石炭火力発電所用環境設備の新技術

New Technology of Environment Protection System for Coal Fired Thermal Power Plants

燃料の多様化に対応して石炭火力発電プラントの建設が推進されているが,石炭火力発電プラントは総合的な排煙・排水・灰処理を必要とし,高効率で信頼性が高く,かつ経済的な環境設備の開発が求められている。

本稿では、石炭火力発電プラント用環境設備の主な新技術開発状況について述べる。脱硝装置については開発状況一般及び実用機の運転状況を、集塵装置については省電力効果のある新荷電方式EP及び高効率が期待できるBFの開発状況を、また脱硫装置については排水がなく用水量の少ないS回収乾式脱硫装置、ガス・ダストのリークがないヒートパイプ式G/GH及び脱硫排水処理装置の新技術開発状況などに関してその一端を紹介する。

神田 修* Osamu Kanda 中山 武** Takeshi Nakayama 森 明*** Akira Mori

Ⅱ 緒 言

新鋭石炭火力発電プラントの稼動開始により環境設備の運転実績が得られつつあるが,石炭火力発電の大容量化に伴う高性能・高信頼化,幅広い炭種への適応,低煤塵化など石炭火力発電プラント用環境設備の技術開発課題は多い。

石炭火力発電プラント用環境設備は,脱硝,集塵,脱硫などの装置によって構成されているが,これらをボイラをも含めて有機的に結び付け,よりコンパクトで省電力・省用水を追及した環境システムの開発が望まれる。

このような多様なニーズに対応するため、日立グループは 総力を挙げて研究開発を推進している。それらの新技術の一 端をここに紹介し、石炭火力発電プラント建設計画の参考に 供したい。

2 脱硝装置

日立グループは、石炭火力発電プラントの燃料多様化に対応して、各種排ガスに適した脱硝技術を確立し、多数の実用機を納入している。以下に脱硝技術開発の現状と、石炭燃焼ボイラ排ガス用として我が国で最初の実用脱硝装置の運転状況について述べる。

2.1 脱硝技術開発の現状

日立製作所では、脱硝技術の根幹となる触媒の開発については当初から自社開発・自社製造の方針のもとに、粒状及び板状触媒の実用化を図り、各種排ガスに適応した技術を確立してきた。

現在までに納入したLNG(液化天然ガス)燃焼及び重原油燃焼ボイラ用脱硝装置は、既に14基に達しており、それらの設備は運転開始以来約4年の実績を得ている。

石炭燃焼ボイラ用脱硝装置¹⁾は、高温EP(電気式集塵装置) (低ダスト)方式が2基稼動しており、続いて700MW石炭燃焼最新鋭火力発電用として、世界最大規模の脱硝装置が昭和58年3月から運開の予定である。一方、低温EP(高ダスト)方式も近く運転開始するものを含め、数プラントの計画が進められている。

また、コンバインドサイクルプラントに対しても、既に昭和56年2月から日本国有鉄道川崎火力発電所に納入した設備

が稼動しているほか,数プラントの計画を行なっている。

2.2 北海道電力株式会社苫東厚真発電所納め脱硝装置

本プラントは、石炭燃焼新設火力用脱硝装置として我が国 で最初の実用機である。表1に計画仕様を、図1に反応器の

表 Ⅰ 脱硝装置計画条件 脱硝装置の主な計画条件を示す。

| 項目 | 条件 |
|------------------------|--|
| ボイラ燃料 | 石炭 |
| 脱硝プロセス | 高温EP(低ダスト脱硝)方式 |
| 処理ガス量 | 280,000Nm³/h (350MW× 1 相当) |
| ガス温度 | 357°C(MCR) |
| 入口NOx濃度 | Max 200ppm(6%O ₂) |
| 脱 硝 率 | 80%以上 |
| リーク NH ₃ 濃度 | 10ppm(6%O2)以下 |

注:略語説明 EP(電気式集塵装置), NOx(窒素酸化物), MCR(最大連続負荷)

