

平成20年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「材料の流動解析によるスラグ形状及び金型形状の研究開発」

研究成果等報告書(概要書)

平成21年3月

委託者 九州経済産業局
委託先 財団法人宮崎県産業支援財団

「この報告書には、委託業務の成果として、産業財産権等の対象となる技術情報（未出願又は未公開の産業財産権等又は未公開論文）、ノウハウ等の秘匿情報が含まれているので、通例の取扱いにおいて非公開とする。ただし、行政機関の保有する情報の公開に関する法律（平成11年法律第42号）に基づく情報開示請求の対象の文書となります。」

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	p1
1-2	研究体制	p3
1-3	成果概要	p6
1-4	当該プロジェクト連絡窓口	p6
第2章	複合ギアについて	
2-1	研究の目的	p7
2-2	研究の概要	p7
2-3	実施内容	p7
2-3-1	スラグ形状の最適化に関する研究	p8
2-3-2	金型構造の最適化に関する研究	p12
2-4	まとめ	p13
第3章	ダブルギア(ヘッドレスト用)について	
3-1	研究の目的	p14
3-2	研究の概要	p14
3-3	実施内容	p14
3-4	まとめ	p15
第4章	ダブルギア(パワーシート用)について	
4-1	研究の目的	p16
4-2	研究の概要	p16
4-3	実施内容	p16
4-3-1	スラグ形状の最適化に関する研究	p17
4-3-2	ダブルギア成形のプレス実験	p17
4-4	結果およびまとめ	p20
第5章	全体総括	p21

第一章 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

現在、駆動系に使われている機能部品であるダブルギアは、焼結または冷間鍛造による多段加工で製造されている。焼結による製法では、粉末を焼結するために内部に空隙があり、表面も凹凸が多く、強度も高くないなど、小物部品には不向きである。また、高速で回転するような部品として利用すると異音が発生するなどの欠点がある。一方で、冷間鍛造による製法の場合は、焼結より強度が高く、精度も良好であるが、多段加工を行うために、必然的に工程間の公差が集積され、製品寸法が悪くなる。

そこで、冷間鍛造により単発成形が可能となれば製品寸法精度は向上し、設備コスト、製造コストが抑えられるため、安価で高精度な製品提供が可能となる。

しかし、この製法を確立するためには、高度な流動解析シミュレーション技術の蓄積、各種鍛造工程における不良原因の解明、研究開発及びシステムの導入費用などが必要となる。

今日の自動車業界では消費者のニーズに応えるために、製品開発のスピードアップ、適時納入による生産納期の短縮が求められている。これらの動向に対応するためには、今まで培ってきた鍛造技術を基盤に新規技術の短期開発が急務となっている。

② 研究目的及び目標

このため、今回の研究開発ではスラグ及び金型形状等をシミュレートし、最適化を検討することにより、工程数を大幅に削減するとともに、精度の向上を実現させ、その結果、短納期化、低コスト化、環境配慮に資する技術の開発を行う。

現在は、複雑な製品形状を成形する場合、複数の鍛造工程により成形後、切削工程を経て製品化している。この加工法では、鍛造工程ごとの金型管理、寸法管理が必要となり、これが製造コストを上昇させている原因となっている。

そこで、複数ある鍛造工程を単一工程で行い成形することで、金型管理及び寸法管理を省力化し、かつ維持管理を容易にすることが可能であると考えている。

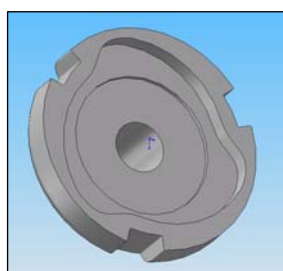
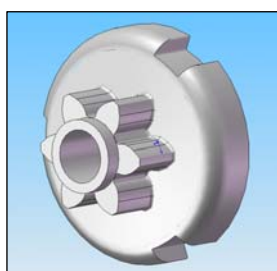
特に、冷間鍛造の分野では製品や金型の欠陥発生を予測することが困難であることから、実証検証を行い、問題を解決している。そのため、開発期間の長期化や検証時の金型費など膨大なコストがかかっている状況である。そこで、まず解析ソフトによるシミュレーションを行い、製品成形時のスラグ（素形材）や金型の挙動をコンピュータで仮想的に再現する。そして、この再現データを元に、これまで捕らえることができなかった、成形時に起きている現象を、シミュレーション上で細部まで検証することができると考えている。

さらに、この解析による結果を参考にして、鍛造工程設計の支援、不具合の検証を行い、スラグ形状、金型構造などの最適化を実現し、製品開発期間の短縮が図れると期待している。

また、解析ソフトによるシミュレーションを利用することにより、実証検証の回数を減らすことができるため、大幅なコスト低減を図ることができると考えている。

これらのことを早急に実現するためには、成形データベースの構築、成形シミュレーション技術の向上が重要である。

初年度である19年度は、複合ギア形状(上部が小径ギア、下部はカム形状)の鍛造成形に関する実験、シミュレーション解析(CAE解析)、金型構造設計について実施する。



複合ギアは、上部がギアで、下部側は内側にカム機能を有する複合形状の製品である(上図参照)。ギアの鍛造成形は、一般的に鍛造成形で製品化される円筒形などの単純な形状の製品と比較して、複雑な形状に加え強度、精度が要求され、特にギア歯部分のわずかな割れや傷は厳禁である。

本研究開発では、ダブルギアの単発成形と量産化を最終研究目標として挙げている。しかし、ダブルギアの単発成形は困難が予想されることから、平成19年度はダブルギアの前段階としてカム溝とギアを組み合わせた複合ギアの単発成形の実現を目標に研究を実施することとした。

本製品は、自動車のシートベルトの安全ロック部品として使用される重要な部品である(右図参照)。この複合ギアは、ギア部と三つ溝の荒形状を鍛造成形した後、切削加工を経て製品となる。この時、切削加工における切削量が多いことから、材料使用量や加工時間などがコストを生じさせる要因となっている。そこで、鍛造にてニアネットシェイプ成形をすることにより、材料使用量及び加工時間の削減を図ることとした。

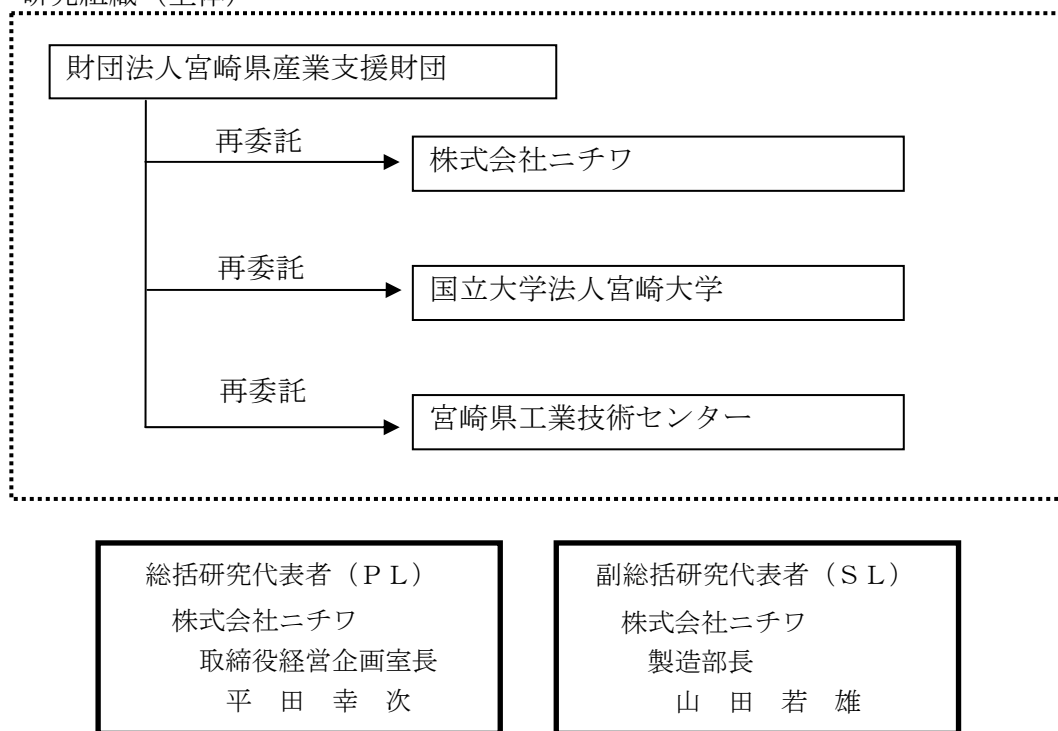
平成20年度は、複合ギアの成果をもとに、二種類のダブルギアの製品化に取り組んだ。具体的には、一つは大ギア部分の歯先形状が比較的単純であるダブルギア(ヘッドレスト用ピニオンギア)、もう一つは大ギア部分において歯先と歯底の形状寸法差が大きなダブルギア(パワーシート用)の製品化について研究開発を進めた。

