工程設計支援のための類似板金部品検索手法*

見 崎 大 悟^{*1}, 青 村 茂^{*2}

Searching Sheet Metal Parts Based on Bending Process Similarity for Process Planning

Daigo MISAKI^{*3} and Shigeru AOMURA

^{*3} Graduate School of Mechanical Engineering, Tokyo Metropolitan University,
1-1 Minamiohsawa, Hachiohji-shi, Tokyo, 192-0397 Japan

Sheet metal parts have been widely used in industry and much information for parts has been accumulated in the database. In planning the manufacturing process of a sheet metal part, if the similar process plan of the part to be manufactured can be retrieved from the database, the process planning would be faster and more consistent. In this paper, the effective method of searching the sheet metal parts based on bending process similarity is proposed. This method consists of two stages. First, flat pattern drawings of the parts with the same set-up numbers are classified into several topological structures. Secondly, the parts that possess the bending process similarity with the target part are selected. The bending process similarity is defined by the grasping position of a robot gripper. The number of reposition and grasping positions are decided by taking the geometric element of the flat pattern into consideration. The effectiveness of this method is described and illustrative examples are shown.

Key Words: Similar Sheet Metal Parts, Case Based Reasoning, Topology and Geometry

1. 緒論

板金部品は多くの家電製品や電子機器などの工業製品の主要な構成部材として、広く大量に使用されている。例えば、複写機や現金の自動支払機などでは一台あたり、多いものでは板金部品が数百点から数千点にもおよぶ。これらの板金部品の多くは新機種の開発ごとに新たに設計されており、その種類や生産量は膨大な数にのぼっている。これらの板金部品はさまざまな工程を経て製造されるが、その中でも曲げ順序を始めとして金型、計測位置、曲げによる材料の伸び等の精度情報に基づく押し込み量などを決定する曲げ工程設計が一番複雑で重要である。

また板金の曲げ加工は長時間、過酷な労働を強いられる上に危険を伴い、近年では、ロボットを利用したロボット曲げ加工が急速に増えつつあり、今後もさらに現在を上回る速度で増えつつ増えることが見込まれている。ロボットによる曲げ加工では、上記の項目に加えてさらに把持位置や掴み換えなどを事前に詳細に決定せねばならず、曲げ工程設計をさらに複雑なもの

にしている。板金の加工工程の自動化に関する研究では、Hoffman ら^①は、計算機を利用して、板金の曲げ加工の各プロセスを評価しながら適切な曲げ順序を決定する手法を提案している。Wang ら^②は、柔軟材のロボット把持について自動動作計画の手法を提案している。古口ら^③はロボットによって把持される板金部品の適切な把持位置と曲げ順序の決定について提案をしている。工程設計の自動化にはいろいろな取り組みがなされており、個々の局面ではそれぞれ成果をあげている。しかし板金の工程設計では、工程に関する設計知識の網羅的な記述が困難であり、計算機により工程設計を全般的に支援する方法論はまだ確立されていない。

一方、これらの加工を行なう企業では、過去に加工した板金部品の膨大な工程設計情報を蓄積しており、新規の製品を加工する場合、もし同じかあるいは類似の曲げ加工工程をもつ製品の情報を検索できれば、設計効率の大幅な向上が可能となる。このような類似品の検索は事例ベース推論 (Case-Based Reasoning : CBR) の枠組みで、近年さまざまな分野で活発に研究^④が行なわれている。特に設計の分野においては、山岡ら^⑤は設計意図を考慮に入れた事例に基づいた設計支援ツールの提案をしている。渡辺ら^⑥はプレス加

* 原稿受付 2001年5月18日。

^{*1} 正員, 東京都立大学大学院 (☎192-0364 八王子市南大沢1-4)。

^{*2} 正員, 東京都立大学大学院工学研究科。

E-mail: aomura-shigeru@c.metro-u.ac.jp

工の工程設計において、事例に基づいた設計手法の提案をしている。

板金部品の生産現場で CBR を利用するために、行松ら⁶⁾は板金部品の展開図から、類似度の算定を提案している。また山村ら⁷⁾は、同じく板金部品の設計コストを、事例に基づいて効率的に計算する手法の提案をしている。これらの CBR の板金部品への適用の研究は、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に基づいて、形状インデックスを定義し、データベースに対する事例検索を行なっている。しかしこれらの研究では、展開図の表面的な形状の特徴には注目しているが、本来曲げ工程に重要なセットアップ数や、展開形状や加工途中の幾何形状、および、それにより制限を受ける曲げ順序等に関して議論がなされておらず、工程設計の支援とはならない。

