

13.

レーザーダストモニター  
Laser Dust Monitor

高見 勝己  
K. Takami

須 田 匡  
K. Suda

日立中央研究所

Hitachi Central Research Laboratory

1 はじめに

レーザーを光源とする単一粒子散乱光方式を利用して、空气中ダストの粒径スペクトルを測定する場合、粒径の最小検出限界を決めるものに (i) 空気分子に基づく Rayleigh 散乱光, (ii) 観測系内の迷光, (iii) 光検出器の暗電流, (iv) 検出系のバンド幅, がある。筆者らは、これら検出限界決定要因の分析とその対応策の検討を行って、 $0.1\mu\text{m}^{\phi}$ の粒径までの検出を可能としたので報告する。

## 2. 信号成分と雑音成分

### 2.1, S/N 比

単一粒子散乱光方式による粒径スペクトル測定装置は、レーザー光源、PMT、波高分析計より成る。そして S/N 比は次式で与えられる<sup>(1)</sup>

$$\left(\frac{S}{N}\right)^2 = \frac{1}{2q} \cdot \frac{S^2 G^2}{S G^2 \{I_{sc} + I_R + I_B\} + G^2 i_D} \cdot \frac{I_{sc}^2}{B} \quad (1)$$

$$I_{sc} = K \cdot \alpha_{sc} \cdot (\lambda^2 / r^2) \cdot I_0, \quad \alpha_{sc} = F\{d/\lambda, n, \theta, \psi\}$$

ただし、 $q$ : 電子の電荷,  $S$ : PMT の陰極感度,  $G$ : 平均電流増幅率,  $I_{sc}$ : 散乱光強度,  $I_R$ : Rayleigh 散乱光強度,  $I_B$ : 迷光強度,  $i_D$ : PMT 暗電流,  $B$ : 検出系のバンド幅,  $K$ : 定数,  $\alpha_{sc}$ : 微分散乱断面積,  $d$ : 粒子直径,  $\lambda$ : 波長,  $n$ : 粒子の複素屈折率 ( $n = n_1 - i n_2$ ),  $\theta$ : 散乱角,  $\psi$ : 偏光角と観測面とのなす角,  $r$ : 散乱中心から観測点までの距離,  $I_0$ : 入射光強度。

式(1)において、S/N比を増大させる通常の技法として、(1)  $I_0$  の増大, (2)  $r^2$  の縮小 (観測立体角の増大), (3) 高陰極感度・低暗電流 PMT の使用 (PMT 冷却) などが考えられる。しかし  $I_R, I_B$  の低減については以下に示す特殊技法が有効であった。

## 2.2. Rayleigh 散乱の低減

空気分子の Rayleigh 散乱断面積  $\sigma_{RT}$  は、次式のように表示できる。

$$\sigma_{RT} = \sigma_{R0} (pV_s / kT) \quad (2)$$

ここで、 $\sigma_{R0}$ : 仮想空気分子1個当りの散乱断面積,  $p$ : 圧力,  $V_s$ : 観測領域の体積,  $T$ : 温度,  $k$ : Boltzmann定数。

したがって、常温で  $I_R$  を低減するには、 $p$  あるいは  $V_s$  の減小を図ればよい。図1は、ダスト観測セル内圧力と shot 雑音電流特性の測定結果である。減圧による  $I_R$  の低減は明白である。なお、この場合、ダストとキャリアガスは、減圧セル内へ吸引されるので、流速が音速を超え不安定な流れを生ずることがある。

