

TM-0681

設計型エキスパートシステム研究に対する
イメージ及び技術課題について
(昭和62年度知識システム・シェル・
ワーキンググループ 設計型エキスパート
システム・サブワーキング報告書)

永井保夫 編集

February, 1989

©1989, ICOT

ICOT

Mita Kokusai Bldg. 21F
4-28 Mita 1-Chome
Minato-ku Tokyo 108 Japan

(03) 456-3191~5
Telex ICOT J32964

Institute for New Generation Computer Technology

ICOT Technical Memorandum

TM-

設計型エキスパートシステム研究に対する イメージ及び技術課題について

— 昭和62年度知識システムシェルワーキンググループ
設計型エキスパートシステムサブワーキング報告書 —

永井 保夫 (編集)

KSSワーキンググループ・DES-SWG

(長澤 勲 [九州大学] 主査)

ICOT

まえがき

昭和62年度の知識システムシェルワーキンググループ(KSS-WG)は、次世代知識システム構築に要求される5つの要素技術(仮説推論、問題解決モデルと知識表現、分散協調問題解決、知識獲得支援、および設計型エキスパートシステム)を仮説として設定し、それぞれの検討を行うために、サブワーキンググループ(SWG)という形式で開催された。本報告書は、その中の設計型エキスパートシステムSWGについてのものである。

本SWGは、アプリケーションを主体として設計問題向けエキスパートシステムの研究を行うために、AI側とCAD側の両方向から議論を行うことを目的として開催された。従って、本SWGは、AI側から研究に取り組んでいる外部有識者(大学および企業関係)、CAD側から研究に取り組んでいる外部有識者、再委託関係者、オブザーバ、ならびにICOTメンバーから構成された。

その基本方針を、設計型エキスパートシステムの基本構成要素を明確にすることならびに具体的な題材をもとにして設計エキスパートシステムを検討することに定めた。

前者の最終目的は、設計過程のモデルならびにその実現に必要なタスクおよび設計対象のモデルを明確にし、さらにユーザ・インターフェイスを考慮したうえで設計用記述言語(設計向け特化型シェルおよびエキスパートシステム構築支援環境の提供を含む)を提案することにあった。

後者の最終目標は、共通問題(工作機械の主軸設計など)を対象とした知的CADシステム(エキスパートシステムと設計対象のモデリングの融合)のためにたたき台となるアーキテクチャを検討することにあった。

具体的には、設計型エキスパートシステムの基本構成要素および設計対象モデルに分けて検討を進めた。その際、必要に応じてヒアリング(事例紹介)による調査や文献による調査も行った。

本報告書は、SWG活動報告と「設計型エキスパートシステム研究に対するイメージ及び技術課題」に対する各委員の方々の意見ならびにそれを題材として自由な議論をまとめたものである。本報告書によって、設計型エキスパートシステム研究の参考になれば幸いである。

本報告書の作成に当たり機会を与えてくださったICOT研究所の淵所長、原稿の執筆にご協力いただいた長澤主査ならびに委員・オブザーバの方々、ならびにSWGの運営に際してご協力およびご助言いただいたICOT第5研究室藤井室長および研究員の方々に深謝いたします。

ICOT 第5研究室 永井 保夫

目次

1. 設計型 E S S W G 活動報告
長澤 勲 主査 (九州大学 中央計数施設)
2. 機械設計エキスパートシステム実現に向けての考察
伊藤 公俊 (東京工業大学 総合理工学研究科)
3. 設計型エキスパートシステム研究について
小島 俊雄 (機械技術研究所 システム部)
4. 設計型エキスパートシステム研究について
菊池 一成 (キャノン 情報システム研究所)
5. 設計型エキスパートシステム研究に関する考察
中野 剛 (松下電器産業 技術本部)
6. 機械設計エキスパートシステムの検討課題
加藤 文之 (松下電器産業 技術本部)
7. 設計型エキスパートシステム研究に対する意見
野田 泰徳 (沖電気工業 技術本部)
8. 設計型エキスパートシステム研究に対する期待, 技術課題
進藤 静一 (三菱電機 中央研究所)
9. 工程設計システムの研究状況とその問題点
福田 好郎 (機械振興協会 技術研究所)
10. 知的 C A D の課題
長澤 勲 (九州大学 中央計数施設)
11. 設計型エキスパートシステムについての検討課題
永井 保夫 (I C O T 第五研究室)
12. 議事録

1. 設計型ES SWG活動報告

1・1 はじめに

近年、多くの製造業は厳しい環境に置かれており、製品の差別化、設計の迅速化、低コスト化への努力は間断なく行なわれている。最近、このための有力な武器としてCAD (Computer Aided Design)は注目を集め急速に普及し始めた。この理由には、計算機が高性能・低価格化したことやCADをとりまく情報処理技術が実用レベルに成熟してきたことがあげられる。しかしながらCADの基本的な課題、即ち設計者の設計作業のどのような部分を支援すれば良いのか、あるいはCADシステムをどのようにして開発し保守すれば良いのか、について一般性のあるガイドラインは見いだされているとは言えない。CAD技術の健全な発展のためには、CADの必然性のある発展方向を見きわめることや、CADシステム構築のためのツールの開発を行なうことが必要である。CADの課題は対象分野や目的により極めて多岐に渡るため、その解決には多数の専門家の協力や学際的な研究が必要である。

本サブワーキンググループは、第5世代コンピュータプロジェクトの立場からCAD技術の課題を検討するために設立された。

1・2 活動方針

本SWGの目的は、機械・建築・造船などの各種業における知識情報処理技術のニーズ及びシーズの調査・分析を行い、その結果に基づいてCADシステム用ツールの技術課題を明らかにすることにある。本SWGの活動成果は、第5世代プロジェクトの成果を実用技術に導くための重要な指針を与えるという意味において意義があるものと思われる。

本SWGは、長澤勲（九州大学中央計数施設）を主査として、伊藤公俊（東京工業大学総合理工学研究科）、福田好郎（機械振興協会技術研究所）、小島俊雄（機械技術研究所システム部）、鈴木宏正（東京大学教養部）、菊池一成（キャノン情報システム研究所）野田泰徳（沖電気工業技術本部）、中野剛（松下電器産業技術本部）、加藤文之（松下電器産業技術本部）、進藤静一（三菱電機中央研究所）の各委員及びICOTの第五研究室によって構成された。

1・3 活動内容

以下の課題について議論を行なった。

第一回委員会（昭和62年7月29日）

（1）挨拶（藤井第五研究室室長）、委員自己紹介

（2）知的CADについて

伊藤委員および永井氏〔ICOT〕より、知的CADはCAD技術とAI技術の接点に位置付けられ、要素技術としてCAD側からは属性モデリング、AI側からは設計エクス

パートシステムが提案されている旨の報告がなされた。

(3) 設計型エキスパートシステムの研究課題について

永井氏 [ICOT] より、well define な設計課題（とくにConstraint Solving）に限定し、設計エキスパートシステムのアーキテクチャの明確化を図りたいとの意見が述べられた。

(4) SWG活動方針計画について

上の意見に対し機械系のCAD研究者からWell define な問題だけに限定しては設計の本質を見失うのではないかという意見がだされた。実用技術としてのCADを考慮した場合、CAD自身のパラダイムも確立されていない現状では、CAD側とAI側のベクトル合わせにかなりの努力が必要であるという合意が得られた。

(5) CONMOTO: A Machine Part Description System based on Designer's Mental Process

伊藤委員より、設計対象のメンタルモデル（設計過程において設計者が心に描く対象のモデル）を表現したモデルCONMOTOの説明があった。

(6) 設計エキスパートシステム

長澤主査より、次世代CADの課題、CADの方法論、設計過程のモデル化、長澤らのADL及びADL II、設計エキスパートシステムの例について説明があった。

第二回委員会（昭和62年8月28日）

(1) 設計システム構築ツールのサーベイ

永井氏 [ICOT] より、ルーチン設計システムVEXPERT, DSPL, PRIDE, PROMPT について説明があった。

(2) 例題としての工作機械（施盤の主軸）の設計問題の説明（井上ICOT）

井上氏 [ICOT] より、施盤主軸設計問題の設計手順について説明があり、本SWGで検討する共通例題の一つとして提案された。機会系CAD研究者から設計支援として本質をついていないのではないかという意見が出されたが、議論の結果ツールを育てる一つの例題として了承された。

(3) SWGの検討課題について

主査より本SWGの課題として、設計対象の表現問題とエキスパートシステムの推論機構の二つに分けて検討を進める旨提案が行われ了承された。

第三回委員会（昭和62年9月21日）

(1) 研究課題とSWGの運営について

主査より、設計対象モデルの課題として形状モデル、属性モデル、工学解析システム推論機構などを統一的に表現する枠組み、設計型shellの推論機構の課題として推論機構の効率化、推論を制御する知識、設計対象モデルを中心としたカスタマイズ可能なC

A D システムの枠組みなどの提示を行い、二つのグループに分けて議論を行った。

(2) 推論機構グループ

課題として、推論能力の向上、設計者が操作できる簡易言語、属性モデルの推論機構、工学解析との結合を取り上げる。

(3) 対象表現グループ

課題として、公的知識、モデラと推論機構の関係、形状とフィチャー記述、図面や寸法の取扱いを取り上げる。

(4) 両者の検討内容の議論と今後の方針について

両者の内容について検討した結果、今後各委員が推論機構と対象表現のプロトタイプを持ちより議論を続けることになった。

(5) 主軸問題のプロトタイプ

加藤委員より、PRIDE システムを参考にして整理した主軸問題の説明があり、議論が行なわれた。

(6) 設計用言語の紹介 (永井氏 ICOT)

第四回委員会 (昭和 62 年 10 月 30 日)

(1) 切削工具における CAD/CAM

島田氏 (東芝タンガロイ) に講演をお願いした。講演の概要は①東芝タンロガイの紹介、②ビデオによる切削工具の説明、③切削工具の CAD/CAM の説明である。CAD/CAM は顧客の特注品を迅速に設計制作するため、工具形状は定義言語で記述可能、3D モデルは刃先取り付けの確認のためであり 3D のデータ自身は重要でない等の有益なコメントがあった。

(2) 文献紹介

次の 2 件の文献が紹介され、議論が行われた。

①ENGINEOUS: A Knowledge Directed Computer Aided Design Shell

(紹介者、大貝 [新日鉄])

②Compiling Design Plans from Descriptions of Artifacts and Problem Solving Heuristics (紹介者、坂根 [ICOT])

(3) 今後の SWG の活動について

主査より、本年度は CAD の要素技術をまとめるのは困難であるため本年度の成果として、ニーズとシーズの関連表、類似問題の一覧表を作成することを提案し了承された。

第五回委員会 (昭和 62 年 11 月 27 日)

(2) 文献紹介

次の 4 件の文献が紹介され、議論が行われた。

①Opportunistic Constraint-Directed Search in Space Planning. (紹介者、福田委

員)

- ②An Investigation of Opportunistic Constraint Satisfaction in Space Planning.
(紹介者、福田委員)
- ③Research in Designing with Features. (紹介者、今村 [機械技研])
- ④Making Compromises among Antagonistic Constraints in a Planner. (中野委員)

第六回委員会(昭和62年12月17日)

(1) 文献紹介

次の文献が紹介され、議論が行われた。

- ①A Knowledge based system for design automation. (紹介者、鈴木委員)

(2) オブジェクト施行概念による製品モデリング

今村氏(機械技研)に、開発中の製品モデリングシステムについて講演をお願いした。講演の概要は、①形状モデルG-repを基本とした製品モデリングシステムの概要、②ESPとの親和性についてである。

(3) 62年度報告書のまとめ方についての議論

主査より、設計作業の様式化の段階を軸にCADの参照モデル(設計者がCADシステムをどのように使用するかをモデル化したもの)を整理し、これに対してシーズ側から技術的課題を拾うことを提案した。各委員より、主軸問題を仮説推論で解く場合の問題点、設計エキスパートシステムの参照モデル、機械系と情報系の共通例題、属性モデルの発展型などが提案された。

第七回委員会(昭和63年1月29日)

(1) 機構を属性モデルで表現する研究

川辺氏(IBM 東京研究所)に、在学中に研究した属性モデルについて講演をお願いした。講演内容は、①属性処理機構と形状モデルとを結合して構成した製品モデルシステムの概要、②システムの問題点と今後の課題である。ロボットハンドの例をひき、設計案の段階的詳細化が困難なこと、属性の意味を管理する推論機構の必要性、形状特徴と属性の相互変換の必要性など有益なコメントが得られた。

(2) 文献紹介

次の文献が紹介され、議論が行なわれた。

- ①Constructing and Maintaining Detailed Production Plans: Investigations into the Development of Knowledge-Based Factory Scheduling Systems.

(紹介者、福田委員)

(3) 62年度報告書のまとめ方についての議論

次の3件が報告書作成のためのたたき台として提出され、議論が行われた。

① C A D 標準化委員会機能評価分科会の活動から

主査より、主査をはじめ機械系の委員多数が参加している設計製図学会「高度技術化に対応する機械製図システムの為の調査研究委員会（工業技術院委託 C A D 標準化委員会）」機能評価分科会で行なった C A D のニーズ調査の概要を報告した。

② 設計型エキスパートシステムの分類

永井氏 [ICOT] より、ルーチン設計を対象とした設計過程のモデルの分類案が提案された。

③ 対象モデル記述言語に関するメモ

横山氏 [ICOT] より、設計エキスパートシステムを構成する立場から、対象モデル記述言語の機能について提案された。

1・4 活動成果

設計型 E S - S W G は本年度の活動として 8 回の委員会を開き、C A D のニーズとシーズの調査分析、第五世代コンピュータプロジェクトで取り上げるべき課題について総合的に議論を行った。主要な C A D のニーズとして、

① 製品企画や品質管理における情報の収集・整理や知識の獲得の支援システム

② 機構、機能、設計意図などを統一的に表現できる製品モデル

③ 設計作業を部分的に自動化する自動設計や設計エキスパートシステム

④ 規格、標準部品、物性データ、設計法、工作法など公的知識の知識ベース

⑤ 設計技術継承のための教育・訓練支援システム

をあげることができる。知的 C A D の研究事例が不足していることもあり、本年度はシーズ側からの調査・分析は不徹底に終わったが、②の課題に対して属性モデルが、③の課題に対してルーチン設計のための推論機構が有望である見通しを得た。

尚、本サブワーキンググループの成果はテクニカルメモとして発表する予定である。

1・5 おわりに

本 S W G の活動を通じて第五世代コンピュータプロジェクトは、C A D に対して重要な技術を提供できる立場にあることが明らかになった。しかしながら、C A D の課題は余りにも複雑・多岐に渡るため C A D の研究者が問題点を十分に把握していないことや、知識情報処理の研究者が設計業務についてほとんど無知であることは大きな壁になっている。この事は、IFIP の Intelligent CAD Workshop でも同様であったと聞く。したがって今後は、異分野の C A D の研究者、C A D 開発担当者、知識情報処理の研究者間の交流をさらに広げる必要がある。このような活動を通じて、第五世代コンピュータプロジェクトの成果が実用的に結びつくものと思われる。

2. 機械設計エキスパートシステム 実現に向けての考察

東京工業大学 伊藤公俊

1. 日本の工業と情報処理技術：設計エキスパートシステムの目的

工学技術が人間のためになるものを生み出すことを目的としてきたことは言うまでもないが、現代ではさらにある種の戦略性を帯びて来ている面がある。このような状況において、技術開発を行うにはどのような対象に、どのような貢献を行うべきか、ということ十分に考えておく必要がある。世界全般に貢献するのか、日本に貢献するのか、あるいは別の位相を考えた集団に寄与するのかということである。昨今、日本の技術の将来方向について議論が多く、製品の国際競争力の低下が心配されてきているが、ひるがえって、過去の（戦後の）日本の工業の一応の発展は何に担われて来たのかということを考えておく必要がある。過去あるいは現在の推進力を無視した将来展望は有り得ない。

日本の工業の推進力は工業製品の生産技術であるということが、かなり強く意識されるようになってきた。製品企画あるいは開発能力ではなく、情報処理関係の技術が工業技術を（貢献はあるにせよ）直接リードしてきたのではない。生産の現場作業者の技術的、知的水準の高さから、生産技術者や設計技術者の共同作業（このこと自体が日本の特徴である）が円滑に行われ、現場で各種の改善が行われてきたことが、日本の製品の国際競争力を高めて来たと考えられている。いわゆる広義の自動化の問題には、このような状況をも考慮される必要がある。現在、米国は自国の国際競争力を高めるために数々の方策を打ち出しているが、その中の一つに製品生産の完全自動化がある。これは製品企画・開発力と情報処理技術を背景に、製品の品質の非常な高さは特別求めずに、人間の不注意に基づく欠陥を排除し、安定した製品を生産しようというものである。このような方策は、多分に日本を意識したものであり、ある意味で日本の弱点を衝いたものとも言える。学会発表に現れるような研究開発も、そのような方向性を反影しており、

従来のように米国産の技術の移植を行っても、日本には何等貢献しない可能性が高い。他の分野にも見られることであるが、情報処理技術も（人工知能も）基本概念は米国技術の受け売りであり、少々の工夫と、造船やプラント工業（日本が一時は世界的にリーダーシップを取っていた）に見られるようなシステムの構築・運用両面にわたる極度な労働集約に支えられてきたことを強く認識する必要がある。

知的CADの構築あるいはそのシーズ技術の開発にあたっては、話題としての定結性を犠牲にしても単純全自動化指向を排除し、（日本）人の英知を生かす、あるいは助長するような情報処理システムの構築を行うことが必要である。このような単純自動化否定の指向性が、技術的水準の低さを意味している訳ではないのは明かである。すべてを人手によって行うことを主張しているのではなく、情報処理システム本来の姿である人間に対する高度な支援の実現を主張しているのであるから、課題としてはかえって困難だということができる。

2. 設計エキスパートシステムにおける対象表現

設計エキスパートシステムを構築するためには設計対象表現技術の確立が先決である。この技術の重要性はCADプロパーではかなり以前から認識されてきているが、情報処理プロパーにも認識されつつある。しかし、そのためには対象領域にかなり深く関与することを余儀なくされ、必ずしも成功を見ていない。しかも、対象表現技術としては容易なLSI設計などの経験を機械設計のようにそれが困難な分野に不用意に普遍化する向きも見られるのが問題である。

