

# しわ押え力制御による成形性向上技術の開発

Development of Forming Technique with Real-Time Control of Blank Holding Force

広瀬洋三/Yozo Hirose・総合技術研究所 薄板研究部 主任研究員

小嶋正康/Masayasu Kojima・総合技術研究所 研究主幹 工博

氏原 新/Shin Ujihara・日産自動車株式会社 第三技術部 主管

## 要 約

従来、しわ押え力(BHF)は1ストロークで一定であり、その大きさを適切に選択することで不良現象の抑制を行ってきたが、十分には対応し切れていなかった。しかし、高強度鋼板の適用などにより、BHFの設定だけでは抑制できない不良現象もあり、成形法の改善などの要求があった。そこで、従来一定であったBHFを積極的に制御することで成形時の不良現象を抑制する技術を検討、開発した。実寸大モデル型での新成形法の効果を示し、さらに実パネルでの成形不良の改善効果について示す。

## Synopsis

In the conventional press forming process, Blank Holding Force(BHF) is fixed appropriately to suppress the press forming defects such as wrinkle and breakage within the formable range. However, when complicated-shape panels are stamped or when high strength steel sheet is used, some kinds of defect are not avoidable. By optimizing the controlled BHF during stamping stroke, it has been proved that the new technique is very useful in preventing defect formation with both experimental and actual stamping machines.

## 1. 緒 言

近年のプレス成形技術の発展や絞り用鋼板の成形性の向上にはめざましいものがあり、従来では考えられなかった形状やサイズの成形品が得られるようになってきている。しかし、特に自動車外板パネルなどにおいては、複雑な形状を求め、さらに、そのパネル品質も非常に高いものが要求されてきている。また、軽量化、安全性の観点から普通鋼よりさらに成形の困難な高強度鋼板の適用も検討されてきている<sup>1)</sup>。

これらの要求に応えるべく、材料の成形性は年々改善され、向上してきている。それに加え、成形性向上のためのプレス機械の改善にも著しいものがあり、いわゆる“知能化”と言われる段階に入ってきている。これは、従来のプレス機械での“ブランクを拘束して、パンチを押し込む”という単純なものではなく、成形の状態に応じてしわ押え力やパンチ力を制御し、素材の特性を最大限に活用できるような変形状態場でプレス加工を行おうとするものである<sup>2)~3)</sup>。

本報告では、プレス成形時の不良現象の一つであるボディしわをしわ押え力を制御することにより抑制できた例について報告する<sup>4)</sup>。また、日産自動車休殿での実パネルへの適用例を紹介する<sup>5)</sup>。

## 2. 実験条件

- (1)供試材(第1表)：ボディしわの発生状況が把握しやすいように380MPa級高張力鋼板を使用。
- (2)実験型(第1図)：研究所所有のフロントフェンダーをモデルとした大寸法モデル型を使用。
- (3)使用プレス：3MN-2MN複動油圧プレスを使用。ポンチ平均下降速度は、15.5mm/sec。
- (4)しわ押え力(BHF)制御

任意のポンチストローク(max 3段階)であらかじめ設定したBHFが得られるように油圧を急変させる制御方法を採用した。第2図にBHF制御パターンの一例を示す。BHF変化に要する時間は、成形速度及びBHF変化量に依存する。