これらの形状は、切削加工による製品製作工程の占める比率が高く、コスト削減の要求が非常に高いものである。そのため、鍛造成形によりニアネットシェイプ成形が実現できれば、大きな成果となることが期待される。

1-2 研究体制

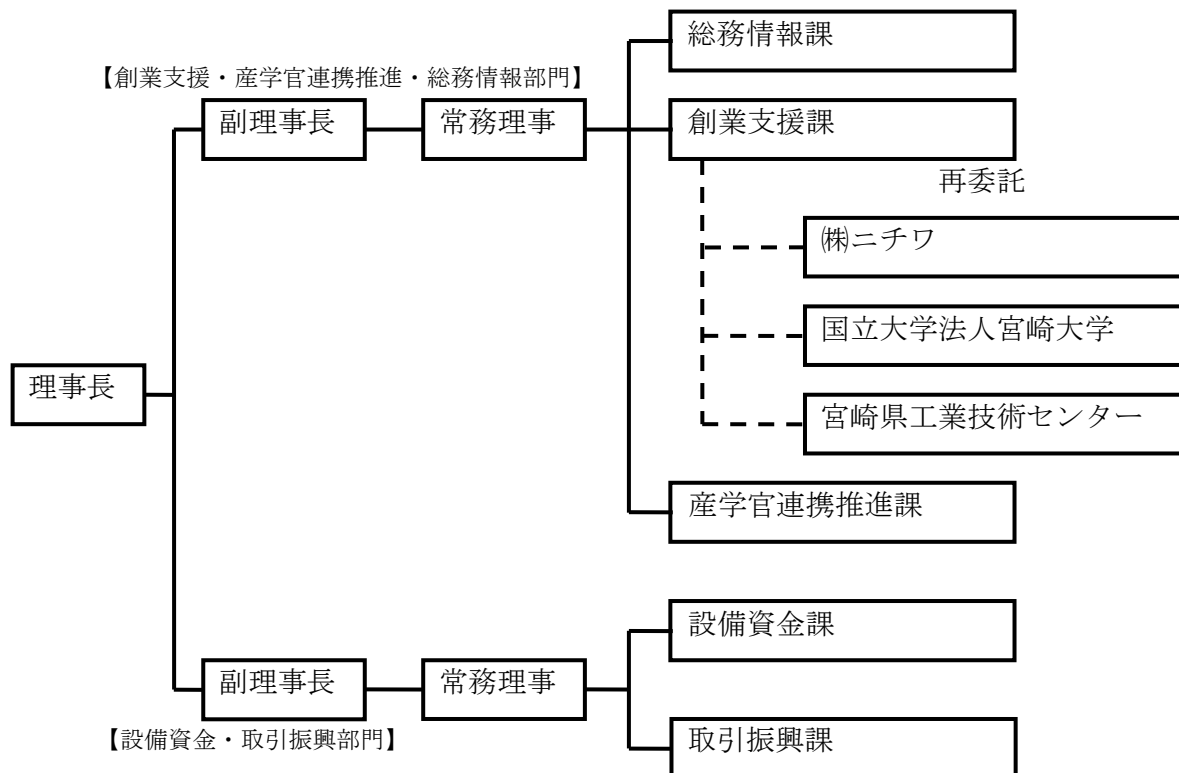
① 研究組織及び管理体制

1) 研究組織（全体）

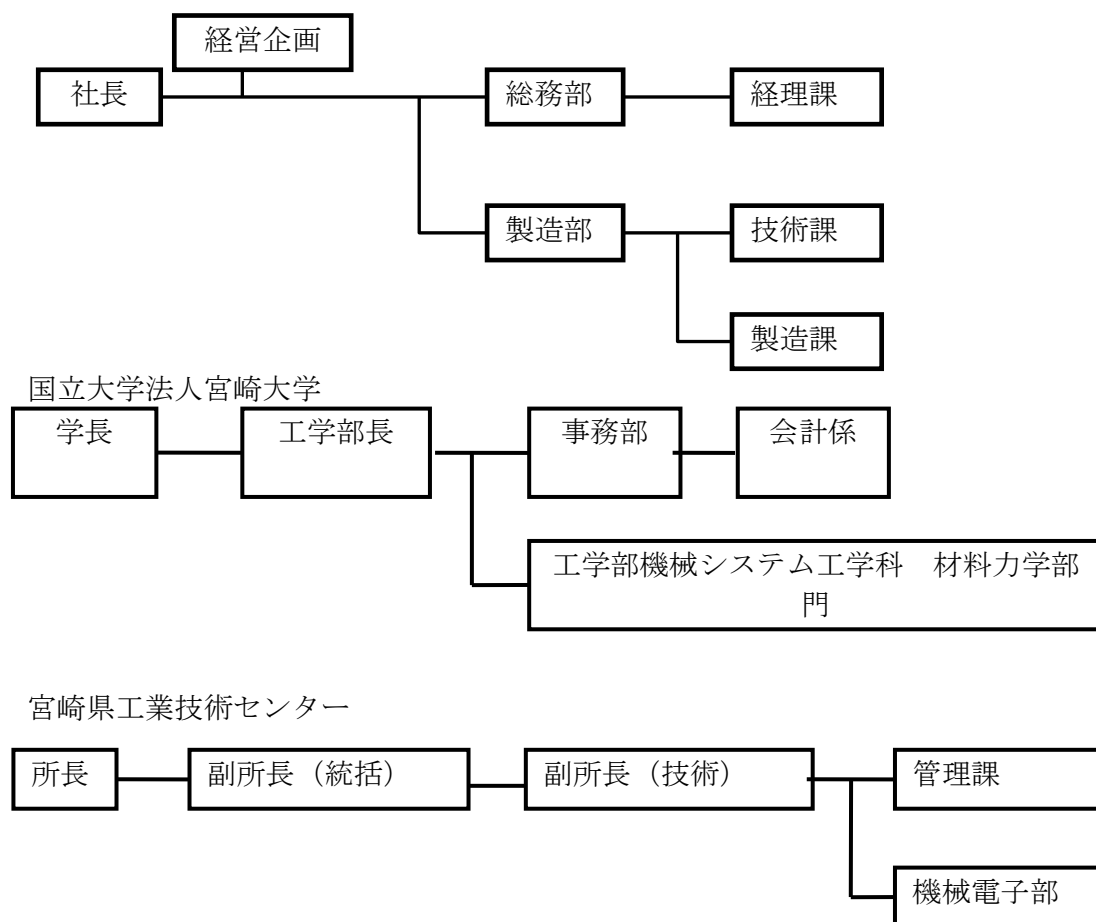


2) 管理体制

(1) 事業管理者〔財団法人宮崎県産業支援財団〕



(2) (再委託先)
株式会社ニチワ



3) 管理員及び研究員

【事業管理者】 財団法人宮崎県産業支援財団

①管理員

氏 名	所属・役職	実施内容(番号)
金丸 哲也	総務情報課長	③
中馬 一房	総務情報課 主査	③
古谷 美紀	総務情報課 主任主事	③
向畑 公俊	創業支援課長	③
藤井 浩介	創業支援課 主査	③
志田 克彦	創業支援課 主査	③
幣島 和裕	創業支援課 主査	③

②研究員

氏 名	所属・役職	実施内容(番号)
な し		

※管理員が研究員を兼ねる場合は、①・②の双方に記載すること。この場合、②への再掲載にあたって、氏名の後に「(再)」と記載すること。

【再委託先】※研究員のみ

株式会社ニチワ

氏 名	所属・役職	実施内容（番号）
平田 幸次	取締役経営企画室長	①、②
山田 若雄	技術部長	①、②
米澤 正一	技術課長	①、②
大嶋 康男	技術指導者	①、②
河野 通成	製品開発設計班長	①、②
河喜多 涼	製品開発設計係員	①、②
杉原 廣美	製品開発設計係員	①、②
永吉 則幸	製造課製造係	①、②

