

オンサイトプラントアナライザの開発（1）

— モデル構築GUI・プラントデータ取り込み機能の開発 —

(研究報告)

2000年6月

核燃料サイクル開発機構
敦賀本部
国際技術センター

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1194 茨城県那珂郡東海村村松4番地49

核燃料サイクル開発機構

技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:

Technical Cooperation Section,

Technology Management Division,

Japan Nuclear Cycle Development Institute

4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki 319-1194,

Japan

© 核燃料サイクル開発機構(Japan Nuclear Cycle Development Institute)

2000

2000年6月

オンサイトプラントアナライザの開発（1） —モデル構築 GUI・プラントデータ取り込み機能の開発— (研究報告)

大草 享一^{*1}, 村中 誠^{*3}, 宇田川 一幸^{*1}
玉山 清志^{*1}, 遠藤 昭^{*2}

要旨

オンサイトプラントアナライザは、原子力プラントの非定常運用や事故発生時に、生起する事象の詳細解析を支援する計算機応用システムとして提案されている。同アナライザは、動特性解析コードを内在し、プラントの事象解析を短時間で効率よく実施できる解析支援システムである。

このようなオンサイトプラントアナライザにおける開発要素は、解析モデル構築機能およびプラントデータ取得機能である。また、現在の解析コードにこれらの機能を付加することは、もんじゅのプラント動特性解析作業全般の効率化にもつながる。そこで、主として、「もんじゅ」性能試験時のプラント動特性解析作業を支援することに目的を絞り、これらのプラントアナライザの基本機能を開発した。

システムでは、もんじゅの安全評価などに使用された FBR 動特性解析コード COPD を発展させた Super-COPD を動特性解析実行部分に採用した。モデル構築においては、GUI(グラフィカルユーザインターフェース)画面上で機器に対応したアイコンを操作し、解析モデルをそのまま構築できるようにするなど、操作を全て GUIにより行えるようにした。また、「もんじゅ」プラントデータ収録システムからプラントデータをオンラインでリアルタイムに直接取り込む機能を設けた。取り込んだプラントデータは、解析時に境界条件としてプロセス量を格納する変数への入力として用いることができる。

本システムの機能検証として、40%出力運転からのタービントリップ事象を対象にプラント全系統及び IHX 単体モデルの解析を行い、本システムにより「もんじゅ」性能試験時の解析作業を効率化できることを確認した。

^{*1} 敦賀本部 国際技術センター プラント制御工学グループ

^{*2} 敦賀本部 国際技術センター

^{*3} 原子力システム株

June 2000

Development of an On-Site Plant Analyzer (1)

Development of a GUI for Building Plant Models for Analyses and Retrieval of Real-Time Plant Data

Kyoichi Okusa^{*1}, Makoto Muranaka^{*3}, Kazuyuki Udagawa^{*1}
Kiyoshi Tamayama^{*1}, Akira Endou^{*2}

Abstract

An on-site plant analyzer can provide analysis support in evaluating plant dynamic characteristics when unplanned events occur in a nuclear power station. The plant analyzer contains a plant-dynamics analysis code, which efficiently and quickly analyzes the plant dynamic characteristics.

Elements being developed for the on-site plant analyzer include utilities to build plant models for performing analyses and to retrieve plant operation data. The addition of these elements to the analysis code supports the plant-dynamics analysis works in MONJU, in particular, to assist the analyses of start up tests.

The system contains the FBR plant-dynamics analysis code "Super-COPD", which is based on the "COPD" code that was used in the safety licensing of MONJU. One feature of the system is that all operations, e.g., assembling plant models for analysis, are prepared using a GUI (Graphical User Interface). In addition to this feature, the system is able to retrieve directly on- and off-line plant data from MIDAS, the Monju Integrated Data Acquisition System. These plant data are used to supply time-dependent boundary conditions for the plant analysis models.

For this report, two case studies were performed. First, the analysis result of a turbine trip test at 40% power operation using the full plant model is described. For the second, performance of the IHX model was evaluated using retrieved plant data for boundary conditions. With the development of this system, improvement in the efficiency of analyses of MONJU start-up tests is expected.

^{*1} Control Engineering Group, International Cooperation and Technology Development Center, Japan Nuclear Cycle Development Institute

^{*2} International Cooperation and Technology Development Center, Japan Nuclear Cycle Development Institute

^{*3} Nuclear Energy System Inc.

目 次

	頁
1. はじめに	1
2. 開発内容	2
2. 1 全体構成	2
2. 2 モデル構築機能	2
2. 3 プラントデータ利用機能	4
2. 4 解析制御機能	6
3. 解析例	8
3. 1 解析事象	8
3. 2 40%出力タービントリップ解析	8
3. 3 IHX 単独モデル解析	9
4. まとめ	11
5. 謝辞	12
6. 参考文献	12

表 目 次

	頁
表2-1 モデル構築画面及び使用モジュール一覧(1/2).....	13
表2-1 モデル構築画面及び使用モジュール一覧(2/2).....	14
表3-1 IHX単独モデル プラントデータとプール変数との対応.....	15

図 目 次

	頁
図2-1 要求機能の検討	16
図2-2 システムの概要	16
図2-3 GUIを用いたモデル構築	17
図2-4 IHXモジュールのデータ入出力例	17
図2-5 Super-COPDブロック図例	18
図2-6 モデル構築選択画面(1/5)(熱モデル作成)	18
図2-6 モデル構築選択画面(2/5)(ナトリウム流動モデル作成)	19
図2-6 モデル構築選択画面(3/5)(水流動モデル作成)	19
図2-6 モデル構築選択画面(4/5)(制御系モデル作成)	20
図2-6 モデル構築選択画面(5/5)(保護系モデル作成)	20
図2-7 モデル構築操作の階層化	21
図2-8 モデル構築画面とモジュール群ウインドウ	21
図2-9 モジュール接続操作例	22
図2-10 モジュールの詳細パラメータ設定例(LN48)	22
図2-11 リアルタイムプラントデータの利用	23
図2-12 プラントデータ取り込み設定例(取り込み条件の設定)	23
図2-13 " (MIDASデータとプール変数の対応付け)	24
図2-14 過去のプラントデータの利用	25
図2-15 解析の実行制御用画面	25
図2-16 全体的な計算条件設定例	26
図2-17 解析経過のリアルタイムトレンド表示例	26
図2-18 解析結果サマリ表示例	27
図2-19 ヘルプ画面表示例	27
図3-1 原子炉周辺計算モデル	28
図3-2 原子炉トリップ信号	29
図3-3 安全保護系モデルへの原子炉手動トリップ信号の入力	29
図3-4 40%出力タービントリップ試験解析結果(1/3)	30
図3-4 40%出力タービントリップ試験解析結果(2/3)	30
図3-4 40%出力タービントリップ試験解析結果(3/3)	31
図3-5 IHX単独モデル構築画面	31
図3-6 IHX単独モデル解析結果(1/3)	32
図3-6 IHX単独モデル解析結果(2/3)	32
図3-6 IHX単独モデル解析結果(3/3)	33

1. はじめに

原子力プラントにおいては、事故発生時のプラント状態の把握、適切な対応方法の策定が必要になる。これを支援する計算機利用システムとして、オンサイトプラントアナライザが提案されている。

同アナライザは、動特性解析コードを内在し、実データをリアルタイムで参照しながら測定されていないプラント変数の可視化、異常状態の進展予測などの機能を持つ。また、プラントの事象解析を短時間で効率よく実施でき、解析に関する専門知識を必要とせずに操作が可能な、高速計算能力による実時間性を備えた解析支援システムである。同システムには、運転手順の判断に十分な計算精度及び、実時間以上の計算速度が要求されている^[1]。

一方、研究開発段階にあるFBRプラントにおいては、性能試験時の予測解析などで、プラント運用上タイムリーな解析結果の提示の要求が高い。そこで、「もんじゅ」を対象にしたオンサイトプラントアナライザとしては、

- ・GUI基本(パラメータのチューニング、モデル構築、操作全般)
- ・プラントデータ取り込み(リアルタイム及び過去のデータ)
- ・プラントデータと解析結果の比較機能

以上の機能を持ったオンサイトプラントアナライザを開発したので、その検証結果と共に報告する。

2. 開発内容

高速増殖原型炉「もんじゅ」では多様な性能試験が行われている。それらの試験前には、動特性解析コードを用いて、試験時のプラント挙動を把握しておくための予測解析が行われ、試験後には実測値と予測解析結果との比較評価が行われる。両者に差異が生じた場合には、同解析コードを用いてその原因の候補となる機器特性パラメータを調整するなどの作業が必要となる。時には解析モデルの詳細化が必要となる場合もある。さらに、これらの解析作業はタイトな試験工程の中で行われるため、短時間で終了することが要求される(図2-1)。

このような背景を踏まえ、これら一連の解析作業を効率良く行うことを目的とし、ユーザインターフェースに優れ、容易にプラントデータを取り込むことが可能なオンラインプラントアナライザの開発を行った。

2.1 全体構成

オンラインプラントアナライザのシステム構成を図2-2に示す。本アナライザにおける核となる部分を解析コード部とアナライザ制御部に分け、構成した。解析コード部でFBRプラント動特性をシミュレーション計算し、アナライザ制御部でこの動特性計算を制御する。プラントデータは「もんじゅ」プラントデータ収録システム(MIDAS-Monju Integrated Data Acquisition System)^[2]より、計算機ネットワークを介してオンラインで取り込む。

従来はプラント動特性解析コードによる予測解析、プラントデータの取得、解析結果と実測値の比較・評価、解析モデルのパラメータ調整などの作業は、複数の計算機環境とアプリケーションを組み合わせての作業や、インプットデータの更新等のテキストベースによる頻繁な操作が必要であった。本アナライザでは前述した構成要素によって、この様な一連の解析作業を全て一括して一台のEWS上でGUI操作によって行うことができる。

解析コード部には、FBRプラント動特性解析コードSuper-COPD^{[3][4]}を採用した。本コードは、もんじゅの設置許可申請時の安全評価で使用された解析コードを発展させたもので、もんじゅプラントの性能試験予測解析などで使用されている。

2.2 モデル構築機能(図2-3)

Super-COPDでは、プラント動特性に対応した動特性方程式、すなわち解析モデルをモジュールと呼ばれる部品単位で設定している。モジュールはプラントの機器

に対応した、独立性の高い計算ルーチン群であり、初期設定計算、過渡計算を行う。本アナライザでは表2-1に示すモジュールを使用することができる。

例えば、ナトリウム熱交換器(IHX)モジュールは向流型の熱交換計算を行う計算ルーチンであり、モジュールへのデータ入力として、1次、2次ナトリウム入口温度、1次、2次ナトリウム流量などを与え、エネルギー保存則に基づいた基礎式を解くことで、1次、2次ナトリウム出口温度などを出力する(図2-4)。

モジュール間のデータ入出力は、プール変数と呼ぶ温度・流量などのプロセス量を格納しておく変数(特別に定義したコモン変数)を介して行う。モジュール間のデータ入出力および機器に対応したモジュールの物性値、初期状態などを、テキスト形式で作成されたインプットデータで指定することにより、複数のモジュールを組み合わせ、対象とする解析モデルを組み立てる。

従来は解析モデルの構築・修正を行う場合は、ユーザが各モジュールをどのように組み合わせるかを、例えば図2-5に示すようなブロック図として紙面でデザインし、それを解析コードへのインプットデータとしてテキスト形式でコーディングしていた。本アナライザでは、このブロック図を効率良くデザインし、入力するために、解析モデルを計算機のCRT上で直接構築・修正するGUIを開発した。本GUIでは、各機器や計算コントロールをアイコンで表現する。ユーザはGUI操作でモジュールの配置、モジュール間インターフェース、計算条件、各機器の物性値の設定などを行うことができる。

以下、モデル構築、モデル編集機能について、実際のシステムの画面を示して説明する。

(1) モデル構築

本アナライザでは、もんじゅプラントの動特性解析に必要な物理モデルを、熱モデル、ナトリウム流動モデル、水・蒸気流動モデル、空気流動モデル、制御系モデル、安全保護系モデルに大別し(図2-6)，それをさらに細分化したモデル構築画面を予め準備した(表2-1)。モデル構築画面は、モデル構造全体を示す最上位画面から、モデル構築画面、各モジュールのパラメータ編集画面に至るまでを階層化した構造とし(図2-7)、解析モデルの構造が容易に理解できるようにした。

(2) モデル編集

各モデル構築画面を開いた時点で、その画面で必要とされるナトリウム配管・混

合部・熱交換器等のモジュールアイコンが準備されたサブウィンドウ(図2-8)が同時に開かれる。ユーザはそこから任意のモジュールアイコンを選択し、モデル画面上に新規に配置することができる。モジュールにはそれぞれ個別の識別番号が必要であるが、従来はユーザがそれらを全て把握した上でモジュールの追加作業を行う必要があった。本アナライザではモジュールを新規に配置した時点で、他のモジュールの識別番号と干渉しない、空いている識別番号が自動的に設定される仕組みとした。モデル構築画面上のモジュールアイコンは任意の形に変形・移動、削除を行うことが可能である。

モジュール間の接続は、モジュール接続画面で表示されるモジュールの接続情報ウィンドウで、モジュールの入出力にあたる個所をGUI操作で選択することで行う(図2-9)。すなわち、同操作で、接続情報欄の数値は自動的に入力される。さらに各モジュールアイコンの計算条件や機器の物性値等の詳細なパラメータもGUI操作で定義することができる(図2-10)。

作成したモデルデータはモデルデータの保存・読み出し機能を用いて、任意のファイル名称で保存・読み出しが可能である。

2. 3 プラントデータ利用機能

(1) MIDASからのプラントデータ取り込み

プラント全系を対象とせず、一部の機器のみを対象に解析を行う場合には、その機器に対応するモジュールのみを組み合わせ、解析モデルを構築するのが効率的である。このような一部の機器のみを対象とした解析を実施するには、境界となるモジュールに境界値を与える必要がある。これまで、その境界値にはプラントデータ収録システムMIDASの大容量記録装置に記録された過去のプラントデータより選定し抽出した一定値、もしくはプラントデータの変化を折れ線で近似した数値テーブルを手作業で設定し、解析を行っていた。

本アナライザでは、MIDASに記録された過去のプラントデータおよびリアルタイムのプラントデータをオンラインで取り込む機能を設けた。取り込んだプラントデータの選定および境界値への割り当ては、モデル構築と同様にGUI操作で行う仕組みとした。

これらの機能により、モデルに境界値を与えて解析を行うような場合、必要なプラントデータの選定が効率的に行える。MIDASからのデータは、逐次的に境界値に取り込まれ、プラントデータの変化の折れ線による近似化と数値テーブルの設定な

