

## 最近の火力発電技術について

当社は火力発電設備を現在2390万kW強有し、当社全体の発電設備容量の約73%を占めています。また、火力発電による発電電力量は平成13年度849億kWh強で、当社の発電電力量全体の約64%を占めており、中部地方の安定的な電力供給と需給の調整の多くを担っています。

火力発電技術について「設備信頼度の維持・向上とコストダウンの両立」「環境保全」を柱に技術革新を進めています。これらにおいて取り組まれている技術について以下に紹介します。

### 1 石炭火力の高度化

当社が建設を進めていた碧南火力発電所5号機(出力:100万kW)が、平成14年11月6日に営業運転を開始しました。碧南火力発電所の合計出力は410万kWとなり、石炭火力として国内最大、世界でも最大級の発電所となりました。



第1図 碧南火力発電所全景

第1表 碧南火力発電所各号機の出力、蒸気温度等

号機	出力	主蒸気圧力、主蒸気温度 / 再熱蒸気温度	営業運転開始年月
1	70万kW	24.1MPa、538 /566	平成3年10月
2	70万kW	24.1MPa、538 /566	平成4年6月
3	70万kW	24.1MPa、538 /593	平成5年4月
4	100万kW	24.1MPa、566 /593	平成13年11月
5	100万kW	24.1MPa、566 /593	平成14年11月

最新鋭の碧南火力4、5号機で用いられている技術について、以下に述べます。

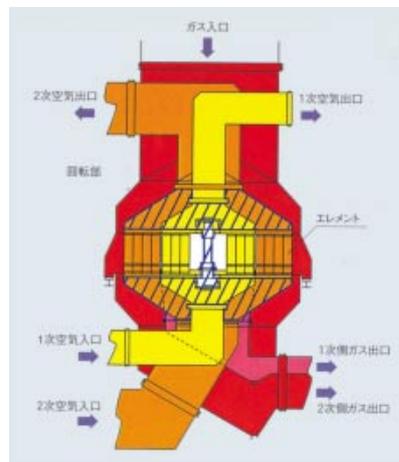
#### (1) ボイラ設備

使用する石炭性状の幅を絞り、また、節炭器にフィン付チューブを採用する等により、ボイラ本体をコンパクトにし、コストダウンを図りました。

また、ボイラに送る空気をボイラ排ガスの熱を利用して予熱する空気予熱器は、経済性の観点から、熱交

換するエレメントが固定され、空気ダクトが回転するツインフロー型ローテミューレ式と呼ばれる空気予熱器を採用しました。

建設工事では、大型ブロック工法を採用し、品質の向上、工期の短縮、現場工事の安全性の向上および建設コストの低減を図りました。



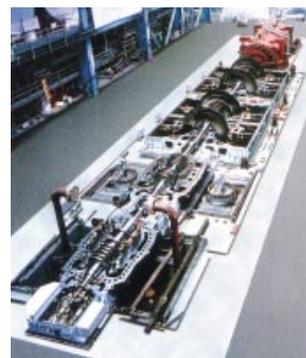
第2図 ローテミューレ式空気予熱器説明図



第3図 ボイラ大型ブロック工法

#### (2) 蒸気タービン・発電機

タービン建屋の大型化を避けるため、出力100万kWの3600rpm機としては、世界で初めて高圧タービンから低圧タービン、発電機まで1本の軸形に接続する1軸型としました。軸振動や軸の熱伸びに対する信頼性を従来の蒸気タービンと同等とするため高圧タービンから発電機までの全長を70万kW機と同程度の約52.7mに抑えています。蒸気タービン最終段翼は当社が開発した40インチ翼を採用しました(既刊100号で紹介)。発電機ロータは遠心力増大に対応して、引張強度1000MPa級の強靱なNi-Cr-Mo-V鋼を、ロータ端部のエンドリング材には引張強度1300MPa級で、かつ応力腐食割れを起こしにくい18Mn-18Cr鋼としています。



