

平成30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

「円筒絞り部品への内径加工を汎用プレス機のみで完結できる金型の開発」

研究開発成果等報告書

平成31年3月

担当局 関東経済産業局

補助事業者 株式会社キャンパスクリエイト

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)	4
1-3 成果概要	6
1-4 当該研究開発の連絡窓口	6
第2章 本論	
2-1 量産構造を有する試作金型の開発	7
2-1-1 機構形状及び精度の検討・確立	7
2-1-2 量産構造を有する試作金型による加工実証	8
2-1-3 材料流動解析・手法の確立	13
2-1-4 摩擦抵抗の低減法の確立	17
2-1-5 前加工ワーク精度の担保	21
2-3 事業化への対応	24
最終章 全体総括	26

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

(1) 研究開発の背景

プレス加工という金属成形加工は、大量生産技術として最も採用されている成形技術である。しかし現在の工法で全ての製品形状を生成することが出来るわけでは無い。特に、内径面に段差がある円筒形状部品の成形を行う際、現在の技術では、前工程として板材にプレス絞り加工を施し円筒形状とした後、後工程として円筒内径に切削加工を行う必要がある。

従来、歯車のように周方向に段差を有する形状を成形する場合には、加工後に内側工具を軸方向に抜くことができるため、プレス加工のみによる成形が可能であった。しかしながら、軸方向に段差がある場合には、内側工具を抜くことができないために、切削加工による凹凸形状の成形が不可欠であった。異なる加工法を施すため、設備や段取り、仕掛在庫などの面から当然に生産性は低く、非効率な状態と言える。

また、工数が増えるため、内径加工が無い製品と比べて、5～10倍ほどにコストも高くなる。そのため、コストを下げる技術が望まれていた。

これらの内径加工を要する円筒型プレス加工品は、主に精密モーターのケース（ハウジング）や空油圧密封容器に使用され、特に自動車用として膨大なニーズが存在している。

(2) 研究開発の目的・目標

本研究開発では、円筒形状の内径面の段差を汎用プレス機で成形する加工方法を開発する。開発した金型は広く一般のプレス加工業者が所有している汎用プレス機に搭載が可能となり、後工程の切削加工を必要とせず、複雑な形状の製品を、安価に高精度で大量生産できる。

本件の基本工法については、既に特許出願中である。本件技術により、従来のプレス絞り加工と切削の複合工法よりも生産性が高くなり、大幅な効率化が可能となる。

○従来技術での課題と、新技術による課題解決策

	従来技術	新技術
加工方法	<p>内径加工が必要な円筒形状製品は、プレス絞り加工+切削加工で製造される。</p> <p>「内径切削加工概略図」</p>	<p>内径加工が必要な円筒形状製品であっても、汎用プレス機で製造可能。</p>

従来技術の課題 及び 新技術による 課題解決方法	工程をプレス絞り加工と切削加工に分ける必要があった。そのため、それぞれ必要とする設備が異なり、段取りなども必要でコストが高く、非効率である。	プレス絞り加工と内径加工を順送プレス工程内で行う。 従来のプレス絞り加工の延長で内径加工も施せるため、飛躍的に生産性を高めること（10倍以上）が可能になる。
-----------------------------------	------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------

○新技術を実現するために解決すべき研究課題

(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

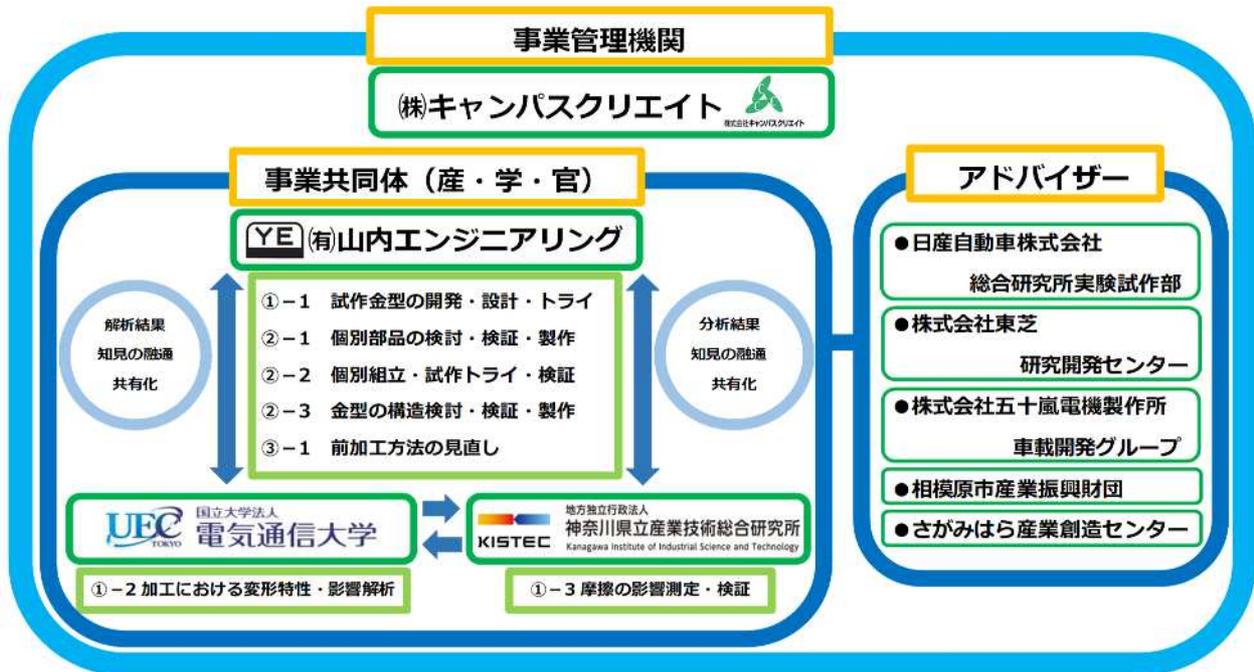
カ. 生産性・効率化の向上、低コスト化

●切削加工工程を削除した工程短縮とコストダウンのニーズ

●汎用プレス機で簡単に加工できる効率化向上のニーズ

1-2 研究体制

(1) 研究組織



(2) 管理員及び研究員氏名

【事業管理者】 株式会社キャンパスクリエイト

氏名	所属・役職
佐藤 公俊	技術開発部 ゼネラルマネージャー
大嶋 多鶴	管理部

【再委託先】有限会社山内エンジニアリング

氏名	所属・役職
山内 章	代表取締役 < PL >
大西 堅幸	専務取締役 < SL >
深田 政史	工場長
郡司 章	顧問

【再委託先】国立学校法人 電気通信大学

氏名	所属・役職
久保木 孝	知能機械工学 教授
梶川 翔平	知能機械工学 助教
小沢 竜徳	知能機械工学専攻大学院

【再委託先】地方独立行政法人 神奈川県立産業技術総合研究所

氏名	所属・役職
薩田 寿隆	情報・生産技術部 総括グループリーダー
高橋 和仁	情報・生産技術部 主任研究員
阿部 顕一	情報・生産技術部 グループリーダー
大澤 寿	情報・生産技術部 技能技師
高木 眞一	情報・材料技術部 総括グループリーダー
吉田 健太郎	情報・材料技術部 主任研究員
中村 紀夫	情報・材料技術部 主任研究員

(3) 協力者（アドバイザー）氏名

氏名	所属・役職
大和田 優	日産自動車株式会社 総合研究所 実験試作部 課長
小川 秀樹	株式会社東芝 研究開発センター 機械・システムラボラトリー 参事
渡辺 智弘	株式会社五十嵐電機製作所 車載開発グループ長
安田 誠	相模原市産業振興財団 チーフアドバイザー
村井 一仁	相模原市産業振興財団 係長
安藤 重夫	株式会社さがみはら産業創造センター 事業創造部長

1-3 成果概要

1-3-1 量産構造を有する試作金型の開発

取り組んだ具体的な事業内容は、機構形状を将来の量産条件に最適化した試作金型の製作と加工実証というテーマである。

川下ユーザーより提案された水素蓄電池ケースという具体的な形状及び寸法を実現する為に、360°の溝形状とテーパ形状で構成される図面スペックを、均等成形が可能である8分割HYBRITパンチ&カム構造を持つ試作型を製作し、実際のトライ加工により材料流動制御の知見を盛り込んだ金型によって成形したプレス試作品を完成させ、その評価と事業化（量産化）への技術課題の抽出を行った。

1-3-2 材料流動解析・手法の確立

製品は、カム機構を内径面にすきま無く接触した状態にした後、連動するダイスにより上から加圧すると材料が流動し成形される。カム内外における加圧力の違いや、周方向の加圧力分布は、材料流動に大きく影響を及ぼすと考えられるため、十分に検証する必要がある。

そこで、工具形状や内外駆動などの加工条件が、材料の流動挙動に及ぼす影響について、有限要素法による解析を行い、加工条件が材料の流動挙動に及ぼす影響を調査の上簡易金型を作製し、成形実験により解析の妥当性を検証した。さらに、高解像度寸法計測システムを用いて、成形品断面の形状を測定するとともに、金属組織の状態を観察することによって、加工時における材料の流動挙動の推察を行い、任意の形状に成形するための適切な材料流動制御法を明らかにした。

1-3-3 摩擦抵抗の低減法の確立

この工法は、3つのユニットがそれぞれ連動してスムーズに動くことが必須である。特に摺動面の摩擦抵抗の低減が必要である。本工法は複数のカム機構が同時に周囲に広がり各カムの動きに差異がなくてはならない。摩擦抵抗を低減させる指標を得るために、摩擦摩耗試験による摩擦係数の測定を行った。成形中の油溜り維持による潤滑効果を想定し、面粗さを数種類変えた試験片とそれらに各種コーティングを施したものの試験後摩耗痕幅、深さ等を計測し、コーティングの耐摩耗性を評価してハイブリットカム金型に最適のコーティング方法を確立した。。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

