

FAPIG

THE FIRST ATOMIC POWER INDUSTRY GROUP



2011 February

182

カワサキプラントシステムズ株式会社は合併により
川崎重工業株式会社 プラント・環境カンパニーとなりました。

テクノロジーの頂点へ。



川崎重工グループは、輸送技術や産業機械、プラント設備、社会資本整備など、
 さまざまな分野でつねに先進のテクノロジーを開発。地球の、環境の明日を、力強く担い続けています。

川崎重工グループは「世界の人々の豊かな生活と地球環境の未来に貢献する“Global Kawasaki”」という理念のもと、広範な領域における先端技術と、その総合力で、地球環境との調和を図りながら、持続可能な未来社会の実現に向けて、新たな価値を創造しています。陸・海・空はもとより、宇宙や深海にまで及ぶ製品・システムは、その成果といえます。川崎重工グループは、これからも自らのテクノロジーをより高いレベルへと磨きつづけ、人と地球へのやさしさを次々にカタチにしています。

イラストは右上から ①ボーイング787ドリームライナー ②産業用ロボット ③JR東日本向けFASTECH 360Z ④油圧ポンプ ⑤ホイールローダ、左上から ⑥モーターサイクル ⑦発電用ガスタービン ⑧セメントプラント ⑨発電用ガスエンジン ⑩LNG船

川崎重工業株式会社 東京本社 〒105-6116 東京都港区浜松町2丁目4番1号(世界貿易センタービル) TEL.03-3435-2111 www.khi.co.jp



FAPIG

THE FIRST ATOMIC POWER INDUSTRY GROUP

2011-2 / 平成22年度 第2号

No.182

目次

■ 紹介

「耐震形体表面汚染モニタ」の開発(3)
 柳嶋良平 / 大山真司 / 福本圭佑
 ベレット仕上検査設備2号機の開発(9)
 鈴木嘉浩 / 荒井 康
 ITERトロイダル磁場コイルの製造技術開発(15)
 千田 豊 / 中嶋秀夫
 木質バイオマス流動層ガス化発電システムの開発(21)
 山田健一
 日本原子力研究開発機構の新スーパーコンピュータシステム(26)
 清水大志 / 坂本健作 / 吉岡祐二

■ 論文

原子力発電所の可燃性雑固体廃棄物焼却炉における使用済樹脂焼却効率向上の検討
 -ワックス混練樹脂の製造および実機焼却試験結果-(30)
 出水丈志 / 大津 孝 / 稲川博文 / 川上尚志
 萩原正弘 / 猪野隆夫 / 石山祐二
 FAPIGの機構(36)

表紙デザイン：清水郁男

CONTENTS

■ Introduction

Development of “Seismic-Resistant Personnel Surface Contamination Monitor”……………(3)
 R. Yanagishima / S. Ooyama / K. Fukumoto

Development of Equipment (2)
 of MOX Pellet Finishing and Inspection for FBR Fuel……………(9)
 Y. Suzuki / Y. Arai

Development of Fabrication Technology for ITER Toroidal Field Coil……………(15)
 Y. Chida / H. Nakajima

Development of Gasification Power Generation System Using Woody Biomass ……(21)
 K. Yamada

JAEA’s New Supercomputer System ……(26)
 F. Shimizu / K. Sakamoto / Y. Yoshioka

■ Paper

Improvement of Incineration Efficiency of Spent Ion Exchange Resins
 on the Incinerator at Nuclear Power Plants
 – Manufacturing the Solids of the Resins Mixed with Paraffin Wax
 and Their Incinerating Test Results on Actual Incinerator – ……(30)
 T. Izumi / T. Ohtsu / H. Inagawa / T. Kawakami
 M. Hagiwara / T. Ino / Y. Ishiyama

Cover Design : Ikuo Shimizu

「耐震形体表面汚染モニタ」の開発
 Development of “Seismic-Resistant
 Personnel Surface Contamination Monitor”

柳 嶋 良 平* 大 山 真 司* 福 本 圭 佑**
 Ryohei Yanagishima Shinji Ooyama Keisuke Fukumoto

〔概 要〕

原子力発電所等の放射線取扱施設では、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体表面汚染モニタを設置し、管理区域から区域外へ移動する人の放射性表面汚染の有無を検査・監視している。

富士電機は、従来から体表面汚染モニタを製作・納入しているが、新潟県中越沖を震源とする地震の発生を受け、震源地に近い原子力発電所での震災事例を踏まえ、さらなる安全確保を目的とした「耐震形体表面汚染モニタ」を開発した。本「耐震形体表面汚染モニタ」は、震度7の最大加速度に相当する約15m/s²（＝約1500gal＝約1.53G）に対して耐震性を有しており、実機を用いた震度7相当の加振試験を実施することで、加振前後において性能・機能に変化がなく、体表面の汚染測定が継続可能であることを実証により確認した。

以下に「耐震形体表面汚染モニタ」の特徴、仕様および開発における評価内容・結果について紹介する。

1. はじめに

原子力発電所などの放射線取扱施設では、放射性汚染の可能性がある区域を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、表面の汚染検査をする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、汚染モニタにて表面の汚染検査をすることが必須となる。

汚染モニタの一つとして、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があり、当社では以前より体表面汚染モニタの製作・納入を行ってきた。

本稿では、従来の体表面汚染モニタに耐震性を付加した「耐震形体表面汚染モニタ」について紹介する。

2. 耐震形体表面汚染モニタ

2.1. 概要

新潟県中越沖地震の発生により、震源地に近い

原子力発電所に設置されている当社体表面汚染モニタにおいて地震発生後に確認された事例、部品変形による予備品への交換のための停止時間の発生などを踏まえ、より安全で地震直後でも汚染測定が可能な体表面汚染モニタの開発に取り組み、中越沖地震相当以上の揺れが発生した場合でも性能・機能を損なうことない、耐震性のある「耐震形体表面汚染モニタ」を開発した。

従来のモニタと比較して、本モニタに付加されたポイントを以下に紹介する。

2.2. 特徴

「耐震形体表面汚染モニタ」は、従来のモニタに比べて次の性能・機能に特徴を持つモニタである。

(1) 耐震性

中越沖地震相当以上の地震に対して、地震前後で性能・機能に変化がないように構造などの補強を実施した。

補強内容の詳細は、3.5項にて紹介する。

(2) 検出感度の向上

小型化した新型検出器を採用することにより、検出器1個当たりのバックグラウンドを低減させ、従来の検出器と比較して測定性能である検出

* 富士電機システムズ(株) 産業ソリューション事業部 東京工場 放射線装置部 プロセス機器設計課

** 同社 エネルギーソリューション本部 グリッドソリューション事業部 グリッドソリューション統括部 放射線システム部 技術第二グループ

表1 従来モニタと本モニタの検出器配置の比較

従来モニタ(全17部位)		本モニタ(全31部位)	
ch	測定部位	ch	測定部位
1	頭上	1	頭上
2	顔, 胸	2	顔
		3	顔胸
3	腹	4	前胸
		5	腹
4	大腿前, 脚前	6	大腿前
		7	脚前上
5	頭後, 背上	8	脚前下
		9	頭後
6	背下	10	頭後背上
		11	背上
7	大腿後, 脚後	12	背下
		13	大腿後
8	右足裏	14	脚後上
		15	脚後下
9	左足裏	16	右足裏
		17	左足裏
10	右手(甲, 掌)	18	右足裏
		19	左手(甲, 掌)
11	左手(甲, 掌)	20	右手(甲, 掌)
		21	左手(甲, 掌)
12	右側上(側頭部)	22	右側頭部
		23	右側上
13	右側中	24	右側中上
		25	右側中
14	右側下	26	右側中下
		27	右側下
15	左側上(側頭部)	28	左側頭部
		29	左側上
16	左側中	30	左側中上
		31	左側中
17	左側下	32	左側中下
		33	左側下

感度を約30%向上させた。また、検出器を従来のモニタの17台から31台と2倍弱に増設して汚染箇所を細かく測定可能とした。

従来モニタと本モニタの1台当たりの検出器配置の比較を表1に示す。

2.3. 仕様

「耐震形体表面汚染モニタ」の主な仕様を表2に示す。

表2 耐震形体表面汚染モニタ仕様

項目	仕様
測定線種	$\beta(\gamma)$ 線
検出器	プラスチックシンチレーション検出器
測定部位	31部位(表1を参照)
検出感度	2.0Bq/cm ² (⁶⁰ Co: β 線)未満条件(入口扉閉にて実施) ・バックグラウンド: 約0.1 μ Sv/h ・使用線源: Co-60(100×100mm) ・検出器と線源の距離: 足・手用検出器: 検出器中心で保護網密着 その他検出器: 検出器中心で保護網の表面より50mm ・線源効率: 0.4 ・測定時間: 10秒 ・BG測定時間: 600秒
使用条件	周囲温度: 0~40℃ 周囲湿度: 90%以下 電源電圧: AC100V \pm 10% 電源周波数: 50/60Hz \pm 5%
外形寸法	約860(W)×1000(D)×2250(H)mm
質量	約650kg以下

3. 耐震評価試験

実施した「耐震形体表面汚染モニタ」への実振動試験の準備段階から評価結果までの詳細を紹介する。

3.1. 加振試験値の設定

耐震形体表面汚染モニタの開発にあたっては、震度7での耐震性を持つことを目標とした。このため加振試験値は、震度7の最大加速度に相当する約15m/s²(=約1500gal=約1.53G)を加振試験値として設定した。これは、中越沖地震時に計測された震源地に近い建屋の1階レベルでの最大加速度がR/B1階(体表面汚染モニタは、S/B1階に設置)で計測された8.25m/s²(=825gal=0.84G)¹⁾であり、本値は震度6弱に相当することから、今後震度6弱以上の揺れが発生する可能性を考慮したことによる。

3.2. 加振準備

加振評価試験を実施するにあたり、準備した製品相当の体表面汚染モニタの試験品は以下の通りである。

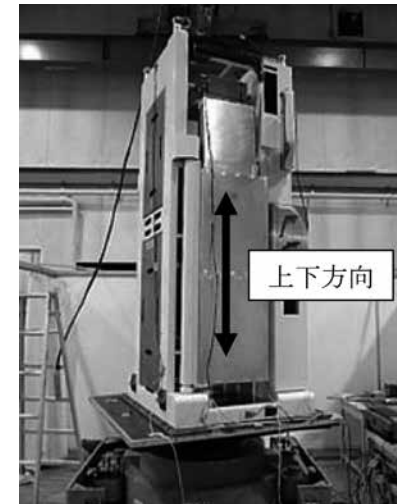


写真1 上下方向加振時のモニタセット状況



写真3 左右方向加振時のモニタセット状況

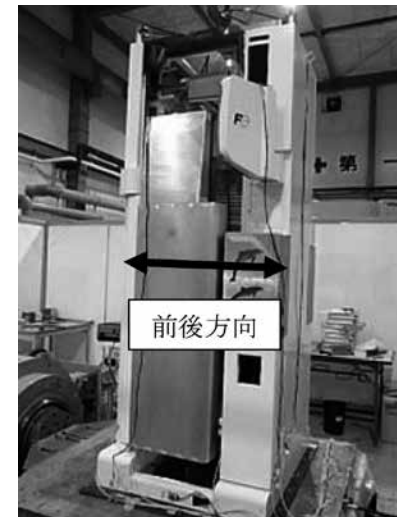


写真2 前後方向加振時のモニタセット状況

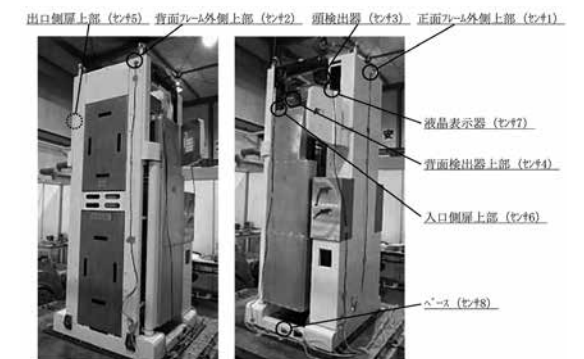


写真4 加速度センサの取付位置

- 検出器, 駆動系, 測定系, 表示部を実際に組み込み, 汚染測定機能の検査が可能とした。
- 試験品の重量は, 製品重量と同等とした。
- 通常, 体表面汚染モニタは床に固定されて設置されることから, 試験品も加振台に固定し, 上下・前後・左右方向に加振可能とした。
- 試験品の体表面汚染モニタの各ポイント計8箇所に加速度センサを取り付け, 加振時の加速度を測定可能とした。

加振台への試験品のセット状態を加振方向別に写真1(上下方向), 2(前後方向), 3(左右方向)に, 加速度センサの取付位置を写真4に示す。

3.3. 評価内容

評価試験は, 最初に共振点検索を行い, 得られた結果より最も負荷の掛かる周波数条件を選択後, 加振試験を実施した。各評価項目の詳細は以下となる。

(1) 共振点検索

開発した耐震形体表面汚染モニタの共振周波数を検索するため, 上下・前後・左右方向において, 周波数: 1~20Hz, 入力加速度: 0.98m/s²(=98gal=0.1G), 1.96m/s²(=196gal=0.2G)の条件で正弦波掃引試験を実施した。周波数は, 1Hzから20Hzまで6秒ごとに1Hzずつ上げていき, 加速度センサで計測される加速度を記録し, 1Hzから20Hzの範囲における試験品(開発した耐震形体表面汚染モニタ)の共振周波数を確認した。

(2) 加振試験周波数の決定

(1)で記録したデータから、1～5 Hzの範囲で最も体表面汚染モニタに負荷が掛かる周波数を選択し、加振試験周波数とした。1～5 Hzの範囲内で選択する理由は、日本における地震の周波数は、1～5 Hzの範囲が多く、一般的な周波数のためである。

(3) 加振試験

加振方向ごとに(2)で選択した周波数において、加速度10.0m/s² (= 1000gal = 約1.02G), 12.0m/s² (= 1200gal = 約1.22G), 15.0m/s² (= 1500gal = 約1.53G)にて加振試験を各10秒間実施した。加振方向は、上下・前後・左右方向であり、頭・扉駆動部の動作有無ごとに各加速度ごとに試験を行った。

3.4. 評価結果

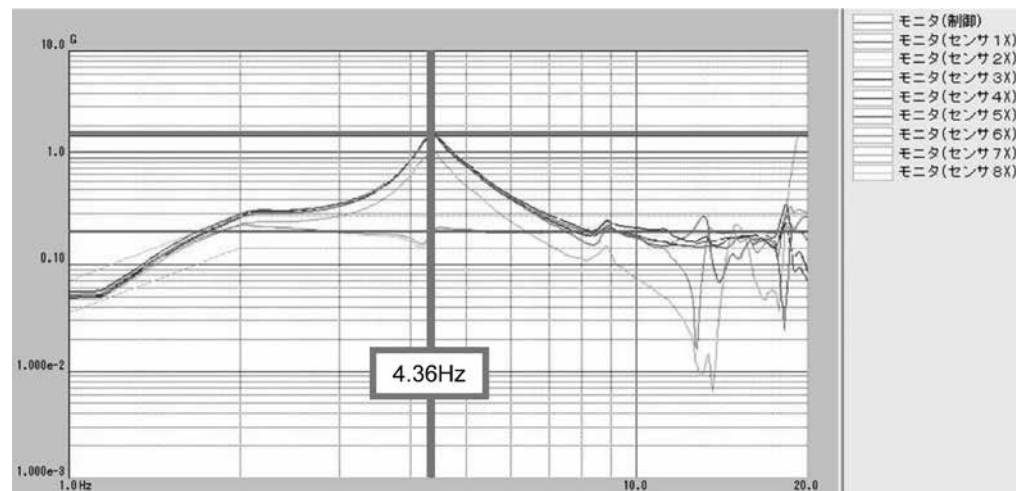
(1) 共振点検索・加振試験周波数の決定

3.3.(1), (2)の評価結果を表3に示す。加振方向

表3 共振点検索結果

No.	評価項目	試験条件	確認内容	確認結果
1	正弦波掃印試験 【上下方向】	0.1G, 1Hz～20Hz 0.2G, 1Hz～20Hz ※周波数は6秒ごとに1Hzずつ上げた	共振周波数を確認する。	共振周波数：11.1Hz ⇒加振試験は5Hzで実施する
2	正弦波掃印試験 【前後方向】	0.1G, 1Hz～20Hz 0.2G, 1Hz～20Hz ※周波数は6秒ごとに1Hzずつ上げた		共振周波数：8.55Hz ⇒振動試験は5Hzで実施する
3	正弦波掃印試験 【左右方向】	0.1G, 1Hz～20Hz 0.2G, 1Hz～20Hz ※周波数は6秒ごとに1Hzずつ上げた		共振周波数：4.36Hz

