

# FAPIG

THE FIRST ATOMIC POWER INDUSTRY GROUP

2012. JULY ————— 184



子どもたちに誇れるしごとを。

SHIMIZU CORPORATION  
**清水建設**

# FAPIG

THE FIRST ATOMIC POWER INDUSTRY GROUP

2012-7 / 平成24年度 第1号

No. **184**

## 目 次

### ■ 紹 介

九州電力株式会社 川内原子力発電所 管理区域出入管理設備……………(3)

皆川智哉

イットリウム系超電導回転機用電磁石の開発……………(9)

今野雅行 / 長谷吉二 / 富岡 章

放射線モニタリングデータ統合システムの構築……………(15)

佐藤智昭 / 石田光輝

### ■ 論 文

土壌除染装置の開発……………(21)

千代 亮 / 武仲五月 / 角田俊也 / 松並清隆

FAPIGの機構……………(25)

表紙デザイン：杉本里美

CONTENTS

■ Report

Access Control System for Kyusyu Power Electric Co., Inc  
 Sendai Nuclear Power Plant .....( 3 )  
 T. Minagawa

Development of YBCO Magnet for Superconducting Motor .....( 9 )  
 M. Konno / Y. Hase / A. Tomioka

Building of the Monitoring Information System  
 for the Environmental Radioactivity Level .....(15)  
 T. Sato / M. Ishida

■ Paper

Development of Decontamination System for Soil with Radioactive Cesium .....(21)  
 R. Chishiro / S. Takenaka / T. Kakuta / K. Matsunami

Cover Design : Satomi Sugimoto

九州電力株式会社殿  
 川内原子力発電所 管理区域出入管理設備  
 Access Control System for Kyusyu Power Electric  
 Co., Inc Sendai Nuclear Power Plant

皆川 智哉\*  
 Tomoya Minagawa

〔概要〕

原子力発電所で働く作業員の放射線被ばく管理の厳密化が求められる中、九州電力株式会社川内原子力発電所向け放射線管理システムとして、他人の線量計着用（他人の被ばくデータへの反映）および線量計未着用での放射線管理区域への入域防止、作業ごとの被ばく線量の厳密化による放射線被ばくの低減、作業員の負担軽減を実現するための機能を搭載した管理区域出入管理設備を九州電力殿の御指導、御協力の下、製作、納入したので紹介する。

1. はじめに

既存の管理区域出入管理設備では、管理区域入域の際、警報付ポケット線量計（以下、APD）に個人情報登録後、休憩スペースを経由し、管理区域に入域するため、休憩中に他人のAPDやガラスバッジと取り違える可能性があった。

また、機器ハッチや固体廃棄物貯蔵庫、燃料取替水用タンクといった屋外にある飛び地管理区域（非汚染区域）への入域には、別建屋で登録したAPDを所持して、入域する運用となっているため、APD未着用のまま入域してしまう恐れがあった。

そこで今回の管理区域出入管理設備では、これらの事象を回避することを目的に、生体認証機能を付加した管理区域入域ゲートおよび飛び地管理区域用APDチェックリーダを製作、納入を行ったため紹介する。

また、放射線管理区域内で働く作業員に被ばく低減の意識付けを行うことを目的に、Web機能を利用した各個人の被ばく実績の閲覧機能を付加した入域情報登録装置についても紹介する。

2. システムの概要

今回納入した個人被ばく管理システムおよび管理区域出入管理設備のシステム構成を図1に示

す。また、管理区域入退域における流れを図2に示す。

作業員が放射線管理区域に入域する際、最初にAPDとガラスバッジを所持し、入域情報登録装置にて入域情報登録処理を行う。入域情報登録装置では、ガラスバッジに付属のICタグから中央登録番号（作業員のID番号）を読み取り、出入管理サーバに送信し、当該サーバではこれらの情報を元に当該作業員の管理区域への入域資格審査を行い、登録されている作業員名を入域情報登録装置に送信する。

作業員が入域情報登録装置画面に表示される管理区域内作業員名を選択することにより、出入管理サーバではその作業員名における計画線量および作業員自身の管理線量からAPDに設定する警報線量値を算出し、入域情報登録装置を経由してAPDに対して警報設定を行うとともに作業員の個人情報および作業情報をAPDに書込みを行う。

作業員は、入域情報登録装置で処理したAPDを所持し、管理区域境界に設置されている管理区域入域ゲートから管理区域に入域する。

このとき管理区域入域ゲートでは、APDおよびガラスバッジ付属のICタグと通信し、指静脈認証を行うことで作業員が自身のAPDおよびガラスバッジを所持していることを確認した上で、管理区域境界の扉を開けることにより、作業員の

\* 富士電機㈱ 放射線システム部 技術第二課

管理区域への入域が可能となる。

なお、飛び地管理区域では、管理区域境界に設置されているAPDチェックリーダにて入域情報登録装置で処理済みのAPDとの通信を行い、正常に登録されていれば管理区域境界扉の電気錠に開錠信号を送信することにより、作業者の管理区域への入域が可能となる。

作業者の管理区域からの退域時には、管理区域境界に設置された全身表面汚染モニタ（他社製）での身体表面汚染測定時にAPDとの通信を行い、APD内に登録されている個人情報、作業情報、被ばく線量情報を出入管理サーバに送信し、作業者の被ばく情報、管理区域内での作業情報などの管理を行う。

なお、飛び地管理区域では、管理区域入域の際に利用するAPDチェックリーダに作業者がAPDをかざすことで管理区域からの退域処理を行う。

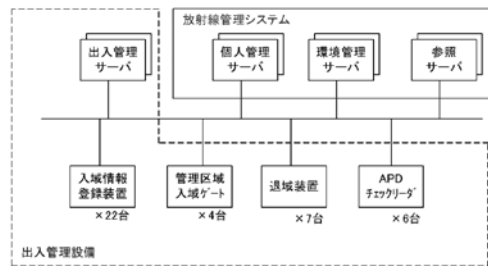


図1 システム構成図

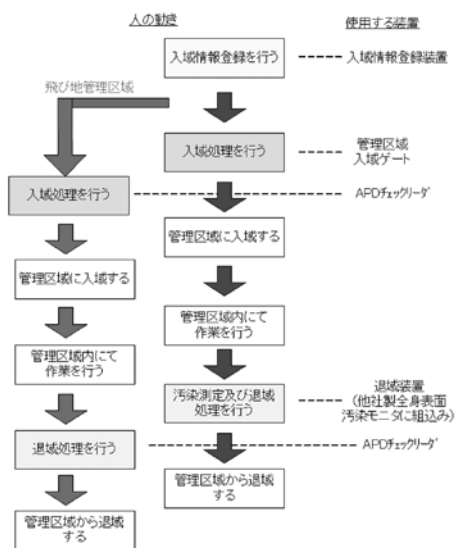


図2 管理区域入退域の流れ

### 3. 管理区域入域ゲート

#### 3.1. 概要

管理区域入域ゲートは、管理区域境界に設置され、作業者が管理区域に入域する際に以下の条件を満足している場合のみ管理区域への入域を許可するとともに、出入管理サーバに対して作業者の情報と入域時刻を送信する。

<管理区域入域を許可する条件>

- ・作業者自身のAPDおよびガラスバッジを所持していること
- ・APDは入域情報登録装置にて入域情報登録処理がされていること

管理区域入域ゲートの外観を写真1に示す。

#### 3.2. 特徴

##### (1) 無線通信機能

作業者がAPDおよびガラスバッジを管理区域用衣服の内ポケットに入れたまま通信が行えるよう、装置前面左側にAPD無線通信アンテナおよびRFIDアンテナ（ガラスバッジ付属のICタグと通信用）を搭載した。

##### (2) 生体認証機能

作業者が自身のAPDおよびガラスバッジを所持していることを確認するため、指静脈認証装置を搭載した。

APDおよびガラスバッジから読取った個人情報を元に該当する指静脈データを出入管理サーバから受信し、作業者本人のスキャンデータと比較、認証を行うことでAPD、ガラスバッジの取り違えを防止する。



写真1 管理区域入域ゲート外観

表1 管理区域入域ゲート仕様

No.	項目	仕様
1	APD通信機能	電磁誘導、微弱無線方式による無線通信
2	ガラスバッジ通信機能	RFID方式による無線通信
3	生体認証機能	近赤外CCDカメラによる指静脈認証
4	出口扉	自動開閉フラッパー方式
5	状態表示灯	「↑」「⊖」「呼出」「点検」表示
6	液晶表示器	5.7インチタッチパネルカラー液晶表示器
7	出入管理サーバとの伝送	伝送方式:Ethernet, 伝送手順:TCP/IP 伝送速度:100Mbps
8	オフライン運転機能	出入管理サーバとの回線切断を検知すると自動的に本装置単独で運転するオフライン運転に切替わる。回線復旧を検知すると保存していたオフラインデータを送信し、自動的にオンライン運転に切替わる（オフラインデータ保存件数最大2000件）
9	電源	AC100V単相, 500VA以下
10	外形寸法	約200(W)×1250(D)×1600(H)mm
11	重量	約225kg



写真2 APDチェックリーダ外観

##### (3) 共連れ防止機能

作業者が管理区域入域ゲートにて処理を行い、出口扉が開いた際、未処理の作業者が処理完了済み作業者に続いて入域してしまわないよう、4つの通過検知センサーのON/OFF状態を監視することによる共連れを防止する機能を付加した。

#### 3.3. 仕様

「管理区域入域ゲート」の主な仕様を表1に示す。

### 4. 飛び地管理区域用APDチェックリーダ

#### 4.1. 概要

飛び地管理区域用APDチェックリーダは、固体廃棄物貯蔵庫、燃料取替用水タンクといった屋外にある管理区域に入域する飛び地管理区域境界に設置され、作業者が入域情報登録装置で処理済みのAPDを所持していることを確認し、管理区域境界扉の電気錠の開錠を行い、出入管理サーバに作業者情報と入域時刻を送信する。

