

平成 20 年度 戰略的基盤技術高度化支援事業

「オーバーモールド工法による  
樹脂多層歯車の開発」

研究開発成果報告書

平成 21 年 3 月

委託者 中部経済産業局

委託先 財団法人名古屋都市産業振興公社

## 目 次

### 第1章 研究開発の概要

実施期間 平成 18 年 11 月～平成 21 年 2 月

1 - 1	研究開発の背景・研究目的および目標	1
1 - 2	研究体制	3
1 - 3	成果概要	7
1 - 4	当該プロジェクト連絡窓口	8

### 第2章 接合プライマーの開発

2 - 1	研究目的および目標	9
2 - 2	実験方法および研究成果	10

### 第3章 オーバーモールド工法開発課題への対応

3 - 1	研究目的および目標	11
3 - 2	実験方法および研究成果	13

### 第4章 全体総括

4 - 1	研究開発成果の総括	19
4 - 2	工業所有権の取得状況および対外発表等の状況	19
4 - 3	研究開発後の課題・事業化展開	19

## 第1章 研究開発の概要

### 1-1 研究開発の背景・研究目的および目標

自動車用パワーステアリングでは、旧来の油圧駆動から電動化への置き換えが進んでいる。電動パワーステアリングは、ウォームを介してステアリング駆動軸にあるウォームホイールをモーターにより駆動させ、操舵補助する構造である。油圧パワーステアリングを電動式に代替することにより燃料消費量が2~3%低減すると言われている。小型車種の電動パワーステアリングに用いられるウォームホイールには、軽量化および低騒音化を主目的として、MCナイロンやナイロン66樹脂の切削加工によるものが採用されてきている。しかし、作動トルクが大きくなる中大型車種への適用は、現状の樹脂強度では大径化で対応せざるをえない状況であり、小型軽量化を達成するためには樹脂製歯車の高強度化・長寿命化が不可欠である。(図1-1)

そこで、高強度のエンジニアリングプラスチック材料の使用が検討されているが、材料費が高いことに加え、生産性が低く材料ロスも多い切削加工による製造が避けられないため、高コストとなる。一方、ガラス繊維強化ナイロンによる樹脂歯車の強度向上も検討されているが、ガラス繊維が相手側の金属製ウォームと摺動して磨耗するために耐久性に劣ることに加え、切削加工が困難という難点がある。これらのことから、高強度と摺動性を両立し、高い生産性で製造できる樹脂製ウォームホイールの開発が求められている。

本研究開発は、芯部としてガラス繊維強化ナイロン66樹脂、表層部として非強化ナイロン66樹脂から構成される樹脂多層歯車(ウォームホイール)を開発し、自動車の電動パワーステアリングへと適用する。すなわち、芯部に高強度の強化樹脂を用いて剛性を高めるとともに、表層部に摺動性に優れる非強化樹脂を用いることで静音性、摩耗特性を向上させ、単一材料では不可能である高強度と耐摩耗性の相反する特性を樹脂歯車に付与する。樹脂歯車は射出成形によるオーバーモールド工法にて製造する。本工法では、金型内に挿入した芯部歯車(ガラス繊維強化材料)に薄い表層(非強化材料)を射出成形にて接合一体化することで歯車を多層化する。一般的に、成形収縮を伴う樹脂成形体の寸法精度は切削加工品に劣るとされるが、非強化材料を薄く被覆することで金型への転写率が上がり、歯車精度の向上が期待できる。また、ナイロン66樹脂は元来接合性が悪いため、層間の強固な接合を可能とするプライマーを開発して本工法へと適用する。(図1-2)