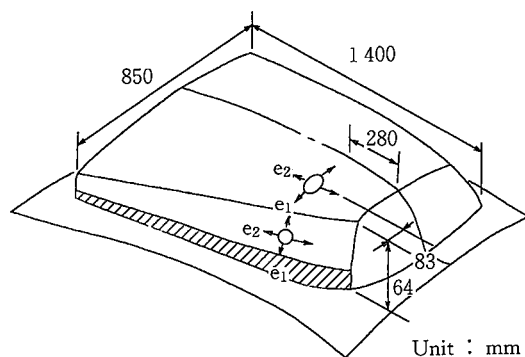
- (5)ボディしわの測定

第3図に示すボディしわ発生部のパネル長手方向プロフィール(600mmスパン)を測定。

第1表 供試材特性値

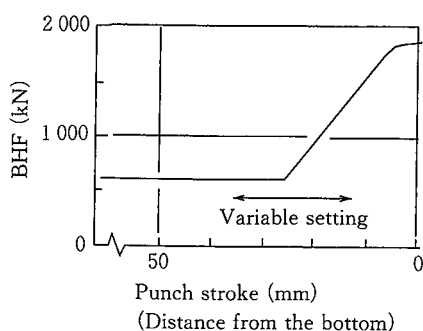
Table 1 Tensile properties of material

YS (MPa)	TS (MPa)	El (%)	n-value	r-value
267	415	37.9	0.210	1.59



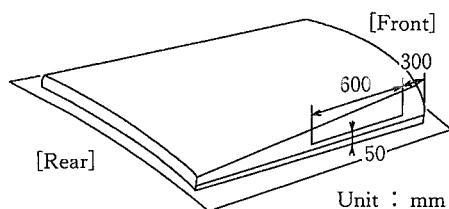
第1図 大寸法モデル型

Fig.1 Schematic illustration of model panel



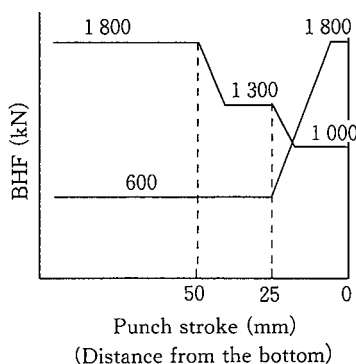
第2図 BHF 制御パターン例

Fig.2 Schema of the controlled BHF



第3図 ボディしわ測定位置

Fig.3 Measuring portion of the body wrinkle



第5図(a) BHF 制御を行った場合のボディしわ

Fig.5 Profile of the body wrinkle in the developed method

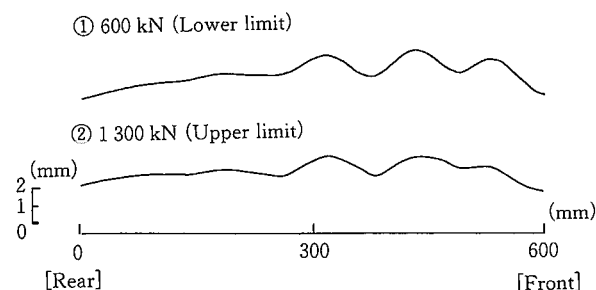
(a) Difference between the typical two types of controlled BHF

### 3. 実験結果

#### 3-1 BHF 制御パターンとボディしわ発生状況

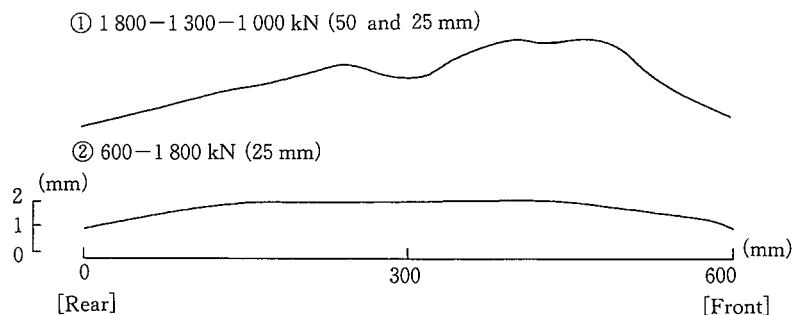
一定圧成形におけるフランジしわ発生限界である下限 BHF (600kN) と破断限界である上限 BHF (1300kN) でのボディしわ発生状態を第4図に示す。本パネルに関しては BHF の増加はボディしわ抑制に対して全く効果がみられないことがわかる。

一方, BHF 制御を行った場合 (第5図), 成形初期が低圧で後期に BHF を急増するパターンによりボディしわの消去が可能であることが第5図(a)よりわかる。逆に, 成形初期が高圧で後期に低下するパターンでは, ボディしわは消去されずに大きなまま残る。この成形後期に BHF を急増するパターンにおいて, 初期圧一定の場合 (第5図(b)) は, 最終圧は高い方がボディしわは小さく, また, 最終圧一定の場合 (第5図(c)) には, 初期圧はフランジしわを抑制できる範囲で低い方がボディしわは小さい。いずれの場合も, BHF 増加タイミングが早い場合には, 最終圧を高くすると破断に到り, 破断を生じさせない BHF 増加タイミングは最終圧との兼ね合いにより決まる。



