

フライアッシュ生産装置について

Mechanical-Electrostatic Fly-Ash Collector Plant

鶴田 四郎*

Shiro Tsuruta

橋本 清隆**

Kiyotaka Hashimoto

大野 長太郎**

Chotaro Ono

内 容 梗 概

微粉炭ボイラの排ガス中に含まれるダストはその小部分の化学的不安定な成分を除くと大部分がセメント混和材として有用であり、これを適量混用したコンクリートは流動性がよく、また水硬反応時の発熱量が少ないので亀裂発生の懸念がなく作業が進捗するなどすぐれた特長があることが明らかにされたので、発電設備の計画に当つては大量にこれを捕集活用する企画がなされるようになった。すなわち従来もつばら煙害防止対策として設備された集塵装置は特別な考慮を加えたいわゆるフライアッシュ生産装置として設備され、捕集された煙塵は廃棄処理費を必要とした以前の非生産面から転じて立派な商品としてフライアッシュ会社を通じて土建業者に売り渡されることになった。したがって最近建設される石炭専焼火力発電所はもちろん、重油混焼の火力発電所でもフライアッシュ生産と煙害防止に備えてこの種の集塵装置設備がなされる。また重油専焼の発電所でもその計画に当つては将来の燃料事情の不安定を考慮して同様の設備を予定した計画がなされている。さらに既設発電所の設備についてもこの目的に適するように集塵装置の改善がなされつつある。

この論文はわが国で初めてフライアッシュ生産装置として計画された東京電力株式会社新東京火力発電所における集塵装置の計画経過と特長およびその実績ならびにフライアッシュ生産集塵装置のあり方について述べたものである。

1. 緒 言

火力発電所における集塵装置の利用状況をみると、昭和10年ころから急速に普及し、昭和16年ころまでには生産機能の中核秘匿の戦略的要求もあつてほとんど全発電所に設備され、あるいは設備計画がなされていた。したがって当時はわが国および満州国における電気集塵器設備のうち火力用が施設数において25%、処理ガス容量では50%余に及んでいる。

特に微粉炭ボイラにあつては灰分の飛散率が高く石炭灰分の80%前後が燃焼装置から煙として運び出されている。

火炉ホッパ	15~26%
節炭器ホッパ	5~16%
集塵器ホッパ	60~80%
煙突排出	10~15%
全灰量	100%

最近の微粉炭機はさらに微粉度が高く日立Eミルに例をとると100Mesh通過99%、200Mesh通過80%となつており、灰分の飛散率はさらに増加の傾向にある。集塵器を設備するとこの大量の捕集物の廃棄処理に案外大きな経費を必要とするので、煙害防止上せつかく集塵設備はしたが、上手に使用されず厄介ものとして過されたものが実情のようにかがわれる。

灰処理用水量 = 灰重量 × (10~40)

* 東京電力株式会社新東京発電所所長

** 日立製作所日立工場

沈澱池容量 = $\begin{cases} \text{クラブバケット掬揚式で } 0.7 \sim 1.3 \text{ h} \\ \text{ドレジャポンプ排出式で } 0.1 \sim 0.2 \text{ h} \end{cases}$ 用水分

灰棄処理費 = $\begin{cases} \text{機械設備のよいもので石炭 } 1 \text{ t あたり} \\ \text{ ¥15 (昭25年ころ)} \\ \text{担送, トラック運搬で石炭 } 1 \text{ t あたり} \\ \text{ ¥400 \sim 500 (昭25年ころ)} \end{cases}$

米国の一例でみると ¥18

このように微粉炭ボイラの排ガス中に含まれる煙塵は従来無価値なものとしてもつばら煙害防止の対象としてのみ取り扱われてきたが、最近米国ではこの種のダストの大部分が mass concrete 混和材としてすぐれた特長をもつており、またそのほか諸種の用途にも有用であることを認め⁽¹⁾ダム工事などに大量に使用されるようになってきている。良い成績を示した用途例として次のようなものがあげられている。

アスファルト板の充填材として珪石粉、セメントの代替に

コンクリートの充填材として砂、セメントの代替に
サンドブラストの珪砂の代替に

またかなり良い成績を示す用途例として次のようにいわれている。

ペイントの充填材として炭カルの代用に

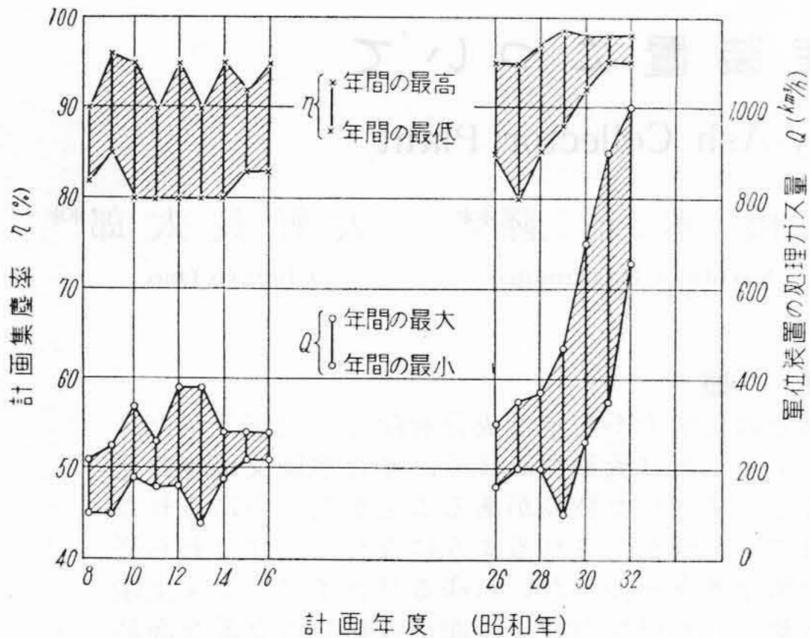
セメントの原料として粘土の代用に

パテの充填材として炭カルの代用に

屋根葺材の充填材として石灰、珪石粉の代用に

シンダブロックの充填材に

このほかにも種々利用の途が研究されているようである



第1図 火力発電所に設備された電気集塵装置の単位設備容量と計画集塵率の推移

が、このようにフライアッシュの利用価値が高められたことは灰処理の苦悩を解消し、低品位炭の利用にも明るい話題を提供している。

わが国でもこれについて種々研究⁽²⁾⁽³⁾を重ねた結果、大量に排出される一般微粉炭ボイラの排煙中から有用な成分を選択採集するフライアッシュ捕集装置の設計基礎が確立されたので⁽³⁾爾後の発電設備にはもちろん、既設設備にもこの装置が広く適用されつつある。この装置は従来の非生産的煙害防止用集塵設備と異なり有利なフライアッシュ生産を目的とする生産設備であるから、その集塵率も経済条件の許すかぎりにおいて高くとられている。第1図は最近の発電設備単位が急速に大容量化の傾向をたどり、かつ上記理由から集塵装置が高集塵率で計画されつつある事情を明らかにしている。このことがまたいかに煙害防止、換言すると大気汚染の防止に大きな貢献をもたらしつつあるかが知られる。

セメント混和材として使用されるフライアッシュはコンクリート充填作業における流動性、硬化後の化学的安定性および強度などの面からその物理化学的性質ならびに混量に制限が与えられることはもちろんである。たとえばフライアッシュはその粒径が325Mesh(44 μ)以下、比表面積にして3,000cm²/g以上の微粉でかつ球形のものが望ましいとされている⁽²⁾⁽³⁾。しかし排煙ダスト中には灼熱減量が大でコンクリートの化学的安定性をそこなう成分を過量を含む粒子がかなりあるので、優良フライアッシュを大量に生産するには使用炭の品質と石炭微粉装置燃焼状態ならびにフライアッシュ捕集装置の機能を十分に吟味することが必要である。フライアッシュの捕集価値はかなり高いのでこれを上手に捕集することは最近の発電所の経済運転の一要素ともなるわけである。

筆者などの研究結果によればフライアッシュとして好ましくない性質をもつダストは、ある粒径以上の粗粒分

に多く偏在することが知られている⁽³⁾。したがってフライアッシュ生産装置としては適当な分級特性をもつ前処理集塵器を用いて、あらかじめこれを除去し、残余の適性成分をフライアッシュとしてなるべく多量に捕集する複合集塵器の型式が望ましい。さらに火力発電所の負荷状態の変化にかかわらず分級特性を所期の状態に保持できる特殊な性能調整機構を備えたSC(Single-Cyclone)またはMC(Multi-Cyclone)とEP(電気集塵器)とを複合したSC-EP型またはMC-EP型集塵器のいずれかが適している。

最近の発電設備計画では1地点に発電容量500~1,000MWを集中することが運用上の経済単位と考えられている。したがって1地点における毎時の排煙量は5,000km³余、これに含まれる煙塵量は100t/h余にも達することになる。これがそのまま放出されるときは甚大な煙害を及ぼすことになる。仮りにこの煙塵量の50%がフライアッシュとして有用であるとして、これによる年間収入はフライアッシュ生産設備費の償還に価する。さらに大気汚染と降灰による煙害の防止に貢献するところはなほ大きい。したがって石炭燃焼発電計画においては設備費あるいは地域的環境条件によつて計画集塵率に多少の差異はあるがフライアッシュ生産を目的とする集塵装置が必ず設備されるようになった。

