

石炭火力発電プラント用排ガス処理システム

Flue Gas Treatment System for Coal Fired Thermal Power Plant

石炭資源を今後の中・長期石油代替エネルギーとして、安定かつ多量に使用してゆくためには、その前提となる万全な環境保全技術の早期開発が望まれている。

石炭火力は重油火力に比べて、より多くの環境問題を抱えているが、その中でも排ガス処理が灰処理と並んで重要な問題である。

石炭中には多量の灰分が含まれており、N分も比較的多く、また炭種によりS分も相当あり、このためボイラ排ガス中にはダスト、NO_x及びSO_xが含まれており、総合的な排ガス処理システムが必要とされる。

ここでは、石炭火力を対象とした環境システムのうち、排ガス処理システムについて、その問題点と開発状況の概要を述べる。

大森昌雄* Masao Oomori

森 明* Akira Mori

1 緒 言

石炭火力用排ガス処理システムは、集塵、脱硝及び脱硫の各要素技術によって構成される。

これらの各要素技術は、重油火力などで既に技術開発が行なわれているが、石炭火力では、排ガス性状が石炭銘柄により大幅に変動することや、多量に含まれるダストにどう対応するのか、各設備でのダスト捕集割合をどう考えるのかなど、石炭火力特有の問題点がある。また、各要素技術相互間の関連をどのように調整し、どのようなシステム構成にすれば全体的に最も有効に機能するかを総合的に検討する必要がある。

日立グループでも各種パイロットプラントによる技術開発、実規模プラントによる実証テストなどを精力的に推進し、最近の厳しい環境ニーズに対応できるような高性能・高信頼性システムの開発に努めている。

以下に使用石炭の性状と排ガス性状、排ガス処理システムの構成例、システムから考えた各要素技術の問題点と開発状況などの概要について述べる。

なお各要素技術の詳細については、本特集号中のそれぞれの論文を参照されたい。

2 石炭性状と排ガス・ダスト性状

2.1 石炭性状

石炭と重油の性状比較を表1に示す。

石炭性状の特徴は表1に示すように、重油と比べて灰分が極めて多く、N(窒素)分、S(硫黄)分も多い点にある。

表1 石炭の一般性状例 重油に比較して石炭は灰分が極めて多く、N分、S分も多い。

組 成	石 炭	重 油
C	60～70wt%	85wt%
H	5wt%	13wt%
N	1.5wt%	0.05wt%
S	1.0wt%	0.5wt%
O	10wt%	0.5wt%
灰 分	15wt%	0.01wt%
発 熱 量	6,000～7,000kcal/kg	10,000kcal/kg

2.2 排ガス・ダスト性状と処理技術

2.2.1 排ガス性状

石炭排ガス性状は表2に示すとおりで、主な特徴とその処理システム上の考慮事項は次に述べるとおりである。

(1) NO_x(窒素酸化物)及びSO_x(硫黄酸化物)濃度が高く、脱硝及び脱硫装置を必要とする。

(2) Cl(塩素)分、F(フッ素)分が含まれており、脱硫性能への影響及び脱硫排水処理について検討を要する。

2.2.2 ダスト性状

表3にダスト性状例を示す。石炭燃焼ダストは、重油燃焼ダストに比較すると、次に述べるような特徴及びその処理システム上考慮すべき事項をもっている。

(1) ダスト濃度が高く、高性能集塵装置を必要とする。

表2 排ガス組成例 重油燃焼排ガスに比較して石炭燃焼排ガスはNO_x、SO_x濃度が高く、また脱硫性能に影響を及ぼすCl、Fが含まれている。

	石 炭	重 油
SO _x	1,000ppm	1,000ppm
NO _x	200ppm	100ppm
Cl	10～40ppm	< 2 ppm
F	5～30ppm	< 3 ppm

表3 石炭火力及び重油火力ダスト性状例 重油燃焼ダストに比較して石炭燃焼ダストはダスト濃度が高く、電気抵抗率が高い。

		石炭燃焼ダスト	重油燃焼ダスト
ダ ス ト 濃 度		15～25g/Nm ³	0.05～0.2g/Nm ³
平 均 粒 径		20～30μm	1～5μm
電 気 抵 抗 率		10 ¹¹ ～10 ¹² Ω-cm	10 ³ ～5Ω-cm
見 掛 比 重 (－)		0.7～0.8	0.1～0.2
再 飛 散 性		小	大
組 成	SiO ₂	50～55wt %	15～20wt %
	Al ₂ O ₃	25～30wt %	—
	SO ₃	0.3～0.7wt %	25～35wt %
	C	0.3～3.0wt %	50～60wt %

