

チャンバー内の繊維の長径および短径の度数分布（ヒストグラム）は図 2-2-2 の如くであり、幾何平均長径は $15.49 \mu\text{m}$ (2.02)，幾何平均短径は $2.44 \mu\text{m}$ (1.59) であった。

(2) 繊維の肺内沈着率

今回の吸入繊維数は下記の計算式¹⁷⁾から求めた。

総吸入量 = 曝露濃度 × 呼吸量 × 曝露時間

また、ラットの呼吸量は

呼吸量 (ml/min) = $2.1 \times (\text{体重 (g)})^{0.75}$

から求めた¹⁷⁾。ラットの平均体重は 131 (g) だったので、

呼吸量 = $2.1 \times (131 \text{ (g)})^{0.75} = 81.32 \text{ ml/min}$ であった。曝露チャンバー内の濃度は上記の繊維数の判断についての規定¹⁴⁾に従って計測した結果 70.6 fiber/cm^3 であった。1 日 3 時間を 5 日間曝露したので、総吸入量は

総吸入量 = 総吸入量 = $70.6 \text{ fiber/cm}^3 \times 81.32 \text{ ml/min} \times 3 \times 60 \text{ min} \times 5 = 51.67 \times 10^5 \text{ fiber}$ であった。これに対応する吸入直後の肺内繊維数は、 $3.0 \times 10^5 \text{ fiber}$ だったので肺内沈着率は $3.0 \times 10^5 / 51.67 \times 10^5 = 0.058$ となり、5.8% であった。

(3) 全肺中の繊維数推移

RW の肺内滞留繊維数および曝露直後を 100% とした割合を表 2-2-2 と図 2-2-3 に示した。乾燥全肺中の繊維数平均値は、 $L > 20$ ではその他のサイズのものより曝露終了直後から 4 週後にかけて比較的急速に減少傾向を示した (表 2-2-2, 図 2-2-3)。

Scheffe 法による多重比較では、 $L > 20$ は、直後群より、4 週後群では有意に減少していた ($p < 0.05$) (表 2-2-2, 図 2-2-3)。長径のサイズ別繊維数では $L \leq 5$, $5 < L \leq 20$ は曝露直後群と比較して、4 週後群でやや増加した。

(4) 繊維の半減期

肺内繊維数を時間に対してプロットして得られたデータは、 $L > 20$, WHO 繊維は、図 2-2-4 のように直線的 (指数関数的) に減少したので、1-コンパートメントモデルを用いて半減期を計算した。これにより求めた繊維の半減期は、 $L > 20$ は 9 日、WHO 繊維で 84 日であった。

(5) 繊維のサイズ (長径・短径) の分布と変化

直後群、1 週後群、2 週後群、4 週後群の肺内繊維の長径と短径の幾何平均 (幾何標準偏差) の推移を表 2-2-3 に示した。

平均長径は、直後群に比べ、1 週後群、2 週後群、4 週後群で有意に減少した ($p < 0.05$) (表 2-2-3)。

平均短径は、2 週後群に比べ 4 週後群で有意に減少した ($p < 0.05$) (表 2-2-3)。

2.2.4 考察

これまでに多くの疫学、動物実験、物理化学的研究で、石綿や MMVF の繊維サイズと生体内滞留性が有害性、特に発がん性の重要な要因として指摘されている。繊維サイズに

関しては、長径 $5\mu\text{m}$ 以上で短径 $3\mu\text{m}$ 以下の吸入された繊維のうち細く長いものほど発がん性は強くなる。一方、生体内滞留性に関しては、肺組織内で溶解・運搬されずに長く滞留する繊維ほど発がん性が高いと見られる¹⁶⁾。特に長径 $20\mu\text{m}$ 以上で半減期が長い繊維は、生体内での溶解性が低いので、線維化やがんを引き起こしやすいと言われている¹¹⁾、¹⁶⁾。今回の実験では、短期間の鼻部吸入曝露実験法を用いて RW の肺内動態を観察した。吸入曝露実験法は気管内注入実験法や胸腹腔内注入実験法と比べ、人への曝露経路に最も近い方法である。短期吸入曝露実験は、肺内に存在する繊維状物質の生体内滞留性を検討するために行われている。また、吸入曝露実験法には全身曝露、鼻部曝露がある。鼻部曝露実験は全身曝露実験に比べ装置が小型で、吸入物質の肺内沈着の個体差が少ない傾向があり¹⁸⁾、投与物質の皮膚付着が少ないので肺内動態の観察に適している。

私共の研究室ではこれまで、鼻部吸入曝露後の RW の肺内動態を位相差顕微鏡により観察したが、今回は電子顕微鏡を用いて観察した。この理由は、前述したように繊維サイズが発がん性に関与するため、より詳細に繊維サイズを測定するためである。位相差顕微鏡の測定限界値は約 $0.2\mu\text{m}$ であるが、走査型電子顕微鏡は 7 から $2\mu\text{m}$ である¹⁹⁾。

肺内に吸入された RW などの繊維状物質の生体影響を検討する上で、肺内にどのくらい沈着し（肺内沈着率）、どの程度排泄されるか（クリアランス）を評価することが大切である¹⁷⁾。

肺内沈着率について、先行研究²⁰⁾では石綿代替繊維の一種であるシリコンカーバイドウィスカをオス Wistar ラット（9 週令）42 匹に 1 日 6 時間、週 5 日間で 4 週間吸入曝露した報告がある。曝露した繊維の幾何平均長径（幾何標準偏差）は $2.2\mu\text{m}$ （1.9）、幾何平均短径（幾何標準偏差）は $0.4\mu\text{m}$ （1.6）で、実験期間中の曝露チャンバー内の濃度は、平均繊維数濃度（標準偏差）は $214(31)\text{ fiber/cm}^3$ 、平均重量濃度（標準偏差）は $10.4(0.5)\text{ mg/m}^3$ であった。曝露終了後 3 日目に解剖した時点での肺内沈着率は 4.8% であった。一方、筆者らの実験では、1 日 3 時間 5 日連続曝露終了直後の肺内沈着率は 5.8% であった。

肺内の総繊維数および長径のサイズ別繊維数を検討したところ、長径が $20\mu\text{m}$ より長い繊維は、曝露直後群から 4 週後群にかけて減少傾向を示した。先行研究では、曝露後 30 日では全てのサイズで $30\sim 50\%$ まで減少していた²⁰⁾、²¹⁾。私共が以前行った吸入実験では、位相差顕微鏡で測定した肺内繊維数は、総繊維数および長径が $20\mu\text{m}$ より長い繊維は、曝露終了直後に比べ 4 週後でそれぞれ 53.6% 、 17.9% であった。肺内に吸入され、沈着した繊維は沈着部位によってクリアランスのメカニズムが異なる。細気管支に沈着した繊維は粘液線毛運動によって咽頭まで運ばれ、体外へ排泄される¹¹⁾、¹⁵⁾。肺胞に沈着した繊維の排泄機構には、体液による溶解あるいは肺胞マクロファージに貪食され消化されるか（化学的排泄）、肺胞マクロファージによって気道やリンパ組織へ移動し排泄される移動（物理的排泄）があると考えられている。繊維の貪食には繊維の長径が関係する。長径が $20\mu\text{m}$ より短い繊維は肺胞マクロファージに貪食され、消化されると考えられる¹¹⁾、¹⁵⁾。また、長径が $20\mu\text{m}$ より長い繊維は肺胞マクロファージが貪食しきれないため、繊維が体液により溶解し消失するかまたは、繊維が横断面で折れ、破碎され、長径が短くなり、その後肺胞マクロファージに貪食されるか、肺上皮細胞へ取り込まれリンパ管へと輸送され排泄されると考えられる¹¹⁾、¹⁵⁾。これらの機序により繊維数が減少したと考えられる。また長径が $20\mu\text{m}$ より短い繊維は観察期間中、増加する時期がみられた。この理由は、 $20\mu\text{m}$ より長い

