

JAERI-M

6 2 4 6

ハーウェル型粒度弁別サンプラの捕集特性

1975年9月

大畠 勉, 松井 浩, 吉田芳和, 本郷昭三\*

日本原子力研究所  
Japan Atomic Energy Research Institute

この報告書は、日本原子力研究所が JAERI-M レポートとして、不定期に刊行している研究報告書です。入手、複製などのお問合せは、日本原子力研究所技術情報部（茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしください。

JAERI-M reports, issued irregularly, describe the results of research works carried out in JAERI. Inquiries about the availability of reports and their reproduction should be addressed to Division of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, Japan.

## ハーウェル型粒度弁別サンプラの捕集特性

日本原子力研究所東海研究所保健物理安全管理部

大畑 勉，松井 浩，吉田芳和，本郷昭三\*

(1975年9月3日受理)

ハーウェル型粒度弁別サンプラによる吸入性塵埃の測定精度を、校正試験の結果を基礎として、数値解析により検討した。試験は、ほぼ均一なウラニン・メチレンブルー粒子（空気力学的粒子径  $d_a = 1 \sim 17 \mu\text{m}$ 、幾何標準偏差  $\sigma_g = 1.07 \sim 1.46$ ）を用いて、 $6 \sim 50 \ell/\text{min}$  の流量範囲で実施した。

流量  $33 \ell/\text{min}$  におけるサンプラの捕集特性は、呼吸量  $750 \text{ cm}^3/\text{回}$  における肺沈着率に一致し、流量  $50 \ell/\text{min}$  のそれは呼吸量  $1450 \text{ cm}^3/\text{回}$  の肺沈着率にはば一致する。その捕集特性は、流量に 10% 程度の変動があっても、ほとんど影響されない。流量  $33 \ell/\text{min}$  における吸入性塵埃の本サンプラによる測定精度は、 $\text{MMAD} \leq 10 \mu\text{m}$  の粒子に対して、係数 2 以内である。

---

\*：放射線医学総合研究所・環境衛生研究部

JAERI-M 6246

Performance of the Harwell-type Size-selective Dust Sampler

Tsutomu OHATA, Hiroshi MATSUI, Yoshikazu YOSHIDA  
and Syozo HONGO\*

Division of Health Physics and Safety, Tokai, JAERI

( Received September 3, 1975 )

Accuracy for measuring respirable dusts of the Harwell-type size-selective dust sampler has been studied by numerical analysis using the experimental data of calibration test. The test was made with uranine methylene-blue particles of uniform particle sizes (aerodynamic diameter  $d_a = 1 \sim 17 \mu\text{m}$ , geometric standard deviation  $\sigma_g = 1.07 \sim 1.16$ ) ; the sampler was examined at air flow-rate  $6 \sim 50 \ell/\text{min}$ . Performance of the sampler at flow rate  $33 \ell/\text{min}$  agrees with the lung deposition at a tidal volume of  $750 \text{ cm}^3$ , and that at  $50 \ell/\text{min}$  approximately with the lung deposition at tidal volume  $1450 \text{ cm}^3$ . The performances is hardly influenced by variation of the flow rate less than 10 %. The accuracy of this sampler for respirable dusts at flow rate  $33 \ell/\text{min}$  is within a factor of 2 for MMAD  $\leq 10 \mu\text{m}$ .

---

\* National Institute of Radiological Sciences, Chiba

## 目 次

1. はじめに .....	1
2. 捕集特性試験 .....	1
2.1 サンプラーの構造と捕集機構 .....	1
2.2 試験法 .....	1
2.3 試験結果 .....	1
3. 考察 .....	2
3.1 沖紙中心部に捕集される吸入性塵埃の測定精度 .....	2
3.2 空気力学的質量中央径の推定 .....	3
4. まとめ .....	4

## 参考文献

## 1 はじめに

吸入によって体内に摂取される塵埃量を推定する目的で、「吸入性塵埃」(Respirable dust)のみを捕集できる粒度弁別サンプラー(Size-selective dust sampler)が開発され(2)~(4)ている。

粒度弁別サンプラーに関する著者らの調査結果<sup>(5)</sup>で示したように、ハーウェル研究所で開発されたサンプラー(ハーウェル型粒度弁別サンプラーと呼ぶ)は、ICRPの肺動力学に関する作業班が1965年に提案した肺モデル<sup>(6)</sup>の肺部(P)に沈着する粒子を「吸入性塵埃」と見なし、その沈着率(肺沈着率と呼ぶ)に合う捕集特性を持つよう開発されたもので、構造的にも簡単であり、肺部に沈着する吸入性塵埃とそれ以外の呼吸器管に沈着する塵埃とを分離して同一戸紙に採取できる長所を持っているなど、他のサンプラーと比較して、実用的なサンプラーである。

ここでは、ハーウェル型粒度弁別サンプラーによって求められる吸入性塵埃の測定精度を、捕集特性試験の結果を基礎として、数値解析によって検討するとともに、空気中塵埃の空気力学的質量中央径(MMAD)を推定する方法など、本サンプラーを日常の放射線管理で使用する上で有用な事項について検討した。

## 2 捕集特性試験

### 2・1 サンプラーの構造と捕集機構

Fig.1に、今回試験に用いたサンプラーの構造を示す。サンプラーは、塵埃を戸紙の中心部と外側に、それぞれ分離・捕集する構造となっている。捕集機構は、戸紙の中心部に向う空気流と真っすぐ戸紙外側に向う空気流との流速差を利用して、吸入性塵埃すなわちICRP・肺モデル<sup>(6)</sup>の肺部に沈着する塵埃を戸紙中心部に捕集する形式になっている。

### 2・2 試験法

試験は、Fig.2に示す装置・配置で行なった。スピニング・デスク・エアゾル発生器で作られた粒子を一時チャンバに貯わえ、その一部をサンプラーに吸引することによって、その捕集特性を求めた。吸引流量は6~50 l/minの範囲で行ない、試験粒子にはほぼ均一な粒度分布(幾何標準偏差 $\sigma g = 1.07 \sim 1.16$ )を持つ、1.0~17.2 μmのウラニン・メチレンブルー粒子を用いた。サンプラーに捕集された塵埃量は戸紙の中心部とその外側、サンプラーの内壁とその前面を、エチル・アルコール等で洗浄し、これらの溶液を吸光あるいは蛍光度計により測定することによって求めた。戸紙中心部等の捕集率は、各部位の塵埃量の和を100とし、それに対する各部位の塵埃量の百分率によって表わした。

