

# FAPIG

THE FIRST ATOMIC POWER INDUSTRY GROUP



**168**

**2004. NOVEMBER**

# We can.

新しい時代を迎えた今、私たち古河電工は、本格的マルチメディア社会・高度情報化社会への対応や快適で安全な暮らしの実現をめざし、技術力と創造力で新しい可能性に挑み続けています。そこに必要とされるのは、技術革新はもとより、自然との共存や国際貢献など、よりグローバルな視点です。私たち古河電工は、輝かしい未来を支えていくため、もてる力をフルに発揮しながら、一步一步着実に前進し続けていきます。



## CONSTRUCTION

折板屋根用断熱材 / ケーブル多束管路システム / 情報BOX / 合成樹脂可とう電線管 / 防災製品 / 床暖房システム / 道路融雪システム / 給水・給湯配管システム / 断熱被覆鋼管 / アーバンエンジニアリング

## TRANSPORTATION

自動車用電線 / トロリ線 / ワイヤーハーネス / 防水コネクタ / 車載電子ユニット / エアバック用ステアリングローリングコネクタ / 車内LANシステム / カーエアコン用多孔管 / ラジエータ用材料

## MATERIAL

銅・銅合金の板・条・管・棒・線 / 空調用銅管 / 熱交換器用フィンチューブ / ワイヤ放電加工機用電極線 / 発泡ポリエチレン / 断熱材 / 発泡ポリプロピレン / 高効率反射板 / 生分解性発泡シート / 防食テープ・チューブ

## COMMUNICATION

光ファイバケーブル / 融着接続機 / 光ファイバコネクタ / 光デバイス / 光ファイバアンブ / ネットワーク機器 / 光監視システム / CATVシステム / 計装ケーブル / LAN用ケーブル / 同軸ケーブル / 通信網建設工事

## ENERGY

銅・銅合金線 / アルミ・アルミ合金線 / UHV架空送電線 / 光ファイバ複合架空送電線 / ポリマー導子 / CVケーブル / プラスチック絶縁電線・ケーブル / 環境配慮型電線・ケーブル / 耐火・耐熱・電線用電線 / バスタクト / ケーブル直線・分岐接続材料 / 超電導線材 / 太陽光発電システム / 送電線・電力ケーブル工事

## ELECTRONICS

UVテープ / リードフレーム材料 / 受発光素子モジュール / 接点材料 / 電解銅箔 / ハイブリッド基板 / マイクロ接合リフロー炉 / メモリーディスク材 / 形状記憶NT合金 / エコマテリアル配線材 / 三層絶縁電線 / 巻線 / ヒートシンク

# 古河電工

本社 〒100-8322 東京都千代田区丸の内2丁目6番1号(古河総合ビル)  
TEL: (03) 3286-3001 FAX: (03) 3286-3919  
営業網 大阪 / 名古屋 / 福岡 / 広島 / 仙台 / 札幌 / 高松 / 富山 / 那覇 / 北九州  
<http://www.furukawa.co.jp/>

# FAPIG

THE FIRST ATOMIC POWER INDUSTRY GROUP

2004-11/平成16年度 第2号

No.168

目次

## ■ 報 告

- 「常陽」アルコール廃液処理装置の開発 .....(3)  
小原 潔 / 大山悦夫 / 鈴木寿章 / 大原紀和
- FNSにおける核融合中性子のスカイシャイン実験 .....(9)  
中尾 誠 / 西谷健夫 / 落合謙太郎
- 第12回WIN-Global年次大会 日本で開催される .....(14)  
才川美紀 / 伊藤貴代

## ■ 紹 介

- ヘリウムガス冷却炉プラント動特性解析コードの開発 .....(23)  
佐藤 学 / 森山耕一 / 西村元彦 / 前川 勇
- 地域数値環境システムSPEEDI-MPの成果と現状 .....(27)  
茅野政道 / 矢部典雄
- 燃料電池システムの紹介 .....(33)  
森 豊 / 牧田 昇

## ■ 随 筆

- 中山道一人旅(その4) ~美濃路を歩く~ .....(38)  
米田正章

## ■ グループ情報

- FAPIGの機構 .....(45)

表紙デザイン：上杉義昭

## CONTENTS

■ Report	
Development of The Alcohol Waste Processing Equipment .....	( 3 )
K. Obara / E. Ooyama / T. Suzuki / N. Oohara	
Fusion Neutron Skyshine Experiment at FNS .....	( 9 )
M. Nakao / T. Nishitani / K. Ochiai	
The 12th WIN Global Annual Meeting in Tokyo .....	(14)
M. Saikawa / T. Ito	
■ Introduction	
Development of a Plant Dynamics Simulation Code for Helium Gas Cooled Reactors .....	(23)
M. Sato / K. Moriyama / M. Nishimura / I. Maekawa	
Research Status and Some Results of Numerical System to Study Regional Environment: SPEEDI-MP .....	(27)
M. Chino / N. Yabe	
Introduction of Fuel Cell System .....	(33)
Y. Mori / N. Makita	
■ Essay	
Sentiment of Solitary Journey on Nakasendo - Hike Through Minoji - .....	(38)
M. Yoneda	
Cover Design : Yoshiaki Uesugi	

## 「常陽」アルコール廃液処理装置の開発

Development of The Alcohol  
Waste Processing Equipment

小原 潔\*      大山悦夫\*      鈴木寿章\*\*      大原紀和\*\*  
Kiyoshi Obara      Etsuo Ooyama      Toshiaki Suzuki      Norikazu Oohara

## 〔概要〕

高速実験炉「常陽」の燃料交換機，燃料出入機の燃料つかみ部（グリッパ）に付着したナトリウムは，アルコールで洗浄しており，この洗浄に使用された放射性物質を含むアルコール廃液がタンクに貯留されている。

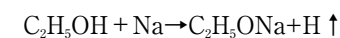
このアルコール廃液を廃棄物として処理するためには，廃液中のアルコールとナトリウムを分離させる必要がある。核燃料サイクル開発機構（以下，サイクル機構という）と富士電機システムズ(株)は，アルコール廃液に炭酸ガスを加えて，アルコール廃液中のナトリウムを炭酸塩として析出させた後，薄膜乾燥機によって，この炭酸塩を除去する装置を開発した。

## 1. はじめに

高速炉では，冷却材に液体金属ナトリウムが使用されている。燃料交換時にはグリッパと呼ばれる掴み具を使用し，燃料集合体の炉内外への出し入れを行う。このため，グリッパには放射性物質を含むナトリウムが付着しており，専用の洗浄槽にて洗浄してナトリウムを除去する必要がある。

ナトリウムの洗浄方法としては，真空蒸発などの物理的方法や水蒸気洗浄，アンモニア洗浄，水洗浄，アルコール洗浄などの方法があるが，このうち，アルコール洗浄は，比較的ナトリウム除去率が高く，反応速度がゆるやかであり，アルカリ腐食を起こす可能性が少ないのでナトリウム機器の構造材への影響が少ないと考えられている。

グリッパ洗浄に使用されたアルコール廃液には，洗浄促進のために使用されていたアルコール+水20%の洗浄液とナトリウムの反応により生成されたアルコールなどが含まれている。アルコールを生成する化学反応式は以下のように表される。



この放射性物質を含むアルコール廃液を処理するためには，アルコールとナトリウムを完全に分離することが不可欠である。しかし，アルコールを含む限り，アルコールとナトリウムを完全に分離することができないことが廃液処理を困難にしている。

本稿では，アルコール廃液処理に関する従来技術およびサイクル機構と富士電機システムズ(株)が開発したアルコール廃液に炭酸ガスを加えて，アルコール廃液中のナトリウムを炭酸塩として析出させた後，薄膜乾燥機によって，この炭酸塩を除去する装置の処理フロー，実証試験結果，実機の設備構成などについて紹介する。

## 2. アルコール廃液処理の従来技術

アルコール廃液の処理に関する主な2つの従来技術を以下に示す。

①放射性アルコール廃液を蒸発処理容器に収容し，蒸発処理容器内を負圧状態でかつ減圧沸騰しない条件に維持しながらストリップガスとして窒素ガスを流して放射性アルコール廃液を蒸発処理することで，主としてアルコール分を蒸

\*富士電機システムズ(株) 原子力統括部 技術部プラントGr.

\*\*核燃料サイクル開発機構 大洗工学センター 照射施設運転管理センター 実験炉部 原子炉第一課

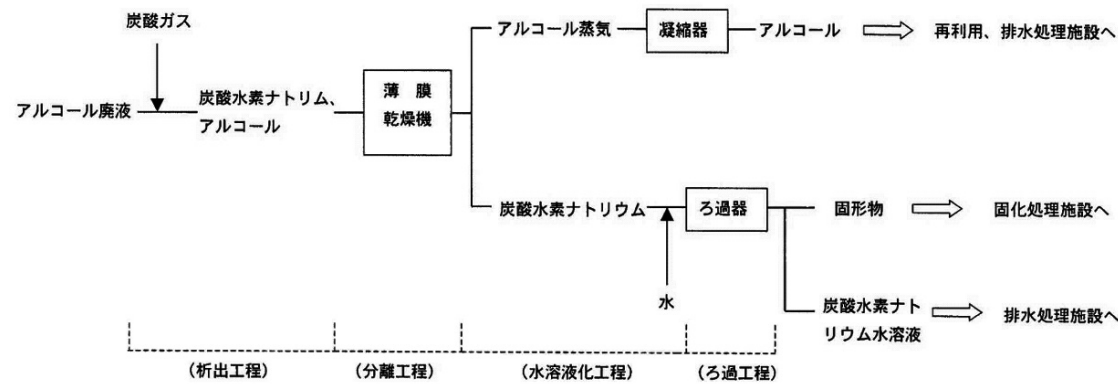


図1 アルコール廃液の処理フロー

発させ蒸発処理容器外に排出してアルコールを回収し、蒸発処理容器内では、アルコールの蒸発に伴い相対的に増加する水によりナトリウムアルコールの加水分解を進行させてアルコールだけを蒸発凝縮回収する方法が公開されている<sup>1)</sup>

②アルコールと放射性物質を含んだナトリウムを主たる成分とするアルコール廃液に水を加えて加水分解し、アルコールを水酸化ナトリウムとした後、電気透析処理でナトリウムを除去し、更に必要に応じて、前記ナトリウムが除去されたアルコールを気化した後、触媒酸化処理でアルコールを炭酸ガスと水に分解する方法が公開されている<sup>2)</sup>。

①の方法では、放射性物質を含むアルコール溶液からアルコールだけを分離することは可能であるものの、減圧下のアルコール蒸発に伴う水の濃縮によって徐々に加水分解が進行するため、加水分解が完全でなく、アルコール除去率が100%とならない。このため、アルコール分離後の残渣溶液には、ある程度のアルコールが残留し、この結果、残渣溶液に含まれるアルコールとナトリウムは化学的に反応し、アルコールを生成する。つまり、この技術においては、放射性物質を含むアルコール廃液のアルコール濃度を低下させるとともに、アルコールを回収することは可能であるが、アルコールとナトリウムを完全に分離することは不可能であり、アルコールの残存が避けられな

いという問題点がある。また、負圧状態でかつ減圧沸騰しない条件に維持しながら蒸発処理することの特徴とするので、処理時間がかかり、大量のアルコール廃液の処理には適さないという問題点もある。

②の方法では、気化したアルコールを炭酸ガスと水に触媒酸化塔で分解するためにガス温度を約300℃に保つ必要があり、加熱器などを含む装置全体が大規模となることおよび①と同様にアルコールを加水分解したアルコール廃液の蒸発処理に時間がかかるという問題がある。

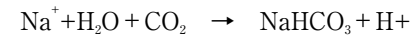
### 3. アルコール廃液処理装置の開発

#### 3.1. 処理方式の概要

図1は、今回開発したアルコール廃液の処理フローである。

図1に示すように、アルコール廃液に炭酸ガスを加えて炭酸塩を析出させる析出工程、析出した炭酸塩およびアルコールを薄膜乾燥機で分離する分離工程、分離された炭酸塩を水溶液とする水溶液化工程、炭酸塩水溶液から固形分を除去するろ過工程の4工程からなっている。以下、各工程について詳細に説明する。

まず、析出工程では、放射性物質を含むアルコール廃液に炭酸ガスを混合し、廃液中のナトリウムを炭酸塩として析出させる。アルコール廃液と炭酸ガスを混合することにより、以下の反応により炭酸塩を析出させる。



この炭酸塩は炭酸水素ナトリウムであり、アルコールに不溶性であることから、生成した炭酸水素ナトリウムが析出し、アルコールと分離した状態となる。

次に、分離工程では、析出した炭酸塩を含むアルコールと水を、薄膜乾燥機によって減圧下で分離、乾燥させる。この薄膜乾燥機による減圧乾燥により、アルコールおよび水を速やかに気化して分離することができ、アルコール廃液の含水率が高い場合においても、ナトリウムを短時間で効率良く分離することができる。

この薄膜乾燥機は、筒型をした容器であり、容器外周に水蒸気を循環させることで、加熱されるように構成されている。容器内側には回転翼が設けられており、この回転翼の回転によって、壁面に付着した炭酸塩を剥離する構造となっている。

そして、この容器の上部から、上記の析出工程後の処理液（アルコール+水+炭酸塩）を投入すると、アルコール+水は速やかに気化し、凝縮器へ排出される。これによって、炭酸塩は析出、乾燥し、容器の底部に落下する。

薄膜乾燥機において蒸発した、アルコール蒸気および水蒸気は、凝縮器によって液化されたのち、再度グリッパ洗浄用アルコールとして再利用又は排水処理施設で処分される。

一方、薄膜乾燥機において析出、分離された炭酸塩は、水に溶解される水溶液化工程によって、炭酸塩は主に炭酸水素ナトリウム水溶液となる。

この炭酸塩水溶液は放射能を有するため、次のろ過工程で固形分を極力除去した後、既存の放射性廃液処理施設に移送され、処理される。

このように、本処理方式では、炭酸ガス処理と薄膜乾燥機を組み合わせたので、アルコールおよび水を速やかに気化して分離することができる。

#### 3.2. 実証試験

##### (1) 炭酸ガス注入試験

前述の析出工程では、アルコール廃液に炭酸ガスを注入し、炭酸塩を析出させる。炭酸ガス注入により効率的に炭酸塩を生成できることを試験により確認した。

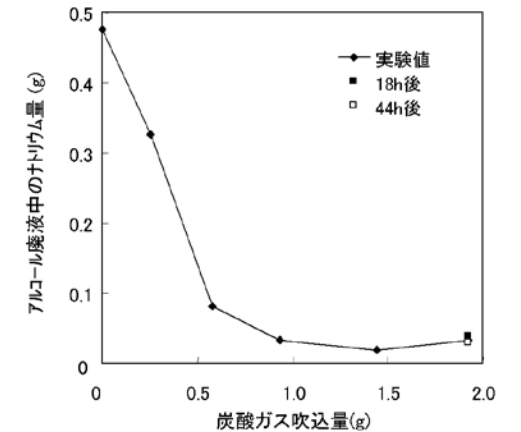


図2 アルコール廃液中のナトリウム量変化

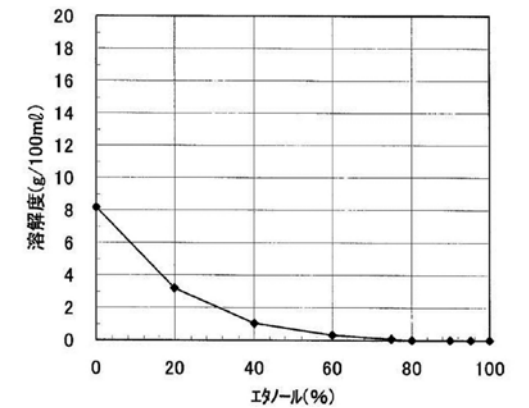


図3 炭酸水素ナトリウムの溶解度

模擬アルコール廃液として、エタノール65vol%、イソプロピルアルコールが10vol%、水25vol%、ナトリウム濃度4.8g/lの組成の模擬溶液を調整した。

この模擬アルコール廃液0.1lに炭酸ガスを吹き込み、炭酸ガス吹き込み量(g)を変化させた場合のナトリウム濃度(g/l)を測定した。その結果を図2に示す。

また、炭酸水素ナトリウムを各種含水率のエタノール中に溶解させ、溶解度(g/100ml)を測定した。その結果を図3示す。

図2より、炭酸ガス吹き込み量の増加に伴って、アルコール廃液中のナトリウム濃度が低下しており、ナトリウムが炭酸水素ナトリウムとして析出していることがわかる。これによれば、試験開始

前に存在したナトリウムのうち、95%を炭酸水素ナトリウムとして析出させることが可能であった。

なお、この模擬アルコール廃液には25vol%の水分が含まれているが、図3に示すように炭酸水素ナトリウムの溶解度は、含水率が0~30vol%（エタノール濃度で70~100%）においてほとんどアルコール（エタノール）に溶解しない。したがって、炭酸水素ナトリウムは大半を固体として析出させることが可能であることがわかる。

また、一度生成した炭酸水素ナトリウムをそのまま18時間、44時間放置しても図2に示すように濃度が変化しなかった。したがって、炭酸水素ナトリウムはアルコール中で安定して存在していることがわかる。

(2) 薄膜乾燥機処理性能試験

析出工程で生成させた炭酸塩は、次の分離工程において薄膜乾燥機によりアルコールと炭酸塩に分離される。表1に示す組成の模擬アルコール廃液を使用し、薄膜乾燥機から回収されるアルコールの性状や炭酸塩中のアルコール濃度などの確認を行った。

この模擬アルコール廃液 5 l に炭酸ガス100g (50 l) 吹き込み、炭酸塩を析出させた後、薄膜乾燥機へ供給し、炭酸塩を分離した。炭酸塩析出後の模擬アルコール廃液の状態を写真1に示す。

炭酸塩析出槽において模擬アルコール廃液 5 l に炭酸ガス100g (50 l) 吹き込み、炭酸塩を析出させた。

なお、薄膜乾燥機としては、株式会社櫻製作所製のハイエバオレータType1503（商品名）を用い、運転条件として、加熱用蒸気温度140℃、蒸気圧力0.25MPa、容器内の真空度200Torr、回転翼の回転数1200rpm（40Hz）の条件で運転し、処理速度20~30 l/hで、上記の炭酸塩を含むアルコール廃液を容器内部に投入した。試験により得られた結果を整理すると以下の通りとなる。

①合計4回の運転において、回転翼モータの電流値に変化がなく安定した運転が可能であることを確認できた。

②コンデンサーから回収したアルコールの凝縮液は、無色透明であり、ナトリウム、金属イオン成分は71ppmと微量であった。（回収アルコールの状況を写真2に示す）

③模擬廃液中のナトリウムの回収アルコールへの移行率は約2%であった。放射能移行量がナトリウム移行量に比例すると想定するとDF（除染係数）は10となる。（回収炭酸塩の状況を写真3に示す）



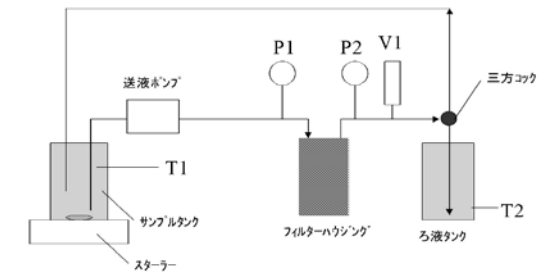
写真1 模擬アルコール廃液（炭酸ガス注入後）



写真2 回収アルコールの状況



写真3 回収炭酸塩の状況



記号：サンプルの温度 (T1)、ろ液の温度 (T2)、流量 (V1)、フィルター前後の圧力 (P1, P2)

