

平成24年～平成26年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「自動車用複雑形状部品の製造技術を高度化する圧造複合プレス技術の開発」

研究開発成果等報告書

平成27年 3月

委託者 近畿経済産業局

委託先 公益財団法人わかやま産業振興財団

## 目 次

### 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)研究背景

##### (2)研究目的及び目標

#### 1-2 研究体制

#### 1-3 成果概要

#### 1-4 当該研究開発の連絡窓口

### 第2章 本論

#### 2-1 ダブルヘッドによる左右非対称な複雑形状の圧造技術の開発

##### 2-1-1 ダブルヘッド機による非対称軸部の材料流れを研究

##### 2-1-2 左右非対称部材に対応した金型形状の研究

#### 2-2 プレス技術による増肉と曲げの同時加工技術の開発

##### 2-2-1 L字曲げ・リブ付け時の破断クラックの解消の研究

##### 2-2-2 増肉加工による強度維持・軽量化のヒンジ部品の適正リブ配置設計の研究

##### 2-2-3 増肉加工時の疲労に対応した金型形状の研究

#### 2-3 プレス加工による外形未拘束孔あけ技術と外形寸法調整技術の確立

##### 2-3-1 外形未拘束孔あけの精度・充填率の研究

##### 2-3-2 シェイビング技術による孔開け時の製品端面のダレの解消の研究

##### 2-3-3 孔あけ自由鍛造によるCAE解析と金型形状の研究

##### 2-3-4 素材膨張を利用した蝶番部の外形調整の研究

#### 2-4 圧造複合プレスの解析・評価技術の研究

##### 2-4-1 鍛造解析を用いた不具合の解消と高精度化の研究

##### 2-4-2 ヒンジ形状の最適化に関する研究

##### 2-4-3 材料試験および製品評価試験

### 第3章 全体総括

#### 3-1 複数年の研究開発成果

#### 3-2 研究開発後の課題

#### 3-3 事業化展開

## 第1章 研究開発の概要

軽量の自動車用ドアヒンジ製造コストを大幅に削減する圧造複合プレス技術を開発する。ドアヒンジの大半は、大重量だが低コストの板金プレス技術により製造されている。自動車軽量化のニーズに対し、切削加工により軽量ヒンジを製造する技術が開発されているが、複雑形状の加工コストが高く、一部高級車を除き普及していない。厚板を冷間圧造、深部孔あけ(特許)等の複合プレス技術により加工し、切削レスとする技術を開発する。

- ① ダブルヘッドによる左右非対称な複雑形状の圧造技術の開発
- ② プレス加工による外形未拘束孔あけ技術と外形寸法調整技術の確立
- ③ 圧造複合プレスの解析・評価技術の研究

### 1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

#### (1) 研究背景

現在、一般車のドアヒンジには、大重量(1セット 805g)だが低価格(同 440 円)の板金プレスヒンジが使用されている。これに対して、一部の高級車には、引抜鋼を切削加工で製作する軽量のヒンジ(同 675g)を使用しているが、価格は3倍(同 1,200 円)と高いため普及していない。

自動車業界では「CO<sub>2</sub> 排出量減少のための軽量化と強度維持」のため、世界的に引抜鋼切削ヒンジへの転換が進みつつあり、国内自動車メーカー各社も、燃費向上のための軽量化を重要課題にすると同時に「3年以内に調達価格の 50%オフ」という低コストを実現する厳しい課題を掲げ、部品メーカーに新技術工法の開発を求めている。

#### (2) 研究目的及び目標

本開発は、高価な引抜鋼切削ヒンジを、切削レスで製作する圧造複合プレス技術を開発するものであり、当該工法技術により軽重量化を計り、調達コストの50%削減を目指し、軽量の自動車用ドアヒンジ製造コストを大幅に削減する圧造複合プレス技術を開発する。

#### ○ 自動車用ヒンジの軽量化

現状 3,220g → 20%減 2,576g以下 (4 セット)

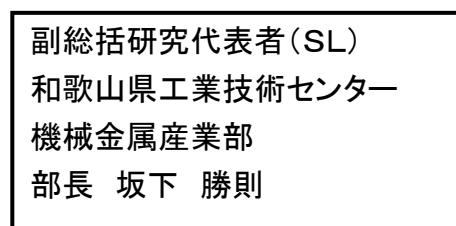
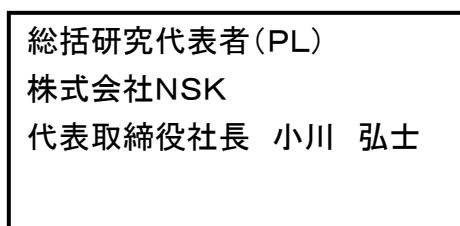
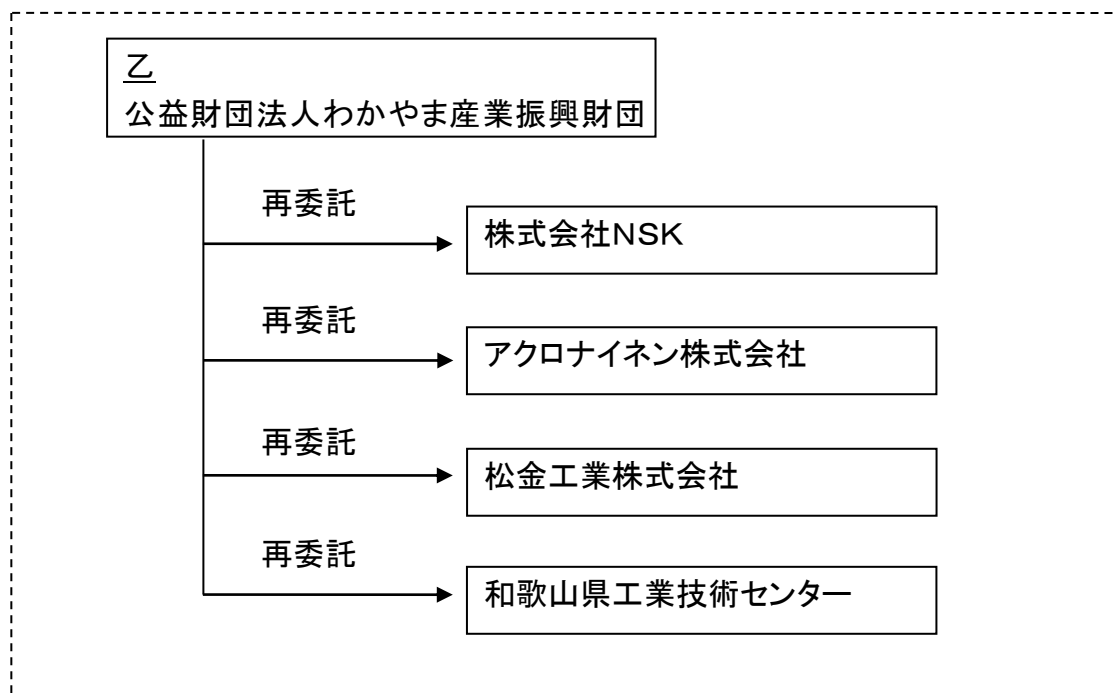
#### ○ 圧造複合プレスヒンジの調達コスト

現状 1,200 円 → 50%減 600 円以下 (1 セット)

## 1-2 研究体制

### (1) 研究組織及び管理体制

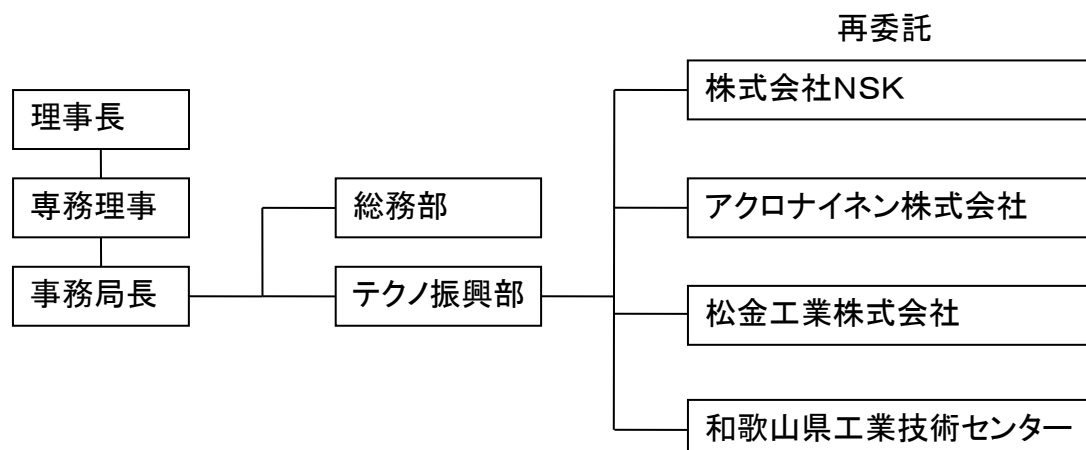
#### 1) 研究組織(全体)



#### 2) 管理体制

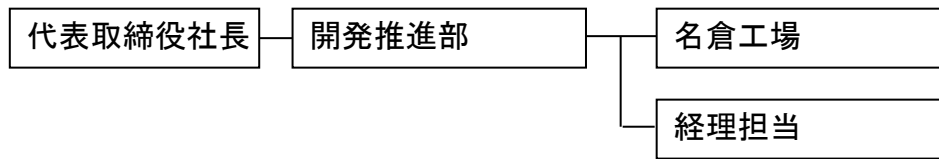
##### ① 事業管理機関

[公益財団法人わかやま産業振興財団]

