

平成 23 年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「シール用金属部品の省資源化・低コスト化を実現する
板金プレス加工技術の研究開発」

研究開発成果等報告書

平成 24 年 3 月

委託者	関東経済産業局
委託先	株式会社井口一世

目 次

第1章	研究開発の概要	P1
1－1	研究開発の背景・研究目的及び目標、など	P1
1－2	研究体制（研究組織・管理体制・研究者名簿、アドバイザー）	P4
1－3	成果概要	P6
1－4	当該プロジェクト連絡窓口	P8
第2章	本論	P9
2－1	シール用金属部品の製造技術	P9
2－2	研究開発スケジュール	P11
2－3	大口径シール用金属部品の板金プレス加工技術の確立	P11
2－4	中口径シール用金属部品の板金プレス加工技術の確立	P17
2－5	小口径シール用金属部品の板金プレス加工技術の確立	P20
2－6	シミュレーション、弾塑性解析の検討と結果	P20
第3章	全体総括	P24
3－1	研究開発の概要と成果	P24
3－2	開発した製品・技術のスペックと今後の課題	P25
3－3	事業化の状況	P26

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) 研究の背景

自動車部品業界における金属プレス板金部品には、すでに技術的に、かつコストや生産性の面でも成熟段階とみなされているものが多い。しかしながら、昨今の時代的要請である地球環境対策（省資源・省エネルギーなど）に対応し、かつ世界的不況下でも自動車関連の国際競争力を維持・向上させていくには、各種部品類の省資材化・低コスト化・短納期化さらには軽量化などに関して、より一段の技術革新が求められている。

金属プレス加工に係る技術に関して、自動車分野で抱える課題及びニーズは低コスト化、短納期化、環境配慮である。自動車分野での具体的対象として、自動車などのショックアブソーバーに使用されているシール用金属部品（川下企業→カヤバ工業株式会社、株式会社ショーワなど）がある。この分野での緊急課題は「材料歩留まりの向上に寄与する技術」の開発である。

本研究で対象とする、ショックアブソーバー（Shock absorber）とは、位置の移動を抑制するための装置である。バネによって振動・衝撃を緩衝するシステムにおいて、バネの特性による揺り返し現象（周期振動）を緩和し、収束するために使用される。特に、自動車ではサスペンションに採用され、路面からの衝撃による振動をコントロールし、安定性を実現する機能を持つ。図1に自動車で搭載されているショックアブソーバー（含むダンパー）製品群を示す。車によっては最大8ヶのショックアブソーバーが搭載される場合もある。図2には、ショックアブソーバーの内部構造を示す。本研究開発では、特に図2に示すシール部のシール用金属部品の省資材化・低コスト化などを開発対象とした。ショックアブソーバーに必要なシール機能としては強度と耐久性が要求されるので、中心部に強度を有する金属製部品が必須である。シール用金属部品が使用されているショックアブソーバーの断面構造図を図3に、そのシール用金属部品の断面の一例を図4に示した。

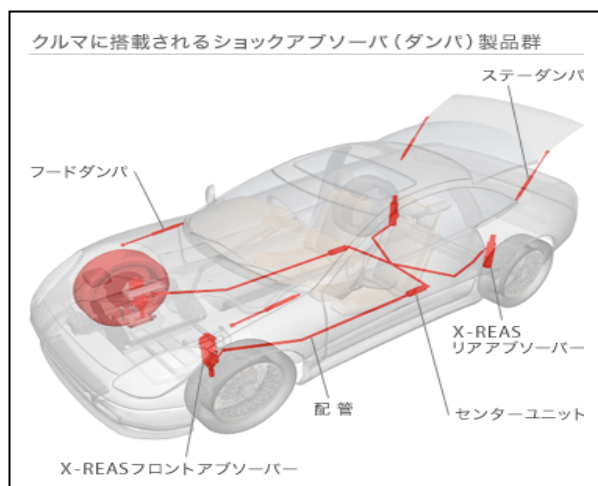


図1. 車に搭載されるショックアブソーバー製品群
（カヤバホームページより引用）

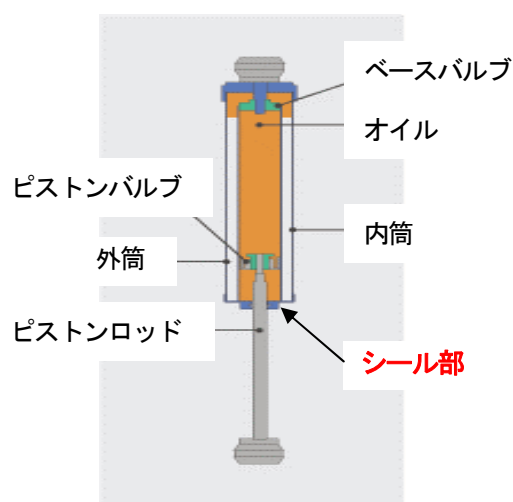


図2. ショックアブソーバーの
内部構造

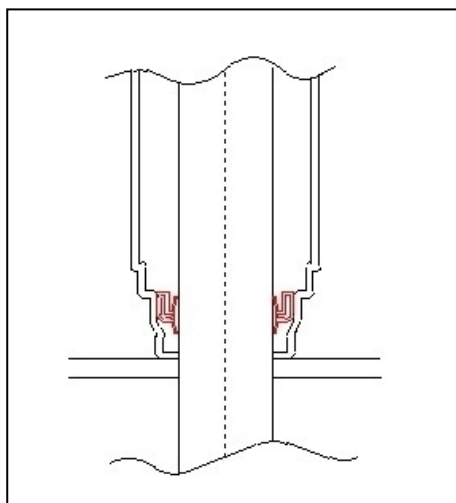


図3. ショックアブソーバーの
断面構造の詳細例



図4. ショックアブソーバー用シール部品断面
(金属製部品をゴムでコーティング)

このショックアブソーバーなどに使用させるシール用金属部品では、外径 $\Phi 100\text{mm}$ 以上は大口径、外径 $\Phi 25\sim 100\text{mm}$ は中口径、そして外径 $15\sim 25\text{mm}$ の範囲が小口径に分類される。

この部品の従来の製作方法においては、いずれも省資材化・低コスト化には限界がある。即ち、大口径シール用金属部品はバス（大型、小型）トラック（普通）などのショックアブソーバーに使用され、中実丸棒から切削加工で製造されているが、材料の93%はスクラップとして廃棄される。 $\Phi 100\text{mm}$ 以下の中および小口径シール用金属部品はトラック（小型、軽四輪）、乗用車（普通、小型、軽四輪）、二輪車などのショックアブソーバーに用いられ、主に板材からのレーザ加工及びプレスでの絞りと穴抜き加工の組み合わせで製造されている。この場合でも材料の59%がスクラップとして廃棄される。いずれの方法でも、切削加工、穴抜き加工などでの材料のムダ、ロスも多く、省資源、コスト低減、省エネなどの観点からは改善・改良が求められている。

通常、バス、トラック、乗用車などには、前記した様に1台で4～8ケのショックアブソーバーが搭載される。平成21年3月に発表された社団法人日本自動車工業会の生産統計によると2008年1月～2009年1月の日本国内メーカーの前記の全車種生産台数は1210万台である。従って、シール用金属部品は、この国内分野のみでも、少なくとも約5000万個以上となり、その市場規模は非常に大きいものである。

2) 研究の目的

従来、大口径シール用金属部品は切削加工法で、中・小口径シール用金属部品は一部（焼結機械部品）を除いて、レーザとプレス加工との組合せで製造されている。自動車に搭載されるショックアブソーバーで使用するシール用金属部品の最重要課題の一つは、必要な強度と耐久性の具備を前提とした加工において、極限の省資材化（スクラップレス化）を達成することである。本研究開発ではシール用金属部品を対象として、新しい発想による板金プレス加工技術で①汎用プレスと汎用レーザ加工機を使用した板金プレス加工プロセスのより一層の高度化を図る（切削レス化等）、②カシメ、嵌めあい等の、いわゆる、塑性結合手法（メカニカルクリンチング、メカニカルロッキングなど）を板金プレス加工の工程に導入し、素材を極限的に有効利用する省資材化技術（スクラップレス化）を確立する、③シミュレーションと従来の暗黙

