

オブジェクト指向による原子炉システム解析支援環境について

吉川 榮和

京都大学原子エネルギー研究所

解析型問題と合成型問題の複合する、複雑な原子炉設計過程へのオブジェクト指向による柔軟な知識ベース化支援環境の構成を研究している。原子力プラントの動特性シミュレーションを対象として、筆者らが開発したモジュール統合型シミュレーションシステムにおけるシミュレーション実行支援用知的インタフェースでのオブジェクト指向による数値入力データ自動設定支援の方法を述べる。次いで、炉心設計における定常核・熱流解析での反復計算過程へのオブジェクトモジュール化と、炉心の階層的な構造形態、材料、物理変数属性の構成を表現するフレーム構造を提案する。

OBJECT ORIENTED SUPPORT ENVIRONMENT
FOR NUCLEAR REACTOR ANALYSIS

Hidekazu Yoshikawa

Institute of Atomic Energy Kyoto University

Object-oriented, knowledge-based support environment is studied for the complex design and analysis process of nuclear reactor system. First, method of intelligent user support for simulation practise is explained, which is incorporated into the authors' developed module-based simulation system for nuclear power plant dynamic simulation. Second, a concept of object-modularization is proposed for (i) the iterative process of coupled neutronics-thermohydraulics calculation, and for (ii) representing frame structure of hierarchical reactor core structure taking into account of geometrical and material configuration with their physical state attributes.

1. まえがき

原子力システムは複雑大規模なプロセスシステムの典型であり、プラントの設計解析や安全評価にコンピュータが多用されているが、近年のコンピュータ技術の著しい進歩により、取り扱う問題も複雑大規模化している。最近の原子力では軽水炉開発が定着化し、今後の方向として核燃料資源の有効利用のための高速増殖炉の実証化、より高度な安全性を目指した固有安全炉の構想等、次世代炉の設計研究が盛んである。このような新型炉の設計研究をより効率的に進めるには、知識情報処理を活用した原子力設計解析法の高度化が要請される。

筆者らはこれまで、知識情報処理の原子炉解析への適用研究として、原子力プラント動特性シミュレーションにおけるソフトウェア生産性向上を目的にモジュール統合型シミュレーションシステム(MSS)⁽¹⁾⁽²⁾を開発し、また軽水炉 LOCA 解析に必要な二相流モデルの選択支援エキスパートシステム⁽³⁾の開発を進めている。また、科学技術庁では、AI やネットワーク技術等の高度情報処理技術の導入により、新型炉の研究開発を効率的に進めるべく、ADES(Advanced Design and Evaluation System)構想⁽⁴⁾を発表し、これに沿って日本原研では知的原子炉設計システム IRDS⁽⁵⁾を開発中である。

本稿では、原子炉設計解析へのオブジェクト指向の適用の観点から、MSS での適用事例と、筆者らが検討中の炉心設計の知的支援への適用検討について述べることにしたい。

2. モジュール統合型シミュレーションシステム(MSS)

2.1 MSS の全体構成

モジュール統合型シミュレーションシステム(MSS)は、コンピュータハード技術の著しい進歩に対してほとんど人間に頼っているソフトウェア開

発作業の生産性向上を図るために開発された。その基本的考え方と機能は以下のようである。原子力プラントの数値シミュレーションを行うためのプログラムでは原子力プラントの形式によらず、コンポーネントや物理現象等を説明する数学モデルの点では共通したモデルを用いることが多く、しかもこれらの共通したモデルを組み合わせるプログラムが作成されていることが多い。そこで、共通に用いられている数学モデルを再利用し易い形式でモジュールプログラムとして作成し、それらのモジュールプログラム群をモジュールライブラリとして蓄積し、モジュールに必要な情報をデータベース化(モジュールデータベース)することにより、再利用性の便宜を図っている。さらに、原子力プラントの数値シミュレーションを行うためのプログラム作成では、人間の思考形式に沿ったインタフェースとの対話型作業により目的に適したモジュールプログラム群をキーワード検索により選択し、その選択結果を基に MSS は目的とするプログラムを自動生成するとともに実行時に必要なファイル環境の設定を行っている。

