鋳バリ除去用工程設計システムの開発*

五百井俊宏** 仁科健治*** 福田好朗† 神田雄一†
バリ取りと仕上技術研究会††

The Process Planning System for the Deburring of Castings

Toshihiro Ioi, Kenji NISHINA, Yoshiro FUKUDA, Yuichi KANDA
and Society for the Research of BEST-J

The objective of this research work is to develop a process planning system for deburring of castings. In order to develop the system, the deburring processes and operations by manual and robot were analyzed by the motion analysis method. It was found that the correlations between the burr generation in the castings and the usage deburring tools existed. Furthermore, the correlation could be represented by use of the production rule which was a kind of knowledge representation methods. Based on the results, the expert system for process planning which was composed of production rules was developed. The system is able to decide the suitable deburring tools and their operation sequence for each burr by using the knowledge base. Result of this research work shows that the proposed system is useful for the deburring of castings.

Key words process planning, expert system, burr of castings, production rule, deburring robot

1. 緒 論

鋳バリ除去作業を含む鋳仕上作業では、作業者が騒音、振動、粉塵等の影響を受け、これらが他の生産環境に比較して極めて悪いために仕上作業の自動化あるいはシステム化を推進する必要性が叫ばれている。バリ取りや仕上作業の手順を決定する生産ソフトウェアの構築やバリ取り・仕上ロボットの導入がFMSに代表される生産システムなどにおける仕上作業の自動化を進める手段となるが、これらのことを実現するためには鋳仕上作業の実態を把握し、分析する必要がある。従来、バリ取りロボットの開発や仕上作業合理化に関連して鋳仕上作業の実態調査を行った研究^{1)~3)}やデパーリンクのデータバンクを利用し、適正なバリ取り条件を検索するシステムに関する研究^{4)~6)}は発表さ

れている。しかしながら、鋳バリ除去作業に関する体系的な研究がなされていないため、その工程設計システムに関する開発はほとんど行われていない。したがって、エキスパートシステムの構築により、鋳物製品の姿勢、工具の種類、バリの除去箇所等の仕上条件を出力することができれば、これをバリ取りロボットの動作決定に応用することもできる。

本研究では、鋳物製品の形状と鋳バリの状態などを考慮し、知識ベースを用いて自動的に除去工程を決定するシステムの開発を行った。まず、鋳仕上作業における工程設計の範囲を明らかにし、次に鋳仕上作業の実態調査を行い、その調査結果データの分析を行い既存のエキスパートシステムに適応するように知識の体系化を図った。さらに作業分析結果に基づき、鋳バリ除去用の工程を出力することのできるシステムの開発を行った。

2. 鋳仕上における工程設計の範囲

鋳バリ除去作業においては、実際には作業者がそれぞれの鋳物製品の状態によって工具の選択などを行っているが、機械加工に見られるような体系的な工程設計⁷⁾は行われていない。そこで鋳仕上作業者の作業分析結果を基に検討し、図1に示すような鋳バリ除去作業における工程設計の入出力関係を明らかにした。そ

* 原稿受付 昭和63年6月2日 昭和62年度精密工学会春季大会学術講演会(昭和62年3月27日)および昭和63年度精密工学会春季大会学術講演会(昭和63年3月16日および17日)にて発表

** 正会員 千葉工業大学(習志野市津田2-17-1)

*** 正会員 埼玉県鋳物機械工業試験場(川口市芝下1-1-56)

† 正会員 機械振興協会技術研究所(東久留米市八幡町1-1-12)

†† 木下直治(技術士木下直治事務所)、高沢孝哉(神奈川工科大学)、花岡忠昭(千葉大学)、堂前正起(下村電友舎)、柴田順二(芝浦工業大学)

Fig. 1 Process planning for deburring

して、それらの出力結果を得るための意志決定行為を工程設計と呼ぶことにした。なお、ここで用いられる工程とは、同じ工具と同じ鋳物製品の姿勢で行われる鋳バリ除去作業要素の集まりと定義する。

