

平成 27 年度採択  
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

「深絞り製品に対して、バルジ成形技術、増肉成形技術の  
一体化を実現する複合金型システムの研究開発」

研究開発成果等報告書

平成 30 年 3 月

担当局	中部経済産業局
補助事業者	株式会社加藤製作所 国立大学法人岐阜大学

## 目 次

### 第1章 研究開発の概要

1-1	研究開発の背景・研究目的及び目標	3
1-2	研究体制（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）	5
1-3	成果概要	7
1-4	当該研究開発の連絡窓口	8

### 第2章 本論

1	複合金型システムの最適化及び、CAEによる成形解析	
1-1	バルジ成形金型の基本構造設計	9
1-2	バルジ成形用モデル金型の製作	15
2	複合金型システムの設計・精密加工技術の確立	
2-1	複数バルジ成形のCAE解析	18
2-2	複数バルジ成形金型の製作	20
3	複合金型システムの実用性評価	22

### 最終章 全体総括

1	研究開発の成果及び研究開発後の課題	32
2	事業化展開について	32

## 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

高度化指針において定める、川下製造事業者等が抱える共通の課題及びニーズ

#### (三) 精密加工に係る技術に関する事項

##### 1 精密加工に係る技術において達成すべき高度化目標

#### (3) 川下分野横断的な共通の事項

##### ① 川下製造業者等の共通の課題及びニーズ

ア. 高機能化・精密化・軽量化、カ. 生産性・効率化の向上、低コスト化

#### (4) その他の川下分野に関する事項

##### a. 自動車分野に関する事項

##### ① 川下製造業者等の特有の課題及びニーズ

ウ. 複雑形状化・一体加工、ク. フレキシブル生産

#### 研究開発の背景及び研究開発の方向等

自動車産業においては、資源価格の高騰、排ガス規制の強化、燃費規制の強化及び消費者の環境配慮等の観点から次世代自動車への志向が大きく高まってきている。

具体的には、欧州ではHV自動車並の低燃費のガソリン直噴エンジンやダウンサイジングターボ車（小排気量ターボ車）などが成果を上げており、また、米国でも、リーマンショック後、消費者のエコロジー化の意識が強まり、低排気量のガソリンエンジン需要が増加している。また、我が国においては、直噴ガソリンエンジンの開発が進められており、当社も直噴ガソリンエンジン用の高圧燃料ホース継手の共同開発の打診がある。

このように、次世代自動車開発が進展する中で、素形材製造技術に関しては、軽量化、短納期化、高機能化、コスト削減、複雑形状化・一体化成形、衝突時の安全性向上、環境配慮、品質を具備しながら生産量変動に迅速且つフレキシブルに対応できる供給体制が求められている状況である。

また、最近の自動車部品の加工動向をみると、複雑形状品の一体化成形による付加価値向上が指向されており、この流れは、自動車用継手に関しても同様である。

具体的には、耐環境性重視の観点から耐食性に優れたステンレス製材料の採用が増加する中で、成形方法に関しても、現状のパイプ切断 → 冷間鍛造（バジル加工） → 切削の三工程を、コスト低減、付加価値の見直しから、一体成形できないかが川下企業のニーズである。

本研究開発事業では、ガソリンエンジン用高圧燃料ホースの継手に関して、軽量化及び強度面から材料にステンレス素材を採用した、一体加工にかかるニーズに、この研究開発を通じて対応するものである。

### 研究目標

現状の自動車に使用されている高圧燃料ホース継手は、ステンレスの丸棒を切断して切削しているため、次の課題が生じている。

1. 丸棒から削り出すため、時間と費用が嵩む。
2. 強度を保つため肉厚となり、重量が嵩み軽量化が困難である。
3. 切削後にバリ取りが必要となる。

その結果、時間と費用がかかり、高コストとなって川下企業のニーズに十分応えていないのが実態である。

本研究開発では、「バルジ成形」「増肉成形」を組み合わせた「複合絞り加工」を実現する複合金型システムの確立を目標とするが、これにより以下のメリットが期待できる。

1. プレス工程で複合加工を完結させるため、生産性が向上
2. 塑性加工のため、メタルフローが連続的かつ、加工硬化によって、強度がUPすることから、薄肉化による軽量化が可能
3. 切削加工と違い、材料歩留まりが良い

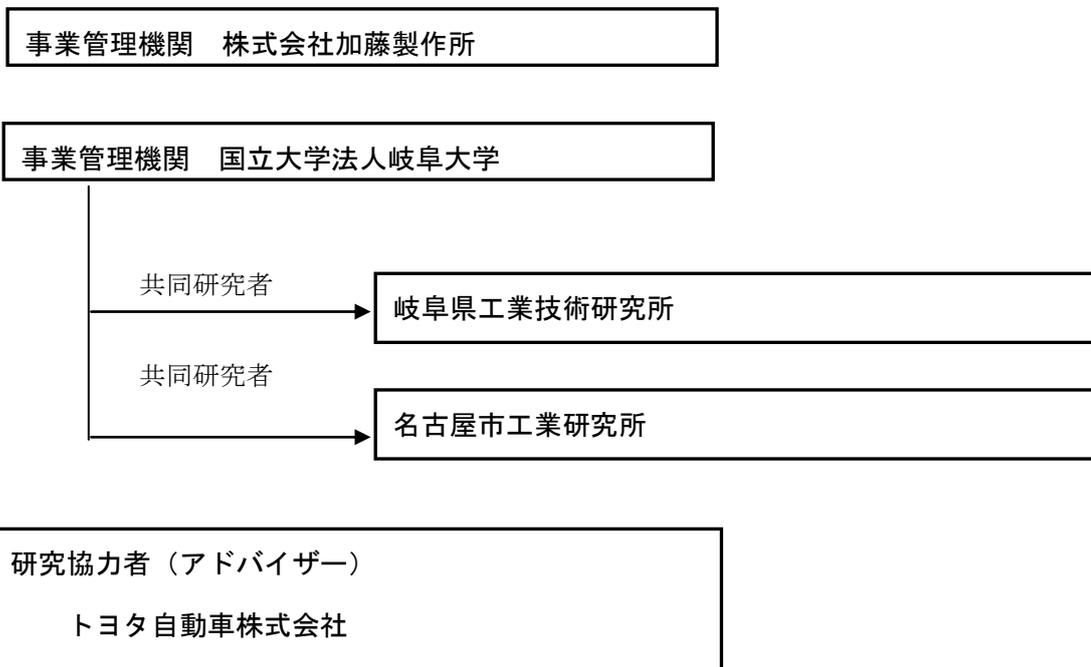
この結果、リードタイム短縮・高付加価値化・低コスト化が可能となる。

なお、本事業で達成する技術目標値は次の通りである。

区 分	現 状	目 標 値
バルジ同時成形個数（プレス）	1ヶ所	3ヶ所
バルジ拡管率（プレス）	1. 2	1. 5
材料歩留	現状50%（切削）	90%（プレス）
重量	現状1（切削）	50%（プレス）
生産性	現状1（切削）	5（プレス）

## 1-2 研究体制

### 研究実施体制



### 研究実施者

#### 【事業管理機関】

株式会社加藤製作所

#### 管理員

氏名	所属・役職	
加藤 安行	専務取締役	

#### 研究員

氏名	所属・役職	
加藤 安行	専務取締役	
岩田 英司	開発部部长	
奥田 智裕	開発部主幹	
高橋 幸一	品質管理部課長	

【事業管理機関】

国立大学法人岐阜大学

管理員

氏名	所属・役職
砂田 博	次世代金型技術研究センター コーディネーター

研究員

氏名	所属・役職
山下 実	工学部教授

【共同研究者】

岐阜県工業技術研究所

研究員

氏名	所属・役職
佐藤 丈士	機械部長
横山 貴広	機械部専門研究員
丹羽 孝晴	機械部研究員

名古屋市工業研究所

研究員

氏名	所属・役職
村田 真伸	システム技術部 研究員
谷口 智	システム技術部 研究員

## 1-3 成果概要

本研究開発では、「バルジ成形」「増肉成形」を組み合わせた「複合絞り加工」を実現する複合金型システムの確立のために、次の課題を解決して実施した。

- ① 複合金型システムの制御機構の確立
- ② 適正バルジ増肉量の確立
- ③ 金型設計・加工技術の確立

### 1 複合金型システムの最適化及び、CAEによる成形解析

#### 1-1 バルジ成形金型の基本構造設計

バルジ成形における増肉量を規定通りとするための、上パンチの軸押し荷重の適正化や、材料流れに及ぼすバルジ成形駒の幾何学的形状および面摩擦の影響等の技術的課題に対して、CAE解析によりデータを収集して、1つのバルジを成形するモデル金型の設計を実施した。

#### 1-2 バルジ成形用モデル金型の製作

1-1の設計図をもとに、モデル金型を製作し、一連の下パンチ上昇⇒軸押し⇒バルジ成形駒の張出し⇒成形⇒下パンチ下降⇒バルジ成形駒のリングバネ収縮による戻し⇒成形完了 といった流れを通して構造に問題がないか、実際にプレスによる成形確認と金型に歪ゲージを取付け、金型に対する負荷等を確認した。

### 2 複合金型システムの設計・精密加工技術の確立

#### 2-1 複数バルジ成形のCAE解析

上記1の成果を元に、2個のバルジ成形を可能とする複数バルジ成形金型の設計を、CAE解析を用いながら実施した。特に解析の結果から、局部的に面圧増加が懸念される部位には、面圧増加の対策や、面圧が大きいと解析される箇所には、給油用のスリット、給油穴等を用いた。

#### 2-2 複数バルジ成形金型の製作

2-1の解析結果を元に、2個のバルジ成形を可能とする複数バルジ成形金型を設計・製作した。そして、実機プレスによる模擬製品の一体加工を実施することにより、製品寸法精度の確認を行うとともに、バルジ成形駒などの面圧が高い部位に歪ゲージを取付け、金型の剛性及び耐久性等を調査し、摩擦低減等の対策を施した。

