平成29年度

戦略的基盤技術高度化•連携支援事業

戦略的基盤技術高度化支援事業

「業界初、テーラードブランクの対向液圧によるプレス深絞りの開発」

研究開発成果等報告書

平成30年 5月

担当局 関東経済産業局

補助事業者 公益財団法人にいがた産業創造機構

目 次

••••3

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

1-2 研究体制	••••5
1-3 成果概要	••••7
1-4 当該研究開発の連絡窓口	••••7
第2章 本論	
【1】 TBの対向液圧プレスによる深絞りプレス加工技術の開発	
【1−1】 深絞り加工に耐えうるTBの溶接技術の開発	••••8
(1)研究課題及び目標	••••8
(2)成果	••••8
(3)成果内容	••••8
(4) まとめ	•••13
【1-2】 TBの対向液圧プレスによる深絞りプレス加工法の確立	
(1)研究課題及び目標	•••13
(2)成果	•••13
(3)成果内容	•••14
(4) まとめ	•••29
【1-3】TBの対向液圧プレスによる深絞りプレス加工品の3DLTのノウハウの	•••30
(1)研究課題及び目標	•••30
(2) 成果	•••30
(3)成果内容	•••30
(4)まとめ	•••36
【2】 TB の溶接、成形、3DLT の組み合わせによる全体最適解の決定	•••37
(1)研究課題及び目標	•••37
(2) 成果	•••37
(3)成果内容	•••37
(4) まとめ	•••38
最終章 全体総括	•••38

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

川下産業、主に自動車、鉄道産業において乗員の安全確保と車体の軽量化という課題がある。しかし ながら、両者はトレードオフの関係にある。どちらの産業においてもクラッシャブルゾーン(図1)と 呼ばれる場所があり、自動車では、走行に耐えうる強度の確保と衝突エネルギーを吸収すること。鉄道 産業においては乗客の安全確保のための強度と、正面衝突時の乗務員の安全確保のため衝撃を吸収する エリアがある。



クラッシャブルゾーンの部品(図2)は、自動車の部品を例にすると、この部品において、①部は走 行時にスプリングを支えている所で強度が必要。板厚を厚くし、強度を得ている。②部は車体と走行部 とを仕切るカバーなので強度は必要でなく、材料を薄くして衝突時のエネルギーを吸収している。これ らの部品は成形後にスポット溶接で接合されている。



図2 クラッシャブルゾーンの部品

○課題

- ・クラッシャブルゾーンの対象部品は、曲げとスポット加工により製造されており工程が多い。
- ・スポット溶接で接合されている為、溶接代が多く必要で、材料コストが増加する。
- ・プレス加工時は板厚減少を考慮し、板厚の厚い板を選定する必要がある。

前ページ課題において、解決策としてプレス業界初の加工技術である、テーラードブランク(以後TB)の対向液圧プレスによるプレス深絞り技術を研究する。自動車産業ではTBのプレス部品は採用されているが、TBの深絞りプレス部品は実用化されていない。対向液圧プレスという特殊な技術と脆弱性を抑えるレーザー溶接技術の研究開発で解決する。この実用化は、日本の産業が国際競争力において比較優位を占めている安全性と省エネの向上に寄与する。

〇目的

本事業は、安全確保と軽量化の高いレベルでのトレードオフをバランスさせることを目的とする。

〇目標

以下テーマ、サブテーマに沿い、課題解決に取り組んだ。

- 【1】 TBの対向液圧プレスによる深絞りプレス加工技術の開発
 - 【1-1】 深絞り加工に耐えうるTBの溶接技術の開発
 - 【1-2】 TBの対向液圧プレスによる深絞りプレス加工法の確立
 - 【1-3】 TBの対向液圧プレスによる深絞りプレス加工品の3DLTのノウハウの確立

【2】 TBの溶接、成形、3DLTの組み合わせによる全体最適解の決定

○具体的な研究開発対象部品

具体的な開発の対象部品として、クラッシャブルゾーン内のサポートスプリング(図3)を対象にする。板厚 2mm の440 ハイテンの成形品と板厚 1mm の SPCC 成形品をスポットで接合し製造しているものを、TB の対向液圧によるプレス深絞り加工で実現するよう開発を進める。また、TB のプレス加工に適した溶接条件を求め、レーザー溶接技術の確立を目指す。加えて、TB のレーザー加工による切断技術の確立も目指す。図4 に研究開発概要を示す。





図4 研究開発概要

1-2 研究体制

① 研究組織(図5)



