

平成26年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「セラミックを用いたステンレス鋼板の温間ドライ絞りしごき加工法の開発」

研究開発成果等報告書

平成27年3月

委託者 関東経済産業局

委託先 公益財団法人にいがた産業創造機構

## 目次

第1章 研究開発の概要	
1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標	1
1-2 研究体制	1
1-3 成果概要	4
1-3-1 多工程温間絞り・しごき加工法の開発	4
1-3-2 温間セラミック金型の開発	5
1-3-3 実用化技術の開発	5
1-4 当該研究開発の連絡窓口	5
第2章 本論	
2-1 多工程温間絞り・しごき加工法の開発	6
2-1-1 目的	6
2-1-2 型材料の選定	6
2-1-3 セラミック金型による成形性の評価	6
2-1-3-1 摩擦係数の評価	6
2-1-4 加工工程検討	11
2-1-5 成形試験結果	13
2-2 温間セラミック金型の開発	14
2-2-1 目的	14
2-2-2 セラミックダイスの強度に関する検討	14
2-2-2-1 セラミックの強度評価方法	14
2-2-2-2 強度検討用金型形状	15
2-2-2-3 計算モデル	15
2-2-2-4 計算結果	17
2-2-3 セラミックダイスの加工技術に関する研究	18
2-2-4 セラミック金型材料の摩擦、摩耗特性に関する研究	20
2-3 実用化技術の開発	21
第3章 全体総括	22

## 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

自動車エンジン部品で、現在クロムモリブデン鋼（以下「CrMo 鋼」という。）を用い、切削加工、熱処理、研削加工を経て製造しているものがあるが、切削加工では材料歩留まりが悪いうえ、工程数も多く、熱処理工程も必要となるため、コスト高となっている。そこで、本部品をプレス加工に工法転換してコストを削減することが求められている。

本研究開発では、当該部品の材質をステンレス鋼に変更し、プレス加工による成形を実現することで、材料歩留まりの改善と加工コスト削減を図る。この際、ステンレス鋼の加工硬化を利用することでCrMo 鋼では必要な硬化熱処理工程を廃止するとともに、加工時の温度制御により材料の変態を防ぐことで製品仕様を満たす。

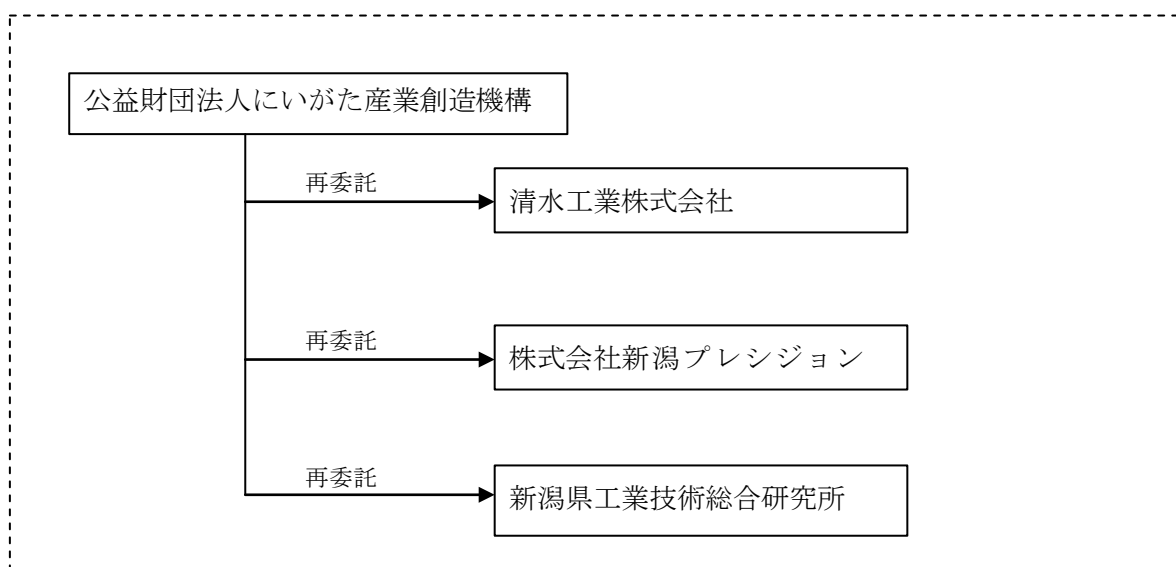
また、プレス加工においては加工時に潤滑剤を用いるのが一般的であるが、セラミック製の金型を用いることにより、潤滑剤を用いない無潤滑加工を検討し、洗浄工程の削減を図る。

以上の開発を実施することで、従来製品に比べ1/5の低コストを達成する。

### 1-2 研究体制

#### (1) 研究組織及び管理体制

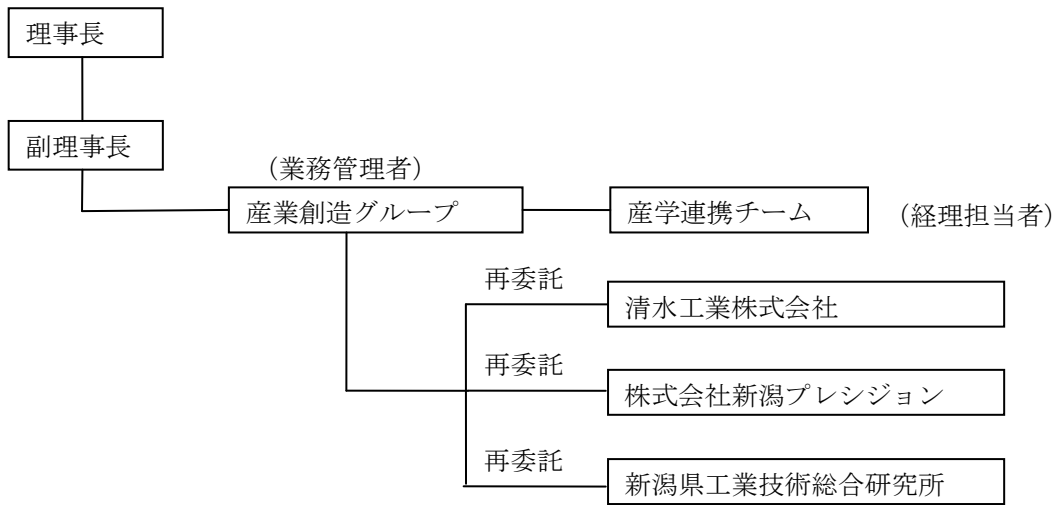
##### 1) 研究組織（全体）



2) 管理体制

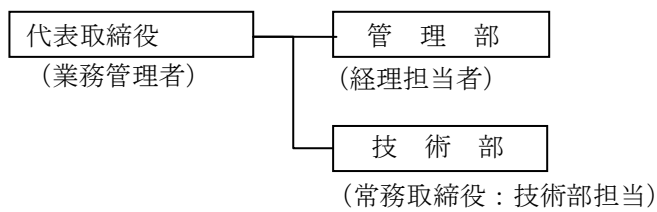
①事業管理者

[公益財団法人にいがた産業創造機構]

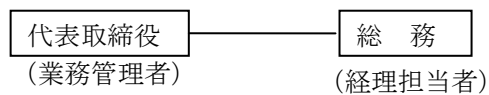


② (再委託先)

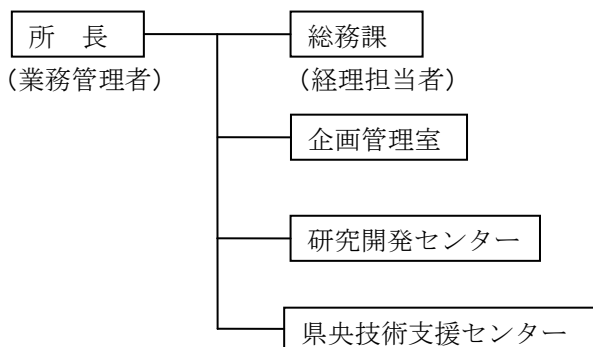
[清水工業株式会社]



[株式会社新潟プレシジョン]



[新潟県工業技術総合研究所]



(2) 管理員及び研究員

【事業管理者】 公益財団法人にいがた産業創造機構

①管理員

氏名	所属・役職
杉井 伸吾	産業創造グループ 産学連携チーム シニアエキスパート
諸橋 春夫	産業創造グループ 産学連携チーム シニアエキスパート

【再委託先】

(研究員)

清水工業株式会社

氏名	所属・役職
加藤 一二	常務取締役
岸本 義弘	技術部 部長
川村 敏之	技術部 チーフデザイナー

株式会社新潟プレシジョン

氏名	所属・役職
星光男	代表取締役
保坂 匡廣	取締役 総括部長

新潟県工業技術総合研究所

氏名	所属・役職
長谷川 雅人	研究開発センター レーザー・ナノテク研究室 研究主幹
白川 正登	研究開発センター 専門研究員
本田 崇	研究開発センター 主任研究員
丸山 英樹	県央技術支援センター 専門研究員

(3) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

(管理法人)

