

同時2波長長光路差分吸収方式レーザー・レーダによるNO₂観測
 NO₂ Measurement by a Simultaneous Two-wavelength
 Differential Absorption Laser Radar

斉藤 保典 藤本 哲知 野村 彰夫 鹿野 哲生
 Y. SAITO, T. FUJIMOTO, A. NOMURA and T. 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

人間の生活環境あるいは大気保全という立場からも、NO₂は極めて重要な公害物質の一つである。我々はこれまで、NO₂濃度計測用のレーザー・レーダシステムの開発を行ってきており、その基本特性を実験的および理論的に検討してきた。今回は、開発したシステムにおける各部の特性、及び排煙内NO₂の濃度計測結果について述べる。

2 同時2波長長光路差分吸収方式レーザー・レーダ

レーザー・レーダシステムの構成を図1に、仕様を表1に示す。特徴は差分吸収に必要な2波長を同時に送信、受信していることである。大気変動に由来する測定誤差を極力抑えるには、このような2波長同時動作が望ましい。また長光路吸収方式にすることで、比較的小出力のレーザーでも低濃度における計測が可能となる。

2.1 送信系

光源には窒素レーザー励起同時2波長発振色素レーザーを用いた。同調素子に誘電体多層膜干渉フィルタを用い、2枚組み合わせることにより同時2波長発振を実現した。¹⁾ 時間幅は5nS、スペクトル幅は0.4nmである。レーザー光は、直径15cm、倍率10の送信望遠鏡で1mrad以下の広がりで大気中に放射される。

2.2 受信系

受信望遠鏡は直径50cmのフレネルレンズを用いたケプラー型屈折式望遠鏡である。検出側でも同時2波長動作に対応出来るように、光電子増倍管を2本用意した。2波長はそれぞれ別々

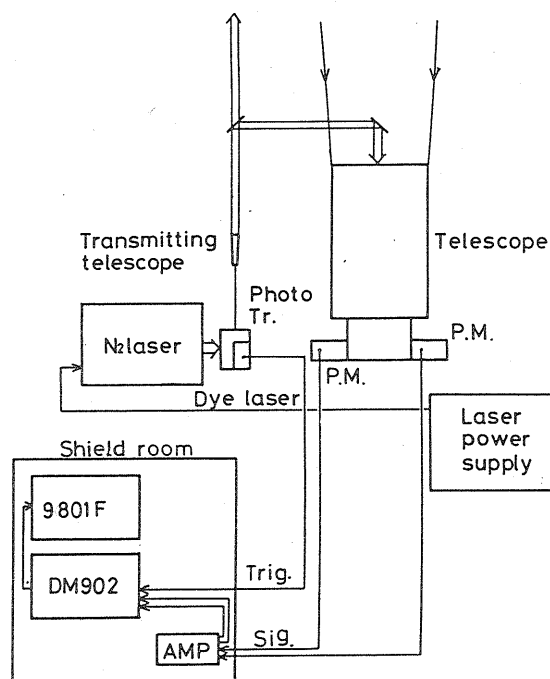


図1 システムの構成図

表1 システムの仕様

Transmitter	N ₂ laser pumped dye laser	
	Output	5.0 kW
	Repetition	10pps
	Wavelength tuning	I.F. filter
	Dye	DAMC (1.0×10 ⁻² mol/l)
	Wavelength	λ on 463.1nm λ off 465.8nm
	Divergence	<< 1mrad
Receiver	Fresnel lens refracting telescope	
	Diameter	0.5 m
	Focal length	0.8 m
	Field of view	1 mrad
	Photomultiplier detector	R376 (HTV)
Processor	Transient recorder - DM 902 (Iwatsu)	
	Min. sampling time	10 ns
	Resolution	8 bit
	μ-COMP. -PC-9801F2 (NEC)	
	RAM	128 kB
	Machine cycle	8MHz

の光電子増倍管で同時に検出される。また光電子増倍管の非線形性を考慮して、入射光量は 2.7×10^{-8} W 以下になるよう受信光学系を設定した。

2.3 信号処理系

受信信号は 10 倍に増幅され、サンプリング時間 10 nS で高速 A/D 変換される。信号解析用にはマイクロコンピュータを使用した。データの取り込みには速さの点で機械語を、処理には BASIC を使用した。また読み込み時において、電圧軸、時間軸の基準点を自動的にチェックし補正することの出来るプログラムを開発した。処理速度は A/D 変換器の書き込み速度により制限されており、1 発の信号 (2 波長の送受信信号) を取り込むのに約 60 mS の時間が必要である。

