

平成20年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「自動変速機用プラネタリーユニットの小型化技術開発」

研究開発成果等報告書

平成21年3月

委託者 中国経済産業局

委託先 財団法人しまね産業振興財団

目 次

第1章 研究開発の概要

1. 研究の背景	1
2. 研究目的と目標	1
3. 研究開発担当者一覧	
3. 1 研究組織及び管理体制	2
3. 2 管理員及び研究員	3
4. 本年度研究開発の内容及び成果	
4. 1 研究開発スケジュール表	4
4. 2 内容及び成果概要	4
5. 委託期間	6
6. 当該プロジェクト連絡窓口	6

第2章 本論

(1). 多ピニオンタイプ(4ピニオン以上)を成立させる高精度化技術を確立

(1-1) 荷重配分均等化のための設計・開発

a.) プラネタリーユニット単体でのピニオンギヤ荷重分担率計測技術の確立

① 評価試験装置の構想立案	7
② 評価試験装置 及び 試験治具の設計・製作.....	8
③ 評価用部品の設計・製作	9
④ 荷重分担率の計測トライアル	10
⑤ 荷重分担率の実測	10
⑥ 荷重分担率実測値の分析	10

b.) トランスミッション内でのピニオンギヤ荷重分担率計測技術の確立

① インターナルギヤ 及び ピニオンギヤ & キャリアアッシーの組み替え	12
② 評価用ピニオン及びキャリアアッシーの製作	12
③ 荷重分担率の計測トライアル	13
④ ピニオン荷重分担率の実測 & 荷重分担率の分析	13
⑤ 製品設計への反映	14

(1-2) 機械加工の高精度化と熱処理変形の低減

a.) キャリアのピニオンシャフト穴加工の高精度化

① 加工トライ及び加工ズレの要因調査	15
② 改善項目の対策実施と最終評価・分析	16

b.) ピニオンギヤ加工の高精度化と熱処理変形量の低減

① ピニオンギヤ加工工程調査	16
② 加工条件の設定	17
③ 熱処理	17
④ 最終評価・分析	18

(2). 歯付き部品の複合一体化成形技術の確立

(2-1) CAE解析を活用した成形性の評価方法の確率

① 成形シミュレーションの活用	
①-1 冷間スプライン成形の金型応力の最小化.....	19
② シミュレーション結果の評価	20

(2-2) 成形トライアル及び製品精度・量産精度の評価

- ① シミュレーションの結果を織込んだ工程設計と金型設計しトライアル実施
 - ①-1 熱間鍛造の切削代の最小化トライアル実施 21
 - ①-2 熱間鍛造の成型荷重の最小化トライアル実施 21
- ② 実加工による製品精度評価、シミュレーションの妥当性評価 22

今回の研究の成果として 22

残課題として..... 22

第1章 研究開発の概要

1. 研究の背景

自動車の自動変速機は、非常に厳しい燃費・環境規制対応するために5速から6～8速への多段化が進んでいるが、特に中小型車等では車載スペースが小さく、**低コストで小型化**した新機構の変速機が求められている。このため、主要構成部品のプラネタリーユニットにおいて、**高精度**加工と複雑形状を実現するネットシェイプ冷間鍛造加工技術を開発する。

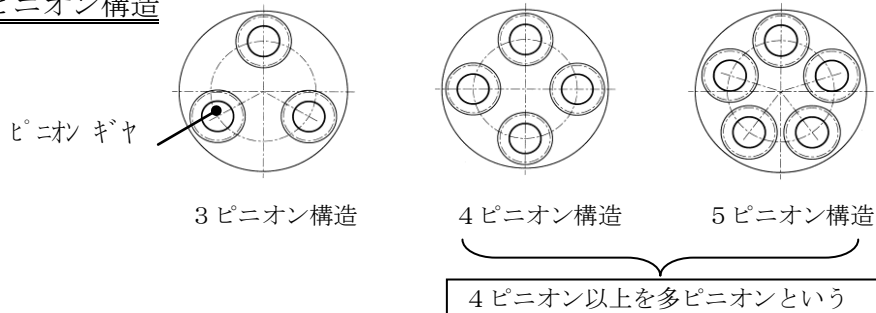
この技術開発が実現すれば、その他の技術（金型に係る複雑形状化技術、熱処理・材料に係る高強度化技術等）との複合化が可能であり、自動変速機以外の領域を含め、将来の自動車産業に対して、大きな相乗効果が発揮できる。

2. 研究目的と目標

上記のような背景を踏まえ、「特定ものづくり基盤技術高度化指針」で示されている「自動車分野に関する事項」という高度化目標の達成に向けて本研究開発に取り組む。具体的には、次のような事为目标として研究開発を実施した。

プラネタリーユニットの全長短縮の為、多ピニオンタイプ(4ピニオン以上)を成立させる高精度化技術を確立及び歯付き部品の複合一体化成形技術の確立を行い、小型・軽量化及び低コストの独自部品の開発を行う。

多ピニオン構造



① 多ピニオンタイプ(4ピニオン以上)を成立させる高精度化技術を確立

プラネタリーユニットの構成部品であるピニオンの歯巾を短くして小型化する場合、ギャ強度が不足する為、ピニオン数を増加させる必要がある。ピニオン数が4個以上になると、ピニオンの組み付け位置精度及び歯厚精度によって、荷重の等配分が困難となり、荷重が集中したピニオンが破損する。

そこで、各ピニオンへの荷重配分を、他メーカー品より更に等配分に近づけ、強度を維持しながら目標の全長短縮を実現する為、ピニオン及びキャリアの高精度加工技術を確立する。

研究開発項目

(1-1) 荷重配分均等化のための設計・評価

(1-2) 機械加工の高精度化と熱処理変形量の低減

② 歯付き部品の複合一体化成形技術の確立

プラネタリーユニットの構成部品であるキャリアは、従来、ハブ（キャリアに、トルク及び回転数を入出力する部品）を直列に配置している為、全長が長くなっている。全長を短縮させる為、ハブをキャリアと重複配置し、中空軸状スプライン部品の複合一体化成形技術を確立する。

研究開発項目

(2-1) CAE解析を活用した成形性の評価方法

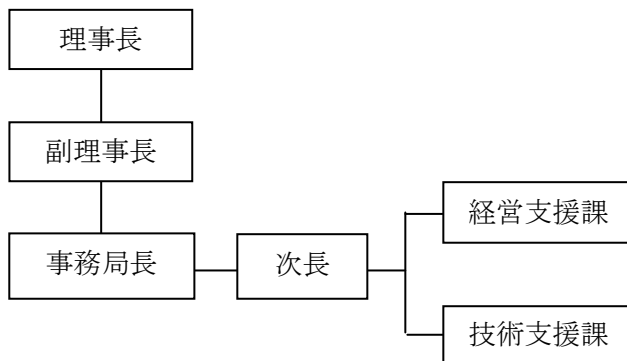
(2-2) 成形トライアル及び製品精度・量産性評価

3. 研究開発担当者一覧

3. 1 研究組織及び管理体制

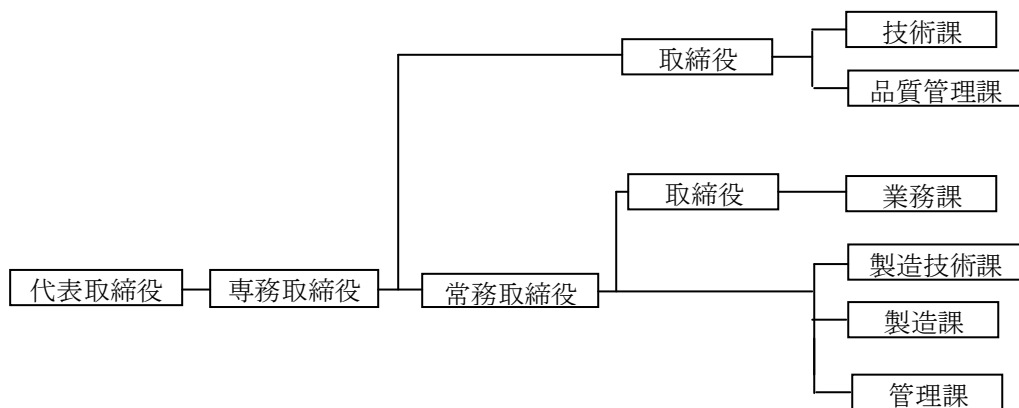
① 事業管理者

財団法人しまね産業振興財団

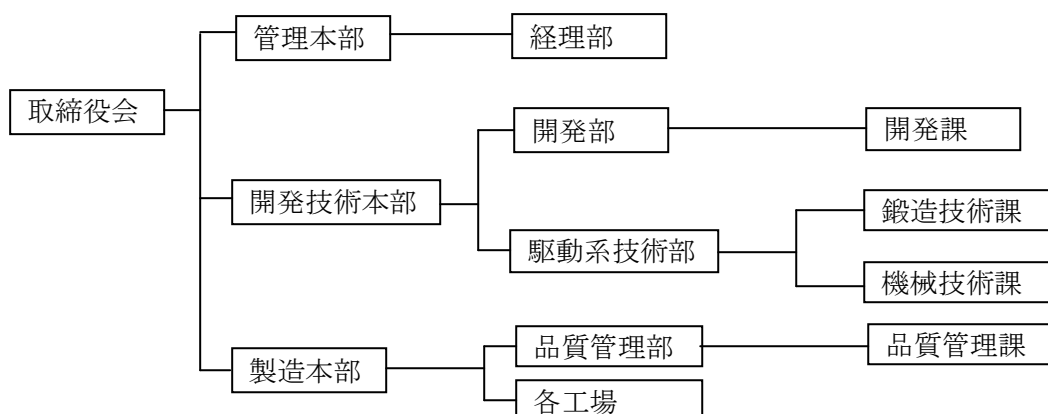


② 再委託先

ヒラタ精機株式会社



株式会社音戸工作所



3. 2 管理員及び研究員

【事業管理者】財団法人しまね産業振興財団
管理員

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
馬庭 伸行	経営支援課 課長	(3)
木戸 康雄	技術支援課 課長補佐	(3)
浅野 佐和子	技術支援課 主事	(3)
塩田 麻百子	技術支援課 専門員	(3)