第4図 建設中の蒸気タービン・発電機

### (3) 電気・計測設備

主要変圧器と所内電力のための2台の直結変圧器を一体構造とし、コンパクト化とコストダウンを図りました。

監視・操作は、CRTおよび小型の操作卓から成る主盤で行えるようにしました。主盤後方の補助盤は、非常時操作の一部のバックアップスイッチのみとし、既設制御室の拡張を最小限としました。



第5図 中央制御室主盤・補助盤

### (4) 排ガス処理設備

ボイラ出口排ガスのばいじんを除去するための電気集じん器の集じん効率を上げるため、電気集じん器の上流に熱回収器(ガス・ガス熱交換器)を設け、排ガスの温度を90 程度まで下げています。また、排ガス下流にはさらに湿式電気集じん器も設け、ばいじんを5mg/m<sup>3</sup>N以下まで低減しています。

湿式脱硫により温度低下した排ガスは再加熱器(ガス・ガス熱交換器)にて昇温し、排煙の拡散性の向上、白煙化の低減を図っています。

また、排ガス中の窒素酸化物は、ボイラ出口でアンモ

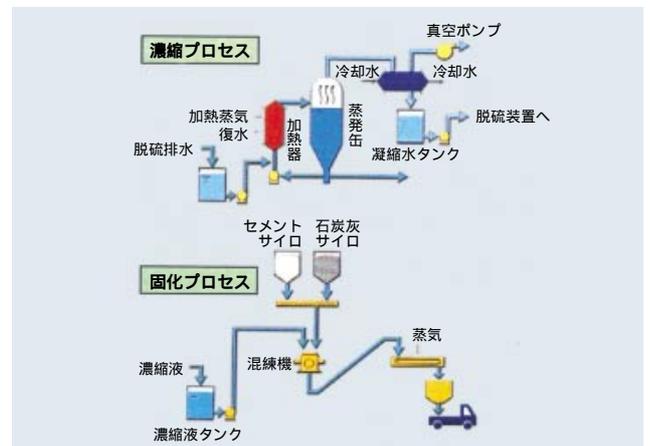
第2表 碧南火力4、5号機排ガス処理性能

項目	計画値	
脱硝性能	煙突入口NO <sub>x</sub> 濃度	15ppm以下
	脱硝率	90%
脱硫性能	煙突入口SO <sub>x</sub> 濃度	25ppm以下
	脱硫率	97.1%
除じん性能	煙突入口ばいじん濃度	5mg/m <sup>3</sup> N以下
	除じん効率	99.975%

ニア注入し、触媒で反応を促進させ窒素と水にするアンモニア接触還元法の脱硝装置にて低減させています。

硫酸化物は、ボイラ排ガスを石灰(CaCO<sub>3</sub>)スラリーにくぐらせることにより、硫酸化物を石膏(CaSO<sub>4</sub>・2H<sub>2</sub>O)として固定化する石灰石・石膏法脱硫装置にて低減させています。碧南火力4、5号機の脱硫率97.1%は国内最高水準です。

