

解説



定性推論の知的 CAD への応用†

富山 哲男^{††} 桐山 孝司^{††} 吉川 弘之^{††}

1. はじめに

機械設計をはじめとする CAD (Computer Aided Design) の分野では、知識処理技術を導入した知的 CAD の構築が試みられつつある。本稿では定性推論が CAD の知能化にどう利用できるかを考察し、特に定性推論のもつモデリングの側面が知的 CAD の実現にとって重要であることを述べる。また設計に定性推論を応用したいいくつかのシステムについて解説を加え、さらに筆者らの行っている設計対象のモデルの管理への定性推論の応用について述べる。最後に将来の展望として、工学における大規模知識ベースの問題、数値計算、幾何推論など他のモデリング手法との結合について、知的 CAD の立場から論じる。

2. 知的 CAD と定性推論

現在、機械設計向き CAD の研究では知的 CAD が重要な概念となっているが、それらの多くは従来のエキスパートシステム技術に基づくものである。大半のシステムでは対象領域の構成要素を仮定し、それらの間の関係を知識によって構築した上で拘束処理によってなんらかの整合性をもたせるといったスタイルをとっている。それゆえにルーチン設計、パラメトリック設計などへの応用に留まっており、新規設計など創造的設計過程への応用が困難であるという欠点をもつ。

知的 CAD の実現には、設計知識の表現が最も重要な課題である。設計知識には大きく分けて、設計過程に関する知識と設計対象を含む物理世界に関する知識があるが、特に後者は長い間幾何情報がその中心と考えられてきた。しかし、CAD の設計過程全体への関わりを考えるとこれでは不

十分であることが指摘され始めた。たとえば最近、形状モデリングの方面からフィーチャと呼ぶ目的論的 (teleological) な処理を指向した概念が注目されているが⁵⁾、それは必然的に記号的な形状の取扱いを必要とする。また、概念設計の段階で基本的な構造や動作原理の決定を支援するためには、物理現象に関する知識表現が不可欠である。定性推論 (より広くは定性物理、素朴物理などを含む) は、存在論 (ontology) に立脚した知識表現と推論を実現するものとして^{10), 30)}、上記の課題を解決する可能性をもつと考えられている。

定性推論には、系に生じる現象間にどのような関係があるのかを表現するモデリングの側面と、モデルに基づいて系の変化を調べる挙動予測 (envisoning) の側面がある。従来、故障診断など定性推論の工学への応用に関する研究では、どちらかといえば挙動予測の側面が強調されてきた。しかしそれは、適切なモデルが利用できることを前提とした上で挙動予測ができることを示したものである。特に設計への応用を考えると、対象のモデルをつくること自体が中心的な課題であり、しかも複数の観点からの検討が必要なためモデルも挙動予測の観点に依存して複数存在し得る。したがって定性推論の挙動予測の側面に加えて、モデリングの側面が重要になる。

知的 CAD における定性推論の役割を図-1 に示す。設計者がもっている設計対象の動作や構造に関する全体像は、図中で中心モデルと呼ぶ定性的なモデルによって表現される。現在の CAD では形状モデルが中心モデルの役割を果たしているが、知的 CAD では設計対象のさまざまな挙動をモデル化するために、中心モデルとして定性的なモデルが必要になる。特定の観点から設計対象を評価するためには、中心モデルから観点に関係する属性を取り出し、定性的または定量的な観点依存のモデルを生成する。定性的なモデルだけでな

† Applications of Qualitative Reasoning to Intelligent CAD by Tetsuo TOMIYAMA, Takashi KIRIYAMA and Hiroyuki YOSHIKAWA (Department of Precision Machinery Engineering, Faculty of Engineering, The University of Tokyo).

