

最近の電気集じん技術動向

Recent Electrostatic Precipitation Technology

神戸造船所 柳生隆志*¹ 土屋喜重*²
大西召一*³
技術本部 片山博幸*⁴

電気集じん装置 (EP) は、大容量の排ガスを経済的に、しかも高効率に処理できることから、排煙処理システムの主要機器の一つとして幅広い分野で利用されている。最近では、環境要求の高度化に伴い、EPにおいてもより高性能、高信頼性を求められるのみならず、一層のコンパクト化、コスト低減を要求されている。このような状況の下、当社としても、その対応として新たな技術改良、開発を積極的に進めている。本報では、最近の電気集じん装置技術動向について紹介する。

Electrostatic Precipitators (ESP) are widely used in various fields as an essential device for flue gas treatment systems, since they can efficiently and economically treat large volumes of exhaust gases. With interest in environmental issues growing in society, ESPs are required to be not only of higher performance and increased availability but also of more compact size and of cost-saving design. In these circumstances, MHI will promote new modifications and developments of Electrostatic Precipitation technology. This paper introduces the latest Electrostatic Precipitation technology.

1. ま え が き

当社は、昭和 35 年に集じん装置の生産を開始したが、その後の産業の発展に伴い大気汚染問題が顕在化し、環境への社会的要求の高まりを背景として、産業界各分野で集じん装置の設置が急速に伸長してきた。特に、電気集じん装置 (EP) は、高い集じん性能が得られかつ運転保守が容易であることから飛躍的な伸びを示し、当社においても 1300 基以上の納入実績を達成している。

近年のエネルギー事情や産業構造の変化、さらには環境要求の高度化、多様化に伴い、電気集じん技術も新たな発展が求められるようになってきている。特に、EP の最大用途である火力発電の分野では石炭燃料の使用が促進され、石炭の大部分を海外に依存する我が国においては、油だき火力に比べ高濃度のばいじんの処理だけでなく、硫黄分の少ない海外炭から発生する電気抵抗率の極めて高いフライアッシュを効率良く集じんすることが課題となり、これに対する対策技術が求められている。

さらに、最近では石炭だき火力プラントでも油だき火力並みの厳しい排出条件が要求されるようになり、環境対策もボイラ (燃烧技術)・脱硝装置・集じん装置・脱硫装置などから構成される総合排煙処理システムとしての対応が必要となってきている。

また、当社では集じん技術においても従来分野にとどまらず、新分野、新用途への適用拡大を目標に新技術の開発にも積極的に取り組んでいる。

本報においては、電気集じん装置を中心とした最近の技術動向及び開発状況について紹介する。

2. 高性能排煙処理システム (低低温 EP システム)

最近の新設石炭火力プラントにおいては、従来に比べ、大容量化が進むとともに、環境保全対策においても従来の油だき火力用と同等、又はそれ以上の高性能を持つ排煙処理装置の設置が要求されるケースもある。

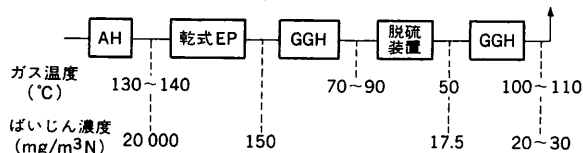
ばいじん対策について言えば、総量規制対応として排出ばいじん濃度レベルの低減、排煙の不可視化などの厳しい条件が要求さ

れる一方、設備の経済性及び省エネルギーなども求められるようになってきている。

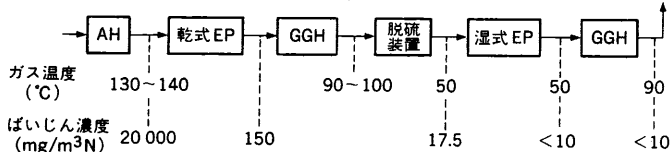
当社ではこれらのニーズにこたえるため、EP、脱硫装置及びガスガスヒータ (GGH) を最適に組合せることにより、従来方式の課題や制約を克服した“三菱高性能排煙処理システム”を開発した。図 1 に排煙処理システムの代表的な構成例を示す。