2-1. 設計対象表現の要件

CAD一般において設計対象表現に要求されることとして、常識的に以下の三つが考えられる。

(1) 統合性

設計は、広範囲な活動と深く関係する。そのため、CADシステムが設計行為に貢献しようとするれば、設計対象表現はそれらの広範囲な活動に対して、必要な情報を提供したり、逆に生じる情報を格納したりする能力が要求される。すなわち、関係する諸活動を設計対象表現の観点で統合することが要求される。

(2) 一般性

①製品独立性

CADシステム利用の有効性を実現するためには、特定の種類の製品が表現できるだけでは不十分であり、できるだけ広範囲な種類の製品の表現が可能であることが望まれる。

②経時的安定性

素材など設計対象分野の技術的進展によって、対象表現の方法が頻繁な変更を余儀なくされることがあってはならない。すなわち、経時的に安定でなくては、過去の設計例を現在のシステムで利用することが困難となる。

(3) 操作性

この観点は明らかであろう。データベースとして利用する場合の設計者および情報システムから見たアクセス性である。

2-2. 定型化された分野における設計対象表現

設計作業の分業体制が確立している建築、造船、プラント、LSIなどの業種では、設計作業全体の流れの中で設計情報を一元的に管理することが重要となる。この場合、設計対象を管理するデータベースを中心に設計作業固有の処理モジュールを配置する方式がとられており、設計から加工までの統合性の実現されている。

また、設計対象表現の操作性もかなり高い。定型化された分野の設計対象表現は、システム化の観点からはかなり成功したものだと考えることができる。ここから属性モデリングの考え方が生まれる。

しかし、製品に強く依存しており、一般性は高くない。建築や造船においては、特定の型式のものに限定されるのが普通である。また、専用システムの中に埋め込まれるため表現データの経時的安定性もない。LSI設計などでは技術的進展が速く設計の再利用はそれほど問われていないのが現状であって、その必要性も少ないとされているが、製造プロセスの変革だけで回路の基本メカニズムはそれほど変化していないことも多く、過去の事例の検索のための技術と、対象表現に経時的安定性を実現する技術が未確立なために、そのように考えられてきてしまったとも考えられる。CAD化を進展させる必要性和その際の特性のトレードオフである。

定型化されシステム化の進行した設計分野では、設計対象をシステム化に適したように制限するのが普通である。例えば、LSIのパターン設計では通常、均一格子上の長方形からマスクパターンを形成するような設計ルールが利用されているが、チップ面積の圧縮だけを強く求めるならば製造プロセスを検討し格子上にのらないような位置に長方形より適した形状をおくことによって、さらにその縮小を図ることができる。また同様に、電気的特性のみを考えれば、現在使われている設計ルールは、それを低下させる可能性の方が高い。明らかなように、これらの制限を設けても実用上殆ど問題を生じていない。定型化された設計分野とはそのような制限を設定して良いような分野であるとも言える。あるいは、設計対象に制限を設けるための良い方法が案出された分野とも言える。

2-3. 属性モデル [CAD標準]

建築、造船、プラントなど大規模な設計対象の定型設計作業において、設計図書は設計技術が成熟するにつれて様式化し、次第に抽象的な記号で埋められるようになるのが観察される。この記号は、その分野の対象を統合性の意味で表現するのに必要十分な属性情報を代表している。すなわち、そのような属性が設計技術の成熟に伴って洗い出されてくるということである。これらの図面は、それぞれ対象物の属性を目的別に表現しているのであって、線などの意味付けも柱などの形を表しているにも拘らず全部異なる。

以上のことは設計者は有限の属性情報だけで設計対象を制御し、工作法や部品間の干涉チェックなどとくに必要でない限り3次元形状を陽に取り扱わないことを示している。従って、設計対象を有限個の属性集合で表現し、必要な場合にはこれらの属性から形状あるいは他の情報を生成できる機構をつけ加えた設計対象モデルを考えることができる。すなわち、設計対象を設計作業の性質に適した属性の集合として取り扱う機構である。このような設計対象モデルを、長沢は属性モデルと呼んでいる。

2-4. 機械設計における設計対象表現

機械設計では、上記のような定型化された分野と異なり設計対象表現の技術が確立していない。実用レベルで利用されているのは意味解釈を伴わない図面処理のみと言っても良い。そのために、システム化が大きく遅れている。それは、機械設計固有の性質に

基づいている。

機械設計の特徴には以下のようなものが挙げられる。

- (1)性能発揮のメカニズムが殆ど不明。
- (2)設計解の任意性が非常に高い。
- (3)汎用的な設計規則（特に生成型知識）が存在しない。
- (4)全体性・全体についての感覚的バランスが重視される。ベテランの感覚はなぜか正しい。
- (5)機械要素は確立しているが、設計のポイントはそれ以外の部分にある。
- (6)設計それぞれに、個々の観点に基づく最適性が求められる。（設計練度）

(2)から(5)までの項目は、すべて(1)に帰着されるものと考えられる。そして、機械設計で利用される知識は、特定の製品に関して、どの部分を変えるとどのような結果が生じるかというような個別性の高い知識（設計者個人の記録であることが多い）か、「べからず」ルールとでも呼ぶべき一般的な評価型知識だけが一応外在化されているだけである。そのため、設計対象を表現するために必要十分な属性の洗い出しが困難であり、機械設計において属性モデリングを行なってシステム化を進行させることを非常に難しくしている。

しかも、特に機械工業の分野では、設計の蓄積に対する要求が高く、属性モデリングの弱点である一般性に対する要求を強めている。これも、機械設計では、性能発揮のメカニズムが殆ど不明であるということに起因しており、製品の運転実績を重視せざるを得ないという保守的な設計姿勢をとることが一般になっていると言える。しかし、逆に考えれば機械工業では、技術的進展はゆるやかであり、それゆえ蓄積が重視されてきたと考えることもできる。このゆるやかさが、機械設計の属性モデル化への糸口になる可能性はある。

3. プロトタイプに基づく機械の類似設計

機械設計の特徴から類似設計法と呼ばれる手法が遠藤によって以前から提唱されている〔遠藤〕。これは定型設計とも一般的な意味での編集設計とも異なる方法である。一方、筆者は設計対象モデリングの立場から、設計において考えられる属性は全て具体的

なプロトタイプを決定してからでないと、定義さらには問題解決機構による操作も不可能であることを指摘してきた。原型（プロトタイプ）の概念は機械設計の観点からも、モデリングの観点からも重要なものと考えられる。

3-1. 機械の類似設計法

類似設計とは、「計算できめられた寸法は別として、その他の寸法と形状とは、原型として特に選んだ部品から、できるだけそっくりそのまま転記してしまうようなやりかたである」〔遠藤〕。

3-2. 機械構造における機能の発現〔伊藤1〕

設計過程を図1のように仮定する。吉川的设计論に基づき、機械の機能とは、人間の概念あるいは認識であって、機械の（予想される）動作によって生起される現象に対する感覚情報を含んでいると考える。設計者は最初に、そのような機能を実現するために必要な事物の性質あるいは挙動（属性）を数え上げる。これを目的属性と呼ぶ。この目的属性を実現するために、構造を計画する。これを実現構造と呼び、これが基本的に実体に対応する。実現構造は、それ自身では機能を何ら表現しない（No-Function-in-Structure）。従来、機械の設計対象モデルでは、機能（目的）と構造（手段）が混同されていたといえる。また、電子回路や論理回路の設計でも、それらの機能がもともと抽象的であるために図1の目的属性と区別されずに考えられているようであるが、少なくとも機械的な対象を扱うとすれば、この区別は必要である。

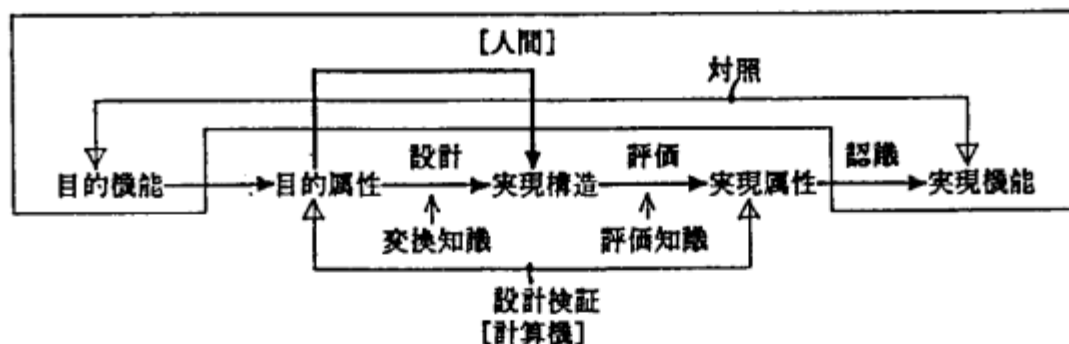
次に、実現構造は、目的属性を満足するかどうかという観点で評価され、結果として得られた副作用を含む属性（実現属性）が、最初の目的属性と照合されることになる。この実現構造の評価において、利用されるのがAnalysis Model であって、通常何等かの近似が行われる。そして最終的に、実現属性を人間が認識して、実現構造が果す機能（実現機能）が認識される。

3-3. 機械設計におけるプロトタイプと仕様記述

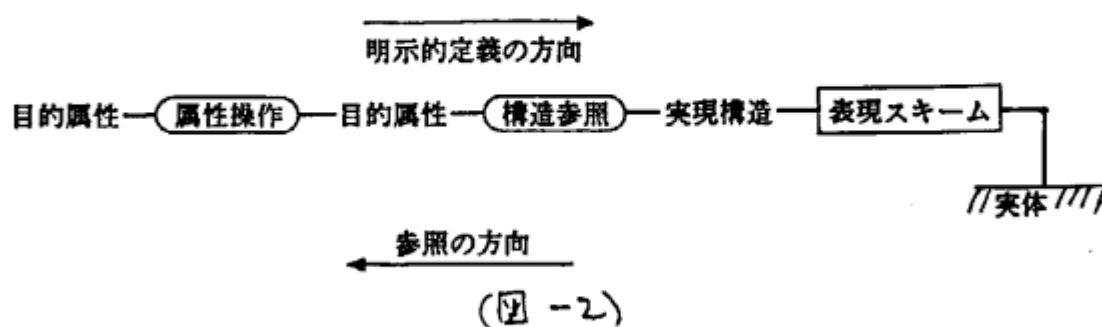
定型化されている場合はなおさらであるが、機械製品の設計において、人間は構想が殆ど固まっていないような初期の段階ですら、純粋に抽象概念の操作を行っているわけ

ではなく、詳細化が完全でなくとも具体的な構造を考えているはずである（半具体・半抽象〔佐伯〕）。そして必要に応じて部分的に具体的な構造を考えていると予想される。

すなわち、思考プロセスの量的制限を緩和するために一種のLazy Evaluationのような機構が人間には備っており、自由に具体化する（実現構造を生成する）ことができる。その能力を前提として図1のような過程が内観されるものと考えられる。しかし、現在のところ、計算機上に上記のような（真の意味あるいは広義の）Lazy Evaluation機構は実現不能であり、計算機に対象表現を行わせようとするならば、図2のように（人間が）構造を決めた後で、それを参照して目的属性を記述する必要がある。すなわち、プロトタイプを参照する属性定義を行なうのである。一つの述語で機能あるいは属性を代表させて操作する試みがあるが、その述語の記述がなければ、計算機上には何も表現されたことにはならない。例えば、「グリップの間隔を10cmとする」という目的属性において、グリップとは何かも間隔の意味も、抽象的には今のところ計算機表現不能であろう。しかし、何等かの過程によって実現構造が与えられていれば、構造要素を参照すること、すなわち、グリップを構成する部品の相互位置関係を指定することによって、意味解釈とは独立に要求される条件を厳密に表現できる。



（図-1）機能の発現



仕様の記述は重要な問題であるが、定型化された場合を除いて、そのための一般的な方法は現在のところ存在しない。しかし、上記の目的属性を仕様と考え、それは実現されるべき性質を明示的に記述しているのであるから、仕様記述の目的である、あいまいさの排除は可能となる。問題となるのは、仕様記述のためには構造を与えなくてはならないことで、これは常識とは大きく異なる。ところが、機械設計の現場では、仕様を決められれば、設計はかなりの部分終了したも同然であると考えられていることは大きな傍証である。しかも、定型化された機械の仕様記述が可能であるのは具体的な構造が予め分っているからである。また、機械設計では、仕様が徐々に変更されるという指摘があるが、これも、主目的が頻繁に変更されるというよりは、主目的を実現するために派生して必要となる属性が、構造が明らかになるにつれて現れてくると考えた方が整合する。

3-4. 設計対象モデルを参照する属性操作【伊藤2】

拘束条件解法の流れを汲むシステムでは、設計オブジェクトのようなものが考えられている。設計オブジェクトは、設計対象を表現する属性変数集合と属性変数間の関係（述語や拘束条件式）集合とで構成される。設計対象モデルは、原理的には設計オブジェクトとして表現することが可能であるし、直接、設計オブジェクトを作ることも可能であるから、設計対象表現の問題はそれほど重視されていないようである。

しかし、機械などの三次元形状の対象表現から導かれる拘束条件は膨大である。特に評価型の条件、例えば「穴は、実体に空いていなければならない」を、完全に表現しておくとするば異常に多数の拘束条件が生じる可能性がある。万能な拘束条件解法が得られていない以上、設計オブジェクト概念だけで設計対象を表現することには無理がある。

我々は、設計オブジェクトと設計対象モデルを併用する。まず、設計対象の実現構造を定義してプロトタイプとし、設計オブジェクトには、設計者が必要と考える属性のみを設計対象モデルから抽出して与えるようにする。明らかなように、仕様は目的属性から直接的に与えられる。設計計算は、設計オブジェクトに対してのみ行うから、計算から得られた属性値をもう一度設計対象モデルにフィードバックして妥当性の検証を行うようにする。これによって、属性の意味付けの明確さと、拘束条件解法に対する負担の軽減の両方を実現することが可能となる。

3-5. 設計オブジェクトの局所自律性批判

設計オブジェクトの考え方を、オブジェクト指向的に拡張すると、それに局所的な自律性を持たせることができる。すなわち、与えられた仕様を属性値の操作だけでは満足させることができない時には自身の構造を変更する手続きを組込もうとするものである。例えば、「はり」というオブジェクトは、それが強度不足のとき補強材の数を増やしたり、あるいは別の構造に変身したりすることである。このことは一見魅力的であるが、二つの問題を含んでいる。特に機械設計では設計の全体性が重視され、局所的な変更も大局的に機械全体との関係で判断されなければならない。また、情報表現としてみたときも、設計オブジェクトに自律性があるのは実体との整合性も悪く、対象表現とその操作を分離した上で一つ上位のクラスを作るべきである。そもそも、設計オブジェクトは、設計評価にも利用されるから、自分自身を変更できるようにすることは有害である。例えば、強度を要求したのに強度不足が判明したために、構造が変更されてしまうということが起こり得る（情報処理的にそれを回避するのは容易であろうが、望ましくないのは明らかである。）。

3-6. プロトタイプに基づく類似設計：パラメトリックな構造変更の可能性

問題解決関係の研究者が考えているほどプロトタイプ変更の自由度は高くない。プロトタイプに定義した変数の初期値が重要な意味を持つからである。設計者は原型を定義した時、与えた構造が妥当であるように寸法を与える。すなわち、プロトタイプから変数を抽出したとき、その変数の初期値は問題解決機構の計算結果の近似値になっていることになり、計算の結果、初期値変更の必要が生じた場合にも初期値と大きくかけはなれた値をとることは構造的に難しい。それは、第一に機械設計では相似則が成立しないことによっている。例えば、一次元の値である寸法を変更すると、機械の重量は3乗倍に変化し、多くの場合構造まで変更を余儀なくされる。（寸法に依存して構造が全く変わる。）

ここに述べたことは、3-1の類似設計手法が考えられた背景と殆ど同一であり、互に正当性を保証しているとも言えよう。筆者らも問題解決機構として類似設計を実現した実験は行っていないが、この方向での研究が必要であろう。

4. 機械設計エキスパートシステムの技術的課題

設計対象表現技術に関連する技術的課題を考える。

- 構造の代替案を場面に適したように適応させながら、基本構造のデータベースから検索する機構および対象表現法の必要性。
 - 構造の抽象化手法の案出
- 類似設計法を実現する問題解決機構の開発。(制約条件として定式化すれば、それほど困難ではないと予想される。)

[参考文献]

- [遠藤] 遠藤健児：設計情報のまとめ方、税務経理協会(1984)
- [CAD標準] 日本設計製図学会：高度技術化に対応する機械製図システムの標準化のための調査研究昭和62年度報告書(1988)
- [長沢] 長沢 勲：設計エキスパートシステム、情報処理、Vol.28, No.2.(1987)
- [ITO] M. ITO et al: CONMOTO a machine part description system based on designers' mental processes, in Design Theory for CAD, North Holland.(1987)
- [佐伯] 佐伯 : 工学とモデル：精密機械、Vol.51, No.6(1985)
- [伊藤1] 伊藤公俊、持田恵作：機械設計者の概念モデルとしての設計対象多視点モデル；人工知能学会研究会報告SIG-KBS8801-6(1988)
- [伊藤2] 伊藤公俊、柴田智康：CONMOTOシステムにおける設計属性の定義と操作；人工知能学会研究会報告SIG-KBS8803-6(1988)

3. 設計型エキスパートシステム研究について

機械技術研究所 小島俊雄 今村聡

<まえがき>

設計型エキスパートシステムの対象を、工作機械など、機械生産（ Discrete Products Manufacturing ）における工業製品と捉える。設計結果は、最終的には、加工・組立などの製造プロセスの結果である物理的存在としての物（ぶつ）として評価される。設計は、物としての製品という考え方を背景として、生産プロセスなどで隔に必要となる情報を生成することといえる。

設計型エキスパートシステムにおいて用いられる知識には、設計対象である製品に関する知識と設計プロセス（作業）に関する知識の2種類がある。いずれの知識も大量で個々の製品や設計に固有の面が多いなど複雑である。

設計型エキスパートシステムは、設計を完全に自動化するものではなく、その分野の専門家（機械技術者）である設計者により環境を与え、設計者を支援するものと考えることが自然であろう。すなわち、設計型エキスパートシステムにおいては、システムの開発、保守・更新、運用の全ての面で、設計者がシステムをその制御下においていることが必要である。

