# 分散シミュレーションシステムの開発

### Development of Distributed Simulation System

三菱重工業株式会社	谷 祐司郎	Yujiro TANI	Nonmember
三菱重工業株式会社	小峰 友裕	Tomohiro KOMINE	Nonmember

#### Abstract:

The distributed simulation system has been developed with several general-purpose computers as technology of a training simulator for nuclear power plant. It enables to use the software of various specifications or providers in a training simulator. As the result, simulation scope is expanded, and simulation accuracy is improved. In addition, maintainability is improved for the training simulator by restoration of a simulation system, interference removal, and inclusion work reduction. Consequently, simulator training becomes more effective, and simulator operating ratio becomes improved.

Keywords: Nuclear, Power Plant, Training, Simulator, Simulation, Distributed

## 1. まえがき

福島第一原子力発電所で発生した事故以降、運転員に は一層高度な技量・知識が要求されており、訓練を通じ て運転員を育成するための運転訓練シミュレータはプラ ントの安全運転には欠かすことができない重要な設備と なっている。

シミュレータを用いて起動停止等の通常運転操作を訓 練することにより、運転員の基本となる知識や技術を習 得するだけでなく、ヒューマンエラーによる事故未然防 止に貢献している。また、自然災害や機器故障等の事故 時運転操作を訓練することにより、プラントの状態から 何が起こっているかを見抜き、適切な対応操作をするこ とで事故の影響拡大を防ぎ収束させる知識及び技術の習 得にあたっても、シミュレータによる運転訓練が効果的 である。そして運転訓練シミュレータに求められる仕様 は次節の通りである。

#### 連絡先:

谷 祐司郎、〒652-8585 神戸市兵庫区和田崎町 1-1-1、 三菱重工業株式会社 ICTソリューション本部、制 御技術部

E-mail: yujiro\_tani@mhi.co.jp

小峰 友裕、〒652-8585 神戸市兵庫区和田崎町 1-1-1、 三菱重工業株式会社 ICTソリューション本部、制 御技術部

E-mail: tomohiro\_komine@mhi.co.jp

#### 1.1 運転訓練シミュレータ要求仕様

運転訓練シミュレータには以下の要求仕様がある。

- (1) 応答性
- (2) 再現性
- (3) 同一性

一つ目は応答性である。通常運転操作や事故時対応を した場合、運転員の誤操作や操作遅れ及びプラントの自 動制御等も含めシミュレータの応答はリファレンスプラ ントと顕著な差がないことがシミュレータ規格で求めら れている。<sup>1</sup>運転訓練は所定の手順通りに全てが順調に進 むわけではなく、時には誤操作をすることもある。その 場合でも運転員が操作した通りの挙動を運転訓練シミュ レータが示す必要があるため、運転操作に従いリアルタ イムで挙動を計算して制御盤等に表示する必要がある。<sup>2</sup>

二つ目は再現性である。同じ条件下で同じ操作を繰り 返した場合は、毎回同じ挙動を示す必要がある。計算機 負荷や通信遅れにより計算タイミングや計算順序が異な った場合は異なった結果となる。特に並列計算をする場 合には、通信遅れや割り込み処理等様々な要素によって 再現性が失われてしまう。そのため、ソフトウェアの実 行制御を行い、再現性を保持する必要がある。

三つ目は同一性である。リファレンスプラントと運転 訓練シミュレータはプラント挙動、操作感、制御盤外観 において同一性を保つ必要がある。<sup>3</sup>そのため、リファレ ンスプラントに行われた改造をシミュレータに反映する ために、運転訓練シミュレータは定期的に改造工事を行 う必要がある。 このたび、運転訓練シミュレータの要求仕様を満たし た分散シミュレーションシステムを開発することにより シミュレータの拡張性及び保守性を高めることに成功し た。2章よりその技術及び効果について述べる。

