複数の設計対象モデルを扱う設計過程モデル*

吉岡 真治^{*1}, 中村 雅彦^{*2}
富山 哲男^{*3}, 吉川 弘之^{*4}

A Design Process Model for Handling Multiple-Design-Object Models

Masaharu YOSHIOKA, Masahiko NAKAMURA,
Tetsuo TOMIYAMA and Hiroyuki YOSHIKAWA

An intelligent CAD system aims at serving a designer as an intelligent, integrated design environment. For building such a system, development of a large scale knowledge base is necessary. To do so, design knowledge must be systematically formalized, made computable, and organized. Design knowledge has two categories; i. e., design object knowledge and design process knowledge. In our previous reports, we have formalized a computable design process model to represent design process knowledge and the concept of a metamodel dealing with multiple design object models. This paper proposes a framework to achieve a harmonized combination of these two. In this framework, the computable design process model navigates the metamodel mechanism to generate and modify models of the design object. We describe a prototype system and illustrate an example of ship design.

Key Words: Computer-Aided Design (CAD), Modeling, Computer-Aided Analysis, Design Process

1. 結 言

近年, メカトロニクス機械の設計などでは, 設計者がさまざまな領域の知識を柔軟に利用しながら設計を進めることが要求されている。しかし, 一人の設計者がすべての領域に関する知識を扱うことは困難であり, 設計した結果が予想外のものになる場合がある。そのため, 設計を高度に知的に支援するインテリジェント CAD が必要であると考えられている。

このインテリジェント CAD の目標は, 設計者にさまざまな設計知識を提示することと, それを高度に利用できる環境を提供することである。すなわち, インテリジェント CAD にはさまざまな領域にまたがる設計知識を体系化し計算可能な形で大規模に実装することが必要である。

設計知識は設計という行為に関する知識である設計過程知識と, さまざまな対象領域に関する知識である設計対象知識の大きく二つに分類することができる⁽¹⁾。我々はこの2種類の設計知識に関する体系化の

研究を並行して進めてきた。例えば, この設計過程知識を定式化するモデルとして, 計算可能な設計過程モデル⁽²⁾を提案し, 設計対象知識を統合的に扱う枠組として, さまざまな観点から設計対象を表現したアスペクト・モデルを統合的に扱うことのできるメタモデル機構⁽³⁾, 概念設計段階において重要な役割を果たす機能を表現する枠組である FBS (Function-Behavior-State) モデラ⁽⁴⁾を提案してきた。しかし, この計算可能な設計過程モデルの研究では設計過程の再現に主眼をおいていたため, その設計対象の表現能力に乏しく, メタモデル機構や FBS モデラの研究では, 複数の観点のモデルをどのように切替えて使うべきかといった設計過程の情報に関する観点が欠如していた。よって, これらの研究を統合し, お互いに合い補う必要がある。

そこで本研究では, 設計過程知識について行われてきた研究と設計対象知識について行われてきた研究を統合し, これらの2種類の知識を統一的に扱うことができる枠組の作成を目的とする。まず, 設計過程知識を設計対象知識を用いるための知識, すなわちさまざまな設計対象モデルを操作するための知識であると考え, 設計過程知識を定式化する。次に今までに提案してきた設計過程モデルおよび設計対象モデルを統合化

* 原稿受付 平成 6 年 3 月 28 日。

^{*1} 准員, 東京大学大学院 (〒113 東京都文京区本郷 7-3-1)。^{*2} NTT ユーザシステム部 (〒261 千葉県美浜区中瀬 1-6)。^{*3} 正員, 東京大学工学部 (〒113 東京都文京区弥生 2-11-16)。^{*4} 東京大学。

する枠組について述べる。また、この枠組に基づいてシステムを作成したので、船の設計を例にとりシステムの実行例を述べる。

2. 設計過程モデルと設計対象モデル

2.1 計算可能な設計過程モデル 武田ら⁽⁵⁾は被験者に模擬的に設計を行わせて、その設計行為を観察する設計実験を行い、設計行為の分析を行った。その結果、設計者はその設計過程において、逐次的に問題解決を行っていること、および一つ一つの問題解決が、「問題提起」「提案」「展開」「評価」「決定」の5段階からなっていることを確認した。そして、この5段階を設計サイクルと呼び、この設計サイクルの繰返しとして設計過程を定式化し、認知的な設計過程モデルを得た。

