

ATRの運転高度化支援装置

Highly Developed Operation Supporting System for Heavy Water Moderated,
Light Water Cooled Reactor

池田 博*

Hiroshi Ikeda

渋谷 陽****

Akira Shibuya

小松康之**

Yasuyuki Komatsu

浅岡幸一*****

Kouichi Asaoka

川崎剛秀***

Takahide Kawasaki

志賀文康*****

Fumiyasu Shiga



ATR運転高度化支援装置 運転訓練，プラント特性の学習，制御特性改善など多目的に使用可能な小型シミュレータである。

原子力発電プラントでは，運転信頼性向上のための訓練，研究開発にたゆまぬ努力がなされている。その一環として，動力炉・核燃料開発事業団のATR (Advanced Thermal Reactor：新型転換炉) 原型炉「ふげん」発電所をモデルプラントとし，運転訓練，プラント特性の学習，さらに制御特性改善にかかる検討など，多目的に使用可能なシミュレータを開発した。

この装置は，タッチスクリーン付きCRTによって

小型の模擬操作盤上で多数の監視操作が行えるばかりでなく，試験対象装置と接続することにより，その装置の制御特性評価にも使用可能であるなどの特徴を持っている。なお，実証炉では実機建設の円滑推進の目的で，この装置開発の経験を生かして実証炉シミュレータを起動試験に先立ち開発し，運転操作性，制御性などの事前確認を行う構想も検討している。

* 動力炉・核燃料開発事業団 ふげん発電所 ** 電源開発株式会社 原子力部 *** 日立製作所 日立工場

**** 日立エンジニアリング株式会社 理学博士 ***** 株式会社日立情報制御システム ***** 日立ニュークリアエンジニアリング株式会社

1 はじめに

わが国の原子力発電プラントの計画外停止はきわめて少なく、高い稼働率を維持しており、また原子力発電がベースロード運転をしているため、運転員のプラント操作の機会が少ない。そのため、プラントの挙動を計算機で模擬し、異常現象などを自由に発生できるシミュレータによる学習、訓練がますます重要になってきている。ATR(Advanced Thermal Reactor: 新型転換炉)「ふげん」発電所の運転員の学習、訓練は、従来、特性が比較的似ているBWR(Boiling Water Reactor: 沸騰水型原子炉)プラント向け訓練用シミュレータで行われてきたが、重水・ヘリウム系の操作などATR特有系統の運転操作訓練や、運転特性把握は机上学習が主体となっていた。そこで、学習、訓練のよりいっそうの充実のために、「ふげん」発電所をモデルにした独自のシミュレータの設置が望まれていた。さらに、「ふげん」発電所では、ATRの制御特性改善、運転内容の高度化にかかる研究開発が続けられており、これらの検証に使用可能なシミュレータが要求されていた。

ここでは、これらの要求を踏まえて製作されたこの装置のシステム構成、およびシミュレーションモデルの設計内容と特性評価を紹介した後、実証炉への展開について述べる。

2 システムの構成と機能

前ページの写真で示すATR運転高度化支援装置は、学習者または研究者のマンマシンインタフェースである模擬操作盤、シミュレータの制御操作を行うインストラクターコンソール、および各種演算処理を行う計算機システムで構成している(図1)。

(1) 模擬操作盤

模擬操作盤は、実機の中央制御盤の主要な機能を模擬したもので、プラントの機器操作とそれに伴うプラント挙動の監視を行う。運転操作上特に重要な監視操作器は、実機を模擬した小型の指示計、スイッチで構成し、操作面上に配置することで操作感覚を体験できるようにしている。その他の機器の操作やプロセス量の監視は、3台のタッチスクリーン付きCRTで行うことで、盤幅約3mという小型の操作盤で多数の監視操作を可能にしている。