公益財団法人にいがた産業創造機構

(経理担当者) 産業創造グループ 産学連携チームマネージャー 斎藤 茂樹

(業務管理者) 産業創造グループ 総括マネージャー 宮下 祐一

(再委託先)

清水工業株式会社

(経理担当者) 管理部 管理課長 藤田 泰司

(業務管理者) 代表取締役 高畑 昭

株式会社新潟プレシジョン

(経理担当者) 総務 村山 智津子  
(業務管理者) 代表取締役 星 光男

新潟県工業技術総合研究所

(経理担当者) 総務課 総務係長 田澤 聡  
(業務管理者) 所長 野中 敏

(4) 他からの指導・協力者名及び指導・協力事項

[開発推進委員会委員]

氏名	所属・役職	備考
加藤 一二	清水工業株式会社 常務取締役	PL
長谷川 雅人	新潟県工業技術総合研究所 研究開発センター レーザーナノテク研究室 研究主幹	SL
星 光男	株式会社新潟プレシジョン 代表取締役	
白倉 哲男	公益財団法人にいがた産業創造機構 産業創造グループ ディレクター	
杉井 伸吾	公益財団法人にいがた産業創造機構 産業創造グループ 産学連携チーム シニアエキスパート	
樽松 勇二	株式会社椿本チェーン 自動車部品事業部 新商品開発課長	アドバイザー
田辺 元	日本ファインセラミックス株式会社 技術開発部 部長	アドバイザー
渡部 豊臣	渡部技術士事務所 所長	アドバイザー
利根川 雄大	新潟県産業労働観光部産業振興課 課長 (現)	アドバイザー (H27. 7. 14~H27. 3. 31)
渡辺 琢也	新潟県産業労働観光部産業振興課 課長 (前)	アドバイザー (H26. 5. 27~H26. 7. 13)

### 1-3 成果概要

#### 1-3-1 多工程温間絞り・しごき加工法の開発

本対象製品を加工するセラミックダイスの材質を選定し、その型材料での工程設計を行うために必要な摩擦係数等の基礎特性を試験により把握した。その結果、無潤滑では強いしごき加工により型と成形材の凝着が発生し、実用的な工程数では成形できないことがわかった。このことから、製品にする際に洗浄が不要な潤滑剤を使用することとし、FEM 解析によって目標形状の成形が可能な 10 工程の工程設計を行い、実際の成形試験において成形可能なことを確認した。

### 1-3-2 温間セラミック金型の開発

セラミックダイスの焼きばめ構造について、材料強度、加工温度、およびしごき率を考慮して FEM 解析を利用した検討を行い、ダイスおよびダイスホルダーが破損しない適切な構造を決定した。また、適切な構造の金型を用いた成形試験を行い、連続生産において問題がないことを確認した。

ダイスとして用いるセラミックは絶縁性であるが、本研究ではワイヤー、型彫り放電加工により成形後、研磨加工を行っている。この放電加工および研磨に関して、その加工速度向上や加工品質の安定化に取り組み、得られた成果を基に、順送加工に用いる 10 工程のセラミック製絞り・しごきダイスを製作した。

セラミックダイスを用いた絞り・しごき加工において、型の初期摩耗の確認試験を行った結果、5,000 個までの加工では初期摩耗は確認されなかった。

### 1-3-3 実用化技術の開発

研究成果を基にして、サーボプレスを用いた順送加工試験を行った。洗浄工程が不要な潤滑剤を用い、ダイス温度を 50℃として試験を行い、10 工程で目標形状の成形が可能であることを確認した。

### 1-4 当該研究開発の連絡窓口

公益財団法人にいがた産業創造機構

〒950-0078

新潟市中央区万代島 5 番 1 号「万代島ビル」10F

産業創造グループ 産学連携チーム

シニアエキスパート 杉井 伸吾

シニアエキスパート 諸橋 春夫

TEL 025-246-0068 FAX 025-246-0033

E-mail info@nico.or.jp

## 第2章 本論

### 2-1 多工程温間絞り・しごき加工法の開発

#### 2-1-1 目的

本研究で目標とする製品の形状を、図 1-1 に示す。この製品を、セラミックダイスを用いた温間ドライ絞り・しごき加工により、成形することを目的とする。製品形状は直径に対し深い円筒形状であり、成形は多工程による絞りおよびしごき加工が必要となる。また、成形する材料は加工硬化の大きいオーステナイト系ステンレス鋼板である。

まず、本対象製品を成形するセラミックダイスの材質選定を行い、この型材料での工程設計を行うため、絞り・しごき加工の基礎成形試験を実施し、セラミック表面の摩擦特性を評価した。把握した摩擦特性を基に、絞り・しごき加工により目標の形状が成形可能か FEM (Finite Element Method) により検討を行った。



図 1-1 対象製品形状 (完成時)

#### 2-1-2 型材料の選定

本開発では、ステンレスの無潤滑絞りに対応できるセラミック材料として、各種物性値およびセラミックメーカーのアドバイス等を基に、窒化ケイ素と炭化ケイ素を候補として選定した。表 1-1 に窒化ケイ素と炭化ケイ素の代表的な物性値を示す。表から、強度は窒化ケイ素の方が優れているが、硬さは炭化ケイ素の方が大きく、金型材料としてみた場合、この物性値だけでは、いずれの材料が最適か特定できないため、この2種類の材料を候補とした。

表 1-1 セラミックの物性値

	炭化ケイ素	窒化ケイ素
曲げ強さ (MPa)	400	700
硬さ (マイクロヘース)	2500	1500
ヤング率 (GPa)	430	290
ポアソン比	0.18	0.29
密度 (g/cm <sup>3</sup> )	3.17	3.2
熱膨張率 (10 <sup>-6</sup> )	3.3	1.2
熱伝導率 (W/m.k)	132	30

#### 2-1-3 セラミック金型による成形性の評価

##### 2-1-3-1 摩擦係数の評価

###### (1) 解析方法

セラミック金型による成形の工程設計は、FEM 解析で確認しながら進めることとした。FEM 解析に必要なデータを得るため、セラミックの摩擦特性を評価した。評価には図 1-2 に示す基礎成形試験用金型を用いた。



摩擦特性の評価は以下の手順で行った。まず、基礎成形試験を行い、パンチ荷重および成形品の板厚を測定する。次に、基礎成形試験のEFM解析を実施し、解析の結果から得られたパンチ荷重、成形品板厚が実測値と一致するようプランクと金型間の摩擦係数を同定した。解析モデルを図1-3に、摩擦係数決定のフローを図1-4に示す。解析では、素材、金型が軸対称であることから、2次元軸対称計算を行うこととした。素材のSUS316Lは、引張試験により評価した応力ひずみ線図（図1-5）をもとに弾塑性体とし、その他の素材については、表1-2に示すような弾性体とした。なお、本報告では、強度の高い窒化ケイ素について報告する。

