

知識ベースを用いた歯車諸元最適化 支援システムの開発

Knowledge Based System Supporting Gear Design

横山 信太郎*

Shintaro Yokoyama

座間 宏一*

Kouichi Zama

高岸 広*

Hiroshi Takagishi

要 旨

知識ベース技術を用いた歯車の設計諸元最適化支援システムを開発した。

知識ベースとは、人が持つ様々な知識をコンピュータ上に格納し、問題解決に再利用する技術であり、現在、人工知能 (AI) の中で、特に数多くの応用が試みられている分野である。

一般に知識ベース・システムは、アルゴリズムが不明確な問題に適しているが、現実の問題は、アルゴリズムの明確な部分と不明確な部分が混在することが多いため、知識ベース技術のみでの実用システム作成は難しい。本システムでは、この点を考慮し、知識ベースを手続き处理的に構造化することによって、システムの実用化に成功した。

本稿では、システムの内容、知識ベースの構造化手法、および歯車仕様決定の選択の幅の拡大を始めとする本システムの有効性について報告する。

ABSTRACT

A knowledge-based system has been developed to tune gear's design parameters.

A knowledge based system, a computer program which keeps human's knowledge on computer memory for use in solving problems, plays an increasingly important role today in the application of artificial intelligence technology and is suitable for solving non-algorithmic problems. Its effectiveness in expanding the option of gear designs is discussed together with structured knowledge base to support the decision of gear design specification as a real world problem, which involves algorithmic parts.

1. ま え が き

1.1. 歯車諸元最適化問題

近年の車種の増大、および1車種あたりのバリエーションの多様化に伴い、自動車の動力性能上重要な役割を果たすトランスミッションについても、多数の仕様設定が必要となっている。

特に、その最も重要な性能である歯数比については、数多くの仕様を検討される。このため、設計者は、歯数比の仕様の数だけ、設計に必要な諸元を決定しなくては

らない。

従来、歯車の仕様決定作業は、以下に述べる作業の繰り返しによって行なわれて来た。(Fig. 1)

- (1) 標準化された歯車仕様計算プログラムを用いて、歯車の要件項目の値を計算する。
- (2) (1)の各要件項目 (Fig. 2 右)の計算値と要件値を照合する。
- (3) (2)の要件値を満足しない項目に対し、関連する諸元 (Fig. 2 左)の値を微調整する。

* 栃木研究所

設計者は、限られた時間の中で、強度・加工・幾何などの各要件値を満足し、かつコスト、重量、性能の各面で、少しでも有利となる仕様を決定しなければならない。このため、設計者には、歯車設計の経験的知識が必要とされてきた。

このような状況を改善するため、歯車の設計諸元調整作業の自動化が、設計の現場から望まれていた。

しかし、歯車の設計諸元と設計要件の各項目は、複雑な相互関係を持っている (Fig. 2)。このため、上記の作業をコンピュータ化するには、膨大な数の組合せを調べる必要があり (数万～数十万程度)、線型計画法等の一般的な数理計画法に基づくアルゴリズムによる自動化は困難と見られていた。

そこで、この問題に知識ベース技術を適用し、歯車の設計諸元決定業務を支援するシステム“HAGRUMA”(Honda Analyzer of Gear by Rule MAKing)を開発した。

1.2. 知識ベース・システム

知識ベース・システムとは、AI(Artificial Intelligence = 人工知能)の一分野である。

その基本的な考え方は、人の知識をコンピュータ上に

表現・保存し、問題解決に再利用しようというものである。(1)～(3)

