



## 「もんじゅ」分散型プラント監視・診断システムの開発

玉山 清志 宇田川一幸\* 藤波 優 大草 享一  
村中 誠\*<sup>1</sup> 北村 智美\*<sup>1</sup> 光元 里香\*<sup>1</sup>

敦賀本部 国際技術センター  
\*<sup>1</sup>原子力システム株式会社

Development of Distributed Plant Monitoring and Diagnosis System at “ Monju ”

Kiyoshi TAMAYAMA Kazuyuki UDAGAWA\* Masaru FUJINAMI Kyoichi OKUSA  
Makoto MURANAKA\*<sup>1</sup> Tomomi KITAMURA\*<sup>1</sup> Rika MITSUMOTO\*<sup>1</sup>

International Cooperation and Technology Development Center, Tsuruga Head Office  
\*<sup>1</sup> Nuclear Energy System Inc.

国際技術センターにおいて、「もんじゅ」への適用を目的とした分散型プラント監視・診断システムの開発を行っている。データ収録装置を用い「もんじゅ」からのプロセスデータをLANを介して入力し、異常診断部分はエージェントとしてモジュール化した。診断モジュールのインターフェースを標準化し診断機能の拡大・変更等が容易に行える柔軟な構成のシステムとした。本システムはインターネット技術を用いたため、建設所の多くのエンジニアがLANに接続されたパソコンで利用でき、また安価である。今回システムのプラットフォームと基本的な診断部分を完成させ基本機能を確認したので報告する。

*A distributed plant monitoring and diagnosis system is being developed at “ Monju ”. Plant data are obtained from the “ Monju ” data acquisition system. Diagnosis software adopts the agent system. The standardizing of the interface and the use of agents enables flexible improvements to be made to the system. Moreover, the adoption of Internet technology enables “ Monju ” engineers to access this system from their PC. This report describes the system outline and some of the validation work that was conducted.*

### キーワード

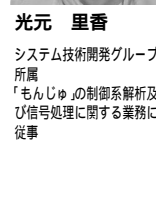
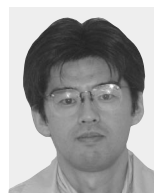
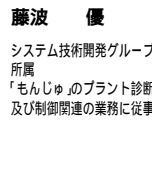
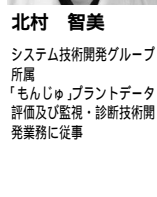
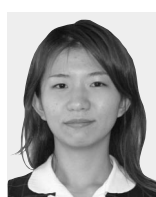
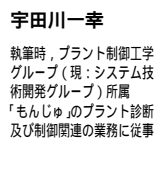
「もんじゅ」、運転監視システム、プラント異常診断、イントラネット、IT、分散型プラント監視・診断システム  
“ Monju ”, Operation Monitoring System, Plant Anomaly Diagnosis, Intranet, IT, Distributed Plant Monitoring and Diagnosis System



玉山 清志  
システム技術開発グループ  
リーダー  
高速炉計算機応用技術開発  
に従事



村中 誠  
システム技術開発グループ  
所属  
「もんじゅ」のプラント診断  
及び制御関連の業務に従事



大草 享一  
システム技術開発グループ  
所属  
「もんじゅ」のプラント診断  
及び制御関連の業務に従事

\* 現在：株式会社 東芝 磯子エンジニアリングセンター 原子力電気計装設計部  
Presently, Control & System Design & Engineering Department, Isogo Nuclear Engineering Center, Toshiba Corporation.

## 1. はじめに

計算機を用いた運転支援システムは、軽水炉においても、精力的に開発が進められている<sup>1)</sup>。また、高速増殖炉用としても、サイクル機構において様々な運転監視・異常診断システムの開発がなされている<sup>2)~5)</sup>。国際技術センターでは高速炉の安全・安定運転に寄与することを目的としてプラント監視・診断システムを開発している。