## 自動車用パワーステアリングシステムの変革

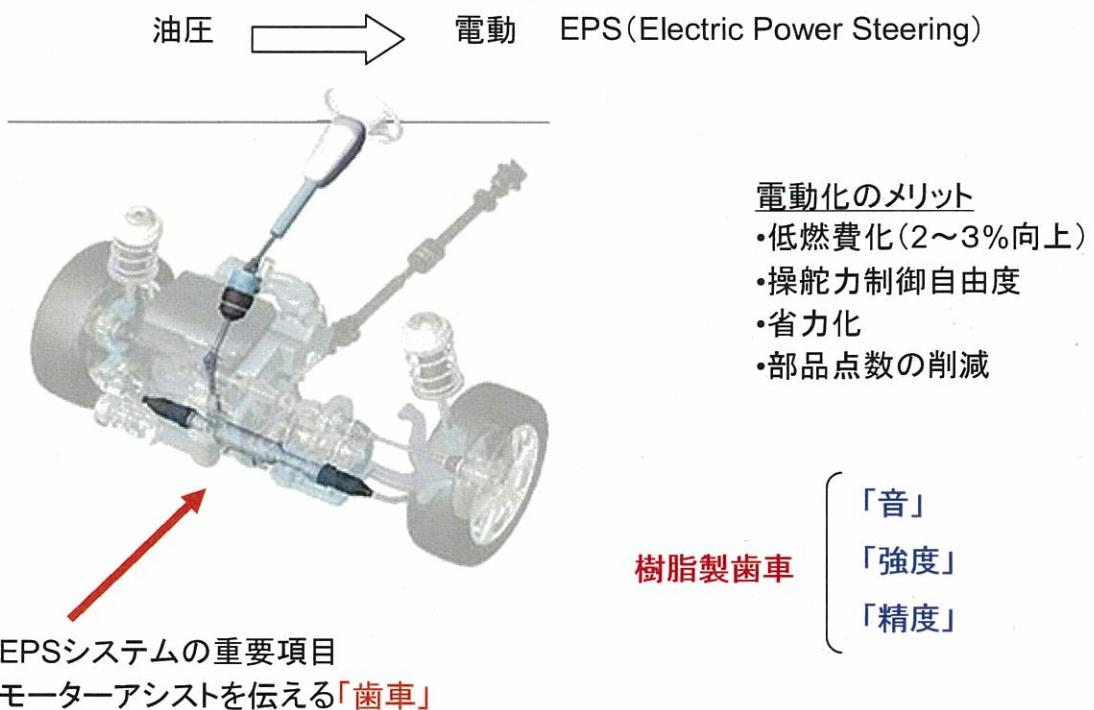


図 1-1 自動車用パワーステアリングシステムの変革

EPSシステム向け

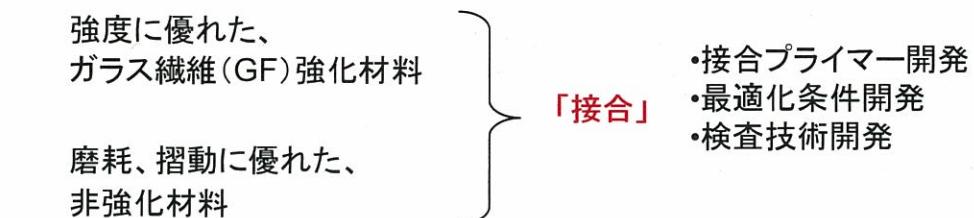
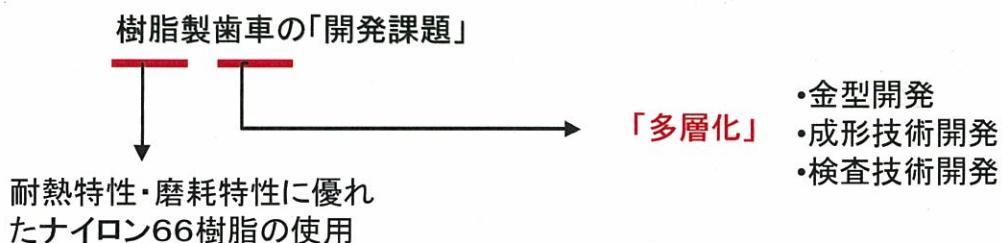
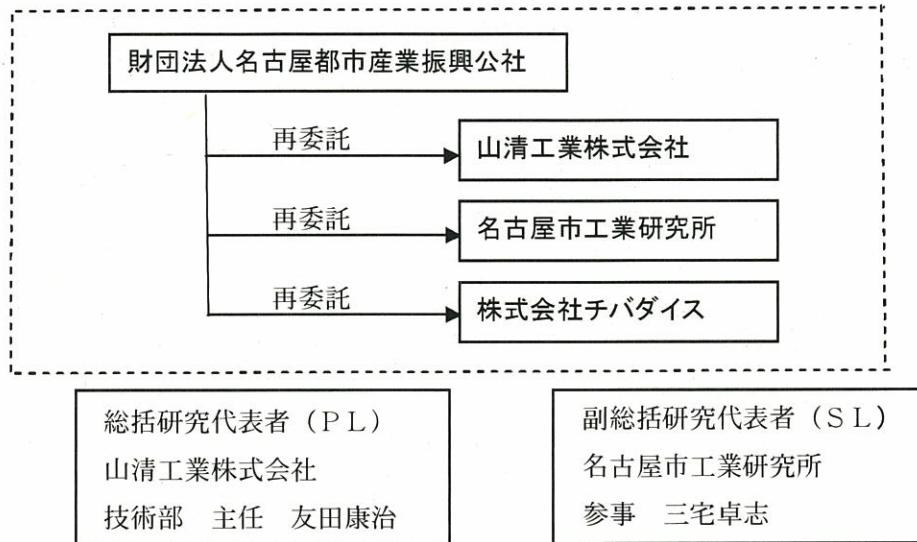


図 1-2 樹脂製多層歯車の開発

## 1 - 2 研究体制

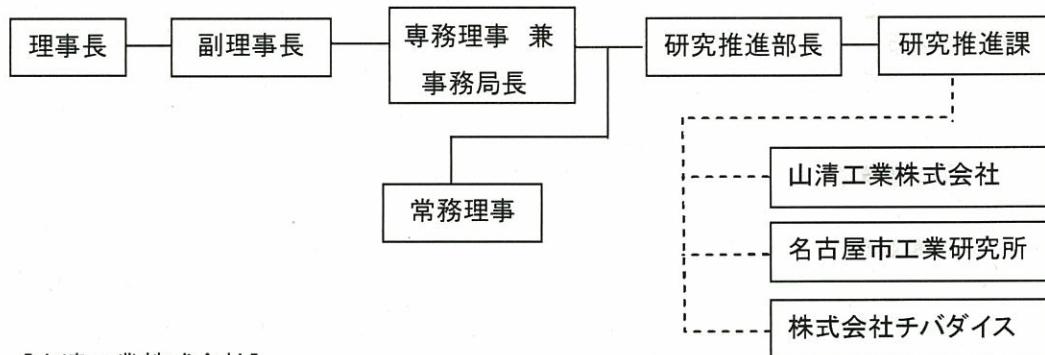
### 1 - 2 - 1 研究組織・管理体制

#### 1) 研究組織（全体）

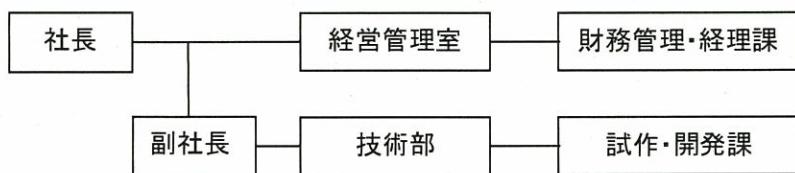


#### 2) 管理体制

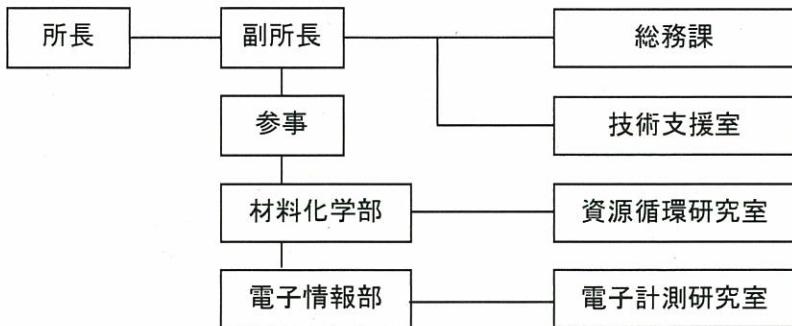
[財団法人名古屋都市産業振興公社]