知識ベース・システムは、80年代の半ば頃から、産業

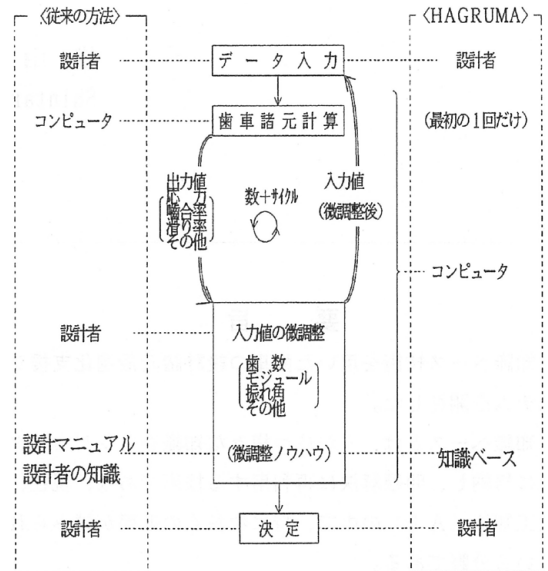


Fig. 1 Process for setting gear specification

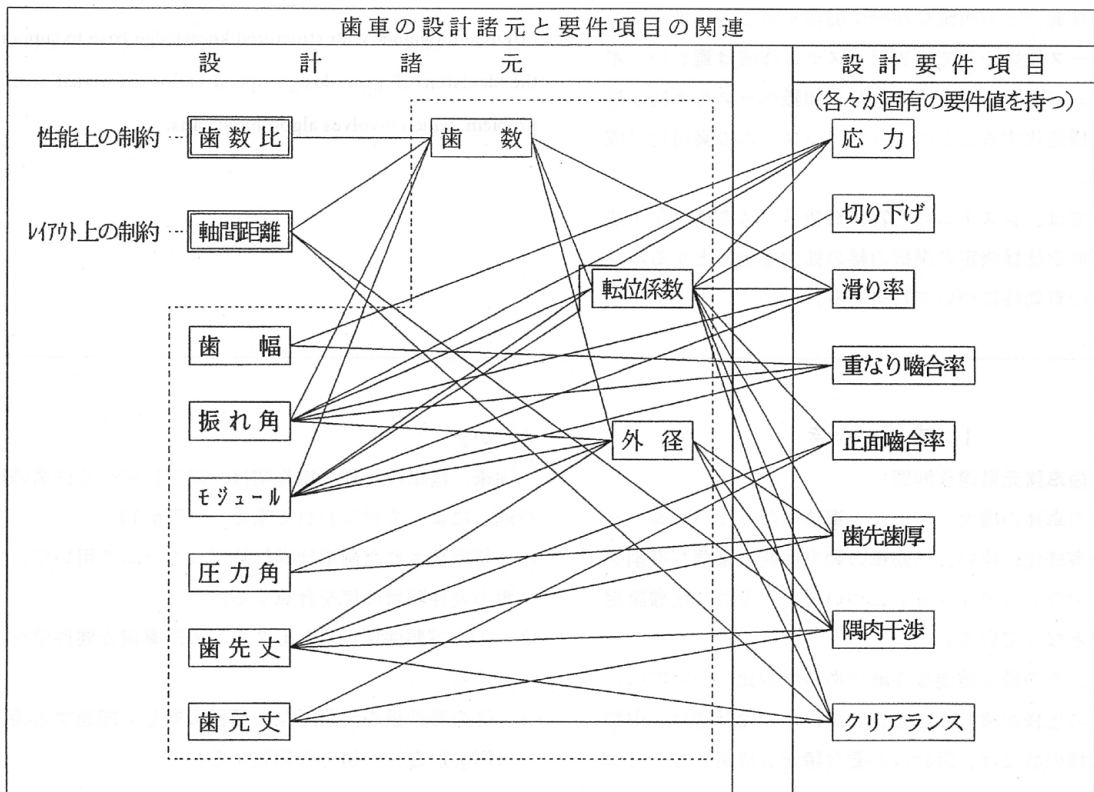


Fig. 2 Relationship between design parameters and requirements

界の各分野において、数多くの応用が試みられており、実用化の成功例も多い。しかし、実用化のための一般的な方法論は未確立であり、実用段階に到達するまでには、それぞれに試行錯誤的な取り組みが行なわれて来た。

このため、知識ベース・システムは、一般に「試作は容易であるが、実用化は難しい」とされている。^{(4)~(5)}

知識ベース・システムの一般的な構成を (Fig. 3) に示し、主な構成要素である知識ベースと推論機構について、以下に詳述する。

(1) 人の知識は、知識ベースに格納される。表現型式は一般に、IF - THEN 型式のルールと、集合論の考え方に基づいて構成されるフレームの2つが、広く利用されている⁽⁶⁾。なお、HAGRUMA では、ルール型式を採用している。(Fig. 4)