3. 鋳バリ除去作業分析

3.1 分析方法

バリ除去作業の分析においては、2種類の作業分析を行った。第一は鋳物製品における鋳バリの発生状況と除去工具の関連について調査を行った。第二は、図2に示すポンプケーシングを共通の対象鋳物製品として鋳バリ除去工程の分析を実施した。これは人手と6自由度を有する多関節型ロボット（安川電機製、Motoman-L 30 S）を使用した場合の両者のバリ除去作業内容の比較を試みたものである。これは、バリ除

Fig. 2 Identification of burr of the castings (Pump casing)

Table 1 A part of the survey results on the relationship between type of burr and tools

Type of burr Tools	Burr on the outer shape			Burr on the inner shape
	A	A	C	B	B
Rotary grinder	3, (4)	3, (4)	3, (4)	2, (2)	2, (2)
Disk grinder	2, (3)	2, (3)	2, (3)		
Hammer	1, (1)	1, (1)	1, (1)	1, (1)	1, (1)
Chipper	(2)				

() ; Greater than 2 mm (Burr width)

去のエキスパートが実際にバリ除去を行う工程とロボットによるバリ除去工程をそれぞれビデオテープに収録し、両手作業の分析⁸⁾により解析を行った。分析に当たっては特に工具の使用順序と保持方法、作業時間ならびに鋳物製品の姿勢および保持方法などに注目した。

3.2 バリ除去作業分析結果

表1は鋳バリの発生状況と使用工具の調査結果の一部を示したものである。横軸は今回調査した鋳物製品についてバリの発生位置別に分類したものである。縦軸はバリ除去に用いられた除去工具を示す。工具の使用順序を表す番号により、各々の鋳物製品の形状特徴とバリに対応する工具の選択とその使用順序が分かる。また、同一の工具により除去可能なバリ発生部の鋳物製品の形状特徴も分かった。図3は表1を基にバリの発生状況に関するデータを7種類（Aタイプ～Gタイプ）に整理し、各タイプで使用される標準的な工具と使用順序を示したものである。Aタイプは鋳物製品の表面とエッジに発生したバリ（ α ）とアングルを含む表面に発生したバリ（ β ）の状態を示す。Bタイプは溝あるいは穴の内部に発生したバリであり、バリの寸法により使用工具の種類が異なる。（1）はバリの根元の厚さが2 mm以下、（2）は2 mm以上を示す。Cタイプは曲面上のバリを示す。Dタイプは曲面を持つ溝部分に発生したバリを3種類（ α, β, γ ）に分類したものであり、バリの寸法により使用工具の種類が異なる。E, F, Gタイプはそれぞれ湯口、せき跡、そして砂が付着した表面を示したものであり、使用される工具は限定される。

3.3 ポンプケーシングにおけるバリ除去工程

図2は調査対象として採用したポンプケーシングであり、a～rはバリの発生位置を示す。表2は人手作業において、バリの位置と対応するバリのタイプおよ

それぞれのバリを除去するのに用いられた工具とその使用順序をまとめたものである。これにより、バリのタイプと大きさによる除去工具とその使用順序が分かった。図4は人手およびロボットによるバリ除去作業に要した全時間を作業項目別に時間分布で表したものである。この図から分かるように、人手によるバリ除去に要した全時間の平均は221sであった。このうち、実除去時間は158sで全工程の約72%を占めている。中でもディスクグラインダによる除去が多いが、これは今回の鋳物製品においてはバリタイプがAあるいはCのような外側に発生したバリが多いためである。人手作業における工具の交換や移動、さらに鋳物製品の

Fig. 4 Distribution of the processed time

Fig. 3 Classification of type of burr and tools

Table 2 Survey results on the deburring sequence of each burr (Pump casing: Fig. 2)

Location of burr	a	a'	k	• •
Type of burr	A	A	A	
Burr dimension (Height) (Thickness)	L	S	L	
	S	S	S	
Burr on the outer or inner shape	Outer	Outer	Outer	
Vertical axis for castings	Y	-Y	X	
Hammer			1	
Chipper				
Disk grinder	1	1	2	
Rotary grinder (Cylinder)				
Rotary grinder (Cone)				

