



S Aomura

パターン認識による非干渉最適形状板金曲げ金型の 形状創生と DB 検索

青村 茂*

1. はじめに

近年、板金の曲げ加工は、熟練した技術者の作業からロボットによる作業におきかえられる等、自動化と効率の向上が急務となっている [1～5]。我々の研究グループではこれまで板金曲げ加工工程の自動生成の研究を行ってきた。

板金曲げ加工の工程設計において重要となる点として、個々の部品に対する曲げ順序の決定と金型の選定およびその交換時期と回数の予測があげられる。さらに複数の部品の曲げ加工を行う加工現場においては、部品の加工順序が生産効率に強く影響する。本研究では特に曲げ金型の選定と、複数部品の加工順序の決定に着目する。

曲げ金型は、個々の曲げ工程に応じて幾何的条件や力学的条件などから決定されるが、曲げ金型の交換作業は加工現場の負担が大きく、生産効率に影響する。そのため、一度装着した金型でできるだけ多くの部品を連続して曲げ、金型交換回数をできるだけ少なくするような金型選択が求められている。

本研究では、板金曲げ加工のシミュレーションにパターン認識の技術を取り入れることにより、板金曲げ加工工程における最適金型の選定および、金型の交換回数を少なくする複数の部品の加工順序を決定する手法を提案する。

2. 板金曲げ加工の金型

2.1 曲げ金型の形状

曲げ用の金型には、上型のパンチと下型のダイとがある。パンチとダイはそれぞれ断面形状によって分類される。パンチの分類は図 1 に示すように、大きな特徴で大分類が行われ (図 1 (a)～(e))、さらにその各分類の中で先端角度や取り付け高さなどで小分類がされる。それらは以下の特徴を用いて分類される。

(1) 逃げ形状：パンチには、曲げ部品の折り返しに必要な「逃げ」といわれる形状がある。曲げられる部品の形状はさまざま、それに応じて要求される「逃げ形状」も異なる。おもな金方の逃げ形状は、90° 曲げのボトムング金型 (図 1(a))、サッシ業界に広く用いられるサッシパンチ (同図 (b))、グースネックパンチ (同図 (c))、エアベンディング用の金型 (同図 (d))、鋭角、左右対称の部品形状に適用する真剣パンチ (同図 (e)) などである。

(2) 先端角度：代表的なパンチの先端角度は、鋭角曲げ用の 30°、45°、直角曲げ用の 60°、88°、90° がある。

(3) 取り付け高さ：パンチの先端から取り付け部分までの

高さを取り付け高さといい、65、67、70、90、95、104、105 mm の 7 種類がある。一方、ダイは溝の形状と溝の数で分類され、V 溝 1 つのダイである 1V ダイ、2 つの 2V ダイ、そして、角溝 3 つのダイである 3U ダイ等が使用される。

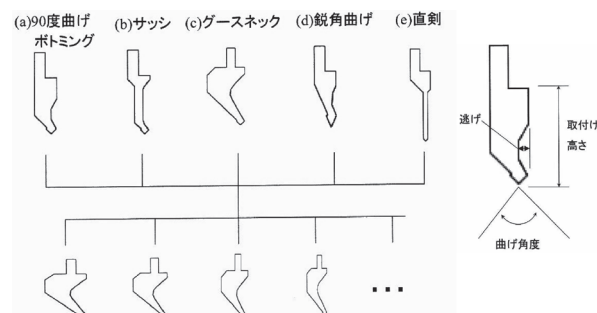


図 1 曲げ金型の大分類と各寸法による小分類

2.2 曲げ加工工程における金型決定

板金部品の曲げ加工において、曲げ金型はパンチとダイの組み合わせ、機械の仕様、曲げ順序および保証耐圧などに基づいて決定される。選定される曲げ金型は、最終的には 2.1 節の条件によって板金加工機のメーカーが標準金型として用意したものの中から条件にあったものを選定することが殆どである。もし条件に合う金型がない場合には、特殊型または特型と呼ばれる金型を新規に製造する必要がある。加工のコストが増加することとなる。そのため、板金の工程設計の作業者は、すべての標準金型の断面形状を、寸法を含めて覚えている必要がある。現場において加工をおこなう作業者は、条件にあった加工をおこなうために、同様に多様な曲げ金型の断面形状を把握し正しい取り付けをおこなうことが要求される。