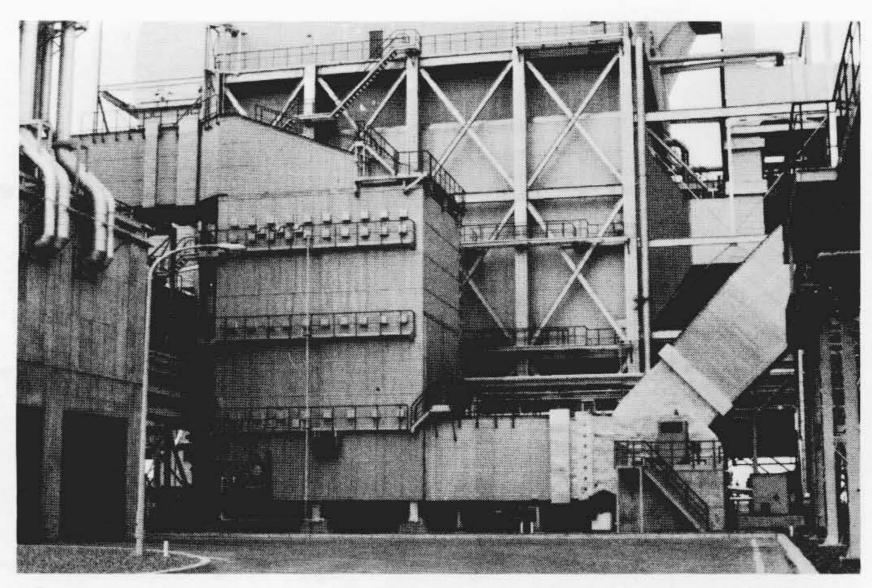


図 I 反応器全景 反応器はダウンフロータイプで、ダストの付着・堆積が極めて少ない。

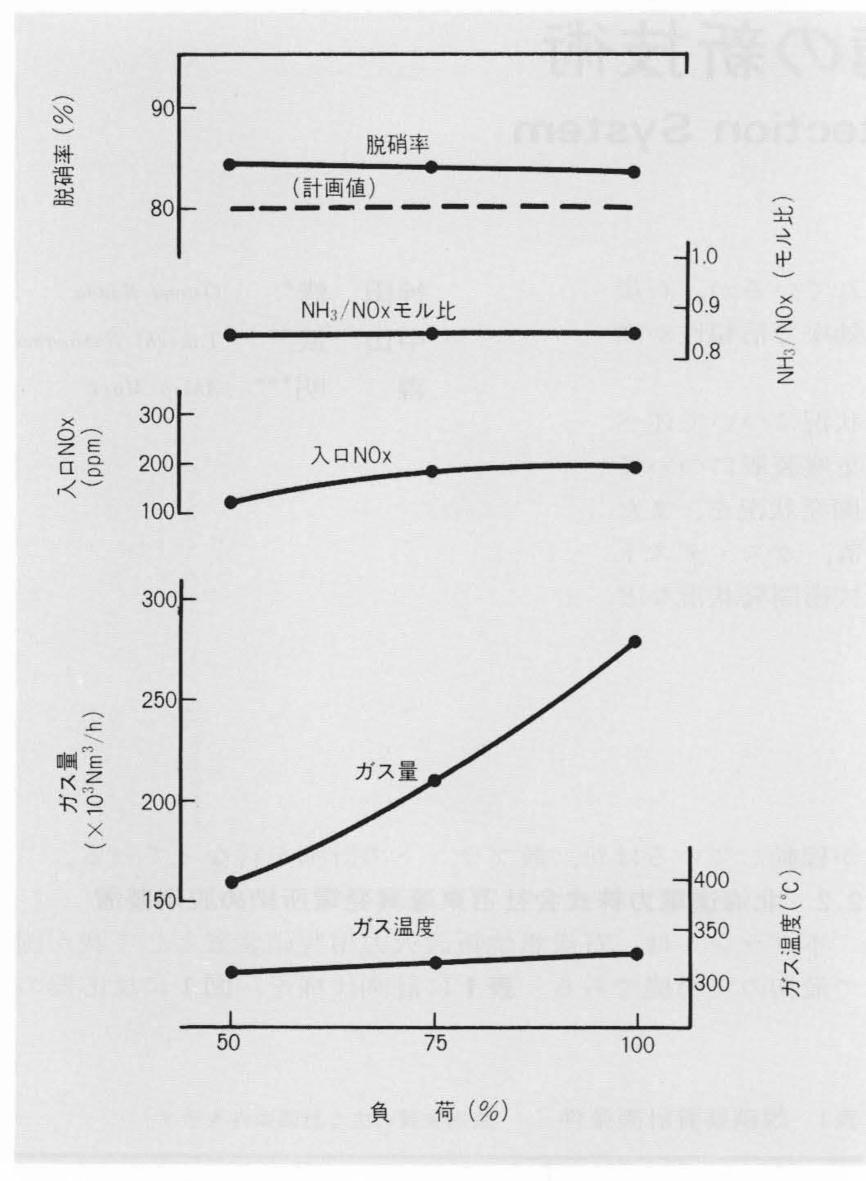


図2 脱硝装置負荷特性 試運転時の脱硝負荷特性を示す。脱硝率,リークNH3濃度とも計画値を十分満足する結果を得た。

全景写真を示す。本プロセスは、ボイラ節炭器出口の排ガスを高温EPで除塵後脱硝する低ダスト方式である。石炭燃焼排ガスという観点から反応器の設計に特別の配慮を払った。その要点は次に述べるとおりである。

(1) 圧損が少なく、ダストの付着・堆積が少ない薄形板状触

媒を採用し、触媒層のスートブローを不要とし、メンテナンスの容易なものとした。

- (2) 反応器はダウンフロータイプとし、内部部材の水平面を 極力なくした構造とし、ガス及びダストの偏流防止にも十分 な対策を講じた。
- (3) 後流機器,特に空気予熱器のダスト詰まりを防ぐために,低亜硫酸ガス (SO_2) 酸化触媒を採用するとともに,リークアンモニア (NH_3) を少なくするように計画し,酸性硫安の生成を抑制する対策をとった。

図2は試運転結果の一部を示すものである。同図から脱硝性能は計画値を十分満足していることが分かる。図3に、本プラントの現在までの経時運転特性を、計画ガス量ベースで示した。運転開始以来約2年を経過したが、この間の脱硝性能の低下はほとんど認められていない。また、ダスト目詰まりの目安となる反応器や空気予熱器の圧損も経時的な変化はなく、ほぼ一定で順調に運転を継続している。

3 集塵装置

3.1 新荷電方式EPの開発

石炭燃焼ボイラから排出されるダストの電気抵抗は炭種により異なるが 2)、 $10^{12}\sim10^{13}\,\Omega\cdot cm$ と極めて高い場合がある。このような高抵抗ダストはEPで逆電離などの高抵抗障害を引き起こし、EPの性能を低下させる。日立製作所では断続的に荷電し、ダスト層表面電位を絶縁破壊電位以下に抑制することによって、前述の異常現象の防止を図る新荷電方式(パルス荷電方式及び間欠荷電方式)を開発した。これら新荷電方式の概念を表2に示す。

間欠荷電方式の試験結果を表3に示す。間欠荷電は性能改善効果も若干認められるが、省電力効果が40~80%と顕著であり、回路構成が簡単で既設EPにも追設できる特長をもっており、実機への適用を予定している。

パルス荷電方式は,電気抵抗の高いダストに対し間欠荷電方式よりもやや高い性能改善効果がみられるが,回路構成が複雑でコストが高いという難点があり,今後更に実用化回路の検討を行なう予定である。

