

レーザー吸収分光用円筒型多重反射光学セルの研究

An experimental study on a cylindrical multi-reflection cell for laser absorption spectroscopy

殿村匡弘¹, 和家功一¹, 大谷宣嘉¹, 中村高広², 山口滋¹, 遠藤雅守¹,
堀澤秀之¹, 森田貴和¹, 南里憲三¹, 藤岡知夫¹
M. Tonomura¹, K. Wake¹, N. Ohtani¹, T. Nakamura², S. Yamaguchi¹,
M. Endo¹, H. Horisawa¹, T. Morita¹, K. Nanri¹ and T. Fujioka¹

¹東海大学, ²ジャスコオプト株式会社
¹Tokai University, ²JASCO OPT .Inc

*Department of Physics, School of Science, Tokai University, 1117
Kitakaname, Hiratsuka, Kanagawa, 259-1292, Japan
5asnm014@keyaki.cc.u-tokai.ac.jp*

Abstract: This paper discusses the measurement of NO₂ concentration using laser absorption spectroscopy with a new type multi-pass cell “cylindrical multi-pass cell”. This cell has a concept that it can be attached to exhaust ducts. Atmospheric pressure N₂/NO₂ were used as sample gas mixture. NO₂ concentration is determined the quantity from Ar ion laser (488nm) power absorption.

1. はじめに

レーザー吸収分光法は、微量な物質の濃度を精度よく実時間で計測が可能な測定法であり、汚染物質の監視システムなどへの応用が大きく期待されている。この測定法では、光を吸収させる光路長が大きいと光吸収が大きくなるので、小型で光路長の長いマルチパスセルが主に用いられている。しかし、従来型のマルチパスセルはその形状から、排気ダクトなどの計測部位に直接取り付けることが困難で、バイパスなどをして取り付ける必要があった。そこで我々は新しい気体吸収セルとして円筒型マルチパスセルを用いた。このセルは円筒型をしており、直接測定対象部位に装着が容易な構造をしている。また、気体をバイパスした場合、気体の一部を測定するにとどまるが、直接ダクトに取り付けることで、すべての気体がセル内を通り測定されることになる。さらに、従来型のセルに比べ、セルの体積に対してビームの通る領域が大きいという幾何学的にも優れた利点を持っている。このセルを用いて実際にNO₂の測定を行ったので、その結果を報告する。³⁾

2. 実験

Fig.1 は円筒型マルチパスセルの概略である。側面の内側にミラーが取り付けられてあり、入射光は星

型に反射して外に出てくる。ミラー間の直径は160mmとなっており、入射角 θ を変えることで光路長を細かく変更することが可能で、最大約10mに設定できる。

Fig.2 に実験装置の概略を示す。光源には、セル内のミラーがアルミコーティングされており、可視光の反射率が高いことと、NO₂による吸収が大きい⁴⁾ことから、Arイオンレーザーの488nmの波長を使用した。ビームスプリッターにより分割した透過光を、ミラーでセルに導き、出射光を信号光としてバランスディテクター^{5),6)}のSIGチャンネルに集光した。光路長はミラーの反射率と反射回数から、信号光の強度変化が最大となる208cm(パス数13回)とした。一方の反射光は、セルを通さない参照光として、NDフィルターで信号光と同じ強度に減衰させてバランスディテクターのREFチャンネルに集光した。SIGチャンネルとREFチャンネルの光強度の差はバランスディテクター内の減算回路で計算され、出力される。この出力はNO₂による光の吸収量に相当する。これをデジタルマルチメーターで計測し、パーソナルコンピュータでデータを収集した。セルに流すガスは、N₂とNO₂で希釈したNO₂ (5.08ppm)である。2つのガスの流量をフローコントローラで調節しセルに流した。すべての実験は大気圧下で行った。

