

# NC ダイクッションとスライドモーション制御を適用した フィルムレスストレッチドロウ成形

大阪府立産業技術総合研究所 金属材料科  
科長 白川 信彦  
(平成 25 年度一般研究開発助成 AF-2013012)

キーワード：サーボプレス，ストレッチドロウ，ステップモーション，NC ダイクッション

## 1. 研究の目的と背景

電池筐体等の深い薄肉容器の成形は、深絞り加工や衝撃押し出し加工で行われているが、それぞれ一長一短がある。深絞り加工では、多段の再絞りやしごき加工といった多工程を必要とするため、金型費などのコスト面で不利であるのに対し、衝撃押し出し加工では、寸法精度の問題や適用できる材料に限られるといった課題がある。また、このような深い薄肉容器の成形に関して、製缶分野ではストレッチドロウ成形法<sup>1)~3)</sup>がある。ストレッチドロウ成形は、絞りダイのダイ肩半径を通常の絞り成形より小さくし、しわ抑え力の負荷で適正な張力をかけながら曲げ・曲げ戻しをすることによって、側壁を薄くして容器の深さを深くする方法である。慣用の深絞り加工に比べて工程数を削減することができ、さらに容器の形状精度の向上<sup>4)</sup>も図ることができる。しかし、製缶への適用においては、素板の両面にポリエステル系フィルムをラミネート<sup>5)</sup>し、良好な摺動性を確保する必要がある。

プレス加工業界で注目を浴びているサーボプレスは、成形中にスライドの引上げと再下降を繰り返すパルスモーションにより、金型-素材間に潤滑油が流入する再潤滑効果<sup>6)</sup>が認められている。また成形中にスライドを停止させるステップモーションでは、応力緩和による素板の延性向上<sup>6)</sup>の効果<sup>7)</sup>も確認されている。また、NC ダイクッションを用いて適正なしわ抑え力を付与し、成形中の割れやしわを防止しつつ細やかな張力の制御を行うことで、成形性の向上を図ることも可能である。

本研究の目的は、深い薄肉容器の成形に対して、製缶分野で著しい成果を挙げているストレッチドロウ成形法を適用し、サーボプレスのスライドモーション制御とNC ダイクッションを活用した張力制御により、製缶工程で必要とされているラミネート樹脂フィルムのない一般的な金属材料で、これを実現することである。

具体的には、冷間圧延鋼板の絞り-再絞り加工を対象にして、再絞り加工時にストレッチドロウ成形を適用した場合に、一般的な再絞り条件で得られる絞り成形品と比較して 30%以上成形高さを向上させた成形品を得ることのできるサーボプレスのスライドモーション設定、NC ダイクッションの設定条件を明らかにする。

## 2. 実験方法

供試材料として公称板厚 1.0mm、素板径  $\phi 110\text{mm}$  の冷間圧延鋼板 (SPCC) を使用し、これを Table1 に示す条件で一工程目の絞り加工 (初絞り) を行って、再絞り (ストレッチドロウ成形) の試験材料とした。初絞り容器の外観と概略寸法を Fig.1 に示す。初絞り、再絞りともに、実験装置としてNC ダイクッション (最大クッション力 200kN) を搭載した AC サーボプレス (コマツ産機綱製 H1F200, 加圧能力 2000kN) を使用し、潤滑油としてフォーマ油 (豊国石油<sup>8)</sup>製 MS-70, 動粘度  $70\text{mm}^2/\text{s}$  ( $40^\circ\text{C}$ )) を素板の両面に塗布した。

再絞りの試験条件を Table2 に、試験金型の外観写真を Fig.2 に示す。試験金型はガススプリングとダイクッションの両方に対応できる構造になっており、最大ストロークは 75mm である。肩半径 R5 のダイを使用してガススプリングによってしわ抑え力を負荷 (6kN ~ 11.2kN(max)) した場合は通常の再絞り成形に相当し、

Table 1 初絞り容器の成形条件

パンチ	外径 $\phi 60\text{mm}$ × 肩 R5 (SKD11)
ダイ	内径 $\phi 62.5\text{mm}$ × 肩 R5 (SKD11)
しわ抑え力	25kN (一定, NCダイクッションにて負荷)
成形速度	25spm 相当 (スライドストローク 250mm)

