

大気・水質・土壌をきれいに保つ環境クリーン技術

Environmental Technologies which Keep the Atmosphere, Water, and Soil Clean

伊藤 修 Osamu Ito

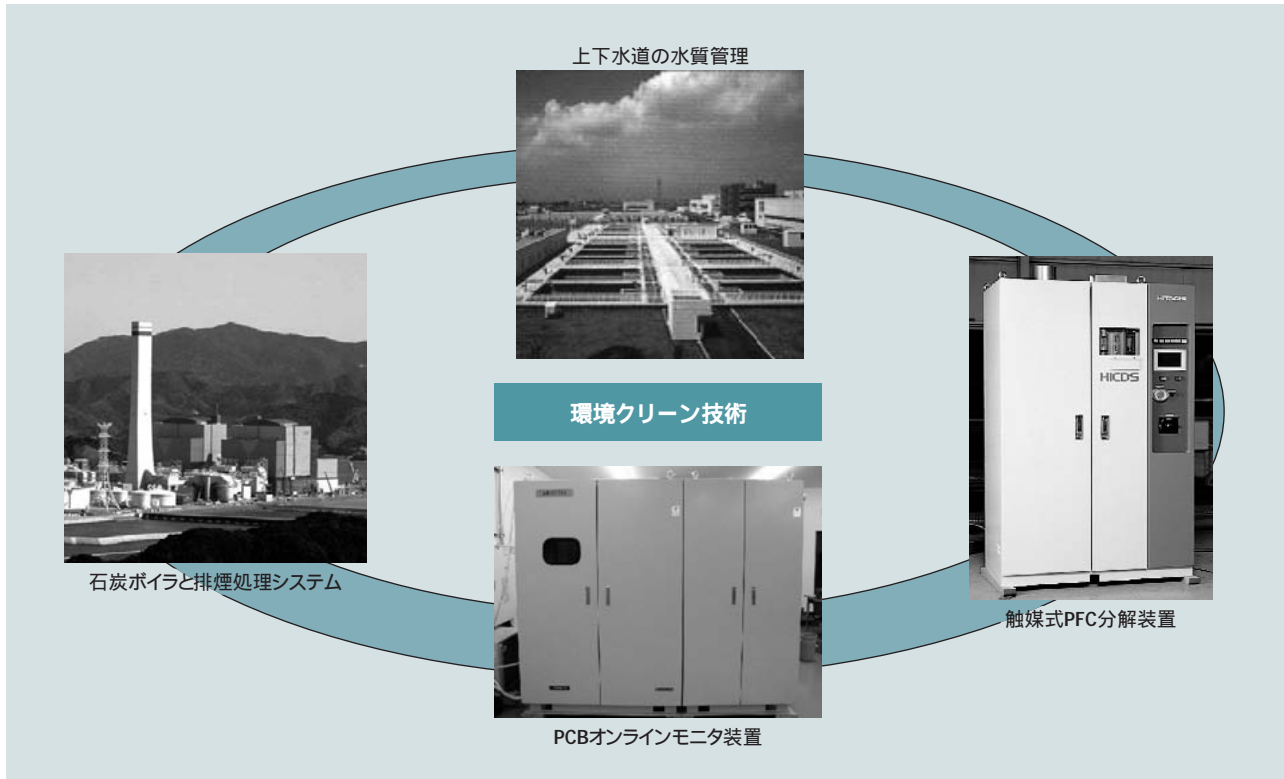
吉川 博文 Hirofumi Kikkawa

望月 美彦 Yoshihiko Mochizuki

圓佛 伊智朗 Ichiro Embutsu

佐々木 崇 Takashi Sasaki

山田 益義 Masuyoshi Yamada



注:略語説明 PFC(Perfluorocarbon), PCB(Poly Chlorinated Biphenyls)

図1 日立グループの環境クリーン技術

日立グループは、われわれを取り巻く大気・水・土壌の環境を保全するため、環境に悪影響を及ぼす物質を発生源から除去する技術、モニタリングによって環境条件を適正に管理する技術の開発を重ねてきた。