* 日立製作所電力事業本部

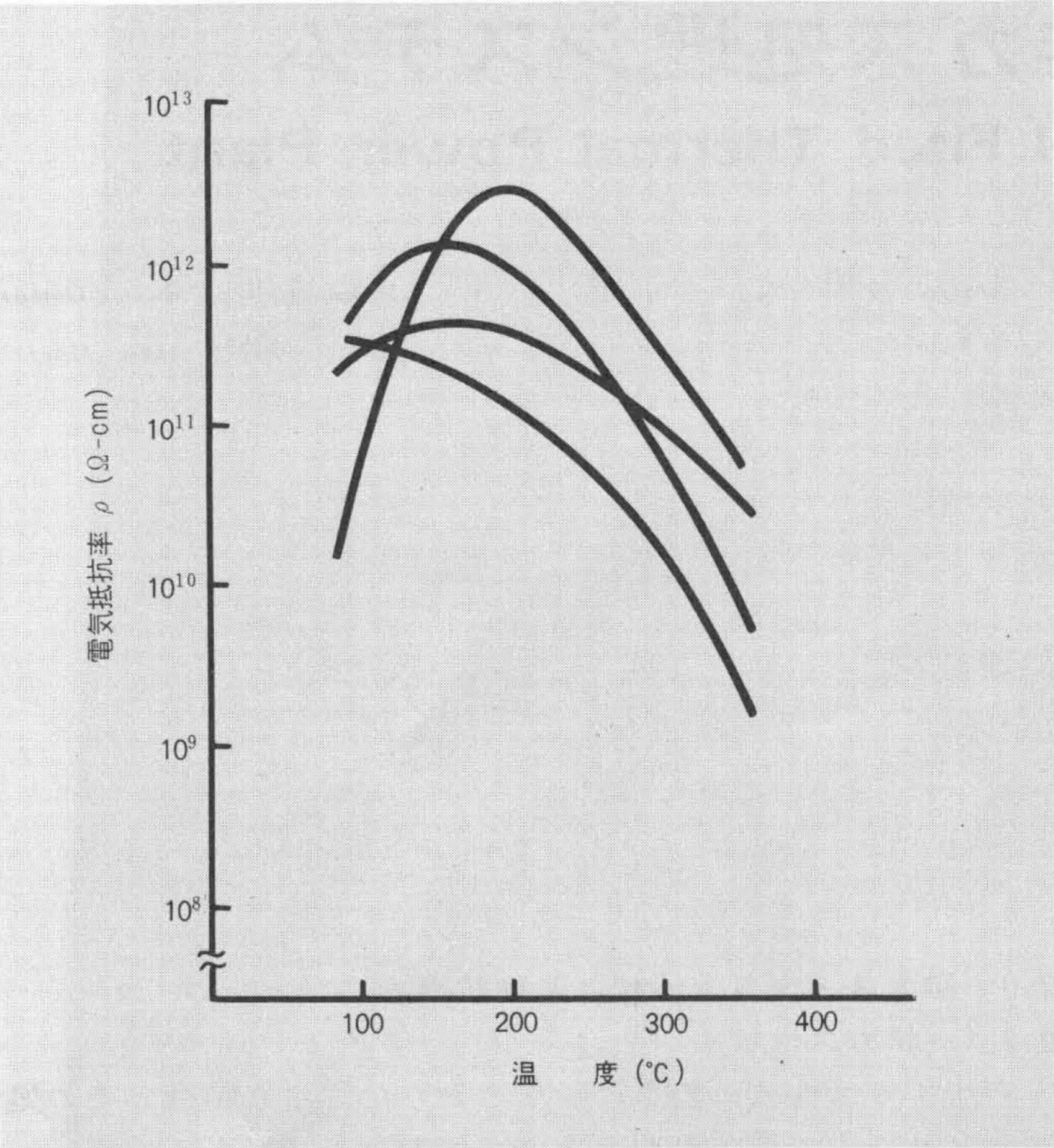


図1 石炭燃焼ダストの電気抵抗率 ダスト電気抵抗率ρは、炭種により異なる。

(2) ダスト電気抵抗率ρが比較的高く、しかも炭種により大幅に異なる(図1参照)。したがって、炭種と集塵特性との関係を把握することが重要であり、その炭種に最適な集塵技術を選定する必要がある。