【再委託先】

1) ヒラタ精機株式会社

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
原 博寿	取締役	(1-1)(1-2a)(1-2b)
津田 浩之	技術課 課長	(1-1)(1-2a)
和泉 清志	技術課 主任	(1-1)(1-2a)
小村 拓男	技術課 主幹	(1-1)(1-2a)(1-2b)
森脇 達郎	技術課 主幹	(1-2b)
加藤 博之	技術課 技術員	(1-1)(1-2a)(1-2b)
上野 吉行	技術課 技術員	(1-2b)
加川 泰典	技術課 技術員	(1-1)(1-2a)(1-2b)
加地 勇太	技術課 技術員	(1-1)
福田 仁	品質管理課 主任	(1-2a)(1-2b)
松浦 計子	品質管理課 測定員	(1-1)(1-2a)(1-2b)

2) 株式会社音戸工作所

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
内田 正男	専務取締役 開発技術本部長	(1-1)(2-1)(2-2)
藤山 高男	駆動系技術部 副部長	(2-2)
大石 伸二	鍛造技術課 課長	(2-2)
熊元 隆弘	鍛造技術課 主幹	(2-1)(2-2)
鬼塚 昭一	鍛造技術課 主任	(2-1)(2-2)
鴻上 剛	鍛造技術課	(2-1)(2-2)
福垣内 輝幸	鍛造技術課	(2-2)
西田 雄一	鍛造技術課	(2-2)
岩切 慎太郎	鍛造技術課	(1-2b)
金春 慎太郎	鍛造技術課	(2-2)
西浦 長生	開発課 課長	(1-1)(2-1)
東 弘	開発課 主任	(1-1)
大杉 和彦	開発課	(1-1)
宮本 想平	開発課	(1-1)
守田 雄介	開発課	(2-2)
高城 圭司	開発課	(1-1)

4. 本年度研究開発の内容及び成果

4. 1 研究開発スケジュール表

実施内容	平成20年												平成21年						
	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
(1-1) 荷重配分均等化のための設計・評価																			
a.) プラネターニエット単体のピニオンギヤ荷重分担率計測技術の確立								●	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	●
b.) トランスミッション内でのピニオンギヤ荷重分担率計測技術の確立								●	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	●
(1-2) 機械加工の高精度化																			
a.) キャリアのピニオンシャフト穴加工の高精度化	●	—	—	—	—	—	—	●											
b.) ピニオンギヤ加工の高精度化と熱処理変形量の低減	●	—	—	—	—	●													
(2-1) CAE解析を活用した成形性の評価方法	●	—	—	—	●			●	—	—	—	●							
(2-2) 成形トライアル及び製品精度・量産性評価	●	—	—	—	—	●	●	—	—	—	—	—	●						
(3) プロジェクトの管理・運営																			
① 開発推進委員会の開催					●		●						●		●			●	
② 定例会検討の開催報告書作成	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

4. 2 内容及び成果概要

(1) 多ピニオンタイプ(4ピニオン以上)を成立させる高精度化技術を確立

【平成20年度実施項目】

(1-1) 荷重配分均等化のための設計・評価

ピニオン分担荷重を計測する評価技術を確立した。従来の3ピニオンタイプと多ピニオンタイプでの荷重分担率の比較・検証を行い、さらに各構成部品の精度が荷重分担へ及ぼす影響も分析・確認できた。

【平成19年度実施項目】

(1-2) 機械加工の高精度化と熱処理変化量の低減

ピニオンシャフト穴の位置精度を、高精度に加工する技術を検討し、精度目標値を達成する加工方法を選出できた。

熱処理治具改善及び焼入れ条件変更により、熱処理変形量の低減目標を達成することができた。

今後、量産性を考慮した穴位置精度の図面記載方法を検討し製品図面におり込む。

(2) 歯付き部品の複合一体化成形技術の確立

(2-1) CAE解析を活用した成形性の評価方法

成形性の解析を行い、成形トライ及び解析の評価を実施した結果、CAE解析を活用した成形性の評価方法の確立ができ、その成果を得た。

(2-2) 成形トライアル及び製品精度・量産評価

量産性評価で主要寸法の評価を実施した。製品精度は工程能力も有り量産性があると判断した。

今後、型寿命の確認をシミュレーションと合せて評価していく。

本研究により、上述のような研究成果を得ることができた。今後本研究のノウハウを実用化に向け活用して行く。

(3) プロジェクトの管理・運営

① 開発推進委員会の開催

研究内容

本研究開発の円滑な推進を図るため外部委員を交えた委員会を開催した。各研究開発項目の進捗状況、成果報告を行い、課題抽出や検討及び研究成果の評価を実施した。

研究成果

開発推進委員会は以下の通り開催した。

平成19年度（開催数 2回）

日時	場所	委員会名	議事概要
平成20年1月15日 13:00~15:30	(株)音戸工作所 八本松工場 (東広島市)	第1回開発推進委員会	・(株)音戸工作所 八本松工場見学 ・研究の全体概要と研究状況説明
平成20年3月5日 13:00~15:30	ヒラタ精機(株) (出雲市)	第2回開発推進委員会	・ヒラタ精機(株) 工場見学 ・技術開発成果報告と今後の進め方について

平成20年度（開催数 2回）

日時	場所	委員会名	議事概要
平成20年12月22日 11:00~15:00	ヒラタ精機(株) (出雲市)	第1回開発推進委員会	・ヒラタ精機(株) 工場見学 ・研究の全体概要と研究状況説明
平成21年3月6日 13:00~15:30	ヒラタ精機(株) (出雲市)	第2回開発推進委員会	・ヒラタ精機(株) 新工場見学 ・技術開発成果報告と今後の事業化までの進め方について



(株)音戸工作所八本松工場



ヒラタ精機(株)

② 定例検討会の開催

研究内容

全参画機関の参加により定例会を開催した。短期的な研究計画及び研究目標の設定を行うとともに、その時点での研究成果の取り纏めを実施する。また経費発生状況表等で管理法人による各機関の経理処理状況の確認も併せて行った。

研究成果

定例検討会は以下の通り開催した。

平成19年度（開催数 6回）

日時	場所	委員会名	議事概要
平成19年10月12日 14:00～17:00	ヒラタ精機(株) (出雲市)	第1回定例検討会	・開発スケジュール確認 ・次回までの計画確認 ・経理処理及び従事日誌の記入について
平成19年11月19日 13:00～15:00	ヒラタ精機(株) (出雲市)	第2回定例検討会	・研究進捗状況確認 ・今後の研究スケジュール確認 ・中間検査について
平成19年12月21日 13:00～15:00	ヒラタ精機(株) (出雲市)	第3回定例検討会	・研究進捗状況確認 ・今後の研究スケジュール確認 ・中間評価報告 ・開発推進委員会の議事内容確認
平成20年1月9日 9:00～15:30	ヒラタ精機(株) (出雲市)	第4回定例検討会	・開発推進委員会の議事内容確認 ・研究進捗状況確認 ・今後の研究スケジュール確認
平成20年2月28日 13:00～15:00	ヒラタ精機(株) (出雲市)	第5回定例検討会	・研究進捗状況確認 ・今後の研究スケジュール確認 ・次回開発推進委員会の議事内容確認
平成20年3月12日 9:00～17:30	ヒラタ精機(株) (出雲市)	第6回定例検討会	・研究進捗状況確認 ・研究成果取りまとめ ・次年度実施内容検討

平成20年度（開催数 5回）

日時	場所	委員会名	議事概要
平成20年5月19日 13:30～16:00	ヒラタ精機(株) (出雲市)	第1回定例検討会	・研究スケジュール確認 ・研究進捗状況確認 ・研究成果目標の確認
平成20年9月17日 13:00～15:00	ヒラタ精機(株) (出雲市)	第2回定例検討会	・研究進捗状況確認 ・今後の研究スケジュール確認 ・開発推進委員会開催時期検討
平成20年12月1日 13:00～16:15	ヒラタ精機(株) (出雲市)	第3回定例検討会	・研究進捗状況確認 ・開発推進委員会の議事内容確認
平成20年12月18日 13:00～15:30	ヒラタ精機(株) (出雲市)	第4回定例検討会	・開発推進委員会の議事内容確認 ・研究進捗状況確認 ・研究開発状況中間取り纏め
平成21年2月16日 13:00～15:15	ヒラタ精機(株) (出雲市)	第5回定例検討会	・研究進捗状況確認 ・次回開発推進委員会の議事内容確認 ・次年度以降の研究開発の可能性検討

5. 委託期間

自 平成19年9月28日

至 平成21年3月31日

6. 当該プロジェクト連絡窓口

財団法人しまね産業振興財団 経営支援課（担当：馬庭伸行）

・住所：690-0816 島根県松江市北陵町1番地

・連絡先 Tel：0852-60-5115 Fax：0852-60-5106 E-mail：con@joho-shimane.or.jp

第2章 本論

(1) . 多ピニオンタイプ(4ピニオン以上)を成立させる高精度化技術を確立

【概要】

プラネタリーユニットの構成部品であるピニオンギヤは、歯幅を小さくすると数を増やし“4ピニオン”“5ピニオン”にして強度を保つ必要がある。しかし、荷重の均一な配分のため組み付け位置精度及び歯車振れ精度を現状より高精度にする必要がある。

そのため、H19年度は高精度化のための工法について検証を実施し成果を上げることが出来た。

さらに、H20年度には構成部品の精度が荷重分担に及ぼす影響を分析できる評価技術の開発を行った。

(1-1) 荷重配分均等化のための設計・開発

a.) プラネタリーユニット単体でのピニオンギヤ荷重分担率計測技術の確立

【活動の概要】

プラネタリーユニット【サブアッシー(単体)】に組み込まれた各ピニオンが分担する荷重を数値化する。

この計測結果を基に、構成部品毎の荷重配分への影響を分析し評価し部品設計へ反映させる。

① 評価試験装置の構想立案

【内容】

ピニオン分担荷重を計測する評価用試験装置の構想を立案した。(図. ①)