### 2・3 試験結果

測定結果をTable 1に示す。これによれば、粒子径が2 μm前後の戸紙中心部の捕集率は、いずれの吸引量の場合も、最も高い値となり、いずれもほぼ37%になっている。しかし、

## 1 はじめに

吸入によって体内に摂取される塵埃量を推定する目的で、「吸入性塵埃」(Respirable dust)のみを捕集できる粒度弁別サンプラー(Size-selective dust sampler)が開発され<sup>(1)(2)</sup>ている。<sup>(2)~(4)</sup>

粒度弁別サンプラーに関する著者らの調査結果<sup>(5)</sup>で示したように、ハーウェル研究所で開発されたサンプラー(ハーウェル型粒度弁別サンプラーと呼ぶ)は、ICRPの肺動力学に関する作業班が1965年に提案した肺モデル<sup>(6)</sup>の肺部(P)に沈着する粒子を「吸入性塵埃」と見なし、その沈着率(肺沈着率と呼ぶ)に合う捕集特性を持つよう開発されたもので、構造的にも簡単であり、肺部に沈着する吸入性塵埃とそれ以外の呼吸器管に沈着する塵埃とを分離して同一戸紙に採取できる長所を持っているなど、他のサンプラーと比較して、実用的なサンプラーである。

ここでは、ハーウェル型粒度弁別サンプラーによって求められる吸入性塵埃の測定精度を、捕集特性試験の結果を基礎として、数値解析によって検討するとともに、空気中塵埃の空気力学的質量中央径(MMAD)を推定する方法など、本サンプラーを日常の放射線管理で使用する上で有用な事項について検討した。

## 2 捕集特性試験

### 2・1 サンプラーの構造と捕集機構

Fig.1に、今回試験に用いたサンプラーの構造を示す。サンプラーは、塵埃を戸紙の中心部と外側に、それぞれ分離・捕集する構造となっている。捕集機構は、戸紙の中心部に向う空気流と真っすぐ戸紙外側に向う空気流との流速差を利用して、吸入性塵埃すなわちICRP・肺モデル<sup>(6)</sup>の肺部に沈着する塵埃を戸紙中心部に捕集する形式になっている。

### 2・2 試験法

試験は、Fig.2に示す装置・配置で行なった。スピニング・デスク・エアゾル発生器で作られた粒子を一時チャンバーに貯わえ、その一部をサンプラーに吸引することによって、その捕集特性を求めた。吸引流量は6~50 l/minの範囲で行ない、試験粒子にはほぼ均一な粒度分布(幾何標準偏差 $\sigma_g = 1.07 \sim 1.16$ )を持つ、1.0~17.2 μmのウラニン・メチレンブルー粒子を用いた。サンプラーに捕集された塵埃量は戸紙の中心部とその外側、サンプラーの内壁とその前面を、エチル・アルコール等で洗浄し、これらの溶液を吸光あるいは蛍光度計により測定することによって求めた。戸紙中心部等の捕集率は、各部位の塵埃量の和を100とし、それに対する各部位の塵埃量の百分率によって表わした。

### 2・3 試験結果

測定結果をTable 1に示す。これによれば、粒子径が2 μm前後の戸紙中心部の捕集率は、いずれの吸引量の場合も、最も高い値となり、いずれもほぼ37%になっている。しかし、

$3\text{ }\mu\text{m}$  以上の粒子に対する捕集率は、吸引量が増加するにつれて減少する傾向を示し、捕集率が 1% 以下になる粒子径は、 $17\text{ l/min}$  で  $12\text{ }\mu\text{m}$ ,  $33\text{ l/min}$  で  $8.5\text{ }\mu\text{m}$  そして  $50\text{ l/min}$  では  $7.5\text{ }\mu\text{m}$  となっている。沪紙の外側の捕集率は、粒子径が一定の場合、吸引量が大きくなるほど増加する傾向を示しているが、全体としてはほぼ 60~80% の値となっている。一方、サンプラー内壁への沈着率は、粒子径が約  $5\text{ }\mu\text{m}$  以下の場合、吸引量に対する依存性は小さく、数% 以下となっている。しかし、 $5\text{ }\mu\text{m}$  よりも大きくなると、沈着率が上昇し、 $17.2\text{ }\mu\text{m}$  の場合、 $33\text{ l/min}$ において約 35% に達している。サンプラー前面への沈着率は、いずれの粒子径および吸引量においても、ほぼ数% 以下で、ほとんど無視できる値である。

Table 1 に見られるように、吸引量が 10~20% 異っても、サンプラーの捕集特性はあまり変わらないことがわかる。ここでは、これらの試験結果のうち、代表的な三つの吸引量に対する沪紙中心部の捕集率を、ICRP の '65 年報告の肺沈着率と比較して Fig. 3 に示す。これによれば、吸引量  $17\text{ l/min}$  の捕集率はいずれの呼吸量に対する肺沈着率よりも高くなっている。 $33\text{ l/min}$  のそれは呼吸量  $750\text{ cm}^3/\text{回}$  の肺沈着率にかなり良く一致している。一方、 $50\text{ l/min}$  の場合は  $1450\text{ cm}^3/\text{回}$  の肺沈着率に近い値となっている。これは Stfvens <sup>(4)</sup> らが吸引量  $35\text{ l/min}$  のとき、呼吸量  $1450\text{ cm}^3/\text{回}$  の肺沈着率に近い捕集特性を持つとしていることとは少し異っている。しかし、Fig. 4 に示すように、彼らの結果は呼吸量  $1450\text{ cm}^3/\text{回}$  と  $750\text{ cm}^3/\text{回}$  との中間の肺沈着率に近い捕集特性となっており、どちらにも解釈できそうである。したがって、ハーウェル型粒度弁別サンプラーは、今回の試験結果から、 $33\text{ l/min}$  前後の吸引量では、呼吸量  $750\text{ cm}^3/\text{回}$  の肺沈着特性に、また、吸引量  $50\text{ l/min}$  では呼吸量  $1450\text{ cm}^3/\text{回}$  の肺沈着特性に一致し、しかも、吸引量に 10% 程度の変動があっても、捕集特性は大きく変わらないと言える。

