

スピニングデータベースの試作

川井 謙一*

1. 緒言

スピニングは旋盤状の回転工作機械の主軸にセットしたマンドレルに板状または管状のブランクを取り付けて回転させ、へらまたはローラーを押付けながらマンドレルと同じ形状に成形する加工法であり、基本的には図1のような3種類の加工法に分類できる。主たる変形機構は、同図(a)の絞りスピニングでは壁厚減少を伴わない絞り変形、(b)のしごきスピニングおよび(c)の回転しごき加工(チューブスピニング)では壁厚減少を伴うしごき変形であるが、しごきスピニングでは材料がせん断を受けるのに対して、回転しごき加工では材料が軸方向に延伸されるという違いがある。このほかに、圧力容器や種々の管材の管端閉じを行うクロージング(ドーミング)、張出し加工のバルジング、管端部の拡管を行うエキスパンディング、底付き容器や管状体の一部分の直径を減少させるネックング、管端を広げてフランジを形成するフレアリングなどもスピニングの範疇に含まれる。また、トリミングローラーやバイトで縁部を切り落とすトリミング、縁巻きを行うカーリングやヘミング、口締めのためのシーミング、端部をビード状にして補強するためのリッジング(ビーディング、ひも出し)などの縁加工もスピニングの付帯加工に含まれる。

これらの加工法を適当に組合せて複合加工を行うことによって各種の回転対称形状が板材や管材から成形できる。また、ローラーの運動を主軸の回転に対して制御すれば、非軸対称形状の成形も

可能である。

スピニングは金属材料の塑性加工の中で最も古い加工法の一つであり、中世の絵画(図2参照)にもその片鱗がうかがえる。同時に、図2に見られるような什器、器物、装飾品の製造技術としての歴史的背景から、「スピニングは古典的なへら絞りで経験的な技能」というイメージが深く定着していた。しかし近年、スピニングはその加工技術と加工機械の進歩によって一般の機械工業、自動車産業、化学工業、宇宙航空産業、原子力産業などの各種機械部品や製品の加工に広く利用されるようになり、また多種少量製品の生産合理化やコストダウンの観点から、その評価が著しく高まってきた。

本稿では、スピニング加工技術のインテリジェント化のためのデータベースとその位置付けについて報告する。

2. スピニングのインテリジェント化

馬場²⁾は、国内におけるスピニング加工機械の普及台数と主要適用市場の推移について詳細に分析しているが、図3に示す自動スピニング機械の普及台数はスピニング加工技術の進展のパロメーターとみなせる。第一次オイルショック後における多種少量製品のニーズの台頭や従来の製造工程の見直し等に相俟ってスピニングの適用市場が変化し、同時に加工技術の可能性も著しく拡大されて前述の定着したイメージからの変質・脱却が積極的にはかれた。さらに、図3の第1次普及期から第2次普及期にかけてスピニング加工時の変形機構

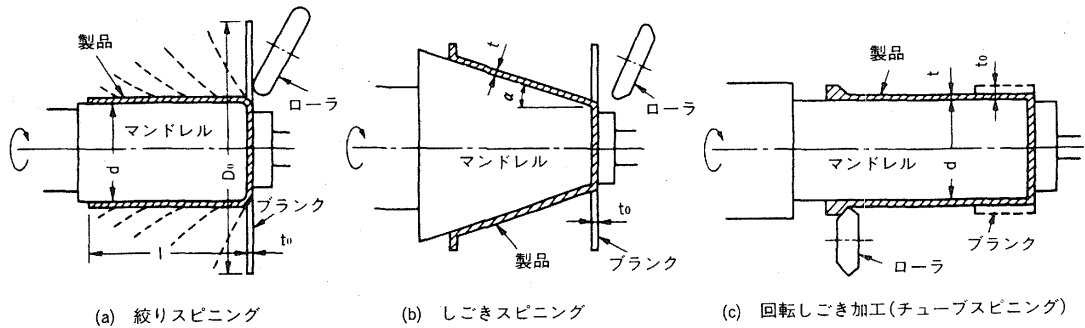


図1 スピニングの基本的加工法

や最適加工条件などが詳細に調べられ、その成果^{3)~6)}が我国における自動スピニング技術の普及に貢献した。

しかし、我国において自動スピニング機械というとき、数年前まではテンプレート倣い方式の自動機を意味しており、1967年にドイツでNCスピニング加工機が開発され、1970年代に入るとティーチンプレイバックシステム（今日ではPNC方式と呼ばれている）や8軸制御のマシニングセンターなど各種のCNCスピニング加工機が開発さ

れた欧米とは隔世の感があった。

スピニング機械の数値制御化の主な目的は、

- (1) 繰返し加工制度の向上
- (2) 段取り時間と加工時間の短縮
- (3) 多種少量生産への即応性
- (4) 熟練技能からの脱却

など全ての加工技術に共通するもので、従来の自動機械においても十分に対応できるものも多いが、スピニングにおいてはその加工技術の歴史的背景から、(3)、(4)などが数値制御機械導入時の