次に、武田らはこの設計サイクルを論理により定式化した⁽²⁾(図1)。これは、設計サイクルの1サイクルを、設計対象に存在する問題点を解決する提案をアブダクション(abduction)⁽⁶⁾により、設計解として提案された設計対象のもつ性質を演繹により導出する過程として定式化するものである。このアブダクションと演繹の繰返しにより、機能概念で表現される設計仕様からその詳細な属性へと設計対象を逐次的に詳細化していく過程として設計過程を定式化した。また、設計過程においてははじめは正しいと思っていた知識が、他の知識を考慮に入れると矛盾を起こすことがある。多くの場合、この矛盾は、使われた知識が本質的に間違っているために起きたのではなく、それらの知識が適用できる条件を正確に記述していなかったから起きたと考えられる。よって、これらの矛盾は知識を適用できる条件をより正確に求め、その条件を知識に付加することによって解消できる。そこで、この条件を求め知識を洗練する行為をサーカムスクリプション(circumscription)⁽⁷⁾によって定式化した。

また、一つの設計に必要な知識をすべてははじめから予想することは不可能である。したがって、設計者は

設計を進めていくことによってどのような知識が必要であるかを予想し、それらの知識を順次考慮に入れて用いていると考えた。そこで設計過程のある時点で考慮に入れるべき知識操作をメタレベルの推論により実現した。つまり、設計対象を表現するレベルである対象レベルと、その対象レベルでの操作を決定する設計者の思考を表現するメタレベルである行為レベルの二つのレベルに分けて設計過程をモデル化した。すなわち、対象レベルにおける操作として、先ほど述べたアブダクション、演繹、サーカムスクリプションの三つの推論を用い、また、知識の変化や対象レベルの三つの推論は行為レベルの推論によって制御される(図2)。

設計サイクルをこの設計過程モデルで解釈すると、「提案」はアブダクションとして解釈され、「展開」「評価」は演繹として解釈される。また、「展開」「評価」段階において知識の適用条件が不完全であるために矛盾が生じ、それを新たに問題提起とする過程は、サーカムスクリプションとして解釈される。

2.2 メタモデル機構 設計者は設計過程において設計対象を電気、力学、熱力学といったさまざまな観点からモデル化して表現する。しかし、これらの設計対象モデル(以降ではアспект・モデルと呼ぶ)はおのおの独立ではないので、複数のアспект・モデルを統合して扱うためにはアспект・モデル間の依存関係を管理する機構が必要である。このアспект・モデル間の依存関係を一貫して管理する機構として、我々はメタモデル機構を提案した⁽³⁾。

メタモデルには、実体、実体間の関係、物理現象といった定性的な概念や、形状や抵抗値といった定量的な概念が表現される。また、概念間の依存関係として、因果関係、定性的な概念と定量的な概念の対応関係、定量的な概念間の変換などが含まれる。また、メタモデル機構はメタモデルに表現されている設計対象について、材料力学や機構学といったさまざまな観点に基

図1 認知的設計過程モデルにおける論理的推論

図2 計算可能な設計過程モデル

づいたアспект・モデルの作成を支援することができる(図3)。メタモデル機構には、それぞれのアспект・モデルを扱うモデラについて、その観点で扱うことのできる概念の集合が知識として記述される。本研究では、この知識をアспект・モデラに関する知識と呼ぶ。

設計者が解析したいアспект・モデラを指定すると、メタモデル機構はそのアспект・モデラに関する知識を利用して次の手順によりアспект・モデルの作成を支援する。

(1) 設計対象を表現する抽象度の決定 メタモデル機構の中に記述されたアспект・モデラに関する知識を利用することにより、選ばれたアспект・モデラで記述可能な概念が決定される。メタモデル機構は設計者にこの記述可能な概念を呈示する。設計者はこれらの概念を用いて設計対象に観点特有のものの見方を設定する。本研究では、ものに観点特有の見方を設定する行為を、抽象度の決定と呼ぶ。

