

# 静電凝集—遠心集塵方式(PC-MC)の開発研究

Development on Electrostatic Pre-coagulator Combined with After-cyclone Dust Collector

諫 早 典 夫\*  
Fumio Isahaya

## 要 旨

煤塵(ばいじん)をあらかじめ2 stage 形静電凝集器に通して静電的に凝集処理してのち、これを後置した遠心集塵(しゅうじん)器で集塵回収する新しい集塵方式の開発研究を行なった。まず、実験室的規模で原理的確認を行なってから、工業的実用規模の静電凝集—遠心集塵器(PC-MC)の試作が行なわれた。これについて、A重油蒸発燃焼カーボン・ブラック・ダスト、C重油霧化燃焼 Soot およびクラフト・パルプ黒液燃焼ボウ硝(Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) Fume に対して、それぞれの工業的実用条件において、その集塵効果を確認した結果、通常の工業用遠心集塵器では、10~40%程度の集塵率しか得られないのに対して、本PC-MC方式では、静電凝集時間が0.5~1秒というきわめて短時間でも、80~90%以上の高い集塵率の得られることが確認できた。また、従来の電気集塵方式に比べ経済性の点でもすぐれていることが明らかにされた。

## 1. 緒 言

現在わが国で法的に規制されている煤塵の最大許容排出濃度の基準は、約0.8~1.2g/N m<sup>3</sup> of gas ということになっている。しかし、近時、諸プラントの単位規模がますます大容量化するのにもなって、その排出ガス量も膨大なもの(1単位あたり数十~数百万N m<sup>3</sup>/hに達する)になっており、たとえ、その排出煤塵濃度が1.2g/N m<sup>3</sup> of gas 程度に低減されていても単位時間に排出される煤塵の絶対量は非常に大量になるので、大気汚染において無視できない実状になってきている。また、同様なことは、小規模の煤塵排出源が一地域に、集中林立している場合にもいえる。すなわち、排出煤塵濃度の規制とともに環境規準の設定が、大気汚染防止の立場から、要望されるのはこのためでもある。とくに、このような場合、たとえ煤塵濃度が0.8~1.2g/N m<sup>3</sup> of gas 以下であっても、煤塵粒子が数μ以下できわめて微細な場合には、その保有する比表面積濃度は、なお、きわめて大きく、大気汚染能力もきわめて高く、また煙色濃度も濃い。

そこで、このような場合にも、集塵装置の設置が強く要望されるすう勢にあるが、回収煤塵の有価度が低いので、ユーザーの立場からは、極度に経済性が要求される。一般に、この要求に見合う集塵方式としては、低圧力損失形のサイクロン遠心集塵器があるが、約10μ以下の微粒子に対しては、集塵率が著しく低く、30~40%以下となり、本目的に沿う大略の目標集塵率(約90%)に対して不十分である。一方、従来方式の電気集塵器(いわゆる、コットレル)によると、荷電時間にして3~4秒程度を必要とするので、装置容積が膨大になり経済性に問題がある。

そこで、われわれは、比較的、低煤塵濃度(数g/N m<sup>3</sup>以下)で、微細な(数μ以下)煤塵を経済的かつ高能率に集塵する目的で、新方式の静電凝集式遠心集塵装置(PC-MC)の開発を行なった。これは、一般には、遠心集塵器で回収不可能な数μ以下の微細煤塵を静電的に凝集させてから、これを後置遠心集塵器で回収しようとするものである。

