

平成24年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「プレス金型用次世代アンダーカット成形技術の開発」

研究開発成果等報告書

平成25年 3月

委託者 中国経済産業局

委託先 公益財団法人ひろしま産業振興機

## 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
1-1-1	研究開発の背景・研究目的	1
1-1-2	研究開発の要旨	4
1-1-3	研究開発の目標	4
1-2	研究体制	5
1-2-1	研究組織	5
1-2-2	他からの指導・協力者	6
1-3	成果の概要	7
1-4	当該研究開発の連絡窓口	8

### 第2章 本論

2-1	機構の構造解析	9
2-1-1	新機構の機構運動特性の解明	9
2-1-2	成形品寸法公差の確保	11
2-2	耐久性の確保	14
2-2-1	C A E 解析	14
2-2-2	耐久試験 1	15
2-2-3	応力解析	20
2-2-4	耐久試験 2	22
2-3	まとめ	26

### 第3章 総括

3-1	過去三年間における本研究の成果	27
3-1-1	研究目標達成状況	27
3-1-2	研究成果	28
3-2	事業化に向けた構想	29

# 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・研究目的

#### (1) 研究開発の背景

近年、自動車および家電製品等の工業製品には、機能の高度化、デザインの多様化が求められており、それにともないこれらの工業製品の構成部品の多くを占めるプラスチック射出成形品およびプレス成形品に対し、それらの成形品が担う機能の高度化および形状デザインの自由度の拡大が求められている。

しかし、プラスチック射出成形金型およびプレス金型では、それらの金型構造の機構特性が制約となって、それぞれ、図 1-1 のようなアンダーカット形状を有する成形品に対しては、従来、成形が不可能であった。

※ アンダーカット

プレス成形や樹脂射出成形などにおいて、金型で成形が完了した後、金型を開いて成形品を金型から取り出す際に、成形品が金型の一部に引っ掛かって取り出すのに支障となる金型または成形品の当該支障部分。

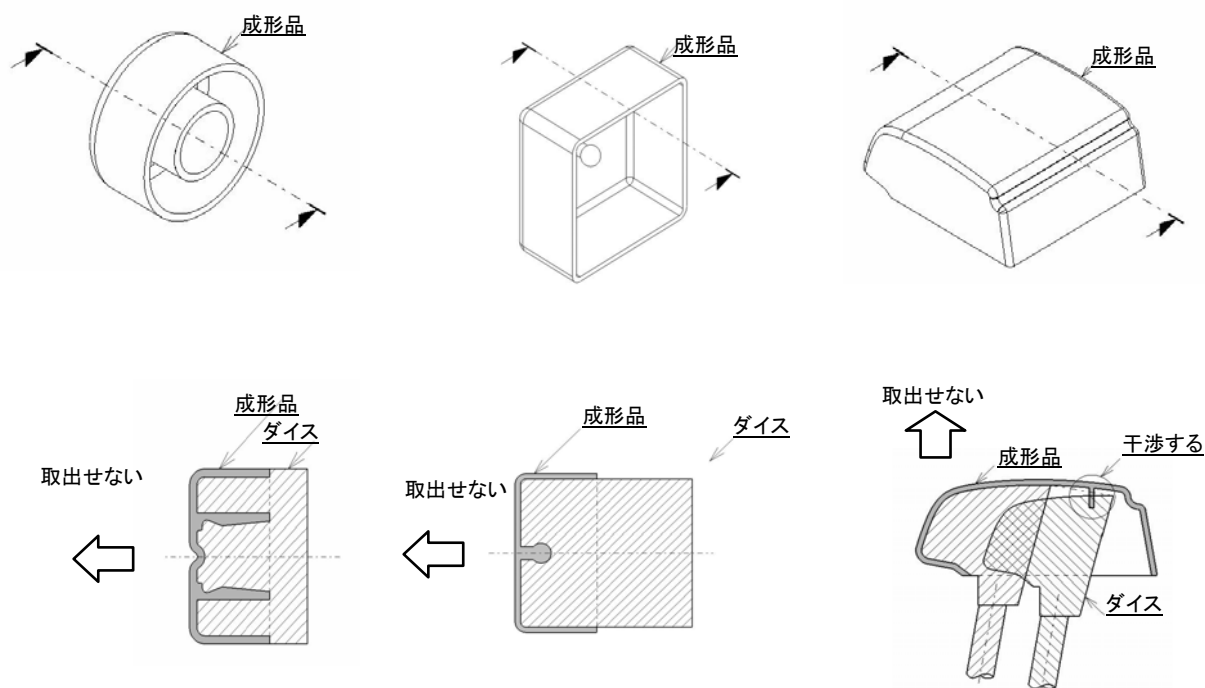


図 1-1. これまで成形不可能であったプラスチック射出成形品（例）

プラスチック射出成形については、この成形を可能にする機構の考案（特許第4096064号「アンダーカット処理機構」）に基づく実用化研究（平成18年度中小企業・ベンチャー挑戦支援事業のうち実用化研究開発対象事業として採択）の結果、図1-2の機構の実用化に成功し、アンダーカット形状を有するプラスチック射出成形品の成形を可能（金型から取り出せるよう）にした。なお、当該機構は、機構全体をユニット装置として工業製品化し、信頼ある商品（「すっぽん」/「SUPPON」 国内/外商標登録済）として、従来は成形不可能であったプラスチック射出成形品形状の成形可能化の需要に応じてきており、国内外市場での採用実績が増加している。

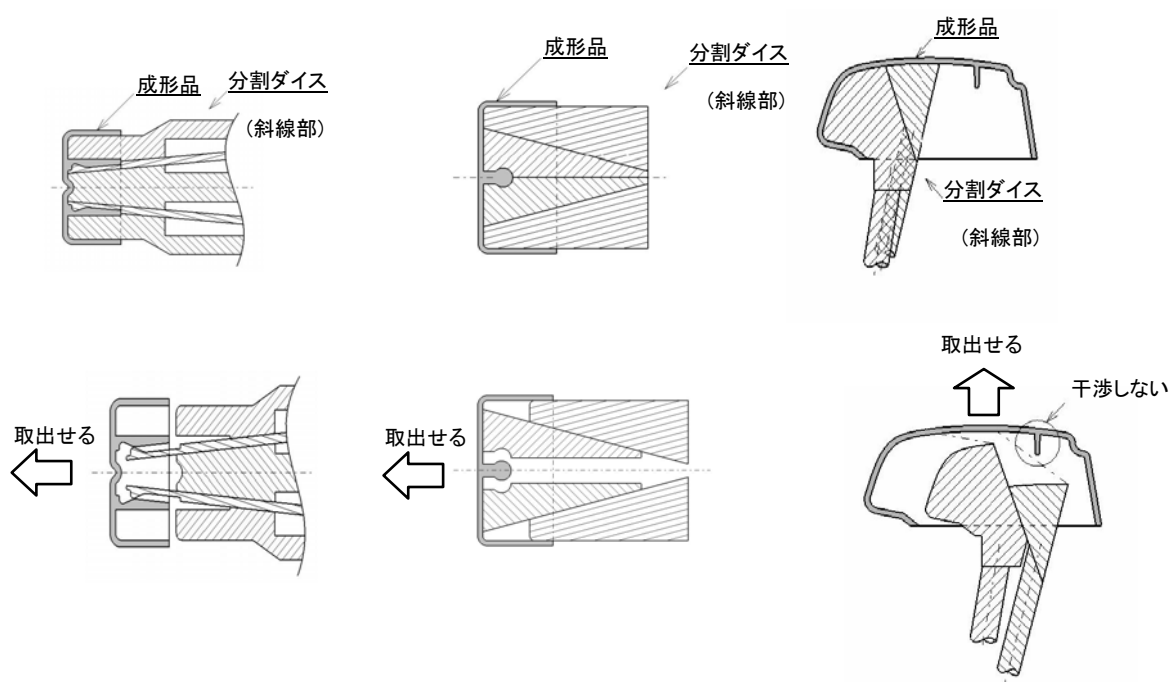


図 1-2. プラスチック射出成形品のアンダーカット処理機構

## (2) 研究の目的

プレス成形加工において、成形不可能なアンダーカット形状を有する製品を、その機能・デザインを損なうことなく一体成形できる技術を開発する。当技術は、樹脂射出成形金型用に開発・実用化した成形技術を、衝撃負荷が厳しいプレス金型用に高度化した技術であり、プレス金型の設計自由度、プレス製品のデザイン自由度が格段に向上する。