事業管理機関 公益財団法人にいがた産業創造機構

2管理体制

事業管理機関

・ 公益財団法人にいがた産業創造機構

氏名	所属・役職	備考
宮口 弘明	産業創造グループ 産学連携チーム・シニアエキス パート	

③アドバイザー

•国立大学法人長岡技術科学大学

氏名	所属・役職	備考
三上 喜貴	理事・副学長	
永澤 茂	大学院工学部・教授	

• 新潟県自動車産業振興

氏名	所属・役職	備考
石川 土朗	アドバイザー	

④研究員

研究実施機関

•新潟県工業技術総合研究所

氏名	所属・役職 備考			
相田 収平	研究開発センター・センター長			
須貝 裕之	研究開発センター・専門研究員			
田村信	研究開発センター・主任研究員			
吉田 正樹	県央技術支援センター・専門研究員			
田辺寛	県央技術支援センター・専門研究員			
片山 聡	中越技術支援センター・主任研究員			

・フジイコーポレーション(株)

氏名	所属・役職	備考
親松豊	DLP 鋼材事業・取締役部長	PL
本間龍一	ダイレスプレス事業・課長	SL
神田 勝弘	シニアアドバイザー	
平舘 巨樹	鋼材事業・課長	
本間純寛	ダイレスプレス事業・課長代理	
田中 大介	ダイレスプレス事業・係長	
高畑博	ダイレスプレス事業・作業長	
山本孝敏	ダイレスプレス事業・副作業長	
栗林康弘	ダイレスプレス事業・副作業長	
椎谷博文	ダイレスプレス事業・副作業長	

氏名	所属・役職	備考
柴野 現栄	ダイレスプレス事業	
大関和彦	ダイレスプレス事業	
高橋、栄一郎	ダイレスプレス事業	
小田 貴志	ダイレスプレス事業	
深瀧好人	ダイレスプレス事業	
山崎智博	ダイレスプレス事業	
藤沢一	ダイレスプレス事業	
山崎友子	ダイレスプレス事業	
赤塚広樹	鋼材事業	
須貝 英夫	鋼材事業	
池内 職志	鋼材事業	
白倉昇	シニアアドバイザー	
内山寛	生産技術・課長	
高山 明義	生産技術	
渡邉 賢介	生産技術	
皆川 啓太	生産技術	
渡辺 悠介	生産技術	
小林 俊彦	総務	

- 1-3 成果概要
- 【1】 TBの対向液圧プレスによる深絞りプレス加工技術の開発
- 【1-1】 深絞り加工に耐えうるTBの溶接技術の開発

TBの溶接条件において、引張試験で母材破断(継ぎ手効率100%)の溶接条件を加工速度とレ

ーザー出力の関係で導いた。

【1-2】 TBの対向液圧プレスによる深絞りプレス加工法の確立

TBの対向液圧プレスによる深絞りプレス加工法の確立において、成形シミュレーション予測で得られた最適条件で成形する事ができ、加工法の確立をおこなった。

- 【1-3】 TBの対向液圧プレスによる深絞りプレス加工品の3DLTのノウハウの確立 連続発振(CW)とパルス発振(PW)の両条件を設定し、両条件共に製品精度への影響が無い最適 切断条件を決定した。
- 【2】 TBの溶接、成形、3DLTの組み合わせによる全体最適解の決定

TB 溶接、成形技術、3DLT の最適解を取得し、データベースを構築した。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

企業名:フジイコーポレーション株式会社/所属:DLP・鋼材事業/役職:取締役部長 氏名:親松 豊/TEL:0256-63-7111/E-mail:<u>v.oyamatsu@e-fujii.co.jp</u>

第2章 本論

【1】 TBの対向液圧プレスによる深絞りプレス加工技術の開発

【1-1】 深絞り加工に耐えうるTBの溶接技術の開発

(1)研究課題および目標

・レーザー溶接治具の設計および開発を行う。

• TBの溶接試験片を用いて、引張試験、断面マクロ観察、硬さ分布測定を行い、TBの最適加工 条件を探索する。

(2) 成果

- ・レーザー溶接治具の設計及び製造を行った。
- •TBの溶接加工における基礎的加工条件を検討し、溶接条件を変化させ引張試験や断面マクロ観察、硬さ分布の結果から最適な加工条件を導いた。
- ・溶接速度 2m 毎分以上の TB の溶接条件において、引張試験で母材破断(継ぎ手効率 100%) の溶接条件を加工速度とレーザー出力の関係で導いた。

(3) 成果内容

・使用レーザー加工機(図6)
 三菱電機製三次元炭酸ガスレーザー加工機型番:ML3122V20+40CF-R
 発振器最大出力:4kw
 ビームモード:シングル(シングルとは、出力されたレーザビームの形状が円形で、パワーがその中心に集中している。集光性が良い微細加工に向いているという特徴を有す

る。)

出力:連続発振(CW)

その他:ヘッドの交換により切断と溶接を両立できる機械。



〇レーザー溶接実験用の治具設計

・製作



- ・溶接冶具の設計、製作について考慮した点
 - 溶接時に付き合わせた材料同士が離れようとする。これを抑制させる為に可能な限り、溶 接箇所に近い部分で材料クランプが行える様にした。(図7)
 - ② 溶接時の熱影響を抑制させる為に溶接部近傍のベースには、比較的熱伝導率が良い真鍮を 使用した。熱伝導率から言えば銅の方が良いが、加工性も考慮して銅よりも硬い真鍮を選 択した。(図7)
 - ③ 又、真鍮には、確実に裏面までレーザー光が貫通し、溶接が行える様に満加工を施した。(図7)
 - ④ 溶接方向を変化させる為に材料クランプ部の先端をテーパに逃がした。(図7)

