

# ハブ成形における材料流れの研究

横浜国立大学大学院 工学研究院 機能の創生部門 固体の機能分野  
教授 川井謙一  
(平成 14 年度研究開発助成 AF-2002007)

キーワード：回転成形，ハブ成形，ボスフォーミング

## 1. まえがき

逐次加工化により加工限界が向上し，エグザクト・ネットシェイプ化が可能な加工法として回転成形 (rotary forming) の自動車部品への適用<sup>1),2)</sup>が注目されているが，自動車部品の成形においては，その特徴を活かした部品成形ができていないのが現状である．従来の回転成形は，基本的には壁厚ないしは板厚を減少させて部品に形状を付与する加工法であるが，**図 1**<sup>2)</sup>に示すように壁厚ないしは板厚を減少させた際の材料を集めて増肉を行い，ボス (ハブ) を成形する新しい加工法としてハブ成形 (hub forming, ボスフォーミング, boss forming)<sup>2),3),4)</sup>がある．ハブ成形における各種加工条件が材料流れに及ぼす影響は未解明であり，トライ・アンド・エラー的な工程設計では製品形状の多様化，製品サイクルの短期化に対応できず，ハブ成形の実用化にはその材料流れの基礎的把握が必須である．本研究では，回転成形による増肉加工としてのハブ成形における各種加工条件がボス高さ，ボス厚さ，メタルフローなどの材料流れに及ぼす影響などを基礎的に明らかにして，ハブ成形の各種実用部品への適用性を検討するための基礎資料を得る．

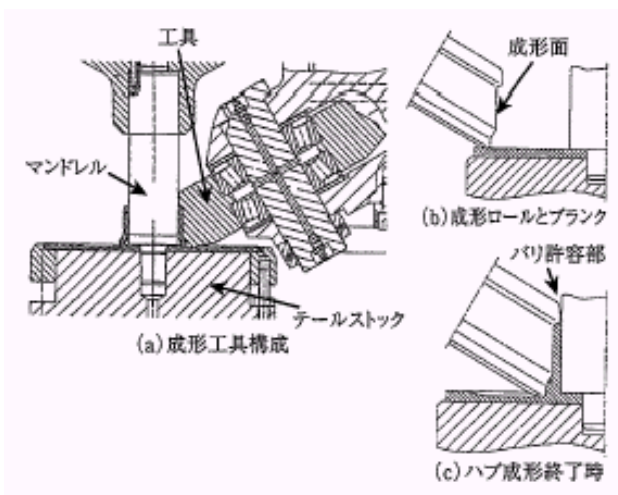


図 1 ハブ成形の工具と成形工程<sup>2)</sup>

## 2. 実験方法

**図 2**に示すように一定速度で回転する円板状ブランクに円すい形ロールを押付けて板厚を薄くし，ロールが排

除した材料をマンドレルに押付けてボスを成形するために小型のスピニング旋盤を実験装置に改造した．ハブ成形に用いた実験装置の概略を**図 3**に示すが，一定速度 (187.5 rpm) で回転する小型スピニングの主軸にマンドレルと円板状ブランクを取付け，ボールねじ駆動の XY スライド上に保持した円すい形ロールを円板状ブランクに押付けることによって材料を排除するとともにボスを成形する．但し，薄肉材スピニング用の小型旋盤であるために，主軸や XY スライドの剛性が小さく，主軸のチャック部にバックアップロールを配置しても，成形時の主軸やロール保持具のたわみを消去できない．そこで，**図 3**に示すように成形中のロール先端の位置を計測しながらロール位置をフィードバック制御することによって，成形後に一定の板厚の製品が得られるようにした．