### 3 複合金型システムの実用性評価

#### 3-1 金型及び成形品の評価

バルジ3個の成形・増肉成形を従動的に実現する量産を想定した、複合金型システムの実証実験用金型を製作し、成形品の精度及び製品肉厚、表面状態、メタルフロー等の評価を行うとともに、複合金型システムに係る損傷の有無、磨耗、摩擦等の金型性能評価等についても、①バルジ成形駒の動き ②従動成形機構の有効性確認 ③型の焼付き状況等の有無の評価結果をフィードバックして、複合金型システムの確立を図った。

#### 3-2 成形品の実用性評価

バルジ個数、バルジ拡管寸法、表面粗さは、大きなポイントで、シール性についても重要（重要保安部品）な要素となることから、バルジ個数、拡管率の限界値を見極めながら、品質保証できる体制を構築するとともに、圧縮・引張試験時の状態を観察しながら、複合絞り加工を実現するプレス金型システムの確立をした。

#### 1-4 当該研究開発の連絡窓口

株式会社加藤製作所 専務取締役 加藤 安行

電話 0574-60-0006

FAX 0574-60-0007

E-mail yasuyuki@ksjapan.co.jp

国立大学法人岐阜大学 次世代金型技術研究センター

コーディネーター 砂田 博

電話 058-293-2497

FAX 058-293-2496

E-mail sunada@gifu-u.ac.jp

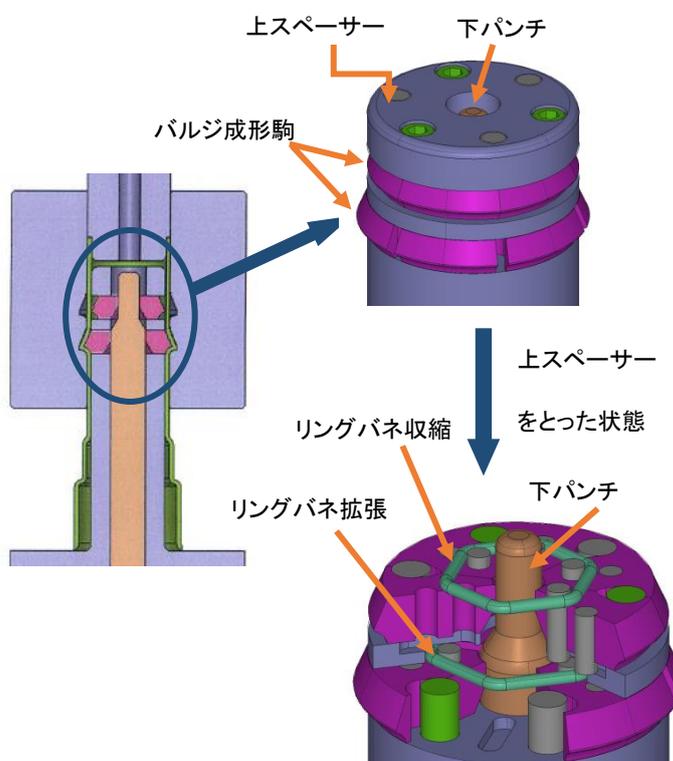
## 第2章 本論

### 1 複合金型システムの最適化及び、CAEによる成形解析

CAE解析によりデータを収集して、1個のバルジ成形を行うモデル金型の設計と製作を行い、実証を行いながら成形品の確認と応力歪状況を測定して、モデル金型の負荷等の状況を確認した。

#### 1-1 バルジ成形金型の基本構造設計

バルジ成形における増肉量を規定通りとするための、上パンチの軸押し荷重の適正化や、材料流れに及ぼすバルジ成形駒の幾何学的形状及び面摩擦の影響（温度変化を補正した塑性歪を測定する）等を、CAE解析によりデータを収集して、1個のバルジを成形するモデル金型の設計を実施した。



#### 1) CAEによるバルジ成形金型の動作タイミングの解析

##### CAE解析の概要

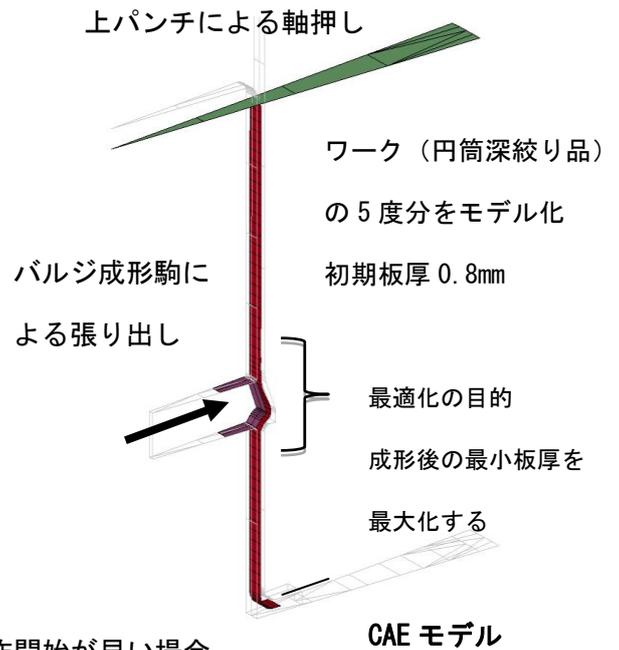
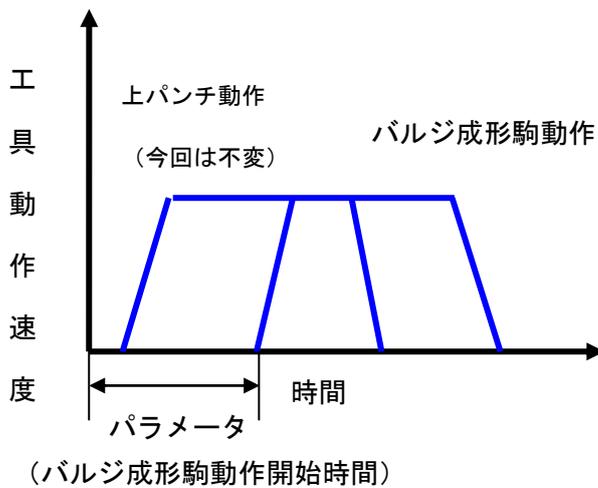
CAEにより最適工具動作の探索ができるかどうかの検討を実施した。バルジ成形は1箇所、ワークの5度分のみをモデル化し、パラメータ2変数までのかなり小規模のCAEモデルで最適計算を実施した。

その結果、軸押し開始直前にバルジ駒による張り出しを開始するのが最も板厚減少が少ないことが理解できた。

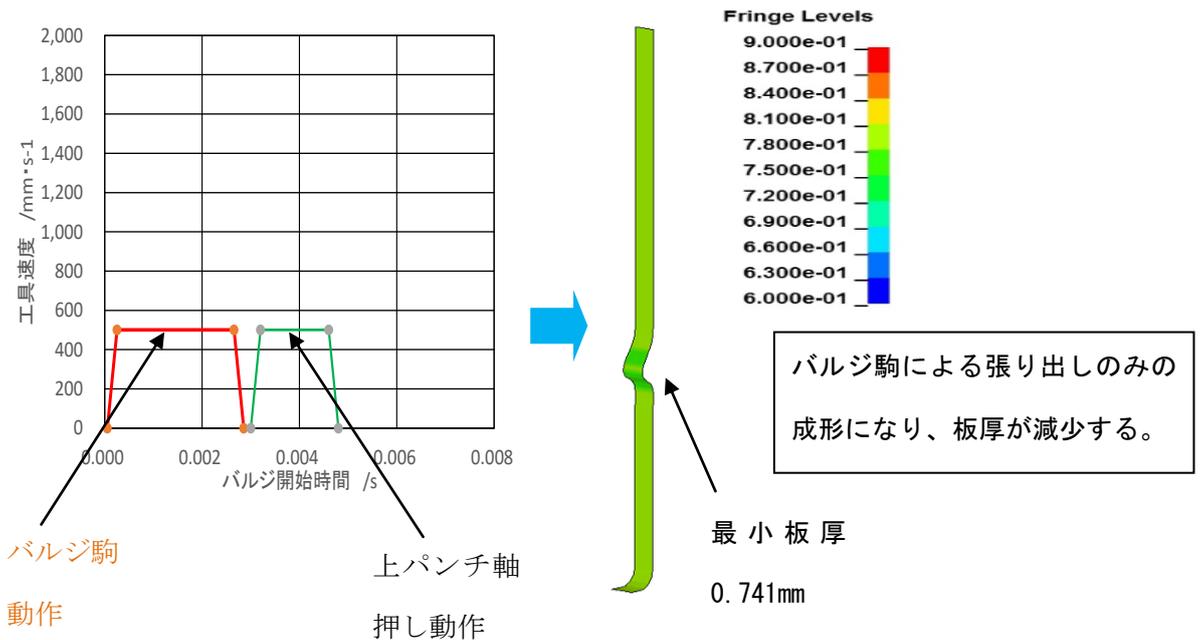
① 1 設計変数 (1st トライモデル)

- ・ 上パンチ動作は不変とし、まずは、バルジ成形駒の動作開始時間のみに着眼してパラメータとして変化させた。
- ・ 成形後の減肉が最も少なくなる最適値を繰り返し計算により探索した。
- ・ 最適値の探索は最適化アルゴリズムを活用した