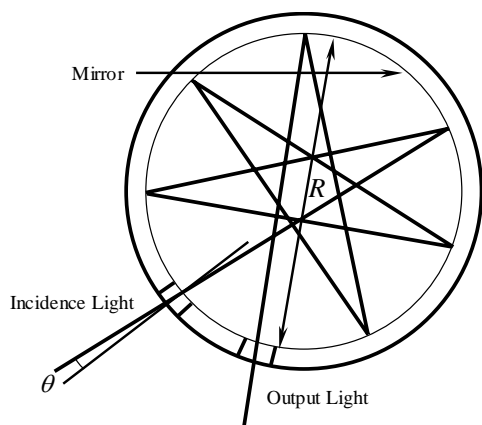


Fig.1 Cylindrical multi pass cell

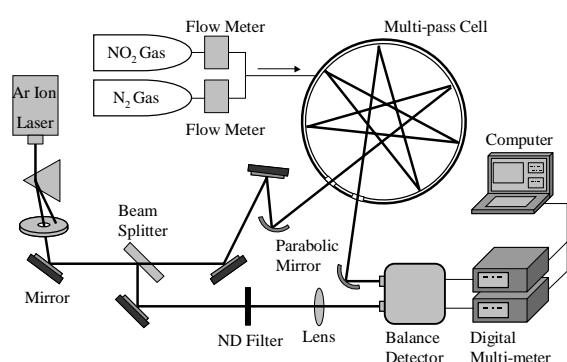


Fig.2 Experimental device outline

3. 結果

Figure.3 はNO₂濃度を変化させたときの光強度の減衰率を表している。各濃度において、測定値は理論値と近い値を得ることが出来た。測定できた最低濃度は $0.42 \pm 0.10 \text{ ppm}$ であり、またS/N比からこの光学測定系での測定限界は 100ppb であるという結果になった。このことから、円筒型マルチパスセルは低濃度の汚染物質の濃度を定量化することが出来、レーザー吸収分光法において有用であることがわかった。

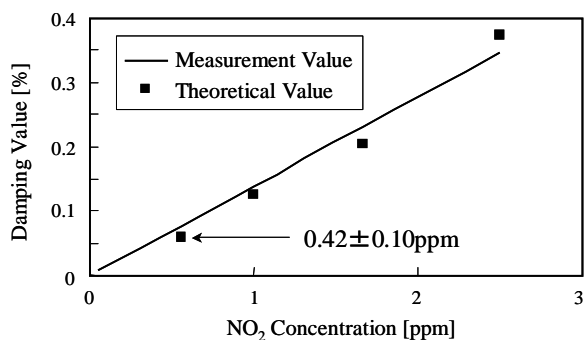


Fig.3 Change of relative intensity

4. まとめ

レーザー吸収分光法を行う際に、より実用的な円筒型マルチパスセルを用いてNO₂濃度の定量化を行うことが出来た。

また、セルが共焦点型ではないため、入射光と出射光のビーム径は保存されないことが確認できた。パス数が 21 回を超えると出射ウィンドウでビームが欠けてしまい、測定精度が低下してしまう。今後はこの問題について解決策を検討していきたいと考えている。

● 参考文献

1. John U. White, "Very long optical paths in air", J. Opt. Soc. Am. **66**, 411-416 (1976)
2. D. Herriott, H. Kogelnik, and R. Kompfner, "Off-axis paths in spherical mirror interferometers", Appl. Opt. **3**, 523-526 (1964)
3. Tetsuo Fukuchi, Takuya Nayuki, Hideto Mori, Naohiko Goto, Takashi Fujii, and Koshichi Nemoto, "Development of a differential optical absorption spectroscopy system using high luminance LED for measurement of NO₂", IEEJ Trans. EIS. **123**, 1382-1386 (2003)
4. W. Schneider, G. K. Moortgat, G. S. Tyndall, and J. P. Burroes, "Absorption cross sections of NO₂ in the uv and visible region (200-700 nm) at 298 K", J. Photochem. Photobiol. A. **40**, 195-217 (1987)
5. David M. Sonnenfroh and Mark G. Allen, "Ultrasensitive, visible tunable diode laser detection of NO₂", Appl. Opt. **35**, 4053-4058 (1996)
6. R. M. Mihalcea, D. S. Baer, and R. K. Hanson, "Tunable diode-laser absorption measurements of NO₂ near 670 and 395 nm", Appl. Opt. **35**, 4059-4046 (1996)