従来の方式では煙突入口のばいじん濃度の限界としては、20~30 mg/m³N 以下程度となるが、最近では煙突入口ばいじん濃度 10 mg/m³N 以下の低濃度が求められるケースも出ている。この場合は GGH をノンリーク型とし、脱硫は除じん塔を有するスート分離方式とし、さらに湿式 EP を吸収塔の出口に設置することにより達成している。今後はこのような煙突入口 10 mg/m³N 以下対応のケースが増えるものと予想されるが、20~30 mg/

従来排煙処理システム (一般方式)



従来排煙処理システム (厳しい規制対応方式)



高性能排煙処理システム

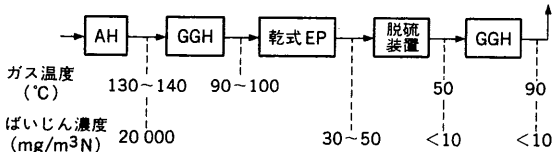


図 1 石炭火力排煙処理システム 事業用石炭火力プラントにおける代表的な排煙処理システムの構成例を示す。
Flow diagram of flue gas treatment system on coal fired power plant

*¹ 機械・環境装置技術部長 *³ 機械・環境装置技術部環境装置計画課
*² 機械・環境装置技術部主務 *⁴ 高砂研究所流体研究室

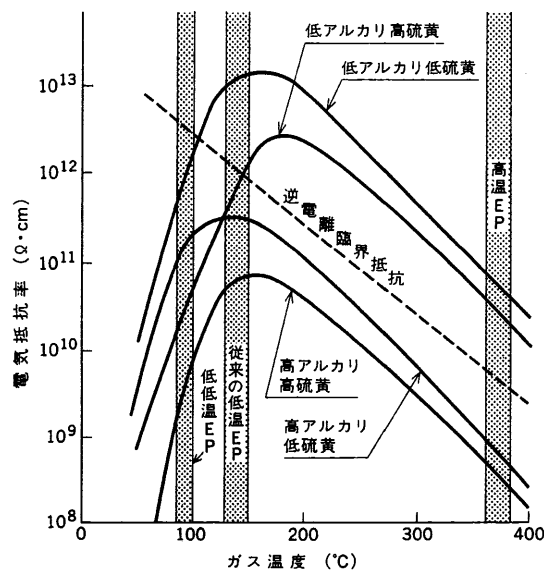


図2 ガス温度と石炭灰の電気抵抗率 低低温EPの90℃前後のガス温度では石炭灰の電気抵抗率は大幅に低下し、石炭性状に関係なく逆電離の発生が防止できる。
Gas temperature and flyash electric resistivity

m³N 以下対応に比べて、システム構成が複雑となり設備費も増えることから合理化が求められている。

当社が開発した新システムはGGHの熱回収器を乾式EPの前流に設置し、EP処理ガス温度を約90℃まで下げることにより、ガスト電気抵抗率を下げ乾式EPの性能向上を図るもので、湿式EPなしで低排ばいじん濃度が達成される。

乾式EPの高性能化には、高電気抵抗ガストによる逆電離現象の克服が必要であるが、90℃前後のガス温度の下で運転されるこの低低温EPではガストの電気抵抗率が大幅に低下し、逆電離現象を完全に解消できる特徴がある(図2)。これにより従来は極端に集じん性が悪く専焼を除外していた石炭に対しても正常な荷電状態が確保され、集じん性能の大幅な向上が達成される。一方ガストの電気抵抗率が下がると、いったん集じん電極に捕集されたガストの電気的付着力が弱くなり従来よりもガストの再飛散量が増加する傾向にあるが〔図3(a),(b)〕、電極槌打(ついだ)時の再飛散を防止し、かつ電極の清浄度を向上させるガンバ連動無荷電槌打方式及び新型放電極の採用などで対策し、性能の安定化を図っている。