どの作業を、手作業で行う必要が無くなつた。

また、リアルタイムのプラントデータを解析モデルの境界値に与え、解析コードの計算結果と実測値を比較することにより、本アナライザは異常診断システムとしても応用することができる。

①リアルタイムプラントデータの取り込み(図2-11)

リアルタイムプラントデータの取り込みは、MIDASデータ受信サブプログラムを介して行う。MIDASデータ受信サブプログラムは、MIDASより3秒間隔でサンプリング周期10Hzの全信号のデータを取り込み、それをバッファに保管する。バッファには1分30秒分のデータを保管する仕組みとし、リアルタイム解析時にMIDASデータ受信サブプログラムと解析実行側との同期に余裕を持たせた。解析実行時には、そのバッファより必要な信号を任意の時間間隔で3秒分取り出し、プール変数への入力とする。MIDASとの同期のため、解析は実時間で進行する。

プラントデータをどのような条件で取り込むかは、プラントデータ取り込み設定機能で設定する。オンラインリアルタイム取り込み時の、取り込み条件の設定例を図2-12に、MIDASデータとプール変数の対応付けの設定例を図2-13に示す。設定内容はファイルとして保存・読み出しができる。

②過去のプラントデータの取り込み(図2-14)

過去のプラントデータは、MIDASのデータ抽出機能を利用して作成されたCSV(Comma Separated Value)形式のデータを利用する。過去のプラントデータを利用した解析実行前には、このCSV形式のデータより、必要な信号を任意の時間間隔で抽出し、解析実行部分より直接読み込みが可能な中間作業ファイルを作成する仕組みとした。解析実行時には、この中間作業ファイルより、プラントデータを取り込み、プール変数への入力とする。

プラントデータをどのような条件で取り込むかは、リアルタイムプラントデータと同様、プラントデータ取り込み設定機能で設定し、設定内容はファイルとして保存・読み出しができる。

(2)プラントデータを利用したトレンドグラフの表示機能

本アナライザでは、(1)に記述したプラントデータ取り込み機能により得られたプ

ラントデータと、温度・流量等の解析値を逐次表示する機能を設けた。両者を同一グラフ上に表示し、解析実行中にプラントデータと解析値を同時に表示することで、解析値の評価が逐次出来るようにした。

また、解析経過を確認できるので、解析途中に値が想定される範囲を逸脱するような場合は、解析を一旦停止し、解析モデルパラメータを調整することが可能となり、解析に要する時間の短縮を図ることができた。

①リアルタイムプラントデータと解析結果の比較(図2-11)

取り込んだリアルタイムプラントデータと解析結果を、プロット表示により比較できるようにした。その際、MIDASデータ受信との同期の関係から、解析は実時間で進行する。リアルタイムプラントデータの取り込みを打ち切り、解析を実時間以上の速度で継続することで、プラントの挙動を予測する進展予測解析が可能である。

②過去のプラントデータとの比較(図2-14)

取り込んだ過去のプラントデータと解析結果を、プロット表示により比較できるようにした。過去のプラントデータは、予め準備したプラントデータファイルより非同期で取り込むため、解析は解析コード内部の時間で進行する。過去のプラントデータと解析結果を容易に比較できることから、解析による事象の再現・解析モデルパラメータの調整を容易に行うことができる。

2.4 解析制御機能

解析制御機能を用いて、解析の実行制御、全体的な計算条件の設定、解析経過ならびに結果の表示などを行う。以下、それぞれの機能について、その概要を記す。

(1) 解析の実行制御

解析の実行制御用の画面を準備し(図2-15)、解析の実行／停止、リアルタイムプロット画面の表示などが行えるようにした。

(2) 全体的な計算条件の設定(図2-16)

メインデータ設定画面を準備し、全体的な計算条件の設定、モジュール境界条件の設定、リスタート解析時の条件設定、サマリ出力を行うプール変数の設定、プラントデータの取り込み設定などが行えるようにした。

本アナライザにはリスタート解析機能を付加した。リスタート解析とは、解析結果を中間ファイルとして残しておき、次回の解析時にはその中間ファイルを初期状態として解析を行うものである。解析途中で一旦解析を中断し、解析条件やモデルパラメータを変更した後、解析を再開させることができるのである。機器モデルのパラメータ調整などを行う際の繰り返し解析などを、短時間で効率良く行うことができる。

リスタート解析を行うか行わないかの設定は全体的な計算条件の中で設定し、リスタートの開始時間、中間出力などの条件設定はリスタート設定で行う。

(3) 解析経過のリアルタイムトレンド表示(図2-17)

任意の解析値ならびにMIDASから取り込んだプラントデータを、4点まで同時に解析経過としてプロットできるようにした。

(4) 解析結果のサマリ／プロット表示(図2-18)

任意の解析結果ならびに取り込んだプラントデータについて、サマリによる数値の一覧及びトレンドグラフによるプロット表示が行えるようにした。

(5) ヘルプ機能(図2-19)

本アナライザを利用するにあたって、その利便性を向上させるために、オンラインでのヘルプ機能を設けた。

3. 解析例

本アナライザを用いた「40%出力タービントリップ解析」及び「IHX単独モデル解析」の解析例を以下に示す。

3.1 解析事象

両解析例ともに、プラントが電気出力約40%の整定状態から、復水器真空度「低」信号によりトリップする事象を模擬したものである。

本事象では、タービントリップ後の所定のインタロックによって生ずる原子炉トリップにより、原子炉出力が低下し、原子炉容器出口ナトリウム温度及び中間熱交換器2次側出口ナトリウム温度が低下する。

3.2 40%出力タービントリップ解析

(1) 解析モデル

解析モデル構築機能を利用して、熱計算、流動計算、制御系計算、安全保護系計算の各モジュールを組み合わせ、下記6モデルから成る、もんじゅ全系解析モデルを構築した。

- ①原子炉周辺計算モデル
- ②1次主冷却系計算モデル
- ③2次主冷却系計算モデル
- ④水・蒸気系計算モデル
- ⑤プラント制御系計算モデル
- ⑥安全保護系計算モデル

上記のうち、例として原子炉周辺計算モデルについて、構築したGUI画面を図3-1に示した。

(2) 解析方法

タービントリップは、原子炉トリップ信号を示すプール変数に、解析開始後0.9秒でトリップ発生となる信号をテーブル入力し、模擬した(図3-2)。当信号により、安全保護系モデルの所定のインタロックが動作し、原子炉トリップに至る(図3-3)。本事象では、プラントトリップ時の水・蒸気系の挙動を正確に模擬する必要がないことから、主要な水・蒸気の温度、流量の挙動は時間依存の関数として模擬した。そして、設定すべき挙動特性としてプラントデータより得られた過渡変化の推移を利用した。

(3) 解析結果

解析結果は、プロット表示機能を用いて容易にプロットすることができる。1次及び2次主冷却系ナトリウム流量、原子炉出入口ナトリウム温度、IHX2次側出入口ナトリウム温度について、解析結果のプロット表示を図3-4に示す。

(4) 効果

当解析では、モデル構築時に水・蒸気の流量設定値に当初誤差の大きな値を入力し、最終的にパラメータを調整して設定値を修正している。この作業を例にとり、パラメータ調整などに要する時間に着目すると、まず従来は先に述べたとおり、複数の計算機環境やアプリケーションを組み合わせての作業、テキストベースによる頻繁な操作など、多くの手順を踏まえてパラメータ調整を行う必要があった。それが本システムでは、任意の解析値について解析経過を直接プロットにより確認できるため、解析の終了を待つ必要もなく、評価に要する時間が大幅に短縮されている。また、パラメータの修正もGUIにより容易に行うことができ、モデルパラメータの調整・解析実行・解析結果の評価といった一連の作業全体に要する時間が大幅に短縮されている。

今回は水・蒸気系のパラメータを3度変更し、再解析を実施した。Super-COP Dのみを用いた従来の作業工程ならば、この作業に半日程度は要すると思われるが、本システムでは30分程度で終了しており、一連の解析作業効率が大幅に向上している。

3. 3 IHX単独モデル解析

(1) 解析モデル

中間熱交換器とその周辺配管のモジュールのみで構成されたモデルである(図3-5)。解析対象ループはAループのみとし、プール変数への入力としてタービントリップ試験の実測値より、1、2次主冷却系ナトリウム流量、IHX1、2次側入口ナトリウム温度のプラントデータを取り込んだ。また、解析結果との比較・評価のために、IHX1、2次側出口ナトリウム温度についても、プラントデータを取り込んでいる。

(2) 解析方法

解析を行うにあたっては、モデルの構築以外に、プラントデータの取り込み設定を行う必要がある。取り込んだプラントデータと解析時のプール変数との対応を表3-1に示す。

(3) 解析結果

1, 2次主冷却系ナトリウム流量, IHX1次, 2次側入口ナトリウム温度の実測値及び, IHX1次, 2次側出口ナトリウム温度の解析結果と実測値の比較画面を図3-6に示す。

(4) 効果

解析モデルの構築時間, パラメータ調整に要する時間などは先に述べた40%出力タービントリップ解析モデルと同様のことが言える。ここでは, プラントデータの取り込み機能に関して述べる。

プラントデータを取り込む場合, 本システム開発以前のSuper-COPDでは, 解析実行時に読み込まれるテキストベースのインプットデータ, すなわち計算条件設定として, 時系列のテーブルデータを予め設定する必要があった。この方法には,

- ・変化量の多いデータを定義する場合時系列データの数が膨大となる
- ・時系列データの作成は手作業であるため作業者の主観に基づいたデータとなりやすい
- ・リアルタイムのデータは取り込めない
- ・入力データのフォーマットに合わせてプラントデータをテーブル入力するには長時間を要する

などの問題点があった。

それが本システムでは直接リアルタイム及び収録済みの過去のプラントデータが取り込めるので, 作業に要する時間は大幅に短縮された。さらに, 従来はあまりに変化量の多いプラントデータや, リアルタイムのプラントデータの取り込みを行うことはテーブルデータの量が膨大となること, 及び機能上の制限により出来なかった。それが, 本アナライザの開発によって容易に可能となった。

4. まとめ

今回のアナライザ開発により、以下の様に作業効率が改善された。

- ・全ての解析操作をGUIで行うことが可能となり、解析作業を容易かつ短時間で行うことが可能となった。
- ・GUIにより、プラントを対象とした解析モデルの構築が容易となった。
- ・MIDASの収録データをプラントパラメータとして取り込んだ解析が可能となった。
- ・解析値とリアルタイム及び過去のプラントデータを、リアルタイムトレンドグラフ及び解析結果のトレンドグラフで自在に重ね合わせ表示が出来、融通性のある表示が可能なことから、パラメータ調整作業などが容易となった。

今後は既存のモデルデータを有効に活用してゆくとともに、性能試験項目に対応したモデルデータの整備を随時行っていく予定である。

また、オンサイトプラントアナライザとしての基本要件を満たすことができたので、設備設計情報、安全解析情報などの他のデータベースと連係し、事故時の事象分析を総合的に支援するようなシステムのベースが構築できたといえる。今後、「もんじゅ」におけるニーズと照合して、本システムの機能を有効利用できるような支援システムへ拡充していく。

5. 謝辞

本報告書の作成にあたり、モデルパラメータの調査・調整作業などにご協力頂いた、三菱重工業(株)の菱田正彦氏、ならびに敦賀本部・もんじゅ建設所の宮川明氏、国際技術センターの西田和弘氏、原子力システム(株)の加藤満也氏、北村謙二氏に厚く謝意を表します。

6. 参考文献

- [1]「熱流動数値解析」特別専門委員会：原子炉における熱流動数値解析の現状、日本原子力学会(1986.3)
- [2]森下喜嗣：プラント運転データ共有化のためのデータ収録利用システムの整備、日本原子力学会 2000 年春の年会要旨集(第 II 分冊)、p.692, R29(2000.3)
- [3]仲井悟：モジュール型プラント動特性解析コード Super-COPD コードの開発、動燃技報、No.68(1988.12)
- [4]大滝明：プラント動特性解析コード Super-COPD の開発、動燃技報、No.76, p27～36(1990)

表2-1 モデル構築画面及び使用モジュール一覧(1/2)

トップメニュー項目 (モデル大別)	画面分類	使用モジュール
熱モデル	原子炉容器	R F 原子炉熱計算簡易モジュール
	1次系Aループ	R X ク 詳細モジュール
	1次系Bループ	M N 完全混合・ミキシングティ
	1次系Cループ	熱計算モジュール
	2次系Aループ	H X 中間熱交換器熱計算モジュール
	2次系Bループ	L N N a系・水系配管要素熱計算モジュール
	2次系Cループ	A C 空気冷却器熱計算モジュール
	水系Aループ	K N 原子炉核計算モジュール
	水系Bループ	U P 原子炉上部熱計算モジュール
	水系Cループ	S G 蒸気発生器熱計算モジュール
	タービン	L S 水・蒸気系配管要素熱計算モジュール
		L W 原子炉下部プレナム熱計算モジュール
		T B タービン熱流動計算モジュール
		P C 空冷復水器熱計算モジュール
ナトリウム流動モデル	1次系ループ	F N N a系・水系流動計算モジュール
	2次系Aループ	P P 循環ポンプ計算モジュール
	2次系Bループ	C K 逆止弁計算モジュール
	2次系Cループ	V V 各種弁計算モジュール
水・蒸気流動モデル	水流動Aループ	F M 水・蒸気系熱流動計算モジュール
	水流動Bループ	F W 水・蒸気系熱流動拡張計算モジュール
	水流動Cループ	P P 循環ポンプ計算モジュール
	タービン	V V 各種弁計算モジュール
空気流動モデル	空気流動	F A 空気系流動計算モジュール
制御系モデル	原子炉出力制御	C L 制御系計算モジュール
	1次主冷却系流量制御 (Aループ)	要素: D T 検出要素 P I D P I D要素
	1次主冷却系流量制御 (Bループ)	O P 演算要素
	1次主冷却系流量制御 (Cループ)	N L 非線形要素
	2次主冷却系流量制御 (Aループ)	C R 制御棒計算モジュール
	2次主冷却系流量制御 (Bループ)	V A 空気冷却器風量計算モジュール
	2次主冷却系流量制御 (Cループ)	
	A/C待機時制御 (Aループ)	
	A/C待機時制御 (Bループ)	
	A/C待機時制御 (Cループ)	
	C弁制御(Aループ)	
	C弁制御(Bループ)	
	C弁制御(Cループ)	

表2-1 モデル構築画面及び使用モジュール一覧(2/2)

