

# 張出し予成形技術の開発

## Improvement in Press Formability by Stretch Preforming

藤井 祐輔 FUJII Yusuke JFE スチール スチール研究所 薄板加工技術研究部 主任研究員 (副課長)  
中川 欣哉 NAKAGAWA Kinya JFE スチール スチール研究所 薄板加工技術研究部 主任研究員 (副課長)  
山崎 雄司 YAMASAKI Yuji JFE スチール スチール研究所 薄板加工技術研究部 主任研究員 (部長)・博士 (工学)

### 要旨

自動車部品は意匠性向上を目的とした形状の複雑化や、衝突安全性の向上と軽量化を両立するための高強度化が必要とされており、プレス成形性を向上させる技術の開発が進められている。JFE スチールでは、多段工程のプレス成形において前工程の成形形状を最適化することでプレス成形性を向上させる張出し予成形技術を開発した。本報告では、2 工程化によるプレス成形性の向上効果を円錐台張出し成形で示し、1 工程目形状の最適化による効果をホイールハウスインナーのモデル形状で示した。さらに、スポイラーとバックドアアウターの一体部品を実部品スケールで試作することで、本開発技術の有効性を示した。

### Abstract:

The improvement in press formability of sheet steel is required to achieve sophisticated complex parts design, and compatible high strength to make lighter weight and comparable crashworthiness for car bodies. JFE Steel has developed a new forming technology, which consists of stretch preforming and substantial main forming, to meet these demands. The key aspect of the technology is the optimization of the preformed shape. In this paper, the effect of the preforming was validated by two-step forming test with truncated cone punches, and by press trial of a wheel house inner. Furthermore, a spoiler integrated back door outer is press-formed to show that the new technology is suitable for very complicated shape parts.

## 1. はじめに

自動車部品は意匠性向上を目的とした外板パネル形状の複雑化や、衝突安全性の向上と軽量化を両立するための骨格部品の高強度化が進められており、プレス成形性を向上させる成形技術が求められている。

プレス成形性のうち、絞り一張出し成形性を向上させるにはひずみを分散させることが有効であることが知られている<sup>1)</sup>。ひずみの分散を活用した成形技術としては、逐次成形<sup>2)</sup>や hidroforming<sup>3)</sup>があるが、成形速度が課題である。一方、プレス成形工程を多工程化することでひずみ分散と成形速度を両立させることも可能であるが、各工程の最適化が課題であり、角頭絞り成形<sup>4)</sup>のような単純な形状に限られている。

そこで、JFE スチールでは複雑な部品形状を対象とし、2 工程のプレス成形を最適化する技術を開発した<sup>5)</sup>。現在、量産プレス成形の多くがニアネットシェイプ成形とリストライク成形の 2 工程で部品を成形している。したがって、この 2 工程を最適化することで既存の工程数を増やすことなく、絞り一張出し成形性を向上させることが可能となる。

本報告では、2 工程化による張出し成形性の向上効果を円錐台張出し成形で検証し<sup>6)</sup>、開発した 1 工程目形状の最適化手法をホイールハウスインナーのモデル形状で検証した。さらに、スポイラーとバックドアアウターの一体部品を実部品スケールで試作することにより、本開発技術の有効性を検証した。

## 2. 工程数が張出し成形性に及ぼす影響

本章ではプレス工程の増加による張出し成形性の向上効果を円錐台張出し成形の FEM 解析で示す。

### 2.1 解析条件

円錐台張出し成形の金型モデルを図 1 に示す。通常の 1 工程の円錐台張出し成形 (以下、1 工程成形) では外径  $\phi 150$  mm、肩半径 5 mm のパンチを用いた。

2 工程の成形 (以下、2 工程成形) では 1 工程目に外径  $\phi 100$  mm、肩半径 20 mm のパンチを用いて成形した後、外径  $\phi 150$  mm、肩半径 5 mm のパンチを用いて成形した。ダイの内径は  $\phi 153$  mm、肩半径は 5 mm とし、全条件で共通とした。金型モデルは全て剛体である。