1.はじめに

世界の人口は現在約65億人で、30年後には30%の増加が予想されている。一方、エネルギー消費は生活水準の向上などにより、今後30年で70%増加する見込みである。このようなエネルギー消費の拡大や工業化の進展に伴う環境の悪化を防ぐために、総合的な対策が求められている。

健康、快適、安全、安心な環境の実現に向け、日立グループは先進的な環境クリーン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における高度排ガス処理、上下水道の水質管理、触媒式PFC(Perfluorocarbon)分解装置、PCB(Poly Chlorinated Biphenyls)オンラインモニタ装置の開発成果と今後の取り組みについて述べる(図1参照)。

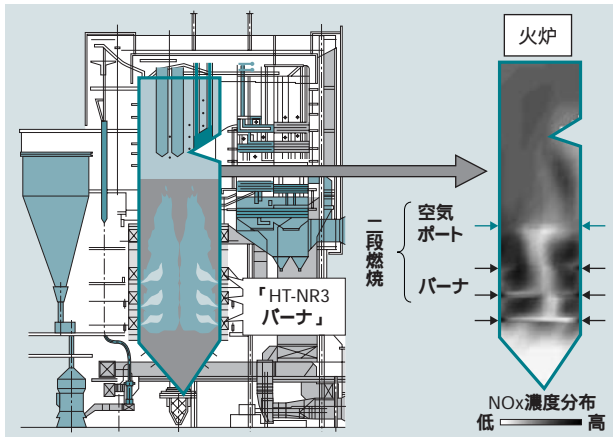
2.石炭火力における高度排ガス処理

2.1 ボイラでの低NOx燃焼技術

石炭を燃料とするボイラは、ガス・油焚(だき)ボイラとともに火力発電プラントの蒸気発生装置として重要な位置を占めている。石炭中には有機窒素が多く含まれているので排ガス中のNOx(窒素酸化物)濃度が他燃料に比べて高い。世界的な環境保全意識の高まりに対し、あらゆる性状の石炭について環境適合する燃焼技術を提供することが急務であり、石炭火力発電用ボイラの低NOx燃焼技術に対する期待は大きい。

日立グループは、微粉炭の着火直後の初期の燃焼領域を、高温かつ燃料過剰にすれば、火炎内でNOxが効率よく分解することを基礎研究で解明し、「火炎内脱硝」という新しい概念を確立して、初代の「HT-NRバーナ」を開発した。これは着

エネルギー消費の拡大や工業化社会の進展に伴う環境の悪化を防ぐためには、(1)環境汚染物質をできるだけ発生させない、(2)発生しても確実に除去する、(3)環境条件を高精度に測定し管理する、などの総合的な対策が必要である。日立グループは、石炭火力における高度排ガス処理では、NO_x（窒素酸化物）の発生を極限まで低減するとともに、発生したNO_x、SO_x（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。上下水道の水質管理では、高度な処理プロセスに加え、品質管理の新たな手法を提案している。触媒式PFC分解装置は、温暖化ガスであるPFCを低処理費で安全に処理する。PCBオンラインモニタは、処理プラントからのガス中PCBを規制値の $\frac{1}{10}$ の感度で常時連続測定できる。日立グループは、今後も環境をクリーンに保つ新技術の開発を積み重ねていく。



注:略語説明 NO_x(窒素酸化物)

図2 ボイラ構造およびNO_x濃度の数値解析結果
シミュレーションを駆使して火炉内のNO_xを極限まで低減する環境適合ボイラの開発をめざしている。

火を促進し、火炎温度を高温に維持することで、NO_xの低減、灰中未燃焼分の低下を両立させることのできる画期的な燃焼技術である¹⁾。現在、火炎内脱硝反応をさらに強化した第3世代の「HT-NR3バーナ」が、国内事業用ボイラをはじめ、カナダの最新鋭の超臨界圧火力発電プラント(垂瀬(れき)青炭)に適用され、環境保全に貢献している²⁾。

石炭火力の超低NO_x化、高効率化を追求するうえで、数値シミュレーションは不可欠の技術である。日立グループでは、火炎内脱硝の反応機構を再現できるNO_x反応モデルを、燃焼反応基礎データから構築し、ボイラを対象とする燃焼流動解析ツールを開発した³⁾。ボイラ内のガス温度、熱流束はもとより、NO_xなどの排ガス組成を精密に予測できる(図2参照)。シミュレーションを駆使してバーナ、空気ポート配置などを最適化し、与えられた石炭性状に対して火炉内のNO_xを極限まで低減する環境適合ボイラの開発をめざしている。