知を連動させることで、ムダ・ロスが発生せず高精度で信頼性に富むブランクの形状設計と板金プレス工程技術の確立する、などにより前記課題を克服する。これらの新製法では、大口径では切削レスで材料歩留りは7%が41%以上に、中・小口径は打抜き加工レスで材料歩留りが41%から90~100%に改善する。また、高張力鋼などの高強度材料の板金プレス化も可能する事でシール用金属部品の省資材化・低コスト化等を実現する。これにより、従来の切削加工品、金型プレス加工品及び焼結機械部品を代替し、他国が追従できないものづくり体制の整備及び環境負荷の少ない経済性に富んだ生産システム体制の構築を可能とする。

3) 研究の目標

本研究開発の高度化目標は、「材料歩留まりの向上に寄与する技術の開発」である。これを踏まえた具体的な技術的目標値は以下の通りである。

(1) 大口径シール用金属部品の板金プレス加工技術の確立

外径が100mm以上のシール用金属部品は大口径とされる。従来は、中実丸棒を切断して厚さ20mm前後のブランクを採取し、これを切削加工法で所要のシール用金属部品を製造している。本開発では、丸棒ではなく厚さ2~5mmの板材（材料はSPCC）を素材とし、それからレーザ加工でブランクを採取し、汎用プレスの絞り加工及び抜き加工で所要のシール部品を得る工程条件を確立する。これにより従来技術では7%であった材料歩留まりを41%に改良し、従来の1/10以下のコストおよび工数の実現を目標とする。

(2) 中口径シール用金属部品の板金プレス加工技術の確立

外径Φ25~100mmのシール用金属部品がこの分野に該当。従来は、所要の厚さの板材からブランクを取り、レーザ加工と絞り加工及び穴抜きで製造している。また、比較的に板材が厚い場合は打ち抜き加工で製造されている。本開発では板材を素材として、先ず板材からブランクを取りカシメ・嵌め合いによって塑性結合させてリング状とし、成形加工で所要の形状とする。この工程の確立により、工数は従来と同様であるが、材料歩留まりは従来の41%から90%以上に向上させ、コスト低減も目標とする。

(3) 小口径シール用金属部品の板金プレス加工技術の確立

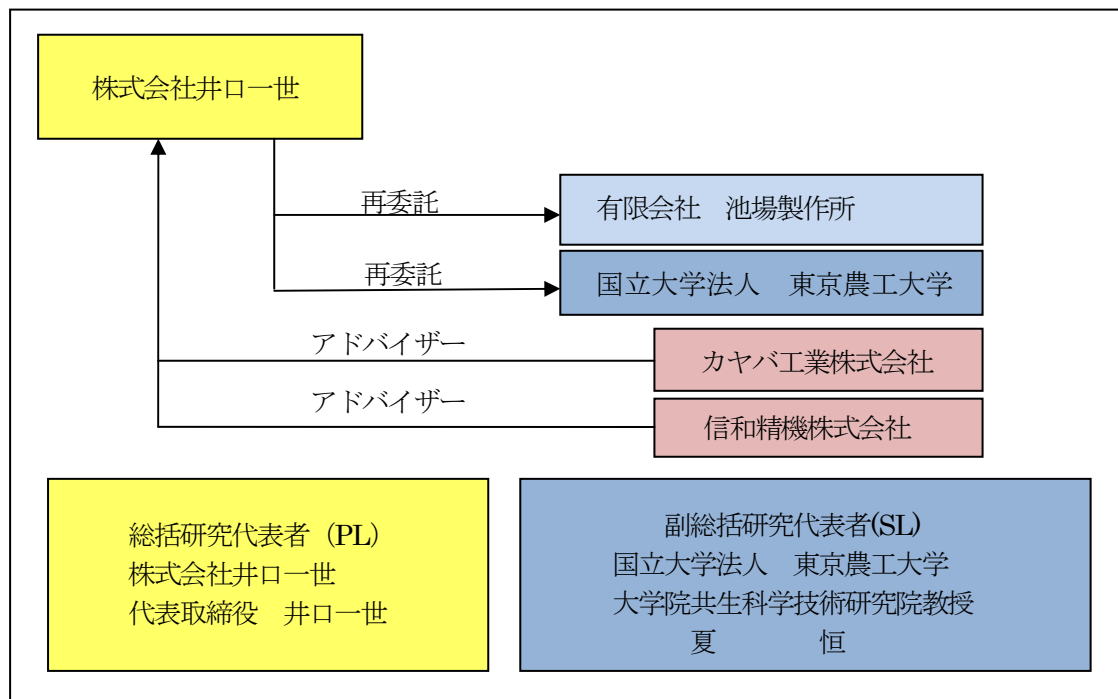
外径がΦ15~25mmの範囲が小口径シール用金属部品となる。この小口径シール用金属部品の従来の製造方法は中口径品とほぼ同様である。本研究では、材料として高張力鋼を採用し、新規な板金プレス加工技術を確立する事で、100%の材料歩留まりと板厚減少による軽量化、高強度化を目標とする。

(4) シミュレーション、弾塑性解析による形状最適化と強度保証

とくに、小口径と中口径シール用金属部品を対象として、結合部の形状と強度の関係、成形加工に要する精度の確保条件、精度・強度に及ぼすリング形成条件及び各因子に対する材料強度の影響、などについてシミュレーションと弾塑性解析を行い、指針を得ることで、研究開発の合理的な推進に役立てることを目標とする。

1－2 研究体制（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）

（１）研究組織



（２）管理体制（事業管理者の概要）

【研究管理者氏名】

鹿毛 文康

【研究管理者経歴】

平成 18 年より顧問として管理業務全般を管理。

【経理担当者氏名】

鹿毛 文康

【経理担当者経歴】

平成 18 年より顧問として管理業務全般を管理。

(3) 研究者氏名

研究実施者の名称（機関名）：株式会社井口一世			
研究員等氏名	役 職	主研究実施項目 【サブテーマ番号】	研究に関する経歴
井口 一世	代表 主任研究員	【1, 2, 4】	金型レス生産に関する研究 見積ロジックの研究
浜本 浩志	副主任研究員	【1, 2, 4】	塑性加工に関する研究
片田 妃美	研究員	【1, 2, 4】	レーザ加工に関する研究
松森 忍	研究員	【1, 2, 4】	放電加工に関する研究
齊藤 聡子	管理員	【4】	管理業務
研究実施者の名称（機関名）：国立大学法人 東京農工大学			
松永 是	代表	なし	
夏 恒	副主任研究員	【3】	塑性力学、技術経営に関する研究
研究実施者の名称（機関名）：有限会社池場製作所			
池場 茂夫	代表 主任研究員	【1, 2, 4】	精密金型（塑性加工）に関する研究

(4) アドバイザー

機関名又は氏名	所在地又は住所	①代表者役職・氏名、 ②連絡先担当者 ③電話番号
信和精機株式会社	〒806-0001 福岡県北九州市八幡区築地町 11-32	①代表取締役社長・高森克廣 ②代表取締役社長・高森克廣 ③電話番号：093-631-1123
カヤバ工業株式会社	〒105-6111 東京都港区浜松町2丁目4番1号	①代表取締役社長・山本 悟 ②関連事業本部・中田悦郎 ③電話番号：0574-26-5111

社団法人首都圏産業 活性化協会	〒192-0083 東京都八王子市旭町9番1号、 八王子スクエアビル11階	①会長・古川勇二 ②事務局長・岡崎英人 ③電話番号：042-631-1140
タマティーエルオー 株式会社	〒192-0083 東京都八王子市旭町9番1号、 八王子スクエアビル11階	①代表取締役社長・井深 丹 ②産学官連携事業部長 山県通昭 ③電話番号：042-570-7240

