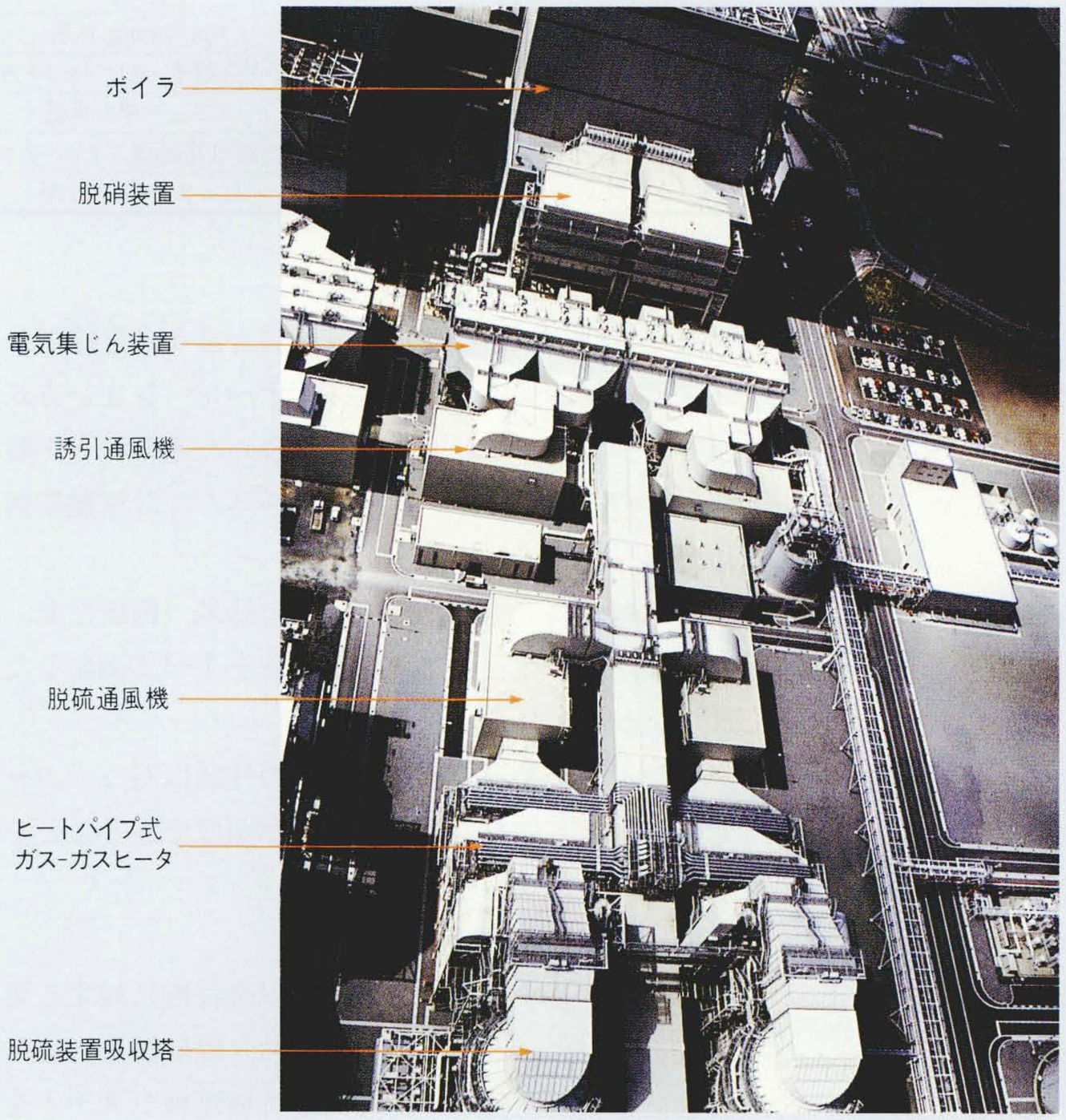
石炭燃焼ボイラの最新排煙処理技術

Latest Environmental Control Technologies for Coal-Fired Boiler

蛭田龍市郎* Tatsuichirô Hiruta　藪田宏昭*** Hiroaki Yabuta
西村正勝** Masakatsu Nishimura　森　明**** Akira Mori



相馬共同火力発電株式会社新地発電所1号機ボイラ排煙処理システムの全景
ボイラから煙突に至るまでの排煙処理システム(脱硝・集じん・脱硫装置)が整然と配置されている。

21世紀を目指す環境調和型の石炭火力として，燃焼排ガスの清浄化は最も直接的な使命であり，そのために脱硝，集じん，脱硫といった各装置技術のいっそうの高度化と，それらの総合的な排煙処理システムの合理化が求められている。

日立製作所は，相馬共同火力発電株式会社新地発電所1号機(以下，新地発電所1号機と言う。)として，出力1,000 MWの石炭火力発電設備，および脱硝，集じん，脱硫などの環境装置一式を納入し，平成6年7月に営業運転を開始した。これらは，1,000 MW石炭火力用排ガスを全量処理する国内最大容量のものであり，各環境装置に対して，信頼性に裏付けられた最新技術を適用した。現在，この運転実績を基に，設備の簡素化，ユーティリティの低減などいっそうの高度化を目指している。

