設計分野におけるAI応用技術*

赤 木 新 介*¹

Artificial Intelligence in Engineering Design

Shinsuke AKAGI

Key Words: Design Engineering, AI, Design Methodology, Expert System

1. ま え が き

最近になって、以前のAI(人工知能)ブームはようやく鎮静化してきたが、一方で地道な応用が広まりつつある。このような応用分野として、エキスパートシステムの開発が中心になっているが、これも初期の診断形のエキスパートシステムから、設計や生産の方面に次第に重点が移りつつあるようである。例えば、昨年から設計と生産分野のAI応用を対象とした国際誌⁽¹⁾も発行され始めた。

今回は、これらのうち、主として設計分野におけるAI応用に絞って展望してみたい。AI技術は設計方法論すなわちデザインテクノロジー⁽²⁾⁽³⁾の中心課題として位置付けられるものである⁽⁴⁾。

なお、本展望においては課題の性格上、現在、数多く行われつつある研究を一つ一つレビューすることよりも、特徴的な方法論をとり上げ設計エキスパートシステムの考え方を示すことに重点を置くことにしたい。

2. 設計とAI技術

本論に入る前に、設計とAI技術との関係についてまず考えておきたい。

設計という行為を客観化して体系的に扱おうとする試みは、AIやコンピュータ技術とは独立して以前から進められてきた。ことにドイツにおいては、早くから設計論としてとり上げられてきたし⁽⁵⁾⁽⁶⁾、アメリカにおいても1960年代以来続けられ⁽⁷⁾⁻⁽⁹⁾、また我が国でも渡辺⁽¹⁰⁾や吉川⁽¹¹⁾、さらに著者⁽¹²⁾らによって扱わ

れてきた。これらの設計論の特徴とするところは、設計をプロセスとしてとらえようとするものであり(図1)、設計過程は一般に「概念設計」「機能設計」「詳細設計」「生産設計」というように分けられるのが普通である。しかし、これらのプロセスの中で行われる設計処理の内容に対して、必ずしも具体的な方法論が明確にされていたわけではなかった。客観的な方法論を確立し、誰でも十分熟練を積みば一定のレベルの設計が可能となるようにするには、コンピュータ利用技術の導入が不可欠であり、これによって設計方法論がはじめてサイエンスとしての意味をもつようになるのである。

しかし一方、設計に対するコンピュータの利用が、このような設計方法論を意識して行われてきたかという点、そうではなく、もっぱらコンピュータで処理しやすいところから進められてきた。それらは「検索」「計算(シミュレーション)」「最適化」「形状(図形)処理」などであり、情報構造的には、「良構造問題」といわれ

図1 設計のプロセス

* 原稿受付 平成元年4月24日。

*¹ 大阪大学工学部 (〒565 吹田市出田丘2-1)。

る範疇に属する部分であった。しかし、設計で行われる処理全体からみれば、これらは極めて限られた部分にすぎない。設計処理の大部分は、いわゆる「悪構造問題 (ill-structured problem)」と呼ばれるものであって⁽¹³⁾ 定式化が困難なものである。このような部分にもコンピュータを応用し、客観的な方法論を導入しようと思われ、現在のところAI技術に期待するほかにないようと思われる。AI技術の導入によって、設計方法論の範囲が拡大し、従来のコンピュータ利用技術も含めて広い範囲で、設計プロセスに対して有効な方法論を対応させることができるのである⁽⁴⁾。

図2は、図1に対応して設計プロセスとそれに関連する方法論をAI技術も含めて対比したものである。設計プロセスは、処理の性格によって「機能の分析」「設計案の策定」「評価」「満足化/最適化」のように分けられ、これに対応して右側のような方法論が考えられる。このように両者を対応させることによって、支援範囲が明確化し、方法論自体も有効に生きてくるとするのが著者の主張しているところである⁽⁴⁾。

見方を変えると設計方法論というものは、設計処理の内容を客観的に記述し支援するための言語であり⁽¹⁴⁾、AI的な記述によって支援できる範囲が飛躍的に増えることになる。

3. 設計エキスパートシステムの構成

3.1 設計の種類・タイプと設計エキスパートシステム 2章で設計プロセスと、関連する方法論を対比したが、これをさらに具体化してみよう。図2の概念は、どのような種類の設計においても成り立つ一般的