### 3 考 察

#### 3・1 沪紙中心部に捕集される吸入性塵埃の測定精度

ICRP・肺モデルでは、呼吸量  $750\text{ cm}^3/\text{回}$  の肺沈着率が他の 2 つの呼吸量 ( $1450$ ,  $2150\text{ cm}^3/\text{回}$ ) の肺沈着率より高いことから、本サンプラーを使用して、作業環境の吸入性塵埃を評価するさい、呼吸量  $750\text{ cm}^3/\text{回}$  に対応するサンプラーの吸引量でその環境の吸入性塵埃を評価すれば、他の 2 つの呼吸量における吸入性塵埃量は過大評価となり、安全側になる。したがって、本報では、呼吸量  $750\text{ cm}^3/\text{回}$  の肺沈着率に対応する吸引量  $33\text{ l/min}$  で、本サンプラーを使用したさいにもとめられる吸入性塵埃の測定精度を、沪紙中心部に捕集される塵埃の捕集割合と、ICRP・肺モデルの肺部に沈着する塵埃の沈着割合との比を、多分散粒子に対して、数値解析することにより検討した。

前章で示したように、吸引量  $33\text{ l/min}$  の場合、サンプラー内壁への沈着率は、粒子径が大きくなるにつれて増加し、 $17\text{ }\mu\text{m}$  の粒子では約 35% に達するが、日常の管理ではサンプラーの使用のたびごとに、内壁に付着した塵埃量を測定することは事実上困難である。それゆえ、最も実際的な測定法の測定精度を調べるために、サンプラー内壁に付着した塵埃量を含めない場合について数値解析を行なった。

$3\text{ }\mu\text{m}$  以上の粒子に対する捕集率は、吸引量が増加するにつれて減少する傾向を示し、捕集率が 1% 以下になる粒子径は、 $17\text{ l/min}$  で  $12\text{ }\mu\text{m}$ ,  $33\text{ l/min}$  で  $8.5\text{ }\mu\text{m}$  そして  $50\text{ l/min}$  では  $7.5\text{ }\mu\text{m}$  となっている。沪紙の外側の捕集率は、粒子径が一定の場合、吸引量が大きくなるほど增加する傾向を示しているが、全体としてはほぼ 60~80% の値となっている。一方、サンプラ内壁への沈着率は、粒子径が約  $5\text{ }\mu\text{m}$  以下の場合、吸引量に対する依存性は小さく、数% 以下となっている。しかし、 $5\text{ }\mu\text{m}$  よりも大きくなると、沈着率が上昇し、 $17.2\text{ }\mu\text{m}$  の場合、 $33\text{ l/min}$ において約 35% に達している。サンプラ前面への沈着率は、いずれの粒子径および吸引量においても、ほぼ数% 以下で、ほとんど無視できる値である。

Table 1 に見られるように、吸引量が 10~20% 異っても、サンプラの捕集特性はあまり変わらないことがわかる。ここでは、これらの試験結果のうち、代表的な三つの吸引量に対する沪紙中心部の捕集率を、ICRP の '65 年報告の肺沈着率と比較して Fig. 3 に示す。これによれば、吸引量  $17\text{ l/min}$  の捕集率はいずれの呼吸量に対する肺沈着率よりも高くなっている。 $33\text{ l/min}$  のそれは呼吸量  $750\text{ cm}^3/\text{回}$  の肺沈着率にかなり良く一致している。一方、 $50\text{ l/min}$  の場合は  $1450\text{ cm}^3/\text{回}$  の肺沈着率に近い値となっている。これは Stfvens <sup>(4)</sup> らが吸引量  $35\text{ l/min}$  のとき、呼吸量  $1450\text{ cm}^3/\text{回}$  の肺沈着率に近い捕集特性を持つとしていることとは少し異っている。しかし、Fig. 4 に示すように、彼らの結果は呼吸量  $1450\text{ cm}^3/\text{回}$  と  $750\text{ cm}^3/\text{回}$  との中間の肺沈着率に近い捕集特性となっており、どちらにも解釈できそうである。したがって、ハウエル型粒度弁別サンプラは、今回の試験結果から、 $33\text{ l/min}$  前後の吸引量では、呼吸量  $750\text{ cm}^3/\text{回}$  の肺沈着特性に、また、吸引量  $50\text{ l/min}$  では呼吸量  $1450\text{ cm}^3/\text{回}$  の肺沈着特性に一致し、しかも、吸引量に 10% 程度の変動があっても、捕集特性は大きく変わらないと言える。

### 3 考 察

#### 3・1 沪紙中心部に捕集される吸入性塵埃の測定精度

ICRP・肺モデルでは、呼吸量  $750\text{ cm}^3/\text{回}$  の肺沈着率が他の 2 つの呼吸量 ( $1450$ ,  $2150\text{ cm}^3/\text{回}$ ) の肺沈着率より高いことから、本サンプラを使用して、作業環境の吸入性塵埃を評価するさい、呼吸量  $750\text{ cm}^3/\text{回}$  に対応するサンプラの吸引量でその環境の吸入性塵埃を評価すれば、他の 2 つの呼吸量における吸入性塵埃量は過大評価となり、安全側になる。したがって、本報では、呼吸量  $750\text{ cm}^3/\text{回}$  の肺沈着率に対応する吸引量  $33\text{ l/min}$  で、本サンプラを使用したさいにもとめられる吸入性塵埃の測定精度を、沪紙中心部に捕集される塵埃の捕集割合と、ICRP・肺モデルの肺部に沈着する塵埃の沈着割合との比を、多分散粒子に対して、数値解析することにより検討した。

前章で示したように、吸引量  $33\text{ l/min}$  の場合、サンプラ内壁への沈着率は、粒子径が大きくなるにつれて増加し、 $17\text{ }\mu\text{m}$  の粒子では約 35% に達するが、日常の管理ではサンプラの使用のたびごとに、内壁に付着した塵埃量を測定することは事实上困難である。それゆえ、最も実際的な測定法の測定精度を調べるために、サンプラ内壁に付着した塵埃量を含めない場合について数値解析を行なった。

