

マグネシウム合金プレス成形性と寸法精度に関する データベースの構築

山梨大学大学院 医学工学総合研究部 自然機能開発専攻

准教授 吉原正一郎

(平成 17 年度研究開発助成 AF-2005010)

キーワード：プレス成形，マグネシウム合金板，データベース，ファジィ推論，加工条件

1. 研究の目的と背景

マグネシウム合金はアルミニウム合金より軽くプラスチックより強いという利点から市場への利用拡大が求められている。マグネシウム合金の利用拡大は、軽量化という観点からエネルギー消費及び CO₂ の抑制につながり地球環境問題解決の一環と考えられる。

しかしながら、塑性加工においては、鋳造や射出成形に関するものが多く、薄板材のプレス成形性に関する研究報告はそれらに比べ比較的少ない¹⁾。また、マグネシウム合金は、n 値や r 値はともに大きいが深絞り性は悪い。したがって、それらの材料特性値からプレス成形性を定性的に評価・予測することは困難である。その上、常温において、すべり系は底面すべりに限定されるため、塑性加工のような大変形に対しては温間で加工される。常温では加工が難しいマグネシウム合金を、加工プロセス等により成形性や寸法精度の向上を図るためには、基礎データ群（データベース）を構築する必要がある。現状では、深絞り加工以外の板材成形の研究も行われているが、張出し性や伸びフランジ性に関する研究は少なく、それらを推論・決定するまでの充実したデータベースはない。

そこで本研究は、プレス加工に焦点を当て、これらの基礎実験データ及び FEM シミュレーション解析結果を蓄積したデータベースを構築し、プレス加工によって所望のプレス高さを得る加工条件を提示できるファジィ推論システムの開発を行った。また、異形状として角筒深絞り加工についても検討した。

2. 推論システムにおけるデータベースの構築方法

本報告書では、円筒深絞り、張出し、伸びフランジ及び角筒深絞り加工についてデータベースを構築した。データベースは実験結果及び FEM 解析結果により構築する。FEM 解析には、動的陽解法解析コード LS-DYNA3D を用いた。全ての解析モデルにおいて、ブランクはソリッド要素、パンチ、しわ抑え板及びダイはシェル要素・剛体とした。材料構成式は $\sigma = F\varepsilon^n$ を用いた。データベースの精度を上げるため、FEM 解析結果及び実験結果との比較し、FEM 解析結果を補正した。また、各加工において得られ

たプレス高さの結果をデータベースとして構築した。以下の実験で使用した供試材は、板厚 $t_0=0.5\text{mm}$ のマグネシウム合金板(AZ31-O)を用いた。

FEM 解析において材料の破断の判定は式(1)に示す延性破壊条件式²⁾を用いて、各加工におけるプレス高さの結果を得た。

$$I = \frac{1}{b} \int_0^{\bar{\varepsilon}_f} \left(\frac{\sigma_m}{\bar{\sigma}} + a \right) d\bar{\varepsilon} \quad \dots (1)$$

ここで、 $\bar{\varepsilon}_f$ は相当ひずみ、 σ_m は静水圧応力、 $\bar{\sigma}$ は相当応力、a 及び b は材料定数である。

2.1 円筒深絞り加工のデータベース構築方法

2.1.1 データベース構築用の実験及び FEM 解析条件

実験条件は、材料の直径 $D_0=60\sim 80\text{mm}$ 、板厚 $t_0=0.5\text{mm}$ 、加工温度 $T=100\sim 300^\circ\text{C}$ 、しわ抑え力 $\text{BHF}=2\text{kN}$ とし、潤滑剤は二硫化モリブデン(MoS_2)をブランクのダイ側に塗布した。加工工具はパンチ直径 $D_p=33\text{mm}$ 、パンチ肩半径 $r_p=4\text{mm}$ 、ダイ孔直径 $D_d=35.5\text{mm}$ 、ダイ肩半径 $r_d=3\text{mm}$ のパンチとダイを用いた。

Fig.1 に深絞り加工 FEM 解析モデルを、**Table1** に供試材の機械的性質を示す。FEM 解析条件は、直径 $D_0=60\sim 80\text{mm}$ 、板厚 $t_0=0.5, 1.0\text{mm}$ 、加工温度 $T=100\sim 300^\circ\text{C}$ 、しわ抑え力 $\text{BHF}=2.0\sim 5.0\text{kN}$ の各条件で行った。ブランク直径 $D_0=60\text{mm}$ では、総節点数 24,825、総要素数 17,600 とした。

