

【公開版】

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

「厚板小物高精度絞り部品の製造を可能とする工程独立式可変速押し込み複動機構を用いた押し込み絞りプレス加工技術の確立」

研究開発成果等報告書

平成30年3月

担当局 近畿経済産業局
補助事業者 公益財団法人滋賀県産業支援プラザ

目 次

第1章 研究開発の概要	1
1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標	1
1-1-1 研究開発の背景と研究目的	1
1-1-2 研究開発の概要と目標	1
1-1-3 目的及び目標に対しての実施結果	2
1-2 研究体制	3
(研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)	
1-3 成果概要	6
1-3-1 CAE解析を用いた各工程の最適加工条件の確立	7
1-3-2 テスト金型による押し込み絞りプレス加工技術の有効性の確認	7
1-3-3 連続生産に適した押し込み絞りプレス加工の開発	7
1-3-4 独立式温度調整機構を装備した連続生産対応金型の開発	8
1-3-5 各加工工程における製品形状の評価を実施	8
1-4 当該研究開発の連絡窓口	10
第2章 本論	11
2-1 押し込み絞りプレス加工技術の確立	11
2-1-1 CAE解析を用いた各工程の最適加工条件確立	11
2-1-2 テスト金型による押し込み絞りプレス加工技術の有効性確認	12
2-2 工程独立式可変速押し込み複動機構による	
押し込み絞りプレス加工技術の確立	25
2-2-1 連続生産に適した押し込み絞りプレス加工の開発	25
2-2-2 独立式温度調整機構を装備した連続生産対応金型の開発	36
2-3 製造工程と製品品質の関係評価	41
2-3-1 各加工工程における製品形状評価	41
2-3-1-1 測定対象	41
2-3-1-2 形状測定の結果(板厚減少、絞り径に対する板厚の比率)	45

【公開版】

2-3-1-3	表面粗さ	47
2-3-1-4	連続生産金型	47
2-3-2	ファイバーフロー評価	49
2-3-3	4段絞りにおけるファイバーフロー	52
2-3-4	4段絞りにおける硬さ評価	52
2-3-5	X線回析による残留応力評価およびマルテンサイト比評価	54
第3章	全体総括	60
3-1	研究開発成果	60
3-2	研究開発後の課題・事業化展開	63

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 研究開発の背景と研究目的

電気自動車や燃料電池自動車等の次世代自動車のグローバルな開発が進む中で、社会的問題の一つでもある交通事故を減らす取り組みとして、川下企業各社は自動車の自動運転技術の開発にも力を入れている。自動運転搭載車両においても重要な位置付けとなるABS装置(図 1.1)に代表されるブレーキシステムであるが、構成される部品には高品質・高精度・高耐久性が要求される精密金属部品が数多く使用されており、当社も精密金属プレス加工分野で生産に寄与している。

これらの中で、厚みを要する小物カップ形状の部品は、現状、切削加工が多く、加工精度のばらつきの発生やコストアップになっているため、川下企業からは性能・機能・品質の安定化とさらなる低コスト化や軽量化の要求が厳しい。切削部品の低コスト化には、単位時間当たりの生産数量を増やす必要があることから限界があり、低コスト化・軽量化に有利な金属プレス加工による工法転換が切望されているが、厚みを要する小物カップ形状の部品加工の場合、従来の絞り加工技術では対応が不可能である。

このような市場背景の下、川下企業からは高精度な厚板小物高精度絞り加工技術の開発が強く求められており、本開発ではトランスファープレスによる工程独立式可変速押し込み複動機構を用いた厚板小物高精度絞り加工技術を開発し、グローバル競争がますます激化する自動車用部品の事業化を目指していく。

ABS 装置

油圧コントロールバルブを使用

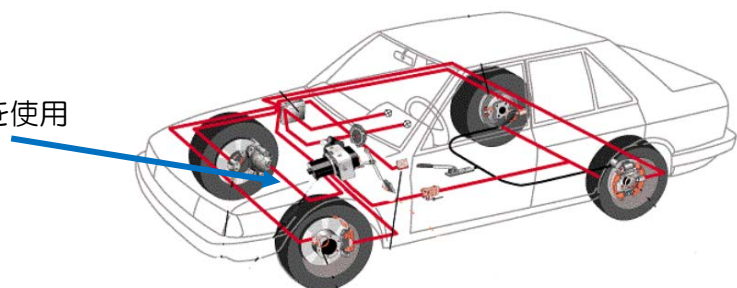


図 1.1 ABS 構成要素

1-1-2 研究開発の概要と目標

川下企業では厚板小物高精度カップ形状部品のプレス加工化が困難なことから、切削加工により製作されている。しかし、川下企業からは軽量化やコスト低減目的でプレス加工

【公開版】

化の強いニーズがあるが、プレス加工化することで更に強度アップ、高精度化、高信頼性などのメリットもある。しかし、従来のプレス加工では厚板小物絞り加工をすると板痩せにより割れが生じ、絞ることができない。そこで、工程独立式可変速押し込み複動機構による厚板小物高精度カップ形状部品の押し込み絞りプレス加工技術確立することでプレス加工化を可能とする。これは、一台のトランスファープレス機の中に並べた複数工程の絞り金型に、各工程毎に独立した押し込み複動機構を組み込み、押し込み絞りプレス加工を行う技術を開発する。本成果を活用し、低コスト化・軽量化に有利な金属プレス加工による工法転換を実現し、ABS 装置用ブレーキ部品から順次事業化する。

【本研究の目標】

従来は切削加工により製作されていた厚板小物高精度カップ形状部品の、部品の軽量化、低コスト化を実現するためにプレス加工化する技術を開発する。

【本研究成果の活用による事業化の目標】

- (ア) 従来は切削により加工されていた部品の本研究開発による成果によりプレス加工化へと工法転換することで、部品の軽量化、低コスト化を実現し事業化を図る。
- (イ) 他社の ABS 装置にも類似形状の切削部品は使用されており、本技術開発の展開によりプレス加工化への工法転換を提案し、事業化へとつなげる。
- (ウ) 本研究開発で得られた技術ノウハウは、通常の絞り加工の領域に展開することで、素材の流動を積極的にコントロール要素が加わることで、より高精度な絞り加工が可能となり、顧客のニーズに応じた高精度な製品を供給することが可能となる。

1-1-3 目的及び目標に対しての実施結果

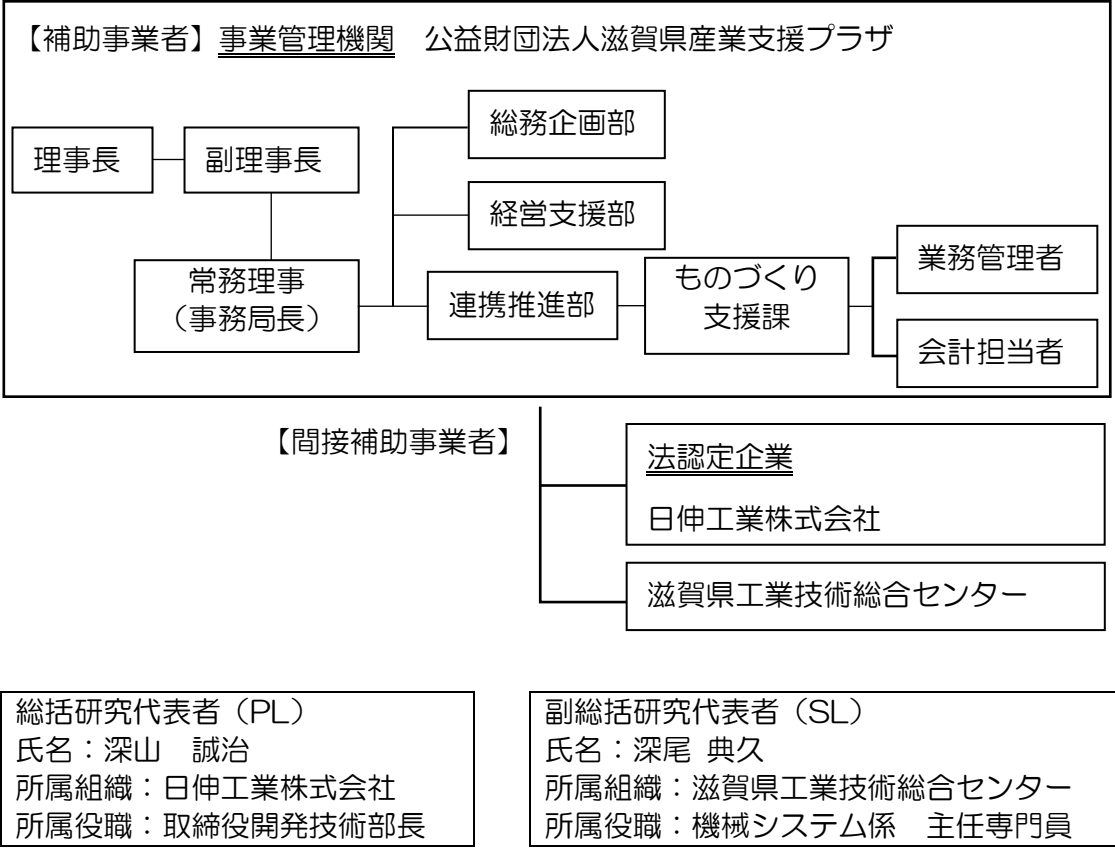
本研究開発において、工程独立式可変速押し込み複動機構を装備したトランスファープレス機の開発に取り組み、押し込み絞りプレス加工技術の確立を行った。

その結果、本装置を用いる事により、大量生産・低コスト・高精度などのプレス絞り加工の利点を生かし、従来困難であった厚板小物高精度絞り加工品の製造が可能となった。

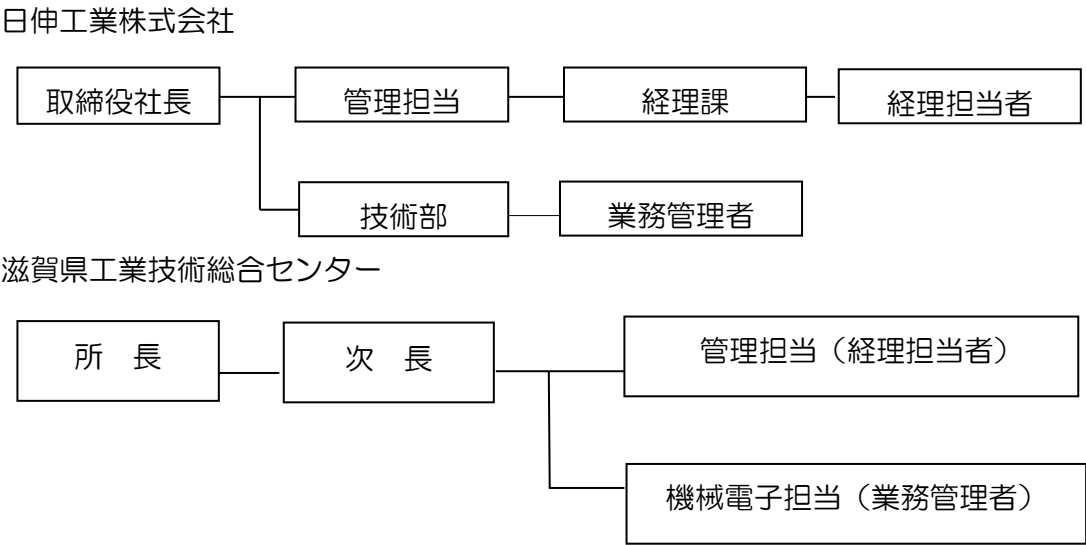
1－2 研究体制

・研究組織

(1) 研究組織・管理体制



【間接補助事業者 管理体制】



(2) 研究者・協力者

① 研究者氏名

【間接補助事業者】日伸工業株式会社

氏 名	所属部署・役職	実施内容（担当テーマ）
深山 誠治（PL）	取締役開発技術部長	【1-1】 【1-2】 【2-1】 【2-2】 【3-1】 【3-2】
馬場 保	技術部技術課 主事	【1-1】 【1-2】 【2-1】 【2-2】 【3-1】 【3-2】
疋田 裕樹	技術部技術課 技師補	【1-1】 【1-2】 【2-1】 【2-2】 【3-1】 【3-2】
朝倉 治	技術部技術課 技師補	【1-1】 【1-2】 【2-1】 【2-2】 【3-1】 【3-2】
原田 正	技術部 部長	【2-1】 【2-2】
永尾 幸則	技術部試作課 係長	【2-1】 【2-2】
中村 恭輔	技術部金型加工課 技師補	【2-1】 【2-2】
安部 貢	技術部試作課 技師	【2-1】 【2-2】
山本 茂治	技術部試作課 技師補	【2-1】 【2-2】
安藤 寛記	技術部試作課	【2-1】 【2-2】

【間接補助事業者】滋賀県工業技術総合センター

氏 名	所属部署・役職	実施内容（担当テーマ）
所 敏夫	無機材料係 主任専門員	【3-1】 【3-2】
深尾 典久（SL）	機械システム係 主任専門員	【3-1】 【3-2】
田中 喜樹	無機材料係 主任技師	【3-1】 【3-2】

②事業管理機関

【事業管理機関】公益財団法人滋賀県産業支援プラザ

氏 名	所属部署・役職	実施内容
田中 勝晴	連携推進部 部長	プロジェクトの進捗把握・管理、指導業務
篠原 弘美	連携推進部 ものづくり支援課 課長	プロジェクトの進捗把握・管理、指導業務
山本 博之	連携推進部 ものづくり支援課 参与	プロジェクトの進捗把握・管理、指導業務、間接補助事業先との連絡調整業務

③協力者

氏 名	所属部署・役職	実施内容
王 志剛	国立大学法人岐阜大学 副学長	本研究開発における加工工程設計のアドバイス（アドバイザー）
中野 隆志	テクノオフィス凜 代表	本研究開発における加工工程及び構造設計のアドバイス（アドバイザー）

1-3 成果概要

次世代自動車の開発が進む中で、自動運転搭載車両においても重要な位置付けとなる ABS 装置に使用される部品の軽量化・低コスト化のニーズが激化している。本研究開発では従来、切削加工により生産していた製品を、工程独立式可変速押し込み複動機構を用いた押し込み絞りプレス加工技術の開発を実施することでプレス加工化を実現する。本成果を活用し、ABS 装置用部品の軽量化・低コスト化を実現し順次事業化する。

本研究開発では、工程独立式可変速押し込み複動機構を装備したトランスファープレス機（図 1.2）の開発に取り組み、押し込み絞りプレス加工技術の確立を行った。

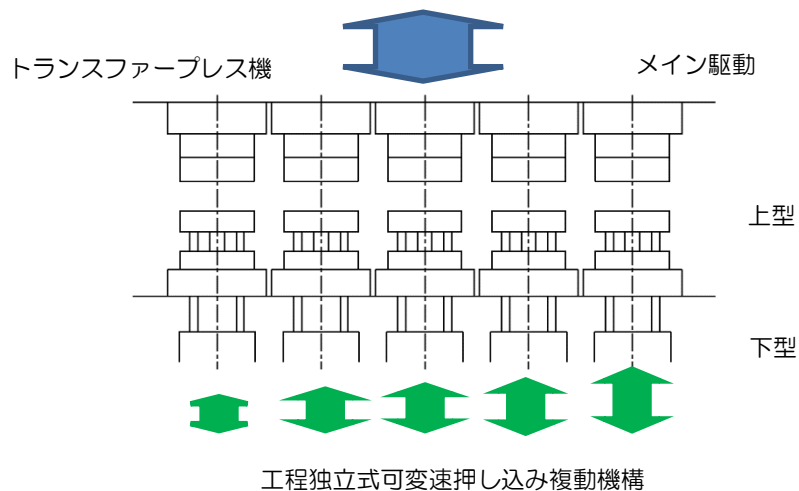


図 1.2 工程独立式可変速押し込み複動機構を備えたプレス機略図

また、加工量の大きな押し込み絞り工程では、発熱が問題となる為、効果的な冷却方式についても検討を行った。温度制御を行い、金型温度を安定させることで、生産開始時の寸法変動を抑える事も可能となった。

その結果、本装置の実現により、大量生産・低コスト・高精度などのプレス絞り加工の利点を生かし、従来困難であった厚板小物高精度絞り加工品の製造が可能となった。

1-3-1 CAE 解析を用いた各工程の最適加工条件の確立 【1-1】

押し込み絞りプレス加工技術の確立においては、絞り径に対する板厚の比率 25%を目標として取り組み、CAE 解析による加工工程の検証を実施し、加工条件を最適化することで CAE 解析上では目標の厚板の比率の加工が可能であることが確認でき、テスト金型の設計にフィードバックを実施した。

1-3-2 テスト金型による押し込み絞りプレス加工技術の有効性の確認 【1-2】

CAE 解析の結果を元にテスト金型の ~~を~~設計・製作を行い、ファーストトライを実施し、実際のテスト金型でも押し込み絞りの有効性を確認した。更に金型のダイ形状による加工性、素材の材質、金型へのコーティング有無による加工性の効果確認を実施した。

また、押し込み絞り加工の各工程での加工条件の最適化を図ることにより、実際のテスト金型においても絞り径に対する板厚の比率 25%の目標を達成し、テスト金型による押し込み絞りプレス加工技術の有効性を確認することができた。

1-3-3 連続生産に適した押し込み絞りプレス加工の開発 【2-1】

工程独立式可変速押し込み複動機構による押し込み絞りプレス加工技術の確立においては、テスト金型を用いた単発運転による押し込み絞りテスト加工結果をベースに工程独立式複動機構を取り付け可能な押し込み絞りに適した仕様のプレス機の仕様検討・製作を実施した。また、複動機構のモーション最適化を行い、連続生産用搬送部品を取り付けての連続生産確認を実施し以下の成果を得た。

テスト加工材料として SUS304L 材を用いた加工では、素材の加工硬化の影響により板厚減少は目標値を達成出来ず、最薄部で素材の加工前板厚より 30%の板痩せとなった。

事業展開を図る目的で川下企業からの要求仕様に基づき、連続生産金型の設計製作を行い、全長以外の主要寸法は規格値内のサンプルを完成した。板痩せについては、顧客の要求仕様は満たしていることを確認した。また、表面粗さについては、 $R_z \geq 1.5$ 以下となり、当初の目標値を大幅に下まわる結果を得られた。

工程独立式サーボ複動機構を備えたプレス機と製品搬送装置を用いて自動搬送を確立したうえで、最終目標である製品寸法規格内で2時間の連続生産としていたが、テスト

生産の結果より約 15 分以降は金型温度が平衡状態で、寸法的にも安定していることから、連続生産によるテスト結果を得られたと考える。

1-3-4 独立式温度調整機構を装備した連続生産対応金型の開発 【2-2】

トランスファープレスの連続稼働では、製品の塑性変形発熱により金型の温度が上昇することで金型自体が熱膨張により寸法が変化し、その結果製品寸法が変化してしまうことや、過度な温度上昇により加工時に使用する潤滑油の機能が損なわれることで、金型の焼き付きが生じ、製品に対して傷や打痕の発生といったダメージを与える結果となる。そこで、連続稼働時に金型を加工に適した温度域に自動で調整する為の温度調整機器を導入し、連続稼働時の金型温度を一定にコントロールすることで製品品質の安定化を図る為のノウハウの蓄積を実施した。

まず、テスト金型を用いた加工結果により、加工油の性能低下につながる影響が懸念される温度に達していることが確認でき、温度調整機構が必要であることを確認できた。

次に温調用テスト金型、負圧式温調機を用いて温度調整を行いながらの連続生産テストを実施し、温調によるテスト金型のノウハウを連続生産金型へ展開した。

上記のテスト結果より得られたノウハウを活用し、川下企業からの要求仕様に基づき、金型の設計製作を行い加工テストを実施し、全長以外の主要寸法は規格値内のサンプルを完成した。

1-3-5 各加工工程における製品形状の評価を実施 【3-1】

テスト金型により加工されたサンプルに対して、板厚の計測、各寸法計測、表面粗さ評価、各種測定機による形状評価方法の検討・計測を実施した。

また、SUS304L 材のテスト金型および連続生産金型で製造した ABS 油圧コントロールバルブ部品について、絞り各段階における外径、肉厚の評価、表面粗さの評価を行い、金型調整時のデータとしてフィードバックを実施した。

1-3-6 ファイバーフローの評価 【3-2】

テスト金型、及び、連続生産金型で加工された SUS304L 材の製品のファイバーフローを観察する際の素材に適した条件設定について検討を実施し、それらの条件設定

【公開版】

を用いて、テスト金型および連続生産金型で製造した ABS 油圧コントロールバルブ部品について、絞り各段階におけるファイバーフロー評価、製品硬さ評価、残留応力評価を行った。

