

平成23年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「鍛造自動車部品の低コスト化を実現する
プレス加工・厚板成形技術の開発」

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 株式会社ひたちなかテクノセンター

目次

目次.....	1
第 1 章 研究開発の概要.....	2
1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標.....	2
1-2 研究体制.....	9
1-3 成果概要.....	10
1-4 当該研究開発の連絡窓口.....	13
第 2 章 研究開発実施内容・成果.....	14
2-1 本研究開発の概要.....	14
2-2 基礎工程技術の開発.....	17
2-3 厚板成形技術の高度化で要求されるプレス機械の開発.....	37
2-4 プレス金型の高強度化と耐久性向上技術の開発.....	43
2-5 プレス成形技術の開発.....	45
2-6 最適量産化技術の開発.....	50
2-7 プロジェクトの管理・運営.....	53
第 3 章 全体総括.....	54
3-1 研究開発事業総括.....	54
3-2 来年度以降の計画.....	54

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

自動車業界は今、かつてないほど大きな多面的変化に直面している。1世紀前の先進諸国に経済的変化をもたらしたという評価とともに、現在の発展途上諸国にモビリティと繁栄を提供する取り組みを順調に進めており、雇用を創出し投資を呼び込む存在として切望されている。しかしながら気がついてみると、環境責任を十分に果たしていると言えず、更なる対応を迫られている。ここ数年の業界キーワードは、「環境責任」「経済性」「安全性」「グローバル化」等であり、特に「低コスト指向」は益々激しく、国内部品メーカーは日々海外を含めた競合メーカーとの価格競争に曝されてされている。これ等激烈な価格競争に打ち勝つには、製造技術の高度化及びコストダウンに繋がる技術革新を今まで以上に進める必要があり、過去のものづくりで蓄積されたノウハウと研究開発活動により、最適な生産方式を開発し、高精度かつ低コストを実現する必要がある。

中小企業における研究開発活動は、経済停滞化の中フットワーク及び他業種との協業化、等の特長を生かし、創意工夫と効率化を追求して高精度、高性能かつ低コストの部品生産に特化し、売上げ維持・拡大を図るため研究開発を通じた技術革新の実現に取り組むことが重要である。

又、平成18年6月には、我が国製造業の国際競争力の強化及び新たな事業の創出を通じて、国民経済の健全な発展に寄与することを目的とした、「中小企業ものづくり基盤技術の高度化に関する法律（中小ものづくり高度化法）」が施行された。この法律では、重要産業分野を指定し、「特定ものづくり基盤技術の高度化指針」として、今後中小企業が目指すべき技術開発の方向性と将来ビジョンを定めている。

この様な社会的背景に基づき、対象部品にカーエアコン用コンプレッサーの電磁クラッチを構成する「フィールドコアコイルリング（以下リングと称す）」を選定し、プレス加工技術の高度化による「材料歩留りの向上」「低コスト化」「短納期化」を目的に本事業を提案した。

特定ものづくり基盤技術の種類には、主たる技術に「金属プレス加工に係る技術」を挙げ、川下産業分野に自動車及び産業機械を選定した（表 1-1）。

現状のリング製造方法は、前処理工程等冷間鍛造にかかわる工程数が多い、リブ高さ及び R 部の精度確保のため機械加工が必須、冷間鍛造とは別に打抜きプレス工程が必要、等の課題があり、いずれも大きなコストアップ要因になっている。これ等課題を解決しプレス加工技術を高度化した「厚板成形技術（板鍛造プレス成形）」により大幅な工数減、機械加工レス等を実現出来れば、「低コスト化」に繋がり、併せて「材料歩留りの向上」「短納期化」も可能となる。

表 1-1 選定した川下産業分野と高度化目標

金属プレス加工に係る技術において達成すべき高度化目標	
(1) 自動車に関する事項	②高度化目標 カ.材料歩留りの向上に寄与する技術開発 ク.プレス機械の精度・剛性・運転性能・知能化等の高機能化 ケ.金型・工具の高機能化及び耐久性の向上
(2) その他	②高度化目標 カ.プレス機械及び金型の質的向上

1-1-2 カーエアコン用コンプレッサの電磁クラッチとリング

本研究開発において対象としたカーエアコン用コンプレッサの電磁クラッチは、必要な時のみエンジンからの動力をコンプレッサに伝達し、必要の無い時は遮断する装置で、伝達及び遮断が電磁クラッチの持ち得る機能である。電磁クラッチはアーマチャ組立て、ロータ組立て、フィールドコアコイル組立て、の3部品にて構成され、フィールドコアコイル組立ての中に巻線とリングがある。巻線への電圧印加で電流が流れ、発生した磁束がリングを介して流れクラッチが動作する仕組みになっている。

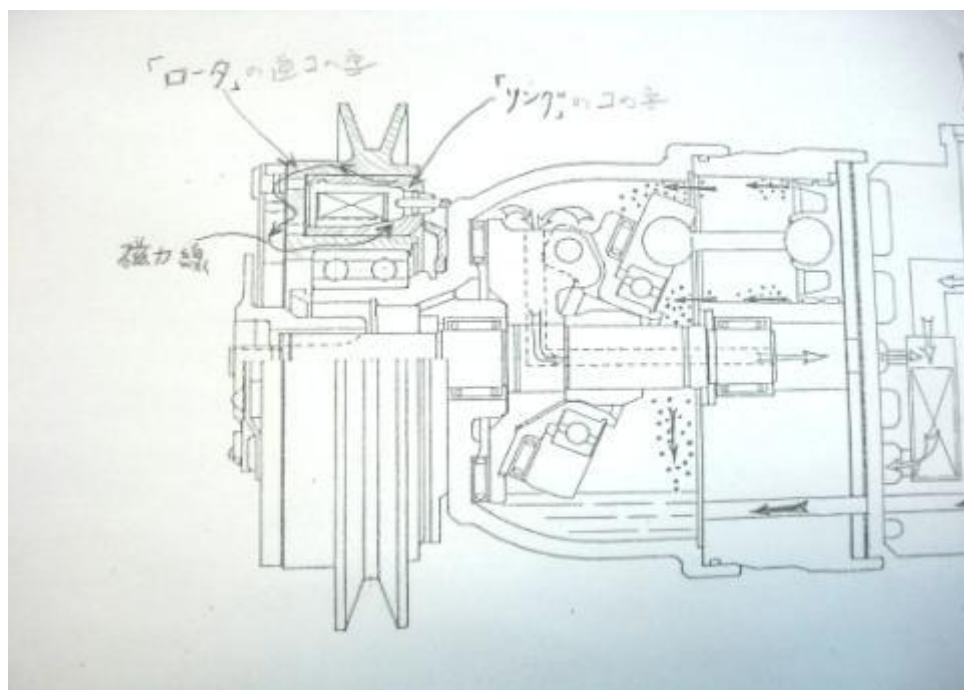


図 1-1 コンプレッサの電磁クラッチ断面図と動作説明



図 1-2 電磁クラッチ内部品構成



図 1-3 電磁クラッチ外観



参考までに、今回の研究開発でのリング完成品を示す。

- ① 概略寸法： ・ 外径 $\phi 82.5$ ・ 内径 $\phi 55.1$
 ・ リブ高さ 20 ± 0.3
 ・ 底面角 R 1.5 以下
 ・ 底面平坦度 0.1 以下

- ② 材料： SPHD $t = 4.0$

図 1-4 リング

1-1-3 電磁クラッチ及びリングの市場

電磁クラッチの低コスト化、工数低減は自動車分野は勿論のこと、工作機械・空調機器を初めとする産業機械分野にも応用可能である。従い本研究開発の成果は自動車業界のみならず我が国製造業の国際競争力強化に寄与出来ると確信する。国内の四輪自動車生産数は 2011 年で 840 万台、これ等自動車用以外に国内の産業用電磁クラッチのマーケットは、一般社団法人日本工作機器工業会の統計によれば、過去 1 年間の国内においてサイズは小から大まで様々であるが、約 3000 万台が販売され、約 180 億円のビジネス規模となっている。

今回のサイズのリングが使用される市場規模を、その 30%とすると、900 万台の市場となるが、これはあくまでも国内販売の数量であり、アジア新興国等海外生産の自動車向け、海外産業機械メーカーへの輸出を考慮すると更に大きな市場規模となる。

1-1-4 電磁クラッチ、リングの現状品状況

現在の自動車に装着されているエアコン用コンプレッサーを市場より回収し、電磁クラッチを分解しフィールドコアコイル組み及びリングの調査を実施した。尚、今回の回収はエンジン容量 2.0L、1.5L クラス及び軽自動車について行なった。



図 1-5 コンプレッサー
回収品(3種類)



図 1-6 軽自動車用分解
(右側がフィールドコアコイル)



図 1-7 フィールドコアコイル組み
(右側が軽自動車用)

3種類のフィールドコアコイル組みを分解しリングを調査した結果、軽自動車用の概略寸法は以下の如くで、今回の研究開発の目標と略同じであることが分かった。

- ・軽自動車用： 外径 $\phi 80.0$ 内径 $\phi 55.0$ 底面厚み 3.5
底面角R 0.8~1.4

尚、調査したリングには各箇所切削機械加工の痕跡が認められた。

1-1-5 リングの製造方式と研究開発の動向

カーエアコン用電磁クラッチのフィールドコアコイル組みのリングは、川下企業の国内製造願望により冷間鍛造工程の工程削減努力が行なわれてきたが、加工精度が悪く精度の面で顧客要求に応えることが困難であった。精度を改善するには冷間鍛造工程の後に更に切削工程を加えなければならないが、工程の追加はコストアップに繋がり川下企業の収益を圧迫して来ている。

又、リングに対する顧客（市場）ニーズは小型・軽量化であり、リング全体が減肉構造となっている為、リングの性能的使命である磁気回路が減少してきている。この性能低下ポテンシャルを克服するため顧客は、底面曲げR部を極力小さくする様に（具体的には1.5mm以下）、内径に対する外径の振れ0.1mm以下、外径の真円度0.025mm以下等の精度アップ要求を出して来ており、精度・コスト両面からの改善が必要となった。

これ等顧客（市場）ニーズに応えるには、工法転換を図り、一連のプレス工程で最終工程まで加工出来る様、厚板成形技術を高度化した板鍛造技術が必要となってきた。

1-1-6 金属加工プレス成形加工技術の研究開発動向

近年、素材である厚板（主に4~6mm）を、プレス加工によって高精度で複雑な部品形状に一体化成形する板鍛造技術が注目されている。

背景として川下企業の動向があるが、川下企業は円高及び東南アジア地区の経済的発展から地産地消を目指す一方、国内には仕事を残したいという願望が強い。その為には競争力アップが必要で、低コスト化、高付加価値化への研究開発が強く求められており、厚板鍛造技術（板鍛造技術）が注目されている。

一方の冷間鍛造技術も、最近複雑形状のニアネットシェイプ等高度化してきているが、要求される寸法精度を得るためには、鍛造後に切削・研磨等の後加工が必要で、低コスト指向にはマッチングしない面も多く、更なる技術開発が急がれている。

後加工の切削機械加工を不要とする板鍛造技術は、材料の流れ（内部の組織流れ）のまま部品形状を作るため、材料組織が切断されることが無く、繰返し負荷や衝撃荷重に強く、高強度、高信頼性を確保出来る大きな特長がある。尚、この特長点は世界中のあらゆる環境条件化（振動、寒暖、他）で使用される自動車用部品として不可欠な内容であり、正に板鍛造工法は自動車用部品として最適であると思われる。

1-1-7 研究の概要

自動車や産業機械に使用される電磁クラッチ内のリングを対象に、コスト、精度等で有利とされる厚板鍛造技術を高度化させ、工数削減により更なる低コスト化、材料歩留り率向上、短納期化を図る。従来の冷間鍛造+切削機械加工と今回開発する板鍛造プレスリング製作工程の比較を図 1-8 に示す。

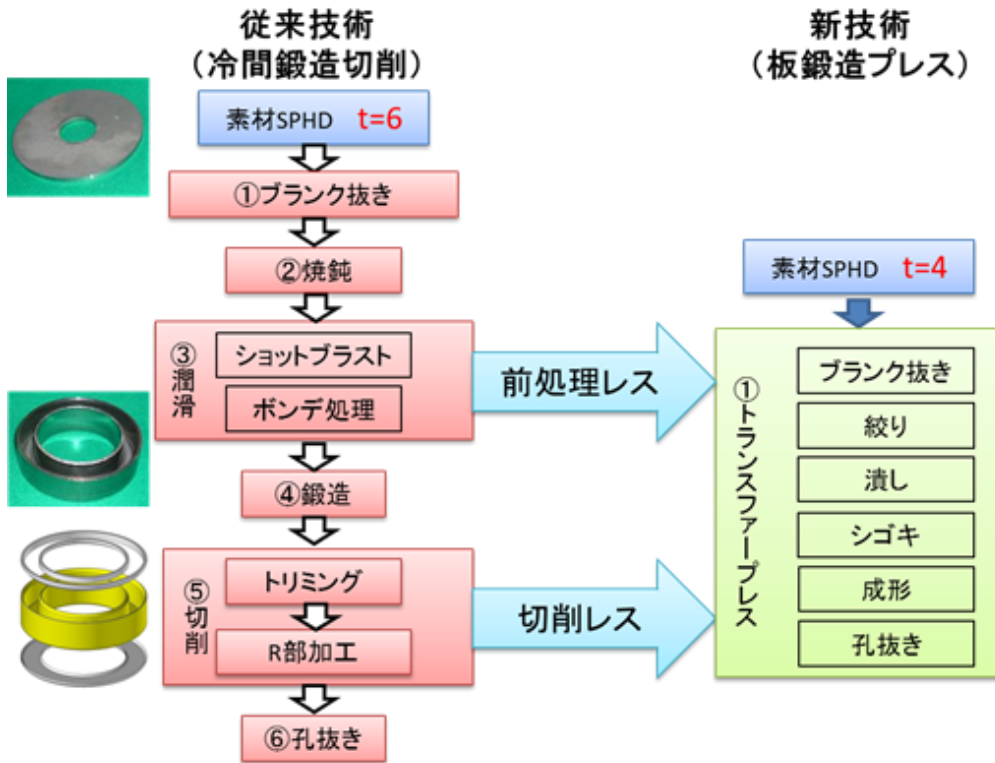


図 1-8 従来の冷間鍛造切削法と今回開発する板鍛造プレス法の比較

従来の冷間鍛造切削法は、

- ①後方押し出しのボリューム確保のため厚さ 6mm の素材を使用している
- ②冷間鍛造にかかわる工程が多い（焼鈍、潤滑）
- ③リブ高さ、底面角 R の精度確保のため冷間鍛造後に切削機械加工工程が必要
- ④冷間鍛造工程とは別に孔抜きプレス工程が必要

等の改善すべき点が挙げられる

本技術開発では、上記課題を解決するため、完成品の底面厚みと同じ 4mm の素材を使用し、板鍛造プレス工法のトランスファープレス 6 工程で、以下の研究テーマにて解決を図る。

- ① 基礎工程技術の開発
- ② 厚板成形技術の高度化で要求されるプレス機械の開発
- ③ プレス金型の高強度化と耐久性向上技術の開発

- ④ プレス成形技術の開発
- ⑤ 最適量産化技術の開発

1-1-8 研究目的及び目標

本研究の目的は、カーエアコン用コンプレッサーの電磁クラッチを構成するリングを対象としたプレス加工技術の高度化であり、プレス工数の大幅削減と切削機械加工を不要とすることで、「材料歩留りの向上：歩留り 99%」、「低コスト化：削減率従来比 40%」、「短納期化」を実現することである。研究テーマ毎の技術的目標は以下の如くである。

- ① 基礎工程技術の開発：
 - ・ トランスファープレス 6 工程で成形出来ること。
- ② 厚板成形技術の高度化で要求されるプレス機械の開発：
 - ・ 素材板厚 4mm の厚鋼板を、複数工程で成形実施可能な、大負荷対応のプレス機械を開発する。

表 1-2 高精度プレス機の仕様

ボルスターサイズ	2500×1000mm 以上
ボルスター厚み	180mm 以上
ボルスターとスライドの平行度	左右方向 0.320mm 以下 前後方向 0.120mm 以下
加圧能力	2000 k N以上
ストローク長	300mm 以上

- ③ プレス金型の高強度化と耐久性向上技術の開発：
 - ・ 金型寿命 300 万回以上
(冷間鍛造プレス金型の主要金型部品寿命 10 万回以上)
- ④ プレス成形技術の開発
 - ・ 製品（リング）の要求仕様

表 1-3 目標寸法

底面角 R	1.5mm 以下
底面厚み	4.0mm
リブ高さ	20.0±0.3mm
底面の平面度	0.1mm 以下
内径	φ 55.1 +0.08m -0.04
外径	φ 82.5±0.1mm
内径に対する外径の振れ	0.1mm 以下
外径の真円度	0.025mm 以下