繊維は細胞外液による溶解を受け、繊維が横断面に折れて、繊維が破碎され、 $20\mu\text{m}$ より短い繊維数が増加した結果、Total fiber count も含めたいくつかの指標で滞留割合が高くなったと考えられる¹¹⁾。

また、半減期は、長径が $20\mu\text{m}$ より長い繊維では9日であった。以前、私共が行った位相差顕微鏡による実験では、10日であった。先行研究では、WHO 繊維で111日、長径が $20\mu\text{m}$ より長い繊維で53日であった²⁰⁾。今回の実験結果では、長径が $20\mu\text{m}$ より長い繊維の半減期がそれ以外の長径の繊維の半減期に比べ短かった。これは、 $20\mu\text{m}$ より長い繊維は折れて短くなるため減少速度が大きく半減期は短かったが、 $20\mu\text{m}$ より短い繊維はマクロファージの貪食により減少するが、折れて $20\mu\text{m}$ より短い繊維数が増加した結果、減少速度が小さく半減期が長かったためと考えられる。

発塵した繊維の度数分布、長径と短径の平均は肺内の繊維と著しく異なっていた。ラットが鼻から吸入できる繊維のサイズは、主として長径 $80\mu\text{m}$ 未満、短径 $1.5\mu\text{m}$ 未満のものが多くという報告²¹⁾があるようにラットの吸入性粉塵のサイズを示していると考えられる。また、肺内に繊維が吸入された後では、長径・短径ともに曝露終了直後から観察期間を経るにしたがって減少傾向を示した。先行研究ではデンマーク製RWで曝露直後の長径は $9\mu\text{m}$ 強、4週後では $8\mu\text{m}$ 強と減少していた²³⁾。また、短径も、曝露直後はほぼ $0.7\mu\text{m}$ 、4週後ではほぼ $0.6\mu\text{m}$ 程度と減少を認めた²³⁾。別の報告でもデンマーク製RWで曝露直後の長径は $11\mu\text{m}$ 強、4週後では $10\mu\text{m}$ 強と減少し、短径は $0.8\mu\text{m}$ 弱、4週後ではほぼ $0.6\mu\text{m}$ 弱と減少を示した²⁰⁾。以前、私共が行った位相差顕微鏡による実験も長径、短径ともに直後に比べ4週後で減少傾向を示した。減少の理由としては、前述したように繊維の長径が $20\mu\text{m}$ より短いものは肺泡マクロファージに貪食され、 $20\mu\text{m}$ より大きい繊維は気管で捕捉され粘液纖毛運動によって体外へ排出されるか、体液による溶解または繊維が折れて短くなってマクロファージに貪食されたため平均値が減少したと考えられる¹⁵⁾。長径は前述した繊維数減少と同様の機序によって減少したと考えられる。また、短径は体液による溶解により減少したと考えられた。

今回は、RWの肺内滞留性をより精密に評価する目的で、短期間の鼻部吸入曝露実験後、位相差型電子顕微鏡を用いてRWの肺内動態を観察した。その結果、RWの安全性が示唆されたものと考えられる。今後は、EUの吸入実験条件に合わせた鼻部吸入曝露実験による肺内滞留性の検討や長期間の吸入曝露実験を施行し、RWの発がん性についてさらに検証していく必要があると思われる。

謝辞

本研究を遂行するに当たり、丁寧かつ熱心に御指導を賜りました北里大学医学部衛生学・公衆衛生学教室の杉浦由美子さん、井上葉子さん、小松裕美さん、小山美智代さん、山本明日香さんならびに電子顕微鏡センターの宮沢七郎さん、根本典子さんに心より感謝申し上げます。

参考文献

- 1) Doll R: Mortality from lung cancer in asbestos workers. *Br J Ind Med*, 12, 81-86, 1955.
- 2) 環境庁大気汚保全局企画課監修：石綿・ゼオライトのすべて，(財)日本環境衛生センター，1987，pp.1～476.
- 3) 森永謙二， 神山宣彦：石綿取扱業務の健康管理，(財)産業医学振興財団，東京，1993，pp.141～166.
- 4) Berry G: Mortality of workers certified by pneumoconiosis medial panels as having asbestosis. *Br J Ind Med* ,38,130-137,1981.
- 5) Gormley IP , Bolton RE , Brown GM, Davis JMG & Wright A : Some observations on the in vitro cytotoxicity of silicon carbide whisker prepared by the wet dispersion process. *Environ Health Perspect*,51,35-39,1983.
- 6) Koshi K & Sakabe H: Effect of asbestos dusts on the cultured macrophages. *Ind Health*, 10, 16-23, 1972.
- 7) 環境大気汚染保全局企画課監修：アスベスト代替品のすべて，(財)日本環境衛生センター，1987，pp.106-109
- 8) McConnell EE, Axten C, Hesterberg TW, Chevalier J, Miiller WC, Everitt J, Oberdorster G, Chase GR, Thevenaz P & Kotin P: Studies on the inhalation toxicology of two fibreglasses and amosite asbestos in the syrian golden hamster. Part II. Result of chronic exposure. *Inhalation Toxicology* 1999; 11: 785-835.
- 9) Davies R: The effect of mineral fibers on macrophages, IARC. *Sci. Publ* 1980; vol 30, Edited by Wangner JC et.al, Lyon: 419-425.
- 10) Brown RC, Chamberlain M & Skidmore JW: In vitro effects of man-made mineral fibers. *Ann Occup Hyg* 1979; 22,175-179.
- 11) IARC. 2002. Man-made Vitreous Fibers. Monograph 81. Lyon, France: International Agency for Reserch on Cancer.
- 12) Kohyama N, Tanaka I, Tomita M, Kudo M & Shinohara Y: Preparation and Characteristics of Standard References Samples of Fibrous Minerals for Biological Experiments. *Industrial Health* 1997; 35, 415-432.
- 13) Kudo Y, Shibata K, Miki T, Ishibashi M, Hosoi K, Sato T, Kohyama N and Aizawaw Y: Behavior of new type of rock wool (HT wool) in lungs after exposure by nasal inhalation in rats (in press)
- 14) (社)日本作業環境測定協会：作業環境測定ガイドブック I 鉱物性粉塵関係 労働省安全衛生部環境改善室編，第3刷，167-180，2000
- 15) WHO(1985) Reference Methods for Measuring Airborne Man-Made Mineral Fibres(MMMF)(Environmental Health Series4), World Health Organization, Copenhagen
- 16) Hesterberg TW, Hart GA: Synthetic Vitreous Fibers: A Review of Toxicology Research and Its Impact on Hazard Classification. *Critical Reviews in Toxicology* 2001;31 (1) : 1-53.

