

# ファジーエキスパートシステムによる 鍛造工程設計の解析

早稲田大学 理工学部 機械工学科

教授 本村 貢

(平成4年度研究開発助成 AF-92014)

## 1. はしがき

我々の2年間の研究成果は次のように要約される。研究成果の詳細については、本助成研究に関する講演・論文発表等一覧表に掲載の論文等を参照されたい。

## 2. オブジェクト指向を導入した制約指向事例ベース型推論鍛造工程設計システム

図形表現として汎用性のあるCSGを用いた図形表現においてルール記述型エキスパートシステムの特徴を加味した制約指向の事例ベース型の推論を提案した。このシステムの特徴は1つの加工工程をさらに細かな仮想工程の集まりとして捉え、それらの制約関係によって工程が定まるとしたことである。知識ベースおよび、推論エンジンはこの制約を指向するように記述されているのが従来の他研究にない特徴である。そのため、事例照合は他研究のエキスパートシステムと異なり、形状マッチング、制約マッチングの2段階を経て行なわれる。これにより、従来別々の研究対象として捉えられていた感のある冷間鍛造製品と熱間鍛造製品(特に非軸対称製品)を知識ベースが異なるだけの全く同一の推論エンジンで取り扱う事ができる。これはまた、非軸対称製品の加工を一種の複合加工として捉えることにより可能になっている。また、上記理論をオブジェクト指向の考え方を用いて簡潔にコンピュータアルゴリズム化した。上記手法の正当性を確認するために、実際に軸対称冷間鍛造工程設計エキスパートシステムと、非軸対称の折曲状熱間鍛造製品を対象とした工程設計エキスパートシステムを構築し、満足のいく工程設計結果を得た。

さらに、以上の研究成果は、自由で複雑な形状の鍛造品に推論原理的には適用可能であるにもかかわらず、実際には従来の一般的な図形表現方法のもつ様々な機能的な制限や制約のため、適用が困難である。そこで、ベクトルプリミティブ、接続プリミティブと呼ぶ実体を待たない特殊なプリミティブ図形を提案し、仮想プリミティブと名付けた。この図形表現方法の改良により、従来は研究例があまり見られないような複雑な熱間鍛造品のAIベースの工程設計システムが可能となった。このシステムは用意された事例の数や質からくる限界はあるものの、広範な範囲の熱間鍛造

品の工程設計が可能である。例題としてコンロッド部品やランナー状部品の工程設計を行い、方法の有効性を確かめた。また、新しい試みとして、鍛造品の部品的な変形様式別の歩留りを部分歩留りと名付け、エキスパートシステムに組み込むことを提案した。これにより最適な材料配分を持つプリフォーム形状を決定する事が可能となる。一例としてコンロッド鍛造品に関して実績値の調査を行い、システムに組み込んだ。実績のある鍛造品に対応する設計例題を処理したところ、専門家の設計例に非常に近い実用的な設計例を得た。

## 3. 特徴解消法を用いた軸対称冷間鍛造工程設計エキスパートシステム

第1摂、第2摂の手法は、鍛造製品を俯瞰的に取り扱う方法としては優れているが、鍛造品が持つ自由表面やコーナー・フィレットRなどの細かいプロフィールを扱うのには、前提としている図形表現方法のCSG法から来る制限からあまり適しておらず、限界がある。また、対象とする鍛造製品を広げる際には、仮想工程を用いていない他のシステムと比べれば少ない量といえるものの、やはり相当の量の仮想工程の事例を用意する必要がある。そこで従来の研究例とは全く異なる工程設計手法として特徴解消法を提案した。すなわち、加工を製品に特徴を付加していく過程として捉え、工程設計は逆に製品から特徴を消去(不可能なときは、より複雑性の低い特徴にトランジットに置換して、最終的には消去)する過程であるとする。この特徴を何等かの形で製品から抜き出して、消去していくことで工程設計を進めていくのが特徴解消法である。

実装にあたっては、CSGを前提とせず、特徴抽出のできるモデリング方法すべてを許すため、原理的に自由表面や細かいプロフィールに制限はない。解消する特徴の順番は一対比較マトリックスとファジー推論を用いて決定するものとした。また、軸対称冷間鍛造品を対象として、特徴抽出にもちいる形状モデリングには鍛造製品の断面をベクトルの連結で処理する方法を採用して実装した。

#### 4. 特徴解消法とCSG表現における事例ベース推論を複合したシステム

特徴解消システムの鍛造製品のプロフィールを正確に表すことが可能であるという利点と、CSG表現における事例ベース推論の鍛造製品の処理を俯瞰的に行うことが可能であるという利点を併せ持たせるため、前者をマイクロ形状の処理に、後者をマクロ形状の処理に分担させ、複合して強調動作する手法を提案した。これにより、最適な材料配分を得つつ、詳細なプロフィールを容易に処理できるエキスパートシステムを構築することができた。

#### 5. 鍛造CAIシステムの基礎的研究とエキスパートシステムの知識獲得への応用の検討

解答者の解答結果から、問題間の意味構造を自動的に把握し、意味構造に沿って易しい問題から順番に出題することで、学習効果を高めることを目的としたCAIシステムを構築した。また、これにより把握された問題構造から、エキスパートシステムの知識を自動的に獲得することに応用することを検討した。本方式の問題点と今後の課題を明らかにした。

