

平成２３年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「加工速度制御鍛造による高精度ヘリカルギヤの開発」

研究開発成果等報告書

平成２４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

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（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）	2
1-3	成果概要	4
1-4	当該研究開発の連絡窓口	4

第2章 本論

①	歯車製品の適応対象部品の調査研究	5
②	試験設備に必要な追加機能の検討と開発設計・製作	
②-1	閉塞ダイセット、油圧制御装置の研究	7
②-2	テーパーウエッジ機構の研究（設計・製作）	9
③	金型技術の研究開発	10
④	鍛造試作研究	
④-1	試作対象品の鍛造塑性流動解析	12
④-2	鍛造試作研究	16
⑤	試作品質試験・検査 — 歯車計測の研究	23
⑥	C A E 解析手法の構築	26

最終章	全体総括	27
-----	------------	----

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

自動車産業は、地球環境問題（排ガス規制）から車体軽量化・燃費向上が求められており、そのための部品の高機能化が進み、鍛造品についてもそのニーズが顕在化しつつある。また、コスト削減についても強い要請があり、グローバル化のなかで、国内鍛造業は競争力の維持・増強が必要であり、特にコスト低減は大きな課題であるが、このような需要背景のなかで、特に国内鍛造業は鍛造品の高付加価値化を実現することを重点に新たな基盤技術の開発を必要とする。本開発のヘリカルギヤ高精密鍛造化はこの解決の有効な一事例である。

ヘリカルギヤは自動車の重要な機械要素部品であるが、97%が依然として切削加工で、多品種への安価な対応が困難である。近年、多軸制御油圧プレスによる冷間鍛造法が出現しているが、複雑で、高価な制御・駆動システムが必要で、生産性が悪く、鍛造品の拡大に適合していない。本研究開発は精密鍛造成形、工程短縮、金型費削減を実現し、需要先のコスト削減と高機能化の要請に対応するサーボプレス適用の高度生産プロセス開発を行った。

ヘリカルギヤは平歯車に比較して、鍛造による歯形成が難しく、一部油圧プレスを使用する冷間鍛造で試みられているが大きな成形荷重を必要とし、かつ生産性が悪く、大幅なコスト削減が期待できないことから、その鍛造化は広く普及していない。

本研究は、サーボプレスの特性を利用し、さらに新たな多機能ダイセットを開発・適用することにより、材料の変形に際して、合理的な塑性流動が得られる複動的な成形力を与えながら、変形速度を精密にコントロールすることにより高い生産性を確保し、高精度なヘリカルギヤの量産の実現を追求したものである。

本研究はプロセス研究開発であり、広くヘリカルギヤ部品への適用展開を考慮しており、代表的なヘリカルギヤ部品について鍛造試作研究とその評価を実施する。同時に本プロセスを効果的に機能させる金型材料の開発を並行して行い、最終的に、高精度ヘリカルギヤの量産プロセスとしての確立を目指した。

平成21～23年度までの研究開発の中で、生産技術として確立するために計画された研究を推進した。

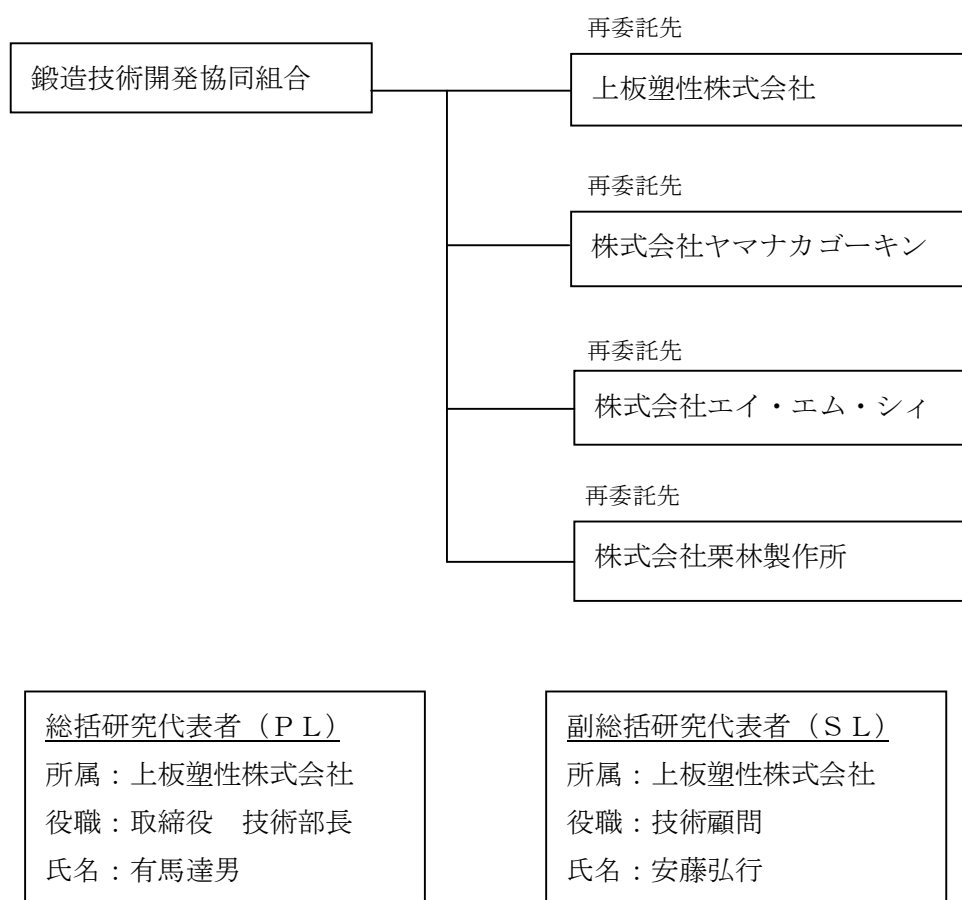
ポイントなる研究内容として、

- ・最適工法確立に必要な鍛造試作試験を可能にするため、新たな考案による試験装置の導入および改造部分付加を実施した。これらの試験設備により新開発鍛造工法の評価、対象鍛造品の試作を効果的に推進することが出来た。
- ・高精度鍛造を可能にする金型材料、金型構造の確定のための研究を行った。この研究は新鍛造工法の有効に支援する技術として、特に冷間精密鍛造の実現に大きく寄与した。
- ・新鍛造工法による対象製品の外部評価を可能にする鍛造試作研究、品質評価を行い、その結果をベースに期待する需要家との緊密な情報交換が実現している。

1－2 研究体制（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）

本プロジェクトの参加メンバーは、研究の中核として上板塑性株式会社、金型材料研究を分担する株式会社エイ・エム・シィおよび金型メーカーであり、鍛造解析を分担する株式会社ヤマナカゴーキン並びに鍛造試作を協力する株式会社栗林製作所、開発管理を行う鍛造技術開発協同組合から構成されている。

1）研究組織（全体）



2）研究者・管理員

【事業管理機関】鍛造技術開発協同組合

①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

【再委託先】

②研究員

上板塑性株式会社

氏 名	所属・役職	実施内容（番号）
有馬 達男	取締役 技術部 部長	①②③④⑤⑥⑦⑧
安藤 弘行	顧問	①②③④⑤⑥⑦⑧
今福 宏治	技術部設計課 係長	①②③④⑤⑥⑦⑧
宮本 純平	技術部設計課	①②③④⑤⑥⑦⑧

株式会社ヤマナカゴーキン

氏 名	所属・役職	実施内容（番号）
金 秀英	技術本部 リュウシヨエンジニアリンググループ グループリーダー	③④⑧
八木 哲司	技術本部 フロセスエンジニアリンググループ グループリーダー	③④⑧
安田 豊	製造本部 生産技術室 グループリーダー	③④⑧
久保田 智	技術本部 リュウシヨエンジニアリンググループ チームリーダー	③④⑧

株式会社エイ・エム・シイ

氏 名	所属・役職	実施内容（番号）
社本 稔	技術部・常務取締役	③
野崎 辰夫	技術部・主任	③
酒谷 隆晴	製造部・次長	③

株式会社栗林製作所

氏 名	所属・役職	実施内容（番号）
真壁 隆樹	取締役 技術部長	④
高木 孜育	顧問	④
中村 剛敏	品質技術部 課長	④
土屋 賢悟	同 部員	④

1－3 成果概要

実施項目別に3年間の研究成果の概要を記述する。

①歯車製品の適応対象部品の調査研究

川下産業からの協力を得て、次の鍛造試作対象品を選定することが可能となった。

- ・ステアリングピニオン；明石機械工業株式会社
- ・ミッションギヤ；株式会社本田技術研究所

各製品についての技術要件等の情報を入手し、効果的な試作ができた。

②試験設備に必要な追加機能の検討と開発設計・製作

平成21年度、平成22年度に実施した複動作動閉塞鍛造ダイセットによる閉塞・分流鍛造試作試験の結果から、ウェッジ機構を新規設計製作・付加し、当初計画に適合した機能・性能を確認し、ギヤ鍛造試作品を完成することが可能となった。

③金型技術の研究開発

高ヤング率の超硬合金の研究開発により、金型の変形を最小限へ抑えることが可能となり、それにより本開発の新鍛造工法の有効性を実証することができた。

④鍛造試作研究

ステアリングピニオンについては、複数の形状製品の試作を実施した。その結果から、短軸製品について、背圧成形が有効であり、立歯筋方向誤差 10 μ 以下、量産時の生産量 25 個／分の技術的見通しが得られた。