L; Large, S; Small

Fig. 5 Deburring robot

姿勢の変更などの段取りに要した時間は63sで、全工程の28%を費やしている。他方、ロボットによるバリ除去作業では、人手作業工程を単にロボットに置換するのではなくロボットを用いた場合の最適と思われる工程によりバリ除去を実施した。図5にロボットによるバリ除去作業を示す。ロボットによるバリ除去においては、鋳物製品を保持するためのジグの準備が必要となる。工具は、既存の工具を用いることとし、ディスクグラインダとタガネの2種類とした。ロボットによる除去に要した時間は761sであり、実除去時間は740sで除去作業の97%を占める。但し、プログラミングおよびジグの設計製作に要した時間を除いたものである。バリ除去作業は人手の場合、一般に次のような工程をたどる。すなわち、最初に作業者の行う行為は、除去対象製品の設置であり、この動作は重要で作業効率に影響を及ぼす。専用の治工具が存在する場合はさほど問題とならないが、小ロットの場合には作業者の経験により製品の姿勢が決められる。バリ除去作業においてはおおむね次のような経験則が存在する。すなわち、

- (1) 同一面においては、大きいバリから小さいバリへ

- (2) 同一鋳物製品においては、外バリから内バリへ
- (3) 同一工具で除去可能なバリは、製品の姿勢の変更を行いながら全面を除去する。

一方、今回行ったロボットによるバリ除去工程は、高さ2mm以上のバリについては、まずタガネを使用し、次いでディスクグラインダにより一面ずつ仕上げる。2mm以下については、ディスクグラインダのみで除去する。

今回行った両者の作業分析からそれぞれの工程の差異が明らかとなった。更に、人手作業の場合には作業者の経験や柔軟性がメリットにもなりデメリットにもなる。ロボットの場合には、ほとんど実除去作業に従事していることからバリ除去作業自体はロボットの能力に大きく依存する。今回の調査結果では、ロボットによるバリ除去時間が人手作業のそれより長くなったが、これは用いた除去工具の能力が人手作業に用いた工具のほぼ70%程度であったことや必ずしも最適な除去工程でなされなかったことなどによる。鋳バリ除去用工程設計システムにより、最適な工具の選定および工程の決定がなされれば除去時間の短縮が期待できる。ロボットの場合には、人手と異なり連続作業に有利な点も認められる。但し、プログラミングあるいは治工具の設計製作等の占める作業時間は全除去作業に差異が生じる原因となり、ロボットによるバリ除去においては無視できない要因の一つである。

4. 鋳バリ除去用工程設計システムの開発

調査結果に従い、鋳バリ除去に関連するデータを整理すると、仕上目的、製品の形状、バリの寸法を入力することによりバリの発生タイプが分かり、それにより工具の種類と使用順序が決定できることが分かった。これらの関係を整理すると図6のようにプロダクションルールを用いて知識を表現することが可能である。そこで、それによる推論を用いたCAD-EXP (Computer Aided Deburring System with Expert System) を開発した。本システムの構成を図7に示す。なお、本システムの推論部は、既存のシステム EXSYS⁹⁾を用いており、多段階の前向き推論を行っている。本システムは、知識ベースに蓄えられた鋳バリ除去に関する知識(ノウハウ)に基づき推論を行い適正な工具の種類と使用

Fig. 6 Inference process for the expert system

順序を決定することができる。本システムにおいて使用されているルールの一例を図8に示す。これらの知識を用いてバリ単位ごとの工具を決定することができる。さらにその後、除去工程の集約を行うことができる。ここでの除去工程の集約とは、生産性の向上や作業のしやすさのために同一工具あるいは同一製品姿勢によって工程を集めることをいう。工程の集約の処理を表すブロック図を図9に示す。この処理を行うためにCAD-EXPでは、入出力データ処理およびシステムのファイル管理を行い、工具選択のための推論の繰返し処理を可能とした。ファイルに記憶されたデータは、目的に応じて処理され出力することができる。ロ