第4図 一定圧成形でのボディしわ

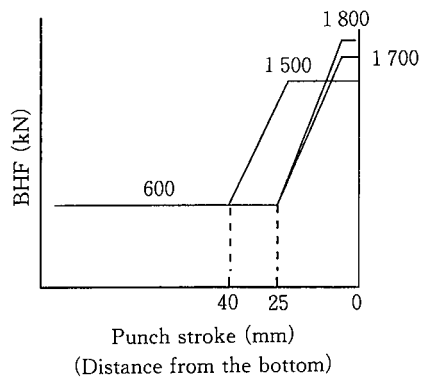
Fig.4 Profile of the body wrinkle in the conventional method



第5図(b) BHF 制御を行った場合のボディしわ

Fig.5 Profile of the body wrinkle in the developed method

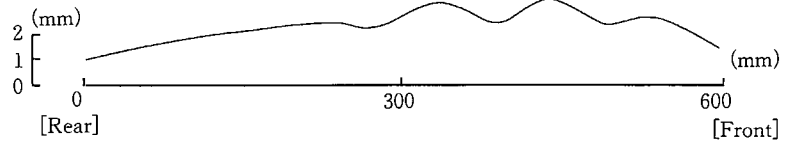
(b) Difference between the typical two types of controlled BHF



① 600—1 800 kN (25 mm)

② 600—1 700 kN (25 mm)

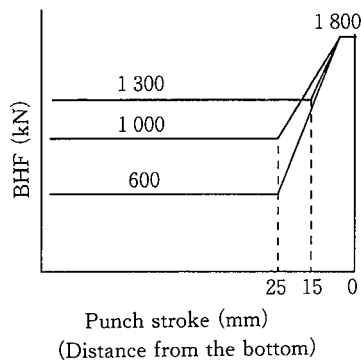
③ 600—1 500 kN (40 mm)



第5図(b) BHF制御を行った場合のボディシワ(初期圧一定の場合)

Fig.5 Profile of the body wrinkle in the developed method

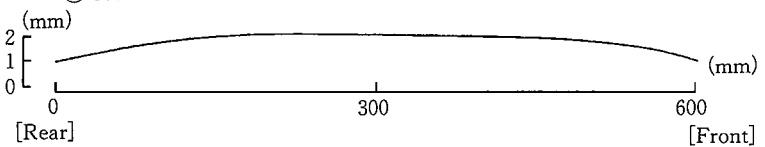
(b) BHF is constant in the early stage



① 1 300—1 800 kN (15 mm)

② 1 000—1 800 kN (25 mm)

③ 600—1 800 kN (25 mm)



第5図(c) BHF制御を行った場合のボディシワ(最終圧一定の場合)

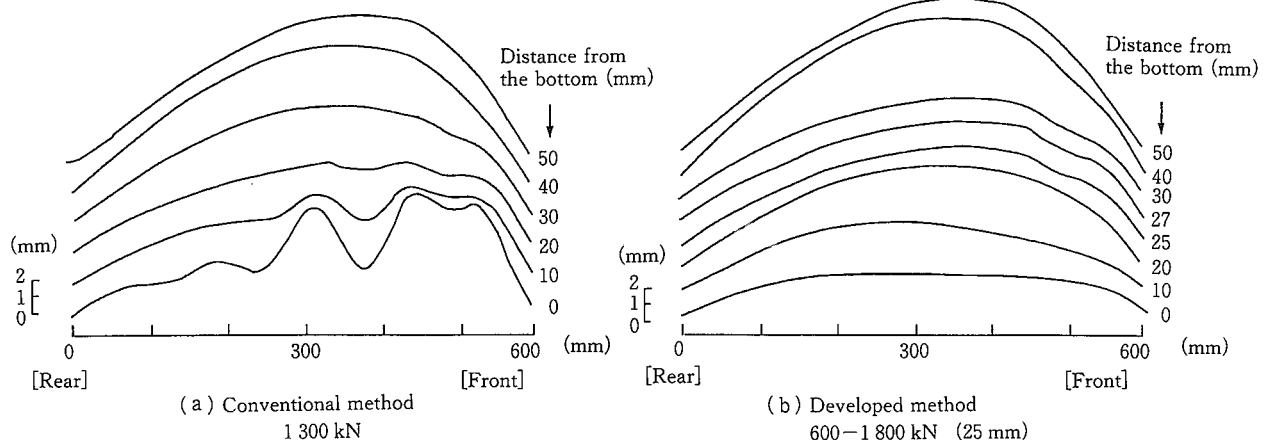
Fig.5 Profile of the body wrinkle in the developed method

