

車体軽量化に寄与する自動車用ハイテン利用技術の動向と展望

Trend of Application Technologies of High Strength Steel Sheets for Light Weight Car Body

平本 治郎 HIRAMOTO Jiro JFE スチール スチール研究所 薄板加工技術研究部長・博士 (工学)
池田 倫正 IKEDA Rinsei JFE スチール スチール研究所 接合・強度研究部長・博士 (工学)

要旨

JFE スチールでは自動車車体軽量化・性能向上に対して、高強度鋼板の適用を推進するためにプレス成形技術、衝突性能向上・車体剛性向上技術、鋼板接合技術を開発し、材料提案から利用技術まで自動車会社の車づくりに貢献できる体制を構築している。本稿では開発技術の一部を紹介する。

Abstract:

JFE Steel has developed application technologies for high strength steel sheets to make car bodies lighter in weight and better in performances in the area of press forming, improvement in crashworthiness and body stiffness, and joining. JFE Steel has sufficient competence at present in proposing from optimal material selection to application technologies to car manufacturers. Some of the developed technologies are reviewed in this paper.

1. はじめに

自動車車体は、環境保護の観点から CO₂ 排出量抑制、燃費向上のため軽量化が求められている。一方、年々厳しくなる衝突規制¹⁾への対応と車載部品の増加などにより車体重量は増加する傾向がある。この問題を解決する手段として、高強度鋼板の車体骨格への適用拡大による自動車の軽量化に向けた取り組みが不可欠となっている。

そのため最近では引張強度 980, 1 180 MPa の高強度鋼板を自動車骨格部品に使用する例が増えている。しかし引張強度の上昇に伴い、鋼板のプレス成形性や溶接性が低下することが知られている²⁾。このため JFE スチールでは高強度鋼板を使いこなすプレス成形技術、車体剛性・衝突性能向上技術、溶接技術の開発を行っている。また、今後さらに高強度鋼板の適用を拡大するために、JFE スチールでは最適材料選定から高強度鋼板利用技術に基づくソリューションを提案する体制を構築している。

本報告では、上記の JFE スチールで独自開発した利用技術について紹介する。

2. 高強度鋼板の成形技術

高強度鋼板のプレス成形における主要な課題は、成形時に発生する割れ、しわ、スプリングバックの増加に伴う寸法精度不良である。また鋼板の高強度化に伴い、トリム用切

刃の破損³⁾や型かじりなどの問題が顕在化してきている。これらの問題に対し、CAE (Computer Aided Engineering) や実験による予測技術および対策技術の開発を行っており、以下にその一部を紹介する。

2.1 プレス割れに対する技術

2.1.1 割れ予測技術

高強度鋼板は強度の増加に伴い、伸びや伸びフランジ性が低下する傾向にある。プレス成形時に発生する張出し割れおよび絞り割れは、成形限界曲線 (FLD: Forming Limit Diagram) を使った評価が広く行われてきている。しかし穴広げ加工やフランジアップなど鋼板端面から発生する伸びフランジ割れおよび曲げ外表面の曲げ割れは、鋼板の内部から発生する割れと破断に至るメカニズムが異なるため FLD で評価できない⁴⁾。そこで伸びフランジ割れ予測手法として、材料の持つ穴広げ性、鋼板端面のひずみ勾配、せん断加工条件を考慮した変形限界を定義することで、成形シミュレーションによる予測を可能にした (図 1)⁵⁾。

一方、曲げ外表面の曲げ割れはネッキングを伴わず引張曲げ外表面から発生することがある。そこで曲げ割れ予測手法として、引張曲げ外表面での成形限界ひずみを V 曲げ試験より得られる限界表面ひずみとすることで、精度良く曲げ割れを予測可能とした。図 2 にハット成形におけるパンチ肩部の曲げ割れ予測結果の例を示す。パンチ肩部の表面ひずみはしわ押え力の上昇に伴い増加する。V 曲げ試験により求めた限界表面ひずみ以上で表面にクラックが発生しており、従来の FLD では判定できない曲げ割れ発生が予測で

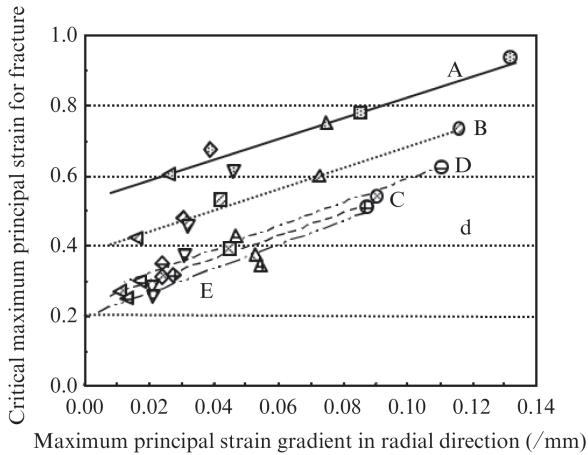


図1 半径方向のひずみ勾配が伸びフランジ変形限界に及ぼす影響

Fig. 1 Effect of maximum principal strain gradient in radial direction on critical strain for fracture

