

# 再処理施設運転訓練シミュレータ

Operation Training Simulator for Reprocessing Plant

中村 健二

■ NAKAMURA Kenji

荒川 秋雄

■ ARAKAWA Akio

瀧澤 洋二

■ TAKIZAWA Youji

青森県六ヶ所村にある日本原燃(株)の再処理施設は、各施設の建設と化学薬品を使用したケミカル試験がほぼ終了し、2006年の操業開始を目指して現在、試運転と運転員の訓練が行われている。

東芝は、再処理施設用運転訓練シミュレータを開発し、2003年8月に日本原燃(株)へ納入した。運転員の訓練ではこの運転訓練シミュレータを使って、放射性物質の漏洩(ろうえい)が発生した場合などの異常事象に対する訓練が行われている。

また、この運転訓練シミュレータの主な特長は、一つのシステムで再処理施設の5施設分の運転訓練が行えることや、異なる施設間の連携訓練が可能であることなどである。

Construction of the facilities and chemical tests using actual chemicals at the Rokkasho Reprocessing Plant of Japan Nuclear Fuel Ltd. (JNFL) in Aomori Prefecture are almost completed. Trial runs are currently in progress with the aim of commencing operations in 2006.

Toshiba has developed an operation training simulator for the Rokkasho Reprocessing Plant and supplied it to JNFL in August 2003. The simulator is used for training operators in plant operations in the event of an accident such as a leakage of radioactive material. A salient feature of this simulator is that it provides trainings for operations at five facilities of the Rokkasho Reprocessing Plant in a single system as well as cooperative operations between different facilities.

## 1 まえがき

青森県六ヶ所村にある日本原燃(株)の再処理施設は、原子力発電所の使用済燃料からウランとプルトニウムを取り出すための国内初の商業用施設である。施設の建設と化学薬品を使用した化学試験はほぼ終了し、現在は、2006年の操業開始を目指して試運転中である。

東芝は、再処理施設用運転訓練シミュレータを開発し、2003年8月に日本原燃(株)へ納入した。運転員の訓練ではこの運転訓練シミュレータを使って、放射性物質の漏洩が発生した場合などの異常事象に対する訓練が行われている。

以下に、そのシステムの概要と特長について述べる。

の硝酸溶液は、分離建屋(AB建屋)でウラン、プルトニウム、核分裂生成物に分離された後に、精製建屋(AC建屋)で精製され、ウラン脱硝建屋(BA建屋)及びウラン・プルトニウム混合脱硝建屋(CA建屋)で脱硝されてウラン酸化物とウラン・プルトニウム混合酸化物の2種類の製品が作られる。製品は、ウラン酸化物貯蔵建屋(BB建屋)及びウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋(CB建屋)に貯蔵される。

再処理施設には、前記のほかに、各工程で発生した放射性廃棄物を処理・貯蔵するための低レベル廃液処理建屋、低レベル廃棄物処理建屋(DA建屋)、高レベル廃液ガラス固化建屋(KA建屋)や各施設の運転・監視を統括的に行う制御建屋(AG建屋)などがある。