ミッションギヤ（スクーター用）については成形面圧 3000Mpa 以下で、歯先まで完全充填し、歯車精度 新 J I S 5 級の高精度が得られた。

⑤試作品質試験・検査

平成21年度導入の歯車計測装置によりヘリカルギヤの鍛造品の精度評価を継続し、歯車鍛造品の高精度計測手法を確立した。平成23年度導入試験装置により歯車の組織検査、機械特性の試験での有効な結果を確認した。

⑥CAE解析手法の構築

ステアリングピニオンやミッションギヤのCAE解析を通じて、その結果と実機との比較を行い、解析設定条件など実態に合わせた効果的な解析の手法を確立できた。

1－4 当該プロジェクト連絡窓口

鍛造技術開発協同組合 専務理事 岩田健二

TEL：042-384-3540 FAX：042-384-3540

E-mail：k_iwata@tanzo-kumiai.or.jp

第2章 本論

1. 実施項目：①歯車製品の適応対象品の調査研究

2. 研究内容

(1) 研究の方法

国内外のクラッチ及び動力伝達装置に関連する技術情報の資料収集をした。

この収集した資料から対象部品（ミッションギヤ）の鍛造品としての技術必要条件を把握する。

(2) 研究の結果

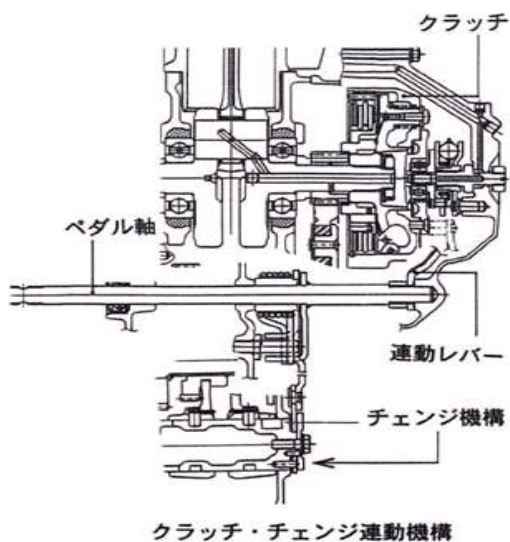
(2)－1 対象製品の背景・用途

一般的なオートバイが車体の左右に分離したステップに足をかけて乗車する構造を持つのに対し、平板またはそれに近い板状のステップに足や膝をそろえて乗車できるものをスクーターと呼んでいる。変速機構はベルト式無段変速機によるオートマチックトランスミッションを採用した車種がほとんどで、足で操作するペダルを持たない物が多い。その為“スクーターはオートマチックである”と誤認識をされる例が多いが、マニュアルトランスミッションの車種もあり、海外ではマニュアルが一般的である。又ステップスルーを可能にする車体形状のため、オートバイに比べて車体剛性は限定されている。エンジンやトランスミッションは、スイングアームに一体化した“ユニットスイング”という機構で成り立っていて、そのため重心が後側になり後輪のバネ下荷重が大きく、多気筒のエンジンを搭載するにはスペース上困難である。スクーター用に簡単な運転操作を実現するために開発されたのが、自動クラッチ連動トランスミッションである。当初、スクーターには遠心式の自動クラッチが使われており、発進時の操作は容易であったが、変速機を備えていなかったため走行性能が劣っていた。この走行性能を向上させるために3段変速機を組入れた構造により現在のスクーター変速機の原型が完成された。これが遠心式自動クラッチ連動トランスミッションである。

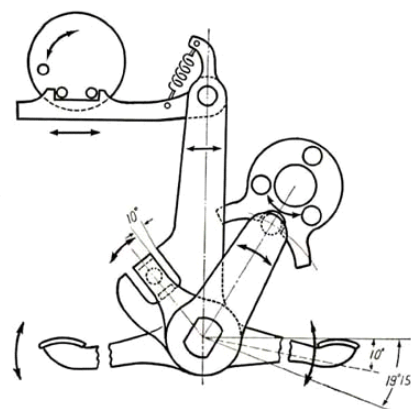
(2)－2 クラッチ連動変速機構

クラッチ連動変速機構は多くの課題を克服して完成しており、スクーターのヒット要因にもなっている機構である。図①-1はクラッチ連動変速機構を示し、図①-2はクラッチ連動変速作動図を示す。ハンドル等に取り付けられたクラッチレバーでケーブルを介してクラッチのリフターを動かす代わりに、チェンジレバーの作動角 19.5° 、前半 10° のストロークでクラッチリフターを動かしてクラッチを切り、後半の 9.5° のストロークで変速する。

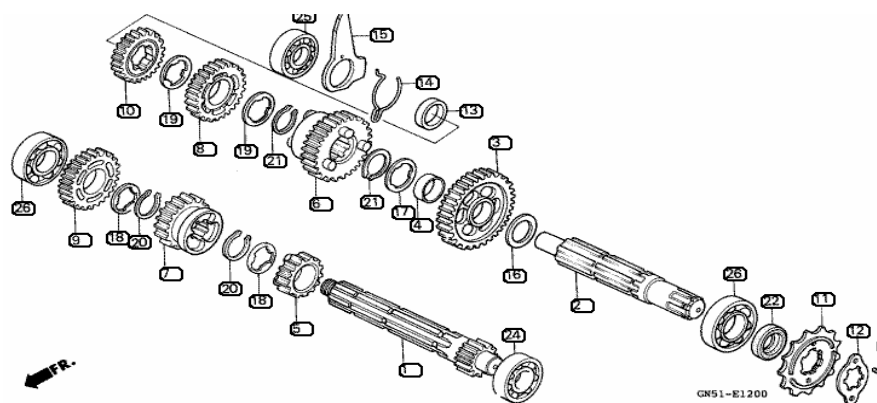
図①-3はこのスクーターの変速機に組み込まれているミッションギヤとミッションシャフトを示す。この図からも明らかなようにスクーターにも一般的なオートバイ並みの変速機が組み込まれて高精度なギヤにより構成されている。



図①-1 クラッチ連動変速機構



図①-2 クラッチ連動変速作動図



図①-3 ミッションギヤ・ミッションシャフト L/O

平成 21 年度は、4 輪車のステアリングシステムを調査し、平成 22 年度は、4 輪車を中心にトランスミッションを調査した。2 輪車／4 輪車ともに、多くの歯車が様々な大きさや形状で、重要な機能部品であると認識し、最終年度の試作対象品として 2 輪車の中のスクーター変速機を調査した。対象のミッションギヤは高精度が必要とされ、形状・サイズから試作対象として最適と判断した。その対象部品となるスクーター用ヘリカルギヤを下図①-4 に示す。



図①-4 スクーターの構成されるヘリカルギヤ部品

1. 実施項目：②試験設備に必要な追加機能の検討と開発設計・製作

②-1 閉塞ダイセット、油圧制御装置の研究

2. 研究内容

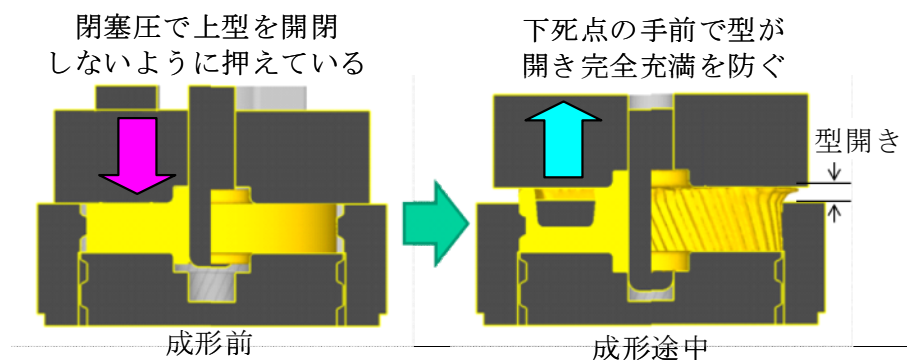
(1) 研究の方法

トランスミッションの主要部品であるヘリカルギヤ部を成形するため、保有する 630ton サーボプレスを活用するが、プレスのスライドが 1 軸の成形モーションであるため、分流成形ができない。そこで、このプレスに特別な試験設備を追加機能した。

その機能は、従来の油圧閉塞機能と異なり、成形の位置情報で閉塞圧力を抜くことができる特別な油圧制御装置と閉塞ダイセットを研究開発した。

(1) - 1 油圧制御装置と閉塞ダイセットの特徴

従来のダイセットの機構と異なり、サーボプレスのスライド位置の信号を油圧制御装置へ送ることで、油圧を開放することができる。その装置の大きな特徴は、鍛造工程の中で金型が完全密閉する直前に、金型を開放し、荷重低減を図ることである。本研究開発の対象品のヘリカルギヤ部品は、歯先まで金型へ完全に充満することで、高精度な製品が得られる。しかし、金型への充満が進むにつれ、急激に成形荷重が高まり、金型への負荷も増大する。完全充満する前に閉塞で抑えている一部の金型が動作し、隙間が発生することで、材料の分流を促進し、荷重低減を図る。その成形状態を図②-1-1 に示す。



