

プラント シミュレーション技術の火力発電所への適用

Application of Dynamic Simulation Technology to Thermal Power Plants

西川 伸二
S. Nishikawa

寺村 晋一
S. Teramura

山田 利広
T. Yamada

従来の火力発電所の設計・試験・調整業務は、その業務に携わる専門家による机上検討や実機プラントの運転結果により、構成機器の見直しや制御方式の変更・調整を繰り返して行ってきた。一方、シミュレーション技術の革新は目覚ましく、その技術をサポートする電子計算機技術の発展も目を見はるものがある。これらのプラントシミュレーション技術を火力発電所に適用して構成機器や制御方式の選定、実制御装置との組合せ試験による検証や試運転時の制御系の調整支援などを行い業務の合理化を図っている。さらに、このプラントシミュレーション技術は運転訓練シミュレータなどのシステム製品にも適用され、その意味では火力発電所の設計から試験・調整・教育までの業務を通して活用されている技術である。

In the design, testing, and commissioning of thermal power plants, a combination of research and accumulated operating experience has resulted in the continuous improvement of plant components and control systems. In addition, revolutionary advances in computer technologies have spawned innovative simulation techniques for testing new plant technologies and for educating plant personnel in these technologies.

The use of high-technology simulators under actual plant-operating conditions helps manufacturers to rationalize processes for testing and commissioning plant components and control systems. The use of simulators also improves the capabilities of plant personnel while reducing training costs.

1 まえがき

当社は、E&E（エネルギーとエレクトロニクス）メーカーとしてプラントシステム技術に立脚したシステムソリューションの提供を旨としており、高度情報制御システムGSXPTMシリーズを適用した監視制御システムの構築において、プラントシミュレーション技術の果たす役割は大きい。

ここでは、火力発電所におけるプラント設計・制御システムの試験・調整支援へのシミュレーション技術の活用と、これらの技術を適用した運転訓練シミュレータシステムの動向について紹介する。

展やパソコンの普及およびオブジェクト指向技術などのソフトウェア技術の発展により、使いやすいシミュレーションツールが数多く開発されている。

その結果、これまで専門家の手によっていたシミュレーションはだれでも手軽に行えるようになってきた。また、計算機システムの性能向上に伴い、以前は実時間の何倍もかかっていた計算が精度を落とすことなくリアルタイムで実行できるようになり、シミュレーション結果も信頼性の高いものとなっている。

開発対象のシステムが大規模で複雑化した今日、シミュレーション技術はますます重要な位置を占める（図1）。

2 シミュレーション技術の動向

シミュレーション技術は、実機の製作や実働試験の前にその挙動や結果についていろいろな検討を行うことができることから、さまざまな分野で利用されている。発電プラントの開発においても、構造解析や熱流体解析から制御方法の検討や制御システムの機能確認、運転訓練シミュレータに至るまでシミュレーション技術が活用されている。また、コンピュータグラフィックスやヴァーチャルリアリティ技術の発達により、景観シミュレーションや三次元配管シミュレーションなども発展してきている。

一方、計算機システムにおいてもダウンサイジングの進

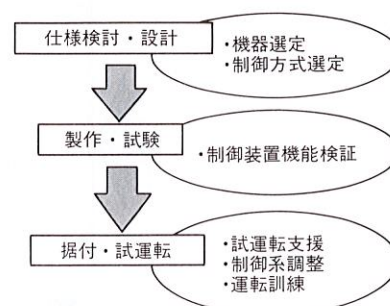


図1. シミュレータの使用目的 シミュレーション技術は設計、製作、試験、据付などのさまざまな場面で活用されている。

Objectives of simulation

3 火力発電プラントに活用されるシミュレーション技術

シミュレーション技術は、火力発電プラント開発の各フェーズでさまざまな目的で活用されている。

3.1 火力発電プラントの設計への適用

火力発電プラントの基本計画や設計段階においては、プラントのヒートバランスの計算、機器構成の選定、運転制御方法の立案や安全性の検証などの評価・検討を行う必要がある。最適なプラントを設計するためには、動特性シミュレーションを用いて、経済性および運転制御性の検討を繰り返して行うことが必要となる。