⑤ 最適量産化技術の開発

- ・ 素材量、工数、コストを含めた最適量産プロセスを確立する。
 - ・ コスト削減率は、従来比 40%。
 - ・ 年間 180 万個の生産が可能なこと。

1-2 研究体制

1-2-1 研究組織・管理体制

本研究開発における組織・管理体制を図 1-9 に示す。

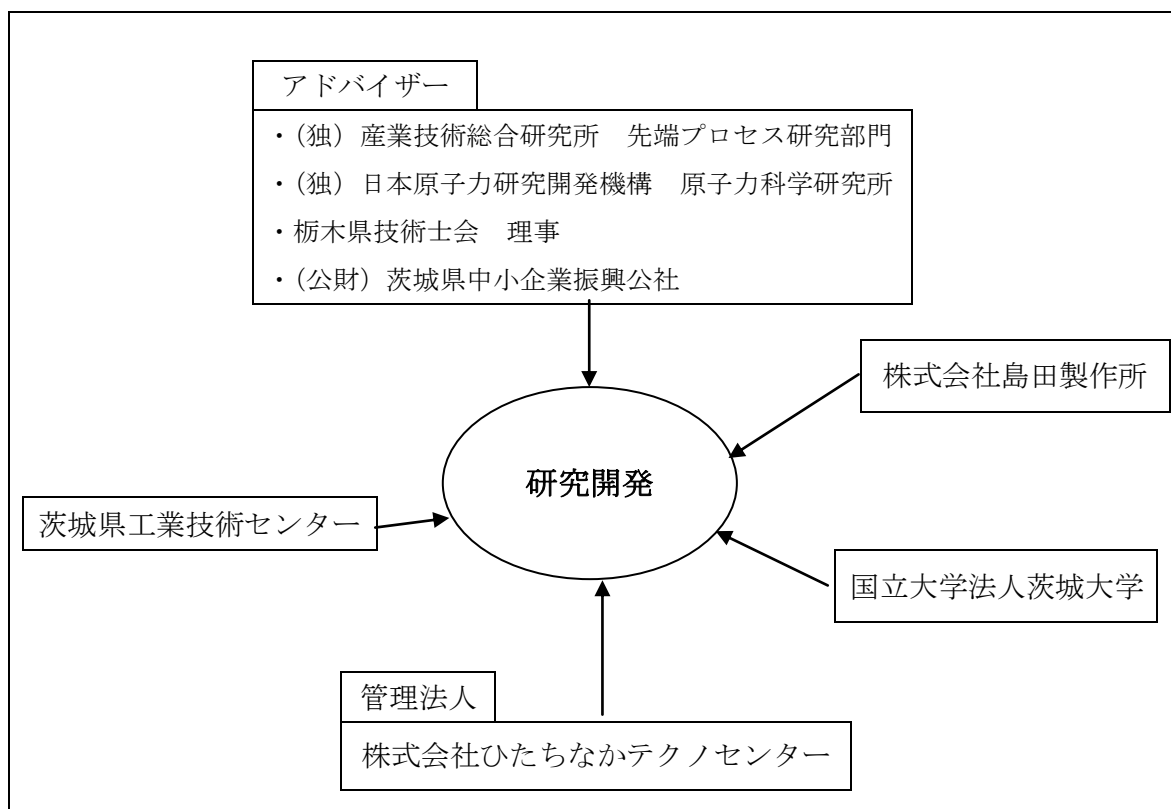


図 1-9 研究開発組織・管理体制

1-2-2 研究者氏名及び協力者氏名

本研究開発における研究者氏名及び協力者氏名を表 1-4 に示す。

表 1-4 本研究開発の研究者氏名及び協力者氏名

氏名	所属・役職	備考
福永 一哉	株式会社島田製作所・代表取締役社長	
藤田 稔	株式会社島田製作所・副工場長	P L
菅 君春	株式会社島田製作所・品質保証部部长代理	S L
中山 正司	株式会社島田製作所・技術課技師	
堀川 一二	株式会社島田製作所・技術指導員	
西野 創一郎	国立大学法人茨城大学大学院理工学研究科・准教授	
齋藤 和哉	茨城県工業技術センター 先端材料部門・部門長	
上田 聖	茨城県工業技術センター 先端材料部門・技師	
石川 裕理	茨城県工業技術センター 先端材料部門・技師	
谷萩 雄一郎	茨城県工業技術センター 技術融合部門・主任	
清水 透	独立行政法人産業技術総合研究所 先端プロセス研究部門 難加工材成形研究グループ・主任研究員	アドバイザー
岸 敦夫	独立行政法人日本原子力研究開発機構 東海研究開発 センター 原子力科学研究所 ・技術士（機械部門）	アドバイザー
梁島 宏光	栃木県技術士会・理事 株式会社栃木エンジニアリング・顧問	アドバイザー
宇都木 勲	公益財団法人茨城県中小企業振興公社 チーフ総括テクノエキスパート	アドバイザー

1-3 成果概要

1-3-1 基礎工程技術の開発

一般的な従来プレス成形技術で当該品リングの工程設計を行うと、11 工程が必要となり、コスト低減を図るためには大きな障害となる。今回の研究開発で、従来の冷間鍛造技術とプレス成形技術を融合し、高度化させた「厚板成形技術」により、大幅な成形工程の低減（11 工程→6 工程）を実現出来、低コスト化の見通しを得た。

6 工程化を実現するため、まず基礎試験として引張試験で材料物性（真応力値）を把握しシミュレーション解析に反映させた。

シミュレーション解析は、絞り工程～成形工程全てについて行なったが、その前の作業として使用するブランクサイズ の計算を行なった。素材板厚 4.0mm での 3DCAD 計算では、内径φ 33.3mm 外径φ 94.3mm となり、このブランクサイズを基本として次にシミュレーション解析を進めた。

シミュレーション解析結果は実験トライ結果と略合致しており、シミュレーション解析が金型設計及び必要加圧力（荷重）解析に有効なツールであることが分かった。

1-3-2 厚板成形技術の高度化で要求されるプレス機械の開発

素材板厚 4mm の厚鋼板を、複数工程で成形実施可能な、大負荷対応のプレス機械を目標とし、プレス機の機構・剛性・最大圧力・ストローク・ダイハイト・位置精度・下死点能力等の研究開発に必要なプレス機の仕様を検討した結果、デジタル制御式サーボプレスに決定、導入した。

又、導入後は作業員への操作・安全教育を実施し、試作金型を用いた試運転を行い、同時に動作検証を進めた。

1-3-3 プレス金型の高強度化と耐久性向上技術の開発

工程集約率の高い絞り工程において、従来技術で設計した金型でトライした所「ワークが取り出し困難」との現象が発生した。金型に掛かる負荷を再度シミュレーションで確認した結果「負荷大→金型応力大」が判明し、金型の構造変更を行なった。

新設計金型は、材料を「超硬+S KD+S CM」の 3 ピース、2 重焼き嵌め方式として、内側でワークと接触する超硬型表面には、チタン系の多層膜を CVD コーティングすることで、摩擦の減少と耐摩耗性の向上を図った。これ等研究開発によりワークは安易に取り出すことが可能となった。

1-3-4 プレス成形技術の開発

シミュレーション解析を反映し製作した金型を用い、導入したデジタル制御式サーボプレスにて成形実験を行なった。実験はサーボプレスのフリーモーション機能 2 パターンを駆使して行ない、成形荷重合計約 360 トン、成形品外観・寸法・断面調査等問題無し、との結果が得られ、当初目標とした 11 工程→6 工程への集約化が出来る見通しを得た。

又、量産時を想定し素材板厚ばらつきの影響について検討を加えた。板厚ばらつきにより 3 種類のブランク抜き金型を準備する必要があると当初考えたが、実際に購入する当該材料の板厚ばらつきは±0.02mm 程度と思われ、金型交換は不要と考えている。

1-3-5 最適量産化技術の開発

導入したデジタル制御式サーボプレスを中心に量産工程を検討すると、6 工程のトランスファー方式での成形は研究開発の結果、十分可能と考えられる。前工程としてアンコイラ（材料供給装置）、搬送装置、後工程の洗浄装置、等が必要となるが、随時 必要設備を設置し工程を整える予定である。

次いで本研究開発技術を採用した厚板成形ラインによる生産と、従来工法（冷間鍛造+切削機械加工）による生産、を量産性の観点で比較検討した。工数予想では人員配置 2.9 人

→1.5人、その他リードタイム、仕掛け、の全てが大幅に低減する。

又 量産品のコスト評価では、材料費、加工費の大幅低減により、トータルコスト削減率40%が可能となる。

1-3-6 プロジェクトの管理・運営

研究開発の進捗状況を把握・検証するとともに、事業化に向けての課題、解決策を議論し調整を行なう全体会議を月1回以上開催し、併せてアドバイザー4名出席の研究開発委員会を計3回実施した。

以下に研究開発の進捗工程の実績を示す。各実施内容は略計画通り推移したが、デジタル制御式サーボプレス導入が約1週間遅れたため、その後の研究開発が遅れ気味であった。しかしながら研究開発後半は委員全員の結束で遅れを吸収し、全項目の開発を実施することが出来た。

表 1-5 本研究開発の進捗工程の実績

実施内容	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月
①基礎工程技術の開発	工程の集約化検討（成形シミュレーション、試作金型トライ）										
②厚板成形技術の高度化で要求されるプレス機械の開発	仕様検討				製作			プレス機導入			
③プレス金型の高強度化と耐久性向上技術の開発	金型変形シミュレーション・高剛性金型の設計・表面処理検討										
④プレス成形技術の開発	厚板成形予備実験・最適条件の検討・試作品の評価										
⑤最適量産化技術の開発									量産プレス検討・コスト評価		
⑥プロジェクトの管理・運営	プロジェクトの管理・運営										
研究開発推進委員会			5/10			8/23			11/27		
成果報告書作成			○			○			○		

1-4 当該研究開発の連絡窓口

当該研究開発の連絡窓口

名称：株式会社ひたちなかテクノセンター

住所：茨城県ひたちなか市新光町38番地

連絡担当者：企業支援部課長 小松崎 和久

TEL：029-264-2200

FAX：029-264-2203

E-mail：komatsuzaki@htc.co.jp

第2章 研究開発実施内容・成果

2-1 本研究開発の概要

2-1-1 従来工法の概略

カーエアコン用電磁クラッチ部品であるリングは従来「冷間鍛造加工」により成形し、切削加工により最終形状を確保する製法で製品化されるのが一般的とされていた。その工法の概略を図 2-1 に示す。

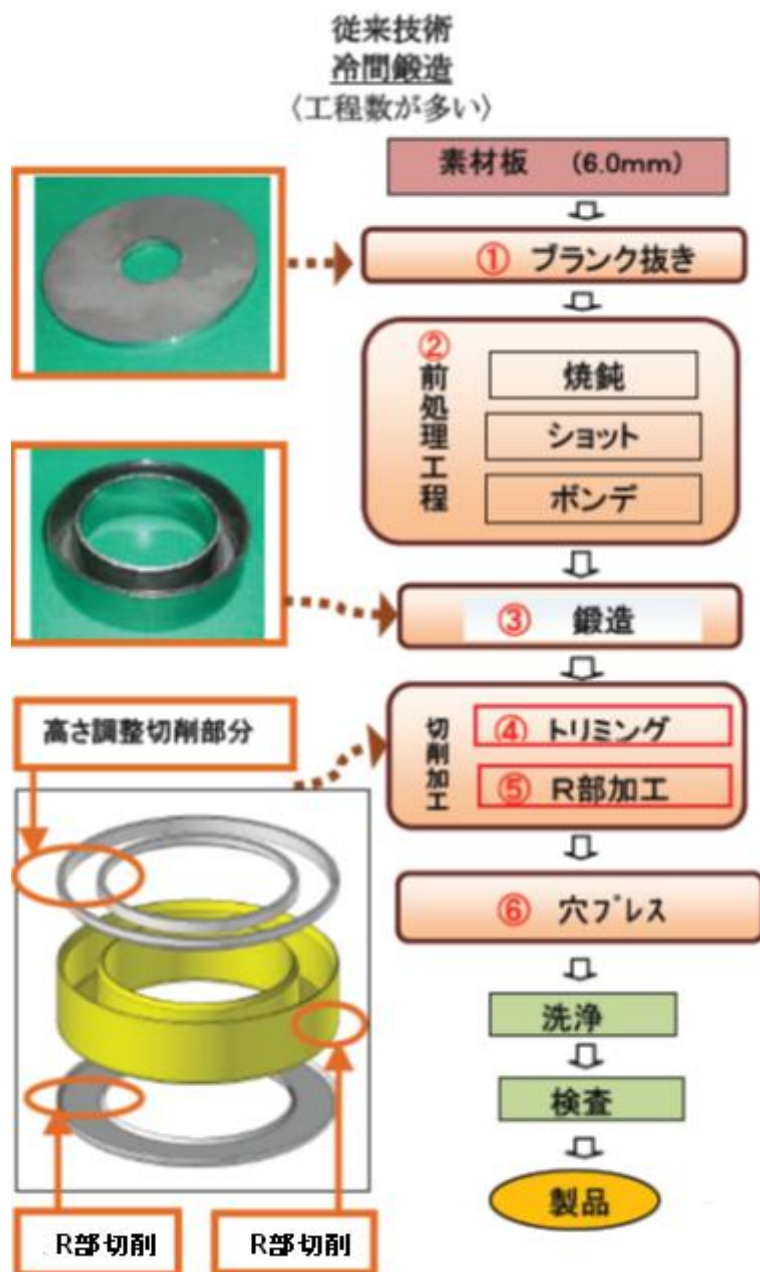


図 2-1 従来工法の概略

「冷間鍛造加工」では①プレスによるブランク成形、②冷間鍛造に必要な前処理（焼鈍、ショットブラスト、ボンデ処理）、③冷間鍛造成形、切削加工による④トリミング及び⑤R部加工、⑥プレスによる孔抜き等の分野の異なる加工技術と加工設備を必要とする。加工には時間とエネルギーが大量に必要なこと、環境負荷が大きいことに加え、切削による材料の削除が必要な為、材料歩留りが悪くコストアップの大きな要因となっていた。更には打ち抜きプレス、焼鈍設備、ショットブラストマシン、ボンデ処理装置、冷間鍛造プレス、切削機械、廃水処理等多くの高額な投資が必要となり、設備償却費もコスト競争力を低下させる大きな要因となっていた。

2-1-2 プレス成形技術の課題

冷間鍛造ではなく、厚板を使用したプレスによる成形工法により短工程、短時間での成形技術を確立し低コストで市場競争力のある製品を開発する為には次の様な課題を解決しなければならない。

- (1) プレス成形後の2次切削の廃止（リング高さの精度確保）
- (2) 底面角R1.5以下のプレス成形精度の達成（有効磁気回路の確保）
- (3) 1台のトランスファープレスで成形できる工程設計（成形工程の集約）

前記(1)～(3)の課題を解決すべく各種の実験検討を行い「単一金型への複数工程の集約化」を実現できれば省エネルギー、低コスト化の見通しが得られる。

2-1-3 単一金型への複数工程の集約化

一般的な従来のプレス成形技術を用いて本製品を成形製作しようとする図 2-2 のような工程（11工程）が必要となる。11工程のトランスファープレスでは、プレス装置内に全行程を乗せるスペースの確保が必要で、不足する場合は複数台のプレス機を連結する必要がある。複数台を連結すると、一番遅い装置に合わせ全体の稼働率が下がってしまうという問題がある

また工程数分の金型を必要とし、それに応じた投資額が掛かる。工程数が増えると段取り替えの作業工数も多くなる。

コスト低減を図る上でこれらの課題は大きな障害となる。今般、従来の冷間鍛造技術とプレス成形技術を融合させ、絞り技術、シゴキ技術を高度化させた「厚板成形技術」を検討開発し、成形工程の大幅な縮減（11工程→6工程）を研究開発する。

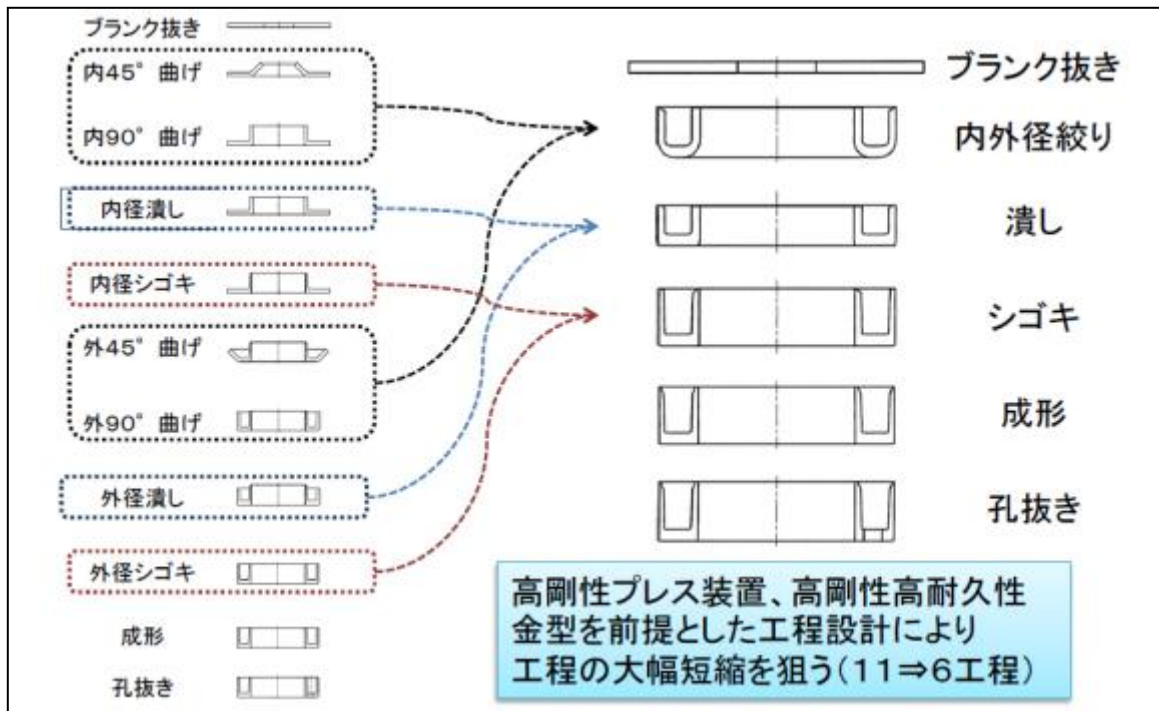


図 2-2 複数工程の集約化

工程の集約は次のような工程設計に基づき検討、研究を進めることとした。

- (1) 内径、外径の曲げ加工を別々に 45° 曲げ、90° 曲げと 2 回に分け合計 4 工程としていたものを金型の改良により 1 工程での絞り加工に集約する。
- (2) 内径潰し、外径潰しと 2 工程で行うとしていたものを同時に 1 工程で実行する。
- (3) 内外径は同時にシゴキ、1 工程に集約する。
- (4) 成形、孔抜きは各々 1 工程する。