(2) 推論機構は、与えられた問題に知識ベース中の該当する知識を適用し、解決に導く働きをする⁽⁷⁾。

また知識ベース・システムの一般的な特徴は、Table. 1 に示す通りである。

2. システム 構成

2.1. 開発の狙い

歯車仕様決定のための有効なツールとなり得る実用知識ベース・システムを開発する。この問題には、一般の知識ベース技術のみではシステム化が困難な部分が存在するため、知識ベース技術に手続き处理的な手法を融合

して用いることで、解決を計る。

2.2. 処理の流れ

HAGRUMA の処理のフローを、Fig. 5 に示す。

システムは、図の②~⑤のサイクルの繰り返しによって、歯車諸元計算の出力値が各項目の基準値を満足するよう、入力値を微調整する。これに⑥の処理を加え、最終的には設計者の入力に応じ成立し得る諸元の組合せ全てを算出する。

以下、各ステップについて、詳細を述べる。

- ① 設計者の経験的知識に基づく入力値の微調整ノウハウが、IF~THEN ルールの型式に表現され、格納されている。
- ② 1.1. で述べた歯車諸元計算プログラムを用いて、入力値から出力値を計算する。
- ③ 知識ベース中の各ルールの条件部と、②の計算結果を照合し、基準値を満足しない出力項目に対し、適用可能なルールを、知識ベースから選択する。
- ④ ③で適用可能なルールが複数ある場合には、各ルール固有の優先度に基づき、実際に適用するルールを1個だけ決定する。
- ⑤ ④のステップで適用が決定されたルールの実行部の記述に従い、入力値の微調整を行なう。

このとき、加工条件によって、取り得る値が限定さ

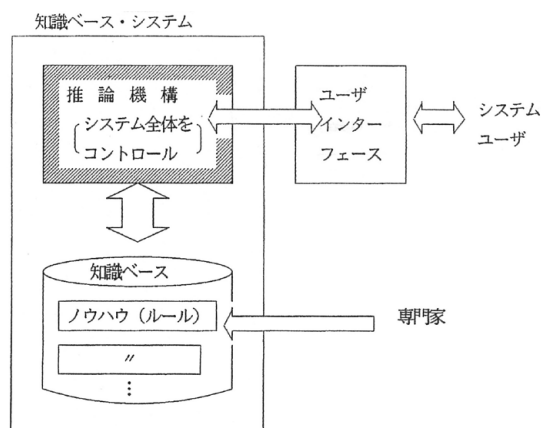


Fig. 3 Construction of knowledge based system

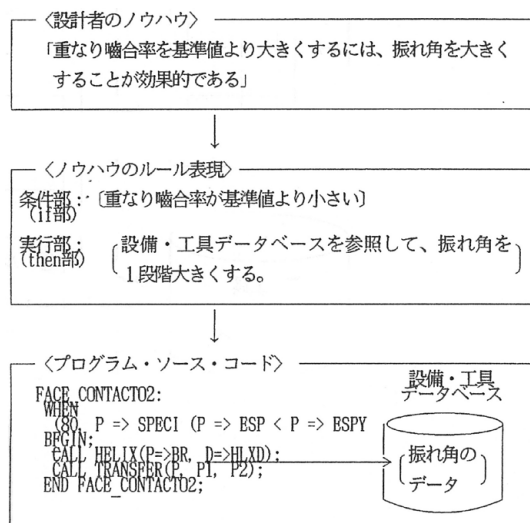


Fig. 4 Example of rule

Table. 1 Characteristics of knowledge based system

	従来型プログラミング手法	知 識 ベ ー ス ・ シ ス テ ム
処 理 の 流 れ	所定のアigorリズムに基いた処理が行なわれる。 (計画固定)	状況に応じて、必要なルールをその都度摘要する。 (計画未定)
適 性	アルゴリズムの作成が可能な問題。	アルゴリズム作成が不可能、もしくは非常に困難な問題。
システム作成	アリゴリズム作成に工数を要する。	知識の獲得、及びルールの作成とチューニングに 工数を要する。
メンテナン	一般に工数大。(プログラム全体を見直す必要がある)	一般に工数小。(必要なルールの改廃のみでよい)
C P U 負 荷	一般に小。	一般に大。
解 の 特 徴	○理論計算に基づく解が得られる。 ○解が入力に応じて一意的に定まる。 ○最適解が得られる。	○解は、必ずしも一意的には定まらない。 (複数解が得られる) ○必ずしも最適解が得られるわけではない。 ○解を得られない場合がある。