空気中塵埃（多分散粒子）の粒度分布関数を  $F(d)$ ，ICRP・肺モデルの肺部に沈着する粒子径 ( $d$ ) の沈着率を  $\eta_p(d)$  とすると，ある時間内に吸入される全塵埃量 ( $W_T$ )，肺沈着量 ( $W_p$ ) および沈着割合 ( $E_p$ ) はそれぞれ次式によって与えられる。

$$\text{全塵埃量} : W_T = \int_0^\infty K \cdot d^3 \cdot F(d) \delta d \quad (1)$$

$$\text{肺沈着量} : W_p = \int_0^\infty K \cdot d^3 \cdot \eta_p(d) \cdot F(d) \delta d \quad (2)$$

$$\text{沈着割合} : E_p = \frac{W_p}{W_T} \quad (3)$$

ここで， $K$  は換算定数である。

一方，沪紙の中心部に捕集される粒子径 ( $d$ ) の捕集率を  $\eta_i(d)$ ，外側を  $\eta_o(d)$  とすると，それぞれの部位に捕集される塵埃量 ( $W_i, W_o$ ) と沪紙中心部の捕集割合 ( $E_f$ ) は，それぞれ次式によって与えられる。

$$\text{中心部} : W_i = \int_0^\infty K' \cdot d^3 \cdot \eta_i(d) \cdot F(d) \delta d \quad (4)$$

$$\text{外側} : W_o = \int_0^\infty K' \cdot d^3 \cdot \eta_o(d) \cdot F(d) \delta d \quad (5)$$

$$\text{捕集割合} : E_f = \frac{W_i}{W_i + W_o} \quad (6)$$

ここで， $K'$  は換算定数である。

本サンプラーによる吸入性塵埃の測定精度は，(3) と (6) 式との比 ( $R_s$ ) をとることによって考慮した。

$$R_s = \frac{E_f}{E_p} \quad (7)$$

(2) 式の  $\eta_p(d)$  には，ICRP・肺動力学に関する作業班の報告した値<sup>(6)</sup>を， $\eta_i(d)$  と  $\eta_o(d)$  には今回の実験値をそれぞれ用いた。計算には，これらの値から最小 2 乗近似により求めた関数を適用した。さらに，粒度分布関数  $F(d)$  には対数正規分布関数を適用した。

(7) 式の関数をもとめた結果を，Fig. 5 に示す。図からわかるように，幾何標準偏差  $\sigma_g \lesssim 1.9$  の  $R_s$  は MMAD が  $5 \mu\text{m}$  前後で 1.0 以下 ( $R_s \gtrsim 0.8$ ) になっているが， $MMAD \gtrsim 10 \mu\text{m}$  では  $R_s \gtrsim 2$  になっている。これは，肺モデルの肺沈着率が  $10 \mu\text{m}$  以上ではゼロであるのに対し，サンプラーの捕集特性（沪紙の中心部）は  $10 \mu\text{m}$  以上でも若干の捕集効率を有することに起因している。一方，MMAD が  $0.5 \mu\text{m}$  前後の  $R_s$  は， $\sigma_g$  が小さいほど大きくなっているが，これは単分散粒子に対して，肺沈着率がこの粒子径の前後で減少しているのに対し，沪紙中心部の捕集率を一定にしたことによるものである。しかし， $\sigma_g$  が大きくなると，粒子径が大きくなつても  $R_s$  は 1.0 に近づく傾向を示し， $MMAD \gtrsim 1.0, \sigma_g \gtrsim 3$  ではほぼ一定値 ( $R_s \approx 1.4$ ) となっている。このことは，粒度分布の分散が大きい粒子の場合，沪紙中心部の捕集特性が肺沈着率に近い値を示すことを意味している。吸入性塵埃は，一般に， $MMAD \lesssim 10 \mu\text{m}$  の範囲にあり，また，粒度分布の分散は，多くの場合， $\sigma_g \gtrsim 1.5$ <sup>(7)(8)</sup> にある。このような粒度特性 ( $MMAD \lesssim 10 \mu\text{m}, \sigma_g \gtrsim 1.5$ ) を有する塵埃に対しては， $0.8 \lesssim R_s \lesssim 2.0$  となり，その結果，本サンプラーによって測定される吸入性塵埃の精度は係数 2 以内にな?

### 3・2 空気力学的質量中央径の推定

(6) 式の関係を、多分散粒子に対して計算した結果をFig.6に示す。図は、 $\sigma_g$ をパラメータとして、縦軸を沪紙中心部に捕集される割合 $E_f$ で、横軸をMMADで表わしている。この図を利用することにより、測定された沪紙中心部と外側部の塵埃量 ( $W_i$ ,  $W_o$ ) の和 ( $W_i + W_o$ ) に対する $W_i$ の比 ( $E_f$ ) から、塵埃のおおよそのMMADを推定することが可能である。たとえば、 $R_f \geq 0.3$ ならば $MMAD \leq 3.0\mu m$ であり、 $R_f = 0.1$ ならば $5.0 \leq MMAD \leq 15\mu m$ の範囲にあることがわかる。

この方法では、 $\sigma_g$ は決定できないと同時に、MMADもある範囲にあることしか推定できない。しかし、本サンプラーを使用して吸入性塵埃の割合を評価できるだけでなく、塵埃のMMADの近似値を推定できる長所を持っている。

なお、全捕集量 ( $W_T = W_i + W_o$ ) と吸引量 ( $Q$ ) および捕集時間 ( $T$ ) とから換算される空气中濃度 ( $C = W_T / Q \cdot T$ ) は、塵埃の粒度分布によってサンプラー内壁への沈着が影響するためその精度も異なるが、前節の肺沈着率に対する精度と同程度の精度で決定される。

### 4 ま と め

ハーウェル型粒度弁別サンプラーの使用上の問題を検討し、次のような結果が得られた。

- (1) サンプラーの吸引量  $3.3 l/min$  の捕集特性は呼吸量  $750 cm^3/回$  の肺沈着特性に、吸引量  $5.0 l/min$  の捕集特性は呼吸量  $1450 cm^3/回$  にはほぼ一致し、しかも吸引量に  $10\%$  程度の変動があっても、捕集特性は大きく変わらない。
- (2) 沪紙中心部に捕集される塵埃の割合は、 $MMAD \leq 1.0\mu m$  の粒子では、ICRP肺モデルの肺部に沈着する吸入性塵埃の割合を、係数2以内の精度で表わしている。
- (3) サンプラーの捕集割合の関係図を利用することにより、沪紙中心部に捕集される塵埃の割合から、空気中塵埃のおおよそのMMADを推定することができる。