†† 東京大学工学部精密機械工学科

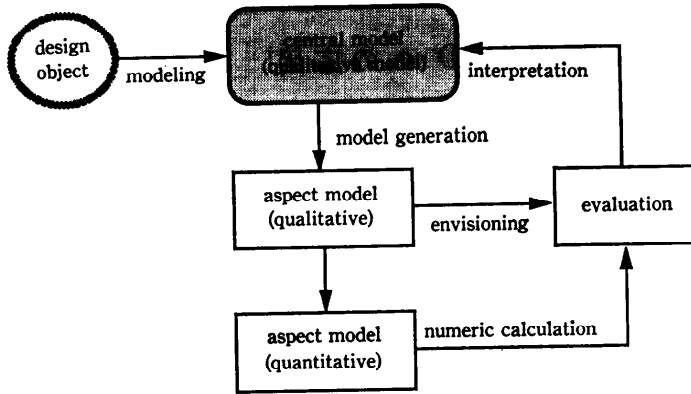


図-1 知的 CAD における定性推論の役割

く定量的なモデルでも、モデルの生成過程では評価の観点からみてどのような物理法則が適用できるのかを判断するために定性的な推論が必要になる。評価の結果からは仕様を満たすかどうかを解釈によって決定され、再び中心モデルを詳細化するために用いられる。

さて、定性推論が設計にどのように応用されているかについてはすでに発表されている研究も少なくない。次章ではそれらを紹介するとともに、それぞれの問題点についても触れる。

3. 知的 CAD への応用に関する既存の研究

3.1 定性的な設計・診断の先駆的研究

機械設計や故障診断の理論的研究では、物理現象や対象の構造を定性的に表現することの利点は、今日のように定性推論が人工知能の一分野として確立される以前から知られていた。これらの研究は主に系の定常的な状態を扱っているため、現在の定性推論からみると動的な挙動の表現や挙動推論の面で不十分な点がある。しかしその中には、現在の定性推論と本質的に同じ問題を扱っているものもある。

A. J. Polovinkin²⁸⁾ は 1970 年代に、定性的な物理現象の表現を機械の概念設計、すなわち要求機能を満足する機構を物理現象レベルで見つけ出す過程に利用した先駆的な試みを行っている。彼は物理現象を量の間の変換と考え、約 80 の物理現象に関して変換のためのデバイスと入力、出力のリストを作っている。設計は系全体の入力から出力への変換の連鎖を見つけることで行われる。このようにデバイスの挙動を入出力間の変換によ

て表現する方法は定義が明確であるが、デバイスが動作する場の表現や、固定するなどの量的な表現が難しい挙動の扱いに問題がある。

同じく 1970 年代に伊理ら¹⁷⁾ は、グラフ理論を応用した定性的な故障診断の可能性を示している。彼らの方法では、系のパラメータをノードとし、パラメータ間の影響の因果関係をリンクとする有向グラフを用いる。リンクは影響の正負を示す

ラベルをもち、系の状態は正常値を基準とした定性値 $\{+, 0, -\}$ をノードに与えることで表現する。このモデルには系の時間変化という概念がなく、したがって定性的比例関係と積分関係 (influence) の区別がない。しかしパラメータの値や関係を定性的に表現することで、解析を代数的操作に還元できることを示している点で定性推論と共通点がある。

中島ら²⁹⁾ は設計対象の評価を目的とした設計診断の研究の中で、物理特徴 (Physical Feature) を用いたモデリングを提案している。ここでいう物理特徴とは、機械の構造から挙動を導出する上で意味のある単位であり、たとえば面同士の接触や力の伝達などがある。機械の構造から挙動を推定するには構文解析の手法、すなわち特定の規則を満たす物理特徴の集まりをより上位の単位にまとめる方法をとっている。彼らはこの方法を陽には定性推論と呼んでおらず、また系の時間変化に関する推論も行っていない。しかし本質的には K. D. Forbus の定性プロセス理論におけるプロセス・インスタンスの生成⁹⁾ や、T. Bylander, B. Chandrasekaran らの挙動の集約化 (Consolidation)¹⁾ と同じものである。

3.2 定性推論を応用した設計システム

定性推論を設計に応用したシステムの多くは、発明的 (innovative) な設計ができることを強調している。これらのシステムでの発明は、定性的・定量的な挙動解析の結果が要求される仕様を満たすように初期構造を変更することや、既知のデバイスの組合せを探索することに還元される。