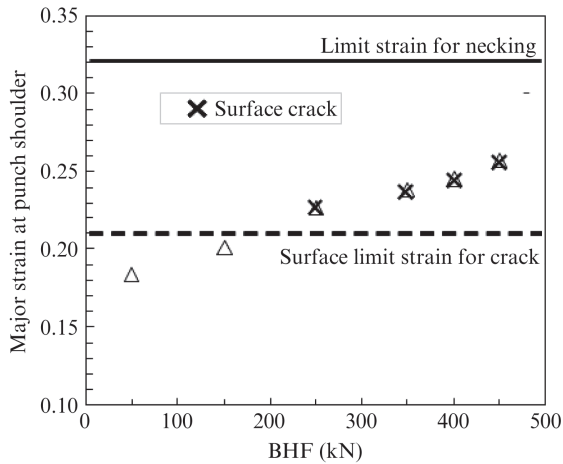


図2 ドロー成形におけるパンチ肩 R 部の曲げ割れ予測結果 (1 180 MPa)

Fig. 2 Relationship between BHF and maximum major strain in punch corner position in 1 180 MPa

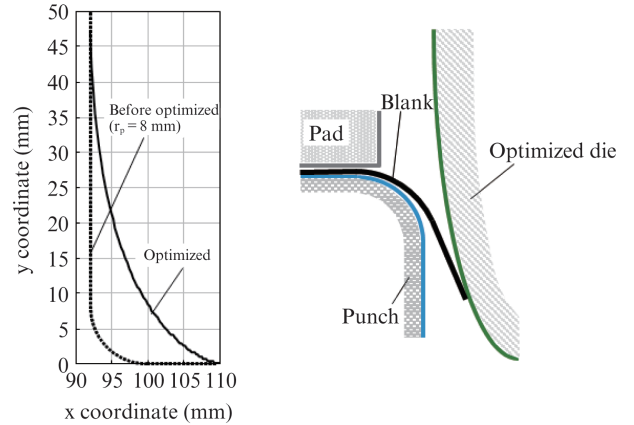
きることを示している⁶⁾。

2.1.2 割れ対策技術

割れを抑制するには部品形状を緩やかにするなどの方法が取られることが一般的である。しかし部品形状を変えずに成形を可能とする手法として、加工を二工程に分けて工程目の形状を論理的に算出された最適形状とすることで二工程目に製品形状を得る予成形技術⁷⁾、割れ危険部の発生応力を小さくするためサーボプレス機のモーション制御を行う技術 (JIM-Form[®]) などを開発している⁸⁾。

2.2 プレスしわに対する予測・対策技術

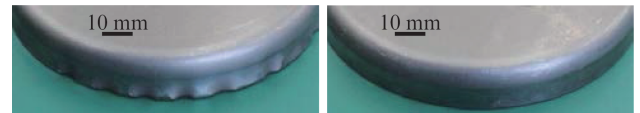
プレスしわは板厚が薄く、鋼板の強度が高いほど生じやすい。しわの評価方法は官能評価が成形シミュレーションでも実パネルでも主体となっているが、しわを定量的に評価



(a) Optimized die shape (b) Cross section of optimized die

図3 しわ抑止のための最適金型形状

Fig. 3 Optimized die shape



(a) Before optimization (b) Optimized

図4 通常金型と最適化金型のしわ発生状態比較

Fig. 4 Samples formed (a) with die before optimization, and (b) with optimized die

する取り組みも行われている⁴⁾。

一方、しわの抑止方法はパンチ底しわに対してはパッドの使用、ダイフェースしわに対してはしわ押しえ力制御が主体として用いられている。エッジしわに対しては有効な抑止手法がなかったが、曲げ刃と blanks の接触位置から blank 端部までの距離を小さくすることでエッジしわを抑止する手法を開発した (図3)⁹⁾。図4に示すように、blank 端部が常に曲げ刃に接したまま成形可能な曲げ刃形状にすることで、エッジしわを抑えることに成功した。

2.3 寸法精度不良に対する技術

2.3.1 スプリングバック予測技術

スプリングバックの予測精度は、バウシinger 効果や塑性変形後の見かけのヤング率などの材料特性を材料モデルが再現できるかに依存する。そこで、高強度鋼板の単軸および二軸応力状態での除荷および再負荷特性を詳細に調査し、種々の変形形態における応力反転時の非線形応力-ひずみ関係を再現する材料モデルを作成した。図5、図6に提案モデルによるスプリングバック解析の予測精度検証結果を示す¹⁰⁾。提案モデルにより、等方硬化モデル、Y-U モデルと比較して予測精度が向上したことがわかる。

2.3.2 スプリングバック対策技術

スプリングバックはプレス成形下死点において成形品内

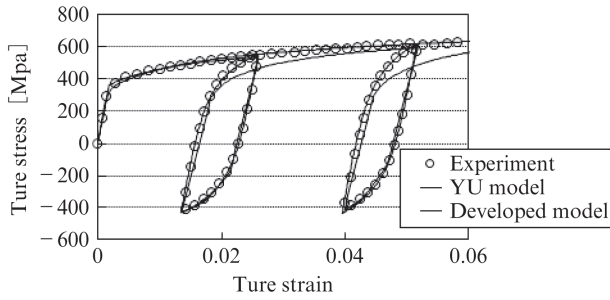


図5 開発モデルによる応力ひずみ線図と実験結果の比較

Fig. 5 Comparison of stress-strain curves between experimental result and calculated results of YU model and developed model