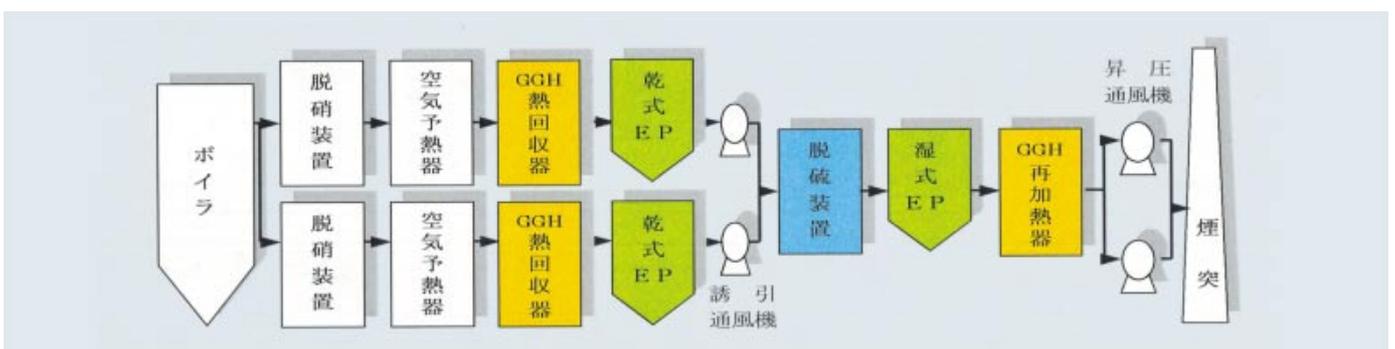
脱硫装置から排出された石膏は、建材ボードなどに有効利用されます。同時に発生する排水は、脱硫排水無排水化装置により濃縮され、セメントおよび石炭灰で固化処理され、固化物は発電所敷地内の灰捨て地に処分されます。濃縮工程で回収される蒸発凝縮水を脱硫補給水として再利用するようにしました。



第6図 脱硫排水無排水化装置



第7図 排ガス処理装置全景  
(左からボイラ出口、脱硝装置、電気集じん器、脱硫装置)



第8図 排ガス処理系統図

## 2 ガスタービンコンバインド発電プラントの保守費用低減・高効率運用

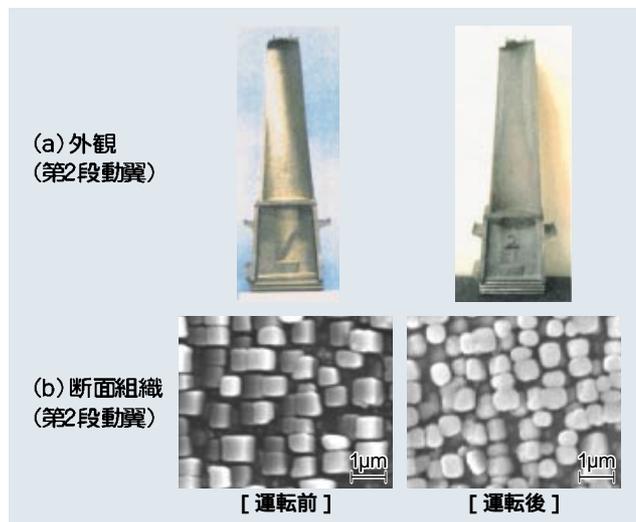
当社は数多くのコンバインド発電プラントを有しており、ガスタービン高温部品の長寿命化など保守費用低減に向け、技術開発を進めています。ここでは、その取り組み状況の一部を紹介します。

### (1) HIP技術

ガスタービン動翼は、高温下で長期にわたる運転によって材料劣化が生じるため、劣化した動翼の材料特性を回復させる目的で研究を行いました。その結果、HIP(Hot Isostatic Pressing: 熱間等方加圧)技術を適用した熱処理により、劣化した動翼のミクロ組織および機械的特性をほぼ運転前の状態まで回復できることが明らかとなりました。HIPは、Ar等の不活性ガスを圧力媒体とする圧力容器中で1000 以上の温度と100MPa(1000気圧)以上の等圧力下で加熱・加圧処理する技術です(既刊94号で紹介)。

そこで、四日市火力発電所4号系列1100 級ガスタービンで運転し、取替えられた第2、3段動翼各3本を対象に本熱処理などの補修(HIP補修)を行った後、再度実機に組み込み、平成11年12月から平成13年9月まで運転を行いました。運転後に材料特性を調査した結果、第9図(a)に示すように、各段ともに運転後のHIP補修翼にき裂は観察されず、変形も認められませんでした。また、第9図(b)に示すように、各段ともに運転前と比較してHIP補修翼のミクロ組織の変化および機械的特性の低下はわずかでした。さらに、動翼に本熱処理を適用したことによる運転中の寿命消費の加速は認められなかったことから、各段におけるHIP補修翼の健全性が確認できました。