国立大学法人 宮崎大学

氏 名	所属・役職	実施内容（番号）
池田 清彦	工学部 教授	①、②
木之下 広幸	工学部 助教	①、②

宮崎県工業技術センター

氏 名	所属・役職	実施内容（番号）
外山 真也	機械電子部 主任研究員	①、②
佐藤 征亜	機械電子部 技師	①、②

4) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

(事業管理者)

財団法人宮崎県産業支援財団

(経理担当者) 総務情報課長 金丸 哲也

(業務管理者) 創業支援課長 向畑 公俊

(再委託先)

株式会社ニチワ

(経理担当者) 経理課長 若杉 高志

(業務管理者) 取締役経営企画室長 平田 幸次

国立大学法人 宮崎大学

(経理担当者) 工学部 事務長 吉住 紀久男

(業務管理者) 工学部 教授 池田 清彦

宮崎県工業技術センター

(経理担当者) 管理課長 首藤 久雄

(業務管理者) 主任研究員 外山 真也

・他からの指導・協力者名及び指導・協力事項

推進委員会委員

(外部推進委員)

氏 名	所属・役職	備 考
海津 浩一	兵庫県立大学 教授	アドバイザー
横井 道治	アイシン精機株式会社	アドバイザー

(内部推進委員)

氏 名	所属・役職	備 考
向畑 公俊	財団法人宮崎県産業支援財団 創業支援課長	
今井 常世	財団法人宮崎県産業支援財団 コーディネーター	
橋本 佳隆	株式会社ニチワ 代表取締役	
平田 幸次	株式会社ニチワ 取締役経営企画室長	
池田 清彦	国立大学法人 宮崎大学工学部 教授	
木之下 広幸	国立大学法人 宮崎大学工学部 助教	
外山 真也	宮崎県工業技術センター 主任研究員	

1-3 成果概要

現在、複合ギア製品の製造工程では、切削する重量が50%に及ぶことから、単発鍛造において切削する重量を最初のスラグの10%以下に低減することを目標とした。

平成19年度において、複合ギアの製品化に関して単発鍛造成形におけるニアネットシェイプ成形のための最適なスラグ形状について検討した。そして、成形材料の特性を調べ、数種類のスラグ形状を試作し、それらのスラグ形状において解析による成形シミュレーションを実施、さらにプレス実験を行い、成形形状の精度、荷重状況、各種不具合の発生状況を調べた。その結果、1)ギア歯の成形性については、接触面の断面積が影響する。2)接触面の断面積が小さいほうが、小さな荷重で、ギア部分が成形しやすい。3)試料の高さが不十分であると、未充填が発生する。4)下側固定金型の底面に半球状の突起物を付加することによって、ギア歯部分の成形性を高められる可能性がある。などがわかった。

平成20年度において、丸みを帯びたスラグ形状を考案し、複合スラグの量産化の目途を立てた。さらに、ダブルギアの種類の中で、大ギア部分の形状が比較的単純なピニオンギアの鍛造成形に関する研究開発を実施し、量産化の目途をつけた。その後、最終目的であるダブルギアの製品製作に関するスラグ形状を考案し、プレス実験、剛塑性流動解析などの研究開発の結果、二段工程鍛造成形による製品化の目途をつけた。

1-4 当該プロジェクト連絡窓口

財団法人宮崎県産業支援財団（創業支援課）

E-mail : info@i-port.or.jp

TEL : 0985-74-3850

FAX : 0985-74-3950

第二章 複合ギアについて

2-1 研究の目的

本研究開発で対象とする複合ギアは、ギア部とカム部からなる部品で自動車のシートベルトに使用されている。この複合ギアは、従来、切削加工か焼結法、あるいは多段加工による冷間鍛造と切削加工の組合せで製造されている。一般に、切削加工による製造は、材料の歩留まりが悪く材料費が高くつく。また、焼結法による製造は、製品の強度が低く、寸法精度もあまり良くない。一方、冷間鍛造による製造は、材料の歩留まりは良く製品の強度も高いが、多段加工が行われるため製品の寸法精度が悪いという欠点がある。

そこで本研究開発では、冷間鍛造の工程数を従来の4ないし5工程から1工程に削減するとともに、切削の工程数も減少させることを目指す。具体的には、様々な形状のスラグ（素形材）に対して、複合ギア成形の数値計算による塑性変形シミュレーションならびにモデル材を用いた実験シミュレーションを行い、単発成形で製品形状に近い形状に成形可能なスラグ形状とその成形条件を明らかにすることにより、冷間鍛造の工程数を1工程に削減することを目的とした。

その結果、製品の製作時間に加え、材料費、金型製作費、およびその管理費の削減が可能となるばかりでなく、複合ギアの軽量化及び寸法精度の向上も達成できる。そして、低コストで品質の高い製品の供給が実現可能になると考えている。

2-2 研究の概要

現在、自動車用冷間鍛造製品（ギアなどの複雑な形状）の成形工程では、多段加工が行われている。本研究開発では、スラグ形状及び金型形状等をシミュレートすることにより、工程数を大幅に削減し、短納期化、低コスト化を実現するとともに、環境に配慮した技術の開発を行うことを目的としている。

しかし、ダブルギア製品は鍛造成形が非常に困難と予想される形状であるため、平成19年度において成形が比較的容易であると考えられるギアとカムが複合した複合ギア製品に関する研究開発を実施し、複合ギアの量産化の目途をつけた。

さらに、平成20年度においては、丸みを付加したスラグ形状を考案し、よりギアおよびカム形状部分の成形性を向上させることができた。また、金型における成形時の最大主応力の分布状況などについて検討し、金型の延命化について知見を得た。

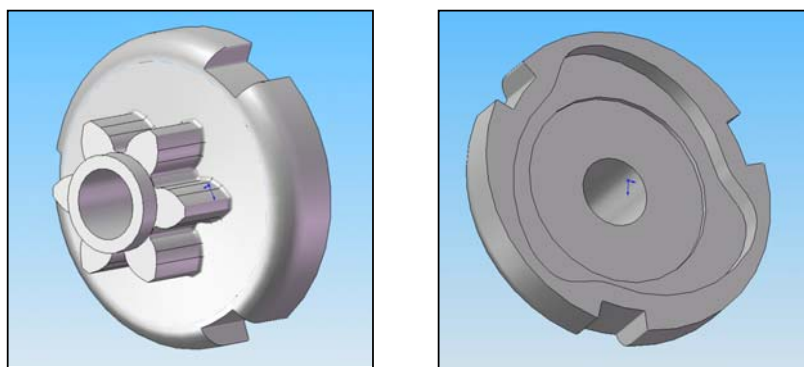


図-1 複合ギア 外観

2-3 実施内容

平成19年度には、図-1に示す複合ギア形状(上部が小径ギア、下部はカム形状)の鍛造成形に関する実験、シミュレーション解析(CAE解析)、金型構造設計について実施することとした。

複合ギアは、上部がギアで、下部側は内側にカム機能を有する複合形状の製品である。ギア

の鍛造成形は、一般的に鍛造成形で製品化される円筒形などの単純な形状の製品と比較して、複雑な形状に加えて高い強度、精度が要求され、特にギア歯における割れや傷は厳禁である。

本製品は、自動車のシートベルトの安全ロック部品として使用される重要な部品である。この複合ギアは、ギア部と三つ溝の荒形状を鍛造成形した後、切削加工を経て製品となる。この時、切削加工における切削量が多いことから、材料使用量や加工時間などがコストを上昇させる要因となっている。そこで、鍛造にてニアネットシェイプ成形をすることにより、材料使用量及び加工時間の削減を図ることを目的に取り組んだ。

平成20年度においては、複合ギアに関する研究成果を基に、ダブルギアの量産化に関する研究開発に取り組んだ。

2-3-1 スラグ形状の最適化に関する研究

現在、複合ギア製品の製造工程では、切削する重量が50%に及ぶことから、単発鍛造において切削する重量を最初のスラグの10%以下に低減することを目標とした。

この目標を達成するためには、単発鍛造成形におけるニアネットシェイプ成形が必要となることから、最適なスラグ形状について検討することとした。

手法として、成形材料の特性を調べ、数種類のスラグ形状を試作し、それらのスラグ形状において解析による成形シミュレーションを実施し、さらにプレス実験を行い、成形形状の精度、荷重状況、各種不具合の発生状況を調べた。