工具の動作タイミング

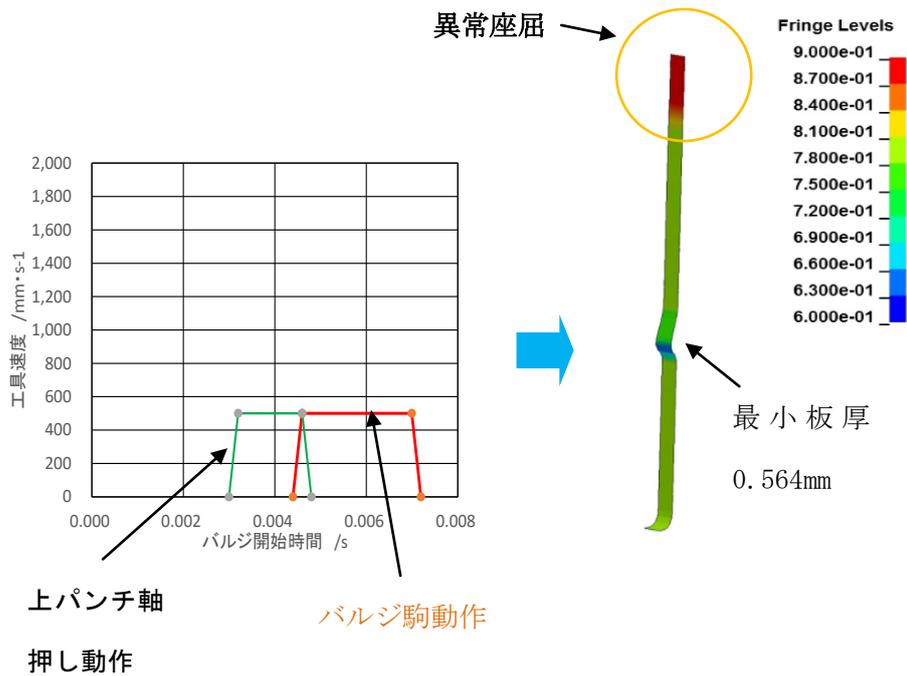


結果状況 1 : 軸押しに対してバルジ駒の動作開始が早い場合



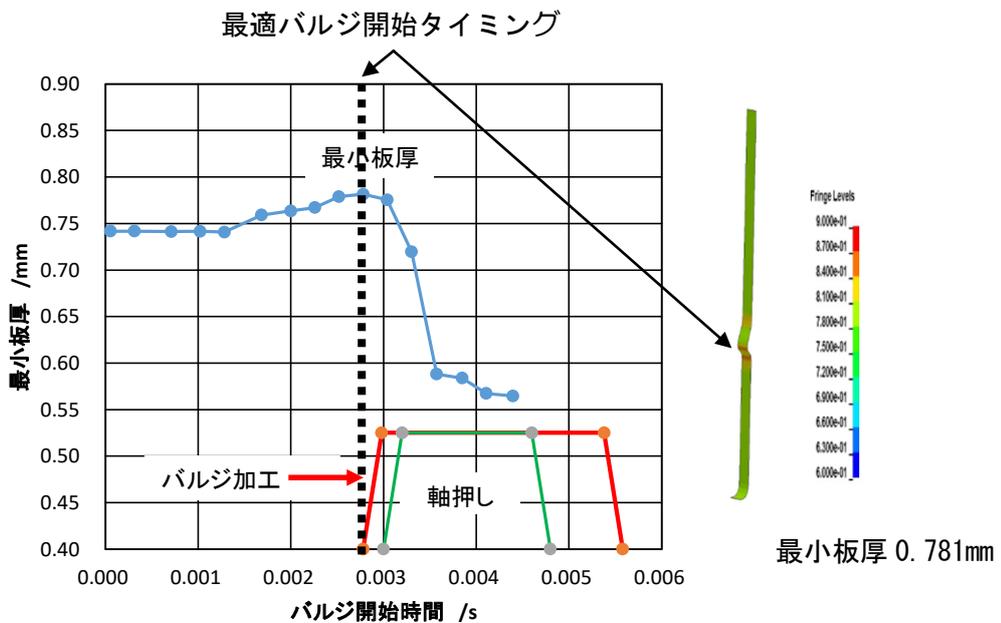
バルジ駒による張出だけの成形となり、板厚が減少することが理解できた。

結果状況 2 : 軸押しに対してバルジ駒の動作開始が遅い場合



異常な座屈が発生し、座屈と張り出しの連携がうまくできていない。(5度モデルに起因して、座屈モードが正しく計算できていない可能性もある。)

1 設計変数 (1st トライモデル) の最適計算結果

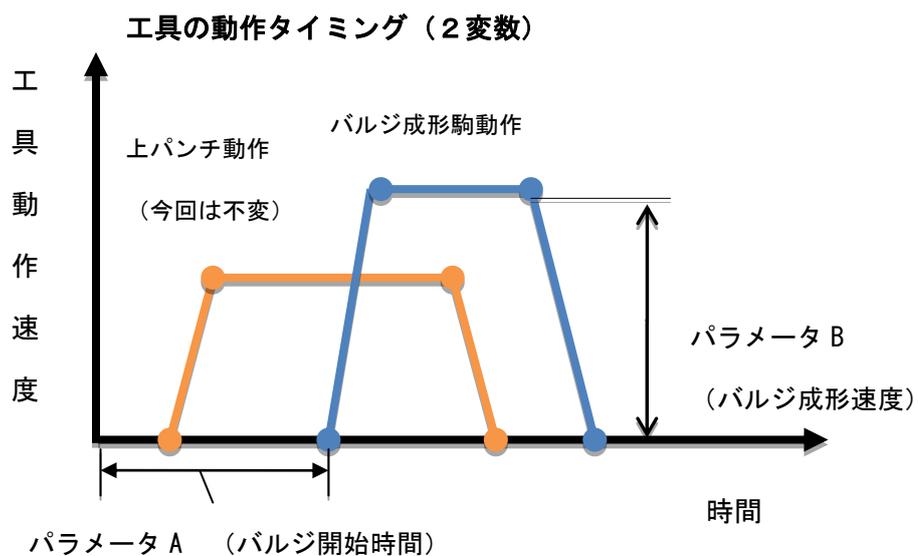


軸押し開始直前にバルジ駒による張り出しを開始するのか、最も板厚減少が少ないことが理解された。

これは、軸押しによる座屈とバルジ駒の張り出しの両方により成形が進行するためと考えられる。

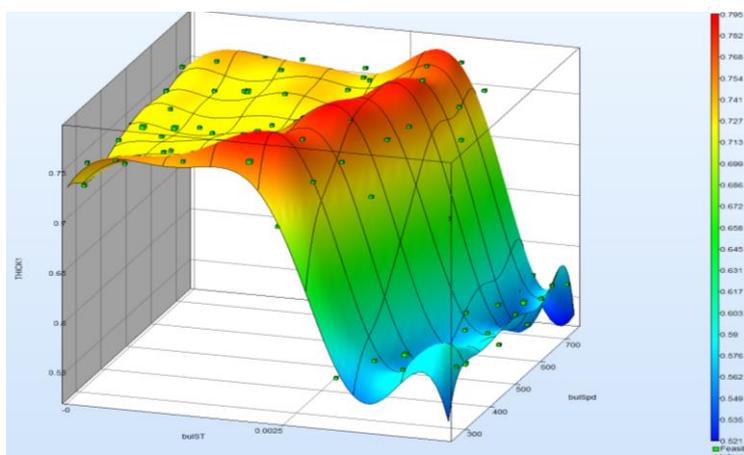
② 2設計変数 (2nd トライモデル)

バルジ成形駒の開始時間に加えて、バルジ成形駒の成形速度もパラメータに追加した最適化計算を実施した。



**最適化計算結果 (応答局面)**

**応答値 (最小板厚)**



パラメータ A

パラメータ B

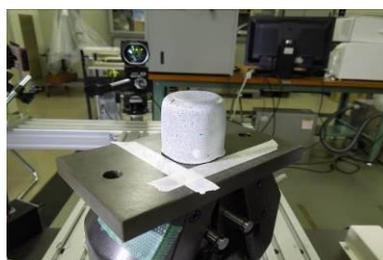
(バルジ開始時間)

(バルジ成形速度)

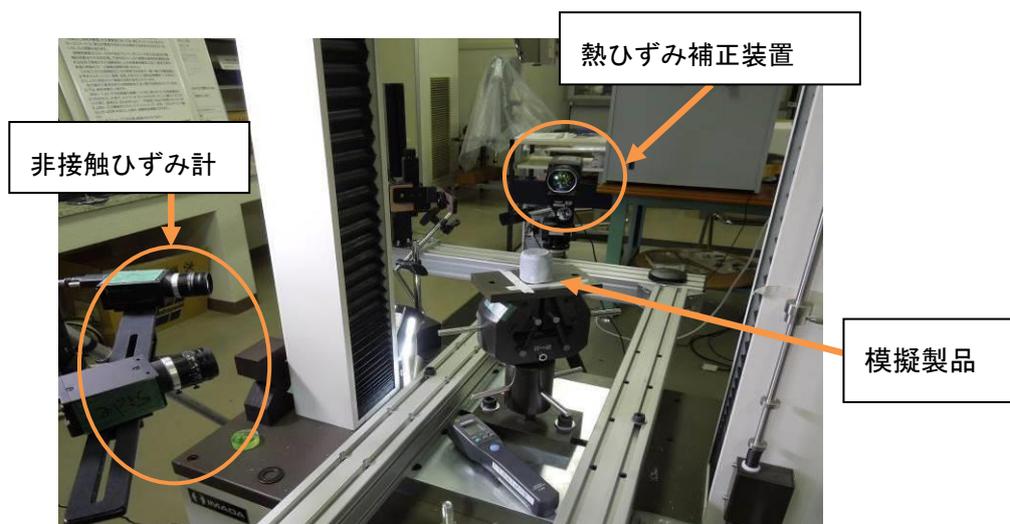
上記のように、2変数で最適計算を実施した結果、最適値が探索できることが理解できた。

## 2) 熱ひずみ補正係数の測定

加工中の発熱によってバルジ成形品が熱膨張して寸法精度が悪化する懸念があるため、発熱によってバルジ成形品にどれほどの熱ひずみが生じるか簡易的な実験で見積もった。バルジ成形する前の成形品（3工程目以降にて $\phi 35$ 程度）と同寸法の深絞り成形品を試作し、導入した熱ひずみ補正装置を用いて温度変化とひずみの変化の同時測定を行い、温度変化によりどのようなひずみが生じるかを測定した。