3.2.1 設計におけるモデルの扱い

S. Murthy, S. Addanki らの PROMPT²⁷⁾ は、設計において困難に直面したときにどう解決するかを扱ったシステムである。PROMPT は最初、プロトタイプのパラメータを変更することで仕様を満足させようとする。しかしパラメータの操作だけではうまくいかない場合、構造を変更させるオペレータ (Modification Operator) を用い、問題を解決する方向にプロトタイプの構造を変える。はりの設計の場合には材料の移動、材質の分布の変更、全体形状の変更などが Modification Operator である。オペレータを作用させると対象の挙動を推定するためのモデルも更新する必要があるが、対象が変化するとモデルがどう変わるかという関係はあらかじめモデル間の関係グラフ (Graph of Models) にまとめられており、オペレータが作用するとモデルはこのグラフを参照して変更される (図-2)。PROMPT は innovative な設計における汎用性のある解決方法を扱ったというだけでなく、モデルの成立する条件を陽に記述し、条件が変わるとモデルがどう変わるかというモデル間の関係を正面にもってきたという点で興味深い。また、後に述べるメタモデルとも関連性が強い。

PROMPT があらかじめ構造変更のオペレータをヒューリスティックとしてシステムに組み込んであるのに対し、J. Cagan, A. M. Agogino らの 1stPRINCE²⁾ では設計対象の支配方程式を分析

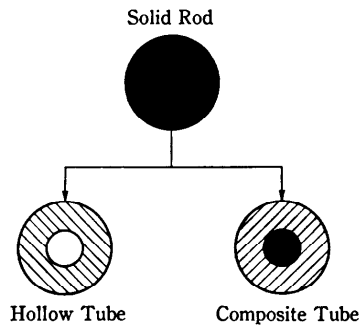
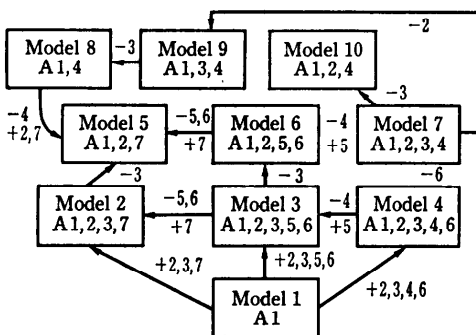


図-3 1stPRINCE における新しい構造の生成

することで新しい構造の生成を可能にしている。1stPRINCE でもはりの設計を例として取り上げているが、この場合まず質量計算の式と応力分布の式から目的関数 (質量) とパラメータの依存関係を調べ、拘束 (応力が一定値以下) の範囲内で目的関数を最適化するパラメータの変更の方向を定性的に導出する。パラメータの変更だけで仕様を満足する解が得られない場合には、質量分布の式に現れる積分を半径方向に二つの領域に分割し、おのおの異なる密度とねじり剛性を与える。この分割により、中空はりや組合せはりのような新しい構造ができることになる (図-3)。ただしこの方法の有効性は支配方程式、すなわち系のモデルが変化せず、積分の分割という数式上の操作が構造の変更に対応するときに限られる。

3.2.2 発明的な設計

M. G. Dyer, M. Flowers, J. Hodges らの EDISON⁶⁾ は、概念設計への定性物理の応用を試みている。EDISON が用いている対象表現は同軸、平行、上下、内外などの空間的な位置関係を含んだデバイス・トポロジ⁴⁾ である。挙動はデバイス・トポロジの上にプロセス⁹⁾ を結び付けることで表現される。EDISON で用いられているプロセスは、引力、斥力などの力学現象と、滑り、回転などの運動に関するものである。これらのプロセスは系の変化を定性的微分方程式を立てて推論するためよりも、どのような物理現象がデバイス・トポロジの上に起きるかを示すのに用いられている。EDISON は既知の機構のデータベースを蓄えており、それらを機能、構造と使われる状況によってインデックスづけしている。想起の過程ではメモリの中から関連するものが取り出され、発明の過程で想起された機構に変更が加えら