1-3. 成果概要

(1) 第1年次（平成21年度）の成果概要

- ①大口径シール用金属部品では、その材料歩留まりを従来の7%から19～30%への向上を達成した。加工工数も従来の1/10を達成したが、実用上、若干の仕上げ切削を必要とする。
- ②中口径シール用金属部品は、先ず任意のスペックによる試作品を完成させることが出来た。その試作品は顧客（川下企業）の評価での所期の結果を得た。
- ③大口径及び中口径シール用金属部品の開発過程で、汎用のプレス型の構造に関する特許出願を行った。
- ④シュミレーションと弾塑性解析は大口径シール用金属部品を対象として、実機品に近い形状をモデルに想定し、プレス解析用プリポスト「JSTAMP/NV」を使用しての絞り加工解析を実施。この解析で板厚減少率コンタ、von mises 相当応力コンタ、相当ひずみコンタ、スプリングバックなどについての基本データを収集することが出来た。

(2) 第2年次（平成22年度）の成果概要総括

(2-1) 大口径シール用金属部品の第2年次の研究開発成果

- ①外径Φ100mm以上のシール金属部品を対象とし、現行の切削加工からレーザ加工と汎用プレスの工程条件の確立を目指した。
- ②第1年次の成果を踏まえ、更なる歩留まり向上の為、新技術としてのドーナツ形ブランクの成形加工の工程を確立した。この方法で40%レベルの材料歩留まりを達成した。この成果は、川下企業からの引き合い品に活かし、その製品化に結び付ける予定である。

(2-2) 中口径シール用金属部品の第2年次の研究開発成果

- ①外径Φ25～100mmのシール用金属部品を対象として、板材からカシメ、嵌めあい部を形成し、これを塑性結合方法で所要の形状とすることを目的とした。
- ②前記の目的達成の一つの方法として、帯状板材を所定の周長にブランク切断し、リング状に成形、接合部をカシメ、塑性結合により接合後、プレスにより所要の成形を施す工程を確立した。この方法での材料歩留まりはほぼ100%であった。
- ③別の方法として、帯状板材を所定の周長にブランク切断し、シール用金属部品のカップ状断面に折り曲げた後、リング状に成形するプロセスを考案した。この方法については、安定した加工工程の確立が今後の課題である。

(2-3) 小口径シール用金属部品の第2年次の研究開発成果

- ①外径15～25mmのシール用金属部品が対象となる。本開発要件は仮リング成形、リングの

加圧条件、成形条件である。これらはシミュレーション及び弾塑性解析と連動して工程条件の確立を狙う。

②本開発試作は、平成 22 年度の後半からスタートしたため、その開発成果は第 3 年次で報告する。

(2-4) シミュレーション及び弾塑性解析の第 2 年次の研究開発成果

①大口径の材料歩留まり向上の為に創出したドーナツ形ブランクの絞り成形シミュレーションを実行。更に、小及び中口径シール用金属部品を対象に結合部形状と強度の関係、精度・強度に及ぼすリング形成条件、各因子に及ぼす素材の材料強度の影響などに関するシミュレーション、弾塑性解析を行い、研究開発の合理的な推進を目的とする。

②大口径においては、本解析などによってフォーミング工程とスプリングバックなどに関する定量的な数値情報を得ることができ、それを実機品の加工工程に反映することで所要の材料歩留まりを実現した。

③小及び中口径シール金属部品のシミュレーション及び弾塑性解析は、大口径のドーナツ形ブランクで得られた結果を総合的に勘案してのシミュレーションモデルと解析基準を設定する段階までに到達した。第 3 年次でより論理的な基礎資料を収集する予定である。

(3) 第 3 年次（平成 23 年度）の成果概要総括

(3-1) 大口径シール用金属部品の第 3 年次の研究開発成果

①材料歩留まりの更なる向上を狙いとしてドーナツ形ブランクの成形を試みた。この試作実験はシミュレーション・弾塑性解析と連動して実施した。円板、ドーナツ形ブランクについて実際に絞り試作を行い、両者について所期の成形品を得ることができた。また、ドーナツ形ブランクの形状（寸法）はシミュレーションとほぼ一致することも確認した。

②大口径の製作方法につき、平成 22 年度に成功した中口径で開発した帯状板材からの加工工程を活用試作を行い、材料歩留りの飛躍的な向上を目指した。本試作（中口径品と同じ加工プロセス）での材料歩留まりは従来の 41% からほぼ 100% に到達した。

(3-2) 中口径シール用金属部品の第 3 年次の研究開発成果

①平成 22 年度で成功した帯状板材から作成した成形品で、カシメ、嵌め合い部の強度や性状を川下企業の協力を得て実施した。ほぼ、実機に適用可能と判断されたが、現在、継続している耐久試験の結果で量産化の是非を決定する予定である。

(3-3) 小口径シール用金属部品の第 3 年次の研究開発成果

①板状のブランクよりリング成形した後、カップ状に成形加工する方式を確立した。この方式は従来方式に比べて材料歩留まりの向上効果が加工工数の上昇分を吸収するも、コストダウン効果は少ないことが判明した。

②今後、薄板の高張力鋼板の採用による、より一層の軽量化を実現することなどで差別化を行い新規用途を探索して行く。

(3-4) シミュレーション及び弾塑性解析の第 3 年次の研究開発成果

①本年度は、とくに大口径シール金属部品の材料歩留まり向上のため、円板・ドーナツ（リング）ブランクの絞り成形の工程条件確立のシミュレーションに注力した。解析結果は以下の通り。

②ノックアウト下部にばねを挿入する場合において、ノックアウトを使用しない場合と比較して平坦な底部と角度の小さい角部を得ることができるが、角部付近の底部は反りが残る。

③内径が大きい場合を除き、リング状ブランクにおいてブランクの内径と成形後の内径の関係は比例である。また、側壁部高さはブランクの内径によらずほぼ一定である。

④ブランクの内径と成形後の内径の比例の関係は、外径の変化の影響を受けにくい。

⑤また、成形シミュレーションにより得た結果の妥当性を検証するために実加工実験を行った。そして、得られた成形品を測定して解析結果と比較した。その結果、以下の⑥、⑦の知見を得た。

⑥外形形状においては解析結果が実加工結果の傾向に良い一致を示す。

⑦板材の面内異方性により生じる内径や側壁部高さの変化の傾向を比較したところ、実加工実験における位置決め精度の低さから成形シミュレーションの妥当性を検証するには至らなかった。

1－4 当該プロジェクト連絡窓口

管理団体：株式会社井口一世

担当：井口一世（技術） 齊藤聡子（管理）

住所：埼玉県所沢市所沢新町 2553-3

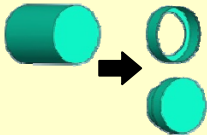
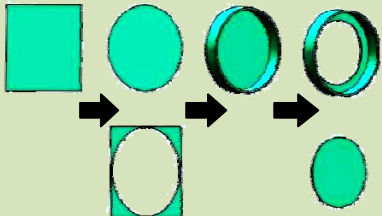
電話：04-2990-5400

第2章 本論

2-1. シール用金属部品の製造技術

前記した如く、外径 $\Phi 100\text{mm}$ 以上の大口径シール用金属部品はバス（大型、小型）トラック（普通）などのショックアブソーバーに使用され、中実丸棒から切削加工で製造されているが、材料の93%はスクラップとして廃棄される。 $\Phi 100\text{mm}$ 以下の中および小口径シール用金属部品はトラック（小型、軽四輪）、乗用車（普通、小型、軽四輪）、二輪車などのショックアブソーバーに用いられ、主に板材からのレーザ加工及びプレスでの絞りと穴抜き加工の組み合わせで製造されている。この場合でも材料の59%がスクラップとして廃棄される。これらシール用金属部品の従来工程図を表2に示した。