図2 スピニングを描いた中世ヨーロッパの木版画¹⁾

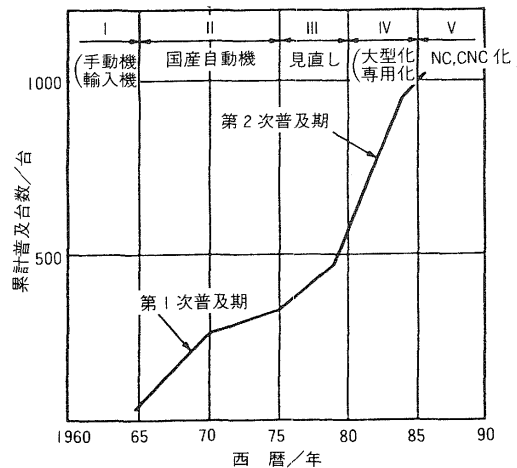


図3 自動スピニング設備の普及推移²⁾

重要なウェイトを占めることになる。スピニングにおける数値制御技術は、図4のように分類できるが、(a)のNC方式は古いタイプに属し、コンピュータ技術の急速な発展に伴い(b)のCNC方式、(c)のPNC方式(プレイバック方式)が現在の主流となっている。

CNC方式の例として、加工力を検出して適応制御を行うもの(図5)、加工力と表面状態を計測しながら適応制御を行うもの(図6)などがある。図5の場合は、しわ発生や壁部破断に対する規準を加工力として設定し、加工力を検出しながらパス経路、送り速度および主軸回転数などを適応制御している。また、図6の場合は、加工力のほかにローラーによるフィードマーク、回転方向の細かい筋や傷を検出しながら適応制御を行っている。従って、これら数値制御スピニングのフローは図7のようにまとめられる。

図5～図7を前述の図2と比較して眺めるとき、「スピニング加工技術はかくもインテリジェント化している」との感慨にふけるが、現実には図7の「NCデータ作成部」が全てに対応できるほど

完成されていないのである。スピニングにおいては、同一の寸法・形状の製品であっても材料が変われば、しわの発生条件、壁部の破断条件などが変化する。また、材料が同一であっても、製品の寸法・形状が変わればこれらの条件が変化するるので、一つの製品を欠陥なく加工できたとしても、その加工条件をそのままほかの場合に適用できないという難しさがある。とくに、多サイクルの絞り工程を含む場合は、そのパスサイクルの選定方法が熟練技術者の技術的ノウハウに大きく依存しているという現状がある。このような状況から、加工条件の選定が比較的容易なしごきスピニング、回転しごき加工における数値制御化が先行したが、この段階では従来の倣い方式におけるテンプレートをNC情報に置き換えたのみであり、比較的単純な形状の量産物に有効な手法であり、前述の(3)、(4)をクリアーできたとはいえない。

そこで、多種少量生産において熟練技術者の技術的ノウハウを最大限に利用するためにPNC方式が登場した。熟練技術者がジョイスティック(操作レバー)を操作して試し加工を行うが、そ