(構想概要)

プラネタリーユニットの大角度静的ねじり試験及び回転しながらトルクを負荷することにより分担荷重計測を行うものとした。

本装置油圧駆動制御仕様とし下記の要素で構成した。

- a. 駆動側負荷装置 1式
- b. 吸収側負荷装置 1式
- c. 制御盤

本装置の機能

1) 回転ねじり試験

2本のドライブシャフトの片側より駆動し反対側は駆動せず、回転しながら負荷を与えるための動力を吸収する要素とする。
吸収側でトルクを一定に保ちながら、駆動側で任意の回転速度で回転させる。

2) 静ねじり試験

駆動装置のみで試験を行う。

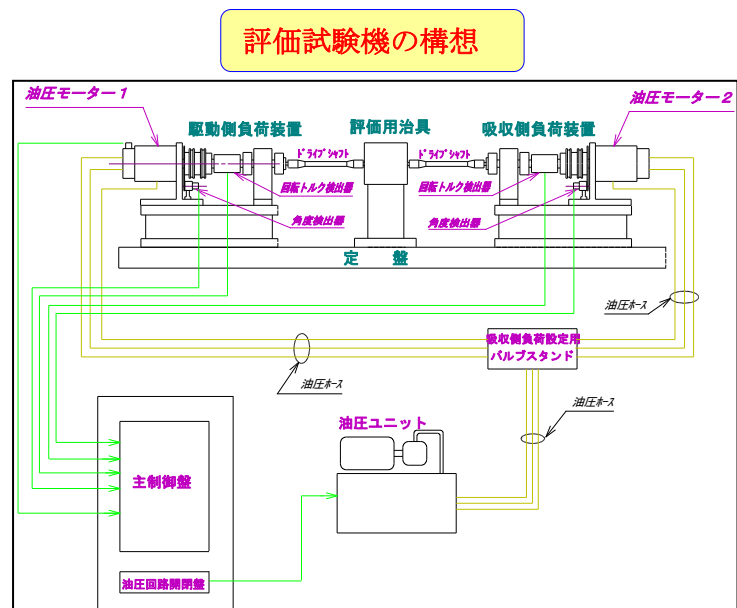


図. ①

② 評価試験装置 及び 試験治具の設計・製作

【内容】

上記の評価試験構想を具体化し、評価試験装置及び治具の設計・製作を行った。(図. ②) サブアッシー(単体)で荷重分担率を計測する試験装置で、駆動側負荷装置と吸収側負荷装置である油圧モーター2台とドライブシャフトにて連結された中央の測定治具で構成した。

☆ 評価試験装置の能力

駆動側 負荷装置

最大トルク	± 3 0 0 0 N・m
最大角度	± 1 5 0 0 °
最大回転速度	± 5 0 rpm
最小回転速度	± 1 rpm
周波数範囲	0.01Hz ~ 10Hz

吸収側 負荷装置

最大トルク	± 3 0 0 0 N・m
最大回転速度	± 5 0 rpm

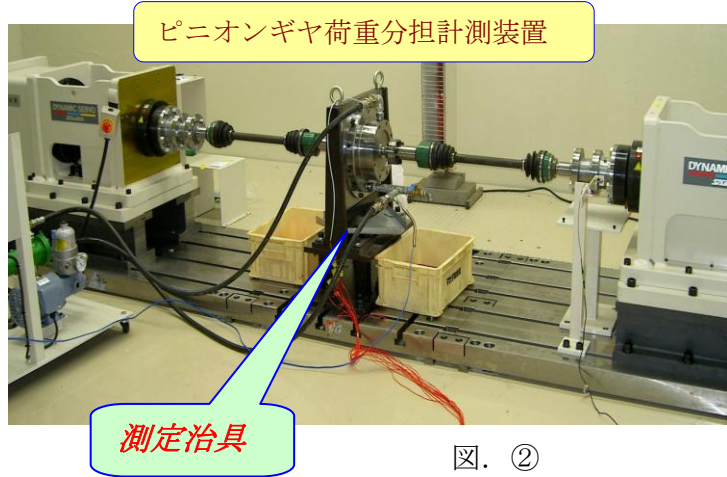
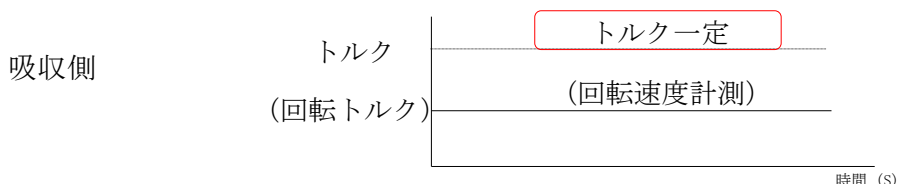
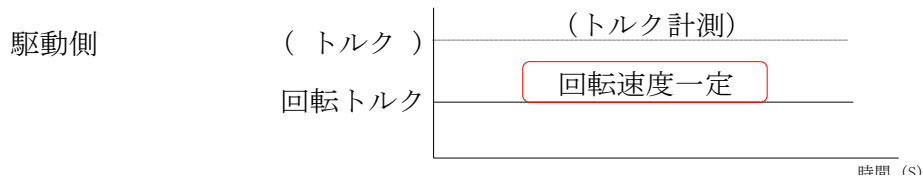


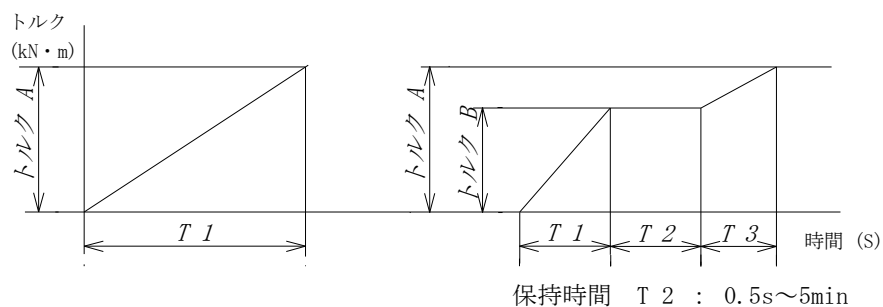
図. ②

☆ 可能試験パターン

1) パターン [I] 回転ねじり試験波形



2) パターン [II] 静的試験波形 (ランプ波)

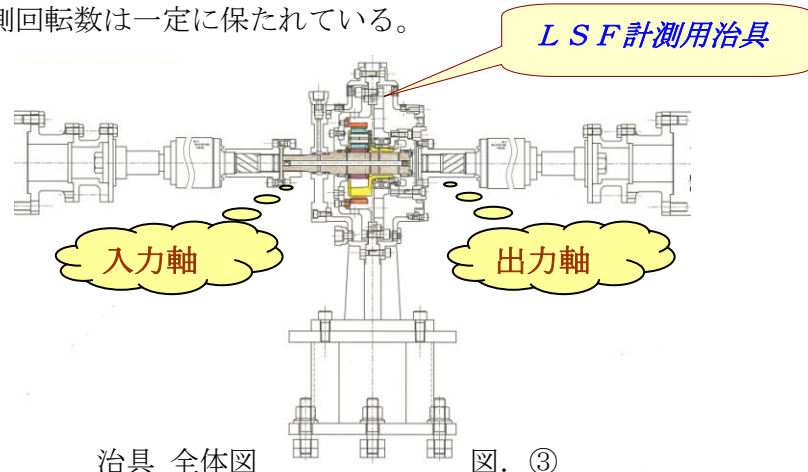


☆ 測定治具の製作

サブアッシー(単体)で荷重分担を計測する治具を示す。(図. ③)

この図は、フロントプラネタリーギヤアッシー用の計測治具でドライブシャフトを連結した場合の断面図である。

この時、入力トルクと入力側回転数は一定に保たれている。



治具 全体図 図. ③

③ 評価用部品の設計・製作

【内容】

上記の評価試験構想に基づき、評価用部品の製作を行った。

次の表は、サブアッシー(単体)での荷重分担率測定用部品の内訳である。

5ピニオンと4ピニオンについて主に、「ピニオンシャフトの穴位置精度の影響」と「ピニオンギヤの歯溝振れ精度の影響」を比較検証した。

ピニオンギヤ荷重分担率測定評価マトリックス(プラネタリーユニット単体)

評価目的		インターナルギヤ (内歯の歯溝 振れ)	キャリア アッシー 穴位置ズレ量	ピニオンギヤ	サンギヤ (外歯の歯溝 振れ)
プラネタリー ギヤ アッシー	5 ピニオン ピニオンシャフト穴位置の影響	0 狙い	円周方向 [小][中][大] 3水準	—	0 狙い
	歯溝振れの影響		—	歯溝 振れ [小][中][大] 3水準	
4 ピニオン	ピニオンシャフト穴位置の影響	0 狙い	円周方向 [小][中][大] 3水準	—	0 狙い
	歯溝振れの影響		—	歯溝 振れ [小][中][大] 3水準	
3 ピニオン	インターナルギヤ剛性の影響	高 剛性	円周方向 [小][中][大] 3水準	歯溝 振れ [小][中][大] 3水準	0 狙い
	ピニオンシャフト穴位置の影響	低 剛性	円周方向 [小] [大] 2水準	—	0 狙い
歯溝振れの影響	—		歯溝 振れ [小][中][大] 3水準		