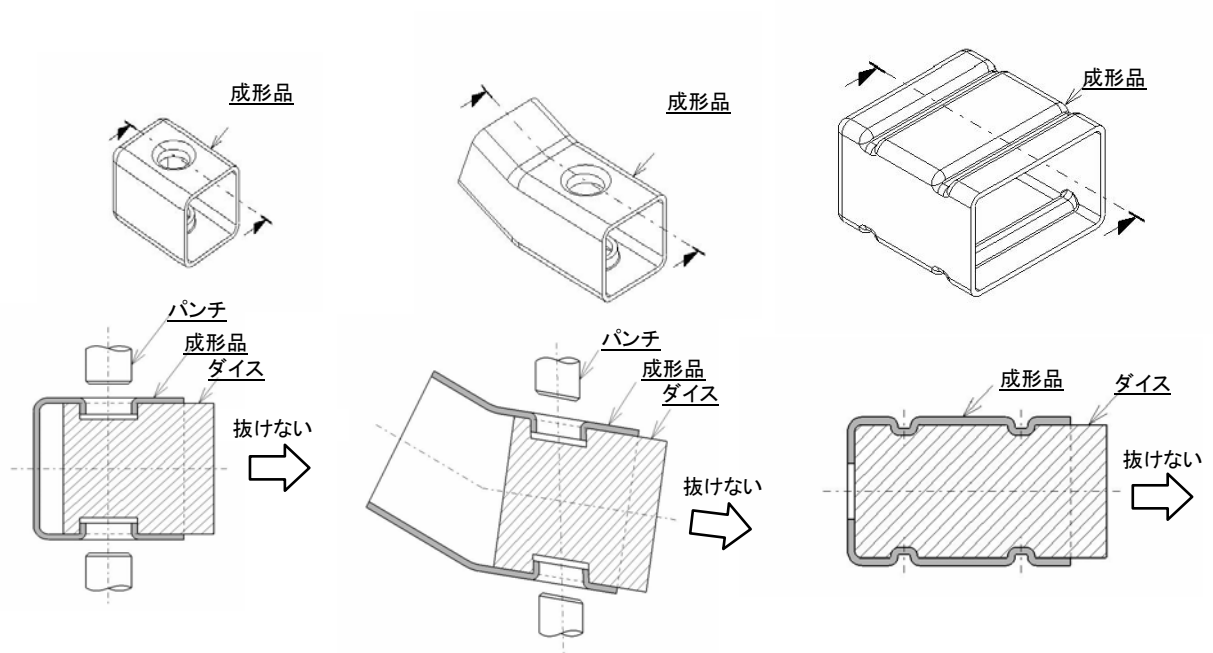


図 1-3. これまで成形不可能であったプレス成形品（例）

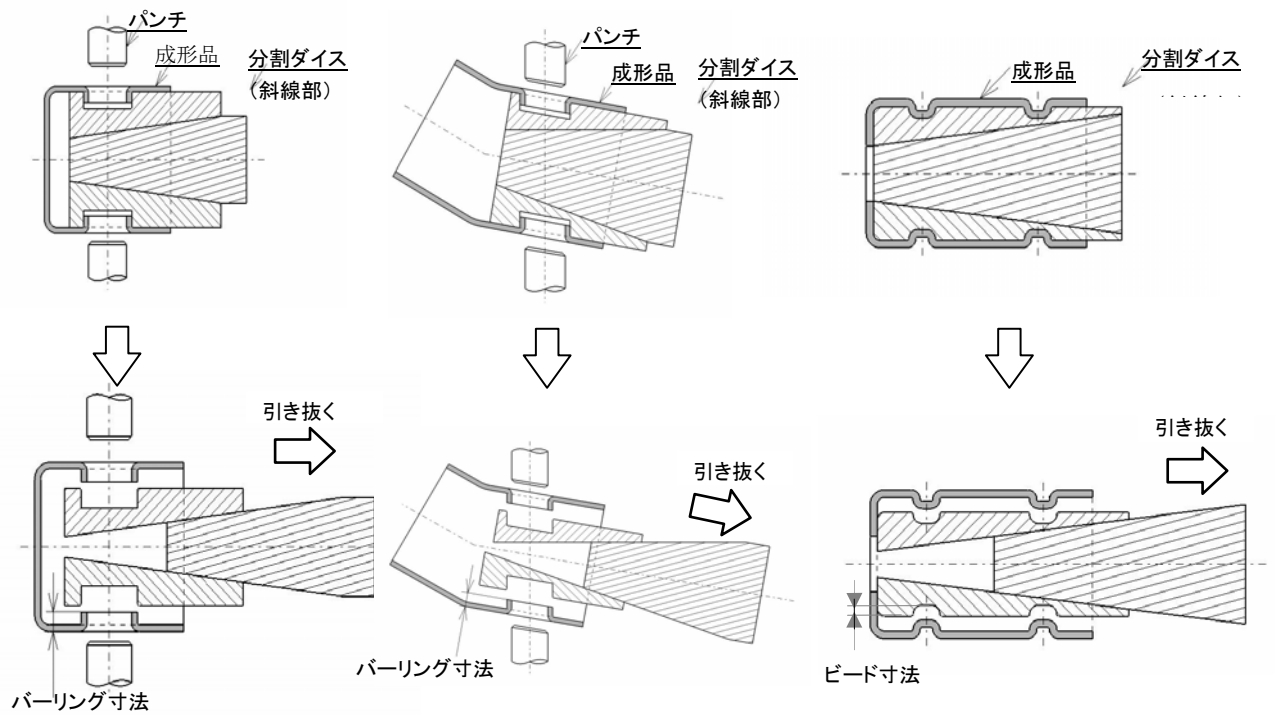


図 1-4. プレス成形品のアンダーカット処理機構（例）

### 1-1-2 研究開発の要旨

従来、実現不可能、または実現するために多数の工程が必要であったプレス金型成形品の形状を一体成形可能とするべく、株式会社テクノクラーツが保有する“プラスチック射出成形金型に関する特許“にもとづく新機構を、後工程の削減や成形品性能の向上を視野に入れ、本研究において開発することを目標とする。

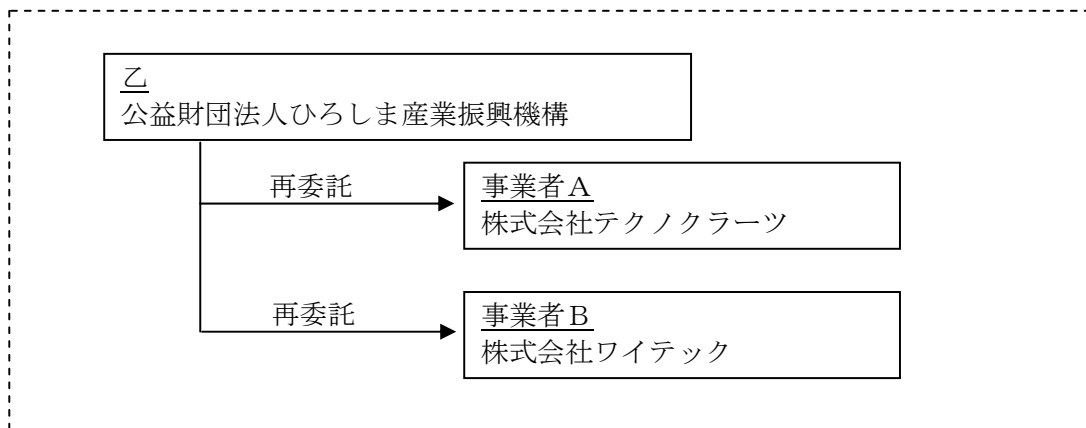
研究開発の対象であるプレス成形新機構を成立させる技術的要素について、CAE 解析と試作実験結果との整合度を極限まで高めたデータをデータベース化する手法を育成し、そのデータベースを、「川下製造業者等の抱える課題および要請」に対応した、従来は成形不可能であったプレス成形品に汎用的に適用できるほど高度化したプレス金型成形技術を確立する。これにより、当該技術を具現化する機構を、プレス金型に汎用的に利用できる設計基準を構築する。

### 1-1-3 研究開発の目標

- 機構運動における自発的摺動抵抗生成メカニズムを、CAE 解析により解明する。
- プレス受圧時の構成部品の変形・挙動が成形品の寸法公差確保の妨げにならない新機構の機械的設計諸元の最適特定化を CAE 解析にて行う。成形品寸法公差として、 $\pm 0.05\text{mm}$  を目標とする。
- 成形耐久能力として、プレス金型成形の市場要請である 50 万回耐久試験に耐えることを目標とする。

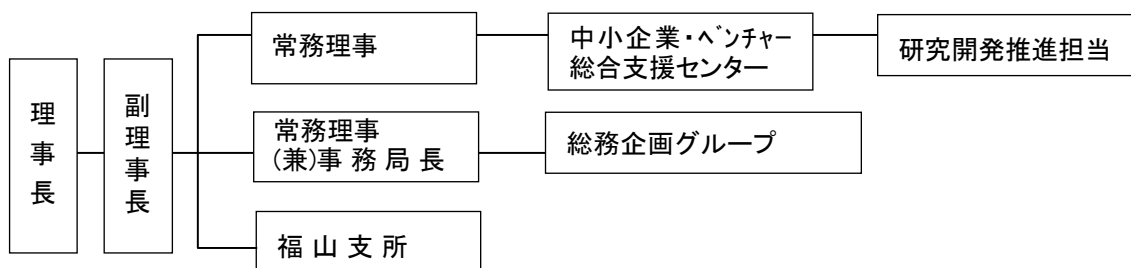
## 1-2 研究体制

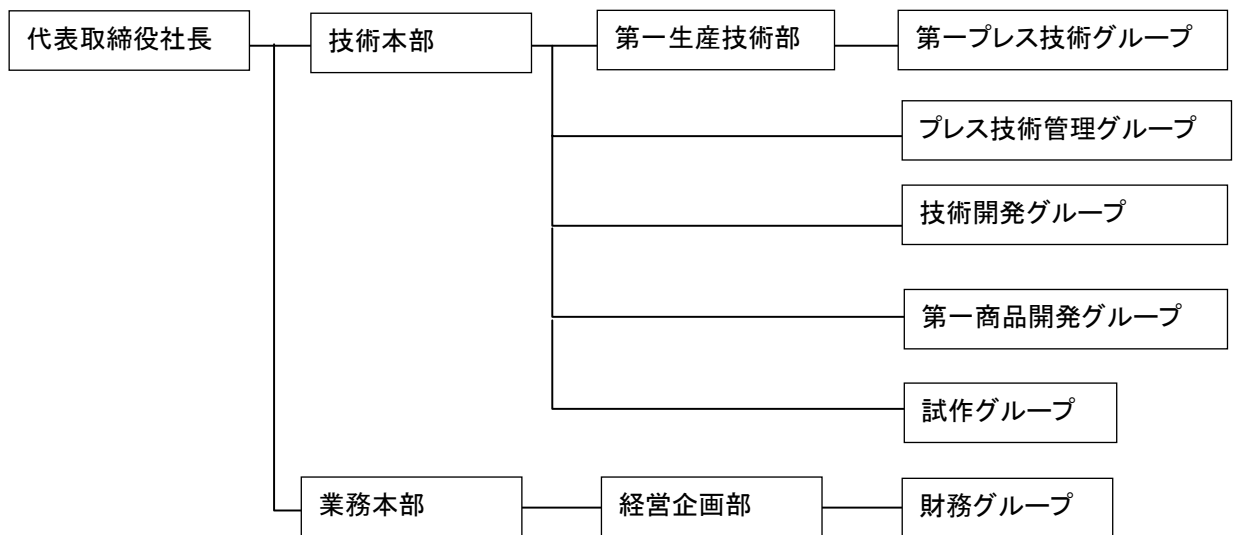
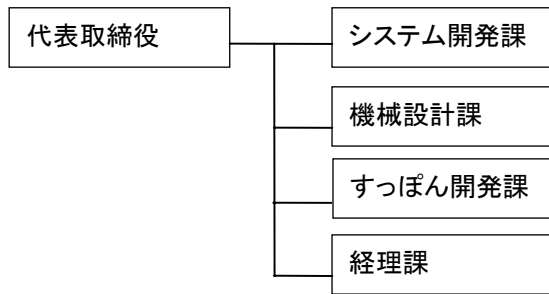
### 1-2-1 研究組織