また，今後の大容量石炭火力に対して，排煙処理システムとしての高効率化，コンパクト化，さらに共通のニーズとして，より低ばいじん化が求められている。これにこたえるために，電気集じん装置と脱硫装置との最適な組み合わせによる新しい排煙処理システムを開発している。

* バブコック日立株式会社 環境計画部　** バブコック日立株式会社 呉工場　*** 日立プラント建設株式会社 集塵装置部
**** 日立製作所 火力事業部

1 はじめに

わが国での石炭火力には，脱硝，集じん，脱硫装置などの排煙処理技術が広く適用されており，これらわが国で開発された環境保全技術が，海外に技術供与されるまでになった。

今後の石炭火力用排煙処理システムについては，地球規模の環境保全対応としてより高性能，高信頼性かつ経済的な技術開発が望まれている。

ここでは，平成6年7月に運開した国内最大容量の1,000 MW石炭火力用の脱硫，脱硝，集じん装置の設備概要，運転結果および今後の開発動向について紹介し，さらに高度化を目指した新しい排煙処理システムの開発概要について述べる。

2 脱硫装置

2.1 1,000 MW用脱硫装置の計画と運転実績

新地発電所1号機用脱硫装置の外観を**図1**に，主な仕様を**表1**に示す。この装置の特徴は以下のとおりである。

(1) この装置は1,000 MW石炭火力用排ガスを全量処理するもので，国内最大容量のプラントである。

(2) 吸収塔内のスラリータンク部に直接空気を吹き込むことにより，脱硫と同時に酸化も行うインテリジェント型脱硫方式[1]を採用している。さらに，脱硫排水中のCOD(化学的酸素要求量)起因物質であるジチオン酸の生成を低減できることから，排水処理装置での難処理性COD除去設備が不要となる。

(3) 脱硫装置の吸収塔出口ガスの再加熱方式として，未処理ガスのリークがなく，運転動力の不要なヒートパイプ式ガス-ガスヒータ(以下，GGHと言う。)を採用した。

図1 新地発電所1号機用脱硫装置
正面に見えるのが吸収塔である。

表1 1,000 MW用脱硫装置の仕様
脱硫と酸化を同時に行うインテリジェント方式，ノンリークタイプのヒートパイプ式ガス-ガスヒータを採用した。

項目		仕様
計画条件	処理・ガス量	3,440,000 m^3N/h
	入口・出口 SO_2濃度	948/100 ppm
	脱硫率	90 %
	入口・出口ばいじん濃度	100/25 mg/m^3N
設備仕様	脱硫方式	スート分離インテリジェント方式
	吸収塔	スプレー塔×2基
	脱硫通風機	動翼可変軸流ファン×2台
	ガス-ガスヒータ	ヒートパイプ×2基

(4) 運転制御装置として，CRTオペレーション方式と排水処理装置，灰処理装置なども含めた運転データ処理機能を持つ運転支援システムを組み込んだ計算機制御を採用した。

試運転中に実施した性能試験の結果，脱硫性能，除じん性能，排水性状などの計画性能をすべて満足した良好な結果が得られた。

また，脱硫装置の副生石こうの性状は石こうボードとして再利用可能な良質な石こうが回収できることを確認した。この性状を**表2**に示す。

2.2 脱硫装置の新技術

今後ますます重要になる環境保全技術に対する要求にこたえるため，**5**章で述べるとおり脱硫装置，電気集じん装置を含めた新しい総合的な排煙処理システムを開発している。脱硫装置自体でも効率の向上，システムの簡素化と設備のコンパクト化，およびユーティリティの低減を目的として，次のような新技術の開発を行っている。

(1) 吸収塔の大容量化とコンパクト化

発電設備の大容量化に伴い，脱硫装置でも大容量の排ガスをコンパクトな設備で処理する必要性が高まっている。このため，シミュレーション，モデル試験による吸収塔内のガスフローの解析，およびスプレー方式の改良によって1,000 MW火力用ボイラの排ガスを1塔で処理

表2 副生石こうの組成分析結果
副生石こうは，セメント用はもとより石こうボード用としても使用可能である。

項目	組成
純度(乾き基準)	98.5 %
$CaCO_3$	0.8 %
$CaSO_3 \cdot 1/2H_2O$	0.1 %以下
含水率	3.9 %

できる吸収塔を開発した。

(2)　多種燃料への対応

発電プラントでは燃料の多様化が進められており，これに対応した最適脱硫装置の開発にいち早く取り組み，重油，石炭はもとより，COM(Coal-Oil-Mixture：混炭重油)，石油コークス燃焼排ガス用脱硫装置も納入している。さらに，これらの多くの運転実績を踏まえ，現在，オリマルジョン燃焼排ガス用脱硫装置を建設しており，平成6年12月には営業運転を開始する予定である。