3 総合排ガス処理システム

将来技術も含めた代表的な排ガス処理システムの構成例を図2に示す。

3.1 システムとしての考慮事項

(1) 高性能化

石炭の灰分は、約15%がボイラ火炉底部からクリンカとして排出され、残り約85%がダスト(フライアッシュ)として排ガスとともにボイラから排出される。煙突出口ダスト濃度を低くするため、EP(電気式集塵装置)と脱硫との組合せによる脱塵方式としており、約10mg/Nm³程度まで低減できる。EPの性能は炭種による影響を受けるので、捕集困難な炭種の場合は炭種の混合、ダスト調質、高温EPなど各方式を比較検討し、石炭性状に適応したシステムとなるよう考慮している。煙突出口ダスト濃度を更に低減する場合は、湿式EPを脱硫出口に設置することを検討している。

NO_xについては、高効率、経済性も考慮して、ボイラ燃焼対策でできるだけ濃度を下げてから脱硝処理を行なう方式としている。ボイラ燃焼による低NO_x化については、フライアッシュ有効利用の面から、ダスト中の未燃分を増加させないように考慮している。

SO_xについては、排ガス中に含まれるF、Clなどの脱硫性能妨害因子をあらかじめ冷却塔で除去(スート分離方式)し、ガス-ガスヒータでのガスリークを最小にすることにより、高効率を発揮できるように考慮している。スート分離方式の採用により副生石こうへのダスト混入を少なくし、石こう品位の低下も防止している。