**総括研究代表者 (PL)**  
株式会社テクノクラーツ  
代表取締役  
反本 正典

**副総括研究代表者 (SL)**  
株式会社テクノクラーツ  
主任研究員  
西本 大祐





1-2-2 他からの指導・協力者

氏名	所属・役職	備考
倉本 英哲	公益財団法人 広島市産業振興センター	アドバイザー



### 1-3 成果の概要

平成 22 年度および平成 23 年度の研究開発にて、50 万回のプレス成形に耐え得ると想定された新機構の試作機を製作し、プレス成形試験を実施した。その結果、懸念された本試作機特有の傾斜構造が、バーリングの内径精度に影響することなく、市場要求のバーリング内径寸法公差内にて成形できることが実証された。

平成 24 年度は、過去 2 年間までの解析により設計された試作機において、50 万回耐久試験を実施したが、目標を達成する前に割れ・欠けが発生してしまった。

しかし、実地試験における荷重の影響、試験片の観察、および応力解析からのアプローチにより、構成要素および形状の修正した新型試作機において 50 万回耐久性能を実証することができた。

また、応力解析においては、本試作機単体の解析にとどまっているため、今後も形状変更に追従できる解析手法の確認も継続する。



図 1-5 耐久試験機

#### 1-4 当該研究開発の連絡窓口

##### 【事業管理機関】

〒730-0052 広島県広島市中区千田町3丁目7-47

公益財団法人ひろしま産業振興機構

中小企業・ベンチャー総合支援センター 研究開発推進担当 課長 前原 裕之

TEL : 082-240-7712 FAX : 082-504-7317

(E-mail [h-maehara@hiwave.or.jp](mailto:h-maehara@hiwave.or.jp))

##### 【研究実施機関】

〒732-0824 広島県広島市南区的場町一丁目5-5

株式会社テクノクラーツ 主任研究員 西本 大祐

TEL : 082-264-1010 FAX : 082-264-1071

(E-mail [nishimoto@technocrats.co.jp](mailto:nishimoto@technocrats.co.jp))

## 第2章 本論

### 2-1 機構の構造解析

#### 2-1-1 新機構の機構運動特性の解明

機構を構成する部品を機械要素にモデル化した CAE(※4)による解析を手段として、機構全体における機構解析を行うことにより、成形運動を司る機構運動（中央ダイスの抜き差し運動が、その抜き差し方向に交差するガイド方向の摺動運動を生じさせる、上・下型の平行移動の連携動作）における機構の自発的摺動抵抗生成メカニズムを解明することでその要因を追求した。

#### 1) 機構構成部品のモデル化

蟻溝タイプ、丸ピンタイプの2種類の試作機について、バーリング成形を施す加工材の形状をベースとしたモデリングを行い、各タイプにおける構成部品へ図2-1、図2-2に示す条件を与え、機構解析を行った。

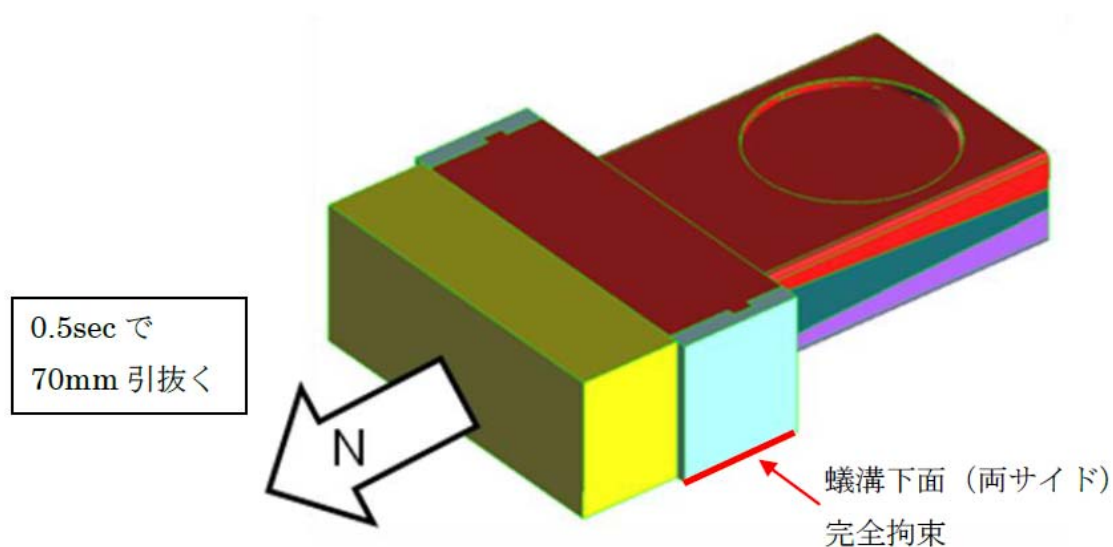


図2-1 蟻溝タイプの解析条件

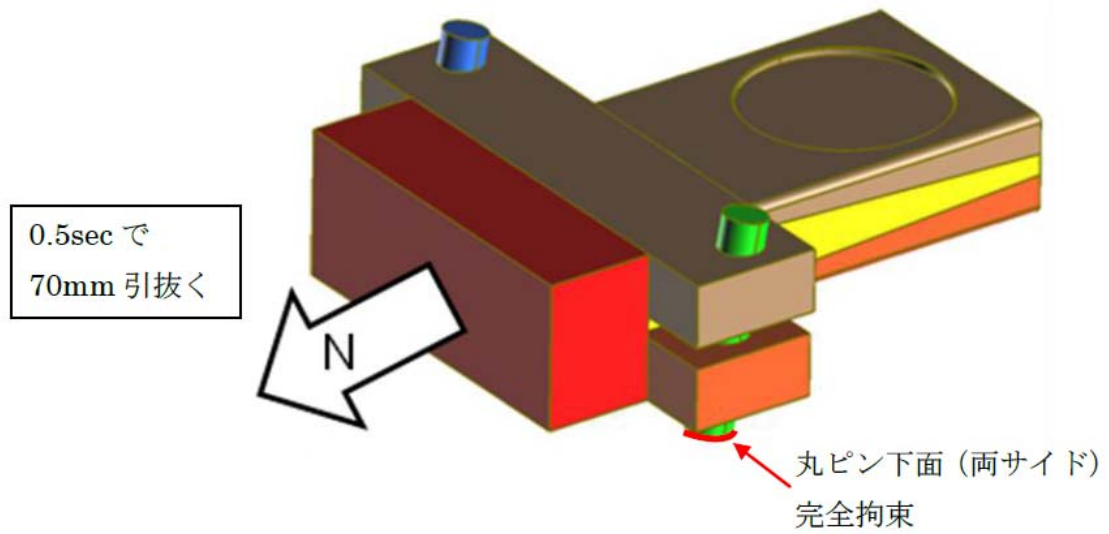


図2-2 丸ピンタイプの解析条件

2) 摺動性評価 (蟻溝、丸ピン)

蟻溝タイプおよび丸ピンタイプの試作機(バーリング径 $\Phi 91$ 、機構傾斜角度 $10^\circ$ )に対し、解析時間 1.0sec、重力加速度  $9.80665\text{m/s}^2$  (バーリング成形パンチ圧入方向) という条件の下でそれぞれ機構解析を実施し、結果の重ね合わせを行ったものを図 2-3 に示す。

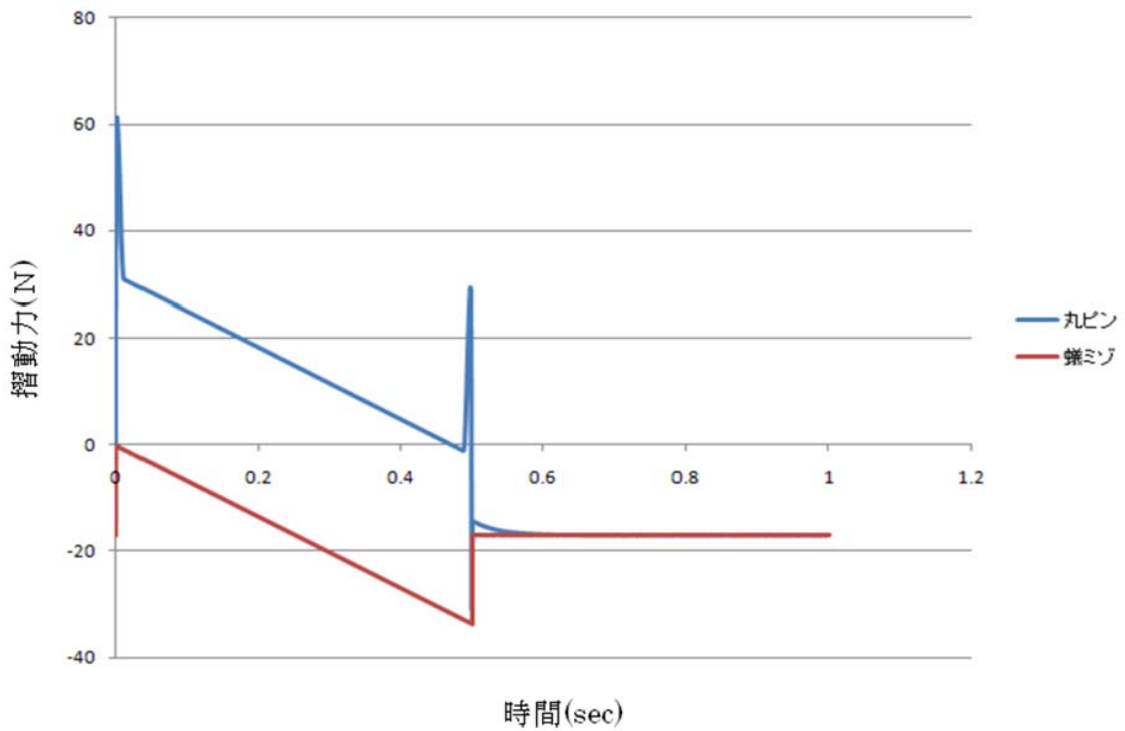


図 2-3 反力比較

図 2-3 より、蟻溝タイプの方が丸ピンタイプよりも 31.9N 小さな力で引抜く事が可能である。同等条件機械要素の割当によるガイドタイプの違いにおいて、丸ピンタイプは摺動抵抗を構造が自発的に発生させていると考えられる。これらの結果より、蟻溝タイプの構造が摺動性において優れていると判断し、以降の解析および試験において蟻溝タイプを採用した。

