

CO₂レーザーによる大気微量分子の長光路吸収計測法

Long-Path Absorption Method of Atmospheric Trace Molecules Using CO₂ laser

石田 晃三 入井 広一 植木 雅敬 小林 喬郎
 K. Ishida K. Irii M. Ueki T. Kobayashi

福井大学 工学部
 Faculty of Engineering, Fukui Univ.

A high sensitive, long-path differential absorption system is developed to measure the concentration of freon-12, ozone and other atmospheric trace molecules. The two channel differential absorption method is used to reduce intense interference molecular noise.

1. はじめに

近年、大気汚染物質のフロン-12(CFC-12)によるオゾン層破壊が生じており、この問題を解明するためには、大気微量分子濃度の精確な測定が必要となっている。これらの測定法としては、ポイントサンプリングによる化学的方式、DIAL方式、長光路吸収方式 などがある。

我々は、実時間で高感度特性が期待できる長光路差分吸収方式を用いた分光システムの開発を行っており、フロンおよびオゾン分子濃度測定法の検討¹⁾や吸収係数測定の実験を行っているので、それらの結果を報告する。

2. 長光路吸収分光システム

差分吸収法は、測定分子の共鳴吸収波長 λ_1 と、近接する非共鳴波長 λ_2 の2波長を用いて微量分子濃度を測定する方法であり、実験システムの構成図を Fig. 1 に示す。光源として 9~10 μ m帯で多数(77本)のブランチで発振可能な導波路型CO₂レーザーを試作した。2台のCO₂レーザーから出た2波長のレーザー光は、参照光と送信光に分けられる。参照光は、送信パワー制御用のモニター信号となる。送信光は、ビームエキスパンダーにより15倍に拡大されて大気中を伝搬し、大気の吸収を受ける。送信地点より200mの距離に設置したコーナリフレクタにより反射され、HgCdTe 光検出器で受光される。レーザー光は、チョッパーにより10KHzで高速変調され、大気の変動などの外乱の影響が除去される。

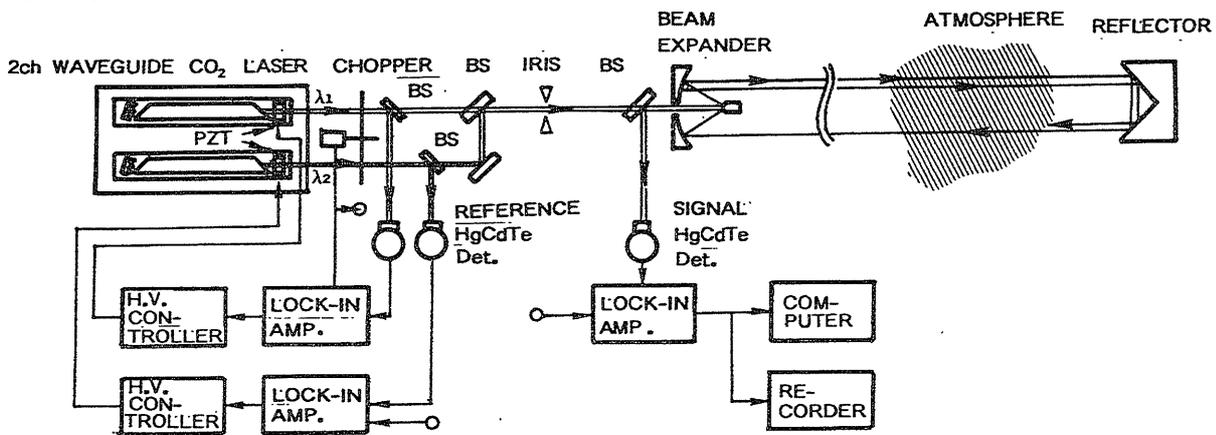


Fig.1 Block diagram of the long-path differential absorption spectrometer.

3. 大気微量分子の吸収係数の測定

試作したレーザーを用いてフロン-12(CFC-12)の吸収係数の測定を行い、その結果を Fig.2に示した。実際の大気中においては、測定対象分子以外の分子が存在するため、これらの成分の補正が必要である。そこで、フロン分子と干渉分子(CO₂、H₂O)の吸収係数を Fig.3に示す。²⁾この干渉成分を補正する式は、

$$N = \{1 / (\Delta \alpha L)\} \cdot (\Delta P_r / P_r) - \sum (\Delta \alpha_i N_i) / \Delta \alpha \quad \dots(1)$$

となる。ここで $\Delta \alpha$ はフロンの差分吸収係数、 L は光路長、 ΔP_r は信号パワーの差分値、 P_r は信号パワー、 $\Delta \alpha_i$ は干渉分子の差分吸収係数、 N_i は干渉分子 i の濃度である。Table.1にCO₂と水蒸気による干渉の補正量を示す。CO₂による干渉成分は、濃度が一定(330ppm)であり、また、隣接ブランチによる差分吸収係数は $1 \sim 3 \times 10^{-4}$ (atm⁻¹ cm⁻¹) である。また、水蒸気の場合、干渉成分は、湿度と温度によって大きく変化する。

差分吸収法を用いた時のフロンおよびオゾンの最小検出濃度の計算値はFig.4の様になる。ここで、測定ブランチはフロン-12の場合10P(42)と(40)、オゾンの場合9P(26)と(24)である。現在までの実験結果では、レーザー出力変動による吸収測定誤差 ϵ が、 2×10^{-3} であるから、オゾンの場合 数10m、フロン-12の場合 1kmの光路長が必要となる。光路長を短くするために、送信パワーバランス制御回路の高精度化などにより、レーザー出力変動による誤差 ϵ を軽減することを試みている。

