

# FAPIG

THE FIRST ATOMIC POWER INDUSTRY GROUP

177

2008 July

# Master Craftsman

社会を縁の下で支える名匠【Master Craftsman】であり続けたい。私たちは、荏原製作所です。

1912年「のくち式機械事務所」としてポンプの設計・製作から出発した産業用機械メーカーの荏原製作所は、創業より「顧客ニーズの実現」を通じて自らも成長してきました。現在、風水力、環境、精密・電子の事業を通じて幅広い分野に貢献しています。時代に応え、社会を支えるためのたゆまぬ研鑽こそが私たちの「ものづくり」の基本です。私たちは荏原製作所です。



株式会社 荏原製作所

〒144-8510 東京都大田区羽田旭町11-1  
TEL(03)3743-6111 ダイヤルイン代表 FAX(03)3745-3356  
http://www.ebara.co.jp

## FAPIG

THE FIRST ATOMIC POWER INDUSTRY GROUP

2008 - 7 / 平成20年度 第1号

No.177

目次

### ■ 随 想

ウランとジルコニウムの「袖擦り合うも多生の縁」……………(3)  
佐藤健治

### ■ 紹 介

新型汚染モニタの開発……………(6)

橋本忠雄 / 長谷川透 / 福本圭佑 / 大木 靖

J-PARC水銀ターゲットシステムの完成 - 概要とトピックス - ……(12)

羽賀勝洋 / 粉川広行 / 涌井 隆 / 花野耕平 / 二川正敏

空冷式熱交換器について……………(18)

渡辺知範

J-PARC核破碎中性子源用水銀循環設備とターゲット容器交換台車の製作……………(22)

粉川広行 / 木下秀孝 / 羽賀勝洋 / 涌井 隆 / 相澤秀之

神永雅紀 / 二川正敏 / 佐藤真一 / 森 清治

振動式樹脂洗浄装置……………(28)

三浦信二 / 菊池香織 / 上野修一 / 大平 拓 / 笹木弘之

石黒修二 / Roger Asay / Richard Kohlmann

富士通グループの環境への取組み……………(34)

高橋淳久 / 朽網道徳 / 山崎誠也

### ■ グループ情報

FAPIGにおける原子力PA活動について……………(42)

溝口忠雄

FAPIGの機構……………(44)

表紙デザイン：キム ミンコン金 珉健

CONTENTS

■ Essay  
 A Destiny That Makes U and Zr Brothers.....( 3 )  
 K. Sato

■ Introduction  
 Development of Radioactive Surface Contamination Monitor.....( 6 )  
 T. Hashimoto / T. Hasegawa / K. Fukumoto / Y. Ooki  
 Completion of J-PARC Mercury Target System  
 - Outline and Topics - .....(12)  
 K. Haga / H. Kogawa / T. Wakui / K. Hanano / M. Futakawa  
 Summary of Air Cooled Heat Exchanger .....(18)  
 T. Watanabe  
 Fabrication of Mercury Circulation System and Target Exchange Truck  
 for J-PARC Spallation Neutron Source.....(22)  
 H. Kogawa / H. Kinoshita / K. Haga / T. Wakui / H. Aizawa  
 M. Kaminaga / M. Futakawa / S. Satou / S. Mori  
 Advanced Resin Cleaning System.....(28)  
 S. Miura / K. Kikuchi / S. Ueno / T. Ohira / H. Sasaki  
 S. Ishiguro / Roger Asay / Richard Kohlmann  
 Fujitsu Group's Environmental Activities .....(34)  
 A. Takahashi / M. Kutami / S. Yamazaki

■ FAPIG Activities  
 FAPIG's Activities for Public Acceptance of Nuclear Energy .....(42)  
 T. Mizoguchi

Cover Design : Kim, Min-Gun

ウランとジルコニウムの「袖擦り合うも多生の縁」

A Destiny That Makes U and Zr Brothers

佐藤 健治\*  
 Kenji Sato

世界の発電用原子炉の9割強は水を冷却材とする軽水炉などのいわゆる水炉であり、原子炉から直接あるいは熱交換器を介して発生する高温高压の水蒸気によりタービンを回して発電する。この型式の原子炉で使用される燃料棒は、ウラン酸化物の焼結体をジルコニウム合金製の被覆管に密封したものである。燃料材ウランと被覆材ジルコニウムの組み合わせがなければ、1960年代から現在に至る水炉を中心とする原子力発電の興隆はあり得なかったと言っても過言ではない。このことは後で詳しく述べる。

ところで、「袖擦り合うも多生の縁」という諺がある。多生とは、別の生としてこの世に幾度も生まれ変わるといふ仏教の輪廻転生を意味し、この諺は、偶然と見える出会いであっても単なる偶然ではなく、過去の幾つもの前世のどこかでその縁があったという意味である。原子燃料の重要構成材として現代社会のエネルギー供給にカップルで貢献しているウラン元素とジルコニウム元素にも、遙か前世に意外な出会いがあった。

ジルコニウムを主要元素に持つケイ酸塩の鉱物であるジルコンは、花崗岩を始めとしてほとんどの岩石に含まれており、その良質の結晶は宝石として珍重される。その名はペルシャ語の黄金色に由来するが、黄金色、黄緑色、オレンジ色など様々な色彩を放ち、見る人に癒しをもたらすとも言われる。

44億年前に遡る地球創世期に生成された最古の岩石が発見されて話題になったことがある。また、

約5億5千年前に存在したという Gondwana 超大陸の形成過程を古代岩石の年代測定により追跡しようという壮大な研究も計画されている。そのような古い岩石の生成年代がどの様にして分かるのであろうか。それは、ジルコンが風化や熱に強いため太古の岩石中に多く存在すること、ジルコン結晶中のジルコニウム元素がウラン元素と置換し易い性質を有することからジルコン中にはウランが比較的高濃度で存在すること、更にウラン元素には半減期45億年で次々と別の元素に変化する放射性壊変の性質があることなどの諸条件がたまたま重なったことによる。即ち、岩石中に安定して存在するウランの放射性壊変を利用してジルコン中のウランの滞在時間を計測し、その岩石の生成年代を知るという訳である。

ジルコン結晶中でジルコニウムとウランが廻り会った前世の縁のお陰で、謎の超大陸の太古の姿もいずれ明らかになるであろう。

さて、両元素にとっての第二の「多生の縁」が18世紀末になって訪れる。それは、ウランとジルコニウムが同じ年に、同じ化学者によって発見されたという嘘のような本当の話である。

1789年、ドイツ人化学者クラプロート (Martin Heinrich Klaproth) は、鉱石ピッチブレンドを精製して未知の金属を発見し、その数年前に発見された新惑星 Uranus 「天王星」に因んでウランと命名する。また、同じ年にクラプロートは、宝石ジルコンを分析してその中心となる元素を同定し、これをジルコニウムと名付ける。こ

\* 原子燃料工業(株) 特別顧問

の1789年はフランス革命が勃発した年で、イギリスでは蒸気機関の実用化により産業革命が本格化し、日本では天明の大飢饉が漸く終息する頃である。クラブロートは、その後ウィルヘルム三世創設のベルリン大学の化学の教授となり、ドイツ分析化学の父と讃えられる。

同じ年に同じ人物により発見されるという奇縁を持つこの二つの元素が2世紀後に相携えて原子力発電に不可欠な役割を果たすことになろうとは、発見者も知る由もない。

美しく輝く不思議な天然ガラスがローマ時代から知られていた。これを人工的に再現したのが、ウランを千分の1程度の極微量添加したウランガラスであり、1830年頃からチェコ・ボヘミア地方で生産されるようになる。その後、世界各地で多くのウランガラス製のグラスや花瓶が作られ、美しい光彩や妖しい蛍光で多くの愛好者を魅了してきた。戦前の蒸気機関車の前照灯にもウランガラスが一部用いられていた。

しかし、ガラス中に秘やかに閉じこもっていたウランの運命は第2次世界大戦を機に大きく変化する。原子番号および原子量が天然で最も大きいこの元素は、核分裂性核種であることが発見されたことにより、膨大な核エネルギーを放出する主役に躍り出ることになる。

1896年、ウランから放出される未知のエネルギーから初めて放射線が発見されたのを皮切りに、近代原子核物理学はウランとその壊変子孫元素の探求によって目覚ましく発展する。原子核の全貌が次々と解明され、中性子も発見される。1939年、中性子によるウランの核分裂現象が発見されると、核分裂連鎖反応と原子爆弾の可能性が世界中で認識されだした。1941年、ウランに中性子を照射することでプルトニウム元素が人工的に生成され、その核分裂現象も確認される。翌年6月、米国大統領は原子爆弾製造計画「マンハッタン計画」を裁可、ウランの濃縮およびプルトニウムの生産が膨大な戦時国家予算により急ピッチで進められる。そもそもこのプロジェクトは敵国ドイツを意識して始められたといわれるが、ドイツが降伏す

る1945年5月には間に合わず、その3ヶ月足らずの後、完成したばかりの爆弾は広島、長崎に投下された。

戦後、原子力の平和利用が進められ、1950年代になると、米国および英国を中心に原子力発電の商用化が始まる。原子炉の構成要素として、燃料材のウランに対して、冷却材としては、水、炭酸ガス、重水、ヘリウムガスなど、また、中性子減速材としては、水、黒鉛、重水などの選択肢がある。それらの組み合わせにより水炉を含む幾つかの熱中性子炉が成立する。ウランは、原子炉によって、合金または酸化物の形で用いられる。

水炉の燃料では、ウランは二酸化ウランの粉末をプレス成型し高密度に焼き固めた直径、高さ共1cm程度の円柱状の焼結体、いわゆるペレットの形で用いられる。ペレットは核分裂生成物を保持し高温での使用に耐えるセラミックスである。一見単純な形状であるが、外形寸法から微細な結晶組織に至るまで技術的工夫が凝らされている。

軽水炉の場合、実際に用いられる燃料体は、上記ペレットを肉厚0.6mmないし0.9mm、長さ4m程度の薄肉・長尺のジルコニウム合金製被覆管に封入して燃料棒とし、これを数十本から百数十本束ねたものである。被覆管は、数年間にわたる原子炉内での使用期間中、ペレットと高温高压水を隔離してウランの核分裂生成物を燃料棒内に閉じ込め、高放射線下の過酷な環境に耐えながらペレットで発生した熱を冷却材に伝達し続けるという重要な役割を担う。

第二次世界大戦頃まではジルコニウムは主として酸化物の形で耐火材として用いられていた。金属としてのジルコニウムは、量産の方法がなかったため、その用途は真空管のゲッターなどに限られていた。1947年、米国で経済的な金属ジルコニウムの製造技術が完成されると、優れた耐食性のある材料として注目され、工業的規模で化学設備などに用いられるようになる。一方、ジルコニウムの熱中性子吸収が格段に小さい性質は既に知られており、これに着目した米国海軍が潜水艦動力用としての熱中性子炉に構造材として用いること

を考えた。しかし、ジルコニウム金属単体としては原子炉の冷却水中での強度や耐食性が十分ではなく、少量の錫、鉄などの合金成分を添加することで実用化に耐える合金が得られたのは1952年のことである。

1950年代後半から米国で軽水炉の商用化が始まったが、その初期の軽水炉燃料の被覆管はステンレス鋼製であった。しかし、1960年代半ばにジルコニウム合金製の溶接継ぎ目なし管の量産技術が完成すると、これが被覆管に用いられるようになる。ステンレス鋼に比べ融点が300℃以上高く熱中性子吸収断面積が1桁以上小さいことが性能および経済性の観点から評価されたのである。その後も圧延、熱処理などの加工技術の改良が重ねられた結果、強度、耐食性などの性能が飛躍的に向上し水炉の燃料被覆管として不動の地位を占める。

熱中性子吸収断面積が原子炉の経済性に及ぼす効果を考察してみよう。燃料被覆管を仮にオーステナイト系のステンレス鋼に置き換えると、取り出せる熱エネルギーはどう変化するであろうか。これを現在商用化されている大型の軽水炉の場合で比較計算してみると、燃料棒にステンレス鋼製被覆管を使用した原子炉の熱出力は、ジルコニウム合金製被覆管の場合に比べ、およそ半減することが分かる。言い換えれば、ジルコニウム合金の燃料被覆管が実用化されたことによりウラン資源の消耗が実に半分で済んでいることになる。ジルコニウムが主役ウランに対して単なる「袖擦り合う」関係どころではなく、鬼に金棒ともいえるべき重要な役割を果たしていることも納得できよう。

このようにして、ウランとジルコニウムは1789年のクラブロートによる発見からおおよそ180年を経て劇的な再会を果たしたことになる。

水炉では、被覆管以外の燃料構成部材や炉心構造材にもジルコニウム合金が大量に用いられており、燃料の更なる高性能化に向けて被覆管を中心に現在でも改良研究が続けられている。水炉が使い続けられる少なくとも今世紀中は、炉心の重要な構成材料としてジルコニウムがウランと共に使い続けられることは間違いない。

話は水炉から逸れるが、次世代原子炉の一つとして期待される高温ガス炉においても、ウランとジルコニウムの出会いが将来あるかも知れない。

高温ガス炉で現在用いられている被覆燃料粒子は、二酸化ウランの燃料核を炭化ケイ素および炭素で被覆したものであるが、耐高温性能の改善や高燃焼度化などのために炭化ケイ素を炭化ジルコニウムに置き換える研究が進められている。これが実用化されると、高温ガス炉においてもウランとジルコニウムがカップルで活躍することになる。

1989年のある日、筆者は、原子燃料技術者でドイツ・シーメンスKWU社の畏友、Lill博士と歓談していて、話題がクラブロート教授に及び大いに盛り上がったことがある。

その年の暮になって同博士から手紙が届いたが、それにはドイツ人クラブロートによるウランおよびジルコニウムの発見200周年の記念式典をM工科大学で開催したと少し誇らしげな追伸があった。

# 新型汚染モニタの開発

## Development of Radioactive Surface Contamination Monitor

橋本忠雄\* 長谷川透\* 福本圭佑\*\* 大木靖\*\*  
Tadao Hashimoto Toru Hasegawa Keisuke Fukumoto Yasushi Ooki

### 〔概要〕

原子力発電所などの放射線取扱施設では、放射線管理区域外への放射性物質の拡大を防止する目的で管理区域と非管理区域の境界に汚染モニタを設置し、管理区域外へ移動する人や物品の表面汚染を検査・監視している。この内、物品の表面汚染については、平成17年8月に経済産業省原子力安全・保安院で策定された「原子力発電所から発生する非放射性廃棄物（放射性廃棄物に該当しない廃棄物）の判別方法に関するガイドライン」（以下、ガイドライン）で管理基準の厳格化が求められるようになり、物品以外のモニタについても今後、管理基準の厳格化が予測される。

富士電機では、従来から表面汚染検査装置として汚染モニタを製作・納入しているが、管理基準の厳格化に対応した新型汚染モニタを開発している。

本稿では、「大物物品搬出モニタ」「ランドリモニタ」「体表面汚染モニタ」について紹介する。

### 1. はじめに

原子力発電所などの放射線取扱施設には、放射能汚染の可能性がある区域を管理区域（以下、管理区域）として設定している。管理区域から非管理区域に移動する人や物品の表面に放射性同位元素が付着していないことを確認するために、汚染モニタが管理区域と非管理区域の境界に設置されている。人や物品が管理区域から非管理区域へ移動する際は、汚染モニタにて汚染検査することが必須となる。

汚染モニタとして、管理区域から非管理区域へ移動する人の全身汚染検査を実施する「体表面汚染モニタ」、管理区域から搬出される物品の内、足場板やパイプなどの大型物品の汚染検査を実施する「大物物品搬出モニタ」、管理区域内の作業者が着用するつなぎ服、下着、帽子などの衣類は、使用後に洗濯し繰り返し使用するが、この洗濯後の衣類の汚染検査を行う「ランドリモニタ」がある。

ガイドラインで規定されている、<sup>60</sup>Co（β線）に対する検出感度：0.8Bq/cm<sup>2</sup>未満を満足させる

ため、従来のモニタに対して感度性能を約2倍向上させた「大物物品搬出モニタ」と「ランドリモニタ」を開発した。また、プラント定期点検の計画に従い、必要となる台数を自由に配備、ローテーションが可能となる移動型の「体表面汚染モニタ」を開発した。

本稿では、上記3つの汚染モニタについて紹介する。

### 2. 大物物品搬出モニタ

#### 2.1. 概要

大物物品搬出モニタは、主に管理区域内で使用された工事用資材等を非管理区域に搬出する際に表面汚染がないことを確認するための装置である。大物物品搬出モニタの外観を写真1に示す。

測定対象物品の大多数を占める足場板とパイプを測定する場合、従来の大物物品搬出モニタでは、物品側面に対する検出感度が悪く、ガイドラインに従った検出感度：0.8Bq/cm<sup>2</sup>未満（<sup>60</sup>Co：β線）の汚染測定ができない。このため、足場板・パイプの測定時は、測定作業者がサーベイメータを使



写真1 大物物品搬出モニタ

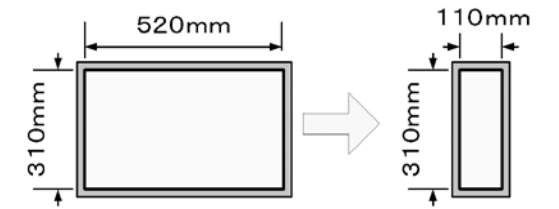


図1 検出器の小型化

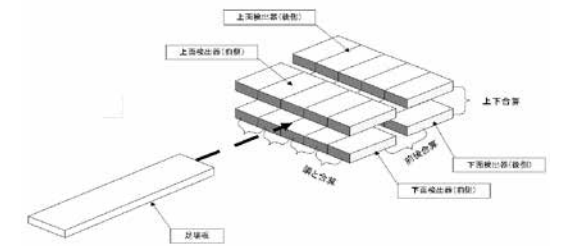


図2 検出器配置の合算方式

って手作業で測定を行う必要が有り、搬出作業の所要時間が長くなり搬出工程に影響を与えることになる。また、測定作業への負荷が著しく増加する。

そこで、ガイドラインで定められた検出感度：0.8Bq/cm<sup>2</sup>未満（<sup>60</sup>Co：β線）を満たし、足場板・パイプの側面方向の汚染測定も可能とすることを目標とし、大物物品搬出モニタの開発を行った。本モニタ実現のために開発の主要ポイントを以下に紹介する。

### 2.2. 開発の主要ポイント

#### (1) 検出器の小型化

ガイドラインに対応するためには従来の検出器の約2倍の感度性能が求められるため、検出器を小型化して感度性能を向上させた新型検出器の開発を行った。検出器を小型化することでバックグラウンドを低く抑えることができ検出感度を向上できる。

開発した検出器は、有感部面積が110×310mmの検出器であり、装置に組み込む際にこれらをユニット化して用いる。幅狭タイプ（測定幅：500mm）は、検出器5個を1ユニットとし合計4ユニット、幅広タイプ（測定幅：1000mm）は検出器10個を1ユニットとし合計4ユニット用いている。幅狭タイプでは110×310mmの検出器を合計20個、幅広タイプでは合計40個使用している。