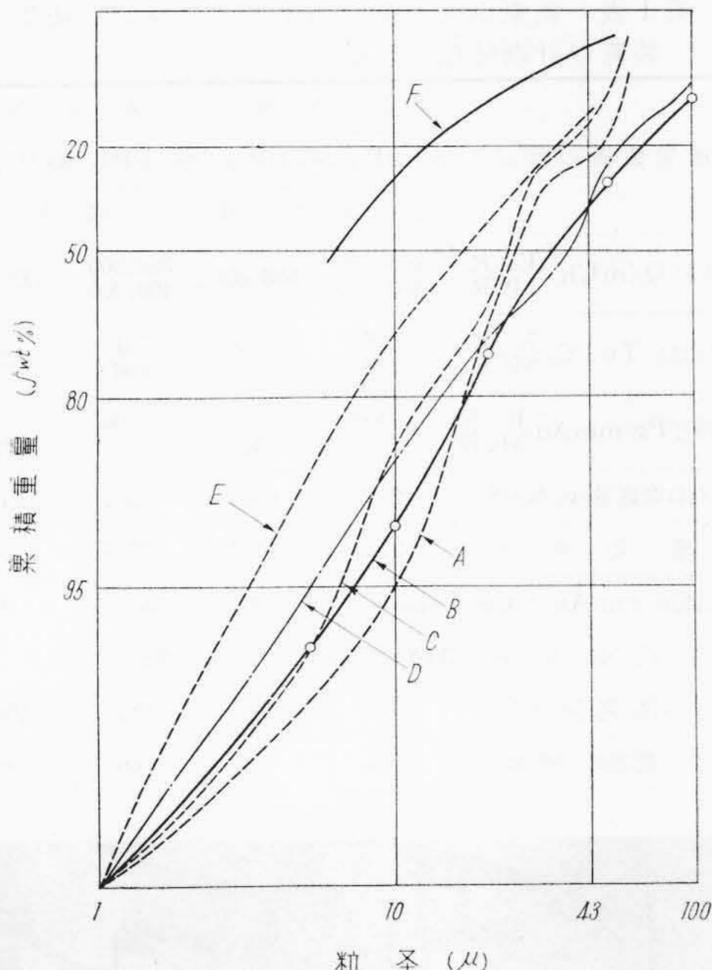
筆者らは東京電力株式会社鶴見火力発電所および東京電力株式会社汐田火力発電所ならびにそのほかのミルおよび汽罐型式の異なつた諸設備について、排煙の性質を詳細に調査し、これらの排煙から良質フライアッシュをなるべく多量に選別採集する集塵装置の型式ならびに発電負荷の変動にかかわらずほぼ所期の選別特性を保持する調整機構などフライアッシュ生産装置に関する研究を行い、特殊構造のSC-EP集塵装置型式を、またさらに広範な負荷変動幅に対してはMC-EP型式の設計を完成し、これをわが国最初のフライアッシュ生産設備として東京電力株式会社新東京火力発電所において実施した。

ここに装置計画の概要とその実績ならびにフライアッシュ生産装置として考慮されねばならないことがらについて述べる。

2. 設備の概要

微粉炭燃焼ボイラから排出される煙塵の粒度分布の状況は第2図に示したように、燃焼装置の型式、ミルの型式、煙道の構造、使用炭の種類および微粉度ならびに燃焼温度などによつてはなほ大きく異なつてゐる。もちろん各例においても負荷あるいは燃焼状態の調整によつてまた分布が異なつてくる。

新東京火力発電所1号および2号汽罐に設備されたフライアッシュ捕集装置の計画に当つては、筆者らが東京



第2図 微粉炭燃焼ボイラ煙塵の粒度分布の状況

電力株式会社所属の諸発電設備につき排煙ダストの性状を調査した結果、これらの中で新設計画の燃焼設備仕様に最も近い型式のボイラからの排煙ダストの特性を基準とし、状態の変動幅としてそのほかの例の特性を参考とした。すなわち計画の基本条件は次のようである。

(1) 粗塵には灼熱減量の高い成分が多く含まれておりコンクリート強度を害するので、米国開拓局の採用しているダムコンクリート用フライアッシュ規格に準じてフライアッシュの 325Mesh(44 μ)より粗大な粒子を12%以下に制限する。

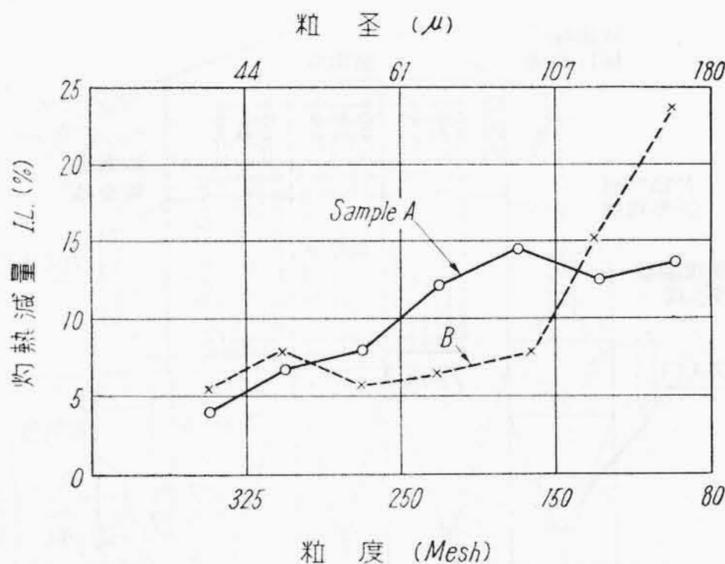
(2) この目的を達成し、しかも微細分はなるべく多く通過させる分級集塵特性のよい SC (Single-Cyclone) を前置し残余を EP (Electrostatic Precipitator) で捕集する。

(3) この装置は単なる煙害防止設備と異なり、有利な生産設備でありかつまた発電所が都心に近く設置されるのであるべく高い集塵率をもつて計画し煙害の恐れのないものとする。

(4) さきの研究結果に照して排煙の状態は諸種の要因で必ずしも計画どおりにはならず、また、負荷も一定しないので燃焼状態あるいは負荷の変動の予想範囲についてフライアッシュ生産の目的にかなうよう SC の機能を調整可能に考慮しておく。

(5) 排煙ダストの粒度および性質は一応鶴見火力発電所 8 号機(日立 E ミル装備)のものを基準とする。

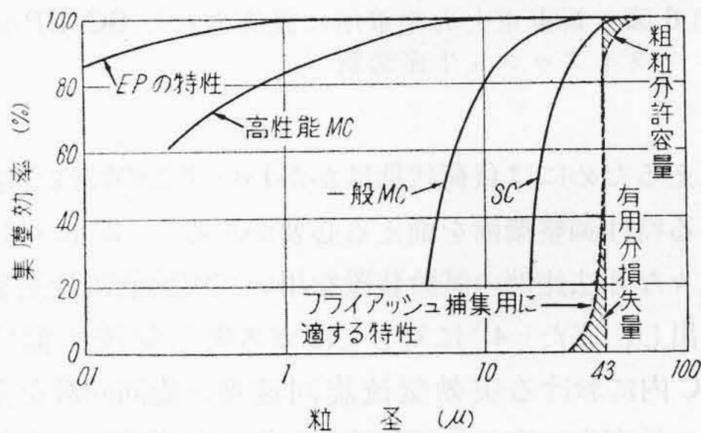
(1)の措置が妥当であることは煙塵の粒度別灼熱減量分布特性の検討結果第3図から知られる。第3図(B)の



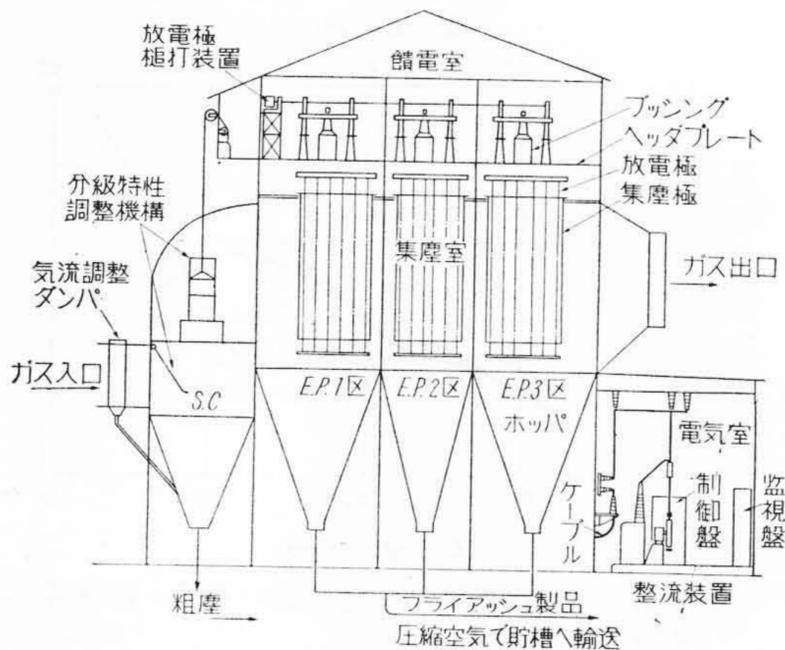
第3図 微粉炭燃焼ボイラ煙塵の粒径と灼熱減量の関係

ダストは比較的二次空気が絞られ黒煙を出している状態において集塵率 100% の電気集塵器を用いて未燃カーボンまでも完全に捕集した試料で、325 Mesh 以下の微細分における灼熱減量が若干増大の傾向を示しているが、実際には改善された燃焼状態で運転され、また集塵率も未燃カーボンまで完全に捕集するほど高くは計画されないからかような傾向にはならない。微細粒子ほど完全に燃焼しかつ熔融状態を経てくるから本計画の装置で捕集されるフライアッシュはさらに灼熱減量の低いしかも球形の粉体であろうことは容易に首肯される。

