U.D.C. 〔621.928.7:621.359.42.036.6-776.2〕:621.181.1-661

石炭火力発電ボイラへの移動電極形電気式集塵装置の適用

Application of Moving-Electrode Type Electrostatic Precipitators to Coal-Fired Utility-Use Boilers

中山　武*　*Takeshi Nakayama*
大塚　眞*　*Makoto Ootsuka*

海外炭専焼時のフライアッシュの見掛け電気抵抗率は10^{10}～$10^{14}\Omega\cdot$cmと幅広い範囲となり，抵抗率が高い場合には，従来の固定電極形電気式集塵装置ではつち打によるはく離が十分にできず，高抵抗障害や逆電離現象が発生し，安定した集塵が困難な場合があった。そこで集塵極表面をブラッシングしてダストをはく離し，常に集塵極を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の適用を検討した。この移動電極形電気式集塵装置の石炭ボイラ用としての納入実績は，徳山曹達株式会社[1]及び帝人株式会社向けがあるが，今回電力会社向けとして初めて中国電力株式会社水島発電所１，２号缶用に納入するに当たり，従来技術の見直し改善を行ない，信頼性をよりいっそう高め，かつ多品種の石炭への対応を考慮して，大容量ボイラへの適用技術を確立した。

1　緒　　言

火力発電用集塵装置としては，従来からEP(電気式集塵装置)が広く使用されてきたが，最近建設される石炭火力発電所の多くは，燃料の石炭を海外から輸入している。この海外炭燃焼により排出されるフライアッシュの見掛け電気抵抗率ρは，10^{10}～$10^{14}\Omega\cdot$cmと幅広い範囲となり抵抗率が高い場合には，従来の固定電極形EPでは炭種変動への対応や性能の経時劣化などを考慮する必要があった。この対策としては高温EP[2]，調質，バグフィルタなどがあるが，経済性や二次環境問題などが懸念される。このため，石炭ボイラ用の各種集塵装置について，性能，運転，経済性などを比較，検討し評価した結果，日立プラント建設株式会社が独自に開発した移動電極形EPが高ρダストの集塵には最も有効であると判断し，火力発電所用として初めて中国電力株式会社水島発電所１号(125MW)ボイラ，２号(156MW)ボイラ用に適用することにした。

火力発電所に適用する機器は，より高い信頼性，安全性が要求されるため，移動電極形EPを適用するに当たって，従来一般産業用で培ってきた技術の見直し，改善を行なうとともに種々の試作，検討を実施したので，その内容及び結果について述べる。