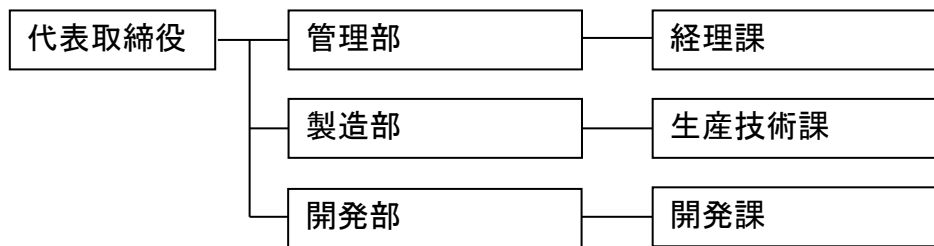


②(再委託先)

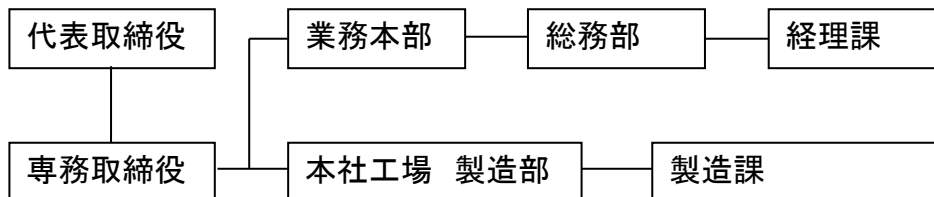
株式会社NSK



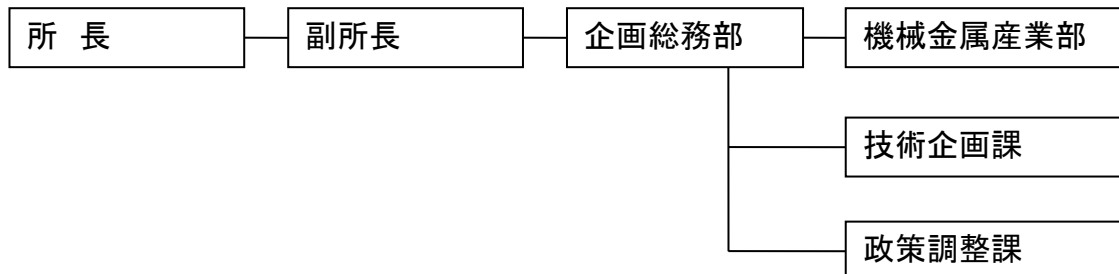
アクロナイン株式会社



松金工業株式会社



和歌山県工業技術センター



(2) 管理員及び研究員

【事業管理機関】 公益財団法人わかやま産業振興財団

① 管理員

氏名	所属・役職
西野 健二	テクノ振興部 部長
三井 誠	テクノ振興部 科学技術コーディネーター
中西 俊文	テクノ振興部 テクノ振興班 班長
西前 浩平	テクノ振興部 テクノ振興班 主査
岡崎 純一	テクノ振興部 テクノ振興班 主事
杉本 五月	テクノ振興部 テクノ振興班 事務補助員
南宅 芳彦	総務部 副部長

【再委託先】

株式会社NSK

氏名	所属・役職
小川 弘士	代表取締役社長
小川 和也	取締役・開発推進部長

アクロナイン株式会社

氏名	所属・役職
谷口 直也	製造部 生産技術課 課長
勝本 悟士	開発部 開発課 課長

松金工業株式会社

氏名	所属・役職
宮路 哲	専務取締役
田中 靖彦	工場長
深田 仁志	業務本部長

和歌山県工業技術センター

氏名	所属・役職
坂下 勝則	機械金属産業部 部長
鳥飼 仁	機械金属産業部 機械金属グループ 主任研究員
上森 大誠	機械金属産業部 機械金属グループ 副主査研究員

(3) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

(事業管理機関)

公益財団法人わかやま産業振興財団

(経理担当者) テクノ振興部 テクノ振興班 班長 中西 俊文  
(業務管理者) テクノ振興部 部長 西野 健二

(再委託先)

株式会社NSK

(経理担当者) 開発推進部 経理担当 前谷 育代  
(業務管理者) 開発推進部 部長 小川 和也

アクロナイン株式会社

(経理担当者) 管理部 経理課 次長 上地 安津子  
(業務管理者) 製造部 生産技術課 課長 谷口 直也

松金工業株式会社

(経理担当者) 総務部 経理課 課長 川崎 千秋  
(業務管理者) 工場長 田中 靖彦

和歌山県工業技術センター

(経理担当者) 企画総務部 政策調整課 主査 谷川 智雪  
(業務管理者) 副所長 小畑 俊嗣

(4) 知的財産権の帰属

知的財産権は全て当方に帰属することを希望。

(5) その他

アドバイザー

氏名	所属	内容
藤原 道雄	株式会社テクノアソシエ 常務取締役	圧造複合プレスの解析・評価に関する技術について成果に対する評価、サンプル評価を行う点で助言・協力を行う。
角谷 泰信	有限会社タイハウ金型 代表取締役	サーボプレス機用金型形状の開発、設計に関して助言・協力を行う。

### 1-3 成果概要

#### 2-1-1 ダブルヘッド機による非対称軸部の材料流れを研究

3年間通して可能になった各加工工程を基にして、更に解析により最適化を行ったヒンジ形状でコイル材から切断、第1・第2パンチの連続加工が可能で品質・設備に問題が無い事がわかった。

#### 2-1-2 左右非対称部材に対応した金型形状の研究

バリを均一に出来ることがわかった鍛造シミュレーションを実施した。第1ブローのパンチ形状は、左右対称として座屈を防ぎボス部を膨らませることにより、第2ブローによる仕上がり形状の座屈は最小限となり、均一なバリにより材料の巻き込みと充填不足をなくすことができた。

#### 2-2-1 L字曲げ・リブ付け時の破断クラックの解消の研究

当初計画に対して反対側からの押し込み、反対側に増肉を作って厚みを出しながらリブ出しをした新L字曲げ・リブ付けにより、プレス圧の減圧効果が確認され、100トン以下で製作出来ると共に、破断・クラックの防止が可能になった。

また、構造解析を実施して形状変更することにより現行品(引抜鋼切削ヒンジ)と同等以上の剛性を確保できることが分かった。

#### 2-2-2 増肉加工による強度維持・軽量化のヒンジ部品の適正リブ配置設計の研究

構造解析で形状を最適化したヒンジを試作・評価して、解析結果を裏付ける結果を得ることができた。

#### 2-2-3 増肉加工時の疲労に対応した金型形状の研究

鍛造解析により金型に生じる応力振幅は382MPa(最大応力は763MPa)となった。金型材料の片振りの疲労限度667MPaの57%であることから、目標を十分に達成する性能を有することがわかった。

#### 2-3-1 外形未拘束孔あけの精度・充填率の研究

解析により最適化を行ったヒンジ形状と平成25年度に最適化したモーション設定を基本にして孔あけを行った結果、金型負担が更に軽減される事がわかった。また、孔あけ用金型を改良し、材料の流れに影響されにくい金型に設計したため、孔あけ部分の硬度が高硬度でも孔をあける事ができ、連続で30個以上の孔あけが可能になった。

#### 2-3-2 シェイビング技術による孔開け時の製品端面のダレの解消の研究

第2パンチによる抜き返しにより第1パンチにより生じた製品面のダレ量を0.5mm以内に軽減することができた。

#### 2-3-3 孔あけ自由鍛造によるCAE解析と金型形状の研究

パンチ先端角を90°とし、パンチ反力を小さくすることにより、上面の凹みを小さくし、ボス部は未拘束のままの孔あけとすることで高精度な孔あけができることを鍛造シミュレーションで明らかにした。

#### 2-3-4 素材膨張を利用した蝶番部の外形調整の研究

孔あけの荒抜き型・仕上げ抜き型共に、金型内径は16mmに対して、加工ワークの平均外形直径数が16.26mmと16.02であり、金型内形の差0.5mm以内(15.5~16.5mm)にワークを充填することができた。また、荒抜きと仕上げ抜き型の最小と最大の外形



直径数を比較すると、仕上げ抜きの方が全体的にバラつきが減少した。

#### 2-4-1 鍛造解析を用いた不具合の解消と高精度化の研究

鍛造解析を用いることで塑性加工の理解と諸問題解決の指針として活用できることがわかった。

#### 2-4-2 ヒンジ形状の最適化に関する研究

○部品の曲部の形状変更により加工可能、かつ、ストッパ機能を盛り込んだ新形状を設計した。新形状において、従来品と同等となる剛性を確保でき、かつ、従来品と近似した形状となる寸法値を構造解析を実施して決定した。その結果、従来品と近似した形状で、剛性を確保できることが分かった。

#### 2-4-3 材料試験および製品評価試験

開発した圧造プレスヒンジについて、製品評価試験を実施した。

従来品の引抜鋼切削ヒンジと近似した形状で、従来品と同等以上の剛性を有し、目標を達成することができた。

### 1-4 当該研究開発の連絡窓口

公益財団法人わかやま産業振興財団

テクノ振興部 部長 関 二郎

電話：(073)432-5122

FAX：(073)432-3314

E-mail：[seki-j@yarukiouendan.jp](mailto:seki-j@yarukiouendan.jp)

## 第2章 本論

### 2-1 ダブルヘッドによる左右非対称な複雑形状の圧造技術の開発

#### 2-1-1 ダブルヘッド機による非対称軸部の材料流れを研究

ダブルヘッド機の送り装置は、本来ボルト製作専用が開発され、丸棒以外での単発加工は不可能とされていた。本研究開発では、ダブルヘッド機を厚板加工用に転用し、アタッチメントを使う事によってコイル状に巻かれた原料を、向きを整えつつ真っ直ぐに伸ばしながらダブルヘッド機に送ることができた。コイル材から切断、第1・第2パンチの連続加工を行う全体図を図2-1-1-1に示した。