### 参考文献

- 1) M. Lippmann: Amer. Ind. Hyg. Assoc. J., 31, 138 (1970).
- 2) M. Lippmann and W. B. Harries: Health Phys., 8, 155 (1962).
- 3) B. M. Wright: Brit. J. Ind. Med., 11, 284 (1954).
- 4) D. C. Stevens and J. Stephenson: J. Aerosol Sci., 3, 15 (1972).
- 5) 大畑、松井：保健物理（投稿中）
- 6) Task Group on Lung Dynamics for Committee II of ICRP.: Deposition and Retention Models for Internal Dosimetry of the Human Respiratory Tract, Health Phys., 12, 173 (1966).

### 3・2 空気力学的質量中央径の推定

(6) 式の関係を、多分散粒子に対して計算した結果をFig.6に示す。図は、 $\sigma_g$ をパラメータとして、縦軸を沪紙中心部に捕集される割合 $E_f$ で、横軸をMMADで表わしている。この図を利用することにより、測定された沪紙中心部と外側部の塵埃量 ( $W_i$ ,  $W_o$ ) の和 ( $W_i + W_o$ ) に対する $W_i$ の比 ( $E_f$ ) から、塵埃のおおよそのMMADを推定することが可能である。たとえば、 $R_f \geq 0.3$ ならばMMAD  $\lesssim 3.0 \mu\text{m}$ であり、 $R_f = 0.1$ ならば $5.0 \lesssim \text{MMAD} \lesssim 15 \mu\text{m}$ の範囲にあることがわかる。

この方法では、 $\sigma_g$ は決定できないと同時に、MMADもある範囲にあることしか推定できない。しかし、本サンプラーを使用して吸入性塵埃の割合を評価できるだけでなく、塵埃のMMADの近似値を推定できる長所を持っている。

なお、全捕集量 ( $W_T = W_i + W_o$ ) と吸引量 ( $Q$ ) および捕集時間 ( $T$ ) とから換算される空气中濃度 ( $C = W_T / Q \cdot T$ ) は、塵埃の粒度分布によってサンプラー内壁への沈着が影響するためその精度も異なるが、前節の肺沈着率に対する精度と同程度の精度で決定される。

## 4 ま と め

ハーウェル型粒度弁別サンプラーの使用上の問題を検討し、次のような結果が得られた。

- (1) サンプラーの吸引量  $3.3 \ell/\text{min}$  の捕集特性は呼吸量  $750 \text{ cm}^3/\text{回}$  の肺沈着特性に、吸引量  $5.0 \ell/\text{min}$  の捕集特性は呼吸量  $1450 \text{ cm}^3/\text{回}$  にはほぼ一致し、しかも吸引量に  $10\%$  程度の変動があっても、捕集特性は大きく変わらない。
- (2) 沪紙中心部に捕集される塵埃の割合は、MMAD  $\lesssim 10 \mu\text{m}$  の粒子では、ICRP肺モデルの肺部に沈着する吸入性塵埃の割合を、係数2以内の精度で表わしている。
- (3) サンプラーの捕集割合の関係図を利用することにより、沪紙中心部に捕集される塵埃の割合から、空気中塵埃のおおよそのMMADを推定することができる。

## 参考文献

- 1) M. Lippmann: Amer. Ind. Hyg. Assoc. J., 31, 138 (1970).
- 2) M. Lippmann and W. B. Harries: Health Phys., 8, 155 (1962).
- 3) B. M. Wright: Brit. J. Ind. Med., 11, 284 (1954).
- 4) D. C. Stevens and J. Stephenson: J. Aerosol Sci., 3, 15 (1972).
- 5) 大畑, 松井: 保健物理(投稿中)
- 6) Task Group on Lung Dynamics for Committee II of ICRP.: Deposition and Retention Models for Internal Dosimetry of the Human Respiratory Tract, Health Phys., 12, 173 (1966).