事業管理機関

〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1

株式会社キャンパスクリエイト オープンイノベーション推進部

プロデューサー 須藤 慎

TEL : 042-490-5728 FAX : 042-490-5727

Mail : sudoh@campuscreate.com

中核研究機関

〒252-0243 神奈川県相模原市中央区田名 2327-2

有限会社山内エンジニアリング

代表取締役 山内 章

TEL : 042-713-1980 FAX : 042-713-1981

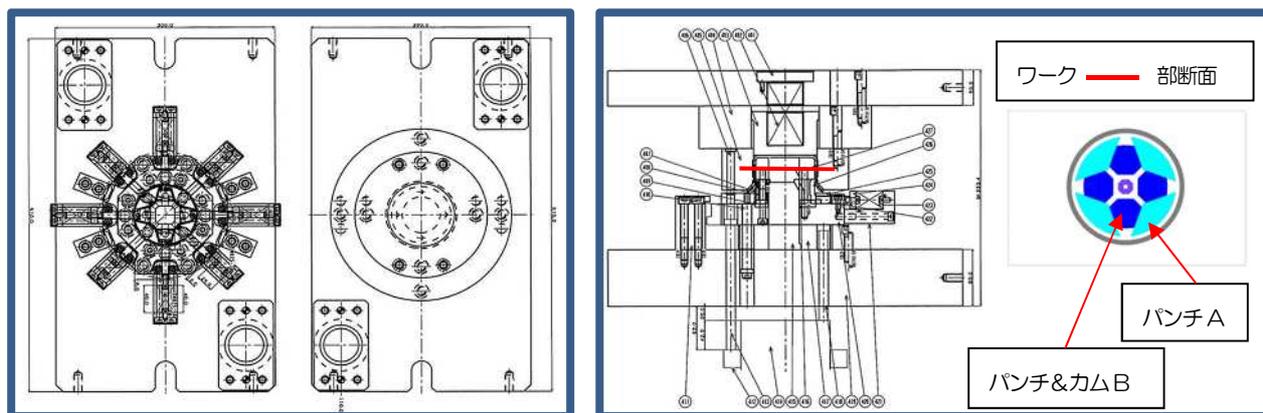
Mail : a-yamauchi@y-eng.jp

第2章 本論一（1）

2-1 量産構造を有する試作金型の開発

2-1-1 機構形状及び精度の検討・確立

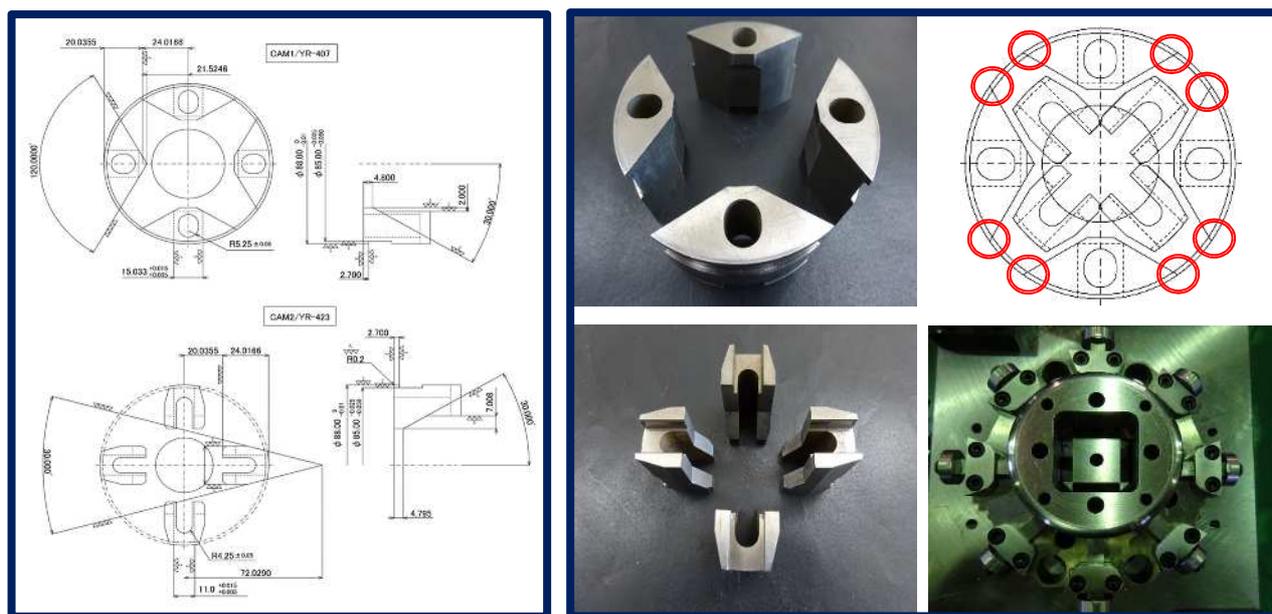
最も重要な工程であるカム工程は機構上、8分割したパンチがカム機構とリンクして開閉することでワークを金型から着脱できるのだが、閉じた状態のパンチ外周長と開いてワーク内径に接触した状態の外周長には約18パーセントの差異が発生する。その解決策として内径360°を未加工エリアゼロで達成できる新しい構造（HYBRITパンチA・パンチ&カムB）を持つ内径加工用パンチ機構の設計を完成させた。



【図1：カム金型図・YR-400】

精度の高い金型を製作するためには、その金型を構成する部品精度が担保されなければならない。

【図2】のカムパンチ図は高精度加工の一例であるが、100ナノメートル（1/10,000mm）レンジのプレス部品はほとんど前例の無いレベルの寸法要求値であり、その数値を丸めて具現化する為の高い技術スキルが要求される。



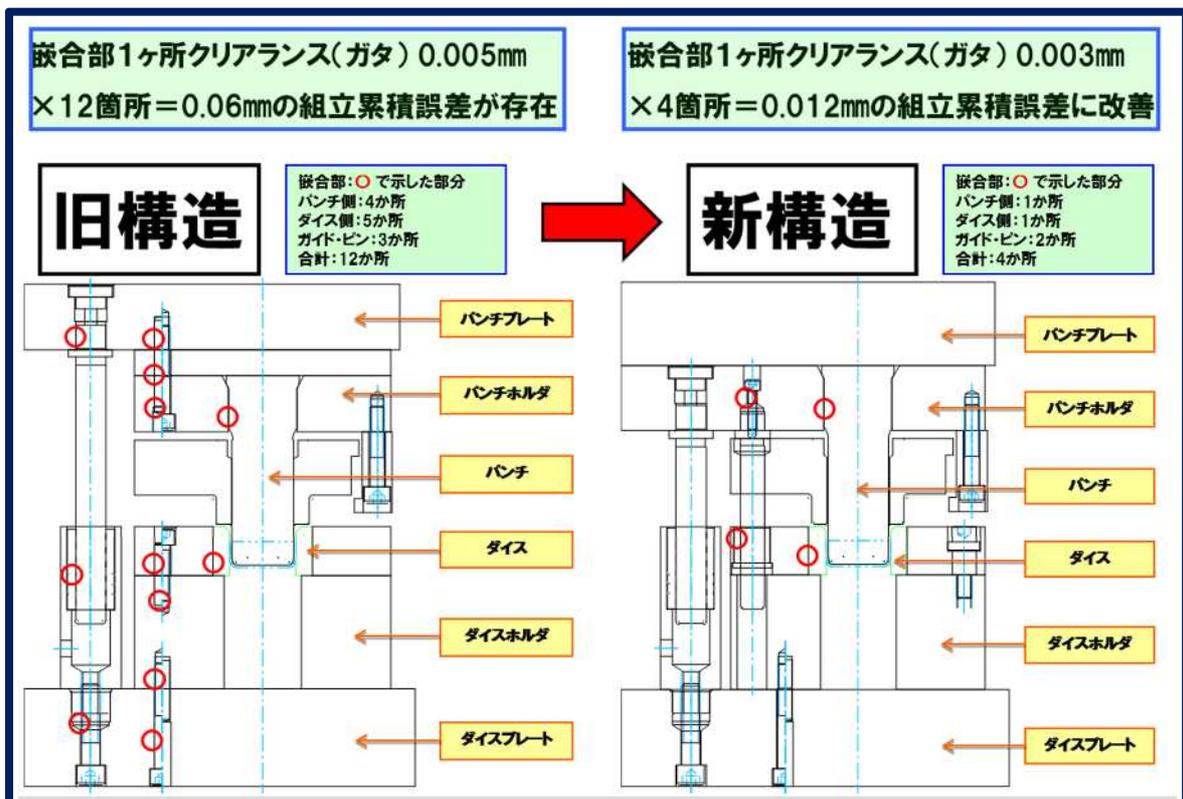
【図2：超高精度HYBRITパンチ&カム製作図と実物写真】

本工法で使用する金型の部品点数はいかに合理化を進めても 50 部品になる。

それぞれの部品はわずかな精度誤差であっても完成金型として組立てると累積された誤差が製品精度に影響をおよぼす恐れがある。部品単品の精度担保は当然であるが金型全体の組立精度にも非常に高いレベルが要求され、それをクリアしなければ高精度金型としてのレベルアップは困難である。

その対策としてパンチ側、ダイス側それぞれの構造を見直し、嵌合部を現行 12ヶ所から 4ヶ所に統合。削減して組立時の累積誤差を改善した。

これによりプレス加圧による金型内部の部品位置ズレが現行平均累積値 0.06mm から 1ヶ所誤差 $0.003\text{mm} \times 4\text{ヶ所} = 0.012\text{mm}$ と $1/3$ となり加工応力による偏心量を減少させることで、同軸度、真円度といった重要寸法の加工担保ができた。(図 3)



【図 3】嵌合部を改善した組立構成図

2-1-2 量産構造を有する試作金型による加工実証

第 2 年度までの成果からカム金型のワーク接地タイミングをワーク内径 360° の表面上での主要作業ポイントとしてタイミングチャートの角度、基準点からの座標を割り出した。

そこからプレススライド特性グラフに作動位置座標を記載して、各部品のストロークとの相関係数に基づいた具体的な数値を算出した上でカム試作金型を製作した。この成果によりワーク内径面への接地タイムラグを金型上ではほぼ 0 にする事が可能となり、溝成形精度が向上した。

2-1-4 で後述する前加工ワークの真円度及び内径面の板厚分布レベルを担保できた事で、試作加工の最終検証をおこなった結果、第 2 年度までの形状試作テーマである図 4 の形状を確認し、寸法値としても図 5 のデータにて内径溝加工の実証を達成した。