2.1.2 円筒深絞り実験及び FEM 解析結果

Table2 に円筒深絞り加工実験により得られた深絞り容器の高さの結果を、**Table3** に実験及び FEM 解析結果を考慮して作成した板厚 $t_0=0.5\text{mm}$ 、温度 $T=100^\circ\text{C}$ におけるデータベースの一例を示す。

2.2 張出し加工のデータベースの構築方法

2.2.1 データベース構築用の実験及び FEM 解析条件

実験条件は、材料の直径 $D_0=70\text{mm}$ 、板厚 $t_0=0.5\text{mm}$ 、加工温度 $T=100\sim 300^\circ\text{C}$ 、潤滑剤として二硫化モリブデン(MoS_2)をブランクのパンチ側接触側のみ塗布した。工具は直径 $D_p=33\text{mm}$ の球頭パンチを用いた。

Fig.2 に張出し加工 FEM 解析モデルを示す。解析条件は、ブランク直径 $D_0=70\text{mm}$ 、板厚 $t_0=0.5, 1.0\text{mm}$ 、加工温度 $T=100\sim 300^\circ\text{C}$ 、しわ抑え力 $\text{BHF}=24\text{kN}$ の各条件で行った。

ブランクは直径 $D_0=70\text{mm}$, 板厚 $t_0=0.5\text{mm}$ とし, 総節点数 15,659, 総要素数 11,430 とした.

2.2.2 張出し実験及び FEM 解析結果

Table4 に実験により得られた張出し高さの結果を示す. また, **Table5** に実験及び FEM 解析結果を考慮して作成した板厚 $t_0=0.5, 1.0\text{mm}$, 各温度の張出し高さのデータベースを示す. これらのデータを基に加工条件を推論した.

2.3 穴広げ加工のデータベースの構築方法

2.3.1 データベース構築用の実験及び FEM 解析条件

実験条件は, 材料の直径 $D_0=70\text{mm}$, 穴径 $\phi 6\text{mm}$, 板厚 $t_0=0.5\text{mm}$, 加工温度 $T=100\sim 300^\circ\text{C}$, 潤滑剤として二硫化モリブデン(MoS_2)をブランクのパンチ側接触側のみ塗布した. 工具は直径 $\phi 3\text{mm}$ ・先端角 60° の円錐パンチを用いた.

Fig.3 に穴広げ加工 FEM 解析モデルを示す. 解析条件は, 穴径 $\phi 6, 10, 15\text{mm}$, 板厚 $t_0=0.5, 1.0\text{mm}$, 加工温度 $T=100\sim 300^\circ\text{C}$, しわ抑え力 $\text{BHF}=24\text{kN}$ の各条件で行った. ブランクは穴径 $\phi 6\text{mm}$, 板厚 $t_0=0.5\text{mm}$ とし, 総節点数 10,132, 総要素数 7,680 とした.

2.3.2 穴広げ実験及び FEM 解析結果

Table6 に実験により得られたフランジ高さの結果を示す. また, **Table7** に実験及び FEM 解析結果を考慮して作成した板厚 $t_0=0.5\text{mm}$, 各温度の穴広げのデータベースを示す.

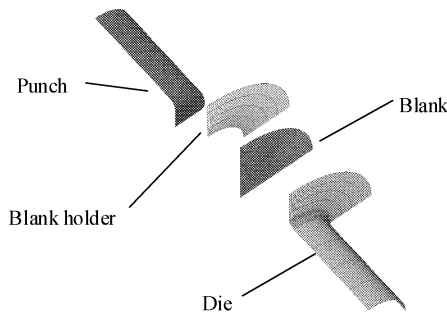


Fig.1 FEM simulation model of circular-cup deep-drawing

Table1 Material Properties of AZ31-O

AZ31-O	Temperature [$^\circ\text{C}$]		
	100	200	300
Modulus of Elasticity [GPa]	11.1	8.4	4.7
F value [$\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$]	411.4	194.2	88.2
n value	0.257	0.173	0.112
Density [kg/m^3]	1.78	1.78	1.78
Poisson's ratio	0.3	0.3	0.3