上述の機能を実現するため、Fig.1 に示すようなシステムソフトウェア群が開発されている。図の中核システム部は、モジュールライブラリ(サブプログラムの本体)、モジュールデータベース、およびモジュール統合用プリコンパイラ HTSC により構成されている。一方、ヒューマンインタフェース部は次の3つのシステムにより人間と中核システムとを円滑に結びつけている。

(1)モジュールデータベース管理システム MDMS

:モジュールライブラリに登録されたモジュールプログラムの利用情報をモジュールデータベースに登録する。また、キーワード検索によりモジュールライブラリから必要なモジュールを選択する。

(2)プログラム統合支援システム SESS-1

:モジュールライブラリから選択したモジュール群を統合し、HTSC を自動起動してシミュレ

ーション実行可能なプログラムと入出力環境を作成するまでを支援する。

- (3) シミュレーション実行支援システム SESS-2
 : シミュレーション実行時において、SESS-1 による生成プログラムの整合性の確認、入力データの設定を支援する。AI ワークステーションである Tektronix 4404 上で、オブジェクト指向言語 Smalltalk-80 を用いて開発されている。SESS-2 による知的ユーザ支援については、次節で少し詳しく述べる。

ここでは b) を中心に述べる。

SESS-2 では、数値シミュレーションを行う際に解析者が用いる 4 つの専門知識や情報、すなわち、

- 1) 各モジュールの計算内容やその引数の使い方、意味等の情報
- 2) 各種物質の物性値やプラント・コンポーネントの寸法・物理定数等のデータ
- 3) プログラム実行上必要な情報
- 4) 対象とする原子炉プラントの構成に関する情報をそれぞれフレーム構造を持った知識ベース (モジュールデータベース、物性値フレーム、プ

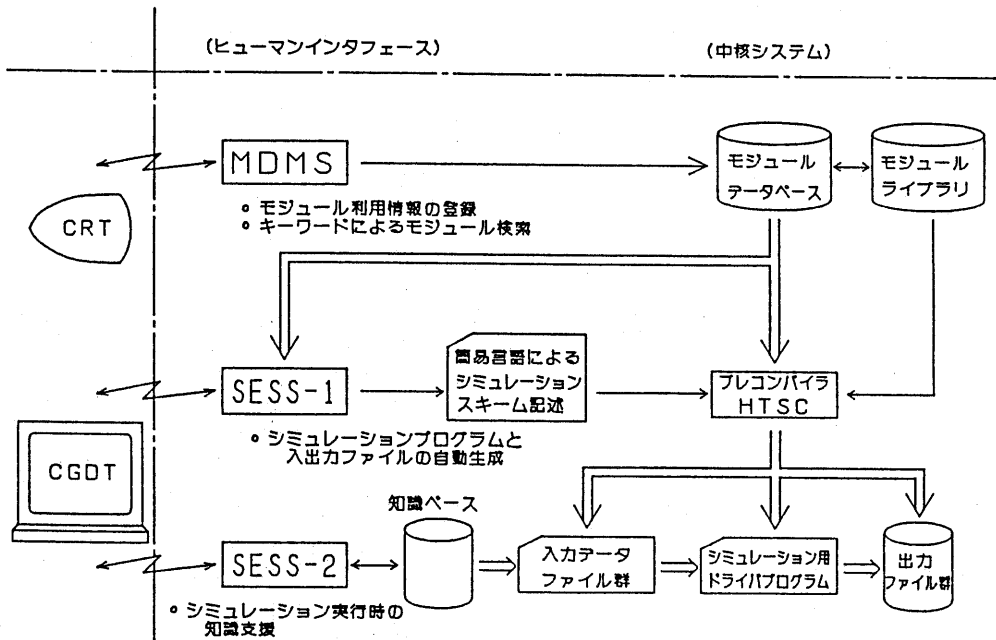


Fig. 1 MSSの全体ソフトウェア構成

2.2 シミュレーション実行時の知的支援システム (SESS-2)⁽²⁾

SESS-2 では、数値シミュレーションを行う際に解析者が行う作業の内、

- a) モジュール統合における入出力変数間の対応、すなわち引数の結線に関する診断、
- b) 計算を実行するための数値入力データの作成に対し、AI 技術を適用して解析者を支援している。