1－4 当該研究開発の連絡窓口

【事業管理機関】

公益財団法人滋賀県産業支援プラザ

連携推進部 ものづくり支援課 参与 山本 博之

〒 520-0806 滋賀県大津市打出浜2番1号 コラボしが21内

TEL：077-511-1414 FAX：070-511-1418

E-mail：h-yamamoto@shigaplaza.or.jp

【研究開発機関】

日伸工業株式会社

技術部技術課 馬場 保

〒520-2152 滋賀県大津市月輪一丁目1番1号

TEL：077-543-2467 FAX：077-543-2451

E-mail：tmbanba@nissinipn.co.jp

第2章 本論

2-1 押し込み絞りプレス加工技術の確立

2-1-1 CAE 解析を用いた各工程の最適加工条件確立 【1-1】

テスト金型の事前検討として、CAE 解析ソフトを用いて各工程の解析を実施した。図 2.1 は通常の絞り加工における計算に基づいた加工レイアウト図である。

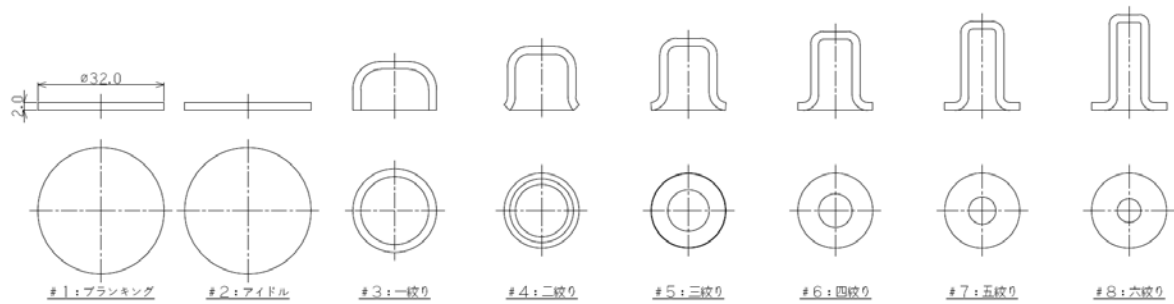


図 2.1 絞り工程部の加工工程図

素材厚は 2.0mm であるが、通常の絞り加工計算では板痩せは計算結果としては得られない為に、加工の可否については判断が出来ない。そこで、CAE 解析ソフトを用いて、図 2.1 の絞り加工工程を解析した結果が表 2.1 である。解析結果より通常の絞り加工（押し込み絞り加工を行わない）ではパンチ先端部（青色）に接触する素材が板痩せを起こし、3 絞り工程で割れに繋がる結果が CAE 解析より得られた。（解析結果として、赤色は板厚が厚く、青色に変化するに従い薄いことを示す）

	1 絞り	2 絞り	3 絞り	4 絞り	5 絞り	6 絞り
ストローク長	18.750	10.680	12.798	14.081	20.495	22.261
CL	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
割れ	無	無	有	-	-	-
最小板厚[mm]	1.727	1.580	1.461	-	-	-
成形荷重[t]	4.529	4.125	3.644	-	-	-

表 2.1 通常の絞り加工解析結果

次に、フランジ部を押し込みプレートにより加圧し押し込み絞り加工の CAE 解析を実施した結果が表 3.2 となる。押し込み荷重は 1000kg と設定し、1 絞りと 2 絞りのパンチとダイのクリアランスを変更し解析を実施した。素材厚 t=2.0mm に対して金型のクリ

【公開版】

アランスを 2.0mm に設定を行うと、絞り加工時の板痩せが見受けられ、6 絞り工程で割れが生じる結果が得られた。

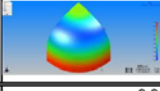
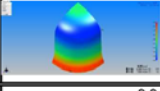
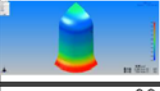
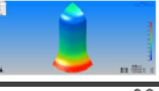
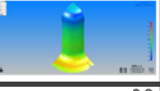
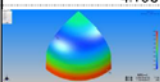
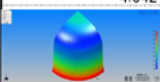
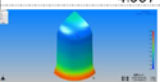
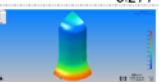
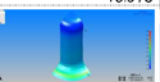
	1絞り	2絞り	3絞り	4絞り	5絞り	6絞り
ストローク長	18.750	12.680	16.600	17.911	20.495	22.261
押し込み荷重[kg]	-	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
CL[mm]	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
割れ	無	無	無	無	無	有
最小板厚[mm]	1.727	1.629	1.528	1.597	1.558	1.478
成形荷重[t]	4.529	4.728	5.011	3.140	14.236	18.577
						
CL[mm]	2.2	2.2	2.0	2.0	2.0	2.0
割れ	無	無	無	無	無	無
最小板厚[mm]	1.729	1.631	1.559	1.571	1.563	1.493
成形荷重[t]	4.158	4.642	4.957	3.277	13.978	9.485
						

表 2.2 押し込み絞り加工解析結果 1

表 2.2 において、押し込み荷重を 1000kg とした場合、6 絞り工程時点では製品の最小板厚が 1.47～1.49mm となったが、押し込み荷重を高く設定することで、製品の板厚が薄くなることを防げるかの CAE 解析結果が表 2.3 である。これらの CAE 解析結果より目標値として設定している絞り径に対する板厚の比率 25%は押し込み絞り加工や金型の設定により加工可能であることが確認できた。

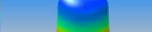
	1絞り	2絞り	3絞り	4絞り	5絞り	6絞り
ストローク長	18.750	12.680	16.600	17.911	20.495	22.261
押し込み荷重[kg]	-	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500
CL[mm]	2.2	2.2	2.0	2.0	2.0	2.0
割れ	無	無	無	無	無	無
最小板厚[mm]	1.729	1.660	1.585	1.613	1.582	1.540
成形荷重[t]	4.158	4.959	5.247	3.492	15.454	5.256
						

表 2.3 押し込み絞り加工解析結果 2

これらの CAE 解析結果より、絞り加工時のパンチとダイのクリアランス、押し込み荷重の設定値が製品板厚に及ぼす影響が大きく、テスト金型の設計時にこれらのデーターを展開し、テスト金型トライ時の実現象の確認を進めた。

2-1-2 テスト金型による押し込み絞りプレス加工技術の有効性確認 【1-2】

押し込み絞り加工のテスト加工を実施する為に図 2.1 に示す加工工程のテスト金型の製作を実施した。図 2.2 は押し込み絞り加工用のテスト金型組立図面である。図は 6 絞り工程であるが、他の絞り工程金型も基本構造は同一である。

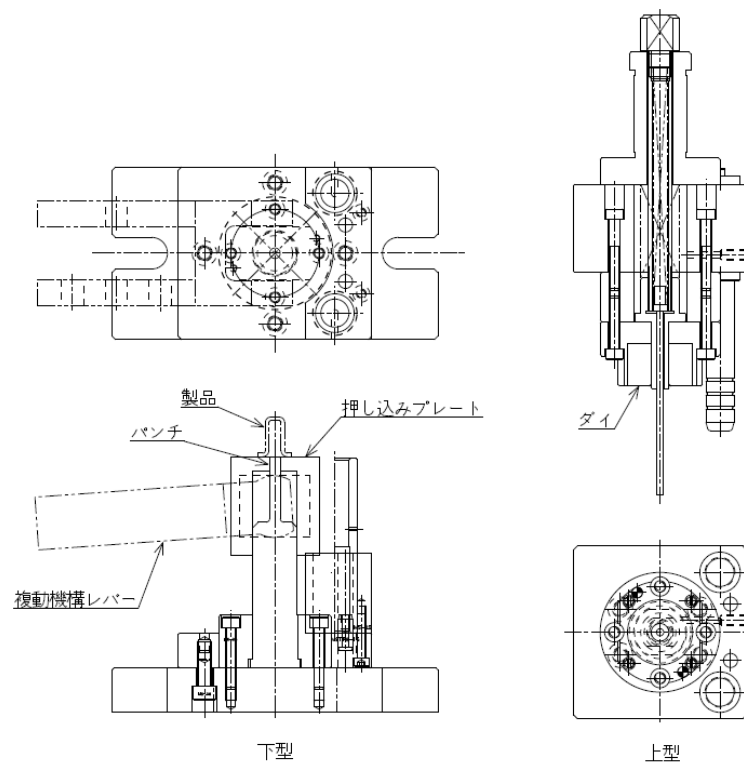


図 2.2 6 絞り工程金型組立図

図 2.2 内の押し込みプレートをプレス機とは別の複動機構で動作させる目的で、複動機構レバーが押し込みプレートと連結する構造となる。

押し込み絞りをする際に必要な加圧力であるが、下記の式より求めた。

適正加圧力＝初絞り容器側壁部の横断面積×素材降伏応力×係数

押し込み絞り工程で断面積が最大となるのは 2 絞りで、 96.1mm^2 、対象製品の材質は SUS304L で降伏応力は約 255N/mm^2 となることから、公式に当てはめると

適正加圧力＝ $96.1 \times 255 \times 0.30 \sim 0.45 = 7352 \sim 11027\text{N} = 750 \sim 1124\text{kgf}$

この計算結果より、押し込みプレートに必要な荷重を最大で 2000kgf に設定した。プレス機内の設置スペースに制約があることから、油圧シリンダー、レバー、サーボ式油圧ポンプを用いた複動機構の製作を実施した。図 2.3 サーボ複動機構の概略を示す。本研

究開発では5工程の押し込み絞りを行う為に、5 セット必要となる。

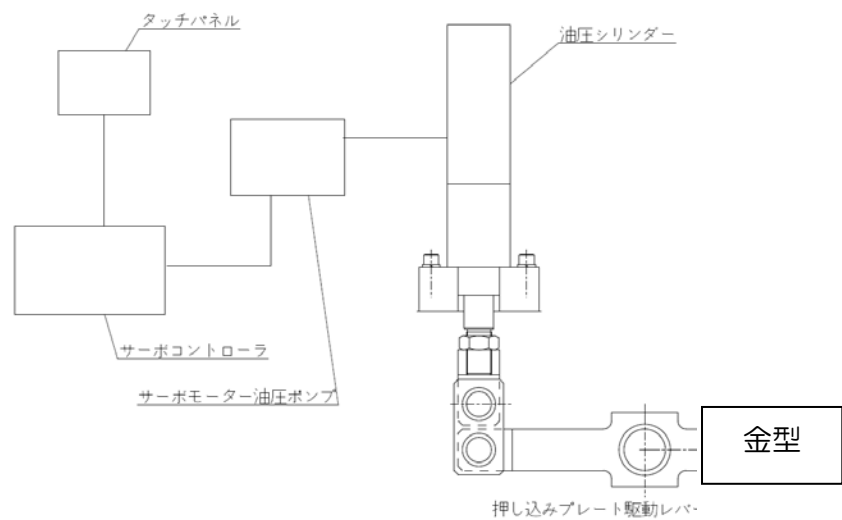


図 2.3 サーボ複動機構概略図

写真 2.1 がサーボ複動機構のコントローラであり、各複動機構の押し込み荷重の設定は液晶パネルより行う仕様である。コントローラの液晶パネル設定画面で、番号 P0001 の数値設定により押し込み絞り荷重の調整を行う。



写真 2.1 サーボ複動機構の設定用液晶パネル



写真 2.2 テスト金型及びサーボ複動機構取付状態

写真 2.2 は押し込み絞りを行う 2 絞り工程～6 絞り工程のテスト金型とサーボ複動機構をプレス機に取り付けた状態である。プレス機と押し込み絞りを制御するサーボ複動機構のタイミングは図 2.4 のタイミング図により検討を実施した。タイミング図は 4 絞り工程であるが、他の工程も同様に検討を実施した。

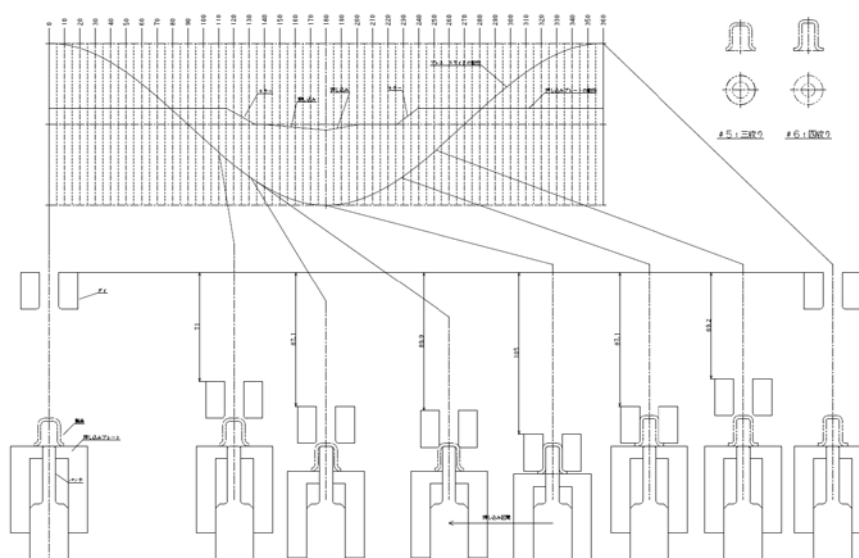


図 2.4 押し込み絞りタイミング検討図（4 絞り）



写真 2.3 テスト金型によるトライ

写真 2.3 はテスト金型にサーボ複動機構をセットし、トライ中の光景である。

サーボ複動機構の動作が正常であることを確認した。

テスト金型による初期トライのサンプルが写真 2.4 である。どちらも 2 絞り工程加工後の写真であり、サーボ複動機構による押し込みプレートにかかる荷重が異なる。加工結果より、押し込み荷重を高く設定することで、板痩せを抑制する効果のあることが確認できた。



押し込み荷重	500kg	1000kg
フランジ径	20.0~20.5mm	18.5~19.0mm
全高	17.0mm	17.5mm
R部板厚	1.58mm	1.60mm

写真 2.4 2 絞り工程加工結果

次に3絞り工程の加工結果を写真 2.5 に示す。このテストではテスト金型を下死点まで降ろさずに途中で停止している。押し込み荷重が 300kg では天部R（赤矢印）にクラック（割れ）傾向が確認できるが、押し込み荷重を 500kg とすると、クラック傾向の改善が確認できた。これは、押し込み絞り加工により素材を金型内へ押し込むことにより赤矢印付近の板痩せを抑制している結果である。



押し込み荷重 300kg

500kg

写真 2.5 3 絞り工程加工結果（途中停止）

3 絞り工程において下死点まで加工を行った場合の結果を写真 2.6 に示す。青色矢印の部分から材料がダイ内へ素材が入り込まずに抵抗となり、天部が破断する結果となる。押し込み荷重を 500kg から 1500kg まで段階的に高めて加工テストを実施したが、変化は確認できなかった。



写真 2.6 3 絞り工程加工結果（下死点）

対策として、押し込み絞り工程のダイ形状を図 2.5 に示すように当初は左側に示す均一R

【公開版】

形状とし、前工程の製品とダイとの接触角度は 45 度以下を狙いとし、約 34 度（工程により若干の変化有）に設定をし、加工テストを実施していたが、アドバイザーからの助言によりトラクトリス曲線による効率の良い加工法を応用し、図 2.5 の右側に示すなぎなた形状のダイを製作した。製品とダイとの接触角度は 26 度となる。

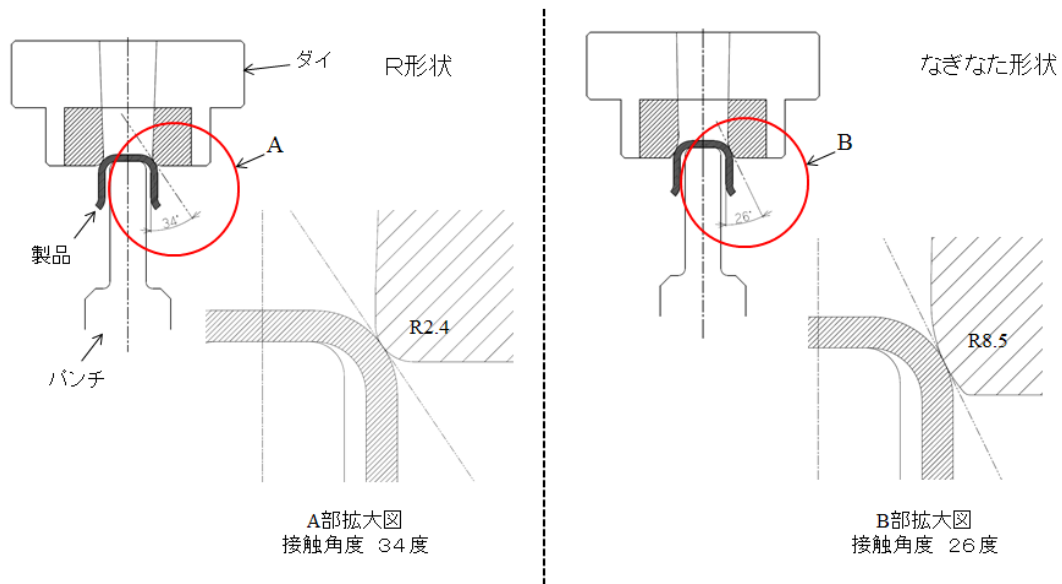


図 2.5 ダイ形状変更テスト内容



写真 2.7 接触角度 26 度のダイによる加工結果

なびなた形状を用いた製品との接触角度 26 度のダイによる加工結果を写真 2.7 に示す。製品とダイとの接触角度の最適化を図ることで、押し込み絞り加工時に抵抗となっていた素材の流動抵抗が軽減されたことが確認できた。加工条件として 2 絞りから 4 絞りの間は、押し込み荷重を 1000kgf の設定で実施したが、5 絞りでは天部にクラック傾向が確認できたために 1900kgf の設定で加工を実施した。この時点での加工条件では 6 絞り工程で天部の破断が生じる結果となった。

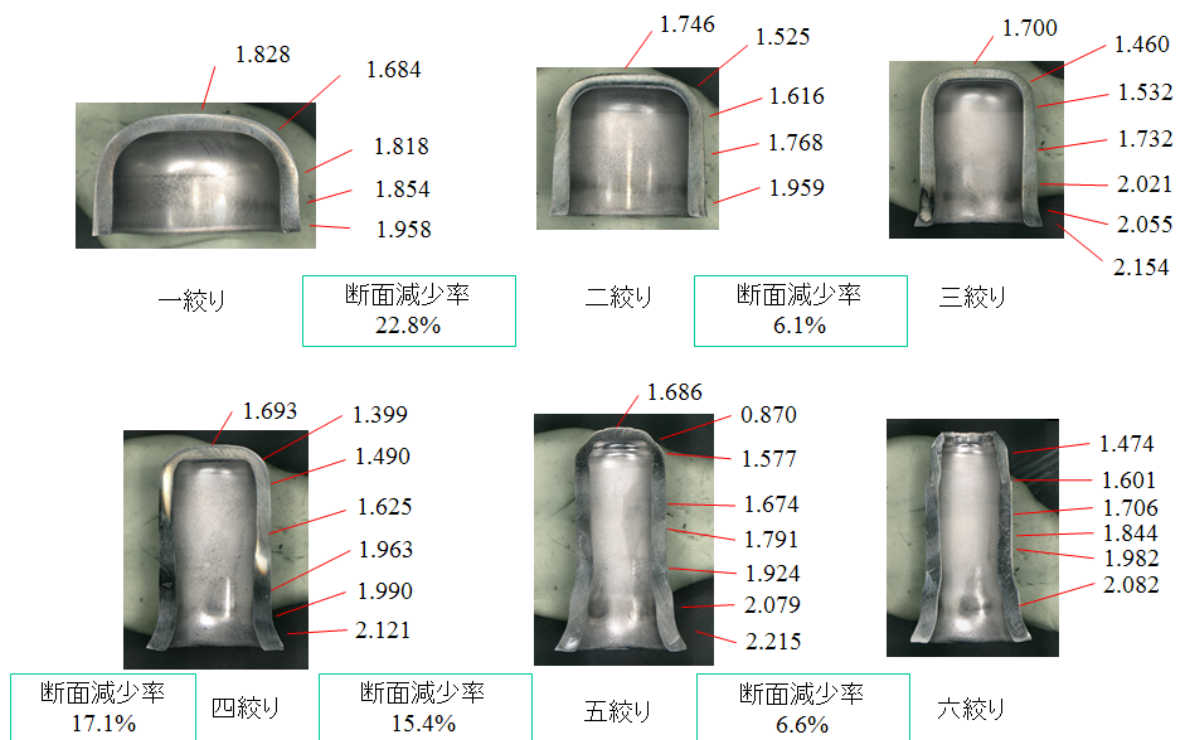


写真 2.8 各工程における製品断面

各工程における製品断面写真と各ポイントの板厚、及び各工程間の断面減少率を写真 2.8 に示す。ここに示す断面減少率についてはサンプルの実測により算出した値である。断面減少率が 35%以上であれば絞り率の見直しが必要となる。