図2 設計プロセスと方法論

な考え方であるが、具体的には設計対象の種類とタイプによってどの過程に重点があるかが異なる。表1はこのような状況を示したもので、表1の中央に図2に対応する設計のタイプ（プロセス）を「知的検索形」「試行錯誤形（満足化形）」「最適化形」のように分類し、左側の欄に対応する設計の種類を記してある⁽⁴⁾。例えば、メカニズムの設計では要求に合致する機械要素の種類を検索して定めることに重点があるから、知的検索形の中に入れてある。しかし、もちろんこのような類別は重点の置き所によって相異なる。例えばプラントの設計は最適化形の中に入れてあるが、プラントを構成する機器の種類を選定する過程では、当然検索的な性格が強くなる。また、表1の右側には、図2を参考にして各設計のタイプに対してどのような方法論が適切であるかが示してある。このような方法論をAI技術をもとに具体的に実現するものが設計エキスパートシステム（以下、設計ESと略記）である。

3.2 設計エキスパートシステムの構成知識 ごく大まかにみれば、設計ESの構成も一般のエキスパートシステムの構成に合致している。一般のエキスパートシステムは「知識ベース」「データベース」「制御知識」から構成されているが、これに対応して設計ESは「設計操作知識」「設計対象知識」「設計制御知識」

表1 設計の種類・タイプと方法論

設計の種類	実例	設計のタイプ (設計のプロセス)	方法論	
			設計操作・ 制御知識	設計対象知識
機械要素・ メカニズム設計	機構設計 油圧システム ロボット	知的検索形	プロダクションルール フレーム 述語論理	形状モデル
配置設計	機械室配置 プラント配置	試行錯誤形 (満足化形)	オブジェクト指向 制約指向 述語論理	幾何学的推論 機能 シミュレーションモデル
配管設計	空調配管 (回路配置)	最適化形	数値計画法と のハイブリッド化	定性的推論
基本形状設計	航空機機体 船体計画 自動車ボディ 火力プラント	最適化形	数値計画法 (LP, NLPなど)	数値計画モデル
プラント設計	原子力プラント 化学プラント	最適化形		
構造設計	鋼構造、橋梁 岩体構造 航空機構造	最適化形

図3 設計エキスパートシステムの知識構成

から構成される⁽¹⁵⁾(図 3)。設計操作知識は設計要求をもとに設計案を策定したり修正したりする知識である。設計対象知識は対象となる製品モデルであり、従来の CAD で使われてきた形状モデルにさらに機能記述や各種の制約条件知識が加わったものである。設計制御知識は操作知識を設計対象にはたらかせる制御(探索)戦略を定めたものである。このような分類は設計 ES の構成として広く認められつつある。このような構成を具体化するためには、表 1 に示したような各種の方法論が必要になってくる。4 章では、このような分類に従いつつ、現在研究されている設計 ES の方法論を具体例をもとに調べることにする。主として「設計操作知識」と「設計制御知識」の関連を 4 章に、また「設計対象知識」を従来の CAD からのアプローチも含めて 5 章でとり上げる。

4. 設計エキスパートシステムとその方法論

前述の表 1 の分類に従うと、まず知的検索形がくる。

4.1 知的検索形設計エキスパートシステム

(1) 単純な知的検索形設計 ES このシステムの一般的構成は図 4 のようになる。すなわち、知識ベースに記述した「設計(操作)知識」を用いて、データベースに蓄えられた「設計対象(候補)データ」の中から設計要求に合う候補を選定する方式である。ごく身近な例で考え方を述べれば、例えば「住宅の選定」のような場合である。注文者の予算や家族構成が示されると、ある種の「選定知識」をもとに多くの住宅候補のデータの中から最適な候補を選定する。システムの構成はいわゆるプロダクション形であり、選定知識は「If-then 形のルール」で記述し、住宅の要目データは「フレーム」で記述するのが普通である。このタイプのシステムは構成が簡単であり、プログラミングも比較的容易であることや、いわゆる ES 開発ツールもほとんどこのような知識表現を備えているところから多数開発されている。例えば、Carnegie-Mellon 大学で開発