検出器寸法の従来との比較を図1に示す。

#### (2) 合算方式の採用

新大物物品搬出モニタは、図2（幅狭タイプ）のように検出器が配置されている。上下に配置されている検出器の間に物品を流すことにより汚染測定を行う。また、上下にはそれぞれ2列ずつ検出器が配置されている。

物品に応じて最も効率良く測定するために、計数合算方式を採用した。以下3つの合算方式を採用している。

- ・左右合算（検出器つなぎ目部の感度低下防止）
- ・上下合算（測定物の側面感度の向上）
- ・前後合算（全体感度の向上）

上記3つの計数合算方式により、検出器つなぎ目部の感度低下を防止し、かつ従来では汚染測定ができなかった物品側面において検出感度：0.8Bq/cm<sup>2</sup>未満（<sup>60</sup>Co：β線）での汚染測定を可能とした。

### 2.3. 仕様

表1に幅狭タイプの主な仕様を示す。

### 3. ランドリモニタ

#### 3.1. 概要

ランドリモニタは、原子力発電所や放射性物質取扱施設に設置し、放射線管理区域内で使用した衣類を洗濯後に衣類表面の汚染の有無を効率よく

\* 富士電機システムズ(株) 生産本部 東京工場 放射線装置部 プロセス機器設計Gr

\*\* 同社 制御システム本部 放射線システム統括部 放射線システム部 技術第二課

表1 大物物品搬出モニタ仕様

項目	仕様	
	幅狭タイプ	幅広タイプ
測定線種	β線	
検出器	プラスチックシンチレーション検出器	
検出器配置	上面(前後)および下面(前後)	
検出感度	0.8Bq/cm <sup>2</sup> ( <sup>60</sup> Co:β線)未満 <条件> ・BG:0.1μSv/h ・物品搬送速度:40mm/sec ・使用線源: <sup>60</sup> Co(β)100mm×100mm ・線源距離:50mm	
測定幅	500mm	1000mm
搬送方式	コンベア式	
移動方式	自走式	
周囲環境	周囲温度:0~40℃ 周囲湿度:90%RH以下	
外形寸法 (運用時)	約1100(W)×5000(D) ×1700(H)mm	約1600(W)×5000(D) ×1700(H)mm
重量	約3000kg	約3700kg



写真2 ランドリモニタ

検査するための装置である(写真2参照)。

測定対象は、つなぎ服・下着類・などの衣服、帽子・手袋・靴下などの小物であり形状が一定でないため上・下の樹脂コンベアベルトに挟み込んで搬送しながらコンベアベルトの上下に配置されたβ線検出器にて測定を行う。

また、鉛シールドで検出器を囲み、アンチコインデンス回路を採用しており、バックグラウンド計数率を低減させ、高感度化を図っている。

3.2. 開発の主要ポイント

(1) <sup>60</sup>Co対応の検出器

洗濯後の衣類は、出入管理室の管理区域入口に搬入・配備される。その搬送の際に、非管理区域を通過する場合があるため、将来、物品搬出のガイドラインと同様の管理基準が適用されることが予想される。富士電機は<sup>60</sup>Co(β線)で0.8Bq/cm<sup>2</sup>の検出感度を有するランドリモニタを開発した。この検出器は小型検出器(有感部面積310×110mm)を7個を1ユニットとして組み合わせ、計数を左右合算して評価することにより、小型化によるバックグラウンド計数率の低減と合算による検出器間つなぎ目の感度低下防止を行った。これにより、ほぼ衣服の全域に渡って<sup>60</sup>Co(β線)で0.8Bq/cm<sup>2</sup>の検出感度を満足させることができた。

(2) 処理能力の向上

検出器の高感度化により、従来の140mm/secのコンベア速度に対して、約180mm/secのコンベア速度での測定が可能になった。ランドリモニタのコンベア速度を高速にした場合、作業員がその速度に対して主な測定物のつなぎ服を挿入するのが追いつかなくなる問題が生じる。

そこで作業員がつなぎ服を挿入する際の準備時間を長く取れる様に図3に示す作業テーブルの構造を検討し、下記の改善を行った。

従来方式と新方式を比較して説明する。図4の従来方式においては、つなぎ服を搬送部へ置いてからつなぎ服全体が搬送部分に搬送されるまで約10秒必要である。

その後、作業テーブルが空くまで8秒掛かるため、作業テーブルが空いてから2秒以内に次のつなぎ服を、搬送部へ置く必要がある。これに対して新方式はつなぎ服を挿入した後の作業テーブル上を搬送されている脚部分をテーブルの切り欠き部(隙間)に入れることにより作業テーブルのスペースが確保できる。これにより挿入準備時間が2秒から約6秒に延ばすことができ、コンベア速度180mm/secでの測定を可能とし、大幅な処理能力の向上を実現した。

(3) 折りたたみ機での汚染品の処理方法改善

ランドリモニタにおける測定物の汚染判定タイミングは測定物が検出器を通過した直後であるため、折りたたみ機は測定物が入口部に搬送された

表2 ランドリモニタ仕様

項目	内容
測定線種	β線
検出器	プラスチックシンチレーション検出器
検出器配置	上面(前後)および下面(前後)
検出感度	0.8Bq/cm <sup>2</sup> ( <sup>60</sup> Co:β線)以下 <条件> ・BG:0.2μSv/h ・コンベア速度:180mm/sec ・使用線源: <sup>60</sup> Co(β)100mm×100mm ・線源距離:約30mm
処理能力	約350着/h(つなぎ服相当) at180mm/sec
コンベア速度	150mm/s および180mm/s
外形寸法	約1100(W)×2750(D)×1450(H)mm
質量	約2500kg

着検査できる。

- (2) 衣服搬送部には低騒音・高寿命の樹脂ベルトを採用している。
- (3) 衣類の帯電からくる静電気ショックから作業員を守るために、導電性の樹脂ベルトを採用している。

4. 体表面汚染モニタ

4.1. 移動型体表面汚染モニタ

(1) 概要

従来、管理区域内の休憩所入口に設置する人体の表面汚染検査装置には、ハンドフットクロスモニタで手足などの汚染頻度の高い部位を測定し、他の部位はサーベイメータで測定を実施していたが、表面汚染管理の厳格化に沿い、これら場所にも全身の測定が可能な体表面汚染モニタを設置することが要求されるようになった。また、この休憩所用モニタは、プラントの定期点検の計画に従い、その都度、設置場所および期間が設定されることが多いため、要求仕様として容易に移動できることが重要になる。富士電機では、通常モニタの性能を損なうことなく容易に移動可能にした移動型体表面汚染モニタを開発した。

外観を写真3に示す。

(2) 特徴

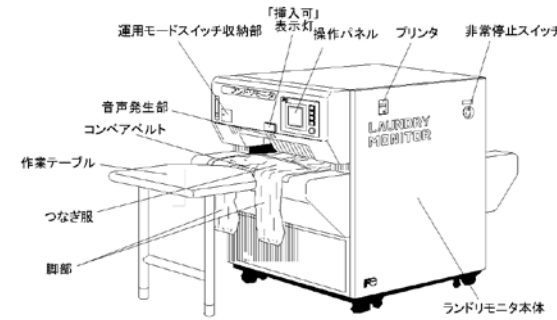


図3 作業テーブルの検討

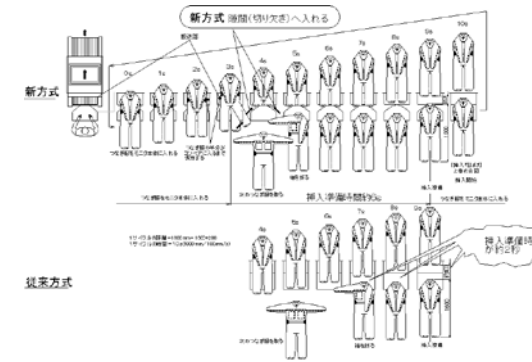


図4 従来方式と新方式の比較

後に汚染処理動作を行っている。従来は、汚染品を折りたたみ機の内部を搬送し背面側へ搬送していたため、折りたたみ機内部への二次汚染の可能性があった。

汚染判定のタイミングは従来と同じく測定物が検出器を通過した後に折りたたみ機へ汚染信号を出力する。折りたたみ機は汚染信号を入力した場合、入口部でつなぎ服を上下で挟み込み内部へ搬送させない構造にし折りたたみ機内で処理中の測定物を処理させた後、コンベアを逆回転し、上下の挟み込みを開放して折りたたみ機の入口側に搬出する構造とした。

これにより上記課題の汚染品を折りたたみ機の内部を搬送させないため、汚染の拡大を防ぐことができる。

3.3. 仕様

今回開発したランドリモニタの仕様を表2に示す。

主な特徴を以下に示す。

- (1) 処理能力が高く、つなぎ服を1時間に約350



写真3 移動型体表面汚染モニタ

表3 移動型体表面汚染モニタの仕様

項目	仕様
測定線種	β線
検出器	プラスチックシンチレーション検出器
検出器配置	17面:前,後面(上・中・下), 左右側面(上・中・下), 頭,右手,左手,右足,左足
検出感度	1.2Bq/cm <sup>2</sup> ( <sup>60</sup> Co:β線)未満 <条件> ・BG:0.1μSv/h ・測定時間:10秒 ・使用線源: <sup>60</sup> Co(β)100mm×100mm ・線源距離:手・足 密着 その他 50mm
外形寸法	約860(W)×1000(D)×2250(H)mm
質量	約650kg

移動型体表面汚染モニタは、装置の各部位をユニット化することで分割・組立を容易にしている。ユニットの最大質量は60kg以下であるため、クレーンやチェーンブロックなどを使用せずに人手（作業員2～3人程度）のみで作業が行える。装置の分解・組立作業は各3時間程度で行えるため、装置の移設作業が約1日（移動時間を含まない）で可能となる。

本モニタは、休憩所用途以外にもプラントの定期検査時の作業員増加に応じて増設、ローテーションする運用も可能になり、モニタ台数の合理化が実現できる。

(3) 仕様

主な仕様を表3に示す。

4.2. 簡易型体表面汚染モニタ

(1) 概要

汚染拡大防止の観点から、管理区域内の汚染発生頻度が高い作業が行われる区域用に体表面汚染モニタを設置することが要求されるようになった。他の区域へ移動時に汚染検査を行い、汚染時には除染を行うことが可能となる。富士電機は、これに対応した簡易型体表面汚染モニタを開発した。外観を写真4に示す。

(2) 特徴

簡易型体表面汚染モニタは、汚染頻度の高い手



写真4 簡易型体表面汚染モニタ

足部、身体の側面、前面のみ検出器を配置し、装置内に入り手足をセットすると自動的に測定が開始されるようにした。これにより、測定が容易になると共に、設置場所の省スペース化が実現し壁面設置などが可能とした。

また、移動性を考慮しており、移設が容易な分割可能構造および短距離移動時のキャスター付きとした。本モニタにより、高汚染頻度作業の計

画に応じて柔軟なモニタ配備が可能になる。

(3) 仕様

主な仕様を表4に示す。

表4 簡易型体表面汚染モニタの仕様

項目	仕様
測定線種	β線
検出器	プラスチックシンチレーション検出器
検出器配置	11面:前面(上・中・下), 左右側面(上・下), 右手,左手,右足,左足
検出感度	1.2Bq/cm <sup>2</sup> ( <sup>60</sup> Co:β線)以下 <条件> ・BG:0.15μSv/h ・測定時間:10秒 ・使用線源: <sup>60</sup> Co(β)100mm×100mm ・線源距離:手・足 密着 その他 100mm
外形寸法	約920(W)×750(D)×2100(H)mm
質量	約400kg

5. あとがき

ガイドラインは、平成20年5月に失効し、「原子力施設における『放射性廃棄物でない廃棄物』の取扱いに関するガイドライン」に移行している。この新たなガイドラインでは、<sup>60</sup>Co(β線)に対する検出感度0.8Bq/cm<sup>2</sup>未満の記載はなくなったが、管理基準の厳格化の考え方は踏襲されており、モニタの高感度性能化が必要となる。富士電機では、今後も要求管理基準の高度化の要求に対応し、顧客ニーズを満足する製品開発を進めていく所存である。

# J-PARC水銀ターゲットシステムの完成

- 概要とトピックス -

## Completion of J-PARC Mercury Target System

- Outline and Topics -

羽賀勝洋*	粉川広行*	涌井隆*
Katsuhiko Haga	Hiroyuki Kogawa	Takashi Wakui
	花野耕平*	二川正敏*
	Kohei Hanano	Masatoshi Futakawa

### 〔概要〕

J-PARCの1MW核破砕中性子源施設として建設した水銀ターゲットシステムが完成し、陽子ビーム受入準備が完了した。本稿では水銀ターゲットシステムの構造や製作・設置の概要と、その過程で生じた主要なトピックスについて紹介する。すなわち、水銀ターゲット容器についてはビーム窓部の残留応力評価、水銀循環設備についてはPMポンプの開発、ターゲット台車については構造と特徴などについて紹介する。

### 1. はじめに

J-PARCプロジェクトで建設を進めている中性子散乱実験施設は、J-PARC加速器で作り出す3GeV、1MWという高エネルギー、大出力の非常に強力な陽子ビームパルスを、標的(ターゲット)物質である水銀の原子核に衝突させ、核破砕反応により高い中性子束の中性子ビームを生み出して様々な実験に供するための施設である。

原子炉から取り出される中性子ビームは時間的に連続したビームであるが、J-PARCの核破砕中性子源はパルス幅1マイクロ秒、繰り返し周波数25Hzの陽子ビームが入射することにより、取り出される中性子ビームも25Hzのパルス状となるため、「パルス核破砕中性子源」と呼んでいる。

従来のパルス核破砕中性子源では、いずれもターゲット物質としてタンタルやタングステンなどの固体重金属を用いて、核破砕反応による発熱を水で冷却する方式を取っており、この方式で世界最高出力を持つ施設はイギリスのISIS(160kW)がある。一方、MW級の核破砕中性子源を実現し、将来的に更なる高出力化に対応するためには冷却

性と中性子性能を両立させ得る液体重金属をターゲット物質に用いるのが有利であるが、核破砕中性子源として成立させるには系統的に経験のない部分が多く、これまで用いられなかった。

ターゲット物質として液体重金属を用いると、自身が流体のためターゲット物質としてだけでなく冷却材としての役割を持たせることができる。また、水銀は常温で液体であるため、鉛などを加熱溶解して用いるより取扱設備の簡素化が可能であり、また、水銀の核的特性もパルス核破砕中性子源のターゲット物質として優れていることから、J-PARCでは水銀をターゲット物質として選択した<sup>1)</sup>。

本稿では、J-PARCで建設した核破砕中性子源の概要、および水銀ターゲットシステムの製作・設置と、その過程で生じた主要なトピックスについて紹介する。

なお、水銀をターゲット物質とした核破砕中性子源の建設はアメリカでもSNS計画として進められ、J-PARCより2年早く2006年4月から稼働している。

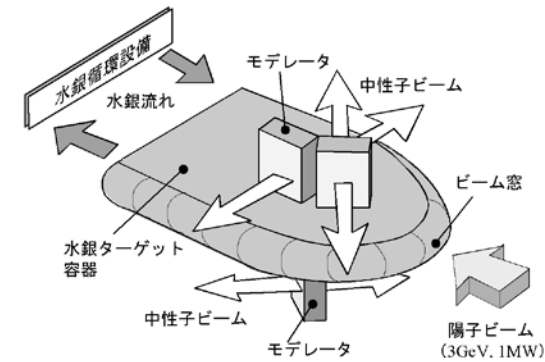


図1 水銀ターゲットの概要

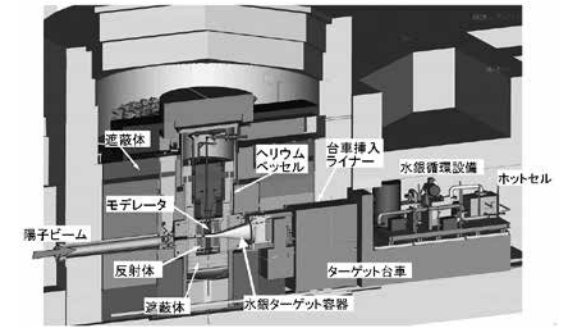


図2 核破砕中性子源断面図

### 2. 物質・生命科学実験施設の概要

#### 2.1. 核破砕中性子源のしくみ

図1に水銀ターゲットの概略を示す。水銀は液体であるため「水銀ターゲット容器」と呼ばれるステンレス製の容器に入れ、ここに陽子ビームが入射すると水銀原子核の核破砕反応により大量の中性子が発生する。入射陽子1個あたりでは約70個の中性子が発生する。陽子ビームが水銀ターゲット容器に入射する壁面は特別に「ビーム窓」と呼んでおり、水銀と同様に直接陽子ビームの照射を受けるので、容器材料に対する放射線損傷が特に大きく、また核破砕反応による発熱や熱応力、また水銀流動によるエロージョンなど、熱的にも構造的にも厳しい条件に晒される部分である。核破砕反応ではエネルギーの高い、つまり運動速度の速い中性子が発生するが、一方、中性子を利用する物質・生命科学の中性子散乱実験ではエネルギーが低く、運動速度の遅い中性子が要求される。そこで、水銀ターゲットの上下には「モデレータ」と呼ばれる液体水素を満たした容器が設置されており、発生した中性子は直接、あるいは周囲の反射体で反射された後、モデレータへ入射して水素原子核と衝突することで適度なエネルギーまで減速され、中性子ビームラインを通して利用者へ供給される。核破砕反応やこれに伴い発生する放射線により水銀ターゲット内では約482kWの発熱が生じ、水銀や水銀ターゲット容器自体が発熱するため、水銀ターゲット容器は、「水銀循環設備」(図3参照)に接続されており、水銀は常に水銀

ポンプを使って循環・流動させ、熱交換器を通して冷却される。

#### 2.2. 核破砕中性子源の構成

図2に核破砕中性子源中心の縦断面図を示す。中心部は、水銀ターゲット容器とその上下に配置されたモデレータ、これらを覆うベリリウムおよびステンレスから成る中性子反射体、さらにこれを覆うステンレスまたは鉄の遮蔽体、ステンレス製のヘリウムベッセルなどから構成され、これらは核破砕中性子源としての中性子性能を最大限引き出すような配置にするとともに、放射線遮蔽の観点からもできるだけ隙間のないように組み込まれている。核破砕中性子源中心の回りを取り巻いている遮蔽体上部までは、約7mの高さがある。

元々放射線を出さない物質が、中性子線などの照射により放射性物質に変わることを「放射化」と呼ぶが、水銀ターゲット周囲の雰囲気ガスも放射化するため、全体をヘリウムベッセルで覆い、放射化しにくいヘリウムガスを充填して放射性ガスの生成を低減する構造としている。また、ヘリウムベッセル内の反射体やその周囲の遮蔽体など、水銀ターゲット直近の構造物は発熱量が100~200kWと大きいので冷却水を流して冷却している。