2.2 排煙処理システム

2.2.1 全体システム

わが国の石炭火力では、脱硝、集塵(じん)、脱硫装置など排煙処理技術が広く適用され、世界でもトップレベルにある。その中で長年にわたり培ってきた日立の環境保全技術は、国

内はもとより、海外でも、技術供与や製品輸出という形で貢献している。今後予想される欧米での環境規制強化に対しても、大きな期待が寄せられている。

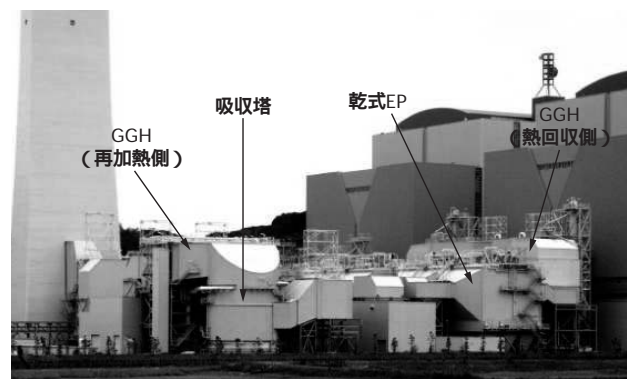
排煙処理技術では、個別装置での性能向上だけでなく、排煙処理システム全体を最適化することが、除去効率を上げる点で重要である。例えば、煤(ばい)塵除去については、GGH(Gas-Gas Heat Exchanger:ガス/ガス熱交換器)で乾式ER(Electrostatic Precipitator:電気集塵装置)入口の排ガス温度を下げて除塵効率を向上することが効果的である。この方式を適用した初号機を、電源開発株式会社橋湾火力発電所第2号機(1,050 MW)に納入し、高性能を実証している⁴⁾(図3参照)。

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_x(三酸化硫黄)対策としても有効と考えられ、米国実機での実証試験を計画中である。

2.2.2 脱硝装置

日立の触媒は、その形状が板状で、灰による閉塞(そく)や摩耗が生じにくく、国内外の石炭火力発電所で高い信頼性を得ている。

東部高S炭を使用する米国の発電所では、排ガス中のSO₂(二酸化硫黄)濃度が高く、その一部が脱硝触媒で酸化されて硫酸ミストが生成し、紫煙が問題となっていた。これに対し



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

図3 新排煙処理システムの特徴
処理システム全体の最適化により、除塵効率を向上している。

て、SO₂酸化率を従来の $\frac{1}{5}$ 以下にした新触媒を開発し、世界で初めて東部高S炭焚きプラントに適用した⁵⁾。

2.2.3 脱硫装置

日立は、従来、別々の塔で行っていたSO₂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(こう)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。

さらに、吸収塔内の流れにSO₂の吸収・酸化反応を加味した独自の数値解析ツールを開発し、実機の性能を高精度で評価することを可能とした。これを用いて、スプレーノズル配置を最適化して塔内の偏流を防止し、要求脱硫性能を満足するための液循環量を低減した。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。

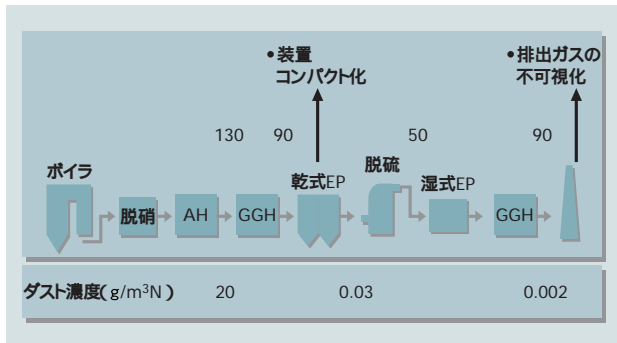
また、日立では、吸収塔内のガス流速をさらに高め、高効率およびコンパクト化が可能なリターンフロー型脱硫装置を実用化し、高い性能を実証した⁶⁾。