以下、各種研究成果について記述する。

(1) 材料データ調査（国立大学法人宮崎大学、宮崎県工業技術センター）

実際にスラグに使用する材料（主にクロムモリブデン（SCM）材）の圧縮試験を行い、降伏点や応力ひずみ曲線を求め、材料の変形抵抗を調べた。

(2) シミュレーションに使用する設定条件の調査

（国立大学法人宮崎大学、宮崎県工業技術センター）

材料試験によって求められた材料特性により、デフォームによる解析の条件を求めた。粘土（プラスティステイン）を用いた実験では、金型のギア歯部に粘土が詰まり取り出せなくなるため、素材の流れを確認することは困難であった。しかし、アルミ材を使用したプレス実験においては、ギア歯部への成形も良好であったため、流れの状況についてはアルミ材による実験を繰り返した。

解析にはDeform-3D (Version 6.1) を利用した。せん断摩擦係数等の設定した数値は表—1に示す。

表—1 解析条件

	Value
Step No	300
Displacement	0.05mm
せんだん摩擦係数	0.1
Stroke	230mm
Stroke Velocity	0.67mm/sec
Elements	30000
Material	AISI-4140(SCM435 相当)

(3) スラグ形状のシミュレーションとプレス実験

（株式会社ニチワ、国立大学法人宮崎大学、宮崎県工業技術センター）

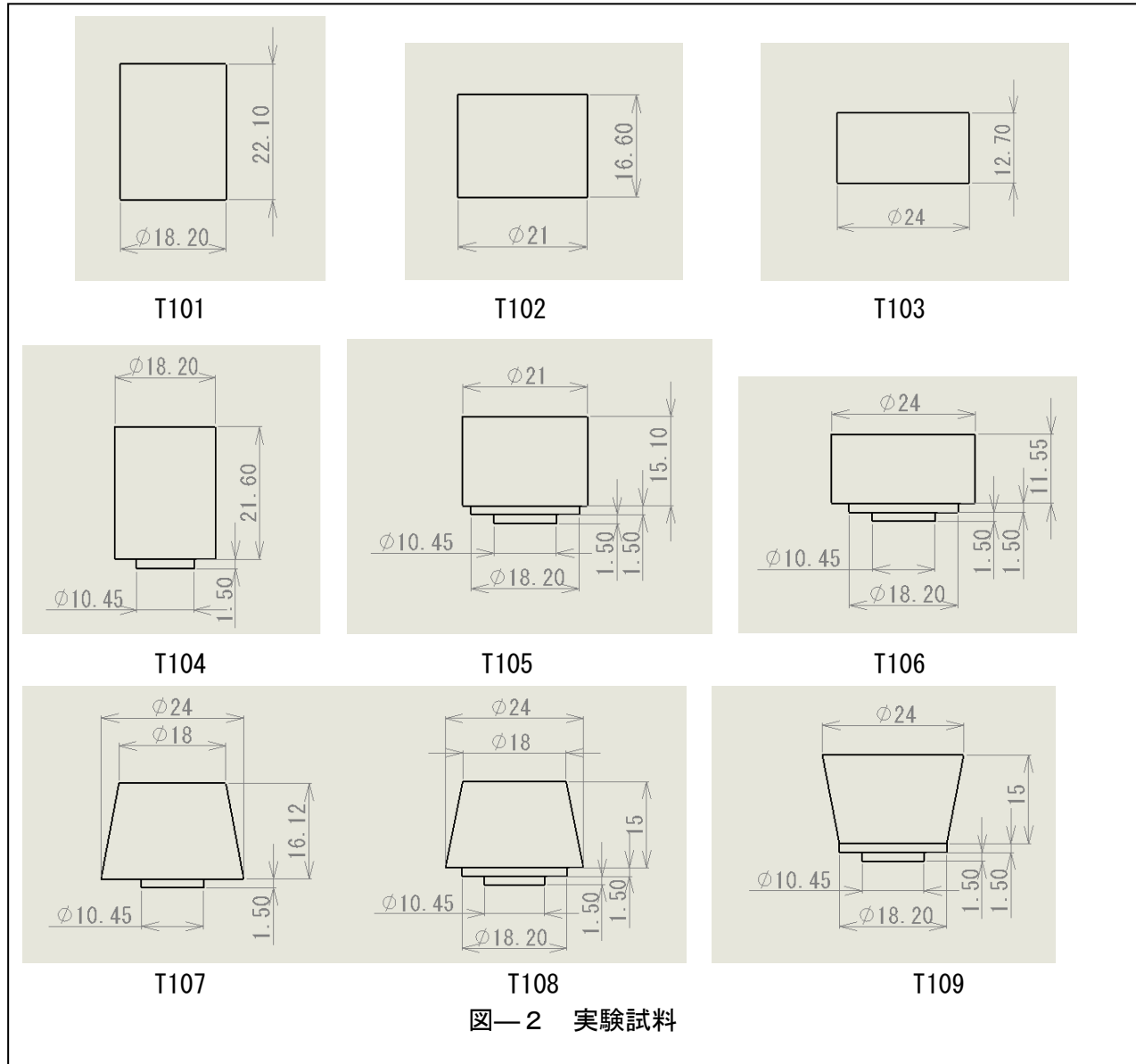
製品に最適なスラグ形状を決定するため、実験および数値シミュレーションを行った。まず、材料の塑性流れを確認するために図-2に示す9種類の試料を用意し、アルミ合金によるプレス実験及び解析を実施した。

これらの実験試料に関して、解析より得られたストロークと荷重の変化の一例を図－3に示す。

図－3において、初期段階において荷重が低く、その段階においてギア部分が成形されていること、またギア部分が成形された後、急激に荷重は上昇し、カム部分の成形が進行することがわかった。

さらに、断面積が大きな T103 や T106 においては、成形時間が短く、急激な荷重の変化が見られ、金型に大きな負担をかけていることがわかった。

一方、断面積が小さな T101 や T104 の場合は、ギア歯の外周直径と同じ直径であるためギア成形時の荷重は小さく成形が容易であることがわかった。ただし、ギア歯の底部分の材料がえぐり取られるように押し出されるため、カム形状部分の成形に悪影響を及ぼすことがわかった。



また、T107 から T109 の試料においては T109 の場合が最もギア部の成形において荷重が小さいことがわかった。また、材料流れの結果より、T108 ではギア歯先の前方に押し出されるのに伴い、円周方向にも材料が広がっていることがわかった。これに対し、T109 では材料が横に広がることなく、ギア部分へスムーズに流れていることがわかった。

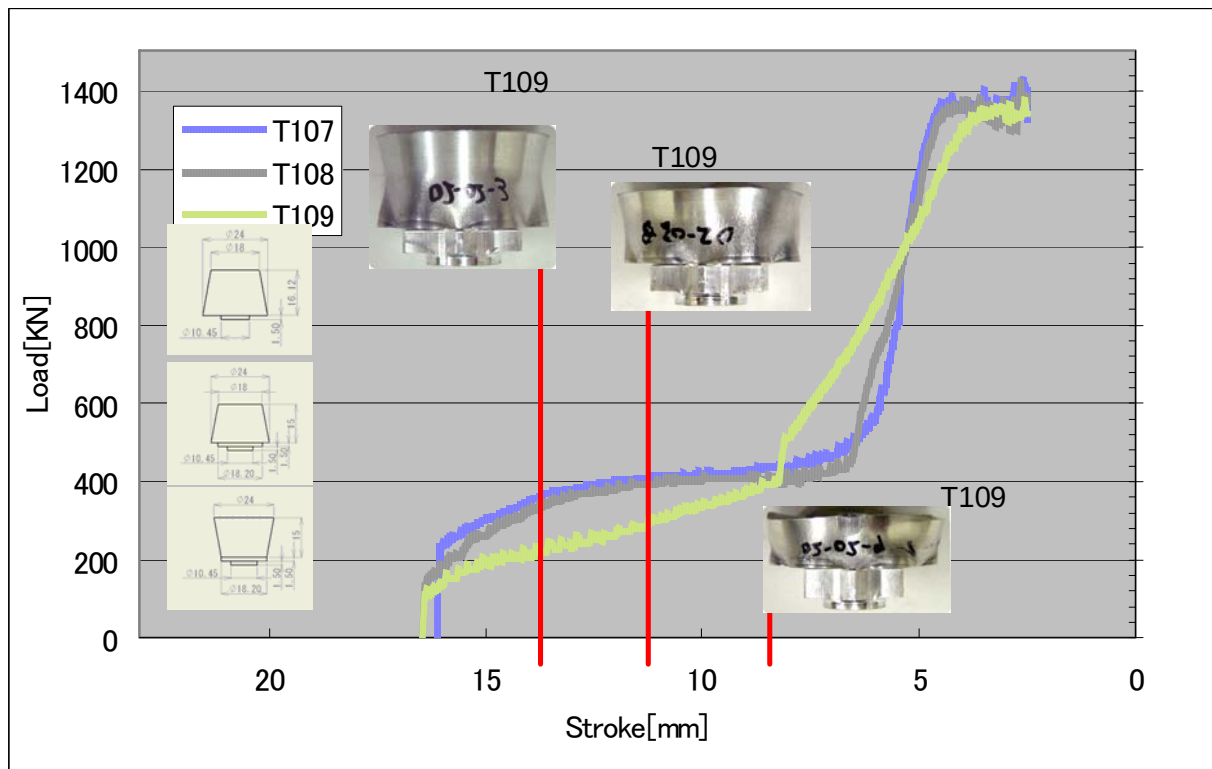
このようなことから、T108 はギア歯先への材料流動性が悪く、T109 はギア歯先への材料流動性が良いことが確認できた。しかし、T109 においては、step240 で示されるようにカム部においてフォールディングの発生が懸念される。

