

再処理施設運転訓練シミュレータの開発

Development of the Reprocessing Plant Operator Training Simulator

株式会社 東芝 高橋 秀樹 Hideki TAKAHASHI
株式会社 東芝 中村 健二 Kenji NAKAMURA
株式会社 東芝 荒川 秋雄 Akio ARAKAWA

The operation training simulator has been developed for the purpose of safety and stable operation in the Rokkasho reprocessing plant, the first commercial spent nuclear fuel reprocessing plant in Japan. The simulator is designed to contribute to the acquisition of the knowledge and skills indispensable for the plant operators and to the promotion of good team-work among operators. In this paper we present the outlines of the operator training simulator for Rokkasho reprocessing plant.

Keywords: Rokkasho reprocessing plant, operator training simulator

1. 緒言

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。現在2007年の操業開始を目指して試運転中である。

東芝は、世界初となる再処理施設用運転訓練シミュレータを開発し、日本原燃（株）に納入した。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[1]。

以下に、そのシステムの概要と特徴について紹介する。

2. 再処理施設概要

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 Fig.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・貯蔵建屋に受入れられ貯蔵プールにて冷却・貯蔵される。使用済燃料が、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（以降AA建屋と述べる）にて、使用済燃料はせん断され硝酸で溶かされる。使用済燃料の硝酸溶液は、分離建屋（以降AB建屋と述べる）にて、ウラン、プルトニウム、核分裂生成物とに分離

された後に、精製建屋（以降AC建屋と述べる）にて精製され、ウラン脱硝建屋（以降BA建屋と述べる）およびウラン・プルトニウム混合脱硝建屋（以降CA建屋と述べる）で脱硝し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（以降BB建屋と述べる）およびウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋（以降CB建屋と述べる）に貯蔵される。

再処理施設には、上記の他に、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、高レベル廃液ガラス固化建屋（以降KA建屋と述べる）や各施設の運転・監視を統括的に行う制御建屋（以降AG建屋と述べる）などがある。

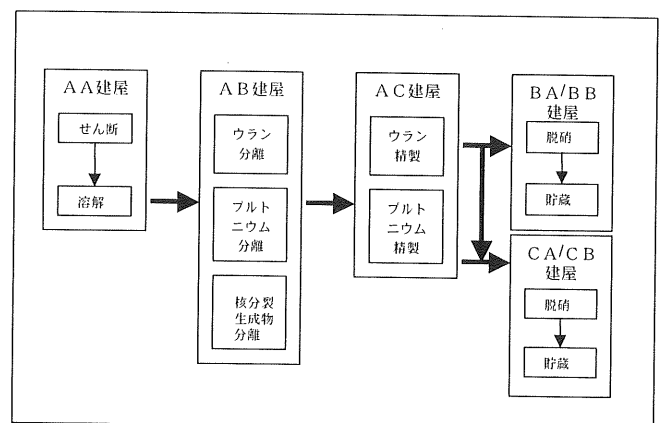


Fig. 1 Outline of reprocessing plant process

連絡先:高橋秀樹、〒235-8523 横浜市磯子区新杉田町8、
(株)東芝 磯子エンジニアリングセンター電気計装設計部
保全計画担当、電話:045-770-2197、
e-mail:hideki7.takahashi@toshiba.co.jp

3. 再処理施設制御系構成

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で運転・監視が行われる。中央制御室では、ブロックと呼ばれる馬蹄形をした各施設の監視制御盤が6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業務支援の盤に連結されている。

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ーロックを制御する制御装置、安全系監視制御盤、現場機器等から構成されている。

4. 模擬範囲

ウラン試験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[2]。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を以下の基準により、AA建屋、AB建屋、AC建屋、CA建屋、KA建屋での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件事象の内、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事象については設計基準事象の中から選定し、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。

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等も実施可能とする。

5. 運転訓練シミュレータ構成

本シミュレータでは、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ーフェースが採用されている[3]。プロセスの動特性やインター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、実機的设计データか

ら製作されており、インターロックロジックは、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。

Table 1に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示す。

Table1 Comparison of simulator and real plant functions

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・監視を行う	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を動作させる	実機同等。但し、安全評価に必要な計器及びスイッチを模擬
	模擬操作補助装置	現場操作を模擬する	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ーロックロジック、動特性モデル等を模擬する	インターロックロジックについては制御装置が実現。動特性については実プロセス。
	統合コントローラ(ゲート)	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有する	なし
	インストラクタ計算機	シミュレーション状態の制御を行う	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し、監視する	実機同等
	当直長業務支援用計算機	各工程管理用計算機で収集したデータを統括して管理する	実機同等

6 運転訓練シミュレータの特徴

6.1 複数施設の訓練

本シミュレータでは、再処理施設のAA、AB、AC、CA、KA建屋の5施設分の訓練が、模擬施設を切替えることで実施可能である。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にて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、インター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替えると共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。