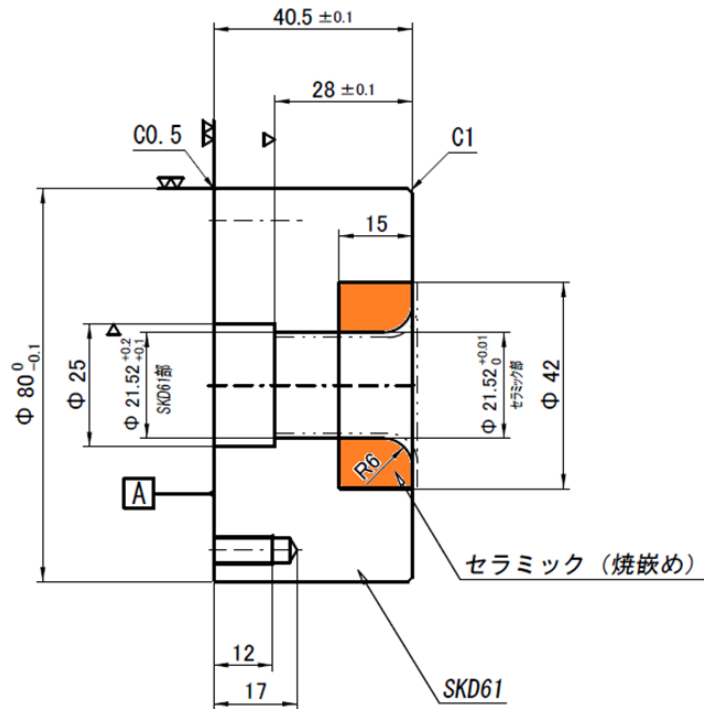


図1-2 基礎成形試験用金型形状

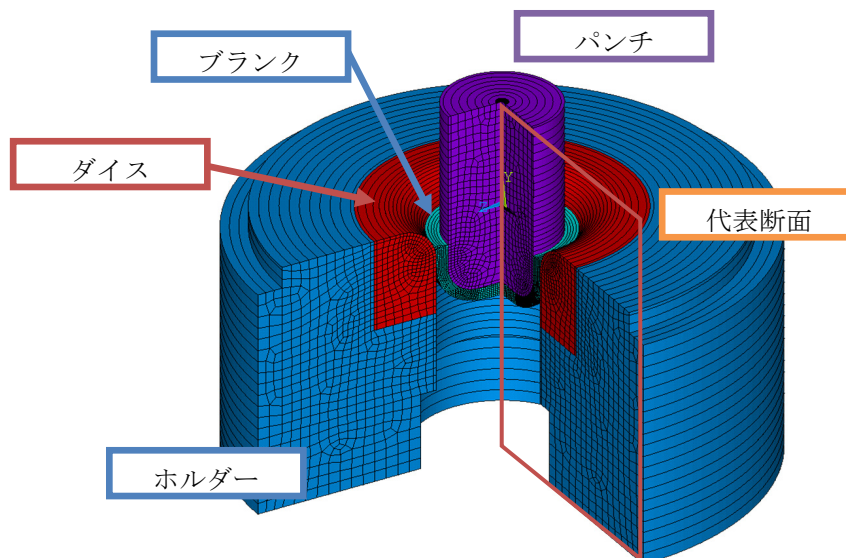


図1-3 基礎成形試験解析モデル

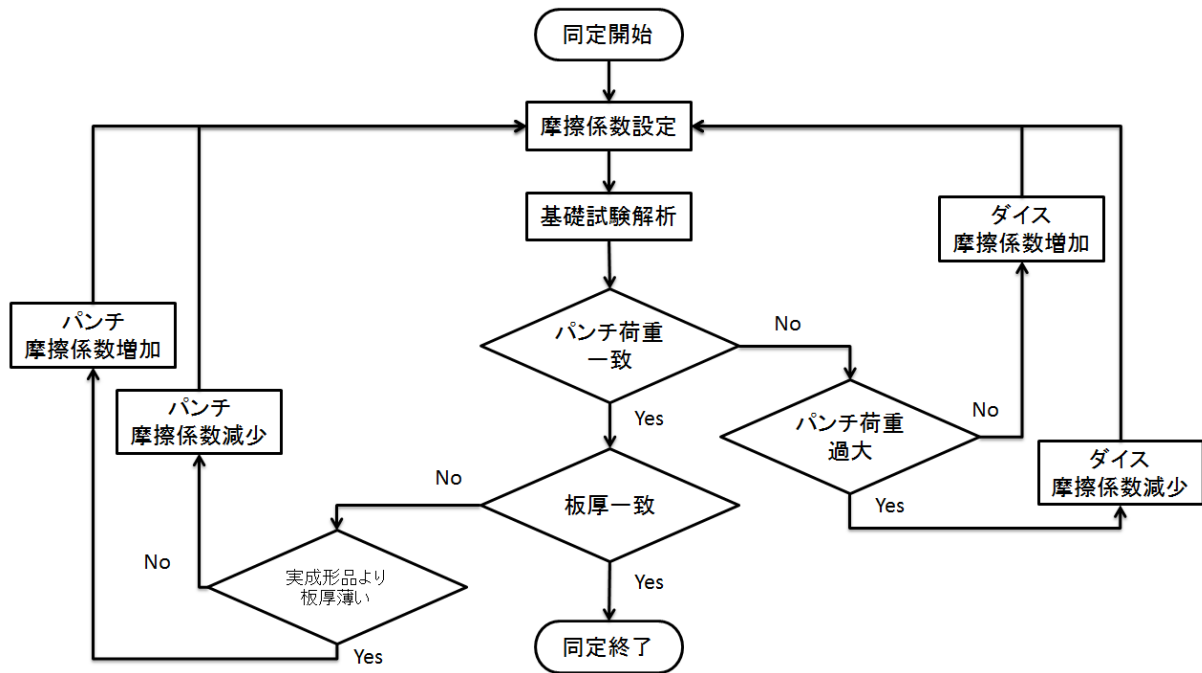


図 1-4 摩擦係数の決定フロー

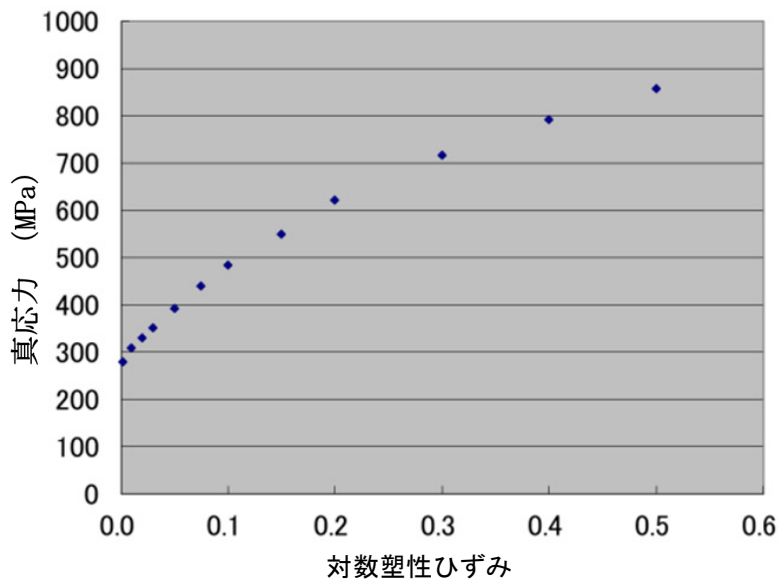


図 1-5 SUS316L の 50°Cにおける応力ひずみ線図

表 1-2 金型素材の物性値

	素材名	ヤング率 (GPa)	ポアソン比	熱膨張率
ダイス	窒化ケイ素	290	0.29	1.2e-6
ホルダー	SKD61	207	0.3	12e-6
パンチ	SKD61	207	0.3	12e-6

## (2) 基礎成形試験

FEM 解析に必要な摩擦係数を同定するため基礎成形試験を実施し、パンチ荷重—ストローク曲線を求めるとともに、成形品の板厚分布を調べた。表 1-3 に成形条件を、表 1-4 にセラミック金型の表面粗さをそれぞれ示す。

表 1-3 基礎試験成形条件

素材	SUS316L
成形温度	50°C
潤滑	無潤滑
ダイス材質	窒化ケイ素

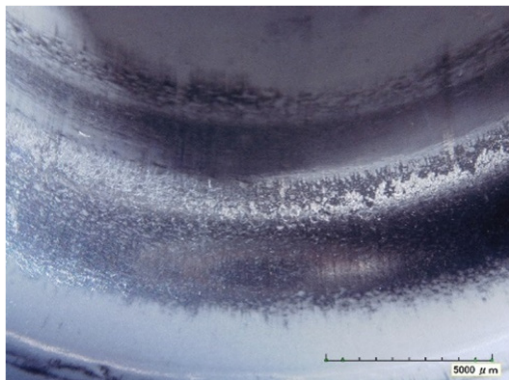
表 1-4 セラミック金型の表面粗さ

	算術平均粗さ Ra (μm)				最大高さ粗さ Rz (μm)			
	0.191	0.159	0.149	0.151	1.150	0.976	1.087	1.025
R部	0.191	0.159	0.149	0.151	1.150	0.976	1.087	1.025
内面円筒部	0.101	0.097	0.108	0.098	0.753	0.819	0.771	0.759

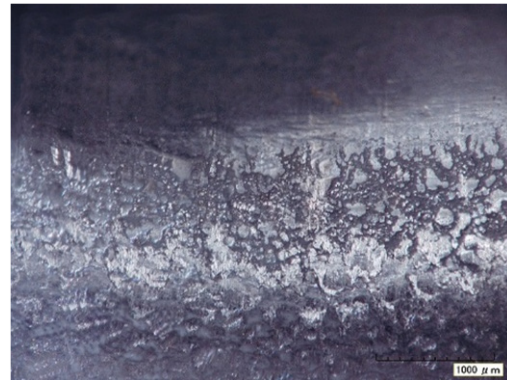
基礎成形試験後のセラミック金型表面を図 1-6 に示す。セラミック金型の成形部表面には、SUS316L の凝着が発生している。このため、凝着発生後の成形品の表面には多数の傷が発生する。

板厚および成形中のパンチ荷重が一致するように摩擦係数を同定したときの成形試験と解析の結果を図 1-7 に示す。同定された摩擦係数は 0.7 であり、この条件での FEM 解析結果は、板厚およびパンチ荷重ともに、基礎成形試験をよく再現できていることから、表面の摩擦条件をよく再現できていると考える。

しかし、一般的に良好な絞り条件での摩擦係数は 0.1 程度であるのに比べ、評価した摩擦係数は非常に大きな値となった。金型表面に見られた凝着が原因と考えられ、無潤滑において本対象製品を実用的な工程数で加工するのは困難と判断した。

