

平成23年度戦略的基盤技術高度化支援事業
「冷間プレス加工技術の高度化による
超高張力鋼自動車部品の実用化製造技術の開発」

研究開発成果等報告書

平成25年 1月

委託者 : 関東経済産業局

委託先 : 東大環境マネジメント工学センター

再委託先: 株式会社ベルソニカ

目次

第1章 研究開発の概要	1
1-1. 研究開発の背景・研究目的及び目標	1
1-1-1. 研究開発の背景(自動車に関する事項)	1
1-1-2. 研究の目的及び目標	1
1-2. 研究体制	1
1-2-1. 管理体制	1
1-2-2. 研究体制	2
1-2-3. 委員会	3
1-2-4. アドバイザー	4
1-3. 成果概要	4
1-4. 当該研究開発の連絡窓口	5
第2章 本論	
2-1. 要素技術研究.....	6
2-1-1. シミュレーションによる予測技術の開発.....	6
2-1-2. 金型材料・表面処理・構造の基準作成.....	7
2-1-3. サーボプレス活用技術の開発.....	8
2-1-4. 加工法の開発.....	9
2-1-5. 製品形状の基準作成.....	9
2-1-6. 検査技術の確立.....	10
2-2. 試作品の開発.....	11
2-2-1. シミュレーションによる要素技術の応用.....	11
2-2-2. 実成形による成形性評価.....	11
2-2-3. 開発技術の標準化1.....	12
2-3. 実製品への展開.....	12
2-3-1. 実製品成形シミュレーション.....	12
2-3-2. 実製品成形性評価.....	12
2-3-3. 開発技術の展開.....	13
2-3-4. 開発技術の標準化2.....	14
2-4. 複層鋼板実用化に向けた研究.....	15
2-4-1. 炭素鋼ベース複層鋼板の開発.....	15
2-4-2. 諸特性・成形性評価.....	15
2-4-3. 要素技術の適用.....	16
第3章 全体総括.....	17

第1章 研究開発の概要

1-1. 研究開発の背景・研究目的及び目標

1-1-1. 研究開発の背景（自動車に関する事項）

本研究開発の目的は、冷間加工技術を高度化することにより 1180MPa クラスの複雑形状部品の量産化を可能にすることである。この方法の確立により市場ニーズである安全性向上（特に軽乗用車）と軽量化の両立を実現する。また次世代の軽量化素材として期待される複層鋼板に関し成形性を評価し、開発技術を用いて成形性を向上させ、複層鋼板の普及を促進する。

研究の目標は、構造部品に 1180MPa 高張力鋼（以下ハイテンと記す）を適用し量産化を実現することである。

量産前トライ時における目標値を、ワレ・シワ不良がない事・寸法精度 $\pm 0.7\text{mm}$ 以内とする事とする。また、量産化を実現した際ワレ・シワ不良の目標不良率は 300ppm 以下とし、目標生産性は 15spm 以上とする。

1-1-2. 研究の目的及び目標

本研究開発では、1180MPa クラスの複雑形状部品の加工に必要な要素技術を開発し、試作型により要素技術を量産技術として確立し、自動車産業で最も重視される安定した品質の製品を提供しうる量産技術にまで発展させることにより実現する。本研究開発では、超ハイテンに対応する冷間加工プロセスの要素技術開発を行い、熱間プレスによる成形の欠点である、大規模な設備投資が必要、生産性が悪いなどの問題点を解消し、低コスト・高生産性の冷間成形複雑形状部品の製造を可能にする。

①要素技術は、シミュレーション技術、熱処理・表面処理技術、サーボプレス活用技術、新加工技術、製品形状決定方法、検査技術を高度化することにより、1180MPa クラス複雑形状部品の加工における成形性向上・耐久性向上・作業工数削減を目指す。

②開発した要素技術を試作品に適用し、成形性を向上させることにより、試作品を完成させる。

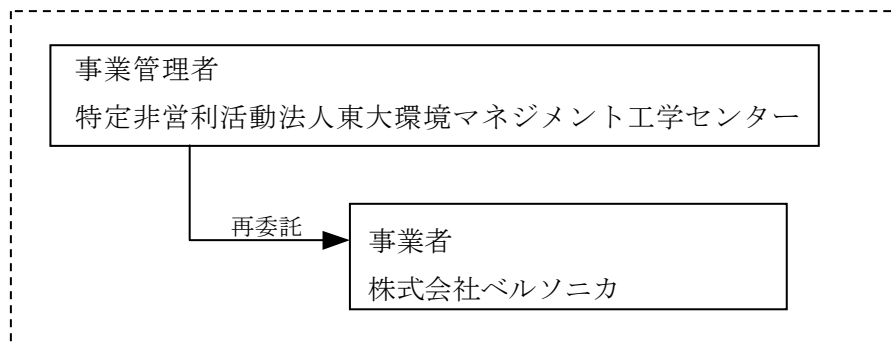
③試作品に織り込むことにより得られた技術条件を標準化し、量産技術として確立する。これにより、1180MPa 級ハイテンの量産化を実現させる。

④開発した要素技術を複層鋼板にも適用し、成形性を評価する。その上で要素技術を改善することにより、複層鋼板の成形性を向上させる。

1-2. 研究体制

1-2-1. 管理体制

1) 研究組織（全体）



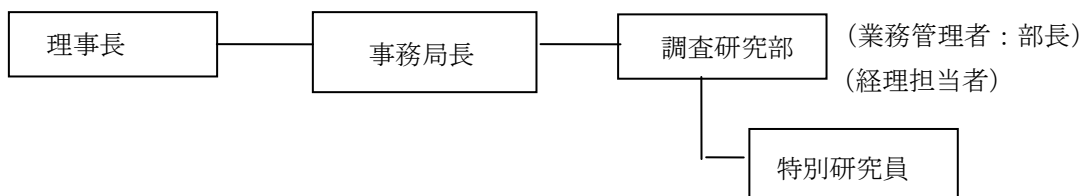
統括研究代表者（PL）
株式会社ベルソニカ
技術部次長 大島千悟（～H24.4）
技術部部长 浅見 修（H24.4～）