3 最小検出濃度

図 2 は本システムの最小検出濃度の計算値である。雑音としては光電子増倍管のショットノイズの他に、積算により減少しない雑音 ϵ を考慮した。V は視程、 ρ は建物の反射率、M は積算回数である。吸収断面積の差は吸収セルを用いた際の実測値 $1.3 \times 10^{-23} \text{ m}^2$ を用いた。長光路吸収方式では吸収長を長くすることにより検出感度は良くなるが、受信信号が減少し逆効果ともなる。 ϵ は近距離においては大きな影響を与え、遠距離になるにつれてショットノイズによる値に近づいていく。

4 排煙内 NO₂ の濃度計測

フィールド実験における反射体として約 500 m 離れた建物を選んだ。排煙源は暖房用のボイラで煙突は地上約 30 m の位置にある。図 3 に計測結果の 1 例を示す。煙は断続的 (図中 ↓ 印) に排出されており、風向きの影響で、レーザ光路内を横切ったり煙突付近に漂ったりと激しく変化した。計測結果にもその影響が顕著に表われている。

煙がない場合に比べて標準偏差が大きくなったのは、積算平均 (1000 発) の間に NO₂ の濃度が激しく変化した為である。この事は、排煙内の NO₂ の様に、時間的に激しく変化するものが測定対象である場合には変化の度合とレーザ発振周波数あるいは積算回数との兼ね合いが重要であることを示している。積算回数を増せば良いというものではない。ピーク値としては 237 ppb が得られ、この排煙が 5 m に渡ってレーザ光路内を横切ったものと仮定すると、約 24 ppm の NO₂ が排出されていたことになる。

参考文献

- 1) Y. Saito, T. Teramura, A. Nomura and T. Kano, Appl. Opt. 22, (1983)

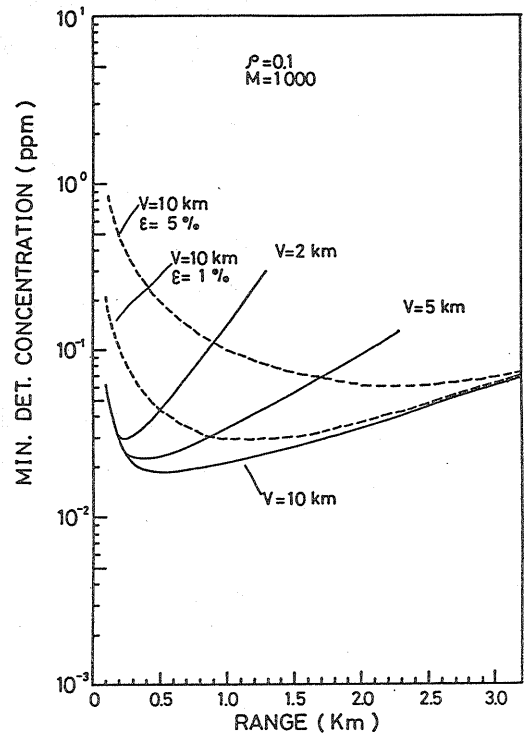


図 2 最小検出濃度の見積もり

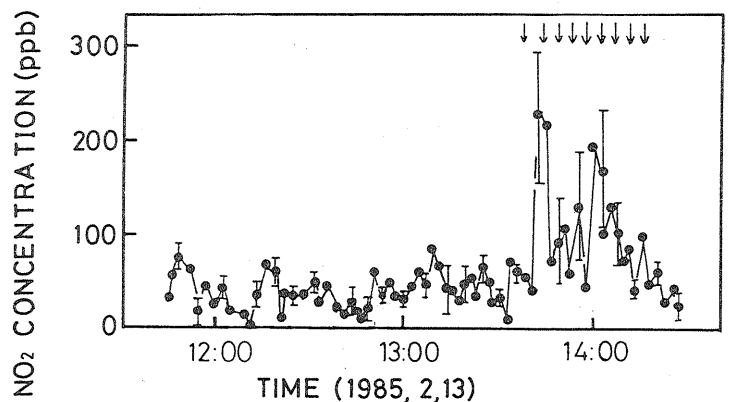


図 3 排煙内 NO₂ 濃度計測例