図 4 知的検索形設計 ES

され、DEC 社で使用されている有名な計算機機器構成システム R1⁽¹⁶⁾もこの種類に属する。

著者らが開発したものでは、船の機関選定システム⁽¹⁷⁾がある(図 5, 6)。船の種類や主機関の所要動力が与えられると、初期価格や燃費を考慮して最も適当な主機関を選定する。設計知識は、「船の種類がタンカまたは LNG 船で、所要動力が 55 000 PS 以上であれば機関の種類をタービンとし、それ以外はすべてディーゼルとせよ」…などのようなプロダクションルールで表現される。また、データベースに蓄える各種機関要目などはフレームで表現されており、両者の対比から機関が選定される。

図 5 船の機関の選定

図 6 機関選定の設計 ES の例

(2) 上記のシステムは1台の機関のみを選定するものであるが、このようなシステムにおいて、選定される機器が複数、多種の組合せになると組合せ数が爆発的に増えるために単純なプロダクション形のアルゴリズムだけでなく、なんらかの高度な手法が必要となってくる。例えば、AI手法と数理計画法のハイブリッド化などである。実例として船用の熱・電力併給プラントの設計⁽¹⁸⁾を考えてみると、このようなプラントの構成機器としては、ディーゼル発電機、ターボ発電機、補助ボイラ、排ガスボイラなど多数の組合せが存在する。これらの種類・容量・台数、さらにオン・オフの運転条件までも考えると、組合せの数が増え、最適な機器の組合せを求めることは非常に困難になる⁽¹⁸⁾。このような場合、設計知識をもとにしたAI手法で機器候補を絞り、さらに絞られた機器候補に対して数理計画法による最適化計算を行って最終的な機器構成を決定する⁽¹⁹⁾。このほか、同じようなハイブリッド形の手法を用いた例には、陸上のコジェネレーションプラントの設計⁽²⁰⁾、田中・石黒のレンズの設計⁽²¹⁾などがある。また最近では、制御工学方面でもAI手法と従来の制御理論とのハイブリッド化が行われ、プラントなどの運用に用いられるようになってきている⁽²²⁾。このような複合形はAIと数理計画法の組合せに限らず、さらに広くAIと従来の数値処理とのハイブリッド化を含めて考えることもできる⁽²³⁾⁽²⁴⁾。

(3) 創成形設計ES 創成形設計ESというのは(1)で述べたような比較的単純な検索方法とは異なり、コンピュータによって設計対象についてなんらかの“創成”を行おうとするものである。創成形では、コンピュータ処理によって意外性をもった“優れた設計”を行わせようとする。

このような例として、まず、Ulrich-Seeringの行った締結要素の創成の研究⁽²⁵⁾を示そう。この研究は、既存の多種のボルトについてそれぞれを要素機能に分解して、コンピュータにストアしたものから新しいボルトを創成しようとするものである。まず図7のようにボルトを各部分に分ける。次にそれらの各部の機能を図8のようなネットワーク知識として表現する。このような知識を図9のように既存の多種のボルトについてコンピュータにストアしておき、求めたい機能を例えば、(strength hi)and(retractability yes)and(precision hi)…というように指定して、これを満たす新しいボルトを創成する。結果は、例えば図10のように新しいボルトが出力されるというものである。内容は比較的単純であるが、面白い扱いではある。このようなESの方法論としての要件は、(1)設計対象のデー

タを分解して“部分構成要素”と“それらの機能”の表現をコンピュータにストアしておくこと、(2)それらの部分構造を再構築して全く新しい機能をもつ構造方式を生み出すこと、(3)新しい機能を評価してその中から有用な構造方式を定めること、である。要するにこれは図3のような設計シンセシス機能を完全にコンピュータに行わせることである。このような創成形のESの例には、ほかにリンク機構(8-リンクを用い

