

大気中のじんあい濃度測定装置

福田 実* 中沢 俊之*

Minoru Fukuda

Toshiyuki Nakazawa

Measurement Apparatus of Dust Density in Atmosphere

Synopsis

On this report, research for dust meter in this company central laboratory is introduced,—outline of conventional dust meters, dust meters used for measurement of dust density about some works and ion adsorption type continuous dust meter. Idea of ion adsorption dust meter has been grown from the measurement of airoion density in atmosphere concerning negative airoion generator.

About this dust meter, measuring principle, details of apparatus and the measurement data of comparative test with tyndallometer are described.

I. ま え が き

大気中に浮遊するじんあいに関しては、以前からいわゆる大気汚染問題として人々に広く知られているほか、鉱山におけるけい肺の問題や、あるいはまた炭じん爆発など問題が多く、種々論議され、検討されてきているが未解決のものも多い。一方産業の発達に伴って生じる新たな問題や、さらには、よりよい環境衛生に資するなどのため、これらじんあいに関してはますます研究し、生活向上に役だてなければならない。

当社では生活環境衛生の改善の一環として工場用コトレル形の集じん器、ならびに事務所、家庭用電気集じん器などを開発し、市販している。一方中央研究所においても、じんあい測定に関する研究と、負イオン発生器の負イオン発生効率測定にから出発した連続式じんあい測定器の開発研究などの問題にとりくんでいる。ここでは中央研究所が現在までに行なってきたじんあいに関する研究の紹介という意味で、じんあい測定方法のあらまし、当研究所で行なったじんあい測定例、そして現在開発中の連続式じんあい測定器について述べてみたいと思う。

II. じんあい測定方法

大気中に存在するじんあいは一般に浮遊じんあいと降下じんあいに分けて考えられる。浮遊じんあいとは空気中に浮遊しつつ存在するじんあいで、この測定単位としては $\text{個}/\text{ml}$, mg/m^3 が主として使用される。測定器には種々あるが、その測定値は測定器が異なれば相当の差異を示し、かつその相関はむしろ小さい場合が多い。したがって測定はなるべく各種の測定器を併用することが望

ましい。降下じんあいとは大気中の汚染物質のうち、自己の重量により、または雨によって沈降するばい煙、粉じんその他の不純物であり、この測定単位は $\text{ton}/\text{km}^2/\text{month}$ が主として使用される。測定法としては乾式法、湿式法、その他などがある。次にこれらじんあい測定法の概要を測定機器を重点において第1, 2, 3表に示す。

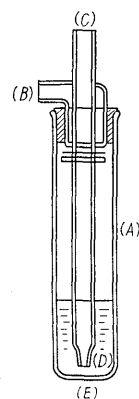
III. じんあい濃度の測定例

I. のまえがきにも述べたごとく大気中のじんあいは、環境衛生や、産業上に種々の障害を与えるので、これに対する対策が必要となってくる。これらのことに関して、中研ではさきに二、三の場所においてじんあい濃度の測定を行なったので、これら測定法の詳細およびその結果について以下述べる。

1) インピンジャによる測定

インピンジャの概要を

第1図に示す。すなわちガラス円筒(A)に水を入れ(B)を真空ポンプと連結し $30 \text{ l}/\text{min}$ の吸引速度で空気を $10 \sim 60$ 分間吸引する。じんあいは(C)より入りノズル(D)で加速されてびん底(E)に噴出衝突して水中に捕集される。これを重量既知の蒸発皿に移しかえ、水を蒸発させたのち乾燥して重量を測定しじんあい濃度を算出する。したがってこの方法はじんあ