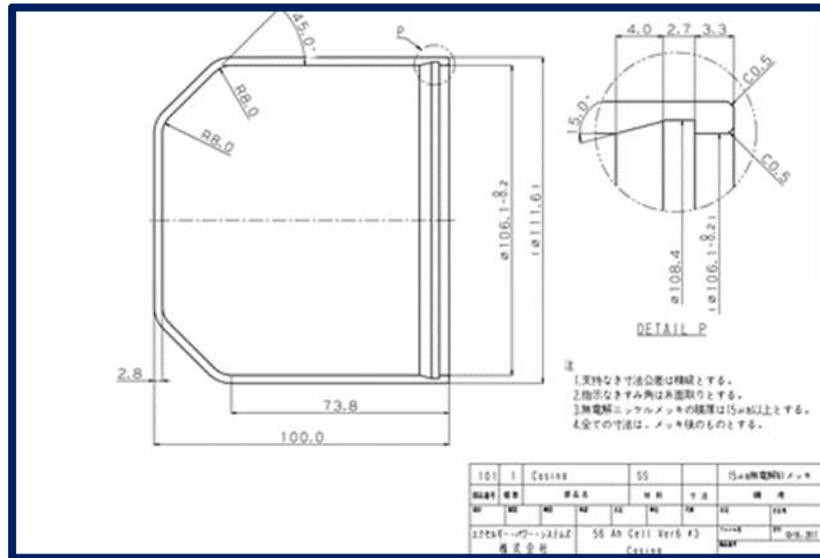


【図4】 試作品溝成形検証画像

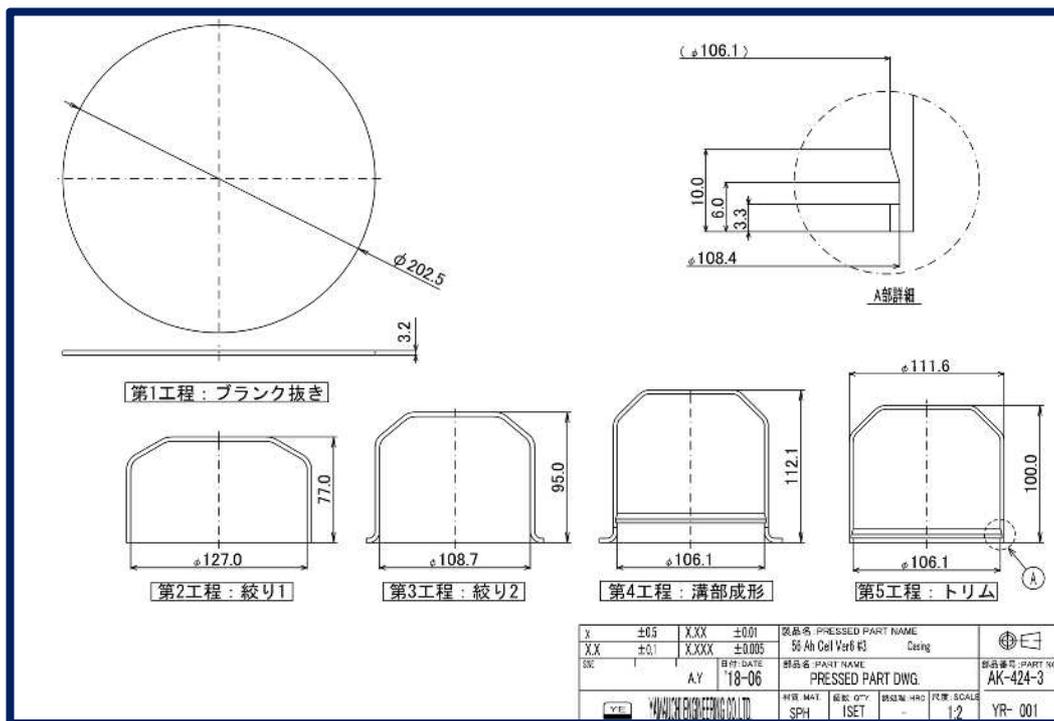
No	仕様、寸法、公差	ワークNo				
		1	2	3	4	5
1	φ91.4 ±0.1	91.43	91.45	91.40	91.46	91.47
2	47.0 ±0.1	47.03	47.06	47.05	47.02	47.04
3	★ 7.0 ±0.1	7.06	7.05	7.06	7.02	7.05
4	★ φ85.0 +0.05/0	85.04	85.05	85.01	85.03	85.03
5	★ φ88.0 0/-0.05	87.99	87.96	87.98	87.97	87.96
6	50.2 ±0.2	50.28	50.33	50.34	50.37	50.30
7	R5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
8	★ 2.7 +0.25/0	2.88	2.83	2.87	2.91	2.85
9	R0.3 MAX	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
10	R0.35 MAX	0.33	0.31	0.34	0.33	0.35
11	⊥ 0.05	0.04	0.05	0.05	0.04	0.05
12	○ φ0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02

【図5】 試作品測定表

最終年度には、川下ユーザーから提供を受けた具体的製品テーマ「水素蓄電池ケース」(図6)をプレス加工のみで製作する為に、試作工程(図7)を立案し、工程毎の金型を製作して導入したトライプレス機を使用して内径溝加工プレス実証を実施した。



【図6】 試作品測定表



【図7】 試作品工程案

川下ユーザーの具体的プレス成型テーマを試作製品化するには、弊社所有の最大プレス加工機でも機械スペックから第2絞り加工が完了できない為、製品ハイトの約2倍のストローク能力を持つ200tハイフレックスプレス装置を導入した。

さらに、導入したプレス機に精密ダイモーター装置を取り付けて工程毎の荷重分布をモニターしながら偏芯荷重による板厚流動のアンバランス量を制御した。(図8)



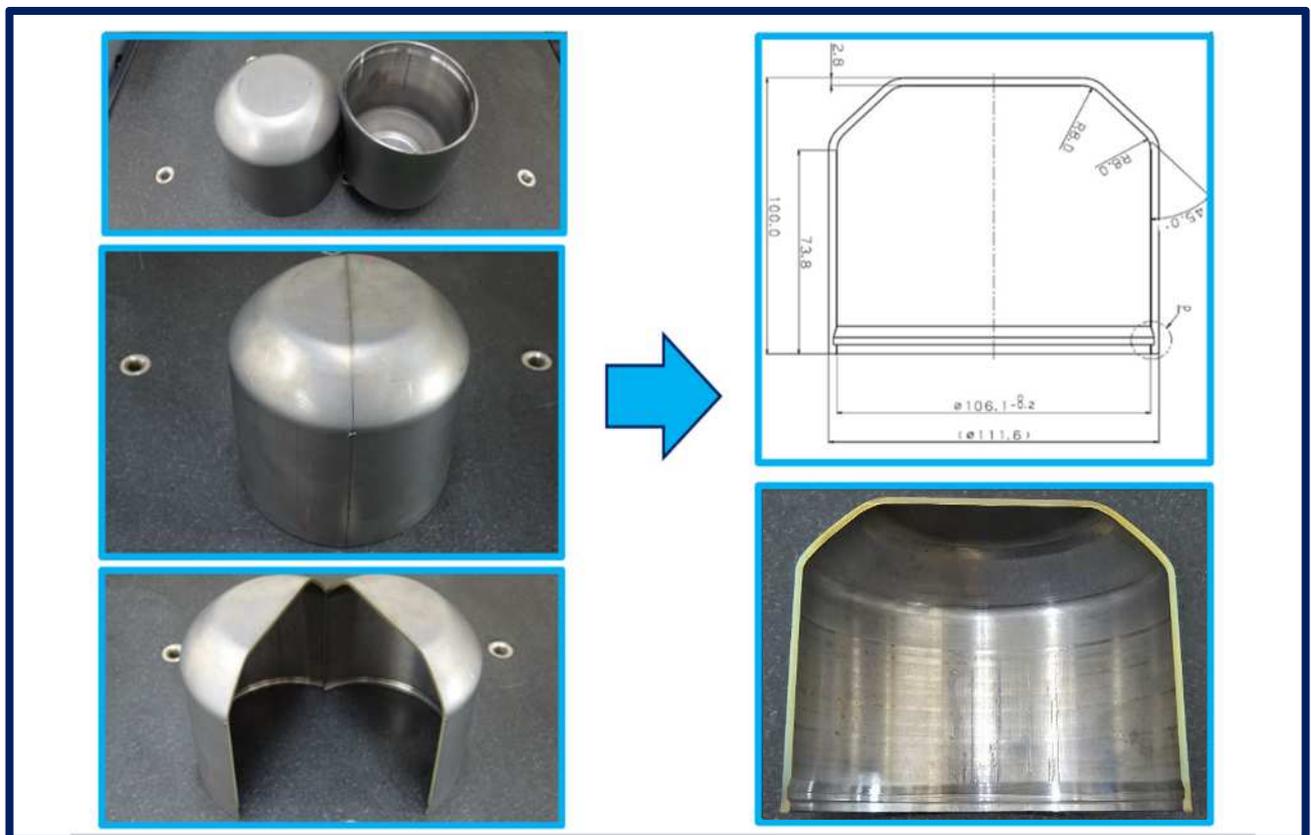
【図 8】 複動カム型を中心とした実証テスト写真

内径パンチ部の構造については、分割されたパンチがカム機構によって閉じたり開いたりすることでワークが金型から着脱できる。普通の分割カムパンチでは内径全周にすきま無く接触することは物理的に不可能な為、その解決策として製作した内径 360° を均等に加工可能な複動 8 分割型の内径加工用パンチ & カムの成形タイミングの微調整を繰り返し行った。

また、金型の各機構部品が 1 プレスストローク長さ (360°) の線上での主要ポイントをタイミングチャートの角度、基準点からの座標、その到達時間を割り出した上で把握したデータと被加工材のフロント位置や偏芯傾向と作動ストロークとの相関係数に基づいた具体的な実証を行った。