④ 荷重分担率の計測トライアル

【内容】

ピニオン分担荷重の計測トライアルを行い、上記評価試験構想での計測可否を判断した。

右のグラフは、荷重分担率計測に対して最適な安定条件設定のために行った調査結果である。

入力トルクを

50、100、200、300、400 N・m

の5水準について、

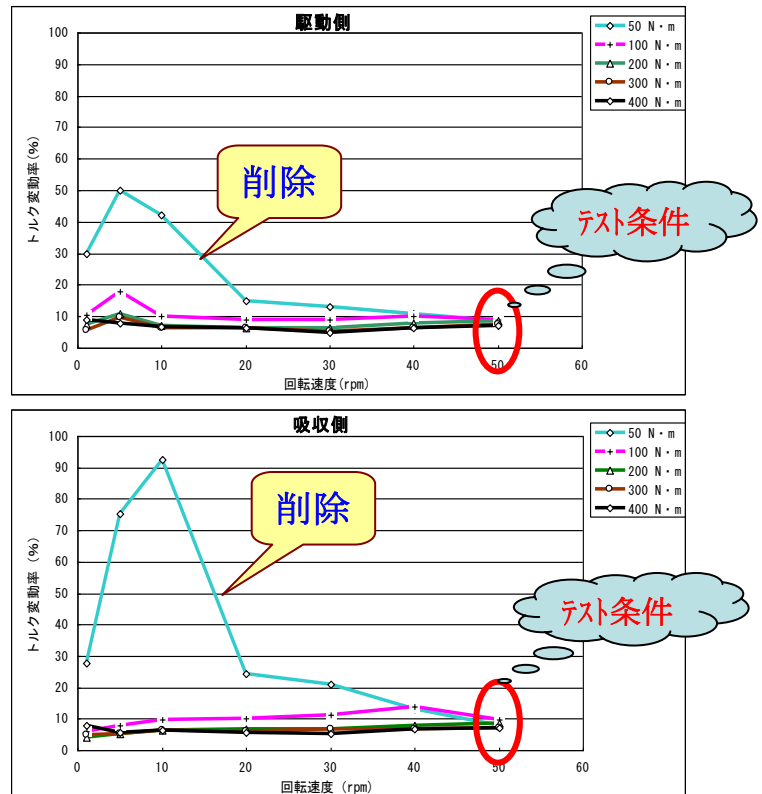
また、回転速度を

1、5、10、20、30、40、50 rpm

と変化させたときのトルクの安定性を確認した。

上が駆動側、下が吸収側の変動率のグラフである。

モーターのトルク制御性能よりトルク変動率が不安定な、50 N・m を削除し、最も安定している 50 rpm の回転速度を選定し、荷重分担率計測データの収集を行うこととした。



⑤ 荷重分担率の実測

【内容】

事前に行った計測で確認した条件でのピニオン荷重分担率調査のデータを収集した。

⑥ 荷重分担率実測値の分析

【内容】

計測したピニオン分担荷重より各ピニオンの荷重分担率を数値化する。

(⑥-1) サブアッシー(単体)でのピニオンシャフト穴位置ズレの影響調査結果
調査した穴位置ズレ量を「小」、「中」、「大」の狙い3水準にて行った。

★ 調査結果は

“4 ピニオン” については、理想分担率 25%(4 等分) に対して

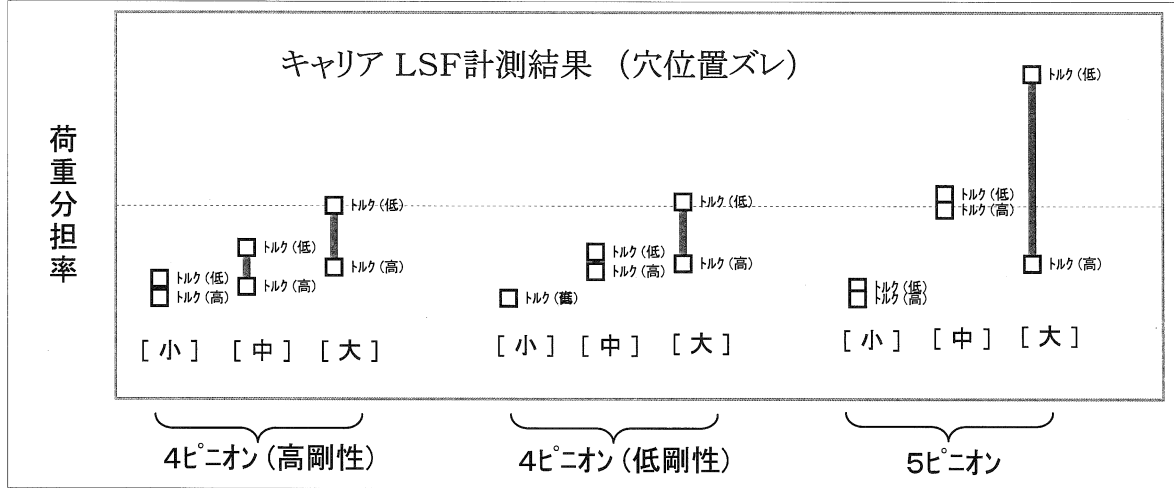
穴位置ズレ量が、「小」では、ほぼ均等な荷重分布であり、穴位置ズレ量が、大きくなるほど円周方向にズラした一穴と、その逆穴への荷重分布偏りがあった。

“5 ピニオン” については、理想分担率 20%(5 等分) に対して

“4 ピニオン” と同様、穴位置ズレ量が「小」では、ほぼ均等な荷重分布であったが、穴位置ズレ量が大きくなるほど円周方向にズラした一穴に荷重が集中した。

傾向としては、荷重が大きくなれば均等化に近づく傾向にあった。

下のグラフは、ピニオン穴位置ズレ量による荷重分担率の変化を示す。



(⑥-2) サブアッシー(単体)でのピニオンギヤの歯溝振れ精度の影響調査結果
調査した歯溝振れ量は「小」、「中」、「大」の狙い3水準にて行った。

★ 調査結果は

“4ピニオン”については、

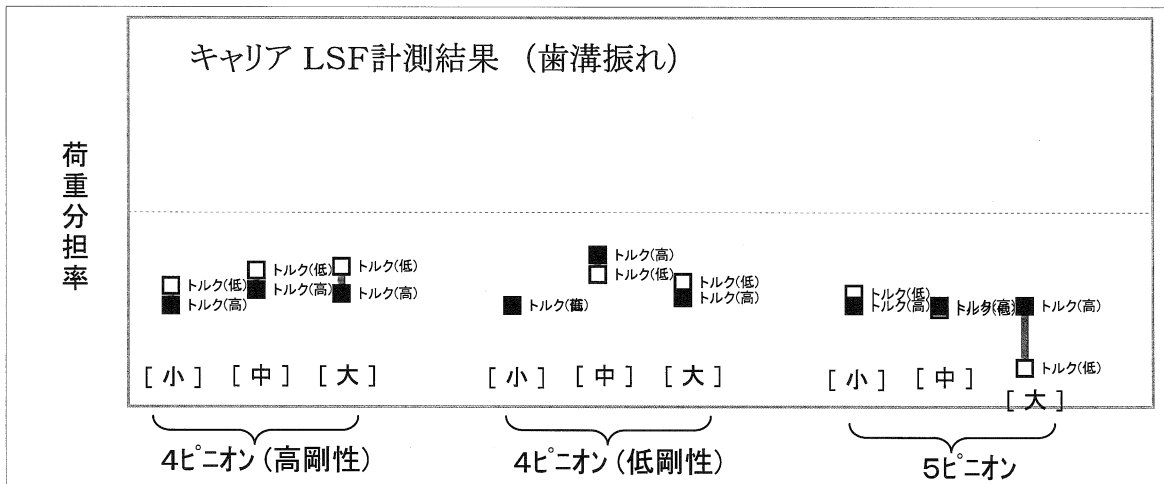
ピニオンシャフト穴位置ズレの分担率結果よりも、4穴に対する荷重分担の偏りは少なく、ピニオンギヤの歯溝の振れの影響も少ない。

“5ピニオン”については、

“4ピニオン”と同様、5穴に対する荷重分担の偏りは少なく、ピニオンギヤの歯溝の振れの影響も少ない。

傾向としては、「穴位置ズレの場合」と同じく、荷重が大きくなれば均等化に近づく。
荷重分担に対する影響は、「穴位置ズレ」より小さくなっている。

下のグラフは、ピニオンギヤの歯溝振れ量による荷重分担率の変化を示す。

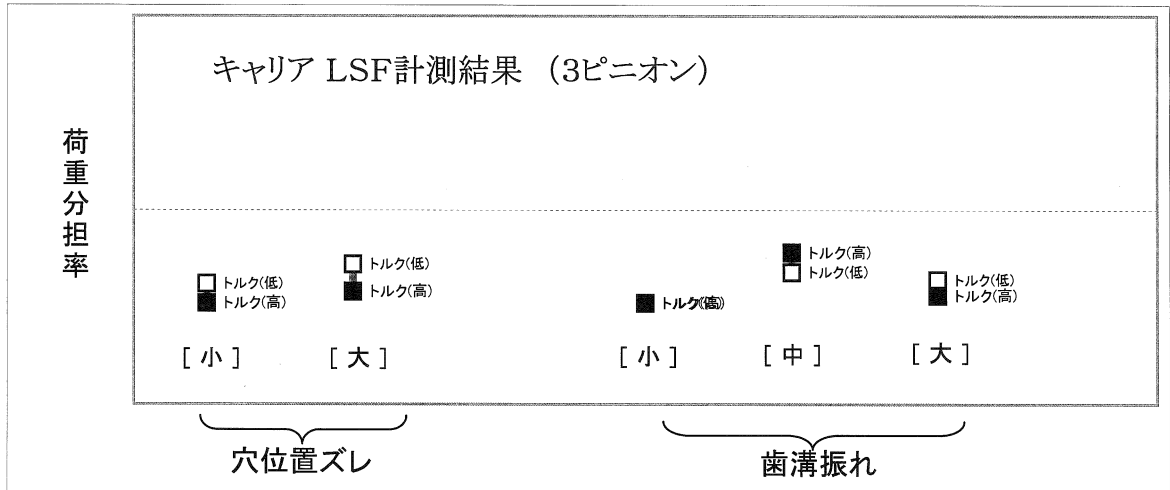


(⑥-3) 3ピニオン仕様での荷重分担率調査

「4ピニオン」、「5ピニオン」での荷重分担率は以上の通りでしたが、従来のピニオン数3個の場合では、荷重分担率はどのようになっているのかも調査した。

- 穴位置ズレは「小」と「大」の狙い2水準で評価した。
穴位置ズレが「小」では、ほぼ均等な荷重分担となっており、さらに穴位置ズレ「大」でも、荷重分担には変化無くほぼ均等な荷重分担となっている。
やはり、3ピニオンの方が荷重分担均等化には有利な構造であるといえる。
- 歯溝振れでは、歯溝振れ「小」、「中」、「大」の3水準でも
歯溝振れは変化無くほぼ均等に分担されており、穴位置ズレよりも歯溝振れによる影響が少ない結果となった。
これは、「4ピニオン」、「5ピニオン」と同じ結果となっている。