3. 曲げシミュレーションを用いた曲げ金型の選定

曲げ工程に応じた金型の選定には、パンチとダイの組み合わせ、機械の仕様、曲げの順序および保証耐圧などのさまざまな要素が含まれるが、本研究では主に板金の曲げ加工の途中および最終形状と曲げ順序に着目する。選定される金型は、全ての曲げ工程において板金の折り返し部分との干渉が起きないように形状でなければならない。このような金型の選定は通常、各曲げ工程における板金の曲げ形状を作図し、そこに金型のモデルを重ね合わせ、個々の部品に対して試行錯誤的に干渉判定を行って結果を得る。このとき経験豊富な工程設計者は、板金形状と曲げ順序のパターンによってほぼ最適な金型の形状を予測できるため、効率よく工程設計を行うことが出来る。しかし、作業に熟

*首都大学東京大学院システムデザイン学部 教授

練していなかったり、板金の曲げ形状が複雑に入り組んでくると、カンと経験だけでは効率のよい金型選定はできない。本章では鋳型マッチングによる金型形状の照合に基づく板金曲げ加工シミュレーションを行って最適の金型を選定する方法について説明する。

3.1 金型選定手順

板金曲げシミュレーションを行い以下の手順で、最適金型の選定を行う。ここでは個々の板金部品の形状と曲げ順序はすでに与えられているものとする [2, 3]。

(1) 金型データベースの作成と金型の登録

選択の対象とする金型を、金型番号と金型形状で管理するデータベースを作成し、それにすべての断面形状を含む金型のデータを登録する。

(2) 基本金型形状の作成

(1) で作成したデータベースから、全ての金型の形状を検索し、先端を合わせて重ねあわせた概形を基本金型とする (図 2(a))。

(3) 非干渉領域の作成

曲げシミュレーションを行い、(2) で作成した基本金型形状から干渉領域を削除し、非干渉領域形状を作成する (図 2(b))。

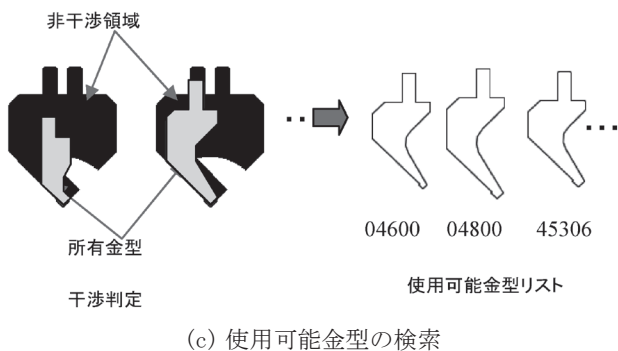
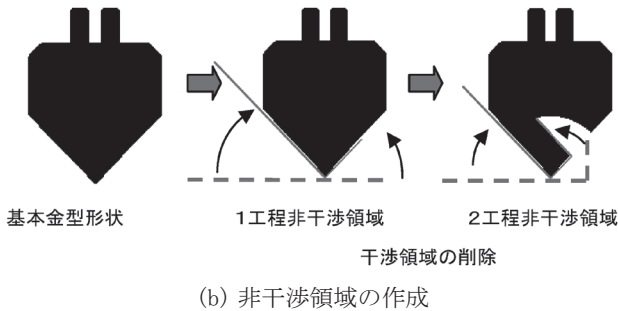
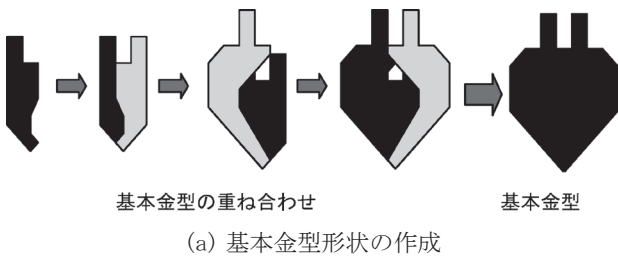