<モデル>

システムは過去の設計結果や汎用の膨大な知識を格納することになる。

モデルデータとしては、個々の製品（クラス）に関する、製品定義データ（形状、公差、図面、設計意図、物理的性質、技術情報）と製品ライフサイクルデータ（製造法、ロット数、履歴データ）としてまとめられるものと標準品リストやハンドブックのデータのような利用法による参照データなどの公的知識とに分けられる。これらは静的な知識として既存のデータベース管理システムを利用することが可能であるが、意味処理を含む検索に工夫が必要であろう。

現在、共通的モデルとして認識され、開発が進んでいるモデルは形状モデルのみといってよい。今後は、公差や図面等に関して共通的に利用できるモデルの定式化がひとつ

の課題である。

システムには、過去の製品に関連して獲得された知識があり、標準設計手順、常識ではしてはいけない「べからず集」などが格納されている。これらの知識はその利用法や適用条件などと共にモデルデータに関連して表現されており、定性的な表現や制約条件の形で表現されるものもある。設計プロセスはこのようなモデルの生成や処理で構成される会話形式プロセスである。このとき、図面データから3次元形状の生成をする、組立図から部品形状を展開生成する、一部の形状や公差を自動設定するなどの意味の変換や解釈の階層的な構成が重要である。

設計型エキスパートシステムにおいては、システムの機能が進展するに伴い、外部のデータベースへの連結をはじめとする他のシステムとのインターフェイスが重要になる。特に、データの解析・シミュレーションや製造（加工や組立）との関連が重要である。

<システムの利用>

設計型エキスパートシステムのユーザは設計者で、システムの開発や保守を兼ねることが望ましい。逆にいうと、彼の行う作業の效果に明確な区別がない。新しい設計方法などの導入は設計者の主導のもとに設計者の流儀で進められる。このことは、設計問題を、問題定式化(Problem structuring)と問題解決(Problem solving)の両面を含む情報処理と考える見方と共通である。¹⁾

ただし、図面作成や整合性の検査など基本的で共通的な項目の追加や修正は別途、利用法を含めてあらかじめ提供される。これは設計型エキスパートシステムの機能から考えて、システムの規模が巨大にならざるを得ないことを考えるときのポイントのひとつである。そして、オンラインマニュアルを徹底した「必要なときの勉強や利用」が柔軟に行えることも重要である。

システム環境において利用される言語はそれ自身がシステム記述言語になっているようなものが望ましい。他の設計者の問題定式化を理解したり、システムにおける推論メカニズムの追跡などが設計者の制御下で行えるための条件といえよう。当面はオブジェクト指向言語やその利用環境を整備して行きたい。マンマシンインターフェイスとしては、近年はアイコンやテキストをマウスとマルチウィンドウで操作することが普及してきているが、このような手法の評価、分析からさらに対象分野での固有性を加味した形が考えられる。図形や図面の操作における意味処理が課題である。

設計プロセスの定式化／定形化／標準化を共通のツール（言語を含めて）で行えるようにする場合、図式的な整理が重要である。従来のバージョンとの間の整合性の管理はシステムで自動的に判断することが望ましい。なお、コンピュータグラフィックスに関連するマンマシンインターフェイスは最重要課題の一つで、より高速できれいな画面が必要不可欠である。

<現在の研究>²⁾

対象である製品に関する情報をプログラムとの対応が直接的かつ明確にできることが重要であるとの観点からオブジェクト指向言語の製品モデル表現への利用を試みている。

オブジェクト指向言語の利用の特色として、

- (イ) 多様なデータをオブジェクトのモジュラリティと階層性により適切に整理することができる、
- (ロ) データの関係はオブジェクト、スロット間関係として容易に表現できる、
- (ハ) 動的なモデル表現はクラス／インスタンスオブジェクトの生成、スロットへのデータの割当て、変更により実現できる、
- (ニ) 目的に応じたメソッドを用意することにより、オブジェクトのもつデータの多面性を表現できる、

などがあげられる。

具体的には、論理型言語でもあるE S Pを記述言語として製品モデリングシステムのプロトタイピングを行っている。

全体像として想定している参照モデルは図のようなもので、実線で囲まれた部分はオブジェクトである。

マンマシンインターフェイスはユーザの入力や図形出力など、システムの動作を制御する部分である。

設計者支援ツールは設計作業に対応する処理をまとめた部分であり、一部はまとめられており、また、全体はユーザが自分向けの処理を実現するためのツールとして編成されている。

製品モデル管理システムは形状データ、公差、図面に関する製品モデルデータを統一的に処理するインターフェイスである。なお、製品モデルにはユーザのアプリケーション

ンに固有のモデルを表現する部分が必要であると考えている。

外部システムとのインターフェイスも重要な構成要素であり、数値解析、シミュレーション、データベースなど、既存のソフトウェア資産を有効利用できるようなシステム構成を意図している。

工作機械の機構部品設計などを通して、使用言語をはじめ設計型エキスパートシステムの機能を評価しつつ、各種機能の充実を目指したい。

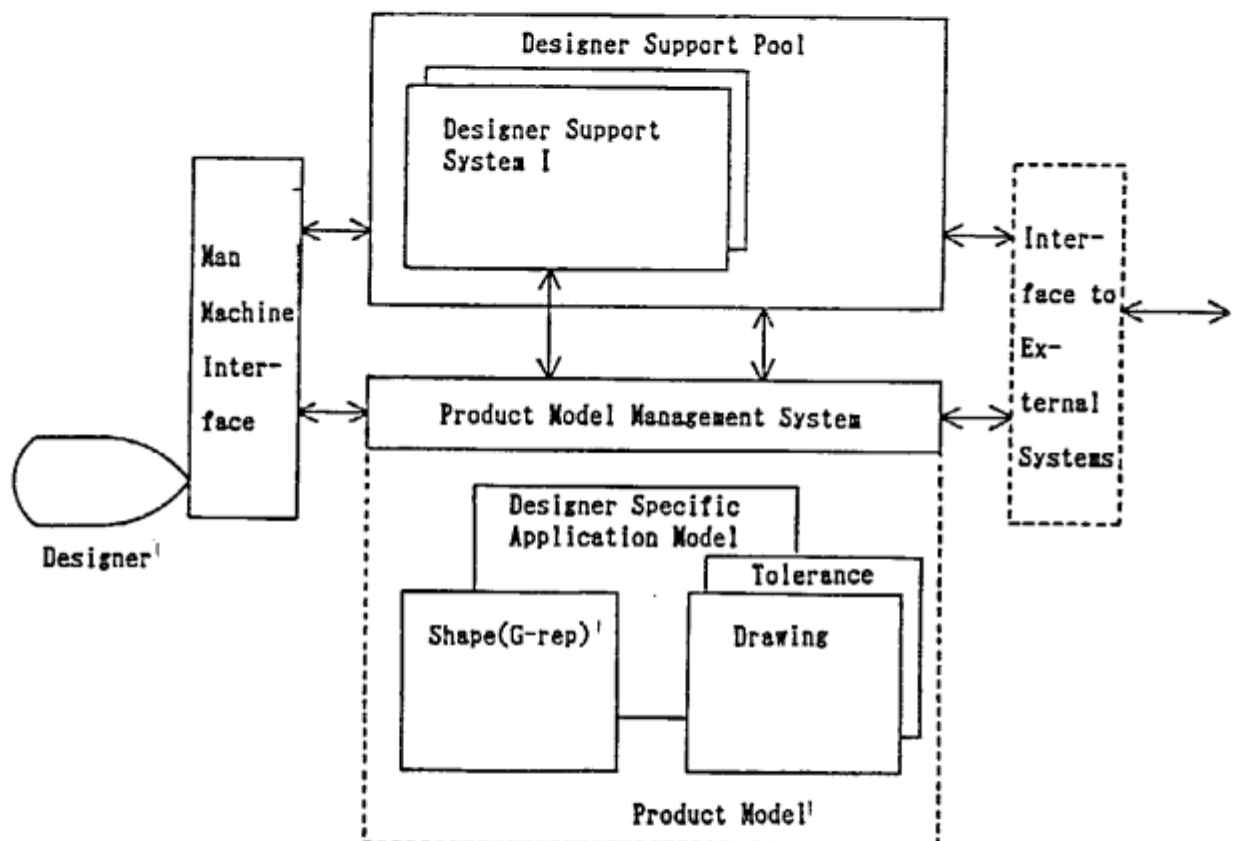


図1 製品モデリングシステムの参照モデル

<参考文献>

- 1) O. Akin et al.: A paradigm for problem structuring in design, Preprint of IFIP WG 5.2 Workshop on Intelligent CAD, 1987.
- 2) T. Kojima et al.: Use of object oriented concept in product modeling system, Proc. of the 6th ICPE, 801/806, 1987.

4. 設計型エキスパートシステム研究について

キヤノン 御

菊地 一成

1. 研究のあり方のイメージ

一般に設計はその基本原理が単純な場合も多く、このため探索問題として取り扱われエキスパートシステムによる応用研究も多い。しかしながら、設計型のエキスパートシステムが実用的に使われるまでに到達しないのは、以下の様な設計の本質的な難しさに由来すると思われる。

①設計の基本原理は簡単であっても、実は設計対象はこれらの非常に複雑な組合せから成っている。したがって、設計者は、例えば設計途上のシミュレーション等を通じ設計対象の持っているマクロな性質の把握等といった、設計に効果的な知識を見いだしながら設計を進めている。

→設計作業において、設計知識は一般的かつ野的なものが適用されるだけでなく、いわゆる設計ノウハウと呼ばれる特殊な設計知識の学習過程でもある。

②設計対象を構成する部品は、理論で容易に取り扱える程に単純な性質を持っているわけではない。このため設計者は、設計対象に要求されている機能を実現する上で現実の物のごく一部の機能や性質に着目し、部品としてそれを効果的に使っている。

→設計では、この様なVE的思考を行うため、設計対象に関わる構造や設計値の決定知識といったものの他に、現実の世界に存在する物に関しての広範囲な知識が必要とされている。

③設計対象の評価基準（設計の出来ばえ）には、絶対的な評価尺度が存在しない。例えばプログラムのように、この評価基準は設計者やユーザのセンスに依存するところも多い。したがって、設計では要求仕様だけでは陽に表現されない評価基準も存在する。

→設計者は、設計の各段階でこのような非明示的な評価基準から意志決定している場合もある。 等

現状のエキスパートシステムの技術では、以上の様な設計者の能力をすべて代替し設計作業を行わせることはそれ自体無理がある。したがって、設計型エキスパートシステム（シェルも含め）の研究が成功するためには、単に設計を代替するシステムを構築するという目標以前に、設計作業における設計者とエキスパートシステムの役割分担に関するモデルの確立が重要であると思われる。

2. 設計型エキスパートシステムへのアプローチ法

現状のエキスパートシステムの技術によって、設計作業を代替すべきであると思われる設計作業について以下に述べる。

①設計対象の構造は明かであるが、要求仕様の与えられ方が設計の度毎に変化する設計において、要求仕様で規定されているパラメータから設計対象を規定するパラメータを求めるのためのデータフローを構築する設計作業。特にルーチン的な設計では、設計対象の構造が同じであっても設計の意図によって設計手順が柔軟に変化しなければならない場合が多い。この様な設計作業ではエキスパートシステムが有効であると思われる。

例えば、レンズ設計の初期段階では要求仕様を満たすであろう骨組み構造のパラメータ値を規定する設計がある。この骨組み構造（複数のレンズから成る各群の焦点距離とそれらの間隔で規定される）の決定の際、要求仕様には焦点距離の基本的な要求仕様パラメータの他に、以下の様な設計意図によって設計の度に要求仕様として付加される多くのパラメータ値がある。

- ・全長を所定値以下にしたい。
- ・最終レンズ群からフィルム面までの距離を所定値にしたい。 等

これらの様な設計のケース毎に、骨組みの構造を求めるため設計手順とそのなかでの計算方法が異なるため、要求仕様のパラメータ値から設計対象を規定するパラメータ値を求める合理的なデータフローを作り出す設計作業が、その都度必要とされている。

②現状の設計対象の基本的構造を変化させない範囲で、各構成部品のパラメータ値や設計対象の構造等を軽微に変更する設計作業。例えば生産設計では、それ以前設計工程で設計された設計対象を生産標準に合わせるため再設計する必要がある。生産に関わるこの様な標準による制約はラインにのせるため重要であるが、本質的に設計対象自体の機能には関わりが薄い。しかしながら、設計者にとっては、これらの標準による制約の多さからこれらの制約を十分に満たすことは容易でなく、また生産標準は技術革新とともに変化していくためつねに最新の標準に対応していくためには困難がある等、といった問題から、負荷が多くまた注意を要す作業である。

これらの設計は設計対象を規定するパラメータ値の規定だけでなく、製造機器によるの組み立て方制限等から由来する設計対象の構造に関する制約もあり、複雑な制約条件を表現出来る必要性から、エキスパートシステム向きである。

3. 設計型エキスパートシステムの技術課題

設計型エキスパートシステムの技術課題を、現状のA I シェルの機能の問題から述べる。

①設計は、要求仕様を満足する設計対象を見いだす探索問題であるにとらえられているが、その知識は以下の様な特徴がある。

- ・設計の基本原理以外の多くの実際の設計知識は、如何に設計を効果的に進めるかといった設計の手順を示すものが多い。

- ・また、すべての設計知識は独立性の強いものでなく、実際上は設計作業によってカテゴリー分けや階層化出来るものが多い。

しかしながら、現在のプロダクションルールを主体としたA I シェルは非決定的な動きをさせることのみを重視としているため、上記のメタ的な設計知識をうまく表現する枠組みが存在しないことや、設計作業ごとに知識をグルーピングして管理出来ない等といった問題がある。したがって、現状のA I シェル上で設計知識を定義していく場合、システムをプロトタイプ的に構築出来る良さの反面、現状のA I シェルのアーキテクチャに依存した知識表現を行うために相当な負荷が割かれているのが実状である。

②設計のような探索問題では、要求を満たす設計解が多数存在するのが一般的である。このような探索過程でより良い解を見いだす方法として、仮説推論の導入が有効な手段となるが、

- ・A T M Sのような仮説推論機構では、仮説空間が増大すると同時に推論速度も極端に低下してしまい実用上十分な推論速度が得られない。

- ・冗長な仮説間をA T M Sの機能有効に利用して発生しないようにしたいが、このような冗長な仮説は通常異なった推論過程を通過しており、その間推論に必要な設計対象の構造の規定に関連する以外のデータ等も書き込まれているため、見かけ上仮説空間のデータは異なってしまう。したがって、事実上このような機能が効果的に使うことが出来ない。 等

この様に、設計型エキスパートシステムという立場から現状のA I シェルのアーキテクチャーを見ると、それを構築していくために有効な機能が存在するにも関わらず、これらの機能があまりに理論に偏りすぎていて実用的でないといった課題が存在している。

設計型エキスパートシステムに関していくつかの観点から考えを述べさせて頂く。

今後の設計型エキスパートシステムの研究、ユーザ側のエキスパートシステム開発を円滑に行わせるために、設計対象問題を分類し、各分類対象ごとにエキスパートシステム導入の際のメリット、技術的問題点を明らかにするべきである。また、筆者が関心を持っている技術的課題について述べる。

1. 設計対象問題の分類

エキスパートシステムも騒がれ出してから数年を経た。この間、企業、大学などで数多くの設計型エキスパートシステムが開発され、その結果エキスパートシステムというものが除々に整理されてきた。従って、これらの経験をうまくまとめれば、現状のエキスパートシステムの實力、問題点などはかなり明白なはずである。各対象ごとに、設計プロセス、AI技術適用の可能性などの切り口で分類すれば、今後エキスパートシステムの利用を考えているユーザに対して、上手に開発が行えるためのノウハウを提供することができる。

このときに、技術的な側面だけでなく、利用効果的な側面、使用環境的な側面も十分に考慮する必要がある。

設計対象問題をグループ化するときの切り口となるいくつかの項目について述べる。

(1) システム使用形態

エキスパートシステムの使用形態には、素人のための教育用、比較的経験の少ない設計者の支援用、専門家の支援用に分類できる。設計という高度に人間的な作業をすべてAIで置き換えることはできない。人間の設計作業とコンピュータ処理とのインタラクションの部分にこそ、AI技術のメリットが発揮される可能性が高い。高度な computer-aided human design が有望である。

(2) テーマ規模

スケールが大きいシステムはAIを用いた実用化は難しく、スケールが小さいシステムはAIを用いるまでもないと言われている。前者は、対象規模が大きいためにはOR手法などの簡単なモデル化を行わざるを得ない。列車のダイヤ作成などがこの例である。後者はAI手法を使わなくてもプログラミングすることができる。会議室のスケジューリングなどがこの例になる。これらの中間に属する規模の問題こそAI向きの問題であり、人間の主観的な知識による探索が有効である。設計問題においても、対象テーマの規模を明らかにすることによって、AI向きのシステムを明らかにしたい。

(3) 現状のシステム

エキスパートシステム開発では、対象問題の設計作業が実際どの程度システム化されているかに依存する部分が多い。例えば、設計作業の進め方、設計概念が決まっている場合には、設計時のキーとなる属性などがはっきりしており、エキスパートシステム化しやすいことが多い。逆に設計作業が個人の裁量に全く委ねられているような場合には設計時

のキーとなる属性が不明であり、エキスパートシステム化しにくい場合が多い。

(4) 周辺システムとの接続

エキスパートシステムが周辺の既存システムとどのようなかわりを持つかということ是非常に重要である。設計型エキスパートシステムでは、特にCAD、CAMシステムとの結合が重要になる。工程設計の場合は、主流にCAD、下流にCAMというように上下が切れているので比較的扱いやすい。一般の設計の場合には、形状情報を含んだ推論、生産方法を考慮した設計などを考える必要があるために、既存システムとの結合方法が複雑なものとなる。

(5) 設計プロセスのAI化

設計プロセスでは、設計案の生成、評価、修正というステップが取られる。設計案の生成方法では、過去の事例参照、標準化方法の利用、ヒューリスティックスによる生成などがある。知的バックトラック、制約指向による探索などのAI手法とのマッチングを検討する必要がある。

(6) 設計過程でのユーザとの対話

設計プロセス中で、設計者がどの部分をコンピュータにやってもらいたいかということをも明確にする必要がある。次に、設計者による設計作業と、AIによる設計作業との切り替え時の円滑なインタフェースがうまく取れるかどうかのポイントとなる。