第1図 インピンジャじんあい計の概要図

Fig. 1. Conceptual diagram of Impinger dust meter

* 中央研究所

第1表 浮遊じんあいの測定
Table 1. Measuring of floating dust

機 器 名	適 用 方 法			記 事
	重量法 (mg/m ³)	光学的方法 (mg/m ³)	顕微鏡による 計数(個/ml)	
ろ過式じんあい計	適 用	適 用	—	光学的方法の場合ろ過面のダストのスポットの濃さよりじんあい量を求める。5 μ 以下のものに適用される。
ハイボリュームサンプラ	適 用	—	—	ろ過式じんあい計の一種で短時間に多量の空気を吸引しようとするもの。ろ紙の種類をかえることにより 0.01~10 μ または 10 μ 以上の粒子に適用できる。
電気集じん器	適 用	—	—	浮遊じんあいの捕集法として最も効率のよいもの。じんあい測定に標準に使われている場合もある。
インピンジャ	適 用	—	適 用	粒径 1 μ 前後のものの捕集に適する。90 数 % の捕集率が期待できる。ゼーデヴィックラフタ計数器を用いればじんあい粒子の計数もできる。
チンダロメータ	—	適 用	—	大気中に存在するじんあいによって生じたチンダル散光の強さよりじんあい量を求める。
デジタル粉じん計	—	適 用	—	チンダロメータと同様散乱光を利用したもので、光電子倍增管によりパルスとしてじんあいを計数する。
サーマルプレシピテータ	—	—	適 用	5 μ 以下の粒子に対しては 100% 近い集じん率を示す。粒径測定も可能、標準計器として使用されることもある。
吸着式じんあい計			適 用	じんあい粒子数が 300~400個/ml 位の時に適する粒径測定も可能。

第2表 降下じんあいの測定
Table 2. Measuring of falled dust

測 定 器 名	記 事
デポジットゲージ	重量法、成分分析も行なう。英国規格。一般に広く用いられる。 直径 30cm の大形捕集ロートと 10~20ℓ のびんよりなる。捕集液なし。
ダストジャー	重量法、成分分析も行なう。米国規格。簡易ばいじんびんとして使用される。 内径 11.2cm、深さ 20.3cm のびん。捕集液あり。
そ の 他	短時間に特殊な目的で用いられるものとして、ベトリ皿法、ワセリンガラス板法、水盤法、灰取紙法、アルミはく板法などがある。

第3表 浮遊じんあいの連続測定
Table 3. Continuous measuring of floating dust

機 器 名	記 事
ろ紙自動粉じん捕集装置	ろ紙テープ上に自動的に一定時間間隔で採じんし、色の濃さから光学的にじんあい量を求める。
労研式自動記録インパクト	スリットを通して空気をトレーシング紙上に吹きつけて紙上に捕集し、色の濃さから光学的にじんあい量を求める。
連続自動自記記録粉じん計	原理は上記と同じ、ただし自動採じん直後光学的に自動記録される。
コロナ放電方式によるばいじん量連続測定装置	2段荷電形電気集じんの原理を応用した測定方法で、コロナ放電によってじんあいに電荷を与え、この電荷量を測定してじんあい量を求める。

第4表 某作業所内のじんあい濃度測定結果 mg/m³
(著名都市浮遊ばいじん濃度)

Table 4. Measuring results of dust density in some works

試料採取点	総じんあい量	Fe ₂ O ₃ 重量	Fe ₂ O ₃ /総重量×100
A	33.3	20.0	60
B	10.0	10.0	100
C	36.7	26.6	73
D	10.0	10.0	100
E	13.3	13.3	100
Baltimore	0.38~0.87	—	—
京浜地区扇町	0.7~1.0	—	—

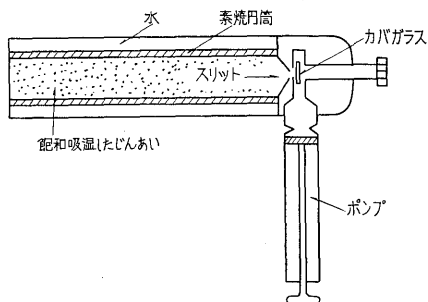
いが比較的高濃度の場合に限られ、またじんあいの粒子もあまり微妙なものは捕集されにくい。およそ1μまでのものとされているが捕集したじんあいの成分の検討が行なえる利点を有する。このインピンジャを用いて某作業所内のじんあい濃度測定を行なった結果を第4表に示す。なお参考までに大気汚染のはなはだしい著名都市の浮遊ばいじん濃度を併記する。