表4 左右方向の共振点検索データ



ごとの加振試験周波数は以下にて決定した。

1) 上下・前後方向は、1～5 Hzの範囲に共振周波数がないため、加振試験周波数は最も負荷の掛かる5 Hzとした。

2) 左右方向は、共振周波数が4.36Hzに確認できたため、加振試験周波数は4.36Hzとした。参考に、左右方向の共振点検索データ(入力加速度：1.96m/s² (= 196gal = 0.2G))を表4に示す。

(2) 加振試験

(1)で選択した周波数において、上下・前後・左右方向で10.0m/s² (= 1000gal = 約1.02G), 12.0m/s² (= 1200gal = 約1.22G), 15.0m/s² (= 1500gal = 約1.53G)の各加速度における加振試験を実施した結果を表5に示す。

表5 加振試験結果

No.	評価項目	試験条件	確認内容	確認結果
1	加振試験 【上下方向】	10.0m/s ² (= 1000gal = 約1.02G), 10s, 5.00Hz	加振後に以下確認をする。 ①外観確認 ②機能(特に駆動部)確認 ③性能(検出器)確認	①異常なし ②異常なし ③異常なし
2		12.0m/s ² (= 1200gal = 約1.22G), 10s, 5.00Hz		①異常なし ②異常なし ③異常なし
3		15.0m/s ² (= 1500gal = 約1.53G), 10s, 5.00Hz		①異常なし ②異常なし ③異常なし
4	加振試験 【前後方向】	10.0m/s ² (= 1000gal = 約1.02G), 10s, 5.00Hz	加振後に以下確認をする。 ①外観確認 ②機能(特に駆動部)確認 ③性能(検出器)確認	①異常なし ②異常なし ③異常なし
5		12.0m/s ² (= 1200gal = 約1.22G), 10s, 5.00Hz		①異常なし ②異常なし ③異常なし
6		15.0m/s ² (= 1500gal = 約1.53G), 10s, 5.00Hz		①異常なし ②異常なし ③異常なし
7	加振試験 【左右方向】	10.0m/s ² (= 1000gal = 約1.02G), 10s, 4.36Hz	加振後に以下確認をする。 ①外観確認 ②機能(特に駆動部)確認 ③性能(検出器)確認	①異常なし ②異常なし ③異常なし
8		12.0m/s ² (= 1200gal = 約1.22G), 10s, 4.36Hz		①異常なし ②異常なし ③異常なし
9		15.0m/s ² (= 1500gal = 約1.53G), 10s, 4.36Hz		①異常なし ②異常なし ③異常なし

全加振条件において、加振後の確認結果において異常は見られず、また、性能・機能ともに加振前後で変化は見られなかった。

以上の評価結果より、「耐震形体表面汚染モニタ」が震度7の最大加速度に相当する揺れに対して、耐震性を有し、また、加振前後において性能・機能に変化がなく、体表面の汚染測定が継続可能であることを実証した。

3.5. 従来モニタからの耐震強化内容

従来モニタにおいても中越沖地震での結果を踏まえ、震度7相当での加振試験を実施して、構造検討で抽出しにくい課題について確認した。その結果を「耐震形体表面汚染モニタ」に反映した。反映内容については、本加振試験後に問題がないことを確認済みであり、反映内容を以下に記す。

(1) 頭上検出器用昇降モータの駆動トルク

従来モニタにおいて、頭上検出器の上下駆動中に上下方向の揺れを加えた場合、頭上検出器が降下したケースが確認された。そのため、地震発生時にモニタ内にいる作業者の安全を確保するために、「耐震形体表面汚染モニタ」では、容量の大

きな昇降モータを採用することにより、駆動トルクを大きくして、駆動中の上下方向の揺れに対して頭上検出器が降下しないことを確認している。

(2) 頭上検出器の駆動機構

従来モニタにおいて、前後方向の揺れに対して、頭上検出器が背面フレーム上部カバーに接触し、頭上検出器の駆動が不安定になることが想定され、加振試験で同様のケースが確認された。そのため、「耐震形体表面汚染モニタ」では、頭上検出器の駆動機構を従来のシングルアームから両持ち構造であるダブルアームに変更することにより、前後方向の揺れに対して頭上検出器の振れ・回転を防止した。(写真5参照)

(3) 検出器扉の固定金具

従来モニタにおいて、前後方向の揺れに対して、前面検出器扉が開くケースが確認された。そのため、「耐震形体表面汚染モニタ」では、扉の固定を従来のボールキャッチ構造から鍵止め構造とすることにより、検出器扉が開く事例を防止した。

(4) 液晶表示部の背面カバー

従来モニタにおいて、左右振動で液晶表示器が

回転・左右に振られ、取付金具が変形し、液晶表示器の背面カバーが外れたケースが確認された。そのため、「耐震形体表面汚染モニタ」では、取付金具の強度見直しおよび位置調整用ネジの締め付けトルクを大きくすることによりカバー外れを防止した。

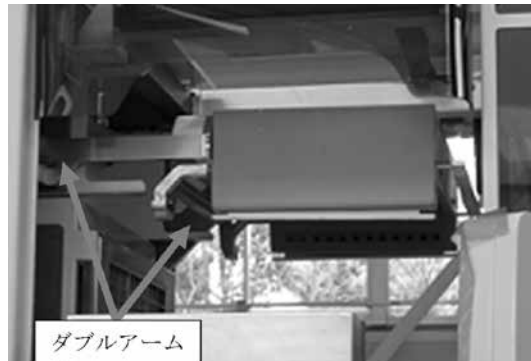


写真5 ダブルアーム

(5) モニタ本体の上部フレーム

従来モニタにおいて、震度7の加振で本体上部フレームに歪みが生じることが想定され、加振試験後に実際に歪みが確認された。「耐震形体表面汚染モニタ」では、本体フレーム強度の見直し（特に左右方向の連結構造）を行い、フレーム強度を高めている。

5. あとがき

以上紹介してきたように当社では、新潟県中越沖地震の発生を受け、さらなる安全性の優れた製品の開発に取り組んでいる。今後も本開発の中で得た経験を活かし、更なる安全確保に努める。

参考文献

- 1) 東京電力株式会社、柏崎刈羽原子力発電所における平成19年新潟県中越沖地震時に取得された地震観測データの分析に係る報告（第一報）（2007）

ペレット仕上検査設備2号機の開発 Development of Equipment (2) of MOX Pellet Finishing and Inspection for FBR Fuel

鈴木嘉浩* 荒井 康**
Yoshihiro Suzuki Yasushi Arai

〔概要〕

わが国では、ウラン資源の有効利用に向けて高速炉や軽水炉によるプルトニウム利用の計画が進められている。これら原子炉に供するMOX燃料の内、高速炉向けは1988年から日本原子力研究開発機構のMOX燃料製造施設で製造が開始され現在に至っており、軽水炉向けについては日本原燃（MOX燃料工場）での製造が決定し、2010年に建設が開始された。

富士電機は、1990年代から高速炉向けMOX燃料の製造設備の設計・製作を手掛けてきており、2010年2月に日本原子力研究開発機構へ「ペレット仕上検査設備2号機」を納入している。

本稿では、「ペレット仕上検査設備2号機」の設備概要を紹介する。

1. はじめに

MOX燃料製造施設は、プルトニウムおよびウランの酸化物の粉末を混合し、円柱形状にプレス成型してペレットとした後、焼結したペレットの外周研削と外径密度選別および外観検査を行い、所定の検査を受検し合格となったペレットを被覆管に封入し、燃料集合体として組立てる施設であり、高品質の燃料を製造するための高い信頼性と稼働率、およびプルトニウムの取扱いに伴う高い安全性が求められている。

ペレット仕上検査設備は、この製造工程のうちペレットの外周研削と外径密度選別および外観検査を行う設備であり、ペレット仕上検査設備2号機（以下、「仕上2号機」とする）では、従来のペレット仕上検査設備（以下、「仕上1号機」とする）に対して、信頼性と稼働率の向上を図っている。

本稿では、仕上2号機の概要と、主要機能の「外周研削機能」、「粉末搬送回収機能」、「外径密度選別機能」、「外観検査機能」、「制御システム」について、仕上1号機からの改良・付加機能の説明も交えながら紹介する。

2. ペレット仕上検査設備2号機の概要

2.1. 設備の概要

仕上2号機の鳥瞰図を図1に示す。本設備は、毒性の強いプルトニウムが含まれるペレットを取り扱うことから、外周研削や検査を行うFA機器類をグローブボックス（以下、「GB」とする）と呼ばれる気密性を有する箱の中に収納した設備であり、機能に応じて受払GB、研削GB、検査GBの3つのGBから構成される。

仕上2号機の機能フロー図2に示す。資材となる焼結ペレットは、専用容器に収納され保管庫に貯蔵されており、受払GBを経由して受払リフトにより研削GBに供給される。

研削GBでは、資材容器を受入れ、供給デパレパレ装置などにより容器からペレットを取り出し、研削装置へ搬送する。搬送されたペレットは研削装置で外周を研削して所定の外径に仕上げ（外周研削機能）、検査GBへ送り出す。研削により生じた研削粉については、研削粉・粉回収装置により吸引し回収する（粉末搬送回収機能）。

検査GBでは、研削済みペレットを受取り、外径密度選別装置により全ペレットの外径・高さ・重量を測定し、外径・密度について良品と不良品

* 富士電機システムズ(株) 機器設計部 構造設計グループ

** 同社 原子力技術部 電気制御グループ

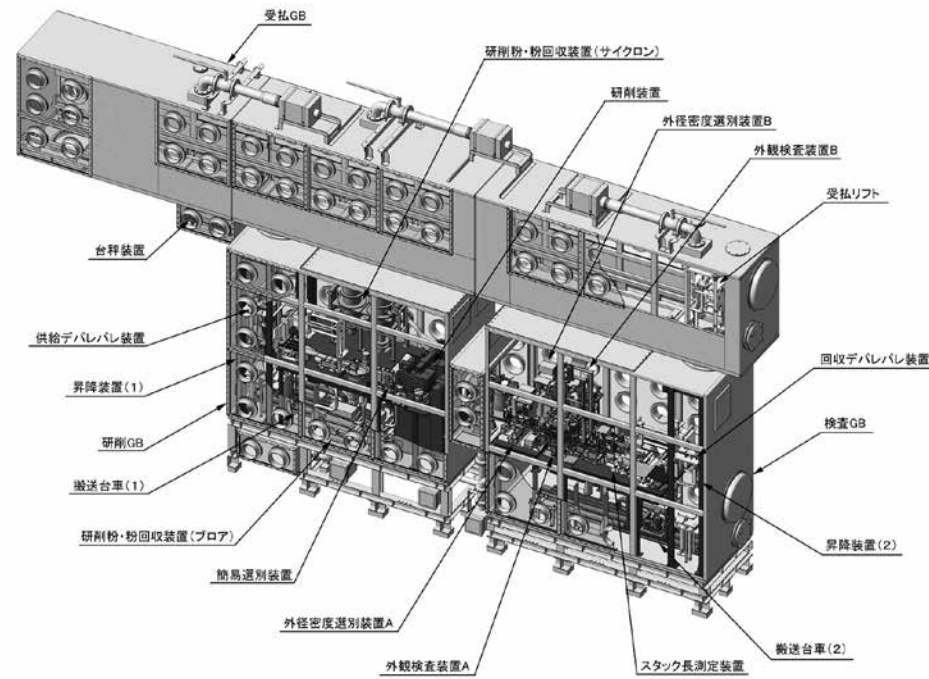


図1 ペレット仕上検査設備2号機 鳥瞰図

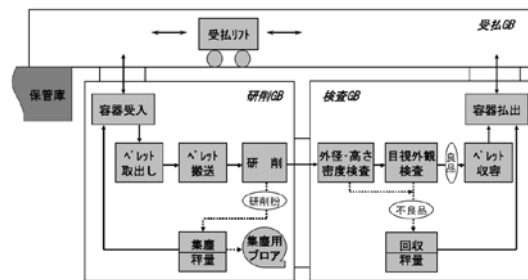


図2 ペレット仕上検査設備2号機 機能フロー

表1 ペレット仕上検査設備2号機 主要仕様

項目	仕様
外周研削	研削方式 乾式スルーフィードセンタレス研削 最大研削径 100μm(直径) 研削精度 ±5μm(10個研削時)
外径密度選別	高さ・直径 測定方式 LED測定器による多点測定 高さ・直径 繰返し精度 ±2μm 重量 測定方式 電子天秤による1点測定 重量 繰返し精度 ±2mg 測定選別速度 2秒/個・2ライン
外観検査	ペレット撮影方式 三視野カメラによる側面・両端面同時撮影 同時撮影ペレット個数 3個 外観検査方法 モニタ映像による遠隔目視検査

に選別する(外径密度選別機能)。その後、良品ペレットについては外観検査装置により外観を遠隔目視で検査し、良品と不良品ペレットに選別する(外観検査機能)。以上の各種検査を経て良品と判定されたペレットは、回収デパレパレ装置などにより製品容器に回収され、一方、不良品ペレットは燃料製造に再利用するため不良品用容器に回収された後、それぞれ受払GBへ払出され、受払リフトにより保管庫に戻されることとなる。

設備の主要仕様を表1に示す。

2.2. 外周研削機能(研削装置)

(1) 設計要求

高濃度のプルトニウムを含むMOXペレットの

(2) 設計対応

研削精度に関しては、ペレットの外周を削る研

削砥石やペレットに窒素ガスを吹き付けることで、ペレットや研削砥石の除熱と付着粉の除去、研削砥石の目詰まり抑制、並びにペレットの酸化防止を図っており、研削精度±5μmを可能としている。研削装置の概念図を図3に示す。

研削粉の滞留抑制と回収に関しては、研削部を局所カバーで覆い強制吸引するとともに、過去の経験に基づきフレームを、研削粉が滞留・付着し難い構造・形状としている。

(3) 保守性の向上

研削装置は、本設備の心臓部であり機能不全は設備の致命傷となる。そこで仕上2号機では、万が一、研削砥石や調整車の軸受が損傷し研削精度が維持できなくなるような異常事象が発生した場合であっても軸受の交換が可能となるよう、研削砥石および調整車の各軸と軸受を一体構造とし、ユニット交換できるようにしている。

2.3. 粉末搬送回収機能(研削粉・粉回収装置)