#### 2-1-2 成形品寸法公差の確保

成形性解析評価の手法として、バーリング径の直径方向におけるノードとバーリング径の中心との半径距離を確認する。メッシュ作成時に 1 軸上に並んだノードの番号を元にバーリング成形後の各ノードの変位量を算出し、成形性についての検討を行った。成形性評価方法としては、 $\pm 0.025\text{mm}$  以内であるか確認することで評価を行った。成形性評価の結果について以降の図 2-4、表 2-1 に示す。

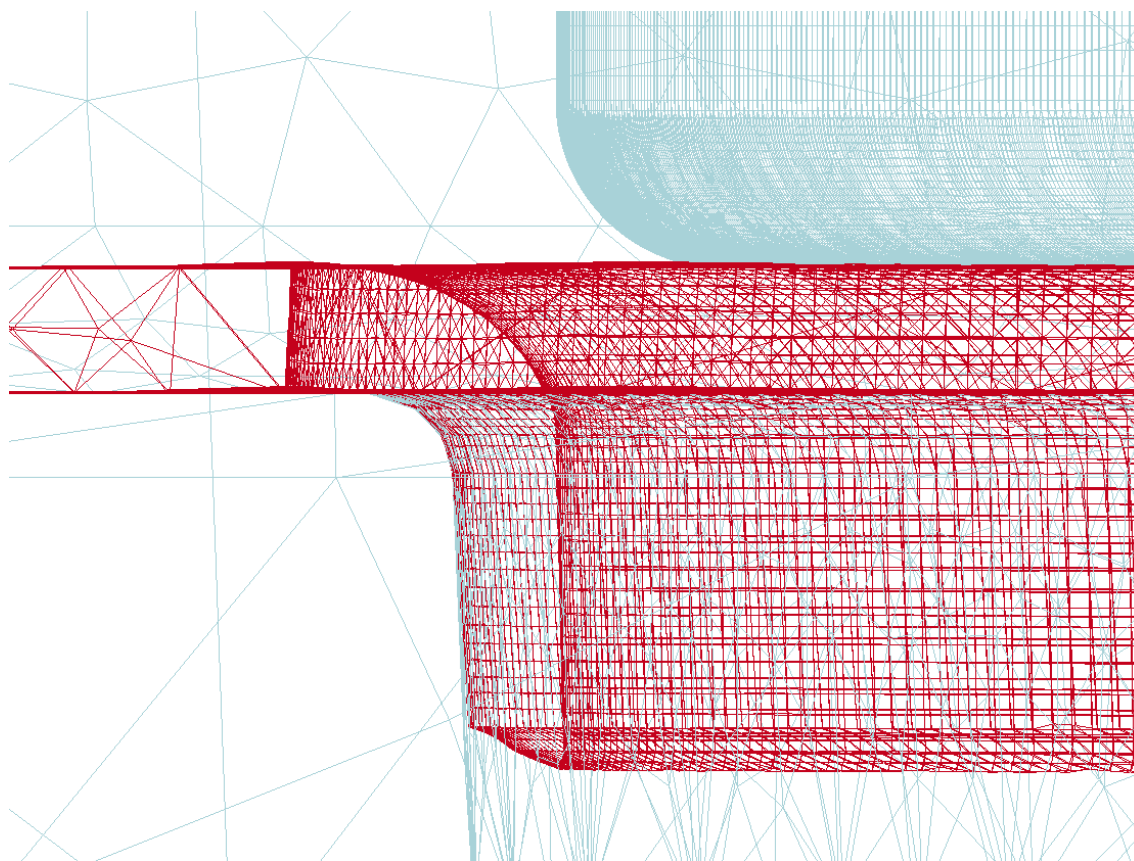


図 2-4 傾斜 $0^\circ$  タイプ(成形状態)

図 2-4 から、被加工材がバーリング成形パンチと試作機上型との間でしごき加工され、バーリングが施されたと判断できる。本研究における目標値として挙げている「成形品寸法 $\pm 0.05\text{mm}$ 」についてはバーリング成形部の内 1.2mm 間で目標を達成している。

表 2-1 傾斜 0° (成形性評価)

	付根側		先端側	
	中心からの距離	45.5 との差	中心からの距離	45.5 との差
Node 1	48.458	2.958	48.445	2.945
Node 2	48.240	2.740	48.221	2.721
Node 3	48.026	2.526	48.003	2.503
Node 4	47.798	2.298	47.775	2.275
Node 5	47.567	2.067	47.551	2.051
Node 6	47.331	1.831	47.312	1.812
Node 7	47.088	1.588	47.073	1.573
Node 8	46.838	1.338	46.829	1.329
Node 9	46.575	1.075	46.573	1.073
Node 10	46.323	0.823	46.325	0.825
Node 11	46.099	0.599	46.099	0.599
Node 12	45.898	0.398	45.908	0.408
Node 13	45.743	0.243	45.743	0.243
Node 14	45.608	0.108	45.615	0.115
Node 15	45.520	0.020	45.521	0.021
Node 16	45.491	-0.009	45.494	-0.006
Node 17	45.488	-0.012	45.489	-0.011
Node 18	45.483	-0.017	45.486	-0.014
Node 19	45.480	-0.020	45.481	-0.019
Node 20	45.472	-0.028	45.473	-0.027
Node 21	45.463	-0.037	45.463	-0.037
Node 22	45.456	-0.044	45.457	-0.043
Node 23	45.449	-0.051	45.449	-0.051
Node 24	45.443	-0.057	45.443	-0.057
Node 25	45.437	-0.063	45.436	-0.064
Node 26	45.430	-0.070	45.430	-0.070
Node 27	45.422	-0.078	45.421	-0.079
Node 28	45.409	-0.091	45.410	-0.090
Node 29	45.406	-0.094	45.404	-0.096
Node 30	45.463	-0.037	45.456	-0.044

本解析で用いた 3D モデルと同形状の試作機を製作し、プレス成形加工試験を実施した。加工品を図 2-5 に示す。





図 2-5 プレス成形加工品

また、バーリング内径を 3次元測定器で計測した結果を表 2-2 に示す。

表 2-2. バーリング径寸法測定結果

○-○-1は表側、○-○-2は裏側  
開口部上面から2.5mm下がった位置で測定

表側					裏側				
サンプル番号	径(mm)	基準値	誤差(μm)	プラン名	サンプル番号	径	基準値	誤差(μm)	プラン名
A-1-1	91.0014	91.0000	1.3670	A-1-1-2-6	A-1-2	91.0406	91.0000	40.5850	A-1-2-2-6
A-2-1	91.0224	91.0000	22.3800		A-2-2	91.0013	91.0000	1.2770	
A-3-1	90.9773	91.0000	-22.7000		A-3-2	90.9837	91.0000	-16.3450	
サンプル番号	径	基準値	誤差(μm)		サンプル番号	径	基準値	誤差(μm)	
B-1-1	88.5429	88.5000	42.9000		B-1-2	88.5016	88.5000	1.6000	
B-2-1	88.5341	88.5000	34.1000		B-2-2	88.5324	88.5000	32.4000	
B-3-1	88.4411	88.5000	-58.9000		B-3-2	88.5291	88.5000	29.1000	
サンプル番号	径	基準値	誤差(μm)	真円度 (mm)	サンプル番号	径	基準値	誤差(μm)	真円度
C-1-1	90.9969	91.0000	-3.1000	0.0229	C-1-2	91.0202	91.0000	20.2000	0.0101
C-2-1	91.0057	91.0000	5.7000	0.0239	C-2-2	91.0175	91.0000	17.5000	0.0193
C-3-1	90.9958	91.0000	-4.2000	0.0308	C-3-2	91.0082	91.0000	8.2000	0.0312
サンプル番号	径	基準値	誤差(μm)	真円度	サンプル番号	径	基準値	誤差(μm)	真円度
D-1-1	88.5136	88.5000	13.6000	0.0163	D-1-2	88.5263	88.5000	26.3000	0.0317
D-2-1	88.5223	88.5000	22.3000	0.0257	D-2-2	88.4760	88.5000	-24.0000	0.1075
D-3-1	88.5257	88.5000	25.7000	0.0210	D-3-2	88.5068	88.5000	6.8000	0.1016

いずれのサンプルにおいても、市場要求精度であり、成形試験の目標値である±0.5 mmを満たしていた。

## 2-2 耐久性の確保

### 2-2-1 CAE解析

FEM 解析手法を用いて、実機試験同等の荷重を付加し、試作機に生じる応力分布を求める。各部位に発生する応力のピークを採り、S-N 線図から推定寿命を求める。50 万回繰返し仕様に対応した疲労限度線図を参照し、解析結果が示す発生応力度を以って、許容応力度について検討を行う。

1) FEM 解析手法による、パンチ衝撃力を受けた際の新機構構成部品の応力分布および塑性変形をシミュレーションし、バーリング成形時における試作機を構成する各部品の受ける最大応力が S-N 線図の 50 万回繰返し動作に対する許容応力度以下の数値であるか確認を行った。

