

平成22年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「精密冷間鍛造による小型発電用ロータ一部品等の
高度生産プロセス開発」

研究開発成果等報告書

平成23年9月

委託者 近畿経済産業局

委託先 鍛造技術開発協同組合

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	2
1-4	当該研究開発の連絡窓口	2
第2章	本論	
1.	工法の研究開発	
1.1	自動車小型発電用ローター部品の工法研究	3
1.2	自動車小型発電用ローター部品予備成形法の研究	10
2.	研究設備の開発	
2.1	設備仕様	11
2.2	設計および製作	11
2.3	特殊ダイセット構造	12
3.	高機能な金型構造の研究開発	
3.1	金型構造の研究	13
3.2	潤滑法の研究	14
4.	鍛造試作研究	
4.1	自動車小型発電用ローター部品	17
5.	量産技術の開発	
5.1	最適工法の絞込みとコスト試算	21
5.2	量産試作と量産見通しの評価	21
最終章	全体総括	22

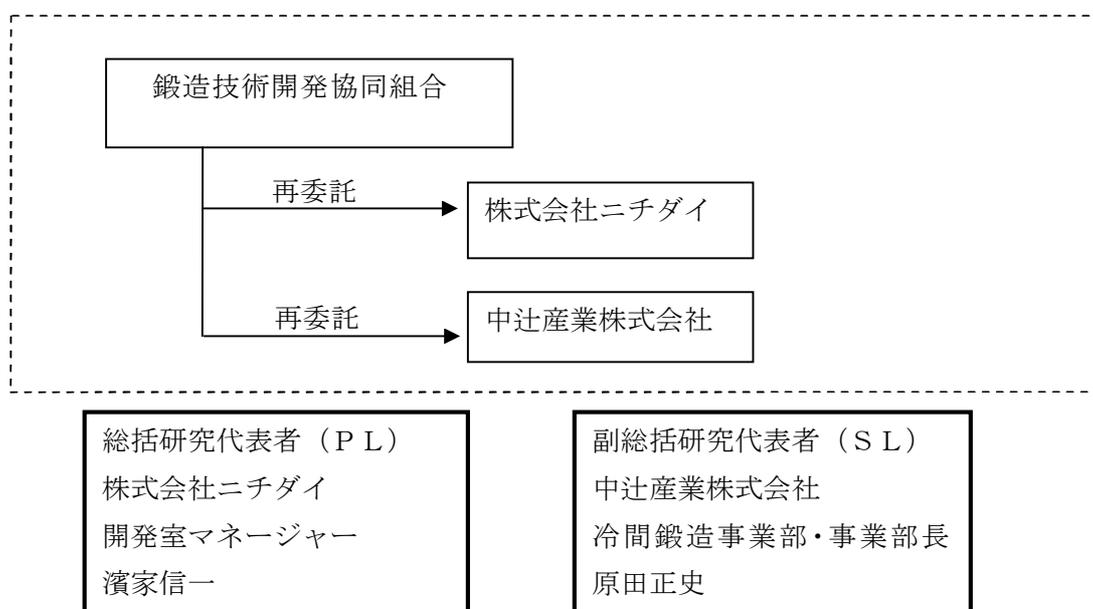
第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

鍛造業の主たる需要先である自動車産業は省エネ・環境問題への対応のため、新たな装置・システム開発を推進しており、その代表的事例として自動車のハイブリッド化があげられる。このハイブリッドシステム部品である発電用ローター部品は、軽量化、高精度化、高強度化など高い機能特性が要求されている。従来はダクタイル鋳鉄と機械加工で製造を行ってきたが、今後この需要量が増大した場合、品質的な信頼性、製品の高機能化を実現するには、鋳造とその後の機械加工で製造される従来の工法では、製品の材料歩留まりが悪く、多くの工程を必要としており、量産プロセスとしては適正とはいえない。これに代わり、従来の鍛造法の踏襲ではなく、さらに高精密鍛造と工程短縮が可能な新たな鍛造の高度生産技術を開発することにより、自動車産業の部品コスト削減のニーズに対応することができる。

本研究開発は、自動車の鍛造品に関するニーズである「高機能化」、「コスト削減」に対応し、自動車ハイブリッド発電用ローターの製品開発、新鍛造プロセス開発を行うもので、その目標設定として「高機能化」については①複雑形状部品の高精密冷間鍛造化、「コスト削減」については①加工プロセスの短縮、②製品歩留りの向上、③成形荷重の低減を挙げて推進した。さらに本開発技術を量産技術として評価・確立し、事業化・量産体制の基盤確立を図った。

1-2 研究体制



1-3 成果概要

各研究実施項目別に開発成果の概要を次の通り記述する。

①工法の研究開発

試作研究の対象製品について、工程の短縮化、成形荷重の低減、製品歩留まり向上を図る新鍛造工法の予備的な検証を行った。そのため、CAE鍛造解析とモデル鍛造試験および試作品の品質・特性の試験を行い、試験装置の開発設計、実体鍛造プロセス、その金型設計への基盤データを得た。

②研究設備の開発

本開発鍛造プロセスの試験研究に使用するサーボ制御多軸複合動作ダイセット装置の開発設計を行い、製造・導入した。当初計画した要求仕様を満たしていることを確認出来た。導入後、対象製品の試作鍛造を行い、実鍛造での機能・性能を確認した。

③高機能な金型構造の研究開発

新鍛造プロセスを実行する金型構造の研究から試作対象製品の試作用金型の設計・製作が可能となった。また、従来の冷間鍛造潤滑方法に代わる低コストの潤滑方法の適用試験を行い、量産時での実用化見通しが得られた。また、本鍛造法に適合した金型表面処理法についても実用化への評価が得られた。

④鍛造試作研究

需要家のニーズに基づき新鍛造工法適用製品を選定して、鍛造試作を行い、試作鍛造品を完成させ、その成形品の品質・特性について検査・確認を行い、量産技術としての技術的見通しを確保した。

⑤量産技術の開発

対象製品の事業化量産技術の最適条件の絞り込みは完了していないが、本研究開発を通じて、量産化の見通し、基盤的なデータを確保することができた。これにより、期待する需要家に対しての量産化への予測的提言を行った。

⑥プロジェクトの管理・運営

本開発期間中に4回の開発推進委員会を開催した。再委託先の業務処理の指導・管理を行った。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

鍛造技術開発協同組合 専務理事 岩田健二

住所：東京都小金井市桜町 1-11-15-210

TEL：042-384-3520 E-mail：k_iwata@tanzo-kumiai.or.jp

第2章 本論

1. 工法の研究開発

1. 1 自動車小型発電用ローター部品の工法研究

本部品は、素形材工程を従来の鋳造工法から代替工法である新鍛造工法を用い、鍛造工程を予備成形で2工程、本成形を2工程とする全4工程を目標に工程検討を行った。さらに予測精度を高めるため鍛造CAEによる工程検証ならびに、モデル鍛造試験による検証を実施した。図1-1に本試作の製品図を示す。本試作部品は従来鋳造による複雑形状でありこれを精密鍛造する場合での技術課題は、冷間鍛造の加工硬化で材料硬さ分布がHRB92以上の強度を保証することで、熱処理を廃止できコスト低減につながる。また量産時の金型寿命を考慮し、鍛造成形圧力2,000MPa以下となる工程の開発とニアネットシェイプに近づけるための製品歩留り75%以上を目指すため、精密冷間鍛造による複動成形を適用した。

(本項では鍛造成形上の課題のポイントとなる孔抜き鍛造素材からの本成形を重点にその研究内容を記述する)

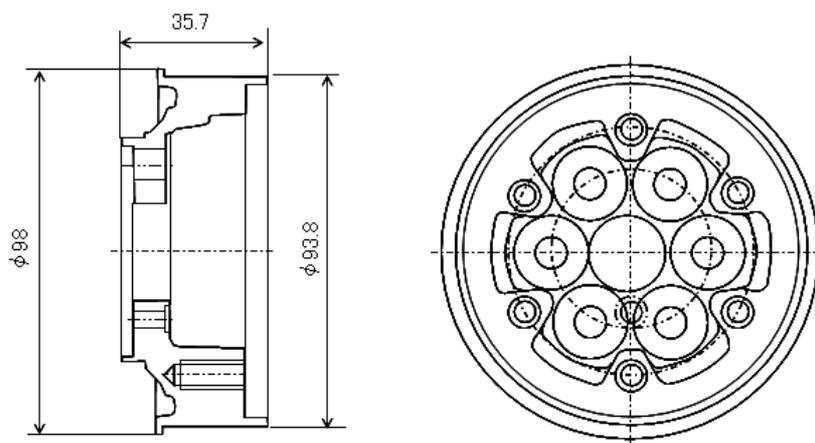


図1-1 製品図

1. 1. 1 工程の検討

(1) 鍛造仕様

全体の鍛造工程は、最終鍛造品を成形する本成形工程とその本成形の素材となる予備成形工程で構成されている。また、今回試作に用いるプレス機械の加圧能力は、予備成形が8,000kN、本成形が最大12,500kNで検討するが本開発では、8,000kNを用い検証実験を行った。

