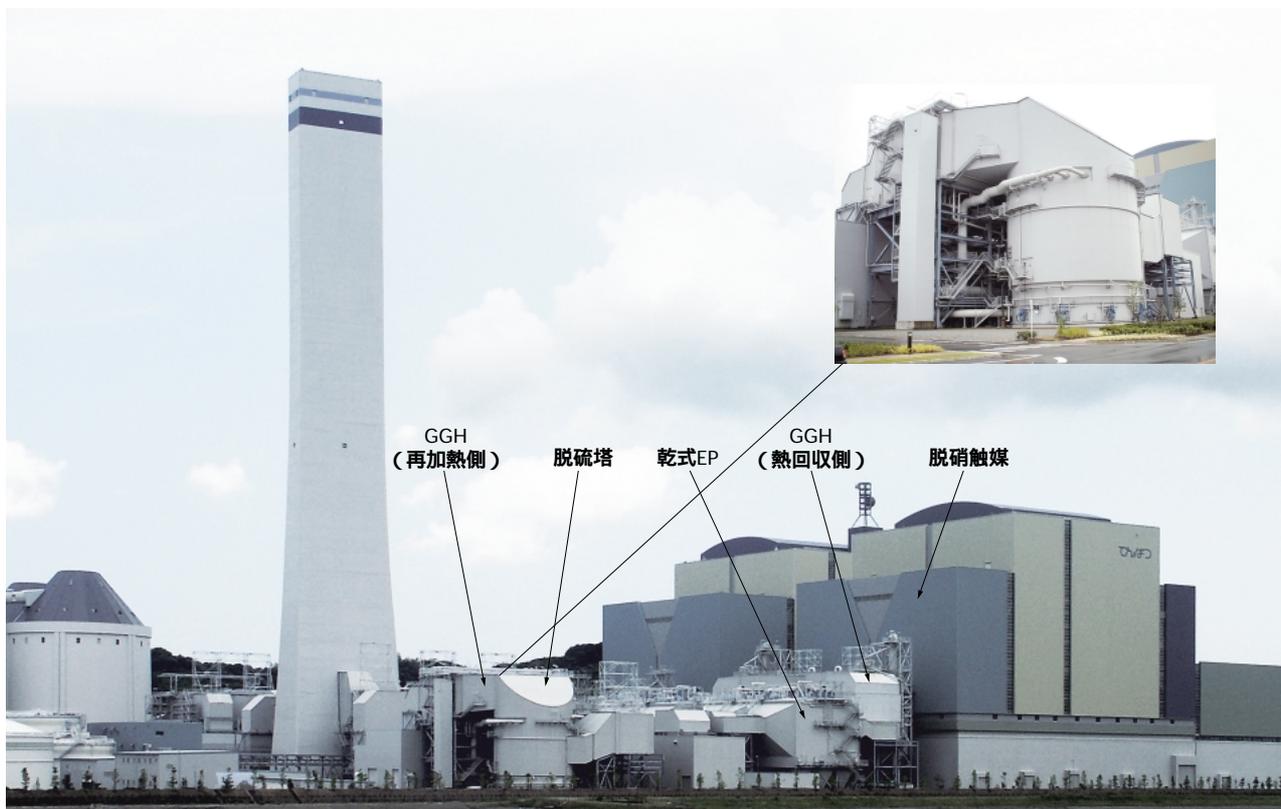


# 火力発電における脱硝・脱硫・CO<sub>2</sub>除去技術

DeNOx, DeSOx and CO<sub>2</sub> Removal Technology for Power Plant

吉川 博文 Hirofumi Kikkawa  
石坂 浩 Hiroshi Ishizaka

甲斐 啓一郎 Keiichiro Kai  
中本 隆則 Takanori Nakamoto



注:略語説明 GGH( Gas - Gas Heat Exchanger ), EP( Electrostatic Precipitator )