測定場所における作業内容は鉄微粉の多く発生する場所であり、しかも密閉状態に近い部屋であったためじんあい濃度は非常に高く、しかも鉄が主成分を占めていた。非常に高いじんあい濃度を示しながら大気汚染の著名な都市の汚染状態とあまり差違が認められなかったことは、前者が比重の大きな鉄がじんあいの主成分を占めているのに対し、後者では比重の軽い、ばいじんが主成分であるためと考えられる。

2) 吸着式じんあい計による測定

じんあい量が少なくなってくるとインピンジャのごとく捕集したじんあいの重量を直接測定することは困難になってくる。

この場合のじんあい測定法の一つに吸着式じんあい計がある。このうち本測定に用いた労研式じんあい計についてその概要を示すとつぎのごとくになる。構造を第2



第2図 労研式じんあい計

Fig. 2. Roken type dust meter

図に示す。

すなわち外筒と内筒（素焼板）との間に水を入れてしばらく放置すると水は素焼の筒を通して円筒内は飽和湿度となり、このため円筒内のじんあいは吸湿して水滴の核となる。今ポンプを急に引くとこれらのじんあいはスリットを通してカバガラスの表面に衝突し、ここに付着するのでこのカバガラスを顕微鏡下で観察し付着したじ

第5表 清浄作業室内のじんあい数測定結果 (個/m³)

Table 5. Measuring results of numbers of dust in a cleaned conditioning room

採 じ ん 場 所		じ ん あ い 数 (個/m ³)	
		39-4-10	39-5-9
A作業室	a	85	90
	b	—	60
	c	—	90
	d	—	100
B作業室	a	85	50
	b	15	10

第6表 じんあい許容濃度

Table 6. Permissible density of dust concentration

1 m ³ 当たりのじんあい粒子数	濃 度
100 以下	清 浄
100~200	軽度発じん
200~400	中等度発じん
400	恕 限 度
400~800	高度発じん
800 以上	危険度発じん

第7表 各種作業場のじんあい数

Table 7. Numbers of dust on some working places

作 業 場	じんあい数 (個/m ³)
蓄 電 池 工 場	1,000~5,000
電 信 局	100~1,000
郵便局	400~1,800
硫 安 工 場	300~1,800
磷 肥 工 場	約 2,000
選 鉱 所	200~2,000
映画館映写室	400~1,500
地下鉄トンネル内作業所	1,000~2,000
鋳 物 工 場	約 7,000
一 般 事 務 室	約 500

んあいの数を計数する。

この吸着式じんあい計を用いて清浄作業室内のじんあい濃度を測定した。結果を第5表に示す。なお参考までに労働衛生に関する粉じんの許容濃度および各種作業物の粉じん数を第6表、第7表に併記する。

一般にじんあい数は少ない所で200前後、普通の各種工場のうち少ない所で500～1,000、多い所で1,000～2,000、特に多い所で2,000～20,000といわれている。したがってこの清浄作業室内は非常に清浄であるといえる。

3) グリセリン皿による測定

インピンジャ、吸着式じんあい計などはともにじんあいの瞬間濃度を測定するものであるが、じんあい量が少ない時、またはある期間における平均濃度を調査するなどの時には降下してくるじんあいを長期間にわたって捕集し、これを測定することによってじんあい濃度を知る

第8表 清浄作業室内の降下じんあい量測定結果
(ton/km²/month)

Table 8. Measuring results of numbers of falled dust in a cleaned conditioning room