以上のことから、ギア部の成形において、ギア歯の外周径に同等の直径寸法の形状で押

し込むのが良好であること、しかし形状が縦に長い場合はギア歯根元部分の材料が外側に流出し、後にフォールディングを生じやすいことなどがわかった。

さらに、アルミ合金をスラグ材料に用いたプレス実験の結果から、ギアの成形状態、フォールディングの発生に関して解析結果と同様の結果が得られていることを確認でき、材料の流れに関して、プレス実験とシミュレーション結果が良く一致していることがわかった。

また、試料 T109 の歯先に注目すると、ギア歯の成形状態が他の試料と比較して非常に適正に成形されていることが理解できた。スラグ形状とギアの歯先の成形性に関しては次項で詳しく検討を行う。



図－3 荷重ストローク曲線

①ギア部の成形性について

ここで、ギア部の成形性について検討した。アルミ材によるプレス実験や解析シミュレーションにおいて、ギア歯部分の成形性に差異があることがわかった。例えば、T107、T108、T109 スラグのギア歯先端部の成形性を比較すると T109 スラグにおいては、ほぼ水平にギア歯先端部が流れてきているのに対し、他の試料においては「ダレ」を生じていることがわかった。

そこで、解析シミュレーションにおいても、この点について詳細な検討を実施し、スラグがギア歯の根元に到達した時のギア歯間隙の比較を行った。

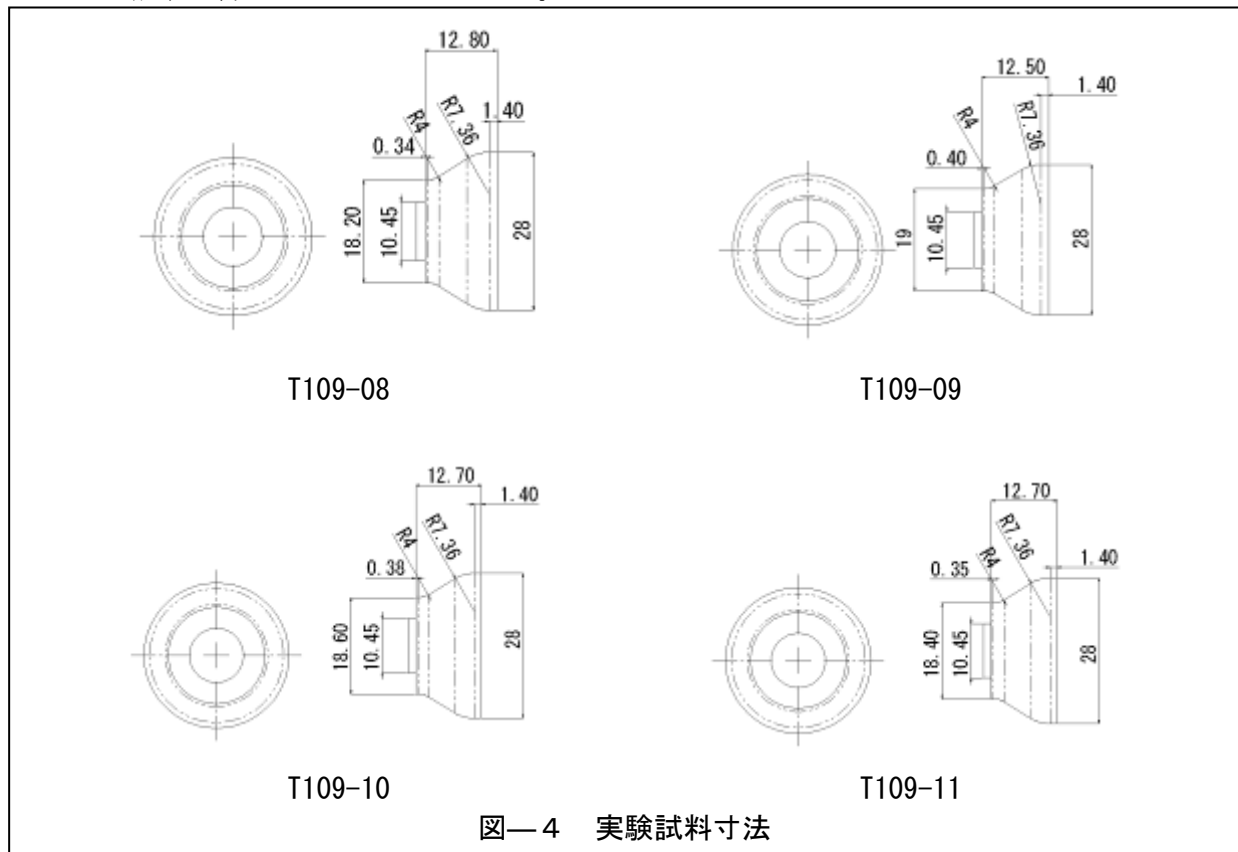
その結果から、ギア部の成形性は T101、T104、T105、T109 のようにギア歯の外周径に相当する端面の場合、成形性が良好であり、ダレることなく成形されていることがわかる。また、T109 のようにテーパを有する形状にすることで、ギア部の根元の素材を徐々に押し上げ、荷重を増大させることによりスムーズな成形が実現されていることもわかった。

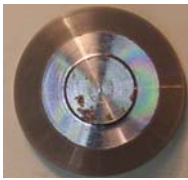
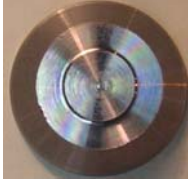
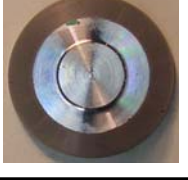
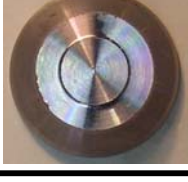
これらの解析結果を基にして、新たに 8 種類の試料を考案し検討を行った。

その結果から、上方の断面積を大きくすると、下方よりも横方向に材料が流れやすくなることもわかり、ある程度の高さと上方の断面積はあまり大きくしすぎないことが重要であることがわかった。

以上の結果より、スラグ形状として、T109 の形状のものがギア歯の成形において良好

な結果が得られることがわかった。



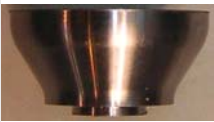
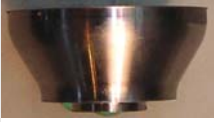
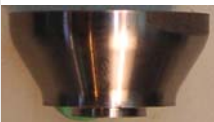
	素形状	9mm	6mm	3mm
T109-08				
T109-09				
T109-10				
T109-11				

写真—1 鍛造試験結果

②鍛造実験

これまでの結果から成形状態の良好な T109 の形状を基とし、丸みを帯びた形状のスラグに関して鍛造実験を行った。その結果から、ギアの成形性についてはいずれも良好な結果が得られたが、カムの成形性についても優劣が確認できた。検討を行ったスラグ形状の中では、最も成形性が良好であった形状を基準として、図－4 に示すような寸法を変更したスラグを考案し、同様に鍛造試験を実施した。