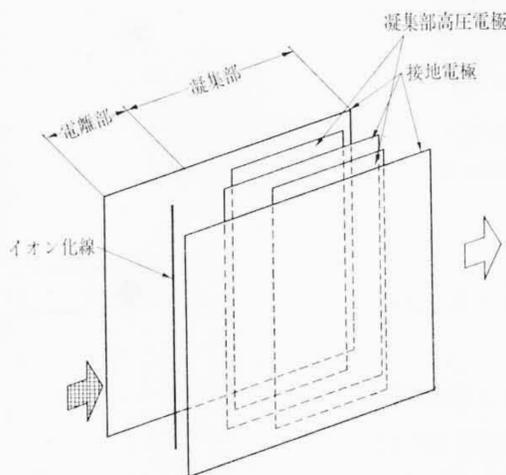


図1 2 stage 形静電凝集器のモデル電極

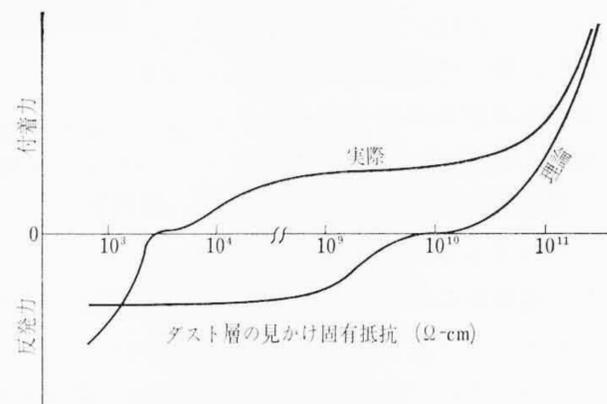


図2 集塵極に静電堆積したダスト層の見掛け電気固有抵抗と静電的作用力との関係

## 2. 工業煤塵の静電凝集効果の実験的考察

まず図1に示すような2 stage 形静電凝集器を試作し、これに煤塵を通して、その静電凝集効果を考察してみた。一般に、このような静電界中を煤塵が通過する際、その電気固有抵抗によって、著しく差異のある特長的動静を示す。すなわち図2は、工業煤塵の電気固有抵抗とその静電界における作用力の一般的特性を示したものであるが、約10<sup>4</sup>Ω-cm以下の導電性煤塵では反発力を受け、約10<sup>5</sup>Ω-cm以上の絶縁性煤塵では付着力を受け、そのために前者では、繰り返し跳躍運動が、また後者では、煤塵たい積層の形成がそれぞれ行なわれる。そこで、これらの代表例として、ここでは、A重油の蒸発燃焼の際に発生するカーボン・ブラック・ダスト、C重油の霧化燃焼の際に発生するSoot およびNH<sub>3</sub>注入時に発生するNH<sub>3</sub>-SO<sub>3</sub>反応生成Fume、クラフト・パルプ・黒液の燃焼の際に発生するボウ硝(Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)Fumeの場合について、それぞれの静電凝集効果を実験的に考察してみた。

図3(A)はA重油の蒸発燃焼の際に発生したカーボン・ブラック・ダストの光学顕微鏡写真を示したものであるが、その1次粒子は0.01~0.03μ、凝集2次粒子は0.1~数μ程度で、非常に微細である。これが、前述の図1に示した静電凝集器を通過したのちには、図3(B)に示すように、鎖状凝集体(Pearl chain)を形成することが明瞭に確認できた。これは、カーボン・ブラック粒子が静電界中で強い分極作用を受ける結果、その粒子相互の異極間で、クーロン吸引力が働き、付着凝集がその電極空間で活発に行なわれたものである。次に図4(A)は、C重油の霧化燃焼の際に発生するSoot粒子の光