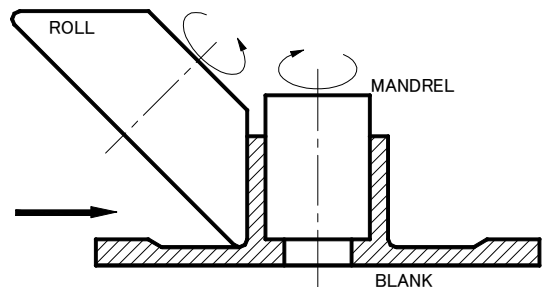


図 2 円すい形ロールによるハブ成形

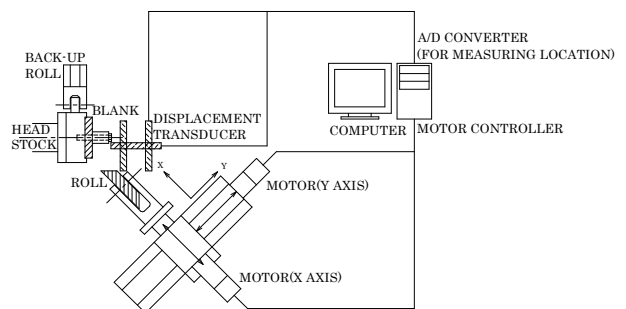


図 3 ハブ成形実験装置の概略

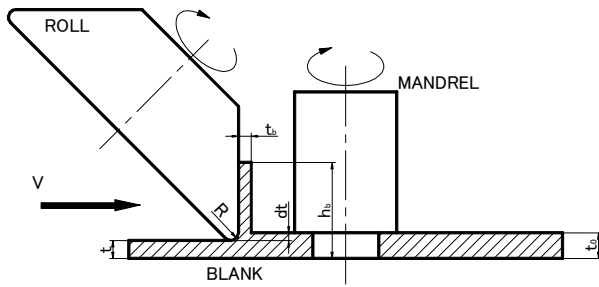


図4 ハブ成形の諸元

表1 標準加工条件 (ブランク厚さ  $t_0 = 10$  mm)

加工条件	
先端丸み半径 $R$ (mm)	1, 2, 3
押込み量 $dt$ (mm)	2.0, 3.0, 4.0
送り速度 $v$ (mm/rev)	0.2, 0.6, 1.0
送り量 $S$ (mm)	35

表2 円板状ブランクの機械的性質

	圧延方向	直交方向
引張強さ (MPa)	92.5	85.4
耐力 (MPa)	68.2	66.8
$F$ 値 (MPa)	152	135
$n$ 値	0.186	0.162
全伸び (%)	50.4	46.1

図4に本研究におけるハブ成形の諸元を示すが、外径130 mm、初期厚さ  $t_0 = 10$  mmの円板状ブランクを外径40 mmのマンドレルとともに一定速度(187.5 rpm)で回転させ、外径125 mm、先端丸み半径  $R$ の円すい形ロールを円板状ブランクの外周部から押込み量  $dt$ 、送り速度  $v$ で内径部に向かって送り量  $S$ だけ押付ける。実験条件を表1に示すが、加工条件が材料流れに及ぼす影響を分散分析できるように、先端丸み半径  $R$ 、押付け量  $dt$ およびロールの送り速度  $v$ は等間隔で3水準選んでいる。また、実際のハブ成形では図1および図2に示すように、成形されるハブ(ボス)は最終工程でマンドレルに押付けることによって所望のボス高さ、ボス厚さなどに仕上げるが、本研究は成形中の材料流れの特徴を基礎的に把握することが目的であるので、送り量  $S$ を成形されたハブ(ボス)の内面がマンドレルに接触しないような値を選んでいる。

円板状ブランクはA1050板から外径130 mm、内径26 mm、厚さ10 mmに切出した焼鈍材であるが、その機械的性質を表2に示すように焼鈍が不十分のようで、異方性が残っている。

実験は円板状ブランクの表面にマシン油を塗布した後、室温で行った。

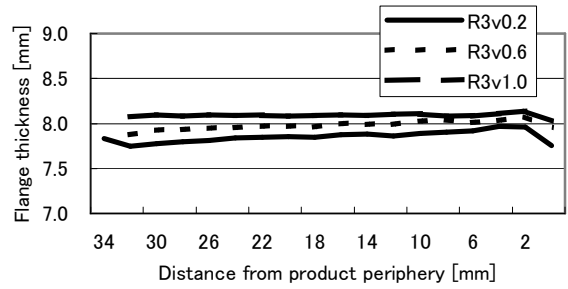


図5 製品板厚  $t$ の測定例 ( $R = 3$  mm,  $dt = 2$  mm)