- 17) 田中 勇武: 小動物における呼吸器内の粒子沈着とクリアランス: エアロゾル研究 1988; 3(2), 16-23.
- 18) Homma K : Experimental Study for Preparing Metal Fumes. Industrial Health 1966; 4,(3),129-137.
- 19) 宮沢 七郎, 島田 達生監修 (2001) : ミクロの不思議な世界. 電子顕微鏡でみた私たちをとりまく自然と生活環境, 株式会社メジカルセンス, 東京.
- 20) Akiyama I, Ogami A, Oyabu T, Yamato H, Morimoto Y, Tanaka I: Clearance of Deposited Silicon Carbide Whisker from Rat Lungs Inhaled during a 4-Week Exposure.: J.Occup. Health 2003; 45,31-35.
- 20) Hesterberg TW, Chase G, Axen C, Miller WC, Musselman RP, Kamstrup O, Hadley J, Morscheidt C, Bernstein DM and Thevenaz P: Biopersistence of Synthetic Vitreous Fibers and Amosite Asbestos in the Rat Lung Following Inhalation. Toxicology and Applied Pharmacology 1998; 151,262-275.
- 21) Musselman RP, Miller WC, Eastes W, Hadley JG, Kamstrup O, Thevenaz W and Hesterberg TW: Biopersistence of Man-made Vitreous Fibers and Crocidolite Fibers in Rat Lungs following Short-term Exposures. Environmental Health Perspectives 1994;102,supplement 5.
- 22) McConnell EE, Kamstrup O, Musselman R, Hesterberg TW, Chevalier J, Miller WC, Thevenaz P: Chronic Inhalation Study Size-separated Rock and Slug Wool Insulation Fibers in Fisher 344/N Rats. Inhalation Toxicology. 1994;6,571-614.
- 23) Hesterberg TW, Miller WC, Musselman RP, Kamstrup RD, Hamilton RD and Thevenaz P: Biopersistence of Man-Made Vitreous Fibers and Crocidolite Asbestos in the Rat Lung Following Inhalation. Fundamental and Applied Toxicology.1996;29,267-269.

(相澤 好治, 工藤 雄一朗)

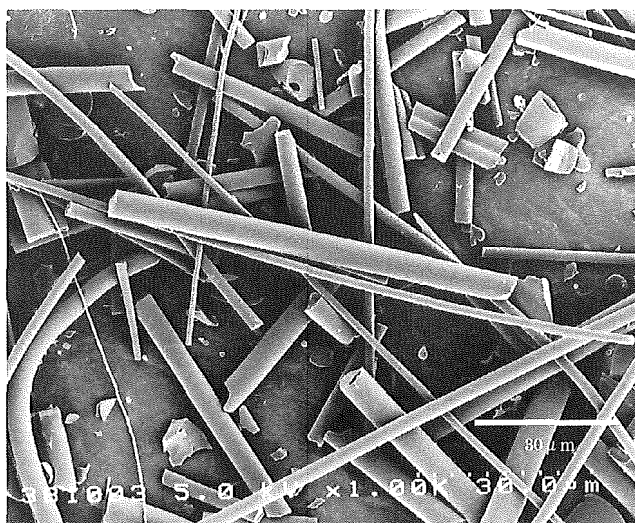


図 2-2-1 発塵前繊維の電子顕微鏡写真 (×1000)

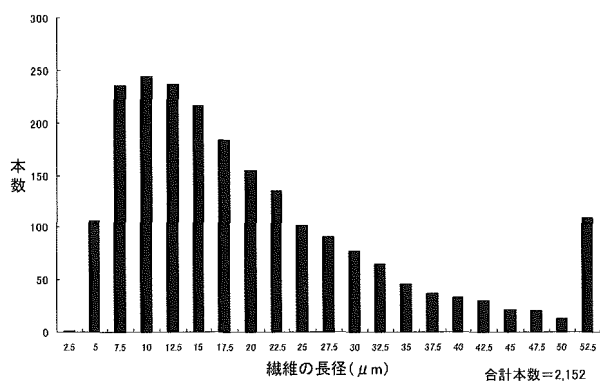


図 2-2-2a 発塵繊維の長径の分布 (曝露チャンパー内)

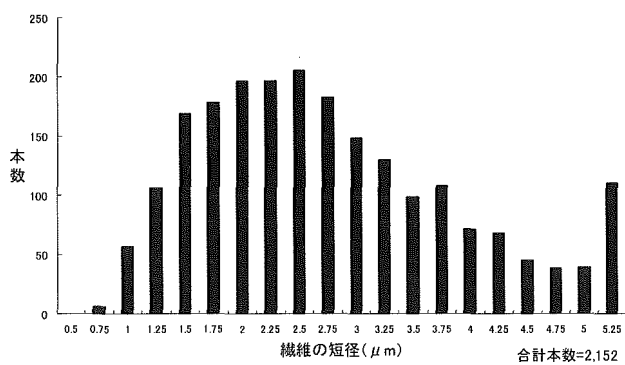
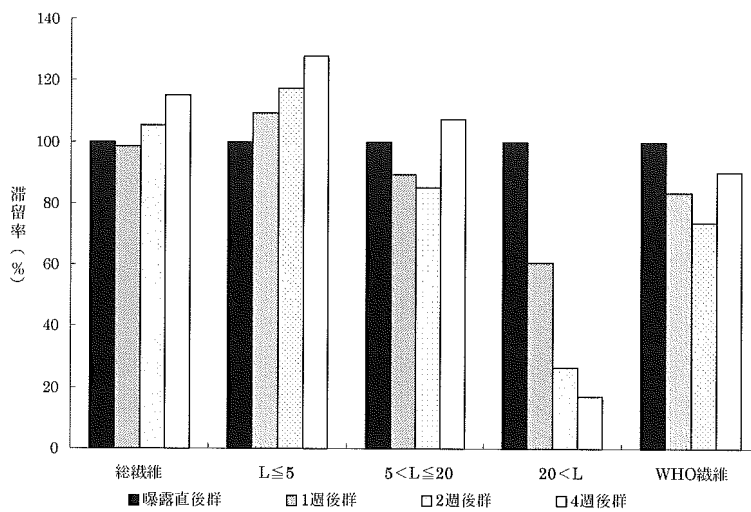


図 2-2-2b 発塵繊維の短径の分布 (曝露チャンパー内)



曝露直後群を 100 とした時の割合, n=5, L=繊維の長さ (μm)

図 2-2-3 肺内滞留繊維数の割合

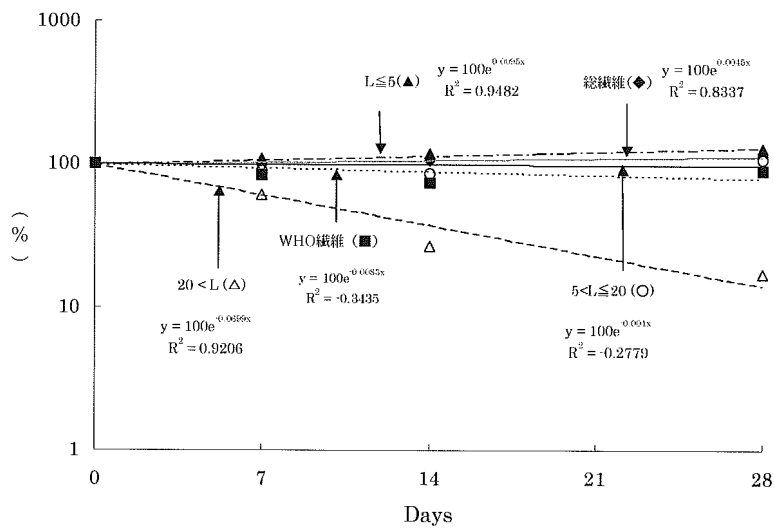


図 2-2-4 RW の肺からのクリアランス

表 2-2-1 曝露チャンバー内の濃度

1回目	デジタル粉塵計			2回目	デジタル粉塵計		
	(counts/min)	繊維数濃度 (f/cm ³)	重量濃度 (mg/m ³)		(counts/min)	繊維数濃度 (f/cm ³)	重量濃度 (mg/m ³)
1日目(n=5)	9861(274)	81.0(19.5)	30.0(6.2)	1日目(n=5)	9550(134)	39.8(14.3)	24.4(3.6)
2日目(n=5)	9237(197)	72.8(5.0)	27.0(7.1)	2日目(n=5)	9824(585)	77.4(27.4)	30.8(4.6)
3日目(n=5)	9247(97)	81.3(14.9)	33.2(7.8)	3日目(n=5)	10419(215)	69.9(20.1)	37.2(5.4)
4日目(n=5)	9313(154)	65.0(26.2)	29.2(2.3)	4日目(n=5)	9636(1697)	63.1(21.6)	24.4(6.2)
5日目(n=5)	9137(81)	86.8(12.0)	30.4(4.3)	5日目(n=5)	10851(458)	68.5(20.2)	37.2(5.0)
平均(n=25)	9359(310)	77.4(17.4)	30.0(5.8)	平均(n=25)	10056(956)	63.7(23.3)	30.8(7.4)