(2) インストラクターコンソール

インストラクターコンソールは、インストラクターが学習、訓練の進行に合わせてシミュレータを制御するた

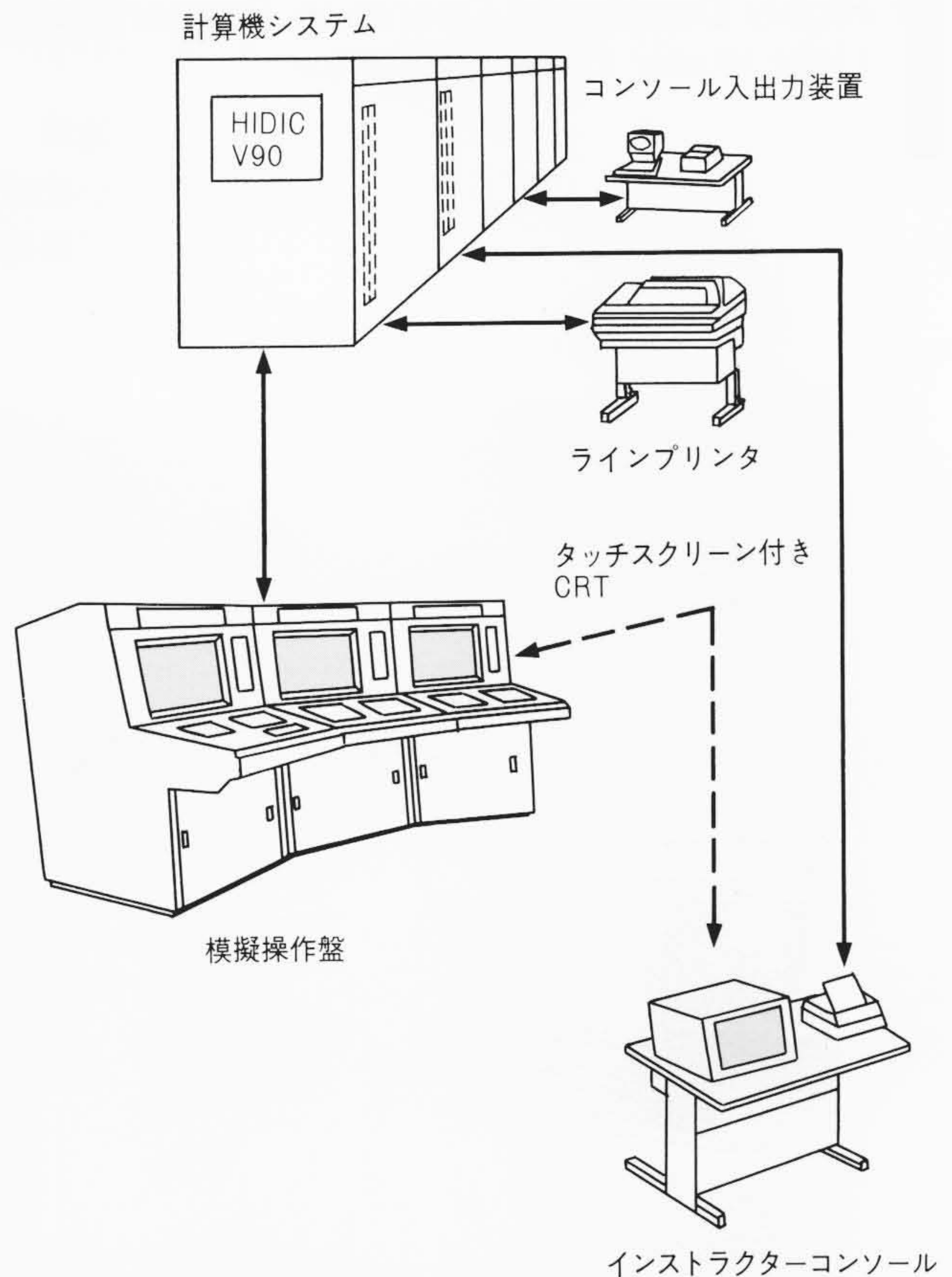


図1 システム構成 模擬操作盤は、小型ながらタッチスクリーン付きCRTによって、多数の操作・監視が可能である。また、計算機システムは制御用計算機HIDIC V90シリーズによるマルチシステム構成を採用した。

めの装置である。シミュレータ制御機能として、任意のプラント状態を初期状態として登録、設定(再現)する初期状態登録・設定機能や、マルフアンクション(異常事象)項目の挿入、解除のスケジュールをあらかじめ設定するスケジューリング機能などを持たせることにより、インストラクターの負担を減らし、本来の学習、訓練に専念できるようにしている。さらに、インストラクターコンソールのCRTもタッチスクリーン付きとし、機器の状態を個別に変更可能とすることで、あらかじめ定めたマルフアンクション以外にも、任意のポンプの停止など異常事象模擬の範囲を拡大している。