- 1 Slender Member
- 2 Constant Cross-Section
- 3 Elastic Material
- 4 Circular symmetry
- 5 Rectangular cross-section ($a, b < L$)
- 6 Solid beams
- 7 Hollow thin-walled shaft

図-2 PROMPT におけるモデル間の関係グラフ

れる。

また innovative な設計における機械的な探索を行うものとして、B. C. Williams³¹⁾ はパラメータ間の相互作用をドメイン知識として用いたデバイスの探索 (Interaction-Based Design) を提案している。

3.3 幾何情報の取り扱い

機械設計においては、要求される運動や空間的拘束を実現するために幾何形状が重要な位置を占める。物体間の拘束に関しては機構対 (kinematic pair) の分類の研究が機械工学の分野で以前からあり、これは以下に述べる定性的な機構学にも影響を与えている。さらに定性的な機構学では、幾何学的な拘束関係を量的でしかも直感的に理解しやすい形で取り扱うために、Configuration Space (C-Space)²⁶⁾ の利用が注目されている。

3.3.1 CSG モデルからの定性的挙動の構成

A. Gelsey¹³⁾ は、3次元の CSG (Constructive Solid Geometry) モデルで表現された形状から面の接触関係と CSG トリーを利用して機構対を見つけ、機構対間の拘束関係をもとに機構全体の挙動を構成している。彼の方法では、たとえばクランク・シャフトに連結したピストンは、シリンダ内の往復方向にしか自由度をもたないように拘束されていることを見つけ、ピストンの上死点、下

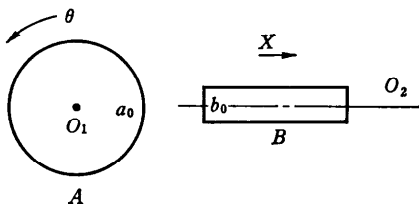
死点の位置に相当するクランク・シャフトの特定の回転角を求めることができる。

3.3.2 MD/PV モデル

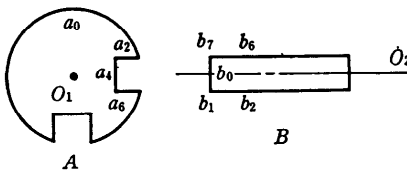
K. D. Forbus, P. Nielsen, B. Faltings らの定性運動学 (Qualitative Kinematics)^{8), 11)} では、定量的な幾何情報を表現する Metric Diagram (MD) と、物体間の定性的な位置関係を表現する Place Vocabulary (PV) を組み合わせた MD/PV モデルが用いられる。たとえばラチェットとピンの機構対の挙動推論を行う場合、MD ではラチェットとピンの形状と位置が数式によって記述される。PV ではラチェットの歯とピンの全ての接触状態を定性的状態として区別し、状態間の可能な遷移をグラフとして表現する。MD から PV を作るためには、ラチェットとピンの稜線と頂点の全ての組合せが作る接触状態を C-Space 上の領域に写像し、領域間の接続関係から状態遷移のグラフを作る。

3.3.3 Configuration Space を用いた設計

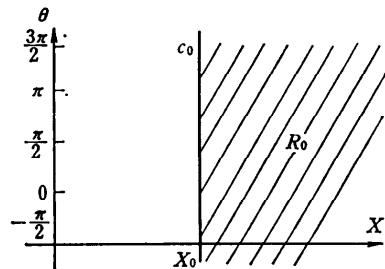
L. Joskowicz, S. Addanki らは C-Space を用いた形状の設計を提案している²⁰⁾。彼らの方法では、初期形状から作られる C-Space と仕様として与えられる C-Space の差が、解に必要な形状特徴 (feature) を探すキーになる。設計過程では、仕様に近づくために付加/除去すべき境界線を



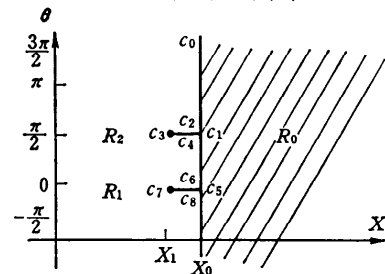
(a) Initial Shapes



(b) Modified Shapes



Initial Space, $CO(A,B)$.