【図9】 工程サンプル写真



【図10】 試作水素蓄電池ケース

2-1-3 材料流動解析・手法の確立

(1) 内面1条加工における変形特性のシミュレーションを行い、ワレや破断変形を含めた加工そのものの可否と転写メカニズムの解明を進めた。

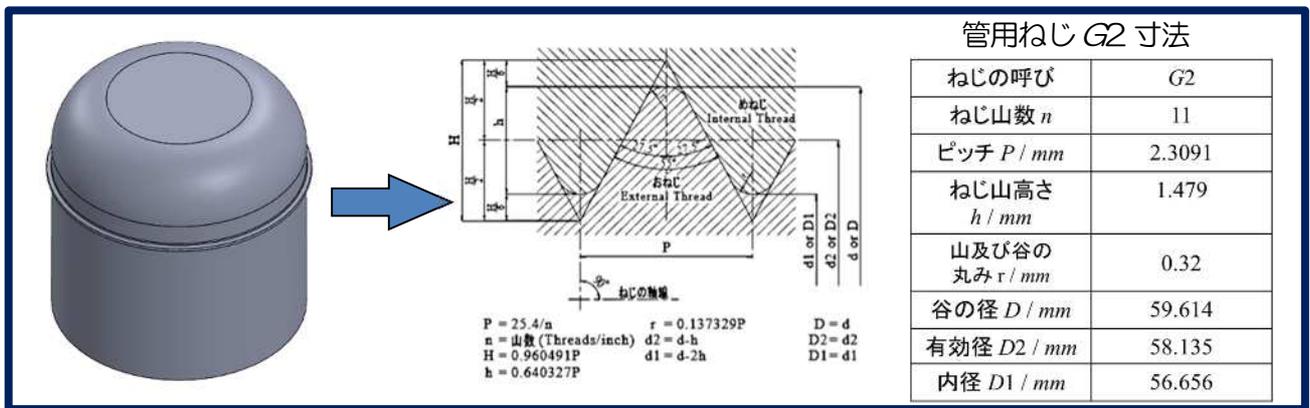


図 11：解析形状（管用ねじ G2 寸法を参考としたねじ山を O リング状に付与したモデル）

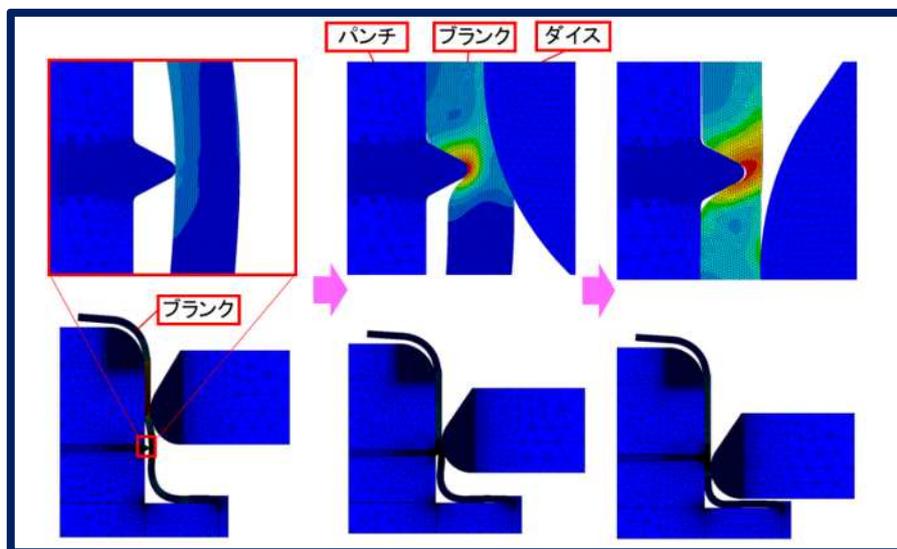


図 12：解析手順図

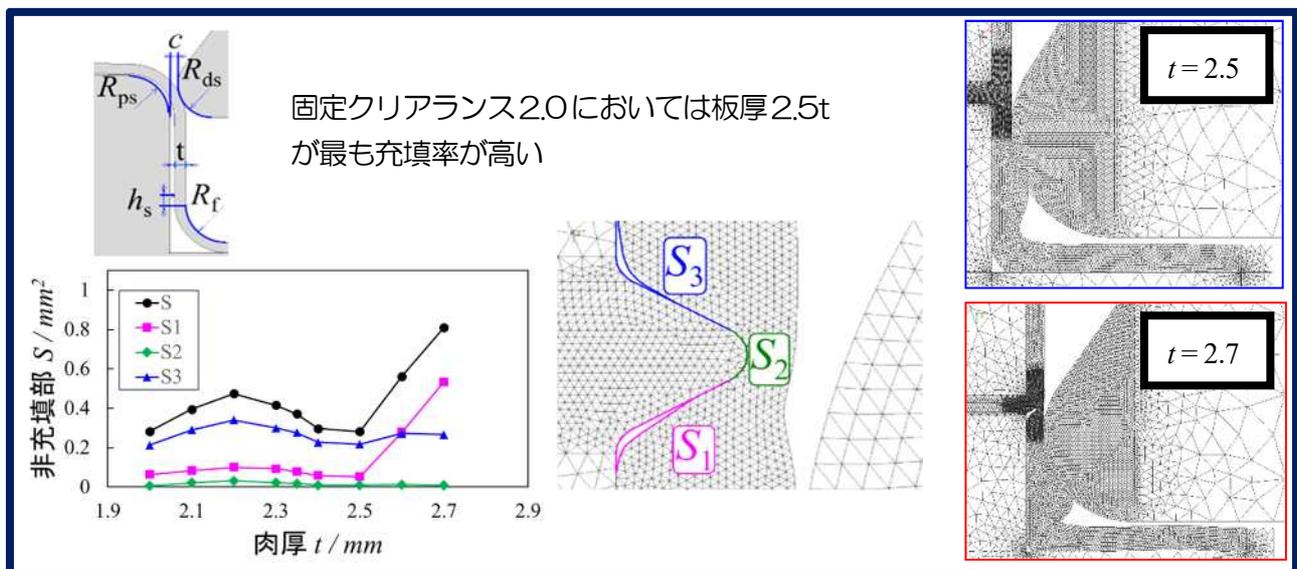


図 13：解析結果表

(2) 1 条のネジ山形状のパンチ寸法転写率としては、クリアランス固定の場合板厚 2.5 t が最も充填率 (S1+S2+S3 の合計体積) が高いという解析結果に基づいて、事業化時に要求される O リング溝形状にパンチを変更した場合の転写率や形状不具合の抽出の為のシミュレーションを実施した。

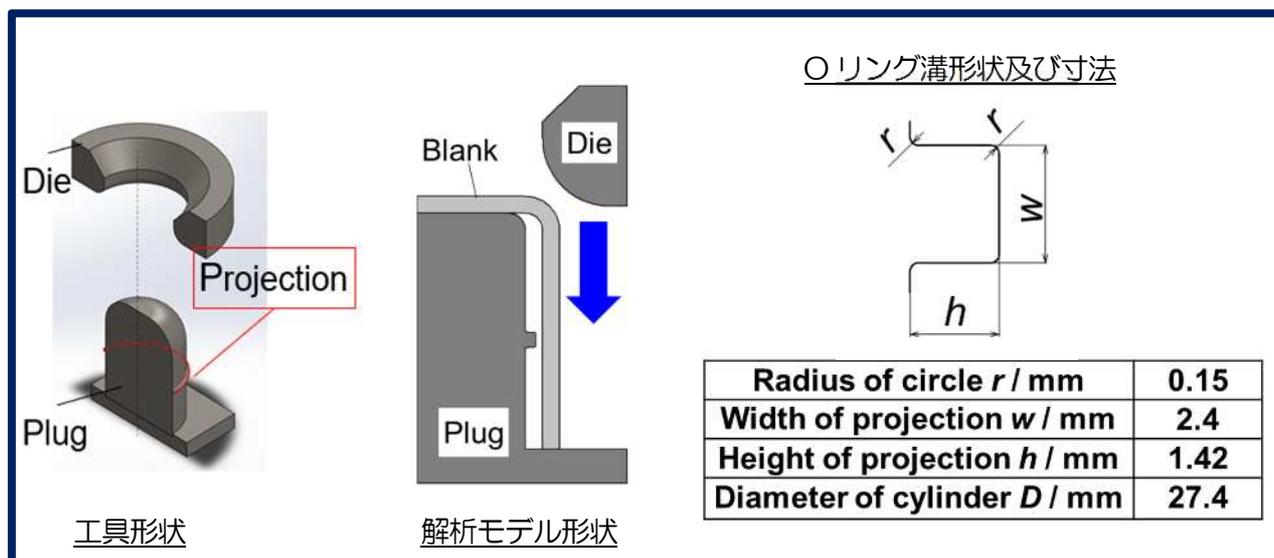


図 14 : O リング溝形状及び寸法図

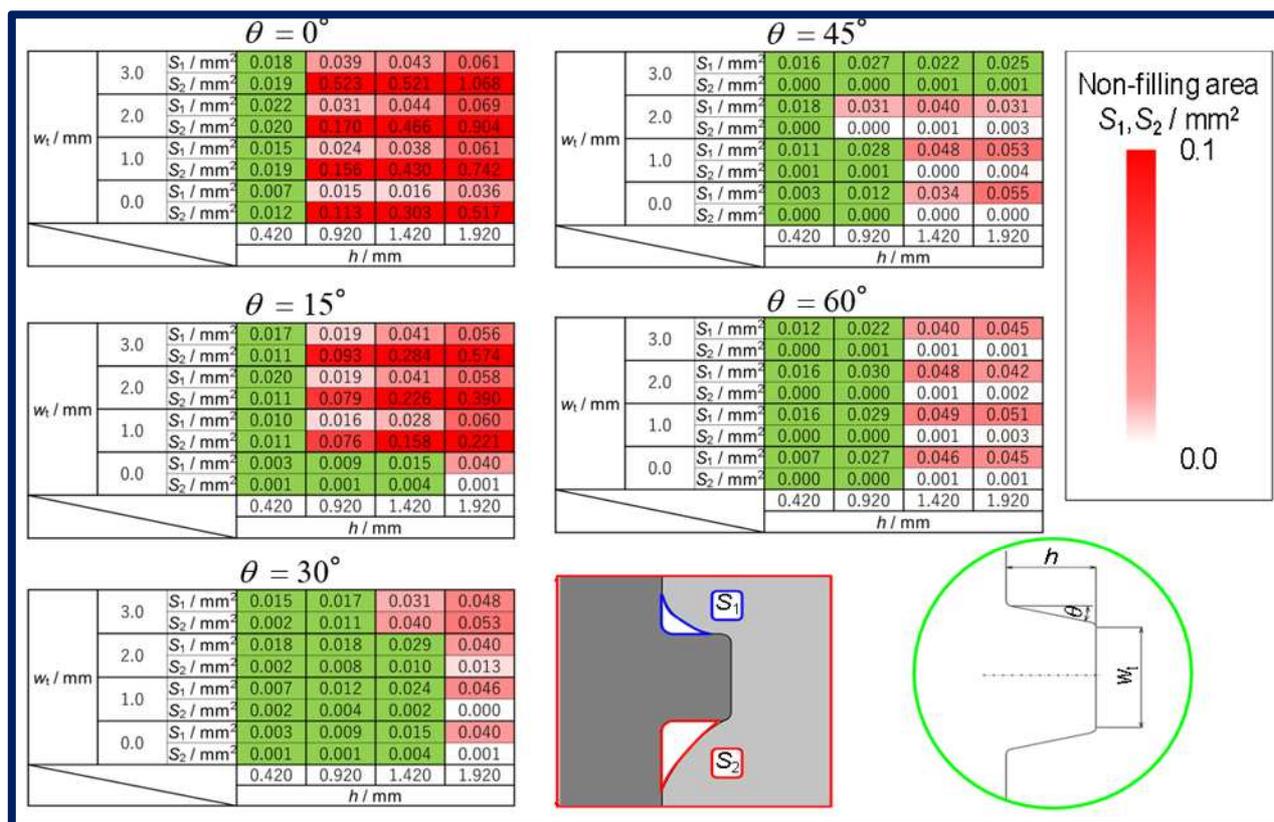


図 15 : 解析結果表

θ 角度が大きいほど充填率は良化するとの予測に対して、解析結果は $\theta = 30^\circ$ の場合に最も充填率が高かった。また、 $\theta = 45^\circ$ における h 寸法が高いほど充填率が良化する現象も確認された。この現象を含めダイ R を変えたモデルと合わせて簡易型を製作して実証試験による解析・検証を進めた。

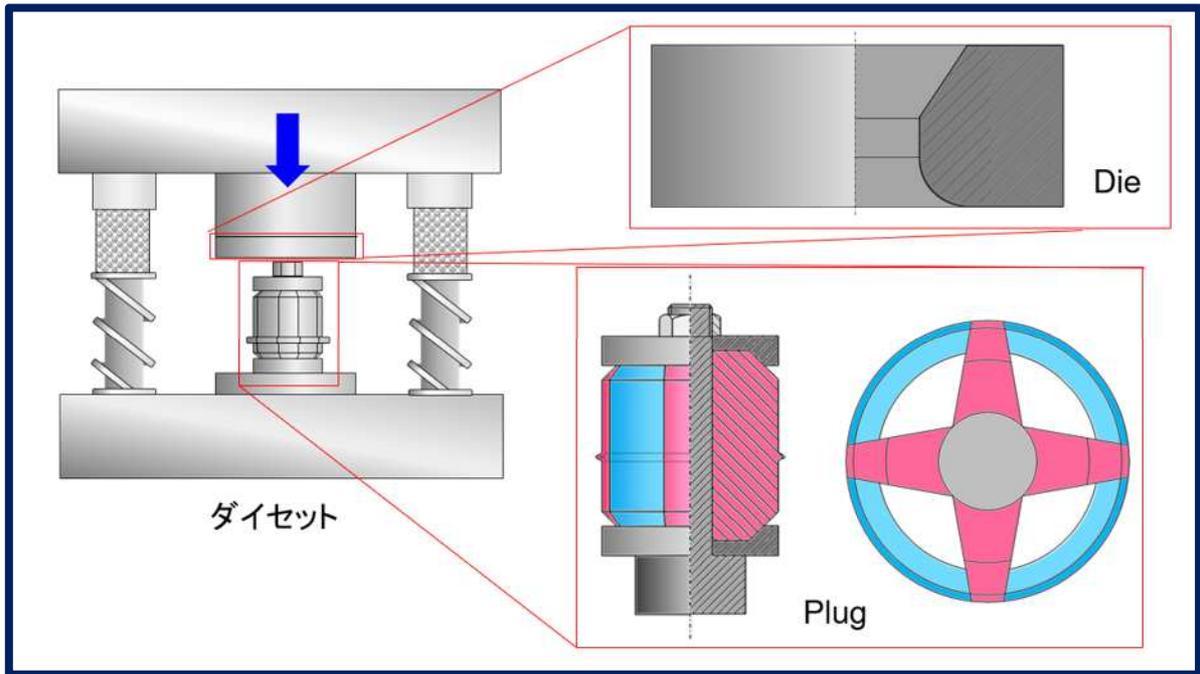


図 16：実証試験用簡易金型

(3) 図 14、15 の解析を反映させた簡易試験用金型を製作して、実際に加工試験を実施した。

その結果、360° 内径一周に全く段差のない試作品（図 17 の成果品）を完成させたが、マイクロスコープによる精査では、8 分割のパンチ継ぎ目に最大 0.03mm の段差の発生を認めた。しかし、リング受け溝形状としては品質的に問題とはならないレベルの段差である為、次のステップとして今後の量産時において必須な管理項目となる金型刃先の消耗による段差の成長の阻止検証を行った。