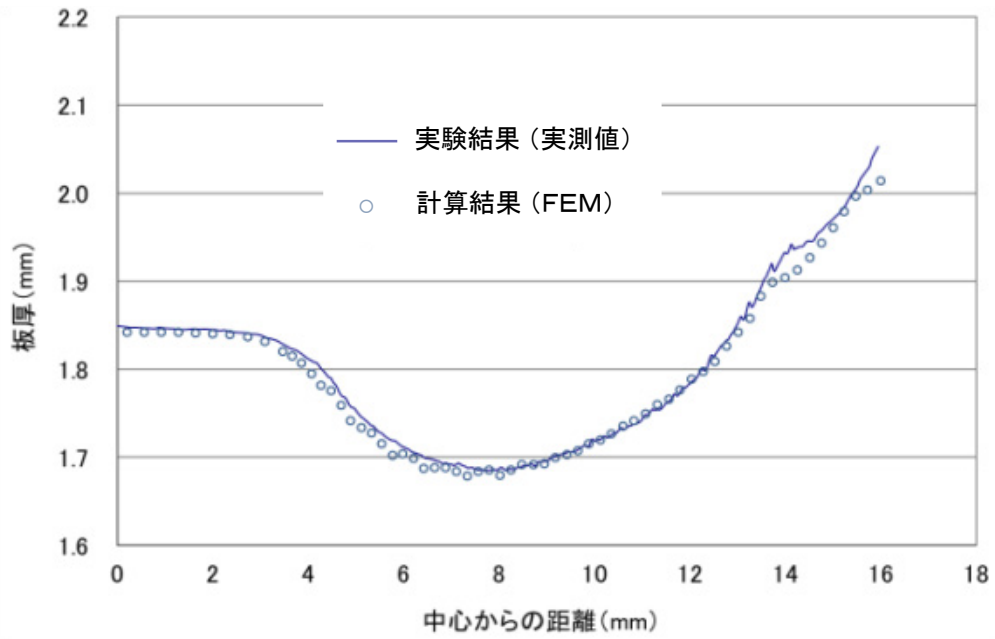


(a) R部から円筒部

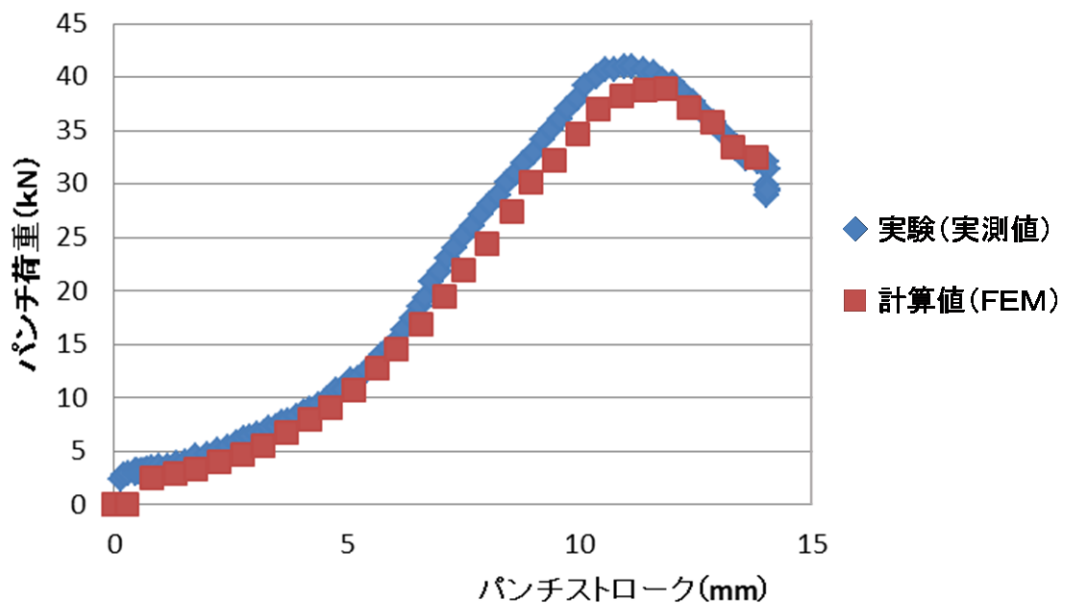


(b) R部拡大図

図 1-6 基礎成形試験後のセラミック金型表面



(a) 板厚分布比較



(b) パンチ荷重

図 1-7 摩擦係数同定時の板厚・パンチ荷重の比較

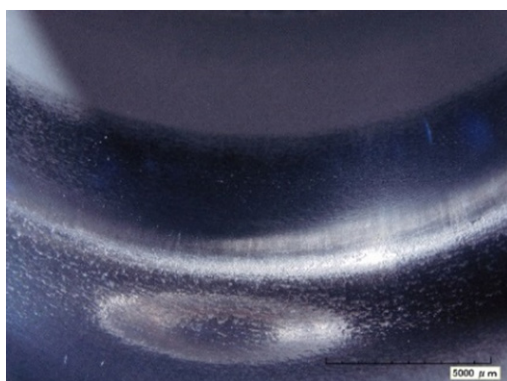
### (3) 速乾性潤滑剤使用時の摩擦係数

無潤滑のセラミック金型では、凝着の発生に起因した摩擦抵抗の増加により、目標形状の成形は困難であることがわかった。そこで、目標である無洗浄を達成しつつ凝着の発生を抑制するため、速乾性潤滑剤を用いることを検討した。速乾性潤滑剤は、強加工用の塩素系潤滑材ほどの潤滑性は期待できないものの、製造工程での洗浄は必要としない。成形条件は潤滑剤を使用すること以外は表 1-3 と同様とした。基礎成形試験に用いたセラミック金型の表面粗さを表 1-5 に示す。

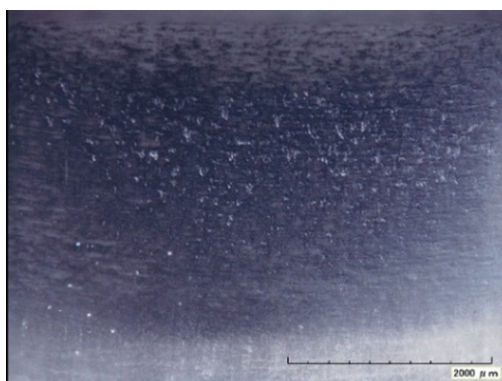
基礎成形試験後のセラミック金型表面を図 1-8 に示す。セラミック金型の成形部表面の凝着は、無潤滑の成形に比べ大きく減少していることが確認できる。無潤滑試験と同様、図 1-4 のフローに従い、板厚、パンチ荷重が一致するよう摩擦係数を同定したところ摩擦係数は 0.275 であった。鋼型での良好な絞り条件での摩擦係数 0.1 程度には及ばないものの、無潤滑時の摩擦係数 0.7 からは大きく改善している。

表 1-5 セラミック金型の表面粗さ

R部	算術平均粗さ Ra (μm)				最大高さ粗さ Rz (μm)			
	0.218	0.268	0.234		1.466	1.805	1.817	
内面円筒部	0.084	0.085	0.113	0.111	0.696	0.629	0.829	0.798



(a) R部から円筒部



(b) R部拡大図

図 1-8 成形試験後のセラミック金型表面

#### 2-1-4 加工工程検討

評価した速乾性潤滑剤の摩擦係数を用い、FEM 解析により成形の可否を検討しながら、10 工程で目標形状に成形する工程設計案を考案した。解析の設定はこれまでの解析と同様に、素材は弾塑性体とし、金型については変形を生じない剛体とした。

摩擦係数を 0.275 として FEM 解析を行った計算結果を図 1-9 に示す。図 1-10 に予測される板厚分布を示す。考案した 10 工程により成形が可能で、最終的に十分な板厚が確保できると判断して金型を製作し、成形試験を行った。

