

CO₂ レーザ用中空ファイバの長光路吸収計測の基礎実験

Experimental Study of Long-Path Monitoring Using Hollow-Core Fiber for CO₂ Laser

斎藤 保典 金谷 達憲 野村 彰夫 鹿野 哲生

Y. SAITO T. KANAYA A. NOMURA 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

工業加工用、医療用などにおける CO₂ レーザの需要の高まりと共に、その伝送用ファイバの開発が進められている。我々は、その中でも特に中空コア部を有するファイバ（導波路）¹⁾²⁾に着目し、中空ファイバを使った長光路吸収計測システムを提案し研究してきた。今回は、二波長差分吸収法を用いた場合の理論的考察ならびに基礎実験の結果について報告する。

2. 特徴および測定原理

表1に使用する中空ファイバの仕様を示す。本システムの特徴としては、1) 中空コア部に測定気体を導入し長光路吸収セルとする、2) 吸収セル自体が信号伝送路となる、3) 多重関節ミラー型のような、めんどろなアライメントを要しない、4) 軽量である、等があげられる。

表1 誘電体内装中空ファイバの仕様

誘電体	ゲルマニウム (Ge), 厚さ (~0.5 μm)	
金属	ニッケル (Ni), 厚さ (~200 μm)	
長さ	1m	
内径	1.5mm	
損失	10.61 μm	0.68 dB/m (実験値)
		0.03 dB/m (理論値)

二波長差分法を使う事で、測定対象気体以外の不確定要素による影響をキャンセルする事が出来る。二波長差分法を用いた場合、気体濃度は次式で示される。

$$\bar{N} = \frac{1}{L(\alpha_{on} - \alpha_{off})} \ln \left(\frac{P_{o,off} P_{i,on} T_{on}}{P_{o,on} P_{i,off} T_{off}} \right)$$

\bar{N} は気体濃度、 L はファイバの長さ、 α は吸収係数 T はファイバの透過率、 P_i 、 P_o は入出力レーザーパワーをそれぞれ表わしている。また、添字 on 、 off はそれぞれ吸収の極大、極小波長を表わす。10.61 μm 付近に吸収があり、近接二波長で吸収係数

が大きく異なる気体には NH₃、CF₂C1₂、O₃ 等がある。今回は、測定対象気体として NH₃ を選んだ。NH₃ は悪臭防止法で環境濃度が決められており、作業環境ならびに公害面からも微量 NH₃ の測定に対する要求が増大している気体であり、その測定意義は大きい。

3. NH₃ 吸収係数測定

気体濃度を求めるには、測定気体 (NH₃) の吸収係数を求めておく必要がある。そこでまず吸収セル (108 mm) を用いて、NH₃ の吸収係数を求める

実験を行った。

結果を図1に

示す。これよ

り、二波長に

は吸収極大波

長としては、

10.719 μm 極

小波長として

は 10.697

μm を用い

れば良い事が

わかる。また、

吸収係数の差

としては、

1250

(atm·m)⁻¹ が

得られた。

4. 最小検出濃度

誤差要因として検出器の量子雑音及び、システムに含まれる測定の際の誤差 ϵ_{on} 、 ϵ_{off} を考慮すると、最小検出濃度は次式で示される。

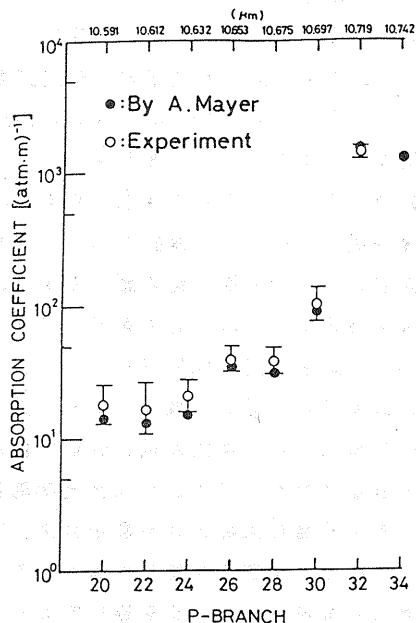


図1 NH₃の吸収係数 (A. Mayerの実験との比較)³⁾

$$\bar{N}_{\min} = \frac{1}{L(\alpha_{\text{on}} - \alpha_{\text{off}})} \left(\frac{S}{N} \right)_{\min} \left(\frac{\text{NEP}^2 2B}{P_{\text{on}}} + \epsilon_{\text{on}}^2 + \epsilon_{\text{off}}^2 \right)^{1/2}$$

計算結果を図2に示す。計算に使用した値は次の通りである。NEP=3.3×10¹⁰W/√Hz、B(測定系の帯域幅)=1Hz、S/N=1、α_{on}=1350、α_{off}=100(atm·m)⁻¹、ON、OFF波長でのファイバの損失は、1.48、1.08dB/m、P_{in}=0.5W。但し吸収係数、ファイバの伝送損失は測定値を使用した。ファイ