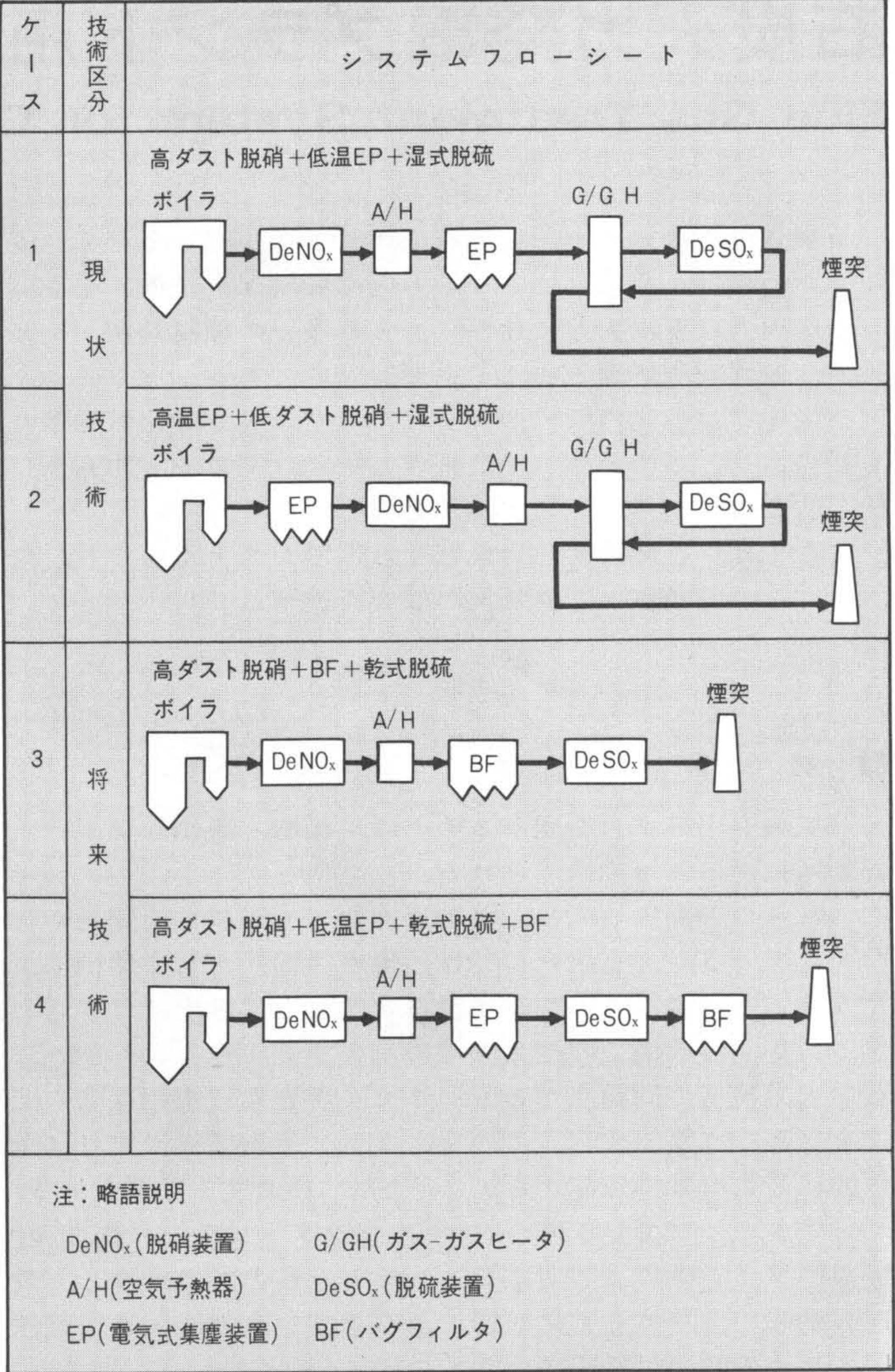


図2 石炭火力用排ガス処理システム例 ケース1, 2は現在技術でのシステムを、ケース3, 4は将来技術を含むシステムを示す。

(2) 信頼性

ボイラプラント安定連続運転のためには、空気予熱器の酸性硫安による閉塞を防止することが肝要で、脱硝リークNH₃(アンモニア)の低減、SO₂(二酸化硫黄)の酸化率が低い触媒を採用、空気予熱器エレメント形状の改良、空気予熱器出入口スートブローなどの対策を考慮している。脱硝リークNH₃は、空気予熱器閉塞のほかに、フライアッシュ及び脱硫排水中への混入、ダスト量の増加などの問題があると考えられ、その挙動解明にシステム全体として取り組んでいる。

脱硫入口ガス-ガスヒータについては、材質、構造、ミストエリミネータの強化などにより、ダスト付着、腐食を防止している。

誘引通風機はEP出口側に、脱硫ファンは脱硫入口側にそれぞれ設置することにより、ダストによる摩耗、腐食を防止してシステム全体の信頼性向上を考慮している。

(3) 経済性

システム全体のコストを低減するため、空気予熱器のエアリーク低減、ボイラ排ガス温度の最適化、EPと脱硫装置の適切な脱塵機能の分担、ボイラ燃焼対策と脱硝との組合せによる低NO_x化などを考慮している。

脱硫装置についてもガス-ガスヒータの採用、低圧損形吸収塔の採用などにより、コストの低減を図っている。

表 4 排ガス処理システムの技術比較例 使用炭種などに応じて、最適なシステムを選定する必要がある。

項 目		ケース1	ケース2
シ ス テ ム	構 成		
	配置(スペース)	ベース(100)	大(130)
E P	1. 処理ガス量	ベース(100)	大(190)
	2. EP大きさ	ベース(100)	大(150)
	3. 炭種変動への適応性	ベース	大
	4. フライアッシュ流動性	ベース	大
	5. フライアッシュ品質	硫安化合物が若干混入。	硫安化合物は混入せず。
脱 硝	1. 脱硝大きさ	ベース	ほぼ同じ
	2. 触媒の耐久性	高濃度ダストによる摩耗に対する配慮が必要。 (反応器構造, 触媒エレメントの適正ピッチ選定など)	ダストによる摩耗がほとんどない。
	3. 硫安生成対策	低SO ₂ 酸化触媒の採用, 流出NH ₃ の低減	ほぼ同じ
脱硫		ベース	技術的に同じ
ボ イ ラ プ ラ ン ト	1. ダクトワーク	ベース	やや複雑
	2. ボイラ熱効率	ベース	高温EPでのヒートロスにより効率低下
	3. GRF	MC設置しても摩耗量が多く, メンテナンスコスト大	摩耗が少なく, メンテナンスコスト小
	4. 排ガス混合ダクトへの 灰堆積	ベース	排ガス混合後の二次風道, ウインドボックスでの灰堆積小

