板金部品の設計支援システムにおける 形状インデックスと事例検索

非会員 行 松 徹 (名古屋大)
正 員 古 橋 武 (名古屋大)
正 員 内 川 嘉 樹 (名古屋大)

A Feature Indexing and Case Retrieval Method of Sheet Metal Parts for CAD

Tohru Yukimatsu, Non-member, Takeshi Furuhashi, Member, Yoshiki Uchikawa, Member
(Nagoya University)

This paper presents a feature indexing and case retrieval method of machine parts for computer aided design (CAD) based on case-based reasoning (CBR). CBR is a promising method for assisting knowledge acquisition of expert systems. The new method is for standardization and efficient design of sheet metal parts using the CBR. Feature indexing and similarity calculation are key techniques for feasible CBR. A new feature indexing method and a new method of calculating similarities of sheet metal parts are described in this paper. Fuzzy measure is introduced for incorporating human measure of similarities of the parts. Using the indices, case retrieval is carried out.

キーワード：CAD, 事例ベース推論, ファジィ測度, ファジィ積分

1. はじめに

現在のエキスパートシステムでは、知識ベース推論が基本となっている。この推論が正しく行われるためには、無矛盾かつ完全な知識ベースが必要となるが、知識獲得の問題が未解決であり障害となっている。知識ベースによる推論を補完する新しい手法として事例ベース推論 (Case-Based Reasoning: CBR) を用いた、設計支援などの試みが報告されつつある^{(1)~(8)}。事例ベース推論とは、新たに提示された問題に対して、過去の成功および失敗の事例の中から類似事例を検索、再利用して問題解決を行う方法である。人間の行う問題解決の過程において過去の事例に関する知識の果たす役割は大きい。

文献(1)では知識処理の重要な要素技術の一つとして、事例ベース推論が紹介され空気シリンダの設計への適用例が報告されている。また文献(2)では事例ベ

ース推論の定義が示され、法律問題への応用、電力系統事故復旧支援への応用などの試みについて紹介がなされ、今後の事例ベース推論の発展の可能性が指摘されている。文献(3)では類似事例が多く存在する場合における標準製品概念設計を対象とした事例ベース型設計支援システム SUPPORT について報告されている。文献(4)では事例ベース推論の実用性を高めることを目指して同推論の対話型モデルの提案がなされている。そして、機械調整支援への適用例を通して事例ベース推論の有効性が示されている。また文献(5)ではハッブル宇宙望遠鏡の部品を例にとり、機械の各部分の機能を体系的に表現することにより、再設計を可能とすることが提案されている。文献(6)では梁などの棒状部品の設計に事例ベースを用いたシステムの報告がなされている。その他、文献(7)では生産スケジューリング問題への事例ベース推論の適用例が報告されている。事例ベース推論に関する研究はまだ

日が浅く、適用にあたっては多くの問題点が解決されなければならない⁽²⁾が、今後多くの分野で実用化研究が進むことが予想される。

さて、電子機器の中には多量の板金部品が使用されている。例えば銀行の現金自動支払い機においては1台当たりの板金部品が数千点にもなる。これらの板金部品は新機種の開発ごとに新たに設計されているので、類似もしくは全く一致した部品が複数の設計部門において新たに数多く設計されてしまうという事態が発生しており、部品の標準化、製品設計や工程設計の効率化にとって大きな障害となっている。板金部品の事例をデータベースに蓄え、新規設計に際して類似の事例を再利用可能とする事例ベース型設計支援システムを構築すれば、板金部品の標準化および製品設計の効率化を図ることができると期待される。そこで、文献(3)、(5)、(6)の手法を適用することを考えてみる。文献(3)、(5)の手法では機械の各部分の機能を体系的に表現することを行っているが、板金部品のような細かな部品の更にその部分的な機能を記述することは困難であり、文献(3)、(5)の手法にならって各部分ごとの機能を組合せることによる板金部品の設計を実現することは難しい。