試作機構成部品毎の最大応力発生ノードにおける衝撃解析結果を図 2-6 に示す。

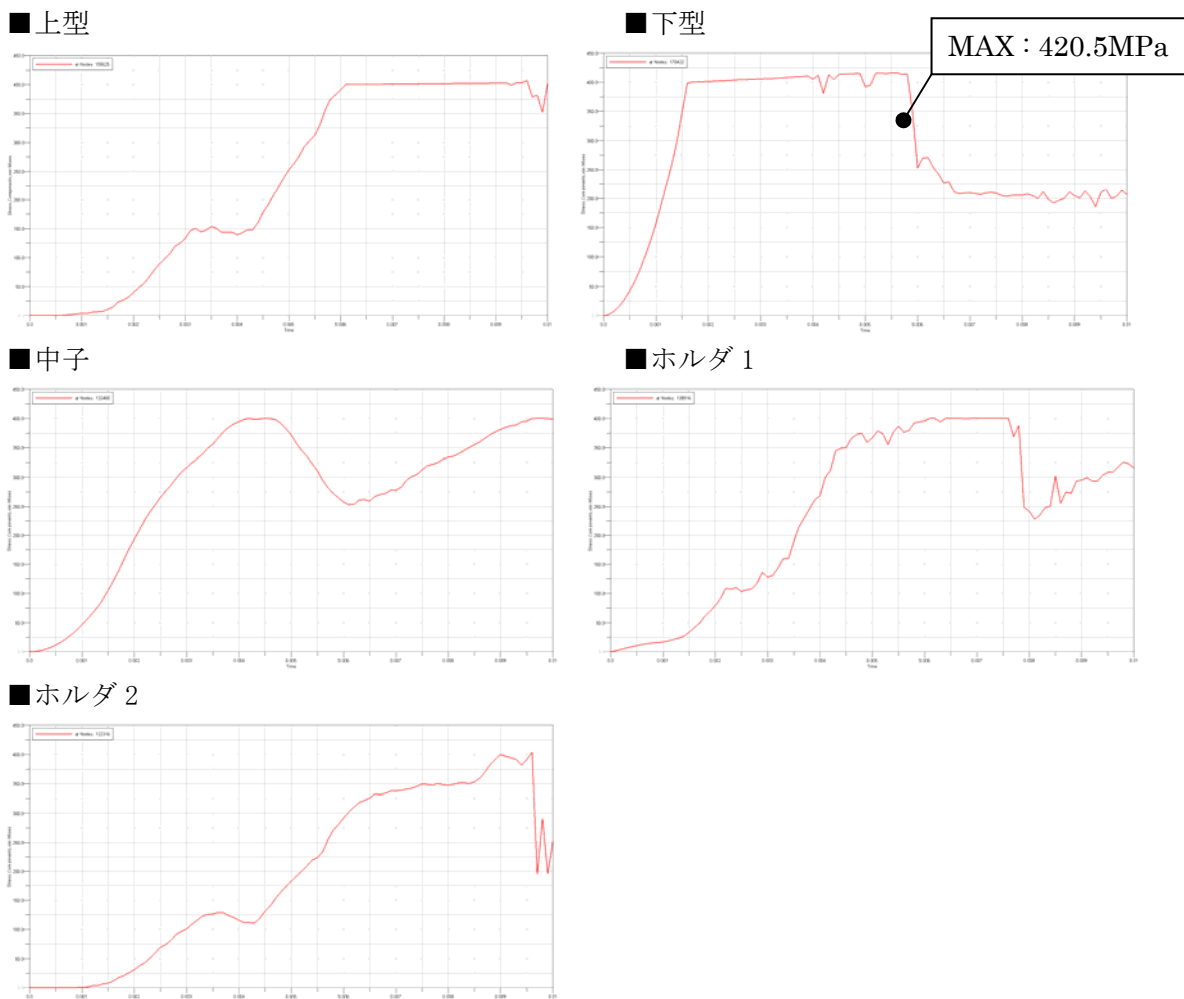


図 2-6 構成部品毎の最大発生応力



当試作機においては5部品中、下型が最大応力値を示し、その数値は420.5MPaであった。

前記最大応力値とS-N線図の50万回疲労限度値とを比較した結果、当該応力値は許容応力以下の値であった。よって、本解析に用いた3Dモデルは繰返し疲労に対する耐性は試作機にあると考えられる。

当解析で用いた3Dモデルと同等の試作機を製作し、プレス成形加工試験を実施し、その試作機に生じる応力値を計測し、以降の繰返し荷重に対する耐久性能評価試験にその値を用いた。

## 2-2-2 耐久試験1

### 【目的】

プレス金型に搭載された試作機への繰返し荷重に対する耐久性能を検証する。

本実験において、プレス成形機による荷重を模擬した耐久試験機を用い、50万回の繰返し荷重を加えても構造上の欠陥(試作機構成部品の割れ・欠け、摺動性の悪化)を生じないか検証することを目的とする。

### 【実験方法】

試験片として、平成23年度のプレス成形試験に用いた試作機と同形状のもの0°タイプ3台、10°タイプ3台を用いる。前記6台の内、3台は耐久性向上のための改良を行った。(改良の詳細は後述)



図 2-7 試作機

本実験は図 2-8 に示す様に、試作機を耐久試験治具に取り付け、同図に示す方向へ疲労試験機 (EHF-UD-100KN 型 (榊島津製作所)) を用いて荷重を繰返し印可する。



図 2-8 耐久試験治具（試作機搭載）

その荷重値は、プレス成形試験にて、試作機に生じるひずみを荷重値設定の根拠とする。

本実験における荷重値は以下の方法で設定した。耐久試験治具に搭載した試作機に、プレス成形試験時と同様の場所・方向にひずみゲージ(KFG-02-120-C1-11L3M3R 株式会社共和電業)を取り付け(図 2-9 参照)、0kN より印加荷重を漸増させ、前記ひずみゲージがプレス成形試験時のひずみと同値を出力した時点の荷重(0° : 12.5kN, 10° : 11kN)を本実験における印加荷重のピーク値とし、4Hz のサイン波として試作機に印加した。

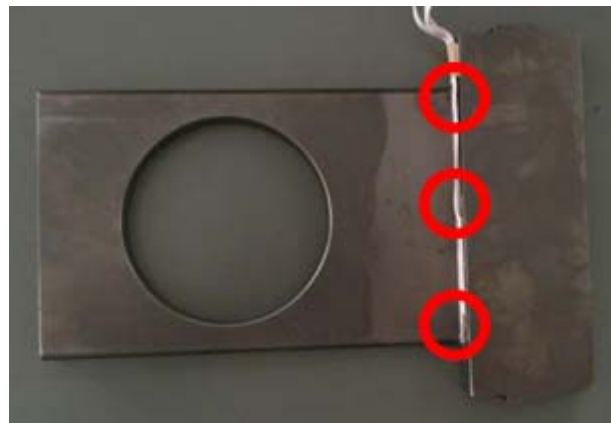
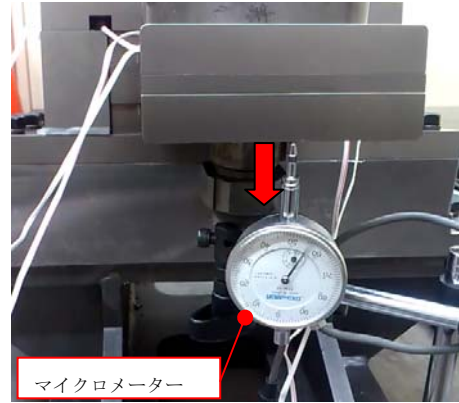


図 2-9 荷重設定用ひずみ測定箇所

また、耐久試験の所定の回数毎に試作機の表面状態を観察し、かつ本試作機中子の引き抜きに要する力(以下、摺動力)をデジタルフォースゲージ(FGPX-500H 日本電産シンボ(株))にて測定した。また、試作機の先端にマイクロメーターを設置し、荷重印加前後における先端部の変位量を測定した(図 2-10 参照)。



試作機側面視



試作機正面視

図 2-10 試作機先端部変位量測定

【実験結果および考察】

耐久試験の結果を表 2-3 に示す。いずれの試験においても目標の 50 万回に到達前に割れ・欠けを生じ、最大  $3229 \mu \epsilon$  の圧縮ひずみが発生していた。摺動試験の結果は図 2-12, 2-13 に示す。

表 2-3 耐久試験結果 No. 1-3

試験 No.	傾斜角タイプ	耐久回数	先端変位量	最大圧縮ひずみ
1	10°	23 万回	1.0mm	2218 $\mu \epsilon$
2	0°	15 万回	1.2mm	3079 $\mu \epsilon$
3	10°	5 万回	1.3mm	3229 $\mu \epsilon$