また、作業者が飛び地管理区域から退域する際には、所持しているAPDをAPDチェックリーダにかざすことでAPDと通信を行い、飛び地管理区域内での被ばく線量などの入退域情報を出入管理サーバに送信する。

APDチェックリーダの外観を写真2に示す。

#### 4.2. 特徴

##### (1) APD所持確認機能

作業者がAPD読取部にAPDをかざすだけでAPDと無線通信を行い、入域情報登録装置での処理済みAPDを所持していることを確認する機能を搭載した。

##### (2) 電気錠制御機能

管理区域境界扉に設置されている電気錠を制御する機能を搭載し、APD所持確認処理を行わないと電気錠を開錠しないようにしたことで、作業者のAPD未着用での飛び地管理区域への入域を防止する。

なお、緊急時などに電気錠の開閉制御が行えるよう、係員の放射線管理システム用業務端末からの画面操作による電気錠開閉制御を可能とした。

##### (3) 退域処理機能

APDから読取った情報により、既に管理区域に入域済みのAPDの場合は作業者の飛び地管理区域からの退域と判断し、退域処理を行う機能を搭載したことで、作業者の管理区域への入退域時間管理の厳密化を可能とした。

##### (4) 「入域中」表示機能

各飛び地管理区域に作業者が入域していることを周知するため、APDチェックリーダに「入域中」表示を行う表示灯を搭載した。

表2 APDチェックリーダ仕様

No.	項目	仕様
1	APD通信機能	電磁誘導、微弱無線方式による無線通信
2	表示機能	「○」(緑) 「もう一度当ててください」(赤) 「入域処理をしてください」(赤) 「チェッカーに連絡してください」(赤)
3	出入管理サーバとの伝送	伝送方式:Ethernet, 伝送手順:TCP/IP 伝送速度:100Mbps
4	電気錠制御	電気錠からの状態信号受信 電気錠への閉鎖信号の送信
5	オフライン運転機能	出入管理サーバとの回線切断を検知すると自動的に本装置単独で運転するオフライン運転に切替わる。回線復旧を検知すると保存していたオフラインデータを送信し、自動的にオンライン運転に切替わる(オフラインデータ保存件数最大2000件)
6	電源	AC100V単相, 300VA以下
7	外形寸法	約480(W)×314(D)×627(H)mm
8	重量	35kg以下
9	屋外仕様	遮光板, 防水機能付き収納ボックスを使用



写真3 入域情報登録装置外観

する作業計画情報、APDの警報設定値などを受信し、画面に表示する。

④APDに作業情報、作業情報、警報設定値の書き込み処理を行う。

(2) 作業件名変更機能、警報設定値変更機能

入域情報登録済みのAPDおよび出入管理サーバと通信することで入域情報登録時と同様の手順にて、現在選択されている作業件名の変更を可能とする機能である。

(3) 特定区域入退域管理機能

管理区域内で特に厳密な管理が要求される原子炉格納容器およびその周辺の特定区域入口に設置し、作業者の特定区域への入退域の際にAPDおよび出入管理サーバと通信することで特定区域への入退域時間、被ばく線量を管理する機能である。

また、入域情報登録装置の画面から各特定区域の現入域者が閲覧可能としている。

(4) 管理区域内現入域者一覧表示機能

作業者が各管理区域エリアを選択することで各エリアの現入域者を表示する機能である。

入域情報登録装置の外観を写真3に示す。

5.2. 特徴

(1) 小型、軽量

入域情報登録装置は、様々な機能を有する装置であり、管理区域内外の様々な場所で使用するため、従来は据付型であった装置を可搬形とし、さらに設置スペースを縮小するために軽量、小型化した。

(2) 被ばく情報表示機能

従来は、作業者が業務端末でしか閲覧できなかった自身の被ばく情報を現場でも閲覧可能とすることを目的に、出入管理サーバにWeb接続し、図3に示す各種情報を表示する機能を搭載した。



図3 個人被ばく実績照会画面



図4 所属別現入域者照会画面

本機能を搭載したことで各作業者が自身の被ばく情報を確認する手段が多様となり、作業者自身の被ばく低減の意識付けが可能となる。

(3) 現入域者表示機能

放射線管理員、放射線管理責任者、作業責任者に限り、自身が管理する作業者の各種情報(図4、5に画面例を示す)を表示する機能を搭載した。

本機能を搭載したことで放射線管理員、放射線管理責任者、作業責任者は、現場でも自身が管理する作業者の被ばく情報、現入域者情報の確認が行え、作業者の被ばく低減管理に役立つ。

また、管理区域内現入域者氏名は所属別の色分けを行い、最大1000人まで表示可能とした。(図6に画面例を示す) 現入域者表示画面は、入域者の人数に応じて自動で大きさを調整する機能を持たせた。(本画面は誰でも閲覧可能)



図5 作業件名別現入域者照会画面



図6 管理区域入域者照会マップ画面

(4) 作業ステップ管理機能

作業件名に対する作業ステップを出入管理サーバに予め登録しておくことで、作業者が作業件名選択の際に作業ステップの選択も可能とした。

管理区域内作業において、作業ステップを細分化して管理することにより、被ばくが多い作業ステップの抽出が可能となり、作業者の被ばく低減管理に役立つ。

(5) APD通信部のハンディ化

入域情報登録装置は、管理区域内でも使用するため、作業者が管理区域用衣服からAPDを取り出さなくても通信できるようAPD通信部をハンディ化し、通信部をAPDに近づけることによる使用も可能とした。(写真4にハンディ通信部の写真を示す)



写真4 ハンディ通信部外観

5.3. 仕様

「入域情報登録装置」の主な仕様を表3に示す。

6. あとがき

以上紹介してきたように本システムでは、被ばく線量の厳密管理、作業員への被ばく低減の意識付け、作業員の負担軽減を目的としたシステム構

表3 入域情報登録装置仕様

No.	項目	仕様
1	APD通信機能	電磁誘導、微弱無線方式による無線通信
2	ガラスパッジ通信機能	RFID方式による無線通信
3	搭載機能	入域情報登録機能、作業員名変更機能、特定区域入退域管理機能、情報閲覧機能、警報設定値変更機能、退域処理機能、一時立入、緊急立入管理機能
4	液晶表示器	12.1インチタッチパネルカラー液晶表示器
5	出入管理サーバとの伝送	伝送方式:Ethernet, 伝送手順:TCP/IP 伝送速度:100Mbps
6	プリンタ印字機能	専用のプリンタを接続することで入域データのプリントアウトが可能
7	電源	AC100V単相, 200VA以下
8	外形寸法	約380(W)×460(D)×110(H)mm
9	重量	11kg以下

築を行い、納入した。今後の課題としては、更に作業員への負担を軽減することを目的とした入域ゲート、退域装置の処理時間短縮に取り組む所存である。

謝 辞

本稿にあたり、九州電力(株)、ニシム電子工業(株)の関係者の方からの御指導、御協力を賜りましたことに対し、謝意を表します。

イットリウム系超電導回転機用電磁石の開発

Development of YBCO Magnet for Superconducting Motor

今野 雅行\* 長谷 吉二\*\* 富岡 章\*\*\*  
Masayuki Konno Yoshiji Hase Akira Tomioka

【概要】

富士電機は、産業用超電導線材・機器技術研究組合、九州大学とともにイットリウム系高温超電導線材を用い、世界で初めて500kW級超電導モータ向けの実規模でコンパクト化が可能な特殊形状(下突型)の大型コイルを製作し、約3T(テスラ)の発生磁場とともにその際に生じる150MPaの電磁応力にも耐えることを確認し、イットリウム系超電導回転機への適用を見通すことができた。本稿では、常電導モータの回転界磁コイルを置き替えるレトロフィット型Y系超電導回転機の概要と開発した界磁コイルについて紹介する。

1. はじめに

永久磁石を用いた回転機器は、コンパクト・軽量であることから開発が進み、利用領域も小型回転機だけでなく、産業用モータなどの比較的大型機器への展開が図られている。現状の強力永久磁石では、ネオジウム(Nd)に加えて保持力を高めるためにジスプロシウム(Dy)を使用しており、いずれも希少金属であり、中国への依存度が高く、材料戦略的に対策が必要なものである。

今後、Nd系永久磁石回転機の普及に伴い増大が予想されるDy, Ndの使用量を削減する技術開発として、超電導電磁石の適用を提案した。

イットリウム系超電導線材は、電気抵抗なしで高い臨界電流密度を有していることから、これを用いた電磁石を適用することで、永久磁石に代りコンパクト・軽量モータを実現することが可能であり、同規模出力モータ比で希少金属(希土類元素)の削減に繋がる。

イットリウム系超電導線材を用いた回転機の製作に関しては、2006年にモデル機を製作し実際にプロペラを付けて実験するとともに、幾つか試作を行ってきたが、今回、500kWを想定し、実用回転機に適した電磁石の開発を行った。

2. イットリウム系超電導回転機の開発経緯

イットリウム系超電導線材を用いた回転機の開発は、2006年よりはじめ、15kWの固定界磁回転機、2007年に回転界磁の超電導回転機を完成させている。これらは、いずれも突極型のレーストラック形状を採用しており、以下の写真でも明らかのように空間占有率が良くない。

実用機を考えた場合、コイル配置、形状を工夫して占積率の向上を図る必要があり、回転子形状に沿った配置でのコイル形状の実現性の確認が必要であった。



写真1 回転界磁コイル写真

\* 富士電機(株) 発電・社会インフラ事業部 発電プラント事業部 原子力プラント部  
\*\* 同社 パワエレ機器事業本部 ドライブ事業部 鈴鹿工場 設計部  
\*\*\* 同社 技術開発本部 先端技術研究所 応用技術研究センター 電磁気応用研究部

表1に界磁コイルの形状比較を示す。

表において、右側に行くほど空間を有効に使える形となる。

イットリウム系超電導線材を用いて異形状のコイル化の可能性について2010年より実施した。




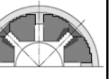
はじめに500kW、5MWの基本設計を行い、それに必要な界磁コイルの縮小モデルを製作して、実現性の確認を行った。500kW用モデルとしては下突型、5MW級として菱形コイル並びに鞍型コイルモデルを製作し、通電試験を行って線材劣化の有無を確認した。いずれも巻線によるダメージはなく、健全であることを確認できた。