(3)　脱硫装置の排水量低減による省用水

従来，石炭火力用脱硫装置では，系内のCl濃度を約10,000 ppmに抑えるよう，脱硫系内の保有水の一部を排水として排出している。この排水量は1,000 MW石炭火力用脱硫装置では約40 t/hにもなり，排水量の低減は排水処理装置の軽減だけでなく省用水の面でも大きな効果が図れることになる。

このシステムを低排水インテリジェント方式と名づけて研究開発を行い，系内Cl濃度の増加による脱硫性能，酸化性能への影響に対する対応技術を確立した。また各種金属材料，ライニング材について腐食特性を確認し，使用条件に応じた最適材料の選定方法を確立した[2]。

この技術を，技術提携先である英国のBabcock Energy社が受注した英国National Power社Drax発電所用660 MW石炭火力用脱硫装置6基に適用した。

このプラントは1，2号機が1994年1月に営業運転を開始し，引き続き3号機から6号機が建設され試運転中である。計画条件を**表3**に示す。系内Cl濃度40,000 ppmの設計であり，運転結果も脱硫性能，酸化性能とも計画値を満足した良好な結果が得られ，低排水インテリジェント脱硫技術を実証できた。

表3　英国National Power社Drax発電所用脱硫装置の主な計画条件

脱硫系内のCl濃度を40,000 ppmとし，低排水インテリジェント脱硫技術を実証できた。

項　目	計画値
発電容量×基数	660 MW×6基
処理ガス量	2,534,000 m³N/h
入口・出口 SO_2濃度	1,546/154 ppm
脱硫率	90 %以上
系内Cl濃度	40,000 ppm

3　脱硝装置

3.1　1,000 MW用脱硝装置の計画と運転実績

新地発電所1号機用脱硝装置の外観を**図2**に，主な仕様を**表4**に示す。

この脱硝装置は石炭燃焼1,000 MW用高ダスト方式(低温電気集じん装置との組み合わせ)としては最初のものであるが，脱硝率は初期予想値を上回る結果が得られており，経時的にも問題ないものと考えている。試運転時のモル比〔$(NH_3)/(NOx)$〕の特徴を**図3**に示す。

また，後流機器への影響(空気予熱器の閉そく等)を考慮し，リークNH_3を低い条件で計画しているが，予想値を下回る良好な結果となっている。動特性の実績を**図4**