3.2 BF(バグフィルタ)

石炭火力発電プラント用集塵装置は,大容量の排ガスを処

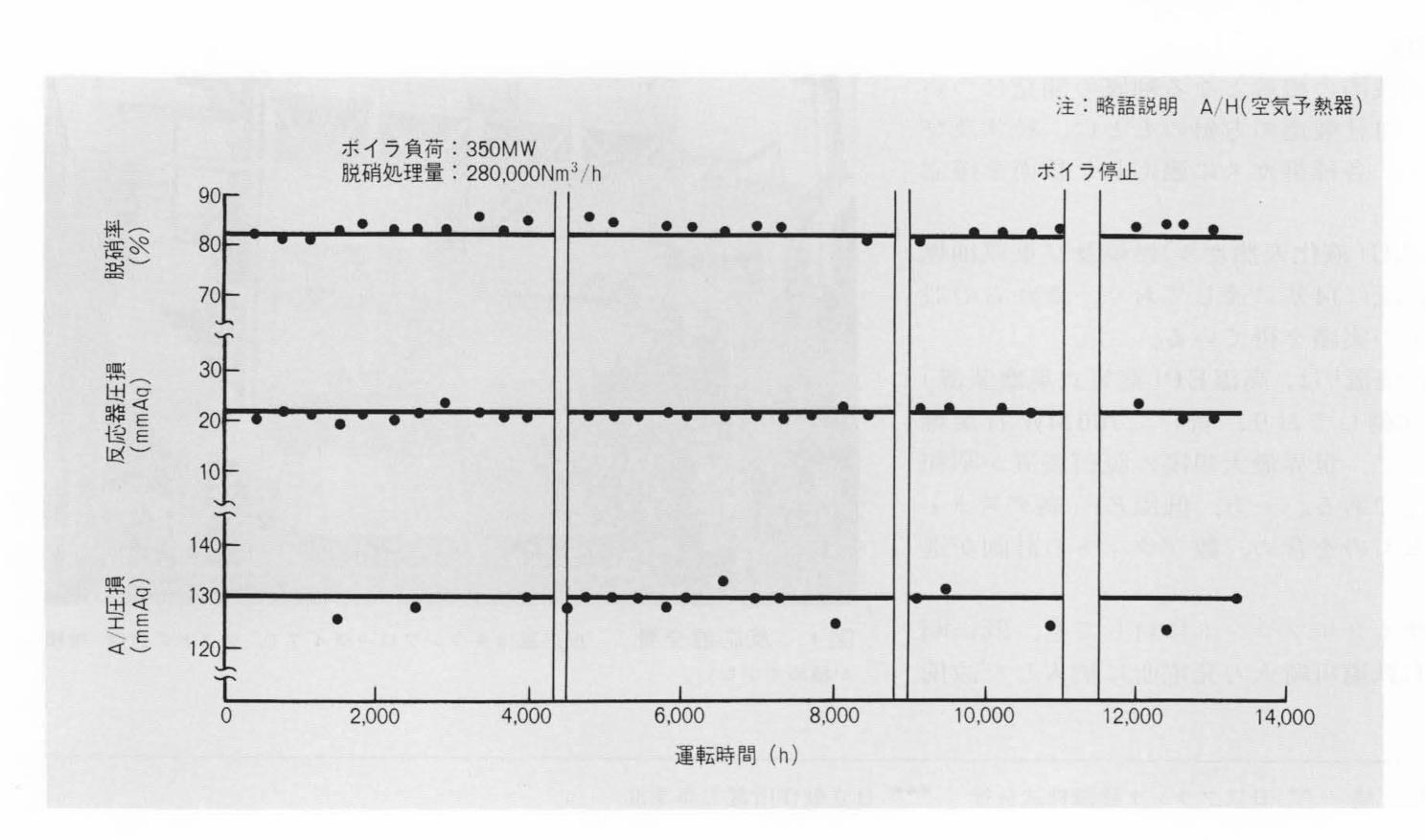
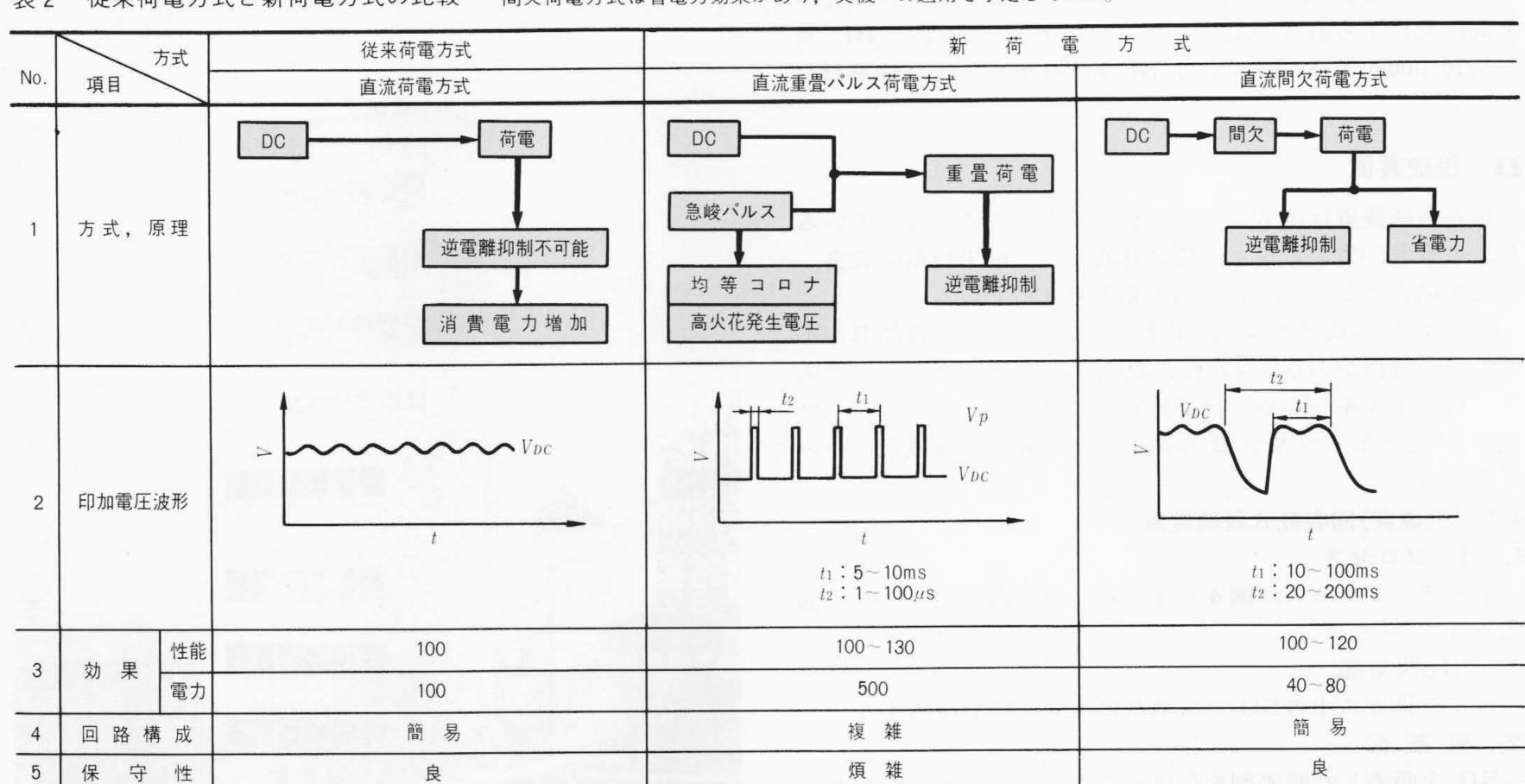