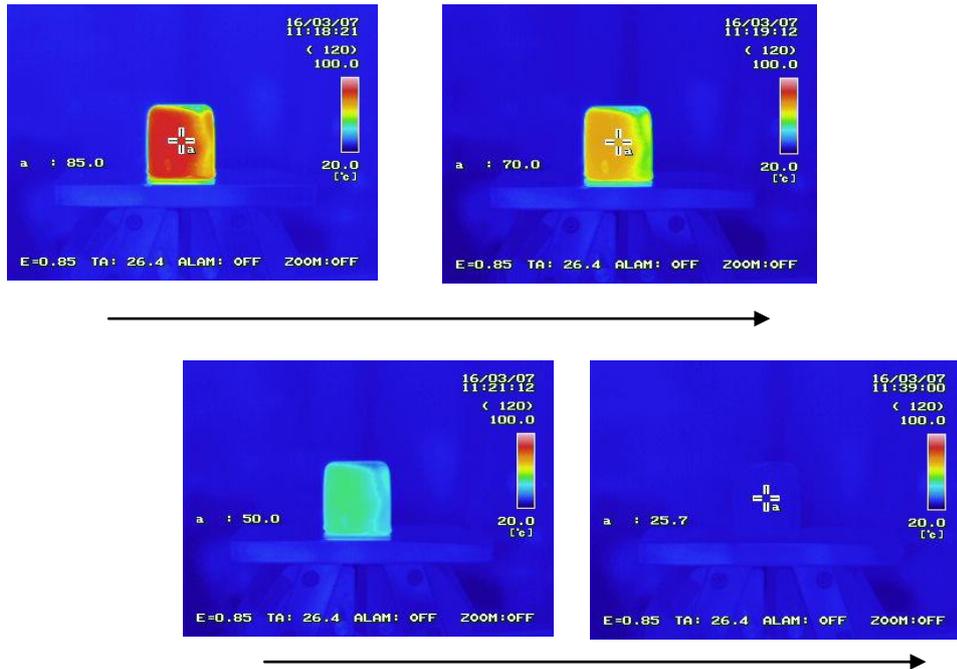
実験に用いた模擬製品（深絞り成形品、軟鋼 $\phi 35$ ）



温度とひずみの同時計測実験の様子

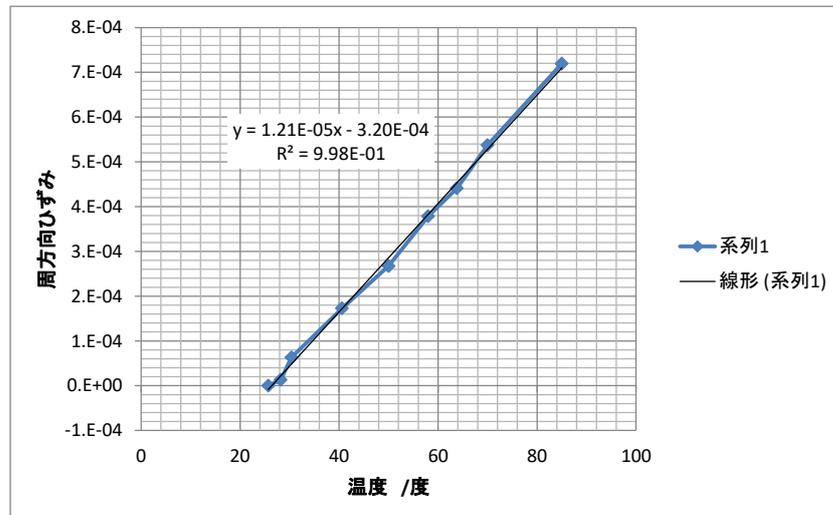


非接触ひずみ計によるひずみ計測の様子



温度分布測定結果

(100°Cに加熱後に25°Cまで自然放冷させた際の温度変化の様子)



温度とひずみの関係

これらの実験を通じて、温度1°Cに対して模擬製品に  $1.2 \times 10^{-5}$  程度の熱ひずみが生じることが分かった。

これはほぼ鉄の線膨張係数と同じ値であるため妥当な結果であると考えられる。

これにより、バルジ成形品の温度が例えば100°C上昇した際には、0.042mm程度の寸法誤差を生じることになる。今後は必要に応じてこれらの温度影響を考慮した解析を実施する予定である。

### 3) バルジ成形部の歪分析結果

区 分	無潤滑	潤滑有
初期状態 (中央水平線が分割部)		
変形途中 左図のストローク 1 mm, 右 2 mm, ひずみレンジ 0 ~ 0.04		
破断直前 左図のストローク 2 mm, 右 4 mm, ひずみレンジ 0 ~ 0.10		

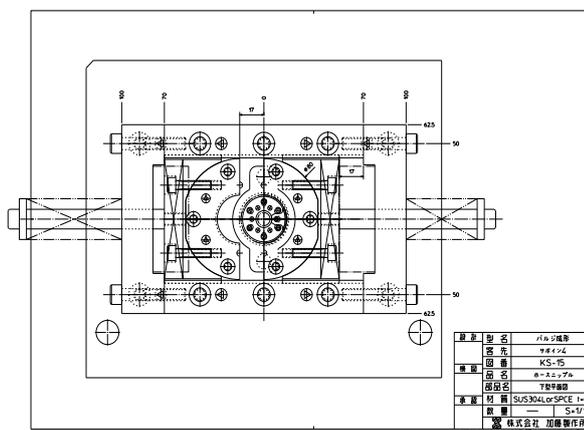
### 1-2 バルジ成形用モデル金型の製作

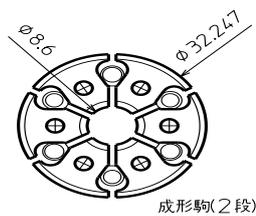
1-1の設計図をもとに、モデル金型を製作し、一連の下パンチ上昇⇒軸押⇒バルジ成形駒の張出し⇒成形⇒下パンチ下降⇒バルジ成形駒のリングバネ収縮による戻し⇒成形完了といった流れを通してシステム構造に問題がないかを確認するとともに、バルジ成形駒による張出変形中の歪測定を行い、工程についても同様に確認しながら、金型に対する負荷等を検証した。

#### 1) CAE解析よりデータを収集したバルジ成形金型の設計

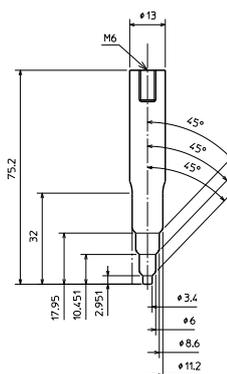
設計に関しては、CAE解析結果をもとに、軸押し開始直前にバルジ成形駒が可動するように、設計を行った。

モデル金型の設計図





バルジ駒の形状適正化



軸押しパンチの長さの適正化

## 2) バルジ成形駒素材の特性評価

バルジ成形駒素材の硬度を把握するため、硬度測定を行った。バルジ成形駒素材について、5点測定を行い、その平均値を求めた。

なお使用する硬さ試験機は、予め硬さ基準片を用いて精度確認した。

	硬 さ 値	硬さ記号
バルジ成形駒素材	58.6 ( 58.5, 58.4, 58.7, 58.6, 58.7 )	HRC

## 3) 被加工材の特性評価

使用する被成形材の基本的な変形特性把握のため引張試験を行った。

### ・試験結果

#### SPCE

試験温度	引張応力 (N/mm <sup>2</sup> )	耐力 (N/mm <sup>2</sup> )	弾性率 (N/mm <sup>2</sup> )
20°C	296.1	138.3	140,170
40°C	295.7	159.2	47,674
60°C	279.6	137.6	114,679
80°C	282.6	148.7	114,375

#### NSS442M3

試験温度	引張応力 (N/mm <sup>2</sup> )	耐力 (N/mm <sup>2</sup> )	弾性率 (N/mm <sup>2</sup> )
20°C	470.0	352.6	167,898
40°C	447.0	329.1	164,052
60°C	462.8	348.0	169,105
80°C	463.1	345.6	150,097

#### 4) バルジ成形前の絞り工程の実施

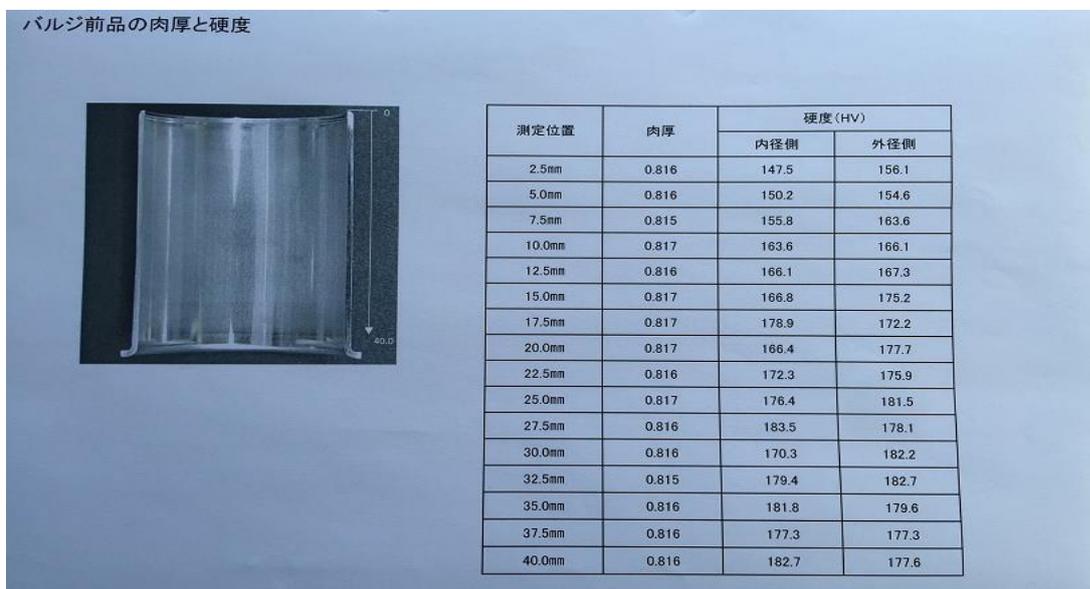
バルジ成形前工程として、プレス加工を実施した。(金型7工程)



工程レイアウト

#### 5) バルジ成形前の絞り製品の測定

バルジ成形前の絞り製品の測定し、得られた測定結果をシミュレーションデータに展開した。



#### 6) バルジ成形金型製作



バルジ成形金型



バルジ成形駒



軸押しパンチ

## 7) バルジ成形金型によるトライ結果

	目標値	n=1	2	3	4	5	Ave.
外径	33.7±0.1	33.74	33.73	33.73	33.72	33.74	33.73
高さ	41.4±0.1	41.41	41.39	41.40	41.35	41.39	41.39
真円度	Φ0.1以下	0.032	0.035	0.033	0.035	0.038	0.035
面粗さ	Rz10以下	6.147	6.333	6.756	6.918	6.883	6.607