Table2 Experimental results in circular-cup deep-drawing

Thickness : t_0 [mm]		0.5		
Temperature : T [$^\circ\text{C}$]		100	200	300
Blank holding force : BHF [kN]		2.0		
Diameter : D_0 [mm]	60	8.32	—	21.01
	70	7.19	30.47	8.73
	80	6.23	—	7.46

Table3 Example of database for height of drawn-cup(of $t_0=0.5\text{mm}$ and $T=100^\circ\text{C}$)

Thickness : t_0 [mm]		0.5		
Temperature : T [$^\circ\text{C}$]		100		
Blank holding force : BHF [kN]		2.0	3.5	5.0
Diameter : D_0 [mm]	60	8.32	8.77	8.75
	70	7.19	7.39	2.00
	80	6.23	6.23	5.98

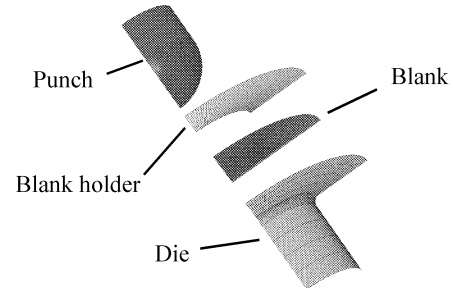


Fig.2 FEM simulation model of bulge forming

Table4 Experimental results in bulge forming

Thickness : t_0 [mm]		0.5		
Temperature : T [$^\circ\text{C}$]		100	200	300
Blank holding force : BHF [kN]		24		
		6.30	9.80	11.90

Table5 Example of database for ericksen value

Thickness : t_0 [mm]		0.5/1.0		
Temperature : T [$^\circ\text{C}$]		100	200	300
Blank holding force : BHF [kN]		24		
$t_0=0.5$		6.30	9.80	11.90
$t_0=1.0$		7.38	9.80	11.28

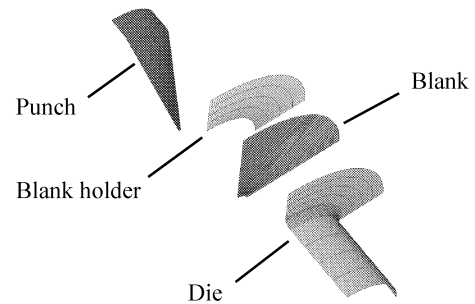


Fig.3 FEM simulation model of hole-expanding

Table6 Experimental results in hole-expanding

Thickness : t_0 [mm]		0.5		
Temperature : T [$^\circ\text{C}$]		100	200	300
Blank holding force : BHF [kN]		24		
Hole diameter : d_0 [mm]	6	5.00	8.40	9.90

Table7 Example of database for flange height (of $t_0=0.5\text{mm}$)

Thickness : t_0 [mm]		0.5		
Temperature : T [$^\circ\text{C}$]		100	200	300
Blank holding force : BHF [kN]		24		
Hole diameter : d_0 [mm]	6	5.00	8.40	9.90
	10	7.47	11.10	12.71
	15	8.07	12.21	13.97

3. 加工条件推論システム

3.1 円筒深絞り加工条件推論システム概要

Fig.4 に円筒深絞り加工条件推論システム模式図を示す。推論システムは2入力3出力で構成されており、入力情報として、所望の深絞り容器高さ H_{obj} (ここでは、 H_{obj} を破断に至るまでのパンチストロークとし、以下、深絞り容器高さと呼ぶ。)及び板厚 t_0 を入力する。この際、システムは入力情報に基づいて H_{obj} と t_0 に近い加工条件データを抽出する。抽出した加工条件データ群をファジィモデルにあてはめ、加工条件を推論する。出力情報として、材料の直径 D_0 、加工温度 T 、しわ抑え力 BHF が所望の加工条件として出力画面に提示される。

3.1.1 データの抽出方法

Fig.5 に任意の温度における板厚 t_0 に対する深絞り容器高さ H の関係の模式図を示す。Fig.5 に示す入力した板厚 t_0 に対する所望の深絞り容器高さ H_{obj} を点 O とする。加工条件の推論に必要なデータは、式(2)の条件を用いてデータベースより点 O の近傍のデータ点 a, b, c, d の4点を抽出する。