(3) 計算機システム

計算機システムは、プラントシミュレーションモデルの計算やCRT表示制御などの機能をつかさどる装置である。また、計算機システム内で演算しているプラントパラメータを外部へ出力する端子を持っており、試験対象装置を接続することにより、その装置の制御特性検証

にも使用することができる。

3 シミュレーションモデル

3.1 模擬範囲

この装置の主な目的は、重水水位上昇・下降操作、ほう酸濃度制御操作、再循環ポンプ速度切換操作などATR特有の運転操作やプラント挙動を学習し、訓練できるようにすることである。模擬範囲はこの目的に重点を置いて選定している。ATRの主な特徴である蒸気ドラムを含む冷却系統を、実機と同じく2ループ構成とし、重水系統の模擬内容を充実している。

(1) 通常時

カランドリアタンク内に重水を注入する重水水位上昇操作から制御棒操作、ほう酸濃度制御による定格出力に至るまでの一連の起動過程と、出力降下から復水器真空解除に至る停止過程の広範囲にわたる主要な操作を模擬対象としている。

(2) 異常時

プラントの機器の故障や事故時の学習、訓練は、マalfunkション模擬機能を用いて実施する。マalfunkション模擬の範囲は制御装置の故障から原子炉冷却系配管破損事故にわたり、また多重故障を発生させることも可能である。

3.2 プラント動特性モデル

プラント動特性モデルは、図2に示すとおり、炉心、蒸気ドラム、再循環系を含む原子炉冷却系モデル、タービン・発電機系モデル、非常用炉心冷却系などの非常系モデル、重水・ヘリウム系などのATR特有系統のモデル

ル、およびタービン制御、原子炉出力制御などをつかさどる制御系モデルで構成している。同図中の二重枠で示したモデルは、ATR特有の系統に対応している。

以下に、主なモデルの概要について述べる。

(1) 原子炉冷却系

炉心内の中性子束は制御棒の反応度、ドップラー反応度、冷却材ボイド反応度、冷却材温度反応度、キセノン濃度変化による反応度、減速材温度反応度および減速材中のほう酸濃度変化による反応度を考慮して求める。減速材温度反応度と減速材中のほう酸反応度は、カランドリアタンク内の重水水位に依存するよう考慮した。熱水力モデルとしては、蒸気ドラム、圧力管群と再循環ラインを含む系をそれぞれの熱水力特性を代表する10個の領域に分割し、それぞれの領域内での気液の質量およびエネルギー収支から圧力やボイド率などの熱水力パラメータを計算する。

蒸気ドラムを含む冷却系を実機と同じく2ループ模擬することにより、プログラム容量が増加し演算時間が増大するが、この抑制を演算時間刻み幅を大きくすることによって行い、時間刻み幅の拡大に伴う数値計算上の不安定性は、線形陰解法による流動計算を行うことで回避している。

(2) 重水・ヘリウム系

重水水位の上昇、降下や重水ダンプ時のプラント挙動を表現する重水・ヘリウム系モデルは、質量保存則とエネルギー保存則を基としている。特に、重水水位上昇時にカランドリアタンクオーバフローに伴うヘリウムの巻き込み効果を組み込み、実機と同等の水位制御特性が得