(1) 設計要求

GB内のプルトニウム粉末の滞留は、保障措置上の問題となるばかりでなく、飛散した微粉末が装

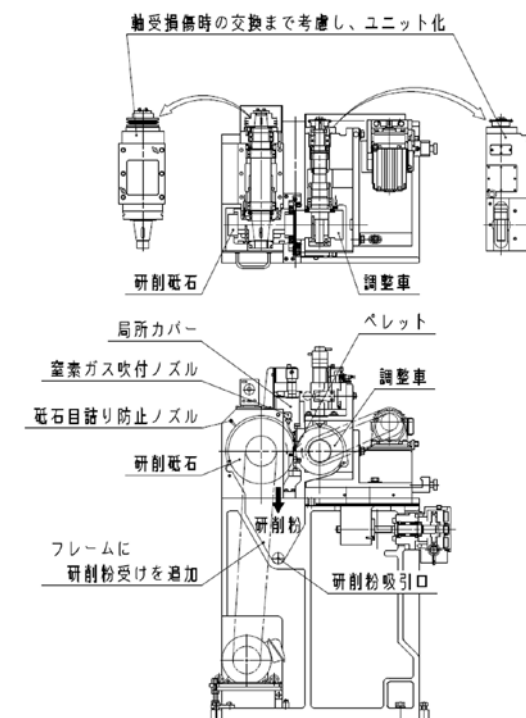


図3 研削装置の概念図

置のしゅう動部に入り込んで磨耗を促進させ、装置の寿命を縮めたり、樹脂に付着して劣化を起させ樹脂割れを招いたり、周辺線量率の上昇により保守性の低下を招いたりするなどの問題が生ずる。

(2) 設計対応

粉末滞留に関しては、ペレットの外周研削時に発生する研削粉およびペレット搬送時にペレットから脱落する粉末を強制的に回収する、小型で高性能なサイクロン式研削粉・粉回収装置を滞留の発生しやすい箇所にそれぞれ設置している。研削粉・粉回収装置の概念図を図4に示す。

(3) 保守性の向上

研削粉・粉回収装置のフィルタは、長さが廃棄箱より長く、廃棄の都度切断するなどの作業が必要であった。この作業をなくすため仕上2号機では、フィルタ形状を円筒からプリーツ状に変更して単位長さ当たりのろ過面積を稼ぐことにより、フィルタ全長を廃棄箱に収まる長さまで短縮可能とした。

2.4. 外径密度選別機能(外径密度選別装置)

(1) 概要

外径密度選別装置は、ペレット個々の高さ・外径・重量をそれぞれ測定し、測定結果から良品と

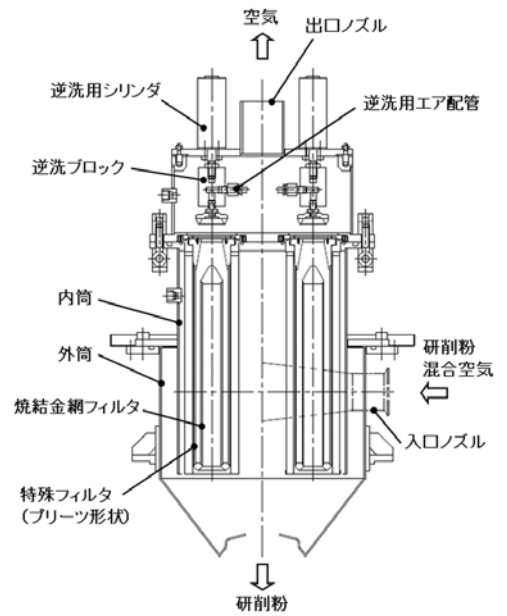


図4 研削粉・粉回収装置の概念図

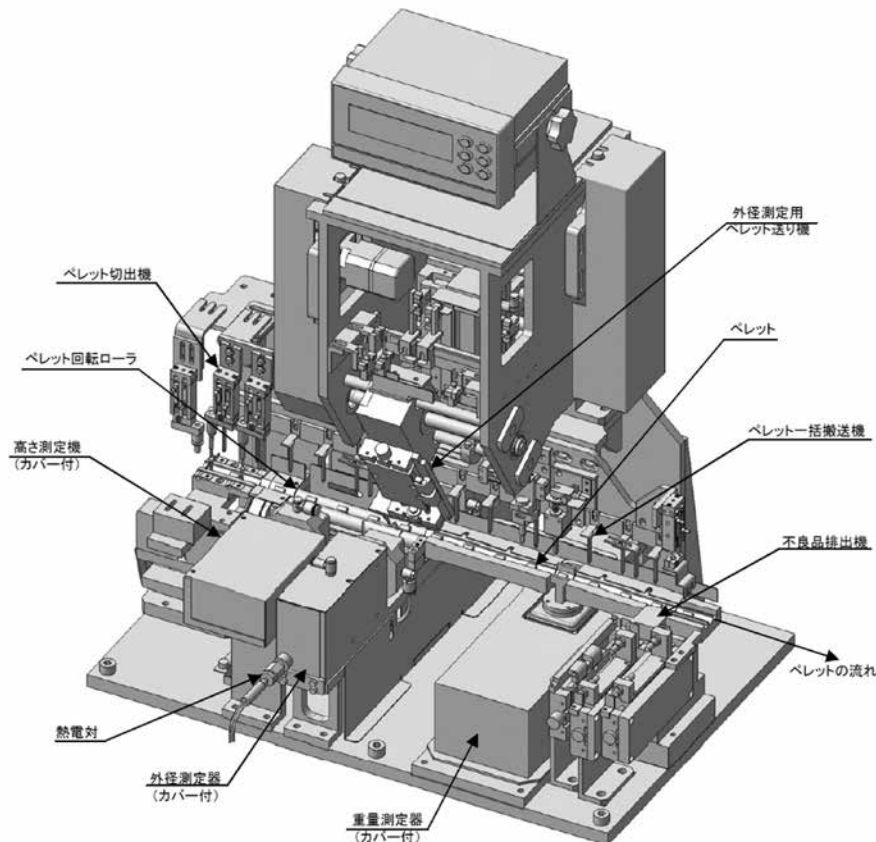


図5 外径密度選別装置の鳥瞰図

不良品ペレットに選別する装置である。装置の鳥瞰図を図5に示す。

ペレットは本装置に連続して繋がった状態で搬送されてくる。これをペレット切出機でペレット間に一定間隔の隙間を空けた後（以下、この動作を切出という）、切出されたペレットを熊手のような複数本の爪から成るペレット一括搬送機のサイクル動作（下降→送り→上昇→戻り）により間欠搬送する。ペレットの搬送路中には、高さ測定器、外径測定器、重量測定器および不良品排出機が直列配置されており、各測定箇所位置決め搬送されたペレットについて各々の測定を行い、測定結果から不良と判定されたペレットは、不良品排出機の排出位置に位置決めされたときに搬送路を開くことで自由落下により排出される。

(2) 設計対応（保守性・信頼性の向上）

各測定器に要求される測定精度（繰返し精度）は、高さおよび外径測定器が± 2 μm、重量測定

器が± 2 mgと厳しい。そこで、GB内の雰囲気温度が変動しても精度良く測定できるよう、高さ・外径・重量の各測定器はそれぞれカバーで覆い、カバー内に冷却エアを流すことで、各測定器の雰囲気温度がGB内温度に影響され難いよう考慮している。

さらに、測定器廻りの雰囲気温度の変動を小さくするよう、発熱源となるプロアの配置を仕上1号機の検査GB側から、研削GB側に移設している。

2.5. 外観検査機能（外観検査装置）

(1) 概要

外観検査装置はペレットの側面と両端面をカメラで撮影する装置であり、撮影映像はモニタに映し出され、これを目視確認することで検査ペレットを良品と不良品に選別する。外観検査システムの概要を図6に示す。

ペレットは外観検査装置により3個単位で切出され、三視野カメラのレンズ直下にセットさ

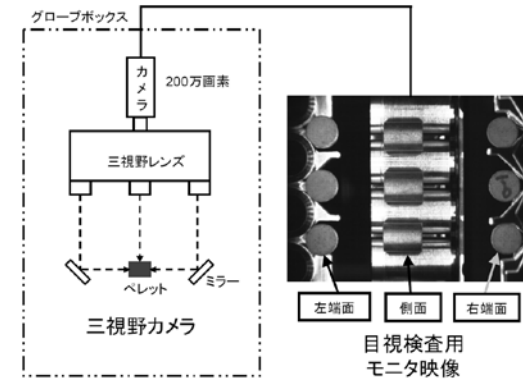


図6 外観検査システムの概要

れる。三視野カメラでは、ペレット3個の側面と両端面の3映像をミラーおよび三視野レンズにより光学的に1つの映像に合成し、1台のカメラで撮影する。

撮影された映像は、GBがある工程室外の検査室に設置される目視検査用モニタに映し出され、この映像から目視によりペレット外表面の割れ、欠け、染み付着などの欠陥の有無を検査する。

(2) 設計対応（保守性の向上）

仕上2号機では、交換が手間な照明用電球の交換頻度を減らすことで保守性を向上させるとともに、消費電力の低減や、電球の発熱による測定器廻りの雰囲気温度の上昇抑制も兼ねて、照明方式をハロゲン照明からLED照明に変更している。また、カメラの解像度を上げ視認性を向上させるため、カメラを36万画素から200画素のデジタルカメラに変更している。

2.6. 制御システム

(1) 概要

仕上2号機の制御システムは、設備制御計算機、設備監視ITVシステム、操作盤、制御盤により構成される。システムの基本的な構成を図7に示す。

保管庫から焼結ペレットを収納した容器を受け入れ、そのペレットの外周研削、外径密度選別および外観検査を行い、検査後の製品ペレットを収納した容器を保管庫へ払い出すといった連続した運転を行うために、上位工程計算機とリンケージして行う容器の受入・払出およびペレット測定検査に伴う各設備機器の制御機能、ペレット測定データの収集・演算処理機能、設備運転に伴う製造

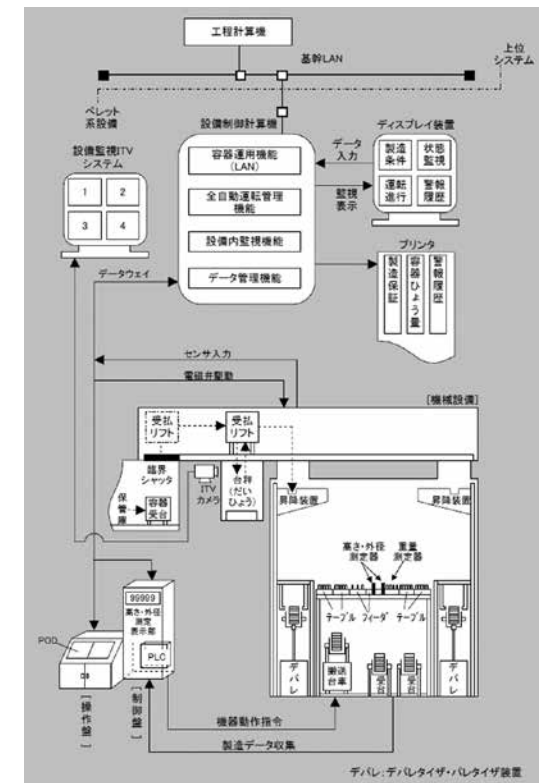


図7 制御システムの基本構成

条件データなど必要データ入力機能、在庫情報、製造実績データなど必要データ管理機能、並びに運転進行状況の監視機能を有する。また、外観検査装置の操作ユニットから三視野カメラによるペレットの良品・不良品判定操作機能並びにスタック長測定後のペレットの録画操作機能を有する。

仕上2号機の運転は、全自動、現場自動、現場手動モードの3つにより実現する。全自動モードは、通常の運転を行う場合のモードであり、核物質の在庫情報（トラッキングデータ）などデータの移動も含め、保管庫と設備間の核物質の移動並びに設備内での燃料製造（研削、測定選別、外観検査など）に関する一連の運転を、計算機ディスプレイ画面からの入力操作により実施する。現場自動、現場手動モードは、機器調整および異常時対応を行う場合のモードであり、操作盤からオペレータ介入により実施する。

(2) 設計対応（保守性の向上）

仕上2号機では、ハード物量を簡素化し保守性を向上するために、センサ入力と電磁弁出力に

AS-iシステムを、また現場操作盤にPODを採用している。AS-iシステムとは、世界標準のオープン省配線システムであり、4芯ケーブルでデータ伝送と電源供給を同時に行えることから、GB内およびGB-制御盤間の配線物量の大幅削減に貢献している。

3. あとがき

本稿では、ペレット仕上検査設備2号機の概要と主要機能について述べた。本設備が、日本原子力研究開発機構殿での今後のMOX燃料技術開発

に大きく貢献できることを切望する次第である。

最後に、これまでMOX燃料製造に関わる設備の納入および技術開発に際し、多大なご指導・ご協力をいただいた日本原子力研究開発機構の関係各位に対して、厚く謝意を表す。

参考文献

- 1) 乾 俊彦他, MOX燃料製造技術, 富士時報, Vol.6 No.6 (2003), pp28-34
- 2) 山口俊弘他, ペレット研削検査設備の開発, FAPIG, No.144 (1996), pp46-52

ITERトロイダル磁場コイルの製造技術開発

Development of Fabrication Technology for ITER Toroidal Field Coil

千田 豊* 中嶋 秀夫**
Yutaka Chida Hideo Nakajima

〔概要〕

ITER計画におけるトロイダル磁場 (TF) コイルの調達に関して、日本は日本原子力研究開発機構を窓口として25%の導体、9個のコイル、19個のコイル構造物を担当している。現在、導体製作の約20%が完了し、コイルおよびコイル構造物については実規模試作をメーカーと協力して進めている。本稿ではこれらの進捗状況およびTFコイルの製作技術と技術開発状況について紹介する。

1. はじめに

ITERとはInternational Thermonuclear Experimental Reactor (国際熱核融合実験炉)の頭文字をとったもので、核融合発電を最初に行う原型炉の一つ前の段階の実験炉であり、将来の核融合炉に必要な工学技術の集積としての試験を目的としています。

核融合反応は、水素やヘリウムなどの軽い原子同士が融合し、その際の質量変化に相当するエネルギーを発生させるもので、核融合炉建設は「地上に小さな太陽をつくる」と言うものです。現在の原子力発電所は核分裂反応を利用したもので、ウランなどの燃料を寄せ集めると自ら連鎖反応を起こすため、必要な分だけエネルギーを取り出すようにコントロールする必要があります。これに対して核融合反応は少しでも条件がずれると反応が止まってしまうために、なかなか起こりにくい反応を精緻にコントロールする技術が必要となります。

核融合発電は現在の原子力発電と比較して燃料が海水から採れることからほぼ無尽蔵にあること、燃料1gで石油8トン分のエネルギーが得られること、高レベルの放射性廃棄物がないことなど多くの魅力がありますが、商用化に向けては巨大な装置を精密に作る必要があり、また他のエネルギーに対して経済的な優位性を確保する必要が

あるなどの課題があります。

2. ITER計画と装置の概要

ITER計画は1988年より米国、ソ連、欧州、日本の4極によって概念設計が開始され、さらに韓国、中国、インドが加わり、現在7極(欧州が複数国で構成されるために極と称しています)による国際協力事業となっています。ITERが建設されるのは南フランスのカダラッシュで、現在は施設の建設が開始され、2019年のファーストプラズマ点火を目指してプロジェクトが進められています。

図1にITERおよび超伝導コイルの鳥瞰図を示しますが、装置本体は直径約30mのクライオスタットと呼ばれる真空タンクの中に組立てられます。

核融合反応を効率良く長時間持続させるために

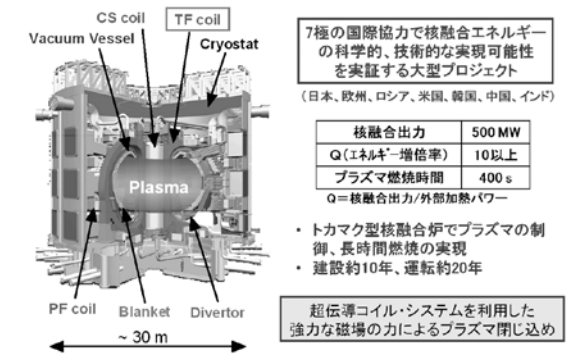


図1 ITER (国際熱核融合実験炉) と超伝導コイル

* (独)日本原子力研究開発機構 核融合研究開発部門 ITER超伝導磁石研究開発グループ (川崎重工(株)より出向)