トップメニュー項目 (モデル大別)	画面分類	使用モジュール
制御系モデル	A／C起動後A／C出口 ナトリウム温度制御 (Aループ) A／C起動後A／C出口 ナトリウム温度制御 (Bループ) A／C起動後A／C出口 ナトリウム温度制御 (Cループ) E V出口蒸気温度制御 (Aループ) E V出口蒸気温度制御 (Bループ) E V出口蒸気温度制御 (Cループ) 給水流量調節弁差圧制御 主蒸気圧力制御・TB弁・ 主蒸気逃弁 主蒸気温度制御(Aループ) 主蒸気温度制御(Bループ) 主蒸気温度制御(Cループ) S H、E V出口安全弁・W /Sダンプ弁 (Aループ) S H、E V出口安全弁・W /Sダンプ弁 (Bループ) S H、E V出口安全弁・W /Sダンプ弁 (Cループ) 出力指令信号作成用制御 汲み上げ流量、ポンプ リーク流量制御	L G 安全保護系計算モジュール 要素：D T 検出要素 A T 動作要素
安全保護系モデル	安全保護系(1) 安全保護系(2) 安全保護系(3) 安全保護系(4) システムインタロック(1) システムインタロック(2) システムインタロック(3) システムインタロック(4) システムインタロック(5) システムインタロック(6) システムインタロック(7) システムインタロック(8) システムインタロック(9) システムインタロック(10)	

表3-1 IHX 単独モデル プラントデータとプール変数との対応

信号名称	MIDAS ch No.	S-COPD ch No.	信号種別
A 1次主冷却系Na流量	6	flwn(4-1)	流量
B 1次主冷却系Na流量	7	flwn(5-1)	
C 1次主冷却系Na流量	8	flwn(6-1)	
A 2次主冷却系Na流量	49	flwn(2-2)	
B 2次主冷却系Na流量	50	flwn(2-3)	
C 2次主冷却系Na流量	51	flwn(2-4)	
A R/V出口Na温度	12	temp(501)	温度
B R/V出口Na温度	13	temp(601)	
C R/V出口Na温度	14	temp(701)	
A 中間熱交換器2次側入口Na温度(501～)	184	temp(124)	
B 中間熱交換器2次側入口Na温度(502～)	185	temp(224)	
C 中間熱交換器2次側入口Na温度(503～)	186	temp(324)	
A IHX1次側出口Na温度	15	temp(1820)	
B IHX1次側出口Na温度	16	temp(1821)	
C IHX1次側出口Na温度	17	temp(1822)	
A IHX2次側出口Na温度	40	temp(1823)	
B IHX2次側出口Na温度	41	temp(1824)	
C IHX2次側出口Na温度	42	temp(1825)	