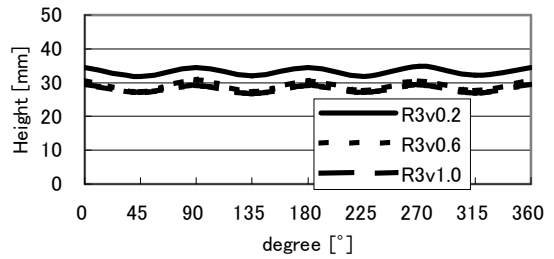


図6 製品高さ  $h_b$ の測定例 ( $R = 3$  mm,  $dt = 2$  mm)

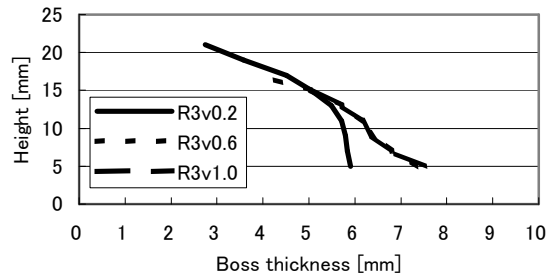


図7 製品厚さ  $t_b$ の測定例 ( $R = 3$  mm,  $dt = 2$  mm)

### 3. 実験結果と考察

#### 3.1 製品外形

ロール先端丸み半径  $R = 3$  mm、ロール押込み量(押込み深さ)  $dt = 2$  mmの場合の製品の板厚  $t$ を2 mm間隔で測定した例を図5に示すが、旋盤主軸の剛性補正およびロール先端位置のフィードバック制御の結果、ほぼ様な板厚の製品が得られていることが確認できる。一方、図5と同じ加工条件に対して、図4におけるボス高さ  $h_b$ をハイトゲージを用いて全周に沿って測定した例を図6に示すが、深絞りと同様な耳の形成が確認できる。さらに、同じ加工条件に対して、図4におけるボス厚さ  $t_b$ をボスの高さ方向に2 mm間隔で測定した例を図7に示すが、ハブ(ボス)の内面がマンドレルと接触していないので厚さ  $t_b$ は一樣ではなく、高さ方向に変化していることが確認できる。

図4のように、ロールを最外周部から内部に向かって押付ける場合には、外径側にも材料が流れて製品外径が

若干増加するが、円板状ブランクの外周部を拘束して、図2に示すように中間の直径からロールの押込みを開始する場合には外径増加のない製品を得ることが可能である。

### 3.2 ボス高さ

図8にロール先端丸み半径  $R = 1\text{ mm}$  の場合に、ロール送り速度  $v$  とロール押込み量  $dt$  が製品のボス高さ  $h_b$  に及ぼす影響の測定例を示す。ここでは、図6のような分布のボス高さに対して、耳部の高さ4点と谷部の高さ4点の測定値の平均値をプロットしている。図8から、送り速度が  $v$  が増加するとともにボス高さ  $h_b$  が減少し、押込み量  $dt$  が増加するとともにボス高さ  $h_b$  が増加しているが、この傾向は山田らの実験結果<sup>4)</sup>と一致している。一方、ロール押込み量  $dt = 2\text{ mm}$  の場合に、ロール送り速度  $v$  とロール先端丸み半径  $R$  が製品のボス高さ  $h_b$  に及ぼす影響を図9に示すが、ロール先端丸み半径  $R$  が増加するとともにボス高さ  $h_b$  も若干増加している。

表1に示した加工条件が製品のボス高さに及ぼす影響の分散分析を行って各要因の寄与率を調べると、ロール先端丸み半径が2.5%、ロール押込み量が69.9%、ロー

ール送り速度が26.2%であり、本研究の実験範囲ではロール先端丸み半径がボス高さに及ぼす影響は極めて小さい。

### 3.3 ボス厚さ

ロール先端丸み半径を  $R = 1\text{ mm}$  とした場合のロール送り速度  $v$  およびロール押込み量  $dt$  が製品のボス厚さ  $t_b$  に及ぼす影響の測定例を図10に示す。成形されたハブ（ボス）はマンドレルに接触していないので、図7に示すように高さ方向にボス厚さは変化し、同時に製品の耳部と谷部でも異なっているが、ここではボス厚さを高さ方向に2 mm おきに測定した値を平均し、さらに耳部と谷部の数値を平均化した値をグラフに示している。図8から、送り速度  $v$  および押込み量  $dt$  の増加とともにボス厚さ  $t_b$  が増加しているが、この傾向も山田らの実験結果<sup>4)</sup>と一致している。一方、図11にはロール押込み量  $dt = 2\text{ mm}$  の場合に、ロール送り速度  $v$  とロール先端丸み半径  $R$  が製品のボス厚さに及ぼす影響を示しているが、ロール先端丸み半径  $R$  の増加とともにボス厚  $t_b$  さは減少する傾向にある。