設計現場では、図面を始めとして展開図の他、納入メーカーや製造時期、製品番号等多くの情報を含む板金部品のデータを保管している。しかし工程設計支援のための事例検索を行なう場合、それらの情報はそのままでは工程との相関性がなく、インデックスとして利用することは難しい。そこで本研究ではロボット曲げ加工のための工程設計支援を想定し、展開図の形式で保存されているデータベース上の板金部品の事例の中から、曲げ工程設計に深く関連する位相的判断と幾何的判断を合わせ、類似板金部品の検索を行なう。

本研究では、まず加工の対象となる板金部品のセットアップ数を計算し、これと同じセットアップ数を持つ部品を分類する。次に分類された部品の中から、共通曲げ線を考慮にいれた位相構造を比較し、同じ構造を持つ部品を選び出す。この時点で、対象とする部品点数はセットアップ数によっても異なるが、およそ 1/10~20 から 1/100 程度までに絞られる。最後に、同じセットアップ数と位相構造を持つ部品に対し、ロボットが曲げ加工を行なう際の基本的な幾何判断の基準を適用し、同じ把持位置と掴み換えおよびそのタイミングを持つ板金部品を選択する。それらは、特定の把持位置に対する曲げ可能線分の集合の中から、材料自身の干渉や金型との干渉、あるいはたわみや部品のバランスといった幾何判断を考慮に入れて計算される。ただし板金部品の形状は、加工工程中に刻々と変化するために、展開図の段階の幾何形状だけでは、類似性の評価が困難である。そのため、幾何条件を陰に含む把持位置と掴み換えおよびそのタイミングを条件として利用することが、非常に有効な手段となる。

本手法を、あるメーカーで実際に加工された部品と工程情報が蓄積されたデータベースに適用し、実際に

Fig. 1 Bending process of a sheet metal part

CAM を用いて工程設計を行って、その有効性を確認した。

2 板金部品の加工プロセス

2.1 板金部品の加工 板金加工には、切断、穴あけ、溶接、曲げといった加工があるが、特に曲げ加工は比較的複雑な工程を経るため、その工程設計を効率よく行なうためには熟練技術者を必要とする。曲げる順番を間違えると工具と材料、または材料同士が干渉して加工できないといった問題が生じる。特にロボット曲げの場合には、把持位置、掴み換え、曲げ順序を詳細に指示しなければならない。そこで、加工の前に精密な工程設計が必要となり、加工前の工程設計作業に非常に多くの時間が費やされる。

2.2 板金部品の曲げ加工の工程設計 本論文で対象とする板金部品の曲げ加工の工程設計は、板金部品の展開図に基づいて、金型とロボットのグリッパを決定し、その条件に基づいて、曲げ順序、把持位置、掴み換えのタイミングを決定することである。工程設計が正しくないとロボットが加工することができないために、試行錯誤を経て最終工程を生成する(図 1(a))。この作業を、非熟練技術者がおこなう場合、参考とする事例がないと非常に多くの時間を必要とする。さらに、作成された工程の妥当性や適正性の保証がない。現実には、熟練技術者は急激に減りつつあり、工程設計の効率と信頼性を確保するうえでも、設計現場において、過去に加工されたデータベースの中から適切な類似事例の検索をする手法の開発は急務となっている。

2.3.1 板金部品の展開図 本研究では、図 1 (b) に示す板金部品の展開図から類似板金部品検索のためのインデックスを取り出すため、展開図を構成する各稜線($e_i: i=1,2,\dots,n$)を外形稜線(実線)と曲げ稜線