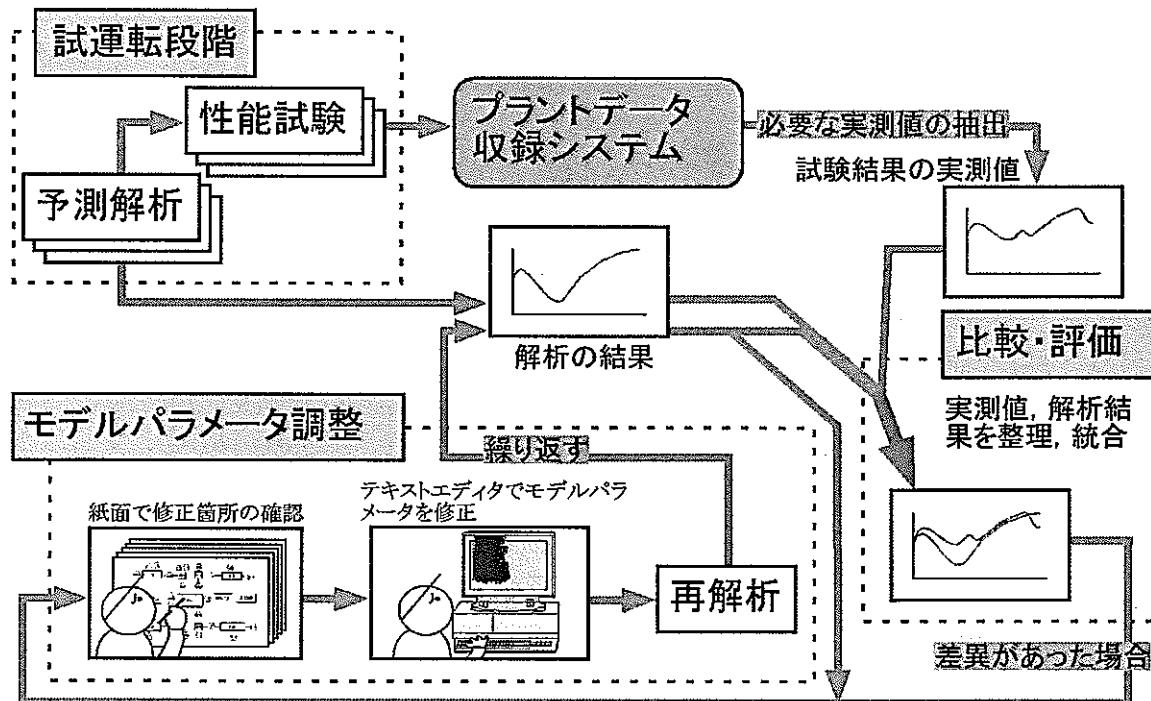


図2-1 要求機能の検討

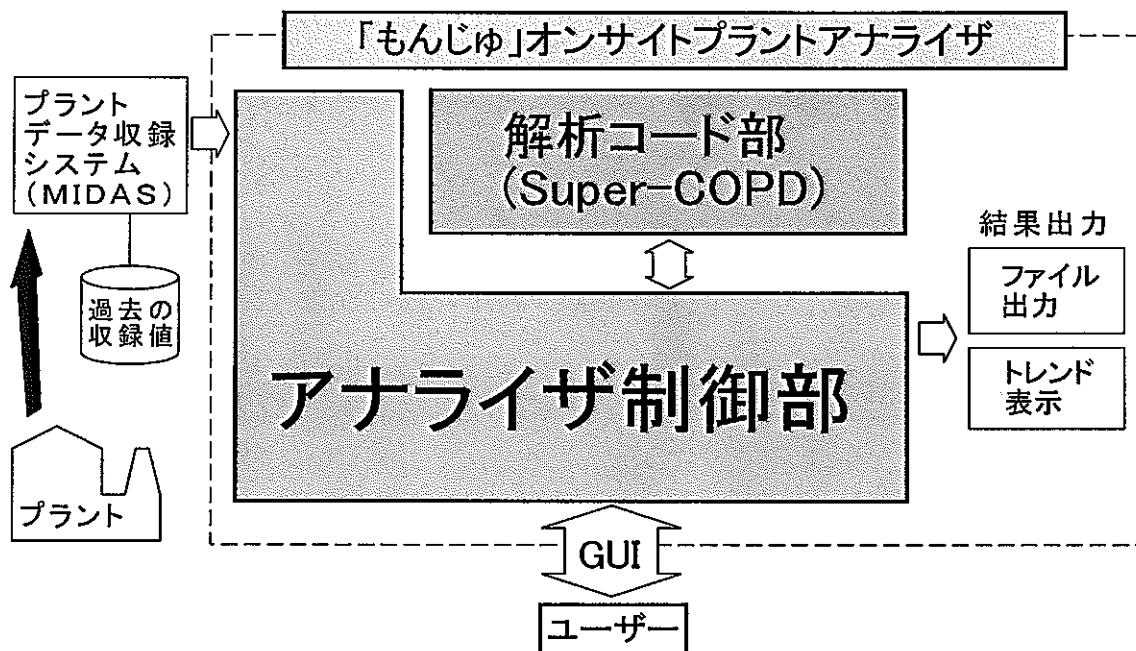


図2-2 システムの構成

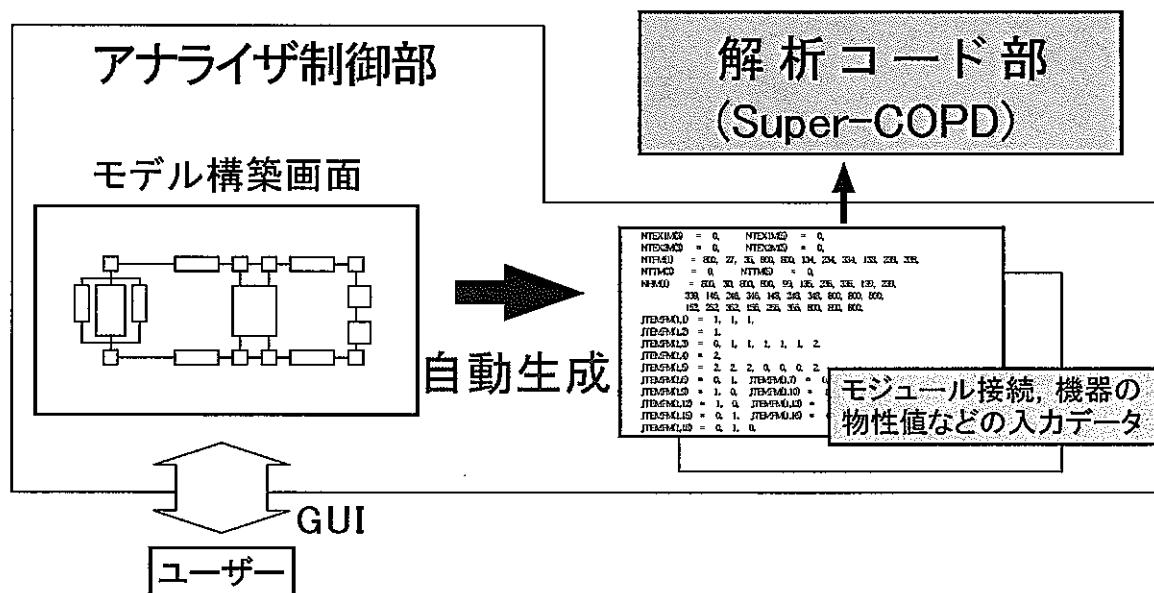


図2-3 GUIを用いたモデル構築

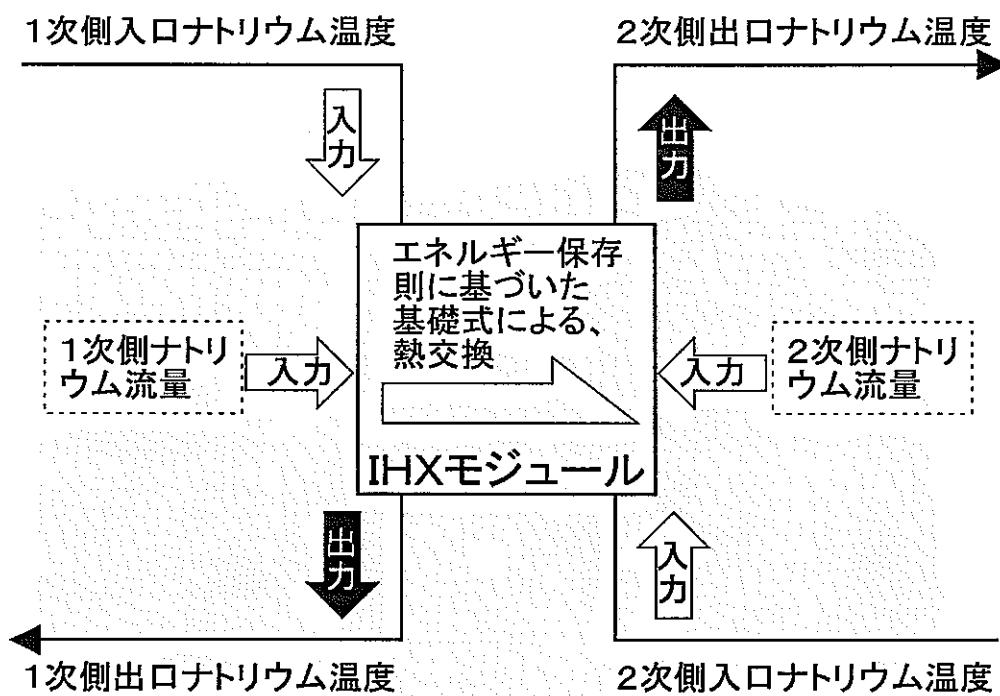


図2-4 IHXモジュールのデータ入出力例

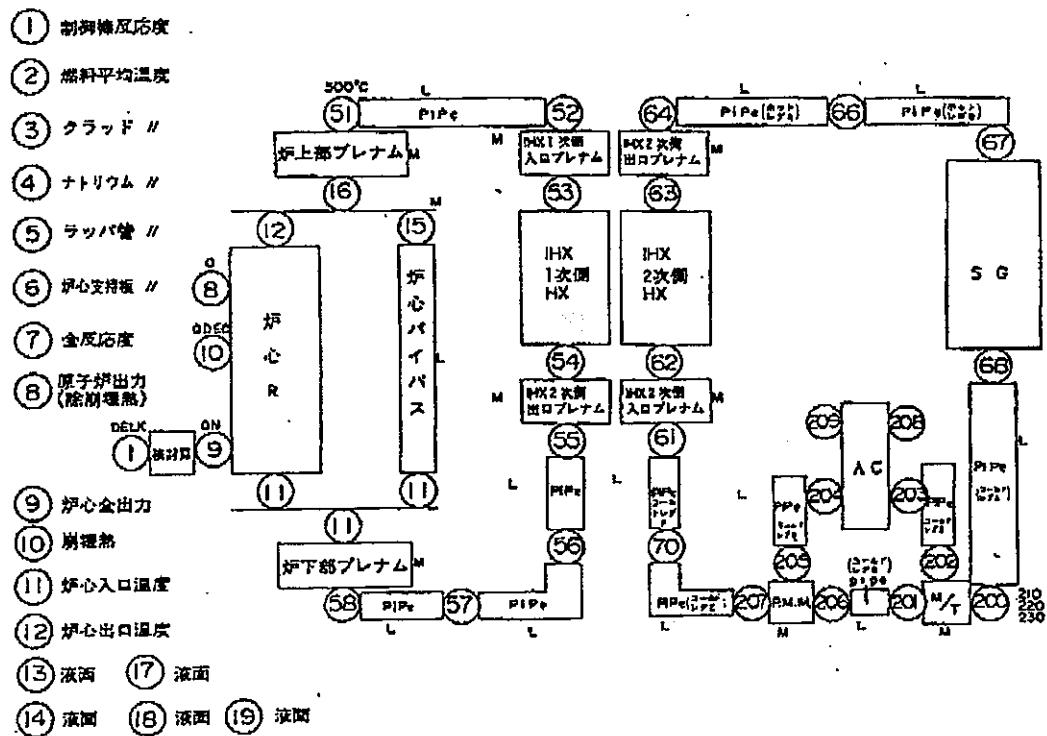


図2-5 Super-COPDブロック図例

モデル構築画面大分類の選択

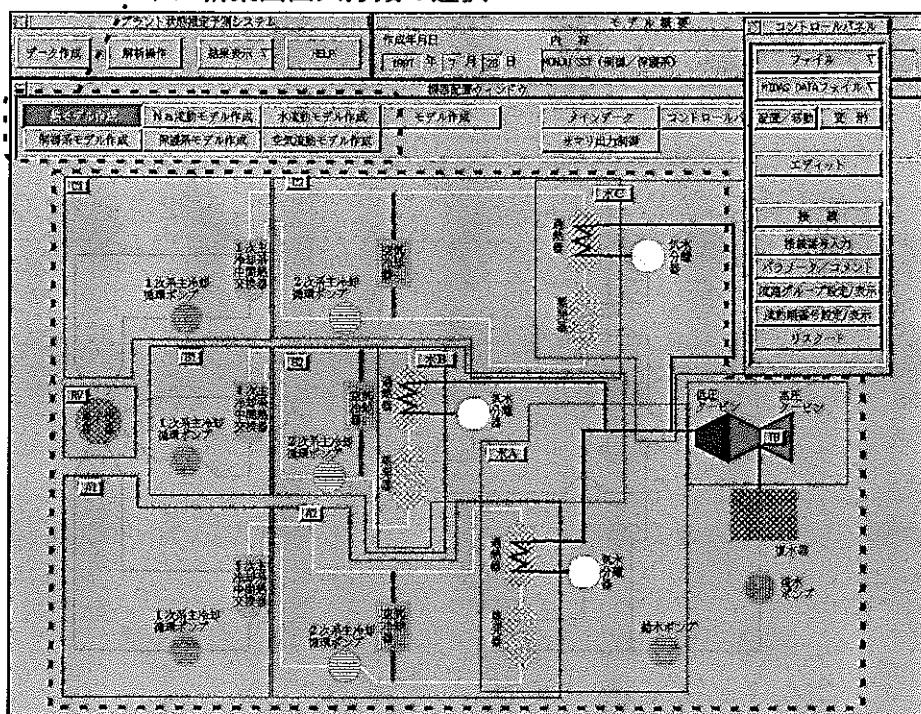
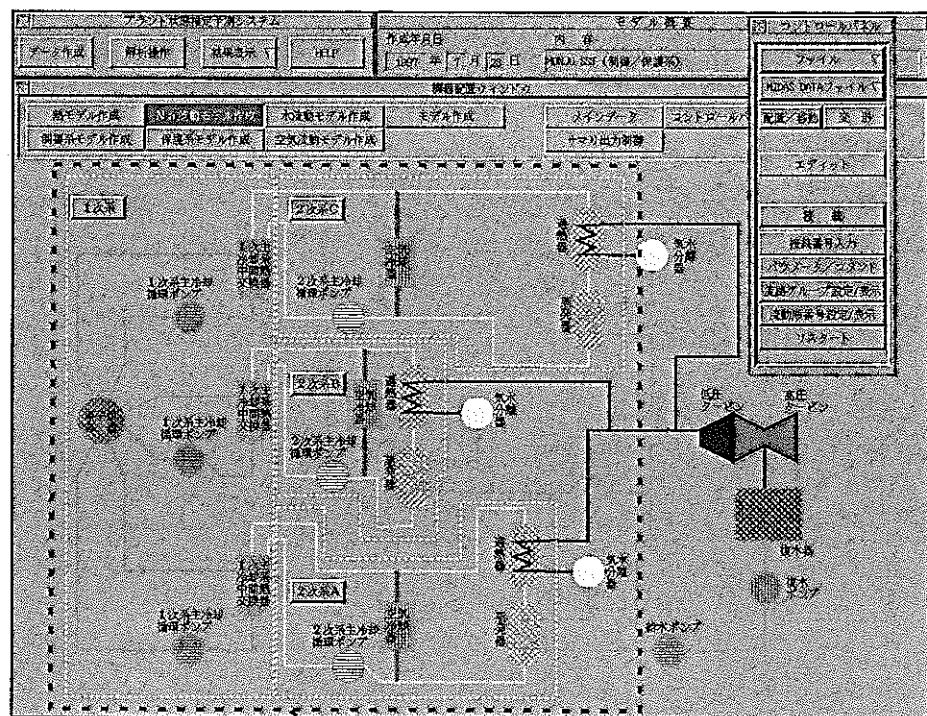
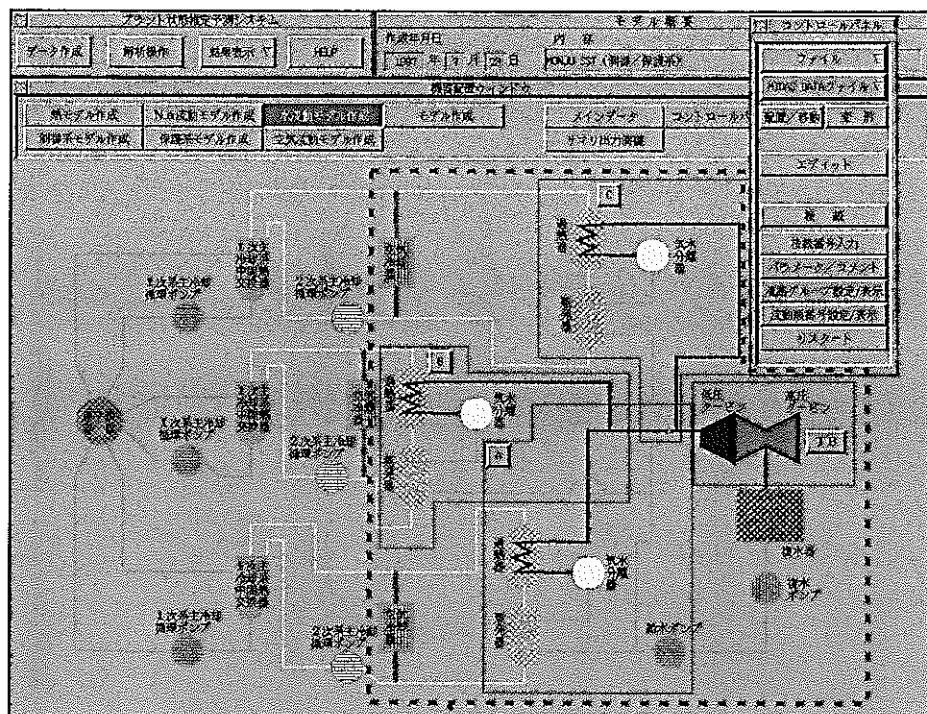


図2-6 モデル構築選択画面(1/5)(熱モデル作成)



・ナトリウム流動モデル構築画面の選択領域

図2-6 モデル構築選択画面(2/5)(ナトリウム流動モデル作成)



・水流動モデル構築画面の選択領域

図2-6 モデル構築選択画面(3/5)(水流動モデル作成)

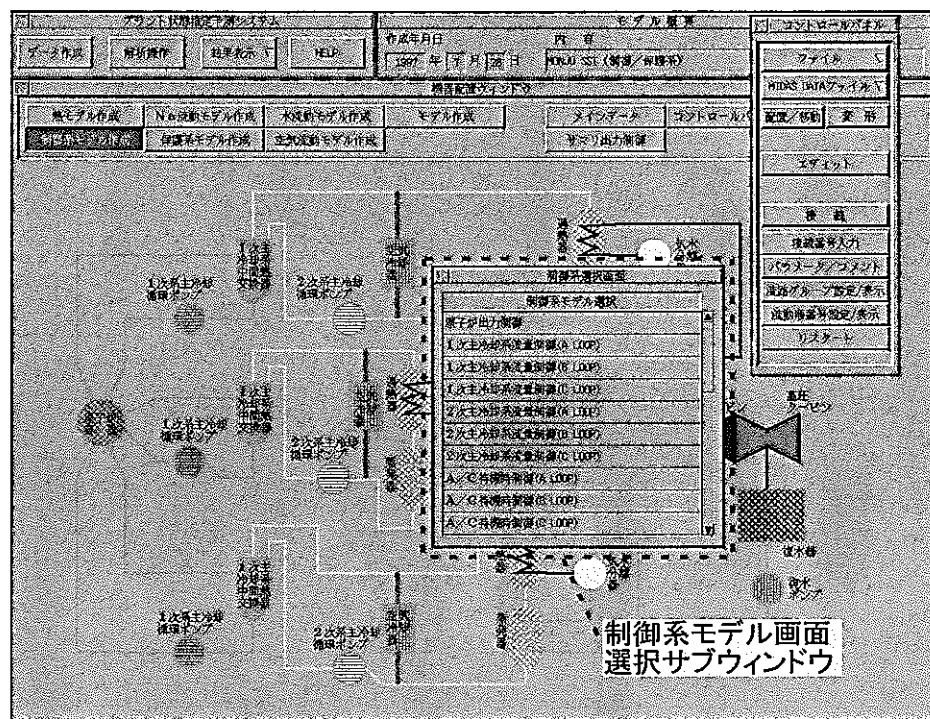


図2-6 モデル構築選択画面(4／5)(制御系モデル作成)

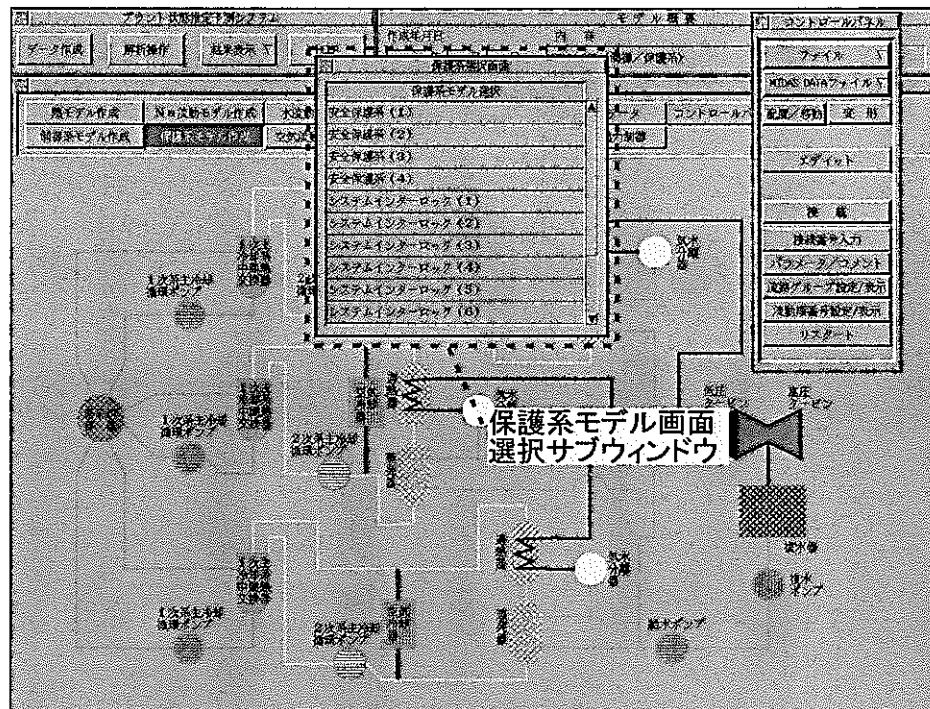


図2-6 モデル構築選択画面(5／5)(保護系モデル作成)