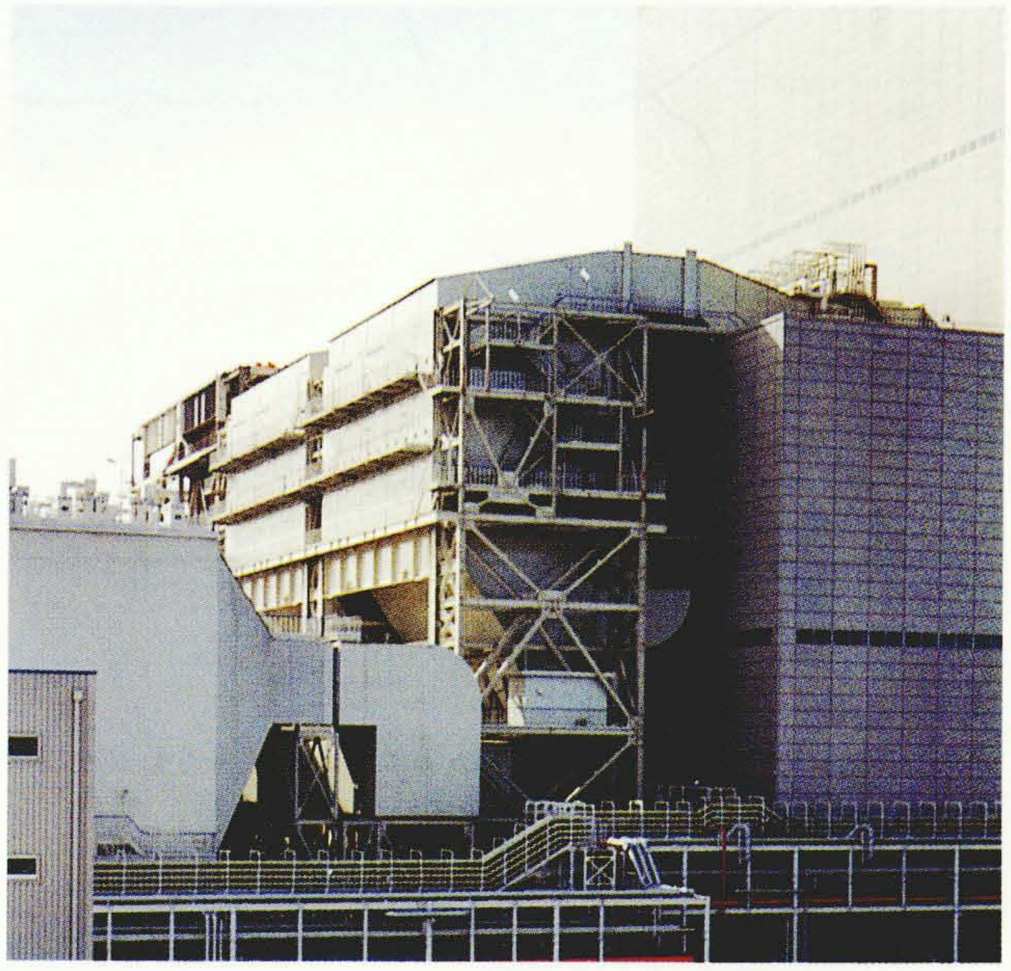
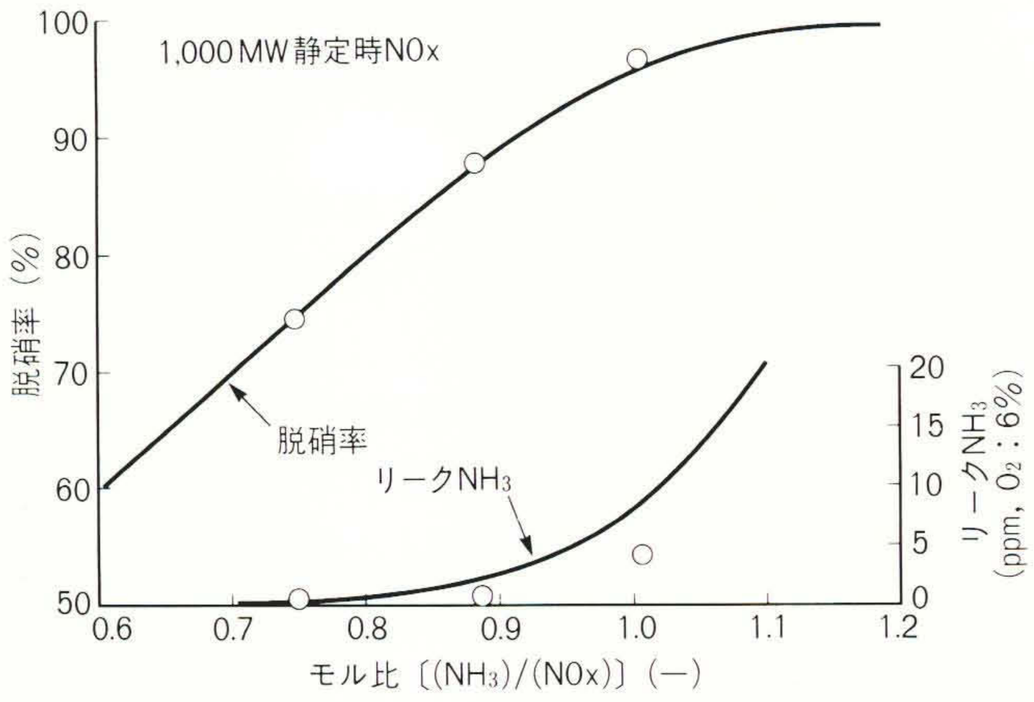


図2　新地発電所1号機用脱硝装置
石炭燃焼高ダスト方式の，わが国初の1,000 MW脱硝装置である。

表4　1,000 MW用脱硝装置の仕様
主な計画条件と設備仕様を示す。

項目			仕様
計画条件	処理ガス量		3,140,000 m³N/h
	ガス温度		370 ℃
	入口・出口NOx濃度		300/60 ppm
	脱硝率		80 %
設備仕様	方式		乾式アンモニア接触還元法 高ダスト方式
	反応器	数量	2基
		形式	垂直流固定床式
	触媒	形状	板状
		寸法	公称6 mmピッチ
		成分	酸化チタン系