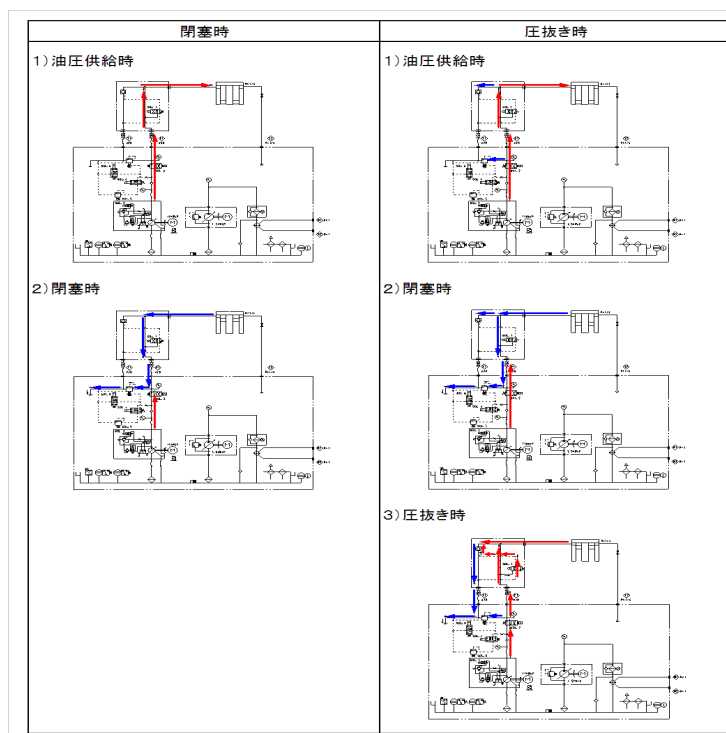
図②-1-1 閉塞鍛造の成形状態（圧抜き）

(1) - 2 一般的な閉塞油圧装置との比較

閉塞油圧装置として使用する一般的な油圧装置は、アキュムレータを使用しダイセットとの油圧を閉回路として使用する方法が、比較的容易でシンプルな回路となる。但し、アキュムレータ方式はシンプルな反面、圧力・流量制御に関して正確にかつ自在に設定することができない。特に重要な仕様は、圧力の可変量であり、本開発の成形途中段階で、圧力可変させる仕様にあった回路を装置メーカーと協力し、独自の回路で研究開発を行った。

(1) - 3 油圧制御装置の回路図

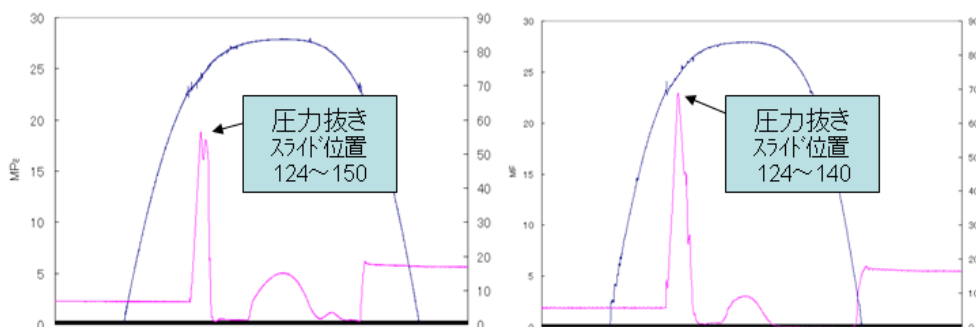
本開発の油圧制御装置における油圧回路の成形ステージごとの油圧回路動作を図②-1-2 に示す。



図②-1-2 油圧制御装置の成形ステージごとの油圧回路動作

(2) 研究の結果

本研究開発の油圧制御装置は、プレスのスライドの信号により、閉塞圧が開放することができ、その結果を図②-1-3 に示す。



図②-1-3 油圧制御装置による閉塞圧制御

一般的な油圧装置は、閉塞ダイセットの上下金型が閉塞時の衝撃で、急激な油圧でサージ圧が発生する。その油圧の大きな変動を押えるため、アキュムレータを入れ、油圧の大きな変動を抑えることを計画している。本研究開発の油圧制御装置は、成形途中の段階で、閉塞の油圧を制御する必要があり、アキュムレータを使用できない。このため、大きなサージ圧が発生を防止するため、サーボプレス本体の制御により金型が当たる瞬間のスライド加工速度を設定し、油圧装置に衝撃を与えないことで、サージ圧の発生を抑えることが可能となった。

1. 実施項目： ②試験設備に必要な追加機能検討と開発設計・製作

②-2 テーパーウエッジ機構の研究(設計・製作)

2. 研究内容

(1) 研究の方法

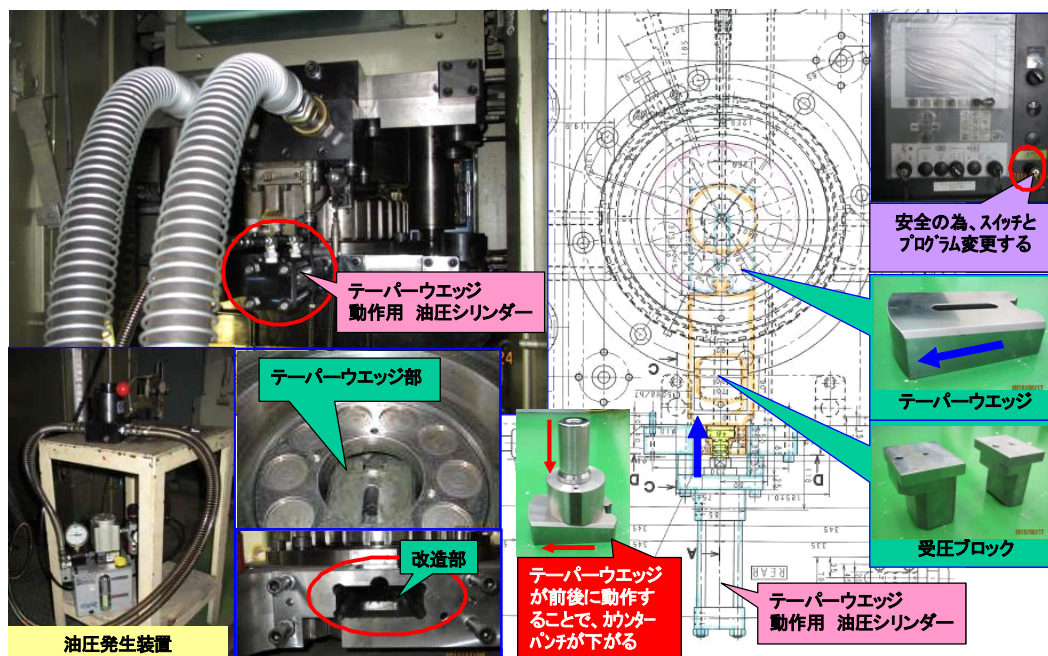
スクーター部品のヘリカルギヤを成形する為、保有する 630ton サーボプレスを活用し、独自の油圧制御装置と閉塞ダイセットで試作開発を進めたが、プレス能力が不足し、ヘリカルギヤの歯先への充満が不足した。その対策の為、閉塞ダイセットにテーパーウエッジ機構を付加させ、サーボプレスの加工速度と位置制御機能を活用することで、従来にない新しい工法開発を行う。

(2) 研究の結果

(2) - 1 テーパーウエッジ機構の試作結果

本研究開発した油圧制御装置と閉塞ダイセットに、テーパーウエッジ機構を新規製作しダイセットに付加した。本装置により、比較的シンプルな操作で、成形の2段モーションを行い、分流成形を可能とした。その機構と外観を図②-2-1に示す。

装置を使用しての鍛造試作段階で、成形荷重を受けるテーパーウエッジが破損する状況を確認し、工具材質や連結部分の形状及び、テーパー形状について検討を加え、本装置による鍛造試作研究を完了させることができた。



図②-2-1 テーパーウエッジ機構と外観

1. 実施項目：③金型技術の研究開発

2. 研究内容

(1) 研究の方法

超硬合金のヤング率（縦弾性係数）は、鋼の2～3倍の値を示し、これは、金型の構造材料として重要な特性である。高精密ヘリカルギヤの成形は、高い圧力を必要とする。そのため、従来の金型では、変形量を抑えることができず、製品精度の低減、金型の破損となっていた。高ヤング率の超硬合金を開発することで、金型寿命の向上と製品精度の向上を目指した。開発した高ヤング率の超硬合金について、従来の超硬合金と比較し、機械的特性をまとめる。

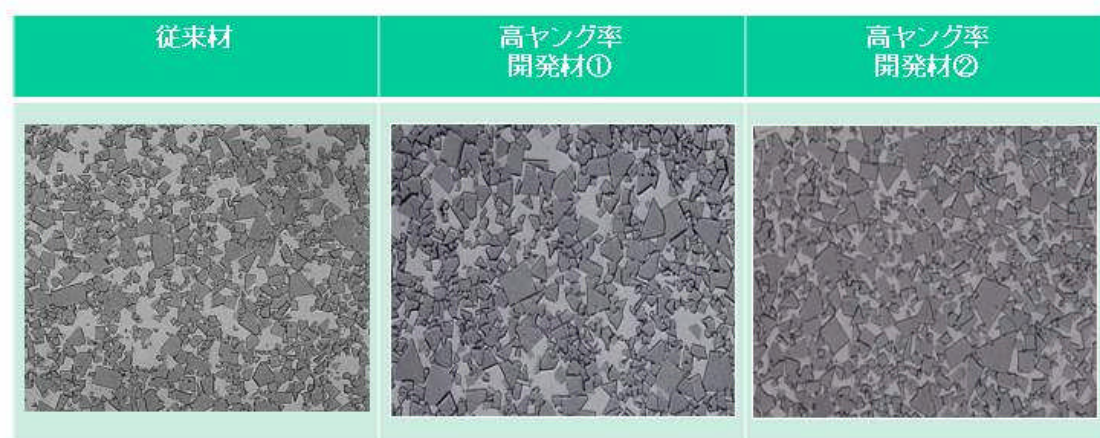
(2) 研究の結果

試験研究の詳細は省略し、最終的な結果として本研究の対象とした高ヤング率の開発材①、②について、その超硬合金の特性を表③-1に示す。

表③-1 超硬合金の特性比較

特性値	従来材	高ヤング率 開発材①	高ヤング率 開発材②
硬さ (HRA)	83.5	85.5	85.0
比重	13.1	13.5	13.6
抗折力(GPa)	3.0	3.2	3.1
破壊靱性 (MN/m ^{0.5})	25	21	24
ヤング率 (GPa)	440	490	500