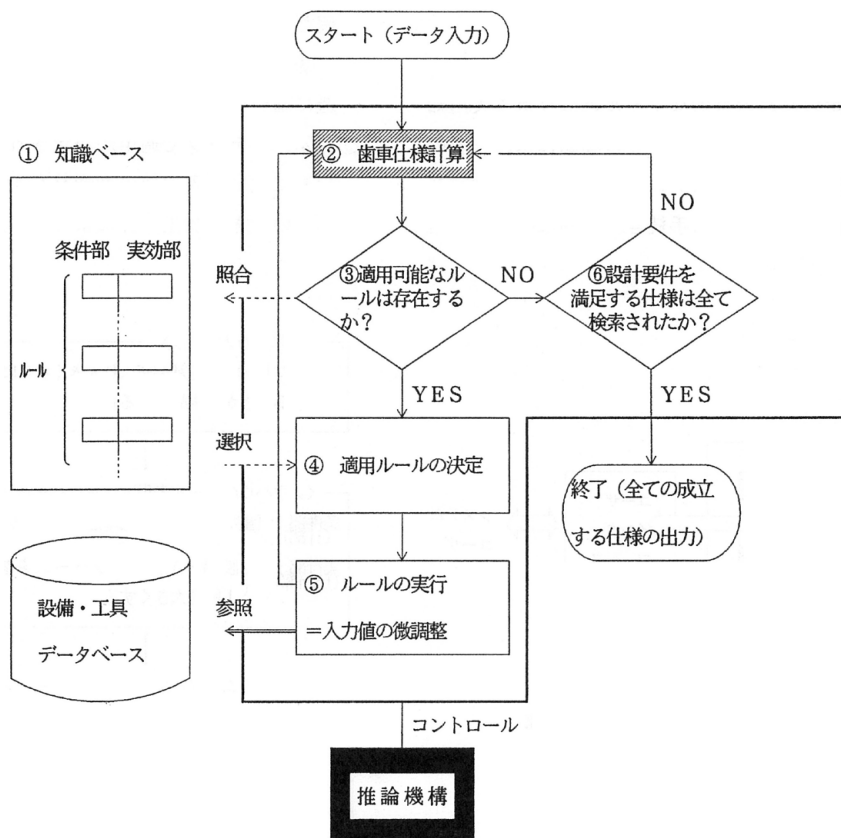


Fig. 5 HAGRUMA's processing flow

れる項目がある。それらは、量産時のコストを考慮し、加工情報を格納した設備・工具データベースを参照して微調整される。

- ⑥ 各入力項目の微調整枠内で、成立し得る諸元の組合せ全てが算出されたかを検証する。

2.3. 処理の特徴

歯車諸元最適化問題とは、設計要件項目が各々の要件値を満足するように諸元の値を微調整し、最終的に諸元の適正値を定めるというものである。これは、基本的に複数の解を持つ問題であるが、その中の最適解は、性能、重量、コストのバランスを考慮して、設計者が決定しなければならない。このため、システムには、成立する仕様全てを、抜け・洩れなく提示する機能が必要となる。

歯車の諸元決定作業では、最初に歯車に対する動力性能上の要求とレイアウト上の条件より、歯数比と軸間距離が定められる。この二つは、歯車諸元の最も基本的かつ重要なものであり、この二つの値を定めることで、歯車諸元全体の枠組が定まる。この枠組は、Fig. 6 中央の木構造形で、表現することができる。木構造の中の各枠組において、各諸元は、Fig. 2 に示したような、複雑な相互関係を持つ。