算術平均(標準偏差)

表 2-2-2 肺内滞留繊維数

観察期間	総繊維	幾何平均×10 ⁵ /肺 (幾何標準偏差)			WHO繊維
		L≤5	5<L≤20	20<L	
直後群	9.418 (1.21)	6.011 (1.44)	2.423 (1.56)	0.544 (1.70)	3.006 (1.54)
1週後群	9.280 (1.12)	6.569 (1.08)	2.167 (1.61)	0.331 (1.85)	2.513 (1.61)
2週後群	9.928 (1.51)	7.067 (1.43)	2.067 (2.58)	0.144 (3.02)	2.213 (2.60)
4週後群	10.846 (1.13)	7.690 (1.24)	2.598 (1.73)	0.092 (1.93) [*]	2.704 (1.71)

* : 直後群との比較 (p<0.05)

WHO繊維: 繊維の中で長さ5μmより大きく、幅3μm未満のもの

n = 5 L = 繊維の長径 (μm)

表 2-2-3 肺内滞留繊維の長径と短径の推移

	(μm)	
	長径	短径
	幾何平均(GSD)	幾何平均(GSD)
曝露直後群	3.34 (3.12)	0.31 (1.60)
1週後群	2.91 (2.88) ^a	0.30 (1.62)
2週後群	2.84 (2.76) ^a	0.33 (1.64)
4週後群	2.70 (2.67) ^a	0.30 (1.66) ^b

GSD: 幾何標準偏差, n=5

a: 曝露直後群との比較 (p<0.05)

b: 2週後群との比較 (p<0.05)

表 2-2-4 曝露チャンバー内の濃度 (NC 社製)

1週目					2週目						
月 日	検体No.	デジタル粉塵計 (counts/min)	MF (f/cm ³)	T60A20 (mg/m ³)	月 日	検体No.	デジタル粉塵計 (counts/min)	MF (f/cm ³)	T60A20 (mg/m ³)		
1日目	①	9200	81.1	26	1日目	①	9800	58.9	24		
		10230					9710				
		10180					9400				
	②	10100	94.7	30		②	9400	26.1	30		
		10140					9570				
2日目	③	9980	92.3	40	2日目	③	9440	33.8	20		
		9700					9500				
		10030					9600				
	④	9600	89.3	24		④	9540	50.7	24		
		9760					9700				
3日目	⑤	9880	47.4	30	3日目	⑤	9380	29.5	24		
		9600					9470				
		9720					9420				
	4日目	①	9700	65.8		18	4日目	①	9700	101.6	30
			9390						9530		
9360			9640								
②		9500	76.3	25	②	9400		46.2	28		
		9100				9500					
5日目	③	9320	78.8	24	5日目	③	9420	95.7	38		
		9200					9800				
		9220					9420				
	④	8900	71.2	36		④	8720	48.9	26		
		9160					11100				
6日目	⑤	9160	71.8	32	6日目	⑤	10200	94.6	32		
		9000					10090				
		9170					9900				
	7日目	①	9400	57.9		20	7日目	①	9800	69.4	32
			9270						10440		
9400			10560								
②		9150	77	34	②	10400		98.2	36		
		9300				10530					
8日目	③	9380	94.9	38	8日目	③	10480	69.1	46		
		9300					10400				
		9190					10530				
	④	9240	92.4	34		④	10490	41.3	38		
		9100					10660				
9日目	⑤	9260	84.3	40	9日目	⑤	10300	71.5	34		
		9100					10630				
		9210					10560				
	10日目	①	9600	53.5		26	10日目	①	10500	80	20
			9360						10400		
9260			10140								
②		9700	97.3	30	②	10000		77.1	30		
		9270				9840					
11日目	③	9200	29.3	30	11日目	③	10160	46.4	16		
		9300					10500				
		9300					10380				
	④	9320	82.3	32		④	10900	33.5	30		
		9200					10520				
12日目	⑤	9400	62.6	28	12日目	⑤	10380	78.4	26		
		9210					10500				
		9140					10470				
	13日目	①	9100	81.8		34	13日目	①	10440	70.5	36
			9200						10640		
9300			10540								
②		9200	91.8	32	②	10800		80.9	38		
		9160				10570					
14日目	③	9200	96.7	24	14日目	③	10580	44.4	30		
		9000					10600				
		9120					10490				
	④	9080	95.6	34		④	10520	53	44		
		9200					11000				
15日目	⑤	9030	68.2	28	15日目	⑤	12060	93.9	38		
		9060					10640				
		9100					10520				
	算術平均		9359.067	77.372		30.04167	算術平均		10041.64	63.744	30.5
	標準偏差		309.8045	17.41928		5.856837	標準偏差		965.5123	23.30789	7.442533

3. 特定建築物における粒子状物質と化学物質の実態調査

本章では、昨年度の実測結果を踏まえ、季節変動や空調機の違いによる空気環境の違いを把握するため、都内にある同一の建物において夏、秋、冬と季節別の実測調査を行い、また更に秋期においては2つの異なる建物において実測を行った。測定項目としては浮遊粒子状物質、VOCに加えて微生物の実測を行った。

3.1 測定概要

(1) 測定対象ビルの概要

調査対象建物の概要（竣工年、建物延床面積、室内側測定場所（測定室）の延床面積）を表3-1-1に示す。本論中では、建物名称（東京1、東京2）を“1”および“2”と記載する場合がある。

また、測定を行った年月日、時刻などを表3-1-2に示す。計4回の実測は、基本的に全て室内外で同様の項目を測定し、いずれも24時間連続の測定を行っている。

・測定環境

室内側測定場所は室内中央部、室外側測定場所は測定室付近の外部空間とした。

測定室の開口部の有無とその方位、主な仕上げ材料、喫煙状況、人の不在時間、事務機器類について表3-1-3に示す。但し、東京1の秋期および冬期の測定では、不在時間帯についても測定者2名が測定器の確認のために1時間毎に数分間入室している。また、机については大きさがそれぞれ異なるため、総面積について記載する。各調査項目について、両建物共にほぼ共通している。特に、喫煙状況については禁煙である。

・空調設備

測定対象建物について、空調設備（測定室設計給気量、測定室設計外気量、空調方式、フィルタの種類：効率（%）通常運転時間、換気の種類）を表3-1-4に示す。加えて、図3-1-1及び図3-1-2に設備統計図、空調図を示す。なお、AHU—空気調和機、OHU—外調機、OA—外気、SA—給気、RA—還気、EA—排気である。