注：略語説明 GRF(ガス再循環ファン)，MC(マルチサイクロン)

3.2 システムの技術比較

現状技術での代表的なシステムである低温EPシステムと高温EPシステム(図2でのケース1とケース2)についての技術比較例を表4に、また配置例を図3に示す(容量700MW、使用石炭発熱量6,300~6,900kcal/kg、灰分12~20%、S分0.6%、N分2%の石炭火力を想定)。

この想定例の場合、石炭灰分から推定されるダスト ρ は比

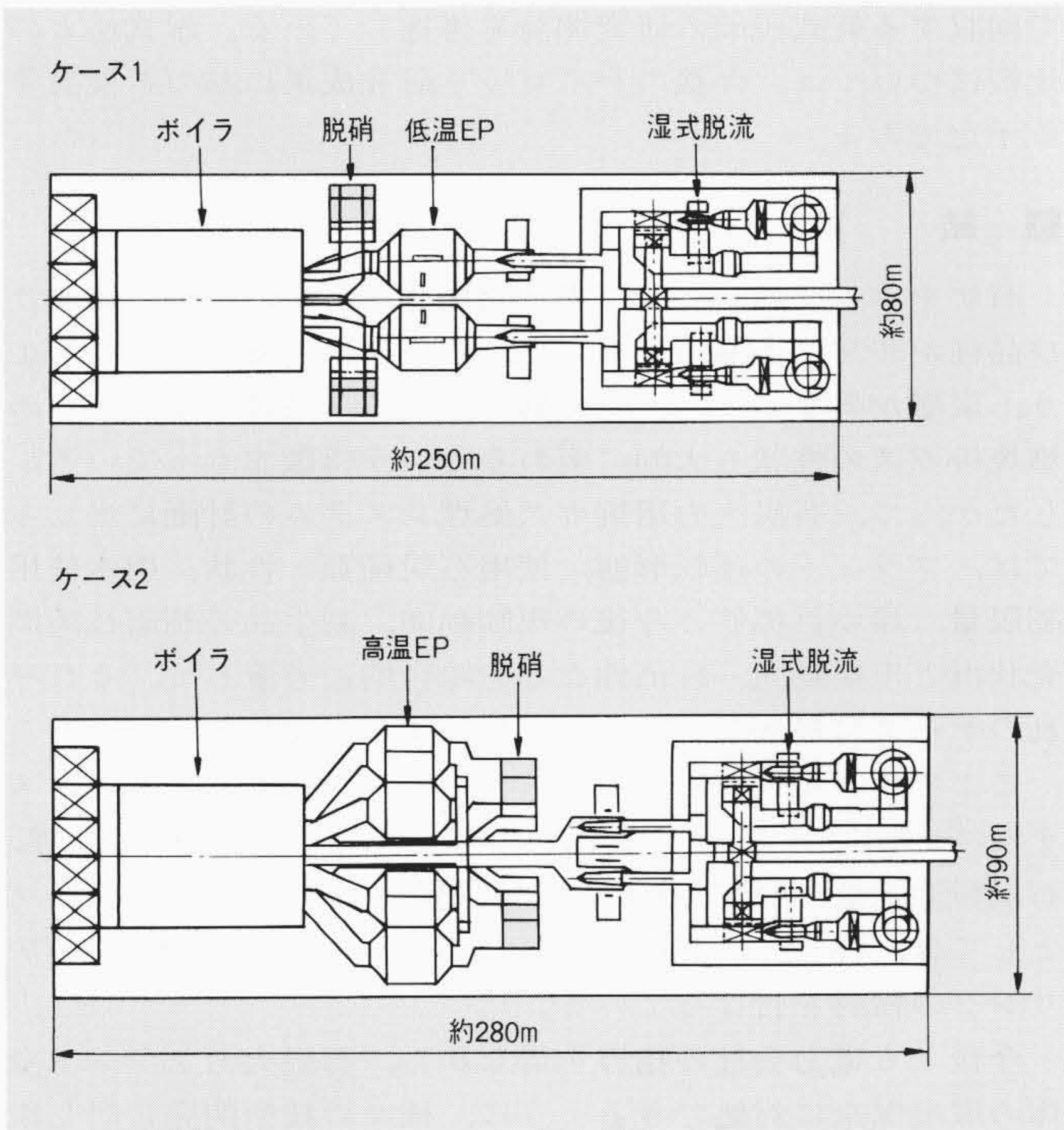


図 3 全体配置比較例 容量700MW級の配置案の一例を示した。

較的低く、低温EPでも計画性能を満足でき、EP寸法も低温のほうが高温よりも小さくなっている。脱硝、脱硫はケース1、2ともほぼ同じ性能、大きさとなり、総合的な経済性はケース1のほうが優れているという結果になっている。