(破線) とに区別する。また、展開図を曲げ線分により複数の領域に分割したとき、最小ループに分割されたこれらの領域を曲げ面($f: i=1, 2, \dots, m$)とする。

本研究で対象とする板金部品の形状は曲げ線分が互いにすべて垂直、水平関係にある。また、内部にタブを有するモデルは対象としない。

2.3.2 板金部品の図面の管理 板金部品の図面は、設計現場における受注・発注だけではなく、製作が完了した後においても同種または類似板金部品の加工の参考になる⁹⁾。このため多くの企業では、板金部品の展開図と最終形状の他に、品名・図面番号・製作年月日等を付け加え、データベースに蓄積している。また、各板金部品には重要なノウハウとして曲げ加工の工程設計の情報が追加されている。

3. 類似板金部品の定義

実際に加工された板金部品の諸処の加工データは、メーカーにとって貴重なノウハウであるため、必要に応じて情報を参考事例として引き出すことになる。設計者が、必要となる部品の事例検索をおこなうためには、適切なインデックスを決める必要がある。

本研究では、工程設計の支援となる類似板金部品の事例検索をおこなう事が目的であるため、工程設計支援を考慮したインデックスを決定する。汎用性を考慮してインデックスは展開図の形状から抽出することが可能な(1)工程の実際の曲げ回数を表すセットアップ数、(2)工程の曲げ順序に影響をする位相構造を表す板金部品接続グラフ、(3)工程で用いる金型の制約条件と板金部品の幾何構造から決定される把持位置と掴み換えとそのタイミング、とする。この3つのインデックスを用いて、板金部品のデータベースから類似板金部品を検索する。

例えば、図2に示される、ある新規の板金部品 **Target part** の工程設計をおこなう時、工程を考慮した事例検索では、図2(Case1)~(Case3)に示される板金部品が検索されるべきである。(Case1)は、まったく同じ形状の板金部品が異なった方向で保存されている状態、(Case2)は、曲げ面の位相構造は同じであるが幾何構造は異なる状態、(Case3)は、幾何構造も曲げ面の位相構造も異なる状態の板金部品である。これら3つの部品は、展開図形状を一見したところ全く違う部品のように見えるが、曲げ加工の視点から見ると新規の板金部品の参考事例となる類似部品の一例である。

Fig. 2 The parts with the similar bending process

3.1 セットアップ数 板金の曲げ工程では、パンチを用いてプレスをおこなう際に、一回の曲げ工程ごとに部品の配置や計測、金型設置等のセットアップをおこなう。通常板金部品のセットアップ回数は曲げ線分の本数と一致するが、図2(Case3)のようにある共通する線分上に曲げ線が複数存在する場合、すなわち、一回のセットアップで複数の曲げ線分を曲げる時(図3)、セットアップ数は曲げ線分の本数より少なくなる。従って、類似板金部品検索は、曲げ線分の本数ではなく、実際の曲げ工程の回数を示すセットアップ数を利用しなければならない。

Fig. 3 The set-up of a sheet metal part

3.2 板金接続グラフによる位相構造 板金部品の工程設計では、曲げ面の詳細な幾何構造よりも、曲げ面の接続関係が工程設計に大きく影響する。本研究では、図4に示す、曲げ面をノードV、曲げ線分をエッジEとした板金接続グラフ $G(V, E)$ を生成し、類似

Fig. 4 A flat pattern and a connectivity graph

板金部品の検索にもちいる。また、曲げ線は方向の属性をもつ。

材料と金型の干渉，材料の自己干渉を生じない曲げ順序は，板金部品のロボットのグリップが把持する面に対して，位相的に遠くに位置する曲げ線分から曲げるルールを適用することで決定される。このため，位相構造は曲げ順序決定の際に制約として働き，工程設計において重要な情報となる。従って，板金部品が類似であるための条件として，接続グラフが同じ位相構造であるということを条件とする。ただし，3.1 節で述べたように，板金部品が一度に 2 本以上の曲げ線分を曲げる構造を持つ場合は，単純な曲げ線分によるグラフの構造と，実際の工程が一致しなくなる。そのために，セットアップを考慮して，各グラフのエッジには，同時に曲げる曲げ線分の属性を追加して類似板金部品の検索時に考慮する。