日立グループの脱硫技術は海外でも高く評価され、最近では米国で5基、欧州で10基の脱硫装置を受注しており、さらに販売を拡大している。

2.2.4 除塵装置

石炭火力発電所の煙突からの排ガスは、最近、煙が見えないレベルが要求されている。日立グループでは、このような低煤塵化に対応するため、乾式EPとGGHを組み合わせた新排煙処理システムに、微細ダストの除去に有効な湿式EPを組み合わせた方式を開発し、1,000 MWクラスの石炭火力発電所に適用している(図4参照)。

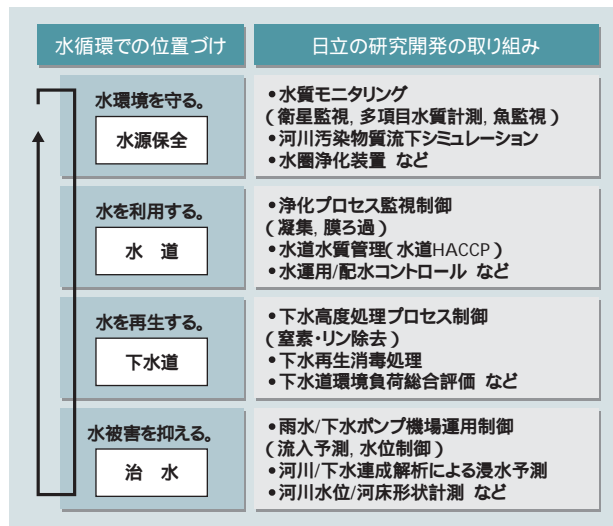
新排煙処理システムでは乾式EPをGGHの後段にし、従来130程度であった入口ガス温度を90程度に減温している。これはダストの電気抵抗率を低くしてEPの集塵性能を向上させ、EP出口のダスト濃度を低減させること、また処理ガスの体積低減によるEPサイズのコンパクト化を図ったものである。



注:略語説明 AH(Air Heater)

図4 新排煙処理システムの特徴

湿式EPの採用、乾式EPガス処理温度の適正化により、煙突出口ガスの不可視化を実現している。



注:略語説明 HACCP(Hazard Analysis and Critical Control Point)

図5 日立の上下水道・水環境向け研究開発の取り組み

健全な水環境に向けた経済的で効率的な水質・水量管理が重要となっている。日立は継続的な研究開発で広範なソリューションを提供する。

このシステムにより、乾式EP出口のダスト濃度を30 mg/m³以下に低減している。

湿式EPは平板集塵極を用いた水平ガス流方式で、湿式脱硫装置の後段に設けている。この湿式EPの特長は、間口幅を脱硫装置並みにするために流速を高めている点にある。高流速時でも水膜を形成するために、新たな集塵極形状を開発した。納入例の煙突は、可視煙はほとんど観察されないレベルである。

3. 水循環をサポートする上下水道の水質管理技術

3.1 背景と研究開発の取り組み

社会インフラとしての上下水道に求められる役割は、普及・整備という量の確保から、安全・安心といった質的な向上へと移行している。上水道では厚生労働省により、「水道ビジョン」が策定され、水道の将来像への明確な政策目標が示された。また、下水道では、国土交通省により、「社会資本整備重点計画」が出され、将来事業の数値目標が掲げられた。いずれも目標に沿った、水質にかかわる種々の施策が推進されている。

日立グループでは、こうした施策に対応する製品を提供するため、水循環の主要な四つの領域(水源保全、水道、下水道、および治水)をカバーする研究開発を進めている(図5参照)。

3.2 上下水道監視制御・シミュレーション技術

上下水道向け監視制御技術は、従来から日立が研究開発に注力してきたテーマの一つである。浄水プロセス向けには、臭(におい)や色の成分を酸化分解できるオゾン高度処理制御技術のほか、発がん性が懸念される消毒副生成物トリ