3.1.2 加工条件の推論方法

Fig.6 及び Table8 に材料の直径 D_0 を推論するのに必要なメンバーシップ関数及び IF-THEN ルールを示す。Table8 に示す $h_1 \sim h_4$ 及び $d_1 \sim d_4$ は抽出された4点(Fig.5のデータ点 a, b, c, d)のデータにおける深絞り容器高さとして供試材の直径を表す。加工条件(この場合、直径 D_0 を推論)の推論方法は、データベースより抽出された4条件をファジィモデルにあてはめ作成したメンバーシップ関数及び IF-THEN ルールを用いて下記の式(2)代数積加算重心法^{3), 4)}によって推論する。

$$D_0 = \frac{\sum \mu_i d_i}{\sum \mu_i} \quad \dots (2)$$

加工温度 T 、しわ抑え力 BHF についても同様にメンバーシップ関数を作成し、推論を行う。以上のことから円筒深絞り加工では材料の直径 D_0 、加工温度 T 、しわ抑え力 BHF の3項目を加工条件推論結果として出力画面に提示する。

3.2 張出し加工条件推論システムの概要

Fig.7 に張出し加工条件推論システムの模式図を示す。システムは2入力1出力で構成した。入力情報として所望の張出し高さ H_{obj} (破断に至るまでのパンチストローク)及び板厚 t_0 を入力する。システムは、入力情報に基づいて H_{obj} と t_0 に近い加工条件データ群を抽出する。抽出した加工条件データをファジィモデルにあてはめ、加工条件を推論する。出力情報として、加工温度 T が所望の加工条件として出力画面に提示される。

データの抽出方法及び加工条件の推論方法は、円筒深絞り加工条件推論システムと同様にメンバーシップ関数及び IF-THEN ルールを作成し、加工条件を求めた。

3.3 穴広げ加工条件推論システムの概要

Fig.8 に穴広げ加工条件推論システムの模式図を示す。システムは2入力2出力で構成されており、入力情報として所望の伸びフランジ高さ H_{obj} (破断に至るまでのパンチストローク)及び板厚 t_0 を入力する。システムは、入力情報に基づいて H_{obj} と t_0 に近い加工条件データ群を抽出する。抽出した加工条件データをファジィモデルにあてはめ、加工条件を推論する。出力結果として、素板穴直径 ϕ 、加工温度 T が所望の加工条件として出力画面に提示される。データの抽出方法及び加工条件の推論方法は、円筒深絞り加工条件推論システムと同様にメンバーシップ関数及び IF-THEN ルールを作成し、同様に各加工条件を求めた。

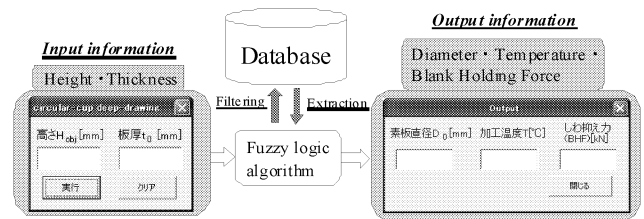


Fig.4 Diagrams of the fuzzy inference system (Deep-drawing)