また測定時間中の温湿度の変化を図3-1-3に示す。

その他、今回実測を行った調査概要を表3-1-5に示す。

表3-1-1 建物概要

建物名	東京1	東京2
竣工年	1975年6月	1958年4月
建物延床[m ²]	100,000m ² 以上 300,000m ² 未満	100,000m ² 以上 300,000m ² 未満
測定室延床[m ²]	160.58	106.11

表 3-1-2 測定時刻等

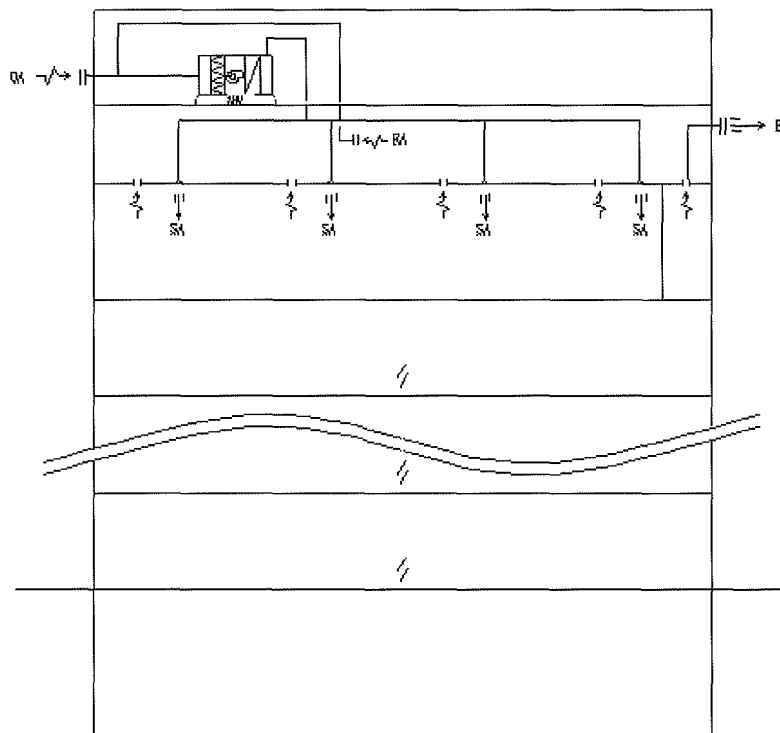
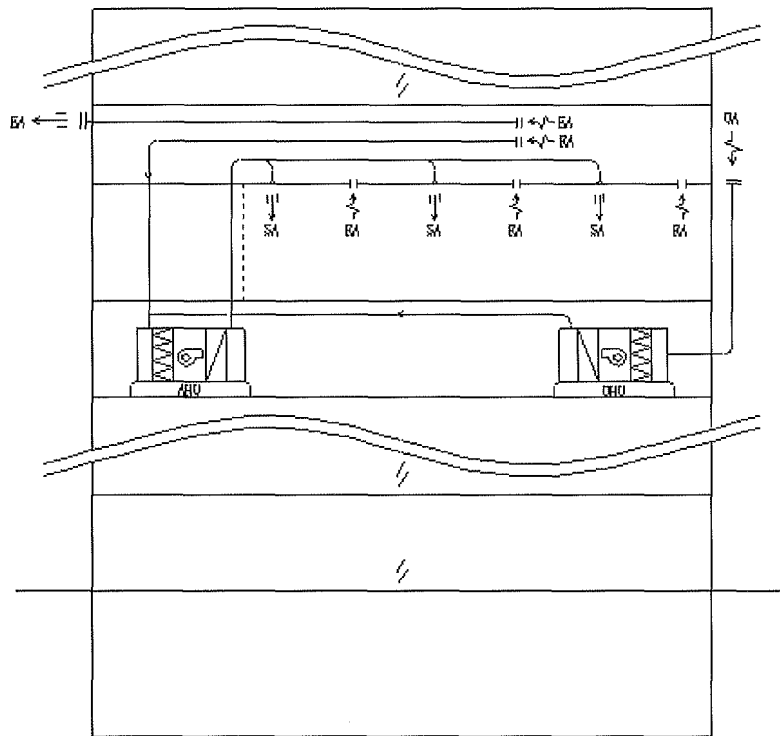
建物名	東京1	東京2
調査日	夏期:2005.08.23-24 秋期:2005.10.17-18 冬期:2005.12.12-13	秋期:2005.10.24-25
測定時刻	17時-翌17時	17時-翌17時
測定時天候	夏期:雨・曇り 秋期:雨・曇り 冬期:晴れ・曇り	秋期:晴れ
室内側測定場所	事務室	事務室
室外側測定場所	昼間:1階エントランス 夜間:エントランス付近の開口部より、チューブにて外気取込(夏期を除く)	室内側測定場所と同階の測定開口部より、チューブにて外気取込
特記事項	外気に面した開口部なし	窓は常閉

表 3-1-3 測定室環境

建物名	東京1	東京2
開口部方位	なし	東
主要材料	床 壁 天井	カーペット類 塗装 ボード類
人の不在時間	22:00-06:00	22:00-07:30
喫煙状況	禁煙	禁煙
事務機器	コンピュータ (夜間起動 台数)[台] コピー機[台] プリンタ[台] 机[m ²]	21 (1) 2 1 29.94
		3 1 21.40

表 3-1-4 空調設備の概要

建物名	東京1	東京2
測定室設計	給気量[m ³ /h]	5,480
	外気量[m ³ /h]	1,483.3
空調方式 (空調機器)	各階ユニット方式 (AHU)	各階ユニット方式 (AHU・OHU)
空調設備	フィルタ:効率(%) 中性能:DOP60% プレ:AFI70%	電気集じん機 :AIF90%
通常空調運転時間	夏期:07:30-20:00 秋期:07:30-20:00 冬期:07:30-18:00	秋期:08:00-18:00
換気の種類	第1種換気方式	第1種換気方式