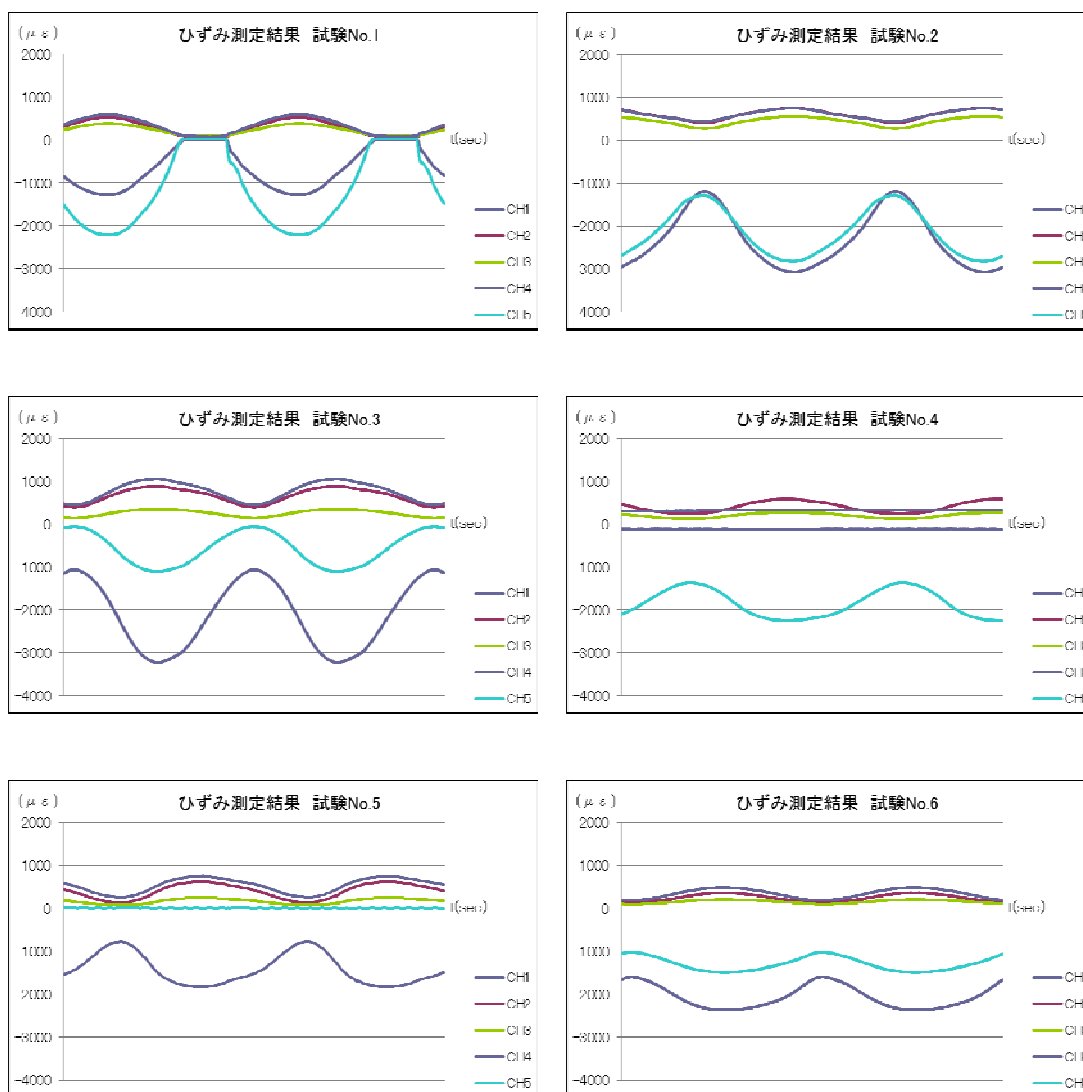
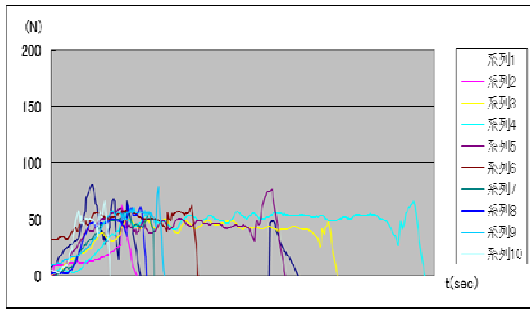


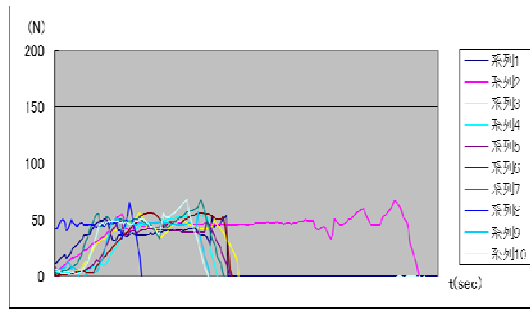
図 2-11 ひずみ測定結果

【摺動性について】

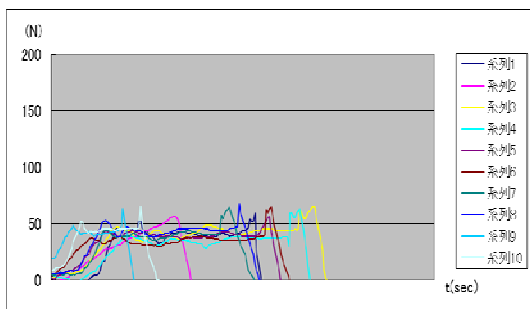
疲労試験機による荷重を繰り返し印可することで、試作機に変形が生じ、その結果摺動性の悪化が懸念されたが、組付け誤差および手動による測定により、試験結果にノイズおよびばらつきがあった。しかし、図 2-12, 2-13 の通り概ね 50~150N で中子を摺動させることができ変形による摺動性の悪化は見られなかった。量産金型への適用時に中子を摺動にエアシリンダを用いることを想定しても十分運用可能である。



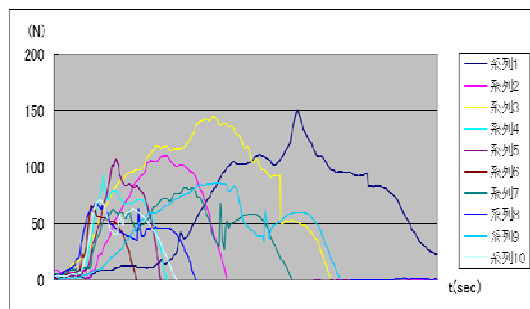
試験 No. 2 耐久試験 5 万回時点



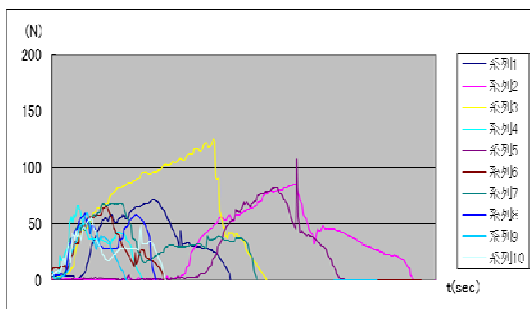
試験 No. 2 耐久試験 15 万回時点



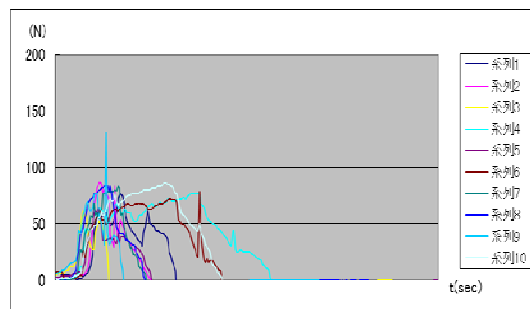
試験 No. 3 耐久試験開始時



試験 No. 4 耐久試験 5 万回時点

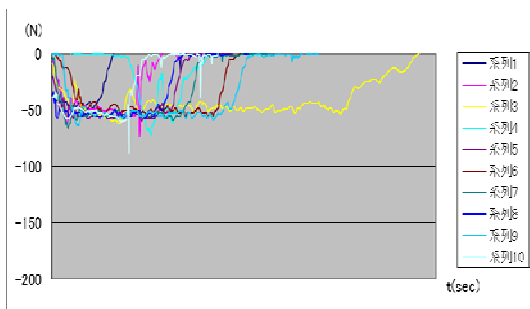


試験 No. 4 耐久試験 10 万回時点

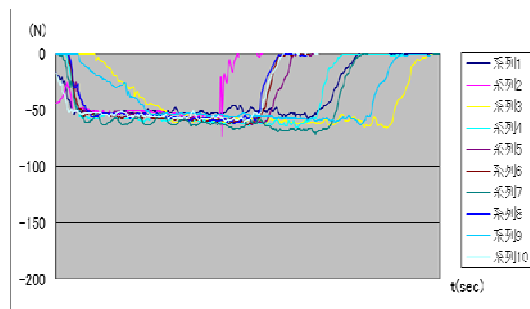


試験 No. 4 耐久試験 15 万回時点

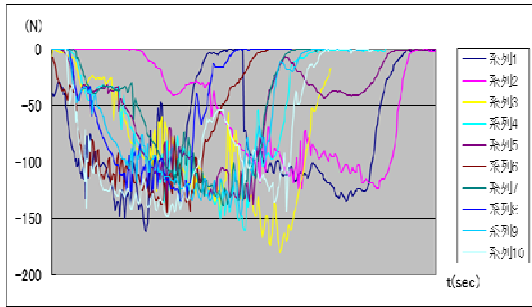
図 2-12 摺動試験(押し込み)結果一覧



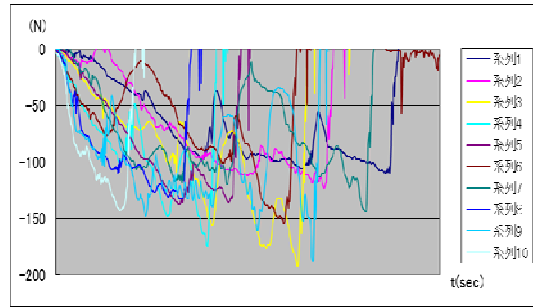
試験 No. 2 耐久試験 5 万回時点



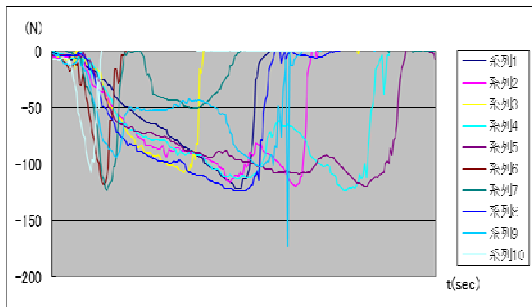
試験 No. 2 耐久試験 15 万回時点



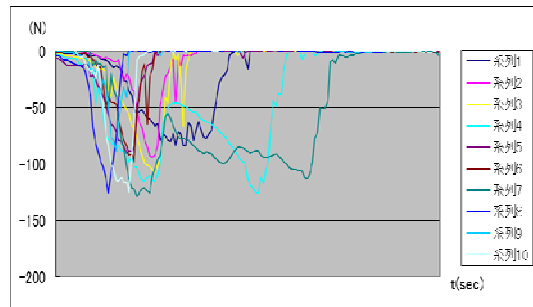
試験 No. 3 耐久試験開始時



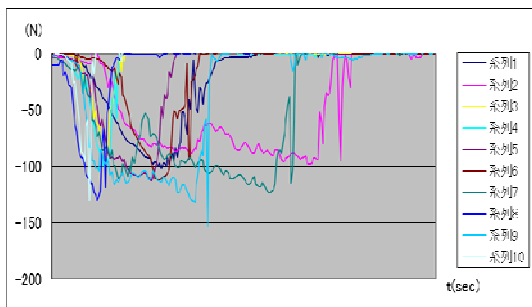
試験 No. 4 耐久試験 5 万回時点



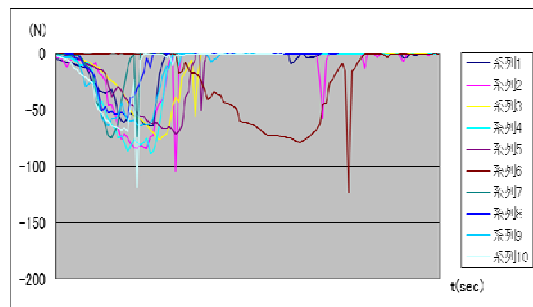
試験 No. 4 耐久試験 10 万回時点



試験 No. 4 耐久試験 15 万回時点



試験 No. 4 耐久試験 20 万回時点



試験 No. 4 耐久試験 25 万回時点

図 2-13 摺動試験(引き抜き)結果一覧

### 2-2-3 応力解析

#### 【目的】

プレス金型に搭載された試作機へ荷重が印加された状態の応力分布と同等の解析結果を示す応力解析手法を育成することとする。

#### 【解析条件】

試作機は、プレス成形試験および耐久試験にて用いる試作機を設計した際の 3D モデルを用いる。また、荷重印加方向および荷重値はプレス成形試験および耐久試験時と揃える。