表2. シール用金属部品の従来工程図

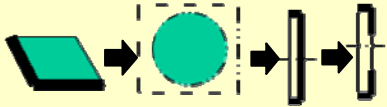
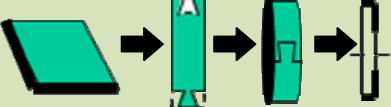
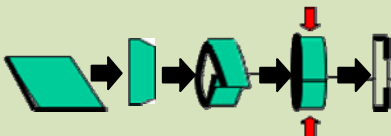
口径	従来加工	加工法	問題点
大口径		・中実丸棒よりブランクを鋸盤により採取 ・切削(旋盤)により加工	・材料歩留りが悪い(7%) ・切削工程数大→コスト高
中・小口径		・板材から所要径のブランクをプレス及びレーザ加工により採取 ・プレス絞り及び穴抜き加工により製造	・材料歩留りが悪い(約41%)

従って、自動車に搭載されるショックアブソーバーで使用するシール用金属部品の最重要課題の一つは、必要な強度と耐久性の具備を前提とした加工において、極限の省資材化（スクラップレス化）を達成する事にある。

表3に本研究開発で達成目標とする工程図での新加工法、改善目標値、その技術的課題などを示す。本研究開発で、大口径は薄板材料よりレーザ加工でブランクを採取し、汎用プレスによる絞り及び抜き加工で製作し、41%の材料歩留まりと加工工程の大幅な低減を目指す。中口径は、

帯状の板材を所定の周長にブランク切断し、リング状に成形、接合部をカシメ・塑性結合により一体化後、プレスにより所要の成形を施し、90%以上の材料歩留まりと材料コスト低減を実現する。小口径は、高張力鋼採用を可能にする新規な板金プレス加工技術を開発し、軽量化と材料歩留まり100%の達成を目的とする。これら目標実現のためにシミュレーション及び弾塑性解析技術も駆使する。

表3. 本研究開発でのシール用金属部品工程図

口径	本研究開発での工程	新加工法	改善目標値	技術的課題
大口径		薄板材料よりレーザー加工でブランクを採取 汎用プレスによ絞り及び抜き加工	歩留り 約 7→41% 加工工程数 コスト 1/10	①レーザー切断条件 ②成形加工条件 ③成形品高さ バラツキの低減 ④シミュレーション
中口径		帯状の板材を所定の周長にブランク切断し、リング状に成形、結合部をカシメ・塑性結合により接合後、プレスにより所要の成形を施す	歩留り 約 41→90% 材料コストの低減	①ブランク形状成形 ②塑性結合条件 ③リング状品の成形 ④シミュレーション
小口径		高張力鋼採用を可能にする新規板金プレス加工技術を開発	軽量化 約 30%以上 材料費節減	①弾塑性解析 ②リング形成条件 ③リング状品の成形 ④シミュレーション

本研究開発の期間は3ケ年である。その研究開発スケジュールを表4に示す。

研究開発項目	実施期間											
	初年度				第2年度				第3年度			
	1 ／ 4	2 ／ 4	3 ／ 4	4 ／ 4	1 ／ 4	2 ／ 4	3 ／ 4	4 ／ 4	1 ／ 4	2 ／ 4	3 ／ 4	4 ／ 4
【1】大口径シール用金属部品 外径φ100 mm以上のシール用金属部品を対象とし、現行の切削加工からレーザ加工と汎用プレスの組合せによる工程条件を確立する												
【2】中口径シール用金属部品 外径φ25～100 mmのシール用金属部品を対象として、板材からカシメ、嵌めあい部を形成し、これを塑性結合方式で所要の形状とする。この一連の工程条件を確立する。												
【3】小口径シール用金属部品 外径φ15～25 mmのシール用金属部品を対象とする。本開発要件は仮リング成形、リングの加圧条件、成形条件である。 【4】シミュレーションと連動して工程条件の確立を行う。												
【4】シミュレーション、弾塑性解析等 特に、小及び中口径シール用金属部品を対象として結合部形状と強度の関係、精度・強度に及ぼすリング成形条件、各因子に及ぼす素材の材料強度の影響などに関するシミュレーション、弾塑性解析を行い、研究開発の合理的な推進に役立てる。												

(1) 開発の概要と目的・ねらい

11

外径Φ100mm以上のシール用金属部品を対象とし、材料歩留りを目標とする40%以上にするためには、成形後抜いて除去する内径部分をブランクのトリミングの段階で図5に示すように、順次、ドーナツ状に複数個のブランク素材として分離し、それぞれを成形して部品として加工すれば、表5のように、材料歩留りを更に改善できる。このため第2年次にドーナツ形ブランクの成形加工プロセスの確立を行うこととした。

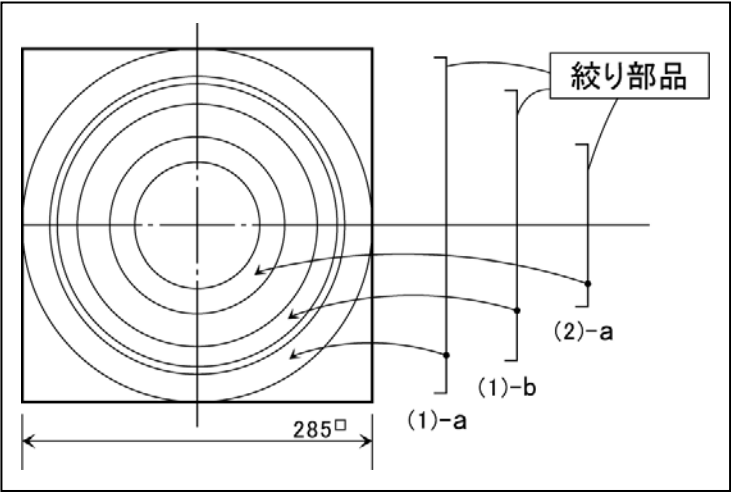


図5. 底面切り抜き円板をより小径のブランクに活用していくプロセス

表5. 金属部品の底部切り抜き材を活用するプロセスでの歩留り

部品	体積 cm^3	製品計
(1)-a	31	65 cm^3
(1)-b	22	
(2)-a	12	
ブランク体積		162 cm^3

総合歩留り $65/162=40\%$

（２）開発・試作の状況

まず、目標達成のためにドーナツ形ブランクの絞り金型の設計と製作を実施した。試作するシール用金属部品のサイズについては、大口径と中口径の境界サイズである外径100mmを採用することにした。金型構造では、絞り成形に必要な要素について次のように配慮した。

- (a) しわ押さえを絞り条件を一定にするために固定しわ押さえ構造とした。
- (b) ブランク底部を支えるノックアウトの組合せは以下を選択した
 - イ) ノックアウト有り
 - ロ) -1 ばねAで保持(ばね定数 $k=160.0$ N/mm 長さ $L=60$ mm)
 - ハ) -2 ばねBで保持(ばね定数 $k=367.5$ N/mm 長さ $L=55$ mm)
 - ニ) ノックアウト無し
- (c) パンチの先端にブランクの水平移動を規制するスパイクを以下のように配置した。
 - ① スパイク無し
 - ② $\Phi 98$ mmの位置に配置
 - ③ $\Phi 92$ mmの位置に配置
 - ④ $\Phi 80$ mmの位置に配置

次いで工程条件確立に向けて各種ブランク形状の設定を行った。

図6に絞り試作を行った金型構造の概要を示す。図7に実施条件と各種ブランクの組合せ、および本研究開発で試みた絞り工程の概要を示す。また、図8にドーナツ形ブランク絞りの金型とブランクを示す。なお、金型設計、ブランク絞り工程に関しては後述するシミュレーションによる弾塑性解析技術との関連付けを配慮し、成果を試作回数の省略や開発のスピードアップ、精度の向上などに役立てることとした。

（３）開発試作品と成果

①材料歩留まりの更なる向上を狙いとしてドーナツ形ブランクの成形を試みた。この試作実験はシミュレーション・弾塑性解析と連動して実施した。円板、ドーナツ形ブランクについて実際に絞り試作を行い、両者について所期の成形品を得ることができた。また、ドーナツ形ブランクの形状（寸法）はシミュレーションとほぼ一致することも確認した。絞りサンプル成形品の製作例を図9に示す。

