

複合領域設計統合支援システムのための モデリングプロセスのマネジメントに関する研究

Research on the Management of Modeling Process for Integrated Design Supports of Multidisciplinary Systems

正 野間口大 (大阪大) 学 田口智祥 (大阪大)
正 藤田喜久雄 (大阪大)

Yutaka NOMAGUCHI, Osaka University, 2-1, Yamadaoka, Suita, Osaka 565-0871, JAPAN
Tomohiro TAGUCHI, Osaka University
Kikuo FUJITA, Osaka University

An engineering analysis model is indispensable to predict the behavior of a product for its rational evaluation and optimization. In the process of modeling engineering analysis, an engineer makes numerous modeling idealizations or assumptions, which depend on a various factors of design, such as the objectives of the engineering analysis or design time constraints. Knowledge about such modeling idealizations is dynamic in nature. Because a today's product is getting more large-scaled and multi-disciplinary, management of dynamic knowledge about modeling engineering analysis becomes more important. This research aims to develop the system that supports and captures the process of modeling engineering analysis of a multidisciplinary system. This paper discusses issues of supporting a multidisciplinary design, and overviews development of a supporting system.

Key Words : Design knowledge, Modeling process, Design process, Engineering analysis model

1 緒言

製品やシステムの設計においては、実際に試作を行う前に設計対象の挙動を予測して所定の性能を有しているかどうかを合理的に評価するために、物理現象に基づく数理的な解析モデルを構築して挙動のシミュレーションを行うことが不可欠である。本来、製品やシステムの挙動には様々な物理現象が関連しており、本質的に複雑な複合領域問題となっているのであるが、シミュレーションを行う際には、解析に求める精度や計算コストなど様々な要因を踏まえて製品やシステムの挙動のある一部分に着目し、簡略化された解析モデルを構築する。このため解析モデリングにおいては、物理現象に関する体系的な知識が必要となることはもちろんであるが、本来は開放系の問題である複合領域設計問題をいかに限定して閉鎖系の問題としたかというそのモデリングの過程が重要であり、モデリングにおける知識はこの過程に存在する。その動的性のため、モデリングの知識は、設計過程の中で獲得し、記録し、抽出して、再利用できるように管理する必要がある。

本研究は、複合領域設計における解析モデルを導出する過程を支援し、そこで用いられる知識を獲得、管理するシステムの開発を目的とする。著者らのグループでは、種々の設計ツール上で行われる設計過程を自動的に獲得、管理する DRIFT⁽¹⁾⁽²⁾と呼ぶ枠組みの開発を行っており、本研究ではこの DRIFT を利用して支援システムを構築することを考える。本報では、複合領域設計に関する課題

を整理し、その支援に対する要件を挙げてシステム開発の展望を述べる。

2 複合領域設計におけるモデリング支援の課題

本節では複合領域設計とその評価のためのモデリング支援に関連する課題を述べる。

2.1 CAE 技術の進展と解析モデリング 物理現象の数理的なモデルに基づいてシステムの挙動をシミュレートする各種の CAE 技術は近年めざましく発展しており、その設計への活用が進められている。設計したものが所定の性能を有しているかどうか、実際に試作試験する前に確認しておくことは、製品開発の精度向上、効率向上のために重要である⁽³⁾。複合領域問題に対しても、別々の支配方程式で表される物理現象が互いに関係をもつような複雑な現象を、それぞれの方程式を関連付けて解く連成解析を行うシステムも開発されている。

しかしながら、CAE は試作や実験とは異なり、システムに関連する現象自体がそこで明らかになるわけではなく、想定した物理現象の程度を定量的に提示するに留まる。このため CAE に頼るのではなく、従来設計者が行ってきたようにシステムに関連する物理現象の本質を損なわないで簡略化した解析モデルを作り、上手く「中り」を付けることが重要であるとの指摘がある⁽⁴⁾。つまり、CAE 技術の進展が設計の効率化に貢献することは疑いの無いことであるが、それによって従来の解析モデリングの知識が無用となることはなく、むしろその重要性が高まっているとも言える。