上記結果より、複動機構による押し込みを強制的に行うことで素材の流動への影響についてテストを実施した。概略金型構造は図 2.6 となる。図 2.6 の左側は従来の金型構造であ

【公開版】

り、押し込みプレートを複動機構で制御することにより可變的に加圧する。一方、右側は押し込みプレートの下にストッパーを追加することで、パンチと押し込みプレートの段差が固定され、強制的に素材を金型内へ流し込もうとするテストである。

加工結果としては、写真 2.9 に示す。パンチと押し込みプレートの段差が固定の為、ダイと製品が接触した直後の絞り開始時は、図 2.6 に示すように押し込みプレートが製品と接触しないことからパンチにより製品天部が牽引されることで、コーナー部に板痩せ減少が生じ、更にダイが下降して下死点付近に至ると、絞り加工初期段階で全長が伸ばされることで、全高が高くなり過剰な素材をパンチとダイの隙間に流し込もうとする力が作用し、過剰な押し込み状態となることで製品がダイから排出されないトラブルが生じた。以上の事から、押し込み絞りを行う場合には、パンチで牽引される天部の牽引力と、押し込みを行うフランジ部の加圧力のバランスを常に考えておくことが重要となる。

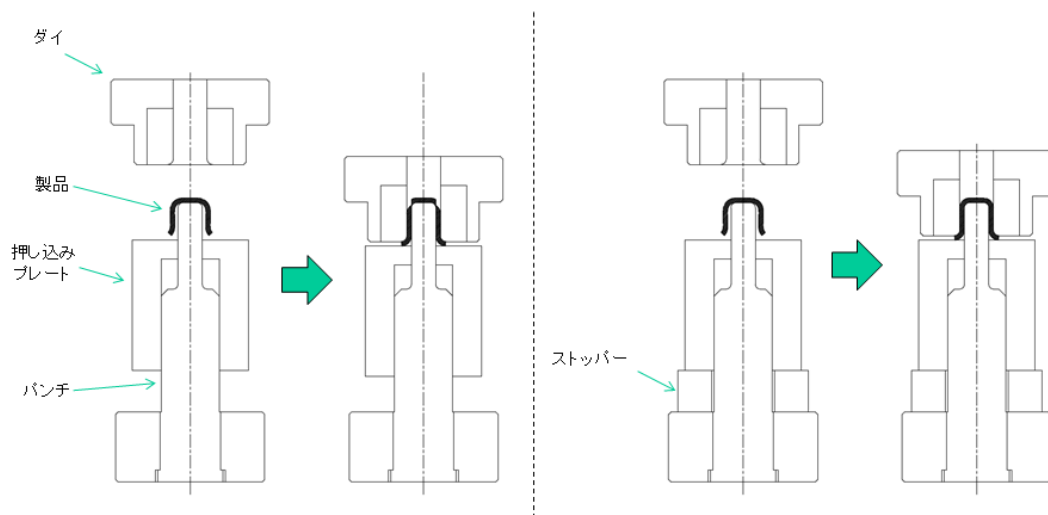


図 2.6 強制押し込み絞り加工テスト

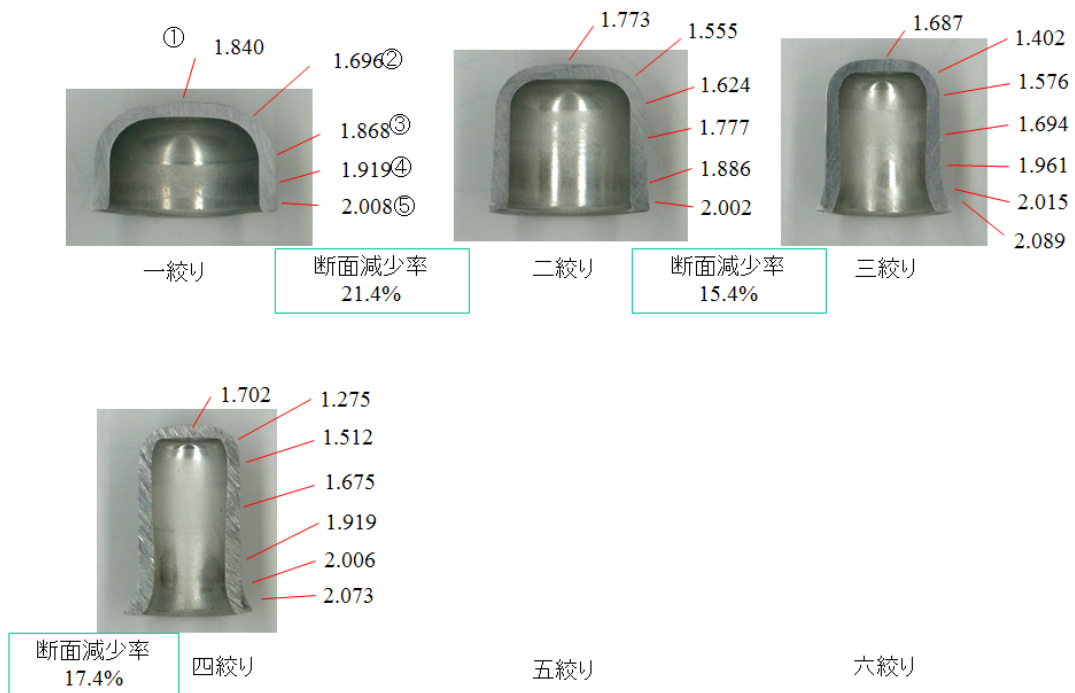


写真 2.9 強制押し込み絞り加工テスト

次に、上記テストでは金型のダイに超硬（G5）を使用していたが、金型と素材の摩擦を下げる為にダイ及びパンチ表面に PVD コーティングを施した。コーティングの特色として膜硬度がビッカース硬度で 2500～2800 と非常に硬く有効であると考ええる。写真 2.10 はコーティングを施した金型を使用し、複動機構を使用した加工結果である。写真 3.4 と比較すると板痩せの改善が確認できる。これらはコーティングによる摩擦の低減により金型への素材流動が良化した結果によると考えられる。

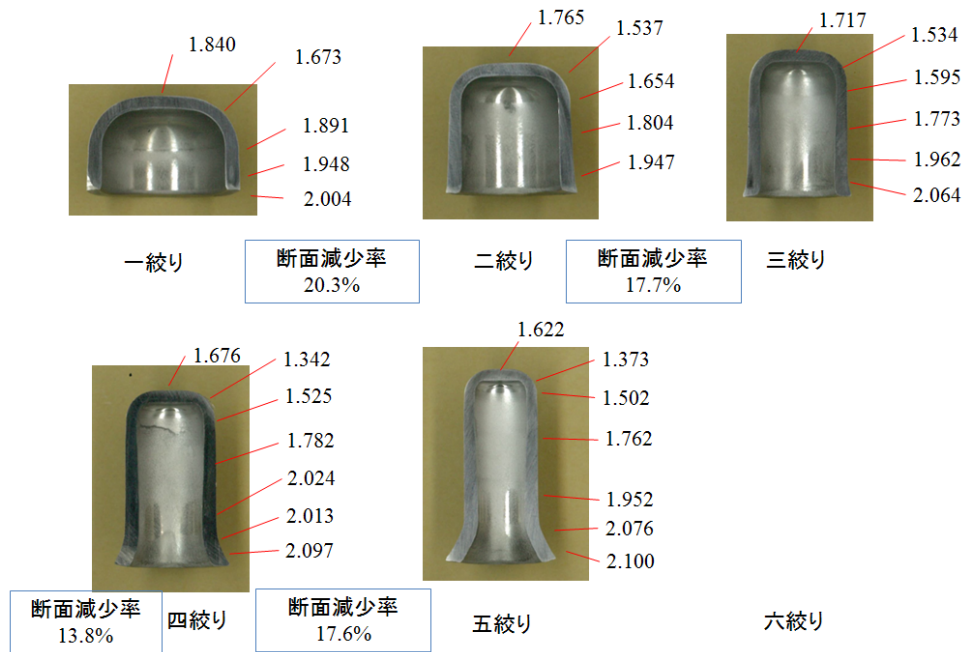


写真 2.10 コーティング金型による加工結果

現状は難加工材の SUS304L を使用してきたが、SUS304L に銅を添加することで加工硬化が小さい特性を持った特殊材と、鋼板の SPCE 材をテスト的に加工した。写真 2.11 及び、写真 2.12 に示す。

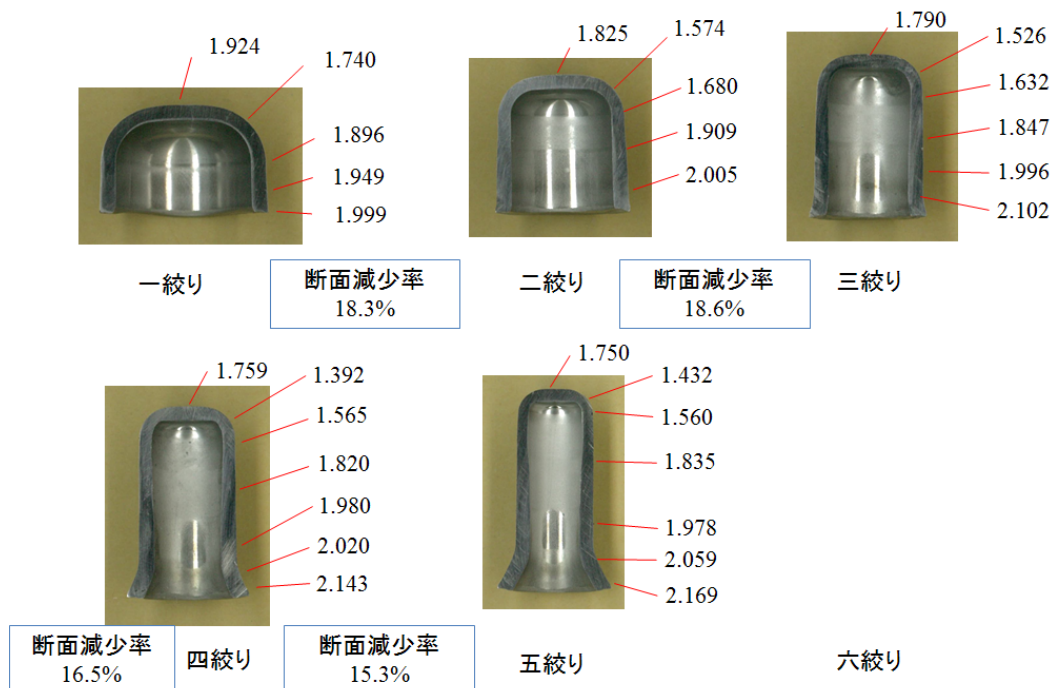


写真 2.11 特殊材による加工結果

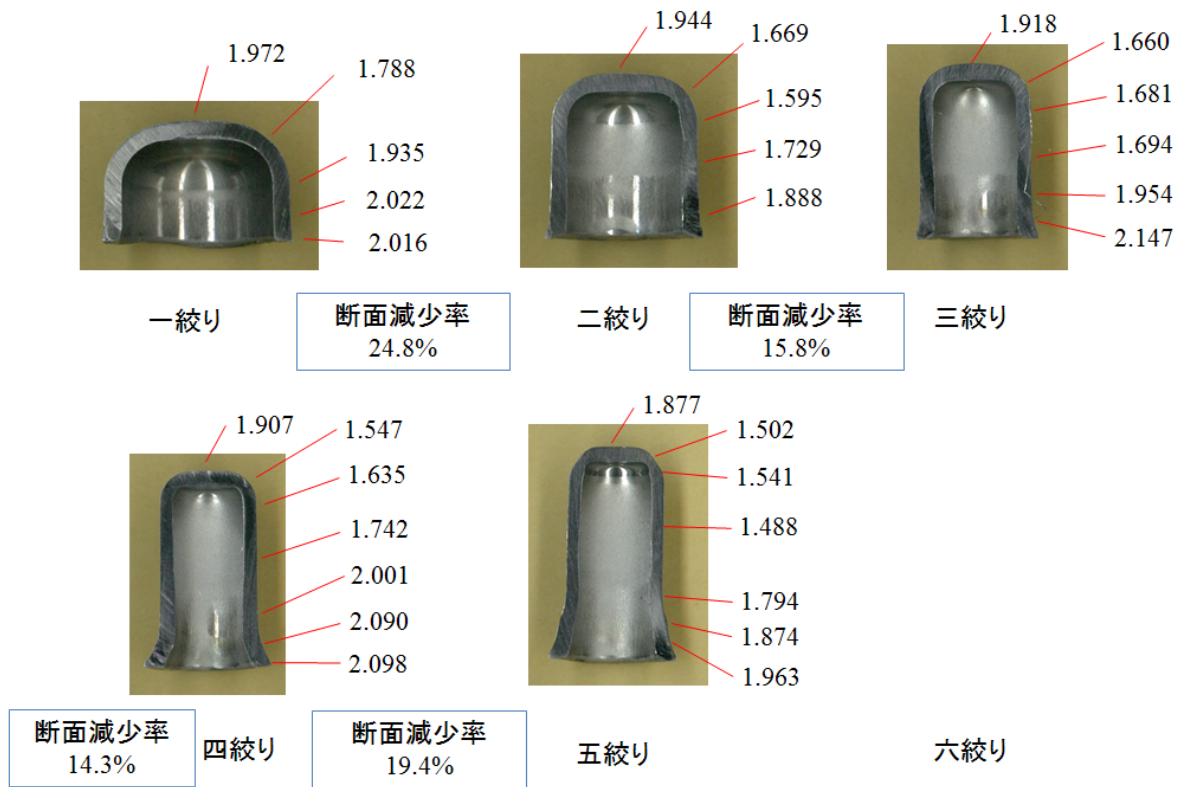


写真 2.12 鋼板 SPC 材による加工結果

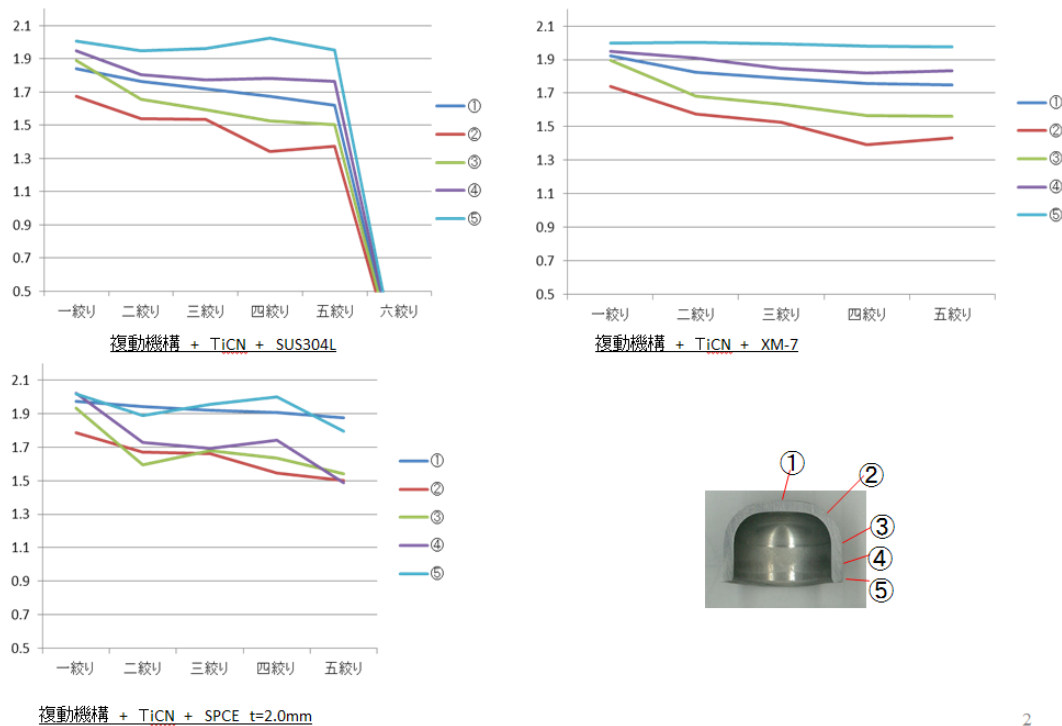


図 2.7 材質違いによる各工程の板厚比較

図 2.7 は材質違いによる各工程での板厚をグラフ化したものである。数値的に比較を行うと SUS304L と特殊材では若干ではあるが板痩せの改善傾向が確認できた。但し、特殊材は鍛造加工用に開発された材料であることから、今回のテスト加工では加工度が低いために効果が低いと考えられる。一方、SPCE においては SUS304L と比較して材料特性の違いから板痩せにおける差は顕著に表れる結果となっている。

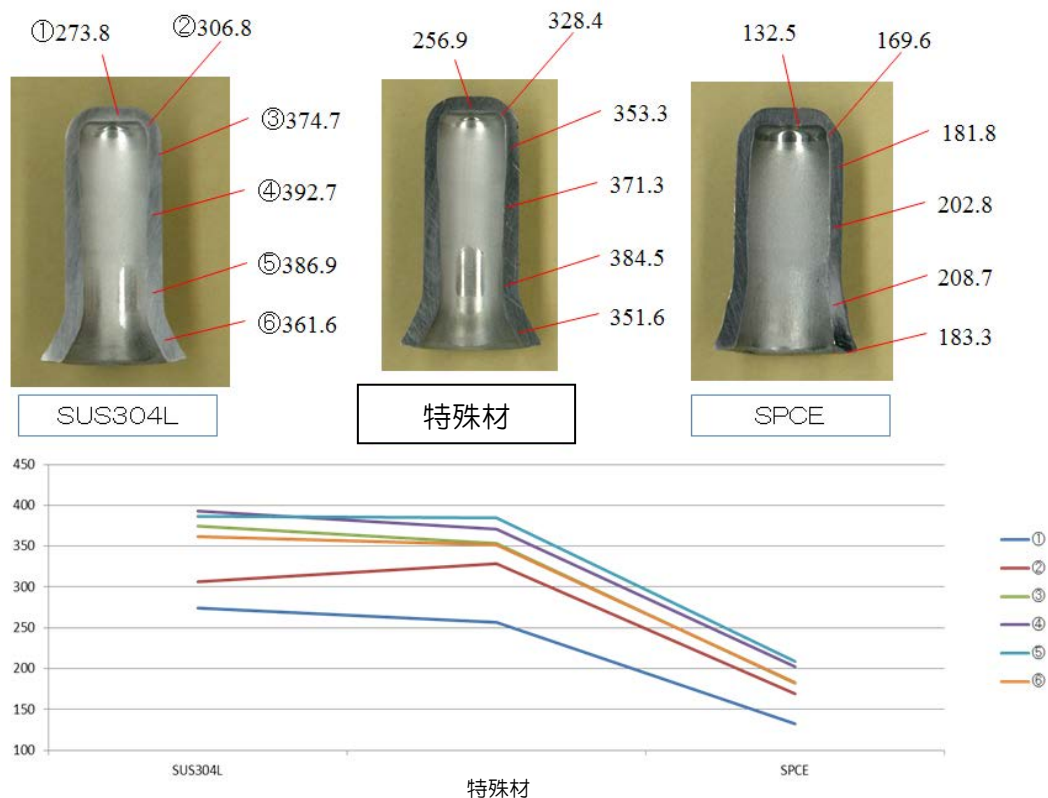


図 2.8 各材質による 5 絞り加工後のビッカース硬度比較

次に、SUS304L、特殊材、SPCE の各材質による 5 絞り工程における加工硬化を比較する為にビッカース硬度計により比較を実施した（図 2.8）。SUS304L の加工前の素材状態での硬度は約 170HV であるが、④～⑥にかけては変形量が大いことから、硬度の上昇が確認できる。但し、今回の加工テスト条件では、SUS304L と特殊材において硬度においても大きな差は確認できなかった。

2-2 工程独立式可変速押し込み複動機構による押し込み絞りプレス加工技術の確立

2-2-1 連続生産に適した押し込み絞りプレス加工の開発 【2-1】

図 2.9 は連続生産に対応する為の 5 工程分の金型検討図であるが、これらの金型図面を含めて連続生産を行う為のトランスファープレス機の仕様検討を実施した。具体的に検討を実施したトランスファープレス機の仕様書を図 2.10 に示す。この基本仕様に基づきトランスファープレス機の製作を実施した。45ton の加圧能力を持つトランスファープレス機とし、18 工程の金型を取り付けることが可能で、各工程独立したダイハイト調整が可能である。また、金型間の製品搬送には 3 次元駆動のトランスファープレス機により行う仕様である。