プレス成形状況  
(バルジ1個)

## 2 複合金型システムの設計・精密加工技術の確立

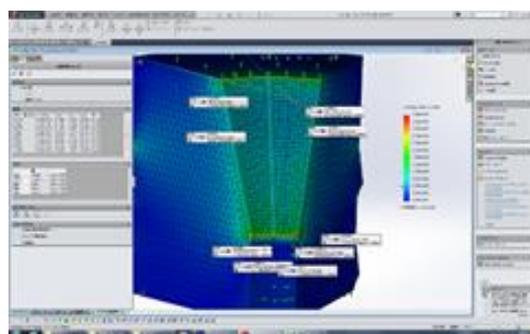
平成27年度のモデル金型による検証結果をもとに、2個のバルジ成形を可能とする実証用金型の設計に関して、CAE解析により実施した。そして、解析結果から、局部的に面圧増加が懸念される部位には、給油構造を構築した。

また、穴径等の適正值に関しては、CAE解析を用いて実施するとともに、試作用金型の製作に際しては、バルジ成形駒と拘束ダイスについて形状が継ぎ手に転写されることから、バルジ成形駒および軸押しパンチ、スライドプレートの高精度加工を施した。

### 2-1 複数バルジ成形のCAE解析

2個のバルジ成形を可能とする複数バルジ成形金型の設計を、導入する最適加工条件設計システムを用いて行うとともに、トライ時に駒と軸押しパンチの微調整を行いながら製品の肉厚を評価し最適な増肉加工動作条件を導出した。そして、面圧が大きいと解析される箇所には、給油用のスリットなどの摩擦低減を、CAE解析により解析したが、面圧が増加してしまうことが分かったことから、給油構造は摺動部へ金型上方から給油する金型構造を設計した。

しかし、平成27年度のコ型と比較を行うため給油について、昨年度と同条件で行い、特別な給油は控えた。



2段のバルジ成形駒

また、昨年度の課題であった駒に対する応力低減については、C A E解析の結果、局部的に応力集中が懸念される部位に対しては、駒の角度を鈍角にすることや、厚みを増すなど、C A E解析と、試作用金型により対応した。

駒にかかる負荷の低減

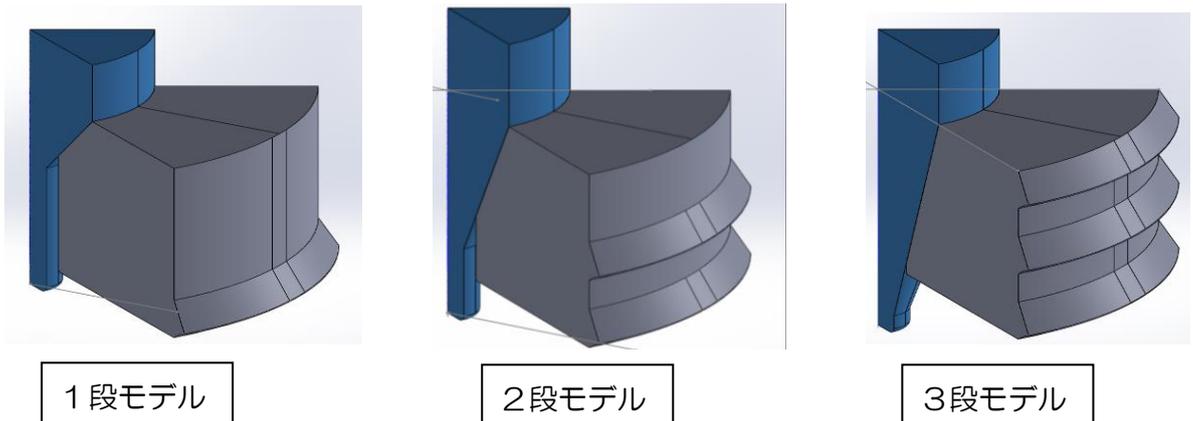
- ① 駒のテーパ角変更   、   ② 駒の穴径拡大   、   ③ 駒の厚み増加
- ④ 駒の材質見直し   、   ⑤ 駒に油溝を付与する

摩擦抵抗の低減

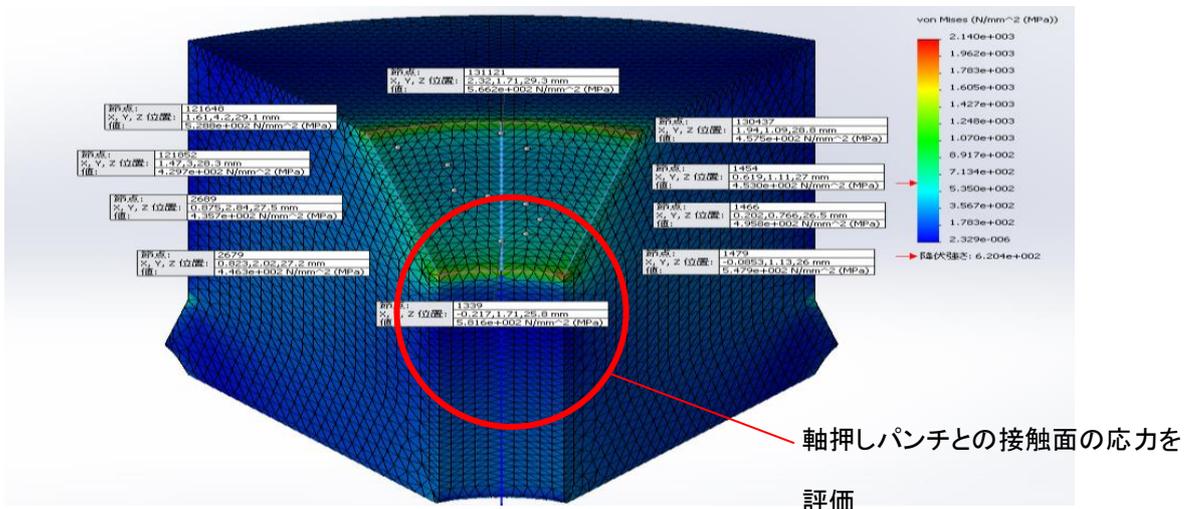
- ① 駒に油溝を付与する   、   ② 潤滑油の変更

上記の課題と対策を考慮して金型設計を行った。

1) 設計した金型にかかるC A E解析用モデルの作成



2) C A E解析による応力値の評価



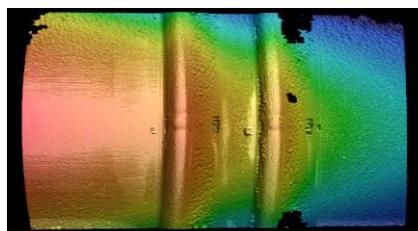
## 2-2 複数バルジ成形金型の製作

### 1) 製作した複数成形バルジ金型

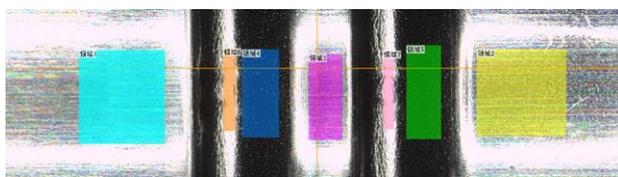


### 2) バルジ成形品の表面粗さの評価

バルジ近傍の立体測定画像



### 3) 各部位の面粗さ (Ra)



領域 1 6 4 3 7 5 2

面粗度(平均粗さ Ra)測定領域

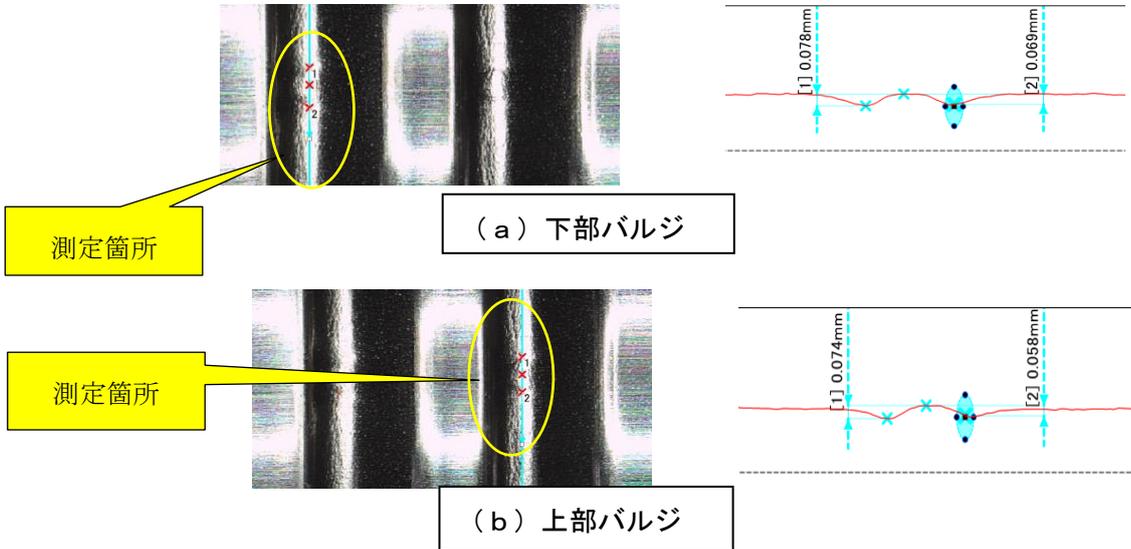
区分	測定部位	Ra (μm)
領域 1	円筒下部	6
領域 2	円筒上部	6
領域 3	円筒中央部	2.8
領域 4	下部バルジ斜辺	3.4
領域 5	上部バルジ斜辺	2.9
領域 6	下部バルジ頭頂部	2.3
領域 7	上部バルジ頭頂部	1.7