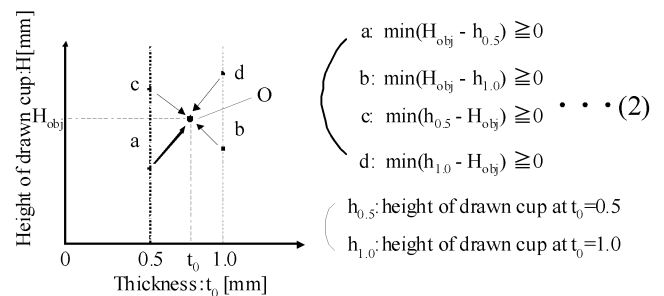


Fig.5 Diagrams of the data extraction

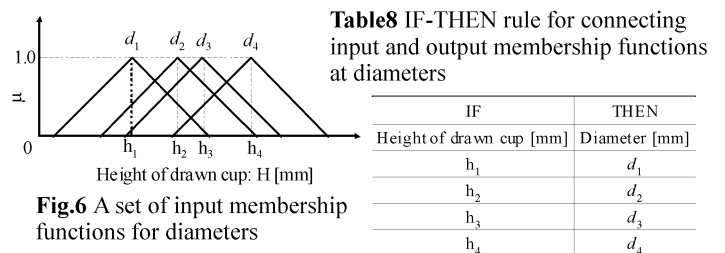


Fig.6 A set of input membership functions for diameters

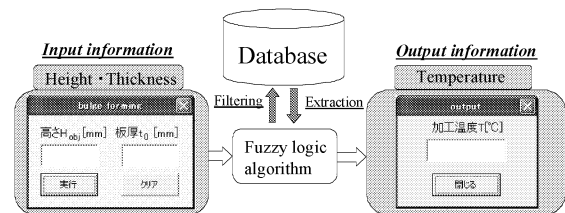


Fig.7 Diagrams of the fuzzy inference system (Bulge forming)

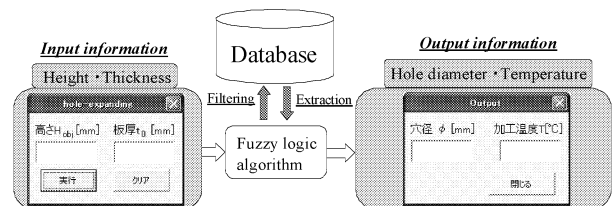


Fig.8 Diagrams of the fuzzy inference system (Hole-expanding)

4. システムの有効性の検証実験

4.1 円筒深絞り加工

円筒深絞り加工条件推論システムの有効性を確認するために、任意の深絞り容器高さ H_{obj} 及び板厚 t_0 の数値を入力し、推論された出力結果であるブランク直径、加工温度、しわ抑え力で実験を行った。Table 9 にその一例を示す。入力情報を $H_{obj}=7.3\text{mm}$ 、 $t_0=0.5\text{mm}$ としたとき、出力情報として直径 $D_0=73\text{mm}$ 、加工温度 $T=136^\circ\text{C}$ 、しわ抑え力 $BHF=3.2\text{kN}$ の加工条件が推論された。Table 9 で得た加工条件で実験を行った。その結果、実験で得られた深絞り試験片を Fig. 9 に示す。入力した所望の深絞り容器高さ H_{obj} が 7.3mm であるのに対し、実験による深絞り容器高さ H_{act} は 7.89mm であり、推論システムに入力した任意の値と非常に近い深絞り容器高さになった。また、入力した任意の所望の深絞り容器高さが高い場合において、入力情報を $H_{obj}=21.5\text{mm}$ 、 $t_0=0.5\text{mm}$ としたとき、出力情報として直径 $D_0=60\text{mm}$ 、加工温度 $T=265^\circ\text{C}$ 、しわ抑え力 $BHF=2.5\text{kN}$ の加工条件が推論された。Table 10 で得た加工条件で同様に実験を行った。その結果、実験で得られた深絞り試験片を Fig. 10 に示す。入力した所望の深絞り容器高さ H_{obj} が 21.5mm であるのに対し、実験による深絞り容器高さ H_{act} は 19.8mm となり、入力した所望の深絞り容器高さと比較

Table 9 Input and Output data by using inference system (Input information: $H_{obj}=7.3\text{mm}$, $t_0=0.5\text{mm}$)

Input		Output	
高さ H_{obj} [mm]	7.3	素板直径 D_0 [mm]	73
板厚 t_0 [mm]	0.5	加工温度 T [°C]	136
		しわ抑え力 (BHF) [kN]	3.2
Height : H_{obj} [mm]	7.3	Diameter : D_0 [mm]	73
Thickness : t_0 [mm]	0.5	Temperature : T [°C]	136
		BHF [kN]	3.2

Table 10 Input and Output data by using inference system (Input information: $H_{obj}=21.5\text{mm}$, $t_0=0.5\text{mm}$)

Input		Output	
高さ H_{obj} [mm]	21.5	素板直径 D_0 [mm]	60
板厚 t_0 [mm]	0.5	加工温度 T [°C]	265
		しわ抑え力 (BHF) [kN]	2.5
Height : H_{obj} [mm]	21.5	Diameter : D_0 [mm]	60
Thickness : t_0 [mm]	0.5	Temperature : T [°C]	265
		BHF [kN]	2.5