この切替え方法は、データベースへのアクセスを切替えて訓練施設を切替えているので、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、容易に実現可能である。

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可能となる。

6.2 異なる施設間の連携模擬

本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施設分の訓練が可能である。A系とB系を異なる施設に設定することで、A系とB系間でインター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①A系でA A建屋、B系でK A建屋、②A系でA B建屋、B系でK A建屋である。Fig.2に連携模擬の例を挙げる。

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、B系から移送許可のインターロック信号をA系に送信する。A系では移送許可信号を受信しポンプを起動操作し、B系にポンプ運転中信号と移送している溶液のプロセス値を送信する。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。

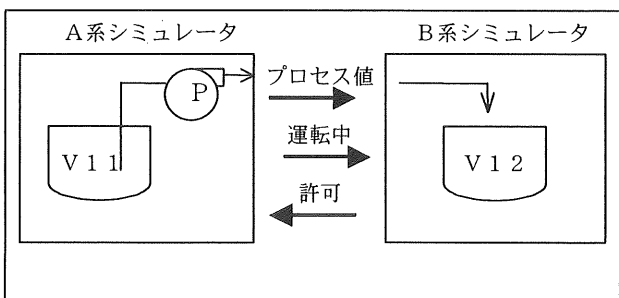


Fig. 2 Example of cooperation simulation

6.3 訓練速度の変更

運転訓練の中には、プロセスの過渡状態が長く、実時間では10時間を越える場合がある。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、1回の処理周期内に、設定された訓練速度分の演算処理を行うことで訓練速度

が変更される。また、インターロックロジックについては、タイマーのカウント時間を設定された訓練速度に合わせて1回の処理時間を増加することで、訓練速度が変更される。

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、熱収支等の演算を行い、物理法則を大きく損ねずに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各5施設の異常事象を模擬するよう構成されている。各建屋における漏洩事象、外部電源喪失などを模擬することから溶液移送の物理化学特性、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開発・保守ツール

再処理施設の今後の運転データの反映と模擬範囲の拡張のため、プラント動特性モデルの開発・保守が容易となるよう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[4]。Fig.3に、MDSでのプラント動特性モデルプログラムの作成例を示す。

タンク、ポンプ及び弁等のプロセス挙動について定義しモジュール化する。オブジェクトモジュールをMDSウィンドウ上に配置結線し、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が可能である。

Fig.3は、左上のタンクの初期値と定数を設定している様子を示している。なお、MDS上でパラメータを変更することで、プラント動特性の調整も容易に可能である。

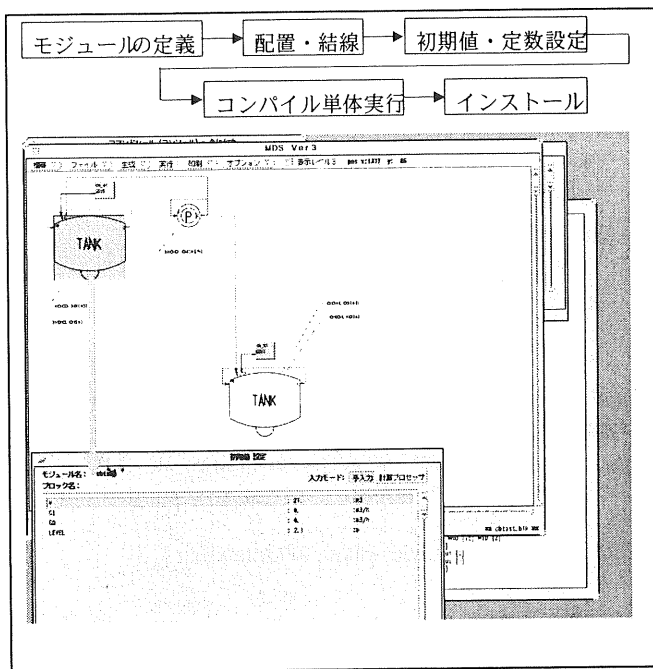


Fig. 3 Example picture of MDS

9. あとがき

東芝が開発した世界初の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）により運用開始されている。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徴を紹介した。

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、今回得た知見を元にさらに充実したシステムを開発していきたい。今後とも関係各位の一層のご指導、ご鞭撻をお願いする次第である。

参考文献

- [1] 青柳ほか、六ヶ所再処理施設運転訓練シミュレータの開発（Ⅰ）－開発と訓練－日本原子力学会 2004年春の年会 予稿 B26
- [2] 小澤ほか、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
- [3] 瀧澤ほか、六ヶ所再処理施設運転訓練シミュレータの開発（Ⅲ）－基本仕様とシステム構成－日本原子力学会 2004年春の年会 予稿 B28
- [4] 荒川ほか、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