3.3 板金部品の幾何構造のインデックスの定義

板金部品の検索に用いるインデックスとして，曲げ面による位相構造の次に，板金部品の幾何構造を利用する。CBR を用いた板金部品の設計支援の先行研究⁹⁾では曲げ面の面積と縦横比を，事例検索のためのインデックスと利用している。しかし，工程設計支援を考慮して板金部品の類似性を幾何構造から定義をおこなう場合，展開図の単純な幾何構造の情報だけでは不十分である。類似板金部品検索のためのインデックスは，図 5 に示す金型の制約条件を考慮に入れ定義しなければならない。

3.3.1 板金部品の工程上の幾何的な制約条件

ロボット曲げ加工の工程設計をおこなうとき，金型とグリップの干渉とグリップの把持における制約という，2 つの幾何的基本制約がある。材料を曲げるときには把持位置に対してグリップと金型の干渉を回避するための余裕が必要である。把持線分と曲げ線分の関係が平行であるとき，曲げ線分と把持位置の距離を l_h (図 5 (a))，垂直なときを l_v (図 5 (b)) とする。ロボットのグリップには材料の掴み量 g (垂直なときは $x/2$)

Fig.5 Geometrical constraint of robot bending

と，干渉を回避するための各把持の方向に対して余裕限度 l_h, l_v が予め定められている。そして，グリップと金型が干渉を回避するためには各把持の方向に対して(1),(2)式を満たす必要がある。

$$l_v \geq l_v + x/2 \cdots (1)$$

$$l_h \geq l_h + g \cdots (2)$$

グリップの把持における制約は，曲げられた板金部品を掴む時，図 5 (c) に示すように，フランジ部をグリップが跨いで掴み換えをおこなう。グリップの多くは図 5 (d) に示すように高さ h ，深さ d を持ち，曲げた面を跨いで把持することが可能である。

ここであげた工程上の幾何的な制約は，曲げ線分を一回曲げる毎に動的に変化するために，展開図から陽に取り出すことができない。そのため，上記の条件をもちいて，板金の展開図から板金部品の幾何構造と金型の形状の制約から決定される，把持位置，掴み換え，掴み換えのタイミングを板金部品の幾何構造のインデックスとして採用する。

3.3.2 把持位置，掴み換え，および掴み換えのタイミングの決定

把持位置，掴み換え，および掴み換えのタイミングの決定は，(1) 把持位置候補の検索(図 6 (a)~(c))，(2) 曲げ可能線分の検索(図 6 (d))，(3) 掴み換え把持位置候補の検索，の手順で実行される。(3)は，曲げ可能線分をすべて曲げた後(1)と同じ条件で決定される。ここで行われる幾何判断の条件は，(1) の初期把持位置候補では把持した時のたわみが小さくなるように，展開図の重心から距離が近く，さらに長い外形線分を選択する(図 6 (c))。このことで，全体の幾何的バランスが考慮される。さらに，(2)では，(1)で選ばれた初期把持線分候補に対し，図 5 の条件

Fig. 6 Determination of geometrical indexes

に基づき金型やロボットグリッパとの干渉を避けながら、曲げ可能線分をすべて検索する。(3)の掴み換えは、把持位置と曲げ順、すなわち(1)~(3)を通して行った幾何判断の妥当性を検証しており、掴み換えを少なくすることにより、解の多義性に優先順位をつけて差別化しており、同時に、悪い選択では掴み換えが多くなったり、曲げられない曲げ線分が残ったりする。図7は、板金部品図7(a)が与えられた時の、幾何構造のインデックス図7(b)である。図中の、G.F.は把持面、N.B.は掴み換え間の曲げの回数(タイミング)、R.F.は掴み換え面を示し、候補となる曲げ工程を掴み

Fig. 7 Geometrical indexes and a bending process

換え回数の少ない順に並べてある。図7(c)は、以上の幾何条件が適用された時の曲げ工程である。インデックスは、類似板金部品の柔軟な検索をおこなうために、各線分の属する曲げ面を基準としている。