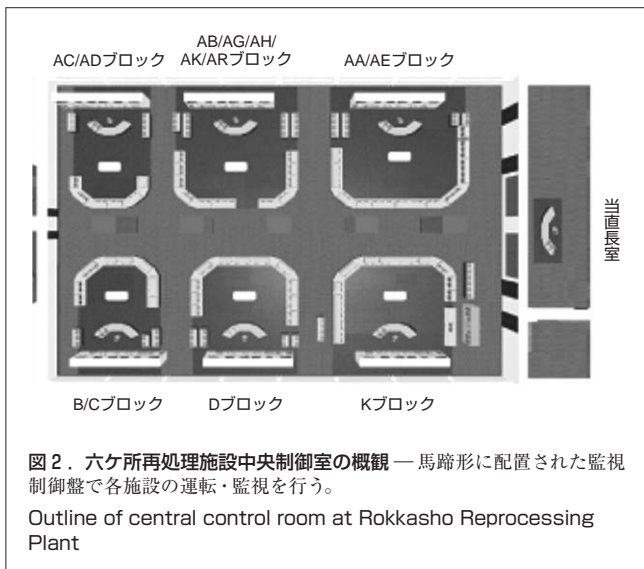
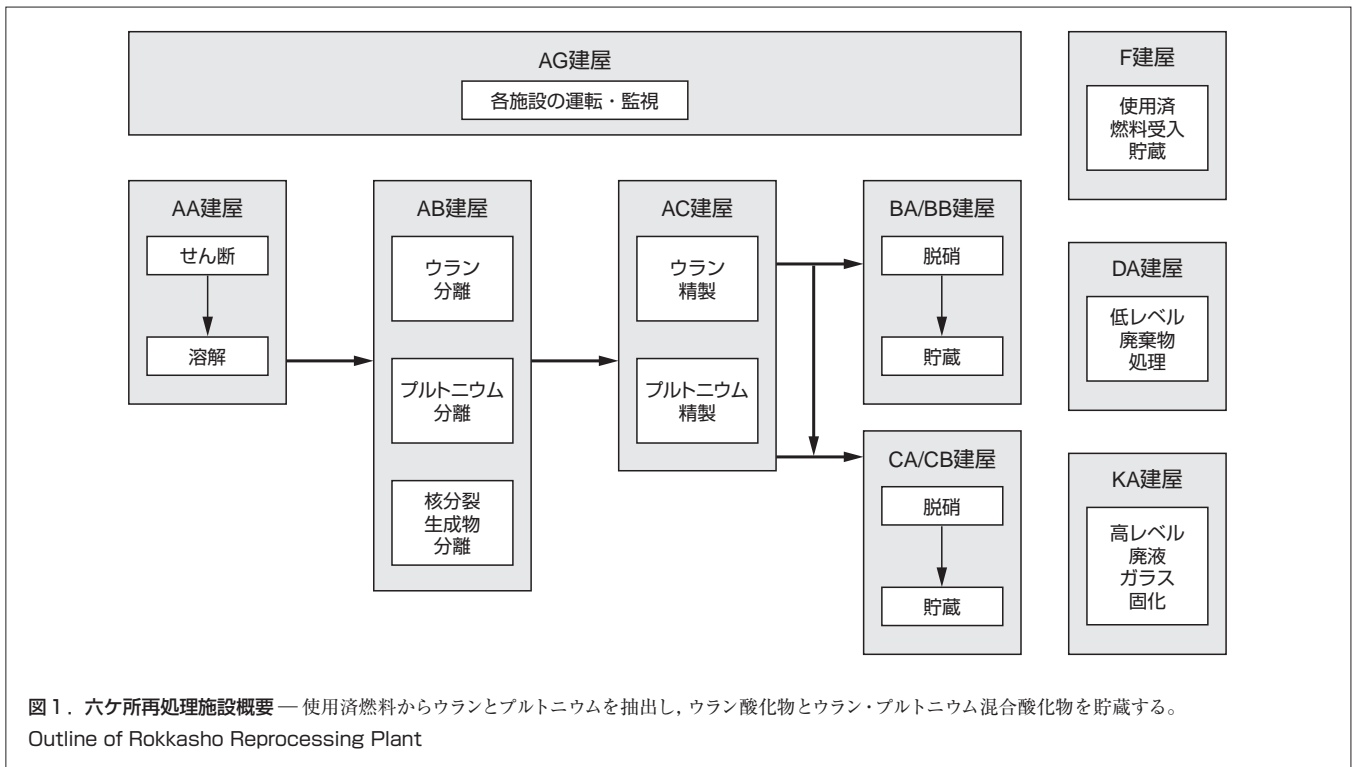
## 2 再処理施設の概要

再処理施設は、使用済燃料からウランとプルトニウムを取り出すために、複数の施設から構成されている。再処理施設での使用済燃料受入から製品貯蔵までの処理の概要を図1に示す。原子力発電所から輸送されてきた使用済燃料は、使用済燃料受入れ・貯蔵建屋(F建屋)に受入れられ、貯蔵プールで冷却・貯蔵される。使用済燃料は、決められた冷却期間貯蔵され放射能が十分に弱まった後に、前処理建屋(AA建屋)でせん断され、硝酸で溶かされる。使用済燃料

## 3 再処理施設制御系の構成

再処理施設では、AG建屋の中央制御室に集中設置された監視制御盤(OIS: Operator Interface Station)で運転・監視が行われる。中央制御室の概観を図2に示す。

中央制御室には、ブロックと呼ばれる馬蹄(ばてい)形をした各施設の監視制御盤が六つ配置されている。各ブロックには、各施設のデータを収集・管理する工程管理用計算機が設置され、工場全体を統括管理する当直長用業務支援計算機に連結されている。