図4 ろ過試験装置

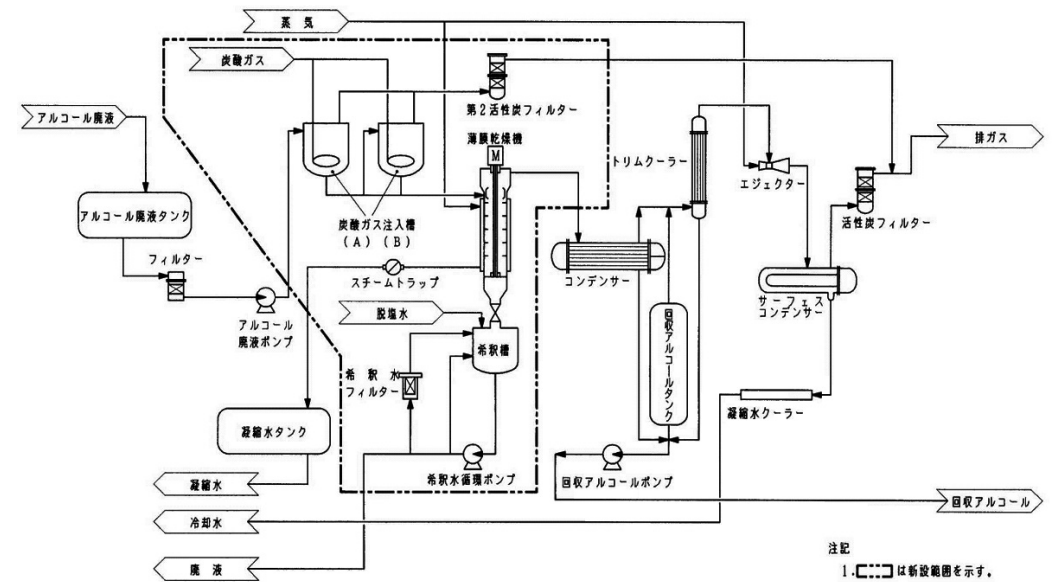


図5 アルコール廃液処理装置 系統図

④アルコールの回収炭酸塩中のアルコール量は、約0.5wt%と微量であった。この炭酸塩は水で希釈後、廃液処理設備へ移送することになるが、アルコール含有量は処理に問題ないレベルと考えられる。

(3) フィルタ実液試験

薄膜乾燥機で回収される炭酸塩は、水で希釈し、フィルタで放射能を有する金属粉やスラッジをろ過処理した後、廃液処理設備へ移送される。実際に「常陽」から排出されるアルコール廃液を用い、

図4に示す試験装置でろ過試験を実施した。

なお、フィルタとしては、ポリプロピレン製のポアサイズ10μmの精密ろ過膜を用い、ろ過速度1.5 l/minでろ過を行った。

その結果、ろ過状況は良好であり、ろ過膜の変質、溶解、破損は確認されなかった。また、このフィルタによるCo60の除去率は85%であり、ろ過後の液においては、十分に放射性レベルを低下させることが可能であった。

表1 模擬アルコール廃液の組成

ナトリウム(ナトリウムエチラートベース)	5 g/l	
アルコール(変性アルコール*1)	80vol%	
イオン交換水	20vol%	
金属イオン(塩化物ベース)	Fe <sup>3+</sup>	10ppm
	Ni <sup>2+</sup>	1ppm
	Cr <sup>3+</sup>	5ppm
	Al <sup>3+</sup>	20ppm
	Co <sup>2+</sup>	1ppm
金属粉*2	3.9g	

\*1 変性アルコール組成  
エタノール87.8%、イソプロパノール10.4%、  
メチルエチルケトン1.7%、8アセチル化ショ糖0.1%  
\*2 金属粉成分  
Fe:0.6%、Ni:0.03%、Cr:0.07%、B:7.3%、Si:86.3%、Al:5.7%

#### 4. 実機アルコール廃液処理装置

3項に記載した実証試験の結果を受け、既設アルコール廃液処理装置の改造設計を実施した。改造後の系統図を図5に示す。

既設アルコール廃液タンク内のアルコール廃液を炭酸ガス注入槽へ移送した後、炭酸ガスを注入する。炭酸塩が生成したアルコール廃液は、重力落下で薄膜乾燥機へ一定流量で移送される。炭酸ガス注入槽は2基設けられており、1基が薄膜乾燥機へ廃液を移送している間にもう1基で、炭酸ガス注入による炭酸塩生成が行えるようになっている。また、炭酸ガス注入槽から発生する余剰炭酸ガスなどは、第2活性炭フィルターを通して排気される。

薄膜乾燥機で回収された炭酸塩はバッチごとに希釈槽に落とし、水を加えて溶解させる。炭酸塩が解けた希釈水は、希釈水循環ポンプによりフィルタに移送される。フィルタで固形分を除去した後、

既設廃液処理設備へ移送され通常の液体廃棄物として処理される。一方、薄膜乾燥機で蒸発したアルコールは、既設のコンデンサーにおいて再び凝縮し、回収アルコールタンクに回収される。

薄膜乾燥機は、既設のエジェクタで吸引されることにより、常時微負圧で運転される。

#### 5. おわりに

以上説明した通り、アルコール廃液からナトリウムを炭酸塩として効率良く分離でき、迅速かつ大量に、しかも安全に処理することができる装置を開発することができた。これにより、現在、「常陽」において貯蔵している放射性物質を含むアルコール廃液を処理する見通しを得ることができた。

#### 参考文献

- 1) 特開2000-65987号公報（特許文献）
- 2) 特開2002-202398号公報（特許文献）

## FNSにおける核融合中性子のスカイシャイン実験 Fusion Neutron Skyshine Experiment at FNS

中尾 誠\*      西谷 健夫\*\*      落合 謙太郎\*\*  
Makoto Nakao      Takeo Nishitani      Kentaro Ochiai

#### 〔概要〕

日本原子力研究所のFNS（Fusion Neutronics Source）施設にて核融合中性子のスカイシャイン実験を行った。実験内容としては、核融合中性子が発生するトリチウムターゲット真上の天井部にあるスカイシャイン実験孔を開放し、ここを通り抜けて施設外に出たスカイシャイン中性子の線量当量率を球形レムカウンターにより測定した。測定はトリチウムターゲットから約550m遠方まで行った。またモンテカルロ法を用いたシミュレーションコードMCNP-4Bおよび線状線源モデルから得られた計算値と測定値を比較した。

#### 1. はじめに

一般的に核融合炉では、炉室に大きなスパンを必要とするので、構造上の制約から、天井の遮蔽厚は、垂直の壁に比べて薄くせざるを得ない。核融合炉の放射線線量の評価では、スタックから排

出される放射性ガスによる寄与が最も大きいですが、それを除いた外部線量としては、天井から漏洩した放射線が空気と散乱して、施設周辺の地上に到達する、いわゆるスカイシャインが、施設周辺の放射線安全に最も重要な項目である。したがってスカイシャインの精度の高い評価は核融合炉の合理

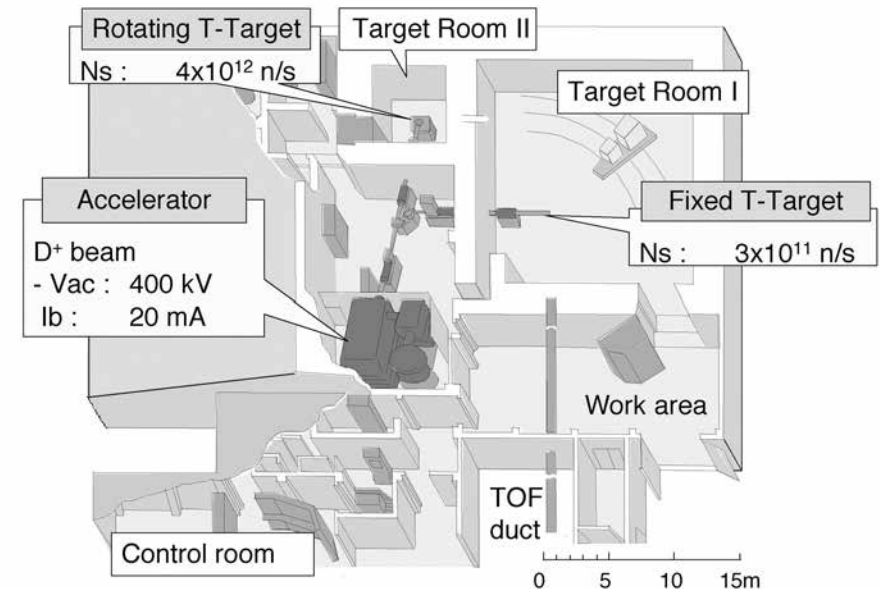


図1 FNS施設の鳥瞰図

\*日本原子力研究所 核融合工学部 核融合中性子工学研究室（川崎重工業株式会社より出向）

\*\*日本原子力研究所 核融合工学部 核融合中性子工学研究室

的な遮蔽設計に必要不可欠である。

核分裂の原子力施設<sup>1,2)</sup>や高エネルギー加速器施設<sup>3,4)</sup>のスカイシャインについては多くの実験データが存在するが、核融合施設のスカイシャインに関する実験データは、わずかしかない。そこで原研の核融合中性子源FNS (Fusion Neutronics Source)<sup>5)</sup>において、天井に設置したスカイシャイン実験ポートを開放することにより、核融合中性子のスカイシャイン実験を実施した。

## 2. 実験

### 2.1. FNS施設

図1にFNS施設の鳥瞰図を示す。FNSは3相全波整流のトランス積層型の静電加速器を用いた中性子源で、重陽子を約400keVに加速し、トリチウムターゲットに当て、D-T反応により14 MeV中性子を発生する。FNSは2つのターゲット室を有しており、第1ターゲット室は0.37 TBq (10 Ci) のトリチウムを吸着させた固定トリチウムターゲットを使用して、最大  $3 \times 10^{11}$  n/s の中性子を発生できる。また第2ターゲット室には37 TBq (1000 Ci) の回転トリチウムターゲットがあり、 $4 \times 10^{12}$  n/s の中性子発生率が可能である。前者は、主として増殖ブランケット核特性実験や断面積測定に使用されており、後者は核融合材料や機器の照射試験に使用されている。

本スカイシャイン実験で使用した第1ターゲット室内寸法は、縦横の長さ約15m、ターゲット位置から天井内壁までの高さは7.1mであり、側壁および天井のコンクリート厚さがそれぞれ2mおよび1.15mである。また第1ターゲット室のターゲット直上の天井にはスカイシャイン実験孔(約0.9m×0.9m, 1m厚)が設けられている(図2参照)。

図3にスカイシャイン実験孔の詳細を示すが、階段状の構造をしており、通常はコンクリートの遮蔽プラグが挿入されている。スカイシャイン実験時はこの遮蔽プラグを取り外し、実験孔を開放した。ただし2mm厚のSUS板により、ターゲットの室の負圧を保持し、さらに実験孔最上部の2mm厚のSUS板により雨水の侵入を防止した。

このスカイシャイン実験孔はFNSの建設当初

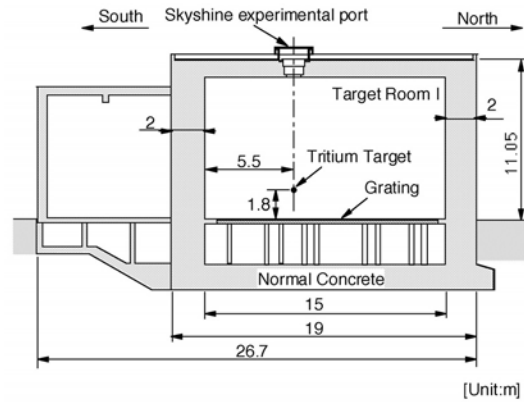


図2 第1ターゲット室断面図

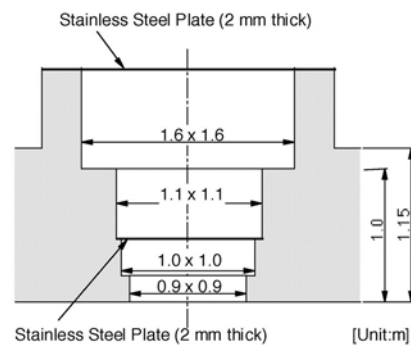


図3 スカイシャイン実験孔断面図

から設置されていたが、今回スカイシャイン実験のために、放射線障害防止法上の放射線発生装置としての運転条件の一つとしてスカイシャイン実験孔を開放した状態での運転の許可を取得した。実験にあたっては原研東海研の放射線管理部門および原研東海研に隣接する原子力施設の放射線管理部門と係をとり実施した。また実験中のFNS居室や屋外、およびFNS周辺の施設における線量が放射線管理上問題ないレベルであることを確認した。

### 2.2. 測定装置と測定地点

スカイシャイン実験においては、まず核融合中性子の発生量の絶対測定が必要である。FNSでは、T (d, n) α 反応で発生する α 粒子をトリチウムターゲットの後方(真空中)に取付けた、表面障壁型シリコンダイオードで測定して、中性子発生量を測定している。スカイシャイン実験中はこの α 粒子の計数値を10秒ごとに記録した。なお今回の実験では、FNSの加速電圧360kV、ビ

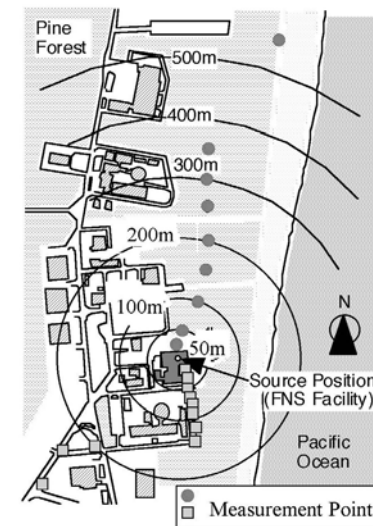


図4 スカイシャイン中性子測定地点

ーム電流1.4mAであり、平均中性子発生率は  $1.7 \times 10^{11}$  n/s であった。

図4にFNS周辺の施設配置およびスカイシャインの測定地点を示す。FNSは太平洋沿いの平坦な地形に位置しており、海岸線までは約120mである。FNSのすぐ南側には高速炉臨界集実験装置(FCA)、西側には軽水炉臨界集実験装置(TCA)が位置している。研究施設以外が樹高約10mの松林であり、地面は砂地である。またFNSの北方向950mには、日本原子力発電(株)の東海第2発電所(沸騰水型原子炉110万kW)が稼動中である。

中性子の線量は球形の積分型レムカウンタ(富士電機NSS10002型)を用いてターゲットから北方向の松林中で最大550m位置まで測定した。ただし550m地点は松林の外の砂丘上である。南方向(南西方向を含む、以下同様)は、アスファルトの道路沿いに300mまでの範囲で測定した。図5に用いたレムカウンタの写真を示す。

## 3. 解析

### 3.1. モンテカルロ計算

本スカイシャイン実験に対し、モンテカルロ計算コードMCNP-4Bと核データライブラリーJENDL-3.2<sup>6)</sup>を用いてシミュレーション計算を行った。図6にこの計算に用いたモデル体系を示す。



図5 富士電機製NSS10002型レムカウンタ

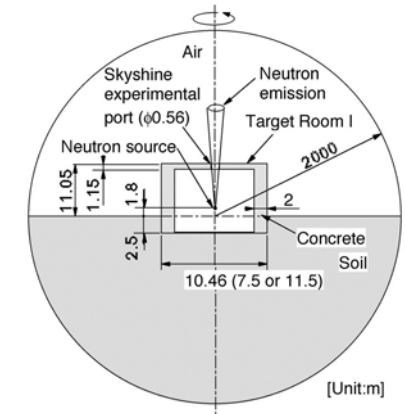


図6 MCNP計算モデル

計算時間の短縮のために半径2000mの球体系で軸対象モデルを採用した。FNSの第1ターゲット室の半径は、実際の床面積と等しくなるように決定した。しかし、実際の固定トリチウムターゲットの位置は第1ターゲット室の中心ではないので、ターゲットが壁から離れているケースと壁に近いケースを想定して、第1ターゲット室の半径を11.5mと7.5mとしたモデルも計算した。地面はコンクリートと同じ組成を仮定し、密度を2.3g/cm<sup>3</sup>とした。また第1ターゲット室以外の建屋や松林は計算モデルに含めていない。第1ターゲット室の壁や天井は十分な厚さを有しているので、計算において中性子は、D-Tターゲット位置からスカイシャインポートに向けてコーン状に放出されると仮定した。ただしターゲットから近い場合(20

～30m) には、壁からの透過成分の寄与がスカイシャインによる線量の10%程度になるので、壁からの透過成分を別途計算し、補正を行った。

3.2. 線状線源モデル

本実験では、限られた面積のスカイシャインポートから中性子が垂直に打ち上げられているので、柱状の中性子ビームが存在し、空気との散乱により中性子が4π方向に放射されると仮定する。14MeV中性子の空気中での平均自由行程は約120mであるので、中性子ビームの空気中での減衰を無視すれば、一次元近似が可能となり、線源位置から距離Rにおける中性子線量率は次式で表される。

$$D(R) = (C \sigma NS \phi e^{-R/\lambda}) / R \quad (1)$$

ここで、Cは中性子束から線量率への変換係数、σは14MeV中性子と空気との散乱断面積、Nは空気の原子数密度、Sはスカイシャインポートの断面積、φはスカイシャインポートにおける中性子束、λは14MeV中性子の空気中における線量率減衰距離である。ここでは、中性子のエネルギーはどの距離Rにおいても14MeVであると仮定し、Cとして $5.2 \times 10^{-10}$  Sv/neutronを用いた。14MeV中性子と空気との全断面積からλを評価すると約120mとなる。またλおよび“CσNSφ”を未定数として実験値の最小2乗フィッティングから導出することも試みた。

4. スカイシャイン中性子線量率分布

中性子発生率 $1.7 \times 10^{11}$  n/s時における中性子線量率分布の測定値とMCNP-4Bによるモンテカルロ計算値を図7に示す。30m地点が最も線量率が高く、約 $0.5 \mu\text{Sv/hr}$ であり、550mでは約 $0.002 \mu\text{Sv/hr}$ であった。50～200mの範囲では、南方向の測定値は北方向に比べて20～30%大きくなっている。固定トリチウムターゲットが第1ターゲット室の中心でなく、南側によっているため、南方向の線量率が大きくなることが考えられる。実際、第1ターゲット室の半径を11.5mと7.5mとして、それぞれ北方向と南方向を模擬した計算では、図7に示すように、南方向が北方向より10～20%大

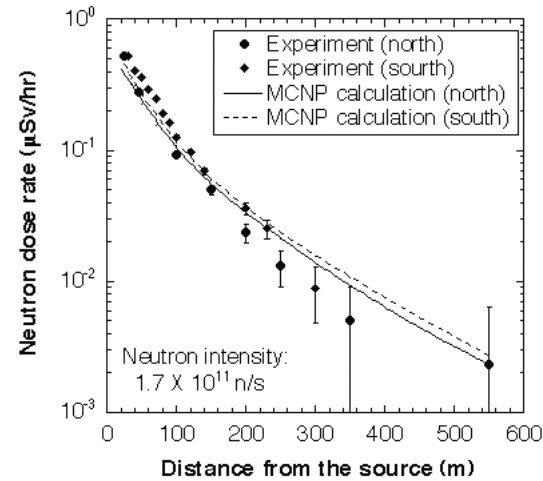


図7 中性子線量率分布 (実測値とモンテカルロ計算値)

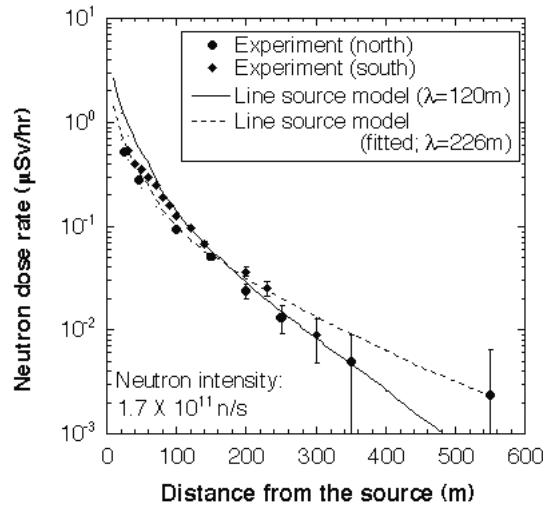


図8 中性子線量率分布 (実測値と線上線源モデル計算値)