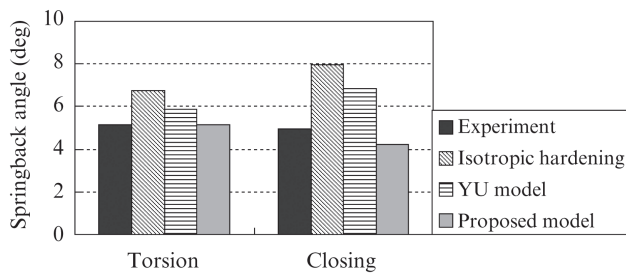


図6 開発モデルによるスプリングバック角度と従来モデル、実験結果との比較

Fig. 6 Comparison of springback angle between experimental and calculation results

部に存在する応力（下死点応力）が金型離型にともない解放されることにより発生する変形であり、材料強度が高くなるにしたがって、スプリングバック量は大きくなる。そこで寸法精度不良の原因となるスプリングバックに対して、スプリングバックの抑制技術開発と予測精度向上技術開発が重要となる。そのため複雑な形状を持つ部品に対し、スプリングバックとプレス成形下死点における下死点応力を関連づけることで、スプリングバックの原因を明らかにするスプリングバック要因分析手法を開発した（図7）^{11, 12)}。この方法によれば、熟練技術者の経験や勘に頼ることなくスプリングバック抑制の対策を立案可能となる。

3. 衝突解析技術および評価技術

高強度鋼板の車体適用は、車体軽量化だけでなく自動車の衝突安全性向上にも重要な意味を持つ。このため自動車車体・部品の衝突評価は重要であり、FEM解析による衝突時の荷重-変位曲線を高精度に予測する手法を開発した。

衝突FEM解析においては材料のひずみ速度依存性を考慮した材料モデルが必要であり、独自に開発した高速引張り試験手法を用いて、図8に示すような高強度鋼板のひずみ速度依存特性をモデル化¹³⁾している。本高速引張り試験では、デジタル画像処理によるひずみ分布解析技術を活用す

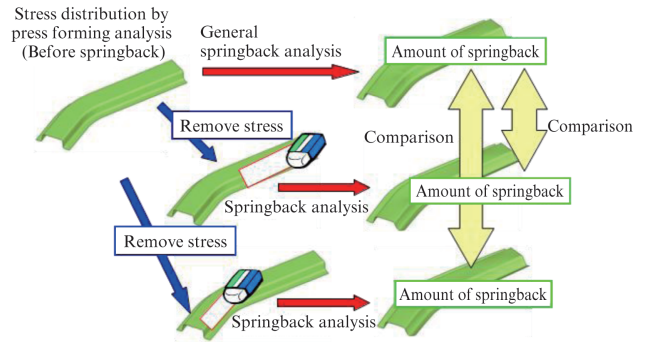


図7 スプリングバック要因分析手法

Fig. 7 Schematic diagram of springback cause analysis

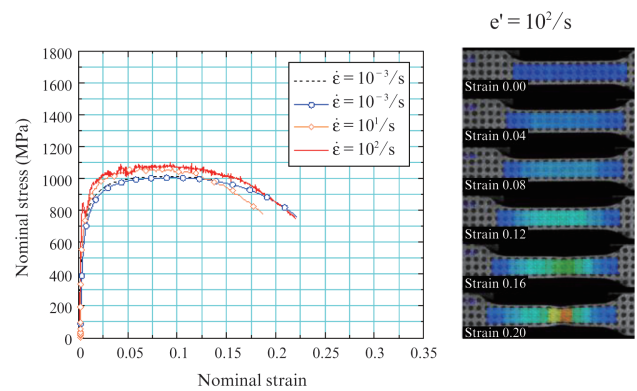


図8 高強度鋼板のひずみ速度依存性と引張試験中のひずみ分布

Fig. 8 Comparison of stress-strain curves and strain distribution

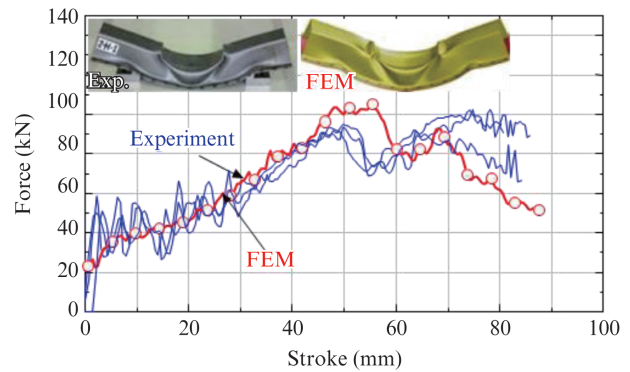


図9 FEM解析による曲げ圧潰時の荷重-変位予測結果と実験結果の比較

Fig. 9 Comparison of force stroke curves between experimental and FEM analysis data

ることで材料モデルの高精度化を実現している。このような高精度な材料モデルを用いることで、図9に示すように980 MPa材のハット部材を曲げ圧潰した時の荷重変位曲線¹⁴⁾を高精度に予測可能なFEM解析手法¹⁵⁾を実現した。

