

4. NO₂ 監視用レーザレータ光源の開発

Development of a Light Source for
NO₂ Monitoring Laser Radar

岸田 俊二, 鷺尾 邦彦,
S. KISHIDA K. WASHIO

竹内 延夫*, 清水 浩*, 奥田 典夫*
N. TAKEUCHI H. SHIMIZU N. OKUDA

日本電気(株) レーザ装置開発本部
NIPPON ELECTRIC CO. LTD.,
LASER EQUIPMENT DEVELOPMENT DIVISION.

*国立公害研究所 大気環境部
NATIONAL INSTITUTE FOR ENVIRONMENTAL STUDIES,
ATMOSPHERIC ENVIRONMENTAL DIVISION.

1. はじめに

大気中の NO₂ 濃度の 3 次元分布実時間測定は, 光化学スモッグの発生メカニズム解明に重要な役割を演ずると期待されている. DASE 方式¹⁾のレーザレータを NO₂ 監視等の公害計測に適用する五十嵐等の試み²⁾や, 海外での実測報告³⁾以来, この方式の測定に適した 4500 Å 付近の 2 波長で発振する高出力色素レーザの開発が望まれていた.

ここでは, 上記の NO₂ 監視用 DASE 方式レーザレータ用の光源として, 現在開発中のフラッシュランプ励起色素レーザの概要も, 波長同調技術や色素劣化対策等の技術的課題に重点をおいて報告する.

2. 開発中の色素レーザの概要

開発に際し主として次の 3 点に注意を払った. (1) DASE 方式の基礎となる送信波長の波長再現性の確保. (2) 1 回の発振でなるべく有意のデータを得るための高出力化. (3) 三次元情報収集能率向上のための色素劣化寿命

の改善。これらの問題点に対し次のように対処した

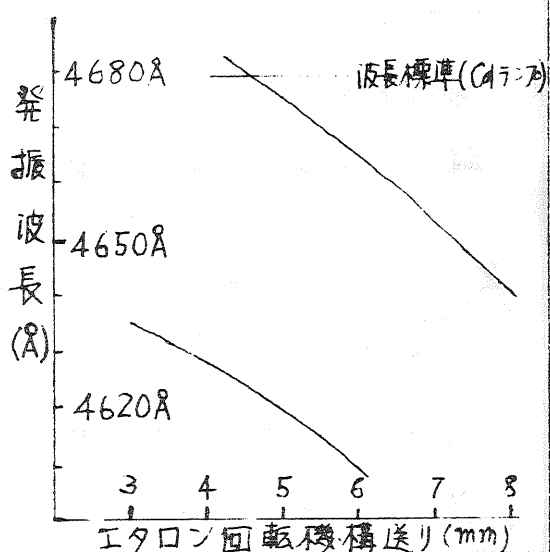
波長再現性に関しては、分散素子にエタロンを用いることにより十分な性能が得られた。高出力化に関しては800J入射可能な同軸ランプを用いて対処した。高入力のためにコンデンサ容量($1\mu\text{F}$)が大きくなり、パルス幅が $0.8\mu\text{s}$ と比較的長くなった。色素寿命に関しては、最近報告された新色素を用いることにより2倍強の改善がなされた。このほか、送信波長はこの新色素の出力最大波長を考慮して決定した。2波長の発振方式としては、同時発振方式も考えられるが、受光部に工夫を要するので、ここでは交互発振方式を採用した。

3. 波長同調技術とスペクトル測定

エタロンを主分散素子として用いた理由は、回折格子やプリズムに比べ光軸に対する傾斜角度の許容範囲が一桁以上大きいため、波長再現性や安定性に優れるほか、高出力時の狭帯域化にも優れた特性を発揮できるためである。フィネスの高い(~ 20)エタロンを用いて、スペクトル幅 $0.5\text{\AA}$ で出力60mJを得た。波長再現性の評価には、 NO_2 濃度の高い分光セルを用いた。透過率変化の大きい波長域に色素レーザー波長を同調固定し、透過率の変動値から逆算したところ、 $0.2\text{\AA}$ 以下という十分な性能を得た。

エタロンの基板には熱膨張の小さい石英を用いて温度安定度を確保し、蒸着膜の材料には光破壊に強い組合せをテストして選んだ。ギャップ間隔 $18.4\mu\text{m}$ のエタロンを用いた場合の同調曲線を図1に示す。この曲線は計算から求めたものと良く一致する。単一波長発振化のため補助分散素子としてプリズムを併用した。

図1. エタロン同調曲線



色素レーザ波長を同調して前記の NO_2 セルの吸収スペクトル測定を行ったところ、図2にほぼ一致するスペクトルを得た。このことは、発振中の色素レーザが十分な単色性もとえていることを示している。