## 2. 分散シミュレーションシステムとは

#### 2.1 これまでの課題

運転訓練シミュレータはそのシステムの全てを内製シ ミュレーションモデルソフトウェアで構成し、1台の計 算機でシミュレーションしている場合が多い。最近では 模擬範囲の拡充や模擬精度向上のために、シビアアクシ デントモデルやDCSエミュレーションモデルを組み込 んでいるが、これらのソフトウェアは社外メーカのソフ トウェアを入手して組み込んでいる。<sup>4</sup>

社外メーカのソフトウェアを組み込むにあたって、O Sやソフトウェアバージョン等の要求仕様がソフトウェ アによって異なることから、1台の計算機では複数ソフ トウェアの要求仕様を満たすことが難しい。また、ソフ トウェアにより製造技術や設計思想が異なることから、 技術的に複数ソフトウェアを合体・融合することが困難 である。また、要求仕様と異なる計算機環境へ組み込み をする場合には、ソフトウェア改造や健全性検証を行う 等ソフトウェア実行環境整備だけで膨大な時間が必要に なる。また、1台の計算機で多数のソフトウェアを同時 実行した場合、計算機負荷によりリアルタイムで計算が できないことがある。

これらの課題を解決するために、ソフトウェアの要求 仕様を満たした汎用計算機にソフトウェアをそれぞれイ ンストールして、図1の通り計算機間のデータ送受信を 行う仕組みを構築した。



これによりソフトウェア実行環境構築の時間が削減され、様々なソフトウェアをシミュレータに組み込むこと

が容易になった。

### 2.2 分散シミュレーションシステムの仕組み

以下の技術により図2の通りシミュレータの要求仕様 を満たした分散シミュレーションシステムを開発した。

- (1) インターフェイスモジュール
- (2) 制御モジュール
- (3) ソフトウェア実行制御



図2 分散シミュレーションシステム構成

一つ目はインターフェイスモジュールである。仕様の 異なる複数のソフトウェア同士でインターフェイス可能 であり、他の計算機とも通信可能なインターフェイスモ ジュールを開発した。これによりソフトウェア本来の仕 様を維持しつつ他の計算機と通信を行うことが可能とな った。

二つ目は制御モジュールである。制御モジュールは計 算機間の通信制御を行う。予め決定した通信及びデータ 授受順序に従い、計算機間通信を制御することで、通信 遅れや割り込み処理等による外乱を排除し、決まった順 序で計算機間通信をすることができる。システム内が常 に所定の動作を繰り返すことにより、運転訓練シミュレ ータで求められている再現性を実現可能としている。

三つ目はソフトウェア実行制御である。インターフェ イスモジュールと制御モジュールを組み合わせてソフト ウェアの実行制御を行う。制御モジュールから通信によ りインターフェイスモジュールに実行指示をだすことで、 インターフェイスモジュールはソフトウェアを1サイク ル実行して次の実行指示まで待機させる。この仕組みに よりソフトウェアの実行制御を可能としている。

これらの技術により、計算機の負荷分散をしてソフト ウェアの実行制御をすることで、プラント挙動や操作感 をリファレンスプラントと同等とした。これにより、シ ミュレータの応答性、再現性、同一性を実現し、運転訓 練シミュレータの要求仕様を満たした分散シミュレーシ ョンシステムを構築した。分散シミュレーションシステ ムによって様々なソフトウェアをシミュレータに組み込 むことが可能になり、拡張性を高めることができた。加 えてシミュレータの保守性も高めることができた。これ については、詳細を3章に示す。

### 3. シミュレータの保守性について

分散シミュレーションシステムによるシミュレータの 保守性向上効果は以下の3つが挙げられる。

- (1) システムの復元
- (2) 干渉の回避
- (3) 組み込み作業低減

これらの詳細を次節に示す。

#### 3.1 システムの復元

運転訓練シミュレータは複数の計算機で構成されてお り、計算機が故障なく動き続けることが理想であるが、 経年劣化や突発事態により、現実には故障を避けること は困難である。計算機保守を契約していれば、故障後速 やかに修理をすることが可能であるが、ユーザが慣れて いない場合にはハードウェア保守は手間がかかり復旧に 時間がかかる。例として「ユーザが計算機メーカの要求 する操作ができず故障個所の特定ができない」「計算機保 守が終了している等で修理に時間がかかる」等が考えら れる。