図 2 曲げシミュレーションによる使用可能金型選定

(4) 使用可能金型番号の選定

(3) で作成した非干渉領域形状に、データベースに登録

された全ての金型を順次重ね合わせ (図 2(c)), すべての使用可能金型番号のリストを作成する。

(3) および (4) で述べた手順に従って、対象となる部品の曲げ順序に従って曲げシミュレーションを順次実施し、各曲げ工程での使用可能金型リストを作成する。ここで得られる使用可能金型リストは、その曲げ工程よりも前の曲げ工程全てに共通した使用可能金型リストとなる。曲げシミュレーションを行い、工具と部品間で干渉が生じた場合には、干渉する領域を順次基本金型形状の領域から削り取る。曲げシミュレーションが進行し、干渉が生ずるたびに干渉領域が削り取られ非干渉領域の面積が減少していくので、工程が先に進むほど使用可能金型の種類や数も減少する。そしてある曲げ加工工程の途中で、何らかの干渉により金型の領域が削り取られて形状の一部が“切れ”たり、あるいはもはや金型の形状を成さなくなると該当する金型がなくなった場合には金型の交換となる。この場合、非干渉領域形状を最初の基本金型形状に戻し、金型交換となった曲げ工程から曲げシミュレーションを再開する。図 3 には本手法をある 4 曲げの板金部品に適用した例を示す。最初の曲げでは使用可能金型件数は 88 件であるが、工程の進捗とともに 35 件、22 件、8 件と減少していくのがわかる。この例では干渉する部分が削り取られて形状の一部が“切れ”たり、金型の形状をなさなくなるとの金型交換は発生しない。そしてその部品に対して全ての曲げ工程の終了時点で、最終使用可能金型リストに残った金型の中で最適な金型を選定する。(もし金型交換が発生した場合にはその時点での金型も含める)。通常金型選定で用いられる保証耐圧などの各要素から選定を行う [6]。また加工現場では使用頻度の高い金型が優先されるなどの特別な事情なども発生する。