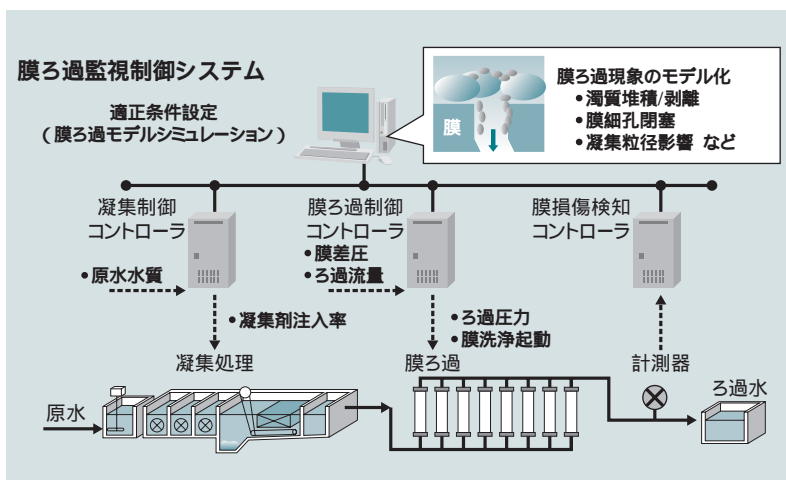


図6 安全な水道水供給のための浄水膜ろ過監視制御技術

病原微生物を除去する膜ろ過プロセスを適正に制御する。前処理となる凝集との連携で膜目詰まりを制御し、効率のよい運転ができる。

ハロメタンなど)の生成予測モデルなど、安全で安心して飲める水道水供給に向けた技術を開発してきた。

また、下水処理プロセス向けには、閉鎖性水域の富栄養化対策として放流基準が強化された窒素、リンを効果的に除去する高度処理制御技術などを開発してきた。これらの制御は、他社に先駆けた日立独自の活性汚泥モデルシミュレーション技術によるもので、流入下水の水質変動などに対しても適正な運転条件を設定して、処理水質を維持できることが特長である。これにより、処理水放流先の水域保全に寄与することができる。

上下水道の新プロセスとしては、精密ろ過(MF:Micro Filtration)膜や限外ろ過(UF:Ultra Filtration)膜を用いた水処理設備が注目され始めている。例えば、経口感染症を引き起こすクリプトスポリジウムなど、病原微生物への対策強化のために、浄水場への導入検討を進める水道事業者が増えている。中・大規模の多くの浄水場が水源とする表流水への適用では、含有濁質が多いため、ファウリング現象(膜の目詰まり)によるろ過圧力の上昇、すなわち処理電力消費量の増加が課題である。これに対して、日立製作所は、新しい膜ろ過制御技術を開発している(図6参照)。この技術は、膜ろ過にかかわる現象を詳細にモデル化し、目詰まりを抑制できる前処理/ろ過条件をシミュレーションすることで、効率のよい運転を実現するものである。

3.3 水質管理技術にかかわる新しい取り組み

水質管理にかかわる大きな動きとして、2004年にWHO(World Health Organization:世界保健機関)の「飲料水水質ガイドライン」の改訂が行われ、水質リスクに対応する施策を規定した水安全計画(WSP:Water Safety Plans)が新たに盛り込まれた。この計画の策定と実行には、水源から給水栓に至るまでの水質トレーサビリティを実現する手法が求められる。

日立製作所は、品質管理手法であるHACCP(Hazard Analysis and Critical Control Point)を導入した水質管理技術を提案している。この水道HACCPは、水質に影響する要因を抽出する危害分析を行い、重点管理項目とその基準値を設定できることが特長である。また、提供する水質モニタリングシステムにより、水質トレーサビリティの実現が期待できる。

4. 触媒式PFC分解装置

4.1 目的と背景

地球温暖化ガスであるPFC(CF_4 、 C_2F_6 、 SF_6 などのフッ素化合物の総称)は、半導体や液晶分野のエッチングやクリーニングガスなどに使用されている。PFCは、非常に安定で寿命が数万年と長く、温暖化係数が高いなどの特徴がある。このため、大気排出抑制策の確立が急務となっている。