図1 新排煙処理システムを適用した電源開発株式会社橘湾火力発電所第2号機の外観

パブコック日立株式会社では、火力発電用ボイラからの排ガスを高効率に浄化する新排煙処理システムを開発・実用化し、国内外での環境保全に貢献している。

火力発電所で石炭などの化石燃料を燃焼する際に発生する排ガスには、地球温暖化や酸性雨の原因となり得る成分が含まれており、排出する自国だけでなく、世界規模で環境に影響を与える可能性がある。

パブコック日立株式会社は、火力発電所で化石燃料を燃焼する際に発生するNO<sub>x</sub>(窒素酸化物)を極限まで低減するとともに、発生したNO<sub>x</sub>、SO<sub>x</sub>(硫黄酸化物)などを高効率に除去する技術を開発している。さらに、CO<sub>2</sub>に関しても、石炭火力発電所に適用可能な除去技術の開発を進めてきた。

これらの排煙処理技術は、すでに多くの実績を重ねてきており、国内はもとより、海外でも日立グループ各社と連携し、技術供与や製品輸出という形で環境保全に貢献している。

## 1.はじめに

火力発電所において、石炭や重油を燃焼する際に発生するNO<sub>x</sub>(窒素酸化物)やSO<sub>x</sub>(硫黄酸化物)は大気汚染の原因物質であり、その浄化処理は公害防止の観点から必要不可欠である。パブコック日立株式会社は、世界に先駆けて排ガス中のNO<sub>x</sub>やSO<sub>x</sub>を高効率で除去する排煙処理技術を開発し、実用化した。

さらに、地球温暖化物質の一つとされているCO<sub>2</sub>に関しても、独自のアミン吸収液を用いて排ガス中のCO<sub>2</sub>を吸収・回収するシステムを開発し、東京電力株式会社との共同研究として、東京電力横須賀火力発電所の実機の排ガスをを用いたパイロット装置において、高いCO<sub>2</sub>除去性能を確認した<sup>1)</sup>。

このように、クリーンな環境の実現に向け、パブコック日立は先進的な排煙処理技術の開発を進めてきた。

ここでは、代表的な事例として石炭火力発電所における脱硝触媒、湿式脱硫装置およびCO<sub>2</sub>回収技術の開発成果と今後の取り組みについて述べる。

## 2. 規制動向と排煙処理システム

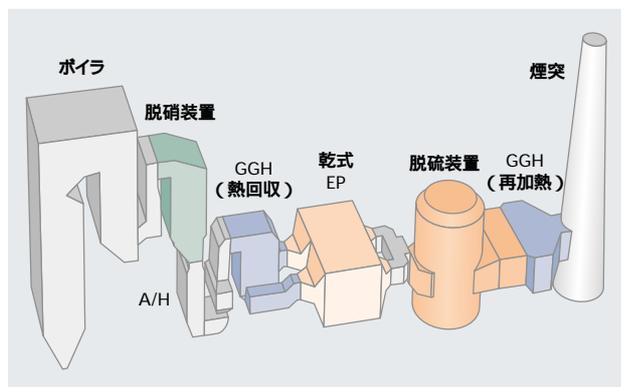
わが国の火力発電所では、1970年代からの環境規制強化に対応するため、世界に先駆けて脱硝や脱硫装置など排煙処理技術を適用してきており、今日、世界でもトップレベルにある。その中でも、長年にわたり培ってきたパブコック日立の排煙処理技術は、国内はもとより、海外でも、日立グループ各社と連携して技術供与や製品輸出という形で貢献している。

米国では、NO<sub>x</sub>、SO<sub>x</sub>および煤塵(ばいじん)濃度の規制が段階的に強化されることが決まっております<sup>2)</sup>、排煙処理装置のニーズが高まりつつある。また、米国では使用する石炭の品質が日本国内に比べて低く、結果として、国内より高い浄化性能を要求される場合が多い。このような高度の排煙処理技術は、将来、国内で低品質の石炭を使用する場合にも役立つと考えられる。一方、欧州でもEU(European Union)統合に伴い、東欧など環境対策が必ずしも十分でない地域を中心として環境装置へのニーズが高まっている。