上記の歯車諸元全体の枠組の中に、成立し得る仕様は有限個存在するが、1.1. でも述べたように、一つの枠組内での諸元の組合せ数は多い時で数十万に及ぶため、全てを検索し尽くすことは不可能である。そこで、設計者が現場で使用している入力値の微調整ノウハウをルール化し、効率的な検索を行なう知識ベースの手法が有効となる。

しかし、知識ベース・システムは、適用可能なルールがなくなった時点で処理を停止するため、解を得られる前に実行を終了してしまうことがある。このため、通常の知識ベース・システムのみを用いることと、成立する仕様全てを抜け・洩れなく求めることは、相反する問題である。

本システムでは、この問題を、以下のようにして解決した。

ポイントは、以下の二点である。

- (1) 成立し得る諸元全てを抜け・洩れなく検索するため、成立し得る諸元が存在する可能性のある枠組は、完全に調べ尽くす。
- (2) 効率のよい検索を行なうため、歯車設計の特質を考慮して、ルールの適用をコントロールし、無駄な検索を行なわないようにする。

(1)については、歯車の諸元の枠組を、Fig. 6 の木構造に従って、上から順次制約した後、要件項目に対する影響の小さい諸元から固定するというフローによって、可能としている。

このフローをプログラム中で実現するには、ルールの適用優先順位の設定が重要である。そのため、システム中では、各ルールを、Fig. 6 の②～④に適合する処理内容に基づいてルール群に分類し、各ルールが、④、③、②の順で、優先的に適用されるよう制御している。

また、ある枠組を調べ尽くしたかどうかを判定するためには、あるルールの適用後、次の処理を同一のルール群内で行なうか、他のルール群に移行して行なうかを決定する必要がある。これは、各ルール毎に、「次に選択されるルールを制限する機能」を組み込み、ルールの適用を手続き的に制御することによって処理している。

(2)については、各ルール群毎に、成立する仕様が存在しない枠組を検知し、該当する諸元の組合せを棄却するためのルールを設けて処理している。この処理でも、上記と同様、ルールの適用を手続き的に制御している。

この他、幾つかのルールに、諸元の必要調整量を解析的に算出する機能を組み込み、同一ルールの繰り返し適用を避けることで、処理効率を向上させている。

本システムでは、以上のようなルールの分類とルール同士の関係付けを、知識ベースの構造化と呼んでいる。このような構造を、知識ベースに組み込むに際しては、アルゴリズムに基づく解析的なアプローチと、試行錯誤的なチューニングを並用し、最終的に現在の形にまとめることができた。

結果として、以下の機能が達成され、システムの信頼性を確保することができた。

- (1) ルール適用順序の適正化による、成立し得る仕様の組全ての抜け・洩れのない算出。
- (2) 特定の2つのルール間で、同じ諸元の値を元に戻し合うことによる、無限ループの発生の防止。
- (3) 不必要なルールの選択・適用の削減による、処理効率の向上。