ブランク形状は直径  $\phi 170$  mm の円形とし、外周を半径方

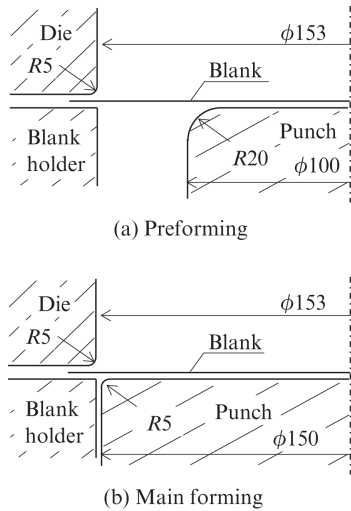


図1 円錐台張出し成形の金型モデル

Fig. 1 Tool model of each step for truncated corn forming test

表1 円錐台張出し成形に用いた供試材の機械的特性

Table 1 Mechanical properties of steel used in forming test with truncated corn punches

Thickness/mm	YP/MPa	TS/MPa	El/%
0.75	160	290	50

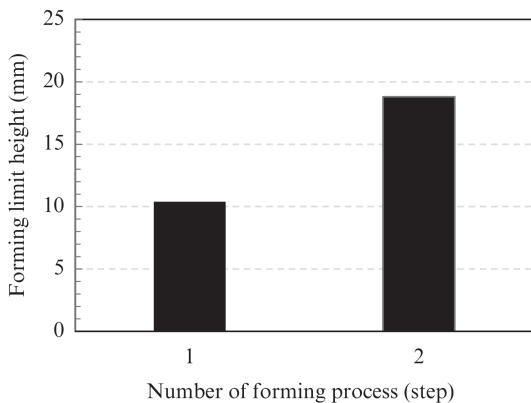


図2 工程数が円錐台張出し成形高さに及ぼす影響

Fig. 2 Dependence of forming limit height on number of forming steps in truncated corn forming test

向に拘束することで張出し成形を行った。

材料には表1に示す機械的特性の引張強度270 MPa級深絞り用軟鋼板を用いた。ソルバーは動的陽解法のLivmore Software Technology Corp.製のLSDYNA<sup>®</sup>Ver9.7.1 R5を用いた。金型とブランク間の摩擦係数は0.15とし、張出し成形の破断判定は成形限界線図で行った。

## 2.2 結果

1工程成形と2工程成形のそれぞれの成形限界高さを図2に示す。成形限界高さはそれぞれ10.4 mmと18.8 mmとなり、2工程化することで張出し高さは80%向上した。

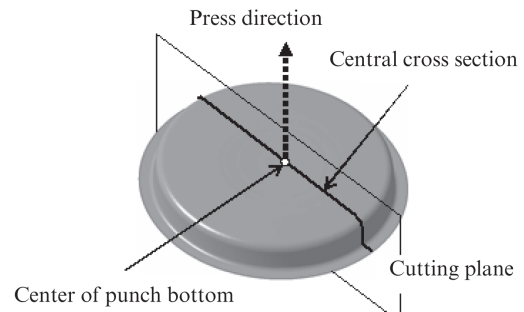
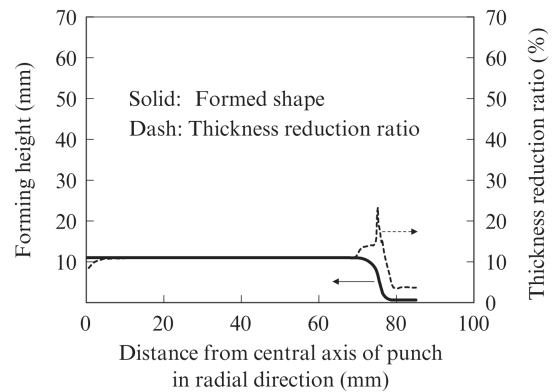
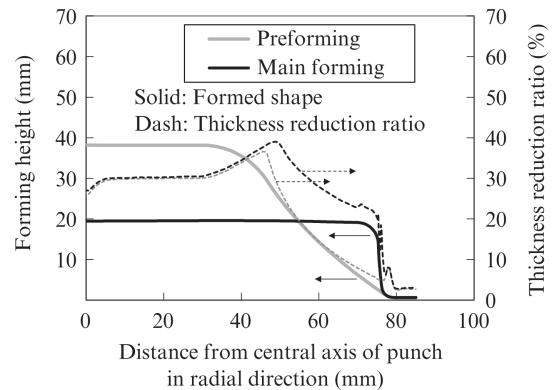