また材料強度の増加に伴い、衝突時に材料が破断し衝突性能が設計どおりに発揮できない場合が出てきている。そ

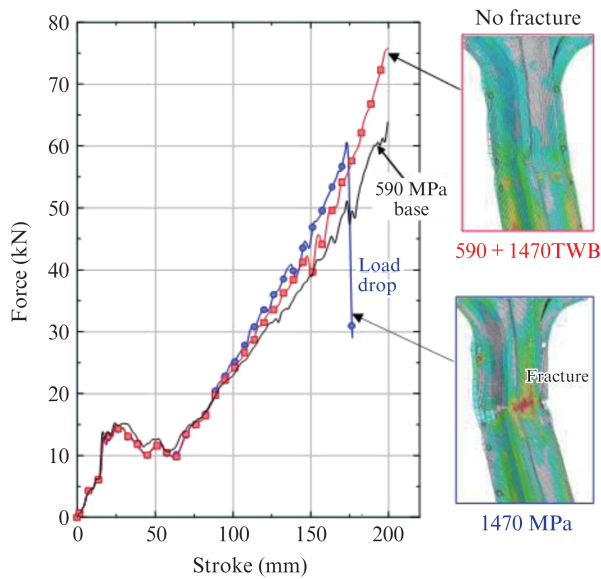


図 10 衝突時の破断を考慮した FEM 解析結果

Fig. 10 Comparison of force stroke curves between proposed structure without fracture and conventional structure with fracture

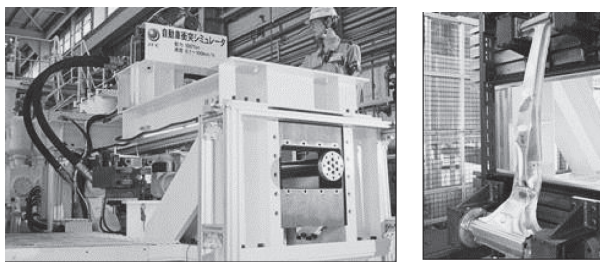


写真 1 自動車衝突シミュレータと衝突性能試験後の部品

Photo 1 Dynamic testing machine and crashed parts

のため応力三軸度に依存した破断クライテリオンを決定し、母材の破断を予測する試みがなされている。図 10 は衝突時の破断を考慮した FEM 解析によりセンターピラー上部の構造を検討した例である。破断の考慮により衝突性能予測精度が向上する。

一方、実部品の衝突性能の評価技術開発も進んでいる。衝突安全規制は年々厳しくなっており、衝突速度が時速 90 km の試験も検討されている。そこで最大 700 kg の衝突体を時速 0.1 から 100 km までの任意の速度で、高さ 2000 mm、幅 1500 mm までの部材に衝突させ、衝突性能実験が可能な自動車衝突シミュレータを導入した（写真 1）。複数の高速度カメラにより 3D 変形解析が可能である。今後の衝突規制に対応した衝突評価と FEM 解析技術により、軽量かつ高性能な構造提案とそれに適した材料提案を可能としている。

4. 車体剛性向上技術

自動車の車体軽量化を目的に高強度鋼板の車体適用が進んでいるが、板厚が薄くなることにより部品の剛性が低下し、車体全体の剛性も低下する。しかし剛性を向上させるため、部品の追加などにより重量を増やしてしまえば高強度鋼板適用の効果が薄れてしまう。最小の重量増加で剛性を向上させる技術としてトポロジー最適化が知られている。トポロジー最適化は与えられた設計空間から要求特性に必要な要素を残存させる手法であり、従来はエンジブロックなど鋳物の形状創成に用いられてきた。これまで薄板から構成される車体へのトポロジー最適化手法の適用は難しいとされていたが、ソリッド要素を活用した適用技術開発を行い、軽量かつ剛性が大きく向上する部品形状の創成を可能とした。また、このトポロジー最適化の解析プロセスを、スポット溶接位置の最適化に適用し、車体剛性を効率的に向上させることも可能とした。図 11、図 12 は NCAC (National Crash Analysis Center) で公開されているホワイトボディのフルビークルモデル¹⁶⁾を使用して、車体のねじり剛性向上を目的にリアサイドメンバとリアクロスメンバの結合部の部品形状の最適化を行った結果である¹⁷⁾。トポロジー最適化による残存形状を基に作成した部品形状を用いることにより、元部品形状に対してねじり剛性を 4.3% 向上させること