(2) 工程と寸法設定

試作の製品図から鍛造図(図1-2)と工程図(図1-3、図1-4)を設定した。本成形の素材を作製する予備成形は図1-3に示す(素材)→押し出し(予備成形1工程)→穴抜き(予備成形2工程)の2工程で予備成形形状を設定した。その研究については1.1予備成形の研究で報告している。

本成形は予備成形素材を用い、内径異形状の絞り(本成形1工程)→外径形状の絞り(本成形2工程)→内径フランジ部据込み(本成形3工程)の3工程である。

今回は8,000kNのプレス機械で成形できる工程を設定した。また、異形部の割れの防止および加工圧力を低減する為に、本成形1工程において複動成形を利用した。

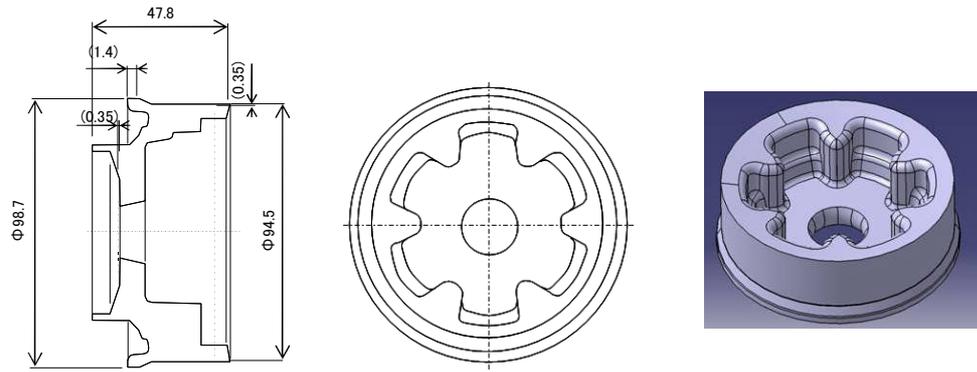
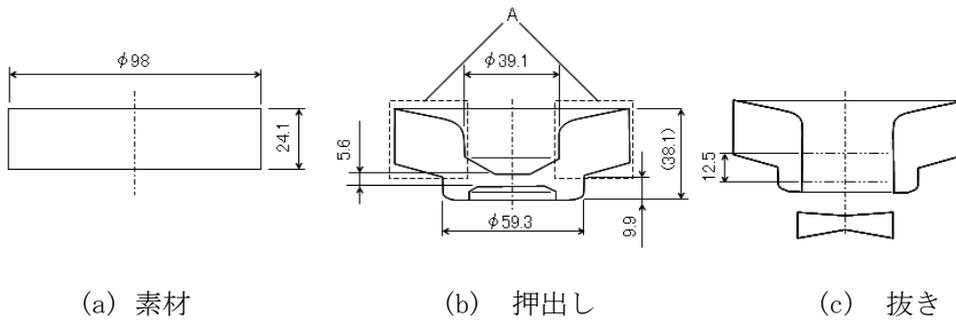


図 1 - 2 鍛造図

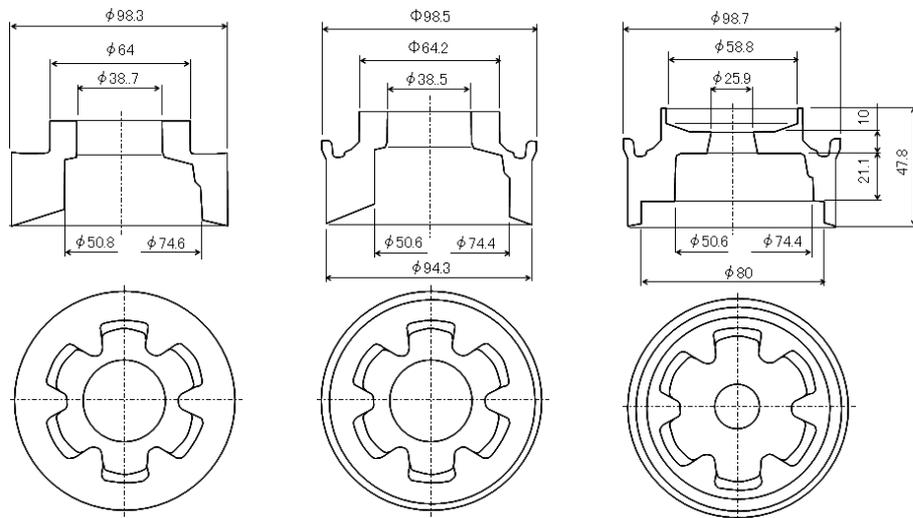


(a) 素材

(b) 押出し

(c) 抜き

図 1 - 3 工程図 (予備成形)



(a) 内径異形状の絞り

(b) 外径形状の絞り

(c) 内径フランジ部据込み

図 1 - 4 工程図 (本成形)

1. 1. 3 試験

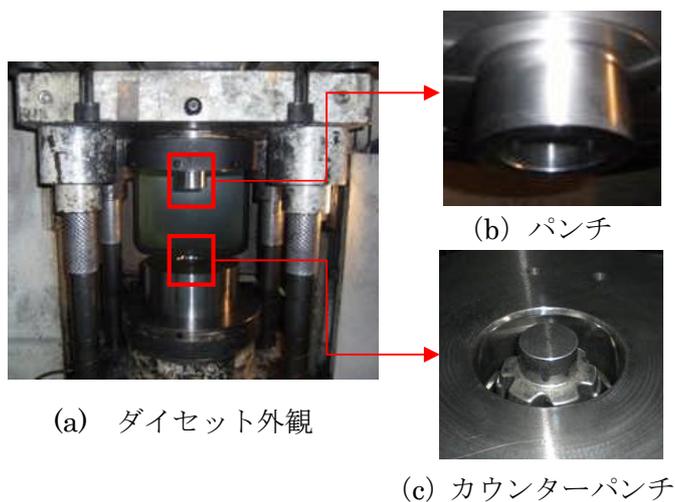
試験は 8000kN の油圧プレスを使用した。図 1-5 にプレス機に設置されたダイセットを示す。

(1) パンチ形状

図 1-6 にダイセットの外観とダイセットにセットしたパンチおよびカウンターパンチを示す。本成形 1 工程のパンチはフラット形状とし、インサートパンチは解析結果に基づき下死点手前 10 mm で 2000 kN の背圧制御に切替える設定とした。



図 1-5 プレス機内部のダイセット



(a) ダイセット外観

(b) パンチ

(c) カウンターパンチ

図 1-6 ダイセット

(2) 最終製品の硬さへの影響

初期硬さが平均で HRB66 の素材 (図 1-7) を用いて、本成形による硬さの変化を調べた。図 1-8 は予備成形品の硬さ分布である。内径表層部の硬度がこの時点で目標の HRB92 に達している。図 1-9 は本成形の試験を行った鍛造品の硬さ分布である。異形部端面および内部の硬さが目標の HRB92 に達していない。図には異形部端面成形前後の硬さ分布を示しており、図 1-10 は先端部の硬さを比較したグラフである。先端成形によって最大で硬さ値が 8 上昇した点もあるが、ほとんどの点で大きな変化が認められなかった。しかしながら、この結果は素材の硬度が HRB66 の場合であり、HRB72 であれば目標の HRB92 に達すると思われる。