評価結果

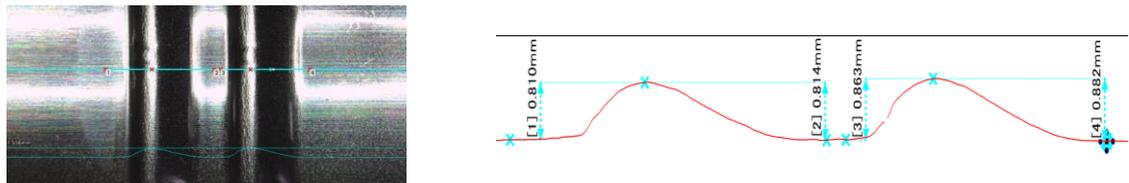
円筒上下部の Ra は 6 μm で目標を満足している。しかし、バルジ部は目標値を満足できていないため、改善の余地がある。バルジ頭頂部の金型分割箇所で板厚方向にくびれが発生。原因は、型拘束条件の急変による塑性変形の集中化と成形中の円筒軸方向の引張応力が大きくなることによる 2 軸引張下の塑性変形だと考えられる。

#### 4) バルジ成形品の断面形状評価

##### バルジ頭頂部のくびれ部のプロファイル測定



##### ダブルバルジ部軸方向プロファイル測定



##### 測定結果

板厚方向くびれは、いずれのバルジ部も0.08mm程度である。

#### 5) 温間における材料の変形挙動の評価

3種類のプレス素材 (SPFC440, SPCD, SUS304) について、比較的低温である3つの温度雰囲気環境 (20°C, 100°C, 150°C) での温間引張試験を実施した。

温度 (°C)	引張強さ (N/mm <sup>2</sup> )		
	SPFC440	SPCD	SUS304
20	484	299	612
100	437	256	509
150	426	238	480

##### 評価結果

150°Cまでの比較的低い温間条件とはいえ、試験雰囲気温度を上昇させるにつれて、引張強さが減少することが理解された。また、温間で成形を行うことにより、変形による加工硬化の度合いは小さくなり、易成形化の手段の一つになることがわかった。

### 3 複合金型システムの設計・精密加工技術の確立

2個のバルジ成形で課題となった「駒と駒の間の隙間の跡」及び「バルジ部の面粗さへの対応」についての解決を図りながら、3個のバルジ成形にかかる複合金型システムの確立のために、実証実験用金型によりシステムの評価を行いその結果を金型に反映しながら研究開発を実施した。

#### 1) バルジ成形部に張出駒間の跡について

製品または、駒分割の配置を工程間でずらすとともに、円筒軸方向の引張応力を低下させるための軸押しを活用することとした。

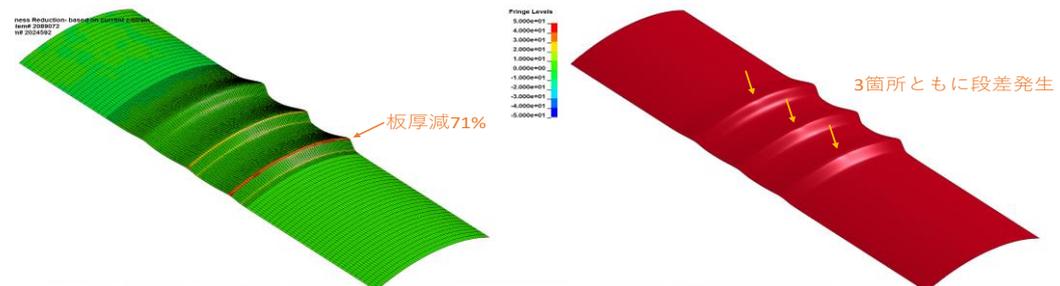
そのため、工具動作における駒の張出量及び軸押しの量とそのタイミングに関して、バルジ金型の成形過程をCAE解析により再現することにより、金型の最適工具動作を検証した。

#### CAE解析結果

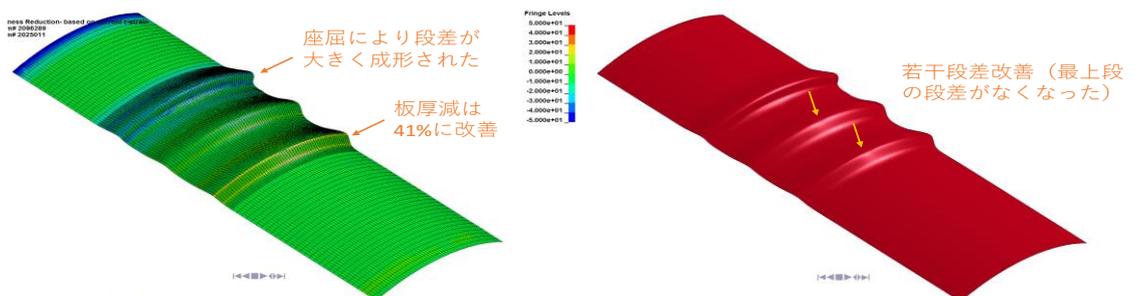
成形後の板厚減少がなるべく少なくかつ、形状不具合である駒間の段差が小さくなる条件が最善であると仮定して、計5ケースの解析結果を評価した。

図①-1～①-5に各解析ケースにおける板厚減少率と駒間段差の様子を示し、表①-1には厚減少率の最大値と駒間段差の結果をケースごとにまとめた。

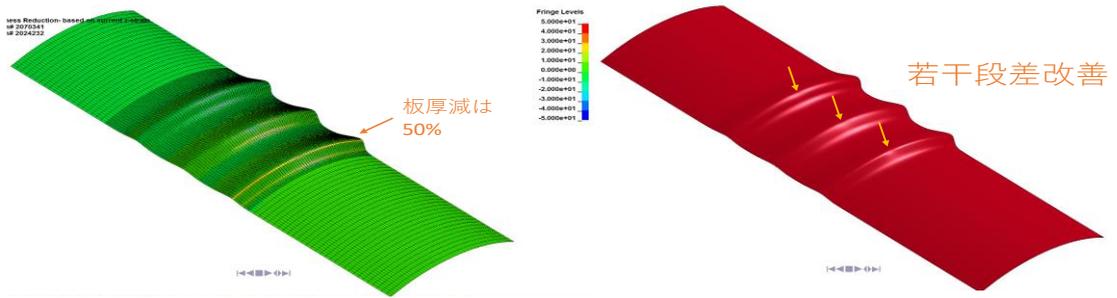
図①-1 ケース1 板厚減少率（左）と駒間段差の様子（右）



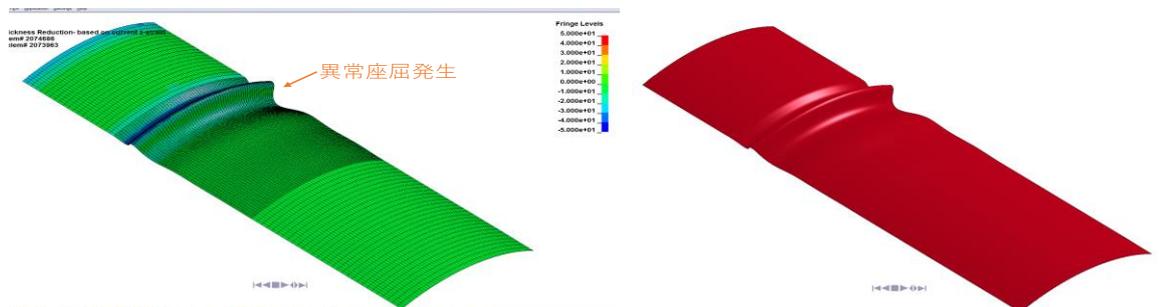
図①-2 ケース2 板厚減少率（左）と駒間段差の様子（右）



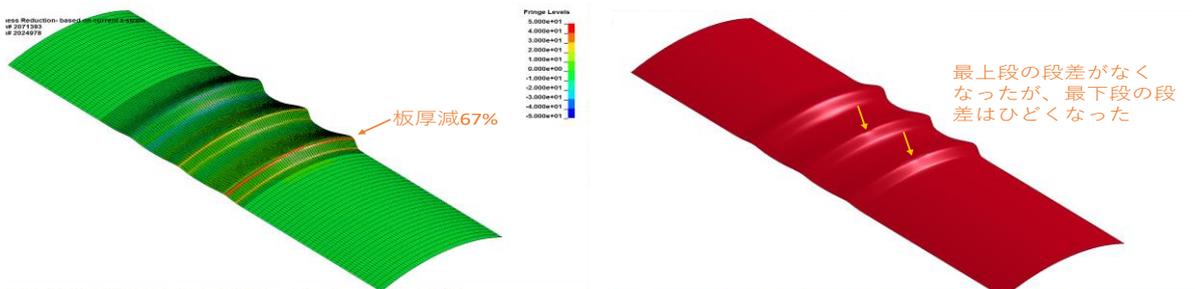
図①-3 ケース3 板厚減少率（左）と駒間段差の様子（右）



図①-4 ケース4 板厚減少率（左）と駒間段差の様子（右）



図①-5 ケース5 板厚減少率（左）と駒間段差の様子（右）



表①-1 解析結果まとめ

Case	金型動作モード	解析結果		
		板厚減少率 %	駒間段差	判定
1	張出しのみ	71.7	×	× 板厚減大
2	張出しと同時に軸押し4.75mm	41.5	改善	○
3	張出しと同時に軸押し1.58mm	50.8	改善	△
4	軸押しのみ	7.2	×	× 異常座屈
5	軸押し1.58mm後張り出し	67.1	×	× 板厚減大

上記のように、成形品の駒間段差および板厚減少率を改善するためには張出と同時に軸押し（駒角度76.46度相当）を併用するケース2の条件が最も良いことが理解された。

## 2) プレス成形品の実用性評価

深絞り成形品の円筒部に形成された外側に凸状のバルジ部について、バルジ頭頂部に円周方向の形状不均一が発現し、くびれの大きさ（溝としての深さ）は0.08mm程度であることが分かっている。このくびれ現象は塑性不安定現象であるため、破断の兆候を呈していると言え、そのため部品に内圧負荷を与える場合、耐圧性能の低下は免れないことから、耐圧試験を行い、破壊圧力を測定するとともに、試験時の成形品変形や破損、液体の漏れ挙動をハイスピードマイクروسコープで観察した。成形されたバルジの個数は、1、2及び3個である。

