

平成27年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「新規インサート成形法による超高機能・
高性能ハイブリッド平歯車の開発」

研究開発成果等報告書

平成28年3月

委託者 関東経済産業局

委託先 一般財団法人地域産学官連携ものづくり研究機構

目 次

第1章 研究開発の概要	3
1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標	3
1-2 研究体制	8
1-3 成果概要	11
1-4 当該研究開発の連絡窓口	11
第2章 本論	12
2-1 インサート金属平歯車製作技術の高度化	12
2-2 縦型ロータリー成形機による新規インサート成形技術の確立	12
2-3 新規インサート成形用金型技術の確立	13
2-4 成形ハイブリッド平歯車の評価	14
最終章 全体総括	15
1. 複数年の研究開発成果	15
2. 研究開発後の課題・事業化展開	15

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 研究背景

(1) 歯車の技術開発の現状

日本の歯車加工技術は世界最高水準にあり、高精度・高品質・高強度などの点で国内外のユーザーから高い評価を得ている。マイクロマシンから船舶用などの大型歯車まで、使用箇所や目的に応じて設計・製作されるため、規格化が難しいと同時に、成熟産業と言えるまでになっている。そして、機械要素として、歯車に関する学術研究のみならず実用化研究において、金属歯車とプラスチック歯車（樹脂歯車）に二分されているのが現状である。その結果、下記に述べるように、両歯車は、各々の優れた長所を有しているが、長所が欠点でもあるため、より優れた歯車の開発が長年に亘って課題となっていた。

金属歯車は、優れた機械的強度、耐熱性、寸法安定性、熱伝導性等を有するため、事務機器、自動車、医療用機器、産業機械等の分野において広く用いられている。しかしながら、周辺環境への騒音や振動が解決すべき金属歯車類の共通の課題となっている。現在、形状精度や面粗度の向上努力が払われているが、同時に製造コストの低減が課題となっている。さらに、金属歯車の最大の課題は、オイル（潤滑油）を使用しなければならない点で、出荷時のオイル充填、長期使用のためのメンテナンス、製造現場でのオイルによる汚染等の環境負荷の低減である。

一方、プラスチック歯車は、優れた自己潤滑性、低騒音・低振動、成形加工性、量産性、軽量化、耐腐食性等の利点から、化学、食品、家電、事務機等の分野に広く用いられている。しかしながら、プラスチック材料の低強度及び過度の弾性変形により、動力伝達時の歯及び歯車自体の破損（図1）が未解決の課題となっている。現在、繊維強化プラスチック材料を用いたプラスチック歯車の研究が報告されているが、その強度は、金属歯車の強度には及ばない。加えて、動力伝達時における噛み合う歯の大きな弾性変形により、歯の位置精度が損なわれ、位置精度の向上、すなわち、プラスチック歯車の高精度化も未解決の課題となっている。



図1 プラスチック歯車の破壊例

(2) 研究開発実施者らによるハイブリッド平歯車開発への初期の研究

本事業の実施者である株式会社砂永樹脂製作所らは、金属円板表面にプラスチックを射出成形（インサート成形）し、厚さ約 0.3mmのプラスチック層をコーティングする研究を開始した。従来のインサート成形は、厚さ数mm以上のプラスチックを金属部材表面にコーティングするのが業界の常識であり、そのような薄肉のプラスチック層をインサート成形する技術は困難とされていた。研究開始当初は、インサート成形後にプラスチック層が割れる現象（図2）が生じた。成形条件を種々検討した結果、金属円板表面に、均一に厚さ約 0.3mmのプラスチックコーティングすることに成功し、成形後もプラスチック層に割れが生じない成形法を見出した（図3）。

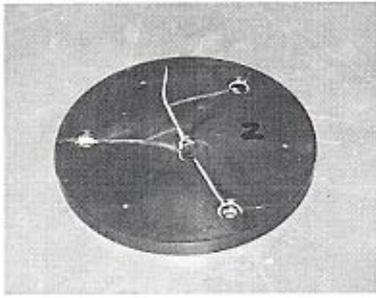


図2 成形後のプラスチック層の破壊

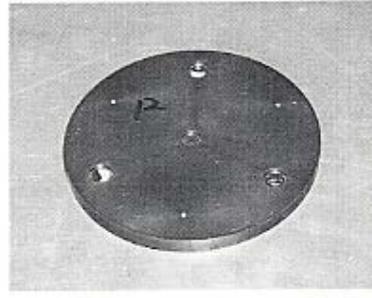


図3 正常なインサート成形物

われわれは、このインサート成形技術を歯車に応用することにより、金属歯車の課題が解決され、騒音・振動の低減、オイルレス化、自己潤滑性等を達成でき、さらに、プラスチック層は、高強度の金属歯車の歯に支えられ、動力伝達時の大変形が顕著に抑制されると考えた。