工程設計、金型設計の検討、研究を進めるに当たっては研究実施機関で協力者である「茨城大学」及び「茨城県工業技術センター」がシミュレーションにより解析した成形応力、残留応力、必要荷重等の基礎データを参考にして島田製作所が単発の金型を設計製作し、厚板成形による工程集約の成形実験を行った。

2-2 基礎工程技術の開発

2-2-1 シミュレーションに必要な材料応力確認

シミュレーションに当たっては、リングの成形材料である熱間圧延鋼板（SPHD）について材料の機械特性を知る必要があることから、①ロール目方向、②ロール目 45° 方向、③ロール目 90° 方向の引張試験片を採取し引張試験を行った。

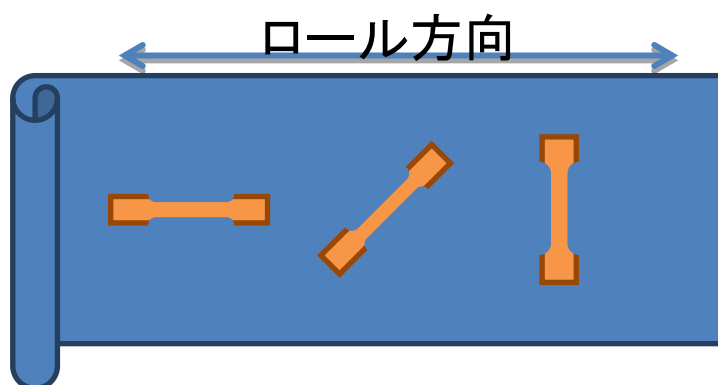


図 2-3 試験片採取方法

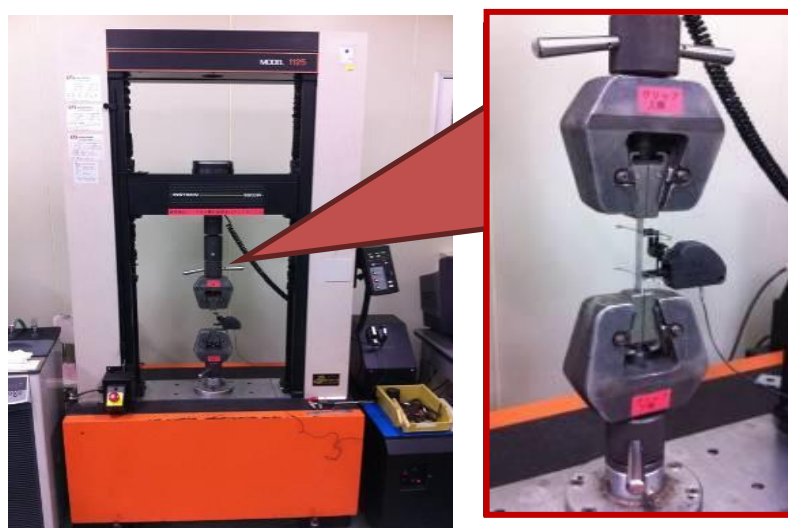


図 2-4 試験の様子

引張試験の結果、ロール方向の特性の異方性はほとんどないことが判明した為、代表の測定値そのまま真応力への変換し、その値をシミュレーションに使用した。

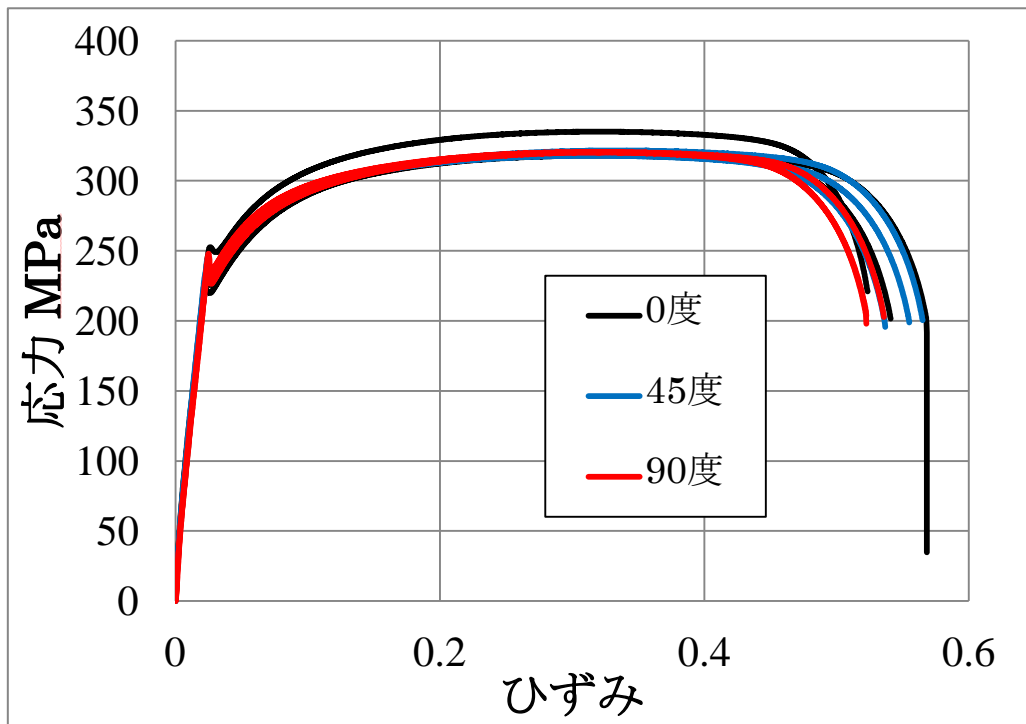


図 2-5 引張試験結果

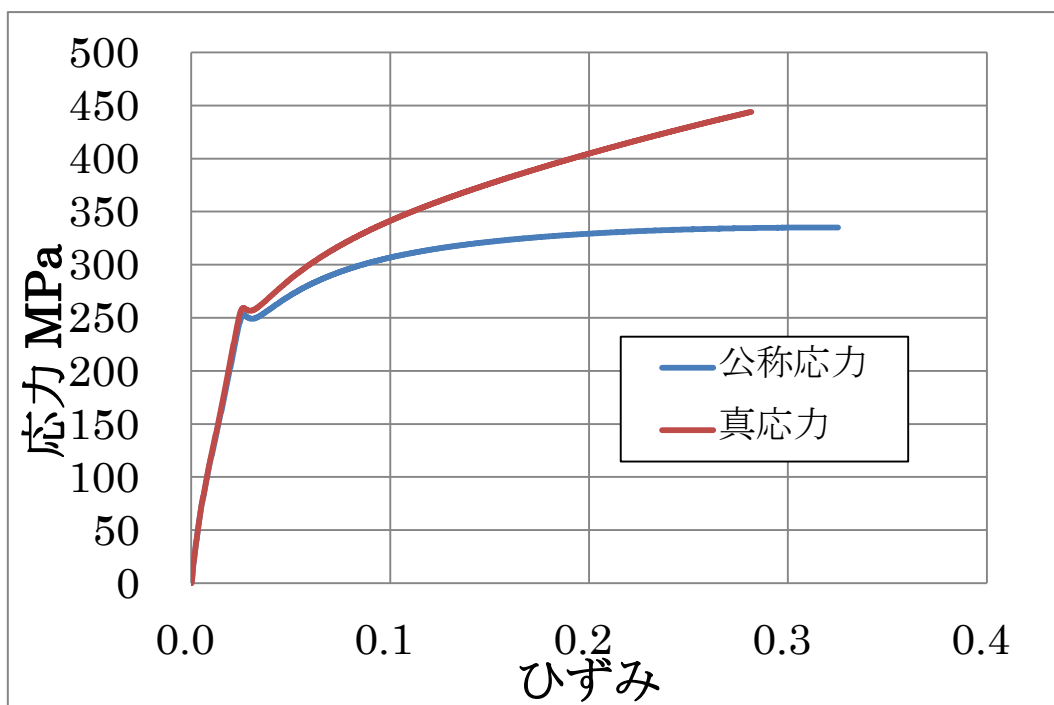


図 2-6 試験結果の真応力への変換

2-2-2 ブランクサイズの計算

まず、製品の内径φ55と外径φ82.5のほぼ中間の径φ69で径方向へ材料の移動がないと仮定し、3Dモデルでφ69よりも内側と外側の容積を3DCADで計測した。計測値からブランク内径及び外径を算出した。

$$\pi/4 \times (D_m^2 - D_i^2) \times t = V_i$$

$$D_i = (- (V_i \times 4 / \pi / t - D_m^2))^{0.5}$$

$$\pi/4 \times (D_o^2 - D_m^2) \times t = V_o$$

$$D_o = (V_o \times 4 / \pi / t + D_m^2)^{0.5}$$

D_m : 中間径 φ69

D_i : ブランク内径

D_o : ブランク外径

V_i : D_m よりも内側の容積

V_o : D_m よりも外側の容積

t : 素材板厚 (4.0mm)

算出した結果、内径φ33.3mm、外径φ94.3mmとなった。



図 2-7 計算結果を基に作製したブランク

2-2-3 絞り工程のシミュレーション結果

内外径を同時に 1 回で絞った場合の形状、必要荷重、金型に発生する応力についてシミュレーションを実施した。

(1) ブランク形状と絞り品内外リブ高さの関係

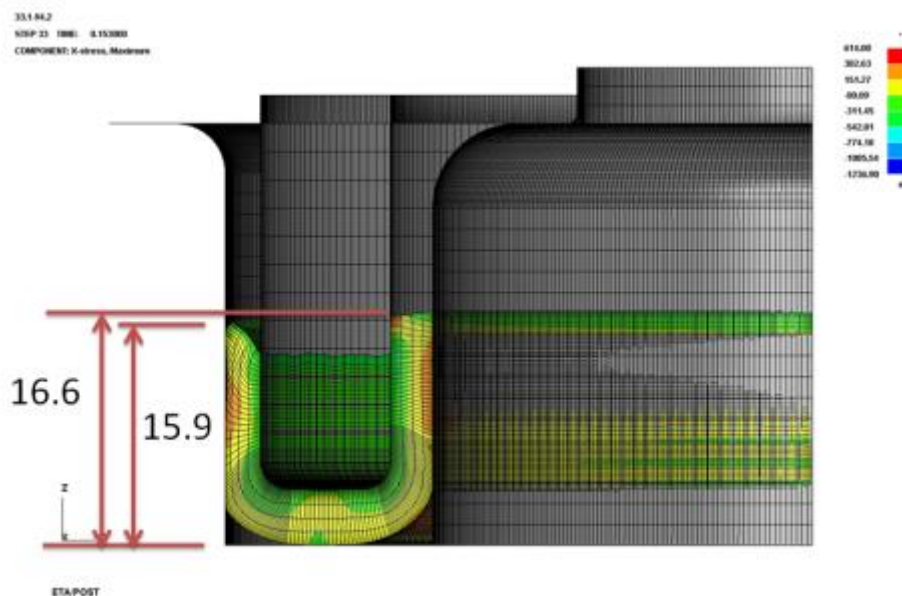


図 2-8 絞り工程のリブ高さ（ブランク内径 $\phi 33.3$ 、外径 $\phi 94.3$ 、 $t = 4$ ）

ブランクの孔径を大きくすると内リブの高さが低くなり、ブランクの外径を大きくすると外リブの高さが高くなる。これは内外リブの立ち上りの位置の間を基準にブランクの孔側の肉（材料）は内リブの高さに寄与し、ブランクの外側の肉（材料）は外リブの高さに寄与するものと考えられる。内外リブの高さはブランクの内外径を要請することで一致させることができ機械加工を不要とすることが可能である。

上記のシミュレーション結果より、計算で求めたブランク寸法が問題ないことを確認できた。

(2) 絞り作業発生荷重のシミュレーション結果

内外リブを曲げるのに必要な荷重はそれほど大きくはないが、内外リブを出すために板厚を減少させる際に大きな荷重を必要とする。シミュレーションでの荷重計算グラフにおいて、最大荷重の 46t 程度で推移しているところは、板厚を減少させている部分と考えられる。図 2-10 に板厚減少している様子を示す。赤丸で囲まれた部分で板厚減少している様子がわかる。

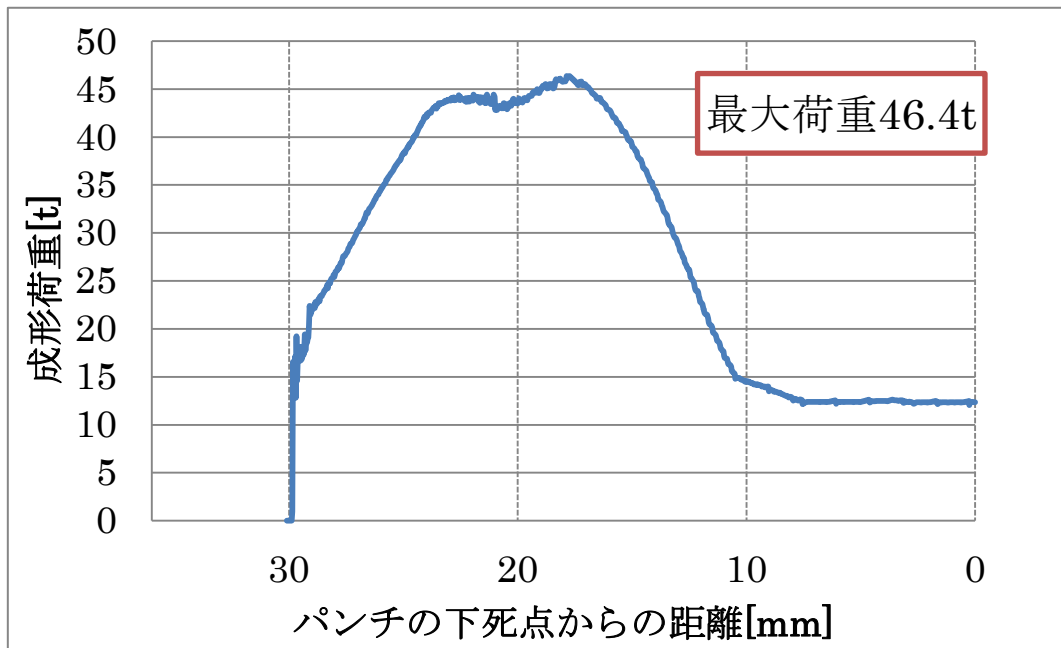


図 2-9 絞り工程の成形荷重

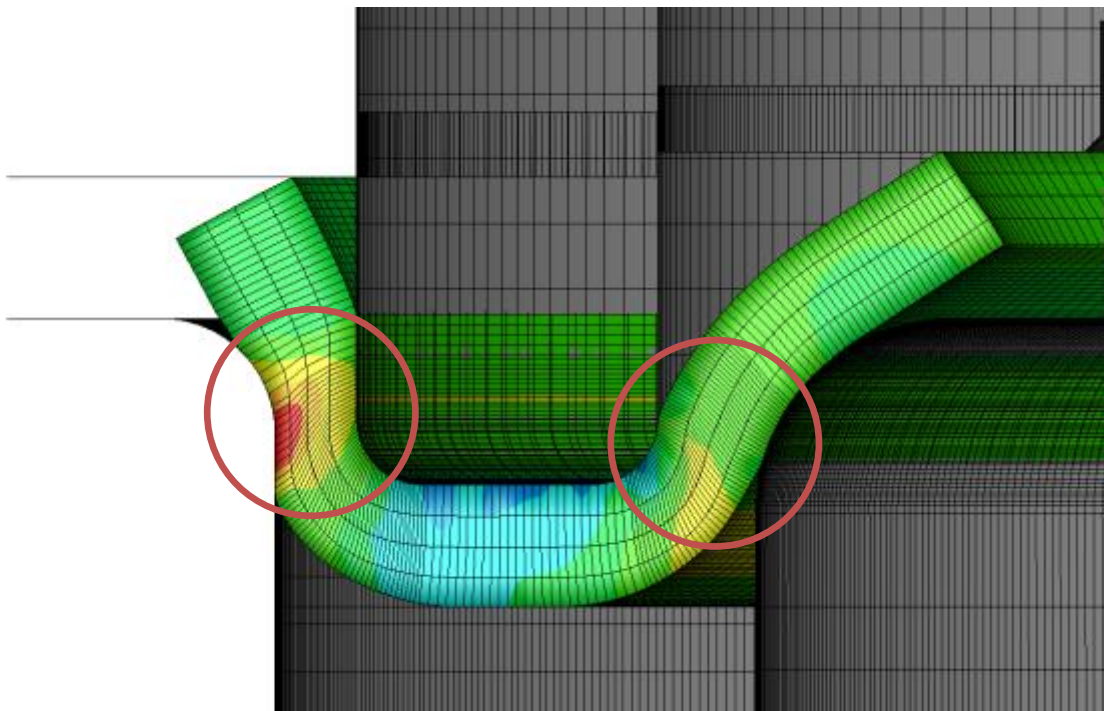


図 2-10 絞り加工-板厚減少の様子

(3) 絞り圧力分布からみた金型設計での注意点

金型の入口のR部及びパンチ角R部で大きな負荷が発生しており、この部分の金型の摩耗が大きくなると予想されるため、表面処理などの施工が必要と考えられる (図 2-11)。ま

た、成形加工中に金型を拓げるような大きな応力が発生する為金型の剛性が重要である（図 2-12）。金型設計に当たっては耐摩耗性に優れ、且つ剛性の高い材料、構造、表面硬化処理が必要である。