このように、研究結果および実機における運転実績



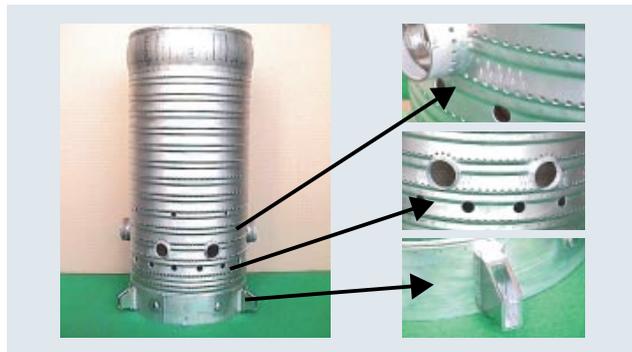
第9図 運転前後のHIP補修翼の外観と断面組織

から、劣化した動翼に対する材料特性回復手法が確立できました。

### (2) ガスタービン低応力型副室ライナの開発

日立製ガスタービン高温部品のうち、燃焼器副室ライナは最も損傷が著しく、その損傷は、熱疲労き裂の発生・進展であり、プラントの起動停止回数に依存しています。このため、燃焼器副室ライナのき裂許容に至る前にプラントを停止し点検修理を行う必要があり、これによりプラントの年間起動停止回数が制限されています。

そこで、年間起動停止回数の制限緩和のため、長寿命化および高頻度起動停止運用対応を目的とした低応力型副室ライナ構造の開発研究を行いました。今後、実機での燃焼特性を評価し採用を進めていく予定です(既刊100号で紹介)。



第10図 対策型副室ライナ

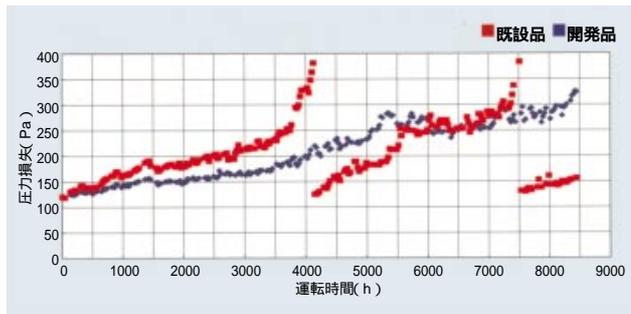
### (3) 長寿命ガスタービン吸気フィルタの開発

近年、コンバインド発電プラントの増加と共に、ガスタービン吸気フィルタの保守費用が増加しておりコストダウンが求められています。さらに、使用後の廃棄物減容化・リサイクル化および処理費用低減も重要な課題であることから、長寿命かつ安価で環境面でも寄与できる吸気フィルタを開発し、川越火力発電所構内の試験装置(第11図)で現地確認試験を行いました。