これらの評価を行うシミュレータは大規模で複雑なものであり、シミュレータの開発に多大な時間が必要であった。当社はシミュレータ開発期間を短縮するため、図2に示す発電プラント動特性解析コード自動生成ツールを開発して活用している。

このツールでは、発電プラントを構成する各機器について物理法則に基づき数学モデルを作成し、プログラムモジュールとして部品化している。部品化に際しては実機との応答の比較をしてモデルの妥当性を検証する。

部品化されたモジュールは、発電プラントの構成に合わせて自由に組み合わせることができる。これにより、プラント全体の動特性解析シミュレーションをだれでも簡単に実施可能となり、プラントの基本計画や設計に活用できる。

3.2 火力発電プラントの制御システムの試験への適用

制御システムの機能確認のために行う工場試験においてもシミュレーション技術を活用できる。前節で述べた動特性解析コード自動生成ツールはリアルタイムシミュレー

ション用のプログラムを生成することができる。このリアルタイムシミュレーションプログラムを搭載したワークステーションと実制御装置を接続して実制御装置のロジック・制御方式の検証を行うことにより制御装置の品質および信頼性向上を図ることができる。

また、現地調整においても工場試験時と同様の構成により制御装置の調整結果の事前確認やロジック変更後の動的な確認を事前に行い、機械系を含むプラントシミュレーションを行って、調整試験の効率化を図っている。

3.3 運転訓練シミュレータへの適用

当社が火力発電プラント向け運転訓練シミュレータの製作を始めてから、すでに20年近くになる。ここでは、シミュレータの設計・製作および試験作業にかかわる新技術について記述する。

3.3.1 新型エンジニアリングツール 従来から、運転訓練シミュレータの製作には非常に大きな作業を要してきた。この作業では模擬対象であるプラントプロセス、制御ロジック、機器の動特性などの模擬はそれぞれの個別のツールで設計し、運転試験・調整の際の変更時にこれら複数のツールを使う必要があった。

そこで、前述の動特性解析コード作成生成ツールをベースとして、次のような特長をもつ新型エンジニアリングツールを開発し(図3)、設計・製作・試験作業に適用して従来に比べ大幅な作業工数削減を実現した。

- (1) オブジェクト指向技術の導入で作業の単純化を図り、単一ツールによるエンジニアリングを可能にした。
- (2) GUI (Graphical User Interface) を採用し、マウスによる結線など直感的な操作を可能とした。