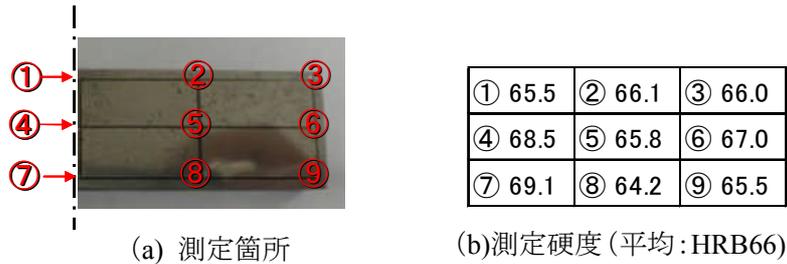


図 1-7 素材硬度

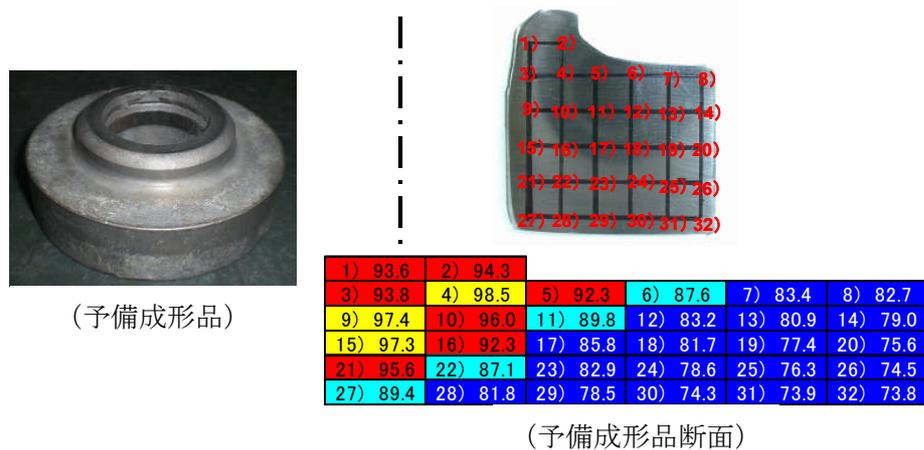


図 1-8 硬度測定箇所と測定結果 (予備成形品)

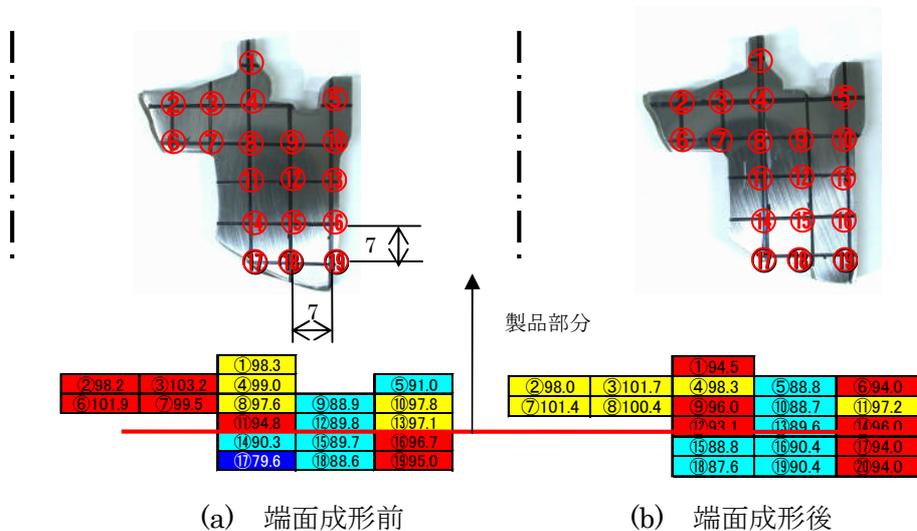


図 1-9 硬度測定箇所と測定結果 (本成形品異形部)

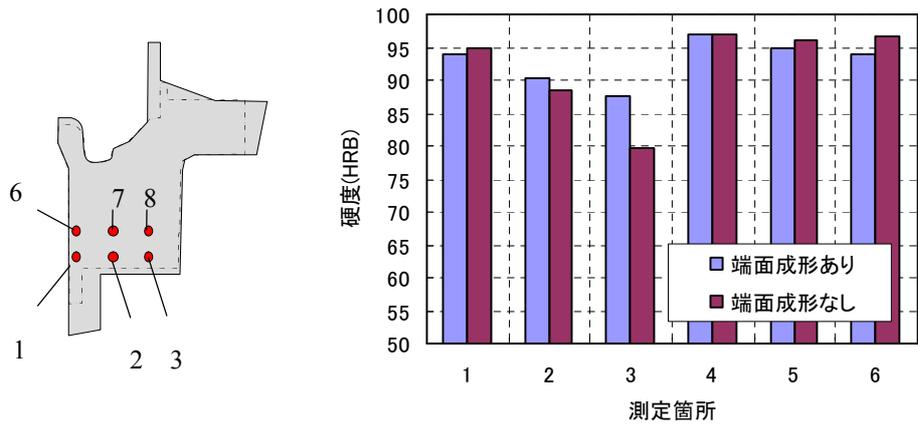
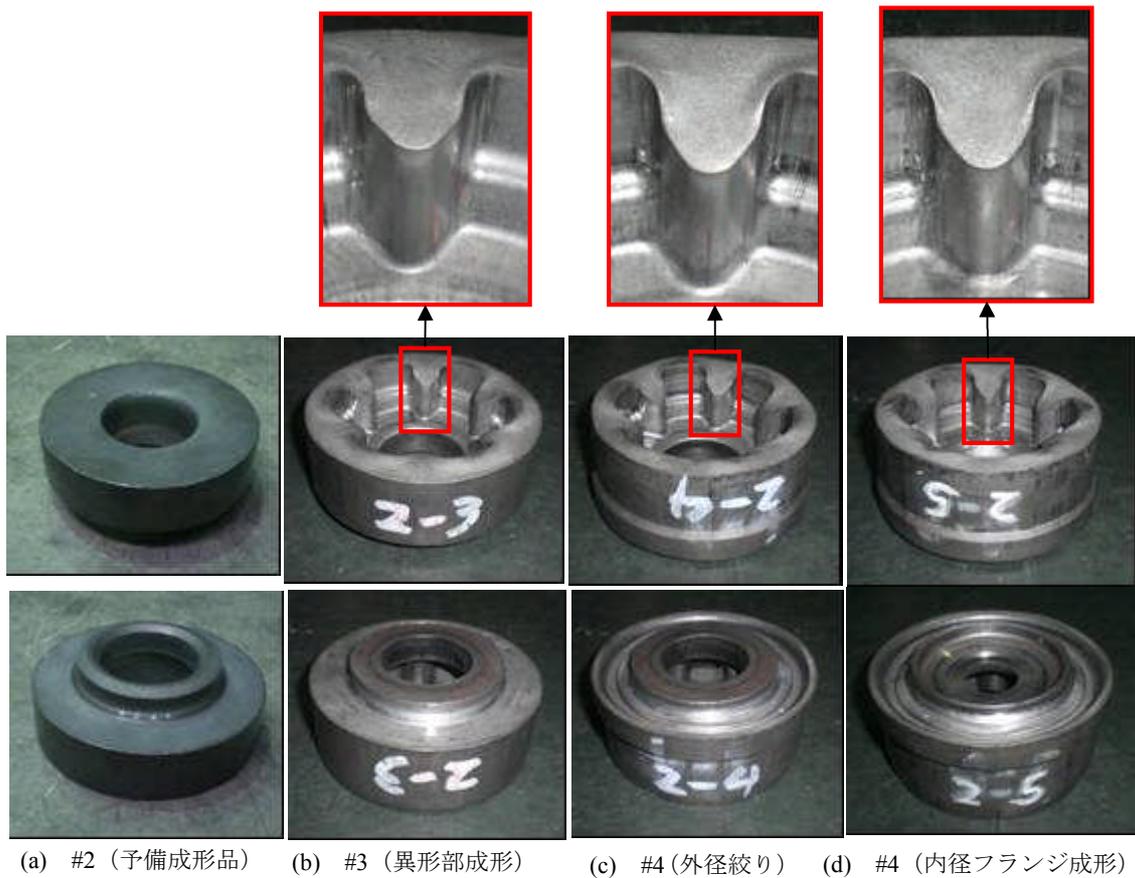


図1-10 端面成形の有無による硬度の比較

(3) 鍛造品の割れ予測

図1-11は各工程の鍛造品の写真である。各工程共に異形部には割れの発生は認められなかった。この図は、インサートパンチの背圧を2000kNで行ったものである。背圧を1000kNとして行った試験結果を図1-12に示す。異形部に割れが発生している。

図1-12および1-13の結果は解析によって行った予測の結果とよい一致を示しており、大矢根の式が割れの予測に有効であることが確認できた。



インサートパンチ背圧：2000kN

図1-11 成形過程 (本成形)

