

最新の排煙脱硫装置とその運転支援システム

Latest Technology for Flue Gas Desulphurization Plants and Operational Support Systems

電源開発株式会社松浦火力発電所1号機用排煙脱硫装置は、国内最大容量の1,000 MW石炭燃焼ボイラ用で、種々の新技術を取り入れた最新鋭プラントとして平成2年6月から営業運転を開始する。

本プラントは、バブコック日立株式会社が最新の脱硫方式として開発し、除じん・脱硫および酸化を吸収塔の一塔で行い、設備の簡素化はもとより脱硫反応を大幅に改善した方式で、インテリジェント形脱硫方式と名づけた新設プラント用1号機である。さらに、装置の制御・運転管理・異常監視を計算機で行う運転支援システムを採用し、各炭種での最適運転、負荷追従性の向上を図っている。現在までの試運転の結果、これらの新技術をも含めた性能が良好であることを確認している。

勝部利夫* *Toshio Katsube*
鴨川広美* *Hiromi Kamogawa*
石黒興和** *Okikazu Ishiguro*
小室武勇*** *Takeo Komuro*

1 緒言

発電コストの低減のため、年々石炭火力発電プラントは大容量化されるとともに、ボイラ燃料は多銘柄の海外炭の導入が進められている。一方、運用面でも電源構成の多様化により、中間負荷運用が要求されつつある。

このため、石炭燃焼ボイラからの排ガスを処理する排煙脱硫装置でも大容量化に対応した設備の簡素化、多銘柄の炭種による排ガス性状の変動に対応できる運転制御、負荷追従性の向上などの技術を高度化することが要求されるようになっている。

バブコック日立株式会社(以下、バブコック日立と言う。)は、20年以上にわたる排煙脱硫装置の豊富な経験を持ち、その間のたゆまぬ研究開発によって絶えず装置の改良・改善を図ってきた。特に脱硫装置で最も重要な機器である吸収塔については、当初の多孔板塔からドラフトロスの低減を目的としてスプレー塔を開発し、昭和56年に1号機を納入した。今回さらにこのスプレー塔の技術を基に最新の脱硫装置として排ガスの除じん、冷却、脱硫および反応生成物の酸化を吸収塔の一塔に集約したインテリジェント形脱硫方式を実用化した。

この方式の特徴は、設備の簡素化が図れるだけでなく、空気吹込みにより吸収塔内の脱硫反応を改善でき、電力・石灰石などのユーティリティ使用量の低減はもとより排水中のCOD(化学的酸素要求量)の低減を図ることができるものである。

また、省エネルギー運転、制御性の向上を目的として脱硫

装置内での反応およびマスバランスを模擬したシミュレーションモデルを組み込んだ予測制御方式を開発した。さらに、この制御機能と運転管理、異常監視などの機能を具備した総合的な脱硫運転支援システムを実用化した。

これらの最新技術を国内最大容量である電源開発株式会社(以下、電発と言う。)1,000 MW石炭燃焼ボイラ用排煙脱硫装置に適用した。本稿では、その計画概要と試運転結果の一例について述べる。

2 基本計画概要

電発・松浦火力発電所1号機1,000 MW石炭燃焼ボイラ用排煙脱硫装置の主な仕様を表1に、吸収塔の構造を従来形と比較して図1に、また装置の外観を図2にそれぞれ示す。

このプラントは国内最大容量であるだけでなく、次のような新技術を採用した最新鋭のプラントである。

- (1) インテリジェント形脱硫方式の新設プラントへの初めての採用
- (2) 運転支援システムを組み込んだ計算機制御の採用
- (3) デジタル制御装置による全面的なCRTオペレーションの採用

それらの詳細について以下に述べる。

* バブコック日立株式会社 呉工場 ** バブコック日立株式会社 呉研究所 *** 日立製作所 日立研究所

表1 1,000 MW石炭燃焼ボイラ用排煙脱硫装置の主な仕様
電発・松浦火力発電所1号機用排煙脱硫装置の計画仕様を示す。

項 目		計 画 値
形 式		湿式石灰石-セッコウ法 インテリジェント方式 (スート混合方式)
系列 数	通風・吸収系	2 系列
	セッコウ系	1 系列
発電機負荷		1,000 MW
処理ガス量(湿)		3,400,000 m ³ N/h
入口ガス温度		97 °C
入口SO ₂ 濃度		992 ppm
出口SO ₂ 濃度		70 ppm
入口ばいじん濃度		210 mg/m ³ N
出口ばいじん濃度		36 mg/m ³ N
吸収 塔 仕 様	数 量	2 基
	形 式	一塔式スプレー塔
	塔 径	17 m
	塔高さ	37 m