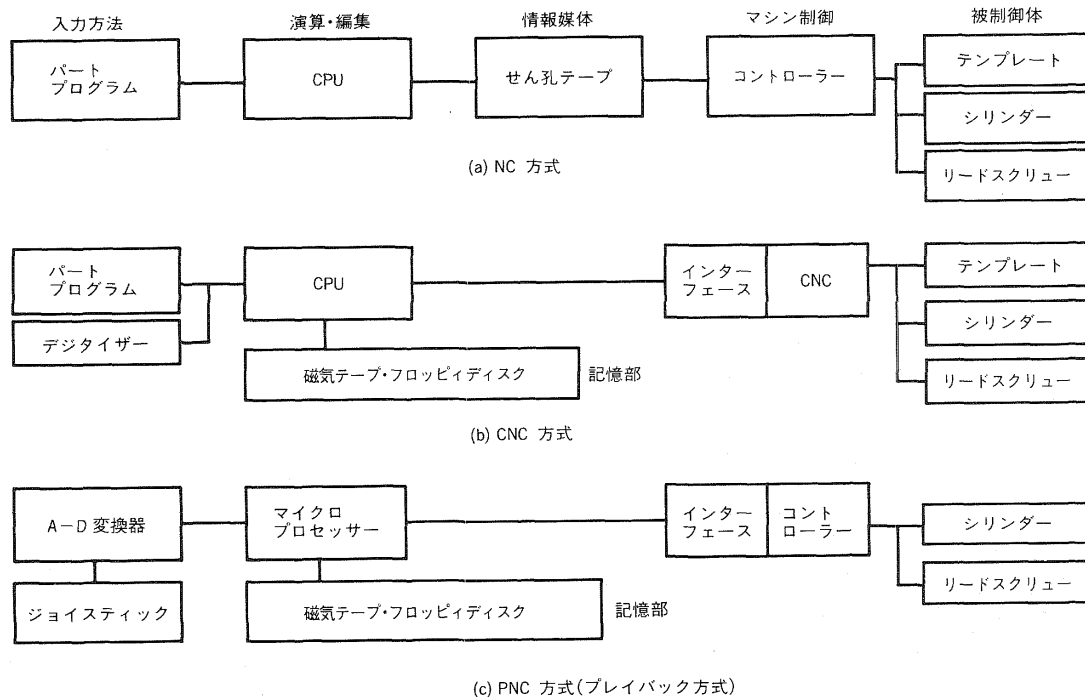


図4 スピニングにおける数値制御方式の分類⁷⁾

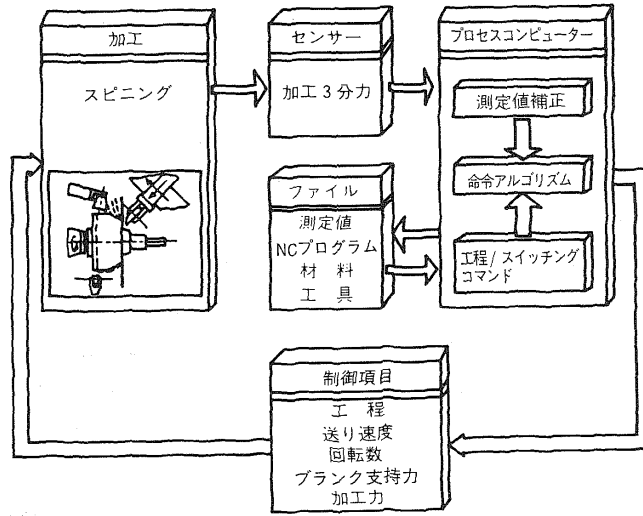


図5 加工力を基準とする適応制御⁸⁾

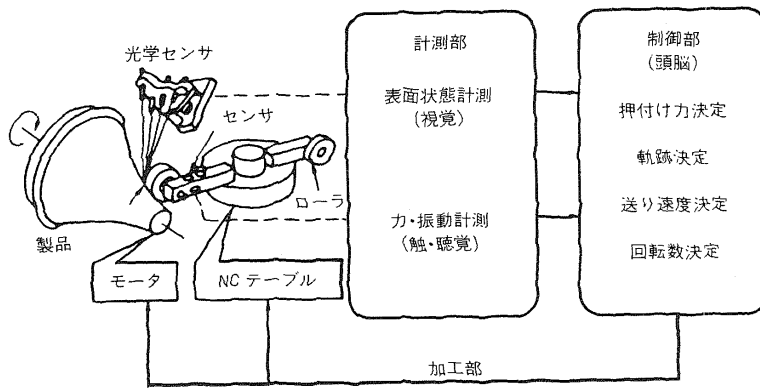


図6 加工力と表面状態を基準とする適応制御⁹⁾

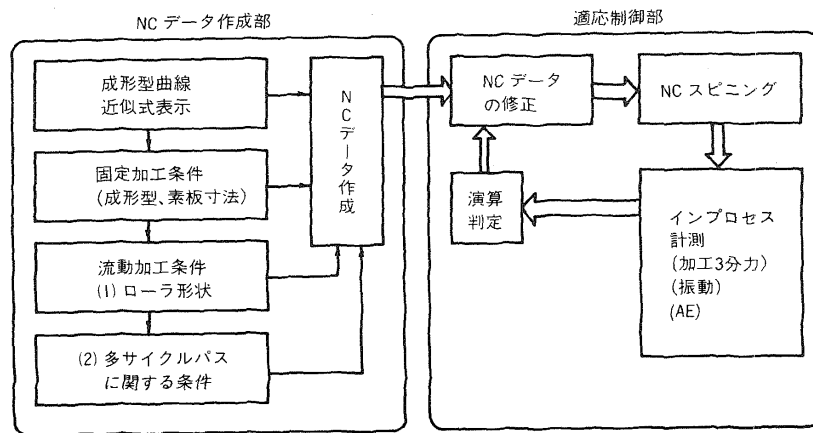


図7 数値制御スピニングにおける基本流れ図⁹⁾

の際のジョイスティック操作をデジタル信号化してフロッピーディスクや磁気テープに記録し、その記録を再生（プレイバック）して自動加工を行うというアイデアである。コンピューター技術の発展によって記録されたデータの編集が可能となったために、再生時（実際の加工時）の最適化が可能となってきており、再生時の操作は熟練技術者に頼る必要もない。熟練技能をそのまま利用できるという観点から注目を集め、国産のPNCスピニング加工機も開発されるようになってきている。

PNC方式の出現、また近年のコンピューター技術の進展に伴う数値工作機械の低廉化によって形式的には前述の（1）～（4）をクリアできたことになる。しかし、これはハードウェアとしてのスピニング加工機械のインテリジェント化であって、スピニング加工技術そのもののインテリジェント化ではない。即ち、現時点で達成されているのは図7の「適応制御部」のインテリジェント化であって、「NCデータ作成部」のインテリジェント化は種々の試みが開始されたという段階である。また、図6のシステムは、熟練技術者の視覚、聴覚、触覚を光学センサーと加工3分力センサー（兼振動センサー）に置き換えることによって、ハードウェアを用いてフィードバックすることで適応制御しており、熟練技術者の感覚とそれに対する加工時の対応をハードウェア上で実現していることになる。