(7) 従来プログラミング技術との相違

AI手法の従来プログラミング技術との主な相違として次の2点がある。

まず、システム開発が容易であり、プロトタイプ開発による試行錯誤が行えるということが挙げられる。従来システム化されておらず設計プロセスが明確でなかった領域では特に有効である。次に知識の構造、推論プロセスなどがユーザに見えているという点がある。これらのAI手法のメリットが十分に生かせる対象であるかどうかの一つの切り目になる。

設計型エキスパートシステムの展望は一言で言えば、“将来的には非常に有望であるが、現状では、適用範囲を十分にうまく設定すれば実用化レベルのシステムが構築できる”ということである。どのような対象問題ならば、どの程度の実用効果が期待でき、どのような問題点があるかをクリアにするための設計対象問題の分類、評価作業が重要になる。

2. 設計支援エキスパートシステムに関する研究項目

筆者が個人的に関心のある設計支援エキスパートシステムに関する技術項目について述べる。機械設計に限らず、設計問題、計画問題向きのシェル機能ということであらう。

具体的な応用としては、スケジューリング問題、金型の設計、工程設計などを検討していきたい。

(1) インターラクティブな設計

エキスパートシステムではユーザとのやりとりに関して2とおりに大別できる。

1つは、ユーザが最初に所定の入力情報、制約条件などを入力し、それらの条件を下にシステムが解を自動的に生成する方法である。他は、ユーザとシステムが協調しながら解を作り上げていく方法である。設計支援では後者の方が重要になり、このようなシステムこそAI手法のメリットが生かせる。

インターラクティブな設計を行うためのシェル機能として次のことが重要になる。

- (1) 推論の戦略をはっきり分かりやすく規定できること
- (2) 推論の状況をはっきり分かること
- (3) ユーザが推論戦略、制約条件の変更などが容易に行えること

このような機能を実現するためには次のことがポイントがある。

- (1) オブジェクト指向による構造の柔軟化
推論戦略ユーザとのインターラクションの部分はシステム記述の柔軟性を重視しオブジェクト指向を採用する。
- (2) ブラウズ機能を充実する。
推論状況、制約条件などをグラフィックス表示し、表示画面上で容易に操作できるようにする必要がある。また、推論過程のデバッグも視覚的に行えるようにする必要がある。

(2) 従来手法との協調

スケジューリングなどの計画問題を考えるときに、従来手法の代表であるOR技術との相違を明確にする必要がある。ORでは、対象問題をモデル化、定式化して数理的手法で解を求める。一方、AIでは、数理的なモデル化が難しい問題に対して、専門家の経験的な知識を利用して解を求める。AIはORなどの従来手法で扱いにくかった ill-structured な問題を扱うのに適していると言われている。

しかし、問題解決を行うのに、OR、AIいずれか一方からのアプローチだけでは不十分な場合も多くあり、両者をうまく融合させることが重要である。例えば、数学的なモデル化が可能な部分に関しては客観的なORモデルを利用し、より複雑で行動的な部分に関しては人間のような主観的な推論を行うAI手法を利用することが考えられる。

対象問題の規模を考慮しながら、AI手法と従来手法をうまく協調させる方法を検討したい。設計問題の場合でも、同様な点を考慮したい。

6. 機械設計エキスパートシステムの検討課題

松下電器産業株式会社
加 藤

1. 対象問題

設計対象の構造を複数の候補の中から選択し、その構造諸元（離散値）を探索する問題を対象として考える。すなわち設計対象がきちんと整理され定式化されているルーチン・デザインを対象とする。ただし設計対象の構造はあらかじめ固定されたものではなく、要求仕様を実現するために適した構造を複数の候補の中から選択する。そして選択された構造に基づいてパラメータ・チューニングを行い、要求仕様・拘束条件を満足する準最適解を探索する。

2. 実現すべき機能

対象問題が基本的にはルーチン・デザインにおける構造諸元のパラメータ・チューニングであるため、準最適解を効率良く探索するための機能、すなわち最適な組合せを効率的に得るための機能を実現する事が重要であると考ええる。これは専用システムにはかなわないとしても、十分実用的な速度を出せるような汎用的な枠組みである事が必要である。

また上記のように対象問題が基本的には構造諸元のパラメータ・チューニングであるため、設計対象の機能や、各部の寸法・部品間の位置関係といった構造諸元を表すいわゆる属性が設計データの主体となる。しかし構造を扱うためには形状データも重要な役割を担うものと考えられる。したがって形状データを（少なくとも対象問題を解決するために必要な範囲内では）扱う事が可能な属性モデリングを実現する必要がある。

3. 検討課題

(1) 推論制御機構

設計過程は基本的には生成・検証過程であると考えられるので、このサイクルをきちんと記述できる枠組みの構築が必要であると考ええる。そしてその枠組みは、最適な組合せを効率的に得る事ができなければならない。

設計案の探索制御を生成・検証に基づく拘束条件充足によるものとするならば、仮説推論の枠組みを基本とする事ができる。すなわち設計案の生成・検証過程を、仮説の生成・検証過程としてとらえて推論を実行する。仮説推論の枠組みを用いる事により、互いに競合するような知識が存在するような場合の推論や、拘束条件下での推論を効果的に実行する事が可能になるものと思われる。そして仮説には次のようなレベルのものがあると考えられる。

① 設計戦略

ここで言う設計戦略とは、ある設計方針に対してはどのように設計を進めれば良いのか、そのアウトラインを示すものである。例えば徹底的にコストを追及するのか、あるいはある程度のコストはかかっても性能を追及するのか、といった設計方針に対応してどのように設計をすれば良いかを、要求仕様や拘束条件等から求めるレベルである。

② 設計対象構造

設計戦略に基づいて、要求仕様や拘束条件等から、設計対象の構造としてはどのよう

なものが適しているのかを求めるレベルである。設計対象がいくつかの部分構造に分割されそれぞれいくつかの構造の候補を持っているならば、それらを組合せて準最適な構造を求める事になるであろう。

③設計戦術

ここで言う設計戦術とは、ある固定された構造に対する実際の設計手順を示すものである。ある構造に基づいて、要求仕様や拘束条件等から、最適な設計手順を求めるレベルである。ただしここでは設計戦術と設計対象構造とを別のレベルとしたが、構造が決まるのと同時に最適な設計手順も決まるかもしれない。すなわち部分問題への最適な分割や、生成・検証手順の最適化等は、構造が決まった時点でいわばコンパイルを行う事により行う事ができるかもしれない。

④設計パラメータ

設計パラメータのレベルの仮説は構造諸元そのものであり、最も基本的な仮説と考えられる。本来は連続的な値を持つ可能性のある構造諸元に関しても、JIS規格やカタログを使用したりする事により、有限個数の離散値として考えるようにする。

上記のように階層化された仮説を効率的に扱う事ができる枠組みを構築する事が大きな課題となる。そのためには各レベルの仮説、拘束条件、設計案等の表現方法の検討が重要である。そして組合せの数が爆発的に増大する事が予想されるため、これを防いだ上で、効率的に組合せを生成する事ができる枠組みを実現する事が必要である。

以上のような仮説推論の枠組みを利用するという事ではなく、単に制約指向プログラミングの枠組みのみで問題解決を行う事ももちろん可能である。しかしそのような場合でも、上記のようなレベル間での制約伝播を効果的に行う枠組みを構築する必要があるであろう。

(2)設計対象の表現方法

前述のように設計データの主体は属性データとなるであろう。そしてこれに対して構造の決定等のために、形状データを役立てる事が必要となるものと思われる。また準最適解を効率良く探索するための機能、すなわち最適な組合せを効率的に得るための機能を実現する事が極めて重要であると考えている。したがって属性主体ではあるが問題解決のために形状データを有効に利用する事が可能な枠組み（属性モデルリング）を実現する事が大きな課題となるであろう。（すなわち形状モデルに対していかに属性を増やして行くのかというのではなく、属性に対していかに利用可能な形式で形状データを付加して行くのかという立場で考えている。）

また設計対象の構造の表現方法についても、機械設計においては構造の切り分けが困難であり、階層的になりにくいので、木構造による表現ではうまく記述できない事が明らかである。したがって木構造に代って、設計者にとって容易に記述ができ理解しやすい構造記述方式を実現する事が必要である。そしてその記述方式は、設計対象の機能や構造諸元、構成要素間の接続関係、力学モデル、幾何情報等を互いに関連付けて扱え、さらに推論に有効に利用できる枠組みである事が必要である。

(3)公的知識・ノウハウ的知識の扱い

部品のカタログや一般的な設計手法（教科書的な設計式）等の公的知識に関する設計データベースの構築やその利用方法は重要な課題である。設計過程においては仕様に基

づいてカタログを検索する事が多く、カタログがどれだけ整備され、どれだけ使いやす
いかが、そのシステムの性能を左右する事にもなりかねない。

そしてノウハウ的知識に関する設計データベースの構築やその有効な利用方法は、さ
らに重要な課題である。すなわちノウハウ的知識は、探索範囲を狭めたり、拘束条件を
より簡単な方法で検証する事を可能としたりするものである。これは組合せ的爆発を軽
減する事にも通じ、効率的な推論を実現するための有力な手段の一つとなる。

また過去の設計事例に関するデータの保存方法や、その再利用方法について検討を行
う事も、再設計という色彩の強いルーチン・デザインにおいては重要な課題であると思
えられる。

4. アプローチ

以上のように解決しなければならない課題は山積みとなっている状況である。したがっ
て一度に解決しようとする事は極めて困難である。そこで3の検討課題で述べた各項目に
対して、それぞれステップを踏んで解決をして行くべきであると考え。以下にその例と
して考えられるものをあげる。

(1) 推論制御機構

仮説推論に重点を置くか置かないかによって方針が大きく変わってくる。しかし基本
的には、下位のレベルのものから順に1レベルずつ解決して行く事が重要であると思え
る。例えば下記のような順序で検討を行う事も考えられるであろう。

- ①設計パラメータレベルのみの問題
- ②複数の構造を持つ問題
- ③設計手順の最適化
- ④すべてのレベルを含む問題

(2) 設計対象の表現方法

この課題に関しても、必要なところから順に拡張して行く事が考えられる。その例を
以下に示す。

- ①属性データのみを扱う
- ②非常に簡単化した形式（問題解決のために必要な最低限度の近似的な形状記述）で形
状も扱えるようにする
- ③属性と形状モデラーとの結合を図る

(3) 公的知識・ノウハウ的知識の扱い

この課題に関しては、まず有効利用のためのモジュール化の検討を行い（標準的な仕
様を決める事が必要か？）、そして知識ベースを構築するためのエディタの作成をする
事から始めなければならない。その後は公的知識についてはマンパワーをかけて徐々に
整備して行くしかないであろう。またノウハウ的知識の扱いに関しては、現在のところ
あまりはっきりした見通しは持っていない。

5. おわりに

以上、情報分野の研究開発を行っている者の視点から考えた検討課題を述べた。以上の
内容は未検討に等しい事をお許し願いたい。また機械系の方からは異論が出るような内容
であるかもしれないが有益な議論をお願いしたい。

以 上

7. 設計型エキスパートシステム研究に対する意見

OKI 野田 泰徳

1. 興味の対象

(a) 問題の種類

- ・永井氏の資料(DES-7-4)におけるケース2の問題

設計対象の表現レベルの階層において、上位階層の表現を下位階層の構造表現へ変換(詳細化)を行ない、その階層内において要求条件を満足するように変換(最適化)を行なうプロセス

(b) 項目

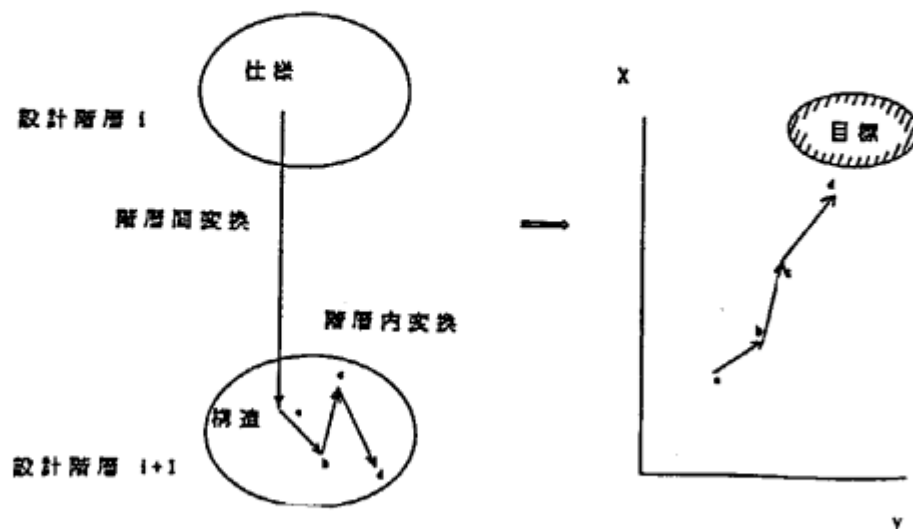
- ・設計プロセスのソフトウェアによる実現の具体的方法論

設計解への要求条件を満足(シミュレーション等により評価)させるために、適用すべき詳細化/最適化操作の絞り込み/選択を行なっている過程をモデル化するさいの方法論

例えば、より少ない操作の適用で効率的に設計解を探索するために、各操作の要求条件項目へ及ぼす影響をどのようにモデル化すれば良いか

具体的には、

- ・設計者からどのような種類の設計知識(heuristics)を獲得したら上記プロセスを実現できるか。
- ・この設計知識をシステム内でどのように取り扱えば良いか。(ケース2専用シェルの必要機能)



2. 検討すべきテーマ(課題)

(a) 詳細化操作選択の時の設計知識の表現

詳細化では、ある操作を適用した後の最適化によっても条件を満足することが不可能と判断された場合、バックトラックによって別の操作が適用される。

- ・この操作を適用したのち生成される設計案の設計空間との対応関係をどのように表現すれば良いか。

各操作毎の、空間上の対応する領域をどのように表現するか？

- ・詳細化操作の選択はその後の最適化操作の選択もある程度見越して行なっている。(設計戦略を立てている。)

(b) 最適化操作選択のための設計知識の表現

最適化では、現状の設計案の設計空間上の領域が明確化されており、要求条件との距離が測定可能である。

そして、ここでは、

- ・複数の操作が重複して適用されることが多い。

これより、ある操作の適用効果は、それまでに適用された操作群の組み合わせ若しくは適用順序の影響を受ける。

- ・複数の要求条件は、操作の適用において互いにトレードオフの関係にあることが多い。

トレードオフの関係を効率的に満足させるための設計知識の表現法は？

- ・グローバルおよびローカルな最適化が存在する。

(d) 各操作を選択する上での統合的な設計戦略の表現

- ・最適化操作を意識した詳細化操作の選択

- ・それ以降の最適化操作を意識した最適化操作の選択

3. アプローチ法

まず、設計作業の分析により、存在している（獲得が可能）と思われる知識を明確にする。

次に、これを用いて上記のような設計特有の問題をどのようにしてモデル化すれば良いかを設定する。

このように設計問題の実現方法に関して理論武装を行なったのちに、モデルに従って設計知識を表現可能な設計用シェルを作る。

即ち、実際の設計システムを構築する人のための具体的な導引方法論（設計における特有の知識の表現方法など）までを明確化してから設計用シェルを作成すべき。

以 上

8. 設計型エキスパートシステムに対する期待、技術課題

三菱電機（株）・進藤

1 期待

設計型エキスパートシステムは基本的には、設計対象（設計されるものそのもの）、及び、設計行為の知識（設計手順のノウハウ等）の2種類の知識を表現しなければならない。これら2種類の表現に対する期待を記す。

設計対象の表現：

設計段階の各段階における適切な表現が可能である：

設計は通常幾つかの段階をへて最終的に具体的なものが設計案として生成される。その各設計段階での設計対象の表現は異なるものであり、設計型エキスパートシステムとしては各設計段階で設計者の意図を素直に表現できる枠組みを提供すべきである。（例：論理設計における、アルゴリズムミクな機能記述、レジスタ転送レベルの記述、ロジックダイアグラムによる構造記述、マスクパターンによる構造記述）

各レベルにおける表現間の対応づけ：

上であげた各設計段階は、前段階の表現を詳細化して次段階に渡すという具合に、抽象－具体関係で対応付けられている。従って、各段階で用いられる表現もそれらの間で対応づけがなされなければならない。この対応付けにより、ある設計段階での設計案の変更が他の設計段階での表現でどう表現されるか等も得ることができ、いろいろな角度から設計案を見直すこと、修正することが可能となる。

設計行為の知識の表現：

設計問題は基本的には組み合わせ問題である。従って、設計行為の知識表現としては、組み合わせ的爆発を回避するような上手な探索を行なうための推論制御知識を表現できなければならない。推論制御知識は、内容的には、制約を満たす解の導出順序や制約違反時の処理等、性質的にはヒューリスティック的なものやアルゴリズムミクなもの、表現方法から見れば、手続き的表現が向いているものや宣言的表現が向いているもの等、多様である。推論制御知識の表現／解釈はこれらの多様な内容、種類を簡潔に表現できる程十分に柔軟であることが期待される。

2 技術課題

推論制御：制約指向 + α

設計型タスクは一言でいえば制約を満たす解を探索することであるので、制約の表現、及び、その制約下での解の探索機能が設計型タスクの推論制御機構の中心となる。制約の扱いに関しては制約指向プログラミングというパラダイムがある。制約指向プログラミングではユーザーは制約を宣言的に記述するだけでその解は言語処理系によって自動的に生成される。そのため、ユーザー側の知識の記述の負担は軽減されるが、解の探索は基本的にはシラミツブシ探索であるために、組み合わせ的爆発の回避には貢献していない。設計における推論制御の知識は、宣言的に記述しやすい制約条件そのもののみならず、制約が与えられたときの解の導出方法（どのパラメータから解いてゆくか等）や設計失敗時の処理（制約を満たす解が存在しない場合にどの制約を緩和させるか等）といった手続き的知識もある。更には、これらの手続き的知識が探索効率の向上に貢献するものと考えられる。従って、推論制御知識の表現／解釈には、制約の宣言的表現に重点をおいた従来の制約指向プログラミングではなくして、

制約（宣言的） + 制約下での解の導出方法（手続き的）
といった、拡張が要求されるだろう。

深い知識の利用：

最近、知識獲得の研究が盛んである。今のところ、その対象は分類型タスクが中心であるが、設計型タスクにおいてもその必要性は高い。設計型タスクにおける知識獲得の研究で現在行なわれているものの中に、設計対象に関する基本原理を深い知識として利用することによる知識の半自動生成機能がある。