2　移動電極形EPの開発経緯と適用状況

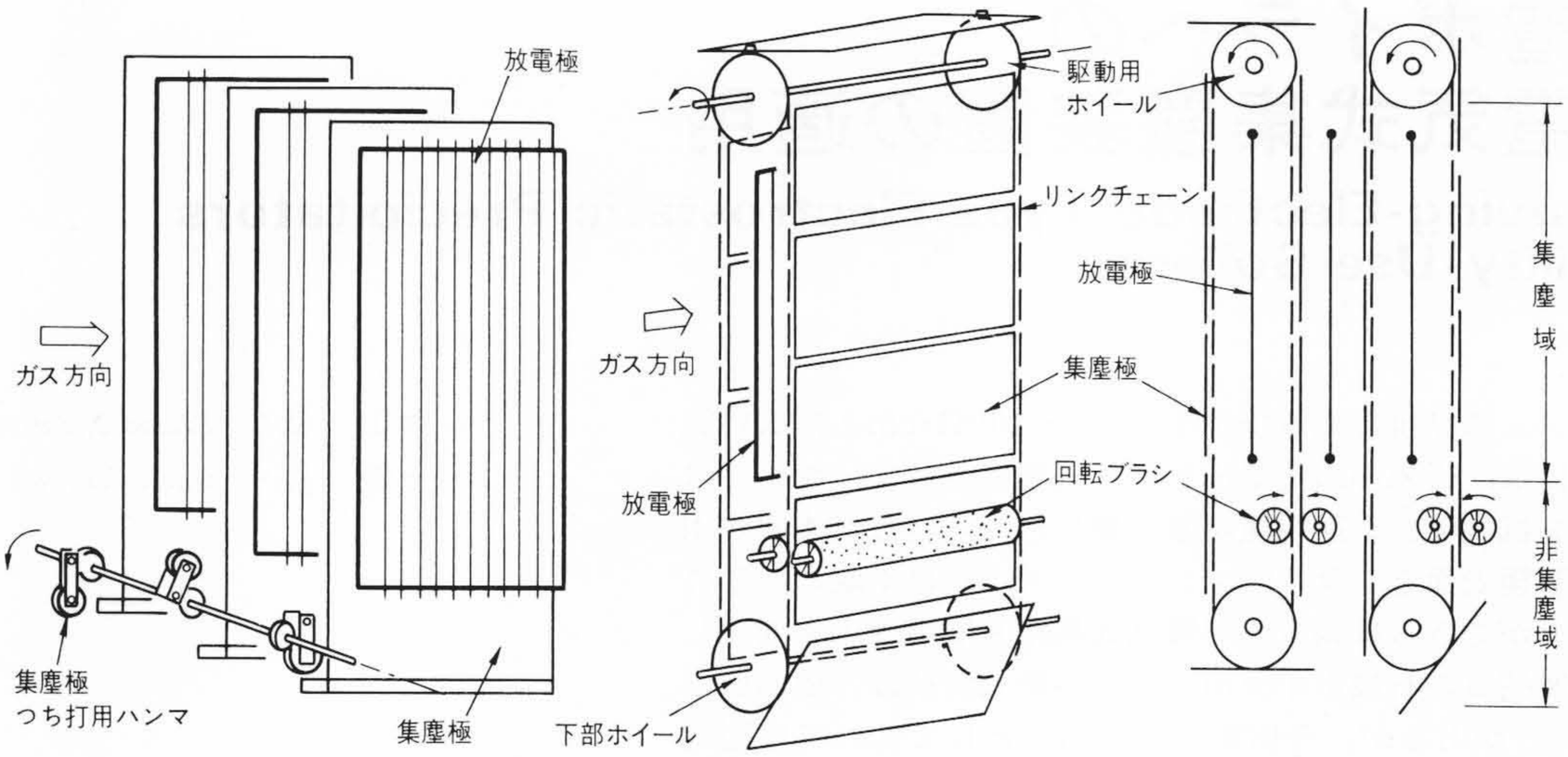
移動電極形EPの開発及び実機納入状況は**表１**に示すとおりで，約２年にわたる開発の後，１号機を昭和54年に日本石

表１　移動電極形EPの開発及び実機納入状況　　昭和54年に１号機を納入以来，６機の稼動実績がある。

項目			年(昭和)	53				54				55				56				57				58				59			
			月	1	4	7	10	1	4	7	10	1	4	7	10	1	4	7	10	1	4	7	10	1	4	7	10	1	4	7	10
開発状況	1	ブラシ方式のはく離効果の確認		□																											
	2	集塵極形状，駆動方法及びEP構造検討		□																											
	3	EP性能，構造検討						□																							
	4	ブラシ形状検討							□																						
	5	集塵極ガイドの影響確認									□																				
	6	ブラシ摩耗量確認									□																				
	納入先		用途								運開																				
実機納入状況	1	日本石油精製株式会社 横浜製油所	石油精製 COボイラ用								▼	▬	▬	▬	▬	▬	▬	▬	▬	▬	▬	▬	▬	▬	▬	▬	▬	▬	▬	▬	▬	▬
	2	徳山曹達株式会社 中央発電所	石炭ボイラ用															運開 ▼	▬	▬	▬	▬	▬	▬	▬	▬	▬	▬	▬	▬	▬
	3	横浜市下水道局	下水汚泥 焼却炉用																	運開 ▼	▬	▬	▬	▬	▬	▬	▬	▬	▬	▬	▬
	4	岩城硝子株式会社 中山工場	ガラス溶解炉用																			運開 ▼	▬	▬	▬	▬	▬	▬	▬	▬	▬
	5	帝人株式会社 松山工場	石炭ボイラ用																					運開 ▼	▬	▬	▬	▬	▬	▬	▬
	6	電源開発株式会社 若松火力発電所	流動床 石炭ボイラ用																							運開 ▼	▬	▬	▬	▬	▬