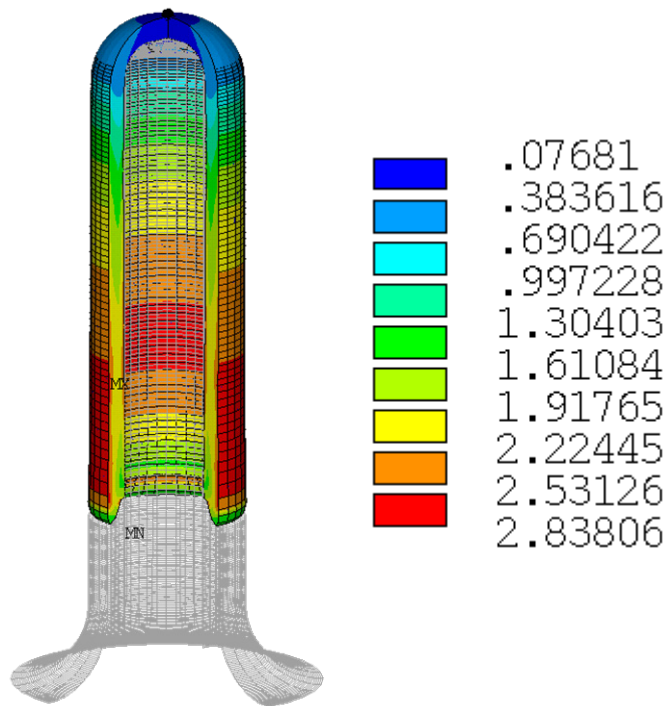


図 1-9 10 工程成形予測結果（一部断面カット 塑性ひずみ分布）

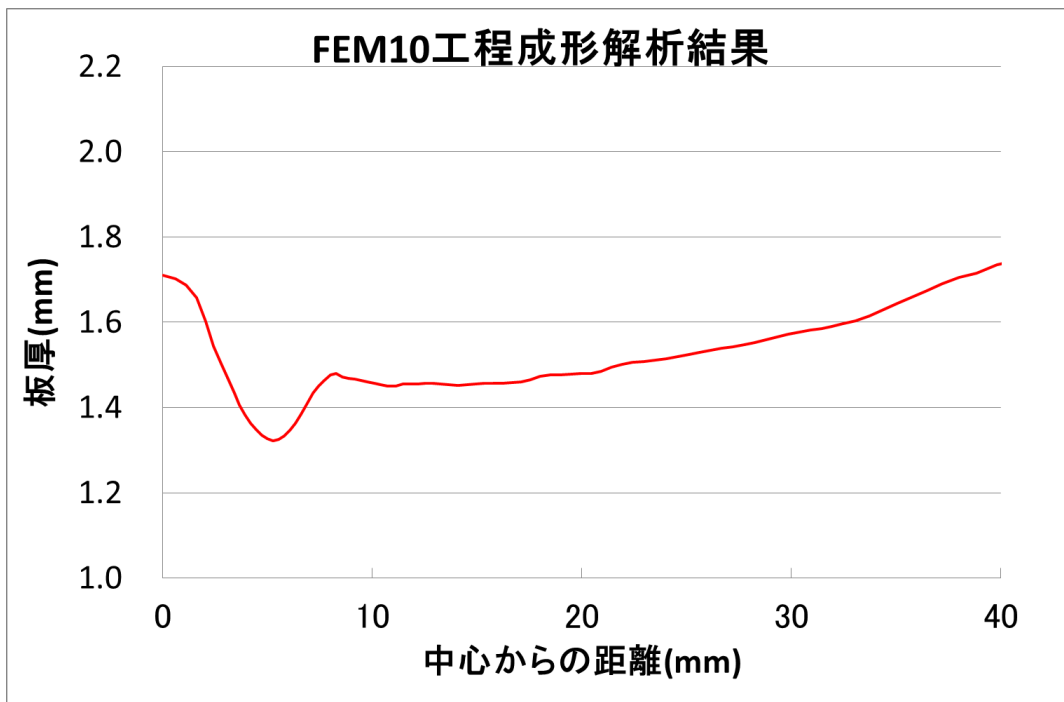


図 1-10 10 工程成形板厚予測結果

### 2-1-5 成形試験結果

考案した金型形状に基づき作製した10工程セラミック金型にて成形試験を行った。成形品を図1-11に示す。FEM解析で検討したとおり、破断なく成形可能であることを確認した。



図 1-11 10 工程セラミック金型による成形品

## 2-2 温間セラミック金型の開発

### 2-2-1 目的

温間成形の金型としてセラミックを用いるにあたり、強度に対する検討と型の昇温に関する検討を行った。

強度に関して、セラミックは圧縮には強いものの、引張に弱い特性を持つ。絞りおよびしごき成形時に、ダイスの周方向には引張応力が発生するため、この引張応力を緩和する対策が必要となる。一般的な引張応力の緩和策として焼きばめによる予圧縮の付与が行われるが、セラミック材料の破壊強度は明確でなく、適切な締め代は不明である。そこでFEM解析を活用し、焼きばめによるセラミックダイスへの圧縮応力の付与と成形時に発生する引張応力の計算を行い、セラミック金型として適切な設計について検討を行った。

また、ダイスとして用いるセラミックは絶縁性であるが、これをワイヤー、型彫り放電加工により成形し、その後研磨して仕上げた。さらに、この放電加工および研磨加工の加工速度向上や加工品質の安定化に取り組み、順送加工に用いる10工程のセラミック製絞り・しごきダイスを製作した。製作したセラミックダイスは、絞り・しごき加工における量産への対応を確認するため、初期摩耗の確認試験を行った。

### 2-2-2 セラミックダイスの強度に関する検討

#### 2-2-2-1 セラミックの強度評価方法

セラミック材料の破壊条件は、サイズ、形状、表面状態および内部の欠陥等によるバラツキが大きいため、評価が難しい。一般的に、脆性材料の破壊は引張の最大主応力が判定の目安となるため、セラミックの強度についても最大引張応力による判定が可能と考えられる。本研究では、材料メーカーから提供された曲げ試験結果をもとに、セラミックの破壊強度の検討を行った。図2-1に曲げ試験結果を示す。バラツキを考慮して、試験値のうち最も低い応力を破壊強度として採用することとし、炭化ケイ素は400MPa、窒化ケイ素は700MPaを破壊応力とした。

また、ダイスを焼きばめしているホルダーには、締結の反力である引張応力に加えてしごきの成形時に大きな引張応力が作用し、塑性変形に至る可能性がある。そこで、ダイスの評価と併せて、ホルダーについて、降伏の目安となる相当応力で評価を行うこととした。

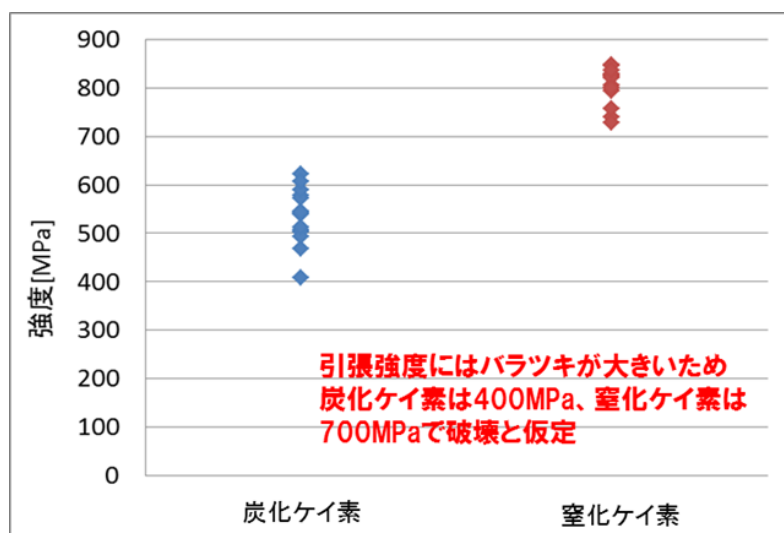


図 2-1 セラミック曲げ試験結果



### 2-2-2-2 強度検討用金型形状

図 2-2 にセラミック金型の強度検討用の金型形状を示す。本研究では、セラミックダイスをホルダーに焼きばめする際の焼きばめ代と、使用するパンチの径を変えることによりしごき率を変更し、セラミックダイスに生じる負荷を検討した。焼きばめ代は、これまで製作実績のある 0.07mm と 0.04mm を中心に 5 条件、しごき率は、0%、15%、30%、40%の 4 条件について検討を行った。