②大口径の製作方法につき、平成22年度に成功した中口径で開発した帯状板材からの加工工程の適用を試みた。本試作（中口径品と同じ加工プロセス）では、大口径でも中口径と同じ結果が得られ、その材料歩留まりは従来の41%からほぼ100%に到達した。

③大口径シール用金属部品は、川下企業数社からすでに引き合いがあり、今後、量産化を検討する予定である。

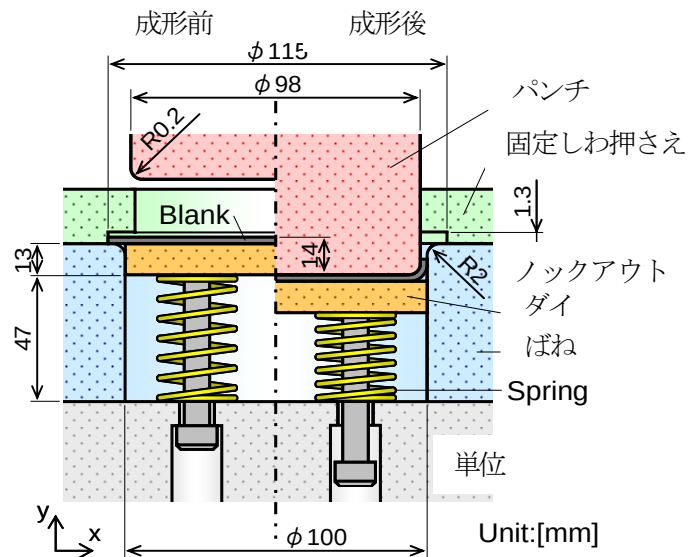


図6. 金型構造の概要

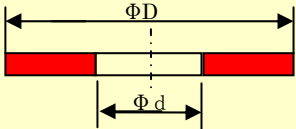
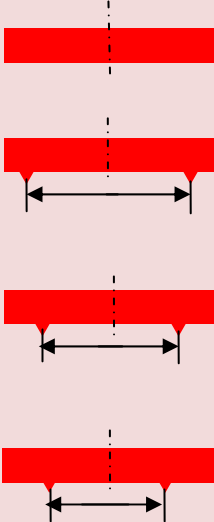
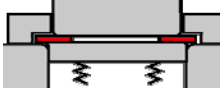
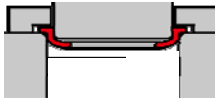
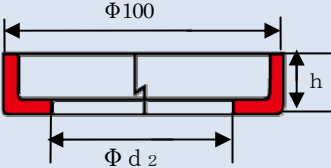
工程			ブランク形状							 ブランク形状
中実ブランク 底付き カップ 絞り			ΦD							
			11	5	4	1	3	1	1	
ドーナツ形ブランク			ΦD×Φ d							 パンチスパイクの位置
			d							
			115×75	114×73	113×73	113×74	113×	112×74		
										
										
										
										
										
			 成形品の形状							

図7. 大口径ドーナツ形ブランク絞り工程の概要



パンチとダイ



ダイセット組み



ブランク

図8. ドーナツ形ブランク絞り金型とブランク



図9. 絞り成形された各種試作品

2-4. 中口径シール用金属部品の板金プレス加工技術の確立

(1) 研究開発の概要と目的・ねらい

外径 $\Phi 25 \sim 100$ mmのシール用金属部品を対象として、帯状板材からカシメ・嵌め合い部を施したリング状のブランクを形成しこれを塑性加工により所要の形状とする工法を開発する。これにより90%以上100%に近い材料歩留りを達成し、製作コストを低減できる。

(2) 開発・試作の状況

上記目標を達成するため、以下の2つの方法について検討し開発を実施した。

(2)-1. 方法1. この方法では、帯状板材から所定の周長にブランクを切断し、リング状に成形、接合部をカシメ、塑性結合により接合後、プレスにより所定の成形を施しシール用金属部品を得た。この加工工程図を図10に示す。また、図11、図12は方法1で帯状板材を円筒状に成形する工程を示す。図13は円筒をカップ状に成形した中口径の金属部品を示す。

(2)-2. 方法2. この方法では帯状板材から所定の周長にブランクを切断し、シール用金属部品のカップ状断面に折り曲げた後、リング状に成形して製作する。この方法の加工工程図を図14に示す。また、図15は方法2に用いた帯状板材のブランクで図中上部3番目のブランクの成形品を図16にしめす。

また、図17は図15の上部1番目や3, 4, 5番目などの板材接合部の各種形状のかしめ接合部の試作状況を示している。

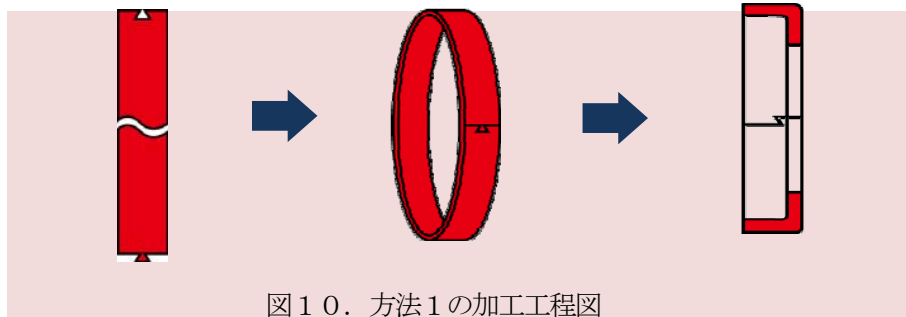


図10. 方法1の加工工程図



図11. .ブランクの円筒成形（第一工程）



図12. .円筒成形された状態



図 1 3. 成形された中口径シール用金属部品

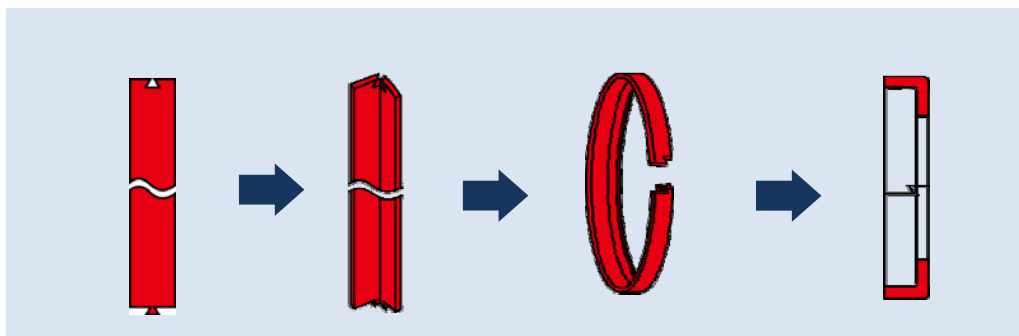


図 1 4. 方法 2 の加工工程図

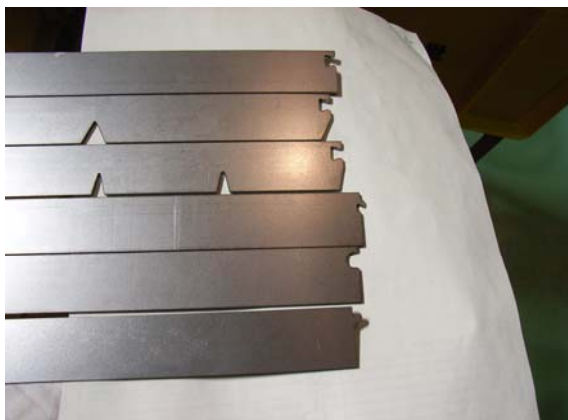


図 1 5. 試作に供した各種ブランク

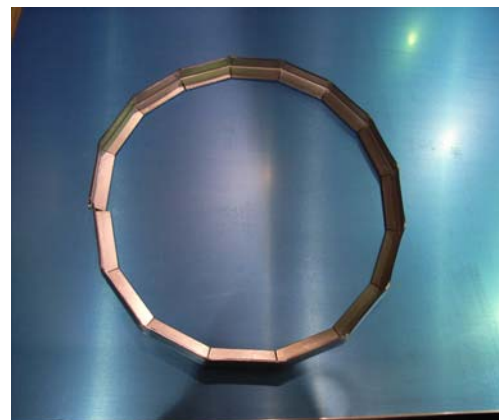


図 1 6. 成形試作品
(図 1 5 の上部 3 番目のブランク)