業界ではWSC(World Semiconductor Council:世界半導体会議)やWLICC(World LCD Industry Cooperation Committee:世界液晶産業協力会議)で世界共通の自主規制値を設け、PFCの排出量低減を推進している。PFCの主な大気排出抑制策には、(1)代替ガス、(2)回収・再利用、(3)分解がある。(1)は温暖化係数をゼロにすることが難しいこと、(2)は最終処理として(3)の分解を必要とすることが課題として挙げられる。分解技術としては、燃焼方式、薬剤方式、プラズマ方式、触媒方式が提案されている。このような経緯の中で日立は、環境負荷が小さく、低処理費で安全に分解できる触媒式PFC分解装置を製品化した。

4.2 システム構成とPFC分解性能

触媒式PFC分解装置の系統を図7に示す。前処理工程では、排ガス中の固形物などを入口充填(てん)塔でトラップし、

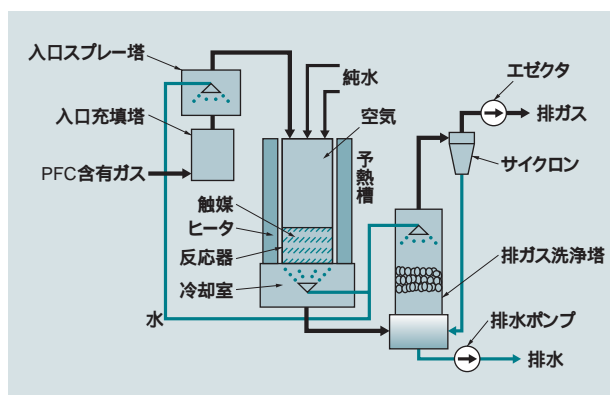


図7 触媒式PFC分解装置システムの概要

システムは前処理工程、分解工程、排ガス処理工程に大別できる。

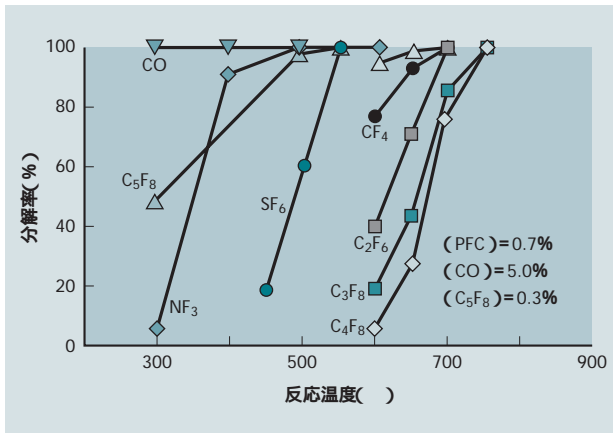


図8 PFCの分解性能
各種PFCを低温(750℃)で高効率に分解することを確認した。

HF(フッ化水素)などの水溶性成分を入口スプレー塔で吸収除去する。分解工程では、PFC含有ガス、空気、および水を予熱槽で加熱後、反応器内の触媒と接触させる。PFCは触媒上で水蒸気と反応してCO₂とHFに加水分解される。排ガス処理工程では、分解生成ガスの冷却と酸性成分の除去を行う。冷却室は反応器直下に設置され、分解ガス温度を水噴霧によって急冷する。後段の排ガス処理工程で、水噴霧で除去されなかった酸性成分を完全に除去する。この装置は、排ガス洗浄塔の下流にエゼクタを設置して系内を負圧に保つため、HFなどの分解ガスが系外に漏れることはなく、安全性が高い。

日立はPFCの加水分解性能に優れ、かつ高い耐久性も備えるPFC分解触媒を新規に開発した。この触媒を用いると、各種PFCに対し750℃以上で99%以上の分解率が得られた(図8参照)。さらに、種々の不純物を含む実排ガスの影響を確認するため、実際の半導体製造ラインで処理量60 L/minの分解装置を用いて実証試験した結果、99%以上のPFC分解率を得られることも確認している。

上記プロセスを基に処理量60, 120, 200, 3,000 L/minの触媒式PFC分解装置を製品化し、これまでに、総数353台を納入した(2006年8月末現在)。

