

# 電気集じん器の集じん率と排煙の状態の関係 ならびに集じん経費に関する考察

足 立 宜 良\*

A Study on the Efficiency of an Electric Precipitator Relating  
to the Condition of Exhaust Gas and Gas Cleaning Cost.

Takayoshi ADACHI

## Abstract

It is commonplace these days to hear that some electrical precipitators are operated with unsatisfactory states. The minor enterprisers say that it is difficult to establish the precipitator easily for its high initial cost.

The plan of an electric precipitator equipment is to be discussed safficiency. As result on the experiments the author suggests author's point of view for the relation between collecting phenomena in various industry equipment and the economical cost of an electric precipitator.

1) The collection efficiency  $\eta_w$  relating mass collected and  $\eta_s$  relating covering power of the exhaust smoke of an electric precipitator should be handled with different meaning as for fume or mist nature and cleaning condition.

2) At an electric precipitator design the higher all day efficiency can be given with little increase in equipment cost.

3) The gas cleaning cost (Y/Q) may be a little higher for minor enterprises, but minor enterprisers must study the utilization of collected substances for economical plant operation.

Where,

Y : Economical cost for E. P. installation and running

Q : Gross gas volume to be handled

## 1. ま え が き

大気汚染問題，広い意味の産業公害問題は，急速な経済発展にともなう産業活動と近代文化生活の環境，あるいは密集した産業相互間における摩擦現象である。この問題は，大工場地帯に注目が集められているが，群小工場の密集地域にまで広がってきている。この現象の解決に大気汚染防止等の法令がしかれ，大企業のみならず中小企業まで，近年集じん装置がみられるようになった。

集じんの対称である煙霧は多くのパラメータを持ち，ここに適した集じん器の種類は多くを数えられる。だが，最適と考慮して設備した集じん装置であっ

たが効果が満足でなかったとか，中小企業では経済的に設備しかねるなどの声をきく<sup>1)</sup>。しかし，大気汚染防止は企業者または企業誘致者が自から，あるいは，諸般の協力を得て解決すべき問題であって，これらの問題をそのまま放置してはならない。

以上の事態は，集じん設備の計画あるいは取扱いにおける誤認によるところもあるとみられるので，筆者は，煙の集じんされ方と設備費の考え方について，実験と考察をもとに所見を述べて参考にしたい。

## 2. 煙粒子と集じん率について

### 2.1 煙粒子の粒径分布と凝集作用

\* 電気工学教室

器種によって異なるから、煙粒子の除去され方は器種と計画規模、さらに煙粒子の種々の性質、状態<sup>2)</sup>とによって異なる。ここでは、煙粒子の性質の内直径  $D_p$  に限定して、これらのことについて考察をすすめることにする。

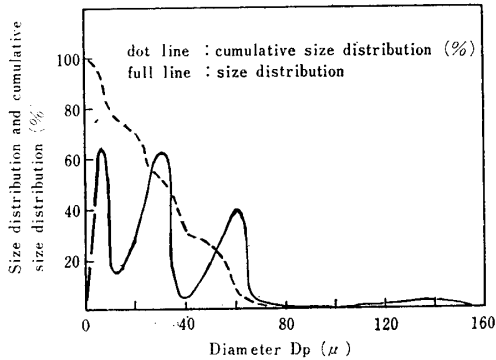


Fig. 1 Size distribution and cumulative size distribution vs. diameter ( $D_p$ ).  
(Turumi thermal P. S. No. 8 Boiler)

各種の煙粒子の粒子直径の範囲は一般に知られているが<sup>3)</sup>、粒子径分布として、たとえば、東京電力(株)の鶴見P・Sのボイラー排煙は Fig. 1 のようである。Fig. 1 において、 $10\mu$ 以下の範囲にかなりの量があるのが注目される。電気集じん器においても、これら微粒子の集じんは困難であるが、微粒子の静電凝集作用を利用して集じん効率を上げていることは事実である。一例として、排煙の凝集状態を Fig. 2 に示す。Fig. 2 の左の方は素粒子の粒子径  $D_p$  ( $\mu$ ) (電子顕微鏡法による測定値) に対し、 $0.5\mu$ を頂点とする凸形の重量分布が、電気集じん器内の凝集粗大化作用により右方の $10\mu$ 前後を主体とする重量分布(直径は液中

