

平成 2 1 年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「複合鍛造化によるベアリングレースの高度生産プロセスの開発」

研究開発成果等報告書

平成 2 2 年 3 月

委託者 関東経済産業局

委託先 鍛造技術開発協同組合

第1章 研究開発の概要

1. 研究開発の背景・研究目的及び目標

鍛造に係る川下産業(特に自動車産業)の課題、ニーズに対応する高度化目標として、高機能化、コスト削減を掲げている。特にコスト削減を本開発の主たる課題とし、その解決の方向性として、1. 鍛造工程の短縮による製品コストの削減、2. 製品の高精密化、3. 成形荷重低減による設備のダウンサイジングとした。

このための研究内容として、成形荷重を低減させ、鍛造工程を短縮する新鍛造工法の研究開発を行う。この技術を実現するための研究開発テーマとして、新たな金型構造(ダイセット)の開発、材料塑性流動のCAEによる解析手法の構築が含まれる。

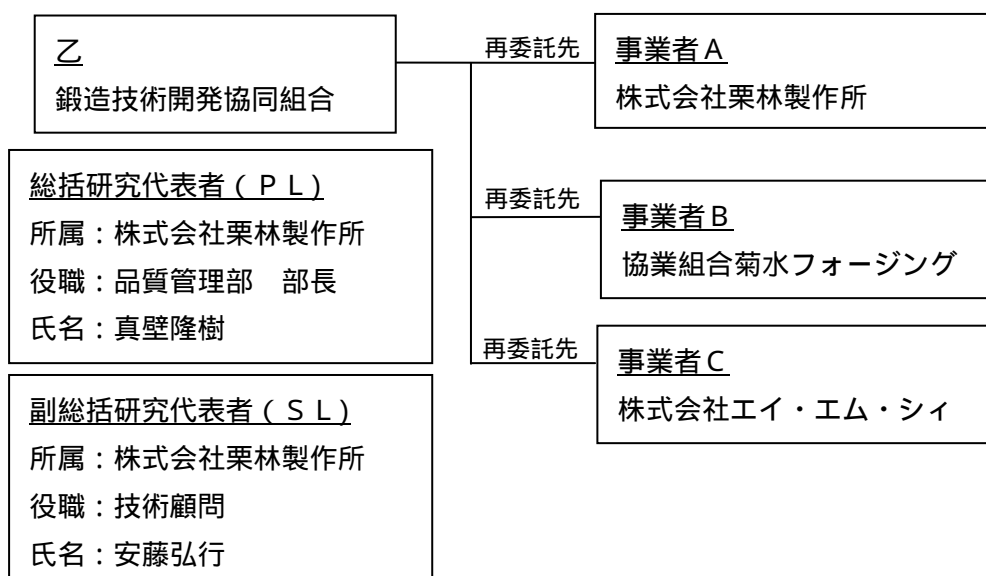
また、技術開発の適用対象品であるベアリングレースについて技術目標、コスト目標を設定し、製品拡大の対象とし計画しているCVTシャフト、ホイールハブについても同様に個別の目標値を設定している。

2. 研究開発の概要

川下産業である自動車産業で多く使われているベアリングの部品であるベアリングレースのコスト削減が求められている。本開発では、油圧を内蔵した特殊ダイセットを設計・製作し、鍛造中の素材流動を逐次制御することにより、ベアリングレースの鍛造工程と加工荷重を半減させる加工技術を開発し、ランニングコストの大幅削減・鍛造設備の小型化を達成するものである。本技術は、ホイールハブやCVT用シャフト等、駆動系部品への幅広い展開も期待される。また本開発は、鍛造メーカ2社、金型材料および金型製造メーカ1社から構成される研究開発体制により、効果的な研究分担を行い、21年度中に今後の製品拡大となる新たな基盤技術の実現を目指す。

3. 研究体制

1) 研究組織(全体)



(2) 管理員及び研究員

【事業管理者】鍛造技術開発協同組合

管理員

氏 名	所属・役職
岩田 健二	専務理事
石津 玲子	事務局長

研究員

氏 名	所属・役職
(岩田 健二)(再)	専務理事
宮田 守次	嘱託研究員(ミヤタハイメック品質 技術研究所 代表)

【再委託先】研究員のみ

株式会社栗林製作所

氏 名	所属・役職
真壁 隆樹	品質技術部 部長
高木 孜育	顧問
竹内 秀二	顧問
中村 剛敏	品質技術部 課長
土屋 賢悟	同 部員
安藤 弘行	技術顧問

協業組合菊水フォーGING

氏 名	所属・役職
森脇 孝	理事長
中津 玄弘	常務理事 製造部 部長
福井 毅	理事技監
本田 幸男	製造部 製造企画課長
野川 雅弘	工務・造型課 課長
細谷 康德	鍛造課 課長代理
木村 裕行	工務・造型課
山根 宏章	工務・造型課