図3 脱硝運転経時特性 本プラントは運転開始以来約 1年半を経過したが、この間 の脱硝性能低下はなく、反応 器やA/H(空気予熱器)での圧 損変化もほとんどない。今後 更に、長期安定運転が期待で きる。

既設EPにも簡単に追設可能



実用化回路検討中

表 2 従来荷電方式と新荷電方式の比較 間欠荷電方式は省電力効果があり、実機への適用を予定している。

表3 間欠荷電EPの試験結果 試験の結果、省電力効果のあることが 実証された。ダスト電気抵抗が高い場合、集塵率が若干向上することが認めら れた。

| | 試 験 例 | | | ダストの | 集 塵 率 (%) | | 消費電力(%) | | |
|-----|------------|----|-----|---------------------|----------------------|-------|---------|-------|----|
| No. | 実施場所 用途,他 | | , 他 | - 電気抵抗 · 率(Ω·cm) | 従来方式 | 間欠方式 | 従来方式 | 間欠方式 | |
| 1 | | | А | 炭 | $I \times I0^{12}$ | 92.4 | 92.3 | (100) | 83 |
| 2 | パイ! トEP | | В | 炭 | 4.8×10 ¹² | 86.8 | 86.3 | (100) | 75 |
| 3 | 1 - | | С | 炭 | 2×10 ¹³ | 63.0 | 67.1 | (100) | 16 |
| 4 | А | 社 | セメン | ノト用 | I×10 ¹¹ | 80.5 | 79.46 | (100) | 71 |
| 5 | Т | 社 | | 燃焼ラ用 | I×1012 | 99.88 | 99.88 | (100) | 48 |
| 6 | D電力 | 会社 | , | | 2×10 ¹² | 96.19 | 96.27 | (100) | 40 |
| 7 | N | 社 | F | CC | 5×10 ¹³ | 67.64 | 76.24 | (100) | 42 |

注:略語説明 FCC(流動接触分解炉)

0

表 4 石炭火力用BF(バグフィルタ)とEPの比較 BFは、炭種による集塵性能への影響をほとんど受けない。

| No. | 項目 | BF(バグフィルタ) | EP |
|-----|----------|---|-----------------------------|
| 1 | 集塵性能 | (1) 炭種の変動の影響が少なく,安定した集塵性能が得られる。(2) サブミクロンダストの捕集性が高い。 | 炭種によっては集塵性能が左 右されるものがある。 |
| 2 | メンテナンス | 定期的に沪布の取替を要する。 (2~3年に1回程度) | 回/年のメンテナンスだけ で対応可能 |
| 3 | 圧 力 損 失 | 高い(100~150mmH ₂ O) | 低い(20mmH20) |
| 4 | ランニングコスト | 大 | 7]\ |
| 5 | 運転実績 | アメリカ, オーストラリアで あり, 国内ではなし。 | 国内外に実績多い。 |

表 5 日立・GEESI社 (General Electric Environmental Services Inc.)バグフィルタの特長 沪布寿命に対して種々の考慮が払われている。

| 問題点 | 考 慮 点 | 内容・特徴 |
|---------|------------------------|---|
| 性能と寿命 | 沪 | (1) 運転温度(130~200℃)を考慮しグラスファイバ沪布を採用(260℃まで可)。 (2) 沪布には耐酸コーティングを施工。 (3) 適正な沪過速度を選定し、吹き漏れ防止(高性能)、ダストの払落とし不良防止(通風損失上昇)を図り長寿命化に対応。 (4) ダスト払落としには逆洗方式を採用し、高性能と長寿命化を考慮。 (5) 沪布には適正張力を与え、長寿命化を考慮。 |
| | ダンパ | (1) 低リークのポペット式を採用。リークによる ダスト払落とし不良を防止高性能化。(2) 逆洗後のガス再流入の際, 沪布に急激な力が 加わらぬように低速度作動を実施…長寿命化。 |
| メンテナンス | 予 備 室 | 信頼性確保のため常時メンテナンスできる予備室 を設置,運転継続のまま室内の内部点検とメンテ ナンスが可能。 |
| | 換気ダクト | 内部点検とメンテナンスの際, 換気ダクトでフレッシュエアを導入。 |
| スタートアップ | プレコーティング ウォ ー ム アップ | 当初のスタートアップ時は沪布保護のため、沪 布へのプレコーティングとケーシングのウォーム アップを実施。 |

理するため従来からEPが多く採用されている。EPは燃料炭種によっては集塵しにくい場合があり、最近アメリカ、オーストラリアではBF(バグフィルタ)を採用する例が増加しつつある。表4に石炭火力発電用BFとEPの概略比較を示す。

日立製作所では石炭火力発電用BFの実績の多いアメリカGEESI社(General Electric Environmental Services Inc.)から技術を導入し、国内の事情に適応したBFの開発を行なっている。GEESIバグフィルタの特長を表5に示す。

このGEESI社との技術提携をもとに、電気事業連合会との共同研究による乾式脱硫パイロットプラントの後段にBF(ガス量10,000m 3 N/h)を設置し、BF集塵技術の実証試験を行なっている。

4 脱硫装置

現在脱硫装置は湿式石灰石-石こう法が主流となっているが,省資源,省エネルギー化に呼応して,従来技術の改良,改善を図るとともに,新技術の開発を進めている。

ここでは(1)排水がなく、用水も少なく、ガスの再加熱が不要などの特長があるS回収乾式脱硫装置³)、(2)ノンリークであり、省エネルギー形ガス再加熱器として有望なヒートパイプ式ガス-ガスヒータ及び(3)脱硫排水処理装置の新技術について述べる。

4.1 S(硫黄)回収乾式脱硫装置

4.1.1 プロセス

本装置のプロセスは**図4**に示すように、次の4工程から構成されている。

(1) SO2吸着部

ボイラ排ガス中のSO2を吸着剤により、吸着除去する。

(2) 脱離部

 SO_2 を吸着した吸着剤を加熱することによって、 SO_2 ガスとして脱離し、吸着剤を再生する。

(3) S回収部

脱離した高濃度の SO_2 ガスを、還元剤によって還元し、単体のS(硫黄)として回収する 4)。

(4) 集 塵 部

脱硫処理後のガス中のダストを, 更に高性能で集塵する。 信頼性, 安全性などについて, 特に考慮した事項を以下に 述べる。

(1) 脱硫性能

吸着剤としては、ボイラ燃料炭から適性な炭種を原料として選定し製造した。また SO_2 吸着塔は移動層方式とし、吸着剤を連続的に均一移動させることによって、層内で捕集されたボイラ排ガス中のダストの堆積を防止して、高い脱硫率が得られるように計画した 50 。