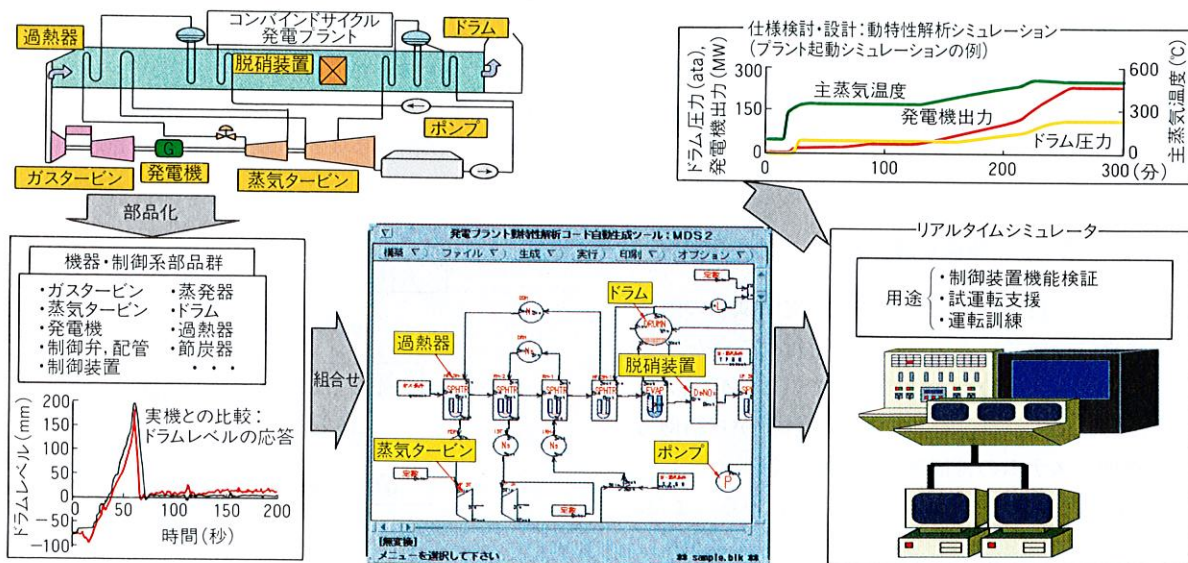


図2. 動特性解析コード自動生成ツール 部品化された機器モジュールを配置・結線することにより、シミュレータを自動生成することができる。

Automatic generating tool of plant dynamic simulator

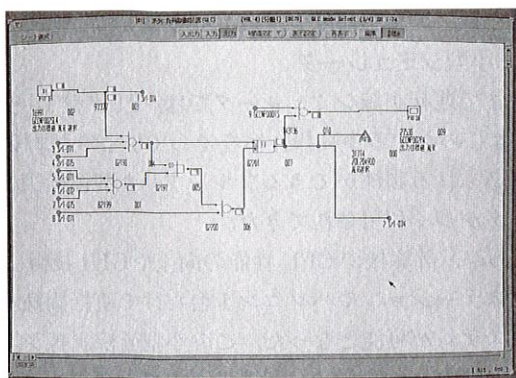


図3. 新型エンジニアリングツールの画面例 直感的で、わかりやすい画面構成となっている。

Example of engineering tool display

- (3) オンラインリアルタイムの変更・確認作業を可能にした。
- (4) 多数の製作者による同時使用を可能とし、作業能率を向上させた。

3.3.2 異常模擬自動試験ツール 運転訓練シミュレータの機能の一つに、マルフアクション機能すなわち事故対応訓練がある。通常数百種類の事故発生を模擬するが、その事故現象の妥当性および対応操作による復旧後の事象を確認するための試験業務が膨大であった。

この業務の効率化のため、異常模擬試験を自動的に行う異常模擬自動試験ツールを開発した。この異常模擬自動試験ツールは、プラント状態、事故発生や現象の記録(トレンドグラフ、記録計などによる)をあらかじめ設定し、自動的に試験結果を出力するもので、得られた結果からエンジニアが現象の妥当性を判断する。

4 運転訓練シミュレータ

前章までに述べた各種シミュレーション技術を適用したツールにより製作された運転訓練シミュレータの事例を以下に示す。

4.1 フルレプリカ型運転訓練シミュレータ

フルレプリカ型運転訓練シミュレータは特定プラント向けのシミュレータである。訓練室全景を図4に、機能仕様を表1に示す。このシミュレータはプラント模擬に高性能ワークステーション(EWS)、プラントの監視制御用計算機模擬に汎(はん)用計算機、インストラクタシステムや画像模擬・音響模擬にEWSやパソコンシステムなどを適用したコンパクトな構成となっている。シミュレータのプラントモデルは、模擬プラントと同一特性となるよう詳細な物理式モデルで構成している。また、異常模擬やバックトラック機能などの訓練機能が充実している。さらに模擬プラントとまったく同じ操作感覚とするため、発生災害模擬、現