排煙処理技術では、個別装置での性能向上だけでなく、排煙処理システム全体での除去効率を上げることが重要である。

例えば、煤塵除去については、GGH(Gas - Gas Heat Exchanger:ガス/ガス熱交換器)で乾式電気集塵装置(乾式EP( Electrostatic Precipitator ))入口の排ガス温度を下げて除塵効率を向上することが効果的である。この方式を適用した初号機を電源開発株式会社橘湾火力発電所第2号機(1,050 MW)に納入し、高性能を達成している<sup>3)</sup>(図1参照)。

現在の排煙処理装置のフローの一例を図2に示す。この技術は、日本国内で使用されている石炭に比べて、硫黄を多く含む米国東部の石炭(以下、東部高S炭と言う。)でのSO<sub>x</sub>(硫酸ミスト)対策としても有効と考えられ、米国実機での実証試



注:略語説明 A/H( Air Heater )

図2 新排煙処理システムのフロー

GGHにより、乾式EP入口のガス温度を低下させることで、システム全体の煤塵除去性能を向上する。



図3 燃焼排煙処理一貫試験設備(2,000 Nm<sup>3</sup>/h) 世界各国の石炭を燃焼した際の排煙処理特性を評価し、設計に反映する。

験により、その性能を確認した<sup>4)</sup>。

さらに、世界中の幅広い性状の石炭に対応するため、種々の排煙処理装置を備えた燃焼排煙処理一貫試験設備を用いて開発を継続中である(図3参照)。

## 3. 脱硝触媒

### 3.1 板状触媒の特徴

ボイラで石炭を燃焼する際には、石炭や空気に含まれる窒素の一部が酸素と反応し、NO<sub>x</sub>が生成する。パブコック日立では、火炎内での燃焼状態を制御することでNO<sub>x</sub>を効率よく分解する「火炎内脱硝」という新しい概念を確立し、実用化した<sup>5)</sup>。さらに、ボイラから排出されるNO<sub>x</sub>濃度を低減する技術を開発中である<sup>6)</sup>。このように、触媒を用いずにNO<sub>x</sub>をある程度の濃度まで低減することは可能であるが、さらにNO<sub>x</sub>濃度を低減する場合には、触媒とアンモニアを還元剤として用いる。

パブコック日立の触媒は、その形状が板状で(図4参照)、灰による閉塞(そく)や摩耗が生じにくく、長期間にわたり高い性能を維持できる。このため、国内外の石炭火力発電所で高い信頼性を得ており、現在では脱硝触媒の世界シェア30%強を占めている。

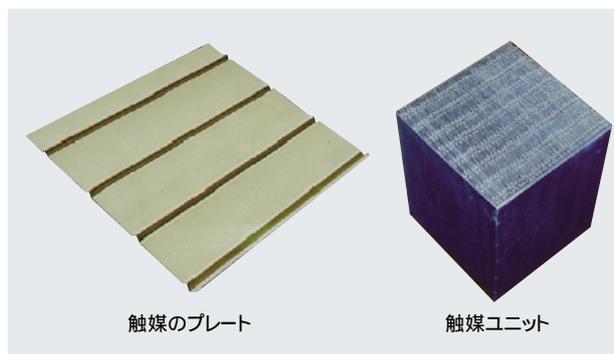


図4 板状触媒の外観

灰による閉塞や摩耗が生じにくく、圧損が低い板状脱硝触媒である。

### 3.2 高機能化(低SO<sub>2</sub>酸化触媒)

石炭を燃焼する際に発生する排ガス中には、数百から数千ppmのSO<sub>2</sub>(亜硫酸ガス)が含まれている。東部高S炭を使用する米国の発電所では、排ガス中のSO<sub>2</sub>濃度が高く、その一部が脱硝触媒によって酸化されてSO<sub>3</sub>が生成し、紫煙が問題となっていた。これに対して、触媒組成の改良により、SO<sub>2</sub>酸化率を従来の $\frac{1}{5}$ 以下にした新触媒を開発し<sup>7)</sup>、世界で初めて東部高S炭焚(だ)きのプラントに適用した。