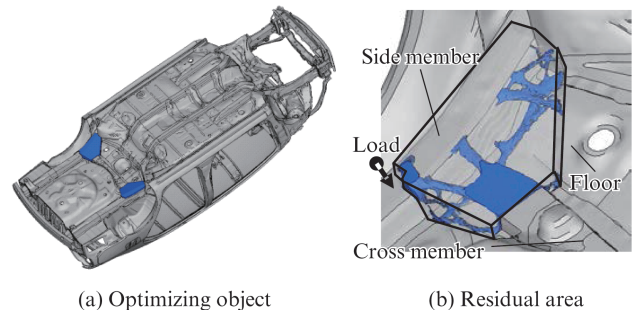


図 11 最適化対象モデルと結合部の残存形状

Fig. 11 Residual areas of connecting area in the full vehicle model

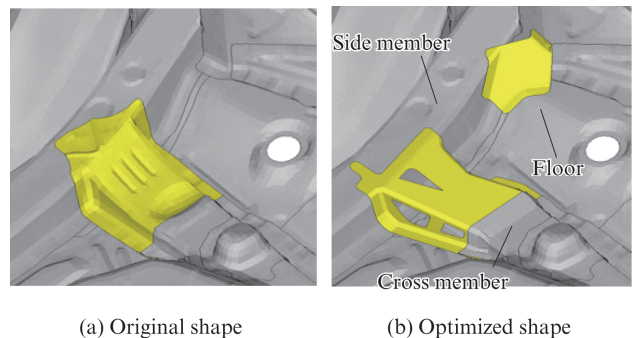


図 12 最適化した結合部形状と元部品形状

Fig. 12 Optimized shape of connecting area in the full vehicle model

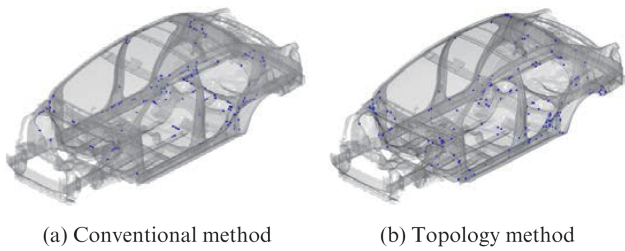


図 13 トポロジー手法により得られた最適なスポット溶接位置

Fig. 13 Added spot welding points by conventional method and topology method

ができています。

図 13 は元々ホワイトボディを構成しているスポット溶接に追加してスポット打点を配置する場合、車体のねじり剛性向上に対して効率がよい溶接位置を検討した結果である¹⁸⁾。車体にねじり変形を加えた時に高いひずみが発生するスポット打点近傍へのスポット打点追加という従来手法と比較して、トポロジー最適化手法では追加 200 打点による剛性向上率が約 2.5 倍と非常に効率的な結果が得られた。

一方、車体剛性の評価技術開発にも取り組んでおり、ホワイトボディ剛性評価を通して、トポロジー最適化により得られた高剛性車体の実証も行っている。

以上のように、トポロジー最適化手法を用いることにより車体剛性の向上を効率よく実現できることがわかる。トポロジー最適化の対象は静的剛性だけでなく、振動特性、衝突特性へと広がりを見せており、高強度鋼板の自動車車体の適用を推進するものと考えられる。

5. 高強度鋼板の溶接技術

自動車のボディおよびシャーシには鉄鋼材料を含め種々の材料の適用が検討されており、近年は、鉄鋼材料、非鉄金属材料、樹脂材料などを複合適用するマルチマテリアル化が軽量化の観点で注目されている。しかし、鉄鋼材料は他の素材と比較して低コストであり、施工性も優れているという優位性があり、依然として鉄鋼材料主体の構造を指向したいとの要望が多い。この要望に応えるため、JFE スチールではさまざまな高強度鋼板あるいは高機能鋼板を開発している。これらの鋼板は溶接性にも考慮した設計となっているが、鋼板特性を最大限に活用してボディの軽量化および高強度化に寄与するためには、高強度鋼板に最適な溶接技術開発が重要である。

本章では、JFE スチールにおけるボディおよびシャーシ用の各種溶接技術の開発動向について概説する。

5.1 ボディ用溶接技術の開発動向

自動車ボディ製造に用いられる溶接・接合技術には、抵抗スポット溶接、レーザ溶接、ガスシールドアーク溶接、接

着、機械的接合などがある。この中の主な技術として、抵抗スポット溶接およびレーザ溶接を取り上げ、さらに今後有望とされている摩擦攪拌接合について、以下に紹介する。

5.1.1 抵抗スポット溶接技術

上述した溶接法の中でも、抵抗スポット溶接は、車体組立工程で最も多く使用される溶接法であり、車 1 台当たり 3 000~6 000 点の溶接点がある。溶接部分に大電流を流すことで発生する抵抗発熱を利用した溶接方法であり、非常に短時間で施工可能なことから他の溶接方法と比較して低コスト化、高能率が可能であり、大量生産に対して非常に有効な溶接技術である。また、近年、抵抗スポット溶接システムは多関節溶接ロボットと溶接コントローラ（電流波形制御）が統合されたことで大きく進歩してきている。ロボット制御盤でロボット動作に加えて、加圧力、溶接電流などの制御が一括してできるいわゆる統合システムが構築されており、溶接電流および加圧力を自由に設定することが可能となっている^{19,20)}。例えば、一つの溶接点から別の溶接点位置まで移動する際の電極先端軌道の最適化（生産効率向上）、板組みおよび部材状況が異なる溶接点ごとの加圧力最適化（溶接品質向上）などに適用され成果を挙げている。JFE スチールでは、この溶接システムの進歩、特に、溶接電流および加圧力の制御機能の著しい進歩に着目し、溶接部性能を向上させる種々の溶接技術開発に取り組んでいる。

インテリジェントスポット[®]溶接は、安定的なナゲット形成が困難とされる高板厚比の 3 枚重ね板組みに対して開発された溶接技術である²¹⁾。高強度鋼板の適用拡大にともない高板厚比の板組みも増加しているが、本技術では図 14 に示すような二段加圧・二段通電の溶接プロセスを適用することでナゲット形成現象を制御することに成功している。通常の溶接では、ナゲットは電極間の中央に形成され薄板と厚板間には形成されにくいですが、一段目を低加圧力・短時間通電・高電流とすることで薄板と厚板間を優先的に発熱さ

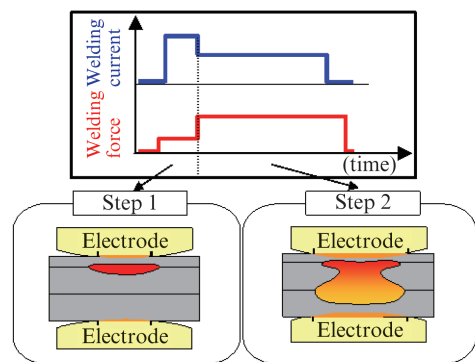


図 14 インテリジェントスポット[®]溶接の電流および加圧力制御パターン

Fig. 14 Welding current and electrode pattern of Intelligent SpotTM Welding

せ、さらに二段目を高加圧力・長時間通電とすることで厚板と厚板間での発熱を促進させ、安定したナゲット形成を可能にしている。

シングルサイドスポット[®]溶接も二段加圧・二段通電の制御を活用した溶接技術である²²⁾。ボディの高剛性化を進めるためには高強度鋼板を活用した閉断面構造の適用が有効と考えられているが、その溶接方法としては片側からのアクセスによる溶接が必要である。そこで、施工管理が容易なインダイレクト方式の片側スポット溶接において、加圧・電流制御によるナゲット形成安定化技術を開発した。二段加圧・二段通電のパターンはインテリジェントスポット[®]溶接の場合と逆であり、高加圧・低電流の一段目において板一板間接触を確保し、その後の低加圧・高電流の二段目において十分なナゲット形成を達成するという溶接プロセスとなる。