異形状でのコイル化の第1歩は確認できた。

次に、実規模サイズにした場合の課題は、これまでの小型回転機では経験していない電磁力などに耐えうる電磁石の実現が必要となる。

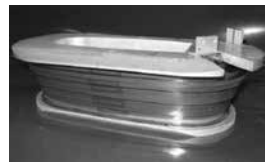
そこで、絶縁層を有するイットリウム系超電導線材を用いた導体を用いて500kW級回転機の界磁コイルの設計・製造要素技術を把握できる超電導電磁石を製作し、通電特性を把握することとした。

表1 界磁コイル形状比較

平型コイル	下突型コイル	上突型コイル	菱形コイル
			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• シンプルな構造</li> <li>• 応用基盤PJのII期で試作</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 遠心力に対する保持機構が簡易</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 充填率&amp;軽量化に適する</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 最も充填率の高い構造</li> </ul>



下突型コイル



菱形コイル



鞍型コイル

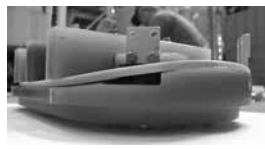


写真1 検証用モデルコイル

### 3. 500kW超電導モデル設計

超電導回転機の設計にあたっては、早期導入を目指して、現存回転機の回転子のみをオーバーホールする時に置き換えるレトロフィット型回転機を想定した。対象としては、一般的に広く使用されている誘導型モータの内、巻線型誘導機を対象とした。

レトロフィット前後の回転子の共通仕様並びに超電導回転機の設計仕様を以下に示す。

レトロフィット対象とした常電導誘導モータと超電導同期モータの設計図面を図1に示す。

表2 基本仕様

モータ種	常電導誘導モータ (置換対象)	超電導同期モータ (レトロフィット)
共通仕様	出力：500kW, 極数：4 回転数：1800rpm	
ギャップ磁束	0.87T	1.3T
効率	94%	95%

表3 500kW超電導回転機設計仕様

仕様	出力	500kW
	電圧	400V
	回転数	1,800rpm
	極数	4
固定子	外径	600mm
	鉄心相当長	330mm
	内径	370mm
回転子	エアギャップ	5mm
	界磁電流	220A
	ターン数	1100
	線材量	1.1km
	界磁コイル磁束密度	3.0T
	ギャップ磁束密度	1.3T

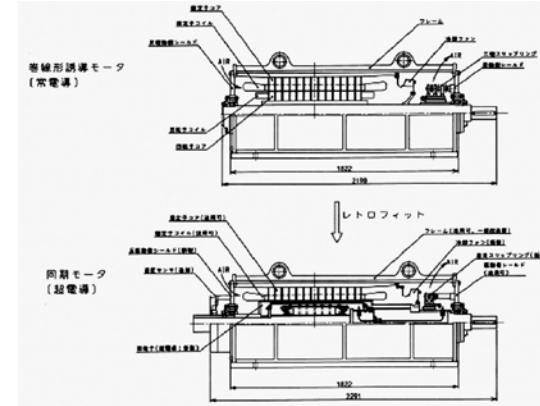


図1 500kW級回転機（常電導誘導、超電導同期）設計

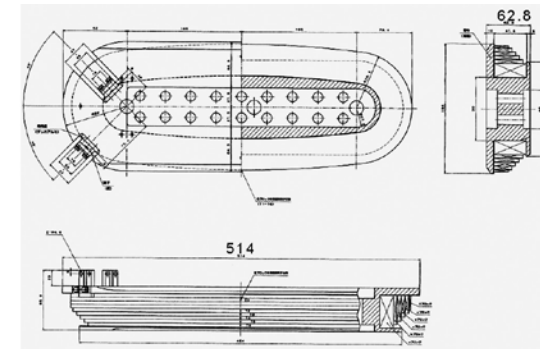


図2 500kW級超電導コイル外形図

また、超電導同期モータにおける界磁コイルの外形図を図2に示す。

### 4. 磁界解析結果

コイル基本仕様に基づき、定格電流における磁界解析を実施し、電磁力による発生応力と回転体としての遠心力による応力を検討し、超電導線材への発生応力を評価した。

#### (1) 超電導界磁コイル基本仕様

500kW級超電導同期モータにおける超電導界磁コイルの基本仕様を表4に示す。

表4 超電導界磁コイル基本仕様

超電導線	ReBaCuOテープ線材(5mm×0.2mm)
コイル断面形状	下突型
コイル形状	レーストラック型
円弧部内半径	R35mm
直線部長さ	165mm
定格電流	220A
総巻線数	1,100ターン
必要線材長さ	1,100m

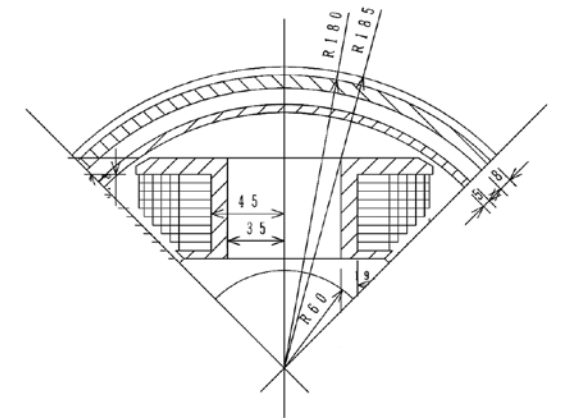


図3 超電導界磁コイル断面形状

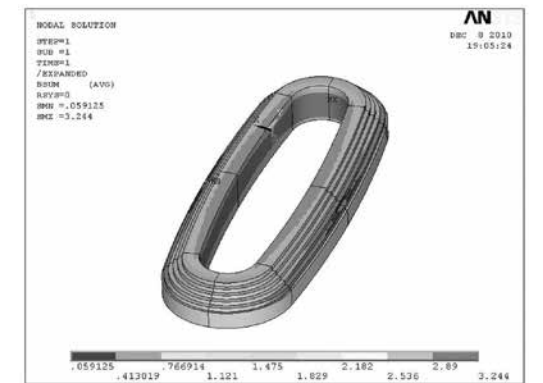


図4 超電導コイルの磁界解析結果

また、コイル断面形状を図3に示す。

#### (2) 磁界解析

超電導コイルの磁界解析結果を図4に示す。超電導コイルの最大磁界は円弧部最内径部で発生しており、3.24Tであった。

表5 磁界解析結果

	直線部最大磁界	円弧部最大磁界
テープに平行方向	3.08T	3.24T
テープに垂直方向	1.93T	1.74T

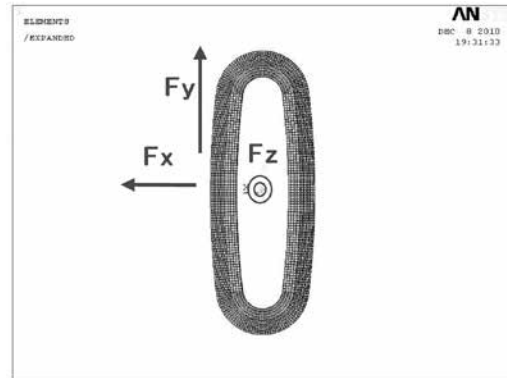


図5 電磁力発生方向

超電導線材のテープ面に垂直方向の磁界並びに平行方向の磁界の最大値をまとめると次の通りとなった。

(3) 電磁力解析

磁界解析結果に基づき求めた超電導界磁コイルの電磁力は、拡張力 (Fz) で  $1.234 \times 10^5 \text{N}$ 、軸力 (Fy) が  $3.339 \times 10^4 \text{N}$ 、内向力 (Fz) が  $3.766 \times 10^4 \text{N}$  となった。それぞれの電磁力の方向は図5に示す。

(4) 遠心力解析

定格1,800rpmで回転させた際の超電導コイルが受ける遠心力について解析すると、超電導巻線部で  $4.093 \times 10^4 \text{N}$ 、巻枠部で  $3.624 \times 10^4 \text{N}$  となり、合計で  $7.718 \times 10^4 \text{N}$  となった。

(5) 応力解析結果

電磁力と遠心力を元に、各構成部材の物性を考慮して応力解析を実施した。

応力解析結果を表6に、トレスカ応力結果を図6に示す。

表6 応力解析結果

	超電導巻線		巻枠
	直線分	円弧部	
$\Sigma \text{smax}$	150MPa		374MPa
R方向	20.7MPa	45.4MPa	
$\theta$ 方向	150MPa	129MPa	
Z方向	19.3MPa		

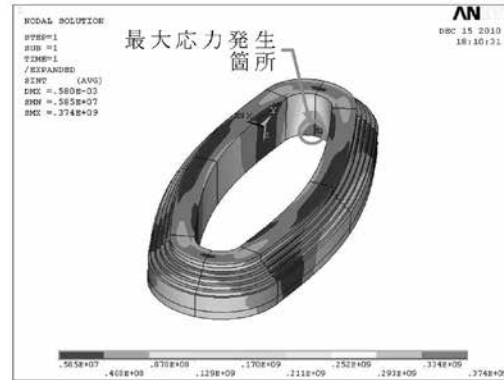


図6 超電導界磁コイルのトレスカ応力

超電導巻線部の最大応力は150MPaであり、超電導巻線部を構成する材料の引張り強さ (ハステロイ:  $\sim 1000 \text{MPa}$ 、銅 (C1100):  $\sim 200 \text{MPa}$ 、エポキシ樹脂:  $\sim 300 \text{MPa}$ ) より充分小さいことは確認できた。ただし、巻線部にかかる応力としては、小型モデルでの実績が20MPa程度であったことから比較して、約8倍の応力が発生することになり、かなりハードルの高いものであることは間違いなかった。