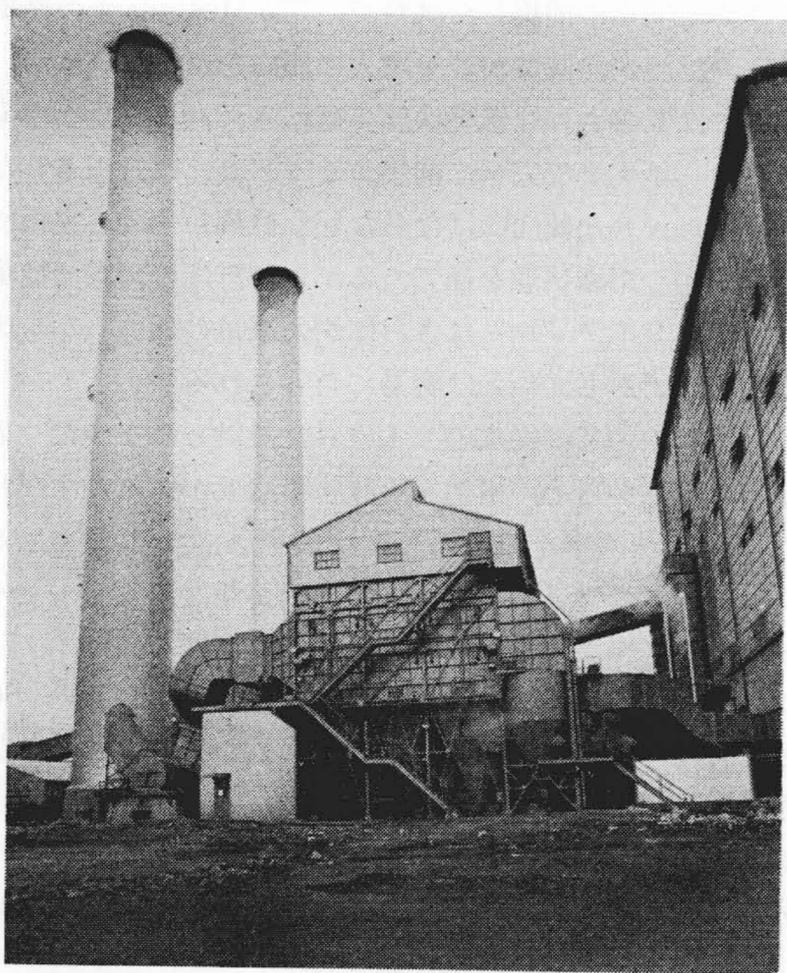
(2)については従来のサイクロン設計とはまったく異なつた観点からその構造を吟味する必要がある。すなわち SC の集塵率を高めることは設計として容易であるが、これではフライアッシュの損失が多くなりいつたん捕集したダストをあらためて分級器にかけてフライアッシュを選別採取することが必要になる。この目的の SC としてはたとえば 44 μ 以上の粒径に対してはきわめて集塵率が高く、それより微細なダストに対してはきわめて集塵率の低い換言すると、第4図に点線で示したように分級特性の鋭いことが要求される。しかも(4)の要求に



第4図 煙塵粒子の大きさに対する SC および EP の一般的集塵特性とフライアッシュ生産装置としての SC に要求される典型的集塵特性(点線、斜線部分は随伴フライアッシュ損失を示す)



第 5 図 新東京火力発電所に設備された SC-EP 型集塵装置の構造概要



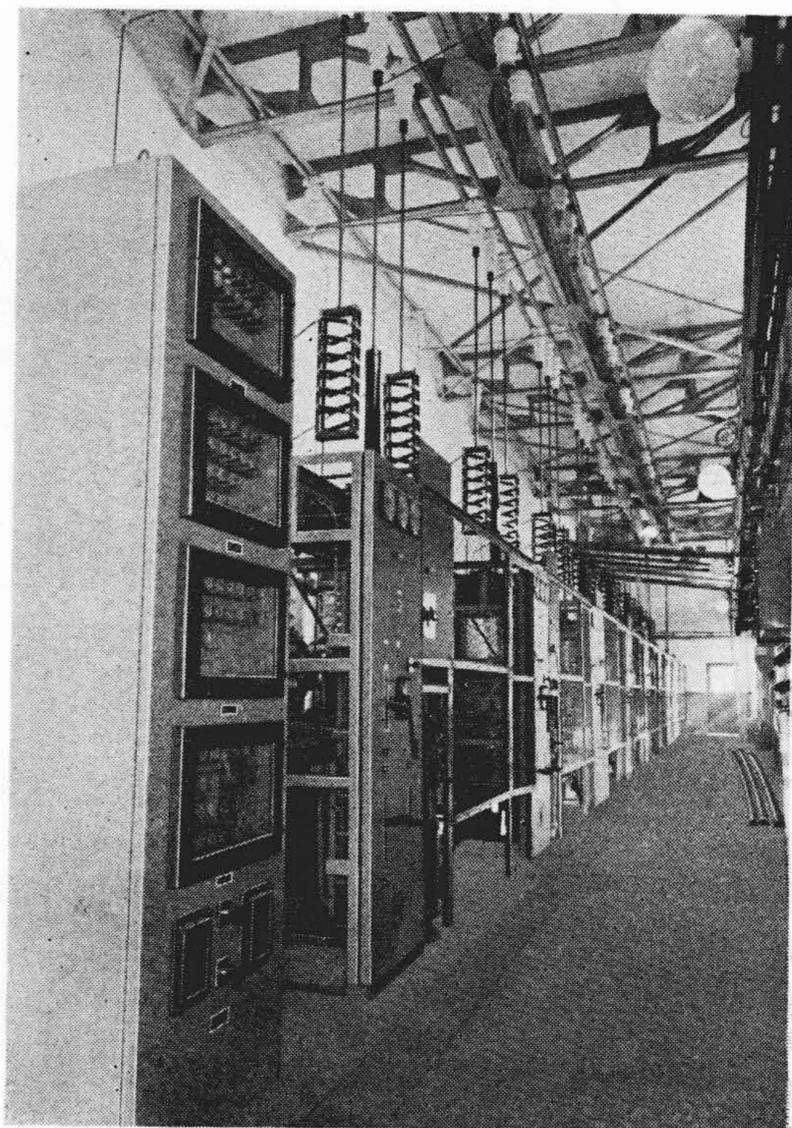
第 6 図 新東京火力発電所に設備された SC-EP 型フライアッシュ生産装置

こたえるためには負荷状態にかかわらずこの特性を保持できる特性調整機構を備える必要がある。(2)に対しては種々な寸法比例の試験装置を用いて実験的に最適条件を見出し、また(4)に対してはガス吹込気流を偏向させ SC 内における実効気流旋回速度と旋回回数を変えてガス量変化に応じ最適特性を保持する機構を考案した(4)(5)。

(3)については予想される排煙の含塵濃度に対して、煙突からの排煙の含塵量をおおむね $0.5\text{g}/\text{m}^3$ 程度に制限

第 1 表 新東京火力発電所フライアッシュ捕集装置の計画仕様と実績

捕集装置の型式	1 号 籠		2 号 籠	
	SC-EP型 SO-HP ₄₃ 式		SC-EP型 SO-HP ₄₃ 式	
	仕 様	実 績	仕 様	実 績
ガス量 Q (m^3/h)	E. R 460,000	368,000	E. R 490,000	353,000
ガス温度 T_g ($^{\circ}\text{C}$)	E. R 138	113	E. R 160	121
ガス静圧 P_g (mmAq)	E. R -400	-110	E. R -400	-120
SC 入口含塵量 (g/Nm^3)	25.7	25	25.7	14.6
集 塵 効 率 (%)	97.5	97.7	97.5	97.3
損失風頭 (mmAq) MCR	135以下	100	135以下	98
備 考	汽 籠 型 式	3 ϕ W 輻射型	三菱輻射型	
	蒸 発 量 (t/h)	280	230	280
	発電機 (M.W)	66	66	66



第 7 図 EP 荷電用電気設備の概要

するものとして集塵率 97.5% を採用した。一般に考えられている発電所微粉炭ボイラの排煙濃度の経済的限度は地域によつて $0.1\sim 1.5\text{g}/\text{m}^3$ 程度のものであるが、本計画では特に都心に近いことを考慮してこれを $0.5\text{g}/\text{m}^3$ に制限したわけである。

SC-EP の計画内容は 1 号籠および 2 号籠ともに同一であつて、第 5 図にその構造の概要を、また第 6 図にその外観を示した。装置の計画仕様は第 1 表のようである。

この装置は高集塵率に計画されているので経済設計上保守の面にも特に意が用いられている。たとえば第7図にみられるように各整流機には実際に集塵器端子に与えられる有効な集塵電圧の記録装置が整備され EP の動作状態の経過がわかるようになっており、また事故発生に際しては事故区分だけを選択遮断してその影響を最小限にとどめる自動選択遮断器を通して各独立電極群の荷電が行われるようになってきている。

3. 捕集ダストの性質と SC の機能の検討

3.1 フライアッシュの生産量の予想

本装置の計画に際し基準とした排煙ダストの粒度分布状態は前述のように東京電力株式会社鶴見発電所 8 号罐のものである。フライアッシュ捕集の要件からは第4図点線のような分級特性をもった前処理集塵器が望ましいのであるが、実際には実線で示されたような動作特性になりやすい。SC の偏向板と寸法比によつて、また MC の Vane 形状の選定によつて実験的にどこまでこの要求に近づけ、斜線で示したフライアッシュ損失分を少なくしうるかが研究の対称であつた。EP は集塵率は高いが分級特性はその動作原理から必然的にあまりよくないので、前処理集塵器として EP 前区を利用することは原理的に不利である。煙塵全量を EP で捕集した後において別の分級器で不用分を分離除去する方法も考えられるが、後で述べるようにいつたん EP で捕集されたダストは強く凝集しているもので、粗粒に付着した微細粒子の機械的操作による分離が困難でフライアッシュの随伴損失がかなり大きくなる。