2波長交互発振における波長切換えは、現在手動で行っているが、バックラッシュの極めて少ないステッピングモータとギヤを利用した自動切換機構を開発中である。(エタロン回転角の1ステップ $\sim \frac{30}{60}$ 度 $\rightarrow$ 0.3Åの波長シフトの予定)

4. 高出力化

高入力(800J)同軸ランプを用いたが、ランプ寿命を長くするため入力を200J程度に押えた。溶液循環径は15φであるが、管径いっばいに溶液を流すと均一励起の条件(色素溶液吸収長 $\sim 3 \times$ 溶液管径)から色素濃度が薄くなり過ぎ、入力を押えたことと重なってほとんど発振しなかった。そこで単行利得を増大させるため、二重管構造にして外側を水冷し、6φの内管に溶液を循環させることにより、分散素子を用いない場合に240J入力で800mJの出力を得た。ただしこの構造のために二液の温度差によるレンズ効果が出力を大きく減退させるので、0.5℃以内に温度差を保つ必要があった。

5. 色素劣化対策と発振くり返し速度

劣化対策としては、従来のクマリン1や2よりも低入力の場合に48倍の寿命があると報告された⁴⁾新色素C1H(7-diethyl-amino-Coumarin)を合成し、そのアルコール溶液を用いた。200J程度の入力での実験では、出力半減ショット数が従来より2倍強改善され、約200ショット/ℓとなった。

このほか、ランプ紫外光のフィルタリングも色素寿命を延ばすが、クマリン色素では紫外光も有効に発振に寄与するため、同時に出力が大きく減退してしまい、このようなフィルタリングは現状では不適である。

また、発振くり返し速度は、ランプ管内色素溶液の熱的光学歪で決り、0.2pps以上では出力が減っていく。この歪を小さくするには溶媒として

水を用いることができれば良いはずだが、この新色素CIHは水を加えることにより出力が大きく減退し、また出力を回復させるはずの親水性添加剤(表面活性剤)も、その紫外吸収のため有効ではない。

送信する2つの波長は、この新色素の出力最大波長付近にあるNO₂吸収スペクトルの大きな山と谷に合わせて決めた(図2)。

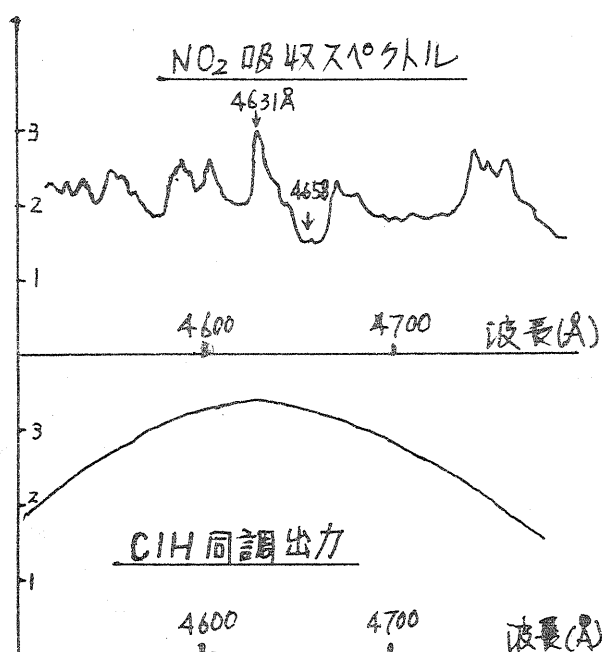


図 2

	現 状	目 標
出力(イロン使用)	60 mJ	100 mJ
パルス幅	800 ns	
くり返し速度	0.2 pps	
発振波長	4631 Å 4658 Å	
スペクトル幅	0.5 Å	1 Å
波長安定度	0.2 Å以下	0.5 Å以下
2波長切換方式 (イロン回転)	手動回転	自動回転
指向性	5 mrad	

表 1

6. 結 べ

こうして得られる色素レーザの性能の現状と目標を表1にまとめる。今後このレーザと高感度の受光部を組合せることにより、1 km 地元の0.1 ppm濃度のNO₂を距離分解能120 mで、S/N比2ならば5ショット、S/N比10なら100ショット程度の測定で可能になると考えられる。また将来は大気変動時間(~1 ms)内に2波長を送信するレーザの開発も考えられる。

【参考文献】

- 1) R.M. Schotland, Proc. of 3rd Int. Symp. of Remote Envir. Sensing (Univ. of Mich.) 1 ('66) 273
- 2) 猪股, 五十嵐, 量エレ研究会資料 QE-70-36 (Dec. '70)
- 3) K.W. Rothe, et. al., Appl. Phys. Lett. 3 ('74) 115
W.B. Grant, et. al., Appl. Phys. Lett. 24 ('74) 550
- 4) E.J. Schimitschek, et. al., Opt. Comm. 16 ('76) 313