5. コイル製作

超電導コイルは、イットリウム系超電導線 (5mm幅, 0.1mm厚銅線半田付け) を用い、銅製の巻枠にレーストラック状に巻線してモデルコイルを製作した。

500kW級レトロフィット型超電導界磁コイルを写真2に示す。

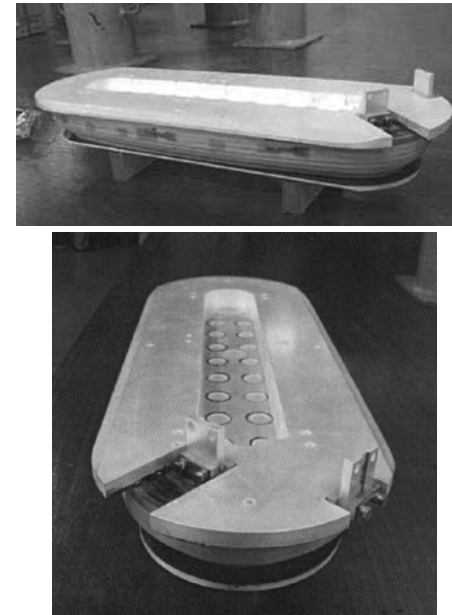


写真2 超電導界磁コイル外観写真

6. 冷却通電試験

500kW級のイットリウム系超電導コイルを実機大モデルで試作し、通電試験を実施し、その性能を把握して製作可否を確認することとした。

(1) 実験条件

実機コイルは巻枠をNeで冷却することを想定しており、今回のモデルでは、巻枠をGM冷凍機で冷却することで、冷却条件を模擬した。GM冷凍機ヘッドに伝熱板を取付け、この伝熱板にモデルコイルの巻枠を取付けた。試験装置外観を写真3に示す。

(2) I-V特性結果

コイル巻枠の温度を20K, 30K, 40Kで直流通電を行い、I-V特性を取得した。図7に測定結果を示す。20Kでは最大178A, 30Kでは最大218A, 40Kでは最大190Aまで通電できた。通電試験は、20K, 30K, 40Kと低温より始めており、20Kにおいて目安を確認した後、性能評価対象の30K, 40Kでの確認を実施した。従って20Kでの値は参考値である。

モデルコイルには、歪ゲージを取付け、通電時の応力測定を行った。コイルの最外周に取付け、応力解析値との比較を実施した。

今回実施した範囲での最大歪は  $250 \mu \text{strain}$  で

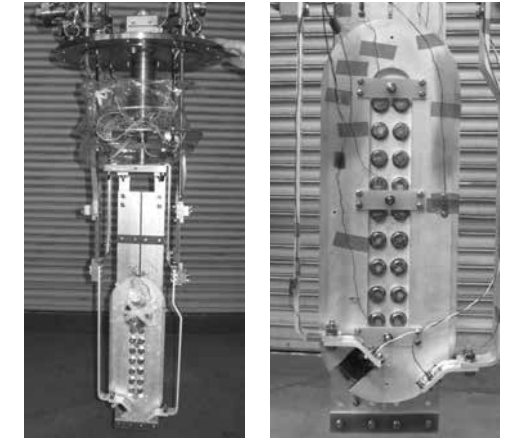


写真3 試験装置外観

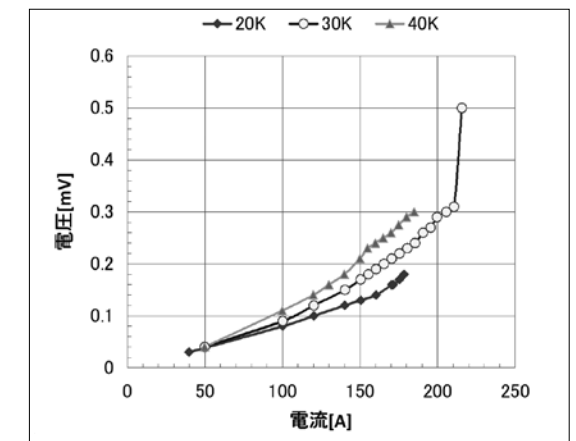


図7 モデルコイルのI-V特性 (電極抵抗含む)

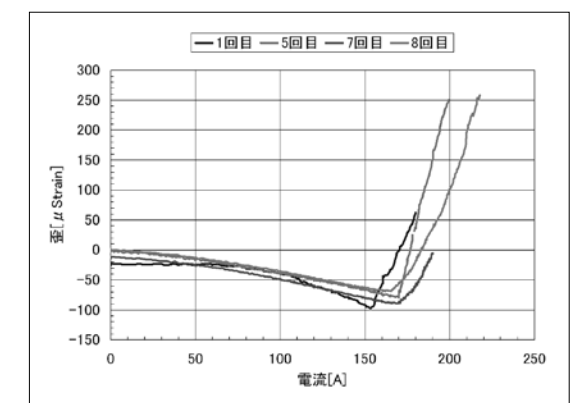


図8 歪測定結果

あり、線材の応力を算出すると  $51.5 \text{MPa}$  となった。この応力値から電磁力に換算すると  $25.75 \text{kN}$  となり、電磁力解析の  $33.97 \text{kN}$  とオーダは一致し、概ね妥当であると判断した。

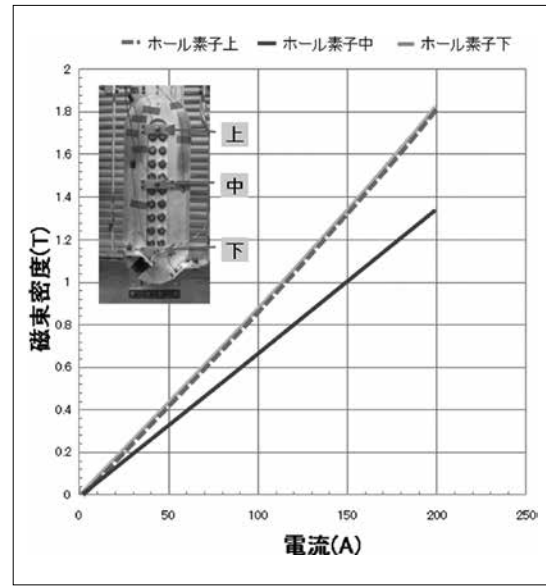


図9 磁界測定結果

表7 200A通電時の各位置における発生磁場の解析と実測値の比較

	上	中	下
解析(200A)	1.84T	1.37T	1.84T
測定(199.4A)	1.81T	1.34T	1.83T

(3) 磁束密度測定結果

回転機のパラメータで重要となる発生磁界をホール素子で測定した。ホール素子はコイル中央部の上中下3ヶ所でコイル軸方向の中央部に取付けた。

測定結果を図9に示す。

200Aにおいて、解析では上下：1.85T、中：1.37Tであった。これに対し、測定結果は上：1.81T、中：1.34T、下：1.83Tとなり、ほぼ一致した。測定結果が解析値に比べ若干低くなっているが、これは、巻太りにより巻線断面積が増え、結果として巻線の電流密度が下がったためと考えられる。

(4) ロードライン

磁界解析結果から得られたロードラインと線材のIc-B-T特性並びに通電時の最大電流における磁界を図10に示す。

40Kにおいて線材Ic-B特性とロードラインが一

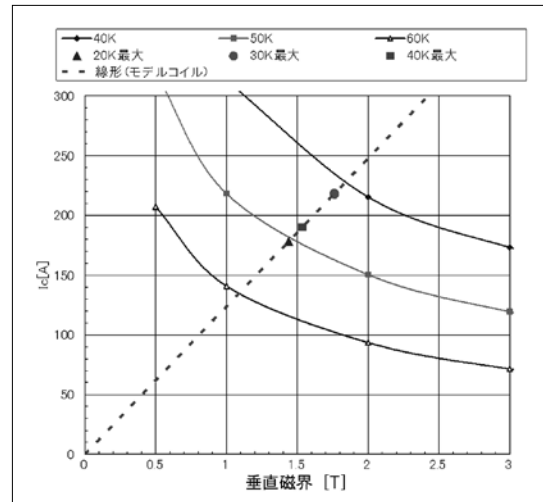


図10 ロードライン

致する電流は約230Aである。40Kにおける最大電流190Aは、負荷率として82.6%であり、目安としていた80%以上を上回ることができた。

以上の通り、30Kにおいて220A通電が確認できたこと、電磁応力の解析結果と測定結果がほぼ一致していることより、解析により求めた最大応力150MPaに耐えうる超電導界磁コイルの製作が可能であったことが確認できた。

7. まとめ

イットリウム系超電導線材を用いたコイルが500kW級レトロフィット型超電導回転機用電磁石として適用可能であることが確認できた。

今後、更にIcを上げて性能の向上を目指すなど、より実用化に向けた開発を進めていく所存である。

尚、500kW級レトロフィット型超電導回転機用コイル開発は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構からの課題設定型産業技術開発費助成事業である「イットリウム系超電導回転機用電磁石の開発」として実施したものである。

本研究に関し、プロジェクトの中心となり推進された産業用超電導線材、機器技術研究組合の和泉輝郎研究開発責任者、ならびに、九州大学の岩熊成卓教授に謝意を表します。

# 放射線モニタリングデータ統合システムの構築

## Building of the Monitoring Information System for the Environmental Radioactivity Level

佐藤 智昭\* 石田 光輝\*  
Tomoaki Sato Mitsuteru Ishida

〔概要〕

富士通株式会社（以下、富士通）は、2011年12月、文部科学省から「放射線モニタリングデータ統合システム」を受注し、2012年3月までの4カ月の短期間で構築した。本システムは、福島県を中心とした環境放射線モニタリング情報の集約と、WEB上での情報公開を行うものであり、本稿では、「放射線モニタリングデータ統合システム」の概要と特長について紹介する。

1. はじめに

2011年の東日本大震災で発生した、東京電力株式会社福島第一原子力発電所事故に係る放射線モニタリングの実施を目的として、内閣府、文部科学省などの省庁が主要メンバーとなり、モニタリング調整会議が2011年7月に発足した。その後、8月の第2回調整会議の結果を受け、文部科学省が総合調整役となり、福島県内を中心としてモニタリングポスト線量計を新たに配備すると共に、文部科学省のホームページ上に「放射線モニタリング情報」サイトを開設し、各府省や都道府県などによるモニタリング情報の公表を開始した。