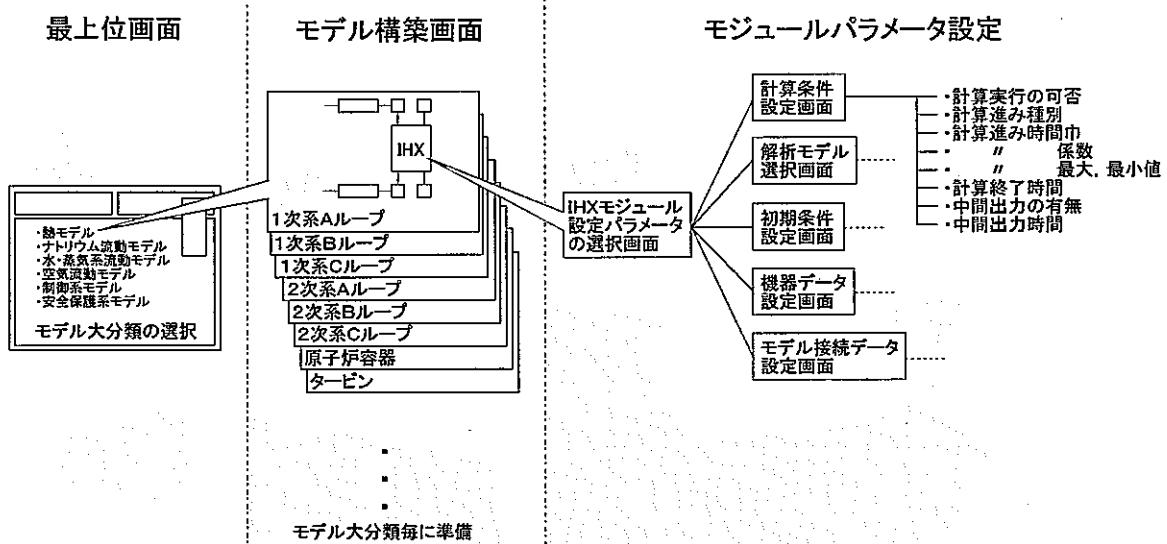


図2-7 モデル構築操作の階層化

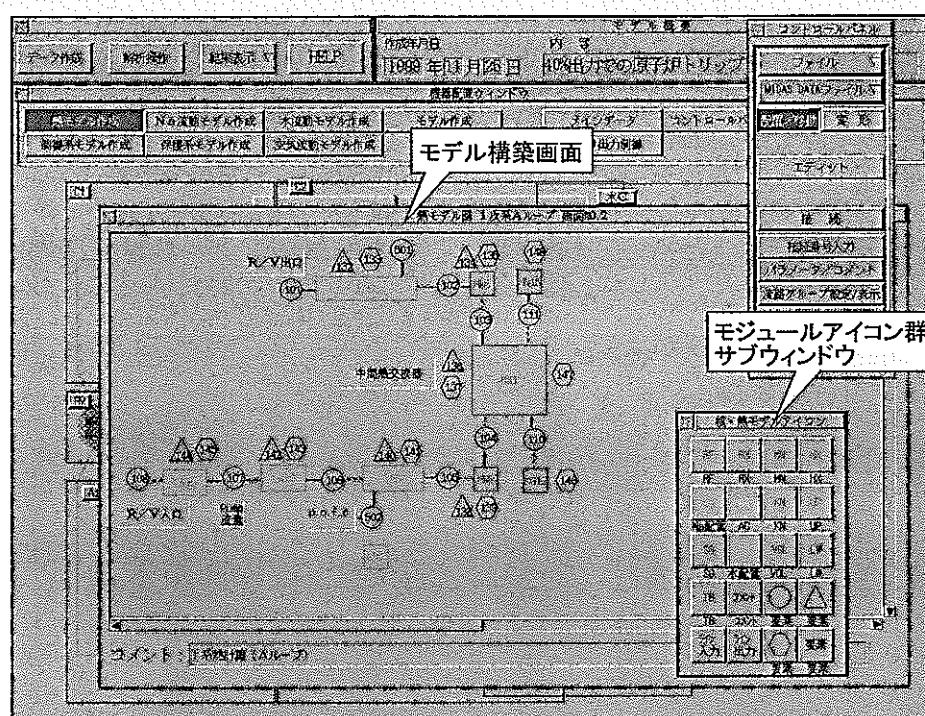


図2-8 モデル構築画面とモジュール群ウィンドウ

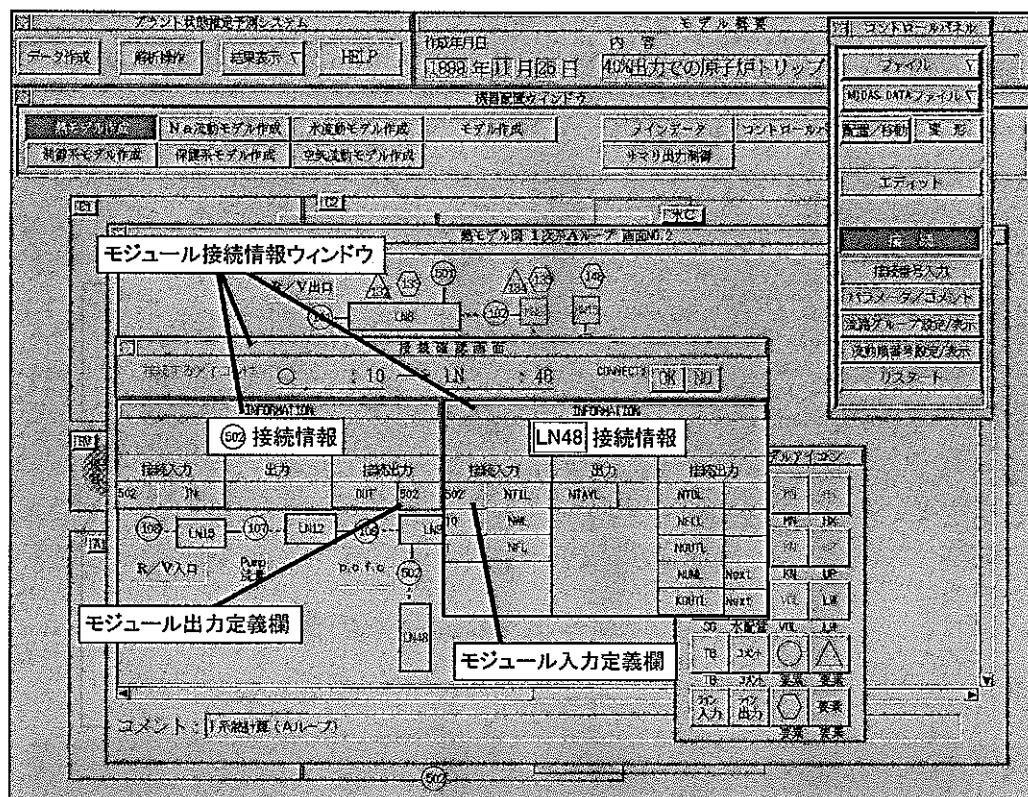
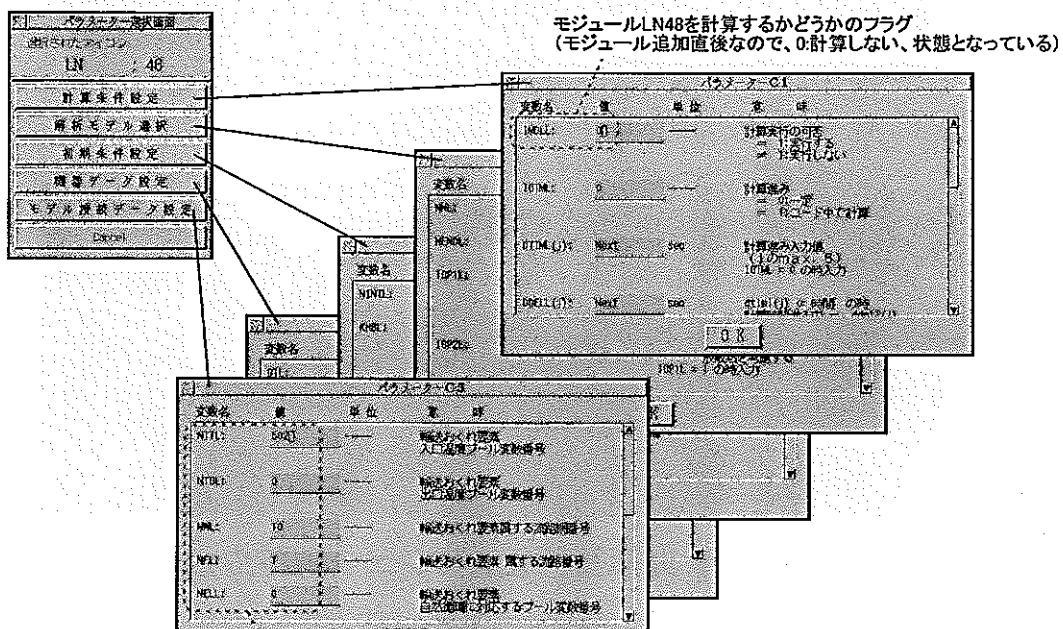


図2-9 モジュール接続操作例



モジュール接続操作で設定した接続情報が反映されている
(入口温度:temp(502)、流路:rwn(10-1)、に接続)

図2-10 モジュールの詳細パラメータ設定例 (LN48)

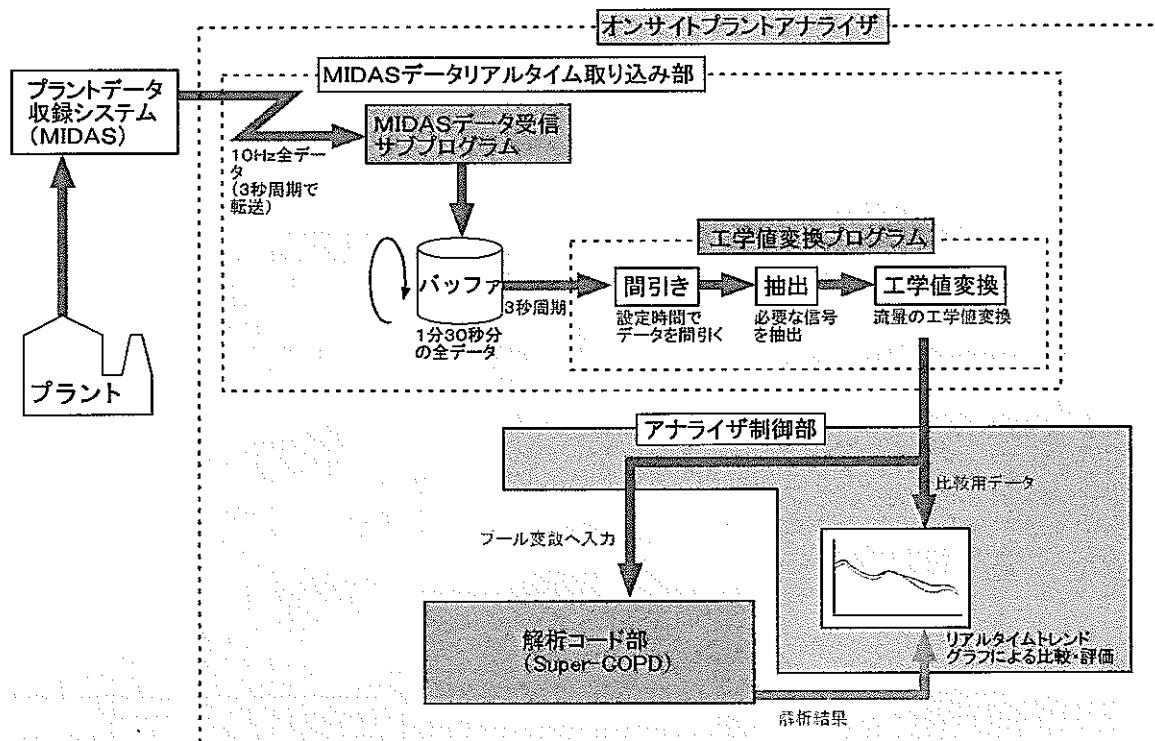


図2-11 リアルタイムプラントデータの利用

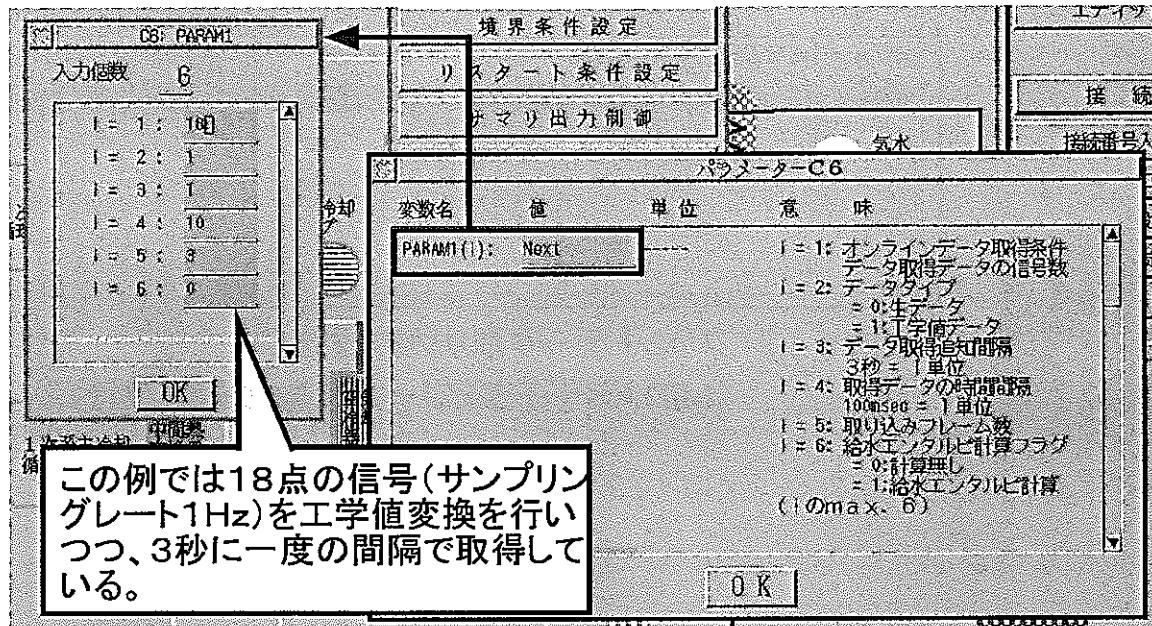
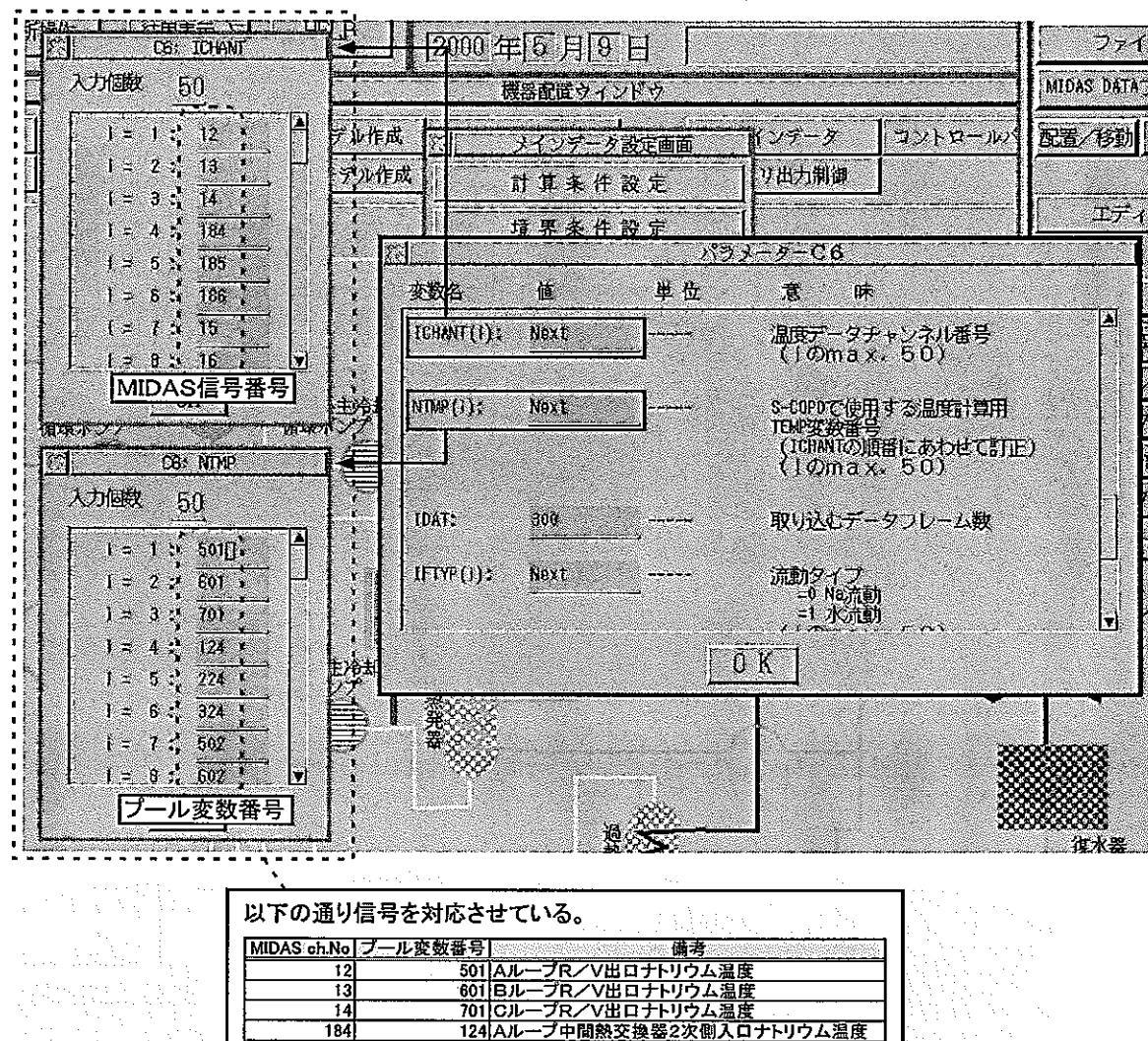


図2-12 プラントデータ取り込み設定例(取り込み条件の設定)



以下の通り信号を対応させている。

MIDAS chNo	プール変数番号	備考
12	501	AループR/V出口ナトリウム温度
13	601	BループR/V出口ナトリウム温度
14	701	CループR/V出口ナトリウム温度
184	124	Aループ中間熱交換器2次側入口ナトリウム温度
185	224	Bループ中間熱交換器2次側入口ナトリウム温度
186	324	Cループ中間熱交換器2次側入口ナトリウム温度
.	.	.
.	.	.
.	.	.