ログラムフレーム、原子炉フレーム) として構成して表現している。

数値入力データ作成支援部の機能は、

- a) デフォルト値や計算式の利用、
- b) データの自動設定、
- c) 重複するデータは一度の入力で設定できる、
- d) 入力データファイルの自動作成、
- e) 操作の容易性とされている。ここでは、数値入力データ作成支援部の要となる b) の数値入力デー

炉心設計は定常問題、準定常問題、および非定常問題の各々の段階および相互間で出力結果を見て入力パラメタを調整して、最終的に満足すべき設計法に到着させる解析型問題と合成型問題の輻輳する複雑な過程である。また、図中の非定常問題は炉心だけではなく原子炉システムを構成する他のコンポーネントモデルをも一体化したシステムシミュレータにより各種の過渡応答を評価するものであり、一般に「原子炉安全解析」と呼ばれる領域であるが、モジュール統合型シミュレーションシステムは主としてこの非定常問題での解析シミュレーションの生産性向上を狙ったものである。ここでは、図中の定常問題の部分 - オブジェクト指向による知的支援の方法論につき基本的な検討を加えるものとする。

3.2 定常問題へのオブジェクト指向の適用の考察

Fig. 3 中の定常問題で要求される設計解析の要素としては、核計算と熱流動計算が重要なものである。図中の「基本構成」は炉心の構成条件を構造形態、材料、定格特性の3点からまとめたものであり、これを用いて核計算に対する入力条件が「領域別同位元素構成条件」、熱流動計算条件に対する入力条件が「冷却チャネル条件」として求められる。ここで、各々の計算部の入力条件は

- ① 相互に他の出力結果を用いることを想定してフィードバックが存在すること、
- ② 「基本構成」から各々の入力条件を求めるには、各々の計算部の数学モデルが規定する特有の幾何学的な構成と材料条件に「変換」する必要がある点である。そして、炉心設計過程では、
- ③ 各々の計算部の出力結果を見て「基本構成」の諸条件を、設計ヒューリスティクスに基づいて設計基準内に治めたり、最適な条件に調整するフィードバック過程がある。

以上の3点を考慮して、定常問題の計算過程をデータとオペレーションのフロー構造として抽象化すると、Fig. 4 (a)のように表すことができる。

図中で D_0 は Fig. 3 中の「基本構成」に対応し、 D_n^n 、 D_n^t は核計算、熱流動計算による出力データ、 I_n^n 、 I_n^t は各々の計算部への入力データ、 N 、 T が核計算、熱流動計算のオペレーション、 M が定常問題最適化オペレーションを表す。この

Fig. 4 (a)の計算構造をデータおよびオペレーションをカプセル化するオブジェクト指向表現で表現すると、Fig. 4 (b)のようになる。図中、 $N+T$ は核、熱流動計算の調整オペレーションを表す。図のように主として核、熱流動計算のパラメタ調整に関わる制御部を「定常問題オブジェクト」、核、熱流動計算に対応する部分を各々「核計算オブジェクト」、「熱流動計算オブジェクト」とし、「定常問題オブジェクト」と他の2つの計算オブジェクト間は、メッセージ交換により処理が渡されるとすると、複雑な計算過程がモジュール化され、準定常問題や非定常問題への拡張性にも富んだ柔軟な構造となると考えられる。

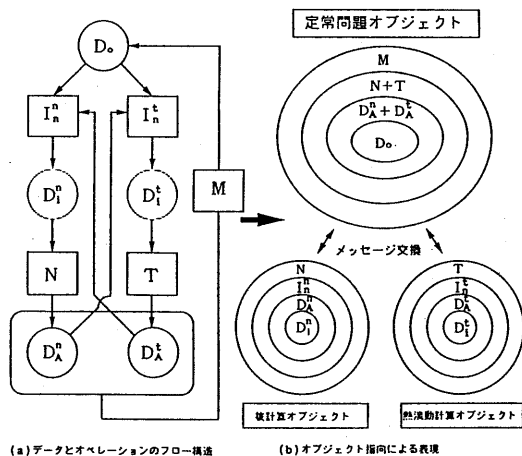


Fig. 4 炉心設計の定常問題のオブジェクトモジュール図

次いで、Fig. 3 中の炉心の「基本構成」について、フレーム構造をもとにオブジェクト指向表現について検討する。Fig. 5 は一般的な炉心の形態の構成を基本的な単品から部品、集合体そして炉心へと至る階層構造で表し、各々の階層レベルで核、熱流動計算に必要な諸属性をスロットとして