本システムは、設備のコンパクト化により、従来システムに比べて建設費、運転費を低減できるため、今後の大型石炭火力用排煙処理システムの主流になると予想される。

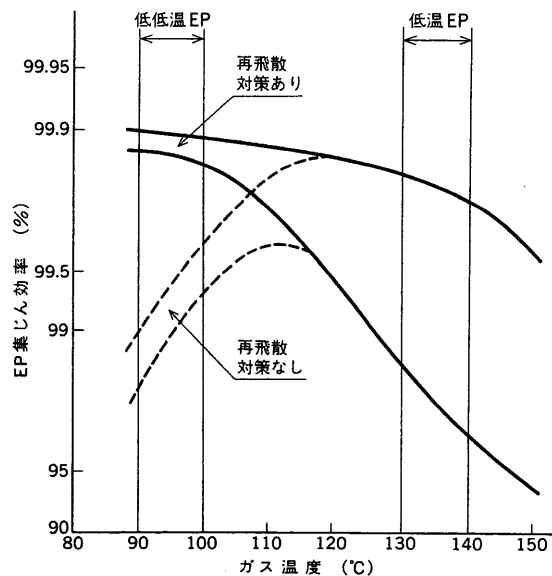
当社では現在まで本システムを数プラントを受注し、設計、建設中である。

3. 湿式 EP

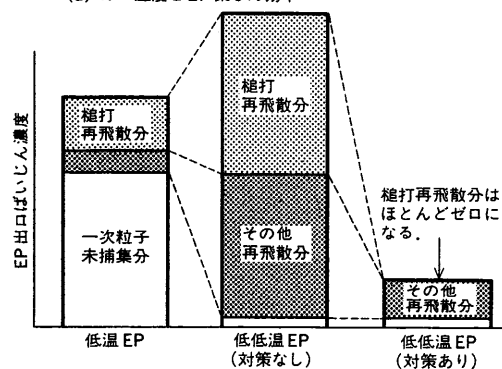
ボイラ排ガスの除じん装置として従来から使用されている電気集じん装置は、一般に“乾式EP”と呼ばれるものであるが、一方“湿式EP”と呼ばれるものが一部用途で使用されている。

湿式EPも乾式EPと同様にガス中のガストを帯電させ電気的吸引力(クーロン力)により集じん電極に捕集するが、乾式EPではこれを槌打によって除去するのに対し、湿式EPでは集じん電極を水で洗い流すことにより除去しガストをスラリーとして排出する。

図4に湿式EPの一般的な構造を示す。



(a) ガス温度とEP集じん効率



(b) EP出口ばいじん濃度の構成

図3 ガス温度とEPの集じん効率及びEP出口ばいじん濃度の構成 (a)低低温EPではガストの電気抵抗率が大幅に低下するため逆電離を解消できるが、反面再飛散が増加する。適切な再飛散対策をとることにより、大幅に集じん効率を向上できる。(b)従来の低低温EPでは一次粒子未捕集分が主体となるのに対し、低低温EPでは再飛散が主体となる。適切な対策により低ばいじん濃度を達成できる。

Relation between gas temperature and collecting efficiency of particulate by ESP and constitute of particulate at ESP outlet

