

CO₂レーザを用いる大気汚染分子の遠隔差分吸収測定法の高感度化

High Sensitive Remote Differential Absorption Scheme For Monitoring Air Pollution Molecules Using A CO₂ Laser

Mostafa Hamza · 小林 高郎 · 稲場 文男
M. Hamza, T. Kobayasi, H. Inaba

東北大学電気通信研究所

Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University

1. はじめに

赤外域レーザを利用して差分吸収法による大気中の種々の微量分子の濃度の遠隔計測が各地で試みられて来た。一般に差分吸収法の感度は光路長を大きく取れば増大するため、通常数100m~数kmの長光路が採用されている。しかしながら、この様な長光路は実用上不便であるだけでなく大気のシンチレーションにより必ずしも感度が向上しない場合が多い。我々はこの様な長光路を用いなくても充分な検出感度を得ることを目指して、2波長レーザ出力を等しくして送信する Zero-balance 法により差分吸収装置の高精度・高感度化が得られたので、その基本原理と動作の概要を報告したい。

2. 装置の構成と動作特性

Fig. 1 に Zero-balance 方式 CO₂レーザ差分吸収測定装置のブロック図を示す。2台の波長選択可能なCO₂レーザを用い、分子の最大吸収波長 λ_1 と最小吸収波長 λ_2 をそれぞれ発振させる。デュッパが両出力を交互に取り出し同一光軸に合わせ、Telescope(5X)を通して遠方の反射鏡に照射する。反射光は鏡で集められ、Pyro検出器で検出され、P.S.D. 出力を計算機に入れ、参照強度で割算されてレコーダに出力が記録される。従来の差分吸収測定法は、波長 λ_1, λ_2 の送信出力 P_{t1}, P_{t2} と受信光入力 P_{r1}, P_{r2} を独立に測定して途中の光路中の差分吸収量を求めたのであった。これに対して本方式では送信出力を $P_{t1} = P_{t2}$ と等しくして送り出し、受信光入力の差分値 $\Delta P = (P_{r2} - P_{r1})$ をP.S.D.で取出すものである。これは、出力の一部をHgCdTe

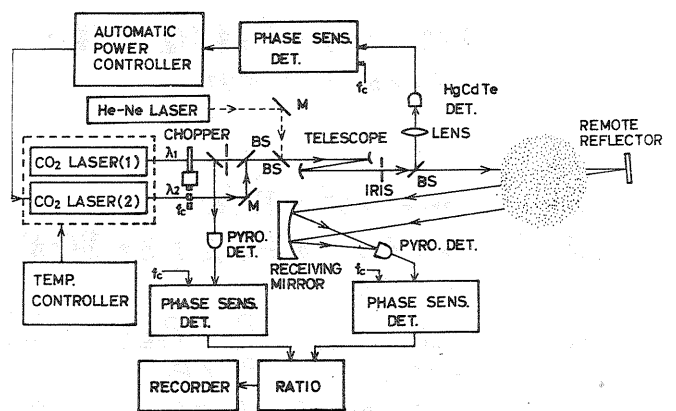


Fig. 1 Zero-balance 方式 CO₂レーザ差分吸収測定装置

とP.S.D.で検出し、自動制御(Automatic Power Control)回路を通してレーザ(2)の電流を制御することによって実現されている。

Fig. 2 (a) は本装置の基本的動作を示したもので、APCによる ΔP の変動、すなわち測定誤差の改善が得られていることが分る。この場合の反射鏡は室内の近距離に置いている。また(b)はエチレン分子をセルに封入した場合の吸収測定の実例である。

また、Fig. 3は20mの位置に反射鏡を置き、長さ70cmのパイプ中にモータバイクの排気ガスを流して測定したエチレン分子の吸収と濃度の測定結果を示す。バイクの点火時と高濃度運転時にHydro-Carbonを代表するエチレン分子濃度が高くなることが分った。