株式会社エイ・エム・シィ

氏 名	所属・役職
社本 稔	技術部・常務取締役
野崎 辰夫	技術部・主任
酒谷 隆晴	製造部・次長
若宮 寛明	技術部

4．研究開発成果の概要

直近の製品・技術・開発研究調査に基づく適応対象部品の選定

[実施者：(株)栗林製作所、(協)菊水フォーシング、鍛造技術開発協同組合]

対象鍛造品であるベアリングレース、C V Tシャフトの開発の目標値・要件を川下の需要家からヒアリングを行い、具体的な部品図面を入手する。関連製品を幅広く展開するため、直近の関連技術の研究動向を把握する。

成果：本プロセスの研究開発に適合し、その評価を可能にする試作対象品を選定することができた。推進している研究開発の技術的適合性を確認することができた。

試験設備に必要な追加機能の検討と開発設計・製作

[実施者：(株)栗林製作所、(協)菊水フォーシング、(株)エイ・エム・シィ]

本研究に使用するプレスに背圧付加機能などの装着を検討し、ダイセットならびに金型の設計製作を行う。

成果：本鍛造プロセス研究開発に適合した背圧付加ダイセット用油圧制御装置を設計・製作し、効果的な試作試験が可能となった。

本プロセス適応の鍛造・金型技術の確立

[実施者：(株)栗林製作所、(協)菊水フォーシング、(株)エイ・エム・シィ]

-1 鍛造品設計、工程設計

試作対象品のC A E鍛造解析システムを用いて鍛造品設計および最適な工程設計を行う。

-2 試験条件の設定

本プロセスの成形に影響する因子を解析し、有効な試験条件を検討・設定する。

-3 鍛造試作

試験設備・試作金型を用いて鍛造試作を行い、そのデータの収集・シミュレーション結果との比較検討・解析を行なって検証する。

成果：鍛造試作研究には、今後、更に、各種試験条件でのデータ収集解析が必要ではあるが、今年度の試験研究で、本プロセスの中核である鍛造複合化（背圧付加とその制御）が試作品の成形に有効であることが試験結果から得られ、今後のプロセス実用化に向けての基盤的な知見が確保できた。

最適工法の確立

[実施者：(株)栗林製作所、(協)菊水フォーシング]

-1 試作結果、評価の解析

本プロセスの研究成果と評価を総合的に解析し、製品化対象品について、その最適鍛造工法を絞り込む。

-2 小規模量産試験、量産技術の確立

絞り込んだ対象品とその工法を採用し、試験設備にて小規模量産試験を実施し、量産時の技術条件・コストの見通しを把握し、最適鍛造工法を確立する。

成果：今年度のC V Tシャフト、ベアリングレースの試作試験により、プロセスの実用化に有効な基盤の技術データが得られ、今後の効果的な試作および小規模生産試験への可能性を見出した。

本プロセスに必要な技術開発

[実施者：(株)栗林製作所、(協)菊水フォーシング、(株)エイ・エム・シィ]

-1 新金型材料の開発研究およびその金型構造の開発研究

本計画のプロセスは、従来の鍛造法と比較して大幅な低成形荷重が実現可能であり、金型への負荷が減少する。従来の高強度金型材料に代わる新たな高機能金型材料の可能性を見出す研究とその金型構造の開発を実施する。

成果：今後の高機能金型材料の選定に有効となる試験結果を得た。

-2 本プロセスC A E解析手法の構築

本プロセスは、従来の鍛造法と材料の変形挙動が異なるため、その対応が可能な解析手法を構築する。

成果：本プロセスの試作品について、その試験条件でのC A E解析と実鍛造の比較を行い、本プロセスの解析手法として効果的であるとの見通しを得た。

5．当該プロジェクト連絡窓口

鍛造技術開発協同組合 岩田健二

TEL：042-384-3540 FAX:042-385-3520 Email:k_iwata@tanzo-kumiai.or.jp

第2章 本論

21年度の研究開発の成果について、第1章で取り上げた研究項目別にその概要を記述する。

関連技術・研究動向調査、適用対象品の選定調査

-1 関連技術・研究動向調査

ベアリングは現代社会における、すべての回転を要する機械・装置には不可欠な部品である。JISにおいては、転がり軸受（Roll Bearings）は、軸、歯車、ばね、Oリングとともに重要機械要素部品と位置づけし、詳細に規定している。また材質面では、「高炭素クロム軸受鋼鋼材SUJ1～5」として規定し、一般的にはSUJ2が多用されている。

