

視界向上フロントピラーの開発

Development of Front Pillar for Visibility Enhancement

長谷川 芳 春*
Yoshiharu HASEGAWA
藤 本 雅 昭*
Masaaki FUJIMOTO

藤 田 浩 史*
Hiroshi FUJITA
田 辺 順 也**
Junya TANABE

遠 藤 岳 晴*
Takeharu ENDO
吉 田 正 樹***
Masaki YOSHIDA

要 旨

車両運転中のドライバ視界の死角を削減するため、斜め前方の視界を向上させるフロントピラーを開発した。

まず、フロントウィンドウ及びサイドウィンドウにまたがる景色の動きを連続的に、かつ違和感が無く見ることができるフロントピラーの幅を人の生理的側面と心理的側面から解明した。

その上で、必要な車体性能を維持したまま、目標とするピラー幅を達成するため、超高張力鋼管のハイドロ成形部材を主要骨格とし、インダイレクトスポット溶接およびアークレーザハイブリッド溶接を用いて車体骨格に組み込んだ新たなフロントピラー構造を開発した。

ABSTRACT

In order to reduce blind spots during driving, a front pillar has been developed that enhances the driver's diagonal forward visibility.

Physiological and psychological studies conducted internally indicated the existence of a more favorable front pillar width that enables essentially a continuous field of vision between the front window and the side windows, and which would not induce a sense of visual incongruity to the driver.

A new pillar structure was developed in order to realize a target pillar width, and at the same time maintain vehicle performance. The new structure uses ultra-high-strength hydroformed steel tubes as the main framework. Indirect spot welding and arc laser hybrid welding are used to mount the new structure in the body framework.

1. はじめに

車を運転するために運転者が外界から得る情報の約9割は眼からの情報といわれている。したがって、車をコントロールする上で視界性能が重要な要素であることは明らかである。通常の運転時の前方視界において、視界を妨げる要因の一つとしてフロントピラーによる死角があり、その死角を削減することによって視界性能向上の効果が大きいに期待できる。フロントピラーによる死角については、その大きさを人間の両眼瞳孔間隔より小さくすれば死角はゼロとなり、それを具現化するためのピラー構造の開発について報告がされている⁽¹⁾。本稿では、新たに視界性能を動的な観点で捉えることに注目し、動きのあるものを視認した際に、物理的な死角の大きさがそれを認知する人間の生理面、心

理面にどのような影響を及ぼすかを把握した。その上で、望ましいピラーの幅とはどれ位なのかを明らかにすると共に、従来の車体に求められる剛性や強度などの性能を落とすことなくそのピラー幅を達成するための車体構造と生産技術について述べる。

2. 動的観点でのピラー視界検証と適切なピラー幅設定

2.1. ピラー視界の考え方

運転者が車を運転中に視認対象物を眼で追う場合、フロントピラーが妨げとなる場合がある。しかし、運転中の視認情報には常に動きがあり、そのピラーの幅がある程度以上細くなれば、フロントウィンドウとサイドウィンドウの間

* 四輪開発センター

** ホンダエンジニアリング株式会社

***株式会社丸順

を流れる景色が途切れることなく繋がって感じるようになると考えられる。すなわち、物理的には視界が途切れる場合でも、ピラーが視界の妨げとはならず視認対象物を連続的に認知できるようになる。このようなピラー幅を解明することで、視界性能として望ましいピラー幅を得ることができると考えられる。

2.2. 走行シチュエーションの設定

ピラー視界の検証をおこなうに当たり、まずは運転シーンを整理する必要がある。フロントピラーが視界に影響を及ぼす代表的なシチュエーションとして、交差点における右左折とカーブにおけるコーナリングの二つが考えられる。それぞれのシチュエーションにおけるドライバの視認行動を観察すると、交差点においてはさまざまな障害物を見ようとして、視線がフロントピラーを挟んで素早く大きく左右に動く。また、車も大きく旋回することにより、相対的にフロントピラーが視認対象物に対して短時間で横切ることになる。すなわち、フロントピラーに対するドライバの視線の動きが早く、ピラーによる視界の妨げは瞬間的なものとなる。

対して、コーナリングにおける視認行動では、カーブの先を見通すために視線方向が安定し、視認対象物が遠方にあることもありその動きは遅く、フロントピラーによる視界の妨げが持続的となる。