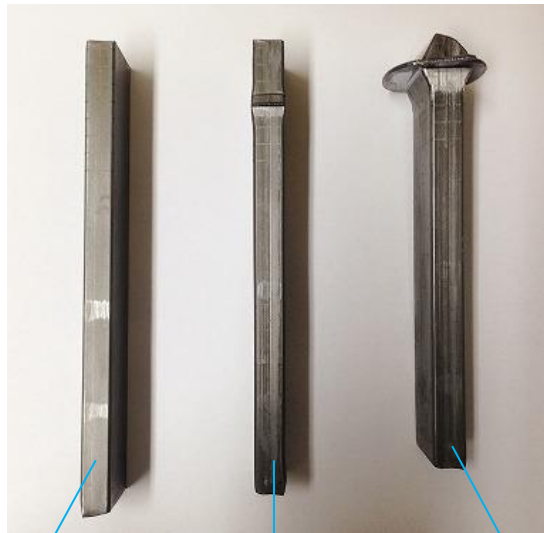


図2-1-1-1 ダブルヘッド機連続加工全体図

本研究開発では、鍛造シミュレーションと連動することにより、第1ブローのボス部を膨らませる金型形状に改良したため、バリが均一になりバリ量を減らせ、加工反力と金型負荷も小さくなることがわかった。この解析結果に基づいた形状の金型(第1パンチ)を製作して実証したところ、バリの発生が均一にできることがわかった。また、目標値である座屈:  $\pm 2\text{mm}$  以内・バリ:  $5\text{g}$  以内・バリの突出量:  $1.5\text{mm}$  以内を可能にした。

そして、可能になった各加工工程を基にして、更に解析により最適化を行ったヒンジ形状でコイル材から切断、第1・第2パンチの連続加工が可能で品質・設備に問題が無い事がわかった。

解析により最適化を行ったヒンジ形状でコイル材から切断、第1ブロー鍛造、第2ブロー鍛造を多段連続加工したワーク形状を図2-1-1-2 ダブルヘッド機による圧造実験と座屈の評価を行うための座屈の解析結果を図2-1-1-3 座屈の解析結果にそれぞれ示す。



ブランク材切断      第1ブロー鍛造品      第2ブロー鍛造品

図2-1-1-2 ダブルヘッド機による圧造実験

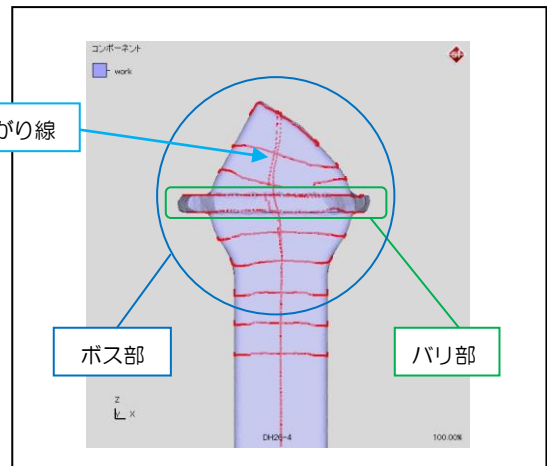


図2-1-1-3 座屈の解析結果

座屈の解析結果の座屈は最大約1.2mmと実際の加工品の座屈は最大約1.5mmであり鍛造解析が妥当である事がわかり、目標値を達成できている事がわかった。

また、当初の計画では、先端部の左右非対称形状に対応するため、第1ブローで材料の左右配分を考慮し、ワーク先端を斜めに加工し、第2ブローで最終形状に仕上げたが、材料の巻き込みが発生した。その際に、材料の巻き込みによるクラックが発生したため、カラーチェック(浸透探傷検査)で確認した。更に、後加工のプレス孔あけ時クラックが開いて割れが生じた。

カラーチェックを使って検査したものを図2-1-1-4クラックカラーチェック検査、プレス孔あけ時に発生したクラック・割れを図2-1-1-5 プレス孔あけ時クラック・割れにそれぞれ示す。

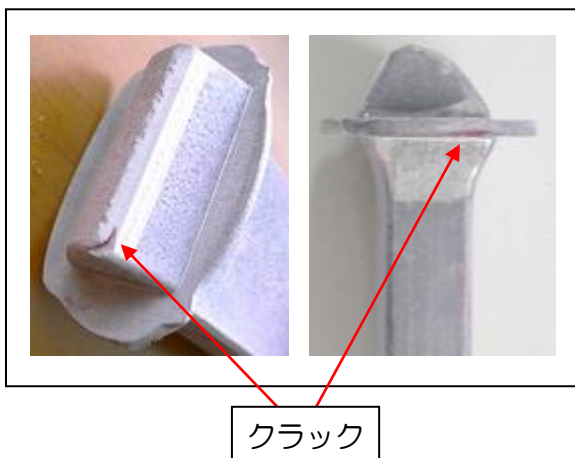


図2-1-1-4 クラックカラーチェック検査

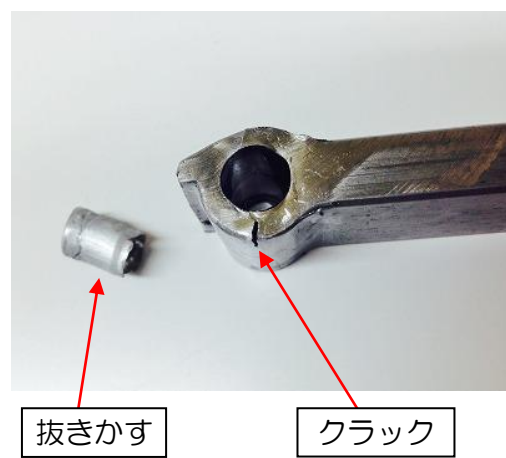


図2-1-1-5 プレス孔あけ時クラック・割れ

そして、これら問題は解析に基づき第1ブローのボス部を膨らませる金型形状に改良したため、巻き込みによるクラックも発生せず金型負荷も小さくなる事がわかった。

### 2-1-2 左右非対称部材に対応した金型形状の研究

本研究開発は、コイル材から切断し、1ダイス2ブローで目標形状を得る必要があり、コイル材の切断精度を高めることと、解析結果に基づいたボス部を膨らませることを優先した金型(第1ブロー)で出来た加工品と解析結果を比較することにより、材料の巻き込みクラックが無くバリ量が最小となるような金型形状を提案した。

鍛造シミュレーションにより、第1パンチのボス部を膨らませる金型形状とすることにより、バリが均一になりバリ量を減らせ、加工反力と金型負荷も小さくなることがわかった。この解析結果に基づいた形状の金型(第1ブロー)を製作して実証したところ、バリの発生が均一にできることがわかった。

ブロー1の形状生成の役割として、非対称形状の対応ではなく後加工でピン孔加工を行うボス部を膨らませることを優先した金型で第1ブローの後、第2ブローを行ったシミュレーション結果を図2-1-2-1に示した。

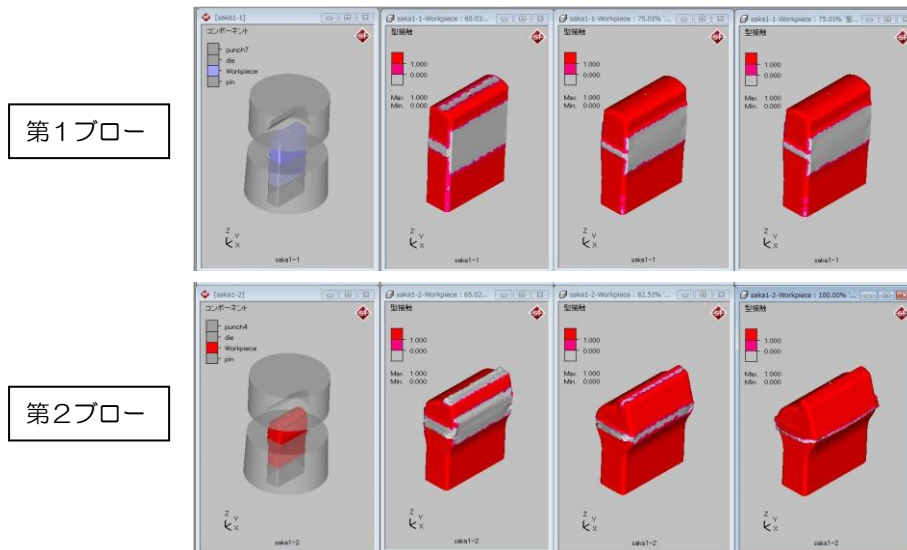


図2-1-2-1 ボス膨張優先金型によるシミュレーション

ボス部を膨らませることを優先した金型により、ボス部でのバリの発生が均一にできることがわかった。鍛造シミュレーションでは、ワークピース(ブランク材)のダイスからの突き出し長さを成形品に欠肉が生じないように調節した。各金型による鍛造シミュレーションの設定値と最大反力を表2-1-2-1に示した。

表2-1-2-1 各金型による鍛造シミュレーションの設定値と最大反力

金 型	初期突出し長さ mm	最大反力(パンチ) kN	
		ブロー1	ブロー2
1ブロー(ブロー2)	17.0		899
非対称対応 ブロー1-2	16.0	182	615
膨らみ優先 ブロー1-2	15.5	170	551

## 2-2 プレス技術による増肉と曲げの同時加工技術の開発

### 2-2-1 L字曲げ・リブ付け時の破断クラックの解消の研究

当初計画における内側にリブを出す増肉成型の加工法で試作した結果、冷間加工では500トン以上のプレス圧をかけなければリブが出ないため金型に過大な負荷が加わり耐久性が非常に悪いことから改善策が必要になった。

そこで、当初計画に対して反対側からの押し込み、反対側に増肉を作って厚みを出しながらリブ出しをした新L字曲げ・リブ付けにより、プレス圧の減圧効果が確認され、100トン以下で製作出来ると共に、破断・クラックの防止が可能になった。