(c) BHF is constant in the later stage

### 3-2 成形中のボディシワの挙動(第6図)

一定圧成形の場合(第6図(a)), 成形の進行と共にボディシワは成長し、特に下死点手前20mmUP付近から形状は著しく悪化し、成形終了までボディシワは成長し続け、製品に残る。一方、BHF制御を行った場合(第6図(b))に

は、BHF急増直前の下死点手前27mmUPでボディシワが生じ始めているが、BHF急増直後の25mmUPでその成長が抑制され、20mmUPでボディシワが消去されることが認められる。これより、成形後期のBHF増加により、ボディシワを形成することなく成形を完了すること



第6図 ボディシワの発生挙動

Fig.6 Difference in the growth of the body wrinkle between the conventional method and the developed method

が可能であるといえる。

## 4. 考察

### 4-1 BHF 制御パターンと変形状態

BHF 制御成形によるボディしわの抑制メカニズムを明らかにするためにボディしわ発生部（立壁部）とポンチ底部の変形状態を歪ゲージにより調査した（位置は第1図参照）。第7図に測定結果を示す。また、ポンチ底部は材料のなじみが終了した時点（下死点手前30mmUP）以降の歪変化を測定した。

#### (1) 立壁部歪（第7図(a)）

一定圧成形ではパネルの長手方向歪（ $e_2$ ）が単調な縮み変形であるが、BHF 制御成形では  $e_2$  は BHF を急増させた瞬間に縮み変形から伸び変形へと移行する。すなわち、BHF 制御成形では立壁部が二軸引張り状態になる。また、パネルの絞り方向歪（ $e_1$ ）は、一定圧成形の方が BHF 制御成形の場合より大きい。

#### (2) ポンチ底部歪（第7図(b)）

BHF 制御成形では、BHF の急増によってパネルの幅方向歪（ $e_1$ ）、長手方向歪（ $e_2$ ）共に急増し、さらに、長手方向歪（ $e_2$ ）は一定圧成形時の2倍以上の大きさとなる。しかし、パネルの幅方向歪（ $e_1$ ）は BHF 制御成形と一定圧成形とではほぼ同じ大きさであり、30mmUP 以降の歪増

分比（ $\Delta e_2 / \Delta e_1$ ）を調べると、BHF 制御成形と一定圧成形とではほとんど変わらないことがわかる。

#### (3) BHF 制御成形法の特徴

以上の結果よりパネルの変形状態に現われる BHF 制御成形法の特徴は、ボディしわ発生部の立壁の長手方向変形が、BHF 急増と共に縮み変形から伸び変形に移行し、立壁部が二軸引張り状態となることにある。パネル立壁部の二軸引張り状態を調査したが、BHF の急増により成形の進行に伴うせり出し量が若干増加するが、流入量の増加も同時に認められ、完全な張出し状態には至っていないことがわかる。したがって、パネルの変形状態は二軸引張り域が広い絞り成形に移行したとみるべきである。

### 4-2 パネルの変形とボディしわ

ボディしわの抑制、吸収には BHF 急増後の立壁の長手方向伸び変形が効果的であるのは明らかであり、また、この伸び変形は、ポンチ底部の長手方向伸び変形の急増と連動したものとするのが自然である。ポンチ底面の材料を長手方向に効率的に伸ばすためには、ポンチ底面の変形が開始する BHF 急増時の材料の変形抵抗が小さい方が好ましい。すなわち、BHF 制御成形においては、ボディしわがあまり成長しない成形初期は低圧にしてポンチ底面の材料の加工硬化を抑え、成形後期に BHF を急増させてポンチ底面を長手方向に大きく引き延ばす制御パターンが必要である。