このような中、子供の健康や国民の安全・安心に答える「きめ細かなモニタリング」の実施と、分かりやすい情報提供を目的として「放射線モニタリングデータ統合システム」の構築が計画された。

システムの構築に際しては、以下の要求を実現する必要があった。

- ・リアルタイムデータ6種、3000地点以上の測定データをデータベースに格納する
- ・モニタリングポストの測定値に加え、随時行う測定データもデータベースに格納する
- ・モニタリング情報の公開は、地図を用いて行う
- ・情報公開の性能は1000万アクセス/月を保障する
- ・スマートフォンなどの多様な情報端末に対応する

・受注後、4ヵ月で稼働させること  
放射線線量の測定結果を効率よく格納するため、「線量データ収集システム」と「統合データベース」を開発した。また、「情報公開システム」については、1000万アクセス/月のリクエストに耐える構造とするため、Ajaxのフレームワークを適用し、地図表示にGoogleMapを用いると共に、ExtJSやHighchartsなどのJavascriptライブラリを利用して、多様な端末での表示を可能とした。さらに、「情報入力システム」は、RapidWEB+を用いることで、プログラムレスにより、短期間で構築した。

「放射線モニタリング統合システム」は、2011年12月に構築を開始し、翌年2月の一部公開を経て、4月1日に本格運用を開始した。

<http://radioactivity.mext.go.jp/ja/>



図1 放射線モニタリング情報

\* 富士通(株) 科学システムソリューション統括部

## 2. 放射線モニタリング統合システムの概要

### 2.1. システム構成

定常的に、広く一般国民に情報を提供するための情報基盤として、次の要件を満たすIDC (Internet Data Center) を利用することが求められた。

- ①1000万アクセス/月のサービス、30万件アクセス/日、同時接続数1000件に対し3秒以内のレスポンスを保証すること
- ②データセンターの建物は、震度6強に耐え得る構造であること
- ③電源は、本線・予備線の2回線受電方式であること
- ④外部接続のサーバ稼働率は99.95%を保証すること。

上記要件を満たすものとして、富士通エフアイピー株式会社の最新鋭IDCを採用した。

「放射線モニタリングデータ統合システム」は、図2に示す5つのサブシステムで構成され、16台の仮想サーバにより運用している。システムの開発を短期間で行うため、5つのサブシステムは独立に並行して開発を進めた。

### 2.2. システムの機能概要

#### (1) 線量データ収集システム

システム構築を開始した時点で、福島県に設置する2700台のリアルタイム線量計は、2012年の2月を期限として整備が進められており、モニタリングポスト (MP) の運用開始にあわせてデータ収集システムおよび情報公開に関連する機能を稼働させる必要があった。

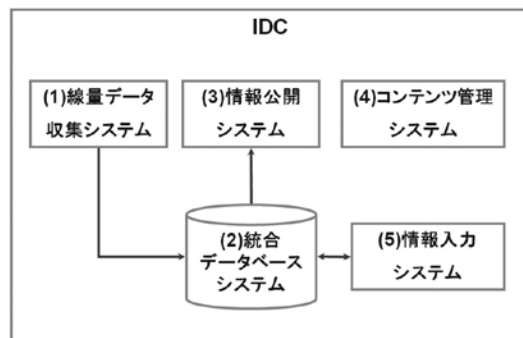


図2 システム構成図

線量データ収集システムでは、以下に示す6種の測定データを10分ごとに収集している。

- ①リアルタイム線量計 2700基
- ②可搬型モニタリングポスト 595基
- ③原子力安全技術センター (自治体MP) 218基
- ④日本分析センター (水準調査) 297基
- ⑤日本分析センター (可搬型MP) 80基
- ⑥日本分析センター (原子力艦) 21基

①と②は、携帯電話回線と衛星回線を利用したVPN網を経由してモニタリングポスト1台ごとにIDCに直接データが送信されるため、新たに線量データ収集システムを開発した。携帯電話網および衛星回線網によるデータの転送はhttpとsocket通信の2方式で行われ、IDCに設置された複数の収集サーバにより測定値を受信している。

③～⑥の測定値は、公益法人原子力安全技術センターおよび、財団法人日本分析センターに設置されたサーバを経由し、IDCの収集サーバで取得している。

これらの収集サーバで得られるデータは、測定項目やフォーマットはそれぞれ固有のものであり、それぞれ、CSV形式のファイルとして格納される。

#### (2) 統合データベースシステム (統合DB)

「きめ細かなモニタリング」と「網羅的な情報の公開」を実現するため、DBMS (Data Base Managemant System) を用いて、放射線モニタリングに関する観測データを集約すると共に、必要なマスタ類を管理する。DBMSは、SQLServer2008R2を利用している。測定データの格納に際しては、後述する「統合DBインタフェース」機能により、データの差異を吸収する。

データ保護の観点から、DBMSは冗長構成とし、データは定期的にIDCで自動バックアップを実施している。

#### (3) 情報公開システム

統合DBに蓄積された測定データから必要な情報を抽出し、公開サーバのコンテンツを定期的に更新する。

「放射線モニタリングデータ統合システム」で収集した測定値は、以下の仕様に従って公開している。



図3 地図による測定結果表示

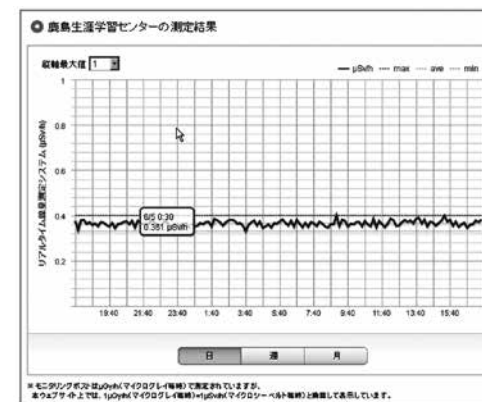


図4 トレンドグラフ

#### ①地図による測定結果の表示

- ・地図はGoogleMapを用いる
- ・放射線線量のレベルにより、アイコンの色を変えて表示する
- ・モニタリングポストの種類に応じ、アイコンの形状を変える

#### ②時系列の線量値変動表示

- ・トレンドグラフによるグラフィカルな表示をする
- ・表形式での表示も行う
- ・観測期間は下記の3つから選択可能とする

- 1日 (10分間隔)
- 1週間 (1時間ごとの平均値)
- 1ヶ月 (4時間ごとの平均値)

#### ③各種情報端末への対応

近年、スマートフォンを始めとする情報端末が急速に普及しており、これらに対応すると共に、一般の携帯電話向けのコンテンツも提供する。ス



図5 データのダウンロード

マートフォン向けでは、PCに準じて地図による情報の表示を行うものとしたが、一般の携帯電話では、文字を主体とした情報表示とし、キャリアや機種に依存しないものとした。

#### ④データ提供機能

放射線線量の測定値を、CSV形式でダウンロードできるものとした。利用者は、下記項目の組み合わせにより、対象を指定することができる。

- ・地域および観測地点
- ・測定日時に対する期間

#### (4) コンテンツ管理システム

今回のシステム構築以前から、文部科学省では、「放射線モニタリング情報」サイトで、放射線モニタリング情報の公開コンテンツを更新していた。コンテンツの管理には、オープンソースのCMS (Contents management System) を用いていたが、操作性に難点があったため、より使い勝手の良い、株式会社富士通システムズ・ウェストのパッケージ製品である、GWebLink-Neoを提案し、導入した。

GWebLink-Neoでは、コンテンツの管理を階層 (コンテンツのリストページ)、雛型、コンテンツという3種類の要素により行っており、コンテンツ掲載はこの3種類の要素の管理手順 (登録、修正、削除) に従うことで、誰でも簡単にサイトの管理が行うことができる。

「放射線モニタリング情報」サイトは、日々全国の放射線情報を公開しているが、G-WebLink-Neo導入以前、コンテンツ掲載手順が煩雑であり、時間・手間がかかっていたが、G-WebLink-Neo導入後は、手順が簡素化されたことにより、コンテンツ掲載業務の効率化につながられた。



図6 CMSによる管理画面

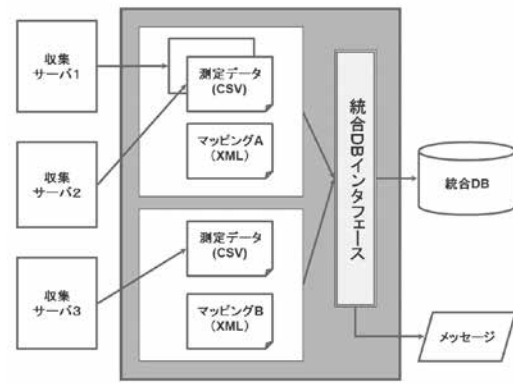


図7 統合DBインタフェース

(5) 情報入力システム

モニタリング情報の公開に際し、文部科学省では、公表資料を電子化するため、EメールやFAXなどで送付されたデータを、MS-EXCELに逐次入力する必要があった。

富士通は、クラウド環境での情報入力サービスとして、RapidWEB+を提供しており、本サービスを用いることで、プログラムを作成することなく、データベースの検索・参照・更新の画面を生成することが可能となる。本サービスが、短期間でのシステム提供に最適と考え、IDCにオンプレミスの形態で導入した。

3. システムの特長

本章では、「統合データベースシステム」「情報公開システム」「情報入力システム」について特長を紹介する。

3.1. 統合データベースシステム

「統合データベースシステム」は、収集サーバにより10分ごとに収集した測定データを、データベースに格納する。収集サーバから渡される測定データは、CSV形式のテキストファイルとなっている。収集されるデータ項目は、{測定機器のID、測定時刻、線量値、測定機器のステータス情報}を基本とするが、測定機器により、感雨や雨量などの測定項目が追加される。また、項目の並びや測定値の有効桁数も統一されていない。フォーマットの異なるデータをデータベースに格納するための処理を個別に実装する方式では開発効