(2) 設計対象の簡略化 設計者は設計対象を簡略化してモデリングすることができる。すなわち、設計者はメタモデルに表現されているさまざまな実体や物理現象の中から、作成しているアспект・モデルで考慮する物理現象を選択し、いくつかの物理現象や実体を無視することができる。

(3) アспект・モデルの生成 メタモデル機構は選ばれたアспект・モデラを用いてアспект・モデルを生成する。このアспект・モデルで定量的な情報が必要になり、その情報がメタモデル上に存在しないときには、メタモデル機構が適切なアспект・モデラを選択して、設計者に定量情報を要求する。

また、このメタモデル機構は、さまざまなアспект・モデルを表現する複数の外部モデラを接続するこ

図3 メタモデル機構

とができ⁽⁸⁾、おのおののモデラで作成した設計対象モデルを統合的に扱うことが可能である。

このメタモデル機構を用いて設計対象のモデル化および評価を行う方法について述べる。まず、設計者は設計対象に関する挙動のメンタルモデルである初期モデルを作成する。この初期モデルを基に、メタモデル機構は定性プロセス理論⁽⁹⁾に基づいた定性推論システム⁽³⁾を用いて設計対象に起こりうるすべての物理現象を導出しメタモデルを作成する。メタモデル機構は、先に述べたようにアспект・モデルの生成を支援し、生成したアспект・モデルを用いて設計対象の振舞いなどを導出することができる。さらに、アспект・モデルを利用した結果はメタモデル上に表現され、後で作成するアспект・モデルの作成の際に利用できる。

2.3 FBS モデラ 概念設計段階において、機能として表現されることが多い設計者の意図を表現することが重要である。よって、設計者の意図を表現したアспект・モデルとして機能モデルを取扱うことは重要な意味をもつ。

梅田ら⁽⁴⁾は設計対象を機能概念を含んだ形でモデリングする手法として、設計対象の機能(Function)、挙動(Behavior)、状態(State)および機能の階層構造を表現することのできるFBS (Function-Behavior-State)ダイアグラムを提案している。このFBSダイアグラムは、機能の階層構造、機能と挙動の関係、および挙動と状態の関係を表現している(図4)。

また、梅田ら⁽⁴⁾はこのFBSダイアグラムを用いて概念設計段階における設計対象のいわゆる基本構造を決定する作業を支援するツールとしてFBSモデラを

表1 機能プロトタイプの定義

Item	Contents
Name	verb + objectives
Decomposition	networks of subfunctions
F-B Relationship	physical features

図4 FBSダイアグラム⁽¹⁰⁾

作成した。FBS モデラでは、挙動は、設計でよく使われる部品群とその上で起こる物理現象によって記述されるフィジカル・フィーチャ⁽¹¹⁾によって表現する。また、このフィジカル・フィーチャを用いてメタモデル機構の定性推論システム⁽⁹⁾は設計対象の状態遷移を導出することができ、メタモデル機構がもつ挙動-状態間の関係が付けられる。一方、機能の階層構造および機能-挙動関係(F-B 関係)は表1に示す機能プロトタイプ⁽¹²⁾の知識をもとに関係付けられる。

FBS モデラは要求仕様である機能から機能分解を行い、分解されたサブ機能を実現挙動へ関係づけることにより FBS ダイアグラムを構築する設計過程を支援することができる。この FBS ダイアグラムの構築は、機能プロトタイプに関する知識ベースを用いて行う。また、定性推論システムを用いて挙動・状態をシミュレーションした結果と、機能-挙動関係に関する知識を利用することにより、構築された FBS ダイアグラムが表現する機能の実現性を検証することができる。

3. 計算可能な設計過程モデルにおけるモデル操作

3.1 計算可能な設計過程モデルの拡張 2.1 節で述べた計算可能な設計過程モデルでは、設計過程のすべての段階で、設計対象をただ一つのアスペクト・モデルによって表現していた。そのために、アスペクト・モデルの切替えのための知識といった設計対象知識の使い方に関する知識を記述することが不可能であった。また、メタモデル機構や FBS モデラには、設計過程知識を利用する枠組が存在しないために、設計過程の情報によって決定される情報をうまく利用することができなかった。