すべてのボールベアリング部品は全面機械加工され、寸法精度、表面精度とも高水準のものが要求される。このようなことから機械加工費は全体のコスト面に占める割合が高い。

今回のプロジェクトは、材質だけでなく、機械加工レスを目的とした高精度鍛造技術開発により、大きなコスト削減を図ろうとするものである。

今回のねらいは、高炭素クロム鋼材の金型鍛造であり、機械加工費を大幅に低減する高精度を要求する部品の量産化を考慮した画期的で、技術的に困難な課題への挑戦である。

このような材質的特性から、鍛造による精密成形は困難であることから、世界的に見て研究事例は非常に少ない。

一方鍛造技術については、閉塞鍛造、分流鍛造、背圧鍛造、ダイクッション法などの研究・開発と実用化が進展し、更に鍛造複合化を可能にする鍛造装置の開発・活用の研究や多機能ダイセットの開発・適用化が進展してきた。その適用によりベアリングレース鍛造にも大きな期待が持てるようになった。

ベアリングレース及び関連鍛造技術及び研究動向に関する文献等の収集、精査、解析、考察の調査を行った。これにより本開発の鍛造プロセスが他の生産技術、研究が進行中の技術と比較し、優位性、妥当性があるか、また開発の方向を修正する必要があるかなどの確認を行った。さらに今後の研究開発の推進と並行してこの調査を継続して進めたい。

表1 調査収集文献・資料の分類一覧表

区分	項目	主要調査内容・キーワード	件数
A	全般概要・研究開発動向	ボールベアリングの種類、構造、接触角度、高温・高速軸受けの開発、軸受け速度 dn 値 300 万（25,000rpm）、ジェットエンジン用転がり軸受温度、軸受鋼、潤滑油、軸受デザイン、耐転動疲労性、耐転動摩擦性、耐スポーリング性、かじり傷	3*

	鍛造技術・新加工方法	ベアリングレースの温間鍛造、S U J - 2、加熱温度 680 、浸炭材で 850 、ホットフォーマ、温間タンデム + 冷間鍛造、扁平な粗成体、外レースと内レースの一体成体の鍛造成形し、打ち抜き工程で分離、その他 20 件の特許の紹介、分流鍛造、背圧付加鍛造、閉塞鍛造の複合的組み合わせ法の適用、サーボプレスの適用、先端的鍛造技術の開発とベアリングレース鍛造への適用	7
C	シミュレーション解析	ドイツの F E M シミュレーション事例、Forge2/3, Deform2/3 など 6 種類、鍛造会社 3 社の事例、自動車部品への適用、温間・冷間鍛造、材料流れの最適化、金型への荷重軽減、結晶粒の流れ解析、欠肉予測	1
D	関連周辺技術 類似技術	重量フィードバック制御システム、自動重量計測装置、トランスミッションギヤの熱間・冷間複合鍛造、F E M 解析、分流鍛造、しごき加工、圧縮加工、分流パンチ、深穴鍛造機、前・後方押し荷重線図、閉塞鍛造—背圧付加—分流鍛造—前後方押し法の組み合わせ複合鍛造法、空・油圧機構のダイセット、捨て軸・逃し穴の原理、歯形ダイの浮動化	10
E	設備、金型、プレスなど	亜熱間 + 冷間ローリング成形、温間 - 熱間複合鍛造、サーボプレスの構造と特徴、スライドモーションの選定、複動鍛造、鍛造品の局部的精度のコントロールの可能性、冷間鍛造プレスの大型化、特殊仕様化の要求、プレス機械の高速化、空・油圧機構の金型・ダイセット、ダイクッション機構	3
	計		24

今回の調査では、分流、背圧付加による鍛造法に関する文献が少く、特に海外での技術資料の収集が難しかった。これらに技術分野の研究は日本国内での研究数が多く、日本独特の技術分野と判断できる。これらの基礎的な研究をベースに生産技術として実用化し、国内鍛造業の技術レベルの向上につなげるアイテムにしたい。

-2 適用対象品の選定調査

この研究は新鍛造プロセスの有効性を実証するための試作対象を選定するための調査を行った。

1) C V Tシャフトの選定調査

近年、小型車需要の増大、日本のエコカー減税による燃費競争に対してC V T採用車が有利で、採用車種が増えている。更に、省エネルギーの最有力車種であるH V車には、多くC V Tが採用されている。

このような状況下で、部品製造業各社は、C V T部品の低コスト生産法にしのぎを削っている。部品の中で、大型でコストの掛かっている部品が、C V Tシャフトである。

図1は、代表的なC V T変速機であり、C V Tシャフトには、プライマリーシャフトとセカンダリーシャフトがあり、今回の調査対象としては、軸の短いプライマリーシャフトを取り上げた。