また、構造解析を実施して形状変更することにより現行品(引抜鋼切削ヒンジ)と同等以上の剛性を確保できることが分かった。したがって、L字曲げ部分の曲率半径を小さく(外R 8mm)する必要がなくなり、L字曲げ部分に割れが生じるリスクを回避できた。

#### ○プレス機による増肉、L字曲げ・リブ付け実験結果

新 増肉、L字曲げ・リブ付け金型で加工したワーク形状を図2-2-1-1に示す。

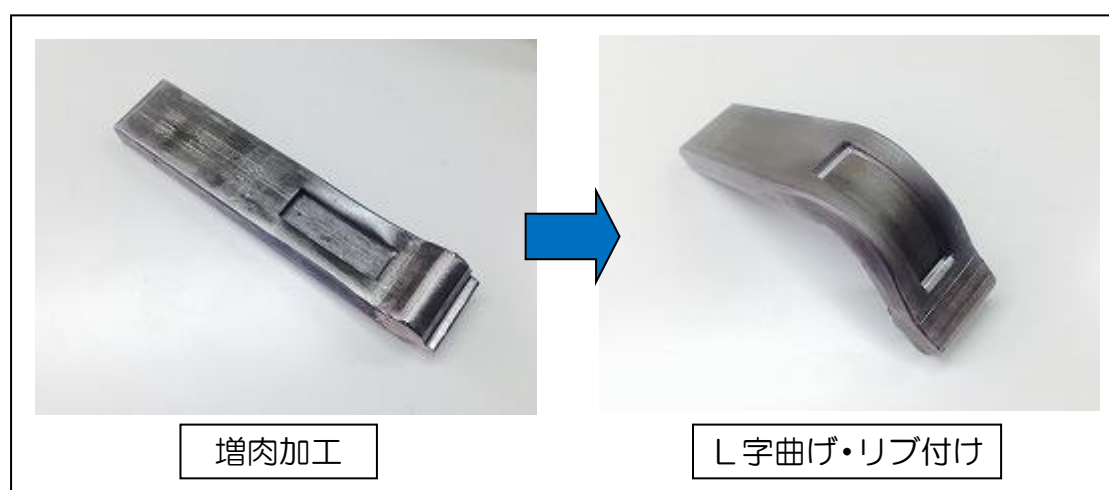


図2-2-1-1 新 増肉、L字曲げ・リブ付け実験結果

この新L字曲げ・リブ付けにより、プレス圧の減圧効果が確認され、100トン以下で製作出来ると共に、破断・クラックの防止が可能になった。

そして、最適形状を検討するために、構造解析を実施したところ、ヒンジの形状を変更することにより、外Rが大きくても、引抜鋼切削ヒンジ形状と同等以上の剛性を得られることがわかった。したがって、ヒンジの形状を変更することで、L字曲げ部の外RをR8以下にすることと同じ目的を達成できた。

2-2-2 増肉加工による強度維持・軽量化のヒンジ部品の適正リブ配置設計の研究  
 本研究開発では、薄肉成型による軽量化と増肉成型によるリブ付けにより強度維持が可能になり、効果的な薄肉成型と特に、強度の劣るL字曲げ部にリブ配置する設計を研究開発した。

構造解析で形状を最適化したヒンジを試作・評価して、解析結果を裏付ける結果を得ることができた。しかし、曲げ部に生じた残留応力を除去する熱処理と、硬度を増すための浸炭焼入れ等を実施しなければ、強度を確保することが困難であることが分かった。

### ○プレス機によるリブ出し加工と曲げ加工のシミュレーション

図2-2-2-1はリブ出し加工と曲げ加工のシミュレーションである。リブ出しは曲げ加工部分の内側に前方押し出して凸部を形成した。曲げでは凸部をパンチで押し曲げている。

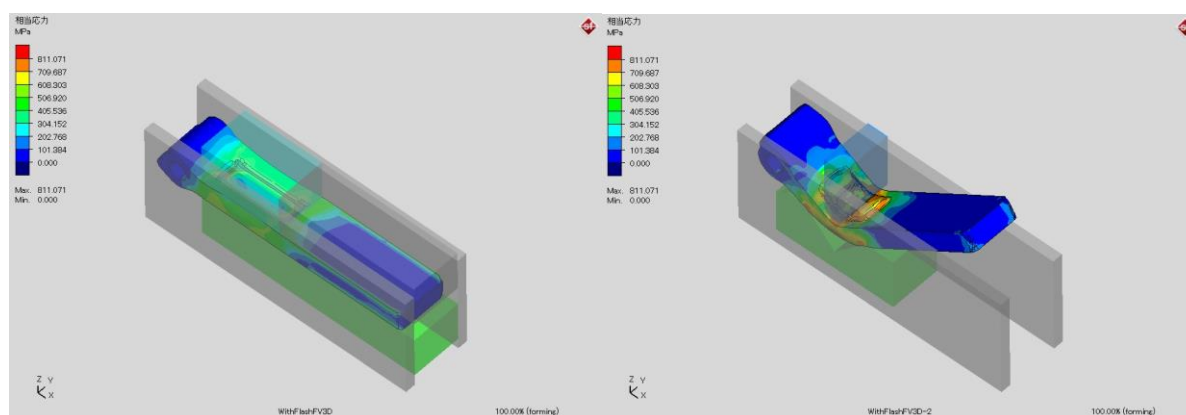


図2-2-2-1 リブ出し後曲げ加工のシミュレーション(相当応力)

### ○リブ出し加工と曲げ加工の評価試験

リブ増肉有と無の剛性測定結果を表2-2-2-1 リブ増肉の剛性への影響に示す。

表2-2-2-1 リブ増肉の剛性への影響 単位:kN/mm

試料	リブ増肉 有	リブ増肉 無
1	6.04	5.30
2	5.85	5.04
3	5.43	5.59
平均値	5.77	5.31

リブ増肉による剛性の向上は8.7%となったが、形状変更によって、ヒンジの剛性を向上させることができるため、形状変更の寸法を小さく抑えることができ、リブ増肉と形状変更を併用すると効果的であることがわかった。



そして、リブによる剛性向上効果の不足分を補うために、構造解析を実施してヒンジの形状の最適化を行ったところ、所定の寸法を変更することで現行品（引抜鋼切削ヒンジ）と同等以上の剛性を確保することは可能であることが分かった。剛性確保のための形状変更を図2-2-2-2に示す。

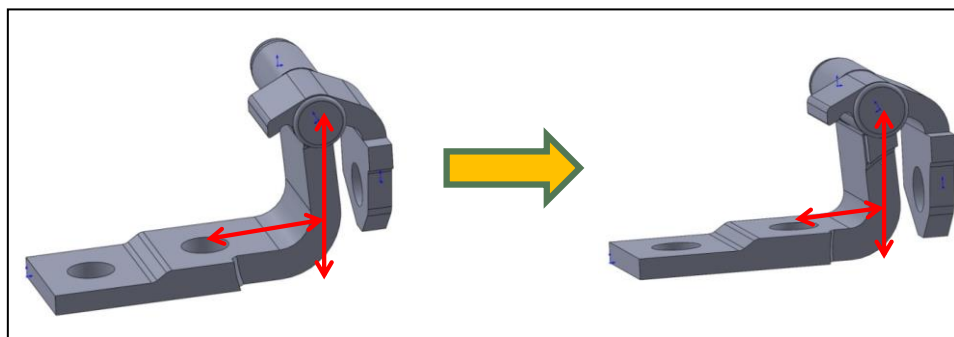


図2-2-2-2 剛性確保のための形状変更

#### ○解析に基づいた最適形状の実証試験

構造解析を実施してヒンジの形状の最適化を行い、剛性を測定した。また、従来品についても、併せて測定を実施した。詳細は、2-4-3に記載している。表2-2-2-2に剛性測定結果を示す。縦方向、横方向ともに圧造プレスヒンジが従来品の引抜鋼切削ヒンジの剛性を上回り、目標を達成できた。

表2-2-2-2 剛性測定結果 単位:kN/mm

試料	縦方向	横方向
現行品(引抜鋼切削)	2.56	2.71
開発品(圧造プレス)	<b>2.61</b>	<b>3.60</b>

#### ○熱処理による強度の向上

ヒンジの剛性に関しては目標を達成できたが、強度については焼き入れが必要になり、浸炭焼き入れを行った。未処理のものと浸炭焼き入れにより硬度の向上を図ったものについて、強度試験を行った。

表2-2-2-3に荷重-変位曲線が線形を持つ上限の荷重(弾性限界)を示す。

表2-2-2-3 熱処理による弾性限界への影響 単位:kN

試料	線形上限荷重
未処理	2
浸炭焼入(深)	<b>5</b>

開発品の未処理のものが2kN に対し、浸炭焼入の深さを深く焼き入れると、弾性限界は目標値の5kNに達し、十分な強度が得られることがわかった。

また、5kN の縦方向荷重に耐えられる強度を担保するためには、1.5mm以上の硬化層が必要となることが分かった。

### 2-2-3 増肉加工時の疲労に対応した金型形状の研究

本研究開発では、L字に曲げて薄肉成型し、リブ付けを行うため金型への負担を軽減する金型形状を深耕し、金型寿命延長させる減圧製造技術の研究開発を行った。

鍛造解析の結果、プレス荷重は実測値と1割強の違いにとどまり、良い一致を示した。これにより、鍛造解析によって金型に生じる最大応力の信頼性は高いと判断できる。また、鍛造解析により金型に生じる応力振幅は382MPa(最大応力は763MPa)となった。金型材料の片振りの疲労限度667MPaの57%であることから、リブ出しの金型は15~20万個の目標を十分に達成する性能を有することがわかった。