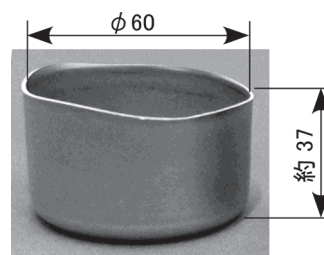


Fig.1 初絞り容器の外観

Table 2 再絞り試験条件

パンチ	外径 $\phi 46\text{mm}$ × 肩 R5 (SKD11)
ダイ	内径 $\phi 48.5\text{mm}$ × 肩 R5, R3, R2 (SKD11)
しわ抑え力	ガススプリングの場合: 6 ~ 11.2kN NCダイクッションの場合: 25 ~ 45kN の範囲で一定, またはしわ抑え力制御適用

肩半径 R3, R2 のダイを使用して NC ダイクッションによって高いしわ抑え力を負荷 (25kN 以上) した場合にはストレッチドロー成形になる。

サーボプレスのスライドモーションとしては、低速のリンクモーション (5spm 相当), ステップモーション (下死点上 50mm からの成形を 10mm 成形毎に 0.1~5 秒間停止), パルス停止モーション (下死点上 50mm からの成形を 12.5mm 成形毎に 2.5mm 引き上げて 5 秒停止) について検討した。これに NC ダイクッションによるしわ抑え力制御を組み合わせ、実験を行った。各スライドモーションとしわ抑え力制御については、3 章の各節で詳述する。

また、成形中の状況を詳細に検討するために、容器底から側壁部にかけての成形品の板厚分布測定を行った。測定はポイントマイクロメータを用い、1mm ピッチで測定した。

### 3. 実験結果

#### 3.1 ダイ肩半径の影響<sup>8)</sup>

ストレッチドロー成形のポイントは、絞りダイのダイ肩半径を通常の絞り成形より小さくすることであるが、過度に小さくすることは割れの発生につながる。そこで、適正なダイ肩半径を選定することも含めて、ダイ肩半径が成形高さに及ぼす影響を調べた。ここでは、肩半径 R5, R3, R2 のダイを用いて、ガススプリングでしわ抑え力を負荷して成形実験を行った。

プレスストローク設定を 55mm 一定にして成形した結果を Fig.3(a)に示す。ダイ肩半径が小さいほど、フランジの残り量が大きくなっており、小さいダイ肩 R で曲げ・曲げ戻しすることによる減肉効果が発現していることがわかる。しかし、ガススプリングでの低いしわ抑え力のためにストレッチ効果が低いこともあり、フランジの残り量が同程度になるようにプレスストローク設定を

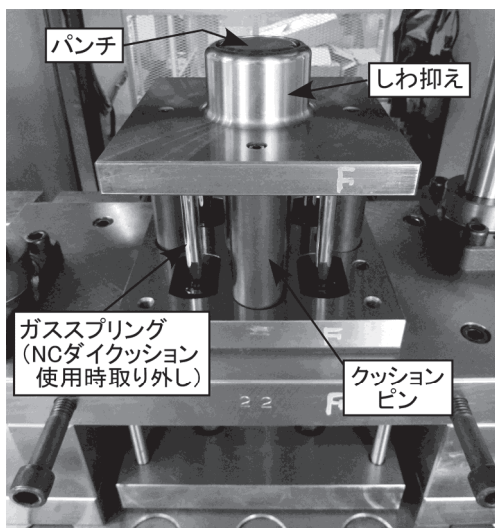


Fig.2 試験金型外観

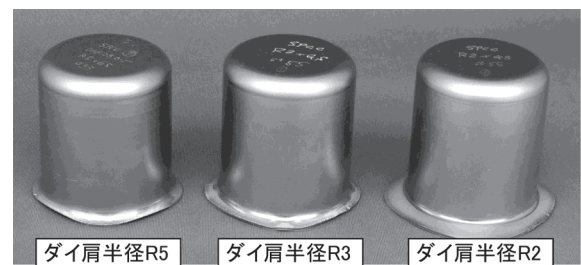
変更しても、Fig.3(b)に示すように、成形高さは 1~5mm 程度しか向上しない。