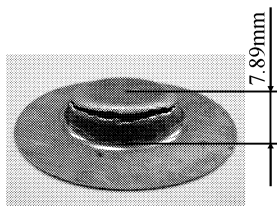


Fig. 9 Drawn cup (Fracture point: 7.89mm)

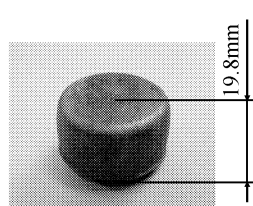


Fig. 10 Drawn cup2 (Without fracture)

的に近い値が得られた。しかしながら、数ミリの誤差が生じており、本システムの学習による精度向上が課題として挙げられる。

4.2 張出し加工

円筒深絞り加工同様に、張出し加工においても、任意の張出し高さ H_{obj} 及び板厚 t_0 の数値を入力し、出力された加工温度で実験を行った。Table 11 にその一例を示す。入力情報を $H_{obj}=9.2\text{mm}$ 、 $t_0=0.5\text{mm}$ としたとき、出力情報として加工温度 $T=179^\circ\text{C}$ の加工条件が推論された。Table 11 で得た加工条件で実験を行った。その結果、実験で得られた張出し試験片を Fig. 11 に示す。入力した所望の張出し高さ H_{obj} が 9.2mm であるのに対し、実験による張出し高さ H_{act} は 9.25mm であり、入力した値と非常に近い値が得られた。

4.3 穴広げ加工

穴広げ加工では、任意の伸びフランジ高さ H_{obj} 及び板厚 t_0 の数値を入力し、推論された穴径と加工温度で実験を行った。Table 12 にその一例を示す。入力情報を $H_{obj}=10.5\text{mm}$ 、 $t_0=0.5\text{mm}$ としたとき、出力情報として穴径 $\phi 8\text{mm}$ 、加工温度 $T=240^\circ\text{C}$ の加工条件が推論された。Table 12 で得た加工条件で実験を行った。その結果、実験で得られた穴広げ試験片を Fig. 12 に示す。入力した所望の伸びフランジ高さ H_{obj} が 10.5mm であるのに対し、実験による伸びフランジ高さ H_{act} は 10.16mm となり、システムの妥当性が確認できた。

Table 11 Input data and Output data by using inference system (Bulge forming)

Input		Output	
高さ H_{obj} [mm]	9.2	加工温度 T [°C]	179
板厚 t_0 [mm]	0.5		
Height : H [mm]	9.2	Temperature : T [°C]	179
Thickness : t_0 [mm]	0.5		

Table 12 Input data and Output data by using inference system (Hole-expanding)

Input		Output	
高さ H_{obj} [mm]	10.5	穴径 ϕ [mm]	8
板厚 t_0 [mm]	0.5	加工温度 T [°C]	240
Height : H [mm]	10.5	Hole diameter : ϕ [mm]	8
Thickness : t_0 [mm]	0.5	Temperature : T [°C]	240

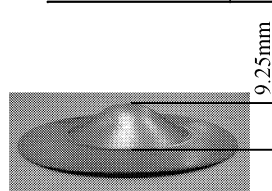


Fig. 11 Ericksen value (9.25mm)

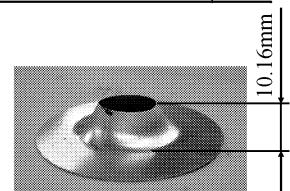


Fig. 12 Flange height (10.16mm)

5. 角筒深絞りに対する加工条件推論システムへの適用

供試材は、板厚 $t_0=0.5\text{mm}$ の AZ31-O マグネシウム合金板を用いた。以下に示す各条件で FEM 解析を行い、各深絞り容器高さをデータベースとして構築した。ここでは角筒深絞り加工のデータベースは、FEM 解析結果のみを利用して構築した。

5.1 データベース構築用の FEM 解析条件

解析条件は、ブランク形状 $20\times 20\text{mm}\sim 25\times 25\text{mm}$ 、板厚 $t_0=0.5, 1.0\text{mm}$ 、加工温度 $T=100\sim 300^\circ\text{C}$ 、しわ抑え力 $\text{BHF}=0.2\sim 0.5\text{kN}$ の各条件で行った。ブランク形状 $20\times 20\text{mm}$ 、板厚 $t_0=0.5\text{mm}$ において、総節点数 6,781、総要素数 4,800 とした。Fig.13 に角筒深絞り加工シミュレーション解析モデルを示す。FEM 解析における材料の破断の判定は、円筒深絞り加工等と同様に延性破壊条件式を適用した。