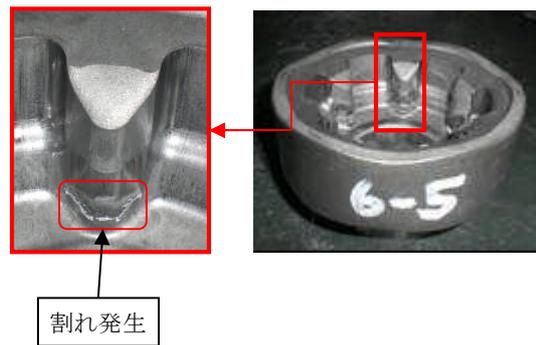
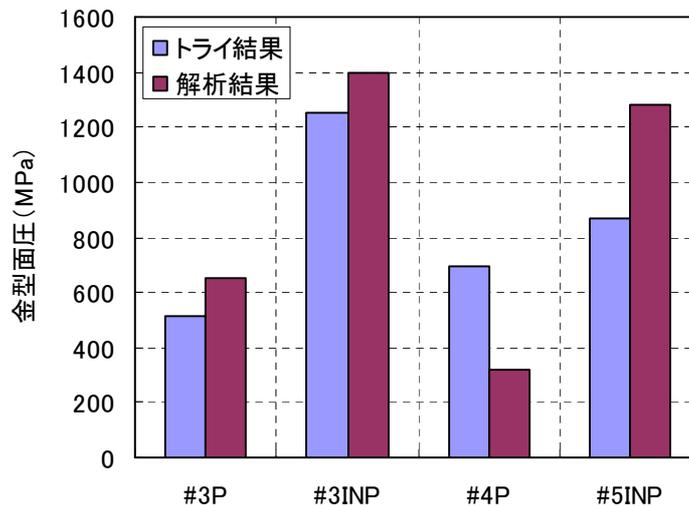


図 1-12 本成形 1 工程インサートパンチの背圧 1000kN で成形した鍛造品

(4) 鍛造圧力

図 1-13 に各工程の金型面圧を示す。図は最大値を示したものであり、試験結果も解析結果と同様に面圧 2000MPa 以下であることが確認できた。



(P : パンチ、INP : インサートパンチ)

図 1-13 金型面圧

1. 1. 4 工法の決定

1. 1. 2の解析および1. 1. 3の試験によって本成形の工法を決定した。図 1-14 に最終決定した本成形 1 工程におけるパンチとカウンターパンチの位置関係を示す。本成形 1 工程はこの位置から 10 mm 手前まではパンチとインサートパンチが一体成形で行い、その後、インサートパンチを背圧制御に切替え、図 1-14 に示すパンチの位置まで成形を行う。図 1-15 に最終決定した本成形 2 工程のパンチの位置関係、図 1-16 に最終決定した本成形 3 工程のパンチの位置関係を示す。

本成形 1 工程はパンチとインサートパンチの 2 軸により成形を行い、本成形 2 工程パンチも 1 軸、本成形 3 工程はパンチ側 2 軸、ダイ側 1 軸で成形を行う。表 1-1 に自動車小型発電用ローター部品の成形に必要な各工程の成形仕様を示す。

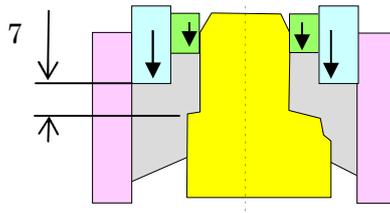


図 1 - 1 4 本成形 1 工程のパンチの下死点

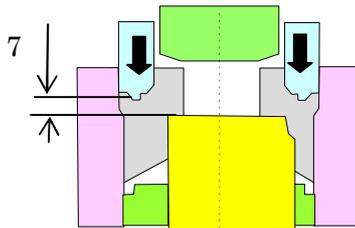


図 1 - 1 5 本成形 2 工程のパンチの下死点

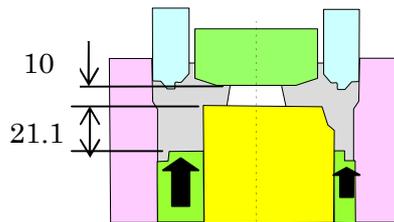


図 1 - 1 6 本成形 3 工程のインサートパンチの下死点

表 1 - 1 各工程の成形仕様

			本成形1工程		本成形2工程		本成形3工程	
プレス (8000kN)	荷重(kN)	機能	4830kN	位置制御	3280kN	位置制御	1000kN(背圧)	位置制御
	ストローク(mm)		35mm		34mm		-	
上側成形軸 (4000kN)	荷重(kN)	機能	2550kN	位置制御 背圧制御	-	-	3900kN	位置制御
	ストローク(mm)		14mm		-		12mm	
下側成形軸 (4000kN)	荷重(kN)	機能	500kN	位置制御	500kN	位置制御	3810kN	位置制御
	ストローク(mm)		76mm		82mm		82mm	

1. 2 自動車小型発電用ローター部品予備成形法の研究

1. 2. 1 研究内容

小型ローター部品に関して、最適予備成形形状の絞り込みと素材から予備成形までの予備成形鍛造工程の確定を実施した。そのため鍛造解析ソフト「simufact」を導入し、予備成形の鍛造解析とその検証のための予備成形鍛造試験を行った。

次の条件を設定し解析、鍛造試作を行った。

- 実機トライ用のAIDA800ton縦型プレスにおいて、鍛造が出来る加工工程を考案する。
- 出来る限り工程数を少なくする加工工程を考案する。(1工程+穴あけがベスト)
- 予備成形-穴明け工程後に、本成形にて問題なく使用出来る状態にする。(破断面等)

1. 2. 2 結果

素材から最終鍛造形状までの全鍛造工程の中で、予備成形の形状と素材からの最適工程を得るために、鍛造解析を行った。最終的に本成形の研究から導き出された70%モデルの8パターンの形状で解析し、1工程と穴あけの計2工程で出来る事が分かった。その後実際に予備成形鍛造トライ(図1-18)を行い、その予備成形品を用いて本成形トライを実施した結果と本成形への鍛造素材として、図1-17が予備成形形状として最適とした。

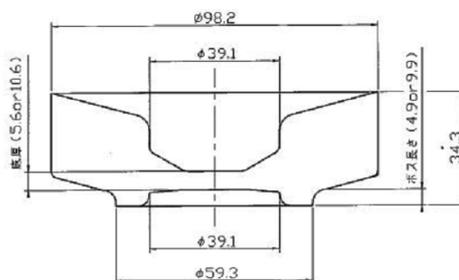


図1-17 予備形状形状



図1-18 最終予備成形品

2. 研究設備の開発

工法の研究開発で得られた仕様にもとづき特殊ダイセットの具体的な設計および製作を実施した。新鍛造工法の鍛造試作研究用の鍛造試験装置として達成すべき目標は、効果的な多軸サーボ制御を有し、モーションコントロール（可逆制御）が可能で、高精度でコンパクト化が実現される特殊ダイセットの設計および製作を行った。

2. 1 設備仕様

高機能サーボ制御ダイセットの設備仕様を表2-1に示す。工法の研究開発で検討した各部品、工程ごとに各成形軸に必要な荷重、ストローク、機能に基づいて設備仕様を設計した。プレス軸の荷重はプレス軸による成形荷重と上側サーボ軸による成形荷重の合計値であり、プレスに必要な能力となる。ストロークは成形仕様より低い値になっているが金型の構造で補える値に設定している。

表2-1 設備仕様

			自動車用ローター部品			
			本成形1工程		本成形2工程	
プレス軸	荷重(kN)	機能	7400	位置制御	7300	位置制御
	ストローク(mm)		35		34	
上側 サーボ軸	荷重(kN)	機能	2600	位置制御	4000	位置制御
	ストローク(mm)		14		12	
下側 サーボ軸	荷重(kN)	機能	500	位置制御	2000	位置制御
	ストローク(mm)		47		44	

2. 2 設計および製作

本仕様に基づき回路開発、製作を実施した。高機能サーボ制御ダイセットは、サーボ制御の油圧ユニットと複動シリンダーを有した特殊ダイセットで構成されている。図2-1に油圧装置外観図、図2-2に概略油圧回路図を示す。