\* 日立製作所日立研究所 工学博士

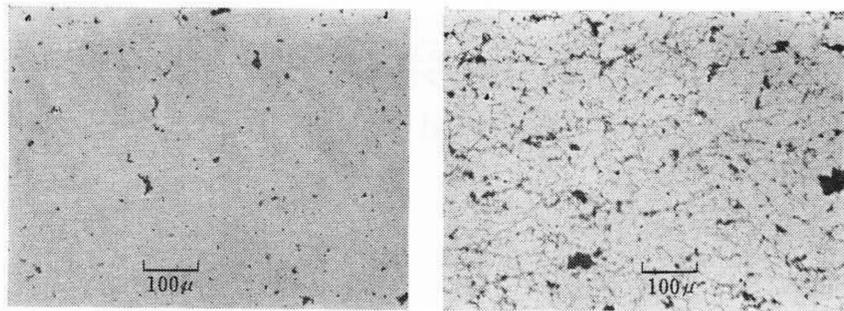


図3 A重油の蒸発燃焼により生成されたカーボン・ブラック・ダスト静電凝集状態の顕微鏡観察

顕写真を示したものであるが、その大部分が数 $\mu$ ~数十 $\mu$ の多孔質球形粒子であることがわかる。これを前述と同様に静電凝集処理したのちの状態が図4(B)に示してある。すなわち、この場合には、塊状凝集体を形成しており、これは、電極板に静電付着たい積して形成されたダスト層がある厚みに達すると、ガス流により Flake 状にハク離されて塊状凝集体になって再飛散するためである。図5は、このように電極板に形成されたダスト層の状態を示したものであるが、Flake 状にハク離したことが明瞭に認められる。

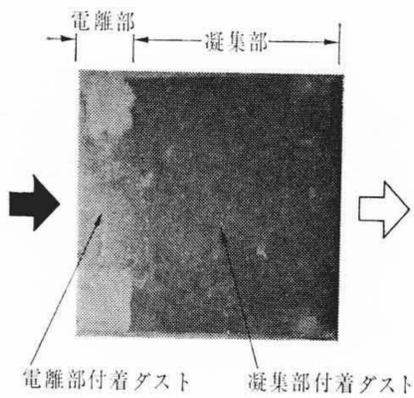


図5 凝集部電極に静電たい積したダスト層の Flake 状ハク離状態

以上のように工業煤塵の静電凝集には、鎖状凝集および塊状凝集の二つの状態が存在し、前者は、煤塵の電気固有抵抗が約  $10^4 \Omega\text{-cm}$  以下の場合に、また、後者は、約  $10^4 \Omega\text{-cm}$  以上の場合に支配的に認められる凝集状態である。したがって、A重油の蒸発燃焼によって発生するカーボン・ブラックの場合には、前者が、C重油の霧化燃焼によって発生する Soot の場合には両者が混存する。また、C重油燃焼において  $\text{NH}_3$  注入を行なった場合およびボウ硝 Fume の場合には、後者が、支配的な凝集状態となる。

また、以上の静電凝集作用が  $2 \text{ m/s}$  以上の速い処理ガス速度(従来の電気集塵での処理ガス速度は  $2 \text{ m/s}$  以下)において、しかも、1秒前後のきわめて短い処理時間によって活発に行なわれることが明らかになった。これは、静電凝集器の単位処理ガス量あたりの窓口面積と奥行とが、すなわち、その装置容積が従来の電気集塵器に比べ、大幅に縮減できる可能性を示すものである。

### 3. 静電凝集-遠心集塵装置(PC-MC)の開発

以上の基礎実験により、静電凝集器と後置遠心集塵器との組み合わせにより、経済性のすぐれた高性能の集塵器が開発できる可能性が明らかになったので、つぎに、この試作研究が行なわれた。

処理ガス量は  $10^3 \sim 10^4 \text{ m}^3/\text{h}$  の範囲で種々のものが試作されたが、図6および図7はこれらの一例としてその構造の概略を示したものである。前置静電凝集器には、帯電部(コロナ電界部)と静電凝集部(静電界部)とを備えた 2 stage 形を採用した。これは強力な静電界により活発な静電凝集がより短時間に行なえるからである。後置遠心集塵器には軸流反転流形サイクロンと軸流直進形サイクロンとが実験された。とくに後者は空間占有率が前者に比べきわめて小さくできて有利であるが、反面 5~10% の Blow Down を必ず必要とされるので、その点についても、検討が行なわれた。両者とも単位サイクロンには外筒径  $150 \sim 250 \text{ mm}$  の中口径のもの数個を並列に使用した。図8は、この静電凝集-遠心集塵方式の原理