そこで、従来の計算可能な設計過程モデルの対象レベルを、さまざまな設計対象モデラを接続したメタモデル機構と FBS モデラを用いて設計対象をさまざまな観点から表現できるように拡張することを考える。この拡張した設計過程モデルの行為レベルにおいて、これらのさまざまな設計対象モデルの操作知識としての設計過程知識を記述し、複数のアスペクト・モデルを制御できるように拡張する。

3.2 設計対象モデラ選択知識 本報で拡張した計算可能な設計過程モデルでは、設計対象表現に用いるさまざまな外部モデラを接続したメタモデル機構と FBS モデラから設計を進めるに際して最も適切なモデラを選択し操作することによって、2.1 節で述べた従来の計算可能な設計過程モデルの論理的操作を実現

する。また、この設計過程の情報を利用してモデラの選択を行い設計を進めるための設計過程知識を設計対象モデラ選択知識と呼ぶ。

従来の計算可能な設計過程モデルにおいて、アブダクションは機能概念で表現される設計仕様を詳細化し、より詳細な機能概念およびそれを実現する設計対象の挙動や属性概念と結び付ける役割を果たしていた。また、このアブダクションは設計サイクルの「提案」に対応するので、「提案」に関する設計対象モデラ選択知識を次のように定式化する。

設計対象モデラ選択知識 1 設計サイクルの提案段階では、機能や挙動といった抽象的な概念を問題点として、この問題点を解決できるより詳細な概念(詳細なサブ機能や実体の属性)を解として提案することができる設計対象モデラを選択する。

また、設計サイクルの「展開」「評価」に対応する演繹は設計対象の属性からその機能や挙動を導出する役割を果たしていた。よって、「展開」「評価」に関する設計対象モデラ選択知識を次のように定式化する。

設計対象モデラ選択知識 2 設計サイクルの「展開」「評価」段階では、詳細な概念(詳細なサブ機能や実体の属性)を機能や挙動という抽象的な概念と対応付けることができる知識を与える設計対象モデラを選択する。

また、従来の計算可能な設計過程モデルにおける知識の導入および矛盾する知識から適切な知識を導出するサーカムスクリプションは、適切な知識ベースをもつ設計対象モデラを選択することに相当する。このサーカムスクリプションで知識間に矛盾が生じるのは、例えば、「減速機構を定性的に考えているときには1組のギヤの組合せとして実現しようとしたが減速比などの定量情報を考慮すると無理であることがわかる」といった、設計者が大まかな知識を利用した後で詳細な知識を利用したために起こる矛盾である。また、このことは設計者が知識を使う際には、大まかな知識を最初に利用しその後で詳細な知識を用いていることを意味している。また、大まかな知識を用いた推論をした結果により次にどのような詳細な検討をするべきかが決められている。よって、次の設計対象モデラ選択知識が導かれる。

設計対象モデラ選択知識 3 設計サイクルの「展開」「評価」段階では、粗いモデルを作成し大まかな解析をした後に詳細なモデルを作成し解析する。

設計対象モデラ選択知識 4 設計サイクルの「展開」「評価」段階では、設計対象について新しく変更したところ、あるいはその影響が及ぶ部分に注目してモ

デル化を行う。

3.3 複数の設計対象モデルの利用 3.2節で述べた設計対象モデル選択知識に基づき、一つの設計サイクルにおける設計対象モデルの利用法を定式化する。

まず、設計対象モデル選択知識1は、設計サイクルにおける「問題提起」「提案」段階では、機能や挙動といった抽象概念からサブ機能や実体の属性といった詳細な概念を提案することとして定式化した。一方、現在の枠組において、機能を扱う枠組がFBSモデルのみであるので、この知識1に基づく操作はFBSモデルを用いて機能の階層構造を構築し、実現挙動を導出することに相当する。

また、設計対象モデル選択知識2は、「展開」「評価」は「提案」の段階で設計者がFBSモデルを用いて付け加えた設計対象の新たな記述をもとに、メタモデル機構を用いてメタモデルを作成し、さまざまな観点のモデルからその挙動を推論し評価することに相当する。さらに、設計対象モデル選択知識3, 4を考慮すると、「展開」「評価」は次の三つの段階に分けることができる。