また、文献(6)で取扱われている棒状部品は、形状が極めて単純でむしろ力学的性質が設計のポイントとなるが、板金部品においては、各部品の性質をもとに機能を体系的に記述してデータベースを構築することには手間がかかりすぎる。

本論文では、実用的な事例ベース型設計支援システムの構築を目指して、事例の特徴付けとしての板金部品の形状インデックスの手法と事例検索のための類似度計算アルゴリズムを提案する。板金部品では形状が類似していれば機能も類似しているという経験則が成り立つ。本論文では、板金部品を機能ではなく形状に注目してインデックスを行う方法を提案する。三次元形状のモデリングの手法としては、従来よりCSG (Constructive Solid Geometry) と境界表現 (Boundary Representation: *B-Reps*) がある⁽¹⁰⁾が、類似した板金部品の検索のためのインデックスとしてはこれらの手法は冗長過ぎて適当でない。

本論文では板金部品の形状特徴に注目し、冗長性を排した簡略な形状インデックスの手法を提案する。また、板金部品間の類似度を計算する場合、部品の各平面素ごとの類似度が高いときに全体の類似度をより高く評価することが人間の評価法に合うと考えられる。本論文では、部品間の類似度の計算において板金部品の平面素ごとの接続関係の評価にファジィ測度を用い

たファジィ積分⁽⁹⁾を用いることを提案する。ファジィ測度による手法により、より人間の評価法に近い類似度計算が可能となる。

2. 事例ベース推論

事例ベース推論の一般的な枠組みを図1に示す。事例ベースには過去の事例と各事例の特徴を示す“インデックス”が蓄えられている。以下に各プロセスの説明を行う。

(1) 問題の特徴付け 入力された問題の特徴を分析して事例の検索に利用するためのインデックスを作成する。

(2) 事例の検索 インデックスに基づき事例ベースを検索して特徴が類似した事例を取出す。

(3) 検索事例の評価 検索された複数の事例に対し利用可能かどうかを判定し最適な事例を選択する。

(4) 事例の修正 選択された事例の解法に修正を施し現在の問題の解とする。

(5) 解の適用 得られた解を問題に適用し結果を評価する。適用に成功した場合には成功事例として事例ベースに登録する。

(6) 事例の修復 適用に失敗した場合は失敗事例として事例ベースに蓄積し同じ失敗を回避するために用いる。

事例ベース推論を遂行するためには以上の各段階において問題領域固有の知識を必要とする。そのような知識が完全であれば自動化は可能であるが、多くの実際問題では非常な困難を伴うため、ユーザの介入がー

図1 事例ベース推論の枠組み
Fig. 1. Model of case-based reasoning.

般的となっている。

さて、板金部品の設計支援システムにおいて過去の設計事例を利用するためには事例のインデックスとして形状特徴を用いることが適当であると考えられる。事例ベースには板金部品の過去の設計内容が形状インデックスと共に蓄えられることになる。問題の特徴付けにおいては設計者は新規設計に際して概略図面をシステムに入力する。この図面より形状インデックスが抽出される。事例の検索部分ではインデックスに基づき部品形状の類似した部品が選出される。形状が類似していなければ事例の修正が煩雑となり、設計者が検索事例を利用したがることは容易に考えられる。新規部品の設計に使える事例であるかどうかの判定は、高度な知識推論を必要とすることなので、設計者の介入を許して検索された複数の事例から最適な事例を選択することにする。そして、選択された設計結果に設計者が修正を施し、得られた設計結果を成功事例として事例ベースに登録する。

3. 形状インデックス

形状インデックスは利用可能な形状を検索するための指標なので、必ずしも形状を一意に表す必要はない。三次元形状のモデリングの手法には大きく分けて CSG と *B-Reps* がある⁽¹⁰⁾。そこで、まずこれらを板金部品に当てはめて簡略化することを考える。図 2(a) に板金部品の例を示す。CSG では形状をプリミティブと呼ばれる基本要素に分解しなくてはならないが、形状を一意に分解できるような制約条件を付けると取扱いが便利である。そこで(b)図のように板金部品の曲げ部と平面素と平面素に付随する穴や打出しなど(以下、飾りと呼ぶ)に分解する。平面素と飾りは更に分解しなければ単純な形状にはならないものもあるが、板金部品のおおむねの形状を考えるとこれらをそのままプリミティブとして扱っても差し支えない。

図 2 形状モデルとインデックス
Fig. 2. Feature modeling & indexing.