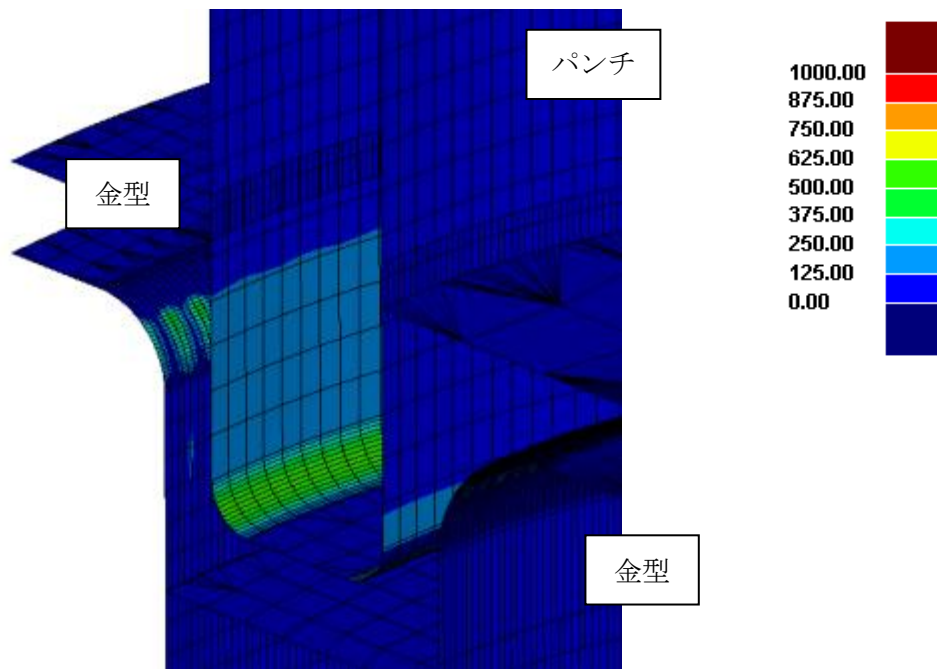


図 2-11 絞り工程の金型負荷

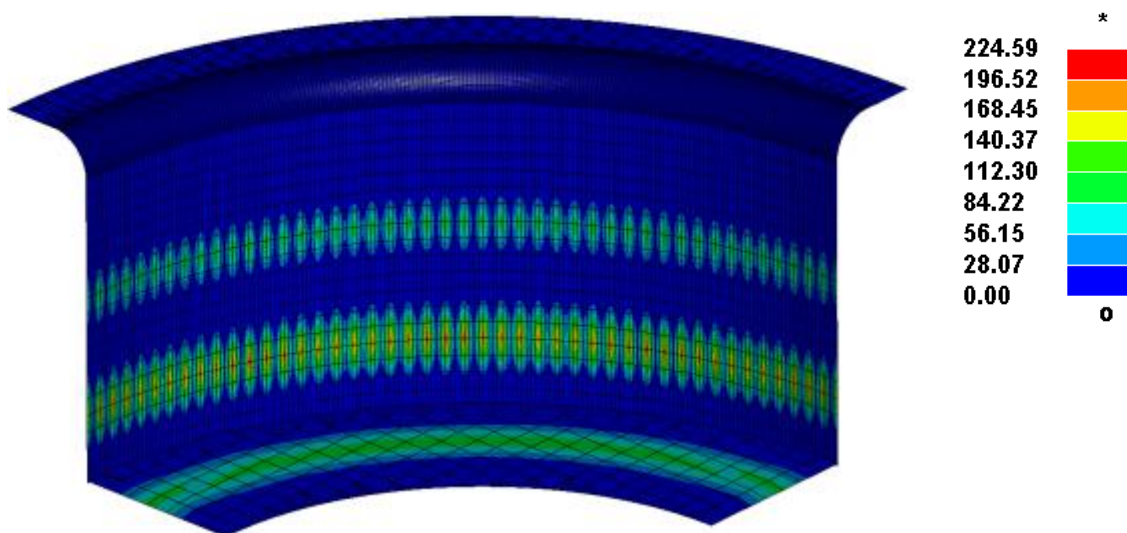


図 2-12 絞り工程の金型負荷（ブランク接触面の外側と底部のみ表示）

2-2-4 潰し工程のシミュレーション結果

潰し工程は絞り工程で成形したブランクの底角部の角 R を小さくする。

(1) 事前検討実験のシミュレーション

想定していた金型では、内外リブの高さと肉厚を揃え、底角部の角 R を小さくすること

を目的に金型を閉塞的に設計した。この金型によるシミュレーションを行ったところ、内外リブは上部まで金型内に十分に材料が充填されているが、内側角部において、材料の折れ込みが発生することが分かった。本シミュレーションでは破断を再現することができないため折れ込まれているが、発生している応力が非常に高いことから実際には破断してバリが発生することが推測できる。(図 2-13)

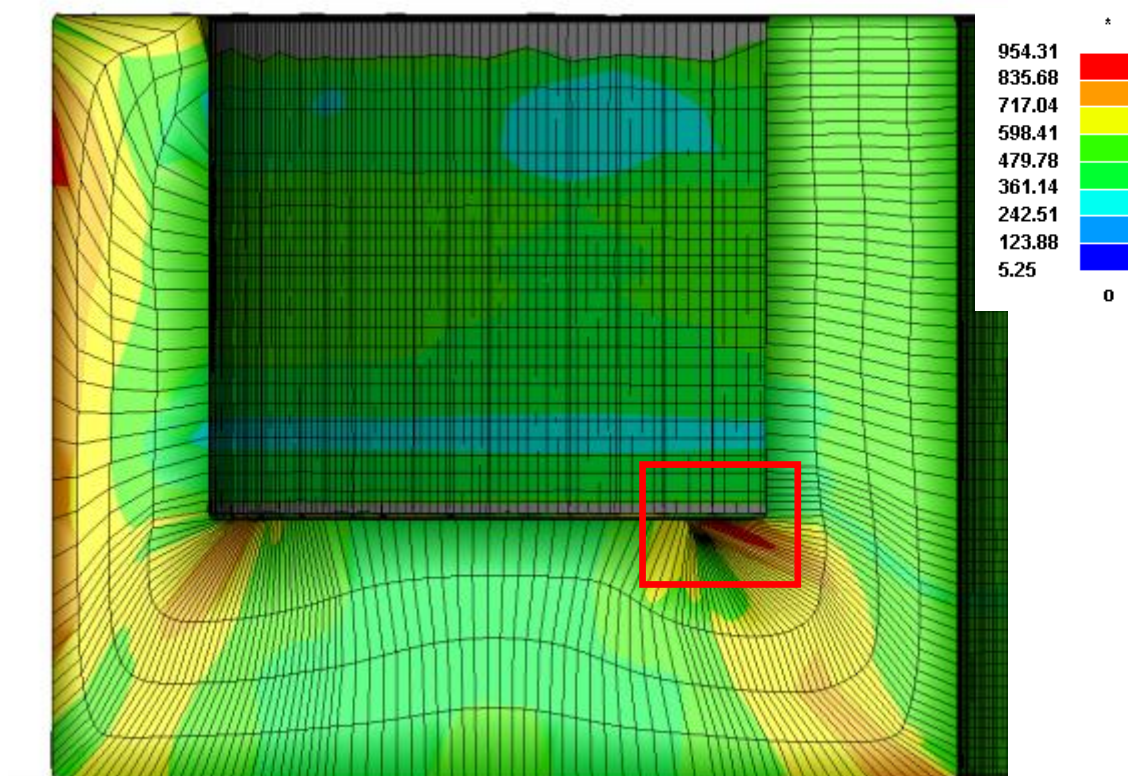


図 2-13 事前検討実験と同等の条件でのシミュレーション

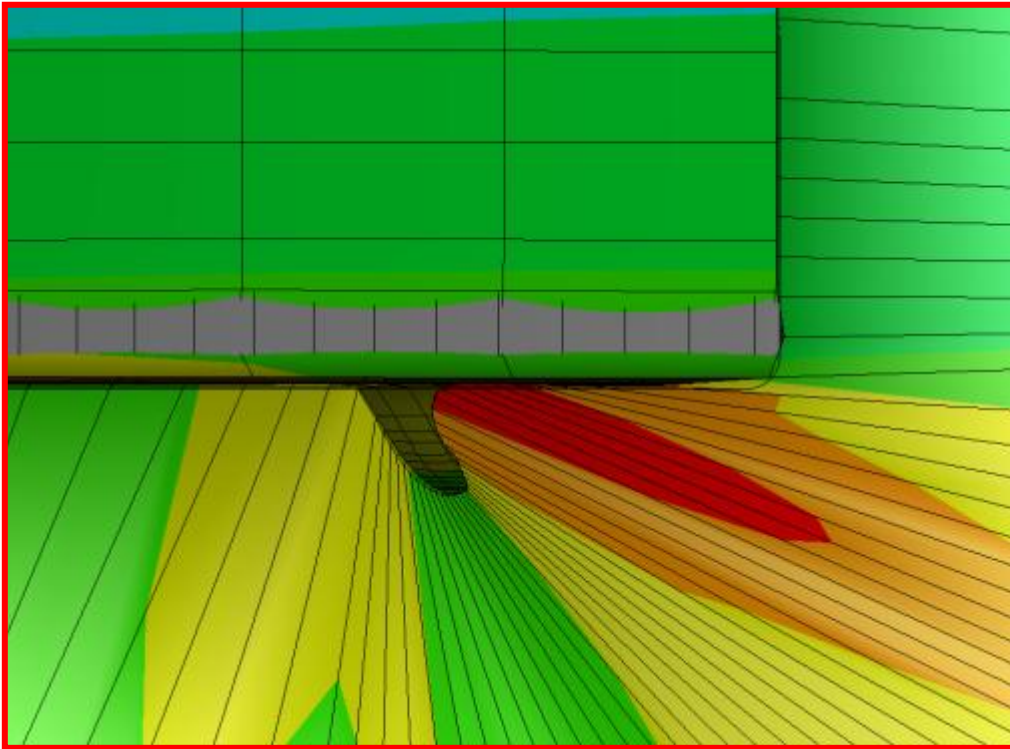


図 2-14 図 2-13 拡大

本シミュレーション結果より、潰し量（プレス機のスโตรーク）を調整することで折れ込みを防止できると予想されるため、潰し量と成形の関係を確認することにした。

(2) 潰し量と角部 R との関係

当初はパンチとダイの面が合うまで潰しているが、パンチとダイにギャップ（隙間）を持たせることで底角部の角 R を小さくするとともに折れ込みの防止を図った。

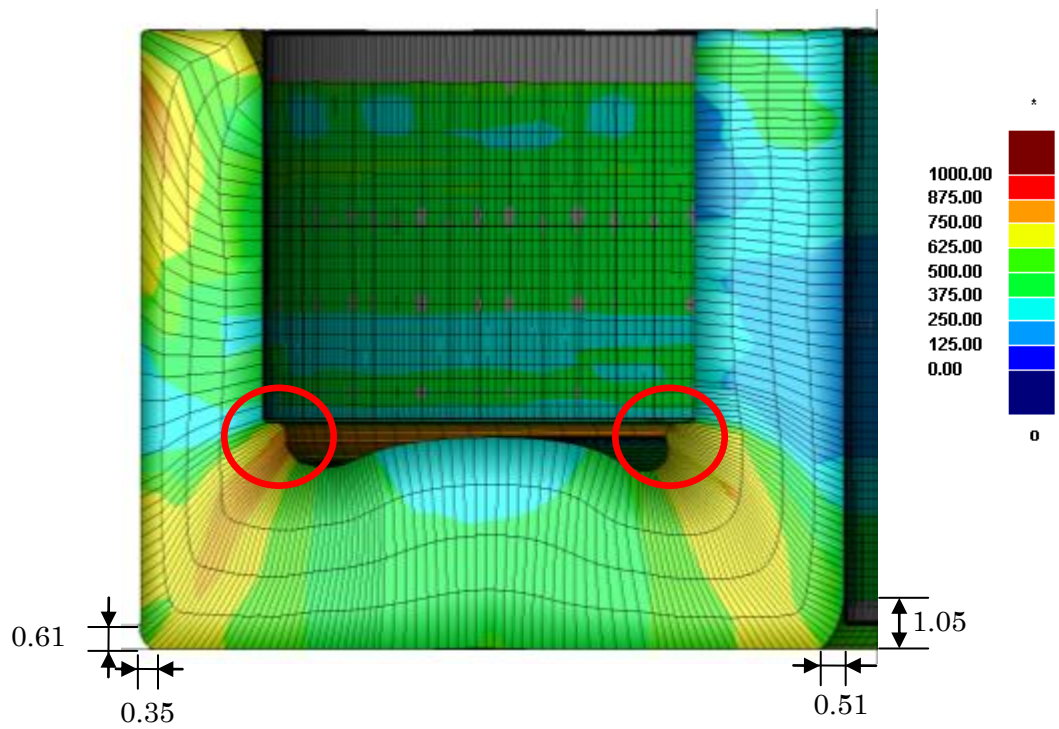


図 2-15 潰し量と角 R の関係 (ギャップ 0.5mm)

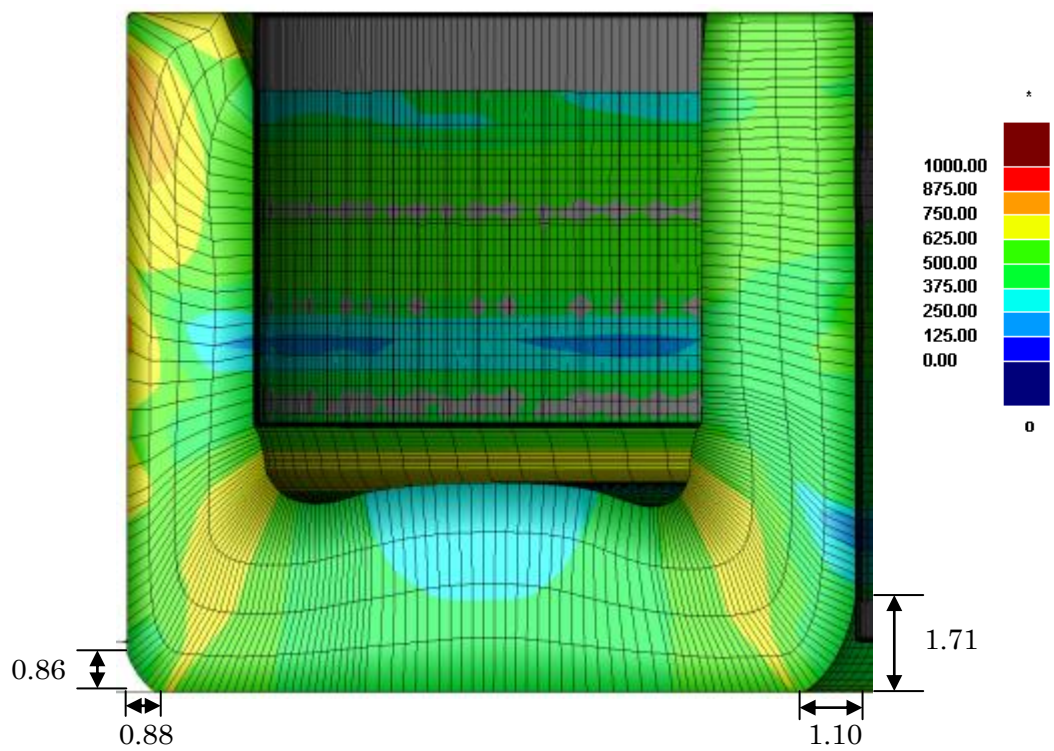


図 2-16 潰し量と角 R の関係 (ギャップ 1.0mm)

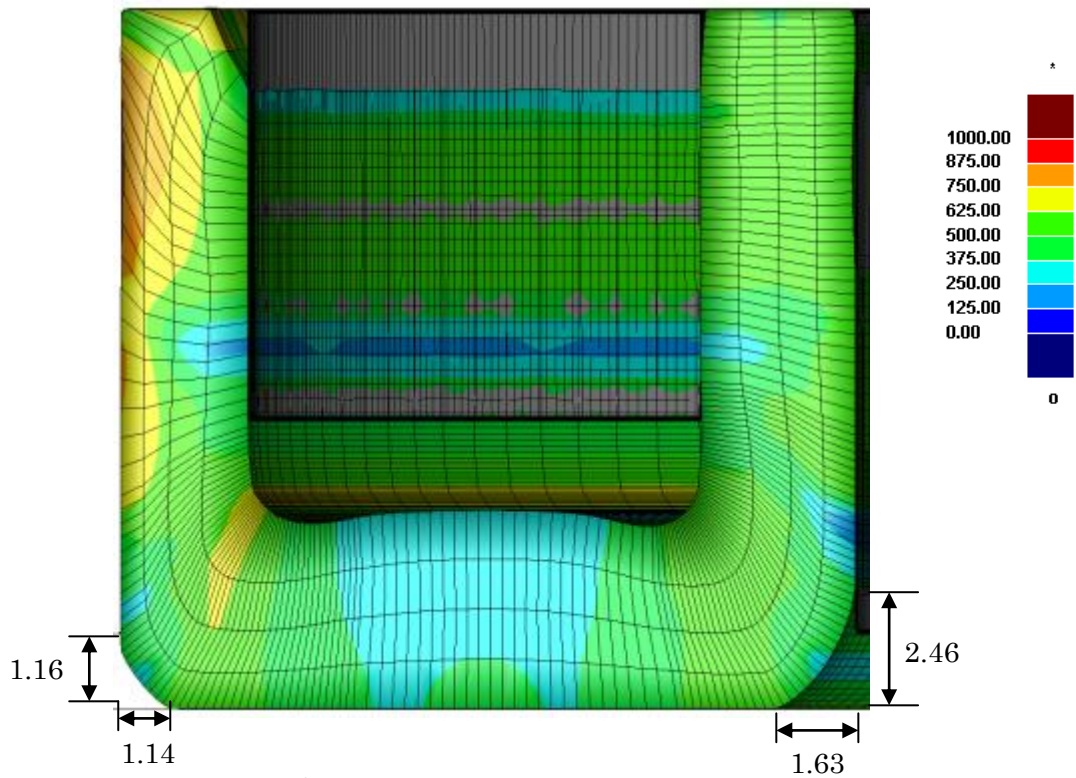


図 2-17 潰し量と角 R の関係 (ギャップ 1.5mm)