以上のポイントを主として設計、製作を行った。

〇溶接条件と継ぎ手の評価

- TBの組み合わせ
 - ・440MPa 級ハイテン SAPH440 t2.0mm
 - 冷間圧延鋼板 SPCC t1.0mm
- 溶接条件
 - ・レーザー出力:1.5 ~ 3.6 (KW)
 - ・溶接速度:0.75 ~ 5 (m/min)
 - ・焦点位置:突合せ位置におけるハイテン(t2.0mm)の上面
 - アシストガス: A r 20 (L/min)
- ・ 継ぎ手の評価項目
 - 引張試験
 - ・断面マクロ観察
 - ・硬さ分布
 - 成形試験
- ・ 引張試験片の形状
 - ・JIS 5号引張試験片



○断面マクロ観察の結果



- 図9 断面マクロ観察
- ・マクロ観察では、それぞれの出力に対して、溶接速度を早くすると、溶接不良が発生すること がわかった。





図 11 引張試験結果、レーザー出力と溶接速度 と破断の関係

〇引張試験の結果

- ・図 10 は、出力と速度の関係による引張強さを表す。図中の破線が SPCC の母材強さをあらわしており、これより下の値は溶接部での破断を意味する。
- ・図 11 は、出力と速度の関係による溶接部破断と母材破断を表す。この図より、母材破断する 溶接条件の境界がわかった。

○硬さ分布の結果



・図 12 と図 13 はそれぞれ、出力一定で速度を変化させた硬さ分布と速度一定で出力を変化させた硬さ分布である。

この分布より、出力が高く速度が遅い方が硬さの分布幅が広く、出力が低く速度が速い方が硬さの分布幅が狭い傾向にある。

また、若干ではあるが速度が速い方が、硬さは硬くなる傾向にある。

(4) まとめ

以上の結果より、出力が高く速度が遅い条件の方が硬さ分布に幅があり、やわらかい傾向にあ ると言え、それは断面マクロ観察が良好で且つ、母材破断する条件のうち、母材破断と溶接部破 断の境界線付近ではない溶接条件であると言える。またこの条件は後の項で説明する成形試験に おいて溶接部に起因する破断に至っていない事より、継ぎ手効率100%の条件であり、成形にお いても最適な条件であると言える。

【1-2】 TBの対向液圧プレスによる深絞りプレス加工法の確立

(1)研究課題および目標

深絞りは、材料に複雑な変形と応力が生じるプレス加工である。本研究で開発対象とする TB の深絞りは、それぞれに材料強度差があることに加えて板厚差もあるため、さらに複雑な材料の 流れが生じ、変形の予測が困難である。また溶接部には熱影響による脆弱性が生じることから、 一般的な単一素材の深絞りに比べて成形が難しい。そこで本研究では、その TB に対向液圧成形 を適用した深絞り加工技術を開発する。ここでは、TB の成形時に対向液圧を付加して、板厚減少 と溶接部の変形を抑制させることで成形性の向上を図る。加えて、複雑な変形が生じる TB の対 向液圧深絞り加工を再現可能な計算モデルを構築し、シミュレーションによる成形形状・不良の 予測技術を開発する。そして、その技術を対象とする製品の成形条件の検討に活用する。

(2) 成果

- ・基礎試験により TB の対向液圧深絞り加工を再現可能な計算モデルを構築し、成形試験における最適条件を予測した。
- •予測した最適条件と計算モデルを活用し、実成形試験において最適条件で成形する事ができた。

○基礎試験による計算モデルの構築

図 14の様な TBの円筒絞りから球頭絞りまで対応可能な基礎試験をおこない、対向液圧の有効性の確認、パンチ形状が成形性に与える影響や、板厚分布、溶接部の割れ、SPCC の延性破断と対策法、成形限界等を確認。基礎試験の結果が、シミュレーションで再現可能である事を確認し、計算モデルの構築をおこなった。



○金型パンチ形状の検討

成形試験に用いる形状は、研究開発対象部品を近似化し、サイズを合わせた図 15の様な形状 とし、これを実サイズ近似モデルとした。



○金型設計・製作と液圧装置の製作

金型の設計・製作においては、設定した形状の縮小モデル1型、実サイズ近似モデル1型、複 雑形状モデル(研究開発対象部品類似)1型、計3型を製作した。

金型及び液圧装置を図 16 に示す。下型は液を満たすドームを有しており、その液を液圧制御 ユニットにより制御する。上型にはパンチが設置してある他、成形時のシワ押さえとそれに圧力 を加えるシリンダーが組み込まれている。このシリンダーの圧力(シワ押さえ圧力)はシリンダ ーの圧力制御ユニットにより制御される仕組みになっている。この金型及び液圧装置は、汎用の プレス機に設置でき、専用装置として使用できる。使用しない場合は完全に汎用プレス機と分離 させる事が可能である。