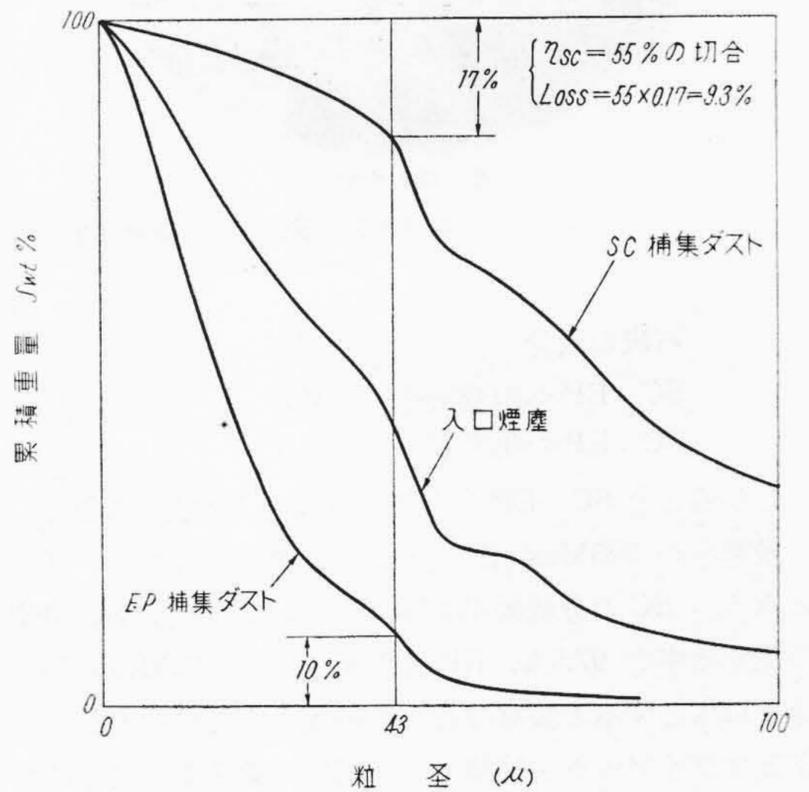
第2表 煙塵の粒度および SC の分級機能とフライアッシュ捕集量

SC 入口ダスト	SC 捕集ダスト	EP 捕集ダスト	煙突排出ダスト	
$\sum_a^f(M)=100\%$	325M+ a% 325M- b%	325M+ c% 325M- d%	325M+ e% 325M- f%	
所要条件: $c/(c+d)=12\%$, $e+f=2.5\%$				
仮定: (A) $(a+c+e)/\sum_a^f(M)=22\%$, $a/(a+b)=70\%$				
(B) $(a+c+e)/\sum_a^f(M)=22\%$, $a/(a+b)=50\%$				
(C) $(a+c+e)/\sum_a^f(M)=30\%$, $a/(a+b)=70\%$				
(D) $(a+c+e)/\sum_a^f(M)=30\%$, $a/(a+b)=50\%$ $e=0\%$				
条 件	(A)	(B)	(C)	(D)
SC入口ダストの 325M+分(%)	22	22	30	30
SC分級効率 325M+分(%)	70	50	70	50
SC捕集ダスト {325M+ a% 325M- b%	12.4 5.3	13.5 13.5	22.0 9.4	24.0 24.0
EP捕集ダスト {325M+ c% 325M- d%	9.6 70.2	8.5 62.0	8.0 58.1	6.0 43.5
煙突からの排出ダスト {M325+ e% M325- f%	0 2.5	0 2.5	0 2.5	0 2.5

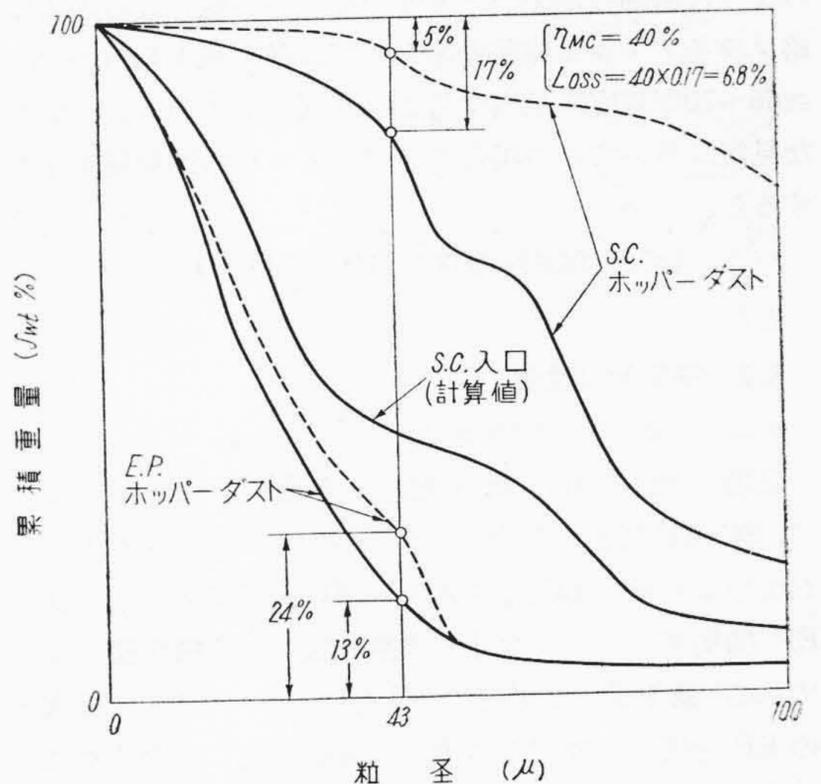
筆者らは適当な寸法比の流入気流変向弁を SC 入口に設け⁽⁴⁾、器内の旋回気流の実効周速および旋回回数を変化させることによつて負荷状態に即応して簡単に前処理集塵器の粒径-集塵率特性を調整し、最低の随伴損失で最大の捕集効率を収める設計基準を求め、これを本装置に適用した。次にその実績を吟味することにする。

まずフライアッシュの生産予想量についてみる。いま石炭使用量そのほかの運転条件から 66MWx2 単位ボイラの煙塵量を次のように推定する。

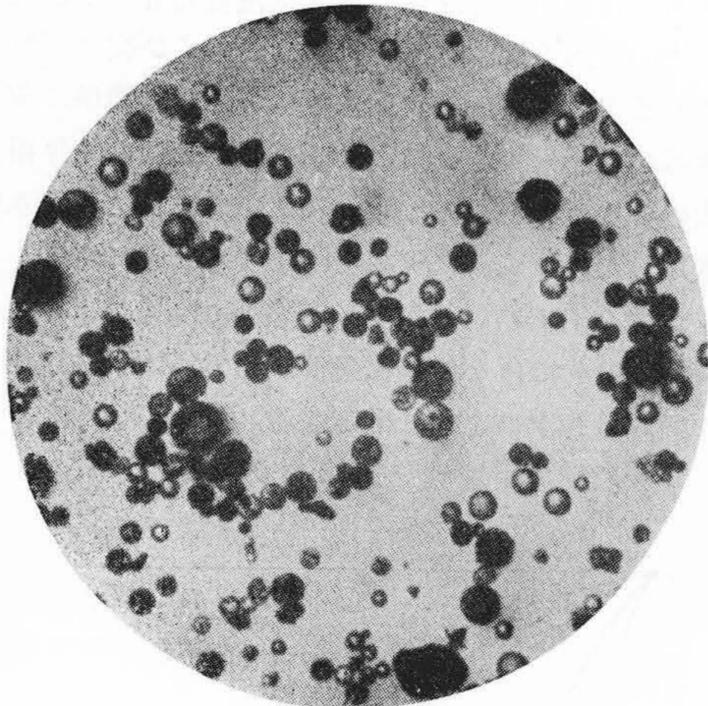
石炭使用量 1,400 t/D



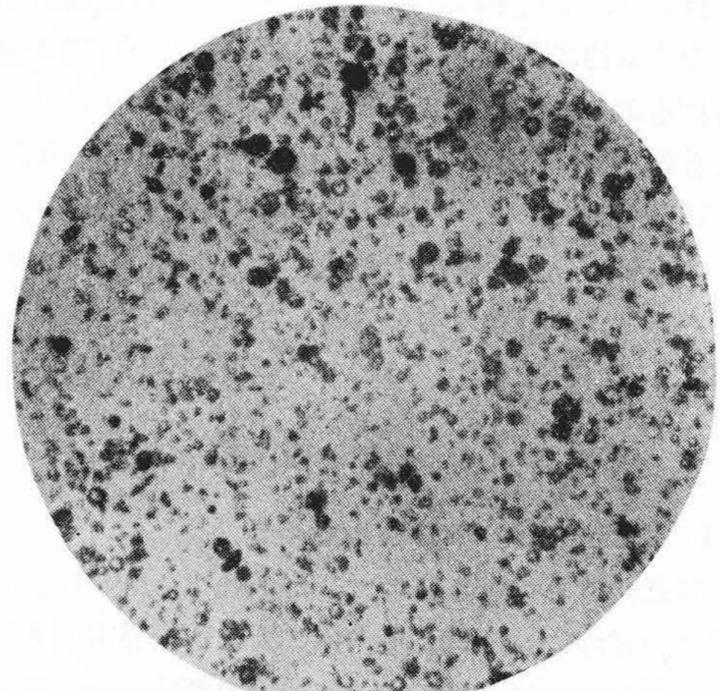
第8図 新東京2号罐煙塵粒度分布とSCおよびEP捕集ダストの粒度分布



第9図 新東京1号罐煙塵の粒度分布とSCおよびEP捕集ダストの粒度分布 (点線は偏向弁45度に調整した場合を示す)



SC 捕集ダスト



EP 捕集ダスト

第 10 図 SC および EP 捕集ダストの粒子形態 (粒径 180~275Mesh)

石炭の灰分	17%
SC-EP への飛散率	80%
SC-EP の集塵率	97.5%

しかるとき SC-EP の全集塵量は約 185t/D になる。飛塵中の 325Mesh 篩上分は平均 22%, 大きくて 30% とみる。SC の分級効率を 70% あるいは 50%, SC-EP の集塵効率を 97.5%, EP 捕集ダストの 325Mesh 篩上分を 12% とすると装置の各部に捕集された煙塵の粒度分布とフライアッシュ捕集量との関係は第 2 表のようになる。

普通に予想される状態としては (C) 条件のように、粗粒分の多いときは SC の分級動作がよく、また (B) 条件のような微細分が多いときは分級効率が低くなるので概略フライアッシュ捕集効率としては第 2 表から (c+d) ≒ 65~70% 程度に見当することが妥当であろう。かような見解に基いてこの場合のフライアッシュ捕集量を予想すると、

$$185t \times (0.65 \sim 0.70) = 120 \sim 130t/D$$

となる。

3.2 捕集物の性質

3.2.1 捕集物の粒度組成

設備の調整期間が終り発電営業運転に入るのをまつて、SC-EP 集塵率の測定が行われた。このときの 1 号罐および 2 号罐の SC 入口ダスト、SC 捕集ダストならびに EP 捕集ダストの粒度分布は第 8 図および第 9 図のようである。第 8 図は 2 号罐の SC 入口において 100% 集塵率の EP を用いて煙道ガス中から直接採集した全体ダストの粒度組成と、SC および EP で捕集したダストの粒度組成を示している。これによると SC 捕集ダストの有用分 325Mesh⁻ は約 17% であり、EP ダスト中の 325Mesh⁺ 分