注：—（計画値），○（実測値）

図3　モル比と脱硝率およびリークNH$_3$との関係
初期の予想性能を満足する結果が得られた。

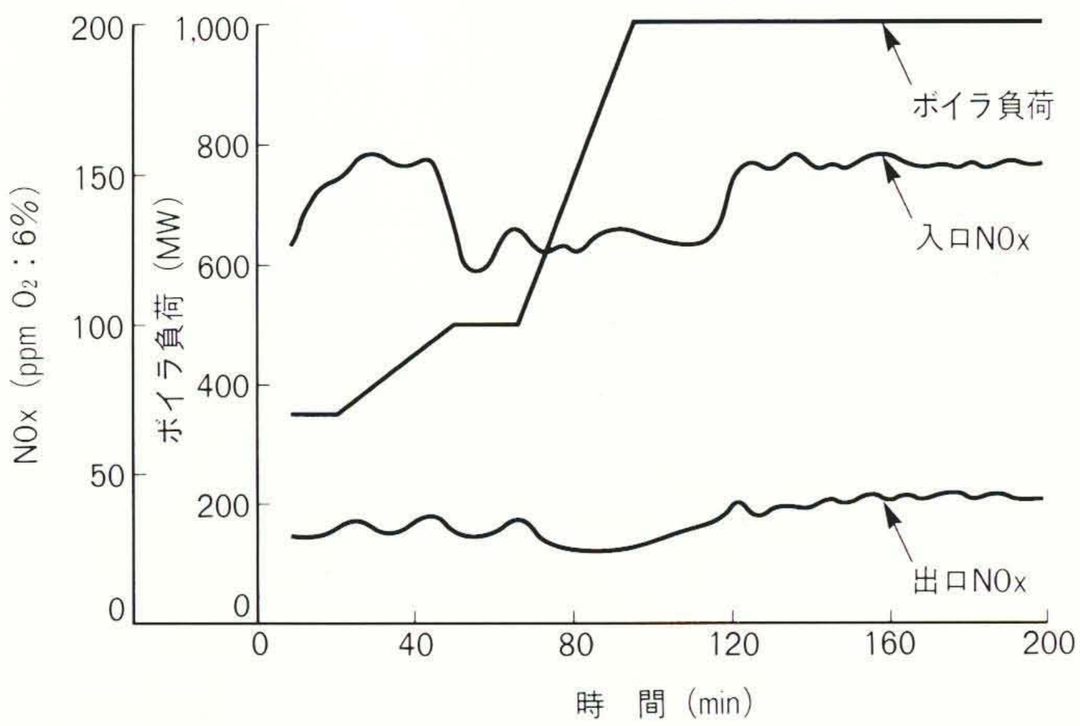


図4　脱硝出口のNOx特性
入口NOx値の変動に対し，出口NOx値は設定値に対する変動幅が小さく，計画の60 ppm以下を十分満足している。

に示す。入口NOx(窒素酸化物)値の変動に対し，出口NOx値は60 ppm以下に収まっている。また，各種石炭性状，入口NOx値の変動条件に対しても，出口NOx値は60 ppm以下に収まっており，計画値を十分満足する特性であることを確認した。

3.2　脱硝装置の今後の動向

電力需給は年々増大してきており，この対応として新規火力の建設が計画されているが，NOx排出量を可能な限り低減する必要がある。ボイラ燃焼技術の改善によっていっそうのNOx低減が図られているが，脱硝装置についても，今後は高効率化の方向に進むものと予想される。

また，燃料多様化の動きの一つとして，新種燃料対応が進められてきているが，この排ガスに対するNOx除去のニーズも高くなってくると予想され，それらに対する脱硝装置の開発にも取り組んでいる。

4　電気集じん装置

4.1　1,000 MW用電気集じん装置の計画と運転実績

石炭燃焼ボイラ用の電気集じん装置の集じん性能は捕集ダストの電気抵抗率ρに大きく左右され，電気抵抗率が高い領域($\rho > 10^{12}\,\Omega$-cm)では高抵抗障害や逆電離現象が発生して，安定した高性能集じんが困難になる。

この対策の一環として，MEEP(Moving Electrode Type Electric Precipitator：移動電極型電気集じん装置)を開発し納入してきた。このMEEPの構造を**図5**に示す。MEEPはクリーンな集じん極が常に集じん領域に送り込まれるため，高抵抗障害や逆電離現象を抑制し，高性能を発揮する。

MEEPは，事業用火力向けでは中国電力株式会社納め水島発電所1号機用，2号機用，および北陸電力株式会社敦賀発電所1号機用に続き，4基目として新地発電所1号機用に納入した。その外観を**図6**に，主な仕様を**表5**に示す。