ケース1は、高ダスト脱硝の信頼度がかぎとなってくるが、最も重要なポイントである触媒の摩耗は、本特集号別論文「石炭火力の脱硝及び脱硫技術」に詳細な説明があるが、実ガステスト及び工場での過酷テストでも問題のないことが確認されており、十分信頼性のあるシステムと言えよう。ただ燃料石炭の中には、低温EPで捕集しにくいフライアッシュとなるものもあり、炭種に制約があることに留意する必要がある。

ケース2は、比較的幅広い炭種に対応でき、実証されたシステムである。ケース2での重要な問題は、高温EPからの熱損失があり、このためボイラ効率が低下し、ランニングコストが高くなる点である。したがって、排ガス処理システムとして、どちらのシステムにするかについては、使用炭種の性状を勘案して最適なシステムを選定する必要がある。

3.3 新技術の開発

排ガス処理システム全体の性能向上、用排水の低減、経済性の追求を目指して、図2のケース3、4に示すような新技術の開発を推進している。主なものは超低NO_x燃焼技術、高性能EP(パルス荷電方式, 移動電極方式), 静電バグフィルタ, 乾式硫黄回収式脱硫装置などである。

4 システムからみた各要素技術の問題点と開発状況

4.1 集塵技術

(1) 低温電気式集塵装置

EPは高性能で低ランニングコストという特長をもっており、今後も石炭火力用集塵装置の主流をなすものと考えられる。石炭ダストは ρ が高く、本特集号別論文「石炭火力発電所用集塵装置」に詳細な説明があるが、集塵特性が炭種によって

異なるので、EPの設計に当たっては石炭性状と集塵特性との関係を十分把握し、炭種に適応した計画を立てる必要がある。

ダスト ρ が高く、低温EPの正常集塵領域から外れるような場合には、使用石炭の混炭によりダスト ρ を適切なレベルまで下げるなどの貯炭管理及び運用面での検討も行なわれている。

(2) 高温EP

ダスト ρ は、一般に150～200℃以上では温度の上昇に伴い低下する(図1参照)。したがって、低温サイドではダスト ρ が高く、逆電離発生域に入る場合の対策の一つとして高温EP(ボイラ空気予熱器上流に設置する。)が有効である。

高温EPは比較的幅広い炭種に適用でき、脱硝でのダスト問題を軽減するなどの利点があるが、反面処理ガス量が大きいためEP寸法が大きく、炭種によっては ρ が低下せず逆電離が解消しないこと、あるいはボイラ負荷変動によりガス温度が低下したときに ρ が正常集塵領域から外れる場合があること、EP及びダクトからの熱損失によりボイラ効率が低下するなどの問題点がある。したがって、その適用に当たっては石炭性状を十分吟味し、排ガス処理システム上の所要計画性能が得られるかどうかを検討する必要がある。

(3) ダスト調質

H₂SO₄(硫酸)やSO₃(無水硫酸)を排ガス中に注入し、ダスト ρ を下げ、性能向上を図る調質法は既に石炭火力用EPに採用され、更にTEA(トリエチルアミン)、NH₃(アンモニア)などの注入がテストされており、炭種によっては著しい効果があることが認められている。

使用石炭の混炭、高温EPなどの高ダスト ρ 対策の採用が困難な場合には、調質付EPが比較的簡便であるが、ランニングコスト、調質剤の後流側への影響などについて検討をする必要がある。

(4) バグフィルタ

バグフィルタは炭種による影響をほとんど受けず、高効率を得やすいことから、米国では石炭火力用集塵装置として見直されており、現在約50～60基のバグフィルタが運転あるいは計画されている。

バグフィルタは炭種に左右されないメリットがある反面、通風損失が大きい(約100～200mmAq)、設置スペースが大きい、汙布の寿命に対する信頼性が現状では乏しい(米国の実績では約0.5～3年)などの欠点がある。