さらに、ナノ技術を応用して、排ガス中に触媒の性能を低下させる成分が共存しても性能の低下が小さい高性能触媒など、画期的な脱硝触媒の開発も進めている。

## 4. 脱硫装置

### 4.1 基本原理

石灰石 石膏(こう)法は、世界中で安価に入手できる石灰石を用いて、排ガス中の有害なSO<sub>2</sub>を除去する脱硫方法である。SO<sub>2</sub>を吸収し、石灰石と反応させた後、酸化させて石膏を生成させる(図5参照)。生成した石膏は、セメントや石膏ボードの原料として有効利用されている。

パブコック日立は、従来、別々の塔で行っていたSO<sub>2</sub>の吸収と酸化反応を一つの吸収塔内で行う、一塔式石灰石 石膏法を1990年に世界で初めて実用化した。その後、高ガス流速、高濃度スラリー、高液密度スプレーといった新しい技術を開発し、コンパクトで高い脱硫性能および除塵性能を実現している。

### 4.2 高効率化(コンパクト吸収塔)

脱硫塔内の流れにSO<sub>2</sub>の吸収・酸化反応を加味した独自の数値計算ソフトを作成し、実機の性能を高精度で評価する

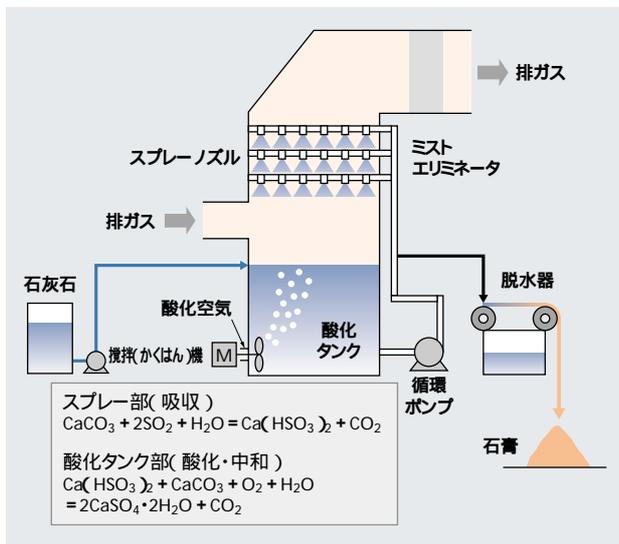


図5 脱硫装置(一塔式石灰石 石膏法)のフローおよび反応式  
 脱硫性能が高く、安価な石灰石から工業価値の高い石膏を回収する。

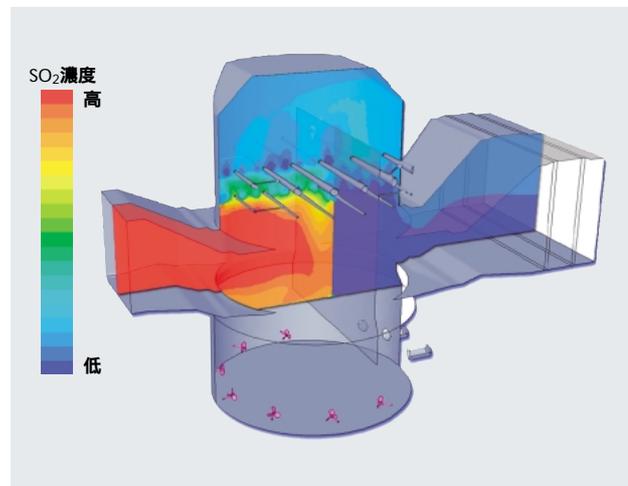


図6 脱硫装置内のSO<sub>2</sub>濃度計算結果  
 実機のSO<sub>2</sub>濃度分布を高精度に予測し、装置のコンパクト化に貢献する。

ことを可能とした(図6参照)。これを用いて、塔内の偏流防止に適したスプレーノズル配置を決定し、要求脱硫性能を満足するための液循環量を低減した。また、従来、二つの吸収塔を必要とした1,000 MWボイラ用の排ガスを、一塔で処理することも可能である。この結果、10年間で吸収塔の容積を半減し、循環液量を25%低減した。