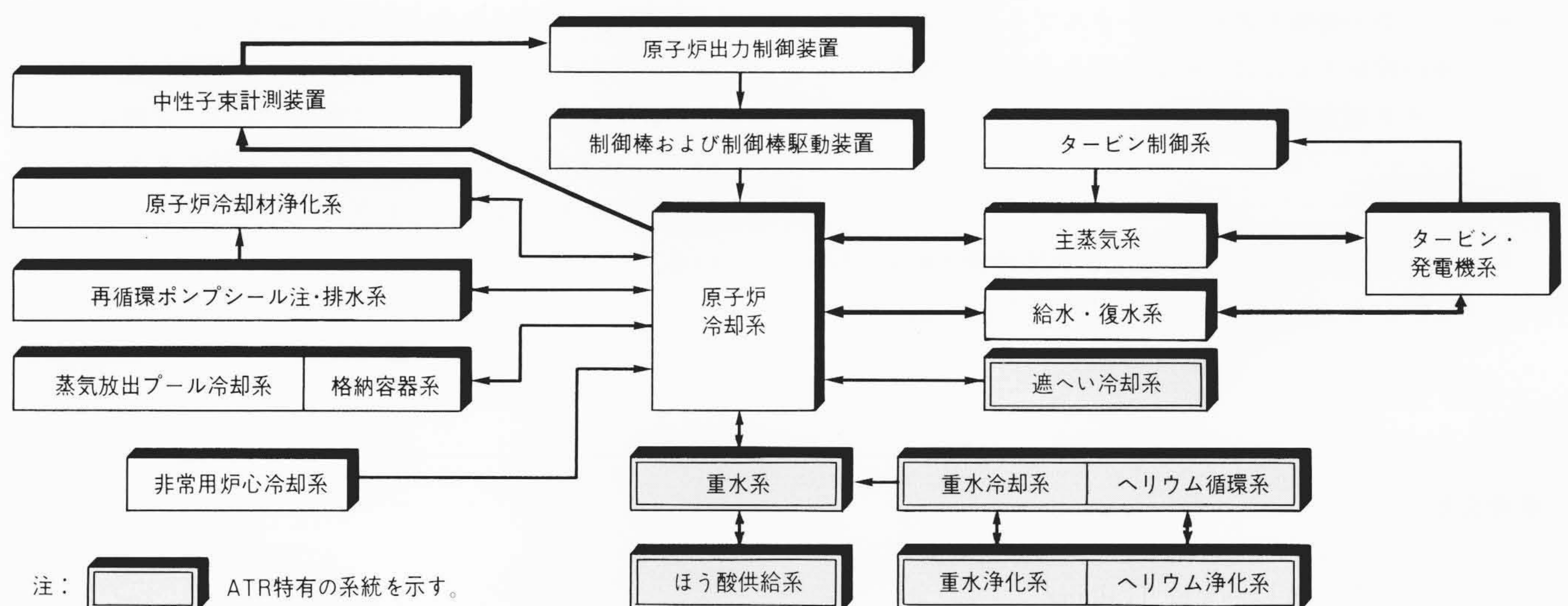


図2 プラント動特性モデルの構成 全体は38個のモデルで構成しており、その主要部を図に示す。

られるようくふうしている。

3.3 特性評価

シミュレーションモデルの特性は、実機起動試験時のデータなどを用いて比較、評価した。精度の評価基準はANSI(American National Standards Institute: 米国国家規格協会)の基準¹⁾に従った。その結果、原子炉出力、再循環流量、蒸気ドラム圧力などの主要パラメータの静特性は±1%以内、タービントリップのような過渡応答も実機特性とよく一致することを確認できた。タービントリップ時のシミュレーション結果を図3に示す。

4 実証炉への展開

原子力発電プラントの計測制御システムは、高い信頼性を要求されるため、設計から試験に至る各段階で十分な検討評価がなされる必要がある。系統別の試運転やプラントの起動試験は、システムとしての機能を最終的に確認する場であるが、事前に実機に近い状態でプラントの運転操作性、制御特性などを検証することができれば、試運転や起動試験の円滑な推進が期待できる。特に人間の動作との兼ね合いで検証されるマンマシンインタフェースについては、事前検証を行うことが望ましい。そこで、ATR実証炉をモデルプラントとしたシミュレータを、実機試験開始前に製作し、設計内容の検証および試運転に携わる運転員の学習、訓練に利用する構想も検討している。シミュレータには大別して実機の中央制御盤と同一形状の模擬操作盤を持つレプリカシミュレータと、ここで紹介したATR運転高度化支援装置のように、CRTタッチオペレーションの採用により、模擬操作盤を小型化した小型シミュレータがある。計測制御システムの機能を人間の機能を含めたトータルプラントシステムとして事前検証するには、検証の深さを勘案し最適なシミュレータを選定していくことが必要となる。