〔例〕

- ・ PROMPTにおける設計失敗時の処理の生成：

設計案が制約に違反した時、システムが設計対象のモデルを用いて違反状況を分析し、違反を解消する処置を発見する。

- ・ PRIDEへの入力生成：

設計対象全般のモデルを深い知識として持つ。実際の設計に関係のあるパラメータ、制約式を入力すると、パラメータ間の依存関係を検出し、どのパラメータから解いてゆけばよいか等の情報を生成する。生成結果はPRIDEの入力として利用される。

深い知識を利用すると、扱える設計対象の範囲は狭められるものの推論制御などに関するノウハウの自動生成機能、知識の正当性の説明機能、ロバストな推論、等の従来のシステムに見られなかった特徴が得られ、今後検討すべき技術要素の一つであろう。

9. 工程設計システムの研究状況とその問題点

1. はじめに

機械部品、製品のための設計システムを考えるにあたっては、意匠性、機能性とならんで生産性が要求される。これは、機械の形状が、所与の機能や形状のみだけでなくその加工方法などを考慮して決定されるためである。最近では、切削加工や研削加工を中心とした機械加工だけでなく、溶接、鍛造、放電加工、精密鋳造、レーザー加工など多くの加工方法を考慮して、機械加工の部品形状を決定しなくてはならなくなっている。

DES（設計型ES）において、機械部品あるいは機械製品の設計システムを開発する場合には、製品形状だけでなく、加工方法を含めて取り扱えなければならない。また、この種の決定は、工程設計と呼ばれ色々なシステムが開発されてきているが、実用的なシステムは、まだほとんどない状態である。

ここでは、これらのシステムの開発状況とその問題点について述べる。

2. 工程設計システムの開発状況

工程設計システムは、CAD/CAMシステムの統合の一環として、今までにも多くの研究がなされてきている¹⁾。特に、切削加工の工程設計は、GT(Group Technology)を用いたものなどが知られてきている²⁾。しかしながら、これらのほとんどがCADシステムとの結合ができなかったり、汎用性、拡張性が乏しく実用的なシステムとはいえない。多くの研究がされている、切削加工でさえ、実用的な自動工程設計システムはないのであるから、他の加工については、ほとんど手つかずの状態である。

そのため、CADと結び付き、汎用性、拡張性の優れた自動工程設計システムの開発の必要性が認識され、エキスパートシステムの利用に目が向けられてきている。表1に示すのは、87年6月にアメリカのペンシルバニア州立大学にて開催された工程設計システムに関する国際会議³⁾で発表されたものの中からエキスパートシステムと思われるものをまとめたものである。この他に、今までに表2に示すものが発表されてきている。

これらのシステムの特徴として、①工程選択の知識の記述にプロダクションルール形式を用いていること、②多くのシステムが形状特徴(Feature)をもとに工程、工具、加工条件の選択を行っていること、③CADシステムとの結合を計っているが形状特徴の抽出が十分でないこと、④表面的な知識による決定を行っていること、⑤対象となる部品が複雑でないことなどがあげられる。

表 1

システム名	研究者 (機関)	知識表現	使用言語	システム環境	CADシステム	対象部品	特徴
SIPS	D.S. Nau, M. Luce (Maryland Univ.)	Frame	Zeta-Lisp Franz-Lisp	Symbolics II Explorer		Turning parts	NBS AMREF用システム 90 Frames
	S.B. Joshi, T.C. Chang (Furdue Univ.)	P.R.	FORTAN77		ROMULUS	Prismatic	NSF ERC
Turbo-CAPP	H.P. Wang R.A. Wyss (Penn. State Univ.)	Frame	PROLOG	IBM PC	2D CAD system	Turning	三階層の知識 メタ知識を考慮
HICLASS	M. I. Zuckerman (Appollo)	P.R.(Logic) Frame Meta	SOL structure QUERY language		ICES	Prismatic	Hughes Aircraft 社の 契約による
MICROPLAN	R.H. Phillips 他 (Univ. Illinois)	P.R.	common-Lisp		Personal Designer3D (Computer vision)	Rotational	
XPS-2	C.F. Sack, Jr. (UTRC)	CAPPL (English like Rule Type)	FORTAN77	DOMAIN			CAM-I Process Planning program
XWAPP	M. Inai, S. Suzuki F. Kimura, T. Sata (Tokyo Univ.)	P.R.	common-Lisp	Symbolics 3640	GEOWAP-III	Prismatic	Product Model による 工程設計システム
KAPP	K. Iwata, Y. Fukuda (Kobe Univ., JSPRI)	Frame	common-Lisp Smalltalk-80	Tektronix 4405	CIMS/MODE	Prismatic Rotational	638 Frames
TP-system	G. Spur, L. Krause W. Turovski (FIPIK, Berlin)	Rule DecisionTree	FORTAN or Pascal		CAPSY		グラフィックスミューレ ーションによる詳細 Product Model による 工程設計システム
SAPT	V.R. Milacic 他 (Belograd Univ.)	P.R. GT Part Family	Prolog-85		Designer Expert System		
XPLANE	A.H. van't Erve H.J.J. kals (Twente Univ.)	P.R.	FORTAN77	VAX-STATION II	C.F.M Solid-Modeler (Inter Nordic project)		
ICAPP	A.J. Wright, I.L. Darbyshire B.J. Davls. (UNIST)	AL/X	FORTAN	VAX 11/750	CWCDS4000 (3D wire frame model, ICES 2)	Prismatic	
EXCAPP			Pascal, Prolog POPLOG	VAX 11/750	GKS (Tektronix)	Turning Part	
PROPEL	J.P. Tsang (ITNI France)	Frame-like language	common-Lisp	SUN3/150	NONE	Prismatic	CARL XPS-Eを参考に している。
	M. Spadoni, B. Mutel (LAEI France)	P.R.	Turbo-PASCAL	P.C	NONE	Prismatic	

表2 既に発表されている工工程設計エキスパート・システム

システム名	研究者 (機関)	知識表現	使用言語	システム環境	CADシステム	対象部品	特徴
GARI	Y. Descotte J. C. Latombe (NPIG, Grenoble)	P. R.	Mac-Lisp	Honeywell-Bull HB-68		Prismatic	1981年に開発
TOM	K. Hashtushima, N. Okada, T. Sata (Tokyo Univ.)	P. R.	PASCAL	VAX-11	IGES (考慮)	Drilling	1982年に発表
CIMS/PRO	K. Iwata, N. Sugimura (Kobe Univ.)	P. R.	FORTRAN	CD M6000	CIMS/MODE	Prismatic	
XOUT	S. L. Brooks, R. Hummel, M. Wolff (Bendix Co.)	P. R. Object Lang.	Franz-Lisp Common-Lisp Flaver	VAX11/750 Symbolics 3670	ROMULUS	Prismatic	
Machinist	C. Hayes, P. Wright (C. M. Univ.)	P. R.	OFS-S	VAX11		Prismatic	

3. 工程設計システムの問題点

工程設計システムの問題点としては、大きく分けると工程設計自身が持っている問題とシステム上の問題に分けられる。

前者は、工程設計の評価と汎用性の問題である。工程設計の評価は、加工時間最小、工具交換回数最小などの単一の定量化できる評価関数を用いることができない場合が多い。ほとんどの評価は、定性的なものであり、ある条件において提示された解が特定の要件を満たしているかどうかにかかわっている。また、ある条件は、一般的な状況での条件ではなく、特定の対象となる工場の環境に制約されていて一般化することが困難である。

また、汎用性に関しては、工程設計の論理や決定までのプロセスが明らかになっていないことやその決定過程の知識の内容などが明らかになっていないことなどが原因である。現在のシステムでは、そのためプロダクションルールで知識を記述するなどの方法をとっているが、その数が、膨大になってきて、計算速度や知識の管理などに問題が生じてきている。

後者は、CADシステムとの結合の問題、推論システムなどがあげられる。CADとの結合は、製品モデルを用いているもの⁴⁾などがあるが、ほとんどのシステムが、みぞ、穴、ポケットなどの形状特徴をもとに工程設計を行っており、幾何形状と形状特徴との変換過程のシステム化などが大きな問題となっている。もう一つの問題は、推論システムの問題である。現在は、多くのシステムがルールによる推論を行っているが、それだけでは反層的な知識によるもので、新しい条件の決定などには不向きであり、今後は深い知識に基づいた決定システムが必要になるであろう。

4. まとめ

機械部品の知的なCADシステムを作成するにあたっては、部品や製品の機能や意匠だけでなく生産性が重要な役割を果たすことが知られている。そのために設計型ESを開発するためには、機能を中心としたESだけでなく、CADシステムと結合した生産性の評価を行うためのESも必要となろう。特に、プロダクションルールによる工程設計システム以外の方法による高速で汎用性の高いシステムが要求されてきている。開発する設計型ESでは、機能、意匠とともに生産に対する配慮を含めなければならないであろう。

【参考文献】

- 1) W. Eversheim, J. Schultz; "Survey of Computer Aided Process Planning Systems", 1st CIRP Working Seminar on Computer Aided Process Planning, 1985.
- 2) C. H. Link; "CAPP-CAM-I Automated Process Planning System" Proc. of 13th NCS Annual Meeting & Technical Conference, 1976.

- 3) Proc. of 19th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems, 1987.
- 4) M. Inui et. al, "Extending Process Planning Capabilities with Dynamic Manipulation of Product Models", Proc. of 19th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems, 1987.

10. 知的CADの課題

九州大学中央計数施設 長澤 勲

1. はじめに

近年、CAD/CAMは製造業の企業活動を統括する情報処理システムの核として次第に定着しつつある。ところがCAD/CAMシステムはその開発・保守には膨大な労力が必要であるため、現状のまま一般に普及するには問題が多い。最近、急速に発展してきた知識情報処理技術はこのような困難を解決し、高度なシステムを開発するための有力な方法として期待を集めている。

「知的CAD」とは、知識情報処理技術を駆使して高度な機能を実現したCADシステムのことをいう。即ち知識情報処理技術と従来のCAD技術の有機的な結合である。「知的CAD」の機能について、現時点では一般的な合意が得られているわけではないが、およそ次のような機能が必要であろう。

- ① 従来のシステムに比べて設計知識を明示的に取扱う機能。
(設計知識の隔な表現、深い知識の表現、知識の管理)
- ② 情報処理技術者の手を煩わすことなく、設計者自らが設計知識を維持・管理できる機能。
(設計知識のデバッグ、設計知識のコンパイル、設計知識の説明、システムのカスタマイズ、CAD開発の分業化)
- ③ 設計者が、設計知識を整理・獲得する過程を支援する機能。
(企画、品質管理、実験室支援)
- ④ 設計対象を取り扱う観点を管理する機能。
(ビュー変換、設計検証)

以下、知識情報処理の立場から研究すべき代表的な課題について述べる。

2. 設計の諸相

CADシステムの研究や開発には、設計者の設計作業のどのような部分を支援すれば効果的であるのか十分に理解しておく必要がある。ところが設計作業は、研究開発的か定型的かという設計作業の特性、対象業種の設計生産形態、設計作業の段階などによって極めて多面的な性格を持つためこのような研究は困難であった。そこで筆者らはいくつかの委員会において、各業種のCADシステム開発担当者の協力のもとに総合的な調査を行なった¹⁾。ここでは、3章の議論に必要な項目を列挙するにとどめる。

【設計部門をとりまく環境】

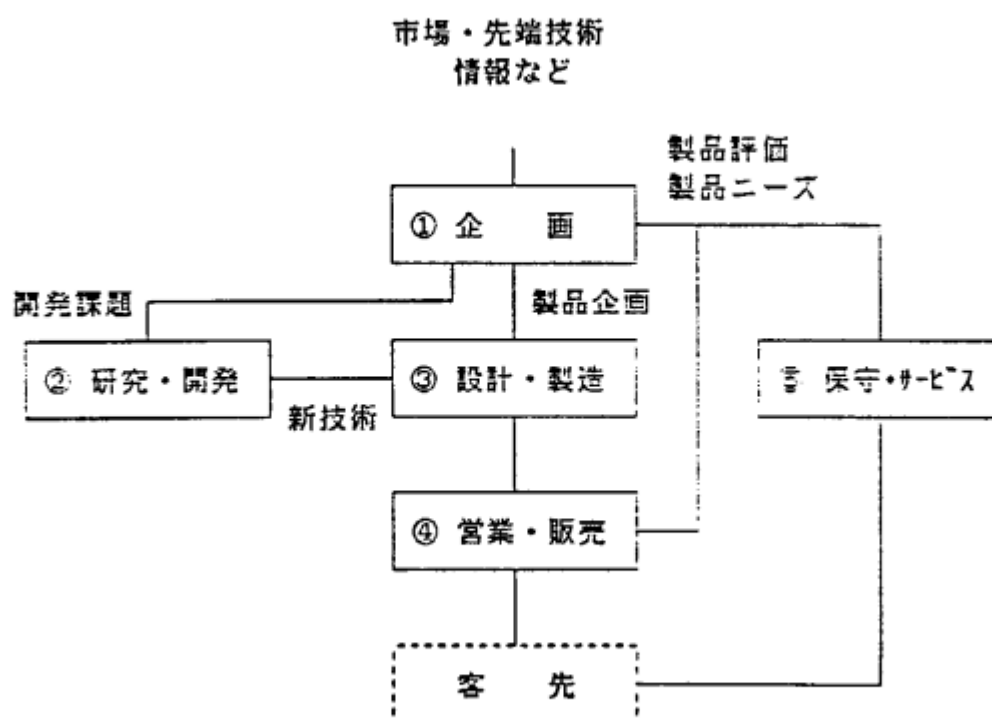


図1. 部門間分業

【設計作業の流れ】

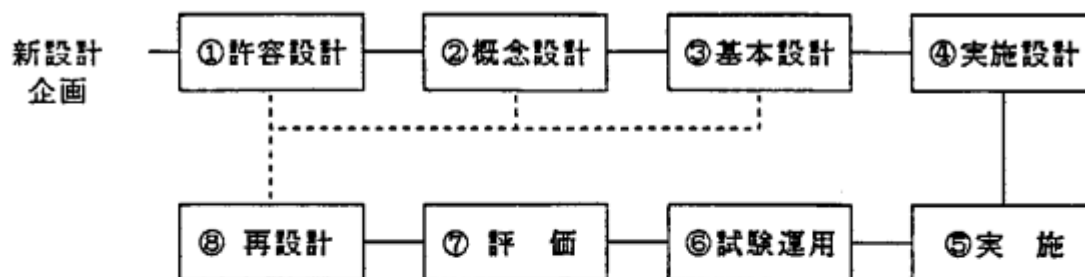


図2. 設計作業の流れ

- ① 許容設計： 企画された問題の正確な分析
- ② 概念設計： 良い解決策の探求，代替案の等級付け（経済性，所用期間，技術的安全性）
- ③ 基本設計： 解決策を詳細に展開，実施可能性を検証（コスト，性能）
- ④ 実施設計： 製品や設備を作成するための詳細設計（作業量が大）
- ⑤ 実 施： 製品の生産，サービスの実施
- ⑥ 試験運用： 性能・信頼性・寿命・保守性などの情報収集

- ⑦ 評 価： 製品や設備をさまざまな観点から評価，再設計に必要な情報を整理
- ⑧ 再 設 計： 製品を改良する設計活動

【設計作業の目的による分類】

- ① 開発設計
 - ・未経験の技術要素がある。
 - ・設計者の創造性が主，経験的能力の重要性は低い。
 - ・試作やシミュレーションが繰り返される。（知識獲得）
 - ・開発技術の品質や生産性は設計者の個人的能力に依存する。
- ② 個別設計・工芸的設計
 - ・設計者個人の勘，経験，感性。
 - ・設計者の個性や経験的能力（体得）が重要である。
 - ・試作やシミュレーションが繰り返される。（知識の整理不足）
 - ・設計作業の生産性は設計者の個人的能力に依存する。
 - ・設計知識が個人に所属，また技術移転が困難である。
- ③ 再設計・改良設計
 - ・製品や設備の品質・機能を改善するために行なう設計作業（信頼性の改善，過剰品質の適正化，製品機能の補強）。
 - ・過去の設計経験の利用（品質機能展開法）。
 - ・試作やシミュレーションは比較的に少ない。
- ④ 製品開発
 - ・市場や客先のニーズを満足する製品を迅速に供給することが目的。
 - ・技術的な新規性は少なく，製品の機能と実現方式を決定する設計作業の上流が重要（製品企画，許容設計，概念設計）
 - ・技術的な新規性を必要とするときは，技術開発を先行する。
- ⑤ 定型設計
 - ・成熟産業では受注生産であるため設計の迅速化が必要（電力プラント・建築・造船）
 - ・設計作業を効率化するために分業体制がとられている。
 - ・客先の要求に個別に適應した設計を迅速に低コストで行える体制が必要。
 - ・開発や改良の度合は少ない。

【設計作業のシステム化段階】

- ① 設計作業の未整理段階
 - ・設計作業が未整理，試作やシミュレーションが繰り返される。
 - ・設計知識が主として設計者個人に属しており共有化されていない。
 - ・開発設計・個別設計・工芸的設計の大半はこの分類に属する。
 - ・生産性が低く，技術移転が困難である。
 - ・C A D： 製図，形状処理，実験室支援，計算機シミュレーション。

② 設計結果の再利用段階

- ・部品、図面、工作法などの標準化、過去の設計実績の再利用が始まる。
- ・品揃い品については標準部品等の使用により生産性が上がり設計技術が蓄積される。
- ・最適化のためシミュレーションは行なわれるが、試作の必要性は少なくなる。
- ・特注品、一品生産品については依然として生産性が低い。
- ・C A D： 図面のデータベース、スケッチパッド、設計データ管理

③ 設計方法の標準化段階

- ・シリーズ化製品の設計や専門家の共同作業を必要とする設計では、設計作業の標準化。
- ・設計知識が設計グループの共有知識になる。
- ・品揃い品だけでなく特注品、一品生産品についても生産性、品質が向上する。
- ・個別の設計作業は人力によるため大規模な最適化設計は困難である。
- ・C A D： 設計対象を管理するプロジェクトデータベースや工程管理。