5.PCBのオンライン測定技術

5.1 目的と背景

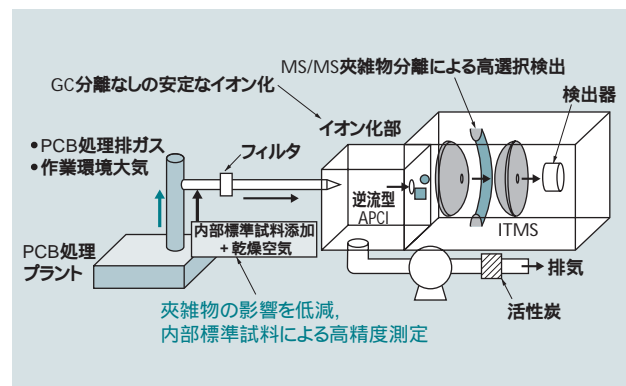
PCB(ポリ塩化ビフェニル)は、不燃性で安定性が高いという特性を利用してトランスやコンデンサの絶縁油として1950~1960年代に利用されたが、環境中と生物内で濃縮されるという特性を持つこと、および、その結果として人の健康や生活環境にかかわる被害を生ずるおそれが高いことが注目され、世界的に削減が図られている。日本ではPCB廃棄物を2016年までに処理することを定めた特別措置法⁷⁾にのっとり、PCB処理が開始されている。処理施設の設置・運用に際しては、

PCBモニタにより、処理プラントが安全に運転され、環境中に漏洩していないことを常時監視することが求められていた。上記目的を達成するためのモニタの性能としては、オンサイトでの常時連続測定、検出下限は規制値の $\frac{1}{10}$ の10 μg/m³以下という仕様が求められた。

5.2 従来のオフライン分析法との比較

従来のオフラインPCB分析法であるガスクロマトグラフ質量分析計では、ガスクロマトグラフ装置の頻繁なメンテナンスと試料の前処理が必要となるために、上記仕様を達成することは困難である。この開発ではこれを達成するために、ガスクロマトグラフ装置は使わないダイレクトサンプリング型の大気圧化学イオン化-イオントラップ型質量分析計を用いたPCB連続オンライン測定技術を開発し、実用化した(図9参照)。この技術の原理は、対象ガスを連続的に大気圧化学イオン源に導入し、イオン化したPCB分子をイオントラップ型質量分析計で分析するというものである。ガスクロマトグラフ装置を使わないため、リアルタイム性に優れるという長所を持つものの、ガス中の夾(きょう)雑物によって感度の変動し、定量精度が悪化するという課題があった。

これを解決するため、(1)内部標準試料を試料ガスに添加し感度変動をリアルタイムに較(こう)正する手法、および(2)乾燥空気希釈により、主要な夾雑物である水分の影響を低減する手法という二つの技術を開発して定量精度を向上させた。その結果、従来法による定量結果と良好な一致(相関係数R²で0.96以上)を得ることに成功した。この技術によるPCBオンライン連続モニタの性能は、オンサイトでの連続測定が1か月以上可能で、実排ガス中PCBの検出下限が3 μg/m³となり、求められた仕様を達成した。



注:略語説明 GC(Gas Chromatography)
MS/MS(Mass Spectrometry/Mass Spectrometry)
APCI(Atmospheric Pressure Chemical Ionization)
ITMS(Ion Trap Mass Spectrometry)

図9 PCBオンラインモニタの概要
PCBプラントからのガスを前処理なしで連続的に分析する。

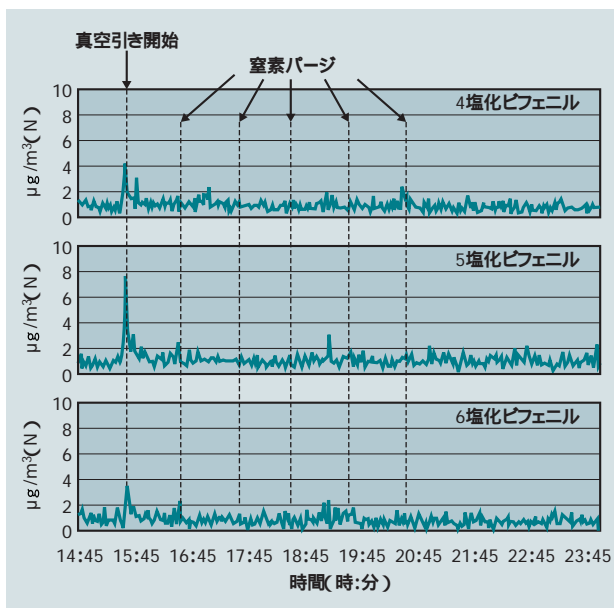


図10 PCB処理施設排ガス中の4～6塩素化ビフェニルの濃度変化
真空加熱プロセスで、真空引き開始時と1回目の窒素パージを行ったときにスパイク上の濃度上昇が見られた。