以上のとおり、成形高さはダイ肩半径 R5 の通常の再絞り成形 (成形高さ 55mm) に比べて 10%程度の増加にとどまっているが、ダイ肩半径 R2 で問題なく成形できることが明らかになった。以降のストレッチドロー実験では、ダイ肩半径 R2 を採用して検討を行った。

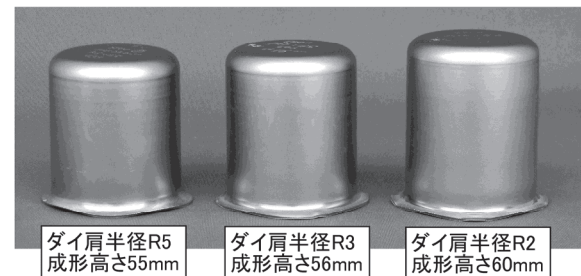
#### 3.2 リンクモーションでのしわ抑え力制御の効果<sup>8)</sup>

最初に、NC ダイクッションでしわ抑え力を負荷する際に割れ等の成形不良を発生させない最大しわ抑え力を調べるために、低速のリンクモーションでの成形において、しわ抑え力を 25kN, 30kN, ..., と変化させてストレッチドロー実験を行った。結果を Fig.4 に示す。

図に示すように、しわ抑え力が大きくなるにしたがって成形高さは向上し、しわ抑え力 30kN で成形高さを 68mm まで向上させることができた。しかし、しわ抑え力 40kN では割れが発生し、パンチ肩近傍の側壁部分に



(a) ストローク55mm一定の場合



(b) フランジ残り量が同程度になるようにストロークを変化させた場合

Fig.3 ダイ肩半径の影響 (ガススプリングの場合)

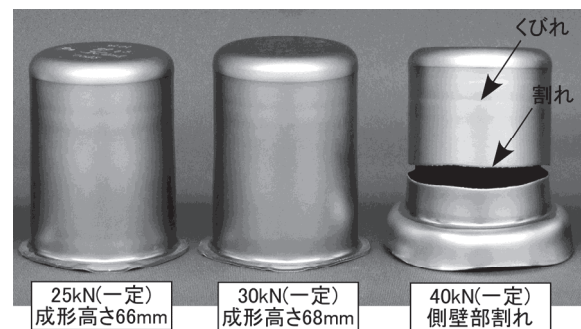


Fig.4 しわ抑え力の影響 (リンクモーション, ダイ肩半径R2の場合)

も明瞭なくびれが認められた。Fig.3 で示したように、ダイ肩半径 R5 での成形高さが 55mm であることから、成形高さ 68mm では約 24%の向上ということになり、しわ抑え力一定の制御ではこれ以上の成形高さの向上は望めないことがわかった。

そこで、成形前半は低いしわ抑え力で容器底部を形成し、成形後半にしわ抑え力を高めて容器側壁全体を引き伸ばすことを狙って、しわ抑え力を 25kN→40kN に変化させるしわ抑え力制御を適用したところ、Fig.5 に示すように、成形高さを 72mm まで向上できることがわかった (55mm に対し、30.9%の向上)。しかしこの場合には、側壁部にくびれやストレッチャストレインの発生が認められ、素板の持つ延性の限界に近づいていることが明らかになった。

### 3.3 ステップモーション適用の効果<sup>8)</sup>

前節で述べたくびれやストレッチャストレインを回避する一つの方策として、第1章で述べた応力緩和による素板の延性向上の効果を活用することが考えられる。そこで、Fig.6 に示すようなステップモーションとしわ抑え力制御を適用し、成形高さの向上を試みた。結果をFig.7 に示す。

Fig.7(a)は、Fig.5 と同じくしわ抑え力を 25kN→40kN に変化させるしわ抑え力制御(①)を適用した場合であるが、ここでは最終の成形ステップで底抜け割れが発生した。そこで最終ステップの成形時のみしわ抑え力を 30kN に下げたところ(②)、Fig.7(b)に示すようにフランジ部の絞り込みが起こり、成形高さが減少した。次に成形中期のしわ抑え力を 45kN にアップしたところ(③)、Fig.7(c)に示すような顕著なくびれが側壁部に発生した。最終的には、全ストローク 72mm のうち、成形前半のストローク 30mm の間のしわ抑え力を 30kN、成形中期のストローク 30mm の間のしわ抑え力を 40kN、最終ステップのストローク 12mm のしわ抑え力を 30kN に変化させるしわ抑え力制御(④)により、Fig.7(d)に示すような、くびれやストレッチャストレインの無い成形高さ 72mm の成形を実現した。なお、このしわ抑え力制御の条件でリンクモーションによる成形を行ったところ、成形途中に割れが発生したことから、ステップモーション