④ 部分自動化設計段階

- ・大規模な設計作業を必要とする業種では設計作業の生産性を向上させるため、最適化
- ・計算、工作展開、構造解析、積算のような設計作業を自動化することが行なわれる。
- ・大規模な設計作業の生産性や信頼性が向上する。
- ・設計作業が硬直化し易く設計システムの保守が困難になる。
- ・設計技術が設計システム内に隠蔽され、設計技術の継承が問題になってくる。
- ・C A D： 各種自動設計システム（最適化計算、構造解析、形状処理、積算など）

⑤ 設計作業の多様化・高度自動化段階

- ・新製品開発の競争の激しい業種では、設計作業の流れそのものも短期間で変化する。設計者自らが設計システムの維持・管理に参加することが必要になり、設計システムの開発部門と設計部門の分業・協力体制が確立される。
- ・設計システムの柔軟性が増し設計作業の多様化と生産性の向上のバランスがとられる。
- ・設計技術の継承が容易になる。
- ・設計技術者と、C A D部門の役割分担が明快になる。

3. C A Dの課題

3・1 設計者の知識獲得の支援

【概念的情報の収集、整理】

設計作業の上流（企画、許容設計、概念設計）では、設計者自身によって設計問題についての概念獲得（製品企画、問題設定、解決策の探求など）が行なわれる。このような設計者の活動を計算機によって自動化することは現在のところ不可能である。しかし一方では人間の創造性を高めるためK J法などの発想法の研究が行なわれ一定の成果を納めてきた。これらの技法を知識情報処理技術を用いて洗練することは有望であろう。対象となる作業例を以下にあげる。

① 製品企画の支援

住宅や工作機械のように設計技術が成熟した製品の開発では、市場や客先のニーズを満足する製品を迅速に供給することが必要とされる。このため、製造業の企画部門では、設計に必要な情報を体系的に収集し・分析・企画する組織を活動させている。

② 改良設計の支援

品質管理運動の一環として、品質機能展開法が多くの製造業において実施されている。これは品質を改善するために行なう改良設計をいっそう組織的に進める活動と見ることができる。

【実験的情報の収集、整理】

製品の試作、シミュレーションに基づき設計対象をモデル化する作業の支援である。支援の対象として、試作実験、実験データ解析、設計対象の工学モデル化などがある。

3・2 設計作業の中流の支援

設計作業の中流、基本設計、詳細設計を支援するCADシステムの実例は多い。定型設計においては設計作業の省力化、迅速化、最適化が、新規設計においては設計の多様化、高度化が主要な目標である。

【設計対象の一元管理】

設計方法が標準化されてくると、設計知識が設計グループの共有知識として理解され整理されてくる。とくに設計作業の分業体制が確立している建築、造船、プラントなどの業種では、設計作業全体の流れの中で設計情報を一元的に管理することが意識される。この場合設計対象を管理するデータベースを中心に設計作業固有の処理モジュールを配置する方式がとられる。

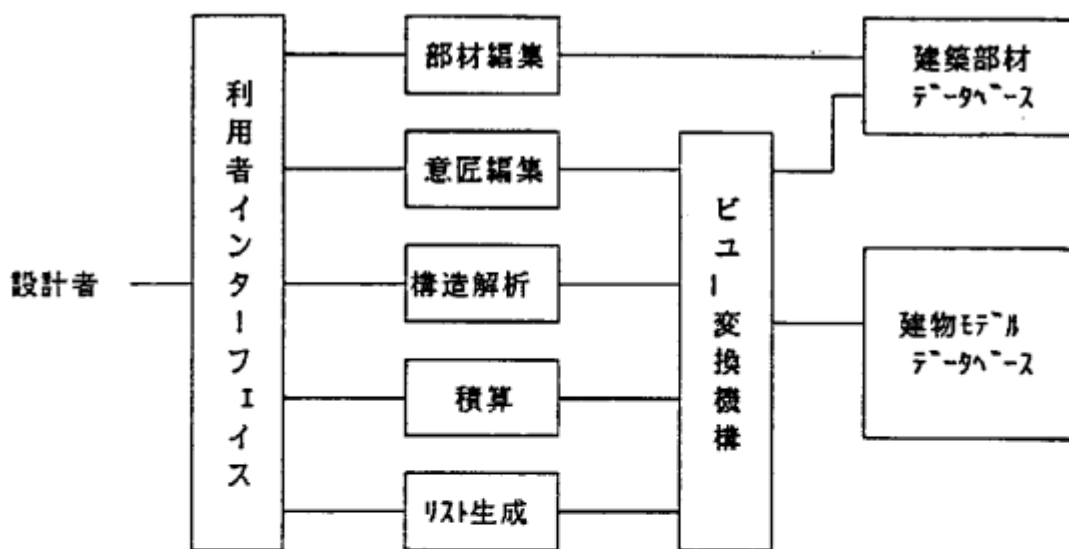


図3. 建築物実設計システムの構成例

設計作業の流れは一般に異なる観点からの再設計の連続と見ることができる。建築物実設計を例にとれば、意匠概要・構造概要・意匠詳細・構造詳細・積算の順に設計を進める。このとき設計者は各段階において設計作業に最適な設計図書を使用している。ビュー変換とは、設計対象を設計作業の性質に適した属性の集合として取り扱う機構である。建築、

造船などではこのような考え方はCADシステムの機能として実現されている。しかし機械設計の分野ではこのような考え方はまだ十分には試みられていない。これには、設計作業の分業化が明瞭でない、どのようなビューが必要であるのか分析されていない、設計練度の関係で分業が行い難いなどの理由がある。図3に建築物実設計支援システムの構成例を示す。

【設計対象のモデル】

設計過程のなかで使用される設計対象の表現を設計対象モデルとよぶ。設計対象モデルは、設計作業の流れの中の位置や対象領域の性質に強く依存している。ここでは、なんらかの意味で形状に関係するモデルについて述べる。

① 形状モデル

1970年代に提案された形状モデルによって素材や部品の3次元形状の記述が可能になった。このモデルは、3次元形状の表現、自由曲面の表現、機械加工のシミュレーションあるいはFEMなど解析計算の入力として大きな貢献をした。しかし形状モデルは設計過程で使用するモデルとしては柔軟性を欠いており、むしろ設計結果の表現に適しているといえる。

② 属性モデル（形状モデル＋属性）

機械加工における公差の表現や機構のシミュレーションなどを行なう場合、形状モデルだけでは十分でない。このため形状モデルに各部の寸法・部品間の位置・力学的属性など（これらを総称して属性という）を付加したモデルが提案された。

③ 属性制御モデル

建築、造船、プラントなど大規模な設計対象の設計作業は分業化されている。このとき専門の異なる各設計者は設計対象の異なる側面を取扱い、設計図書を用いて設計情報を交換する。設計図書は設計技術が成熟するにつれて様式化し、次第に抽象的な記号で埋められるようになる。このことは設計者は有限の情報だけで設計対象を制御し、工作法や部品間の干渉チェックなどとくに必要でない限り3次元形状を陽に取り扱わないことを示している。従って、設計対象を有限個の属性集合で表現し、必要な場合にはこれらの属性から形状を生成できる機構をつけ加えたモデルを考えることができる。ここではこのモデルを属性制御モデルとよぶ。

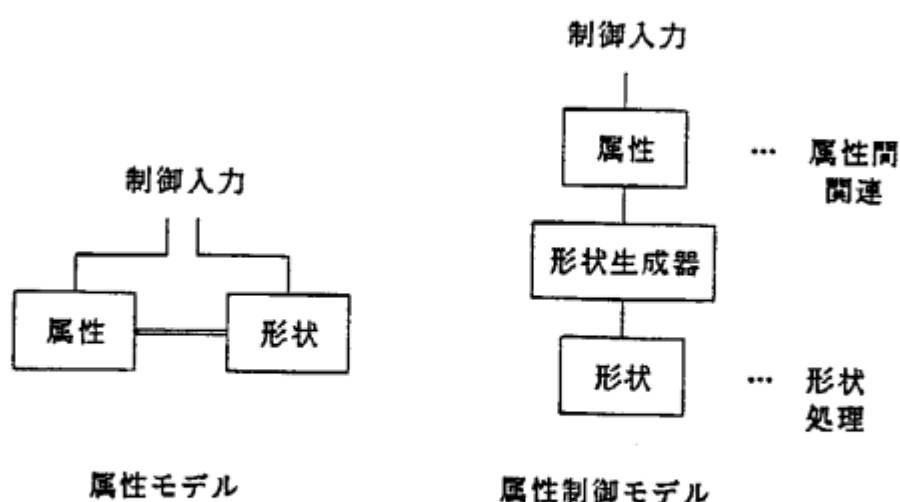


図4. 対象モデルの関係

以上の関係を図4に示す。属性モデルや属性制御モデルを総称して属性モデルとよぶ。属性の取り方は、設計対象の機能や工作法に強く依存する。造船には造船用の、建築には建築用の属性の管理法がある。従来機械設計の分野では、形状表現とその関連する処理に研究の重点が置かれてきたが、最近、基本設計・詳細設計・工作設計などの設計の各段階における設計対象の情報を統一的に記述する枠組みが提唱されている。しかし、形状の複雑さ・多様さ、要求される設計練度の高さ、属性の多様さに阻まれてまだ十分な研究成果が得られているとは言えない。機械設計の領域で実用に耐える属性モデルシステムを開発するには、次の課題がある。

- (1) どのような対象にはどのような属性管理法が適当であるのか。
- (2) 属性から形状（とくに幾何モデル）および形状から属性への変換法の研究。
- (3) 形状および属性を記述するための使い勝手の良い利用者環境の開発。

【スケッチパッド】

建築物の意匠設計、事務機器の機構設計のように自動化が困難である設計作業では、設計者は設計案を計算機内に記述しなければならない。この作業において使用するツールを仮にスケッチパッドとよぶことにする。スケッチパッドに必要な機能には、次のようなものが考えられる。

- (1) 設計者が慣れ親しんでいる図面や3D図形を仮想的なイメージとして取り扱えること。
- (2) 設計変更に際して操作性が良いこと、設計対象をパラメータ的に変更できること。
- (3) 定型的なパターンにたいしては自動生成できること。

【公的知識ベース】

一部の機械では、複雑な物理現象を直接的に用いて機能を実現しているため、物理現象の解明は不完全である。このとき、個別的な試作実験から得られた実験式、資料を設計に多用している。

3・3 設計過程のモデル化

建築、造船、プラントなどの業種では、受注生産、一品生産であるため設計作業の流れが標準化され、設計作業の効率化が進められてきた。すなわち典型的な定型設計といえる。このような問題を整理するには、自動設計や設計エキスパートシステムは効果的な接近法である。一方、機械設計は本質的に開発・改良設計であるため、設計過程が十分標準化されていない（再利用の程度が低い）、設計者の創意・工夫が重要であるという特徴をもつ。この場合CADシステムは、設計者の設計知識や設計過程の整理に有用なツールとしての機能を持つことが必要である。

【設計作業の特徴】

設計作業を対象分野や設計段階によらない一般的なモデルとして捉えることは、困難であるが、次のような特徴をもっている。

- (1) 設計作業は専門家集団の共同作業である。
- (2) 設計案は設計の進行と共に詳細化される。設計要求は、論理装置設計のように前もって定義されることもあるが、設計案と同様に設計の進行とともに詳細化されることも多い。
- (3) 個別の設計作業に際して、その作業に適した設計案や設計要求の表現（図面・計算書など）が用いられる。すなわち、設計者は設計案の全ての側面を同時に検討することはできない。
- (4) 設計作業は上流から下流まで、コスト、信頼性、加工性、安全性などの調和を目的

とした再設計の連続である。

- (5) 設計の上流では、機能・性能・コストの調和を目的として設計案の探索が行なわれる。設計案の情報は比較的少ない。
- (6) 設計の下流では、安全性、信頼性、加工性などを目的として設計案の修正が行なわれる。設計案の詳細な記述や加工のための情報が大量になる。

【設計支援の程度】

設計作業はCADシステムによる自動化の程度によって次のように分類できる。

(1) オフィスオートメーション

設計の意志決定・設計案の解析などすべてを設計者が行なう場合、設計支援として、製図支援、設計資料検索、設計図面のデータベース管理などオフィスオートメーション的支援が考えられる。

(2) 設計案の記述表示

設計者が計算機を用いて作成した設計案を見やすい形で計算機に表示させ、様々の観点から検討する。たとえば、住宅の意匠設計では、様々な角度から見た外観、内観パース図が使用される。これは従来から行なわれているペーパークラフトやプラスチックモデルを置き換えたものと見ることができる。設計支援として、設計案を記述するスケッチパッドとコンピュータ・グラフィックスの組合せが考えられる。

(3) 工学的解析を中心にしたシミュレーション

設計者が提案した設計案に対して振動、熱、流体などの解析計算を計算機に行なわせ、設計案の工学的な評価を行なう。設計支援として、熱、振動、機構などの解析システムとスケッチパッドの組合せが考えられる。

(4) 半自動設計

設計案の提案・解析・評価・修正という設計作業の本質的部分を計算機に代行させる。しかし、設計要求や設計知識を完全に記述することは困難であるので、一応の結果が得られた段階で設計者が評価・修正を行なう。設計支援として、スケッチパッド、自動設計システム、解析システム、エキスパートシステムが考えられる。

(5) 自動設計

設計案の提案・解析・評価・修正・最適化という設計作業全体を完全に自動化する。自動設計システム、エキスパートシステムが考えられる。

【設計知識の発展】

開発・改良設計では、設計が終了するまでに設計者の設計知識が進化することが知られている。ここでは、簡単な例を用いてこのことを説明する。①設計者は図5に示すように、設計要求が与えられると過去の設計例を参考に、機能要素を結合して設計案を作成する。ここでは、工作機械の送りテーブルの駆動に図6に示す原動機と歯車減速機の組合せを提案したとしよう。②設計者は、提案した設計案の諸元を決定するために工学モデルを設定する。この例では、テーブルの所要送り速度と所要荷重から、使用原動機と歯車を選定するためには、減速比、動力の関係を表わす簡単な設計式を用いれば十分である。③工学モデルを解くことにより設計案の諸元を決定または検証する。④次に設計に用いた工学モデルの検証を行なう必要がある。この例では、テーブルの送り速度が低速である場合には上のモデルで十分であったが、所要送り速度が高速である場合には、原動機、歯車、テーブル、テーブル上のワークの慣性力を考慮しなければならない。工学モデルの正当性は、モデル自身にあたえた適用範囲の検証や最終的には試作実験によって検証されなければならない。⑤モデルが正当でない場合には⑤の修正が必要になる。このようにして、設計案のあるクラスに対して試作実験を省略しても問題がないことが認められて初めて工学解析が信頼できるものになる。この場合工学モデルの設定が自動化可能になる。⑥次に設計案の妥

当性の検証が行なわれる。即ち設計要求を満足するか、評価項目のバランスは良いか、設計案を改良する余地はあるかなどである。設計案を改良する余地があれば⑦の設計案の修正を行なう。なければ①の設計案の提案に戻りする。このように機械設計では、設計案の解析が安定に行える範囲や設計案を提案、修正できる範囲の探求が重要な要素となっている。

要するに機械設計では、解析計算や定型設計と同様に設計者による設計知識の進化・獲得を主要な課題と考えなければならない。

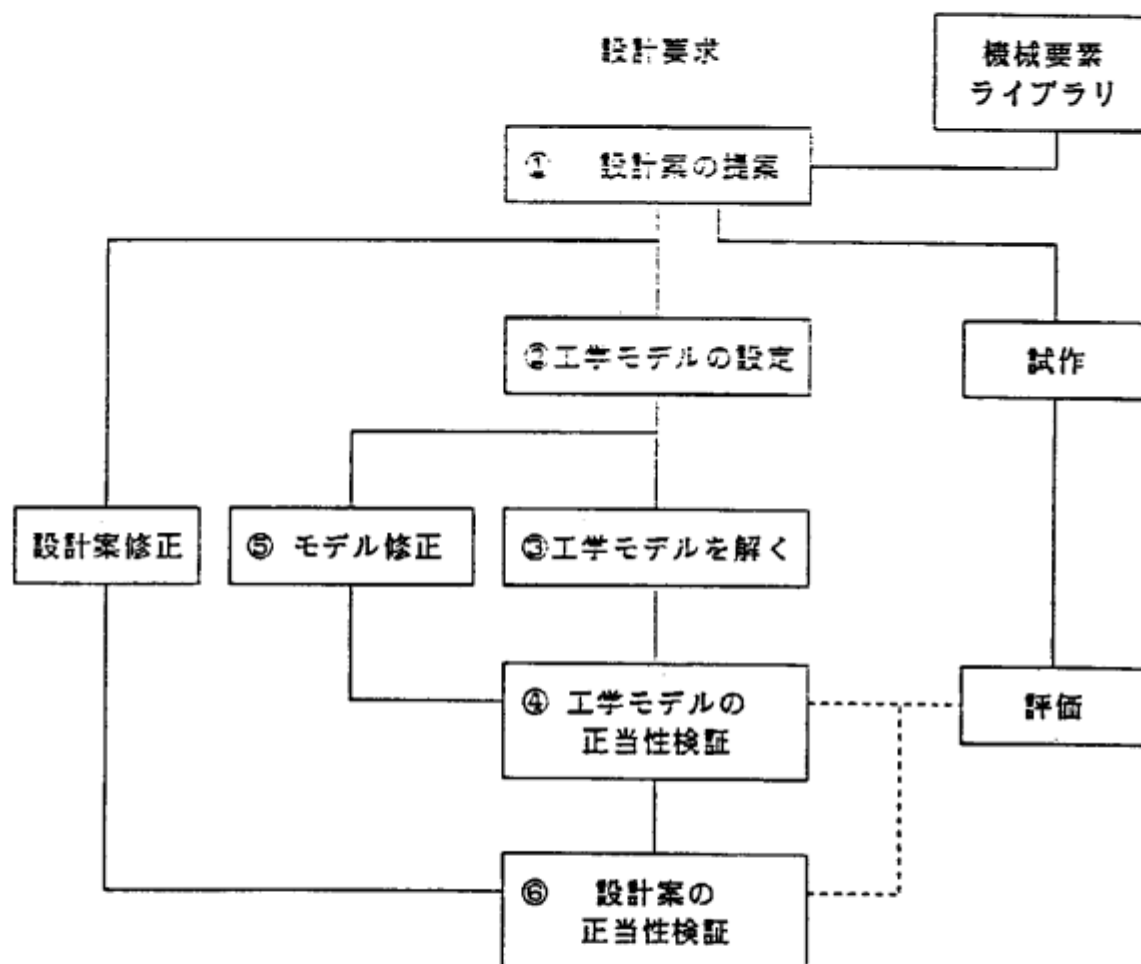


図5. 設計過程のモデル

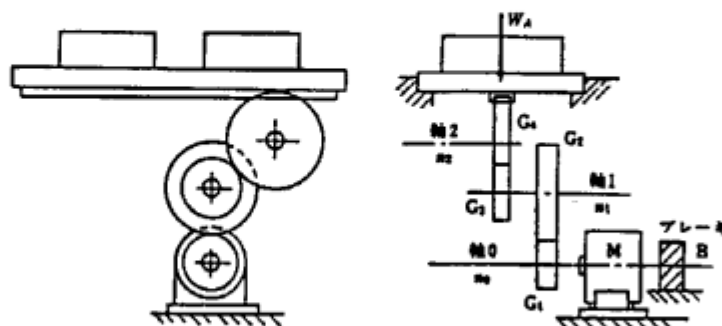


図6. 送りテーブル装置と慣性力計算²⁾

4. おわりに

本稿では知的CADの課題について主要な論点について述べてきた。設計の問題は設計型エキスパートシステムという言葉では片づかない複雑な問題であることを理解いただければ幸いである。