一方、通常のパススケジュールの決定方法について考えてみる。材料と製品の寸法・形状が与えられたとき、加工中にしわ、破断等の欠陥や盛りがりのような非定常変形を生じないようなパススケジュールを選定する必要がある。例えば、加工中にしわが発生する場合には、ブランク1回転あたりの加工量を小さくするようにローラー送り速度やブランクを取付けてある主軸回転数を調整する必要があるが、薄肉の回転しごき加工では逆にローラー送り速度が小さ過ぎるとしわを発生する可能性がある。また、仮にこれらの加工中の欠陥を生じないように一つのパススケジュールを選定したとしても、形状精度、寸法精度、表面仕上げ

等の製品に対する要求を満たしているとは限らない。従って、全ての要件を満たし、同時に最小のパス回数で加工できるような最適パススケジュールを選定する必要がある、経験に基づいた試行錯誤によって決定されているのが実情である。即ち、このようなパススケジュール決定手順に対する最適パススケジュールの自動決定システムの確立が、「NCデータ作成部」のインテリジェント化である。

加工機械を数値制御化したとしても、最適パススケジュールを決定するための手順を従来通りに行わなければならないとすれば、単にテンプレートを数値化したに過ぎず、問題の本質は未解決であり、真の意味での加工技術のインテリジェント化には程遠い。即ち、最適パススケジュールの自動決定システムの開発が急務であり、これを支援するためのパススケジュールの数式化とパスプログラミング手法の提案^{10)~12)}、過去の加工事例のファクトデータベース化^{13),14)}、知識データベースの構築の試み¹⁵⁾などが行われつつある。

3. 加工事例のファクトデータベース

過去の加工事例は経験に基づく技術の集積であり、最適に近いパススケジュールの一つであると考えられる。過去の加工事例に関する蓄積があるとして、図8に示すような製品形状が与えられたときのパススケジュールの決定手順を考える。まず最初に全く同一の形状の加工事例が既に存在すれば、そのままのパススケジュールが利用できる。同一形状の事例が存在しなければ、それと似た形状の事例を探すことになる。一般に多種少量生産の場合は、製品の種類（名称）が同じであれば形状が似通ったものが多い。従って、製品毎に加工事例がファイリングしてあれば、該当するファイルの中から最も似通った事例を探し出し、その事例のパススケジュールを参考にしながら図8に対応するパススケジュールを作成して、数回のトライアルの後に最終パスが決定される。似通った事例から最終パスに至るまでの過程で、過去に蓄積されている技術的ノウハウが重要なウエイトを占め、選定されたパススケジュールは新たな事例としてファイリングされる。一方、似通って事例が

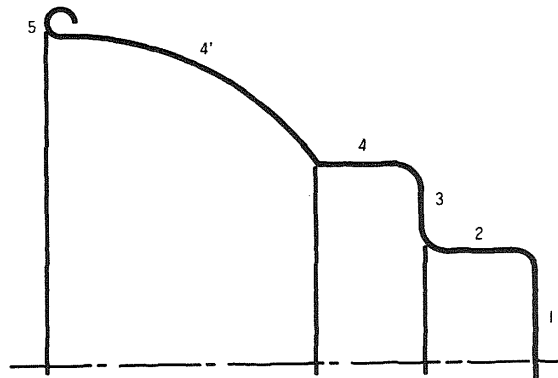


図8 スピニング製品の形状の例

なければ、部分的に似た形状の事例を探すことになる。この場合には、図8における2-3-4の部分の情報を知りたいこともあれば、3-4-4'が重要であることもある。また、1種類のファイルではなく、多くのファイルの中から探し出し、それらを組合わせてトライアルパスを選定することになるが、その組合せ方や重要な部分という見極めもまた技術的ノウハウに依存している。

このような過去の加工事例から所望の製品に対するパススケジュールの選定をするという手順を支援するために、過去の加工事例をファクトデータベースとしてコンピューターに登録し、より効率良く利用するための検索システムなどを検討した。過去の加工事例としては、公表されている⁴⁾約60件の事例を含む約100件の加工事例からなるファクトデータベースを作成した。

3.1 データベースの構造

試作したデータベースには、以下の項目が登録されている。

- ① 事例コード◎
- ② 加工品名◎
- ③ 製品形状◎
- ④ 材質名◎
- ⑤ ブランク形状◎
- ⑥ ブランク寸法
- ⑦ 主たる加工方法◎
- ⑧ 成形ローラー
- ⑨ ブランク回転数（主軸回転速度）

- ⑩ 加工時間
- ⑪ 加工手順
- ⑫ 注意事項

ここで、各項目の後ろに付した◎は、その項目をキーとする検索が可能であることを示している。

試作したデータベースの②加工品名の項目には、円筒、アキュムレーター、管楽器ベル等42種類の品名が登録されている。④材質名は15種類、⑤ブランク形状はプリフォームの加工法も含めて13種類、⑦主たる加工方法はしごきスピニング、多サイクル絞りスピニング、口絞り加工(ネッキング)等15種類が登録されている。⑧成形ローラーの項目には⑪加工手順に従って、トリミング、カーリング等の付帯加工用のローラーに関する情報も登録されている。⑫注意事項の項目には、文字通り加工する上での注意事項や当該の加工事例に対する技術的ノウハウなどが登録されている。③製品形状の項目には、コンピューターのディスプレイ上に製品の輪郭形状を描くために必要な情報や後述の図形によるフレキシブルな検索を可能とするためのコードが登録されている。