インサート成形によって、厚さ 0.3mm程度の薄肉のプラスチック層が金属歯車表面にコーティングされた歯車をハイブリッド歯車と命名した。まず、クラッチブレーキに用いられているスプラインと呼ばれる一種のハイブリッド歯車の試作開発に成功した(図4)。この新規ハイブリッドスプラインと従来の金属製スプラインの耐久性の比較を行ったところ、ハイブリッドスプラインは、優れた耐久性と相手金属を長時間に亘って全く損傷しないことを見出し、ハイブリッド歯車が高い性能を有するとの結論を得た。その成果は、トライボロジー(摩擦、摩耗、潤滑に関する科学と技術)分野で最も権威ある国際雑誌(Wear, 266, 639-645 (2009))に掲載された。



図4 ハイブリッドスプライン

(3) モデルハイブリッド平歯車の試作

前記のハイブリッドスプラインの成果に基づき、歯切りにより作製した金属平歯車のすべての歯の両面に厚さ 0.3mmのプラスチックの薄片を接着剤で貼付したモデルハイブリッド平歯車(図5の左の歯車)について、金属平歯車(図5の右の平歯車)を相手材として動力伝達試験を実施し、騒音低減効果を見出した(Wear, 266, 893-897 (2009))。

本事業にとっての初期の重要な研究となったWearに掲載された2編の論文は、世界の研究者によって8件引用されたほか、これらの論文の審査員が英国から来日され、高い関心を示した。



図5 モデルハイブリッド平歯車

(4) インサート成形によるハイブリッド平歯車の試作

上記の成果に基づき、S45Cの金属平歯車表面にポリアセタール(POM)を射出成形したモジュール0.8、歯数25のハイブリッド平歯車を試作した。入力回転数1,000rpm、入力トルク1.65Nm、オイルレス下での動力伝達試験を実施したところ、ハイブリッド平歯車/金属歯車では極めて優れた耐久性が得られたが、POM歯車/金属歯車では、約50万回でPOM歯車が破損(図1)するという結果が得られた。

この結果から、ハイブリッド平歯車の基本的性能として、金属平歯車（インサート金属歯車）の歯の高強度によってコーティング POM に高強度・高剛性が付与され、同時にオイルレス下での潤滑性、ならびに騒音・振動低減性能も合わせ持ち、従来（市販）の歯車技術では成し得なかった超高機能・高性能歯車としての可能性が明らかになった。

(5) 特許取得状況

われわれは、すでに下記の特許を取得している。

1) 国内特許 特許第4435093号

発明の名称：樹脂コーティング方法とインサート成形品並びに樹脂被覆金属歯車類

特許権者：小倉クラッチ株式会社、株式会社砂永樹脂製作所、甲本忠史、久米原宏之

登録日：2010年1月8日

2) 国外特許 中国特許 ZL2004 8 0033600.2

発明の名称：樹脂コーティング方法とインサート成形品並びに樹脂被覆金属歯車類

特許権者：小倉クラッチ株式会社、株式会社砂永樹脂製作所、甲本忠史、久米原宏之

公告日：2010年11月15日

(6) ハイブリッド平歯車の課題

上述のように、われわれが開発したハイブリッド平歯車は、金属歯車及びプラスチック歯車の各長所を活かし、しかも各々の欠点を補う優れた世界初の新規な歯車であり、機械要素として、広範な産業分野に応用展開の可能性が期待される重要な基盤技術となると確信している。さらに、本事業に対して、川下製造業者である大企業が高い関心と期待を寄せていることは、中小ものづくり高度化法及び中小ものづくり高度化指針に沿うものであるとともに、本事業は、国内の川上中小企業から川下製造業者に至るものづくり産業の高度化、活性化、新産業創出に資するところが大きいと言える。

われわれが開発した、現時点でのハイブリッド平歯車の性能や機能は、インサート成形条件の更なる改善により、さらに高まることも期待される。しかしながら、これまでの試作では、横型射出成形機を用い、インサート金属平歯車の前処理、予熱手段、及び金型内への装填、インサート成形、さらには、成形後のハイブリッド平歯車の取り出しなど、すべての工程を手作業で行ってきた。そのため、ハイブリッド平歯車の性能・機能の一層の向上に加えて、インサート金属平歯車のコスト低減、前処理時間の短縮、特に、インサート金属平歯車の予熱時間の大幅な短縮、そして、これらインサート成形工程の自動化を達成することは、ハイブリッド平歯車が市場に出るために必要不可欠な研究課題となる。

1-1-2 研究の目的及び目標

(1) 研究の目的

上記の研究背景から明らかなように、秀でた性能及び機能を有するハイブリッド平歯車を市場に供給できるためには、下記に示すように、従来技術（手作業によるハイブリッド平歯車の製作）の課題を解決し、新技術への製造工程の大幅な改善を行う必要がある。

すなわち、歯切り加工によるインサート金属平歯車を焼結により製作し、コストを 1/2 以下とし、これに熔融樹脂（プラスチック）を射出コーティングする新規インサート成形によって、ハイブリッド平歯車の製作時間を 1/7 以下に短縮することを目的とする。

従来技術の課題

- 1) インサート金属平歯車の歯切り加工製作では、製作時間と手数のため、1個300円と、コスト低減が課題であった。
- 2) インサート金属平歯車の予熱、インサート成形等の手作業の時間短縮が課題であった。
- 3) その結果、試作品を多くのユーザーに提供することができない。
- 4) 従って、機械要素としてのハイブリッド平歯車の優れた長所を成長産業分野に活かすことができない。