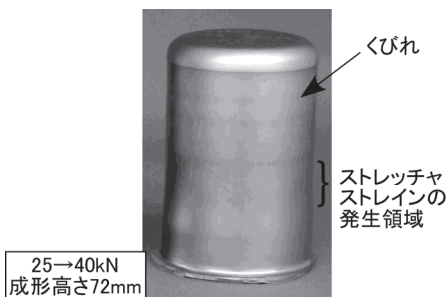


Fig.5 しわ抑え力制御の効果 (リンクモーション, ダイ肩半径R2の場合)

による成形性向上の効果が裏付けられた。

ステップモーションでの成形品 (Fig.7(d)) とリンクモーションでの成形品 (Fig.5) の板厚分布測定の結果を通常の再絞り成形品の板厚分布と併せて Fig.8 に示す。リンクモーションでの成形品ではパンチ肩部に近い側壁部での板厚減少は小さく、ストレッチャストレインの発生領域で大きく板厚が減少しているのに対し、ステップモーションでの成形品は側壁部で比較的均一に板厚が減少しており、容器側壁全体を適切にストレッチ成形できていることがわかる。

### 3.4 応力緩和の効果向上を目指した成形条件の検討

応力緩和による延性向上の効果をより引き出すことのできる成形条件を検討するために、停止時間と成形速度の影響、ステップモーションでの停止時にしわ抑え力を低減させる効果、停止前にスライドを引き上げることに よる成形荷重抜重の効果について調べた。

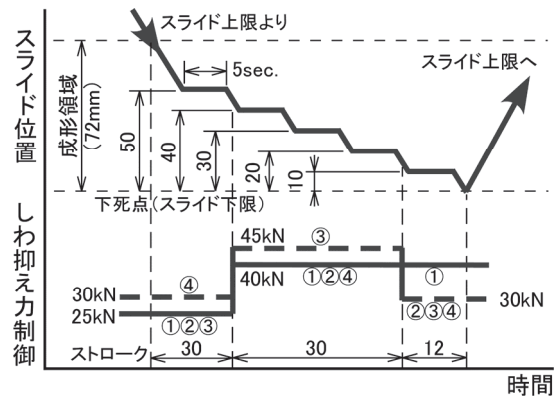


Fig.6 ステップモーションとしわ抑え力制御

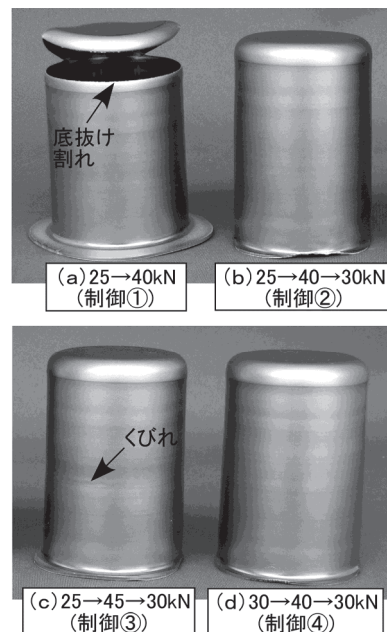


Fig.7 ステップモーションとしわ抑え力制御を適用した成形品の一例(スライドストローク72mmの場合)

### 3.4.1 ステップモーションにおける停止時間と成形速度の影響

スライドの加工速度を 10, 30, 50, 80% (設定値) に変化させ、停止時間を 0.1, 0.5, 1, 3, 5 秒に変化させてストレッチドロー成形を行い、成形品の外観を比較した。結果を Table3 に示す。

表より、スライド速度が速くなるほど、また停止時間が短くなるほど、成形品にはくびれや割れが発生することがわかる。すなわち、スライド速度が速くなることは、停止後の再加工時にいわゆるショックマークの発生を誘発しているものと思われ、また、応力緩和の効果を十分に発揮させるためには、1 秒程度以上の停止時間が必要であると考えられる。