[山清工業株式会社]



[名古屋市工業研究所]



[株式会社チバダイス]



1 - 2 - 2 管理員および研究員

**【事業管理者】 財団法人名古屋都市産業振興公社**

①管理員

氏 名	所属・役職
竹内 満	研究推進部長
池田 善三	研究推進課長
荒井 優佳	研究推進課

**【再委託先】※研究員のみ**

山清工業株式会社

氏 名	所属・役職
友田 康治	技術部 試作・開発課 主任

名古屋市工業研究所

氏名	所属・役職
三宅 卓志	参事
平野 幸治	技術支援室 室長
秋田 重人	技術支援室 主任研究員
中野 万敬	材料化学部 資源循環研究室 研究員
吉村 圭二郎	電子情報部 電子計測研究室 研究員

株式会社チバダイス

氏名	所属・役職
鼓 憲治	顧問
吉田 正光	設計グループ MC

1 - 2 - 3 協力者

デュポン株式会社

氏名	所属・役職
植村 教介	エンジニアリングポリマー事業部 中央技術研究所 技術部 主幹
剣持 綱雄	オートモーティブセンター エンジニアリングポリマー技術部 技術開発グループ 担当課長
島崎 義広	エンジニアリングポリマー事業部 技術部 成形技術グループ 成形技術担当

株式会社ジェイテクト

氏名	所属・役職
渡邊 正幸	第1システム技術部 部長
谷本 浩樹	第1システム技術部 室長

東海精密工業株式会社

氏名	所属・役職
牧原 祥悟	金型課 課長

アムテック有限会社

氏名	所属・役職
上田 昭夫	代表取締役

株式会社ソディックプラスチック

氏名	所属・役職
横山 公一	生産技術本部 研究開発部 部長

三鷹光器株式会社

氏名	所属・役職
三浦 勝弘	第一製造部 部長
古田島 秀雄	第一製造部 技術開発課

## 1-2-4 実施場所

### ①事業管理者

財団法人名古屋都市産業振興公社 研究推進部 研究推進課

(最寄り駅：名古屋市営地下鉄東山線藤が丘駅)

〒463-0003 愛知県名古屋市守山区大字下志段味字穴ヶ洞 2271-129

なごやサイエンスパーク サイエンス交流プラザ

### ②研究実施場所

山清工業株式会社 (最寄り駅：名古屋鉄道本線本星崎駅)

〒457-0065 愛知県名古屋市南区元鳴尾町 22 番地

名古屋市工業研究所 (最寄り駅：名古屋市営地下鉄名港線六番町駅)

〒456-0058 愛知県名古屋市熱田区六番三丁目 4-41

株式会社チバダイス (最寄り駅：首都圏新都市鉄道つくばエクスプレス八潮駅)

〒340-0834 埼玉県八潮市大曾根 414

## 1-3 成果概要

電動パワーステアリング用ウォームホイールへの採用を目指した樹脂多層歯車開発では、多層樹脂の接合性および成形品の高い精度の双方の確保が必要である。そこで、本事業では、接合プライマーの歯車への均一な塗布手法と、オーバーモールド工法による多層構造体の成形法の開発を行った。

接合プライマーによる接合性の確保に関しては、試験片での検証から得られた知見をもとに加圧式スプレーノズルを配置した塗布装置を試作し、複雑形状の歯車への接合プライマーの均一な塗布を可能とする最適な配置および塗布条件を設定した。

オーバーモールド工法による多層歯車の試作では、当初は二次樹脂を均一に被覆することが困難であったが、二次樹脂の流路の改良をはじめとする数回にわたる金型修正により均一な被覆歯車を得ることができた。初年度および第二年度ではΦ50（モジュール2）のヘリカルギヤ型のウォームホイールを作製し、その基本構成を確立した。最終年度には、既存の市販車に使用されているEPSギヤと同諸元を有するウォームホイールをオーバーモールド工法にて試作した。また、歯車成型法の開発に合わせ、従来は困難であったホイール形状の測定手法を確立した。

#### 1-4 当該プロジェクト連絡窓口

総括研究代表者；

山清工業株式会社

技術部 試作・開発課 主任 友田 康治

Tel: (052) 822-5643

Fax: (052) 823-9106

tomoda@yamaseikogyo.co.jp

事業管理者；

財団法人名古屋都市産業振興公社 研究推進部 竹内、池田、荒井

Tel: (052) 736-5680

Fax: (052) 736-5685

※本報告書においては、語句の混同を避けるため、ヘリカル形状ウォームホイールは歯幅方向に歯厚みが変化しない歯車を、ウォームホイールは歯幅方向に歯厚みが変化する歯車を指すものとする。

## 第2章 接合プライマーの開発

### 2-1 研究目的および目標

ガラス纖維強化ナイロン66樹脂(歯車芯部)と非強化ナイロン66樹脂(歯車表層部)のオーバーモールド接合に最適化した接合プライマーを開発、改良する。

接合プライマーによる熱特性および一次材表面への分散に関する基礎データを取得するとともに、本工法の安全性評価の一端として接合プライマーの成形品への残留状況および成形品からの溶出挙動を確認する。さらに製品安全性評価として、プライマーとナイロン66樹脂との混合物から発生する加熱時アウトガス、オーバーモールド成形時に発生するガスの検出を行う。また加圧スプレー式の塗布機を用い、塗布特性と接合試験片による接合強度を評価し、歯車に対する最適なプライマー塗布量指針を検討する。さらには、プライマー塗布面および接合強度測定後の破断面を電子顕微鏡(SEM)にて観察し、プライマー接合によるナイロン樹脂接合のメカニズム解明を試みる。