2.4. システム構成

システムのハードウェア構成を Fig. 7 に、ソフトウェア構成を Fig. 8 に、それぞれ示す。

知識ベースの作成には、汎用 AI 言語であるナレッジツールを使用した。

本ツールは、汎用言語である PL/I をベースとして

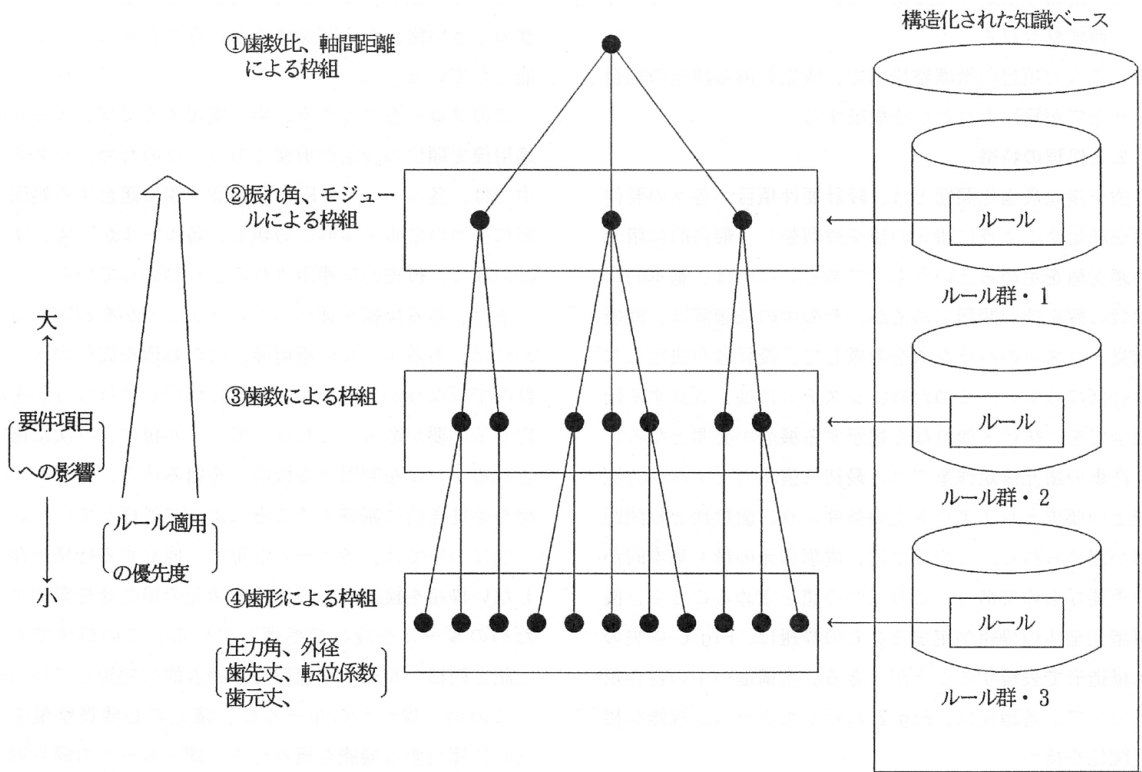


Fig. 6 Structured knowledge base

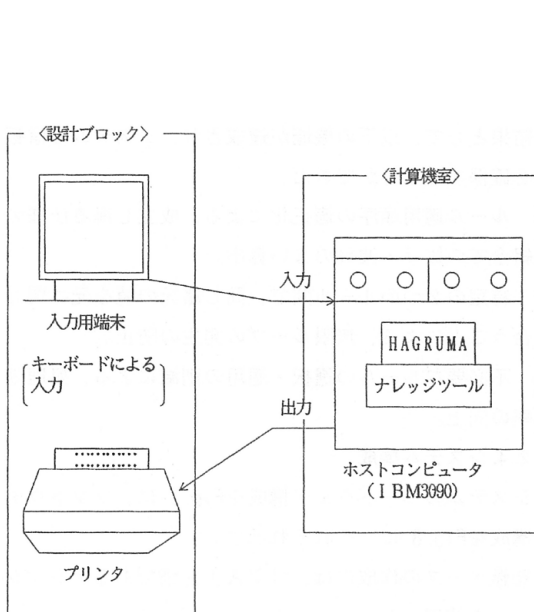


Fig. 7 System architecture (hardware)

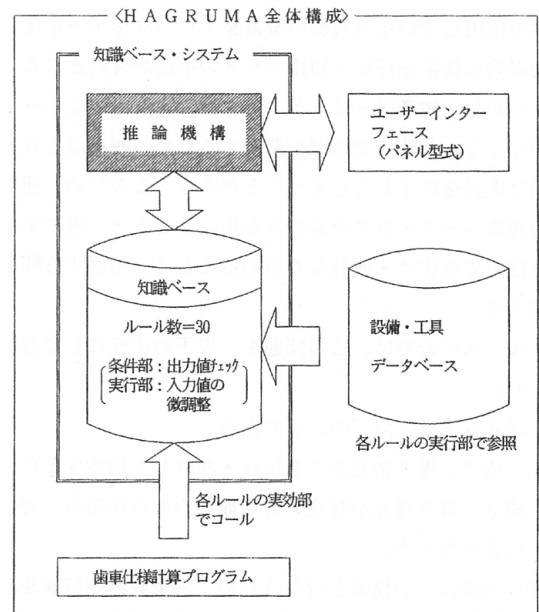


Fig. 8 System architecture (software)