図2 脱硫装置外観 電発・松浦火力発電所1号機用排煙脱硫装置の吸収塔周りの外観を示す。吸収塔は500 MWを一列で処理できる容量である。

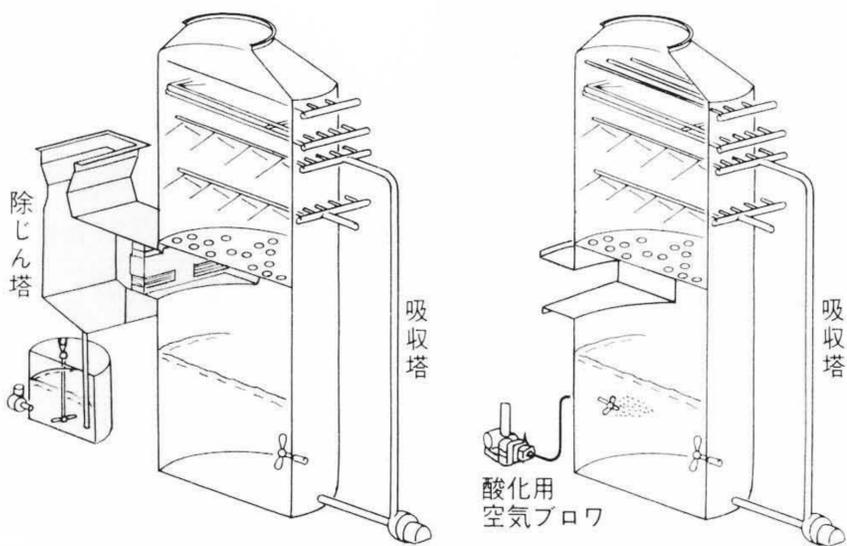
によって装置の簡素化が図れるだけでなく、従来形と比べ性能向上も図れることにある。塔内でSO₂(二酸化硫黄)は水に吸収され、H₂SO₃(亜硫酸)になる。排ガス中のSO₂と液中のH₂SO₃とは平衡関係にあるため、高い脱硫率を得るには液中のH₂SO₃濃度を低くする必要がある。

ここで生成したH₂SO₃は、吸収液中のCaCO₃(石灰石)と反応してCa(HSO₃)₂(重亜硫酸カルシウム)となる。従来形では塔内で生成したCa(HSO₃)₂は循環タンク内で液中に供給されたCaCO₃と反応してCaSO₃・ $\frac{1}{2}$ H₂O(亜硫酸カルシウム)として晶析する。この晶析反応を行わせるためには比較的高い吸収液のpHが必要なため、高い脱硫率を得るには石灰石過剰率を約5%以上に高くする必要があった。

一方、インテリジェント形では循環タンク内に空気を供給することによって、Ca(HSO₃)₂は速やかに酸化され、CaSO₄・2H₂O(セッコウ)とH₂SO₄(硫酸)になるため吸収液中のH₂SO₃濃度が低く抑えられ脱硫率が向上する。この反応で生じるH₂SO₄とタンク内に供給されるCaCO₃は、中和反応によってCaSO₄・2H₂Oとなる。この中和反応は晶析反応に比べて低いpH領域で起こるため、従来のようにpHを上昇させる必要がなく、石灰石の過剰率を2%以下で運転しても高い脱硫率を得ることができる。吸収塔内への酸化用空気供給の有無による脱硫性能への影響を、パイロットプラントで試験した結果を図3に示す。

3.2 酸化性能

従来形は吸収塔内で生成したCaSO₃・ $\frac{1}{2}$ H₂Oを別置の酸化塔で酸化するために、吸収塔から抜き出したスラリーにH₂SO₄を添加し酸化に適したpHに調整する必要があり、また加圧式の酸化塔を使用している。インテリジェント形は常圧の吸収塔内に空気を吹き込みCa(HSO₃)₂を直接酸化する方式である。このため硫酸の添加が不要になり、また従来3.9×10⁵ Pa必要



(a) 従来形

(b) インテリジェント形

図1 吸収塔構造の比較 インテリジェント形とすることによって、除じん塔を省略することができる。さらに、別設置の酸化塔も省略できる。

3 インテリジェント形脱硫方式

インテリジェント形脱硫方式は、数多くの実績を持つ吸収塔の技術を基に、さらに高性能かつ省エネルギー化を目指して昭和58年から開発に着手したものである。

研究所での基礎試験、モデル試験により、除じん・脱硫・酸化の各機能について特性を把握した後、中国電力株式会社水島発電所および電発・松島火力発電所にパイロットプラントを建設し、実ガスによる実証試験を行い、その設計諸元を確認したものである²⁾。この方式はすでに既設脱硫装置の改造に適用し、2年間運転され良好な結果を得ている。