きくなることを確認した。また南方向はアスファルトの道路沿いであり、測定点とFNS間に障害物が全く存在せず、さらにアスファルトによる中性子の散乱効果(アルベドが大きい)があるが、北方向は松林であり、松による中性子の散乱・吸収と、地面の砂地による中性子の吸収が影響しているものと考えている。ここで中性子線量率の測定値のバックグラウンドはFNSのビーム停止時にFNS南方向50mの地点でレムカウンタにより測定した4 nSv/hrを用いており、全ての測定点も同じ値とした。

モンテカルロ計算値は、230mまでは比較的良い一致を示すが、それ以上では、550mを除いて、

実験値より大きくなっている。レムカウンタの感度が入射中性子のエネルギーに依存して変化している可能性があるが、原研で行った感度校正試験では10%以下であることを確認しており、それでは計算値との差を説明できない。むしろモンテカルロ計算において松林をモデル化していないため、それによる散乱・吸収が考慮されず、過大評価になっていると思われる。

次に中性子線量率分布の測定値と(1)式に示した線状線源モデルから得られた値との比較を図8に示す。14MeV中性子と空気との全断面積から評価した線量率減衰距離λ=120mを用いた場合には350mまでは良く一致するが、それ以上では過小評価になる。そこで(1)式を用いて最小2乗法により実験値をフィッティングした場合はλ=226mであり、大阪大学のOKTAVIAN施設でのスカイシャイン実験<sup>7)</sup>から得られた、λ=203mと矛盾のない結果となった。

5. まとめ

原研の核融合中性子源FNSにおいて、天井に設置したスカイシャイン実験ポートを開放することにより、トリチウムターゲットからD-T反応により発生する核融合中性子のスカイシャイン実験を実施した。中性子の線量率はターゲットから550mの範囲まで、積分型レムカウンタを用いて測定した。測定した線量率分布とモンテカルロ計算コードMCNP-4Bと核データJENDL-3.2を用いて計算した線量率分布の比較では、250m以遠において計算値が過大評価となった。これは計算において、松林をモデル化していないことによると考えている。上記の問題はあるものの、MCNP-4Bによるモンテカルロ計算は、中性子のスカイシャイン線量率分布をファクター2以内で予測でき、スカイシャイン放射線の安全評価手法として十分使用し得ると言える。

参考文献

- 1) A.H. Kazi, C.R. Heimbach, R.C. Harrison and H.A. Robitaille, Comparison of measured and calculated radiation transport in air-over-ground geometry to 1.6 km from a fission source, Nucl. Sci. Eng. 85 (1983) pp.371-386.
- 2) T. Nakamura and T. Kosako, A systematic study on the neutron skyshine from nuclear facilities. Part I. Monte Carlo analysis of neutron propagation in air over ground environment from a monoenergetic source, Nucl. Sci. Eng. 77 (1981) pp.168-181.
- 3) T. Nakamura, T. Kosako, K. Hayashi, S.Ban, K. Katoh, A systematic study of the neutron skyshine from nuclear facilities. Part II. Experimental approach to the behavior of environmental neutrons around an electron synchrotron, Nucl. Sci. Eng. 77 (1981) pp.182-191.
- 4) K. Hayashi and T. Nakamura, Evaluation of neutron skyshine from a cyclotron, Nucl. Sci. Eng. 87 (1984) pp.123-135.
- 5) T. Nakamura, H. Maekawa, Y. Ikeda, Y. Oyama, Present status of the fusion neutronics source (FNS), in: Proceedings of 4th Symposium on Accelerator Science and Technology (RIKEN, Saitama, 1982) pp. 155-156.
- 6) T. Nakagawa, K. Shibata, S. Chiba, et al., Japanese evaluated nuclear data library version 3 revision-2: JENDL-3.2, J. Nucl. Sci. Technol. 32 (1995) pp.1259-1271
- 7) T. Nakagawa, Y.Uwamino, K.Hayashi, et al., Neutron Skyshine from Intense 14MeV Neutron Source Facility, Nucl. Eng. 90 (1985) pp.281-297

# 第12回WIN-Global年次大会 日本で開催される

## The 12th WIN Global Annual Meeting in Tokyo

才川美紀\* 伊藤貴代\*\*  
Miki Saikawa Takayo Ito

### 〔概要〕

WIN (Women in Nuclear) は、原子力に対する一般の人々への理解を深める事を目的に、1993年ヨーロッパで誕生した、原子力発電や放射線に関する業務や研究に携わる女性のネットワーク。現在、世界組織であるWIN-Globalの下で、57カ国、2000名以上の会員が活動している。

本稿は、日本で初めての開催となった第12回WIN-Global年次大会に、私達が行っている女性独自の視点を生かした原子力広報を目的としたPA (Public Acceptance) 活動の一環として参加した際の、報告と成果を述べたものである。

### 1. はじめに

第12回WIN-Global年次大会が、5月17日(月)から22日(土)の6日間、東京ドームホテルにて開催された。WIN-Globalでは、各国メンバー間の交流を深め情報を共有する目的で、年一度、年次大会を開催している。世界中の原子力分野で活

躍する女性達が一同に会する国際大会であり、第12回目となった今回は、日本で初めての開催となった。

本大会では、WIN-Global理事会や総会、基調講演、技術講演、キーノートセッション、今回初めての試みとなった国際市民フォーラムの他、テクニカルツアーとして東京電力(株)柏崎刈羽原子力発電所、BWR運転訓練センターの見学、広島にある(財)放射線影響研究所、平和記念公園、原爆ドームの見学といったオプションツアーも行われた。

参加者は海外より16ヶ国59名、日本国内より109名の参加があり、原子力や放射線の業務に携



写真1 年次大会プログラム



写真2 支援機関・企業 投影図

\*富士電機システムズ(株) 海外営業本部 第二統括部 営業第四部

\*\*同社 放射線システム統括部 放射線システム部 企画グループGr

わるさまざまな人々であった。

後援、支援組織、支援機関・企業が多数あり、会場には社名やロゴが投影されていた。

私達が参加した年次大会のプログラムは、5月18日、19日に行われた、WIN-Global総会、基調講演、技術講演、キーノートセッション、国際市民フォーラムであり、その内容について報告を行う。

### 2. WIN, WIN-Japanとは

#### 1) WIN (Women in Nuclear)<sup>1)</sup>

WINは、「女性には科学技術や巨大産業に対する特有の見方・感じ方があり、女性や若年層に対しては女性が対応する方が、成果が上がるのではないか」ということから、女性同士のネットワークをつくることにより一般の人々への理解活動において、より成果を上げられるとの考えに立ち、1993年2月、ヨーロッパを中心に設立された。

WIN-Globalは世界組織。

#### 2) WIN-Japan<sup>2)</sup>

日本においても、原子力・放射線分野において広報や技術開発などで活躍する女性が増えてきたが、相互に情報交換する場がなく、ノウハウを効果的に波及させることができない現状があったことから、会員同士の情報交換や相互支援の場として、「WIN-Global」の日本国内組織、「WIN-Japan」が2000年4月に設立された。

国際的にはWIN-Globalの一員として海外との研究交流や国際理解活動を行い、国内においては、原子力や放射線利用についての理解を深めることを目的に活動を行っている。



写真3 基調講演

会員は210名(正会員、準会員、賛助会員、組織会員含む)(2004.8.30現在)。

### 3. 歓迎挨拶

2004年5月18日(火)の総会開催にあたり、WIN-Japan会長の小川順子氏より歓迎の挨拶があった。続いて、WIN-Global会長のアニック・カルニノ氏、また、今回の開催実行委員長、原子力委員の本元教子氏より挨拶があった。

### 4. 基調講演

歓迎挨拶の後、①「岐路に立つ日本のエネルギー政策」と題して参議院の加納時男氏、②「動き出した日本の男女共同参画社会」と題して内閣府男女共同参画局長の名取はにわ氏の講演が行われた。

講演内容についての報告は省略するが、加納時男氏の講演は、原子力の理解活動を行っていく上で大きな励ましになる内容であり、名取はにわ氏の講演は、原子力や社会における女性の重要な役割を認識する内容であった。

### 5. WIN-Global総会

休憩をはさみ、WIN-Global総会が開催された。席上、WIN-Global次期会長にWIN-Japan会長小川順子氏が選任され、満場一致で承認された。ヨーロッパ地域以外からの選任は初であるとのこと。

### 6. 技術講演

昼食終了後、技術講演が行われた。①「原子力のリスクと安全目標」と題して前原子力安全委員



写真4 WIN-Global総会

長代理の松原純子氏、②「原子力産業で活躍するロボットたち」と題して三菱重工株式会社の大西典子氏の講演が行われた。

## 7. 各国からの報告

各国代表によりWIN活動報告および原子力事情について、17ヶ国より報告があった。オーストラリア、カナダ、チェコ、フィンランド、フランス、インドネシア、日本、韓国、パキスタン、フィリピン、スペイン、スウェーデン、スイス、台湾、アメリカ、ベトナム、スロバキアである。

この内、インドネシア、フィリピン、パキスタンは今回初めての報告であった。

ベトナム、フィリピン、パキスタンについてはWIN国内組織がまだないが、各国とも今後の取り組みについて大変意欲的であった。

各国からの報告が終了後、歓迎レセプションが



写真5 各国からの報告



写真6 テーマ別セッション風景

行われ、5月18日のプログラムは終了した。

## 8. キーノートセッション

2004年5月19日（水）最初のプログラムであるキーノートセッションが行われた。「高温ガス炉による水素製造研究開発」と題して日本原子力研究所の小川益郎氏の講演が行われた。原子力の新たな利用として注目される内容であった。

## 9. テーマ別 技術セッション

テーマによって会場が分かれ、技術セッションが行われた。私達は、台湾、オーストラリアのWIN会員によるセッション「コミュニケーション」、フランスのWIN会員および原子力に限らずエネルギー全般の理解活動を目的としたWEN<sup>3)</sup> (Women's Energy Network) 会員（日本）によるセッション「原子力教育・普及活動」会場へ移動した。会場では積極的な討議が重ねられた。また、WENの活動紹介「次世代層を中心とした一般の方を対象に行っている“原子力オープンスクール”」は、大変興味深い内容であった。

次に、今回の年次大会のメインイベントとも呼べる「国際市民フォーラム」について報告する。

## 10. 国際市民フォーラム

第12回WIN-Global年次大会イベントとして「国際市民フォーラムが」、2004年5月19日（水）(14:00~17:00)、経団連ホール（東京都千代田区大手町にある経団連会館14階）で開催された。

参加は無料で、事前にWIN国際市民フォーラム事務局に申込を行い、登録を済ませでの参加。

各国WIN会員がパネリストとして、一般の人々と意見を交わすという、年次大会では初めての試みとのこと。各地域から多くの方々の参加があり、開始時間前には、会場（1階、2階の固定席は472席）は、ほとんど満席になっていた。

・国際市民フォーラムのテーマ；「21世紀のエネルギー、原子力は選択されるか」

・パネリストおよびコーディネータ；

◎ゲストパネリスト；蟹瀬誠一氏（日本）キャスター／ジャーナリスト

◎パネリスト；アニック・カルニノ氏（フランス）

元WIN-Global会長／元IAEA 原子力施設安全部長、アンネリ・ニクラ氏（フィンランド）テオリスーデン・ボイマ社（TVO）広報局長、エレン・ジンズバーグ氏（アメリカ）米国エネルギー協会（NEI）法律顧問、ピョンジョー・ミン氏（韓国）韓国原子力研究所（KAERI）、CANDU炉安全解析プロジェクトマネージャ、小川順子氏（日本）WIN-Japan会長（新WIN-Global会長に就任）、日本原子力発電株式会社広報室調査役

◎コーディネータ；木元教子（日本）原子力委員／ジャーナリスト

開会宣言の後、進行をコーディネータである木元氏にバトンタッチされ、ディスカッションが始まった。

### 1) 第一部 パネルディスカッション「21世紀のエネルギー、原子力は選択されるか」

#### (1) 各国の原子力情勢とその課題

パネリストより、各国の原子力情勢とその課題について紹介がなされた。

①日本（小川順子氏）；

「日本の電力の31%（2002年度データ）は原子力によるもの。安全が一番と考えている。今後の課題としては、原子燃料サイクル、プルサーマル計画と考える。」

プロジェクトを使用した、図による分かりやすい説明がされた。

蟹瀬氏から日本の原子力情勢について、「平和利用のスタート。原子力は100%安全だという国政と国民の認識（特に広島や長崎の方）とのギャップがある。チェルノブイリの事故、JCOの事故、東電問題からの日本の情勢と世界の情勢について本会で話していきたい。」とのコメントがあった。

②フィンランド（アンネリ・ニクラ氏）；

原子力発電所の新設が議会で決まった背景も含めて紹介された。

「新設の背景は、電力消費量の増加（10年で25%増）、CO<sub>2</sub>排出量（削減）の目標を達成するため、電力コストの安定のためである。国内にエネルギー資源がほとんどなく、エネルギーの5割を外国からの輸入に頼っているため、これ以上増



写真7 国際市民フォーラム風景

やすわけにはいかない。課題は使用済燃料、廃棄物の削減。廃棄物については立地場所も決定している。新原子力発電所の立地にあたっては、市民の23%が反対だが半分以上が賛成。10年間で意見に変化がある。」

③EU；

EUおよびヨーロッパでの原子力情勢について、フランス（アニック・カルニノ氏）より、紹介された。

「2003年の11月にだされたグリーンブックにより、原子力発電をエネルギーミックスの中心に位置付けるべきであると結論付けられ、各国で選択肢として原子力が本格的に考慮されるようになってきている。国民も原子力撤廃のリスク、つまり、エネルギー供給の安定と保証（石油価格の高騰化）、環境（CO<sub>2</sub>、京都議定書遵守）、コスト増について理解しつつあり、引き続き国は国民への理解のための情報提供に努める必要がある。」

・フランス；

「2004年5月以降にエネルギー供給の保証がメインであると議会にて決定された。価格、安全性、雇用の確保、代替エネルギーに対して電力の約8割を原子力に頼っている現状をふまえて、原子力撤廃した場合のエネルギー政策協議を去年から実施している。」

・イタリア；

「段階的撤退を決めたが、2003年の大停電において、エネルギーミックスの中に原子力を含めることが、（国民の）意識の中に盛り込まれた。」

・ドイツ；

「現在使用されている原子力発電所の寿命が来た時点での閉鎖を考えている。現在、閉鎖した場合の代替エネルギー、および廃棄物処理について検討されている。」

・スイス；

「国民投票により反原子力が出されたが、原子力をそのまま維持することが選択された。(原子力を撤退するとコスト大ということを訴えたため)。」

・フランス (アニック・カルニノ氏) より；

「よって、ヨーロッパとしては、原子力を撤廃するにあたってコストがかかることへの理解、また、輸入や代替エネルギーも費用がかかる、京都議定書を守るには原子力発電が必要ということより、エネルギーミックスの中に原子力発電を盛り込む。原子力が選択肢の一つとされているようである。」

④アジア；

台湾、インド、パキスタン、中国、韓国、日本の原子力事情につき、日本 (小川順子氏) より、原子力発電所の現在の稼働基数と新規建設の予定について紹介された。韓国については、ビョンジョー・ミン氏より紹介された。

・「台湾6基、2基建設中。インド14基、9基建設中。パキスタン6基、建設中なし。中国5基、新規建設については30~40基とも言われている。日本は2010年迄に5基を (2002年度データ) 運転開始予定。」

・韓国 (ビョンジョー・ミン氏) ；

「原子力エネルギーの開発状況としては、新規の原子力発電の建設に力を入れている。再処理はしない。課題としては、放射性廃棄物の貯蔵地、2016年に建設予定だが、立地場所が決定されていない。高レベル廃棄物はまだ決定されていない。当分の間は発電所内に置いておく。反対派の人も増えており、一般の人々にどのように理解してもらうかが課題。小型、中型、コージェネの開発および利用方法も考えていきたい。」

⑤アメリカ (エレン・ジンズバーグ氏) ；

「新規に、原子力を使った発電が必要。今後の予測として、20年間で電力需要が50%増加する見込み。原油価格の高騰化、風力などの自然エネル

ギーはコストが大、石炭はCO<sub>2</sub>を発生する、天然ガスはアメリカではいまだ高い、よって、アメリカの電力ユースとしては何が選ばれるか今こそ考えるべきであり、環境やコスト面から考えると原子力ではないか？世論でも原子力の支持が安定して増えてきている。原子力の支持65%が安全性を理解している。原子力の稼働率は20年前と比べ2倍に上がってきている。課題としては、安全という実績をこれから積み上げていく必要がある。ビジョン2020という50,000MWeの新たな原子力による発電量を増加するプロジェクトがある。これは1基1,000MWeの原子力発電所を仮定すると50基分に相当する。政府は現時点では支援。現在の原子力立地契約を延期する方向。」

木元氏より、アメリカの原子力発電所の稼働率が90%とのことから、定期点検の期間について質問があり、次のような回答があった。

「定期点検の期間は1100時間ごとに行われ、グリーンゾーンに収まっていれば現状とし、収まっていなければ定期点検を再度頻繁に行う。点検するポイント、ゾーンを決定して進めることができるようになった。危険度の高いところは入念に監査して行う。クリティカルなポイントを決定して実施する。」

蟹瀬氏より、これまでの各国の情勢について次のようにコメントされた。

「原子力は、推進国とフェーズアウトしていく国とに分かれると考える。日本はというと、エネルギー安全保障、原発のリスク、廃棄物処理のコスト、廃止措置のコストを考えていかなければならない。原子力は放射性物質を扱うものであり、核の問題など、色々な複雑な要素がある。原子力が誰の選択であるかが大事。政府なのか国民なのか。」

各国の状況より、キーワードとして、エネルギーミックスか、オールorナッシングかが上げられる。色々なエネルギーのミックス、ベストミックスを考え、原子力のミックス度合い、バランスを考えていく方が選ばれていくのではないか。」

(2) 核燃料サイクルについて各国の情勢

木元氏より各国の核燃料サイクルについて紹介が求められた。

①日本 (小川順子氏) ；

「再処理循環の輪を早く循環させようというのが国の広報。日本のエネルギーの自立を考える。」

②フランス (アニック・カルニノ氏) ；

「再処理をあきらめたわけではない。エネルギー政策の再検討をする。第四世代の開発がされる。」

③韓国 (ビョンジョー・ミン氏) ；

「研修者としては再処理を実現したいが、前大統領の政策で国内で再処理はしない。他国で再処理してもらって、それを利用する研究はしている。」

④アメリカ (エレン・ジンズバーグ氏) ；

「韓国同様に再処理はしない、直接地層処分計画は進んでいる。」

⑤フィンランド (アンネリ・ニクラ氏) ；

「再処理はしない。直接処分する。理由としてはコストが高い、4基しかないので経済性がよくない。また、地盤が安定しているので、安全に処分できる。」

(3) 21世紀の原子力が選択される場合とされない場合

木元氏より21世紀のエネルギーとして原子力が選択される場合とされない場合について各国の意見が求められた。

①アメリカ (エレン・ジンズバーグ氏) ；

「大気の浄化、廃棄物が上手に処理されれば問題はない。燃料の転換については、一つのエネルギーに依存するのは危険 (石油のみに依存など)。原子力がこれを緩和できるのではないか。エネルギーミックスである。」

②蟹瀬氏；

「人間が生み出した毒がダイオキシン、プルトニウム (MOXもその中に含まれる)。エネルギーミックスには賛成。廃棄物は次世代の人達がそれで良いのかを考えなければならない、電力の需要についてはライフスタイルが見直されて (スローライフ) いくのではないか。」