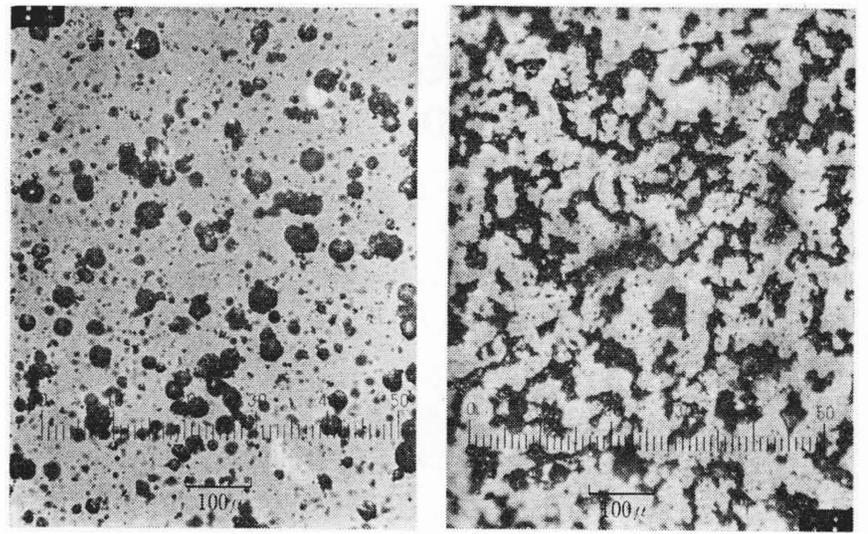


図4 C重油の霧化燃焼により生成された Soot の静電凝集状態の顕微鏡観察

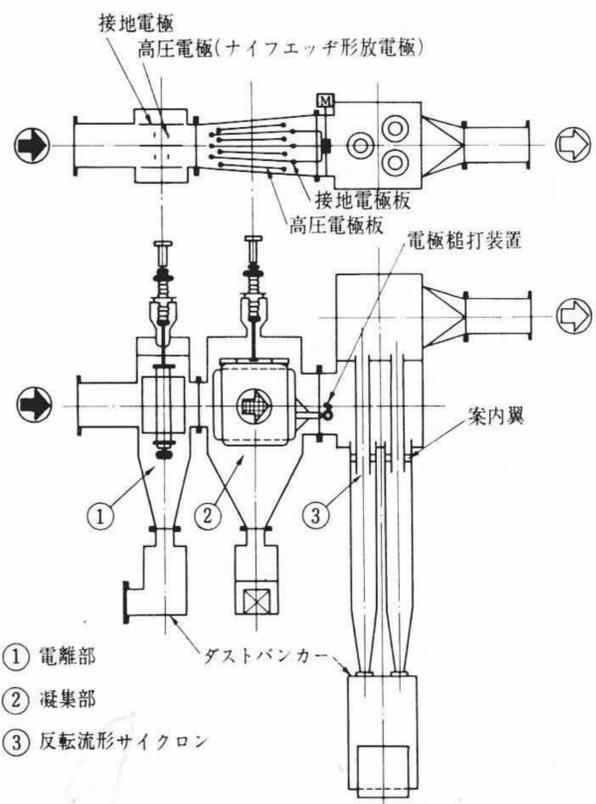


図6 後置サイクロンに反転流形を使用した静電凝集式集塵器(PC-MC)