** (独)日本原子力研究開発機構 核融合研究開発部門 ITER超伝導磁石研究開発グループ

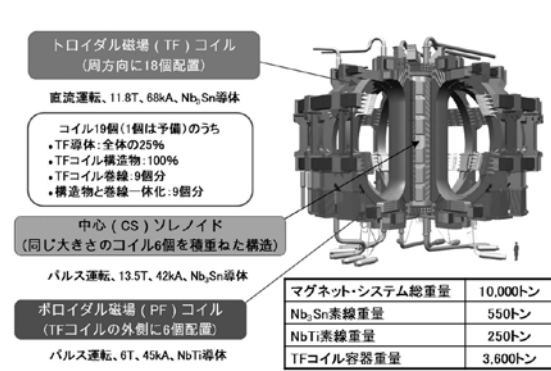


図2 ITER超伝導コイル・システムと日本の調達分担

はトカマク方式と呼ばれる装置が現在のところ最も優れた性能を示しており、これはドーナツ状の水素同位体プラズマ（原子がイオンと電子に分かれた状態）を周りに螺旋状の磁場を形成して閉じ込めるもので、この「磁気のかご」の役目を果たすのがトロイダル磁場（TF）コイルです。

ITERもこのトカマク方式による装置で、投入エネルギーの10倍以上の500MWのエネルギーを生み出し400秒間持続させることを目標としています。

図2にITER超伝導コイルシステムと日本のTFコイルでの調達分担を示しますが、TFコイルの他にプラズマに電流を誘起させて燃焼を制御するための中心ソレノイド（CS）、プラズマの位置や形状を制御するためのポロイダル（PF）コイルがあります。これらのコイルには極低温で電気抵抗が0となって大きな電流を流すことができ、これによって巨大な磁場（TFコイルで11.8テスラ）を発生させることのできる超伝導コイルが採用されています。

ITER計画では7極がITER機構に出資し、出資割合に応じて機器を納入することとなっており、機器調達の日本の窓口として日本原子力研究開発機構がその役割を担っています。日本が調達する機器は金額ベースで全体の18%で、超伝導コイルに関しては1/4のTFコイル導体、全てのCSコイル導体、9個のTFコイル、および全て（19個）のTFコイル容器となっています。

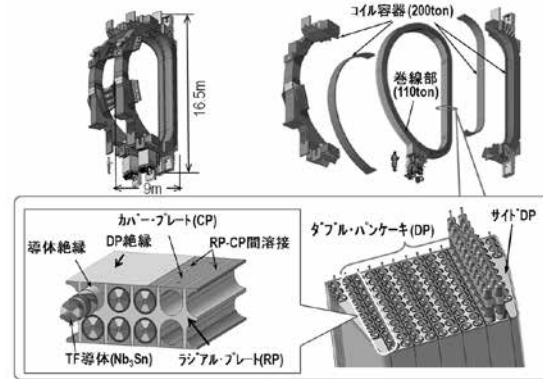


図3 ITER TFコイル

3. TFコイルの概要

TFコイルは図3に示すように、高さ16.5m、幅9m、重さ約300トンのD型の形状をしたもので、プラズマがその中で燃焼するドーナツ状の真空容器の外側を取り囲むように18個が放射状に配置され、各コイル間は支持構造物で接続されます。もちろんこのTFコイルが完成すると世界最大の超伝導コイルとなります。

直径0.82mmの超伝導素線は撚り合わせられて撚線となり、ジャケットと呼ばれる直径43.7mmの薄肉のステンレス管に覆われて超伝導導体となります。さらに導体はD型に巻線した後、ステンレス鋼製の櫛状断面を有するラジアルプレート（RP）に固定され、RPと共に積層されて巻線部を形成します。巻線部は極厚のステンレス鋼容器に格納されてコイルとなるのですが、コイル全体重量に占める超伝導素線重量の割合は3%程度であり、残りはほとんどTFコイル構造物であるステンレス鋼であるため、TFコイルは「ステンレス鋼のかたまり」と言っても過言ではありません。

4. 超伝導素線および撚線の製作技術

核融合炉用超伝導素線としてはNbTi線やNb₃Sn線が実用化されています。-200℃以上でも超伝導状態に転移する超伝導体も現在開発されていますが、強磁場下で安定した電流を流せる超伝導体は限られ、これらは超伝導状態にするために-260℃以下に冷却して使用する必要があります。

超伝導線はいくつかの種類がありますが、図4

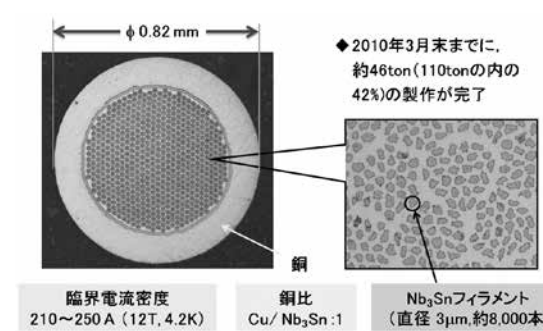


図4 TF導体用Nb₃Sn素線

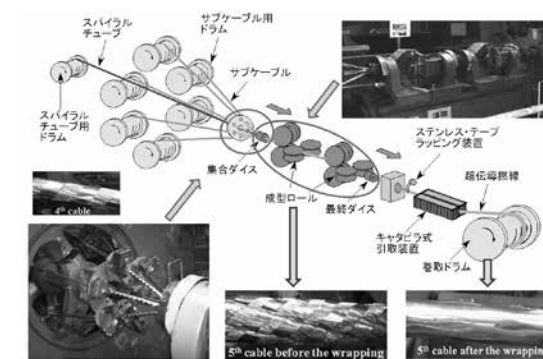


図5 TFコイル用Nb₃Sn撚線

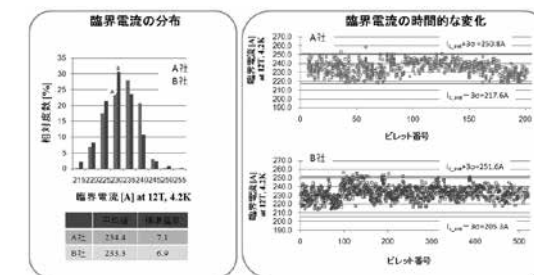


図6 TFコイル用Nb₃Sn素線の統計的プロセス管理

に示すようにTFコイルに使用されるものは銅の母材に直径3μのNb₃Snフィラメントを埋め込んだものが使用されます。フィラメントの直径は細いほど磁場の変動を受けた時の発熱が少なくなるため、極細のフィラメントを約8,000本埋め込む高度な技術により超伝導素線を製作しています。さらに超伝導素線を約1,000本集めて68kA以上の大電流を流せる超伝導導体を製作するのですが、単に超伝導素線を束ねると超伝導素線間を磁力線が貫き、これによって超伝導素線に誘起電流が発生して局部的に臨界電流値（超伝導状態から常電

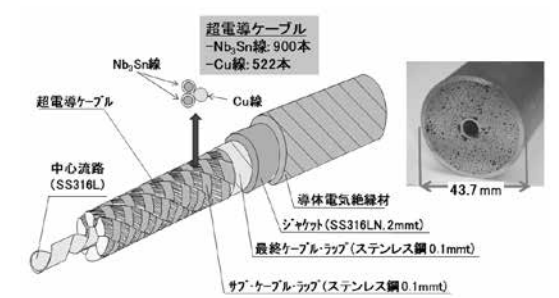


図7 TFコイル導体

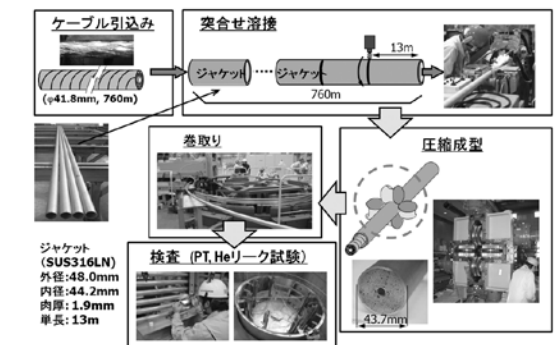


図8 TFコイル導体製作工程

導状態へ遷移する電流値) を超えて超伝導状態が崩れるクエンチと呼ばれる現象が発生します。そこで磁力線の超伝導素線への侵入を防ぐために超伝導素線を数回の工程で撚り合わせ撚線を製作します。図5に撚線の最終工程を示しますが、冷却用の臨界ヘリウムを流すための直径10mmのステンレス鋼製螺旋管を中心にその周りを覆うようにして製作されます。

超伝導素線として要求される性能は臨界電流値であり、工業製品としての品質管理としてその分布が重要となります。現在、製造予定の半数以上が製造を完了していますが、工程品での品質確認試験の結果、図6に示すように要求値190Aに対して臨界電流値の実績値は210~250Aと安定した品質を示しています。

5. 導体および巻線の製作技術

図7にTFコイル導体の構造、図8にTFコイル導体の製作工程を示しますが、撚線をジャケットに挿入して導体を製作するためには製作する導体の長さ分の直線の製作装置と製作場所が必要とな

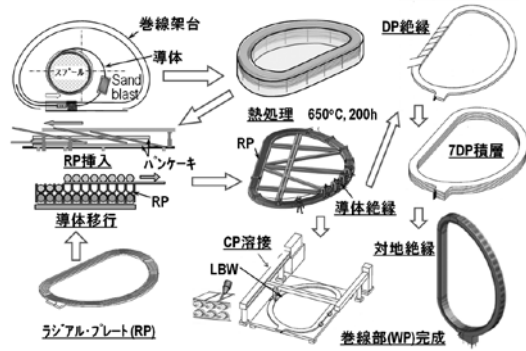


図9 TFコイル巻線部製作手順

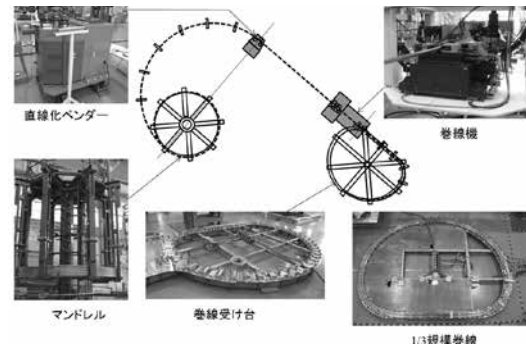


図10 TFコイル巻線部試作状況

ります。TFコイル用導体の単長が760m（コイル全体では4,600m）であることから、13mのジャケット管をつなぎ合わせて760mとし、ドラムに巻かれた撚り線をジャケット管に引き込み、引き込み完了後にローラにより4.3mm圧縮成型して直径43.7mmの導体を製作します。導体は中心の螺旋管から臨界ヘリウムが管内に供給されて超伝導線を冷却する構造となっているため、管外部に臨界ヘリウムが漏れ出すことは許されず、そのためにジャケット管をつなぎ溶接部に対しては浸透探傷試験、放射線透過試験、Heリーク試験を行い厳重に品質が管理されています。また、導体は次工程においてラジアルプレートの溝にはめ込まれて固定されるため、ラジアルプレート溝とのはめ合い公差が管理され、直径±0.3mmの目標値に対して工程品の実績値として±0.2mmとなっています。

図9に巻線部の製作手順を示しますが、ドラムに巻きとられた導体はラジアルプレートの溝を模擬した溝型に押し込んで巻線の形状に成型します。その後の650℃200時間の熱処理によってNb₃Snが生成されて初めて超伝導特性を発揮する超伝導導体となるわけですが、熱処理後の超伝導導体をラジアルプレートの溝に押し込み、超伝導導体とラジアルプレート間を電氣的に絶縁して盖板を溶接して固定し、上下2層となったダブルパンケーキ（DP）を製作します。このDPに電氣的絶縁を施した後で7枚のDPを積層し、全体を絶縁樹脂で覆って巻線部（WP：ワインディングバック）が完成します。この巻線部製作工程については実機製作に向けての検証試験を実施している段階であり、図10に巻線部の試作状況を、図11にラ

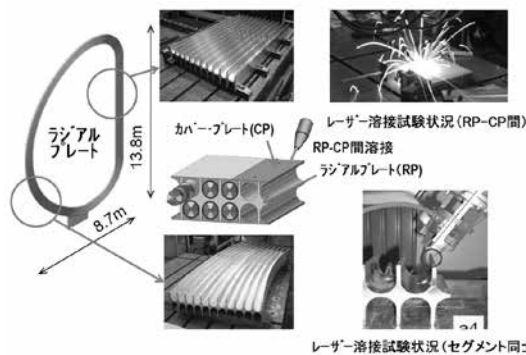


図11 TFコイルラジアルプレートの試作状況

ジアルプレートの試作状況を示しますが、実機の1/3規模での試作によって、導体を曲げながら成形する工程での精度管理、ラジアルプレートの製作精度管理などについて検証を進めています。

6. 構造物製作および巻線部と構造物一体化技術

構造物は巻線部を格納する容器とTFコイル同士をつなぎ支持構造物に大別されますが、いずれもコイルによって発生する巨大な電磁力（コイルを上げようとする面内力が最大6万トン、コイルを転倒させようとする面外力が最大6千トン）に対抗するために高強度な材料が要求されます。また、構造物は極低温で使用されることからオーステナイト系ステンレス鋼が使用され、通常の材料では耐力が低いために窒素を添加することにより高強度化した特殊なステンレス鋼（316LN）が使用されます。さらに応力の高い部位については高Mnステンレス鋼（JJ1）が開発され、使用されることとなっています。図12にTFコイル容器用構造材料と部位別の使用区分を示します。構造物に

ITER クラス	ITER 4K 耐力要求値	使用予定材料
C1	>1000MPa	FMJJ1
C2	>900MPa	FM316LNH (C+N≥0.18%)
C3	>700MPa	FM316LNM (C+N≥0.13%)
C3A	and at RT >260MPa	FM316LNH (C+N≥0.18%)
C4	>500MPa	FM316LNL (C+N≥0.08%)

母材	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	N	C+N
FMJJ1	0.030 max.	0.75 max.	9.00-11.00	0.035 max.	0.015 max.	11.00-13.00	11.00-13.00	4.00-6.00	0.21-0.27	-
FM316LNL	0.030 max.	0.75 max.	2.00 max.	0.035 max.	0.020 max.	10.00-14.00	16.00-18.50	2.00-3.00	0.05-0.12	≥0.080
FM316LNM	0.030 max.	0.75 max.	2.00 max.	0.035 max.	0.020 max.	10.00-14.00	16.00-18.50	2.00-3.00	0.10-0.17	≥0.130
FM316LNH	0.030 max.	0.75 max.	2.00 max.	0.035 max.	0.020 max.	10.00-14.00	16.00-18.50	2.00-3.00	0.15-0.22	≥0.180
溶接ワイヤ	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	N	O
FMYJJ1	0.030 max.	0.40-0.60	9.5-10.5	0.020 max.	0.015 max.	13.5-14.5	11.5-12.5	4.5-5.5	0.11-0.15	0.010 max.