#### 2.3. 水銀ターゲットシステム機器の構成

ターゲット物質としての水銀は循環して使用するので、施設の寿命中に交換することは原則として想定していないが、水銀を入れるターゲット容器は2.1節で述べたように非常に過酷な環境下に置かれるので、約半年(2500時間運転)ごとに交換する計画である。1MWの陽子ビームを入射さ

\* 日本原子力研究開発機構 J-PARCセンター 中性子源セクション

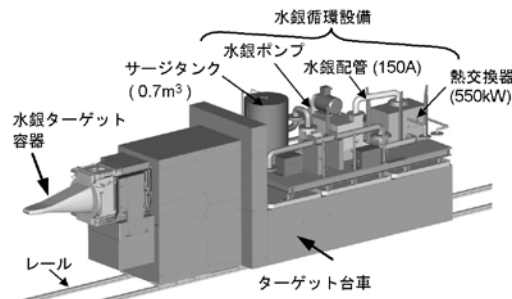


図3 水銀ターゲットシステムの構成

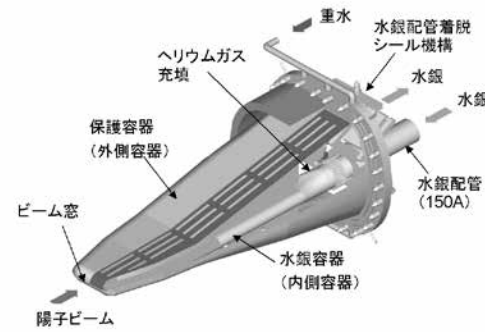


図4 水銀ターゲット容器の構造

せて本格的な運転を始めると、水銀ターゲット容器は周辺機器とともに高度に放射化するため、交換作業は全て遠隔操作で行わなければならない。

そこで、図3に示すように水銀ターゲット容器と水銀循環設備全体を「ターゲット台車」と呼ぶ可動式の台車に搭載し、核破碎中性子源の運転中は水銀ターゲット容器を核破碎中性子源中心部に挿入・固定する一方、保守期間中はホットセル(図2参照)へ台車ごと引き出して、遠隔操作機器を用いた保守・交換作業を行うこととした。この方式により、水銀循環系を開放することなくターゲット台車を移動させ、また遠隔操作対象機器を操作しやすい位置へ自由に移動させることが可能となり、これはJ-PARC水銀ターゲットシステムの特徴の一つとなっている。

水銀ターゲット容器はターゲット台車の先端に設置され、遮蔽体ブロックを貫通する内径143mm (150A, Sch80) の2本の水銀配管を介して、ターゲット台車後部に設置される水銀循環設備に接続される。水銀循環設備はサージタンク、水銀ポンプ、熱交換器、流量計、および配管・バルブ、センサー類から成っており、通常考えられる保守・交換作業は全て遠隔操作で行われる。実機で使用する水銀ポンプのビーム運転時流量は41m<sup>3</sup>/hrであり、この時の水銀主配管での流速は0.7m/sである。水銀ターゲット設備に充填される水銀の総量は1.5m<sup>3</sup>、ターゲット台車は長さ12m、幅2.6m、高さ4mであり、水銀ターゲット容器、水銀循環設備、水銀を含めた総重量は約315tとなる。ターゲット台車は核破碎中性子源中心からホットセルまで、レール上を約23mに渡って移動可

能であり、これらはもちろん遠隔操作により行われる。

#### 2.4. 水銀ターゲット容器の構造

図4に水銀ターゲット容器の構造を示す。主な材料には耐放射線性と水銀に対する耐食性を考慮してステンレス鋼SUS316LNを用いた。万一、水銀容器が破損してもヘリウムベッセルへの水銀漏洩を防止するため、水銀容器の外側を更に保護容器で覆い、また、保護容器自体も放射線で発熱するため、これを二重壁構造にして隙間に中性子吸収の少ない重水を流して冷却している。水銀ターゲット容器は三重壁構造をしている。水銀容器と保護容器の間は補強用のリブで接続し、空間は放射化の少ないヘリウムガスを満たしている。

### 3. 機器の技術開発および製作

#### 3.1. 水銀ターゲット容器の残留応力評価

水銀ターゲット容器の構造材としてはSUS316LN鋼を使用した。これまで蓄積された材料照射試験データから、十分に延性を確保できる放射線損傷の上限は5dpa (displacement per atom) とされる。これを基に水銀ターゲット容器の寿命は6ヶ月の陽子ビーム運転に相当する2500時間とした。水銀ターゲット容器先端のビーム窓部はビーム照射による体積発熱を抑えるために肉厚が2.5mmと非常に薄く、しかもパルス状の陽子ビーム入射による繰り返し応力と厳しい放射線照射場に晒されるため、ターゲット容器の中で格段に破損確率が高い。つまり、ビーム窓部の寿命で水銀ターゲット容器の寿命が決定される。とりわけ、水銀から大きな応力負荷を加えられる水

表1 残留応力評価結果

	X方向残留 応力 [MPa]	Y方向残留 応力 [MPa]
試験体	+159 (引張)	-104 (圧縮)
数値解析 (TIG溶接)	+103 (引張)	-47 (圧縮)
数値解析 (EB溶接)	-0.2 (圧縮)	3.6 (引張)

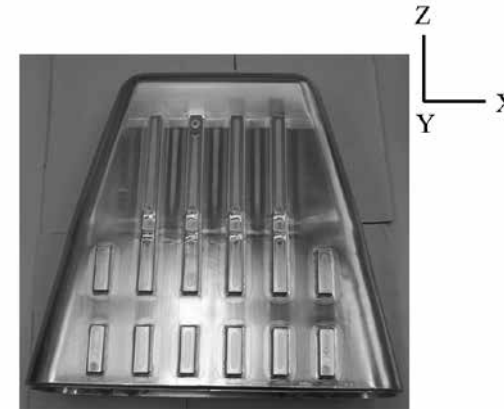


写真1 水銀容器先端部

銀容器のビーム窓部の構造健全性は、水銀ターゲット容器を製作する上で非常に重要であった。

水銀容器のビーム窓部における静的応力は内圧およびビーム運転時の温度上昇によって生ずるが、更にパルス状の陽子ビーム入射により水銀中で引き起こされる熱衝撃により圧力波が生じ、ビーム窓は非常に大きな繰り返しの動的負荷を受けることが解析により明らかとなった。ビーム窓部の近傍には溶接線があるが、溶接により誘起される残留応力は肉厚の薄いビーム窓の先端部に集中し、これは疲労強度を著しく低下させる原因となる。そこで、実機相当の試験体を使用して歪ゲージ法により残留応力の評価を行うとともに、TIG溶接および電子ビーム溶接 (EB溶接) を模擬した数値解析を行って、溶接手法によるビーム窓部の残留応力への影響を調べた。

表1に評価結果を示す。試験体を用いた評価では、水銀容器のビーム窓部中心のX,Y方向の残留応力は、それぞれ-104MPa, 159MPaで、疲労強度に対する影響が無視できない大きさであり、溶接手法の改良が必須であることがわかった。TIG溶接を模擬した解析でも、変形箇所や変形形状が

試験体と良く一致し、残留応力も同様な傾向を示したことから、解析結果は溶接による影響を再現するのに有効であると言える。そこで、EB溶接を模擬した解析を行ったところ、ビーム窓部の変形はほとんど無視できる程度であり、残留応力も表1に示すように非常に小さいことが分かった。但し、EB溶接の熱影響領域はTIG溶接の1/5程度と仮定している。

これらの結果を踏まえて、ビーム窓部の溶接にEB溶接を使用したところ、写真1に示すように水銀容器先端部を精度良く製作することができた。

#### 3.2. PMポンプの開発

ターゲット物質として使用する水銀は液体であり、しかも非常に強い放射能を帯びるため、水銀の漏洩を防止することはターゲットシステムの設計で最も重要な課題の一つであった。とりわけ水銀ポンプにおいては、通常の機械式ポンプを用いた場合、駆動軸が水銀のパウダリを貫通するため、メカニカルシールなど一般的に使用されるシール機構では、ある程度の漏洩を許容せざるを得ない。流体が液体金属であることから、完全な水銀のパウダリを形成できる選択肢として電磁ポンプがある。これは、流路内の液体金属に移動磁場を作用させることでローレンツ力により駆動力を与える仕組みである。従来の電磁ポンプはコイルを流路の両側に配置して電氣的に移動磁場を作り出す方式であり、ポンプ性能に対して全体サイズが大きく、設置スペースが限られているターゲットシステムには適用できなかった。そこで永久磁石をローター上に固定し、この外側にΩ形状の扁平流路を配置し、ローターをモーターで回転させることで移動磁場を作り出す新しい方式の電磁ポンプ、すなわちPM (Permanent Magnet) ポンプを開発した。これによりポンプの小型化が可能になり、水銀の閉じ込め性能に優れたポンプをターゲットシステムに適用することができた。

製作したPMポンプの外観を写真2に示す。モーター出力は設備容量から90kWの制限があり、PMポンプに必要なトルク性能などを考慮して6極のモーターとした。ポンプ高さはモーターを含めて1820mm、幅は840mmである。実機の水銀循

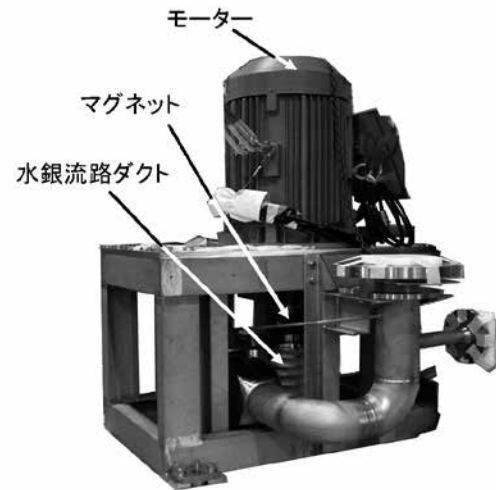


写真2 PMポンプ外観

環設備に設置して水銀流動試験を行った結果、ターゲットシステムの運転条件である $41\text{m}^3/\text{h}$ を上回る $42\text{m}^3/\text{h}$ の流量で、 $0.1\text{MPa}$ の吐出圧力となった。ポンプ回転速度は更に上昇可能であり、性能的にも余裕があることを確認できた。

### 3.3. ターゲット台車の設置

ターゲット台車は前半部の遮蔽体台車と後半部の水銀設備台車から成っている。遮蔽体台車は鉄およびコンクリートのブロックから構成され、ビーム運転中に核破砕反応によって生ずる強力な放射線を遮蔽する役目を持つ。従って遮蔽性能を担保するためには、遮蔽体台車と、これが挿入される台車挿入ライナー（図2参照）の隙間は遮蔽評価モデルに準じて $20\text{mm}$ 以下に抑える必要がある。一方で、台車挿入ライナーの寸法精度はターゲットシステム機器に比べて悪く、ライナーの設計位置からのズレは場所により数 $\text{mm}$ から最大で $15\text{mm}$ 程度までであった。そこで遮蔽体台車を設計値より小さく作っておき、台車挿入ライナーの寸法計測結果に合わせて、遮蔽体台車外面に鉄板を貼り付けることで、隙間を $20\text{mm}$ 以下に抑えるようにした。

図5は水銀設備台車の内部構造を示す。水銀ターゲット容器の交換、または水銀循環設備機器のメンテナンス時に水銀をドレンするための水銀ドレンタンク、および万一の水銀漏洩時に漏洩した水銀を集めるための漏洩水銀捕集タンクが設置し

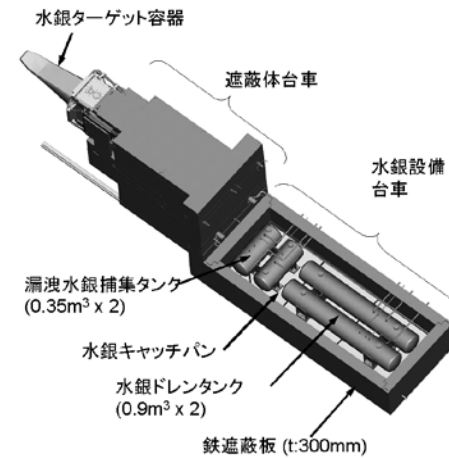


図5 水銀設備台車内部

てあり、それぞれ2つのタンクの気相部・液相部を配管でつないだ構造である。これにより、水銀設備台車の内部空間を有効に活用するとともに、タンク高さを抑えることができる。水銀ドレンタンクの容量は $1.8\text{m}^3$ 、漏洩水銀捕集タンクの容量は $0.7\text{m}^3$ である。水銀循環設備機器からの放射能は主に内包される放射化水銀によるものであり、万一、ホットセル内に作業員が入ってセル内作業を行う必要が生じた場合に空間線量を抑えるため、タンク類は厚さ $300\text{mm}$ の鉄遮蔽で完全に覆い、水銀設備台車としている。また、ターゲット台車には水銀ターゲット容器および水銀循環系機器が全て搭載されるため、これらに接続される冷却水・ガスの配管や電力・センサーケーブル類は全てケーブルベア上に敷設し、ホットセル床面上の取合口と接続することでターゲット台車の移動を可能にしている。

水銀ターゲット容器を核破砕中性子源中心の位置に精度良く挿入・固定することがターゲット台車の重要な機能の一つであり、陽子ビームラインの中心軸に対して $\pm 1\text{mm}$ 以内という位置決め精度が要求されるため、ターゲット台車は床面に敷設するリニアローラーウェイ（LWR）のレール上を移動させ、重量物の搬送と位置決め精度を両立させる設計とした。LRWはころベアリングを用いた支持装置であり、直線運動精度が良く、大きな許容加重を持っている。

## 4. 水銀ターゲットシステムの完成

写真3に完成した水銀ターゲットシステムの写真を示す。これまでコミショニング作業として、各機器の機能や遠隔操作性の確認、全体制御システムの構築など陽子ビーム受入に向けた様々な準備を完了させ、2008年5月30日に陽子ビーム受入と核破砕中性子の発生に成功した。今後はビーム運転条件下での様々な計測データを取得して、水銀ターゲット容器の圧力波対策などシステムの高高度化にむけた活動を進めてゆく計画である。



写真3 完成した水銀ターゲットシステム

## 謝 辞

水銀ターゲットシステムを完成させるために、多くの方々にご尽力頂いた。水銀ターゲット容器は三井造船株式会社殿、水銀循環設備はカワサキプラントシステムズ株式会社殿、PMポンプは助川電気工業株式会社殿、ターゲット台車は富士電機システムズ株式会社殿にそれぞれ担当して頂いた。水銀ターゲット容器の残留応力計測・評価では原子力機構の鈴木氏、町屋氏のご助力を頂いた。最後に核破砕中性子源設備の建設に携わったプロジェクト員全てに助力と支援を頂いたことをここに示す。

## 参考文献

- 1) [http://j-parc.jp/MatLife/ja/roles/beam\\_neutron.html](http://j-parc.jp/MatLife/ja/roles/beam_neutron.html)

# 空冷式熱交換器について

## Summary of Air Cooled Heat Exchanger

渡辺 知範\*  
Tomonori Watanabe

### 〔概要〕

空冷式熱交換器とは無尽蔵な空気を冷却媒体として、様々な流体（蒸気、ガス、水、オイルなど）を凝縮または冷却する機器であり、多様な分野（石油化学、発電、エネルギーリサイクルなど）において広く使用されており、原子力関連設備においても例外ではない。

本稿では、カワサキプラントシステムズ(株)で扱っている空冷式熱交換器について機能および構造を中心に紹介する。

### 1. はじめに

従来、プロセス分野においては冷却媒体としてほとんど水が使用されてきた。その最大の理由は工業用水の入手が容易でかつ伝熱係数が大であるために装置が小さくなることだが、この反面、水による腐食、スケールの付着や水漏れによる性能低下を避けることはできない。

また、近年の工業用水に対する需要の増大および環境問題に対する意識の高まりから、貴重な水資源を浪費することは許されなくなりつつある。

これらの諸問題を解決するために、無尽蔵に存在する空気を冷却媒体とする空冷式熱交換器が開発され、石油化学プラント、発電プラント、エネルギーリサイクルプラントなどの様々な分野で広

く使用されている。また、原子力関連設備においても使用される機会が増えてきている。

### 2. 空冷式熱交換器の機能

空冷式熱交換器は空気を冷却媒体として各種流体の熱交換を行う機器であるが、その機能は冷却器と凝縮器の2種類に大別される。

両者の概念図を図1および図2に示す。

伝熱管外部を通過する冷却空気によって伝熱管内部の流体が冷却または凝縮するが、冷却器では管束（管寄、伝熱管、フレームより構成される）を水平に設置するのに対し、凝縮器では凝縮液を排出するために管束を傾斜させて設置させることが多い。

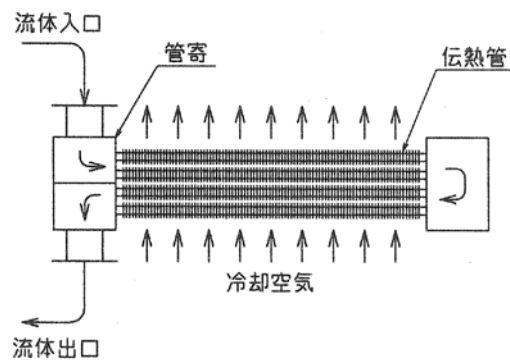


図1 冷却器概念図

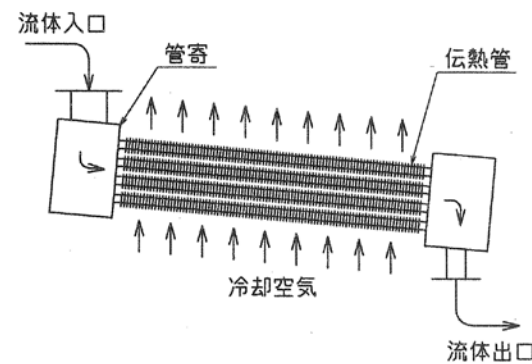


図2 凝縮器概念図

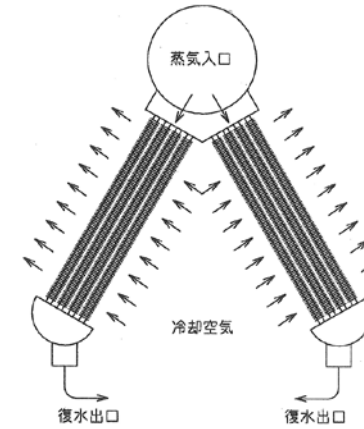


図3 タービン排気復水器概念図

なお、凝縮器において、特にタービン排気（真空圧）の凝縮器（タービン排気復水器）では図3に示すように屋根型に管束を設置させて、復水を自重により落下させている。

### 3. 空冷式熱交換器の構造

空冷式熱交換器の構造に関する国際的な規格として、ANSI/API STANDARD 661: Air Cooled Heat Exchangers for General Refinery Service (ISO 13706-1: (Identical) Petroleum, petrochemical and natural gas industries - Air-cooled heat exchangers)があり、日本では「石油学会規格 JPI-7R-51-97: 空冷式熱交換器の構造」がある。