(1) 新しい設計解の挙動を導出する段階では最初に一番大まかなモデルであるメタモデル機構の定性推論システムを用いて設計対象に起こる可能性のある物

理現象を推論する。

(2) この新たに推論された物理現象を新しい設計過程の情報と考え、接続されているアスペクト・モデルに関する知識を利用し、これらの現象を扱うことのできるアスペクト・モデルを一つまたは複数個選択し、ユーザに提示する。

(3) 複数のアスペクト・モデルが提示された場合には、ユーザは一つのアスペクト・モデルを選択し、そのモデル上でユーザがアスペクト・モデルを作成し、評価する。提示された他のアスペクト・モデルを利用したい場合は、(3)の過程を繰返す。

このように、本論文で拡張した計算可能な設計過程モデルにおける行為レベルの推論は、メタモデル機構やFBSモデルの情報を設計過程の情報として利用し、適切な設計対象モデルの選択を支援を行うことにより、設計を進めていく。

4. プロトタイプシステム

4.1 システムの構成 3章で述べた拡張した設計過程モデルを基に複数の設計対象モデルを扱うことのできるインテリジェントCADのプロトタイプシステムをSun workstation上のObjectworks\Smalltalk^{**1}により作成した。

システムの構成を図5に示す。このシステムでは、FBSモデルとメタモデル機構により対象レベルの情報を管理する。現在、このプロトタイプシステムにはソリッドモデルであるDESIGNBASE^{**2}、有限要素解析のシステムであるMODIFY⁽¹²⁾、記号表現により数値計算を行うことのできるMathematica^{**3}、以上三つの外部モデルが接続されている。ここで、注意すべきことは、これらの外部モデルは必ずしも、一つのアスペクトモデルを表現するものとは限らないことである。例えば、数式処理システムであるMathematicaは後述する例では、はりモデルを表現するために用いられるが、それ以外のモデルを表現する際にも利用可能である。

このシステムでは行為レベルの推論により、FBSモデルによるより詳細な設計解の提案および、メタモデル機構による新しく提案された設計解の挙動の導出や観点のモデルの生成などを制御する。ここで用いられている行為レベルの知識は特定の設計対象に依存していない。例えば、展開・評価のための行為レベルの知

図5 プロトタイプシステムの構成

^{**1} Objectworks\Smalltalk は、Parc Place Systems の登録商標である。

^{**2} DESIGNBASE は(株)リコーの登録商標である。

^{**3} Mathematica は Wolfram Research, Inc. の登録商標である。

識は次のように記述される。

```

if (abducted)
    ; アブダクションが行われたならば
then (getNewAssumption NA)
    ; 設計解の変更された部分に注目し,
    (makeMetamodel NA NewDerived)
    ; メタモデルを作成し,
    ; 新たに推論された物理現象を求める.
    (selectAppropriateModeler NewDerived Modeler)
    ; そして新たに推論された物理現象に基づき,
    ; 適切なモデルを選択し,
    (generateAspectModel Modeler)
    ; アスペクト・モデルを生成する.
    
```

本システムには、仕様を要求する知識、提案を行うための知識、そしてこの展開評価を行うための知識の3種類の行為レベルの知識が記述され、行為レベルの推論によってアスペクト・モデルへの操作を誘導する。

このシステムにおける全体の設計の流れについて述べる。まず最初にユーザは、設計仕様をFBSモデラ上に機能として表現する。この機能をより詳細なサブ機能および実現挙動、実現構造に対応付けていくことによって設計が進行する。全てのサブ機能が実現挙動、実現構造に対応付けられると設計が終了する。

4.2 システムの実行例 本システムの実行例を図6に示す水中翼船の設計例を用いて述べる。

まず、ユーザは最初に重力場で水のある所において、荷物を運ぶものという設計仕様をFBSモデラ上の機能として表現する。ユーザはこの仕様である機能をサブ機能に分解していき、機能階層を構築する。しかし、この段階ではメタモデル機構が実体化されていない設計対象を扱うことができないために、実体化されない設計解に対して定性推論システムを用いて発現可能な物理現象を推論し、評価することはできない。