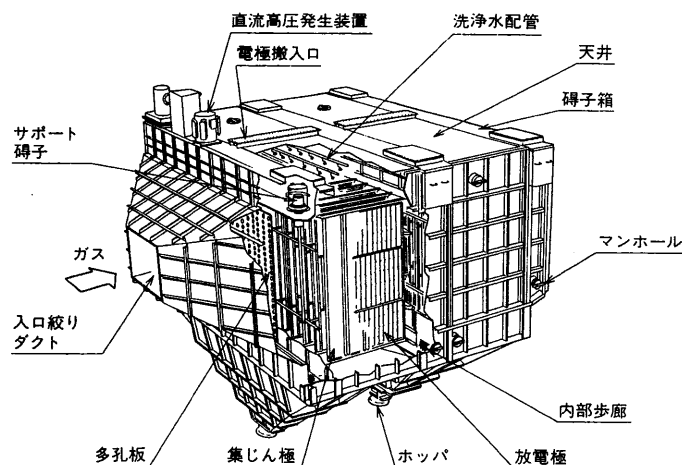


図4 湿式EPの基本構造

Structure of wet type electrostatic precipitator

湿式EPは乾式EPと比較して次のような特徴を有している。

(1) EP性能がガスト電気抵抗の影響を受けない。

表1 高電気抵抗率ダスト対策
Countermeasure for high electric resistivity dust

逆電離の始発条件	高抵抗率ダスト対策		
$E_d = \rho_d \times i_d > E_{db}$ E_d : ダスト層電界強度 ρ_d : ダスト層の電気抵抗率 i_d : ダスト層を流れる電流密度 E_{db} : ダスト層の絶縁破壊強度	(1)	ダスト層をなくす	ダストの完全除去 湿式EP
	(2)	電気抵抗率の低減	温度を上げる 高温EP 温度を下げる 低低温EP(GGH前置) 調質剤注入 水, SO_3 , NH_3 ほか注入 混炭 高S炭との混焼
	(3)	ダスト層を流れる電流の制御	荷電制御 間欠荷電 パルス荷電

	タイプ I	タイプ II
パルス幅	2~6 μm	2~数百 μm
パルス頻度	10~60 pps	1~120 pps
回路構成		
波形例		

図5 パルス荷電装置の特徴
Basic specification of pulse energization

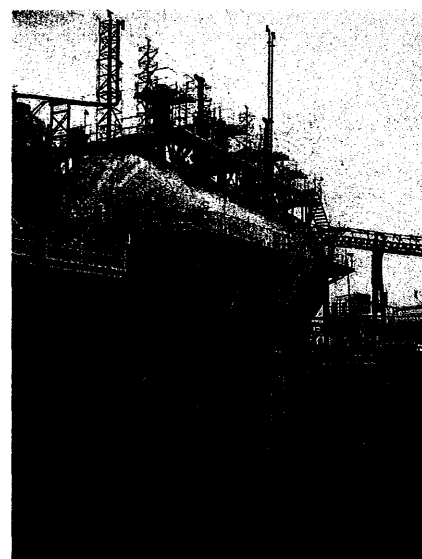


図6 丸形高圧電気集じん装置外観
General view of round type ESP

- (2) ダストの再飛散がほとんどないため、極低濃度まで除じんが可能である。
- (3) 槌打装置等の可動部がないためメンテナンスが容易である。
- (4) 装置内ガス流速が速く取れ、かつ、ホップ角度が緩くてよいので、コンパクトな配置ができる。
- (5) 硫酸ミストや微量金属を含むサブミクロン粒子を効果的に捕集できる。

湿式EPは従来から製鉄工業用等で主に使用されていた。しかし、近年では高硫黄油使用ボイラプラント等の紫煙対策として脱硫装置の後流側に湿式EPを設置し、硫酸ミストを除去する例や、石炭火力でも石油火力並みの厳しい排出条件が要求されるような場合には、従来の乾式EPと湿式排煙脱硫装置から構成される排煙処理システムの最後段に湿式EPを設置する例が見られるようになった。

石炭火力への適用実績例としては、東京電力(株)横須賀1号(265 MW)及び中部電力(株)碧南1~3号(700 MW×3)があるが、いずれのプラントにおいても営業運転開始以降、現在まで順調に運転を継続している。

今後、環境対策への要求が高まるとともに湿式EPの採用例も増加する傾向にあるが、経済性及び既設プラントへの適用性の観点から、よりコンパクトで高性能な湿式EPの実現が求められている。当社では、高電流密度のコロナ放電により発生する大きなイオン風を集じんの主メカニズムとすることにより、従来の湿式EPに比べてコンパクトな“高速流湿式EP(HV-WEP)”の開発に取り組んでいる。

4. 新荷電方式

EPは、静電気力によって集じんするため、その集じん特性が処理対象となるダストの電気抵抗率に影響される。特に電気抵抗率が高い場合には逆電離(バックコロナ)が発生し集じん性能が大幅に低下することが知られている。