図3 板厚減少率の分布を算出した成形品の中央断面

Fig. 3 Central cross section of truncated corn shape along with cross sectional distribution of thickness reduction measured



(a) One-step process



(b) Two-step process

図4 工程数が成形品の半径方向の板厚減少率の分布に及ぼす影響

Fig. 4 Relationship between central cross sectional distribution of thickness reduction ratio of formed part and number of forming steps in truncated corn shape forming test

2工程化による張出し成形性の向上要因を検証するため、図3に示す中央断面で、各工程における成形品の板厚減少率を比較した。成形限界高さにおける成形品の形状と板厚減少率の分布を図4に示す。

1工程成形ではパンチ肩部のR止まり近傍で板厚減少率が局所的に高くなり、パンチ底部の板厚減少率は約11%であった。一方、2工程成形でも各工程の板厚減少率はパンチ

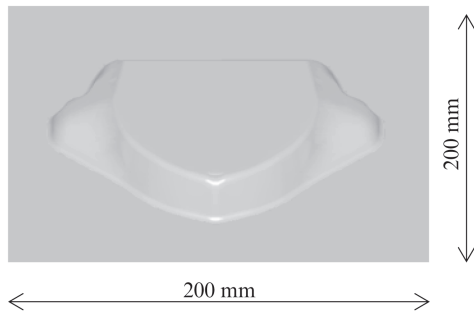


図5 ホイールハウスインナーの対象形状  
Fig. 5 Target part of wheel house inner

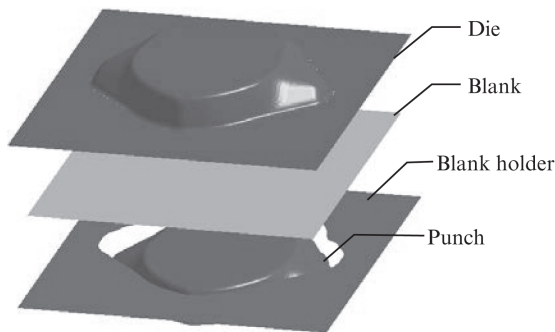


図6 ホイールハウスインナーの本成形に用いたブランクと金型の初期配置  
Fig. 6 Initial configuration of blank and tools in main forming to wheel house inner



図7 ホイールハウスインナーの最適化された予成形形状 B  
Fig. 7 Preformed model B (Optimized shape) before main forming of wheel house inner

肩部の  $R$  止まり近傍で高くなるが、パンチ底部全体の板厚減少率も 22%以上と高くなった。これは 1 工程目のパンチ肩半径が 20 mm と大きいので、パンチ底部から縦壁部への材料流出が増え、パンチ底部が伸びたことで、張出し成形性が向上したと考えられる。

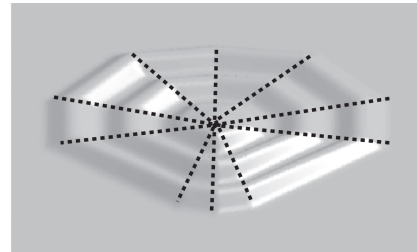
### 3. 1 工程目の予成形形状が 2 工程の絞り-張出し成形性に及ぼす影響