なお、上記規格は主に石油化学業界において適用され、その他の業界では構造に関する適用規格はメーカー標準（実際は上記規格準用）となるものがほとんどである。

#### 3.1. 全体構造

代表的な空冷式熱交換器の全体外観および構造を図4および図5に示す。本機器は管束、架構、送風装置（ファン、減速機またはVベルト、電動機）などで構成される。入口分配管から管寄を通じて伝熱管内部に分配された流体は、伝熱管外部のフィンとファンによって送られる冷却空気との間の熱交換により冷却され、出口集合管を通じて送られる。

機器の運転は、ファン台数制御、回転数制御、自動可変ピッチファンの採用による風量制御などにより、冷却空気温度の変化に対応して流体出口



図4 全体外観

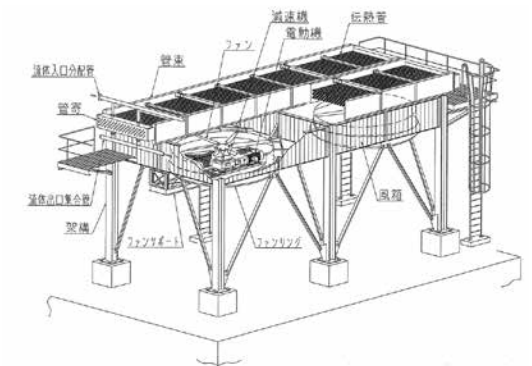


図5 全体構造図

温度を一定に保つように行われる。

空冷式熱交換器は外気を冷却空気として使用するため屋外に設置されるが、寒冷地においては、冬季停止時の積雪対策として管束上部にルーバーを設置する場合がある。

#### 3.2. 管束構造

管束は管寄、伝熱管、伝熱管サポートおよびフレームなどで構成され、伝熱管の管寄への取付けは通常拡管にて行われる。なお、真空圧の場合または流体の種類によっては管端シール溶接を行う場合もある。

伝熱管段数は4段～6段が一般的に使用され、千鳥配列される。また、伝熱管は長さ方向のたわみを防止するために、適切な間隔に設置された伝熱管サポートによって支持され、流体温度による熱伸びを逃がすように片側の管寄が遊動するようになっている。

\* カワサキプラントシステムズ(株) GEAプロジェクト室

### 3.3. 伝熱管のフィン形状

伝熱管は管外面にフィンを設置したものであり、フィンピッチは8枚～11枚/inchが一般的に使用される。フィン枚数が多くなるほど伝熱面積が増えるが、冷却空気の通過圧力損失が大きくなる。なお、最適な段数およびフィン枚数の組み合わせは設計熱仕様および熱交換器設置スペースによって選定される。

代表的なフィン形状を下記および図6に示す。使用温度範囲および熱効率がそれぞれ異なるが、最も一般的に使用されるのは埋込型である。

#### (1) L型

フィンをL型にしながらかしめながら巻付ける。

(管材質：炭素鋼・ステンレス鋼，フィン材質：アルミニウム)

#### (2) LL型

フィンをL型にしながらかしめながらオーバーラップさせながら巻付ける。

(管材質：炭素鋼・ステンレス鋼，フィン材質：アルミニウム)

#### (3) 埋込型

管に溝加工し、かしめながら巻付ける。

(管材質：炭素鋼・ステンレス鋼，フィン材質：アルミニウム)

#### (4) 転造型

内管に外管（フィン材）を転造加工にて圧着フィン成形する。

(管材質：炭素鋼・ステンレス鋼，フィン材質：アルミニウム)

#### (5) プレート型

打ち抜きプレートを素管に差し込み、水圧拡管にて固定する。

(管材質：銅，フィン材質：アルミニウム・銅)

### 3.4. 騒音について

空冷式熱交換器は屋外に設置されるため、騒音に対する考慮が必要になる。通常、空冷式熱交換器の騒音値は機側1mで85db(A)以下になるよう設計されるが、設備の敷地境界に近接した場所に設置される場合には、防音壁を設置するなどの減音対策がしばしば必要となる。また、建屋上に設置する場合は図7に示すような二重壁構造を採用する場合も多い。

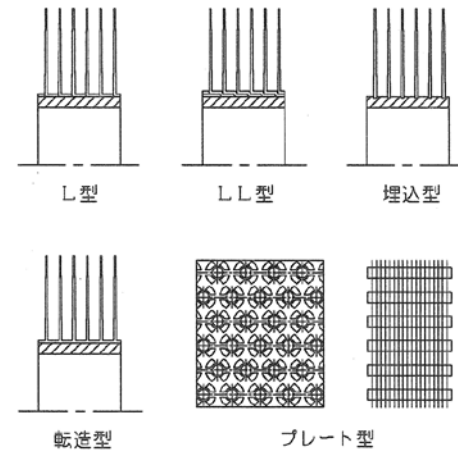


図6 伝熱管構造図

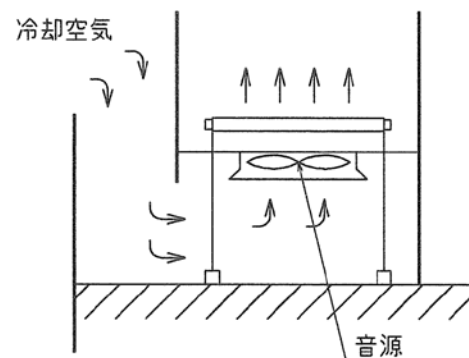


図7 建屋上配置図

## 4 空冷式熱交換器の保守点検

空冷式熱交換器における代表的な保守点検項目について下記に示す。なお、減速機の潤滑油交換以外の項目については、保守点検頻度は機器の運転状況により異なるものである。

### 4.1. 管束の保守点検項目

- (1) 伝熱管の蛇行，フィンの汚れ
- (2) 拡管部からの漏れ
- (3) 伝熱管内部の腐食

### 4.2. 送風装置の保守点検項目

- (1) 異常音，異常振動
- (2) ファンの羽根角度，締付トルク
- (3) 減速機の潤滑油漏れ
- (4) 減速機の潤滑油交換
- (5) 減速機のオイルシール，軸受交換
- (6) 電動機の軸受交換

## 5. 原子力関連設備向け空冷式熱交換器

当社では、下記施設向けに空冷式熱交換器を納めており、現在順調に稼動中である。

### 5.1. 高温工学試験研究炉 (HTTR) 補助冷却設備

補助冷却水空気冷却器（耐震クラス：As）

本機器は補助冷却設備の補助冷却水を冷却するものである。常時は休止しており、一次冷却設備ダウン時に起動する。

### 5.2. 福島第一原子力発電所第4号機非常用電源設備

非常用ディーゼル発電機冷却系空気冷却器（耐震クラス：As）

本機器は非常用ディーゼル発電機および補機の冷却水を冷却するものである。常時は休止しており、外部電源喪失が起こった場合に起動する。

### 5.3. 再処理事業所 再処理施設

#### (1) 前処理建屋 冷却塔（耐震クラス：As）

本機器は再処理設備本体，計測制御系統施設，放射性廃棄物廃棄施設およびその他再処理設備の

付属施設における機器類の冷却水を冷却するものである。本機器は独立した2系列の構成となっており、常時100%負荷にて2系列運転している。

#### (2) 非常用電源建屋 冷却塔（耐震クラス：As）

本機器は第2非常用ディーゼル発電機および補機の冷却水を冷却するものである。常時は休止しており、外部電源喪失が起こった場合に起動する。

#### (3) 出入管理建屋 冷却塔（耐震クラス：C）

本機器は冷却水系統設備の冷却水を冷却するものである。

#### (4) ユーティリティ建屋 冷却塔（耐震クラス：C）

本機器は運転予備用ディーゼル発電機および補機の冷却水を冷却するものである。常時は休止しており、外部電源喪失が起こった場合に起動する。

## 6. おわりに

これまで空冷式熱交換器の機能および構造について紹介してきたが、これからも様々な分野で使用される空冷式熱交換器を通じて、微力ながら業界の発展に寄与していきたいと考えている。

# J-PARC核破砕中性子源用水銀循環設備と ターゲット容器交換台車の製作

## Fabrication of Mercury Circulation System and Target Exchange Truck for J-PARC Spallation Neutron Source

粉川 広行\*      木下 秀孝\*      羽賀 勝洋\*      涌井 隆\*  
Hiroyuki Kogawa   Hidetaka Kinoshita   Katsuhiko Haga   Takashi Wakui  
相澤 秀之\*\*      神永 雅紀\*      二川 正敏\*      佐藤 真一\*\*\*  
Hideyuki Aizawa   Masanori Kaminaga   Masatoshi Futakawa   Shin-ichi Satou  
森 清治\*\*\*\*  
Seiji Mori

〔概要〕

大強度陽子加速器計画（J-PARC）の物質・生命科学実験施設に設置した核破砕中性子源の構成機器である水銀循環設備と水銀ターゲット容器交換台車を紹介する。水銀循環設備は水銀ターゲット容器へ水銀を循環供給し陽子ビーム入射により昇温した水銀を冷却するための設備である。また水銀ターゲット容器交換台車は遠隔操作により使用済みターゲットの取外しと新ターゲットの取り付けを行う装置である。

### 1. はじめに

日本原子力研究開発機構（JAEA）および高エネルギー加速器研究機構（KEK）は共同で、大強度陽子加速器計画（J-PARC）を進めている。本計画の一部として、物質・生命科学実験施設<sup>(注1)</sup>に最大出力1 MWのパルス陽子ビームを用いた核破砕中性子源<sup>(注2)</sup>を建設した。

核破砕中性子源は、大強度陽子加速器からの陽子ビームパルス（1MW：3GeV）を水銀ターゲットに入射させ、核破砕反応により発生する中性子ビームを各種実験に供することを目的とした施設である。本稿では、中性子源となる水銀ターゲット容器へ水銀を循環供給しながら、陽子ビーム入射により温度が上昇した水銀を冷却するための水銀循環設備と、遠隔操作により使用済みターゲッ

トの取外しと新ターゲットの取り付けを行う水銀ターゲット容器交換台車を紹介する。

### 2. 水銀循環設備

#### 2.1. 概要

表1に水銀循環設備の主要設計仕様を示す。水銀循環設備は水銀ターゲット容器（三井造船殿製作）に水銀を循環供給するための設備である。写真1および図1に示すように水銀循環系機器・計器類、各種配管類はターゲット台車（富士電機システムズ殿製作）の上に設置される。

水銀循環設備は、循環ポンプ、熱交換器、サージタンク、各機器を連結する主配管およびドレン配管、弁、および各種計器などから構成され、ターゲット容器へ水銀を循環させると共に、陽子ビーム入射による水銀での発熱を除去する。運転時、

水銀循環設備から送り出された水銀は水銀入口配管を通してターゲット台車先端部のターゲット容器に送られた後、出口配管を通して水銀循環設備へ戻り、ターゲットで発生した熱を容量600kWの熱交換器で除去する。

実験施設運転により水銀自身と周辺機器が高度に放射化するため、水銀循環設備主要機器のメンテナンスは、放射化機器取扱室と呼ばれるホットセル内で遠隔操作により行われる。放射化機器取扱室に設置された天井走行型パワーマニピュレータ、マスタースレーブマニピュレータ、およびインセルクレーン（吊り上げ荷重20トン）を用いて、基本的に据置きされる配管を除いて全ての機器・計器・弁・主配管などの遠隔交換が可能である。メンテナンス時にはターゲット台車は水銀循環設備機器などのメンテナンスに適した位置に移動が可能である。ドレン配管の配置の最適化により、水銀を可能な限りターゲット台車内部に設置され

表1 水銀循環設備の主要設計仕様

項目	仕様
運転圧力	0.5MPaG（サージタンク気相部）
運転温度	最高100℃
除熱量	600kW（出力1 MW運転時）
循環流量	最大50m <sup>3</sup> /h
水銀充填量	約1.6m <sup>3</sup>
運転時間	5000時間/年
設置面積	約2.6m×約6.2m
設備高さ	床面より4 m以下
主要材質	SUS316L（水銀接液部）
遠隔操作性	交換機器は遠隔フランジ使用
定期保守	年に2回の長期停止期間中（各約1ヶ月程度）

たドレンタンクにドレンして、メンテナンス時の水銀漏洩を低減すると共に、水銀の残留量が多くなる可能性のあるポンプ、熱交換器およびサージタンクは遮蔽ブロックで覆い、残留水銀からの放射線を減衰させる構造とすることでメンテナンス性の向上を図った。また、圧力伝送器や電磁弁などの放射線照射に弱い部品を含む機器は鉛製遮蔽箱に収納する構造とした。

#### 2.2. 主要機器仕様

特に設計上慎重な検討を要した機器について以下に記述した。

##### (1) 循環ポンプ

原子力機構の水銀流動基礎実験装置において試験運転が行われ、水銀の循環に実績があったことから、水銀循環ポンプにギアポンプを採用した。しかし、長時間の運転においてメカニカルシール部からの水銀漏洩が避けられない事実が判明したため、適正な材料選定、水銀中シール性能確認試験、運転圧力の検討によりメカニカルシール部の水銀漏洩に対する長寿命化を図るとともに、シール部から漏洩した水銀を外気に曝すことなく回収するシステムを設置し、実機ポンプの製作を行っ

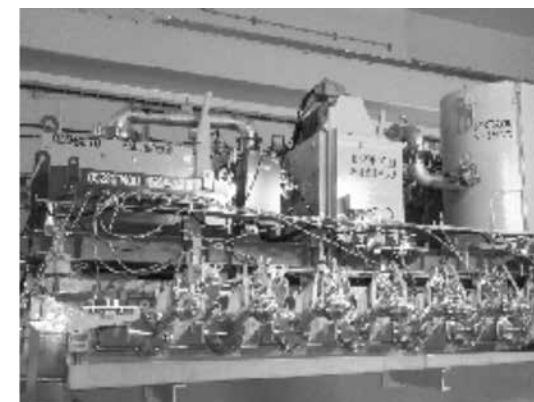


写真1 水銀循環設備

\* 日本原子力研究開発機構

\*\* 日本原子力研究開発機構 現富士電機システムズ(株)

\*\*\* カワサキプラントシステムズ(株) 原子力室

\*\*\*\* 同社 原子力室 現日本原子力研究開発機構

(注1) 物質・生命科学実験施設の核破砕中性子源では、加速器からのパルス陽子ビームを水銀ターゲットに入射させて中性子を発生させた後、減速材・反射体によって中性子ビームを発生する。この中性子ビームを使用して、物質科学・生命科学的研究を行うことを目的としている。

(注2) 核破砕反応は、500MeV以上に加速した陽子が重金属原子核と核反応する際に原子核を多数の破片に砕く反応で、1GeVの陽子なら1個あたり約30個の中性子を発生させることができる。ターゲットとなる重金属としては、固体ではタンクステンなど、液体では水銀、鉛、ビスマスなどが候補として考えられている。物質・生命科学実験施設で用いている大強度の核破砕ターゲットとしては、融点が低く（室温で液体）、自己冷却が可能などの理由から水銀を採用している。

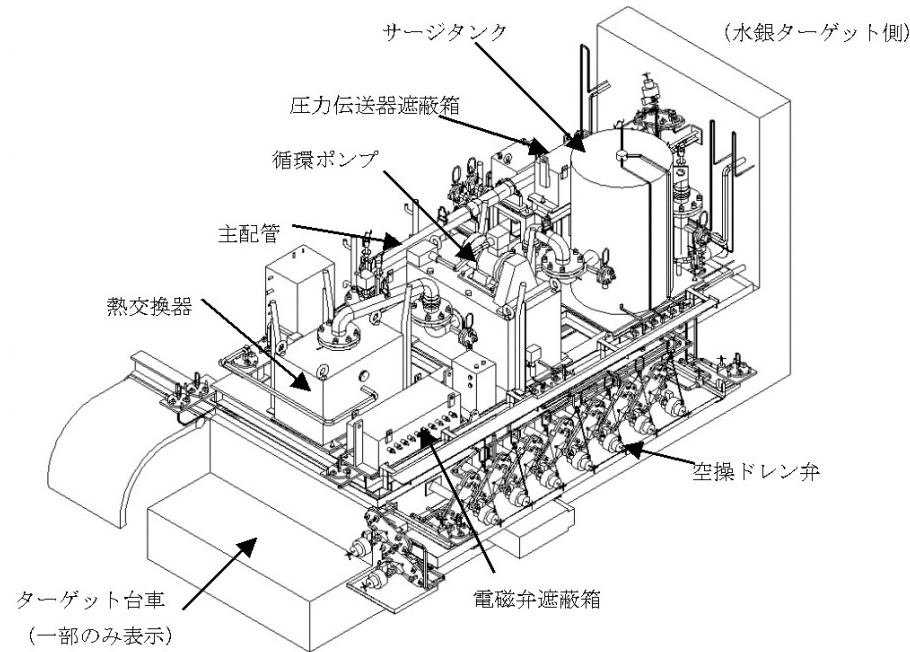


図1 水銀循環設備機器配置図

た。また、放射線による劣化が問題となる駆動ベルト（ゴム）についてはガンマ線照射試験を実施し、その寿命を確認した。

(2) サージタンク液位計

設計初期には、電極式の液位計を使用することとしていたが、循環ポンプ駆動用モーターからの電磁ノイズを完全に遮蔽することが困難であることから、差圧式液位計を採用した。圧力は後述する隔膜式の差圧伝送器を使用して測定する。

(3) 圧力計

検出器と変換器・発信器が分離され、且つ検出器内部に電子素子などの放射線に弱い部品が使われていないことから、原子力機構の水銀流動基礎実験装置での圧力測定に実績のあった隔膜式圧力計を採用した。分離された伝送器（変換・発信部分）は鉛製の計器収納用遮蔽箱内に設置し、放射線の影響を低減する構造とした。

(4) 遠隔操作弁

電動弁が放射線環境に弱いことから、遠隔により開閉操作を行う弁は、基本的に空気作動弁とした。作動用空気の供給は三方向電磁弁を通して行うが、本電磁弁は放射線の影響を回避するため、電子部品計器類と同様に鉛製計器収納用遮蔽箱に

収納した。また、これらの弁はフェイルクローズ構造とし、機器のシステム安全性を確保した。

(5) 遠隔操作配管フランジ

機器のメンテナンスを遠隔操作で行うためには、対象となる機器自体を遠隔操作で扱える構造としておくと共に、機器に接続する配管を遠隔で切離/再接続可能な構造とし、特にシール性を確保しなければならないため、マニピュレータによる遠隔操作ボルトの締結・解除が可能な特殊フランジを設計・製作した。なおメタルシール、およびナットについても遠隔交換が可能である。設計・製作した特殊フランジの遠隔操作性を放射化機器取扱室にて、マニピュレータを用いて確認した（写真2）。

2.3. 水銀充填および水銀循環試験

水銀は毒物であり法令に従った取扱が求められるため、写真3に示すように、放射化機器取扱室に局所排風機付きのグリーンハウスを設置し、労基署の許可を得た後に約1.6m<sup>3</sup>の水銀を水銀循環設備（ドレンタンク）内に充填した。