表したものである。上位の部材はその直下位の部材を組み合わせて構成されるが、図中の→は、その幾何学的配置情報を表すものとした。また、単品は異なった階層でありうるとした。Fig. 5 のフレーム構造の特色を部材間の階層化レベルと属性の継承と創出の方向、instance、group化、属性の独立、従属関係等について詳しく検討した結果を Fig. 6 に示す。

図中、「配置情報」は直下位の部材の「名称」

を用いて幾何学的な組立方法を記述するものである。具体的には組立てロボットでの記述言語のような方法がメソッドとして適用されるであろう。また、「形状寸法」はより上位の部材の「配置情報」の記述上必要な外観形状を、その「配置情報」から演算するものである。以上のようなフレーム構造により、構造形態、材料、状態変数といった異なった情報を有する炉心の「基本構成」を柔軟に記述することが可能である。

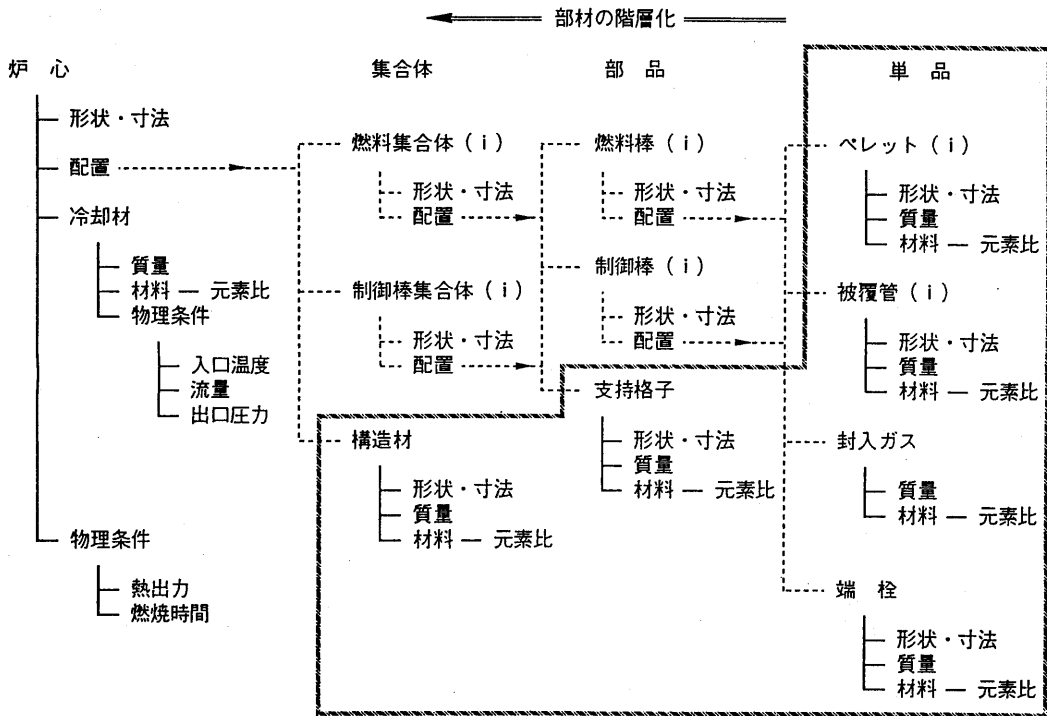


Fig. 5 炉心の基本構成のフレームによる記述

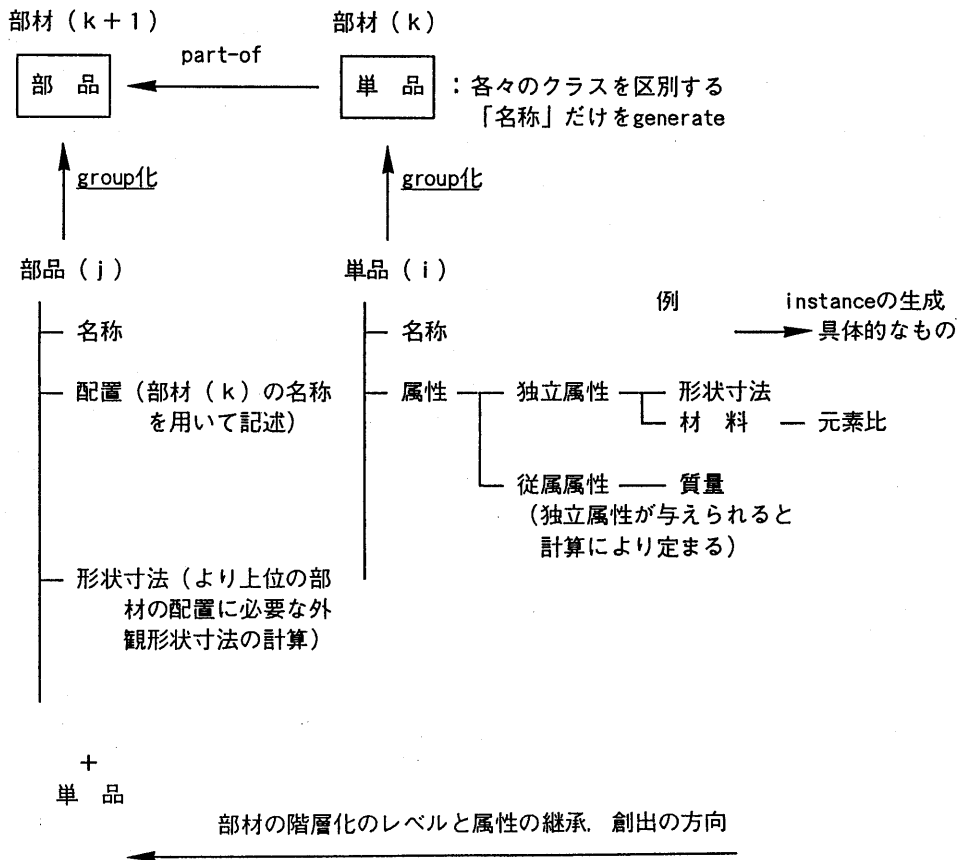


Fig.6 部材属性の記述方法

4. 結び