副統括研究代表者（SL）
特定非営利活動法人
東大環境マネジメント工学センター
特別研究員 小関敏彦

2) 管理体制

①事業管理機関

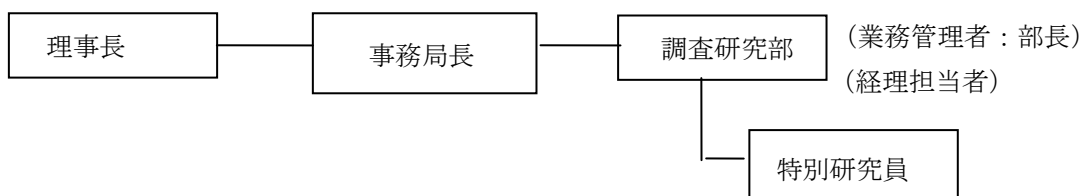
[特定非営利活動法人 東大環境マネジメント工学センター]



1-2-2. 研究体制

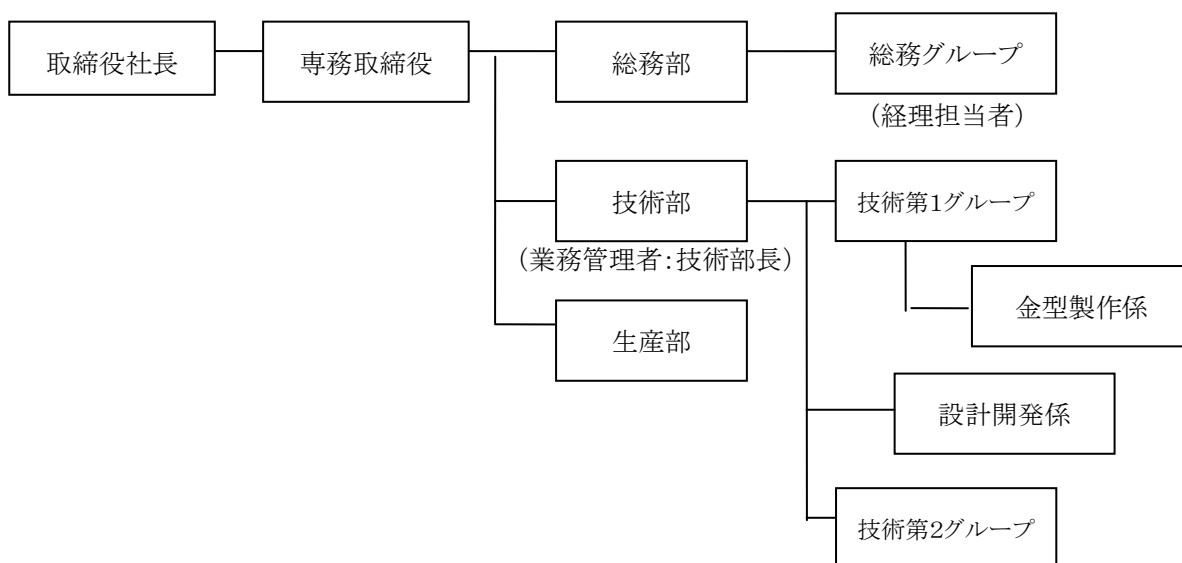
① 研究機関

[特定非営利活動法人 東大環境マネジメント工学センター]



② 再委託先

[株式会社ベルソニカ]



1-2-3. 委員会

研究開発推進委員会 委員

氏名	所属・役職	備考
伊藤 明夫	株式会社ベルソニカ 専務	
大島 千悟	株式会社ベルソニカ 技術部 次長 (～H24.3月)	(PL)
浅見 修	株式会社ベルソニカ 技術部 部長 (H24.4月～)	PL
鈴木 宏昌	株式会社ベルソニカ 技術部第一グループ グループ長	
尾崎 賢司	株式会社ベルソニカ 技術部設計開発係 係長	
鈴木 孝典	株式会社ベルソニカ 技術部設計開発係	
大野 裕之	株式会社ベルソニカ 技術部設計開発係 (～H24.3月)	
鈴木 健太郎	株式会社ベルソニカ 技術部設計開発係 (H24.4月～)	
岸 輝雄	東大環境マネジメント工学センター 特別研究員	
小関 敏彦	東大環境マネジメント工学センター 特別研究員	SL
井上 純哉	東大環境マネジメント工学センター 特別研究員	
小紫 正樹	東大環境マネジメント工学センター 事務局長	
伊藤 瑛二	東大環境マネジメント工学センター 調査研究部長	

1-2-4. アドバイザー

氏名	所属・役職	備考
足立 芳寛	東京大学 教授	
鈴木 俊夫	東京大学 教授	
吉田 豊信	東京大学 教授	
醍醐 市朗	東京大学 特任准教授	
笹原 孝利	スズキ株式会社 生産本部 四輪プラットフォーム設計部 ボディ解析課 技術専門職 (～H24.3月)	
砂野 誠	スズキ株式会社 四輪技術本部 四輪プラットフォーム設計部 部長 (H24.4月～)	
大竹 淳一	スズキ株式会社 生産本部 第二生産技術部 部長 (H24.4月～)	
今井 健吾	スズキ株式会社 生産本部 第二生産技術部 プレス課 係長 (H24.4月～)	

1-3. 成果概要

1180MPa クラスの複雑形状部品の加工に必要な要素技術を開発し、試作型により要素技術を量産技術として確認し、自動車産業で最も重視される安定した品質の製品を提供する量産技術を確立した。これにより従来は成形困難であった 1180MPa ハイテンの冷間加工が可能となり、2013 年に発売される新機種部品として採用され、サポイン事業で開発してきた技術を実生産に展開することができ、軽量化に成功し、低コスト化、燃費向上に貢献した。