MEEPも性能向上，信頼性向上および保守性向上さらに大型化への対応を図ってきているが，新地発電所1号

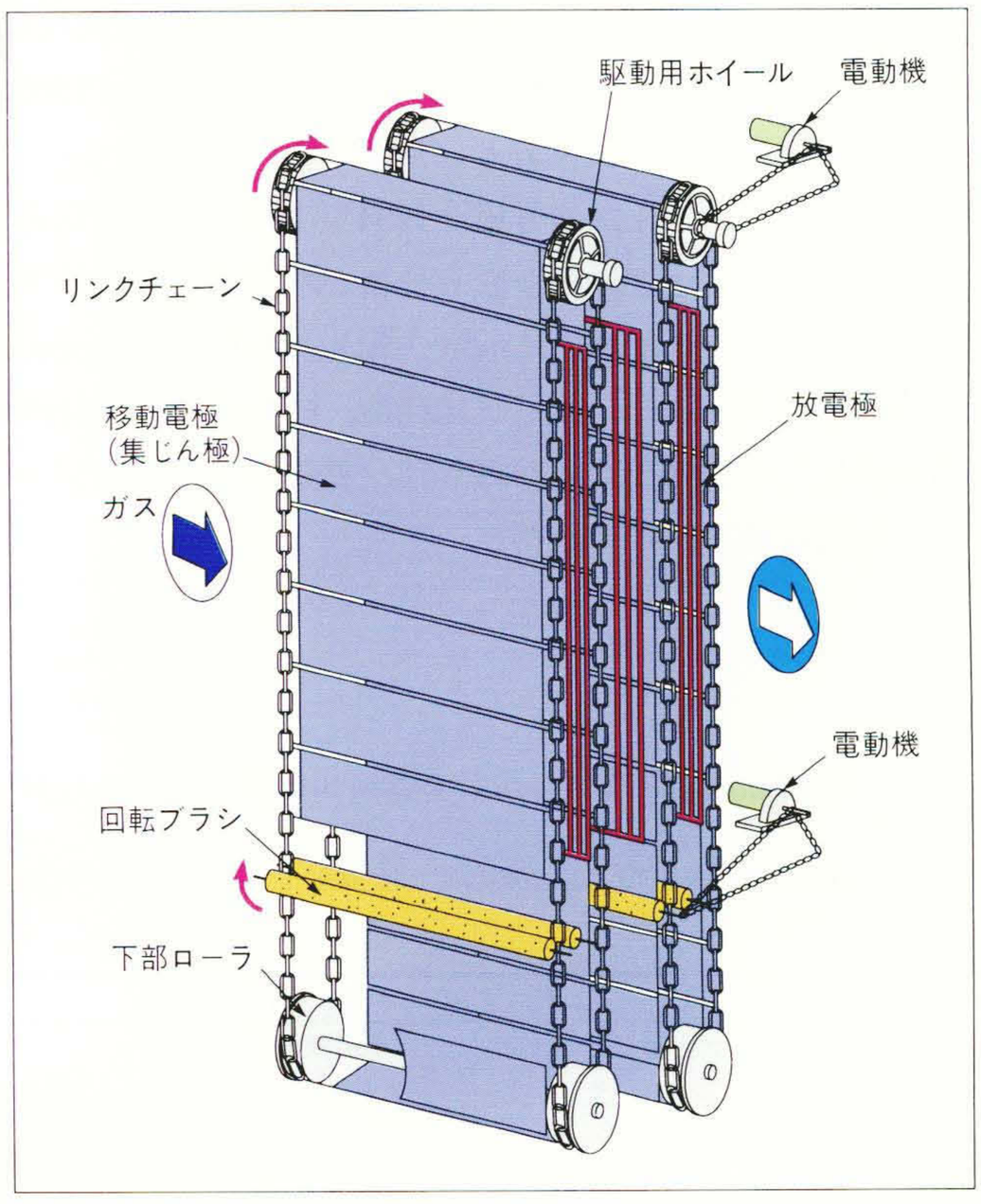


図5　MEEPの移動部構造
短冊状の集じん極エレメントがリンクチェーンに連結され，上部の駆動用ホイールによって低速で移動・回転する。集じん極に補集されたダストは，非集じん域にあるブラシにより，ホッパへかき落とされる。

図6　新地発電所1号機用電気集じん装置
MEEPの採用により，高性能で安定した集じんが可能である。

表5　1,000 MW用電気集じん装置の仕様
電気集じん装置の主な計画条件を示す。多様の海外炭に対応するため移動電極型を用いている。

項目		仕様
計画条件	処理ガス量	2,998,500 m³N/h
	ガス温度	135 ℃
	入口・出口ダスト濃度	14.4/0.1 g/m³N
	集じん率	99.31 %
方式		移動電極型

機用は平成6年7月の運開以後，計画条件を十分に満足する性能が得られている。

4.2　パルス荷電方式[3)]

逆電離現象の対応策の一つとして，パルス荷電方式を開発し，すでに産業用の540 t/hボイラ用で運転を開始し，高抵抗ダスト用として有効な荷電方式であることを実証した。パルス荷電が有効なのは，

(1)　急峻(しゅん)なパルスで，パルス発生時だけ有効な放電を行う。

(2)　コロナ放電電流分布が均一になる。

(3)　高いピーク荷電電圧が得られる。

からである。

パルス荷電方式は既設電気集じん装置の性能向上対策として，電気集じん装置内部を改造することなく実現できる方式である。さらに，従来の前段に固定電極を，後段に移動電極を配した電気集じん装置の固定電極部にパルス荷電を用いた方式を開発している。高抵抗ダストに対する各種電気集じん装置の適用範囲を**図7**に示す。