4. 類似板金部品を利用した工程生成支援

4.1 セットアップ数の計算

ステップ1: ある板金部品を構成する線分($e: i=1,2, \dots, n$)の中で、曲げ線の属性を持つ線分に対して、同一線分上に位置する曲げ線を検索し、共通曲げ可能線分の候補の集合として登録する。

ステップ2: 共通曲げ可能線分の候補間を線で結び、これを一本の共通曲げ領域として登録する。

ステップ3: 板金部品を構成するすべての線分と共通曲げ領域の干渉を確認し干渉がない場合、共通曲げ領域に属する線分を共通曲げ線分とする。

ステップ4: 共通曲げ線分を考慮したうえで、板金部品の加工に必要な曲げ工程数を計算し、セットアップ数として登録する。

4.2 位相構造による類似板金部品検索

ステップ1: 板金部品の、板金接続グラフ $G(V,E)$ を展開図から生成する。

ステップ2: 板金部品が共通曲げ線を含む場合、 $G(V,E)$ の持つ曲げ線の本数とセットアップ数は異なる。そのため、共通曲げ線をどのタイミングで曲げるのかを考慮して、 $G(V,E)$ を変形する。曲げるタイミングは把持の位置により決定するが、この段階では、考えられるすべてのタイミングでグラフ $G^*(V^*,E^*)$ を生成する(図8)。すなわち、 $G^*(V^*,E^*)$ は複数の時もある。(Case1)は同じ面に共通曲げ線が属するために、一つに統合する。(Case2)は、同じ共通曲げ線に接続する面の数が異なるために、より多くの面が接続する面を優先する。(Case3)は、共通曲げ線が異なる面に属する時であり、曲げるタイミングによってグラフの位相

Fig. 8 Modifications of graphs by considering multi-bending lines in one time

構造が分かれる。以上のルールは曲げ工程の経験則から決定した。

ステップ 3: 修正後の板金部品接続グラフ $G^*(V^*, E^*)$ のマッチングをおこない、工程の視点からみた類似位相を持つ板金部品を検索する。

4.3 幾何構造による類似板金部品検索

ステップ 1: 図 6 のプロセスにより板金部品の幾何構造のインデックスを計算し図 7 (b)を出力する。

ステップ 2: 同様に、4.1 節、4.2 節のステップで分類された板金部品の幾何構造のインデックスを出力し、最少の組み換え回数を計算する。その中から、同じ最少組み換え回数の板金部品を検索して、類似板金部品候補 1 とする。

ステップ 3: 候補 1 に対してグラフから曲げ面と曲げ線の対応関係を調べる。1 回以上の組み換えがおこなわれる場合には、2 回目以降の把持面が対応関係にあるかを調べる。板金部品間の把持面に対応関係がみられた場合、類似板金部品候補 2 とする。

ステップ 4: 候補 2 に対して組み換えのタイミングを用いて評価をおこなう。組み換えの間の曲げ回数を算出して、対応関係にある場合、類似板金部品候補 3 とする。類似板金部品検索のプロセスは、候補がある一定数に絞られるまでおこなわれる。比較的簡単な構造をもつ類似板金部品に比べて、複雑な構造の板金部品のほうが、早い段階で発見される事が多い。

5. ケーススタディ

5.1 ケーススタディの対象 ある企業の現場で用いられている板金部品のデータベースに蓄積されている数千題の中から、形状の異なる展開図と工程データ 198 題を偏りがないように抽出し、そのすべてをケーススタディの対象モデルとした。それらのうち展開図内部にタブを有するモデルと、互いの曲げ線分の角度が水平または垂直でないモデル 10 題はケーススタディの対象外とした。これらの板金部品は、全体の 5%程度であるために、本研究で定めるモデルの制限は、実用的には適用性を大きく失うものではないと考えられる。

5.2 セットアップ数 まず始めに、すべての板金部品に対してセットアップ数を計算する。そして、そのセットアップ数もちいて、新規に作成される板金部品の類似品の検索をおこなう。図 9 に板金部品のセットアップ数別の分布を示す。大半の板金部品のセットアップ数は、4~8 に集中しており、セットアッ