この高電気抵抗率ダスト対策としては、逆電離発生メカニズムに応じて、表1に示すような各種対策が考案・実用化されている。当社では、これら高電気抵抗率ダスト対策がEPの最重要課題との観点からいち早く技術開発を進めてきた。特に荷電制御により逆電離を抑制する基礎研究を1970年代から開始し、まず“間欠荷電方式”と呼ばれる荷電制御技術を世界で初めて実用化した。引き続き、“パルス荷電方式”と呼ばれる荷電制御技術を開発、実用化している。

パルス荷電は立ち上がりの急しゅんなパルス電圧を繰返し印加させる荷電方式で、逆電離なく高いピーク電圧が印加でき、集じん極上の電流密度分布の均一化が可能となるため、電極間のダストの帯電量が増加するという特徴を有する。そのため、これまで捕集が困難とされていた高抵抗ダストに対して、よりコンパクトなEPサイズで所定の集じん効率を得ることが可能になる。当社は現在二つのタイプのパルス荷電技術を保有しており、図5にその特徴、基本回路、波形等を示す。タイプIは、スイッチング装置として機械式の回転式火花ギャップを採用しており数マイクロ秒の立上り時間を持ったパルスが発生できる。

タイプIIは、最新型で、主に電源変換装置とパルス成形装置が

ら構成されており、次のような特徴を有する。

- (1) 平滑コンデンサにより、ベース電圧をフラットにし、非パルス時間中の異常放電（火花放電、逆電離等）を抑制している。
- (2) パルストランスを介して、EP にパルス電圧を印加するため、パルス電圧とベース電圧を各々、独立して抑制できる。
- (3) スイッチング部に GTO 型サイリスタを使用しているため、数マイクロセカンドから数百マイクロセカンドまで広範囲にパルス幅の調整や、パルス頻度の調整ができる。
- (4) パルス頻度の設定を行うだけでパルス運転が開始され、パルス幅・ピーク電圧等は自動的に設定される。
- (5) EP に与えられたパルスエネルギーの一部は、パルスコンデンサに回収されるため大幅な省エネ運転ができる。

パルス荷電方式は、石炭だきボイラ、製鉄所焼結機、セメント工業用など主として高抵抗ダスト用 EP に適用されており、現在までに 20 プラント以上の採用実績がある。

5. 高温高压集じん

5.1 高炉炉頂圧発電用乾式 EP（丸形 EP）

当社は、高炉ガスのエネルギーを有効に炉頂圧発電タービンで回収するため、従来の湿式スクラバを乾式集じん方式に置換え、高温のまま集じんする技術を開発し、昭和 60 年日本鋼管(株)福山製鉄所第 2 高炉において世界でも初めての高压丸形 EP 実機 1 号機が稼働して以来本丸形 EP は、現在まで国内外に 4 基納入され、稼働中である。

炉頂圧力は 1.5～2.5 kgf/cm²G であるため、通常の EP（ほぼ大気圧下で運転）が角形ケーシング構造であるのに対し、本 EP は耐圧強度上、円筒形ケーシング構造としていることが大きな特徴である。そのために、内部電極構造、ダスト排出装置等、通常の EP にはない多くの工夫がなされている（図 6 参照）。

5.2 新発電システム用集じん装置

石炭を利用した高効率発電システムとして、加圧流動床複合発電（PFBC）、石炭ガス化複合発電（IGCC）並びにその技術を応用した発電システムの開発が進められているが、いずれも、ガスタービン保護用として高温高压下での脱じん技術の確立が求められている。集じんとしては種々の方式が検討されているが、現在はセラミックフィルタが最も精力的に検討されている。その理由は、(1) 非常に高い集じん効率を得られる、(2) 装置内に可動部がなく構造がシンプルである、(3) ガス量やダスト濃度の変動を受けにくい、(4) 装置がコンパクトにできる、などである。すなわち、集じん性能、システム構成、運転制御性など、総合的に判断して、高温高压集じん方式としてはセラミックフィルタが最も有望視されている。