下のグラフは、3ピニオンギヤの場合の荷重分担率の変化を示す。



b.) トランスミッション内でのピニオンギヤ荷重分担率計測技術の確立

【活動の概要】

単体で分析・評価した同等な部品で構成されたプラネタリーユニットをトランスミッションに組み込み、ダイナモベンチ試験機での各ピニオンが分担する荷重を計測する。この結果をプラネタリーユニット〔サブアッシー(単体)〕の計測結果と比較検証する。

- ① インターナルギヤ 及び ピニオンギヤ & キャリアアッシーの組み替え
プラネタリーユニットは、インターナルギヤ、サンギヤ、ピニオン、及びピニオンを自転公転支持するキャリアから構成されている。

ピニオン分担荷重を計測するためにインターナルギヤ 及び ピニオン&キャリアアッシーも評価用に製作した精度を振らしたものと組み替える。

- ② 評価用ピニオン及びキャリアアッシーの製作
ピニオン荷重分担率を計測するため、キャリアアッシーのピニオンシャフト穴位置精度を振らしたものを製作した。

キャリアアッシーは4ピニオンタイプを2種類、5ピニオンタイプを1種類の計3種類とした。ピニオンシャフト穴精度は、それぞれ円周方向ズレ量が「小」、「中」、「大」狙い3水準とした。その他のインターナルギヤ、ピニオン、サンギヤはノミナル精度品を製作した。

ピニオンギヤ荷重分担率測定評価マトリックス (トランスミッション内)

評価目的		インターナルギヤ (内歯の歯溝 振れ)	キャリア アッシー 穴位置 ズレ量	ピニオンギヤ	サンギヤ (外歯の歯溝 振れ)
ブラネタリ ギヤ アッシー	5 ピニオン ピニオンシャフト穴 位置の影響	ミナル	円周方向 [小][中][大] 3水準	ミナル	ミナル
	歯溝振れの影響		円周方向 [小]のみ 1水準		
4 ピニオン	ピニオンシャフト穴 位置の影響	ミナル	円周方向 [小][中][大] 3水準	ミナル	ミナル
	歯溝振れの影響		円周方向 [小]のみ 1水準		

③ 荷重分担率の計測トライアル

【内容と結果】

製作したキャリア、ピニオン、インターナルギヤ、サンギヤをトランスミッション内に組み込み、ダイナモ試験に搭載しピニオン荷重分担をトライアル計測した結果、所要の計測データが計測及び収集可能なことを確認した。

④ ピニオン荷重分担率の実測 & 荷重分担率の分析

【内容と結果】

ピニオン分担荷重を実測し、所要の計測データを収集し、計測したデータからピニオンの荷重分担率を数値化した。

ピニオンシャフト穴位置ずらし量が「小」のものは、「5 ピニオン」「4 ピニオン」共に荷重分担率は均等に配分されている。

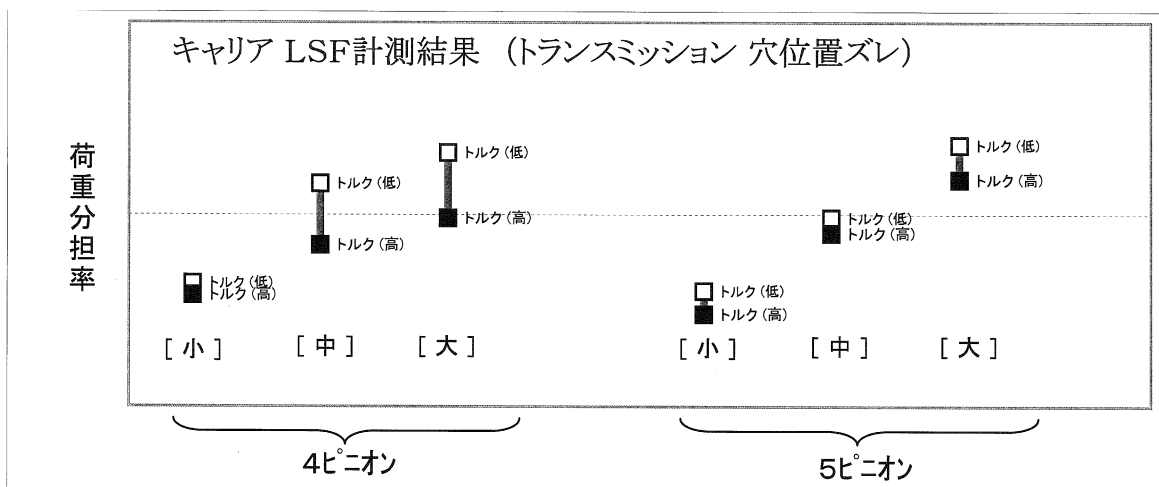
穴位置をずらしたもの（「中」と「大」狙い）は、荷重分担率が均等で無くなっている。穴位置ずらし量が大きくなるにつれて、荷重分担率の均等化の悪くなる傾向にある。

さらに、4ピニオンタイプと5ピニオンタイプを比較すると、ピニオン数が増加する程、荷重分担率の均等化が悪化する。

以上、ピニオンシャフト穴位置精度が、ピニオン荷重分担率に大きく影響することと、ピニオン数が多い程、荷重分担率の悪化が顕著となることが実証確認できた。

傾向としては、サブアッシー(単体)でのピニオン荷重分担率計測結果と同等となった。

下のグラフは、トランスミッション内での荷重分担率の変化を示す。
トランスミッションでのピーク値の偏りは、支持剛性の差とガタの影響が考えられる。



⑤ 製品設計への反映

【内容】

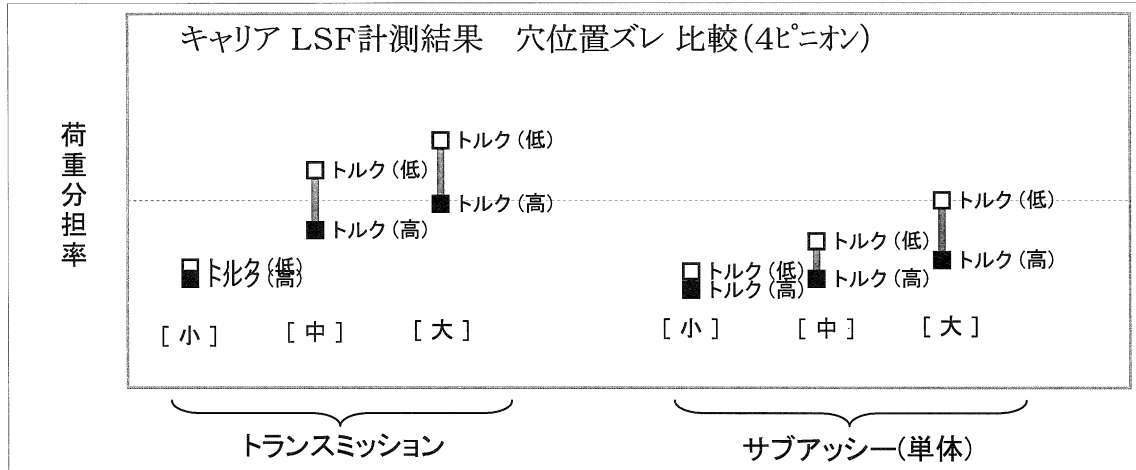
キャリアアッシーのピニオンシャフト穴位置精度及びピニオン精度が、ピニオン荷重分担率に及ぼす影響度を明らかにし、製品仕様へフィードバックする。

(⑤-1) トランスミッションとサブアッシー(単体)での加重分担率の相関を確認

『 4 ピニオンの場合の比較 』

荷重分担への影響の大きいピニオンシャフト穴の穴位置ズレに着目して比較しました。穴位置ズレは、共に「小」、「中」、「大」の3水準である。

下のグラフは、トランスミッション内及びサブアッシー(単体)での荷重分担率の比較を示す。



このように、穴位置ズレ量が大きい程、荷重分担率が悪化します。また、荷重が大きくなる程、より均等化に近づく傾向にあり、「トランスミッションでの荷重分担率」と「サブアッシー(単体)での荷重分担率」に相関があることを確認した。

トランスミッションでのピーク値の偏りは、支持剛性の差とガタの影響が考えられる。この偏りに対し、補正等により「トランスミッション」での評価を「サブアッシー」での評価に置き換えることが可能だ。