したがって、コーナリング視界を解明し性能評価をおこなうことがピラー幅の目標値を設定するためには妥当であると考えられる。

カーブといってもさまざまな曲率半径で造られているが、これらは曲率半径の大きさとそれに応じた通過速度を規定した道路構造令⁽²⁾の基準に則って設計されている。

一方で、通常の運転時における視線は、自車の走行先を予測するため、進行方向の約3秒先を見ていることが検証結果から判明した。その視線方向を道路構造令で造られたカーブに重ね合わせてみると、半径30mのカーブを走行している時の視線がフロントピラーに重なり、視界の妨げとなる状態が、最も厳しい条件であるといえる。そこで、半径30mのカーブを道路構造令で規定されている通過速度である30km/hで走行中に前方障害物を見ているシーンを想定し、検証をおこなった。Fig. 1はカーブにおける旋回中の車両からの運転視界の見え方を示している。

2.3. 検証方法

旋回中の車両からのドライバの連続的な視界を検証する方法として、台上での視線追従実験をおこなった。まず車両に見立てたピラー幅を変更できる検証治具と、その先に大型スクリーンを設置した実験装置を準備した。Fig. 2にその実験装置を示す。スクリーンには、計算上で割り出した半径30mのカーブを30km/hの速度で走行した時に3秒先にある障

害物の動きを想定したポイントを投影した。被験者はその実験装置に着座し、スクリーン上で移動するポイントを眼で追った。被験者の視線の動きをアイマークレコーダを用いて観察し、ピラー幅を変化させた時の結果を比較した。

次に、同様の実験装置を使用し官能評価をおこなった。スクリーンに半径30mのカーブを30km/hで走行した旋回中の前方視界の映像を投影し、ピラー越しに見た映像からどのように感じるかを自己申告によるポイントで評価した。評価項目としては、視界の良し悪しを感じる視界感と映像の見え方から感じる違和感の有無の2項目を、ピラー幅を変化させてそれぞれ評点付けをおこなった。

2.4. 検証結果

2.4.1. 追従眼球運動の計測

Fig. 3(a)は動きのあるポイントを眼で追っている時の視線の変化をアイマークレコーダにより測定した結果例である。縦軸にはピラー幅が違うサンプルを並べており、横軸は視認対象であるポイントの横方向におけるスクリーン上の位置を示している。○印は視線停留が起きた位置を示し、○印の大きさは停留時間の長さを示している。また、影になっている部分がピラー障害エリアである。この結果から、ピラー障害エリアの外においても視線停留が起きていること

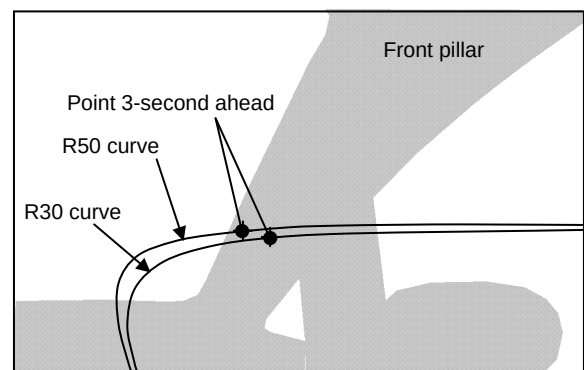


Fig. 1 Driver's visual field on driver side curve

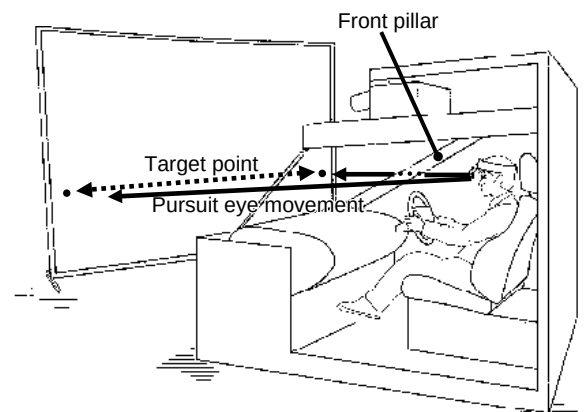


Fig. 2 Test equipment

がわかる。すなわち、ポイントを追う視線の動きは、障害物が無い状態ではスムーズに追いかけているように見えても、データ上はわずかに停留しながら視対象を追っていることがわかる。これは追従眼球運動中に起こる人の視覚認知生理現象であると考えられる。そこにピラー相当の障害物が加わると、そのピラーの中をポイントが通過する際、視線はそのポイントが再び現れるであろう位置に移動してポイントが出てくるのを停留して待つ、という現象が起きることが判明した。そこで、我々はピラー幅増加に伴うこのピラー障害エリア内での視線停留の変化に着目した。

まず、ピラー障害エリア外での視線停留の時間を解明し、次に、その視線停留時間よりも長く停留したもののみを抽出した。Fig. 3 (a) に示すデータから視線停留時間の延びた停留ポイントのみを抽出したものを Fig. 3 (b) に示す。