い。また曲げ部のプリミティブは形状インデックスとして有効な情報がないので省略する。平面素のプリミティブは厚さが一定であるので厚さ情報を省略できる。得られたプリミティブを(d)図に示す。次に、板金部品を *B-Reps* で表した場合を考える。(c)図がその例である。板金部品は打ち抜かれた金属板に曲げ加工を施したものであるため板厚が直接現れている面(以下、板厚面)がある。板厚面と曲げ部分の面は省略してもほとんど情報量が減少しないので取除く。すると表、裏ペアになっている面が残る。板厚がわかっているときこのペアは片方が決まればもう一方も決定するので、片方を省略できる。結果は(d)図となる。このようにして板金部品形状は CSG, *B-Reps* のどちらの手法を用いても、その平面素の数と同じ数の面の情報とその面に付随する飾りの情報に簡略化することができる。次に、各面の位置データを簡単化する。形状データは何らかの形で座標データをもっていることがほとんどであるが、これは検索の効率化の大きな妨げとなる。そこで本論文では、この座標データの代わりに各面間の接続関係を用いる。

山村らは、これまでに工程設計支援を目指して板金部品のリンクパターン、接続方向パターン、曲げ方向パターンなどのパラメータを形状インデックスとすることを提案した⁽⁸⁾。しかしながら、この手法では従属関係にあるパラメータを独立として扱っているため、板金部品の新規設計のための類似部品検索には不适当であり、また各パラメータが抽象的なのでパラメータごとの類似度を評価することも困難である。

図 3 の板金部品は五つの平面素に分割できる。平面

図 3 接続関係
Fig. 3. Link indices.

図 4 部品データ
Fig. 4. Parts data.

素のデータはその頂点などを表すポイントの集合と飾りのデータに分類できる。このように部品形状に関するデータを分解していくと図4が得られる。ここで、各平面素に番号(インデックス)を付ける。第4章であらためて述べるが、部品の類似性を考慮する場合、各平面素の大小関係に注目することには意味がある。そこで最も大きな平面素を基準平面素として、平面素 P_0 とする。以下、大きな平面素の順に $P_1, P_2, \dots$ と番号付けを行う。

次に、平面素の位置関係を平面素から平面素への接続関係 l で表す。例えば、図3の例では「平面素 P_0 から平面素 P_2 へは、左側に山折りで(平面素 P_1 を経由して)更に下側に谷折りでつながっている。($P_0 \rightarrow P_2$) = {(山折り, 左側), (谷折り, 下側)}」と表す。平面素間の位置関係をもっと直接的に「平面素 P_0 に対して平面素 P_2 は左側斜め下のほうに垂直で横方向に存在している」と表す方法もあるが、この方法では表現があいまいになってしまう。板金部品のすべての平面素の位置関係を記述するためには、(平面素の数-1)個の独立な位置関係を知ることが必要十分である。そこで、次式のように基準平面素からの接続関係により、すべての接続関係を表すことにする。

$$\left. \begin{aligned} l_1 &= [P_0 \rightarrow P_1] = \{(\text{山折り}, \text{左側})\} \\ l_2 &= [P_0 \rightarrow P_2] = \{(\text{山折り}, \text{左側}), \\ &\quad (\text{谷折り}, \text{下側})\} \\ l_3 &= [P_0 \rightarrow P_3] = \{(\text{山折り}, \text{右側})\} \\ l_4 &= [P_0 \rightarrow P_4] = \{(\text{谷折り}, \text{上側})\} \end{aligned} \right\} \dots\dots (1)$$

表1 飾りの分類
Table 1. Classification of accessories.

a_1	丸穴
a_2	角穴
a_3	不定形穴
a_4	ねじ穴
a_5	打出し

図5 形状インデックス
Fig. 5. Feature indices.