## 5 応力履歴解析

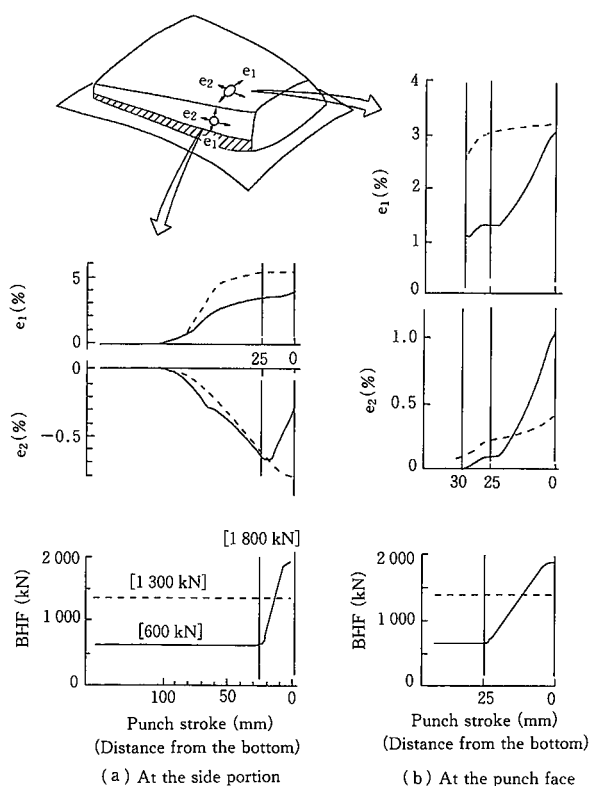
### 5-1 解析方法

前述のように BHF 制御によるボディしわ抑制の要因として、しわ発生方向の圧縮ひずみ及び面内圧縮応力が小さくなり、面内の座屈変形が抑制されるためと定性的に解釈されている。そこで、実験結果を元に剛塑性ひずみ増分理論を用いて、成形途中の応力増分及び応力を求め、しわ発生部の応力履歴の評価を行った。ただし、測定したひずみには、せん断成分が含まれているが、十分小さいと仮定し、ひずみの測定値はその主値に一致すると仮定して取り扱う。また、材料塑性は等方性と仮定した。

解析にはひずみ増分理論を用い、次の3つの仮定を行った。

- (1) 塑性ひずみ増分の主軸が各瞬間の応力増分の主軸に一致する。
- (2) 塑性偏差ひずみ増分の成分とそれらに対応する偏差応力の成分の比は等しい。
- (3) 塑性ひずみ増分によって体積ひずみは生じない。

また、弾性ひずみが塑性ひずみに比べて十分小さいと仮定する。



第7図 BHF 制御の場合の変形状態

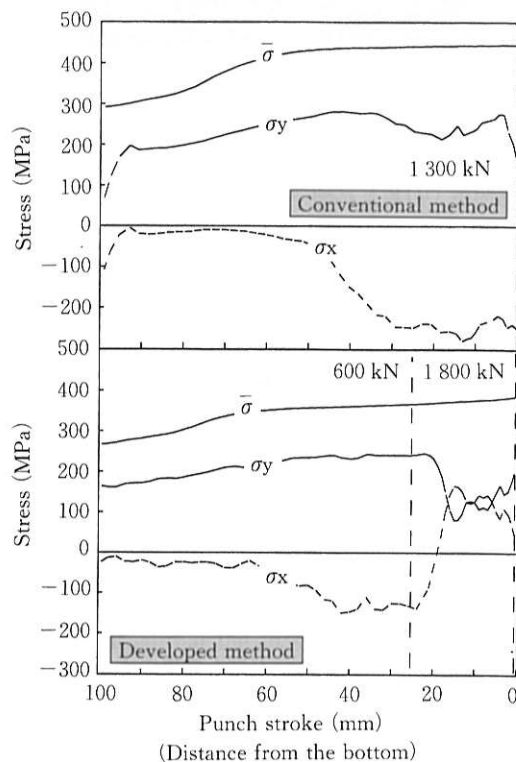
Fig.7 Comparison in the change of the strain between the conventional method and the developed method

## 5-2 解析結果

一定しわ押え圧及びしわ押え圧制御の場合の立壁部の応力履歴解析結果を第8図に示す。

第8図から、一定圧の立壁部の場合は最終段階の長手方向応力 ( $\sigma_x$ ) が負、それ以外の場合の面内応力は全て正となっている。これは、一定圧の場合の立壁部にのみボディしわが長手方向に生じていることと一致する。

