までの平均濃度が次式で表わされる。

$$\bar{N} = - \frac{1}{2(\alpha_{\lambda_{off}} - \alpha_{\lambda_{on}})R} \ln \left[C \cdot \frac{P_{\lambda_{on}} P_{0,\lambda_{off}}}{P_{0,\lambda_{on}} P_{\lambda_{off}}} \right] \quad (2)$$

$$C = \frac{K_{\lambda_{off}} \cdot \beta_{\lambda_{off}}}{K_{\lambda_{on}} \cdot \beta_{\lambda_{on}}} \exp \left[-2 \int_0^R (\alpha_{\lambda_{off}} - \alpha_{\lambda_{on}}) dr \right]$$

(2)式で表わされるように、平均濃度を求めるには、 $\alpha_{\lambda_{off}} - \alpha_{\lambda_{on}}$ とCの値をあらかじめ知、ておく必要がある。 $\alpha_{\lambda_{off}} - \alpha_{\lambda_{on}}$ は濃度既知のNO₂を封入した吸収セルを用いて、またCはNO₂濃度を0と仮定して実験より求められる。

3) システムの構成およびNO₂濃度測定

測定対象物質にはNO₂を選んだ。光源には誘電体多層膜干渉フィルタ方式の同時二波長発振色素レーザを用いた。このときの発振スペクトルとNO₂の吸収スペクトルの関係を図1に示す。吸収スペクトルの極大($\lambda_{on} = 463.1 \text{ nm}$), 極小($\lambda_{off} = 465.8 \text{ nm}$)に同調されていることがわかる。この光源を利用したレーザレーダの構成を図2に示す。長光路差分吸収方式レーザレーダでは(2)式に示したように送信信号のモニタが必要であるため、ここでは望遠鏡の前に設置した反射体を用いて、距離18mからの反射光と同時にモニタした。その一例を図3に示す。前方の出力が送信信号、後方の出力が反射体からのものである。

実験はNO₂ (913 ppm, 1 atm) を封入した長さ30 cmの吸収セルをレーザ光軸上に置くことにより行なわれた。反射体までの距離は18 mであり、この間に上記セル内のNO₂が一様に分布しているものとするれば濃度は、76 ppm/mとなる。実際の測定では、10~15 ppm/mとなった。この違いは、システムの定数Cの見積り違い、測定がフォトマルの非線形領域に入ってしまった事等の原因が考えられる。これらについては現在検討中である。

4) おわりに

同一光路、同時二波長発振色素レーザを用いたNO₂測定用長光路差分吸収方式レーザレーダシステムを構成し、NO₂の濃度測定の基礎実験を行なった。その結果、実際の濃度の1.3~2.0倍の値となった。その主な原因は、3)で述べたようなことが考えられるため、今後これらの点を明確にし、二波長の同一光路性、同時性を活かした濃度測定を進めていく予定である。

参考文献

- 1) R. M. Schotland, J. Appl. Meteorol. 13, 71 (1974)
- 2) Y. Saito, et al., Appl. Opt. 22, 12 (1982)

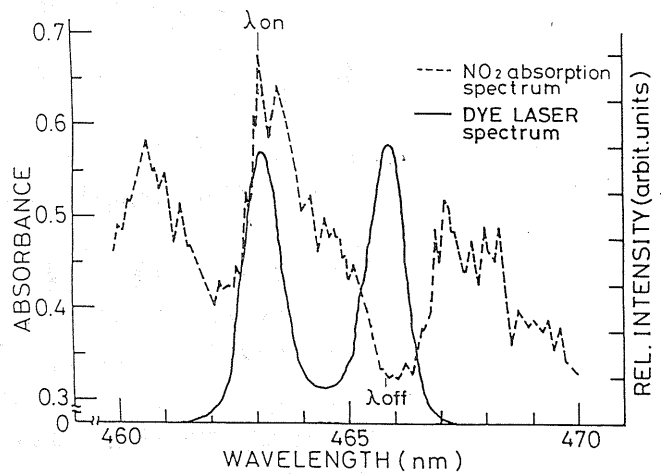


図1 発振スペクトルとNO₂の吸収スペクトル

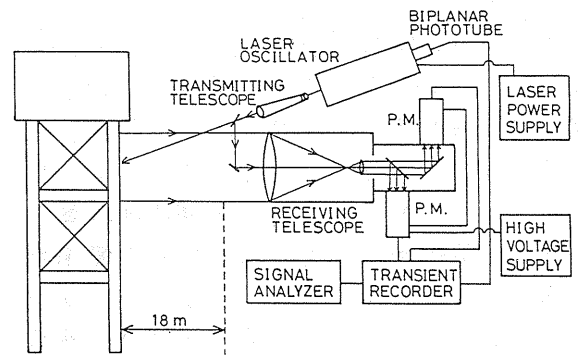


図2 システムの構成図

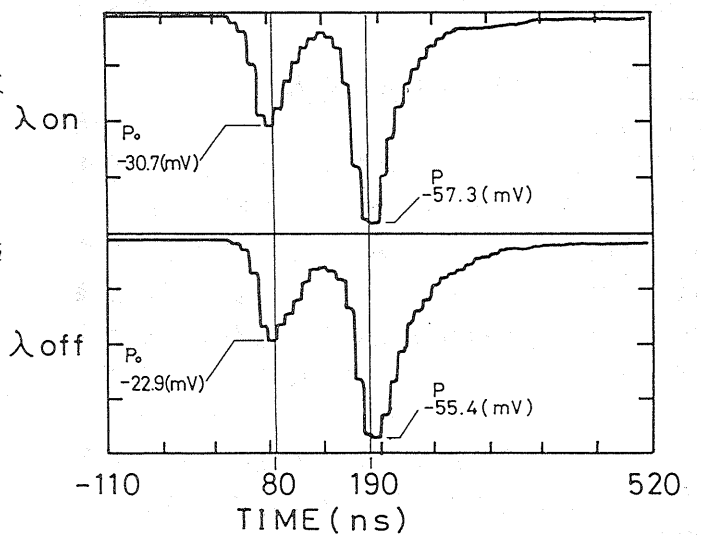


図3 構成したシステムで得られた送信信号