

平成 24 年度 戦略的基盤技術高度化支援事業

「プレス成形及び鍛造成形の複合による超軽量デフケースの開発」

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構

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 | | 4 |
| 1-3 成果の概要 | | 4 |
| 1-4 当該研究開発の連絡窓口 | | 5 |

第 2 章 本論

| | | |
|--|-------|----|
| 2-1 鍛造部品の小型化や複合一体化のような機能向上 (ファイバキヤ一体型デフケース) | | 7 |
| 2-2 単純形状化したデフケースのプレス加工法の確立 | | 15 |
| 2-3 ファイバキヤ一体型デフケースとデフケースの安価で高精度な溶接法の確立 | | 23 |
| 2-4 本研究にて開発したディファレンシャルユニットの評価 | | 32 |

第 3 章 全体総括

| | |
|-------|----|
| | 39 |
|-------|----|

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

近年の自動車開発においては、低燃費化及び運転性能向上・走行状況に応じた適切な変速を実現する為、変速機の多段化が進んでいる。しかし、現設計仕様のまま多段化すると、変速機の全長及び外径が大きくなってしまい、車体設計(他部品とのスペース設計)が成立しない。よって変速機による燃費向上及び車両への搭載性を向上させる小型軽量化を実現する為、主要部品の新たな設計、技術開発を、川下企業より強く求められている。

変速機は、主にエンジンとの連結部(クラッチ又はトルクコンバータ等)及び変速機構部、ディファレンシャルユニット部から構成されており、レイアウトはエンジンとの連結部と変速機構部がエンジンクランクシャフトセンター軸上に直列で配置されており、ディファレンシャルユニットはそれらに対して並列軸上に配置されている。従来から、「変速機構部」の小型化は、新構造のスケルトンの開発及び構成部品の小型高強度化に、「ディファレンシャルユニット部」の小型化は、デフケース及びディファレンシャルギヤの小型高強度化に取り組んで来た。

研究成果の一部は 2011 年から量産する自動車に採用されているが、今後更なる環境規制等の強化や中国・インドなど新興国を中心とした競合メーカーとの競争激化への対応の為、2013 年以降の自動車をターゲットとして、変速機重量の約 10%を占めるディファレンシャルユニットの軽量化の更なる強い要望があり、今までにない新構造次世代ディファレンシャルユニットを開発し、要求に応える必要がある。

同時に、環境規制に対応する為、多段化に対応するため、ユニットの車両への搭載性の面からも、ディファレンシャルユニットの小型軽量化のニーズが更に高まっている。

小型・軽量・低コストを実現する為、主要構成部品であるデフケースについて、従来の鋳造成形からプレス成形と鍛造成形の複合成形へ変更した国内初の超軽量デフケースを開発する。

このことにより、中小企業の持つプレス技術と鍛造技術の高度化を図ることで、同部材の更なる技術拡大、適用製品の拡大が期待でき、モ作り中小企業の振興・強化する中小企業政策にも整合している。具体的には、技術の高度化により従来自動車メーカー側が製造していたファイナルギヤを部品メーカー側に取り込むことができ、中小部品メーカーの事業拡大が期待できる。

1-1-2 研究開発の概要

主要構成部品であるデフケースを、従来の鋳造成形からプレス成形と鍛造成形の複合成形へ変更し以下の構造とする事で、小型・軽量・低コストを実現する国内初の超軽量デフケースを開発する。

- ・デフケーススリーブとファイナルギヤを一体構造にして締結ボルト等を廃止する事により、軽量化を図り、組み立て費用も低減させる。
- ・デフケーススリーブをプレス成形化する事で単純な形状化にして、軽量化と加工費の低減を図る。
- ・デフケーススリーブとデフケーススリーブの接合に、リングマッシュ溶接を適用し、更なる低価格を実現する。

1-1-3 研究開発の目標

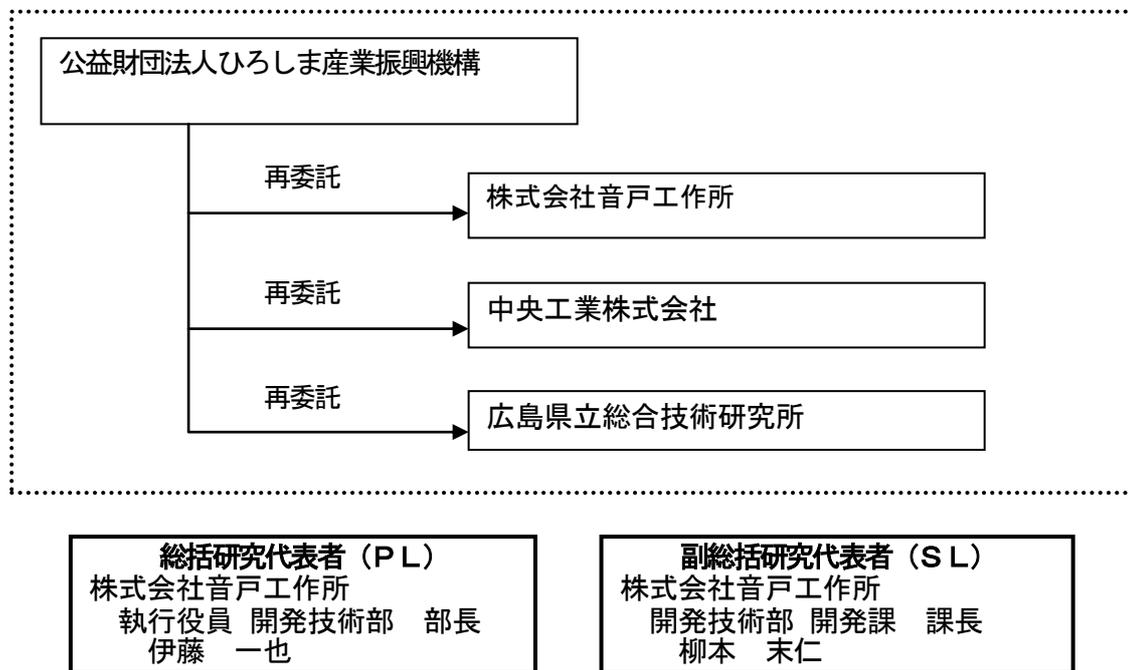
| 区 分 | 22年度（1年目） | 23年度（2年目） | 24年度（3年目） |
|--|--|--|--|
| ① 鍛造部品の小型化や複合一体化のような機能向上（ファイナリィー体型デフケースルト） | <ul style="list-style-type: none"> ②のプレス製デフケースルトと併せて、軽量化目標（Δ13%）をオプティシェーブ等応力解析により達成した上で機能要件（強度・剛性）と生産要件を満足できる詳細リアウト形状を決定する。（設計/工程FMEA） 変形シミュレーションにより、鍛造成形に必要なプレス荷重を最小化する素材形状を決定する。（量産プレス加重設定） 量産想定した材料と加工代のデフケースルト素材を熱間鍛造工法により製作し、素材の流動状態（駄肉、欠肉、ファイバ等）が機能上問題無いか検証する。 量産を前提とした加工工程によりデフケースルトを製作し、工程間でのキヤ歯部に関する冶金特性や変形が機能上問題無いか検証する。 | <ul style="list-style-type: none"> ②のプレス製デフケースルトの加工法確立と併行して、プレス成形性を容易にする接合部形状をチューニングし具体化する。 材料の加工代を見直し、材料の投入重量を低減したデフケースルトB仕様素材を熱間鍛造工法により製作し、素材の流動状態（駄肉、欠肉、ファイバ等）が機能上問題無いか検証する。 加工代見直し素材に対し量産を前提とした加工工程によりデフケースルトB仕様を製作し、工程間でのキヤ歯部に関する冶金特性や変形が機能上問題無いか検証する。 | <ul style="list-style-type: none"> ③の溶接工法の確立と併行して、溶接強度を最大限に向上出来る接合部形状をチューニングし具体化する。 |
| ② 単純形状化したデフケースライトのプレス加工法の確立 | <ul style="list-style-type: none"> ①のデフケースルトと併せて、軽量化目標（Δ13%）達成した上で機能要件（強度・剛性）と生産要件を満足できる詳細リアウト形状を決定する。（オプティシェーブ等応力解析） | <ul style="list-style-type: none"> 変形シミュレーションによりプレス工程数、工程間変形形状、工程別プレス荷重を具体化する。 型面圧、製品成形時発生面圧、引張応力が基準値以内となるか検証する。 プレス工程数最少化を可能とする金型、製品形状を具体化する。 量産を前提としたプレス工程にてデフケースライトを製作し、開発品に欠陥が無いか検証する。 | <ul style="list-style-type: none"> ③の溶接工法の確立と併行して、溶接強度を最大限に向上できる接合部形状をチューニングし具体化する。 |

| | | | |
|--|--|--|---|
| <p>③ ファイナルギヤ一体型デフケーシングとデフケーシングの安価で高精度な溶接法の確立</p> | <ul style="list-style-type: none"> 量産工程を想定したリソグマッシュ溶接の工程FMEAを作成し、特性振らし項目と振らし幅を決め、予めデフケーシングとレフトの接合部に関する基本形状に反映させる。 | <ul style="list-style-type: none"> 溶接強度を確保するためのプレス製デフケーシング形状と溶接強度を具体化する。 | <ul style="list-style-type: none"> H22年度に実施する工程FMEAを基に、振らし評価を実施して製品の特性バラツキ・工法のバラツキを反映させた、デフケーシングとデフケーシングの開発品を製作して、機能評価を行い、溶接部形状特性と溶接条件特性を決める。 |
| <p>④ 本研究にて開発したデフアレンシャルユニットの評価</p> | <ul style="list-style-type: none"> 設計FMEAにて抽出した懸念項目に関しては、本研究開発品の完成前に、予備試験を実施し、対策仕様を本研究開発品に反映させる(デフケーシング耐焼付き性)。 | <ul style="list-style-type: none"> 設計FMEAにて抽出した懸念項目に関しては、本研究開発品の完成前に、予備試験を実施し、対策仕様を本研究開発品に反映させる(摺動部樹脂ワッシャー耐焼付き性)。 | <ul style="list-style-type: none"> デフアレンシャルユニットとして差動耐久試験(4項目)、焼付き試験(4項目)、振り試験(2項目)、デフレクション測定、応力測定を実施して、機能問題を抽出して対策仕様を決める。 ミッションユニットに組み込みデフケースと一体化したファイナルギヤの機能問題を抽出して対策仕様を決める。 |

[研究開発目標値]

| 区 分 | 目標値等 |
|---|--|
| <p>① 鍛造部品の小型化や複合一体化のような機能向上 (ファイナルギヤ一体型デフケーシング)</p> | <ul style="list-style-type: none"> 車両重量軽減による燃費向上のため、デフアレンシャルユニットの重量を従来品の機種に対し13%軽量化。 デフケーシングの変形量は、ファイナルギヤが変位によるギヤノイズによる車内騒音を防ぐため、急発進時のスラスト変位量を1mm以下。 デフケーシングの応力値は、デフケーシングの破損による走行不能を防ぐ為、通常走行時の応力を疲労限度(500MPa)以下。 鍛造素材歩留は、従来のファイナルギヤ鍛造品に対し10%向上。 ファイナルギヤの加工精度は、ファイナルギヤノイズによる騒音を防ぐ為、歯振れを0.05以下。 |
| <p>② 単純形状化したデフケーシングのプレス加工法の確立</p> | <ul style="list-style-type: none"> デフケーシングの応力値は、デフケーシングの破損による走行不能を防ぐ為、通常走行時の応力を疲労限度(216MPa)以下。 ピニオンシャフトかん合部面圧は、デフケーシングの破損による走行不能を防ぐ為、通常走行時の面圧を耐力(304MPa)以下。 |
| <p>③ ファイナルギヤ一体型デフケーシングとデフケーシングの安価で高精度な溶接法の確立</p> | <ul style="list-style-type: none"> 静振り破壊時のトルクが急発進時に発生するトルクの1.2倍以上 振り耐久強度は定格トルクにて32万サイクル以上 |
| <p>④ 本研究にて開発したデフアレンシャルユニットの評価</p> | <ul style="list-style-type: none"> 差動耐久試験(4項目)、焼付き試験(4項目)、振り試験(2項目)、デフレクション測定、応力測定を実施し、客先要求性能を満足する。 |

1-2 研究体制



1-3 成果の概要

- ① 鍛造部品の小型化や複合一体化のような機能向上
 - ① -1 ファイルギヤ一体型デフレスライトの鍛造加工法の確立
軽量目標 Δ 13%を達成出来る構造が提案出来、変形解析結果より成形荷重や成形時発生応力に問題無い事を確認しており、複合一体化成形技術の鍛造加工法を確立した。
 - ① -2 ファイルギヤ支持精度を向上出来る機械加工法の確立
歯面研磨工程の見直しを反映した工程で製作した本研究品の歯形測定結果、歯振れ 15.1 μ m と規格 50 μ m を満足しており、また、歯形誤差・歯筋誤差の値も良好である事を確認しており、機械加工法を確立した。
 - ② 単純形状化したデフレスライトのプレス加工法の確立
デフレスライトのプレス成形結果、捲れ・割れの不具合を解消する事が確認できた。また、減肉問題についても変形解析結果から肉厚を確保できる工程を提案しており、プレス加工法を確立した。
 - ③ ファイルギヤ一体型デフレスライトとデフレスライトの安価で高精度な溶接法の確立
リングマッシュ溶接強度向上の為、先行評価でダブルリングマッシュ溶接プレス外径部及び内径部に最適締め代を設定する事で十分な強度を得られる事が確認出来た。但し、本研究のプレス製デフレスライトに適

用した場合、接合強度が低下する事が判明した。今後、[°]製[°]ファースイトに特化したリングマッシュ溶接条件の検証活動を行う。

④ 研究にて開発したディファレンシャルユニットの評価

本研究品の評価を行い目標8項目に対して6項目目標に対する合否判断を行う事ができた。今後は未評価項目の試験実施と目標未達項目に対する是正効果の確認活動を行う。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

〔事業管理機関〕

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 (担当：神田 敏和)

[住所] 〒730-0052 広島市中区千田町3丁目7-47 (広島県情報プラザ内)

[TEL] 082-240-7712

[FAX] 082-504-7317

[E-mail] t-kanda@hiwave.or.jp

〔再委託先〕

株式会社 音戸工作所 開発技術部 開発課 (担当：中野 良秀)