図③-1に従来材と高ヤング率開発材①、②の組織写真を示す。



図③-1 従来材料と開発材料の組織比較(×1000)

超硬合金とは、炭化タングステン (WC、タングステン・カーバイド) と結合剤 (バインダ) であるコバルト (Co) とを混合して焼結したものである。その結果、Co 量による超硬合金の機械的特性に大きく影響されることが分かった。また、超硬合金の WC の粒径にも機械的特性に大きく影響され、図③-5 に示す Co 量の配合と共に、粒径をコントロールすることで、従来にない高ヤング率とし、高靱性の開発材が得られた。

本研究では、ヘリカルギヤ成形における高い成形面圧に対し、金型のインサート材料である超硬合金の材料を開発することで、より高剛性な金型を目指した。高ヤング率の超硬合金を活用することで、金型の弾性変形量を最小化し、高精度な歯車精度に貢献できた。

この研究の成果は将来の製品化・事業化のための支援技術として有効な基盤的技術になる。

1. 実施項目： ④鍛造試作研究

④-1 試作対象品の鍛造塑性流動解析

2. 研究内容

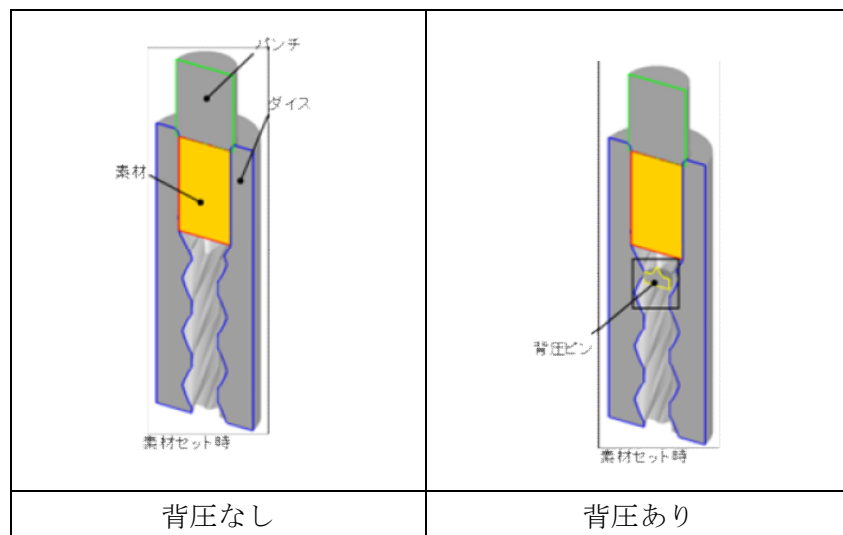
試作対象品（ステアリングピニオンおよびスクーター用ミッションギヤ）の加工条件を数値シミュレーションによって検討し、加工工程の評価を行った。

（A）ステアリングピニオンでは、成形中の背圧制御によって鍛造品の成形状態や形状精度の変化について評価を行い、（B）ミッションギヤでは、金型のモーションコントロールによる歯形充填度の改善と金型負荷の評価についてそれぞれ行った。

（A）ステアリングピニオンの鍛造解析

（1）研究の方法

図④-1-1 に成形解析モデルを示す。背圧ありの条件では、背圧ピンのモデルを配置して荷重を付加している。

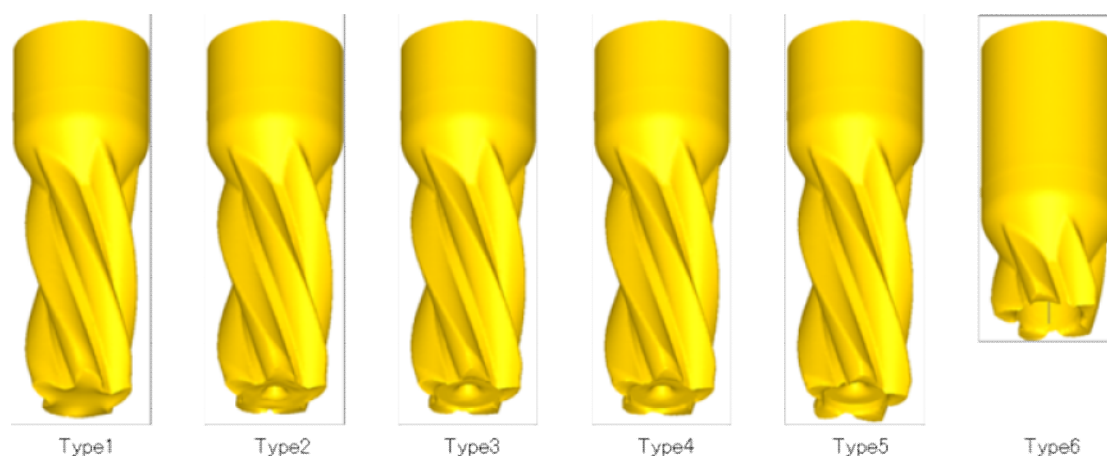


図④-1-1 成形解析モデル

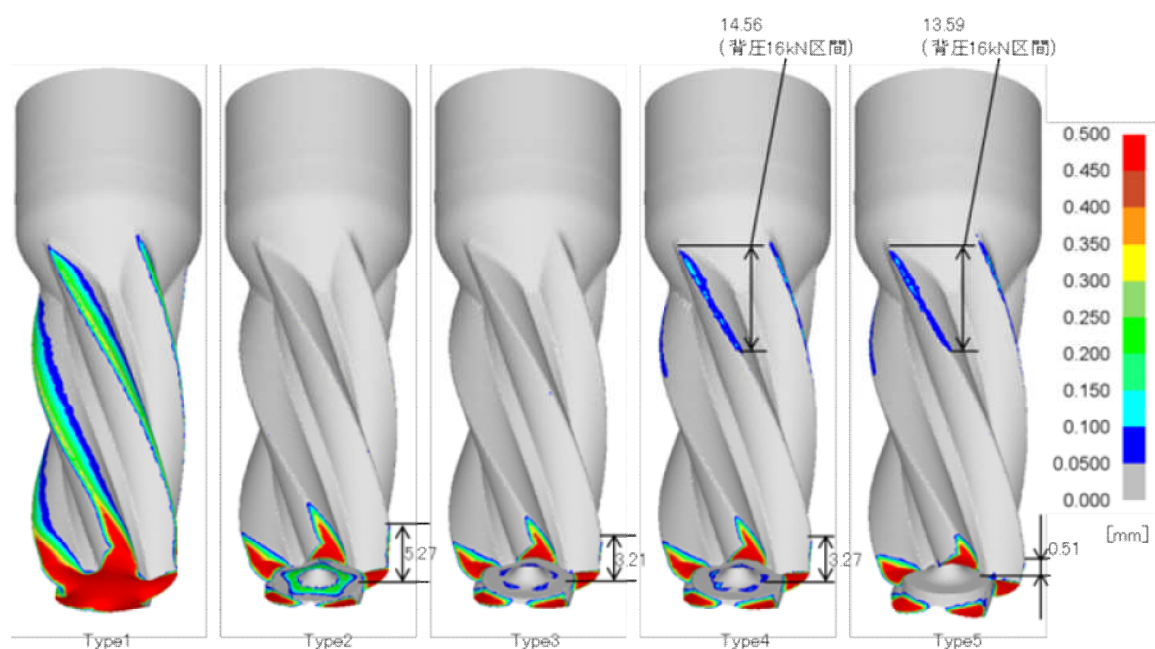
（2）研究の結果

・成形解析結果

製品形状および解析条件等の詳細は省略するが、最終解析の事例として成形終了時の素材形状を図④-1-2、素材の充填状態を図④-1-3 に示す。



図④-1-2 成形終了時の素材形状



図④-1-3 素材の充填状態

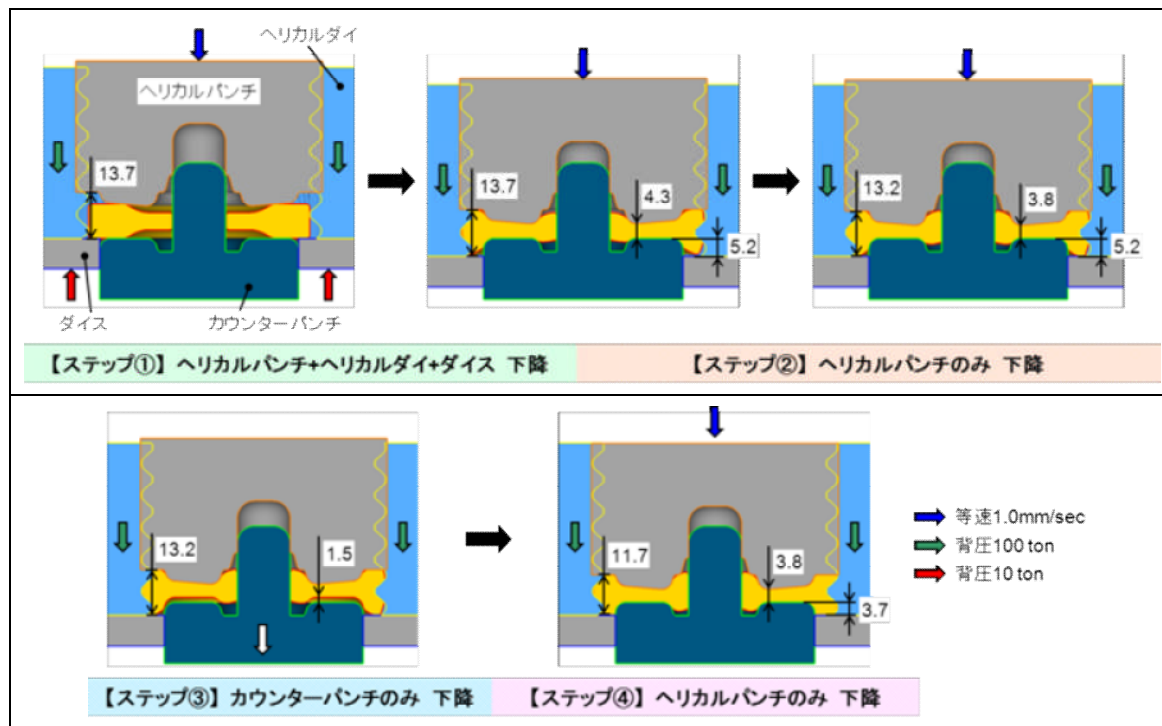
ステアリングピニオンの成形において背圧を用いると、先端ダレの改善が見込まれる。ただし、高い背圧を適用すると先端形状が潰されるため、形状の確保が難しくなる問題が現れる。また、成形中に背圧を低くする手法は成形荷重を低減できるものの、充填性を下げる影響を及ぼしているといえる。

