

# 移動電極形電気式集塵装置

## Moving Electrode Type Electrostatic Precipitators

近年、燃料事情の変化に伴ってボイラ用燃料が急激に重・原油から石炭に転換されてきているが、海外炭への依存度が非常に高い。海外炭は硫黄含有分の少ない場合が多く、これらの燃焼により排出されるダストのなかには電気抵抗率が非常に高く $1 \times 10^{13} \Omega \cdot \text{cm}$ を超えるものもある。

乾式電気集塵装置では、ダストの電気抵抗率が $1 \times 10^{11} \Omega \cdot \text{cm}$ 以上の高抵抗になると電気抵抗率が高くなるにつれて安定して集塵することが困難となってくる。これはダストによる高抵抗障害や逆電離現象が発生することに起因しており、この対策は電気式集塵装置での重要課題の一つである。

一般的に集塵極捕集ダストのはく離にはつち打方式が採用されているが、日立プラント建設株式会社はブラシでダストをはく離し、集塵極を常に清浄な状態に保つことができる移動電極形電気式集塵装置を実用化し、高抵抗ダストに対する逆電離現象を防止し、安定かつ高性能な乾式電気集塵装置を開発した。

実用化第1号機としてCOボイラ用電気式集塵装置を納入して既に2年半の運転をしているが、安定した高性能を維持している。本稿では移動電極形電気式集塵装置の実用化までの経過、及び石炭燃焼ボイラ排ガス中の高抵抗ダスト（フライアッシュ）に対する適用例について紹介する。

藪田宏昭\* *Hiroaki Yabuta*

### 1 緒 言

EP（乾式電気集塵装置）で処理される排ガス中のダストの電気抵抗率 $\rho$ が $1 \times 10^{11} \Omega \cdot \text{cm}$ を超えると、多くの場合高抵抗障害を起こし、 $1 \times 10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$ 以上では逆電離現象と言われる異常放電が発生する。

高抵抗障害とは、集塵極表面が高抵抗のダスト膜で覆われた状態となるために有効電圧が低下し、放電電流が減少して集塵性能を低下させる現象である。

また、逆電離現象とは集塵極上のダスト層電界強度が絶縁破壊電界強度を超えることによって絶縁破壊を起こし、ダスト層から放電極へ逆極性イオンが流れるために、集塵空間の帯電粒子が電氣的に中和されて著しい集塵性能の低下を引き起こす現象である。

いずれの場合も集塵極で捕集された付着ダストが原因であり、これらを防止する方法は、ダストの $\rho$ を電気集塵に適するところまで下げるか、あるいはダスト付着を防止して常時集塵極表面を清浄に保つことである。

従来から逆電離現象を含む高抵抗障害防止のために、表1に示すような多岐にわたる検討<sup>1)</sup>を実施してきたが、イニシャルコスト、ランニングコスト、設置スペース、メンテナンス、二次的な環境問題、実用化の見込みなど総合的に検討し、ブラッシングによりダストはく離を行なって、常時集塵極表面を清浄に保つ移動電極形EPの開発、実用化に着手した。

移動電極形EPが従来のつち打方式による固定電極形EPと根本的に異なる点は、

(1) 集塵極が移動する。

(2) 集塵極捕集ダストをブラシで掻き落とす。

ことであり、個々の問題について、机上検討、ベンチテスト、パイロットテスト、実機テストなど約2年間の研究開発期間を経て実用化を見るに至った。

表1 高抵抗障害防止のための検討 移動電極形EPの開発に着手する前に、広範囲な実験・検討を実施してきた。

| No. | 大項目       | 小項目             | 検討方法                                                                                  | 効 果 |            |    |
|-----|-----------|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-----|------------|----|
|     |           |                 |                                                                                       | 良   | 見込みあるが問題あり | なし |
| 1   | ダストの温度上昇  | (1) ガス温度上昇      | 実験                                                                                    | —   | ○          | —  |
|     |           | (2) 集塵極温度上昇     | 〃                                                                                     | —   | ○          | —  |
| 2   | ダストの温度低下  | (1) ガス温度低下      | 〃                                                                                     | —   | ○          | —  |
|     |           | (2) 集塵極温度低下     | 〃                                                                                     | —   | ○          | —  |
| 3   | 集塵極ダストはく離 | (1) 逆電離と付着ダスト厚さ | 〃                                                                                     | —   | —          | —  |
|     |           | (2) 集塵極形状変化     | 〃                                                                                     | —   | —          | ○  |
|     |           | (3) つち打方法変化     | 〃                                                                                     | —   | —          | ○  |
|     |           | (4) ブラッシング      | 〃                                                                                     | —   | ○          | —  |
|     |           | (5) エアブロー       | 〃                                                                                     | —   | ○          | —  |
|     |           | (6) 集塵極プレコート    | 〃                                                                                     | —   | ○          | —  |
| 4   | EPサイズアップ  | P 増 設           | 机上検討                                                                                  | —   | ○          | —  |
| 5   | 調 質       | (1) 水分増加        | 実験                                                                                    | ○   | —          | —  |
|     |           | (2) 薬品注入        | NaOH, C (重油混焼)                                                                        | 〃   | ○          | —  |
|     |           |                 | NH <sub>3</sub> , NaCO <sub>3</sub> , (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | 〃   | —          | ○  |
| 6   | 電圧上昇      | (1) 放電極径大       | 〃                                                                                     | —   | —          | ○  |
|     |           | (2) 放電極ピッチ小     | 〃                                                                                     | —   | —          | ○  |
|     |           | (3) ⊕ 荷 電       | 〃                                                                                     | —   | —          | ○  |
|     |           | (4) AC 荷 電      | 〃                                                                                     | —   | —          | ○  |
|     |           | (5) DC ⊕ ⊖ 荷電   | 〃                                                                                     | —   | —          | ○  |
|     |           | (6) ワイドピッチEP    | 〃                                                                                     | —   | —          | ○  |
|     |           | (7) 副電離線付EP     | 机上検討                                                                                  | —   | —          | ○  |
|     |           | (8) 電源容量増加      | 〃                                                                                     | —   | —          | ○  |
| 7   | 既存技術の見直し  | (1) EP-SB       | 実験                                                                                    | —   | ○          | —  |
|     |           | (2) 2 ステージEP    | 〃                                                                                     | —   | ○          | —  |
|     |           | (3) 第3電極        | 机上検討                                                                                  | —   | —          | ○  |
|     |           | —               | —                                                                                     | —   | —          | —  |
| 8   | 新 技 術     | パルス荷電           | 机上検討                                                                                  | —   | ○          | —  |
|     |           | —               | —                                                                                     | —   | —          | —  |

\* 日立プラント建設株式会社



2 ダストはく離効果の改善

逆電離現象は次式でのダスト層内の電界強度  $E_d$  が絶縁破壊電界強度  $E_{ds}$  を超えると現われる<sup>2)</sup>。

$E_d = id\rho \geq E_{ds}$

ここに  $E_d$ : ダスト層内電界強度  
 $id$ : ダスト層内電流密度  
 $E_{ds}$ : ダスト層絶縁破壊電界強度

逆電離が始まってから放電電流が増加するのは逆極性イオンによる帯電粒子の電気的中和が多くなり無効電流が増加するためである。したがって、荷電特性比較では同一荷電電圧での放電電流の少ないほうがはく離効果が優れている。

図1にダスト付着前とダスト付着後(逆電離発生)、ハンマによるつち打後及びブラシによる清掃後のそれぞれのEP荷電特性を示す。同図に示すように集塵極表面にダスト付着がなく、清浄な状態での荷電特性を基準とすると、この特性に近づくほどはく離効果がよい。通常のハンマつち打加速度140 Gではほとんど荷電特性が改善されない。600 Gではかなりはく離効果が高いが、ハンマ及び集塵極の強度上実用に適さない。しかし、ブラッシングするとダスト付着前とほぼ同じ程度まで改善され、ダストはく離効果が極めて優れていることが分かる。

以上のことからブラッシングの優れていることが確認されたが、更に図2に示すような多種類のブラシを試作して、ダストはく離性、耐摩耗性、ブラシへのダスト付着、製作上の難易などを総合的に検討し、No.5の回転ブラシが最も良いという結果を得た。