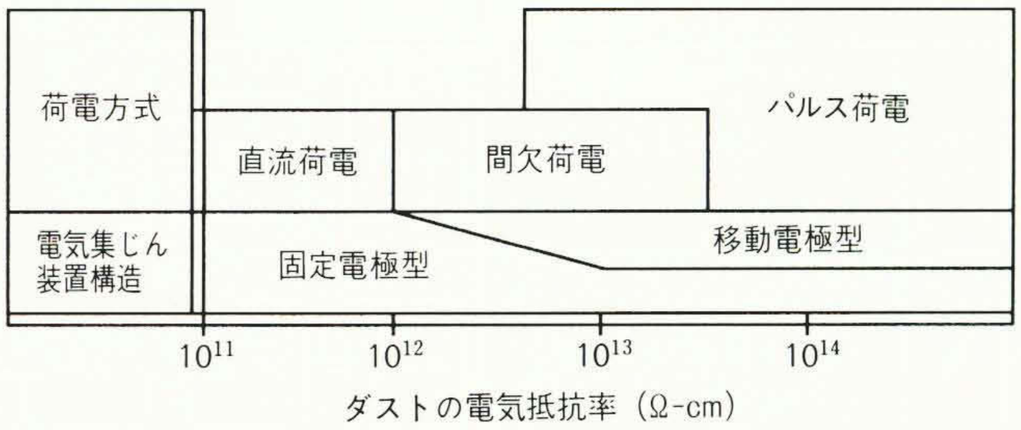


図7　高抵抗ダストへの各種電気集じん装置の適用
ダストの電気抵抗率が5×10¹² Ω-cm以上では，パルス荷電方式と移動電極型を組み合わせた方式が最適である。

5　総合排煙処理システム

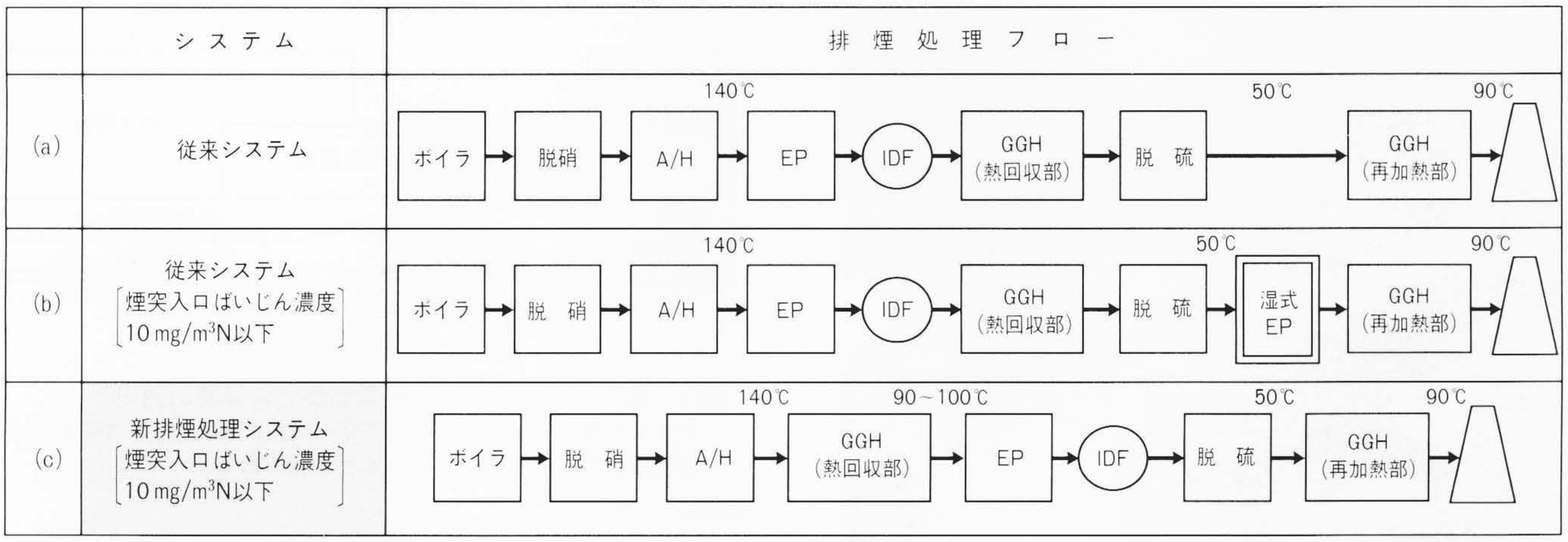
今後の石炭火力用排煙処理システムに対しては，特に経済的な低ばいじん化システムの開発が強く求められている。従来の排煙処理システムの構成例を**図8**(a)に示す。低ばいじん化を図るため，脱硫装置での除じん効率の向上，ノンリークタイプのGGHの採用など対応策を実施しているが，基本的には電気集じん装置のサイズを大きくし，集じん効率を高くする必要がある。

さらに，煙突入口ばいじん濃度を10 mg/m³N以下に低減しなければならない場合には，同図(b)に示すように，脱硫装置後流に湿式電気集じん装置を設置する必要がある。

湿式電気集じん装置は，高性能ではあるがコストが高いこと，スペースが大きいこと，排水処理装置を必要とすることなどの問題点がある。このため，**図8**(c)に示すように，湿式電気集じん装置を設置せずに低ばいじん化を図る高度排煙処理システムを開発している。

このシステムでは，GGH熱回収部を電気集じん装置の前流側に配置し，排ガス温度を90～100 ℃に低下させることにより，ダストの電気抵抗率を低くし，集じん性能を高めるものである。**図9**に示すように，電気集じん装置出口ばいじん濃度を一定にする場合，電気集じん装置容量は大幅に低減できる。この結果，電気集じん装置を大容量化することなく，かつ湿式電気集じん装置を設置せずに低ばいじん化が図られる。低温電気集じん装置でのダスト再飛散に対しては，**4**章で述べたMEEPを適用することによって防止できる。