本システムはdMOni (Distributed Monju Monitoring System) と名付けた。高速増殖炉もんじゅ建設所のローカルエリアネットワーク (LAN) を利用し、既設のプラントデータ収録装置の入力情報を用いてオンラインで運転パラメータデータを取得し、プラントや機器等の異常の徴候を検出し、WEB技術を用いてプラント状況や診断結果の提示を行うシステムである。これらの情報は中央制御室の運転員のみならず、運転担当課、保守担当課、技術課、安全管理課、研究開発部門の各居室でも把握できる。現在までにシステムのプラットフォームと基本的な診断機能を完成しており、本報告ではシステム開発の背景、概要、実機適用結果を説明する。

## 2. 背景

### 2.1 プラントの運転支援

原子力プラントの安全・安定運転、信頼性確保のため、プラントの主要な機器・系統の状態など運転に必要な様々な情報を運転員に提供することが望まれる。プラントのエンジニアが自分の席のパソコンからオンラインリアルタイムでこれらの情報を知ること、的確に状況を把握し、担当のシステム・機器について常時気を配ることができる。このような時に異常の発生を知れば、素早く対応することも可能となる。

また、運転の経験から把握できたプラント特性に合わせ、異常診断手法を改良調整することにより、更なる確かな異常診断を実施することが可能になってくる。このため、システムの詳細な診断機能については、柔軟に変更や、追加ができるシステムであることが望まれる。研究開発段階炉においては、特にこの様なニーズが多く、それに沿った開発が期待される。

### 2.2 異常診断の対象

プラント監視・診断システムがねらいとしてい

るのは、プラントデータを基に異常や故障を徴候の段階から検知することである。対象としては設備や機器の故障、配管からの漏えい、プラント状況の異常、操作ミス (運転の逸脱)、計器故障、制御系異常等の徴候の早期検知であり、さらにプラントの状況の提示も期待される。

また、プラント全体に影響するような異常発生時には、各サブシステムから様々な警報が発生する。運転支援システムとしては、ヒューマンファクタを考慮し、適確に状況を整理して分かりやすい方法で情報を提供することが望ましい。

### 2.3 異常診断手法

これまでに開発された診断方法としては、論理的処理をベースとした手法、物理モデルを用いた手法、周波数解析を中心とする信号処理による手法等がある。

特に、高速増殖原型炉「もんじゅ」(以下、「もんじゅ」)は研究開発段階炉であることから、監視・診断システムの様々な手法の適用が考えられた。

これまでの研究から「もんじゅ」へ適用できる診断手法について整理した。この結果の概略を図1に示す。以下に、これらの異常診断手法の概要を示す。

#### (1) 設定値監視とその論理的処理

設定値監視は温度、圧力等のプラントパラメータが所定の設定値を超えたことを利用する一般的な手法である。複数のプラント・機器の作動状態や設定値監視の情報を入力として、論理演算を行って、プラント状態やセンサーの異常等の原因の識別を行うものである。例えば、同じプロセス量を測定する3個のセンサーを用いた2 out of 3論理を用いる。また実測のプロセス量の代わりに解析的にもとめたセンサーの推定値を用いることもある。

#### (2) モデルベース診断、外乱解析

プラントシステムや機器の物理モデル、事象の因果関係などを利用して、異常を検知し、原因を識別する手法である。ヒートバランス (熱交換器の熱収支の関係)、マスバランス (系内の冷却材の体積の変化の関係)、ポンプや弁等の機器の特性や、異常状態の進展を原因から結果への関係を記述したコースコンシークエンスツリー (Cause Consequence Tree) などを利用する。