写真－1 および 2 に鍛造実験の結果を示す。この結果からは大きな差は確認できなかったが、いずれもギア、カムに関して良好な成形性を確認することができた。

	素形状	9mm	6mm	3mm
T109-08				
T109-09				
T109-10				
T109-11				

写真－2 鍛造試験結果

2－3－2 金型構造の最適化に関する研究

(1) 金型応力に与えるスラグ形状の影響に関して

ショット数の少ない段階での金型の破損に関しては、応力集中が原因となり損傷を引き起こす場合が多いが、これは金型内部に関することであるため、経験による判断でしか応力集中を予測することができないのが現状である。そこで、一般的にはシミュレーションを行うことにより金型の応力集中発生状態を把握し、応力集中の発生を防ぐような金型構造に変更することが望ましい。しかし、今回は単発での成形を目指していることから金型の形状変更が難しいため、素材形状を変えることで素材の流動状態を変化させ、金型の負担を軽減することを試みた。

破損した金型の状態と Deform による金型応力解析の結果を比較すると、実成形において金型の損傷（割れ）は、金型表面のギア部の歯底に亀裂が入ることにより生じており、解析結果においては金型の応力が金型表面の歯先付近、および金型表面と側面のコーナー部において著しく高くなることがわかった。このように金型応力解析を行うことにより、応力の発生箇所と実成形での金型破損箇所が良い一致を示す結果が確認できた。

これらの結果から、金型の損傷を防ぐためには、金型表面の歯先の応力を低くすることが必要であり、スラグ形状を変更することで金型応力を低減する方法について検討を行った。

スラグ形状は単純な円筒形状とし、体積が一定で初期断面積の異なるスラグ形状について検討を行った。

解析結果より、初期断面積の小さいスラグに関してはギアの成形性は良いものの、金型応力が大きくなるという結果が得られた。これは、高さの減少率が大きいために、材料のひずみが大きくなることで加工硬化の影響が大きくなり、成形荷重が増すためであると考えられる。以上の結果から、金型応力に関して、スラグの高さ減少率を小さくすることも重要であることが確認でき、最終的なスラグ形状（T109-08～11）が金型負荷を低減する形状であることが確認できた。

（２）金型底面部の突起物による影響

ギア歯部分の成形の最終段階において、上側可動金型からの押さえ込みだけでは、ギア歯先端部への材料の流れを制御することは困難な状況である。そこで、下側固定金型の底面部に、半球状の突起物を付加し、材料の流れを制御し、ギア歯部分への流れを制御することの可能性を検討した。この半球状の突起物を付加することにより、①歯先部分に静水圧を付加することが可能となる、②材料の流れを制御し、材料流動を促進することが可能となる、等の効果が期待される。

従来の金型と半球状の突起物を追加した金型について Deform にて解析を行い、結果の比較を行った。

解析結果より、大きな差異は認められなかった。このことにより、金型底面部に半球状の突起物を付加しても、荷重の大きな変化は認められないこと、金型の損傷への影響は殆どないことが確認された。

２－４．まとめ

今回の実験研究により、写真３および４に示すような鍛造を実現することができた。

また、以下の知見を得ることができた。

- ・ギア歯の成形性については、接触面の断面積が影響する。
- ・接触面の断面積が小さいほうが、小さな荷重で、ギア部分が成形しやすい。
- ・丸みを帯びた側面形状を用いることにより、ギア、カム共に良好な成形条件を実現することが可能となった。
- ・複合ギアにおいては、高さ減少率の小さいスラグ形状を用いることで金型の負荷が軽減される。
- ・下側固定金型の底面に半球状の突起物を付加することによって、ギア歯部分の成形性を高められる可能性がある。

これらの研究開発の結果、複合ギアの製作において、スラグの重量は従来のものより約 10% 低減、切削加工工程も約 30%の低減を実現できた。



写真－３ 鍛造後の形状



写真－４ 完成品

第三章 ダブルギア(ヘッドレスト用)について

3-1 研究の目的

本研究開発で対象とするヘッドレスト用ダブルギアは、小ギアと大ギアからなる部品で自動車のヘッドレストに使用されている。このダブルギアは、形状が複雑なためこれまでは主に多段加工による冷間鍛造と切削加工の組合せで製造されており、比較的部品コストが高く、自動車メーカーにとってはコスト削減の要望の大きい部品のひとつである。この部品コストを削減するためには、鍛造工程と加工方法が全く異なる切削工程を極力削減することが好ましいと考えられている。

そこで、本研究開発では冷間鍛造のみの生産が可能となるよう、塑性解析ソフトやCAD/CAM等を用いて、工程毎の形状及び金型形状等をシミュレートすることにより、切削の工程を削減させることを目的とした。

3-2 研究の概要

現在、自動車用冷間鍛造製品（ギアなどの複雑な形状）の成形工程では、多段加工の後に切削加工が行われている。本研究開発では、工程レイアウト形状及び金型形状等をシミュレートすることにより、切削工程を削減し、短納期化、低コスト化を実現するとともに、環境に配慮した技術の開発を行うことを目的としている。

しかし、ダブルギア製品は鍛造成形が非常に困難と予想される形状であるため、平成19年度において成形が比較的容易であると考えられるギアとカムが複合した複合ギア製品に関する研究開発を実施し、複合ギアの量産化の目途をつけた。

平成20年度においては、主にダブルギア(小ギアと大ギアの二つのギア部分を有するギア部品)の製品化について取り組んだ。そして、まず初めに、大ギアの歯先と歯底の形状寸法の差が比較的小さいダブルギア形状を有する製品の鍛造成形の省力化を目指した。

3-3 実施内容

ギアの鍛造成形は、一般的に鍛造成形で製品化される円筒形などの単純な形状の製品と比較して、複雑な形状に加えて高い強度、精度が要求される。そのため、ギア歯における割れや傷は、最も許されない欠陥である。

今回の研究開発に取り組んだダブルギアの概観を図-1に示す。このダブルギアは、小ギア部分(ピニオンギア)と大ギア部分(セレーションギア)の二つのギア部分を有する。

本製品は、自動車のヘッドレストに使用される部品である。このダブルギアは、小ギア部分が他の部品のギアと噛み合う為、異音が発生しやすい。そのため、小ギア部分の歯厚のインボリュート形状の良否が製品の品質に大きく影響するので、小ギア部分が精度良く成形できる工程を検討した。

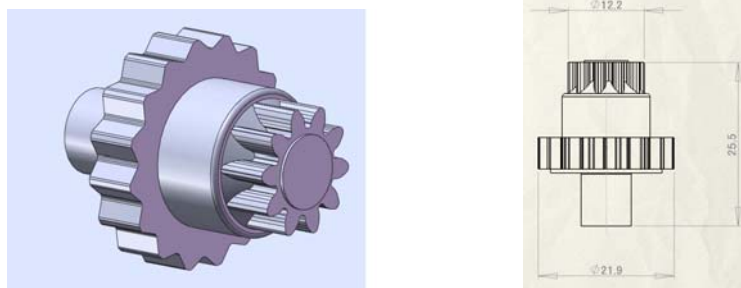


図-1 ダブルギア(ヘッドレスト用)外観

従来、このダブルギアの生産工程は、小ギア部分、大ギア部分を鍛造成形した後、切削加工で大ギア部分を仕上げている。つまり、大ギア部分の成形工程において、大ギア部分の歯底からはみ出した余肉部分が発生する。その部分を切削により除去しており、コスト上昇の要因となつて

いた。そこで、鍛造工程でのより適正なネットシェイプ成形を実現することにより、材料及び加工時間の削減を図ることを目的とした。

まず初めに、このダブルギアの材質は S15C で、重量は 40g 程度である。このダブルギアを長さ 40 mm 程度の丸棒から成形加工することを検討した。しかし、今回のダブルギアの鍛造成形においては、小ギア部分の高い精度と、大ギア部分においては据え込みにより膨らませて大ギア部分の形状を成形するため、難しいと考えられた。そこで、この二つの製造工程について塑性流動解析とプレス実験を行い、ダブルギアの製造工程の省力化を実現することにした。

1) 小ギア部分のスラグ形状の検討

まず初めに、小ギア部分形状の成形性を検討した。具体的には、小ギア部分となるシャフトの成形を行った後、シャフトよりギア形状を絞り出す工程を検討した。このとき、スラグを金型に挿入し、大ギア部分の下部にあるシャフトの成形を行うと同時に、上部の小ギア部分の成形を実施している。さらに、スラグの中央部分を据え込みにより膨らませている。