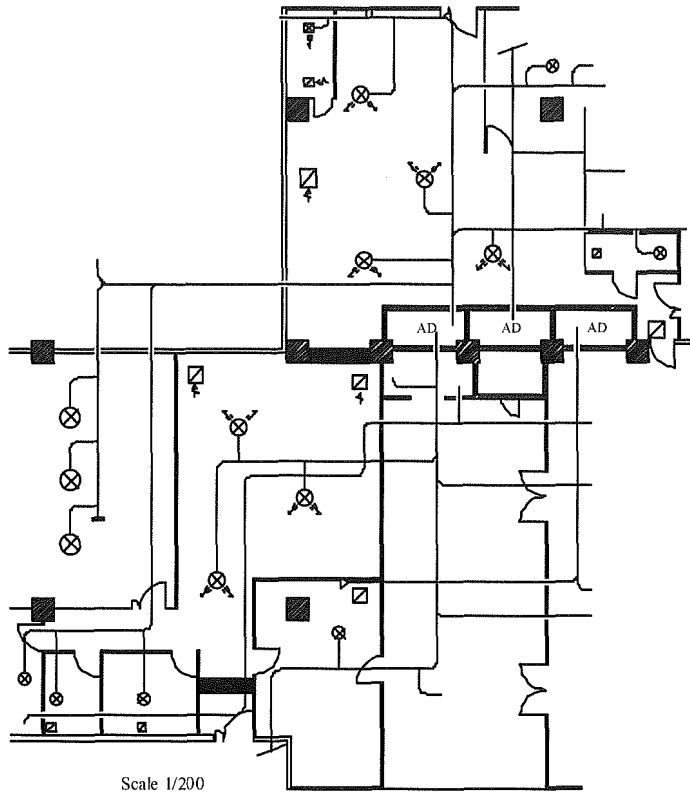
東京 2 統計図

図 3-1-1 測定対象建物の系統図

東京1

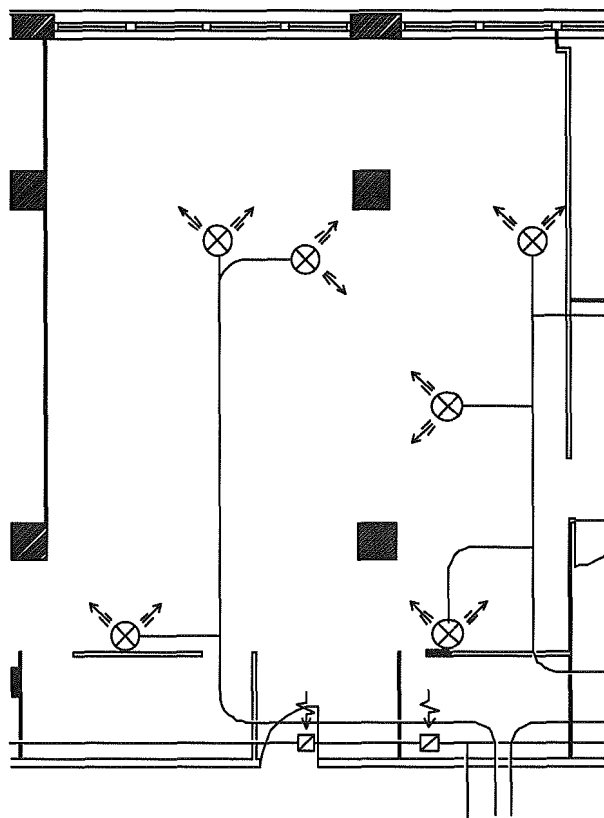
事務室(1)		
SA	C2 #30	4
	700m ³ /h	
SA	HS-600×600	1
	400m ³ /h	
RA	HS-600×600	1
	2800m ³ /h	

事務室(2)		
SA	C2 #30	3
	760m ³ /h	
RA	HS-500×500	2
	1140m ³ /h	



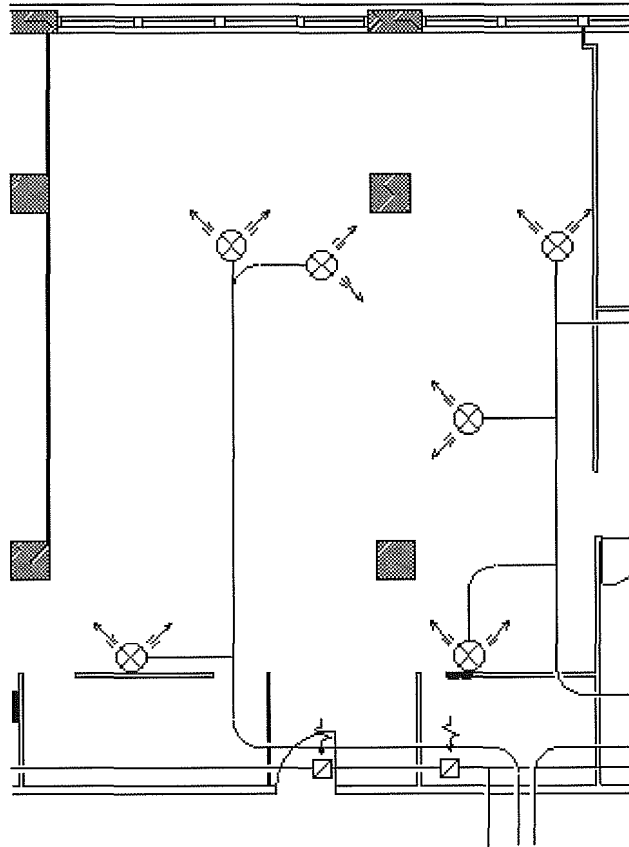
東京2

事務室		
SA	AN-S 20# 200φ	6
	300m ³ /h	
RA	GH-S 300×300	2
	340m ³ /h	



東京2

事務室		
SA	AN-S 20# 200φ	6
	300m ³ /h	
RA	GH-S 300×300	2
	340m ³ /h	



Scale 1/100

図 3-1-2 測定対象建物の空調図

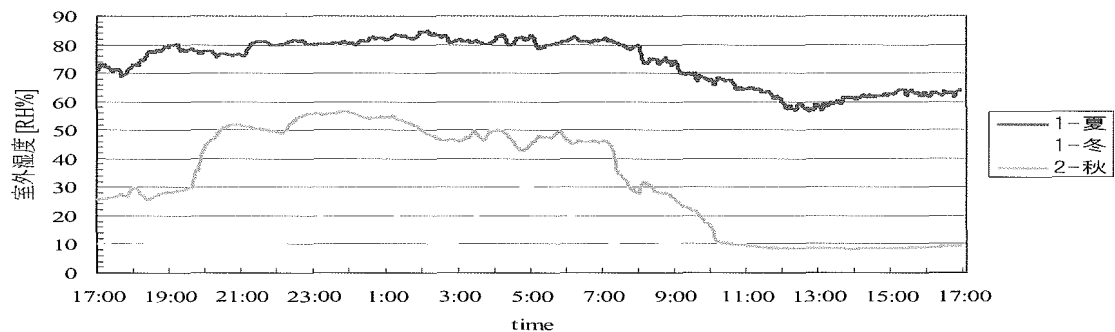
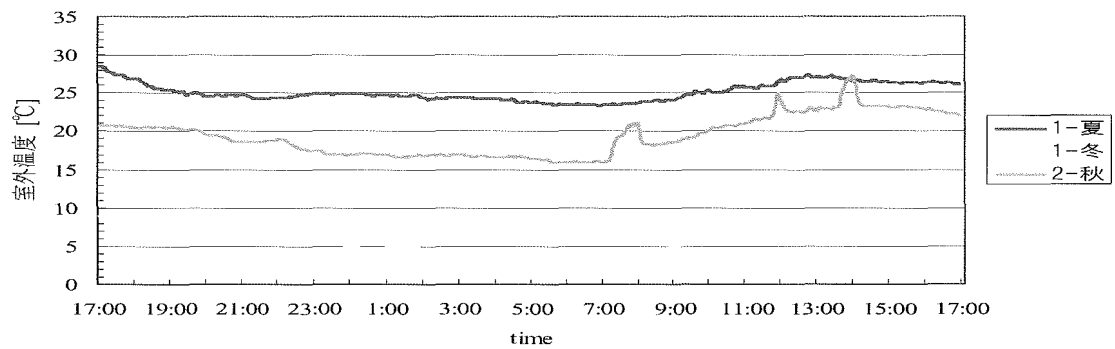
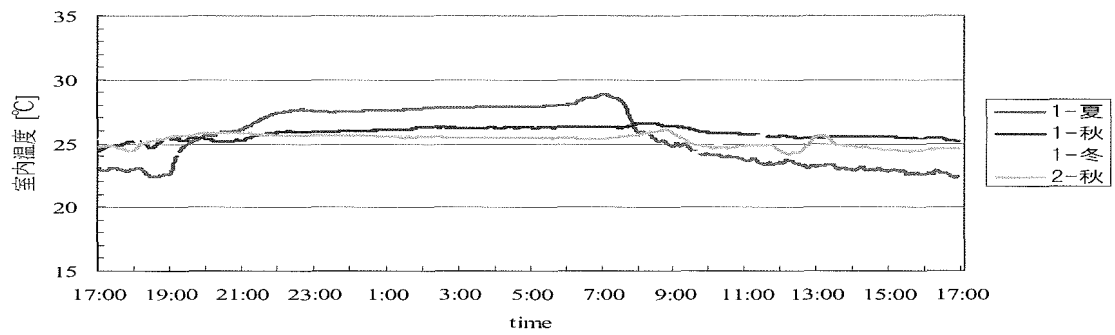
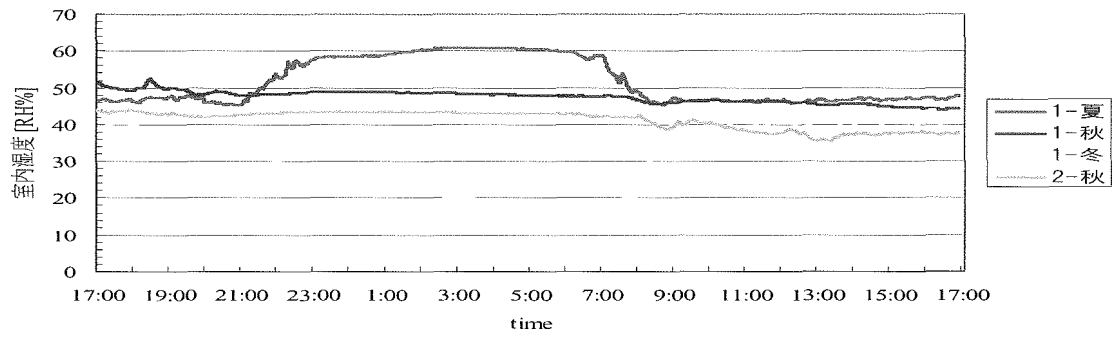