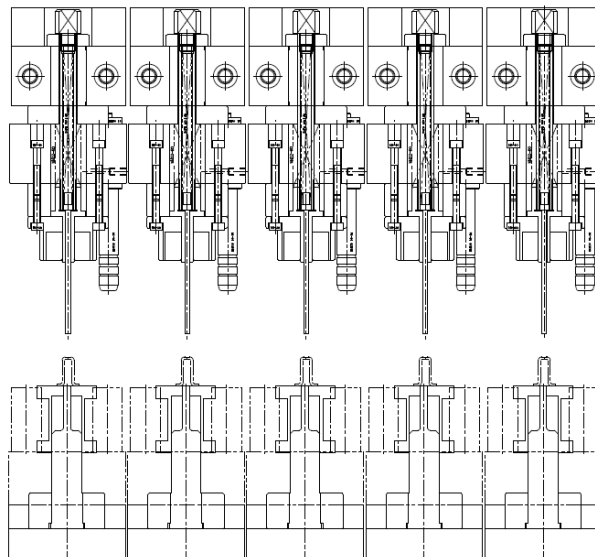


図 2.9 連続生産対応金型検討図

(1) 必要機能	1. 18工程の独立した金型を取り付け、工程間の製品搬送はトランスファー装置により行う。 2. 加圧能力は45tonとし、絞り加工に対応したプレス機とする。
(2) プレス本体部	・ 加圧能力：450kN
(3) トランスファ一駆動装置	・ 3次元トランスファー送り装置
(4) 素材供給	・ 最大送り長さ：130mm ・ 最大材料幅：100mm ・ 送り線高さ：175mm ・ 最大横振り幅：50mm ・ 工程ピッチ：100mm
(5) ダイクッション装置	・ 最大能力：670kg ・ 最大ストローク：55mm ・ 必要工程数：17工程（2～18工程） ・ 工程ピッチ：100mm
(7) 安全対策	・ 前後安全ドア（インターロック式） ・ 作業照明灯：前後各1 ・ ミスグリップ検出装置
(8) その他	・ 4～8工程に複動ユニット取付構造とする

図 2.10 トランスファープレス機仕様書

テスト金型による連続稼働を実施する為の加工工程としては、2 年目に実施した単発テスト金型による加工ノウハウを展開し、連続生産テストを実施する為の搬送機構の検討・設計を行った後、搬送部品の製作を実施した。テスト金型による連続稼働用の工程レイアウトを図 2.11 に示す。レイアウト図中の#4:二絞り～#8:六絞り工程に複動機構による押し込み絞りを行う。

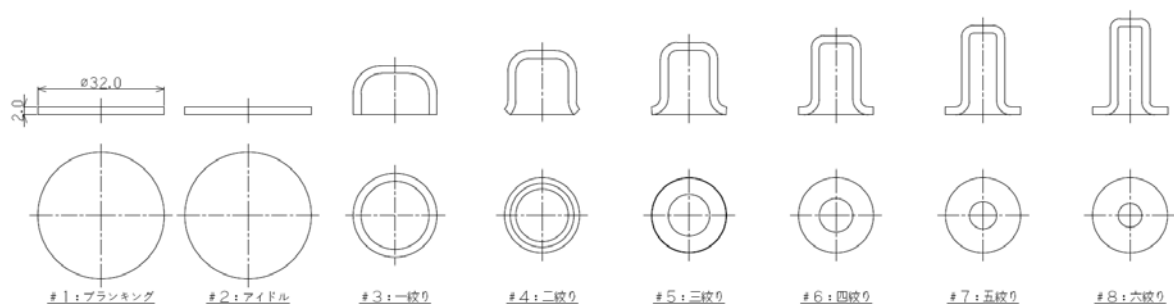


図 2.11 連続稼働用加工工程レイアウト図

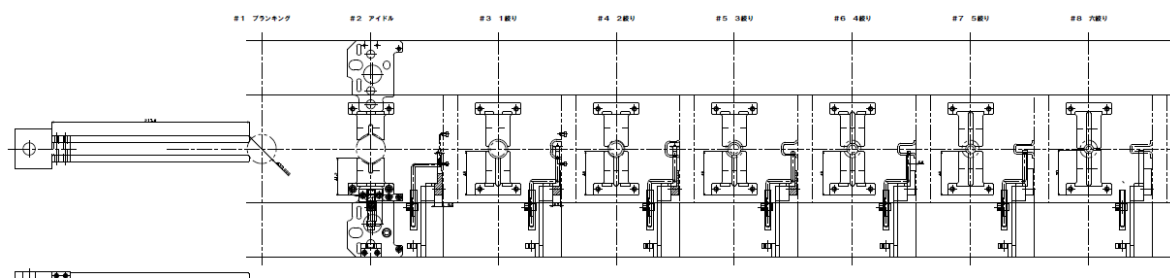


図 2.12 搬送装置組立図

図 2.12 は、搬送装置の組立図である。下型の前後に設置されたバーに、製品をチャックする為の搬送部品が固定されている。各工程の金型が左側より並んでプレス機に固定されており、上型が上昇している間に、搬送装置により順次 1 工程右側に搬送していく仕組みである。各工程の搬送装置には製品を正常にチャックしていることを検出する近接センサーが組み込まれており、正常に製品がチャックできなかった場合には、プレス機の運転を停止する仕組みがプレス機に備わっている。また、製品を安定して搬送させる目的で、金型上にある製品を搬送装置でチャック後に 5mm 上昇動作を行い、金型と製品の間に隙間を設けた状態で、次工程へと移動し、目的の位置に到達後、搬送装置が 5mm 下降する動作を行う仕様としている。

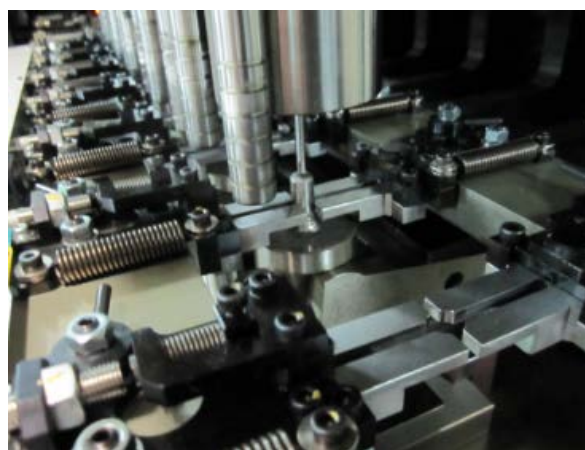


写真 2.13 搬送装置による製品の搬送状態

各工程の複動機構のモーションについては、基本的に単発テスト金型によるテスト加工時

と同一となるので、プレス機に対する複動機構の動作タイミングについては、同一タイミングとした。(図 2.13)

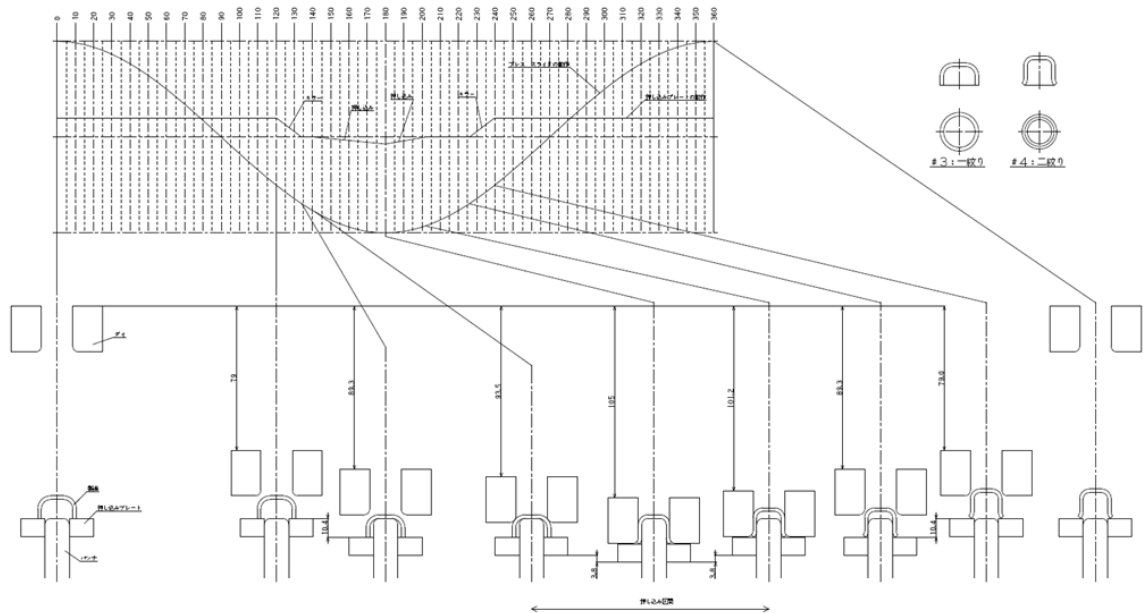


図 2.13 プレス機の回転角度に対する複動機構のモーション図

各工程の押し込み有効角度と、押し込み作動時の荷重については、図 2.13 に示す。非押し込み時にはパンチからのロックアウト（排出）が必要になることから、500kgf の荷重をかけている。また、各工程で再絞り加工時の全高が変化することから、押し込みの開始角度は工程毎に異なる。押し込み荷重については、製品の出来栄を確認しながら調整を実施。工程毎に荷重の条件は異なるが、例えば、過剰な押し込みを行ってしまうと、パンチとダイの隙間に板厚以上の素材を流し込もうとするために、ダイへの食らい付が起こってしまい、一方、押し込み力が不足すると、天部をパンチが牽引してしまい、天部の R 部にクラックが生じ、破断に至る。写真 2.14 は図 2.14 の複動機構条件で加工したレイアウトのカットサンプルである。

ここで、一絞り工程から六絞り工程（複動機構は二絞り～六絞り）の全行程を同時にプレス機で加工しようとする、プレス機的能力不足となることがわかり、SUS304L 材を使用した搬送装置を使用しての連続稼働は 4 絞り工程までの加工で検証を実施した。原因として、当初、押し込みに必要な荷重は一工程辺り 700kgf～800kgf を想定していたが、実際には SUS304L 材の加工硬化、押し込み荷重の強化、ロックアウト荷重強化のなどで

想定以上の荷重が必要となったことが考えられる。

適正加圧力＝初絞り容器側壁部の横断面積×素材降伏応力×約 0.30

押し込み絞り工程で断面積が最大となるのは 2 絞りで、 96.1mm^2 、対象製品の材質は SUS304L で降伏応力は約 255N/mm^2 となることから、公式に当てはめると

適正加圧力＝ $96.1 \times 255 \times 0.30 = 7352\text{N} = 750\text{kgf}$

	#1:二絞り	#2:三絞り	#3:四絞り	#4:五絞り	#5:六絞り
押し込み荷重(kgf)	1000	1300	1500	1500	1500
非押し込み(kgf)	500	500	500	500	500
開始角度(度)	143	141	138	133	131
終了角度(度)	180	180	180	180	180

図2.14 各工程の押し込み荷重と押し込み有効角度

【公開版】

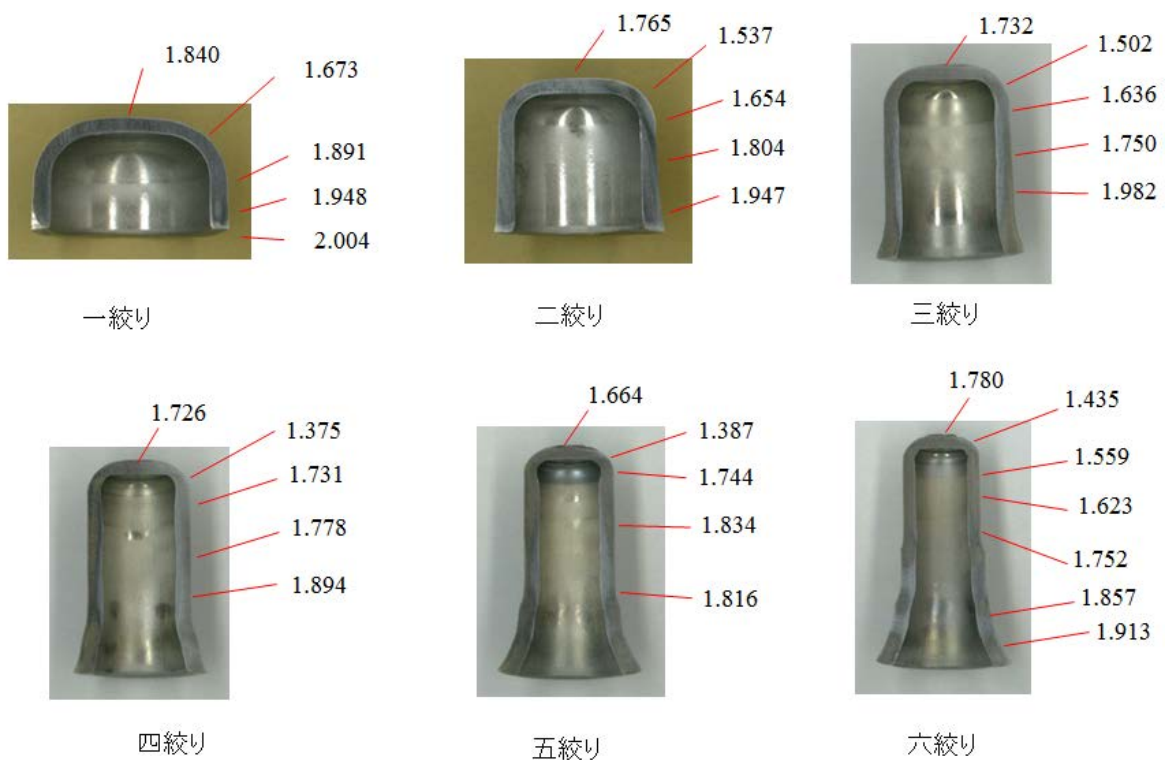


写真 2.14 加工レイアウトのカットサンプル

テスト金型のトライ結果より得られたノウハウをベースにして、顧客からの要求仕様（図 2.15）に基づき連続生産に対応する金型の仕様検討・加工工程設計・金型設計・トライを実施した。図 2.16 は加工レイアウト図であり、CAE 解析による結果を反映している。写真 2.15 は調整途中の連続生産金型である。顧客要求に基づき材質は SUS315、素材厚 0.8mm を使用する。図 2.17 に SUS304L と SUS315 の材料特性を示す。テスト金型では SUS304L 材を使用してきたが、顧客要求仕様により、この金型では SUS315 材を使用する。

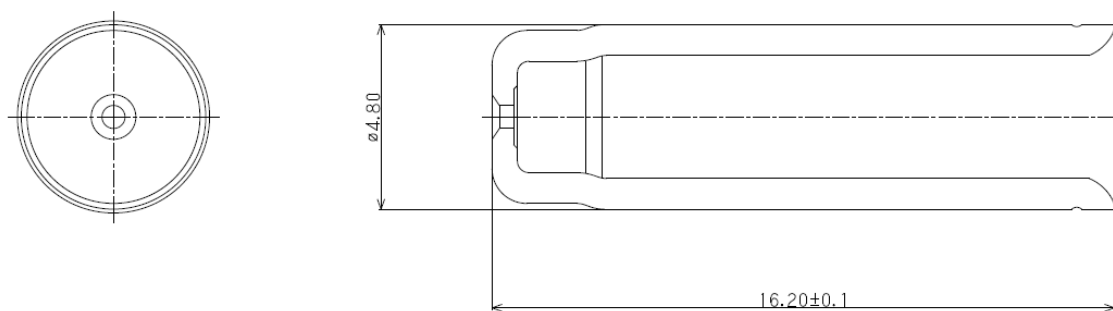


図 2.15 顧客要求形状図

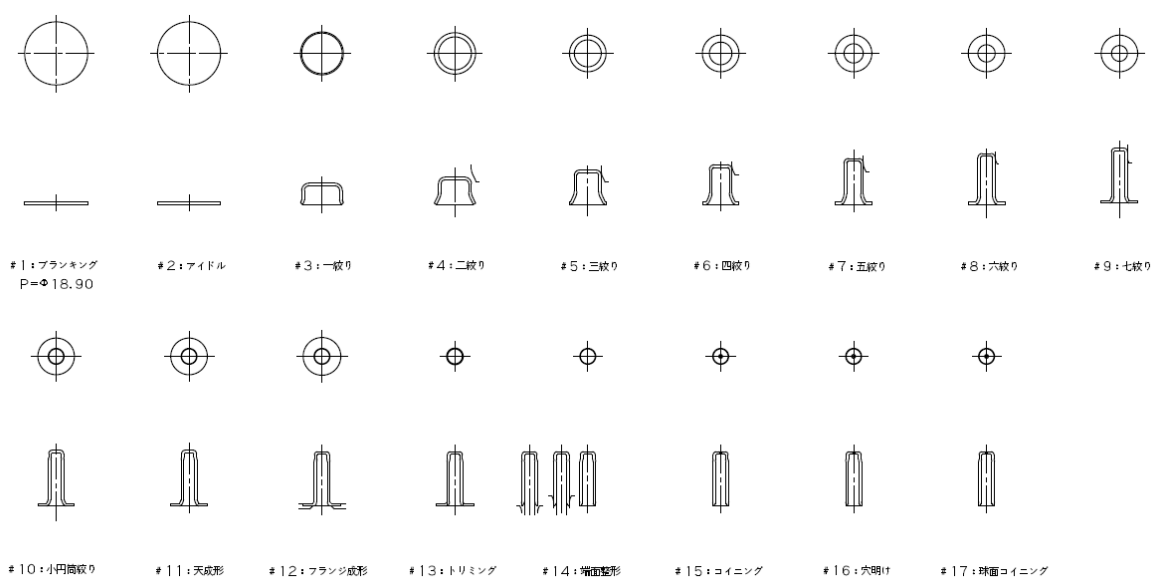


図 2.16 加工工程図



写真 2.15 連続生産金型

SUS304Lの成分、組成（単位：％）											
材料記号	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	N	その他
SUS304L	0.030 以下	1.00 以下	2.00 以下	0.045 以下	0.030 以下	9.00～ 13.00	18.00 ～ 20.00	-	-	-	-

材料記号	耐力 N/mm ²	引張強さ N/mm ²	伸び（％）	硬さ		
				HBW	HRBS又はHRBW	HV
SUS304L	175以上	480以上	40以上	187以下	90以下	200以下

SUS315J1の成分、組成（単位：％）											
材料記号	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	N	その他
SUS315J1	0.08 以下	0.50 ～ 2.50	2.00 以下	0.045 以下	0.030 以下	8.50 ～ 11.50	17.00 ～ 20.50	0.50 ～ 1.50	0.50 ～ 3.50	-	-

材料記号	耐力 N/mm ²	引張強さ N/mm ²	伸び（％）	硬さ		
				HBW	HRBS又はHRBW	HV
SUS315J1	205以上	520以上	40以上	187以下	90以下	200以下

図 2.17 SUS304L と SUS315 の材料特性比較



写真 2.16 加工レイアウト



写真 2.17 各工程製品断面形状

	#5:三絞り	#6:四絞り	#7:五絞り	#8:六絞り	#9:七絞り
天面	0.792	0.806	0.801	0.792	0.721
天コーナー	0.767	0.728	0.792	0.802	0.743
円筒上	0.804	0.846	0.820	0.807	0.807
円筒中	0.809	0.831	0.819	0.808	0.808
円筒下	0.798	0.826	0.806	0.811	0.809

図 2.18 各部板厚分布

写真 2.16 にトライ時の加工工程サンプルを示す。赤色下線部が工程独立式複動機構を使用した工程である。写真 2.17 は押し込み絞り工程の製品断面写真である。また、図 2.18 に各部板厚分布を示す。先に実施したテスト金型によるサンプルと比較すると、板痩せ現象が抑えられていることが確認できた。要因としては、複動機構の荷重を 500～1000kgf と低荷重で対応可能となったことや、板厚比が 25%→21%と若干ではあるが軽減されたことによると考えられる。（参考 通常の絞り加工では 5%程度）