〇縮小モデルの検証(成形試験とシミュレーション)

先ず、縮小モデルの成形試験をおこなった。金型は図17の通り。成形時の条件は以下の通り。

- シワ押さえ荷重:60kN
- 液圧パターン : ブランク① 材料ホールド時から下死点まで液圧付与無し 下死点にてリストとして約 1.5MPa の液圧付与 (成形時の液漏れにより液圧上昇が得られなかった。)
 : ブランク② 液面をダイス表面より-30mmの位置に設定(図 18) 材料ホールド後、パンチ下降で約 30mm押込んだ時点で約 1.5 MPa の液圧 付与、その後下死点まで約 1.5 MPa の液圧付与

(成形時の液漏れにより液圧上昇が得られなかった。)

・ビードの有無 :無





同条件にてシミュレーション解析をおこない、再現性を確認した。結果は以下のとおり。

シワ等の発生は見受けられるが、基本的に成形が可能であり、溶接部での破断は見受けられなかった。この結果をシミュレーションの予測と比較検討した。構築した計算モデルにより良く再現されていることがわかる。(図 19~図 22)加えて、ブランクサイズや設置位置、シワ押さえ荷重等により成形の可否を予測。各条件共に、成形可能な範囲が狭い事がわかった。

・シワ押さえ荷重:60kN 成形可、70kN 成形可、80kN 成形不可

- ・ブランク位置 :440HT 側に 2mm 設置位置が移動すると成形不可
- ・ダイスの摩擦係数:0.2 成形可、0.3 成形不可

このデータを実サイズ近似モデルの解析参考として活用した。





○構築した TB の対向液圧成形シミュレーションモデルにより、実サイズ近似モデルの最適加工条件を決定

これまでの研究で構築した TB の対向液圧成形シミュレーションモデルにより、実サイズ近似モ デルの最適加工条件を決定した。次にこの条件をもとに成形実験を行い、成形中の各状態量の測定 やシミュレーションによる調査を行うことで、成形不具合の調査やその対策を検討した。最後に対 策を施した実験装置で成形実験を行い、その効果を確認した。 最初に成形シミュレーションとそれによって得た最適成形条件について説明する。表1に成形条件を示す。520×706 mmのブランク材(706 mm中419 mmがSPCC、287 mmが44 O HT)に対して成形を行う。シワ押さえ荷重は400 kN とし、パンチが板材に接触した位置をパンチストローク0 mm とする。液圧はパンチストローク40 mm までは付与せず、40 mmでーロパンチを静止させ、5 MPa 付与する。その後、パンチを再度動かし、パンチストローク155 mm まで進めて成形を終了する。図23 にダイ形状とブランクの配置を示す。また、図24 にシミュレーションにおける金型配置を示す。

	表1 成形条件および液圧付与条件
ブランク寸法	520 × 706 mm (SPCC t 1 mm-419 mm, 440HT t 2 mm-287 mm)
しわ抑え荷重	400 kN.
液圧付与条件 パンチストローク 40 mm まで液圧付与なし	
	ハンチストローク 40 mm で 5 MPa、以降は 5 MPa を保持。



図23 ダイ形状とブランク配置



図 25、図 26 に成形後の形状と板厚減少率の計算結果をそれぞれ示す。成形後の形状について見 てみると、フランジ部にシワがあり、SPCC 側の溶接部側面にも若干のシワが見られるものの、概 ね良好な成形状態となっている。次に板厚減少率について見てみると、最も大きな減少率となって いるのは溶接ビード近傍 SPCC 側であるが、その値は 18 %であり、材料試験の結果から考えて 破断の危険性は低い。また図には示していないが、成形限界曲線図をもとに評価した結果、440H T に破断危険性がないことも確認済みである。





○実サイズ近似モデルの成形実験装置の概要と成形結果

シミュレーションの結果に基づき金型を製作し、成形実験を行った。図 27 に成形実験装置を示 す。内部に液圧ドームを備えたダイとパンチ、シワ押えによって構成される。なお実験に使用したプ レス機は 6,000 kN の単動油圧プレスであるため、そのままではシワ押え荷重を独立して制御する ことができない。そこで、図中の油圧シリンダーを備えたシワ押え制御ユニットを上型に取り付けて ある。成形中に油圧シリンダーに作用する液圧を一定に保つことで、シワ押えに一定の荷重を付加す ることができる。