5.3 実プロセスガス中のPCB測定結果

PCB処理排ガスの測定に用いた施設は、株式会社神鋼環境ソリューションのPCB廃棄物無害化プラントである。その真空加熱プロセスでの4～6塩素化の濃度変化を図10に示す。真空加熱プロセスでは、破碎した汚染部材を溶剤洗浄後、密閉容器に入れ、まず窒素置換を行う。次に容器内温度を常温から250℃まで上昇させる。その後、真空ポンプで真空引きし、1時間ごとに窒素パージを行うものである。総量規制値100 μg/m³(N)に対しては十分小さい値であるが、PCBがスパイク状に検出されたのは、上記のうち、初めに真空ポンプを始動したときと、1回目の窒素パージを行ったときである。今回のテストで処理したPCB汚染物由来の4～6塩素化PCBが

執筆者紹介



伊藤 修
1985年日立製作所入社、電力・電機開発研究所 石炭科学プロジェクト 所属
現在、微粉炭ボイラ燃焼技術の研究開発に従事
工学博士



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、排煙処理システム全般に従事
工学博士
化学工学会会員



望月 美彦
1975年日立プラント建設株式会社(現 株式会社日立プラントテクノロジー)入社、エネルギー事業本部 電力事業部 集塵統括部 集塵開発部 所属
現在、集塵装置の開発に従事
静電気学会会員

破碎部材中に微量残留しており、真空引き、および窒素パージによって検出されたものと考えられる。このようにプロセスの変化に応じたPCB濃度変化を初めてとらえることができ、このモニタの有効性が確認できた。

6. おわりに

ここでは、石炭火力における高度排ガス処理、上下水道の水質管理、触媒式PFC分解装置、PCBオンラインモニタ装置の開発成果と今後の取り組みについて述べた。

地球温暖化や酸性雨に代表されるように、環境の悪化は地球規模の影響を及ぼすようになっている。今後、持続的な発展が可能な社会を構築していくためにも、環境汚染物質を発生させない、発生しても除去する、あるいは発生した物質をモニタし管理する、などの総合的な対策が必要である。

日立グループは、今後も環境をクリーンに保つ新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。

参考文献

- 1) 津村, 外: 新型超低NOxバーナの開発と性能の実証, 日立評論, 80, 2, 211~214(1998.2)
- 2) S. Watanabe, et al.: "495-MW Capacity Genesee Power Generating Station Phase 3: First Supercritical Pressure Coal-fired Power Plant in Canada", Hitachi Review, 53, 109-114(2004.3)
- 3) K. Yamamoto, et al.: "Development of Computer Program for Combustion Analysis in Pulverized Coal-fired Boilers", Hitachi Review, 49, 76-80(2000.2)
- 4) 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)
- 5) A. C. Favale, et al.: Application and Operating Results of Low SO₂ to SO₃ Conversion Rate Catalyst for DeNOx Application at AEP Gavin Unit 1, Electric Power 2006(2006.5)
- 6) 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)
- 7) 環境省公布「ポリ塩化ビフェニル(PCB)廃棄物の適正な処理の推進に関する特別措置法」および「環境事業団法の一部を改正する法律」(2001)



圓佛 伊智朗
1988年日立製作所入社、電力・電機開発研究所 公共・産業プロジェクト 所属
現在、上下水道システムの研究開発に従事
日本水環境学会会員, 電気学会会員



佐々木 崇
2003年日立製作所入社、電力・電機開発研究所 反応計測システムプロジェクト 所属
現在、PFC分解触媒の改良に従事
廃棄物学会会員, 触媒学会会員



山田 益義
1998年日立製作所入社、中央研究所 バイオシステム研究部 所属
現在、環境および医療用の質量分析技術の開発に従事