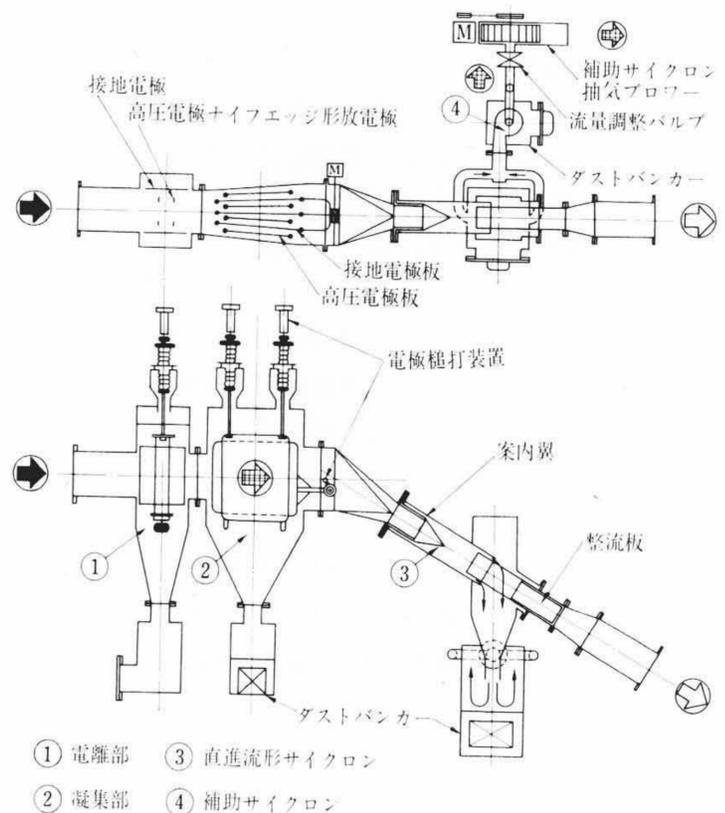


図7 後置サイクロンに直進流形を使用した静電凝集式集塵器(PC-MC)

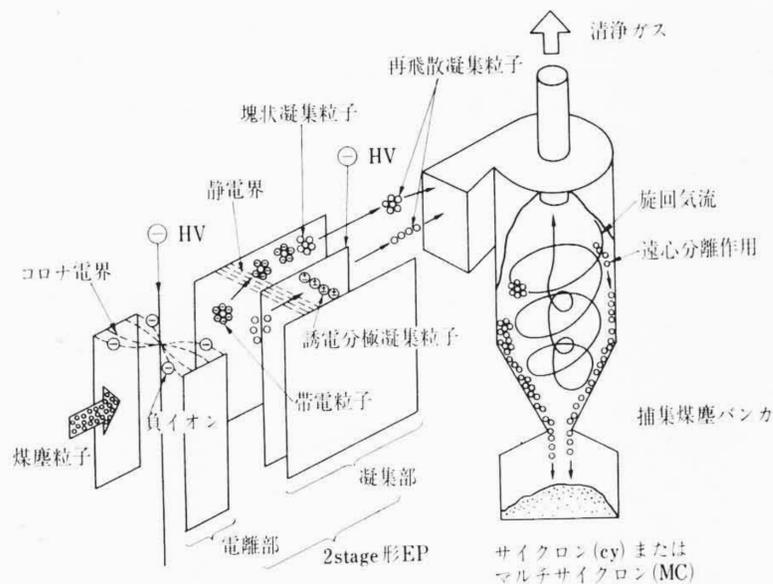
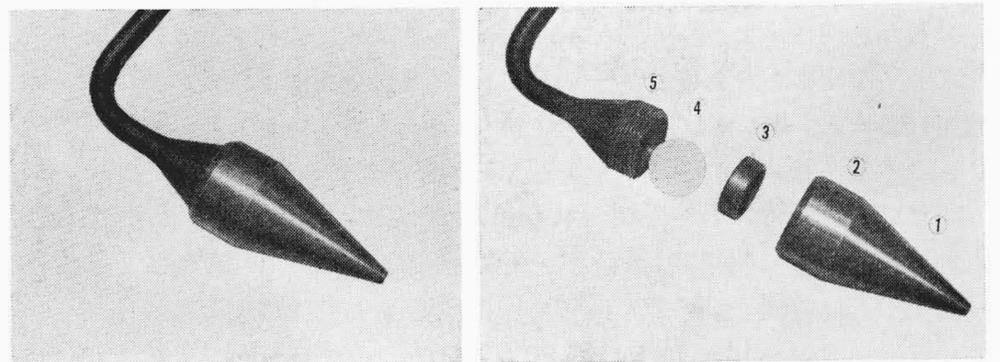


図8 静電凝集-遠心集塵方式(PC-MC)の集塵原理



① 等速抽気孔 ② ノズル・コーン ③ 金属O-リング  
④ 円板ガラス・ファイバ濾紙 ⑤ 濾紙ホルダ

図9(A) 濾紙式ダスト・サンプラ 図9(B) 濾紙式ダスト・サンプラ

を図解したものである。

#### 4. ダストサンプラの試作

本実験におけるように、低い煤塵濃度や凝集状態を適確には握りたい場合には、従来から高濃度煤塵の測定に慣用されているダストチューブ法では、次の諸理由で不都合な点が多い。すなわち、