ファイバの長さは現実的な値として、2mまでを考えた。誤差0.1%とすると、2mで最小検出濃度は1ppmである。信号処理(積算等)を考慮すると多少良くなると思われる。

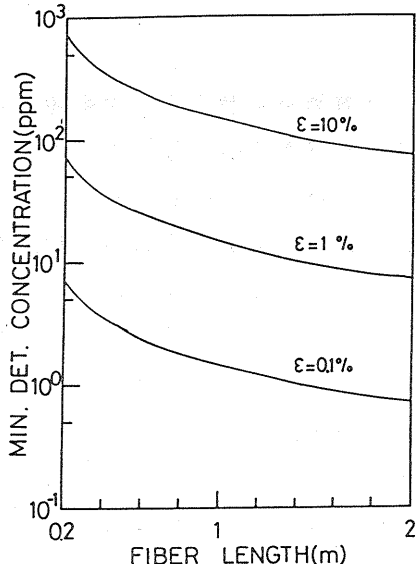


図2 最小検出濃度

5. 中空ファイバを用いた気体濃度測定

気体濃度測定システムの構成を図3に示す。中空ファイバに導入されたNH₃の濃度は、導入側と排出側に用意された、2個のシリコンオイルマノメータの圧力より測定された。NH₃はフローさせて測定実験を行った。結果を図4に示す。

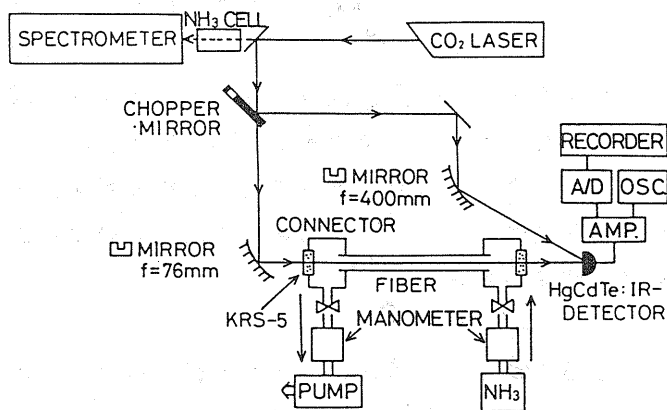


図3 気体濃度測定システム

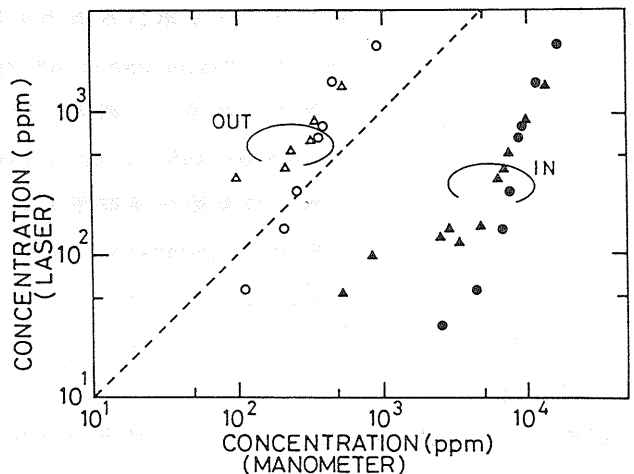


図4. 気体濃度測定実験結果
(▲●IN:導入側、△○OUT:排出側)

特に導入側では1~2桁程の差がみられる。これは、ファイバの内径1.5mmに対し、導入側配管の径が大きく、導入側でNH₃が充満しているためと思われる。排出側では比較的理論値(破線)に近い値を示しているが、まだ数倍程度の差がみられる。現システムでは、圧力測定用マノメータの最小読みが約100ppmに相当しており、この部分での誤差が大きいものと考えられる。実験的な最小検出濃度を調べるには、ガス導入システムの改善が必要である。また、ファイバ内の気体濃度の正確な値を把握する事も今後の課題の一つである。

6. おわりに

中空ファイバの長光路吸収計測への応用について理論的考察及び、基礎実験を行った。その結果、当システムを用いて気体濃度計測が可能である事が確められた。今後は、ガス導入システムの改善を計り、実験的な最小検出濃度を調べていく予定である。

謝辞 中空ファイバの使用に当り、便宜を計って頂いている、東北大学通研西田研究室、宮城光信助教授、電総研日高建彦氏に感謝いたします。

参考文献

- 1) 宮城 他 信学技報 OQE82-120, (1983)
- 2) 日高 他 J. Appl. Phys. 53, (1982)
- 3) A. Mayer et al., Appl. Opt. 17, (1978)