人工知能を利用した生産技術教育

Engineering Education for Manufacturing Technology using an Artificial Intelligence

五百井俊宏 松永正久 小林史明

Toshihiro IOI,

Masahisa MATSUNAGA

Fumiaki KOBAYASHI

本研究は、フレキシブル仕上げ加工システム (FFS) に関する技術教育システムについて述べたものである。本システムには、教育手段としてエキスパートシステムが導入されている。本システムを用いることにより、バレル研磨のための最適仕上げ加工条件、FFSのシステム構成、バリ取り技術に関するデータの分類方法、そしてバレル研磨機の仕上げ加工能力の限界値を仕上げ目的、材質、部品の形状と寸法、表面とエッジの条件等の入力データに対応して理解することができる。

知識ベースを用いたエキスパートシステムは、生産システムの分野において、非常に有効な教育手段であることが認められた。

This paper describes the engineering education system for a flexible finishing system (FFS). An expert computer system is introduced as the education tool. The optimum finishing conditions for barrel finishing, the system configuration of FFS, the classification method for deburring data and the limitation of finishing ability of barrel machines can be understood according to each input data: such as finishing objects, materials, shapes and dimensions of workpieces, surface and edge conditions and others.

It is found that the expert computer system using knowledge base is very useful for training tool in the fields of manufacturing system.

1. 結論

コンピュータ統合化生産システム (CIM)、フレキシブル生産システム (FMS)、そしてフレキシブル仕上げ加工システム (FFS) に代表される高度な技術を駆使した先進的な生産システムが多くの生産企業に導入されている。通常これらのシステムにおけるシステム構成、管理、そして実際の稼働条件の設定等は非常に複雑であり、その結果、多くのエンジニアは、統合化されたシステムを稼働するための新しい技術や機械の最適稼働条件等を学ばなければならない。

人工知能を応用した新しい教育システムが開発されれば、生産現場における多くの若い技術者や新人が、先進的なシステムに関連した高度な管理技術や先進的なシステム稼働条件をコンピュータシステムを利用することにより容易に理解することができる。従来、生産システムの分野におけるネットワーク技術を用いた工学教育に関

する研究⁽¹⁾⁽²⁾や多くの有益なCAIシステムに関する研究成果が報告されている。しかしながら、FFSにおける自動仕上げ加工システムのための人工知能を応用した技術者教育システムに関しては、ほとんど報告されていない。

本研究⁽³⁾の目的は、エキスパートシステムを用いて FFSのための技術者教育システム、特にバレル研磨に関する教育支援システムを構築することである。その結果、本研究で開発したエキスパートシステムを用いることにより、バレル研磨の加工条件の選択基準、FFSのシステム構成、バリ取りに関連するデータの分類法、各種バレル研磨機の限界仕上げ加工能力、そしてバレル研磨機とその他の仕上げ加工機械を組合わせて用いる複合仕上げ加工法等を学ぶことが可能であることが分かった。

2. 教育システムのシステム構成

図1にFFSのための知的教育システムのシステム構成を示す。教育システムは、バレル研磨のためのエキスバ

ートシステム, ロボットによるバリ取りのための工程設計システム, バレル研磨における部品とメディアの搬送支援システム, コンピュータ援用教育システムのためのネットワーク技術, そしてFFSスケジュールのためのソフトウェアから構成されている。本論文では, バレル研磨用エキスパートシステムによる知的技術者教育支援システムについて述べる。この支援システムを用いることにより, バレル研磨機を用いて機械部品の仕上げ加工を行う場合の適正な仕上げ加工条件を学ぶことができる。

図1 FFS用知的教育システムのシステム構成

3. バレル研磨のためのエキスパートシステム

3.1 バレル研磨データの分類

図2は, バレル研磨機を選択する場合の入出力データの組合せを示したものである。通常, これらの入力データに対する出力データは, 熟練作業者の知識や多くの実験結果により決定されており, 一般の作業者にとってその条件決定が極めて困難な作業である。そこで, 本研究では, 熟練作業者と同等の知識を有するバレル研磨用エキスパートシステムを構築し, 本システムを教育用支援システムとして大学や生産現場に導入することを目的と

図2 バレル研磨機選択のためのバレル仕上げデータの分類

した。表1は, 研磨目的と材質からバレル研磨機を決定するデータの一例である。例えば, 部品の材質がセラミックスであっても, 仕上げ目的がバリ取りやエッジ仕上げにより, 使用する研磨機の種類が異なることが分かる。表2-aは, 素地粗さと仕上げ粗さから研磨石の種類・形状・寸法を決定するためのデータ例である。この場合にも使用するメディアの種類や寸法が, 各バレル研磨機と部品の表面粗さにより異なることが分かる。実際には, 表2-bに示すデータ形式, すなわち決定表に変換してプロダクションルールの作成を行った。決定表は, コンピュータが各入力データに対する適正な結果を検索するツールとして用いられるもので, 本研究では, エキスパートシステムの補助システムの検索手段として用いた。表3は, 各入力データの分類例であり, 表4は, バレル研磨機の種類を示す選択枝の例である。いずれも各項目をバレル研磨に関する熟練技術者の意見を参考にしてコード番号で分類した。バレル研磨用エキスパートシステムのルールは, 表1から表4, およびその他バレル研磨データを含む各種判別データを基に作成することができる。