採じん場所		40—4—10			40—5—9		
		無機物	繊維類	総重量	無機物	繊維類	総重量
A 作業所	a	0.12	0.88	1.00	0.14	1.13	1.27
	b	0.26	1.32	1.58	0.25	0.83	1.08
	c	0.56	2.94	3.50	0.70	1.00	1.70
	d	1.29	—	—	1.02	4.70	5.72
B 作業所	a	0.15	1.17	1.32	0.08	1.37	1.45
	b	0.72	4.01	4.73	0.05	2.34	2.39
	c	4.00	6.73	10.73	—	0.84	—
	d	1.29	—	—	1.02	—	—

第9表 諸都市の降下ばいじん量
(ton/km²/month)

Table 9. Numbers of falled dust at cities

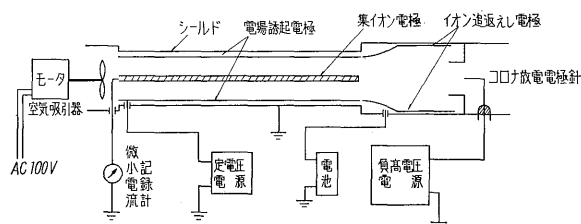
都市および場所		降下ばいじん量
東京	麴町	26.2
	荒川	33.8
	杉並	10.1
大阪	工業地域	49.2
	商業	12.1
	住宅	14.2
宇部	工業	118.8
	田園	17.1
横浜	工業	24.0
	田園	10.9
川崎	工業	68.2
	田園	8.6

方法がある。これにはグリセリン皿による方法がある。すなわち直径85mm、高さ20mmのガラス平皿にグリセリンまたはワセリンを薄く入れたものを先の清浄作業室内の各所に約1か月間設置して降下じんを捕集し、じんあい濃度を測定した。結果を第8表に示す。なお参考までに本邦諸都市の降下ばいじん量を第9表に併記する。

作業所内の降下じんあい量の単位としてはmg/m²/dayが妥当と思われるが、他のデータとの比較のため一般的の表示方法ton/km²/monthで表わした。作業所内では無機物は非常に少なかったが反面有機物の量が非常に多かった。一般の降下ばいじん中の有機物の含量は20～30%である。これは測定期間の作業環境によるためと推定される。

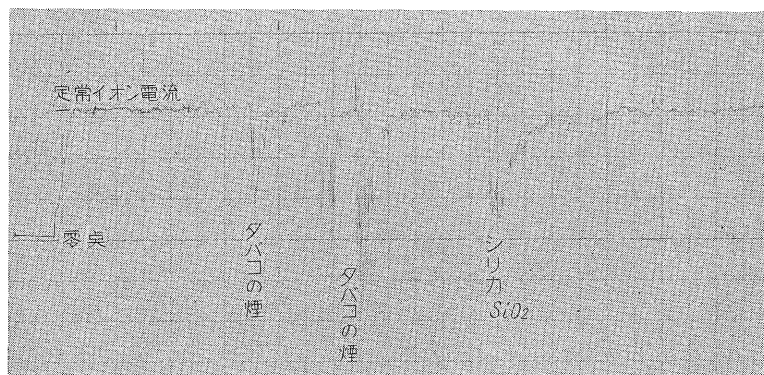
IV. イオン吸着式じんあい測定器 (連続式じんあい測定器)

空気中の負イオン密度を測定していた際、たばこの煙などによって空気中負イオン密度が変化する現象がみられた。また負イオン発生器から生ずるイオン量も同様に変わることが観測された。これら現象の原理をじんあい計に適用して考案されたものがこのじんあい測定器である。これは空気中イオン密度測定器を改造して試験用測定器を製作し、現在種々の角度から感度、精度の性能試験を改善と合わせ行なっており、今までに得られた性能



第3図 イオン吸着式じんあい測定器に対する予備実験装置

Fig. 3. Apparatus used for preparation experiment of ion adsorption type dust meter