その後、システムのヘリウムリーク試験により、特殊フランジの気密性を確認した後、水銀循環試験を実施し、所定の性能が得られることを確認した。

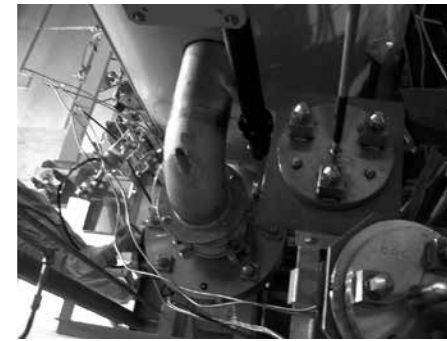


写真2 パワーマニピュレータを用いた主配管（サージタンク入口）の特殊遠隔フランジボルト操作試験の様子



写真3 局所排気装置を備えたグリーンハウス内での水銀充填作業の様子

である<sup>1)2)</sup>。ターゲット容器の交換は、交換台車とインセルクレーン、パワーマニピュレータおよびマスタースレーブマニピュレータで協調して行う。

3.2. 交換台車および保管容器の構造

(1) 交換台車

交換台車の構造を図2に示す。交換台車は、鋼製の自走台車（重量約9トン）であり、台車本体、走行機構、およびターゲット容器交換時の位置決め機構（鉛直方向、水平方向）などから構成される。

交換台車の走行は、耐放射線性のサーボモータ（バッテリー駆動）を用い、台車停止位置精度を確保する。交換台車走行、ターゲット容器交換時の位置はリミットスイッチおよびサーボモータからの信号により制御する。また、交換台車本体には、保管容器の搭載および交換台車上での位置決めやすさを考慮して保管容器を受けるトランオン支持台を設け、ターゲット容器を水平姿勢で保持する構造としている。

ターゲット容器はターゲット台車上に搭載・支持されるため、交換台車との設置レベル差および水平方向の位置ずれがあることから、ターゲット容器の取り外し・取り付けの際は、ターゲット容器を昇降・水平移動させる必要がある。このため、交換台車にはサーボモータ、ジャッキ、リニアガイドなどからなる鉛直および水平方向位置決め機構を設けている。

交換台車上の後方には、保管容器を仮置きするための架台を搭載し、この場所にて、パワーマニピュレータにより保管容器蓋開閉のための遠隔ボルト締緩を行う。また、交換台車は不使用時は線量率の低い放射化機器取扱室内のメンテナンスエリアで待機しており、使用時にインセルクレーンによりターゲット台車前方の走行レール上に移送、設置する。バッテリーの充電は、メンテナンスエリアに設けた充電プラグに接続することにより行う。

交換台車の基本仕様をまとめて以下に示す。

- 1) 形式：軌条自走式台車
- 2) 給電方式：バッテリー方式（容量300Ah）
- 3) 信号伝送方式：無線誘導方式
- 4) 積載重量：約4000kg  
(保管容器およびターゲット容器)

3. 水銀ターゲット容器交換台車

3.1. 概要

水銀を格納している水銀ターゲット容器（以下、ターゲット容器）は陽子ビームおよび中性子の照射を受け、過酷な核・熱負荷に晒されるため定期交換が計画されており、水銀ターゲット容器保管容器（以下、保管容器）に収納した上で同施設内の保管設備で保管し、その後キャスクに収納して施設外に搬出される。ターゲット容器およびその周辺機器は高度に放射化しているため、ターゲット容器交換を含むメンテナンス作業は遠隔操作で行う必要がある。

水銀ターゲット容器交換台車（以下、交換台車）は、ターゲット容器およびターゲット台車と同じ室内（放射化機器取扱室）に設置され、ターゲット容器を保管容器に収納した状態で搭載する機器

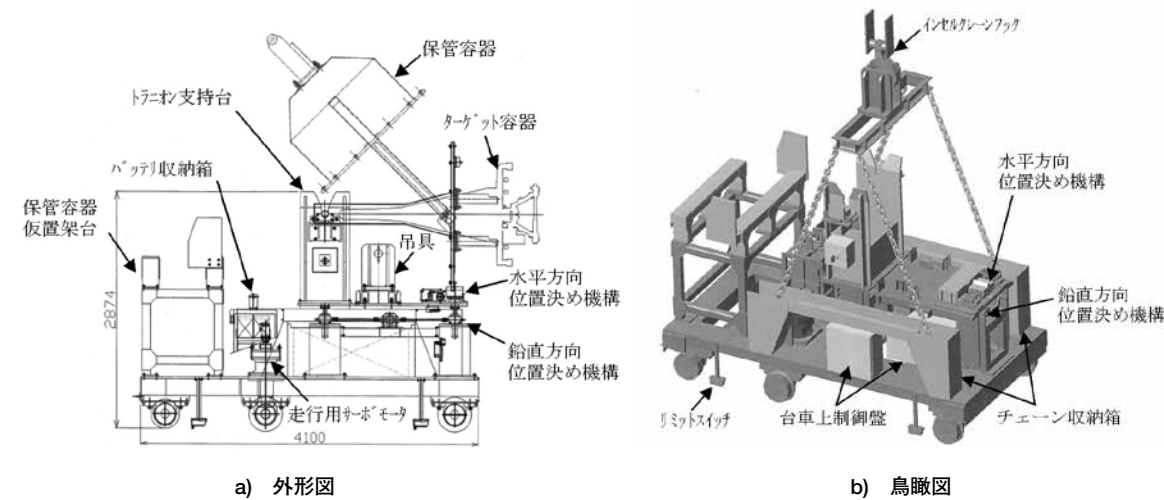


図2 水銀ターゲット容器交換台車の構造

- 5) 走行機構：サーボモータ駆動
- 6) 走行速度（停止精度）：0.3~0.9m/min  
(± 2 mm)
- 7) 鉛直，水平位置決め機構：サーボモータ駆動
- 8) 鉛直位置決めストローク（精度）：  
100mm (± 1 mm)
- 9) 水平位置決めストローク（精度）：  
30mm (± 1 mm)
- 10) 使用頻度：2回/年程度  
(ターゲット容器交換)

(2) 保管容器

保管容器は，ターゲット台車から取り外した使用済ターゲット容器を収納する密閉型容器である。保管容器の構造を図3に示す。保管容器は，ターゲット容器の交換時にターゲット容器保持のためにも使用する。

保管容器は，ターゲット容器収納部と蓋部から構成され，遠隔による取り扱いを考慮してアーム部を介して一体化する構造としている。ターゲット容器収納部は，先端部に鉛ブロックを挿入・固定してバランスを保つ構造としている。また，この鉛は放射化の著しいターゲット容器先端部の遮蔽の役割も持つ。保管容器蓋部は，ターゲット容器から後方に張り出している配管，コネクタ類との干渉が無いようキャップ状の形状にしており，ターゲット容器収納部との接続はフランジ式としてシール性を確保し，遠隔ボルトの締緩により蓋

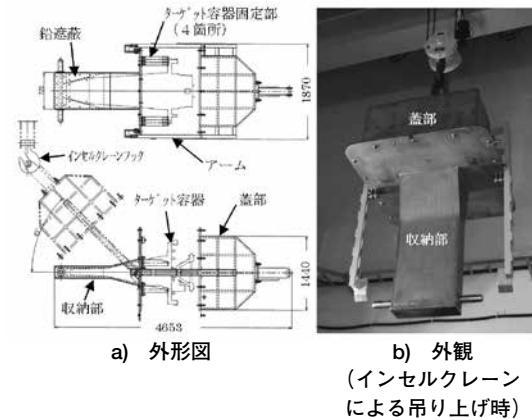


図3 水銀ターゲット容器保管容器の構造

の開閉を行う。また，保管容器には，ターゲット容器を交換する際に姿勢保持および位置決めのための固定部（4箇所）を設けている。

保管容器の移動は蓋部に設けた吊り具にインセルクレーンフックを掛けて吊り上げることにより行う。保管容器の基本仕様を以下に示す。

- 1) 型式：鋼製容器（遠隔ボルトによる蓋開閉）
- 2) 主要材料：SUS304（本体），鉛（先端部に挿入）
- 3) 設計温度，圧力：200℃，0.1MPa
- 4) 気密性： $2 \times 10^{-1}$  Pa・m<sup>3</sup>/sec以下
- 5) 重量：約2600kg

3.3. 実機ターゲット容器の交換試験

実機ターゲット容器を用いて，ターゲット台車への取り付け，取り外しの遠隔交換試験を実際の

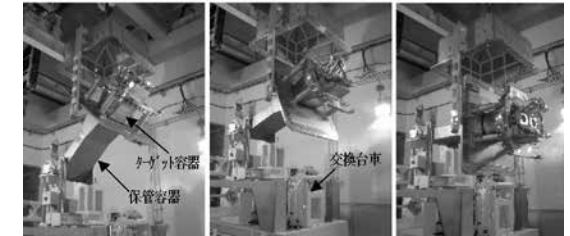
ターゲット容器交換手順に沿い，インセルクレーン，およびパワーマニピュレータの遠隔機器を用いて実施した。交換試験の状況を図4に示す。図4 a)は，保管容器に収納したターゲット容器を交換台車上で水平に設置している状況を示す。図4 b)は，ターゲット台車に取り付けられているターゲット容器を交換台車の走行・位置決め機構の遠隔操作により保管容器内に収納している状況を示している。本試験により，交換台車移動からの一連のターゲット容器交換を遠隔操作にて実施する手順が確認され，交換作業時の機器間取り合い位置データなどを取得することができた。

4. おわりに

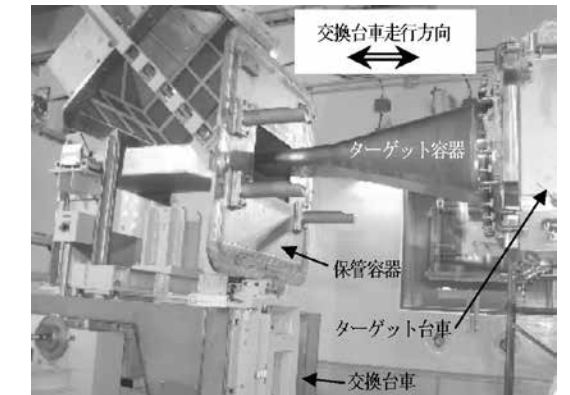
物質・生命科学実験施設では，平成20年5月30日に，初めて高エネルギーのパルス陽子ビームを受入れて，核破碎反応による中性子の発生を確認した。現在，平成20年12月からを予定している本格的な利用運転に向けて，精力的に調整運転を行っている。

参考文献

- 1) 安達他，中性子散乱施設使用済ターゲット取扱・保管設備の概念設計検討，JAERI-memo12-026
- 2) 安達他，中性子散乱施設使用済ターゲット取扱・保管設備の概念検討II，JAERI-Tech2001-093



a) 保管容器横倒し



b) ターゲット容器収納

図4 ターゲット容器交換試験の状況

# 振動式樹脂洗浄装置

## Advanced Resin Cleaning System

三浦 信二*	菊池 香織*	上野 修一*	大平 拓**
Shinji Miura	Kaoru Kikuchi	Syuichi Ueno	Taku Ohira
笹木 弘之***	石黒 修二****	Roger Asay*****	Richard Kohlmann*****
Hiroyuki Sasaki	Shuji Ishiguro		

### 1. はじめに

沸騰水型原子力発電所では、タービンからの復水を原子炉へ送水する過程で可能な限りこれを浄化するために復水脱塩装置が設置されている。復水から除去すべき対象は主に不純物イオンおよび配管などから発生する腐食生成物(以下クラッド)であり、これらを含む復水を強酸性陽イオン交換樹脂と強塩基性陰イオン交換樹脂の混床塔である復水脱塩塔へ通水することにより浄化している。

一方、イオン交換樹脂(以下樹脂)は逆洗洗浄操作(樹脂塔内に空気を流入させて樹脂を攪拌して樹脂表面のクラッドを排除する洗浄方法)や通薬再生の繰返しにより、ある程度破碎される。この破碎片(以下破碎樹脂)は逆洗洗浄操作の過程で健全な樹脂と分離され、放射性廃棄物処理系に送られるが、極微細な破碎樹脂が健全樹脂に残留していると、復水脱塩塔内のストレーナを通過し原子炉へ流入後、分解して硫酸イオン、硝酸イオンを生成し、原子炉構造材の応力腐食割れ(以下SCC; Stress Corrosion Cracking)の進展を助長すると言われている。したがって復水脱塩塔に装荷された樹脂の逆洗洗浄操作では、表面や粒子間に存在するクラッドの除去と共に、破碎樹脂の分離も重要な目的となっている。

従来の逆洗洗浄操作は樹脂を再生塔に移送後、樹脂層下部から空気と水を注入することで、スクラビング効果によるクラッドの樹脂表面からはく離と、上昇水流によるクラッドと破碎樹脂の樹脂層からの追出し効果を狙ったものである。しかしこの方法では、樹脂表面のクラッドの除去には限界があり、微細な破碎樹脂も完全には分離できない。このため樹脂をできるだけ清浄な状態に保つため逆洗洗浄頻度を増加したり、より洗浄効果の高い通薬再生を行ったりする結果、発生する廃液が発電所全体の液体放射性廃棄物の大部分を占めていた<sup>1)</sup>。

このようななか、日本原子力発電(株)東海第二発電所(沸騰水型原子力発電所, 1100MWE, 1978年運転開始)(以下東海二)において、2005年10月(第21回定期検査時)に全く新たなコンセプトに基づく樹脂洗浄装置を導入したので、その概要を紹介する。

### 2. 振動式樹脂洗浄装置(以下ARCS)の概要

#### 2.1. 導入経緯

振動式樹脂洗浄装置(ARCS; Advanced Resin Cleaning System)は米国RSI社(Radiological Solutions, Inc)が設計・開発した装置であり、米国では複数の原子力発電所におい

て10年以上の良好な運転経験を有している。日本では、日本原子力発電(株)がこれに着目し、RSI社の国内代理店である双日(株)より輸入して、東海二の復水脱塩装置メーカーである(株)荏原製作所の技術協力を得て導入した。

#### 2.2. 装置概要

図1に本装置の中心部である樹脂洗浄機の概要図を示す。この機器は食品などのふるい分けに用いられる振動ふるいと同じ原理であり、上下左右に振動するふるい上で粒子のサイズによる分離と、強力なスプレイ水によるクラッドのはく離を同時に行うものである。

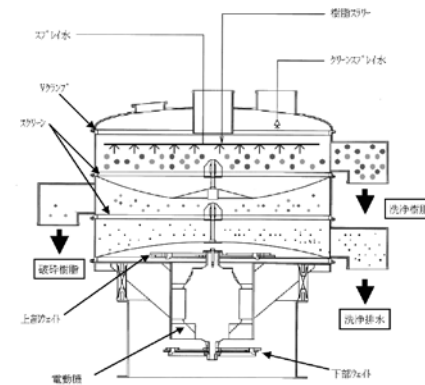


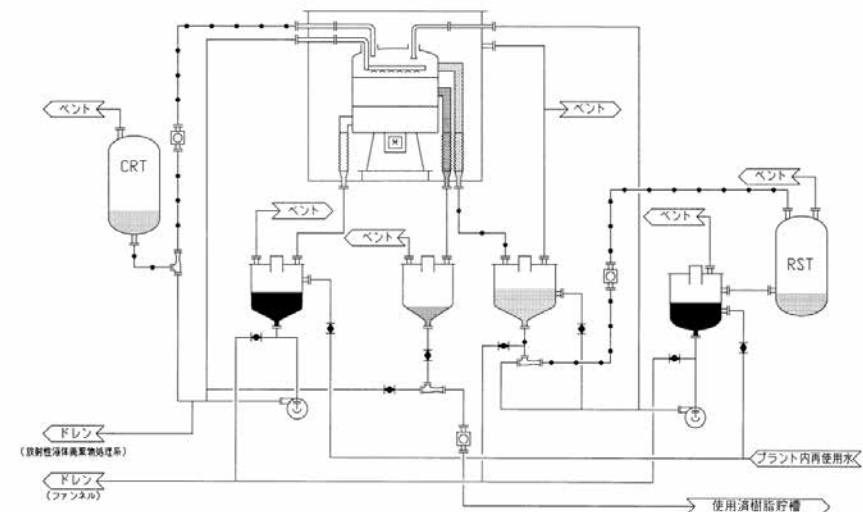
図1 樹脂洗浄機の概要

ふるいを構成するステンレス金網製スクリーンは上下2段で構成されており、上部からのスプレイ水で樹脂を洗浄しつつ、1段目のふるいで健全樹脂を破碎樹脂およびクラッドから分離回収し、2段目のふるいで破碎樹脂をクラッドから分離回収する。クラッドを含む洗浄排水は最下部のトレイから廃液受タンクへ集められ、スプレイ水などとして装置内で循環使用される。

樹脂洗浄機本体は、ベースフレームに取り付けられた12組のスプリングアセンブリにより支持される構造であり、樹脂洗浄機下部の電動機で駆動される2組の偏芯ウエイトにより、上下左右の振動を生み出している。

図2にARCSの系統概要図を示す。

処理される樹脂は、既設の復水脱塩装置陽イオン交換樹脂再生塔(以下CRT)からARCS内を循環する廃液により駆動されるエダクタにより吸引され、樹脂洗浄機に移送される。樹脂洗浄機では処理済樹脂を樹脂洗浄機出口の手前でクリーンスプレイ水により最終洗浄を行った後、洗浄樹脂受タンクに回収し、その後既設の復水脱塩装置樹脂貯槽(以下RST)にエダクタにより移送する。エダクタの駆動水はRSTから移送水受タンクへの戻り水であり、クラッドなどを含まない清浄な



- ①: 樹脂洗浄機
- ②: 廃液受タンク
- ③: 破碎樹脂受タンク
- ④: 洗浄樹脂受タンク
- ⑤: 移送水受タンク
- ⑥: スプレイ水循環ポンプ
- ⑦: 移送水ポンプ
- ⑧: 樹脂エダクタ
- ⑨: 破碎樹脂エダクタ
- ⑩: 洗浄樹脂エダクタ

図2 ARCS系統概要図

\* (株)荏原製作所 風水力機械カンパニー エネルギー事業統括部 原子力事業室

\*\* 日本原子力発電(株) 発電管理室 設備・化学管理グループ

\*\*\* 同社 東海第二発電所 安全管理グループ

\*\*\*\* イーエナジー(株) 代表取締役社長

\*\*\*\*\* Radiological Solutions, Inc

表1 主要機器仕様

機器名	基数	種類	容量	主要材料
樹脂洗浄機	1	円形ふるい	1.72m <sup>3</sup> /h(樹脂処理速度)	ASTM A240
洗浄機受タンク	1	たて置円筒形	0.72m <sup>3</sup> (接液部)	SUS304
洗浄樹脂受タンク	1	たて置円筒形	0.66m <sup>3</sup>	SUS304
移送水受タンク	1	たて置円筒形	0.67m <sup>3</sup>	SUS304
廃液受タンク	1	たて置円筒形	0.88m <sup>3</sup>	SUS304
破碎樹脂受タンク	1	たて置円筒形	0.19m <sup>3</sup>	SUS304
スプレイ水循環ポンプ	1	たて形うず巻式	32m <sup>3</sup> /h×74m	SUS304
移送水ポンプ	1	たて形うず巻式	16m <sup>3</sup> /h×70m	SUS304