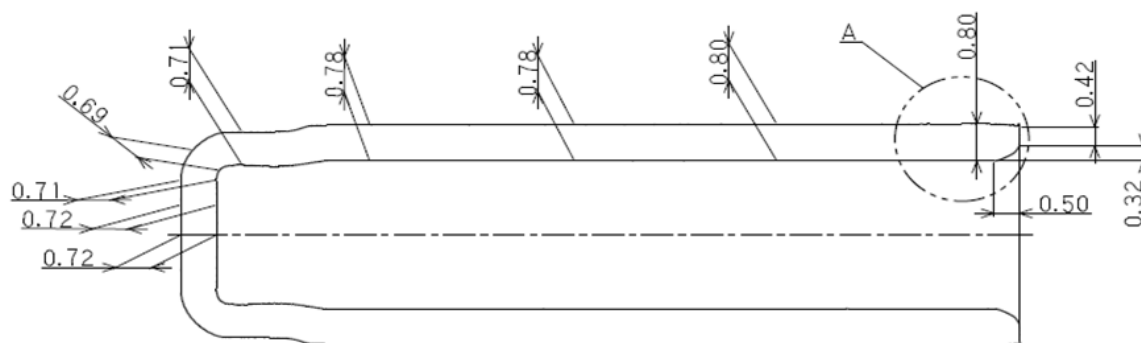


図 2.19 CAE 解析結果による板厚分布図

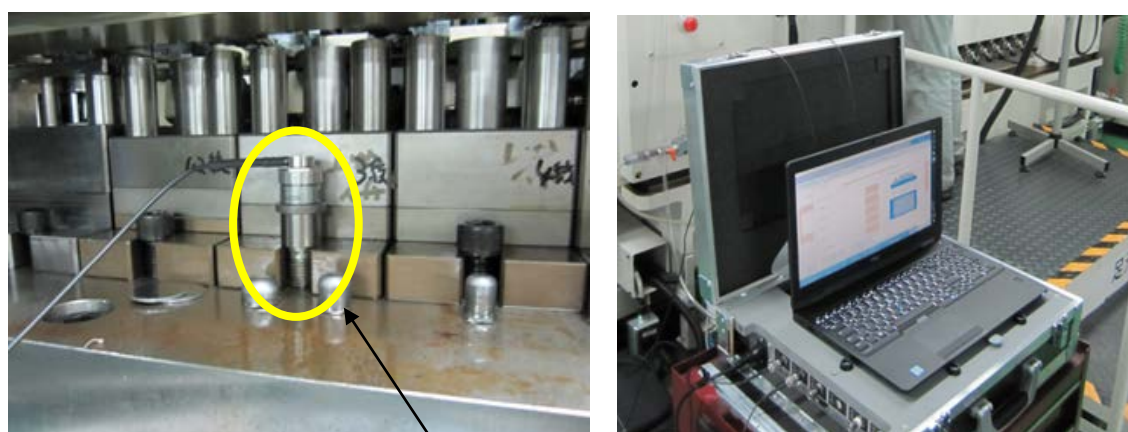
図 2.19 は、加工工程レイアウト時に CAE 解析により得られた板厚分布であるが、ほぼ実測値と一致している結果が得られている。

	規格値	公差	No.1
全長	16.2	± 0.1	15.52
大円筒外径	$\Phi 4.80$	± 0.01	4.80
小円筒外径	$\Phi 4.50$	± 0.1	4.48
大円筒内径	$\Phi 3.20$	± 0.1	3.24
天部板厚	0.66	min	0.718
小円筒板厚	0.8	-	0.737
大円筒板厚上	0.8	-	0.798
大円筒板厚中	0.8	-	0.784
大円筒板厚下	0.8	-	0.784

図 2.20 測定結果

図 2.20 に川下企業の要求仕様に基づき、主要ポイントの測定結果を示す。全長については、絞り深さの調整により改善を見込んでいる。絞り径については、顧客要求仕様を満たしており、板厚に関しても、問題のないレベルであると判断する。

本テスト加工では、ロードモニターを金型に取り付けて加工状態の可視化を行った。具体的には圧電素子を組む込んだピエゾボルトを金型の固定に使用することで、プレス加工時に金型にかかる歪を波形として読み取る装置である。(写真 2.18)



ピエゾボルト

写真 2.18 ロードモニター

テスト金型による連続加工時の金型固定ボルトに作用する歪波形を記録したのが図 2.21 である。プレス回転数 22SPM で連続稼働時の正常状態での歪波形は左側のグラフである。横軸は時間、縦軸には歪量を表している。波形は 1 ストローク分の波形である。左側のグラフは、絞り加工が正常に行えた状態の波形である。各部に想定される現象を記載している。一方、天部が破断した際には右側の波形となる。横軸である時間軸の中央付近より左側に生じていることから、製品の加工段階と考えられ、その際、天部が破断することで、瞬間的に荷重が抜けてしまうことから、歪が下がったと考えられる。

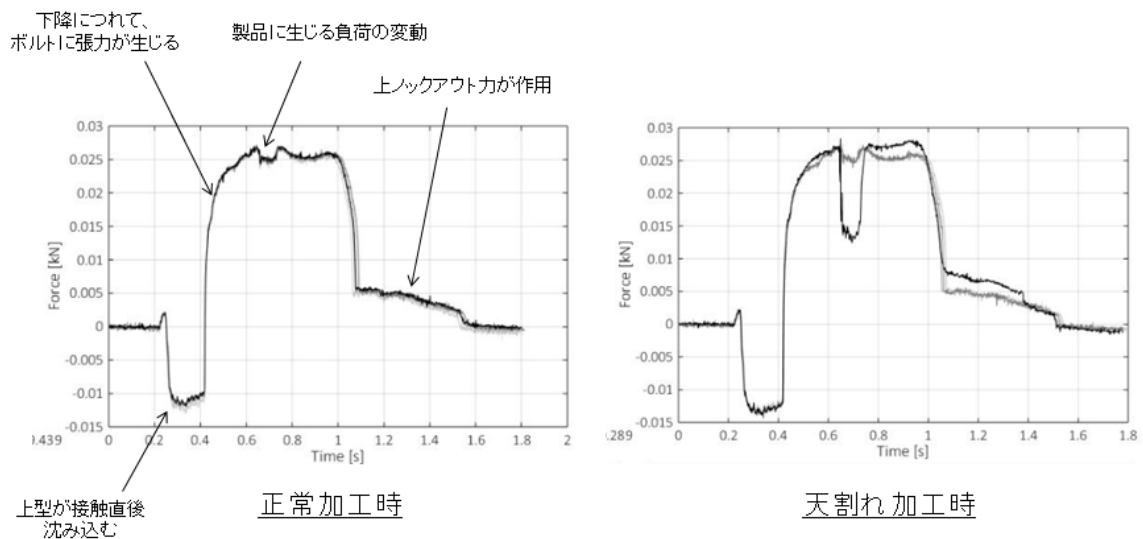


図 2.21 ロードモニターによる歪波形

2-2-2 独立式温度調整機構を装備した連続生産対応金型の開発 【2-2】

テスト金型による温度調整を実施する為に、金型内に液体を循環させる金型構造の検討・設計を実施した。図 2.22 に組立図例を示す。左側が下型、右側が上型となる。金型構造上温調用媒体を通す流路については、極力先端ツールに近い部分を通る様に検討を実施し温調用媒体としては、取扱い・使用温度、温調機との関係により、水を使用することとした。温度調整には金型内に冷却媒体である水を循環させるが、水漏れ等による弊害を防止する目的で、水を吸引する負圧式の循環とした。

【公開版】

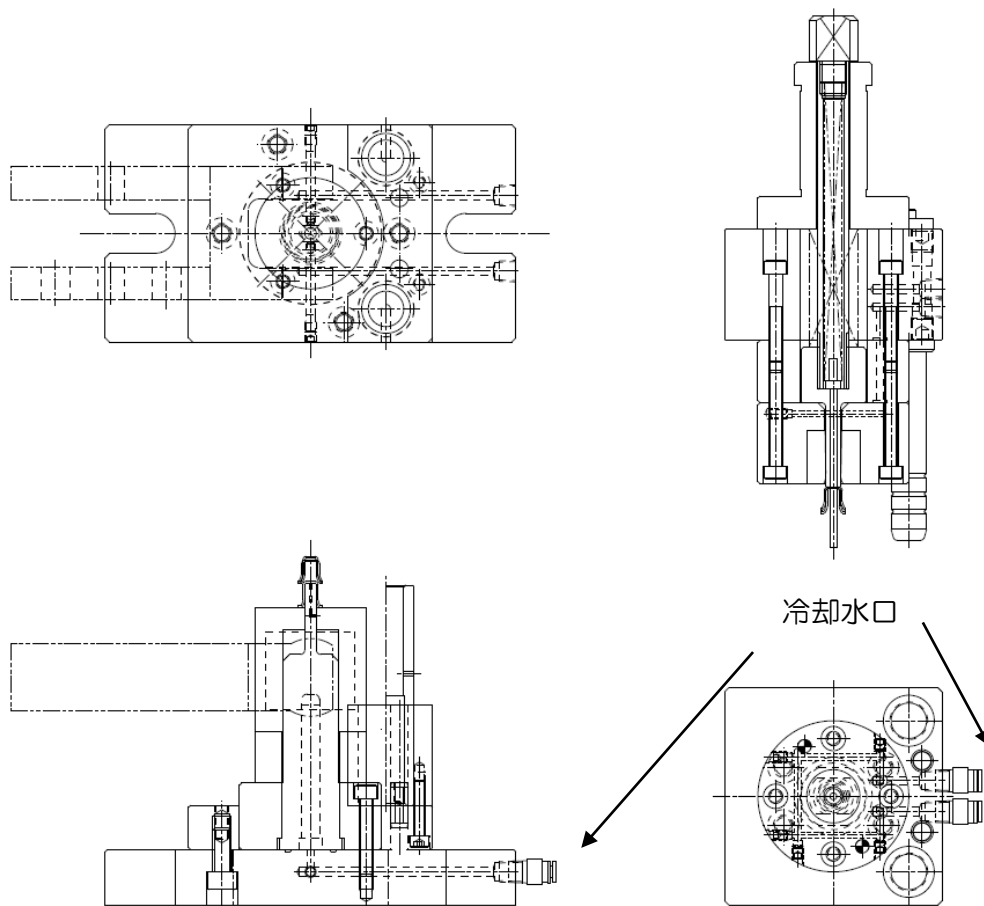


図 2.22 温度調整対応金型



写真 2.19 温調機器（左：負圧式加温機、右：冷却器）

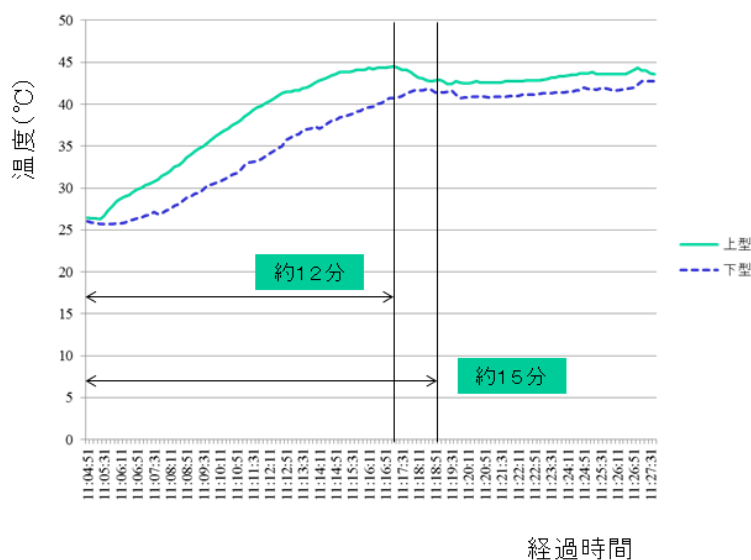
【公開版】

金型の温度調整を行う為の設備として、写真 2.19 の温調機を使用した。仕組みとしては、負圧式加温機内（写真左）のタンク内の温調用媒体である水の温度が機器の設定値よりも低い場合は、装置内に組み込まれたヒーターにより加温し、逆に、設定値よりも高い場合には、冷却器（写真右）より、温度の低い水を負圧式加温機内のタンクへ注入することで、温度を下げる仕組みである。



写真 2.20 各金型への冷却配管

金型へ温度調整用水を循環させる為に、加工時に発熱が想定される押し込み絞り工程の各金型への配管（写真 2.20）を行い、冷却水が循環することを確認した。



温調機設定温度 50°C
(室温 23°C)



熱電対による温度計測

図 2.23 金型単独での温度変化テスト

【公開版】

温調機器による金型の温度変化を把握する目的で、金型単体に配管を施し、温度計測を実施した。(図 2.23) 温調機器の設定温度を50度に設定し10秒毎の金型に貼り付けた熱電対により測定を実施した。熱電対を貼り付けた測定箇所として、連続稼働を考慮して、上型はダイ部品の外周部、パンチに関しては、パンチの直近では押し込みプレートが摺動することから、熱電対を設置できるスペースが無く、パンチを支えるバックプレートとした。金型構造上パンチの近くでの測定が不可であることから、参考値程度の値となる。

このテストでは、50度の温度調整用水を循環させた際の金型温度上昇時間の把握する目的である。結果としては、上記の設定では約12分前後で、金型の温度が設定温度50度とした際に約44度付近で平衡状態となることが確認できた。

金型をプレス機に取り付けて、連続稼働時の温度変化推移について測定を実施した。

まず、温調機器を使用しない場合の温度推移についてテストを実施した。

プレス機の回転数は22SPM に設定し、テスト金型による連続生産をした結果を図 2.24 に示す。4 絞り工程の上型ダイと下型のパンチホルダープレート部で測定を実施した。その結果、上型ダイにおいて約8分後に温度上昇が平衡状態となることが確認できた。約180ショット生産時点となる。その後、温度上昇は平衡状態となり、製品内側温度を計測したところ、約85度となっていた。

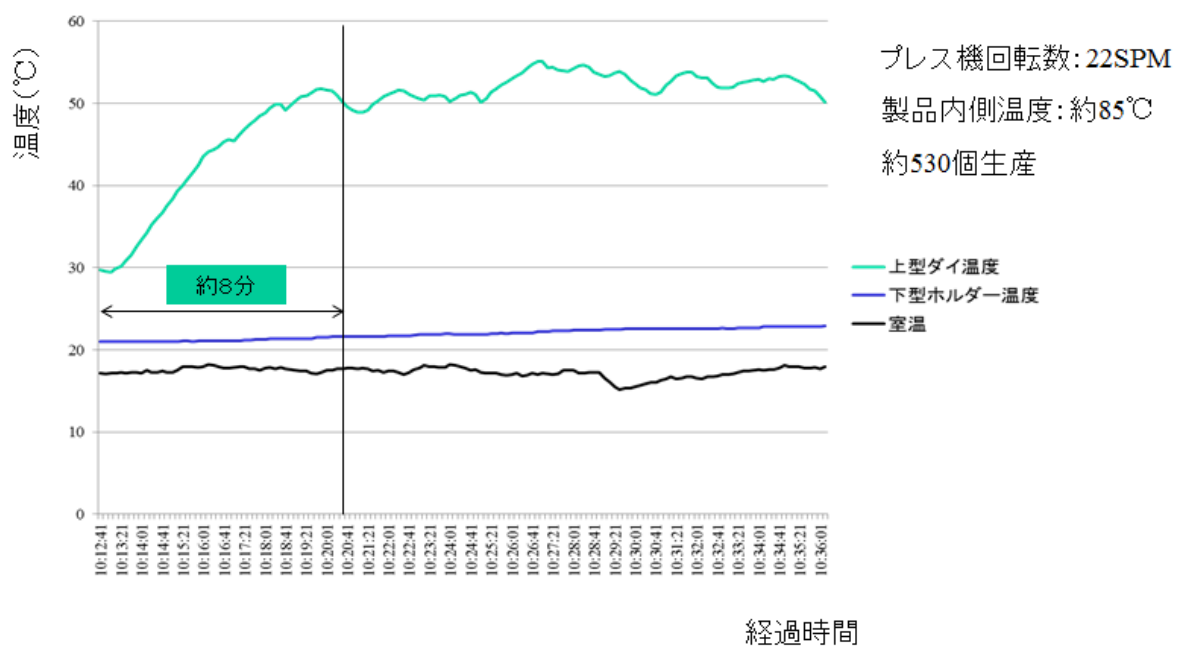


図 2.24 温調機器を使用しない場合の金型温度推移

次に、温度調整機器の設定温度を40度に設定し、プレス回転数22SPMでの連続生産を実施した。その結果を図2.25に示す。下型のパンチ温度については、金型の構造上測定位置が離れている為に測定温度の正確性に欠ける為に上型のみの計測とした。計画では2時間の連続生産としていたが、テスト金型による連続生産結果より、約6分後には上型のダイ近くに貼り付けた熱電対の温度が平衡状態となり、安定していることから20分間の連続稼働とした。停止直後の製品内側温度の計測をした結果、約70度となっていた。加工油としては、過酷な条件での絞り加工にあたることから塩素系加工油を使用しており、塩素系加工油の適温は50度前後となっていることから、実際の加工時の金型と製品の接触部の温度は70度より高温と考えられることから、連続生産時には加工油の性能が高温化で低下すると考えられ、下げておく必要がある。

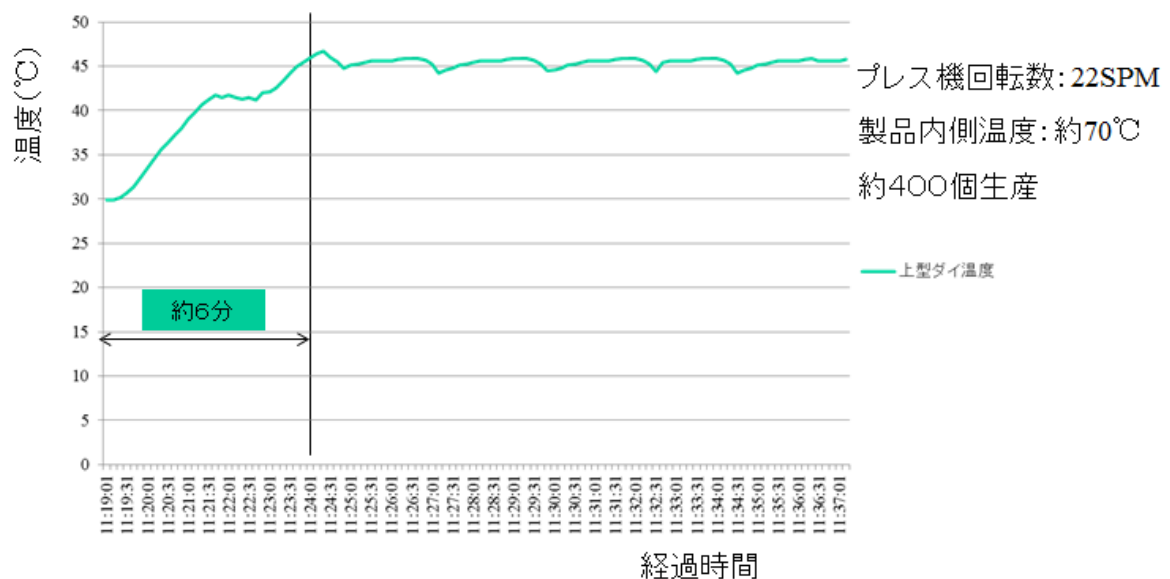


図 2.25 温度調整機を40度設定した場合の金型温度推移

上記の結果を元に温度調整機器の設定温度を30度に設定し、プレス回転数については22SPMで連続生産を実施した。その結果が図2.26である。温度調整機器の設定温度30度の条件下では、約48度で上型ダイの温度が平衡状態となり、安定することが結果よりわかる。

この時、製品内径側温度は約 58 度であることから、加工油に対しては適温であると考える。

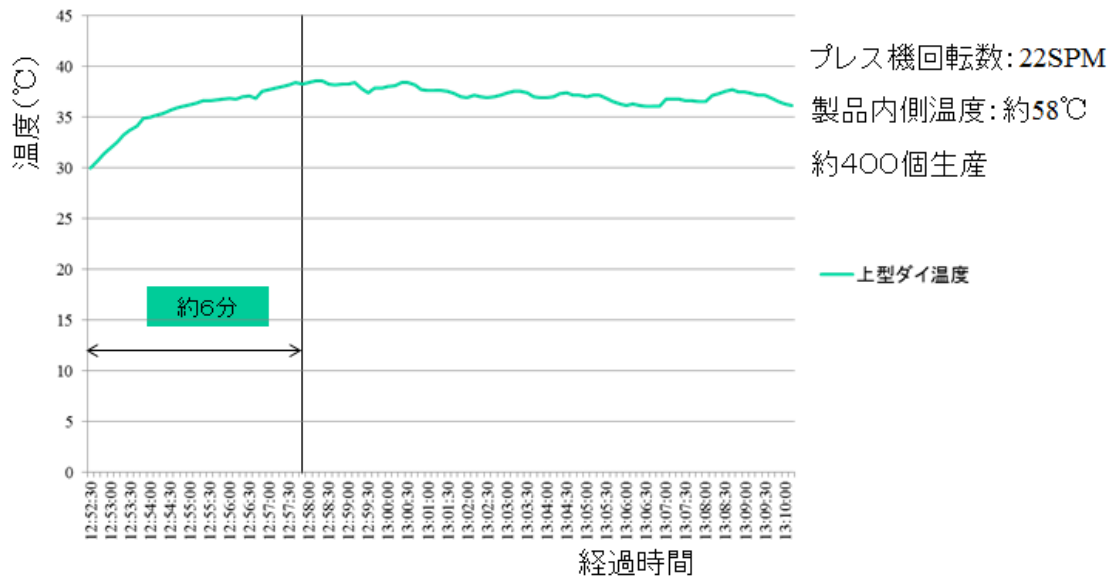


図 2.26 温度調整機を30度に設定した場合の金型温度推移

2-3 製造工程と製品品質の関係評価

2-3-1 各加工工程における製品形状評価 【3-1】

2-3-1-1 測定対象

SUS304L 材 ABS 油圧コントロールバルブにおける、ブランキング(打抜き材料)および、一から六絞りの各工程について形状および組織評価を行った。各工程成型物の外観および切断断面(埋込サンプル)を図 2.27 に示す。