第4図 イオン吸着式じんあい測定器の予備実験の測定記録

Fig. 4. Chart of preparation experiment for ion adsorption type dust meter

試験ではこれからの改善いかんによっては充分使いうるものとなるように思われる。そこでこの原理によるじんあい測定器について以下報告する。

1. イオン吸着式じんあい測定器の予備実験

この予備実験に使用した装置のブロック図を第3図に示す。プローブの部分は空気中のイオン密度測定器のプローブを利用して作ったものである。この装置によって定性的な予備実験を行なった結果は第4図の測定記録チャートに見るごとくじんあい測定が可能に思われた。この予備実験結果に基づき、試験用イオン吸着式じんあい測定器を設計し製作した。次に本試験用測定器の詳細を述べる。

2. 試験用測定器の概要および原理

製作した試験器の外観を第5図に示す。空気が吸引されるプローブの部分は、予備実験で使用したものと構造的には大体同じものである。

つぎに測定原理を説明する。

プローブのコロナ放電針に負高電圧を与えてコロナ放電を起こさせる。そして電場誘起電極に負定電圧をかけた状態で、空気吸引器によって空気をプローブ内に導くと、コロナ放電によって生じた空気負イオンが電場の作用により集イオン電極に捕えられるのでイオン電流が流れる。風量、コロナ放電電極電圧、電場誘起電極電圧を一定にたもつと、このイオン電流は定常的になる。今粉じんがプローブ内に入るとコロナ放電によって生じた空気負イオンは粉じんに吸着され、移動能度の小さい大

オンとなり集イオン電極には捕えられることなく外部に逃げてしまう。したがってイオン電流は減少する。このイオン電流の減少は記録紙上でイオン電流の吸収のように見え、この吸収量がじんあい量を表わすことになる。

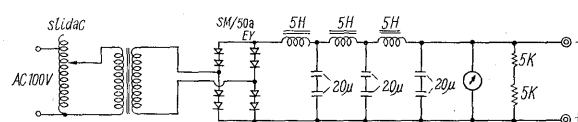
3. 試験用測定器の電気回路

1) 負高電圧電源

第6図にこの回路図を示す。発振器により発した出力をフライバックトランスで昇圧し、これをコックロフトの倍電圧整流方式で整流して負高電圧を得る。出力電圧 $5\text{kV} \sim 30\text{kV}$ 最大電流 $150\mu\text{A}$ が得られる。

2) 電場誘起電圧電源

第17図にこの回路図を示す。電圧調節はスライダックによって行なう(出力電圧 $0 \sim 500\text{V}$)。



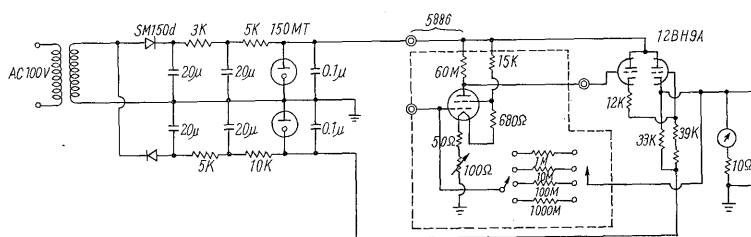
第7図 電場誘起電圧電源回路

Fig. 7. Voltage power supply circuit for inducing field

3) 微小電流検出回路

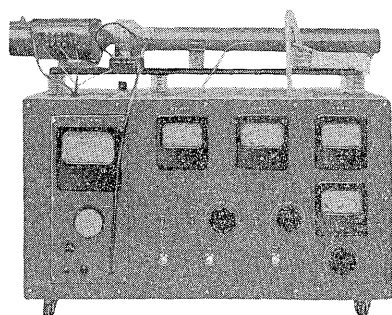
直結形直流増幅器で100% 負帰還がかかっているため安定である。第8図にこの回路を示す。

電流感度はフルスケール $0.01\mu\text{A}$ $0.1\mu\text{A}$ $1\mu\text{A}$ $10\mu\text{A}$ の4段切換で変えられる。雑音は $0.01\mu\text{A}$ レンジで $0.0005\mu\text{A}$ 以下、零点移動は同じく $0.01\mu\text{A}$ レンジで1時間に $0.001\mu\text{A}$ 以下である。