図7 ボルトの各部分⁽²⁵⁾

図8 ボルト各部分の機能⁽²⁵⁾

図9 既存のボルト⁽²⁵⁾

図10 創成されたボルト⁽²⁵⁾

た可変ストローク機構)の創成を扱った Hoeltzel らの研究⁽²⁶⁾, 瀬口らの Prolog を用いたトラス構造の創成⁽²⁷⁾などがある。また, 吉川の一般設計学⁽¹¹⁾もこのような創成設計 ES の基礎を与えるものである。このような創成設計 ES のむずかしい点は, “機能”と“構造”とが一般に 1 対 1 には対応しないことである。このために複雑な構造のものになると, 全体の機能を指定することによって細部構造を一意的に定めることがむずかしくなる。したがって現在のところ, この種の設計 ES は興味深い, どうしても単純な要素とか簡単な構造をもつ Toy problem 的なものになる。

4.2 試行錯誤形設計エキスパートシステム 4.1 節の設計 ES がどちらかというと「自動設計」を指向しているのに対し, 試行錯誤形設計 ES では, はじめから人間を介入させた「設計支援」システムをねらう。したがって設計 ES は, コンピュータに適した処理を分担するとともに, 設計者とコンピュータが対話を続けながら試行錯誤的に設計要目や形状などの設計パラメータを決定する。現在, 設計 ES としてはこちらのほうが主流で, いろいろの方法論が研究されている。以下, いくつかの例を示しておこう。

(1) オブジェクト指向 設計支援システムに求められる機能として処理の柔軟さがある。設計(操作)知識や設計対象知識を表現する方法として, 知識を要素に分割して全体をネットワークで表現しておく, 知識の修正や追加・削除などの際にも部分的な変更で対処でき, 取扱いが柔軟になる。このような知識の要素がオブジェクトであり, そのようなオブジェクトの処理を中核としたプログラム技法がオブジェクト指向プログラミングと呼ばれるものである⁽²⁸⁾⁽²⁹⁾(図 11)。オブジェクト指向は, フレーム形の知識表現の発展形ともみられる⁽³⁰⁾。このようなシステムは, それ自体では特に人工知能的というわけではないが, はじめに述べたように AI 的な新しいプログラミングパラダイムと考えるべきものである⁽³⁰⁾。このようなプログラミングに基づく処理には発展性があり, いろいろ特徴的な設計機能を取り入れることが可能になる。

オブジェクト指向を用いた設計 ES の例としては, 著者らの開発したはん用設計 ES⁽³¹⁾およびそれを利用した船の基本設計の ES⁽³²⁾, プラント設計の ES⁽³³⁾などがある。図 12 のように船の主要目(長さ, 幅など)は相互に関連したネットワークを構成する。設計ではこのような要目を, いくつかの設計条件を満たすようにバランスをはかりながら的確に定めなければならない。このような設計の特徴は各項目間に関連があることで, 設計者はそのような影響関係を把握しておくこ

とが必要である。このシステムでは, 設計要目などの知識要素をオブジェクトとして記述することによってお互いの影響関係をコンピュータで処理し, 対話的に設計者を支援する。例えば, 図 13 のように船の長さを 1 m だけ長くした場合に船の載貨重量がどれだけ増えるかは直ちに計算され, 設計者に表示される。設計者はこのような感度解析の結果に基づいて, 載貨重量が目標値になるように設計要目を定める。また, このような支援機能をさらに一歩進め, 設計条件を満たすように設計要目を逆向き(シンセシス的)に決めることもできる⁽³⁴⁾。このようにオブジェクト指向プログラミングを用いると種々の設計支援手法が開発できる。最近では, オブジェクト指向は広く用いられるようになり, 設計対象のモデリング(5章)としてもとり上げられている。例えば製品のモデルを B-rep と組合せて表現し, 形状変更やマスペロパティの計算などを柔軟に支援することなども試みられている⁽³⁵⁾。

また言語自体に Smalltalk のようなオブジェクト指向言語が用いられる場合もある。著者らの開発した「配管設計支援システム」⁽³⁶⁾⁽³⁷⁾では, Smalltalk のもつ, 試行錯誤的設計処理に適する機能のほか, 計算と作画を統合して処理できる機能を生かし, 配管設計の柔軟な支援環境を作ることを試みている。図 14 は, Smalltalk を用いた油送船の揚油シミュレーションの例⁽³⁷⁾である。