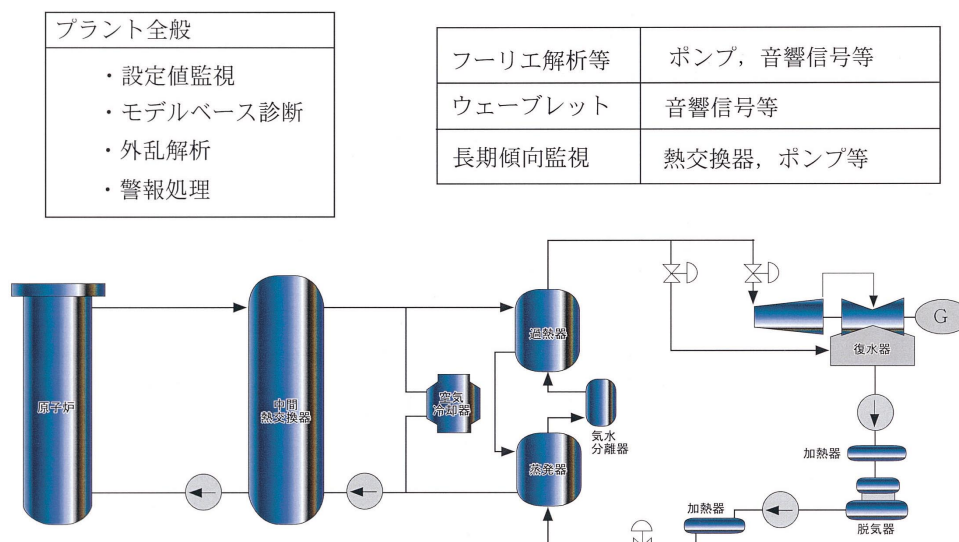


図1 プラント異常診断手法

### (3) フーリエ解析等の信号処理

フーリエ解析，相関解析，自己回帰モデル（状態を推定するモデルの一つ）等の信号処理技術を用いて，異常の徴候を検知する手法である。パワースペクトラム等を用いた機器の異常振動検知や，炉雑音，炉内や蒸気発生器伝熱管破損時の音響検出などを対象とする。

### (4) ウェーブレット

時系列信号の特徴抽出に優れた技術であり，信号を時間と周波数の両面からとらえる時間周波数解析が可能のため，定常的な変化の中で発生する異常による突発的な信号変化を検出する手法である。配管に取りつけられた音響センサー等の信号処理に用いられ，突発的な信号変化をとらえる。

### (5) 警報処理

プラントトリップのようにプラントモードが大きく変化する場合には，一時期に多数の警報が発生する。その場合に，運転員が原因や状況の把握が的確にできるよう，警報処理では状況変化に従って発生する警報の推移をデータとして持ち，第一原因によって発生した警報のみを抽出したり，引き続いて発生する事象のうち，それまでの事象とは独立した事象の警報のみを拾いだす。

### (6) 長期傾向監視

機器の性能特性や振動挙動を長期にわたって監視し，その変化をとらえることにより，機器の異常の徴候を検知する手法である。このため熱効率の変化や振動計信号の周波数特性などを監視する。

本システムでは上記の診断手法を組合せて用い，センサーレベル，機器レベル，システムレベルでの異常の徴候やプラント状態の異常を総合的に判断して，プラント状態を全体的に判断する統合診断の開発も必要となる。更に，異常診断で用いるプラント特性は試運転時のデータを用いて補正する必要がある場合が多く，このことからプラントの試運転の実施と同時並行的にシステムを改良整備していく必要があることにも留意する必要がある。

## 3. 分散型プラント監視・診断システムの開発

### 3.1 システム開発の考え方

今まで説明した背景を踏まえ，以下の点を考慮してシステムの開発を行っている。

- ・ 「もんじゅ」の今後の運転から，試運転経験，運転保守にかかわるノウハウ，プラント特性データ等が得られる。それらを容易に監視・診断システムに反映できるようにするため，柔軟性を持ったシステム構成とした。
- ・ 経済的にシステムを構築できるようインターネット技術など一般的なソフトウェアを利用することとした。
- ・ 2.3で述べた診断手法をシステムに組み込めるようプラットフォームを最初に整備する。また，多くの専門家により開発されている様々な診断手法の導入を容易にし，新たに考案した診断手法にも対応できるよう分散化・標準化を図った。言語は一般的に多く用いられているJAVA，C，

FORTRAN, MATLAB<sup>®</sup>が使用可能とした。

- ・監視診断対象の個別ニーズへの対応も可能なシステムとした。
- ・現在, ホームページを表示するソフトウェアが広く使われ, 更に急速にユーザが増加している。この多くのユーザが違和感なく操作できるユーザ・インタフェースを用い, WEBブラウザを中心とする最近のITを取り入れた。
- ・プラントには性能試験等のためのプロセスデータ収録装置が設置されている。この既設の装置やネットワークを利用して本システムを構築することとした。