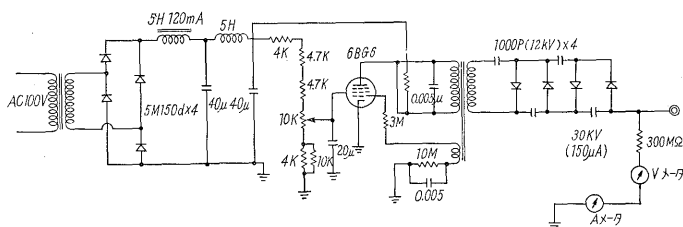
第8図 微小電流計回路

Fig. 8. Microammeter circuit



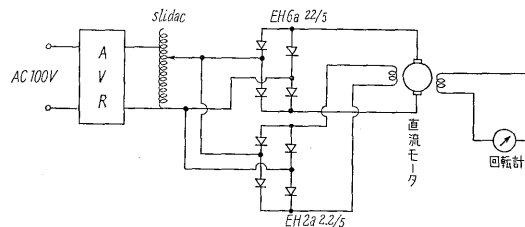
第5図 イオン吸着式じんあい測定器の外観

Fig. 5. Outside view of ion adsorption type dust meter



第6図 コロナ放電用負高圧電源回路

Fig. 6. High voltage power supply circuit for corona discharge

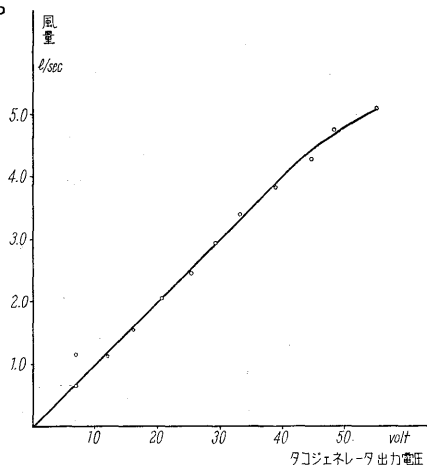


第9図 空気吸引器電気回路

Fig. 9. Electric circuit of air aspirator

4) 空気吸引器電源

第 9 図にこの回路図を示す。可飽和リアクトル形安定電源を通した後、整流した電源によって直流電動機を駆動する。空気吸引器によって吸引される風量はタコジェネレータのついた直流電動機の回転数に比例するので、このタコジェネレータからの直流出力電圧により測定する。タコジェネレータ出力電圧と風量との関係を第 10 図に示す。



第 10 図 タコジェネレータ出力電力—風量特性曲線

Fig. 10. Characteristics of wind volume for tachogenerator power voltage

以上により、イオン吸着式じんあい測定器の仕様はつぎのとおりになる。

測定対象：大気中に浮遊するじんあいの連続濃度測定

じんあいの主成分はシリカ(SiO_2)と考える

感 度：数 mg/m^3 (最終的結果は未だ得られていない)

コロナ放電高電圧： $-5\text{kV} \sim -30\text{kV}$ (最大電流 $150 \mu\text{A}$)

電場誘起電圧： $0 \sim -500\text{V}$

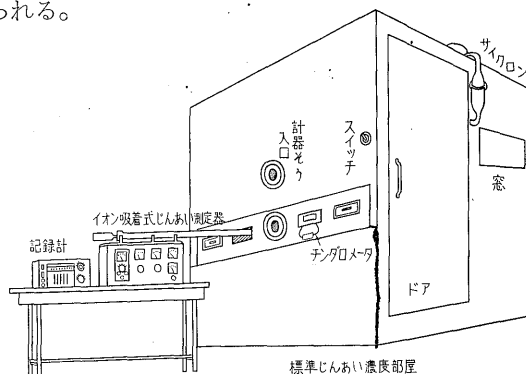
イオン電流計：フルスケール 10, 1.0, 0.1, $0.01 \mu\text{A}$