5.2 角筒深絞り加工条件推論システムの概要

Fig.14 に角筒深絞り加工条件推論システムの模式図を示す。システムは 4 入力 2 出力で構成されており、入力情報として、所望の深絞り容器高さ H_{obj} 及び板厚 t_0 、ブランク形状（ブランク長辺長さ： L_a 、短辺長さ： L_b ）を入力する。FEM 解析結果のみで構成されたデータベースを用いて、入力情報の H_{obj} と t_0 に近い加工条件データを抽出する。抽出された加工条件データ群をファジィモデルにあてはめ、加工条件を推論する。出力結果として、加工温度 T 、しわ抑え力 BHF が所望の加工条件として出力画面に提示される。

加工条件の推論方法は、ブランク形状と加工温度及びしわ抑え力に関するメンバーシップ関及び IF-THEN ルールを作成し、代数積加算重心法によって加工温度やしわ抑え力の推論を行った。

5.3 角筒深絞り加工条件推論結果を用いた検証実験

角筒深絞り加工条件推論システムの有効性を確認するため、任意の深絞り容器高さ H_{obj} 及び板厚 t_0 の数値を入力し、推論された出力結果である加工条件で検証実験を行った。

潤滑剤は、乾性フッ素潤滑剤（日本バルカー工業製）及びマグネシウム用潤滑剤 GM-100（日本工作油製）の 2 種類を用いて実験を行った。この際、潤滑剤はダイ側のみに塗布した。Table 13 に任意の入力条件とその推論結果を示す。入力条件を $H_{obj}=3.0\text{mm}$ 、 $t_0=0.5\text{mm}$ 、 $L_a=22.5\text{mm}$ 、 $L_b=18.0\text{mm}$ としたとき、出力情報として加工温度 $T=200^\circ\text{C}$ 、しわ抑え力 $\text{BHF}=0.4\text{kN}$ の加工条件が推論された。そこで Table 13 で得られた加工条件で検証実験を行った。その結果、得られた深絞り試験片を Fig.15 及び Fig.16 に示す。入力した所望の深絞り容器高さ H_{obj} が 3.0mm であるのに対し、フッ素を潤滑剤とした時、検証実験による深絞り容器高さ H_{act} は 3.1mm 、マグネシウム用潤滑剤を用いた際の

深絞り容器高さ H_{act} は 3.28mm となり、それぞれ推論システムの結果と近い深絞り容器高さを得た。

本システムとしての有効性について検証実験により、所望の深絞り加工条件を提示できる推論システムとしてのある程度の可能性を示すことが出来た。しかしながら、データベースは、FEM シミュレーション解析結果のみで構築したため、推論システムの精度は低く、適用範囲も低いと思われる。これらの問題を解決するためには実験結果などのデータも加味する必要がある。

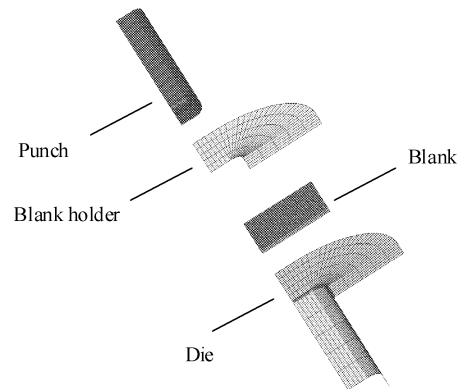


Fig.13 FEM simulation model of square-cup deep-drawing

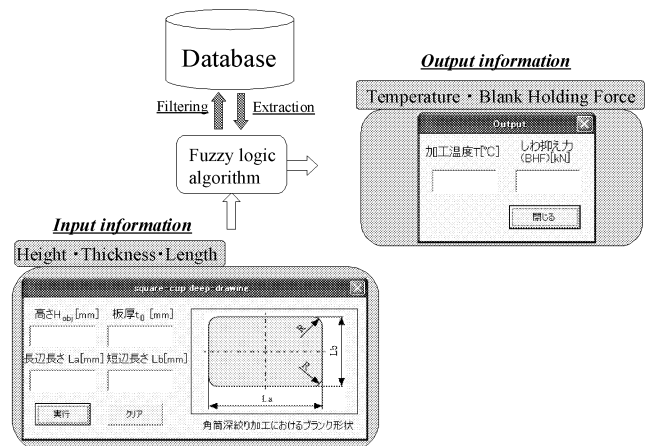


Fig.14 Diagrams of the fuzzy inference system (Square-cup deep-drawing)