角 R を必要以上に小さくしようとして潰し量を大きくする (ギャップを小さくする) と、その際に内外リブの肉厚が増加し、余肉がワーク底面部とパンチの隙間に流れ込み、さらに潰されて折れ込みが発生してしまう (図 2-15 赤丸部)。折れ込みを防止するために潰し量を小さくする (ギャップを大きくする) と、角 R は大きくなり目標の寸法を得ることができない。

上のシミュレーション結果より、角 R をなるべく小さくするとともに折れ込みを防止するための潰し量は、ギャップ 1.0mm 程度にすることが最適であることが分かった。

(3) 潰し作業発生荷重のシミュレーション結果

潰し量をギャップ 1.0mm にした場合のシミュレーションの成形荷重を求めると、最大 125t 程度の大きな荷重が必要であることが分かった。これは使用する金型を「閉塞的」な構造としているため、金型の隅々まで材料が充填し、様々な拘束が働いてしまうためであると考えられる。

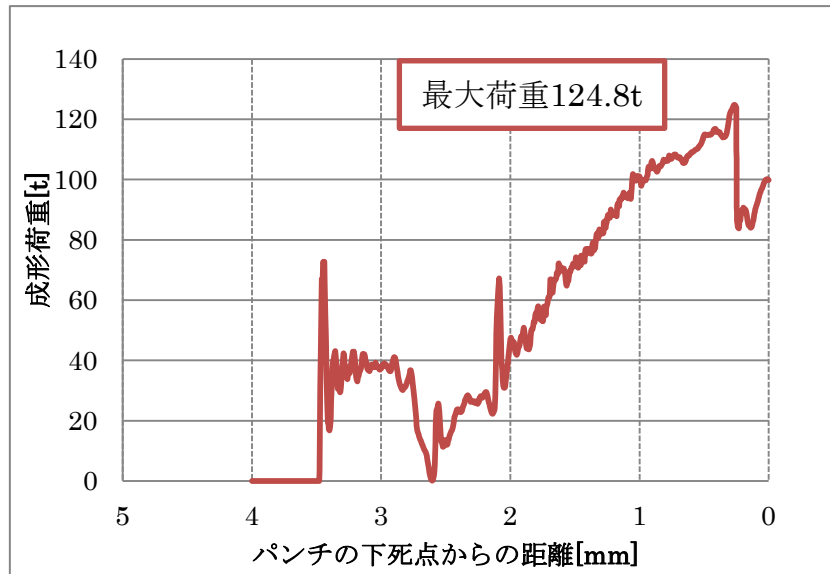


図 2-18 潰し工程の成形荷重

(4) 潰し圧力分布からみた金型設計上の留意点

内外リブの先端部分に接触する箇所では大きな荷重がかかり、角部の応力集中によって金型が破損し易くなる懸念が有るため、角部にRを付けることや金型の構成パーツを分けることにより、応力集中を軽減して金型の破損を防止する対策が必要である。

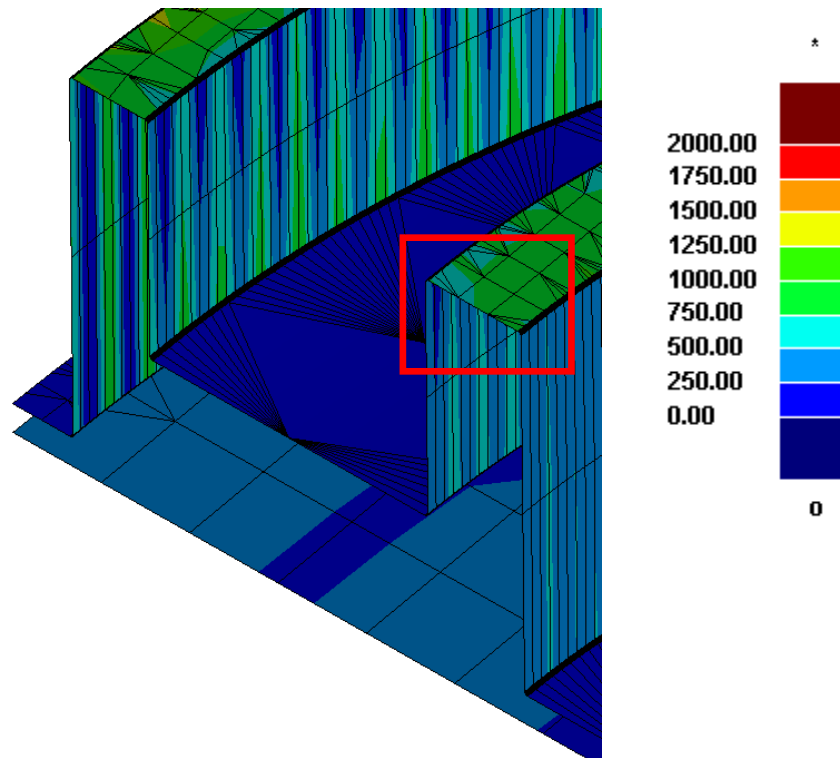


図 2-19 潰し工程の金型負荷

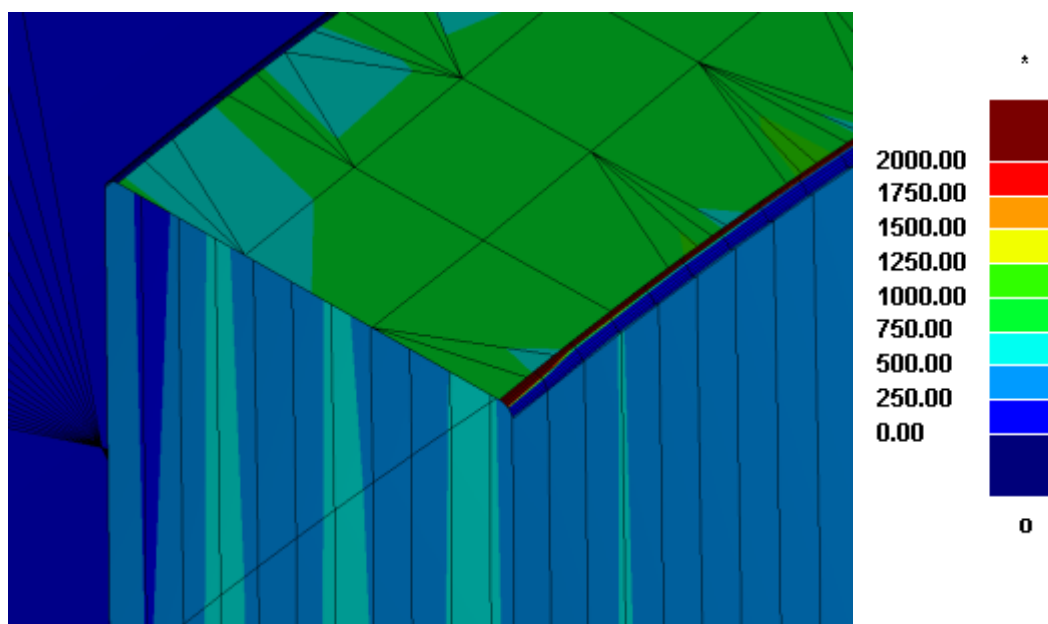


図 2-20 潰し工程の金型負荷（角部拡大）

図 2-19～2-20 において、応力発生状況が縞状に増大しているが、これは、シミュレーションにおいて、ブランクのメッシュが金型のメッシュよりも粗くなっていることによるものである。

2-2-5 潰し工程の金型設計

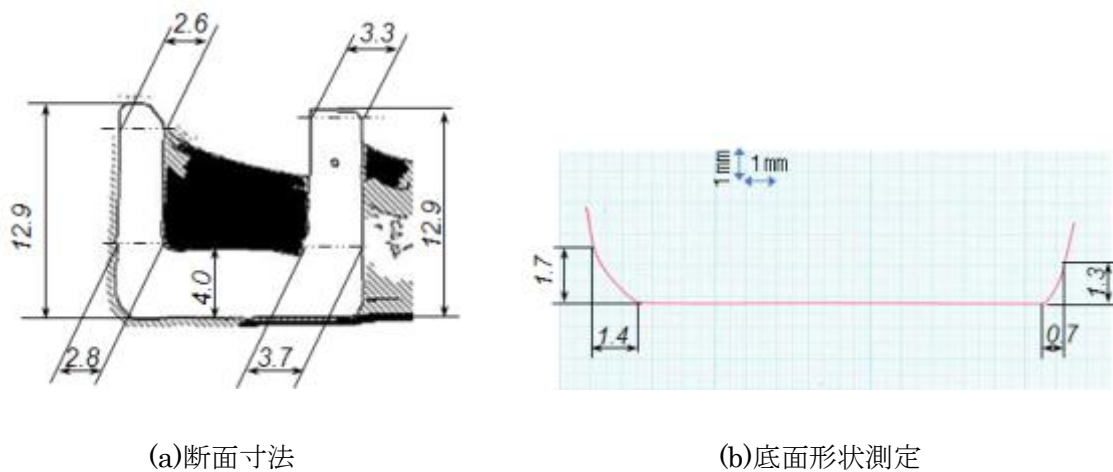
シミュレーションに基づき潰し金型を設計、製作し試作サンプルによる確認を行った。実験金型で製作したサンプルは角 R がほぼ製作図面通りに成形でき、R 成形の主目的である「磁気回路構成」に必要な体積は十分確保することができた。



図 2-21 潰し工程サンプル外観写真



図 2-22 潰し工程サンプル断面



(a)断面寸法

(b)底面形状測定

図 2-23 潰し工程サンプル寸法測定結果

2-2-6 シゴキ工程のシミュレーション結果

シゴキ工程は、内外リブを別々にしごいて所定の寸法にしあげる工法が一般的であるが、工程集約を図る為に内外リブを同時にシゴいて寸法が確保できないかシミュレーションで確認した。

(1) シゴキによる成形の確認

シミュレーションの結果、内リブと外リブの高さに差異が出たものの概ね寸法通りになった。しかし、潰し工程で得られた底部の平面度が乱れてしまった。これは金型とブランクの間に発生した大きな摩擦抵抗によって、角部付近の材料が持ち上げられてしまったことによると考えられる。この平面度の乱れは次工程の成形工程で修正を図る。

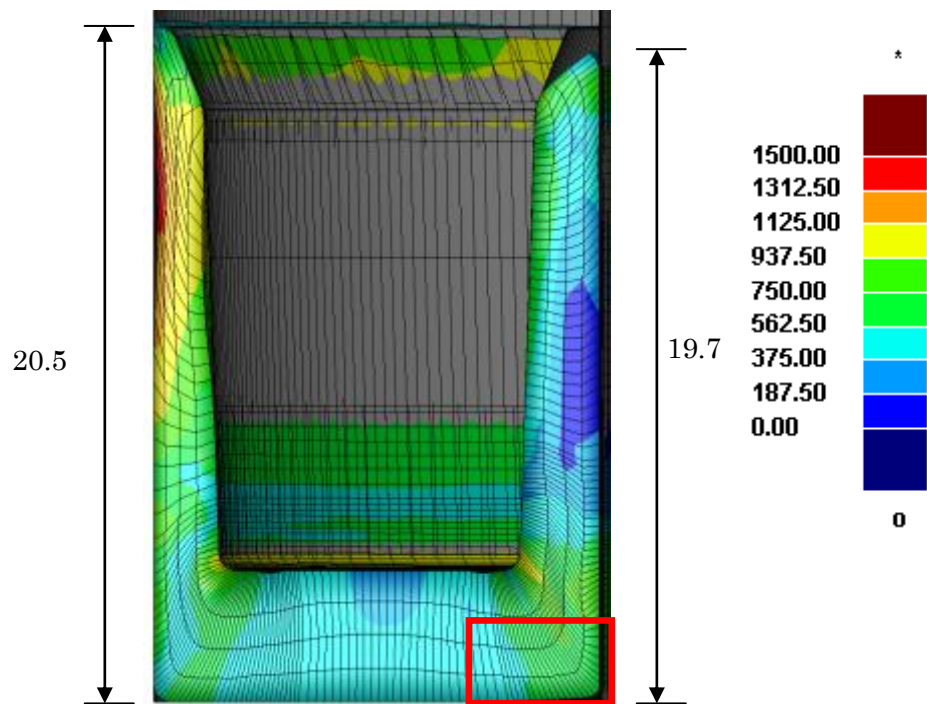


図 2-24 シゴキ工程シミュレーション

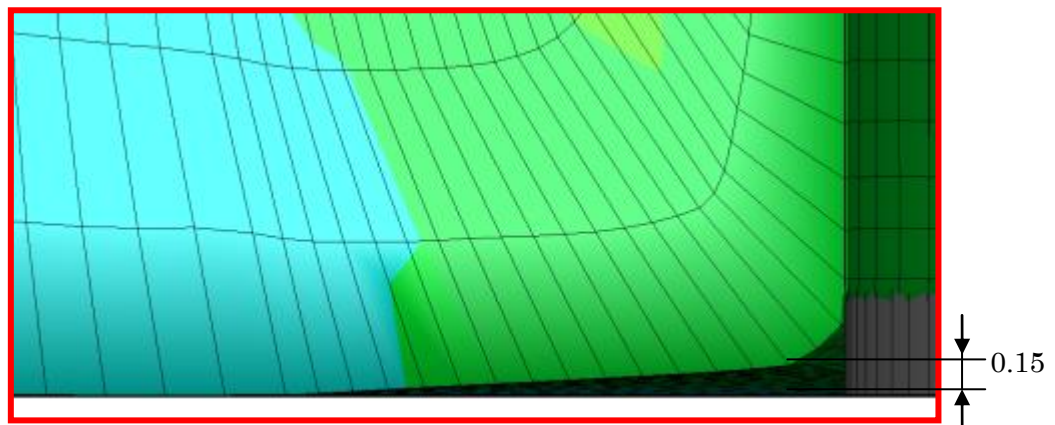


図 2-25 シゴキ工程の平面度の乱れ

(2) シゴキ作業発生荷重のシミュレーション結果

成形に必要な荷重は、**65.6t** となったが、これはシゴキにより板厚の大幅な減少があるためである。板厚の減少が終わると成形荷重は一旦減少するが、下死点近傍で再び増大する。これは潰し工程によって底部板厚が **4mm** よりも太ってしまったためであると考えられる。

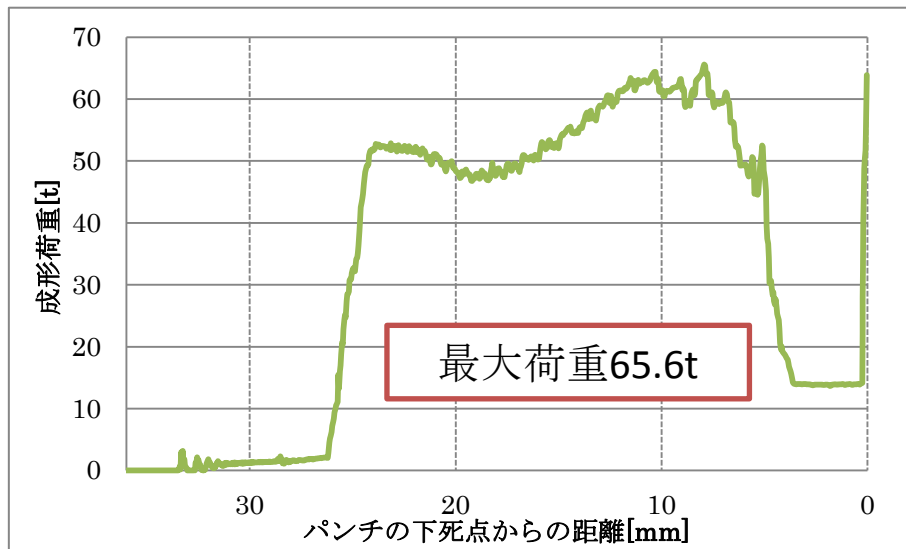


図 2-26 シゴキ工程の荷重計算

(3) シゴキ作業の圧力分布からみた金型設計上の留意点

金型上部で外リブの板厚が減少し、材料の流れより早くパンチが押し込まれてしまう為板厚が薄くなる可能性がある。この箇所を板厚の急激な減少を避け、材料の流れをよくするためにテーパではなく **R** にすることなど工夫が必要だと思われる。