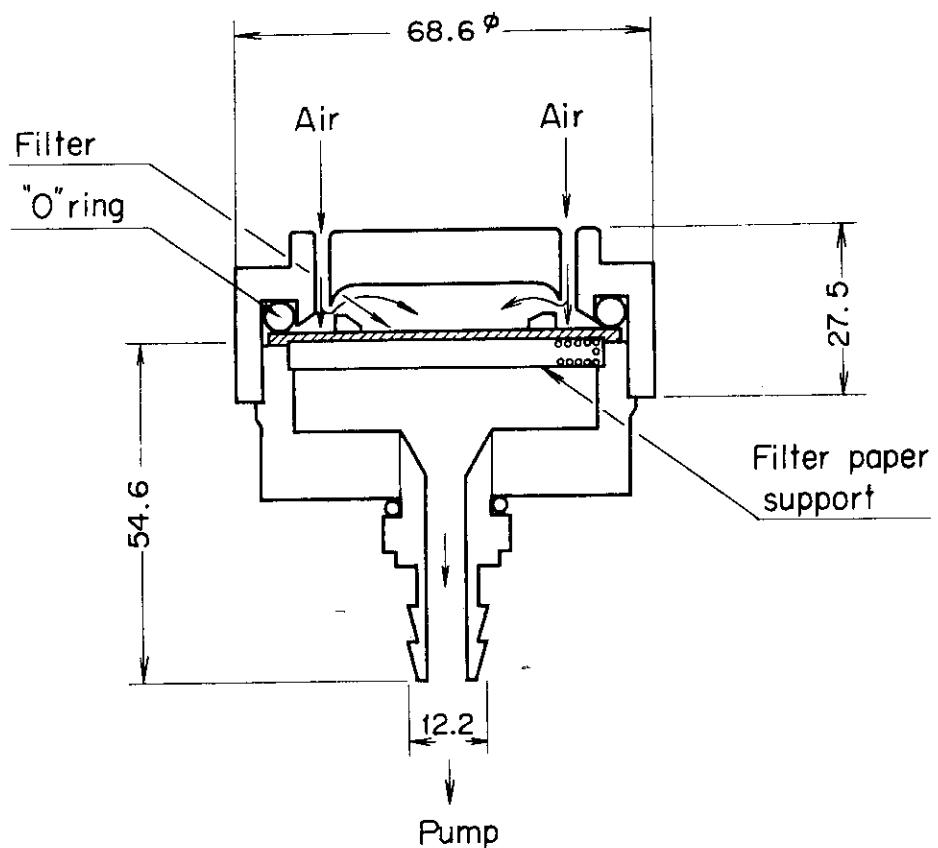


Fig.1 Cross sectional view of Harwell-type size-selective dust sampler

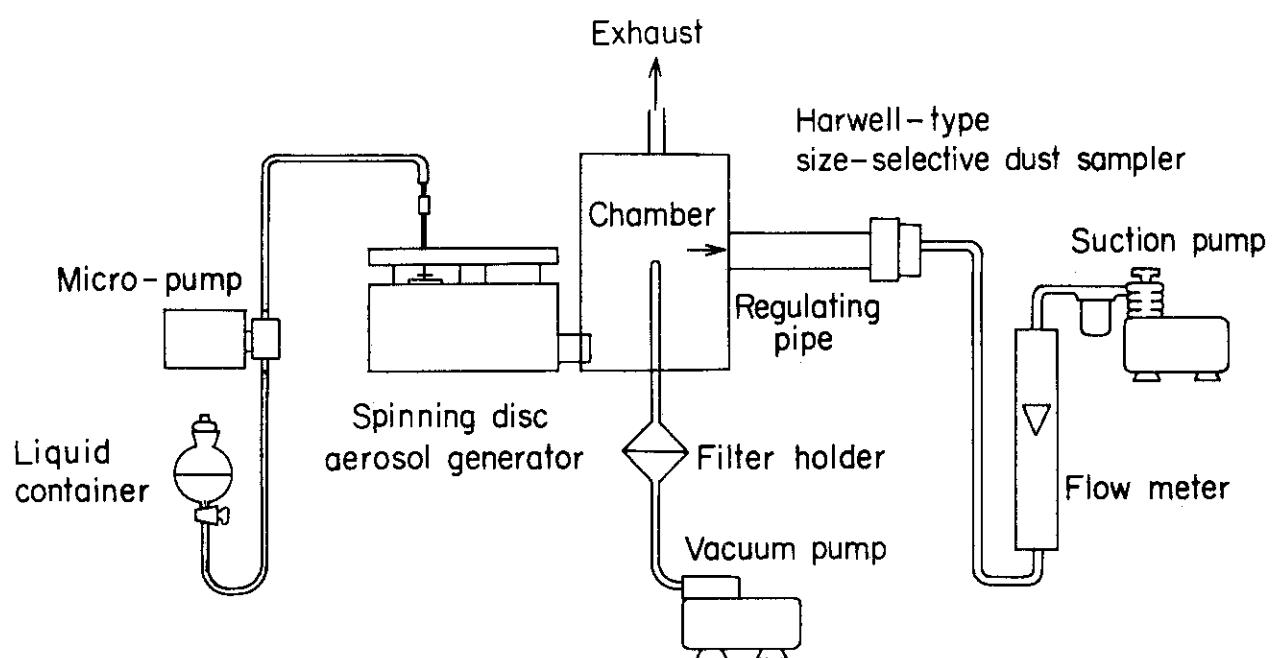


Fig. 2 Schematic diagram of experimental apparatus

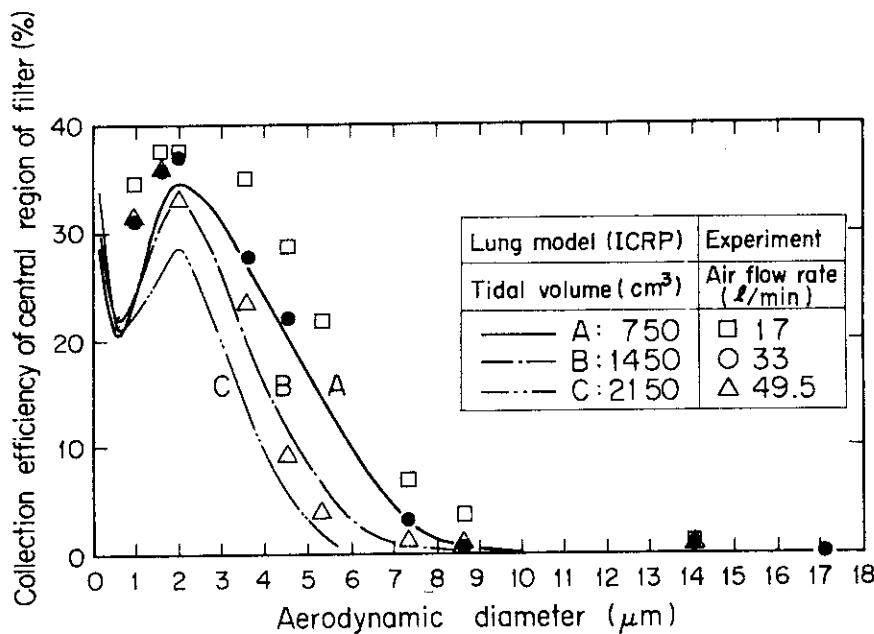


Fig 3 Relation between collection efficiency and aerodynamic diameter for Harwell-type size-selective dust sampler