新技術

- 1) 量産化により、焼結インサート金属歯車は、1個約150円以下となり、コスト低減(1/2以下)が可能となる。
- 2) 焼結金属平歯車は、歯強度がプラスチックより優れ、歯表面に微細な凹凸を有し、コーティング樹脂のアンカー効果を生む利点がある。
- 3) 新規インサート成形システムにより成形時間を約1/7に短縮し、低コスト化と量産化を可能とする。
- 4) 低振動・低騒音・高強度・高耐久性・高精度・オイルレス・メンテナンスフリー等の長所を活かし、広範な分野の用途展開が期待される。

(2) 研究の目標

1) 低振動・低騒音化のための技術の向上

金属歯車の周辺環境への騒音や振動の課題に関して、インサート成形によって金属平歯車表面にプラスチックをコーティングしたハイブリッド平歯車を製作し、振動を30%低減する。

2) 高強度化のための技術の向上

低強度であるプラスチック平歯車と比較して、ハイブリッド平歯車により強度、耐久力を2倍以上に向上させる。金属歯車を代替するハイブリッド平歯車により、金属歯車の欠点であるオイルレス化(自己潤滑性)を実現する。

3) 高精度化のための技術の向上

プラスチック歯車を実際に運転した時の精度(動的精度)をハイブリッド平歯車によって30%向上させる。

4) 生産工程の改善

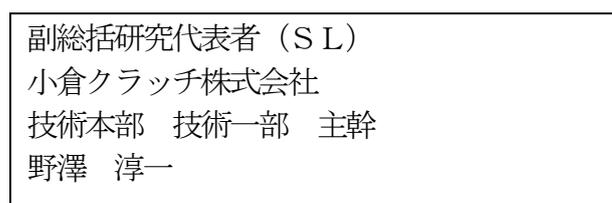
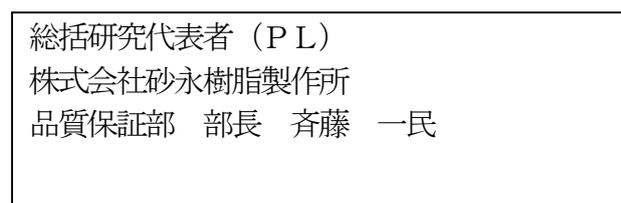
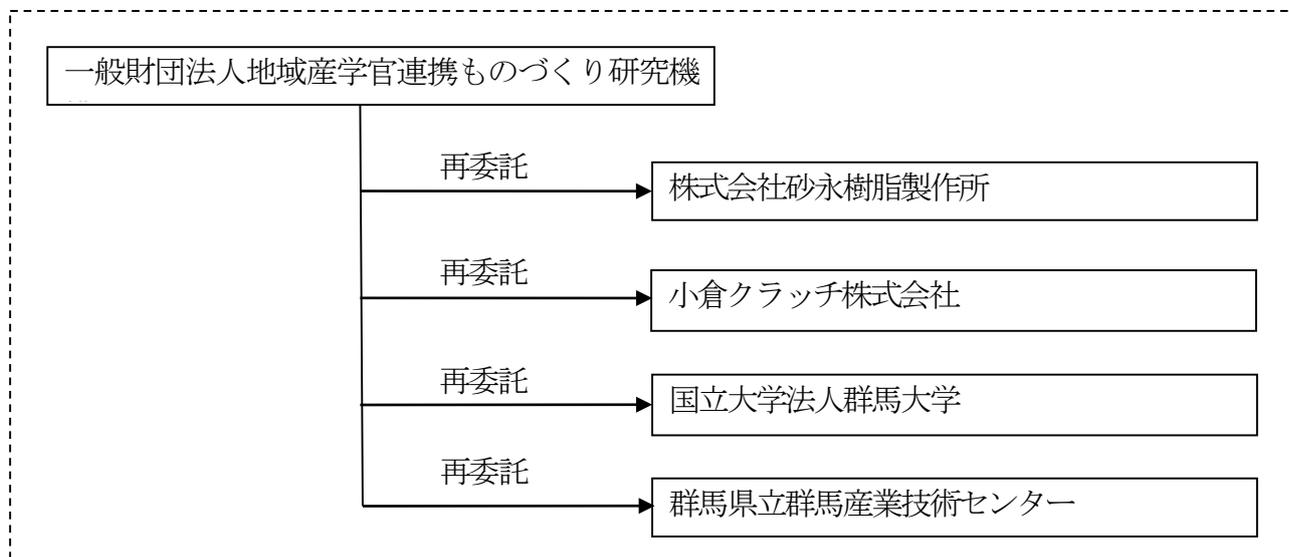
インサート金属平歯車を焼結により製作してコストを1/2以下とし、ロボットを用いる自動化技術を開発し、溶融樹脂を射出コーティングする新規インサート成形システムによってハイブリッド平歯車の製作時間を1/7以下に短縮する。

1-2 研究体制

(研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)