その結果、視線停留時間の伸びを示したポイントのほとんどがピラー障害エリア内にあり、さらに、あるピラー幅よりも小さくなると停留ポイントが残らない。すなわち、ある一定のピラー幅よりも細いピラーではピラー障害の影響を

受けていないと考えられ、視線は途切れることなく連続的に視認対象物を追うと判断できる。

2.4.2. 官能評価

官能評価の結果から、視界感の良し悪しについては、ピラー幅が細くなればなるほど良くなるが、見え方の良し悪しについては、あるピラー幅にピークがあり、それ以上細くなると逆にポイントが下がることが判明した。Fig. 4にその官能特性を示す。被験者のコメントとしては、ピラーが細すぎると違和感を覚えるとか、ピラーが見え隠れする感じで気持ちが悪い、といったものであった。これは両眼の幅よりも細いピラーの場合に遠方にあるスクリーンを見ると、左右いずれかの眼でスクリーン上の映像が見えることになり、理論的に死角ゼロとなる。このような状態では、存在するはずのピラーが一方の目では見え、もう一方の目では、見えなくなり、そのことにより両眼に異なった視覚情報を与えた際に起こる両眼視野闘争⁽³⁾が発生しているものと考えられる。このような結果から、ピラー幅には適切な幅が存在するといえる。