(2) 制約指向 オブジェクト指向の一つの発展形として次の制約指向がある。MIT の Sussman-

図 11 オブジェクト指向による設計モデルの表現

図 12 船の主要目間のネットワークの例

Steele⁽³⁸⁾, およびスタンフォード大学の学生であった Borning⁽³⁹⁾は独立に制約指向(Constraints)の概念を提案した。前者は一つのコンピュータ言語としての提案であり、後者は Thing Lab と称するシミュレーションモデルとしての提案であった。制約指向では、複数の変数間の関係を制約条件(Constraints)として記述するとともに、ある変数を指定したとき関連する他の変数を制約条件に従って決定することができる。この際、決定処理は双方向的に行われる。例えば、摂氏 C - 華氏 F の換算式 $F = (9/5)C + 32$ では C か F のいずれを与えても他が直ちに求まる。また、 C と F の両方を与えると、それらが換算式を満たしているかどうかチェックされる⁽¹⁴⁾。このように制約指向では変数間の処理を能動的にも、受動的なチェックにも使うことができる。

図15はChanらがトラスの設計に制約指向を用いた例⁽⁴⁰⁾であり、設計パラメータ(高さ h , スパン S , 荷重 W_i , 抗力 R , 部材長さ L_{ij} , 部材力および応力 F_i , SX_i , 断面積 CX_i , 許容応力 $\max T_s$, $\max C_s$)に対して、形状、力の釣合い関係、応力関係などを制約として定めておき、図15中の表のように設計パラメータを与えたとき、それらが制約を満たすかどうかをチェックしている。このようにして試行錯誤を続けつつ(制約伝播), 設計が進められる。このような処理は、例えば線形計画法(LP)で使われるシンプレックス法の第1段の Feasible Solution を得る手段とも類似しているが、両者の違いは、制約指向では処理内容が“透明”で中身が見えること、LPのように論理関係だけでなく、ヒューリスティックが組み込まれることなどである。このほか、制約指向に基づく設計処理の知識を設

計対象の階層に合せて階層化した Chandrasekaran らの DSPL (Design Specialist and Plans Language)⁽⁴¹⁾もこの発展形とみられる。

(3) 述語論理的方法論 AI表現のもつ特徴として非常に強調されていることの一つに、処理内容が従来のプログラムのように手続きでなく、宣言的に記述できることがある⁽⁴²⁾⁽⁴³⁾。このような意味で、述語論理に基づく言語は、ユーザ側からも使いやすく魅力的である。

大須賀ら⁽⁴⁴⁾⁽⁴⁵⁾は、設計ESにおける記述言語の研究を進め、一階述語論理を設計対象の構造記述に適する

図14 油送船の揚油シミュレーションの例

ように拡張した言語(多層論理)を開発し、これをもとに機械設計への応用⁽⁴⁶⁾を試みている。しかし設計処理の内容は多様であり、手続き的記述が適するところもあり、同じような意味で宣言的かつ手続き的記述を併せもつオブジェクト指向も捨て難いように思われる。

また、武田ら⁽⁴⁷⁾は設計過程を形式化する目的から、設計者の行う設計過程を実験により調査している。簡単な機構の概念設計過程を調べ、論理を用いて形式化し、設計過程が非単調推論的であることなど、いくつかの知見を得ている。

5. 設計対象のモデリングの方法論

4章では、主として設計の操作知識、制御知識に関する方法論を中心にみてきた。本章では設計対象に関する知識を中心に考えてみよう。

元来、AI技術は文字どおり人工知能の研究を対象に進められてきたものであるから、AIで使われているいわゆる知識表現は「人間の認知」に関するモデル化であるということができる。これに対して、設計分野のAIでは、設計対象をどのようにモデル化するかという点が主要課題になる。この分野はもともとCADの方法論としてAIとは独立して発展したものであり、よく知られた各種のCAD用形状モデル(ワイヤフレーム、サーフェイス、ソリッド)が開発された。そしてさらに、形状モデルに対象のもつ属性を併せて組み込むことによって、作画やグラフィックス以外の機能をもたせようとする研究が行われてきた⁽⁴⁸⁾⁽⁴⁹⁾⁽⁵⁰⁾。これがさらに進んで最近、設計対象モデルの中にAI技術を用いた機能記述をも含んでモデル化する方法が研究されつつある。富山・吉川⁽⁵¹⁾は、インテリジェントCADとして対象モデルに与えるべき要件を考察し、対象モデルに、これに関連する現象を根源的に記述する推論方式が必要なことを述べている。設計モデルとしてそのような機能が拡大してくると、これが設計操作知識として設計対象知識から独立することになり、これは4章で述べた内容と同じものになる。そのようなわけで両者は完全には区分しにくい、本章では一応、対象モデルに主眼を置き、4章で述べた以外の方法論についてとり上げることにしたい。