また、しわ押え力制御を行った場合の  $\sigma_x$  は、しわ押えを上昇した直後から増加し、最終段階でも正のままであった。これは、ボディしわが発生しないこととうまく対応している。



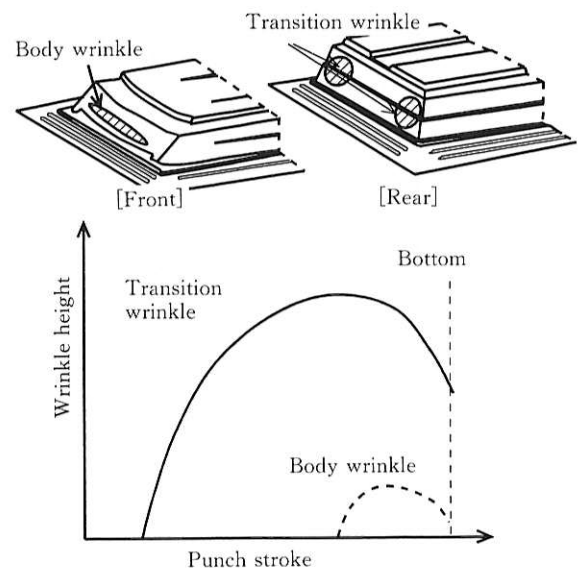
第8図 応力履歴解析結果

Fig.8 Comparison in the difference in the stress path

## 6. 実プレスでのしわ押え力制御の効果

日産自動車(株)で実生産に使用されている10/6MN 複動プレス機をしわ押え力制御可能なように改造し、トライアルを実施した。このプレス機では、4本の各シリンダごとに独立制御できる機構となっている。

このプレス機を使用し、しわ押え力制御の効果を成形不良の発生しやすい大寸法のハイルーフパネル(写真1)において確認した。対象とする成形不良は、パネル前面のボディしわと後ろ側コーナー部の肉余りしわである。この2種類のしわは第9図に示すように、その成長～消去のプロセスが異なっている。したがって、パネル前側とパネル後部では、必要とされるしわ押え力の制御パターンが異なるが、その一例を第10図に示す。この制御パターンによるパネル後部の肉余りしわの発生状況を写真2に示すが、しわ押え力制御により抑制されていることがわかる。また、低