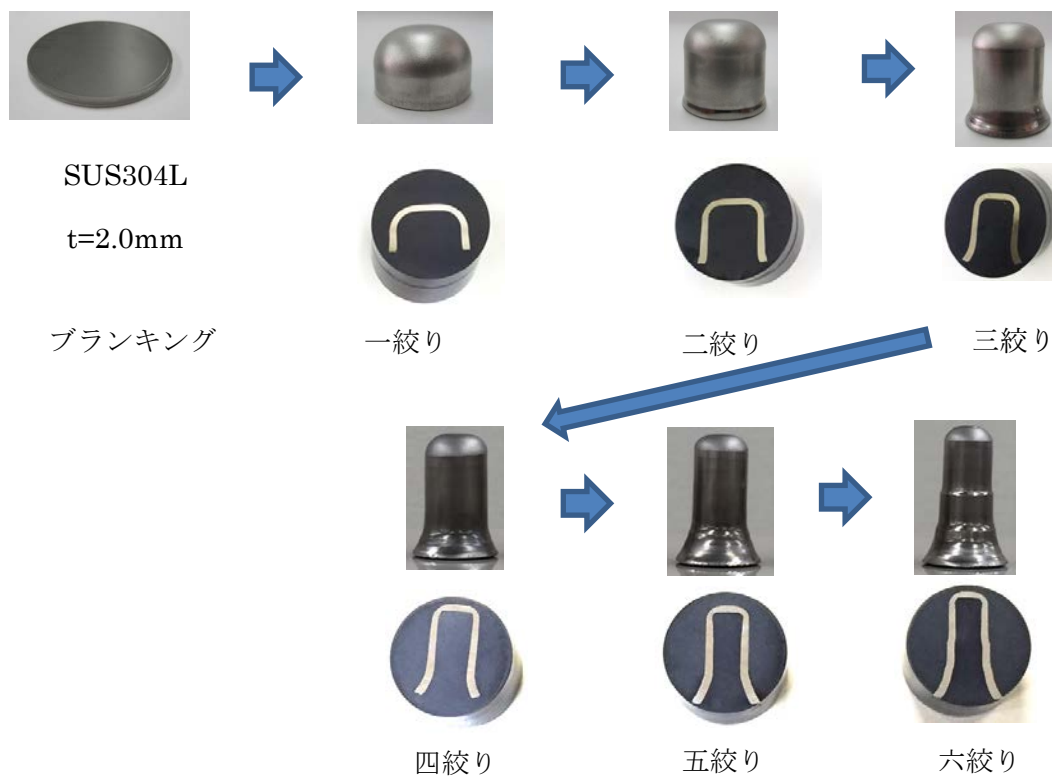


図 2.27 外観と切断断面

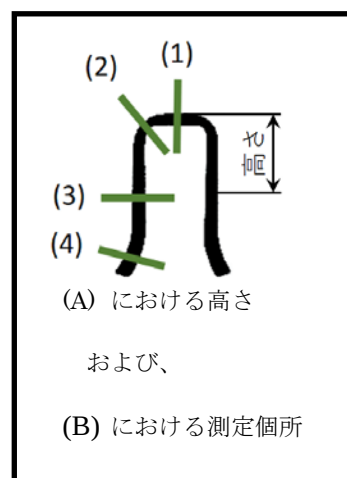
① 加工油の比較

まず加工油の影響を評価するため、塩素系加工油および 硫黄化合物含有加工油について、一から三折りの評価を行った。半径、真円度および肉厚の測定結果を図 2.28 に示す。この結果を見る限り、加工油による有意な差は見られなかった。

絞り	高さ (mm)	半径 (mm)		真円度 (mm)	
加工油		G3060	J50	G3060	J50
1	-8	10.478	10.474	0.039	0.018
2	-6	8.285	8.284	0.014	0.011
	-8	8.341	8.338	0.03	0.035
	-10		8.438		0.076
3	-5	7.077	7.086	0.032	0.006
	-10	7.155	7.163	0.034	0.025
	-15	7.305	7.347	0.004	0.004

(A) 半径および真円度

(高さは中央部)



(A) における高さ

および、

(B) における測定箇所

加工油	G3060				J50			
絞り	肉厚(mm)							
	(1)	(2)	(3)	(4)	(1)	(2)	(3)	(4)
1	1.800	1.662	1.890	2.071	1.811	1.675	1.891	2.041
2	1.732	1.524	1.711	2.002	1.742	1.532	1.803	2.001
3	1.710	1.507	1.692	2.029	1.706	1.450	1.695	2.073

(B)肉厚

図 2.28 加工油と断面形状（一～三絞り）

② 真円度、半径および肉厚

加工工程 一絞りから六絞りにおける上・中・下部の真円度および半径を図 2.29 に示す。真円度については、全ての測定で 0.1mm 以下であり、各工程や測定位置での顕著な差は見られなかった。半径については、当然ながら加工とともに減少するが測定位置での違いは見られなかった。

測定箇所(1)から(4)の加工工程ごとの肉厚を図 2.30 に示す。全ての工程で肩部(2)の肉厚が最も薄く、それ以外では、(1)(3)(4)の順、すなわち中央部ほど肉厚が薄いことが分かる。目標とする肉厚減少は 1.6%であり、これは板厚 2mm 対しては 1.968mm 以上であることを要求するが、今回の結果では(4)以外ではこれを満たすことはできなかった。

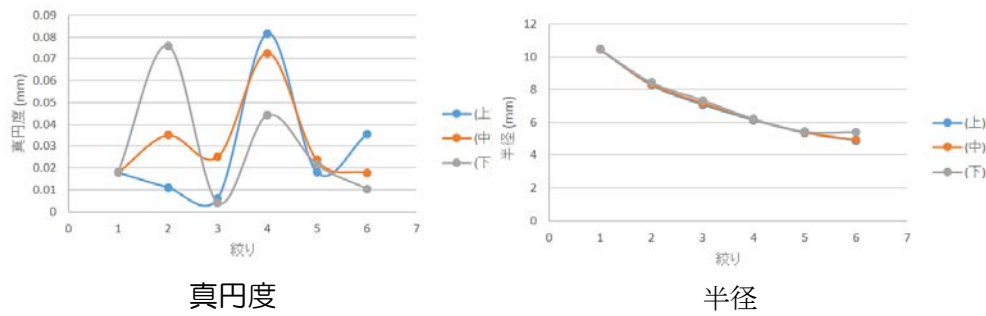


図 2.29 真円度と板厚 (一～六絞り)

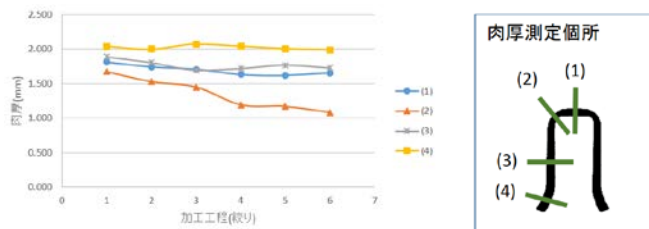
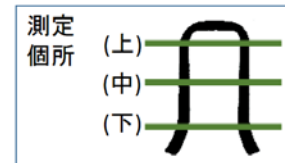


図 2.30 肉厚 (一～六絞り)

③ 表面粗さ

各加工工程における軸方向及び円周方向の表面粗さを図 2.31 に示す。ここでは表面粗さ値として、Ra および Rz を用いた。

本測定では、Ra、Rz とも円周方向については加工が進むごとに値が増加したのに対し、軸方向では二絞り以降六絞りに至るまで顕著な値の増加は無かった。計画における表面粗さ目標値は、Rz 5 以下であったが、これについては、Rz の五絞り円周方向以外では目標を達した。

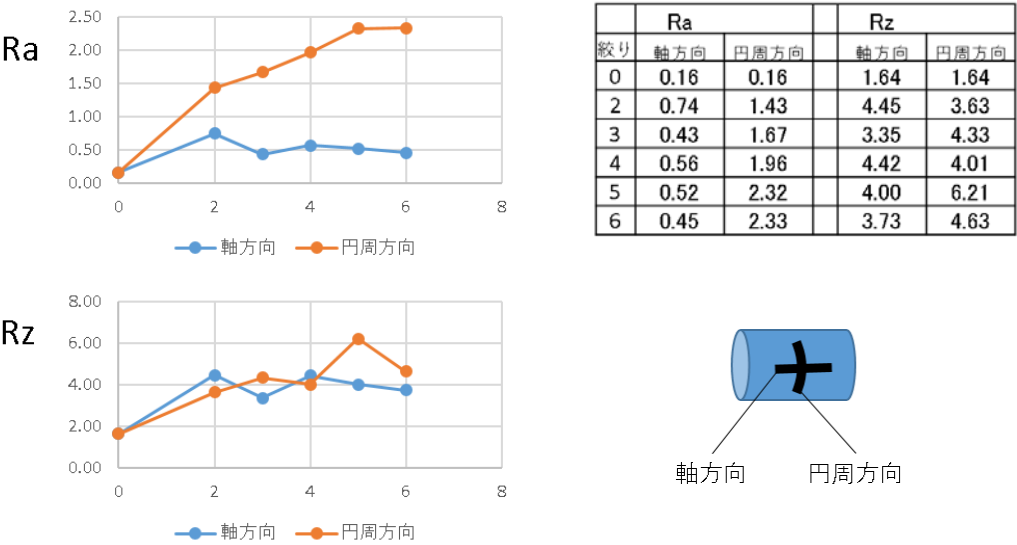


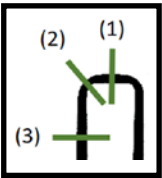
図 2.31 表面粗さ（一～六絞り）

2-3-1-2 形状測定の結果(板厚減少、絞り径に対する板厚の比率)

金型温度 40℃および 50℃における断面寸法を図 2.32 に示す。測定箇所は、(1)上部、(2)肩部および(3)円筒部である。さらに、各絞りにおける 板厚減少率 および 板厚／絞り径 を(A)、(B)として示す。

金型温度 40℃			板厚			板厚減少率			1.6%以内	板厚／絞り径			25%以上
絞り	プランク厚さ	絞り径	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)		(1)	(2)	(3)	
1	2.01	10.55	1.91	1.78	2.04	5.0%	11.4%	-1.5%		18.1%	16.9%	19.3%	
2	2.01	8.41	1.90	1.64	1.91	5.5%	18.4%	5.0%		22.6%	19.5%	22.7%	
3	2.01	7.16	1.81	1.54	1.97	10.0%	23.4%	2.0%		25.3%	21.5%	27.5%	
4	2.01	6.11	1.81	1.41	1.94	10.0%	29.9%	3.5%		29.6%	23.1%	31.8%	

金型温度 50℃			板厚			板厚減少率			1.6%以内	板厚／絞り径			25%以上
絞り	プランク厚さ	絞り径	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)		(1)	(2)	(3)	
1	2.01	10.68	1.92	1.79	2.01	4.5%	10.9%	0.0%		18.0%	16.8%	18.8%	
2	2.01	8.65	1.87	1.62	1.97	7.0%	19.4%	2.0%		21.6%	18.7%	22.8%	
3	2.01	7.20	1.82	1.58	1.98	9.5%	21.4%	1.5%		25.3%	21.9%	27.5%	
4	2.01	6.15	1.81	1.37	1.99	10.0%	31.8%	1.0%		29.4%	22.3%	32.4%	

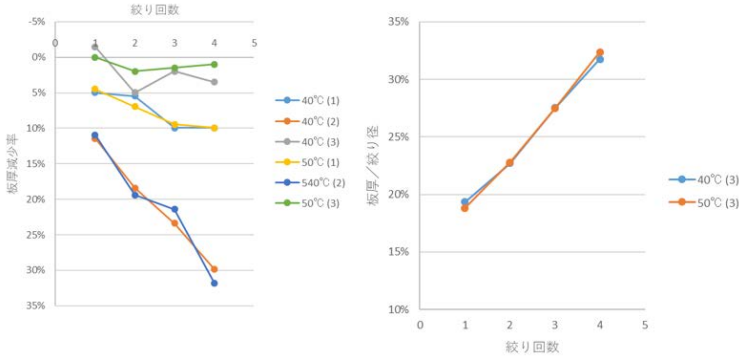


測定箇所

(1) 上部

(2) 肩部

(3) 円筒部



(A) 板厚減少率

(B) 板厚／絞り径

図 2.32 形状測定結果

板厚減少率（板厚保減 目標値）

板厚減少率(A)については、「円筒部(3)の板厚減少 1.6%以内」を当初目標として挙げている。これについては、四絞り・金型温度 50℃の場合で 1.0%となり目標以内となった。一方、四絞り・金型温度 40℃では、3.5%であり当初目標に収まらなかった。この結果は、金型温度は高い方が加工性に優れることと整合が取れる。すなわち、潤滑剤の制約を考慮しつつ、金型温度を適切に制御することにより本加工法において目標値を達成できる道筋はついたと考えられる。

一方 肩部(2)では、金型温度 40℃、50℃ともに、絞り回数増加につれて板厚減少率が増加し、四絞り目では約 30%となった。これは、今回の目標値ではないが、強度の面から問題であり、押し込み荷重をさらに適切に制御するなど、さらに研究開発を進める必要がある。

〔絞り径に対する板厚の比率(目標値)〕

さらに当初目標「絞り径に対する板厚の比率(板厚／絞り径(B)) 25%以上」については、金型温度 40℃、50℃ともに、絞り回数と共に増加し、四絞り目では約 32% となった。本品の絞り工程は六絞り目までであるが、5・6 絞りにおいても板厚／絞り径は増加していくことから、目標は達成できたと考えられる。

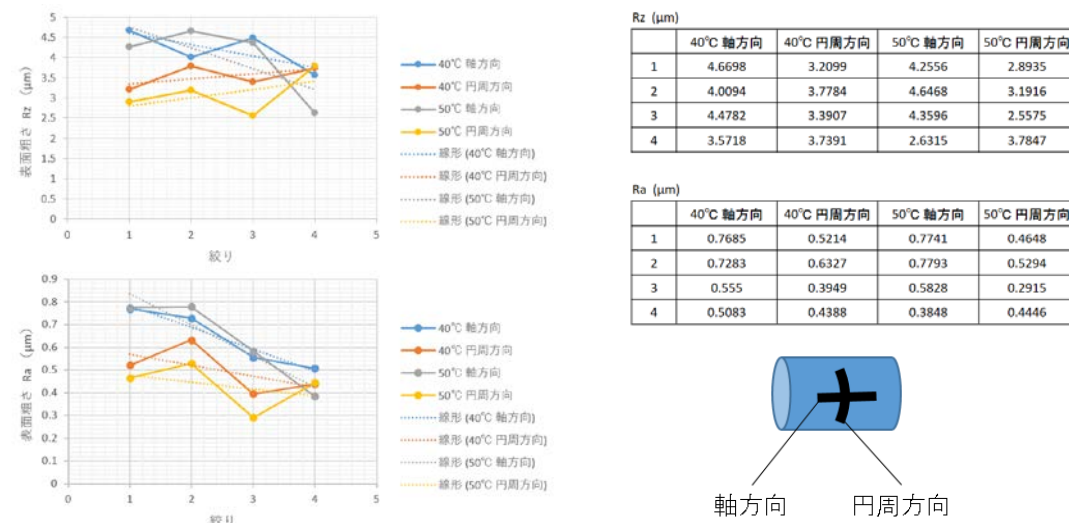


図 2.33 表面粗さ

2-3-1-3 表面粗さ

金型温度 40℃および 50℃ の各加工工程における軸方向及び円周方向の表面粗さを図 2.33 に示す。ここでは表面粗さ値として、Rz および Ra を用いた。図中点線は近似直線である。

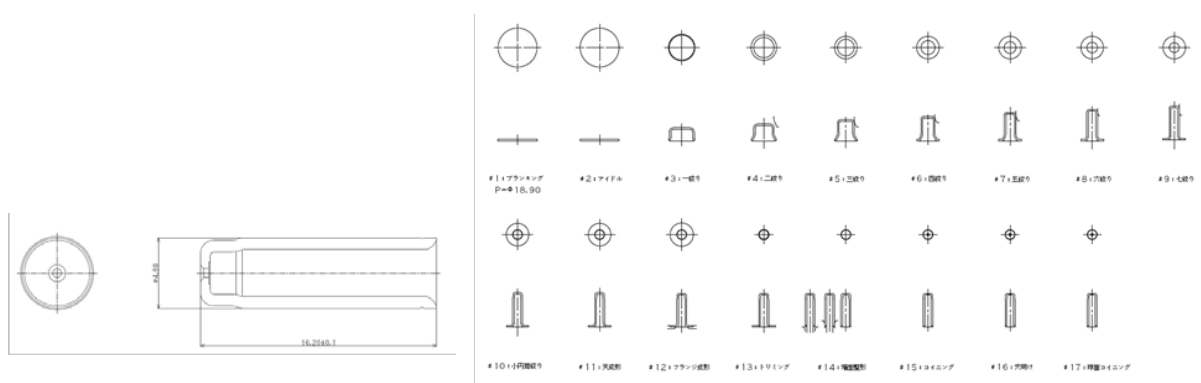
本測定では、Rz は $4.7\mu\text{m}$ 以下、Ra は $0.8\mu\text{m}$ 以下であった。また、絞り回数が増加するにつれ、粗さ値は変化が無いやや減少傾向であり、今後の絞りを考慮しても目標値である Rz $5.0\mu\text{m}$ は達成できたと考えられる。

円周方向の粗さは絞り方向と垂直である円周方向が、絞り方向と同一である軸方向と比較して小さい値であった。また、金型温度 50℃の場合の方が 40℃の場合より小さい値であり、温度の上昇に伴って加工性が良くなることを反映しているのではないかと考えられる。

2-3-1-4 連続生産金型

本年度は、前節までのテスト金型に加え、より顧客ニーズを反映した形状である連続生産金型を用いた試作品についても評価を行った。

連続生産金型の製品図面および工程図面を図 2.34 に示す。工程図面については、ブラッキング(#1)および一絞り(#3)から七絞り(#9)を示した。



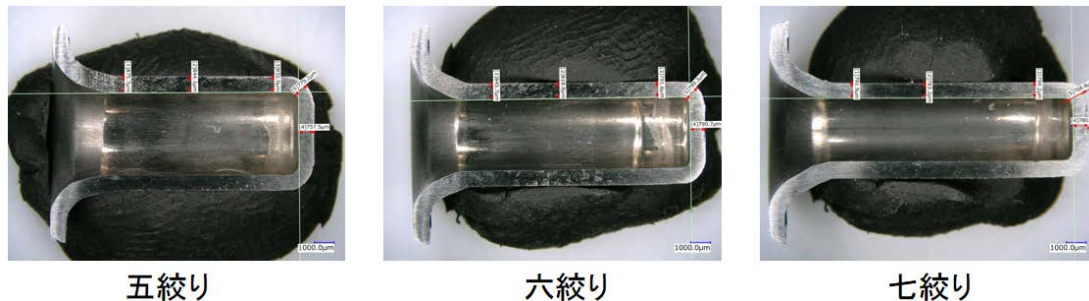
製品図面

絞り工程図面

図 2.34 連続生産金型

【公開版】

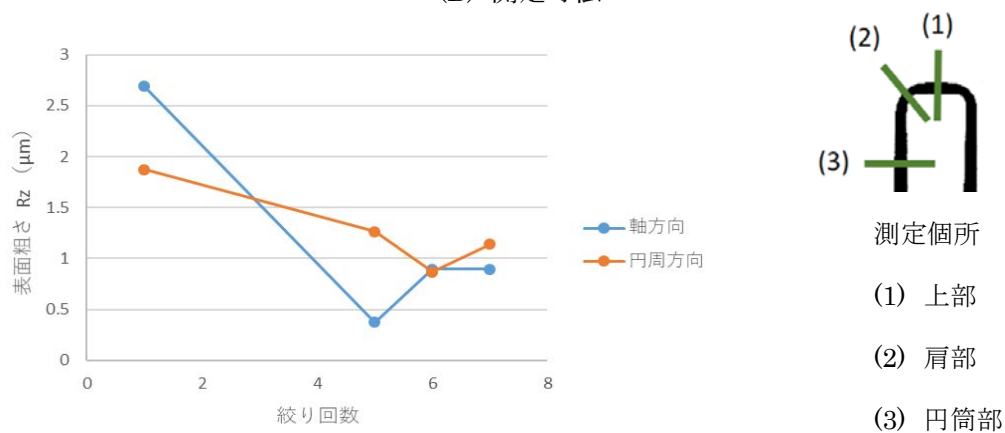
ここでは、絞り工程の最終 3 段である、五絞りから七絞りについて、寸法及び表面粗さの測定を行った。その結果を図 2.35 に示す。図中(A)は寸法測定に用いた断面形状、(B)は結果寸法、(C)は絞りごとの表面粗さ Rz である。