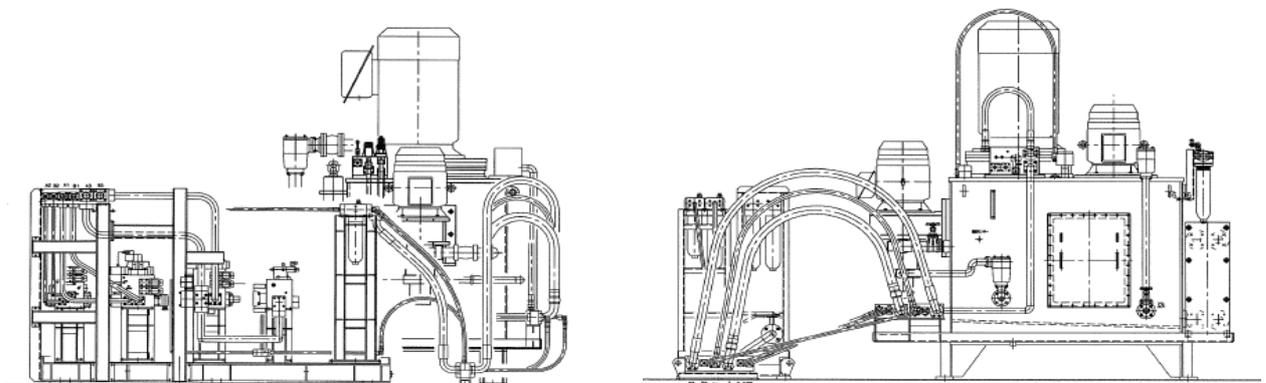


図2-1 油圧装置外観図

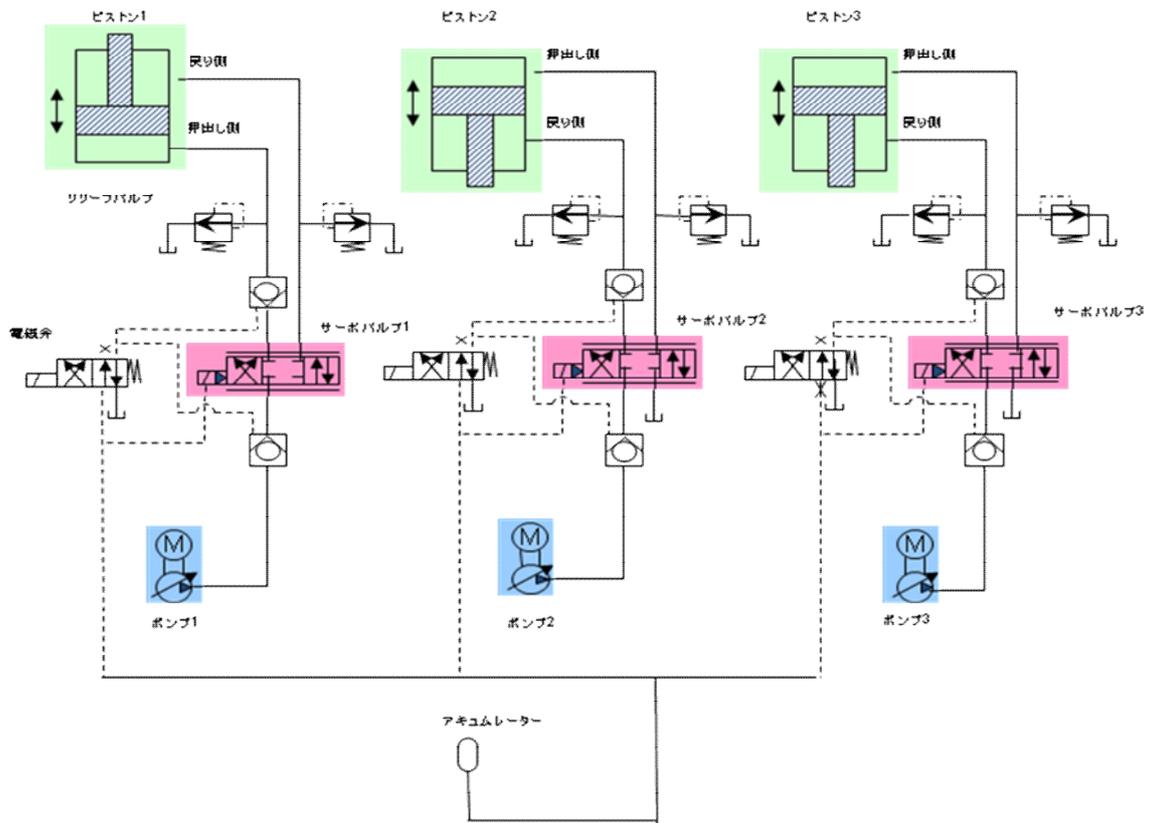


図 2 - 2 概略油圧回路図

2. 3 特殊ダイセット構造

図 2 - 3 に自動車用ローター部品の鍛造試作を行うための特殊ダイセット構造を示す。上側、下側にピストンを有しそれを上下に稼働させる油圧経路を持つ。基本ダイセットは共用し成形部分の金型のみ異なる。

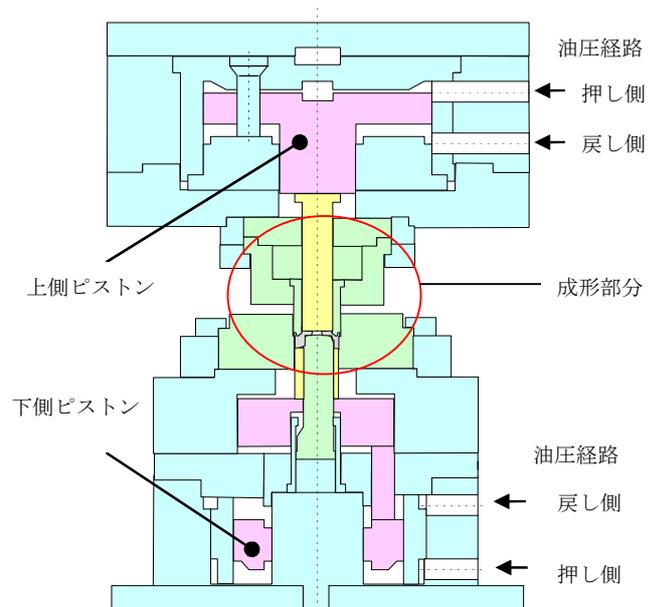


図 2 - 3 自動車用ローター部品の
ダイセット構造

3. 高機能な金型構造の研究開発

3. 1 金型構造の研究

焼付きを防止する方法としては素材潤滑、金型潤滑、金型表面処理がある。素材潤滑処理であるボンデ処理レスや油などの金型潤滑を省くことで鍛造品のコスト低減を図ることができる。そのための方法として金型への最適な表面処理技術の開発を行った。

3. 1. 1 表面処理の選択

最適な表面処理を選択するに当たって、金型と素材間で低い滑り摩擦が得られる必要がある。今回は、従来から広く用いられている TiCN 処理と近年研究が進んでいる DLC 処理を選択した。DLC の特徴として気相合成材料の中でもっとも低い摩擦係数もつ、耐摩耗性に優れる、高硬度、摺動中に黒鉛などの固体潤滑性物質に変化して潤滑効果をもたらすということが上げられる。

3. 1. 2 表面処理の条件

今回用いた表面処理の条件を表 3-1-1 に示す。母材：SKH51 (HRC62~65、HV740~820)

表 3-1-1 表面処理条件

膜種	膜厚(μm)	硬度(HV)	摩擦係数(参考値)
PVD 処理 TiN+TiCN+TiCN+TiN(4層)	約 5	約 2400	約 0.6
DLC 処理 スリック H コーティング	0.5~1.5	2500~3500	0.15~0.20

3. 1. 3 表面処理の評価

今回選択した 2 種類の表面処理について焼付きに対する評価試験を行った。目的を絞り、成形における対焼付き性を評価し、最適な金型表面処理を選択することとする。成形前後における表面粗さ (Ra) の変化の測定と成形後の表面状態を観察することで対焼付き性を評価した。評価の方法として成形前後の表面粗さ (Ra) は表面粗さが小さいほど絞りの抵抗が少なく焼付きにくいので成形後の変化量が大きいほど早期での焼付き発生の可能性が高いとした。

試験結果を表 3-1-2 に示す。表面処理なしは、表面粗さに変化は見られず、表面状態は、目視で確認はできないがマイクロスコープで拡大すると無数の小さな傷が見られた。PVD 処理は、表面粗さに変化は見られず、表面状態にもキズは見られない。DLC 処理は、表面粗さの最大値に 0.02 μm ほどの増加がみられ、表面状態には目視で確認できるキズがある。

表 3-1-2 試験結果

	表面粗さ(μm)		表面状態	
	○	変化なし	×	微細なキズ
表面処理なし	○	変化なし	×	微細なキズ
PVD 処理	○	変化なし	○	キズなし
DLC 処理	×	0.02 増加	×	目視可能なキズ