注：略語説明　EP(電気式集塵装置)

* 日立プラント建設株式会社



(a) 固定電極形EP　(b) 移動電極形EP

図1　固定電極形EPと移動電極形EPの構造比較　ダスト払い落とし機構は，固定電極形EPがつち打方式であるのに対し，移動電極形EPはブラシによるかき落とし方式のため，集塵極が移動する構造となっている。

油精製株式会社横浜製油所に納入し，以来6機の納入稼動実績がある。

3　移動電極形EPの構造

移動電極形EPと従来の固定電極形EPとの構造比較を**図1**に，移動電極形EPの詳細構造を**図2**に示す。

従来の固定電極形EPでは集塵極に捕集されたダストは機械的なつち打によりはく離する方法をとっているため，ρの高いダストの場合，完全なはく離が困難である。これに対し，移動電極形EPの場合は，**図2**に示すように，短冊状の集塵極を装置内で移動させ，捕集したダストを非集塵域(ガス流路外)で回転ブラシにより連続的に完全にかき落とす構造となっているため，高ρ障害が抑制される。更に，はく離によるダストの再飛散が少なく，高ρダストの集塵に高性能を発揮することができる。

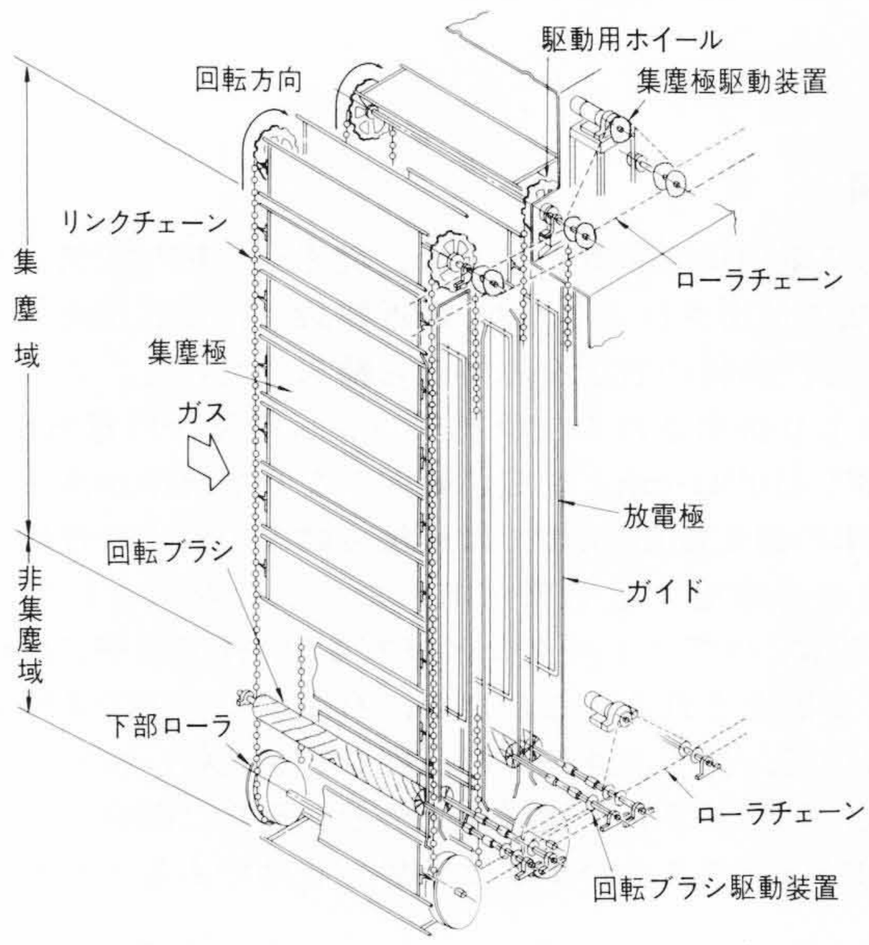


図2　移動電極形EPの構造　集塵極に捕集されるダストは，下部に設置のブラシで完全にはく離される。

4　石炭火力発電ボイラへの適用

4.1　中国電力株式会社水島発電所納め移動電極形EPの計画概要

中国電力株式会社水島発電所は，燃料の多様化の一環として重油から石炭への燃料転換を実施する発電所で，使用する石炭はオーストラリア，南アフリカ，中華人民共和国から輸入する五つの炭種が計画されている。このためどのような炭種でも安定運転できるEPが望まれた。

中国電力株式会社水島発電所には固定電極形EPが既に設置されており，**図3**に示すとおり今回はその後段にEPを新設することになった。

この新設EPの入口側では比較的ダストの粒子径が粗く，つち打によるはく離が十分に可能であるため，入口側には固定電極を設置し，粒子径が微細でつち打によるはく離が困難な出口側に移動電極を設置する組合せ方式を適用した。EPの計画条件を**表2**に示す。