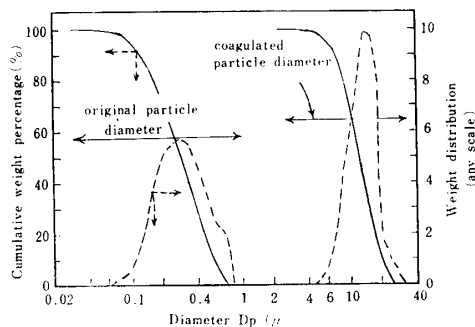


Fig. 2 Cumulative weight percentage and weight distribution vs. particle diameter.

The particle diameters incres by coagurate action in the electrical precipitator.  
Coagulated particle diameter : Measured with sediment grapher  
Original particle diameter : Measured with electronic microscope

沈降法による測定値) になったものである。

上記の粒子の凝集作用について、コロナ放電界中ではどうなるか推論してみると、次の4つの理由により凝集は促進されるものと考えられる。(注: 電氣的条件による以外の条件、例えば粒子自体の性質などによる凝集作用は省略する)

- 1) ことなる粒子径の負帯電粒子は電界方向に対してそれぞれことなった偏向的速度 (migration velocity) を与えられるため、それぞれの粒子間に相対速度を生じて、衝突確率を増し、非弾性衝突を行なって凝集する。
- 2) 負に帯電した煙粒子は、中性粒子および正電荷の煙粒子を静電作用により吸引して凝集する。
- 3) Ion風<sup>4)</sup> にもとずくところの粒子の拡散運動によって、凝集が促進される。
- 4) 誘電作用力により、粒子相互に静電力が作用して凝集する。

## 2.2 粒子直径と集じん率について

電気集じん器における集じん動作は、前章に記した電氣的凝集作用によって集じん能率を高めるものであって、荷電時間あるいは集じん電極群の段区によって捕集じんの粒度に顕著な相異は生じない。しかしながら、後段区ほど微細粒子の比率が大になることも、また明らかである。これらの様子を定量的に吟味検討するため、円筒型電気集じん器の集じん部分を10区に分けて各区段の捕集じんを別々に取りだせる実験装置を作成した。この装置を用いて、レポール式鉱滓セメントキルンの排ガスを集じんし、各電極区の捕集じんについて粒度解析を行なった。この結果を総合して Fig. 3 に示した。Fig. 3 (a) は重量分布の累加特性 ( $\Delta W_t$  (%)) として示してあり、また Fig. 3 (b) は同じものを投影面積和の分布の累加特性 ( $S$  (%)) として示した。

上記の実験結果にもとずいて吟味を行なうと、 $\Delta W_t$  (%) 特性曲線からは、まず $35\sim 40\mu$ 以上は特に集じんされやすいが、重量集じん率  $\eta_w$  の問題点は、それ以下の粒子にあることが知られる。しかし、高集じん率領域になるとその重心が $3\mu$ 以下の微粒子に移る。この関係を整理すると Fig. 4 において、集じん電界の長さ ( $W_i$  は集じん器入口の含じん量、 $H$  は Hopper における機械集じん量、Sect. No. 1~10 は電極単位の縦続個数であり、したがって、電界の長さ  $L$  あるいは荷電時間  $t$  に比例する) を横軸に、集じん率を縦軸にとると、ほぼ  $\eta = 1 - \exp[-kt]$  ( $k$  は定数、 $t$  は荷電時間) の経過となるが、 $\eta$  の内容は粒径