率が悪いと、汎用的な仕組みとして「統合DBインタフェース」を用意した。

「統合DBインタフェース」は、次に上げる4つの機能を提供する。

- ①フィルタ処理  
入力レコードに対するフィルタ処理が可能
- ②バリデータ  
入力項目に対する型や範囲のチェックなど
- ③高線量値の検知  
高線量値の検知時に警告メールを送信する
- ④データベースへの格納  
入力レコードを指定されたテーブルに格納する

データ固有の定義は、「マッピングファイル」と呼ぶ外部ファイルに、XMLの形式で記述する。今後追加が想定される新規観測対象も、「マッピングファイル」の追加により、統合DBに格納することが可能となる。

また、「情報入力システム」で入力されたデータも、「統合DBインタフェース」を通じてデータベースに格納される。

3.2. 情報公開システム

(1) 快適な動作環境の実現

「放射線モニタリング統合システム」では、観測地点の総数が3000を超える。地図上でアイコンを利用した情報表示を行う場合、端末側での負荷が大きくなるため、観測地点の表示数を制限すべきと考えた。

ジオメトリ情報を階層化し、表示対象をそれぞれの階層で選択する方式とすることで、ブラウザ



図8 ジオメトリ情報の階層化

が読み込むデータを制限し、一定のパフォーマンスを確保している。

- 階層1：都道府県と福島7地区 (53レコード)
  - 階層2：エリアグループ (105レコード)
  - 階層3：観測地点 (3000レコード以上)
- ※エリアグループは主として福島の市町村に相当している

(2) Ajaxの適用

システム概要で示した1000万アクセス/月のサービス、30万件アクセス/日、同時接続数1000件に対し3秒以内のレスポンス、の性能要件を満たすためには、サーバの負荷を極力軽減させる必要がある。そのため、可能な限りブラウザ側で情報処理を行うAjaxの仕組みを適用することとした。地図表示に用いるGoogleMapはAjaxのAPIを公開しており、また、チャートやグリッドなどの高機能な部品もJavascriptのライブラリとして利用可能であるため、これらの部品を積極的に用いることで、直感的で使い易いインターフェイスを実現することができた。図9にAjaxの概念を示す。ブラウザはJSON (JavaScript Object Notation) という形式によってサーバから必要な情報を取得し、Javascriptによって情報の表示と制御を行う。スマートフォンでの情報提供もPCと同一のソースで実現しており、迅速なシステム開発に役立っている。

(3) 位置情報の利用

HTML5の仕様に対応した端末では、利用者の位置情報を取得し、近接したモニタリングポストを中心とした表示を可能とした。また、任意の観測

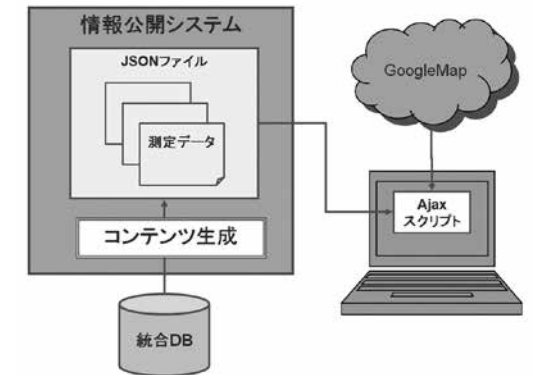


図9 Ajaxの概念図



図10 位置情報の保存

地点を登録すると、以降、登録済みの観測地点を中心とした表示が可能となる。(地点登録にはブラウザのクッキー保存を有効とする必要がある)

3.3. 情報入力システム

「情報入力システム」には2つの目的がある。

- ①測定データの入力システム  
WEBでのデータ入力により、文部科学省で実施しているデータ入力作業を軽減する
  - ②マスタ編集システム  
観測地点や測定対象などのマスタを管理する
- 「情報入力システム」を早期に提供するため、RapidWeb+を適用した。RapidWEB+では、プログラムすることなく、以下の機能が実現可能である。

- (1) データ管理機能  
対象テーブルに対し、新規追加画面、参照追加画面、更新画面、削除画面を作成することができ



図11 マスタ編集画面例

る。なお、対象テーブルごとに利用可能な操作を設定することが可能で、次に示すアクセス制限機能と合わせて、利用者ごとに参照や更新の制限を与えることが可能である。

大量のデータに対しては、CSV形式のデータインポートおよびエクスポートにより、複数データを一括で操作することも可能となっている。

(2) アクセス制御機能

利用者に対する権限を設定することができ、利用者ごとに機能を制限することができる。

(3) 集計機能

対象テーブルの任意の列に対し、合計値、最大値、最小値、平均値を集計することが可能である。

これらの集計値は、任意の列でグルーピングすることも可能である。

(4) テーブルの構造変更を自動反映

データベースのテーブルに対する構造の変更時も、特別な操作をすることなく参照・編集画面に反映される。

マスタに項目の追加が必要になった際も、入力システムの変更は必要がない。

「放射線モニタリング統合システム」では8つの管理用マスタが存在するが、管理者メニューから編集画面を登録するだけで全ての編集画面の作成を終えることができた。



図12 管理者メニュー

4. おわりに

現在、「統合データベースシステム」に格納されているデータは、モニタリングポストから自動収集しているものが主となっているが、今後、「情報入力システム」の本格運用で、多様なデータが集約されるものと期待される。自動収集される大規模データと合わせて、放射線モニタリングに対する様々な観点からの分析と、そこから得られる情報の提供に対する仕組みについても、探って行きたい。

最後に、システム構築に対する開発スピードの要求は、今後ますます厳しくなっていくものと思われる。ラピッド開発に対し、今回のシステム構築で用いた手法が、一つの道筋を示すものとなれば幸いである。

参考文献

- 1) 文部科学省 「モニタリング調整会議（第2回） 配付資料」 [http://www.mext.go.jp/b\\_menu/shingi/chousa/gijyutu/018/shiryu/1315291.htm](http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/gijyutu/018/shiryu/1315291.htm)
- 2) 神田 真人 「平成23年度補正予算（第二号）における原子力災害対応について」 財務省広報誌ファイナンス 8月号（2011）

土壤除染装置の開発

Development of Decontamination System for Soil with Radioactive Cesium

千代 亮\* 武仲 五月\* 角田 俊也\* 松並 清隆\*  
Ryo Chishiro Satsuki Takenaka Toshiya Kakuta Kiyotaka Matsunami

〔概要〕

2011年3月に発生した東北地方太平洋沖地震に伴う福島第一原子力発電所の事故によって放出された放射性物質による環境汚染が生じており、これによる一般公衆の健康や生活環境に及ぼす影響を速やかに低減することが喫緊の課題となっている。事故由来と考えられる放射性物質の多くは、土壌や森林に沈着しており、生活環境の改善や農作物汚染の最少化のため、除染を目的として多くの調査や研究がなされている。本稿では土壤除染技術を検討する上で、その汚染形態を調査し、有効な除染方法を抽出し、平成23年「福島県除染技術実証事業」に採択された実証試験を通してその有効性について検討したものである。

1. 緒言

平成23年8月に公布された「平成二十三年三月十一日に発生した東北地方太平洋沖地震に伴う原子力発電所の事故により放出された放射性物質による環境の汚染への対処に関する特別措置法」に基づき、汚染状況充填調査地域に指定された市町村は長期的な目標として、事故由来放射性物質による追加被ばく線量を年間1ミリシーベルト以下となるよう、除染実施計画を策定、除染などの措置を実施し、生じた除去土壌の収集・保管を行うことを計画している。一部実証的な位置づけで実施されている地域を除き、本格的な除染はまだまだこれからである。

2. 土壌の汚染形態について

2.1. 土壌中のCsの挙動

原発事故により、放出された放射性核種のうち、<sup>131</sup>I、<sup>134</sup>Cs、<sup>137</sup>Csは放出量が多く、高温でガス化するため広範囲に拡散しやすい性質をもつ。このうち、<sup>131</sup>Iは半減期が8.04日と短いことから、現在では有為な値が検出されることは少なくなっている<sup>1)</sup>。土壌サンプルや、農作物から検出される核種は<sup>134</sup>Cs、<sup>137</sup>Csがそのほとんどを占めている。土壌に

降下した放射性Csは水に溶けると1価の陽イオン(Cs<sup>+</sup>)となる。その際、土壌中の負電荷を有する物質に補足される。

文部科学省の土壌中の放射性核種分布状況調査<sup>2)</sup>によれば、土壌中の放射性Csはほとんどが植生やリター層を含む土壌深さ5cmまでに存在していた。梅雨前、梅雨後の調査でほとんど変化がなく下方浸透速度が極めて小さいのは、電氣的に補足されているためと考えられる。

チェルノブイリ事故後の東欧や北欧における調査によると、<sup>137</sup>Csが土壌下方へ進む速度はほとんどの場合年間1cm以下であり、事故から7年後に表層から10cm以内に78-99%が残っていると報告されている<sup>3)</sup>。なお、降水量の多い日本の土壌においても1960年代に沈着した大気圏核実験由来の<sup>137</sup>Csは表層土壌に蓄積しており、表層から30cmよりも深いところでは<sup>137</sup>Csはほとんど検出されていない<sup>3)</sup>。一方で、有機物に富む土壌や砂質土壌では、<sup>137</sup>Csが土壌下方へ進む速度が比較的大きいことも報告されており注意が必要である<sup>4)</sup>。

2.2. 土壌中の負電荷に対するCsの吸着

土壌はその粒径によりレキ、砂、シルト、粘土で構成されているが、その内、粘土粒子は細粒で反応性が高く、多くの場合、負の電荷を帯び、陽

\* 川崎重工(株) プラント・環境カンパニー エネルギープラント総括部 原子力部

表1 土壤中粘土鉱物のCEC

カオリナイト	2~15
ハロイサイト	5~40
スメクタイト	60~150
雲母粘土鉱物	10~40
パーミキュライト	100~150
緑泥石	2~40
イモゴライト	20~30
アロフェン	15~40
セピオライト・パリゴスサイト	20~30
ギブサイト	0
腐植	100~600

\*CEC (Cation Exchangeable Capacity: 陽イオン交換容量)