3.1 脱硫性能

この方式の特徴は、各機能を吸収塔の一塔に集約すること

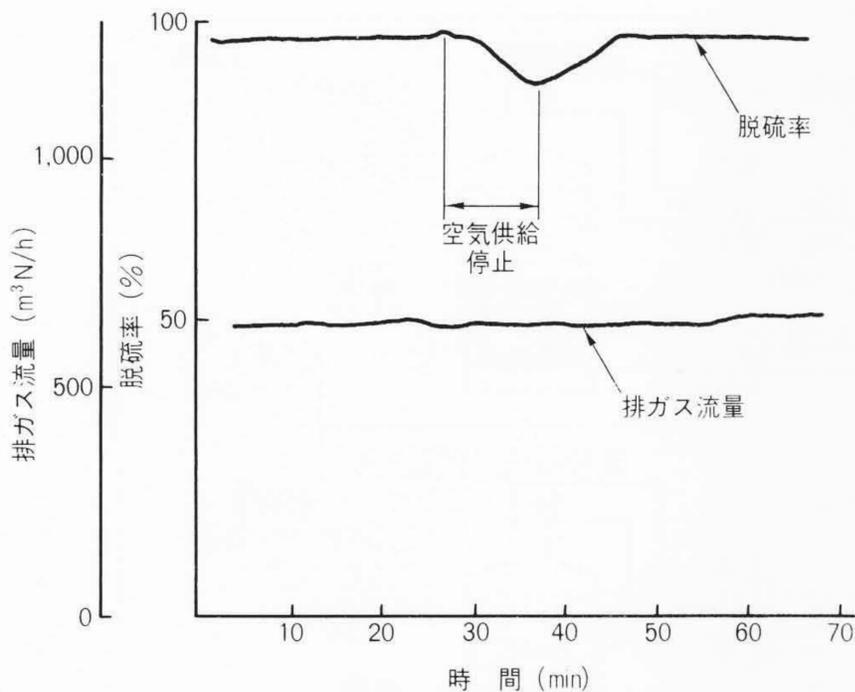


図3 空気吹込みの有無による脱硫性能への影響 空気吹込みを停止するとただちに脱硫率が低下する結果が得られ、適切な空気吹込みによって吸収液中の H_2SO_3 濃度が低く抑えられ脱硫率が向上することが確認できた。

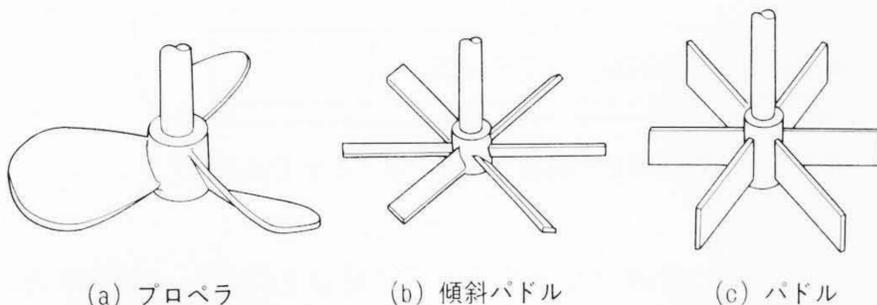


図4 かくはん翼の比較 形状の異なる3種類のかくはん翼について試験を行い最適なかくはん翼としてプロペラ形を採用した。

であったコンプレッサの吐出し圧力を 0.98×10^5 Paに低減できる。

酸化装置は少ない空気量で良好な酸化性能が得られ、かつ空気吹込みノズルの詰りが生じない構造が要求される。このため、吸収塔循環タンクに横軸式かくはん機を設け、空気をインペラ先端と適切な角度を持つようかくはん機軸に沿って供給し、インペラの回転によるせん断力により微細な気泡を発生させる方式を開発した。かくはん翼の形状としては図4に示すプロペラ形、傾斜パドル形、パドル形について比較を行い、空気利用率が高く動力の少ないプロペラ形が最適であることがわかり、この方式をプロペラアトマイザ方式と名づけた。

3.3 排水性状

インテリジェント形は $Ca(HSO_3)_2$ を従来の酸化塔よりもpHが高い吸収塔内で酸化するため、脱硫排水中のCOD起因物質である $S_2O_6^{2-}$ (ジオチン酸)の生成量を $\frac{1}{5} \sim \frac{1}{10}$ に低減でき、排水処理装置のCOD除去設備の仕様を大幅に軽減できる。