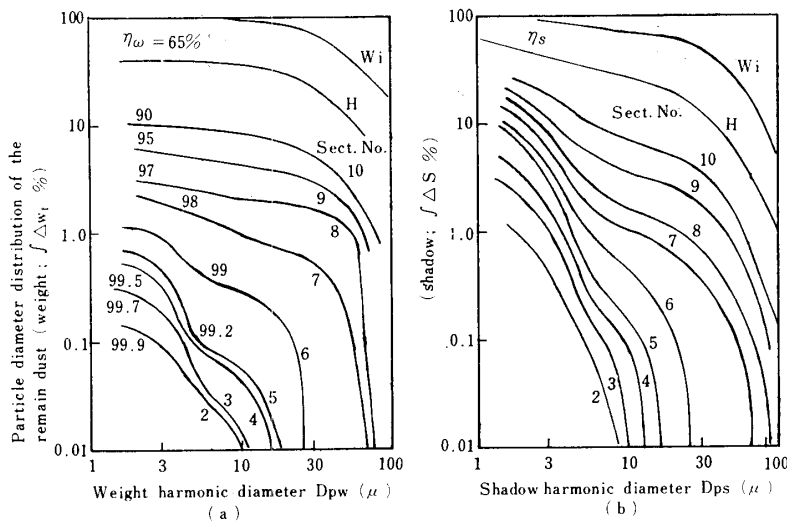


Fig. 3 Characteristics of the particle diameter distribution shift with the precipitating efficiency.

Wi : Diameter distribution of dust at entrance of the E. P.  
 H : After mechanically precipitated at the hopper.  
 Sect. NO : After pasture of respective section cathodally for cylinder-type E. P.

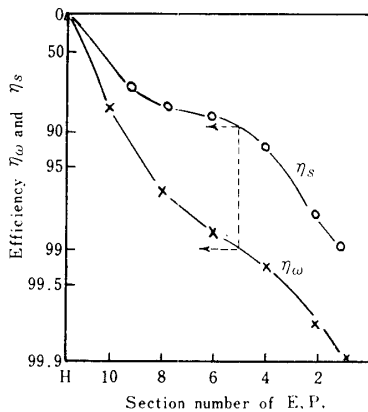


Fig. 4 Weight efficiency ( $\eta_w$ ) and shadow efficiency ( $\eta_s$ ) vs. section number of cylinder-type E. P.

分布において前記のような経過をたどっている。

次に同じ集じん過程を、煙粒子の投影面積の和  $\Delta S(\%)$  としてみると、Fig. 3 (b) のように  $3\mu$  以下の微粒子の動静が、 $\Delta W_i(\%)$  特性におけるよりも一層重大に集じん率に影響をおよぼすことになり、Fig. 4 に示したように重量集じん率  $\eta_w$  と排煙の濃度を示す集じん率  $\eta_s$  は、著しく特性を異にする。たとえば、重量集じん率  $\eta_w = 90\%$  を得た場合において、排煙の濃度を示す集じん率  $\eta_s = 76\%$  にしかならない。さらに微粒子の動静の効く範囲に入ると  $\eta_w = 99\%$  においても  $\eta_s = 88.2\%$  程度にすぎないことが知られる。かように、同一集じん極区数において、 $\eta_w$  と  $\eta_s$  の値

が大きく異なることは、重量的には十分な集じん効果が上がっているにもかかわらず、視感的には不満足であることを示す。したがって、集じん率としてどちらの値をとることが妥当であるかは、公害の性質による問題として重要視されねばならない。

他の煙霧体についての実験結果から、Fig. 4 の特性は煙霧体の粒径分布と  $W_i$  によって変化するが、 $\eta_w$  と  $\eta_s$  との相互の定性的関係は変わらない。

実験装置の Hopper の機械的集じん率を、また第 1 電極区 (Sect. No. 10 のこと) について  $0.017$  秒間の電氣的集じん率を求め、粒子径  $D_p$  とその集じん率、すなわち部分集じん率  $\Delta\eta$  との関係を探ってみると、Fig. 5 のようになる。Fig. 5

において機械的に集じんされたものは、 $D_p > 50\mu$  において急激に  $\Delta\eta$  が高くなるが、全体として微粒子になるにしたがって、集じん困難な傾向を示している。しかるに、電気集じんにおいては、 $D_p > 4\mu$  の範囲については比較的  $D_p$  の  $\Delta\eta$  におよぼす影響が小さく、「電気集じんにおいては凝集力が大きな役割を果す」という前章にのべた見解と一致した傾向を示している。しかし、 $D_p < 3\mu$  の粒子についてもこの傾向は同じであるが、 $D_p > 4\mu$  に比して特別に集じんのむずかしさを示している。こ