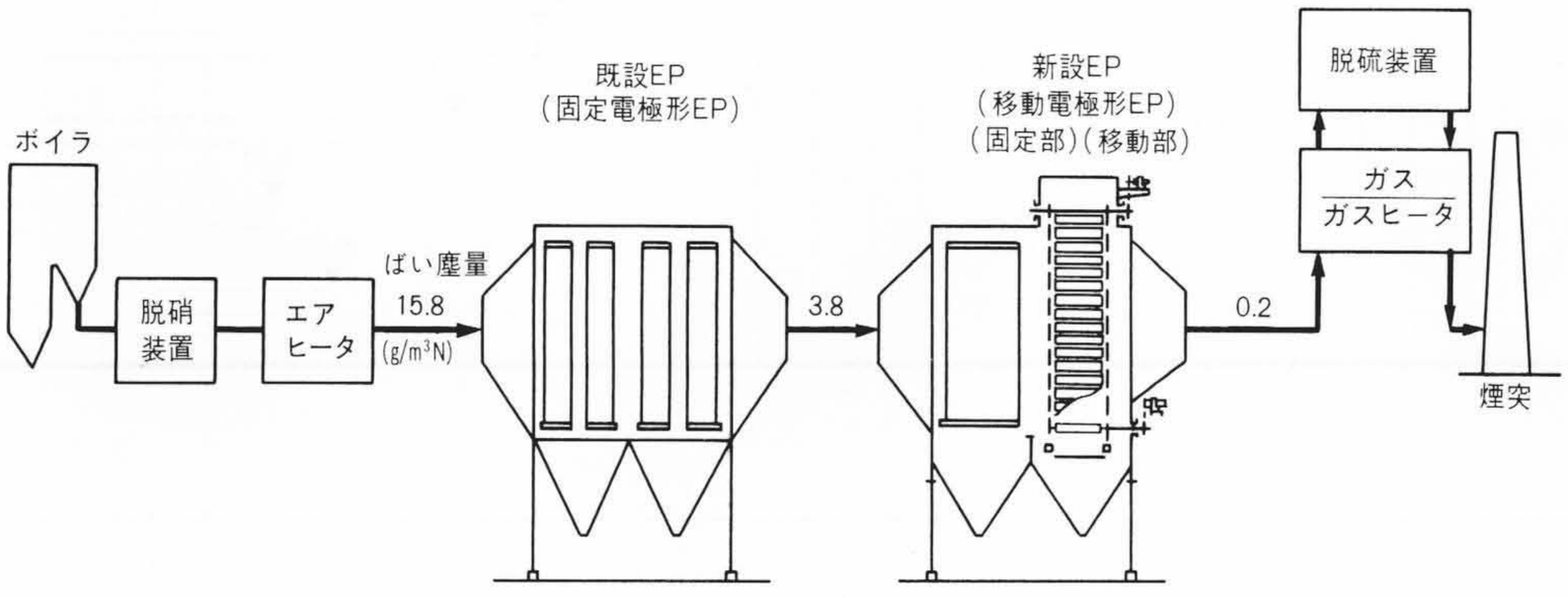


図3　中国電力株式会社水島発電所1号缶，2号缶環境設備全体フローシート　既設EPに加えて新設EPを設置するとともに，脱硝，脱硫装置を追設した。

表2　EP計画条件　集塵性能の設計値は，既設EPの入口ばい塵量が15.8 g/m³Nのとき，新設EPの出口ばい塵量は0.2g/m³N以下となっている。

摘要		1号缶用	2号缶用
処理ガス量		500,000m³N/h	600,000m³N/h
計画炭種		オーストラリア炭	オーストラリア炭
ばい塵量	既設EP入口	15.8g/m³N	15.8g/m³N
	新設EP入口	3.8g/m³N	3.8g/m³N
	新設EP出口	0.2g/m³N	0.2g/m³N
集塵率	既設EP	75.95%	75.95%
	新設EP	94.74%	94.74%
	総合	98.73%	98.73%

表3　移動電極形EPの装置仕様　従来実績最大の徳山曹達株式会社納めよりも約2倍の装置容量となっている。

装置仕様		1号缶用	2号缶用	(徳山曹達株式会社)
外形寸法	間口幅(mm)	18,600	21,000	11,200
	奥行(mm)	5,200	5,200	5,000
	高さ(mm)	23,550	24,050	24,200
	容量(m³)	2,278	2,626	1,355
集塵極	幅(mm)	2,900	2,900	2,700
	有効高さ(mm)	13,500	13,500	13,500
	レーン数	(5+5)レーン×2室	(5+6)レーン×2室	6レーン×2室