Fig. 9 A distribution of set-ups of sheet metal parts

ブ数が 10 を越える板金部品は特殊な例である。最も多く分布するセットアップ数は 6 で、データベースから検索された板金部品 48 題の代表例を図 10 に示す。また、半数近くは共通曲げ線を含み、曲げ線の数とセットアップ数が異なる。したがって、工程を考えた場合セットアップ数で類似板金部品の候補を検索することが必要である。

5.3 板金部品の位相構造による分類 次にこれらの 48 題の板金部品について、位相構造での分類をおこなう。セットアップ数 6 の板金接続グラフ $G(V, E)$ は、頂点数が 7 で、エッジが 6 であり、図 11 (a)に示される 11 種類のグラフから構成される。そして、位相構造ごとの分布は図 11 (b)のようになった。図 11 (a)の(7)の位相構造を持つ板金部品は、18 題であり、セットアップ数 6 の板金部品の約 38%を占めた。その代表例は、図 10 の(1),(9),(15),(17)および(23)である。次に、これらの 18 題に対して幾何学的条件を導入して、より詳細な分類を行なう。

5.4 板金部品の幾何構造による分類 幾何構造による分類をおこなうために、図 11 (a)の(7)の位相構造を持つ 18 題の板金部品に関して、把持位置、組み換え、組み換えのタイミングを計算する。その結果、18 題中 7 題が類似板金部品と決定した。図 10 の中では(1)と(17)が同じ条件に該当し類似品とされた板金部品、(9)、(15)および(23)が該当しなかった板金部品である。本論文では、表 1 に示す板金部品の幾何構造のインデックスを用いて、(1)と(17)が、f6 もしくは f7 の把持面を組み 4 回曲げを行なった後、f1 の面に組み換えを行なってさらに 2 回曲げを行なうという類似する工程をもつために、最終的に、類似品として決定した。これらの板金部品は幾何構造は大幅に異なり、CBR を板金部品に適用した論文の指標では、曲げ面の単純な縦横比のみに着目しているために類似度を計算す

Fig.10 Typical example of 6 set-ups sheet metal parts

(a) Topological structures of 6 set-ups sheet metal parts

(b) A distribution of the type of topological structure

Fig.11 Typical structure of 6 set-ups sheet metal parts

ると非常に低い値となり、同じ板金部品としては見えない。本研究で定義する類似では、曲げ工程の最終段階の形状が類似していることがわかる。(1)と(17)は、

Table 1 Geometrical indexes of the sheet metal parts

Part	Seq. no.	G	F	NB	R	F	NB
(1)	1	6	4	1	2		
(1)	2	7	4	1	2		
(9)	1	3	3	1	3		
(9)	2	5	3	1	3		
(15)	1	3	5	1	1		
(15)	2	5	5	1	1		
(15)	3	6	3	1	3		
(15)	4	7	3	1	3		
(17)	1	6	4	1	2		
(17)	2	7	4	1	2		
(23)	1	2	4	1	2		
(23)	2	4	4	1	2		

展開図だけを表面的に比較すると、全く異なる部品として見えるが、向かい合う 2 枚のフランジ、および、外側に曲げを有する他のもう 2 枚のフランジの位置との組み合わせが同一であり、完成形状は工程上でも強い類似性をもっている。また、フランジの高さと部品の底板のサイズの比等も、グリッパと金型を考慮にして選択しており、これも工程の類似性が強い。

5.5 工程設計における類似板金部品の評価

本論文で提案する類似板金部品の有効性を検証するために、同一の非熟練技術者が参考事例(類似板金部品)のある場合とない場合とで工程設計に費やす時間を測定して評価をおこなった。評価をおこなうために、シミュレータを備えた CAM を利用した。シミュレータは把持位置、曲げ順序、掴み換えのタイミング、工具の決定等の条件を決めて実際にロボットを利用した場合の曲げの可否の他、加工時間も検証できる。