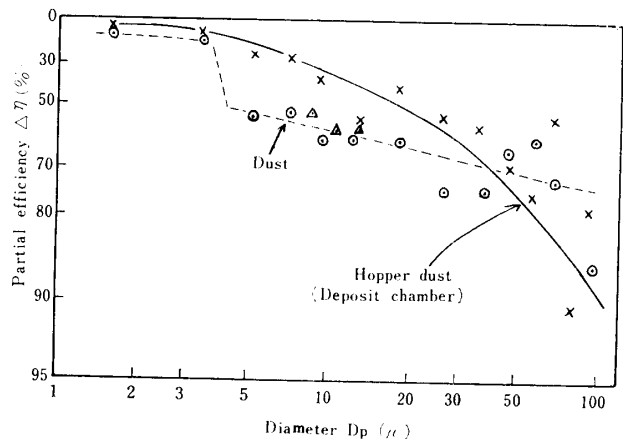


Fig. 5 The comparison of the partial efficiency for mechanical and electrical precipitator. An electrical precipitator is cylinder-type, the sample is slag cement and charging time is  $0.017$  sec.

$\Delta\eta$  : Partial efficiency of dust at the first section of cylinder-type E. P.

集じん動作ははれは $t=0.017$ 秒についての結果であるから、Deutsch<sup>5)</sup>および Ladenburg 等による式を満足する範囲にあることに原因するものと思われる。

### 2.3 重量集じん率 $\eta_w$ と遮蔽能集じん率 $\eta_s$ との関係

Fig. 4 の考察結果から、あらゆる場合に単一の含じん量測定法を適用することは、好ましくないことが知られた。したがって、含じん量とその状態に応じて幾つかの含じん量測定法を用いることになるので、異なった測定法によって与えられる測定結果の物理的意味の関連性について、吟味しておくことが必要である。ここでは、集じん率  $\eta_w$  および  $\eta_s$  の間における数値的関連だけに問題を限定して、他の集じん率にはふれずに考察をすすめる。

前章の考察において、煙霧体の集じんがすすむにつれて、重量的に含じん量が減るが見かけの排煙濃度はほとんど変らない域(a)、重量減とともに若干煙の色調変化が認められる域(b)、および重量減とともに著しく煙が薄くなる域(c)が考えられる。Fig. 6 に示すように重量含じん量  $W_i$  と含じん濃度  $S_o$  の関係、すなわち、 $\eta_w - \eta_s$  の関係が3域に区別されるであろう。この関連特性は含じんの性質によって異なり、極めて微細な煙じんについては(c)域が狭くなるであろうことは Fig. 3 の考察から知られる。

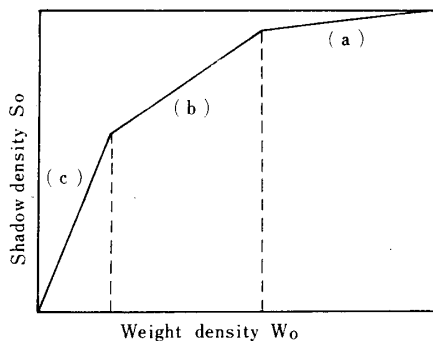


Fig. 6 Shadow density ( $S_o$ ) is divided into three parts with weight density ( $W_o$ ).