本章では、開発した 1 工程目の形状の最適化手法をホイールハウスインナーのモデル形状の成形実験で検証した。

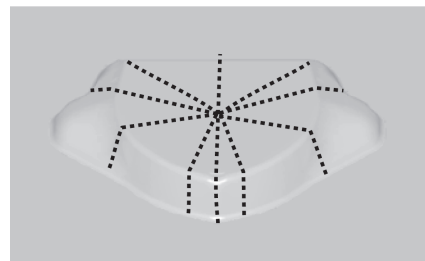
表 2 ホイールハウスインナーの成形実験に用いた鋼板の機械的特性

Table 2 Mechanical properties of steel used in press trial of wheel house inner

Thickness/mm	YP/MPa	TS/MPa	EI/%
0.70	158	299	49



(a) Preforming model B



(b) Part shape

図8 部品の断面線長を用いたホイールハウスインナーの予成形形状の最適化手法

Fig. 8 Optimization of preformed shape for wheel house inner based on cross sectional lengths of part shape

### 3.1 実験条件

図 5 に示すホイールハウスインナーの 2 個取りモデルを対象とした。

成形実験は 1 工程成形と、異なる 2 種類の予成形形状を用いた 2 工程成形を行った。1 工程成形と 2 工程成形の本成形では、図 6 に示す同じ絞り-張出し成形金型を用いた。2 工程成形の予成形は、直径 150 mm の球頭パンチを用いた単純な張出し形状のモデル A と、後述する 3.2 節の開発技術（以下、予成形形状設計技術）を用いて最適化した形状のモデル B（図 7）を用いた。2 工程成形の予成形モデル A は成形限界高さの 99%まで成形し、モデル B は下死点まで成形した。

ブランクは 200 mm×200 mm の矩形とし、供試材は表 2 に示す機械的特性の引張強度 270 MPa 級深絞り用軟鋼板を用いた。潤滑は鋼板に塗布された防錆油ままとした。

### 3.2 予成形形状設計技術

図 7 の予成形形状 B の設計方法を以下に示す。対象部品に図 8 のような複数の断面を設定し、各断面の長さ（以下、

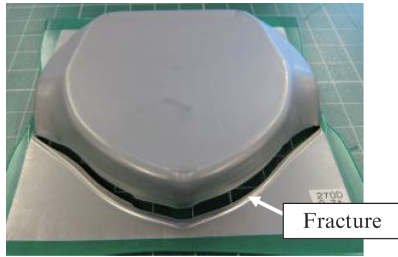
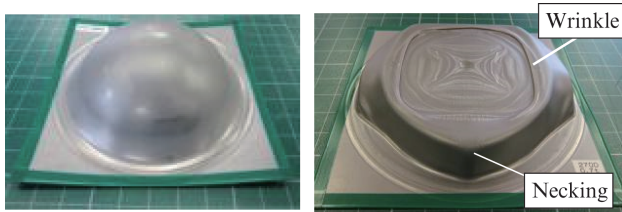


図9 1工程成形

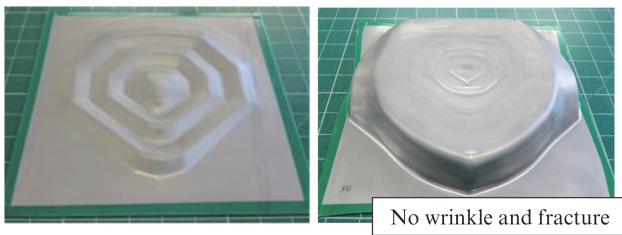
Fig. 9 Fracture in wheel house inner by one-step forming