2.2 設計の段階に応じたモデルの切り替え 解析モデルによる設計の評価を行う際には、背後にある物理法則や工学的知識に基づいて設計対象をサブシステムに分割した上で、それぞれの部分で適切に簡略化された解析モデルを構築したり、また同じサブシステムに関しても設計の上流段階では簡略化されたモデルでの解析を、下流段階ではより詳細なモデルでの解析を行うなど、複数の異なるモデルを使い分けることが一般に行われる。例えば、図1に示す回転ドラムの設計において、設計の初期で大まかな方向を見定める段階においては、材料強度の視点から回転ドラムの支持棒に着目した梁モデル、振動の視点から支持棒の接続部に着目したばね・ダンパー系モデル、などの簡略化されたモデルによる解析を行う。この段階では、複数の設計案を評価するために解析を繰り返し早く行いたいので、モデルは簡単で計算コストの小さいものにする。一方、ある程度設計案の方向性が決まった後で詳細な検討を行う場合には、多少の計算コストを費やしても精度の高い解析が必要となるので、回転ドラム全体に対してFEMによるシミュレーションを行うことも考えられる。

このように、設計を進めていく中での解析モデリングに着目した場合、必要な精度と計算コスト、計算時間を考慮して、どの段階でどのモデルを利用するかを適切に判断する必要がある。

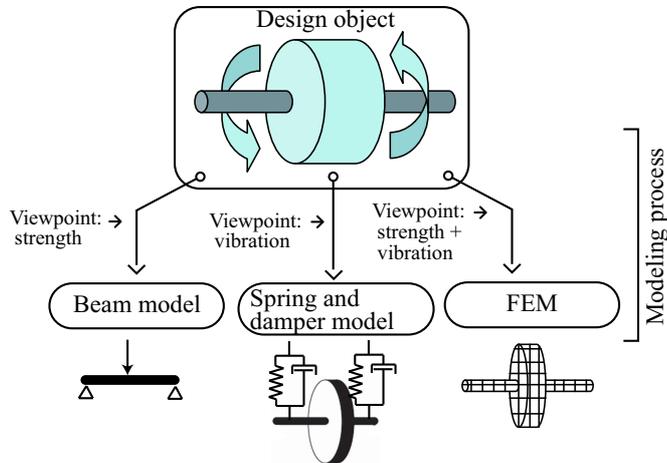


Fig. 1 Multiple models for engineering analysis

2.3 知識獲得過程としての設計 一方で Schön は、悪構造問題としての設計に言及し、設計者の問題解決のプロセスにおいては、物理法則や各種の規範などの体系化された知識を現実の問題に適用して問題解決を行うだけでは不十分であり、問題の設定とそれに対する解の提案を交互に繰り返しながら、問題に対する知識を得て、解くべき問題とその解を同時に決めていく必要がある、という指摘を行っている⁽⁵⁾。この指摘は複雑なシステムの合理的な設計において、より重要なものとなる。設計における解析モデリングの文脈においてとらえれば、解析

モデリングにおいて物理現象に関する体系的な知識が必要となることはもちろんであるが、それに加えてモデリングにおける視点の設定や境界条件の設定、設計の段階に応じた簡略化の程度を判断するためのノウハウ的な知識が重要である⁽⁶⁾。つまり、本来は開放系の問題である設計問題をいかに限定して閉鎖系の問題としたかというそのモデリングの過程が重要であり、モデリングに関する知識はこの過程に存在する。これらのモデリングに関する知識は、その動的性により、設計過程の中で獲得し、記録し、抽出して再利用できるように管理する必要がある。従来の設計支援技術、とくに解析モデルに関連する設計支援技術は、設計がすでに閉鎖系の問題として切り出されていることを暗黙の前提として進められてきたが、Schön の指摘を踏まえれば、複合領域設計の支援システムは、解析モデリングの過程における知識獲得の問題に取り組む必要があると考えられる。

3 仮想例題設計のもとでの考察

2.1～2.3項で述べた課題を、図2に示す加熱器の仮想的な設計例題を踏まえながら具体的に示す。

この加熱器は、内部に配置された加熱管によって、下部の入口から上部の出口に向かって流れる水を加熱するものである。入口部での水の平均温度は293Kで、出口部の平均温度を320K以上とすることが仕様として与えられている。