成形品の破壊圧力を表②-1に示す。

1個バルジ成形品については破壊しなかった。2個バルジ成形品に比して3個バルジ成形品の破壊圧力は、約10%低下した。

また、3個バルジ成形品において、バルジ成形工程の回数が破壊圧力に及ぼす影響は見られなかった。

次に、各成形品の変形及び破壊、漏れ挙動を図②-1～②-5に示す。

- ・ 1個バルジ成形品については、シール部において製品固定部品の合せ部の隙間からOリングとバックアップリングが内圧によって押し出されてシール効果がなくなった圧力であり、バルジ部に破断は生じていない。
- ・ 2個バルジ成形品については、左側(成形品のフランジ側)のバルジ部の金型分割部で破壊を生じた。
- ・ 3個バルジ成形品の破壊・漏れ挙動は次のとおりである。
  - (a) の1工程成形品であるが、破壊は中央のバルジ部で生じた。0～1msの間も飛ぶ向きが少し変わっているので亀裂が大きくなっている。4.3msで2カ所の穴から噴出し始め、10msで2つの穴がつながり一となり、亀裂は大きくなり31.9ms以降、亀裂拡大は停止する。その後、前面の亚克力板が曇ってくる。
  - (b) の2工程成形品についても破壊は中央のバルジ部で生じた。

表 1 破壊限界圧力

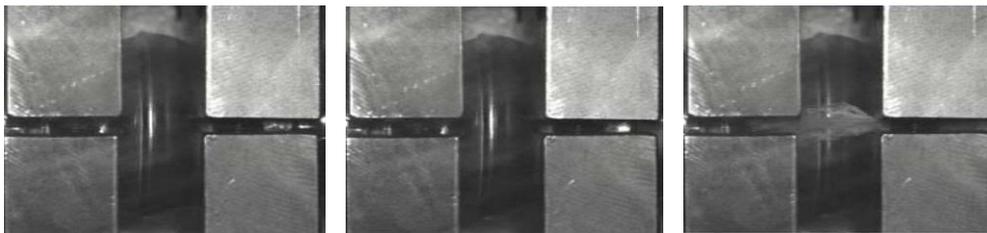
(a) 1工程成形

成形品	破壊圧力 (MP a)	
	1回目	2回目
1個	> 42 (バルジ部大変形)	> 46 (バルジ部大変形)
2個	32	34
3個	29	30

(b) 2工程成形

成形品	破壊圧力 (MP a)	
	1回目	2回目
3個	30	30

図②-1 1個バルジ成形品の変形と漏れ挙動

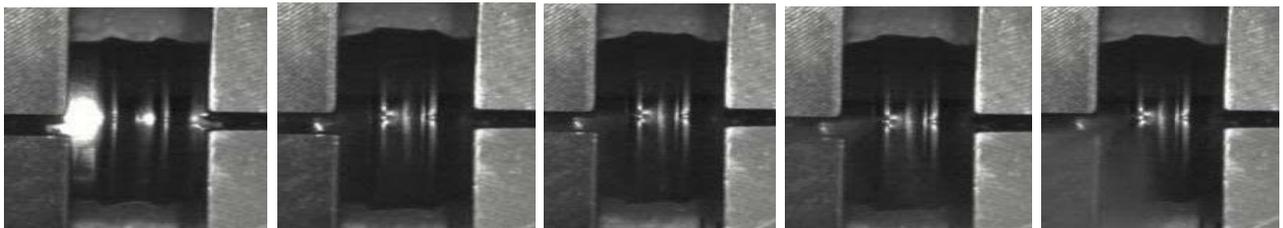


初期状態

0 ms

14.6 ms

図②-2 2個バルジ成形品の変形, 破壊と漏れ挙動



初期状態

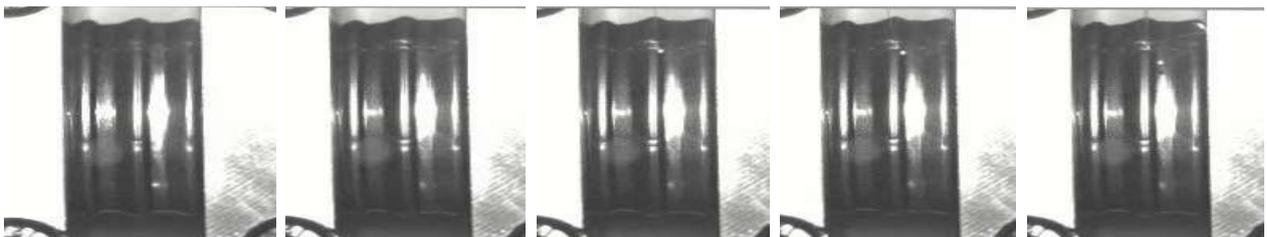
0 ms

3.3 ms

9.9 ms

17.6 ms

図②-3 3個バルジ成形品の変形, 破壊と漏れ挙動



初期状態

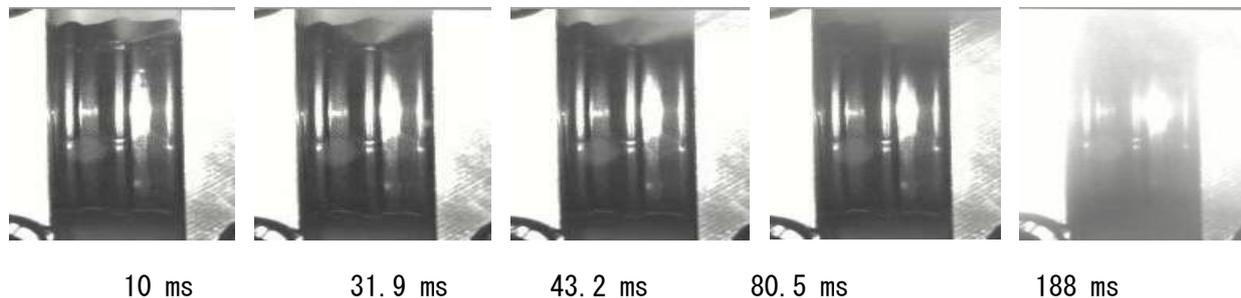
-15.1 ms

0 ms

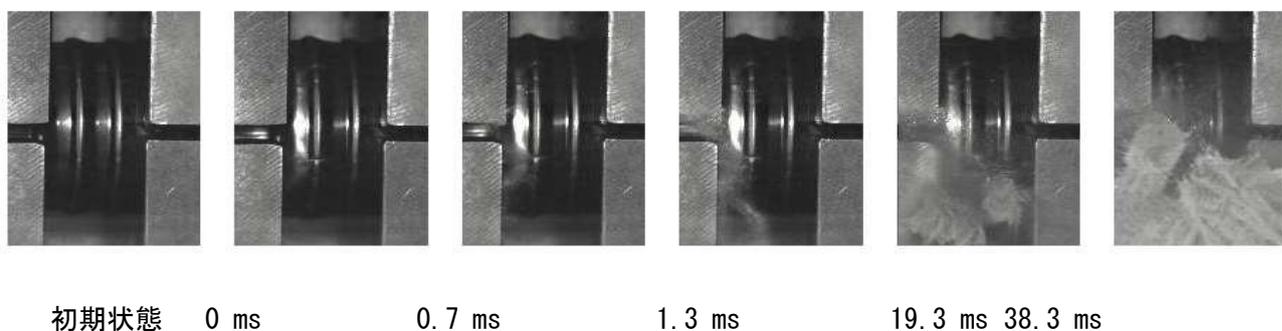
1 ms

5.6 ms

図②-4 (a) 1工程成形品



図②-5 (b) 2工程成形品



#### 耐圧試験後の成形品の評価

- ・ 1個バルジ成形品はシール部から漏れを生じたため成形品は破壊していない。
- ・ 2個バルジ成形品については、フランジ側のバルジ部で破壊を生じた。  
円周方向に板厚が薄くなっている領域が、破壊を生じていないバルジにも観察される。
- ・ 3個バルジ成形品については、1工程および2工程成形品とも、中央のバルジ破壊を生じ、2個のバルジ成形品と同様に円周方向に板厚が薄くなっていることが分かる。

図②-1 耐圧試験後の1個バルジ成形品



No. 1 (42 MPa)



No. 2 (46 MPa)

図②-2 耐圧試験後の2個バルジ成形品



No. 1 (32 MPa)



No. 2 (34 MPa)



図②-3 耐圧試験後の3個バルジ成形品 (a) 1工程成形



No. 1 (29 MPa)



No. 2 (30 MPa)



図②-4 耐圧試験後の3個バルジ成形品 (b) 2工程成形



No. 1 (30 MPa)



No. 2 (30 MPa)



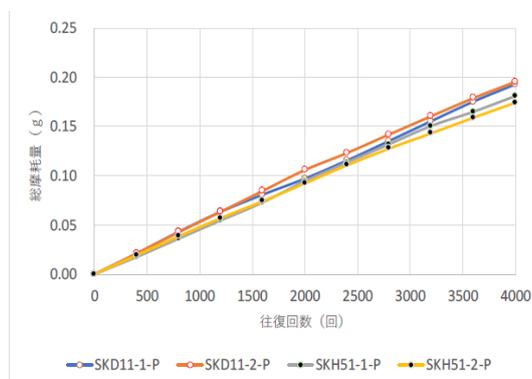
### 3) 複合金型システムの実用性評価

パイプ素材に内面から駒を押付けて張出す成形は、金型に大きな負荷を与えるとともに、金属材料にとっては厳しい加工条件となる。そのため、金型に関しては耐摩耗性に優れた材料が必要となることから、耐摩耗の評価を行うとともに、被加工材に関しては、温間における金属板材の機械的特性の変化を把握するために、引張試験を実施した。