[住所] 〒739-0146 広島県東広島市八本松飯田1-1-1

[TEL] 082-428-2217

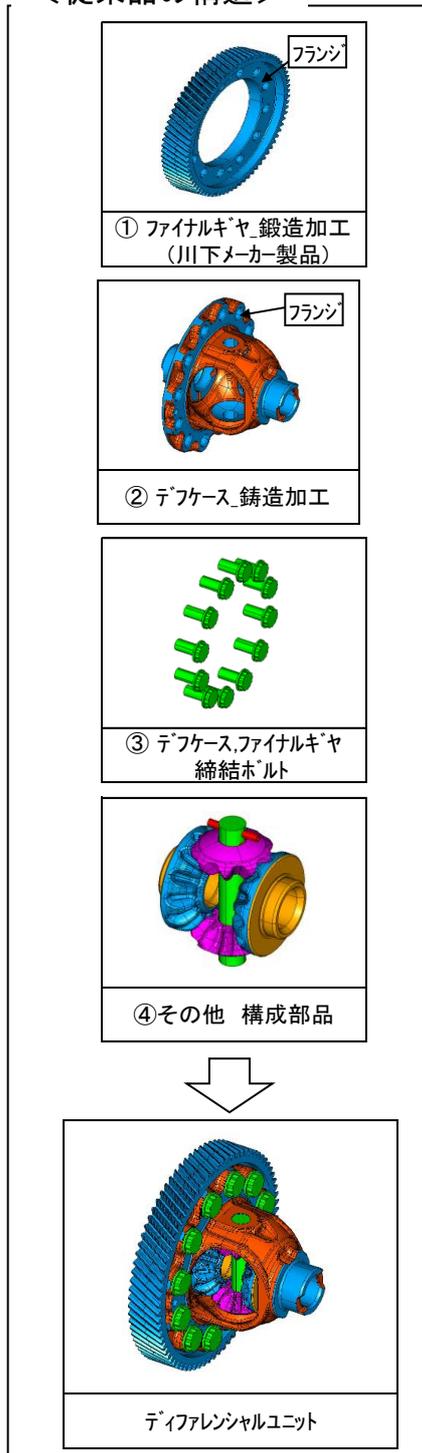
[FAX] 082-428-9338

[E-mail] y_nakano@ondo.co.jp

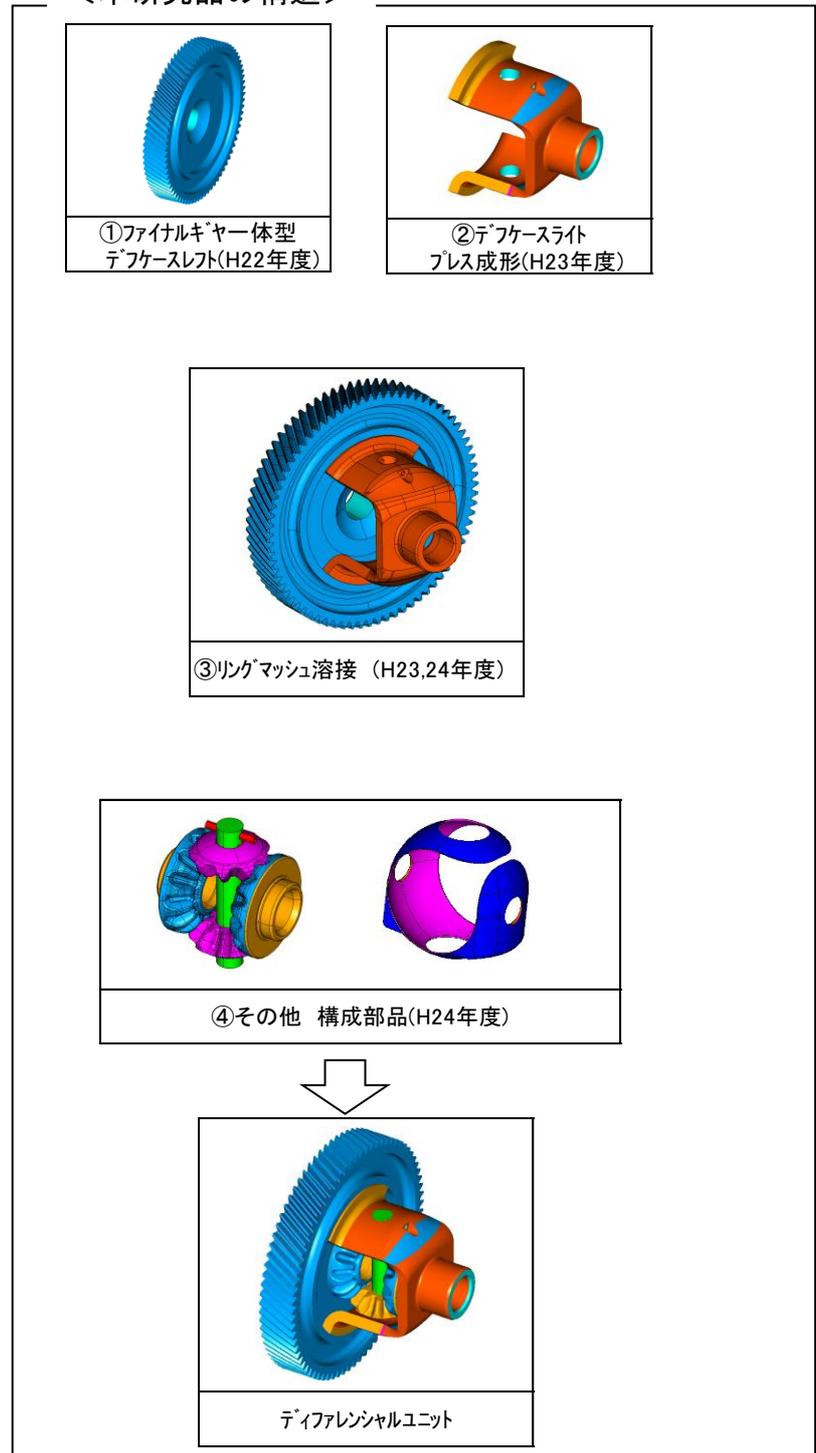
第2章 本論

本論に入るに先立ち、先ず本研究の全体概要を示す。
従来品と本研究品のディアレンシャルユニット構造は以下の通りである。

＜従来品の構造＞



＜本研究品の構造＞



【従来品の課題】

- (1)ファイナルギヤとデフケースの締結がホルトであり、フランジ部が重複し、ホルト12本で締結しており、重量が重く、組立費用が高い。
- (2)デフケースの形状が複雑であり、機械加工が困難である。

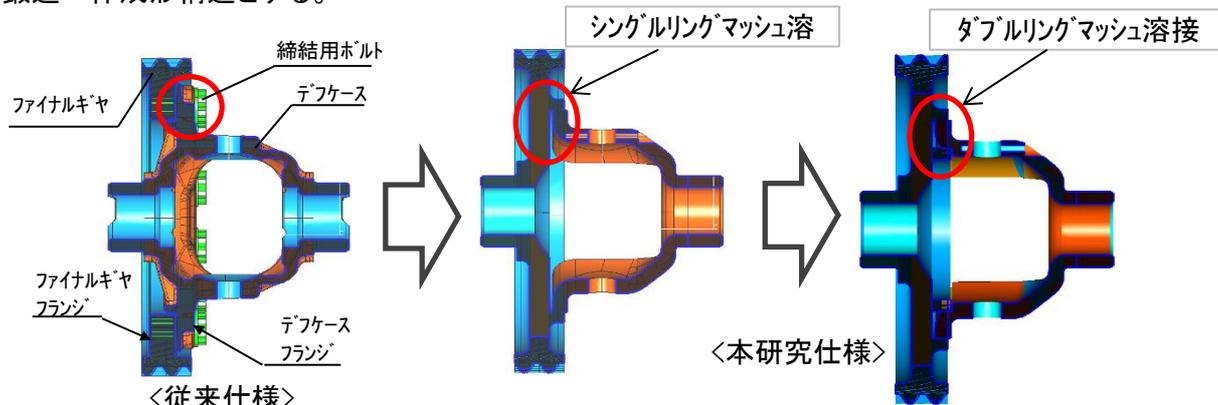
【本研究品の特徴】

- (1)デフケーススレフトとファイナルギヤが一体構造であり、重量が軽い。
- (2)デフケーススライトをプレス成形化する事により単純形状化し、重量が軽くて機械加工費が安い。
- (3)デフケーススライトとデフケーススレフトの接合に安価なリングマッシュ溶接を適用する。

2-1 鍛造部品の小型化や複合一体化のような機能向上(ファイナルギヤ一体型デフケーススレフト)

【概要】

従来、ファイナルギヤ(鍛造部品)とデフケース(鋳物部品)を下图に示す様に、フランジ部でボルト締結している構造に対し、本研究ではボルト締結を廃止し下图に示す様にファイナルギヤのフランジとデフケースのフランジを鍛造一体成形構造とする。



2-1-1 ファイナルギヤ一体型デフケーススレフトの設計・開発

【活動の概要】

ファイナルギヤとデフケーススレフトを量産前提の鍛造工法により鍛造一体成形した物を製作して、鍛造素材の冶金特性、完成品の歯面精度・冶金特性を調査し、鍛造・機械加工、熱処理工程での課題を抽出し、解決する。

2-1-1-1 ファイナルギヤ一体型デフケーススレフトとプレス成形デフケーススライトの設計

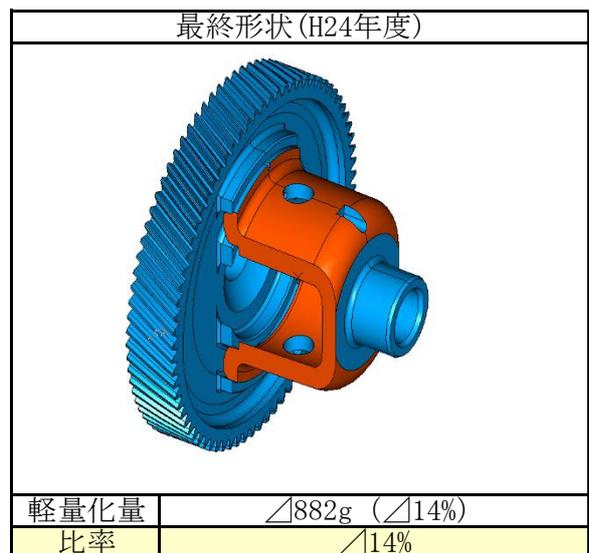
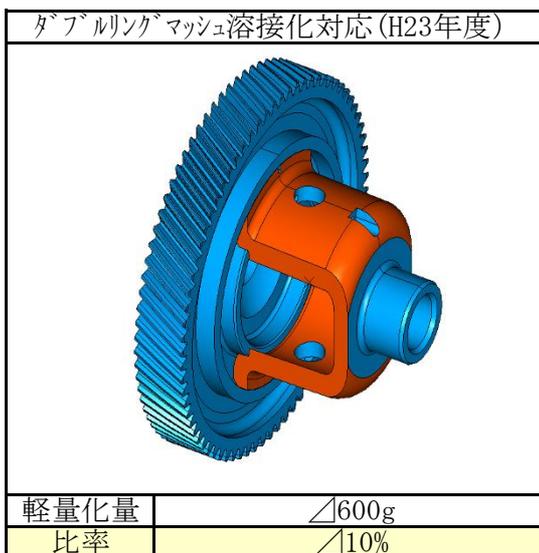
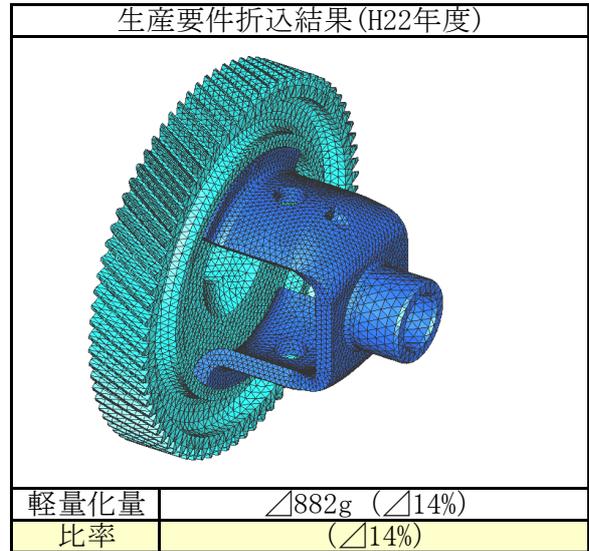
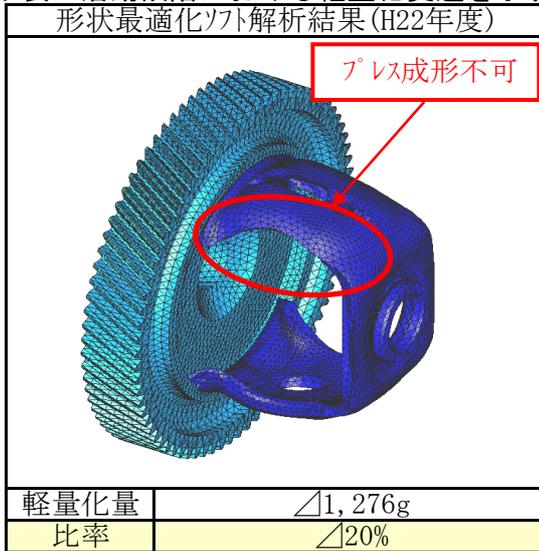
(1) ファイナルギヤ一体型デフケーススレフトとプレス成形デフケーススライトの設計

構造を決める為、目標値(制約条件)を設定し基本構造に対する適合性の設計検証活動を実施した。

| No | 項目 | 目標値 |
|------|--|----------------------|
| I | 車両重量軽減による燃費向上のため、ディファレンシャルユニットの重量を従来品の機種に対して軽量化する。 | △13% |
| II | デフケーススレフトの変形量は、ファイナルギヤが変位によるギヤノイズによる車内騒音を防ぐため、急発進時のスラスト変位量を抑制する。 | 1mm以下 |
| III | デフケーススライトの応力値は、デフケーススレフトの破損による走行不能を防ぐため通常走行時の応力を抑制する。 | 500MPa以下 (疲労限度以下) |
| IV | 鍛造素材の歩留まりは、従来のファイナルギヤ鍛造品に対して向上させる。 | 10%以上 |
| V | ファイナルギヤの加工精度はファイナルギヤノイズによる騒音を防ぐため歯振れ量を抑制する。 | 0.05mm以下 |
| VI | デフケーススライトの応力値は、デフケーススライトの破損による走行不能を防ぐため、通常走行時の応力を抑制する。 | 216MPa (疲労限度以下) |
| VII | ピニオンシャフト嵌合部面圧は、デフケーススライトの破損による走行不能を防ぐため、通常走行時の面圧を抑制する。 | 304MPa以下 (耐力以下) |
| VIII | 静振り破壊時のトルクが急発進時に発生するトルクを上回る。 | 1.2倍 |
| IX | 振り耐久強度は定格トルク(通常走行時)にて強度を有する。 | 32万サイクル以上 |
| X | ディファレンシャルユニットでの各種試験をクリアする。 | 試験項目数:12項目 |

(2) 形状最適化ソフトによる軽量化の検討：上表Ⅰ項目 目標値=従来品比/113%以上
 ファイルギヤ支持剛性を従来品並みとした基礎構造に対して形状最適化ソフトにより
 等応力化し軽量化を検討した。

下表に活動段階における軽量化変遷を示す。

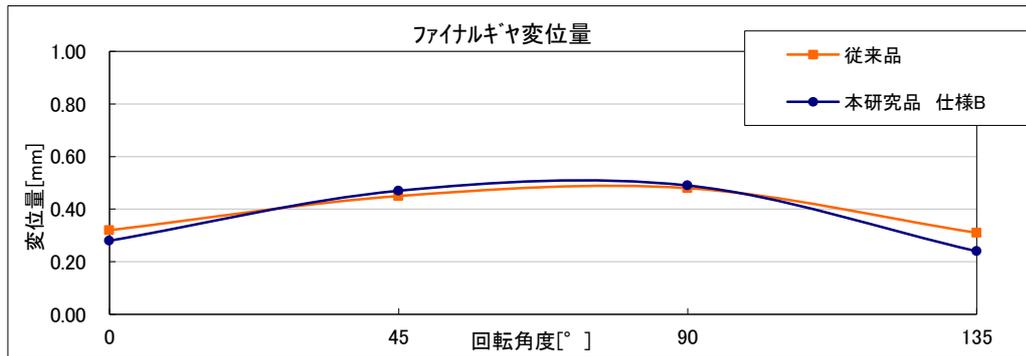


軽量化達成状況：最終形状において△14%であり目標達成

(3) FEM解析ソフトによるファイルリングギヤの変位検討：上表Ⅱ項目 目標値=変位量
1mm以下

ファイルギヤの噛合いによる変位量が従来品並みであることを確認するため、FEM解析を実施した。





上グラフに示すのはデフェスルトを仕様B軽量化折込仕様に変更しての解析結果である。従来品より剛性は若干悪化するが、目標1mm以下に対しては、従来品と同等の変位量であり、解析結果、変位量に問題ない事を確認する事ができた。

リングギヤ変位量達成状況：最終形状において1mm以下であり目標達成

- (4) 形状最適化ソフトによるデフェスルトとデフェスライト応力の検討
 : 上表Ⅲ・Ⅵ項目 目標値=デフェスルト応力500MPa以下、デフェスライト応力216MPa以下