更に固定ブラシ2種類と回転ブラシをパイロットEPに取り付け、模擬ガス試験及び実ガス試験を実施し、上記と同様の

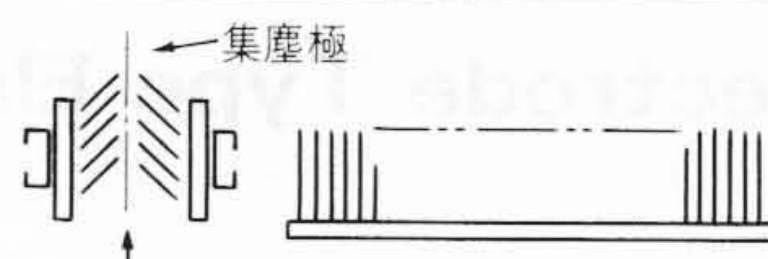
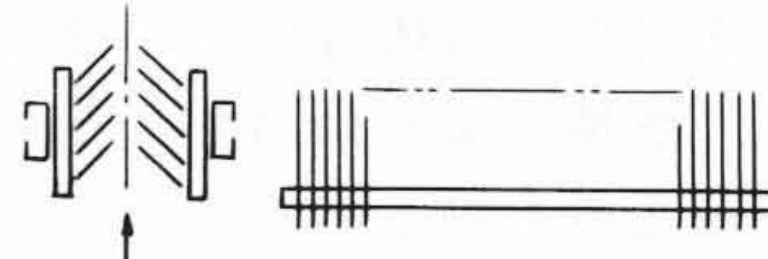
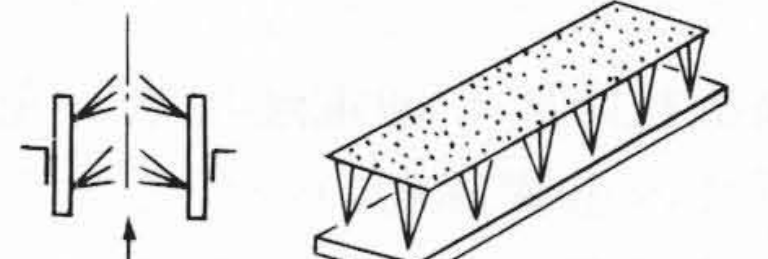
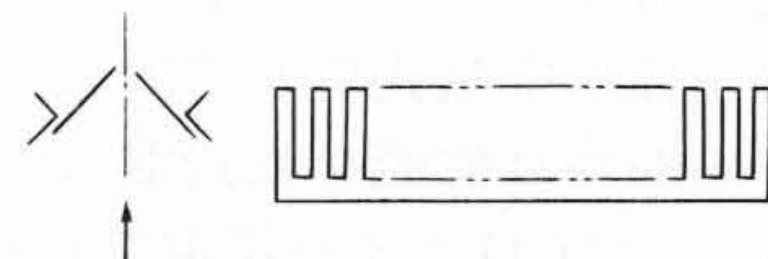
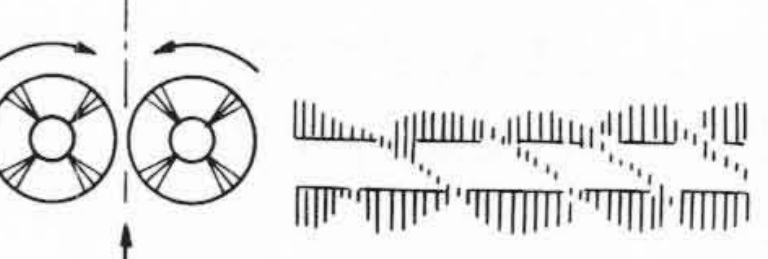
| No. | 形式           | 形状                                                                                    | 総合評価 | 概略仕様        |
|-----|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------|------|-------------|
| 1   | ピアノ線植毛形      |    | ○    | ピアノ線5段      |
| 2   | ステンレススプリング形  |    | △    | ステンレス線5段    |
| 3   | はけブラシ形       |    | ○    | ピアノ線2段      |
| 4   | ステンレスプレートくし形 |   | ×    | ステンレスプレート1段 |
| 5   | 回転ブラシ        |  | ◎    | ピアノ線から旋状植込み |

図2 ブラシ比較 5種類のブラシを試作し、比較・検討して、回転ブラシが最も優れているという結果を得た。

比較検討を行なった結果、最終的に回転ブラシの実機採用を決定した。

3 移動電極形EPの構造

図3に移動電極形EPの主要構造を示す。集塵極は短冊状のエレメントに分割されており、ステンレスプレートと補強部材から構成されている。このエレメントは接続金具を介して両側のリンクチェーンに連結されており、リンクチェーンは上部の駆動スプロケットに懸架されている。駆動スプロケットが回転することにより、集塵極は駆動スプロケットと下部ローラ間を移動・回転する。その際に集塵極エレメントやリンクチェーンが揺れないようにリンクチェーンに沿ってガイドが取り付けられている。また下部ローラはリンクチェーンにテンションを与え、動きを安定させる働きをしている。

ダスト捕集は、従来の固定電極形EPと同様に、放電極のある集塵域で行なわれるが、ダストはく離は集塵極エレメントが下部ローラで反転して集塵域に進入する前に回転ブラシによって行なわれる。集塵極を挟んだ2本のブラシは集塵極の移動と逆方向に回転する。このことにより、はく離効果高めるとともに、はく離ダストが飛散しにくいようにホップに向かって掻き落とす。

4 移動電極形EPの性能実績

実用化第1号機であるCOボイラ用の移動電極形EPの運転実績について述べる。この移動電極形EPは既設固定電極形EPの性能向上のために増設されたもので、固定電極形EPの運転を停止することによって両者の比較ができる。

なお、このCOボイラ排ガス中のダストの電気抵抗率は  $1 \times 10^{14} \Omega \cdot \text{cm}$  前後であり、EPの主な仕様は表2に示すとおりである。