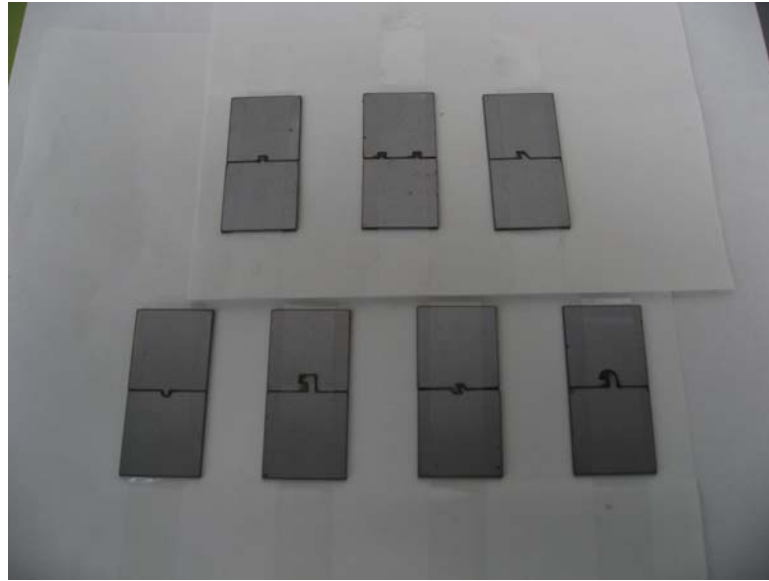


図 17. カシメ接合部の試作品

3) 開発試作品とその成果

図 18 に方法 1 による試作品の結果を示す。本工法によればほぼ 100% に近い材料歩留りを達成できることを確認した。更に、部品形状で外形 ΦD と高さ h (試作では 8 mm) を一定のまま、底面内径 Φd を部品外径 ΦD で除した値: $\Phi d / \Phi D = 77.5\%$ まで小さく出来ることが可能で (図参照) これによりカップ底部内径の小さいシール用金属部品の要求形状を満足できることを確認した。方法 2 については図 16 の試作レベルにとどめた。

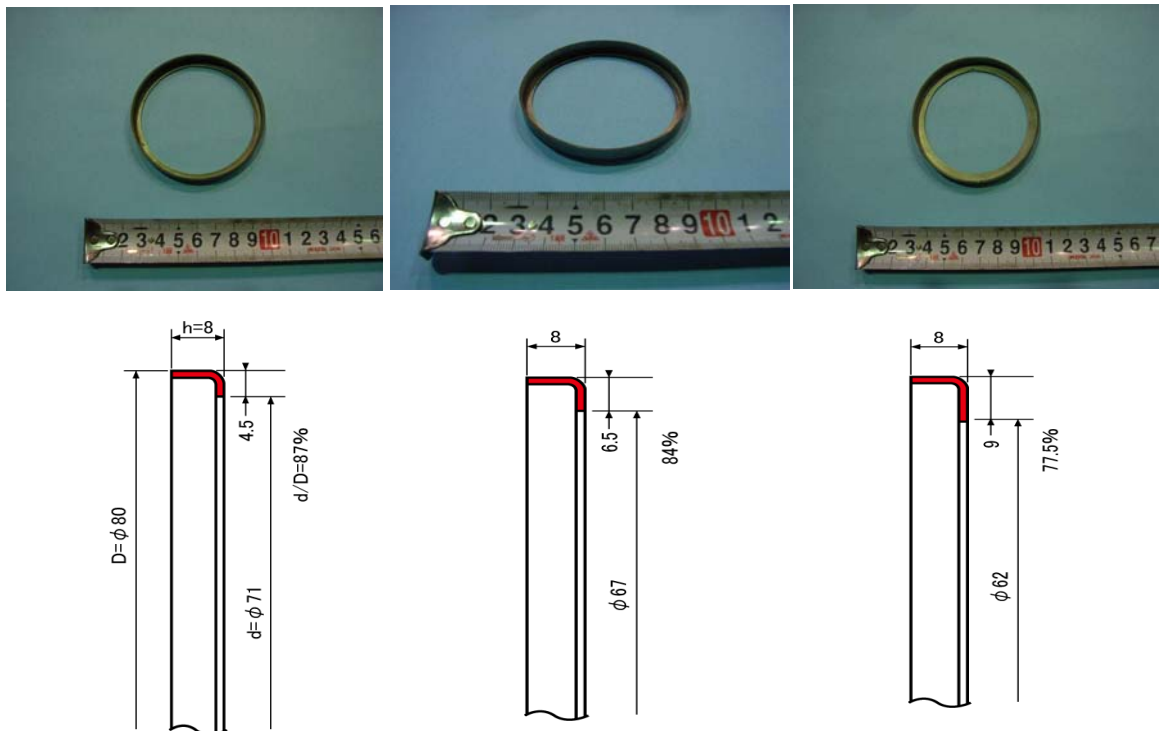


図 18. 方法 1 での試作品外観

2-5. 小口径シール用金属部品の板金プレス加工技術の確立

(1) 研究開発項目

外径 $\Phi 15 \sim 25$ mmのシール用金属部品を対象とする。本開発用件は仮リング成形、リングの加圧条件、成形条件である。2-8項のシミュレーション及び弾塑性解析と連動して工程条件の確立を行う。

(2) 開発状況

- ①板状のブランクよりリング成形した後、カップ状に成形加工する方式を確立した。この方式は従来方式に比べて材料歩留まりの向上効果が加工工数の上昇分を吸収するも、コストダウン効果は少ないことが判明した。
- ②今後、薄板の高張力鋼板の採用による、より一層の軽量化を実現することなどで差別化を行い新規用途を探索して行く。

2-6. シミュレーション、弾塑性解析の検討と結果

(1) 初年度（平成21年度）で得られた結果

プレス加工では金型の製作に時間とコストが掛かり、試行錯誤の回数を減らし、効率的な金型の設計・製造や成形制度の向上を目的とした有限要素法によるシミュレーション成形解析が広く行われている。

初年度（平成21年度）において、本項目に関しては以下の結果を得ている。

- ① 大口径シール用金属部品を対象として、プレス解析用プリポスと「JSTAMP/NV」を使用し絞り加工解析を行った。図19に解析概要、図20に解析モデル、図21に解析状況の一部を示す。
- ② 供試材料はSPCCで、その直径は305.1mm、板厚は2.0mmとした。