(a) Preforming with model A (b) Main forming

図10 単純形状の予成形モデルAを用いた2工程成形

Fig. 10 Formed shapes by developed simple two-step forming, (a) preformed with Model A, and (b) main formed



(a) Preforming with model B (b) Main forming

図11 最適化形状の予成形モデルBを用いた2工程成形

Fig. 11 Formed shapes by optimized two-step forming, (a) preformed with optimized Model B in Fig. 7, and (b) main formed

断面線長)を算出する(図8(b))。その後、断面線長を維持しながら、プレス成形が容易となるように肩Rを拡大し、断面形状を変更した(図8(a))。

### 3.3 成形実験結果

1工程成形では図9に示すように、ダイ肩部で大きな割れが発生し、成形できなかった。

単純形状の予成形モデルAの2工程成形では図10に示すように、2工程目の本成形でパンチ肩部にネックングが発生し、さらに天板部にはしわが発生したため成形できなかった。ただし、1工程での成形より割れは小さくなっている。

一方、最適化した予成形モデルBの2工程成形では図11に示すように、割れやしわは発生せず、部品形状を成形することができた。

通常のプレス成形工程は図12に示すような2工程成形で

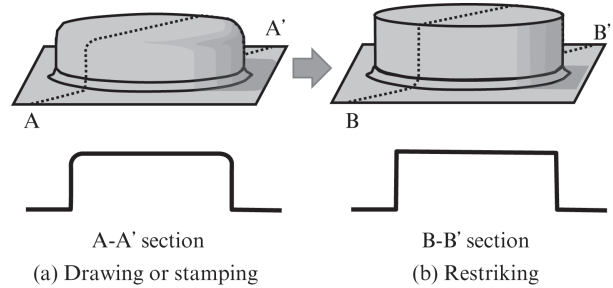


図12 従来の2工程成形の模式図

Fig. 12 Schematic illustration of conventional two-step forming which consists of main forming and restriking

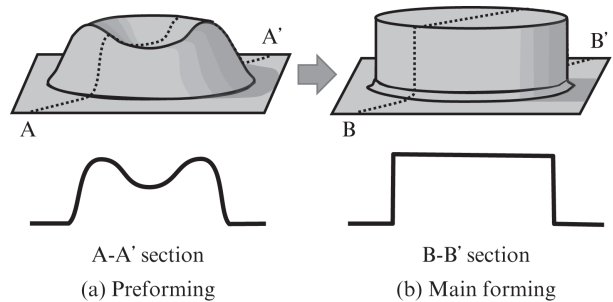


図13 開発された2工程成形の模式図

Fig. 13 Schematic illustration of developed two-step forming which consists of optimized preforming and main forming

あり、1工程で部品に近い形状まで成形する。そのため、部品形状で成形の難易度が決まることになる。2工程成形をより有効に活用するためには図13に示すように、1工程目の予成形形状を部品形状に応じて最適化することが重要である。

## 4. 張出し予成形技術による部品意匠性の向上

本章では、実部品スケールのスポイラーとバックドアウターの一体部品を試作し、開発技術の有効性を示す。

### 4.1 実験条件

対象部品の形状は図14に示すスポイラーとバックドアウターの一体化部品である。

スポイラーの成形難易度は図15に示すスポイラー角度 $\theta$ と高さ $H$ の2つの指標で表され、 $\theta$ が小さく $H$ が高いほど難しい。そこで、目標とするスポイラーの形状は市販車の中で、より鋭角で深い意匠性の高い形状とした。

図16に市販車のスポイラー角度 $\theta$ と高さ $H$ の関係を示す。樹脂製のスポイラーは鋼製のスポイラーに比べて $\theta$ が小さく、 $H$ が高い傾向にあり意匠性が高い。そこで、本開発法を活用し、調査した中で最も $\theta$ が小さく、 $H$ が高い樹脂製スポイラーの角度 $\theta=32^\circ$ 、高さ $H=95\text{ mm}$ を目標形状とした。

