

平成 28 年度
戦略的基盤技術高度化・連携支援事業
戦略的基盤技術高度化支援事業

「非インボリ्यूート歯形を使用した鉄道用歯車型軸継手の開発」

研究開発成果等報告書

平成 29 年 5 月

担当局 九州経済産業局
補助事業者 公益財団法人 飯塚研究開発機構

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
- 1-2 研究体制
(研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)
- 1-3 成果概要
- 1-4 当該研究開発の連絡窓口

第2章 鉄道駆動用ギヤカップリングの開発

- 2-1 許容傾斜角度の拡大技術開発
 - 2-1-1 概要
 - 2-1-2 目標
 - 2-1-3 研究内容及び成果
 - 2-1-4 今後の課題
- 2-2 振動騒音低減技術の確立
 - 2-2-1 概要
 - 2-2-2 目標
 - 2-2-3 研究内容及び成果
 - 2-2-4 今後の課題
- 2-3 潤滑改善による長寿命化技術の開発
 - 2-3-1 概要
 - 2-3-2 目標
 - 2-3-3 研究内容及び成果
 - 2-3-4 今後の課題

第3章 鉄道駆動用ギヤカップリングの高効率加工試作技術

- 3-1 非インポリュート荒歯切スカイピング加工用工具開発
 - 3-1-1 概要
 - 3-1-2 目標

3-1-3 研究内容及び成果

3-1-4 今後の課題

3-2 非インボリユート仕上げスカイビング加工用工具開発

3-2-1 概要

3-2-2 目標

3-2-3 研究内容及び成果

3-2-4 今後の課題

第4章 鉄道駆動用ギヤカップリングの性能評価

4-1 性能評価技術の確立

4-1-1 概要

4-1-2 目標

4-1-3 研究内容及び成果

4-1-4 今後の課題

第5章 全体総括

5-1 主な成果

5-2 研究開発後の事業化展開

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 研究開発の背景

九州ハセックと佐賀大学は平成22年より、「高性能なギヤカップリングの開発」をテーマとして共同研究を始めた。その結果、非常に大きな傾斜角を許容できる歯面形状の開発に成功した。その後、開発した歯面形状を応用研究することで電車のギヤカップリングに活用できると考え様々な調査を行った。その結果、クリーンで高効率な鉄道輸送は世界中にて需要が増えることは明確であるが、ある一部のメーカーが独占している事による供給体制に不足感が生じていた。また、ユーザーへの調査の結果、顧客満足度において十分とは言えず、顧客ニーズ（性能、コスト、安全性、納期）を満たせば参入の機会がある事も分かった。

② 研究目的

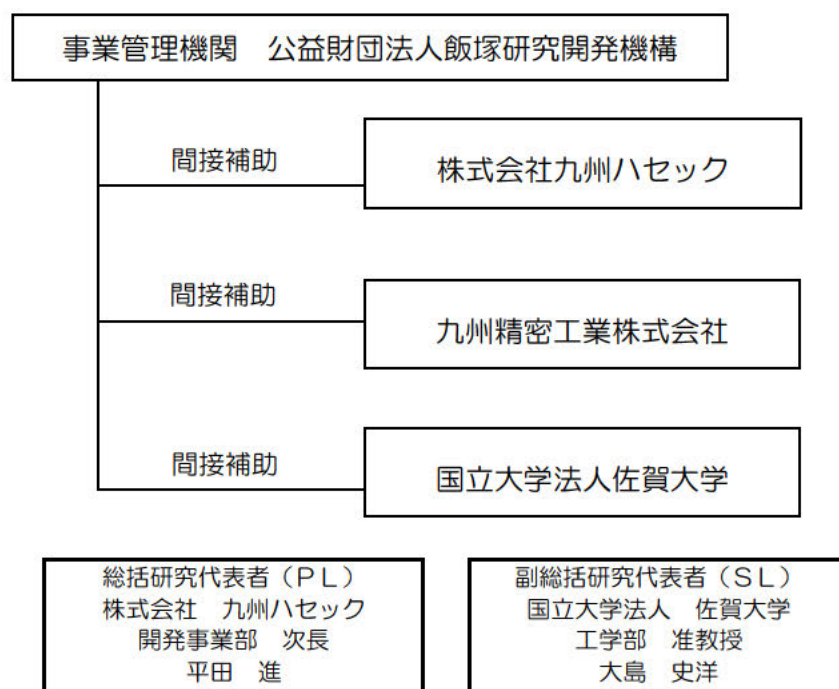
鉄道用のギヤカップリングは心臓部といえる駆動装置に使用される為、重要保安部品に位置づけされているが、性能評価方法において規格化がなされていない。十分な安全性能評価技術確立し、従来はインボリュート歯形を使用することを常識としたギヤカップリングの歯形を世界初となる非インボリュート歯形を採用することによって、軸変位の増大に伴い極端に落ちてしまう寿命低下を改善し、振動騒音の低減に効果的な鉄道用ギヤカップリングの開発を行う。

