

8. DASE レーザ・レーダの測定精度に対する レーザ・パルス波形状の影響

Influence of the Waveform of the Laser Pulse on the Accuracy of DASE Laser Radar

伊 東 克 能

Katsuyoshi Ito

三菱電機(株) 鎌倉製作所

Mitsubishi Electric Corp. Kamakura Works

1. ま え が き

DASE レーザ・レーダの測定範囲の拡大に最も有効なのは光源の出力増大である。DASE レーザ・レーダの光源としては波長同調の必要から色素レーザが一部の例外を除いて使用されている。色素レーザ出力はレーザポンピングよりフラッシュランプポンピングの方が一般に大きく装置も簡単で安価である。しかし、フラッシュランプポンプ色素レーザのパルス幅はDASE レーザ・レーダの距離分解能に対応する光の伝播時間と同程度であり、パルス幅、パルス波形状が測定精度に与える影響は無視できないと予想される。ここでは、 NO_2 , SO_2 の大気中における濃度分布をDASE方式で測定するとき、使用するレーザ・パルスの波形状と測定誤差との関係について検討する。

2. 理 論

今、大気中に被測定ガスとミ-散乱粒子とが一樣に分布しているとする。
そこで波形状が $P_{\text{ai}}^k(\omega, t)$ で表わされる波長 λ_k のレーザ・パルスを照射

する。距離 x の地点よりの散乱光強度 $P_{ri}^k(w, x)$ をレーザ・パルスつピークが送出された時刻より $2x/c$ (c : 光速) 後に受信される受信光強度とすると, $P_{ri}^k(w, x)$ は次式で与えられる。

$$P_{ri}^k(w, x) = \int_{x-w+p}^{x+p} P_{oi}^k(w, x-x') \exp(-2\alpha_i x') dx' / x'^2 \quad (1)$$

ここで、時間と距離とは波長 λ_i のレーザ・パルスの全幅でおよび $ct/2$ でそれぞれ規格化されている。また、 p はレーザ・パルスの立ち上がりよりピークまでの時間、 α_i は波長 λ_i における被測定ガスの吸収と他の原因による大気の減衰係数 α_{air} との和で次式で与えられる。

$$\alpha_i = (N\sigma_i + \alpha_{air})ct/2 \quad (2)$$

ここで、 N は被測定ガスの濃度、 σ_i は波長 λ_i における吸収断面積である。

距離 x から $x+\Delta$ の範囲の被検出ガス濃度の平均をレーザ・レーダによる測定値と式(2)で仮定した濃度 N との比 $N_{RW}(x, x+\Delta)$ は次式で与えられ、その値が1に近いほど測定精度は高い。

$$N_{RW}(x, x+\Delta) = \frac{\ln[P_{r1}^k(1, x) \cdot P_{r2}^k(w, x+\Delta) / P_{r1}^k(1, x+\Delta) \cdot P_{r2}^k(w, x)]}{(\alpha_1 - \alpha_2)\Delta} \quad (3)$$

3. 検 討

レーザ・パルス波形としてつぎの3種を考える。その波形を図1に示す。

$$P_{oi}^1(w, t) = \pi \sin \pi (t/w + 1/2) / 2w \quad (4)$$

$$P_{oi}^2(w, t) = 2 \sin^2 \pi (t/w + 1/2) / w \quad (5)$$

$$P_{oi}^3(w, t) = 3.2 (3.2t/w + 1.6) \exp[-(3.2t/w + 1.6)^2 / 2] / w \quad (6)$$

ただし、 $-1/2 \leq t/w \leq 1/2$, $p=1/2$ (式(4), (5)), $p=1/3.2$ (式(6))である。

式(3)の傾向を見るため、 $\Delta=1$, $\alpha_1=3 \times 10^{-3}$, $\alpha_2=1 \times 10^{-3}$, $k=3$ として N_{RW} を計算し図2に示す。 $w'=2-w$ なるパルスについても図の w と