(B) スクーター用ミッションギヤの鍛造解析

(1) 研究の方法

スクーター用ミッションギヤの成形におけるギヤ部の充填状態改善とヘリカルパンチおよびダイの負荷低減を目的として、成形モーションの変更による効果の確認を行った。

成形解析モデルおよび成形モーションの定義を図④-1-4 に示す。成形過程は図中に表したようにステップ①から④に分けて解析の取扱いを行った。

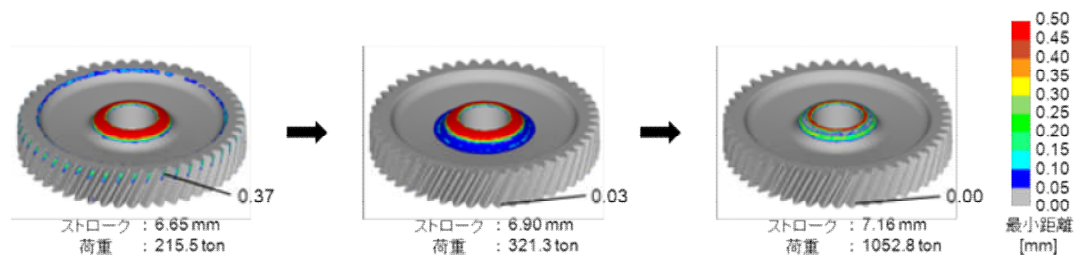


図④-1-4 成形解析モデルおよび工程毎の成形モーション

(2) 研究の結果

・成形解析結果

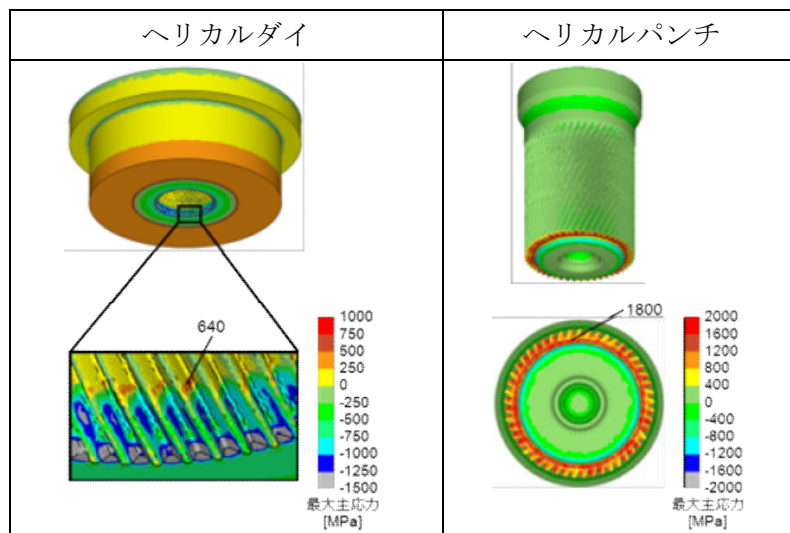
ステップ④における素材の充填過程を図④-1-5 に示す。素材上部に残っていた未充填部分は成形が進むと充填する様子がわかる。



図④-1-5 素材－ヘリカルダイ間距離分布

・応力解析結果

図④-1-6 に金型の最大主応力分布を示す。ヘリカルパンチの先端歯形部に高い引張応力が認められる。



図④-1-6 金型の最大主応力分布

歯形への充填を進めるとヘリカルパンチへの負荷が高くなる結果が得られた。分流成形を取り入れたモーションであるが、歯形への負荷は大きな低減とはならなかった。

1. 実施項目：④鍛造試作研究

④-2 鍛造試作研究

2. 研究内容

(1) 研究の方法

(1) - 1 対象品の選定

2 輪／4 輪用トランスミッションの中から適用対象品の調査検討をした結果、トランスミッションギヤの冷間鍛造の可能性を評価した。歯車の大きさ・形状・要求精度・生産規模（数量）・サーボプレス 630ton の能力の観点で試作ターゲットとして 2 輪用スクーター用ヘリカルギヤに絞り込んだ。

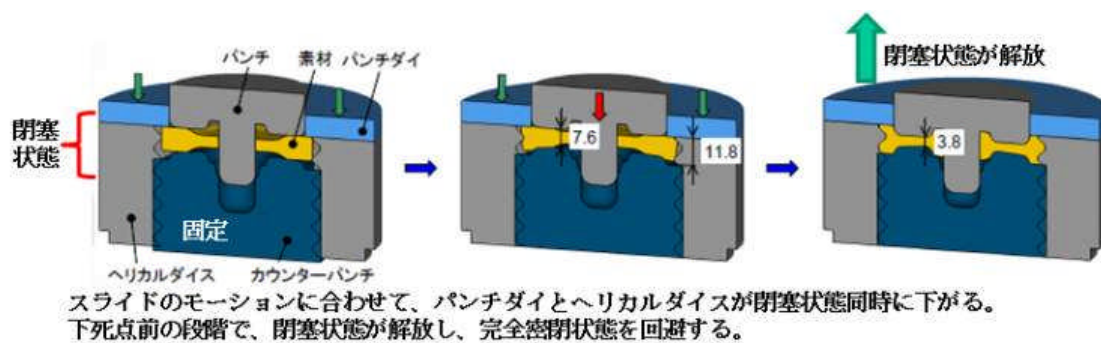
(1) - 2 リング成形工法案

図④-2-1 は、スクーター部品のリング成形工法の成形モーションを示す。

ステップ 1（左図）；油圧制御装置より、パンチダイをヘリカルギヤ閉塞させた状態を示す。

ステップ 2（中図）；パンチがプレスのスライドの動作で成形する。

ステップ 3（右図）；歯形部分が完全充満する前に、パンチダイが上昇し、閉塞していた状態から金型が一気に開放されることで、高い面圧を低減し、金型寿命向上を目指す。このため、歯形部が完全充満する前に短時間で閉塞を開閉させる特殊な油圧制御機構によりこれを実現した。



ステップ 1

ステップ 2

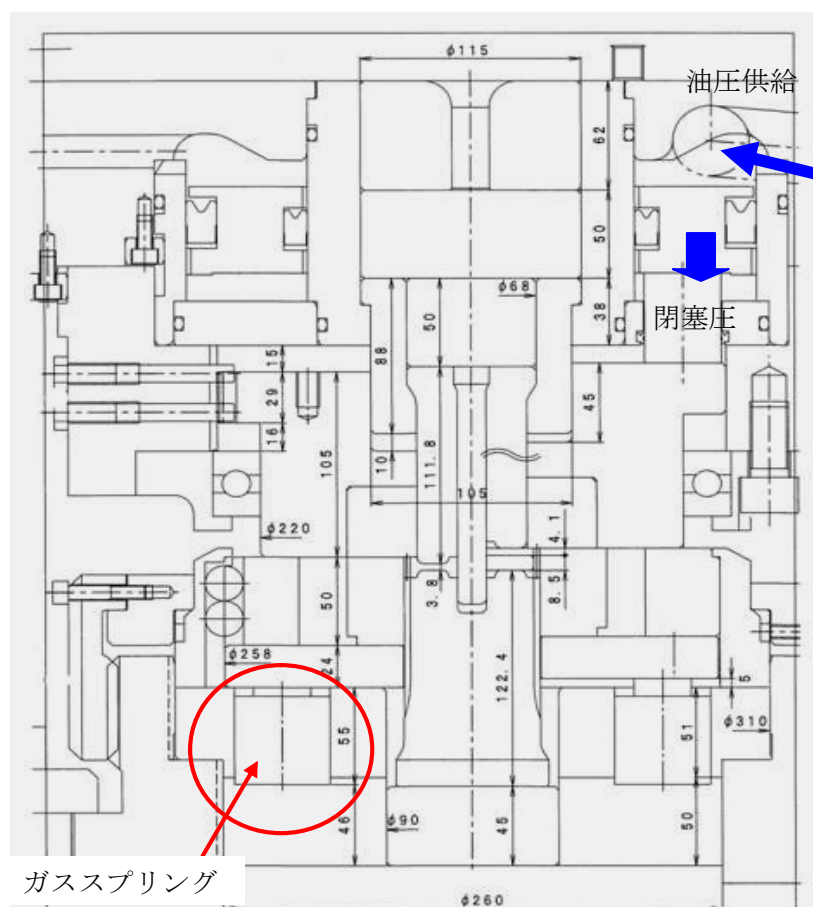
ステップ 3

図④-2-1 リング成形工法の成形モーション

(1) - 3 リング成形の閉塞ダイセットと組立図

スクーター部品の金型構成と閉塞ダイセットのシリンダーを図④-2-2 に示す。

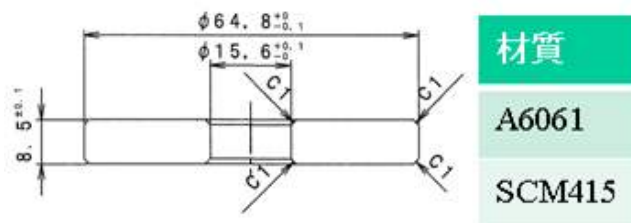
油圧制御装置から油を供給し、パンチダイスを閉塞状態として成形を行う。5 軸の複動油圧プレスのように、上下から成形できないため、ヘリカルギヤダイスをガススプリングで浮上させることで、上下から成形に近づけた。