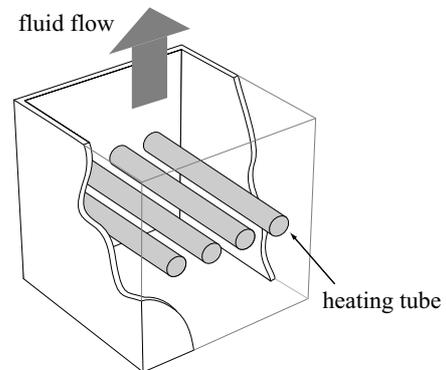


Fig. 2 Schematic view of heater

まず、容器出口の平均温度は管の本数に依存するところが大きいと考え、管の本数についていくつかの案を検討して、それぞれの出口温度を評価することにする。ここで加熱器の挙動を、熱伝達と流体の運動の2つの物理現象が関連する複合領域問題としてモデル化する。解析にあたっては汎用連成解析FEMソフトウェアであるCOMSOL Multiphysics^{†1}を用いた。

設計の初期段階で大まかな方向を見定めるために、加熱管の軸方向で流れ特性に変化が無いことを仮定し、さらに加熱管周りの対称性を考慮して、図3に示す1次元のモデルを構築した。このモデルでの解析によると、加

^{†1} COMSOL Multiphysics は COMSOL 社の登録商標である。

熱管 4 本では出口部分の温度が仕様を満たさず (図 3(a)), 6 本なら仕様を満たすことが分かった (図 3(b)).

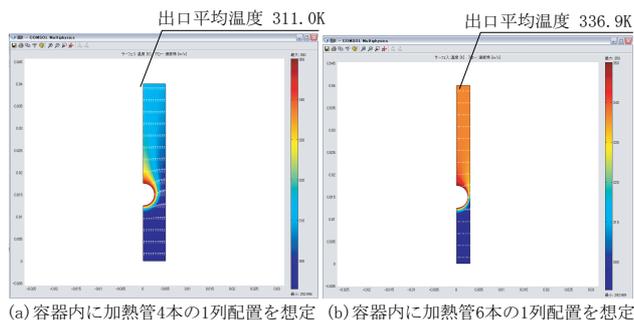


Fig. 3 Evaluation by simplified 1D model

設計案の方向性が決まったので、この案でのより詳細な検討を行うため、図 4 に示すような加熱容器全体の 2 次元モデルを作成した。すると、加熱管の配置によって出口温度に差が出るのが分かった。これは、図 3 の 1 次元モデルでは考慮していなかった隣接する加熱管による水温上昇の影響が、熱伝達効率に大きく寄与していたためである。図 4(a) のように 6 本の加熱管を 1 列に配置した場合、加熱管の間隔が十分でないために管の間の流速が落ちて熱伝達効率が小さくなり、出口部の平均温度が 317.7K に留まり設計仕様を満たさない。そこで、加熱管の間隔を十分に確保するために図 4(b) のように加熱管を 2 列に配置するよう設計変更を行った。再び同様のモデルで解析を行うと、容器出口の平均温度が 322.9K となり、仕様を満たしたのでこれを解とした。

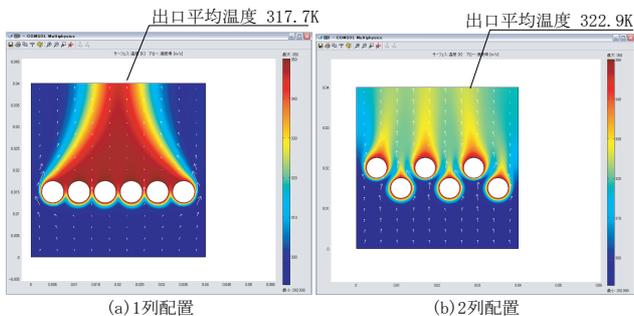


Fig. 4 Evaluation by 2D model of the whole system

4 支援システム開発の展望

本節では前節までの議論に基づき、複合領域設計支援システムに対する要件を整理し、支援システム開発の展望を述べる。

4.1 支援システムの要件 3 項で示した加熱器の設計では、対流熱伝達と流体の運動の 2 つの物理現象を考慮して数値モデルを構築した。また、設計の段階に応じて、簡略化の程度の異なるモデルを構築した。複合領域設計支援システムではこのように、状況に応じて異なる複数の解析モデルを利用できる必要がある。

これについては、3 項の設計例題で用いた COMSOL Multiphysics を始めとして各種の汎用練成解析 FEM ソフトウェアが開発されており、これらを利用することが考えられる。