図2-13 プラントデータ取り込み設定例
(MIDASデータとプール変数の対応付け)

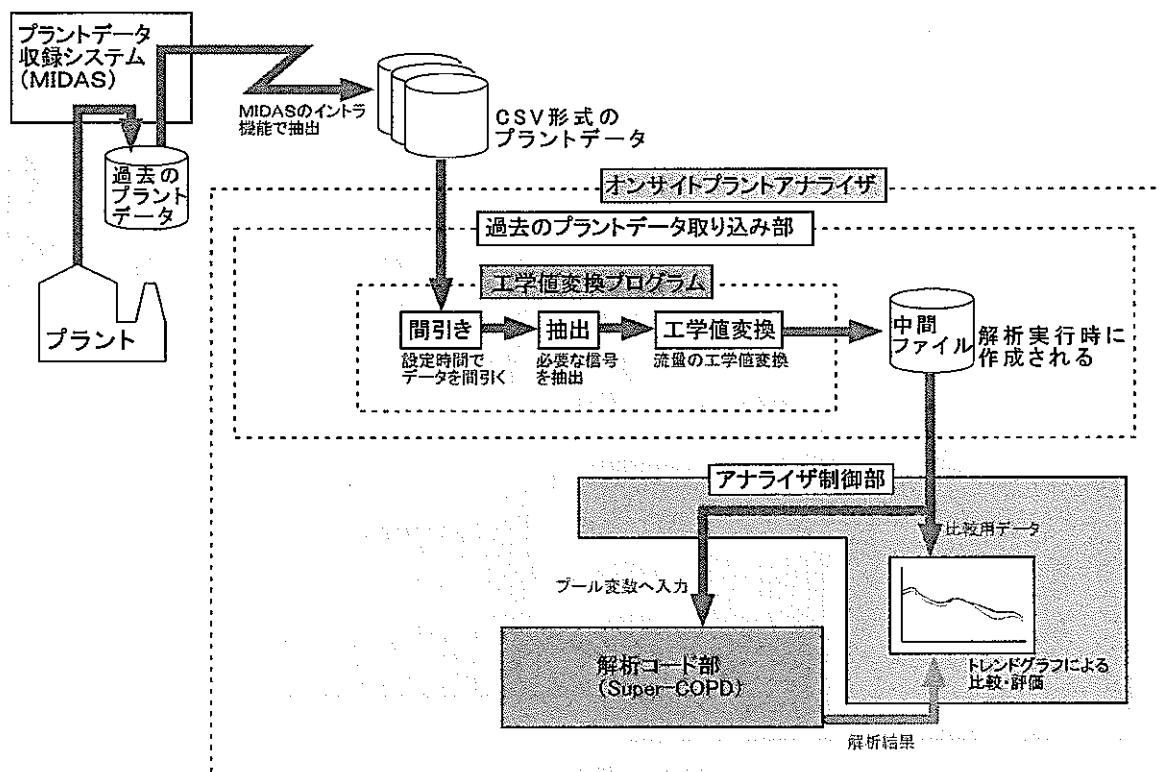


図2-14 過去のプラントデータの利用

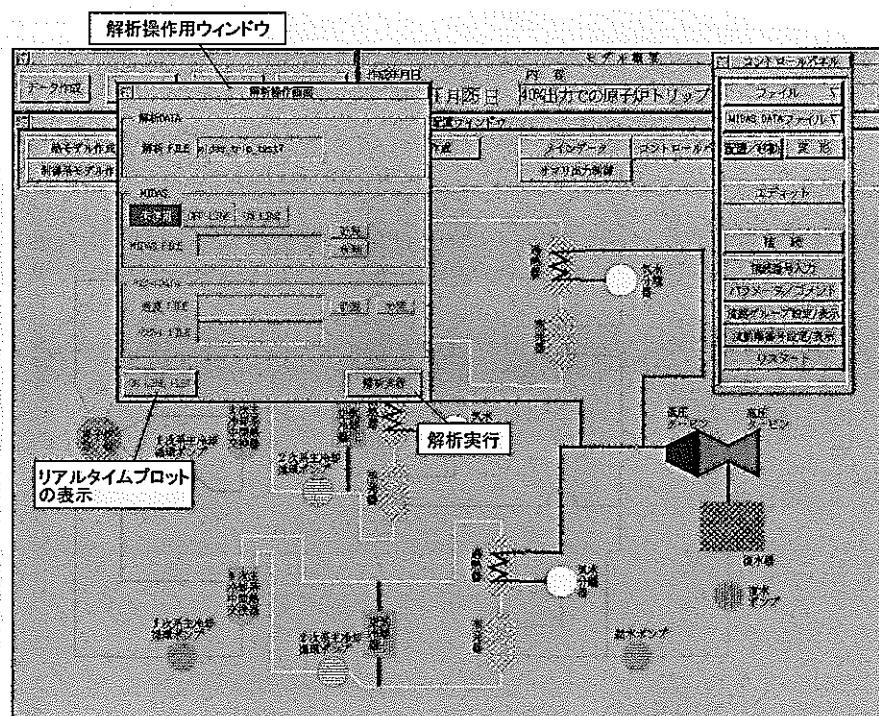
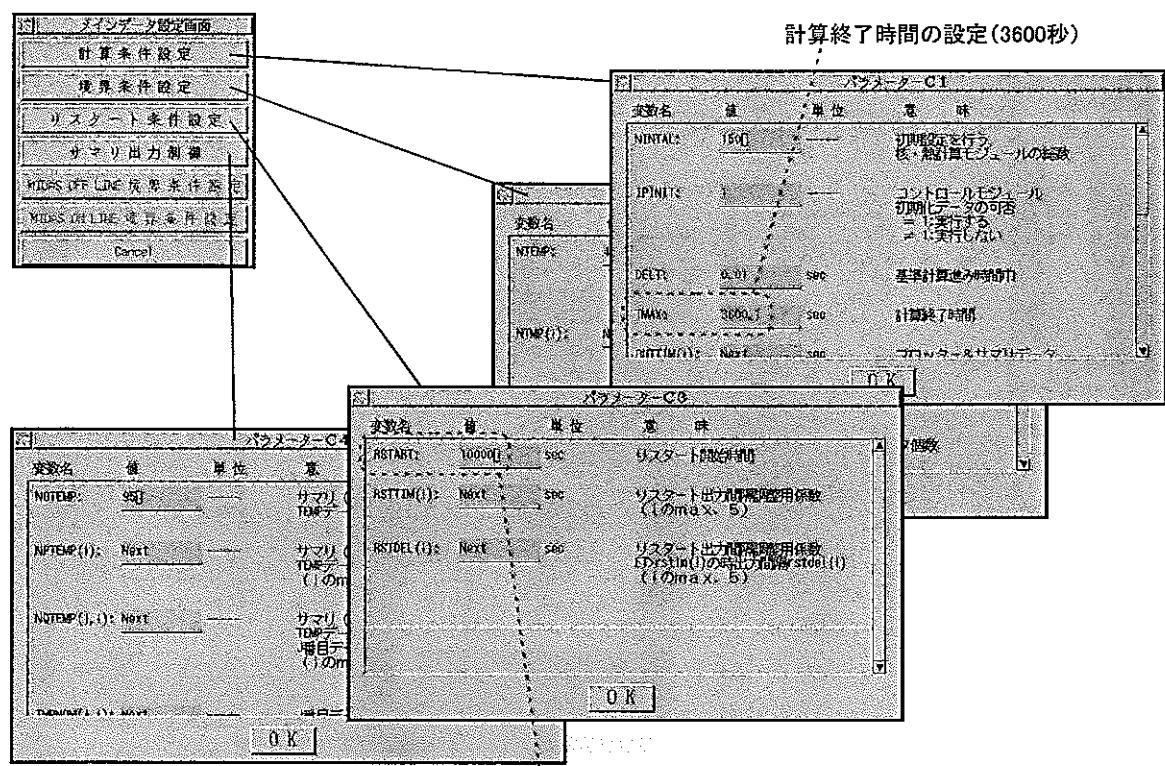


図2-15 解析の実行制御用画面



リスタート解析を行う際のリスタート開始時刻の設定(10000秒)

図2-16 全般的な計算条件設定例

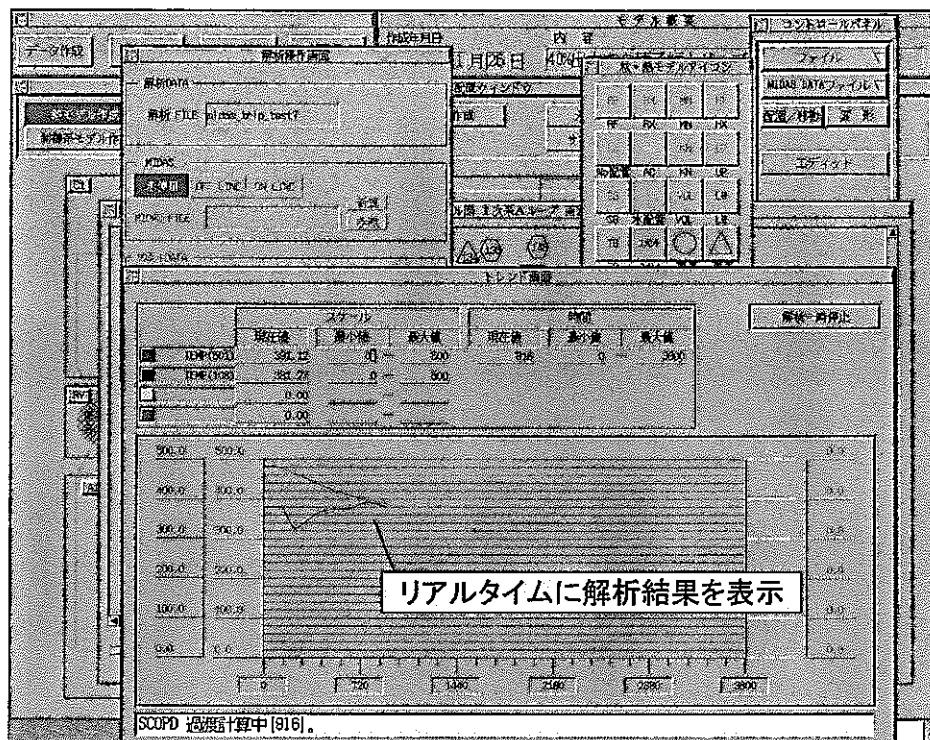


図2-17 解析経過のリアルタイムトレンド表示

時 間	項 目									
	temp(1)	temp(2)	temp(3)	temp(4)	temp(5)	temp(6)	temp(7)	temp(8)	temp(9)	temp(10)
0.000	9.9997e+01	9.3085e+01	6.9116e+00	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00
1.000	1.0000e+02	9.3092e+01	6.9116e+00	-3.0565e-04	-3.0003e-04	9.7514e-05	4.8297e-04	1.7105e-05	0.0000e+00	0.0000e+00
2.000	9.9997e+01	9.3063e+01	6.9116e+00	-4.4633e-04	-4.3878e-04	1.0331e-04	5.1093e-04	3.0855e-05	0.0000e+00	0.0000e+00
3.000	9.9953e+01	9.3042e+01	6.9116e+00	-5.0702e-04	-4.9722e-04	1.0838e-04	5.3454e-04	4.2118e-05	0.0000e+00	0.0000e+00
4.000	9.9945e+01	9.3037e+01	6.9116e+00	-5.2763e-04	-5.1800e-04	1.1150e-04	5.4801e-04	5.1130e-05	0.0000e+00	0.0000e+00
5.000	9.9943e+01	9.3032e+01	6.9116e+00	-5.3008e-04	-5.2007e-04	1.1345e-04	5.5887e-04	5.8855e-05	0.0000e+00	0.0000e+00
6.000	9.9940e+01	9.3028e+01	6.9116e+00	-5.2487e-04	-5.1525e-04	1.1458e-04	5.6472e-04	8.3936e-05	0.0000e+00	0.0000e+00
7.000	9.9933e+01	9.3027e+01	6.9116e+00	-5.1757e-04	-5.0820e-04	1.1760e-04	5.7045e-04	8.8148e-05	0.0000e+00	0.0000e+00
8.000	9.9937e+01	9.3025e+01	6.9116e+00	-5.1131e-04	-5.0103e-04	1.1860e-04	5.7602e-04	1.7311e-05	0.0000e+00	0.0000e+00
9.000	9.9936e+01	9.3024e+01	6.9116e+00	-5.0839e-04	-4.9710e-04	1.1762e-04	5.8087e-04	7.4590e-05	0.0000e+00	0.0000e+00
10.000	9.9935e+01	9.3023e+01	6.9116e+00	-5.0203e-04	-4.9334e-04	1.1872e-04	5.8522e-04	7.8820e-05	0.0000e+00	0.0000e+00
11.000	9.9934e+01	9.3022e+01	6.9116e+00	-4.9959e-04	-4.8042e-04	1.1951e-04	5.8821e-04	7.8831e-05	0.0000e+00	0.0000e+00
12.000	9.9933e+01	9.3022e+01	6.9116e+00	-4.9720e-04	-4.8312e-04	1.2029e-04	5.9298e-04	8.0120e-05	0.0000e+00	0.0000e+00
13.000	9.9932e+01	9.3021e+01	6.9116e+00	-4.9558e-04	-4.8474e-04	1.2098e-04	5.9654e-04	8.1382e-05	0.0000e+00	0.0000e+00
14.000	9.9932e+01	9.3020e+01	6.9116e+00	-4.9427e-04	-4.8520e-04	1.2164e-04	5.9999e-04	8.2414e-05	0.0000e+00	0.0000e+00
15.000	9.9931e+01	9.3019e+01	6.9116e+00	-4.9334e-04	-4.8428e-04	1.2218e-04	6.0336e-04	8.3422e-05	0.0000e+00	0.0000e+00
16.000	9.9930e+01	9.3018e+01	6.9116e+00	-4.9221e-04	-4.8357e-04	1.2277e-04	6.0687e-04	8.4711e-05	0.0000e+00	0.0000e+00
17.000	9.9930e+01	9.3018e+01	6.9116e+00	-4.9223e-04	-4.8332e-04	1.2363e-04	6.1001e-04	8.4848e-05	0.0000e+00	9.9999e+00
18.000	9.9928e+01	9.3017e+01	6.9116e+00	-4.9213e-04	-4.8320e-04	1.2450e-04	6.1338e-04	8.5487e-05	0.0000e+00	0.0000e+00
19.000	9.9928e+01	9.3017e+01	6.9116e+00	-4.9224e-04	-4.8341e-04	1.2494e-04	6.1600e-04	8.6098e-05	0.0000e+00	0.0000e+00
20.000	9.9928e+01	9.3018e+01	6.9116e+00	-4.9206e-04	-4.8333e-04	1.2570e-04	6.1978e-04	8.6685e-05	0.0000e+00	0.0000e+00
21.000	9.9927e+01	9.3017e+01	6.9116e+00	-4.9294e-04	-4.8304e-04	1.2620e-04	6.2295e-04	8.7205e-05	0.0000e+00	0.0000e+00
22.000	9.9926e+01	9.3015e+01	6.9116e+00	-4.9334e-04	-4.8436e-04	1.2854e-04	6.7614e-04	8.7725e-05	0.0000e+00	0.0000e+00
23.000	9.9923e+01	9.3014e+01	6.9116e+00	-4.9409e-04	-4.8496e-04	1.2719e-04	6.2843e-04	8.8226e-05	0.0000e+00	0.0000e+00
24.000	9.9925e+01	9.3014e+01	6.9116e+00	-4.9493e-04	-4.8575e-04	1.2817e-04	6.3286e-04	8.8724e-05	0.0000e+00	0.0000e+00
25.000	9.9926e+01	9.3013e+01	6.9116e+00	-4.9528e-04	-4.8678e-04	1.2890e-04	6.3653e-04	8.9224e-05	0.0000e+00	0.0000e+00
26.000	9.9924e+01	9.3013e+01	6.9116e+00	-4.9725e-04	-4.8813e-04	1.2966e-04	6.4048e-04	8.9735e-05	0.0000e+00	0.0000e+00
27.000	9.9924e+01	9.3012e+01	6.9116e+00	-4.9897e-04	-4.8982e-04	1.3053e-04	6.4474e-04	9.0286e-05	0.0000e+00	0.0000e+00
28.000	9.9923e+01	9.3011e+01	6.9116e+00	-5.0105e-04	-4.9165e-04	1.3144e-04	6.4931e-04	9.0822e-05	0.0000e+00	0.0000e+00