③フランス (アニック・カルニノ氏) ；

「グローバル化の施策に別の方向思想では？エネルギー消費は増えていく方向 (発展途上国) だと普通は考えられるのでは？」

木元氏より、「原子力が唯一の選択肢ではないが、20年後原子力を選択していくことになるので

はないかと感じる。融合プロセスが実現されていくことになるのではないか。」

④フィンランド (アンネリ・ニクラ氏) ；

「原子力が唯一の選択肢とは思わない。原子力+環境エネルギーであろう。ライフスタイルとしては、フィンランド人は暖かい家が好き。次世代の人々は原子力をエネルギーの選択肢として残したことを感謝する時がくるのでは。」

⑤日本 (小川順子氏) ；

「原子力は近未来最も有力な選択肢の一つとなる。国民の理解を得るのは難しいが、原子力に係わる人々の“自信”と“情熱”を失わず、信念を変えずに持ちつづけたい。5月18日の基調講演時に加納氏より良い言葉をいただいた。“原子力に係わる人々は決してあきらめない。今までもあきらめなかったし、これからもあきらめないだろう”。国民から選択されないとすれば、“自信”と“情熱”がなくなった時である。」

## 2) 第二部「会場との意見交換」

休憩を挟み、次に会場からの質問により、ディスカッションが始まった。

(1) 茨城県の地元の方より；

「フランスでの事故はなかったか？ドイツは原子力をやめたら何を利用するのか？」

フランス (アニック・カルニノ氏) より次のように説明が行われた。

・フランス；

「事故はない。1979年のスリーマイルアイランド原子力発電所事故、1986年のチェルノブイリ原発事故以降、安全管理を専門とした体制を整え、事前に推測し対策を行ってきた。」

・ドイツ；

「原子力については10年後に再検討する。(政権が変わると政策が変わる)。再生可能エネルギー (風力など) が推奨されているが、熱波の時は風が吹かず、停電の危機があった。エネルギーミックスが良いと考える。また、フランスからのエネルギーの輸入を増やす方向が考えられている。アメリカ、イギリス、イタリアの大停電があったことより、エネルギー供給バランスがきちんとなければならないと痛感されたはず。」

また、木元氏より次のように説明が行われた。

「アメリカ停電後、送電線網の見直しを行った際、原子力発電所は問題がなかったそうである。停電後に認識されたこのことに関心が高まった。」

(2) 福島県 東京電力(株)福島第一原子力発電所立地地域の方より；

「原子力は選択されると思う。核燃料サイクルを安全に進めて行って欲しい。また、安全に処分してもらいたい。原子力における不安感を除くことは難しい。各国への質問として、原子力発電所と地元の人家からの距離はどのくらいか？」

パネリストより次のように説明が行われた。

①フィンランド（アンネリ・ニクラ氏）；

「原子力発電所は小さな島に立地している。サイトの近くに住んでいる人は少ない。人口は約500万人。セキュリティエリアは約500m。」

②韓国（ピョンジョー・ミン氏）；

「これは設計する段階で、法律で決められている。PWRは約560m, CANDUは960m。CANDUについてはカナダの法律をそのまま採用した。」

③アメリカ（エレン・ジンズバーグ氏）；

「原子力発電所はかなり近くに住んでいる。住民の60%~70%の人が近くに発電所を作って良いと言っている。新しい立地を求めた時に受け入れられる確率は大きい。立地地域への経済効果が大きい。」

④ヨーロッパについてフランス（アニック・カルニノ氏）より；

「ヨーロッパは立地にあたっての距離が決まっているが、同じくらいである。イギリスではいろいろ計画があった時に100m近くに住んでいる人が同じ所に建てて欲しいとも言われた。安全に関して国際的になってきた。IAEAの安全基準で、国際的な各国の専門家を集めて各国をまわり、安全審査を行うと安全性が進歩するのでは。」

(3) 福井県 関西電力(株)美浜原子力発電所 立地地域の方より；

「原子力の寿命が30年と言われていたが、延びることになり不安である。廃棄物の中間貯蔵は50年ということであったが、また延びるのでないか？キャスク保管など、安全なのはわかるのだが、材質の老朽化が心配。また、ミスは人的なもので、



写真8 国際市民フォーラム風景

作る人と操作する人が違うからと考える。電力会社と地元住民のコミュニケーションを図って欲しい。電力だけでなく、国もきちんと顔を出して責任を明確にして美浜町に説明して欲しい。」

木元氏より；

「延長にあたっては、きちんと審査がされるので、パーツを取替えて行くなど、問題ないと考えられる。中間貯蔵については、50年間の保管は電力と県が計画。40年経った時点で使用済燃料について計画書を提出する必要がある、50年経過するまでには方針が決定する。よって50年以上延びることは考えられない。」

また、人材教育やトレーニング、モラル向上について電力会社や国も取り組んでいる、高レベル放射性廃棄物処分については最終的には国が責任を取るということは明確になっているが、国はもっと顔を出すべきであると思う。地元と事業者のコミュニケーションの場所はあるはずで、疑問点などあればどんどん言って欲しい。」

(4) 茨城県 東海村の方より；

「私たちの世代には原子力、放射線について危険であるという意識が強い。しかし、これからのエネルギーについて、医療の面（利点）についても、原子力の若い世代への教育方法をどう考えているか、東海村では大半の方が共存共栄であると認識している。リサイクル、プルサーマルを進めていく中で、村民の中にどう理解をしてもらうか、PRしていくかが大事だと考える。どのように進めていくのか？」

木元氏より「教育という議題があがったので、

各国ではどのように考え進められているか。」と提起があった。

①韓国（ピョンジョー・ミン氏）；

「現段階ではないが、原子力を教育するためのプログラムがある。一つは原子力安全チャット。技術者、オペレータ、国民に対するものである。安全のことを考えながら行っていく。また、小中高生への教育、放射線利用を一般の方にもPR、原子力の応用PR、一般の人とのコミュニケーションなど、色々なところから進めていこうというもの。始めたばかりである。」

②蟹瀬氏；

「リスクも含めて教育が必要。マスメディアが危険と判断する認知度は？放射線利用の情報公開が必要。日本は、安全神話から入っている。100%安全ではなく、危険である。しかし、それをどう活用するか？として伝えることが良い。」

③アメリカ（エレン・ジンズバーグ氏）；

「参加型教育が必要。教材のバランスも大事。相対的な原子力のリスクを分かりやすく教育すべき。原子力、核というのは公にする法度。かなりの情報を公に開示しているが、セキュリティ面から出せない情報もある。住民参加は法的に決められ、許可の更新についても地元参加。正当性、安全性について話し合わせ決定される。懸念の提示が行い合える環境がある。」

④フランス（アニック・カルニノ氏）；

a. 地元コミュニティ；正しい情報にて教育を行う。地元の情報担当委員会（マスコミ、ジャーナリスト、地元）全ての情報を理解できるように説明を行う運用をしていく。

b. 正しい情報；きちんとした情報を伝え、提供したい、教育プログラムの中に入れるようにしたい。

c. リスク；一般市民はリスクゼロが望ましいが、リスクゼロは非現実的。原子力産業での安全性（概念がつねに進化してきた）として、安全性を担保することによりリスクは低減する。また、ヒューマンエラーの防止と管理である。」

⑤フィンランド（アンネリ・ニクラ氏）；

「若い人々の国際関係、交流の中から、原子力に興味を持つことにより、学習効果を上げられる

のでは。こういったシステムの向上より安全性の概念は高まっていく。若い人々に原子力について興味を持ってもらいたい。」

(5) パキスタン（会場からWIN会員）；

「午前中のセッションで水素エネルギーについて大変興味をもった。水素エネルギーはこれからの20年間で使用することができるのだろうか？」

①木元氏；

「水素社会になるとしてもむずかしいであろう。今は天然ガスから製造する方法が主流であるがコストが高い。原子力の高温ガス炉から水素を作るというのは、実験もして効果も出ているが、現実の私たちの日常生活に入ってくるのはかなり先のこととなる。だが、水素利用については将来的には大切なことである。」

②フランス（アニック・カルニノ氏）；

「午前中の講義では、原子力発電所の使用目的は発電であるが、それ以外の目的でも使用できるということであった。例えば、原子力発電所の施設を使って海水を水にするとか、原子力から電力ではなく水素を作るなどである。」

(6) 原子力に対する期待

木元氏より市民フォーラムを終了するにあたり、原子力に対する期待について各パネリストの方へ意見が求められた。

①日本（小川順子氏）；

「技術的不安は解決できるが、心理的、内面的不安を解決するのがWINの仕事である。」

②フィンランド（アンネリ・ニクラ氏）；

「どんなエネルギーにも長所と短所がある。原子力の長所を有効に利用していきたい。」

③韓国（ピョンジョー・ミン氏）；

「安全に対する課題をどのように解決するかが技術者の課題である。」

④蟹瀬氏；

「近未来的には、原子力は必要である。将来的には水素エネルギーになる。原子力は水素社会までのつなぎ。原子力はフェーズアウト。」

⑤アメリカ（エレン・ジンズバーグ氏）；

「原子力は大きな貢献をし続けるだろう。国民へのメリットを政府がもっと伝えるべきである。」

⑥フランス（アニック・カルニノ氏）；

「原子力産業の応用技術を信じている。応用分野の開発、エネルギーオプションの一部、透明性を確保する。(きちんと説明をする)。原子力のメリットはどうか、安全性の進歩によるメリットを説明する。政治家、一般の方とのコミュニケーションをするべき。原子力エネルギーは何が大切なのかを認識するべきである。」

以上をもって、市民フォーラムが終了した。会場とパネリストによる積極的なディスカッションがなされ、3時間という時間が足りないと感じるほど、充実した内容であった。

## 11. 最後 に

今回WIN-Global年次大会に参加して最も感じたことは、正確な情報の公開と次世代教育の重要性であった。正しい情報を伝え理解してもらうことが重要であり、最大の課題であると思う。

国際市民フォーラムでは、日本での原子力施設の立地地域の方々と、各国の原子力に携わる女性達との意見交換がなされたこと、そして原子力・放射線分野で活躍する世界各国の女性達と交流できたことは、WIN会員ではないが、原子力に携わり理解活動を行っている私達にとっても大きな成果であったと感じられる、充実した内容であった。残念だったのは、時間の関係から、地元住民の方々の質問を十分に受けきれない部分があったこと。だが、本大会をきっかけとして、一般の方々の原子力への疑問を一つ一つ丁寧に受け止め、説明を行っていく場が、国内だけでなく、国際交流の場として国際的に行われていくようにな

ると良いと思った。

私達の隣に座られた女性グループは、伊方の地元住民の方、愛媛から来られた方であった。非常に良く勉強されており、知識も豊富な方々であった。ディスカッションを熱心に聞かれており、パネリストの意見にグループ内で討議(小声)を交わっていた。フォーラム終了後、私達との会話の中で、アメリカの原子力情勢から、「それならば何故、アメリカは京都議定書から離脱したのか?」と言われていた。

今回の年次大会は、女性達によるこれからの原子力に大きな展望を感じさせる内容であり、本大会への参加をとおり、各国の情勢、原子力に対する意見を直に自分の耳で聞くことができたことは、理解活動を行っていくにあたっての大きなステップとなった。

原子力を一般の方々に理解いただくのは難しいが、今回、エネルギーミックスというキーワードを得られた。自然エネルギー技術の発展、原子力のさらなる技術の発展を願いながら、理解活動を地道に続けていこうと再認識をした年次大会であった。

最後に、WIN-Global年次大会を主催されたWIN-Japanの皆様に、感謝とお礼を申し上げます。

参考資料およびホームページ

- 1) <http://www.win-global.org>
- 2) <http://www.win-japan.org>
- 3) <http://www.ne.jp/asahi/wen/net/>  
・第12回WIN-Global年次大会配付資料



写真9 WIN-Global年次大会 出席者 集合写真

# ヘリウムガス冷却炉プラント動特性解析コードの開発

## Development of a Plant Dynamics Simulation Code for Helium Gas Cooled Reactors

佐藤 学\* 森山 耕一\*\* 西村 元彦\*\*\* 前川 勇\*  
Manabu Sato Kouichi Moriyama Motohiko Nishimura Isamu Maekawa

### 〔概要〕

ヘリウムガス冷却ガスタービン発電炉を対象として、事故時のプラント動特性をより現実的に評価できる解析コードを開発した。本コードは1点近似炉心動特性モデル、炉容器内多次元流動解析モデル、およびガスタービン発電系ボリュウムジャンクションモデルを連成させ炉心、原子炉冷却系、ガスタービン系を統一的に取り扱うことができる。

### 1. はじめに

2000年に米国DOEの提唱により発足した第4世代原子力システム国際フォーラム(Generation IV International Forum: GIF)では、将来のエネルギー需要、社会的ニーズに合致し、全世界的に受け入れられる原子力システムの開発に向けた国際協力の呼びかけを行ない、革新的原子力システム開発が行われている。その中でこれまでの検討により、第4世代原子力システムに求められている「持続性(資源有効利用、環境負荷低減、核不拡散)」、「安全性」、「経済性」の要件を満たし、2030年までに実用化が可能と考えられる概念として、ナトリウム冷却炉以外にも、ガス冷却高速炉や超高温ガス炉が選定されている。

また核燃料サイクル開発機構においても、将来の高速炉の実用化像を構築することを目的として実施されている実用化戦略研究において、従来扱ってきたナトリウム冷却高速炉に留まらず、幅広い選択肢としてヘリウムを利用するガス冷却高速炉も検討対象としている。ヘリウムガス冷却高速炉の既往研究において、ガスタービン系統と炉心

核-熱流動を連成させて安全評価を行った例はなく、より現実的な当該プラントの動特性評価が求められている。その中で想定事故事象の一つである全電源喪失による長期の自然循環崩壊熱除去特性について着目すると、冷却材が気体の場合には、温度の上昇とともに流体粘性の増加、流動抵抗の増大による高温集合体流量の減少を招くだけでなく、層流域における炉心領域の流動抵抗係数が流量すなわち流速に反比例するため、流量低下と流体温度上昇の悪循環を生じる。したがって、ガス冷却炉においては、ナトリウム炉のように高発熱集合体が流量再配分によって優先的に冷却される保証はないため、自然循環崩壊熱除去の成立性については注意深い検討が必要である。

そこで、川崎重工業(株)では、ヘリウムガス冷却炉に関するプラント動特性解析コードの開発を実施し、より現実的な当該プラントの動特性評価を可能とした。

### 2. 開発コード概要

解析コードの開発に当たっては、当社所有のガス冷却高速炉用核熱結合炉心動特性コード(MR-

\*川崎重工業(株) プラントビジネスセンター 新事業・技術開発部 開発企画グループ

\*\*同社 プラントビジネスセンター 業務IT推進部 IT支援グループ

\*\*\*同社 技術開発本部 技術研究所 熱技術研究部 エンジニンググループ

X) の一点近似動特性方程式機能, およびガスタービン直接発電系とその二次冷却系の動特性解析機能を使用し, 炉容器内は当社所有のポーラスボディモデルを用いた多次元解析コード (Zephyrus) を適用した。以下に解析コードの特徴を示す。

**2.1. 多次元熱流動解析部 (原子炉本体熱流動解析に使用: 表1, 表2に概要を記載)**

多次元熱流動解析部では多次元 (1~3次元) の定常, 非定常の熱流動を取り扱うと同時に, 多次元流体に含まれる構造物を模擬し, 構造物~流体間の熱交換を考慮できる。以下に非定常3次元非圧縮性流体の伝熱流動基礎式 (円筒座標系表示) を示す。

連続の式 (従属変数: 密度)

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r\rho u) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} (\rho v) + \frac{\partial}{\partial z} (\rho w) = 0$$

運動方程式r方向 (従属変数: u)

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial t} (\rho u) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r\rho u^2) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} (\rho uv) + \frac{\partial}{\partial z} (\rho uw) - \frac{\rho v^2}{r} \\ &= -\frac{\partial p}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r\mu \frac{\partial u}{\partial r} \right) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} \left( \mu \frac{\partial u}{\partial \theta} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \mu \frac{\partial u}{\partial z} \right) \\ &+ \rho g_r + V_r + R_r \end{aligned}$$

運動方程式θ方向 (従属変数: v)

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial t} (\rho v) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r\rho uv) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} (\rho v^2) + \frac{\partial}{\partial z} (\rho uv) + \frac{\rho uv}{r} \\ &= -\frac{1}{r} \frac{\partial p}{\partial \theta} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r\mu \frac{\partial v}{\partial r} \right) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} \left( \mu \frac{\partial v}{\partial \theta} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \mu \frac{\partial v}{\partial z} \right) \\ &+ \rho g_\theta + V_\theta + R_\theta \end{aligned}$$

運動方程式z方向 (従属変数: w)

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial t} (\rho w) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r\rho uw) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} (\rho vw) + \frac{\partial}{\partial z} (\rho w^2) \\ &= -\frac{\partial p}{\partial z} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r\mu \frac{\partial w}{\partial r} \right) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} \left( \mu \frac{\partial w}{\partial \theta} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \mu \frac{\partial w}{\partial z} \right) \\ &+ \rho g_z + V_z + R_z \end{aligned}$$

エネルギー式 (従属変数: h)

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial t} (\rho h) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r\rho uh) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} (\rho vh) + \frac{\partial}{\partial z} (\rho wh) \\ &= \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\lambda}{C_p} \frac{\partial h}{\partial r} \right) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} \left( \frac{\lambda}{C_p} \frac{\partial h}{\partial \theta} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{\lambda}{C_p} \frac{\partial h}{\partial z} \right) \\ &+ Q \end{aligned}$$

- μ : 粘性係数
- λ : 熱伝導率
- Cp : 定圧比熱
- g : 重力加速度
- V : 付加粘性項
- R : 外力項
- Q : 発熱項

流体領域については, 内・外部流れの強制・共存・自然対流場における流速, 温度, 2成分拡散の濃度, および乱流量の分布を計算可能である。また, ポーラスボディモデルの使用により, 炉心内の複雑な構造物を含む流れを取り扱うことができる。

構造体モデルは, 流体と接する構造物との熱的連成問題を取り扱うと同時に, 構造物自身の発熱 (例えば原子炉の燃料ピンなど) および吸熱を考慮できる。また, 構造物表面間の放射伝熱も計算できる。

表1 多次元解析部の解析対象事項と解析項目

事象	解析項目
1. 定常状態 (定格, 部分負荷)	流体領域: 速度分布 温度分布
2. 過渡状態	構造物: 温度分布 ・伝熱管モデル 管側流量配分 管側温度分布

表2 多次元解析部の基本解析モデルと数値計算法

基本解析モデル	基礎式: (ρ, u, v, w, p, h) 形式
その他:	ポーラスモデル
流動抵抗モデル	(流動抵抗係数は, レイノルズ数の依存性を考慮)
伝熱モデル	(熱伝達率は, レイノルズ数, およびプラントル数の依存度を考慮)
数値計算法	計算アルゴリズム: SIMPLEST-ANL法
線形化法:	逐次代入法
マトリクス解法:	MICCG法 (圧力) P-SOR法 (圧力, エンタルピー)
差分法	対流項: 1次精度, SkewUpind 法
拡散項:	2次精度, 中心差分
時間的積分法:	オイラー陰解法