図12 TFコイル容器用構造材料（日本機械学会（JSME）規格材料）

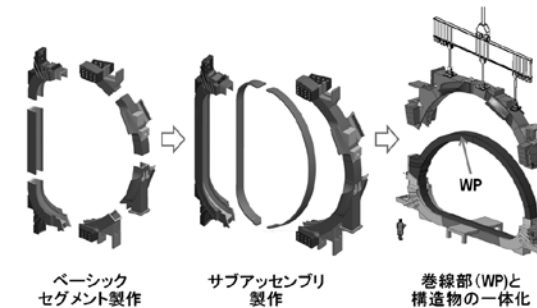
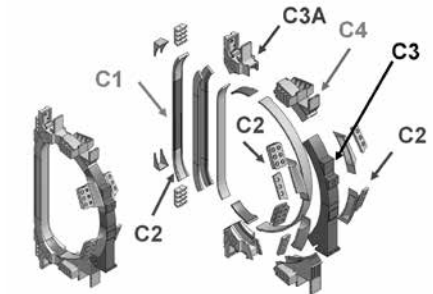


図13 TFコイル構造物の製作手順

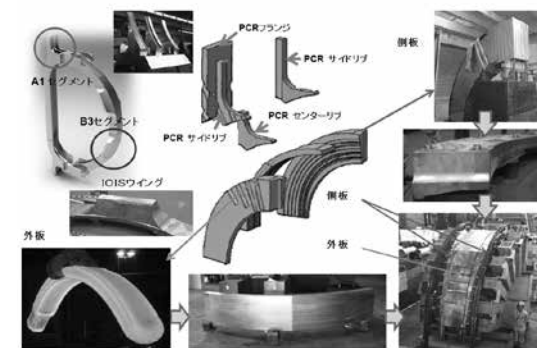


図14 実規模模型体試作状況

関する設計、材料、製作、検査に関する規格は日本機械学会の「核融合設備規格超伝導マグネット構造規格（JSME規格）」が2008年に制定されていて、現在実施している検証試験と並行してその見直し作業も継続して行われています。図13にTFコイル構造物の製作手順を示しますが、U断面の部材を製作し、それらをつなぎ合わせて半割の部材を製作し、WPを挿入してから盖板を溶接して一体化する計画となっています。この構造物製作工程についても実機製作に向けての検証試験を実施している段階であり、図14に実規模模型体の製作状況を示しますが、複雑な形状の大型鍛造品の製造に対する品質確認、模型体製作による溶接施工性確認、溶接継手品質確認、溶接による変形の確認を行っています。極低温における溶接継手性能の確保から溶接法としては基本的にTIG溶接に限定されるため、その溶接能力を向上させる目的で狭開先自動溶接法を採用し、溶接後の歪を極力最小化するために溶接変形を制御するための拘束治具の検討や、逆歪量の適正化などについて検証を進めています。

構造物の一体化についてはWPを容器に納める

際の精度管理，一体化溶接による歪の修正方法などに課題があり，検討を進めているところです。

7. おわりに

核融合エネルギー開発は人類社会の恒久的持続的発展を可能とする技術開発であり，さらにわが国が世界をリードできる科学技術分野です。核融合発電の商用化は今世紀半ばと言われていますが，ITER計画はそれに向けての大きな一歩となることは間違いありません。現在の原子力発電の代替エネルギーとして核融合発電が実現されることを切に望みます。

謝 辞

ITER計画におけるTFコイル製造および試作に携わっていただいている日立電線(株)，ジャパンスーパーコンダクタテクノロジー(株)，新日鉄エンジニアリング(株)，東芝(株)，川崎重工業(株)並びに関連企業の方々に謝意を表します。

参考文献

- 1) プラズマ・核融合学会編 日本実業出版社
プラズマエネルギーのすべて
- 2) 中嶋 ITER超伝導マグネットの技術開発と調達の現状 第8回核融合エネルギー連合講演 (2010年6月)
- 3) 小泉他 日本におけるITER超伝導コイル製作状況 2010年度秋季低温工学講演概要集 p40
- 4) 松井他 ITER TFコイル1/3規模巻線による製作技術開発 2010年度秋季低温工学講演概要集 p41
- 5) 千田他 ITER TFコイル構造物の実規模試作 2010年度秋季低温工学講演概要集 p44

紹介

木質バイオマス流動層ガス化発電システムの開発 Development of Gasification Power Generation System Using Woody Biomass

山田 健一*
Kenichi Yamada

〔概要〕

現在未利用の木質系バイオマスには，製材所木屑，林地放置材，土場放置枝条，剪定街路樹，建築廃材などがある。その中で特に発生量が多い製材所木屑や林地放置材は，山間部に存在し，集積度が低いため有効な利用が図られていない。このような木質系バイオマスをエネルギー利用するために開発された流動層ガス化発電システムは，加圧流動層ガス化炉とガスタービン発電機を組み合わせることで，従来に比べ効率的に未利用バイオマスをエネルギー転換する小規模分散型発電システムである。本稿では，システムの仕様と特長，および高知県にて実施した実証試験の概要について述べる。

1. はじめに

製材所木屑，林地残材，建築廃材などの木質バイオマスは，小規模の場合，燃料ペレット製造や木炭化などで利用され，大規模な場合は，木屑焚きボイラを使用し蒸気発生による電力，熱利用が行なわれている。

ただし，このボイラ蒸気タービンシステムでは，大規模設備でないと発電効率が低く，発電出力当りの設備単価が高くなるため，相当量のバイオマス燃料確保が必要となる。しかし，山間部に広く分布した高い木質バイオマスを経済的に収集する手段がなく，また，収集できたとしてもそのエネルギーを利用する需要が少ないため，それらを利用した大規模設備の設置が難しい。

よって，木質バイオマスの有効利用を図るためには，その集積量・エネルギー需要量に見合った小規模で高効率な設備の普及が不可欠である。従来技術ではこのような小規模設備において経済的に適合する発電効率を達成することは難しく，現実に発電システムとして設置されている例は限られている。

流動層ガス化発電システムは，流動層ガス化炉とガスタービン発電機を組み合わせることによ

り，従来に比べ効率的かつ経済的に未利用バイオマスを有用エネルギーに転換することが可能な小規模分散型発電システムである。2002年度から2005年度まで新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) による「バイオマスエネルギー高効率転換技術開発」の一つとして開発を終了し，2006年度よりNEDOによるバイオマスエネルギーの利用促進を目的とした「地域システム化実験事業」のエネルギー転換システムとして採用され，高知県にて実証試験を行った。

本稿では，新しく開発した流動層ガス化発電システムの構成と特長，仕様および高知県で実施した実証試験の概要について述べる。

2. 流動層ガス化発電システムの特長

流動層ガス化発電システムの構成を図1に示す。開発システムは，木質バイオマスを流動層ガス化炉により650℃程度の比較的低い温度でガス化し，可燃性ガスおよびタール分を含む生成ガスをそのままの温度・圧力でガスタービン燃焼器に導き燃焼させ，その燃焼ガスをガスタービンで膨張させて発電を行う。さらに，ガスタービン圧縮空気の一部は，熱交換後，流動層ガス化炉に導入し，ガス化剤として利用され，小規模でも高効率

* 川崎重工業(株) プラント・環境カンパニー プロジェクト開発総括部 新規プロジェクト推進部

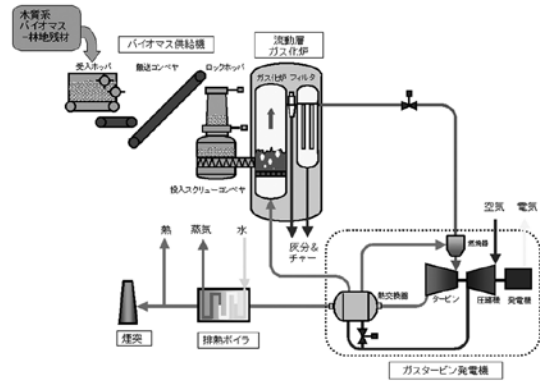


図1 流動層ガス化発電システム 構成

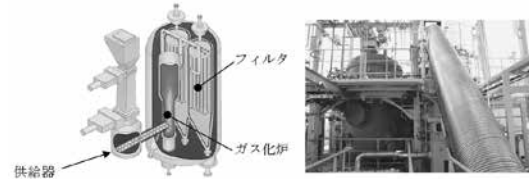


図3 流動層ガス化炉の構成図と外観

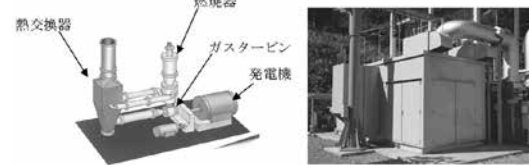


図4 ガスタービン構成図と外観

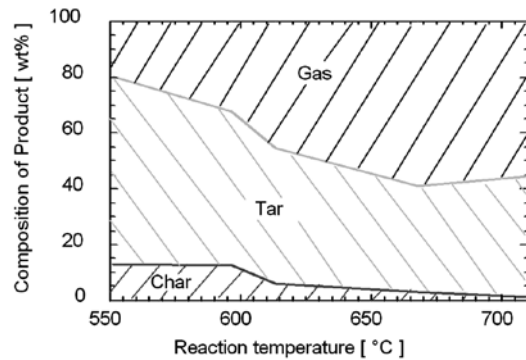


図2 バイオマス水蒸気改質による反応温度と生成成分

の発電を可能とするシステムとしている。

システムの特長を以下に説明する。

2.1. タール成分の有効利用

バイオマスを反応温度が低い状態でガス化すると、図2に示されるとおり、タール成分、未燃炭素の発生割合が多くなる¹⁾²⁾。タール成分は、冷却されると高沸点成分が凝縮・液化して粘性が強くなるため、機器への付着や配管の閉塞によって運転上のトラブルを引き起こす。このため、従来のガス化システムでは、タール除去の装置を設置して運転を行っている。しかし、タール成分を除去することは、タール成分のもつ熱エネルギーや、化学エネルギーを損失するだけでなく、その除去方法として、水洗除去、フィルタでの分離、触媒での分解などを行うことは、運転を複雑にし、設備費、ランニングコストを増加させてしまう。

これに対し、本システムではガスタービン燃焼器と同じ圧力の加圧流動層ガス化炉によりバイオ

マスをガス化し、冷却することなくガスタービン燃料に利用することにより、生成ガス中のタール成分除去が不要となり、ガスの保有している熱エネルギーおよび化学エネルギーを全て熱機関に利用することができる。

上記の特長により、本システムでは、バイオマスエネルギーの利用効率を高くでき、従来技術であるボイラ蒸気タービン発電方式より、同規模で約3倍高い発電効率を得ることができる。

3. 研究開発

本システムの研究開発は、2002年度から開始した。弊社内に設置した24kW級のベンチスケール試験設備にて試験運転することにより、要素機器の実用性確認とシステムの実証を行った。主な開発要素を以下に示す。また、代表機器である流動層ガス化炉とガスタービンパッケージの構成図、概観を図3、4に示す。

(1) ガス化炉

二重殻空気断熱構造とすることにより、昇温に時間を要する熱容量の大きな耐火物を使用することなく、高い保温性能を実現し、DSS (Daily Start and Stop) 運転を可能にした。

(2) 燃焼器

バーナ部の噴出し流速を低下し、保炎性能を向上させると共に、燃焼器内の滞留時間を長く取ることにより、低カロリーガス (1000kcal/Nm³) の完全燃焼を図った。

(3) 補助燃料用燃料ノズル

システム起動時に補助燃料のみでガスタービンを起動する場合、ガス化発電時に補助燃料を停止する場合との両方に対応可能な、燃料流量を幅広く可変できる補助燃料/圧縮空気の流れ体ノズルを開発した。

(4) 再生熱交換器

起動時の急激な温度上昇を緩和する機構をつけると共に、発生する熱応力が低減される構造とし、高い耐久性を実現した。

(5) 高温フィルタ

システムの変動要因となる運転中の逆洗を行わず、運転停止時に付着ダストを除去するフィルタ再生方法を確立した。

(6) 供給器

アーチングが発生し難いホッパ形状とし、攪拌機構により絶えず流動させることにより、圧密性の高いバイオマスを定量的に供給可能とした。

(7) ガスタービン制御

ガス化炉を燃焼状態からガス化状態へ移行する場合や、ガス化発電を終了して、ガス化炉を燃焼

状態に戻す場合などに、時定数の大きなガス化炉と連結しても安定的にガスタービンの運転を継続することができる制御方法を確立した。

4. 高知県での実証試験

4.1. バイオマスエネルギー地域システム化実験事業について

2006年度から2009年度までNEDOにより実施された「バイオマスエネルギー地域システム化実験事業」の目的は、地域に密着した上流工程（バイオマス収集、運搬）から下流工程（エネルギー利用）までの一貫した社会システムを確立し、バイオマスエネルギーの利用を促進することにある。

流動層ガス化発電システムは、NEDO採択事業の一つとして高知県仁淀川町により実施された「仁淀川流域エネルギー自給システムの構築」事業での、エネルギー転換・利用設備として採用され、150kWにスケールアップした流動層ガス化発電システムを製材所に設置し、実証試験を行った。事業の概要を図5に示す。

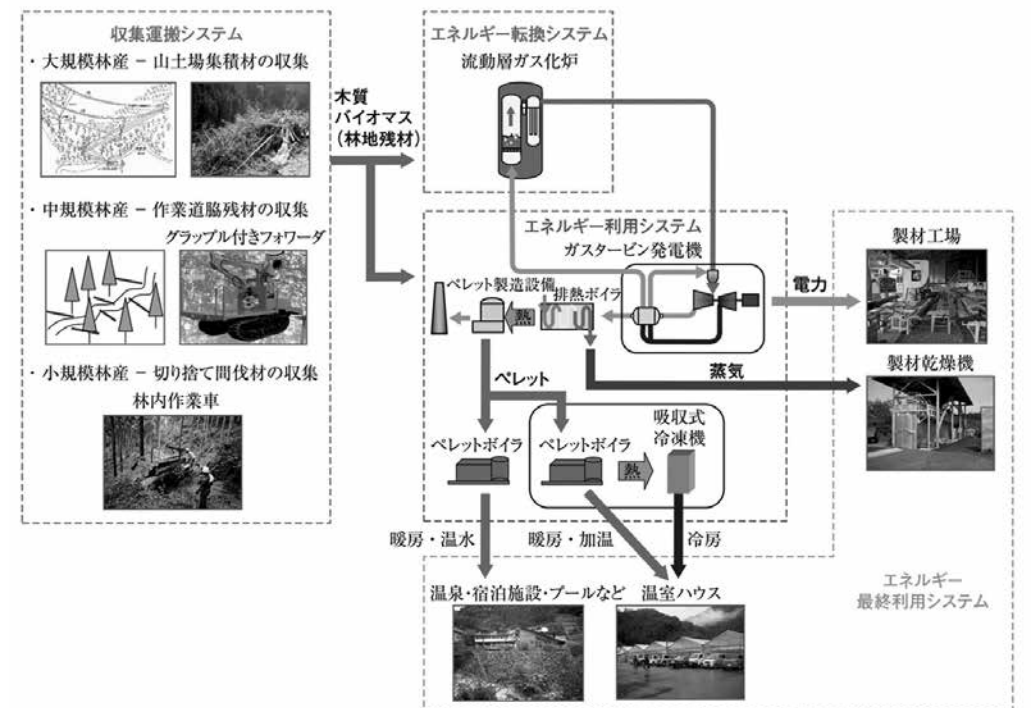


図5 高知県仁淀川町 NEDO地域システム化実験事業概要



図6 実証試験設備 全景

表1 実証試験設備 主仕様

表2 実証試験設備 代表性能

項目	仕様
設置サイズ	12.5mW×18mL
運転形式	8時間/日, DSS運転
構成機器	(主仕様)
バイオマス供給器	スクリュウフィーダ
流動層ガス化炉	φ2.1mO.D.×4mH サイクロン・フィルター体構造
ガスタービンエンジン	KAWASAKI S1A-05エンジン 低カロリー用燃焼器 再生熱交換器
排熱ボイラ	小型貫流ボイラ