形状最適化ソフトによる解析を行う際は各部品の目標応力を制約条件としいるため応力は自動的に目標値に収まる。

応力達成状況：最終形状において許容値以下であり目標達成

- (5) デフェスルトの歩留向上形状の検討：上表Ⅳ項目 目標値=10%以上
 (歩留：製品製作の為の初期投入重量に対する、最終製品状態での重量比)
 下表に活動段階における歩留まりの変遷を示す。

| 仕様A (H22年度) | | 仕様B (H23年度) | | 最終仕様 (H24年度) | |
|-------------|----|-------------|-----|--------------|-----|
| | | | | | |
| 従来比 歩留向上 | 0% | 従来比 歩留向上 | 10% | 従来比 歩留向上 | 10% |

上図に示す様にH23年度活動時鍛造素材の抜け勾配と削り代を見直し歩留を向上させた。

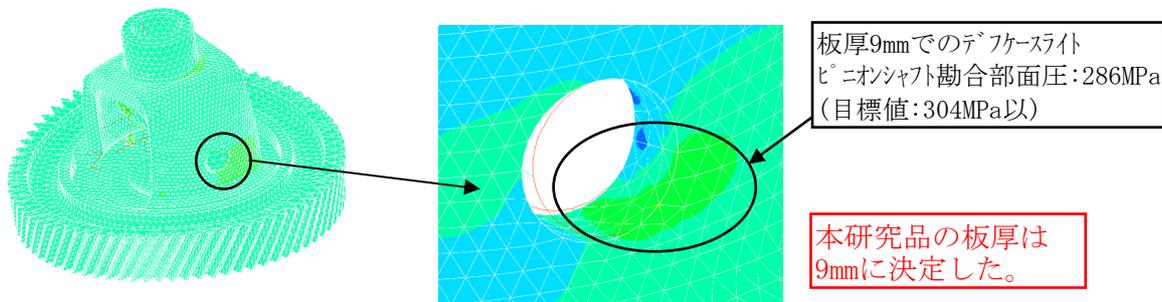
鍛造素材歩留達成状況：最終形状において歩留率向上率は10%以上であり目標達成

- (6) ファイナルギヤ歯形加工精度確保の検討：上表Ⅴ項目 目標=歯振れ量0.05mm以下

歯形精度の机上予測は困難な為現物検証結果を加工工程検討に反映させる事とした。

(7) デフレースライトの面圧検討：上表Ⅶ項目 目標値=304MPa以下

デフレースライトにプレス成形を適用するに当たり、設計FMEA検討結果から下図に示す様にケースライトのピニオンシャフトかん合部の面圧上昇が懸念される為、面圧目標値を満足出来る板厚デフレースを選定した。

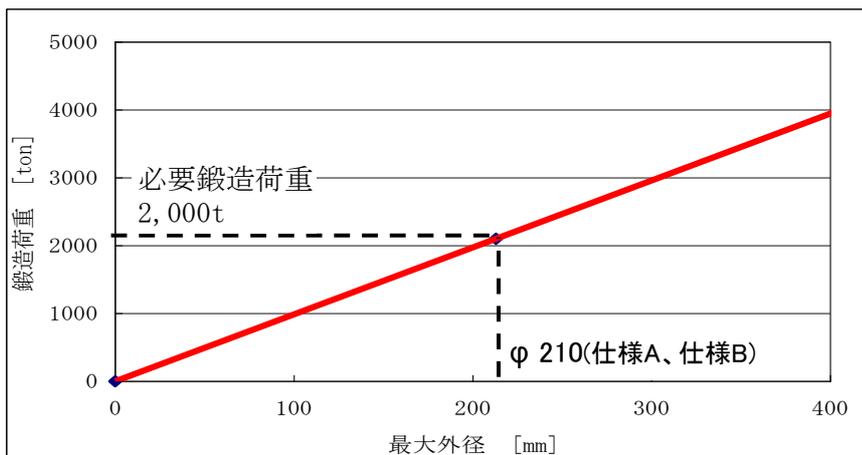


デフレースライト面圧達成状況：最終形状において面圧は286MPaであり目標達成

2-1-2 ファイナルギヤ一体型デフレースレフトの鍛造加工法の確立

2-1-2-1 鍛造工法構想

①ファイナルギヤ一体型デフレースレフト仕様B(リングマッシュ溶接楕見直しによる重量増加低減仕様)の鍛造設備は、最大外径から決定される鍛造荷重から設定した。仕様Bは仕様Aに対し素材の抜き勾配やR形状を見直し、歩留率を改善した仕様であるが、外径サイズは仕様Aと同一のφ 210である。一般的に鍛造設備は、最大外径から鍛造荷重を算出し使用設備を決定するが、今回の鍛造荷重は下図より2000tとなりH22・H23年度の判断から変更はない。



下図に仕様Aと仕様Bの工程順序と各工程の必要鍛造荷重を示す。

| | | | | | |
|------|--------|-------|-------|-------|-----|
| 工程図 | | | | | |
| 工程 | ハーフ材切断 | スラグ成形 | 荒鍛造 | 仕上げ鍛造 | 穴抜き |
| 鍛造荷重 | - | 350t | 2000t | 2100t | - |

プレス鍛造工程合計=4,450t

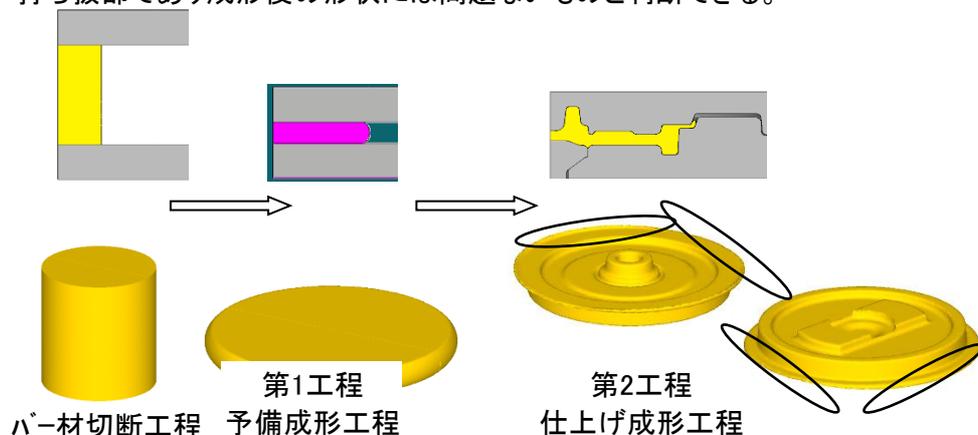
プレス鍛造を適用した場合、全体で約4,500tの鍛造荷重を有する設備が必要となる。プレス鍛造では安定した精度で鍛造可能だが、コストが高い。ハンマー鍛造では精度はプレス鍛造に劣るが、コストはプレス鍛造に対して安価である。再委託先の中央工業(株)殿は、4,500t相当の鍛造設備を有していない為、仕様Bにおいても保有設備であるハンマー鍛造工法:5Tonを採用する事とした。事業化の際には、コストスタディを行い、最適な鍛造工法を適用予定である。

②成形シミュレーションにより熱間鍛造成形性の検証及び懸念点抽出

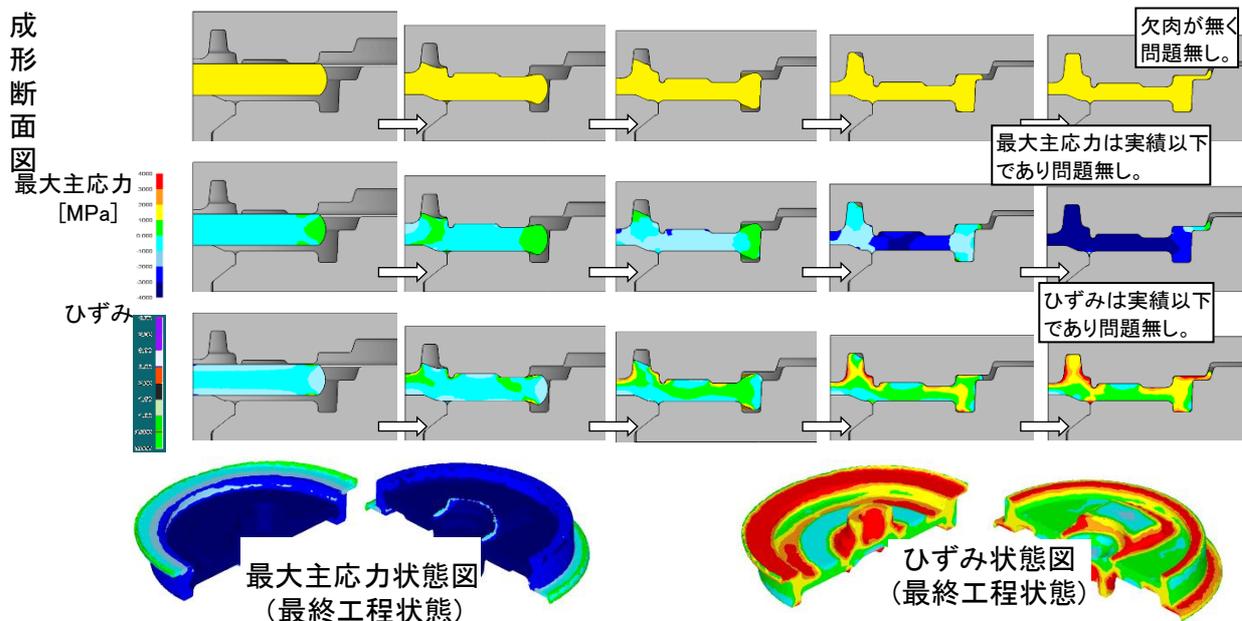
鍛造素材成形時に発生する製品及び金型の応力を成形シミュレーションにより予測して、熱間鍛造工程に問題が無い事を確認したのでその結果を次に示す。

<仕様B(軽量化折込仕様)成形シミュレーション結果>

下図モデルに示す様に最終成形状態にて外周部に非対称性が発生するがバリ打ち抜部であり成形後の形状には問題ないものと判断できる。



<第2工程 解析結果詳細(形状、最大主応力、ひずみ)>

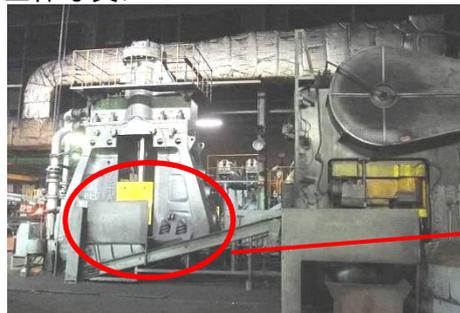


デフケースレタ成形シミュレーション結果より、仕様B(軽量化折込仕様)は成形荷重も実績値以内であり想定されるが、欠肉は無く、また、成形時に発生する最大主応力及びひずみ値は実績並みであり、熱間鍛造成形性に問題無い事を検証できた。

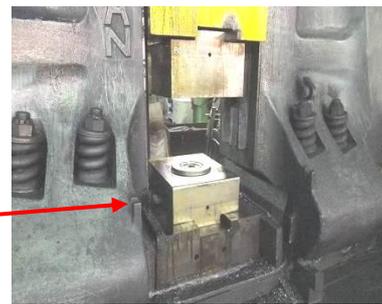
2-1-2-2 ファイナルギヤー体型デフケースレタの鍛造素材製作・素材品質・冶金特性検証

①鍛造素材成形機(中央工業株)殿 ハンマー5t

<全体写真>



<金型セット時写真>

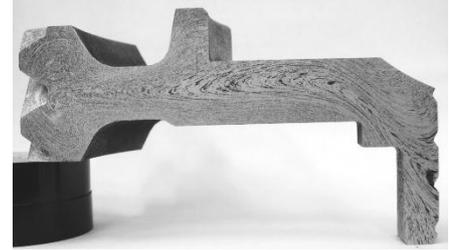


②鍛造素材のファイバーフロー調査

機械加工後の断面のファイバーフローを観察した。
 <仕様B:H23・24年度>



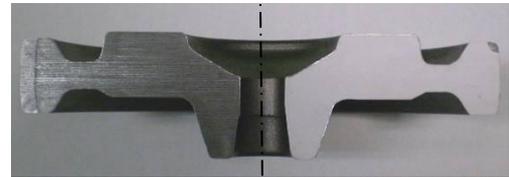
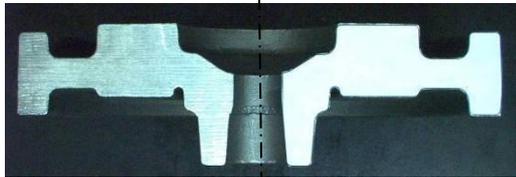
参考<仕様A:H22年度>



仕様A同様にファイバーフローは材料の捲れ等の欠陥は無く、良好である。

③鍛造素材の駄肉、欠肉

鍛造素材断面と鍛造素材図を重ね合せ、素材の駄肉及び欠肉を観察した。
 <仕様B:H23・24年度>



参考<仕様A:H22年度>

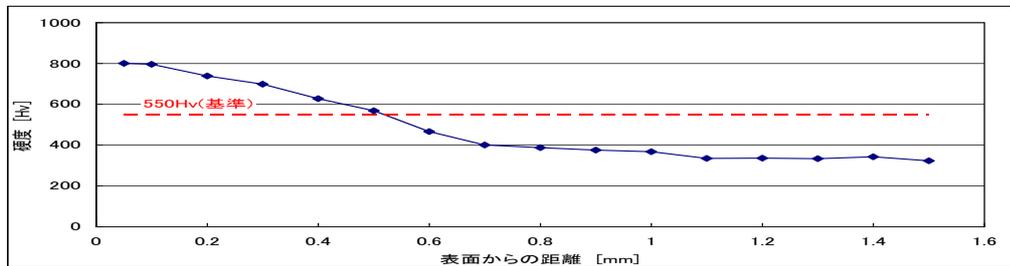
仕様A同様に各部の切削代は適正であり、駄肉、欠肉等は無く良好である。

④冶金特性調査結果

完成品の硬度調査をビッカース硬度計を用いて行い、品質確認を行った。
 図面特性に対して満足しているかを確認した。

●有効硬化層深さ

硬度550Hvを満足する表面からの深さを表しており、図面特性0.4mm~0.8mmに対し、0.5mmであり、問題無いことを確認した。



●表面硬度、内部硬度

歯部の表面及び内部の硬度を測定し、下表の通り図面特性を満足しており、問題無い事を確認した。

| | 図面特性 | 調査結果 |
|------|-----------|-------|
| 表面硬度 | 660~840Hv | 816Hv |
| 内部硬度 | 265~450Hv | 302Hv |

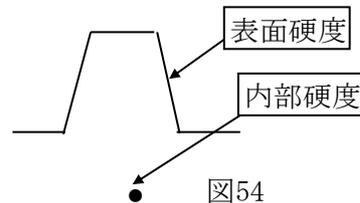
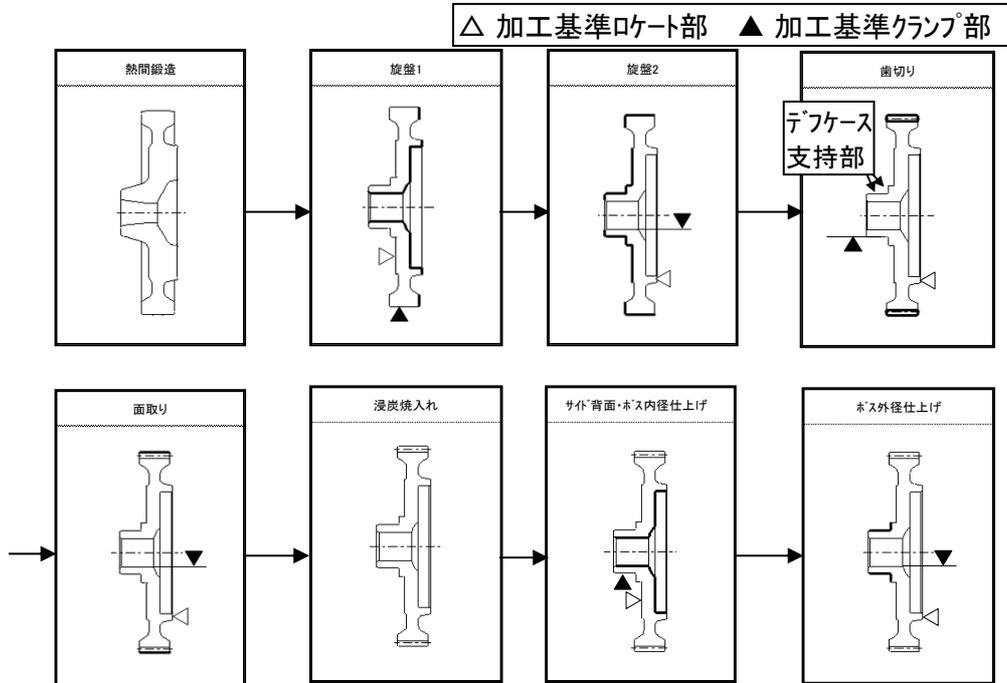