(担当：名古屋市工業研究所、山清工業株式会社)

実施内容	2006	2007				2008				2009
	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q
①接合プライマーの開発										→
1) 热分析		→								
2) 安全性テスト		→								
3) 分布性テスト		→								
4) 接合条件の最適化		→								
5) プライマーの改良		→								
6) 破断面解析		→								
7) 加熱時の発生ガス分析			→							
8) 成形時の発生ガス分析				→						
9) スプレー塗布機の試作				→						
10) 試薬塗布面の観察					→					
11) 接合強度の評価						→				
12) 経時および加熱変化						→				
13) 加熱ステージでの観察							→			
14) プライマー塗布面のSEM観察								→		
15) 接合強度の評価									→	
16) 接合破断面のSEM観察										→

## 2-2 実験方法および研究成果

接合プライマーには芳香族系化合物を主成分とするイソプロパノール溶液を用いた。ナイロン66樹脂相互の高信頼の接合を目的に、加圧式スプレーと電動スライダーを組み合わせた装置（図2-1）を用いて最適な塗布量を検討した。最適塗布量は、塗布状態の観察および射出成形による突き合わせタイプの接合試験片（ISO A型）の引張強度により決定した。また、単位面積当たりの塗布量は、塗布後の試験片からプライマー成分を溶剤抽出し、UV分光測定により決定した。タグチメソッドにて検証した結果、 $0.06\sim12.0\mu\text{g}/\text{mm}^2$  の塗布量にて非強化ナイロン66樹脂同士の接合強度として70MPa以上が得られることが確認された。これらの結果を、後述する歯車での接合条件へ反映した。

ポリアミドの表面状態（図2-2, 2-3）と、接合試験片の引張試験後の破断面（図2-4）を示す。

写真は非強化ナイロン66樹脂同士を使用したものであるが、塗布面である一次側、射出接合される二次側共に、母材である樹脂自体が破壊していることが分かる。これは、強固な接合が得られていることを示唆している。

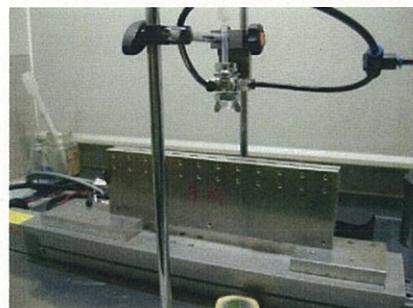


図2-1 TP用塗布装置

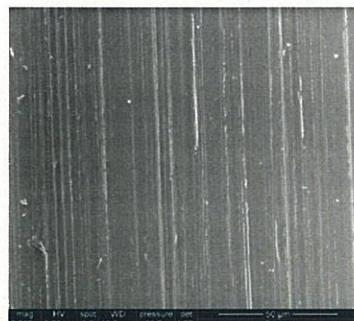


図2-2 未塗布表面 (SEM 2000倍)

【非強化ナイロン66】

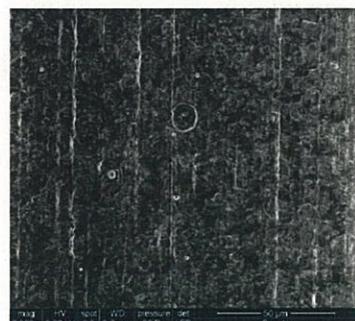


図2-3 塗布表面 ( $6.0\mu\text{g}/\text{mm}^2$ )

【非強化ナイロン66】



(a)一次側【非強化ナイロン66】 (b)二次側【非強化ナイロン66】

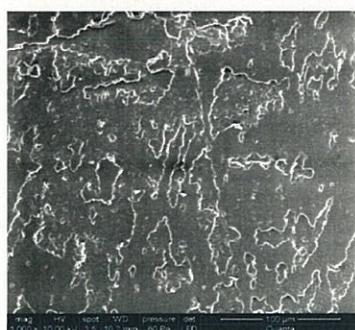


図2-4 破断面写真 (塗布量  $12.0\mu\text{g}/\text{mm}^2$ )

### 第3章 オーバーモールド工法開発課題への対応

#### 3-1 研究目的および目標

高精度な多層ウォームホイールを成形可能とするため、金型の割りや離型時のモーションを考慮した射出成形用金型を設計・製作し、市販車に使用されている電動パワーステアリング（EPS）用の切削ウォームホイールと同諸元のプロトタイプ品を開発する。

多層ウォームホイールを開発する手順として、初めに金型構造が比較的単純で確立されたヘリカル形状で小径の多層歯車を作製し、湯口、流路などの構成要素を確立する。その後、適切な被覆厚み量を確認することを目的に、ヘリカル形状の歯車と同諸元を有する小径ウォームホイールを作製する。以上の試作にて形状的な構成要素を確立し、市販のEPSホイールと同諸元の多層ウォームホイールを試作する。また、試作歯車の評価としては、形状測定とともに静的破壊試験および動的かみ合い試験を行う。

(担当：山清工業株式会社、名古屋市工業研究所、株式会社チバダイス)

実施内容	2006	2007				2008			2009	
	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q
オーバーモールド工法										
【歯車製作】										
1) 基本モデル諸元規定 ( $\phi 50$ )	→									
2) 金型の設計・流動解析		→								
3) 金型作製		→								
4) 成形評価		→								
5) 小径ホイール設計 ( $\phi 50$ )			→							
6) 金型の設計・流動解析			→							
7) 金型製作			→							
8) 成形評価			→							
9) 流動経路の最適化								→		
10) 芯部歯車形状の最適化								→		
11) 成形条件・金型の最適化								→		
12) 大径ホイール設計 ( $\phi 90$ )								→		
13) 金型の設計・流動解析								→		
14) 金型製作								→		
15) 成形評価								→		
【歯車へのプライマー塗布】										
16) 自動塗布機の試作・導入							→			
17) プライマー噴霧状態の確認							→			
18) 塗布面評価							→			
【検証】										
19) 形状精度検証								→		
20) 静的強度試験評価								→		
21) 耐久試験機の設計								→		
22) 耐久試験機の試作								→		
23) $\phi 50$ ホイールの耐久試験								→		
24) $\phi 90$ ホイールの耐久試験									→	