Space After Modification, $R(A,B)$.

図-4 C-space 上の設計

初期形状の C-Space 上で見つける。付加すべきものについてはその境界線の形状を実現する形状特徴をテーブルを参照して形状に加え（複数の候補があり得る）、除去すべきものについてはその境界線を形成している形状特徴を取り除く操作を繰り返す（図-4）。

C-Space は形状間の干渉を定量的に表現するため、複雑な形状を対象にすると不必要に詳細な情報をもつことになる。このため定性的な挙動の表現と C-Space による定量的な表現とを結ぶ、抽象化の方法が必要になる。L. Joskowicz は、パラメータの変域の制限、力学的に可能な運動への制限、C-Space 上の境界線の区分線形化、形状誤差の縮退などを行って C-Space を単純化する方法を提案している¹⁹⁾。

3.3.4 定性的空間推論

機構対による拘束よりも自由度の大きい空間内の運動を扱うには、形状だけでなく力学的条件を考慮する必要がある。E. Davis は空間内の運動を推論するための、幾何と力学に関する公理系の構築を試みている⁷⁾。彼はじょうごの中に落としたダイスの運動が最終的にじょうごの低面上で安定することを公理系から導いている。しかし公理系自身はかなり複雑なものとなっている。

車谷²⁴⁾は平面内の剛体の運動に関する、C-Space を用いた定性推論を行っている。剛体の姿勢は3次元の C-Space 上の定性化されたベクトルに

よって表現される。力のつりあいに関する定性的微分方程式を2次元空間内で解いた後、速度ベクトルが C-Space 上に写像され、C-Space 上で定性的状態の推移が計算される。このような方法は、定性的微分方程式を立てる前にパラメータをどう定性化してモデルを作るかに問題ごとの工夫を要する。

4. 知的 CAD におけるモデリングと定性推論

設計対象の属性や挙動は、一般にさまざまな観点からモデル化できる。観点の異なるモデルを統合的に管理するには、モデルの生成に関する知識や、複数のモデル間の整合性を管理するための知識が必要になる。定性推論のもつ物理現象の記号的なモデル化の側面は、このような知識を備えた知的 CAD への鍵であると考えられる。

設計対象のモデルは、属性や生じうる物理現象のうち、特定の観点に関係するものの選択的な記述とみることができる。したがってモデルの生成に関する知識とは、モデルがどのような情報を表現し、それが他のモデルからいかに導出されるかに関する知識である。またモデル間の関係管理の知識とは、個々のモデルが表現している属性や物理現象間にどのような関係が付けられるのかを推論するための知識である。このようなモデリングのための知識を CAD にもたせることは、設計者が設計対象を把握するのに用いているのと同様の