図 17：簡易型による実証試験

(4) 工具寿命の検証

テーパ角の付与率によってR部に生じる相当応力の変化と最適値を算出した。

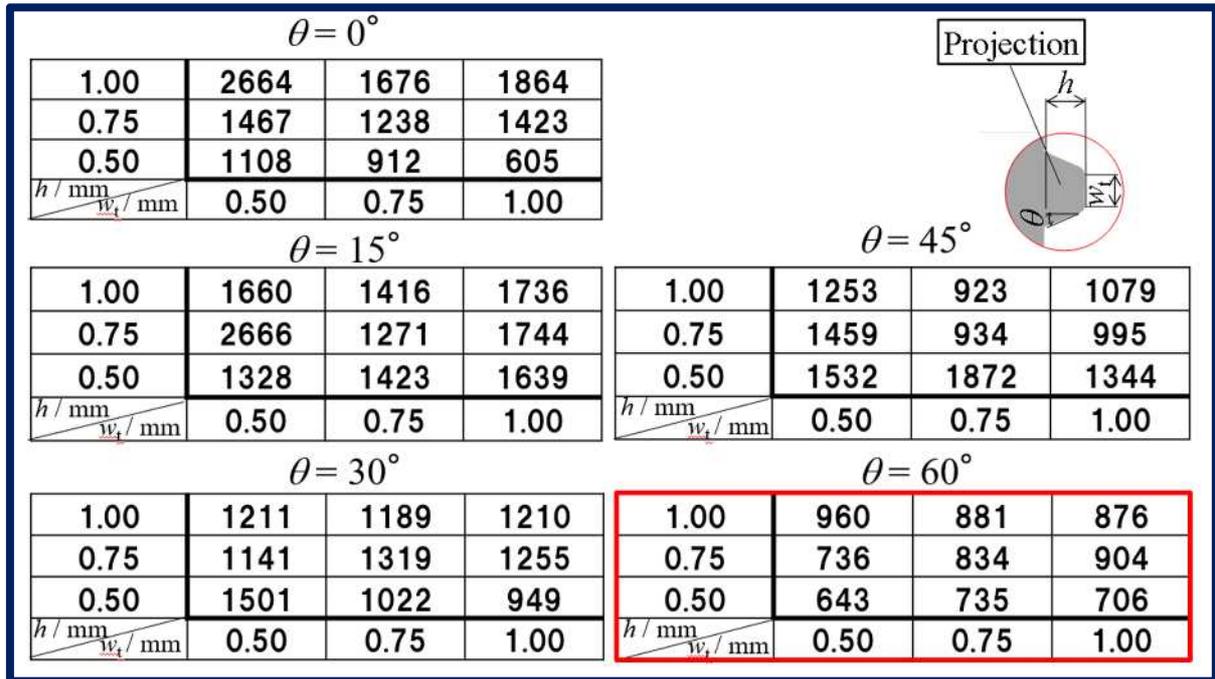


図 18 : R 部相当応力解析

水素蓄電池ケースの内径面には、溝上部が74° のテーパ角で構成されている。その成形パンチにかかる相当応力を ●ダイ肩半径の増加 ●フロアダイによるワーク下端部の保持 ●ワーク上部拘束という解析結果からの追加対応を行うことにより、成形性が向上し工具寿命の延長を達成した。

具体的な数字として成形中のプラグ相当応力を 1,000MPa 以下に削減し、金型は 10⁵ 回以上使用が可能となった。

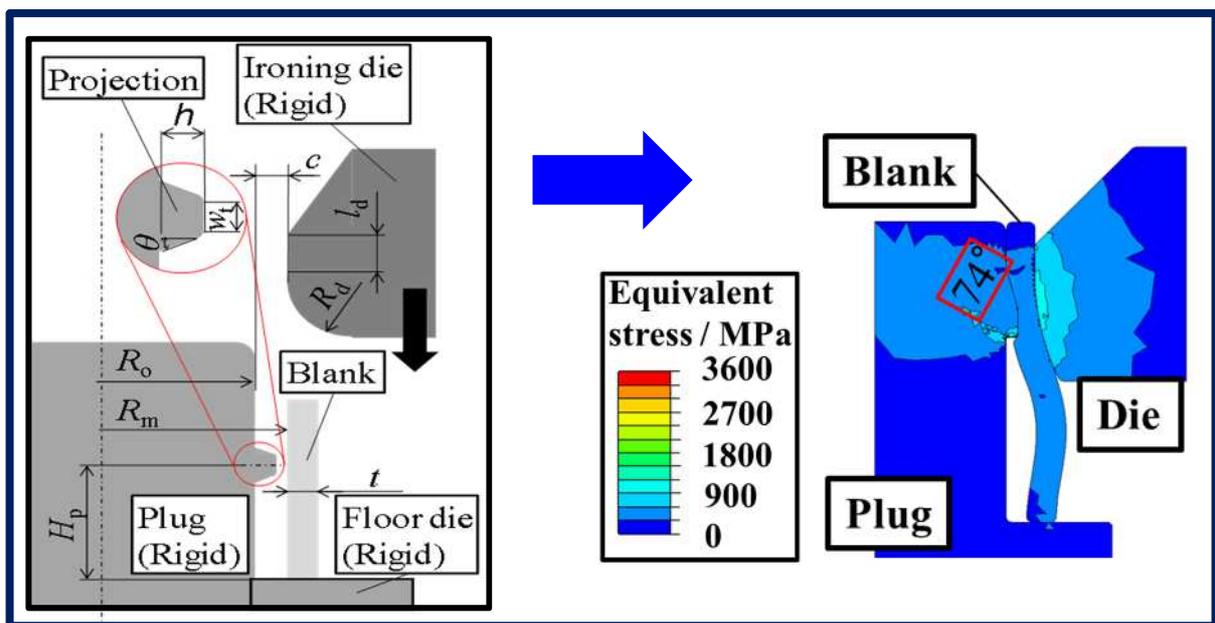


図 19 : R 部相当応力解析 2

2-1-4 摩擦抵抗の低減

(1) 試験片による摩擦抵抗性・耐摩耗性の検証

摩擦抵抗軽減のための表面処理は母材との密着性等の相性があり、実際に試験片（テストピース）にそれぞれの処理を施してから、ボールオンディスク試験機により摩擦耐性を調査した。

テストピース 鋼材+処理	試験片 識別コード		テストピース 鋼材+処理	試験片 識別コード		テストピース 鋼材+処理	試験片 識別コード	
	WPC無	WPC有		WPC無	WPC有		WPC無	WPC有
SKD11	A-1 5N	B-1 5N	SKH51	I-1 5N	J-1 5N	SPMR8 (山陽特殊 鋼)	Q-1 5N	R-1 5N
	A-2 25N	B-2 25N		I-2 25N	J-2 25N		Q-2 25N	R-2 25N
	A-3 75N	B-3 75N		I-3 75N	J-3 75N		Q-3 75N	R-3 75N
SKD11 +CrN	C-1 5N	D-1 5N	SKH51 +CrN	K-1 5N	L-1 5N	SPMR8 +CrN	S-1 5N	T-1 5N
	C-2 25N	D-2 25N		K-2 25N	L-2 25N		S-2 25N	T-2 25N
	C-3 75N	D-3 75N		K-3 75N	L-3 75N		S-3 75N	T-3 75N
SKD11 +ALCrN	E-1 5N	F-1 5N	SKH51 +ALCrN	M-1 5N	N-1 5N	SPMR8 +ALCrN	U-1 5N	V-1 5N
	E-2 25N	F-2 25N		M-2 25N	N-2 25N		U-2 25N	V-2 25N
	E-3 75N	F-3 75N		M-3 75N	N-3 75N		U-3 75N	V-3 75N
SKD11 +TiAlN	G-1 5N	H-1 5N	SKH51 +TiAlN	O-1 5N	P-1 5N	SPMR8 +TiAlN	W-1 5N	X-1 5N
	G-2 25N	H-2 25N		O-2 25N	P-2 25N		W-2 25N	X-2 25N
	G-3 75N	H-3 75N		O-3 75N	P-3 75N		W-3 75N	X-3 75N
合計数	12	12	合計数	12	12	合計数	12	12