### 3-2 実験方法および研究成果

#### 1) $\phi 50$ 多層ウォームホイールの開発

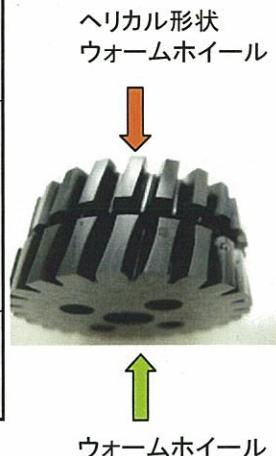
市販車（国産・外国産）に採用されている電動パワーステアリング（EPS）部品入手してウォームホイールの諸元を調査し、ベンチマークを定めて最終的な目標値と開発手順を設定した。調査の結果、ウォームホイールの諸元は $\phi 75\text{mm}$ ～ $\phi 115\text{mm}$ 、モジュール 1.65～2.8、ウォーム条数 2～3 であった。当初の目標として市販品の約 1/2 の諸元とし、以下の諸元、モデル構成とした。

《基本諸元》

		ウォーム	ホイール（ヘリカル）
モジュール	mm		2.0
圧力角	deg		14.5
条数・歯数	--	2	25
すすみ角	deg	13° 36' 32"	
基準ピッチ円直径	mm	17.0	51.4443
歯先円直径	mm	21.0	55.4443
歯幅	mm	---	10.0

#### モデル構成

	18年度		19年度		
型品番	2256	2257	2344	2346	2345
品名 (形状)	一次 (ヘリカル)	二次 (ヘリカル)	一次ギヤ (ヘリカル) やや深モデル	一次ギヤ (ヘリカル) 深溝モデル	二次ギヤ
対応表					
諸元	歯先 $\Phi 54.4443$ 歯底 $\Phi 45.4443$	歯先 $\Phi 55.4443$ 歯底 $\Phi 46.4443$	歯先 $\Phi 54.8443$ 歯底 $\Phi 44.4443$	歯先 $\Phi 54.4443$ 歯底 $\Phi 41.4443$	歯先 $\Phi 55.4443$ 歯底 $\Phi 45.4443$ ( $\Phi 46.7837$ )



多層歯車の開発において重要な要素である二次樹脂の被覆厚み量は、均一な 0.5mm(図 3-1) とし、オーバーモールド成形時の流動性の確認、被覆精度の確認を行った。

弾性率の違う素材を接合して一体化するために接合部へのせん断力も強く働き、歯元

部に応力が集中して十分な強度が得られない可能性が指摘された。そこで、多条噛み合い時には歯が変形し、複数の歯が同時に荷重を分担することができる図3-2による構造を検討した。すなわち、強化樹脂である一次成形体の歯元部を深くして変形能の高い非強化樹脂の二次材に置き換え、被覆素材により歯元部の応力を低減させることを目指した。この一次歯車の構造変更により、歯元部の引張応力は300MPaから130MPaに低減するとの数値計算が得られた（図3-3）。

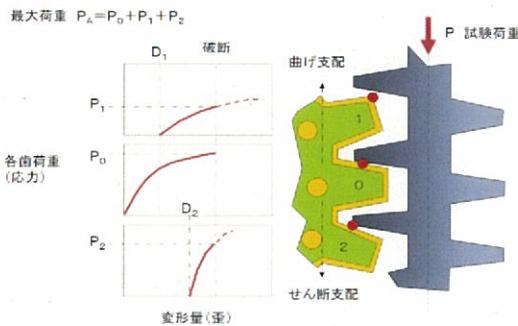


図3-1 開発初期の被覆形態

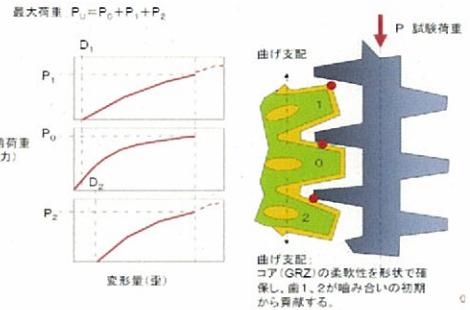


図3-2 応力緩和対策の被覆形態

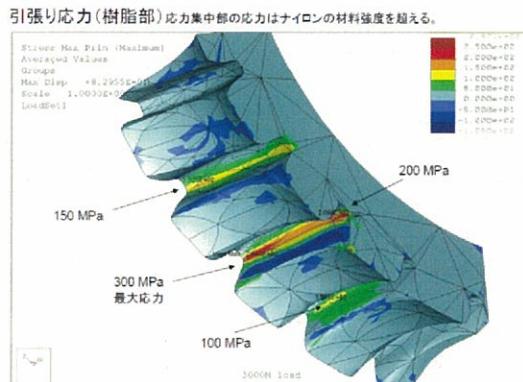
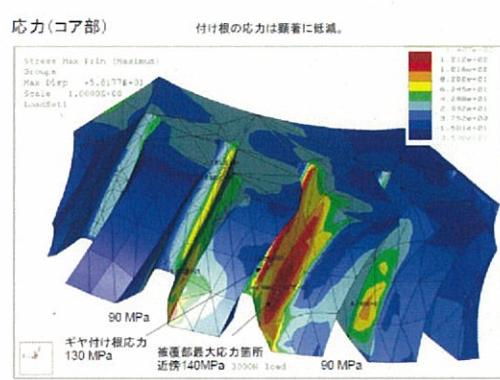
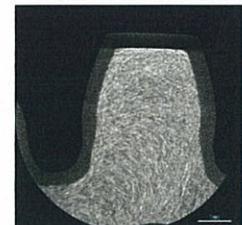
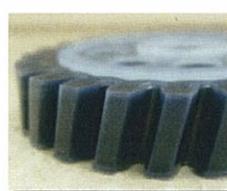