ほぼ同じ結果が得られた。また α_2 , Δ が大きくなると同じ W , λ に対する N_{RW} はより 1 に近づく。図 2 より, ± 1 E レーザ・レーザにおけるレーザ・パルス波形による測定誤差の検討は近距離について行なえば十分であることがわかる。

NO_2 , SO_2 について表 1 の波長, 吸収断面積を用い, 表 2 の如き最短測定距離 $R_{\min}$, 距離分解能 δR , ガス濃度 N の組合せ及び $\Delta = \delta R / (c\tau/2) = 1, 2, 4$ となる τ に対して N_{RW} を計算した。

表 1 ガスと吸収断面積 ($\times 10^{14} \text{ cm}^2$) 表 2 $R_{\min}$, δR , N (25°C, 1 atm)

ガス	$\lambda_1 (\text{\AA})$	σ_1	$\lambda_2 (\text{\AA})$	σ_2
NO_2	4,482	4.3	4,464	2.4
SO_2	3,001	8.1	3,014	4.4

CASE	$R_{\min}$	δR	N
1	150 m	50 m	0.05 ppm
2	300	100	0.1

3 150 50

(1) パルス幅の許容範囲: $\Delta=1$, $k=1, 2, 3$ のときの NO_2 , SO_2 の測定誤差 $|N_{RW}-1|$ に対してパルス幅 W の許される範囲を図 3, 4 に示す。図において, 対応する k と λ の形状の一对の曲線にはさまれた範囲が W の許容範囲である。一般に $R_{\min}$, δR , N , $\alpha_1 - \alpha_2$, がそれぞれ大きい方が W の許容範囲が広い。1例として $\delta R = 50 \text{ m}$, $R = 150 \text{ m}$, $N = 0.05 \text{ ppm}$ の NO_2 を精度 10% 以内で (他の原因による誤差は 0 として) 測定しようとするとき, パルス幅は 300 ns (全幅) として 2 波長のパルス幅の差は波形によらず 1% 以下でなければならぬ。

(2) 距離分解能 Δ と W の許容範囲: CASE 1 で $\Delta=2, 4$ としたときの W の許容範囲を図 5, 6 に示す。図 3, 4 と併せて Δ が大きくなると W の許容範囲が急速に広がっており, パルス幅は狭いほど有利なことがわかる。

(3) α_{air} の影響: $\Delta=1$, $k=3$, CASE 2 の NO_2 について大気の変衰係数 α_{air} を 0 と 8 $N\sigma_2$ とした場合の W の許容範囲を図 7 に示す。 α_{air} が増すと W の許容範囲は減少するがその割合はさほど大きくない。

4. むすび

一様に分布した NO_2 , SO_2 を DASE レーザ・レーダを用いて濃度測定するときレーザ・パルス波形が測定精度に与える影響について検討した。2波長の光線のパルス波形は十分な相似度がないと特に近距離(レーザ・パルスの波速の長さの数倍以下)

で非常に大きな誤差の原因となりうることがわかった。フラッシュランプポンプ色素レーザのパルス全幅は特別な制御を行わなければ 300 ns はあるから $R_{\min} = 150 \text{ m}$, $\delta R = 50 \text{ m}$ は NO_2 , SO_2 検出用として最小の値であると現状では考えられる。