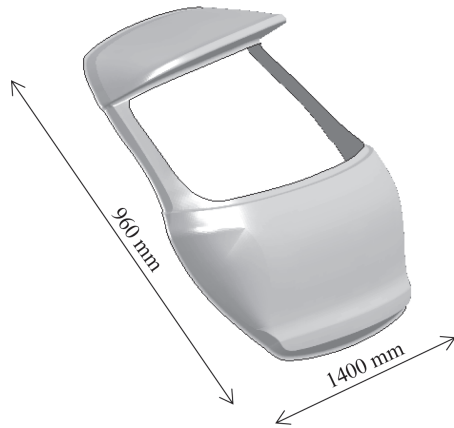


図 14 スポイラー一体型バックドアアウター  
Fig. 14 Target shape of spoiler integrated back door outer

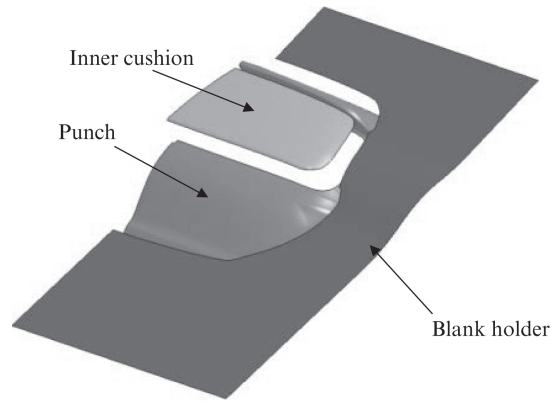


図 17 本成形における金型構成  
Fig. 17 Initial configuration of lower tools in main forming for spoiler integrated back door outer

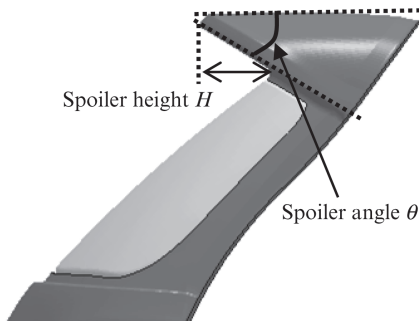


図 15 スポイラー角度 $\theta$ と高さ $H$   
Fig. 15 Definition of spoiler height  $H$  and angle  $\theta$

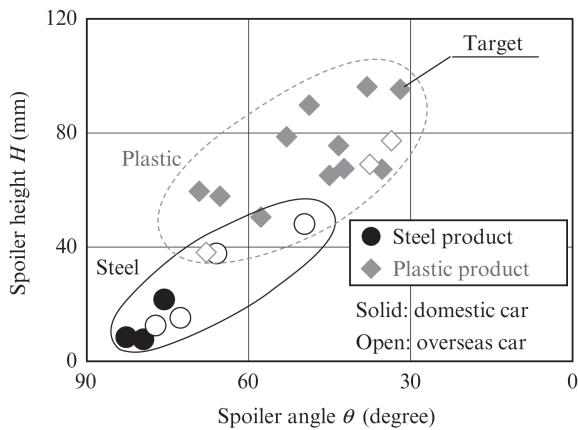
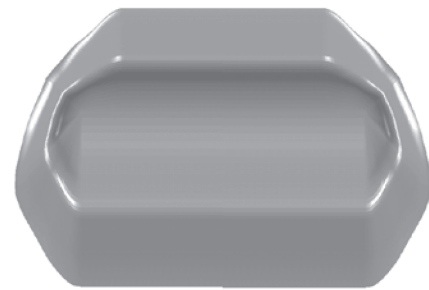


図 16 国内外の乗用車のスポイラー角度 $\theta$ と高さ $H$ の関係、および対象部品の形状  
Fig. 16 Spoiler height  $H$  and angle  $\theta$  of target shape compared with those of domestic and overseas cars