【参考文献】

- 1) 長澤 勲：CADの機能評価について， 세미나「CAD/CAMの標準化動向と将来展望」テキスト，日本設計製図学会，日本コンピュータグラフィックス協会共催，pp.70-99(1988)。
- 2) 川北ほか：機械設計におけるGD²，日刊工業新聞社，(1983)。

11. 設計型エキスパートシステムについての検討課題

永井 保夫 (第5研究室)

1. はじめに

エキスパートシステムの対象としている問題は解析型と合成型の2つに大別される。解析型問題は診断問題に代表されるように解となる仮説集合とその選択規則集合が予め設定可能であるため解空間の限定された仮説選択問題と捉えることができる。一方、合成型問題は解空間が非常に大きく解候補を仮説として設定しておくことは困難であるため効率的な問題解決が望まれる。設計問題は合成型問題の代表例であり、エキスパートシステムを開発していくためには設計対象に依存した知識が必要とされる。設計問題固有の知識表現と問題解決の方法が設計エキスパートシステム研究におけるキーポイントとなっている。

我々の研究はこのような設計問題を対象にしたエキスパートシステムのアーキテクチャの明確化とそのための構築支援ツールの実現を目標としている。本稿では、まず始めに、設計エキスパートシステムの対象領域と現状について示す。次に、設計型エキスパートシステムの課題について検討し、その検討内容に基づきエキスパートシステムの対象とすべき設計問題をルーチン設計に設定する。そして、検討課題の中から設計エキスパートシステムにおける設計過程モデルと設計対象表現モデルを考える場合に重要となる問題解決機構と設計対象の表現(モデリング)という2点の項目に絞って説明する。さらに、ここではルーチン設計におけるエキスパートシステムの問題解決機構をより詳しく検討するために必要となる設計過程モデルでの基本タスクと実際のエキスパートシステムが行なっているタスクについて示す。最後に、これらの検討内容を考慮して検討中の機械設計を対象としたシステムについて報告する。

2. 設計型エキスパートシステムの対象領域と現状

現在研究の行われている設計型エキスパートシステムの主な対象領域とその現状は以下のようになっている。

(1) 機械設計

特に機能部品設計を対象として問題解決機構に比重を置いた多数のエキスパートシステムが研究・開発されている。一方、オブジェクト指向言語を用いて設計対象を属性モデルとして表現するモデリング環境の研究が行われている。両者の研究は個別に行われているのが現状であるが、今後は融合を図る方向で進められていくと思われる。

(2) 電気・電子回路設計

ここでは、特にLSI設計におけるエキスパートシステムについて述べる。現時点ではシステム自体がまだ初期段階であるが、ある程度はその能力が期待できると思われる。エキスパートシステムは次世代(知的)CADツールの基礎とみなすことができる。また、シリコンコンパイラ技術は特定の設計段階の自動化を行うエキスパートシステム

（論理合成＋自動レイアウト）としての利用が期待される。なお、現在開発されている大部分のエキスパートシステムはプロトタイプながら良好な結果を示しているが、実際に利用される場合とのギャップが多いため、それを埋めるシステムの実現が望まれる。

（3） 建築・土木

様々な形式の高層ビルディングの概念設計や基本設計を行う知識ベースシステムの研究・開発が行われている。

（4） その他

その他として、製造分野に関するエキスパートシステム、特に、ジョブ・ショップスケジューリングと工程設計に対するシステムの研究が有名である。

3. 設計型エキスパートシステムの課題

3.1 検討課題 [1] [2]

（1） C A D ツールとエキスパートシステムの関係

データ入力、蓄積、検索処理などを行う C A D システム（ツール）での知的処理は設計者に委ねられており、設計過程自身の様式化が図られていない設計を支援している場合が多い。エキスパートシステムは設計者の意思決定や情報管理といった知的処理を計算機が代用可能な場合にのみ実現可能である。対象となる設計問題における知的処理を設計者が主体として行うのかそれともシステムが行うのかを把握したうえでエキスパートシステム研究をしていく必要がある。

（2） 設計者の知的作業の自動化方法

設計者の知的作業をエキスパートシステムとして自動化する事を考える場合には、設計過程が定式化されている必要がある。その場合は概念設計における要求定義や仕様記述は記述言語という形式で定式化がおこなわれる必要がある。さらに、各設計フェーズにおいて使用される基本設計タスクと設計対象表現に対する解析・評価手法が決定されていることが要求される。

（3） 表現言語とシステムアーキテクチャとの関係

設計は多様な設計知識を利用して階層的に行われるため、設計過程自身のモデル化と設計知識の両者を表現可能な言語が必要である。また、このようなモデルと知識の両方を取り扱うためのシステムアーキテクチャを検討する必要がある。従来のエキスパートシステムでのルールベースシステム、フレームベースシステム、ブラックボードモデルなどに代表されるシステムアーキテクチャ上に実際の設計問題で要求されるタスクを実現する場合には表現能力が不足している事が多かったためである。

(4) 設計過程のモデル化

設計対象のモデル化だけでなく、設計過程をどのようなモデルとして定式化するかも重要な問題である。ルーチン設計の設計過程モデルは、設計仕様（要求）及び設計対象モデルから構成され、問題を部分問題へ分割して設計が進む方向で定式化できる。このような設計過程モデルを実現するためには、プランニングや制約問題解決などの技術についての検討が必要である。

(5) 設計過程の推論制御

設計過程とは設計仕様が与えられて設計解が生成されるまでの過程であり、設計空間での解の探索問題とみなせる。一般にこの場合の探索空間は大規模であるために探索の効率化が問題となる。このような設計過程の制御を行うためには、探索制御用ヒューリスティックスが必要になる。

(6) 問題解決能力及び知識の表現能力の改善

従来のエキスパートシステムが提供している知識表現や問題解決機構はより設計問題向けとなっている。しかしながら、このようなシステムを利用してもエンドユーザによって構築される設計システムが、依然不十分であったり、非効率的であることが多い。さらに、設計問題では様々な設計知識と問題解決機構が必要となるため、知識コンパイル技術も必要になると考えられる。将来的には学習機能を利用して知識の獲得を行い、システムの性能を自動的に改善していく機能が必要となると思われる [3]。

3.2 ルーチン設計

ここでは、エキスパートシステムの対象とする設計問題を、基本となる設計対象のモデル（構成要素とそれらの接続関係からなる構造表現）及びその解析手法、評価手法などが決定されている設計とみなし、ルーチン設計と定義する。ルーチン設計では具体的には組み合わせ設計とパラメトリック設計を対象とし、新規設計は対象としない。

ルーチン設計は過去の設計例（以前に解かれた設計問題）や設計時に得られた（経験による）知識を利用した設計であり、入力として与えられた設計仕様は十分定式化の可能なもので、標準的な問題解決手法が存在している設計である。自動設計（DA）システムの大部分はこのような意味ではルーチン設計とみなす事が可能である。また、このような設計の代表的な例には、修正設計または編集設計と呼ばれている設計がある。これは過去の設計事例をできるだけ利用した修正や編集により設計を行う。

3.3 問題解決機構と対象の表現 [1]

ここでは、設計エキスパートシステムにおける検討課題の中で、設計過程モデルと設計対象のモデルを検討するために重要となる問題解決機構と設計対象の表現について以下に示す。

(1) 問題解決機構

問題解決機構としては以下の点について考慮する必要がある。

- ・ 設計プランの生成と修正

これは過去の設計例を参照しているものが大部分である。その場合、標準化された設計結果を検索するものとその部分的な修正を行うものとに大別される。

- ・ 設計プランの探索制御

また、問題解決において利用する知識としては以下のものがあり、問題解決機構を検討する場合には考慮が必要となる。

- ・ 設計対象の性質

設計対象の構造の可変／不変性や諸元の離散／連続性を考慮する必要がある。

- ・ 設計要求（仕様）の記述

機能表現及び制約表現（性能やコストなど）の考慮する必要がある。

- ・ 設計プランの表現

(2) 設計対象の表現

設計対象の表現（モデリング）とは、設計対象を問題解決機構やユーザが処理可能な形式で表現したものであり、具体的にはその属性、形状、構造など考えられる。設計とはこの設計対象の表現モデルを取捨選択、修正、詳細化といった繰返し処理であるとみなされる。

このような設計対象の表現を考えた場合には以下の項目についての検討が必要である。

- ・ 属性モデリング（属性による設計対象の表現）
- ・ ビュー変換機能（設計対象の複数ビュー表現の管理機構）
- ・ スケッチパッド（設計対象の編集ツール）
- ・ 共有知識ベース（カタログ、規格などの知識ベース）

4. 設計型エキスパートシステムのタスク

設計型エキスパートシステムのタスクは、ルーチン設計での設計過程モデルにおける基本タスクにできるだけ対応している事が望ましい。しかしながら、現実には設計過程モデル自身もドメインに依存しており多様であるために、エキスパートシステムの実行

しているタスクと明確に対応付けられておらず、問題解決機構研究を困難なものとしている。そこで、問題解決機構を研究していくためには、両者の対応付けを行なう必要があるが、検討課題となっているため、ここでは両者のタスクを説明するにとどめる。

4.1 ルーチン設計での設計過程モデルと基本設計タスク [2]

(1) ルーチン設計での設計過程モデル

ルーチン設計での対象モデル及び設計仕様（要求）と設計過程モデルについて説明する。ルーチン設計は、設計自体を“well-defined”かつ“well-structured”な問題として定式化が可能である。そのひとつの実現例として、DAシステムが考えられる。それに対して、現在のCAD/CAEシステム、例えば、製図、マスプロパティ決定、有限要素法、力学解析などを行うシステムは、設計者に対する初歩的支援機能しか提供しないものが大部分で、設計結果が要求通りに動作するかを判定するといったルーチン設計には適していない。ルーチン設計での設計過程を次のようなモデルとして定義する。設計過程モデルは、設計仕様（要求）及び設計対象のモデルから構成され、問題を部分問題へ分割して、設計が進む方向で定式化される。その場合、各（抽象）レベルでは、各基本設計タスクがトップ・ダウン方式で実行される。なお、入力となっている設計仕様（要求）も“well-defined”な表現で記述されることが必要である。

(2) ルーチン設計での基本設計タスク

各設計（抽象）レベルでの基本設計タスクは、プランニング、問題分割、詳細化、最適化、解析・評価というタスクから構成される。つまり、ルーチン設計ではこれらのタスクの実行による繰返しによる詳細化、すなわち再設計が行われる。なお、上位のレベルでのタスクは、以前の設計における決定をバックトラックしたり、下位レベルと同様に繰返し詳細化、つまり再設計を行う。設計の階層間ではパラメータや制約が上位または下位方向へ伝播されたり、分割された部分問題間でのインタラクションが制約によって引き起こされるために、制約問題解決処理が必要になる。

4.2 設計エキスパートシステムにおいて実行されているタスク [1]

(1) 設計対象の構造（機構）の探索問題

構造とは構成要素とそれらの関係からなると定義

(2) 構造諸元（連続値）の最適化問題

構成要素とその属性値

(3) 構造諸元（離散値）の探索問題

構成要素とその属性値

(4) 設計対象の構造の変換・最適化問題

設計エキスパートシステムでは以上のような問題とみなしたタスクを実行している。設計対象の構造（機構）の探索は設計プランによって設計対象の構成方式が与えられているか、もしくは与えられた構成要素を組み合わせて行われる。設計対象の構造（構成要素とその属性値）が決定された後の詳細化処理は、具体的に実現されるべき構成要素

やそれらの数量などの実現条件を考慮した構造諸元（連続値）の最適化問題や構造諸元（離散値）の探索問題とみなされる。

例えば、回路設計では予め与えられた構成要素を組み合わせることで設計対象の構造を決定してから、構成要素とその属性値の詳細化を行い、トレード・オフを解消するために設計仕様（機能）を違反しない形で構造変換及び最適化を図る。機械設計では設計対象の構造（機構）が予め与えられており、これらの検索によって仮定された構造に基づいて、構造諸元（離散値）の探索が行われたり、構造諸元（連続値）の最適化が行われる問題として取り扱う場合が多い。特に、このような設計対象の構造（機構）が決定されている、つまり構成要素とそれらの関係が与えられた場合に、構成要素の属性値を決定する（最適化する）設計はパラメトリック設計である。

5. ICOTで検討中の設計システムについて

機械系CADシステム側のニーズのなかで、AI技術が適用可能と考えられるものは設計対象の機構、機能、設計意図などを統一的に表現可能なモデルと設計作業を部分的に自動化するエキスパートシステムであることが明らかになった。そこで、我々はこれらの点を考慮して、（工作）機械設計を対象としたエキスパートシステムの検討を行っている。特に、問題解決機構（制約問題解決）と対象表現（モデリング）機構について検討中である。

問題解決機構（制約問題解決）では組み合わせ設計とパラメトリック設計を包含した問題を対象としたESの問題解決機構の研究を行っている。その中でパラメトリック設計は制約問題解決的側面が強いため、以下の項目を考慮した設計問題向け（設計過程モデルを考慮した）制約問題解決機構が必要とされ、その検討も行っている[4]。

- ・ 制約伝播とその制御
- ・ 失敗回復（failure recovery）処理
制約の緩和、アドバイス機構など
- ・ 最小拘束原理（least commitment）
- ・ 生成・検査法（階層的生成・検査法）
- ・ 線形計画法や制約充足問題との融合

さらに、これらの検討に基づいた制約問題解決機構を実現するために、制約論理型言語をベースにして、その上に設計問題特有の制約問題解決機構を追加・拡張していく予定である。

設計対象表現（モデリング）では、ひとつの設計対象（モデル）を様々な側面（視点）により様々な問題解決エージェントが協調して行うことが多いため、問題解決エージェントがモデルをそれぞれ異なった視点（ビュー）で眺められる機能が必要となる。このような機能を実現するための対象モデリング（言語）環境についての検討も併せて行っている。

6. おわりに

設計問題を対象としたエキスパートシステムの課題の検討及びその内容に基づくルーチン設計を対象にしたシステムについて、推論機構及び対象表現（モデリング）機構を中心として報告した。また、その際に必要とされるタスクについて述べた。さらに、これらの検討を踏まえた上で検討中の機械設計を対象とした設計システムの内容について言及した。今後は、設計問題における制約指向、仮説推論、属性モデル及び知識コンパイルなどの技術の明確化を行い、具体的な設計システムとしての個々の技術の有効性の実証していく予定である。

参考文献

- [1] 昭和62年度 ICOT KSS-WG, DES-SWG 資料
- [2] 昭和62年度 発電設備診断システムの開発成果報告書
(財)新世代コンピュータ技術開発機構
- [3] Tong, C., "AI in engineering design", Artificial Intelligence in Engineering, Vol.2, no.3, 1987
- [4] 永井, 制約表現とその適用実行メカニズムについての一考察,
第35回情報処理学会全国大会, 6L-5, 1987

12. 第8回 KSS-DES SWG 議事録

1. 日 時 : 昭和63年 3月24日(木) 13:30 ~ 17:30

2. 場 所 : ICOT 211、212会議室

4. 出席者

委 員 : 長澤主査(九大)

伊藤委員(東工大)、菊池委員(キャノン)、進藤委員(三菱)、
中野委員(松下)、野田委員(沖)、福田委員(機振協)

オブザーバ: 今村氏(MEL)、仲西氏(NTT)

ICOT : 市古、井上、永井、藤原

議事記録者: 横山(ICOT)、寺崎(ICOT)

3. 議 題 : 設計型エキスパートシステム研究に関する議論・検討
以下の配付資料にもとづき、設計型エキスパートシステム研究に関する議論・検討を行った。

4. 配付資料

DES-8-1: 知的CADの課題

DES-8-2: 研究課題の試案

DES-8-3: 設計型エキスパートシステム研究について

DES-8-4: 設計型エキスパートシステム研究について

DES-8-5: DES-SWG報告書

DES-8-6: 機械設計エキスパートシステムの検討課題

DES-8-7: 設計型エキスパートシステム研究に対する意見

DES-8-8: 設計型エキスパートシステム研究に対する期待、技術課題

DES-8-9: DES報告用レポート

5. 議 事

5.1 研究課題の試案

伊藤委員(東工大)

1) 検討課題

a) 機械系の属性モデルの構築について

- ・属性モデルの構築は、定型化の進んだ分野では行われているが、定型化されていない分野では難しい。

- ・従って、属性モデルを構築するためには標準・規格化により汎用化を進めなければならない。
 - ・機械系のCADシステムの実現には、このような汎用性のある属性モデルを利用し、それを対象向きに特化することが必要なのではないか。
- b) 目的属性記述（言語）システム
- ・目的とする機能から導かれる属性（目的属性）を記述する目的属性モデルと、それを実現するための構造を記述する属性モデルとは、区別して考える必要があるのではないか。
 - ・例えば、目的とする機能が「強度が十分であること」であったとする。このとき目的属性は「それぞれの部材において、“応力<許容応力”」となろう。構造は、この目的属性を実現するように決定されるものである。
 - ・また、属性表現といった場合にその属性の定義があいまいなままである。例えば、ロボットハンドの「グリップ間隔」といっても、その構造が分かっていなくては「グリップ間隔」を定義できないという問題点がある。