### 3.4.2 ステップモーションにおける停止時のしわ抑え力低減の影響

しわ抑え力は圧力制御であるため、これまで検討してきたしわ抑え力制御では、スライド停止時にも素板フランジ部には圧縮荷重が負荷されていた。そこで、スライド停止時にはしわ抑え力を下げて応力緩和の効果を上げ、成形時にはしわ抑え力をこれまで以上に上げることで、成形高さの向上を図ることを試みた。ステップモーションとしわ抑え力のイメージを Fig.9 に示す。スライド停止時のしわ抑え力は 20kN、成形時のしわ抑え力は 40kN から 60kN まで 5kN ピッチで変化させた。

その結果、Fig.9 に示した 4 回の成形時全てのしわ抑え力を均等に上げた場合には 45kN で割れが発生した。また、4 回の成形時のうち前半 2 回のみしわ抑え力を上げた場合は 50kN で割れが発生し、後半 2 回のみしわ抑え力を上げた場合は 60kN で割れが発生した。すなわち、成形の後半 2 回のみしわ抑え力を上げた場合にはしわ抑え力 55kN での成形が可能であった。

しかし、このしわ抑え力低減制御は成形高さの顕著な向上にはつながらず、さらには、成形品の板厚分布測定の結果、Fig.10 に示すような成形周期ごと (約 10mm ピッチ) の大きな板厚変動が側壁部に発生しており、成形精度の面でも好ましくないことが明らかになった。

### 3.4.3 パルス停止モーション適用の効果

前項のしわ抑え力低減制御では、成形荷重に関しては、スライド停止中の低下はわずかであるため、応力緩和の効果を上げる次の試みとして、スライド停止前にスライドを少し引き上げる (これをパルス停止モーションと呼ぶ) ことにより、成形荷重を完全に抜重する効果を検討した。パルス停止モーションとしわ抑え力のイメージを Fig.11 に示す。成形後半のしわ抑え力は 40, 50, 55kN に変化させた。

その結果、成形後半のしわ抑え力を 50kN まで上げてもくびれや割れ、ストレッチャストレインの発生は認められず、良好な成形品が得られた。成形品の写真をステップモーションでの成形品と併せて Fig.12 に示す。パルス停止モーションでは、同じ成形高さの設定でフランジ

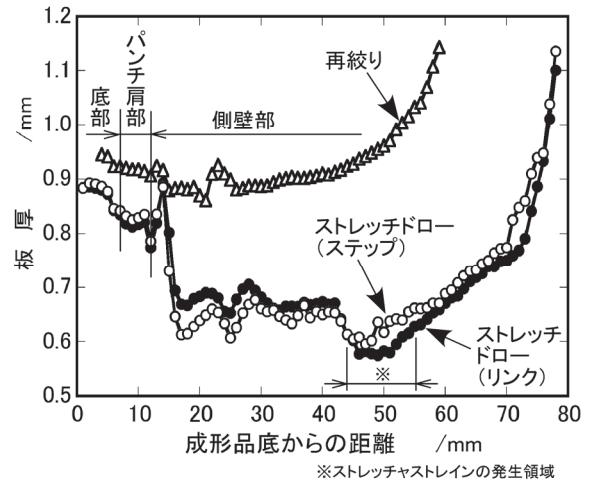


Fig.8 ステップモーションとリンクモーションでの成形品の板厚分布の比較

Table 3 停止時間と成形速度の影響

		ステップモーションの停止時間				
		5秒	3秒	1秒	0.5秒	0.1秒
速度設定	10%	○	○	○	△くびれ	△くびれ
	30%	×割れ	—	△うねり	△うねり	—
	50%	—	—	△うねり	—	—
	80%	—	—	×割れ	—	—