再処理施設のプロセス制御系は、プロセスデータの収集及び運転インタロックを制御するPCS (Process Control Station), 安全系監視制御盤, 現場機器などから構成されている。

#### 4 模擬範囲

模擬ウラン燃料集合体を使用して実施する試験運転以後の運転に向けた効果的な訓練のためには、訓練事象の選定

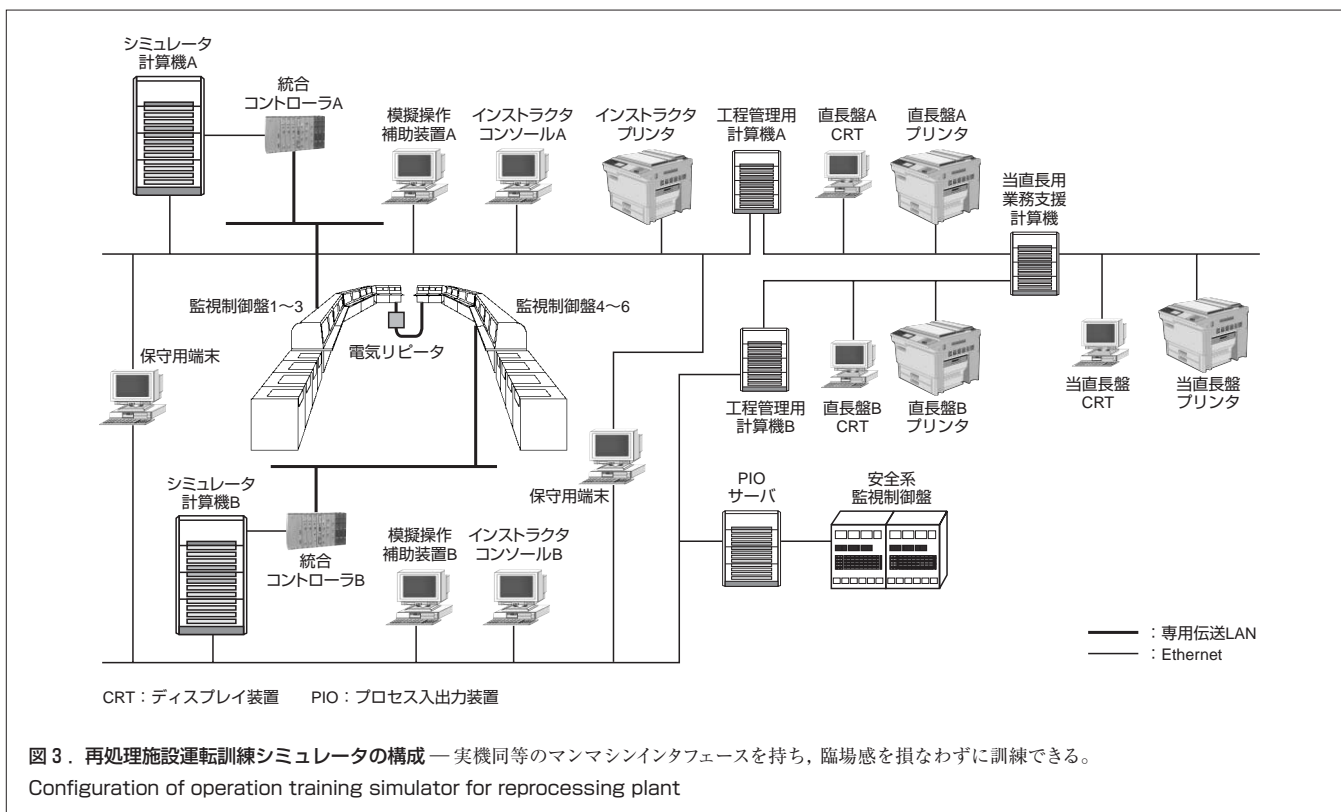
と選定事象のプロセスを模擬する範囲を確定することが重要である。訓練事象の選定に際しては安全性確保評価の見地から、ウラン試験前に訓練が必要な異常事象として、以下の三つの基準により、AA 建屋, AB 建屋, AC 建屋, CA 建屋, KA 建屋の5事象, 17シナリオを選定している。