項目	仕様	
バイオマス 性状	原料性状	林地残材(杉, ひのきなど) 30mmUnder 破砕物
	サイズ	45%
バイオマス供給量	水分	364kg/h-wet
層温度		650℃
層圧力		0.7MPaG
発電出力		150kW, 系統連系運転
システム発電効率		14.3%
発生蒸気量		400kg/h

本事業では、森林より収集・運搬された未利用木材を30mm以下に破砕した後、発電システムに供給し、流動層ガス化炉にてガス化した後、ガスタービンで発電する。発電した電力の一部は、併設した木質ペレット製造設備の稼働用電力として供給し、残りの電力を隣接する製材所に供給している。隣接する製材所の電力需要は、通常、本発電システムより供給される電力を十分に越えるものであり、供給電力は、製材所のベースロードを担うことになる。製材所休憩時など、電力需要が低下する場合には、余剰電力は電力系統へ売電される。売電価格が低いこともあり、ガス化発電設備の稼働時間は、日中稼働の製材所の電力需要に合わせた昼間運転としている。

発電設備より排出される排ガスは、排熱ボイラに供給され、発生した蒸気は製材所に設置されて

いる製材乾燥機用の熱源として使用される。排熱ボイラにて熱回収された後の排ガスはまだ高温であり、併設した木質ペレット製造設備での原料乾燥熱源として利用することにより、熱の利用効率を高めている。

実証試験設備全景を図6、主仕様を表1に示す。

4.2. 設備の稼働状況

本設備は、2006年度に設計・製作・据付を終え、2007年度より3年間、実証試験を行った。本設備の代表性能を表2、設備稼働率の推移を図7に示す。

当初、ベンチスケール設備よりのスケールアップに伴い発生した各要素機器の初期不具合の修正、およびシステムの最適運転条件の調整を行ったため、稼働率が低下していたが、順調に稼働率を上げ、2008年10月頃には、システムの運転時間としては、ほぼ計画通り、発電出力では80%以上

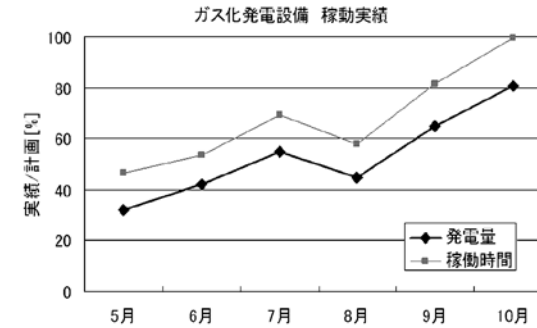


図7 実証試験設備 稼働実績 (2008年度)

にて運転を行っている。

これまでの実証試験にて確認した事項は下記の通りである。

- (1) 所定性能（発電出力，蒸気発生量）を満足していること。
- (2) 燃料バイオマスは、水分50%程度（含水率100%）と、比較的高いものまで使用可能であること。
- (3) 環境規制値を十分にクリアしていること。
(NO_x = 46ppm (O₂ = 16%換算), ばいじん濃度 < 0.001g/Nm³ など)

(4) 起動ボタンをON/OFFすることのみで、起動からガス化運転を経て停止することができ、特殊技能、資格を持たない運転員により設備の運転が可能であること。

(5) 運転後に回収された未燃チャー（木炭），灰分は、ペレット化し、周辺農家の土壌改良剤として有効利用することにより、設備としてゼロエミッションが達成されること。

5. あとがき

今後は、機器の耐久性・メンテナンス性向上を図り、システム全体の経済性を向上させていき、早期の製品化を通じて、バイオマスエネルギーの有効利用の促進に貢献する所存である。

おわりに、これまでの本研究開発にご支援、ご指導をいただいたNEDO、高知県仁淀川町、その他関係各位に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 伏見千尋・堤 敦司, バイオマスからの水素製造; ケミカルエンジニアリング, 46 (9), 699-704 (2001)
- 2) 栗田光暁・伊藤知之・野田玲治・堀尾正毅・田中直, 流動層を用いたバイオマスの接触分解ガス化; 第34回化学工学会秋季大会, 札幌, 2001年9月

日本原子力研究開発機構の 新スーパーコンピュータシステム JAEA's New Supercomputer System

清水大志* 坂本健作* 吉岡祐二**
Futoshi Shimizu Kensaku Sakamoto Yuji Yoshioka

〔概要〕

日本原子力研究開発機構（以下、「原子力機構」）では、計算科学を活用した原子力の研究開発を加速するため、平成22年3月に旧システム（総理論演算性能15.3TFLOPS）を刷新し、国内最大規模となる総理論演算性能200TFLOPS^(注)の大規模Linuxクラスタシステム(PRIMERGY BX900)と、総理論演算性能12TFLOPSの次世代計算機プロトタイプ機(FX1)などからなるスーパーコンピュータシステム一式を導入、これらの運用を開始した。BX900は旺盛な計算需要に応えること、FX1は次世代スーパーコンピュータ（京コンピュータ）の利用に向けた原子力アプリケーションのチューニング環境を提供することを目的としている。

本稿では、原子力機構が新たに導入した新スーパーコンピュータシステムの特徴や機能について紹介する。

1. はじめに

計算科学技術は「理論」および「実験」と並ぶ第3の研究手法として、21世紀の先端的研究のフロンティアを切り開くための重要な基盤技術となっている。特に、原子力のような巨大技術においては、安全面や時間・空間の制約により実験することが困難な場合が多く、計算科学技術は従来から重要な研究手段となっている。すなわち、計算科学技術は、原子力研究開発の効率化、原子力施設の安全評価、国際競争力強化のカギを握る技術となっている。原子力委員会においても、その原子力政策大綱の中で「シミュレーション技術の高度化による大規模な技術システム開発の効率化」を求めている。

原子力機構においては、原子力関連二法人の統合と独立行政法人化を経て、旧二法人が所有していたスーパーコンピュータの資源について整理統合と合理化を果たし、膨大な計算需要に応えるための新たな設備を導入すると共に、京コンピュータの利用に向けた準備を整え、平成22年3月より新システムの運用を開始した。

次節より、新スーパーコンピュータシステムの位置づけ、特徴や機能について紹介する。

2. 新スーパーコンピュータシステムの整備方針

原子力機構では、原子力に関する国内唯一の総合的研究開発機関として、高速増殖炉サイクル技術、高レベル放射性廃棄物処分技術、核融合研究開発および量子ビームテクノロジーなどの主要4プロジェクトをはじめとする幅広い研究分野の研究開発を行っている。これらの研究開発の多くにおいて計算科学技術が活用されており、原子力機構成果（査読付論文）の20%以上に貢献し、その論文数はこれまでの5年間で約2倍に増加している。（図1参照）このような背景の下、原子力機構における計算需要は拡大の一途を辿っている。図2に示す需要調査の結果に見てとれるように、計算機資源の不足は深刻な状況であったことから、スーパーコンピュータシステムの整備方針を、(1)よりコストパフォーマンスの高い新システムへ更新、(2)京コンピュータを積極的に利用するための環境整備とした。

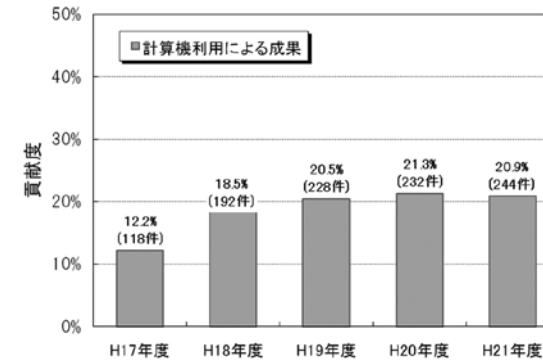


図1 研究成果に対する計算科学の貢献

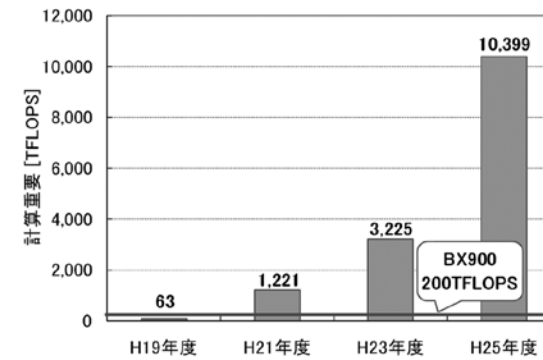


図2 計算需要動向

2.1. コストパフォーマンスの追求

新スーパーコンピュータシステムにおいては、旧二法人のスーパーコンピュータを統合・合理化し、少なくとも200TFLOPSの最大理論演算性能を有するとともに性能対消費電力、性能対設置面積に優れたシステムが求められた。本要件に対しては、大規模並列演算部として、ブレードサーバタイプのLinuxクラスタシステムであるBX900システムが導入されることとなった。

2.2. 京コンピュータの利用準備

数PFLOPSに達する膨大な潜在需要に応えるためには、前節の取り組みのみでは計算機資源が大幅に不足することから、国が開発をおこなっている京コンピュータの積極的利用が不可欠となっている。そのためには、京コンピュータが有する新

機能を活用できるよう、京コンピュータのアーキテクチャに適した物理モデルや計算手法を用いたプログラムの作成およびチューニングを行う環境が必要である。本要件に対しては、次世代コード開発部として、京コンピュータのプロトタイプ・アーキテクチャであるFX1システムが導入されることとなった。

3. 新システムの概要

新システムは3つの異なる用途の計算サーバシステム、すなわち、大規模並列演算部、次世代コード開発部および共有メモリ型演算サーバからなる複合システムである。これらのシステムの総理論演算性能は国内最大規模となる214TFLOPS、総主記憶容量は56TB、磁気ディスク容量は1.2PBである。

新システムの全体概要を図3に示す。

3.1. ハードウェア構成

(1) 大規模並列演算部

システムの中核となる大規模並列演算部「PRIMERGY BX900」は、200TFLOPSの理論演算性能（ピーク）と総主記憶50TBを有する大規模Linuxクラスタシステムである。

BX900は10Uサイズの高さのシャーシに最大18台のサーバブレード、最大8台のスイッチブレードを搭載可能な高密度実装のブレードサーバである。1ブレードサーバには、インテルXeonプロセッサX5570（クアッドコア）を2プロセッサと、主記憶24GB（DDR3 SDRAMを採用、一部ノードは12GBまたは48GB）を搭載する。ノードあたりの理論演算性能は93.76GFLOPS（2.93GHz×4浮動小数点演算/クロック×4コア×2プロセッサ）で、メモリバンド幅は51.2GB/sの高帯域を有する。ノード間は、InfiniBand QDR（2ポート）をトランキングし、片方向8GB/sの帯域による高速、低レイテンシなデータ転送が可能である。

大規模並列演算部では、主に原子力基礎工学、核融合、量子ビーム、計算科学分野などにおける大規模シミュレーション計算処理を行う。

(注) TFLOPS：コンピュータの処理速度を表す単位の一つで、1秒間に1兆回の浮動小数点数演算を実行できることを意味する。

* 日本原子力研究開発機構 システム計算科学センター

** 富士通(株) 計算科学ソリューション統括部



図3 システム全体概要

(2) 次世代コード開発部

次世代コード開発部「FX1」は、12TFLOPSの理論演算性能（ピーク）と総主記憶4.6TBを有するクラスタシステムである。

1 計算ノードには、富士通SPARC64Ⅷプロセッサ（クアドコア）を1プロセッサと、主記憶16GBを搭載する。また、メモリ-CPU間は専用チップセット（JSC）により、高いメモリバンド幅を実現している。ノード間はFBB（Full Bisectional Bandwidth）ファットツリーのInfiniBand DDR（片方向2GB/s）で接続する。ノード間バリア処理およびコレクティブ通信をハードウェアで処理する専用装置（高性能インターコネクタスイッチ）を利用することで、通信の競合による性能劣化のないデータ転送や、並列プログラムの性能プレを抑えるなどの特長を有する。

次世代コード開発部では、FX1の技術が京コンピュータのベースとなっている特長を生かし、2012年に稼動する京コンピュータの利用に向けたアプリケーション開発、チューニングを行う。

(3) 共有メモリ型演算サーバ

共有メモリ型演算サーバ「SPARC Enterprise M9000」は、1.9TFLOPSの理論演算性能（ピーク）と総主記憶384GBを有するSMPサーバであ

表1 LINPACKベンチマーク性能測定結果

	Cores	Rmax	Rpeak	Efficiency
BX900	17,072	191.4TF	200.0TF	95.66%
FX1	1,200	11.6TF	12.9TF	90.37%

る。本システムは、広大な共有メモリ空間を利用し、次世代原子力システム開発のためのシミュレーション、安全評価などの計算処理を行う。

3.2. LINPACK性能

BX900およびFX1において測定したLINPACKベンチマークの性能測定結果を表1に示す。この性能は、2010年6月発表のTOP500³⁾において、実行性能で日本1位（世界22位）、実行効率でも日本1位（世界2位）の高い順位に記録された。

4. 新システムの利用状況

新システムの運用は平成22年3月に開始され、約400アカウントのユーザーに利用されている。

(1) 稼働率

多数のノードから構成されるBX900およびFX1においては、予備のノードを配置している。計算ノードにハードウェア異常などの障害が発生した場合には、自動的に当該ノードを切り離すと同時に待機中の予備ノードを組み込むことにより、障

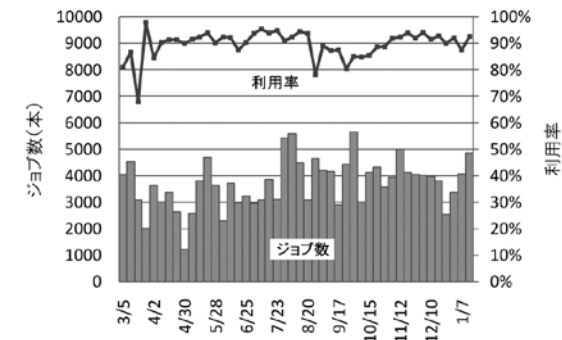


図4 BX900における実行ジョブ数とシステム利用率

害の運用への影響を抑え、システムの可用性を高めている。これにより、システムの平均稼働率は94%を達成している。

(2) 利用率

BX900においては、常時、数十～4,096並列計算のジョブが混在して実行されている。大規模並列ジョブの実行を開始するには、必要な計算資源（コア数）が全て利用可能となるまで相当の時間が見込まれる。そこで、大規模並列ジョブの実行待ちとなっている空き時間（空きコア）内で実行可能な後続ジョブを先行して実行する機能（バックフィル機能）をジョブスケジューラに実装した。1週間に実行される約4,000本のジョブのうち、約850本のジョブが本機能により実行され、運用開始以来平均して90%を超える高いシステムの利用率を達成している（図4参照）。

なお、次に実行されるジョブの選択においては、各ユーザーの利用実績（実行ジョブの経過時間）に基づく優先度制御を行う機能（フェアシェア機能）を実装し、システムの公平な利用を図っている。

5. おわりに

新スーパーコンピュータシステムの中核をなすBX900は、運用開始直後から4,096並列ジョブが常時実行され、その後もシステム安定稼働のもとに、高い利用状況が続いている。システム計算科学センターでは、今後もシステムの安定運用を図るとともに、スーパーコンピュータシステムを効率的に活用するためのプログラムの分析、高速化・並列化チューニングやプログラムの作成・改良などの技術支援および計算機全般に関する利用相談への対応などを実施し、原子力機構の研究開発を支援していく所存である。