図54

2-1-3 ファイナルギヤ一体機械加工技術の確立

2-1-3-1 機械加工工程構想

従来のファイナルギヤは以下に示す工程にて製作しているが、本研究品はファイナルギヤとデフケースを一体構造としている為、加工工程が基本に異なる事になる。機械加工時にデフケースの支持部を機械加工基準にし、ファイナルギヤの歯振れを従来品と同等にできる工程に設定した。
 <本研究ファイナルギヤ一体構造デフケース加工工程案>

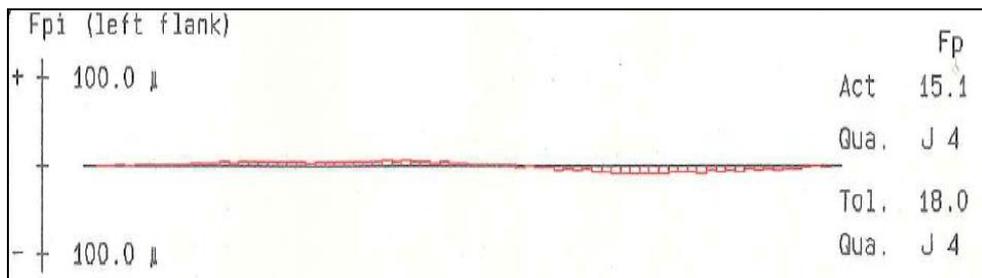


2-1-3-2 ファイナルギヤ一体型デフケースレタの歯形精度の検証

熱処理前後及び歯研後の歯形精度を調査した。

① 歯振れ量：目標=50μ m以下

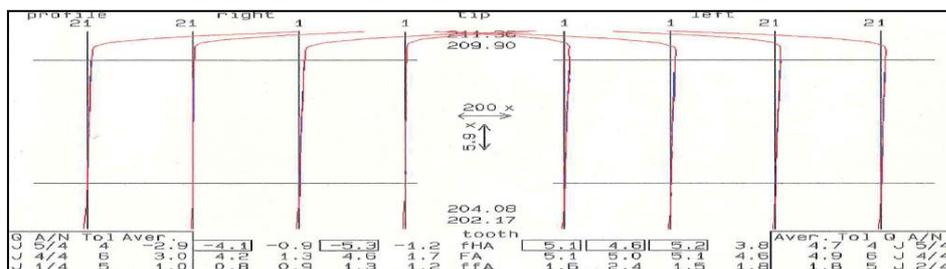
<仕様B_H24年度熱処理後 内径仕上げ及び歯研後> 歯振れ量：15.1μ m



<結果> 歯研時の加工基準を見直す事に歯振れ精度改善効果は充分得られた。
歯振れ達成状況：歯研をデフケースレタ回転支持部基準に行う事で目標達成

② 歯形誤差：目標=50μ 以下

<仕様B_H24年度熱処理後 内径仕上げ及び歯研後> 歯形誤差FA：最大5.1μ m

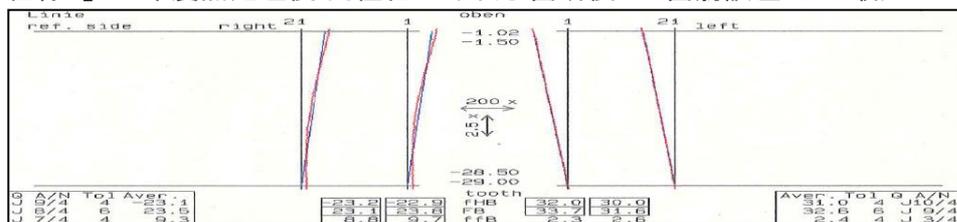


<結果> H23年度に対し値は小さいがバラツキの範囲と判断する。
 歯研工程追加による歯形精度向上効果歯充分得られている。

歯筋達成状況: 歯研をデフケースレフト回転支持部基準に行う事で目標達成

③ 歯筋誤差: **目標=210μ m以下**

＜仕様B_H24年度熱処理後 内径仕上げ及び歯研後＞ 歯筋誤差FB: 最大33.7μ m



＜結果＞ H23年度製作品品に対して33.7μ mと若干悪化しているが目標210μ mに対しては充分余裕がある。また、歯研工程追加による歯形正常向上効果は充分得られている。

歯筋達成状況: 歯研をデフケースレフト回転支持部基準に行う事で目標達成

歯形調査結果を以下にまとめる。

歯形精度は**歯研時の加工基準を見直す事によって規格を満足している事**を確認出来た。
単位(μ m)

| | 仕様B(H24年度) | | | 仕様B(H23年度) | | | 仕様A(H22年度) | | |
|------------|-------------|------------|-------------|------------|------|-------|------------|------|-------|
| | 歯振れ | 歯形 | 歯筋 | 歯振れ | 歯形 | 歯筋 | 歯振れ | 歯形 | 歯筋 |
| 熱処理前 | 52.0 | 22.6 | 67.6 | 43.4 | 33.7 | 52.5 | 37.6 | 48.1 | 203.2 |
| 熱処理後 | 114.1 | 34.3 | 92.9 | 213.1 | 58.1 | 156.2 | 249.0 | 90.1 | 288.3 |
| 歯研後 | 15.1 | 5.1 | 33.7 | 115.5 | 10.4 | 14.9 | - | - | - |
| 規格(Max) | 50.0 | 50.0 | 210.0 | 50.0 | 50.0 | 210.0 | 50.0 | 50.0 | 210.0 |

【活動成果】

鍛造部品の小型化や複合一体化のような機能向上(ファイナルギヤ体型デフケースレフト)

- ① デフケースの軽量化目標を満足出来る構造を決定した。
H23年度リングマッシュ溶接構造の変更(シングル⇒ダブル)に伴いデフケースレフトの重量が176grアップし、目標△13%に対して△10%と未達となっていたが、溶接部構造を見直し△13%の軽量化できる構造に変更した事により目標を達成した。
- ② ファイナルギヤのスラスト変位量が、従来品同等となる構造を決定した。
デフケースレフト鍛造素材歩留改善仕様(仕様B軽量化折込)の採用により剛性は低下するが、スラスト変位量の目標値:1mm以下に対して、0.53mmと目標を達成した。
- ③ デフケースレフトの応力値が、引張強さ以下となる構造を決定した。
デフケースレフト鍛造素材歩留改善仕様(仕様B軽量化折込仕様)の採用により剛性は低下するが、デフケースレフトの応力目標値:500Mpa以下に対して、492Mpaと目標を達成した。
- ④ デフケースレフト鍛造素材の歩留目標を満足できる、鍛造素材形状を決定した。
デフケースレフトの鍛造素材の歩留目標値:10%向上(従来比)に対し、仕様Bの軽量化折込仕様も従来比10%向上を達成した。
- ⑤ デフケースレフトのファイナルギヤ部の加工精度は、歯振れ量が規格:0.05以下に対して、歯研工程の加工基準を見直した結果、H24年度0.115を0.015に低減できており目標を達成した。

2-2. 単純形状化したデフケースライトのプレス加工法の確立

【概要】

従来のデフケースは一体鋳造加工の為、切削代が多くディファレンシャルギヤ組付け部はマシニングセンタを使用して特殊工具による複雑な機械加工を実施している。本研究では、単純形状化する事で機械加工の工程を簡略化できる、デフケースライトの厚板プレス成形技術を確立した。

デフケースライトをプレスで加工する時に課題となる形状は、①ボス形状、②半球形状、③偏肉形状及び④アーチ状の開口部がある。量産性のある形状とする為、②の半球形状と④のアーチ形状は曲げ加工で加工ができる形に単純化し③の肉厚偏肉形状は形状そのものを無くした。

①のボス形状の成形をプレス加工で可能にしていく工程を設定し検証をした。

2-2-1 プレス工程設定

2-2-1-1 プレスデフケースライトの板厚の選定

設計FMEA検討結果からデフケースライトのピニオンシャフト勘合部の面圧上昇が懸念される為、面圧の目標値を満足出来る板厚9mmを選定した。

ピニオンシャフト勘合部の面圧は286MPaで、目標値304MPa以下を満足する。

2-2-1-2 シミュレーションによる成形性検証

成形シミュレーションを用いプレス成形性を検証し、工程数の妥当性を検証した。

工程数の設定は工程数短縮を考慮し、ボス部を絞り5工程、曲げ3工程とし、絞り初工程は絞り率を47%に設定した。【図1】にシミュレーション解析結果を示す。

【図1】

| | 1DR | 2DR | 3DR | 4DR |
|-----|-----|-----|-----|-----|
| 型構造 | | | | |
| 成形後 | | | | |
| | 5DR | 6FL | 7DR | 8DR |
| 型構造 | | | | |
| 成形後 | | | | |

2-2-1-3 シミュレーションによる成形性検証結果

デフケースライトの成形性シミュレーションにおいて、絞り5工程、曲げ3工程内で欠肉は無く、最大主応力及びひずみ共に問題無し、成形は可能であると判断した。

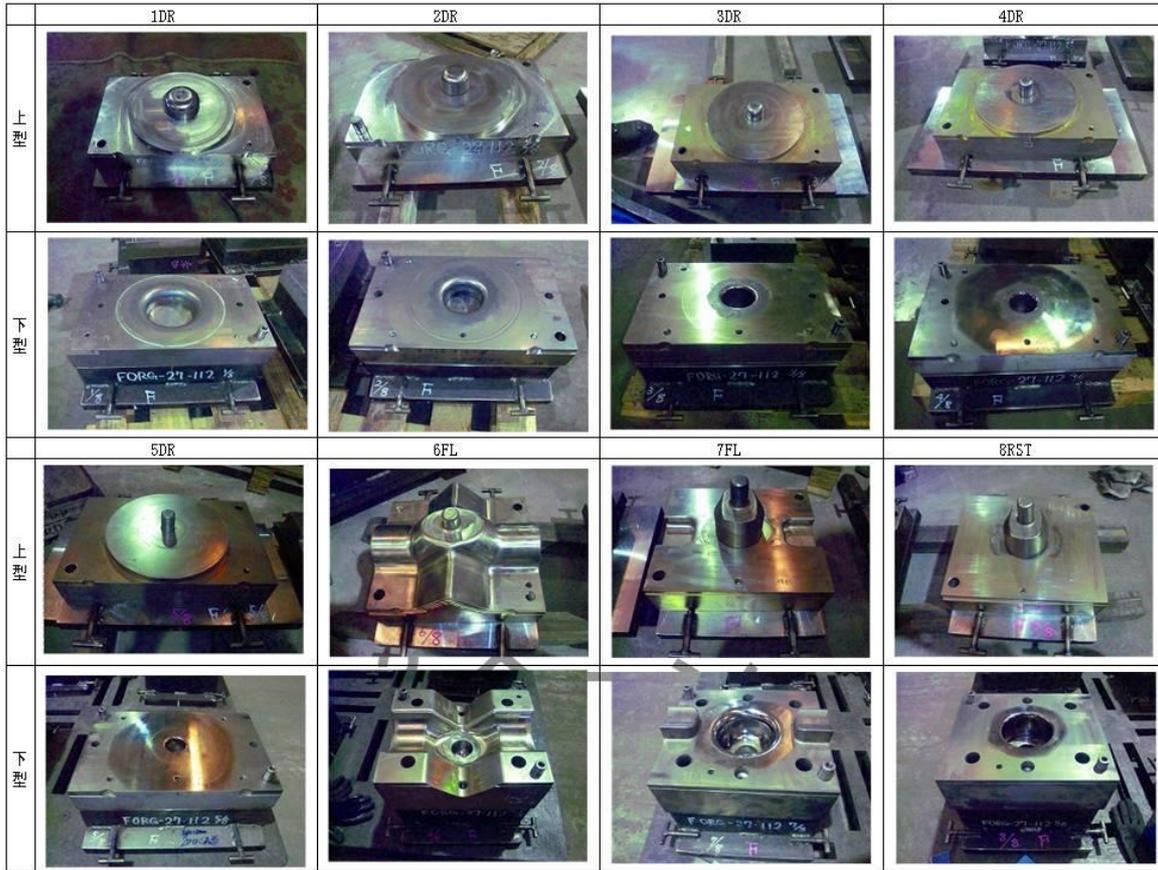
2-2-2 プレス工程での成形性検証トライ実施

トライの工程は、ブランクをレーザーで加工後、絞り5工程(1DR~5DR)で成形し、ボスの高さを切削で決め、曲げ3工程(6FL,7FL,8RST)の合計10工程とした。レーザーと切削加工は量産ではプレスでの加工をする。

2-2-2-1 プレス成形用金型の製作

シミュレーション解析結果を元に絞り5工程、曲げ3工程のプレス金型を製作した。
【図2】に製作した金型の写真を示す。

【図2】



2-2-2-2 トライプレス機械

プレス機械は300tonの油圧プレスを使用した。



試作品加工用プレス機械
(300トン油圧プレス)

2-2-2-3 トライ材料

材質 : SAPH440
板厚 : 9mm
材料特性値 : 下表参照

【表1】トライ材料の材料特性値

| アイテム | C | Si | Mn | P | S | YP | TS | EL |
|------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|-------|------|
| 特性値 | 0.16 | 0.03 | 0.72 | 0.012 | 0.005 | 303 | 462 | 40 |
| 参考値 | 0.25以下 | 0.60以下 | 2.00以下 | 0.050以下 | 0.030以下 | 255~370 | 440以上 | 29以上 |

2-2-2-4 トライ結果

1回目のトライでは捲れ・減肉・割れ・ボス高さ不足等の問題が起きた。



問題の対策として、金型パンチ・ダイRの拡大・表面処理の実施、絞り高さの変更をし再度トライ及び解析を実施した。対策の効果が確認できたのはボス高さのみで、他は改善が見られなかった。問題の原因として、捲れについては5DRでボスの外径がダイRによって削り取られた部分がボスの根元に押し詰められた。

減肉については、3DRのパンチRで成形された形がボスの内径残り、5DRでは凹んだ形になった。7FLで発生する割れは4DRのショックライン(絞りダイRの当り痕)部に起きる。繰り返し大きな成形をしたことによると考えられる。

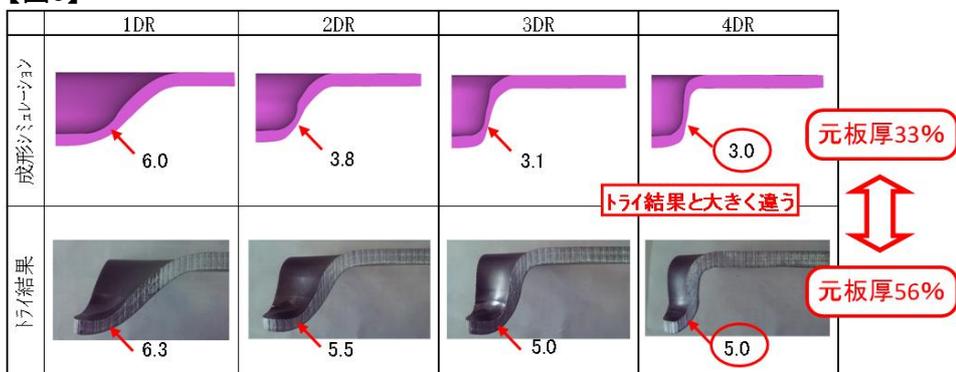
追加対策として『工程の追加』、『工法の変更』、『製品形状の変更』が必要であった。