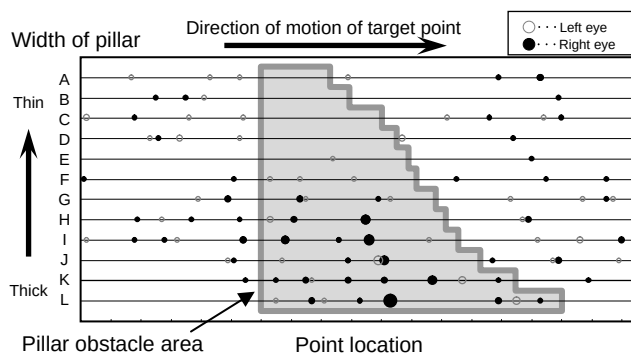


Fig. 3 (a) Points at which eye movement stops

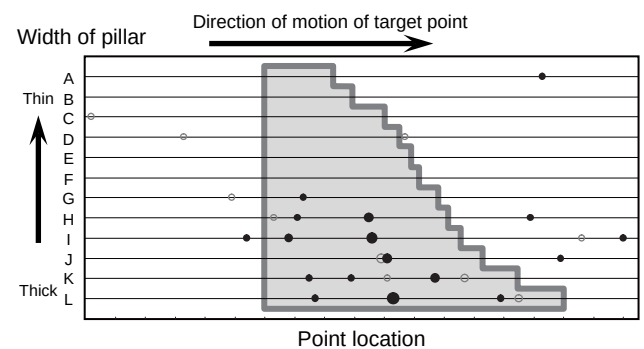


Fig. 3 (b) Points at which eye movement stops

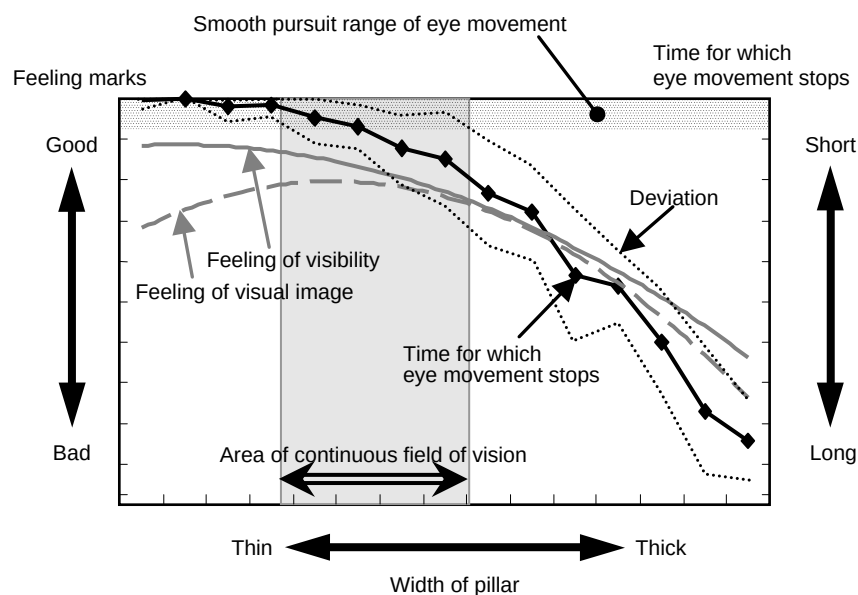


Fig. 4 Eye movement characteristic and subjective rating

2.5. ピラー幅の目標設定

人の生理現象である視線追従特性と心理現象である官能特性の結果から、対象物を連続的に眼で追うことができ、かつ、違和感の少ない見え方をする適切なピラー幅が存在することがわかった。Fig. 4 に視線追従特性と官能特性を示す。視線追従特性はピラー内における停留時間のばらつきも含めた範囲を示しており、ピラー幅が細くなるに従い停留時間も短くなり、やがて追従眼球運動中の停留時間以下となる。これに、先に述べた官能特性を重ねると、官能特性のピーク付近のピラー幅の視線停留時間も追従眼球運動中の停留時間以下となることがわかる。以上の結果から、本研究では、連続視界を実現するために、このピラー幅を目標値として設定した。

3. 視界向上フロントピラーの基本構造

3.1. 従来構造におけるピラー太さの主要因の解明

前項で定めた目標は従来のフロントピラーの幅に比べ、大幅に細く、従来構造では達成できない。従って、新たなフロントピラー構造の検討が必要であると判断し、まず、ピラー幅狭小化の観点で従来構造を見直してみることにした。Fig. 5 に示す従来のピラーの法線方向の断面をみると、視線方向に対するピラーの有する幅は、ガラス接着面とドアサッシュ部、およびその間に存在する閉断面部の三つの要素にて決定されていることがわかる。そしてそれらの幅を狭めることが、ピラー幅の狭小化につながる。しかし、ガラス接着面とドアサッシュ自体については周辺部品が存在する上で不可欠な基本構成部位であり、これらを取り除くことはできない。また、それらはすでにある程度ミニマム化されている部位でもある。そのため残されたエリアでガラス接着面とドアサッシュとの間をいかに縮めるかがピラー幅を狭小化する糸口となる。

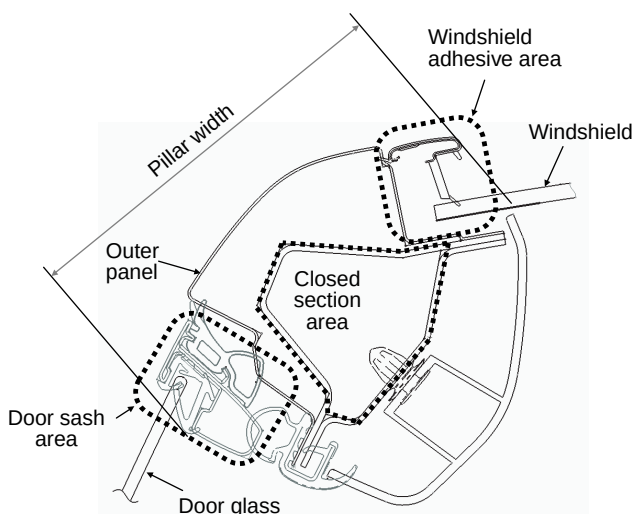


Fig. 5 Conventional section of front pillar

3.2. ピラー断面幅狭小化の達成手法

前項の内容をふまえ検討した結果、下記の2項目がピラー幅狭小化に効果があると判断した。まず閉断面自体の狭小化のために、超高張力のパイプを成形したものをを用いて狭小ながら高強度の閉断面を確保することとした。さらに、ドアサッシュとウインドシールドガラス接着面を近づける手段として、ピラー幅の決定要素となるフランジを廃止しウインドシールドガラスの接着面を閉断面の直上に取り込むことを見出した。これらの手法により目標とする断面幅の縮小化と強度、剛性を両立させることを目指した。

3.3. ハイドロ成形品を用いた断面設定の詳細

前項で採用した閉断面直上へのガラス接着面の移動とハイドロ成形品による閉断面を用いたフロントピラー断面の概略を Fig. 6 に示し、以下に詳細を記す。まず、ガラス接着面のフランジを廃止し、アウターパネルを直接閉断面と結合することで、視線方向でのピラー幅を縮小している。このときアウターパネルとハイドロ成形部品とは片側アクセス接合技術のひとつインダイレクトスポット溶接にて結合している。なおインダイレクトスポット溶接については後に詳細を記す。また、断面性能上、補強部材を設定しているが、これらを閉断面へ結合する手法としてアークレーザハイブリッド溶接を採用している。このアークレーザハイブリッド溶接も片側アクセス接合技術のひとつであり、後に詳細を記す。室内側に配置される組み付け部品については、すべて視線方向幅への影響が出ないエリアに設定している。さらに、ドアサッシュ、ガラス接着面においてもさらなるミニマム化のため設定の見直しを実施している。ハイドロ成形品においては基本断面を四辺形とし、アウター結合面、片側スポットのアース面、組み付け品の取り付け面、パイプの電縫部の設定面といった各機能を四辺のそれぞれの面に割り当てることで、シンプルな断面形状がピラー一般部全域において一定に通るよう工夫している。これにより急激な断面変化をなくし、衝突強度の確保とともに成形性の向上をねらっている。