4 自動化および運転支援システム

バブコック日立は、長年にわたる脱硫装置の研究および実

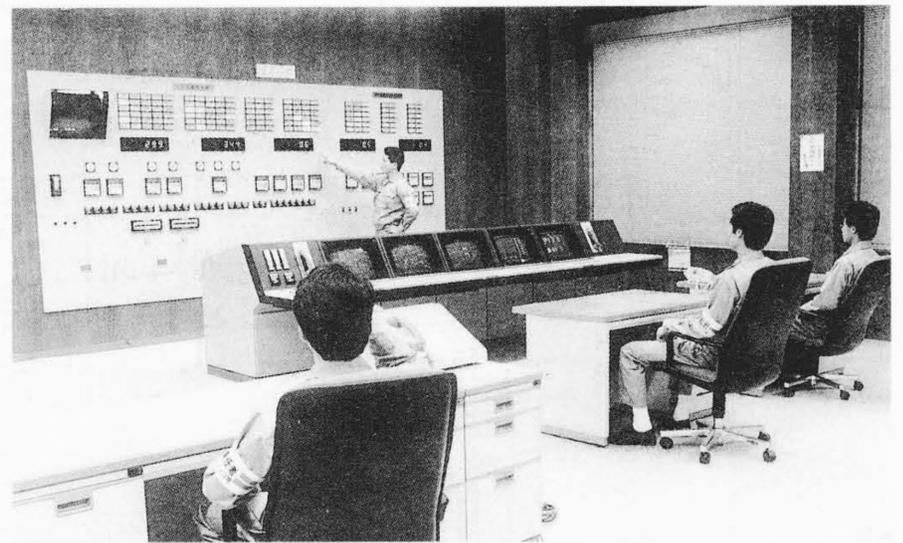


図5 制御室 5台のCRTのうち左側3台が脱硫装置用である。1台が計算機用、2台が制御装置用である。

機の運転実績によって得られた知見を基に、省エネルギー化、ボイラ燃料の多炭種化への対応、負荷追従性の向上などを目的として、脱硫装置(排水処理装置を含む)の最適制御、運転状態の異常監視、設備の保守を主体とした運転支援システムを開発し、その1号機としてこのプラントに採用した。

また、制御装置はデジタル制御方式を用い、さらに運転の省力化と信頼性の向上を図るため、運転操作は全面的なCRT操作方式と音声出力方式を採用した。

制御室の一部を図5に、制御装置のCRT画面例を図6に示す。

4.1 計算機と制御装置の機能分担

計算機および制御装置の機能分担を図7に示す。

運転支援システムを組み込んだ計算機は制御装置の上位に位置づけられ、その主な機能は脱硫性能予測計算によって省エネルギー、省力化運転のための最適制御設定値を求め、制御装置に指令することである。またボイラとの運転協調を図るため、ボイラ起動・停止に合わせた脱硫装置の起動・停止スケジュールを計算し制御装置に指令を出す。

制御装置は計算機の指令に基づき各操作端に指令を出すとともに、脱硫装置の運転を行うのに必要な補機の起動・停止、装置の保護および基本的なプロセス量制御の各機能を持っている。これにより、計算機に異常が発生しても脱硫装置の運転には支障を来さないようにしている。