2-2-2-5 成形シミュレーションとトライ結果の比較

成形シミュレーションの結果とトライ結果には大きな差があった。シミュレーションの結果を有効に活用できる様にするため、シミュレーション結果がトライ結果に近づく様にシミュレーション条件の変更をした。

以下【図3】にシミュレーションとトライ結果の比較、【図4】に条件変更後の比較を示す。

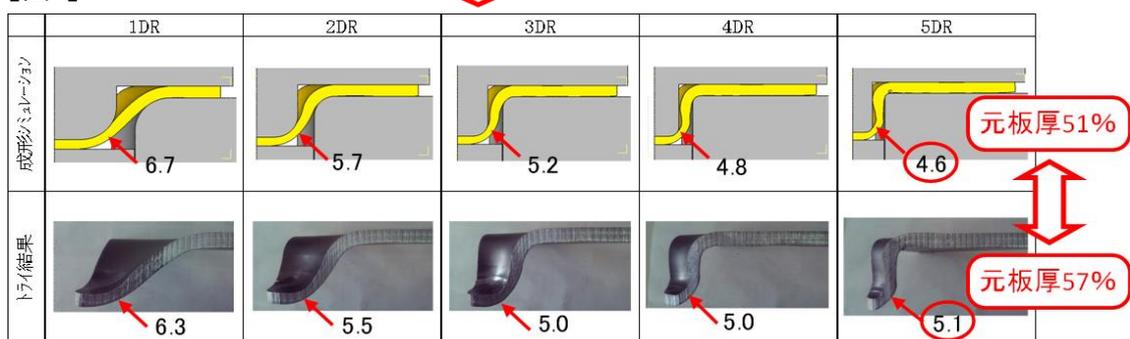
【図3】



シミュレーション条件変更

オブジェクト 弾塑性体 → 剛塑性体
材料データ SAPH440 → S15C

【図4】



シミュレーション条件を変更することにより板厚減少がトライ結果に近づき、シミュレーションの結果は使えると判断した。

2-2-3 シミュレーションによるトライ結果の課題に対する対策効果検証

2-2-3-1 捲れ・減肉・割れに対する対策効果検証

上記より、成形シミュレーションの結果が妥当とし、トライ結果の問題点を再現して対策を検討した。トライの結果より絞り工程で発生した捲れと減肉はシミュレーションに於いても再現性が有る【図5】。図5より5DRで捲れが発生し途中で干切れるか最終的にはフランジ面に押し込まれる。また減肉に関しては3DRのパンチRが4DR、5DRで残っておりその部位が減肉している。

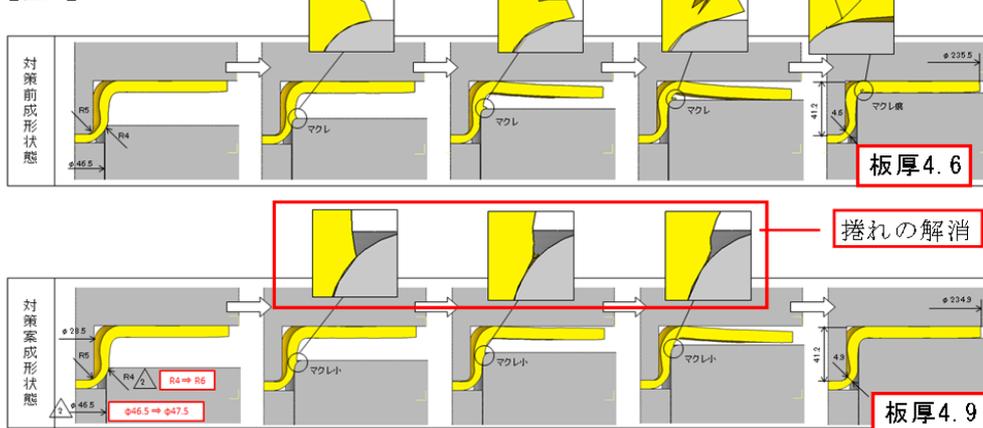
【図5】



①捲れ対策

捲れ対策の形状として5DRのダイRとダイ内径を考える。ダイRをR6に拡大し、ダイ内径はφ47.5に拡大を行い結果として捲れは解消され板厚も4.6が4.9に改善した【図6】。

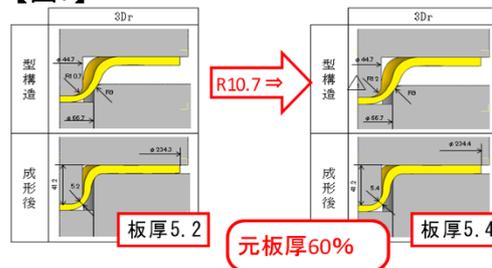
【図6】



②減肉対策

減肉対策としては3DRのパンチRをR10.7からR12に拡大したが、シミュレーション結果【図7】の改善は3DRの板厚5.2が5.4になっただけで、板厚確保は出来ず工程の見直しが必要。

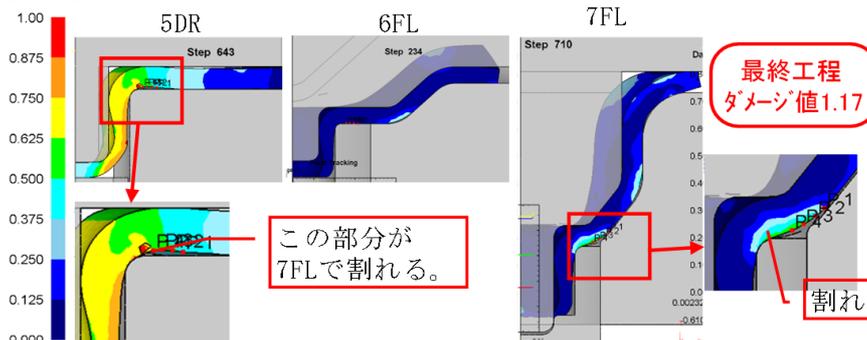
【図7】



③割れ対策

7FLで起きた割れについては、成形解析で用いているデフォームの延性破断条件にて算出された数値のダメージ値(成形工程で素材に生じる延性割れを評価する指標)がある。曲げ加工で割れが発生している箇所のダメージ値を【図8】に示す。

【図8】



ダメージ値は最終工程で1.17あり、割れを防ぐ為には製品形状変更及び工程追加による絞り・曲げ工程のダメージ値の低減が重要である。

2-2-4 不具合対策織込みのトライ結果

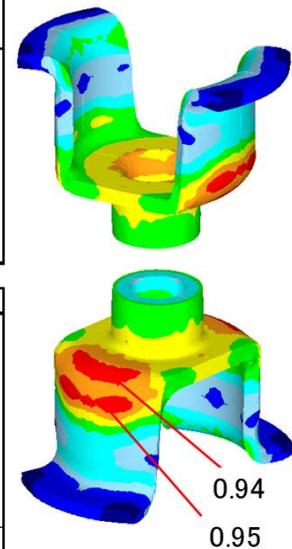
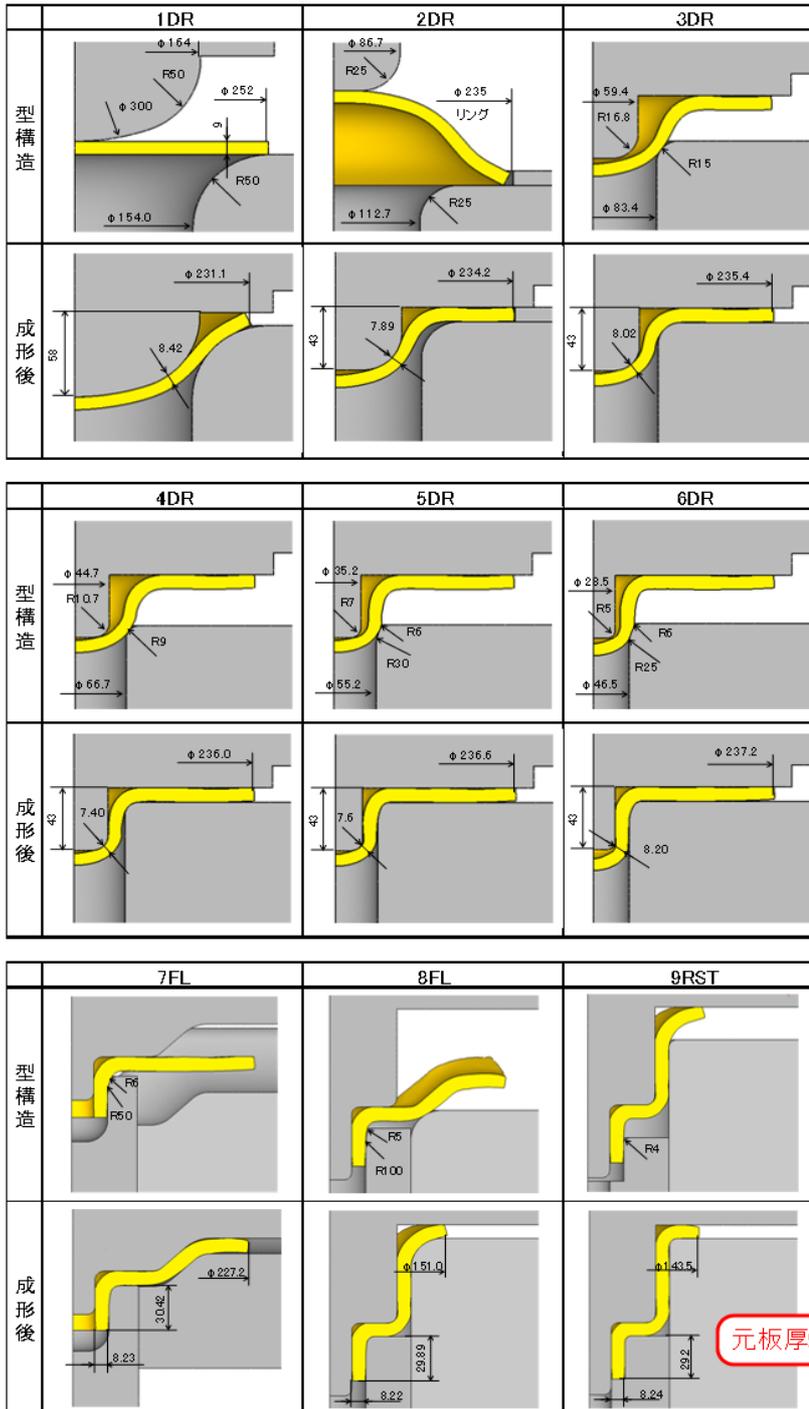
上記より不具合としては ①捲れ ②減肉 ③割れが残っており、対策として工程見直し及び製品形状変更・金型形状変更を行いシミュレーションから最適な工程・形状を設定しトライを行った。

2-2-4-1 対策内容

- ・減肉については量産化に向け工程の短縮を重視し、工程設定の絞り5工程とした事が主な要因であった。対策として初工程の絞り工程を一つ追加し、6工程の絞りとした。
また2DRの外周に材料のストッパーを設け、1DRの絞り方向と逆方向に絞り圧縮応力を加えて板厚減少を少なくした。
- ・捲れについては材料の板厚が厚いと剛性が強くなり、絞っても径が小さくならず捲れが発生し易くなる。絞って径を小さくするために、ダイが材料に接触する角度は小さくなる様な形にした。
- ・割れについては製品の形状を単純化する事により材料の変形も滑らかになり一箇所に集中した伸びは無く、割れを防ぐことができる。単純な形の回転体にする事で、成形性を改善した。

2-2-4-2 対策形状のシミュレーション結果【図9】

【図9】



ダメージ値も減少

元板厚92%

2-2-4-3 対策金型の製作

シミュレーション結果は不具合対策の効果があると判断でき、型製作を実施した。

1DR は新規工程追加

2DR は下型には材料のストッパーを付け逆絞りへ変更

5DR&6DR は下型の埋め金に表面処理

8FL&9RST は上型を回転体の単純形状に変更・下型の埋め金に表面処理

2-2-4-4 対策金型でのトライ結果

① 捲れ

対策により捲れは発生無し。

② 減肉

対策により改善はされたが目標達成出来ずさらに4DR及び5DRのパンチRを拡大したが肉不足有り。

③ 割れ

前回同様8FLで割れが発生

製品形状を回転体の単純化はしたがパンチRはトライで大きくしていくことを前提とし、小さいRにした為板の伸びが大きく割れの原因となった。板外Rの材料伸びを考慮しパンチRはR12に拡大し以降割れ発生無し。



2-2-4-5 トライ結果の課題と対策

トライ結果の課題としては減肉が残った。

トライ結果から修正内容を織り込んだシミュレーションを実施したが実機との一致がとれず実機の方が板厚減少が大きい傾向が有る。【図10】にシミュレーションと実機の減肉比較を示す。

シミュレーション結果がトライ結果と完全には一致しない主な要因としては

① シミュレーションで使っている材料の特性(応力とひずみの関係)は実測したものではないこと。

② シミュレーションで使っている材料の特性(応力とひずみの関係)は圧縮の特性を使い、引張の特性は使っていないこと。

③ 実際の摩擦係数は同じ型の中でも部分的に変わるが、シミュレーションでは均一の条件である事。以上の点より減肉を少なくするにはシミュレーションでより増肉させる成形が必要である。

・課題対策

1DR～6DR での板厚減少を少なくすることと、7FL以降での増肉が必要である。

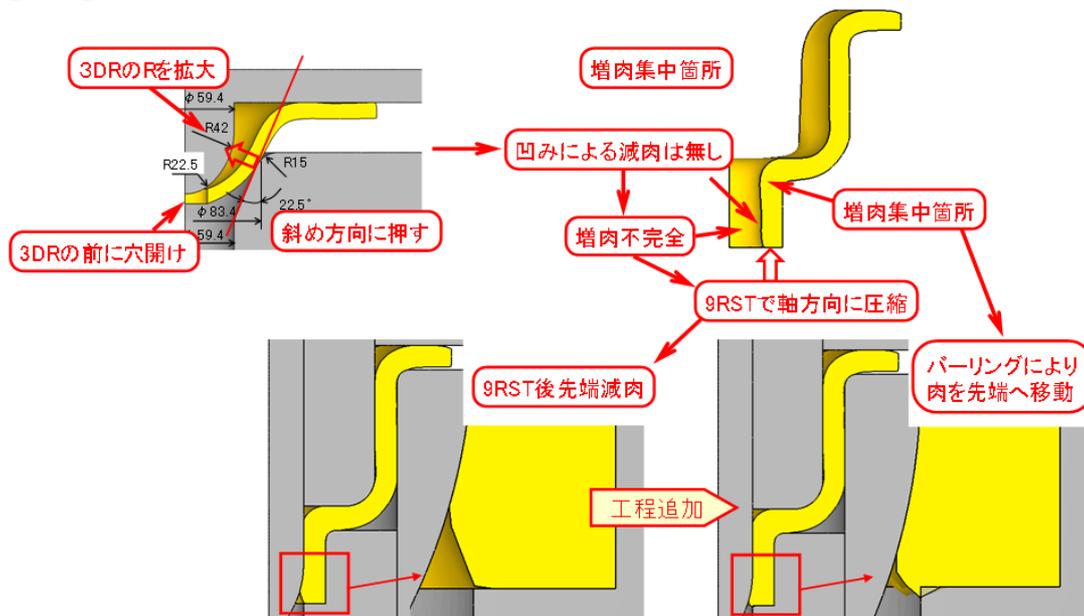
減肉している箇所はボス内径の先端部分で、要因の一つに3DR のパンチRの痕跡がある。

パンチRの影響を小さくする為にはパンチRを大きくして球状の製品の形状を円錐形状に近づける必要がある。円錐形状の成形を容易にする為、2DR と 3DRの間で中央に穴を開ける。