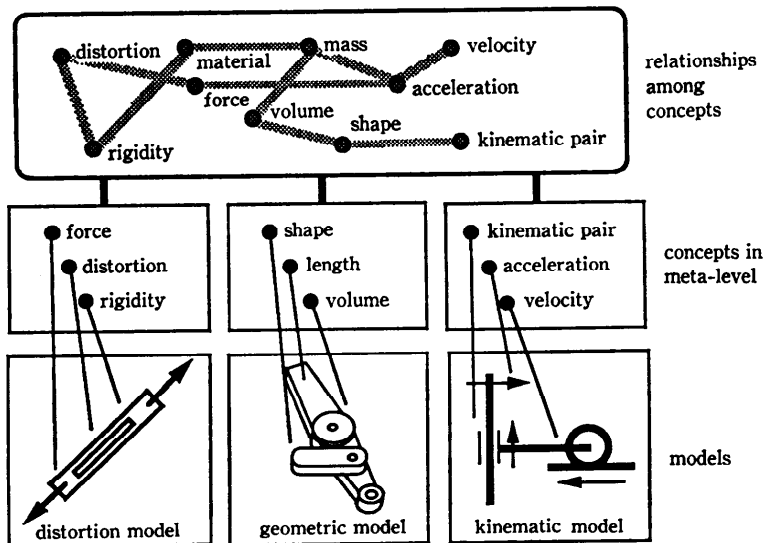


図-5 メタモデルによるモデルの統合

物理学・工学上の知識を計算機内に表現することに相当する。筆者らはこのために、メタモデルという枠組を提案している²²⁾。メタモデルでは、設計対象を記述するためのさまざまな属性や物理現象に関する概念の集合（たとえば力、速度、剛体、質量など）を用意する。概念の集合の要素には、その概念が他のどのような概念を前提にして成立するのかという、概念間の依存関係を定義する。そしておのおののモデルのデータには概念を対応させ、設計対象のどの挙動や属性を表現しているかを示すことにする。（これをモデルのメタレベルでの表現と呼ぶ）。モデルが変更されると、メタモデルは概念の依存関係からモデル間の関係を判断し、一貫性を保つように関係するモデルを変更する（図-5）。メタモデルにおいて本質的なことは、モデル間の関係をつけているさまざまな物理学・工学上の概念を CAD が知識としてもつことである。このような概念や概念間の関係は、定性プロセス理論⁹⁾のビュー/プロセスと同様な枠組で表現することができる²³⁾。

5. まとめと展望

知的 CAD の構築のために定性推論が不可欠な要素であることは、本稿の初めに述べたとおりである。しかし現時点での定性推論の設計への応用は、モデリングの面からみると領域を限定し、定性的微分方程式、プロセス、幾何形状など特定の表現方法を選べば設計対象の定性的なモデリングが可能であることを示すに留まっている。これらは汎用性のあるモデリングの手法を提示するには至っておらず、どちらかといえば挙動予測に重点がおかれている。実用的な知的 CAD を構築するには、人間のもつ物理世界に関する膨大な知識と柔軟な推論能力を計算機内に実現する必要がある。また既存の CAD 技術との融合も、設計過程全体を支援するために必要である。そのため、今後次のような点を知的 CAD と定性推論の共通の課題として解決しなければならない。

まず、物理世界に関する大規模な知識ベースが必要である。このための試みとしては、MCC の CYC プロジェクト²⁵⁾や本号の別稿で述べられている Stanford 大学のプロジェクト¹⁸⁾、京都高度技術研究所の大規模知識ベース・プロジェクトがある。また筆者らも、一般的な物理法則と機構学を

対象にした知識ベースの構築に着手している³³⁾。このような知識ベースでは、単にデータベースのエントリとしてのデータを収集するだけでなく、物理世界を表現するに十分なほどデータ同士が密に関連づけられていることが重要である¹⁵⁾。

またこれまでの CAD は、有限要素法などに代表される数値解析の技術を利用できるという利点のために発展した面がある。しかし、解析の準備や結果の解釈は熟練を要し、主に専門家の手で行われているのが現状である。どのような物理現象が起こり得るのか、したがってどのような条件での解析が必要か、また結果をどう解釈して設計にフィードバックすべきかなどの判断に定性推論の技術を応用すると、解析を自動化できる可能性がある。一部のコンサルテーション・システム（たとえば文献 3）、32)）には、特定の解析システムに特化した形でルールを用いて判断を行うものもあるが、まだ一般的な解析の知識をもつには至っていない。

定性推論における空間の取り扱いの基礎として、幾何推論の技術を利用できる可能性がある。幾何推論では、幾何要素を論理式や代数方程式を用いて表現し、幾何要素間の関係を示した結論を定理証明の形式で導出する。特に最近、証明の過程を単純な代数操作の繰り返しに還元する Wu の方法^{16)、21)}が注目されており、幾何推論をより容易に利用できる可能性がある。

流体の運動や空間パターンなどはパラメータ化することが難しく、むしろ人間が空間配置をイメージするときのような、空間の縮図を用いてモデル化するほうが適している。記号的な表現とは別の、このようなアナログカルな表現も定性推論の一方法として研究されている¹²⁾。これには、たとえば流体系の設計への応用が考えられる¹⁴⁾。しかしこの場合も、アナログカルだけでなく記号的だけでもない、複数の推論形態の組合せが必要になる。