1180MPaハイテンに対応する冷間加工プロセスの要素技術開発を行い、低コスト・高生産性の冷間成形複雑形状部品の製造について行った研究を以下に示す。

(1) 要素技術研究

① シミュレーションによる予測技術の開発

シミュレーションによるスプリングバック予測技術の向上を行い、さらに、成形性しきい値の基準を作成した。

② 金型材料・表面処理・構造の基準作成

有効な金型表面処理を選定し、成形面破損を予測できる金型の独自の金型強度評価技術を新たに開発した。

③ サーボプレス活用技術の開発

サーボプレスにおいて有効なスライドモーションを適用することで製品精度を向上できた。

④ 加工法の開発

スプリングバック抑制工法や、伸びフランジワレ・シワ抑制工法を開発した。また、1180MPaハ

イテンのスポット溶接最適化条件を選定した。

⑤ 製品形状の基準作成

実際の1180MPa部品の開発で得た知見を他部品にも適用できるように基準を作成した。

⑥ 検査技術の確立

(1) CAT*機器導入により、寸法精度比較手法を確立し、評価したい項目別の独自位置合わせ技術を確立した。

(2) CAE*(シミュレーション)からCAD*データへのリバースエンジニアリング手法としてスプリングバック自動見込技術を考案した。

(3) 溶接検査装置を導入し独自のパラメータを決定することで部品溶接時のナゲット径の非破壊検査における最適パラメータを選定した。

(2) 試作品の開発

開発した要素技術を用いたシミュレーション・実成形により試作品の成形性・スプリングバック評価を行い、さらにワレ・シワの抑制に成功し、1180MPa ハイテンの試作品を開発した。

開発技術の標準化として、スプリングバック自動見込み技術やCATによる3次元測定技術を標準化して、試作品に展開した。

(3) 実製品への展開

2つの対象部品について実製品への展開を行った。対象部品1ではカット工程を追加することで実製品に近いせん断面を持つ状態での成形性の確認を行い、成形性が問題なく、高精度なサンプルが製作できた。対象部品2では開発した要素技術を組み入れた成形を行った結果、高精度なサンプルを製作でき、メーカーへ提案した。その結果 2013 年度に発売される新機種に使用される部品として採用され、開発してきた技術を展開した結果、1180MPa ハイテン化することで30%の軽量化に成功し、低コスト化、燃費向上に貢献した。

(4) 複層鋼板実用化に向けた研究

複層鋼板実用化に向け試作品の成形を行い、複層鋼板が 1180MPa ハイテンよりも高張力でありながらプレス成形性は 1180MPa ハイテンとほぼ同等の性能を有する材料であることを確認した。

1-4. 当該研究開発の連絡窓口

特定非営利活動法人 東大環境マネジメント工学センター

〒105-0003 東京都港区西新橋 1-5-11 第11 東洋海事ビル 6F

調査研究開発部 部長 伊藤 瑛二

TEL:03-5841-1507 FAX:03-5841-7105 E-mail:ito.eiji@nifty.com

第2章 本論

2-1. 要素技術研究

2-1-1. シミュレーションによる予測技術の開発

プレス成形シミュレーションは実際にプレス加工する現象をコンピュータ内で再現しようとするものである。実機での成形にて発生する問題点を早期に予期し対策を講じることにより、実機でのトライ&エラーの回数を削減し、材料や工数を削減することが可能であり、エコでスマートな生産準備の実現の為にシミュレーションは欠かせない存在となっている。

従来のプレス成形シミュレーションでは、ワレ・シワの予測はある程度実用的な精度が得られていたものの、スプリングバックに関しては精度がいまひとつで、実用的ではなかった。スプリングバックに関し精度向上に特に貢献しているのが、新しい材料モデルの Y-U モデルである。本研究において、初年度に Y-U モデルを導入し、スプリングバック予測精度検証を行ってきた。しかし、Y-U モデルの導入だけではスプリングバックに関する予測精度が実用化可能レベルではない。この問題点の解決法として、①引張試験等により、普遍的な材料物性値を得る。②HAT 形状、S-RAIL 形状を対象にシミュレーションを行い精度検証を行った。

(1) スプリングバック予測技術の精度向上

① 引張試験等による材料物性値同定

図1に同定した材料物性値を示す。Y-U モデルを用いたシミュレーション精度向上の為に 1180MPa ハイテンの材料物性値に関して、材料試験を行った。通常の引張試験、ヤング率の歪依存性を表すパラメータの測定、 r 値の測定等を実施して、その測定結果を基に弊社独自の材料物性値を同定した。

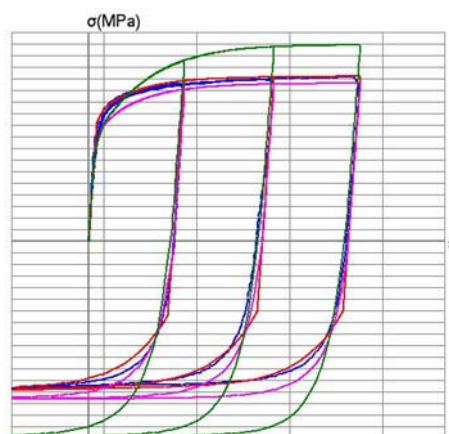


図1 同定した材料物性値

② シミュレーション精度検証

引張試験の結果を基に同定した材料物性値をシミュレーションに導入し、テスト金型を使用してスプリングバック予測精度を確認した。対象にした形状は、実際に量産対象となっている部品に近い形を検討し、HAT 形状、S-RAIL 形状の2種類とした。

HAT 形状とS-RAIL 形状について実験とシミュレーション、双方の結果を比較することでシミュレーション精度を検証した。その結果、同定した材料物性値を使用し、さらに弊社独自のパラメータを用いて計算を行ったことで、シミュレーション結果と実験結果の差異は99%の範囲で±1.0mm 以内となり、目標である±1.0mm 以内を達成できた。Y-U モデルの導入とそれを用いた最適な解析条件の決定により、実用に十分なシミュレーション精度が得ることができた。

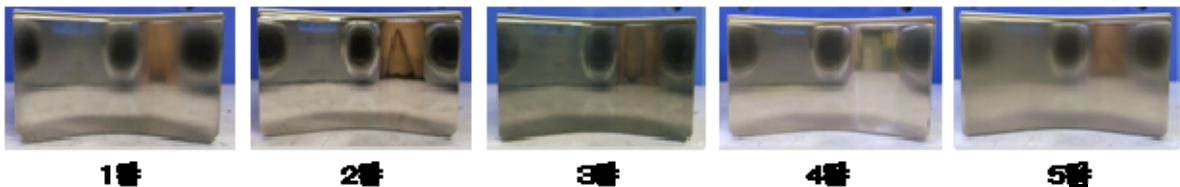
(2) 成形性しきい値の基準作成

張出形状、伸びフランジ形状は特に成形性が厳しい部分であり、シミュレーションにおけるワレの判断は板厚減少率と伸びのしきい値による評価で行う。張出形状に関しては、ネックが発生しない限界張出高さを調査して板厚減少率と伸びを評価した。張出試験方法はISO12004-2:2008に基づく中島試験を参考に行った。伸びフランジ形状においてはフランジ高さを変更して板厚減少率と伸びを評価し、材料のばらつきを考慮した数値をシミュレーションの結果評価に用いるしきい値の基準として確立した。伸びの測定については、ISO12004-1:2008に基づいた測定方法を用いた。