しかし、将来大気中の粉塵に対する環境規制の強化などが実施された場合、その対応技術としてのバグフィルタの期待は大きく、この面での研究開発を行なう必要がある。そのために、日立グループではバグフィルタの石炭火力への適応について検討を進め、その一環としてパイロットテストを計画しており、この開発結果、米国などでの実績などを基にEPとバグフィルタの選定基準を明確にしてゆきたいと考えている。

4.2 脱硝技術

(1) 低NO_x燃焼

燃焼面での低NO_x化対策で考慮すべき点は、低NO_x対策の実施に伴いダスト中の未燃分が増加することである。この未燃分増加はフライアッシュの品質低下や、微量ではあるがダスト量の増加などにつながり、排煙処理システムの設計に重要な影響を及ぼす因子となるので、十分な研究により、適切な対策を行なわねばならない。

(2) 脱硝技術

石炭火力用脱硝装置は、排ガス中のダスト濃度が高いので、ダスト堆積や触媒の摩耗・劣化などについて対策を行なう必

要がある。ダスト対策については、ダストを除去する方法(高温EP設置)か、触媒の形状や強度の選定によるものとの2方法がある。本特集号別論文「石炭火力の脱硝及び脱硫技術」に詳細な説明があるが、日立グループでは後者の方法として、触媒形状を板状にし、併せて強度をもたせることにより、ダスト付着・通風損失上昇を防止し、触媒摩耗もほとんどなく、長期安定運転が可能なのが石炭燃焼ボイラ実ガスによるパイロットプラントテストの結果、実証確認されている。

脱硝出口の残留NH₃は、高性能触媒の開発により数ppm以下になっているが、今後更に低減し、その挙動について詳細に解明する必要がある。

4.3 脱硫技術

(1) 湿式脱硫

石炭火力用脱硫装置としては、排ガス中に含まれるCl、Fなどの脱硫性能阻害成分や、ダストの副生石こうへの混入について注意する必要がある。脱硫妨害成分対策としては、本特集号別論文「石炭火力の脱硝及び脱硫技術」に詳細な説明があるが、pH制御によるスート混合方式及び冷却系統と吸収系統とを分離し、冷却系統でCl、Fを除去するスート分離方式がある。後者の方式は、ダストも同時に除去し副生石こうの純度が高められる利点があるが、冷却循環液のpHが1～3程度に低下し、ダスト中のAl(アルミニウム)、Fe(鉄)などがより多く溶解し、排水処理によりかなりのスラッジが発生する問題がある。方式の選定に当たっては、石炭中のCl量、F量、所要石こう純度、スラッジ処理などを勘案する必要がある。

(2) 乾式脱硫

湿式脱硫は、石炭火力への適応性について実績ベースでの確認がなされているが、多量の石灰石、石こうの運搬、貯蔵を必要とし、かつ使用水量も多く、排水処理を要するなどの欠点がある。

しかも、今後はますます用水の確保が難しく、排水規制も厳しくなると考えられ、脱硫方式の見直し気運が強まり、最近では乾式脱硫が再び注目されてきた。

日立製作所でも、石炭を原料とする吸着剤によりSO₂を吸着除去し、これを還元して石こうよりも容積の小さい単体Sで回収する乾式脱硫の研究開発を推進している。湿式法との比較については、今後のパイロット研究成果に基づき検討する予定である。

5 結 言

石炭をボイラ燃料として考えた場合、石炭の性状、組成及び品種が非常に多種類であって、その産出する地域はもとより、炭層が異なっても、全く異なった石炭品種となり、その燃焼排ガスの性状も大幅に変わるという特徴をもっている。したがって、石炭火力用排ガス処理システムの計画に当たっては、プラントの運転形態、使用石炭種類・性状、用水使用制限、環境目標値と今後の規制動向、副生品の利用技術開発状況と市場動向、経済性などを総合的に考慮して、それぞれのケースに最適なシステムを検討する必要がある。

ここでは石炭火力用環境システムのうち、排ガス処理システム的一端について述べたが、このほかに排水処理、灰処理、石炭粉塵飛散、騒音、振動などの問題があり、日立グループとしては、種々の研究開発及びトータルシステムエンジニアリングの検討を行なっている。

今後とも電力会社の指導を得ながら、石炭火力プラント全体の環境保全に対処できるように、種々の技術開発に対し鋭意努力していきたいと考えている。