(A) 切断面形状

絞り	プランク厚さ	絞り径	板厚			板厚減少率			板厚/絞り径		
			(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)
5	0.80	2.91	0.76	0.84	0.88	5.3%	-5.5%	-9.5%	26.0%	29.0%	30.1%
6	0.80	2.60	0.79	0.82	0.85	1.2%	-2.3%	-5.7%	30.4%	31.5%	32.5%
7	0.80	2.40	0.78	0.78	0.79	2.4%	2.1%	1.0%	32.5%	32.6%	33.0%

(B) 測定寸法



(C) 表面粗さ測定結果

図 2.35 連続生産金型の形状測定結果

寸法測定については、前節までのテスト金型と同様に、「板厚減少率」および「絞り径に対する板厚の比率(板厚/絞り径(B))」について比較を行った。

板厚減少率については、七絞りの円筒部(3)において 1.0%となっており、目標値である 1.6%以下に収まった。また、絞り径に対する板厚の比率についても、7 絞りで 33%となっており、目標値である 25%以上となった。さらに、表面粗さ Rz は五から七絞りのい

すれにおいても目標値である「 $5\mu\text{m}$ 以下」を大幅に下回る $1.5\mu\text{m}$ 以下となった。

総じて、本節の連続生産金型の結果は、前節【2-1】、【2-2】で示したテスト金型の結果より良好であった。これは、テスト金型の板厚が 2mm であったのに対して連続金型の板厚が 0.8mm と薄かったことに加え、テスト金型の結果をふまえ工程設計を改善したことが有利に働いた結果であると考えられる。

2-3-2 ファイバーフロー評価 【3-2】

① -1 ファイバーフロー評価の必要性と手順

本研究は、コントロールバルブを押し込み絞りプレス加工で製造する技術の確立を目的としている。絞り加工は従来の加工法である切削加工と比較して材料歩留まりの向上・加工時間の短縮といったコスト削減が望めるだけでなく、図 2.36 に示すようにファイバーフローが分断されないことによる疲労強度の向上が期待できる。

木材は成長方向に木目が存在し、木目に逆らわない方向の引張や曲げには非常に強い。金属においても微視的な視点では、木材のような材料フローが存在する。

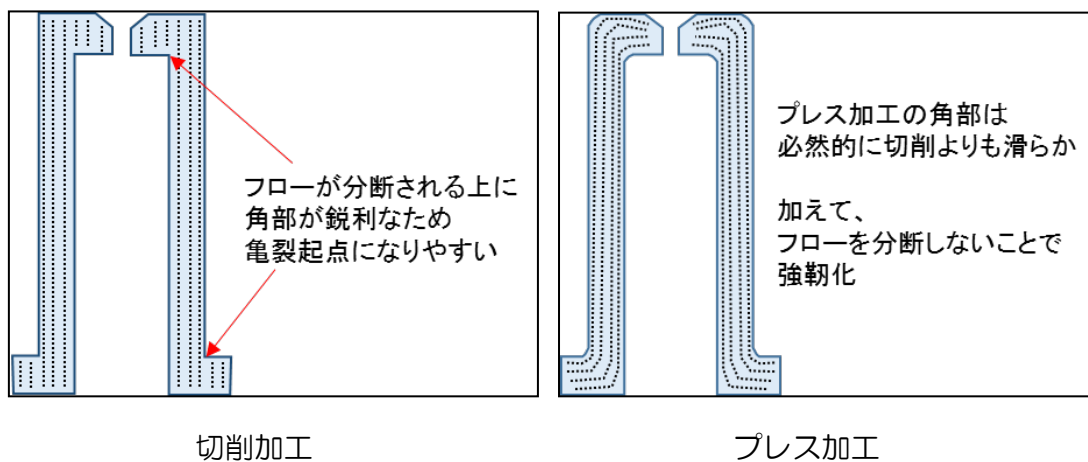


図 2.36 切削加工とプレス加工のファイバーフロー

【公開版】

理想的な絞り加工では、原料の板材に存在した材料フローを分断することなく加工される上に、R 部が滑らかで応力集中が緩和されることで、金属疲労に対する強度が向上する。しかしながら、各絞り工程における変形量が適切で無い場合には、急激な変形による材料フローのよどみが R 部においてシワとして顕在化し、亀裂の起点となりうる。そのため、プレス条件を変更する都度、出来上がった製品に対してファイバーフロー評価を行い、適切なプレス条件を絞り込む必要がある。

ファイバーフローの評価においては、切断・樹脂埋・鏡面研磨の後エッチングによりサンプルを作成した。エッチングには、蒸留水：35%塩酸：60%硝酸：30%過酸化水素水を 3：2：2：1 の割合で混合した腐食液を用いた。この際、本事業で導入した試料調整システムを用いた。なお、ステンレス系の材質のエッチング法としては、シュウ酸水溶液を用いた電解エッチングが一般的であるが、直流電源装置が必要であることやエッチング時間の調整が難しいこと、今後大量のファイバーフロー評価を行う場合の作業効率といった点を考慮し、前述の溶液を用いた払拭エッチングを採用することとした。

① -2 ファイバーフロー 乱れの例示

本節では、金型設計途上の試作サンプルを用いた観察により、ファイバーフローの乱れを例示する。ここで用いたのは、改良前の金型を用い異なる 2 つの条件での試作サンプル (A),(B) であり、いずれも側面に段差が生じるとともに肩部で破断した不良品である。ここでは、その両者の肩部を比較する。その外観・ファイバーフローの写真および条件を図 2.37 に示す。

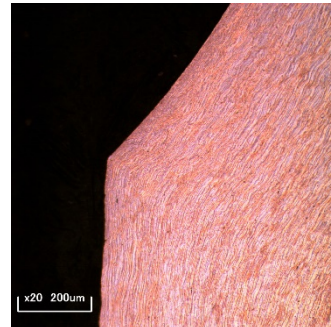
条件 (A) では段差は生じたものの、ファイバーフローの流れはほぼ滑らかで明らかな乱れは確認できなかった。それに対してシワが発生した、条件 (B) 外観写真における楕円箇所

のファイバーフローではファイバーフローで明らかな乱れがみられた。

(A) 旧金型 三絞り

押し込み荷重

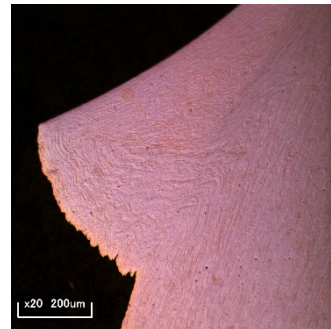
1500kg



(B) 旧金型 三絞り

押し込み荷重

1000kg



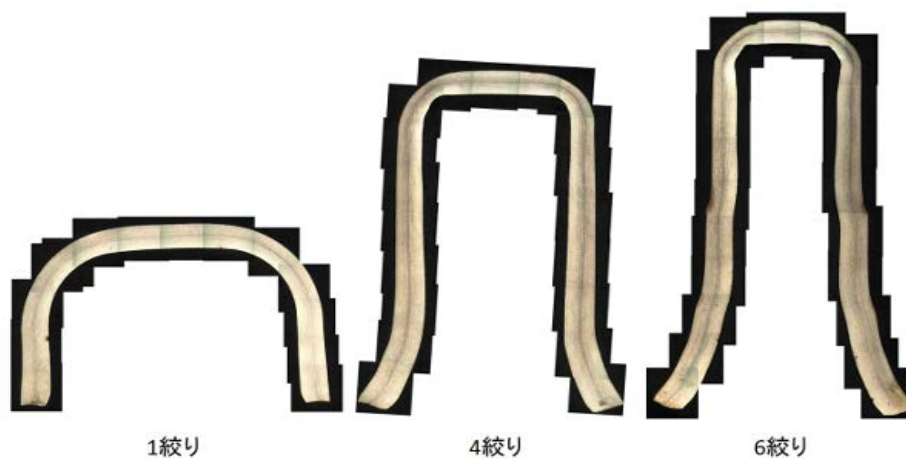
外観

ファイバーフロー

図 2.37 ファイバーフローの乱れ観察

① -3 絞り加工 途中段階でのファイバーフロー

図 2.27 に示した絞り工程における、第一、四、六絞り断面でのファイバーフローを図 2.38 に示す。全ての断面において板厚中央にフローが見られるが、これは圧延鋼板特有の鍛流線である。六絞りについては前節同様側面に段差が生じており絞り工程については改善が必要であるが、ファイバーフローについては、これを含む各工程において寸断や滞留は見られず、概ね問題は無いと考えられる。



1絞り

4絞り

6絞り

図 2.38 絞り加工 途中段階でのファイバーフロー

2-3-3 4段絞りにおけるファイバーフロー

4段絞りにおけるファイバーフローをそれぞれの金型ごとに図 2.39 に示す。全ての断面において板厚中央にフローが見られるが、これは昨年度の報告に示したように圧延鋼板特有の鍛流線である。金型の温度制御のいかんにかかわらず、いずれもファイバーフローの寸断や滞留が見られず、またシワや亀裂もなかった。

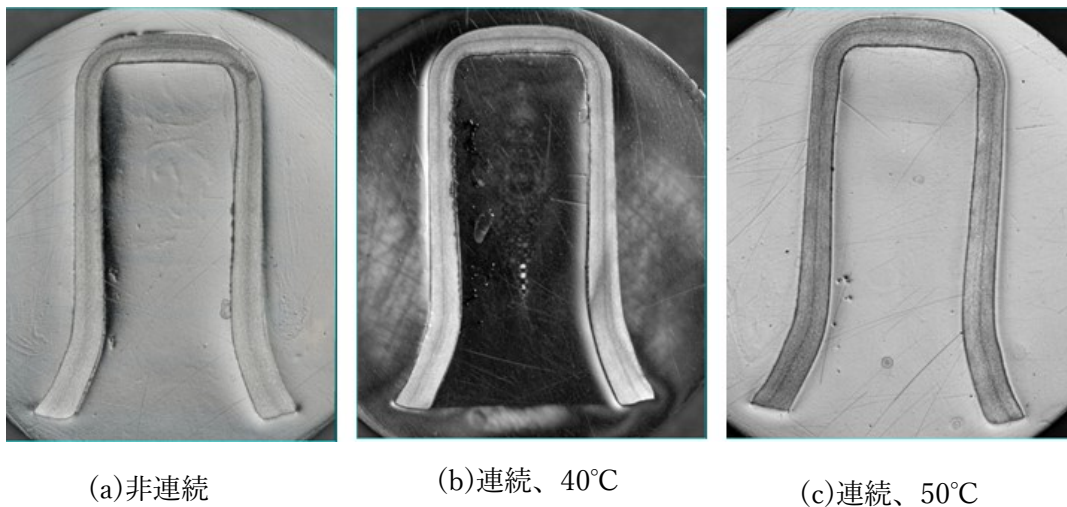


図 2.39 金型の温度制御の違いによる成形品の
ファイバーフロー（4段絞り、SUS304L）

2-3-4 4段絞りにおける硬さ評価

金型の温度制御方法が SUS304L サンプル硬さに与える影響を評価するため、成形品の頂部、中段および下端の3部分において、板厚の外側、中心部、内側の3ヶ所について硬さ測定した。測定は成形品サンプルを切断・樹脂埋・鏡面研磨の後、マイクロビッカース硬さ試験機を用いた。この際、本事業で導入した試料調整システムおよび自動埋込プレスを用いた。

測定位置および測定結果を図 2.40 に示す。金型の温度制御のいかんにかかわらず、いずれの場合でも頂部の HVO.1 が 200-250、中段および下端のそれが 350-400 で大差はなかった。

【公開版】

昨年度報告に示したようにプレス加工前のブランク材は HVO.1：168 であるが、4段絞りにおいていずれの場合も硬さが増加しており加工硬化していた。それぞれのサンプル

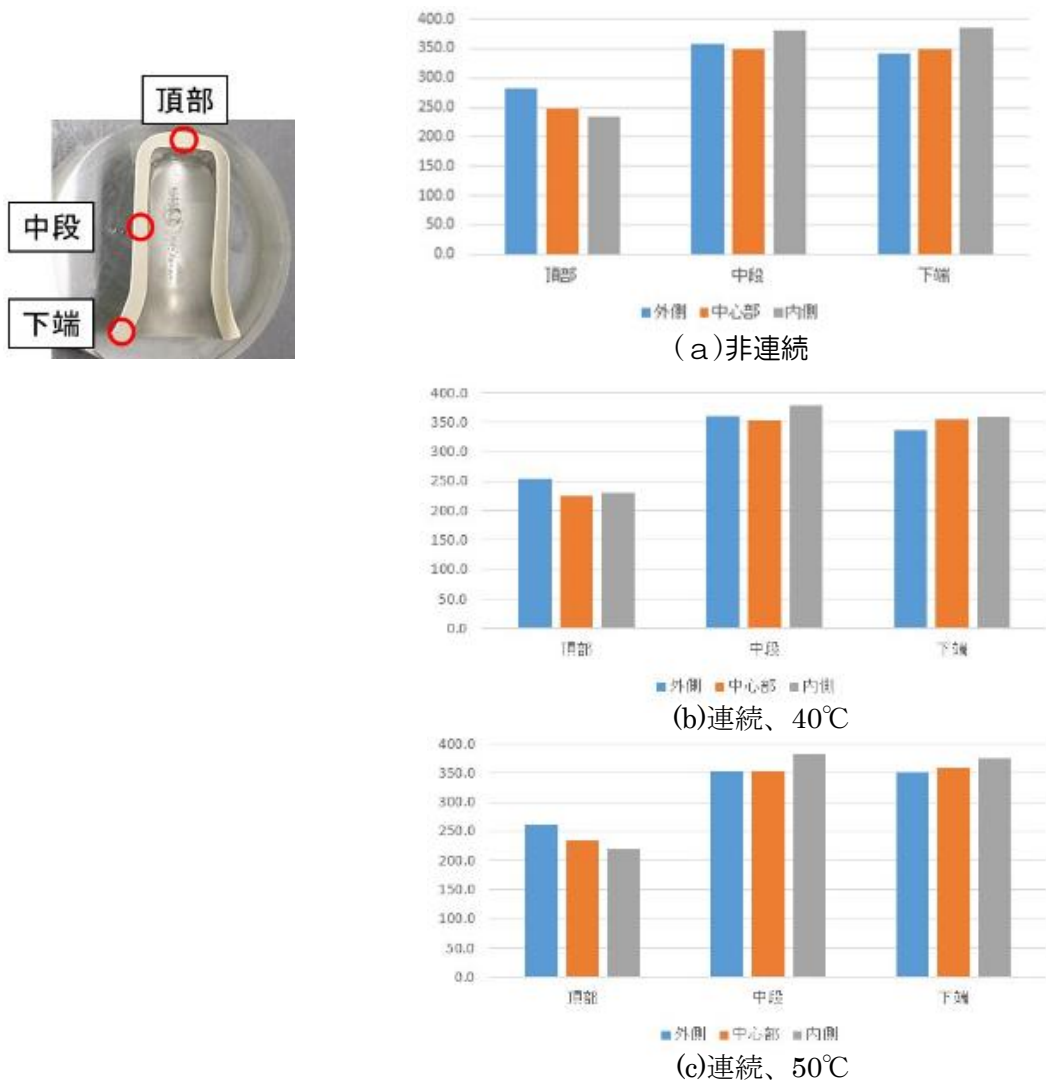


図 2.40 金型の温度制御の違いによる成形品の硬さ（4段絞り）

で頂部・中段・下端を比較すると板厚方向での硬度はほとんどなく、頂部は HVO.1：200-250 で他の部分の 350-400 に比べ硬さが低かった。これは、頂部が他の部分に比べ加工量が少ないためであると推定される。また、中段・下段の硬さ（HVO.1：350-400）は SUS304L の加工硬化の限界値に近い値となっていた。

2-3-5 X線回折による残留応力評価およびマルテンサイト比評価

① 測定方法

X線回折装置としては、図 2.41 に示す当センター設備の X 線回折装置を用いた。昨年度までは X 線源に Cu 管球を使用していたため鉄系試料ではスペクトルのバックグラウンドが高く P/B 比が悪かった。そのため鉄系試料に向いている Co 管球を今年度導入し測定した。（昨年度装置メーカーで Co 管球の有用性を見極め導入）

残留応力測定の原理を図 2.42 に示す。試料に X 線を照射すると回折像(デバイ環)が得られる。この回折像の形状は応力の無い材料では円形であるが、応力の有る材料では結晶格子が歪むため楕円形を示す。この装置では、得られた回折像が理想的な円形（応力の無い状態）からどれだけ歪んでいるかを解析し、残留応力として算出している。



メーカー名	BrukerAXS株式会社
型式	D8 DISCOVER
仕様	• X線管球 セラミック封入管 • 検出器 1次元(半導体型)、2次元(ガス封入型) • コリメータ直径 50μm～2mm • 解析ソフト 定性、定量、残留応力、結晶化度ほか

図 2.41 X 線回折装置

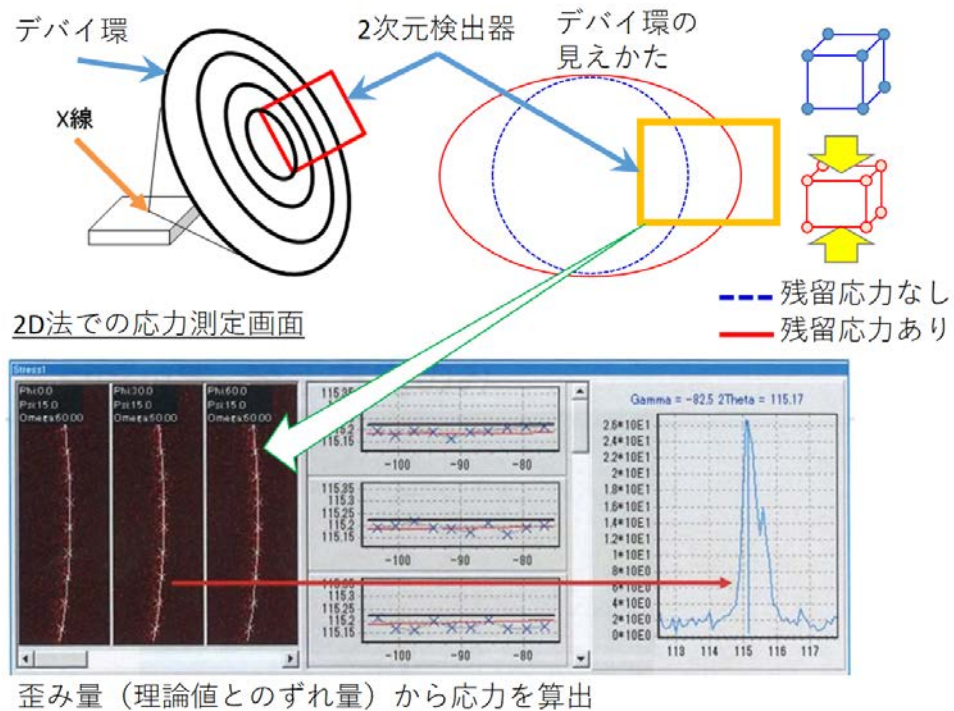


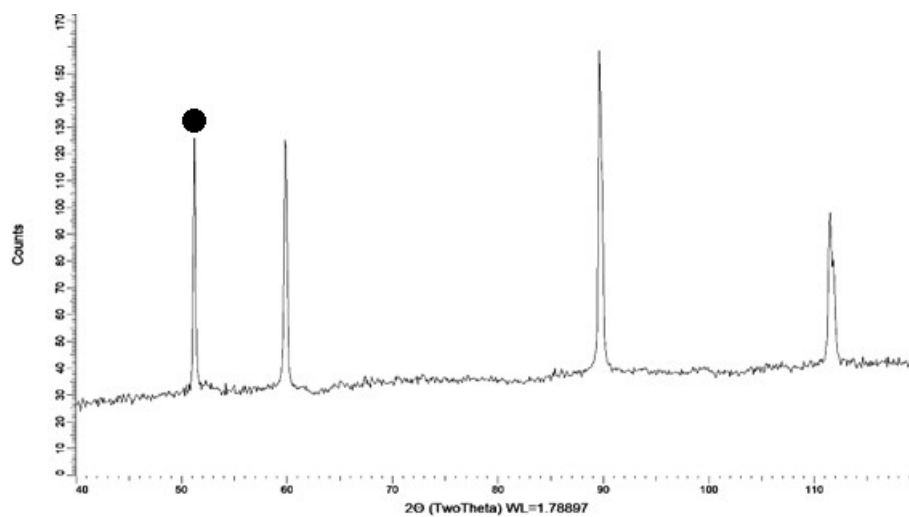
図 2.42 X 線回折装置を用いた残留応力測定原理

SUS304L の結晶構造はオーステナイト単相であるが、加工の増加により加工誘起マルテンサイトが生成すると言われている。そのため、オーステナイト(111)とマルテンサイト(110)の強度比をマルテンサイト比として算出し、マルテンサイト生成量の評価を行った。