図 3-1-3 各温湿度の時系列変化
 (上段より, 室内温度, 室内湿度, 外気温度, 外気湿度)

(2)測定機器について

- ・走査型モビリティ粒径分析器：TSI 製，3080 (DMA)・3022 (CPC)

走査型モビリティ粒径分析器 (Scanning Mobility Particle Sizer ; SMPS) は超微粒子の個数濃度を測定するための測定器である。本器を大別すると，微分型モビリティ分析器 (Differential Mobility Analyzer ; DMA) と，凝縮粒子カウンタ (Condensation Particle Counter ; CPC) からなり，光学検出器を用いて粒子数を測定する。

DMA は，平衡荷電状態にした試料空気を中心電極に沿って流し，電圧を印加，粒子の電気移動度に従って分級する装置である。分級される粒子の粒径は，試料空気，シースエア (Sheath Air)，エクセスエア (Excess Air)，分級後の粒子の流量および中心電極に印加する電圧によって決定される。DMA で分級された粒子は光散乱方式では測定できないほど小さい。そのため，分級された粒子の計数は CPC を用いる。CPC はその粒子を核に，ある種の蒸気と混合・急冷することにより，蒸気を凝縮させ検出可能な大きさの液滴を生成する。通常，凝縮剤としてブタノールが使用されている。

今回の測定範囲を 14.3～649nm，チャンネル数を 32，流量については，試料空気を 0.3[L/min]，シースエアを 3.0[L/min]とした。

- ・レーザーパーティクルカウンタ：RION 製，KR-12A

レーザーパーティクルカウンタ (Laser Particle Counter ; LPC) は粒径別個数濃度 (単位：個/L) を測定するための測定器である。本器の動作原理は，粒子に光を照射した際に発生する散乱強度がその粒径に相当するという性質を利用して粒子の大きさを個別に測定し，散乱光のパルス数を粒子の個数として計数するというものである (光散乱方式)。

今回の測定で用いた KR-12 はハンディタイプのパーティクルカウンタで，その粒径区分は 0.3，0.5，0.7，1.0，2.0，5.0 (単位：μm) の 6 段階，試料流量は 2.83L/min である。

(西村直也)

表 3-1-5 測定・調査項目

SPM濃度測定	粒径別個数濃度	SMPSにて LPCにて
温湿度測定		自記記録温湿度計にて
聞き取り調査	建物概要	竣工年、建物延床面積、 測定室延床面積
	測定環境	測定室開口部方位、主要材料 在室人数、喫煙状況、事務機器
	空調設備	測定室設計給気量・外気量、 空調方式、通常運転時間 換気の種類、設備系統図等

3.2 粒子状物質の実測調査結果

(1)質量濃度測定結果

<ピエゾバランス粉じん計>

東京 1 の室内質量濃度は夏の測定が平均値で $0.01\text{mg}/\text{m}^3$ の一番小さな値を示し、秋の測定が平均値で $0.03\text{mg}/\text{m}^3$ の一番高い値を示した。夏は 1 日を通して小さな値を示していたが、秋は昼 (11:00~12:00) に $0.04\text{mg}/\text{m}^3$ の高い値を示した。冬の測定では夕方 (16:00) に $0.04\text{mg}/\text{m}^3$ の値を示した。1 日の平均値は $0.02\text{mg}/\text{m}^3$ だった。室内質量濃度はどの季節もほぼ同じような値を示し、 $0.01\text{mg}/\text{m}^3$ 程度であった。

東京 2 の測定では室内質量濃度に関して、夕方 15:00 に $0.05\text{mg}/\text{m}^3$ の高い値を示し、1 日を通して高い値を示していて、平均で $0.03\text{mg}/\text{m}^3$ であった。室外では平均値 $0.02\text{mg}/\text{m}^3$ であった。

<デジタル粉じん計>

デジタル粉じん計は SPM の質量濃度 (単位: mg/m^3) を測定するための計測器であるが、空気中に浮遊している粉じんの質量濃度を散乱光の強弱として間接的に測定するものである。散乱光の強度は、粒子と屈折径に支配されるが、粒子数に比例した散乱光強度が得られるとされているため、散乱光強度を測定することで粒子個数が推定でき、粒子個数は粉じん濃度に比例する。濃度は、相対濃度 (CPM: Count Per Minutes) で表されるが、質量濃度に変換する場合に、質量濃度変換計数 ($=0.0013\text{mg}/\text{m}^3/\text{CPM}$) を乗じて質量濃度を算出することが一般的である。

図 3-2-1 に各測定建物におけるカウント数の経時変化を示す。東京 1 の室内質量濃度の測定では 6:30 に空調が入る時間で増加し、そのまま横ばいになった。夏は 20:00、秋、冬は 18:00 に空調が切れる時間で質量濃度が増加して、それを過ぎると若干減少し横ばいの形になった。特徴的なのは冬の非空調時間の変動が大きかったことだが、全体的に変動は小さかった。東京 2 の室内質量濃度は東京 1 と変動の違いがあり空調が切れる 18:00 に質量濃度が増加し、空調の入る 8:00 に濃度が減少した。

室外の質量濃度は東京 1 に関して、夏がもっとも変動が小さく、秋の変動が大きかった。夏の測定では一番多いところで 24cpm を示しているが、秋の測定では 75cpm を示している。夏の約 3 倍の値を示した。また、どの測定でも夜間より、6:30~20:00 にかけて質量濃度が増加している。冬の測定では夜 12:00 ぐらいまで増加した状態が続いた。東京 2 の室外質量濃度測定結果では、東京 1 とは対照的に夜間の質量濃度が増加していた。17:00 頃から増加し、8:00 に減少した。

東京 1、東京 2 どちらに関しても、室内質量濃度の変化が微小ながら室外質量濃度と増減の仕方が似ている傾向があり、空調の稼働の関係で外気の濃度変動が室内に影響を与えている可能性が伺えた。