Fig. 12 Process planning time

類似板金部品の事例がある場合とない場合、それぞれ 20 題ずつで工程の設計時間を測定した。図 12 は、各セットアップ数別に工程設計に要した時間の(最小時間から最大時間の)分布と平均値を示す。

セットアップ数 4 までの板金部品は、構造が複雑でないために、工具と材料、または材料同士が干渉しあうことも少なく、おおよそ 15 分以内で比較的容易に工程設計をおこなうことができる。しかしセットアップ数が 6 を超えると干渉が生じる箇所が増えてくるために、事例がない場合には、曲げ加工手順において、何度も試行錯誤を繰り返す必要があった。そのために、図 10 に示した見た目は簡単に見えるものでも、工程設計に 1 時間以上を必要とする場合が多かった。さらに、セットアップ数 6 のいくつかの板金部品と、セットアップ数 8 のものの多くは、90 分間工程設計を行っても、曲げ可能な工程を生成することができなかったために、その時点で工程設計を打ち切った。

一方、本論文で提案する手法を用いて類似として検索された板金部品とその板金部品に付帯する曲げ工程の事例(曲げ順序、金型のグリップの情報等)をあわせて非熟練技術者に提示し、上記と同様の条件で工程設計をおこなってもらい時間を計測した。

セットアップ数 6 の板金部品の例に注目すると、事例情報がない場合の工程設計時間の平均値は 68 分であったが、類似板金部品による事例情報が提示される場合には、12 分と 80% 近く設計時間を短縮することができた。また、セットアップ数 8 以上の板金部品についても、事例がない場合には、その多くが 90 分以内では工程設計を行なうことができなかった。しかし、事例を提示することによって平均 18 分で設計をおこなうことができるようになった。

次に、参考までに実験で用いたいくつかの板金部品を、熟練技術者に対して提示して、同じく工程設計

にかかる時間を測定した。熟練技術者が要した工程設計時間を、例題ごとに図 12 に示す。熟練技術者は、非熟練者と比較して試行錯誤の回数は格段に少なかったが、それでも何度かの試行錯誤はあり、やはり類似板金部品の情報が重要であった。

最後に、非熟練技術者が事例情報を利用しないで工程設計を行った場合、これらの工程の質を比較すると、ロボットによる曲げ加工の作業時間に大きく影響する掴み変えの回数が多い工程を生成することがあった。また、非熟練技術者は、生成した工程の質が良いのか悪いのかを判断することができないために、比較対象として、類似板金の情報が非常に有効となる事がわかった。

6. 結論

本論文では、板金曲げ加工における類似工程品検索の手法を提案し、実際に工場で曲げ加工された板金部品についてケーススタディを行い以下の結論を得た。

- (1) 板金曲げ加工における重要な要素であるセットアップ数を考慮にいたれた類似工程品の定義手法を提案した。
- (2) 曲げ面の接続関係による位相情報と、把持位置、掴み換え、および掴み換えのタイミングで評価される幾何情報を用いた統合的な検索手法を提案し有効性を確認した。
- (3) 本手法により検索される類似板金部品が工程設計の支援となる事を、実際に多数の設計を行い検証した。

文 献

- (1) Hoffmann, M., Geissler, U. and Geiger, M., Computer-aided generation of bending sequences for die-bending machines, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol.30, 1992, 1-2
- (2) C.Wang, CMU-RI-TR-97-35, September, 1997
- (3) 古口・青村・井越, 日本機械学会論文集(C 編), 66 巻 646 号(2000-6)
- (4) Ian Watson, *Applying Case-Based Reasoning*, Morgan Kaufmann (1997)
- (5) 山岡, 西田, 設計意図を考慮にいたれた事例ベースの設計支援, 信学論 A, No.2, 175~186 (1996)
- (6) 渡辺 他, 事例ベース推論によるプレス加工工程設計支援, 信学論 D-II, No.2, 340~348 (1995)
- (7) 行末, 古橋, 内川, 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, 電気論 D, 112-D, 7, 648~656 (1992)
- (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(平成 2 前期) 全大, 1526 (平 2)
- (9) 野沢健助, 板金図面の読み方・描き方, アシスト出版(1984)