3. 2 潤滑法の研究

近年の自動車産業における各部品に対するニーズの中で、品質・コストの他に、特に環境負荷の低減が大きな注目を集めている。冷間鍛造において必要不可欠な潤滑を環境負荷低減の観点から、環境型潤滑処理(1液潤滑処理/ボンデレス潤滑処理)の採用の可能性と、冷間鍛造工場での量産時の処理プロセスを考察した。

また、小型ローターの予備成形鍛造試験を通じて、両潤滑皮膜の性能比較検証を行った。

3. 2. 1 従来の冷間鍛造用潤滑処理と環境型潤滑処理(ボンデレス潤滑処理)の比較

常温にて鍛造(冷間鍛造)加工する場合、金型と素材の成形摩擦を減らし、焼き付きを防ぐ為に、液体の潤滑油よりも固形潤滑剤が適用される事が多い。その代表が、燐酸亜鉛処理と石鹼処理の2段処理によって生成される固形潤滑膜(通称ボンデ処理)である。

3. 2. 2 ボンデレス処理試験とその性能評価結果

ボンデレス試験装置は、薬液処理槽と乾燥機で構成され、試験装置であることから、塗布は手動にて実施した。

薬液槽は、電気伝導度計で濃度管理し、薬液温度に関しては、サーモスタット付ヒーターにて温度管理を使用した。

【1】テスト条件

本テストを行った際の条件を以下に示す。

- ① テストアイテム=R型ローター(70%モデル) 予備成形
 - ・ 材質=S25C(前処理としてショット加工:0.6mmメディア使用)
 - ・ 形状=外径($\Phi 98.04$ mm)、厚み(24.08 mm)、表面積(22515 m^2)
- ② 使用薬液(日本パーカラライジング製)
 - ・ FL-E760 =外観は黒色の薬液で、低い摩擦係数を有することが特徴。
 - ・ FL-E740B=外観は白色の薬液で、耐熱性に優れる特徴を持つ。
- ③ 塗布条件
 - ・ 濃度=FL-E760、FL-E740B 共に 80% (導電率にて濃度管理)(図3-2-1、図3-2-2)

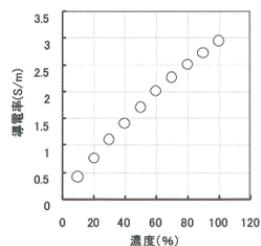


図3-2-1 FL-E760の濃度と導電率の関係

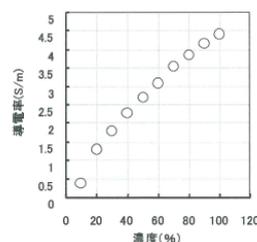


図3-2-2 FL-E740Bの濃度と導電率の関係

- ・ 薬液温度と処理時間＝両薬液共 60℃±2℃にて、10 秒浸漬
- ・ 乾燥条件＝100 度の温度にて、5 分乾燥。

④ 鍛造時条件

- ・ 使用設備＝アイダエンジニアリング製 800 t プレス (PK-80)
- ・ 使用ダイセット＝予備成形鍛造試験用ダイセット
- ・ 使用金型＝鍛造試作用金型 (予備成形)

【2】 ボンデレス潤滑処理の結果

表 3-2-1 ボンデレス潤滑 (FL-E760、FL-E740B) の処理結果

	導電率(m/s)	処理膜重量(g/m ²)	膜厚 (μm)	評価
FL-E760(黒)	3.8	11.1	7.4	○
	80%			
FL-E740B(白)	2.57	17.8	11.84	○
	80%			

上表 3-2-1 の通り、FL-E760、FL-E740B 共に、十分な処理膜を形成した。
処理中の薬液管理についても、導電率・液温度は安定し、工程管理は容易であった。

【3】 リン酸亜鉛 (ボンデ) 処理とボンデレス潤滑の潤滑性比較結果

下表 3-2-2 のように、2 パターンの固定したプレスダイハイトに対し、3 種類の潤滑 (ボンデ処理とボンデレス潤滑 2 種) を準備し、それぞれ 10 個ずつ鍛造した。その時の各潤滑処理の荷重と底厚寸法にて、潤滑性を比較した。結果を以下に示す。(図 3-2-3, 4, 5, 6 示す)

表 3-2-2 小型ローター (70%モデル) の予備成形パターンと潤滑の種類

パターン	設定ダイハイト	ボンデ処理品	FL-E760 (黒色)	FL-E740B (白色)
1	491.3 mm	10 個	10 個	10 個
2	486.0 mm	10 個	10 個	10 個

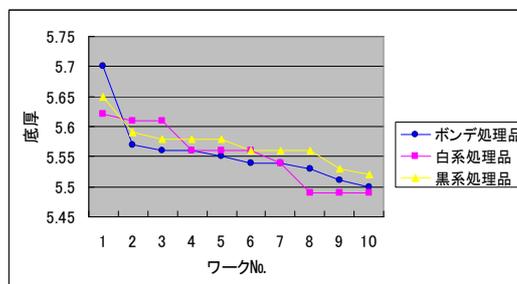
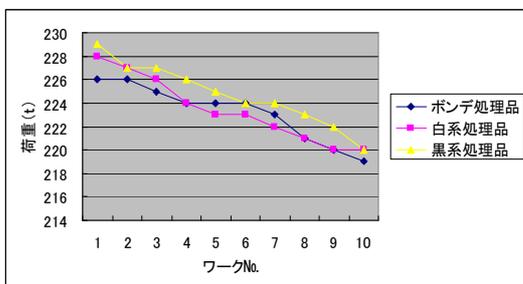


図 3-2-3 パターン 1 の成形荷重比較

図 3-2-4 パターン 1 の底厚寸法比較

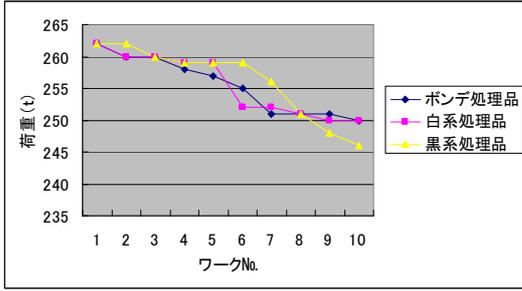


図 3-2-5 パターン 2 の成形荷重比較

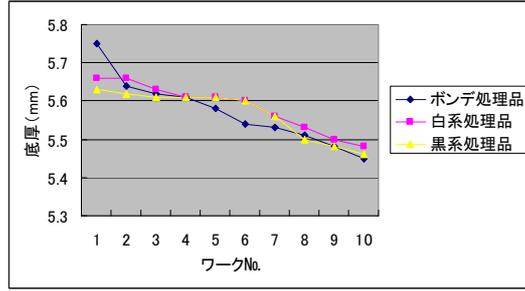


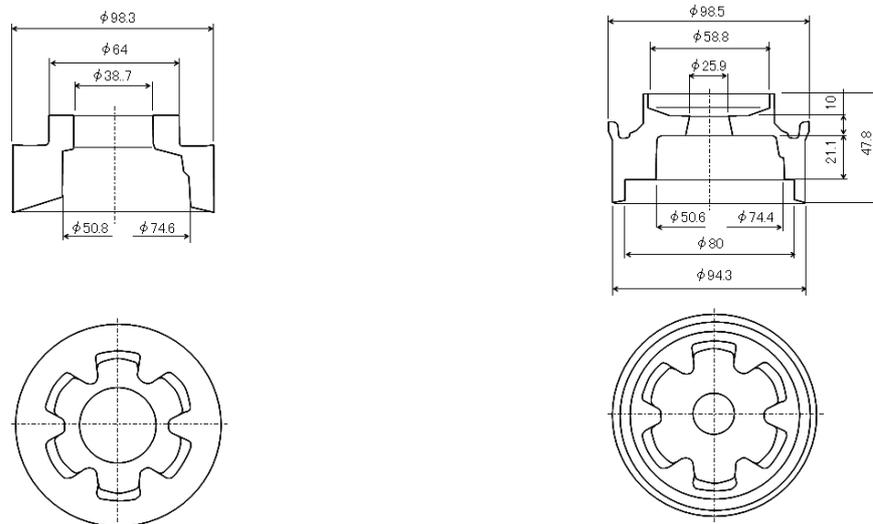
図 3-2-6 パターン 2 の底厚寸法比較

4. 鍛造試作研究

4. 1 自動車小型発電用ローター部品

(1) 工程図 (工程短縮案)

「1. 工法の研究開発」の結果に基づいて鍛造試作研究を行う。図4-1に工程図に示す。各工程の金型の動きを図4-2に、各工程のモーション線図を図4-3に示す。いずれの工程も複動で成形を実施する。1工程では内径異形状の絞りを行い、2工程では外径形状の絞り→内径フランジ部据込み→異形部端面成形の順で成形を行う。