- (1) 運転時の異常な過渡変化 (AT: Anticipated Transient) 事象のうち、最大許容限度までの時間余裕が1日以内で運転員対応が期待されるもの
- (2) 運転時の異常な過渡変化を超える (BAT: Beyond AT) 事象は、設計基準事象のうち評価シナリオ上運転員対応が期待されるもの
- (3) 設計基準外事象については、結果の重大性を考慮し、ヒューマンエラーの観点から訓練すべきもの<sup>(1)</sup>

また、AA 建屋, AB 建屋, AC 建屋については再処理施設の主工程となるので、工程の起動/停止操作や異常に関する短期停止操作なども実施できる。

#### 5 運転訓練シミュレータの構成

運転訓練シミュレータの全体構成を図3に示す。このシミュレータでは、運転の臨場感を損なわないように実機同等のマンマシン インタフェースが採用されている。プロセスの動特性やインタロックロジックについては、シミュレータ計算機で模擬されている。プロセスの動特性モデルは、実機の設計データから製作されており、インタロックロジックは、



実機ロジックをシミュレータ用に自動変換して製作されている。現場機器については模擬操作補助装置にて操作可能となっている。運転訓練シミュレータの主な構成機器の機能と実機との比較を表1に示す。

表1. 構成機器の機能と実機との対比  
Functions of components and comparison with actual plant

役割	機器	機能	実機との比較
運転・監視	監視制御盤	再処理施設の各施設の運転と監視	実機同等
	安全系監視制御盤	安全上重要な操作、計器の表示及び警報の出力	実機同等 ただし、安全評価上必要な計器及びスイッチを模擬
	模擬操作補助装置	現場操作を模擬	なし
プラント制御	シミュレータ計算機	プラント運転のインタロックロジック、動特性モデルなどを模擬	インタロックロジックについてはPCSが実現。動特性については実プロセス
	統合コントローラ(ゲートウェイ)	監視制御盤とシミュレータ計算機間のゲートウェイ機能を持つ	なし
	インストラクタ計算機	シミュレーション状態の操作と制御	なし
プラントデータ収集	工程管理用計算機	各施設のデータを収集、監視	実機同等
	当直長用業務支援計算機	各工程管理用計算機で収集したデータを統合して管理	実機同等