1加工事例あたり12種類の項目があり、加工手順やその注意事項も含まれているために、記憶すべき情報量はかなり大きいものとなる。大きい情報量と迅速な検索を両立させるために、検索専用の2種類を含む6種類のデータファイルを用いているが、処理速度を向上させるためにテキスト形式ではなく、バイナリー形式のデータファイルを

用いている。

試作したファクトデータベースはパーソナルコンピュータを利用し、当初MS-DOS上のBASICでプログラミングした。後述する種々の検索様式に対する動作を確認した後、構造化言語であるC言語でプログラミングすることによって処理速度が著しく向上し、データベースに登録される加工事例の件数の増大に対しても、実用上十分に対応できるものと確信している。

3.2 データの登録

①から⑫までの各項目のデータは、全てディスプレイ上に表示される指示にしたがって入力すればよいようにプログラミングされている。製品形状をディスプレイ上にグラフィック表示するために5種類の尺度から適当なものを選択すれば、その後は原寸で座標値、丸み半径、板厚などを入力すればよい。入力したデータは直ちにグラフィック表示されるから、誤入力はその場で訂正でき、また、一旦全データを登録した後にも、随時訂正や削除が可能である。

3.3 名称等による検索

①事例コードによる検索は、文字通り登録してある事例コードを直接入力することによって該当する加工事例を引き出すものであるが、一般的な検索時にはあまり用いない。

②加工品名、④材質名、⑤ブランク形状および⑦主たる加工方法による検索では、メニュー画面(A)で検索項目を指定すれば、該当する項目に登録されている名称等が全てディスプレイ上に表示されるので、目的とする名称等を選択すればよい。この選択によって、指定した名称等に該当する加工事例に対する①、②、④、⑤、⑦の5種類の項目のデータがディスプレイ上に表示される(B)。この時点(B)で一つの加工事例を選択すれば、加工手順等を記憶したファイルから該当する事例の⑥ブランク寸法、⑧成形ローラー、⑨ブランク回転数、⑩加工時間、⑪加工手順に関する情報が選択されて表示される(C)。同様にして、必要に応じて⑫注意事項に関する情報(D)、③製品形状(E)を順次ディスプレイ上に表示できる。

製品形状が表示されている時点(E)で、該当す

る加工事例のデータをプリントアウトすることもできる。(B)、(C)、(D)、(E)のデータを指定して必要なもののみを出力することもできるし、(B)~(E)の全情報の出力を選択することもできる。また、(B)~(E)の各時点ずつねに直前の画面に戻ることができる。即ち、(B)~(E)の各情報をその都度確認できるとともに、そのデータが該当しないと判断した時点で、(B)または(A)の画面に戻って検索を続行することができる。

3.4 製品形状による検索

試作したファクトデータベースの③製品形状の項目には、製品の輪郭形状の原寸データおよび製品形状を構成する全ての要素(図8の1~5)の板厚が登録されているが、試作した図形検索システムでは、寸法、板厚を無視して、製品形状を構成する要素の幾何学的パターンのみを用いて検索している。しかし、このことは、スピニングにおけるブランクおよび製品の寸法や板厚が加工条件やパススケジュールに及ぼす影響を無視することを意味するのではないことを強調しておく。即ち、試作した図形検索システムでは、寸法や板厚に無関係に幾何学的パターンが一致するものを検索する。検索で候補として挙げたものから対象を絞り込む次のステップで、候補をさらに絞り込むための基準に寸法や板厚を用いなければならない。これに対して、寸法、板厚も含めて幾何学的形状の一致するものを検索するのは、砂浜の中から1個の砂粒を探し出す作業に等しく、過去に全く同一の加工事例が存在しなければ検索できず、このようなものは前節の名称等による検索で容易に検索できるのである。製品形状による検索において大切なのは全てにおいて一致する事例を探し出すことではなく、似通ったものをまず候補として挙げることである。

図8の製品形状は幾何学的には9個の部分に分割できるが、点を直線および曲線の一種とみなして「直線+曲線」で1個の要素が構成されるという要素構成原理を採用すれば、図8は5個の要素に分割できる。ブランクの回転軸およびそれに直交する軸を基準軸として考えれば、ローラーの直線的な軌跡を表す有向線分は不動を意味する点(・)

表1 直線軌跡の分類

Symbol α	Path	Symbol α	Path	Symbol α	Path
0	•	3	←	6	↘
1	↑	4	→	7	↗
2	↓	5	↙	8	↘

表2 曲線軌跡の分類

Symbol β	Path	Symbol β	Path	Symbol β	Path
A	•	I	↻	Q	↻↻
B	↻	J	↻↻	R	↻↻↻
C	↻↻	K	↻↻↻	S	↻↻↻↻
D	↻↻↻	L	↻↻↻↻	T	↻↻↻↻↻
E	↻↻↻↻	M	↻↻↻↻↻	U	↻↻↻↻↻↻
F	↻↻↻↻↻	N	↻↻↻↻↻↻	V	↻↻↻↻↻↻↻
G	↻↻↻↻↻↻	O	↻↻↻↻↻↻↻	W	↻↻↻↻↻↻↻↻
H	↻↻↻↻↻↻↻	P	↻↻↻↻↻↻↻↻	X	↻↻↻↻↻↻↻↻↻