1-2-1 研究組織及び管理体制

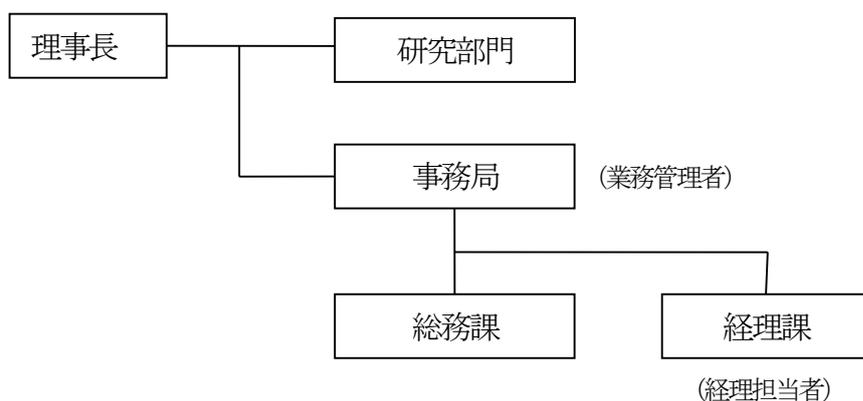
(1) 研究組織 (全体)



(2) 管理体制

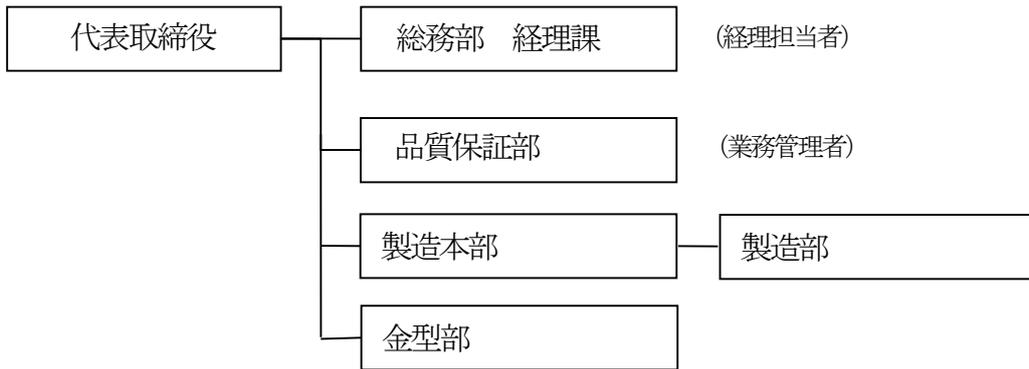
1) 事業者

[一般財団法人地域産学官連携ものづくり研究機構]

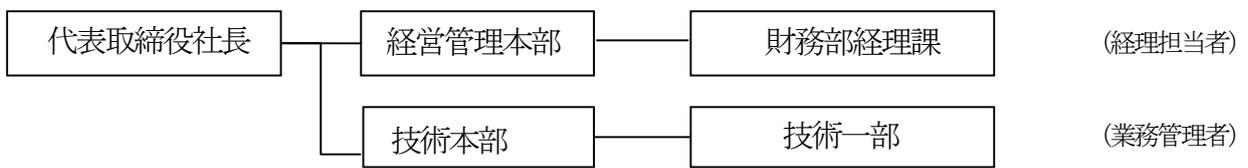


2) (再委託先)

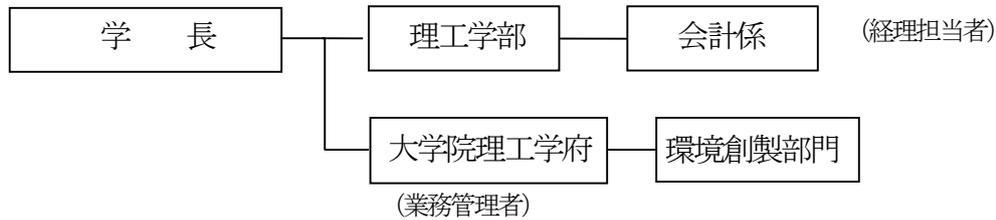
[株式会社砂永樹脂製作所]



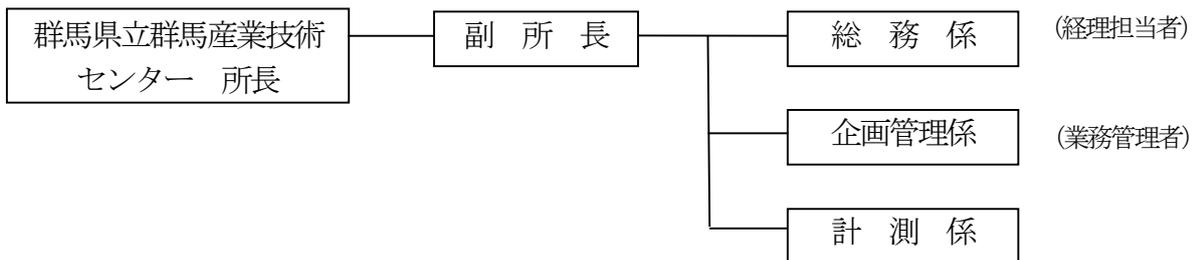
[小倉クラッチ株式会社]



[国立大学法人群馬大学]



[群馬県立群馬産業技術センター]