**2.2. 核熱結合炉心動特性解析部**

炉心動特性解析部では, 炉心を1点近似モデルで模擬し, 原子炉出力は1点近似動特性方程式に従う。基礎式を以下に示す。

$$\frac{dN(t)}{dt} = \frac{\rho(t) - \beta}{l} \cdot N(t) + \sum_{i=1}^6 \lambda_i C_i(t) + S(t)$$

$$\frac{dC_i(t)}{dt} = \frac{\beta}{l} \cdot N(t) - \lambda_i \cdot C_i(t)_{i=1,6}$$

$$\rho(t) = \rho_{ex}(t) + \rho_{temp}(T) + \rho_{CR}(t)$$

- N(t) : 原子力出力
- ρ(t) : 正味反応度
- β : 遅発中性子割合
- l : 即発中性子割合
- C<sub>i</sub>(t) : 第i群遅発中性子先行核濃度
- λ<sub>i</sub> : 第i群先行核崩壊定数
- ρ<sub>ex</sub>(t) : 外乱反応度
- ρ<sub>temp</sub>(T) : 温度フィードバック, T温度
- ρ<sub>cr</sub>(t) : スクラム反応度
- t : 時間

方程式の数値解法はE.R.Cohenにより示された修正ルンゲ・クッタ法を使用した。計算時間幅は計算時間の節約し, かつよい精度を得るためにコード内で自動的に調整される。遅発中性子群数は最大6群まで考慮できる。反応度補償として, ドップラ効果, 制御棒挿入効果などが取扱可能である。

炉心への外乱として制御棒引き抜きなどによる反応度外乱, 原子炉圧力の変動, 送風機停止などによる強制循環流量および冷却材入口温度の変動を扱うことができる。

また, 一点動特性方程式以外のオプションとして崩壊熱を取り扱うことも可能である。デフォルトとしてANS標準の崩壊熱曲線が組み込まれ, 一点炉動特性による炉出力が入力で設定された一定値以下になった場合, 崩壊熱に切り替えることができる。

**2.3. ガスタービン直接発電系とその二次冷却系の動特性解析機能 (図1参照)**

1次系流路であるガスタービン直接発電系に関しては, ボリュームジャンクション系の分布定数流路網として取扱う。冷却材のヘリウムガスは理

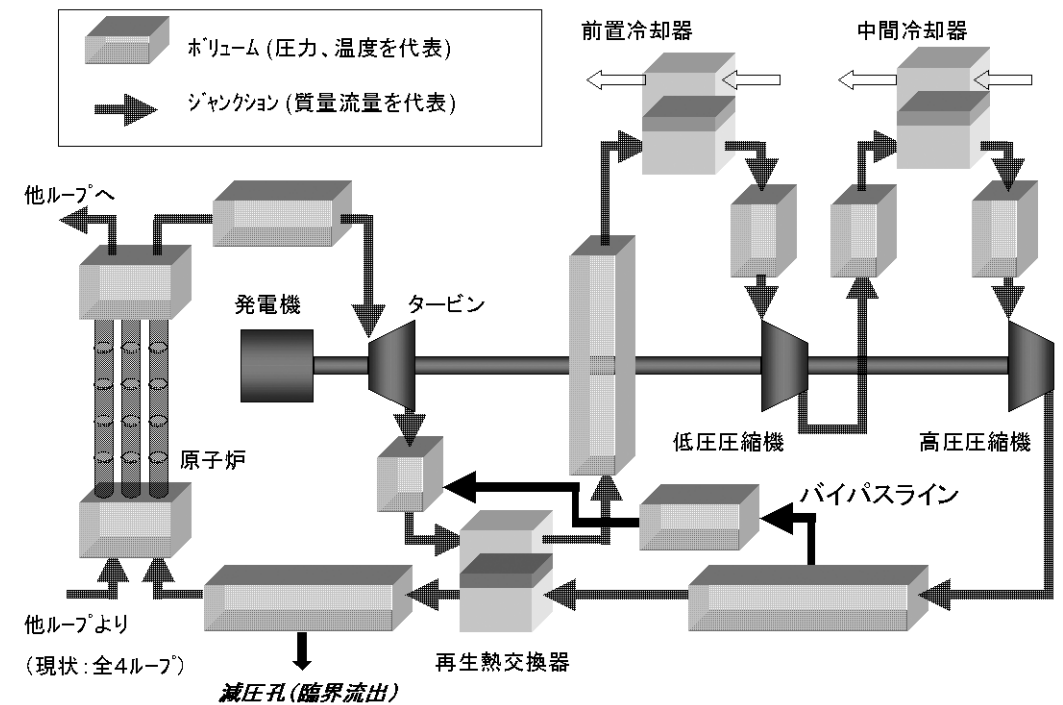


図1 ガスタービン直接発電システムモデル

想気体とし、質量保存則、エネルギー保存則、運動量保存則を適用し、状態方程式を用いることにより、各部の圧力、温度、流量を計算する。以下に一次系流路、およびタービンなどの各付属機器に関する取扱について示す。

(1) 一次系流路

・ボリュームジャンクション系の分布定数流路網としての扱い複数のループの模擬を可能とし、現状は全4ループ、非対称挙動2グループを扱うことができる。

1) ボリューム

・流体は理想気体として扱い、質量保存則、エネルギー保存則を解き、圧力および温度を計算する

$$\frac{M_{t+\Delta t} - M_t}{\Delta t} = \sum \dot{m}_m - \sum \dot{m}_{out}$$

$$\frac{U_{t+\Delta t} - U_t}{\Delta t} = \sum h_m \dot{m}_m - \sum h_{out} \dot{m}_{out}$$

- $M$  : ボリューム質量
- $\dot{m}$  : ジャンクション質量流量
- $U$  : ボリューム内部エネルギー
- $h$  : 比エンタルピー

2) ジャンクション

・運動量保存則を計算し、ジャンクションの流量を計算する

$$\dot{m}_j = \dot{m}_{j0} \sqrt{\frac{\rho_i (P_i - P_{i+1})}{\rho_{i0} (P_{i0} - P_{i+1,0})}}$$

- $P$  : ボリューム圧力
- $\rho$  : ボリューム密度
- 添字 0 : 初期定常状態

(2) タービン、圧縮機

ジャンクションとして扱い、流量と膨張比（圧縮比）、断熱効率の関係を回転数をパラメータとする特性曲線より流量および断熱効率を求める。

(3) 再生熱交換器

- ・使用する形式に即した伝熱相関式を組み込むことが可能である（デフォルトはプレートフィン型対向流モデル）
- ・流れ方向分割数は任意
- ・流体温度：一次、二次側ともに流れ方向で1次

元計算

- ・伝熱管温度：分割位置ごとに1点集中で計算
- (4) 前置冷却器、中間冷却器
  - ・使用する形式に即した伝熱相関式を組み込むことが可能である（デフォルトはヘリカルコイル型対向流モデル）
  - ・流れ方向分割数は任意
  - ・流体温度：一次、二次側ともに流れ方向で1次元計算
  - ・伝熱管温度：分割位置ごとに1点集中で計算
- (5) 冷却水系
  - ・圧縮水閉ループをポンプ、エネルギー保存則、運動量保存則を適用した1次元モデルで解く
- (6) 回転系
  - ・タービン、圧縮機、発電機の1軸構成に対しタービン、圧縮機、発電機のトルクバランスにより、角運動保存則を適用して回転数を計算（ただし発電機併入時は理想的な電力網の負荷特性を仮定して、3600rpm一定とした）

$$I_m \frac{\partial \omega}{\partial t} = \tau_T - \tau_{LC} - \tau_{HC}$$

$$N = \frac{\omega}{2\pi} \times 60$$

- $I_m$  : 軸系慣性モーメント
- $\omega$  : 軸系角速度
- $\tau_T$  : タービントルク
- $\tau_{LC}$  : 低圧圧縮機トルク
- $\tau_{HC}$  : 高圧圧縮機トルク
- $N$  : 軸系回転数

3. おわりに

ヘリウムガス冷却ガスタービン発電炉に関して、1点近似動特性モデル、炉容器内多次元解析モデル、およびガスタービン発電系ボリュームジャンクションモデルを連成させた解析コードを開発した。

今回開発した解析コードを用いることにより、減圧事故時などの炉心冷却性能を原子炉冷却系やガスタービン系の動特性も考慮したより現実的な評価を可能とした。

地域数値環境システムSPEEDI-MPの成果と現状

Research Status and Some Results of Numerical System to Study Regional Environment: SPEEDI-MP

茅野 政道\* 矢部 典雄\*\*  
Masamichi Chino Norio Yabe

【概要】

大気・陸域・海洋環境における地域規模の物質循環をコンピュータにより再現する「数値環境システムSPEEDI-MP」の開発と成果を紹介する。このシステムの目的は、多様な環境汚染問題に適用できるモデル群の整備、大気・海洋・陸域間の包括的な移行挙動の解明、計算科学的な環境挙動研究の基盤形成にある。モデルの整備では、大気、海洋、陸域のモデルと、それらを結合する境界モデルを準備し、結合の仕組みを構築しつつある。すでに、放射性物質の大気拡散予測の高精度化に加え、三宅島噴火により発生する火山ガスの挙動解析、東アジアから飛来するイネウカカの飛来予測など、非原子力分野でのシステムの活用でも成果あげている。

1. はじめに

日本原子力研究所では、大気・陸域・海洋環境における地域規模の物質循環をコンピュータシミュレーションにより総合的に扱うことのできる「数値環境システムSPEEDI-MP」の開発を行っている。このシステムは、国内の原子力事故により環境中に放出される放射性物質の大気拡散をリアルタイムで予測するSPEEDI<sup>1)</sup>、チェルノブイル事故のような国外事故に対応するための世界版SPEEDI (WSPEEDI)<sup>2)</sup>に続く第3世代のSPEEDIであり、従来の放射性物質の大気拡散モデルに加えて、海洋モデルや陸域モデルなど複数の計算モデルが結合されるため、MP (Multi-model Package) と付けられている。

システム開発の目的は、以下のとおりである。

- (1) 多様な環境汚染問題に適用できるモデル群の開発。
- (2) 大気・海洋・陸域間の包括的な移行挙動の解明。
- (3) 計算科学的な環境挙動研究の基盤形成。

2. 地域数値環境システムの概要

2.1. 環境モデル群の開発

環境中の物質循環予測は、通常、汚染物質の輸送媒体（大気、水分など）の移行挙動モデルと、その中に放出される汚染物質の拡散モデルで行われる。

輸送媒体の計算では、領域大気モデルとして、ペンシルベニア州立大学 (PSU) と米国大気研究センター (NCAR) で開発されたコミュニティーモデルMM5<sup>3)</sup>を使用する。MM5は、3次元圧縮系非静力学モデルで、降水の物理過程、積雲や地表面境界のパラメタリゼーションにいくつかのオプションが用意されているため、幅広い大気問題に適用できる。海洋モデルとしては、米国プリンストン大学のコミュニティーモデルPOM<sup>4)</sup>を用いる。POMは、静力学平衡を仮定した海洋力学モデルであり、海洋計算に関する利用実績が最も多いモデルの一つである。陸水モデルとしては、原研がRIVERS<sup>5)</sup>を開発している。RIVERSは、分布型流出モデルであり、地表土壌での水の動きをダ

\*日本原子力研究所 環境科学研究部

\*\*富士通(株) 科学ソリューション事業本部

ルシー則に基づき、3次元的に予測する。また、河川へ流出した水の動きは、マンニングの式で表している。

汚染物質の拡散モデルについては、従来から研究開発を行っている大気拡散の分野で、いくつかの環境問題に対応するために、粒子型および差分型モデルの開発を行っている。原子力分野では、WSPEEDIの性能向上に資するためにMM5と結合できる粒子型の放射性物質の大気拡散モデルを開発<sup>9)</sup>し、放射性物質の降雨による洗浄過程の詳細化や、国外事故時の局地的な大気拡散予測を可能にしている。非原子力分野では、工業地帯などで発生する大気汚染物質の大気中濃度や地面への沈着量を長期的なスパンで予測するため、予測領域を広域と狭域の二領域に設定し、粗い計算格子の広域で汚染物質の大局的な挙動を予測し、その結果を取り入れながら、細かい計算格子の狭域内の詳細な汚染予測を、領域内の汚染物質の発生も考慮して行うことができる差分型モデルを開発した。また、原子力および非原子力共通の課題として、計算予測と環境測定を基にアジアから飛来する汚染物質の発生源を特定する機能を開発し、3.2.で述べるように東アジアから飛来する農業害虫の発生源予測に利用している。

2.2. 包括的な移行挙動の解明

前節で述べた移行媒体の挙動を予測するモデルMM5, POM, RIVERSは、もともとは個別に開発されていたものであるが、ここでは、これらを結合して海表面、地表面での水分や熱、応力フラックスなどの動的交換を可能にし、大気、海洋、陸域での水循環研究を行う(図1参照)。大気と陸

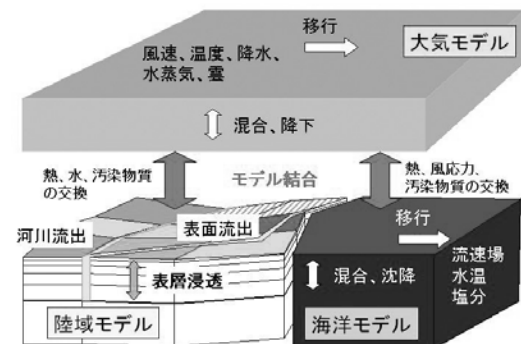


図1 大気、海洋、陸域モデルとその結合の概念

域間の動的な物理量の交換を行うモデルは、原形で開発した1次元の大気-土壌-植生モデルSOLVEG<sup>7)</sup>である。このモデルは、大気、土壌、植生での運動量、熱、水蒸気量などの交換を、拡散方程式、熱伝導方程式、体積含水量に関するダルシー則、熱や水の収支式などにより予測する。また、大気と海洋の結合は、米国環境予測センター(NOAA/NCEP)で開発された波浪モデルWAVEWATCH III(WW3)<sup>8)</sup>で行う。大気モデルMM5および海洋モデルPOMとWW3との物理的結合には、京都大学防災研究所が考案した手法を用いる。

これにより、高精度、高分解能の大気・海洋・地表面予測を高速に行い、種々の環境汚染物質の移行挙動計算に必要な大気・海洋情報などを包括的に提供できる共通モデルが構築される。

2.3. IT技術を活用したシステム化

本システム開発は、IT技術を活用して仮想的な共同研究環境を実現するためのITBL(IT Based Laboratory)計画<sup>9)</sup>のアプリケーションの一つとして位置づけられており、複数計算機による高速計算、システムへの容易なアクセス、ネット上での仮想研究室構築のためのソフトウェア開発を行っている。

具体的には、単体でも大規模な計算コードである大気・海洋・陸域のモデルを高速化するとともに、ITBL環境を活用するため、複数計算機で個別コードを実行し、境界データをネットワークで動的に交換するモデルカップラを開発し、分散環境で大規模計算の効率的実施を可能にする予定である。また、Webベースのシステムアクセス機能、共通データ保存機能、計算の可視化機能、使用計算機の自動選択機能などを整備するとともに、計算機上での研究交流を可能にする電子会議システムの導入を検討する。電子会議では、環境データベース、計算結果などのITBL上のあらゆる情報を即座に共有した議論や、その場での追加計算を可能にし、旧来の会議形式による研究交流にくらべ、格段に内容を充実させる。

これにより、システムに接続した研究機関などによる任意地域の災害の予測や環境研究、迅速な予測結果の検索を可能にする(図2参照)。

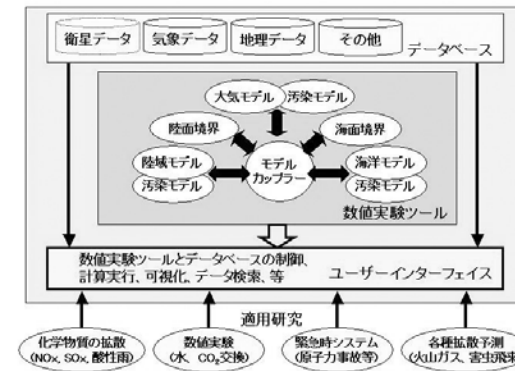


図2 地域数値環境システムSPEEDI-MPの全体図

3. 数値環境システムの適用例

SPEEDI-MPの開発は16年度で5年目にはいるが、大気環境の分野では、すでにその成果を社会に反映しつつある。ここでは、自然災害と農業災害の分野でのシステムの活用について述べる。

3.1. 三宅島噴火への対応

火山国であるわが国は、噴煙による航空機運行障害や溶岩の流出による災害などの問題を抱えているが、2000年7月に始まった三宅島の噴火では、大量の火山ガスの放出により、西関東の各地で環境基準を越える二酸化硫黄(SO<sub>2</sub>)濃度上昇や異臭の問題が新たに発生した。高濃度のSO<sub>2</sub>は健康に悪影響を及ぼすだけでなく、半導体製造などの産業にも損失をもたらすことが明らかになっている。また、三宅島噴火の場合、これまでのSO<sub>2</sub>放出量は、化石燃料の燃焼を中心とした中国の年間排出量の80~90%にあたる約1800万トンにのぼり、SO<sub>2</sub>は化学反応により酸性雨原因物質の一つである硫酸イオンを生成するため、降雨とともに硫酸イオンが地表に蓄積し、環境に影響を与える可能性もある。

そのため、本システムを用いて、2000年8月に関東西部を中心に発生した異臭騒ぎと三宅島火山ガスとの関連の解明、本州中部での大気中濃度予測とインターネットによる公開、噴火開始から本年7月まで3年間の硫酸イオンの湿性沈着量の増加マップの作成を行った。

(1) 2000年8月の異臭騒ぎの解明<sup>10)</sup>

シミュレーションでは、気象庁の日本域気象予

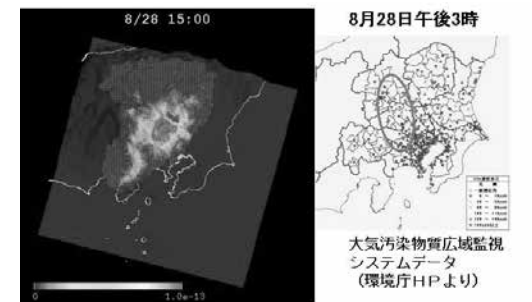


図3 2000年8月28日午後3時のシミュレーション(左)と観測値(右)の比較。ガスが地上に達している部分(ガスの濃い部分)は関東西部と伊豆半島の北側である。関東地方の地上測定の結果では、計算よりやや南に高濃度が出現するが(丸印)傾向はよく一致している。また、静岡県内の測定データでは、三島や裾野市で昼頃高濃度が出現しており、矛盾がない

報(RSM)をもとに、8月28日の3次元的な風の流れと大気の安定状態を大気力学モデルにより1時間毎に予測し、高さ2000mの柱状の噴煙を模擬した多数の粒子群を風下に拡散させて、SO<sub>2</sub>濃度の時間変化を解析した。その結果、28日の午前0時から3時頃に放出されたSO<sub>2</sub>が、南から南南東の風に乗って関東西部に到達し、さらに海風に乗って栃木、群馬方面に拡散していると推定された。また、午前4時から5時頃に放出されたSO<sub>2</sub>は、南南東の風により伊豆半島の方向に流され、半島の山塊の影響で平野部に達し、静岡、山梨方面に影響を与えていると推定できた。これらは、環境庁の「大気汚染物質広域監視システム」で観測された高濃度汚染の出現地域ともよく一致している(図3参照)。このことから、異臭の原因が夜間に三宅島から噴出した火山性ガスであることは、ほぼ確実といえる。

計算結果によれば、8月28日未明から明け方にかけて放出されたガスが、夜間の安定した南風に乗って高濃度のまま関東地方西部の上空に達し、その後、日中の強い日差しによる大気混合により一部が急激に地上に下降して内陸に運ばれたことが原因と推定できる(図4参照)。また、シミュレーションによる予測濃度と、測定結果の比較からSO<sub>2</sub>の放出量を概算すると、28日未明から明け方にかけての放出量は数千から1万トン程度であったと推定できた。この値は、後に観測により明らかにされた放出量とよく一致している。