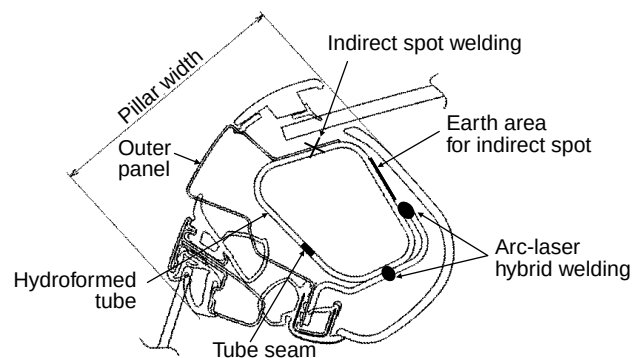


Fig. 6 Proposed section for increased visibility

3.4. ハイドロ成形品を用いたフロントピラーの構造

構成部品の概略を Fig. 7 に示し、以下に詳細を記す。まずハイドロ成形部品本体はストレートなフォルムとしている。これは前面衝突の際、断面積が減少したことによる耐力の低下がピラーの変形量を増加させることを考慮し、衝突時の入力を極力曲げ方向ではなく軸方向の断面耐力で受けることでピラーの変形量を低減している。またそれは結果的に形状の単純化による生産性の向上にも繋がっている。さらに前面衝突時の強度確保においては、曲げによる圧縮の応力が発生するピラーの車両内側面全域に補強部材Aを設定することで高効率な強度の向上を実施している。また補強部材B、Cは、前面衝突時の入力をハイドロ成形部品の軸方向へ確実に伝達すると同時に断面積を従来同等に確保した上で周辺のボデー骨格部品と結合することで車体全体としても従来同等の強度、剛性といった車体性能を満足している。このように一貫した閉断面(ハイドロ成形)部品に対し、適所に適材を補強することができるといえる。なおハイドロ成形部品と補強部材との結合においても、特殊性の高い片側アクセスによる結合手法が必要となるが、Fig. 7 に示した部品を構成とするフロントピラーのサブコンプリートを設定し、同コンプリート内にてアークレーザハイブリッド溶接を用いた片側アクセス接合を完結することで専用設備、工程のミニマム化を図っている。さらに、フロントピラーコンプリートと周辺のボデー骨格部品との結合は、アウターパネルとのインダイレクトスポット溶接部分を除き、すべて補強部材を介した合わせフランジによるダイレクトスポット溶接としており、工程や精度保証を従来どおりの設備、および管理にておこなえるようにすることで量産性を考慮した構造としている。

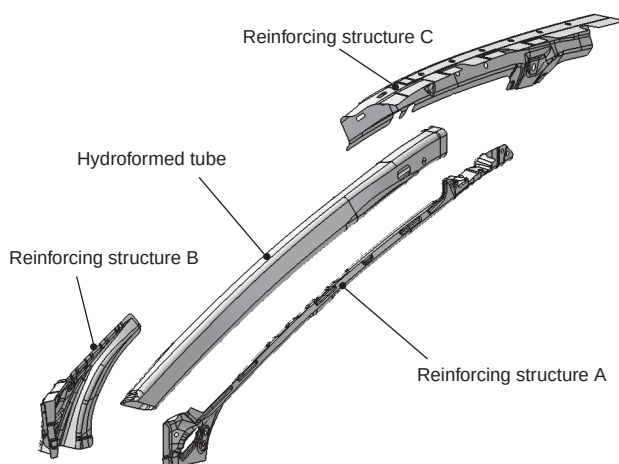


Fig. 7 Structure of front pillar using hydroformed tube

4. 生技性

4.1. ハイドロ成形

4.1.1. 980MPa 級鋼管

3.2 から 3.4 節の構造を達成するため、ハイドロ成形性を兼ね備えた 980MPa 級鋼管の開発をおこなった。開発にあたっての基本的な考え方を以下に述べる。

原板の選定においては、造管工程での加工履歴付加後も鋼管に成形性を確保すること、すなわち、ハイドロ成形時のコーナーR部での表面割れ防止や張り出し性の確保、その他、ハイドロ成形部品の溶接性、耐食性、入手性などを考慮してデュアルフェーズ鋼を選定した。