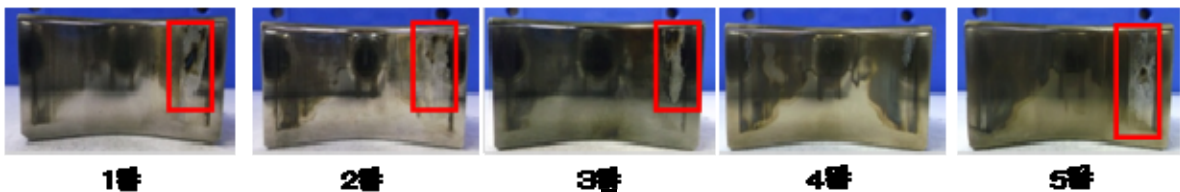
2-1-2. 金型材料・表面処理・構造の基準作成

(1) 表面処理評価

1180MPa ハイテンに対する最適表面処理を評価するために表面処理摩耗試験を実施した。選定した表面処理 5 種類に対してテストブロックを製作した。テスト金型形状は成形中にシワが発生して板厚が大きくなる厳しい条件である、縮みフランジ形状として、各表面処理テストブロックについて試験を行った。被加工材はめっきなし 1180MPa ハイテン、板厚 $t = 1.2\text{mm}$ を使用した。クリアランスは被加工物の板厚 $t = 1.2\text{mm}$ に対し、金型クリアランス 1.0mm として高負荷条件で行った。図 2 に試験前後の各表面処理テストブロックを示す。表面処理摩耗試験を実施した中で焼付きが発生しなかった 4 番のブロックが最も有効な表面処理であった。今後量産をするにあたって 4 番の金型表面処理を使用することで金型の長寿命化が期待できる。



(a) 試験前



(b) 試験後

図 2 試験前後の各表面処理テストブロック

(2) 金型強度解析評価

構造解析で HAT 形状、S-RAIL 形状および試作品の金型強度評価を実施した。強度評価は最も成形加圧がかかる金型モデルで評価を行った。図 3 に金型破損箇所のシミュレーション予測結果を示す。構造上有害な応力・変位は発生せず、問題なかった。しかし、金型強度解析を基に試作金型を製作したが、試作金型でのトライ実施時に成形面の一部にカケが発生した。通常のコ型構造解析だけでは細部の金型破損予見ができなかった。

そこで、成形面強度解析を金型構造解析と一体化する独自の金型強度評価技術を開発した。成形面強度解析は、成形面破損を予見する技術である。これにより金型全体の剛性に加え、金型細部の成形面破損予見も評価できる技術を確立した。

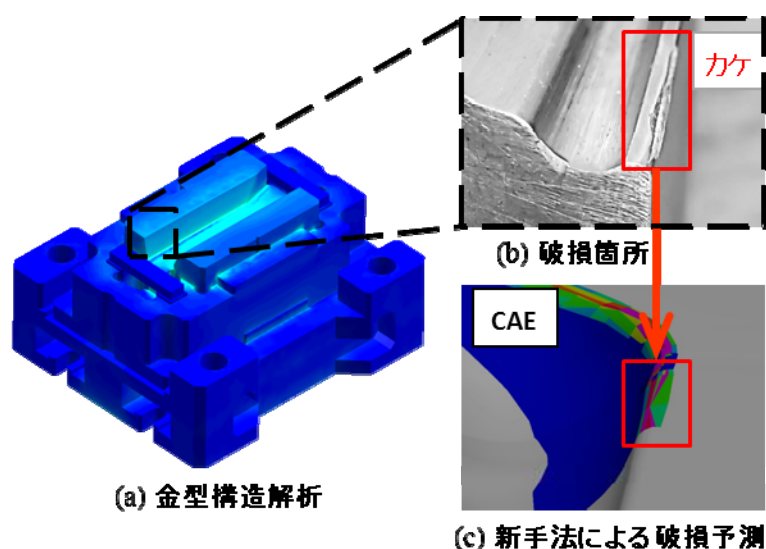


図 3 金型破損箇所のシミュレーション予測結果

2-1-3. サーボプレス活用技術の開発

スライドモーション検討・評価

サーボプレスはスライドを複雑に動作させることができ、この動作をスライドモーションと呼ぶ。対象部品 2 のスプリングバック低減を目標に、メカプレス相当の生産性を保ち、精度が向上できるスライドモーションを検討した。

対象部品 2 において多数のパターンでスライドモーションを使用し、成形したものを精度評価し、比較を行った。結果として有効なパターンを求めたことで、 $\pm 0.5\text{mm}$ 、 $\pm 0.7\text{mm}$ 、 $\pm 1.0\text{mm}$ 以内の精度すべてが向上しており、サーボプレスで有効なスライドモーションを行うことで精度の向上が達成できた。

2-1-4. 加工法の開発

(1) 新工法によるスプリングバック抑制工法の確立

スプリングバック量の大きい 1180MPa ハイテンのスプリングバック抑制として圧縮応力を制御した成形を行う新工法を開発した。本技術を試作金型に織り込むことで成形時のスプリングバック量を大幅に抑制することができ、1180MPa ハイテンの成形におけるスプリングバック抑制工法を確立した。これによりスプリングバックの激しい材料及び形状が使用されている部品の加工においてもこの加工法を適用することができる。

(2) 伸びフランジワレおよびシワ抑制工法の開発

プレス成形における不良の代表的なものに伸びフランジワレとシワがある。従来工法で 1180MPa ハイテンを成形すると伸びフランジワレとシワが発生したが、最適な曲げ・成形タイミングを行えるよう特殊なパッド押さえ工法を用いることにより、伸びフランジワレとシワを抑制することができた。