#### ○プレス時の荷重測定

##### 1)リブ出し

クランクモーションの回転数を切り替えて、30、40、50rpmの三水準でそれぞれプレス荷重を測定した。測定結果を表2-2-3-1に示す。

表2-2-3-1 リブ出し時プレス荷重測定結果

回転数	30rpm	40rpm	50rpm
最大荷重	412	392	402
最小荷重	392	392	392
平均荷重	396	392	395

測定結果より、クランクモーションの回転数には依存せず、400kN 前後のプレス荷重であることが分かる。

##### 2)L 曲げ時

クランクモーションの回転数を30rpmとして、プレス荷重を測定した。いずれの結果も118kN と小さな値となり、金型の寿命には悪影響を及ぼさないと考えられる。

#### ○鍛造解析

金型寿命は磨耗により精度が出せなくなる場合と、繰り返し荷重による疲労破壊(割れ)がある。型磨耗は金型材料、ワーク材料、潤滑剤等の特性と接触圧、相対すべり速度が影響している。解析ソフトウェアでは型磨耗解析ができ、ここでは型磨耗及びZ反力による疲労破壊と抜き勾配との関係を解析により求めた。リブの抜き勾配が1°、3°、5°について解析結果を表2-2-3-2に示した。

表2-2-3-2 Z反力による疲労破壊と抜き勾配 単位:kN

リブ出し抜き勾配	Z反力
1°	342
3°	352
5°	358



表2-2-3-2の鍛造解析結果から、リブ出しの抜き勾配が小さいほど型摩耗が少なく、Z反力も小さいことが分かる。よって、リブ出し時の最適な抜き勾配は、1度であることが分かった。

また、Z反力と表2-2-3-1に示したリブ出し時のプレス荷重の実測値とを比較すると、1割強実測値が大きくなっているが、比較的良い一致を示していることから、鍛造解析によって金型に生じる最大応力を求めれば、金型の疲労破壊について評価することができると思われる。

### ○金型の疲労強度

次に、リブ出し工程において金型に生じる最大応力を鍛造解析により求めた。図2-2-3-1に応力分布を示す。

解析結果より、リブ出し工程で金型に生じる最大応力は、763MPaとなった。一方、金型の材質は、SDK11であり、焼き入れ、焼き戻し後の引張強さは、約2000MPaである。

鋼の引張強さと疲労限度には強い相関があり、概ね引張強さの50%が両振りの場合の疲労限度となる。よって、金型材料の両振りの繰返し応力に対する疲労限度は1000MPaと推測できる。

ここで、リブ出し工程で金型に生じる応力は、下限応力0MPa(無負荷)から上限応力763MPaの間の片振りの繰返し応力である。そこで、修正グッドマン線

図(疲労限度線図)を用いて片振りの場合の疲労限度を計算すると、667MPaとなる。

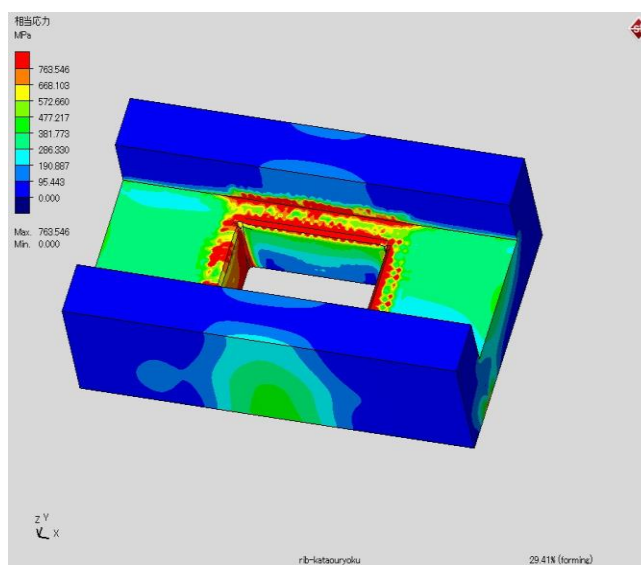


図2-2-3-1 リブ出し時の金型の応力分布

金型に生じる最大の応力振幅は382MPa( $763 \div 2$ )であるから、疲労限度の57%と、実測荷重と解析荷重の1割強の差異を考慮しても十分に余裕にある値である。

よって、金型に生じる最大応力から、金型には疲労限度を超える応力は生じないといえる。したがって、目標とした金型の疲労強度15~20万個を超える性能を有することが確認できた。

## 2-3 プレス加工による外形未拘束孔あけ技術と外形寸法調整技術の確立

### 2-3-1 外形未拘束孔あけの精度・充填率の研究

本研究開発は、「孔の径に対して深さが1対2.5以上」と深い孔あけを行うために、今までクランクプレスを使いクランクモーションの1工程で不安定な状態でしか孔あけが出来なかった物をサーボプレス機を用いて、様々なスライドモーションを最適化し、孔精度の向上と金型充填率の研究開発を行った。

深部(未拘束)孔あけ条件として、材料硬度が重要であり、熱間鍛造で製作された材料の孔明け時に大きくダレがみられたため、パンチで孔あけが開始される面およびパンチが入って行く深さ方向について硬さ測定を行った結果、材料硬度が低いことがわかった。また、孔あけ時のダレを減らし、金型負荷も抑えた深部孔あけに最適な材料硬度を確認した。

次に、本研究開発で行う「孔の径に対して深さが1対2.5以上」と深い孔あけを行うためにはブランク材の形状と金型形状の関係、金型パンチ形状、未拘束で孔をあける事が重要であることがわかった。

そして、深部孔あけに効果的に使用することが出来るのが、「フレックスモーション」である。このモーションはワンストローク内で正転と逆転を組み合わせる事ができ、また変速する事が可能であり、金型負荷も抑えた深部孔あけに最適なモーション条件を確認した。

更に、ワークの投入時は外形未拘束であるため手動では投入位置が正確に定まらず、クリアランスや孔あけ位置が1mmずれるだけで孔あけ位置がずれ、ワークの材料流れに影響されてパンチが斜めに入り折れるため、多軸ロボットを使用し孔位置精度の向上を図った。外形未拘束孔あけを行うサーボプレス機と多軸ロボットの全体図を図2-3-1-1に示した。



図2-3-1-1 サーボプレス機、多軸ロボット全体図

そして、解析により最適化を行ったヒンジ形状と平成25年度に最適化したモーション設定を基本にして孔あけを行った結果、金型負担が更に軽減される事がわかった。また、孔あけ用金型を改良し、材料の流れに影響されにくい金型に設計したため、孔あけ部分の硬度が高硬度でも孔をあける事ができ、連続で30個以上の孔あけが可能になった。

### ○実験結果と評価

孔あけを行った結果、本研究で行う外形未拘束孔あけ技術では、ワークを膨らませることによりパンチへの負荷を軽減するため、ワークの加工形状の予測は困難であり、H25年度から新しい形状に改良した時の予測していた孔あけ位置のずれが発生し、新たな形状による孔あけ位置のずれの調整するための金型とワークのクリアランス調整、加工時のワーク動きを止める調整を行った。

ブランク形状と材料の流れを考慮した金型設計と多軸ロボットによる投入位置精度の安定化により、新たな形状の孔あけ位置を修正する事ができた。

また、第二パンチによる抜き返しの仕上げ加工も行った。

孔あけ位置修正前・修正後のものと抜き返し仕上げ加工を図2-3-1-2にそれぞれ示す。



図2-3-1-2 孔あけ位置修正前・修正後、抜き返し仕上げ加工

### ○孔計測(真円度測定)

外形未拘束孔あけにおいて、パンチ径  $\phi 9.0$  で加工した荒抜き孔、パンチ径  $\phi 9.5$  で逆方向から加工した抜き返し孔の真円度測定結果を図2-3-1-3に示した。

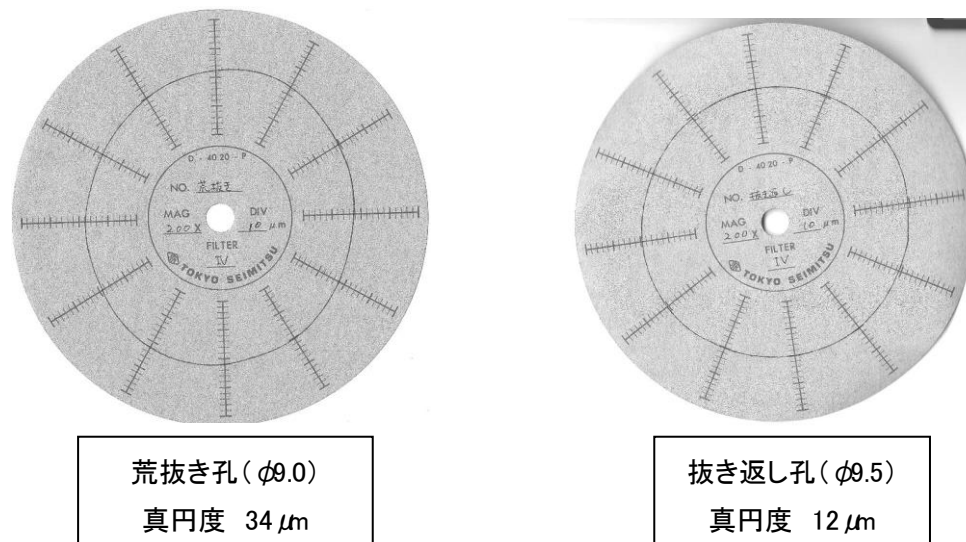


図2-3-1-3 孔加工真円度測定結果

荒抜き孔加工では、外形未拘束でボス部の肉厚が不均一のため、スプリングバックによって楕円状の孔となり真円度は  $34 \mu\text{m}$  であるが、逆側からの抜き返し加工(シェービング)によって真円度は  $12 \mu\text{m}$  程度に改善されていることがわかった。

## 2-3-2 シェイビング技術による孔開け時の製品端面のダレの解消の研究

本研究開発では、第1パンチで一度に孔をあけるため、挿入側にダレが発生する。材料の流れが重要であり、ダレ部をパンチ先端角度とダイスを研究開発し軽減させ、シェイビング技術により抜きダレ部を補填する。端面ダレ部の軽減の研究開発を行った。