図3-3 歯元応力検討（左：初期、右：深底品）



上述したような被覆厚みに変化を持たせた形状にて試作を行った。また、最適な被覆厚さについては、最薄0.3mmから歯底付近の最大2.5mmまで数個のサンプルを作製し、成形時の樹脂圧力特性との兼ね合わせから実用的な厚みを選定した。

φ50 多層ヘリカル



X線CTによる確認

φ50 多層ホイール



## 2) $\phi 90$ 多層ウォームホイールの開発

$\phi 50$  多層歯車の試作にて得た知見をもとに、アドバイザーである株式会社ジェイテクト協力の下、現行市販されている EPS 用のウォームホイール (MCナイロン切削加工品) と同諸元を有する多層ウォームホイールを設計・試作した。

### 《基本諸元》

		ウォーム	ホイール
モジュール	Mm		1.9
圧力角	deg		14.5
条数・歯数	--	3	45
すすみ角	deg	19° 59 ' 58.1 "	
基準ピッチ円直径	mm	16.6661	90.9869
歯先円直径	mm	19.7000	94.3000
歯幅	mm	---	15.0000

多層ホイールの一次歯車は、剛性の点からホイール形状が好ましいと考えられた。しかし、分割金型の設計・製造方法が設計段階では確立されておらず、また、これまでの  $\phi 50$  歯車での知見が活用できる点からも、本研究ではヘリカル形状とした。EPS 歯車での圧力角は標準では  $14.5^\circ$  であるが、圧力角度を設計できる最大の  $5.0001^\circ$  とした。これは、圧力角を小さくすることで被覆ホイールの歯先接合部に生じるせん断力を緩和し、被覆厚さの変化を可能とするためである。また歯先の R を大きく設定した(図 3-5)。被覆(二次側)歯車は、これまでの知見から歯先の最薄部を  $0.4\text{mm}$  とし、歯底付近の最厚部を  $1.3\text{mm}$  とした。一次歯車と被覆ホイールを重ねた断面形状を図 3-6 に示す。

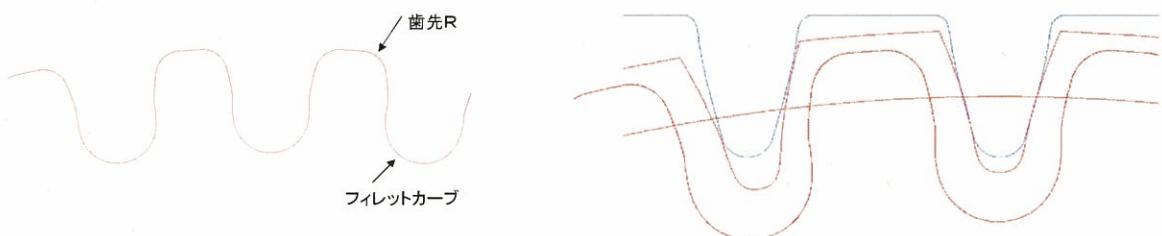


図 3-5 一次ギヤ形状

図 3-6 組み合わせ状態 (青線: ウォーム)