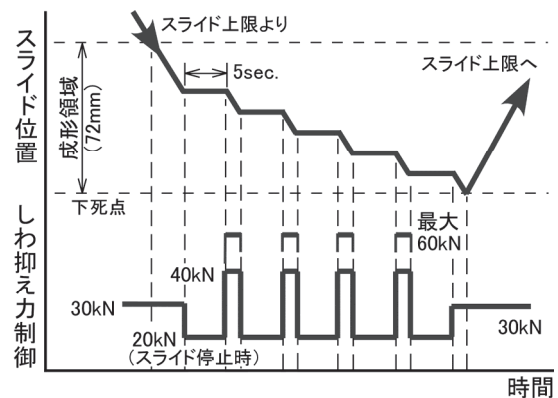


Fig.9 しわ抑え力低減制御を入れたステップモーション

部の残り量が多く、成形高さの向上につながる事がわかる。また、成形品の板厚分布測定の結果を Fig.13 に示す。成形後半のしわ抑え力を 50kN に上げたことによる板厚減少と容器底部からパンチ肩近傍にかけての板厚減少が認められた。すなわち、これらの適切なストレッチ効果とひずみの分散により、成形高さが向上したものと考えられる。

## 4. CAE による成形条件の検証

本研究においては、金型設計前の事前検討に CAE を活用したが、最後にしわ抑え力制御の効果について、CAE による検証を行った。3.2 節で行ったしわ抑え力制御

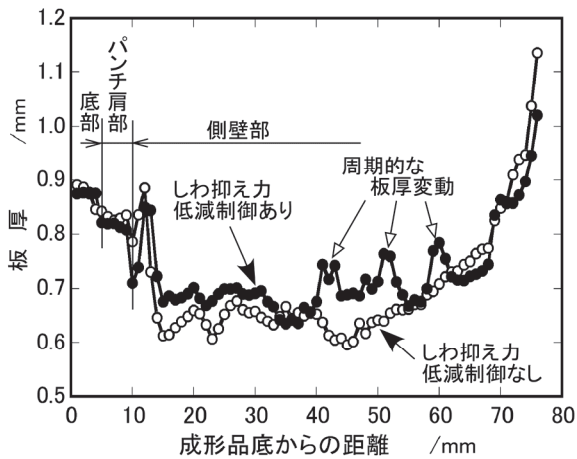


Fig.10 成形品の板厚分布に対するしわ抑え力低減の影響

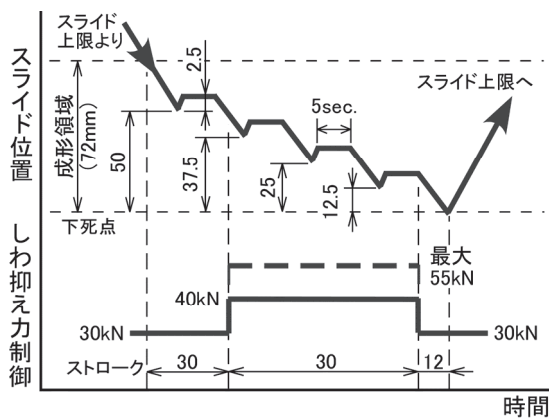


Fig.11 パルス停止モーショんとしわ抑え力制御

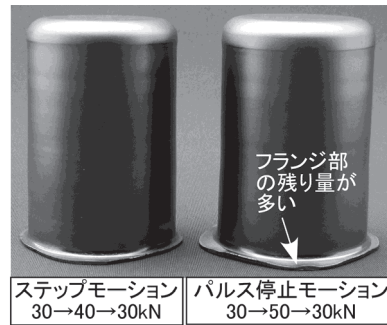


Fig.12 パルス停止モーショによる成形品の一例(ステップモーションとの比較)