は 10% 前後である。SC の性能調整によつて 325Mesh⁺ 分と 325Mesh⁻ 分とが等率で EP に移せるものとすればこれによつて EP のフライアッシュ収量を約 11% 増加してちょうど EP ダストは規格値の 325Mesh⁺ 12% になる。

SC および EP の捕集ダストを自動振盪標準篩機で分級して各粒度の粒子形態を懸濁法により顕微鏡観察すると第 10 図写真のようである。すなわち SC で機械的に分離捕集されたダストは粗細粒子ともに単粒子で分散して存在するが、EP で電氣的に凝集粗大化されて捕集されたダストは粗粒子表面に微細ダストが多数強固に附着しており、これらは機械的手法では分離ができない。かような状態にあるものが顕微鏡試料作成時に懸濁液に分散剤を添加することによつて、はじめて分離分散するので同図に見られるように粗粒子級の写真中に微細粒子が無数に分離して見られる。こうした事実は EP によつて極微粒子が能率よく捕集され、あるいはまた均斉粒径の微粒子エーロゾルの電気集塵にあつて適量比の粗粒ダストを添加して集塵率を高め得る電気集塵機構を示し

第 3 表 米国のフライアッシュ規格

規格名	U.S Government	Baltimore's Liberty Dam	Palsades Dam	Hungry Dam
	実施期	1953	1952	1946
化学成分				
SiO ₂	40以上	40以上	40以上	40以上
Al ₂ O ₃	15以上	15以上	15以上	15以上
MgO	3 以下		3 以下	3 以下
SO ₃	3.5以下		3.5以下	3 以下
Na ₂ O	1.5以下		1.5以下	
湿 分	3 以下	3 以下	3 以下	
I.L	5 以下	10以下	5 以下	10以下
Blaine	3,000以上			
325M ⁺	12以下			
fc(28)	85以上			
fc(90)	fc(28)以上			

ている。

1号籬系のSCの入口ダストを100%EPで捕集した試料は少量で成分分析にあてられ、その粒度分布が測定されないののでSCおよびEP捕集ダストの粒度組成と各ホッパの集塵量比率とからSC入口における全体煙塵の粒度分布を算定した。第9図の実線で示した粒度分布がこのときの粒度組成で、2号籬のMC入口ダストの325 Mesh⁺分が45%であるのに比して1号籬のは40%でダストが2号籬のよりもやや微細のようである。また同図からわかるようにSC捕集ダストの325 Mesh⁻分は約17%であつて、EP捕集ダストの中の325 Mesh⁺分は13%である。すなわち325 Mesh⁺分が所期の規格に対してはやや高すぎるが、最近考慮されているフライアッシュ規格325 Mesh⁺分20~25%に対してはこの状態ではなお多少SCの集塵率が高すぎるといえる。

3.2.2 捕集物の成分組成

ダストの化学成分組成は第3表に掲げた米国開拓局などのフライアッシュ規格を大体満足している。負荷の変動による成分組成の変化は大差がなく、また1号籬と2号籬の系統による差異も指摘しにくい程度に少ない。

EP捕集ダストの灼熱減量I.Lは大体2.2~2.9程度であり、SCダストは325 Mesh⁺分で3.5、325 Mesh⁻分で0.8程度である。この325 Mesh⁻分のI.Lが特に少ないのは第10図について検討した理由により、機械的に分離された微細粒子の表面にはカーボンの付着がなく、またI.Lの比較的大きい粗粒分が除かれていることによる。

3.2.3 粒度による真比重 S.G および灼熱減量

I.Lの偏在

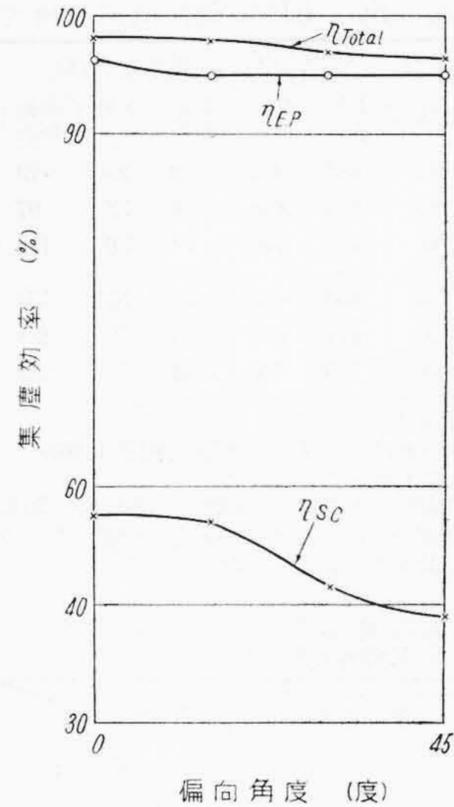
1号籬および2号籬系についてSCまたはEPに捕集されたダストを分級して粒径とS.GおよびI.Lの関係をみると、粒径によるS.Gの差はあまり大きくない。おおむね1.9~2.2の範囲にあるが、I.Lは第3図に示したように粗粒分に特に大きく、また燃焼状態によつては極微細分にいくぶん大きい。

SC捕集ダストは特に粗粒分にI.Lが大で、また325 Mesh⁻分にはEPで捕集された場合のようなカーボンの付着がないのでI.Lが特に少ない。EP捕集ダストについては集塵区別のI.Lの差は少ない。このダストは機械的分級が困難であるが分級してみると、やはり同様の傾向がみられるであろう。

3.3 SC入口気流偏向弁の効果

3.3.1 偏向弁調整角度と捕集ダストの粒度組成

SCに捕集される325 Mesh⁻分をなるべくEPへ送りこんでフライアッシュ収量を増すためにSC入口吹込み気流方向を0~45度に調整し、気流の実効旋回速度ならびに回転数を変えてSCの分級効果を失わぬ範囲で集塵率を低下させるようにした。この効果を確認するため



第11図 偏向弁角度による集塵率の変化

45度偏向時に採取された1号籬系のフライアッシュの粒度組成を測定した結果は第9図の点線のようなものである。すなわちSC捕集ダストの325 Mesh⁻分は5%程度に減つたが、他方EP捕集ダスト中の325 Mesh⁺分が24%に増している。これは米国開拓局規格の12%に比べると約2倍量で偏向過度であるが、最近JIS化が考えられている基準値25%に対しては好適条件にあるといえる。また88μ以上の粗粒分制限5%以下についても十分要求が満たされている。

偏向弁角度0度と45度のときのSCおよびEP捕集ダストの粒度組成を比較してみると、偏向弁の角度調整によつて中間粒度成分がかなりの幅をもつて有効にSCからEPへ移されていることがわかる。しかもこの燃焼状態の下ではEP捕集分のI.Lについてみると、325 Mesh⁺でも規格値内にあり、むしろ総体としては問題なく規格に適合するのでこの操作の製品品位に対する危慮はない。

この点はまた燃焼事情が大きくI.Lを左右していることにもよるのであつて良質フライアッシュを多く得るためには燃焼条件に深い関心を払わねばならないことを示している。

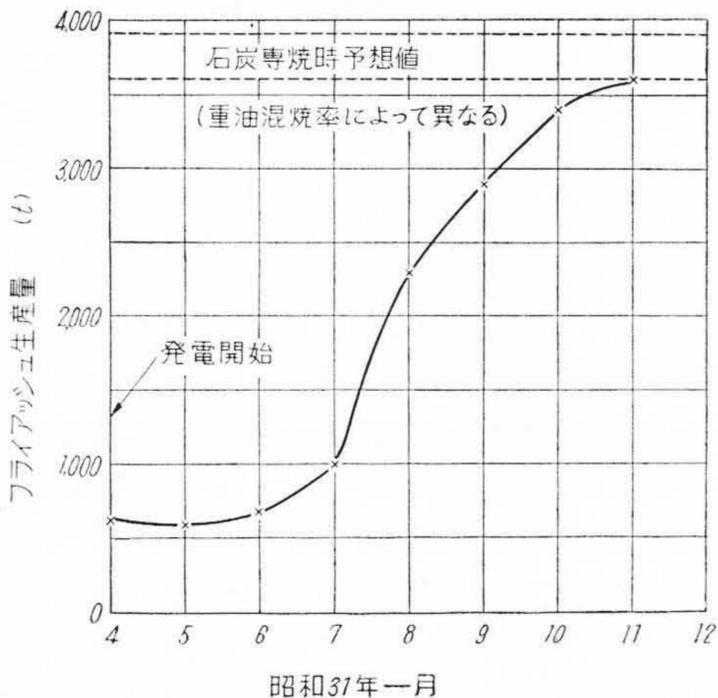
3.3.2 偏向角度と集塵率

偏向弁の集塵分級機能調整の効果について集塵率の調整効果を検討する。一定の燃焼条件の下において偏向弁の角度を0度から45度まで偏向した場合のSCおよびEPの集塵率ならびに総合集塵率の偏向角度による変化は第11図にその一例を示したようにSCの集塵率η_{SC}には約20%の変化が得られるが、EPの集塵率η_{EP}および総合集塵率η_{TOTAL}の変化は2~3%程度にすぎない。すなわち入口ダストの粒度組成自体が運転日時によつて若干

第4表 SC-EPの動作機能の検討

考察の対称	出力 (MW)	石炭使用量 (t/D)		集塵量(t/D)			予想集塵量 (t/D)
		1号 籠系	2号 籠系	1号 籠系	2号 籠系	両籠 合計	
EP 捕集 フライアッシュ	40	433	447	50	23	73	78~84
	60	674	608	64	33	97	114~122
	66	735	706	79	36	115	136~146
SC + EP 全集塵量	40	433	447	82	52	134	120
	60	674	608	113	76	189	174
	66	735	706	133	79	212	209

備考 (1) 算定基準
 (A) [SC+EP]全集塵量: 石炭消費量 1,400t のとき 190t として石炭消費量に比例
 (B) EP捕集フライアッシュ量は上記の 65~70% と見積る
 (2) 発電量と石炭消費量との関連が一定でないのは重油混焼の比率が一定していないからである。