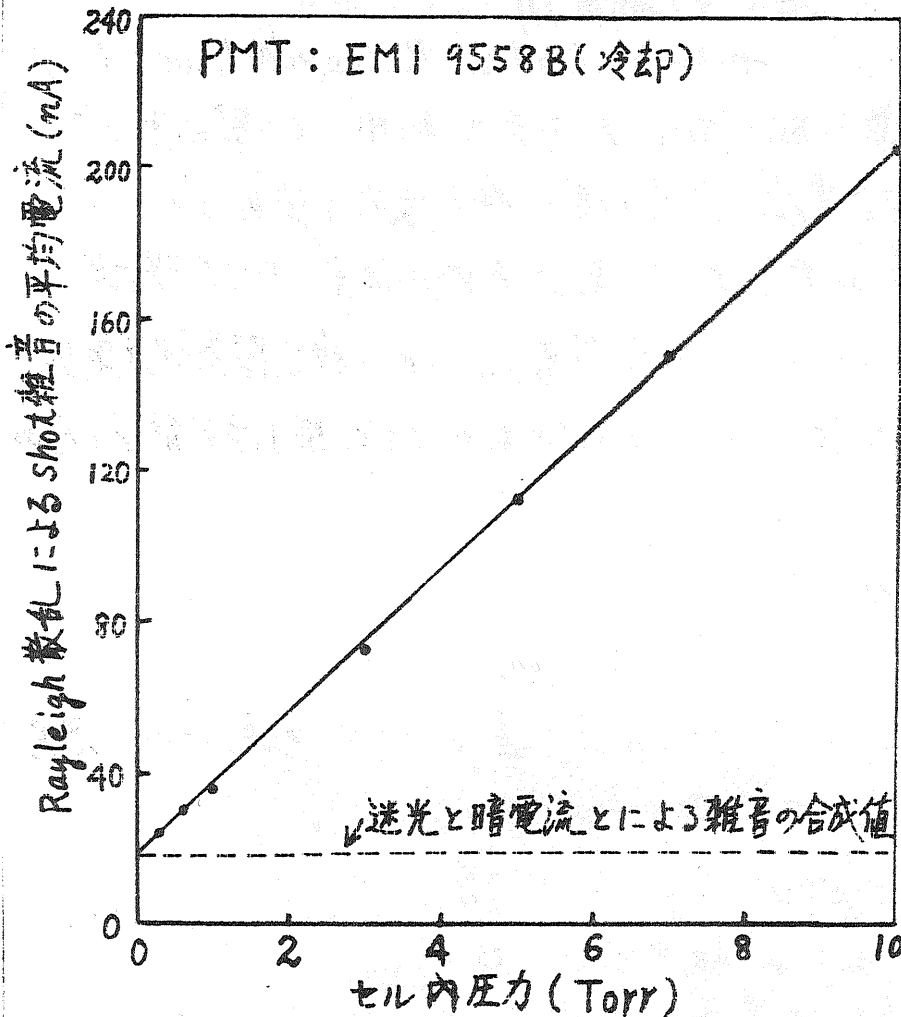


図1. ダスト観測セル内圧力と shot 雑音特性

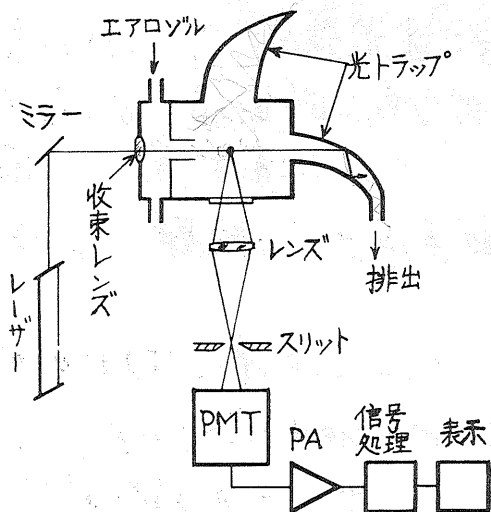


図2. セルと光学系の基本構成

他方、 $V_s$  は図2に示されるように、コンデンカレンズの共役な焦点に設けたスリットの調整と、レーザービームの調整により縮小するのが効果的であった (ビーム径  $100\mu\text{m}$  中、観測領域長  $100\mu\text{m}$ )。

## 2.3 迷光の低減

式(1)の  $I_{sc}$  の解を求めると、 $d \geq 0.5\mu\text{m}$  中では  $I_{sc}$  の大きさは散乱角  $\theta$  に依存して大巾に変化するが、 $d \approx 0.1\mu\text{m}$  の微小粒子になれば、 $\theta$  に無関係に一定となる。

したがって、背景光を最小とするような観測角を自由に選ぶことができる。かくして、図2のように側方散乱方式の採用と、Light trap hornによる暗視野の実現を図った。またエアロゾル流とレーザービームとを共軸とし、迷光低減に有利な光学系が組めるようにした。

## 2.4 信号処理

単一粒子散乱光方式で使用するパルス回路では、 $I_R$ ,  $I_B$ による雑音も、 $I_D$

による雑音も、共に時間的には散発性のパルスとして現われる。これに対して、 $I_{sc}$ による信号は上記散発性パルスと類似波形のパルスが同一時刻で多数が発生する。したがって積分回路を基本とするFilterを通せば、多数のパルスが重畳されて、巾、波高値共に雑音パルスとは異った信号パルス波形を得る。

図3は、パルス中の違いを利用して雑音を消去し、信号パルスのみ波高分析する論理回路を示したものである。

まず、Comparator 1, 2によって、閾値  $V_{c1} \sim V_{c2}$ の間にあるパルス高のみ Exclusive or 回路の出力(d)として取り出す。