参考文献

- 1) 平成21年度大型計算機システム利用による研究成果報告集, JAEA-Review 2010-058
- 2) 富士通プレスリリース,
<http://pr.fujitsu.com/jp/news/2009/07/16-1.html>
<http://pr.fujitsu.com/jp/news/2010/03/1.html>
- 3) TOP500 List-June 2010,
<http://www.top500.org/list/2010/06/100>

原子力発電所の可燃性雑固体廃棄物焼却炉における 使用済樹脂焼却効率向上の検討

－ワックス混練樹脂の製造および実機焼却試験結果－

Improvement of Incineration Efficiency of Spent Ion Exchange Resins on the Incinerator at Nuclear Power Plants

－ Manufacturing the Solids of the Resins Mixed with Paraffin Wax and Their Incinerating Test Results on Actual Incinerator －

出水 丈志*	大津 孝*	稲川 博文**	川上 尚志**
Takeshi Izumi	Takashi Ohtsu	Hirofumi Inagawa	Takashi Kawakami
	萩原 正弘***	猪野 隆夫***	石山 祐二****
	Masahiro Hagiwara	Takao Ino	Yuji Ishiyama

〔概要〕

原子力発電プラントでは復水浄化設備などにイオン交換樹脂が広く使用されており、使用済イオン交換樹脂は低レベルの放射性廃棄物として発電所内に貯蔵されている。この使用済イオン交換樹脂は粒内に多くの水分を含む難燃性の物質であり、通常はそのまま貯蔵するか、あるいは、他の可燃性廃棄物と混合して少量ずつ焼却炉にて処理するなどしている。また、粒状イオン交換樹脂は粒径が400～1000 μm程度のビーズ形状であるため、開放系で取り扱う際には汚染拡大抑制の観点から周囲への散乱などに対する注意が必要である。これらの不都合を解消し、使用済イオン交換樹脂を大量、かつ円滑に焼却処理する手段として、水切りした使用済イオン交換樹脂に石油系のワックスを加えて混練、成形し、ワックス混練樹脂を製造する方法を開発した。この技術の実機成立性を実証するために、模擬のワックス混練樹脂を大量に製造して実機焼却炉で焼却し、ワックス混練樹脂単独でも焼却処理が可能であることを確認した。

1. はじめに

原子力発電プラントでは、復水脱塩装置や復水ろ過脱塩装置、原子炉水浄化装置、廃液処理装置などの設備で粒状または粉末状のイオン交換樹脂が広く使用されており、使用済イオン交換樹脂は低レベルの放射性廃棄物となり、多くは発電所内に貯蔵されている。表1に、110万kW級BWR型原子力発電プラントに設置された復水脱塩装置でのイオン交換樹脂使用量の一例を示すが、1プラント当たり約70m³の粒状イオン交換樹脂が使用されており、通水運転による樹脂の性能低下など

に伴って樹脂交換が必要となり、この際に使用済イオン交換樹脂が大量の放射性廃棄物になる。

イオン交換樹脂は、スチレンとジビニルベンゼンの共重合体に官能基としてスルホン基、もしくは

表1 復水脱塩装置でのイオン交換樹脂使用量例

復水処理 流量 (m ³ /h)	脱塩 塔数 (塔)	カチオン 樹脂量 (l/塔)	アニオン 樹脂量 (l/塔)	総樹脂 量* (l)
6435	10 (9塔通水, 1塔待機)	4250	2650	70500

* 通薬再生に使用する中間樹脂量を含む

* (株)原製作所 風水力機械カンパニー エネルギー事業統括部 原子力技術室 技術管理・開発グループ

** 同社 風水力機械カンパニー エネルギー事業統括部 原子力技術室 ラド・再処理設計グループ

*** 同社 風水力機械カンパニー エネルギー事業統括部 原子力技術室 水処理設計グループ

**** 同社 風水力機械カンパニー エネルギー事業統括部 原子力技術室

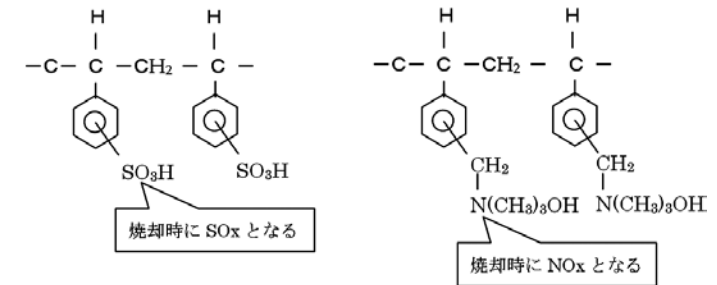


図1 イオン交換樹脂の化学構造
(左図：カチオン樹脂，右図：アニオン樹脂)

は第四級アンモニウム基を導入しイオン交換能力を付与したものであり、その化学構造は、図1に示す通りである。また、この重合体は、化学的に非常に安定であると共に、粒内に40～70%の水分を含んでいる難燃性の物質である。

放射性廃棄物である使用済イオン交換樹脂は、通常はプラント内に貯蔵、もしくは他の可燃性廃棄物との混焼により焼却炉にて少量ずつ焼却処理している。この処理を確実に実施できない場合、貯蔵設備の容量を圧迫することとなる。

加えて、粒状イオン交換樹脂は粒子径400～1000 μm程度のビーズ形状であるため、取り扱いが悪く、周囲への散乱など、取り扱いに注意が必要であり、使用済イオン交換樹脂の効率的な処理は、原子力発電所運用上解決すべき課題の一つとして認識されている。

この使用済イオン交換樹脂を大量、かつ円滑に処理する手段として、水切りした使用済イオン交換樹脂に石油系のワックスを加えて混練、成形し、ワックス混練樹脂として発電所内の焼却炉にて焼却処理する方法を考案し、実用化に向けての研究開発を進め、この製造する技術を確認した。¹⁾²⁾

このワックス混練樹脂の大量製造と実機焼却炉での焼却性を実証するために、約1.5tonのワックス混練樹脂を製造し、東京電力株式会社殿福島第一原子力発電所の可燃性雑固体廃棄物焼却炉（円筒型自然セラミックフィルタ式）にて焼却試験を行った。³⁾⁴⁾その実証試験結果について報告する。

2. 使用済イオン交換樹脂の固化・焼却法の概要

図2に本技術の概念図を示す。発電所内の使用済樹脂タンクに貯蔵中の使用済イオン交換樹脂を

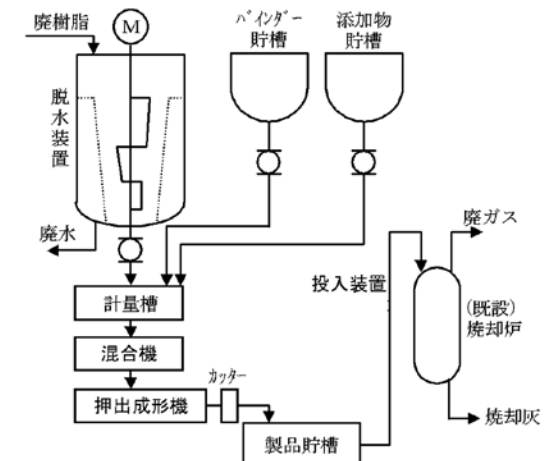


図2 廃樹脂固化装置 システム概念図

脱水装置に受け入れ、脱水して樹脂付着水分を除去した後、所定量を計量槽に取り、これにバインダとしての石油系ワックスと、カチオン樹脂焼却時に発生するSOx低減のための消石灰、連続成型固化を容易にするための安定化剤を加える。これらを混合機で混合した後、押出成型機にて連続的に押し出し棒状の固化体を作り、カッターで適当な長さに切断して固化体（ワックス混練樹脂）を作る。

このワックス混練樹脂を既設の焼却炉に搬送し、焼却処理する。使用済イオン交換樹脂は難燃物であるため、現在は他の可燃物と共に少量（約20%）の使用済イオン交換樹脂を焼却炉に直接供給して混合焼却しているが、ワックス混練樹脂とすることで発熱量が高くなり、十分に自然するため、他の可燃物と混焼して処理する必要はなく、単独処理による大量の焼却処理が可能となる。図3に従来法と本システムにおける使用済樹脂の投入方法を比較して記す。

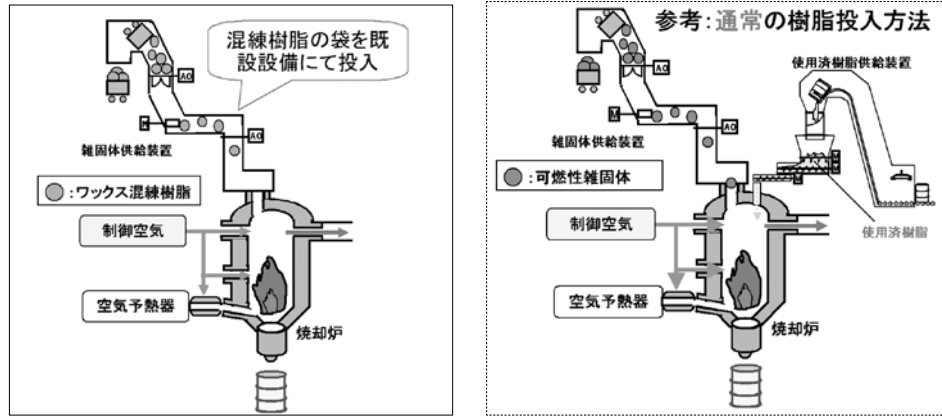


図3 本法(左図)と従来法(右図)の焼却方法比較

3. ワックス混練樹脂の製造および実機焼却試験

3.1. 模擬劣化樹脂の作製

長期間使用されたイオン交換樹脂は、新品と比べて種々の物性が変化している。物性変化は以下のようなものがある。

- ・カチオン樹脂：鉄負荷 (15~20g/l の負荷量)、酸化膨潤による含水率増加 (Δ 8%程度)
- ・アニオン樹脂：弱塩基化 (0.15~0.20meq/ml)、塩素イオンの負荷 (0.05~0.10meq/ml 程度)

今回使用するイオン交換樹脂についても実機での使用による上記物性変化を模擬した劣化処理を施した上で、ワックス混練樹脂製造に使用する必要がある。

そこで新品のイオン交換樹脂に対して、実機での長期間の使用を模擬した劣化処理を実施して模擬劣化樹脂を作製した。カチオン交換樹脂は硫酸第二鉄にて鉄負荷した後、過酸化水素水にて60℃で6時間の酸化劣化処理を、アニオン交換樹脂は交換容量の一部を塩素型にした後、80℃で24時間静置処理を行い、模擬劣化処理を施した。

3.2. ワックス混練樹脂の製造

原料の配合比(重量比)は、劣化アニオン樹脂：劣化カチオン樹脂：パラフィンワックス：消石灰：添加剤(連続成形固化を容易にするための助剤) = 1 : 2 : 2 : 0.38 : 0.15 (重量比)とし、1バッチでの製造で20kgのワックス混練樹脂になるように各重量を調整した。押出成型機により合計1540kgのワックス混練樹脂を連続的に製造

表2 ワックス混練樹脂の原料

	原料				
	アニオン樹脂	カチオン樹脂	石油ワックス	消石灰(粉末状)	安定化剤
配合比[-]	1	2	2	0.38	0.15
混合重量[kg/batch]	3.61	7.22	7.22	1.37	0.55
	20				
作製に使用した総重量[kg]	278	556	556	106	42
	1540(20kg×77batch)				

した。表2に各材料の配合比と使用重量を整理して示す。

3.3. 実機焼却試験

福島第一原子力発電所の可燃性雑固体廃棄物焼却炉(円筒型自然セラミックフィルタ式)にて実機焼却試験を実施した。雑固体廃棄物とワックス混練樹脂の重量比(混焼率)を50:50(以下、混焼率50%と表記)、30:70(混焼率70%)、および0:100(混焼率100%)とし、それぞれ所定の投入間隔で6時間連続投入することにより焼却を実施した。焼却時に炉内の温度変化を確認するとともに、目視にて焼却状況を確認した。また混焼率50%時の焼却灰を採取し、所定の方法にて熱しゃく減量の測定を行った。また混焼率100%、すなわちワックス混練樹脂単独焼却時に、所定の方法にて排ガス中のダイオキシン類濃度の測定を行った。

4. 試験結果

4.1. 模擬劣化樹脂の作製結果

今回作製した模擬劣化樹脂の物性を表3に示す。表からわかるように、実機での劣化を模擬できていることが確認され、今回の調査への適用の妥当性が確保された。

4.2. ワックス混練樹脂の製造結果

模擬劣化処理を施したアニオン交換樹脂およびカチオン交換樹脂を使用し、3日間の実機焼却試験に必要な量のワックス混練樹脂を作製した。今回のワックス混練樹脂製造に使用した原料の総重量は、1540kg(20kg×77バッチ)であった。作製したワックス混練樹脂は、焼却炉へ投入するために秤量機にて3kgごとに量り取り、発電所内で焼却処理に使用している20ℓポリ袋に袋詰めし、投入のために球状に梱包した。作製したワックス混練樹脂および梱包後の外観を写真1、2に示す。

表3 模擬劣化処理結果

カチオン樹脂		実機での変化	今回の模擬劣化樹脂	新品樹脂
鉄負荷量	g/l	15~20	17.2	<0.01
含水率増加分	%	8	8.1	-
アニオン樹脂		実機での変化	今回の模擬劣化樹脂	新品樹脂
塩素負荷量	meq/ml	0.05~0.10	0.07	0.00
弱塩基容量	meq/ml	0.15~0.20	0.18	0.00

4.3. 実機焼却試験結果

ワックス混練樹脂の実機焼却試験を、福島第一原子力発電所雑固体廃棄物焼却炉(円筒型自然



写真1 ワックス混練樹脂の外観



写真2 ポリ袋に密封したワックス混練樹脂

表4 焼却試験実績表

		混焼率[%]					
		50		70		100	
		ワックス混練樹脂	雑固体	ワックス混練樹脂	雑固体	ワックス混練樹脂	雑固体
投入袋数比		1	2	7	6	1	0
総投入数 カッコ内は実績	[袋]	100 (110)	200 (220)	140 (174)	120 (150)	200 (220)	0 (0)
投入間隔	[秒]	71		82		106	
焼却時間 カッコ内は実績	[h]	6 (4h 16min)		6 (4h 47min)		6 (6h)	
焼却効率 の実績	ワックス混練樹脂	77		109		110	
	イオン交換樹脂	41.8		58.9		59.4	
		0.06		0.08		0.08	

セラミックフィルタ式)で行った。試験条件および実績を表4に示す。焼却に当たっては、ワックス混練樹脂と雑固体との混焼率を50, 70および100%の3種類の場合で行った。焼却は焼却炉が自燃モードとなった後、ワックス混練樹脂および雑固体を所定の投入間隔で6時間連続投入する計画で実施した。総投入数および焼却時間の実績が当初の予定と異なるが、これは通常1個ずつ投入されていたものが、投入装置での取り扱い状況の変動で同時に複数個のワックス混練樹脂が炉内に投入される事象が生じたことによる。

本焼却試験において、ワックス混練樹脂に含まれるイオン交換樹脂の焼却効率(単位時間当たりの焼却量)の実績は、混焼率50%時に0.06m³/h、混焼率70および100%時に0.08m³/hであった。