図2-18 解析結果サマリ表示例

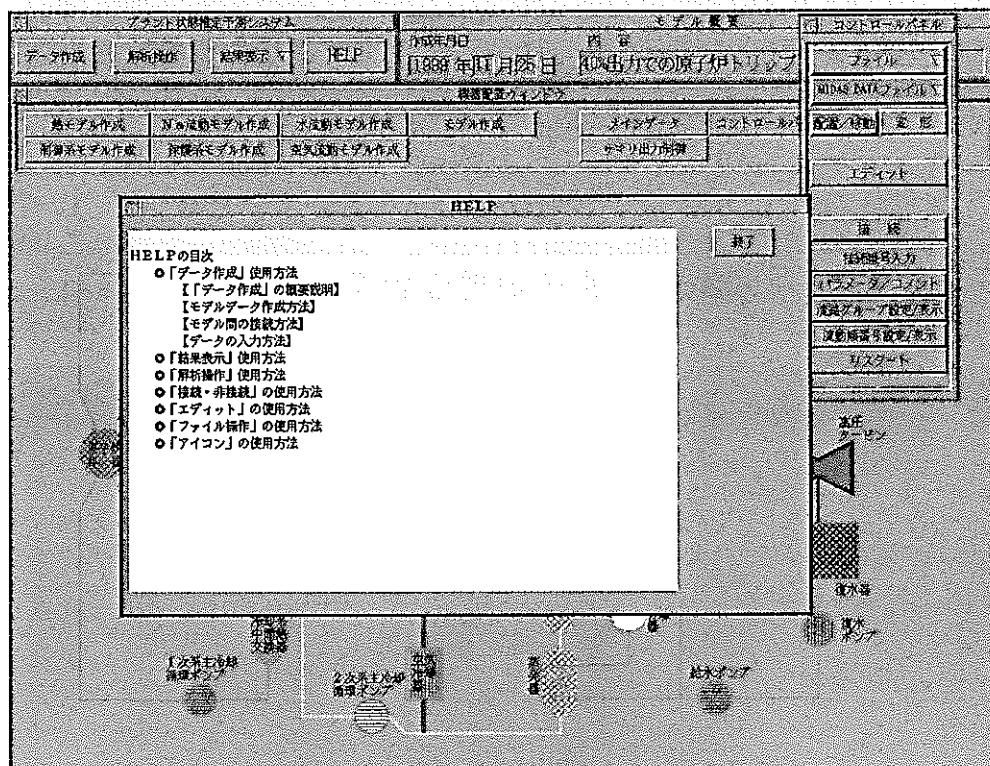


図2-19 ヘルプ画面表示例

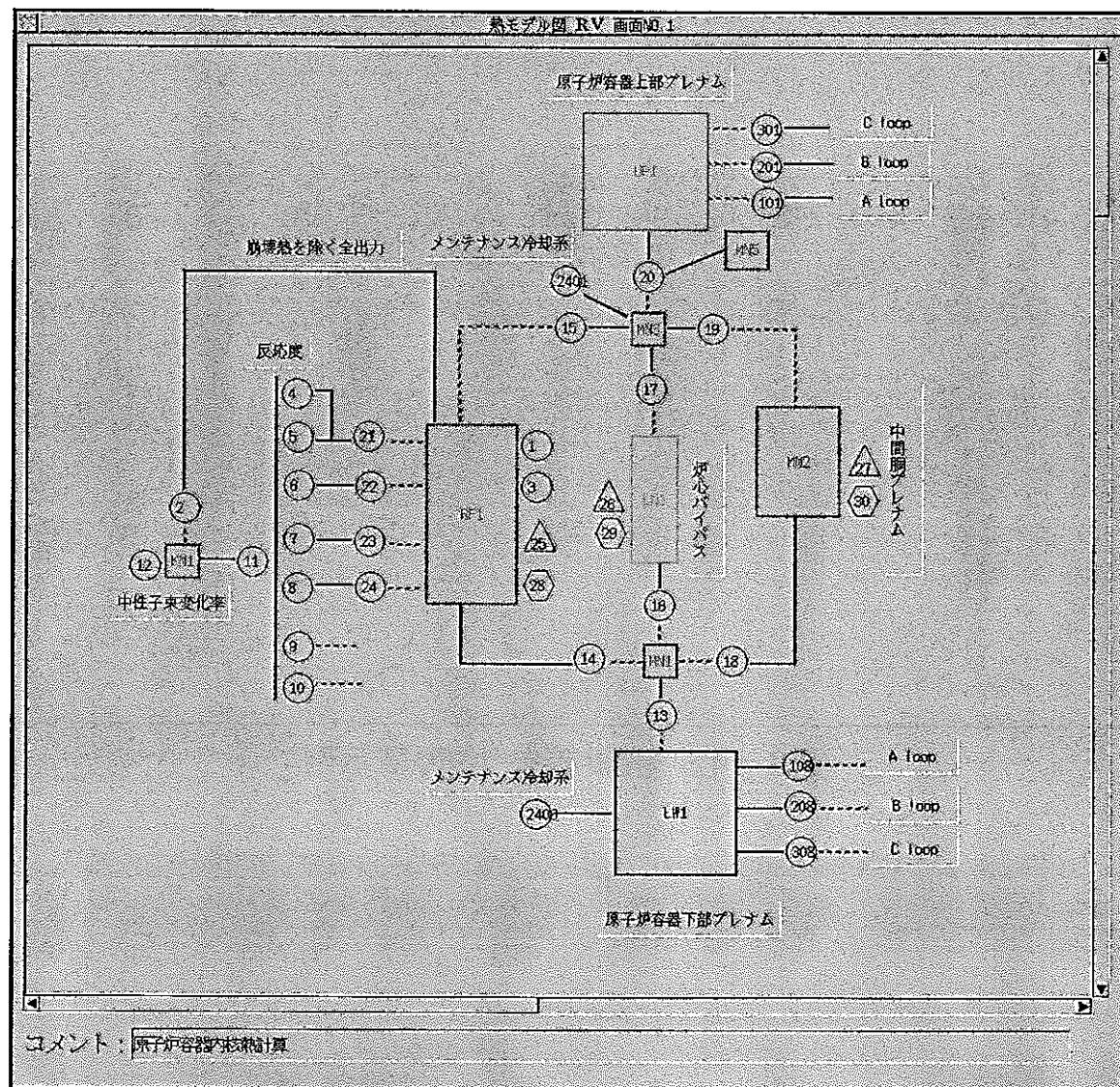


図3-1 原子炉周辺計算モデル

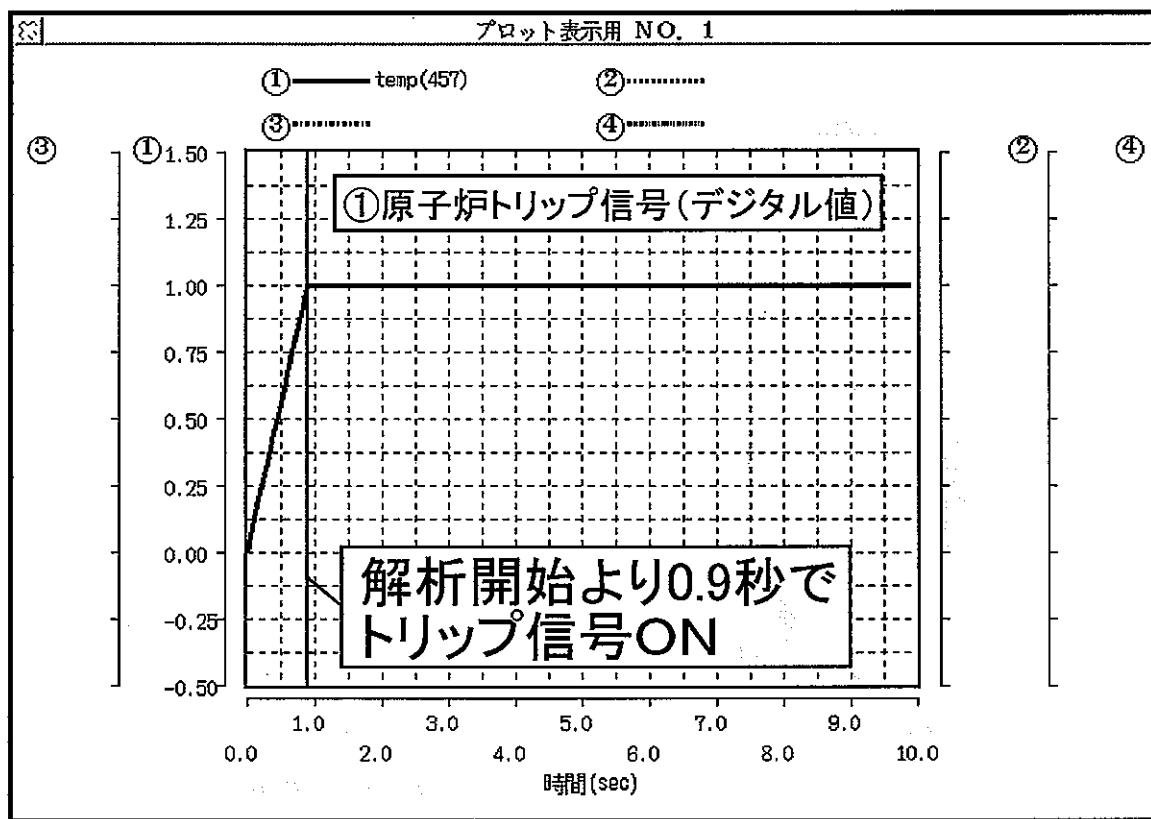


図3-2 原子炉トリップ信号

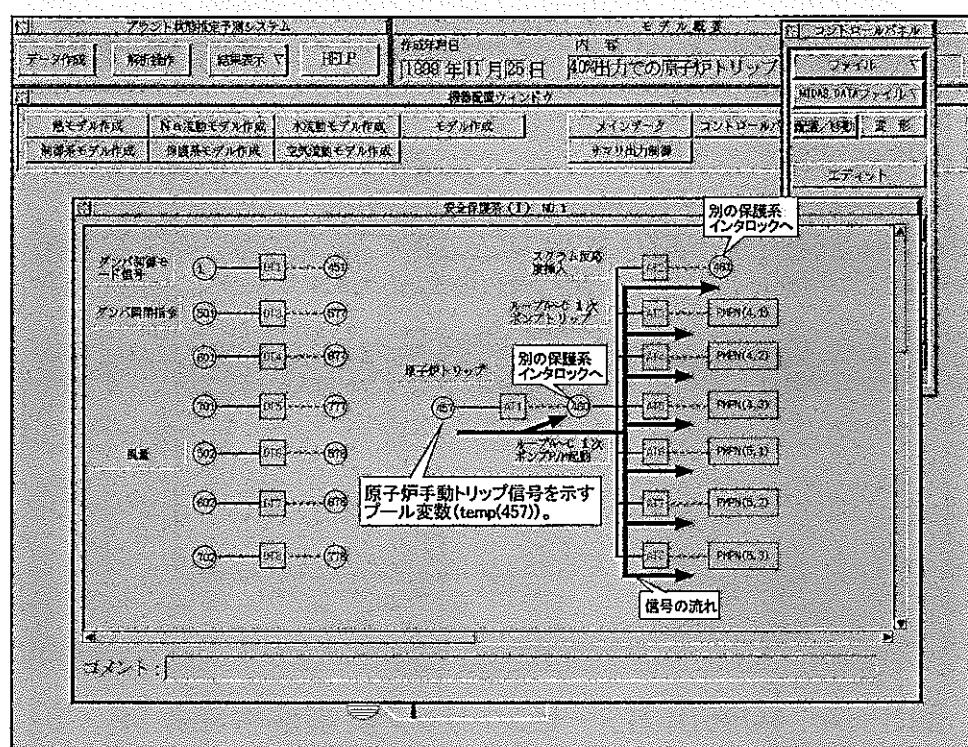


図3-3 安全保護系モデルへの原子炉手動トリップ信号の入力

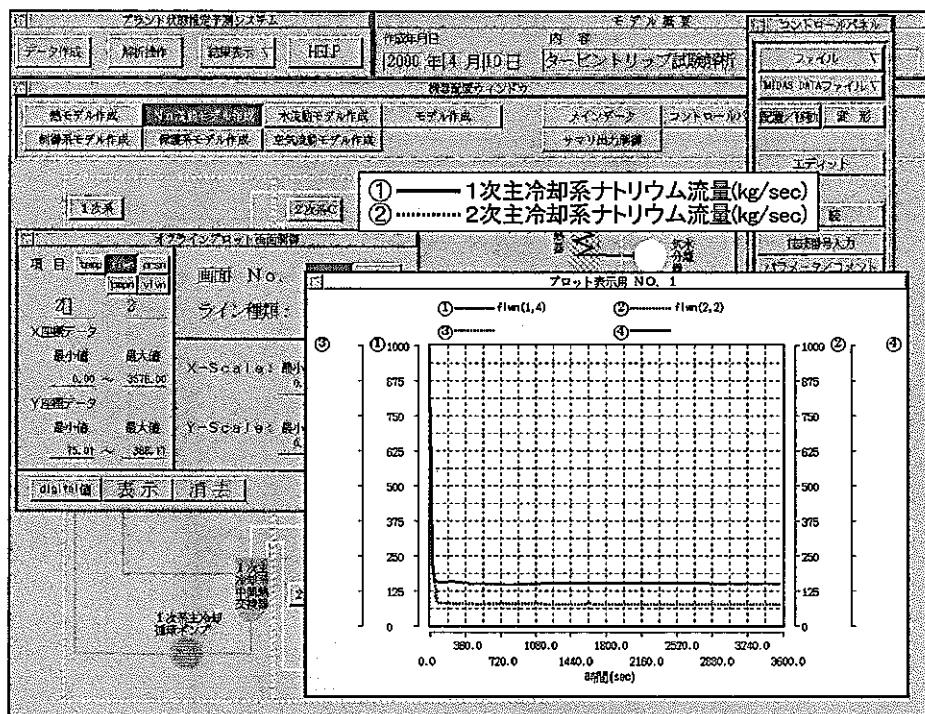


図3-4 40%出力タービントリップ試験解析結果(1/3)