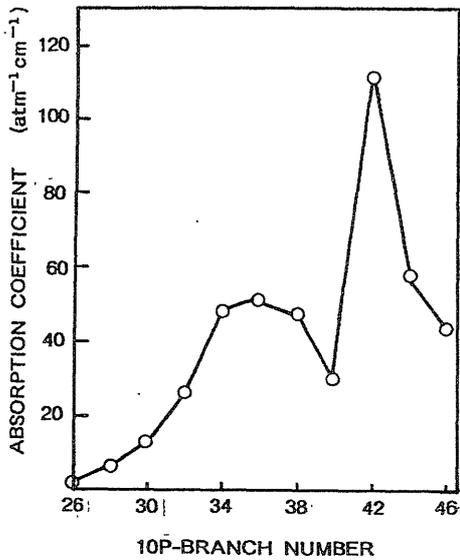


Fig.2 Experimental results of freon-12 absorption coefficients

Table 1 大気分子の干渉成分

干渉分子	CO ₂		H ₂ O	
ガス濃度	330ppm		17.1Torr	0.23Torr
補正量 (atm)	1.0×10 ⁻⁹		1.37×10 ⁻⁷	2.0×10 ⁻⁹

4. 2チャンネル差分吸収法の検討

我々は、Fig.1のシステム構成において、差分吸収法の2チャンネル化により干渉成分を補正することを試みている。各CO₂レーザの共振器長をPZTで変化させることにより2波長交互発振を行う。また、同時に2波長のパワーバランスの制御も行う。これにより、一方のレーザ(1)を測定分子の共鳴波長 λ_1 と非共鳴波長に λ_1' で交互発振させ、これにより測定分子濃度 N_m を求める。他方のレーザ(2)を干渉分子の波長 λ_2, λ_2' にし、 N_m から干渉成分を補正する。この方法により、測定大気微量分子濃度が高精度で求められる。

5. あとがき

現在、試作したCO₂レーザを用いて、フロン-12の吸収係数測定などの基礎的実験を行い、長光路差分吸収法の実験を進めている。同時に、干渉成分の影響を考察し、その解決法として、2チャンネル差分吸収法についても検討した。今後、2チャンネル差分吸収法を用いて実際の大気での、複数の微量分子濃度の高感度測定を試みたい。

=参考文献=

- 1) 大垣龍男他 ; "大気微量分子の高感度吸収計測法", 第12回レーザーシンポジウム予稿集, pp.115-116 (1988)
- 2) J.S.Ryan, M.H.Hubert : Appl.Opt., 22, pp.711-717 (1983).

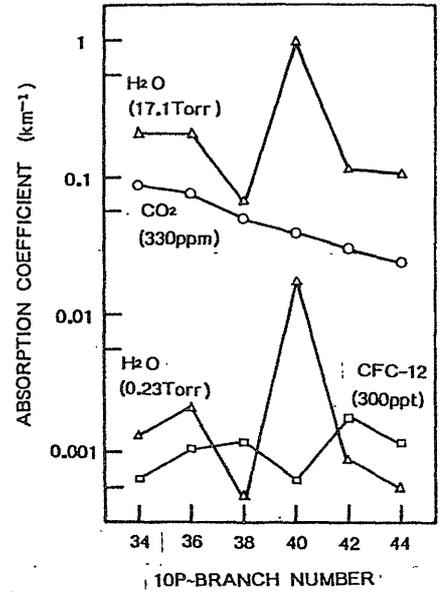


Fig.3 Absorption coefficient of freon-12 molecules and interference molecules H₂O and CO₂ in urban atmosphere.

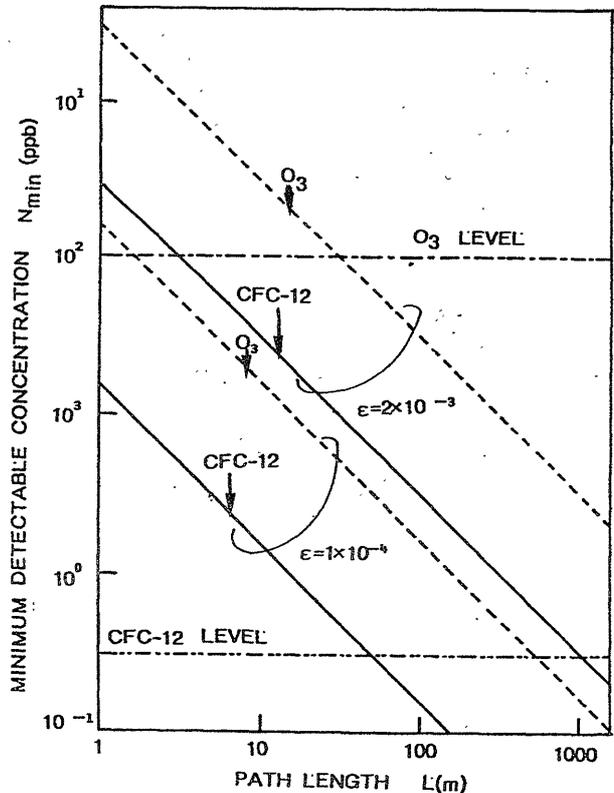


Fig.4 Estimation of minimum detectable concentration of freon-12 and ozone as a function of a path-length