ボールオンディスク 試験片	サイズ	φ40×5mm [†]
	熱処理	有（焼入れ・焼戻し）
	表面仕上げ	ラップ仕上げ（▽▽▽▽）

図 20：摩擦試験テストピース一覧表

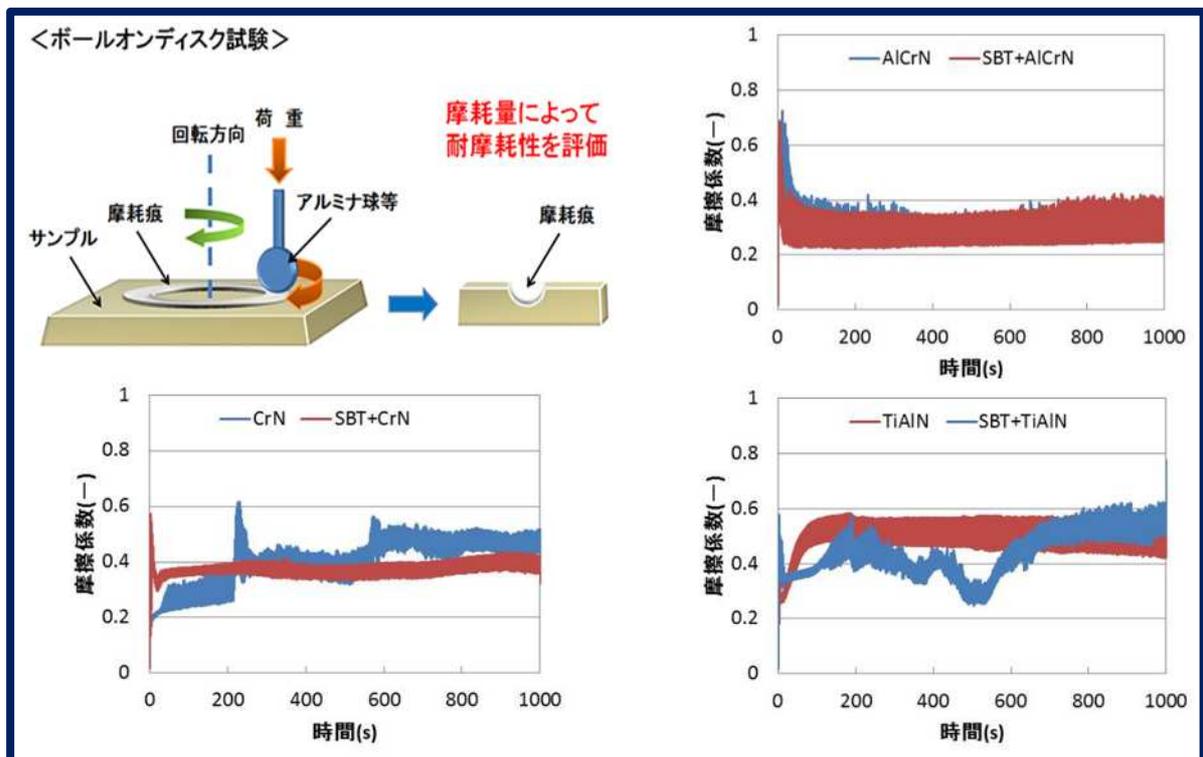


図 21：ボールオンディスク摩耗試験による摩擦係数変化図

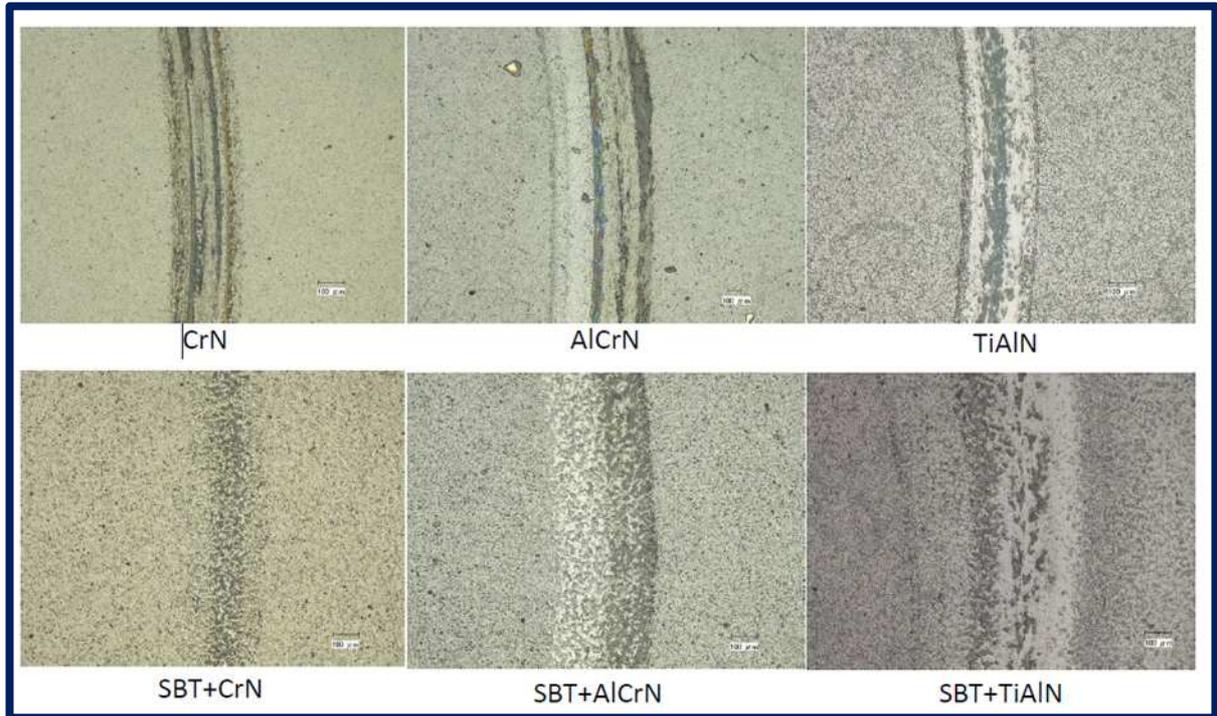


図 21：ボールオンディスク摩耗試験による摩擦痕外観

摩耗痕の外観の比較では、CrN の試験片についてはコーティング摩耗というよりは、ボール（超硬合金）の材質が付着しているように観察された。他の AlCrN と TiAlN は試験摩耗と判断した。

SBT 処理の効果は、摩耗しても凹凸が維持されているように観察されるので、量産金型における油保持性を高くできると期待され、金型寿命の延長効果が期待できるので追加試験を実施した。

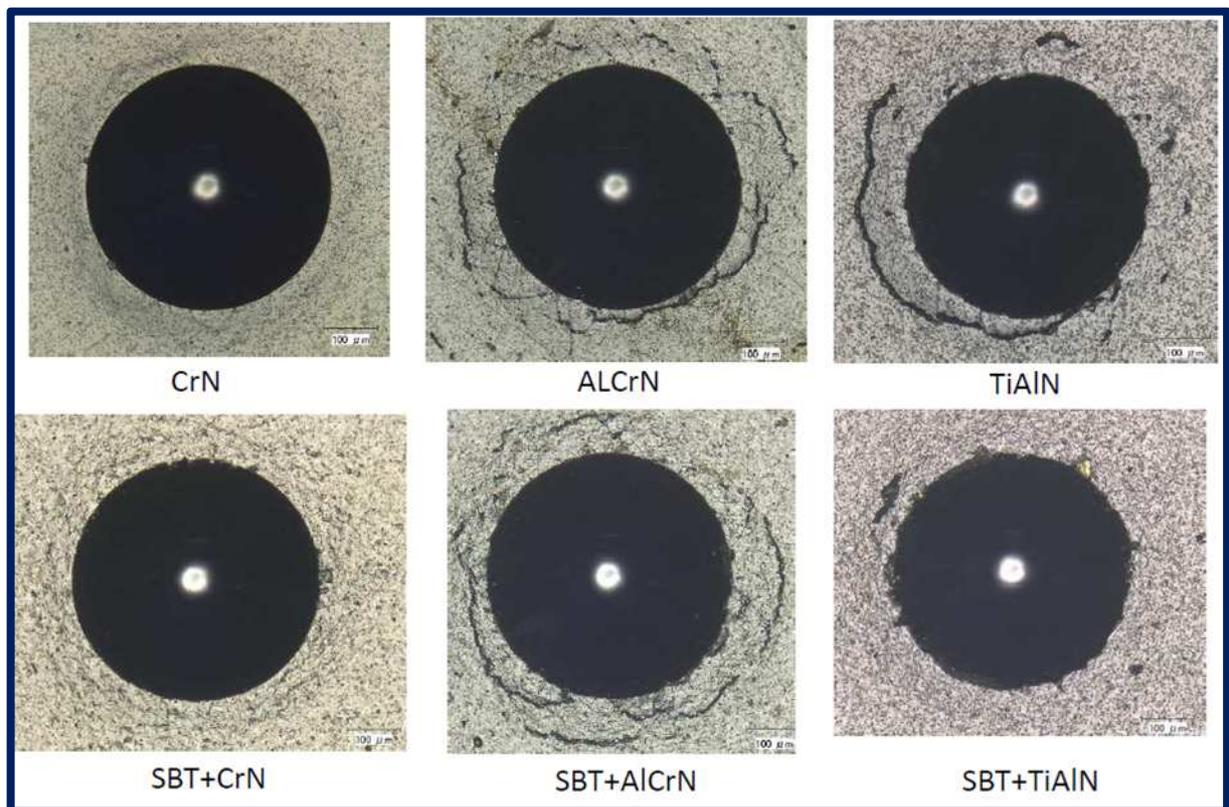


図 22：ロックウェル圧痕試験

(2) コーティングによる成形性及び金型寿命の向上手法の確立

ロックウエル密着性試験の結果、圧痕周囲の割れ発生状況を観察すると、CrN コーティングは開口部の広いクラックは見られず、三種類のコーティングの中では最も密着性が高いと考察した。

また前処理として SBT 処理を施すことにより、TiAlN コーティングにおけるクラック発生は抑制されている。摩擦係数の比較として、SBT 処理を施すことにより、時間による変動が小さくなっていった。

SBT 処理をしたコーティング膜の摩擦係数を比較すると、TiAlN⇒CrN⇒AlCrN の順で小さくなっていく。総合判断として、SBT+CrN コーティングが本事業で使用する内径成形金型の摩擦抵抗の低減という目標には最適であると判断した。

次のステップとして、実際の金型刃先に SBT+CrN コーティングを施した上で山内エンジニアリングのプレス機による摺動繰り返しテストを行って、CrN 単独コーティングとの比較検証の上でコーティングによる成形性の向上と金型寿命の向上手法を確立した。

- 金型鋼種：SKD11
- コーティング：CrN
- コーティング前処理：SBT 処理（微粒子ピーニング）
- 評価試験：①面粗さ測定
②断面組織観察
③耐摩耗性実験（カムドライバーの往復運動 1万回）