(3) スパッタレス溶接によるスポット溶接最適化条件決定

1180MPa ハイテンのスポット溶接による溶接強度を評価したところ、ハイテン強度が大きくなるほどスパッタが発生したときの溶接強度が弱くなった。1180MPa ハイテンでも溶接強度判定基準を満足させるために溶接時のスパッタを発生させない、スパッタレス溶接条件が必須である。

1180MPa ハイテンのスパッタレス溶接条件として、加圧力・通電時間・電流・保持時間を調整して最適溶接条件を選定した。

選定したスパッタレス溶接条件を用いて溶接を行ったところ、実生産相当の溶接打点数においてもスパッタの発生はなかった。また、導出したスパッタレス溶接条件を使用すると、すべての打点において溶接強度判定基準を満足でき、溶接強度の確保ができる最適条件を選定できた。

2-1-5. 製品形状の基準作成

1180MPa ハイテンの成形性における製品形状基準の確立

成形性に問題がある 1180MPa ハイテンを実用化に向けて、実際に対象部品を製作し、そこから得た知見を基に有効性が確認できたものを抽出し、他部品に適用できるような凸形状のワレ対策、加工表面波打ち対策、段付加工箇所のワレ対策等の製品形状基準を作成した。

2-1-6. 検査技術の確立

(1) 寸法精度比較手法

部品精度の確認を行う場合、従来は検査治具ないし接触式の三次元レイアウトマシンなどを用いて精度評価を行っていた。測定はアナログ測定であり設計データとの高精度な比較ができなかった。CAT測定器及びデジタル検査ソフトを導入したことにより設計データ・加工品・シミュレーション間においてデジタルデータのまま相互に高精度比較・評価が可能となった。図4に寸法精度比較手法を示す。

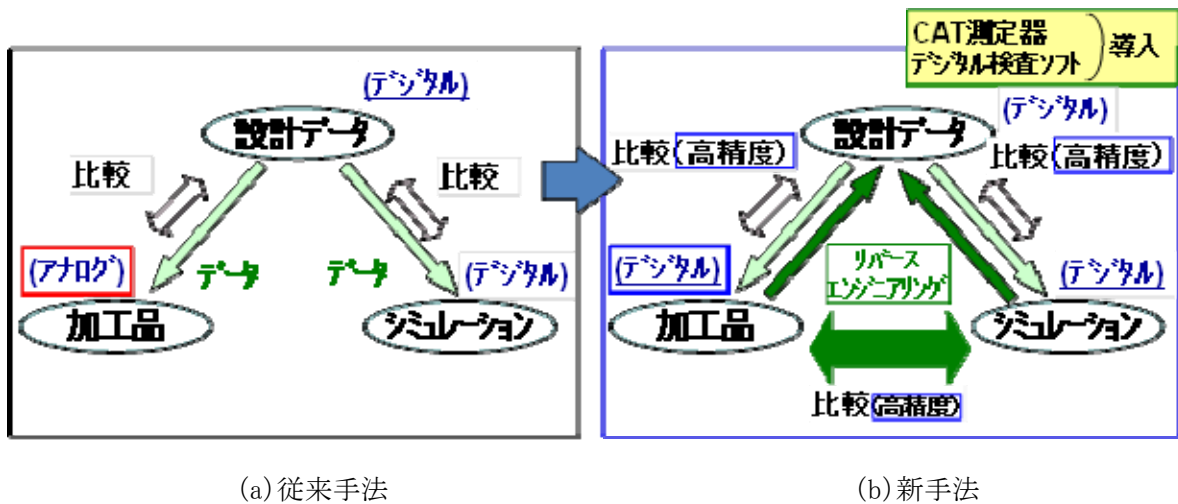


図 4 寸法精度比較手法

(2) 基準面位置合わせ技術確立

デジタル検査ソフトには自動位置合わせ方法があるが、本来比較したい評価位置と異なる位置で合わせが行われてしまうことがあり、精度評価が不十分であった。そこで独自の位置合わせ技術を開発した。成形品のヒネリや反りに合わせて個別に位置を合わせて評価を行うことで、評価したい項目ごとの高精度な比較・評価が可能となった。これにより、位置合わせ技術を確立した。

(3) リバースエンジニアリング技術確立

従来金型の見込みデータを作成する場合、シミュレーション結果やカン・コツ・過去の経験を基に金型設計データに対してスプリングバック抑制の見込みを入れていた。その後金型製作・トライを実施し、実際に得られたトライパネルで発生しているスプリングバック量を測定し、設計データに対して見込みを行っていく。測定結果を基に製作した見込みデータも見込みを入れる作業によって出来が変わってしまうという問題があり、複数回の金型修正が必要であった。

新技術として開発した独自のスプリングバック自動見込技術を用いることで、作業による出来のばらつきや高度なスキルがなくても定量的に金型見込みを入れることが出来るようになり、

同時に質の高い見込みデータが製作できるようになったことで金型修正を少なくすることが可能となった。

(4) 溶接検査技術開発

スポット溶接を行うと、重ねた板同士の間には溶融凝固したナゲットと呼ばれる部分が形成される。溶融凝固した部分の径をナゲット径という。

従来の溶接品質確認方法では、破壊検査を行いナゲット周辺の破壊残部を含むプラグ径（プラグ径>ナゲット径）を計測していたが、溶接検査装置を導入することにより、製品を破壊しなくても非破壊検査でナゲット径の測定ができる。しかし、溶接検査装置を基本設定で使用した結果では実際のナゲット径に対して大きくばらつくため、そのままでは使用が困難である。そのため、ばらつきのない測定値を得る、かつ「プラグ径>ナゲット径>溶接検査装置のナゲット径測定値」を満足するパラメータを設定する必要がある。