### 2-2-2-3 計算モデル

計算モデルを図 2-3 に示す。2-1 節と同様に計算の高速化のため、本研究では代表断面を対象とした 2 次元軸対称モデルにて検討を行った。

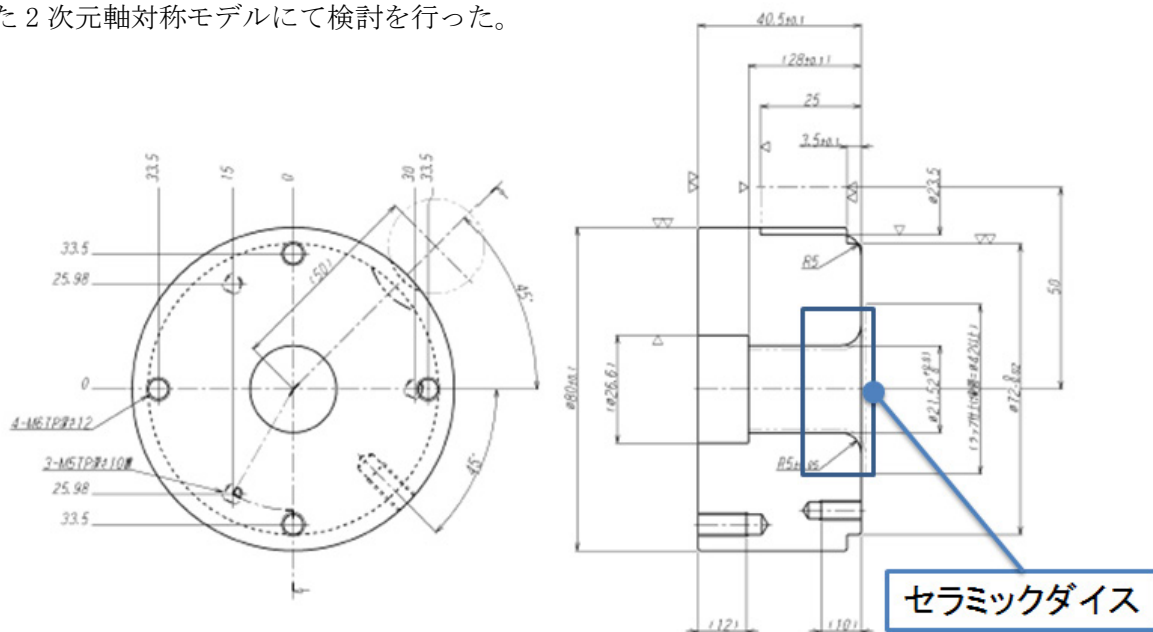


図 2-2 セラミック型強度評価用金型形状

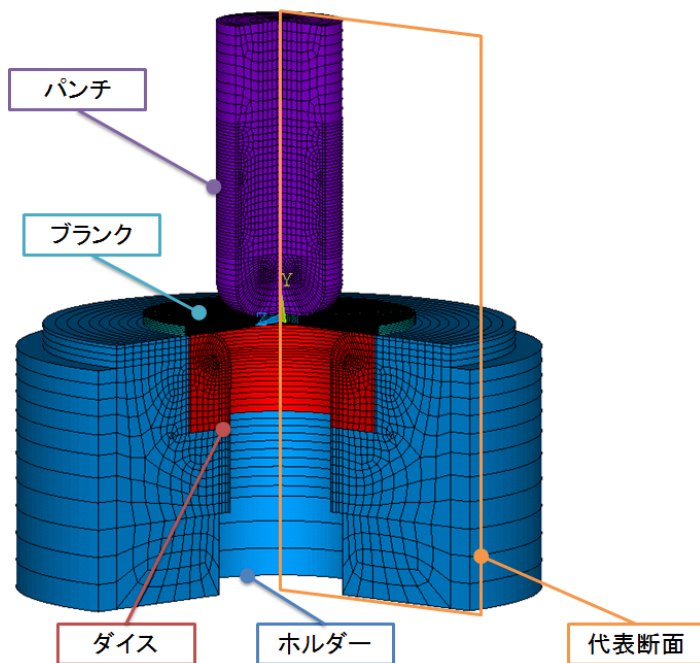


図 2-3 セラミック型強度評価の計算モデル

計算に用いた材料物性値を表 2-1 に示す。金型は弾性体、ブランク材は弾塑性体として計算した。ブランク材の材料特性は、図 2-4 の応力-ひずみ線図に従うものとした。

本検討では、2-1 節と異なり成形時の金型に発生する応力の評価が目的となる。また、焼きばめによる締め付け力、成形温度での熱膨張についても考慮する必要がある。よって、焼きばめ、熱膨張を計算した後に成形の計算を行い、金型に発生するすべての負荷について評価を行った。摩擦係数については、摩擦係数による金型への負荷の変化は少ないため、面圧による摩擦係数の変化は考慮しないこととし、表 2-2 の設定を用いた。

表 2-1 材料物性値

部品名	材質	ヤング率 (GPa)	ポアソン比	熱膨張率 ( $\times 10^{-6}$ )
パンチ	SKD11	207	0.3	12.6
ダイス	炭化ケイ素	430	0.18	3.3
	窒化ケイ素	290	0.29	1.2
ホルダー	SS400	212	0.3	11.7
ブランク	SUS304	175	0.3	11.7

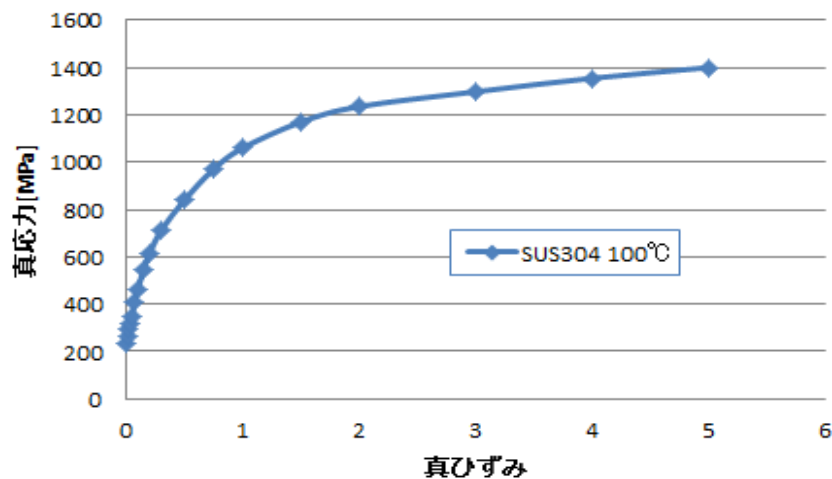


図 2-4 SUS304 (100°C) の応力-ひずみ線図

表 2-2 摩擦係数

部品名	摩擦係数
パンチ	0.2
ダイス	0.1
ブランクホルダー	0.1

## 2-2-2-4 計算結果

### <炭化ケイ素ダイスの場合>

焼きばめ代 0.07mm ではホルダーから大きな予圧縮を与えられるため、しごき条件によらずセラミックダイスは破壊応力に達しない。一方ホルダーは、予引張としごき成形の負荷により、相当応力がSS400の降伏応力である240MPaを超える。計算結果を図2-5に示す。

焼きばめ代 0.04mm の場合には、焼きばめ代 0.07mm よりセラミックダイスへ与えられる予圧縮は小さくなる。そのため、しごき率 15%と 30%のときにダイスに発生する応力は400MPaに達し、ダイスが破壊する可能性がある。ホルダーの予引張は小さくなるが、しごき率 30%のときにはコーナー部で降伏応力に達する。

### <窒化ケイ素ダイスの場合>

焼きばめ代 0.07mm、0.04mm にて、ホルダー相当応力がSS400の降伏応力を超えるが、窒化ケイ素製は予測される破壊強度が700MPaと大きいことから、ダイスは破壊しない可能性がある。窒化ケイ素製ダイスが破壊する条件を検討するため、より弱い焼きばめ代にて計算を行ったが、焼きばめなしの条件でも、ダイスに発生する引張応力の最大値は約670MPaであり、破壊応力より小さな値となった。

以上の検討から、炭化ケイ素および窒化ケイ素製ダイスの焼きばめ代について、今後の工程設計におけるしごき率に対する良否判定が可能となった。また、計算結果よりホルダーは焼きばめとしごき成形により降伏する可能性があることが明らかになったことから、SKD61等の高い降伏応力を持つ材料で製作する必要があることがわかった。

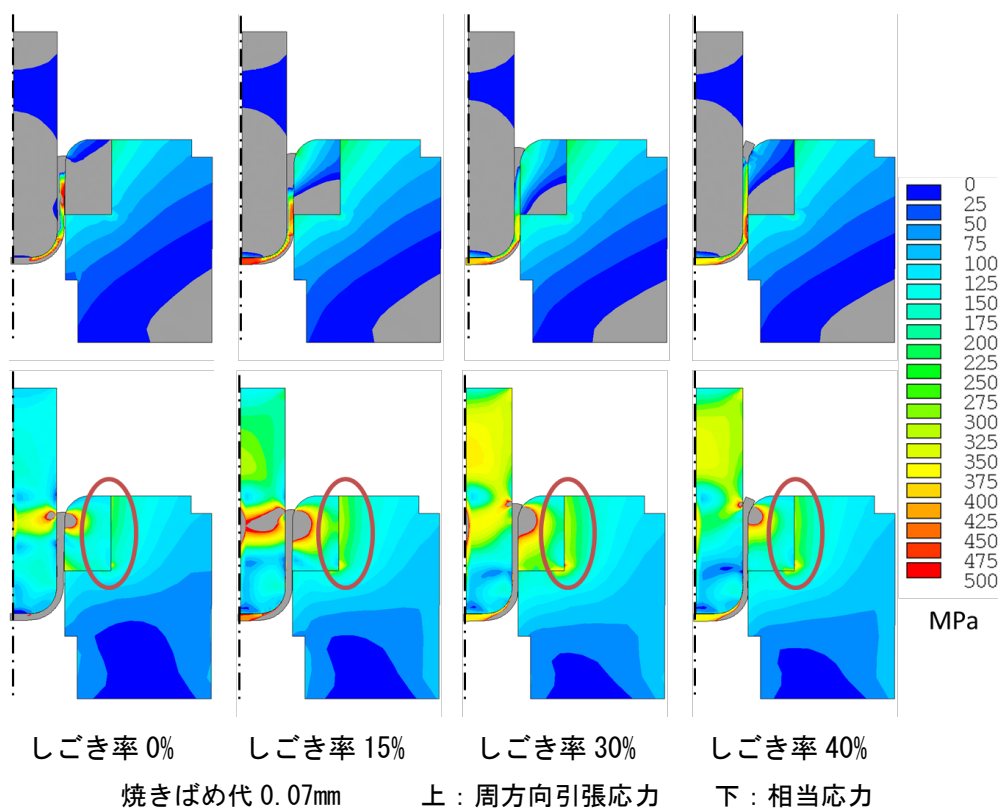
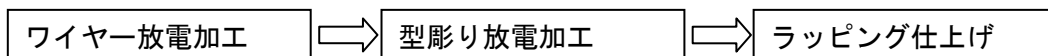