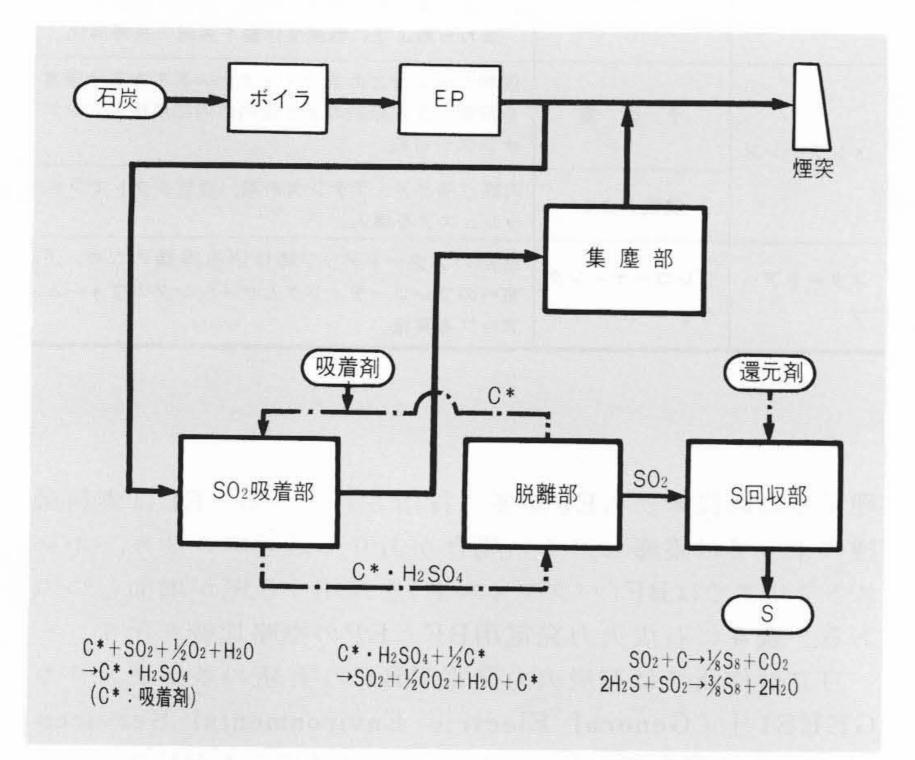


図 4 S回収乾式脱硫装置の概念図 システムは、SO2吸着部、脱離部、S回収部、集塵部の4工程から構成されている。

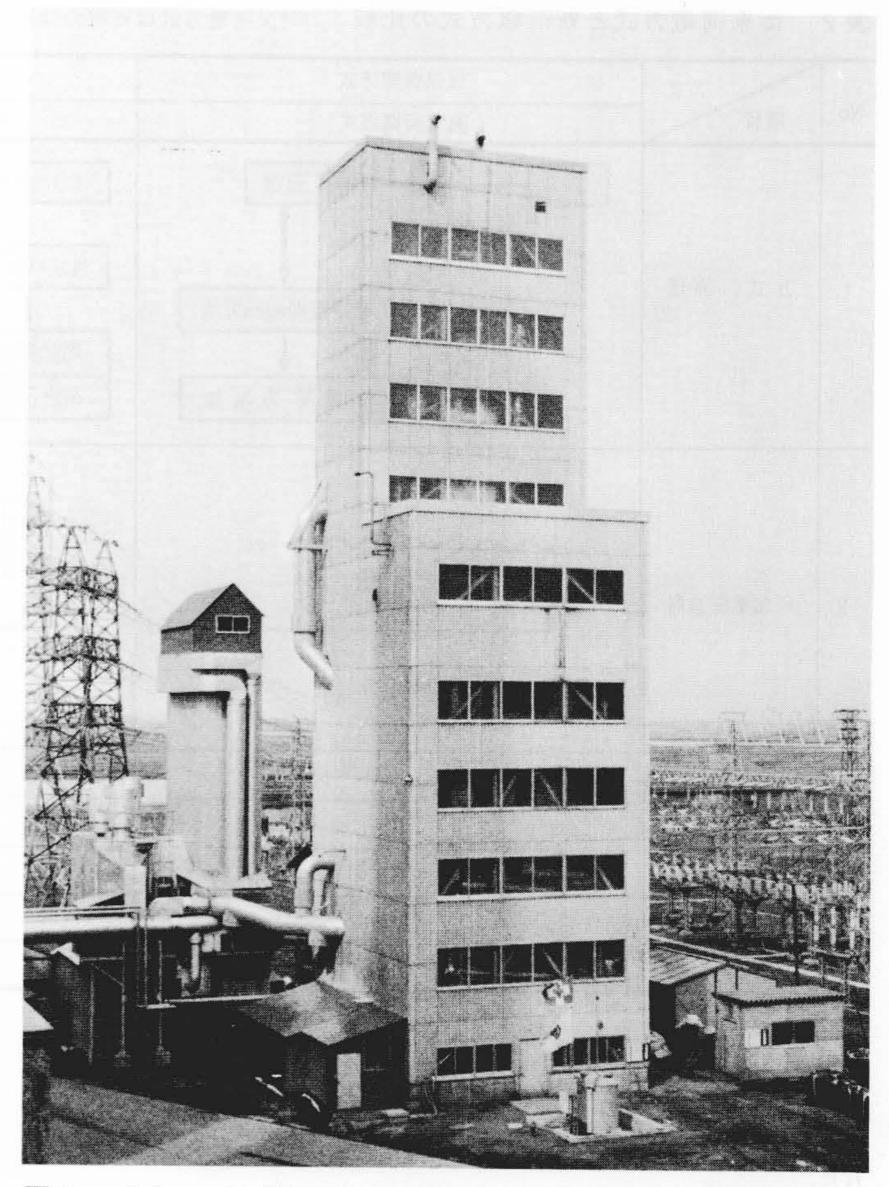


図 5 パイロットプラント 北海道電力株式会社江別発電所 3 号機に設置したパイロットプラントの全景を示す。ガス中のSO₂を吸着除去し、副生品として単体硫黄を回収する総合プラントである。