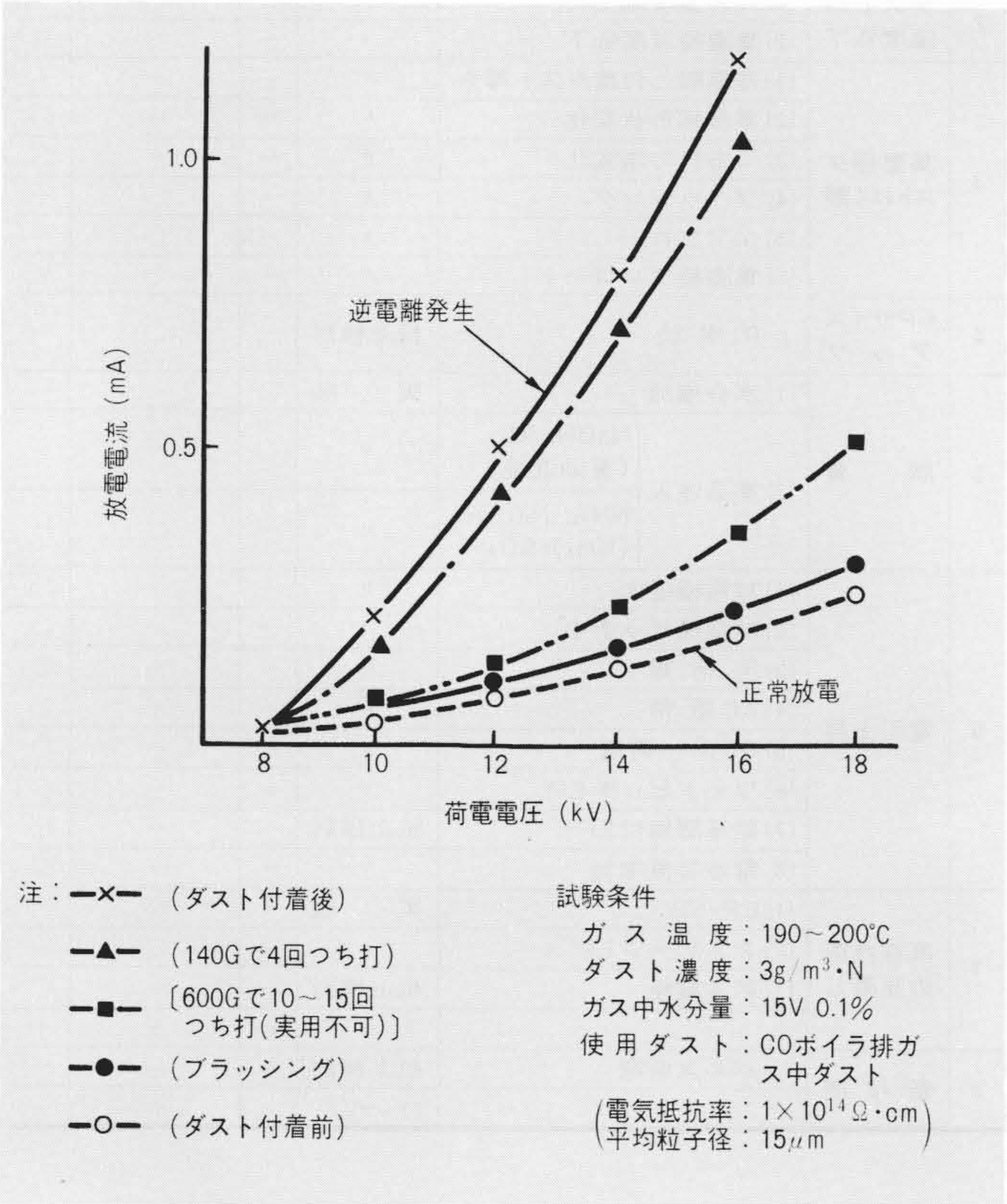


図1 はく離方式変化と荷電特性 ブラッシング方式はダスト付着前と同程度の良好な荷電特性が得られる。



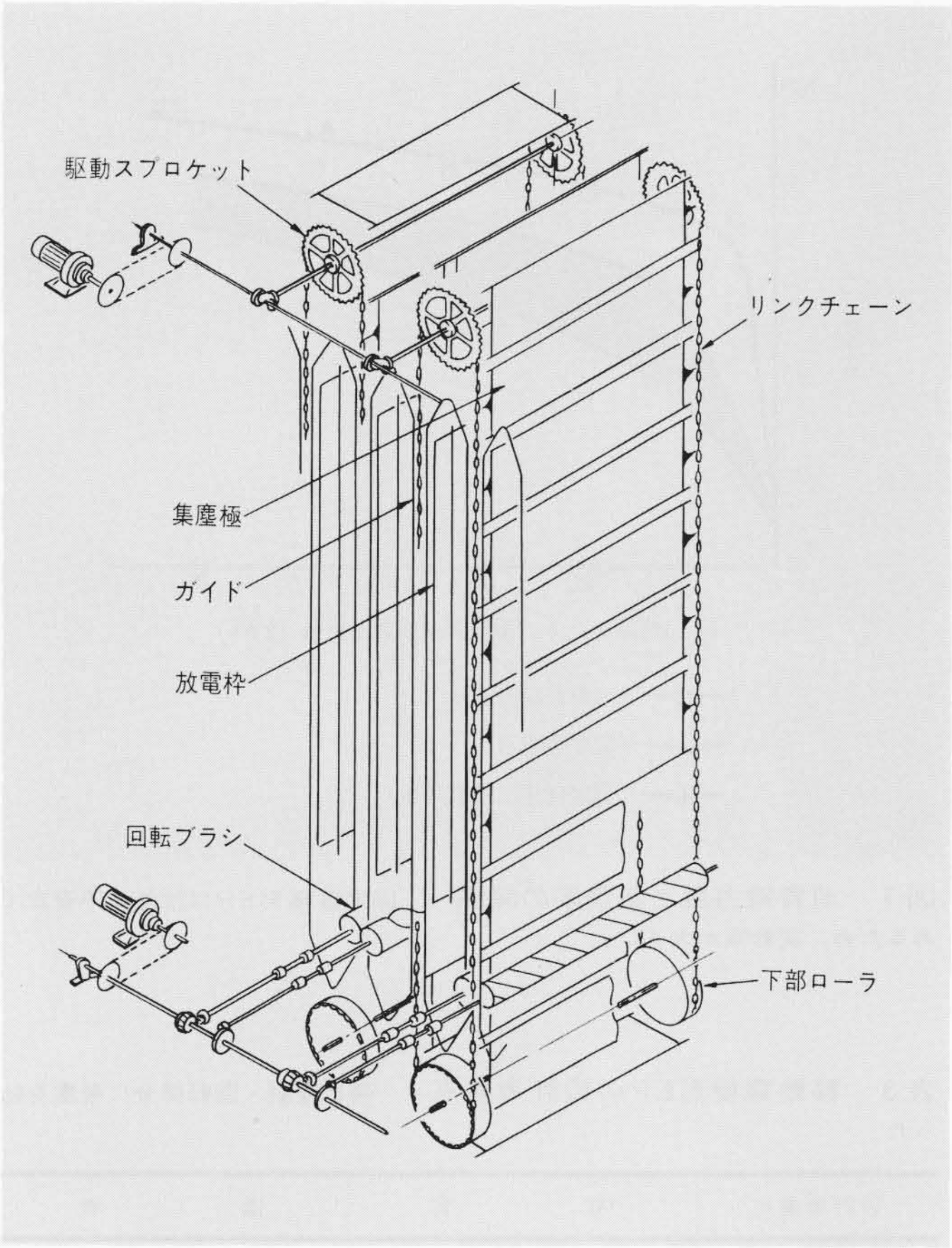


図3 移動電極形EPの構造 駆動部分の集塵極とブラシを主体とした概略構造を示す。

4.1 荷電特性経時変化

図4に運転開始後の固定電極形EPと移動電極形EPとの荷電電圧と放電電流の変化を示す。

EP内部の汚れによる荷電電圧の初期変化は共に同様の傾向を示し、7～10日間で各々安定してくる。

固定電極形EPは逆電離が発生しているために、荷電電圧は

表2 COボイラ用EP仕様 移動電極を初めて採用したCOボイラ用EPの仕様を示す。

| 項目      |                    | 機種                                |                     |
|---------|--------------------|-----------------------------------|---------------------|
|         |                    | 固定電極 + 移動電極                       |                     |
| 計画仕様    | 処理ガス量              | 105,270m <sup>3</sup> /h at 181°C |                     |
|         | ガス温度               | 180～200°C                         |                     |
|         | 入口ダスト濃度            | 0.35g/m <sup>3</sup> ・N           |                     |
|         | 出口ダスト濃度            | 0.035g/m <sup>3</sup> ・N          |                     |
|         | 集塵率                | 90%                               |                     |
| 機 器 仕 様 | EP形式               | SO-HP <sub>12</sub>               | SO-HM <sub>11</sub> |
|         | 集塵極形式<br>有効高さ      | 角波形<br>10m                        | 平板キャタピラ式<br>10m     |
|         | 放電極形式<br>有効高さ      | フレームタイプ 4mm角線<br>10m              | 同左<br>同左            |
|         | 集塵極つち打装置方式         | 電動横つち打方式<br>連続運転                  | —                   |
|         | 電動機                | 0.1kW×4台                          | —                   |
|         | 放電極つち打装置方式         | 電動横つち打方式<br>連続運転                  | 同左                  |
|         | 電動機                | 0.2kW×4台                          | 0.2kW×2台            |
|         | 集塵極駆動装置方式          | —                                 | 電動キャタピラ方式<br>連続運転   |
|         | 電動機                | —                                 | 0.4kW×1台            |
|         | ダスト掻き落とし装置方式       | —                                 | 回転ブラシ方式<br>連続運転     |
|         | 電動機                | —                                 | 0.4kW×1台            |
|         | 荷電設備形式<br>制御<br>台数 | 一相シリコン整流装置<br>サイリスタ制御方式<br>2台     | 同左<br>同左<br>1台      |

20～25kVと非常に低い電圧で運転せざるを得ないが、移動電極形EPは集塵極にはほとんどダスト付着がないので、固定電極形EPに比べて20kV高い45kV程度の高電圧が荷電でき、ダストはく離のよいブラッシング方式によって逆電離の発生を防止できることが分かる。移動電極形EPで初期変化が起こる原因は、集塵極エレメントの補強棒、その他に若干のダスト