溶接検査装置のパラメータ調整を行い弊社独自のパラメータを同定した。その結果、安定したナゲット径の測定が可能となった。

2-2. 試作品の開発

2-2-1. シミュレーションによる要素技術の応用

今回の試作品は現行の部品として量産されている材質が 590MPa ハイテン板厚 $t=1.6\text{mm}$ の部品を 1180MPa ハイテン化することにより、板厚を $t=1.2\text{mm}$ に変更し、重量を軽減しようとするものである。1180MPa ハイテン化に際し、まず現行の 590MPa ハイテンを製造している工程でそのまま 1180MPa ハイテンを加工した場合、どのようになるのかをシミュレーションにて検証した。1180MPa ハイテン化することによりワレ・シワの問題が発生することが分かった。また、スプリングバックに関しても、現行の部品と比べ大きなスプリングバックが発生し、対策が必要であることがわかった。これらの問題を解決するよう、研究開発を実施した。シワおよび伸びフランジワレに対する対策として、2-1-4. 加工法の開発 (2) で導き出した要素技術を応用し、試作品の工程を検討した。以上の対策によりシミュレーションを行った結果、ワレ・シワとも問題なく成形できると予測できた。

2-2-2. 実成形による成形性評価

上記の結果を実証する為に金型を製作し、成形実験を行った。金型はシミュレーション通りの工程・形状で製作した。ワレ・シワの評価として、実験とシミュレーションの板厚減少率を比較した。その結果、ワレについては、実験とシミュレーションとの差異は小さく、シミュレーションが精度よく実際の加工を予測できていることに加え、開発した工法にてワレが抑制できることを実証できた。またシワに関しては、シミュレーション上でシワの判断は板厚減少率の増減のみで判断するしかなく、実際の成形時に発生するシワに対応した判断値を設定することでシミュレーション上でもシワの発生を予測できる。

次に、スプリングバックの評価をする為、製品の CAT 測定を実施し、設計データと比較した。その結果、製品に非常に大きな壁反りや、肩部の角度不良等のスプリングバックが発生しており、それぞれの部分に対策を講じる必要があった。大きな壁反りが発生しているたて壁には、2-1-6. 検査技術の確立 (3) を使用し、金型に見込みを入れることによりスプリングバックを抑制した。角度不良が出ている肩部のたて壁については、原因が肩 R 部にあることが分かった為、その部分に 2-1-4. 加工法の開発 (1) を使用して対策を行った。表 1 に試作品精度比較結果を示す。設計データ-シミュレーション結果の±1.0mm 以内精度は 95.9%となり、設計データ-実パネル結果の±1.0mm 以内精度は 90.2%となった。開発した技術は実製品において有効であった。

表1 試作品精度比較結果

	設計データ-シミュレーション	設計データ-実パネル
±1.0mm以内	95.9%	90.2%

2-2-3. 開発技術の標準化1

試作品の開発によりワレ・シワ対策、壁反り・角度不良のスプリングバック抑制等を行うことができた。これらによって成形性に対する加工法として新工法によるスプリングバック抑制手法、伸びフランジワレおよびシワ抑制工法、リバースエンジニアリング技術として開発したスプリングバック自動見込み技術の効果の検証ができ、他部品に展開できる技術を標準化することができた。

2-3. 実製品への展開

2-3-1. 実製品成形シミュレーション

対象部品 1 として試作品の開発により得た開発手法を用いて量産工程相当条件にてシミュレーションを実施した結果、設計データ-シミュレーションの±1.0mm 以内精度に大きな差はないため、本結果をもとに量産相当での実製品成形評価を行った。

2-3-2. 実製品成形性評価

対象部品 1 に関して、実製品への展開としてせん断面の作成による成形性評価を行った。図 5 に実生産を想定したブランクカット型を示す。実製品の展開として製品のせん断面起因による問題発生の有無を確認した。ブランク NT/CT 型およびフランジ CT 型の 2 つのカット型を製作し、カットから成形の全工程を実施し、成形性の確認を行った。ブランクはレーザーカットにて製作し、成形時に伸びフランジ成形となる箇所に対して、カットを行うブランク NT/CT を行って、量産テスト型による全工程成形性評価を実施した。



図5 実生産を想定したブランクカット型

図6に対象部品1の染色浸透探傷試験結果を示す。染色浸透探傷試験結果でワレの評価を行った。全工程による成形において、伸びフランジワレ・シワは全く発生しておらず量産相当条件でも本工法、形状は有効であることを確認した。

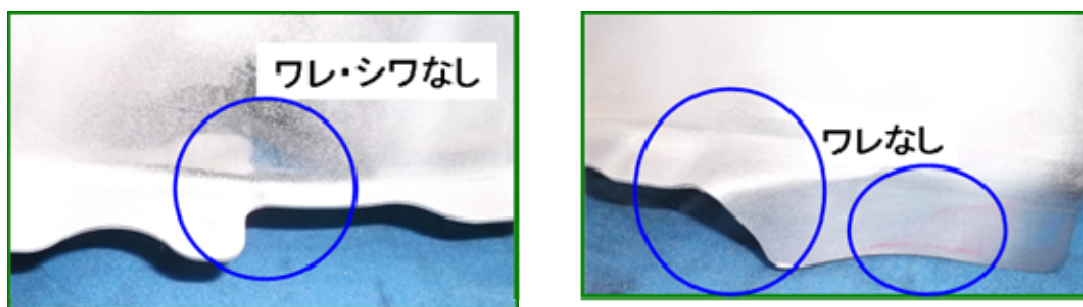


図6 対象部品1の染色浸透探傷試験結果

表2に対象部品1の精度比較結果を示す。製品精度評価を実施し、実験パネルー設計データに対しては目標 $\pm 1.0\text{mm}$ 以内に対して94%の範囲であり、量産可能レベルとなった。

今後は客先への提案を実施していく。

表2 対象部品1量産テスト型精度比較結果

	設計データーシミュレーション	設計データー実パネル
$\pm 1.0\text{mm}$ 以内	94.7%	94.0%

2-3-3. 開発技術の展開

(1)対象部品2の開発

対象部品2は、現行の部品として量産されているものに対して1180MPaハイテン化し実製品化を目指した。現行の440MPaハイテンを製造している工程でそのまま1180MPaハイテンを加工した場合、どのようになるのかをシミュレーションにて検証した。1180MPaハイテン

化することによりワレ・シワの問題が発生し、大きなスプリングバックが発生するため、対象部品 1 で適用した要素技術である2-1-5. 製品形状の基準作成の凸形状のワレ対策、加工表面波打ち対策、段付加工箇所ワレ対策等により成形できる目処が立った。次に2-1-6. 検査技術の確立(3)を用いて金型を設計製作した。