を含めて、表1に示す0～8の9種類に分類できる。また、ローラーが右から左に動くことを想定し、カーリング等による形状も考慮すれば、スピニングによる製品の曲線部分の代表的なものは表2のA～X程度の種類に分類できる。表2においても、点(•)は曲線要素の一種とみなしており、WとXは楕円の一部である。このとき、表1と表2の組合せ「 $\alpha+\beta$ 」によって1個の要素が構成されるとすれば、216通りの要素に分類できることになる。但し、たとえば「0A」や「3Q」などは起こり得ない組合せであるから、実際に存在する要素の数はもっと少なくなる。このような要素構成原理を用いて図8の製品形状の幾何学的パターンを表現すると、「1B-3E-1B-3W-0M」となって、5個の要素から構成されることになる。図8の4-4'の部分は、上述の構成原理によれば「3W」であるがスピニングにおいては4と4'を切り離して考える方がよい場合もある。このような場合には「1B-3E-1B-3A-0W-0M」と

6個の要素から構成されると考えればよい。5個および6個のいずれの場合も分類として重要であると判断されれば、製品形状のコード表現が異なる2種類の加工事例としてそれぞれデータベースに登録しておくのが望ましい。いずれにせよ、全ての製品形状は、

$$\alpha_1\beta_1\alpha_2\beta_2\cdots\alpha_n\beta_n$$

というコードの順列によって表現できることになる。

次にフレキシブルな検索を可能にするための検索パターンと検索レベルについて考える。2個の図形の「形状が似ている」という人間の判断は極めて曖昧な概念である。即ち、幾何学的パターンが完全に一致する場合は当然のこととして、直線部分の組合せのみが一致している場合でも「形状が似ている」と判断することがある。従って、この種の曖昧な要求に対してもフレキシブルに対処するためには、

- (a) 直線部分+曲線部分の一致
- (b) 直線部分のみの一致

(c) 曲線部分のみの一致

という3種類の検索パターンが必要となる。さらに、前述したように全ての幾何学的パターンではなく、「部分的な幾何学的パターンが似ている」という検索要求の方がむしろ一般的である。従って、与えられた製品形状の任意の要素レベル α_i を起点とする ($j+1$) 個の部分、

$$\alpha_i \beta_i \alpha_{i+1} \beta_{i+1} \cdots \alpha_{i+j} \beta_{i+j}$$

に似ているものが検索の対象となる。その際、検索されるデータベース中のデータにおいては、

$$(a) \alpha_k \beta_k \alpha_{k+1} \beta_{k+1} \cdots \alpha_{k+j} \beta_{k+j}$$

が検索の対象であり、一般に $k \neq i$ である。また、(b) および (c) の検索要求に対しては、

$$(b) \alpha_k * \alpha_{k+1} * \cdots * \alpha_{k+j} *$$

$$(c) * \beta_k * \beta_{k+1} \cdots * \beta_{k+j}$$

がそれぞれ検索の対象となり、*の部分は任意でよいことになる。

実際の図形検索の作業においては、指定した検索パターンと検索レベルに対して「似ている」と判断された候補の製品形状が、当初指定した製品形状とともに同一の画面上にグラフィック表示されるから、ディスプレイ上の形状比較で該当するものを選択すればよい。さらに、組合せ検索も可能のようにプログラミングされているから、2種類以上の検索条件を同時に満たすものを探し出すような絞り込みの作業も可能であり、検索パターンと検索レベルの段階的使用がとくに有効である。

このほかに、スピニングにおいては曲線部分を起点とする幾何学的パターンの組合せで検索したいという状況も起こり得る。この場合にも、起点が単に β_i に移動するだけであるから、上述の検索パターンと検索レベルの考え方はそのまま適用できる。また、コードの並び「 $\alpha_1 \beta_1 \alpha_2 \beta_2 \cdots \alpha_n \beta_n$ 」に対して、左側を起点として右側を終点とする昇順のコードパターンによる検索のほかに、右側を起点として左側を終点とするような降順のコードパターンによる検索要求、即ち、**図 8** で考えれば製品の右側から、および左側からの幾何学的形状の類似性に基づいた検索要求も生じ得る。試作したファクトデータベースでは、これらの全ての検索要求をサポートできるようにプログラミングさ

れている。

4. トラブル対策支援データベース

4.1 技術的ノウハウ(知識)の分類

スピニングにおける加工条件やパススケジュールを選定していく過程で、多くの実験結果や過去の経験に基づく技術的ノウハウが有効に利用されている。これらの技術的ノウハウは、加工中にトラブルを生じた場合にとるべき対策の一つであったり、製品の品質向上のための対策であったり、また、特殊な付帯加工を行う場合の留意事項であったりする。

公表されている資料^{3),4)}を詳細に分類すると、約290件が抽出でき、一つ一つがスピニングを行う際の技術的ノウハウに関する独立した知識とみなせる。これらの独立した知識を、加工中に生じるトラブルに関するもの、製品の品質向上に関するもの、加工に付随するいくつかの事項に関するものなどとして分類すると、24種類の項目に分類できる。さらに、