第12図 新東京火力発電所における運転開始後の月間発電量増加に伴うフライアッシュ生産量増加実績

変動しているが、それにもかかわらず SC ダストは偏向角度の増大に伴って粗粒分が増し、細粒分が減少して、フライアッシュ損失率の低減を示しており、他方 EP 捕集ダストの粒度は偏向角度の増加に伴って粗粒分の比率が増大している。しかし最大偏向角度 45 度においても EP 捕集ダストの粗粒分は 24% であるから、この機構によつて最近考慮されているフライアッシュ規格の幅に応じて随意の条件で最大量のフライアッシュの捕集ができる状態に容易に調整が可能であることが知られる。

4. SC-EPの機能とフライアッシュ生産量の検討

東京電力株式会社新東京火力発電所が営業運転を開始した当初の SC-EP フライアッシュ回収装置の集塵率測定結果は、SC の偏向弁角度 0 度において 1 号籠 SC の集塵率はおおむね 40%、2 号籠の SC は 50~55% であり、いずれの場合における総合効率も第 1 表に示したように 97.7~97.3% 程度で、負荷の変化によつては大差がない。これは SC-EP 集塵型式の特長によるものである。

いまこれらの実測値をもとにして試験時の EP 捕集量を算出してみると第 4 表のようになる。この値は使用石炭の灰分総量と実測値との食い違いを測定誤差として補正すると合計値が若干少なくなるが、第 4 表の考察では SC-EP の捕集ダストの総重量はほぼ第 3 章 (1) 項で検討した予想値に近い。

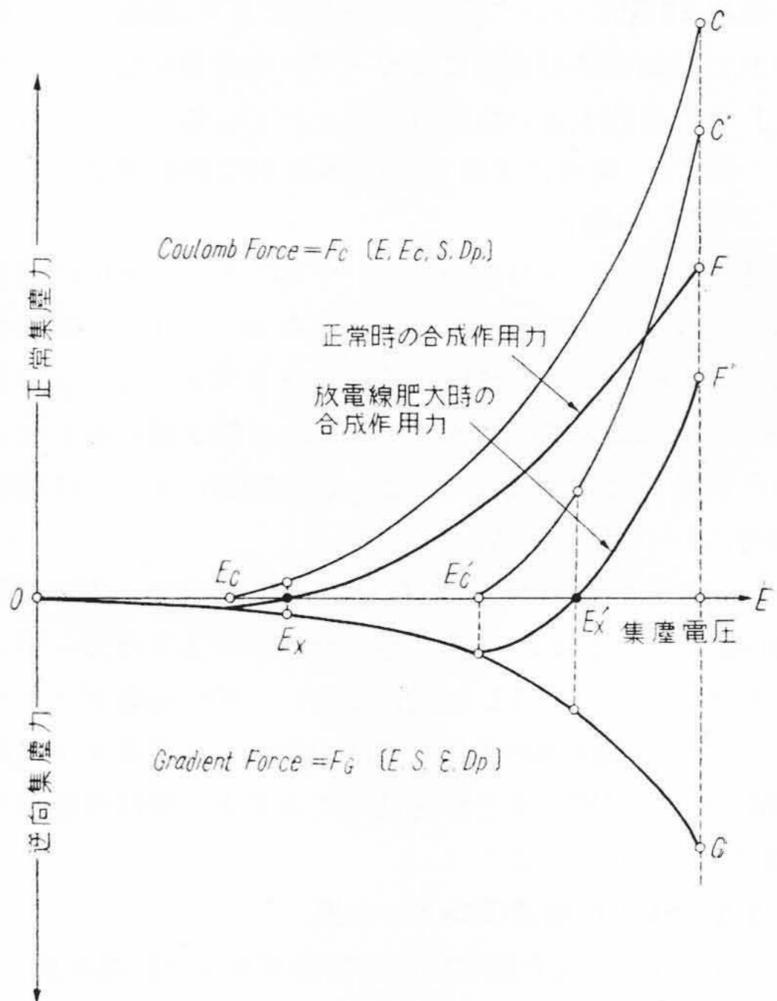
負荷状態によつて石炭と重油の使用比率が異なるので始動当初の月間フライアッシュ生産量は予想値よりもかなり少ないが、その後漸次運転状態が正規になるにつれて逐月フライアッシュの生産量が増加しており、その実績をみると第 12 図のようで、すでに予想値に達する運転状態が得られている。

以上吟味したようにこのフライアッシュ回収用 SC-EP 型集塵装置の選択集塵機能は望ましい規格範囲に調整することが可能である。ただ排煙ダストの粒度組成は、燃料炭の種類、微粉度、燃焼設備および煙道の構造などによつてかなり広い範囲に差異を生ずるから適性なフライアッシュを多量に生産するには捕集装置の機能はかなり広い範囲に調整可能に計画しておく必要がある。

5. 本装置に考慮された保守上の特長

5.1 電気集塵器の動作と保守要領

この装置の施設目的をまつたうするには装置の特性を理



- 放電線を肥大させずに高々運転するには
- (a) 常時波形のよい高 E を与える……3φ 全波 SeR を使用する
 - (b) 低電圧運転を避ける……自動定電流制御による(日立特許)
 - (c) 一時閃絡や弧絡による無電圧運転を避ける……自動再閉合制御
 - (d) 放電線の適期清浄……適期洗滌または自動槌打
 - (e) 事故区の自動選択遮断……または Unit System 運転

第13図 電気集塵器における集塵作用力

解して保守することが必要である。すなわち第一には捕集されたフライアッシュが規格に適合するものでなくてはならない。このためにはボイラおよび付帯設備ならびに燃焼あるいは負荷条件とこれに適応した前処理装置の調整が必要であるが巧く設計された前処理装置にあつてはEPの捕集物が所望の規格からはずれず、しかもなるべく低集塵率にSetすることはさほど困難なことではない。

次には電気集塵器 (EP) を常にできるだけ高能率に運転して回収量の増加と煙害の軽減を図ることである。これには取扱者が EP の動作特性を理解しておくことが必要である。

EP 内での集塵作用は流体力学的な作用力と電氣的吸引力とがある。前者には電極の形状, 配列, 出入口の形状およびイオン風ならびに電極槌打要領などが影響するがこれは装置の設計と施工の巧緻によつてほぼ一定する。負荷あるいは燃焼状態によつても多少影響されるが致命的ではない。しかし電氣的作用力は取り扱いの不注意によつて著しく減殺されることがある。すなわち第13図において $F_G = \phi \left[\frac{dG^2}{dx} \cdot r^3 \right]$ は放電極に集塵するいわば逆集塵力, $F_C = \phi [G(E - E_c)^n, r]$ は本来この装置において利用しようとする正常の集塵作用力であつてコロナ始発電圧 E_c 以上においてのみ存在する。電気集塵器の電界内における煙塵粒子には常にこの2種の電気集塵力が作用しており結局の集塵作用力は太線で示したように, コロナ始発電圧 E_c よりわずか高い電圧値 E_x において零になる。したがつて E_x 以下の瞬間を含む低い電圧で運転すると放電線の肥大とコロナ始発電圧 E_c の上昇とが交絡して漸昇し, 元来低い集塵率がますます低下してついには電極間に短絡を起すに至るまで放電線が肥大する。これを防止するため放電極は常時適度に衝撃脱塵するようになっている。

しかし本来はさらに高い電圧値における強大な F_C の作用力をねらつたものであつて, 集塵電圧は重大な極間閃絡を生じないかぎりまた設備容量の許すかぎりなるべく高く保持することが望ましい。

5.2 集塵電圧指示計

電気集塵器の集塵率はほぼ (集塵電圧 E)² × (放電電流 mA)

の大小で判断される。したがつて実際の運転に入つては E をいかに高く保持するかが上手な保守要領である。

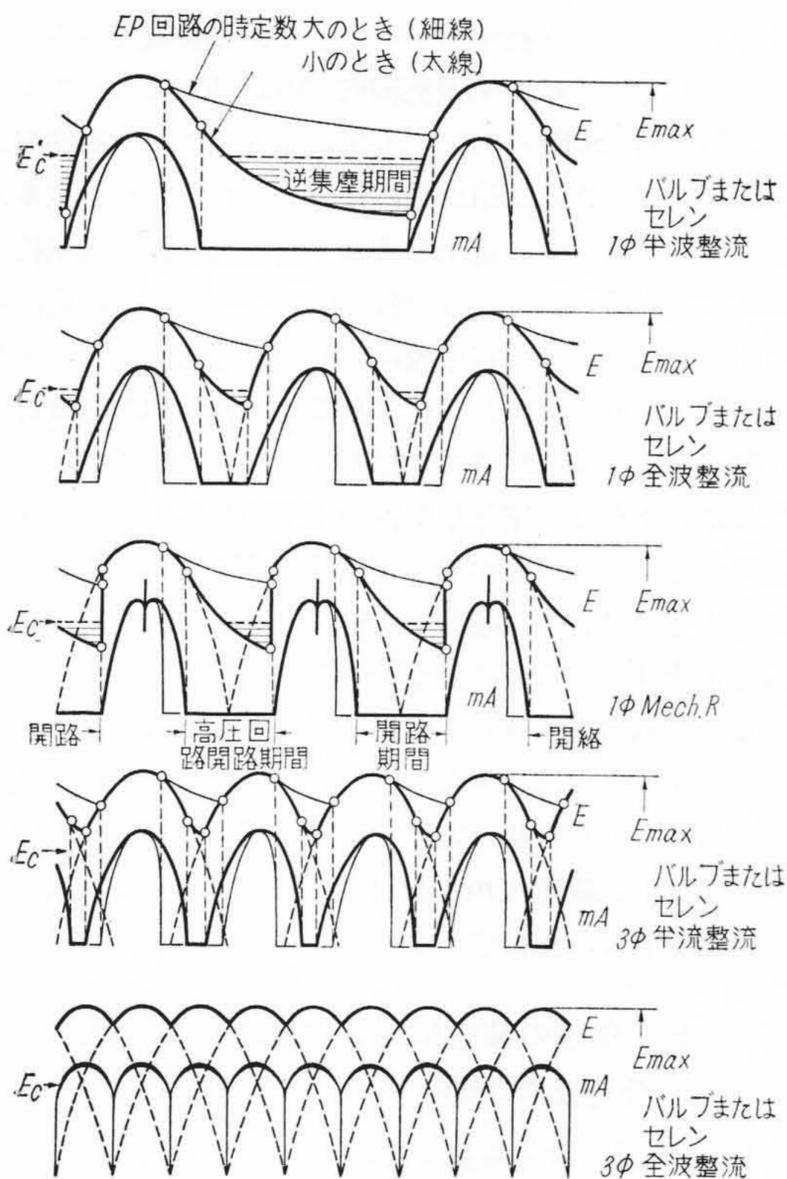
しかして実際には機械整流機 (Mech R) にあつてもセレン整流器 (SeR) にあつても集塵器内部におこる偶発火花閃絡放電を弧光短絡放電に移行させないために主変圧器のインピーダンス電圧を大きくした回路に高抵抗を挿入している。さらに機械整流機のアーク, セレン整流器の内部抵抗などは放電電流により非直線的に変化する高電圧降下を成す。また負荷である集塵器自体の等価抵抗は集塵電圧により特殊な変化をするものである⁽⁶⁾。かような諸要素を含む電気集塵器の電気回路にあつては集塵器に与えられる実際の集塵電圧 E (kV) と変圧器の低圧側入力電圧 V_1 との電圧比は集塵電圧 E , 放電電流 mA 入力電圧 V_1 ならびに集塵器の型式容量によつて著しく変わるので入力電圧 V_1 から集塵電圧 E を近似換算によつて推定することはできない。このゆえに本装置の整流器には特にのおの集塵電圧指示計を設けさらに集塵電圧 E ならびに放電電流 mA を自動記録して常時集塵器の動作状態を的確に把握するようにしてある。