表1 バレル研磨機選択のためのバレル仕上げデータの一例

材 質	仕上げ目的	バレル研磨機
セラミックス	バリ取り エッジのR付け	回転バレル
		振動バレル
		遠心バレル
	表面仕上げ	回転バレル
		振動バレル
		遠心バレル
タングステン カーバイト	砂落とし	振動バレル
	鏡面仕上げ	遠心バレル
	エッジのR付け	遠心バレル
	表面仕上げ	振動バレル

表2-a 研磨石選択のためのバレル仕上げデータの一例

バレル研磨機の種類		回転バレル				
研磨前の表面粗さ		A	B	C	D	E
研磨石の種類	寸法	研磨後の表面粗さ				
三角形メディア	20, 30	A				
	15	B				
	10	B				
球状メディア	Φ 20	B				
	Φ 10	B				
	Φ 15	B				

表面粗さの程度, R_{max} , μm

A: $5 \mu m$ 以上 B: $5.00 - 3.01$ C: $3.01 - 1.71$
D: $1.70 - 0.81$ E: $0.80 - 0.31$ F: 0.30 以下

表2-b メディア選択のための決定表の一例

メディア : 軟鋼, 研磨前の表面粗さ : A		メディアの種類		
バレル研磨機の種類	S・R	T・M	S・M	G・M
回転バレル	A	●		
	B	●	●	
	C			●
	D			●

S・R : 研磨後の表面粗さ S・M : 球状メディア
T・M : 三角形メディア G・M : 砥粒メディア

表3 入力データの例

加工後の表面粗さ	1: A (5μm 以上) 2: B (5.00 - 3.01) 3: C (3.01 - 1.71) 4: D (1.70 - 0.81) 5: E (0.80 - 0.31) 6: F (0.30 以下)
仕上げ目的	1: バリ取り 2: エッジのR付け 3: 表面仕上げ 4: 砂落とし 5: 鏡面仕上げ
バリの厚さ	1: 0.05mm 以下 2: 0.05 - 0.10 3: 0.10 - 0.15 4: 0.15 - 0.20 5: 0.20 以上

表4 仕上げ加工機械の分類

1: 回転バレル研磨機
2: 振動バレル研磨機
3: 遠心バレル研磨機
4: 渦流バレル研磨機
5: ジャイロ研磨機
6: レシプロ研磨機
7: スピン仕上げ加工機
8: プラスト仕上げ加工機
9: ブラシ仕上げ加工機
10: 化学・電解研磨機
11: 化学・回転バレル研磨機

3.2 エキスパートシステムのシステム構成

図3に本研究で開発したバレル研磨用エキスパートコンピュータシステムを示す。プロセス1はデータ入力であり、プロセス2, 4, 5が適正なバレル研磨条件を決定することができるエキスパートシステムである。プロセス3はシステム全体の制御部である。プロセス6はバレル研磨に関する全ての出力データであり、システムを再試行させる場合には、プロセス1に戻ることができる。

図4は、図3のエキスパートシステムの検索原理をブロック図で示したものである。本システムは、黑板モデルを基に構築されたものであり、プロダクションシステムとフレームシステムの2種類の推論エンジンが導入されている。バレル研磨機の種類とそれらの加工能力に関しては、エキスパート1により学ぶことができる。各々の研磨機のためのメディアやコンパウンドの選択は、エキスパート4により検索可能である。メディアの寸法のような実際の仕様は、エキスパート5により決定される。エキスパート2と3は、各種知識の推論のための補助システムである。

図3 バレル研磨用エキスパートシステムのシステム構成

本研究では、エキスパートシステム構築用ツールとしてエクシス⁽⁴⁾を用いた。まず、エクシスの推論方法と結論となる選択枝の確信度の演算方法を決定する必要がある。本システムでは、プロダクションルールにより知識ベースを構築し、確信度を決定する方法として、-100~+100の確信度システムを採用した。これは分数で表され、分母は常に100となっており、0または100 (または-100)の値は、最終確信度として固定されないものである。また、確信度の演算方法としては、独立型を採用した。これは成立した二つのルールにAとBの確信度を持った結論 (選択枝) が存在する場合、その最終確信度Cは、

$$C = (A + B) - A \times B \quad (1)$$

として求められるものである。また、本研究では、推論方法として前向き推論を採用し、各ルールの確信度は、バレル研磨の専門技術者にインタビューすることにより決定した。図5に作成したルールの例を示す。プロダクションシステムでは、IF部とTHEN部によりルールが

作られるが、TEHN部では、複数のデータにより作られることもある。実際に作成したルールは、総数で5,800となった。

図4 エキスパートシステムのシステム構成 (黑板システム)

ルールナンバ	: 162
IF :	
仕上げ目的は、バリ取りである。	
そしてバリの厚さは、0.05mm 以下である。	
THEN :	
遠心バレル研磨機	= 40/100
ルールナンバ	: 184
IF :	
材質は、セラミックスである。そして	
仕上げ目的は、鏡面仕上げである。	
THEN :	
遠心バレル研磨機	= 40/100
ルールナンバ	: 251
IF :	
注意点は、薄い部品である。	
THEN :	
セラミックス研磨石	= 40/100