#### 6. ファジィ言語演算を用いた金型寿命リスク解析

設計パラメータを言語化してコンピュータ上で取り扱う一方法としてファジィ言語演算の導入について検討した。金型寿命に関してエキスパートシステムの設計結果を評価・検討するために、金型寿命を「既知の寿命を持つ標準的工程と比較して寿命が短くなるリスク」として評価し、設計結果を評価することを試みた。すなわち、金型寿命に悪影

響を与える要因を、文献調査および専門家にたいする聞き取り調査によって得て、それらをノードとしてリスク解析ツリーを構成した。リスクツリーの最下位ノードの値はエキスパートシステムの事例によって決定される。各ノードのリスク値は数値でなくファジィ言語で記述され、計算される。これは専門家からの調査結果の安定性、資料の得られやすさ、解の安定性、などの点で優れた方法である。

#### 7. ファジィ言語演算による工具寿命予測

第6節によって求められたリスク値から、さらにファジィ推論によって、直接、言語化された工具寿命を求める手法を提案した。リスク空間から寿命空間へのファジィ推論を、複数の既知の寿命を持つ標準的工程に関して行い、挟み込みを施すことで、寿命を予測する。この挟みこむ標準的工程が細かく得られる程精度が向上する。専門家に対し50個の冷間鍛造製品について実績値とインタビューをもとに、のべ1992個のノードを持つリスクツリーデータベースを構築した。評価対象とする金型は各加工方法におけるパンチ、ダイス、ロックアウトパンチとし、さらに部位別に分けてリスクツリーを構成した。実際に、カップ状冷間後方押出しパンチに対し、データ構成に用いなかった鍛造製品の実績値と比較試験を行ったところ、実際の寿命とよく一致した。

#### 8. 本助成研究に関する講演・論文発表等

本助成研究に関する講演・論文発表等一覧を次項に示す。これらは助成決定時に既に投稿中であったものも含まれている。

| 種類別          | 題名  | 発行・<br>発表年月日 | 発行・発表掲載<br>誌名                                   | 著者                     |
|--------------|---|--------------|---|------------------------|
| 論文           | Risk Analysis of Die-Life Shortening with Fuzzy Language Computations | 1992.8       | Proc. Korea-Japan Joint Conf. on Fuzz.Sys.&Eng. | M.Motomura<br>T.Ohashi |
| 論文           | New Approach to Computer-Aided Combination Process Planning           | 1993.3       | Int.Manu.Conf. with China                       | M.Motomura<br>T.Ohashi |
| 論文<br>(特集)   | 鍛造工程設計システムにおける金型寿命のファジィ言語リスク解析  | 1993.10      | 日本ファジィ学会誌                                       | 本村 貢<br>大橋隆弘           |
| 論文           | ファジィ言語を用いた冷間鍛造型寿命リスク解析システムの構築   | 投稿中          | 塑性と加工   | 本村 貢<br>大橋隆弘           |
| 論文           | ファジィ言語を用いた金型寿命予測システム  | 投稿中          | 塑性と加工   | 本村 貢<br>大橋隆弘           |
| 講演           | 事例オブジェクトと制約を用いた複合工程の推論と情報量による最適化                                      | 1992.5       | 平成4年度塑性加工春季講演会講演論文集                             | 本村 貢<br>大橋隆弘           |
| 講演           | 非軸対称熱間鍛造における自動工程設計  | 1992.5       | 平成4年度塑性加工春季講演会講演論文集                             | 本村 貢<br>大橋隆弘<br>大坪 敏浩  |
| 講演           | ファジィ言語演算を用いた工具寿命リスク解析の試み  | 1992.5       | 平成4年度塑性加工春季講演会講演論文集                             | 本村 貢<br>大橋隆弘<br>安部 剛   |
| 講演           | 複雑形状熱間鍛造品の自動工程設計  | 1993.5       | 平成5年度塑性加工春季講演会講演論文集                             | 本村 貢<br>大橋隆弘<br>安部 剛   |
| 講演           | 鍛造工程設計システムにおけるファジィ言語工具寿命評価  | 1993.11      | 日本機械学会第1回機械材料・材料加工技術講演会講演論文集                    | 本村 貢<br>大橋隆弘           |
| 講演<br>(委員会等) | ファジィエキスパートシステムによる鍛造工程設計の解析  | 1992.9       | 第9回塑性加工の知能化技術研究委員会(日本塑性加工学会)                    | 本村 貢<br>大橋隆弘           |
| 講演<br>(委員会等) | ファジィエキスパートシステムによる鍛造工程設計の解析  | 1992.9       | 第13回アルミニウム鍛造委員会                                 | 本村 貢<br>大橋隆弘           |
| 講演<br>(委員会等) | 型鍛造品の自動工程設計とエキスパートシステムによる評価   | 1994.6予定     | アルミニウム鍛造技術講座                                    | 本村 貢<br>大橋隆弘           |
| 講習会<br>講演    | 鍛造工程設計システムにおける金型寿命のファジィ言語リスク解析  | 1994.5予定     | 日本ファジィ学会講演会(信頼性解析)                              | 本村 貢<br>大橋隆弘           |