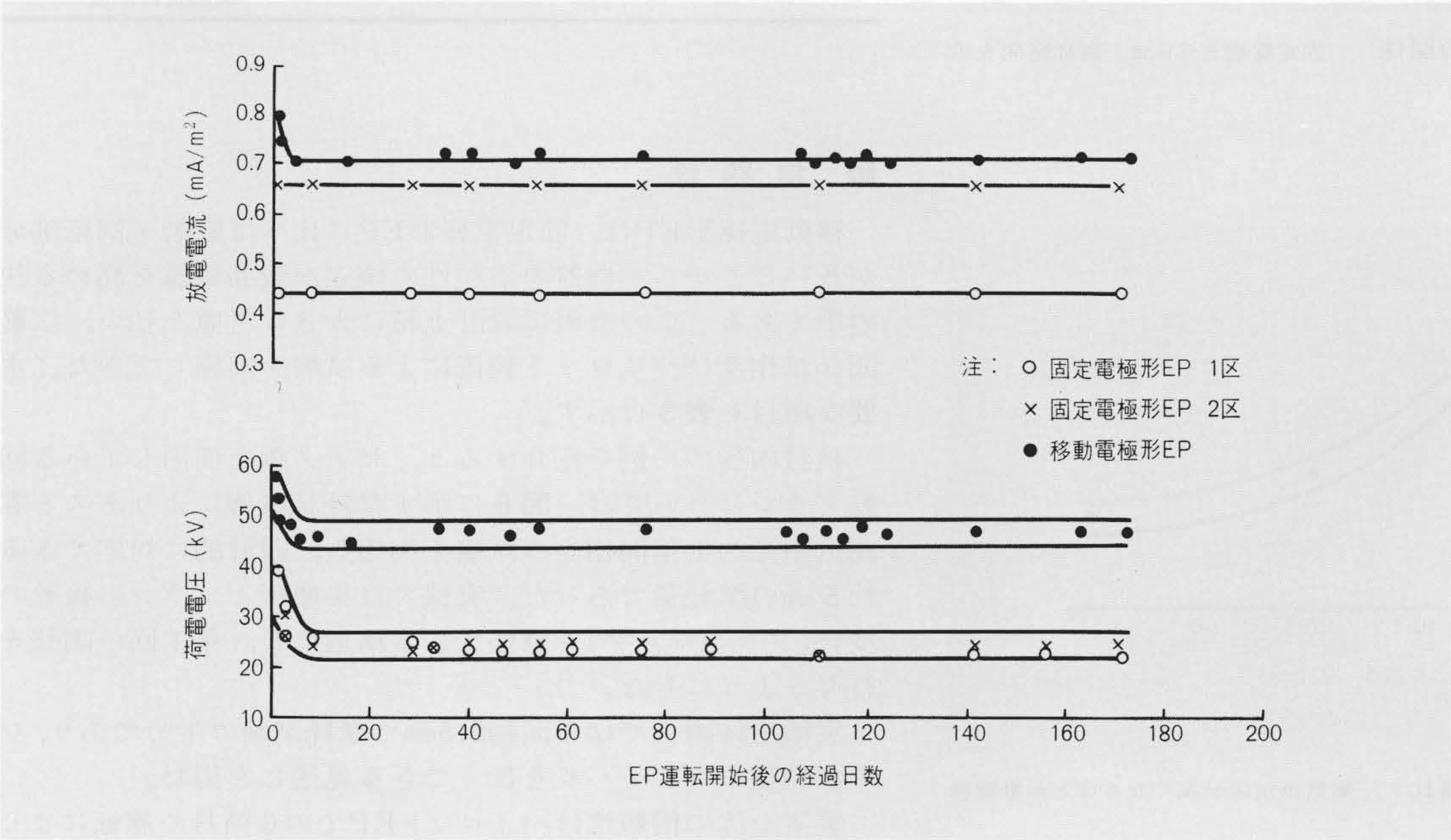


図4 COボイラ用EP荷電特性経時変化 移動電極形EPは逆電離の発生がなく、高い荷電電圧で安定している。



が残るためである。その後約2年半運転されてきたが経時変化は見られない。

4.2 集塵性能

図5に荷電時間と集塵率の関係を示す。  
実測範囲で同一集塵率を発揮するためには、移動電極形EPは固定電極形EPの約1/3の荷電時間でよいという結果を得た。また、集塵率が高くなるほどその差が大きくなる傾向を示している。

固定電極形EPと移動電極形EPとの性能比較をするために、ダストの $\rho$ に対する集塵面積比の関係を示したのが図6である。ここで $\rho:10^{14}\Omega\cdot\text{cm}$ はCOボイラのダストのデータであり、 $10^{12}\Omega\cdot\text{cm}$ は石炭燃焼ボイラのフライアッシュのデータである。

図6から分かるようにダストのはく離しにくい領域に移動電極形EPを採用することにより、同一集塵率の場合、固定電極形EPに比べて集塵面積を低減することができる。

4.3 消費電力

図7にEP荷電設備の消費電力量の変化に対する集塵率の変化を示しているが、固定電極形EPは性能が不安定であるために集塵率の変動幅が大きいことが分かる。同図から同一集塵率の場合、移動電極形EP荷電設備の消費電力量は固定電極形EPに比べて大幅に低減することができた。