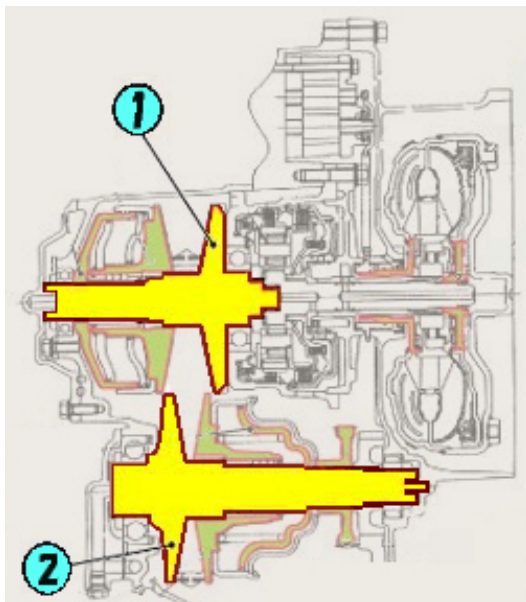


図1 C V T変速機 1:プライマリーシャフト 2:セカンダリーシャフト

この2年間に、発表された新車のトランスミッションC V T機構をみると、大きく2つ

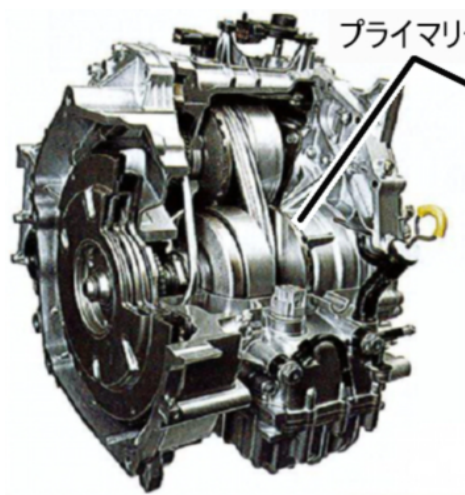


図2 小型C V T

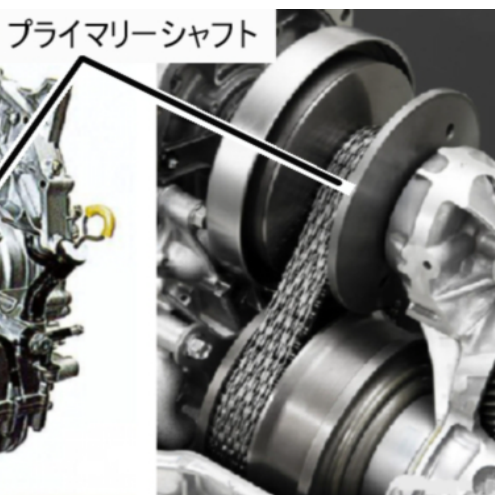


図3 中型C V T

の方向に分けられる。1つは、図2にあるような小型車、軽自動車用で、中間軸の廃止で小型化、H V車に見られる省エネのためのトルコン廃止である。

図3は2000ccを超えるサイズの車への搭載例である。今日、経済は低迷しているが、軽自動車を含む小型車は、更に省エネを目指しながら生産台数の増加が見込める。中型の

HV車は、生産台数の大幅増加を続け、CVT搭載率が高いと予測される。また、中型車はそれ程多くはないが、CVT搭載車が増加すると予測される。

このような中で、CVTシャフトは小形の物が多くなり、より低コストで、精密な鍛造品が要求される。

プライマリーシャフトの製品形状は、軸つきフランジ製品である軸径とフランジの径比は、3.5～4.0で軸径に対し、大きなフランジを持つ製品である。

フランジは、テーパ状で、外周部は大変に肉が薄く、密閉度が高く成型荷重が大変に高くなる。軸部2段の段があり、それぞれ絞り押し出し加工か、据え込み加工が必要である。このためプレス成型では3ないし5工程を要し、1,000 を超える熱間鍛造で製造されている。

2) ベアリングレースの選定調査

冷蔵庫や洗濯機などの家電製品、自動車、航空機、そして産業機械や宇宙ステーションなど、世界中で使われている機械の多くはベアリングで支えられている。

ベアリングレースは形状が単純なため原価改善も難しく、素形材を生産している中小鍛造メカにとっては、川下産業から求められるコストの削減にも限界を感じている。国内における2008年度のベアリングレース生産量は、図4に示すように32億個以上と言われており、これらのベアリングの多くを開発する本技術で生産することによるコストメリットは非常に大きく、ベアリング業界にとっては不可欠な技術開発と考えている。