- (1) ダスト・チューブ自体の重量が約50~100gあり、これに対し、たとえば重油専焼ボイラ排ガス煤塵の場合には、約1時間の抽気により、やっと約50mg程度の煤塵がサンプルできるに過ぎず、その重量増加は約0.1%以下に過ぎず測定誤差が大きくなる。

- (2) グラス・ウールの充てんに手間と熟練を要し、また、たとえ熟練してもグラス・ウールの密度と充てん量の変動が大きい。

- (3) ガラス製であり、高価で破損しやすく、現場測定に不適である。

- (4) 集塵特性や煤塵性状を握するには、単に煤塵濃度のみでなく、同時に浮遊している状態での煤塵の凝集状態や見掛の粒径分布の概略が観測できねばならないが、ダスト・チューブ法ではこれは不可能である。

以上のような理由で、図9に示すような濾紙法による、ダスト・サンプラを開発した。濾紙には直径12~30mmのGlass Fiber Paper Filter(繊維径約1 $\mu$ )を使用する。ガス温度は約500 $^{\circ}$ Cまで使用でき、そのときのフィルタ自体のしゃく熱減量は、約0.5%以下で著しく少ない。また、本濾紙の自重は10~60mg程度で非常に軽く、約数分間のガス抽気で数mg~数10mgの煤塵がサンプルでき、その重量増加は、約10%以上になる。したがって、ダスト・チューブ法に比べ、はるかに精度の良い測定がより短時間に行なえるようになった。しかも、煙道中に直接、そう入した円板濾紙の表面に等速抽気されて捕集されるので、それを検鏡すれば、ガス中に浮遊していた状態での煤塵の凝集状態や粒度も同時に観察できる。前述の煤塵の静電凝集は、いずれもこの方法で観察されたものである。なお、本濾紙の微粒子に対する捕集効率は約0.3 $\mu$ に対し99%以上であり、7 $\mu$ ガラス・ファイバを充てんしたダスト・チューブに比べても捕集率は高い。