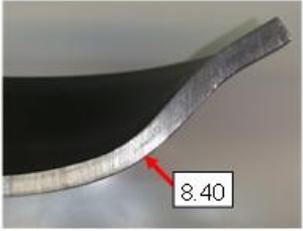
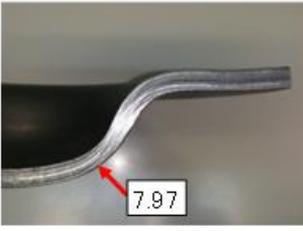
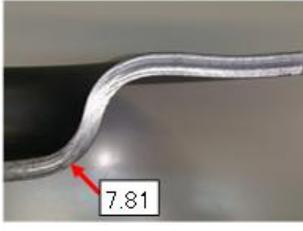
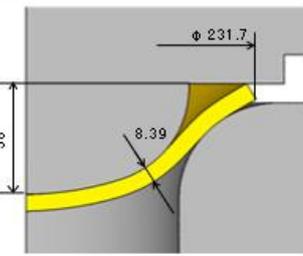
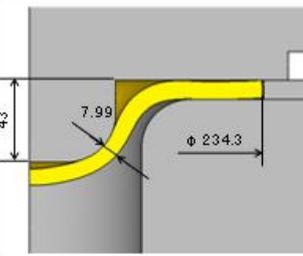
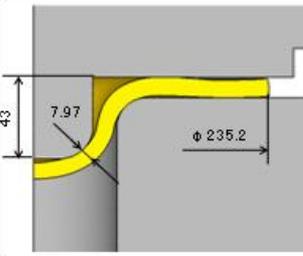
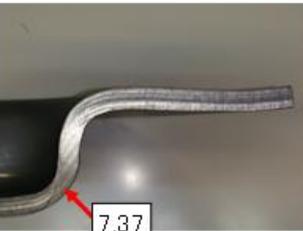
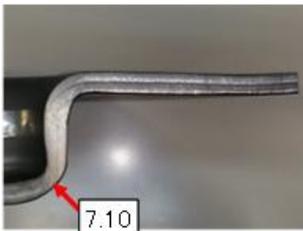
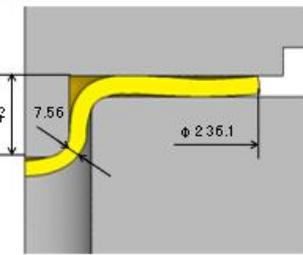
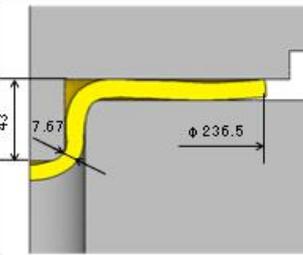
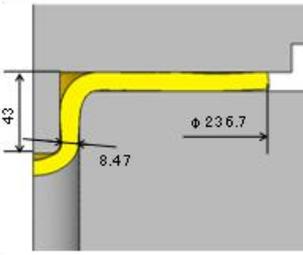
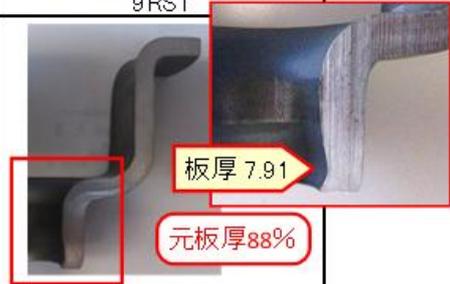
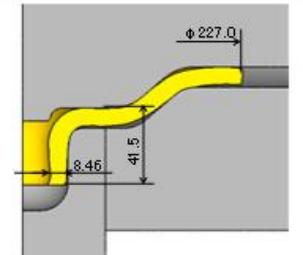
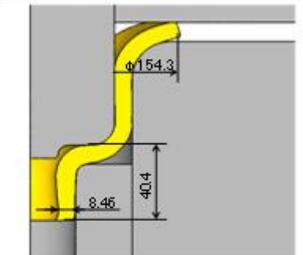
穴の開口部がボス端面の形状に近づく様、ボスの柱となる部分を斜めに押す。

また9RSTでボス部先端を圧縮し、さらに10工程目を追加し根元から肉をパーリングによるしごき成形でボス先端へ移動することで減肉を対策する事ができる【図11】。

【図11】



【图10】

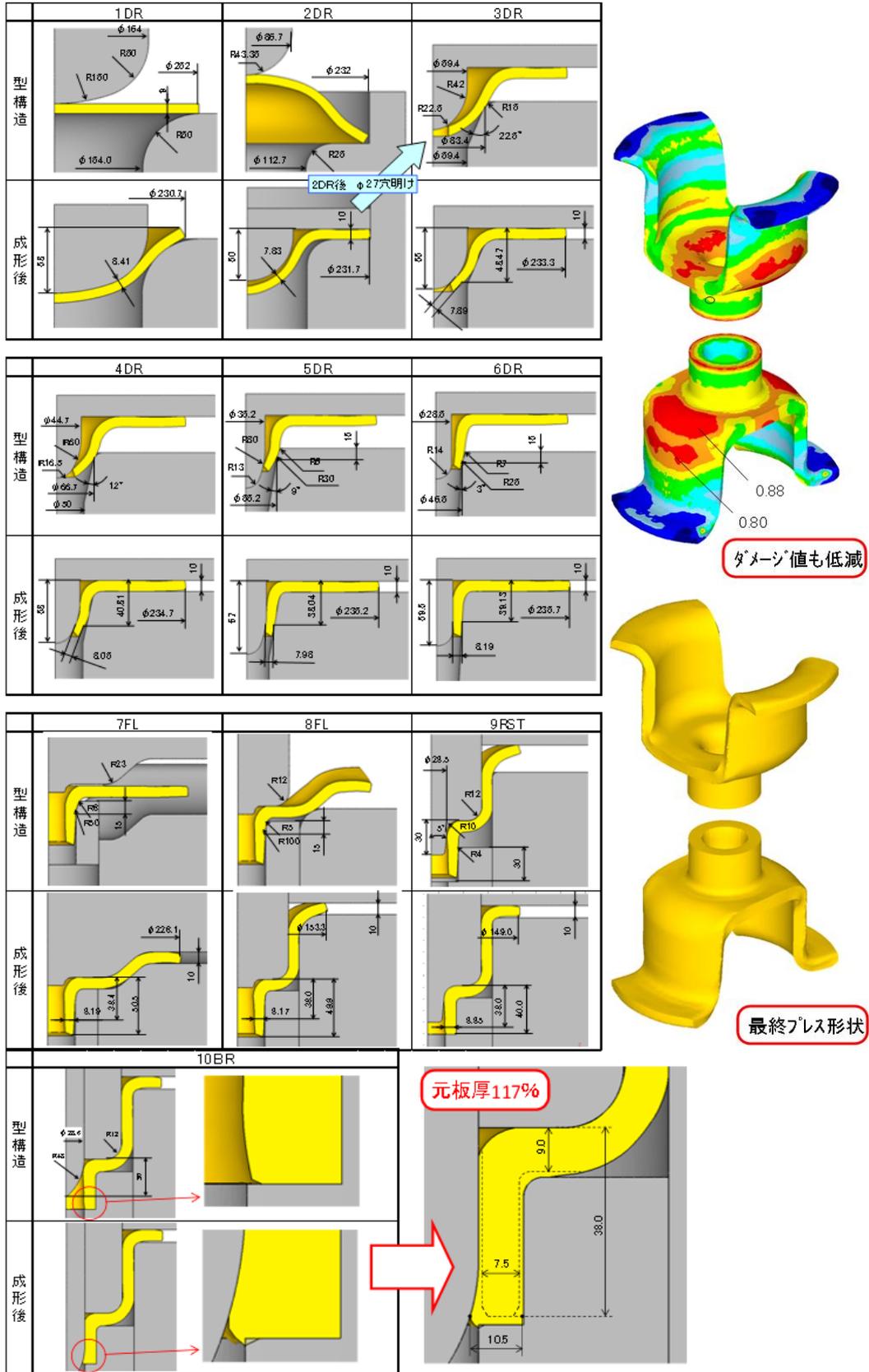
| | 1DR | 2DR | 3DR |
|----|---|---|--|
| 实机 |  |  |  |
| 解析 |  |  |  |
| | 4DR | 5DR | 6DR |
| 实机 |  |  |  |
| 解析 |  |  |  |
| | 7FL | 8FL | 9RST |
| 实机 |  |  |  |
| 解析 |  |  |  |

2-2-5 減肉対策織込みのシミュレーション結果

上記の対策内容を織り込んだシミュレーション結果を【図11】に示す。

9RST工程完了での板厚は 8.85 で元板厚の 98%確保し、10BR工程を追加する事により板厚は 10.5 になり、元板厚の 117%を確保、成形シミュレーションによる解析結果では目標を達成した。

【図11】



2-2-6 成果報告

実機では減肉という課題が残ったが、工程及び成形性を改善することによりシミュレーションでは不具合内容を解消し、単純形状化したデフケースタイトのプレス加工法及びプレス形状を確立した。

2-3 ファイナルギヤー体型デフケースレフトとデフケースライトの安価で高精度な溶接法の確立

【概要】

リングマッシュ溶接において、接合部強度を維持出来る溶接部位特性及び溶接条件を開発する。
H22・H23年度はリングマッシュ溶接の対象部品であるデフケースライトの開発が完了しない為、接合部位構造を、疑似した先行試作品を何段階かに分け製作・評価し、最終仕様に仕様を反映させ、溶接法を確立する事とした。

2-3-1 構造の変遷

1)リングマッシュ溶接強度を確保するため下図に示す様に開発構想初期に対して接合部基本構造を変更。

| | | 開発構想初期 | H22年度 | H23・H24年度 |
|----|-----|---------|---------|-----------|
| 形状 | | | | |
| | | 通電・荷重 | 通電・荷重 | Wリングマッシュ |
| 軸 | 材質 | SAPH440 | SAPH440 | SAPH440 |
| | 成形 | プレス成形 | プレス成形 | プレス成形 |
| | 熱処理 | 無し | 無し | 無し |
| 穴 | 材質 | SCM420H | SCM420H | SCM420H |
| | 熱処理 | 浸炭焼入面研磨 | 浸炭焼入面研磨 | 浸炭焼入面研磨 |

① 開発構想初期⇒H22年度

上図に示す通電・荷重点の場合、赤丸印で囲んだ接合部迄の距離が長くデフケースライト自体の通電抵抗大きくなり溶接に不利。よって、通電・荷重点=接合面となる様に接合部の構造を見直した。

② H22年度⇒H23・24年度

H22年度構造ではリングマッシュ溶接の接合面が外周部のみであり先行評価結果、目標とする接合強度が得られなかった為、内周部も接合可能としたダブルリングマッシュ構造とした。

2)接合部構造をダブルリングマッシュ構造に変更後、更なる強度向上の為、嵌め合い仕様を変更。

| | | H22年度仕様 | H23・24年度仕様 |
|----|--|---------|------------|
| 形状 | | | |

③ H22年度⇒H23・24年度

また、溶接部がリング状ではなく断続リング状である事から、表皮電流集中対策として、インナー円周中央部にスリットを追加した仕様を併せて検討し、効果確認を行った。

3)接合部構造をダブルリングマッシュ構造に変更後、更なる強度向上の為、嵌め合い仕様を変更。

| | | H23年度仕様 | H24年度仕様 |
|----|--|---------|---------|
| 形状 | | | |

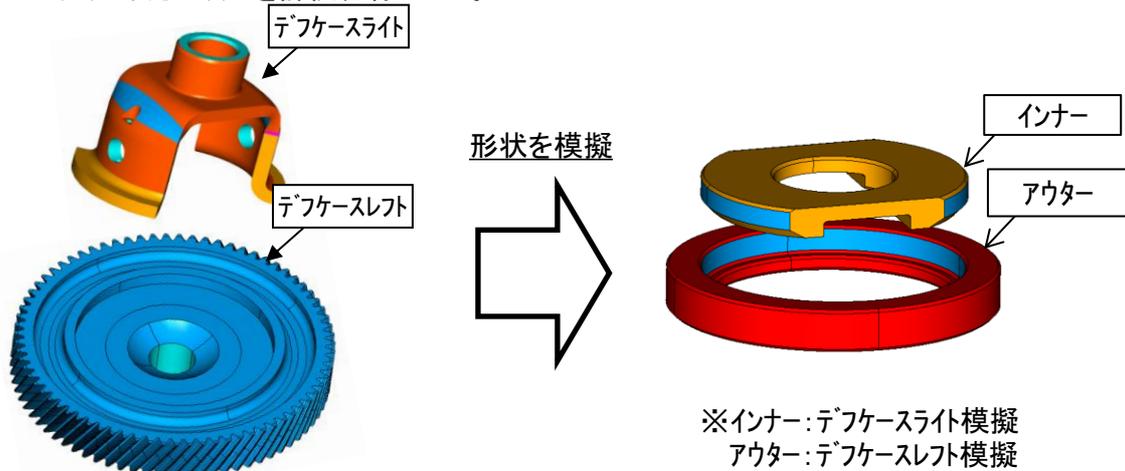
④ H23年度⇒H24年度

ダブルリングマッシュ溶接においてH23年度はデフケースライトの接合時変位を加味して隙間設計としていたが目標とする溶接強度が得られなかったため締め代設計に変更。

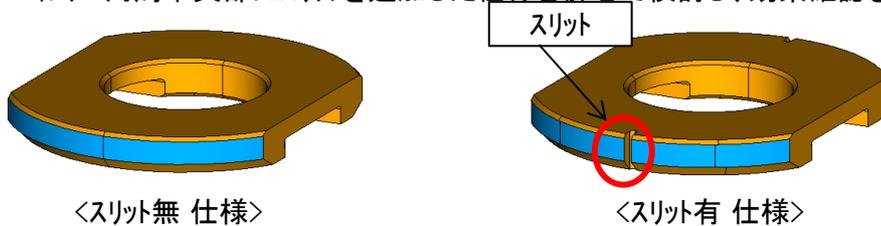
2-3-2 先行試作品製作と評価結果

2-3-2-1 初回試作品製作と評価結果 (H23年度実施)

- ①初回試作品仕様は、デフケースライト及びデフケースレフトを模擬した、単純構造形状である、インナー及びアウターを評価仕様とした。



また、溶接部がリング状ではなく断続リング状である事から、表皮電流集中対策として、インナー円周中央部にスリットを追加した仕様を併せて検討し、効果確認を行った。



＜スリット無 仕様＞

＜スリット有 仕様＞

以上の様に、デフケースレフトを模擬したアウター、及びデフケースライトを模擬したインナーを製作し、リングマッシュ溶接評価を実施した。

- ②初回試作品 外観
＜リングマッシュ溶接後外観＞

●インナースリット無仕様

●インナースリット有仕様



- ③下図に示すアムスラー試験機にて1次先行試作品の静的せん断破断強度を測定した。



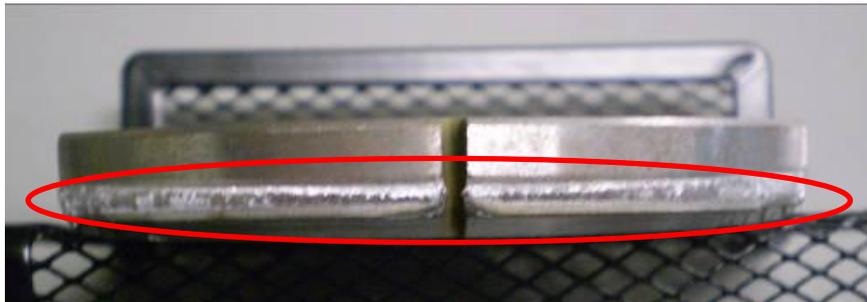
④静的せん断破断試験終了品外観観察

- インナー スリット無仕様



⇒リングマッシュ溶接接合面において、中央部付近の接合幅が両端に比べ少ない

- インナー スリット有仕様



⇒リングマッシュ溶接接合面において、均一に接合幅が確保されている。

⑤静的せん断破断試験結果

インナー側のスリット有り仕様は無し仕様に対して71%向上しているが、
目標荷重に対しては、32%の未達状況にある。

| | 静的せん断破壊荷重 |
|-------|-----------|
| スリット無 | 69KN |
| スリット有 | 118KN |
| 目標 | 155KN |