焼却炉内の温度変化を図4(a)~(c)に示す。図中の50~100%は混焼率である。また従来法(雑

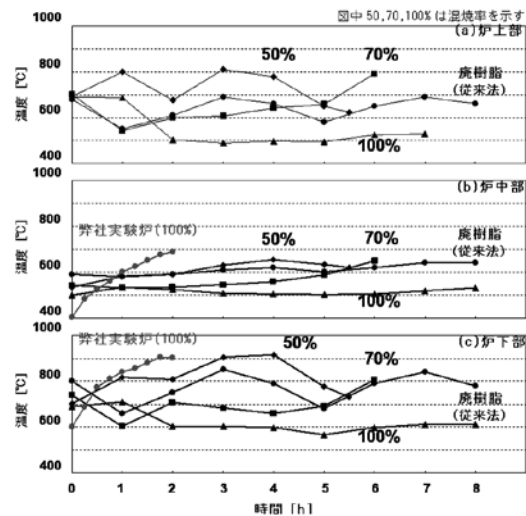


図4 焼却炉内温度

(*) 弊社実験炉のデータは供給空気温度400℃にて焼却したときの値

固体に対し20%の混焼率で焼却)による廃樹脂焼却時のデータ、および弊社実験炉でのコールド試験におけるワックス混練樹脂単独焼却時のデータを併記した。また、ワックス混練樹脂の各混焼率における焼却状態と評価を表5に示す。

混焼率50および70%での焼却状態は従来法と同等であった。また、混焼率100%, すなわちワックス混練樹脂単独における焼却では、従来法および他の混焼率での焼却と比べて焼却炉内の温度が低かったが、温度の変化は小さく、燃焼状態が最も安定していた。ワックス混練樹脂単独焼却でも、投入間隔を短縮して焼却量を増やすことにより、通常の雑固体焼却処理と同等の炉内温度での焼却が可能であると考えられる。

尚、コールド試験でのワックス混練樹脂単独での焼却データは、供給空気温度を400℃として(実機試験では200℃)焼却した場合のデータであるが、焼却条件の調整により雑固体と同等の燃焼状態が得られることを示している。

また、混焼率50%で処理した際の焼却灰を採取して測定した熱灼減量は約6%であった。これは、「廃棄物の処理および清掃に関する法律施行規則(昭和46年厚生省令第35号, 平成9年9月改正)」での、廃棄物焼却施設の維持管理基準として定められている熱灼減量の基準値は10%以下であり、また性能指針での間欠運転式ごみ焼却施設における値: 7%以下を共に満足しており、基準値の範囲内であることが確認できた。

更に、混焼率100%, すなわちワックス混練樹脂単独焼却時の排ガス中のダイオキシン類濃度の測定を行った結果、ダイオキシン類濃度測定結果は約0.1ng-TEQ/m³であり、「ダイオキシン類対策特別措置法施行規則」の中での基準値: 10 ng-TEQ/m³以下を十分に下回っていることを確認した。

表5 ワックス混練樹脂の焼却状態と評価

	混焼率[%]		
	50	70	100
燃焼状態	雑固体および廃樹脂(従来法)の焼却状態と同等 ・炉下部温度:700~900℃程度 ・顕著な煤の発生なし	雑固体および廃樹脂(従来法)の焼却状態と同等 ・炉下部温度:600~800℃程度 ・顕著な煤の発生なし	他の場合と比べ炉内温度が低いが、最も変化が小さく、安定している ・炉下部温度:600℃程度 ・顕著な煤の発生なし

5. ま と め

今回の試験の結果、使用済イオン交換樹脂をワックス混練樹脂とすることで実機焼却炉において従来の2倍の焼却処理が可能であること、ワックス混練樹脂単独でも焼却が可能であることを実証した。焼却処理中の焼却炉温度を考えると、単独焼却においても時間当たりの処理量の増加も可能と判断している。

今後、廃樹脂貯蔵量の増加や可燃物発生量の著しい減少により従来の樹脂処理では貯蔵量の増加を抑制することができないことも想定され、その対策として本処理方法の導入が考えられる。

6. 謝 辞

今回のワックス混練樹脂混合固化体の大量製造および実機焼却炉での焼却実証試験は、東京電力株式会社殿からの委託調査にて実施したものである。東京電力株式会社原子力設備管理部および福島第一原子力発電所関係各位に、感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 出水ほか, 日本原子力学会2004秋の大会, F37
- 2) 出水ほか, FAPIG誌, No.174(2007-2), P40-42
- 3) 中澤ほか, 日本原子力学会2010秋の大会, B08
- 4) 出水ほか, 日本原子力学会2010秋の大会, B09

FAPIG の 機 構 (社名 ABC順)

(平成23年2月1日現在)

理 事 会・委 員 会・専 門 部 会・事 務 局

会 長 北 澤 通 宏 富士電機ホールディングス社長	理 事 河 野 雅 明 みずほコーポレート銀行常務執行役員
副 会 長 林 敏 和 川崎重工業代表取締役常務	〃 真 木 浩 之 清水建設専務執行役員
〃 段 谷 繁 樹 双日常務執行役員	

監 事 菅 原 正 幸 みずほコーポレート銀行営業第十部次長

理 事 小 笠 原 保 雄 荏原製作所常務執行役員	事 務 局 長 溝 口 忠 雄
〃 米 山 直 人 富士電機システムズ取締役	
〃 生 貝 健 二 富士通執行役員副社長	
〃 佐 藤 哲 哉 古河電気工業取締役	
〃 中 村 晋 古河機械金属取締役	

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 (13名)

◎ 白 川 正 広 (富士電機システムズ)
 三 澤 秀 行 (荏原製作所)
 藤 沢 盛 夫 (富士電機システムズ)
 竹 辺 晴 夫 (〃)
 國 澤 有 通 (富 士 通)
 野 路 弘 行 (古河電気工業)
 大 田 彰 則 (古河機械金属)
 山 崎 誠 一 郎 (川崎重工業)
 小 林 英 昭 (みずほコーポレート銀行)
 加 納 茂 和 (清 水 建 設)
 吉 澤 顕 (双 日)
 石 黒 修 司 (双 日)
 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 (荏原製作所)
 三 木 俊 也 (富士電機システムズ)
 植 木 亮 (富 士 通)
 岩 間 和 義 (古河機械金属)
 湯 原 貴 浩 (川崎重工業)
 山 本 晴 彦 (みずほコーポレート銀行)
 酒 井 喜 則 (清 水 建 設)
 村 野 博 一 (双 日)

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 (荏原製作所)
 三 澤 真 (富 士 通)
 湯 原 貴 浩 (川崎重工業)
 長 浜 哲 志 (清 水 建 設)

高温ガス炉プロジェクト部会 (6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 (川崎重工業)
 斎 藤 正 直 (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 (6名)

◎ 武 仲 五 月 (川崎重工業)
 ○ 見 上 寿 (富士電機システムズ)
 荒 井 正 幸 (荏原製作所)
 高 橋 康 一 (富 士 通)
 鳥 居 和 敬 (清 水 建 設)
 沢 本 雅 弘 (双 日)

核燃料サイクル調査研究部会 (7名)

◎ 山 崎 誠 一 郎 (川崎重工業)
 ○ 藤 沢 盛 夫 (富士電機システムズ)
 石 山 祐 二 (荏原製作所)
 蓮 沼 潤 一 (富 士 通)
 加 納 茂 和 (清 水 建 設)
 井 上 桂 一 (双 日)
 沢 本 雅 弘 (〃)

品質保証部会 (9名)

◎ 高 橋 正 昭 (富士電機システムズ)
 ○ 斉 藤 利 二 (川崎重工業)
 梅 津 博 幸 (富士電機システムズ)
 新 田 和 彦 (富士電機システムズ)
 竹 山 敏 (荏原製作所)
 江 口 健 二 (富 士 通)
 有 本 徹 (古河電気工業)
 中 村 誠 (清 水 建 設)
 長 浜 哲 志 (清 水 建 設)
 石 黒 修 司 (双 日)

事 務 局

局 長 溝 口 忠 雄

Ryohei Yanagishima, Shinji Ooyama, Keisuke Fukumoto

Development of “Seismic-Resistant Personnel Surface Contamination Monitor”

FAPIG No. 182 pp.3~8 (2011)

Radiation facilities such as nuclear power plant are equipped with body surface contamination monitors on a border between controlled area and uncontrolled area to prevent radioactive materials' expansion to uncontrolled area and check and monitor the radioactive surface contamination of personnel from controlled area to uncontrolled area.

Fuji Electric Systems has manufactured and delivered Body surface contamination monitors and developed “Seismic-resistant personnel surface contamination monitor” to confirm further safety based on the earthquake in the nuclear power plant near the seismic center of Chuetsu Offshore Earthquake in Niigata Prefecture. This “Seismic-resistant personnel surface contamination monitor” has quake resistance for about 15m/s^2 (= about 1500 gal = about 1.53G) equivalent to the maximum acceleration of quake of level 7 and was confirmed that the performance and function are not changed before and after the vibration and that body surface contamination measurement can be continued by performing the vibration test equivalent to quake of level 7 with actual equipment.

Characteristics and specifications of “Seismic-resistant personnel surface contamination monitor”, and the evaluation items and results of development are described below.

KEYWORDS : seismic-resistant, body surface contamination monitor

Yoshihiro Suzuki, Yasushi Arai

Development of Equipment (2) of MOX Pellet Finishing and Inspection for FBR Fuel

FAPIG No. 182 pp.9~14 (2011)

Plan of plutonium use in nuclear reactors to make good use of uranium resource is making progress in Japan for FBR and LWR. Among these reactors, for FBR MOX fuel has been produced in JAEA MOX fuel plant from 1988. And the start of MOX fuel production in JNFL plant for LWR was decided and the plant construction started in 2010.

Fuji Electric has designed and manufactured the production equipment of MOX fuel for FBR from 1990s with engineering instruction by JAEA. As a recent result Fuji Electric supplied “Equipment (2) of MOX pellet finishing and Inspection for FBR fuel” to JAEA in February 2010.

In this document we introduce the summary of “Equipment (2) of MOX pellet finishing and Inspection for FBR fuel”.

KEYWORDS : FBR (Fast Breeder Reactor), MOX (Mixed Oxide) pellet, dry type center-less grinding, center-less grinding, pellet size inspection, pellet density inspection, pellet surface inspection, grove box

Yutaka Chida, Hideo Nakajima

Development of Fabrication Technology for ITER Toroidal Field Coil

FAPIG No. 182 pp.15~20 (2011)

The Japan Atomic Energy Agency (JAEA) is responsible for the procurement of 25% of the Toroidal Field (TF) Coil conductors, 9 TF Coils, and 19 TF Coil structures as the Japanese Domestic Agency (JADA) in the ITER project.

20% of TF Coil conductors have been manufactured and trial fabrications of TF Coil and Coil structures are in progress in collaboration with fabricators.

In this paper I would like to introduce the development of fabrication technology for ITER TF Coil and status of their progress.

KEYWORDS : ITER, fusion energy, toroidal field coil, superconducting magnet, coil conductor, coil structure

禁無断転載

FAPIG No.182

平成23年2月21日印刷

平成22年度 第2号

平成23年2月25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

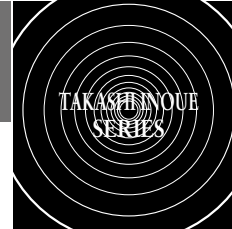
ホームページ: <http://www.fapig.com/>

編集兼発行人 溝口忠雄

印刷所 ミズノプロテック(株)

〒104-0042 東京都中央区入船2-9-2

電話 (03) 5566-6677(代)



Kenichi Yamada

Development of Gasification Power Generation System Using Woody Biomass

FAPIG No. 182 pp.21 ~ 25 (2011)

Unused woody biomass in Japan is currently available from various sources such as wood chips from sawmills, material left in woodland areas and builder's waste. Of these, wood chips from sawmills and material left in woodland areas are particularly plentiful, but since they are thinly distributed over extensive mountainous regions, these sources are not utilized effectively.

This study is aimed at developing a small-scale (100kW~1MW Class) distributed power generation system that can make effective use of the unused biomass in these mountainous regions more efficiently and economically than before by combining a fluidized bed gasification furnace with a gas turbine.

In this paper, we report the composition and features of the system and summary of the field test result of 150 kW prototype facility.

KEYWORDS : woody biomass, gasification, gas turbine, power generation

Futoshi Shimizu, Kensaku Sakamoto, Yuji Yoshioka

JAEA's New Supercomputer System

FAPIG No. 182 pp.26 ~ 29 (2011)

To accelerate the nuclear energy research and development by use of computational science, a new supercomputer system was deployed at JAEA in March 2010. The system is mainly composed of a large scale Linux cluster system (PRIMERGY BX900: 200TFLOPS) and a lead off system of the RIKEN's K computer (FX1: 12TFLOPS), whose purposes are to deliver a high-performance parallel computing environment and next-generation nuclear application code development environment, respectively.

In this paper, we introduce the features and functions of the system.

KEYWORDS : supercomputer, computational science, nuclear application

Takeshi Izumi, Takashi Ohtsu, Hirofumi Inagawa, Takashi Kawakami, Masahiro Hagiwara, Takao Ino, Yuji Ishiyama

Improvement of Incineration Efficiency of Spent Ion Exchange Resins on the Incinerator at Nuclear Power Plants

—Manufacturing the Solids of the Resins Mixed with Paraffin Wax and Their Incinerating Test Results on Actual Incinerator—

FAPIG No. 182 pp.30 ~ 35 (2011)

In nuclear power plants, ion exchange resins are used at water purification systems such as condensate demineralizers. After usage, used ion exchange resins are stored at plants as low level radioactive wastes. Ion exchange resins contain water and so, those are flame resistant materials. At present, ion exchange resins are incinerated with other inflammable materials at incinerators. Furthermore, ion exchange resins are fine particle beads and are easy to be scattered in all directions, so operators must pay attentions for treatment.

Then, we have developed the new solidification system of ion exchange resins with paraffin wax. Ion exchange resins are mixed and extruded with paraffin wax and these solids are enabled to incinerate at existing incinerators. In order to demonstrate this new method, we made the large amount of solids and incinerated them at actual incinerator. From these results, we have estimated to be able to incinerate the solids only at actual incinerator.

KEYWORDS : nuclear power plants, ion exchange resins, radioactive wastes, incinerating treatment, solidification, paraffin wax

東京駅丸の内駅舎

ドイツ人技師バルツァーの計画を日本建築界の第一人者辰野金吾が引継いで設計。1914年に南北に銅版葺き巨大ドームを持つレンガ造り三階建てルネッサンス様式駅舎として完成したが、戦災でドームの屋根と三階を消失、戦後二階建ての駅舎に復興した。2003年国指定の重要文化財に。2006年に復元工事に着工、2012年春には壮麗なドームと三階建て駅舎が復活する。作品は復元工事前の北ドーム。

**札幌市時計台**

1878年旧札幌農学校演武場として完成。農学校教頭W.ホイラーの構想と開拓使工業局主席技術者安達喜幸の設計からなる。時計塔が設置されたのは1881年。一部の消耗品を交換しているが建設時の機械が時を刻み鐘を鳴らし続けている。1970年国指定の重要文化財。

**「日本の西洋建築物」透明水彩画**

作者プロフィール

井上 隆 Takashi Inoue

富士電機システムズ エネルギーソリューション本部 本部長付、1947年山口県生まれ。

1971年入社（当時は富士電機製造）、入社以来主に原子力事業関連業務に従事、もんじゅの建設などの高速炉の開発分野、MOX燃料製造分野などで業績。原子力事業部長、関西支社長、取締役を歴任し、2010年から現職。

主な活動履歴

生来の絵画好き。特に透明水彩画に興味を持つ。本格的に透明水彩画に取り組み始めたのは関西単身赴任時代で比較的遅い。まず選んだテーマは「日本の西洋建築物」。多くの西洋建築物を描くが、エンジニアならではの精密で清涼感のある作風に。その後、日本や欧米の風景、船、社寺、造形静物画、単身赴任先からの暖かな絵手紙など幅広く創作活動を続けている

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

清水建設株式会社

双日株式会社