図5 プロダクションルールの例

4. エキスパートシステムによる技術教育の実例

写真1は、エキスパートシステムによる技術者教育の検証実験に用いた自動車部品であり、図6は、この部品のエキスパートシステムへの入力データを示したものである。この加工部品の他に、それぞれフロッピディスク用センタコア、そしてカーエアコン用シャフト&ロータの加工部品を用いて技術者教育のための検証実験を行った。図7は、写真1の自動車部品のバレル研磨条件のた

めのエキスパートシステムからの出力結果の一部を示したものである。その結果、遠心バレル研磨機による2工程研磨が出力された。1工程目のコンパウンド (商品名で示されている) の種類が実験結果と異なったが、出力されたコンパウンドを使用することも可能であるため、妥当な結果といえる。研磨石に関しては、1, 2工程とも実験結果と良く一致した。このように、本教育システムを利用することにより、各種入力データに対応する出

写真1 加工部品の一例

加工前の表面粗さ	: C (3.00-1.7μm)
加工後の表面粗さ	: E (0.80-0.31μm)
エッジのR形状	: 0.201-0.300mm
注意点	: 注意点なし
仕上げ目的	: バリ取り, エッジのR付け 鏡面仕上げ
バリの厚さ	: 0.10-0.15mm
材質	: 鋼
生産量	: 20,000個/日
仕上げ加工場所	: 外側平板, 穴のエッジ
工作物の寸法	: 9x9x2

図6 エキスパートシステム検証実験のための入力データ例

仕上げ方法	: バレル研磨による2工程 (確信度 = 88%)
第1工程	: 遠心バレル研磨
研磨石	: 円柱状研磨石 寸法 = 30, 20, 15
コンパウンド	: LC-2 (確信度 = 64%)
第2工程	: 遠心バレル研磨
研磨石	: 球状研磨石 寸法 = 10, 5, 3, 1
コンパウンド	: HBC (確信度 = 40%)

図7 エキスパートシステムからの出力データ例

力データを得ることができるが、一方、完成されたシステムの利用のみでは、利用者が自ら技術や知識を習得することに対して受け身となり、教育システムとしては問題が残る。そこで、エキスパートシステムを利用した技

術教育システムでは、すでに構築されたシステムからのデータ検索の他、より信頼性のあるシステムへの改良や新しいデータの追加と更新、そして推論処理アルゴリズムの検討等を技術教育システムの一環として導入する必要がある。これにより、技術とシステムの両方を自ら考えることができる教育システムが可能となり、より大きな教育効果が得られると考えられる。

5. 結論

本研究では、人工知能の一分野であるエキスパートシステムを用いて、FFS用の技術者教育支援システムを開発した結果、以下の結論が得られた。

- (1) バレル研磨機による仕上げ加工の各種ノウハウデータを分類した結果、プロダクションルールとフレームシステムを用いて、バレル研磨に関する各種データを知識表現することができた。その結果、加工物の特性とその他のデータをエキスパートシステムの入力データとし、各種バレル研磨機とその最適加工条件を出力データとするバレル研磨用エキスパートシステムを構築することができた。
- (2) 本研究で開発した知識ベースは、専門家が所有するバレル研磨に関する複雑な知識を極めて忠実に表現することができるため、エキスパートシステムから出力された各種データを用いることにより、大学内に専門家がなくなりつつある生産技術分野において、本システムが有効な技術教育手段の一つとなると考えられる。
- (3) 本研究で開発した教育システムを用いて生産技術教育を行った結果、通常学生が大学内ではあまり経験することができない仕上げ加工部品の詳細な特性、多くの研磨機の加工能率と限界加工特性、そして人工知能を生産技術の分野に応用する手法等について学ぶことができたため、システム導入以前と比較して大きな教育効果が認められた。

参考文献

- (1) Y.Kanda et al: A Study on a Computer Assisted Education System for CIM Technology using Communication Network, Ptoceedings of ICCIM' 91, p47 (1991)
- (2) T. Ioi et al: Manufacturing Related Education in Japan, Proceedings of ASEE Annual Conference and Exposition, p1925 (1995)
- (3) T. Ioi et al: Engineering Training for Flexible Finishing System using an Expert Computer System, Proceedings of AESEAP'96, T3-5-1 (1996)
- (4) EXSYS Uses Mannual, ASR International Co., (1987)

(平成8年7月17日受付)

五百井俊宏

1969年 千葉工業大学機械工学科卒業

1976年 日本大学大学院生産工学研究科博士課程修了(工学博士)

1991年 千葉工業大学教授

松永正久

1941年 東京大学工学部卒業、工学部講師

1959年 東京大学生産技術研究所教授

1979年 同定年退官、千葉工業大学教授

1989年 千葉工業大学研究所教授(非常勤)

小林史明

1969年 早稲田大学第一法学部卒業
現職 株式会社チップトン代表取締役社長