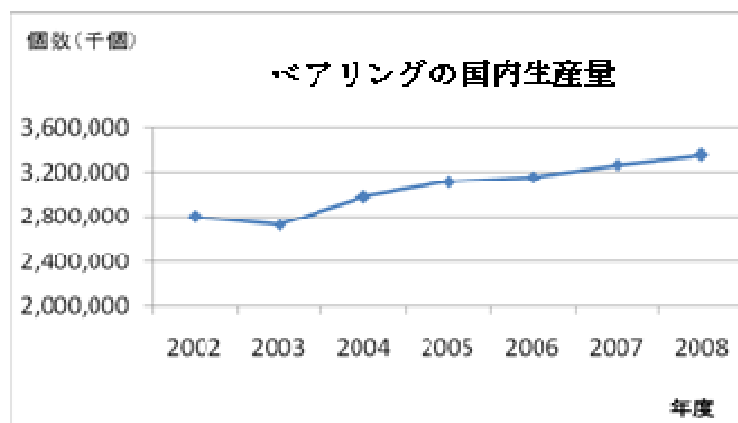


図4 国内生産量推移

ベアリングの中でも主に自動車用の車軸、トランスミッションおよびデファレンシャルギヤに使用される円すいころ軸受は、特定車種専用設計のものが多く、近年の多段トランスミッションに使用される大径・薄肉品種、高容量デファレンシャルギヤ用の肉厚幅広品のように鍛造時に成形しにくいものが増えてきている。(図5)



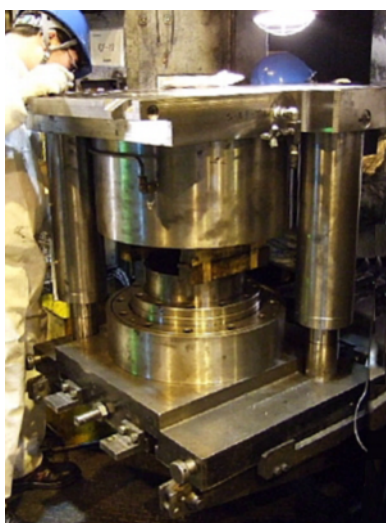
図5 円すいころ軸受

円すいころ軸受の素材は、おもに熱間鍛造と冷間鍛造の組み合わせ、または、温間鍛造と冷間鍛造の組み合わせで生産されているが、近年の省エネルギー・省資源に向けて、加熱エネルギーが少なく、素材歩留まりの良い温間鍛造と冷間鍛造の組み合わせによる生産方法に注目し、とくに温間鍛造工程の更なる省エネルギー、つまり成形荷重を下げ、小型プレスにより大型の製品を生産し、低コストで鍛造素材を供給するための工法開発が期待されている。

試験設備に必要な追加機能検討と開発設計・製作

本研究の基本的な考え方は、「流動制御」である。「流動制御」は、従来の一方向の成形荷重軸による型鍛造法とは異なり、複数の成形荷重軸とその成形ストローク工程中に、速度を制御することにより、金型内の材料を合理的に流動させ、しかも欠陥のない成形品を得る工法である。このプロセス研究のための必要とする試験装置について必要機能の検討とその設計・製作を実施した。

1) 流動制御を行うためのダイセットの設計構想



流動制御では、金型の作動順序をダイセットに組み込んだ油圧シリンダーにて行う。これを上下の金型の後方に配置し、タイミングをみて、油圧バルブにより油圧を開放したり、背圧をかけながら徐々に開放する構造を設計した。

図6は、本研究に開発したダイセットの外観である。油圧室は、上型後方に設置した。

図6 ダイセット外観写真

2) 油圧ユニットの開発

流動制御ダイセツに圧力を供給し制御する油圧ユニットは、図7に示す油圧回路図の構成を持つ。図8は、油圧ユニットの外観である。

図9はバルブユニット外観を示す。

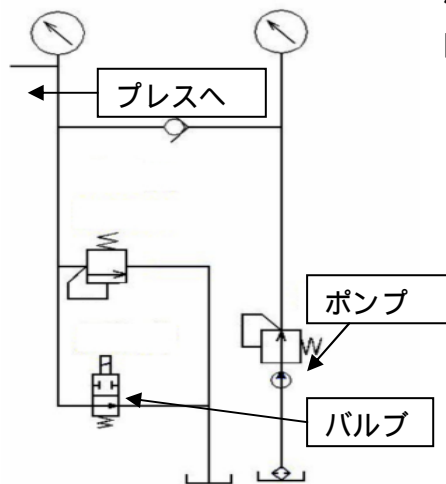


図7 油圧回路図



図8 油圧ユニット外観

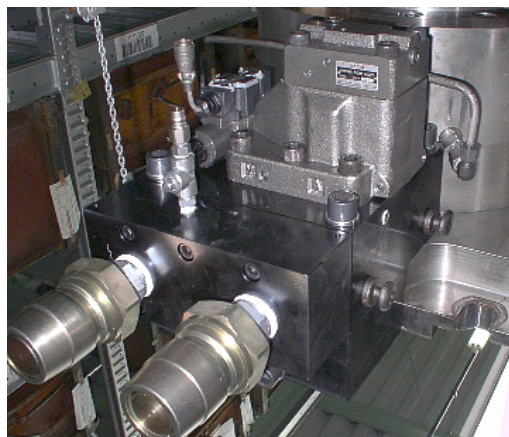


図9 バルブユニット外観

本開発プロセス適応鍛造・金型技術確立のための研究開発

-1 C V Tシャフトの試作

C V Tシャフトは図10に示すように大径・薄い鰭を持った軸付シャフトである。軸より大径のピレットを用い、スケール落としと押し出しを繰り返す多工程を必要とする。当社では、 $\phi 100$ 、厚さ5.0mmの温間据え込みによる製造実績があり、その製造経験と新流動制御技術を組み合わせた条件で試作研究を行った。