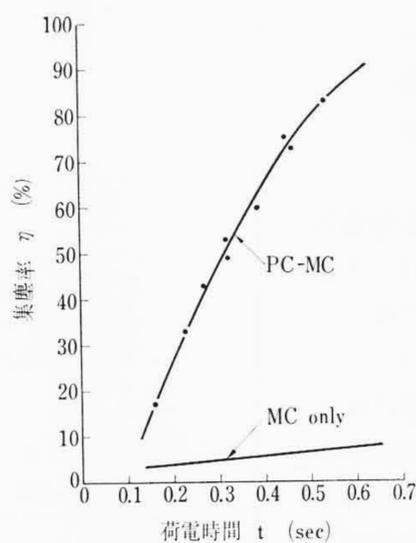


図10 A重油蒸発燃焼カーボン・ブラック・ダストに対する静電凝集-遠心集塵方式(PC-MC)の集塵効果

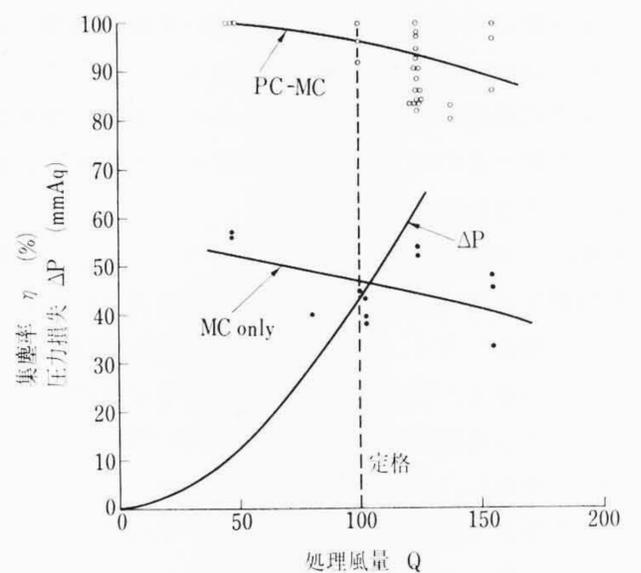


図11 C重油霧化燃焼Sootに対する静電凝集-遠心集塵方式(PC-MC)の集塵効果

#### 5. 集塵特性の検討

図10は、A重油の蒸発燃焼時に発生するカーボン・ブラック・ダストについて集塵特性を測定した結果を示したものである。なお処理ガス温度は約140~145 $^{\circ}$ C、入口煤塵濃度は、約0.1~0.15g/Nm<sup>3</sup> of gasの条件で実験された。これから明らかなように、前置静電凝集器(PC)を無荷電とし、後置遠心集塵器のみ(MC only)では、集塵率は10%以下でほとんど集塵できないのに対し、PC-MC方式では、集塵率は、荷電時間(静電凝集処理時間)の増加とともに、急激に向上し、とくに、0.5秒程度の非常に短時間で、80%以上の集塵率が得られ、PC-MC方式によれば、短時間でいかに効果的な静電凝集が可能であるかの確証が得られた。

つぎに、図11はC重油の霧化燃焼の際に発生する煤塵について、集塵特性を測定した結果を示したものである。なお、処理ガス温度は約155~165 $^{\circ}$ C、入口煤塵濃度は0.05~0.15g/Nm<sup>3</sup> of gasの条件で実験された。これから明らかなように、前置静電凝集器(PC)を無荷電とし、後置遠心集塵器のみ(MC only)では、集塵率は、40~50%程度で著しく低いのに対し、PC-MC方式では、80~98%となり、その集塵性能の改善効果は、非常に顕著である。また、この場合、NH<sub>3</sub>注入を行なうと、MC onlyの場合には、集塵率は、さらに約半減して20%程度に著減してしまう。これはSO<sub>3</sub>とNH<sub>3</sub>との気相反応により、硫酸(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>あるいは酸性硫酸NH<sub>4</sub>HSO<sub>4</sub>の非常に微細な(1 $\mu$ 以下)白煙Fumeが発生するためである。しかし、このような場合でも、PC-MC方式によれば、その静電凝集効果により、集塵率80%程度が維持できることが確かめられた。表1は、本装置による、このSootの回収量および部分集塵率を測定

した結果の一例を示したものである。

これから明らかなように、入口から出口へと後段に移行するにしたがって集塵率が向上している。これは静電凝集効果によって、後段になるほど、煤塵が集塵されやすくなるためと考えられる。とくに、ここで注目を要するのは、後置MCの部分集塵率が約77%になっていることであり、これはMC onlyの集塵率が約40%であったのに比べ、著しく向上していることがわかる。

図12および表2は、クラフト・パルプ・黒液燃焼の際に発生するボウ硝 Fume ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$  90%,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  5%) について、集塵特性を測定した結果である。処理ガス温度は、110~135°C、入口煤塵濃度 0.5~1.0 g/Nm<sup>3</sup> of gas の条件で実験された。これから明らかなように、図11のC重油燃焼 Soot の場合とほとんど同様であり、これは両者の粒径、電気固有抵抗、ガス条件などが異なるにもかかわらず、このような結果が得られたことは、このPC-MC集塵方式は、煤塵の粒径や電気抵抗や処理ガス条件の幅広い変動の影響をあまり受けることなく、ほぼ一定の高集塵率を維持できるということであり、これは従来方式集塵器の集塵率がガス条件や煤塵の諸性質の影響により大幅に変動するのに比べ、工業装置として非常に有利な長所の一つであり、大きな進歩である。