平面素の形は長方形近似をして S (=面積), k (=縦横比)の二つのパラメータで表すことにした。平面素の詳細な形まで考慮する場合には、第4章で述べる類似度の計算に詳細な知識を必要とし、その知識の獲得負荷が大きくなってしまふ。検索事例の評価の部分で詳細形状の比較を行ったほうが効率が良い。飾りについても同様に詳細は検索事例評価部に任せ、表1に示す分類を行い、それぞれの平面素上の数を用いることとした。得られる形状インデックスを図5に示す。

4. 類似度

第3章で述べたインデックスを用いた部品間の類似度計算法の概略を図6に示す。以下、本章では同図の流れに従って類似度の計算の手法を述べる。

〈4・1〉形状の比較 一般に形状の類似度を求めるには比較の対象となる空間を明確にする必要がある。そして、その空間内において部品間にとどの程度の共通部分があるかが判断の指標となる。以下、比較の対象となる空間を比較空間、その空間内での共通部分を共通空間と呼ぶことにする。部品形状を比較する場合、部品の位置や向きは形状の類似度とは無関係なので、共通空間ができるだけ大きくなるように、言い

図6 類似度計算の概略
Fig. 6. Outline of calculating similarity.

図7 部品の比較空間
Fig. 7. Space K for calculating similarity.

換えれば、比較空間ができるだけ小さくなるように位置や向きを変えて比較を行う必要がある。図7の例でいえば、部品A、Bの類似度を求めるには位置、向きをそろえ、比較空間Kやそのうちの共通空間Cを考える必要がある。そして、その形状の類似度hは

$$h=f(C/K) \quad \dots\dots\dots (2)$$

と求めることができる。ただし、(2)式の“/”は要素ごとの比を求める演算子とする。ここで、fは図8に示すような“似ている”というメンバシップ関数⁽⁹⁾である。このようなメンバシップ関数は設計者の主観から統計的に求めればよい。一般に、このメンバシップ関数は入力が多次元になると設定が困難になるが、全体の類似度は各部分(次元)ごとの類似度の適当な合成により同等に計算することが可能である。これは各部分形状の類似度は、その部分での共通空間/比較空間に対して単調増加であり、全体の形状の類似度も各部分形状の類似度に対して単純増加であるという仮定に基づく。板金部品形状の性質の多くは各部分形状の性質の合成により成り立っていると考えられるので、この仮定の妥当性は高いと考えられる。従って、各部分類似度を合成する適当な関数を設定することによりメンバシップ関数を設定する手間を減らすことができる。後述のように今回の部品の類似度計算も各平面素の類似度から合成し、平面素の類似度も次元ごとの類似度の合成として計算しているの、今回用いたメンバシップ関数はすべて入力が一次元である。

〈4・2〉 板金部品における比較空間と共通空間

図7の比較空間Kは両部品を包含する最小の空間である。この比較空間Kを平面素ごとに分割し、接続関係lを新たに規定する。すなわち、部品A、Bの

図8 メンバシップ関数“似ている”
Fig. 8. Membership function “SIMILAR”.

それぞれの接続関係 $l_A()$ 、 $l_B()$ の集合Lを、

$$L=\left(\bigcup_{i=1}^I\{l_A(i)\}\right)\cup\left(\bigcup_{j=1}^J\{l_B(j)\}\right) \quad \dots\dots\dots (3)$$