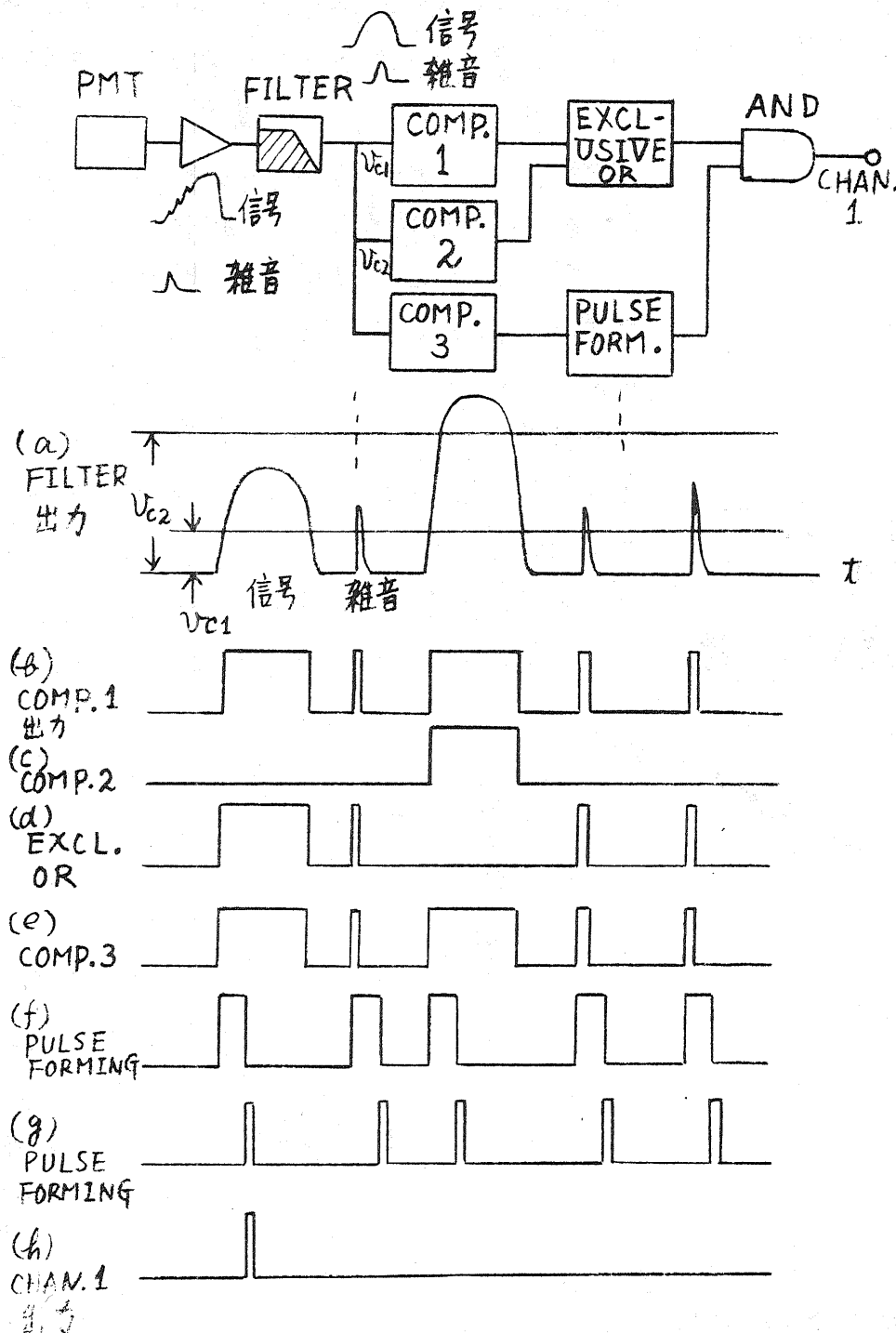


図3. 雑音消去論理回路と信号処理機構

次に, Comparator 3 と Pulse forming 回路 とにより, 特定時間遅延したパルス (g) を発生させる。そして AND 回路により, 上記 (d), および (g) パルスの掛算を行なえば,  $V_{c1} \sim V_{c2}$  の間にあるパルス高が到来した時のみ, Channel 1 に出力 (h) が現われる。これを計数すれば, 雑音を消去した形で波高分析が可能となる。