6. おわりに

本稿では、知的 CAD の実現に定性推論がどのように応用できるかについて、主に物理現象のモデリングの面から述べた。人間が物を設計できるのは、抽象的な概念を用いて物理現象の新しい組合せを作り出す能力をもつからである。この能力

を計算機にもたせようとするところに、知的 CAD と定性推論の接点がある。今後の定性推論の進歩は、知的 CAD の実現にとって大いに期待される。また設計の研究の側からも、定性推論の発展に貢献するような問題提起ができると思われる。

参考文献

- 1) Bylander, T. and Chandrasekaran, B.: Understanding Behavior Using Consolidation, in Proceedings of IJCAI-85, pp. 450-454 (1985).
- 2) Cagan, J. and Agogino, A. M.: Innovative Design of Mechanical Structures from First Principles, *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing* 1, 3, pp. 169-189 (1987).
- 3) Cagan, J. and Genberg, V.: PLASHTRAN: An Expert Consultant on Two-Dimensional Finite Element Modeling Techniques, *Engineering with Computers* 2, pp. 199-208 (1987).
- 4) de Kleer, J. and Brown, J. S.: Qualitative Physics Based on Confluences, *Artificial Intelligence* 24, pp. 7-83 (1984).
- 5) Dixon, J. R., Cunningham, J. J. and Simmons, M. K.: Research in Designing with Features, in Yoshikawa, H. and Gossard, D. eds., *Intelligent CAD, I*, pp. 137-148, North-Holland, Amsterdam (1989).
- 6) Dyer, M. G., Flowers, M. and Hodges, J.: Edison: An Engineering Design Invention System Operating Naively, in Sriram, D. and Addey, R. eds., Proceedings of the 1st Conference of Applications of Artificial Intelligence in Engineering Problems, pp. 327-341, North-Holland, Amsterdam (1986).
- 7) Ernest, D.: A Logical Framework for Commonsense Predictions of Solid Object Behavior, *Artificial Intelligence in Engineering* 3, 3, pp. 125-140 (1988).
- 8) Faltings, B.: Qualitative Kinematics in Mechanisms, in Proceedings of IJCAI-87, pp. 436-422 (1987).
- 9) Forbus, K. D.: Qualitative Process Theory, *Artificial Intelligence* 24, pp. 85-168 (1984).
- 10) Forbus, K. D.: Intelligent Computer-Aided Engineering, *AI Magazine* 9, 3, pp. 23-36 (1988).
- 11) Forbus, K. D., Nielsen, P. and Faltings, B.: Qualitative Kinematics: A Framework, in Proceedings of IJCAI-87, pp. 430-435 (1987).
- 12) Gardin, F. and Meltzer, B.: Analogical Representations of Naive Physics, *Artificial Intelligence* 38, 2, pp. 139-159 (1989).
- 13) Gelsey, A.: Automated Reasoning about Machine Geometry and Kinematics, in the 3rd IEEE Conference on AI Applications, pp. 182-187 (1987).
- 14) Gunnare, P., Kiriya, T., Tomiyama, T. and Yoshikawa, H.: A Graphical Approach to Naive Physics and Qualitative Reasoning, 人工知能学会研究会資料 SIG-KBS-8904, pp. 11-19 (1989).
- 15) Hayes, P.: The Second Naive Physics Manifesto, in Hobbs, J. and Moore, R. C. eds., *Formal Theories of the Commonsense World*, pp. 1-36, Ablex (1985).
- 16) 乾 正知, 木村文彦, 佐田登志夫: 機械設計支援のための数式の取扱い—もうひとつの幾何推論—, 1989年度精密工学会秋季大会学術講演会論文集 pp. 251-252 (1989).
- 17) 伊理正夫, 青木克明, 大島栄次, 松山久義: システムの異常の原因探索のための一つのグラフ理論的方法, 電子通信学会技術研究報告 76, 135, pp. 63-68 (1976).
- 18) 岩崎由美: 定性推論の応用に関する展望, 情報処理 (in this volume) (1991).
- 19) Joskowicz, L.: Simplification and Abstraction of Kinematic Behaviors, in Proceedings of IJCAI-89, pp. 1337-1342 (1989).
- 20) Joskowicz, L. and Addanki, S.: From Kinematics to Shape: An Approach to Innovative Design, in Proceedings of AAAI-88, pp. 347-352 (1988).
- 21) Kapur, D. and Mundy, J. L.: Wu's Method and Its Application to Perspective Viewing, *Artificial Intelligence* 37, 1-3, pp. 15-36 (1988).
- 22) 桐山孝司, 山本文緒, 富山哲男, 吉川弘之: 定性推論によるメタモデルの表現, 人工知能学会研究会資料 SIG-KBS-8803, pp. 29-37 (1988).
- 23) 桐山孝司, 中田秀基, 富山哲男, 吉川弘之: 部分抽象化モデルを用いた定性推論, 1990年度人工知能学会全国大会 (第4回) 論文集, pp. 235-238 (1990).
- 24) 車谷浩一, 富山哲男, 吉川弘之: 多変数定性空間を用いた物体の平面運動の推論, 人工知能学会誌 5, 4, pp. 449-461 (1990).
- 25) Lenat, D. B. and Guha, R. V.: *Building Large Knowledge-Based Systems*, Addison-Wesley, Reading, MA (1989).
- 26) Lozano-Pérez, T.: Spatial Planning: A Configuration Space Approach, *IEEE Transactions on Computers* C-32, 2, pp. 108-120 (1983).
- 27) Murthy, S. and Addanki, S.: PROMPT: An Innovative Design Tool, in Proceedings of AAAI-87, pp. 637-642 (1987).
- 28) Polovinkin, A. J.: Untersuchung und Entwicklung von Konstruktionsmethoden, *Machinenbau-technik* 28, 7, pp. 297-301 (1979).
- 29) Takase, H. and Nakajima, N.: A Language for Describing Assembled Machines, in Proceedings of the 1st International Symposium on Design and Synthesis, pp. 600-605 (1984).
- 30) 田中 博: 定性推論とオートロジー—定性推論の基礎的原理, 淵 一博 (監修), 溝口文雄, 古川康一, 安西祐一郎 (編), 定性推論, pp. 11-76, 共立出版 (1989).
- 31) Williams, B. C.: Interaction-based Invention: Designing Novel Devices from First Principles, in Proceedings of the 4th International