ここでは、機能階層を既に構築し、荷物を格納する機能を実現するために船体を使うことが決定された段階からの一つの設計サイクルを用いて、本システムの動作を説明する(図7)。

図8は設計サイクルの初期状態における設計対象の

図6 水中翼船

FBSダイアグラムである。このFBSダイアグラムにおいて、上部のだ円形のノードは機能を示し、下部の長方形のノードは実現挙動を示すフィジカル・フィーチャである。

図7 プロトタイプシステムにおける設計サイクル

図8 FBSダイアグラムによる設計解の表現

図 9 FBS ダイアグラムによる詳細化された設計解の表現

まだサブ機能に展開されていない、さらに実現挙動であるフィジカル・フィーチャに対応付けもされていない機能を、ここでは具体化されていない機能と呼ぶ。一つの設計サイクルは、本システムが FBS ダイアグラムから具体化されていないサブ機能を検索し、その機能を具体化しなければならない問題点として提起することによって始まる。ここでは、複数存在する具体化されていない機能の中からユーザが「浮かぶ機能」を問題として選択した場合について述べる。このとき、システムは機能プロトタイプ知識を用い、「浮かぶ機能」を実現するための実現挙動を提案する。この場合には、エアタンクを用いる案と水中翼を用いる案が提案される。ここで、ユーザが水中翼の案を選択すると、FBS ダイアグラムが詳細化され、図 9 の状態になる。

この新たに提案されたフィジカル・フィーチャの中には、機能の実現構造が含まれるので、新たに提案された設計対象の挙動を推論を行うことができる。すなわち、行為レベルの推論は、定性推論システムを用いてメタモデルを作成することを実行する(図 10)。

また、設計対象を評価するのに適切なアスペクト・モデルを生成するために、メタモデル機構を用いて、新しく加えた実現構造による影響を推論する。図 10 中のアイコンの内、中にドットを打ったアイコンは新しく設計解に付け加えた実現構造が存在によって起こると推論された物理現象を示している。行為レベルの推論は、新しく推論された物理現象を解析できるモデラを選択する。

この場合、新たな実現構造を加えたことにより、新

図 10 設計解のメタモデル

図 11 生成された船体のはりモデル

図 12 設計解のソリッドモデル

図 13 船体のせん弾力ダイアグラム

しい設計解には、水中翼に起こっている揚力、支柱や船体に揚力の伝達などの現象が起きていることがわかる。ここで、メタモデル機構に記述されているアスペクト・モデラに関する知識を利用することにより、力を取扱うことのできるモデラが選択される。本システムでは、力を取扱うことのできるモデラは、はりモデラ、有限要素モデラの二つなので、これら二つのモデラが選択される。ここで、ユーザがはりモデラを選んだとする。

メタモデル機構は、アスペクト・モデラに関する知識を利用して、はりモデラで扱える概念、すなわち材

料力学で扱える概念を、メタモデルから抽出する。また、船体にかかる揚力は、船体の重力と釣合うので、船体にかかる揚力を無視した。以上の結果、はりの観点から見た定性的なアスペクト・モデルが生成される(図 11)。次に、この定性的なアスペクト・モデルから定量的なアスペクト・モデルを作成するのだが、この段階では設計対象に関する形状などの情報が存在しないために、定量モデルが作成できない。そこで、システムはソリッドモデラによる形状の入力を求める。ユーザがソリッドモデラを用いて形状を入力すると(図 12)、メタモデル機構はその情報を基に定量的な観点のモデルを数式として作成する。この数式は Mathematica によって処理され、その結果として、図 13 のせん断力ダイアグラムが得られる。この結果は、メタモデルに反映され、別のモデルを解析する際に利用することができる。

このように、設計解を観点のモデルによって評価し、その結果問題がなければ一つの設計サイクルは終了し、次の設計サイクルに進む。最終的にすべてのサブ機能が実現挙動と対応付けられた段階で設計が終了する。