6. 今後の装置において考慮を要する保守上の問題

6.1 集塵器荷電装置の選定

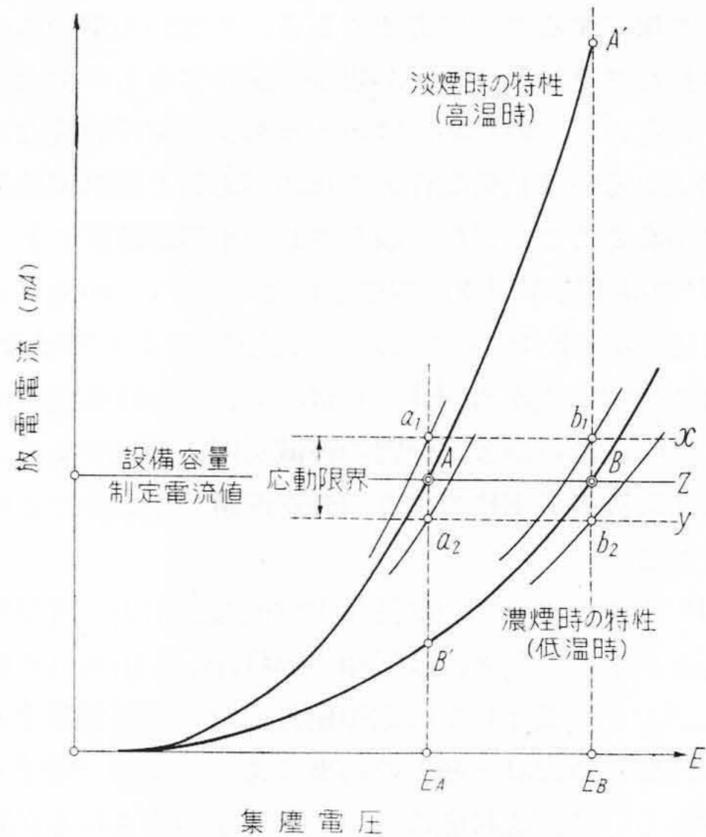
第5表 EP の電気設備の特長比較

比較事項	Mesh. R		SeR		ValveR		
	1φ全波	3φ全波	1φ全波	3φ全波	1φ全波	3φ全波	
構成	同期整流機 PS, IR, R, CC 特高端子5-6個		Tr 内蔵油入タンク R 特高端子 1個		加熱 Tr 内蔵 バルブ 4個 バルブ 6個		
波高率 $\frac{E_{max}}{E}$ 小さいが良い	1.36	1.11	1.25	1.03	1.20	1.03	
E_{min} 大きい方が良い							
屋外設備	不可	不可	可	可	不可	不可	
寿命	保守が良ければ半永久的		半永久的		数kh 電圧変動の影響大		
配電電圧の影響	ない		ない		定電流とせねば寿命に影響重大		
電波障害	適当なフィルタを用いて支障ない		ない		ない		
過電流耐量	かなり大きい		大きい		小さい		
過電圧耐量	かなり大きい		大きい		小さい		
内絡が弧絡になつたとき	消えやすい		R, X では消えにくい再投入制御で確実消弧		消えにくい保護回路必要		
保守	取り扱い	やや面倒: 位相調整		簡易		注意を要する	
	温度, 湿度, 塵埃	調湿, 防塵に注意清掃頻度大		簡易 清掃頻度小		調湿, 防塵に注意 清掃頻度大	
	予備品	軽流板, 杏, 瓜 稀に CC, R		不要		かなり多数必要 大容量バルブは国産無	
	還境	O ₃ , NO が出る適度の換気要す		良好		フィラメントの輝度過度 低加熱で軟X線出る	



第14図 E_{max} を一定としたときの各種整流型式の電圧波形, 電流波形, EP の時定数の関係

以上の観点から集塵電圧波形は E_x 以下の瞬時を含まないものであることが望ましい。いつたん設置された集塵器の集塵電圧は波高値 E_{max} で制限される。また集塵率は実効集塵電圧値 E と E_c との函数, 換言すると概略 E^2 と放電電流 mA とに関係すると考えてよい。したがって大容量の電源を用いて高い集塵電圧値 E で運転するのが最も望ましいが経済的には煙塵粒子を十分に帯電させるに必要な最少の電流とできるだけ E/E_{max} 値の高い直流電圧を用いるべきである。このような観点から今日工業的に用いられている特別高電圧直流発電装置についてその特長を比較すると第5表および第14図のようである。また電気集塵器の電気負荷としての性質は E_c 以上において放電が起ると急激に抵抗 R が減少し放電電流が増大する。またガス温度が高くなるとやはり E_c の低下とともに抵抗 R が低下する。しかし煙塵濃度 (g/m^3) が高いと逆に抵抗が増大する。すなわち放電時定数がガス状態と回路の絶縁状態とに影響されて変化する可能性がある, 集塵器全体の時定数が十分に大きいときは第14図細線のように電圧降下が比較的小さいので単相電源設備でも十分高い集塵率が得られる理である。しかしこのような状態を保持することは保守上にも苦勞がありまた



ある電圧で運転しているとき
 煙が濃くなると...mA が減る... W_0 が増す...電圧を上げねばならない
 温度が高くなっても同じ傾向になる
 煙が淡くなると...mAが増す...過負荷になる...電圧を下げねばならない
 温度が低くなっても同じ傾向になる
 実際の保守にあつてはガス状態の変化に対して
 容量一杯に最高 η を保持するように追従調整することはできないから
 どうしても安全側の低電圧で固定運転することになる
 定電流方式の制御を用いておれば自動追従調整により無人で全日高能率運転ができる(日立特許出願中)

第15図 EP 内における煙の濃度または温度変化による放電特性の変化と自動高 η 運転

E/E_{max} 比が小さいので電源容量も大きいことが必要になる。3相設備になると E/E_{max} 比が大きいため放電線肥大の傾向はきわめて少ない。ただし放電電流は必要に大きくなるので電極構成によつてこれを補うことが経済上必要である。すなわち電気設備としては三相セレン整流器を用い適当な電極構成によつてその欠陥を補うことが最も経済的である。最近のセレン整流器技術の進歩はめざましいものがあり, 性能も十分信頼に値すると思われるので今後の施設においてはこれを採用することが必要である。

6.2 高電圧高能率運転

上述のように煙塵濃度とガス温度によつて放電電流は顕著に変るものである。しかるに火力発電においては石炭と重油とを広範な比率で混焼することがくり返される。重油専焼時は煙塵が少なくガス温度が高いので常温空気の中の放電に比して著しく大電流が流れ集塵電圧に対して第15図 A の放電特性をとるが, 石炭専焼時は濃煙のため放電抵抗が大で電流が少なく B の特性をとる。ここで注意せねばならないことは B の場合は濃煙であるから設備容量いつぱいに十分電圧を高めて集塵率を高めるべきである。しかしこのような状態 B で, 運転しているとき重油に切りかえると放電特性が A の特性に移り電流は A' に上昇して過負荷になる。したがって常に最良

の状態で使用するには混焼比に応じて電圧を $E_A \sim E_B$ 間に調整すべきである。しかし実際にはこの煩わしさに耐えないので安全な電圧 E_A で運転されるので、濃煙時には不当に集塵率が低下する。調整の労を省いてこれを補うとすれば $(E_B/E_A)^2$ 以上の大容量の集塵室を設備することが必要ではなはだ不経済である。したがってこのような使用状態においては適度の燃焼状態の許容幅をもつてこの調整操作を自動的に行わせ $E_A \sim E_B$ 間任意の排煙状態に応じて常に最大電流容量の電圧を与える定電流自動制御設備を採用することが必要である。