また、加熱器の設計例題で見たように、設計には試行錯誤が不可欠であるが、評価のための解析モデリングにおいても簡略化の程度や境界条件の設定には複数の代替案が考えられるため、その過程も試行錯誤で進めていくことになる。2.3 項で述べたように、モデリングの知識はこの過程に存在する。このため複合領域設計支援システムは、設計変更やモデリングにおける複数の代替案を並列に評価したり、以前の解や問題設定に戻って設計等をやり直すといった操作が可能であるだけでなく、その過程を獲得し、記録し、抽出して再利用できるように管理する必要がある。

4.2 DRIFT の利用 著者らのグループでは、試行錯誤の過程を獲得、管理するための枠組みとして、設計過程において途中で破棄された案も含めて設計者が用いた知識や情報を管理し、それらを設計者に負担をかけずに設計と同時に明示的に獲得する、DRIFT と呼ぶ枠組みを開発している⁽¹⁾⁽²⁾。本研究では、解析モデリングの過程を獲得、管理するためにこの枠組みを採用する。図 5 に DRIFT に基づいて開発する支援システムの概略を示す。DRIFT は、設計対象をシンボリックに表現する概念モデルを備えており、そのモデルを中心に、設計過程における概念モデルの局面の変遷を記録する部分、概念モデルへの操作を行うためのインターフェースを提供する部分、概念モデルの上で展開された設計過程を操作する部分、の 3 つのサブシステムから構成されている。

本研究では、設計者が実際に操作を行うインターフェース部に、3 節で用いた COMSOL Multiphysics を組み込み、種々の視点の下での解析モデル構築を可能とする。また DRIFT の機能により、COMSOL Multiphysics 上で 3 節に示した設計例題を行うと、図 6 に示すような設計過程を自動的に記録されることになる。設計者は DRIFT の機能により、以前の設計案に戻ったり、他の案を試してみたりすることができる。

4.3 解析モデリングのオントロジー DRIFT を利用するためには、設計対象のモデルを構成する概念と、その上での設計操作の 2 点に関するオントロジーを定義する必要がある。本研究で開発する支援システムの場合、そのオントロジーは解析モデリングに関する概念とその上での操作である。

(1) 概念 解析モデルの概念に関しては、知識に基づいた設計解析支援の立場からの研究がいくつか展開されている。例えば関谷らは、実体、関係、属性、物理現象などといった、設計対象のシステム構造とそれに関連する物理現象を定性的に表現するためのオントロジーを定義している⁽⁷⁾。このオントロジーにより、機能モデリン