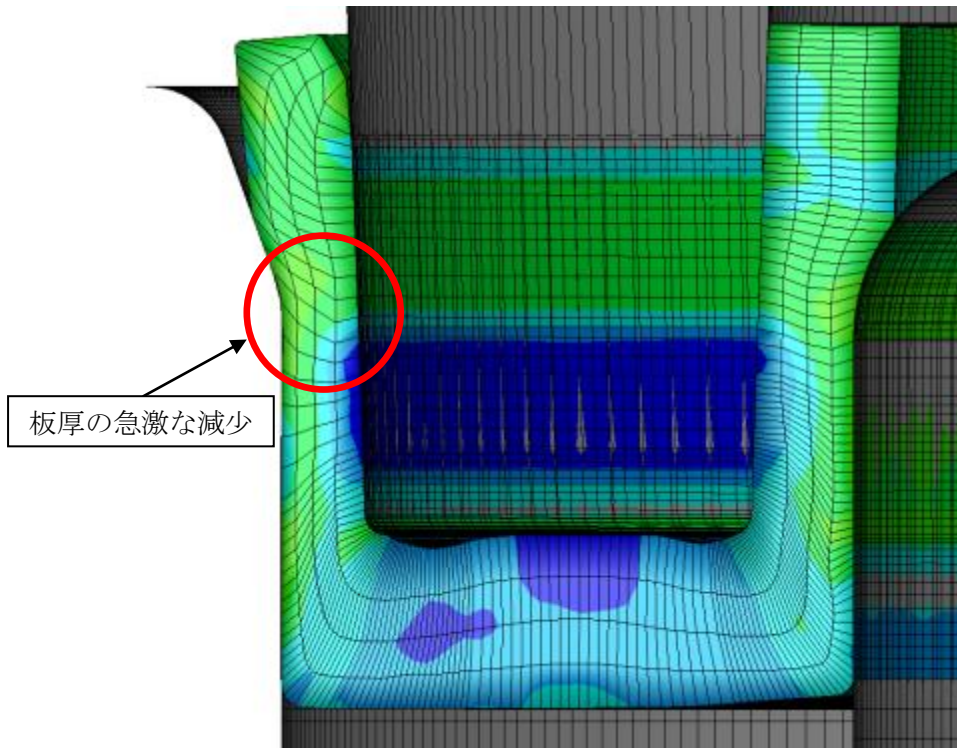


図 2-27 シゴキ工程材料の流れ具合

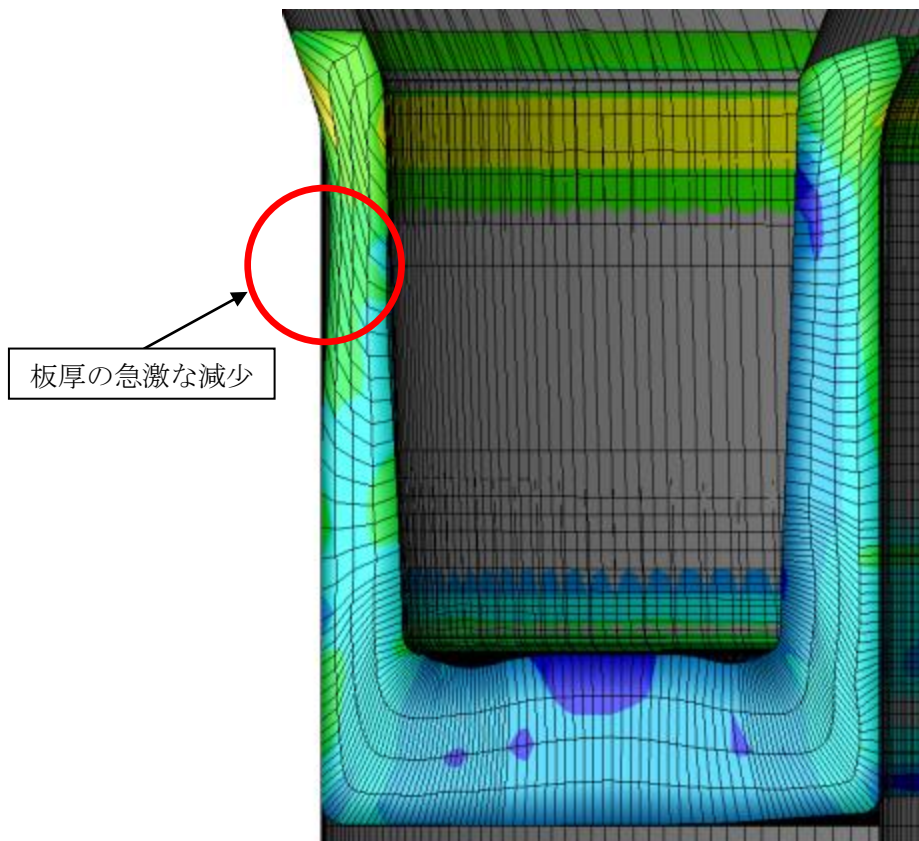


図 2-28 材料の流れ具合

2-2-7 シゴキ工程の金型設計

シミュレーションの結果は、ブランク計算による計算結果とほぼ合致していることが確認できたため、シミュレーションと同様なシゴキ金型の設計製作を行った。

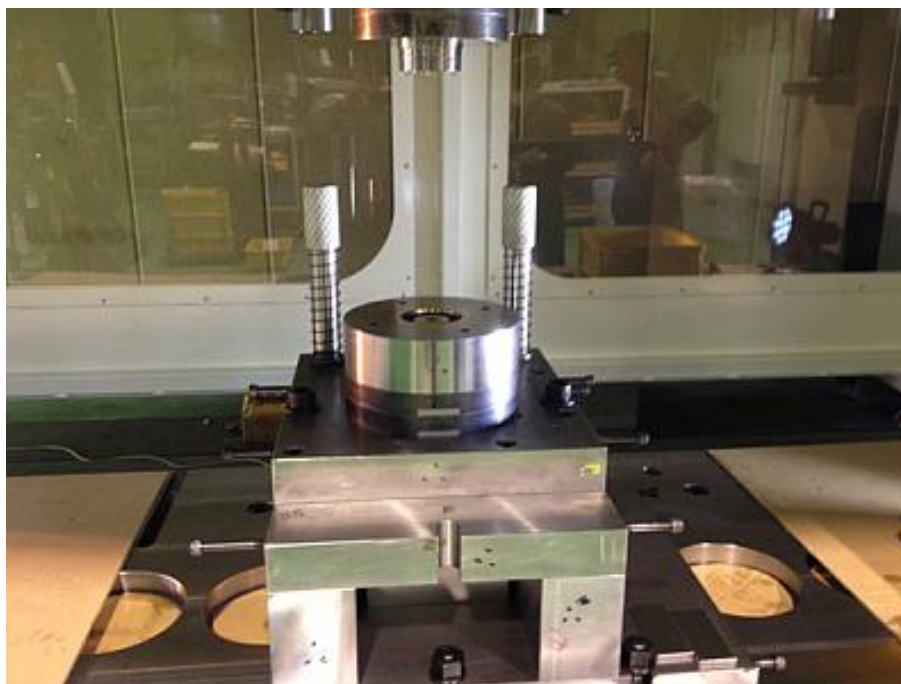


図 2-29 シゴキ金型写真



図 2-30 シゴキサンプル写真

試作金型で製作したサンプルは、リング底角Rは前工程での成形とほとんど変化が無く、内外リブの高さも図面要求公差内に収めることができた。



図 2-31 シゴキ工程サンプル断面

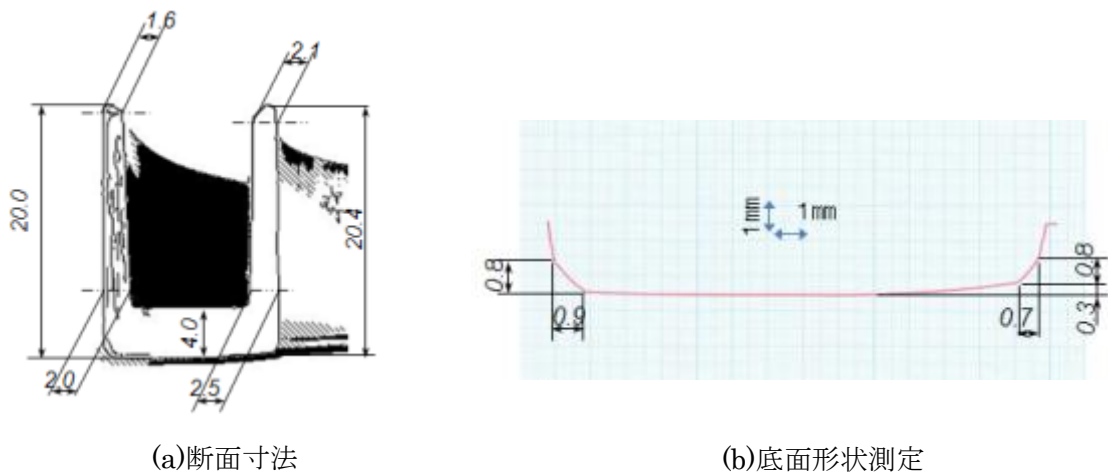


図 2-32 シゴキ工程サンプル寸法測定結果

2-2-8 成形工程のシミュレーション結果

工程集約が目的ではなく前工程で変形したリングの寸法を整える為に行なう作業であり、主に必要荷重を推測することを主眼にシミュレーションを行なった。

(1) 形状修正効果

シゴキ工程で底面に発生した若干のダレは成形工程でも完全に修正するのは難しく、図面要求値が確保できるか、実際のサンプル成形でその限界を見極める必要がある。

シゴキ工程で材料が十分に流れなかった為にテーパ状となる内外リブの先端は成形工程を経ても十分な修正は難しい。製品要求を満たせる範囲で図面に成形可能な形状を落とし込む必要がある。

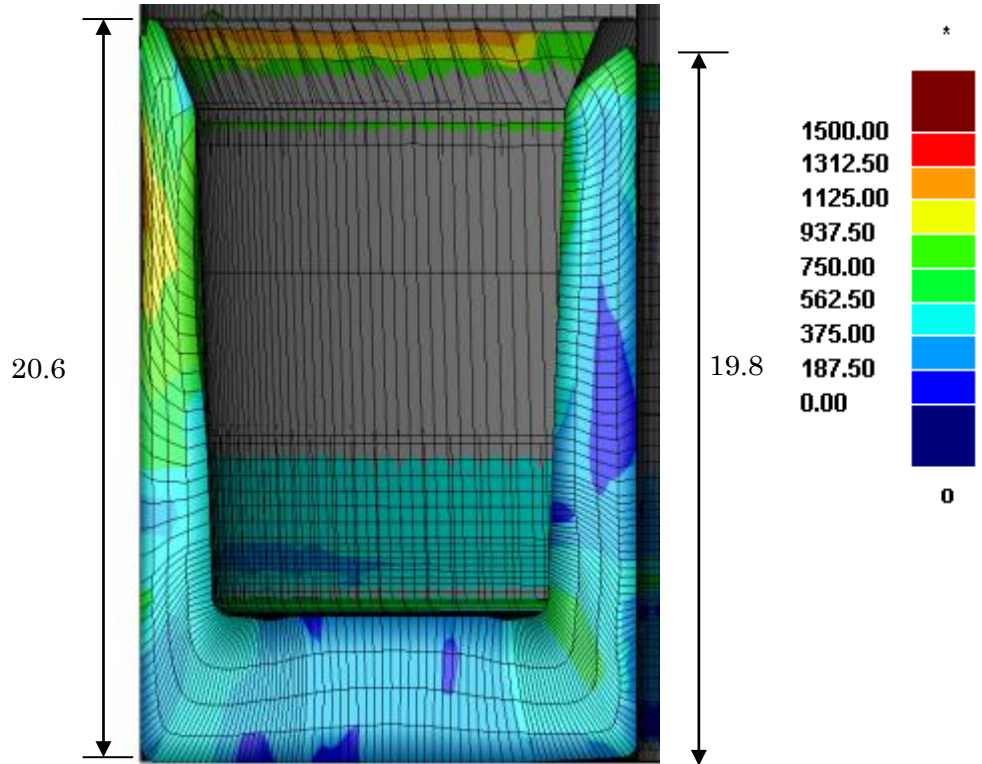


図 2-33 成形工程

(2) 成形作業発生荷重のシミュレーション結果

成形に必要な荷重は 20 t 弱と小さいが、下死点直前で荷重が大きくなっているのはシゴキ工程と同様に底部の板厚修正の為であり、前工程（潰し工程）で必要以上に变形させない様、工程全体での配慮が必要である。

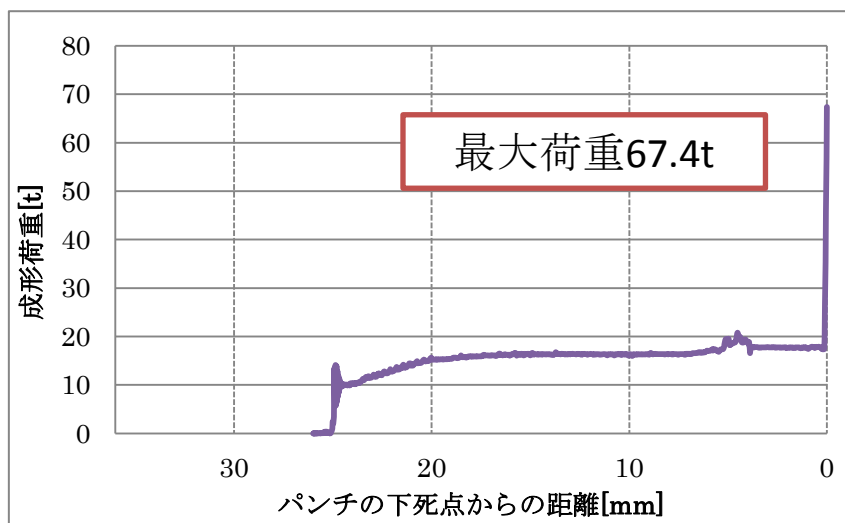


図 2-34 成形工程荷重計算

2-2-9 成形工程の金型設計

シミュレーション結果を成形金型を製作し検証を行った。成形金型は、シゴキ金型と同一形状でリブ高さを成形可能なように構成されている。

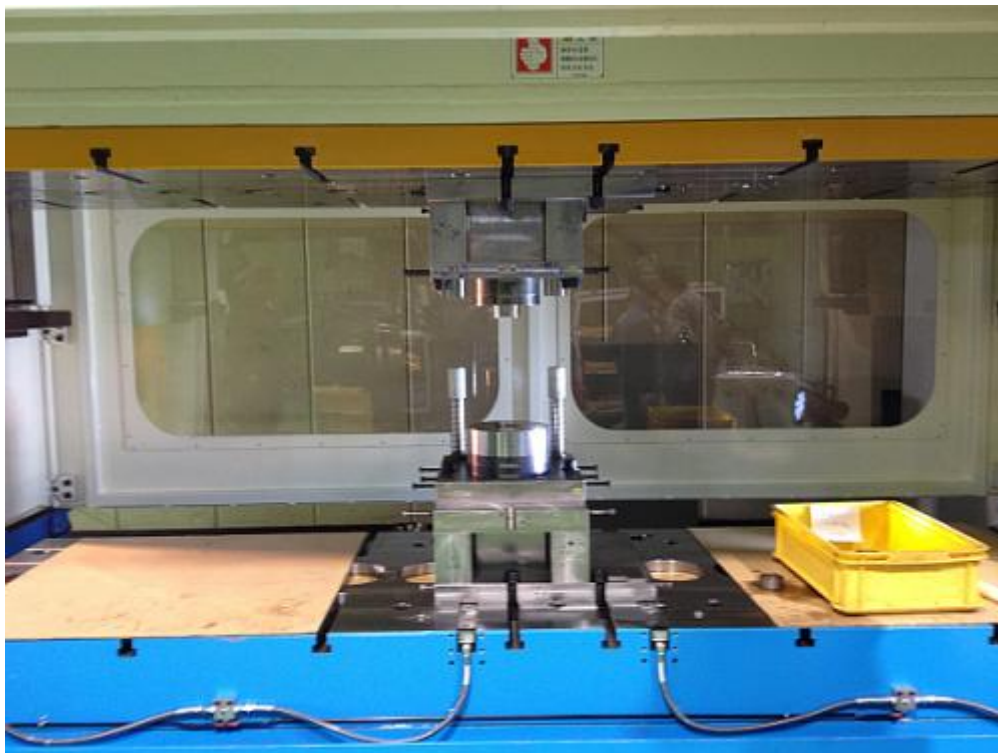


図 2-35 成形金型写真

2-2-10 孔抜き工程の検討

リング底面を打抜いて成形する孔は集約ができない単独工程であり、類似作業を多く行なっていることから特にシミュレーションは行なわず、必要荷重のみ計算で求め全体に必要な総合荷重に加算することにした。

$$\text{打ち抜き荷重[t]} = \frac{\text{周長[mm]} \times \text{板厚[mm]} \times \text{せん断抵抗[kg/mm}^2\text{]} \times}{1000}$$

※ SPHD のせん断抵抗：26~35 kg/mm²

製作図より孔寸法は、16.5×6.7で4隅R1の角孔である。

周長は、((16.5-2) + (6.7-2)) × 2 + 2π × 1 ≒ 44.1[mm]

板厚 4 mm とせん断抵抗 35 kg/mm²を代入すると打ち抜き荷重は、

$$44.1 \times 4 \times 35 \div 1000 \approx 6.2 \text{ [t]}$$

打ち抜き荷重は余裕を見て 7t を必要荷重とした。

2-3 厚板成形技術の高度化で要求されるプレス機械の開発

単一金型内で厚板の複数の工程を成形するには、大負荷に対応できる高出力、高剛性、高精度のプレス機械が必要であり、今回の目標である「6工程同時成形」が可能とする構造、仕様を有し、且つ類似部品成形へのフレキシビリティを持ったプレス機械の開発検討を行なった。

2-3-1 プレス機械に要求される仕様の決定

(1) プレス必要出力の検討

想定される6工程を1回の動作で成形するには「トランスファープレス」が必要となる。各工程に必要な成形荷重は前章で行なったシミュレーションや計算により、合計381tとなっており、400tクラスのプレス機が必要である。

(2) サーボ制御搭載プレスの検討

厚板成形には、「絞り」、「潰し」、「シゴキ」、「孔抜き」、等の様々な加工要素が必要となり、成形スピードが任意にコントロールできる機能を持ったプレス機械が望ましい。近年注目され始めた「サーボプレス」にはこうした制御機能が付加されており、今回の技術開発ではサーボプレスを使用し量産性を見据えた検討をすすめることにした。サーボプレス使用により次の様なメリットが考えられる。