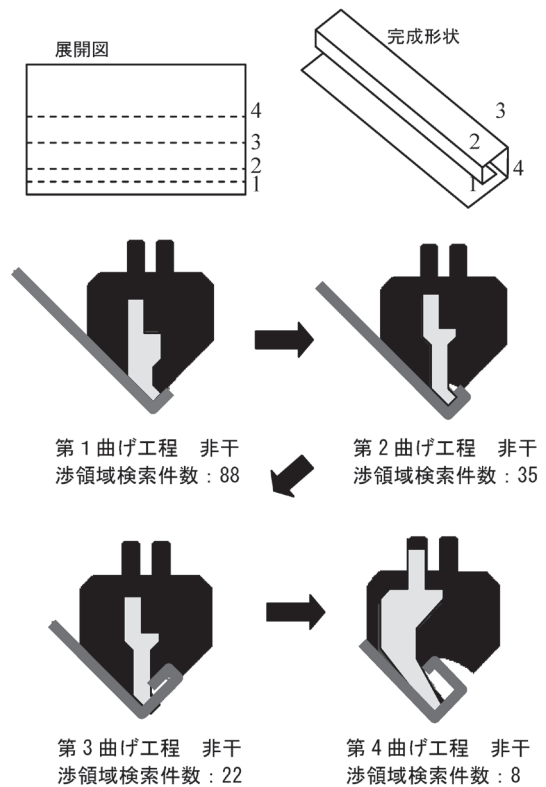


図 3 一連の曲げ工程と使用可能金型数の減少

3.2 複数部品の曲げ加工工程への適用

前節で単体の部品に対して行った曲げシミュレーションによる金型の選定手順を、今度は複数部品の曲げ加工に適用する。まず最初のケースとしては複数の部品を予め決められた順序で加工する場合を想定する。個々の部品に対する曲げ順序はすでに与えられているものとする。全部品の一連の曲げ工程に対して、個々の部品の曲げ順序を意識せずに曲げシミュレーションを行うことが出来る。その結果、複数部品の予め決められた加工順序に対して、金型選定と、金型交換のタイミングを決定することができる。図4および図5には部品の加工順序の変更をしない場合の使用可能金型リストの作成手順を示す。

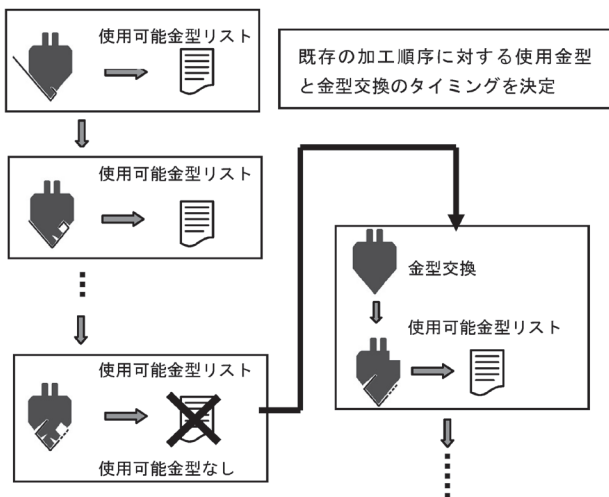


図4 使用可能金型リストの作成（加工順序変更なし）

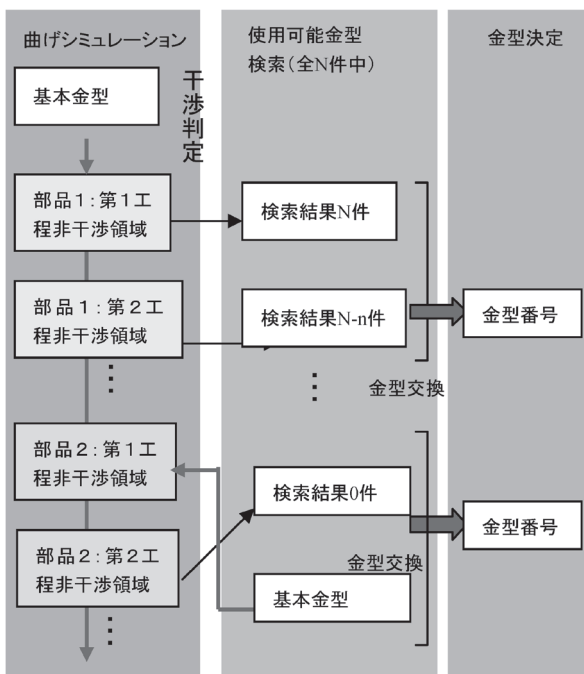


図5 使用可能金型リストの作成（加工順序変更なし）

3.3 複数部品の最適加工順序の決定

これまで複数部品の一連の曲げ加工工程において、各部品に対して予め定められた加工順序に対する金型選定と金型交換のタイミングを決定する手法を述べてきた。しか

し、曲げ加工の現場において金型交換は大きな負担であり、生産効率に大きく影響するので、金型交換回数を最少にするような部品の加工順序を決定することが重要である。ここでは曲げシミュレーションにより適切な金型選定を行いながら、動的に部品の加工順序を決定していく手法を提案する。但しここでいう最適とは、現実の制約を考慮に入れ、逐次的に最良の解をアルゴリズムとして選択しているが、全体として指標となる汎関数を用いてその最小化を計っているわけではない。