## 6 運転訓練シミュレータの特長

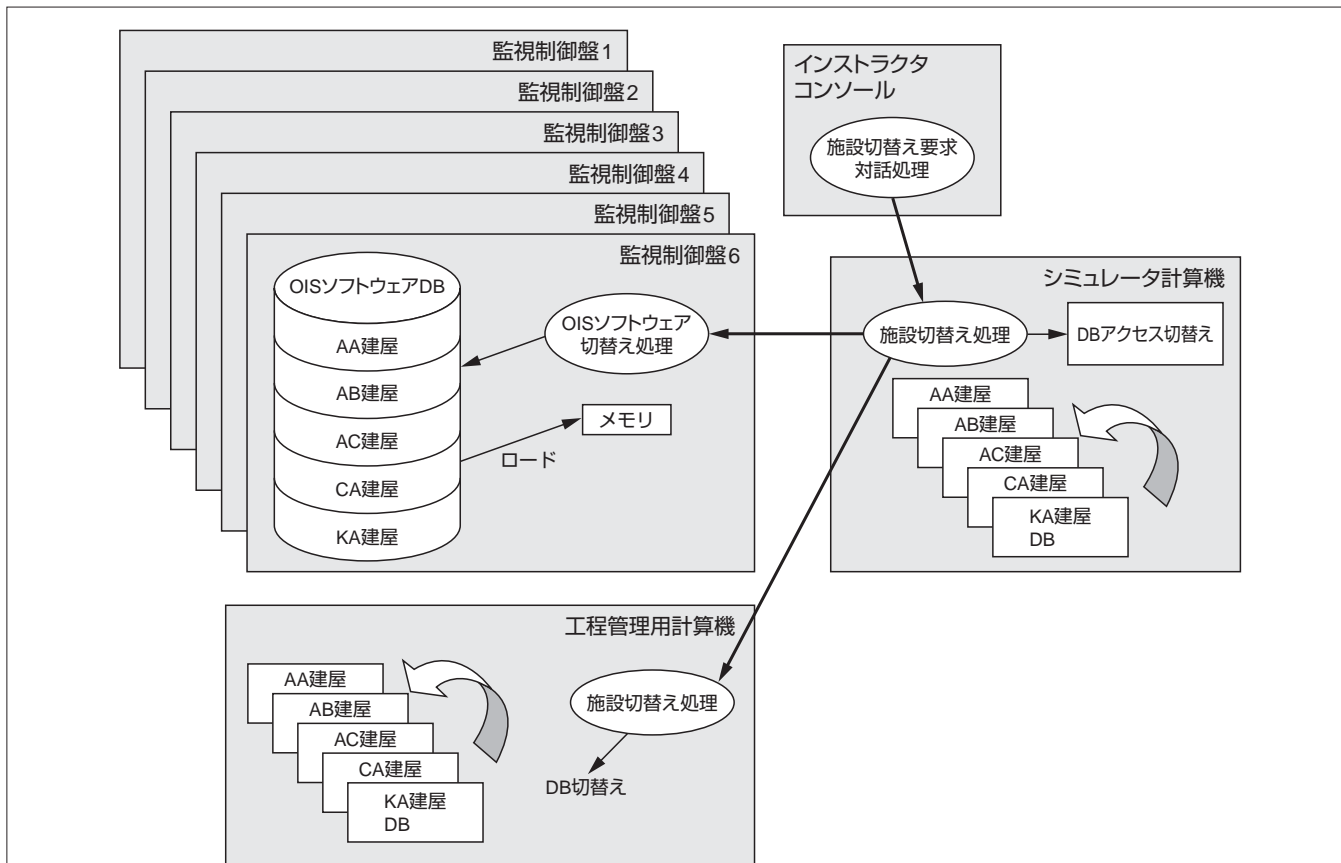
### 6.1 複数施設の訓練

このシミュレータでは、再処理施設のAA建屋、AB建屋、AC建屋、CA建屋、KA建屋の5施設分の訓練が、模擬施設を切り替えることで実施できる。施設切替えの機能概念を図4に示す。施設切替えの対象となる機器は、①シミュレータ計算機、②監視制御盤、③工程管理用計算機である。

インストラクタがインストラクタコンソールで施設切替え要求対話プログラムを起動し、訓練する施設を選択することで、訓練対象の施設コードがシミュレータ計算機に通知される。その後、シミュレータ計算機では、インタロックロジック及び動特性モデルが保存されているデータベースへのアクセスを切り替えるとともに、監視制御盤と工程管理用計算機へ訓練対象の施設コードを通知する。この方法は、データベースへのアクセスを切り替えることにより訓練施設を切り替えているので、将来、模擬施設を追加する場合でも、対象施設のデータベースを追加するだけで、容易に対応できる。

訓練対象の施設選択信号を受信した監視制御盤では、メモリにロードする施設ソフトウェアが切り替わり、再起動することで訓練対象の施設が起動する。

訓練対象の施設選択信号を受信した工程管理用計算機では、訓練対象の施設用データベースが切り替わることで対象施設の訓練ができる。



DB：データベース

図4. 施設切替機能の概念 —一つのシステムで複数施設の訓練ができる。  
Concept of changeover to other plant

## 6.2 異なる施設間の連携模擬

このシミュレータは機能の同じシミュレータ2台 (A系, B系) で構成されており, どちらも5施設分の訓練ができる。A系とB系を異なる施設に設定することで, A系とB系間でインタロック信号とプロセス値を送受信し, 施設間の連携訓練が実施できる。連携対象とした組合せは, “A系でAA建屋, B系でKA建屋”と“A系でAB建屋, B系でKA建屋”である。連携模擬の例を図5に挙げる。A系シミュレータの

V11からB系シミュレータのV12に溶液を移送する場合, 移送許可のインタロック信号をB系からA系に送信する。A系では移送許可信号を受信してポンプを起動操作し, ポンプ運転中信号と移送している溶液のプロセス値をB系に送信する。B系では, 受信した溶液のプロセス値により, V12内のプロセス値の変動を模擬する。

## 6.3 訓練速度の変更

運転訓練のなかには, プロセスの過渡状態が長く, 実時間では10時間を超える場合がある。1回の運転訓練の時間は約1時間程度に限られていることから, 1倍から30倍までの間で訓練速度を変更することで, このように処理の長い運転訓練も可能となっている。

訓練速度はインストラクタコンソールで設定される。プラント動特性モデルでは, 設定された訓練速度分の演算処理を1回の処理周期内に行うことで, 訓練速度が変更される。また, インタロックロジックについては, ロジックで設定したタイマの1周期で処理されるカウント量を増減することで, 訓練速度が変更される。