図 2-5 炭化ケイ素製ダイスの応力の計算結果

### 2-2-3 セラミックダイスの加工技術に関する研究

セラミックを放電加工して金型（絞り・しごきダイス）を製作する際の最適加工条件を把握することを目的として研究を行った。本開発で用いるセラミックダイスの加工工程は下記のとおりである。



セラミックは一般的に電気伝導度が低いため通常の放電加工は困難である。特に窒化ケイ素は絶縁性が高く、放電加工は不可能と言われる。本事業では、(株)新潟プレシジョンが長岡技術科学大学他と共同で行った平成 19～21 年度戦略的基盤技術高度化支援事業「絶縁体の放電加工原理に基づいた、高精度・高機能モールド金型用セラミック素材とその加工法の開発」で開発した絶縁セラミックを加工できる放電加工機および放電加工技術を基盤として技術開発を行っている。図 2-6 に加工に使用したワイヤ放電加工機および形彫り放電加工機を示す。本装置は長岡技術科学大学の福澤康教授の開発した特殊電源回路を搭載した加工機で、絶縁性セラミックを放電加工することが可能である。

図 2-7 に加工に使用した放電電極および加工したセラミックダイスを示す。



ワイヤ放電加工機

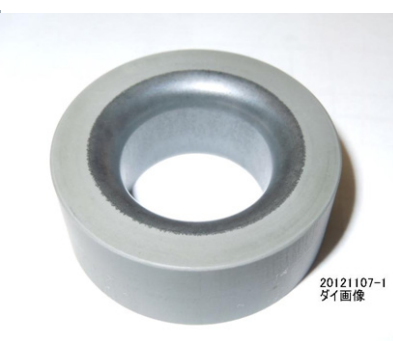


形彫り放電加工機

図 2-6 使用した放電加工機



放電電極



窒化ケイ素



炭化ケイ素

図 2-7 放電電極およびセラミックダイス

放電加工を行ったセラミックの表面には放電変質層が生じるため、これをラッピング加工によって取り除く必要があるが、ラッピング加工は非常に時間がかかるため、ラッピングの取り代はなるべく少なくする必要がある。そこで放電加工による変質層をなるべく薄く、かつ表面粗さを小さくできる加工条件を把握するため、加工試験を行った。

放電加工の電流値および加工速度を変えて加工試験を行い、放電加工条件の最適化を進めた結果、本事業開始時に比べ、放電加工時間を 15%短縮することができた。

また、研究成果を基に順送用 10 工程のセラミックダイスを製作した (図 2-8)。

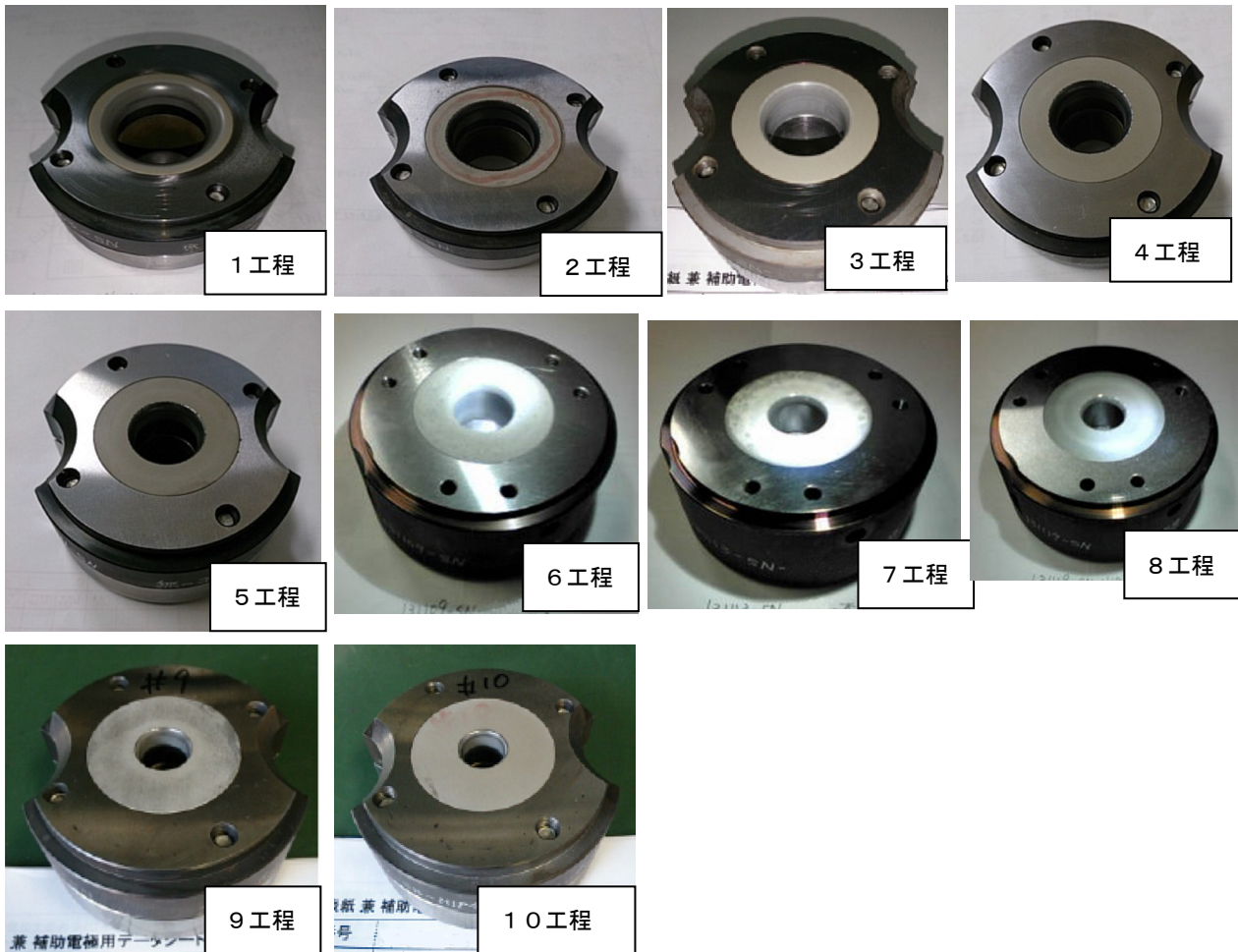


図 2-8 製作した 10 工程のセラミックダイス

## 2-2-4 セラミック金型材料の摩擦、摩耗特性に関する研究

窒化ケイ素製のダイスを使用し、速乾性潤滑剤を用いて SUS316L の連続絞り・しごき加工を 5,000 個行い、このときのダイス内径および成形品外観の変化を調べた。試験に用いたダイスは、本対象製品成形工程の第 1 工程のもので、ダイス温度は 50℃ に設定し、加工速度 2 0SPM にてトランスファー方式で成形した。

セラミックダイス表面の磨きは、仕上げ研磨のダイヤモンド砥粒の番手で #600、#10,000 の 2 種とし、しごき率を 5%、10% の 2 条件とした。成形 1 個、100 個、200 個、500 個、1,000 個、2,000 個、5,000 個におけるダイス内径の測定および成形品側壁部の外観観察を行い評価した。ダイス内径変化を図 2-9 に、10% しごきの成形品外観を図 2-10 に示す。

試験結果から、ダイス内径変化は 5,000 個加工でも測定誤差範囲内であり、初期摩耗は確認できるレベルではなかった。また、成形品外観は、成形条件の厳しい 10% しごきにおいて、100 個目からは微小なキズが見られるが、5,000 個目においてもキズの程度に変化が見られず、本対象製品においては問題がない状態であった。