一般微粉炭ボイラーの煙霧体2種類(試量は①の煙霧体の方が②より粗い)を用いて、前記の段区にわけた円筒型集じん装置によって、処理した場合の  $\eta_w$  と  $\eta_s$  とを対象として捕集じんの粒径分布を示すと Fig. 7 のようである。Fig. 7 の図中の数字の意味を説明すると、たとえば、(a)の①では  $D_{pw} < 40\mu$  の範囲の重量集じん率  $\eta_w$  は55.6%で  $40\mu$  以上における  $\eta_w$  は29.5% (図の右端に記入)であり、全部の  $D_{pw}$  についての  $\eta_w$  はこれらの和の85.1%である。

Fig. 7 (a)および(b)において共通していえることは、粒径が小さいとき、密である試量の②の曲線が粗い試

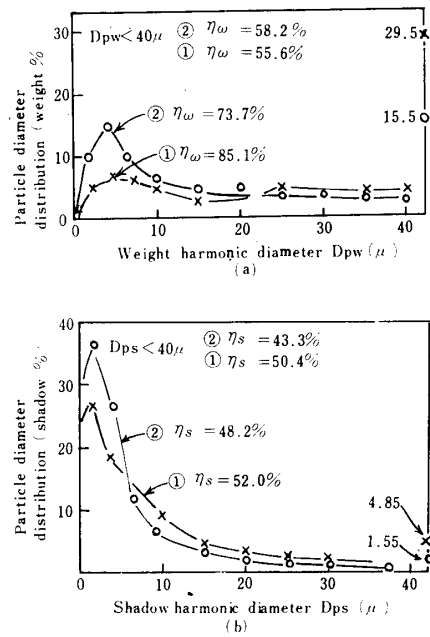


Fig. 7 Characteristics of the particle diameter distribution for the dust of boiler.

量①の曲線の上にあるが、ある大きになると逆になる。投影面積調和粒子径  $D_{ps}$  の分布の最大値が重量調和粒子径  $D_{pw}$  の最大値より2倍以上大きいことは Fig. 3 の考察からうなずけるものであって、Fig. 4 と重要な関係がある。集じん率の測定法は汚染濾紙透射光法によった。この測定法で与えられる集じん率の関係は次のようにつかわれる。

$$\begin{aligned} \text{汚染濾紙の透過光量 } I' &= \exp[-K_1 S] \\ \text{清浄濾紙の透過光量 } I & \end{aligned} \quad (1)$$

ただし、 $K_1$  はダストの種類性質による定数である。また濾紙の単位面積当りのダストの重量  $W$ 、濾紙の付着ダストの総投影面積を  $S$  とすると、

$$K_1 S^2 = K_2 W \quad (2)$$

$K_2$  はダストの性質に関する定数。(1)式から

$$S = -\frac{1}{K_1} \log \frac{I'}{I}$$

この式を(2)式に代入することによって次式を得る。

$$W = K \left( \log \frac{I'}{I} \right)^2 \quad (3)$$

集じん器の入口および出口のガスについて、濾紙に捕集された単位面積当りのダスト捕集量をそれぞれ  $W_i$ 、 $W_o$  とすると、集じん率は次のように与えられる。

$$\eta_w = 1 - \frac{W_o}{W_i} = 1 - \left\{ \frac{\log(I_o/I)}{\log(I_i/I)} \right\}^2 \quad (4)$$

$$\eta_s = 1 - \frac{I_o}{I_i} \quad (5)$$

ただし、 $I_i$ 、 $I_o$  は入口および出口の濾紙の透過光量、 $\eta_s$  は透過光からの汚染度集じん率（濃度率）、この場合の $\eta_w$  は  $\eta_s$  から換算された重量集じん率を示す。

Fig. 8 の直線 (a) は (4)、(5) 式から与えられる両者の鉱滓セメント排ガスについて求めた、重量法と透過光法との比較実験結果であって、点線は回転ガマの運転条件により変動する排煙の性状が、これらの関係に如何ように影響するかを示している。実験結果の2つの例は、同じ回転ガマの排煙であるが、操業状態によってこの程度の変動を生ずる。しかして、両者の関係はいずれの場合も対数的比例関係において変化している。

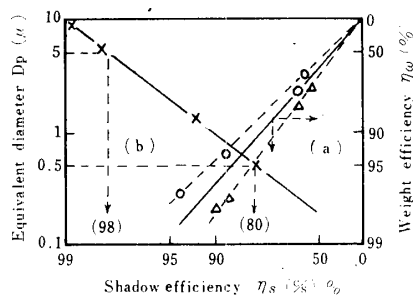


Fig. 8 Equivalent diameter ( $D_p$ ) and weight efficiency ( $\eta_w$ ) vs. shadow efficiency ( $\eta_s$ ).