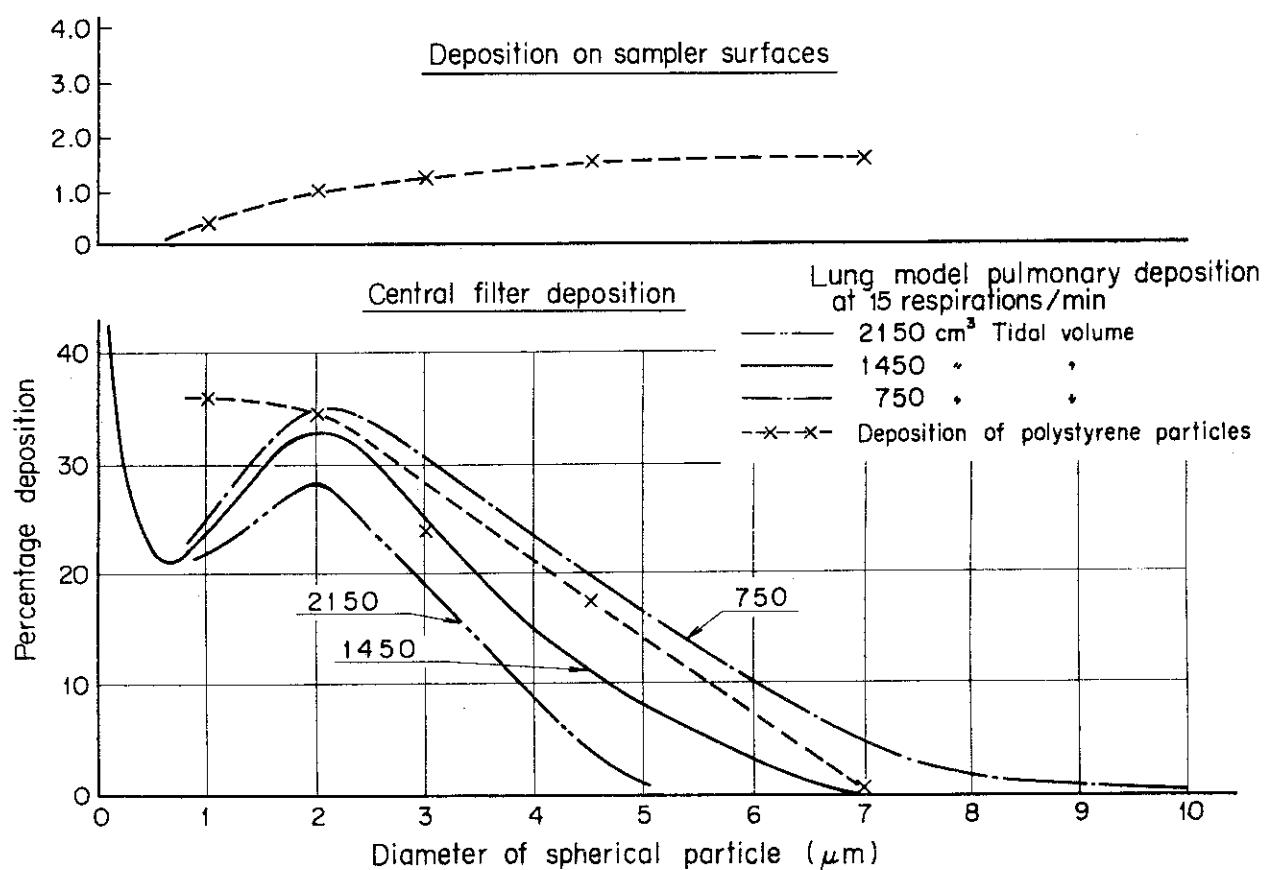


Fig. 4 Deposition of polystyrene particles in Harwell-type size-selective dust sampler <sup>(4)</sup>

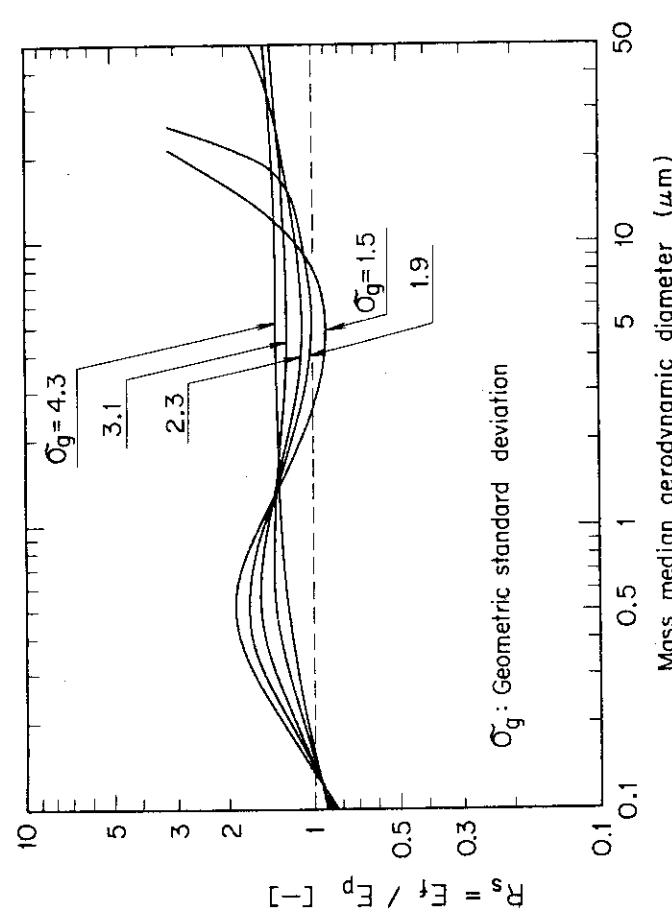


Fig. 5 Relation between  $R_s$  ( $= E_f / E_p$ ) and particle size distribution ( $\text{MMAD}$ ,  $\sigma_g$ )  
 $E_f$  : Fraction of particles collected in the central region of filter  
 $E_p$  : Fraction of particles deposited in the pulmonary region of Lung model