また，GGH熱回収部を高ばいじん領域に設置するため，伝熱面が常に乾燥状態に維持できるので，腐食条件



注：略語説明 EP(電気集じん装置)，IDF(誘引通風機)，GGH(ヒートパイプ式ガス-ガスヒータ)

図8 排煙処理システムの構成 GGHを電気集じん装置の前流側に設置することにより，湿式電気集じん装置が省略できる。

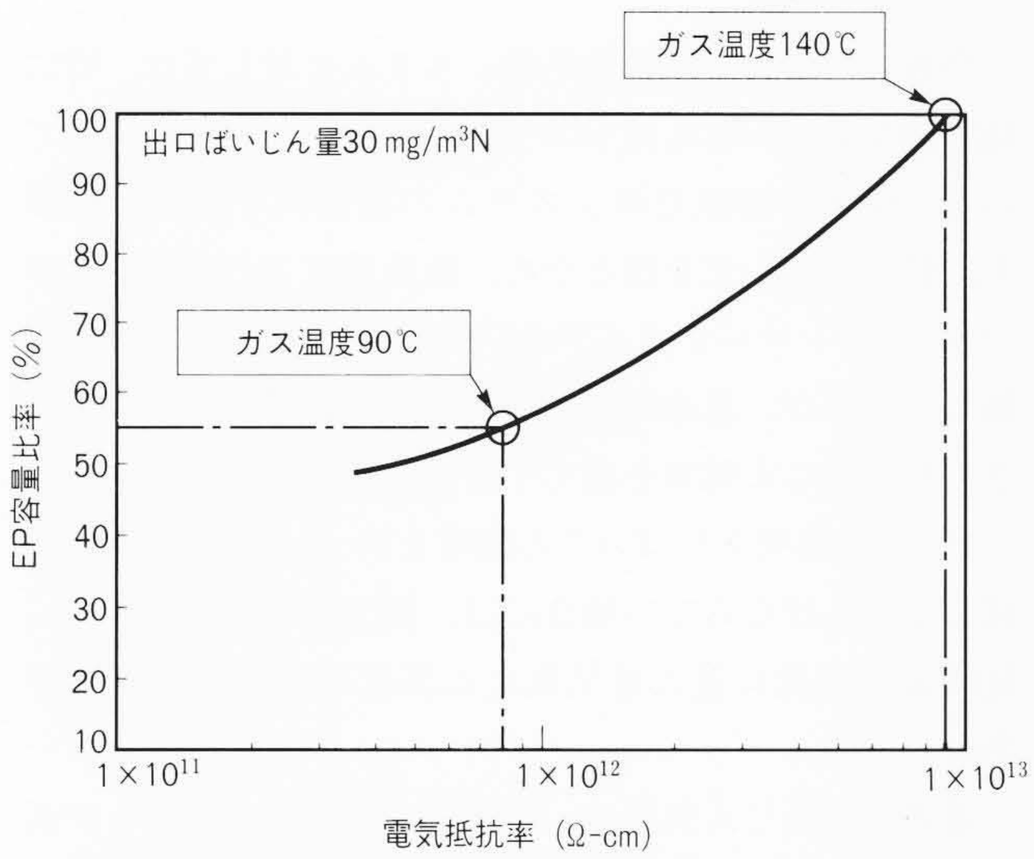


図9 電気抵抗率と電気集じん装置容量比率の関係
電気集じん装置の低温化によってダストの電気抵抗率が下がり，電気集じん装置をコンパクトにすることができる。

は緩和される。それとは裏腹に，ばいじん量の増大や再飛散ダストを極力低減させるためには，連続的なダスト除去を行う必要があり，かつて石炭燃焼ボイラに用いられた鋼球落下式によるダスト除去技術の改良を行った。

これらの新排煙処理システムについては，現在実機ガスを用いたパイロットプラントによってその最適化を図っており，今後の石炭燃焼ボイラ排ガス処理にその技術の適用が可能である。

6 おわりに

石炭火力発電設備全体の中で，排煙処理システムの占める比重はかなり大きく，したがって，計画の段階から慎重な検討が行われるとともに，経済性の追求が厳しく要求されている。今後も技術改良，新技術の開発に取り組むとともに，海外からの機器調達なども考慮して，よりいっそうのコスト低減に努めたい。

終わりに，技術開発などにご指導，ご協力をいただいた電力会社の関係各位に対して深く感謝する。

参考文献

1) 蛭田，外：排煙脱硫技術，火力原子力発電，Vol. 44，No. 10，62～64(1993)
2) 野澤，外：多様なニーズに対応する排煙脱硫・脱硝の新技術，日立評論，**74**，11，819～824(平4-11)
3) 大浦，外：逆コロナ対策型電気集塵装置，静電気学会誌，Vol. 14，No. 6，451～458(1990)