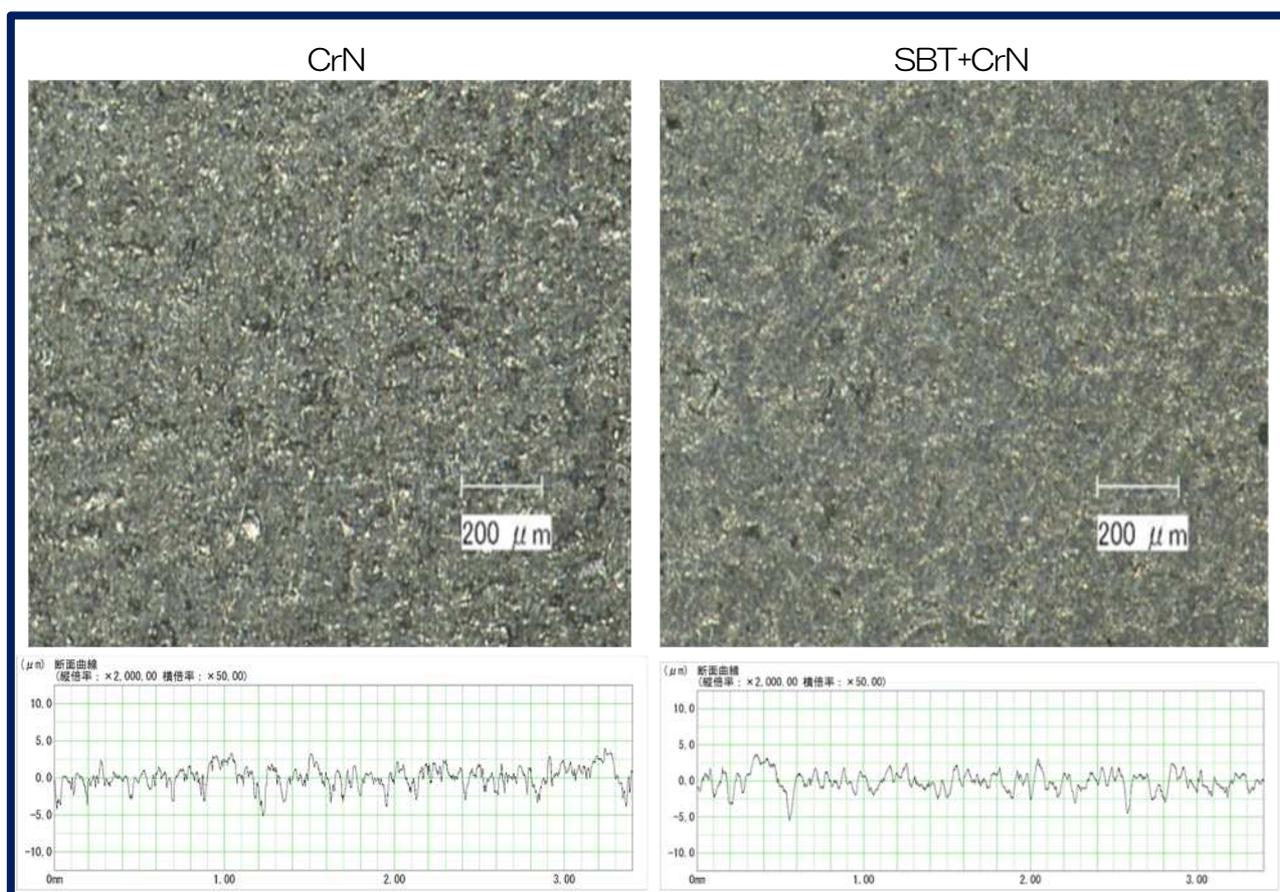


図 23：面粗さ比較図

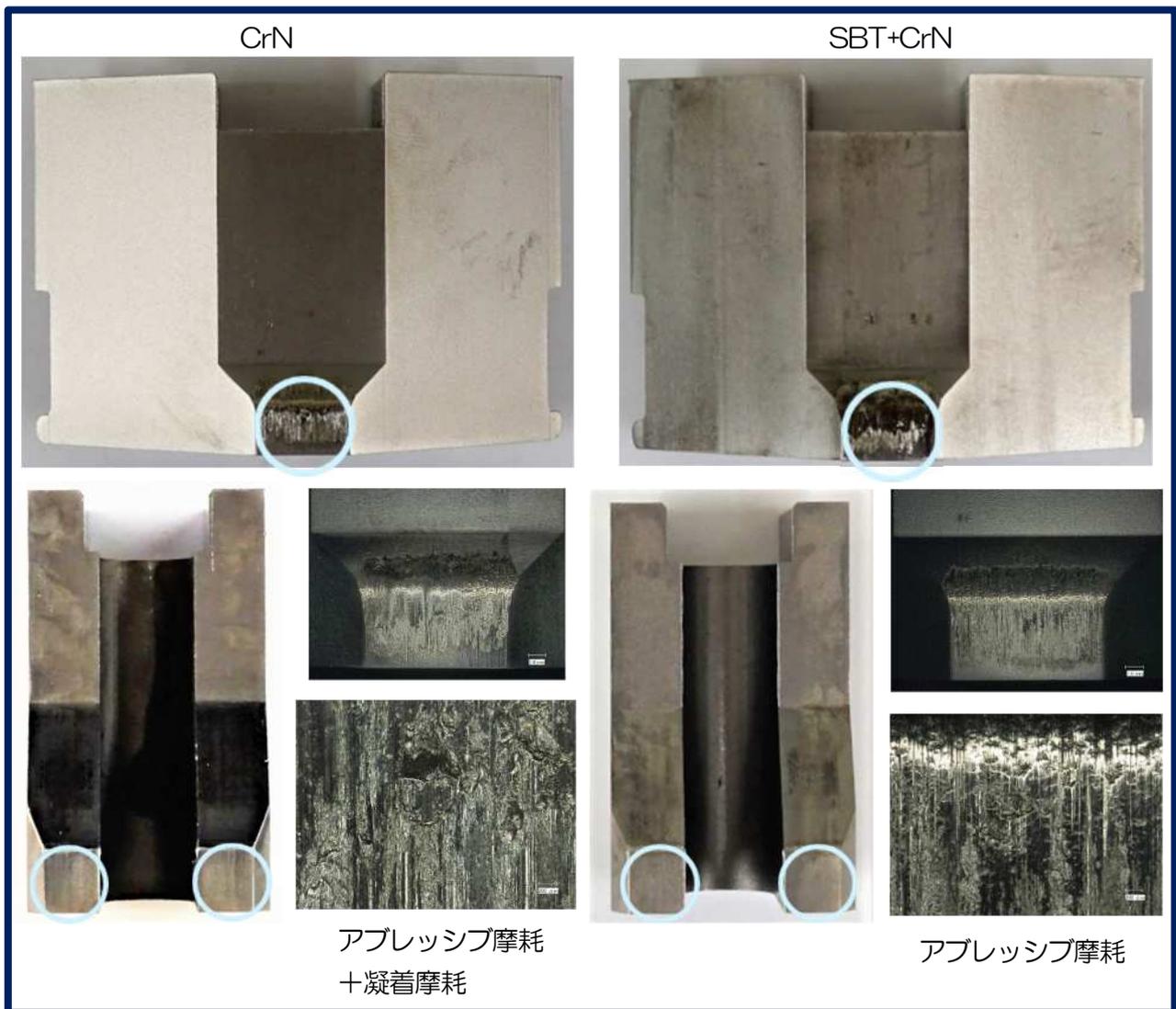


図 24：10,000 回摺動摩耗試験比較写真

実金型のカムドライバー摺動面  部にコーティングを施し、成形を模擬した摩耗試験（100 t プレス機による 10,000 回摺動）を実施した。得られた成果を以下に記す。

- ①コーティングの密着性自体は SBT 処理を施すとやや低下するが、コーティング寿命への影響は軽微なものであり、他の優位性が総合性能には勝ると判断した。
- ②SBT 処理により金型表面の微細な凹凸は減少するが面粗さ計の数値的にはほとんど変化は無かった。
- ③断面金属組織観察より、SBT 処理による微細凹凸の減少が金型表面性状の改善に寄与したと考えられる。
- ④金型の耐摩耗性は、SBT 処理無しではアブレッシブ摩耗に加え、凝着摩耗も観察されたが、SBT 処理を施すことにより改善した。この傾向は摺動回数（加工回数）が増すほど、一度発生した凝着摩耗も増加するため、SBT 処理がコスト（金型の再加工回数削減効果）、品質の両面からも有益であると確認できた。

2-1-5 前加工ワーク精度の担保

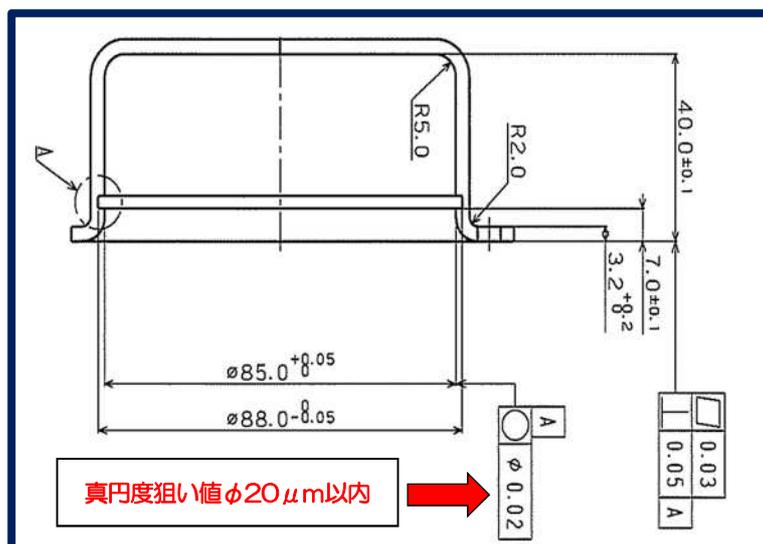
(1) 前加工方法の洗い直し・明確化

内径カム加工の前提条件として被加工材（前加工品）の形状が限りなく真円であり、精密駆動するカムユニットの中心軸と被加工材の中心軸が同軸度という幾何公差において非常に高いレベルで確保される必要がある。被加工材の中心軸に位置ずれが発生しワーク内径に歪があった場合は 360° 全周の同時加圧接触タイミングにバラツキが生じ結果として成形不良につながってしまう。

また本工法では外側に位置するダイスにより製品外径の材料流動を促すため、ダイスと接触する部位の材料板厚や形状に差異があると、想定した材料流動量にならず当然に意図した製品 R 形状を確保できないことになる。

そこで前加工ワークに求められる寸法水準（真円度、同軸度、直角度、板厚）を維持するため、適宜前加工工程の見直しを行った。さらに金型組立精度の向上手法を当社が保有する精密絞り検証用金型に移植し、実際にその金型を使用した試作トライ＆エラーを積み上げて各工程における重要設定項目を洗い出した結果、前工程ワークの寸法担保が可能となった。

具体的には CAD 設計値 真円度 $\phi 0.03$ 同軸度 $\phi 0.05$ 直角度 0.05 からそれぞれ逆算した部品加工精度を割り付けし、高精度工作機械加工による再現性とシンプルでありながら余計な手順と部品を削除した組立をリンクさせて工程毎のワークを CAD 設定値と 1 工程毎に測定・検証・修正を平行して前工程品試作を行った。この手順を標準化することで量産時の QC 工程管理項目を明確にした。



【図 25：前加工ワーク精度の狙い値】

上記の手順による前工程ワークの精度担保の確認作業として、当社が所有している別のモーターケース用金型を流用して改造と工程管理を施し、量産を見据えた N 増しによる検証トライを実施した。

当初の予定では品質保障の Cpk 管理まで踏み込むために、最低検証数 N=30 台のワーク製作を予定していたが、当社事情による時間と工数の制限から検証数 N=15 台に変更しての実証となった。

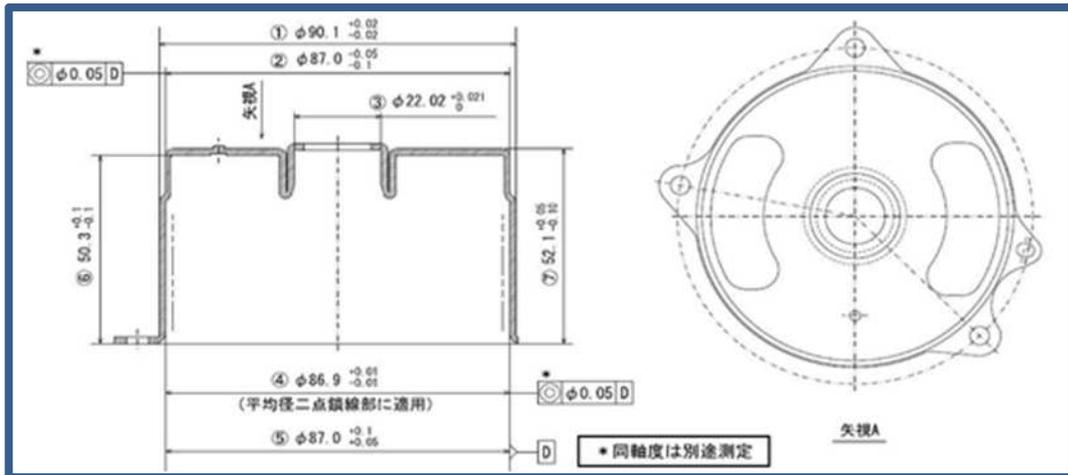


図 26：能力検証用製品図



図 27：N=15 ナンバー付試作品写真

項目	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
規格	φ90.1 ±0.02	φ87 -0.05/-0.1	φ22.02 +0.021/0	φ86.90 ±0.01	φ87 +0.05/+0.1	50.3 ±0.1	52.1 +0.05/-0.1
上限	90.12	86.95	22.041	86.91	87.10	50.40	52.15
下限	90.08	86.90	22.020	86.89	87.05	50.20	52.00
測定数	15	15	15	15	15	15	15
1	90.09	86.92	22.030	86.90	87.06	50.25	52.05
2	90.11	86.92	22.030	86.91	87.08	50.26	52.06
3	90.10	86.93	22.033	86.91	87.05	50.27	52.07
4	90.11	86.92	22.035	86.91	87.07	50.28	52.08
5	90.09	86.92	22.037	86.90	87.08	50.29	52.09
6	90.10	86.93	22.036	86.90	87.05	50.30	52.10
7	90.09	86.93	22.034	86.90	87.06	50.31	52.11
8	90.09	86.93	22.033	86.89	87.06	50.32	52.12
9	90.09	86.93	22.038	86.90	87.07	50.33	52.13
10	90.11	86.93	22.039	86.90	87.08	50.34	52.14
11	90.10	86.91	22.029	86.89	87.06	50.35	52.11
12	90.11	86.92	22.035	86.90	87.07	50.34	52.10
13	90.11	86.92	22.033	86.90	87.06	50.33	52.09
14	90.10	86.90	22.036	86.90	87.08	50.32	52.08
15	90.10	86.92	22.029	86.90	87.06	50.31	52.07
X	90.100	86.922	22.034	86.901	87.066	50.307	52.093
max	90.110	86.930	22.039	86.910	87.080	50.350	52.140
min	90.090	86.900	22.029	86.890	87.050	50.250	52.050
R	0.020	0.030	0.010	0.020	0.030	0.100	0.090
σ	0.0085	0.0086	0.0032	0.0059	0.0106	0.0309	0.0258
Cp	0.79	0.97	1.09	0.56	0.79	1.08	0.97
k	0.00	0.12	0.31	0.07	0.36	0.07	0.24
Cpk	0.79	0.85	0.75	0.52	0.51	1.01	0.73