水である。一方、破碎樹脂は破碎樹脂受タンクで受けた後、装置内で発生する洗浄排水により駆動するエダクタにより使用済樹脂貯槽に移送する。装置内を循環する洗浄排水は樹脂から除去された放射性クラッドを含有するため、装置の1サイクルの運転が終了後、他のタンク内の残留液とともに放射性液体廃棄物処理系へ移送される。

本装置の機器の主要仕様を表1に示す。

3. 装置の特長

本装置は樹脂の洗浄と、破碎樹脂の分離特性のほか、ふるいの目詰まり対策、処理に伴い発生する廃液量の低減、および放射性物質の封じ込めの観点から、以下の特長を有している。また、装置が非常にコンパクトであり、既設建屋の狭いスペースにも配置可能である点も特長の一つである。

3.1. 樹脂の洗浄および破碎樹脂の高効率分離

図3に樹脂洗浄機内での樹脂の動きの模式図を示す。樹脂洗浄機の中心部に供給された樹脂はうず巻を描きながら薄い層となってスクリーン上を放射状に移動し、樹脂洗浄機の外周に沿ってロープと呼ばれる堆積層を形成する。樹脂の洗浄と破碎樹脂の分離は、このスクリーン上での移動中に上部からの強力なスプレイ水を得て、高効率かつ効果的に行われる。一方、ロープはゆっくりと洗浄樹脂出口シュート方向へ移動し、清浄な洗浄水により粒子間に残留したクラッド含有水を洗い流した後で、洗浄樹脂受タンクへ自由落下する。これら樹脂の移動パターンや速度は、樹脂洗浄機下部に設置された2組の偏芯ウエイトの開き角度調整により決定される。

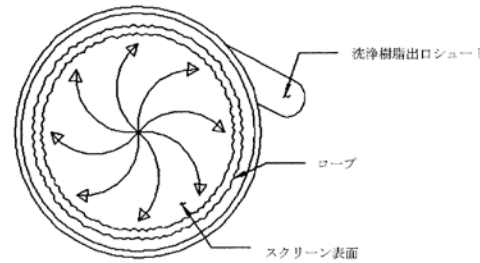


図3 樹脂洗浄機内の流動パターン

3.2. ふるいの目詰まり対策

1段および2段のふるいは各々上部スクリーンと下部スクリーン又は多孔板の二重構造となっており、隙間に1段目はボール状、2段目は中空円筒状のプラスチック部品が多数充填され、これらが振動に伴う動揺の結果、上部スクリーン下面に衝突し、その振動により目詰まりを防止している。

3.3. 廃液発生量の低減

装置内で樹脂の洗浄や移送に使用する水は、洗浄済樹脂用以外、樹脂洗浄機から排出される洗浄排水を循環使用する。このため従来の逆洗洗浄操作と比べ廃液発生量を1/2から数分の1に低減できる。

3.4. 放射性物質の封じ込め機能

本装置を構成する機器のうち樹脂洗浄機はその構造の特殊性から、日本の原子力施設向け容器の構造規格を満足することは困難である。また、樹脂洗浄機自体が強制振動するものであることから、耐震性の評価も同様に難しい。もちろん、このことは樹脂洗浄機が構造体としての強度上、および液体のシール上、通常の使用に耐えないということを意味するものではないが、監督官庁への

許認可手続き上、何らかの形で放射性物質の封じ込め機能を担保する必要がある。

このため、樹脂洗浄機全体を平底円筒容器（以下オーバーパック）内に収納すると共に、万一の流体の漏洩に備え、オーバーパック底部のドレン配管ポケット部に漏洩検知器を設置し、漏洩液は洗浄樹脂受タンクへ収集することとした。（日本原子力発電(株)特許出願中）また、配管との取り合いはすべてJISフランジを用い、動力ケーブルは給電端子での取り合いとし、水密性を確保した。

3.5. コンパクトな配置

東海二では、その建設時に設置された超音波式樹脂洗浄装置を撤去したスペース（W2.45m×L6.1m×H8.8m）を、本装置の設置場所とした。主要機器の配置を図4に示すが、図のように本装置を構成する機器は上下方向に展開して据え付けることが可能であり、必要な水平投影面積は多くを要しない特長がある。

4. 東海二における導入効果<sup>2)</sup>

以下に東海二における導入効果の概要を示す。

4.1. 樹脂の洗浄特性（付着鉄除去効果）

洗浄前後のイオン交換樹脂表面の観察結果より、逆洗洗浄後は、樹脂に付着した鉄と破碎樹脂

が完全に除去されていないのに対し、ARCSでの洗浄後のイオン交換樹脂は、樹脂表面に鉄の残存がなく破碎樹脂も認められなかった。従って、ARCSでの洗浄は逆洗洗浄よりも洗浄効果が高いと言える。

復水鉄濃度から算出したイオン交換樹脂の洗浄による除鉄性能（復水中の鉄の除去率）は、逆洗洗浄が約70%であるのに対し、ARCSでは約90%であった。

4.2. 給水鉄濃度低減（従事者の受ける被ばく線量の低減）

沸騰水型原子力発電所では、従事者の被ばく線量に影響を与える炉心外配管の線量率は給水鉄濃度により定まり、東海二の給水鉄濃度は復水脱塩装置のクラッド除去性能に依存する。

ARCS導入後の給水鉄濃度は図5に示すように、同一銘柄のイオン交換樹脂へ交換後の過去同時期と比較して約50%低減し、モデル解析の結果から炉心外配管の線量率を現状維持あるいは低減できる目標給水鉄濃度1ppbを1サイクル目から維持した。

さらに今後の給水鉄濃度の予測より、被ばく線量が従来と比較して約14%低減すると評価している。

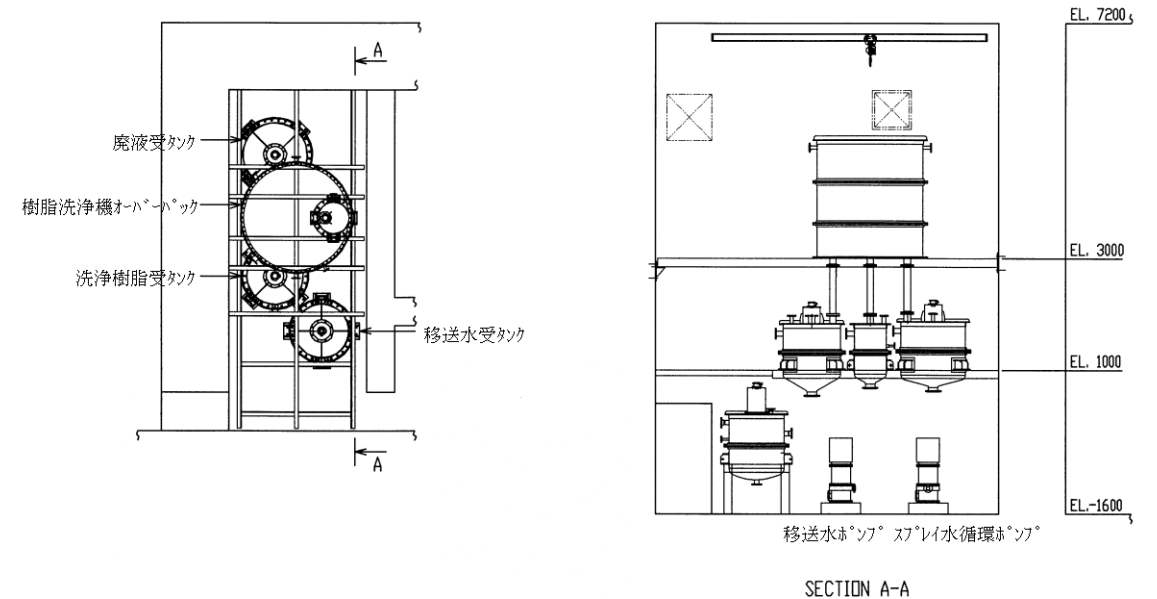


図4 振動式樹脂洗浄装置主要機器配置図

4.3. 炉水硫酸イオン濃度の低減（炉内構造物のSCC感受性低減）

沸騰水型原子力発電所の安全性に関与する原子炉構造材のSCCに影響を及ぼす要因の一つに、炉水水質の低下が挙げられる。その中で影響程度の大きい炉水硫酸イオン濃度については、特に、できるだけ低く維持することが必要である。

ARCS導入後の炉水硫酸イオン濃度（約0.8ppb）は、図6に示す様に同じイオン交換樹脂装荷後の過去同時期と比較して約20%低減したことから、原子炉構造材のSCCリスクを低減させていると評価される。ARCSでの洗浄後の通水直後には該当する復水脱塩塔出口に破碎樹脂が検出されないことから、ARCSでの洗浄により破碎樹脂を確実に排出していると考えられる。

破碎樹脂の発生量は、イオン交換樹脂の劣化の進行に伴って増加すると考えられることから、ARCS導入による炉水硫酸イオン濃度の抑制効果

は、今後さらに大きくなると推測している。

4.4. 廃液発生量の低減

ARCSは洗浄廃液を再利用するシステムであるため、1回あたりの廃液発生量は逆洗洗浄に比べ約130m<sup>3</sup>（逆洗洗浄；約210m<sup>3</sup>，ARCS洗浄；80m<sup>3</sup>）減少する。このため東海二では1サイクル（400日）の廃液発生量を約16,000m<sup>3</sup>低減し、結果として運転員による廃液の処理に係わる運転操作時間を1サイクル間で約1,600時間短縮することができた。また、復水脱塩装置の除鉄性能が向上したため通水期間（洗浄間隔）の延長を検討しており、さらに、廃液発生量の低減が見込まれる。

従来、除鉄性能回復のため、1搭あたり100日程度の頻度で実施していた通薬再生操作が、除鉄性能の低下が起こらなくなったことでARCS導入後約3年間行っておらず、薬品廃液の発生がなくなった。今後、イオン交換性能の低下状況を監視

しながら通薬再生頻度を決めていくが、ARCSにより薬品廃液量の大幅な低減につながっている。

一方、炉水硫酸イオン濃度が低下したことから、イオン交換樹脂使用期間の2～3サイクルの延長（約6サイクル→8～9サイクル）を予想しており、さらなる放射性廃棄物の低減が期待できる。

5. あとがき

日本原子力発電(株)は、(株)荏原製作所、双日(株)、およびRSI社の協力を得て、本稿で述べた斬新なコンセプトに基づく振動式樹脂洗浄装置を東海二に導入した。東海二では以下の効果が確認されている。

・イオン交換樹脂交換直後から給水鉄濃度を1ppb以下に維持可能となり、従事者の被ばく

線量の低減が期待される。

- ・炉水硫酸イオン濃度の低下により、原子炉構造材のSCC感受性を抑制できた。
- ・洗浄における廃液発生量を1サイクル当たり16,000m<sup>3</sup>抑制し、これによる運転員の廃液処理に関わる運転操作時間を約1,600時間削減した。

参考文献

- 1) 笹木他，復水脱塩装置イオン交換樹脂の洗浄方法改良，(社)日本原子力学会「2006年春の年会」要旨集，PP.340
- 2) 阿部歩，Improvement of Cleaning Method for Condensate Demineralizer Resin, P2/23, 水化学国際会議，(韓国濟州島) (2006)

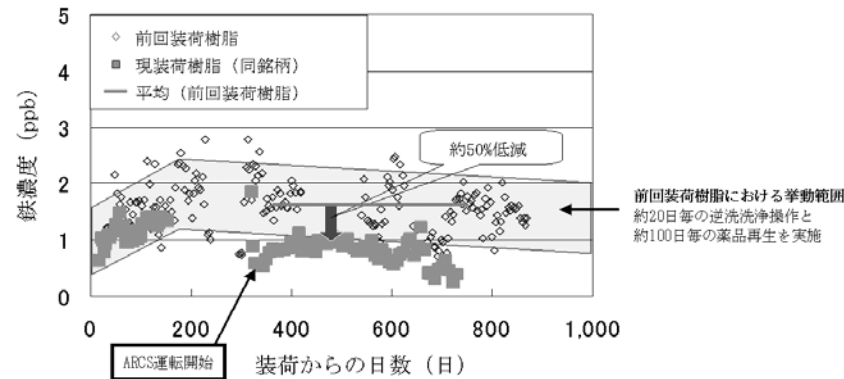


図5 東海二におけるARCS導入前後での給水鉄濃度

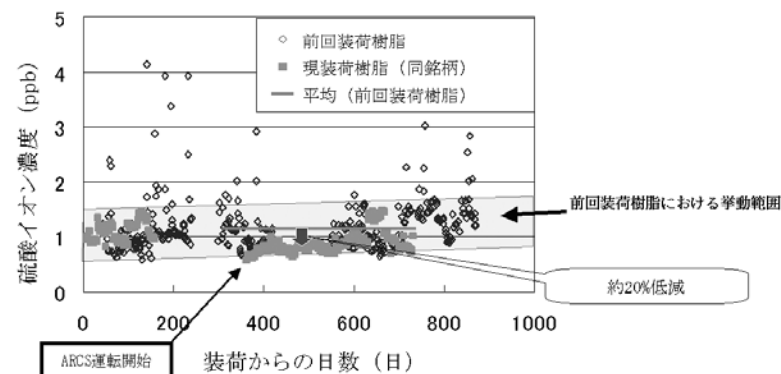


図6 東海二におけるARCS導入前後での炉水硫酸濃度

# 富士通グループの環境への取り組み

## Fujitsu Group's Environmental Activities

高橋 淳久\*      朽網 道徳\*\*      山崎 誠也\*\*  
 Atsuhisa Takahashi    Michinori Kutami    Seiya Yamazaki

### 〔概要〕

富士通は、1935年の創業以来「自然と共生するものづくり」を環境経営の原点として、環境保全をコストではなく、企業のバリューとしてとらえるという姿勢で様々な取り組みを行ってきた。富士通グループ独自の環境方針と中期の環境行動計画を定め、「すべてをグリーンにします」をスローガンに社員一人ひとりによる環境活動を推進している。

さらに、富士通グループにおける環境負荷低減にとどまらず、近年の地球温暖化問題への関心の高まりを踏まえ、グリーンITによりお客様の環境負荷を低減するプロジェクト“Green Policy Innovation”を2007年12月より新たに開始している。

本稿では、環境活動を経営の枠組みに合わせて体系的に実行するための環境経営の枠組みと、富士通グループの環境への取り組みについて紹介する。

### 1. ま え が き

富士通は、1935年の創業以来「自然と共生するものづくり」を環境経営の原点として、環境保全をコストではなく、企業のバリューとしてとらえるという姿勢で様々な取り組みを行ってきた。また、富士通グループは、独自の環境方針と中期の環境行動計画を定め、「すべてをグリーンにします」をスローガンに社員一人ひとりによる環境活動を推進し、2007年度からは「第5期富士通グループ環境行動計画」により五つの重点分野を定め、それぞれにおける具体的な目標を設定している<sup>1)2)</sup>。

さらに、富士通グループにおける環境負荷低減にとどまらず、近年のIT分野における環境に関する社会動向を踏まえ、グリーンITの提供によりお客様・社会全体の環境負荷を低減するプロジェクト「Green Policy Innovation (グリーン・ポリシー・イノベーション)」を2007年12月より新たに開始している。

本稿では、環境活動を経営の枠組みに合わせて体系的に実行するための環境経営の枠組みと、富士通グループの環境への取り組みについて紹介する。

### 2. 富士通グループの環境経営の原点

富士通グループの環境活動には、創業以来のDNAともいべき企業カルチャーが息づいており、「自然と共生するものづくり」を環境経営の原点としている。その一例として、現在の川崎工場を設立する際に、初代社長が掲げた「外観が工場工場せざること」「構内は公園式にすること」「清潔なること」のコンセプトに基づき、前庭に池を配置するなど当時としては画期的な工場を建設したことが挙げられる(図1)。これらの精神が庭園工場(インダストリアルパーク)という考え方に現在も脈々と受け継がれ、沼津工場などもこの理念に沿って広大な緑に囲まれた工場として建設されている。この理念は歴代の経営者や、社員のカルチャーとして受け継がれており、貴重な財産になっている。

### 3. 富士通グループの環境経営の枠組み

富士通グループでは、以下に紹介するような形で、環境が経営の重要な柱であるということを社員全員で共有し、実現に向けて行動していこうという経営トップの強い意志を打ち出している。



(a) 川崎工場 (設立時)



(b) 川崎工場 (現在)



(c) 沼津工場 (現在)

図1 川崎工場(設立時・現在)、沼津工場

#### (1) 経営事項としての「環境」

富士通グループでは、富士通グループの理念、指針であるFUJITSU Wayの企業指針に「社会に貢献し、地球環境を守ります」を掲げ、環境保全を経営の最重要課題の一つと位置づけている。そして、環境活動の理念としての「富士通グループ環境方針」、具体的な活動目標である「富士通グループ環境行動計画」へと展開されている(図2)。

#### (2) 富士通グループ環境方針

リオ・デ・ジャネイロ地球サミットにおいて「アジェンダ21」<sup>(注1)</sup>が採択された1992年、経団連が前年に発表した「地球環境憲章」に準じて「富士通環境憲章」を策定した。また、アジェンダ21のより効果的な実施を議論するヨハネスブルグ・サミットが開催された2002年10月には、環境問題

(注1) 持続可能な開発の実現のために各国・国際機関が実行すべき具体的な行動計画。人口、貧困、居住問題などの社会的・経済的問題、大気、土、森林、砂漠化、農業、生物多様性、水、有害廃棄物・化学物質など環境問題についての対応プログラムなどを示している。

が多様化し、環境経営が重要度を増している状況を踏まえ、富士通グループの事業の独自性を反映させた環境経営を推進するために、それまでの富士通環境憲章を「富士通グループ環境方針」<sup>3)</sup>へと改訂を行っている。

#### (3) 環境コンセプト「グリーンポリシー21」

富士通グループ環境方針で掲げた理念をグループ全社員に浸透させ、日々の業務における実践を促すために、単なる意思表明を越える行動コンセプトとして明記したものがグリーンポリシー21(図3)である。「すべてをグリーンにします」をスローガンとして掲げ、このコンセプトのもとであらゆる事業領域において環境活動を実践している。

### 4. 富士通グループの環境戦略

富士通グループは、環境活動をコストではなく企業のバリューとしてとらえている。この基本的な考え方のもとで、先手先手で環境活動に取り組み、常に新たな課題に挑戦し続け、IT企業として、環境分野においても新しい価値を生み出している。