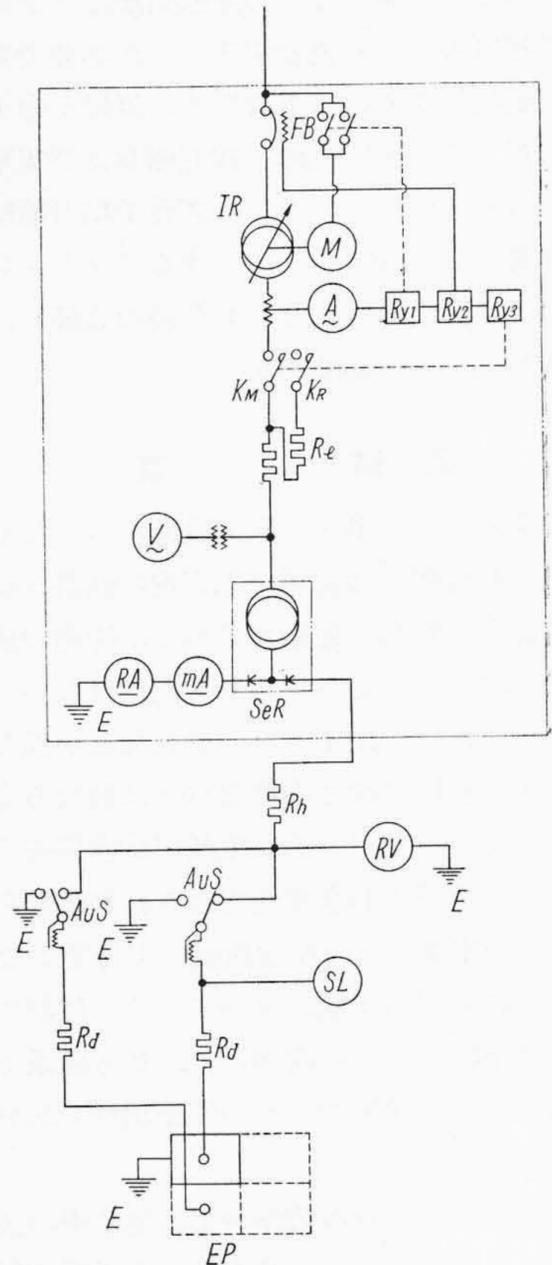
6.3 事故区の自動選択遮断

電気集塵器は常時できるだけ高電圧で運転したいので、ダストの異常堆積そのほかの原因で電極間に火花閃絡を起すことが比較的ひんぱんである。軽微の閃絡は看過してさしつかえないが重大な閃絡で弧絡に移るものは放電極を熔断させる危険があるので一応回路遮断を行うことが必要である。1台の整流器で複数区の電極群を荷電してこのような事故が発生した場合はその事故区のみを自動的に選択遮断して他の並列荷電区をそのまま継続荷電することが望ましい。この目的のために並列荷電区にはそれぞれ特高回路自動遮断器を介して給電するようにすることが必要である。

6.4 再閉合回路方式

第5表にもその特長を示したようにセレン整流器を電源とした場合に、前項のような高電圧運転を行っていると偶発火花閃絡が強い弧光短絡に移る可能性がある。かような場合に高圧側の自動選択遮断器と低圧側の過負荷遮断器との遮断特性の調整がうまくいっていないと高圧側で選択遮断が行われると同時に低圧側の過負荷遮断器も作動して関連した全区を停電させることになる。かような場合には低圧回路をただちに復活して健全区の荷電を続行することが望ましい。すなわち第16図は上述のような同時遮断が起つた場合、ただちにまず K_R を閉じ、適当な電圧降下抵抗 R_e を通して低電圧荷電を行い短絡事故の消滅を確認した後、 K_M を閉じ R_e を短絡して全電圧を供給する自動制御方式でこれにより残存区の荷電を続行することができる。また単位荷電方式においては K_M を閉じた際短絡事故の原因がなお存在して閃絡が再発すれば同様な手順を二、三回自動的にくり返し、どうしても荷電が継続できない場合にはじめて主過負荷遮断器を作動させ停電かつ警報させるようにすれば最高の電圧で最低事故停電の高効率運転が可能になる。

筆者らの経験によれば集塵器内で弧光短絡が起つた場合にはリアクトルあるいは抵抗などの挿入によつて回路電圧を50%以下に下げても消弧が困難であつて第16図のようにいつたん回路を遮断して確実に消弧させて再投入することがよい。機械的整流機にあつては第14図の



記号	名称	記号	名称
A	交流電流計	Re	制限抵抗器
AuS	特高圧自動遮断器	Rn	高圧保護抵抗器
E	接地	Ry1	定電流継電器
EP	電気集塵器	Ry2	過電流継電器
FB	ヒューズフリー遮断器	Ry3	再閉合継電器
IR	誘導電圧調整器	RV	記録電圧計
M	誘導電動機	SeR	特高圧セレン整流器
mA	直流電流計	SL	信号灯
RA	記録電流計	V	交流電圧計
Rd	保護抵抗器	K _M K _R	電磁接触器

第16図 定電流再閉合方式特高圧結線図

ように半サイクルごとに約100~80度(電気角)の期間高圧回路の遮断が行われるので第5表にも述べたように弧光短絡が持続しにくい特長をもっている。自動再閉合方式はこの特長をいかしてセレン整流器の唯一の欠陥を補うものであつて今後の装置にはこの方式を取り入れることが必要である。

6.5 模擬母線による運転表示盤その他

今後火力設備の単位容量増大に伴い、電気集塵器の規模も大きくなり、さらに制御回路も以上のような観点から漸次複雑になる。

これを節減された人件費で能率よく運転してゆくには

錯誤による誤操作を避けるため運転系統ならびに事故発生箇所を模擬母線により表示することが必要である。

さらに運転状態あるいは事故発生、復帰を中央制御室にあつて監視する中央監視盤、放電極および集塵電極の脱塵装置の自動運転盤、ブッシング碍子類の絶縁保護用加熱器操作盤、集塵器ホッパにおけるアッシュレベルの自動検知および排出操作盤なども今後の設備にはこの方式を取り入れることが必要である。

7. 結 言

以上を要するに同一型式の発電設備においてもその排出する煙塵の粒度組成は使用する石炭の性質と粉砕機の性能、燃焼装置の種類と運転要領および煙道の構造ならびに負荷状態によつて必ずしも近似ではない。まして石炭ミルの型式あるいはボイラの型式などが異なる場合にはかなり広い範囲に煙塵の粒度特性は異なるものである。したがつてフライアッシュ生産用集塵装置の設計はこれらの事情を十分にわきまえてなされねばならない。

SC-EP の捕集ダストの粒度組成は1号籠および2号籠の場合ともに所期の状態になつている。仔細にいえば1号籠系ではSCの性能を調整して、2号籠系ではEPはほぼ当初のままの状態でもミルの性能調整でおおむね満足すべき状態が得られた。

SCの偏向弁による分級機能および集塵率の調整による良質フライアッシュの生産効率の向上手段は簡単かつ有効であることが知られた。すなわち先の研究結果に基づいてフライアッシュ生産設備としてSC-EP型式の集塵装置を選定したことは捕集フライアッシュの灼熱減量の低減、粒度組成の調整など諸種の面から考察して当を得ていた。特にSCの調整弁設備の考案は、フライアッシュ規格の325Mesh⁺分12%以下の制限が25%程度にまで緩和されようとしているときにおいて、簡単な操作でSCの性能を調整しフライアッシュの生産量を限度まで高めるに有効である。

ガス量の変動幅の大きいことが予測される場合には性能保持上また別の型式が考察されている。

石炭および重油混焼の発電設備では燃焼ガスの状態によつて電気集塵器の放電特性が著しく変る。したがつて装置の機能を十分に発揮する状態で安定運転を行うには定電流方式、再閉合方式などの自動制御回路を用いる必要がある。また事故区の自動選択遮断方式などの採用は全日能率の向上と運転費の軽減に有効な手段である。これらの装置は今回の設備にはその一部が採用されたにすぎないが、いずれもすでに研究が完成されているので次

期設備には取り入れられることにならう。

本論文をまとめるに当り本研究に格別の御便宜を与えられた東京電力株式会社火力建設部、同社鶴見火力発電所および汐田火力発電所ならびに日立製作所、日立研究所電気分離研究室の関係諸氏の御厚意に深甚の謝意を表す。

参 考 文 献

- (1) Walker; Utilization of Fly-ash, Power, 768 (1938-12) 98: Using Powdered Coal Fly-ash, Power, (1951-5) 87: R. L. Harrison, P. W. Jones, R. Norris Shreve; Application of Fly-ash, Ind. & Engg. Chem., 27, 9 (1935-9): Braig; Purification of Smok Gas by Wet-Separating the Fly-ash, Wärme, 63(1940)243~245: Raymond E. Davis, J. R. James, A.W. Thorson, John S. Nells; Possibilities for Utilization of Purverized Coal Ash, Chem. Engg., (1939-7) 475~477: Avery W. M.; Advantages of Replacing from 25 to 30% Portland Cement by Fly-ash Workability, Strength, Surface Texture and Water-Proofing Quality Improved: Pit & Quarry; Ditto, 39, 157 (1947): Barmock B. J.; An Antidecay Agent for Impregnating Wood, Using Fly-ash, Fuel Oil & Pentachlorophenol, Elect. World, 122 (1944) 877: Blank R. F.; Effect of Fly-ash in Concrete on Workability, Compression Strength, Durability, Permiability, Heat of Hydration, Volume Change and Alkali Aggregate Relation, Jl.' American Concrete Inst., 21, 701(1950): James J. R.; Cottrell Blocks Made from Fly-ash Have Many Advantages—Light, Smooth Surface, Fire Resistant, Sound Proof, Easily Painted and Plasted, Mech. Engg., 61, 476 (1939): Less B.; Laboratory Apparatus Evolved for Synthesis of Flyash and its Study, Jl.' Ind. Fuel, 21, 210(1948): McMillan Power; Compressive Strength of Concrete Formed May be Used to Measure Pozzolanic Effect in Admitur Jl.' Am. Concrete Inst., 9, (1937) 129: Menzel C. A.; Addition of Finely Powdered Silica Incresed Strength of Portland Cement in Tests Using Steam Curing Jl.' Am Concrete Inst., 31, 125(1934): Minnick L. J.; Presents New Uses for Fly-ash and Boilerslag, TAPPI, 32 (I) 21 (1949)
- (2) 渡辺; セメント統制会技術報告書, 1, 1 (1942) 45~49: 河原・荒井; ポズラン材としてのフライアッシュを混ぜたモルタルおよびコンクリートの性質, 電研所報, 4, 1 (1954-3)
- (3) 辻本・大野; フライアッシュと集塵装置, OHM 最近の火力発電所号, (S30-8月)
- (4) 日立製作所: 特許出願中
- (5) 日立製作所: 実用新案 昭30-16181ほか
- (6) 橋本: 日立評論 39, 1474 (昭32-12)