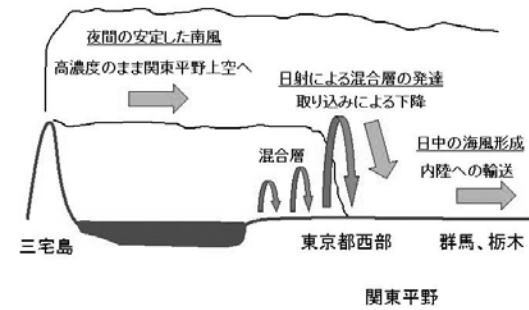


図4 三宅島火山ガスの関東地方への侵入プロセス (2000年8月28日)

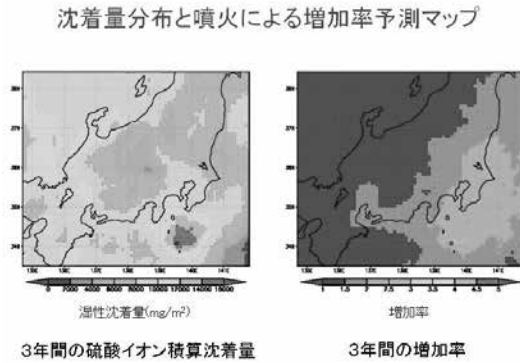


図6 噴火から3年間の硫酸イオンの湿性沈着量を積算した分布図と、三宅島火山ガスによる硫酸イオンの湿性沈着量の3年間の増加率。関東地方で1.5~2.5倍の増加、東海地方でも1.5~2.0倍の増加が見られる

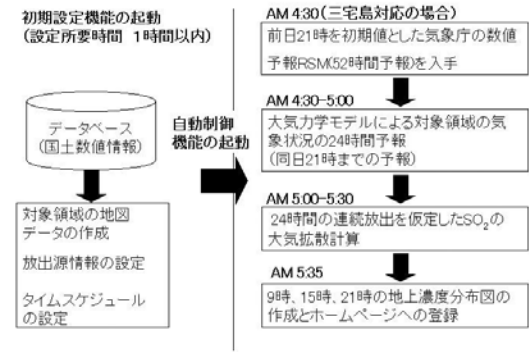


図5 汚染物質の大気拡散自動予報の手順 (三宅島噴火への適用の場合)

(2) 自動濃度予測<sup>11)</sup>

三宅島の火山ガスの放出により、2000年秋以降も、低気圧の接近により生ずる南風により東海・関東での異臭騒ぎの再発が懸念されたこと、半導体製造企業(愛知県)から予報提供の依頼があったことなどから、計算対象領域を東南北部から関西を含む550km四方に設定し、朝2時から気象データの収集を開始し、朝6時にインターネットにより当日のSO<sub>2</sub>地上濃度分布の予報結果を無料で公開できるようにした。

ホームページ上では、当日9, 15, 21時の地上および高度1000mのSO<sub>2</sub>濃度分布や3時間ごとの3次元分布図、過去1週間の予報結果などが提供されている(図5参照)。

現在まで4年以上にわたり公開してきたホームページには、製品品質への影響を懸念する半導体工場やガラス製造工場、環境測定への火山ガスの影響を懸念する環境コンサルタント会社やゼネコン、環境監視や研究を業とする地方自治体、大学

などの研究機関、気象庁などから、始めの1年で3万件以上のアクセスがあり、製造工場の操業計画、高濃度発生注意報のための基礎情報、公害監視データや環境アセスメントへの噴火の影響評価、長期的な環境影響評価など幅広く役立てられた。

(3) 地表蓄積量予測マップ作成<sup>12)</sup>

噴火から3年間の酸性物質降水量を地図化するため、計算領域を東アジアと国内評価領域の二領域に設定し、広域で東アジアでのSO<sub>2</sub>の挙動を予測し、それを取り入れながら、国内評価領域の計算で火山と領域内の工業地帯などからのSO<sub>2</sub>の挙動を予測した。国内評価領域は、本州中部800km四方を10km格子で分割しており、東アジアからの寄与評価のためには東アジアの東西5,400km, 南北4,000kmを40km格子で分割した。本計算は、3年間にわたる長期間についての解析であり、日本原子力研究所の並列計算機(株富士通製プライムパワー)のCPU 16個を使用して、660時間を要した。比較のため、三宅島の噴火がないと仮定した場合の3年間の計算も行い、三宅島噴火に起因する湿性沈着量の増加を明らかにした。

解析により、噴火1年目の硫酸イオンの湿性沈着量は、噴火のない場合に比べ、関東平野で2~3倍、東海・北陸地方でも1.5~2倍増加していることを明らかにした(図6参照)。2年目以降はSO<sub>2</sub>の放出量の低下とともに増加割合は減少傾向にあり、3年目には本州中部で三宅島噴火に起

因する湿性沈着量の増加はほとんどなくなっている。火山活動が最も活発だった2000年8月から12月の関東平野での湿性沈着量は、中国で大気汚染が深刻な重慶や西安の1/5から1/10程度であり、噴火当初のSO<sub>2</sub>の放出が長期間継続すれば将来の環境影響が懸念されたところであるが、現在の放出量で推移する限り、今後、本州中部で顕著な環境影響が現れることはないことを示した。

3.2. イネウンカの飛来予測

水稲の代表的な害虫であるイネウンカ類は、主に、梅雨期に中国大陸から下層ジェットと呼ばれる強風により運ばれて、日本に飛来することが知られている。飛来時期、飛来地域の予測は現在高度約1500m(850hPa)の高層天気図を用いた風向風速解析により行われているが、この手法では海上など気象観測地点の希薄な地域の予測精度が低く、飛来源の詳細な推定には問題があった。また、近年イネウンカ類の遺伝的形質などの解析が進むにつれ、これまで想定していなかった地域からの飛来を示唆する結果も得られており、イネウンカ類の移動実態を高精度に推定することが被害対策上極めて重要となっている。そのため、(独)農業・生物系特定産業技術研究機構と共同で、イネの重要害虫であるウンカ類のアジア地域長距離移動の高精度予測に関する研究を進め、ウンカの飛来を高精度に予測するシミュレーションシステムを完成した。発生源は、発生の可能性のある地域全てから仮想的にウンカを発生させ、過去の観測データと最もよく一致する地域を探し出すことで推定した<sup>13)</sup>(図7参照)。ウンカは風に乗って東アジアから飛来するため、数日先までの風や温度などの情報が含まれている気象予報データを利用することにより、アジアのどの地域から日本のどの地域にウンカが飛来するかを2日先まで予測することができる。これらの情報を得ることで、より適切なウンカの防除対策が可能となる。このシステムの評価を行った結果、2003年の梅雨期における予測精度は74%で、これは同期の降雨予報の的中率とほぼ同じ精度であった。このことから、今年(2004年)のシーズンから実用システムとして、(独)農業・生物系特定産業技術研究機構で予測を開始した<sup>14)</sup>。

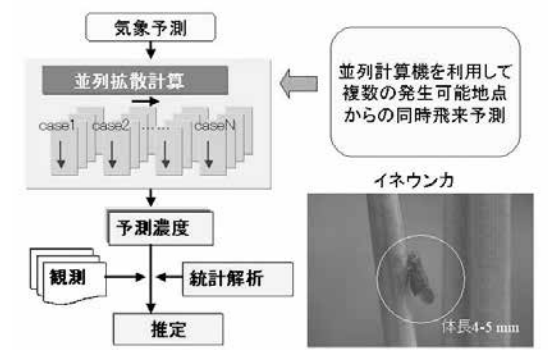


図7 イネウンカの発生源推定のための計算フロー

4. 今後の計画・展望

今後は、このシステムの最大の目的である、大気・海洋・陸域の包括的シミュレーションの仕組みを開発し、これを基に、環境中の水循環の予測や、水により輸送される汚染物質の包括的な挙動解明を本格的に進める予定である。また、モデル群の一部利用として、ラドンなどの自然放射能の環境中での挙動解明、大気・海洋部分では重油流出事故への対応、大気・陸面部分では森林内の炭素循環など、将来の幅広い利用を考えている。これらの研究には、外部機関との協力が不可欠であり、そのためにもITBLの積極的活用を図っていく。

参考文献

- 1) K. Imai, M. Chino, H. Ishikawa, et. al., SPEEDI: A computer code system for the real-time prediction of radiation dose to the public due to an accidental release, JAERI 1279, Japan Atomic Energy Research Institute (JAERI), (1985)
- 2) M. Chino, H. Ishikawa, H. Yamazawa, et. al., WSPEEDI (Worldwide version of SPEEDI): A computer code system for the prediction of radiological impacts on Japanese due to a nuclear accident in foreign countries, JAERI 1334, Japan Atomic Energy Research Institute (JAERI), (1995)
- 3) G. A. Grell, J. Dudhia, and D. R. Stauffer, A description of the fifth-generation Penn State/NCAR mesoscale model (MM5), NCAR

Tech. Rep., NCAR/TN-398+STR, National Center for Atmospheric Research (NCAR), (1994)

4) G.L.Mellor, Users guide for a three-dimensional primitive equation, numerical ocean model, Princeton University, Princeton, 40, (1998)

5) K. Tsuduki, T. Matsunaga, M. Chino, Development of Distributed Runoff Model to Estimate Radionuclides Transfer Behavior in Terrestrial Environment, Water Resources Research, (2004), submitted

6) H. Terada, A. Furuno, M. Chino, Improvement of Worldwide Version of System for Prediction of Environmental Emergency Dose Information (WSPEEDI) (I), J. Nucl. Sci. Technol., 41, pp.632-640, (2004)

7) H. Nagai, Validation and Sensitivity Analysis of a New Atmosphere-Soil-Vegetation Model. Part II, J. Appl. Meteor., 42, pp.434-451, (2003)

8) NOAA, WAVEWATCH III web site:

[http://polar.wwb.noaa.gov/waves/main\\_int.html](http://polar.wwb.noaa.gov/waves/main_int.html)

9) (独) 理化学研究所, ITBL web site: <http://www.itbl.riken.go.jp/>

10) 永井, 寺田, 茅野, 2000年8月28日に関東地方で発生した異臭騒ぎと三宅島噴火との関連, 天気, 48, pp.227-230, (2001)

11) 古野, 永井, 梅山, 茅野, 三宅島のリアルタイム広域拡散予測と解析, 大気環境学会誌, Vol.37, 1, pp.23-34, (2002)

12) 西沢, 茅野, 三宅島火山ガスによる東アジアにおける硫酸イオンの沈着量増加の推定, 第44回大気環境学会年会, (2003)

13) A. Furuno, M. Chino, A. Otsuka, et. al., Development of a Numerical Model for Long-Range Migration of Rice Planthoppers, Agricultural and Forest Meteorology, (2004), submitted

14) (独) 農業・生物系特定産業技術研究機構, web site: <http://agri.narc.affrc.go.jp/>

## 燃料電池システムの紹介

### Introduction of Fuel Cell System

森 豊\* 牧田 昇\*  
Yutaka Mori Noboru Makita

#### 【概要】

燃料電池は効率が高いだけでなく、CO<sub>2</sub>やNO<sub>x</sub>などの排出物が少なく環境負荷を低減できる機器として注目されている。近年、燃料電池の中でも固体高分子形燃料電池（以下、PEFC）は定置用、自動車用および携帯用として、幅広い用途で商用化が進められている。現在、(株)荏原製作所は荏原バラード(株)と協力し、PEFCを使用した定置式燃料電池システムの商用化および用途開発を推進しており、ここでは燃料電池の基本事項の説明と、荏原グループにおける燃料電池システムの取り組みについて紹介する。

#### 1. はじめに

近年、環境負荷低減に対する関心が高まるなか、CO<sub>2</sub>やNO<sub>x</sub>などの排出量を大幅に削減できる燃料電池が注目されている。

特に、燃料電池の中でもPEFCは、定置用、自動車用および携帯用として開発に拍車がかかっている。(株)荏原製作所では、現在、PEFCを使用した定置式燃料電池システムの商用化および用途開発を荏原バラード(株)と協力し推進している。

ここでは、家庭用1kW級PEFCコージェネレーションシステムの開発状況とともに、水素を燃料とする非常用・バックアップ用1kW級PEFCおよびラックマウント型PEFCの概要を紹介する。

#### 2. 燃料電池とは

電池には一次電池と二次電池がある。反応物と生成物を持ち、反応物から生成物を生ずる化学反応の過程で電気エネルギーを発生するものを一次電池と呼び、この反応の他、電気エネルギーを受けて生成物から反応物への逆反応もできるものを二次電池と呼んでいる（図1）。

一方、燃料電池は一次電池、二次電池と同じく、

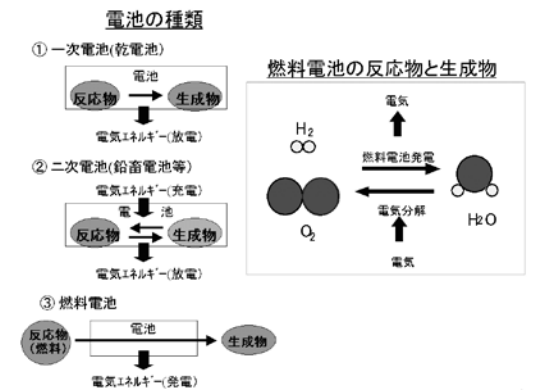


図1 一次電池、二次電池、燃料電池  
(出典：燃料電池とその応用（オーム社）を一部使用)

反応物が生成物に変化する過程で電気エネルギーを発生する。しかし、反応物は電池の外部から連続して電池に供給される点が一次電池、二次電池とは異なる。燃料電池では反応物が水素と酸素であり、生成物は水である。

燃料電池は原理的には電池の仲間とはいえ、連続的に電気を発生するものであることから「電池」というよりも「発電装置」と考えたほうが理解しやすい。

\* (株)荏原製作所 新エネルギー事業本部 燃料電池事業統括コージェネレーション部

### 3. 燃料電池の特徴と種類

#### (1) 燃料電池の特徴

燃料電池にはいくつかの種類があるが、熱機関による発電設備と比較した特徴をまとめると次のようになる。

- ①発電効率が低い⇒省エネルギー
- ②発電に伴う環境負荷物質の発生量が少ない  
⇒環境負荷低減
- ③発電規模による発電効率の差が小さく、特に中小規模の場合、他の熱機関に比べて発電効率が低い  
⇒電源の分散化
- ④部分負荷効率が低い  
⇒変動のある負荷に対しても省エネルギー
- ⑤各種燃料への対応が可能  
⇒エネルギー供給源の多様化へ対応が可能

#### (2) 燃料電池の種類

燃料電池は、機能上重要な電解質の種類や動作温度によって表1に示す4種類に分類することができる。

各種類ごとに特徴をもつが、この中でも、特に作動温度が比較的低温で、また出力密度の高いPEFCは自動車用、家庭用および業務用、そして携帯用として今後の普及に大きな期待がかかっている。

### 4. PEFCの原理と構造

PEFCの基本原理を模式的に示したのが図2である。MEA（膜・電極接合体）は水素イオン伝

表1 燃料電池の種類（出典：経済産業省資料）

作動温度	電池の種類	電解質	発電出力	用途と開発段階
			発電効率 (LHV)	
1000℃	固体酸化物形 (SOFC: Solid Oxide Fuel Cell)	安定化ジルコニア	1~10kW (45~65%)	業務用、工業用、発電用、研究開発段階 (数kWモジュール)
650℃	熔融炭酸塩形 (MCFC: Molten Carbonate Fuel Cell)	熔融炭酸塩	1~10kW (45~60%)	工業用、発電用、研究開発段階 (1MWプラント)
200℃	りん酸形 (PAFC: Phosphoric Acid Fuel Cell)	りん酸	~1,000kW (35~42%)	業務用、工業用、導入普及段階
80℃	固形高分子形 (PEFC: Polymer Electrolyte Fuel Cell)	固形高分子	~250kW (35~40%)	自動車用、家庭用、業務用、実用化開発段階

導性電解質膜（高分子膜）とその両側の多孔性の電極から構成される。図2では左から水素がアノード（燃料極）に供給され、触媒により水素イオンと電子に分離される。水素イオンは高分子膜内を水分と一体となってカソード（酸素極）に移動していく。一方、カソードでは触媒上で、図中の右から供給された酸素と水素イオンそして電子が反応して水が生成される。電子の流れを外部に取り出すことにより電気として使用することができる。また、図3に示すように、MEAをガスの流路を形成するセパレータで挟んだものをセルと呼び、セルを何枚も直列に接続したものをスタックと呼んでいる。

### 5. 荏原グループのPEFCに対する取組み

#### (1) 家庭用小型コージェネレーションシステム

燃料電池を使用した家庭用コージェネレーションシステムは、各家庭に供給されている都市ガスなどを利用して発電を行うとともに、発電時に生じる熱を利用して温水を供給する省エネルギー機器である（図4）。

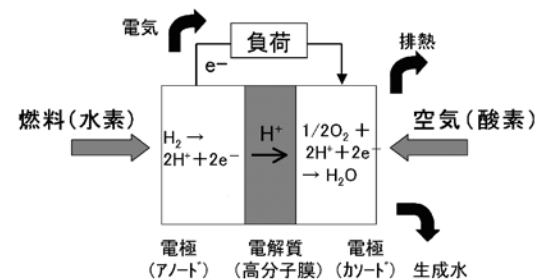


図2 PEFCの基本原理

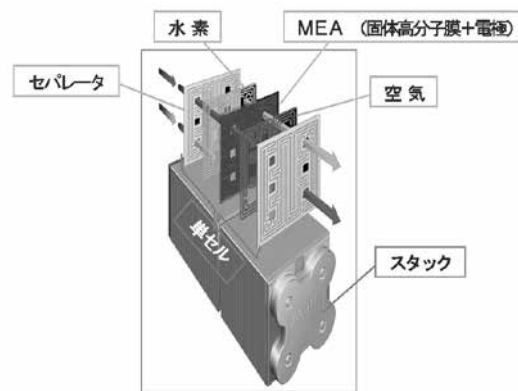


図3 スタックの基本構造

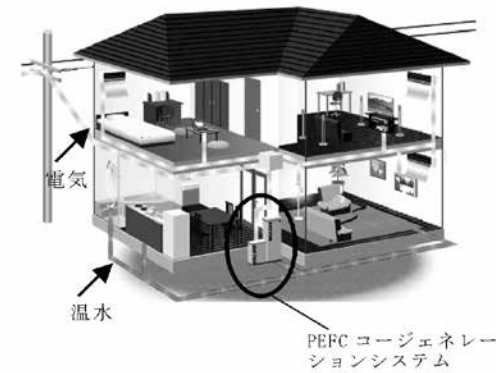


図4 家庭用PEFCコージェネレーションシステム



写真1 家庭用PEFCコージェネレーションシステム（標準用機-最新型）

燃料電池メーカー各社は、2004年度から2005年度にかけて、限定市場に本システムの導入を行うべく開発に注力している。荏原グループも家庭用コージェネレーションシステムの開発を推進しており、バラード・パワー・システムズ社が開発したPEFCスタックの技術と荏原の持つ小型汎用流体機器の技術を有機的に組み合わせたシステムとなっている。

2004年4月に開発した標準用機-最新型（開発最終段階製品）では、送電端発電効率は35%（LHV基準）、熱回収効率は58%（LHV基準）が得られている。標準用機-最新型の外観を写真1に、基本仕様および性能を表2に示す。

本システムは、燃料処理と発電を行う燃料電池ユニット（写真の左側）と排熱を温水として貯える貯湯槽ユニット（写真の右側）より構成されている。

表2 標準用機-最新型 基本仕様

定格出力	1000W
温水温度	60℃
PEFCユニット容積	264リットル（系統連系インバータ内蔵）
貯湯槽ユニット	200リットル（有効容量）
発電効率（LHV）	35%
排熱効率（LHV）	58%
総合効率（LHV）	93%

現在、実際の家庭に設置し、家庭における電力需要および温水需要に合わせた運用を行い、一次エネルギー消費量削減効果、CO<sub>2</sub>排出量削減効果ならびに経済性などを検証するフィールドテストを実施中である。