- ①成形スピードが任意にコントロールでき(スライドのフリーモーション化)厚板の様々な成形パターンに対応が可能

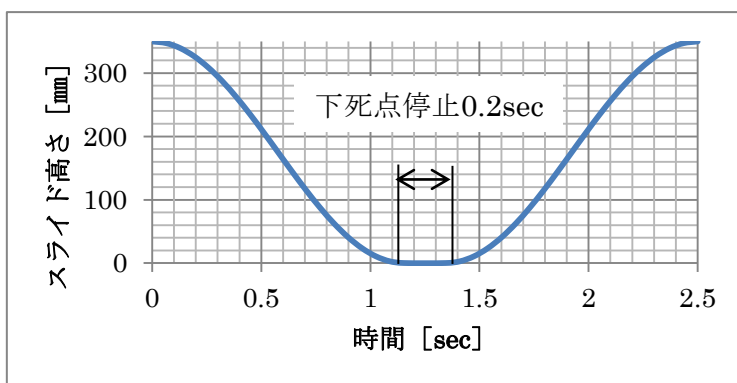


図 2-36 モーション線図 (1) 下死点停止

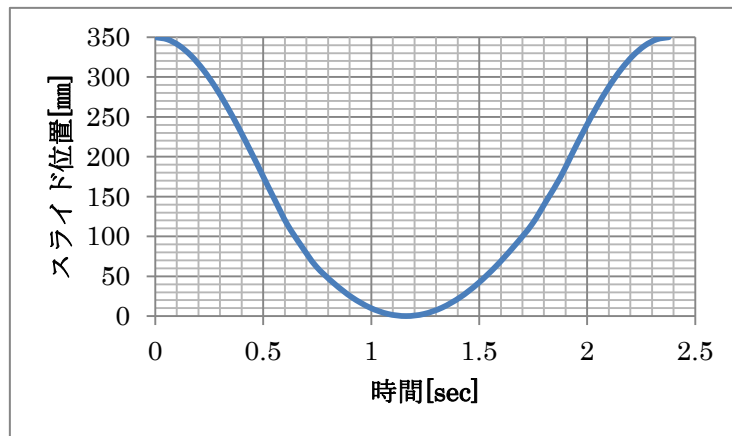


図 2-37 モーション線図 (2) フリーモーショ

回転角 100° : 30SPM から 20° 毎に 25、20、20、20、20、20、25、30SPM で制御

②クランクシャフトがサーボモータと遊星歯車式減速機を介して直結されている為 (クラッチレス) 省エネルギー化が図れる

(3) 大負荷、高精度に対応できるプレス構造の検討

総荷重 400 t に耐え各種成形工程が要求する精度を満足する成形が可能となるプレス構造の検討を行なった。

- ①高剛性を実現させる構造として「門型構造」を選択
- ②経年変化の極少化を図る為にフレームには「応力除去」を実施
- ③一体型アプライト構造により高剛性と高精度を実現
- ④センターロングスライド 8 面ギブガイドにより集中荷重や偏心荷重を受けた際の横応力保持可能。

(4) 高出力かつ高精度が維持できるプレス精度 (JIS B 6402 1 級) を実現

- ①スライド、ボルスターの真直度【左右方向】: 0.124 以下、【前後方向】: 0.044 以下
- ②スライド、ボルスターの平行度【左右方向】: 0.320 以下、【前後方向】: 0.120 以下
- ③スライド、ボルスターの直角度 : 0.065 以下

2-3-2 デジタル制御式 400 t サーボプレスの導入設置

検討した仕様に基づきプレスメーカー「富士スチール工業株式会社」へプレス機械の製作を依頼し 400 t サーボプレスを導入設置し、厚板加工の新成形技術開発を行なった。導入設置したプレスの外観と完成仕様を表 2-1 に示す。

表 2-1 プレス機械本体仕様

項 目	単 位	仕 様
駆動方式	—	AC サーボモータ
作動形式	—	クランク形式
ポイント数		2 クランク
加圧能力	kN	4000
能力発生位置	mm	10
ストローク長さ	mm	350
ストローク数	spm	18~30
ダイハイト	mm	850
スライド調整量	mm	100
スライド寸法(左右×前後)	mm	3500 × 1000
ボルスター寸法(左右×前後×厚さ)	mm	3500 × 1000 × 240
アプライト間寸法	mm	3500
サイドオープニング	mm	1000 × 700
許容上型質量	kg	2500
空気圧力	MPa	0.45
床上総高さ	mm	約 5850 (約 1950 2 段ピット有)
総重量	t	90
サーボモータ	kW	55 × 2
サーボモータ定格回転数	rpm	1000
供給電源	V	三相 AC 380-440 (±10%)
ブレーカ容量	A	250 × 2
周囲温湿度	—	0~40℃、80%RH 以下 (結露なきこと)



図 2-38 サーボプレス機

2-3-3 サーボプレスの搬入設置

(1) サーボプレス設置

プレス機械は、フローレベルから下に 1950 mm の 2 段ピットが必要である。自重 90t のプレスを設置するために、設置場所のボーリング調査を実施した。岩盤までの距離を計測し、基礎パイルを打った上にコンクリート基礎を施工し、プレス自重に十分耐えられる基礎工事を行なった。



図 2-39 基礎工事の写真

(2) サーボプレスの検収

搬送・組立を行ったサーボプレスは、動作及び精度確認を行い、仕様書どおりのサーボプレスであることを検証した。サーボプレスを使用するに当たっては、操作経験が無いこと

から設備メーカーから操作指導を行なってもらい、空運転での操作を積んだ後に成形型をプレスにセットして、サンプル製作に問題の無いことを確認した。

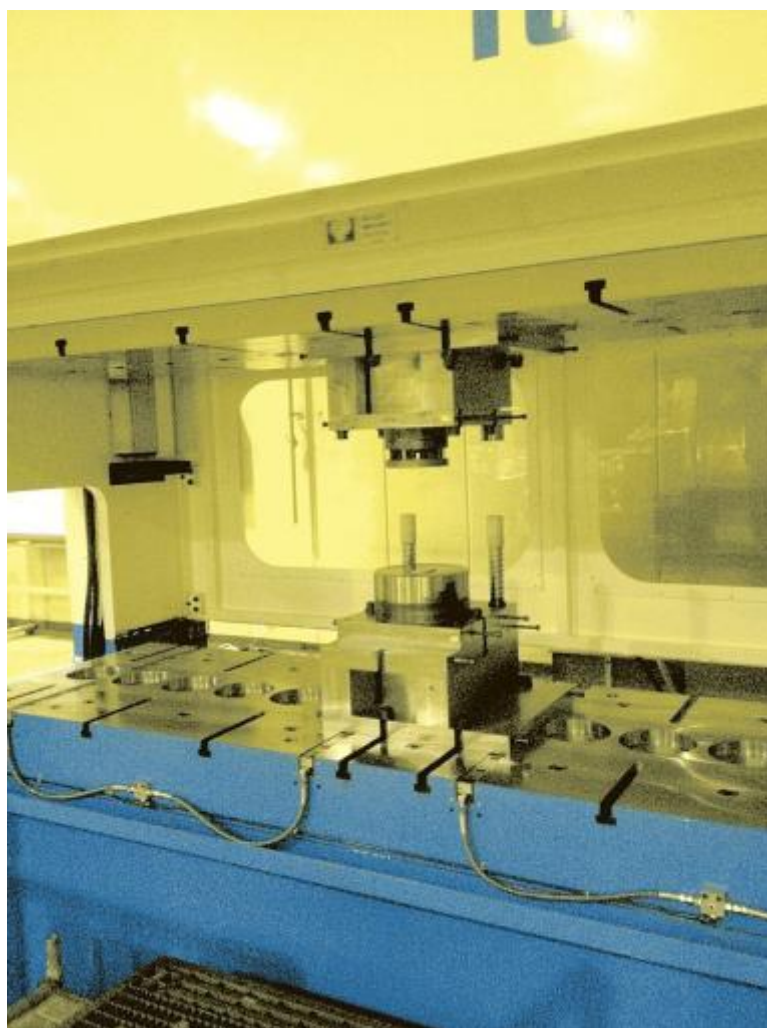


図 2-40 プレス機械に金型をセットした状況

2-4 プレス金型の高強度化と耐久性向上技術の開発

従来から行ってきた絞り型の構造にシミュレーション結果を加味した単発の金型を設計、製作しサンプルの試作トライを実施した。経験から成形金型にはSKD11を使用し、表面にTD処理を施した金型としたが、実際にサンプル試作を行うと絞り成形後に製品を型外に取出すことが困難となってしまうという現象が発生してしまった。

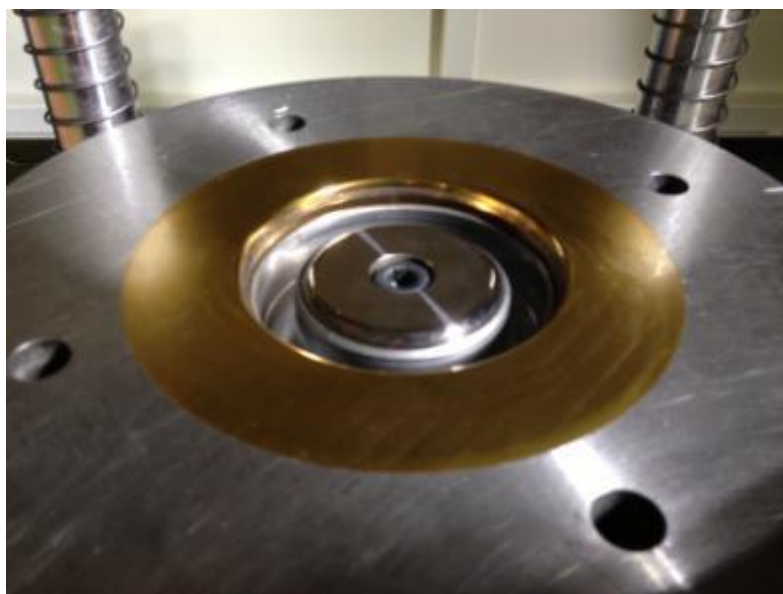


図 2-41 製品詰まりの写真

原因究明の為、金型に掛る負荷を再度シミュレーションで確認したところ、金型（ダイ）へ掛る負荷は最大で 60 t に達する為、この応力に対応できる金型構造への変更が必要となり、冷間鍛造金型を参考とした絞り金型を再製作してサンプルを試作することとした。

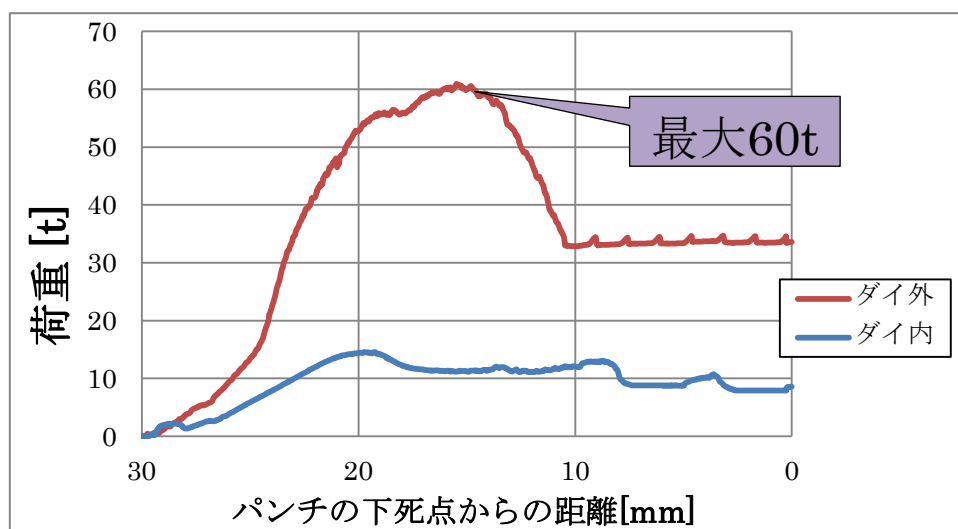


図 2-42 内外金型にかかる荷重

新設計の金型は、材料を超硬に変更し中間ケースに SKD61、外側ケース材に SCM435 を使用した、「2重焼き嵌め」構造に変更し、金型の剛性向上を図った。SKD61 は熱間加工に用いられるダイス鋼で、高温強度に優れ焼き嵌め用としても用いられる。SCM435 も同様に高温強度に優れた強靱な材料であり、焼き嵌めのケース材料として好適である。金型に加わる応力によって金型が広がるのを防止するため、焼き嵌め応力を計算し、ダイと中間ケース、中間ケースと外側ケースのそれぞれの締め代は 0.4% に設定した。ダイと中間ケースの焼き嵌めにより発生する面圧の計算を下記に示す。

$$P = \frac{\delta}{r_b \frac{r_c^2 + r_b^2}{E_2(1 - \nu_2)} + \frac{r_b^2 + r_a^2}{E_1(1 - \nu_1)} + \frac{\nu_2}{E_2} - \frac{\nu_1}{E_1}}$$

P : 接触面圧 [kgf/mm^2]
 δ : 締め代 [mm]
 r_a : ダイ内径 [mm]
 r_b : 締結部半径 [mm]
 r_c : ケース外径 [mm]

E_1 : ダイ材質縦弾性率 (超硬 : $52,000 \text{ kgf}/\text{mm}^2$)
 E_2 : ケース材質縦弾性率 (SKD61 : $21,000 \text{ kgf}/\text{mm}^2$)
 ν_1 : ダイ材質ポアソン比 (超硬 : 0.23)
 ν_2 : ケース材質ポアソン比 (SKD61 : 0.3)

上記数値を代入すると面圧 P は、約 $49 \text{ kg}/\text{mm}^2$ となる。絞りの製品が絞りダイ内周と接触する高さを 10mm と仮定すると直径 83.5mm 内径に加わる圧力は、 $49 \times 83.5 \times \pi \times 10 \div 1000 \approx 128,000 [\text{kgf}]$ の力で締め付けられる計算結果であった。解析結果に対し十分な荷重で締め付けられていることが分かる。外側ケースと中間ケースについても同様に焼き嵌めによる面圧が計算される。

そして超硬型表面には、チタン系の多層膜を CVD コーティングすることで、摩擦の減少と耐摩耗性の向上を図った。

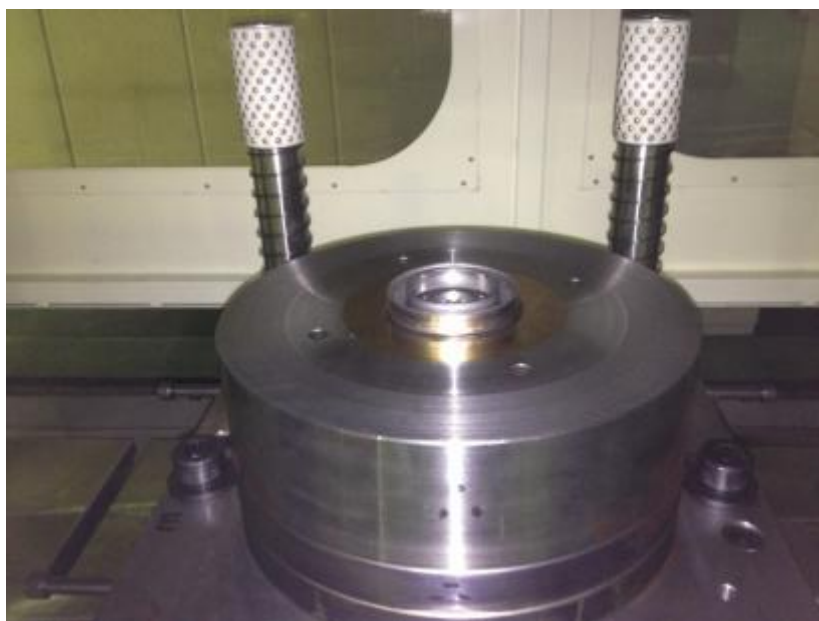


図 2-43 2重焼き嵌金型

これらの型構造および金型表面処理によって試作した金型で試作した結果、内外径を同

時に絞りしごくという過酷な成形条件下でも、製品がダイクッション圧力で取り出し可能であることを確認した。

2-5 プレス成形技術の開発

2-5-1 厚板成形プレスの最適条件の確立

今回導入したサーボプレス機を用いて、工程毎に行なったシミュレーションの結果とサンプル成形用単一金型による実験を行った。実験は、フリーモーション（速度制御）とフリーモーション（下死点停止）の2パターンにて行った。実験結果より当初目標とした11工程を6工程に集約できる見通しを得た。

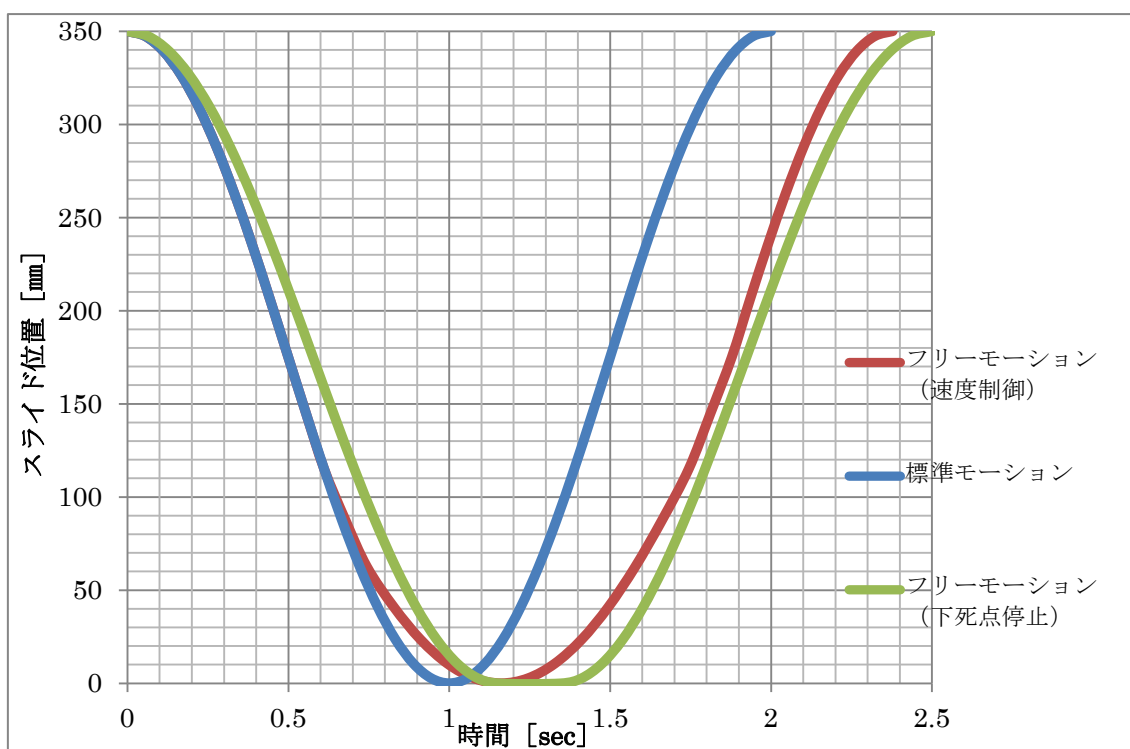








図 2-44 モーション比較

表 2-2 工程毎成形状況

工程	成形内容	成形荷重	コメント
1	ブランク 抜き 	70t	<ul style="list-style-type: none"> 次工程以降に端面割れが発生する可能性を考え、抜き方向を注意する
2	絞り 	52t	<ul style="list-style-type: none"> ダイクッション圧を他工程よりも増加させることで金型から取り出し可能にした
3	潰し 	96t	<ul style="list-style-type: none"> 潰しすぎると内側に折れ込みが発生するためストロークを制御
4	シゴキ 	68t	<ul style="list-style-type: none"> 平面度が悪化するが、内外径を同時にシゴクことにより平面度を改善する
5	成形 	65t	<ul style="list-style-type: none"> フリーモーション(下死点停止)で平面度を向上させた
6	孔抜き 	7t	
合計		358t	