その結果、設計データに対して目標精度±1.0mm 以内精度 93.4%のシミュレーション結果を得た。本形状データにて実際にテスト型を製作し、トライを実施した。設計データに対する実パネルの精度比較を行ったところ、目標精度±1.0mm 以内精度 97.8%の結果を得ることができ、実製品化の目処が立ったため、メーカーへ本部品を量産化提案した。表3に対象部品 2 の精度比較結果を示す。

表3 対象部品2試作型精度比較結果

	設計データ-シミュレーション	設計データ-実パネル
±1.0mm以内	93.4%	97.8%

(2) 量産部品への展開

ここまでの一連の研究の中で 1180MPa ハイテン部品の成形が可能であることが評価・確認できたため、メーカーへ対象部品 2 を提案し、2013 年発売予定の新機種に採用された。

この部品に対して、本研究で開発してきた2-1-4.加工法の開発にて開発した加工法やスプリングバック自動見込み技術等を量産部品へ展開した。この結果、1回の金型見込修正によるシミュレーション結果は99.3%となり、本形状にて量産型の製作を行った。

量産型による設計データとトライパネルの精度比較を行ったところ、目標精度±1.0mm以内に対して99.9%の範囲が合致しており、開発した技術を他部品に展開した場合においても有効であることが確認できた。表4に量産型の精度比較結果を示す。

表4 量産部品の精度比較結果

	設計データ-シミュレーション	設計データ-実パネル
±1.0mm以内	99.3%	99.9%

結果、1180MPa ハイテン化することで 30%の軽量化に成功し、低コスト化、燃費向上に貢献した。

2-3-4. 開発技術の標準化2

対象部品2の開発を通して、開発技術の標準化1の見直しと新たな追加項目を標準化した。

2-4. 複層鋼板実用化に向けた研究

2-4-1. 炭素鋼ベース複層鋼板の開発

(1) 構成材料の選択

ステンレス系複層鋼板と同等の性能(TS1.2GPa 以上かつ EL20%以上)を有する、炭素鋼ベースの複層鋼板を作成するための高強度層と高延性層の材料選択を決定した。高延性層として TRIP 鋼を2種(80TR,100TR)、高強度層として低炭素マルテンサイト鋼を2種(MAR-A,MAR-B)選択した。平均炭素量を0.3%以下とする複層鋼板は80TRとMAR-Aを組合せ、より高強度側の複層鋼板は100TRとMAR-Bの組合せとした。

(2) 熱履歴の決定

焼入れ熱処理中の炭素拡散を最小限に抑制するため、各温度域における構成材料中の炭素活量を熱力学計算により求め、焼入れ熱処理の熱履歴を決定した。

(3) 複層界面組織評価

焼入れ熱処理中の炭素拡散の影響を確認するため、熱処理後の複層界面の組織評価を実施した。炭素拡散の影響は見られず、いずれの層も単体と同等の組織が得られていることが確認された。

(4) 力学特性評価

炭素鋼ベースの複層鋼板の一軸引張試験を実施した。いずれの複層鋼板も目標をほぼ達成する性能が得られることが確認された。

2-4-2. 諸特性・成形性評価

(1) プレス成形性評価

東京大学より提供された2種類のステンレス系複層鋼板にて成形性評価を実施した。複層鋼板①は表面が軟らかく、複層鋼板②は表面が硬い複層鋼板である。

ISO12004-2:2008に基づく中島試験を参考に張出し試験を行った。図7に複層鋼板の表面層の違いによる張出成形性を示す。①の複層鋼板が問題なく成形できた張出し高さに対して、②の複層鋼板ではワレが発生した。

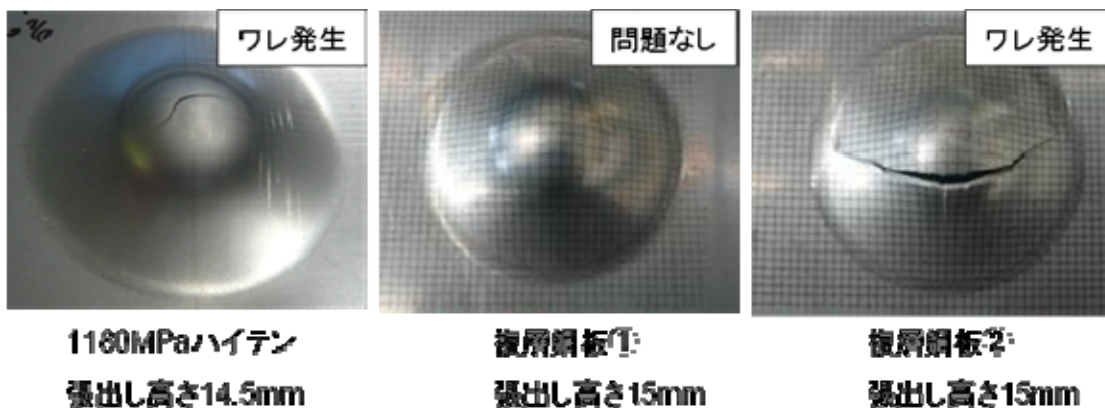


図7 複層鋼板の表面層の違いによる張出成形性

図8に複層鋼板表面層の違いによる曲げ成形性結果を示す。1180MPa ハイテンでカジリ等の問題がなかったが①の複層鋼板で金型カジリ・焼付きが発生し、②の複層鋼板では、軽微なキズの発生は見られたが、カジリ等の問題はなく曲げ成形は可能であった。