また、ピエゾバランス粉じん計と LD とを比較した場合に、室内における係数値を比較してみると、1.7、1.8、2.2、1.8 となり、通常使用されている 1.3 よりも大きくなった。これは室内における粉じん濃度の低下による係数値のばらつきもあるが、当時考えられていた室内粉じんの性状と現在のものとは異なっていることも要因であると考えられる。

ローボリュームエアサンプラ (L-V)・デジタル粉じん計・ピエゾ
 バランス粉じん計による室内・室外質量濃度 (東京1・夏)

①外気測定(夜間) (19:00~22:00)

L-V測定	捕集重量(mg)	吸引流量(m ³)	重量濃度(μg/m ³)
外気	—	—	—

デジタル粉じん計	c p t	c p m	係数值
LD-3	1,805	10.03	—

②居室測定(夜間) (19:00~7:00)

L-V測定	捕集重量(mg)	吸引流量(m ³)	重量濃度(μg/m ³)
屋内	0.211	21.6	9.77

デジタル粉じん計	c p t	c p m	係数值
LD-3	2,658	3.69	2.6

③外気測定(昼) (9:00~17:00)

L-V測定	捕集重量(mg)	吸引流量(m ³)	重量濃度(μg/m ³)
外気	0.265	14.4	18.4

デジタル粉じん計	c p t	c p m	係数值
LD-3	6,853	14.28	1.3

ピエゾバランス粉じん計	1回目測定値	2回目測定値	平均測定値
8:00	0.00	0.00	0.00
9:00	0.00	0.03	0.02
10:00	0.00	0.00	0.00
11:00	0.02	0.02	0.02
12:00	0.02	0.02	0.02
13:00	0.02	0.05	0.04
14:00	0.04	0.00	0.02
15:00	0.00	0.01	0.01
16:00	0.00	0.01	0.01
17:00	0.01	0.01	0.01
平均値	0.01	0.02	0.01

④居室測定(昼) (9:00~17:00)

L-V測定	捕集重量(mg)	吸引流量(m ³)	重量濃度(μg/m ³)
屋内	0.125	14.4	8.68

デジタル粉じん計	c p t	c p m	係数值
LD-3	2,039	4.98	1.7

ピエゾバランス粉じん計	1回目測定値	2回目測定値	平均測定値
8:00	0.00	0.01	0.01
9:00	0.02	0.01	0.02
10:00	0.01	0.01	0.00
11:00	0.02	0.01	0.02
12:00	0.00	0.00	0.00
13:00	0.01	0.01	0.01
14:00	0.00	0.01	0.01
15:00	0.01	0.02	0.02
16:00	0.01	0.01	0.01
17:00	0.01	0.01	0.01
平均値	0.01	0.01	0.01

ローボリュームエアサンプラ (L-V)・デジタル粉じん計・ピエゾ
 バランス粉じん計による室内・室外質量濃度 (東京1・秋)

①外気測定(夜間) (18:00~06:00)

L-V測定	捕集重量(mg)	吸引流量(m3)	重量濃度($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
外気1	0.378	21.72	17.4
外気2	0.240	14.48	16.6

デジタル粉じん計	c p t	c p m	係数值
LD3	18,383	25.4	0.7
			0.7

②居室測定(夜間) (18:00~06:00)

L-V測定	捕集重量(mg)	吸引流量(m3)	重量濃度($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
屋内1	0.307	21.6	14.2
屋内2	0.268	21.6	12.4

デジタル粉じん計	c p t	c p m	係数值
LD3	5,352	7.43	1.9
			1.7

③外気測定(昼) (9:00~17:00)

L-V測定	捕集重量(mg)	吸引流量(m3)	重量濃度($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
外気1	0.587	14.4	40.8
外気2	0.371	9.60	38.6

デジタル粉じん計	c p t	c p m	係数值
LD3	19,730	41.1	1.0
			0.9

ピエゾバランス粉じん計	1回目測定値	2回目測定値	平均値 (mg/m3)
8:00	0.02	0.02	0.02
9:00	0.03	0.03	0.03
10:00	0.02	0.02	0.02
11:00	0.02	0.05	0.04
12:00	0.05	0.03	0.04
13:00	0.01	0.02	0.02
14:00	0.02	0.03	0.03
15:00	0.03	0.01	0.02
16:00	0.02	0.01	0.02
17:00	0.03	0.03	0.03
平均値	0.03	0.03	0.03

④居室測定(昼) (9:00~17:00)

L-V測定	捕集重量(mg)	吸引流量(m3)	重量濃度($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
屋内1	0.151	14.4	10.5
屋内2	0.151	14.4	10.5

デジタル粉じん計	c p t	c p m	係数值
LD3	2,870	5.98	1.8
			1.8

ピエゾバランス粉じん計	1回目測定値	2回目測定値	平均値 (mg/m3)
8:00	0.00	0.00	0.00
9:00	0.01	0.01	0.01
10:00	0.02	0.02	0.00
11:00	0.01	0.01	0.01
12:00	0.01	0.01	0.01
13:00	0.00	0.00	0.00
14:00	0.00	0.00	0.00
15:00	0.00	0.00	0.00
16:00	0.00	0.01	0.01
17:00	0.02	0.02	0.02
平均値	0.01	0.01	0.01

ローボリュームエアサンプラ (L-V)・デジタル粉じん計・ピエゾ
 バランス粉じん計による室内・室外質量濃度 (東京1・冬)

①外気測定(夜間) (18:00~06:00)

L-V測定	捕集重量(mg)	吸引流量(m3)	重量濃度($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
外気1	0.810	21.6	37.5
外気2	0.497	14.4	34.5

デジタル粉じん計	c p t	c p m	係数値
LD3	15,983	22.2	1.7
			1.6

②居室測定(夜間) (18:00~06:00)

L-V測定	捕集重量(mg)	吸引流量(m3)	重量濃度($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
屋内1	0.355	21.6	16.4
屋内2	0.326	21.6	15.1

デジタル粉じん計	c p t	c p m	係数値
LD3	7,924	11.01	1.5
			1.4

③外気測定(昼) (9:00~17:00)

L-V測定	捕集重量(mg)	吸引流量(m3)	重量濃度($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
外気1	0.378	14.4	26.3
外気2	0.239	9.60	24.9

デジタル粉じん計	c p t	c p m	係数値
LD3	8,414	17.5	1.5
			1.4

ヒューバランス粉じん計	1回目測定値	2回目測定値	平均値 (mg/m3)
8:00	0.02	0.01	0.02
9:00	0.03	0.01	0.02
10:00	0.02	0.02	0.02
11:00	0.01	0.02	0.02
12:00	0.02	0.03	0.03
13:00	0.00	0.01	0.01
14:00	0.02	0.01	0.02
15:00	0.01	0.01	0.01
16:00	0.03	0.04	0.04
17:00	0.05	0.01	0.03
平均値	0.02	0.02	0.02

④居室測定(昼) (9:00~17:00)

L-V測定	捕集重量(mg)	吸引流量(m3)	重量濃度($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
屋内1	0.177	14.4	12.3
屋内2	0.150	14.4	10.4

デジタル粉じん計	c p t	c p m	係数値
LD3	2,647	5.51	2.2
			1.9

ヒューバランス粉じん計	1回目測定値	2回目測定値	平均値 (mg/m3)
8:00	0.01	0.00	0.01
9:00	0.03	0.02	0.03
10:00	0.02	0.03	0.00
11:00	0.03	0.02	0.03
12:00	0.02	0.01	0.02
13:00	0.03	0.01	0.02
14:00	0.03	0.01	0.02
15:00	0.02	0.01	0.02
16:00	0.02	0.03	0.03
17:00	0.03	0.02	0.03
平均値	0.02	0.02	0.02