複数部品の加工順序の決定は、以下の手順で行う。ここでは個々の部品の曲げ順序はすでに与えられているものとする。

(1) シミュレーションの実施と使用可能金型リストの作成

すべての部品に対し、それぞれの曲げ順序に従って曲げシミュレーションを行い、使用可能金型のリストを作成する。使用可能金型の件数が最も多い部品を、最初に加工する部品として選択する。ここで、その部品に対する最終的な非干渉領域形状を保存しておく。

(2) 最適加工順序の決定

残りの全ての部品に対し、それぞれに曲げシミュレーションを行う。ここで、曲げシミュレーションは(1)で保存した非干渉領域形状から開始する。そして、使用可能金型の件数が最も多い部品を2番目に加工する部品として選択する。また同様に、残りの全ての部品に対し、それぞれに曲げシミュレーションを行う。ここで選択した部品に対する最終的な非干渉領域も保存しておく。ここでもまた、保存した非干渉領域形状から曲げシミュレーションを開始する。そして、その時点で使用可能金型の件数が最も多い部品を3番目に加工する部品として選択する。

以上の手順を繰り返すことで、最終的にすべての部品の加工順序を決定する。途中で使用可能金型がなくなった場合は逐次金型交換となり、その場合には非干渉領域形状を基本金型形状に戻し、再度曲げシミュレーションを続ける。この手法により、部品順序の全検索を避け、効率的に部品の曲げ加工順序を決定することが出来る。(図6)。また、表1にわかりやすい例としてA～Eからなる5種類の部品の加工順序が、C→A→B→E→Dと決定される例を示す。表内の値はそれぞれの部品に対する使用可能金型の件数を示している。例えば加工順序2の部品を決定するときの値は、加工順序1の部品Cを加工したあと続いてそれぞれを加工したときの使用可能金

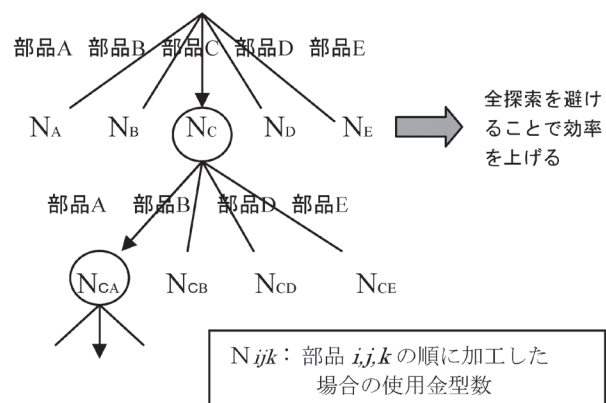


図6 複数部品の最適曲げ加工順序の決定

表1 複数部品の最適曲げ加工順序の決定

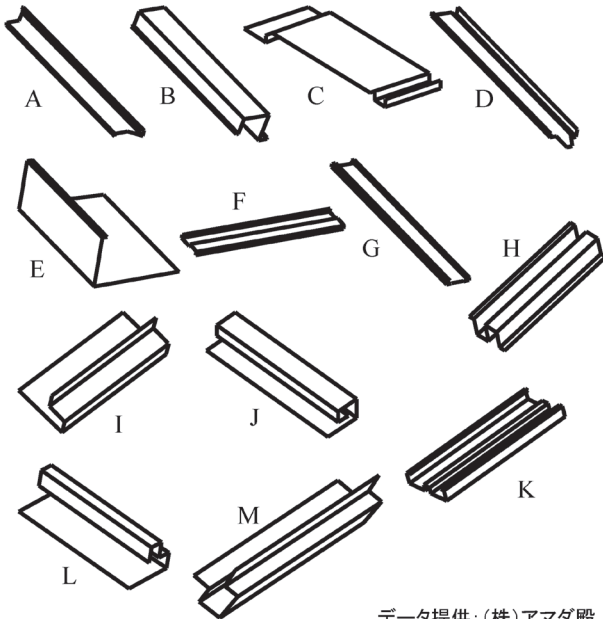
	部品A	部品B	部品C	部品D	部品E	最適順序	検索件数
加工順序1	60	40	80	20	70	製品C	80
加工順序2	50	30	-	15	40	製品A	50
加工順序3	-	20	-	10	10	製品B	20
加工順序4	-	-	-	0	0	金型交換	88
加工順序5	-	-	-	20	70	製品E	70
加工順序6	-	-	-	15	-	製品D	15