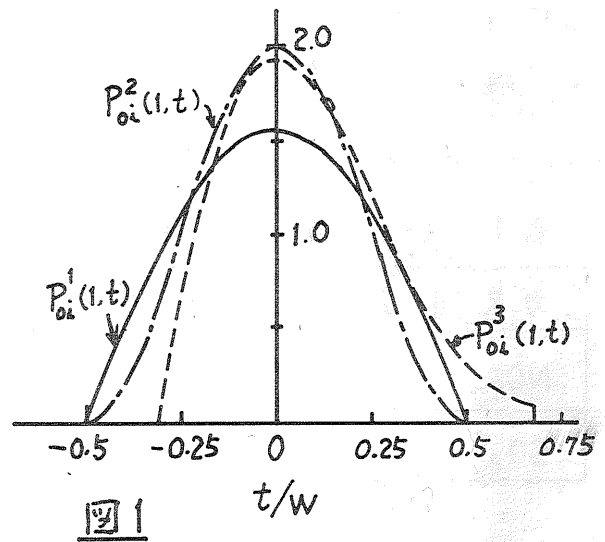


図1

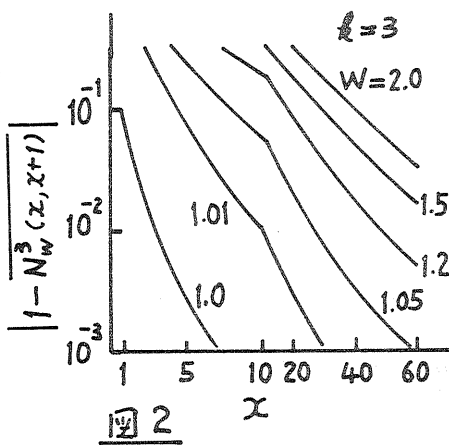


図2

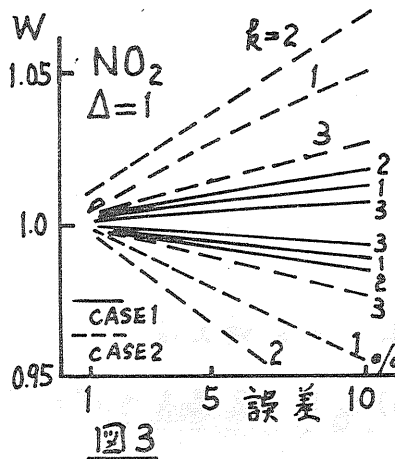


図3

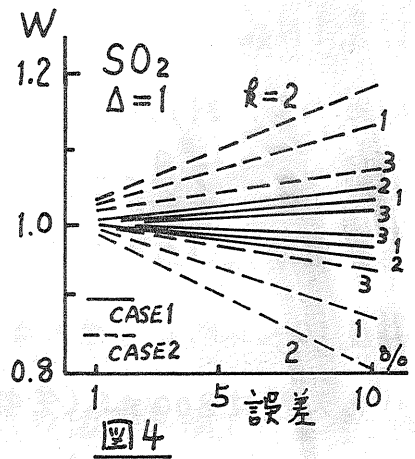


図4

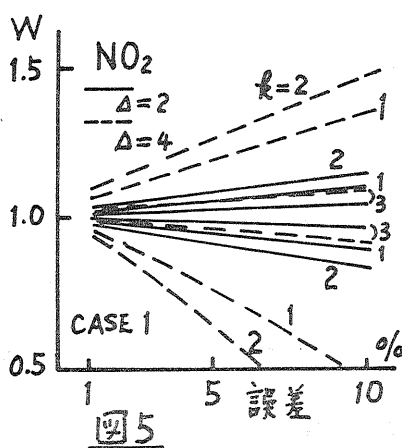


図5

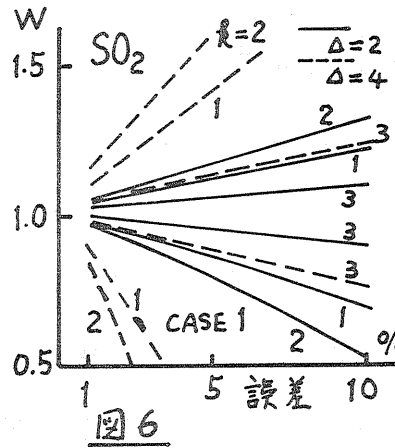


図6

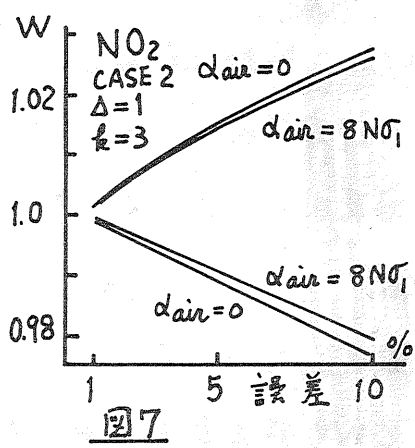


図7