パルススポット[®]溶接は、後熱の電流パターン制御により継手の十字引張強さの向上を達成したスポット溶接技術である²³⁾。高強度薄鋼板は一般に炭素含有量が増加することから、それにともない抵抗スポット溶接継手強度は劣化する傾向にある²⁴⁾。この課題を解決する抵抗スポット溶接技術として、ナゲットを形成する本通電後に短時間の冷却および通電（パルス通電）を繰り返す溶接プロセスを開発した。この溶接プロセスにより、ナゲット中のP偏析の緩和によるナゲット靱性の向上、およびHAZ硬さ低減によるナゲット端部での応力集中の緩和が達成でき、結果として継手強度を大幅に向上させることが可能となった。本技術は、ナゲット形成（ナゲット径）を制御するのではなく、溶接部特性を制御するというアプローチである点が特徴といえる。

上述した抵抗スポット溶接では溶接電流を設定電流どおりに流す、いわゆる定電流制御であるが、最近、溶接中の電流および電極間電圧をモニタリングして熱量を算出し、あらかじめ設定した目標熱量変化に合致するように溶接電流を通電中に逐次変化させる適応制御スポット溶接技術の実用化が進みつつある²⁵⁾。本技術の適用により、ボディ製造中の溶接打点ピッチが変化する場合も、溶接電流設定を変化させることなく常に一定のナゲット形成が可能になるとされる。

高強度鋼板のスポット溶接継手強度を十分に確保するためには、前述したような溶接部特性制御が有効であるが、同じ大きさのナゲット径を安定して確保することも重要である²⁶⁾。今後、鋼板のさらなる高強度化に対応するため、適応制御を活用したスポット溶接技術としてJ-MACスポット[®]溶接を開発した²⁷⁾。通常の適応制御スポット溶接では1段通電における熱量変化に合致させるように制御するが、J-MACスポット[®]溶接では、適応制御区間を複数に分割し区間ごとに目標熱量変化を設定し制御する点に特徴があり、軟鋼から高強度鋼までを対象とした溶接においてナゲット径安定化効果を確認している。

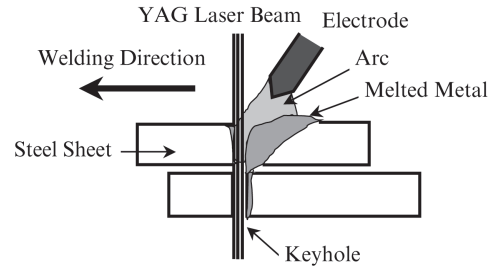


図 15 レーザ・アークハイブリッド溶接の模式図
Fig. 15 Schematic illustration of Laser-Arc Hybrid Welding

5.1.2 レーザ溶接技術

レーザー溶接は、以前より次世代の溶接技術として注目され、部材高剛性化のための連続溶接方法として有効な手段とされてきたが、設備コストが高いこと、被溶接部材の組み立て精度要求が厳しいことなどの制約により、広く普及されるには至っていない。しかし、近年のレーザービーム品質の向上にともない、実用化が進みつつある。

レーザー・アークハイブリッド溶接法²⁸⁾は、アーク溶接とレーザー溶接を組み合わせた溶接法であり、溶加材の添加により溶接部における組み立て精度緩和を実現可能としている。図 15 にレーザー・アークハイブリッド溶接プロセスの模式図を示す。レーザー照射点の後方にアーク溶接電極を配置してアークを発生させることで、高速溶接においてもアークプラズマ中の溶滴移行を安定化させることが可能であり、二枚重ね溶接における鋼板間の限界隙間量の拡大に成功しており、今後の適用が期待される。

これに対し、より高速の溶接が可能となるリモートレーザー溶接は既に実用化が進んできている²⁹⁾。レーザービームを走査するガルバノミラー、長焦点化を可能とする集光レンズを組み合わせることで、任意形状での溶接を超高速で施工可能となることから、高価なレーザー溶接設備を使用しても十分なコストメリットがあるとされる。特に、任意の溶接形状を低コストで実現できる点から、連続溶接による剛性向上ではなく抵抗スポット溶接に代わる溶接技術として適用が検討されている。任意の溶接形状を高強度鋼板に適用する場合は、前述した抵抗スポット溶接のように継手強度の確保が重要となる。そこで、溶接線形状と継手強度の関係について、溶接実験による強度評価および有限要素法による強度解析を基に最適な溶接線形状が明確にされており³⁰⁾、今後の適用拡大が期待される。

5.1.3 摩擦攪拌接合技術

摩擦攪拌接合（Friction Stir Welding: FSW）は、図 16³¹⁾に示すように、高速回転するツールを被接合材に挿入し摩擦熱によって材料流動を生じさせて接合する溶融を伴わない接合技術である。低歪で高品質な継手が得られる方法として、アルミニウム合金、マグネシウム合金などの低融点金属材料において実用化が進んでおり、FSW の鋼板への適用