次に鋼管特性の設定においては、部品強度と成形性を両立できるよう特性値の設定をおこなった。強度下限値は部品強度から決定される。一方、強度上限値は、ハイドロ成形時の張出し性が材料の変形抵抗の影響を多大に受けるため設定が必要である。材料の変形抵抗と張出し性の関係について Fig. 8 にて解説する。材料の変形抵抗上昇に伴い、成形可能なコーナーRは拡大する傾向にある。したがって、今回のピラーに求められるコーナーRが成形可能な強度上限値を見極め、部品強度確保に必要な強度下限値と併せて強度レンジを設定した。

4.1.2. ハイドロ成形

980MPa 級鋼管のハイドロ成形においては、材料の変形抵抗が大きいことからハイドロ成形の中でも高圧法を採用した。ハイドロ成形の前工程としてはプリベンド工程(予備曲げ)とプリフォーム工程(断面潰し)が一般的であるが、今回のフロントピラーではハイドロ成形型締め工程でのプレス方向を工夫して断面潰しを同時におこなうことでプリフォーム工程を省略した。また、プリベンド工程では回転引き曲げなどに代表される通常のベンダー設備を使わないプレス曲げ加工を適用し、初期設備投資の削減を達成した。

さらに、次工程における位置決め基準穴として用いることを主目的として、ハイドロ成形中に穴あけをするハイドロピアスの取組みもおこなった。ハイドロピアスにおいては、穴エッジ部のダレ低減とスクラップ処理の課題があった。

まず、エッジ部のダレが大きいと位置決め基準穴として

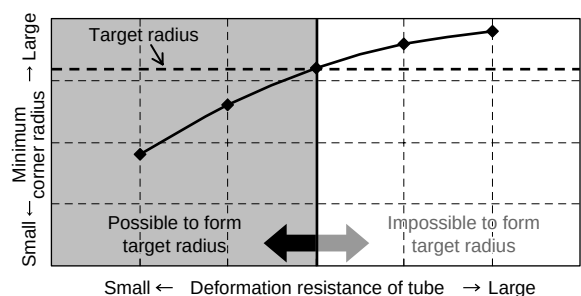


Fig. 8 Relation between deformation resistance of tube and corner radius

の適用ができないため、成形圧力や穴径とダレ量の関係を検証し、ハイドロピアス条件の最適化をおこなうことで位置決め基準穴としての適用を可能にした。一例として、成形内圧とダレ量の関係を Fig. 9 に示す。

次に、打ち抜きスクラップのフロントピラー断面内残留や金型内への排出は製造効率低下、製造トラブル等の不具合を来すことが予想されるため、スクラップを完全に打ち抜かずの一部を製品とつなげたままの形状(Fig. 10)とすることで不具合の未然防止を図った。なお、次工程での位置決め基準穴として用いた後、レーザ切断にてひと回り大きい穴径(Fig. 10 破線部)で切断し製品にスクラップ形状が残らないようにしている。

このようにして成形したハイドロ成形品は、3.2節で触れたピラー幅狭小化の他に、以下のメリットが挙げられる。

まず、断面形状を連続的に変化させることが可能であるため、フロントピラーを設計する上で十分な設計自由度を有することである。Fig. 11 に本研究でのフロントピラーの代表的な断面形状を示す。

次に、閉断面形状に伴う成形品剛性の大きさから、スプリングバック量が小さく形状凍結性が良いことである。今回のフロントピラーの寸法精度測定部位および試作初期段階の寸法精度測定結果をそれぞれ Fig. 12, Fig. 13 に示す。試作初期段階から高い寸法精度が得られることが確認できた。

また、形状凍結性が良いことはその後の金型品質熟成のしやすさにも繋がる。今回のフロントピラーでは主に金型

の断面位置調整により早期に寸法精度向上が図れたことから、金型品質熟成期間の短縮という優位性もあるといえる。

4.2. 接合

ハイドロフォーム部材は閉断面構造であることから、量産ラインで主に採用されている Fig. 14(a) に示すダイレクトスポット溶接では接合できないため、片側アクセスにて溶接可能な接合技術開発が必要となった。

新開発ピラーにおいては、被接合部材の仕様、および量産ライン構成を考慮して接合手法の検討をした結果、ハイドロ成形部品と薄板部品(アウターパネル)の接合には現状の社内量産システムと混流が可能となる Fig. 14(b) に示す