本実験装置を使用して成形実験を行った。最初に表1の条件で実験した結果、破断した(図28)。 破断位置は溶接部 SPCC 側であり、溶接ビードにほぼ平行に亀裂が進展し、ダイr付近で直角に向 きを変えて SPCC と440HT の両側に分岐している。この破断状態から考えて、材料の引き込みが 少ないため最初にパンチ頭頂部で破断した後、成形の進行に伴ってダイrに向かって亀裂が進展して いったものと考えられる。そこで材料の引き込みを改善するため、変形抵抗の高い440HT 側のブ ランク長さを短くして実験を行った。その結果、初期条件より-40 mm 短くしたブランク(520× 666 mm (SPCC 419mm, 440 HT 247 mm))で破断することなく成形することができた(図 29)。ただし、シミュレーション結果と比較すると側面に大きなシワがあり、フランジ部分にもお びただしいシワが見られる。



図 27 成形実験装置



図 28 成形結果(シミュレーションと同じ成形条件



〇原因と対策の検討

シミュレーションに基づく成形実験を行った結果、期待されたほどに良好な結果が得られなかった。ここではそれに関する二つの原因を調べると共に対策を検討した。

・原因1:シワ押えの変形

図 30 にシミュレーションと実際の成形品における形状を比較した結果を示す。図中上半分はシ ミュレーションにより求めた成形品形状、下半分はシミュレーションと同じ条件における実際の成形 品形状である。シミュレーションによる成形品形状には下半分の実際の成形品形状を重ねて示してい る。両者の顕著な違いとして、図中の矢印で示すフランジ溶接部の形状が挙げられる。他の材料に比 べて硬い溶接部は、シミュレーションでは引き込まれずに残っているが、実際の成形品では逆に大き く引き込まれている。この結果フランジ部において、板厚2mmの440HTが板厚1mmのSPCC 側に大きく食い込んでいる。

この理由について考えてみる。実際の成形品フランジ部には、シワの高さの実測値から求めたダイ とシワ押えの隙間を示している。この結果から見ると成形中にダイとシワ押さえの隙間は、0.1~2.0 mm 程度開いていることになる。ここで、図 31 にシミュレーションと実成形におけるシワ押さえ の変位量を示す。シミュレーションと実測値の双方においてシワ押えの変位量は 0.45~0.5 mm 程 度であり、前述の値とは最大 1.5 mm の差がある。この差が生じる原因として、シワ押えの変形が 考えられる。シミュレーションでは各金型は剛体として計算しているため変形は考慮されていない が、実際には変形している可能性がある。そこで図 32 にシワ押えプレートとシワ押え金型の成形時 における変形状態を静解析で求めた結果を示す。ダイ r 付近とシワ押え変位量を実測しているシワ押 えプレート周辺の変形量(高低差)は 1.38 mm となり、フランジシワから求めたダイとシワ押え



の隙間と近い値になっている。このことからシミュレーションと実成形に違いが生じた原因について 考えると、以下の様になる。実成形においてシワ押えが変形し、シワ押えとダイの間に大きな隙間が 生じる。このためフランジ部のシワが増大し、さらにフランジ溶接部においては、板厚 2 mm の 440HT が板厚 1 mm の SPCC 側に入り込んだため、成形品側面の SPCC 側にシワが生じたもの と考えられる。





ここで確認のため、シミュレーション上でシワ押えの変形量が大きくなった場合を擬似的に再現してみた。図33に示すように、シミュレーションにおいて荷重で制御していたシワ押えを変位制御に切り替え、その変位を実測値の結果をもとに最大1.5 mm 増えるようにして解析を行った。計算結果を従来の結果と比較して図34に示す。フランジ溶接部のダイrへの引き込まれや、成形品側面のしわが再現されている。このことから、実成形における成形性の悪化は、シワ押えの変形が原因の一つと考えられる。





これまでの検討により、実成形においてシミュレーションで期待したほどの成形性が得られなかっ た原因としてシワ押えの変形が考えられる。そこでシワ押さえの補強対策について検討した。シワ押 さえは図 35 に示すように、シワ押え金型とシワ押えプレート、そしてシワ押えプレートにボルトで 締結されている補強用のバー材で構成されている。シワ押え金型と補強用バー材は一般的な鋼材、シ ワ押えプレートはねずみ鋳鉄である。これに対して補強案を図 36 に示す。シワ押えプレートの材質 をヤング率 100 GPa のねずみ鋳鉄から 170 GPa の球状黒鉛鋳鉄に変更し、材質レベルでの剛性 を向上させた。また、上部のリブを全て埋め、下部の補強用バー材をプレートと一体で成形すること により、構造レベルで剛性を向上させた。図 37 にシワ押え変形状態の計算結果を従来型と比較して 示す。従来型の 1.38 mm に対して、約 1/3 の 0.48 mm まで剛性を向上させることができた。



•原因2:液圧不足

図 38 にパンチストロークに対する成形中の液圧実測値を示す。シミュレーションによって得られた液圧条件はパンチストローク 40 mm までは液圧 0 MPa、それ以降に 5 MPa を付与し続けるというものであった。実成形においても上記の設定で実験を行ったが、成形中の液圧はパンチストローク 40~110 mm までで 1.25 MPa 前後、その後上昇するものの、120 mm で液漏れと共に急激に低下し、ほぼ 0 MPa となっていた。