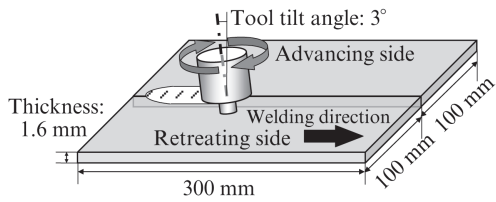


図 16 摩擦攪拌接合の模式図

Fig. 16 Schematic illustration of Friction Stir Welding

についても同様のメリットが想定される。鋼板への適用に際しては、低融点金属材料のFSWと異なり優れた高温強度特性をもつ接合ツールが必要とされるが、近年、鋼板の接合にも耐えられる接合ツールが開発されてきている。既に、ツール回転速度 200 rpm-接合速度 200 mm/min の条件において得られた継手において、引張試験での母材に対する継手効率率が 780 MPa 級鋼板で 96%、1 180 MPa 級鋼板で 84% となることを確認しており³¹⁾、さらなる継手強度の向上および施工性向上の取り組みを継続している。今後、高強度鋼板での摩擦攪拌接合実用化の可能性は高いものと考えている。

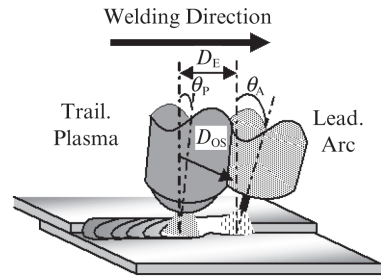
5.2 シャシー用溶接技術の開発動向

自動車シャシー製造に用いられる溶接は、対象となる被溶接鋼板がボディに比べて板厚の厚い熱延鋼板が採用されるため、ほとんどがガスシールドアーク溶接である。本項では、JFE スチールでのシャシー用溶接技術の開発動向について紹介する。

5.2.1 ガスシールドアーク溶接技術

シャシー部材のガスシールドアーク溶接は主に重ね隅肉継手形式で施工される。要望される特性としては、まず低スパッタに代表される溶接施工性がある。JFE スチールでは、低スパッタの CO₂ アーク溶接技術として、REM (Rare Earth Metal) 含有ワイヤを用いて正極性で溶接する J-STAR[®] 溶接³²⁾ を提案している。J-STAR[®] 溶接の実適用は船建造等の厚鋼板を用いられる分野で先行しており、比較的厚板部材での適用において有効と考えている。

加えて、さらに必要とされる溶接部特性として、疲労強度(耐久性)および耐食性が挙げられる。特に、高強度鋼板適用による板厚低減化を指向する場合には、両特性の確保が最重要となる。一般に、継手の疲労強度は、疲労き裂の起点となる溶接ビード止端部における応力集中および残留応力によって支配され、鋼板強度が増加しても継手疲労強度は向上しないとされる。この疲労課題を解決するために、プラズマ・アークハイブリッド[®]溶接法³³⁾を開発した。図 17 に、プラズマ・アークハイブリッド[®]溶接の模式図を示す。先行にガスシールドアーク溶接、後行にプラズマ溶接を配置させた溶接方法である。本溶接法は、アーク溶接とプラズマ溶接ともに正極性溶接とすることで両アークに引き合う力を発生させ、溶融プールの湯流れによってビード幅を広げて

図 17 プラズマ・アークハイブリッド[®]溶接の模式図Fig. 17 Schematic illustration of Plasma-arc HybridTM Welding

おり、溶接ビード止端部の平滑化を達成している。板厚 3.2 mm の 780 MPa 級熱延鋼板をプラズマ・アークハイブリッド溶接で重ね隅肉溶接継手の平面曲げ疲労試験において、従来溶接法と比較して良好な疲労強度を得ている。

また、溶接部の疲労強度に加え、耐食性を向上させる溶接技術として、低 CO₂ ガスシールドアーク溶接技術³⁴⁾を提案している。溶接部の腐食は、溶接ビードおよびその止端部に付着するスラグが塗膜密着性を低下させ、塗膜に欠陥を発生させることで進行する。この課題に対して、活性ガス(CO₂)の混合比率を低減した低 CO₂ ガスシールドアーク溶接法を適用することで、溶接ビードの止端部形状改善および耐食性向上を達成している。本技術では、耐食性を改善することにより、使用環境下での腐食による鋼板の減厚によりさらに低下すると懸念される疲労強度を向上させる利点も考えられる。

5.2.2 レーザ・アークハイブリッド溶接技術

シャシー部材には、平板の重ね溶接構造以外に閉断面構造も使用されており、軽量化と剛性確保を両立する上では高強度鋼板による閉断面構造の採用が有効と考えられる。しかし、閉断面構造部品を平板から製造するにはシーム部を突合せあるいは重ね継手の状態で溶接する必要があり、ガスシールドアーク溶接では溶込み深さが得難いため適用が困難である。そこで、貫通溶接が可能であるレーザー・アークハイブリッド溶接が有効であると考えられる。本技術は、5.1.2 で述べたように、アーク溶接とレーザー溶接を組み合わせた溶接法であるが、高速・高能率の溶接が可能で、かつギャップ精度の緩和効果も十分にあり、シャシーの閉断面構造部品の製造に適した溶接であることを確認している³⁵⁾。