開発品の吸気フィルタは、フィルタ構造を工夫することで既設品と同等の除じん性能でかつ、寿命を2倍以上(第12図)とすることができました。また、洗浄再使



第11図 GT吸気フィルタ試験装置



第12図 運転時間と吸気フィルター圧力損失

用タイプとすることで廃棄物処理費低減にも寄与できます。

現在、川越火力発電所3号系列のガスタービン1台に適用し、性能を実証中です。

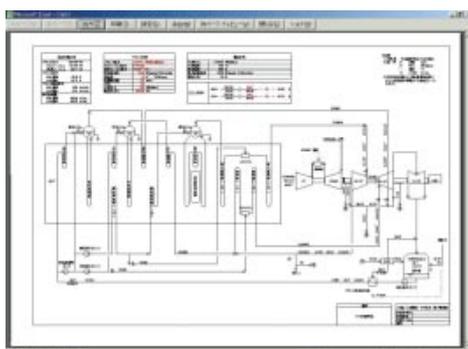
#### (4) コンバインドサイクル熱効率解析システム

コンバインド発電プラントを構成する機器の性能管理は、コンバインドサイクルを構成するガスタービンが大気温度等の外的条件により発電機出力等の運転状態値が変動するため、運転状態値から性能等を比較評価する事が難しく、また、一軸型のコンバインド発電プラントでは、ガスタービンと蒸気タービンが同一軸に結合され1台の発電機を駆動するため、合計出力しか直接計測できないなど個々の性能劣化を分析・評価することが困難であり、経済的な保守のための性能管理方法の確立が課題となっていました。

本システムでは、主にプラント各部の運転状態チェックの指標として、プラント各部の実測値(圧力、温度、発電機出力等)を使用してヒートバランス計算を行い、プラント各部の状態値を算出する機能と、この状態値を基にして大気温度等を標準条件(大気温度15℃、湿度60%、海水温度21℃など)とした時のプラントの状態量を収束計算によりシミュレーションできる機能を有しています。

これにより異なる外的条件下での運転状態値を一定条件下にする事ができ、比較評価が容易になりました。

これらの機能を活用し、実機データから計算された結果と基準データとの偏差を解析することにより、熱効率低下部位の特定や機器異常の予兆が分析可能となりました。



第13図 ヒートバランス図

### 3 運転・保守技術の高度化

当社では、作業環境を改善し品質精度の向上を図る作業ロボットの研究開発や、設備の異常兆候を早期に発見し、設備トラブルを未然に防止するためのシステムの開発など、運転・保守の高度化に関する技術開発についても積極的に取り組んでいます。以下にその取り組み状況の一部を紹介します。

#### (1) 小口径循環水管塗装装置

コンバインド発電プラントである川越火力発電所3、4号系列と新名古屋火力発電所7号系列の海水管内面を塗装できる小口径循環水管塗装装置を開発しました。

火力発電所では海水を冷却水として使用していますが、この管内面への海生物付着による海水取水量の低下を防止するため、防汚塗料を4年毎に塗装しています。従来の大口径管(配管径2.6m~3.7m)は自動塗装装置を使用していますが、コンバインド発電プラントでは、管径が1.1m、1.4mおよび1.7mと小さく、現状は人手により塗装作業をしています。この塗装作業の環境改善と仕上り塗膜面の均一性を向上できる塗装装置として開発しました。

塗装装置は、配管内の塗装装置本体をメインとして、制御ケーブル、塗料ホース、駆動用空気ホースからなり、陸上部は操作器、前方・後方監視モニターで構成されます。本体は、走行駆動系機構および塗装ノズル旋回機構などを搭載しています。前後車輪の車軸間距離は、配管径1.1m・1.4m・1.7m共に600mmと短くしました。さらに配管内での組立を考慮して、装置を、本体、走行車輪脚、監視カメラ、塗装ノズルアームの4ユニットとし、配管内の組立作業員1名で組立を可能としました。走行はエアーマータを駆動源として、左右に広がった走行車輪の間に差動機構を組み込んだ4輪駆動方式で、台車の重心を低くし車輪はウレタンゴムとすることにより、曲がり管を傾くことなく、走行面に傷を付けることなく自走できます。管内での人による移動など取扱性を考慮し駆動部にクラッチ機構を設置しました(第14図)。

実証試験として、長距離走行と塗装試験を計画し、



第14図 小口径循環水管塗装装置

その結果より、直径600mmのマンホールから塗装装置の搬出入が可能であり、亜酸化銅系防汚塗装では、必要塗膜厚110μm以上を確保し、また、シリコン系防汚塗

装も、必要塗膜厚75 μm以上を確保でき、滑らずに、塗装面を傷つけることなく走行でき、直管部、曲がり部共に塗料の垂れもなく良好であることを確認しました(既刊96号で紹介)。