ここで原因を調べるため成形品の状態を詳細に調べた(図 39)。Aの440HT 側は、ほぼ全域で ダイrと強く接触した痕跡があり、液圧のシール効果が高いと考えられる。これに対してBのSPCC 側はダイrと接触していない部分があり、接触した部分の接触痕も短いことからシール効果は高くな いと考えられる。これらの結果と実験時の状況観察から、液圧が目標値まで上がらない理由はSPCC 側ダイr部分のわずかな隙間から液がもれているためと考えられる。すなわち、液圧のもれ量に対し てポンプの揚程が追いつかないため、目標値まで液圧が上がらない。これが実成形における成形性悪 化の原因の一つと考えられる。

そこで液漏れの対策について検討した。実験時における液圧は液漏れしつつも圧力が 1~2 MPa まではあがることから、液が漏れる隙間はダイ r とプレス材の間の極めて狭い領域と考えられる。図 40 にこの状況を示す。液漏れの空間は狭いので、低い薄い膜のようなものでも封止できる可能性が ある。そこで、シリコーンゴムシートやテフロンシートなどいくつかの材質やシールの形状を検討し、 実験を行った。その結果、図 41 に示すように、0.5 mm のテフロンシートをダイの曲線部分で折 りたたむようにして設置した場合に最も液圧のシール効果を高めることができた。





図 42 にテフロンシートによる液圧シール対策とシワ押え補強対策を施した成形実験における、 パンチストロークと液圧実測値の測定結果を示す。対策によって液圧の漏れは大幅に減少し、成形中 のほぼ全域で 5 MPa 前後の液圧を保持できている。図 43 に成形品の外観を対策前と比較して示 す。成形品側面に若干のしわは残るものの対策前と比べて大幅に改善している。またフランジ面のし わも大幅に減少しており、シミュレーションの状態にかなり近い結果が得られた。





(a) 対策前

(b) 対策後

図43 対策を施した成形実験結果

○複雑形状モデル(研究開発対象部品類似)の成形試験

実サイズ近似モデルの成形試験より得られたデータ、対策をもとに複雑形状モデルの成形試験をお こなった。図44に複雑形状モデルを示す。



実サイズ近似モデルの成形試験より得られた液圧シール対策の適用により一定の液圧付与効果は 見受けられた。(図45)しかし、成形初期においてパンチ頭部に亀裂が発生し成形完了に至らなか った。シミュレーションでも、液圧、付与タイミング等を変更し予測をおこなったが、成形には至ら なかった。(図46)結果、加工条件が成形に至らない要因では無く、根本的なパンチ形状の見直し が必要であると判断した。



図 45 成形時に液圧が付与された様子



(4) まとめ

成形シミュレーションにより得られた最適条件で成形実験を行った。その結果、シミュレーション で期待されるほど成形性が良好ではなかったため原因の検討を行った。成形品の詳細な観察や各部寸 法の測定と、成形中のシワ押さえ変位量や液圧値等をもとに検討した結果、成形性悪化の原因として 「シワ押さえの変形」と「液圧の不足」の2点が挙げられた。これに対する対策として、「シワ押さ えの変形」については補強案を検討し、「液圧の不足」については液圧シール方法を考案した。これ らの対策をもとに成形実験を行った結果、対策前に比べて大幅に成形性を改善することができ、シミ ュレーション結果にほぼ近い成形結果を得ることができた。

しかし、複雑形状モデルの検証にてパンチ形状の見直しと言う課題が発生した。これについては現 在も課題を解決すべく継続的に研究をおこなっている。加えて、確立した加工法が汎用的である事か ら、量産工法に向けての改善も今後の課題とした。

- 【1-3】 TBの対向液圧プレスによる深絞りプレス加工品の3DLTのノウハウの確立
 - (1) 研究課題および目標

レーザー切断加工は高密度エネルギを被加工材に照射して、微小領域を瞬間的に溶融・除去するため、ガス切断などの他の熱加工法に比べてトリミングされた製品に与える熱影響は少ないという利点を有する。しかし、大型プレス成形品を対象とした場合には、部分的な変形は小さくても成形品全体が大きく変形することが懸念され、さらに、本研究で対象とする TB のプレス成形品は、溶接ビードによる影響も心配される。トリミング中に成形品が大きく変形すると製品品位の低下や、加工を中断するなどの不具合が生じて、これら不具合によって時間やコストの増加、加工機を損傷する危険性が増すことは問題である。

一方で、プレス成形品には成形に伴う残留ひずみが存在し、トリミングによって残留ひずみが解放 されるために成形品全体が変形することは明らかである。そのため、主となる変形要因を明らかにし た上で、熱ひずみの影響について検証する必要がある。

そこで本研究では成形品表面にひずみゲージを貼付して、選定した最適加工条件により 3DLT を 行い、ひずみゲージを用いて部分的な変形について測定を行うとともに、非接触三次元測定機を用い て 3DLT 前後の全体形状の比較を行い、熱ひずみの影響について検証した。