次の工程においては、小ギア部分の成形時に、ギア歯が成形されつつ、余肉の部分が金型の空間に広がり、折れ込みが発生していることがわかった。

これらの結果を基に、プレス実験との比較を行い、解析結果とプレス実験結果とが一致することがわかった。また、シャフトに段差があると、小ギア部分を絞り出した余肉が折れ込んでしまうことがわかった。この結果を参考に小ギア部分のシャフト成形後の形状検討を行った。

これまでの解析結果より、金型の修正を行い、小ギア部分のシャフトの成形後の形状において段差のない形状を考案した。このとき、上部の平坦部が広いと、小ギア部分にヒケが発生するが、小ギア部分の成形性が良いことがわかった。しかし、単発による鍛造工程では小ギア部分の成形が十分ではないことがわかったので、2 工程に分けて小ギア部分の成形を検討することにした。

2) 大ギア部分の成形用スラグ形状

本製品の製作工程は、鍛造成形の後に大ギア部上面に切削加工を行っている。今回の研究では切削工程を軽減することを主な目的とし、大ギアの鍛造成形を試みるため、据え込み、絞りの 2 種類の工法について検討を行った。

これらの解析結果により、据え込み・絞り加工共にギア成形ができないことがわかった。

据え込み加工の場合、大ギアの先端まで材料が十分に充填されず、パンチとダイとの隙間に余肉がはみ出してしまうことがわかった。

絞り加工の場合、大ギアを絞った際の余肉が盛り上がり、ギアの端面よりはみ出してしまいうことがわかった。

そこで、本製品の使用条件等を問い合わせたところ、大ギア部分は、樹脂に埋め込まれた際のまわり止めに使用されることがわかり、他のギアとのかみ合わせが無いことがわかった。

そして、大ギア部分表面の面粗度の必要性は無く、破断があっても構わないことがわかったので、大ギア部分をトリミング加工することで実現できた。

3-4 まとめ

今回の実験研究により、写真-1 に示すように鍛造加工による製品の成形が可能となった。

また、以下の知見を得ることができた。

- ・ギア歯の成形性については、接触面の断面積が影響する。
- ・接触面積が小さいと、ギアの先端から中間部にかけてヒケが発生する。

これらの研究開発の結果、このダブルギアの製作において、切削加工を省くことができた。



写真-1 ダブルギアの鍛造成形

第四章 ダブルギア(パワーシート用)について

4-1 研究の目的

本研究開発で対象とするダブルギアは、大ギアと小ギアからなる部品で自動車のパワーシートに使用されている。このダブルギアは形状が非常に複雑なため、従来は主に複数の切削加工か多段加工による冷間鍛造と切削加工の組合せで製造されている。このような方法で製造されるダブルギアは、コスト削減の要望の最も大きい部品のひとつである。

本研究開発では、複合ギアおよびヘッドレスト用ダブルギアと同様に、多段加工による冷間鍛造と切削加工の組合せによる製造法において、冷間鍛造の工程数を削減することを目的とした。具体的には、冷間鍛造の工程数を従来の5工程から2工程に削減することとし、まず、様々な形状のスラグに対して、ダブルギア成形の数値シミュレーションを行い、鍛造工程数が削減可能と考えられるスラグ形状について詳細に検討する。次に、この数値シミュレーション結果に基づいて、1、2工程の鍛造で成形可能と考えられる数種類のスラグを作製し、万能試験機を用いたダブルギアの成形実験を行う。そして、2段の鍛造成形に最適なスラグ形状について検討するとともに、製造方法を開発することとした。

この結果、他の製品と同様に、製品の製造時間に加え、材料費、金型製作費、および管理費の削減が可能となる。さらに、製品の寸法精度も向上すると考えられることから、低コストで品質の高い製品の供給が実現できると考えている。

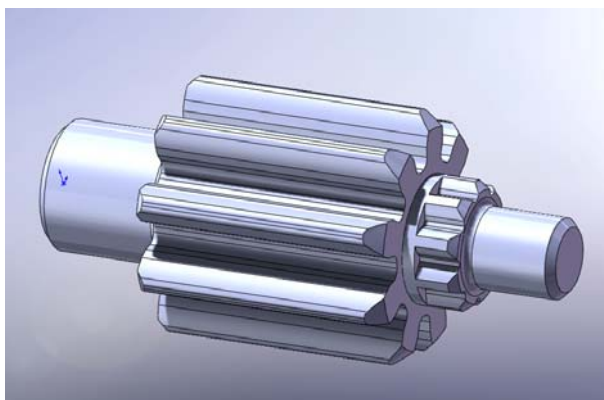
4-2 研究の概要

現在、自動車用冷間鍛造製品（ギアなどの複雑な形状）の成形工程では、多段加工が行われている。本研究開発では、スラグ形状及び金型形状等をシミュレートすることにより、工程数を大幅に削減し、短納期化、低コスト化を実現するとともに、環境に配慮した技術の開発を行うことを目的としている。

しかし、ダブルギア製品は鍛造成形が非常に困難と予想される形状であるため、平成19年度において成形が比較的容易であると考えられるギアとカムが複合した複合ギア製品に関する研究開発を実施し、複合ギアの量産化の目途をつけた。平成20年度においては、主にダブルギア(小ギアと大ギアの二つのギア部分を有するギア部品)の製品化について取り組んだ。

4-3 実施内容

図—1に示すダブルギア形状(小ギアと大ギアの二つのギアを有する形状)の鍛造成形に関する実験、シミュレーション解析(CAE解析)、金型構造設計について実施することとした。



図—1 ダブルギア 外観

ギアの鍛造成形は、一般的に鍛造成形で製品化される円筒形などの単純な形状の製品と比較して、複雑な形状に加えて高い強度、精度が要求され、特にギア歯における割れや傷は厳禁である。本製品は、自動車の座席シートの駆動部品として使用される重要な部品である。このダブルギ

アは、小ギア部と大ギア部があるため、複数の工程で成形する場合は、ギアの位置あわせが必要である。そのため、当初、単発工程での成形加工が可能であるかを検討した。

また、ギアの形状部分を切削加工で仕上げることは、加工時間などのコストを上昇させる要因となっている。そこで、鍛造にてニアネットシェイプ成形をすることにより、材料使用量及び加工時間の削減を図ることを目的に取り組んだ。

4-3-1 スラグ形状の最適化に関する研究

1) スラグ形状の検討(その1)

当初、ダブルギアの形状については、単発成形工程による成形を検討し、7種類の形状を検討した。これらのスラグにおいて、Deformによる塑性変形解析を実施したが、最大荷重が $4.0 \times 10^4 \text{N}$ 程度となり、複合ギアの場合より小さな荷重ではあるが、金型が密閉型となるために、押し出し成形時に押し出しすぎると、大きな荷重が金型にかかり、金型の破損を生じる恐れがあることがわかった。

次に、少し長めのスラグ形状を作成し、良好な充填および成形性が得られることを確認できたら、徐々にスラグの体積を減少させるようにして、スラグの形状を考案した。

さらに、金型においては、大ギア成形開始部分にフィレット(丸み)を付加し、スラグの流動性を向上させ、かつ大ギア外形に沿って壁面を作成し、成形時にあふれ出た部分を有効に使えるようにしようとした。

2) スラグ形状の検討(その2)

これまでの解析と検討により、押し出しピン形状にも穴を設け、密閉型となり過大な荷重がかかることによる金型の破損を避けるために、上下の金型のはめあいには若干の隙間を設けていた。しかし、これらの隙間が存在することにより、はみ出したスラグが噛みこんで金型の破損を招きやすいことがわかった。

そこで、ダブルギア製品の大ギアから上側金型に伸びているシャフト部分は、鍛造加工後に切削加工により成形することとし、スラグ形状も単純化し、鍛造工程における解析を行った。この鍛造モデル形状を図-2に示す。