### 3.2 本システムの特徴

#### (1) 分散化

本システムでは, 計算負荷を可能な限り軽くし, 機能の追加・変更が容易にできることが望まれる。特に診断部分の計算負荷がシステム全体の効率に影響しないようにする必要がある。また様々な診断機能の追加・変更が容易にするとともに, 今後のシステムの高度化として, プラント状況を全体的に把握する統合的診断を開発していく必要がある。

これらを考慮して, データ収録, 診断部分のサーバ, クライアント等のハードウェアだけでなく診断手法を実現するソフトウェアもエージェントとして分散化した。

#### (2) 標準化

本システムでは, 新たな診断手法の追加やプラント運転経験から得られる知見へ対応した機能の追加・変更を行うこととしている。これらを容易にするため, 本システム中の診断エージェントの外部インタフェースの仕様を定めた。

#### (3) 柔軟性

「もんじゅ」は研究開発段階炉であることから, 試運転の進捗に伴い, 得られるプラントの詳細特性データからその状況に応じて新しい診断手法を案出したり, 変更することが予想される。上記2項及びインターネットで用いられる標準的なシステム技術を取り入れることにより, システムの機能追加・改造作業やシステムの運用での柔軟性が持てるようにした。

#### (4) 高速化

サーバ・クライアント間はWEB技術を用いるが, 系統図のイメージ情報等の表示内容を常に更

新すると多くの転送時間が必要となる。そのためJAVAベースの汎用ソフトウェアパッケージを用い, 必要な情報のみに限定して転送を行い高速化を図った。

### 3.3 モデルベース診断

現在, 前述の診断手法のうち, モデルベース診断手法を中心に開発を進めている。

モデルベース診断では, プラントのヒートバランス, マスバランス, 機器特性関係などのプロセス間の相関関係を記述した物理モデルを用いて, 観測した信号からの推定値と実プロセス状態とを比較することによりセンサー故障及び機器の特性変化を診断するものである。また「もんじゅ」ではプラント出力を基に多くのプロセス量を推定することができるので, この関係も用いる。さらに, 多重化されたセンサーもあり, 2 out of 3ロジックを用い1個のセンサーの異常を判断できる。

正常と判断できたセンサーを用いて他のパラメータの推定もでき, 対応する実測値と所定の値以上の違いがあれば, 実測値が異常であると判断される。

このような論理を各センサーに適用することにより, 異常の徴候の検知のみならず, システム, 機器, センサー異常等の原因の識別が可能となる。

### 3.4 システムの概要

「もんじゅ」のLAN環境にインターネット技術を活用し, エージェントを基本とした診断部を中心としたシステムを構築している。2.3「異常診断手法」で述べたように, プラントの診断には, 様々な診断手法が考えられ, それらを可能な限り対応できるようにシステム設計を行った。以下にシステムの概要を述べる。

#### (1) システム構成

システムの概略を図2に示す。既設のプラントデータ収録システムから, 温度, 圧力等のプラントデータを入力し, リアルタイムデータ配信サーバ経由で, 診断用のWWWサーバへデータを配信するようにした。診断結果はイントラネット用のサーバ機能により, 各ユーザ(クライアント)のパソコンで標準的なWEBブラウザを用いて表示される。プラント主要パラメータがリアルタイムデジタルデータとして表示され, 配管システムをベースとしたグラフィック表示を行うとともに,