(2) 成果

・連続発振(CW)とパルス発振(PW)の両条件を設定し、両条件共に製品精度への影響が無い最適 切断条件を決定した。

(3) 成果内容

OTBの3DLT条件の選定

• TB の 3DL 条件の選定として先ず、PW(パルス発振)での切断が熱影響を抑制できるのではと 言う想定の元、CW(連続発振)とPW(パルス発振)の両条件で最適な加工条件を探索した。

・加工条件は以下の様に設定した。

- ・CW とPW共に、板厚T=1.0mmとT=2.0mmの両方が確実に切断可能な両立条件とした。
- ・CWとPWでは、切断可能な条件(出力や周波数)が異なるため、速度を同一とした。
- ・切断品質は、可能な限り良好になる様調整をおこなった。。
- ・PW (パルス発振)のデューティー(%)は、50%とした。

・選定結果

選定の結果、CW(連続発振)は平均出力を2500Wとし、PW(パルス発振)はデューティー 50%で、ピーク出力4400W平均出力2200Wとした。加工速度は、両条件共に、3000mm/min で統一した。(図47)

最適な条件は、ドロスや焼け等の切断不良が発生しない条件とした。PW(パルス発振)においては、調整の過程でサブパラメータとして、ノズル高さや焦点、ガス圧の調整をおこう事で良好な加工品質を得た。



O3DLT による熱ひずみの影響の検証

• 切断条件

切断サンプルは、縮小モデル成形試験品を用いた。3DLT ラインを図 48 に、切断の様子を図 49 に示す。3DLT ラインはプレス成形品から製品形状を切り抜くように設定した。3DLT は表 2 に示す 3 種類の経路で行い、加工中のノズル姿勢は成形品表面に対して垂直とした。

表 3 に選定した最適加工条件を示す。加工条件は厚さ 1mm の SPCC および厚さ 2mm の 440HT を同一条件で切断できるように導き出されたものである。





図 49 切断の様子

	表 2 3DLT	動作経路	
	経路1	経路2	経路3
開始点	S1	S1	S2
動作方向	反時計回り	時計回り	時計回り

表 3 3DLT 条件		
	条件1	条件2
発振方式	CW(連続発振)	PW(パルス発振)
平均出力(W)	2500	2200
パルス周波数(Hz)		1300
デューティー(%)		50
送り速度 (mm/min)	3000	3000

Oひずみゲージによる検証方法

成形品表面にひずみゲージを貼付して 3DLT を行い、成形品表面の部分的な変形を測定した。 ひずみゲージ貼付位置を図 50 に示す。ひずみゲージは溶接ラインを挟む箇所に、溶接ラインおよ びトリムラインより約 20mm 離して貼付した。ひずみゲージを貼付した成形品の写真を図 51 に、 最大主ひずみ、最小主ひずみの計算方法を図 52 に示す。

なお、ひずみゲージは 3 軸重ね配置ひずみゲージ KFG-3-120-D17-11 を用い、測定には (株) キーエンス製マルチ入力データ収集システム NR-500 を使用した。



図 50 ひずみゲージ貼付位置





(http://www.kyowa-ei.com より引用)

〇非接触三次元測定機による検証方法

3DLT による成形品の変形を調べるため、(株)オプトン製非接触三次元測定機サーフタイザー 500S を用いて 3DLT 前後の形状を測定して、全体形状を比較した。

測定の様子を図 53 に、処理フローを図 54 に示す。3DLT 前の測定点群は STL に変換して、 3DLT 後の測定点群は STL に変換した後に面データに変換した。それらデータをベストフィット によって位置を合わせて、3DLT 前後の全体形状を比較した。なお、処理には 3D Systems 社製 Geomagic Design X を使用した。



図53 非接触三次元測定機による測定



〇測定結果

・発振条件による違い

発振条件による違いを検証するために、発振条件は表3条件1(CW)および条件2(PW)とした。動作経路は表2経路1として3DLTを行った。

ひずみゲージによる測定より得られた最大主ひずみ、最小主ひずみを図 55 に示す。条件 1 は、 C の最大主ひずみが最も大きく、次いで D が大きい値を示した。条件 2 は、C においては 3DLT の際にひずみゲージが剥離したために測定データが得られなかったものの、それ以外の箇所は条件 1 と同様の傾向を示した。

3DLT 前後の全体形状の比較を図 56 に示す。いずれの条件も、ひずみゲージによる測定 で大きな値を示した C 近傍においては 0.7~0.9mm 程度の形状差がみられたが、ほぼ全域が±0.4mmの形状差に収まり、条件による傾向の違いは見られなかった。