第1パンチで発生したダレ部を第2パンチの抜き返しのシェイビングにより、ダレを軽減できることがわかった。

また、第2パンチによる抜き返しにより第1パンチにより生じた製品面のダレ量を0.5mm以内に軽減することができた。

### ○第1パンチ第2パンチ孔あけ時ダレ部測定

第1パンチ(荒抜き)と第2パンチ(仕上げ)のダレ部比較図を図2-3-2-1に示し、第1パンチ第2パンチ孔あけ時の最大ダレの測定結果を表2-3-2-1にそれぞれ示す。

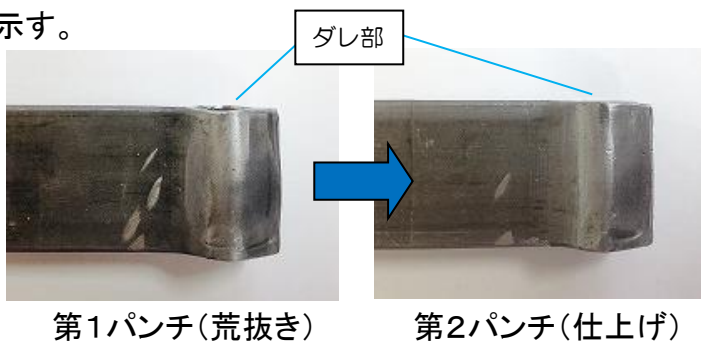


表2-3-2-1 最大ダレ量測定結果

	最大ダレ (単位 mm)
第1パンチ	0.7
第2パンチ	0.5

図2-3-2-1 ダレ量測定結果

第1パンチで発生したダレ部を第2パンチの抜き返しのシェイビングにより、ダレを軽減できることがわかった。

### ○第2パンチによる孔あけとダレの軽減

第2パンチにおける製品面のダレ量の測定を行った。

測定位置を 図2-3-2-2に測定結果を 表2-3-2-2に示す。

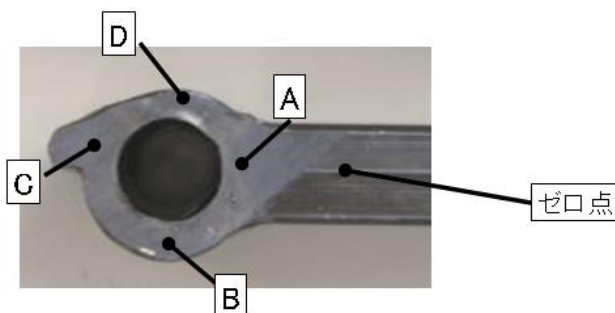


表2-3-2-2 ダレ量測定結果

		ゼロ点からの高さ(単位 mm)			
		A	B	C	D
第2パンチ	①	-0.2	-0.3	-0.5	-0.4
	②	-0.2	-0.4	-0.5	-0.4
Ave.		-0.2	-0.3	-0.5	-0.4

図2-3-2-2 ダレ量測定位置

第2パンチによる抜き返しにより第1パンチにより生じた製品面のダレ量を0.5mm以内に軽減することができた。



### 2-3-3 孔あけ自由鍛造によるCAE解析と金型形状の研究

本研究では、未拘束でボス部外形を膨らませながら孔あけする加工について、鍛造解析ソフトによるシミュレーションを行い、金型形状と加工形状、材料流れと金型応力のチェックを行い、実加工の評価とともに問題解決に活用した。

#### (1) 荒抜き孔加工の鍛造解析

当初は、ボス部の膨らみによりダイスの未拘束部を完全充填し、後方押し出しにより、上面の凹みを回復させる完全充填の鍛造シミュレーションを行った。しかし実際の加工では、パンチ折れやダイス割れが頻発した。

当初の鍛造解析では、パンチやダイスは変形しないリジッドダイとして扱っていたが、実際の加工では弾性変形し破壊に至っている。そのため、パンチを弾性変形するデフォーマブルダイとして扱い、先端角度を変えた場合の鍛造シミュレーションを行った。結果を図2-3-3-1～図2-3-3-5に示した。

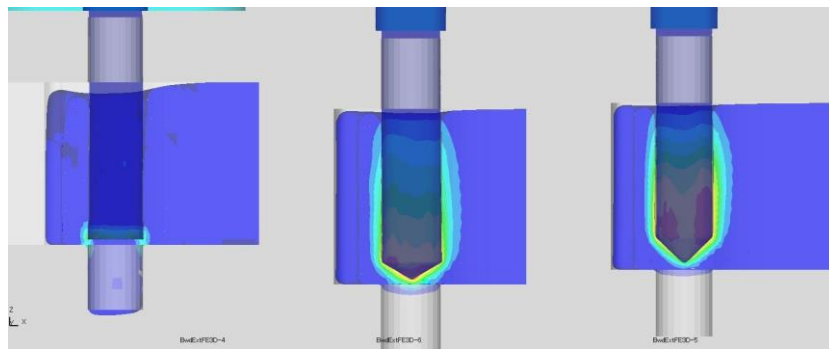


図2-3-3-1 パンチ断面(相当塑性ひずみ)

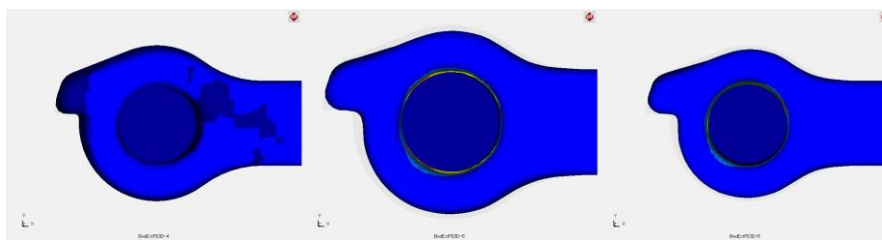


図2-3-3-2 パンチ上面(相当塑性ひずみ)

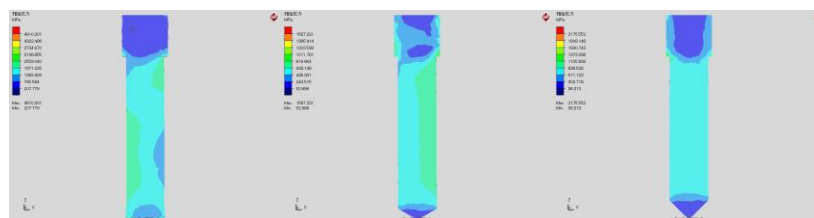


図2-3-3-3 パンチ断面(相当応力)

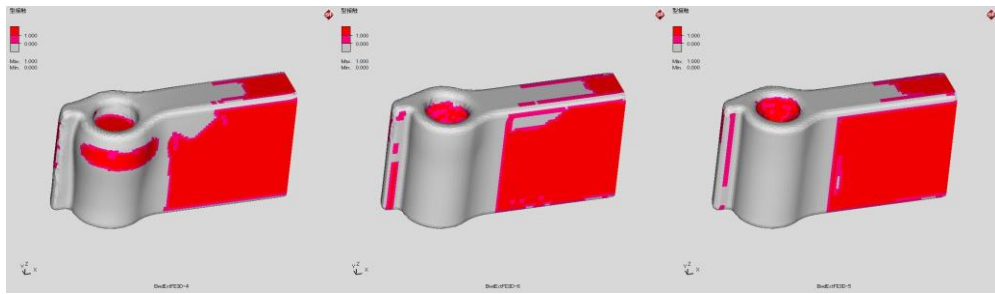


図2-3-3-4 ワークの型接触

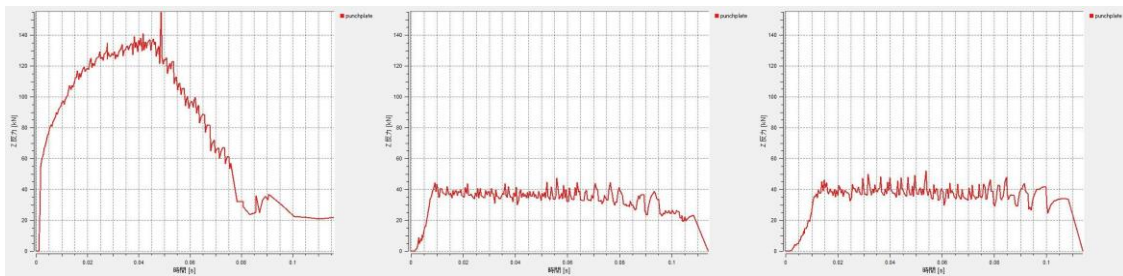


図2-3-3-5 パンチ反力

パンチ先端角が鈍角の場合、上面の凹みが大きく、上面から見た孔形状も変形している。これはパンチ反力が大きく、孔形成の初期にワークが型接触し、パンチの応力も偏っている。パンチ先端角が小さくなると、これらの変形は緩和され鋭角にすると上面の凹みもなく、上面からのパンチ孔も真円に近い。また、パンチへ応力も均一である。このとき、ボス部分の型接触はなく、抜きカスも最小となっている。

## (2) 成果と課題

パンチ先端角を鋭角にし、パンチ反力を小さくすることにより、上面の凹みを小さくし、ボス部は未拘束のままの孔あけとすることで高精度な孔あけができることを鍛造シミュレーションで明らかにした。

鍛造解析において、材料物性および加工硬化等による不均質、摩擦など正確な設定が困難な条件下でのシミュレーションであり、実際の現象との相違を少なくするため、基礎実験での検証が課題である。