イオンを吸着しやすい(表1)<sup>5)</sup>。

佐藤<sup>6)</sup>によれば、粘土中のケイ素四面体6個で構成されるリングの中央部にできる空間的くぼみ(Siloxane Ditrigrinal Cavity: SDC)には陽イオンを交換するサイトが存在する。このサイトへはイオン半径および水和力の関係からCs<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup>が配位され、多くの場合K<sup>+</sup>が存在することが多い。粘土の成分である雲母は風化程度が低い場合、K<sup>+</sup>の固定により層間が開かないため、他の陽イオンがアクセスしづらい性質を持つが、風化が進み、K<sup>+</sup>の除去が進むと層が膨潤し、Cs<sup>+</sup>の浸入を許すようになる。

この時、層の膨潤した領域と膨潤していない領域の境にあたる部分(フレイド・エッジ・サイト: 図2参照)にCs<sup>+</sup>が到達するとCs<sup>+</sup>がバインダーとなって一度膨潤した層が閉じCs<sup>+</sup>は固定されることになる<sup>8)</sup>。このような反応は同じくケイ素四面体を有するパーミキュライト、イライトなどの鉱物でも起こり、Csの固定が可能である。

その他土壤中でCs<sup>+</sup>を選択的に吸着できる成分としてはゼオライトが挙げられる。ゼオライトは特に火山期限の堆積岩(凝灰岩)に比較的多く含まれており、奥羽山脈を構成する火山地が多く存在する福島県では、ゼオライト成分が土壤中に地域によって含まれている。ただし表層付近での含有量としてはそれほど多くなく5%以下とされている<sup>7)</sup>。

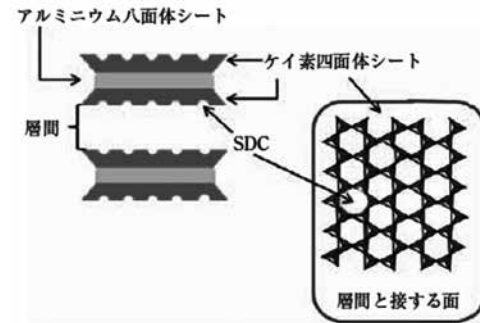


図1 ケイ素四面体6個で構成されるリングの中央部にできる空間的くぼみ(Siloxane Ditrigrinal Cavity: SDC)<sup>7)</sup>

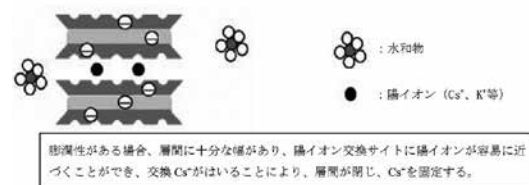


図2 SDCへのCs<sup>+</sup>の吸着

2.3. 土壤除染の考え方

Csを含んだ土壌は前述の通り、陽イオン交換サイトを有する粘土中に含まれていると考えられている。土壌中から粘土もしくはシルト成分を分離除去(分級)することで、土壤除染が可能となる。

ただしこの方法では、より正確な分級を行ったところで除染効果は土壌中の粒径分布に強く依存してしまう。



写真1 川崎重工の除染装置外観

分級で得られる以上の除染効果を得るためには、陽イオン交換サイトからのCsの脱離が必要となるが、Csは上述の通り電気的に強固に吸着しているため、キャビテーションや超音波洗浄などの物理的洗浄法に期待することは難しい。

加熱により気化させる方法や、pH調整などで層間を膨潤させ空隙をとる方法が考えられるが、コストや廃液処理など解決する課題は多い。

よってできるだけ低コストでコンパクトな除染システムとし、自治体や組合などのコミュニティ単位で行われる除染活動に即座に対応することを目的とし、車載化した除染装置を開発し(写真1)、その性能を把握するため試験を行った。

3. 土壤除染試験

3.1. 実施概要

- ①試験場所: 福島県伊達市月館総合運動公園
- ②実施期間: 平成24年1月9日~13日
- ③協力会社: 兵庫県工業技術センター、八紀産業(凝集沈殿剤メーカー)

3.2. 試験内容

(1) 試験フロー

図3に本除染システムのフロー図を示す。汚染土壌に含まれる放射性物質は、Csがほとんどであり、Csはシルトと呼称される、細かい粒径(粒径5~75μm)の土粒に多く存在するとされている。本システムでは土壌を水中で攪拌し、細粒成分を水中に浮遊させたスラリー形態にした後、Cs含有量の高いシルトおよび粘土を除去することで、除染(土壌中の放射能を低減する)を

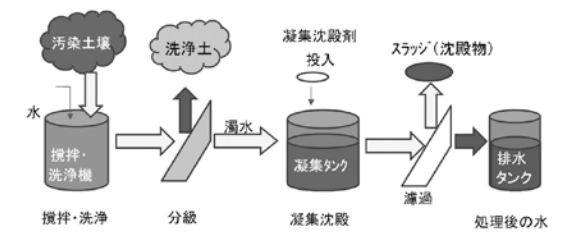


図3 川崎重工の土壤除染システムフロー

表2 除染効果確認試験結果

条件		除染係数(*1)	廃棄物減容比(*2)	排水放射能濃度(Bq/kg)
メッシュ(空き間径)	攪拌時間			
大	40分	16.1	1 / 4.1	N.D. (検出限界値以下)
	20分	10.3	1 / 3.5	N.D.
		10.8	1 / 3.5	N.D.
	小	20分	4.4	1 / 4.1
20分		5.6	1 / 4.6	N.D.

(\*1) 除染係数=1/(洗浄土放射能/汚染土放射能)と定義され、放射能が何分の1になったかを表す指標

(\*2) 減容比=スラッジ体積/汚染土体積

(\*3) 汚染土壌の放射能濃度: 22000(Bq/kg)

行うものである。Csが移行した濁水は凝集沈殿剤を用いて沈殿・ろ過を行うことで、Csを含んだ土をスラッジとして回収することができ、排水側に放射性物質が残らないため、除染処理による2次廃棄物発生を極小とする特長をもっている。

(2) 試験結果

除染効果は振動ふるいでの分級に律せられると考えられるため、振動ふるいのメッシュの大きさをパラメータとして試験を行った。表2に試験結果を示す。

(3) 考察

①洗浄土の除染係数を維持したまま、減容比を向上する目的で、メッシュを小さくしたところ、Csが洗浄土に移行し、除染係数が悪化した。これは攪拌・洗浄工程の洗浄時間が短く、シルトと砂の分離が不十分なままCsが吸着したシルトが砂と一緒に、洗浄土の方に移行してしまったと考えられる。攪拌時間を40分としたものが20分のものに比べて除染係数、減容比ともに向

- 上したことからこの現象が伺える。
- ②洗浄後排水の放射能は検出限界値以下となり、除染による二次廃棄物とならないことがわかった。
  - ③処理速度は最大で約200kg/h程度であった。速度は分級に要する時間に依存するため、要求処理速度に応じて分級面積を拡張することで対応できると考えられる。
  - ④気温が低い場合に洗浄水が凍結し、メッシュが目詰まりするようなことがあった。季節・天候により洗浄液を加熱するような設備が必要である。

### 5. 今後の課題

- ①土壌の粒径分布を確認し、分級効果が十分であったか確認する。
- ②分級以上の除染効果を期待する場合には、交換サイトからのCsの脱離が必要となる。その可能性と技術の検討を今後行う。
- ③草木などの有機廃棄物の分別など、土壌除染の前処理について検討を行う。

### 6. おわりに

本稿で扱ったような土壌除染は「除染関係ガイドライン」に記述がないため、国からの補助が下りず、汚染状況重点調査地域に指定されている自治体でも、一部実証試験を除き、行われていないのが現状である。土壌除染は表土剥ぎのみが行われ、フレコンバッグに梱包して仮置き場に保管している。自治体は仮置き場の設置に難航しており、置き場所が限られるためなかなか表土剥ぎさえも進んでいない。

数年後に計画されている中間貯蔵施設にて減容として土壌除染が行われるか否か、現時点では不明であるが、大きな処理量となることが予想される。表土剥ぎの段階で簡易的な土壌除染をおこなうことで、仮置き場に保管する土壌の量、ひいては中間貯蔵施設にて処理・貯蔵される土壌の量を低減することが可能となるため、その場合でも本除染システムは有効な方法と考えている。

#### 参考文献

- 1) 文部科学省 原子力災害対策支援本部 文部科学省による放射線量等分布マップ(ヨウ素131の土壌濃度マップ)の作成について 平成23年9月21日
- 2) Arapisら (1997) Journal of Environmental Radioactivity 34, 171-185.
- 3) Fukuyamaら (2004) The Science of the Total Environment318, 187-195.
- 4) Rosénら (1999) Journal of Environmental Radioactivity 46, 45-66.
- 5) 文部科学省 原子力災害対策支援本部 放射線量等分布マップの作成等に関する報告書(報告書第1編)平成24年3月13日
- 6) 佐藤努 (2001) 粘土の特性と利用, 粘土科学, 41, 26-33.
- 7) Sawhney,B.L. (1972) :Selective sorption and fixation of cations by clay-mineral-Review. Clays and Clay Minerals, 20, 93-100
- 8) 山口紀子ら 土壌-植物系における放射性Csの挙動とその変動要因 農環研報31, 75-129 (2012)

## FAPIG の 機 構 (社名 ABC順)

(平成24年7月1日現在)

### 理 事 会・委 員 会・専 門 部 会・事 務 局

会 長	米 山 直 人	富士電機執行役員常務	理 事	中 村 康 佐	みずほコーポレート銀行常務執行役員
副 会 長	佐 々 木 秀 樹	川崎重工工業執行役員	〃	真 木 浩 之	清水建設専務執行役員
〃	段 谷 繁 樹	双日副社長執行役員			
理 事	小 笠 原 保 雄	荏原製作所特任参与			
〃	生 貝 健 二	富士通執行役員副社長			監 事
〃	佐 藤 哲 哉	古河電気工業執行役員常務			朝 日 俊 彦
〃	中 村 晋	古河機械金属常務取締役			みずほコーポレート銀行営業第十部次長
					事 務 局 長
					溝 口 忠 雄