Fig. 7 System configuration of CAD-EXP

Rule Number:13

IF: (A TYPE)=10/100

and Burr Height is Less Than 2mm

THEN: (HTS) is Given the Value

$$((HTS)+((A\ Type)*0.8))-((HTS)*(A\ Type)*0.8)$$

and (TS) is Given the Value

$$((TS)+((A\ Type)*0.7))-((TS)*(A\ Type)*0.7)$$

and (HT) is Given the Value

$$((HT)+((A\ Type)*0.3))-((HT)*(A\ Type)*0.3)$$

and (S) is Given the Value

$$((S)+((A\ Type)*0.5))-((S)*(A\ Type)*0.5)$$

Fig. 8 An example of rule for expert system

Fig. 9 Process integration in CADs-EXP

ボットを用いる場合には、この出力データを基にロボット動作を決定することも可能である。

5. 検証結果

開発したシステムの有効性を検証するために実験を行った。図2で示した鋳物製品（ポンプケーシング）を検証対象とした。本対象は実態調査で用いたものである。各バリに対しても処理を行っているが、表3はポンプケーシングのa部に発生したバリに対する結果である。a部は仕上目的がバリ取りであり、鋳物の形状は箱型である。また、バリの寸法は2mm以上である。これらの入力データに対して、B,C,Aタイプのバリの形状特徴が推論され、それらのタイプから使用工具としてディスクグラインダが99.99%の確信度で得られた。他のバリの発生場所に対してもバリの発生状況に関する各種のデータを入力することにより、バリのタイプが分かり、その結果から除去工具の種類と使用順序が同様に得られる。入出力データを処理し、工程の集約を行った結果、以下の出力データが得

Table 3 An example of output on selecting tools for a part of the castings

Qualifier, value	Objective of finishing is (deburring) Shape of castings is (box type) Burr dimension is (greater than 2 mm)	Vertical axis: Y
Type of burr	B type, C type, A type	Prob. 0.997 5
Tool	Disk grinder	0.999 9

Table 4 An example of output on selecting the location for deburring and tools

Location for the deburring	Kinds of tool	Probability
d	Disk grinder	0.999 9
d'	Disk grinder	0.999 9
e	Disk grinder	0.999 9
e'	Hammer, chipper, disk grinder, rotary grinder	0.979 3
i	Hammer, chipper, disk grinder, rotary grinder	0.979 3
j	Disk grinder	0.999 9
k	Hammer, chipper, disk grinder, rotary grinder	0.979 3
l	Disk grinder	0.999 9
n	Disk grinder	0.999 9

(Vertical axis; X)

Table 5 An example of output on selecting the location for deburring

Location for the deburring	Type of burr	Probability
e'	B type, C type, A type	0.997 5
i	B type, C type, A type	0.997 5
k	B type, C type, A type	0.997 5

(Vertical axis; X, Tool; hammer)

られた。表4は鋳物製品の姿勢を指定（垂直軸：X）した場合の処理結果であり、この姿勢でバリの除去可能な場所とそこで使用される工具の種類と使用順序がすべて出力された。鋳物製品の姿勢を変更した場合についても同様な結果が得られた。表5は鋳物製品の姿勢（垂直軸：X）と除去工具（ハンマ）を指定した場合の結果である。この場合には、e', iそしてkの3か所に発生したバリを除去することが可能である。バリのタイプとしては、いずれもB,C,Aであり、その結果からハンマが使用される確信度は99.75%となった。鋳物製品の姿勢と除去工具を変更した場合についても同様に結果を出力することができた。工具の選択に関しては、CADs-EXPを利用した場合の出力結果と実態調査結果を比較したところほぼ同じ結果が得られた。実際の鋳バリ除去作業では、作業者が適時集約方策を変化させるので、一概に比較はできなかった。