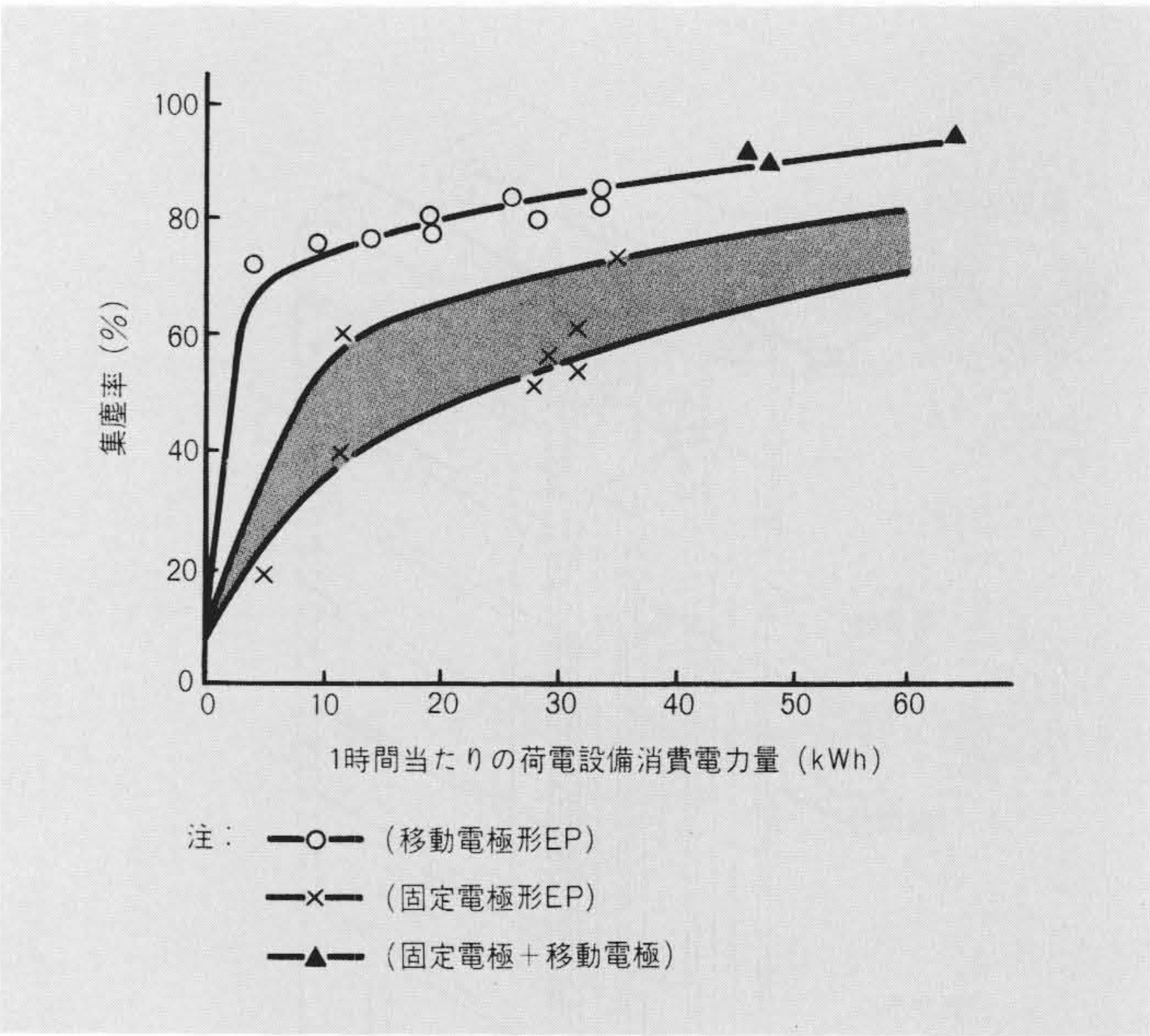


図7 消費電力量と集塵率の関係 固定電極形EPは性能が不安定であるため、変動幅が大きい。

表3 移動電極形EPの設計考慮点 特に駆動・回転部分に考慮を払った。

| 設計考慮点    | 内 容                      | 備 考                                |
|----------|--------------------------|------------------------------------|
| 1. 安定駆動  | 低速化<br>(集塵極<br>ブラシ)      | パイロットEP<br>実機 } 追跡調査               |
|          | 同期運転<br>(集塵極両端<br>隣接集塵極) | 同 上                                |
|          | ブラシ弾力性<br>トルク均一化(ブラシ)    | 工場試作及び<br>実機追跡調査<br>同 上            |
| 2. 耐 摩 耗 | 対ダスト構造                   | 従来形EPの実績及びパイ<br>ロットEPによる確認         |
|          | ベアリング配置<br>部材硬度          | 実機改良<br>試作及び<br>パイロットEP } 確認<br>実機 |
|          | ブラシワイプ調整                 | 摩耗試験機<br>実機追跡調査                    |

5 信 頼 性

移動電極形EPは、固定電極形EPに比べて駆動・回転部分が多いことから、機器の信頼性の確立が製品価値を高める決め手である。このために設計上特に大きな考慮を払い、広範囲な試作及びパイロット装置による試験を実施してきた。主要な項目を表3に示す。

検討内容の一例を紹介すると、ピアノ線を使用している回転ブラシについては、図8に示す摩耗試験機によりダスト雰囲気中で約1年間相当の試験を実施し、設計的に対応できる約5mmの摩耗量であった。実機では集塵極とブラシの接触の度合(ブラシワイプ)を調整できる構造にし、年1回の調整を行なうようにした。