(2) 管理員及び研究員

【事業管理機関】(一般財団法人地域産学官連携ものづくり研究機構)

管理員

氏名	所属・役職	実施内容 (番号)
石倉 晃司	事務局次長	3
佐藤 純一	総務課長	3
天野 奈緒美	経理課長	3

【再委託先】

(研究員)

株式会社砂永樹脂製作所

氏名	所属・役職	実施内容 (番号*)
斉藤 一民	品質保証部 部長	1、2、3
都生 忠夫	製造本部 本部長	1、2、3
金井 一秀	金型部 係長	1、2、3
宮崎 喜代仁	金型部 係長	1、2、3
川田 徹	金型部 主任	1、2、3
馬場 佳寛	製造本部 製造部 係長	1、2、3
川島 友和	製造本部 製造部 主任	1、2、3
森下 達也	品質保証部 指導員	1、2、3

小倉クラッチ株式会社

氏名	所属・役職	実施内容 (番号*)
野澤 淳一	技術本部 技術一部 主幹	1、3、4

国立大学法人群馬大学

氏名	所属・役職	実施内容 (番号*)
河井 貴彦	理工学研究院 環境創製部門 助教	1、4

群馬県立群馬産業技術センター

氏名	所属・役職	実施内容 (番号*)
小谷 雄二	計測係 係長	1、4
横山 靖	計測係 独立研究員	4

注) 番号*は、「第2章 本論」中に記載の研究課題番号を示す。

(3) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

(事業管理機関)

一般財団法人地域産学官連携ものづくり研究機構

(経理担当者) 経理課長

天野 奈緒美

(業務管理者) 事務局 次長

石倉 晃司

(再委託先)

株式会社砂永樹脂製作所

(経理担当者) 総務部 経理課 課長

富澤 幸江

(業務管理者) 品質保証部 部長

斉藤 一民

小倉クラッチ株式会社

(経理担当者) 財務部 財務課 課長
(業務管理者) 技術本部 技術一部 主幹

内藤 行雄
野澤 淳一

国立大学法人群馬大学

(経理担当者) 理工学部 会計係長
(業務管理者) 大学院理工学府長

野田 広伸
篠塚 和夫

群馬県立群馬産業技術センター

(経理担当者) 総務係 主幹
(業務担当者) 企画管理係

浅田 岳治
石黒 聡

(4) 研究者氏名・協力者

研究開発推進委員会 委員

氏名	所属・役職	備考
斉藤 一民	株式会社砂永樹脂製作所 品質保証部 部長	PL
野澤 淳一	小倉クラッチ株式会社 技術本部 技術一部 主幹	SL
都生 忠夫	株式会社砂永樹脂製作所 製造本部 本部長	
森下 達也	株式会社砂永樹脂製作所 品質保証部 指導員	
河井 貴彦	国立大学法人群馬大学 理工学研究院 環境創生部門 助教	
小谷 雄二	群馬県立群馬産業技術センター 計測係 係長	
横山 靖	群馬県立群馬産業技術センター 計測係 独立研究員	
中村 雄大	株式会社リコー PP事業本部 PP開発センター CS設計センター第1設計室 設計1グループ シニアスペシャリスト	アドバイザー
島田 登	ポーライト株式会社 執行役員 品質統括部長	アドバイザー
町田 知誉	ポーライト株式会社 技術部 係長	アドバイザー
甲本 忠史	一般財団法人地域産学官連携ものづくり研究機構 リサーチフェロー 国立大学法人群馬大学名誉教授	委員会事務局
久米原 宏之	一般財団法人地域産学官連携ものづくり研究機構 リサーチフェロー 国立大学法人群馬大学名誉教授	委員会事務局

(5) 知的財産権の帰属

知的財産権は全て当方に帰属することを希望する。

(6) その他

なし

1-3 成果概要

本事業の課題「新規インサート成形法による超高機能・高性能ハイブリッド平歯車の開発」の研究開発は、下記の通り、実施計画はすべて目標値に達することができた。

1) 低振動・低騒音化のための技術の向上

金属歯車の周辺環境への騒音や振動の課題に関して、新規インサート成形によって金属平歯車表面にプラスチックをコーティングしたハイブリッド平歯車を製作し、騒音を最大6 dB(A)騒音低減し、振動を4～15 dB 低減（30%以上の低減）することができた。

2) 高強度化のための技術の向上

低強度であるプラスチック平歯車と比較して、新規ハイブリッド平歯車により強度、耐久力を2倍以上に向上させる。金属歯車を代替するハイブリッド平歯車により、金属歯車の欠点であるオイルレス化（自己潤滑性）を実現することができた。

3) 高精度化のための技術の向上

プラスチック歯車を実際に運転した時の精度（動的精度）と比較して、新規ハイブリッド平歯車では、プラスチック平歯車の20倍以上の耐摩耗性と耐久性が得られたことから、30%をはるかに超える精度のハイブリッド平歯車を開発することに成功した。

4) 生産工程の改善

インサート金属平歯車を焼結により製作してコストを1/2以下とし、ロボットを用いる自動化技術を開発し、熔融樹脂を射出コーティングする新規インサート成形システムによってハイブリッド平歯車の製作時間を1/9（目標の1/7以下）に短縮することに成功した。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