(2) 安全性

脱離塔での吸着剤の加熱再生は間接加熱方式とし,吸着剤への着火を防止した。

(3) 用役の低減と副生品の処理

S回収部で使用する還元剤には、吸着剤の製造工程で得られる中間品を使用して、用役の低減を図った。回収したSは高純度で広範囲の用途に対応できるように、還元剤の仕様を規定した。

4.1.2 パイロットテスト状況

電気事業連合会との共同研究によって、パイロットプラント実証試験を行なっている。パイロット(処理ガス量10,000 Nm^3/h)の全景を② 5に示す。

脱硫率に影響を与える主な因子としては、処理ガス量、吸着剤の移動速度、SO2濃度などがある。脱硫率は定格及び部分負荷時のいずれでも計画値を達成している。負荷変化時には、排ガスと吸着剤との接触時間が変わり脱硫率に影響を与えるが、本試験では負荷変化に対応して、吸着剤の移動速度を制御することによって安定した脱硫率が得られ、移動層吸着塔の安定性を実証した。副生品として回収した単体Sは高純度で色相も良好であった。

4.2 ヒートパイプ式G/GH(ガス-ガスヒータ)

湿式脱硫装置のガス再加熱は、燃料節約の観点から、脱硫装置入口の高温ガスで脱硫後の低温ガスを加熱するG/GHが採用されている¹⁾。G/GHとしては、回転再生形と非回転形のヒートパイプ式がある。回転再生式のG/GHでは、高圧

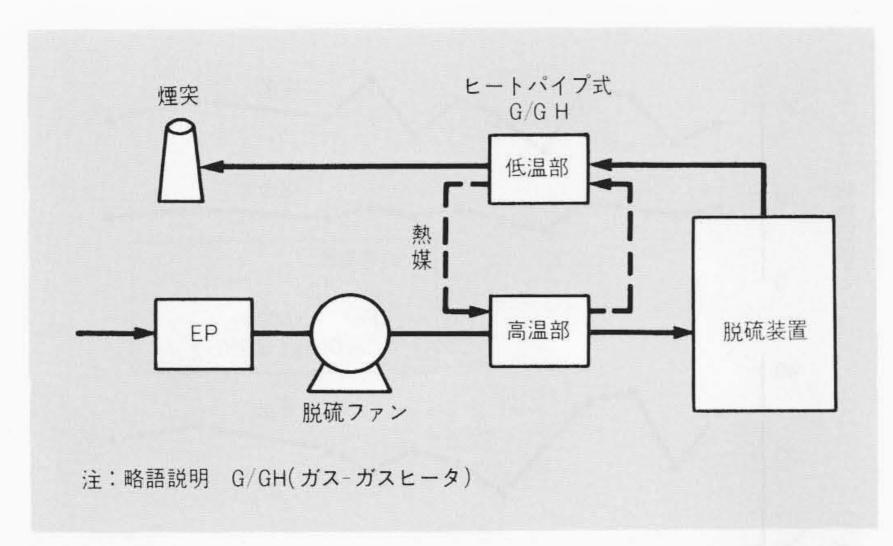


図 6 ヒートパイプ式G/GH(ガス-ガスヒータ)のシステム構成 煙突入口で低煤塵量が要求される場合には、ノンリークタイプが必要となる。

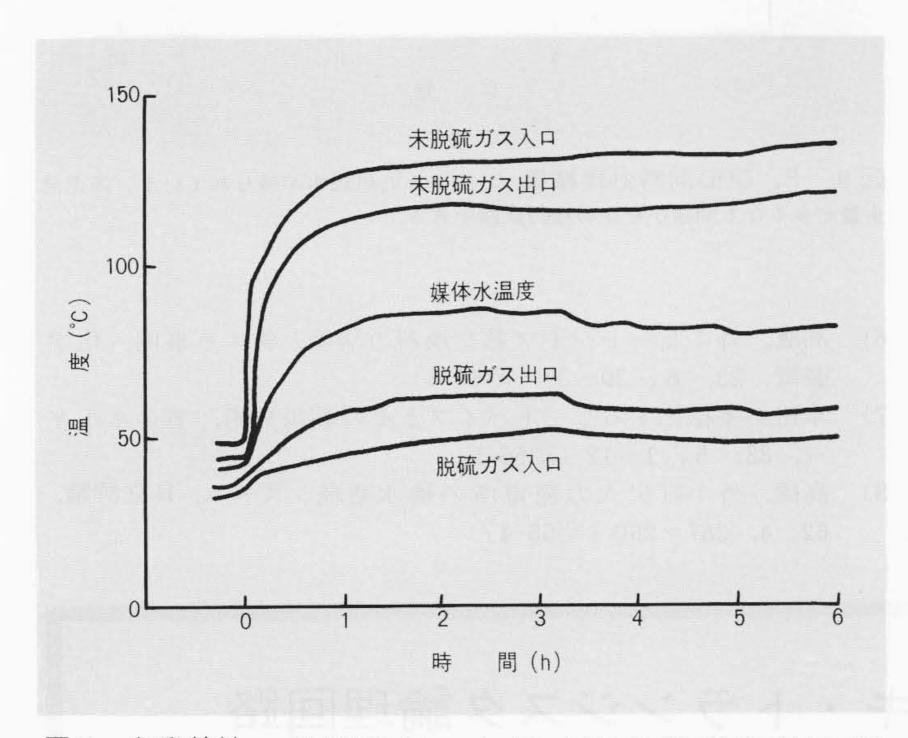


図 7 起動特性 湿式脱硫パイロットプラント用G/GH(処理ガス量:2,000 Nm^3/h)により、起動応答性に優れ、安定した性能が得られることを確認した。

側から低圧側へのガスのリークが避けられず、煙突入口で低煤塵量が要求される場合には、ノンリークタイプのG/GHが有利となる。図6は、湿式脱硫装置にノンリークタイプのヒートパイプ式G/GHを設置した場合のシステム構成を示すものである。

本G/GHでは、高温部で熱媒体が受熱蒸発して、低温部で放熱凝縮し、凝縮した熱媒体は再び高温部に戻って受熱して自然循環で熱交換が行なわれる⁶⁾。駆動部のない装置であり、ガスのリークは全くない。また伝熱管内への封入液量が少なく、熱容量も小さいため、起動特性が優れている⁷⁾。