IGCC 発電プラント用としては、常磐共同火力(株)勿来発電所内に 200 t/d パイロットプラントが建設され、その 10% のガスを抽気して 20 t/d 規模でのセラミックフィルタ試験が実施されている。

PFBC では約 850℃、11 ata、IGCC では約 420℃、25 ata といずれも、高温高压下での安定した集じん技術が要求されるため、今後とも信頼性の高い技術の開発を進めていく必要がある。

6. メンテナンス性、信頼性向上

6.1 EP メンテナンス

環境保全に対する要求が厳しい昨今、EP 安定運転の確保はプラント運用上重要な要素の一つである。EP についても、通常定

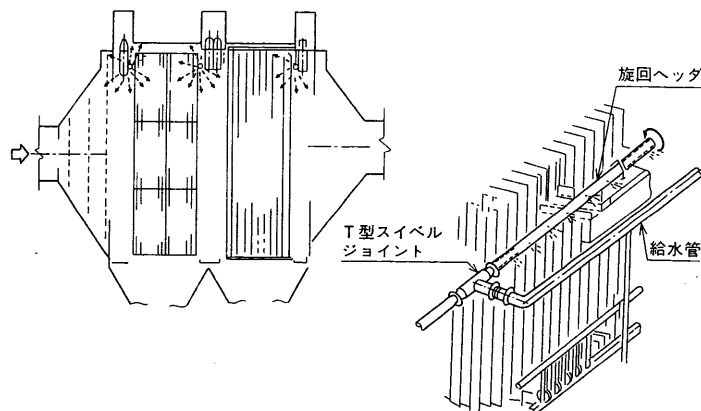


図7 EP 回転式水洗装置 ノズルを備えた旋回ヘッドを EP 内上部に設置し、水を噴射しながら旋回ヘッドを回転させることにより EP 内部を満遍なく洗浄する。

Rotary type water washing facility for ESP internals

期点検時に部分的な取替え、補修等によりメンテナンスされているが、EP の使用環境は過酷で経年的に相応の寿命を消費することは避けられない。寿命に達した状態で運転を継続した場合、急激な性能低下や荷電トリップ等の恐れがあるため、適切な対応が望まれる。当社では、放電極、集じん極など主要部品ごとの劣化診断調査要領及び判定基準に基づき寿命予測を実施し、設備の更新、改修時期を的確に把握し、ユーザ側にタイムリーに提案できる体制を確立している。最近では、定検インターバルも延長の傾向にあり、余寿命の的確な把握に基づく予防保全的な改修工事計画が望まれる。当社の実績によれば、放電極、集じん極などの寿命は、通常油だきボイラ用の場合 10～15 年、石炭だきボイラ用の場合 15～20 年程度となっている。

6.2 EP 回転式水洗装置

定検時に EP 内部を水洗清掃することは、EP メンテナンス上重要な作業である。しかしながら、いわゆる“3 K”作業排除の昨今、高所でかつ狭い場所での水洗作業は作業環境も悪く、安全上の配慮から、人手による作業を極力低減することが求められている。このようなニーズにこたえて、当社では、水洗効率の向上と作業員による清掃作業を最少限に抑えた回転式内部水洗装置を開発実用化した。

図 7 に装置の概略構成を示すが、次のような特徴を有す。

(1) EP 内部をほぼ全面にわたって洗浄できる。(2) 洗浄時間が短縮でき、給排水量が大幅に低減できる。(3) 作業員による水洗作業が簡略化できる。(4) 水洗効率化により、水洗期間内の腐食進行を最少限にすることが可能になるため内部部品の延命化が図れる。

なお本設備は、新設 EP のみならず、既設 EP への適用も可能であり、最近改造実績も増えつつある。

7. あとがき

本報では、電気集じん装置を中心とした最近の技術動向について紹介した。集じん装置については、排ガス処理装置の主要構成機器として高性能と高信頼性を要求される一方、さらに一層のコンパクト化、コスト低減を求められており、これらを念頭に今後とも技術改良、開発を推進していく必要がある。

また、これまでの技術を基盤として、従来型に加えて、新分野、新用途への参画を目指した開発も引き続き推進していく所存である。