#### (2) 水素燃料用PEFC

荏原バラード(株)では水素を燃料とした1kW級PEFC（商品名：NexaモジュールおよびFCBox）を2003年3月より販売している。本機は非常用・バックアップ用を目的とした発電専用機である。更に1kW級PEFCを複数台ラックマウントし、機能を発展させたタイプ（商品名：NexaRM）も今後発売の予定である。

##### ①NexaモジュールおよびFCBox

バラード・パワー・システムズ社は、燃料として水素を使用するPEFC発電モジュール（商品名Nexa）の量産化に世界で初めて成功した。

荏原バラード(株)では本モジュールに制御装置、パワーコンディショナーなどを組み合わせ、パッケージ化した発電ユニット「FCBox」を開発した。本ユニットは、

- ・クリーン…CO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>などの環境に有害な排出物はなく、排出物は微量の水のみ

- ・取扱いが容易…ボタン一つで運転・停止が可能
- ・コンパクトで軽量

なる特徴をもち、また、燃料の水素と大気中の酸素の反応により起動後1分以内の発電が可能である。環境にやさしい発電システムとして多方面にわたる活用が期待されている。NexaモジュールおよびFCBoxの外観を写真2に、FCBoxの基本仕様を表3に示す。

##### ②NexaRM

NexaRMはNexaモジュールを19インチラック

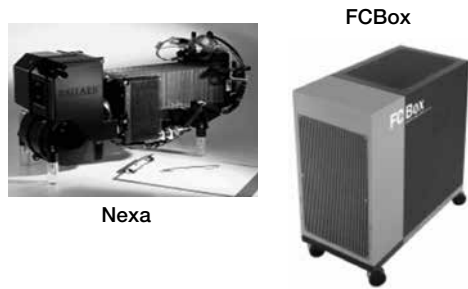


写真2 NexaおよびFCBox

表3 FCBox基本仕様

定格発電出力	850W
定格出力電圧	AC100V または DC48V
概略寸法	W670mm×D320mm×H672mm
起動時間	1分以内
制御特性	接続負荷に対する自動追従制御



写真4 交通信号機非常用燃料電池システム

### 6. 燃料電池の交通信号機非常用電源への適用

弊社では、(財)日本交通管理技術協会から委託された「交通信号機非常用燃料電池発電システムの試験設置」に使用する非常用燃料電池システムの開発を2004年8月末に完了した(写真4)。

この試験は、省電力であるLED式信号灯器と、燃料電池を使用した非常用発電システムを組み合わせ、環境に優しい「環境負荷低減型交差点」の実現を目標としたものである。

従来、停電などの非常時における交通信号機の電源は、ディーゼルエンジンを用いた発動発電機が主流であった。しかし、ディーゼルエンジンの代わりに燃料電池を使用することにより、環境調和性の高いシステムの構築が可能となる。

本非常用発電システムには、前述のFCBoxが搭載されている。

燃料電池の信号灯器など交通管理機材への利用は、世界的にも先進的で、21世紀の水素エネルギー社会の実現に向けた意義のある試みである。

〈交通信号機非常用燃料電池システム  
および試験設置概要〉

概略寸法：W0.8m×D0.75m×L1.8m

電力仕様、出力：AC100V、約500W

連続運転時間：最大24時間

試験設置場所：

目黒区柿の木坂一丁目交差点(環状七号線)



写真3 NexaRM

マウント型にしたもので、以下の特徴を持つ(写真3)。

・バッテリーと発電機の両機能を備えた新しい非常用電源システム…

起動時間は1msec以内でありながら、水素の補充により長時間運転が可能

・高い拡張性…

ユニットタイプで直列、並列接続により電圧、容量の拡張が可能

・良好な環境性…クリーンで静かな運転が可能

写真3にNexaRM 1kWユニットを示す。NexaRM非常用電源システムはバッテリーの代替であるが、UPSシステムに組み込み、UPSとして使用することも可能である。

試験設置期間：

2004年9月1日から2005年3月末

### 7. 燃料電池の動向と今後の課題

燃料電池が民生用として開発されてから未だ長い年月は経過していない。しかし、現在は急速に商用化が推進されている。政府は燃料電池導入のシナリオを図5のように策定している。

家庭用PEFCコージェネユニットは年々商用機へ近づいているが、商品化に向けては下記の開発課題が残されている。

- ・長寿命化および信頼性の向上
- ・コストダウン

長寿命化および信頼性の向上に対しては、スタックだけでなく、化石燃料から水素を取り出す燃料改質装置やポンプ・ファンおよび周辺機器などについて開発が進められている。

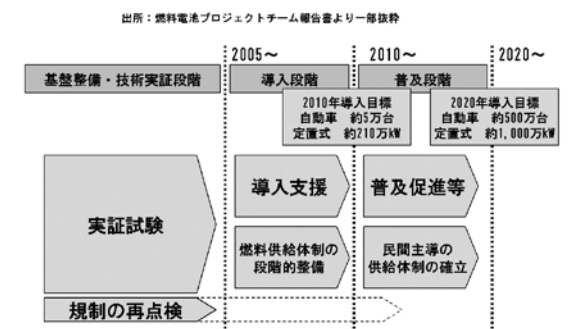


図5 燃料電池導入のシナリオ

コストダウンについては、低コスト材料への移行や部品点数の削減、量産化に適した設計・製造方法の確立が推進されている。

また制度面では、燃料電池および水素利用に関する法規の適正化が現在進められている。定置式燃料電池については電気事業法、消防法、建築基準法の3法規について、届出の不要化、設置制約条件の見直しなど、6項目に対して2004年度末に再点検を完了すべく作業が進められている。

### 8. おわりに

燃料電池は将来、小規模から大規模な設備に対し、また、燃料も都市ガス、LPG、灯油、メタノール、バイオガス、副生水素、純水素などの多岐にわたり、広範囲の用途に対して普及していくことが期待されている(図6)。

われわれ燃料電池事業務に携わる者としては、早期に燃料電池の商用化を図り、身近なものとして燃料電池を使用して頂けるようにすることが使命と感じている。

#### 参考文献

- 1) 燃料電池とその応用(オーム社)
- 2) 経済産業省「燃料電池実用化・普及に向けた現状の取り組み」資料
- 3) 燃料電池プロジェクトチーム報告書：平成14年5月、副大臣会議

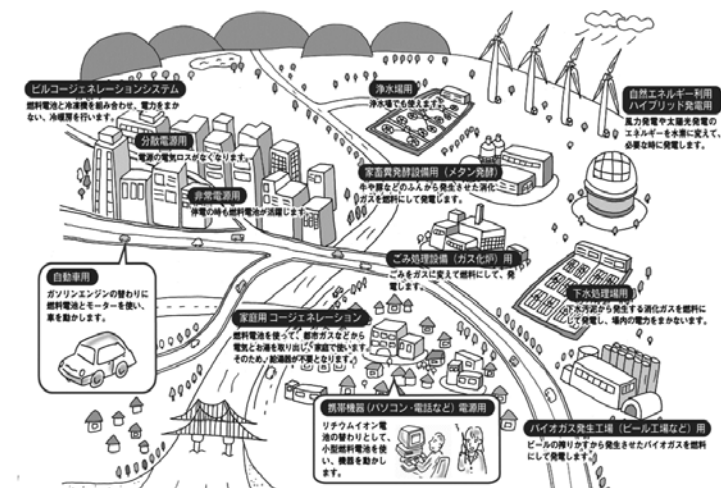


図6 燃料電池の将来

# 中山道一人旅 (その4) ~美濃路を歩く~

## Sentiment of Solitary Journey on Nakasendo - Hike Through Minoji -

米田 正章\*  
Masaaki Yoneda

### 【概 要】

中山道一人旅は、日本橋を2003年夏にスタートし、武州・上州路、信濃路、木曾路と進み、美濃路へと入った。美濃路は岐阜県を東から西に抜ける街道で、愛知県には脚を踏み入れないことを知った。中津川宿から関ヶ原宿まで、皇女和宮の將軍家への降嫁の足跡を辿りながらの道中記である。

### 2004年9月11日 (土) 中津川宿一大井宿

13時、中津川駅をスタートし、新町通りに入る。土曜の午後とは思えない閑散とした街並が続く。右手に宿場を模した「往来庭」がある。四ツ目川橋を渡ると中山道本町通りに入る。NNT中津川営業所が「脇本陣」、その前の駐車場が「本陣跡」である。横町通りに入ると卯建が高い蔵元と古い



中津川宿の街並

商家が軒を連ねる。中津川橋を渡ると柳町。ゆるやかに石屋坂を上がる。中山道歴史の道の標識に沿って右折すると「駒場村の高札場跡」がある。左折するとすぐに「双頭一身道祖神」を右手に見て、その先には「上宿の一里塚跡」がある。ゆるやかに上り下りし、急坂を上ると「小石塚の立場跡」を見る。国道19号から、JRとの間の道に進む。常夜燈を過ぎると直ぐに「千旦林の高札場跡」がある。東巢橋を渡り、左に入る。道はゆるやかに曲がり、江戸期と変わらないであろう長閑な風景である。下って上がる。「三ツ家一里塚跡」、「坂本立場跡」、転がりそうな下り坂を進む。10体近くの石仏がある。「茄子川村の高札場跡」、「尾州白木改番所跡」、参勤交代の大名の休息所だった「茶屋本陣篠原家」がある。和宮も明治天皇も休まれたという屋敷は



茶屋本陣篠原家と常夜燈



広重の大井の碑



上宿石仏群

大きく堂々としている。屋敷の角には秋葉大権現の常夜燈兼道標が立ち、右に遠州・秋葉への道とある。中山道は真っ直ぐ進む。「中山道是より大井」の石碑があり恵那市に入る。筋違橋を渡り、暫く行くと甚平坂に着く。坂の途中が公園になっていて「広重の大井の碑」が迎えてくれる。左上に根津神社を見て、やがて急坂を下りる。中央自動車道を渡って細い階段を下りる。悪病や悪人が宿場に入ってくるのを防ぐために建てたと伝えられている「上宿石仏群」がある。明知鉄道のガードをくぐると「大井宿の高札場」が復元されている。上横橋を渡り、横町の枡形で左折する。次の角には「大井宿本陣」があり江戸初期に建てた表門が残っている。右折すると「庄屋」の旧古山家。明治天皇の行在所になった「伊藤家」など、



大井宿本陣跡

宿場の面影を残した建物がいくつもある。16時15分 JR中央西線恵那駅着。明日は難所の峠越え。早めに宿に入り体力を温存する。

### 2004年9月12日 (日)

### 大井宿一大湫 (おおくて) 宿一細久手 (ほそくて) 宿

7時40分恵那駅に降りる。大湫宿までは一軒の商店も一台の自動販売機もないと聞き、駅構内のコンビニで買ったおにぎりとペットボトル4本をリュックに詰める。銀座商店街を抜け、中野観音堂を左に見て、長島 (おさしま) 橋を渡って進むと、「野井みちの分かれ」という五差路に出る。少し右にゆるやかに上ると、左の小さな一画が西行硯水公園に出る。石組みの中の濁った水が、硯の水を汲んだ泉らしい。西行塚西三丁の道標を見



大湫への道

て右に曲がる。JR中央西線中仙道踏切を越えて、左折し田畑のあいだを行く。中央自動車道をくぐると上りの急坂である。大湫宿までの約

三里半は山の峰づたいの道であり、「十三峠におまけが七ツ」といわれる起伏に富んだコースである。西行坂はその最初の坂。汗が噴き出す。心臓の鼓動が聞こえる。石畳の坂を上ると右手上の木々の中に西行塚。坂を上りつめて平坦になり、しばらく進むと「横ヶ根一里塚」がある。農道に出てゆっくり下る。道端には、「茶屋本陣跡」、「茶屋水戸屋跡」の小さな標識がある。セントラル建設前を右に入る。横ヶ根追分には、「左伊勢名古屋道 右西京大坂」の道標があり、上部に伊勢神宮を表す鳥居が刻まれている。ここは名古屋・伊勢への下街道との追分である。旧道を進み馬頭観音を見て祝峠を越える。やや下ったところに「首



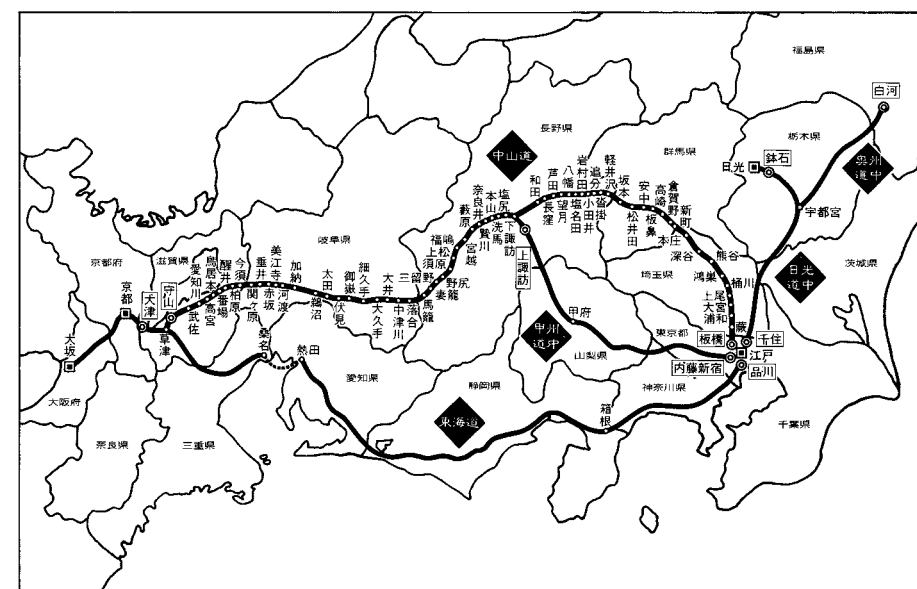
横ヶ根一里塚



横ヶ根追分の道標



首なし地蔵



(藤市立歴史民族資料館「街道と宿場」より)

\* (株) 荏原製作所 新エネルギー事業本部 原子力事業統括 プロジェクト管理部

なし地蔵」が祀られている。昼寝していた武士が殺され、同行していた武士が怒って地蔵の首をはねたという。その先は乱れ坂である。坂が急で、息が乱れ、大名行列も乱れ、女性の裾も乱れてしまうところから名づけられた。乱れ橋を渡り、四ツ谷集落のお継原坂を上がって行き、左に「高札場跡」を見て進む。集落のはずれで左折し、かくれ神坂を上る。沢を流れる水の音が聞こえる。「妻の神」の石祠が見える。緩やかな平六坂を上ると「平六茶屋跡」があり、続いて「びやいと茶屋跡」の標識がある。左右に畑、その後には雑木林、小山が続き、間もなく「紅坂一里塚」に着く。石畳の紅坂を下り、「うばが茶屋跡」、「馬茶屋」だ



三社燈籠



藤村高札場

った家の脇の「ふじ道」の道標を見て黒すくも坂を下ると、三社灯籠が見えてくる。橋を渡り左折すると、「復元された藤村高札場」があり深萱立場に着く。ここは大井宿と大湫宿のほぼ中間点である。西坂を上がりきり、石畳を歩き、みつじろ坂を上ると三城峠。ばばさんが開いていた「ばばが茶屋跡」がある。茶屋坂を下る。雑木に覆われた坂を下ると、恵那市と瑞浪市との境で、中山道の大きな碑が立っている。杉林の中の階段状の観音坂を上る。大きな岩の上に馬頭観音が置かれている。下って「灰くべ餅の出茶屋跡」から「大久後立場跡」の観音堂に出る。曲がりくねった権現坂を上る。鞍骨坂を経て「炭焼立場跡」に出る。石がゴロゴロして歩きにくい吾郎坂を上がり、やがて石畳の檜の木坂の途中の「権現山一里塚」前に



十三峠の三十三観音

出る。巡礼水の坂を通して、中仙道ゴルフ倶楽部の12番と13番の間を進む。びやいと坂、曾根松坂の長い坂道を下りる。広場は阿波屋のおつ

る婆の「出茶屋跡」。飛脚たちが道中安全を祈願した「三十三観音」が石室の中にある。長い下り坂を過ぎると農道に出る。少し上ってすぐ右の砂利道に入り、八丁坂を上がる。左に茶畑がある。山之神坂を上り、童子ヶ根から寺坂を下ると、彼方に大湫宿の家並みが見える。大湫宿に入り、左折すると、左に格子のある家が並ぶ。右に公民館があり、その奥には瑞浪市立大湫小学校がある。



皇女和宮御歌の碑



大湫宿脇本陣



琵琶峠の石畳



八瀬沢一里塚



旅籠大黒屋

ここの運動場に和宮も泊まった本陣があった。校門のすぐそばに和宮が詠んだ歌を刻んだ碑がある。「脇本陣」が残っている。高札場が復元されている。宿場は短く、あつという間に終わる。大湫病院を過ぎて右に入り、「琵琶峠」を上る。杉林、雑木林の中に整備された石畳が続く。それほど急坂ではなく峠の頂上には馬頭観音が祀られている。下りも石畳が続き、途中に「八瀬沢一里塚」が両側に見事に残されている。更に坂を下って県道65号に合流する。犬の吠える声にぎやかな国際犬訓練所の横を過ぎ、竹林の中を抜け、天神坂を下ると弁天池がある。ほとんど車の通らない林の中の舗装路を下り続ける。やがて家が現れ、細久手宿に着く。高札場跡があり、その奥の高台に庚申堂が寛政期と変わらぬであ

ろう姿で宿場を見守っている。本陣、脇本陣は跡形もない。15時30分 今宵の宿である大黒屋に入る。大黒屋は江戸期尾張藩指定の旅籠で卯建、玄関門、式台が今も残っている。

2004年9月13日 (月)

細久手宿一御嶽宿一伏見宿一太田宿

大黒屋は夕食を若女将が、朝食を90歳に近い大女将が作る決まりらしい。8時出発。宿場を出ると愛宕・日吉神社があり、その先の「細久手坂の



細久手坂の穴観音



鴨ノ巢一里塚

穴観音」、津島神社の小祠を見て、左へ曲がる広い舗装道と分かれて直進する。竹やぶが多い。西の坂の山道を上る。右手の石窟に「秋葉三尊」がある。雑木林の中を道が続く。やがて「鴨ノ巢一里塚」に出る。草道の藤あげ坂を下っていく。常夜燈を右折し、津橋川を越え、諸木坂を上がっていく。檜や杉や竹が茂っている。上りきったところが物見峠で、和宮もここで休憩したそうだ。ゆるやかな坂を下って県道に出ると左手に清水の湧いている所があり「噴清水」と名付けられている。謡坂の石畳を下る。復元された「一里塚」がある。とどめき橋を渡って舗装された車道を行くと耳神社がある。耳の病気に御利益があるという珍しい神社だそうだ。竹林を過ぎて、草道、石ころだらけの道を下り、井尻集落をかすめて国道21号に出る。左手に可見川が流れている。左へ県道341号の表示がある細い道に入る。「右御嶽宿 左細久手宿」の道標が立っ



御嶽宿の街並

ている。やがて御嶽宿に入る。道は右に左にゆるやかに曲がっている。民家が続く、格子のある家も点在している。「本陣」は駐車場に、脇本陣



みたけ館



伏見宿の街並



伏見宿本陣跡

は「中山道みたけ館」という郷土館になっている。願興寺を右に曲がり、原写真館を左折する。中公民館の先を右折する。中交差点で国道に合流して左に進む。可見川に接して国道が続く。御嵩重機建設の傍に「比衣一里塚跡」の碑がある。伏見警察駐在所の前から右手に入り、国道と平行して進む。ほどなく伏見宿に入るが、国道に面しているせいか、今や普通の街並と化している、数件の格子構えの家が残っているに過ぎない。伏見公民館前に「本陣跡」の碑がある。兼山街道との分岐点に立つ道標には「右御嵩 左兼山八百津」とある。上恵土交差点を右折すると、木曾川に突き当たる。中山道で運ばれてきた年貢米や名産品など多くの物資が、この新村湊から舟で犬山や桑名に下ったそうだ。右折しないで国道を進み、富士浅間神社を右手に見て、今渡弘法大師を右折して下りると木曾川に臨む「今渡 (いまわたり) 渡し場跡」に出る。「木曾の棧、太田の渡し、碓氷峠がなくばよい」と謡われた難所だ。太田橋を渡り、美濃加茂市に入る。木曾川の堤防上のライン街道と名付けられた道を進み、右下に岐阜県可茂総合庁舎、美濃加茂文化会館を見て堤防を降り、14時JR美濃太田駅から家路を目指す。