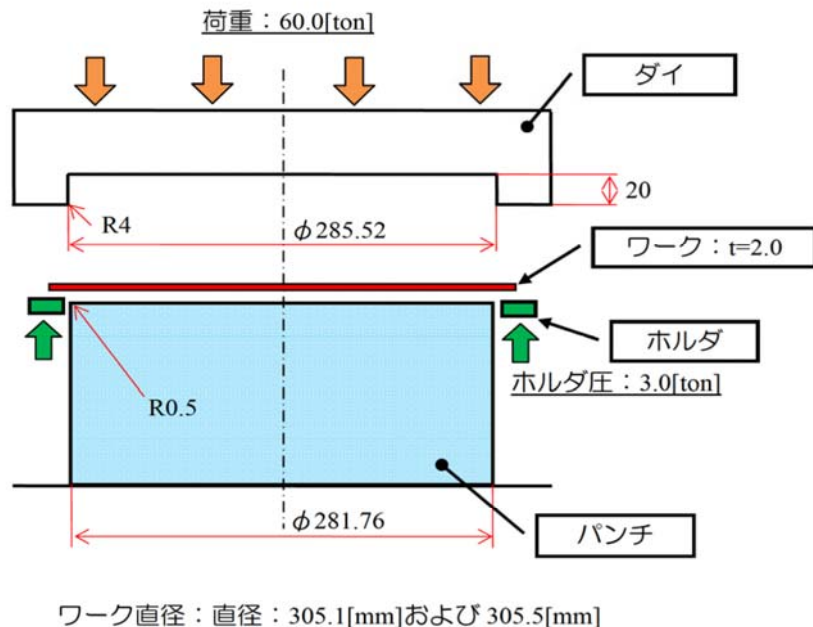


図 2.1 解析概要

図 19. 解析概要

- ③ 絞り解析は1/4解析モデルを使用し、フォーミング工程とスプリングバックの2工程で実施した。
- ④ 1/4モデルで、モデル内で $X=0$ 、 $Y=0$ の対称条件を設定して解析した。
- ⑤ 解析によって板厚減少率コンタ、von mises 相当応力コンタ、相当ひずみコンタ、スプリングバックなどの結果を得た。(※コンタとは：平面上において、同じ値を持つ点を結んでできる曲線を示したもの。例えば天気図や地形図の等高線などがこれに当たる。)
- ⑥ 板厚は、当然ながら曲げ側縁部が最も減少し、その最小値は1.7mmであった。この最小値はスプリングバック後でも変化は無い。
- ⑦ フォーミング最終時点より、スプリングバック後のほうが平面上での厚さバラツキは低減傾向を示していた。また、von mises 相当応力、相当塑性ひずみもスプリングバック後のほうが均一な分布になっている。
- ⑧ 板厚 (Z) 方向のスプリングバック時の変位は、中心から半径方向80mm付近で最大値を示した。

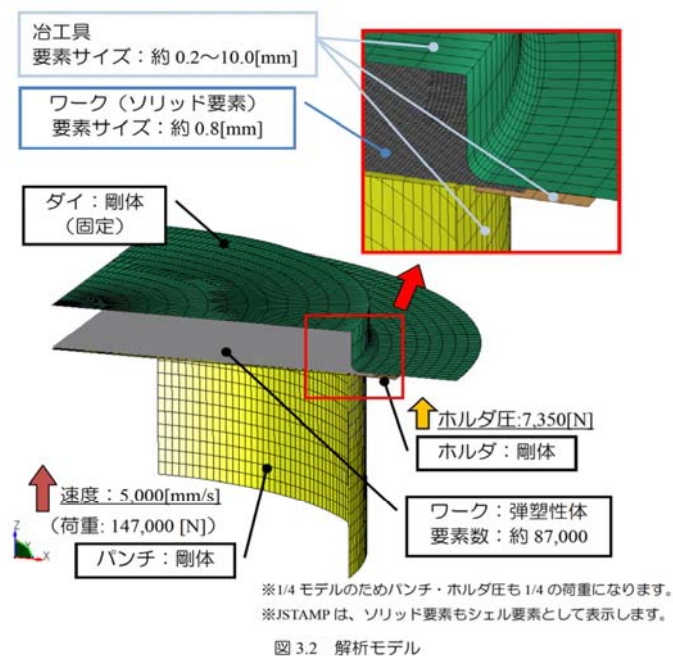


図 3.2 解析モデル

図 2 0. 解析モデル

(2) 第2年度（平成22年度）で得られた結果

第2年次（平成22年度）は、小・中口径シール用金属部品を対象として結合部形状と強度の関係、精度・強度に及ぼすリング形成条件、各因子に及ぼす素材の材料強度の影響についてのシミュレーション、弾塑性解析を重点的に行う予定であった。しかし、大口径シール用金属部品の材料歩留り達成をより確実なものにするため、円板ブランクとドーナツ形ブランクの絞り成形に関するシミュレーション解析を優先して実施した。本項では、図22に示す円板ブランクとドーナツ形ブランクを同じ条件の下でプレス絞り加工することを想定して成形解析を行った。得られた結果の要約は以下の通りである。

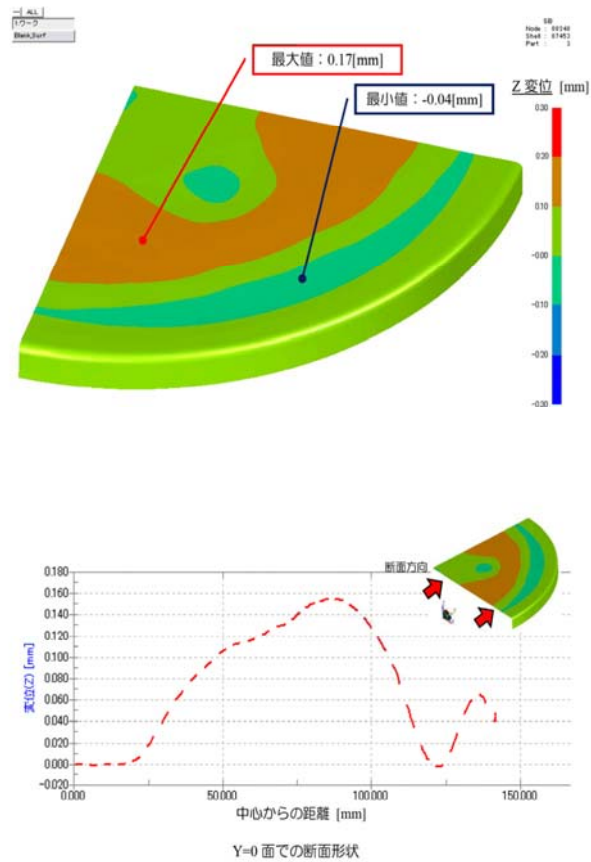


図 4.4 スプリングバック時 Z 方向変位コンタ及び Y=0 面での断面形状

図 2 1. 解析状況の一部



図 2 2. 絞り加工用ブランク形状

①外径寸法 100mm の中口径シール用金属部品のプレス絞り成形において、円形ブランクとドーナツ形ブランクの成形解析を行った結果、次のような成果を得た。

- ・加工力は約 70KN である。

- ・部品側壁はしごきによりほぼ垂直な断面を得る。
 - ・部品底面内径はドーナツ形ブランクでは広がりブランク内径より大となる。
 - ・平坦で反りの少ない底面部を得るためには十分な反力のあるばねで保持したノックアウトが必要である。
- ②ドーナツ形ブランクで、より精度の高い絞り成形品の成形条件を成形解析で得るためには、今後
- ・ブランクの外形・内径を変更する。
 - ・ばね使用時のノックアウト降下量を制限した金型構造とモデルを設定する。
 - ・パンチにスパイクを付与する。
- などの条件の下で、成形解析を行う。
- ③また、解析に即したプレス絞り加工の試作を行い、取得した結果と解析結果の比較検討を進める。

(3) 第3年度（平成23年度）で得られた結果

第3年度では、大口径及び中口径シール用金属部品の低コスト化・量産性に寄与するドーナツ形ブランクの成形シミュレーションをより詳細に行い、理論面からの補強を図ることとした。本検討で解析対象としたプレス絞り加工の概要を図23に示す。供試材は冷間圧延鋼板 SPCC を使用し、リング状ブランクの寸法は内径 $\phi 75\text{mm}$ 、外径 $\phi 115\text{mm}$ 、板厚 1mm とした。

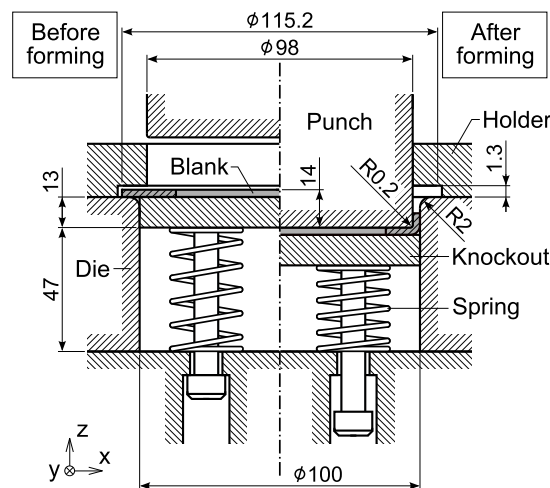


図23. 解析を行うプレス絞り加工機概要

得られた結果のまとめは以下の通りである。

- ①ノックアウト下部にばねを挿入する場合において、ノックアウトを使用しない場合と比較して平坦な底部と角度の小さい角部を得ることができるが、角部付近の底部は反りが残る。
 - ②内径が大きい場合を除き、リング状ブランクにおいてブランクの内径と成形後の内径の関係は比例である。また、側壁部高さはブランクの内径によらずほぼ一定である。
 - ③ブランクの内径と成形後の内径の比例の関係は、外径の変化の影響を受けにくい。
- また、成形シミュレーションにより得た結果の妥当性を検証するために実加工実験を行った。そして、得られた成形品を測定して解析結果と比較した。その結果、以下の知見を得た。
- ④外形形状においては解析結果が実加工結果の傾向に良い一致を示す。
 - ⑤板材の面内異方性により生じる内径や側壁部高さの変化の傾向を比較したところ、実加工実験における位置決め精度の低さから成形シミュレーションの妥当性を検証するには至らなかった。