装置仕様は，**表3**に示すとおりで従来の納入実績のうち最大の徳山曹達株式会社納め石炭ボイラ用移動電極形EPに比べ，装置容積がほぼ2倍となっている。

4.2　改善内容

移動電極形EPは1号機を納入以来，信頼性とメンテナンスの面から駆動部分を中心に改善を行なってきたが，今回は更に，石炭火力発電所の運転及び大形化を考慮し，主に**表4**に示すような四つの項目に対応して新たな改善を行なった。

まず大形化への対応として，集塵極の大形化を図り，多品種の石炭燃焼への対応として，集塵極の移動速度及びこれにリンクする回転ブラシの回転速度は，従来は当初計画に沿って一定速度であったものをダスト性状に合わせ容易に選定できるように，10倍速度変速可能な方式を採用した。

なお，速度可変の方法としては，当初，機械式変速機を採用する予定であったが，信頼性，省エネルギー，保守などの面から，より有利な可変周波インバータ方式を採用した。

5　確認試験

移動電極形EPを初めて石炭火力発電所へ適用するに当たり，装置の大形化，運用の簡素化，信頼性の向上などの検討を行ない，摘出されたハードウェア面の改善点について，その信頼性を確認するために，工場確認試験及び実ガスによる確認試験を実施した。

5.1　工場確認試験

工場確認試験は，研究所の実験塔内に実機と同じ装置を1レーン分設置して，大形化に伴う各部の強度確認，駆動トルク測定，移動・回転速度の変速駆動を行ない，その駆動状況などを確認した。その結果，**表5**に示すとおり，各部のたわみ量，駆動トルクは計算値とほぼ近い値で許容値内であることを確認した。また，インバータ制御により，速度可変の変速駆動の動作確認を行ない，その動作及び操作性などの信頼性を確認した。