2004年10月10日 (日)

太田宿一鷺沼宿一加納宿

台風22号の直撃で、出発を一日延ばしたために、自宅を午前4時半に出発する羽目になってしまった。9時30分 JR美濃太田駅に着く。駅前から真直ぐ伸びる道を進み、木曾川の土手に出る手前を右折して中山道に入る。右手に御代桜醸造の酒蔵



脇本陣林家

が、左手には「脇本陣林家」の豪壮な構えが見える。「本陣跡」は門だけが残されている。太田小学校がある。秋の大運動会が挙行されている。この辺りは「太田代官所」があったところ。文豪坪内逍遙の父はこの代官所の手代で、逍遙が生まれたのは小学校のプール付近にあった役宅と伝えられている。木曾川の堤防へ上がるところに「虚空蔵堂」がある。堤防上を歩く。木曾川は、川幅いっぱい流れている。かなり歩いたのち堤防を下り、国道21号を進む。パジェロ製造会社を通り越し、木曾川に流れ込む小川の脇に、一里塚跡の表示がある。右手の山肌には岩屋観音が見える。その山すそをJR高山本線が走っている。カフェテラスゆらぎの先の階段を下り、国道とJRの下の小さなトンネルをくぐると、「うとう峠」入口に着く。竹藪を抜け、木橋を渡る。石ころだらけの急な坂が真っ直ぐに上に伸びる。石畳の道に変わり、平坦になると、峠の公園に着く。「うとう峠一里塚」がある。少し下ると、右手に住都公園緑苑東団地がある。広い道を下ると合戸池があり、その池に沿って歩き、左下のうとう坂を下って行く。坂の途中は新興住宅地のような。赤坂神社の先に鶴沼宿の碑が立っている。国道21号に突き当たって鶴沼東町の交差点から県道27号を進む。大安寺川に架かる大安寺大橋のもとに、行燈風に作った常夜燈が置いてある。橋を渡ると、古い家並みがまだ残っている。道の右側に、「本陣跡」、芭蕉句碑の辺りに「脇本陣」があったと思われる。道の左側に4軒並んで古い屋敷がある。この辺りまで



鶴沼宿の碑



鶴沼宿の街並

鶴沼宿だった。津島神社の鳥居のすぐ後ろに大きな拝殿がある。拝殿が皆楽座という回り舞台にな

っているようだ。間もなく左手から来る国道21号に合流する。ここから加納宿までは、ほぼ一直線の道が延々と続く。三柿野町交差点で国道と分かれて各務原市内へ向かう。竹林寺の前に「六軒一里塚跡」の表示がある。各務原市役所の前を通り、市民公園を過ぎる。道はゆるやかに左に右にカーブする。今尾医院（旧御殿医の「今尾家」）に突き当たって右折する。奥には「少林寺」があり、ここには陣屋を構えていた旗本坪内家の墓がある。このあたりを間の宿「新加納」という。両側に畑が広がり、右側を名鉄各務原線が走っている。県道を横切り、左に手力雄（たぢからお）神社を見て右折する。国道156号を横切ると「細畑一里塚」がある。その先には地藏堂があり、道標に



細畑一里塚



伊勢路との分かれ道の地藏堂



庄屋森家の屋敷



二文字屋

「伊勢名古屋ちかみち笠松迄一里 西京道 加納宿迄八丁」とある。先に進む。連子格子の家がところどころにある。東海道本線のガードをくぐる。明治天皇も泊まった庄屋森家の屋敷は黒板塀が長い。名鉄の踏切を越える。加納橋を渡る。「東番所跡」の善徳寺を過ぎる。この辺り南広江町では、江戸期から昭和期前半まで和傘の大産地だった。加納藩が下級武士の内職として傘作りを奨励したのが始まりと伝わる。「高札場跡」を過ぎ、「加納城大手門跡」の碑を見て右折する。ここから真っ直ぐに加納宿の中心部へ進む。旅籠「二文字屋」はうなぎ屋になっている。「本陣跡」の碑は青木家の

玄関前に立っている。16時30分、岐阜市街のホテルに向かう。

2004年10月11日 (月)

加納宿一河渡 (ごうど) 宿一美江寺宿一赤坂宿一垂井宿一関ヶ原宿

6時30分 加納宿の本陣跡をスタート。直ぐに「脇本陣跡」、「松浪本陣跡」があるが、跡だけで江戸期を偲ばせるものはない。住宅街の中を旧道を通り、東海道本線の高架下を進み、六差路は敷島町7の方向を選び、本庄町へ入る。天満神社、八幡神社が並んでいる。岐阜街道追分に出る。格子のある家が3軒並んでいる。長良川の土手を歩き、県道92号の河渡橋を渡って土手下の道を進む



長良川の土手と河渡橋



河渡宿入口の観音堂



延命地藏尊



本田代官所跡

と、「馬頭観音堂」がある。河渡宿は長良川の渡しで栄えた宿である。しかし、昭和20年の空襲や川の改修により、宿場は縮小され、往時を偲ばせる屋敷はない。「一里塚跡」の碑だけが目立っている。左の鬱蒼とした森の中に「杵築神社」がある。水害時の避難場所だった本殿は一段と高い。天王川に架かる慶応橋を渡ると河渡宿は終わる。生津を過ぎて、県道を渡り、付き当たって右折する。糸貫河を渡ると直ぐ左に「延命地藏」があり、古い家並みが点在する。ほづみバスの本田停留所前には「本田代官所跡」の説明がある。五六河を渡り、巢南町の田園地帯を進み、樽見鉄道の踏切を越える



庄屋和田家と美江神社の鳥居



美江寺宿本陣跡の碑

の畑が広がり、まさに食べごろの柿がたわわに実っている。長護寺橋を渡り、巢南中学校の前から斜め右に真っ直ぐに進むと揖斐川の土手に出る。鷺田端を渡ったところで呂久歩道橋から堤防下の歩道に下りる。角にある寺は良縁寺、縁起のいい名前である。長屋門のある「馬淵家」は船頭頭を勤め、門前には明治天皇御小休憩所跡の碑がたっている。その先の平野井川を渡って大垣市に入る。土手の上を進み、坂下水防倉庫の先を下りてそのまま進むと、「中仙道三回り半」の碑がある。道



七廻り半の碑

はゆるやかにカーブする。民家の前に「池尻一里塚跡」の碑がある。赤坂新町の工場地帯を抜け、国道17号と合流し、杭瀬橋を渡って直進する。常夜燈が右手に立つ赤坂港跡に着く。明治・大正期には数百隻の船が出入りしていたという。この地域は古くから石灰や大理石産業が盛んで、これらを積んで名古屋に運んでいた。ここからは赤坂宿になる。「本陣跡」には地元出身の勤皇の志士である所都太郎の像が立っている。「四ツ辻」に谷汲山華嚴寺への巡礼街道の起点を示す常夜燈の道標がある。



赤坂宿碑と「左たにくみ道」の道標

「脇本陣」の榎屋旅館には忍び込めないように紙でできた天井が残っているらしい。道はゆるやかに上っていく。左手に「御使者場跡」, 「兜塚」があり, 休止状態の西濃鉄道昼飯線の踏切を渡る。この辺りは「昼飯 (ヒルイ)」という珍しい地名で, 「大阪の海で拾い上げられた善光寺如来という仏像を長野の善光寺に納める一行が, 景色の良い此処で昼飯を摂ったことからヒルメシの名が付き, やがてそれがヒルイになった」と, 如来寺の門前に由来が書かれている。県道241号を渡り東海道本線をくぐると, 史跡の町青墓に入る。ひっそりと民家が続き, 旧道の情緒を楽しませてくれる。右手に



青墓のよしたけ庵跡



青野一里塚跡

「よしたけ庵跡」, 源義経が杖にしていた竹を地に差したところ根を張ったという伝説の地を過ぎる。大谷川を渡る。県道216号を渡る。青野町を道が縫っていく。「青野の一里塚跡」の横には, 大きな常夜燈が立っている。その先, 道は一直線に伸びている。平尾御坊 (願証寺) への「平尾 御坊道」の道標がある。両側に民家が続き, やがて追分に着く。道標に「右東海道大垣みち 左木曾海道たにぐみみち」とある。継父 (ままたて) 川に架かる追分橋を渡り, 左折して相川に架かる相川橋を渡ると, 垂井宿の入口「東の見附」だ。中山道垂井宿通りの表示が, 宿場だったことを教えてくれるほどの普通の家並みで始まる。宿内で鉤の手に



旅籠亀丸屋



南宮神社の大鳥居

なっているところに「旅籠亀丸屋」がある。今も, 旅館として営業中だ。その先左手に「本陣跡」の安田歯科医院, 右手には, 南宮大社の石の大鳥居がある。黒い塗込造りで格子のある「油屋卯吉家」, 門前に高札場があった「本竜寺」と続く。宿場を出て緩やかに上がっていき, 東海道本線の出屋敷踏切

を渡り, 国道21号を横切ると, 左手に昭和の時代まで茶屋として利用されていた「日守の茶屋」, その隣には国の指定史跡「垂井一里塚」があり, 関ヶ原合戦時には東軍の武将浅野幸長が陣を敷いた場所である。道は緩やかに下って行き, 日守西交差点で国道と交差する。左上に不破の関病院が見える。右は東海道本線が走る。「これより中山道 関ヶ原宿野上」の木の表示が立っている。静かな道が伸びる。右に「伊富岐神社鳥居」がある。野上集落は緑が溢れ, 重厚な家が多い。緩やかに



野上集落の街並

かに上がって家が途絶えたと松並木がある。若い松も植えられて整備されている。左上に関ヶ原合戦の際, 徳川家康が最初の陣を置いた桃配山がある。左手には, 厨子を背負って行脚中の行者がこの地で没したので里人がこの祠を建てて祀ったという「六部地蔵」がある。一ツ軒交差点を過ぎやがて国道と合流する。車が激しく行き交い, 宿場を偲ぶよすがはほとんどない。美濃路の最後の宿「今須宿」を残して, JR関ヶ原駅より車中の人となる。

## FAPIG の 機 構 (社名 ABC順)

(平成16年11月1日現在)

理 事 会・委 員 会・専 門 部 会・事 務 局

会 長 沢 邦彦 富士電機ホールディングス社長	理 事 佐藤康博 みずほCB常務執行役員
副 会 長 林 敏和 川崎重工執行役員	〃 北村敏夫 渋沢倉庫取締役会長
〃 田邊弘幸 双日専務執行役員	〃 荻原勉 清水建設執行役員
理 事 長 藤 史郎 荻原製作所取締役専務執行役員	監 事 岩切邦雄 みずほCB営業第十部長
〃 伊藤晴夫 富士電機システムズ社長	
〃 長屋互勇 富士通経営執行役常務	事務局 長 溝口忠雄
〃 田邊輝義 古河電工執行役員常務	
〃 植松敏勝 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 (14名)

- ◎ 秋定俊裕 (富士電機システムズ)
- 三沢秀行 (荻原製作)
- 早川均 (富士電機システムズ)
- 三木俊也 ( )
- 秋山敬悟 (富士通)
- 岩崎邦男 (古河電工)
- 中川敏一 (古河機械金属)
- 矢野和隆 (川崎重工)
- 金子治行 (みずほCB)
- 清水良雄 (双日)
- 駒崎慶夫 (渋沢倉庫)
- 小林経夫 (清水建設)
- 溝口忠雄 (事務局)
- オブザーバー
- 中村貞夫 (原燃工)

### 広報委員会 (11名)

- ◎ 溝口忠雄 (事務局)
- 米田正章 (荻原製作)
- 三木俊也 (富士電機システムズ)
- 倉田正士 (富士通)
- 岩崎邦男 (古河電工)
- 岩間和義 (古河機械金属)
- 湯原貴浩 (川崎重工)
- 本間弘貴 (みずほCB)
- 村野博一 (双日)
- 菅野康弘 (渋沢倉庫)
- 酒井喜則 (清水建設)

### 原子力情勢調査部会 (6名)

- ◎ 清水良雄 (双日)
- 白川正広 (富士電機システムズ)
- 組田泰男 (荻原製作)
- 福原修 (富士通)
- 湯原貴浩 (川崎重工)
- 加納茂和 (清水建設)

高温ガス炉プロジェクト部会（6名）

- ◎ 早川 均 (富士電機システムズ)
- 中村志郎 (双 日)
- 岡本太志 (富士電機システムズ)
- 前川 勇 (川崎重工)
- 甲斐芳郎 (清水建設)
- オブザーバー
- 加藤 茂 (原 燃 工)

廃止措置プロジェクト部会（8名）

- ◎ 山口 昇 (川崎重工)
- 高谷純一 (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)
- 渡辺守成 (清水建設)
- 竹田正幸 (荏原工業洗淨)
- 池田 兵 (第一放研)

バックエンド調査研究部会（6名）

- ◎ 山崎誠一郎 (川崎重工)
- 藤沢盛夫 (富士電機システムズ)
- 根岸 至 (荏原製作)
- 三澤 真 (富 士 通)
- 井上桂一 (双 日)
- 加納茂和 (清水建設)

品質保証部会（7名）

- ◎ 高橋正昭 (富士電機システムズ)
- 河江秀俊 (川崎重工)
- 米田正章 (荏原製作)
- 児玉義和 (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

FAPIG No.168

平成16年度 第2号

平成16年11月26日印刷

平成16年11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  
東京都港区台場2丁目3-1  
トレードピアお台場ビル（〒135-8655）  
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)  
東京都中央区入船2-9-2（〒104-0042）  
電 話（03）5566-6677(代)

SYNOPSIS

Kiyoshi Obara, Etsuo Ooyama, Toshiaki Suzuki, Norikazu Oohara

**Development of The Alcohol Waste Processing Equipment**

FAPIG No. 168 pp.3~8 (2004)

In the experimental fast Reactor JOYO, gripper of Fuel Handling Machine and Ex-Vessel Transfer Machine that the sodium adhered is being washed with alcohol. This radioactive alcohol waste that was used to the washing is stored to the tank.

If it is able to separate the alcohol and sodium in the alcohol waste it becomes possible to dispose of the alcohol waste. Japan Nuclear Cycle Institute and Fuji Electric Systems CO., LTD. Developed the device that adds carbonic acid gas to the alcohol waste and cause the sodium in the alcohol waste separated as carbonate and remove this carbonate by using the thin film evaporator.

**KEYWORDS** : radioactive alcohol waste, carbonic acid gas, carbonate, thin film evaporator

Makoto Nakao, Takeo Nishitani, Kentaro Ochiai

**Fusion Neutron Skyshine Experiment at FNS**

FAPIG No. 168 pp.9~13 (2004)

Fusion neutron skyshine experiment have been carried out at the FNS (Fusion Neutronics Source) facility of Japan Atomic Energy Research and Institute.

In this experiment, the skyshine port located just above the tritium target from which fusion neutron produced was open and the radiation dose rate of skyshine neutron that went out through the skyshine port was measured as far as about 550m away from the tritium target with a spherical rem-counter. The measured neutron dose rate was compared with the calculation value by Monte Carlo simulation code MCNP-4B and a simple line source model.

**KEYWORDS** : FNS facility, skyshine, fusion neutron, MCNP-4B code, rem counter

Miki Saikawa, Takayo Ito

**The 12th WIN Global Annual Meeting in Tokyo**

FAPIG No. 168 pp.14~22 (2004)

WIN (Women in Nuclear) is the network of the woman engaged in the business and research on the nuclear power generation and the radiation which were born in Europe in 1993 for the purpose of deepening an understanding to the general public to atomic power. Now, 57 nations and 2000 members or more are working under WIN-Global which is a world organization. This paper describes the report and results of 12th WIN-Global annual meeting” which was held at first time in Japan. We participated in this meeting as a part of PA (Public Acceptance) activity in order to realize the public relation on nuclear power through woman’s original viewpoint.

**KEYWORDS** : The 12th WIN Global Annual Meeting, WIN (Women in Nuclear), WIN-Japan, WIN-Global, International Citizens’ Forum, PA (Public Acceptance)

Manabu Sato, Kouichi Moriyama, Motohiko Nishimura, Isamu Maekawa

**Development of a Plant Dynamics Simulation Code for Helium Gas Cooled Reactors**

FAPIG No. 168 pp.23~26 (2004)

A plant dynamics simulation code has been developed for helium gas cooled reactor plants. The code is equipped with point reactor kinetics, multi-dimensional reactor vessel thermal-hydraulics and volume junction gas turbine system dynamics models. This analysis code enables more realistic evaluation of the plant dynamics under the events such as a depressurization accident

**KEYWORDS** : the Generation IV International Forum (GIF), helium gas cooled reactor, plant dynamics simulation code, point reactor kinetics, multi-dimensional thermal-hydraulics, volume junction model, gas turbine system dynamics

Masamichi Chino, Norio Yabe

**Research Status and Some Results of Numerical System to Study Regional Environment: SPEEDI-MP**

FAPIG No. 168 pp.27~32 (2004)

Research status and some results of 'Numerical system to study regional environment: SPEEDI-MP', which reproduces circulations of materials in the atmospheric, oceanic and terrestrial environments, are introduced. The purposes of this system are the development of various environmental models, the connection of atmospheric, oceanic and terrestrial models and the construction of research bases for numerical environmental studies. In addition to the accurate prediction of environmental behavior of radionuclides, the system has been applied to the non-nuclear fields, e.g., numerical analysis of environmental effects to volcanic gases from Miyake Jima, real-time prediction of the migration of rice planthoppers from Eastern Asia.

**KEYWORDS** : environment, prediction, numerical system, computer, radionuclide, volcanic gas, planthoppers

Yutaka Mori, Noboru Makita

**Introduction of Fuel Cell System**

FAPIG No. 168 pp.33~37 (2004)

Fuel Cells are attracting the attention not only for its high efficiency but also for its environmentally-friendliness with less emissions of CO<sub>2</sub> or NO<sub>x</sub>.

Especially, polymer electrolyte fuel cell (PEFC) is recently applied to various fields including stationary fuel cell system as residential cogeneration system, automobiles and mobile power sources.

Ebara Corporation and EBARA BALLARD are pursuing commercialization and application development of stationary PEFC system.

In this report, we introduce overview of fuel cell system and Ebara group's latest approach for residential PEFC cogeneration system and PEFC backup power system.

**KEYWORDS** : fuel cell, polymer electrolyte fuel cell (PEFC), stationary fuel cell system, residential PEFC cogeneration system, PEFC backup power system



店番(東京 築地市場)

## 作者プロフィール

佐々木 貴 Sasaki Takashi

1939年 福島市生

1998年 川崎重工原子力本部退職

元FAPIG 編集委員会委員

## 写真歴

1979年 コニカFS-1 一眼レフカメラでスタート

1984年 神戸で全日本写真連盟主催の基礎写真講座受講  
プロ写真家森井 禎紹先生の写真クラブに入会1989年 東京転勤を契機にプロ写真家の雪松 覚先生の写真塾に入会  
現在その代表 塾のグループ展を12回開催

## 受賞歴

日本フォトコンテスト誌のモノクロの部門で1995年の年度賞4位

コダック1996フォトコンテストのスライド部門でDyna Ex賞(準グランプリ:スライド部門の推薦)

## 第一原子力産業グループ

旭電化工業株式会社

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

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

渋沢倉庫株式会社

清水建設株式会社

双日株式会社

横浜ゴム株式会社