最後に、本装置の実用上の問題点の一つとして、後置遠心集塵器の案内翼などにおけるダストによる閉塞現象がある。これは、本装置特有の現象でなく、遠心集塵器の一般的問題でもある。これが生じると圧力損失が増加する一方、集塵率は異常に低下するので、これを防止する必要がある。そこで数ヶ月間にわたって、長期昼夜連続運転を実施し、これを検討してみたが、いずれの工業煤塵についても、処理ガス温度を露点以上に維持すれば、そのような閉塞はまったく生じないことを確認した。ただし、たとえ、ガス温度が露点以上であっても小口径サイクロンの使用は好ましくないことも確認できた。

### 6. 結 言

種々の工業煤塵について、2 stage 形静電凝集器によりその静電凝集効果を実験的に考察した結果、処理時間0.5~1秒前後のきわめて短時間で効果的な静電凝集が行なわれることを明らかにした。この現象を利用して、新方式のPC-MC式集塵装置を開発し、実際の工業煤塵について、その集塵効果を検討した結果、従来、工業用遠心集塵器では、集塵困難であった数 $\mu$ 以下の微細煤塵、あるいは、電気集塵器では集塵困難な導電性煤塵に対しても、高い集塵率が得られた。また、経済性もすぐれていることが明らかにできた。従来の工業用集塵器がプラントの操業条件によって、処理ガス量などのガス条件、煤塵の粒径、電気固有抵抗、かさ比重などが変動した場合、その集塵性能がこれらの影響を受けて低下し種々の支障を来すことが多いのに対し、本PC-MC集塵方式によれば、これらの影響を受けることが少なく、ほとんど一定の高集塵率を維持できることは、工業装置として、非常に大きな進歩であると考えられる。

表1 C重油 Soot の PC-MC 方式集塵器による回収量率と部分集塵率(かさ密度約 0.08 g/cm<sup>3</sup>, 真空度約 1.6~1.8 g/cm<sup>3</sup>)

	回収量率 (%)	部分集塵率 (%)
帯電部	19.5	17.6
静電凝集部	43.6	47.5
後置MC	36.9	77
合計	100.0	90

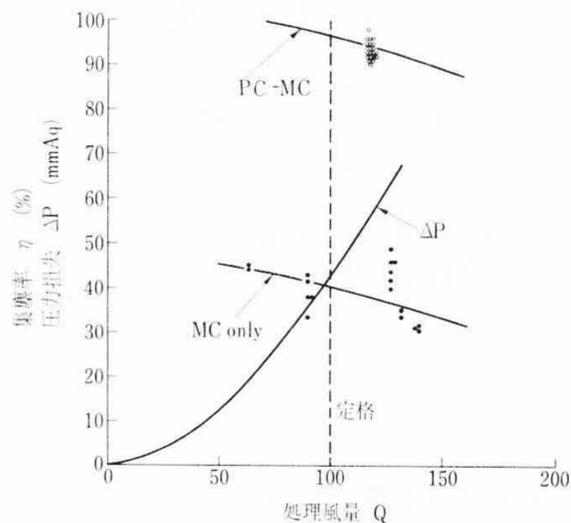


図12 クラフト・パルプ黒液燃焼ボウ硝 ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) Fume に対する静電凝集-遠心集塵方式 (PC-MC) の集塵効果

表2 クラフト・パルプ・黒液燃焼ボウ硝 Fume の PC-MC 方式集塵器による回収量率と部分集塵率

	回収量率 (%)	部分集塵率 (%)
帯電部	42	40
静電凝集部	32	50
後置MC	26	85
合計	100	95

現在、さらに、後置遠心集塵器の集塵性能の改善、圧力損失の低減、前置静電凝集器に交流静電界を利用することなどについて研究中である。また製鉄関係の平炉、転炉、焼結炉、都市塵芥(じんかい)焼却炉などの排ガス集塵への適用も検討中であり、今後、多くの分野で、本方式の活用が期待できる。

終わりに、本研究にあたり実験装置の試作に援助をいただいた日立製作所日立工場原子力開発部コットレル課および実験を終始熱心に遂行された日立研究所第61研究室の関係者各位に深謝する。

### 参 考 文 献

- (1) 諫早：日立評論，日立研究所創立30周年記念論文集 p. 44~55(昭39-11)
- (2) 諫早：集塵と除塵，産業環境工学研究会発行 p. 30~41(1966)