一般財団法人地域産学官連携ものづくり研究機構

事務局次長 石倉晃司

〒373-0057 群馬県太田市本町29番1号

TEL 0276-50-2100 FAX 0276-50-2110

E-mail ishikura@mro.or.jp

第2章 本論

2-1 インサート金属平歯車製作技術の高度化

2-1-1 焼結インサート金属平歯車成形用金型の試作

モジュール0.8、歯数25、歯幅11.2mmのハイブリッド平歯車を製作するための芯板となる焼結インサート金属平歯車成形用金型の設計、成形条件の検討を実施し、設計通りに同金型の試作に成功した。

2-1-2 焼結インサート金属平歯車の作製

前項1-1に基づき試作した焼結成形用金型を用いて、焼結インサート金属平歯車の試作に成功した。

2-1-3 焼結インサート金属平歯車の評価

試作品を接触式三次元表面形状測定による評価を行ったところ、設計通りの焼結インサート金属平歯車であることを確認した。

さらに、電子線三次元粗さ解析装置 (SEM) により、焼結インサート金属平歯車表面の観察を行ったところ、図1に示すように、同金属平歯車は表面粗さが約 $0.8\mu\text{m}$ で、インサート成形により、金属平歯車表面と樹脂とのアンカー効果を付与できることがわかった。

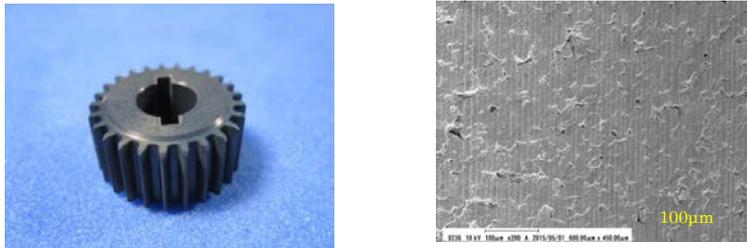


図6 焼結インサート金属平歯車 (左) とその表面のSEM像 (右)

2-2 縦型ロータリー成形機による新規インサート成形技術の確立

2-2-1 新規インサート成形方法の検討

新規インサート成形のための樹脂の選定、シリンダーの温度・圧力条件の検討及び溶融樹脂の射出速度・金型温度条件等の検討を行い、計画通り開発を行った。

2-2-2 新規インサート成形の流動解析と試作

従来のインサート成形技術での流動解析と自動化での流動解析の比較検討を実施し、試作のための検討を計画通り完了した。

2-2-3 新規インサート成形法の検討と試作

新規インサート成形条件の検討を計画通り実施し、その結果に基づいて手作業による試作を行い、ロボット化によるインサート成形法への基礎を確立した。

2-2-4 インサート金属平歯車の金型への自動装填技術の検討

インサート金属平歯車のロボット化による金型への自動装填技術の検討を行い、横型成形機を用いる従来の技術に比べて、成形時間を大幅に短縮できる方法を見出した。

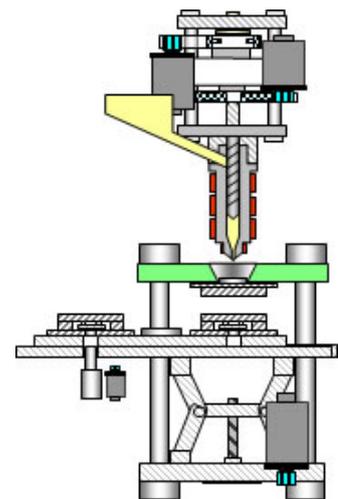


図7 縦型ロータリー成形機の概略図

2-2-5 インサート金属平歯車の金型への自動装填技術の確立

インサート金属平歯車の金型内への自動装填技術の内、焼結インサート金属平歯車の洗浄・表面処理・予加熱等の前処理工程の自動化を達成した。次いで、堅型ロータリー成形機（図7）を用い、ロボット化による成形時間の短縮を図るため、前処理工程後の焼結インサート金属平歯車の金型への自動装填装置の設計、自動装填条件の設定を完了した。

上記の設定に従い、インサート金属平歯車をロボットのカメラで認識して正しく把持し、把持したまま成形機の回転テーブル上に載置されている下金型内の所定の最適位置（同歯車の表裏の識別、金型内面と同歯車面とのクリアランス1/100mm以下等を高い再現性で実現）にサーボモータ機構により装填し、歯車の等級を高めることが不可欠で、これを実現するために、6軸ロボットを試作した。なお、ロボットに力覚センサーにより問題なくワークを把持できる性能を有している。