③ 目標

研究項目	目標
【1-1】許容傾斜角度の拡大技術開発	傾斜角 12°
【1-2】振動騒音低減技術の確立	従来は200%以上発生するピークレベルを10%以下
【1-3】潤滑改善による長寿命化技術の開発	グリース交換サイクル ⇒ 8年サイクル
【2-1】非インボリュート荒歯切スカイピング加工用工具開発	サイクルタイムを非インボリュート用工具の設計法を確立し15min
【2-2】非インボリュート仕上げスカイピング加工用工具開発	サイクルタイムを歯車精度JIS2級 10min
【3-1】性能評価技術の確立	安全性能評価技術の確立

1－2 研究体制

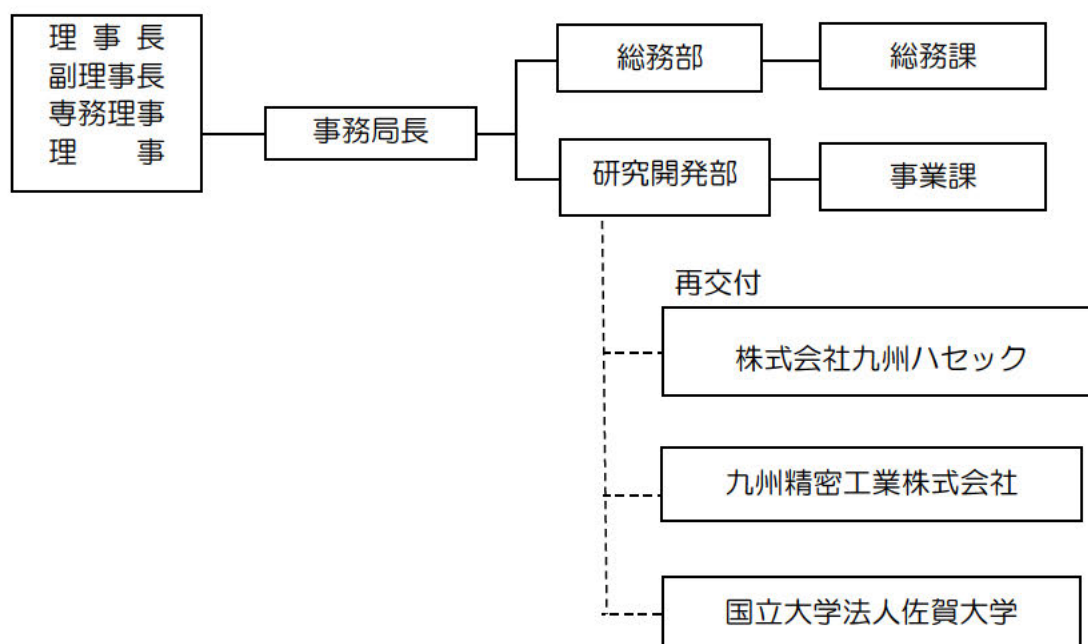
1) 研究体制



2) 管理体制

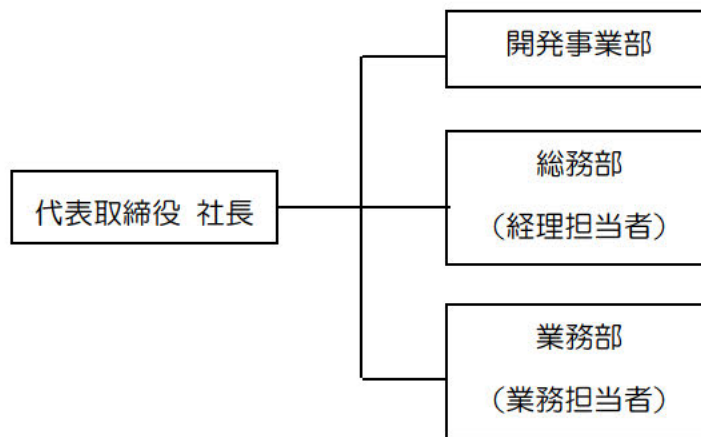
① 事業管理機関

[公益財団法人 飯塚研究開発機構]