ワークNO.	同軸度	真円度
ワークNO.1	10.8 μm	15.2 μm
ワークNO.2	17.7 μm	21.4 μm
ワークNO.3	23.9 μm	28.8 μm
ワークNO.4	23.9 μm	28.8 μm
ワークNO.5	23.9 μm	28.8 μm
ワークNO.6	23.9 μm	28.8 μm

図 28：Cpk 及び真円度測定データ

第2年度までの研究開発により（溝加工）前に要求される製品公差真円度 $\phi 0.03$ 、同軸度 $\phi 0.05$ 直角度 0.05 を満足させる高精度絞り加工手法の明確化は達成したが、具体的な事業化に向けさらなる内径寸法精度を担保する絞り技術確立の指標としての、円筒側面板厚の分布制御を実施した。

内径カム加工の前提条件として被加工材（前加工品）の外側に位置するダイスにより製品外径の材料流動を促すため、ダイスと接触する部位の材料板厚や形状に差異があると、想定した材料流動量にならず当然に意図した製品R形状を確保できず、ワーク内径に歪があった場合と同様に 360° 全周の同時加圧接触タイミングにバラツキが生じ、その結果として発生する成形不良を防止するためである。

●具体的な目標値

- A点（底面からの距離 30mm） 板厚 $2.80 +0/-0.05$
- B点（底面からの距離 50mm） 板厚 $2.80 +0/-0.05$
- B点（底面からの距離 80mm） 板厚 $2.80 +0.03/-0.02$

として、試作検証を実施し試作品を完成させた。（図29）

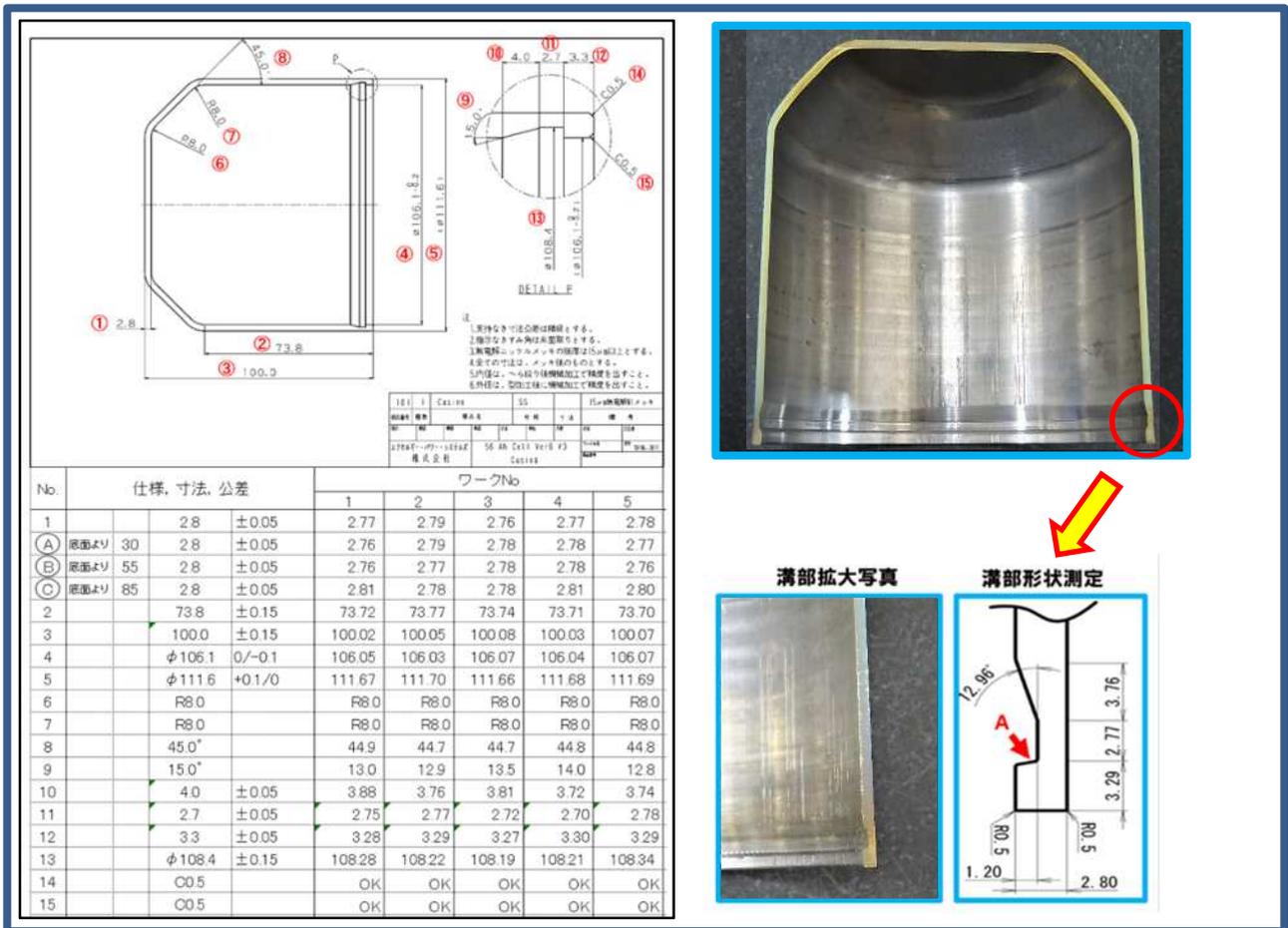


図29：Cpk及び真円度測定データ

上記テーマの課題解決により、今後の事業化展開時に最も重要視される量産性能について、「精度維持向上」「加工時間の短縮」「価格低減」という本事業の目標を達成した。（図30）

項目	現行技術		新開発目標		実績	
		切削加工		プレス加工		プレス加工
精度	○	±0.05以下	±0.05以下	○	±0.05以下	
加工時間	×	60秒/1個	3秒/1個	○	2.5秒/1個	
価格	×	高い	切削品の1/10	○	切削品の1/10以下	

図 30：開発技術目標と成果評価表

2-3 事業化への対応

(1) 補助事業の成果が寄与すると想定しているユーザー

①再生可能エネルギー用の水素蓄電池による次世代エネルギーシステムを開発・製造・提供する会社で大型蓄電システムによる鉄道回生エネルギーシステムや港湾施設の省エネ実証プロジェクトを経済産業省（NEDO）や環境省の支援での実証を行っている。将来の再生可能エネルギー平準化の市場規模は今後20年間で70兆円を超えると予想されている期待度の高い事業であり、当社は補助事業で開発したプレス工法による水素蓄電池ケース生産用金型を供給する予定である。

しかし、事業化に至るまでにはシステムそのものの錬成が必要であり、ケースの形状も複数の案からの絞り込みと試作検証を経て量産形状が確定するため、まだ立ち上げまでには複数年の時間を要する見込みである。

②東日本でも有数のスタンピングメーカーである群馬県の会社より車載モーターケース量産金型の製作打診があり、その内径加工に本事業で開発したプレスカム凹溝工法の適用を検討中である。既存工法との比較では大きなコストメリットがあるが、内径の凹溝が2条必要で尚且つその公差も厳しく、事業化までには複数年の継続開発が必要となる見込みである。

③大阪府の産業用ドラム缶口金製造メーカーより、口金キャップの内径ねじ山加工を現行の切削加工を廃止して、プレス加工で成形する金型を2025年までの開発期間をかけて技術確立したいとの打診があった。

プレスによる内径ねじ山成形は工法的に初年度事業計画にもある通り内径Oリング用凹溝成形工法の延長上にあるステップアップ技術であり、大きなマーケットが存在する事からも積極的に開発を進める予定だが、技術的には非常に難易度の高い開発案件である。

●事業化に至るまでのスケジュール						
スケジュール	事業年度	平成 31 年度	平成 32 年度	平成 33 年度	平成 34 年度	平成 35 年度
	サンプルの出荷・評価	→		研究後も継続		
	追加研究	→				
	設備投資		→		生産力強化	
	製品等の生産		→			
	製品等の販売		→			
	特許出願		(周辺特許出願)			
	出願公開	(公開済)				
	特許権設定			→		
	ライセンス付与	(未定)				
売上見込	売上高 (千円)			46,000	184,000	230,000
	販売数量			2 型	8 型	10 型
	売上高の根拠	<p>試作金型単価 3,000 千円、試作後の量産金型を 20,000 千円とし、1 案件当たりの受注価格を 23,000 千円と設定 (前工程用の金型含む)。現在打診されている具体的なテーマを基に量産金型を製作し事業期間終了後も継続的な受注を目指す。終了後初年度は、まず 1 件の案件受注を目標とする。</p> <p>開発技術を搭載した金型によるプレス量産加工では現行切削加工費対比で製品 1 台当り約 1/10 のコスト改善になる見込みである。</p>				

(2) 補助事業の成果に係る知的財産権等について

◎知的財産権の出願及び取得

本事業の加工手法に関する基本工法は特許出願・審査請求済であったが (特願 2016-080180 号)、平成 30 年 8 月に拒絶理由通知書を受領した。通知理由を吟味した所、引用文献に開示された発明特許事項との相違は明らかであるが、知財権の取得については異議申立てをすぐに行わず、今後の事業化の進捗を加味しながら川下ユーザーと合議の上でより具体的な請求項を追加した上での再出願を予定している。

最終章 全体総括

本事業では、これまでの「モーターケースや空圧・油圧容器に多用される円筒部品はプレス機による絞り加工で製作されているが、その内径へのOリング溝等の加工については別工程で切削加工を施す必要がある」製造技術をプレス工程のみで完結させる新工法の開発を行った。

開発条件としては新規導入には大きな投資が必要となるサーボプレス等のハイエンド機を必要とせず、中小企業が保有している一般的な汎用プレス機械に開発した金型を搭載するだけで、高精度製品加工を可能にし、その結果として高性能専用機を多数設備している大手メーカーに負けないコスト競争力の普遍化を達成するというものであった。

中小メーカーの構成比が圧倒的に高いプレス業界には加工時間・加工コスト共に削減できる新工法開発へのニーズが強く存在していた事が開発に着手した一番の理由である。

また、補助事業遂行中に川下ユーザーより新たに開示された再生可能エネルギー備蓄用「水素蓄電池ケース」の量産製品試作に向けた技術課題を解決する事により、事業化展開に直結した金型開発の速度向上と技術の高度化を達成した。

この成果により、次年度以降の事業化に向けた大きな足場技術（・製品精度の担保・コストパフォーマンス・大量生産対応）を構築できた。