とすると、基準面との接続関係 $l(l \in L)$ をもつ平面素全体での比較空間 $E(l)$ により、

$$K=\bigcup_{l \in L} E(l) \quad \dots\dots\dots (4)$$

となる。ただし、 l_A 、 l_B はそれぞれ部品A、Bにおける接続関係であり、 I 、 J はそれぞれの(平面素の数-1)の値である。もし接続関係が l である平面素 $P_A()$ 、 $P_B()$ が複数個(N_l 個)存在する場合には、比較空間 $E(l)$ は(5)式によりすべての $P_A()$ 、 $P_B()$ を包含するように生成する。

$$E(l)=\bigcup_{n=1}^{N_l} Q_l(n) \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$Q_l(n)=\text{比較空間}(P_A(i_l(n)), P_B(j_l(n)))$$

ただし、 $i_l()$ 、 $j_l()$ は $l_A(i_l(n))=l_B(j_l(n))=l$ ($n=1,\dots,N_l$) で $\sum_{n=1}^{N_l}$ 比較空間 $(P_A(i_l(n)), P_B(j_l(n)))$ が最小となるものを選ぶ。

比較空間Kでの類似度はまず平面素 $E(l)$ ごとに求められる。

〈4・3〉 平面素の類似度 各平面素は形と飾りのインデックスをもつ。形のインデックスは二次元なので、今回は「平面素が似ている」を(6)式のように「平面素の、縦の長さが似ていて、かつ横の長さが似ている」と置き換えて計算した。なお、“かつ”には掛け算を使用⁽⁹⁾した。

$$h_{\text{形}}=f(\text{縦の比}) \times f(\text{横の比}) \quad \dots\dots\dots (6)$$

飾りに関しては各飾りごとに類似度を求める。インデックスには各飾りの個数が入っているので、比較空間、共通空間は負でない整数空間上に存在していることになる。

平面素全体の類似度は、平面素の形、各飾りの類似度を(7)式のように加重平均により求める。重み、すなわち各部分評価の重視度は各比較空間の大きさに比例させるべきである。しかし、次元が異なるので、次式のように平面素の形の重視度 $\rho(0)$ はその比較空間の大きさ(長さの2乗)そのものを使い、各飾りの重視度 $\rho(m)$ ($m=1,\dots,M$) はその比較空間の大きさ(非負の整数)に飾りの種類ごとの係数(経験上の数値)を掛けたものを用いる。

$$h_{\text{平面素}}=\frac{\rho(0) \times h_{\text{形}} + \sum_{m=1}^M \rho(m) \times h_{\text{飾り } m}}{\sum_{m=0}^M \rho(m)} \quad \dots\dots\dots (7)$$

なお、今回用いたメンバシップ関数は約20人の学生に平面図形を提示した結果をシグモイド関数で近似

したのである。

〈4・4〉 部品全体の類似度 部品の類似度は、以上の手法で求められた各平面素ごとの類似度に接続関係の類似度を反映させながら合成して求められる。すなわち、よく似た平面素が同じ接続関係にある場合には合成の類似度がより高くなるようにする。各平面素ごとの類似度の単なる加重和では接続関係をうまく反映できない。そこで、この重視度にファジィ測度⁽⁹⁾を用いることを提案する。これは人間の評価の仕方によく合っていると考えられる。

ファジィ測度 $g(\cdot)$ とは以下の条件を満たすものである⁽⁹⁾。

- (1) $g(\phi)=0, g(\text{全体集合})=1$ …… (有界性)
- (2) $E \subset F$ ならば $g(E) \leq g(F)$ …… (単調性)
- (3) $E_1 \subset E_2 \subset \dots$ あるいは $E_1 \supset E_2 \supset \dots$ ならば
 $\lim_{n \rightarrow \infty} g(E_n) = g(\lim_{n \rightarrow \infty} E_n)$ …… (連続性)

これは確率測度を拡張したものになっている。つまり、確率測度ならば

- (2') $E \cap F = \phi$ ならば
 $g(E \cup F) = g(E) + g(F)$ …… (加法的)