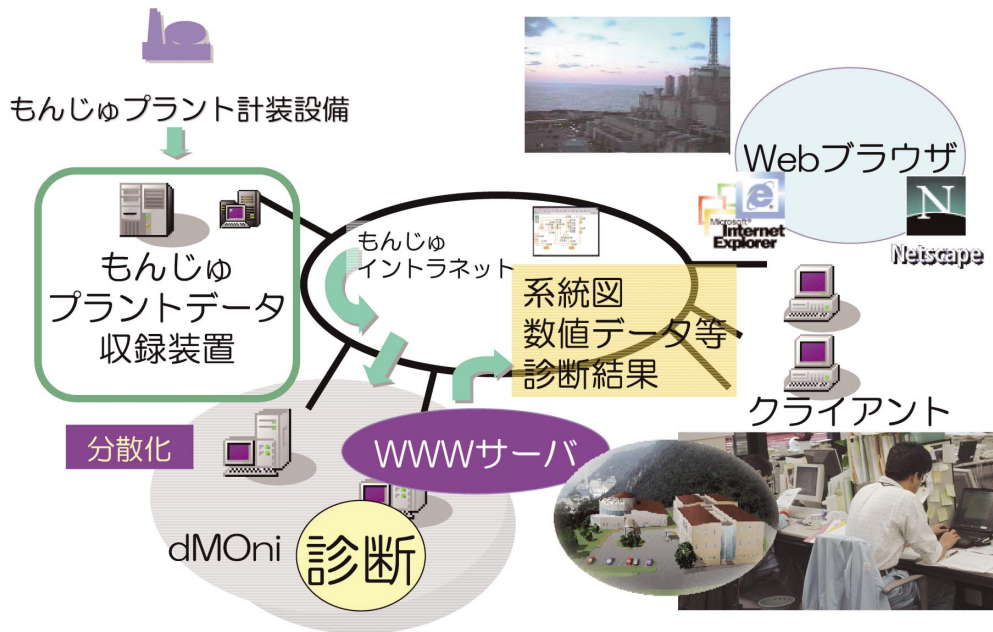


図2 システム概要

当該機器の図中のシンボルの色変化として診断結果を表示する。

## (2) 診断処理部

診断処理部は診断手法を組み入れるため、診断対象ごとに、エージェントとしてモジュール化している。個別の診断手法やプラントのサブシステムのエージェントがその状態を認識し、これらのエージェントの連携によってプラント全体の状態も把握しようというものである。そのため、エージェント間のコミュニケーションが図れるようにした。

ソフトウェアの言語はJAVAを基本に用いているが、診断アルゴリズムとしては、FORTRANやCでも作成可能なようにした。また、周波数解析や自己回帰モデルを利用した診断手法に必要な高度な数値処理用としてMATLABとのインタフェースを整備した。

各診断エージェントのためのデータ配信サーバからのプロセスデータの入力インタフェースや、診断結果をWEB上に表示するためのエージェントからのインタフェースも整備した。これらとともに設定値監視をベースとした診断やモデルベース診断手法を整備した。

## (3) 出力部（表示部）

WEBビューワでの表示例を図3及び図4に示す。図3は、全体系統図で、1次冷却系、2次冷却系、水・蒸気系の3ループの概要配管系統図を示

す。その中で主要パラメータのデジタル値をオンラインリアルタイムで表示している。図4に、Aループの1次、2次ナトリウム系の系統図の例を示す。二段になった数値は上が実測値（「生」と表示）下が推定値（「計」と表示）で、そこでの診断結果が異常となるとその枠内を赤色に変化させる。例えばナトリウムインベントリの異常を検知すると図中に示したように表示色が変わり知らせることになる。ソフトウェアとしてJAVAベースのネットワーク用ミドルウェアECJ<sup>TM</sup>を用いた。これにより、表示の効率化・高速化が実現できた。

## (4) プラント運転履歴データベースの利用

本システムでは、リアルタイムで診断する仕組み以外に、診断手法の検証用として、過去のプラントデータも取り込めるようにした。プラントデータ収録システム内に過去のプラントパラメータデータが蓄えられており、その情報をそのまま本システムに取り入れ診断処理の検証ができるようにしたものである。

これにより異常の徴候を含んだ信号や正常時の信号など様々な過去のデータを適用し診断が適切であるか検証を行うことができる。また実機データの様々なノイズ条件下での診断手法の検証作業を目的として、模擬的に異常信号を別に作成し、プラントからの信号に重畳させることもできるようにした。