- I 加工方法(主たるスピニングの種類)
- II 加工中のトラブル対策、品質向上対策
- III ブランク(材質、プリフォーム形状)
- IV 加工状況(加工目的、特定条件下など)
- V 加工機械、工具、潤滑など

などの項目に対して、項目間に有意な関係が存在する知識として約160件が抽出できる。これ以外の約130件の知識は、

- ① ブランクの着脱
- ② テールストックの使用
- ③ 可動テンプレート(可動ゲージ)
- ④ 潤滑油、冷却剤
- ⑤ 熱間加工の採用
- ⑥ ローラーの形状、材質
- ⑦ ローラーの精度
- ⑧ マンドレルの精度、取付け
- ⑨ ブランクの設計、選定
- ⑩ 管材の偏肉の許容範囲
- ⑪ ブランク材質の異方性
- ⑫ アルミニウム、アルミニウム合金
- ⑬ 銅、黄銅

- ⑭ ステンレス鋼
- ⑮ 溶接部を含むブランク
- ⑯ トリミング
- ⑰ カーリング
- ⑱ その他の加工上の注意事項

などの項目には分類できるが、前述のⅠ、Ⅲ～Ⅴとの間に有意な関連や知識間に横のつながりが認められず、それぞれが単なる注意事項としての知識の羅列に相当するものである。

4.2 知識データベース

前節で分類した約290件の知識をデータとする知識データベースを試作した。この知識データベースはエンジニアリングワークステーションを利用し、PROLOG 言語によってシステムを構築した。但し、前節で①～⑱の項目に分類された約130件のデータは、単に分類された知識の羅列に過ぎないので、①～⑱の項目を指定すれば各知識が参照できる形式のデータベースとして、推論機構を含む知識データベースとは独立したものとした。

前節のⅠ、Ⅲ～Ⅴの項目と有意な関連があり、同時に知識間に横のつながりがある約160件のデータは、加工中のトラブル対策あるいは品質向上対策(Ⅱ)に関連して、以下の6項目に分類できる。

- (a) しわ発生防止対策(24)
- (b) 壁部破断防止対策(21)
- (c) ねじれ防止対策(15)
- (d) 盛上がり(ビルドアップ)防止対策(14)
- (e) 表面仕上げ向上対策(38)

(f) 寸法精度向上対策(47)

各項目の後ろの数値は、その項目に関連する知識を表すデータの件数である。

上述の(a)～(f)は、項目Ⅱが6個の小項目に相当し、各データが項目Ⅱのなかのどの小項目に所属するかを細分類していることになる。同様にⅠは4項目、Ⅲは10項目、Ⅳは11項目、Ⅴは7項目にそれぞれ細分類されている。従って、約160件の知識は、Ⅰ～Ⅴの全ての項目の18,480種類の組合せの中のある特殊な組合せに関する知識であることになる。一方、項目を特定できない場合もある。例えば、加工方法Ⅰの項目に対して、絞りスピニング、しごきスピニング、回転しごき加工など全ての加工法に共通した知識も存在し得る。そのような場合には、Ⅰの項目に関しては帰属を問わずに処理できるようにプログラミングしている。いずれにせよ、約160件の技術的ノウハウを表す知識データが想定し得る全ての加工条件の組合せに対して整理されたことになる。

加工中に生じるトラブル、あるいは製品の品質向上に対して、コンピューターのディスプレイ上に表示されるⅠ～Ⅴ項目の小項目を選択すれば、Ⅰ～Ⅴの全ての条件に合致したものが「主対策」、ⅠおよびⅡの条件のみに合致したものが「準対策」として図9のように表示される。図中で「主対策」が多いのは、ブランク材質や潤滑条件には無関係に適用すべき対策が多くあるからである。

「主対策」
(1) ローラー送り速度を小さくする。
(2) キャリッジの送り速度を遅くする。
(3) ブランク回転数を大きくする。
(4) バックアップロールを使う。
(5) 加工前に縁曲げを行い、ブランクの外縁円周を曲げておく。
(6) ローラー丸み半径を小さくする。
(7) とくに指定がなければ、ブランクを厚くする。
(8) n値の小さい回転曲げ抵抗の大きい材料にする。
「準対策」
(9) 往復絞りの場合、復路パスでは加工しない。
(10) 可動テンプレートの形状を工夫する。
(11) 可動テンプレートの移動ピッチの量を小さくする。

図9 マッチングによる対策表示の例

表示されている8件の「主体策」はそれぞれ独立にマッチングするものとして知識データの中から選択されているが、各対策は互いに独立な内容を表現しているのではない。例えば、(1)～(3)はいずれも「ブランク1回転あたりの加工量を小さくする」ことを意味しており、「加工機械の設定条件を変更する」ことに対応している。さらに、(1)～(3)の対策を施すことによって、「ローラー前面に環節を形成する」可能性があり、結果として加工中のフランジの剛性を高めることが期待できる。同様に、他の対策は「被加工物の剛性を高めること」などを意味しており、場合によっては「ブランク材質の変更」が対策の一つとなり得る。従って、表示された対策をいくつかの内容の共通する「共通対策」にまとめることができる。知識データの中にある約160件のデータは、大別すると24種類の「共通対策」にまとめ得る。但し、一つのデータが同時にいくつかの「共通対策」に含まれるのである。その際、各「共通対策」に含まれる際のウェイトに差がある。例えば上記の(1)～(3)の対策の場合、明らかに「ブランク1回転あたりの加工量を小さくする」ことには該当するが、その結果必然的に「ローラー前面に環節を形成する」とは限らない。そこで、各「共通対策」に含まれるウェイトを0～1のCF値(確信度、CF1)によって、数値化すればよい。