部品点数を5、全金型件数を88とした場合の各検索件数と加工順序

型の件数となっている。

4. 検証実験

3章で述べた手順に従ってさらに多量の板金部品に対して本手法を適用してシミュレーションを行い、使用可能な金型を検索すると共に、最適な部品の曲げ順序を求めその効果を見る。対象とする部品は図7に示されるA～Mの13種類、データベースに登録されたすべての使用可能な金型は88件である。表2にはまずそれぞれの部品に対してそれぞれ独立に曲げシミュレーションを実施し



データ提供:(株)アマダ殿

図7 実験に用いた板金部品

表2 各部品の使用可能金型件数一覧

	工程1	工程2	工程3	工程4	工程5	工程6	工程7	工程8
部品A	88	56	56	-	-	-	-	-
部品B	88	88	88	80	70	-	-	-
部品C	88	53	53	53	53	-	-	-
部品D	88	88	88	48	-	-	-	-
部品E	88	86	-	-	-	-	-	-
部品F	88	88	80	80	-	-	-	-
部品G	88	35	35	6	-	-	-	-
部品H	88	88	88	49	49	-	-	-
部品I	88	88	8	-	-	-	-	-
部品J	88	35	22	8	-	-	-	-
部品K	88	88	88	22	22	10	10	10
部品L	88	22	22	22	2	-	-	-
部品M	88	88	88	86	32	-	-	-



表3 一連の加工工程への適用（任意の加工順序）と金型交換回数

	部品	検索金型件数	金型選択例
1	部品A	56	10800(直剣)
2	部品B	52	
3	部品C	17	
4	部品D	13	
5	部品E	13	
6	部品F	10	
7	部品G	0→6	20100(サッシ)
8	部品H	0→49	10800(直剣)
9	部品I	0→8	45306(グースネック)
10	部品J	8	
11	部品K	0→10	20100(サッシ)
12	部品L	0→2	45306(グースネック)
13	部品M	0→32	10800(直剣)