以上の基本諸元をもとに流動経路含め全体的なデザインを構築し、金型の設計・製作を行った。なお、製作時には以下の二点に留意した。

- 「製造したものは必ず測定すること」
- 「前工程に戻るための手段を準備しておくこと」

金型製作に至る設計フローを以下に示す(図 3-7)。また、得られた成形品を図 3-8、3-9 に示す。

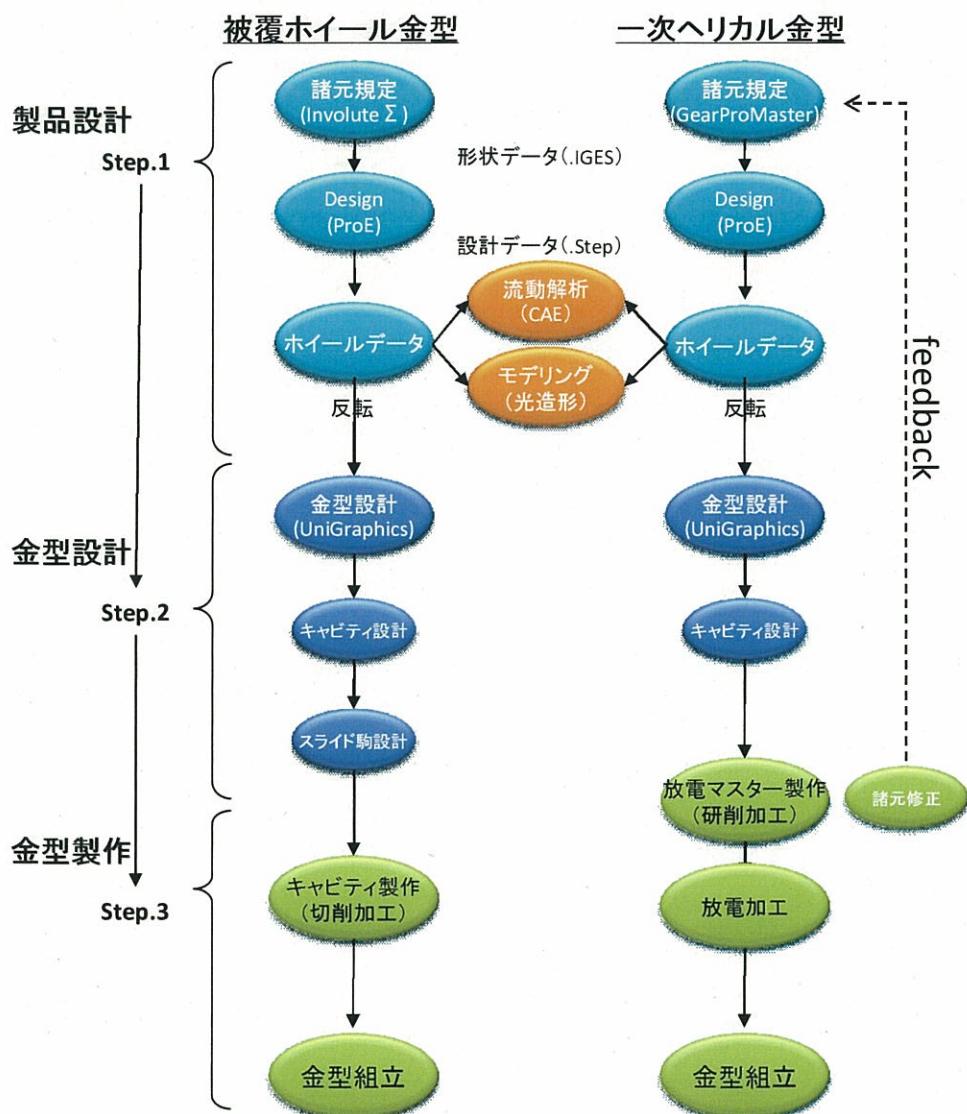


図 3-7 設計製作フロー



図 3-8 被覆ホイール成形品



図 3-9 一次ギヤ成形品

### 3) ウォームホイール形状の検証

非接触測定器（三鷹光器社製 MLP-2G）を用いて成形品形状の測定を行った。本装置ではウォームホイールを二次断面化した結果を得ることができる。ウォームホイールの輪郭形状測定の一部を切り出し、上述した金型の測定結果と比較した（図 3-12）。両者の寸法差は被覆の厚い歯底付近で最大  $9.6 \mu\text{m}$ 、薄い歯先部分で最大  $0.8 \mu\text{m}$  を示している。非常に良好な金型転写率を示しており、成形時の樹脂の収縮を見込まなくとも十分な形状精度が確保できることが明らかになった。

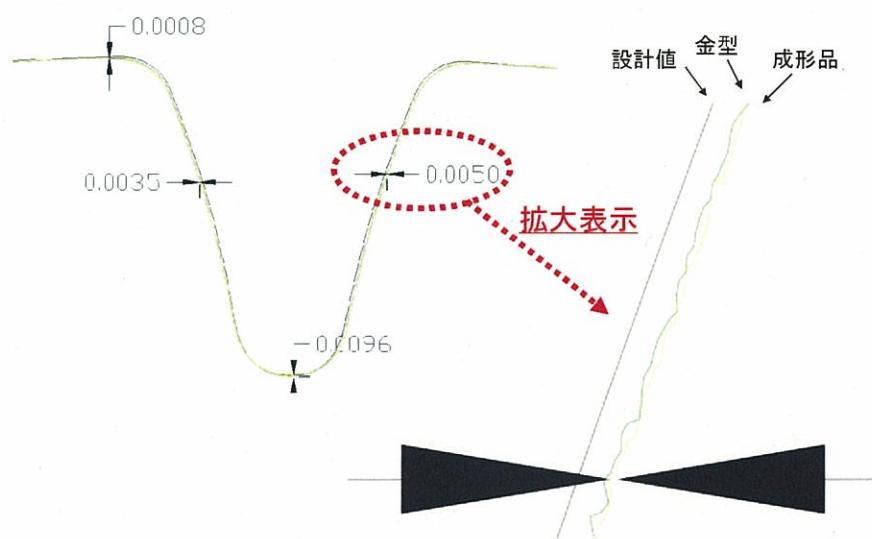


図 3-12 「金型測定値」「成形品測定値」比較検証

### 4) 機械的強度の検証

開発した  $\phi 50$  ヘリカルホイールを用い、非強化材料を被覆部、ガラス繊維強化材料を芯部に使用した多層歯車（MLit モデル）と、非強化材料で被覆部、芯部共に作製した擬似単一素材歯車（Ref. モデル）をかみ合い耐久試験機（図 3-13）で比較評価した。Ref. モデルにおいても MLit モデルと同様の寸法精度を得るため、両者ともオーバーモールド工法により多層化を行った。試験開始前にホイール歯面にはグリースを十分に塗布し、回転速度  $60 \text{ rpm}$  にて負荷トルクを与えた結果を図 3-14 に示す。

$10 \text{ Nm}$  程度までは歯面温度の上昇に差異は見られないが、 $15 \text{ Nm}$  以上の負荷では歯面温度に差異が確認され、本開発のガラス繊維強化材料を芯材に使用した多層歯車の優位性が確認できた。

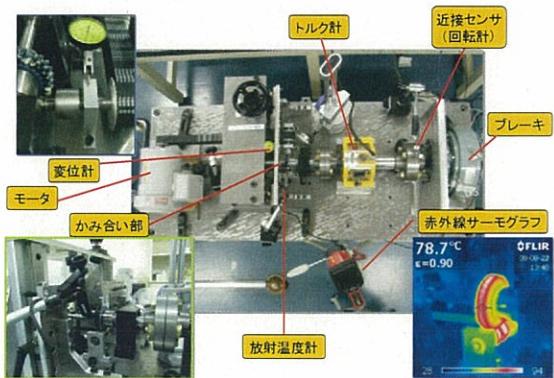


図 3-13  $\phi 50$  用動的かみ合い試験機

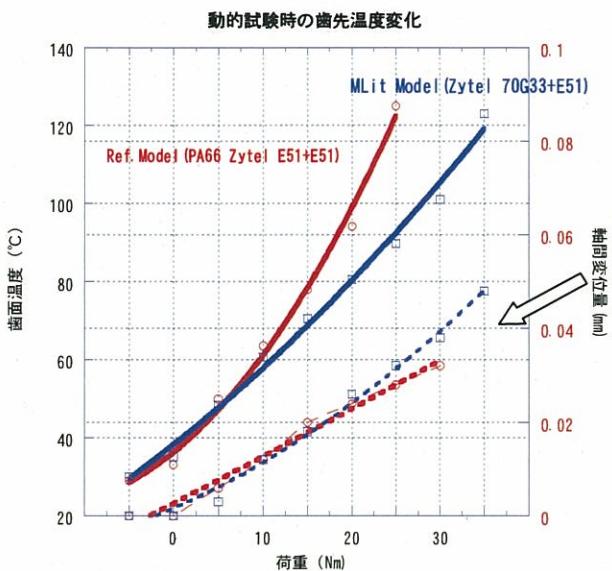


図 3-14  $\phi 50$  (負荷トルクと歯面温度の関係)