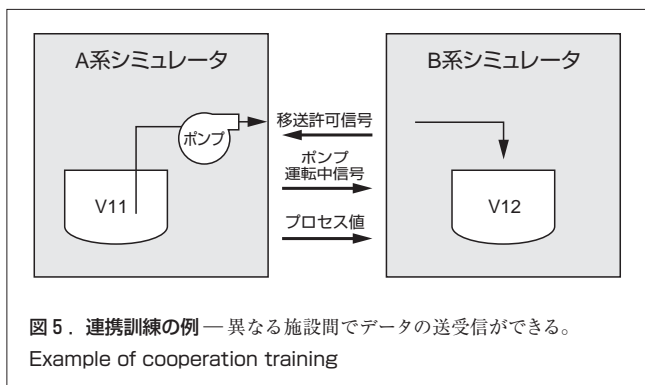


図5. 連携訓練の例 —異なる施設間でデータの送受信ができる。  
Example of cooperation training

## 7 プラント動特性モデル

プラント動特性モデルは、プラント状態に合わせて物質収支、熱収支などの演算を行い、物理法則を大きく損ねることなくプラント模擬を実現している。

プラント動特性モデルにおいても、5施設それぞれの異常事象を模擬するよう構成されており、各施設における漏洩事象や外部電源喪失などを模擬することで溶液移送の物理化学特性や電気系もモデル化している。これらモデルは、施設切替えに伴って切り替えられることになる。

モデル作成においては、例えばタンク、移送機、漏洩液受け皿など模擬する機器についてモデルの共通部品を作成し、これらの共通部品のサブプログラムと清澄機などの他工程にない部品とを組み合わせることで、工程全体のモデルを実現している。また、機器のモデルの実プロセスと一致させるレベルは、模擬する内容によって決められている。

## 8 プラント動特性モデルの開発・保守ツール

再処理施設の今後の運転データを反映し、模擬範囲を拡張するため、また、プラント動特性モデルの開発と保守を容易にするため、オブジェクト指向のモデル生成ツールであるMDS(Model Description System)を試験的に導入している。MDSでのプラント動特性モデルプログラムの作成例を図6



に示す。MDS上で、タンク、ポンプ及び弁などのプロセス挙動が定義されモジュール化される。オブジェクトモジュールをMDSウィンドウ上に配置して結線し、各オブジェクトの初期値や定数を設定することでプログラムのソースコードが作成される。このように、視覚的にプラント動特性モデルのプログラムが記述されるので、容易にプログラミングできる。図6は、左上のタンクの初期値と定数を設定しているようすを示している。なお、MDS上でパラメータを変更することで、プラント動特性を容易に調整できる<sup>(2)</sup>。

## 9 あとがき

当社が開発した再処理施設用運転訓練シミュレータが、納入先の日本原燃(株)によって運用が開始されている。このシミュレータは好評を得ており、ここにその概要と特長を紹介した。

今後は、このシミュレータを継承・発展させた再処理施設総合訓練シミュレータの開発を目指し、今回得た知見を基に、更に充実したシステムを開発していきたい。

### 文献

- (1) 小澤敏宏,ほか.六ヶ所再処理施設運転訓練シミュレータの開発(II)-訓練事象及びモデル化範囲-.日本原子力学会.2004年春の年会,予稿B27,1p.
- (2) 青柳春樹,ほか.六ヶ所再処理施設運転訓練シミュレータの開発(IV)-モデル開発・保守ツールの試験導入-.日本原子力学会.2004年春の年会,予稿B29,1p.

**中村 健二 NAKAMURA Kenji**

電力・社会システム社 府中電力・社会システム工場 原子力計装制御システム部主務。六ヶ所再処理施設の計装制御システム設計に従事。  
Fuchu Operations - Industrial and Power Systems & Services

**荒川 秋雄 ARAKAWA Akio, D. Eng.**

電力・社会システム社 電力・社会システム技術開発センターシステム解析技術開発部主査,工博。原子力プラント制御システム,運転訓練用シミュレータの開発に従事。  
Power and Industrial Systems Research and Development Center

**瀧澤 洋二 TAKIZAWA Youji**

電力・社会システム社 原子力事業部磁子エンジニアリングセンター主査。原子力プラント制御システム,運転訓練用シミュレータの開発に従事。  
Nuclear Energy Systems & Services Div.