

氏名	おお 町 たつ 哉		
授与学位	博士（工学）		
学位授与年月日	平成6年3月25日		
学位授与の根拠法規	学位規則第5条第1項		
研究科, 専攻の名称	東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 精密工学専攻		
学位論文題目	歯車減速機の知的設計支援システムに関する研究		
指導教官	東北大学教授 加藤 正名		
論文審査委員	東北大学教授 加藤 正名	東北大学教授 江村 超	
	東北大学教授 中村 維男	東北大学助教授 井上 克己	

論文内容要旨

第1章 緒 論

本研究では、機械設計支援エキスパートシステム（ES）が有すべき基本的、根本的機能の分析と実現について述べる。機械設計における詳細設計段階における支援を目的とし、異なる条件の下

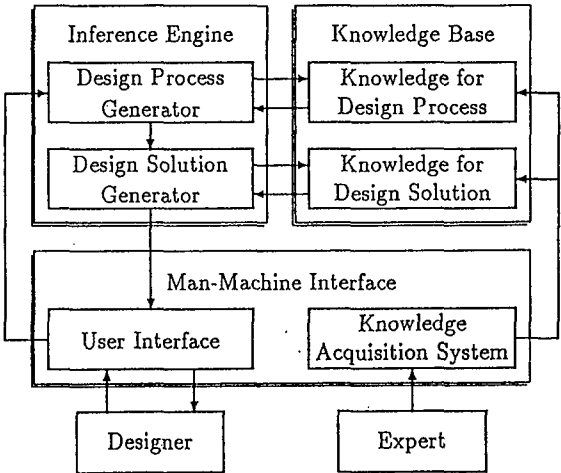


図1：機械設計支援エキスパートシステムの構成

でも設計手順を柔軟に生成する機能をもつ ES を提案する。まず、機械設計支援 ES の構成を示す。次に、ES に必要な機能にふさわしい知識の表現法について提案する。そしてそれらの機能を有する ES を構築する。歯車減速機を具体例とする知識を収集し、設計を実施しその結果を評価する。設計対象を歯車減速装置に限定して知識を収集し ES を構築し、機械設計支援システムについて議論する。

本研究では ES の実現を優先し、設計対象を歯車減速装置に特定してシステムを構築するが、設計対象を特定しない一般的な設計 ES の実現を最終的な目標とする。熟練した設計者でなくとも、ES の支援のもとで比較的良好な設計解を得ることが出来るシステムの実現を目指す。

第 2 章 機械設計作業と機械設計支援システム

機械設計では、値を決定する方法が設計の初期条件によって変化し、設計者の意図によって種々の決定方法が用いられる。値の決定は他の値の決定に影響を及ぼす。このため、設計支援システムには知識を用いる機能だけではなく設計手順を生成する機能が必要である。

本研究で提案する機械設計支援システムのシステム構造を図 1 に示す。矢印は情報の流れを示す。熟練者の知識は知識獲得システムを通じて知識ベースに蓄えられる。獲得した知識は設計解を得るための知識と、それをを用いるための知識、すなわち設計手順を生成するための知識の双方に用いることができる。推論エンジンは設計手順生成システム (DPG) と設計解生成システム (DSG) から成り、DPG で設計者の意図を反映する設計手順を生成し、それに基づき DSP で設計解を得る。結果はユーザーインターフェイス (UI) を通じて設計者に送り設計者に送返される。人出力システムであるマンマシンインターフェイスは設計者とシステム間のスムーズな情報の受け渡しを可能とする。

本研究では設計支援システムを SunSPARC Station 上に構築する。推論エンジンはプログラミング言語 LISP を用いて記述する。

第 3 章 機械設計における知識表現

機械設計支援システムにおける知識の表現方法を提案する。それぞれの知識には、それをを用いるために必要な入力値と使用後に得られる出力値がある。入力値を知識の変数、出力値を知識の解と呼ぶ。

実際の設計において、設計者は手続き型知識を数式の形で利用している。手続き型知識は LISP 関数で記述する。一方、宣言型知識は変数に対する解の関数で記述するのは困難である。そこで条件部と結論部を独立して表現できる IF THEN 型のプロダクションルールで記述する。

設計手順生成システムでは、どの知識をどの順番で使用するかを決定しなければならない。また、設計の過程において、複数の知識が同時に使用可能となる場合が生ずる。設計手順の生成はこの知識の競合解決と等価な問題でもある。本研究ではメタ知識を用いず、設計に必要な知識を別な形で記述することによって解決する。これにはフレーム型の知識表現法を用いる。知識の解はフレームの値として記述され、その解を得るための知識の名称とその知識の変数をフレームのスロット値と