さて、上記のような内容として形状モデルに加えられるべき機能は次の二つに区分できる。

(1) モデル操作性 設計者の判断や知識ベース内の設計知識に基づいた形状の記述や変更が容易かつ柔軟に行えること。

(2) 機能のシミュレーション 設計対象のもつ機能の確認がほぼ正確に、かつ短時間でできること、

形状変更に伴って自動的にシミュレーションモデルも変更できること。

5・1 モデルの操作性 木村ら⁽⁵²⁾⁽⁵³⁾は寸法問題も含めて形状記述を容易に実行する目的から、幾何学的拘束条件を組み込んだ一階述語論理を用いた幾何学的推論のプログラムを開発し、これによってパラメトリックな形状デザイン、板金部品⁽⁵⁴⁾などの記述を行っている。沖野のオブジェクトオペレーション⁽⁵⁵⁾、中島らのFeature Descriptionの研究⁽⁵⁶⁾、伊藤らのCON-MOTO⁽⁵⁷⁾などもこの方向の研究と考えられる。また、このほか幾何学的推論の応用としては、山田らのドリルの分解・組立を扱ったコンサルタントシステム⁽⁵⁸⁾、機械のアセンブリ計画を扱った伊藤、曾布川の研究⁽⁵⁹⁾などがある。また、前述したようにモデルの操作性を与えることとともに機能シミュレーションを可能にするためには形状モデルの形成と同時に、質量や慣性モーメントなどのマスペロパティーを自動生成したうえで、運動解析などを実行することが必要になる。

図16は船体形状の設計システムの例⁽⁶⁰⁾であり、船体を構成する形状要素に対応するオブジェクトを自動的に作成してマスペロパティーを求めることができる。これによって船体の外形を決めると同時に、内部のタンクや貨物倉の区画配置を定める。このようにして定めた配置に従って浮力と重量のバランスを計算して船の姿勢を計算し、これをもとに修正を繰返しながら最終的に望ましい配置を求める。このような過程では、設計知識を組み込んでAI的な支援を実行する。

5・2 機能シミュレーション 上記の(2)の方向をめざした研究には次のようなものがある。

中島らは機械の構造記述(Feature Description⁽⁵⁶⁾)をもとに機能を推定する方法を提案し⁽⁶¹⁾、これを発展させて機械のもつ望ましくない機能(非要求機能)を抽出し判断するシステムを開発している⁽⁶²⁾⁽⁶³⁾。非要求機能としては、例えば回転を防げるトルクが発生する歯車減速機、トルクが伝わらない歯車減速機などを扱っ

図16 船体形状モデルと各部分への分割

ている⁽⁶¹⁾。推論の方法としては、構造と機能の関係を述語で記述し、これをもとに前向き推論によって要求たさない構造を見だし、後向き推論によって原因を特定する方策を用いている。また、富山・吉川⁽⁶⁴⁾も別途開発した CAD モデル⁽⁵¹⁾を用い、これをもとに De Kleer らの定性的推論(5・3 節参照)を適用して機構の故障シミュレーションを行っている。しかし、現在のところいずれも故障シミュレーションは、ごく限定された機能に関する故障診断にとどまっている。