### (2) 微粉炭管内面検査装置

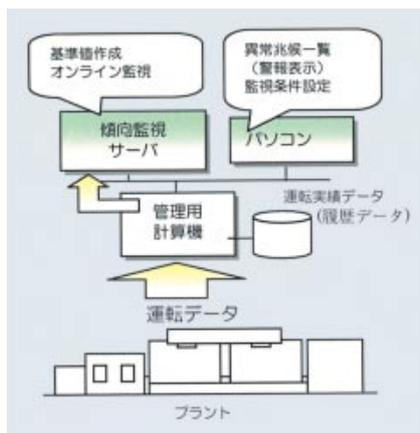
大容量石炭焚プラントである碧南火力発電所の微粉炭管内面を点検・検査できる装置を開発し、点検作業の安全性向上ならびに点検工事費のコストダウンを図りました。この装置は、配管径450~700mmの配管中を直管部、曲がり部、水平部、傾斜部ともに磁力で管内面に吸いつき走行可能な台車に、配管肉厚測定機構を組み入れています。配管内面をカメラにより点検でき、肉厚を内部から円周方向に±0.2mmの精度で連続測定が可能で、測定したデータは、操作支援用パソコンにより管理し保存する装置です(既刊88号で紹介)。

### (3) 異常兆候監視装置

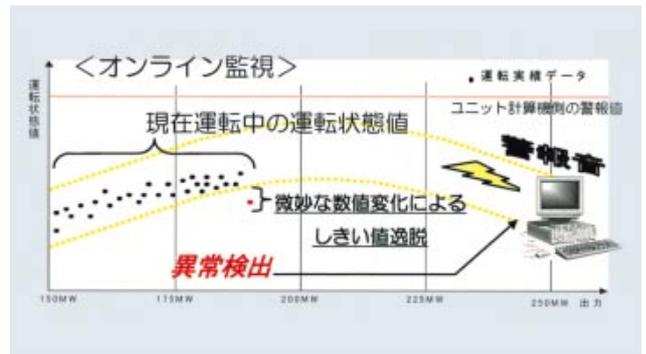
発電プラントの運転監視は、機器の制限値を越えた際の自動警報による監視に加え、多くの監視項目から、発電員の経験などにより監視対象を絞り、監視用CRTなどを通して、リアルタイムに行われていますが、過去のトラブル内容を見ると、運転データの比較による異常兆候の把握がトラブルの未然防止に直結する事例のあることがわかりました。

しかし、これまでは各部の運転状態値を実績データとして管理用計算機に保存し、時系列的にデータ提供を行う機能はあるものの、運転データの抽出・選別・分析・判定を自動的に行う機能は有りませんでした。そこで、システムにより異常兆候等の僅かな状態変化を早期発見するため、現在の運転データと過去の運転履歴との相関をチェックできる機能、複数の運転状態値をリアルタイムに監視できる機能等を管理用計算機に付加する形でシステムを開発しました。

監視は、過去の運転実績データから統計的手法を用いて算出した基準値を基に設定したしきい値(正常な運転状態でのデータ変動範囲)と、現在の運転状態値とを比較して異常兆候の注意喚起ガイダンス出力を行います。



第15図 システム構成



第16図 しきい値による監視

## 4 廃棄物リサイクル等における環境保全

廃棄物対策・リサイクル対策については、環境と資源の保全に対する社会的関心の高まりで、ますます重要な課題となってきています。これを踏まえ、当社では、火力発電所の運転に伴い発生する石炭灰等の有効利用など、資源循環型システム構築に向けた技術開発を進めています。以下に、その一部を紹介します。