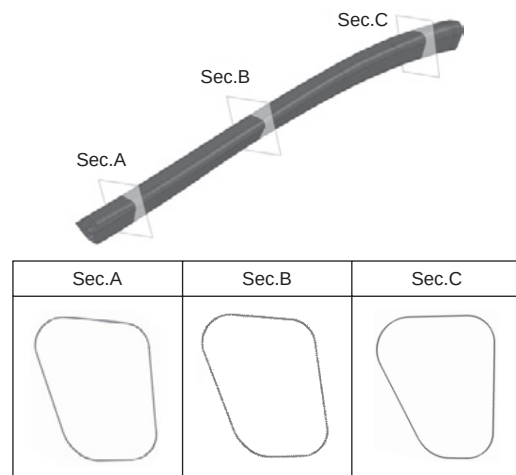


Fig. 11 Cross - section of hydroformed front pillar

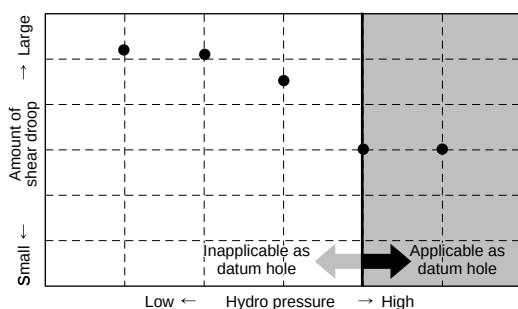


Fig. 9 Relation between hydro pressure and amount of shear droop

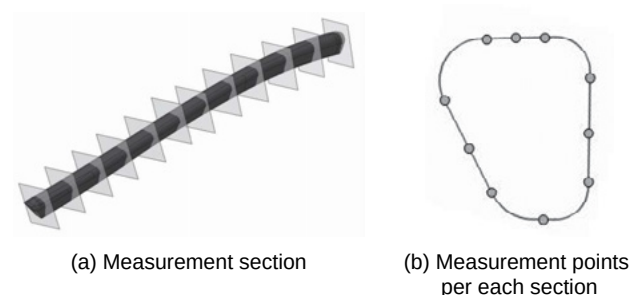


Fig. 12 Measurement positions of dimensional accuracy

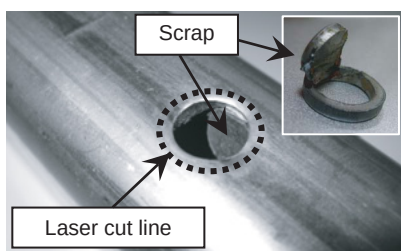


Fig. 10 Shape of hydro pierce

Dimensional accuracy (Difference from target dimension)	Frequency
0.0-0.5 mm	80%
0.6-1.0 mm	11%
1.1-1.5 mm	6%
1.6-2.0 mm	3%

Fig. 13 Dimensional accuracy of front pillar at early trial stage

インダイレクトスポット溶接を、また厚板補強部品 (Fig. 7 Reinforcing structure A - C) との接合には部品要求性能達成 (強度、継手形状) のためにアークレーザハイブリッド溶接の適用開発をおこなった。

4.2.1. インダイレクトスポット溶接

インダイレクトスポット溶接は現状量産技術同等の高い生産性が期待できるが、ダイレクトスポット溶接に比べて電流経路が長くなるため分流が生じやすく、溶接部への電流集中を得にくい。そのため溶接品質安定化のためにはいかに分流を抑えるかが課題であった。新開発ピラー適用においては、現状量産システムと同等レベルのツーリングでインダイレクトスポット溶接をおこなうために、下記項目を実施した。

(a) 溶接条件の最適化

(b) 分流コントロールのためのアース位置の最適化

(c) 分流コントロールのための打点順序の最適化

これらにより、安定した溶接品質を得ることができた。また、既存設備を最大限に活用できるため、新たに専用の接合工程を追加することなく混流生産することを可能とした。

4.2.2. アークレーザハイブリッド溶接

アークレーザハイブリッド溶接は、部品要求継手形状にあわせて隅肉継手、重ね貫通継手 (それぞれ Fig. 15(a), (b)