開発した  $\phi 90$  多層歯車の耐久試験を行い、市販車に搭載されているMCナイロンの切削ホイールと比較した。多層歯車は絶乾状態、MCナイロンは1-2%程度の吸湿状態で試験した。基礎的な特性を調べるために回転速度 60 rpm、総回転数 1500 回、グリース塗布なしの状態で試験を行った。負荷トルクは試験開始時 10 Nm とし、300 回転ごとに 10 Nm ずつ増加させた。歯面温度とトルクの経時変化、および、試験後のサンプル写真を図 3-15 に示す。切削ホイールと比べ、多層ホイールの歯面温度は負荷トルクが 20 Nm 以下では高いが、30 Nm 以上では低くなっていることがわかる。40 Nm の時点では切削ホイールは歯面温度が設定上限 (160 °C) を超え、歯面が大きなダメージを受けているのに対し、多層ホイールでは負荷トルクが 50 Nm まで試験可能であり、歯面のダメージは比較的小さいことがわかる。前述した  $\phi 50$  ホイールの場合と同様に、多層ホイールの芯部として高強度のガラス繊維強化 66 樹脂ナイロンを使用したためと考えられる。

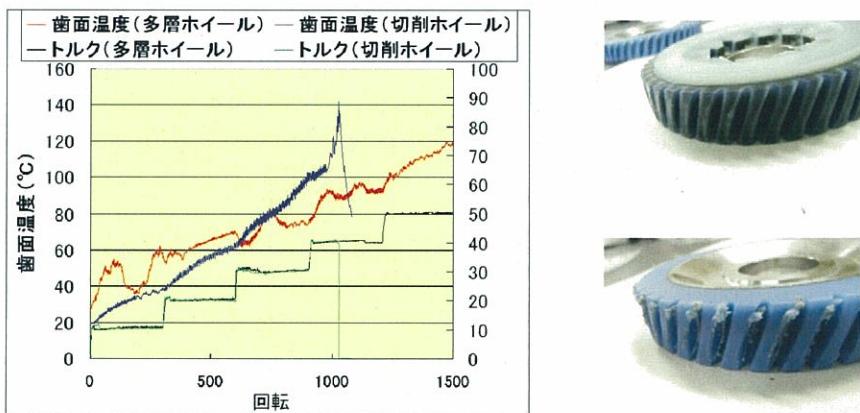


図 5-11 動的かみ合い耐久試験の結果 ( $\phi 90$  ホイール・片方向)

(右上) 多層ホイール (右下) 切削ホイール

## 第4章 全体総括

### 4-1 研究開発成果の総括

自動車のパワーステアリング用の樹脂製ウォームホイールを、オーバーモールド工法による多層構造にて製造することを目標として技術開発を行った。その結果、高強度のガラス纖維強化ナイロン66樹脂を芯材とし、摺動性の高い非強化ナイロン66樹脂を表皮とした、耐トルク50Nm以上を示す二層構造の小型ウォームホイールを開発した。車載のために必要な特性評価やコストを検討していく過程において、さらなる改良が必要となる可能性は残されるが、基本的な構造や製造法については確立されたと考える。

研究開発の具体的成果は以下のとおりである。

- 接合プライマーの塗布に関しては、突合せ試験片により接合強度とプライマー塗布量の関係を明らかにし、一次歯車の塗布量へと反映させた。また、塗布機を開発し、歯車への均一塗布を可能とした。
- 金型および成形条件に関しては、Φ50ウォームホイールの金型設計および成形で得られた知見を基にΦ90用の金型を設計、製造した。二次用金型は寸法精度の管理しやすい切削加工にて製作し、ほぼ設計値どおりの寸法にてウォームホイールを得ることができた。
- 多層ウォームホイールの性能評価に関しては、ウォームとの噛み合い回転時の性能について評価を行った。現行の電動パワーステアリングに用いられているMCナイロン製ウォームホイールに比べ、本事業による開発品は高トルクまで破損せず、長時間回転時の歯面温度の上昇も小さいことが明らかとなった。

### 4-2 工業所有権の取得状況および対外発表等の状況

Φ90ウォームホイール用金型の構造や位置決め機構に関して、いくつかの新しい知見が得られた。また、Φ50ウォームホイールの成形において考案した一次歯車のコアシフトを抑制する成形流路については、Φ90ウォームホイールの成形においても有効であることが確認された。今後事業化を進めるにあたり、これらの知見については速やかに特許出願を行う予定である。

### 4-3 研究開発後の課題・事業化展開

本事業により、中・大型自動車の電動パワーステアリングに搭載可能な寸法と強度を満足するプロトタイプを提供できる段階まで到達した。ただし、研究開発期間内において川下での既存品のコストダウンがさらに進んでいることに加え、パワーステアリングは重要保安部品であることから品質保証体制の確立が必要なことなど、当該用途への展開はいまだハードルが高い。また、歯車単体のみでは付加価値が低いこともあり、成形

と同時に歯車へとセンサー類を組み込むなどの一層の高付加価値製品へと発展させる必要もある。

以上の状況を鑑み、本開発内容の適用先を自動車産業に限定することなく、他の産業分野への展開も視野に入れて事業化の裾野を拡げてゆく。