(b) line:  $W_i = 25 \text{ g/Nm}^3$ ,  
 $W_o = 1 \text{ g/Nm}^3$ ,  $\eta_w = 96\% \text{ const.}$

Fig. 8 の直線 (b) は、一定の排煙状態  $\eta_w = 96\%$ 、 $W_i = 25$ 、 $W_o = 1 \text{ g/Nm}^3$  にあるとき、排煙粒子の凝集状態が異なる場合、この排煙の外観は如何ように変わるかを示したものである。すなわち、重量集じん率が一定であっても、その直径  $D_p$  組成によってかなり異なった煙色として観察されるから注意を要する。 $W_o$  を構成する煙粒子の直径が  $5 \mu$  であれば、 $\eta_s = 98\%$  程度によくみえるが、これが  $0.5 \mu$  程度に分散した状態にあれば、等質量残在するにかかわらず  $\eta_s = 80\%$  程度として、電気集じん器の運転機能などが著しく不良のように受けとられる理由である。

### 3. 集じん計画と集じん経費

企業において電気集じん装置を選定するにあたり、まず乾式とするか湿式とするかどうかは、煙霧体の種々の物理的、化学的性質や集じん対象設備の操業条件また汚水の処理設備、さらに灰処理設備などによって決定されることになる。このほか、煙霧体の濃度が著しく多い場合には、遠心力集じん装置などを組み合わせるとか、あるいはガス温度が高い場合には噴霧装置を前置することにより電気集じん装置に適する固有抵

抗、濃度またはガス温度に調整することが多い。ここでは電気集じん装置の細部についての議論はさけて、これまでに記述してきたことに関連して集じん計画と集じん経費について考察することにする。

設備計画のとき、電気集じん装置の出口の含じん量  $W_o$  の成分についての有害度から重量集じん率  $\eta_w$  を、また、粒子直径  $D_p$  分布から器種とその濃度集じん率  $\eta_s$  を考慮して、施設目対に対して有効な集じん率  $\eta$  を選定せねばならない。すなわち、まず電気集じん装置の出口の含じん量  $W_o$  の性状の予想から、入口含じん量  $W_i$  に対して集じん率  $\eta$  が決定されることになる。このことについては Fig. 4 の結果ならびに考察が参考にされなくてはならない。

集じん率  $\eta$  と集じん装置の規模との関係は一般に

$$\eta = 1 - \exp(-Kt) \quad (6)$$

で表わされる。ここで、 $F = -\log(1 - \eta)$ 、 $K' = 1/K$  とすると (b) 式から

$$t = K'F = \frac{V}{Q} \quad \therefore V = K'FQ \quad (7)$$

ただし、 $V$  は集じん器容積、 $Q$  は単位時間の処理ガス量、 $K$  は煙の種類状態および電源の種類や制御方式などに関する集じん定数とする。

設備費  $Y$  は集じん器容積  $V$  に比例して増加するもの  $Y_2$  と、比例しないもの  $Y_1$  から構成されるものと考えられる。(7) 式を考慮することによって設備費  $Y$  は、次式のようなになる。

$$\begin{aligned} Y &= Y_1 + Y_2 = AV^n + BV \\ &= A(K'FQ)^{\frac{1}{n}} + B(K'FQ) \\ &= A'Q^{\frac{1}{n}} + B'Q \end{aligned} \quad (8)$$

ただし、 $A$  は基礎係数、 $B$  は比例係数、 $n$  は構造によって定まる定数で  $n \geq 2$ 、 $A' = A(K'F)^{\frac{1}{n}}$ 、 $B' = BK'F$  とする。(8) 式の関係を図に表わしたのが Fig. 9 である。

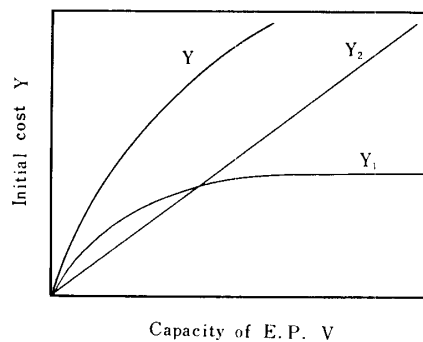


Fig. 9 Initial cost vs. capacity of an electrical precipitator.