自動装填技術に基づき、図8に示す新規インサート成形工程を確立した。

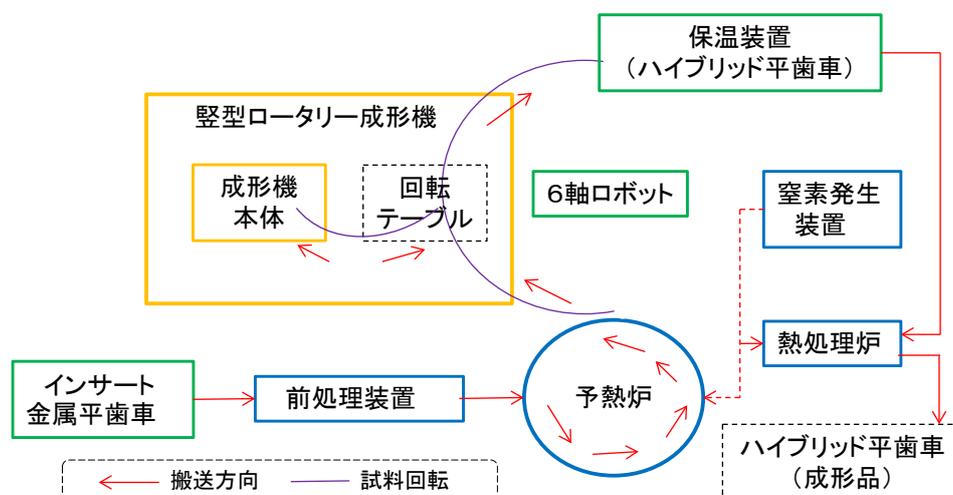


図8 新規インサート成形工程の概略図

2-3 新規インサート成形用金型技術の確立

2-3-1 新規インサート成形用金型の設計

従来の金型と異なる構造を有し、6軸ロボットによるインサート金属平歯車の金型への装填、インサート成形、成形後のハイブリッド平歯車の自動取り出しが可能な新規インサート成形用金型の設計を行った。

2-3-2 新規インサート成形用金型の試作

前項で作成した設計に従って、新規インサート成形用金型の試作に成功した。

2-3-3 新規インサート成形用金型の性能試験

図8に記載の新規インサート成形工程に基づいて、焼結インサート金属平歯車の予熱炉等の前処理工程を完了した同金属平歯車を6軸ロボットで正確に把持し、回転テーブル上の下金型の定められた位置に挿入し、挿入後、下金型は180度回転して、成形機本体に移動し、上金型が降下し、金型が閉じられ、インサート成形が終了すると、自動的に金型が開き、下金型は180度逆回転し、回転テーブル上の元の位置に戻った。成形されたハイブリッド平歯車は、同ロボットにより自動的に把持され、さらに、保温装置内の定められた位置に収納された。

この一連の自動装填技術によって試作されたハイブリッド平歯車の表面には、設計通りに

厚さ 0.3mm の POM 樹脂層がコーティングされた。また、樹脂層に亀裂や割れが生じることなく、新規インサート成形用金型が正しく作動することが立証された。

さらに、成形時間は、初期の目標の 1/7 より短い 1/9 を実現 することに成功した。

2-4 成形ハイブリッド平歯車の評価

2-4-1 成形ハイブリッド平歯車の表面形状計測

一連の自動装填技術によって成形したハイブリッド平歯車の写真を図9に示す。インサート成形ハイブリッド平歯車の歯車端面より 5.5mm の位置の歯面を全周にわたって接触子を当てて形状計測をした。その結果、成形ハイブリッド平歯車は高い精度で作製できたことが明らかになり、高精度製造プロセスの確立によりハイブリッド歯車も満足できる精度で作製されたことが立証された。



図9 成形ハイブリッド平歯車

2-4-2 成形ハイブリッド平歯車の機能・性能試験

動力伝達時の騒音試験は、試作の動力吸収式歯車試験機を用い、モーターからの動力はトルク計を介して駆動平歯車に入力トルクとして伝達し、駆動平歯車は従動平歯車を駆動し、その出力トルクを計測した。その結果、ハイブリッド平歯車/焼結平歯車（オイルレス下）は焼結平歯車/焼結平歯車（オイル潤滑）より騒音低減が最大 6 dB(A) 騒音低減機能・性能に優れ、また、振動低減（4～15 dB）にも優れ、その要因は樹脂層の粘弾性特性に起因することが結論づけられた。さらに、回転角速度精度が最大 50% 以上向上したことも明らかになった。

また、同条件下で総回転回数 100 万回までの耐久試験を実施し、表面形状測定を行った。その結果、POM 製樹脂平歯車同士の場合、総回転回数約 50 万回で歯車の破壊が生じたが、その 2 倍の総回転回数を超えても、試験後の歯形形状は、試験前とほとんど変化がなく、この発明のハイブリッド平歯車が高い耐摩耗性を有することも明らかになった。

さらに、成形ハイブリッド平歯車の耐久性を検討するために、ハイブリッド平歯車の動力伝達試験を実施した結果、金属歯車の耐久性の指標となっている総回転回数 1,000 万回を超える耐久性を有することが明らかになった。

図9中、表面樹脂層（白色部）が、インサート金属歯車を包み込んだ構造となっていることから、前述のアンカー効果に加えて、樹脂は歯車の軸方向へ働く力による相乗効果として、表面樹脂層と芯板表面とが強固に固着し、耐摩耗性、耐久性を高めたことは否定できない。