第9図 実パネルでのしわ発生状況

Fig.9 Schema of the growth of wrinkle

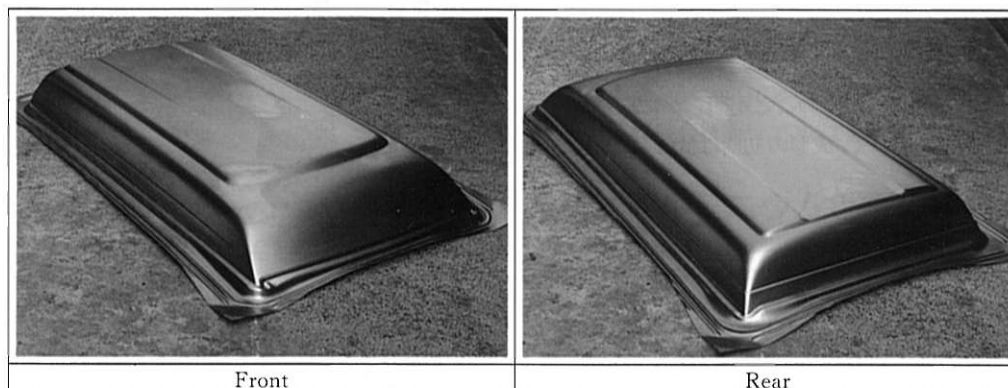


写真1 ハイルーフ外観

Photo 1 View of the actual panel

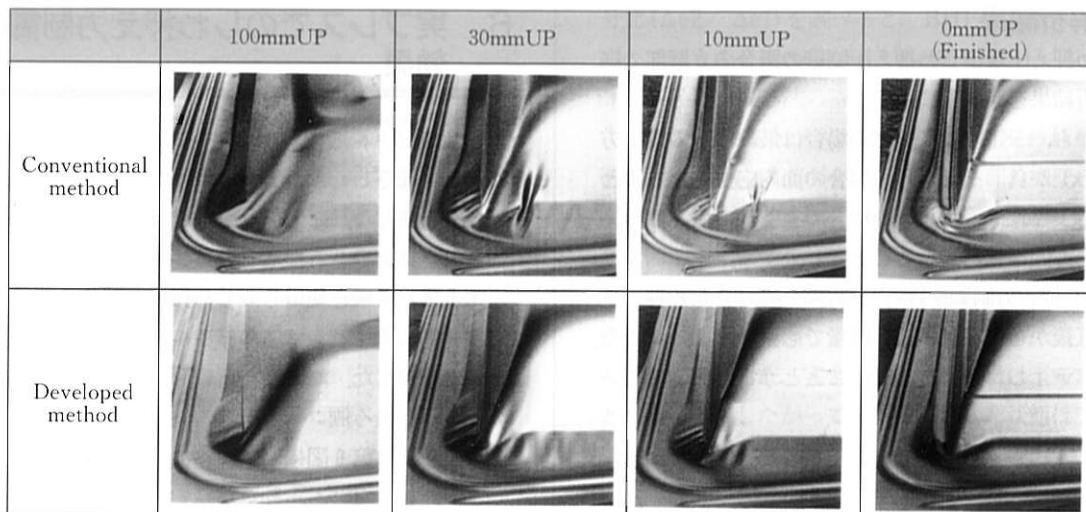
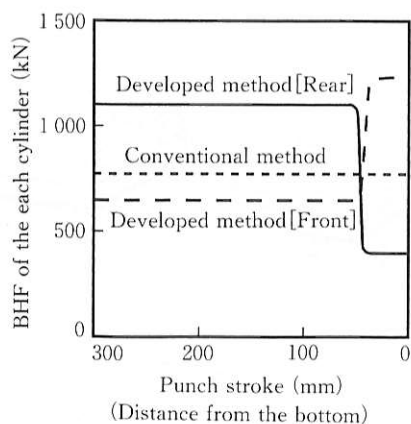


写真2 肉あまりしわの発生状況

Photo 2 Effect of the developed method on the transition wrinkle



第10図 実パネルでの BHF 制御パターン

Fig.10 Optimum controlled BHF for the actual product

グレード材の場合、従来の一定圧成形では消去しきれないボディしわが、しわ押え力制御成形では発生していないことも観察されている。このように、不良現象の発生状況に応じたシリンダごとのしわ押え力制御を行うことで、より高品質のパネルを得ることが可能となっている。

## 7. 結 言

BHF 制御成形法が大寸法パネルのボディしわに与える影響について調査した結果、以下のことが明らかになった。

(1) BHF 制御成形において、成形の初期は低圧とし、成

形後期に BHF を急増させるパターンとすることにより一定圧成形では消去しきれないボディしわを極めて効果的に防止できる。

(2) ボディしわの抑制、消去には、立壁部の長手方向の変形が BHF 急増により縮み変形から伸び変形に移行することが直接的に寄与している。

(3) BHF 制御成形では、しわ押え圧の上昇とともに長手方向の応力状態は負から正へ変化し、ボディしわの抑制、消去状態になることが明らかとなった。

また、モデル成形での結果を元に実パネルにしわ押え力制御技術を適用した結果、プレス不良現象を抑制し、実用可能な技術であることが確認された。さらに、この技術は面歪の抑制、形状凍結能の向上にも効果のあることがモデル成形で確認されている。今後は、自動車会社においてプレス機の耐久性、信頼性などの調査を行い、実用化が図られることを考えている。



広瀬洋三/Yozo Hirose

総合技術研究所 薄板研究部  
主任研究員

(問合せ先：06(489)5722)

## 参考文献

- 1) 例えば、松川幸夫：塑性と加工，35-404 (1984)，1076
- 2) 真鍋健一・浜野秀光・西村 尚：塑性と加工，29-330 (1988)，740
- 3) 長島敏幸・真鍋健一：昭63春塑加講論，(1988)，35
- 4) 村田篤信・恵比根美明・松居正夫：塑性と加工，33-

375 (1992)，411

- 5) 広瀬洋三・小嶋正康・菱田祐次・氏原 新・古林 忠：平2春塑加講論，(1990)，45
- 6) 菱田祐次・氏原 新・古林 忠・広瀬洋三・小嶋正康：平2春塑加講論，(1990)，49