図7は、湿式脱硫パイロットプラントに設置したヒートパイプ式G/GHの起動特性を示したもので、起動後短時間で定常値に達することを確認している。

ヒートパイプ熱交換器としての基礎試験及び大形化に適する分離形ヒートパイプの種々の特性試験を終え,既に熱風炉排熱回収用として460,000Nm³/h容量の実績をもっている。

脱硫プラント用G/GHに適用する場合には、特に腐食とダスト付着を十分に考慮する必要があり、実がス試験によって種々の条件に適用できる技術の確立を図っている。

4.3 脱硫排水処理装置

脱硫排水の処理対象物質としては、SS(浮遊物), F(フッ素), 重金属類, COD(化学的酸素要求量)などがある。

現在、F及び重金属類の処理方法としては、(カルシウム塩)を添加し、 $CaF_2(フッ化カルシウム)$ 及び金属水酸化物の沈殿物として沈殿分離している。またCOD物質の処理方法としては、硫酸加熱法あるいはイオン交換法によって除去する方法が確立している 8 。

これらの処理プロセスは、処理性能の安定性の面では優れているが、装置はかなり複雑になっている。そこで、処理プロセスの簡略化を図るため、FとCOD物質を同時に除去する方法(F, COD同時処理法)を研究開発している。

本法はカルシウム塩によってFを除去した後,更に鉄塩とカルシウム塩を同時に添加し、凝集沈殿除去する方法である。

図8に従来法と同時処理法の比較を示す。従来, COD処理として必要であったイオン交換あるいは硫酸加熱が不要となる。

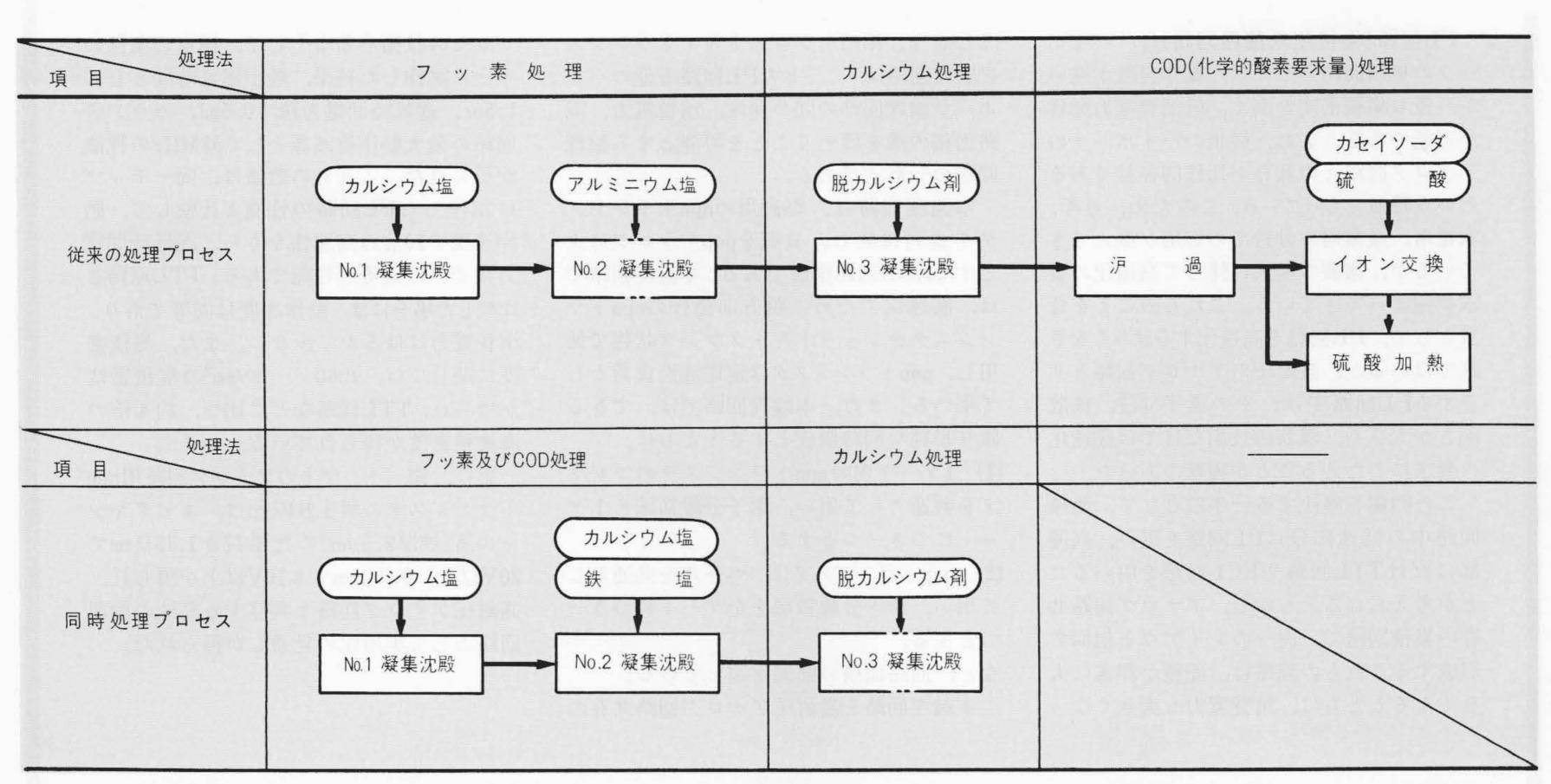


図8 従来の処理プロセスと同時処理プロセスの比較 同時処理法は、プロセスが簡略化される。

図9に、F, COD同時処理のテスト結果例を示す。

本法は連続テスト結果からかなり安定した処理水を得ることができたが、汚泥発生量が多くなる傾向があり、これへの対応と経済性などについて、今後更に検討を進める予定である。

5 結 言

以上,石炭火力発電プラント用環境設備の新技術開発の一端について述べた。このほかに日立製作所のCOTECセンターを中心に,移動電極形EP,湿式EP,脱窒処理を含めた脱硫総合排水処理装置などの研究開発を行なっている。

石炭燃焼排ガス中には大量のダストが含まれており,この 捕集とともに,摩耗・付着などの問題に対しいかに対応する かが重要であり,ボイラ燃焼面をも含めてシステム的な技術 検討を行なっている。