71%向上

2-3-3 2回目試作品製作と評価結果(H23年度実施)

①2回目試作品仕様は、初回試作にてスリット追加の効果は得られたが接合強度未達であり、外周部のみの接合から内周部も接合するタイプにて接合強度アップを図った。

②2回目試作品 外観

<単品外観>

- デフケースレフト



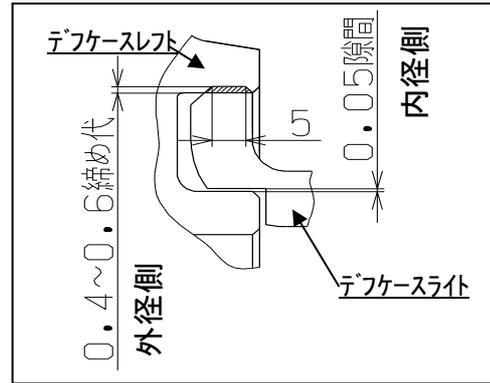
- デフケースライト



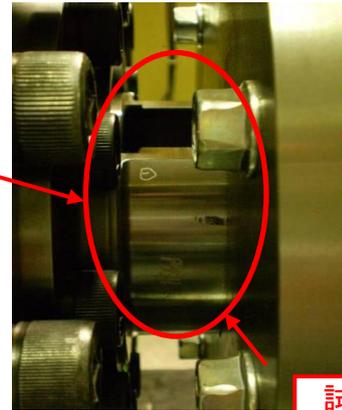
<リングマッシュ溶接後 外観>



外周部締め代と内周部位隙間



③下図に示す単体試験機にて2回目試作品の静的振り破壊強度を測定した。



試験供試体

④静的振り破壊強度試験 終了品外観観察
<溶接部 破損詳細_外径側>



外周側はリングマッシュ接合にて結合しておりリングマッシュ溶接部から破損している。

<破損詳細_内径側>



内周側はリングマッシュ接合の痕跡が殆ど見受けられない。

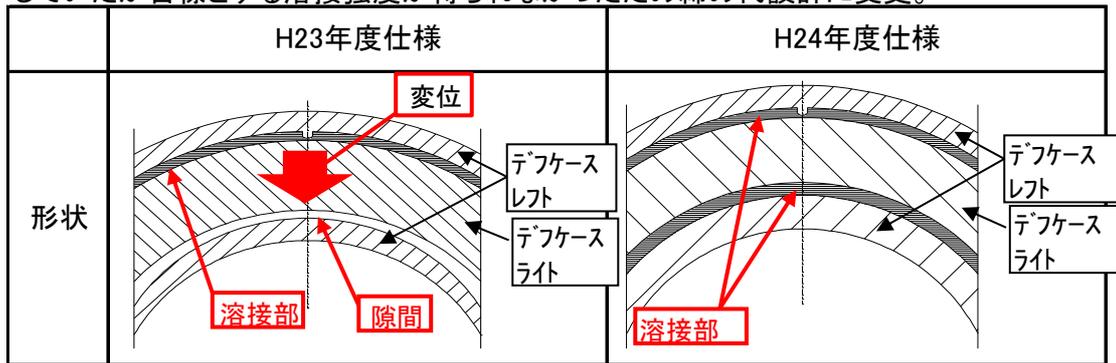
⑤静的振り破断強度試験結果

| | 静的振り破壊強度 | 安全率 |
|-------------------|----------|------|
| アウター側 締め代0.4mm | 4.29KNm | 0.60 |
| アウター側 締め代0.5mm | 5.24KNm | 0.69 |
| アウター側 締め代0.6mm | 5.09KNm | 0.67 |
| 目標 | 7.53KNm | - |

強度未達

2-3-4 3回目試作品製作と評価結果(H23年度実施)

①ダブルリングマッシュ溶接においてH23年度はデフケースタイトの接合時変位を加味して隙間設計とされていたが目標とする溶接強度が得られなかったため締め代設計に変更。



| 1次試作仕様 | | |
|--------|-----|----------------------|
| 形状 | | |
| 軸 | 材質 | S10C(機械的性質SAPH440相当) |
| | 成形 | 総削り出し |
| | 熱処理 | 無し |
| 穴 | 材質 | SCM420H |
| | 熱処理 | 浸炭焼入(接合面は加工除去) |

②3回目試作品 外観

<単品外観>

●デフケースレフト



●デフケースライト



●リングマッシュ溶接後



③静的振り破壊強度試験終了品外観観察



●A部拡大写真



⇒リングマッシュ溶接接合部の破損は見受けられない。

④静的振り破壊強度試験結果

H23年度仕様に対して静的振り破壊強度は約2.3倍向上しており
目標荷重に対しては、安全率1.64の余裕がある事が確認できた。

| 締め代 | 静的振り破壊強度 | 段差 | 安全率 |
|--------------------------|----------|-------|------|
| 0.25mm | 12.4KN・m | 0mm | 1.65 |
| 0.30mm | 12.3KN・m | 0mm | 1.64 |
| 0.35mm | 12.8KN・m | 0mm | 1.69 |
| H23年度仕様 (内周部隙間設 計) | 5.2KN・m | 2.5mm | 0.69 |
| 目標 | 7.5KN・m | 0mm | - |

⑤振り耐久強度試験結果

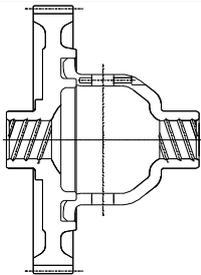
静的振り破壊強度同様耐久性にも充分余裕がある事が確認できた。

| 締め代 | 振り耐久強度 | 段差 | 安全率 |
|--------|-------------|-----|------|
| 0.30mm | 200万サイクル未破損 | 0 | 8.00 |
| 目標 | 25万サイクル以上 | 0mm | - |

2-3-5 本研究仕様品製作と評価結果

3回目試作品評価結果締め代(0.25~0.35mm)を振らした範囲ではリングマッシュ溶接強度に影響がない事を確認できたため、本研究品であるデフケースライトを正規工程で製作し、リングマッシュ溶接を行い溶接部の強度を確認する事とした。

①2次試作品仕様は、デフケースライトを正規にプレス成形しリングマッシュ溶接接合部位を機械加工にて正規寸法に仕上げたものである。

| | | 本研究仕様 |
|----|-----|---|
| 形状 | |  |
| 軸 | 材質 | SAPH440 |
| | 成形 | プレス成形 |
| | 熱処理 | 無し |
| 穴 | 材質 | SCM420H |
| | 熱処理 | 浸炭焼入(接合面は加工除去) |

②本研究品外観

＜単品外観＞

●デフケースレフト



●デフケースライト



●リングマッシュ溶接後



③静的振り破壊強度試験 終了品外観観察

下図に示す様に、デフケースライトとデフケースレフト間に、リングマッシュ溶接部を起点として、過負荷による、スレが発生した。

・ピン側_端面①



・ピン側_端面②



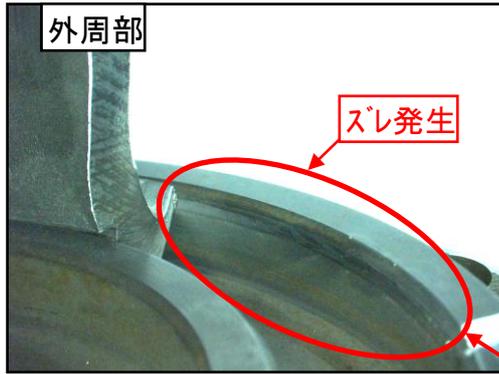
・反ピン側_端面①



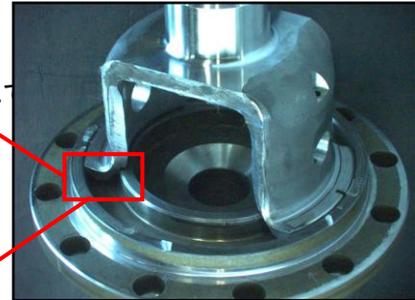
・反ピン側_端面②



<溶接部 破損詳細_外周部>



⇒上写真に示す様に、外周部にはリングマッシュ溶接に接合した痕跡が殆ど見受けられない。



⇒左写真に示す様に内周部も接合の痕跡が殆ど見受けられない。

<破壊詳細_内径側>



④静的振り破壊強度試験結果

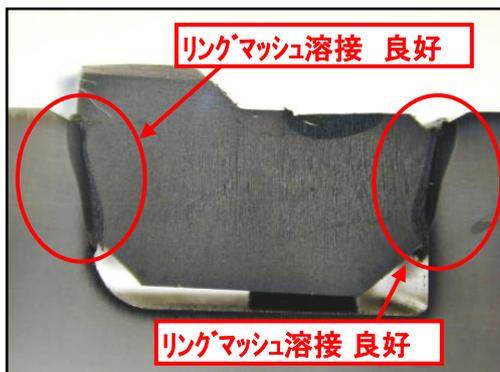
1次試作仕様に対して静的振り破壊強度は63%低下しており
目標荷重に対しては、安全率0.60となり目標未達となる事が確認できた。

| 締め代 | 静的振り破壊強度 | 段差 | 安全率 |
|---------------------|----------|-----|------|
| 0.30mm | 4.15KN・m | 0mm | 0.55 |
| 3回目試作仕様 ケースライト総削 | 12.3KN・m | 0mm | 1.64 |
| 目標 | 7.5KN・m | 0mm | - |

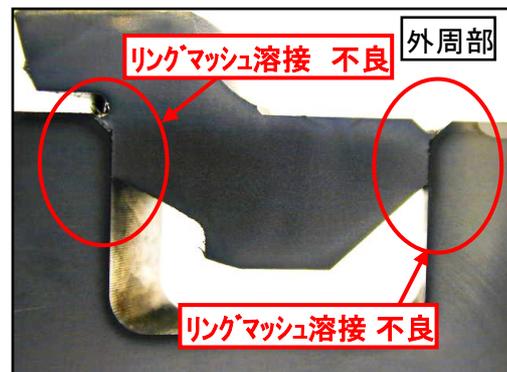
⇒ **強度未達**

⑤リングマッシュ溶接状態観察

●3回目次試作品断面



●本研究試作品断面



⑥静的振り破壊強度未達是正処置

「ファイナルギヤー体型デフケーススレトとデフケーススライトの安価で高精度な溶接法の確立」の項でも述べているが、リングマッシュ溶接の条件を見直し、接合面の溶け込みと圧入速度のバランスを先行評価仕様と同等の接合状態が得られる様に最適化する必要がある

【H24年度活動成果】

ファイナルギヤー体型デフケーススレトとデフケーススライトの安価で高精度な溶接法の確立

- ① ダブルリングマッシュ溶接において、1次試作評価からH23年度仕様_内周部隙間設計に対し内周部締め代設計に変更した事により十分な接合強度が得られる事が確認できた。また、締め代振らし(0.25~0.45)評価から接合強度に締め代の及ぼす影響が少ない事が確認できた。
- ② 本研究品(プレス製デフケーススライト)に上記で得られた仕様(寸法・溶接条件等)を適用した場合、接合部強度が低下する事が確認できた。

2-4 本研究にて開発したディファレンシャルユニットの評価

【概要】

本研究の商品が従来ディファレンシャルユニットの開発と同様に、振り強度試験、歯部強度試験、焼付試験、図面特性測定の評価を実施し、全ての評価項目が目標を達成できるか検証する。

主要開発項目はリングマッシュ溶接強度、プレス成形デフケースライト強度、樹脂ワッシャー強度、各摺動部焼付性である。

H22年度先行評価では「SCR420浸炭焼入れデフケースライトの先行焼付き評価」を行い、目標差動焼付回転数を満足している事を確認、H23・H24年度の先行評価ではリングマッシュ溶接強度・樹脂ワッシャー強度が目標を満足する事を各々確認しているが、本研究商品の最終仕様ユニットとして機能を満足できるものか判定する。又、未達項目に対しては具体的な是正策を提案する事とする。

4-1 従来開発ディファレンシャルユニット評価項目

従来は下表に示す13項目を検証している。

◎・・・達成が容易 ○・・・達成が可能 △・・・達成に対策が必要

×・・・達成が困難

| ディファレンシャルユニット評価項目 | 従来仕様 | 本研究予測 |
|--------------------|------|-------|
| ① 静振り破壊強度 | ◎ | (○) |
| ② 振り耐久強度 | ◎ | (○) |
| ③ 応力測定(強度未達時) | ◎ | (○) |
| ④ 差動耐久Aモード(中負荷) | ◎ | (◎) |
| ⑤ 差動耐久Bモード(大負荷) | ◎ | (◎) |
| ⑥ 差動焼付Aモード | ◎ | (△) |
| ⑦ 差動焼付Bモード(高負荷) | ◎ | (△) |
| ⑧ 差動焼付Cモード | ◎ | (△) |
| ⑨ 差動焼付Dモード(中負荷) | ◎ | (△) |
| ⑩ 差動焼付Fモード(低負荷) | ○ | (×) |
| ⑪ ファイナルギヤ疲労強度 | ○ | (○) |
| ⑫ デフレクション測定(疲労未達時) | ○ | (○) |
| ⑬ バイアス比測定(摺動部抵抗) | ◎ | (◎) |

4-2 本研究ディファレンシャルユニット評価項目

従来は下表に示す13項目を検証しているが、主要開発項目から実験検証項目を選抜して評価を実施する事とした。

| ディファレンシャルユニット評価項目 | 本研究予測 | 先行評価 |
|--------------------|-------|------|
| ① 静振り破壊強度 | (○) | ◎ |
| ② 振り耐久強度 | (○) | ◎ |
| ③ 差動焼付Bモード(高負荷) | (△) | ◎ |
| ④ 差動焼付Dモード(中負荷) | (△) | - |
| ⑤ 差動焼付Fモード(低負荷) | (×) | ◎ |
| ⑥ ファイナルギヤ疲労強度 | (○) | - |
| ⑦ デフレクション測定(疲労未達時) | (○) | - |
| ⑧ バイアス比測定(摺動部抵抗) | (◎) | - |

4-2-1 本研究商品外観
 <ディファレンシャルユニット状態>

●現行量産品

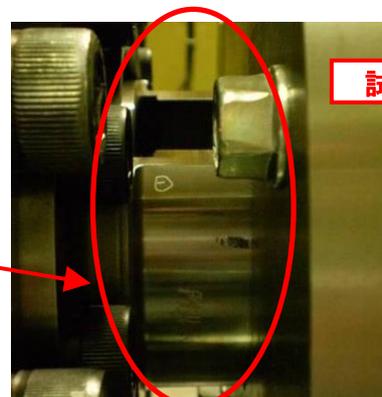


●本研究品



4-2-2 静振り強度試験実施

①下図に示す単体試験機にて、本研究商品の静的振り破壊強度を測定した。



②静的振り破壊強度試験 終了品外観観察

下図に示す様に、デフケーススライトとデフケーススレフト間に、リングマッシュ溶接部を起点として、過負荷による、スレが発生した。

・ピン側 溶接部端面①



・ピン側 溶接部端面②



・反ピン側 溶接部端面①



・反ピン側 溶接部端面②



③静的振り破壊強度試験結果

目標荷重7.5KN・mに対して試験品の破壊荷重は4.15KN・mであり目標未達となる事が確認できた。

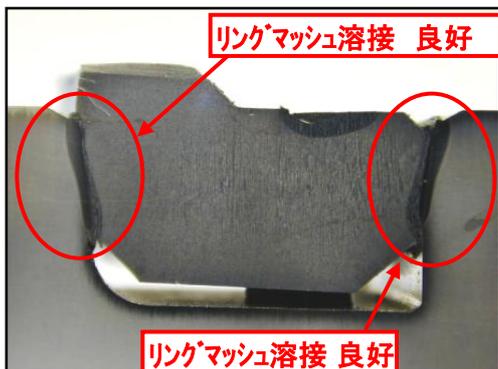
| 締め代 | 静的振り破壊強度 | 段差 | 安全率 |
|--------------------------|----------|-----|------|
| 0.30mm | 4.2KN・m | 0mm | 0.56 |
| 「先行試作仕様」 デフケーススライト総削り | 12.3KN・m | 0mm | 1.64 |
| 目標 | 7.5KN・m | 0mm | - |