また、解析時間短縮のため、半割モデルにて解析を実施した。

### 【解析結果】

当初、3枚構成である上型、下型、中子を一体の弾性体として定義し、解析を行ったが、応力分布に偏りを持ち、それぞれを分割した弾性体として、解析モデルを定義し直した。また、クリアランス、および解析開始時点の接触状況により、応力の発生箇所、応力値、および応力分布が変動することが分かった。結果として、耐久試験1にて測定した応力値に相応した信頼度のある解析手法を育成することができた（図2-14、図2-15参照）。

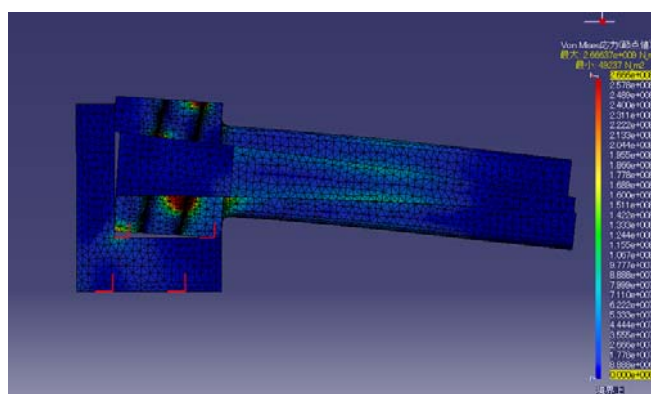


図 2-14 全体モデル応力解析 応力分布

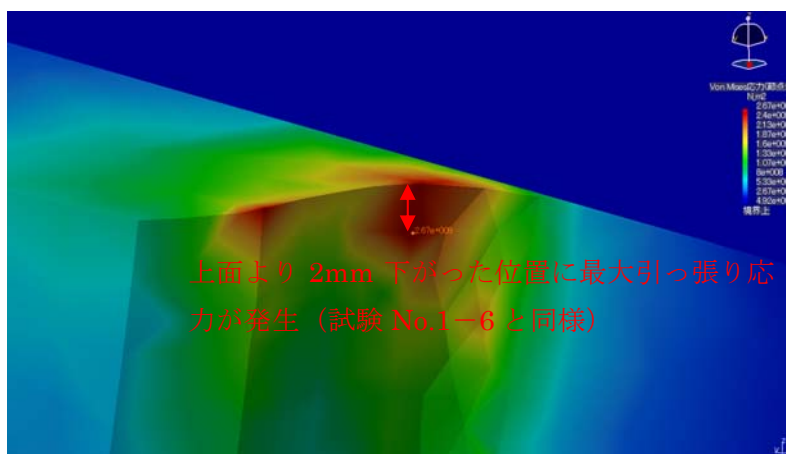


図 2-15 全体モデル応力解析 耳部拡大

#### 2-2-4 耐久試験2

破損した箇所および集中応力を分散する構造を織り込んだ新型試作機（図2-16参照）を製作し、耐久試験を実施した。また、本試験においても、50万回の繰り返し荷重を加えても構造上の欠陥（試作機構成部品の割れ・欠け、摺動性の悪化）を生じないか検証することを目的とする。

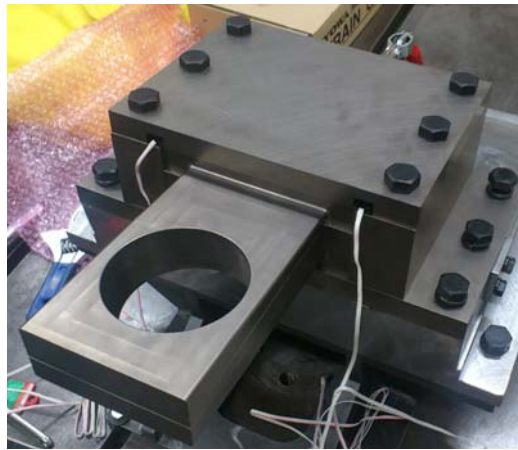


図 2-16 新型試作機

#### 【実験方法】

新型試作機3台を対象に耐久試験（以下 耐久試験2）を行う。耐久試験2は耐久試験1と同様の荷重印加方法、摺動試験方法、先端部変位量測定方法、ひずみ測定方法にて実験する。ただし、試験毎に荷重を変更する。試験No.7においては、耐久試験1と同様の11kN。試験No.8においては、以下により荷重を特定しS-N曲線のプロットを得るべく試験を実施した。

本試作機は、両バーリング用の金型に用いられ、上下からの押し込みにより力はキャンセルされるようになりやすいが、これまでの実験結果および金型の加工精度のばらつきを考慮し、片バーリングでの事象を考慮する。アルミ管材を折り曲げる力を力学的に13kNが試作機に印可されると算出しその概ね2倍である30kNを採用した。

また、試験No.9においては、13kNの概ね3倍の50kNを印加荷重とする。

#### 【実験結果および考察】

耐久試験2の結果を表2-4に示す。試験No.7においては、目標の50万回の繰り返し疲労に達した。試験No.8においては、試験No.1-6と同様に耳部に割れが発生していた。また、試験No.9に関しては、新型試作機本体に割れ・欠けを生じることなく、50万回の疲労耐久試験を終えたが、締結していたボルトが折れる等問題を抱えている。また、耐久試験2にて測定したひずみを図2-17に、摺動試験の結果は図2-18, 2-19に示す。なお、試験No.9の摺動試験は測定不可能であった。



表 2-4 耐久試験 2

試験 No.	傾斜角	耐久回数	先端変位量	最大ひずみ	印加荷重
7	10°	50 万回	0.6mm	2200 $\mu\epsilon$	11kN
8	10°	28 万回	2.1mm	3100 $\mu\epsilon$	30kN
9	10°	50 万回	2.94mm	3200 $\mu\epsilon$	50kN

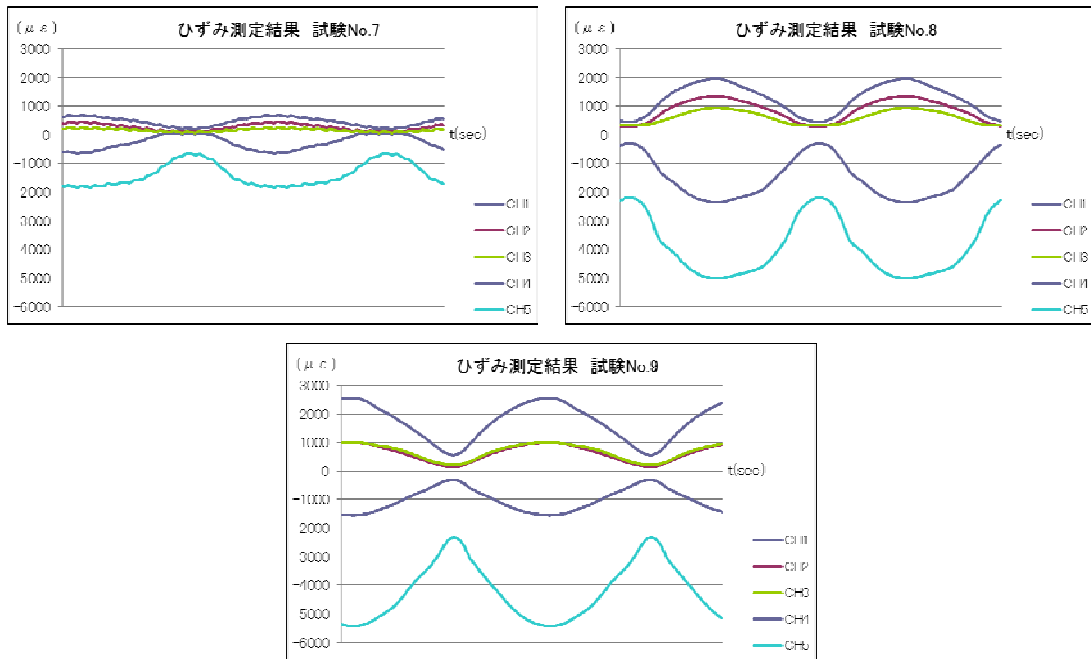
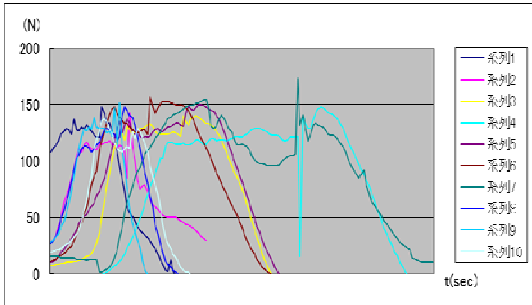
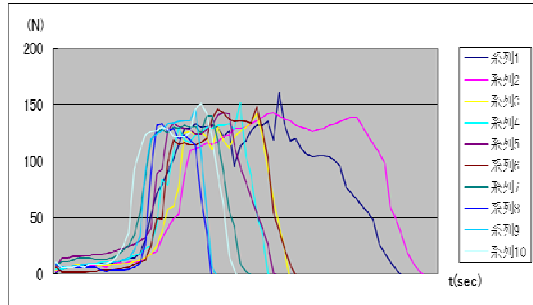