5.2　実ガスによる確認試験

荷電状況，摩耗状況など，工場試験ではできない実ガスでの運転状況調査のため，実ガスパイロットプラントの移動電極形EPに主要部品の試作品を取り付け，それらの実用性，信頼性を確認した。また，運転実績2年以上になる産業ボイラ用の実機でも運転状況の調査を行なった。その結果，**表6**に示すとおり，各部の摩耗状況は稼動約8,500時間(340日間)で許容値に対し6～20%程度であり，5年以上の連続運転に耐えられることが立証された。また，リンクチェーンの伸びはEP全体の構造上の制約から430mmを許容限界としているが，調査の結果**図4**に示すとおり，当初の1年間では，チェーン同士のなじみも加わり大幅(約160mm)に伸びているが，その後は約数十ミリメートル/年と少なくなっている。この傾向から考慮して，リンクチェーンの伸びが構造上の許容限界であ

表5　工場確認試験結果　実測値はすべて許容値内であり，計算値とほぼ同等であることを確認した。

No	項目	許容値	計算値	実測値
1	集塵極エレメントのたわみ量(mm)	15以下	12.7	11.6
2	集塵極駆動シャフトのたわみ量(mm)	12以下	10.5	9.0
3	ブラシ駆動シャフトのたわみ量(mm)	12以下	7.6	7.1
4	集塵極駆動トルク(kg·m)	—	35	29
5	ブラシ駆動トルク(kg·m)	—	7	6
6	インバータ制御による集塵極移動速度の変速状況確認	集塵極移動速度／ブラシ回転速度 } 速度可変に対し回転むらはなく移動状況は良好		

表4　石炭火力発電所用移動電極形EPの改善内容　主な設計改善内容を従来設計と比較して示す。

項目		従来設計	中国電力株式会社 水島発電所
1. 大形化への対応	(1) 集塵極エレメント	幅 2,700mm	幅 2,900mmにサイズアップ
	(2) リンクチェーン	棒径 φ8	棒径 φ10にサイズアップ
2. 多品種の石炭燃焼への対応(ρの変化)	集塵極及び回転ブラシの駆動速度	集塵極 移動速度／回転ブラシ 回転速度 } 一定	可変式を採用，可変方式にはインバータ制御方式を採用
3. 熱伸びへの対応	集塵極及び回転ブラシの駆動方式	ベベルギヤ方式	ローラチェーン方式を採用 心出し容易，熱伸びの影響が少ない。
4. ガイドの改善	(1) 垂直部	切れ目の多い短尺ガイド	切れ目の少い長尺ガイドを採用 心狂いを防止し，集塵極がスムーズに移動できるよう改善した。
	(2) 上，下反転部	——	集塵極がスムーズに反転できるようガイドを延長，補強した。