本稿では、原子炉設計解析へのオブジェクト指向の適用について、①原子力プラント解析用モジュール統合型シミュレーションシステムでの具体例、および②炉心設計への適用を考察した結果を述べた。なお、②については、大阪科学技術センターでの「先端的計算機利用技術調査委員会」（委員長 山田 澄 摂南大学教授）での研究の一環として考察を進めたものである。委員各位の討論コメントに謝意を表す。

- 参考文献 -

(1) 吉川, 他: 原子力プラント解析用モジュール統合型シミュレーションシステムにおけるプログ

ラム開発支援インタフェースの開発, 日本原子力学会誌, Vol. 30, pp. 699-713 (1988).

(2) 吉川, 他: モジュール統合型シミュレーションシステムへのシミュレーション実行支援用知的インタフェースの開発, 日本原子力学会誌, Vol. 30, pp. 802-814 (1988).

(3) 森本, 五福, 他: 気液二相流過渡解析モデル選択支援の計算機支援システムの開発, 日本計測自動制御学会・ヒューマンインタフェース部会第6回ヒューマンインタフェースシンポジウム pp. 143-148 (1990).

(4) 五来: ADES (新型炉創出のための高度原子炉設計支援システム) 構想の推進について, 日本原子力学会誌, Vol. 32, pp. 49-55 (1990).

(5) 土橋, 他: 知的原子炉設計システム IRDS の開発 JAERI-M 90-177 (1990).