成形実験は1工程成形と2工程成形の2条件で行った。1工程成形と2工程成形の本成形では図17に示す金型を用い、部品の中央部をインナーダイクッションで押さえながらドロ成形を行う構造とした。

図18に2工程での成形実験における予成形と本成形の成形形状を示す。予成形形状は1工程成形の最大主ひずみ方



(a) Preforming



(b) Main forming

図 18 2工程成形における各工程の成形形状  
Fig. 18 Optimized preformed shape (a) and main formed shape (b) of spoiler integrated back door outer

表 3 供試材の機械的特性

Table 3 Mechanical properties of steel used in press trial of spoiler integrated back door outer

Thickness/mm	YP/MPa	TS/MPa	EI/%
0.70	155	306	50

向に断面を選定し、3.2節の予成形形状設計技術を用いて各断面の線長を揃えるように設計した。

ブランクは1600 mm×1200 mmの矩形とし、供試材は表3に示す機械的特性の引張強度270 MPa級深絞り用軟鋼板を用いた。潤滑は鋼板に塗布された防錆油ままとした。

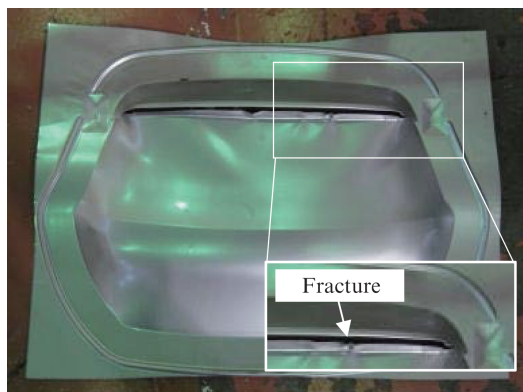


図 19 1 工程成形による試作結果

Fig. 19 Fracture in spoiler integrated back door outer by conventional one-step forming



図 20 予成形後の部品形状

Fig. 20 Preformed spoiler integrated back door outer panel by developed two-step forming

## 4.2 試作結果

1 工程での試作では図 19 に示すように、スポイラー下部で大きな割れが発生した。

2 工程での試作では、予成形形状を成形し（図 20）、部品中央部に材料の流入調整のための穴をあけた後、本成形を行った。その結果、割れ無く成形することができた（図 21）。

以上のように、プレス成形の 2 工程化と予成形形状設計技術により、従来のプレス成形技術では不可能であった難成形形状の成形が可能となった。

## 5. おわりに

多段工程のプレス成形を対象として張出し予成形技術の開発を行った。絞り一張出し成形性を向上するためには、各工程の成形形状を最適化することが重要である。本報告



(a) Top view



(b) Side view

図 21 本成形後の部品形状

Fig. 21 Main formed spoiler integrated back door outer panel by developed two-step forming

では、予成形形状設計技術を用いることで、2 工程の成形により意匠性の高い難成形形状が成形できることを示した。本開発技術は、難加工材料の成形性向上にも適用できることから、衝突安全性の向上と軽量化が必要な骨格部品の高強度化にも有効である。

### 参考文献

- 1) 山口克彦. 塑性と加工. 1992, vol. 33, no. 372, p. 3-12.
- 2) 松原茂夫. 塑性と加工. 1994, vol. 35, no. 406, p. 1311-1316.
- 3) 森謙一郎, 前野智美, 牧清二郎. 塑性と加工. 2006, vol. 47, no. 548, p. 835-839.
- 4) Hino, R.; Sasaki, A.; Yoshida, F. Toropov, V. V. Arch. Appl. Mech. 2006, vol. 75, no. 10/12, p. 679-691.
- 5) JFE スチール. 特許第 5867657 号.
- 6) 中川欣哉, 山崎雄司, 平本治郎. 塑性加工春季講演会論文集. 2016, p. 37-38.



藤井 祐輔



中川 欣哉



山崎 雄司