4.2 運転支援システム

運転支援システムの機能は脱硫最適制御機能、脱硫異常監視機能、保守機能がある。

(1) 脱硫最適制御機能

(a) スケジュール管理機能

スケジュール計算は二つに分類することができる。一つはボイラの点火および発電機解列時間の入力によって脱硫装置の起動・停止予定時刻を表示する。

他の一つは脱硫装置の主要補機である吸収塔循環ポンプ

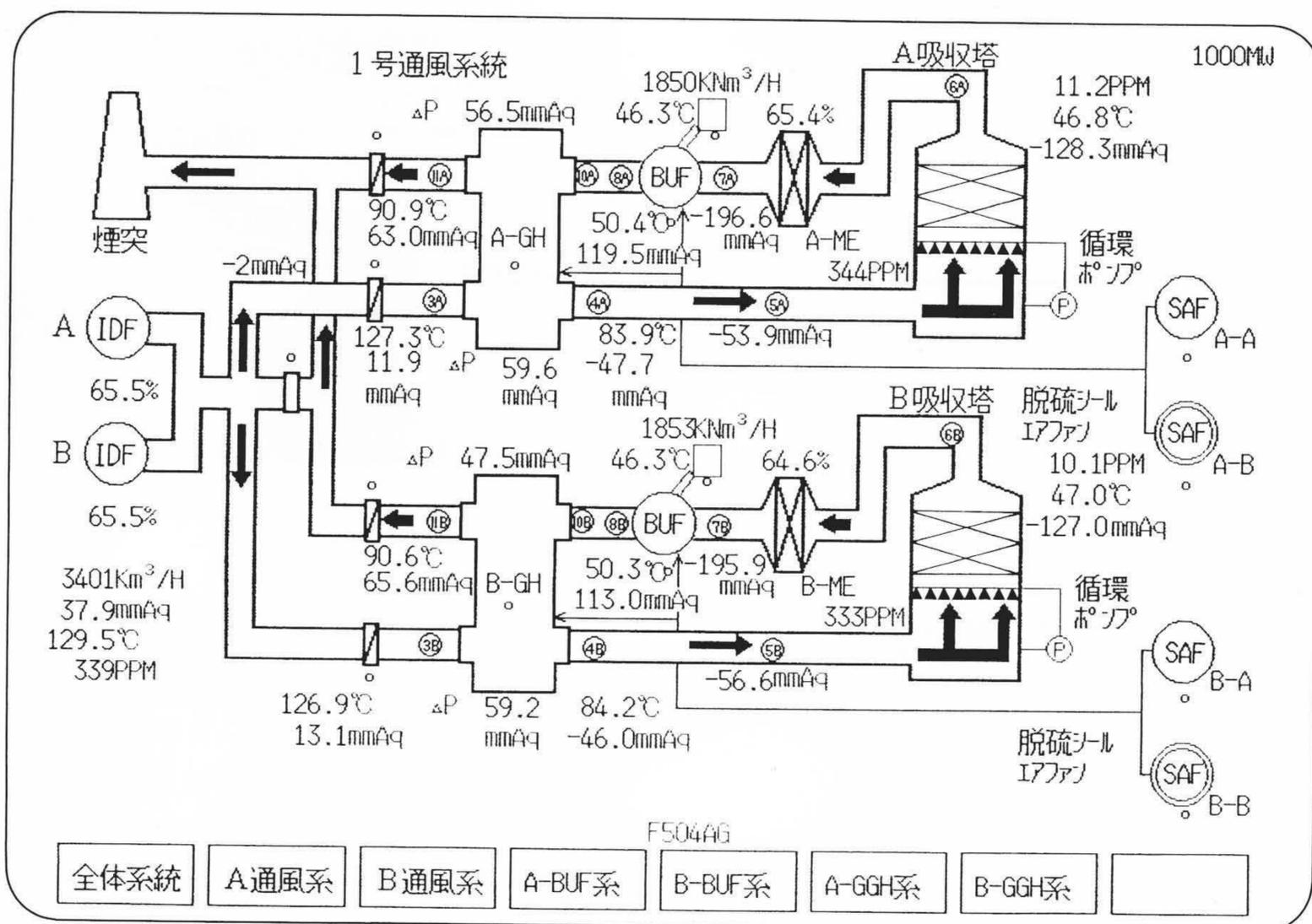


図6 CRT画面例(ハードコピー) CRT画面の一例を示す。通風系の運転状態を一画面で把握することができる。

に対して、脱硫装置の現在の運転状態と将来の負荷パターンおよび炭種情報によってシミュレーション計算を実行し、将来のポンプ起動・停止予定時刻を表示するものである。

(b) 脱硫性能予測制御機能

運転支援システムの最も重要な機能である脱硫性能予測制御機能の概要を図8に示す。

この機能は現在の負荷、炭種、脱硫プロセス量からオンラインシミュレーションにより、自動分析できない液組成を計算し、その計算値を用いて脱硫性能に関する操作因子の最適設定値を計算し脱硫制御装置に指令するもので次のような項目である。

- (i) 脱硫性能を予測し、脱硫率を維持するのに必要な吸収塔循環流量を求め、吸収塔循環ポンプの運転台数を決定し、不要なポンプを停止することによって吸収塔循環ポンプの電力量の低減を図る。吸収塔循環ポンプは高圧電動機で駆動しており、停止から起動までの時間と回数に制限があることから、電動機の起動・停止制限回路と電動機選択優先回路を設け、電動機の保護を考慮している。
- (ii) 吸収塔内の石灰石スラリー濃度を予測計算し、吸収塔pHを維持するのに必要な最適石灰石スラリー量を計算し、制御する。
- (iii) 吸収塔内での酸化反応シミュレーションを行い、必要な酸化空気量を計算し、制御する。
- (iv) 排ガス中のHF、HClによる脱硫性能への影響を防止す

るために、最適なカセイソーダ供給量を計算し、制御する。
(v) 排水量を低減するために、吸収系のCl濃度を一定に維持できる排水量を計算し、制御する。

このオンラインシミュレーションの精度を向上させるため、次のような補助機能を設けている。

(i) 手分析修正機能

オンライン計測できない液組成の予測計算値を手分析値により修正する機能である。その修正精度向上のため、図8に示すとおり手分析データを採取した時間までさかのぼって入力できるトレースバック機能を持たせている。

(ii) シミュレーション自動修正機能

この機能は排ガス組成の変化などによって、オンラインシミュレーションで得られる計算値とプロセス量との間にずれが生じた場合に、自動的にシミュレーションモデルを修正する機能である。