が成り立たなくてはならないが、この加法的性を緩めて単調性が成り立てばよいとしたものがファジィ測度となる。この加法的でない尺度の例として、通常の尺度にその効果を加味したものを考えるとわかりやすい。例えば、長さがそれぞれ 1, 2 m の棒があったとき、 $g(\cdot)$ を棒の利用価値として一般には、

$$g(\text{両方の棒}) = g(1\text{mの棒}) + g(2\text{mの棒})$$

$$g(\text{両方の棒}) \geq g(\text{片方の棒}) \dots\dots (\text{単調性})$$

であることは容易に考えられるであろう。さて、よく用いられるファジィ測度に λ -ファジィ測度と呼ばれるものがあり、次式を満たす。

$$(2'') E \cap F = \phi \text{ のとき}$$

$$g(E \cup F) = g(E) + g(F) + \lambda g(E)g(F)$$

ただし、 $-1 < \lambda < \infty$

λ はパラメータで、 $\lambda > 0$ ならば優加法的、 $\lambda = 0$ ならば加法的で確率測度となり、 $\lambda < 0$ ならば劣加法的となる。

$E(I), E(I')$ の類似度の重視度に λ -ファジィ測度 $g(\cdot)$ ⁽⁹⁾ を用いると、

$$g(E(I) \cup E(I'))$$

$$= g(E(I)) + g(E(I')) + \lambda g(E(I))g(E(I'))$$

$$\dots\dots\dots (8)$$

となり、 $E(I)$ と $E(I')$ が同じ接続関係で似ていれば、両平面素の類似度が $\lambda(>0)$ によってより重視される。

なお、ここでは $E(\cdot)$ ごとの重視度 $g(E(\cdot))$ は $E(\cdot)$ の大きさに比例させることにする。

このファジィ測度を用いてファジィ積分⁽⁹⁾を行うことにより、部品の類似度が算出される。ファジィ積分は次式により定義される。

$$\int h(x)g = \sup_{\alpha \in [0,1]} \{ \alpha \wedge g(H_\alpha) \} \dots\dots\dots (9)$$

$$H_\alpha = \{x | h(x) \geq \alpha\}$$

ただし、積分空間はファジィ測度の定義域全体である。この式は有限離散系 $(x_1, x_2, \dots, x_n)$ では (10) 式のように簡単式になる。

$$\bigvee_{i=1}^n [h(x_i) \wedge g(H_i)] \dots\dots\dots (10)$$

$$\text{ただし、} H_i = \bigcup_{j=1}^i \{x_j\}$$

$$h(x_1) \geq h(x_2) \geq \dots \geq h(x_n)$$

この式を今回の部品類似度計算に当てはめると、

$$\bigvee_{l(i) \in L} [h(E(l(i))) \wedge g(K(l(i)))] \dots\dots\dots (11)$$

$$\text{ただし、} K\{l(i)\} = \bigcup_{j=1}^i E\{l(j)\}$$

$$h(E(l(1))) \geq h(E(l(2))) \geq \dots$$

$$\geq h(E(l(L \text{ の要素数})))$$

となる。ただし、 $\vee$ は max 演算、 $\wedge$ は min 演算を表す。

〈4・5〉 部品の向き 〈4・1〉節で述べたように、部品の位置や向きを変換させて共通空間を最大にしなくてはならない。具体的にはそれぞれの平面素を基準平面素と想定し、更にその向きを縦、横、表、裏と変換させて類似度を計算する必要がある。これは平面素の数が増えるにつれて非常に手間となる。しかし、ヒューリスティックな方法を用いてこの変換を省略できる。第3章で述べたように、平面素には面積の大きな順に $P_0, P_1, \dots$ と番号が付いており、 P_0 を基準平面素としているが、「もし、 P_1 が P_0 と比べても小さいならば P_1 は基準平面素にする必要はない」、「 P_2 が P_0, P_1 に比べても小さいならば P_0, P_1 の位置関係により比較する部品の向きを決定し、他の向きについては計算する必要はない」などといったルールにより、変換を省略している。

5. 具 体 例

本論文で提案した形状インデックスと類似度計算の有効性を確かめるために、図9の板金部品について類似度の計算を行った。ただし、今回は各平面素の大きさ S をその部品の最も大きな平面素の面積 S_0 で割って規格化し、部品の大きさを考慮しないようにして計

図 9 板金部品の例
Fig. 9. Examples of sheet metal parts.