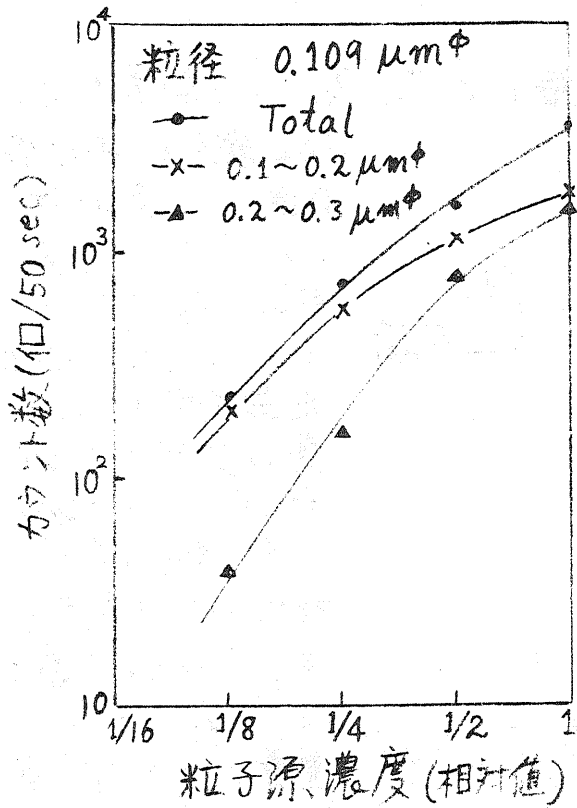


図4 標準粒子源濃度とカウント数

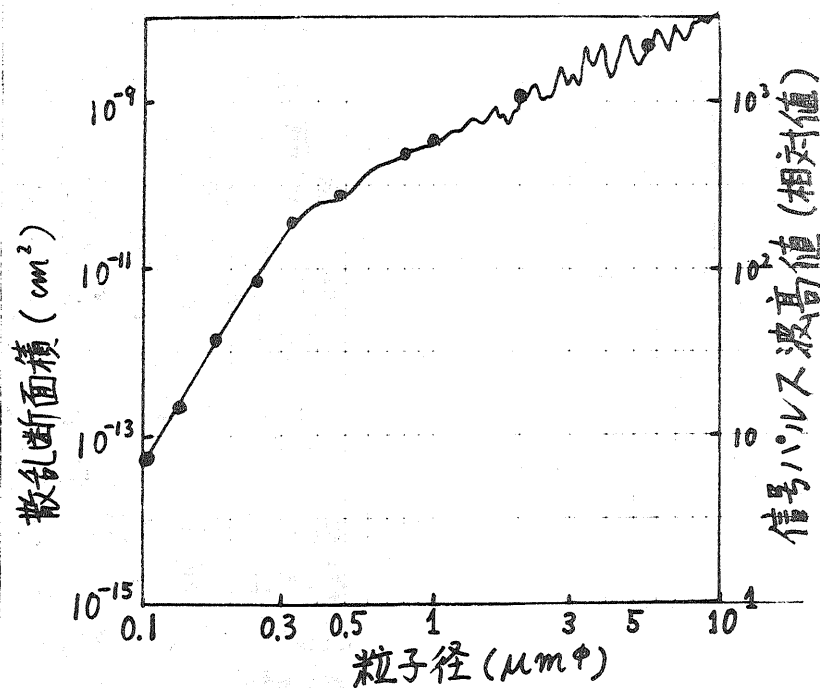


図5 標準粒子径に対する出力信号特性

### 3. 実験結果

8mW 無偏光 He-Ne レーザー を用い, ビーム径  $100 \mu\text{m}\phi$ , 観測領域長  $100 \mu\text{m}$ ,  $\theta = 90^\circ$ ,  $\psi = 90^\circ$ , 集光角  $50^\circ$ , PMT 冷却 という条件のもとに 図2 のような装置構成 (減圧方式は除外) で, 粒径  $0.109 \mu\text{m}\phi$  Polystyrene Latex 標準粒子の測定を行なった。特に  $0.1 \mu\text{m}\phi$  程度の極微粒子では純粋に個々の粒子を識別して検出したのか, これらの Coagulation (凝集) による大形粒子を検出したのかの検証が必要である。図4 は粒子源濃度を2の倍数で稀釈して行ったときの各 channel のカウント数を測定した結果である。濃度1では明らかに凝集現象が認められるが,

$1/4$  以下では直線関係が現われ,  $0.109 \mu\text{m}\phi$  を検出し, かつ計数していることが立証された。

図5 は, 標準粒子 ( $n = 1.592$ ) により測定装置の出力信号特性を求めたのである。実線は式(1)の理論曲線, 測定可能範囲は,  $0.1 \sim 5.7 \mu\text{m}\phi$  であった。

### 文献

- (1) 高見, 須田; 昭和50年 電気学会予稿 No.114