現在では、国内と比較してSO<sub>2</sub>濃度の高い海外脱硫案件に対して、この数値計算ソフトを活用することにより、吸収塔のコンパクト化や動力低減を図っている。

また、パブコック日立では、吸収塔内のガス流速をさらに高め、高効率およびコンパクト化が可能なりターンフロー型脱硫装置を実用化し、高い性能を実証した<sup>8)</sup>(基本特許取得済み)。この脱硫装置の開発においても、パイロット装置での基本データの採取とともに、この数値計算ソフトを活用している。

## 5. CO<sub>2</sub>除去技術

### 5.1 CO<sub>2</sub>除去方式

ボイラ排ガス中のCO<sub>2</sub>を除去する方式としては、(1)アルカリ吸収液でCO<sub>2</sub>を吸収した後、加熱して高濃度のCO<sub>2</sub>を回収し、同時にアルカリ吸収液を再生する方式(アルカリ吸収方式)と、(2)石炭を酸素で燃焼して排ガスを循環しつつ、燃焼に必要な酸素を供給することでCO<sub>2</sub>と水分を主成分とする排ガス組成とし、CO<sub>2</sub>を圧縮・回収する方式(酸素燃焼方式)がある。

アルカリ吸収方式の中では、アミン吸収液が天然ガス中に含まれるCO<sub>2</sub>を除去する方式としての実績がある。しかし、ボイラ排ガス中にはCO<sub>2</sub>以外にSO<sub>2</sub>など酸性ガスが含まれており、アミン吸収液の劣化を促進する成分もある。実用化のためには、吸収液の劣化を抑制する成分(インヒビター)を使用する。

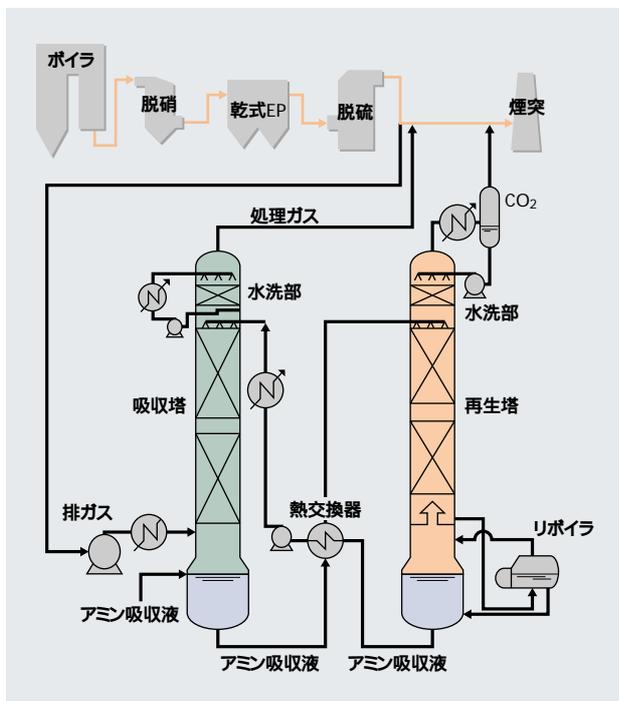


図7 CO<sub>2</sub>回収パイロット装置(1,000 Nm<sup>3</sup>/h)のフロー  
新たに開発したアミン吸収液で排ガス中のCO<sub>2</sub>を連続回収する。