強度未達

④静的振り破壊強度未達是正処置

「ファイナルギヤ体型デフケーススレフトとデフケーススライトの安価で高精度な溶接法の確立」の項でも述べているが、リングマッシュ溶接の条件を見直し、接合面の溶け込みと圧入速度のバランスを先行評価仕様と同等の接合状態が得られる様に最適化する必要がある

●3回目試作品断面



●本研究試作品断面



4-2-3 振り耐久強度試験実施

本研究商品は2-4-2-2に示す静振り破壊強度試験においてリングマッシュ溶接接合面の強度不足から目標未達となったため、リングマッシュ溶接条件を見直し接合部の溶接強度が静的破壊強度を満足した後に実施する事とした。

参考までにデフケーススライト総削り品による先行評価結果を下記に示す。

●先行試作品(デフケーススライト総削り品)による振り耐久強度試験結果

| 締め代 | 振り疲労寿命 | 段差 | 安全率 |
|--------|-----------|-----|---------|
| 0.30mm | 200万サイクル | 0mm | 8.00Min |
| 目標 | 25万サイクル以上 | 0mm | - |

OK停止

4-2-4 差動焼付Bモード試験実施

樹脂ワッシャーにおいて、量産中のデフに組み込み先行試作対策仕様品(ワッシャー肉厚アップ+デフギヤ背面にデフリックコート処理)での強度に対する改善効果が確認できた為、本研究商品に同樹脂ワッシャーを組み込み樹脂ワッシャーの強度を確認する事とした。目標サイクル=累積回転数1000回転。

①下図に示すダイモ試験機にて、本研究商品の差動耐久性を評価した。

②差動焼付Bモード試験 終了品外観観察

下図に示す様に、目標サイクル試験終了品の樹脂ワッシャーは破損しており、本研究商品に組込んだ場合、強度が不足する事が確認できた。

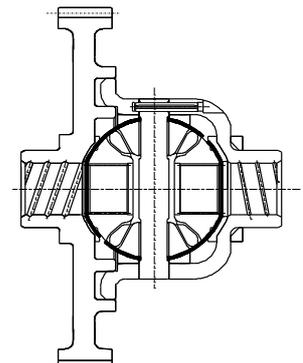
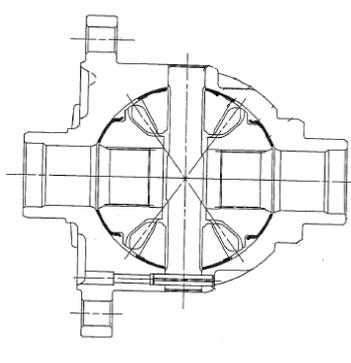
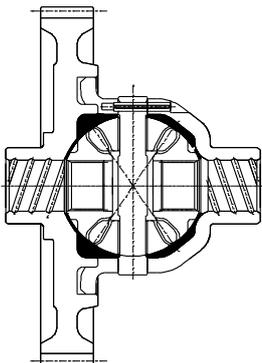


③差動焼付Bモード強度未達是正処置

●本研究商品

●量産デフ組込

●本研究評価用暫定商品



■部樹脂ワッシャー適用

■部樹脂ワッシャー適用

■部樹脂ワッシャー適用

上図に示す様に、本来本研究商品の状態で試験を実施すべきであるが、樹脂ワッシャー製作費削減のため、量産組込可能な樹脂ワッシャーをデフケースとデフキヤ間にスペーサーを設定して対応。結果、量産デフに組込んだ樹脂ワッシャーのデフケースとキヤ間で隙間なく沿う事に対し、本研究評価用暫定仕様の場合、デフケーススライトのスペーサ受け部プレス精度により、樹脂ワッシャーを正規状態にて保持できていなかった事が原因と判断。

樹脂ワッシャー強度不足の是正策として下記を行う。

- (1)デフケーススライトの内径面の樹脂ワッシャー当り面に加工を追加する。
- (2)正規形状樹脂ワッシャーでの確認

4-2-5 差動焼付Dモード試験実施

差動焼付Bモードが高負荷であるのに対して、中負荷領域での樹脂ワッシャー及び各摺動部の強度を差動焼付Bモードを試験した同じ設備にて確認する事とした。目標サイクル=205サイクル。

①差動焼付Bモード試験 終了品外観観察

下図に示す様に摺動痕があるものの破損等の問題は無い事を確認した。



4-2-6 差動焼付Fモード試験実施

差動焼付Bモードが高負荷であるのに対して、低負荷領域での樹脂ワッシャー及び各摺動部の強度を差動焼付Bモードを試験した同じ設備にて確認する事とした。

目標サイクル=焼付き限界回転数 Δ 1800rpmMIN。

①差動焼付Fモード試験 焼付き限界回転数

下表に示す様に限界焼付回転数は目標を満足するが、従来品に対して低下しており、ポテンシャルを向上させる必要があると判断する。

| 締め代 | 限界焼付回転数 | 安全率 |
|-------|----------------------|------|
| 本研究商品 | Δ 1000rpm | 1.25 |
| 従来品 | Δ 1400rpm | 1.75 |
| 目標 | Δ 800rpm(最低限) | - |

②差動焼付Fモード限界回転数向上是正処置

本試験品はH22年度先行評価結果からバックアップ案として提案した摺動部にリブブライツ処理を施行したものであるが、追加是正策として下記を提案する。

- (1)デフケーススライト及びデフケースレフト摺動部面粗度の最適化
- (2)ミッションユニットでの潤滑用オイルの保持性能改善(ハッフルプレート隙間最適化)

4-2-7 デフレクション測定実施

ファイナルリングギヤの噛合いによる歯部の疲労寿命にはデファレンシャルユニットの全体剛性が影響している情報は川下メーカーから確認できている為、従来品と本研究品にて剛性差があるか

①下図に示す様に



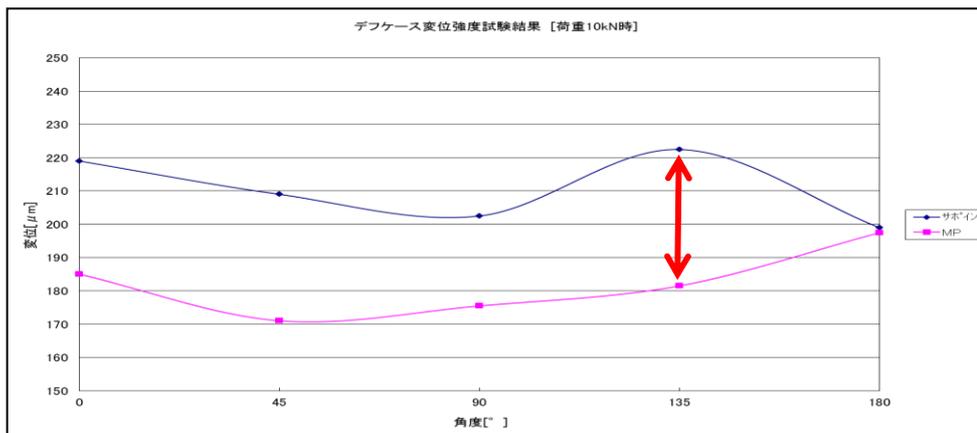
の剛性を評価した。

●従来品セット状態



②デフレクション量測定結果

下図に示す様にデフレクション量は現行比最大約23%悪化しているも目標は満足している事を確認した。但し、デフレクション量は増加しているため追ってファイナルギヤの実寿命の悪化量を検証する必要がある。

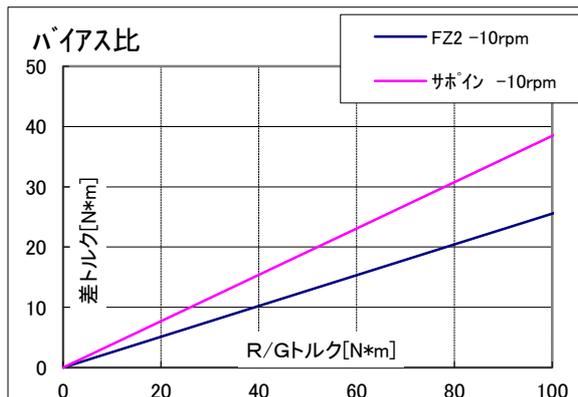


4-2-8 バイアス比測定実施

本研究商品は摺動部のスラストワッシャーを鉄板プレス品(回り止め無し)から樹脂製回転固定)としている。その際摺動部の回転抵抗が増えて車両でのトルクステアー(加速時ハンドルとられ)現象が悪化する事が懸念される。本研究商品と従来品のトルクバイアス比を測定する事とした。

目標値=バイアス比1.40MAX

①下図に示すダイナモ試験機にて、本研究商品のトルクバイアス比を評価した。



②トルクバイアス比測定結果

本研究商品の従来品に対して約3%悪化しており、目標値1.40に対してもAve=1.38であり目標に対して余裕が無い事が確認できた。

●従来品測定結果

| ■差動= -10r/min | | | | |
|----------------------------|----------------|---------------------|----------------------------|----------------|
| 近似式 | | | | |
| 差トルク= 0.146 *R/G・TQ -0.733 | | | | |
| 近似式より | | | | |
| R/G・TQ [N*m] | 差TQ [N*m] | ハ ^o イアス比 | LH・TQ [N*m] | RH・TQ [N*m] |
| 500 | 72 | 1.34 | 286 | 214 |
| 1000 | 146 | 1.34 | 573 | 427 |
| 1500 | 219 | 1.34 | 859 | 641 |
| 2000 | 292 | 1.34 | 1146 | 854 |
| 2500 | 365 | 1.34 | 1433 | 1067 |
| 3000 | 438 | 1.34 | 1719 | 1281 |
| 3500 | 512 | 1.34 | 2006 | 1494 |
| 差動回転数 | | | | |
| Ave [r/min] | MAX [r/min] | MIN [r/min] | ハ ^o イアス比 Ave | |
| -0.6 | 7.7 | -11.0 | 1.34 | |

●本研究商品測定結果

| ■差動= -10r/min | | | | |
|-----------------------------|----------------|---------------------|----------------------------|----------------|
| 近似式 | | | | |
| 差トルク= 0.170 *R/G・TQ -13.203 | | | | |
| 近似式より | | | | |
| R/G・TQ [N*m] | 差TQ [N*m] | ハ ^o イアス比 | LH・TQ [N*m] | RH・TQ [N*m] |
| 500 | 72 | 1.34 | 286 | 214 |
| 1000 | 157 | 1.37 | 579 | 421 |
| 1500 | 243 | 1.39 | 871 | 629 |
| 2000 | 328 | 1.39 | 1164 | 836 |
| 2500 | 413 | 1.40 | 1456 | 1044 |
| 3000 | 498 | 1.40 | 1749 | 1251 |
| 3500 | 583 | 1.40 | 2042 | 1458 |
| 差動回転数 | | | | |
| Ave [r/min] | MAX [r/min] | MIN [r/min] | ハ ^o イアス比 Ave | |
| -3.5 | 5.8 | -25.0 | 1.38 | |

③トルクバイアス比低減是正処置

樹脂ワッシャーの本研究品への組込状態不良による問題もあるため2-4-7-4差動焼付Dモード試験実施の項で述べた是正処置と併せて下記を是正する。

- (1)デフレクタイトの内径面の樹脂ワッシャー当り面に加工を追加する。
- (2)正規形状樹脂ワッシャーでの確認
- (3)摺動部へのオイル潤滑量増量(ギヤ背面油溝追加)

4-3 本研究ディファレンシャルユニット評価結果まとめ

下図に示す様に、評価結果未達項目や従来仕様に性能低下項目があり、各評価項目に対する是正処置を折込んだものを製作し検証する必要がある。

○・・・評価結果OK △・・・評価結果余裕なし ×・・・評価結果NG

| ディファレンシャルユニット評価項目 | 従来仕様 | 先行評価 | 本研究検証結果 |
|--------------------|------|------|---------|
| ① 静振り破壊強度 | ○ | ○ | × |
| ② 振り耐久強度 | ○ | ○ | 未 |
| ③ 差動焼付Bモード(高負荷) | ○ | ○ | × |
| ④ 差動焼付Dモード(中負荷) | ○ | - | ○ |
| ⑤ 差動焼付Fモード(低負荷) | ○ | ○ | △ |
| ⑥ ファイナルギヤ疲労強度 | ○ | - | 未 |
| ⑦ デフレクション測定(疲労未達時) | ○ | - | △ |
| ⑧ バイアス比測定(摺動部抵抗) | ○ | - | △ |

【H24年度活動成果】

本研究にて開発したディファレンシャルユニットの評価

- ① 本研究品評価の結果、目標としていた8項目の試験に対し6項目について試験を実施し目標に対する合否検証ができた。今後は未検証項目と目標未達項目については是正策を反映したものを製作し合否検証を行う。
- ② 本研究品評価終了品の損傷状況から損傷に対する是正策を立案する事ができ、継続して改善効果の検証を行う。

【H24年度活動 残課題】

- ① 鍛造部品の小型化や複合一体化のような機能向上
 - ①-1 ファイナルギヤ一体型デフケースレフトの鍛造加工法の確立
⇒残課題無し
 - ①-2 ファイナルギヤ支持精度を向上出来る機械加工法の確立
⇒残課題無し
- ② 単純形状化したデフケースライトのプレス加工法の確立
⇒残課題無し
- ③ ファイナルギヤ一体型デフケースレフトとデフケースライトの安価で高精度な溶接法の確立
⇒本研究品(プレス製デフケースライト)に適用できるダブルリングマッシュ溶接仕様と条件の確認を行う。
- ④ 研究にて開発したディファレンシャルユニットの評価
⇒未検証項目の評価試験実施と目標未達項目に対する是正策反映仕様の効果確認を行う。

第3章 全体総括

1 鍛造部品の小型化や複合一体化のような機能向上

1-① ファイバースーパータイプデフューズライトの鍛造加工法の確立

(株式会社音戸工作所、中央工業株式会社、広島県立総合技術研究所)

軽量目標 Δ 13%を達成できる構造が提案でき、変形解析結果より成形荷重や成形時発生応力に問題無い事を確認しており、複合一体化成形技術の鍛造加工法を確立した。

1-② ファイバースーパー支持精度を向上出来る機械加工法の確立

(株式会社音戸工作所、広島県立総合技術研究所)

歯面研磨工程の見直しを反映した工程で製作した本研究品の歯形測定結果、歯振れ $15.1\mu\text{m}$ と規格 $50\mu\text{m}$ を満足しており、また、歯形誤差・歯筋誤差の値も良好である事を確認しており、機械加工法を確立した。

2 単純形状化したデフューズライトのプレス加工法の確立

(株式会社音戸工作所、広島県立総合技術研究所)

デフューズライトのプレス成形トライ結果、捲れ・割れの不具合を解消する事が確認できた。また、減肉問題についても変形解析結果から肉厚を確保できる工程を提案しており、プレス加工法を確立した。

3 ファイバースーパータイプデフューズライトとデフューズライトの安価で高精度な溶接法の確立

(株式会社音戸工作所、広島県立総合技術研究所)

リングマッシュ溶接強度向上の為、先行評価でダブルリングマッシュ溶接プレス外径部及び内径部に最適締め代を設定する事で十分な強度を得られる事が確認できた。但し、本研究のプレス製デフューズライトに適用した場合、接合強度が低下する事が判明した。今後プレス製デフューズライトに特化したリングマッシュ溶接条件の検証活動を行う。

4 本研究にて開発したデファイナシヤルユニットの評価

(株式会社音戸工作所、広島県立総合技術研究所)

本研究品の評価を行い目標8項目に対して6項目目標に対する合否判断を行う事ができた。今後は未評価項目の試験実施と目標未達項目に対する是正効果の確認活動を行う。