### 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

- ◎ 尾 崎 博 (富 士 電 機)
- 荒 井 正 幸 (荏 原 製 作 所)
- 山 田 裕 之 (富 士 電 機)
- 竹 辺 晴 夫 ( 〃 )
- 國 澤 有 通 (富 士 通)
- 西 本 貞 矢 (古 河 電 気 工 業)
- 大 田 彰 則 (古 河 機 械 金 属)
- 松 並 清 隆 (川 崎 重 工 業)
- 飯 田 浩 一 (み ず ほ コーポレート銀行)
- 加 納 茂 和 (清 水 建 設)
- 片 岡 昇 (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

- ◎ 溝 口 忠 雄 (事 務 局)
- 倉 島 昇 (荏 原 製 作 所)
- 三 木 俊 也 (富 士 電 機)
- 笹 野 貢 (富 士 通)
- 柴 原 資 典 (古 河 機 械 金 属)
- 佐 藤 康 士 (川 崎 重 工 業)
- 高 橋 燈 (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

- ◎ 村 野 博 一 (双 日)
- 北 西 啓 一 (富 士 電 機)
- 高 橋 浩 (富 士 電 機)
- 羽 田 野 泰 彦 (荏 原 製 作 所)
- 三 澤 真 (富 士 通)
- 佐 藤 康 士 (川 崎 重 工 業)
- 新 田 康 男 (清 水 建 設)

高温ガス炉プロジェクト部会

- ◎ 岡本太志(富士電機)
- 中村志郎(双日)
- 大橋一孝(富士電機)
- 森雄一郎(川崎重工業)
- 斎藤正直(清水建設)
- オブザーバー
- 降旗昇(原燃工)

廃止措置・廃棄物処理プロジェクト部会

- ◎ 武仲五月(川崎重工業)
- 村上知行(富士電機)
- 石山祐二(荏原製作所)
- 藤沢盛夫(富士電機)
- 前園伸也(富士電機)
- 蓮沼潤一(富士通)
- 高橋康一(富士通)
- 名塚龍己(古河機械金属)
- 金澤二郎(古河機械金属)
- 角田俊也(川崎重工業)
- 加納茂和(清水建設)
- 鳥居和敬(清水建設)
- 沢本雅弘(双日)
- 井上桂一(双日)

品質保証部会

- ◎ 高橋正昭(富士電機)
- 斉藤利二(川崎重工業)
- 竹山敏(荏原製作所)
- 梅津博幸(富士電機)
- 新田和彦(富士電機)
- 鈴木信太郎(富士通)
- 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

禁無断転載

FAPIG No.184

平成24年7月27日印刷

平成24年度 第1号

平成24年7月31日発行(非売品)

発行所 第一原子力産業グループ事務局  
〒100-8691 東京都千代田区内幸町2丁目1-1  
双日(株)内  
電話 (03) 6871-4911

ホームページ: <http://www.fapig.com/>

編集兼発行人 溝口忠雄

印刷所 ミズノプリテック(株)  
〒104-0042 東京都中央区入船2-9-2  
電話 (03) 5566-6677(代)

SYNOPSIS

Tomoya Minagawa

**Access Control System for Kyusyu Power Electric Co., Inc Sendai Nuclear Power Plant**

FAPIG No. 184 pp.3~8 (2012)

Amid raising the stricter dose control toward personnel working in nuclear power plant, on dose control and radiation monitoring system for Kyusyu Power Electric Co., Inc, Sendai Nuclear Power Plant, Fuji Electric had manufactured and provided an access control system mounting functions to achieve preventing entering with dosimeter for anyone else or without a dosimeter; reducing exposure by making the exposure level from every work stricter; and reducing burden on personnel, under instruction and cooperation of Kyusyu Power Electric.

**KEYWORDS** : access control system, reducing exposure, reducing burden on personal, preventing entering without a dosimeter, preventing entering with dosimeter for anyone else, kyushu power electric

Masayuki Konno, Yoshiji Hase, Akira Tomioka

**Development of YBCO Magnet for Superconducting Motor**

FAPIG No. 184 pp.9~14 (2012)

Fuji Electric has manufactured large special shape (flat umbrella type) coils in full-scale, which can be downsized, for 500kW class superconducting rotating machines by using YBCO high-temperature superconducting wire along with Industrial Superconductivity Technology Research and Association and Kyushu University for the first time in the world. We confirmed that a magnetic field of 3T (tesla) is generated and the coil withstood the electromagnetic stress of 150 MPa generated at that time. Accordingly, we have a prospect that it can be applied to YBCO superconducting motor. Here we introduce the outline of the retrofit type YBCO superconducting motor, which will replace normal conduction motor, and the developed field coils.

Tomoaki Sato, Mitsuteru Ishida

**Building of the Monitoring Information System for the environmental Radioactivity Level**

FAPIG No. 184 pp.15~20 (2012)

Fujitsu has finished to build the Monitoring Information System for the environmental radioactivity level, that was ordered by Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT).

The system collects the monitoring data of radioactivity level, then release the monitoring information to public via WEB.

We started the services at April, 2012 on IDC (Internet Data Canter).

It took the only 110 days to build the system, by using ajax framework and RapidWEB+ that is our existing IT assests.

In this paper, we describe the outline and the features of the system.

**KEYWORDS** : radioactivity level, ajax framework, IDC, MEXT



Ryo Chishiro, Satsuki Takenaka, Toshiya Kakuta, Kiyotaka Matsunami

### Development of Decontamination System for Soil with Radioactive Cesium

FAPIG No. 184 pp.21 ~ 24 (2012)

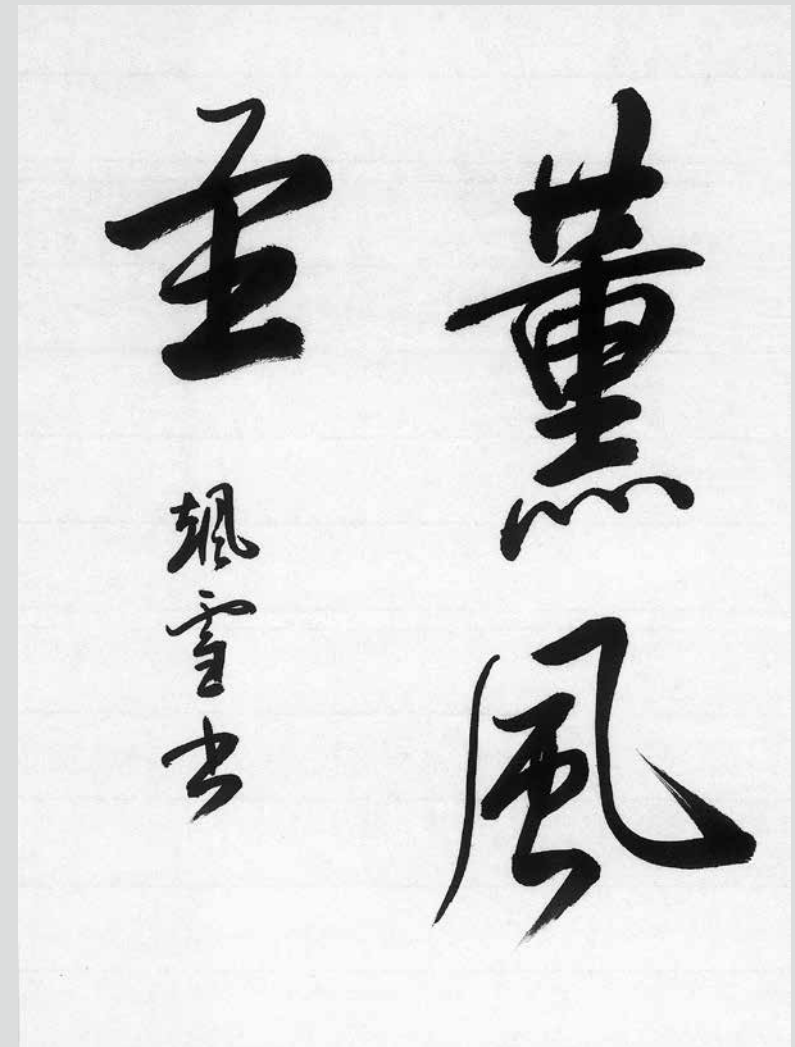
The releases of radioactive materials at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant, following the Tohoku earthquake and tsunami on 11 March 2011, are cause of environmental radioactive contamination. It is very important to resolve health problem and reduce influences living circumstances as soon as practicable.

Many researches and developments are conducted for improving circumstances of people's lives and minimizing farmed contamination because the radioactive materials (most of them are cesium) stay in soils and forests around people.

We report that we researched the decontamination condition of soil, we selected the available decontamination methods and we conducted the demonstrated tests in Fukushima.

**KEYWORDS** : cesium, decontamination, soil, classification

「薰風至（くんぷういたる）  
颯雪書（そうせつ書）」



#### 作者プロフィール

草深 博好 Hiroyoshi Kusahuka

富士電機OB（1995年退職）1935年東京都生まれ。

1960年入社（当時は富士電機製造），入社時は東海 I 号炉建設の真最中。英語力を見込まれGEC相手の営業担当に。その後水力，変電の国内営業も経験するが，原子力分野では，「AGRプロジェクト」，「シーメンスKWUのPWRセールスプロモーション」など高い英語力を発揮できるプロジェクトに従事。東海 I 号炉蒸気タービン・発電機の富士電機製への置き替えに貢献できたことは心に残る思い出。

#### 主な活動履歴

書を始めたのは定年退職後。文武の武はゴルフ，文は書か絵画と考えたが，絵画は保管にかさばるので書を選ぶ。日本書道協会で腕を磨き，現在 2 段。雅号は「颯雪」。漢字に専念し，年 1 回の協会の総合書道展などで金賞，銀賞を多数受賞。出展時は，三ヶ月をかけて150枚ほど書き下ろして 1 枚を出し，評価を心待ちに。

# 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

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