5・3 定性的推論によるシミュレーションの応用
定性的推論⁽⁶⁵⁾は、もともと簡単な動的システムなどのふるまいに対する人間の常識的な思考パターンを模擬する目的から出発したものである。いくつかの方法があるが、システムの部品間の因果関係を定性的に記述して挙動を推定する。定性的推論には、De Kleer⁽⁶⁶⁾、Kuipers⁽⁶⁷⁾らの行っているような個々の部品の挙動を変数パラメータの増減で表現して、これをもとにシステム全体の挙動を推論しようとする立場と、Forbus⁽⁶⁸⁾の行っているシステムに含まれる現象の原始的なプロセスを記述して、これをもとにシステム全体の挙動を定性的に推論しようとする立場の二つがある。定性的推論自体は設計とは別の分野で提案されたものであるが、これを設計対象のモデルに適用して機能の推定をはかろうとする研究も試みられている。桐山⁽⁶⁹⁾は、設計者が設計対象の挙動を推定するメタモデルに用いる目的から定性的な現象記述に Forbus の定性プロセス理論⁽⁶⁸⁾を適用し、空間内の物体の運動に対して定性的な記述を試みている。なお、前述の富山・吉川の研究⁽⁶⁴⁾は De Kleer らの定性的推論⁽⁶⁶⁾に基づくものである。岩田・小野里⁽⁷⁰⁾の状態モデリングも、定性的推論に近い扱いである。そのほか、故障診断の診断ルールを自動生成する目的から、深い知識から浅い知識を生成するプロセスに用いている例⁽⁷¹⁾もある。ただ、いずれも試みの段階にとどまっており、設計過程に対する定性推論の適用意義自体についての検討が必要な段階であるように思われる。

6. あ と が き

設計分野における AI の応用はまだ緒についたところである。今後に残された問題は数多いが、設計分野におけるコンピュータの応用に新分野をひらくことは間違いないであろう。そのためには、単なるスローガンでなく地道に実践的な研究を進めることに意義がある。本文がなんらかのご参考になれば幸いである。

文 献

- (1) Dym, C. L., ed., *AI EDAM* 1-1(1987).
- (2) 機誌, 91-833(デザインテクノロジー特集号), (1988).
- (3) 第158回機習教, (1988).
- (4) 赤木, AI 技術によるシステム設計論, (1988), コロナ社.
- (5) Rodenacker, W. G., *Methodisches Konstruieren*, (1970), Springer-Verlag.
- (6) Pahl, G. and Beitz, W., *Engineering Design*, (1977), Springer-Verlag.
- (7) Asimov, M., *Introduction to Design*, (1962), Prentice Hall.
- (8) Dixon, J. R., *Design Engineering*, (1966), McGraw-Hill.
- (9) Dieter, G. E., *Engineering Design*, (1983), McGraw-Hill.
- (10) 渡辺, 設計論, (1970), 岩波書店.
- (11) 吉川, 精密機械, 45-8(1979), 906.
- (12) 赤木, エンジニアリングシステム設計工学, (1982), 共立出版.
- (13) Dixon, J. R. and Simmons, M. K., *CIME*, ASME, (1983), 10.
- (14) Abelson, H. and Sussman, G. J., *Structure and Interpretation of Computer Programs*, (1985), MIT Press.
- (15) 長沢, 情報処理, 28-2(1987), 187.
- (16) McDermott, J., *Artific Intelligence*, 19(1982), 39.
- (17) 赤木・ほか4名, 機論, 53-486, C(1987), 512.
- (18) 赤木・ほか4名, 機論, 53-491, C(1987), 1622.
- (19) Akagi, S., Tanaka, T. and Kubonishi, H., *Proc. ASME Des. Autom. Conf.*, Boston, (1987), 425.
- (20) 赤木・ほか4名, 機論, No.884-1(1988), 918.
- (21) 田中・石黒, 日経コンピュータグラフィックス, (1987), 126.
- (22) 古田編, コンピュータロール, インテリジェントコントロール, 22, (1988), コロナ社.
- (23) Kowalik, J. S., ed., *Coupling Symbolic and Numerical Computing in Expert Systems*, (1986), North-Holland.
- (24) Kowalik, J. S. and Kitzmiller, C. T., ed., *Coupling Symbolic and Numerical Computing in Expert Systems*, II(1988), North-Holland.
- (25) Ulrich, K. and Seering, W., *Proc. ASME, Des. Autom. Conf.*, Boston, (1987), 295.
- (26) Hoetzel, D. A., Chieng, W. H. and Zissimides, J., *AI EDAM*, 1-2(1987), 119.
- (27) 瀬口, 知識情報処理技術を援用する機械構造概念設計システムの開発, 科研報告, 試験研究, 61850021(1988).
- (28) 鈴木編, オブジェクト指向, (1985), 共立出版.
- (29) Cox B. J., *Object Oriented Programming: An Evolutionary Approach*, (1986), Addison-Wesley.
- (30) Parsaye K. and Chignell, M., *Expert Systems for Experts*, (1988), John Wiley and Sons.
- (31) 赤木・藤田, 機論, 54-500, C(1988), 1017.
- (32) 赤木・藤田, 関西造船協会誌, 206(1987), 65.
- (33) 赤木・藤田, 窪西, 機論, 54-497, C(1988), 228.
- (34) 赤木・藤田, 機論, 54-505, C(1988), 2300.
- (35) 今村・ほか5名, 第5回設計自動化工学講演会論文集, (1987), 58.
- (36) 赤木・鷹津, 機論, 54-499, C(1988), 787.
- (37) 赤木・鷹津, 機論, No.884-1(1988), 195.
- (38) Sussman, G. J. and Steele, G. L., Jr., *Artific, Intelligence*, 14(1980), 1.
- (39) Borning, A. H., *Thing Lab-A Comput-Orient, Simulat. Labo.*, Stanford Univ., (1979).
- (40) Chan, W. J. and Paulson, B. C., Jr., *AI EDAM*, 1-