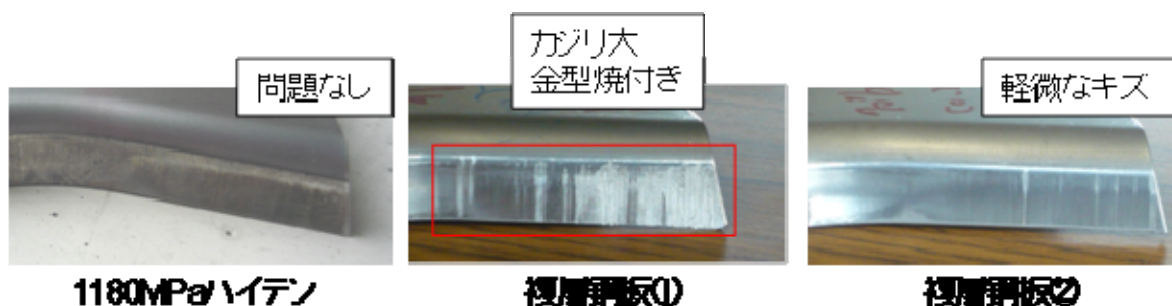


図8 複層鋼板表面層の違いによる曲げ成形性結果

(2) 量産テスト型への適用

1180MPa ハイテン用対象部品1の金型において改良された複層鋼板①の成形性の評価を行った。評価に用いた改良された複層鋼板①は強度1500MPa級である。図9に対象部品1における複層鋼板成形上で発生したワレを示す。2枚成形した結果、1枚はフランジにワレが生じた。



図9 対象部品1における複層鋼板成形上で発生したワレ

また、設計データに対する製品精度評価を行った。目標精度 $\pm 1.0\text{mm}$ 以内に対して複層鋼板は93.0%の範囲が合致しており、1180MPa ハイテンとほぼ同程度の精度である。

2-4-3. 要素技術の適用

(1) プレス成形性

1180MPa ハイテン用対象部品2の金型において複層鋼板の成形性の評価を行った。評価に用いた複層鋼板は改良された複層鋼板①である。こちらは複層鋼板も成形上の問題な

く成形できた。また、設計データに対する製品精度評価の結果、目標精度±1.0mm 以内に対して複層鋼板は 97.0%の範囲が合致しており、1180MPa ハイテンとほぼ同程度の精度が得られた。

(2) 溶接強度評価

複層鋼板の溶接強度評価を行った。複層鋼板同士の溶接・対象部品2の溶接を想定した複層鋼板と鋼板の溶接を行い、複層鋼板と同板厚の 1180MPa ハイテンの溶接との比較を行った。評価項目は2項目とした。1項目目は、タガネによる破断試験により得られたプラグ径で、2項目目は十字引張試験により得られた十字引張荷重である。

1項目目の複層鋼板のプラグ径は、1180MPa ハイテンとほぼ同等のプラグ径を得られることを確認した。2項目目の複層鋼板の十字引張荷重は、1180MPaハイテンの3分の1程度の値であった。

第3章 全体総括

1180MPa クラスの複雑形状部品の加工に必要な要素技術を開発し、試作型により要素技術を量産技術として確認し、自動車産業で最も重視される安定した品質の製品を提供する量産技術を確立した。これにより、従来は成形困難であった 1180MPa ハイテンの冷間加工が可能となり、2013 年に発売される新機種部品として採用され、サポイン事業で開発してきた技術を実生産に展開することができ、軽量化に成功し、低コスト化、燃費向上に貢献した。

1180MPaハイテンに対応する冷間加工プロセスの要素技術開発を行い、低コスト・高生産性の冷間成形複雑形状部品の製造について行った研究を以下に示す。

(1) 要素技術研究

① シミュレーションによる予測技術の開発

シミュレーションによるスプリングバック予測技術の向上を行い、さらに、成形性しきい値の基準を作成した。

② 金型材料・表面処理・構造の基準作成

有効な金型表面処理を選定し、成形面破損を予測できる金型の独自の金型強度評価技術を新たに開発した。

③ サーボプレス活用技術の開発

サーボプレスにおいて有効なスライドモーションを適用することで製品精度を向上できた。

④ 加工法の開発

スプリングバック抑制工法や、伸びフランジワレ・シワ抑制工法を開発した。また、1180MPaハイテンのスポット溶接最適化条件を選定した。

⑤ 製品形状の基準作成

実際の1180MPa部品の開発で得た知見を他部品にも適用できるように基準を作成した。

⑥ 検査技術の確立

- (1) CAT[※]機器導入により、寸法精度比較手法を確立し、評価したい項目別の独自位置合わせ技術を確立した。
- (2) CAE[※](シミュレーション)から CAD[※]データへのリバースエンジニアリング手法としてスプリングバック自動見込技術を考案した。
- (3) 溶接検査装置を導入し独自のパラメータを決定することで部品溶接時のナゲット径の非破壊検査における最適パラメータを選定した。

(2) 試作品の開発

開発した要素技術を用いたシミュレーション・実成形により試作品の成形性・スプリングバック評価を行い、さらにフレ・シワの抑制に成功し、1180MPa ハイテンの試作品を開発した。

開発技術の標準化として、スプリングバック自動見込み技術や CAT による 3 次元測定技術を標準化して、試作品に展開した。

(3) 実製品への展開

2つの対象部品について実製品への展開を行った。対象部品1ではカット工程を追加することで実製品に近いせん断面を持つ状態での成形性の確認を行い、成形性が問題なく、高精度なサンプルが製作できた。対象部品2では開発した要素技術を組み入れた成形を行った結果、高精度なサンプルを製作でき、メーカーへ提案した。その結果 2013 年度に発売される新機種に使用される部品として採用され、開発してきた技術を展開した結果、1180MPa ハイテン化することで30%の軽量化に成功し、低コスト化、燃費向上に貢献した。

(4) 複層鋼板実用化に向けた研究

複層鋼板実用化に向け試作品の成形を行い、複層鋼板が 1180MPa ハイテンよりも高張力でありながらプレス成形性は 1180MPa ハイテンとほぼ同等の性能を有する材料であることを確認した。

参考文献

JIS Z 2241:2011 金属材料引張試験方法

ISO12004-1:2008 Metallic materials-Sheet and strip- Determination of forming-limit curves- Part 1:Measurement and application of forming-limit diagrams in the press shop

ISO12004-2:2008 Metallic materials-Sheet and strip- Determination of forming-limit curves- Part 2:Determination of forming-limit curves in the laboratory

JIS Z 2254:2008 薄板金属材料の塑性ひずみ比試験方法

JIS Z 3137:1999 抵抗スポット及びプロジェクション溶接継手の十字引張試験に対する試験片寸

法及び試験方法

JIS Z 3139:2009 スポット・プロジェクション及びシーム溶接部の断面試験方法

用語説明

CAD…Computer Aided Design

CAE…Computer Aided Engineering=シミュレーションのこと

CAT…Computer Aided Testing