表 2 図 9 の部品の類似度
Table 2. Degree of similarity in Fig. 9.

$\lambda = 6$	a	b	c	d	e	f	g	h
a	1.00	0.13	0.54	0.55	0.72	0.15	0.25	0.65
b		1.00	0.14	0.12	0.13	0.10	0.14	0.12
c			1.00	0.40	0.59	0.15	0.23	0.47
d				1.00	0.55	0.14	0.20	0.83
e					1.00	0.16	0.27	0.60
f						1.00	0.16	0.12
g							1.00	0.23
h								1.00

算した。その結果を表 2 に示す。この例では(8)式の $\lambda=6$ としている。この表によると類似度の高いものは(d)と(h)、(a)と(e)などであることがわかる。また、あまり似ていないと思われる部品間の類似度は確かに小さいこともわかる。

〈4・4〉節のファジィ測度による効果を確認するために、接続関係そのものの類似度と〈4・3〉節までの平面素ごとの類似度とを加重線形和により合成し全体の類似度とする手法と、本手法とを比較した。図 10 は比較に用いた板金部品の例である。(a)の部品に対する類似度を(b)～(f)の部品について計算した。その結果を表 3 に示す。ファジィ測度を用いた例では $\lambda=0, 60$ の場合について、また単なる加重線形和を用いた例では各接続関係の類似度を、比較している平面素間の接続関係 l が同一であれば 1、異なっていれば 0 とし、その重視度を(基準面の重視度) $\times \omega$ として、 $\omega=0, 1$ の場合について示す。 λ, ω ともその傾向がはっきり現れるように値を設定した。まず、ファジィ測度

図 10 部品の例
Fig. 10. Examples of sheet metal parts.

表 3 図 10 の部品の類似度
Table 3. Degree of similarity in Fig. 10.

	λ -ファジィ積分		線形加重和	
	$\lambda = 0$	$\lambda = 60$	$\omega = 0$	$\omega = 1$
b	0.93	0.93	0.99	1.00
c	0.97	0.82	0.97	0.83
d	0.78	0.37	0.78	0.90
e	0.79	0.32	0.79	0.61
f	0.19	0.03	0.16	0.67

を用いた例について見てみると、 $\lambda=0$ の場合に比較して $\lambda=60$ の場合では個々の平面素ごとの類似度合だけでなく、接続関係がよく反映されていることがわ

図 11 文献(8)で類似度1となる部品例
Fig. 11. Examples of sheet metal parts
[degree of similarity is 1 in Ref. (8)].

図 12 部品のポンチ絵
Fig. 12. Rough sketch of parts.

図 13 検索された部品データ
Fig. 13. Data of retrieved parts.

かる。例えば、(c)の部品は小さな平面素が付加されている以外は(a)の部品と一致するので、 $\lambda=0$ の場合に類似度が最も高い。一方、(b)の部品は平面素の形状が少し異なっているため類似度が低くなっているが、 $\lambda=60$ とした場合よく似た平面素が同じ接続関係にあり、(c)のように余分な平面素が付いていないため類似度が最も高い。次に、加重線形和を用いた例に

図 14 修正された部品データ
Fig. 14. Modified data.