第3章. 全体総括

3-1. 研究開発の概要及び成果

本研究開発は平成 21 年度から平成 23 年度の 3 ケ年で実施した。本研究開発では、シール用属部品を対象として新しい発想による板金加工技術で

- ① 汎用プレスと汎用レーザー加工機を使用した板金加工プロセスのより一層の高度化を図る(切削レス等)、
- ② カシメ、嵌め合いなどの塑性結合手法(メカニカルクリンチング、メカニカルロッキング等)を板金プレス加工の工程に導入し、素材を極限的に有効利用する省資材化技術(スクラップレス化)を確立する、
- ③ シミュレーション技術と暗黙知を連動させることで、ムダ・ロスが発生せず高精度で信頼性に富むブランクの形状設計と板金プレスの工程技術を確立する、

などを狙いとして開発を進めた。

図 2 4 に開発を進めた各工程のシール用金属部品の加工工程と歩留まり目標を示す。また図 2 5 はシミュレーション解析に用いた成形金型のモデルを示す。

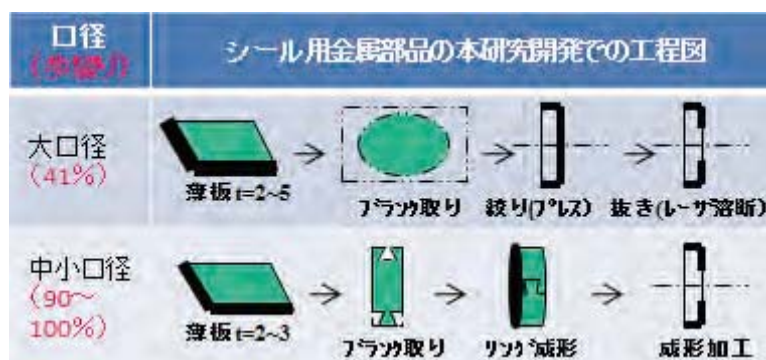


図 2 4. シール用金属部品の新規の加工工程

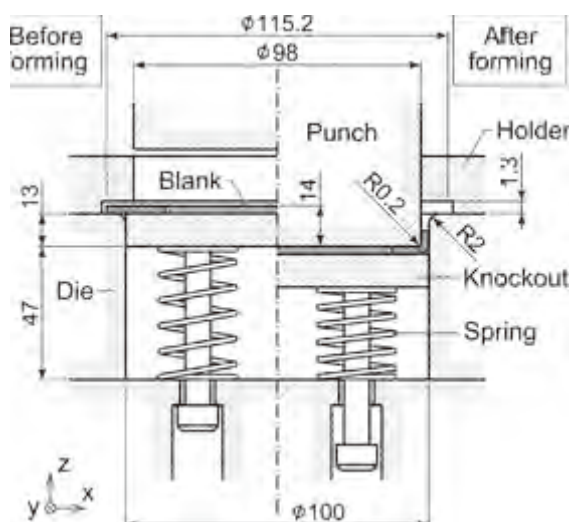


図 2 5. シミュレーション解析の金型モデル例

3ケ年の研究開発で得られた成果の概要は以下の通りである（詳細は1－3項を参照）。

- ① 大口径については、21年度に従来の中実丸棒を切削する方法から、板材をレーザーカットし絞り加工で製作する方法を開発、材料歩留まりを従来の3～6%から19～30%に改善し、かつ加工コストも1/2とした。21年度では、円板ブランクをドーナツ形ブランクの複数取りの採用で目標の40%を達成した。更に、23年度では中口径で開発した帯状板材からの加工工程を活用することで100%に近い歩留まりを確保できる見通しを得た。
- ② 中口径では、帯状板材からの作製に成功し、材料歩留まりをほぼ100%にできた。また川下企業からのアドバイスを受け、本工法を大口径部品（前述）や他産業分野の部品加工に適用する検討も実施した。
- ③ 小口径については、成形に成功するも従来の工程との経済効果が小さく更なる研究開発の必要性を認識。
- ④ シミュレーション解析では、実際の試作品との比較検証を行い、絞り圧力、製品各部で発生する応力やひずみ、板厚の分布、製品形状に与える影響などを把握できた。図26、図27はシミュレーション解析の一部である。

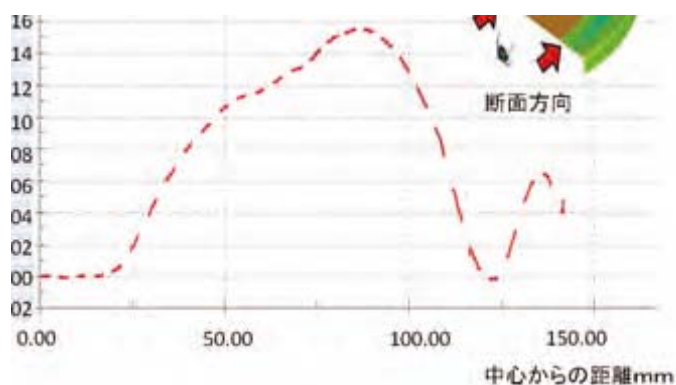


図26．シミュレーション解析（円板ブランク）

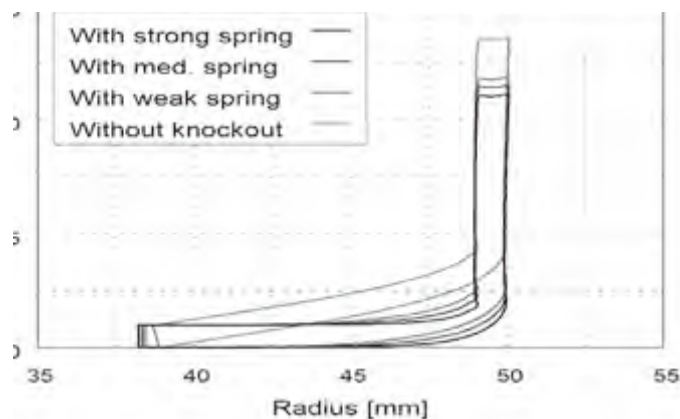


図27．シミュレーション解析（ドーナツ形ブランク）

3－2．開発した製品・技術のスペックと今後の課題

- ① 大口径：切削レス化で歩留まり3～6%を40%以上、加工コスト1/2以下。
- ② 中口径・大口径：帯状ブランク形成で歩留まり40%をほぼ100%に到達。
- ③ 小口径：絞り成形から帯状ブランク形成で歩留まり40%を100%に到達。
- ④ シミュレーション解析：円板・ドーナツブランク絞りの理論解析。
- ⑤ 今後の課題：大口径、中口径は研究開発の所期の目的を達成した。しかし、小口径は成形試作に成功するも、コストダウン効果が少なく、軽量化を含めた開発の必要性を認識した。

3-3. 事業化の状況

①大口径：数件の引き合いに対応中

②中口径：シール成形部品の評価中

③小口径：今後のニーズに合わせ対応中

④図28に大口径、中口径の開発品、図29に小口径の開発品を示す



図28. 大口径部品（外側2部品）と中口径内側4部品



図29. 小口径部品