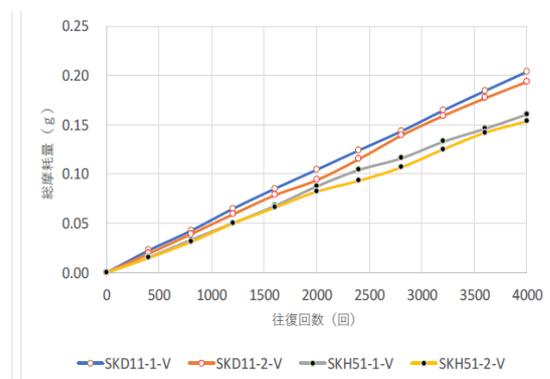
#### ○ 金属材料（金型）の評価

金型材料の耐摩耗性評価するためにスガ式摩耗試験で、SKD11とSKH51の2種類の材料で実施した。

2種類の材料の耐摩耗性を比較するため、それぞれ材料を平行方向と垂直方向で試験した。図③-1、図③-2はアルミ摩耗輪を使用して2種類の材料、2方向における、往復回数と総摩耗量の関係図である。図③-1、図③-2よりSKH51の方がSKD11より総摩耗量が少ないことから、金型材料としてSKH51の方が耐摩耗性にすぐれた材料であることがわかる。



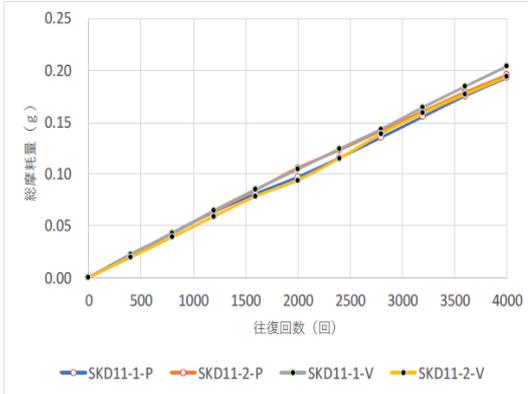
図③-1 金属材料の耐摩耗性



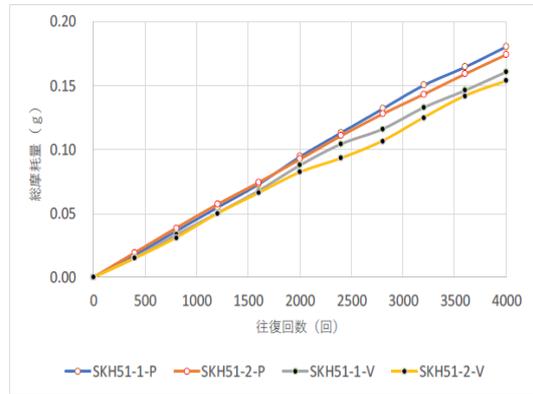
図③-2 金属材料の耐摩耗性

次にスガ式摩耗試験の試験方向（平行・垂直）で材料の耐摩耗性が異なるのかどうかを調べた。図③-3、図③-4は各材料で両方向における往復回数と総摩耗量の関係図である。まず、図③-3（SKD11）を概観すると、両方向の総摩耗量に差は確認できなかったが、図6（SKH51）では両者間の差が確認できた。

図③-3 試験方向の耐摩耗性

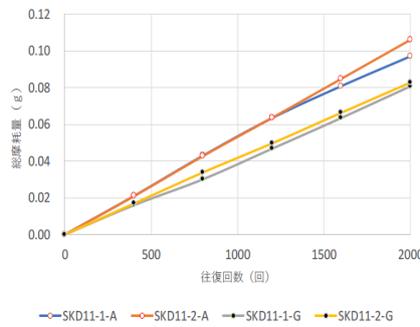


図③-4 試験方向の耐摩耗性

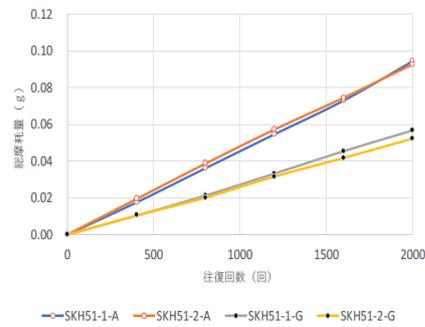


同じ材料・試験条件で摩耗輪の材質のみ変えた場合に耐摩耗性がどのように異なるのかを調べた。図③-5は、SKD11の両摩耗輪における往復回数と総摩耗量の関係、図③-6はSKH51の関係図を示している。図③-6、図③-7より、ゴム摩耗輪(G)を使用した方が材料の総摩耗量が少ないことがわかる。

金型材料と摩耗輪が接触した際、同じ荷重でもゴム摩耗輪の方は変形量が多いため、荷重の一部が摩耗輪の変形によって吸収される。これらの影響が両者間の総摩耗量の差に現れたのではないかと推測できる。



図③-5 摩耗輪の耐摩耗性



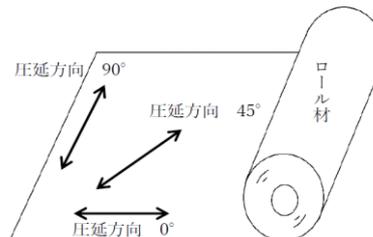
図③-6 摩耗輪の耐摩耗性

○ 被加工材の特性評価

素材から引張試験片を

図③-7で示すように3方向採取した。

図③-7 試験片の採取方向



本試験の結果を表2に示し、常温における引張特性値の代表としてJISG3141で示されているSPEC材の材料特性を表3に示す。

表2 SPECにおける引張試験の結果

試験温度	圧延方向	耐力 (N/mm <sup>2</sup> )	引張強さ (N/mm <sup>2</sup> )	伸び (%)	弾性率 (N/mm <sup>2</sup> )
20℃	0度	158.9	313.9	46	135,464
	45度	168.5	318.4	48	168,011
	90度	166.4	311.3	47	176,336
70℃	0度	149.2	288.2	48	138,233
	45度	151.2	284.0	50	150,451
	90度	151.9	280.9	49	151,671

表3 JISG314 機械的性質 材料厚さ1.0mm以上1.6mm未満の場合

材料	耐力 (N/mm <sup>2</sup> )	引張り強さ (N/mm <sup>2</sup> )	伸び (%)
SPEC	220以上	270以上	41以上

表2より、70℃程度の温間成形では、製品強度の関連から引張強さは280 N/mm<sup>2</sup>程度と、表3の270 N/mm<sup>2</sup>以上に対して大差なく、一方の伸びは70℃程度の温間成形で、常温より20%程度大きくなることがわかった。70℃程度に温度が上っただけでも、特に伸びが大きくなることは重要な特性変化であり、プレス成形性の向上が見込まれ都合がよいことを分かった。

本研究開発では、3個のバルジ成形にかかる複合金型システムの確立のために、実証実験金型によりシステムの評価を行いその結果を金型に反映しながら研究開発を実施したが、その結果は以下のとおりである。



研究開発により確立した金型によるバルジ3個のプレス試作品

目標値に対する状況

区分	現状	目標値	達成状況
バルジ同時成形個数	1カ所	3カ所	3カ所
バルジ拡管率	1.2	1.5	拡管率1.4
材料歩留り率	50% (切削加工)	90% (プレス加工)	歩留り率92%
重量	現状1 (切削加工)	50% (プレス加工)	重量50%に低減
生産性	現状1 (切削加工)	5 (プレス加工)	5

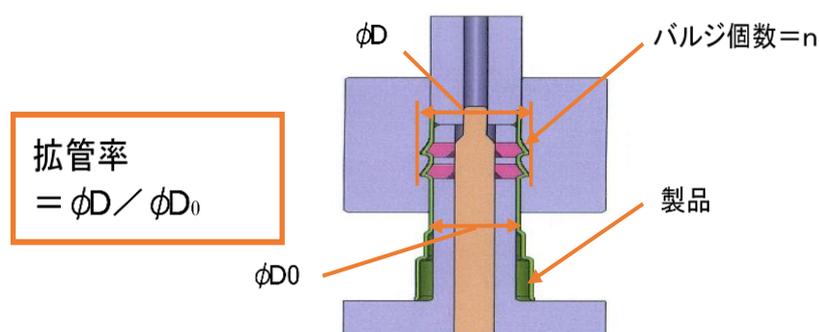
また、技術目標値については次の通り達成することができた。

区 分	目標値等	
	顧客要求値	平成29年度 達成値
外径	±0.2mm	±0.1mm
真円度	0.1mm以下	0.05mm
面粗さ	25S以下	15S

## 最終章 全体総括

### 1 研究開発の成果及び研究開発後の課題

本研究開発では、初年度がバルジ1個、2年目がバルジ2個、最終年度がバルジ3個の成形を達成するために、順次研究開発を積み重ね、目標とした3個のバルジ成形にかかる複合金型システムの確立に関しては、概ね目標値を達成することができた。ただ、拡管率に関しては、目標値を若干下回ったところである。



そのため、拡管率1.5となる実証用金型を作成中であり、これにより、バルジ拡管率に関して目標値を達成するよう補完研究を実施する計画である。

### 2 事業化展開について

#### (1) 川下企業ニーズ

自動車産業においては、資源価格の高騰、排ガス規制の強化、燃費規制の強化及び消費の環境配慮等の観点から次世代自動車への志向とともに、低燃費のガソリン直噴エンジンやダウンサイジングターボ車（小排気量ターボ車）などに成果があることから、を低排気量のガソリンエンジン需要も増加しており、その一環として、直噴ガソリンエンジンの開発が進められて、当社も直噴ガソリンエンジン用の高圧燃料ホース継手の共同開発を打診されている状況である。

最近の自動車部品の加工動向をみると、複雑形状品の一体化成形による付加価値向上が指向されており、この流れは、自動車用継手に関しても同様である。

具体的には、耐環境性重視の観点から耐食性に優れたステンレス製材料の採用が増加する中で、成形方法に関しても、現状のパイプ切断 → 冷間鍛造（バジル加工） → 切削の三工程を、コスト低減、付加価値向見直しから、一体成形できないかとの川下企業のニーズとして顕在化しているのが現状である。

以上のようにユーザーの需要があることから、これから積極的に開発した燃料管の営業活動を進めて事業化を図る計画である。

## （2）事業化分野等

事業化で目指すのは、自動車用の高圧燃料ホース継手等に対する販路拡大策である。

また、この技術を応用して自動車以外の産業分野（住宅関連、家電関連等）の分野にも展開の予定である。

そのため、当社が常時出展している「人とくるまのテクノロジー展」「機械要素技術展」等への出展継続や、「オートモーティブ展」等の効果のある展示会への出展を通じて、技術の紹介と販路の拡大を図る計画である。