実機追跡調査では年間約2.5mmで摩耗試験の半分であり、ワイプ調整インターバルを長くできる見通しを得た。

装置全体の信頼性はパイロットEPでの6箇月の運転により

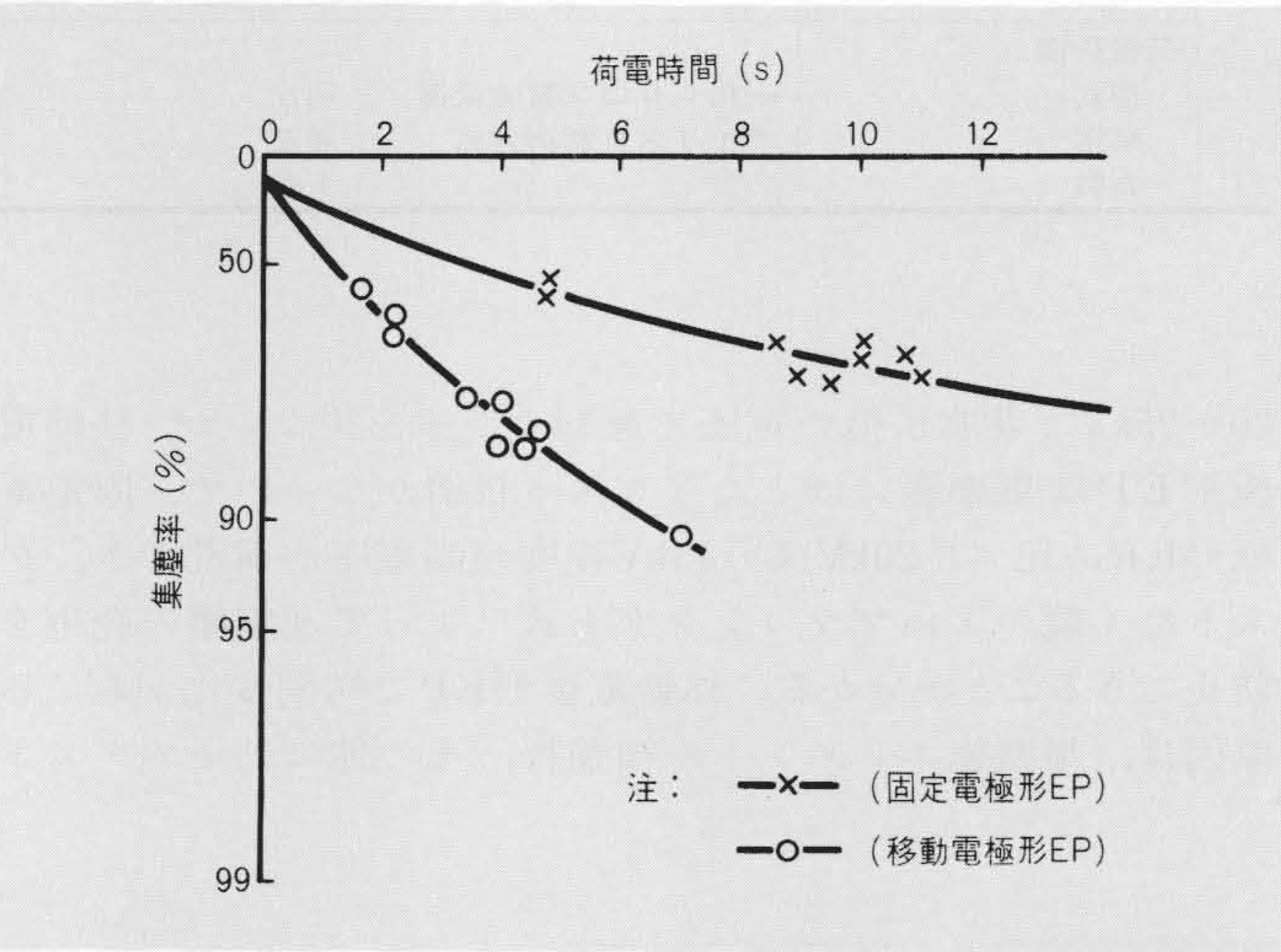


図5 荷電時間と集塵率との関係 固定電極形EPは、飽和傾向を示している。

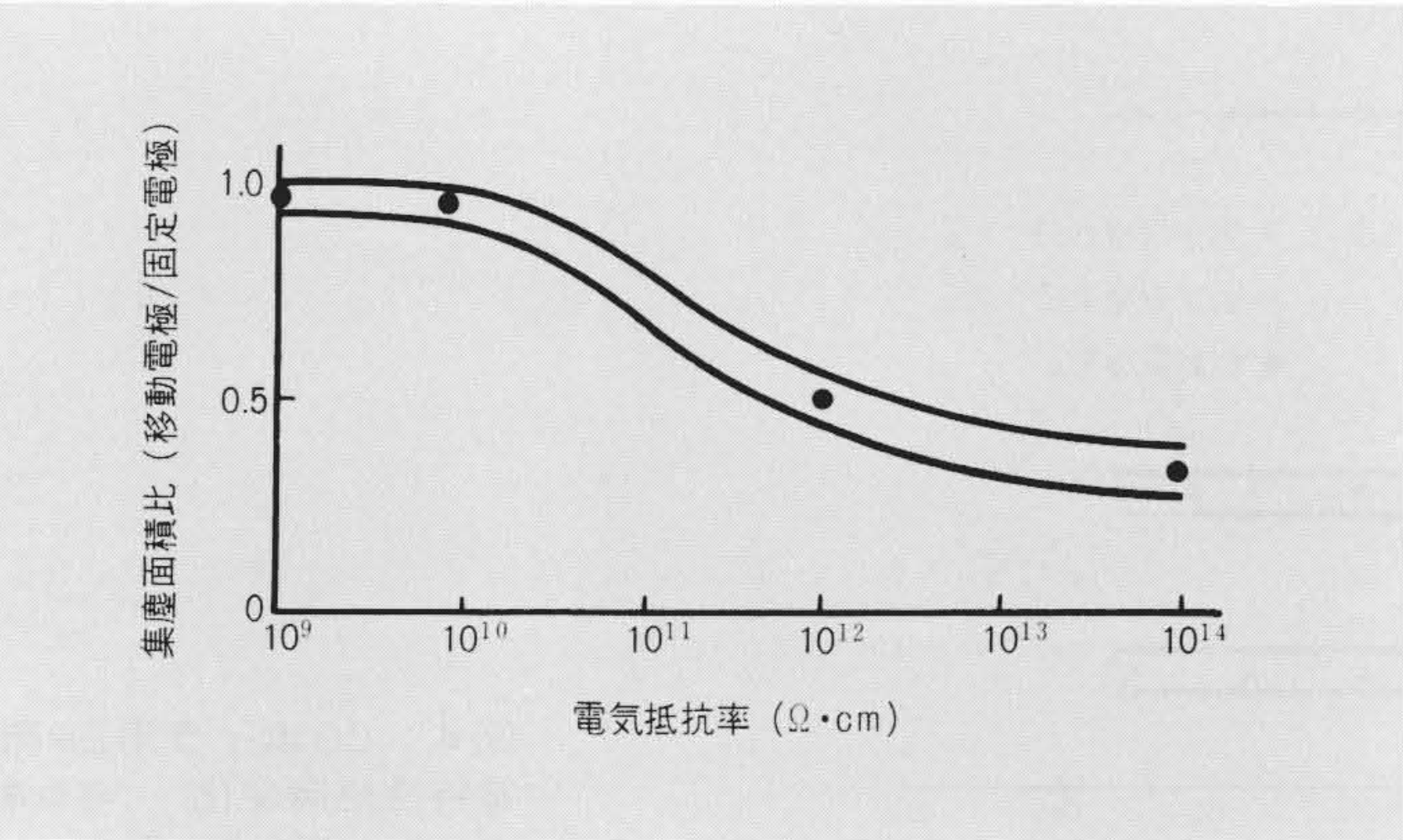


図6 電気抵抗率と集塵面積比 電気抵抗率が高くなるほど移動電極形EPは有利となる。



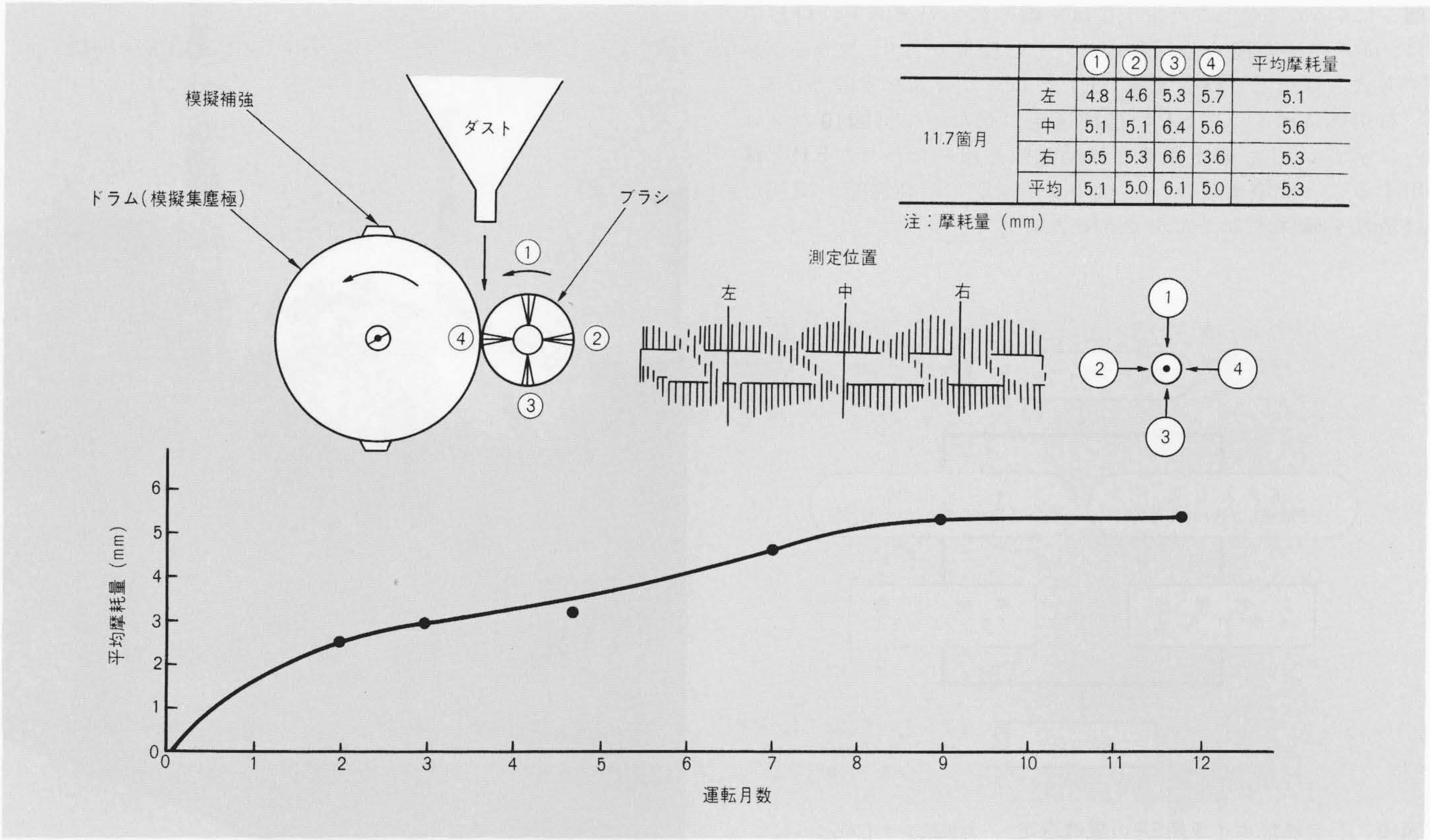


図8 回転ブラシ摩耗試験結果 回転ブラシの摩耗量は、ダスト雰囲気で年間約5 mmであった。

表4 海外炭フライアッシュの電気抵抗率  $10^{13} \Omega \cdot \text{cm}$  を超える非常に高い電気抵抗率のフライアッシュもある。

| 炭 種                                               | Lithgow<br>(オーストラリア) | Wark Worth<br>(オーストラリア) | Blair Athol<br>(オーストラリア) | Coal Valley<br>(カナダ) | 大 同<br>(中華人民共和国)   | Wit Bank<br>(南アフリカ) | Orchad Valley<br>(米) | Soldier Canyon<br>(米) |
|---------------------------------------------------|----------------------|-------------------------|--------------------------|----------------------|--------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|
| フライアッシュ<br>の電気抵抗率<br>( $\Omega \cdot \text{cm}$ ) | $5 \times 10^{12}$   | $1 \times 10^{13}$      | $3 \times 10^{12}$       | $6 \times 10^{12}$   | $3 \times 10^{12}$ | $8 \times 10^{12}$  | $2 \times 10^{11}$   | $1 \times 10^{12}$    |

確認を行ない、実用化第1号機の約2年間の追跡調査により技術を確認することができた。

6 石炭燃焼ボイラへの適用

石炭燃焼ボイラから排出されるフライアッシュの電気抵抗率は  $1 \times 10^{11} \Omega \cdot \text{cm}$  以上と高く、特に低硫黄分の海外炭を使用した場合には  $1 \times 10^{13} \Omega \cdot \text{cm}$  を超える場合がある。表4にその一部を示す。