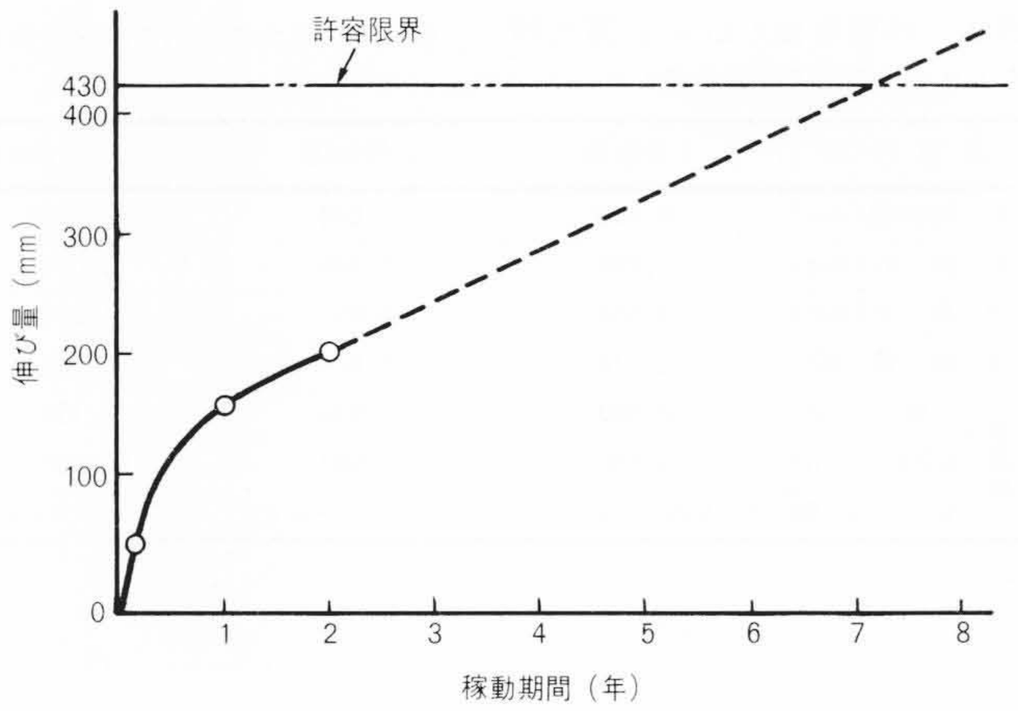


図4 リンクチェーンの伸び量 伸び量は当初の1年間では大幅になるが，その後は約数十ミリメートル/年と想定される。

表6 フィールド確認試験結果 各部共，摩耗の進行は少ない。

確認項目		確認結果	
		許容量	測定結果
各部の摩耗状況	ブラシの毛の長さ	15mm	0.5～1.0mm
	オイレス軸受	5mm	0.3～0.5mm
	駆動用ホイール	5mm	0.3mm以下
	リンクチェーン総伸び量	430mm	初年度160mm 次年度 40mm 計 200mm/2年

6 実機による確認

工場確認試験及びフィールド確認試験結果に基づき設計した中国電力株式会社水島発電所の実機は，2号EPが昭和59年1月から，1号EPが5月からそれぞれ試運転開始され，現在順調に運転されている。**図5**に2号EPの完成写真を示す。