(a) 内径異形状の絞り (1工程)

(b) 外径形状の絞り→内径フランジ部据込み→異形部端面成形

図4-1 工程図 (本成形)

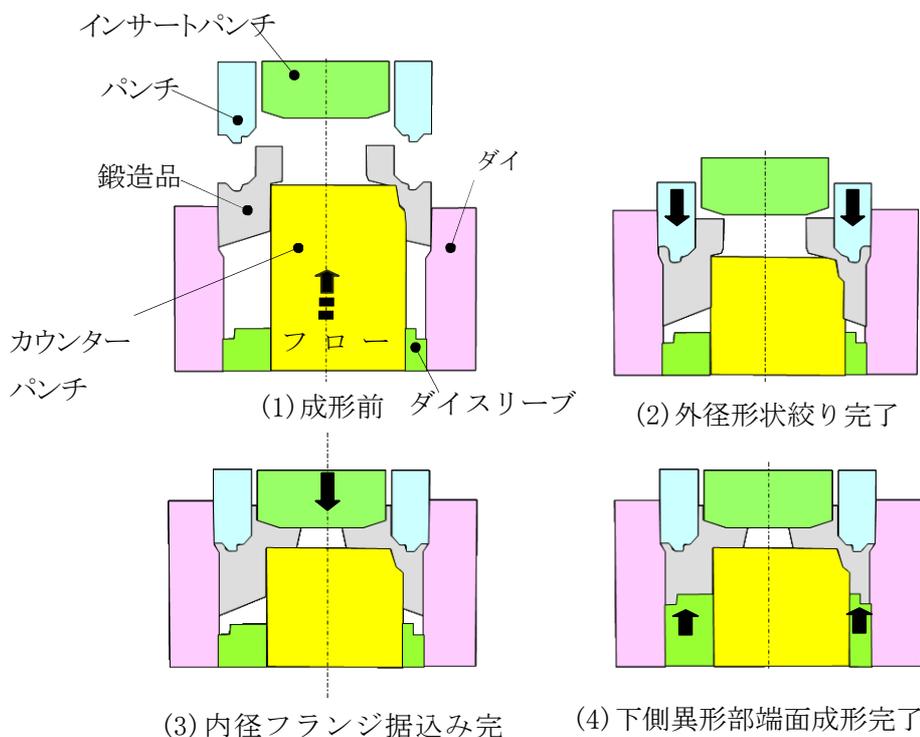
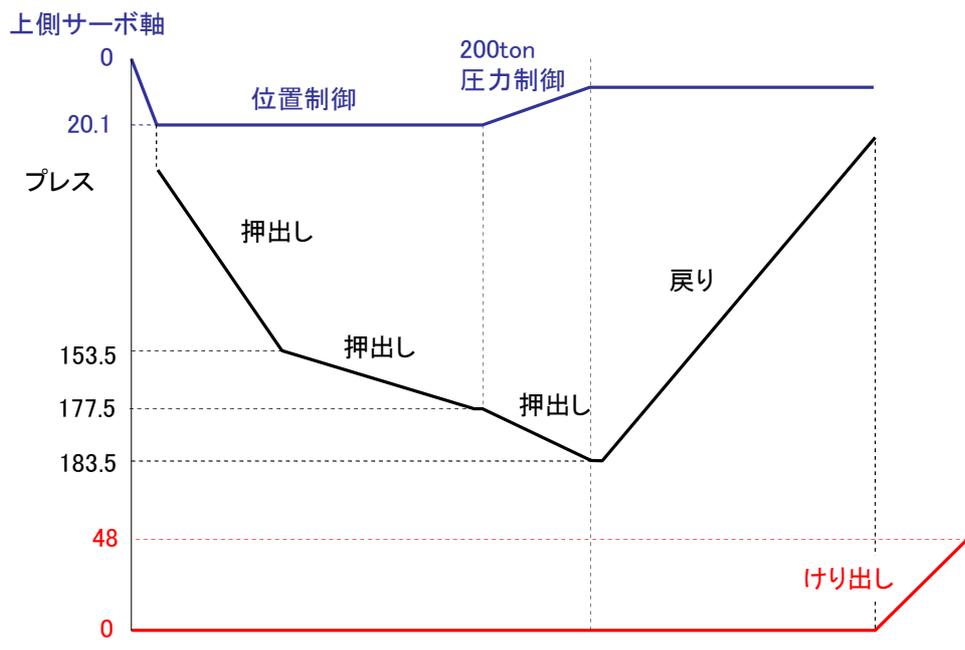
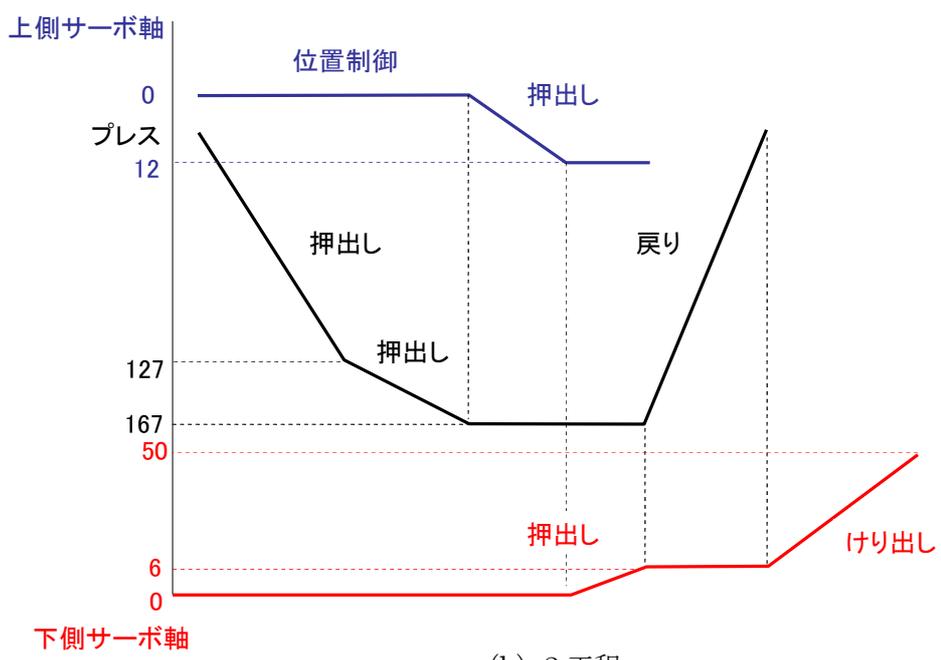


図4-2 2工程の金型の動き



(a) 1 工程



(b) 2 工程

図 4-3 各工程のモーション線図

事前に CAE にて複動成形による 2 工程案が成立するかどうかを前述の 3 工程案と成形状態、ひずみ分布面圧を比較することで確認した (表 4-1)。

3 工程案では外径絞り時に内径を金型拘束しているため、素材が下側へ流れやすい。そのため、下側異形長さが若干長い、ひずみ分布、応力値も 2,000MPa 以下でほとんど同じなため、工程は成立するとして実地試験を実施した。

表4-1 2工程案（工程短縮案）と3工程案の成形状態、ひずみ分布の違い

	#2工程案 (工程短縮案)	#3工程案
寸法		
ひずみ分布		
面圧		

(2) 結果

成形荷重を表4-2に示す。2工程案と3工程案の鍛造品の寸法結果と硬度測定結果を表4-2に示す。ただし、2工程案は端面成形を行っており、完全な2工程と3工程での比較とはいかないが、寸法結果も硬度もともに近い結果が得られることから工程短縮は可能といえる。