2-5-2 試作品の評価

上記 2-5-1 により試作したサンプルの形状を測定した。

表 2-3 寸法の実測値

N=30

項目	目標寸法	実測値 (平均値)
底面角 R	1.5mm 以下	0.6~1.4 (1.0)
底面厚み	4.0mm	3.85~3.94 (3.90)
底面の平面度	0.1mm 以下	0.08~0.092 (0.086)
内径に対する外径の振れ	0.15mm 以下	0.08~0.095 (0.088)
外径の真円度	0.05mm 以下	0.018~0.022 (0.020)

絞りから成形までの各工程の底面の形状測定結果を次に示す。

絞り工程終了品の底面は、平面がほとんどなく、角 R は 2.8~5.9 と大きいですが、次の潰し工程で平面は確保される。しかしながら、角 R は 1.3~2.5 と大きく、次のシゴキ工程で R0.8~1.1 に改善されるが、平面度が悪化する。続く成形工程で平面度が 0.25→0.1 以下に改善され、角 R 目標寸法の 1.5mm 以下を満足する。

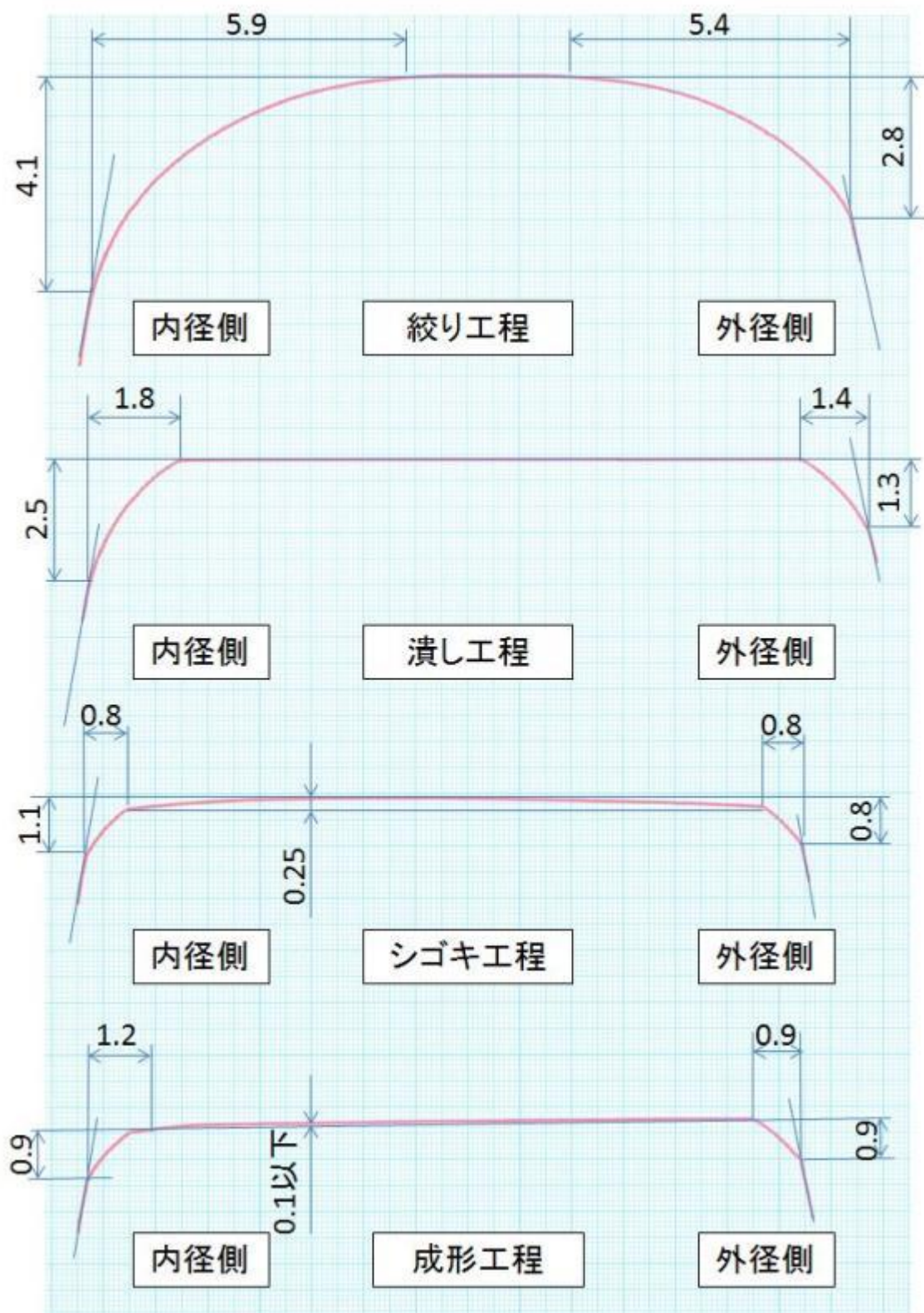


図 2-45 形状測定結果

次に、内側の角部を断面観察した結果、折れ込みや亀裂等がないことを確認できた。

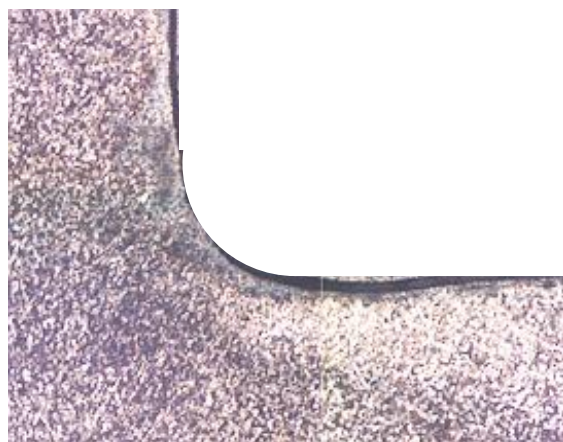


図 2-46 断面観察（観察倍率 25 倍）

2-5-3 素材管理技術の開発

算出したblank径から、素材板厚が変化したときのblankの $D_m = \phi 69$ のよりも内側と外側の容積をそれぞれ計算した。一方 3D モデルから、リブ高さ 20 ± 0.3 および素材板厚を振ったときの最大容積と最少容積を計測した。

最初に計算した素材板厚変化による容積変化の計算値が、3D モデルの最少容積から最大容積の範囲内に存在すれば、板厚が変化分を公差内で吸収できるといえる。

このような試算の結果、素材板厚によって 3 種類のblank抜き金型を準備する必要がある。しかし、購入する SPHD 材の実際の板厚ばらつきは、4.0mm 以下で $\pm 0.02\text{mm}$ 程度と思われるので、金型交換は不要と考えている。

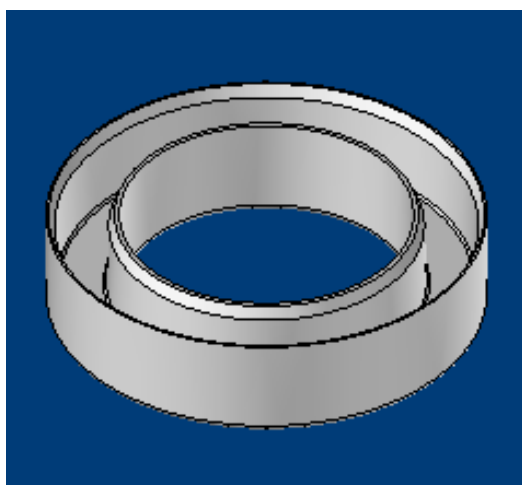


図 2-47 体積計算に用いた 3D ソリッドモデル

表 2-4 blank寸法計算

素材板厚 [mm]	blank内径 [mm]	blank外径 [mm]
3.88 以上 3.96 以下	$\phi 32.5$	$\phi 94.5$
3.96 以上 4.04 以下	$\phi 33.3$	$\phi 94.3$
4.04 以上 4.12 以下	$\phi 34.0$	$\phi 94.0$

2-6 最適量産化技術の開発

ここまで研究開発してきた厚板成形技術、金型製作技術及び高出力・高剛性のサーボプレスを組み合わせた最適量産化方法の検討を行なった。

2-6-1 最適量産工程の確立

個々の成形工程についてはその可能性の確認が完了していることから、全工程を 400 t サーボプレスによるトランスファー方式での成形は十分可能と考えられる為、材料供給からプレス成形完成までを一貫作業とする工程について検討した。トランスファープレスによるリング成形ラインを検討した概要を図 2-48 に示す。

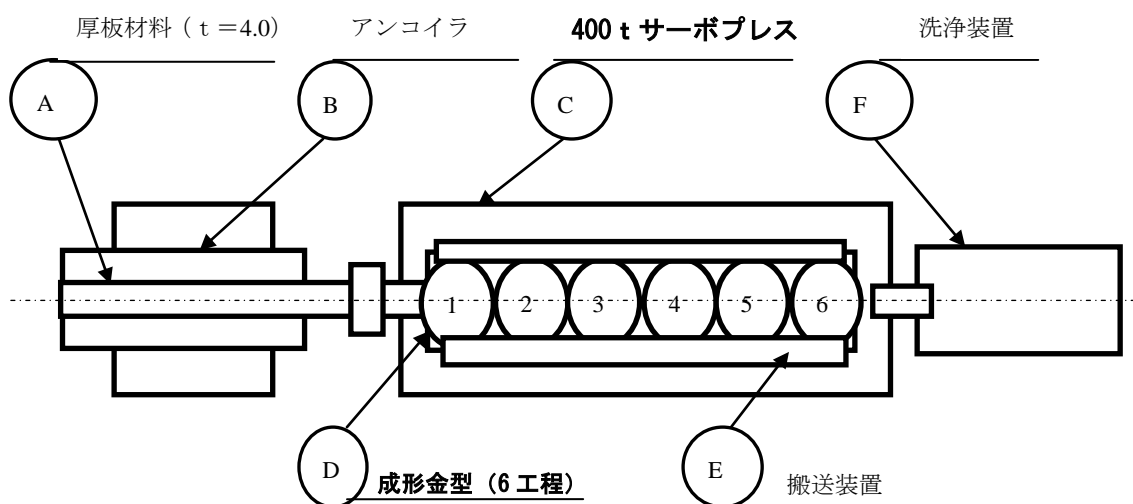


図 2-48 量産工程構想図

表 2-5 量産工程構想概要

NO	名 称	機 能 ・ 仕 様 等
A	成形材料	・コイル材、材質:SPHD、板厚:4.0mm
B	アンコイラ	・材料のコイル材を延直にしてプレスへ供給 ・厚板の為コイルは大径、重量物となり、大型の装置が必要
C	400tサーボプレス	・今回の研究で開発・製作したサーボプレスで対応
D	成形金型	・6工程を順次成形していく為にトランスファー金型 ・重量物となる為段取替えへの配慮が必要
E	搬送装置	・各工程で成形されたワークを順次次工程へ移送する装置 ・機種交換段取替時に容易に着脱できる構造検討が必要
F	洗浄装置	・プレス成形時に付着する加工油(潤滑油)の洗浄除去 ・プレス成形タクトに合った洗浄能力が必要 ・洗浄後の廃液処理方法を考慮した洗浄方法の検討が必要

2-6-2 量産性の評価

検討した厚板成形ラインによる生産と従来の工法（冷間鍛造+切削）による生産について量産性について比較検討を行なった。

従来の冷間鍛造による成形工法では焼鈍、ショットブラスト、ボンデ処理といった前処理工程がバッチ作業となる為工程内、工程間の仕掛りが多くなり作業工数が多い。又、夫々の工程が独立した設備となる為に工程毎にワークの供給排出が必要となってくる。こうした条件を勘案して必要工数、リードタイム、仕掛りを試算すると表 2-6 のようになる。

表 2-6 冷間鍛造成形工法による工数予想

NO	工程	人員配置 (予測)	リードタイム (除仕掛り時間)	仕掛数	
				工程内	工程間
1	ブランク抜き	0.2	0.3	1	50
2	焼鈍	1	0.2	500	500
3	ショットブラスト		0.1	200	200
4	ボンデ処理		0.2	200	200
5	冷間鍛造	1	0.3	1	50
6	トリミング	0.5	0.5	1	50
7	R部加工		0.5	1	50
8	孔抜き	0.2	0.3	1	50
計		2.9	2.4	905	1150

一方厚板プレス成形工法では1台のプレスで全ての成形が完了する為工数、リードタイム、仕掛りの全てが大幅に削減され量産化に最も適した生産方式と言える。

表 2-7 厚板プレス成形工法による工数予想

NO	工程	人員配置 (予測)	リードタイム (除仕掛け時間)	仕掛数	
				工程内	工程間
1	ブランク抜き	1	0.6	6	0
2	絞り				
3	潰し				
4	シゴキ				
5	成形				
6	孔抜き				
7	洗浄	0.5	1	10	0
計		1.5	1.6	16	0

2-6-3 量産品のコスト評価

電磁クラッチ用リングを量産化した場合の冷間鍛造成形工法と厚板プレス成形工法のコスト比較を試みた。具体的な数字での表現が難しいので現状生産方式である冷間鍛造工法によるコストを100とした指数で表現すると下表のようになる。

表 2-8 量産コスト評価

成形工法	コスト			リードタイム	仕掛け
	材料費	加工費	合計		
冷間鍛造成形工法	20(100)	80(100)	100	100	100
厚板プレス成形工法	18(90)	42(53)	60	67	1
削減率(%)	10	47	40	33	99

()内は費目毎削減率

厚板プレス成形工法でリングを量産した場合には ①材料費で10%、加工費で47%、と大幅なコスト削減が可能となり、リードタイムを33%、仕掛けは99%まで削減が可能である。

2-7 プロジェクトの管理・運営

研究開発期間中に、研究開発推進委員会を3回実施し、委員及びアドバイザーから貴重なご意見を頂戴し、研究開発活動に活かした。又、日頃の推進活動として、再委託先と事業管理機関の実務者が月1回以上一堂に会し、研究開発の進捗状況、課題・解決策等を議論し、ベクトルを合わせて推進した。

研究開発推進委員会の開催日と、議論・ご指導頂いた内容は以下の如くである。

- (1) 第1回委員会（5月10日）
 - ・ 厚板成形の金型構造
 - ・ 材料の選びかた
 - ・ ワークの潤滑法等

- (2) 第2回委員会（8月23日）
 - ・ 金型の表面処理
 - ・ 金型二重焼き嵌め
 - ・ 完成品の重要寸法等

- (3) 第3回委員会（11月27日）
 - ・ 材料板厚ばらつき対処法
 - ・ シミュレーションの有効性
 - ・ サーボプレス機のフリーモーション機能 等

第3章 全体総括

3-1 研究開発事業総括

平成24年2月末に認可を頂いた本研究開発事業は、株式会社ひたちなかテクノセンターを管理法人とし、茨城県工業技術センター、国立大学法人茨城大学及び株式会社島田製作所と各方面に精通したアドバイザーの方々の努力とチームワークにより、短期間にシミュレーションによる基礎検討をベースに高強度金型を試作し、400tサーボプレスを使用した試作品を完成させることが出来た。その結果、従来の冷間鍛造切削工法に比べ、

- ①材料歩留りの向上は計画通り99%を達成
- ②低コスト化では材料費10%、加工費47%と大幅削減
- ③短納期化についてはリードタイムが33%削減、仕掛りは99%まで削減見通しとなった。

具体的な目標が達成できたことにより電磁クラッチ用リングの製造工程の高度化目標であった

- 1) プレス工数を現状の6工程から1工程への大幅な削減
- 2) 寸法精度等の成形目標（材料歩留り、コスト削減、寸法精度）を達成できた。

3-2 来年度以降の計画

今回の研究開発によって、厚板成形に必要な数々の技術的知見を得ることができた。また最適生産化の検討により、生産開始に向けての課題等も明確となった。

冷間鍛造とプレス加工の利点を融合し、発展させることにより、コスト競争力のあがるプレス事業を展開していける確信を得た。

コンプレッサー電磁クラッチ用リングについては、工法変換、工程短縮による低コスト化、高精度化、短納期化という圧倒的な優位性を武器に川下企業への営業活動を継続し、受注に繋げていきたい。コンプレッサーには他にも多くの鍛造切削部品が使用されており、これらの部品の工法転換について提案する営業展開が可能となる。さらに、コンプレッサーに限らず、自動車部品・産業用機械等多くの分野の冷間鍛造+切削加工品へも本技術の応用展開により、事業拡大を図っていく。