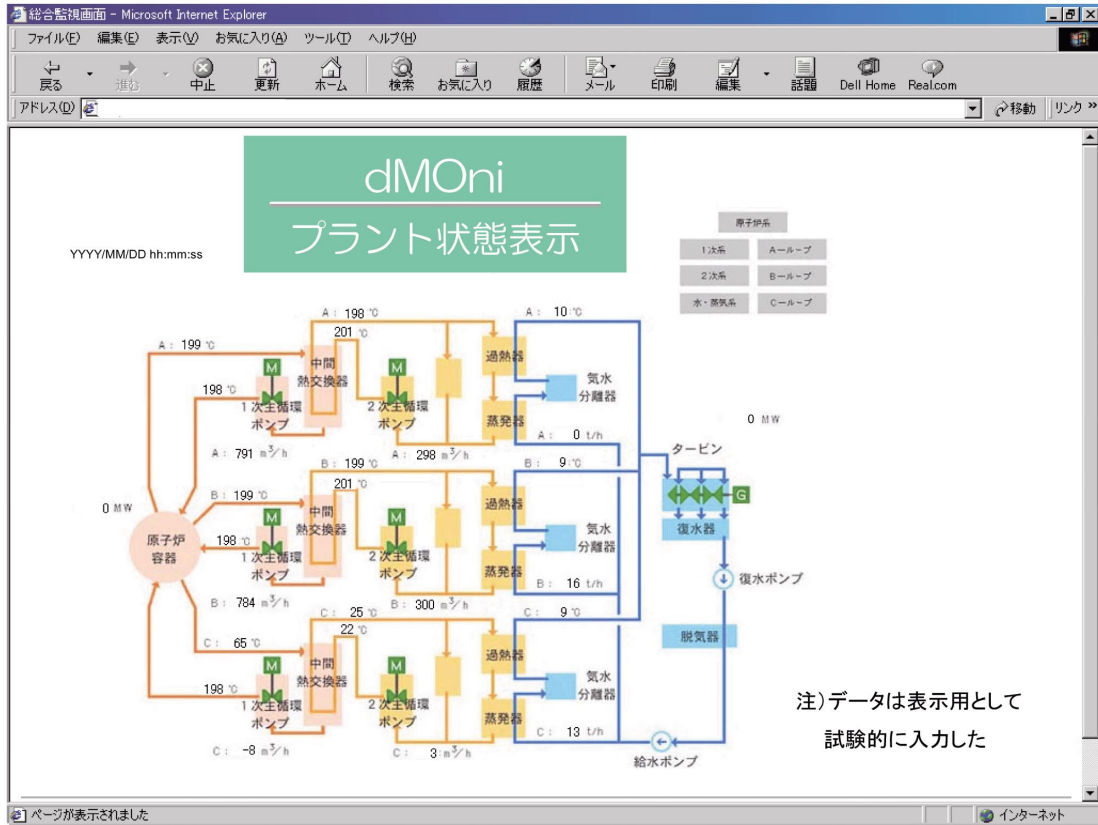


図3 全体系統図

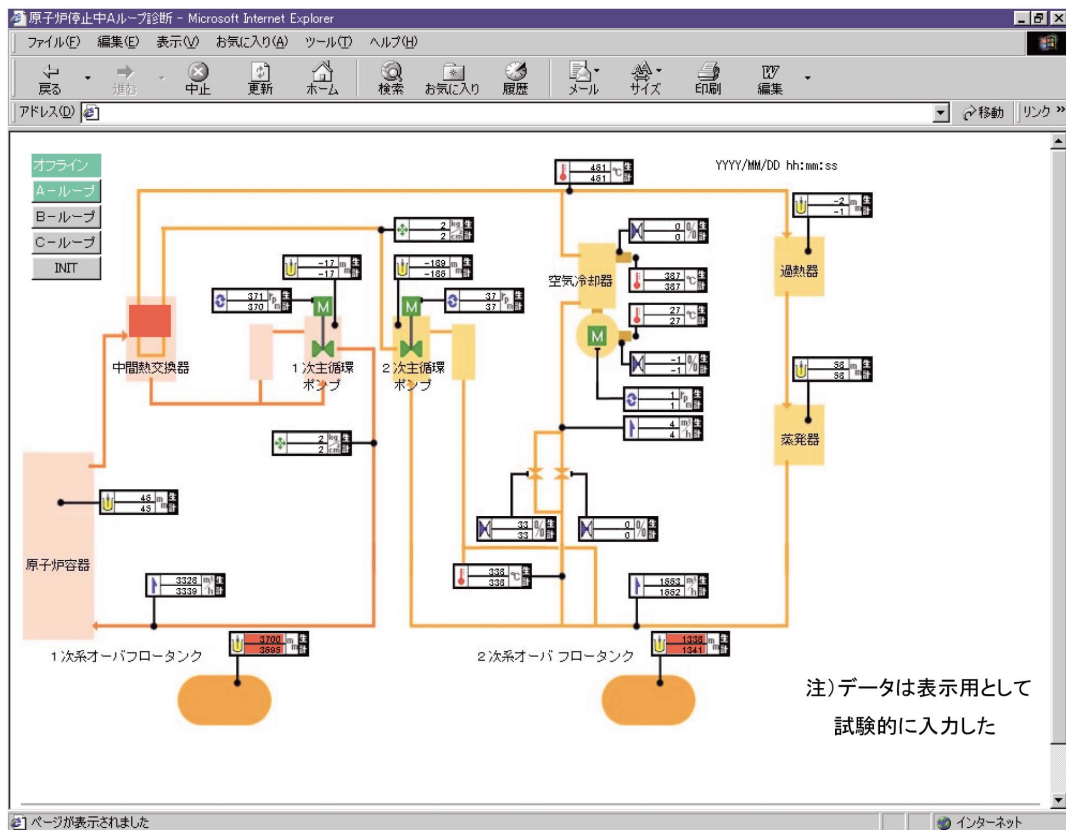


図4 1次・2次ナトリウム系統図 (Aグループ)

### 3.5 システムの検証

基本的な設定値監視や、デジタル入力点の妥当性チェックについては、検証のためのしきい値を設定した診断結果の確認を行うと共に、以下のような機能の検証を行った。

#### (1) プラットフォームの機能検証

システムの検証として、データ収録装置からWEB技術を用いたクライアントマシンでの表示までの一連のシステム機能を確認した。図3のプラント全体システム図に、リアルタイムでプラントデータがデジタル値表示された例を示す。また、分散化/標準化仕様に基づく機能の追加・修正についても確認した。

#### (2) プラントデータを用いた検証

マスバランス法による診断方法の概要の一例を図5に示す。ここでは、プラント各部のナトリウム温度と、容器内のナトリウム液位の測定値を入力としてナトリウムインベントリの診断アルゴリズムを作成した。ナトリウム液位入力とナトリウム温度による体積補正を行うことにより、ナトリウム漏えいに対する診断が可能であることを図中の判定方法を用いることにより確認した。ここでは、配管から外部への漏えい(図でA点)及び熱交換器の伝熱管破損による系内のナトリウムインベントリの変化(図でB点)の検知にも適用可能なことを確認している。

#### (3) 動作時間の検証

本システムのように、複数のパソコン/ワークステーションを用いて分散型にした場合、LAN化による情報の遅れ時間が問題になり得る。プラントデータ収録装置からプロセスデータをオンラインで入手して、クライアントの系統図表示画面で当該情報が得られるまでの遅れ時間は10秒程度であった。本システムのユーザとして運転員やプラント内の各分野のエンジニアを想定しており、この程度の遅れ時間は実用上許容できる遅れと言えるが、ハードウェアやネットワークの能力が今後も向上することを考えると、これらの数値は更に改善されていくものと期待できる。

### 3.6 今後の予定

現在、システムのプラットフォームを開発し、基本的な機能を確認した。このようなリモートでの異常監視システムの開発が、今後ますます進められると考える。その開発に当たっては、従来の中央制御室での集中監視とは別の設計概念が必要であり、本論文で述べたような分散化、標準化、高速化及びインターフェイス仕様の策定が鍵になっていくと考える。その仕組みの上で、モデルベース診断、周波数分析等の信号処理による診断等のうちニーズの高いものを対象として、優先的に開発を行っている。更に、複数の診断結果から