図10 C V Tシャフト鍛造品外観

鍛造試作上の機械的制約があり、軸部を短縮したモデルを対象製品形状として、CAE解析を行い、その形状で先に試験鍛造装置により次の試験条件にて鍛造試作を実施した。その結果についてはここでは詳細な記述を行わない。

試験条件	材料	$\phi 30.0$	長さ	160 mm
	加熱温度	700		
	SPM	15spm		

その結果から確認出来たポイントを次に挙げる。

- ・流動制御で、型の一部を抜く（型進行方向の動きを止める）場合は、荷重を大幅に減らすことが可能である。本試験では、20%シミュレーションによる据え込み率が高い場合は、40%程度低減の可能性がある。
- ・徐圧は、今回の機器選定で、スムーズに機能した。徐圧時間も2 msec で作動しておりスライドの作動以上、材料の流動以上のスピードがあると判断できる。

-2 ベアリングレースの試作

複列円すいころ軸受のベアリングレースは、温間鍛造と冷間鍛造の組み合わせにより高い材料歩留り率が得られているが、鍛工程数が多くリードタイムとバッチ処理のため生産性が悪いことが欠点であった。（図11）

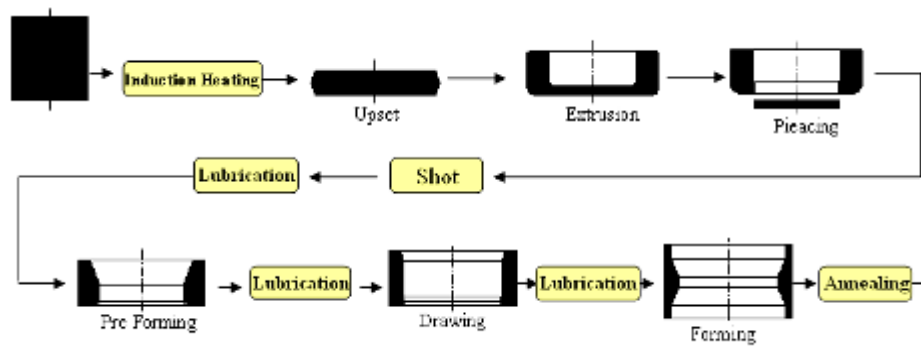


図11 現在の鍛造工程

この欠点を解消すべく、試作製品として図 1 2 のモデル形状による流動制御技術により工程短縮を計画した。この成形においては、円柱素材を据込むと同時に内径を円すい状に後方押し出しを行なうことで、結果的に温間鍛造工程 3 工程を 2 工程、冷間鍛造 3 工程を 2 工程と成形工程全体では 6 工程を 4 工程化させることが可能になる。

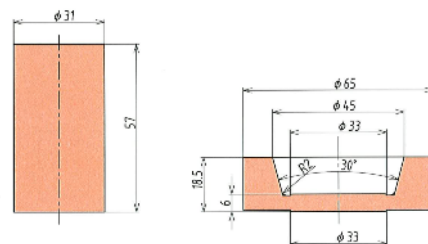


図 1 2 試作モデル形状

鍛造試作前にこのモデル形状で従来法での鍛造解析を実施した・DEFORM によるシミュレーション結果では、図 1 3 のように成形途中で端面が大きく変形し、この部分を矯正するには、ほぼ密閉状態の成形状態となり 1,080 トンの成形荷重が必要であることが判明した。

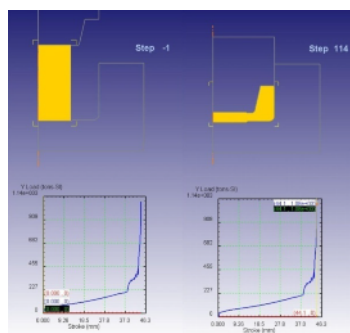


図 1 3 解析結果

鍛造試作条件

材質	SUJ2
成形温度	700 （放射温度計にて測定）
加熱方法	高周波加熱炉
素材潤滑	黒鉛コーティング
金型潤滑	モリコート塗布
成形プレス	L 1 C 630 L （コマツ製 630 トンプレス）単発成形