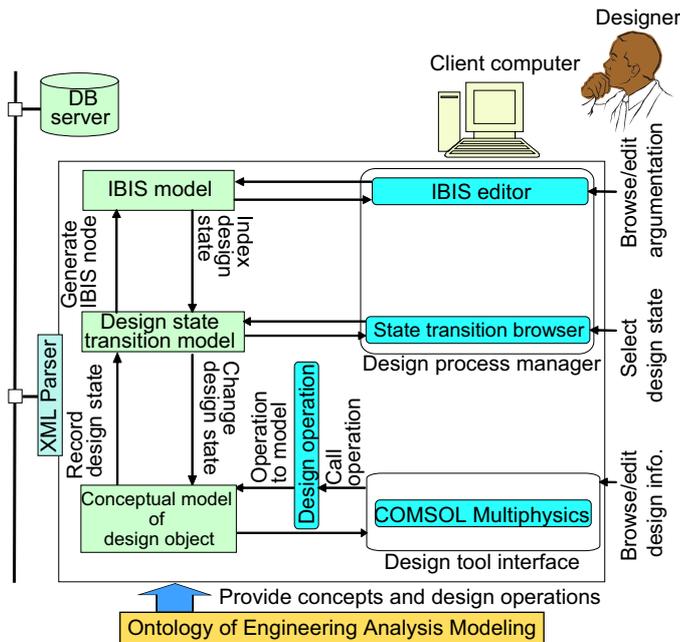


Fig. 5 Architecture of DRIFT-based support system

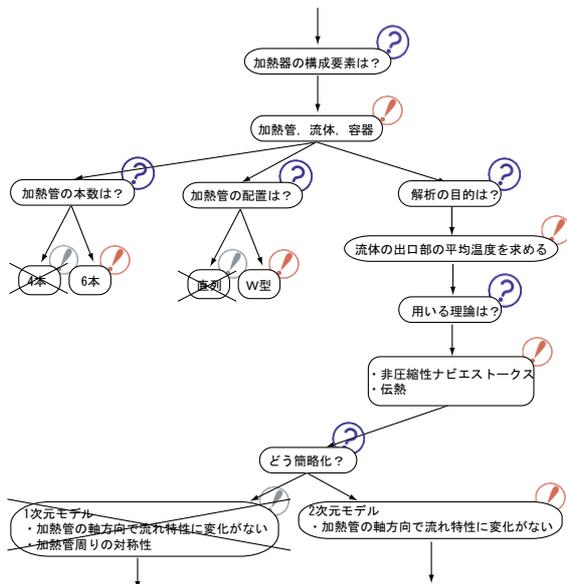


Fig. 6 Captured modeling process

システムなどの種々の概念設計ツールと解析モデルとを、メタモデルと呼ぶ概念モデルの下で統合することができる。また Grosse らは、解析モデルの事例データベースを作成することを目的とし、その基盤となるオントロジーを構築している⁽⁶⁾。このオントロジーにはモデルの前提条件や簡略化の程度などといった、主にモデリング過程に関わる概念が含まれている。

本研究で開発する設計支援システムのオントロジーは、Grosse らのオントロジーのように解析モデリングの過程における簡略化や条件設定などの概念に加え、複数の解析モデルを統合的に管理するために、関谷らのオントロジーのように設計対象のシステム構造と物理現象を定性的に表現する概念を含んだものである必要がある。

(2) モデリング過程における操作 モデリング過程の操作については、主として 90 年代前半に盛んに行われた自動モデリングに関する研究事例⁽⁸⁾の中に見ることができる。それらの知見は本研究においても参考になるものの、主に計算機によるモデルの自動合成を目的とした操作であるため、本研究で目的とする、設計者が行う試行錯誤を含むモデリング過程を記録するための操作としては不十分である。

一例として、図 6 に示すようなモデリング過程を獲得することを想定した場合、解析の目的の設定、用いる基礎理論の設定、簡略化の設定、モデルの境界条件の設定、などといった操作を定義する必要がある。

5 結論

本報では、複合領域設計に関する課題を整理し、システムに対する要件を挙げてシステム開発の展望を述べた。このシステムは著者らが開発を進めている DRIFT システム⁽¹⁾⁽²⁾に、汎用練成解析 FEM ツールを統合したものである。このシステムにより、複合領域設計において解析モデルを導出する過程を記録し、その過程で用いられるノウハウ的な知識を獲得、管理して、後の設計において再利用することが可能になると考えられる。

文献

- (1) Nomaguchi, Y., Taguchi, T. and Fujita, K., "Knowledge Model for Managing Product Variety and its Reflective Design Process," *Proceedings of ASME 2006 International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference*, (2006), DETC2006-99360.
- (2) Nomaguchi, Y. and Fujita, K., "An Integration Framework for Advanced Knowledge-based Design Supports - A Viewpoint of DRIFT Paradigm -," *Proceedings of Design Engineering Workshop 2007 (7th IJCC Japan-Korea CAD/CAM Workshop)*, (2007), pp. 70-75.
- (3) 大富, 初歩から学ぶ設計手法 - 多様なツールにふり回されないための、戦略的設計開発の考え方 -, (2007), 工業調査会.
- (4) 菊池, "巻頭言: ファーストオーダー・アナリシス," 豊田中央研究所 R&D レビュー, Vol. 37, No. 1, (2002).
- (5) Schön, D. A., *The Reflective Practitioner. How Professionals Think in Action*, (1982), Basic Books Inc. [邦訳: ドナルド・ショーン, (佐藤, 秋田訳), 専門家の知恵. 反省的実践家は行為しながら考える, (2001), ゆみる出版.]
- (6) Grosse, I. R., Milton-Benoit, J. M. and Wileden, J. C., "Ontologies for Supporting Engineering Analysis Models," *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing*, Vol. 19, No. 1, (2005), pp. 1-18.
- (7) 関谷, 吉岡, 富山, オントロジーを用いた統合的設計支援環境の実現, *人工知能学会誌*, Vol. 14, No. 6, (1999), pp. 1051-1060.
- (8) 西田, 定性推論の諸相, (1993), 朝倉書店.