#### 2-3-4 素材膨張を利用した蝶番部(ボス部)の外形調整の研究

本研究開発は、孔あけ前のダイスとワークの差と孔あけ後のダイスとワークの差を比較測定し、隙間の充填率の研究開発を行った。

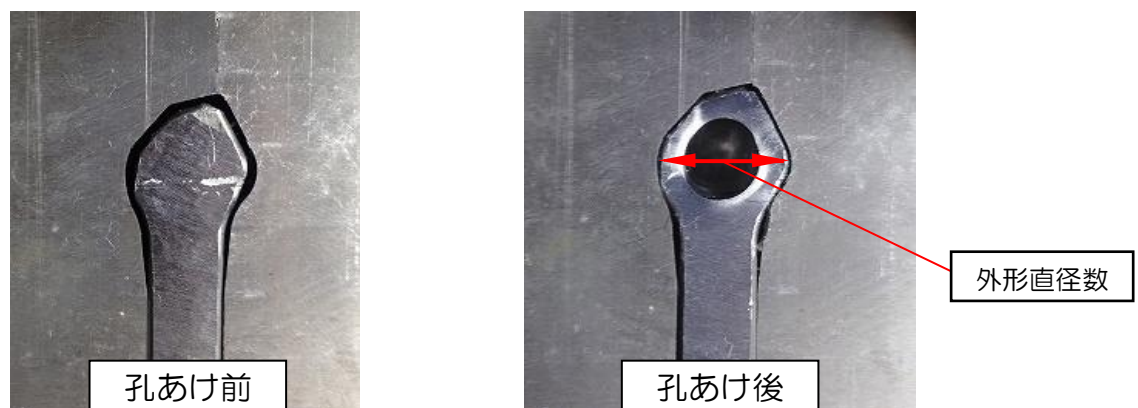
孔あけの荒抜き型・仕上げ抜き型共に、金型内径は16mmに対して、加工ワークの平均外形直径数が16.26mmと16.02であり、金型内形の差0.5mm以内(15.5~16.5mm)にワークを充填することができた。

また、荒抜きと仕上げ抜きの最小と最大の外形直径数を比較すると、仕上げ抜きの方が全体的にバラつきが減少した。

#### ○実験結果と評価

##### 金型内形の差(充填率)

孔あけ前のダイスとワークの隙間と孔あけ後のダイスとワークの隙間の比較図を図2-3-4-1 金型内形の差 荒抜き型(充填率)に示す。



荒抜き金型の直径が16.0mmに対しワークの平均外形直径数が16.26mmであり、割型によるダイスの金型設計を行ったため、内太りの傾向がみられるが金型内形の差0.5mm以内(15.5~16.5mm)にワークを充填することがわかった。

また、荒抜き型の最小と最大の外形直径数が16.15mm~16.33mmと差が0.18mmのバラつきがあるのに対し、仕上げ抜き型の最小と最大の外形直径数は16.00mm~16.10mmと差が0.1mmになり全体的にバラつきが減少した。これは今後、量産化する上で品質の安定性が重要であり、公差内におさめる事が要求される。今後更に荒抜きと仕上げ抜き型の金型設計の研究を行う。

## 2-4 圧造複合プレスの解析・評価技術の研究

### 2-4-1 鍛造解析を用いた不具合の解消と高精度化の研究

本研究開発において、課題であったダブルヘッド機によるボス部の形成やリブ出しによる高強度化、曲げ加工について、加工形状は鍛造シミュレーションで予測可能であった。構造解析を活用し圧造複合プレス加工の特性に適合した部品設計をすることで要求仕様を満足できることがわかった。

しかし、外形未拘束孔あけ加工ではパンチ折れや孔曲がりの対策が必要となっている。

#### (1) 孔あけパンチの解析

パンチ折れの原因として、素材形状および金型形状が非対称であることで負荷の小さい方向に誘導されることにあり、パンチ先端角が鋭角であるためさらに横方向に荷重が加わっていると考えられる。図2-4-1-1はパンチの弾性歪みのシミュレーション結果であり、パンチが素材に突入した段階で偏った歪みが発生し、深さとともに大きくなっている。偏った弾性ひずみはパンチの曲がりを意味し、実際の加工におけるパンチ折れの原因となっている。これを解消するためサーボプレス機による多段加工を行い、パンチへの負荷を除去しながらの加工となっている。現状の鍛造解析ソフトウェアではサーボプレスの多段加工のシミュレーションはできていない。

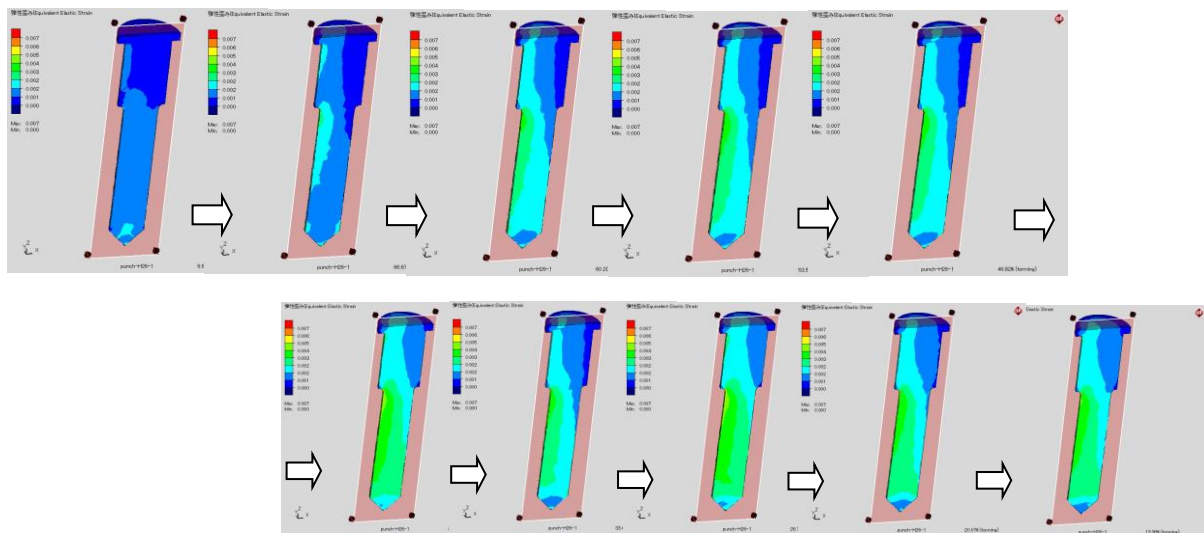


図2-4-1-1 パンチの弾性歪みのシミュレーション



図2-4-1-2 未拘束部の充填と孔ずれ(パンチ曲がり)



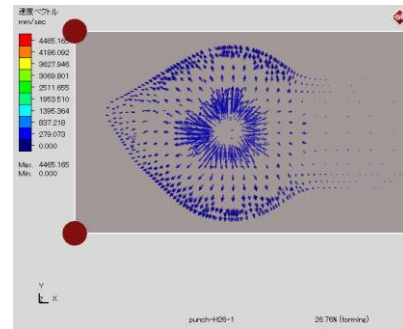
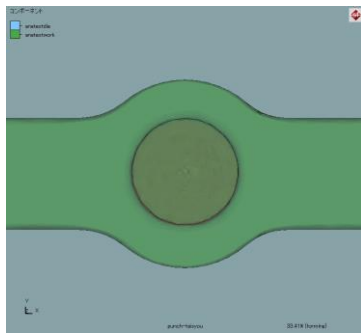


図2-4-1-3 対称な素材形状の孔あけ形状 図2-4-1-4 塑性歪み速度ベクトル

図2-4-1-2は、未拘束部充填と孔形状の解析結果であり、未拘束部が充填される以前に孔ずれが発生しており、未拘束部を有する金型形状ではなく非対称な素材形状に起因してパンチ曲がり、パンチ折れが発生していると思われる。参考として素材形状が対称な場合の解析結果を図2-4-1-3に示した。素材形状が対称な場合は孔ずれ(パンチ曲がり)もなくいため、パンチ折れも防止できる。形状が非対称である場合は、孔あけ時の偏応力に対し弾性歪みの少ないパンチ材料での対策または、偏応力を打ち消す形状で偏心した形状のパンチが必要である。

図2-4-1-4はパンチ先端突入時の素材の塑性歪み速度ベクトルであり、素材の非対称形状に起因し、偏った変形をしているのが確認できた。

## (2) 鍛造解析の成果と課題

鍛造解析を用いることで塑性加工の理解と諸問題解決の指針として活用できることがわかった反面、材料の特性や不均一性、調質等のパラメータ定義、メッシュの種類やサイズ、解法の理解が重要である。今後の課題として、解析エラーで解析できなかった要因を精査し、補完研究につなげる。

## 2-4-2 ヒンジ形状の最適化に関する研究

ヒンジの強度的な最適形状と鍛造加工の加工限界や金型負荷に着目した最適形状とを比較検証することにより、圧造プレス製品としてのヒンジの最適形状について研究開発を行った。

### ①形状の最適化

引抜鋼切削ヒンジと同一の従来形状では、曲部の加工が困難であることが鍛造解析を実施して分かった。そこで、曲部を緩やかな形状に変更するとともに、ストッパー機能を確保する設計変更を実施した(図2-4-2-1)。

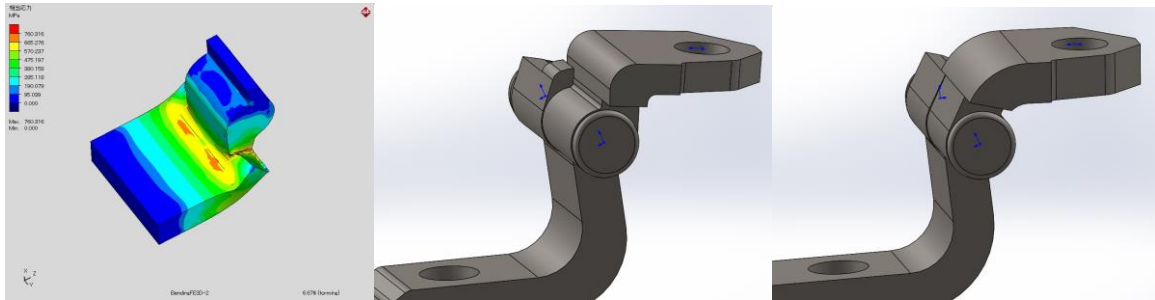


図2-4-2-1 形状最適化(左:鍛造解析結果 中:従来形状 右:最適形状)