図④-2-2 スクーター一部品の金型構成 組立図

(1) - 4 試作条件と素材

図④-2-3 は、素材形態と材質を示す。また、成形条件として、閉塞圧は、1100KN と 550KN と 2 水準に設定し、型開き量の制御として比較する。また、素材の材質は 2 種類（6061 材と SCM415 材）とし、アルミ材は、成形における歯形部の充満確認とした。



図④-2-3 素材形態と材質

(2) 研究の結果

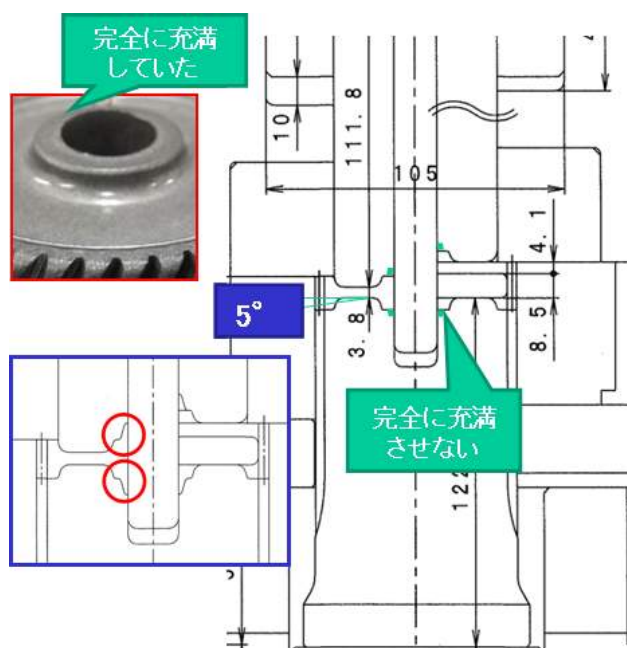
(2) - 1 冷間鍛造品の外観状態

SCM415 材の研究結果は、プレス各スライド条件別に歯先（大径）側への充填状態の変化を図④-2-4 に示す。上パンチと上ダイスの間に若干のバリが発生した。上下の歯先側への流動は、ほぼ均一に流れたが、歯先側まで充填しなかった。また金型破損が発生した。



図④-2-4 各スライド条件別 SCM415 材の成形状態

(2) - 2 未充填と金型破損対策案

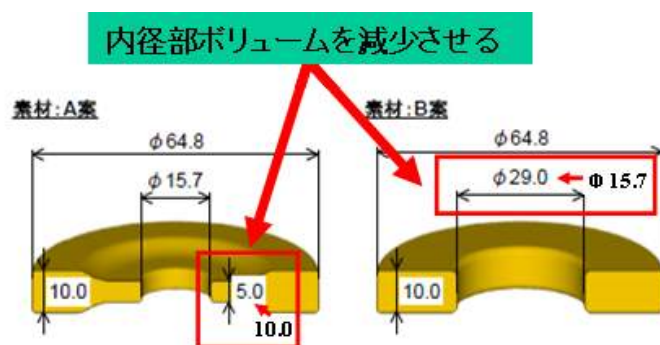


図④-2-5 未充填と金型破損対策 構想図

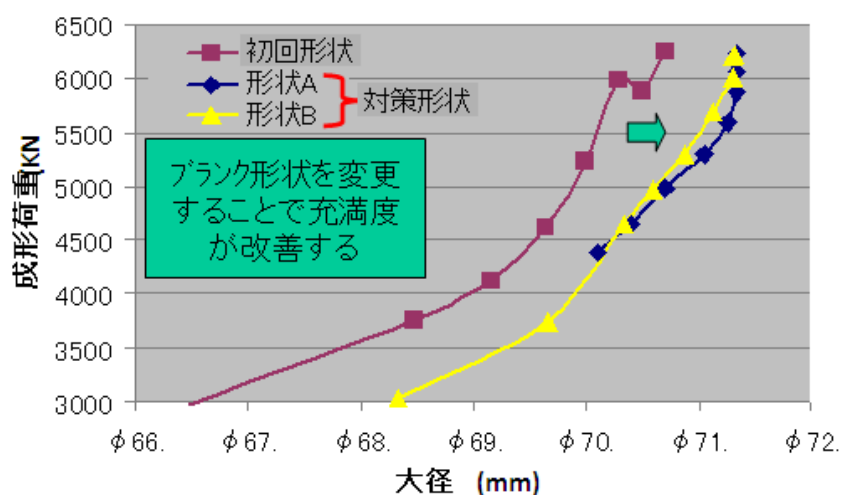
図④-2-5 は、工具破損対策 構想図を示す。工具の破損対策案は、素材の成形におけるボリュームバランスを見直し、歯形側へ流れるボリュームと中央のボス部へ材料が流れるボリュームの配分を見直した。また、金型の工具上では、このボス部が完全充填しないように、材料の逃げ場所を確保し、且つカウンタパンチの端面に5°角度を設けることで、応力集中を回避した。

(2) - 3 対策結果

図④-2-6 は、工具寿命対策の素材形状改善案を示す。初回の素材形状に対し、素材 A 案と B 案共に、内部のボリュームを減らした。その対策の結果を図④-2-7 に示すように、同じ大径側の充満状態と比較すると成形荷重は約 2 割低減した。図④-2-8 は、SCM415 材の素材 A 案と B 案成形状態写真を示す。歯形の充満状態と成形荷重には差が無かった。



図④-2-6 工具寿命対策 素材形状の改善案



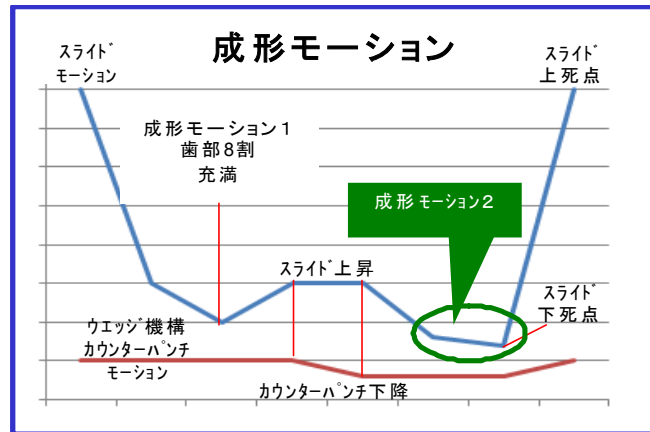
図④-2-7 SCM415 材 素材形態別 大径と成形荷重比較



図④-2-8 SCM415 材 素材形態別 鍛造状態写真

工具動作と成形モーション

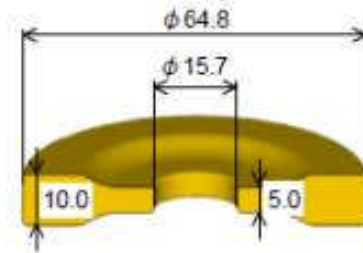
図④-2-10 は、成形モーションを2段階に工具動作させることで、油圧プレス機の複動機構を特殊ダイセットで閉塞とテーパーウエッジで工具を複動作させることが可能となった。また、一般的なプレスと異なり、スライドをサーボモーターの動力を使っていることで、位置制御し、右図のように、複雑な成形モーションが可能となった。



図④-2-10 サーボプレスにより成形モーション

(2) - 5 試作条件と素材

素材形状は、図④-2-11 に示す通り、形状A案で進める。素材材質は、SCM415 の1種類へ絞り込み、2段階の成形モーションの効果成形荷重並び歯面への充填の改善を行う。



図④-2-11 素材 形状A案

(2) - 6 試作開発結果

図④-2-12 に試作開発した状態の製品を示す。成形モーション1は、歯先の充填を80%程度、成形荷重を5945KNとし、その後、スライドを一旦上昇させ、圧力を解放した状態で、テーパーウエッジを動作させる。この状態は、カウンタパンチと製品に隙間が開き、分流できる状態とする。その後、スライドを下降し、再度、成形モーション2の状態となる。歯先まではほぼ完全充填した。

成形モーション1の段階では、ダイスをフローティングさせることで、上下が均等に充填し、歯の中央部が型当たりとなった。しかし、成形モーション2は、下側のカウンタパンチを降下し、隙間を設けて、分流状態とすることで、歯部の下側へ材料流れが少なくなり、歯先への充填が若干不足したが、製品仕様を満足する結果となった。