一方、図9に示された「準対策」は、I～Vの全ての条件には合致していないが、対策のヒントを与える可能性が含まれている。そこで、「主体策」には1、「準対策」には例えば0.7というCF値(CF2)を付すことにすれば、ウェイトの異なる対策群として一律に処理できることになる。即ち、指定された条件に対して、表示された対策がその条件下にある特定の「共通対策」に含まれるCF値は $CF3=CF1 \times CF2$ によって与えられることになる。

同一の「共通対策」に含まれるCF値は各対策毎に異なるが、それらの相加平均をとることによって、指定された条件下における「共通対策」のCF値(CF4)を評価することができる。このCF4に閾値を設定すれば、ある閾値以上の「共通対策」

が推論の結果としてCF4の値を伴ってディスプレイ上に表示される。この時点では、複数の「共通対策」が表示されており、CF4のCF値を参考にしながら、ユーザーが特定の「共通対策」を選択することになる。

この選択によって、例えば「ブランク1回転あたりの加工量を小さくする」という「共通対策」を指定したとすれば、前述の(1)～(3)の対策のみがCF3というCF値を伴って表示されることになる。その際、ユーザーは現状の加工条件の中で容易に変更し得る対策を(1)～(3)の中から、そのCF値を参考にしながら選択すればよいことになる。

4.3 今後の展開

前節では、I～Vの項目を細分類し、各知識の横のつながりを「共通対策」とそれらに付随するCF値で記述することによって、最終的にはCF値の演算で推論する方法を採用した。観点を変えれば、分類と抽出の過程ではクリスプな集合に対する演算を行い、推論の過程ではグレードが0～1の集合、即ちファジィ集合に対する演算を利用していることになる。従って、分類を含めてファジィ集合とその集合的演算であると解釈すれば、PROLOG言語を使用する必要もなく、パーソナルコンピューター上のC言語を用いてプログラミングが可能であり、実用性を考慮すれば後者の方が望ましい。

このほかに、加工時のトラブルに対して、材料の機械的性質や各種加工条件因子が静的ならびに動的なメンバーシップ関数として記述できることを前提にして、これらのパラメーターを数値として入力した場合に、一致度、近似度などファジィ集合の相似度に基づく推論、また評価項目の重要度のファジィ積分に基づく推論法などを用いたトラブル支援対策システムの構築¹⁶⁾なども試みたが、各種パラメーターがメンバーシップ関数として記述できるほどには定量化されていない現状ではこのシステムの実用化の可能性は少ない。

5. 結言

スピニング加工技術のインテリジェント化のためには、最適パススケジュールの自動決定システムの開発が急務である。本稿では、パススケジュール選定作業を支援するために試作した加工事例に関するファクトデータベース、加工時のトラブル対策ならびに製品品質向上対策に関する知識データベースについて報告した。これらのデータベースの開発は財団法人天田金属加工機械技術振興財団の研究助成(AF-88004)によって行ったことを付記するとともに、同財団に深謝致します。

参考文献

- 1) Brockhoff, E. H. : VDI Ber., 357 (1979), 125 など.
- 2) 馬場惇 : 塑性と加工, 29-324 (1988), 13.
- 3) 葉山益次郎 : 回転塑性加工学, (1981), 近代編集社.
- 4) 日本塑性加工学会編 : スピニング加工技術, (1984), 日刊工業新聞社.
- 5) 日本塑性加工学会編 : 回転加工, (1990), コロナ社.
- 6) 葉山益次郎 : 新回転加工, (1992), 近代編集社.
- 7) 齊藤正美 : 塑性と加工, 24-272 (1983), 894.
- 8) Finckenstein, E. v. & Kleiner, M. : Advanced Technology of Plasticity 1987 (edt. by Lange, K.), 2 (1987), 1187, Springer-Verlag.
- 9) 葉山益次郎 : 精密工学会誌, 58-6 (1992), 960.
- 10) 葉山益次郎・中村正彦・渡辺哲哉・浜野裕之 : 塑性と加工, 27-307 (1986), 1053.
- 11) 葉山益次郎 : 塑性と加工, 30-345 (1989), 1403.
- 12) 葉山益次郎・工藤洋明・村田崇彦 : 塑性と加工, 33-376 (1992), 510.
- 13) 川井謙一・澤野清輝・伊藤浩之 : 塑性と加工, 30-345 (1989), 1411.
- 14) Kawai, K. : Rotary Forming (edt. by Wang, Z. R.), (1989), 59, International Academic Publishers.
- 15) 川井謙一・岩澤敦 : 平成2年度塑性加工春季講演会講演論文集, (1990), 559.
- 16) 王宏青 : 横浜国立大学修士論文, (1992).