2-4-3 成形ハイブリッド平歯車表面の構造解析

成形ハイブリッド平歯車表面樹脂層の構造解析を Spring8 において、放射光小角散乱（SAXS）および広角散乱（WAXS）実験（図10）を実施した。その結果、樹脂層は 60% 近い結晶化度を有していることが明らかになった。新規インサート成形用金型を用いた高効率な成形条件においても、結晶化が進んだことは、前項で得られたハイブリッド平歯車の耐摩耗性、耐久性と密接に関係する新たな成果であると言える。



図10 放射光 X 線散乱実験装置

さらに、動力伝達試験後のハイブリッド平歯車では、その表面樹脂層の結晶化度が高くなったことも、ハイブリッド平歯車の耐摩耗性、耐久性に寄与したと推察される非常に興味深い結果である。

最終章 全体総括

1. 複数年の研究開発成果

申請者らが開発した技術（特許第4435093号）は、新規性のあるハイブリッド平歯車に関するものであるが、下記の問題点があった。

- 1) 歯切り加工で製作するインサート金属平歯車は、コスト高であった。
- 2) 手作業によるインサート成形では、量産性に大きな課題があった。
- 3) その結果、試作品を多くのユーザーに提供できなかった。
- 4) ハイブリッド平歯車の優れた長所を成長産業分野に活かすことができなかった。

上記の課題を解決するために、本事業において下記の新技术開発を実施し、事業目標を達成した。

- 1) 焼結法によりインサート金属平歯車製作の低コスト化（1/2以下）に成功した。
- 2) 高強度は焼結インサート金属平歯車表面の微細凹凸により樹脂のアンカー効果を得た。
- 3) 急速加熱法によるインサート成形時間の短縮（1/7以下）と量産化を実現した。
- 4) 超高機能・高性能化により、広範な分野の用途展開への基盤を確立した。

すなわち、表面に樹脂のアンカー効果を有し、低コストの焼結インサート金属平歯車を開発し、これを芯板として新規に開発した自動装填技術による新規インサート成形システムを完成した。このように、上記の課題を解決して成形したハイブリッド平歯車について、表面形状測定、動力伝達試験後の表面形状測定、振動・騒音・回転角速度精度、耐久試験、コーティング樹脂層の構造解析を実施し、新規成形法で製作した世界初のハイブリッド平歯車は、POM樹脂歯車や焼結歯車より振動・騒音・回転角速度精度が優れているとともに、過年度に実施した従来法のハイブリッド歯車と同等以上の機能・性能を有することが立証された。

従って、本事業の成果は下記の通り、従来（市販）の金属平歯車や樹脂平歯車の欠点を解消するだけでなく、下記の特長を有する全く新規な平歯車として大きな発展が期待される。

- 1) 種々のモジュールのインサート金属平歯車を芯板とすることができる。
- 2) コーティング樹脂は各種結晶性高分子を使用できる。
- 3) 優れた耐久性・騒音低減・振動低減・回転角速度精度を有する。
- 4) オイルレス潤滑が可能、メンテナンスフリーである。
- 5) 水環境下で使用できる。
- 6) 機械要素としての歯車分野での広い利用が可能である。
- 7) 用途例として、事務機器、自動車等輸送機器、医療用機器、各種産業機械への事業化が可能となる。

2. 研究開発後の課題・事業化展開

1) 研究開発後の課題

次項で述べるように、新規で世界初のハイブリッド平歯車への関心が高く、すでに多くの産業分野の企業から、引き合いが寄せられているが、3年間の本事業の完成に事業関係者が全力を尽くしてきたため、まずは、特許出願が最優先事項となっており、すぐには、試作品や製品の要望に応えることができないのが、嬉しい悩みと同時に課題となっている。

また、自動装填技術等の開発によって、生産性の飛躍的な向上を実現することが明らかになったが、機械要素の一つである平歯車の種類は無数と言っても過言ではないほど多い。一

つのハイブリッド平歯車を試作し、製品化するにしても、ユーザーとの打合せ後、個々の焼結インサート平歯車（芯板）作製のための金型設計および製作、焼結インサート平歯車の製造、さらには、インサート成形のために金型設計および製作、自動装填技術のための6軸ロボットのプログラミング等にかかる期間と経費についても課題が発生する。

同時に複数のユーザーからの注文に対応するとすれば、新規に堅型ロータリー成形機、6軸ロボットおよび関連設備が必要となる。

本事業の成果には、特段新たな技術的課題は生じないことは明らかであるが、将来は、複数のハイブリッド平歯車成形用の装置のための設備投資の課題も生まれることが予想される。

2) 研究開発後の事業化展開

すでに、本事業の成果を平成25、26、27年度の機械要素技術展、および平成27年度国際ロボット展において発表した。これらの展示会において、自動車・家電・OA機器・ロボット・食品機械等各産業分野より多くの引き合いが寄せられている。

前述の課題解決に向かって、研究開発後、速やかに特許出願の作業を実施する。

さらに、ハイブリッド平歯車の優れた機能・性能は、すでに海外の研究者等からも高い評価をいただいているので、ハイブリッド平歯車の国際標準化を確立するための作業が、事業展開において、特許出願に続く重要な業務となる。事実、日本規格協会からも支援の申し出をいただいている。

以上述べたように、日本発のハイブリッド平歯車を世界市場に拡販し、日本の産業の活性化、地方創生、雇用促進へと事業化展開を図っていく。