6. おわりに

JFE スチールで開発している高強度鋼板の利用技術として、プレス成形技術、車体剛性・衝突性能向上技術、溶接技術について紹介した。鋼板の高強度化は今後もさらに進むものと推定されることから、本稿で紹介した高強度鋼板利用技術に加え、今後も、自動車ボディおよびシャシーの軽量化に向けて更なる技術開発を進めていきたい。

参考文献

- 1) 小泉智, 久我勉, 太箸樹巨雄. 自動車技術. 2015, vol. 69, no. 8, p. 8-18.
- 2) 占部俊明, 細谷佳弘. 塑性と加工. 2005, vol. 46, no. 534, p. 560-564.
- 3) 新宮豊久, 樋貝和彦, 山崎雄司, 稲積透. 塑性加工連合講演会講演論文集. 2011, vol. 62, p. 121-122.
- 4) 薄鋼板成形技術研究会. プレス難易ハンドブック第4版. 2017, 日刊工業新聞社.
- 5) 飯塚栄治. 塑性と加工. 2016, vol. 57, no. 662, p. 220-224.
- 6) 新宮豊久, 藤井祐輔, 樋貝和彦, 山崎雄司, 稲積透. 塑性と加工. 2014, vol. 55, no. 640, p. 423-428.
- 7) 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.
- 8) 玉井良清, 山崎雄司, 吉武明英, 井村隆昭. 塑性と加工. 2010, vol. 51, no. 592, p. 450-454.
- 9) 揚場遼, 石渡亮伸, 平本治郎. 塑性加工春期講演論文集. 2017, p. 39-40.
- 10) 澄川智史, 石渡亮伸, 平本治郎. 塑性と加工. 2016, vol. 57, no. 666, p. 635-640.
- 11) JFE スチール. 卜部正樹. 特許第4894294号, 2011.
- 12) 卜部正樹, 揚場遼, 岸上靖廣, 佐藤健太郎, 平本治郎, 稲積透. 第63回塑性加工連合講演会講演論文集. 2012, p. 123-124.
- 13) Sato, K. et al. International Journal of Impact Engineering. 2015, vol. 75, p. 11-26.
- 14) Sato, K. et al. International Journal of Impact Engineering. 2013, vol. 54, p. 1-10.
- 15) Sato, K. et al. SAE Technical Paper. 2002, 2002-01-0641.
- 16) NCAC Technical Summary. Development & Validation of Finite Element Model for the 2010 Toyota Yaris Passenger Sedan, November, 2011
- 17) 齊藤孝信, 平本治郎, 占部俊明. 自動車技術会学術講演会前刷集. 2014, no. 129-14, p. 1-6.
- 18) 齊藤孝信, 玉井良清, 平本治郎. 自動車技術会学術講演会講演予稿集. 2015, no. 51-15A, p. 1242-1245.
- 19) 長島伸匡, 山崎貴司. 溶接技術. 2000, vol. 48, no. 4, p. 71-75.
- 20) 吹田和嗣, 鈴木清司, 坂本好隆, 柴田洋一. 自動車技術. 1996, vol. 50, no. 12, p. 57-63.
- 21) 池田倫正, 沖田泰明, 小野守章, 安田功一, 寺崎俊夫. 溶接学会論文集. 2010, vol. 28, no. 1, p. 141-148.
- 22) 松下宗生, 池田倫正, 大井健次. 溶接学会論文集. 2014, vol. 32, no. 3, p. 191-200.
- 23) 谷口公一, 松田広志, 池田倫正, 大井健次. 溶接学会論文集. 2014, vol. 32, no. 3, p. 164-171.
- 24) 谷口公一, 沖田泰明, 池田倫正. JFE 技報. 2014, no. 34, p. 8-13.
- 25) 安江大輔, 佐藤賢治, 原祐太. 溶接学会誌. 2015, vol. 84, no. 2, p. 452-457.
- 26) 貞末照輝, 伊木聡, 谷口公一, 池田倫正, 大井健次. 溶接学会論文集. 2014, vol. 32, no. 2, p. 64-72.
- 27) 澤西央海, 松田広志, 池田倫正. 溶接学会全国大会講演概要. 2015, vol. 97, p. 314-315.
- 28) 小野守章, 真保幸雄, 吉武明英, 大村雅紀. 溶接学会論文集. 2003, vol. 21, no. 4, p. 515-521.
- 29) 吉川暢広, 樽井大志, 森清和, 坂本剛. 第73回レーザ加工学会論文集. 2010, p. 53-56.
- 30) 原亜怜, 木谷靖, 池田倫正. 溶接学会全国大会講演概要. 2017, vol. 101, p. 344-345.
- 31) 松下宗生, 木谷靖, 池田倫正, 小野守章, 藤井英俊, 鄭永東. 溶接学会論文集. 2009, vol. 27, no. 4, p. 360-370.
- 32) 片岡時彦, 池田倫正, 安田功一. JFE 技報. 2007, no. 16, p. 50-53.
- 33) 松下宗生, 片岡時彦, 池田倫正, 遠藤茂. 溶接学会論文集. 2012, vol. 30, no. 1, p. 77-85.
- 34) 池田倫正, 山本俊佑, 安藤聡, 片岡時彦, 上田聡, 中澤嗣夫. 溶接学会全国大会講演概要. 2015, vol. 97, p. 306-307.
- 35) 木谷靖, 池田倫正, 大井健次. 溶接学会全国大会講演概要. 2013, vol. 93, p. 10-11.



平本 治郎



池田 倫正