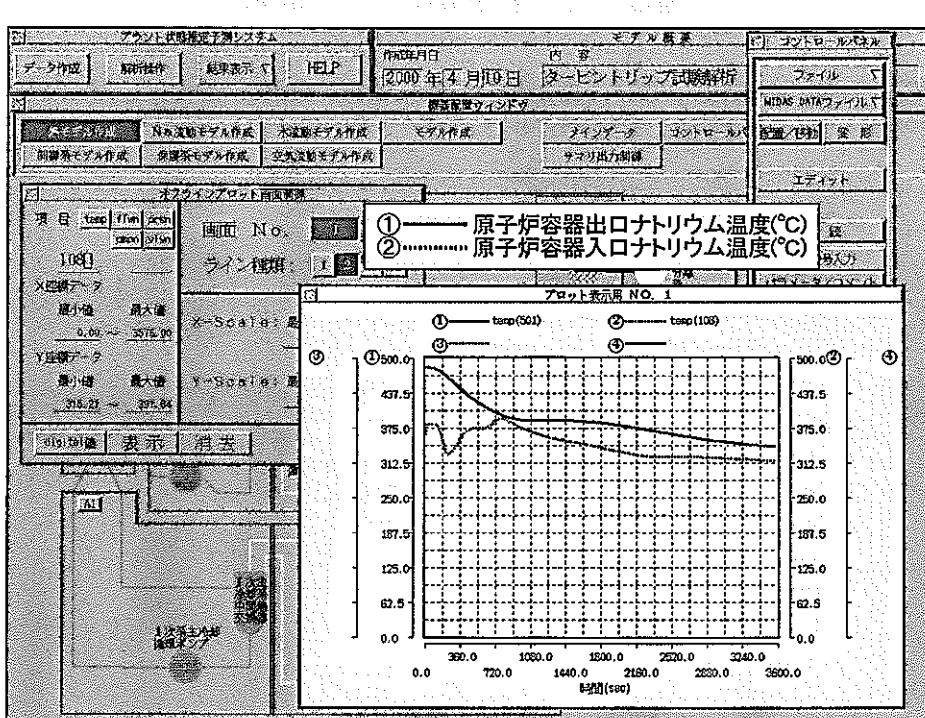


図3-4 40%出力タービントリップ試験解析結果(2/3)

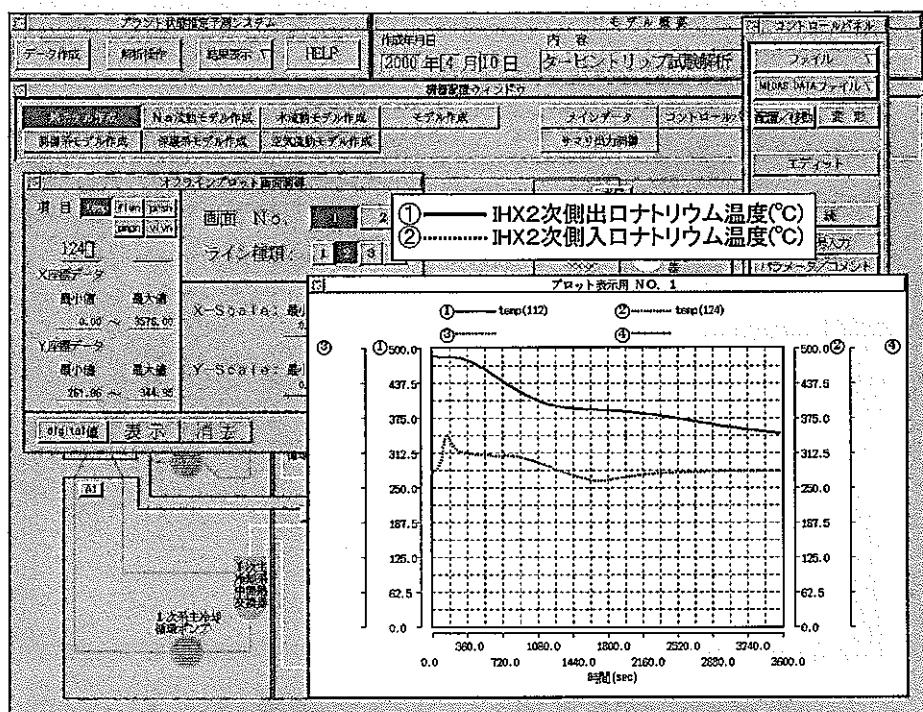
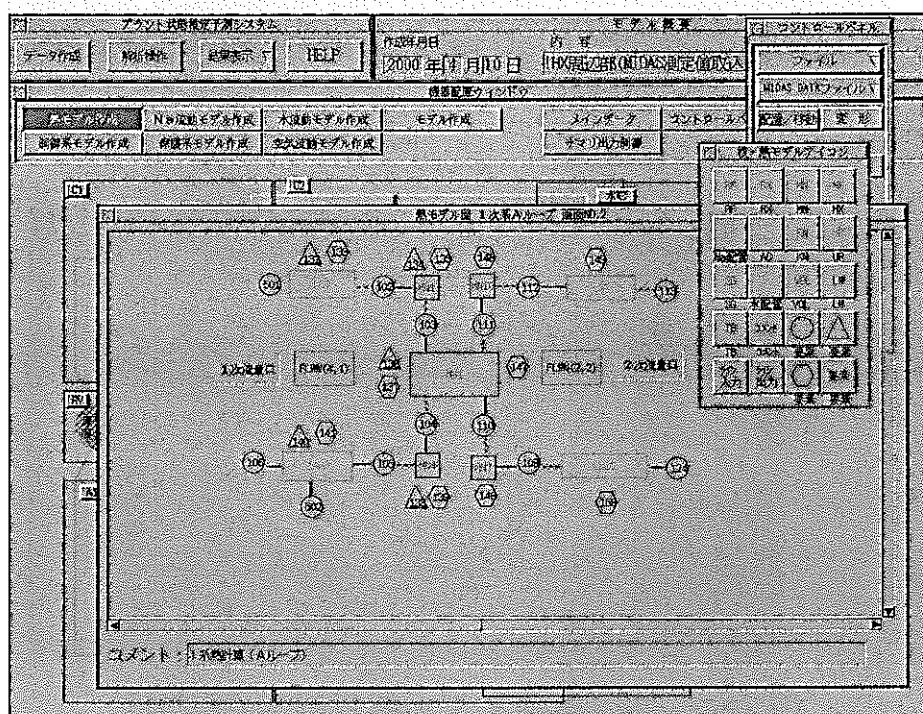


図3-4 40%出力タービントリップ試験解析結果(3/3)



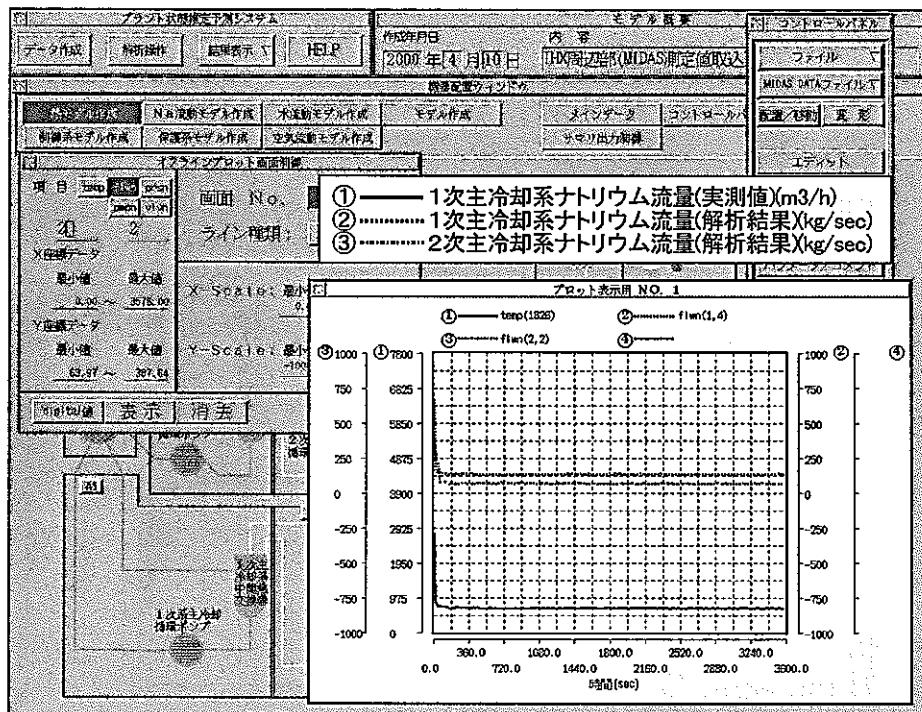


図3-6 IHX単独モデル解析結果(1/3)

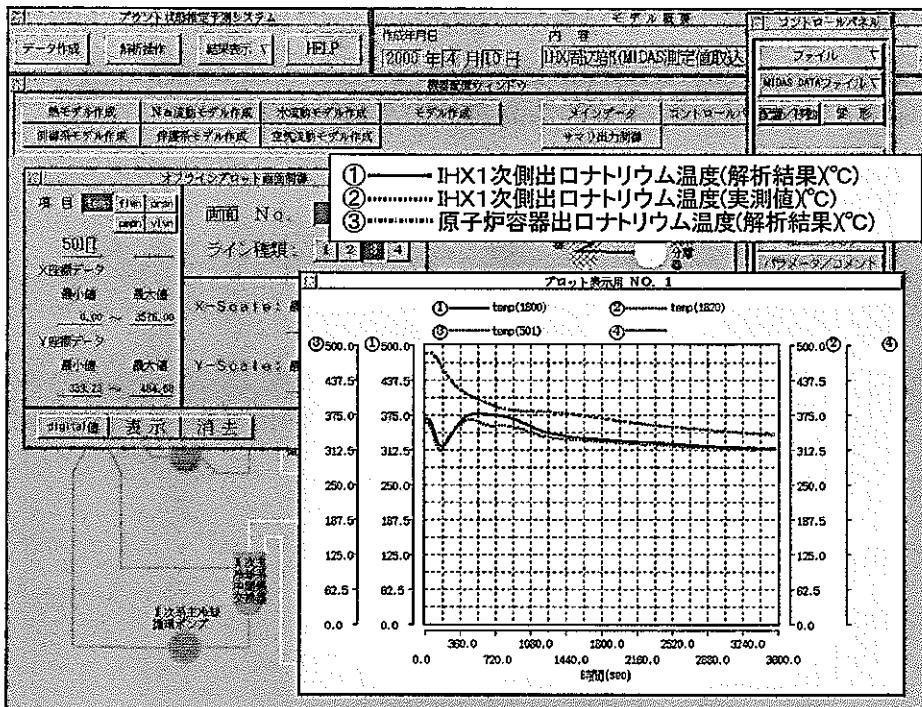


図3-6 IHX単独モデル解析結果(2/3)

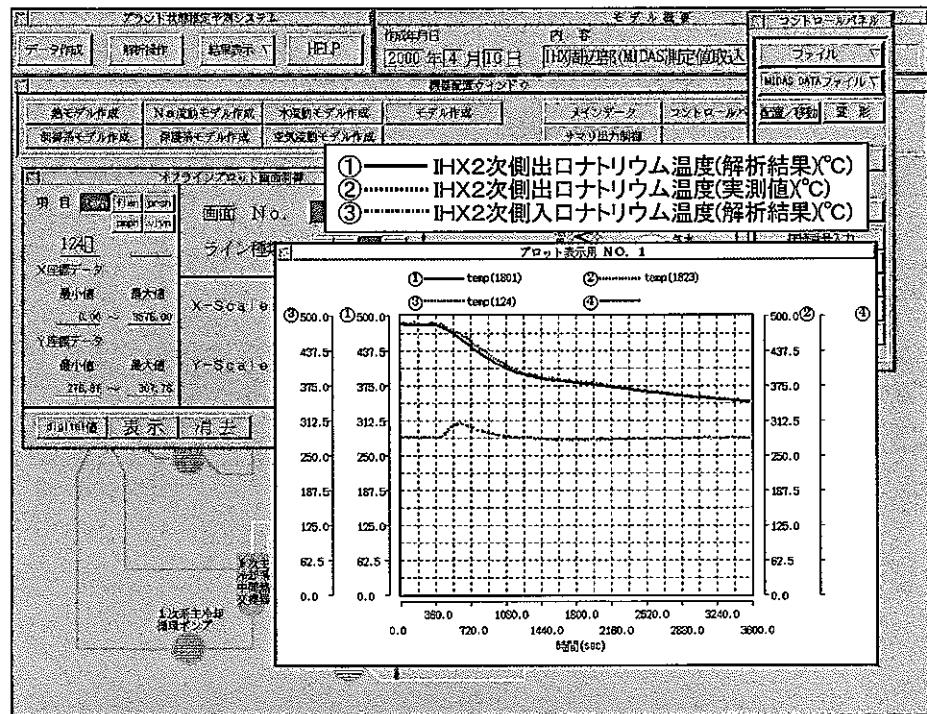


図3-6 IHX単独モデル解析結果(3/3)