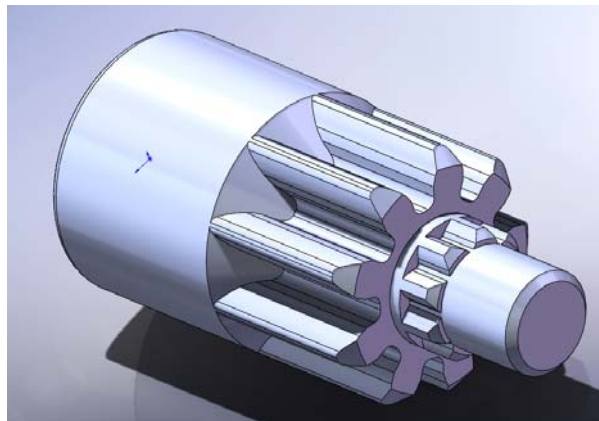


図-2 大ギアシャフト部分を切削加工とした鍛造モデル形状

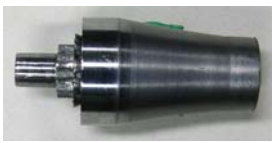
4-3-2 ダブルギア成形のプレス実験

解析結果におけるギア部の成形性を確認するため、大ギアから突き出しているシャフト部分を省略した形状において、プレス実験を実施した。このプレス実験の結果、単発成形により成形すると、大ギア部分が金型に食い込み、容易に取り出すことができないことがわかった。

具体的には、小ギアおよび大ギア部を成形した後、小ギア部から蹴りだしピンにより排出しようとする、4.5ton以上の荷重が必要とされることがわかった。小ギアから突き出しているシャフトの直径は約8mm程度しかないので、蹴りだし時にシャフト自体が変形してしまっている。

そこで、やむなく二段の鍛造工程とし、小ギア部を成形した後、大ギア部を成形することに

より、ダブルギアの成形を実施することとした。

	実験1	実験2	実験3
側面			
正面			
成形ストローク	3.4 mm	3.8 mm	2.4 mm
成形荷重	4.3 tonf	4.6 tonf	3.7 tonf

図—3—1 小ギア部分のプレス実験による成形状況

	11 mm	16 mm	20 mm
側面			
正面			
成形荷重	15.0 tonf	19.8 tonf	21.9 tonf
蹴出荷重	0.88 tonf	4.24 tonf	5.9 tonf

図—3—2 大ギア部分のプレス実験による成形状況

1) 二段の鍛造工程によるダブルギア成形のためのスラグ形状の検討

鍛造工程を、小ギア及び大ギア部の成形工程の二つの工程で実施することにより、鍛造後の製品を取り出す際に小ギアおよびシャフト部の変形を防止すべくスラグ形状を考案した。

このスラグ形状を検討するにあたり、数種類のスラグ形状を解析した。それらの結果において、鍛造成形製品では小ギア部分の長さが 3.4mm となっており、その長さと同等あるいは短いと、小ギア部分の成形性が十分にできないことがわかり、小ギア部分の長さを 3.5mm とし、0.1mm 程度長めに設定し、小ギア全体の長さを 9.3mm にした。Volume は 3740.40mm^3 (鍛造成形形状の Volume は 3702.72mm^3) とした。

2) 二段の鍛造工程によるダブルギア成形のためのプレス実験

これまでの解析結果により、スラグ W604 によるプレス実験を実施した。図一 3 - 1 に小ギア部の成形状況、図一 3 - 2 に大ギア部の成形状況を示す。

ダブルギアの成形を二段の鍛造工程で実施するために、小ギア成形と大ギア成形の二つの金型を設計した。また、小ギア成形後に大ギアを成形した後、取り出しに使用するピン形状を設計した。

小ギア部の成形については、スラグ W604 においては小ギア部の成形部分の長さを 3.5mm にしていた。しかし、小ギア部分のプレス実験によると、小ギア部と大ギア部の間に長さ 0.8mm のストレート部分があるが、この長さが 1.0mm 程度になっていた。そこで、小ギア部の成形部分の長さを 3.2mm、3.4mm、3.6mm としたスラグ形状を作成し、小ギア部分の成形プレス実験を行った。その結果、小ギア部の成形部分の長さを 3.2mm としたスラグ形状において最適な結果を得ることができた。



背圧なし



背圧あり

写真—1 背圧制御によるプレス実験結果

3) 背圧制御によるダブルギア成形のプレス実験

背圧制御によるダブルギアの成形プレス実験結果を写真—1 に示す。今回の背圧制御には、ガススプリング(ミスミ製 MGSC19-38)を利用した。このガススプリングは 300kgf の荷重制御の性能を有している。

大ギア部の成形で使用する金型は、先に成形された小ギア部を痛めないように、小ギア部分の形状が抜けたような開放型となっている。そして、背圧をかける部分は大ギアの形状と同じ外形で、小ギアの外形で中をくりぬいた形状となっている。

大ギアの先端部は、成形時において入り口部がテーパ形状となっているために、若干斜めにだれてしまった形状となっている。背圧制御により、このだれ状態が改善されることがわかった。背圧を約 10KN 程度かけられると、かなり改善されるのではないかと考える。

4-4 結果およびまとめ

今回のダブルギアの成形に関する研究開発において、以下の知見を得ることができた。

- ・ダブルギアの形状において、単発鍛造工程の成形は可能であるが、取り出し時に小ギア部の細いシャフトが荷重に耐えられず変形してしまう。
- ・ダブルギアを二段の鍛造工程で成形し、取り出すことが可能である。このとき、使用する取り出しピンの形状は、大ギアの形状と同一の形状とする。
- ・小ギア部の成形荷重は 3～4ton、取り出し時の荷重は 1ton 未満である。
- ・大ギア部の成形荷重は 25～32ton、取り出し時の荷重は 7～10ton である。
- ・背圧をかけることにより、ギア先端部の形状のだれを抑制することが可能である。

以上のことなどから、今回のダブルギアの製品化および量産化の実現について目途を立てることができた。

第5章 全体総括

平成19年度における複合ギアに関する研究開発において、以下のことを明らかにした。

- ・ギア歯の成形性については、接触面の断面積が影響する。
- ・接触面の断面積が小さいほうが、小さな荷重で、ギア部分が成形しやすい。
- ・試料の高さが不十分であると、未充填が発生する。
- ・下側固定金型の底面に半球状の突起物を付加することによって、ギア歯部分の成形性を高められる可能性がある。

平成20年度の研究開発において、以下のことを明らかにした。

1) 複合ギアに関して、

- ・丸みを帯びた側面形状を用いることにより、ギア、カム共に良好な成形条件を実現することが可能となった。
- ・高さ減少率の小さいスラグ形状を用いることで金型の負荷が軽減される。
- ・下側固定金型の底面に半球状の突起物を付加することによって、ギア歯部分の成形性を高められる可能性がある。

これらの研究開発の結果、複合ギアの製作において、スラグの重量は従来のものより約10%低減、切削加工工程も約30%の低減を実現できた。

複合ギアについては、ほぼ100%目標を達成することができた。

2) ダブルギア(ヘッドレスト用)に関して、

- ・ギア歯の成形性については、接触面の断面積が影響する。
 - ・接触面積が小さいと、ギアの先端から中間部にかけてヒケが発生する。
- これらの研究開発の結果、最適スラグ形状を見出し、量産化の目途をつけた。

このダブルギアに関しては、量産化の目途はたったので、目標の90%を達成することができた。

3) ダブルギア(パワーシート用)に関して、

- ・ダブルギアの形状において、単発鍛造工程の成形は可能であるが、取り出し時に小ギア部の細いシャフトが荷重に耐えられず変形してしまう。
- ・ダブルギアを二段の鍛造工程で成形し、取り出すことが可能である。このとき、使用する取り出しピンの形状は、大ギアの形状と同一の形状とする。
- ・小ギア部の成形荷重は3~4ton、取り出し時の荷重は1ton未満である。
- ・大ギア部の成形荷重は25~32ton、取り出し時の荷重は7~10tonである。
- ・背圧をかけることにより、ギア先端部の形状のだれを抑制することが可能である。

このダブルギアに関しては、背圧制御により、歯先先端部の成形性も向上できることが明確になり。量産化の実現の可能性を見出している。目標の80%を達成できたと考える。

以上のことなどから、今回のダブルギアの製品化および量産化の実現について目途を立てることができた。

参考資料

今回の研究開発の内容の一部を以下に示す学会などで研究発表した。

- ・Influence of Slug Shape on Metal Flow in Simultaneous Forward-Backward Extrusion of Compound Gear. 複合ギアの前方後方押出し成形におけるスラグ形状影響
外山真也 他 2008年9月10日 ICTP2008 国際塑性加工学会 韓国 慶州
- ・前方後方押出しによる複合ギア生計の三次元剛塑性有限要素解析 河野通成 他
2008年11月3日 日本機械学会第21回 計算力学講演会 沖縄県琉球大学
- ・複合ギアの前方後方押出し成形における金型応力解析 佐藤征亜 他
2008年11月3日 日本機械学会第21回 計算力学講演会 沖縄県琉球大学