4 段切換

風 量： $0 \sim 4.9 \text{ l/sec}$ 連続可変

4. 性能試験の方法と現段階における試験結果

イオン吸着式じんあい測定器の性能試験は、工業技術院資源技術試験所鉱山粉じん研究室において行なっている。性能試験装置を第 11 図に示す。標準じんあい濃度状態を作るための約 8m^3 の部屋へサイクロンによって粉じんを供給すると、この粉じんは部屋の底部にあるファンの回転によって飛散し、平均に分散する。ファンの回転を止め、静止して一定のじんあい濃度の状態を作る。時間の経過とともにじんあいは沈降し、じんあい濃度は徐々に低下するとともにじんあいの粒度分布もまた変化する。この標準じんあい濃度の空気を本試験用じんあい測定器で測定するとともに、同時点で他の測定法の確立しているじんあい計による測定も行ない、両者の比較により性能試験を行なう。比較用の標準じんあい計としてはまずチンダロメータとサーマルプレシピテータを、つぎに紙式じんあい計、インピンジャ、電気集じん器と比較して最終結果を出す。サーマルプレシピテータは粒度分布も測定可能でこれによって測定中の粒度分布も求められる。

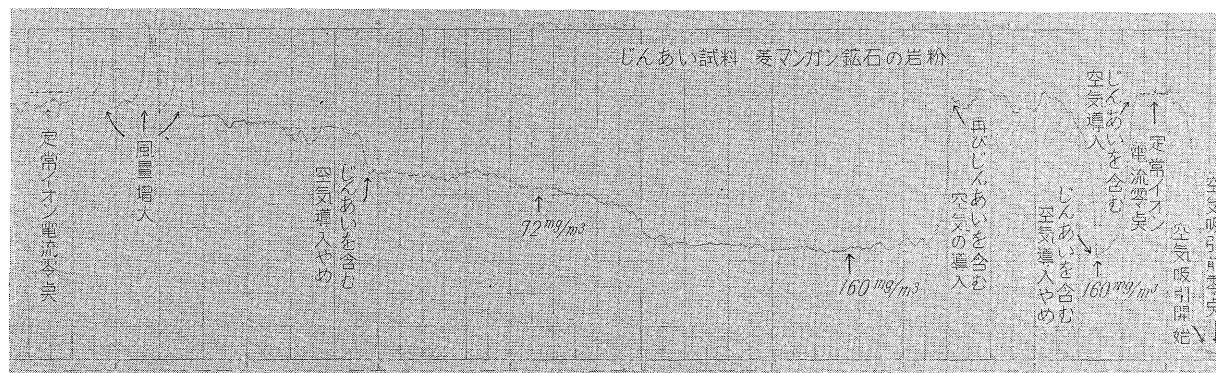


第 11 図 じんあい計の性能試験装置

Fig. 11. Apparatus for characteristics test of this dust meter

現在行なっている比較試験の内データ解析の終わったチンダロメータとの比較データをつぎに説明する。

第 12 図は試験用測定器によるじんあい測定記録結果



第 12 図 イオン吸着式じんあい測定器によるじんあい濃度の測定記録

Fig. 12. Chart of dust measurement by ion adsorption type dust meter

第 10 表 チンダロメータとの比較試験におけるイオン
吸着式じんあい測定器の動作条件

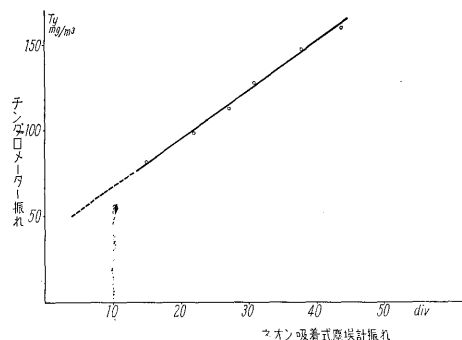
Table 10. Measurement condition of this dust meter on
comparative test with tyndallometer