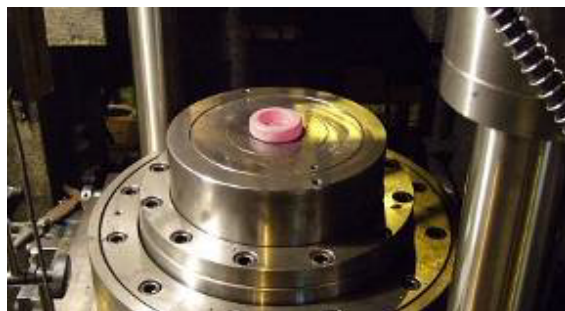


図 1 5 試作試験のダイセット・金型と最終成形品



図 1 4 試作試験の成形の状態

鍛造試作の結果については、その詳細をここでは記述しない。

鍛造試作における成形状況と素材、最終鍛造品の外観について図 1 4 , 1 5 に示す。



図 1 6 新鍛造プロセスの成形過程

図 1 6 は新プロセスにおける 1 工程内の変形過程を示している。

試作結果

鍛造試作については、今後更に、様々な条件での追加試験が必要であるが、パンチ面圧(パンチ拘束面積)で比較すると、114Kgf/mm が 68Kgf/mm と 40%低下し、分流による効果が確認できた。密閉成形で荷重が 245 トンであり、分流成形品は 194～196 トンと 26%の荷重低減効果が確認できた。

最適鍛造工法の確立に関する研究

ベアリングレース

成形品のメタルフローとミクロ組織を図 1 7 及び図 1 8 に示す。

メタルフローが密集する底厚部分に巻き込みなどの欠陥が出やすいが、今回の試作品は、メタルフローの乱れもなく、非常にきれいな成形状態である。また、ミクロ組織は、球状化焼鈍組織であり、素材での組織状態を維持している。これは成形温度が 700 と A1 変態点以下の成形温度(温間鍛造)であるためである。



図 1 7 試作品メタルフロー写真

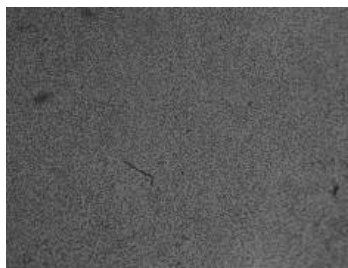


図 1 8 試作品ミクロ写真

今回の試作品の形状を観察すると底厚はほぼ同じであるが、平面部のダレが大幅に改善されており(図 1 9)、この状態でも成形荷重は、196 トンと従来成形方式にくらべ、26%低減している。

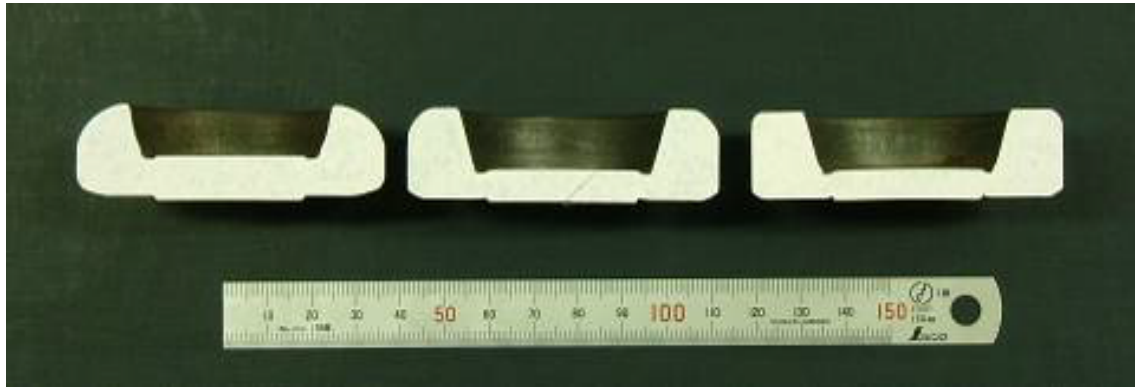


図 1 9 鍛造過程での断面形状変化

今回、流動制御方法で鍛造試作を行なった C V T シャフトとベアリングレースは、それぞれ成形荷重低減、工程削減を目的に実施した。

シミュレーションによる比較確認も合わせ実施し、この流動制御方式による方法が、製品欠陥を発生させずに従来工法に比較し、20～30%の荷重低減と工程削減の可能性を確認できた。ただし、さらにデータの収集・解析が必要である。

本プロセスに必要とする技術研究

-1 新金型材料の研究開発

本研究では、対象部品であるベアリングレースの温間鍛造や C V T シャフトの温・熱間鍛造において素材を流動制御することによる荷重を低減することが主たる目的である。更に、流動制御鍛造を支える技術の一つとして、新しいタイプの型材を採用することによって更なる荷重低減の可能性を確認するため、先行して基礎データの収集を目的とした。