\* 富士通(株) 環境本部

\*\* 同社 同部 環境企画統括部

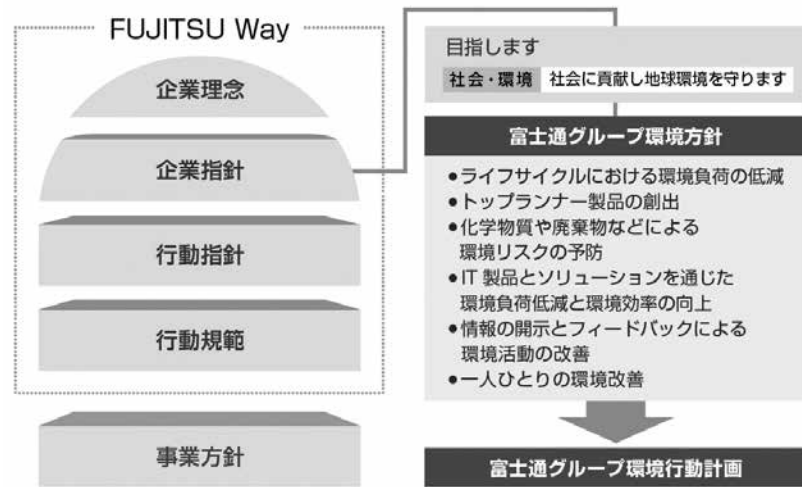


図2 経営事項としての「環境」

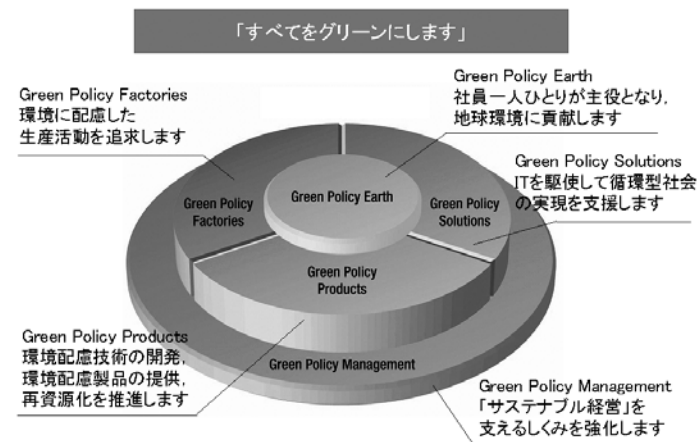


図3 環境コンセプト「グリーンポリシー21」

1993年には、「富士通環境憲章」に定めた事項を実践していくための具体的な行動計画として「第1期富士通環境行動計画」を策定した。以来、環境行動計画は、地球環境問題への社会的関心の変化や、世界各国における環境法規制の強化、企業を取り巻く環境リスクの増大、企業の社会的責任への要求の強化など、様々な要因を考慮しながら、その内容や活動対象を変化させている。

これまでの具体的な取組み例を以下に紹介する。

(1) グローバルな環境マネジメントシステム(EMS)の構築

2006年3月に、富士通本体、日本国内のグループ会社、海外のグループ会社までを対象とした、グローバルEMSを構築。また、業界でも最大規模(2006年度末現在、国内グループ会社88社、海外グループ会社11社)となる、EMSの国際規格であるISO14001の統合認証を取得。

(2) サプライチェーン全体での環境活動

サプライチェーン全体で環境活動に取り組むことの必要性を認識し、グリーン調達を推進。2006年度末には、すべての調達品を対象として国内の富士通グループ全体でグリーン調達比率<sup>(注2)</sup>100%を達成。

(3) 環境会計制度の導入

環境経営を実践する基盤として、1998年より富士通独自の環境会計制度を導入。現在では、ITを活用した環境会計システムを構築し、意思決定のスピードアップと、グループ全社での運用の効率化を実現。

(4) 富士通の国内全工場において廃棄物のゼロエミッション<sup>(注3)</sup>を達成

富士通の国内全工場において、生活系廃棄物を含むすべての廃棄物のゼロエミッションを2003年3月末に達成。廃棄品類のマテリアルリサイクルや、食堂から出る生ゴミや浄化槽汚泥などの生活系廃棄物のリサイクルを実現。

(5) 法律に先駆けたりサイクルシステムの構築

1995年より日本国内において、事業系IT製品リサイクルを法律の施行に先駆けて開始。また1997年には業界で初めて全国をカバーする使用済廃製品のリサイクルシステム「富士通りサイクルシステム」の構築を完了。2006年度末時点で、90%を超える高い資源再利用率を達成。また、国内でのノウハウを活用して、欧州・米州・アジアパシフィック地域においてもリサイクルサービスを提供し、グローバルなリサイクル体制を構築。

(6) グリーン製品・スーパーグリーン製品の開発

製品のライフサイクル全体を通じた環境パフォーマンスの向上を目指し、1993年から独自の製品環境アセスメントを実施することで環境配慮型製品の開発を推進。さらに、1998年には「グリーン製品」、2004年には「スーパーグリーン製品」として、環境配慮に優れた製品の認定を開始。2006年度末までに、新規開発製品に対するグリーン製品比率100%を達成し、54製品群のスーパーグリーン製品を提供。

(7) 先進環境技術の開発と適用

世界初となる先進環境技術の開発・適用を実現。例えば、錫-亜鉛-アルミニウム組成の鉛フリーはんだ材料、自社再生マグネシウム合金のノートパソコンへの適用、植物性プラスチックのノ

(注2) 環境マネジメントシステムが構築されたお取引先(サプライヤ)からの調達比率。

(注3) 廃棄物の100%有効利用化による、埋立て、単純焼却ゼロ。

ートパソコンへの適用などを実現。

(8) 環境ソリューションの提供

環境パフォーマンスデータ管理や、化学物質管理など、自社での環境活動ノウハウをITソリューションとしてお客様へ提供。また、IT活用による環境負荷低減効果を定量的に評価する「環境影響評価手法」を開発し、環境貢献効果の高いソリューションを「環境貢献ソリューション」として認定し、2006年度末までに82商品を提供。

(9) 社会貢献活動

良き企業市民として地域社会・国際社会との共存共栄を目指し、全国各地の事業所や、海外グループ会社において様々な社会貢献活動を実施。例えば、1998年からタイ、1999年からベトナム、2001年からマレーシアと継続的に海外植林活動を実施。生態系の回復や、地域経済の活性化に貢献。

5. 環境行動計画

富士通グループは、環境方針を実践するための具体的な環境目標として、環境行動計画を策定している。1993年の第1期環境行動計画の策定から始まり、2007年度からは第5期富士通グループ環境行動計画を策定し、それを実行している。

環境行動計画では、地球環境問題への社会的関心の変化や、世界各国における環境法規制の強化、企業を取り巻く環境リスクの増大、企業の社会的責任への要求の強化など、様々な要因を考慮して、その内容や活動対象を定めている。当初の、主に工場を中心とした環境負荷低減活動から、現在では、設計・開発、製造、本社機構、営業、ソフト・サービスの各部門まで、富士通グループの全事業領域における環境活動へと拡大・強化を図っている(図4)。

6. 第5期富士通グループ環境行動計画

第5期富士通グループ環境行動計画は、2007年度から2009年度までの3年間を対象とした行動計画である。この第5期環境行動計画では、「第4期環境行動計画(2004~2006年度)の達成状況を踏まえつつ、その延長線上にいかなる問題意識を見出すか」という視点と、世界・社会の情勢の動向や、富士通グループを取り巻く事業環境の変化

活動期間	活動スローガン	活動範囲
第1期～第2期 (1993～2000年)	環境経営の基盤構築	本体/工場
第3期 (2001～2003年)	循環型社会に向けたトップランナー	グループ/ 工場、設計・開発部門
第4期 (2004～2006年)	環境経営からサステナブル経営へ	全グループ/ 工場、設計・開発部門、 本社機構、営業、 ソフト・サービス部門 グローバル
第5期 (2007～2009年)	すべてのフィールドで 環境イノベーションを	

図4 環境行動計画の変遷

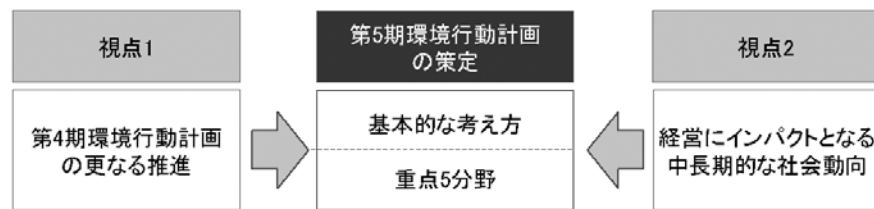


図5 第5期行動計画策定の視点

などを見据えながら、「今後、富士通グループの企業経営にインパクトとなる中長期的な社会動向は何か」という二つの視点から考えられた行動計画である。

6.1. 行動計画の二つの視点

(1) 視点1：第4期環境行動計画の更なる推進

- 1) 製品・サービスにおける環境配慮  
優れた環境配慮製品・ソリューションを提供し、お客様の環境負荷低減に貢献する。

- 2) 地球温暖化対策の強化  
グループ全体で省エネルギー活動を推進する。

(2) 視点2：経営にインパクトとなる中長期的な社会動向

- 1) グローバルな環境動向への対応  
地球温暖化問題、エネルギー・資源問題などが経営にインパクトを与える要因になり、また、社会的責任への要請が更に高まる。

- 2) コンプライアンスの視点  
化学物質管理や製品に関する規制など、環境法規制が各国で強化される。

これらの視点を踏まえ、二つの基本的な考え方と、その考え方に基づく重点5分野を設定し、第

5期環境行動計画の策定を行っている(図5)。

6.2. 基本的な考え方と重点5分野

第5期環境行動計画においては、社員一人ひとりが日々の業務の中で環境活動に取り組んでいくことの重要性と、グローバルな環境法規制への確実な対応や多様なステークホルダーへの社会的責任を果たすという観点からサプライチェーン全体へ環境活動の領域を拡大する必要性を認識し、以下の二つを基本的な考え方として掲げている。

- (1) 本業における全員参加型の環境活動を展開
- (2) サプライチェーン全体へ環境活動の領域を拡大

この基本的な考え方に基づき、企業経営にインパクトを与える今後の社会動向や、第4期環境行動計画までの進捗状況を踏まえ、富士通グループがこれから重点的に取り組んでいくべき環境課題として抽出したものが以下の重点5分野である。

- (1) 製品・サービスの環境価値向上
- (2) 地球温暖化対策
- (3) ガバナンスの強化
- (4) リスクマネジメントの強化
- (5) 環境社会貢献

第5期環境行動計画は、この重点5分野それぞれにおいて、2007年度から2009年度の3年間で達成すべき具体的な目標を設定している(表1)。

7. グリーンITによる環境負荷低減プロジェクト

これまで環境行動計画を中心に、主に富士通グループにおける環境負荷低減への取組みを紹介してきた。本章では、2007年12月に発表した、グリーンIT<sup>(注4)</sup>の提供によりお客様・社会の環境負荷を低減するプロジェクト「Green Policy Innovation (グリーン・ポリシー・イノベーション)」について紹介する。

表1 第5期環境行動計画の目標(概要)

重点5分野	第5期環境行動計画の目標
製品・サービスの環境価値向上	スーパーグリーン製品の拡大
	環境効率ファクターの達成
	回収した使用済製品の資源再利用量を拡大 環境ソリューションの拡大
地球温暖化対策	エネルギー消費CO <sub>2</sub> 削減
	CO <sub>2</sub> 以外の温室効果ガス削減
	物流・輸送時のCO <sub>2</sub> 削減
	グリーンファクトリー、 グリーンオフィス制度の適用
	VOC削減 廃棄物削減
ガバナンスの強化 リスクマネジメントの強化 環境社会貢献	環境マネジメントシステム(EMS)の推進
	グリーン調達活動の推進
	環境社会貢献活動

7.1. 社会動向

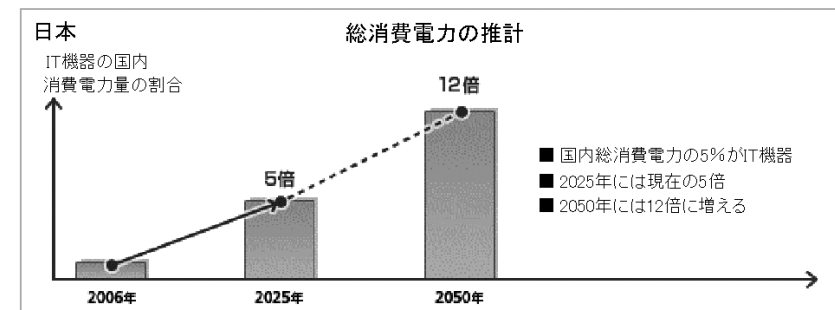
2007年のノーベル平和賞を地球温暖化対策に貢献した団体・個人が受賞するなど、とくに地球温暖化への関心は、グローバルなレベルで非常に高くなってきた。

IT分野においても、IT機器の普及や需要拡大によるデータセンタの増強などにより、IT機器が消費する電力量の割合は増加し続けている。例えば経済産業省の調査によると、IT機器の国内総消費電力量は、2025年には2006年の5倍、2050年には12倍にもなると試算されている(図6)。IT機器を提供する企業にとって、省電力化への取組みは急務となっている。

一方で、IT活用により社会全体の環境負荷を低減することへの期待も高まっている。例えば、電子会議、サプライチェーンマネジメント、在庫管理、物流ソリューションなどにより、人や物の移動の削減や、倉庫や空間の効率的な利用が可能となる。また、音楽・映像などの電子配信、電子出版などにより、媒体製造原料の消費が削減できる。総務省の2012年におけるIT活用によるCO<sub>2</sub>削減効果の予測によると、IT活用によるCO<sub>2</sub>排出量の削減効果が6800万トン(以下、t)、一方、IT機器などの使用によるCO<sub>2</sub>排出量が3000万tであり、差し引き、約3800万tの社会に対するCO<sub>2</sub>排出量の削減効果があると試算されている(図7)。

7.2. 富士通のアプローチ

地球温暖化という課題に対し、IT企業である富士通グループには、次の3つの役割が求められる



出典：経済産業省「グリーンITイニシアティブ」(2007年12月6日)

図6 日本におけるIT機器の総消費電力の推計



出典：総務省「地球温暖化問題への対応に向けたICT政策に関する研究会 報告書」2008年4月

図7 IT社会が環境に与える効果（2012年の予測）

ていると考えている。

1. 富士通グループ自らの事業活動における環境負荷の低減
2. お客様に提供するIT機器の環境負荷低減。IT「の」環境負荷低減。
3. ITの活用による環境負荷低減。IT「で」環境負荷低減

特に、2,3項に掲げた役割、つまり「グリーンIT」の推進は、社会への影響の大きさから考えても、今後、ますます重要となる。そこで富士通はこれまで取り組んできた長年の環境活動ノウハウと最先端のテクノロジーを生かして、グリーンITへの取組みを更に強化しお客様に継続的に提供することで、お客様ひいては社会全体の環境負荷低減に貢献していく。

これは、IT機器からソリューションまで、トータルに提供している富士通にとって、重要な社会的責任の一つでもある。

### 7.3. Green Policy Innovation

このグリーンITの提供によるお客様の環境負荷低減をGreen Policy Innovationとして、2007年12月に発表した。

この活動を研究・開発、設計、製造、調達、物流、リサイクルなど、事業活動すべての領域で推進し、そのノウハウをベースにITインフラ機器やソリューションの提供を行っていく。

それにより、プラットフォームやネットワーク、ソフトウェア、ユビキタス、電子デバイス、半導

体などのITインフラ機器の省エネルギー化や小型化を実現し、お客様のオフィスやデータセンターの省エネルギー化など、IT「の」環境負荷低減を実現する。

また、アウトソーシングやコンサルティング、各種ソフト/サービスなどのソリューションの提供により、お客様の業務改善とともに環境負荷を低減する、IT「で」環境負荷低減を強力に推進する。

このGreen Policy Innovationの推進により、2007年から2010年の4年間で、お客様先において累計約700万t以上のCO<sub>2</sub>排出量削減を目指している（図8、9）。

### 7.4. Green Policy Innovationを実現するグリーンIT製品の例

Green Policy Innovationを実現するグリーンIT製品・サービスの具体例をいくつか紹介する。

#### (1) IT「の」環境負荷低減

- 1) 省スペース、省電力でのサーバ統合を可能にする、ブレードサーバ「PRIMERGY（プライマジー）BX620 S4」
- 2) 小型、省電力の、エントリーコンパクトディスクアレイ「ETERNUS（エターナス）2000」

#### (2) IT「で」環境負荷低減

（注4）省電力化・小型化など環境に配慮したIT機器や、導入により環境負荷を低減する効果があるITソリューションの総称。



図8 Green Policy Innovationのコンセプト



図9 Green Policy Innovationの活動内容

- 1) 省電力環境を実現するデータセンターファシリティ構築サービス「グリーン・インフラ・ソリューション」
  - 2) eラーニングにより人の移動や物を削減する「Internet Navigware（インターネットナビウェア）」
  - 3) エコデザイン製品を実現する化学物質管理システム「PLEMIA/ECODUCE（プレミア/エコデュース）」
- (3) 先端テクノロジー
- 1) データセンターの冷却効率を検証し、サーバラックや空調機の最適な配置を行う「熱流体シミュレーション」技術
  - 2) 光ファイバーを用いてデータセンターの温度分布を正確に、かつリアルタイムに測定できる「リアルタイム多点温度測定技術」
  - 3) ITソリューションの導入による環境負荷低減効果を定量的に評価し、見える化する「環境影響評価手法」

## 8. む す び

本稿では、富士通グループの環境経営の枠組みと、環境への取組みについて紹介した。

富士通グループは、今後も環境活動をバリューととらえ、地球温暖化や環境法規制への対応、工場・事業所における環境負荷の低減にこれからも積極的に取り組んでいく。さらに、これら富士通グループにおける環境負荷低減にとどまらず、Green Policy Innovationの推進により、お客様や社会の環境負荷低減に貢献することで、地球環境保全に貢献していきたい。

### 参考文献

- 1) 富士通：富士通の環境活動ホームページ。  
<http://jp.fujitsu.com/about/csr/eco/>
- 2) 富士通：富士通グループ社会・環境報告書。  
<http://jp.fujitsu.com/about/csr/eco/communication/report/>
- 3) 富士通：富士通グループ環境方針。  
<http://jp.fujitsu.com/about/csr/eco/activities/policy/>

# FAPIGにおける原子力PA活動について

## － 原子力発電所見学会におけるPA観点よりの成果 －

### FAPIG's Activities for Public Acceptance of Nuclear Energy － Analytical Results of Questionnaire Executed at Organized Visits to Nuclear Power Stations －

溝口 忠雄\*  
Tadao Mizoguchi

#### 〔概要〕

第一原子力産業グループ（FAPIG）では、原子力PA活動の一環として平成元年より毎年11月に加盟会社の女性社員を主体とした原子力発電所の見学会を一泊二日で開催している。

参加者には、実際に原子力発電所の諸施設を自分の目で見るとともに、エネルギー全般および原子力の基礎を理解するためのセミナーを受講してもらい、原子力に対する正しい知識を習得することを目的とする見学会としている。