金型交換

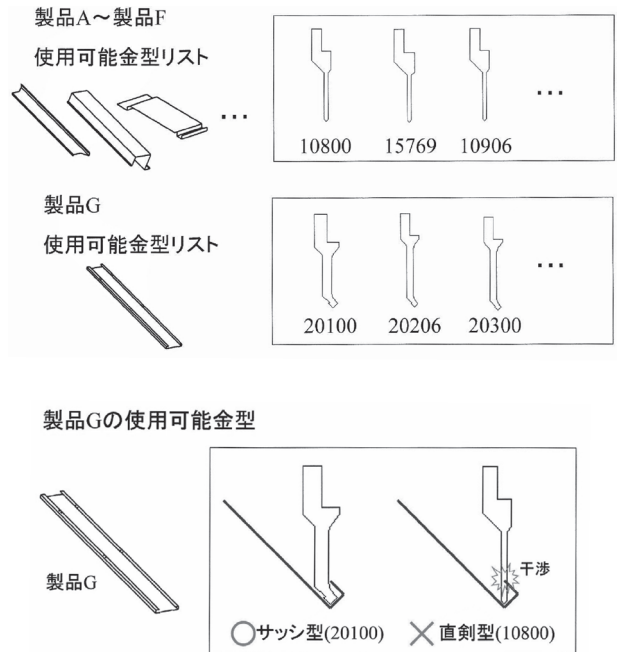


図8 具体的な部品と使用可能金型の例

た際の使用可能金型の件数を示す。部品Eがもっとも使用可能金型件数が多い部品、部品Lが最も少ない結果となっている。その結果を元に戻し、特に効率を考えずに部品をA, B, C, D, …, L, N, Mまでそのままの順序で加工する場合を考える。その場合、表3に示すように6回の金型交換を必要とする結果となる。次に本手法に従い、最適な順序で部品を曲げた場合の部品の加工順序と使用金型の例を表4に示す。本手法に基づいて求めた加工順序に従えば、金型交換はたった2回で済む。部品の数が少ない場合には、ある程度経験的に効率の良い部品の曲げ加工順序を決定できるが、このように部品点数が増えると、直感的に効率の良い加工順序を求めることが困難となり効率が悪くなる。表4を見ると直剣、サッシ、グースネックのグループに分かれている。図8には実際に選択された金型と部品を示す。結果の表だけから判断すると単純にグループ分けをすればよいように

表4 最適加工順序検索結果

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	選択部品	件数	選択金型例
1	56	70	53	48	86	80	6	49	8	8	10	2	32	部品E	86	10800 (直剣)
2	52	70	51	46	-	78	6	47	8	8	10	2	32	部品F	78	
3	44	62	51	46	-	-	4	47	0	0	10	0	32	部品B	62	
4	44	-	35	30	-	-	4	31	0	0	4	0	27	部品A	44	
5	-	-	17	13	-	-	4	14	0	0	0	0	23	部品M	23	
6	-	-	14	11	-	-	4	12	0	0	0	0	-	部品C	14	
7	-	-	-	11	-	-	0	12	0	0	0	0	-	部品H	12	
8	-	-	-	11	-	-	0	-	0	0	0	0	-	部品D	11	
9	-	-	-	-	-	-	0	-	0	0	0	0	-	金型交換	88	20100 (サッシ)
	-	-	-	-	-	-	6	-	8	8	10	2	-	部品K	10	
10	-	-	-	-	-	-	0	-	0	0	-	0	-	金型交換	88	45306 (グースネック)
	-	-	-	-	-	-	6	-	8	8	-	2	-	部品I	8	
11	-	-	-	-	-	-	2	-	-	8	-	2	-	部品J	8	
12	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	2	-	部品G	2	
13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	部品L	2	

も見える。しかし実際には、直剣，サッシ，グースネックのグループの中でも細かいサイズの違いがあり，一連のシミュレーションを実施しないとそれぞれの部品にどの金型が適しているのかは簡単には予測できない。本手法のような計算機を用いたシミュレーションによる方法では短時間で確実に最適な加工順序と曲げ金型の種類および金型交換の時期を決定できるので，現場でも簡単に利用でき，有効な手段となる。

5. 結論および展望

板金曲げシミュレーションを行い，金型選定および複数部品の加工順序の決定を行う手法を提案し，実験によりその手法の有効性を確認した。

現在，各曲げ工程における使用可能金型のリストから，最適金型の選定は行っていない。今後，耐圧，重量などを，金型選定の指標として用いることにより最適金型を決定することを考えている。

参考文献

- [1] 古口睦，青村茂，井越昌紀，「板金のロボット曲げ加工の工程生成自動化に関する研究」，日本機械学会論文集C編 66巻 646号，pp.330-337(2000)
- [2] S.Aomura & A.Koguchi, "Optimized Bending Sequences in Sheet Metal Bending by a Robot", CIM and Robotics Journal, Vol.18, No.1 pp.29-39, (2002)
- [3] 古口睦，青村茂，「板金のロボット曲げ加工の工程設計自動化に関する研究—精度を考慮した工程生成手法—」，精密工学会誌，Vol.68，pp.602-607(2002)
- [4] 見崎大悟，青村茂，「工程設計支援のための類似板金部品検索手法」，日本機械学会論文集C編 68巻 672号，pp.2486-2493(2002)
- [5] S.Aomura et.al. "Pattern Recognition by Hierarchical Feature Extraction", Journal of Robotics & Mechatronics", Vol.15, No.3, pp.278-285 (2003)
- [6] 曲げ金型 ABC, アマダ板金加工研究会編 (1993)