### (1) 石炭灰有効利用技術

#### ア 石炭灰混合プラスチックの開発

石炭灰(フライアッシュ)の有効利用を進めるための一つの方策として、プラスチック樹脂原料の増量剤としての活用方法を研究しています。

製造工程としては、樹脂原料とフライアッシュを加熱混練機にて混練押しを行い、成型製品の原料となるペレット状に加工します。

これまでの研究では、ポリプロピレン樹脂に重量で最大75%のフライアッシュが混合でき、かつ、性状的にも単体のポリプロピレンに匹敵する引張強度や曲げ強度が発現できることを確認しています。

現在、実際に工場のラインで用いられている加工機を使用して量産化の確認試験を実施しています。

また、製造した石炭灰混合プラスチックのペレット原料を用いて、樹脂製品を成型し、成型製品の評価も並行して実施しています。

これまでに図のようなOAフロアパネルや仮設敷板、フラワーポットなどを試作・評価してきており、良好な評価が得られています。今後、経済性の評価も行いながら、早期の実用化を目指しています。



第17図 試作したOAフロアパネル

## イ フライアッシュの建築用外装材原料への適用

フライアッシュが建築用外装材であるタイル貼付材原料として適用できることを見出しました。

フライアッシュを混合した貼付材料は、既存製品に対し、施工性は同等以上で、経年経過してもひび割れ等の発生はなく、特にタイルの接着力については、既存製品を上回る性能を発揮します。



第18図 タイル貼付材料の施工状況

## ウ 花めぐり培養土の開発

石炭灰( クリンカアッシュ )の有効利用を主眼に、リサイクル原料である貝殻粉末や廃木材の堆肥化物などを活用して、一般園芸用の培養土として「花めぐり培養土」を開発しました。平成14年4月より、ホームセンター、スーパー、園芸店などで販売をしています。



第19図 花めぐり培養土

## エ 人工ゼオライト

石炭灰の有効利用の一例として、人工ゼオライトが挙げられます。ゼオライトはもともと天然に産出される鉱物ですが、同様な性質を有する人工ゼオライトは石炭灰を適当な薬液とともに加熱処理し結晶化させて製造します。石炭灰の粒子はガラス質の球体であるのに対し、ゼオライト化したものは多孔質な結晶体に変化します。



第20図 石炭灰の表面構造



第21図 人工ゼオライト

この多孔質結晶化により、人工ゼオライトは次の様な機能を持つことができます。

### 陽イオン交換機能

イオン交換による水質浄化、土壌浄化、土壌改良

### 吸着・触媒機能

有毒ガスの吸着、吸湿、除臭、排気ガスの浄化

人工ゼオライトを用いた環境対策の実施例として、多治見市射撃場浄化試験があります。

人工ゼオライトは鉛などの重金属を吸着する性質を有しており、多治見市の協力で試験を行った結果、射撃場排水中に溶け込んでいた鉛を、ゼオライトが99%程度吸着すると共に6ヶ月以上の持続力も確認され、水質浄化のろ過材として優れていることを実証しています。



第22図 排水路に敷設した人工ゼオライト

## (2) 保守用材料のリサイクル

火力発電所のメンテナンスに伴い、廃プラスチック廃油等様々な廃棄物が発生するため、地球環境保全の観点からこれらの削減・リサイクル技術の開発に取り組んでいます。

一例として、プラント機器の保守をはじめ、工業製品等の洗浄に適用可能な、フロンを含まず環境に優しい洗浄剤および移動式のリサイクルシステムを開発しました。

### ア 開発洗浄剤の特徴

廃液は回収・蒸留によりリサイクル可能なため産業廃棄物の削減が可能(炭化水素系)

オゾン層破壊物質を含有していない

PRTR対象化学物質を含まない

### イ リサイクルシステムの特徴

移動式のためプラント構内にて回収可能

産業廃棄物(使用済み洗浄剤)の発生量が従来の1/10以下に削減できる

### ウ 用途

発電所のボイラー、タービン、電気設備機器等電力機器の保守部品の洗浄

鉄道、自動車、航空機、船舶等保守部品の洗浄



第23図 移動式洗浄剤リサイクルシステム