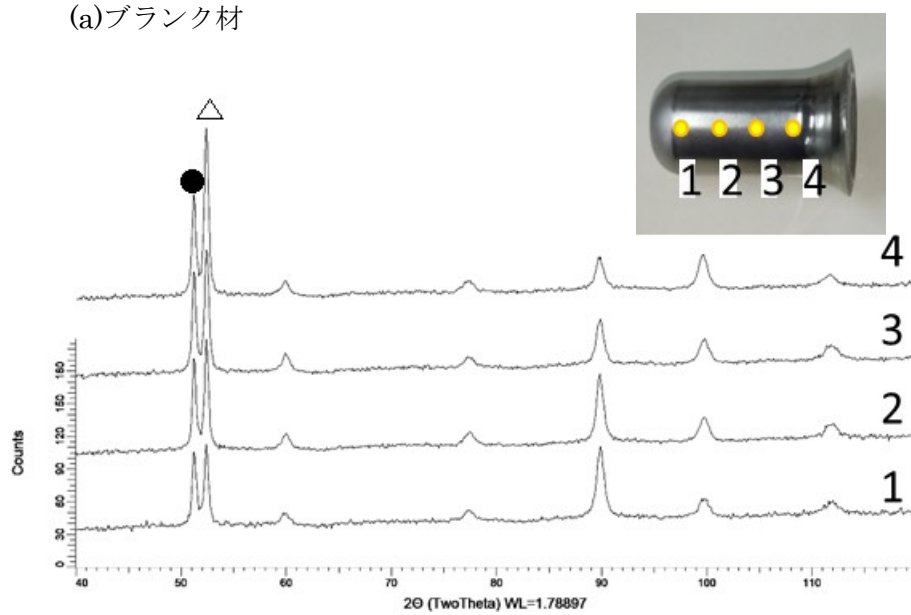
マルテンサイト比＝マルテンサイト(110)強度／オーステナイト(111)強度

② マルテンサイト比の評価結果

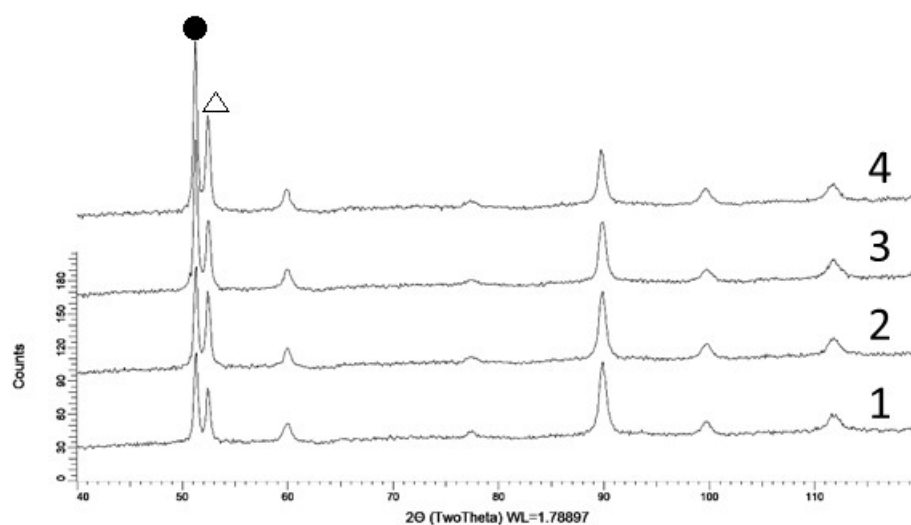
加工前のプランキング材も含め、金型の制御方法の違いによる4段絞りサンプルの結晶構造を図 3.27 に示す。4段絞りサンプル品の測定位置は頂部から 4mm 間隔で計 4 カ所測定した。プランキング材は 51.2° のピーク（●印）を代表とするオーステナイト相で、他のピークもオーステナイト相に起因する。一方、プレス加工を行うと 52.4° のピーク（△印）に代表されるマルテンサイト相のピークが表れていた。



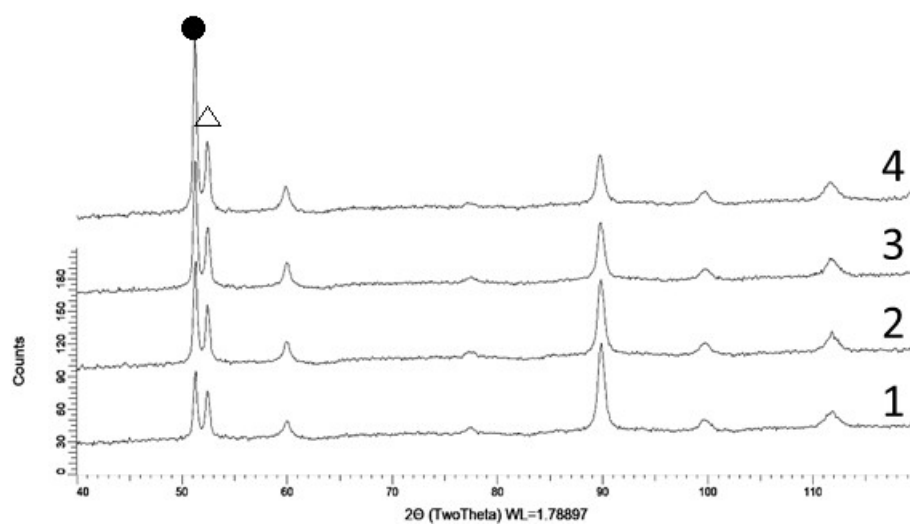
(a) ブランク材



(b) 非連続



(c)連続、40℃



(d)連続、50℃

図 2.43 プレス加工品のX線回折

図 2.43 からマルテンサイト比を算出した結果を表 2.4 に示す。

温度制御（40℃、50℃）した金型を用いると、制御しない金型に比べ、マルテンサイト比が小さくなった。したがって、金型の温度制御することによりマルテンサイト比が小さくなることから、金型表面との摩擦等が少なりなり加工度合いが少なくなったものと推定される。

表 2.4 プレス加工品のマルテンサイト比

	ブランキング	非連続	連続、40℃	連続、50℃
1	0	1.18	0.44	0.64
2		1.31	0.72	0.40
3		1.28	0.40	0.41
4		1.88	0.57	0.33

③ 残留応力の評価結果

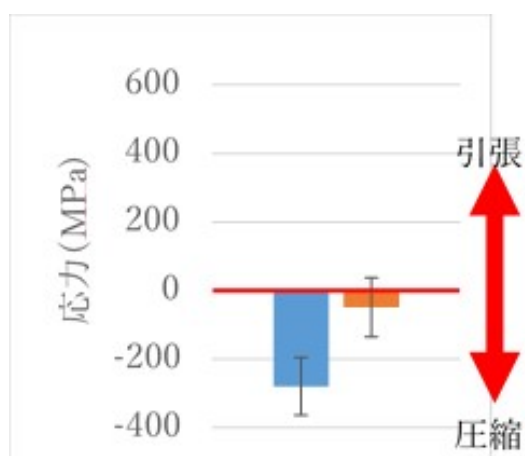
金型の温度制御がプレス品の残留応力に与える影響を加工前のブランク材も含め図 2.44 に示す。4段絞りプレス品の測定位置は頂部から 4mm 間隔で計 4 カ所測定した。

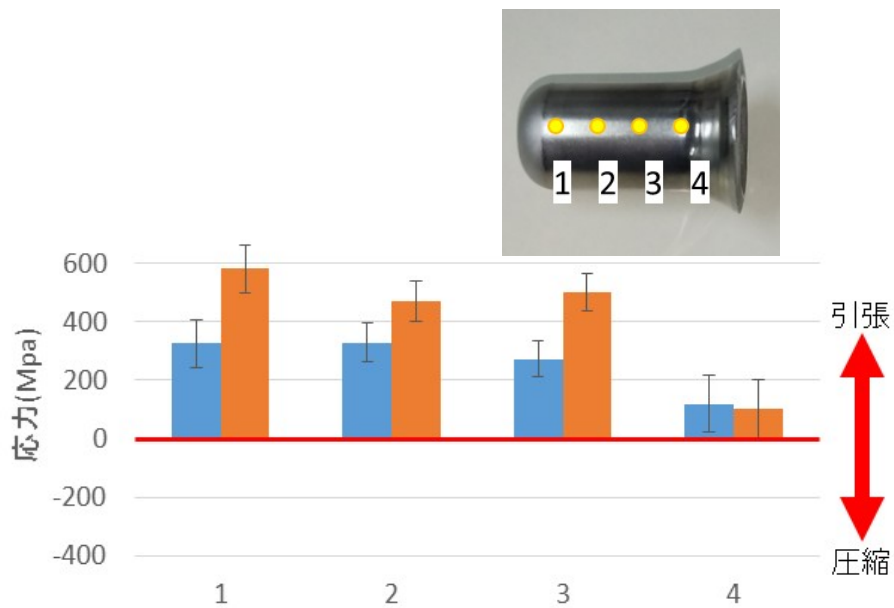
プレス加工前のブランク材は圧縮の残留応力が作用している。一方プレス加工により 4 段絞りでは、円周方向および軸方向とも引張の残留応力が作用していた。これはプレス加工により円周方向および軸方向ともに引張り伸ばされたためであると推定される。

金型の温度制御の影響は、温度制御（40℃、50℃）した金型を用いると、制御しない金型に比べ応力値が概ね 1～2 割以上減少していた。温度制御金型を用いることにより残留応力が減少したことから、金型表面との摩擦等が少なくなり加工度合いが少なくなったことが推定される。

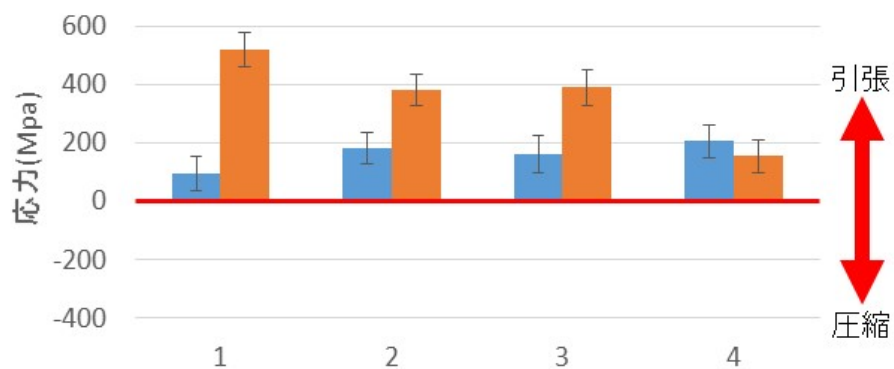


(c) ブランク材

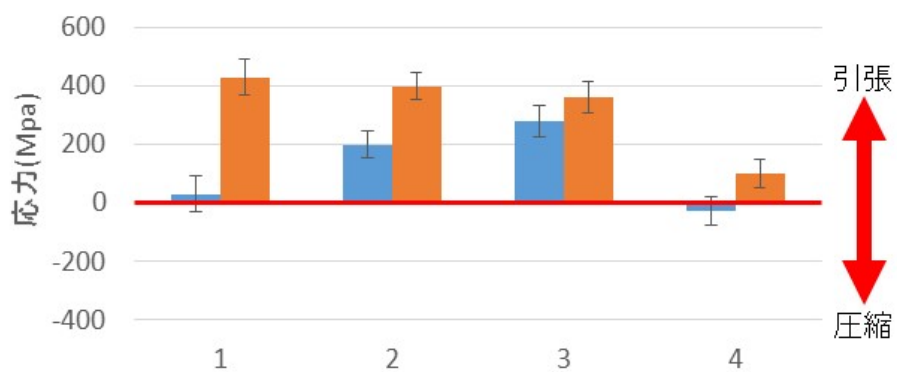




(c)非連続



(c)連続、40°C



(c)連続、50°C

図 2.44 金型の温度制御の違いによる成形品の残留応力硬さ（4段絞り）

第3章 全体総括

3-1 研究開発成果

次世代自動車の開発が進む中で、自動運転搭載車両においても重要な位置付けとなる ABS 装置に使用される部品の軽量化・低コスト化のニーズが激化している。本研究開発では、従来は切削加工により生産していた製品を、工程独立式可変速押し込み複動機構を用いた押し込み絞りプレス加工技術の開発を実施することで、プレス加工化を実現するものである。本成果を活用し、ABS 装置用部品の軽量化・低コスト化を実現し、順次事業化するものである。

【1】 押し込み絞り加工技術の確立

【1-1】CAE 解析を用いた各工程の最適加工条件の確立

- CAE 解析を用いて押し込み絞り加工時のパンチ、ダイ形状の最適化、押し込み荷重の検討を実施し、絞り径に対する板厚の比率 25%の押し込み絞り加工が可能であることを確認した。

【1-2】テスト金型による押し込み絞りプレス加工技術の有効性確認

- 工程間隔に制約のあるトランスファープレス機に 5 工程の工程独立式サーボ複動機構の仕様検討を実施し、連続生産にも対応可能な工程独立式複動機構を製作した。
- CAE 解析より得られたデータをベースにテスト金型を設計・製作し、工程独立式サーボ複動機構を用いて、押し込み絞り加工の有効性について確認を実施した。
- 軟加工材の SUS304L を用いて、押し込み絞りの加工テストを実施したが、素材の加工硬化の影響により絞り加工時に割れが生じた。対策として各絞り工程のダイ形状の見直しとコーティングを施すことによって素材の流動性を改善し、絞り径に対する板厚の比率 25%の工程独立式サーボ複動機構を用いた押し込み絞り加工が可能であることを確認した。

【2】工程独立式可変速押し込み複動機構による押し込みプレス加工技術の確立

【2-1】連続生産に適した押し込み絞りプレス加工の開発

- 連続生産に適した金型構造の検討を実施後、連続生産を確立させる為のトランスファープレス機の仕様検討を実施した。押し込み絞り加工には、工程独立式サーボ複動機構を必要とすることから、プレス機との同期運転、ダイハイト、製品搬送機構、タイミングの検討を実施し、トランスファープレス機の仕様に追加した。

【公開版】

- 工程独立式複動機構のモーション最適化を行い、連続生産用搬送部品を取り付けての連続生産確認を実施した。
- SUS304L 材を用いた加工では、素材の加工硬化の影響により板厚減少は目標値を達成出来ず、最薄部で30%の板痩せとなった。
- 川下企業からの要求仕様に基づき、連続生産金型の設計製作を行い、全長以外の主要寸法は規格値内のサンプルを完成させた。板痩せについては、11.1%となるが、顧客の要求仕様は満たしている。
- 表面粗さについては、 $R_z 1.5$ 以下となり、当初の目標値を大幅に下まわる結果が得られた。
- 最終目標である製品寸法規格内で2時間の連続生産としていたが、テスト生産の結果より約15分以降は金型温度が平衡状態で、寸法的にも安定していることが確認できた。

【2-2】独立式温度調整機構を装備した連続生産対応金型の開発

- 温調用テスト金型、負圧式温調機を用いて金型の温度コントロールを行いながら連続生産用金型と搬送装置により、連続生産テストを実施した。
- 温調によるテスト金型の金型構造等のノウハウを連続生産金型へ展開を実施した。
- 川下企業からの要求仕様に基づき、金型の設計製作を行い、全長以外の主要寸法は規格値内のサンプルを完成した。
- 連続稼働時の金型温度を一定にコントロールすることで製品品質の安定化を図る為のノウハウ蓄積を行った。

【3】製造工程と製品品質の関係評価

- SUS304L 材を主にテスト金型及び、連続生産金型で製造したABS油圧コントロールバルブ部品について、絞り加工の各工程における外径、板厚評価、表面粗さ、ファイバーフローの評価、硬さ評価、残留応力評価を実施した。

各研究開発テーマでの技術開発目標とその結果を表 3.1 にまとめる。

表 3.1 技術開発目標達成状況

【1】押し込み絞りプレス加工技術の確立 【1-1】CAE 解析を用いた各工程の最適加工条件の確立 【1-2】テスト金型による押し込み絞りプレス加工技術の有効性確認	
目 標： 絞 り 径 に 対 す る 板 厚 の 比 率 25%以上の実現 実施内容： 複動機構の最適化 数値目標： 表面状態；10 点平均粗さ Rz5.0 以下	結果： CAE 解析及び実際のテスト金型において 絞り径に対する板厚の比率 25%の目標を達成 し、テスト金型による押し込み絞りプレス加工 技術の有効性を確認することができた。 • 表面粗さ Rz5.0 以下：○
【2】工程独立式可変速押し込み複動機構による押し込みプレス加工技術の確立 【2-1】連続生産に適した押し込み絞りプレス加工の開発 【2-2】独立式温度調整機構を装備した連続生産対応金型の開発	
目標： 製品寸法規格内で2時間の連続生産確 立 実施内容： 複動機構のモーション最適化 数値目標： 円筒部の板厚減少 1.6%以内 表面状態；10 点平均粗さ Rz5.0 以下 製品の寸法変動：10%以下 製品要求品質：規格内	結果： テスト生産の結果より約 15 分以降は金 型温度が平衡状態で、寸法的にも安定している ことが確認できたため、問題なしと判断した。 • 円筒部の板厚減少： 円筒上部 0.6%：○ 円筒下部 1.8%：△ 天部の板厚減少 11.1%：× • 表面粗さ Rz5.0 以下：○ • 製品要求品質 規格内：○ ※製品寸法変動(10%以下)については製品の要求寸法規格の方が 厳しいため、製品規格内である事をもって目標達成とした。
【3】製造工程と製品品質の関係評価 【3-1】各加工工程における製品形状の評価を実施 【3-2】ファイバーフローの評価	
実施内容： 加工品形状および表面粗さを測定 し、複動機構のモーションコントロール設計 へのフィードバックを行う。 製品のファイバーフローを観察し、素材の流 動状況を把握することで、最適加工法設計へ フィードバックを行う。	結果： テスト金型および連続生産金型で製造し た部品について、絞り各段階における以下の評 価を行い、その結果を複動機構のモーションコ ントロール設計にフィードバックし改善を行っ た。 • 外径、肉厚評価 • 表面粗さ評価 • ファイバーフロー評価 • 硬さ評価 • 残留応力評価

3-2 研究開発後の課題・事業化展開

SUS304L 材を用いての押し込み絞りは、素材の加工硬化の影響により、目標とする板厚を確保することが出来ない結果となったが、限界値を把握することができた。これらの研究開発により得られた成果をベースとし、小径厚板部品をプレス加工化する際の限界値として、事業化案件に活用をしていく。

小物切削加工品は自動車用 ABS 装置にのみ使用されている部品ではなく、自動車のエンジンに使用される燃料直噴装置といった部分にも小物切削加工部品は使用されており、自動車の軽量化目的でプレス加工化への検討を進めておられる部品もあるなど、様々な部分に本研究開発の技術展開が可能である。自動車以外にも家電分野においてもこの種の製品は存在し、そういった小物切削加工品を本技術開発で確立した技術を展開し、プレス加工化することにより販路拡大に繋がり、新たな事業へとつながるものとする。

本研究開発では厚板小物絞りをターゲットとしているが、この技術はφ20～φ40 程度の厚板絞り加工にも展開が可能で、例えば自動車用ショックアブソーバーに使用される部品に鋳造品があるが、これらの部品をプレス加工化することで、コストダウン、軽量化を図り、顧客へ提案・販売することで事業展開の可能性がある。