前節と同様に、表1に示した加工条件が製品のボス厚さに及ぼす影響の分散分析を行い、各要因の寄与率を調

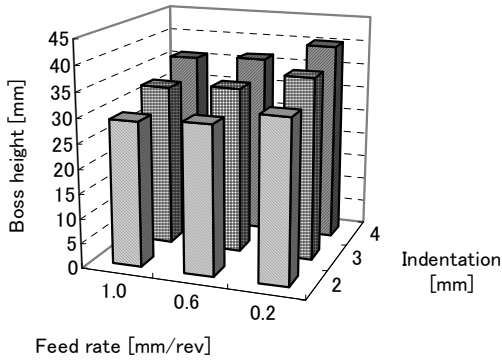


図8 ロール送り速度  $v$  と押込み量  $dt$  がボス高さ  $h_b$  に及ぼす影響 ( $R = 1\text{ mm}$ )

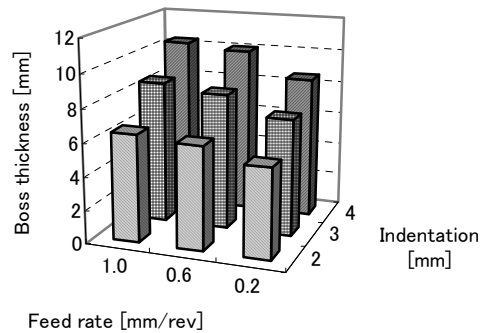


図10 ロール送り速度  $v$  と押込み量  $dt$  がボス高さ  $h_b$  に及ぼす影響 ( $R = 1\text{ mm}$ )

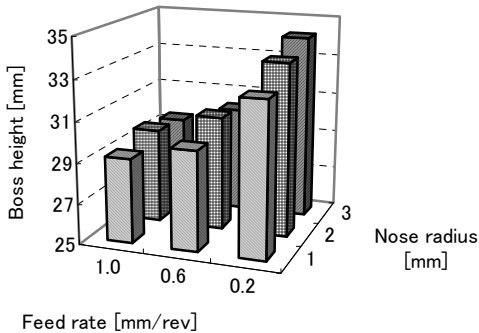


図9 ロール送り速度  $v$  と先端丸み半径  $R$  がボス高さ  $h_b$  に及ぼす影響 ( $dt = 2\text{ mm}$ )

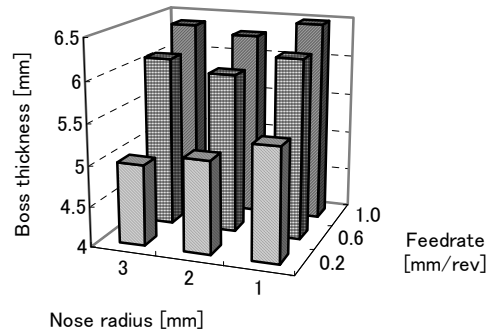


図11 ロール送り速度  $v$  と先端丸み半径  $R$  がボス高さ  $h_b$  に及ぼす影響 ( $dt = 2\text{ mm}$ )

べると、ロール先端丸み半径が 1.84%，ロール押込み量が 79.3%，ロール送り速度が 17.2%であり、ボス厚さに関しても本研究で行った実験範囲内においてはロール先端丸みが及ぼす影響は極めて小さい。