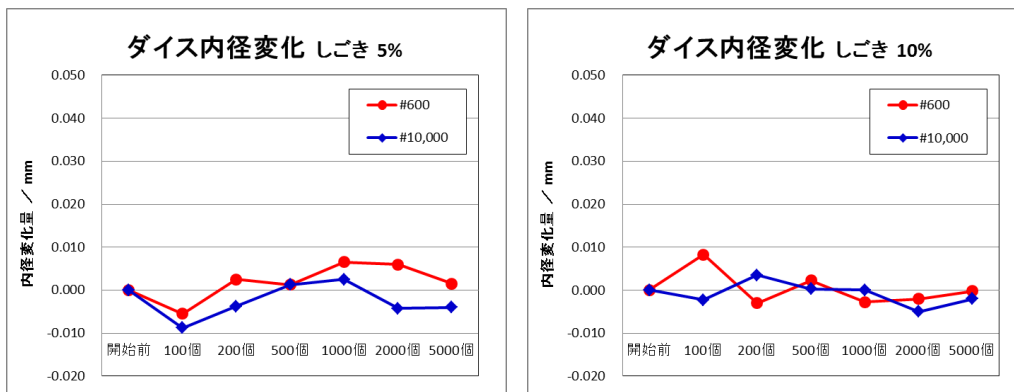


図 2-9 成形個数とダイス内径変化

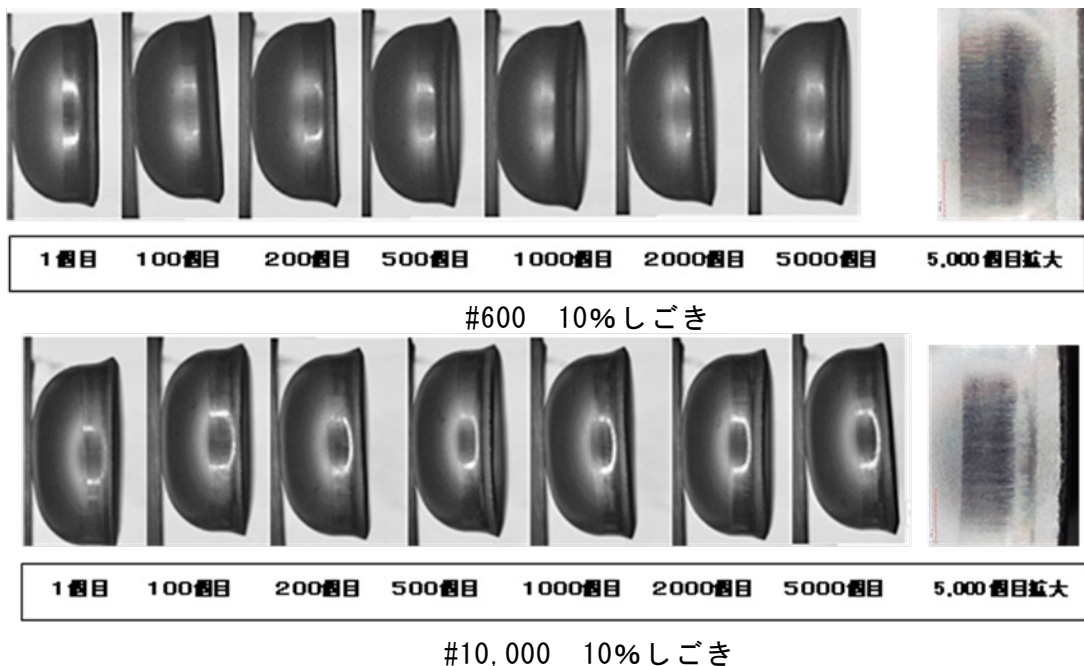


図 2-10 連続成形試験の成形品外観

### 2-3 実用化技術の開発

これまでの研究成果を基にして、サーボプレスを用いた 10 工程の順送成形試験を行った。ダイス材質は窒化ケイ素で、ダイス温度は 50℃とし、洗浄工程が不要な非塩素系潤滑剤を用いることで目標形状の成形が可能であることを確認した。成形の様子を図 3-1 に、成形品の外観写真を図 3-2 に示す。今後、さらに金型や加工条件の最適化を図り、安定した高速連続生産に向けた取り組みを継続する予定である。

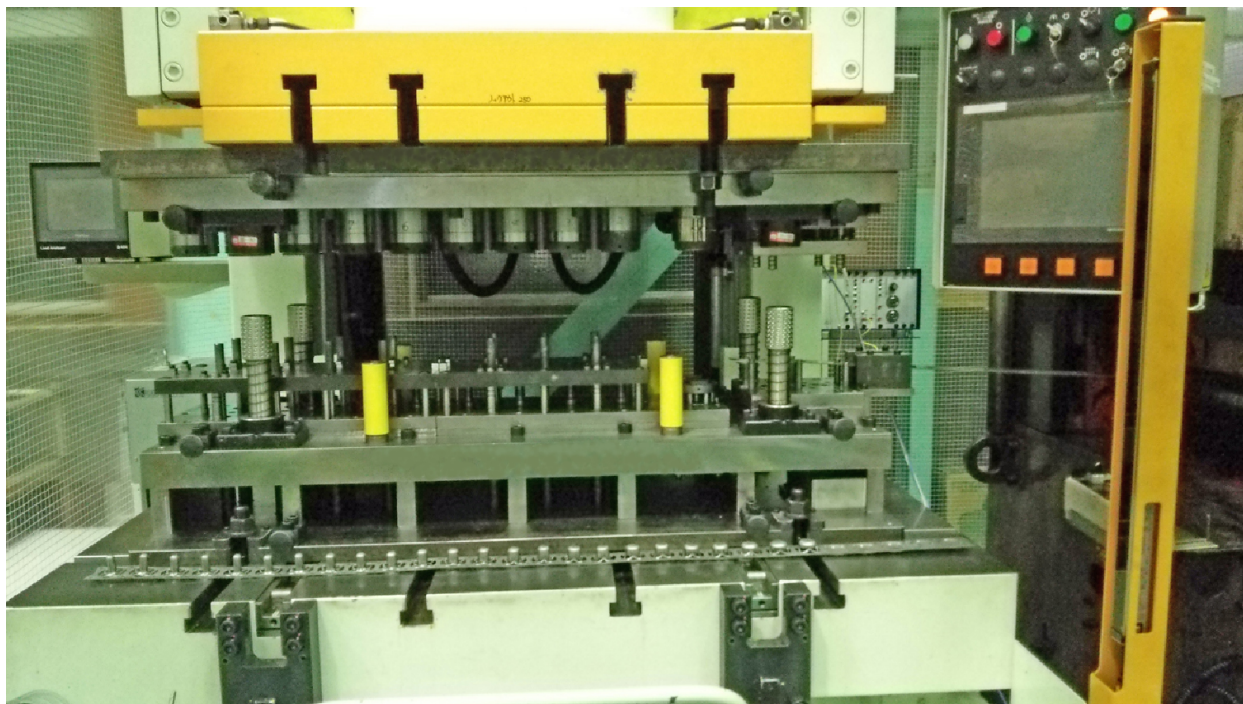


図 3-1 順送成形試験の様子

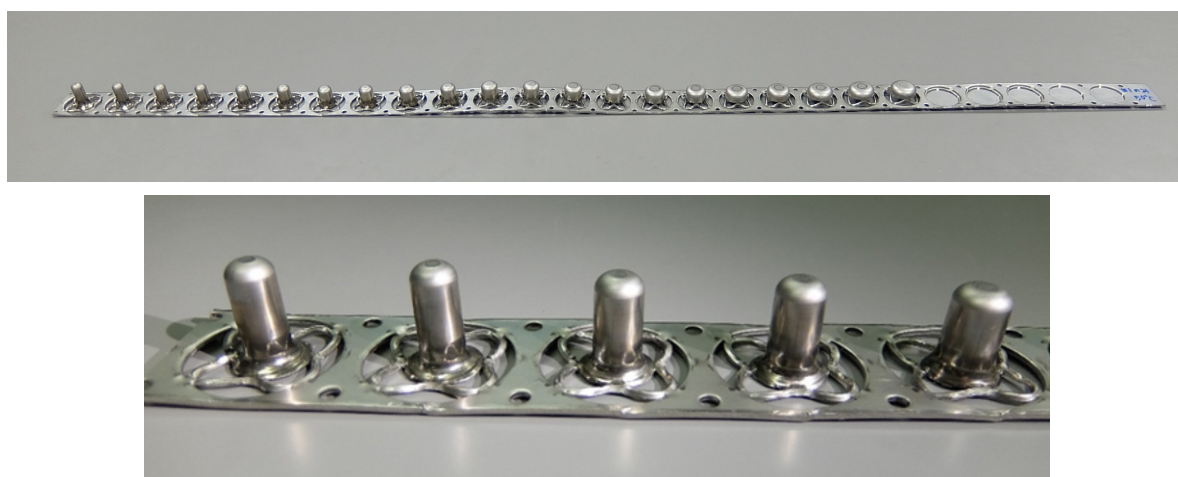


図 3-2 順送成形試験品の外観写真

### 第3章 全体総括

本開発は、これまで鋼材の切削加工、熱処理、研削加工で製造していた自動車部品を、ステンレス鋼板の絞り・しごき加工に工法転換する取り組みであり、この際にダイスにセラミックを用い、その温度管理をすることで無潤滑、洗浄レスを実現し、コストおよび環境負荷低減を図ることを目指して開始した。

しかし、セラミック材料を無潤滑で金型として使用する場合、強いしごき加工工程において型と成形材の凝着が発生し、製品仕様を満たせないこと、また実用的な工程数では成形できないことがわかった。そこで、製品使用前に洗浄が不要な潤滑剤を使用することとした。FEM解析によって確認しながら10工程の工程設計を行い、実際の成形試験において成形可能なことを確認した。

一方、ダイスとして用いたセラミックは絶縁性であるが、これをワイヤー、型彫り放電加工により成形し、その後研磨して仕上げた。この放電加工および研磨に関して、加工速度向上や加工品質の安定化に取り組み、一定の成果を得た。

#### <今後の取り組みについて>

本事業において、ステンレス鋼板の10工程絞り・しごき加工を、温度制御を行ったセラミックダイスを用いて行い、洗浄レスでの加工の実現性が確認できた。本対象製品である自動車部品の平成28年度の事業化を目標とし、順送加工の安定化、高速化に取り組む。

また、セラミックダイスの加工技術に関して、更なるデータ蓄積を行い、品質の安定化と加工コスト削減に向けた取り組みを継続する。