(iii) オフラインシミュレーション機能

この機能はオンラインシミュレーションモデルと同一モデルを持ち、運転条件を設定し、最適運転値を計算する機能である。

(2) 脱硫異常監視機能

(a) プロセス診断警報機能

炭種、負荷などの情報から水、薬品使用量、スラリー流量などを計算し、計算値と実測値との比較を行い運転員にプロセスの異常などを早期に認識させるための機能である。

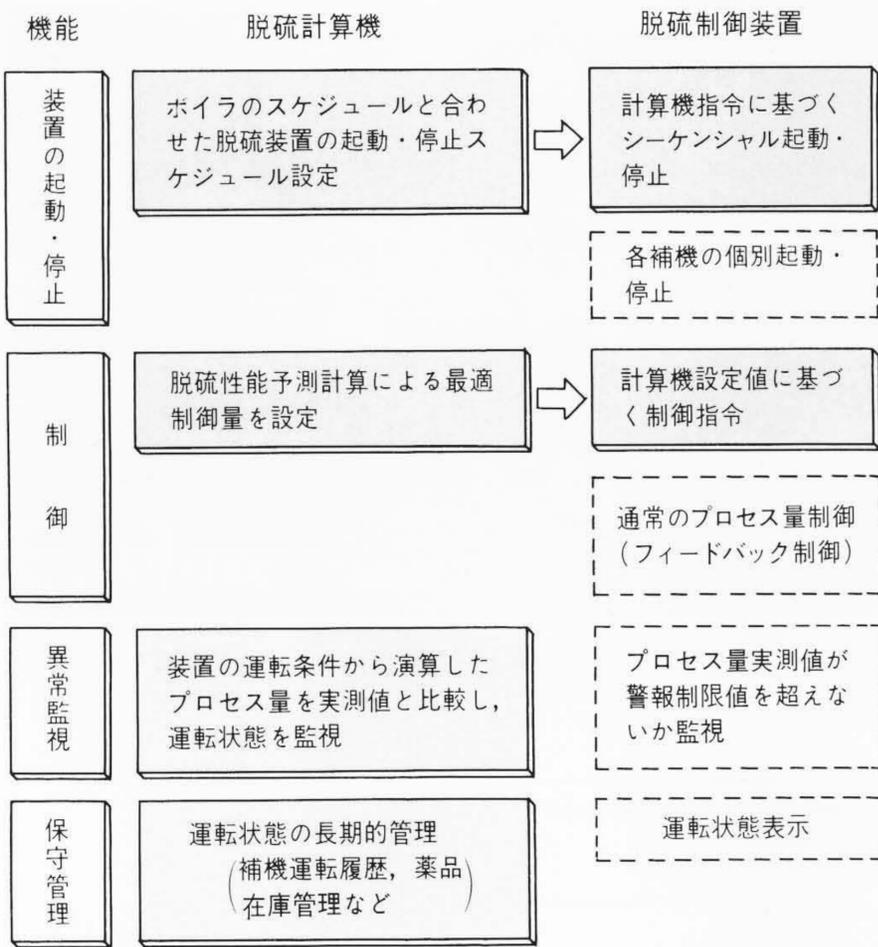


図7 計算機と制御装置の機能区分 着色部は計算機を採用したことによる新機能を示し、破線枠内は、従来機能を示す。

(b) 計算機警報機能

吸収塔内のCaCO₃濃度、Cl濃度などオンライン計測できない脱硫性能に影響する因子について脱硫性能予測機能を使って計算し、計画値(制限値)を外れた場合警報表示を行う。

(3) 保守機能

保守管理を行ううえで、運転員に必要な情報として補機運転履歴、薬品在庫残量などを表示する。

5 試運転実績

このプラントは平成元年6月に受電後、シーケンスチェックと単体試運転などを経て12月に通煙した。その後、試運転調整、各種試験を実施しており、平成2年6月に営業運転開始の予定である。現在までの試運転の結果、今回初めて採用した新技術をも含め良好な実績が得られた。