して記述する。

本研究で試作する機械設計支援システムで用いる知識数はフレーム数 23 個，関数 30 個，ルール 12 個である。

第 4 章 設計手順及び設計解のための推論システム

設計手順生成システムにおける設計手順生成の概要を図 2 に模式的に示す。予め規定されている変数を既知変数リストに登録する。決定すべき設計解は目標リストに登録されている。設計手順は

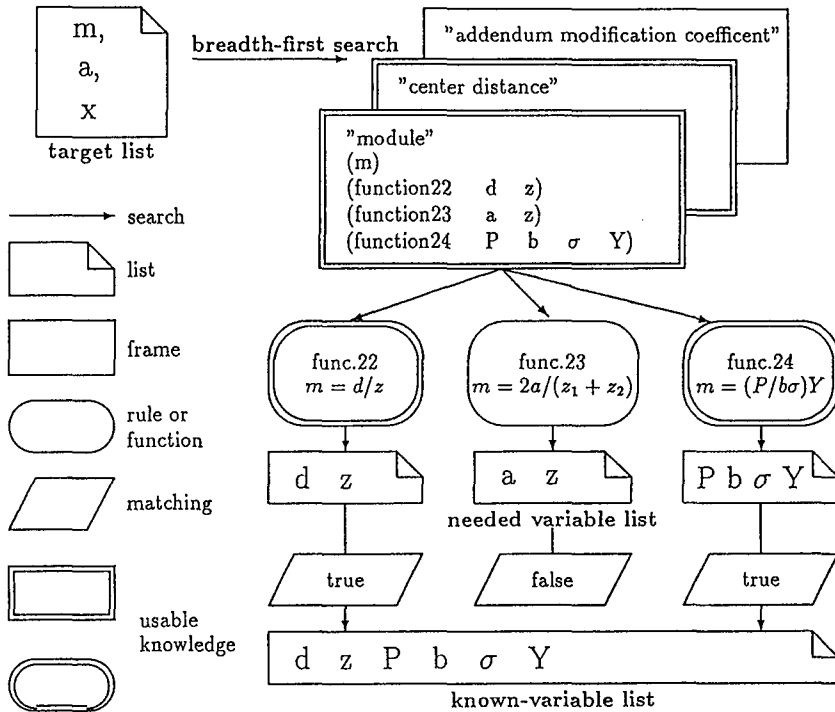


図 2：使用可能な知識の探索

フレーム型の設計手順生成知識から使用可能な知識を探索することによって生成される。まず、目標リスト内の解に一致するフレーム値を持つフレームが参照される。次にそのフレーム内のスロットに納められている個々の知識のうち使用可能なものが探索される。フレーム及びスロットの探索は横型探索を用いる。横型探索では、まず、目標とする解を与えるフレーム内の全ての知識を参照し、使用可能か否かの判定を行なう。使用可能な知識がなければ、不足している変数を与えるフレームの知識を参照する。横型探索は、使用可能な知識が存在すれば最短経路で見つけることができる。また、スロットに納められる知識の順番が使用可能な知識を探索する順番に影響することなく、可能性のある知識全てを判定できる。これは知識を蓄積する際の大きな利点となる。参照された知識の変数が全て既知リストの変数に含まれていれば、この知識は使用可能と判定される。既知リストに含まれていない変数を持つ知識は使用できないと判定される。横型探索で得られた複数

の使用可能な知識は設計者に示され、どれを用いるかの選択は設計者に委ねられる。使用する知識を設計者が選択することにより、設計者の意図を設計手順に反映することができる。

設計解生成システムでは、設計手順生成システムで作られた設計手順データを受け取り、知識ベースから知識を取り出し、これを用いて設計解を導出し、UIに設計解データを渡すことが行なわれる。

第5章 ユーザーインターフェースの構築

UIには、システムと設計者との対話の流れや対話の形式が、設計者にとって自然で理解しやすいものであること、適切な関連情報をよく整理された形で表示すること、データの入力に際して設計者の負担を最小限にすることが期待される。本研究では、OPEN LOOK GUIに対応したUIを構築し、ユーザーのシステムの使用経験度に関係なく使いやすいインターフェースを実現する。