Table 13 Input data and Output data by using inference system (Square-cup deep-drawing)

Input				Output	
高さ H_{obj} [mm]	3.0	板厚 t_0 [mm]	0.5	加工温度 T [°C]	200
長辺長さ L_a [mm]	22.5	短辺長さ L_b [mm]	18.0	しわ抑え力 (BHF) [kN]	0.4
Height : H_{obj} [mm]	3.0	Length : a [mm]	22.5	Temperature : T [°C]	200
Thickness : t_0 [mm]	0.5	Length : b [mm]	18.0	BHF [kN]	0.4

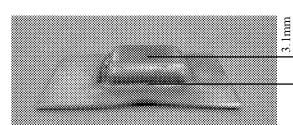


Fig.15 Square cup using Fluorine lubricant

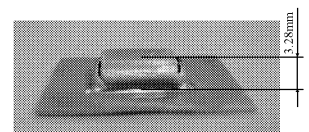


Fig.16 Square cup using GM-100 lubricant

6. 結言

本研究では、円筒深絞り加工・張出し加工・穴広げ加工について入力した所望のプレス高さを得る加工条件を提示できるデータベースを基にしたファジィ推論システムの開発を行い、任意の所望のプレス高さに対する推論結果での検証実験を行った。また、角筒深絞り加工についても同様なシステムの開発を行い、得られた加工条件で実験を行い、システムの精度及び有効性を確認した。その結果、以下の結論を得た。

- 1) 所望の深絞り容器高さ(破断に至るまでの深絞り容器高さ)を得ることが出来る円筒深絞り加工条件推論システムを開発した。推論システムの有効性を確認するため実験を行った結果、入力情報である所望の深絞り容器高さ $H_{obj}7.3\text{mm}$ に対し、実験の深絞り容器高さ $H_{act}7.89\text{mm}$ が得られ、推論システムの有効性を確認した。
- 2) 張出し加工条件推論システムにおいて、入力情報である所望の張出し高さ $H_{obj}9.2\text{mm}$ に対し、実験の張出し高さ $H_{act}9.25\text{mm}$ が得られた。穴広げ加工条件推論システムにおいて、入力情報である所望の伸びフランジ高さ $H_{obj}10.2\text{mm}$ に対し、実験の伸びフランジ高さ $H_{act}10.16\text{mm}$ が得られ、これらの加工についても本推論システムの有効性を確認した。
- 3) 角筒深絞り加工条件推論システムにより算出された条件、加工温度 $T=200^{\circ}\text{C}$ 、板抑え力 0.4kN で検証実験

を行ったところ、所望の深絞り容器高さ $H_{obj}3.0\text{mm}$ に対し、実験の深絞り容器高さ $H_{act}3.1\text{mm}$ 及び 3.28mm が得られた。

- 4) システムの推論結果の精度を向上させるためには、FEM シミュレーションの精度向上を図り、データベースの精度を向上させる学習システムが必要である。
- 5) 開発した推論システムは FEM 解析及び基礎実験結果を用いてデータベースを充実させることにより、マグネシウム合金だけではなく他の材料においても有効であると考えられる。

謝辞

本研究は、財団法人天田金属加工機械技術振興財団により研究開発助成 (AF-2005010) を賜りました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 松居正夫, 矢野治久, 井上孝司, 河部昭雄: 軽金属, **57** (2007), 2-5.
- 2) 宅田裕彦: 塑性と加工, 40-461(1999), 514-519.
- 3) Shoichiro Yoshihara, Ken-ichi Manabe, Hisashi Nishimura: Journal of Materials Processing Technology, 170(2005), 579-585.
- 4) S.Yoshihara, B.J.MacDonald, H.Nishimura, H.Yamamoto, K.Manabe: Journal of Materials Processing Technology, 153-154(2004), 319-322.