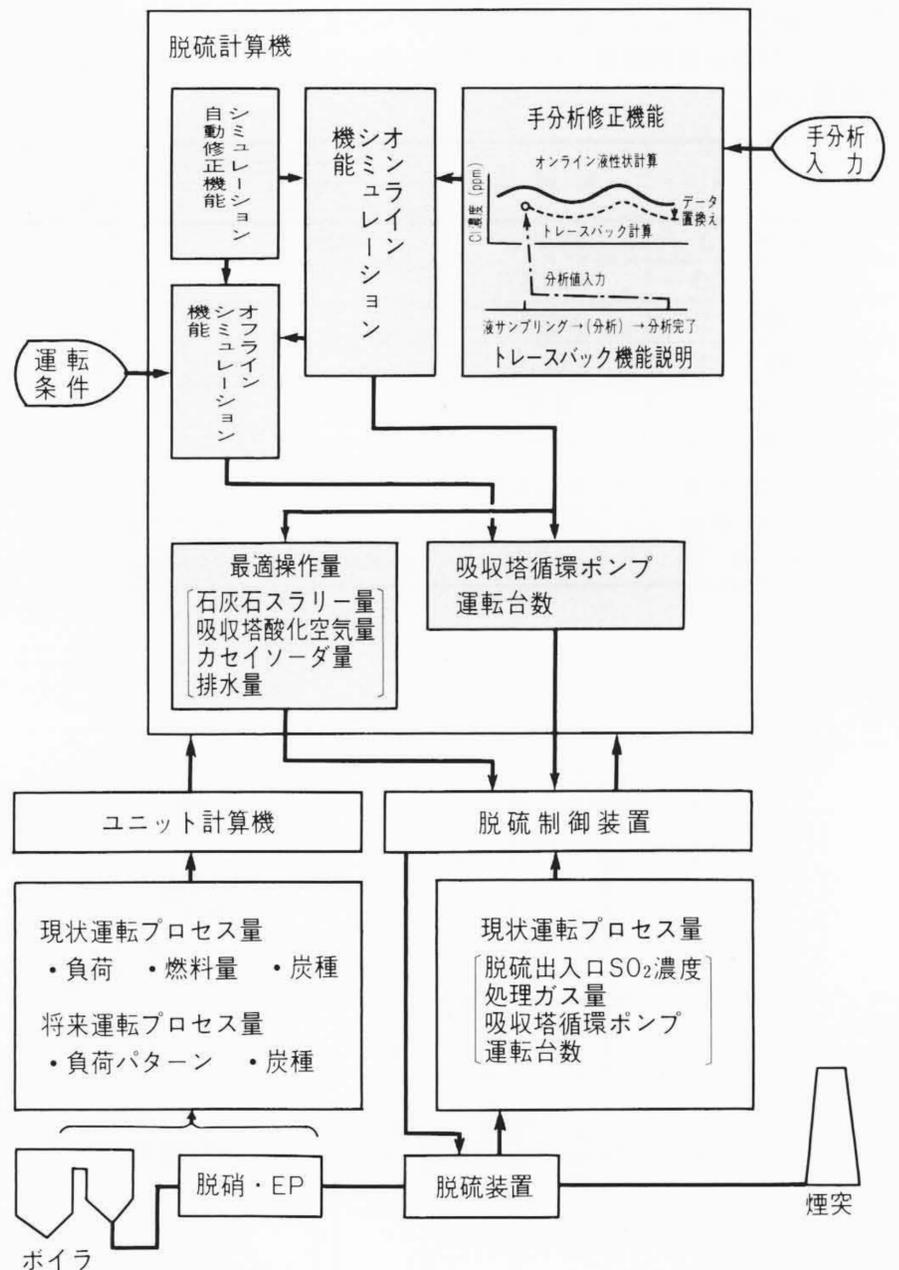
5.1 静特性試験結果

1,000 MW時の脱硫装置の運転実績を表2に示す。各項目とも計画値を満足している。特に、石灰石過剰率は1.4%と非常に低い値で、高い脱硫率を達成することができた。

(1) 脱硫性能

各炭種で吸収塔循環ポンプ運転台数や吸収塔循環スラリーpHなどの運転条件を変化させて試験を行い、脱硫性能に関する諸特性を確認した。

これらの特性は計算機に組み込んでおり、各運転条件で最適のポンプ台数、pHに制御する。



注：略語説明 EP（電気集じん器）

図8 計算機による予測制御機能 シミュレーションモデルによる性能予測を行い、循環ポンプ台数、石灰石スラリー量などの最適制御量を設定する。

(2) 副生セッコウの品質

副生セッコウの分析値を表3に、顕微鏡写真を図9に示す。セッコウ中のCaSO₃・ $\frac{1}{2}$ H₂Oは、検出限界以下で塔内で完全に酸化されていることが確認できた。回収されたセッコウは純度も高く、粒径も大きく良質でセメント用、ボード用に使用できることを確認した。

表2 運転実績 1,000 MW運転時の試運転結果、各項目とも計画値を満足し、良好な結果が得られた。計画値は、中国B炭の場合を示す。

項目	計画値	実績値
処理ガス量	3,400,000 m ³ N/h	3,193,000
入口SO ₂ 濃度	992 ppm	419
入口ばいじん濃度	210 mg/m ³ N	36
入口ガス温度	97℃	87
出口SO ₂ 濃度	70 ppm	12
脱硫率	95%	97.1
出口ばいじん濃度	36 mg/m ³ N	10以下
石灰石過剰率	2%	1.4
吸収塔循環スラリー	5.5 pH	5.3

表3 副生セッコウの組成 インテリジェント形脱硫装置で得られたセッコウを分析の結果、セメント用、ボード用ともに使用可能なことを確認した。

項目	実績値	一般的評価基準	
		セメント用	ボード用
CaSO ₄ ·2H ₂ O	98.8%	>90%	>95%
CaSO ₃ · $\frac{1}{2}$ H ₂ O	<0.05%	—	<0.25%
CaCO ₃	0.32%	—	<1.0%
Na ⁺	0.001%	—	0.03%
pH	6.8	—	5~8
付着水	6.0%	<10%	<10%
ぬれ引張強度	11.8×10 ⁵ Pa	—	>7.8×10 ⁵ Pa
紙への接着性	良好	—	良好であること
総合評価	セメント、ボード用として使用可能		