## 5.2 実ガス試験

パブコック日立は、CO<sub>2</sub>の吸収・脱離性能ならびにSO<sub>2</sub>による劣化性能に優れたアミン吸収液を開発した。この吸収液の性能を検証するため、東京電力との共同研究として東京電力横須賀火力発電所に排ガス処理量1,000 Nm<sup>3</sup>/hのパイロット装置(図7参照)を設置し、2,000時間の連続運転を実施した<sup>9)</sup>。

その結果、高濃度のSO<sub>x</sub>(平均30 ppm)を含む実機の排ガスにおいても、CO<sub>2</sub>除去性能の目標値であるCO<sub>2</sub>除去率90%、CO<sub>2</sub>純度99%を達成した<sup>9)</sup>。今後、欧米での実証試験を計画中である。

### 執筆者紹介



吉川 博文  
1981年パブコック日立株式会社入社, 呉研究所 環境研究部 所属  
現在, 排煙処理システムの開発業務全般に従事  
工学博士  
化学工学会会員



石坂 浩  
1979年パブコック日立株式会社入社, 呉研究所 環境研究部 所属  
現在, 排煙脱硫装置の開発業務に従事  
化学工学会会員

## 6. おわりに

ここでは、石炭火力発電所における脱硝触媒、湿式脱硫装置およびCO<sub>2</sub>回収技術の開発成果と今後の取り組みについて述べた。

火力発電所から排出される排ガスには、地球温暖化や酸性雨の原因となり得る成分を含んでおり、排出する自国だけでなく、世界規模での環境に影響を与える可能性がある。継続的に発展可能な社会を維持するためにも、世界中の国々で高度な排煙処理技術を適用して環境への影響を最小限にとどめていく必要がある。

日立グループは、今後も環境をクリーンに保つ排煙処理技術の開発を積み重ね、地球規模の環境保全に貢献していく考えである。

### 参考文献など

- 1) 山田, 外:SO<sub>2</sub>を含有する石炭火力発電所排ガスからのCO<sub>2</sub>の除去技術, 日本エネルギー学会誌(1996.8)
- 2) ERPI(Electric Power Research Institute), <http://www.epri.com/>
- 3) 長, 外:電源開発株式会社橋湾火力発電所第2号機用環境対策設備の計画と運転実績, 火力原子力発電大会(2002.7)
- 4) T. Nakamoto, et al.:Field Testing of Advanced Air Quality Control System for Multi-pollutant Control, Mega Symposium 2008 (2008.8発行予定)
- 5) 津村, 外:新型超低NO<sub>x</sub>バーナの開発と性能の実証, 日立評論, 80, 2, 67~70(1998.2)
- 6) O. Okazaki, et al.:The latest low-NO<sub>x</sub> combustion technologies for pulverized coal fired boilers, Power-Gen International 2007 (2007.12)
- 7) 今田, 外:特開2005-319422(2004年5月11日出願), 窒素酸化物除去用触媒の製造法
- 8) 中矢, 外:坂出発電所3号機排煙脱硫設備更新および運転実績について, 火力原子力発電大会(2004.10)
- 9) H. Oota, et al.:CO<sub>2</sub> Removal Technology from the Thermal Power Plant Flue Gas, The Fourth Japan-Korea Symposium on Separation Technology(1996.10)



甲斐 啓一郎  
2003年パブコック日立株式会社入社, 呉研究所 環境研究部 所属  
現在, 脱硝触媒の開発業務に従事



中本 隆則  
1983年パブコック日立株式会社入社, プラント技術本部 環境システム設計部 所属  
現在, 排煙処理システムの設計・プロジェクト, 開発全般に従事