### 3.4 内面および底面の引け

3.2 節および 3.3 節の実験結果から、ロール押込み量  $dt$ が増加すると製品のボス高さ  $h_b$ とボス厚さ  $t_b$ はともに増加する。一方、ロール送り速度  $v$ が増加すると、ボス高さ  $h_b$ は減少し、ボス厚さ  $t_b$ は増加する。この実験結果から、ロール送り速度  $v$ によってハブ成形の際の材料流れを制御できることになる。例えば、ロール送り速度  $v$ を遅くすると、ボス高さ  $h_b$ が高く、ボス厚さ  $t_b$ が薄い製品が得られるが、このことはロール送り速度  $v$ が遅い場合には、ロールによって排除された材料は半径方向に流れるよりはロールとの接触面に沿って軸方向に流れやすいことを示している。さらに、ロール送り速度  $v$ を遅く設定しすぎると、ロールによって排除された材料はロールとの接触面に沿って軸方向に優先的に流れようとするので、製品の内面や底面に引けを生じる可能性があり、これらの兆候は予備実験において確認されている。

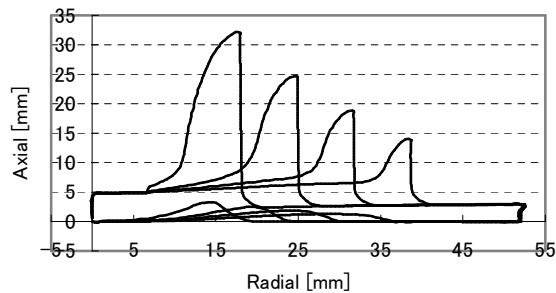


図 12 ロールのストロークとともに成長する底面部の引け ( $t_0 = 5 \text{ mm}$ ,  $R = 3 \text{ mm}$ ,  $dt = 2.25 \text{ mm}$ ,  $v = 0.2 \text{ mm/rev}$ )

底面における引けの発生とその成長を確認するために、外径 130 mm，初期厚さ  $t_0 = 5 \text{ mm}$  の円板（表 2 とは異なり， $F = 114 \text{ MPa}$ ， $n = 0.242$ ）に対して、遅い送り速度  $v = 0.2 \text{ mm/rev}$  でハブ成形する際のストローク  $S = 14, 21, 28$  および  $35 \text{ mm}$  における製品形状の測定例を図 12 に示すが、加工初期から底面に引けが発生し、ストロークとともに引けが成長していることが確認できる。

## 4. むすび

回転する円板にロールを押付けて排除した材料を利用してボス（ハブ）を成形するハブ成形における材料流れを基礎的に解明するために、A1050 材を用いた実験を行い、表 1 に示した実験条件の範囲内で以下の結論を得た。

- (1) ロール押込み量  $dt$  の増加とともに、製品のボス高さ  $h_b$  およびボス厚さ  $t_b$  が増加する。
- (2) ロール送り速度  $v$  の増加とともに、製品のボス高さ  $h_b$  は減少し、ボス厚さ  $t_b$  は増加する。
- (3) ロール送り速度  $v$  を遅く設定しすぎると、製品の内面および底面に引けを生じる可能性がある。
- (4) ロール送り速度  $v$  の選定によって、ハブ成形における材料流れを制御することができる。

なお、表 1 に示したような実験を行い、分散分析と検定を行えば、ボス高さ、ボス厚さ、加工力、引け量などに対する推定式を直交多項式で記述することができ、因子に制約条件を課した最適加工条件を求めることが可能であることを付記しておく。

## 謝辞

本研究の一部は、天田金属加工機械技術振興財団の平成 14 年度研究開発助成 (AF-2002007) を受けて行われた。ここに記して、同財団に謝意を表します。

また、本研究の遂行にあたり、試験片、ロール等を提供していただいたトヨタ自動車(株)生技開発部、装置の改造と実験を担当された横浜国立大学の小山寛助手（現：日本精工(株)）、大学院生の亀井丈広君（現：マツダ(株)）に感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 廣田智之：自動車産業における回転成形技術の動向と適用事例，塑性と加工，**43-502(2002)**，1035-1040.
- 2) 西山三郎：スピニング加工技術の課題と製品例，塑性と加工，**43-502(2002)**，1046-1050.
- 3) 竹井健一郎：円板増肉スピニングによるニアネットシェイプ精密生産システムの開発，素形材，**42-9(2001)**，21-25.
- 4) 山田信二・佐藤清臣・竹井健一郎：円板増肉スピニングによるニアネットシェイプ精密生産システムの開発，第 216 回塑性加工シンポジウムテキスト，(2002)，31-44.