荷重低減を可能にする型材への要求特性は

- 1．加工中のワーク材温度を下げない型材
- 2．加熱，冷却のサイクルにおいてヒートクラック等が発生しない型材
- 3．鍛造時の衝撃に耐えうる型材

等が考えられており、これに適合する材質選定・開発研究を行った。

その研究内容についてはここでは省略するが、研究の成果として金型新材料の採用によって 30% 程度の成形荷重低減の可能性を確認した。さらに幅広く鍛造による実評価試験を進めたい。

-2 C A E 解析手法に関する研究

C A E 解析の手法

本開発における対象製品の鍛造試作に際して、新プロセスでの各種試験条件で CAD によ

る鍛造塑性流動解析を行っている。

試作品である CVT シャフト、ベアリングレースの鍛造試作との比較を行い、解析手法について、今後の試験、生産への適用の可能性を評価した。今後の解析データの蓄積が必要であるが、新プロセスの特徴である、分流による複合鍛造の効果を示しており(図 20) 今後、本開発の鍛造プロセス研究開発を進めるにあたり、解析結果と実鍛造の比較により、精度の高い解析結果が得られると考え、その解析手法の確立を推進したい。

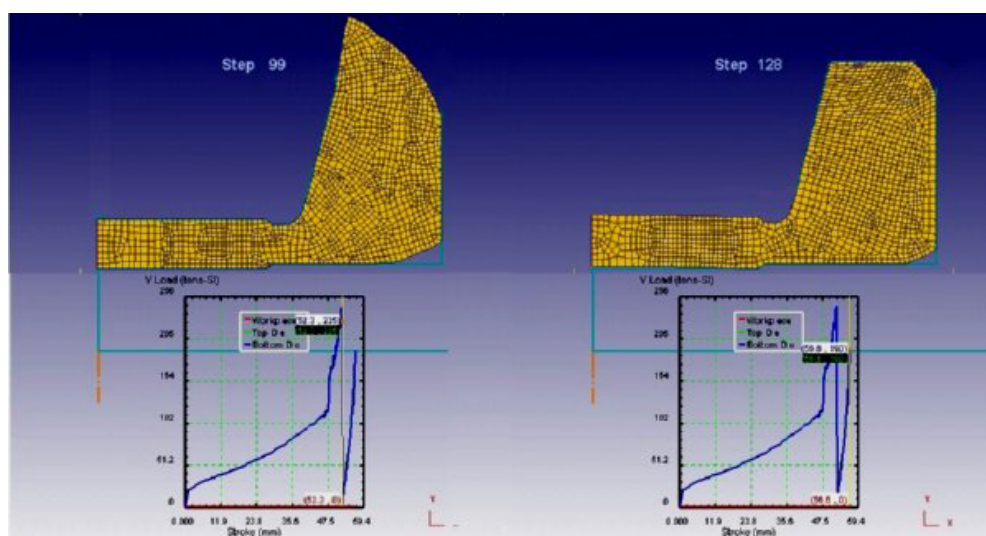


図 20 ベアリングレース試作品解析事例(分流の効果)

第 3 章 総括

国内鍛造業は、自動車産業の伸長とともに生産を拡大してきたが、グローバル化の中、さらに近年の経済情勢の中で競争力を維持し、生産量・利益を確保することが難しい環境にある。また、新しい素材、加工法が出現する現在、鍛造業として存続するためには、中小企業といえども、需要家に対して鍛造部品の新たな付加価値を提供するための戦略と、その実行が必要である。鍛造品が今後、生産量・利益を確保するための条件として、高機能化、複雑形状・高精密化、低コスト化が挙げられる。

本プロジェクトは、自動車産業における鍛造へのニーズである「コスト削減」、「高精密化」を目標として、鍛造ストロークの複合化を利用して、従来行われていない新たなベアリングレース鍛造法とその適用範囲を拡大することを目指している。

さらにベアリングレースへのプロセス適用と並行して、自動車部品として、CVT シャフトを適用対象品として選定し、鍛造試作試験を実施した。

本年度の研究として、新しい鍛造の実用化の技術的な基盤となる成果が得られた。先の

第1章でその概要について記述しているが、今後の実用化に向けて基盤となる研究開発の成果を次に列挙する。

- 1．本プロセスの研究開発に適合し、その評価を可能にする試作対象品を選定することができた。
- 2．本鍛造プロセス研究開発に適合した背圧付加ダイセット用油圧制御装置を設計・製作し、効果的な試作試験が可能となった。
- 3．鍛造試作研究には今後、更に、各種試験条件でのデータ収集解析が必要ではあるが、今年度の試験研究で、本プロセスの中核である鍛造複合化（背圧付加とその制御）が試作品の成形に有効であることが試験結果から得られ、今後のプロセス実用化に向けての基盤的な知見が確保できた。
- 4．本プロセスの試作品について、その試験条件でのC A E解析と実鍛造の比較を行い、本プロセスの解析手法として効果的であるとの見通しを得た。

本年度の研究開発において、役割を分担した効果的フォーメーションの中で、次年度に繋げる成果を達成することができた。