＜成形モーション1 状態＞

NO,A23 成形荷重5945KN



＜成形モーション2 状態＞

NO,A24 成形荷重6290KN



図④-2-12 ヘリカルギヤの2段成形モーションの成形状態

1. 実施項目：⑤試作品質試験・検査 ― 歯車計測の研究

2. 研究内容

歯車の計測は、一般的に歯車試験機で行われている。それは、一般的な歯車の製造工程によることから歯車試験機が使われている。一般的な歯車の製造は、歯車を加工する前に、内径や外周を基準となる部分が加工されており、歯面に対し、内径または、軸部の同軸の精度が確保されている。その基準となる軸で歯車試験は計測することができる。しかし、冷間鍛造の場合、基準となる内径や軸部又は、端面ともに、歯面に対する基準がない為、一般的な歯車試験機では、計測できない。そこで、平成 21 年度の機器設備で導入した歯車計測装置は、特殊仕様のソフトと制御システムを導入したことで、冷間鍛造品のように軸がずれた製品も、軸補正することで、計測誤差の少ない方法で、スクーター部品のヘリカルギヤの冷間鍛造品を計測し、冷間鍛造品に対し、金型の変化量や歯車精度評価を行う。

(1) 研究の方法

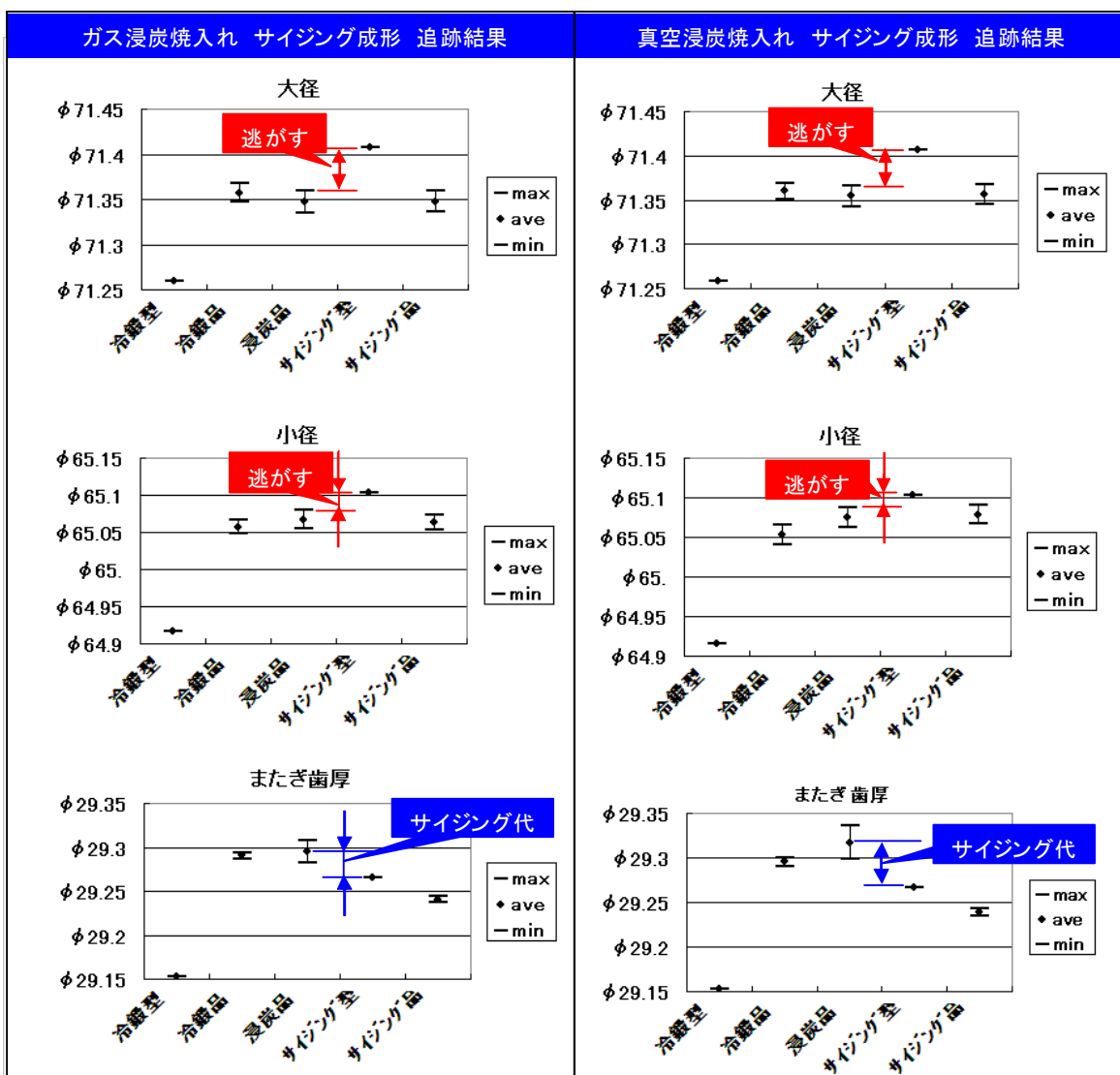
平成 21 年度の機器設備で導入した歯車計測装置を図⑤-1 に示し、研究開発した軸補正ソフトにより、スクーター部品のヘリカルギヤ冷間鍛造品を計測した。歯車計測装置は、高精度回転テーブルに冷間鍛造品を設置・固定して、冷間鍛造品の 2 断面の歯形ピッチ誤差を計測する。この時、回転テーブルの軸と 2 断面の歯面軸の間にズレ量（振れ）を演算処理され、このズレ量の補正を与えることで、歯面基準となる高精度に冷間鍛造品を評価した。



図⑤-1 歯車計測装置

(2) 研究の結果

歯車計測装置にて、スクーター部品のヘリカルギヤの冷間鍛造品、浸炭焼入れ品、サイジング成形品の歯車計測を行い、浸炭焼入れ条件の差を分析する。図⑤-2 に大径、小径、またぎ歯厚の推移グラフを示す。また、そのデータを表⑤-1 に示す。大径と小径は、浸炭焼入れ品と金型で逃がし、歯面のみサイジング代を設けてサイジングを行う。またぎ歯厚は、浸炭焼入れの熱の影響により、最大最小差が大きくなったが、サイジング成形を行うことで、最大最小差が小さくなった。



図⑤-2 各浸炭焼入れ条件別 測定結果（大径、小径、またぎ歯厚）

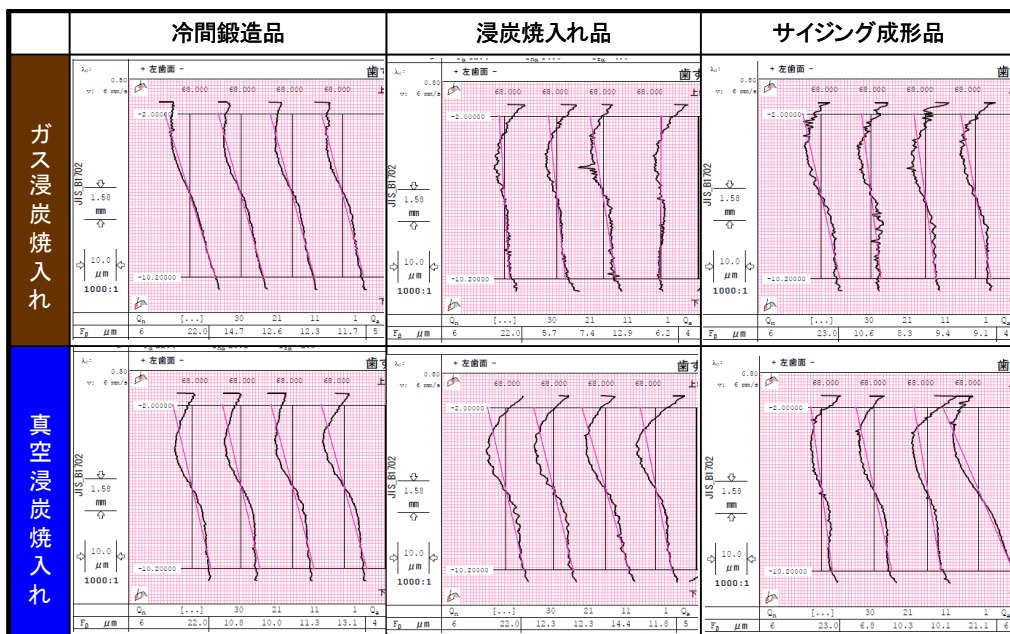
表⑤-1 各浸炭焼入れ条件別 測定結果（大径、小径、またぎ歯厚）

浸炭条件	測定項目	冷鍛型	冷鍛品		浸炭品		サイジング型	サイジング品	
			max	min	max	min		max	min
ガス浸炭焼入れ品	大径	φ 71.26	φ 71.368	φ 71.347	φ 71.36	φ 71.334	φ 71.407	φ 71.359	φ 71.337
	小径	φ 64.92	φ 65.066	φ 65.048	φ 65.08	φ 65.055	φ 65.103	φ 65.073	φ 65.054
	またぎ歯厚	29.152	29.294	29.287	29.308	29.283	29.266	29.244	29.238
真空浸炭焼入れ品	大径	φ 71.26	φ 71.369	φ 71.351	φ 71.366	φ 71.342	φ 71.407	φ 71.368	φ 71.346
	小径	φ 64.92	φ 65.065	φ 65.04	φ 65.088	φ 65.062	φ 65.103	φ 65.09	φ 65.067
	またぎ歯厚	29.152	29.300	29.291	29.336	29.299	29.266	29.244	29.235