### ②寸法の最適化

ヒンジの剛性確保に重要なa部品曲部の増肉加工が難しいため、各種寸法の変更により、必要な剛性が得られるか、構造解析を実施して確認した。

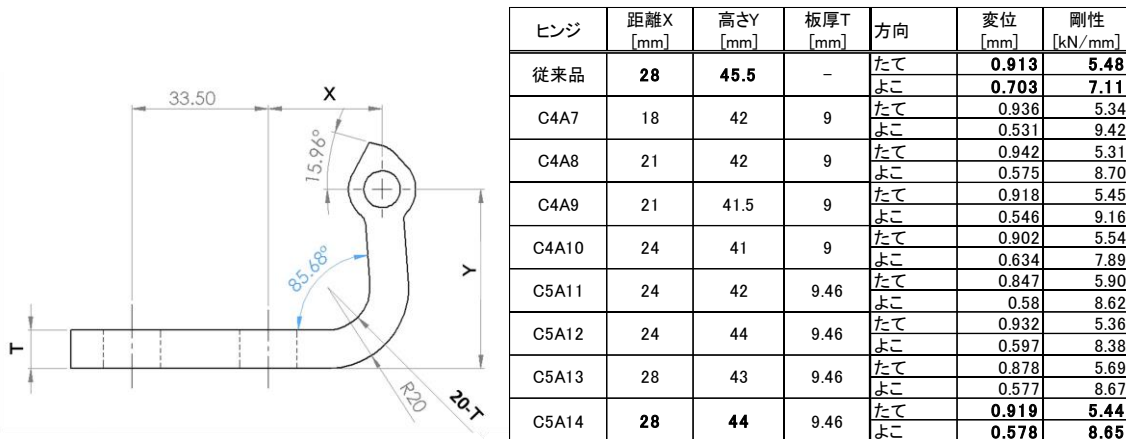


図2-4-2-1 寸法最適化(左:a部品の図面 右:解析結果)

### まとめ

- ①c部品の曲部の形状変更により加工可能、かつ、ストッパー機能を盛り込んだ新形状を設計した。
- ②新形状において、従来品と同等となる剛性を確保でき、かつ、従来品と近似した形状となる寸法値を構造解析を実施して決定した。その結果、従来品と近似した形状C5A14(距離X=28mm、高さY=44mm)で、剛性を確保できることが分かった。

### 2-4-3 材料試験および製品評価試験

本研究開発において、圧造プレスヒンジの強度・剛性が、既存の引抜鋼切削ヒンジと同等以上の性能を有することを目標としているため、開発品および既存品について、材料試験機を用いて性能を評価した。

試験は、供試体(ドアヒンジ)をJIS D 1621 自動車用サイドドアヒンジシステム試験方法に規定される測定治具に設置し、万能材料試験機を用いて実施した。また、開発品については、種々の熱処理を実施し、強度の確保に必要な熱処理条件についても検討した。

結果を表2-4-3-1に示す。

表2-4-3-1 剛性測定結果 単位:kN/mm

試料	縦方向	横方向
引抜鋼切削	2.56	2.71
圧造(生)	2.61	3.60
圧造(応力除去)	2.51	2.25
圧造(応力除去+焼入)	2.61	3.77
圧造(焼入)	2.43	3.71
圧造(焼入(深))	<b>2.66</b>	<b>4.02</b>

#### ①ヒンジの剛性

上表から、圧造プレスヒンジの剛性は、生材でも引抜鋼切削ヒンジ(従来品)と同等以上となり、目標を達成した。また、応力除去焼きなましと焼き入れを組み合わせる等の適切な熱処理を実施することにより、剛性はさらに向上する。

#### ②ヒンジの強度

圧造ヒンジの生材では、低荷重域において高い剛性を示しているが、高荷重域になると材料に塑性変形が生じ、強度に問題がある。

一方、深めの浸炭焼入を実施すると、硬度が増して降伏点が上昇し、良好な強度を示す。しかし、焼き入れにより材料の靱性が低下することが推測されるため、靱性と硬度を両立する熱処理方法の検討が今後の課題となる。

#### まとめ

- ①開発した圧造プレスヒンジについて、製品評価試験を実施した。
- ②従来品の引抜鋼切削ヒンジと近似した形状のモデル C5A14(距離X=28mm、高さY=44mm)で、従来品と同等以上の剛性を有し、目標を達成することができた。
- ③一方、製品の強度については、材料が炭素量の少ない軟鉄であるため、硬度を上げるための浸炭焼入れが必要である。

## 第3章 全体総括

### 3-1 複数年の研究開発成果

平成24年度は、ダブルヘッドによる左右非対称な複雑形状を1番ブローについては切削加工で行い、2番ブローについては鍛造加工での成型を実施した。

また、鍛造シミュレーションによりボス部を膨らませる金型形状にすることによって、バリが均一になりバリ量を低減化し、加工反力と金型負荷も小さくなることがわかった。

さらに、プレスによるL字曲げ・リブ付け・外形未拘束孔あけを実施した。L字曲げ・リブ付けは、構造解析を実施して形状変更することにより現行品(引抜鋼切削ヒンジ)と同等以上の剛性を確保できることが分かった。外形未拘束孔あけは、金型設計とモーション設定を考察し目標値を達成した。

また、鍛造解析によるシミュレーションを行い、各テーマごとに不具合を解消するためのシミュレーションを行った。

平成25年度は、ダブルヘッド加工において解析結果に基づいた形状の金型(第1パンチ)を製作して実証したところ、バリの発生が均一にできることがわかった。

プレス加工については、L字曲げ・リブ付けは更にヒンジの形状を最適化することで、現行品(引抜鋼切削ヒンジ)と同等以上の剛性を確保でき、目標を達成可能であることがわかった。

外形未拘束孔あけについては、抜き返し加工(シェービング)によって目標の数値を達成でき、金型内径に対して加工ワークの充填不足は解消された。

また、加工上の不具合および形状誤差を鍛造解析によるシミュレーションで再現し、不具合を解消するためのシミュレーションを行った結果、外形未拘束孔あけ加工とリブ出し加工金型の形状を改善した。

平成26年度は、ダブルヘッド加工において解析により最適化を行ったヒンジ形状でコイル材から切断、第1・第2パンチの連続加工が可能で品質・設備に問題が無い事がわかった。

プレス加工におけるL字曲げ・リブ付けは、構造解析で形状を最適化したヒンジを試作・評価して、解析結果を裏付ける結果を得ることができた。

外形未拘束孔あけについては、プレス荷重計装置で測定することにより、金型にかかる負荷が明確になり、「孔の径に対して深さが1対2.5以上」と深い孔あけを行うため、かなりの負荷が予想されたが、比較的少ない荷重で加工可能であることがわかった。

また、構造解析を実施して寸法を引抜鋼切削ヒンジに近似させながら、剛性を確保できる形状を開発した。

### 3-2 研究開発後の課題

今回の「自動車用複雑形状部品の製造技術を高度化する圧造複合プレス技術の開発」に関する研究開発事業を通じて、①ダブルヘッドによる左右非対称な複雑形状の圧造技術、②プレス加工による外形未拘束孔あけ技術と外形寸法調整技術、③圧造複合プレスの解析・評価技術に関して自社の技術の高度化を図ることが出来たが、これらの技術を安全性を基盤にし品質（性能）、コストを重視する自動車部品に転用するには、下に記すようにまだいくつかの課題が残されている。

- ・材料種類の選定と明確な仕様（硬度指定）に基づいた材料の発注の必要がある。

- ・ヒンジ形状のピンボス部先端形状の相違によるダブルヘッド加工時の全長調整とバリ重量の変化量制御が課題であり、これらを解決することで材料の巻き込みによるクラックを防ぎコイル材から切断、第1・第2パンチの連続加工が可能になる。

- ・現行の引抜鋼切削ヒンジと比較して同等以上の剛性を確保できたが、（強度を高めるために）熱処理（浸炭焼き入れ）を必要とした。今後、熱処理工程を省略しても剛性の確保が可能か確認を行う。

- ・プレス加工の孔あけ用金型を改良したため、材料流れに影響されにくい金型設計になり、孔あけ部分が高硬度でも孔をあける事ができた（連続30個以上の孔あけが可能）が量産化には未達である。そこで、金型設計・プレスのモーション条件設定を考察し、更に金型負担を軽減して金型寿命の向上を図りたい。また、それによる製品の孔あけ部ダレや孔精度などのバラつきを抑え品質の安定化を図りたい。

### 3-3 事業化展開

現在、市販されている自動車用ドアヒンジは現行の引抜鋼切削ヒンジと板金プレスヒンジがあるが、本研究開発に於いて、現行の引抜鋼切削ヒンジ価格の50%低減に取り組み、性能面では強度を同等以上にすることが可能になった。

また、板金プレスヒンジと比較すると、価格面ではまだ研究開発の余地を残してはいるが、燃費向上のための軽量化には成功した。

今後、先述した研究開発後の課題を解決し量産に向けてパンチ、ダイスの寿命と品質の安定化を図る計画である。

自動車用ドアヒンジの市場では、全世界の30%のシェアを有するドイツのエドシャ社が、欧州車を中心に自動車用ドアヒンジを製作しているが、同社は切削工法に依拠するところが多く、現在弊社が取り組んでいる新工法開発が成熟すれば製造コストが低減でき、メーカーと連携して設計・試作が出来る。

また、本技術は自動車以外の分野でも、軽量と強度を要求される輸送機分野や住宅分野の門扉への応用が可能である。