入力データ用ウィンドウは、設計要求などに基づくデータの入力を支援する。データの入力に際しては、ユーザーの負担を軽減するため、数値入力か、予め用意した選択肢からの選択で行なうこととした。設計手順の生成のための推論用ウィンドウでは使用可能である知識のリストが表示される。知識の内容や使用する理由など、知識に関するさらに詳しい情報をユーザーに提供するために、知識説明用ウィンドウを準備した。設計手順が生成されれば設計解の生成が可能となり設計解表示用ウィンドウを使用して設計解を表示することができる。

第6章 設計支援システムの評価

試作した設計支援システムを用いていくつかの設計を実行し、本研究で提案した設計支援システムの評価を行なう。

使用する材料と熱処理条件があらかじめ決められている場合、中心距離があらかじめ決められている場合、工具に制約があって歯車のモジュールがあらかじめ決められている場合の3つの設計を実行させた。いずれの場合も必要な設計解を導出できる設計手順を得ることに成功した。設計手順生成システムも適切に機能し、異なる条件の下でも設計者と対話しながら設計を実行する柔軟なESが実現されたことを確認した。本試作システムでは探索深度の浅い知識から優先的に使用可能か否かの判定を行なっている。これにより本システムによる設計手順の生成法は不要な知識の判定を減少させていることがわかる。また、得られた設計解はいずれも妥当なものであることが確認された。

第7章 結 論

機械設計支援に必要な機能を有する知的設計支援ESの構造を提案し、その構想の基にESを試作した。機械設計に必要な知識の表現法を考察し、設計解を得るための表現と設計手順を得るための2通りの表現が重要であることを提案して本試作システムにおいてそれらが有効に機能することを確認した。ESが設計手順を自ら生成する機能を有する重要性を指摘し、横型探索を用いて設計手順を自ら生成するアルゴリズムを提案した。また、本試作システムにおいて設計手順の生成が有

効に機能することを確認した。機械設計支援 ES を円滑に利用するための UI を構築し、設計者とシステムの自然な対話によって設計を進めることができるシステムを実現した。試作したシステムを歯車減速機における歯車対の設計に適用して、本システムが異なる設計条件に対応できる柔軟で知的なシステムであることを、確認した。

審査結果の要旨

設計とは、仕様として与えられた要求を具体化し、要求に対する完成度を確認する知的作業である。特に、機械設計では製品の機能が複雑で多岐にわたる上、その製作法について材料や加工に関する幅広い知識が必要とされる。最近、製品開発サイクルの短縮化が顕著になり設計効率向上の要求が強まる一方で、熟練設計者の不足がその実現を困難にしている。設計支援システムの充実が切望されている所為である。本論文は、熟練設計者の知識を活用するエキスパートシステムの重要性に着目し、主として詳細設計段階で使用する用途を特定しない柔軟な機械設計システムの基本的な構成法を研究した成果をまとめたもので、全文7章より成る。

第1章は緒論であり、本研究の背景と目的を述べている。

第2章では、設計対象を基本的な機械要素である歯車減速機に限定して設計過程を分析し、さまざまな設計条件に適応し設計者の意図を反映できる柔軟なシステムを構成するためには、設計解を得るための知識を有するだけでなく、設計手順を生成する機能を有することが不可欠であることを述べている。これは示唆に富む発想であり、次章以降で扱うシステムの試作における基礎となっている。

第3章では、機械設計における知識の表現法について考察している。その結果、設計解を得るための知識を LISP 関数とプロダクションルールで表現し、この知識の解と変数をフレームに与えて設計手順を生成するための知識を表現することを提案し、これに適合する形式で歯車対の設計に必要な知識を収集して知識ベースを構築している。

第4章では、前2章の結果を踏まえて知的設計支援システムの中核である推論システムを試作している。この中で、使用可能な知識を横型探索することを提案し、設計者がシステムと対話しつつ設計手順を生成することを可能にしている。これは、知識の競合を回避する上で効果的であることを越えて、機械設計における推論が単なる探索問題ではなく、設計者の意図を反映する機械設計に固有な問題解決システムであることを示している点で重要である。

第5章では、本設計支援システムに必要なユーザーインターフェースの機能を分析し、ウィンドウを用いて実際に構築している。設計者がシステムと円滑に対話できるようにメニューからの選択を重視し、結果の表示には図を併用するなどの工夫をしている。

第6章では、試作した支援システムを用いていくつかの例題を実行し、設計条件と設計者の意図を反映して設計解を得ることができることを確認している。

第7章は結論である。

以上要するに、本論文は、知的で柔軟な機械設計支援エキスパートシステムの構築に関する基本的な研究を行い、そのための知識表現法を提案し、設計手順生成機能を有する試作システムを実現しその機能を確認したもので、精密工学および設計工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士(工学)の学位論文として合格と認める。