歯車精度誤差の測定結果は、表⑤-2 に示す。冷間鍛造後、浸炭焼入れすることで、ピッチ関連の誤差の精度が悪化し、サイジング成形により、歯車精度が若干ではあるが、向上した。また、ガス浸炭焼入れと真空浸炭焼入れの歯車精度の比較をすると、ガス浸炭焼入れの方が精度良く、真空浸炭焼入れは、歯車精度が悪化した。

表⑤-2 各浸炭焼入れ条件別 歯車精度誤差の測定結果

浸炭条件	測定項目	冷鍛型	冷鍛品		浸炭品		サイジング型	サイジング品	
			max	min	max	min		max	min
ガス浸炭焼入れ品			左歯面	右歯面	左歯面	右歯面		左歯面	右歯面
	単一ピッチ誤差	2.5	1.7	1.8	2.9	7.8	3.3	3.2	5.2
	累積ピッチ誤差	12.5	10.8	11.6	18.3	17.3	11.1	17.8	16.3
	隣接ピッチ誤差	3.8	1.5	1.7	2.2	11.2	4.6	3.5	6.9
	歯溝の振れ	13.3	3.0		8.5		14.1	8.8	
	歯形誤差	3.4	25.5	25.2	17.1	21.8	5.4	17.4	23.4
	歯筋方向誤差	5.1	14.9	15.5	13.4	18.6	3.9	11.6	18.6
真空浸炭焼入れ品			左歯面	右歯面	左歯面	右歯面		左歯面	右歯面
	単一ピッチ誤差	2.5	2.0	3.8	4.2	4.6	3.3	4.1	4.6
	累積ピッチ誤差	12.5	10.5	11.7	31.3	30.6	11.1	29.5	28.8
	隣接ピッチ誤差	3.8	2.3	6.5	3.6	6.6	4.6	3.0	7.0
	歯溝の振れ	13.3	7.2		9.6		14.1	9.4	
	歯形誤差	3.4	12.7	13.0	21.9	18.8	5.4	20.3	19.6
	歯筋方向誤差	5.1	14.9	15.5	26.9	42.7	3.9	21.1	40.8



図⑤-3 各浸炭焼入れ条件別 歯筋方向誤差

冷間鍛造後、浸炭焼入れすることで、大径、小径、またぎ歯厚ともに、バラツキが大きくなり、浸炭焼入れ品をサイジング成形することで、またぎ歯厚の精度向上が得られた。しかし、ピッチ誤差では、若干精度向上となったが、歯形誤差と歯筋方向誤差の精度は改善しなかった。その大きな原因は傾き誤差によるもので、金型の補正により、浸炭焼入れの歪みに応じた圧力角やねじれ角度の補正が必要となる。(図⑤-3)

1. 実施項目： ⑥C A E 解析手法の構築

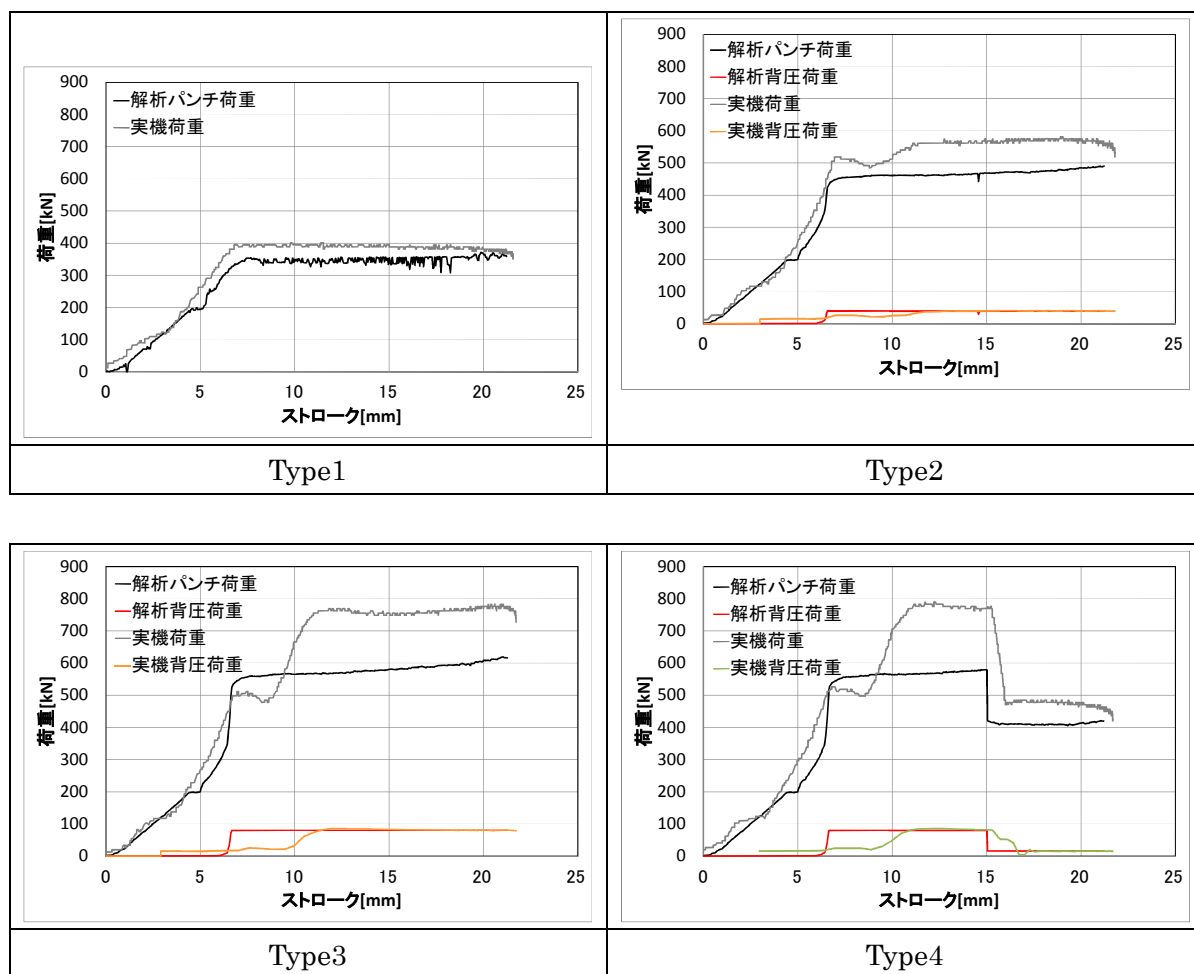
2. 研究内容

(1) 研究の方法

今回ステアリングピニオンの成形解析において、成形中の背圧制御と鍛造品の充填性の関連について評価を実施した。本項目では実機トライにおける測定荷重との比較を行い、解析予測に対する結果の評価と課題検討を行った。

(2) 研究の結果

研究内容と結果について詳細はここに記述しないが、解析結果と実鍛造結果との比較を行った事例を図⑥-1 に示す。



図⑥-1 パンチおよび背圧荷重での解析結果と実鍛造の比較

成形解析における動作制御に関する工程評価の検証を行った。解析上で仮定した制御設定と実機動作の厳密な一致は不可能であったが、鍛造成形の予測には効果的な結果が得られた。

最終章 全体総括

本プロジェクトは、自動車産業における鍛造ニーズであるコスト削減、高精度化を目標として、保有するサーボプレスを試験研究用設備として活用し、その一部の機能と新たにダイセットに背圧負荷機構とその制御装置を付加するとともに、平成 23 年度に複合鍛造を可能にするウエッジ機構を加えて、従来にないヘリカルギヤの新しい鍛造工法の確立を目指した。この鍛造工法のポイントとなる精密鍛造を実現するためには、成形時の金型変形を最少にする金型材料・構造の開発が必要とされ、鍛造試作研究を効果的に進めるための鍛造解析による成形予測も重要であった。

本開発プロジェクトは、ヘリカルギヤを対象とした新鍛造プロセスの開発である。様々なヘリカルギヤ部品の中で、試作対象品としてステアリングのピニオンギヤ部品とトランスミッションギヤ部品を選定し、対象製品に適合した最適なプロセスの基盤的技術を把握できた。

その平成 23 年度最終研究開発の主たる成果を下記に列挙する。

- ①サーボプレスにより、加工速度・背圧制御技術を確立し、新たな複合制御システムを完成させた。さらに、特殊ダイセットウエッジ機構による複動 2 段モーション成形の技術の確立、解析による 2 段モーションの成形性の有効性を検証した。
- ②高ヤング率の超硬合金の活用と多重ばめ金型構造の研究開発により、金型の変形を最小限に押えた高精度金型技術を確立できた。
- ③鍛造品の傾きに補正係数を与え、鍛造品の倒れの演算計算をする手法により、基準のない冷間鍛造ヘリカルギヤの高精度計測技術を確立した。
- ④新鍛造プロセスの鍛造成形挙動を予測する方法として CAE 鍛造解析を行い、その結果と実機鍛造との比較の中で本鍛造プロセスの有効な解析手法を確立できた。

これらを総合して、本年度の研究開発において、需要家から有効な製品情報を入手し、試作開発を進め、それぞれの役割の研究分担により効果的なフォーメーションの中で最終年度としての成果を達成することができた。

本開発のヘリカルギヤにより、既存の市場へ新たに進出するには、鍛造工程の独創性だけでなく、製品トータルとしての品質・コストのメリットを実証する必要があり、これを期待できる需要家に依存することなく、最適工法を得るために幅広く試作品製作および評価用装置の整備等の投資が必要である。これらは中小企業鍛造業にとって、現状では、事業化の大きな課題となっている。

しかしながら、本研究開発の中で製品化・事業化への技術的基盤が得られたことから、需要家と緊密にコンタクトし、新製法による情報を伝えながら、補完研究を進めたい。