- 1(1987), 59.
- (41) Brown, D. C. and Chandrasekaran, B., *IEEE COMPUT.*, 19-7(1986), 92.
- (42) 大須賀, 次世代CAD/CAMのための知識処理の応用, (1985), McGraw-Hill.
- (43) 福田, 日本造船学会誌, 693(1987), 133.
- (44) 大須賀, 人工知能学会誌, 1-1(1986), 20.
- (45) Han, G., Ohsuga, S. and Yamauchi, H. (Gero, J. S., ed.), *Expert System in Computer-Aided Design*, (1987), 25, North-Holland.
- (46) 韓・大須賀・山内, 人工知能学会誌, 1-1(1986), 81.
- (47) 武田・富山・吉川, 第6回設計自動化学講義論文集, (1988), 13.
- (48) 沖野, 自動設計の方法論, (1982), 養賢堂.
- (49) Kimura, F., Kawabe, S., Sata, T. and Hosaka, M., *Int. J. Comput. Ind.*, 5-3(1984), 239.
- (50) Wozny, M. J., McLaughlin, H. W. and Encarnacao, J. L., ed., *Geometric Modeling for CAD Applications*, (1986), North-Holland.
- (51) Tomiyama, T. and Yoshikawa, H. (Gero, J. S., ed.), *Knowledge Engineering in CAD*, (1985), 1 North-Holland.
- (52) 鈴木・木村・佐田, 第3回設計自動化学講義論文集, (1985), 18.
- (53) 安藤・鈴木・木村, 第4回設計自動化学講義論文集, (1986), 33.
- (54) 佐藤・鈴木・木村, 第5回設計自動化学講義論文集, (1987), 19.
- (55) 沖野, 精密工学会春季大会シンポジウム, (1986), 18.
- (56) 村上・中村・中島, 第4回設計自動化学講義論文集, (1986), 42.
- (57) 伊藤・河野, 第3回設計自動化学講義論文集, (1985), 15.
- (58) 山田・安部・辻, 人工知能学会誌, 1-1(1986), 116.
- (59) 伊藤・曾布川, 第5回設計自動化学講義論文集, (1987), 61.
- (60) 赤木・藤田, 日本機械学会関西支部講演概要集, 894-1(1989), 97.
- (61) 村上・中島, 第5回設計自動化学講義論文集, (1987), 37.
- (62) 村上・中島, 第6回設計自動化学講義論文集, (1988), 7.
- (63) 中村・中島, 文献(62)の1ページ.
- (64) 富山・吉川, 文献(62)の10ページ.
- (65) *Artific. Intelligence*, 24(1984).
- (66) De Kleer, J. and Brown, J. S., 文献(65)の7ページ.
- (67) Kuipers, B., 文献(65)の169ページ.
- (68) Forbus, K. D., 文献(65)の85ページ.
- (69) 桐山・富山・吉川, 第6回設計自動化学講義論文集, (1988), 28.
- (70) 岩田・小野里, 文献(69)の25ページ.
- (71) 溝口・角所, 情報処理, 28-2(1987), 207.