単位容量ガス当りの清浄費は(8)式の両辺をQで割ることによって得られる。すなわち、

$$\frac{Y}{Q} = A'Q^{-\left(\frac{n-1}{n}\right)} + B' \quad (9)$$

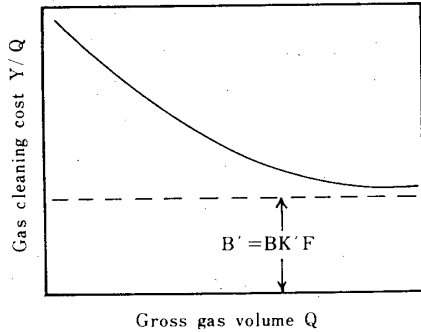


Fig.10 Cleaning cost for unit gas volume vs. gross gas volume (Q) to be handled.

この関係は Fig.10で示される。今、処理ガスが増加した場合、Y/Qの値を減少させずに (Fig.10の曲線より上の領域にはいる) 設備を行なうと、少ない経費増加で運転保守が容易になり、集じん器の部分休止の時の集じん率 $\eta$ を高く保持できる。このことは Fig.4の段区を増すと効率がよくなることからもうなずける。

設備費と運転費との比率関係で算定期間により Fig

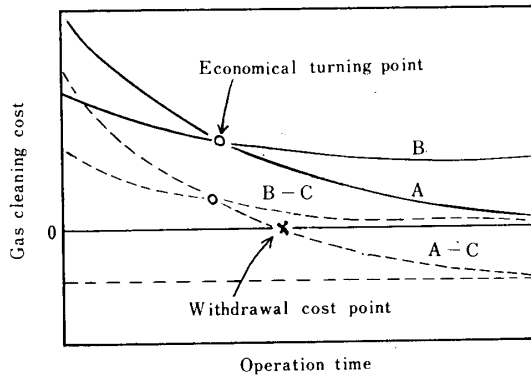


Fig.11 Consideration on the economical turning point and withdrawal cost point.

.11のようになる。かなり長期償還(設備あるいは事業費目内容の寿命)を考えてよい場合には、設備費に重点をかけ保守を容易にするのがよい。特に有価物回収において、集じん装置は、ある時点以後 (Fig.11において[A-C]の曲線が零の線と交叉している点。すなわち、経済分岐点に相当する) から生産設備と考えられるからである。

#### 4. む す び

以上の実験結果ならびに考察についてまとめると、要点は次のようになる。

1. 電気集じん装置における微粒子は種々の凝集作用により粗大化し、集じん率を高める。
2. 電気集じん装置の重量集じん率 $\eta_w$ と遮蔽能集じん率 $\eta_s$ は、対象煙霧の直径などの性状と保守要領で非常に大きく異なる。したがって、電気集じん器の計画当初にあたって、十分な考慮が必要である。
3. 電気集じん装置はすくない設備費増加で、高い全日集じん率と容易な保守を与える。
4. 中小企業の処理費Y/Qは若干割高になるが、捕集物の利用と経済計画の面について、研究することにより解決されると考えられる。

本報告をまとめるにあたり、終始懇切なご指導を賜った橋本清隆教授のご厚意に深く謝意を表す。また何かと援助していただいた、本学技術員池田隆氏の労を感謝する。

#### 参 考 文 献

- 1) 例えば、猿田南海雄 外3名：大気汚染全国協議会報告，2，1 (1965)
- 2) 橋本清隆・谷口堯：電気集じん装置の理論と実際；電気書院 (昭・40) p.71, 72
- 3) 参考文献2) のp. 18
- 4) 足立宜良：本誌，17，1，5 (1966)
- 5) W, Deutsch：Ann der Phys., 68, 335 (1922)

(昭和41年10月15日受理)