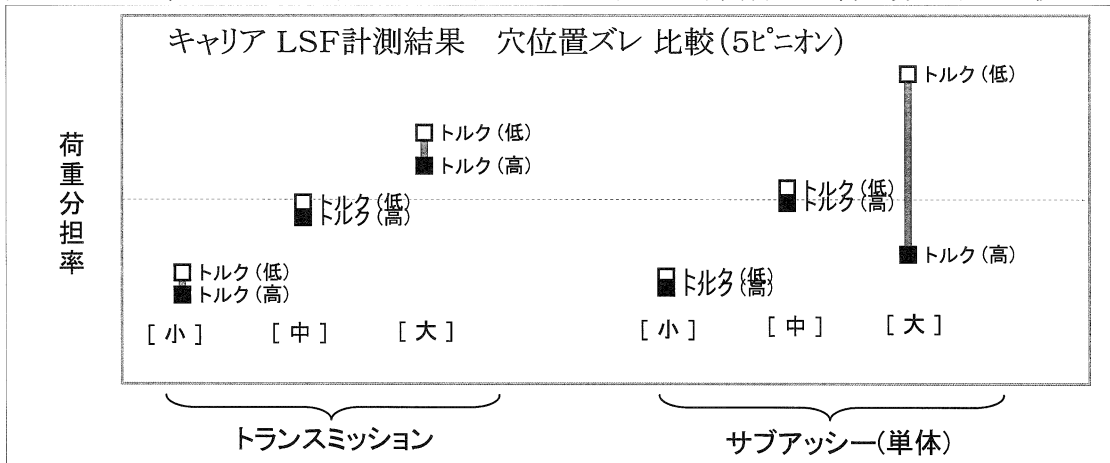
『 5 ピニオンの場合の比較 』

同じく、荷重分担への影響の大きい穴の穴位置ズレに着目して比較した。

穴位置ズレは、共に「小」、「中」、「大」の3水準である。

先程の『4 ピニオンの場合』と同様に、穴位置ズレ量が大きい程荷重分担率が悪化し、また、荷重が大きくなる程より均等化に近づく傾向にあり「トランスミッションでの荷重分担率」と「サブアッシー(単体)での荷重分担率」に相関があることが確認できた。

下のグラフは、トランスミッション内及びサブアッシー(単体)での荷重分担率の比較を示す。



研究の成果

1. トランスミッションでの、ピニオン荷重分担率計測技術を確立した。
2. サブアッシー(単体)での、ピニオン荷重分担率計測技術を確立した。
3. ピニオン荷重分担率を数値化できた。
4. 構成部品毎の荷重配分への影響を確認した。
5. トランスミッションとサブアッシー(単体)での荷重分担率の相関を確認しサブアッシー(単体)での評価試験に置き換えることが可能となった。

残課題

コスト削減のため、今回計測した荷重分担率を元に、穴位置精度の図面記載方法を検討し、製図面へフィードバックする。

(1-2) 機械加工の高精度化と熱処理変形の低減

a.) キャリアのピニオンシャフト穴加工の高精度化

【活動の概要】

ピニオンの荷重配分を均等配分に近づけるには、キャリアのピニオンシャフトの穴位置精度の高精度化が求められる。穴位置精度の開発目標値を達成するため、検証・分析・加工トライアルを実施し穴位置精度の高精度化を実現する。






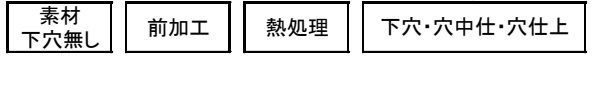
① 加工トライ及び加工ズレの要因調査

現状での、穴位置度規格に対し MAX 値が規格上限を推移しており、また、個々の穴位置度のバラツキ幅も大きく精度悪化の原因となっていることが判明した。

実力調査結果から、穴位置度に悪影響を及ぼす要因として、「キャリア素材の下穴の存在」、「製品の把握方法」、「加工設備の機械精度」の3項目が穴位置度に大きく影響を及ぼしているのではないかと仮説を立て検証を行った。

現行類似部品を「下穴無し素材」、「改造治具(把握力アップ)」、「高精度マシニングセンター」で加工を施し、現行工法との穴位置度データ比較を行った。

☆ 工法変更による加工検証

工法	素材形状	工法	加工設備	加工工程
現行工法	下穴有り 	既存治具 	既存MC	 <p>素材(下穴有り) → 前加工 → 穴中仕上 → 熱処理 → 穴仕上</p>
検証工法	下穴無し 	改造治具(把握力アップ) 	高精度MC	 <p>素材(下穴無し) → 前加工 → 熱処理 → 下穴・穴中仕・穴仕上</p>

(図. ①-2) 検証イメージ図

加工検証の結果、現行工法に対し穴位置度の MAX 値・バラツキ幅ともに低く抑制でき、検証工法により穴位置精度向上が可能であることが判明し、仮説を実証することが出来た。

② 改善項目の対策実施と最終評価・分析

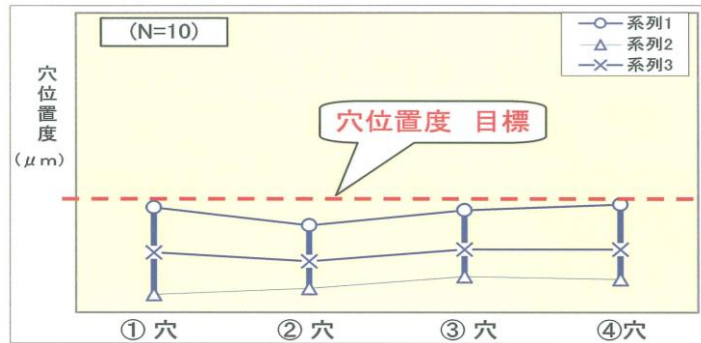
続いて同様な加工トライアル及び検証を再度実施した。

結果としては、前回実施した現行類似品での検証と同等の結果となっており、検証サンプル数10ヶのうち8ヶで目標の穴位置度を達成したが、残りの2ヶについては部分的に規格を逸脱しているものがあつた。これは、製品把握時に異物噛込み等のイレギュラーが発生したのではないかと推察し、製品及び治具清掃を十分におこなって再度確認を実施した。

その結果、(図. ②)のように穴位置度 MAX 値及び穴位置度バラツキ幅を低く抑えることが出来、目標値を達成することが出来た。

今回の研究では、サンプル数がまだ少なく、加工数を増やしたときの品質状況までは確認しきれていない。

今後、量産化に向けての精度維持の検証・確認を進めてゆきたいと考える。



(図. ②) 穴位置度データ (再トライアル)

b.) ピニオンギヤ加工の高精度化と熱処理変形量の低減

【活動の概要】

現行ピニオンを使用し、各加工工程毎の歯振れ精度を確認し、加工工程及び熱処理変形量実力値を調査し、歯振れ精度悪化要因を抽出する。

これを元に、高精度化を実現する。



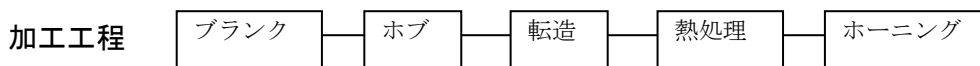
(図. ①-1)

① ピニオンギヤ加工工程調査

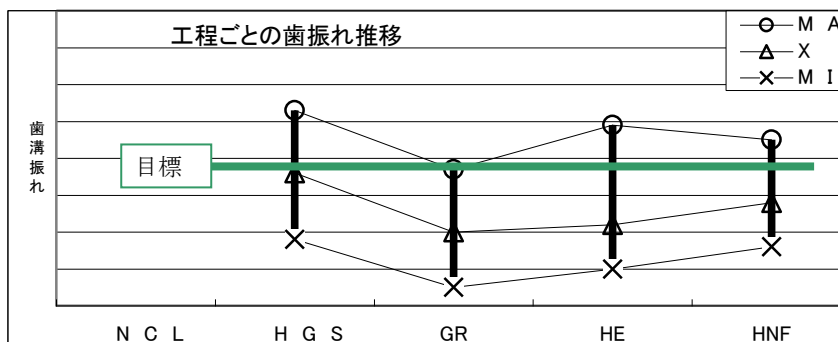
部品(図. ①-1)を使用し、加工工程(図. ①-2)毎に、歯溝振れ・歯形・歯筋精度を調査し、工程毎の歯溝振れの推移及び工程間の歯溝の振れの相関を求めた。

結果として、歯振れの推移(図. ①-3)から言えることは、ホブ加工後の歯面仕上げ転造で歯溝の振れが減少し、熱処理で拡大傾向になったことである。この事は、想定していた通りであり、活動内容が間違っていない事が裏付けられた。

また、工程間の歯溝の振れに対する影響は、ほとんど認められなかった。(図. ①-4)

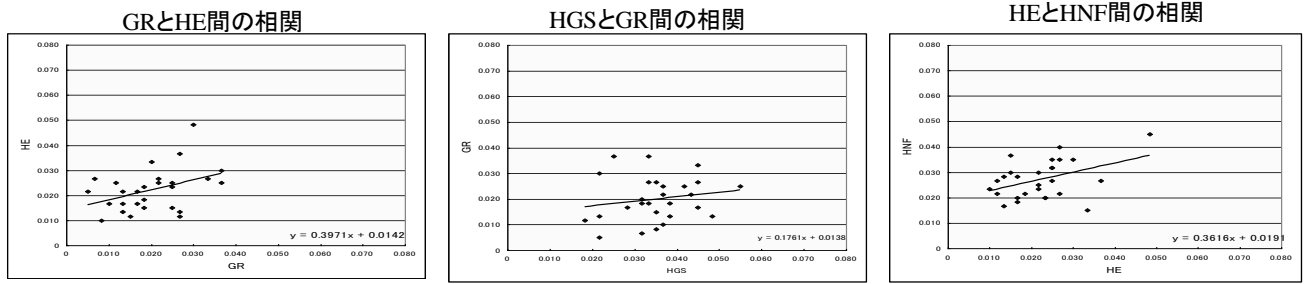


(図. ①-2)



NCL	ブランク
HGS	ホブ
GR	転造
HE	熱処理
HNF	ホーニング

(図. ①-3)

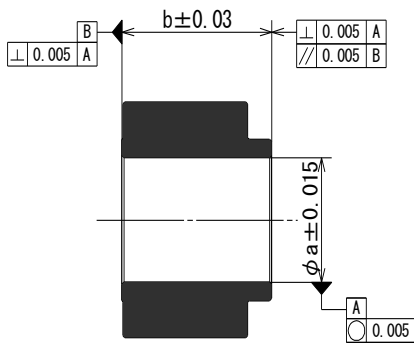


(図. ①-4)