昨年は、東京電力(株)福島第二原子力発電所を一泊二日の工程で実施した。参加者には各種の設問を設定したアンケートに回答してもらった。本稿では、その設問の中の「日本の原子力発電は安全だと思いますか?」という項目に対して、参加者がセミナー受講前と発電所見学会後の回答から、認識がどのように変化したかを、その理由を含めて紹介するものである。

#### 1. 見学会の概要について

FAPIG女性社員を中心とする原子力発電所の見学会は、今回で16回目となる。

時期 平成19年12月6日～12月7日

場所 東京電力(株)福島第二原子力発電所

参加人数 19名

参加者のほとんどが、公私共に原子力に関与してなく、参加者の原子力に対する認識は一般国民の認識とほぼ同じと思われる。

#### 2. 日本の原子力発電は安全だと思いますか?

本設問に対して、セミナー受講前と発電所見学会後①安全だと思う②あまり不安でない③少し不安である④不安である、との4点から選択してもらい、またその理由も書いてもらった。

- ・（20代女性）あまり不安でない「安全だと思うが、実際に近隣に住む事を考えると…万が一（地震など）を思い、ためらう」→あまり不安でない「安全だと思う。が、絶対という事は存在しないので、万が一を考える」
- ・（30代男性）少し不安である「柏崎の地震のようにリスクを完全には回避していないと思うため」→あまり不安でない「日本での原子力発電所の品質レベルは、トップクラスであるため。また、柏崎での地震により分かったリスクを回避しようとしているだけでなく、その他の見えないリスクも継続的に検討中である旨伺ったため」
- ・（20代男性）安全だと思う「危機管理意識をしっ

かり持てば安全な運営が可能である。日本はメディアをどう使うかで、世論も大きく変わると思うが、透明性を持って国が積極的に原子力を推進すべきだと思う。今年はCO<sub>2</sub>の量も過去最高を記録しているので、対策は急務である」→安全だと思う「実際に建屋に入り、何重もの防壁を目の当たりにし、安全対策がしっかりしていると思った。一番重要なことは、緊急事態の際にどれほどの対応ができるのかによると痛感した」

- ・（20代女性）あまり不安ではない「過去に見学させて頂いた時に安全である事を知り、また技術力も日本においてまだまだ発展して行くと思うから」→安全だと思う「今回の柏崎刈羽原発のマスコミ報道から、原子力に対する批判を聞かれたりするが、実際建屋に入ったり、セミナーを受ける事で、より安全に設備が作られている事を理解したので、私は安全だと考えます」
- ・（20代女性）少し不安である「放射能漏れ事故など実際に起こったため」→少し不安である「万が一の事態もないよう綿密に設計、運用されている上に万が一が起こった場合も、いかに被害を最小限にとどめる工夫をされているかが分かったが、放射能廃棄物の処理方向がはっきりと定まっていない点に不安を覚えた」
- ・（20代女性）少し不安である「万が一事故が起こった時の事を考えると若干の不安は感じます」→あまり不安ではない「実際本物を見て数値として認識した事により、今までニュースなどから得る情報より安全だと思いました」

- ・（20代女性）少し不安である「原子力発電に対する知識が乏しく、また教育も受けていないため、漠然とした不安がある」→少し不安である「多重防護など対策を十分取られている事は良く理解できたが、それだけ危険な方法である事を考えると、やはり事故が起きるのでは、起きたらどうなるのか、といった不安は拭い切れない」
- ・（30代女性）少し不安である「日本は地震が多いので被害を受け易いと思う」→あまり不安ではない「設計がしっかりされていて毎日チェックされているから」
- ・（30代女性）少し不安である「今まではあまり不安ではなかったが、地震による柏崎刈羽原発の被害をTVで見てから少し不安になった」→あまり不安ではない「多重防護やインターロック、フェイルセーフなどを知り、あまり不安ではないと感じた」
- ・（20代女性）安全だと思う「原子力発電所は五重の安全性を有していると聞いている」→安全だと思う「放射線を外に出さない計画だけでなく、インターロックやフェイルセーフなど施設自体もいくつもの制御システムを導入している事を実感できた」
- ・（20代女性）少し不安である「日本は地震の多い国であり、過去大惨事に至るような事故が発生していないとはいえども、その安全性には不安を完全に払拭できない。また民間が行っているため利益主義との兼ね合いからも多少の不安は覚える」→あまり不安ではない「リスク管理は徹底されており、不安というイメージはありません。ただ、海外でも米国・インド・中国と原子力を増やして行く国においても同等レベルの技術力を持って取り組んで行かない限りは、事故を防ぐ事は難しく、日本の技術力を海外でも活かして行くべきと考えます」
- ・（20代女性）少し不安である「報道される事故や設備点検に対する不適切な対応を見ていると、安全に対する配慮が充分なされているか不安になる」→安全だと思う「実際に原発内での放射線量がいかに少ないか、どれほど厳重に安全対策がとられているか、良く理解できたから。柏崎の地震による放射能漏れの影響も少ない事が良く分かったから」
- ・（20代女性）少し不安である「新潟の地震の際に建物壊れたり、放射能が漏れたとの話をメディアから知ると少し不安である」→安全だと思う

表1 原子力発電の安全性

	セミナー前		セミナーおよび見学会後	
	設問	回答	設問	回答
1	安全だと思う	2名	安全 あまり不安でない 少し不安 不安	2名 0 0 0
2	あまり不安でない	3名	安全 あまり不安でない 少し不安 不安	2名 1名 0 0
3	少し不安	11名	安全 あまり不安でない 少し不安 不安	4名 5名 2名 0
4	不安である	0	安全 あまり不安でない 少し不安 不安	0 0 0 0

「諸外国は分からないが、新潟、福島の新二ヶ所の見学会において、高い安全率を理解する事ができた」

- ・（20代女性）少し不安である「あまり良いイメージはない（放射線）→安全だと思う「五重の壁や安全管理の話聞いて、実際見学にも行き、安全だという事を知ったのは良かったです」
- ・（30代女性）あまり不安ではない「東京電力も東北電力も運転管理などについては不安はないが、自然災害時の対応については不安を感じる」→安全だと思う「安全管理がきちんとされているのを実際に目で見て確認できて、かつ確信できた」
- ・（30代女性）少し不安である「大地震があった場合、不安を感じる（施設の問題）」→安全だと思う「管理さえきちんとできていけば問題ないと思う。再処理施設の完成と最終処分場の決定が待たれるので、そこをクリアすればより安全と信頼を得られると思う。

#### 3. まとめ

上記は参加者の原子力発電の安全性に対するセミナー受講前と発電所見学会後の認識の分布を示している。セミナー受講前において大多数の参加者が不安感を抱いていたが、セミナーを受講し発電所を見学した後では、ほとんどの参加者が安心感を抱くように認識が変わっているのが見て取れる。地道な活動であるが、このような見学会を通じて一人でも多くの原子力発電の理解者を増やす努力を今後とも継続すべきであると思う。

\* 第一原子力産業グループ事務局

# FAPIG の 機 構 (社名 ABC順)

(平成20年7月1日現在)

## 理 事 会・委 員 会・専 門 部 会・事 務 局

- |                             |                          |
|-----------------------------|--------------------------|
| 会 長 伊 藤 晴 夫 富士電機ホールディングス社長  | 理 事 河 野 雅 明 みずほCB常務執行役員  |
| 副 会 長 林 敏 和 カワサキプラントシステムズ社長 | 〃 荻 原 勉 清水建設常務執行役員       |
| 〃 田 邊 弘 幸 双日副社長             |                          |
|                             | 監 事 油 山 哲 也 みずほCB営業第十部次長 |
| 理 事 小 笠 原 保 雄 荏原製作所常務執行役員   |                          |
| 〃 矢 内 銀 次 郎 富士電機システムズ相談役    | 事 務 局 長 溝 口 忠 雄          |
| 〃 中 村 巧 富士通経営執行役常務          |                          |
| 〃 吉 田 政 雄 古河電工社長            |                          |
| 〃 小 長 谷 保 平 古河機械金属常務取締役     |                          |

## FAPIG委員会および専門部会

(◎は委員長または部会長, ○は副委員長または副部会長)

### 企画委員会 (12名)

- ◎ 白 川 正 広 (富士電機システムズ)
- 三 沢 秀 行 (荏 原 製 作)
- 藤 沢 盛 夫 (富士電機システムズ)
- 竹 石 均 (〃)
- 山 田 昌 彦 (富 士 通)
- 中 川 敏 一 (古河機械金属)
- 山 崎 誠 一 郎 (カワキアクトシステムズ)
- 吉 田 亨 (み ず ほ C B)
- 吉 澤 顕 (双 日)
- 小 林 経 夫 (清 水 建 設)
- 溝 口 忠 雄 (事 務 局)
- オ ブ ザ ー バ ー
- 阿 部 修 一 (原 燃 工)

### 広報委員会 (9名)

- ◎ 溝 口 忠 雄 (事 務 局)
- 米 田 正 章 (荏 原 製 作)
- 三 木 俊 也 (富士電機システムズ)
- 笹 野 貢 (富 士 通)
- 岩 間 和 義 (古河機械金属)
- 湯 原 貴 浩 (カワキアクトシステムズ)
- 山 本 晴 彦 (み ず ほ C B)
- 村 野 博 一 (双 日)
- 酒 井 喜 則 (清 水 建 設)

### 原子力情勢調査部会 (6名)

- ◎ 村 野 博 一 (双 日)
- 尾 崎 博 (富士電機システムズ)
- 組 田 泰 男 (荏 原 製 作)
- 瓦 井 健 二 (富 士 通)
- 湯 原 貴 浩 (カワキアクトシステムズ)
- 加 納 茂 和 (清 水 建 設)

### 高温ガス炉プロジェクト部会 (7名)

- ◎ 岡 本 太 志 (富士電機システムズ)
- 中 村 志 郎 (双 日)
- 大 橋 一 孝 (富士電機システムズ)
- 前 川 勇 (カワキアクトシステムズ)
- 斎 藤 正 直 (清 水 建 設)
- 甲 斐 芳 郎 (〃)
- オ ブ ザ ー バ ー
- 加 藤 茂 (原 燃 工)

### 廃止措置プロジェクト部会 (6名)

- ◎ 武 伸 五 月 (カワキアクトシステムズ)
- 見 上 寿 (富士電機システムズ)
- 荒 井 正 幸 (荏 原 製 作)
- 樋 口 哲 二 (富 士 通)
- 沢 本 雅 弘 (双 日)
- 鳥 居 和 敬 (清 水 建 設)

### 核燃料サイクル調査研究部会 (7名)

- ◎ 山 崎 誠 一 郎 (カワキアクトシステムズ)
- 藤 沢 盛 夫 (富士電機システムズ)
- 石 山 祐 二 (荏 原 製 作)
- 三 澤 真 (富 士 通)
- 井 上 桂 一 (双 日)
- 沢 本 雅 弘 (〃)
- 加 納 茂 和 (清 水 建 設)

### 品質保証部会 (8名)

- ◎ 高 橋 正 昭 (富士電機システムズ)
- 斉 藤 利 二 (カワキアクトシステムズ)
- 新 田 和 彦 (富士電機システムズ)
- 竹 山 敏 (荏 原 製 作)
- 樋 口 哲 二 (富 士 通)
- 有 本 徹 (古 河 電 工)
- 石 黒 修 司 (双 日)
- 中 村 誠 (清 水 建 設)

### 事 務 局

局 長 溝 口 忠 雄

Tadao Hashimoto, Toru Hasegawa, Keisuke Fukumoto, Yasushi Ooki

**Development of Radioactive Surface Contamination Monitor**

FAPIG No. 177 pp.6~11 (2008)

In the radiation facilities such as nuclear power plants, surface contamination of the people accessing or articles conveyed in and out of the radiation controlled areas is detected and monitored by installing contamination monitors at the boundary of controlled areas and uncontrolled areas against the expansion of the radioactive materials to out of the facilities. It is required for the surface contamination of articles to be tightened of control criteria as “Guidelines for discrimination ways of nonradioactive waste (not classified as radioactive waste) generated from nuclear power plants” (hereinafter referred to as “the Guideline”) was established by the Nuclear and Industrial Safety Agency of the Ministry of Economy, Trade and Industry in August, 2005. It predicts that the control criteria of monitors other than article monitors are also tightened in the future.

Fuji electric has been fabricating and delivering surface contamination detecting monitors. Now we are developing the new contamination monitor corresponding to the tightening of the control criteria.

“Large article transfer monitor”, “Clothing monitor” and “Body surface contamination monitor” are introduced in this article.

**KEYWORDS** : article transfer monitor, clothing monitor, body surface contamination monitor

Katsuhiro Haga, Hiroyuki Kogawa, Takashi Wakui, Kohei Hanano, Masatoshi Futakawa

**Completion of J-PARC Mercury Target System**

—Outline and Topics—

FAPIG No. 177 pp.12~17 (2008)

The construction of the mercury target system of 1MW spallation neutron source in J-PARC was completed and now all the system is ready to receive the first proton beam. In this paper, the outline of the mercury target system and several topics appeared in the course of the system fabrication and assembling are presented; i.e. the residual stress in the beam window caused by welding process in the target vessel and its improved fabrication process, the R&D of the rotated permanent magnet pump (PM pump) for the mercury circulation system and the target trolley installation.

**KEYWORDS** : mercury target, spallation neutron source, J-PARC project, residual stress, PM pump, target trolley

Tomonori Watanabe

**Summary of Air Cooled Heat Exchanger**

FAPIG No. 177 pp.18~21 (2008)

The Air Cooled Heat Exchangers are widely used for condensation and cooling of various fluids (steam, gas, water, oil, etc.) in various fields (petrochemical, power generation, energy recycle, etc.) and it is not exceptional equipment for nuclear energy field.

This report describes the summary of Air Cooled Heat Exchanger, mainly about the function and construction managed by Kawasaki Plant Systems, Ltd

**KEYWORDS** : air cooled, heat exchanger, condenser, fin tube, embedded fin, tube bundle

FAPIG No.177

平成20年7月25日印刷

平成20年度 第1号

平成20年7月30日発行 (非売品)

発行所 第一原子力産業グループ事務局

〒107-8655 東京都港区赤坂6丁目1-20

双日(株)内

電話 (03) 5520-4911

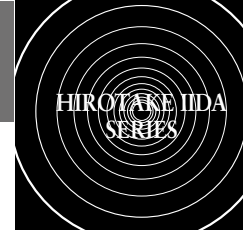
ホームページ: <http://www.fapig.com/>

編集兼発行人 溝口忠雄

印刷所 ミズノブリテック(株)

〒104-0042 東京都中央区入船2-9-2

電話 (03) 5566-6677(代)



Hiroyuki Kogawa, Hidetaka Kinoshita, Katsuhiro Haga, Takashi Wakui  
Hideyuki Aizawa, Masanori Kaminaga, Masatoshi Futakawa, Shin-ichi Satou, Seiji Mori

### Fabrication of Mercury Circulation System and Target Exchange Truck for J-PARC Spallation Neutron Source

FAPIG No. 177 pp.22～27 (2008)

Materials and Life Science Facility is one of the experimental facilities of Japan Proton Accelerator Research Complex (J-PARC). The mercury circulation system and the target exchange truck for the spallation neutron source of J-PARC are presented in this paper. The functions of the mercury circulation system are to supply mercury to the target vessel, and to cool down the mercury that is heated by proton beam injection. The target exchange truck is used to remove a used target vessel and to install a new target vessel by remote operation.

**KEYWORDS** : proton accelerator, J-PARC, spallation neutron, mercury circulation, target replacement, remote operation

Shinji Miura, Kaoru Kikuchi, Syuichi Ueno, Taku Ohira, Hiroyuki Sasaki, Shuji Ishiguro, Roger Asay, Richard Kohlmann

### Advanced Resin Cleaning System

FAPIG No. 177 pp.28～33 (2008)

Novel and unprecedented ion exchange resin cleaning system, for use in BWR plants and featuring a vibration separator and basic design factors of Radiological Solutions, Inc., had been delivered to Tokai No. 2 Power Station, Japan Atomic Power Company, in October 2005. This compactly-designed system effectively separates crud and resin fines from ion exchange resins, with no clogging of separation screens. It generates minimized waste liquid and has a specially designed over-pack cleaning tank. The system has been in operation for about 2 years and half now and favorable operational data, such as crud and sulfate concentration decrease in feed water and reactor water respectively, and evaluation results have been reported from Japan Atomic Power Company and so on.

**KEYWORDS** : ion exchange resin cleaning system, feed water, reactor water

Atsuhisa Takahashi, Michinori Kutami, Seiya Yamazaki

### Fujitsu Group's Environmental Activities

FAPIG No. 177 pp.34～41 (2008)

The Fujitsu Group has been conducting a variety of environmental activities, thinking that environmental management is one of the most important issues as the corporate value. And the environmental activities have been promoted in all of the business division under the slogan, "We Make Every Activities Green". Moreover, from December 2007, Fujitsu Group started a new project called Green Policy Innovation to address recent environmental global issues. This project aims to reduce the environmental burdens of customers through our Green IT. This paper introduces the framework of the Fujitsu Group's environmental policy and gives an overview of the Group's environmental management and activities.

**KEYWORDS** : environmental management, green IT



1995年「波石」

750×1400×700



1993年「天機の盃」

600×850×1730

#### 作者プロフィール

飯田浩丈 Hirotake Iida

陶芸家、彫刻家 1965年神奈川県生まれ。

1989年～1996年 二科展毎年出展。1995年「波石」で特選。

多摩美術大学彫刻科石彫教室卒業。現在「生活のすぐそばにある陶芸」をテーマに、作家活動のかたわら神奈川県茅ヶ崎で「赤羽根陶芸倶楽部」(www.akabanetougei.com)を主宰。

#### 主な活動履歴

1989年～2002年 彫刻設置「飛翔」(株式会社スワン)、「天啓」「天機の盃」(聖ドミニコ学園)。個展多数。

2002年 茅ヶ崎に築窯、陶芸に転身。

2003年～2006年 ジュエリーショップ「ヴァンドームヤマダ」六本木ヒルズ店 アートワーク製作、

個展gineta「水の渦、火の渦、土の渦」、個展「土鍋とポット展」辻堂 ART SPACE キテーネ、

個展「あったかおなべとほかほかご飯」北鎌倉 ギャラリーネスト、等。

2007年 個展「元気が出る食の器」神楽坂 ギャラリー遊、個展「美しい鍋と暮らす」GALLERY FIRST RIGHT。

# 第一原子力産業グループ

The **F**irst **A**tomic **P**ower **I**ndustry **G**roup

## 株式会社ADEKA

株式会社荏原製作所

富士電機ホールディングス株式会社

富士電機システムズ株式会社

富士通株式会社

古河機械金属株式会社

古河電気工業株式会社

川崎重工業株式会社

カワサキプラントシステムズ株式会社

株式会社神戸製鋼所

みずほコーポレート銀行

日本興亜損害保険株式会社

日本軽金属株式会社

清水建設株式会社

双日株式会社

横浜ゴム株式会社