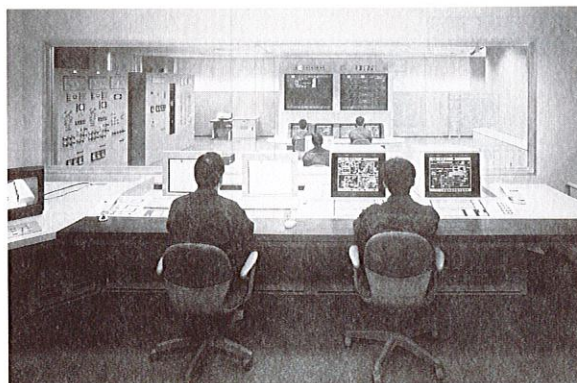


図4. シミュレータ訓練室 フルレプリカ型運転訓練シミュレータ訓練室をインストラクタ室から撮影したものである。

Training room for thermal power plant operators

表1. フルレプリカ型運転訓練シミュレータの機能仕様
Functions of full-scale-replica type simulator

機能項目	内 容
プラント 模擬機能	自動化によるユニット起動停止操作
	手動によるユニット起動停止操作
	日常操作(片系運転など)
	事故時対応操作など
インストラク タ機能	異常発生(200項目)
	バックトラック機能
	リプレイ機能 ラン/フリーズ機能など
現場操作模擬	制御機器室や現場操作・確認項目の模擬
発災模擬機能	火災発生時の対応操作模擬
環境模擬機能	照明変化、一般音響模擬など
訓練モニタ	カメラ、マイクによる訓練モニタ・再現
訓練支援機能	訓練評価、講義支援、訓練履歴管理など

場操作模擬、音響模擬などの機能により訓練の臨場感を高めたシステムとなっている。

4.2 スティミュレーション型シミュレータ

通常、運転訓練シミュレータではプラント特性、監視制御用計算機の機能や制御装置の制御ロジックなどの模擬は、すべてシミュレータのソフトウェア処理で実施している。一方、監視制御用計算機や制御装置について、対象プラントに適用される装置と同等品で構成し、プラント特性だけをシミュレーションで模擬した運転訓練シミュレータが適用されてきている。これはスティミュレーション型シミュレータと呼ばれる。その構成を図5に示す。以下にスティミュレーション型のシミュレータの特長を述べる。

4.2.1 模擬プラントの監視制御用計算機や制御装置のコピー

運転訓練シミュレータの監視制御用計算機や制御装置は実機プラントと同一の装置を使用し、監視制御用計算機のプログラムや制御装置の制御ロジックをコピーして使用する。このため、監視制御用計算機や制御装置の模擬ソフトウェアの製作や模擬プラントの実機ソフトウェ

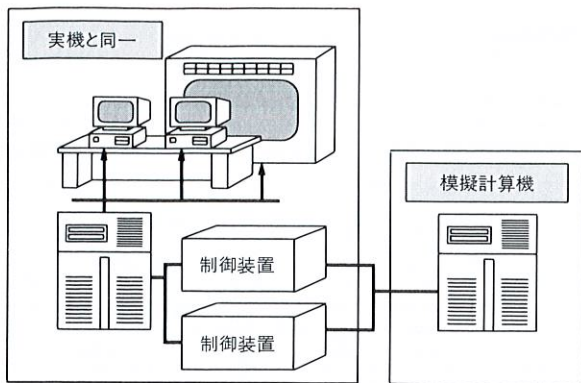


図5. スティミュレーション型運転訓練シミュレータ システム構成に、実機と同じ制御装置・計算機を含む。

Stimulation type operator training simulator

アの変更発生に際して、コピー作業だけで確実に模擬が行える。

4.2.2 プログラムや制御ロジック機能確認試験 運転訓練シミュレータは、模擬プラントの監視制御システムの機能や制御ロジックをそのまま動作させることができる。このため、実機プラントの監視制御用計算機プログラムや制御ロジックの変更に先立ち、運転訓練シミュレータ側で機能変更を行い誤りのないことを確認してから、実機プラントに適用することができる。