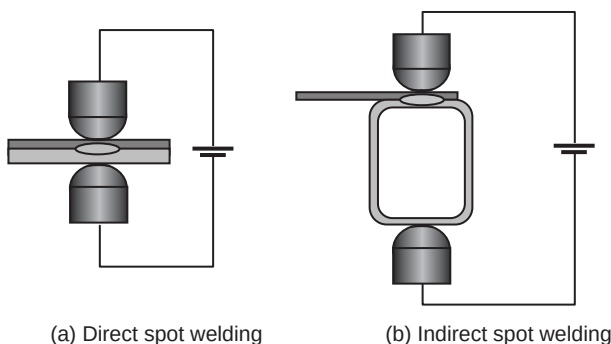


Fig. 14 Schematic design of spot welding

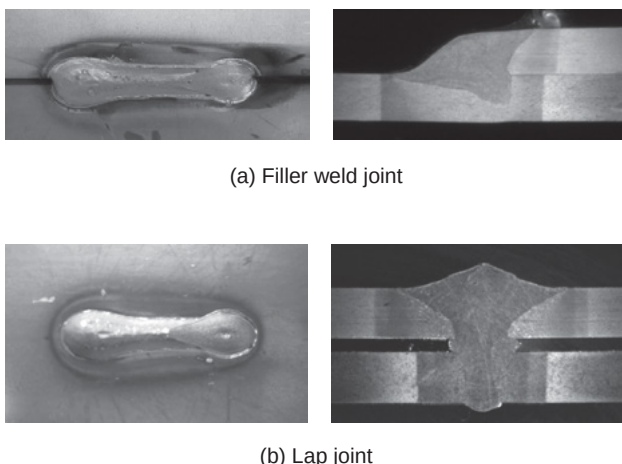


Fig. 15 Weld bead shape

に示す)における技術開発をおこなった。

隅肉継手においてはレーザを併用していることから従来のアーク溶接に比べ、溶接初期段階から深い溶け込みを確保することができ、従来比約3倍の溶接速度での施工を可能とし、被溶接部品の熱ひずみによる精度不良を抑えることができた。またその施工性の高さから部材間に隙間が生じた場合も安定した溶接品質を確保することができた。

重ね貫通継手は Fig. 16 に示すようにレーザでキーホール (くさび状の深い溶け込み溝) を形成すると同時にアーク溶接によってその穴を広げ、肉盛りすることが可能となった。その結果、部材間に隙間が生じた場合でもレーザ単独溶接では問題となるアンダーカットを抑制するとともに、レーザ単独の場合よりも広い接合面積を確保することができ、安定した溶接品質を確保することができた。

量産性を重視し、生産時におけるさまざまなばらつき要因 (部品の浮き上がり、トリムラインズレ等) を考慮しつつ、安定生産できる溶接条件を見出した。

これら技術開発によってアーク、レーザ溶接の長所を併せ持ったアークレーザハイブリッド溶接を新開発ピラーに適用することができ、安定生産を可能とした。

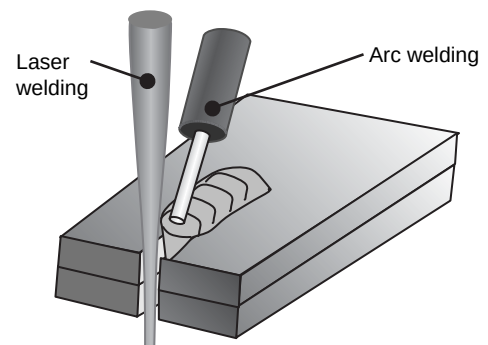


Fig. 16 Schematic design of arc-laser hybrid welding.

5. まとめ

運転視界として最適なフロントピラー幅を人の生理現象である視線追従性と、心理現象である官能評価から解明し、以下の知見が得られた。

- (1) ピラーの幅がある一定以上細くなると、ピラーの死角に影響されることが無く、視認対象を連続的に眼で追うことができる。
- (2) ピラーの幅は細いほど視界感は良くなるが、細すぎることによる見え方の違和感が生じるため、最適な幅が存在する。

さらに、そのピラー幅は従来のものよりもかなり細いものであり、その達成のためのハイドロ成形および車体組み込み技術の開発をおこなったことにより、以下の結果が得られた。

(3)部品強度，成形性の観点から鋼管特性を設定し，一定の成形条件でハイドロ成形部品を安定生産する見通しが立った。

(4)ハイドロ成形によるピラー骨格をインダイレクトスポット接合およびアークレザハイブリッド溶接により車体に組み込むことが可能となり，ピラー幅を削減できる断面構造を構築した。

連続視界の実現のための極細なピラー断面と車体性能の確保という，相反する課題を解決する手法を見出すことができた。今回の視界向上フロントピラーの採用については，新骨格構造に対する設計思想と一般的に成形困難とされる超高張力鋼管材加工に対するハイドロ成形技術の優位性が上手く合致できたことで実現に繋がったものとする。

参考文献

- (1)木下有司：死角の無いフロントピラー構造の開発，自動車技術会学術講演会前刷集，No.1-07, p.1-3(2007)
- (2)政令第 320 号，道路構造令，第 15 条
- (3)松宮一道：両眼視野闘争研究の進展，VISION, Vol.14, No.4, p.151-164(2002)

■ 著 者 ■



長谷川芳春



藤田浩史



遠藤岳晴



藤本雅昭



田辺順也



吉田正樹