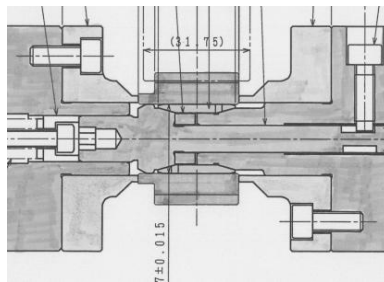
② 加工条件の設定

調査結果より、ピニオンギヤの歯溝の振れ高精度の為、工程毎の高精度化を行えば、必然的に(図. ①-3)の結果の歯振れ量の絶対値が低下すると考え下記の条件を設定した。

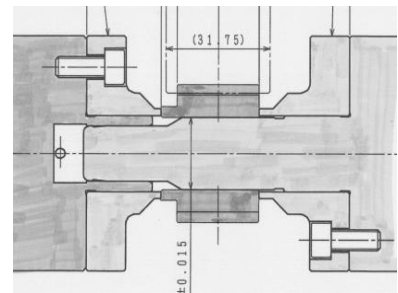
- i) ブランク加工の高精度化：(図. ②-1)の様、現状より内径と端面の直角度を0.005ミリにし、両端面の平行度を0.005ミリ、内径の真円度を0.005ミリと高精度化したブランクを設定した。
- ii) 歯面仕上げ加工法の変更：前工程の影響を最小にする為、歯面をつぶして仕上げる転造加工より、歯面を削って仕上げるシェービング加工に変更した。
- iii) 治具の設定：シェービング盤に用いる治具を、ワークの求心力を高め歯溝の振れ精度向上の為、従来のソリッド式(図. ②-2)からコレット式(図. ②-3)とした。



(図. ②-1)



(図. ②-2)



(図. ②-3)

4) 刃具の設定：ホブ盤に用いる刃具を、現行使用している精度(J I S A級品)より高精度のカッターを設定(J I S AA級品及びJ I S AAA級品)した。

③ 熱処理

i) ピニオンギヤ 熱処理変形量実力値の調査

熱処理前後において現状どの程度寸法が変化しているのか調査を行った。

調査結果において現状熱処理前後における各特性の寸法変化量は、各特性での変化量は一般的にみてかなり小さいものである。しかし、目標の熱処理変形量(歯溝振れ)をさらに厳しく押さえた為、さらに歪みの発生起因を抽出し対策の実施、検証を行う必要があった。

ii) 熱処理変形量要因の抽出

材料特性, 処理条件, 加工条件, 荷姿より、変形量を大きく悪化させている要因を抽出する変形量を悪化させている要因としては次のことが考えられる。

- a 材料特性——結晶粒度の不均一性による変形
- b 処理条件——焼入時の条件（焼入油温度）による変形
- c 加工条件——前工程での転造加工による変形
- d 荷 姿——熱処理治具の形状不適正による変形

そこで各要因においてどの要因が変形を大きく悪化させているのか検証を行った。

iii) 処理条件の設定

a) 熱処理治具改造

治具形状は現状の4点支持では治具に変形が起きた際に製品支持に偏りが発生し、熱変形の原因となるため支持方法を3点とし、支持の偏りを防ぐ。

また製品間の距離が近いとお互いの熱影響を受けると共に、焼入れ油の流動性も阻害してしまうため、極力製品間隔を空ける形状とした。

b) 焼入条件の変更

焼入油温はマルテンサイト変態温度直下であるほど熱処理変形は低減されるため、現行油温の設定変更を行う。

また、積極的な焼入れ油の攪拌は部位による温度差を発生させるため、攪拌機の回転数を変更する

iv) 検証・分析

検証は現行品を用いてのトライ結果を踏まえ、熱処理条件としては焼入れ油温の設定を上げ、攪拌回転数を下げた。トレイ形状は3点指示を使用した。

【検証結果】

結果として熱処理変化量は目標値以下をクリアでき、改善することが出来た。

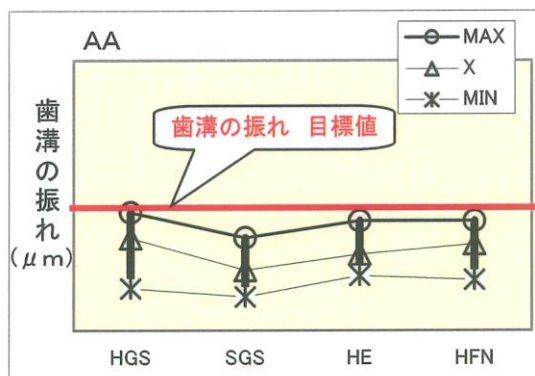
要因はやはり焼入れ油温と治具改善効果によるものと思われる。

④ 最終評価・分析

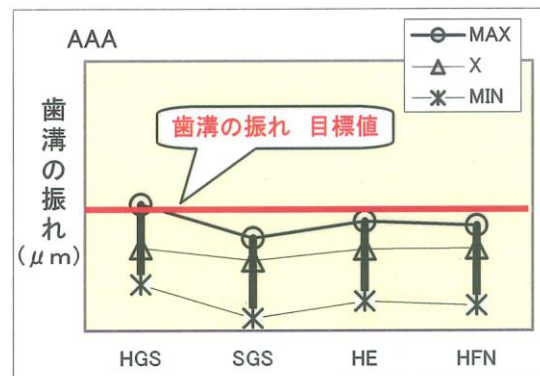
結果として、歯溝の振れの目標に対し、(図. ③-1) と (図. ③-2) から見て取れる様に最終工程での目標の歯振れ精度を達成することが出来た。

但し、量産性を考慮した場合の精度維持の管理方法を構築するまでには至らなかった。

この課題については、今後実用化までの試作・検証実験の中で取り組んで行く。



(図. ③-1)



(図. ③-2)

(2) . 歯付き部品の複合一体化成形技術の確立

【概要】

本研究における、プラネタリーユニットの構成部品であるキャリアは、一般的には、板金成形キャリアを使用するのが主流であるが、高強度を要求される場合は、鍛造加工されたフランジと支柱を組み合わせる部品構成がとられていた。

このたび、高強度を要求される中で、鍛造加工されたフランジと支柱を鍛造で一体化させたキャリア（複合一体化成形）の成形技術を確認することで、部品点数の削減と高強度化の両立を図る。

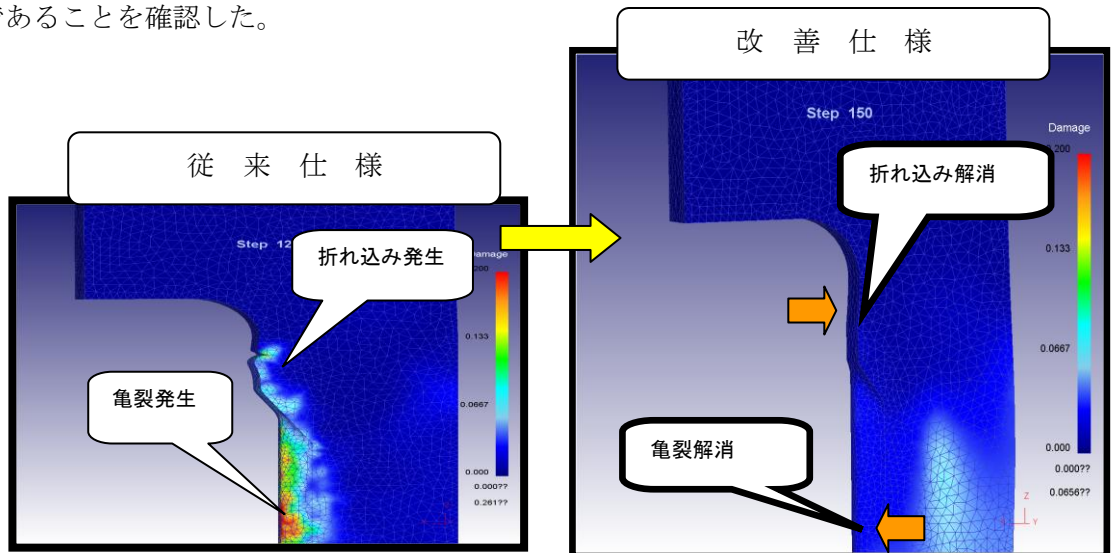
(2-1) CAE解析を活用した成形性の評価方法の確立

① 成型シミュレーションの活用

①-1 冷間スプライン成形の金型応力の最小化

【内容】

- 1) . 鍛造されたキャリアのボス部に、スプラインを鍛造成形する場合のシミュレーションを行った。解析結果より、折れ込み・亀裂のない形状を得た。更にダメージ値（ひずみに対応した数値）についても、成形する部位の全てにおいて、均一であり、欠陥等が発生しないレベルであることを確認した。

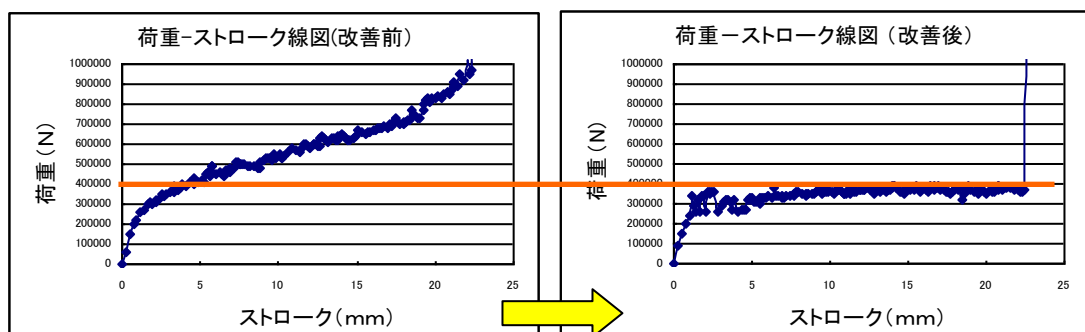


2) . 成形荷重の低減化

(1)の対策により、鍛造成形時の荷重-ストローク線図より、従来は、スプラインの成形が進むにつれ荷重が増大しているのに対し、改善品は、スプラインの成形開始から完了まで、均一な荷重を示しており、スプライン成形のダメージが低減され、成形荷重の低減もできた。