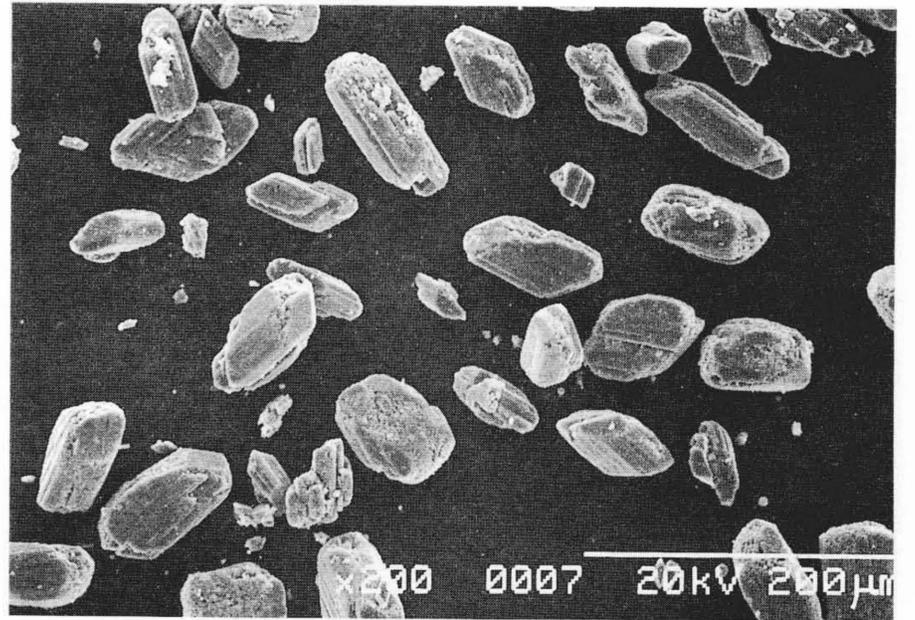


図9 セッコウの顕微鏡写真 粒径が大きく均一で良質なセッコウである。

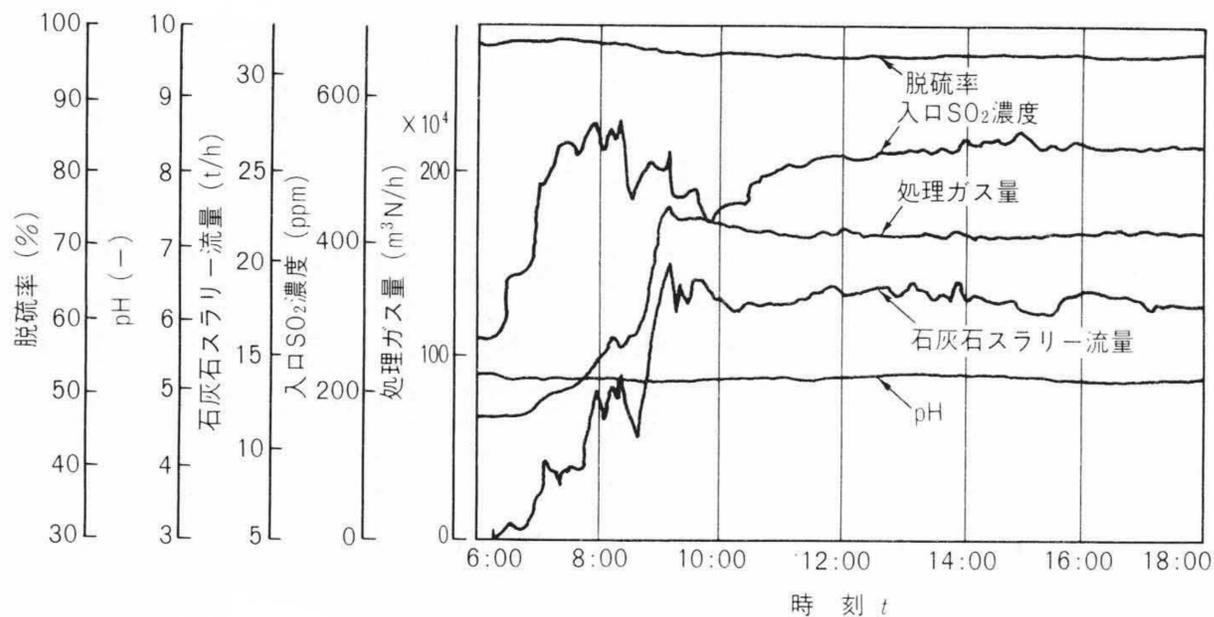


図10 負荷追従性試験結果 予測制御方式によって石灰石スラリー量を適切に制御することにより、負荷変化時にも安定したpH、脱硫性能で運転できることを確認した。

5.2 計算機制御の確認

計算機による予測制御を使用した場合の負荷追従性テスト結果を図10に示す。装置の運転条件に対して、吸収剤スラリー供給量を制御することによって、負荷変化時でも安定した吸収液pHおよび脱硫性能で運転できることを確認した。

また、系内の液性状予測計算による排水量の制御も良好に行えることが確認できた。

6 結 言

(1) 除じん・冷却・吸収・酸化の機能を一塔に集約したインテリジェント形脱硫方式を採用した1,000 MW石炭燃焼ボイラ用排煙脱硫装置の試運転を行った結果、当初予定していた通りの良好な結果が得られ、新技術の実証ができた。

(2) 運転支援システムを組み込んだ計算機制御方式を採用することによって、ボイラ負荷変化に良好に追従できること、吸収塔循環ポンプの運転台数を最適に制御すること、および低ユーティリティで脱硫装置を運転できることを確認した。

終わりに、これらの新技術の確立に多大のご協力とご指導をいただいた電力会社の関係各位に対し、深く謝意を表す次第である。

参考文献

- 1) 西岡：松浦火力発電所1号機海外炭専焼1,000 MWプラント計画概要，火力原子力発電，40巻，4号，395～406(平1-4)
- 2) 黒田，外：最近の排煙脱硫・脱硝技術，日立評論，69，10，911～918(昭62-10)