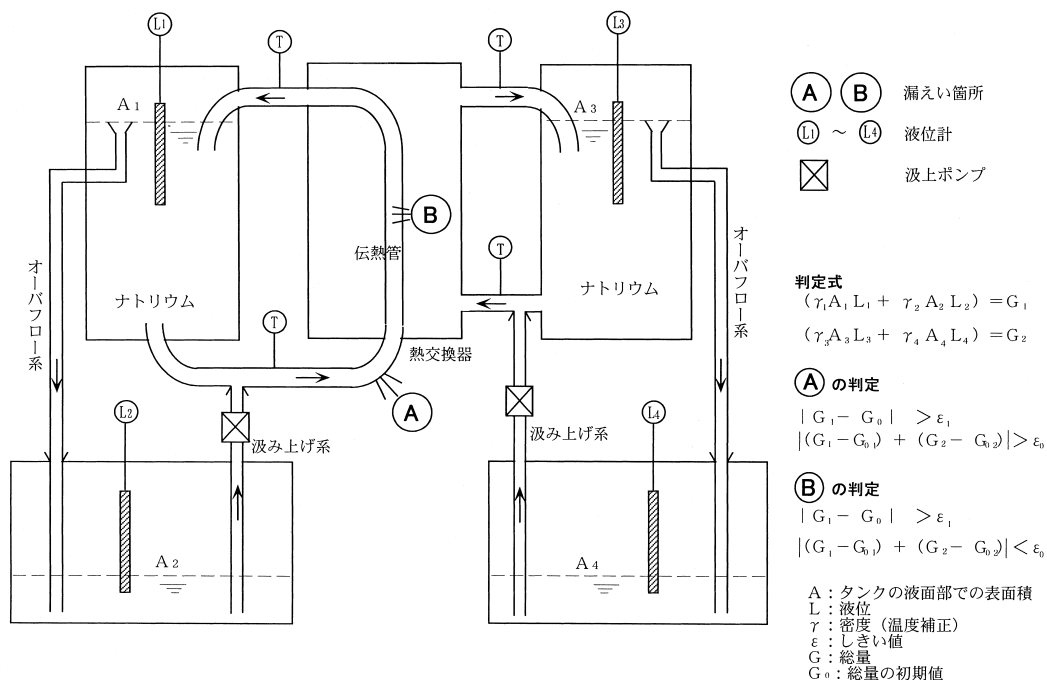


図5 マスバランス法による異常診断

総合的にプラントの状態を診断し、大局的にプラントの状態を同定・把握する統合診断システムを開発する予定である。

今後は更に様々な診断手法を取り入れ、監視診断対象の拡大と、診断精度の向上を図ると共に、トレンドグラフとの連携機能や診断結果の説明画面、音声を用いた情報の発信等を行い、伝達手段の拡大や分かりやすい表示内容の工夫など、システムの高度化に向けて整備を行っていく予定である。また、プラント運用や保守等担当者によって業務の内容や対象が異なり、必要とする情報も異なってくる。このため、診断結果の発信内容は、担当者ごとに個別的に必要な情報を選別して提供していく機能も開発中である。

#### 4. おわりに

「もんじゅ」を対象として、分散型プラント監視・診断システムのプラットフォームを製作し、システムの基本機能を確認した。診断部分はモジュール化したエージェントとし、診断モジュールのインタフェースの標準化を行うとともに、診断機能の拡大・変更等を容易に行うことができるシステ

ムとした。本システムはインターネットの技術を用いたため比較的安価であり、もんじゅ建設所の多くのエンジニアにプラント情報や診断した結果を提供できるものとなった。今後も「もんじゅ」の安全・安定運転に寄与することを目標に開発を継続していく。

#### 参考文献

- 1) 若林二郎, 他: “原子力発電プラント・セーフティサポートシステムの開発”, 日本原子力学会誌, Vol.43, No.4, p.331 (2001).
- 2) 高津戸祐司, 他: “「常陽」における異常時運転支援システムの開発”, 動燃技報, No. 71, p.34 (1989).
- 3) サイクル機構 大洗工学センター 機器構造開発部, 技術開発部: “9. 計測・制御研究開発”(高速増殖炉の研究開発), 動燃技報, No. 73, p.93 (1990).
- 4) 八木 昭, 他: “1. 高速実験炉「常陽」における支援システムの開発と実績”(AI利用システムの開発と実績), 動燃技報, No. 76, p.73 (1990).
- 5) 遠藤 昭, 他: “自律型運転制御システムの開発”, 動燃技報, No. 83, p.34 (1992).
- 6) MATLAB 関係図書, The Math Works, inc., サイバネットシステム(株)
- 7) 江口敦子, 海邊 裕, 他: “JAVAによるJAVAのためのイベント配送フレームワークECJ”, 東芝レビュー, Vol. 53, No.8 (1998).