4.2.3 制御装置保守訓練 監視制御用計算機や制御装置のハードウェアを運転訓練シミュレータが装備することから、運転訓練だけでなく、これらのソフトウェアおよびハードウェアの保守訓練を実施することができる。さらに実機の制御システムのハードウェアの変更に際しても、運転訓練シミュレータの対応する装置だけを変更すること

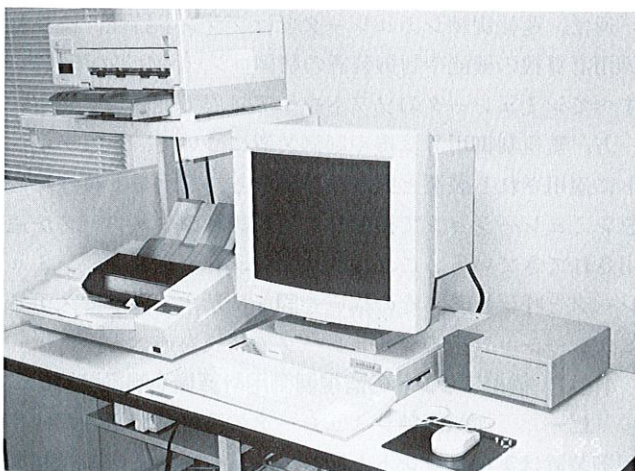


図6. 小型シミュレータ EWSに搭載したタイプで、中央操作室の隅に置いて使われている。

Compact simulator system

で実機と同一の運転訓練シミュレータを実現できる。

4.3 小型シミュレータ

これまで運転訓練シミュレータでは、BTG 盤 (中央制御盤) をはじめとする中央操作室をそっくりそのまま模擬し、臨場感あふれる訓練ができるフルレプリカ型運転訓練シミュレータが多く利用されてきた。

ところが、計算機の CPU 性能の向上や GUI 技術により、ワークステーションやパソコン 1 台だけで運転訓練を実現するシステムが可能となった。この小型運転訓練シミュレータ (図 6) は、コンパクト性を生かして①各発電ユニットに設置、②ひとり学習、③ CRT オペレーションだけで一連の起動・停止操作を実施、④制御ロジックなどを自己保守できるツールを装備、などの特長をもつ。

5 あとがき

プラントシミュレーション技術の火力発電所への適用事例の一端を紹介したが、一部についてはまだ試用段階のものもある。今後、火力発電プラントの形態が多様化するなかで、プラントシミュレーション技術は設計・試験・調整・教育訓練など、多くの分野をサポートするものと期待される。当社としては、プラントシミュレーション技術をベースに、監視制御システム、運転訓練シミュレータなど、E&E メーカーとして、システムソリューションを提供していく所存である。

文 献

- (1) 特集II：システム構築のためのシミュレーション技術、東芝レビュー、50、7 (1995)
- (2) 特集：シミュレーション技術の最近の動向、情報処理、37、3 (1996)
- (3) 森川安貴、他：石炭ガス化コンバインドサイクル発電プラント (IGCC) 性能解析システムの開発、エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集、11、pp.189-192 (1995)
- (4) 日野史郎、他：コンバインドサイクル発電プラントシミュレータ、日本機械学会第 68 回全国講演会論文集 (Vol.C) 1990-9.23、24



西川 伸二 Shinji Nishikawa

火力事業部 火力制御システム技術部主務。
火力監視制御システムのエンジニアリング業務に従事。
Thermal Power Plant Div.



寺村 晋一 Shin'ichi Teramura

府中工場 発電制御システム部主査。
発電用計算機および制御システムの設計・製作業務に従事。
Fuchu Works



山田 利広 Toshihiro Yamada

重電技術研究所 システム技術開発部
発電システムの研究・開発に従事。計測自動制御学会、情報処理学会会員。
Heavy Apparatus Engineering Lab.