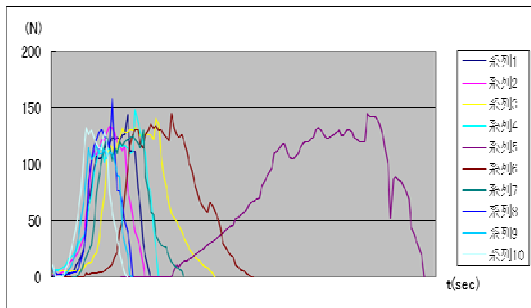
図 2-17 ひずみ測定結果



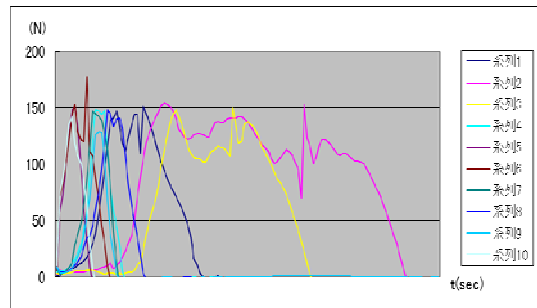
試験 No. 7 耐久試験 5 万回時点



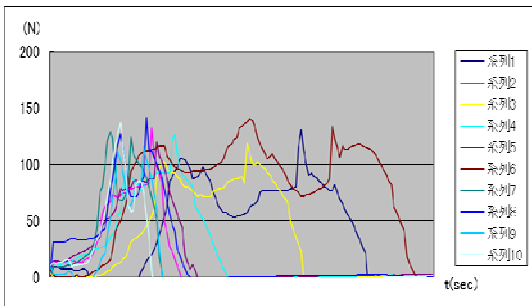
試験 No. 7 耐久試験 20 万回時点



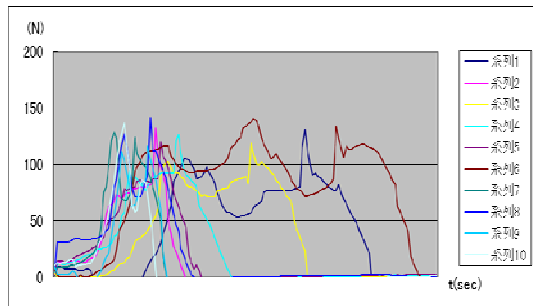
試験 No. 7 耐久試験 50 万回時点



試験 No. 8 耐久試験開始時点

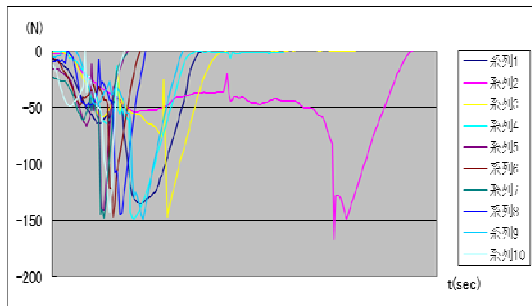


試験 No. 8 耐久試験 30 万回時点

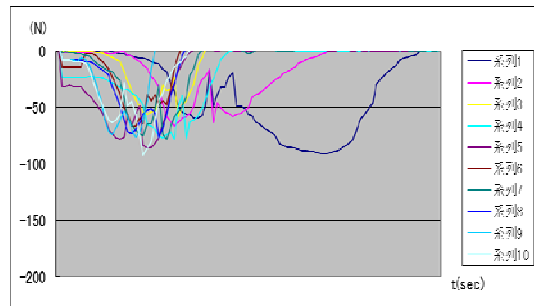


試験 No. 8 耐久試験 50 万回時点

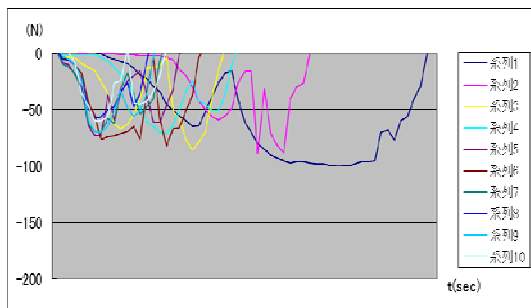
図 2-18 摺動試験(押し込み)結果一覧



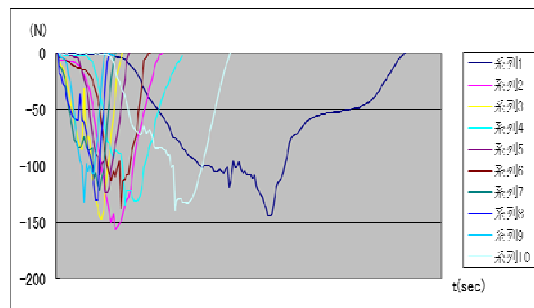
試験 No. 7 耐久試験 5 万回時点



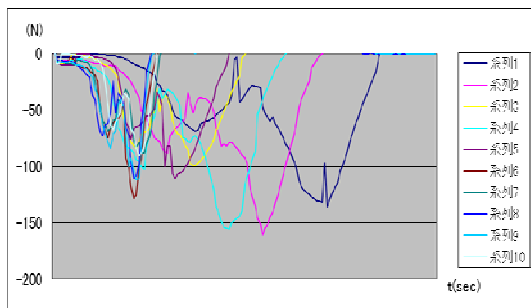
試験 No. 7 耐久試験 20 万回時点



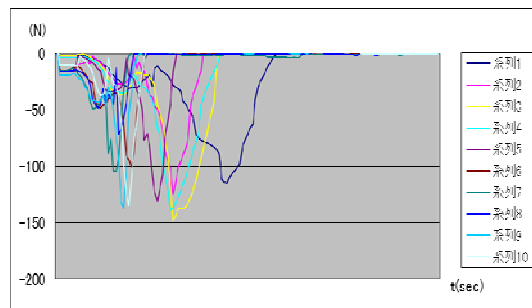
試験 No. 7 耐久試験 50 万回時点



試験 No. 8 耐久試験開始時点



試験 No. 8 耐久試験 30 万回時点



試験 No. 8 耐久試験 50 万回時点

図 2-19 摺動試験(引き抜き)結果一覧

### 2-3 まとめ

成形性評価において、プレス成形加工試験において解析で得た内径精度と同等の結果を得ることができ、解析と実試験のすり合わせを行うことができた。

また、耐久性評価において、平成 23 年度までの解析により設計された試作機においては、50 万回耐久する性能を示すことができなかった。

しかし、平成 24 年度の研究開発において、実地試験における荷重の影響、試験片の観察、および応力解析からのアプローチにより、構成要素および形状を修正した新型試作機において 50 万回耐久性能を実証することができた。

しかし、加工時に加わる負荷以上の荷重を印可した際に、表面化した不具合（両サイド固定ブロックの開き、耳部割れ）に関し、そこまでの安全率を取る必要があるのか等、市場要求とすり合わせて改良の検討をしなければならない。

また、応力解析においては、本試作機単体の解析にとどまっているため、以降も形状変更に従える解析手法の育成も行っていく。

### 第3章 総括

#### 3-1 過去三年間における本研究の成果

##### 3-1-1 研究目標達成状況

項目	従来技術	開発技術 (従来技術比)	備考
新機構の耐久性	△	◎	50万回耐久性能を示すことができた。
新機構の摺動性	○	◎	試作機内部に摺動性に影響する変形を生じることなく、50万回耐久試験後もエアシリンダで十分運用可能な摺動性を示すことができた。
設計基準の構築	×	◎	応力シミュレーションを取り入れ、荷重とその際に発生する応力値を評価することが可能となった。
応力シミュレーション手法の確立	×	○	応力の発生箇所、発生応力値および応力分布それぞれに対し、現実相当の結果を示すことができた。

### 3-1-2 研究成果

サブテーマ	最終的な目標	最終成果
1-1 新機構の機構運動特性の解明	機構運動における自発的摺動抵抗生成メカニズムを、CAE解析により解明する。	応力解析と機構の摩擦解析を同時に行い、機構の運動による機構の微小変形が摺動力に関わることが判明し、より摺動力の少ない機構を選定した。
1-2 成形品寸法公差の確保	プレス受圧時の構成部品の変形・挙動が成形品の寸法公差確保の妨げにならない新機構の機械的設計諸元の最適特定化をCAE解析にて行う。成形品寸法公差として、 $\pm 0.05\text{mm}$ を目標とする。	塑性変形を伴う解析を実施し、成形品寸法公差の目標である $\pm 0.05\text{mm}$ を達成するダイスの形状を見つけることができた。
2-1 新機構の耐久性の確保	成形耐久能力として、プレス金型成形の市場要請である50万回耐久試験に耐えることを目標とする。	当初設計された試作機では左記の目標を達成できなかったが、改良版試作機を製作し、前記の目標を達成できた。

### 3-2 事業化に向けた構想

本研究開発において、プレス金型用次世代アンダーカット成形技術を育成することができた。また、本試作機へ荷重を印可した際の課題抽出、本試作機による応力解析およびその調整方法等のノウハウを蓄積することもできた。本研究開発において育成した耐久性能向上のノウハウおよび解析の整合性検証は、今後も引き続き行い解析精度の向上を目指す。

また、本試作機の汎用性を高めるべく、今後は被加工材の対象をアルミニウムだけではなく、さらに固い鋼材（鋼体力のハイテン鋼等）にも拡げて行く。そのために、現行のプレス加工品の形状・機構と顧客の要求を組み込んだ試作機を製作すべく、補完研究にて取り組んでいきたい。

さらに、量産性能が実証できるほどのプレス金型に搭載する等の実地試験を行い、市場要求に耐え得る性能の証左を得る。そこで発生した不具合などは、フィードバックし、解析と共に試作機の改良を実施する。

また、販路開拓においては展示会への出展、マーケティング調査会社等を活用し、本製品の全国的な展開を図る。