Work shop on Qualitative Physics, pp. 161-168 (1990).

- 32) 矢川元基, 吉村 忍: 人工知能と計算力学 (1), 機械の研究 39, 11, pp. 1175-1180 (1987).
 33) 山本文緒, 中田秀基, 富山哲男, 吉川弘之: フィジカル・フィーチャー・データベースの開発, 第8回設計シンポジウム講演論文集, pp. 88-90 (1990).

(平成2年8月31日受付)



富山 哲男 (正会員)

1957年生。1980年東京大学工学部精密機械工学科卒業。1985年同大学院工学系研究科精密機械工学専攻博士課程修了。工学博士。同年財団法人日本システム開発研究所嘱託, 同年オランダ・アムステルダム市 Centrum voor Wiskunde en Informatica (CWI, 数学情報科学研究所) 研究員。1987年東京大学工学部精密機械工学科助教授。専門は設計学と知識工学の工学への応用。現在の研究テーマは, 設計過程モデル論, 設計知識表現論, インテリジェント CAD の開発, 自律型知的システムなど。精密工学会, 日本機械学会, 人工知能学会, ACM, AAI, IEEE, CS, Eurographics, ASME 各会員。



桐山 孝司

1964年生。1986年東京大学工学部精密機械工学科卒業。1991年同大学院工学系研究科精密機械工学専攻博士課程修了予定。定性推論のインテリジェント CAD への応用の研究に従事。精密工学会, 人工知能学会, ACM, IEEE, Cognitive Science Society 各会員。



吉川 弘之 (正会員)

昭和8年生。31年東京大学工学部精密工学科卒業。理化学研究所大越研究室を経て41年東京大学工学部助教授, 53年教授。平成元年工学部長。工学博士(研削砥石の摩耗と寿命), 研究課題, 一般設計学, 生産システム, 保全ロボット。