上記フライアッシュを従来の固定電極形EP単独で処理しようとするれば、当然のことながら高抵抗障害や逆電離現象が発生し、安定して高性能を維持することは困難となる。

6.1 石炭燃焼ボイラ用EPの計画ポイント

(1) 高抵抗フライアッシュの安定集塵

集塵極付着ダストのはく離効果を上げることにより、逆電離現象の発生を防止する。

(2) 高性能集塵の確保

ダスト再飛散を防止し、出口ダスト濃度を極めて低濃度で安定運転を行なうことができる。

(3) 省スペースと経済性の向上

6.2 移動電極形EPの適用

ダストの電気抵抗率が高く、かつ粒子径が細くなると図9に示すようにダストの付着力が強くなり、集塵極からはく

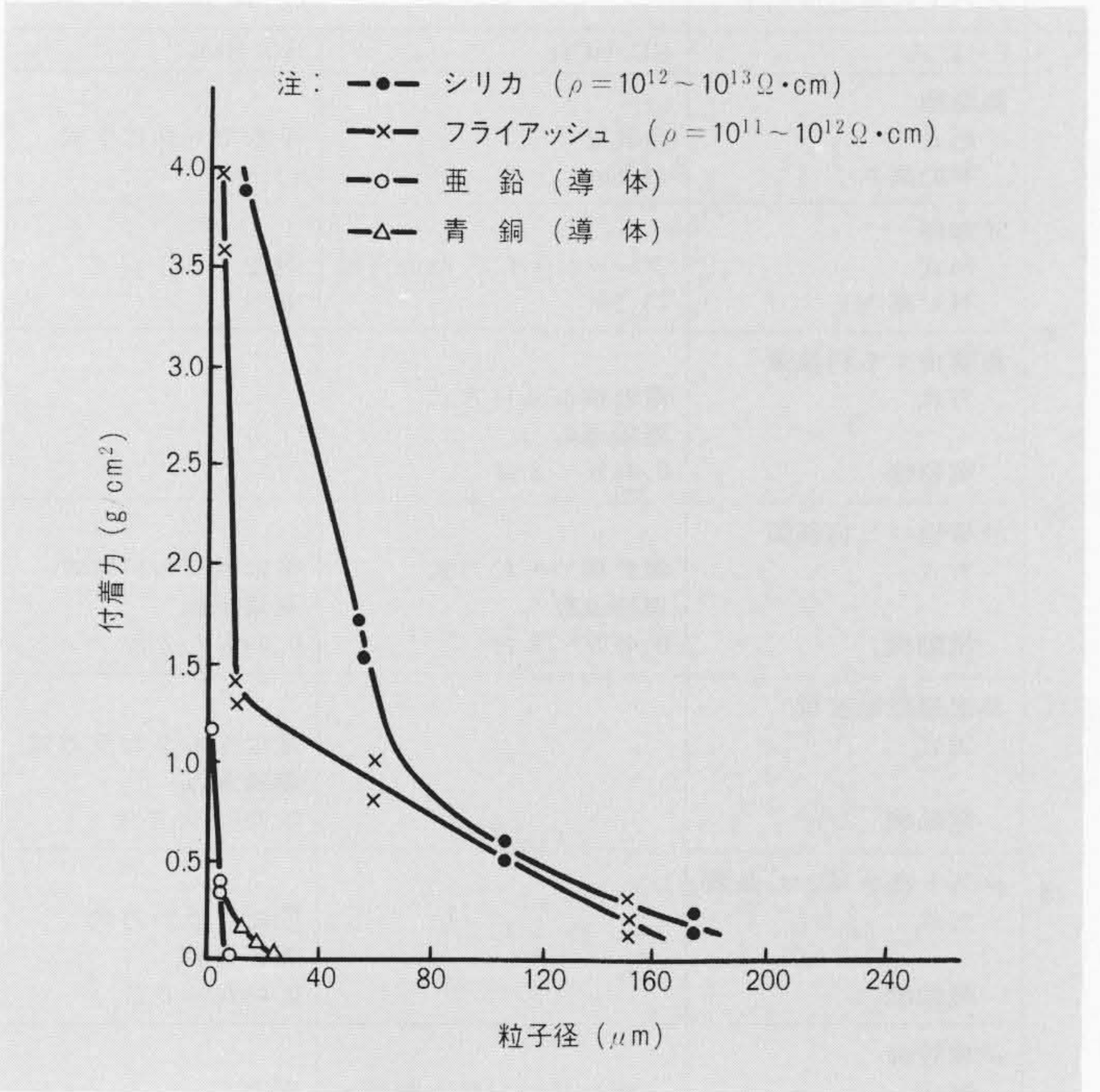


図9 粉塵の粒子径と付着力 粒子径が小さく、電気抵抗率が高いほど付着力が強い。



離しにくくなる<sup>3)</sup>。このようなはく離しにくいダストに対しては、従来の集塵極つち打方式だけでは限界があり、ブラッシング方式を採用した移動電極形EPが非常に有効な手段となる。

石炭燃焼ボイラ用EPの機種選定に当たっては図10のフローに示すように、固定電極と移動電極を組み合わせたEPを採用することが望ましい。これにより安定した高性能と優れた経済性を確保することができると考える。