この実験における本装置の検出誤差 $\epsilon = 0.1 \sim 0.4\%$ が得られ、従来の方式よりも高精度で高感度化することが分った。

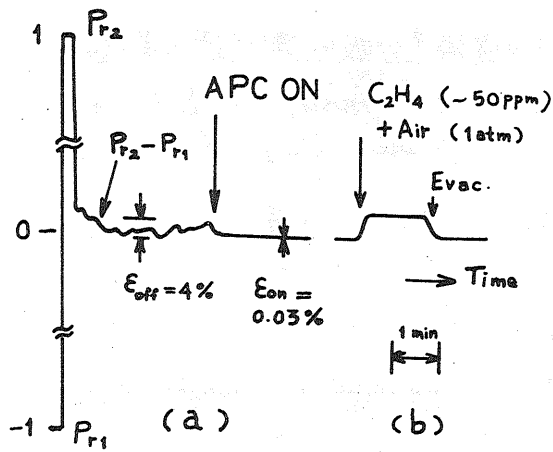


Fig. 2 (a) APC による受信電力差値 ΔP の変化
(b) エチレンガスによる吸収

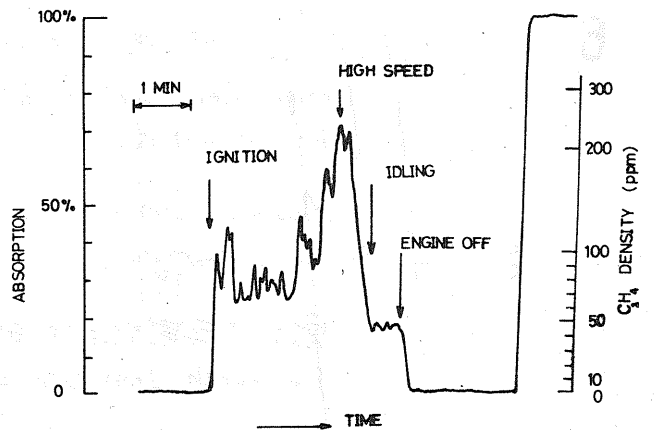


Fig. 3 オートバイ排気中のエチレン濃度測定結果

3. Zero-balance 方式の特徴

従来、差分吸収法での分子密度は次の関係式により求められる。

$$N = \frac{1}{2\Delta\sigma L} \ln \left\{ \frac{P_{r2}/P_{t2}}{P_{r1}/P_{t1}} \right\} \quad \dots(1)$$

ここで、 $\Delta\sigma$ は吸収断面積の差分値、 L は反射鏡の距離である。この際の最小検出可能分子密度は

$$N_{\min} = \frac{1}{2\Delta\sigma L} \left\{ \frac{NEP(S/N)\sqrt{B}}{P_t K} + \delta_{\text{sint}} \right\} \quad \dots(2)$$

で与えられる。ここで、 NEP は検出器の等価雑音電力、 B は帯域幅、 K は光学系効率、 δ_{sint} は大気シンチレーションによる誤差である。

一方、我々の Zero-balance 方式では

$$P_{t1} = P_{t2} = P_t \quad \dots(3)$$

の条件と、 $2N\Delta\sigma L \ll 1$ の領域で (1) 式を展形して次式を用いる。

$$N = \frac{1}{2\Delta\sigma L} \cdot \frac{\Delta P}{P_{r1}} \quad \dots(4)$$

ここで、 $\Delta P = (P_{r2} - P_{r1})$ 、 N_{\min} の式は、

$$N_{\min} = \frac{1}{2\Delta\sigma L} \left\{ \frac{NEP(S/N)\sqrt{B}}{P_t K} + \delta'_{\text{sint}} \right\} \quad \dots(5)$$

となる。ここで、 δ'_{sint} は上と同じくシンチレーションによる誤差であるが、早いサイクルの周波数で差分 ΔP を求めるとシンチレーションの主要成分が相殺されるため $\delta'_{\text{sint}} \ll \delta_{\text{sint}}$ となるのが本方式の才 1 の特徴である。

また、測定パラメータが従来 4 個であるのに対し、ここでは ΔP と P_{r1} の 2 個であるため誤差が小さくなる。さらに実用上、コンピュータ処理などを必要としない Analog 方式で装置が簡単なことも利点である。ただし、(3) 式を満たすための APC 回路を付加しなければならぬ点も多少不利であろう。

4. 結び

Zero-balance 方式の差分吸収法は従来の方法に比べて容易に高精変化が可能になった。現在、さらに高精度・高感変化へと装置の改善を試みている。

さらに光路長を 60m 程度にして大気中のエチレンの測定、 O_3 や NH_3 、 CO_2 、 H_2O 等の他の分子成分の測定も検討中である。

また、本方式では装置全体の小型化も可能となるため広い応用分野が期待できる。