表4-2 成形荷重

	成形荷重 (kN)	
	本成形 1 工程	本成形 2 工程
プレス軸	4600	3500
上側サーボ軸	2500	3800
下側サーボ軸	400	2100

表4-3 2工程案（工程短縮案）と3工程案の寸法、硬度の違い

		#2工程案 (工程短縮案)	#3工程案																																																																																				
寸法	内径異形部 (厚肉部)																																																																																						
	内径異形部 (薄肉部)																																																																																						
硬度	内径異形部 (厚肉部)	<table border="1"> <tr><td></td><td></td><td></td><td>①94.5</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>②98.0</td><td>③101.7</td><td>④98.3</td><td>⑤88.8</td><td>⑥94.0</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>⑦101.4</td><td>⑧100.4</td><td>⑨96.0</td><td>⑩88.7</td><td>⑪97.2</td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td>⑫93.1</td><td>⑬89.6</td><td>⑭96.0</td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td>⑮88.8</td><td>⑯90.4</td><td>⑰94.0</td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td>⑱87.6</td><td>⑲90.4</td><td>⑳94.0</td><td></td><td></td></tr> </table>				①94.5				②98.0	③101.7	④98.3	⑤88.8	⑥94.0			⑦101.4	⑧100.4	⑨96.0	⑩88.7	⑪97.2					⑫93.1	⑬89.6	⑭96.0					⑮88.8	⑯90.4	⑰94.0					⑱87.6	⑲90.4	⑳94.0			<table border="1"> <tr><td></td><td></td><td></td><td>①98.3</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>②98.2</td><td>③103.2</td><td>④99.0</td><td></td><td></td><td>⑤91.0</td><td></td></tr> <tr><td>⑥101.9</td><td>⑦99.5</td><td>⑧97.6</td><td>⑨88.9</td><td>⑩97.8</td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td>⑪94.8</td><td>⑫89.8</td><td>⑬97.1</td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td>⑭90.3</td><td>⑮89.7</td><td>⑯96.7</td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td>⑰79.6</td><td>⑱88.6</td><td>⑲95.0</td><td></td><td></td></tr> </table>				①98.3				②98.2	③103.2	④99.0			⑤91.0		⑥101.9	⑦99.5	⑧97.6	⑨88.9	⑩97.8					⑪94.8	⑫89.8	⑬97.1					⑭90.3	⑮89.7	⑯96.7					⑰79.6	⑱88.6	⑲95.0		
				①94.5																																																																																			
②98.0	③101.7	④98.3	⑤88.8	⑥94.0																																																																																			
⑦101.4	⑧100.4	⑨96.0	⑩88.7	⑪97.2																																																																																			
		⑫93.1	⑬89.6	⑭96.0																																																																																			
		⑮88.8	⑯90.4	⑰94.0																																																																																			
		⑱87.6	⑲90.4	⑳94.0																																																																																			
			①98.3																																																																																				
②98.2	③103.2	④99.0			⑤91.0																																																																																		
⑥101.9	⑦99.5	⑧97.6	⑨88.9	⑩97.8																																																																																			
		⑪94.8	⑫89.8	⑬97.1																																																																																			
		⑭90.3	⑮89.7	⑯96.7																																																																																			
		⑰79.6	⑱88.6	⑲95.0																																																																																			
	内径異形部 (薄肉部)	<table border="1"> <tr><td></td><td></td><td>①96.8</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>②97.6</td><td>③101.7</td><td>④95.5</td><td>⑤93.6</td><td>⑥92.2</td></tr> <tr><td>⑦100.7</td><td>⑧97.7</td><td>⑨95.2</td><td>⑩92.8</td><td>⑪96.8</td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td>⑫92.3</td><td>⑬96.4</td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td>⑭95.4</td><td>⑮95.0</td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td>⑯97.1</td><td>⑰94.8</td></tr> </table>			①96.8			②97.6	③101.7	④95.5	⑤93.6	⑥92.2	⑦100.7	⑧97.7	⑨95.2	⑩92.8	⑪96.8				⑫92.3	⑬96.4				⑭95.4	⑮95.0				⑯97.1	⑰94.8	<table border="1"> <tr><td></td><td></td><td></td><td>①97.6</td><td></td></tr> <tr><td>②99.2</td><td>③103.1</td><td>④98.6</td><td></td><td>⑤91.0</td></tr> <tr><td>⑥100.0</td><td>⑦98.7</td><td>⑧98.1</td><td>⑨92.5</td><td>⑩97.9</td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td>⑪94.4</td><td>⑫98.4</td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td>⑬97.4</td><td>⑭97.4</td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td>⑮97.1</td><td>⑯96.0</td></tr> </table>				①97.6		②99.2	③103.1	④98.6		⑤91.0	⑥100.0	⑦98.7	⑧98.1	⑨92.5	⑩97.9				⑪94.4	⑫98.4				⑬97.4	⑭97.4				⑮97.1	⑯96.0																								
		①96.8																																																																																					
②97.6	③101.7	④95.5	⑤93.6	⑥92.2																																																																																			
⑦100.7	⑧97.7	⑨95.2	⑩92.8	⑪96.8																																																																																			
			⑫92.3	⑬96.4																																																																																			
			⑭95.4	⑮95.0																																																																																			
			⑯97.1	⑰94.8																																																																																			
			①97.6																																																																																				
②99.2	③103.1	④98.6		⑤91.0																																																																																			
⑥100.0	⑦98.7	⑧98.1	⑨92.5	⑩97.9																																																																																			
			⑪94.4	⑫98.4																																																																																			
			⑬97.4	⑭97.4																																																																																			
			⑮97.1	⑯96.0																																																																																			

5. 量産技術の開発

5. 1 最適工法の絞込みとコスト試算

自動車小型発電用ローター部品の最適工法の絞込みは、精密冷間鍛造による新鍛造工法を用いることで、前素材（2工程）、複動成形（2工程）、品質検査、払い出しの全4プロセスの素形材造りが可能であり、製品加工のプロセスを含めた工程数の削減により、コスト低減と歩留まり向上が達成できる見通しを立てることができた。今後の量産へ向けての課題は、さらにニアネットシェイプ度を向上した工法を開発することで、コスト競争力のある部品を需要家に提供できる。参考までに現行品と新工法品でのコスト比率の比較を表5-1に示す。

表5-1 新鍛造工法のコスト比率の比較（単位：パーセント）

	材料	素形材加工	機械加工	管理ほか
現行品（鋳造）	29.0	15.1	44.5	11.4
新工法品（鍛造）	33.0	33.0	22.2	11.4

5. 2 量産試作と量産見通しの評価

今後の量産体制に移行するための技術的課題は、今回開発に使った高機能サーボ制御ダイセットで得られたモーションコントロールを、生産性の高い機械プレスで安価に実現するための簡易的な専用ダイセットへ技術置換することが必要である。また、数打ち試験で金型寿命を把握し、素形材加工のコストを洗い出す必要がある。今後は、設備およびライン構成なども具体的に検討し事業化への目途を明確にする必要がある。

最終章 全体総括

国内中小鍛造業は、自動車を主体に、産業機械、建設機械等の産業に鍛造品を部品として供給し、サポートインダストリーとしての役割を果たしてきている。しかし、グローバル化の中で、需要構造の変化もあり、競争力の維持・強化が課題となってきた。その解決の一手段は、技術開発・製品開発である。しかし、従来の製造技術をベースとした研究開発は、品質・機能の向上およびコスト削減への効果は限定されたものとなる。

効果ある品質・機能の向上およびコスト削減は、従来の製造技術の踏襲をベースにするのではなく、大きなリスクではあるが、新たな鍛造工法開発であると考えている。

また、鍛造品の国内需要が低減するなかで、国内鍛造業として、新たな鍛造品の需要創出は重要な課題である。成長産業に向けてのその部品としての鍛造品の可能性調査・提言は鍛造業の問題である。さらに、自動車産業が解決に注力している省エネ・環境問題に関連して様々な装置・システムの考案・開発が行われている。これらの分野にも部品としての鍛造品の可能性があり、その調査・提言を行うことが重要であり、将来のニーズに対応できる技術的ポテンシャルを保有しておくことが必要である。

ものづくり産業に対して国の施策としての指針は製品の高付加価値化であり、そのために基盤技術の高度化が必要であるとしている。中小企業にとって将来に目標を向けた開発は大きなリスクであるが、このサポートインダストリープロジェクトはそれを支援するものであり、今回、提案し採択されたテーマは新鍛造工法、新製品開発を併せ持ったものであるため、正しく本プロジェクトの方向性に合致するものといえる。

本研究開発プロジェクトは、平成23年3月から9月までの短期間で工法の研究開発から始め鍛造試作研究までを実施し、その事業化を目指した研究開発が実施された。

この研究開発においてコア企業である株式会社ニチダイは開発の成果として、小型発電用の自動車用ローター部品の研究成果を需要家と情報交換を行いながら製品の機能要件、その需要の見通しなどの情報収集を行っており、研究開発終了後に製品化および事業化へ移行することとなる。

中辻産業株式会社は、自動車用ローターの鍛造予備成形に関して、鍛造CAEによるシミュレーションおよびその鍛造試作並びに素材潤滑としてボンデレスによる新潤滑法の研究を分担し、コア企業である株式会社ニチダイが推進する新鍛造工法開発を支援した。

この開発体制の効果的な連携により、極めて短期間で、かつ多くの研究内容を含む開発であるが、将来の製品化・事業化への技術的基盤を得ることができた。