この結果より、本試験においては発振条件による変形に違いがないことを確認した。なお、変形の 絶対値はプレス成形品の生産管理において問題になる値ではなかった。

〇変形要因

ひずみゲージによる測定より得られた値は 3DLT による熱ひずみと残留ひずみの解放とが相乗 されたものであるため、主となる要因を明らかにすることにした。仮に熱ひずみが主要因であれば、 動作経路を変更して 3DLT の熱履歴が変わることで、異なる変形形態を呈すると考えられる。そ のため 3DLT の動作経路を変更して検証した。発振条件は条件 1、動作経路は経路 1、経路 2 お よび経路 3 として 3DLT を行った。

図 57 に 3DLT 前後の全体形状の比較を示す。いずれの条件においても、C 近傍における局部 的な形状差がみられ、成形品の変形形態に違いは見られなかった。そのため、この局部的な形状差 はプレス成形の残留ひずみが解放されたことにより生じたと考えられる。

この結果より、本試験においては 3DLT による変形は残留ひずみの解放が主要因であり、熱ひずみは成形品の変形に影響を与えないことを確認した。





形状差 最大0.76mm

(b) 条件 1 (CW) 経路 2

形状差 最大0.71mm (a)条件1(CW) 経路1



形状差 最大0.83mm

(c) 条件 1 (CW) 経路 3

図 57 動作順路による違い(非接触三次元測定機による測定結果)

(4) まとめ

選定した最適加工条件により 3DLT を行い、3DLT による変形について、部分な変形の測定と 3DLT 前後の全体形状を比較して、熱ひずみの影響について確認した。

変形はプレス成形時の残留ひずみの解放が主要因であり 3DLT による熱ひずみは変形に影響を与えないことを確認した。

検証結果より、CW(連続発振)とPW(パルス発振)の両条件共に、実生産時の3DLT最適加工条件として選定することとした。

【2】TBの溶接、成形、3DLTの組み合わせによる全体最適解の決定

(1)研究課題及び目標

【1-1】 深絞り加工に耐えうるTBの溶接技術の開発

【1-2】 TBの対向液圧プレスによる深絞りプレス加工法の確立

【1-3】 TBの対向液圧プレスによる深絞りプレス加工品の3DLTのノウハウの確立

上記の本研究内容に対して求めた最適条件を組合わせる事により、TBの対向液圧プレスによる 深絞りプレス加工技術の最適解とする。

(2) 成果

各サブテーマに沿った研究より、TBの対向液圧プレスに必要な要素技術をデータベース化できた。

(3) 成果内容

OTBの溶接技術(図58)



図 58 引張試験結果、レーザー出力と溶接速度と破断の関係

Oシミュレーションを活用した TB の液圧成形技術と液圧シール工法(表)

	表4 成形条件および液圧付与条件
ブランク寸法	520 × 706 mm (SPCC t 1 mm-419 mm, 440HT t 2 mm-287 mm).
しわ抑え荷重	400 kN
液圧付与条件。	パンチストローク 40 mm まで液圧付与なし. パンチストローク 40 mm で 5 MPa、以降は 5 MPa を保持.

OTBの3DLT技術(図59)





(4) まとめ

TBの溶接、TBの液圧成形、TBの3DLT技術を研究、データベース化し組み合わせる事によりTBの深絞りプレス部品の成形を可能にし、全体最適解を決定した。

最終章 全体総括

本事業は、安全確保と軽量化の高いレベルでのトレードオフをバランスさせることを目的として取り組んだ。

溶接については新潟県工業技術総合研究所協力のもと成形に耐えうる継ぎ手効率 100%の溶接技術 を確立したと同時に、溶接治具に関わるノウハウも取得できた。

液圧成形時には、液漏れを起こす技術的問題が発生したが、対策を検討し進める事により、新たな 液圧シール工法を生み出し、シミュレーションで得られた最適条件で成形することができた。また、 研究段階にて製作した液圧装置は、液圧成形における独自の専用設備、ノウハウとなった。今後、金 型を含めた生産システムとしてその活用も期待できる。課題として、複雑形状のモデル検討や液圧シ ール方法の改善が残された他、今後の事業化に向けては多様な形状に適応する為の技術開発や品質保 証、量産体制の構築等も考慮しなければならない。

3DLT については、切断途中で加工条件の変更や加工機を停止させることなく材質、板厚の違う材料を加工できる条件を確立した事は生産性向上にも寄与する。

本事業の川下産業である自動車や鉄道車両において、安全性と省エネルギーの両立は喫緊の課題と なっている。本開発製品のユーザーである国内自動車産業は日本の基幹産業であり、国内はもとより 全世界で製作した車両の販売が行われていて、その市場は巨大であり将来性に富んでいる。そのた め、補助事業の成果が事業化されれば、市場に対する波及効果が大きい。

ー部課題を残しながらも副産物的に得られた技術と合わせて、本事業における成果物をどの様なチャネルにてどう訴求していくかが重要であると考える。

最後に本研究開発は、事業管理機関、研究実施機関、アドバイザーが定期的にミーティングを行い、意思疎通を図りながら進捗管理・研究成果の共有を行い、具体的な研究開発や、事業化について取り組む事ができたと言え、多大なご協力を頂いた事に心から感謝し、全体の総括といたします。