この実機で各種調査確認を行なったので，その結果について述べる。

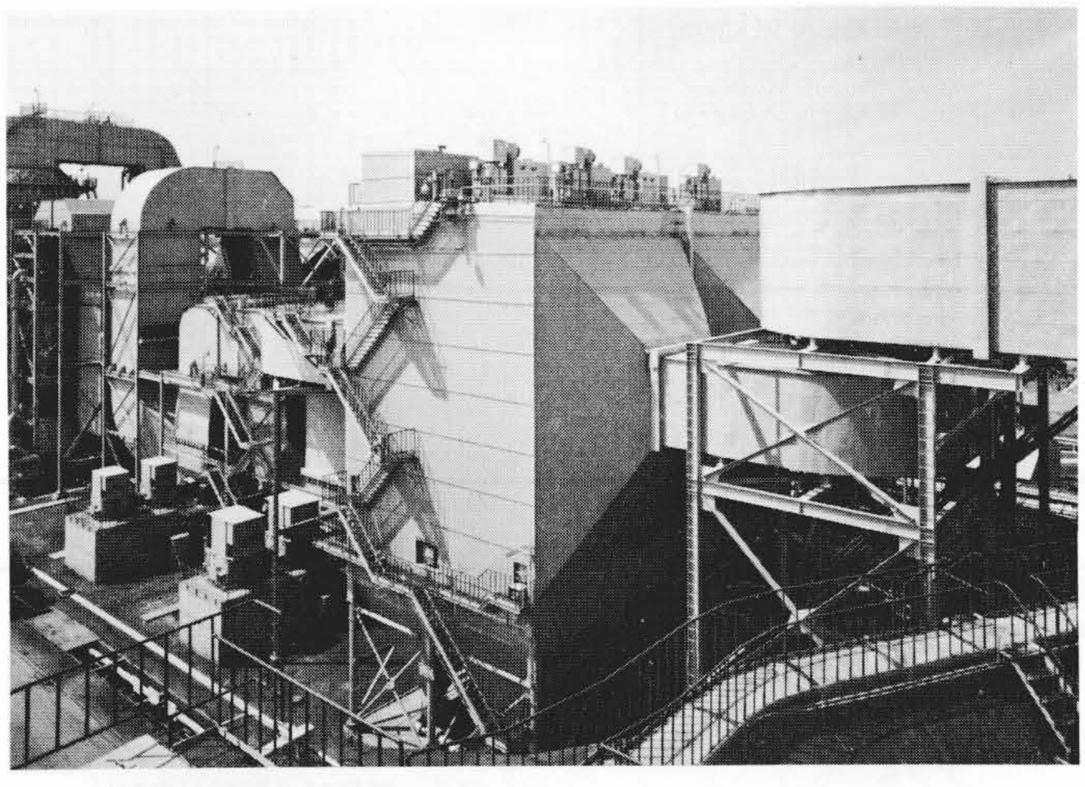


図5 実機外観 中国電力株式会社水島発電所2号缶用移動電極形EPを示す。

表7 実機における確認試験結果 実測値は設計値とほぼ同等であり，正常な駆動状況であることを確認した。

項目		設計値	実測値	
			空気負荷時	ガス負荷時
1. 集塵極駆動トルク(kg·m)	5レーン駆動時	121	114	116
	6レーン駆動時	138	125	132
2. ブラシ駆動トルク(kg·m)	5レーン分駆動時	46	44	44
	6レーン分駆動時	52	50	50

表8 EP性能試験結果 高ρダストでも，計画性能を上回っている。

適用	1号		2号	
	設計値	昭和59年7月実測値	設計値	昭和59年5月実測値
処理ガス量(m^3N/h)	500,000	489,000	600,000	529,000
ガス温度(℃)	153	167	136	132
EP入口ばい塵量(g/m^3N)	15.8	12.4	15.8	13.2
EP出口ばい塵量(g/m^3N)	0.20	0.133	0.2	0.072
集塵率(%)	98.73	98.93	98.73	99.45
ダストの見掛け電気抵抗率(Ω·cm)	8×10^{12}	3×10^{13}	8×10^{12}	3×10^{12}

6.1 装置の駆動確認

通ガス以前の空気負荷時及び通ガス後(石炭燃焼開始2箇月後)のガス負荷時に集塵極と回転ブラシの駆動トルクをそれぞれ測定し，**表7**に示すとおり設計値とほぼ近い値であり，正常な駆動状況であることを確認した。

6.2 内部点検結果

石炭燃焼開始2箇月後にEPの内部点検を実施した結果，各部の摩耗の進行もなく，集塵極のダストはく離状況も良く，正常に運転されていることが確認された。

6.3 集塵性能試験結果

集塵性能試験結果は，**表8**に示すとおり，安定した高性能を発揮できることが立証された。

今後，炭種別集塵特性や経年劣化などの追跡調査を進める予定である。

7 結 言

電気抵抗率の高いダストの集塵に威力を発揮する移動電極形EPを，電力会社向け石炭ボイラ用に適用を図った結果，下記の成果を得ることができた。

(1) 装置の大形化をはじめ，多品種の石炭，燃焼への対応や信頼性の確立などについて，工場試験，実ガス試験を行ない，電力用への適用の可能性を確認できた。

(2) この成果に基づき電力用としては初めて，中国電力株式会社水島発電所1号缶，2号缶石炭ボイラ用に移動電極形EPを適用し，好成績を挙げることができた。

(3) 将来，更に，大容量(350MW級以上)の石炭ボイラの適用の見通しを得ることができた。

なお，今後も実機の追跡調査を継続して行ない，性能，信頼性について確認していきたい。

参考文献

1) 藪田：移動電極形電気集塵装置，日立評論，**64**，2，105～110(昭57-2)
2) 渡部，外：石炭燃焼ボイラ用高温集塵装置，火力原子力発電，**28**，10，947～954(昭52-10)