じんあい 試料	菱マンガン鉱の岩粉
イオン電流計感度	記録計フルスケール 0.005 μ A
コロナ放電電圧	5.5kV
コロナ放電電流	22 μ A
電場誘起電圧	75V
空気吸引風量	4.0 ℓ /sec

第 11 表 イオン吸着式じんあい測定器のチンダロ
メータとの比較試験の測定値

Table 11. Measurement data of comparative test between
this dust meter and tyndallometer

	チンダロメータ測定値	イオン吸着式じんあい 測定器測定値
1	160 mg/m ³	44 div
2	147 "	38 "
3	127 "	31 "
4	113 "	27 "
5	98 "	22 "
6	81 "	15 "



第 13 図 イオン吸着式じんあい測定器のチンダロメータ
との比較試験の測定曲線

Fig. 13. Measurement curve of comparative test between
this dust meter and tyndallometer

の一つのチャートである。試験用測定器の動作条件は第 10 表のごとくである。記録紙上で右側の印の点は空気を吸引しない時、すなわち定常的イオン電流を流さない時の零点で、左側の印の点が無じん空気を吸引して定常的イオン電流を流した時の零点（これは赤外線分析計、分光光度計の吸収のない時の 100% 透過の点と同じ）である。ここに標準じんあい濃度の部屋からじんあいを含んだ空気を吸引すると記録紙上にイオン電流の吸収が現われる。チンダロメータとの比較データを第 11 表および第 13 図に示す。

第 13 図にみるごとくチンダロメータとの比較では直線の関係のあることがわかる。以上イオン吸着式じんあい測定器についてその概要を述べてきた。大気中の浮遊

じん測定に関しては先にも述べたごとく測定器のいかなるによる差異が大きいので現在各種測定器との併行試験を行なっている。この間若干の問題点が生じてきたが、この問題が解決できた時には、大気中のじんあい濃度の連続測定が、かなり高感度、高安定度で行なえる測定器になりうるものと思われる。そしてこの測定器の測定適用対象としては、鉱山内のじんあい濃度測定、じんあいの立ちやすい公共の場所、あるいはじんあいの多い工場内などのじんあい濃度の連続測定に広く使用できるものになりうると思う。

V. あとがき

大気中のじんあい濃度の測定器について、最近当社中央研究所の調査、測定実験および開発研究などで扱われてきた内容について紹介した。じんあい測定器についていえば、従来のものは一般に不連続的に測定する計器で、連続式のじんあい測定器で満足のいくものはないように思われる。

この連続測定可能な性能のよいじんあい測定器の開発は、都市における大気汚染の監視システムが、プラントの計装と同様、中央計測システムにより行なわれる傾向にあることから判断すると、急務であると思われる。環境衛生、産業障害やまた新しい製品開発の立場から以上述べたようなじんあい測定器に関する研究と同時に、じんあい発生防止の問題、じんあいの人体に対する影響の問題などに対する研究の開発も必要である。さらにこれはいわゆるじんあいの概念とは異なるが、宇宙じんの問題など、新しい研究対象が生じ、今後学問的興味から研究が行なわれるであろう。そして学問的な基礎的研究と、産業界から要請される問題解決のための研究がともにあってはじめて大きな発展が期待できることは、他の問題と同様、じんあいについてもいえる。今後もこのようなじんあいの問題について関心をもっていく所存である。

イオン吸着式じんあい測定器の性能実験にあたっては、資源技術試験所第 6 部田尻技官にお世話いただいた。またこの測定器のプロブ部の製作にご助力された方々ならびにその他討論などご協力下さった方々に深く感謝する。

参考文献

- (1) 大気汚染の測定 コロナ社
- (2) 安全衛生ポケットブック 大阪労働基準連合会
- (3) 図解 粉じん測定法 労研出版部



＊本誌に記載されている会社名および製品名は，それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。