2) 質疑応答

- ・目的属性、実現構造の概念には賛成。ただ、属性の定義に関しては、やはりモデルの構造がないと表現のしようがないのではないか。例えば、「スケッチパッドシステム」のような入力インタフェースがあれば構造を記述することと、属性の定義がうまくつながるのではないか。（長澤主査）

5. 2 設計型エキスパートシステム研究について 今村氏（小島委員代理、M.F.I.）

1) 検討課題

a) モデルについて

- ・モデルデータとしては、製品定義データ（形状、交差、図面、物理的性質、技術情報等）、ライフサイクルデータ（製造法、ロット数等）と参照データ（標準品リスト、ハンドブックデータ等の公的知識）とに分けられる。現在、共通のモデルとして認識され開発が進んでいるのは形状モデルのみといってよい。
- ・設計プロセスは、モデルの生成や処理で構成される会話形式プロセスである。従って、図面データから3次元形状を生成する、組立図から部品形状を展開生成する、形状や公差を自動設定する、などの意味の変換や解釈の階層的な構成が重要である。

b) システムについて

- ・設計型エキスパートシステムのユーザは設計者であるが、同時にシステムの開発・保守を設計者が行わなくては新しい設計手法の導入ができない。従って、設計者自身がシステムを専用化できるような Open Ended なシステムであるべきである。
- ・これは、設計問題を問題定式化と問題解決の両面を含む情報処理とみなす考え方と共通である。

2) 質疑応答

- ・ 定式化と問題解決の分離は賛成。(長澤主査)
- ・ Product Model 中での Drawing の扱いはどうなっているのか。(伊藤委員)
- ・ Drawing は描画するのみで Product Model に描画に必要なデータが入っていればよいのではないかと考える。(今村氏)

5. 3 設計型エキスパートシステム研究について

菊池委員(キャノン)

1) 検討課題

a) 研究のあり方のイメージ

- ・ 設計の基本原理は簡単であっても、設計対象はこれらの複雑な組合わせからなる。従って、設計作業はいわゆる設計ノウハウと呼ばれる特殊な設計知識の学習過程でもある。
- ・ 設計対象は理論で容易に扱える程に単純な性質を持っているわけではない(設計理論だけでは設計できない)。設計には対象の構造やパラメータの決定に関する知識の他に、現実の世界に関する広範な知識が必要である。
- ・ 設計対象の評価基準には陽に表現されないものもある。
- ・ 設計型エキスパートシステムの研究には、設計作業における設計者とシステムの役割分担に関するモデルの確立が重要である。

b) アプローチ

- ・ 設計対象の構造がほぼ明らかな、いわゆるルーチンデザインにおいては、基本的な要求仕様パラメータの他に、設計意図により設計の度に要求仕様として付加される多くのパラメータがある。従って、要求仕様のパラメータ群から設計パラメータを求める合理的なデータフロー、を自動合成することが必要である。
- ・ 例えば、生産設計のように現状の設計対象の基本構造を変化させない範囲で、各構成部品のパラメータや、対象の構造を変化させる設計作業の自動化が考えられる。

c) 技術課題

- ・ 設計の基本原理以外の多くの設計知識は、効果的に設計を進めるための手順を示すものが多い。また、設計知識は、設計作業によりカテゴリー分けや階層化出来るものが多い。
- ・ しかし、現状の AI シェルはこのようなメタ的な設計知識をうまく表現する枠組みを持っていない。
- ・ 設計を探索問題と見れば、要求を満たす「より良い解」を見出す方法として仮説推論の導入が考えられるが、ATMSのような仮説推論機構では、仮説空間が増大すると推論速度も極端に低下してしまう。
- ・ 現状の AI シェルのアーキテクチャには、設計型エキスパートシステム構築のための有効な機能はあるが、あまりに理論に偏りすぎていて実用的でない。

2) 質疑応答

- ・ルーチンデザインの中でも類型化がなされていない。また、ルーチンデザインへ追い込んでいく過程を支援するツールが必要と考える。（長澤主査）
- ・現状のシェルが固すぎる。モデルを構築し、そのモデルを介して設計する過程を支援して欲しい。構築したモデルや設計手順を仮説として扱える仮説推論の枠組みが必要である。（長澤主査）

5. 4 DES-SWG 報告書

中野委員（松下）

1) 検討課題

a) 設計対象問題の分類

- ・人間の設計作業とコンピュータ処理とのインタラクションの部分にAI技術のメリットが発揮される可能性が高い。高度な Computer-Aided Human Design が有望である。
- ・大規模な問題はAI技術では歯が立たず、小規模な問題にはAI技術を用いる必要もない。これらの中間の規模に問題にAI向きの問題がある。

b) 検討課題

- ・設計支援においては、システムとのインタラクションが重要である。従って、シェル機能として、推論の戦略を規定できること、推論の状況がはっきりと分かること、推論戦略・制約条件の変更が用意であること、等が必要となる。

2) 質疑応答

- ・現状では、ES作成の見本（こうすればうまくいく）というものは無い。やはり、典型的な例をたたき台にしてディスカッションするのが効率的なのではないか。（長澤主査）
- ・推論の戦略をはっきり規定することは必要である。例えば機械設計の分野では、設計者は数式の扱いになれているので、戦略として「モデルの式」を与えたらそれを解いてくれるシステムというの也被えられる。（長澤主査）
- ・システムとのインタラクション、マンマシンインタフェースは重要である、といわれながら、機械設計分野では図面を入力するための「スケッチパッド」のような研究さえ満足に行われていない。（長澤主査）

5. 5 機械設計エキスパートシステムの検討課題

寺崎（加藤委員代理、松下）

1) 検討課題

a) 推論制御機構

- ・設計の設計案の探索制御を仮説推論の枠組みを基本として実現する。
- ・仮説には、設計戦略、設計対象構造、設計戦術、設計パラメータの各レベルのものが存在するが、この階層化された仮説を効率的に扱える枠組みの構築が重要。

b) 設計対象の表現方法

- ・形状データを有効に利用することが可能な属性モデリングが必要。

c) 公的知識、ノウハウ的知識の扱い

- ・ 公的知識（カタログ、教科書等）、及びノウハウ的知識に関する設計データベースの構築とその有効な利用法が重要。

d) アプローチ

- ・ 推論制御機構に関しては、①設計パラメータレベルのみの問題、②複数の構造を持つ問題、③設計手順の最適化、④全てのレベルを含む問題、の順に1レベルずつ解決していく。
- ・ 設計対象の表現方法に関しては、①属性データのみ、②非常に簡略化した形式の形状、③属性と形状の結合、の順に解決する。
- ・ 公的知識、ノウハウ的知識の扱いに関しては、モジュール化の検討、知識ベースエディタの作成から始める。

2) 質疑応答

- ・ パラメトリック設計は従来方式（アルゴリズムックに解く）の方がよい。また、パラメータレベルでなく、もっと上位のモデルのレベルで仮説推論を用いた方がよい。（長澤主査）
- ・ 設計パラメータレベルのみ、というのはあくまで上位のレベルでの仮説推論の枠組みの検討のためである。設計パラメータより上位のレベルは、やはり属性モデルがなければ実現できない。（寺崎）
- ・ A T M S というより、もっと特化した形で使っているようだが、そうであれば従来の方式の方がよい。また、機械においては属性と形状モデルの関係が破綻している。（伊藤委員）

5. 6 設計型エキスパートシステムに関する意見

野田委員（沖）

1) 検討課題

- ・ 機能仕様と構成要素が与えられ、構成要素の接続関係の最適化を行うような問題において、設計対象の上位階層の表現を下位階層の構造表現へ変換（詳細化）し、その階層内において要求条件を満足するように変換（最適化）するプロセス（詳細化、最適化操作の絞り込み、選択の過程）をモデル化するための方法論に興味がある。

a) 詳細化操作選択のための設計知識の表現

- ・ 詳細化操作適用後、最適化によっても解が得られないと判断された場合にバックトラックがおこるが、このとき別の詳細化操作をどのように選択すればよいのか。（設計者は、詳細化を行うときには次の最適化操作も見越して戦略を立てている。）

b) 最適化操作選択のための設計知識の表現

- ・ 最適化では要求条件との距離が測定可能だが、ここでは複数の操作の重複、複数の要求のトレードオフ、グローバル及びローカルな最適化の存在などの特徴がある。

c) 各操作を選択する上での統合的な設計戦略の表現

- ・設計者は、次に行う最適化操作を意識した詳細化操作の選択、それ以降の最適化操作を意識した最適化操作の選択を行っている。

2) 質疑応答

- ・具体的な対象としては何を考えているか？（今村氏）
- ・論理設計。それも上流のアーキテクチャの設計。（野田委員）
- ・このようなきれいな定式化は論理設計では可能かもしれないが、機械では難しいと思う。（今村氏）
- ・詳細化の階層を複数考えるとよいのではないか。（長澤主査）

5. 7 設計型エキスパートシステムに対する期待、技術課題

進藤委員（三菱）

1) 検討課題

a) 期待

- ・設計型エキスパートシステムは、設計対象（設計されるものそのもの）、および、設計行為の知識（設計手順の知識）の2種類の知識を表現する必要がある。
- ・設計対象の表現としては、設計の各段階における適切な表現が可能で、各レベルにおける表現間の対応づけが可能で、が必要である。
- ・設計行為の知識の表現としては、組み合わせ的爆発を回避して探索できる推論制御知識の表現が可能で、多種多様な推論制御知識の内容・種類を簡潔に表現できる柔軟さを持つこと、があげられる。

b) 技術課題

- ・推論制御に関しては、
「制約（宣言的）+制約下での解の導出方法（手続き的）」
という拡張が必要。
- ・深い知識を利用すれば、扱える対象は決められるものの、推論制御などに関するノウハウの自動生成機能、知識の正当性の説明機能、ロバストな推論等の特徴が得られる。

2) 質疑応答

- ・上流→下流の変換は容易だが、逆変換が必要。（長澤主査）
- ・機械では、機能と構造が1対1の関係ではないので逆変換は困難なのではないか。（寺崎）
- ・スケッチパッドなどを使って表現を制限することにより、うまくやれることがある。（長澤主査）
- ・ここでいう深い知識とは何か。（永井）
- ・物理法則のような、いわゆる first principle を考えている。（進藤委員）
- ・深い知識は実は物理法則だけでなく、そこから heuristics を導けるような知識や（物理法則の適用に関する知識）、工学モデル等も含んでいると考えられる。（長澤主査）

1) 検討課題

a) 工程設計システムの開発状況

- ・今までに発表された工程設計システムの問題点をまとめると、①プロダクションルールによる知識表現を用いており知識が表層的、②CADシステムとの結合を図ってはいるが形状特徴の抽出が不十分、③複雑な部品を扱えない、といったことがあげられる。

b) 工程設計システムの問題点

- ・工程設計自身が持っている問題点としては、評価の問題がある。工程設計の評価は加工時間最小、工具交換回数最小などであるが、これらは定性的なことが多い。また、評価基準が「工場環境」に制約されて一般化出来ない。
- ・システム上の問題点としてはCADシステムとの結合、推論システムがあげられる。幾何形状と形状特徴の変換の自動化、深い知識に基づいた推論システムが必要となるであろう。
- ・また本来、工程設計は生産の観点から見た場合に問題を設計者にどうフィードバックさせるかが問題であるはずなのに、現状は与えられた図面からどのようにして工程を組むかに終始している。

2) 質疑応答

- ・建築の場合だと、構造設計の段階で次の配置設計（詳細設計）との関わりをCADにより確認することができる。これも設計における下流から上流へのフィードバックの1つの形態と言えるのではないか。（長澤主査）
- ・機械の場合、放電加工（溶接）などの組合わせ加工であると、形状特徴に対する組合わせは無数に存在する。切削加工なら図面に入っている情報のみでも出来るだろうが、図面だけではある面が他の面とどう接触しているのかという事までは分からない場合もある。（福田委員）
- ・逆にCADの立場から言うと、そういう情報を明示する必要があるのではないか。つまり、モデリングに対象の使用目的等まで入れておくべきではないだろうか。（伊藤委員）

5. 9 知的CADの課題

1) 要求される機能

- ・従来のシステムに比べて、設計知識を陽に表現すること、深い知識の表現が出来ること、知識の管理が容易であること。
- ・設計者自らが設計知識を維持・管理できること。すなわち、設計知識のデバッグ、システムのカスタマイズ、CAD開発の分業化等が容易であること。
- ・設計者が設計知識を整理・獲得する過程を支援する機能。すなわち、企画、品質管理、実験等の業務における知識の整理、獲得を支援する機能が必要である。

- ・設計対象を取り扱う観点を管理する機能、すなわち、ビュー変換機能。

2) 設計の諸相

- ・C A Dシステムの研究や開発には、設計者の設計作業のどのような部分を支援すれば効果的かを十分理解しておくことが必要である。ところが設計作業は、設計作業の特性（研究開発的か定型的か）、対象業種の設計作業形態などにより極めて多面的な性格を持つ。以下に設計作業の分析を行うために必要な幾つかの観点を示す。

- i) 設計部門を取りまく環境
- ii) 設計作業の流れ
- iii) 設計作業の目的による分類
- iv) 設計作業のシステム化段階

3) C A Dの課題

a) 設計者の知識獲得の支援

- ・企画、概念設計などの設計作業の上流では設計問題についての問題設定、解決策の探究などの概念獲得が行われる。このような概念の収集・整理は計算機で完全に自動化することは不可能である。しかし、K J法などの発想法の研究もあり、これらの技法を知識情報処理技術を用いて洗練することは有望であろう。

b) 設計作業の中流の支援

- ・設計作業の中流（基本設計、詳細設計）を支援するC A Dの実例は多い。定型設計においては設計作業の省力化・迅速化・最適化が、新規設計においては設計の多様化・高度化が主な目標である。

i) 設計対象の一元管理

- ・設計方法が分業化・標準化してくると設計対象の一元管理が必要となる。特に、建築・造船・プラントなどの大規模な設計対象を扱う業種では分業化、標準化が進んでおり、設計作業全体の流れの中で設計情報を一元管理することが必要である。機械設計の分野は設計作業の分業化が明確でない等の理由により、このような考え方は十分には試みられていない。

ii) 設計対象のモデル

- ・設計対象の中で使用される設計対象の表現を（設計）対象モデルとよぶ。機械設計の分野で現在おもに使われている対象モデルは、形状モデルである。これは機械設計が図面を中心とした設計作業であったことに由来するが、形状モデルは設計課程で使用するモデルとしては柔軟性を欠いており、むしろ設計結果の表現に適しているといえる。
- ・機械加工の公差の表現、機構のシミュレーションを行う場合には、形状の他に属性（各部の寸法、部品間の位置、力学属性）を付加したモデル（属性モデル）が必要である。設計作業とは、設計目標を満たすように属性モデルを介してこれらの属性を制御、変更していく過程と見なすこともできる。さらには設計対象を有限個の属性集合で表現し、必要な場合はこれらの属性から

形状を生成する機構を付け加えたモデル（属性制御モデル）を考えることができる。

- ・属性制御モデルで設計ができるためには、設計の標準化が進んでいなくてはならない。建築、造船、プラントなどの大規模な設計の場合は分業化が進んでおり、設計情報をもれなく次の工程に渡すために設計の様式化がなされ、設計図書には抽象化された記号が用いられるようになってきている。機械設計の領域で実用に耐える属性モデルシステムを開発するには次の課題がある。
 - ①どのような対象にはどのような属性管理方法が適当なのか。
 - ②属性から形状（特に幾何モデル）、および形状から属性への変換方法。
 - ③形状および属性を記述するための、使い勝手の良い利用者環境の開発。

iii) スケッチパッド

- ・設計者が設計案を計算機内に記述するためのツールをスケッチパッドとよぶことにする。スケッチパッドに必要な機能は次のようなものが考えられる。
 - ①設計者が慣れ親しんでいる図面や3D図形を仮想的なイメージとして取り扱えること。
 - ②設計変更に際して操作性が良いこと。設計対象をパラメータ的に変更できること。
 - ③定型的なパターンに対しては自動生成できること。

c) 設計過程のモデル化

i) 設計作業の特徴

- ①設計作業は、専門家集団の共同作業である。
- ②設計案は、設計の進行と共に詳細化される。同様に、設計要求も設計の進行と共に詳細化されることが多い。
- ③それぞれの設計作業に応じて、その作業に適した設計案や設計要求の表現（図面・設計式）が用いられる。
- ④設計作業は、コスト・信頼性・加工性・安全性等の調和を目的とした再設計の連続である。
- ⑤設計の上流では、設計案の情報は比較的少なく、機能・性能・コストの調和を目的として設計案の探索が行われる。
- ⑥設計の下流では、安全性、信頼性、加工性などを目的として設計案の修正が行われ、設計案の詳細な記述のための情報が大量に必要なことになる。

ii) 設計支援の程度

- ①オフィスオートメーション的支援。製図検索・設計資料検索・設計図面のデータベース管理など。
- ②設計案の記述・表示。設計案を記述するスケッチパッドとコンピュータグラフィックスの組合わせ。
- ③工学的解析を中心としたシミュレーション。熱・振動・機構などの解析システムとスケッチパッドの組合わせ。

- ④半自動設計。設計案の提案・解析・評価・修正という設計作業の本質的部分を計算機に代行させる。しかし、設計要求や設計知識を完全に記述することは困難であるので、一応の結果が得られたところで設計者が評価・修正を行う。支援手段として、スケッチパッド、解析システム、エキスパートシステムが考えられる。
- ⑤全自動設計。設計案の提案・解析・評価・修正・最適化という設計作業全体を計算機に代行させる。支援手段として自動設計システム、エキスパートシステムが考えられる。

iii) 設計知識の発展

- ・開発設計や改良設計では、設計が終了するまでに設計者の設計知識が進化する。例えば、設計要求に対し設計者は、①設計案の提案を行い、②工学モデルの設定をする。次に③工学モデルを解いて設計案の検証を行う。さらに設定したモデルが正当かどうかの④工学モデルの検証を行う。もし設定した工学モデルが不適当であると⑤工学モデルの修正を行う。このようにして、設定した工学モデルが正当であることが認められると⑥設計案の検証を行い、設計案を修正する余地があれば⑦設計案の修正が行われる。このように設計者は、設計案に対し工学モデルを設定し検証する過程、および設計案を検証する過程において、設計対象に対するより詳細な知識を獲得していくといえる。
- ・設計型エキスパートシステムは上記のような、概念が成長していく過程をサポートできるものでなくてはならない。