しかし、分散シミュレーションシステムでは汎用計算 機を使用しているため故障をしても、代替品への交換が 容易であり、短期間での復旧が可能となっている。また、 汎用計算機のためユーザでも代替計算機を容易に準備可 能であり、マニュアルに従うことで環境を再構築可能で ある。これにより、メーカによる計算機修理やソフトウ ェア復元待ちという状況を避けることができる。

#### 3.2 干渉の回避

運転訓練シミュレータはリファレンスプラントと同一 性を保つために、定期的な改造工事を行っている。分散 シミュレーションシステムでモデルソフトウェアの改造 をする場合、図3の通り各モデルソフトウェアが独立し ているため、それぞれの計算機で干渉せず同時に改造作 業を行うことができる。



インターフェイスがあらかじめ決められていることか ら技術的干渉の回避や時間短縮を行うことが可能となる。 新たにモデルソフトウェアを追加する場合も、インター フェイスが明確になっていることから容易にシミュレー ションシステムに組み込むことが可能であり、メーカで 検証した環境をそのままユーザ環境に反映することがで きる。これにより、工事期間が短縮され稼働率の向上に も役立っている。

#### 3.3 組み込み作業低減

リファレンスプラントとの同一性を高めるためには、 リファレンスプラントで実施された改造を定期的に反映 する必要があるため、どのようにソフトウェア改造を効 率するかがシミュレータ保守性向上につながる。従来は 既設のシミュレータシステムに製造技術の異なるソフト ウェアを組み込むために、そのソフトウェアを既設シミ ュレータ環境に合わせて改造する必要があった。更に改 造したソフトウェアがオリジナルの性能を保っているか 検証をする必要があった。対して分散シミュレーション システムではオリジナルソフトウェアの要求仕様を満た した汎用計算機を使用し、インターフェイスモジュール と結合することで環境の変更に関する改造だけでなく、 動作検証も削減することができる。

一例として実際の制御装置ソフトウェアを組み込むこ とがある。最新のソフトウェアへ容易に入れ替えをする ことが可能となり、ロジックの改造が容易になるだけで なく、ロジックを流用することからリファレンスプラン トとの同一性も担保可能である。これにより、改造物量 を低減することでシミュレータ保守に寄与している。

## 3. 結言

分散シミュレーションシステムを開発することに より、シミュレータの拡張性向上を図った。これによ り模擬範囲の拡充や模擬精度を向上することができた。 またそれだけでなく、シミュレータの保守性も向上す ることができた。システムの復元、干渉の回避、組み 込み作業の低減をすることでシミュレータ停止期間を 減らすことができ、シミュレータ稼働率を向上させる ことができた。これにより、更なる運転員の知識及び 技術力の向上に寄与することができる。運転員の育成 は原子力発電所の安全な運転、ひいては原子力発電所 の保全にも結び付いており、有意義なシステムである と確信している。

#### 参考文献

- [1] JEAG 4802-2002.
- [2] H. TOKUNAGA *et al.*, "The Technological Trend of Computerized Control Systems – The Upgrade of Instrumentation and Control Systems, and Application for New Plants-," *Mitsubishi Heavy Industries Technical Review*, Vol.46 No.4, 18-22 (2009).
- [3] M. MAEDA *et al.*, "The Development and Validation of Standardized Main Control Boards for full digital PWR I&C system," *Transactions of the Atomic Energy Society of Japan*, Vol.2 No.3, 307-318 (2003).
- [4] Y. MATSUMOTO, *et al.*, "PWR plant operator training used full scope simulator incorporated MAAP model," *Karyoku Genshiryoku Hatsuden*, **66(3)**, 188-193 (2015).