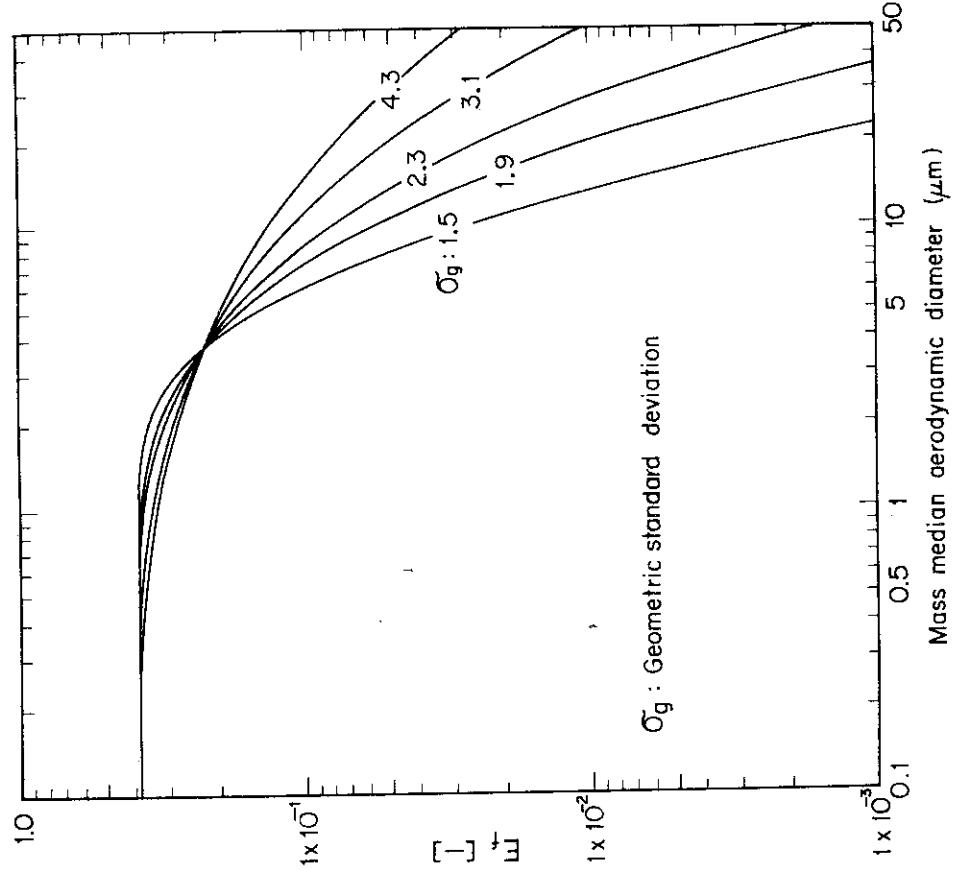


Fig. 6 Relation between  $E_f$  and particle size distribution ( $\text{MMAD}$ ,  $\sigma_g$ )  
 $E_f$  : Fraction of particles collected in the central region of filter

Table 1 Experimental collection efficiency (%) of  
Harwell-type size-selective dust sampler

Particle Size ( $\mu\text{m}$ )	Part of Sampler	Air flow rate* ( $\ell/\text{min}$ )								
		50	44	39	33	28	23	17	12	6
1.0	I	31.4	31.9	35.9	31.3	33.1	36.9	34.5	—	31.0
	II	62.2	60.4	63.1	65.2	63.7	59.2	60.7	—	64.0
	III	2.9	3.2	0.6	1.8	2.2	3.0	4.0	—	4.0
	IV	3.5	4.5	0.4	1.7	1.1	1.0	0.8	—	1.0
1.7	I	36.3	32.8	35.4	35.8	34.8	34.9	37.6	—	35.7
	II	62.0	59.1	62.0	63.1	63.2	61.9	59.2	—	55.4
	III	1.1	3.4	1.2	1.1	1.3	1.6	2.3	—	3.8
	IV	0.6	4.7	1.4	—	0.8	1.6	0.9	—	5.1
2.0	I	36.8	36.0	32.1	37.4	37.0	38.2	37.4	—	34.8
	II	61.4	62.4	65.0	60.2	61.1	59.6	59.9	—	61.4
	III	0.7	0.4	1.3	0.6	0.8	0.9	1.0	—	2.1
	IV	1.2	1.2	1.6	1.8	1.0	1.3	1.7	—	1.8
3.6	I	23.4	—	32.2	27.6	31.7	29.4	35.2	—	24.6
	II	72.7	—	64.5	70.3	64.9	65.5	62.5	—	71.0
	III	0.5	—	0.3	0.4	0.4	0.6	0.8	—	0.3
	IV	3.5	—	3.0	1.7	3.0	4.6	1.6	—	4.1
4.6	I	9.2	13.9	16.7	22.0	27.6	29.1	28.7	—	41.5
	II	76.4	76.1	74.9	73.7	70.3	68.7	68.6	—	56.7
	III	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.8	—	0.7
	IV	14.0	9.7	8.1	3.9	1.8	1.9	2.0	—	1.1
5.3	I	3.8	3.4	4.1	4.9	9.2	13.6	21.9	20.3	—
	II	79.9	84.7	81.0	75.4	75.2	74.1	66.8	52.7	—
	III	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1	—	—	1.5	—
	IV	16.0	11.7	14.8	19.5	15.5	12.3	11.3	25.6	—
7.4	I	1.7	1.3	1.4	3.0	4.3	4.0	7.1	—	—
	II	89.3	92.7	90.7	88.5	86.3	84.0	75.3	—	—
	III	0.8	0.2	—	—	—	0.5	1.2	—	—
	IV	8.2	5.9	7.9	7.5	9.5	11.6	16.5	—	—
8.7	I	1.3	1.1	1.0	0.9	0.9	2.0	3.8	—	—
	II	86.9	90.2	90.7	92.1	89.6	87.7	81.8	—	—
	III	0.5	0.3	0.4	0.2	0.3	0.3	0.4	—	—
	IV	11.4	8.5	8.0	6.9	9.2	10.1	14.1	—	—
14.1	I	1.2	0.7	1.1	1.1	2.0	5.8	1.1	2.0	—
	II	62.7	60.6	74.1	69.2	69.5	60.1	71.9	72.8	—
	III	1.8	1.4	1.5	2.2	2.7	2.3	1.1	2.6	—
	IV	34.3	37.4	23.2	27.5	25.8	31.8	25.9	22.6	—
17.2	I	—	0.2	—	0.1	—	0.2	—	0.4	—
	II	—	56.8	—	58.8	—	55.1	—	53.6	—
	III	—	2.6	—	7.4	—	3.1	—	7.2	—
	IV	—	40.4	—	33.7	—	41.6	—	38.8	—

\* : Values calibrated with the Fischer and Porter tri-flat flow meter  
 — : not-measured  
 --- : not-detected

I : central region of filter and Harwell-type size-selective dust sampler  
 II : outside " "  
 III : front surface of sampler  
 IV : internal wall of "