改善前成型荷重：1000KN

改善後成型荷重：400KN



【活動結果】

鍛造シミュレーションで予測通り成型荷重が低減できることを確認した。
 金型応力についてはシミュレーション解析結果と実加工データの差が発生しており評価方法の確立が出来なかった。今後、実績データよりコリレーションに必要な情報を蓄積する。

(例) 量製品の類似部品で金型応力解析実施し、破損形態・金型寿命と応力解析のデータが金型寿命とマッチしない(応力が高い→寿命が長い又は応力が低い→寿命短い)

② シミュレーション結果の評価

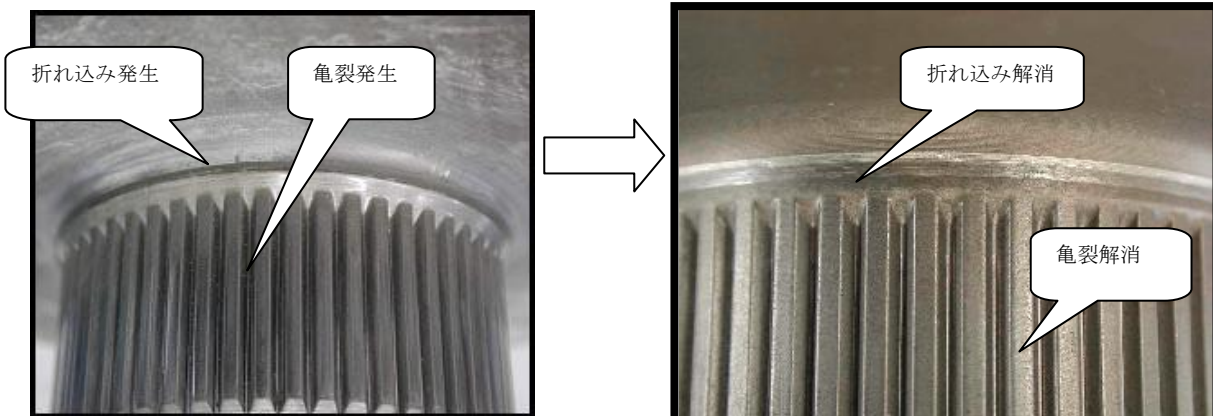
昨年度のトライで良品を加工することが出来たが、少数であったため、
 今回100個の量産加工を行い、寸法のバラつきや形状の変化を確認した。

測定結果、及び工程能力調査

スプライン	大径	55.8			小径	53.6			O.B.P (Φ 1.8)	58.139		
		+0.000	-0.250			+0.000	-0.400			-0.010	-0.104	
測定位置		7	16	25	7	16	25	7	16	25		
座面側～[mm]												
①	X	-0.143	-0.158	-0.165	-0.263	-0.277	-0.283	-0.047	-0.062	-0.066		
	Y	-0.145	-0.160	-0.166	-0.265	-0.280	-0.286	-0.048	-0.064	-0.067		
②	X	-0.140	-0.158	-0.166	-0.260	-0.278	-0.281	-0.044	-0.051	-0.059		
	Y	-0.140	-0.160	-0.166	-0.261	-0.280	-0.279	-0.044	-0.051	-0.059		
③	X	-0.140	-0.160	-0.168	-0.264	-0.281	-0.283	-0.039	-0.044	-0.051		
	Y	-0.141	-0.161	-0.169	-0.264	-0.279	-0.283	-0.039	-0.044	-0.051		
④	X											
	Y											
⑤	X											
	Y											
AVE		-0.156			-0.275			-0.052				
MAX		-0.140			-0.260			-0.039				
MIN		-0.169			-0.286			-0.067				
標準偏差		0.011			0.009			0.009				
CP		3.787			7.382			1.726				
K		0.062			0.094			0.028				
CPk		3.553			6.691			1.677				

【活動結果】

- ・ 形状(折れ込み・亀裂)、寸法値でNGは発生しなかった。
- ・ 寸法のバラつきも無く、工程能力も1.33以上あり、問題無いと判断した。
- ・ 成形荷重については、400±10 KNであった。



(2-2) 成形トライアル及び製品精度・量産精度の評価

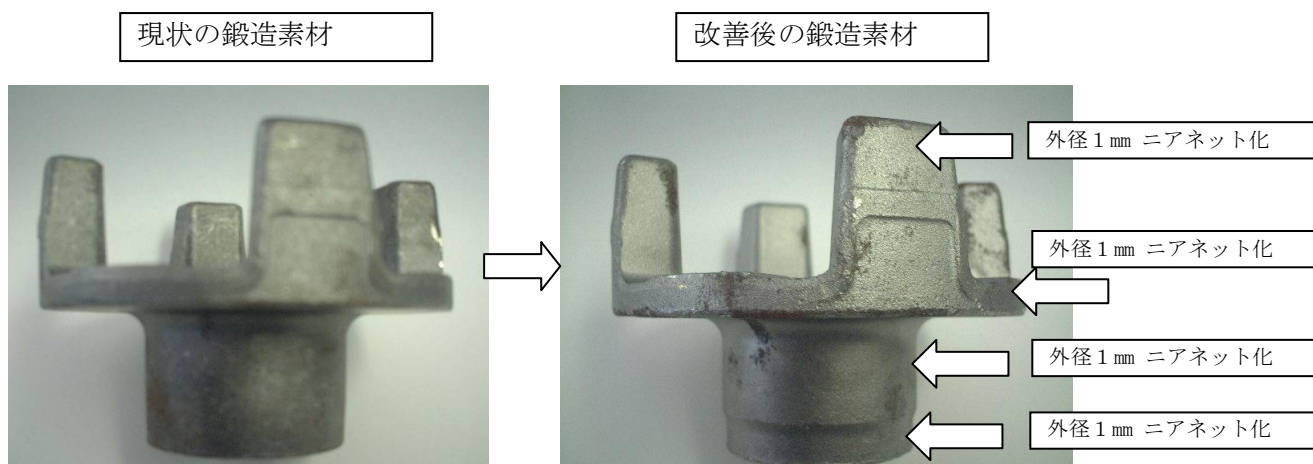
【内容】

平成19年度CAE解析評価が完了した形状にて、トライアルを行い製品精度の評価を行った。

① シミュレーションの結果を折込んだ工程設計と金型設計しトライアル実施

①-1 熱間鍛造の切削代の最小化トライアル実施

①の解析結果を元に工程設計・金型製作し実トライアル実施し71.4gの切削代の低減
切削重量比で10.5%の重量低減が出来た。



重量削減量：71.4g

①-2 熱間鍛造の成型荷重の最小化トライアル実施

鍛造加工を行うにあたり成型荷重は金型寿命に影響が大きく判断の基準となる、荷重が低いほど良い。解析結果を元に実トライアルを実施した。本テーマは①-1と平行して実施した。

	1工程(つぶし)	2工程(据え込み)	3工程(仕上げ加工)
解析品			
成形荷重	106t	1016t	896t
トライ品			
成形荷重	131t	1231t	995t

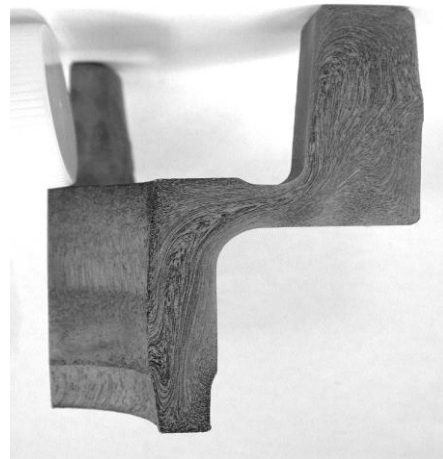
② 実加工による製品精度評価、シミュレーションの妥当性評価

熱間鍛造の量産トライを実施し 200 個の格主要な寸法の工程の能力を出し評価した。
又鍛造素材のファイバーフローの評価も実施した。

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
規格	$\phi 57.3 +1.2$ -0.6	$\phi 55.0 +1.2$ -0.6	$\phi 37.5 +0.5$ -1.0	$\phi 39.0 +1.2$ -0.6	$\phi 120 +1.3$ -0.7	8.4 +1.0 -0.5	48 +1.5 -0.5	34.0 +1.5 -0.5	81.1 +1.2 -0.6
Max	58.02	55.59	37.46	39.42	120.63	8.40	49.11	34.85	81.97
Min	57.81	55.34	37.00	39.10	120.10	8.10	48.33	34.33	81.57
平均	57.91	55.46	37.19	39.27	120.29	8.22	48.62	34.56	81.77
CPK	3.876	4.354	1.951	3.450	3.176	1.440	1.783	2.329	1.943
判定	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK

【活動結果】

主要寸法の規格を満たすことが出来た
工程能力 CPK1.33 以上有り、量産性有り
ファイバーフローも特に異常は見られない



今回の研究の成果として

1. CAE 解析を活用した歯付き部品の複合一体化成型技術を確立した。
2. 熱間鍛造の切削代・成型荷重を最小にした形状で量産が可能となった。
3. CAE 解析で冷間スプライン成型の荷重評価技術を確立した。

残課題として

1. 金型応力について CAE 解析を行ったが、実加工データと解析結果の差が出ている為継続し金型応力解析技術の確立をはかる。
2. 熱間鍛造にて CAE 解析結果と実加工の荷重に差が出ている為、他部品のデータを収集し本部品にフェードバックして荷重の解析技術の確立をはかる。