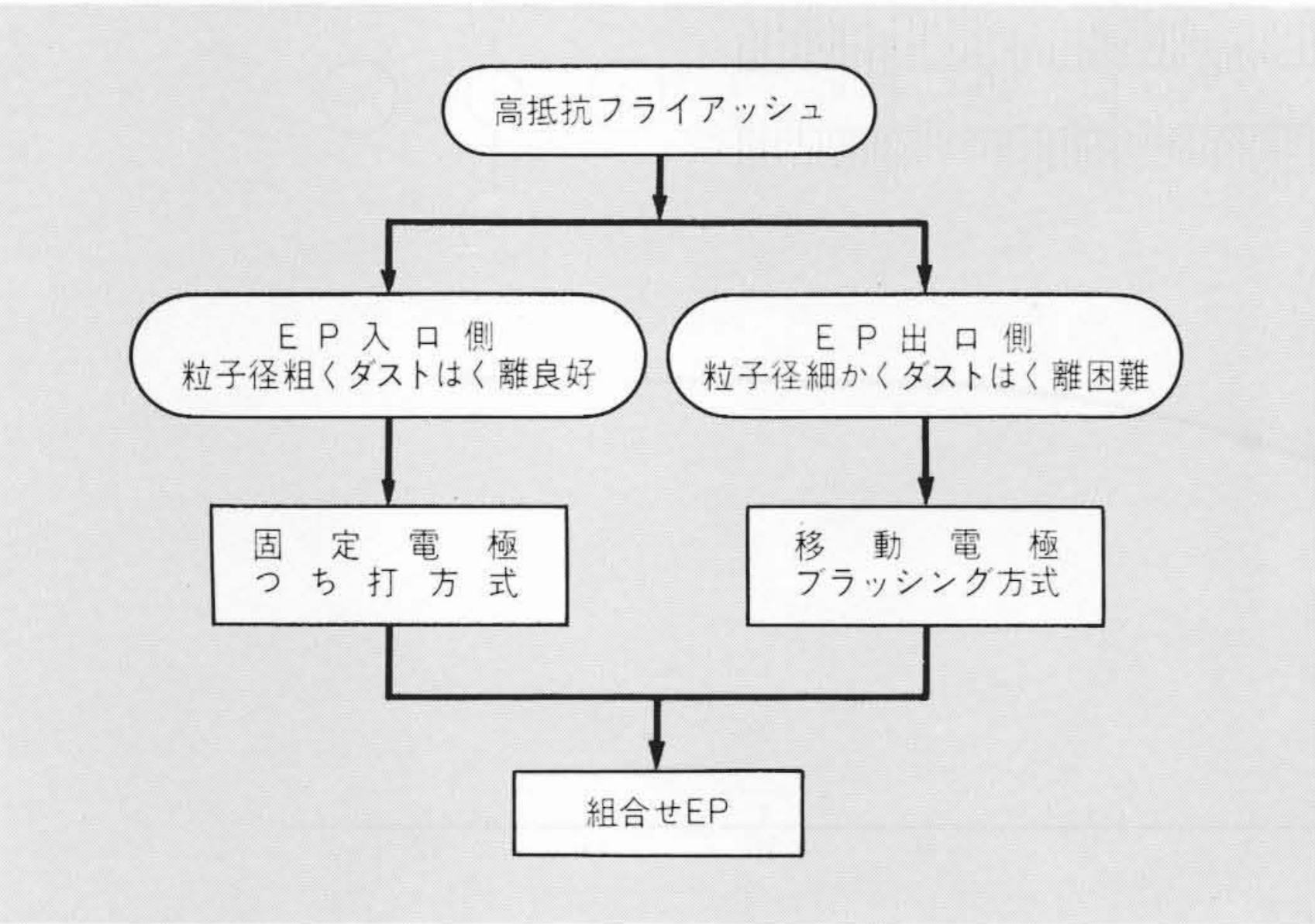


図10 石炭燃焼ボイラ用EPの機種選定 高抵抗フライアッシュには、組合せEPが適している。

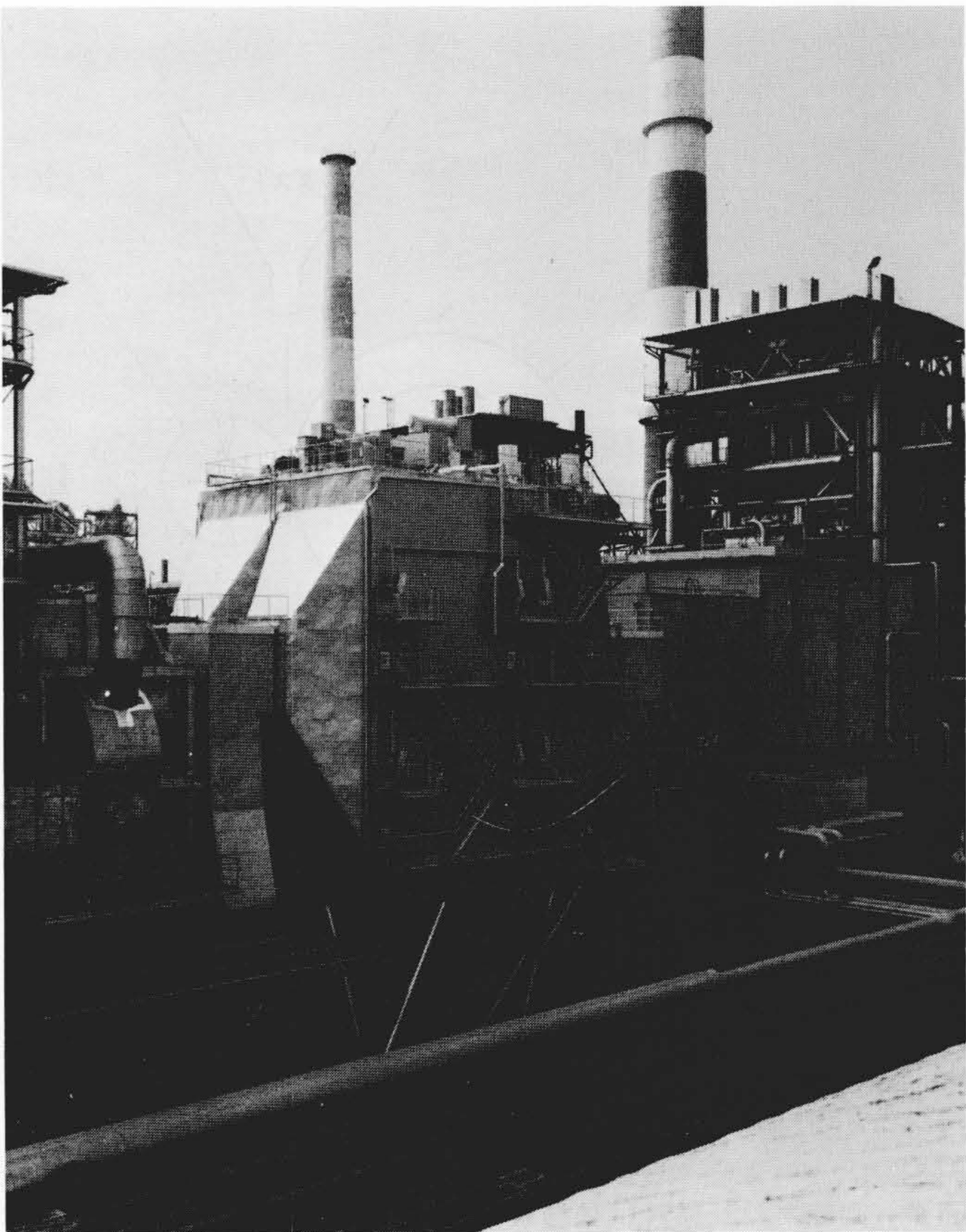


図11 石炭燃焼ボイラ用EPの外観 固定電極と移動電極の組合せEPを示す。

表 5 石炭燃焼ボイラ用EP仕様 固定電極と移動電極は一つのチャンバに収納されている。

| 項目 \ 機種          |               | 固 定 電 極 + 移 動 電 極                                |                     |
|------------------|---------------|--------------------------------------------------|---------------------|
| 計<br>画<br>仕<br>様 | 処 理 ガ ス 量     | 323,800m <sup>3</sup> /h at 151°C                |                     |
|                  | ガ ス 温 度       | 150°C                                            |                     |
|                  | 入 口 ダ ス ト 濃 度 | 20g/m <sup>3</sup> ・N                            |                     |
|                  | 出 口 ダ ス ト 濃 度 | 0.05g/m <sup>3</sup> ・N                          |                     |
|                  | 集 塵 率         | 99.75%                                           |                     |
| 機<br>器<br>仕<br>様 | ダストの電気抵抗率     | 2 × 10 <sup>11</sup> ~ 1 × 10 <sup>13</sup> Ω・cm |                     |
|                  | EP形式          | SO-HP <sub>22</sub>                              | SO-HM <sub>21</sub> |
|                  | 集塵極形式         | 角波形                                              | 平板キャタピラ式            |
|                  | 有効高さ          | 13.5m                                            | 13.5m               |
|                  | 放電極形式         | フレームタイプ 4mm角線                                    | 同左                  |
|                  | 有効高さ          | 13.5m                                            | 同左                  |
|                  | 集塵極つち打装置方式    | 電動横つち打方式<br>連続運転                                 |                     |
|                  | 電動機           | 0.4kW × 8 台                                      |                     |
|                  | 放電極つち打装置方式    | 電動横つち打方式<br>連続運転                                 | 電動横つち打方式<br>連続運転    |
|                  | 電動機           | 0.4kW × 8 台                                      | 0.4kW × 2 台         |
| 仕<br>様           | 集塵極駆動装置方式     |                                                  | 電動キャタピラ方式<br>連続運転   |
|                  | 電動機           |                                                  | 0.75kW × 2 台        |
|                  | ダスト掻き落とし装置方式  |                                                  | 回転ブラシ方式<br>連続運転     |
|                  | 電動機           |                                                  | 0.4kW × 2 台         |
|                  | 荷電設備形式        | 一相シリコン整流装置                                       | 同左                  |
|                  | 制御方式          | サイリスタ制御方式                                        | 同左                  |
|                  | 台数            | 2 台                                              | 1 台                 |

6.3 適用例

産業用石炭燃焼ボイラに採用した組合せEPの実例を紹介する。このボイラは海外炭を燃焼し、EPは2 × 10<sup>11</sup> ~ 1 × 10<sup>13</sup> Ω・cmのフライアッシュを処理するもので、その主な仕様を表5に、EPの外観を図11に示す。

本EPは昭和56年9月初めに運転を開始し、以後計画値を十分に満足する高性能を発揮して、順調に運転を継続している。

7 結 言

現在EPメーカーが高抵抗障害や逆電離現象を防止するために苦慮し、その対応策を進めているなかで、乾式EPで逆電離現象を防止できる移動電極形EPを実用化したことは画期的な成果である。特に、固定電極形EPと比較してダストの電気抵抗率が高く、また高い集塵性能を要求されるほど移動電極形EPの利点が顕著に出てくる。

移動電極形EPは既にCOボイラ、産業用石炭ボイラ、ガラス溶解炉用として納入している。今後はセメント、製鉄など他の高抵抗ダストを対象に実績を積み重ね、更にスケールアップのステップを踏み、いっそうの信頼性を確立して、将来事業用石炭ボイラへ指向する考えである。

参考文献

1) 増田：電気集塵器における逆電離現象，電気学会誌，80，865，1482~1489（昭35-10）  
2) 増田，外：静電塗装における逆電離の開始条件について，静電気学会誌，1，〔3〕，186~191（昭52-7）  
3) Gaylord W. Penney：Adhesive Behavior of Dust in Electrostatic Precipitation, Journal of the Air Pollution Control Association, 25, 2, 113~117（1975-2）