6. 結 論

鋳バリ除去用工程設計システムを開発した結果、以下の結論が得られた。

- (1) 鋳バリの実態調査から、鋳バリの発生状況を7種類に分類することが可能であり、さらに、その発生状況とバリ除去工具および使用順序に相関があることが分かった。
- (2) 人手によるバリ除去作業とロボットによる除去作業を把握することにより、両者のバリ除去工程の差異を明らかにすることができた。
- (3) 作業分析結果より、熟練作業者の鋳バリ除去工程の選択をルール形式の知識として表現することができた。
- (4) 以上の結果から、鋳バリ除去の工程設計システム (CADS-EXP) を開発した。本システムにより得られた除去工程は、鋳仕上の実態調査および作業分析から得られた工程とほぼ同じ結果を得た。

最後に本研究において、(株)寺門電機鋳造所、(株)安川電機製作所ならびに(株)吉田鋳工のご協力を得

た。ここに記して謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) M. Matsunaga et al.: High Speed Adaptive Control and High Performance Grinding Conditions for Deburring Robots, Proc. Int. Conf. Deburring and Surface Conditioning, (1985) 5-1.
- 2) 長田知朗ほか：デバリングロボットの基礎研究（第1報、鋳バリ除去作業の分析とロボット化）、昭和60年度精機学会秋季大会学術講演会講演論文集（1985）663.
- 3) Y. Kanda et al.: Aspects of Robotic Deburring and Finishing in Japan, Proc. Int. Conf. Deburring and Surface Conditioning, (1985) 5-63.
- 4) 松永正久ほか：マイコンによる最適複合仕上げ法の選択、昭和60年度精機学会秋季大会学術講演会講演論文集（1985）663.
- 5) T. Ioi et al.: Computer Aided Selection of Deburring Methods, SME Tech. Paper, MR 81-389, (1981).
- 6) M. Matsunaga et al.: The Connecting Link to Integration of Data Bank and FFS, Proc. Int. Conf. Prod. Engg., (1987) 761.
- 7) W. Eversheim & J. Schultz: Survey of Computer Aided Process Planning Systems, 1st CIRP Working Seminar on CAPP, (1985) 1.
- 8) 藤田彰久編著：IEの基礎、好学社（1974）.
- 9) EXSYS ユーザズマニュアル、ユーエスアールインターナショナル株式会社（1987.7.1）.

63 年度機械振興協会賞決定

機械振興協会（会長・岩田武夫氏）は、このほど63年度の機械振興協会賞を決定した。

同賞は機械工業技術に関する研究開発、機械工業における新製品の開発、製品の品質性能の向上などで顕著な業績を上げた企業および研究開発担当者を表彰する制度である。

23 回目の今年度は機械工業関係団体や学会、協会から41 件の業績が推薦され、川田正秋東大名誉教授らの審査委員による審査の結果11 社11 件の受賞が決定した。

受賞対象は次のとおり。

▽アミノ「コンピュータ制御による対向液圧成形機」＝金属薄板成形加工において、従来の金型による成形に比べ限界絞り比の向上、絞り成形工数を大幅に削減できるなどの特徴がある。

▽キャノン「カラーレーザコピーの実用化」＝世界で初めて独自のデジタルカラー画像処理技術とレーザビームプリンタ技術を結集し、カラーコピーニーズにマッチ

したカラーレーザコピーの製品化に成功した。

▽神戸製鋼所「ステンレス鋼用水平連鋳機の開発」＝二硫化モリブデンによる鋳型内潤滑を採用し、引抜き抵抗の減少と表面品質を改善するとともに、低段差プレーリング、高サイクル間欠引抜きおよび鋳型内電磁攪拌により水平連鋳特有の表層部欠陥の改善を図った。

▽庄田鉄工「五軸同時制御多機能複合ルータの開発」＝多種多様な木材加工に対応するため、1 台で高度な多くの機能を装備し、これをモジュール化することで、加工物の形状、寸法、生産量などに応じて最適に組み合わせ、汎用的な複合 NC ルータの構成を可能にした。

▽精工舎「ステップモータ駆動による自動露出プログラムシャッタの開発」＝次代のユーザーニーズにこたえ、新しいカメラのジャンルに対応する二焦点レンズ付きカメラおよびズームレンズ付きカメラに好適なステップモータ駆動による自動露出プログラムシャッタを開発した。

(p. 380 へ続く)