5 おわりに

ATR運転高度化支援装置の構成と特性評価の結果、および実証炉シミュレータへの展開について述べた。

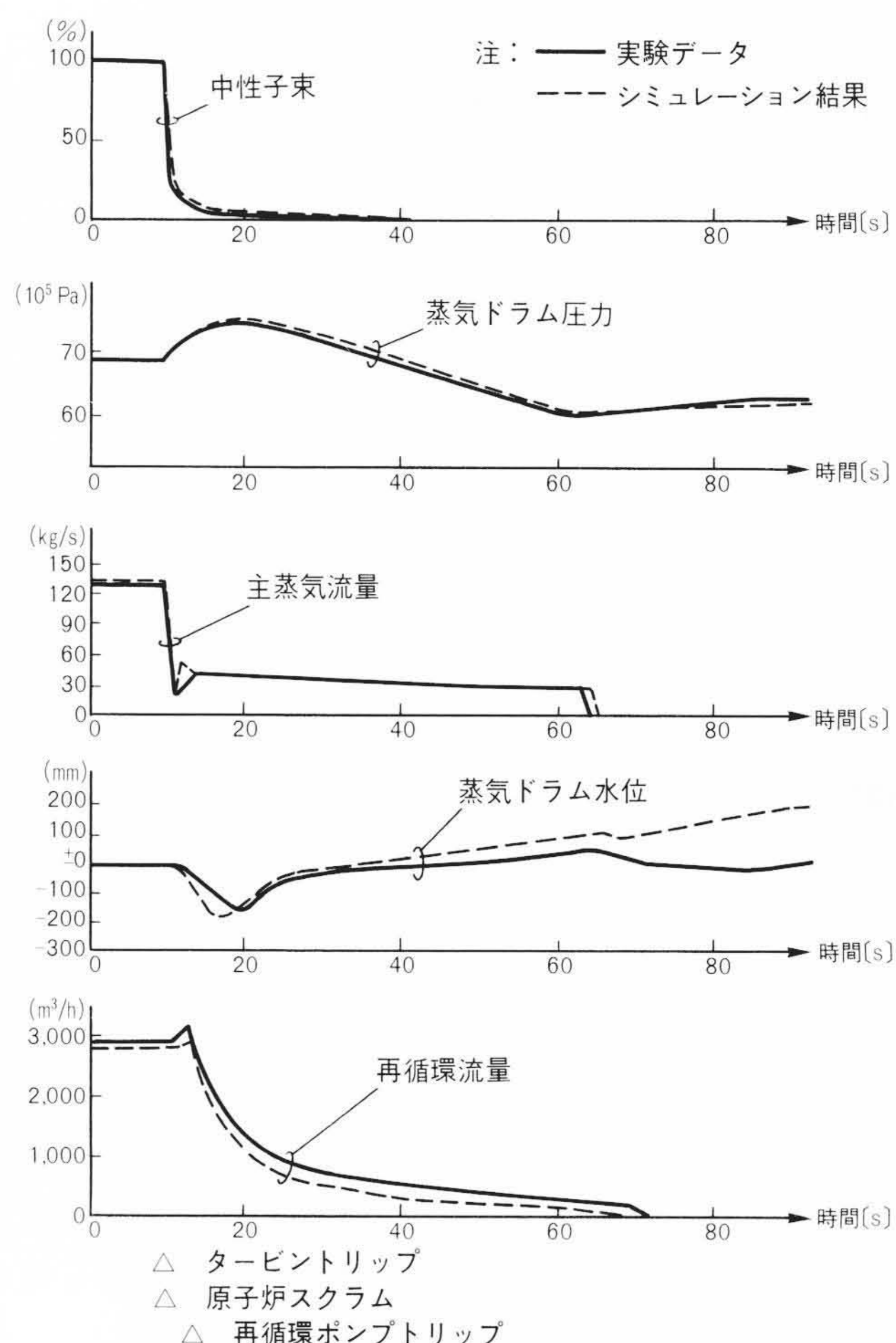


図3 シミュレーション結果の例 タービントリップによって原子炉スクラムする。冷却材中のボイド減少のため蒸気ドラム水位が低下するが、再循環ポンプをトリップすることで徐々に回復する。タービンバイパス容量が25%なので蒸気ドラム圧力が一時的に上昇するが、原子炉出力(中性子束)が急速に低下しているの、徐々に圧力も低下する。

多目的に使用可能なATR運転高度化支援装置は、訓練、学習などに運用中であり、良好な特性を持っているとの評価を得ている。さらに実証炉では、実機建設の円滑推進を図るため、この装置製作の経験を生かして、シミュレータを実機建設に先立ち開発する構想を検討している。

参考文献

- 1) ANSI/ANS-3.5-1985 Nuclear Power Plant Simulators for Use in Operator Training