今後とも種々の技術開発を行ない,石炭火力発電プラント 建設計画に対処できるように努力していきたいと考えている。

参考文献

- 1) 黒田,外:石炭火力における脱硝·脱硫技術,日立評論,62, 4,281~286(昭55-4)
- 藤崎,外:石炭火力発電所用電気式集塵装置,日立評論,62,4,277~280(昭55-4)
- 3) 吉田,外:排煙脱硫システム,日立評論,55,3,278~289 (昭48-3)
- 4) 熊沢,外:化学プラントにおける廃出物の回収装置,日立評論,57,3,201~206(昭50-3)
- 5) 嵐,外:移動層における粒子の均一移動と脱硫・脱硝装置への応用,化学工学協会東海支部第42回研究談話会講演要旨集, 11~17 (昭57-1)

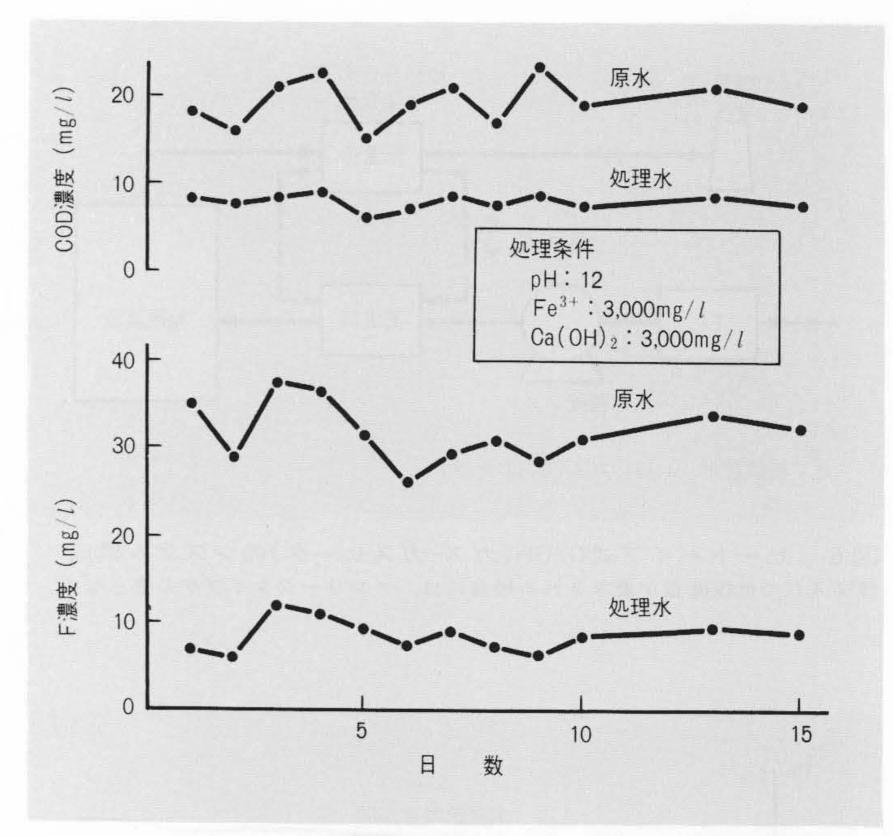


図 9 F, COD 同時処理結果 安定した処理水が得られている。汚泥発生量が多くなる問題が今後の検討課題である。

- 6) 高鷹,外:ヒートパイプ熱交換器の活用と省エネ事例,化学 装置,23,6,30~33 (昭56-6)
- 7) 本田:多様化するヒートパイプとその利用技術,省エネルギー,33,5,1~12(昭56-5)
- 8) 高橋,外:石炭火力発電所の排水処理システム,日立評論, 62,4,287~290(昭55-4)



相補形ショットキ・トランジスタ論理回路

日立製作所 金子憲二・岡田 豊・他3名 電子通信学会論文誌 J65—C, 215~221 (昭57-4)

I²L回路(集積注入論理回路)は、バイポーラの集積回路としては、動作速度が遅いが、最も集積密度が高く、低消費電力動作が可能である。また、従来のバイポーラのアナログ回路との共存が比較的容易であるという特徴をもっている。このため、近年、家電用、産業用の分野での応用が進んできているが、需要の増大に伴って高速化の要求が強まってきている。これらのことを背景として、I²L回路を高速化する試みもなされてはいるが、高耐圧のアナログ回路と共存するI²L回路では、その素子寸法、拡散深さが大きく、現状の技術だけでは高速化の要求にこたえることが困難であった。

この問題を解決する一手段として、集積 回路中の低速部分にI²L回路を用い、高速 部にだけTTL回路やECL回路を用いるこ とが考えられる。しかし、アナログ回路共 存の集積回路で、同一のレイアウト規則で 形成するこれらの回路は、面積が非常に大 きくなるとともに、消費電力も大きくなっ てしまう。相補形ショットキ・トランジス タ論理回路は、こうしたI²L回路と他のバイ ポーラ論理回路の間の速度、消費電力、回 路面積の溝を埋めることを可能とする論理 回路の一形式である。

本論理回路は、駆動用のnpnトランジスタを並列接続し、負荷をpnpトランジスタとするNOR回路構成である。本論理回路では、高速化のために順方向動作のnpnトランジスタをショットキ・クランプ状態で使用し、pnpトランジスタは定電流性負荷として用いる。また、本論理回路では、できる限り単純な回路構成とするとともに、

- (1) 1ゲート内のnpnトランジスタのコレク タを共通として用い、素子分離領域を1ゲ ートにつき一つとする。
- (2) pnpトランジスタは、ベースを共通として用い、素子分離領域を全ゲートにつき一つとする。

など, 回路面積の節減を図っている。

本論理回路を高耐圧アナログ回路共存の

プロセス技術を基本として、種々の条件のもとに試作した結果、最小遅延時間として1.5ns、遅延時間電力積で0.5pJ、カウンタ回路の最大動作周波数として52MHzの性能が得られた。これらの数値は、同一チップに試作したI²L回路の性能と比較して、動作速度で10倍の高速性をもち、遅延時間電力積でほぼ同等の性能である。TTL回路と比較した場合には、動作速度は同等であり、消費電力ははるかに少ない。また、集積密度に関しては、約60ゲート/mm²の集積密度が得られ、TTL回路などに比べ、約4倍の高集積密度が得られている。

更に、同一チップ上のアナログ回路用npnトランジスタの耐圧BVcEoは、エピタキシャル層(膜厚 $9.5\mu m$)の比抵抗が $1.35\Omega cm$ で $20V以上、<math>0.3\Omega cm$ でも10V以上が得られ、高耐圧アナログ回路と共存する高速の論理回路として実用化の見通しが得られた。