おり、AI 言語としては、非常にシンプルな構造を持っている。このため、前節で述べたようなシステム作成者独自の工夫を行ない易く、システム構築をスムーズに進めることができた。

3. 成 果

3.1. 利用効果

(1) 歯車仕様の選択の幅の拡大 これまで述べて来たように、HAGRUMA は、1 組の歯車について、設計者が設定した制約条件に応じた成立し得る仕様全てを算出できる。その数は、多いときには 20~30 組に達する。

従来方法 (Fig. 1 左) では、設計者は限られた時間の中で、経験的ノウハウと勘を頼りに、3~5 組程度の仕様の候補を絞り込み、その中から決定していた。しかし、本システムの使用によって設計者は、従来よりも多数の候補を、従来よりも短時間で検討し、ニーズに応じた最適な仕様を選択することが可能となった。

(2) 加工情報の標準化 2.2. の⑤で述べた設備・工具データベースは、データの入れ替えが容易である。このため、加工条件の変更に、タイムリに対応することができる。

以上の 2 つの効果は、熟練した設計者を知的単純作業から解放すると共に、経験の浅い設計者のミスの防止にも役立つものである。

3.2. 技術上の成果

歯車諸元最適化問題に対する 1 つの解決手法として、手続処理的なアプローチによる知識ベースの構造化を行なった。この結果、前節で述べたような効果を上げることができ、十分な実用性を持つ知識ベース・システムを構築できた。

また興味深い結果として、本システムが、従来人間が先入感などによって見落としていた領域において成立し得る歯車の諸元を発見できることが、設計の現場におけるテスト使用の際に確認された。これは、成立し得る諸元の組合せ全てを抜け・洩れなく検索できるという本システムの機能によって得られた結果である。

4. 今後の課題

(1) システムのメンテナンスの簡素化

HAGRUMA は、各ルールが各々適用ルールの制御機能を持つ。このため、メンテナンスの際、その内容と、メンテナンスの対象となるルールの役割によっては、ア

ルゴリズムの一部を見直す必要があり、メンテナンス工数が小さいという一般的な知識ベース・システムのメリットを犠牲にする形を取って来た。

今後は、このような状況を改善するため、各ルール群を複数の知識ベースとして独立させ、それらの上位に全体を制御するための知識ベースを設けることで、状況に応じて必要な知識ベースが適用される方法を検討する。

この方法を採用することで、ルールの改廃は、必要な知識ベースの一部分の手直しのみとなるため、メンテナンス作業の大幅な簡素化を実現できる。さらに、メンテナンスのユーザへの委任をスムーズに行なうことも期待できる。

(2) 将来の取組み内容

今後の実用知識ベース・システムへの展開として、以下のような取組み内容を検討する。

- i) HAGRUMA の取り扱い対象の、トランスミッション系全体への拡大。
- ii) 今回 HAGRUMA で扱ったものと同類の、他の問題へのアプローチ。

これらを実現するため、HAGRUMA で使用した知識ベース技術を土台にし、AI 技術について、さらに研究を進めて行く。

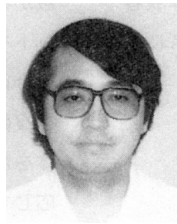
参 考 文 献

- (1) archive No.6, “入門▲エキスパート・システム”、CQ 出版社
- (2) 森文彦、花岡かほる、“エキスパートシステム構築法入門”、オーム社
- (3) 大須賀節雄、“知識情報処理”、オーム社
- (4) 寺野隆雄、“知識システム開発支援ツール・開発手法の動向と新技術”、第 5 回人工知能学会全国大会チュートリアル講演テキスト (1991)
- (5) “エキスパートシステムの市場動向 調査報告書 (平成 2 年度)”、国際 AI 財団
- (6) 上野晴樹、石塚満、“知識の表現と利用”オーム社
- (7) L・ウォス、R・オーバーピーク、E・ラスク、J・ボイル、“コンピュータによる推論技法”、マグロウヒル

■著 者■



横 山 信 太 郎



座 間 宏 一



高 岸 広