5. 考 察

本システムは、複数の設計対象モデルの統合という観点から、プロダクトモデル⁽¹³⁾と比較することができる。多くのプロダクトモデルは幾何モデルを中心に構成しているために、幾何情報を中心にその他の概念との関係をつけており、幾何情報中心での情報交換が行われていた。しかし、本研究で提案している設計対象モデルの統合化手法であるメタモデル機構は、物理現象といった定性的な概念を幾何情報を含む定量的な概念と同等に扱っているため、これらの定性的な概念と定量情報を用いる設計対象モデルにおいて表現される概念を概念レベル・背景理論レベルに関連付けることができ、より柔軟な情報交換および知識の統合化が行えると考えられる。また、本システムは、プロダクトモデルには存在しない設計過程知識を用いることにより、設計者の設計対象モデラの選択を支援することができる。

6. 結 言

本報では、設計過程知識をさまざまな設計対象モデラの使い方の知識として定式化する方法について述べた。さらに、この設計過程知識を用いることができるように設計過程モデルを拡張し、複数の設計対象モデ

ルを扱うことのできる設計過程モデルを提案し、プロトタイプシステムを作成した。このプロトタイプシステムは、設計過程知識により設計対象を表現するメタモデル機構や FBS モデラが制御され、その設計対象表現では、メタモデル機構により外部モデラを含むさまざまなモデラが作成したアスペクト・モデルを統合的に管理することができる。この設計過程知識と設計対象知識を統合的に扱う機構は、インテリジェント CAD の実現に不可欠であると考えられる。今後の展望としては、アスペクト・モデルの適切な抽象度の決定の支援および、アスペクト・モデルによる評価の結果を利用した設計解の改善方法の提案などが上げられる。

東京大学人工物工学研究センターの久保田晃弘助教授には、本研究で用いた有限要素モデラ MODIFY および、水中翼船の例題を提供していただいた。また、東京大学人工物工学研究センターの桐山孝司講師には本研究に関して有益なコメントを頂いた。ここに感謝の意を表す。

文 献

- (1) Tomiyama, T., Kiriya, T., Takeda, H. and Xue, D., Metamodel: A key to intelligent CAD systems, *Research in Eng. Des.*, 1-1 (1989), 19-34.
- (2) 武田・富山・吉川, 設計過程の計算可能モデルと設計シミュレーション, *人工知能学会誌*, 7-5 (1992), 877-887.
- (3) 桐山・富山・吉川, 設計対象モデルの統合化のためのメタモデルの研究, *人工知能学会誌*, 6-3 (1991), 426-434.
- (4) 梅田・富山・吉川, 機能冗長に基づく自己修復機械設計方法論, 第 10 回設計シンポジウム講演論文集, (1992), 155-164.
- (5) 武田・富山・吉川, 知的 CAD の開発のための設計過程の分析と論理による形式化, *精密工学会誌*, 57-6 (1991), 115-120.
- (6) 井上, アブダクションの原理, *人工知能学会誌*, 7-1 (1992), 48-59.
- (7) McCarthy, J., Circumscription—a form of non-monotonic reasoning, *Artificial Intelligence*, 13 (1980), 27-39.
- (8) 吉岡・富山・吉川, 複数の設計対象モデルを扱う設計過程モデル, 第 11 回設計シンポジウム講演論文集, (1993), 32-39.
- (9) Forbus, K., Qualitative process theory, *Artificial Intelligence*, 24-3 (1984), 85-168.
- (10) Umeda, Y., Takeda, H., Tomiyama, T. and Yoshikawa, H., Function, behavior, and structure, *In AIENG '90 Appl. AI in Eng.*, (1990), 177-193, Computational Mechanics Publications and Springer-Verlag.
- (11) 富山・桐山・吉川, 知的 CAD の現状と未来, *人工知能学会誌*, 7-2 (1992), 3-12.
- (12) 大坪・久保田, オブジェクト指向にもとづく FE モデリングシステム MODIFY, 日本機械学会第 4 回計算力学講演会, (1991), 17-18.
- (13) 鈴木, プロダクトモデリングとインテリジェント CAD, 吉川・富山(編), *インテリジェント CAD(下)*, (1991), 7-30, 朝倉書店.