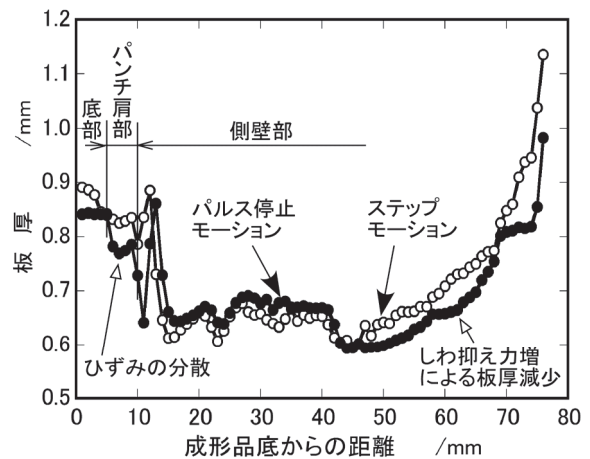


Fig.13 成形品の板厚分布に対するパルス停止モーション適用の効果

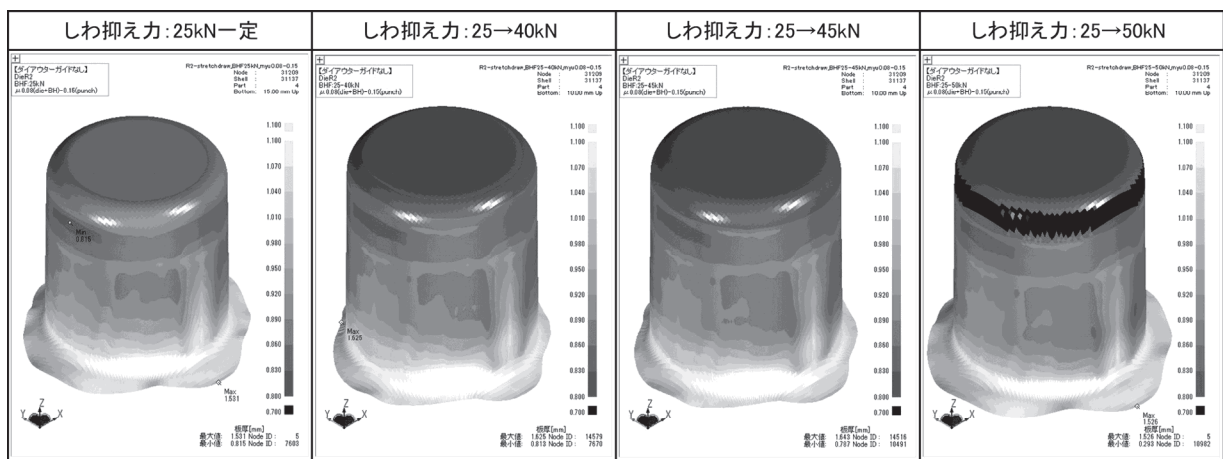


Fig.14 板厚分布に対するしわ抑え力制御の影響(プレスCAE「JSTAMP」による計算結果の一例)

の検討と同様に、しわ抑え力を 25kN 一定にした場合と成形後半のしわ抑え力を 40, 45, 50kN に高める制御を入れた場合の計算結果を Fig.14 に示す。

図に示すように、25→45kN の結果と 25→50kN の結果で板厚減少に顕著な差が認められており、割れを回避

しつつ、効果的にストレッチ成形できる条件を見極めることができている。ストレッチドロー成形でのしわ抑え力制御の検討に CAE を十分活用できることがわかった。

## 5. 結言

冷間圧延鋼板を対象にした絞りーストレッチドロー成形において、サーボプレスのスライドモーション制御とNC ダイクッションを活用した張力制御を適用し、成形高さの向上を試みた。得られた結果をまとめると以下のとおりである。

(1) ステップモーションとしわ抑え力制御の組合せにおいて、良好なストレッチドロー成形条件を見出し、通常の絞りー再絞りで得られる成形容器と比較して、成形高さの30.9%の向上を達成した。

(2) スライドの引き上げを伴うパルス停止モーションを考案し、これを適用することにより成形高さをさらに向上できることを明らかにした。また、そのメカニズムを板厚分布の測定から検証した。

(3) しわ抑え力制御の検討において、CAE技術の活用が有効であることを明らかにした。

## 謝 辞

本研究は、天田財団平成25年度一般研究開発助成(AF-2013012)により実施したものであり、ここに感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 今津：軽金属, 44-2(1994), 110.
- 2) 後藤ほか：機論(C), 65-638(1999), 334.
- 3) 後藤ほか：機論(C), 65-639(1999), 289.
- 4) 小川ほか：岐阜県機械材料研究所研究報告, 5(2012), 14.
- 5) 玉井ほか：塑性と加工, 51-592(2010), 450.
- 6) K. Hariharan, et.al: Materials & Design, 52(2013), 284.
- 7) 山下ほか：平24 塑加春講論(2012), 107.
- 8) 白川信彦・四宮徳章, 第66回塑性加工連合講演会講演論文集(2015), 107-108.