ついて見てみると $\omega=0$ の場合には接続関係が考慮されないでファジィ測度の $\lambda=0$ の場合とほぼ同じ類似度となる。 $\omega=1$ の場合には接続関係が考慮されるが、接続関係が独立に扱われているため類似度が設計者の感覚とずれてしまっている。例えば、(d)の部品は(c)の部品より類似度が高くなっているが、これは(d)の部品は(a)の部品と接続関係が同じであることが重視されたためである。(e)、(f)の部品についても同様である。

参考に文献(8)の形状インデックスおよび類似度計算アルゴリズムによると、類似度が1になってしまう板金部品の例を図11に示す。本論文に示す手法では表2の例と同様に計算した場合0.06であった。

次に、このシステムを使用して新規部品の設計を行うことを想定した。設計者がCADシステムに図12に示すような新規部品の概念図を入力する。図の例では、簡単のため飾りを付けずに各飾りに対する重視度を0にして検索を試みた。類似度の高い部品の事例として図13の図面が検索されたとする。このとき類似度は0.81である。目的の機能、規格を検討してみると平面素を一部切離し、穴の位置の調整などをする

図 15 部品の例
Fig. 15. Examples of sheet metal parts.

ことにより、目的の部品が得られることがわかった。
図 13 の CAD データに修正を施し完成図面、図 14 を
得た。図 13 からの変更箇所を図中に矢印で示す。

6. ま と め

本論文では、事例ベース型設計支援システムの構築
を目指して、板金部品の形状インデックスの手法と事
例検索のための類似度計算アルゴリズムを提案した。

具体例を用いた類似度の計算結果は妥当なものであ
り、本手法により、実用性の高い事例ベース型設計支
援システムを構築できる可能性がある。

ただし今回の手法では、板金部品形状のデータから
情報量をかなり削減させた形状インデックスを行って
いるので、図 15 の例のようにあまり似ていないと思
われる部品の類似度がほぼ 1 となってしまう場合があ
る。複数の事例が検索されることによって、検索事例
の評価段階で不要部品が除外されることになるが、今
後実用化を進めることによって検討を行っていき
たい。

(平成 3 年 8 月 26 日受付, 同 4 年 2 月 18 日再受付)

文 献

- (1) 小林:「計画・設計型知識システム」, 計測と制御, 27, 893 (昭 63)
- (2) 奥田・山崎:「事例ベース形推論とその応用例」, 情報処理, 31, 244 (平 2)
- (3) 仲谷, 他:「事例ベースアプローチによる設計支援」, 情報処理学研報, 91-AI-75, 39 (平 3)
- (4) 中村・小林:「事例ベース推論の対話型モデルとその機械調整支援への適用」, 人工知能学誌, 4, 704 (平元)
- (5) A. Goel & B. Chandrasekaran: "Functional Representation of Designs and Redesign Problem Solving", IJCAI-89, p. 1388 (1989)
- (6) F. Daube & B. Hayes-Roth: "A Case-Based Mechanical Redesign System", IJCAI-89, p. 1402 (1989)
- (7) 関根・小林:「事例に基づく生産スケジューリングシステム」, 第 11 回知識知能システムシンポジウム, p. 205 (平 2)
- (8) 山村, 他:「事例ベースによる板金部品の工程設計支援システム」, 情報処理学会第 40 回 (平 2 前期) 全大, p. 1526 (平 2)
- (9) 寺野, 他: ファジシステム入門 (昭 62) オーム社
- (10) 雨宮・安田: CAD/CAM/CAE 入門 (昭 61) オーム社

松 徹 (非会員)

る研究に従事。

昭和 43 年 12 月 16 日生。平成 3 年 3
月名古屋大学工学部電子機械工学科卒
業。同 4 月同大学大学院修士課程進学、
現在に至る。主として、設計支援に関す

橋 武 (正員)

イエキスパートシステムに関する研究に従事。

昭和 60 年名古屋大学大学院博士課程
修了。現在、名古屋大学工学部電子機械
工学科助教授。工学博士。主として、フ
ァジニューラルネットワーク、ファジ

内 川 嘉 樹 (正員)

昭和 44 年名古屋大学大学院博士課程
満了。現在、名古屋大学工学部電子機械
工学科教授。工学博士。主として、
CAD, 画像処理, 信号処理などを対象
としたシステム技術の基礎および産業への応用に関する研
究に従事。

満了。現在、名古屋大学工学部電子機械
工学科教授。工学博士。主として、
CAD, 画像処理, 信号処理などを対象