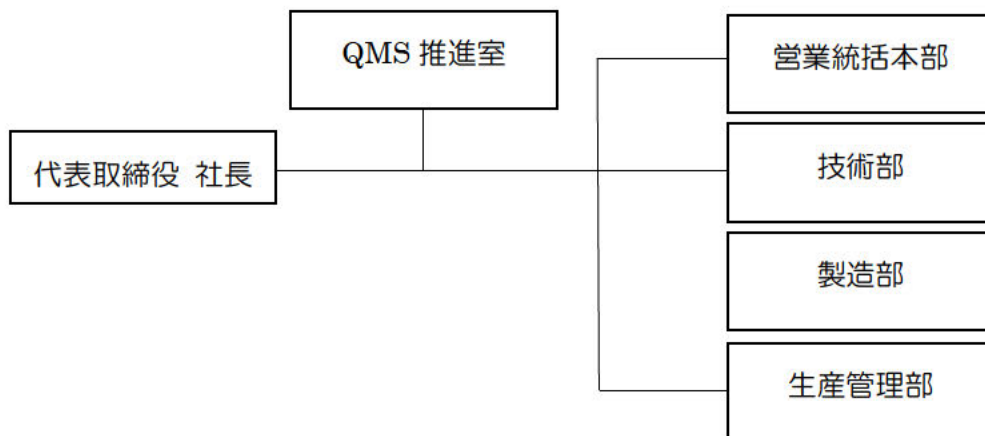


②再交付先

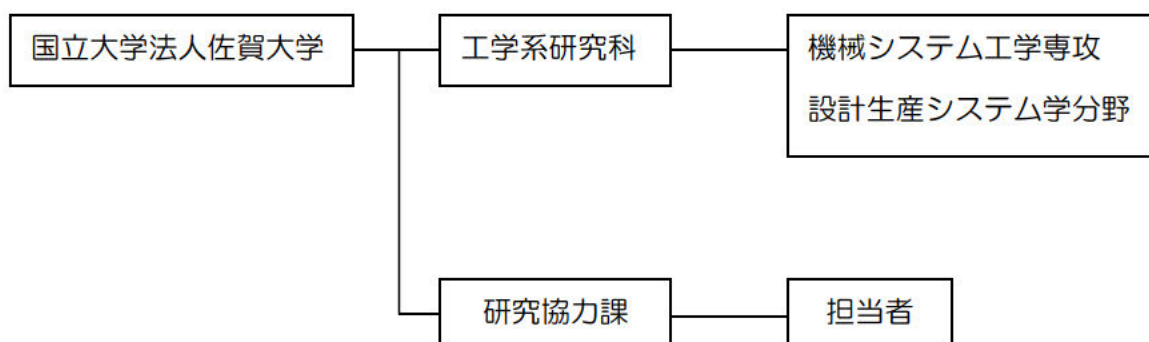
株式会社九州ハセック



九州精密工業株式会社



国立大学法人佐賀大学



3) 管理員及び研究員

【事業管理機関】 公益財団法人 飯塚研究開発機構

管理員

氏 名	所属・役職	実施内容（番号）
白水 卓二	総務部・部長	4
山崎 吉徳	総務部総務課・課長	4
堀下 玲子	総務部総務課・事務主査	4
中村 裕章	研究開発部・部長	4
中島 健次	研究開発部事業課・課長	4
林 伊久	研究開発部事業課・専門研究員	4
仲 孝幸	テクニカルコーディネータ	4
川原 利三	研究開発部事業課・事業主任	4
菅原美世子	研究開発部事業課・嘱託員	4
村田 陽子	研究開発部事業課・嘱託員	4

【間接補助事業者】

研究員

株式会社九州ハセック

氏 名	所属・役職	実施内容（番号）
平田 進	開発事業部 次長	1-1, 1-2, 1-3 2-1, 2-2, 3-1
近谷 幸亮	開発事業部	1-1, 1-2, 3-1

九州精密工業株式会社

氏 名	所属・役職	実施内容（番号）
濱田 浩太郎	技術部 マネージャー	2-1, 2-2
木原 剛	技術部	2-1, 2-2

国立大学法人佐賀大学

氏 名	所属・役職	実施内容（番号）
大島 忠洋	工学系研究科 准教授	1-3

4) 経理担当者及び業務管理機関の所属、氏名

(事業管理者)

公益財団法人 飯塚研究開発機構

(経理担当者) 総務部 総務課 課長 山崎 吉徳

(業務管理者) 研究開発部 部長 中村 裕章

(間接補助先)

株式会社九州ハセック

(経理担当者) 総務部 総務部長 奥田 康弘

(業務管理者) 業務部 業務部長 宮川 敬一郎

九州精密工業株式会社

(経理担当者) 総務課 北島 由起子

(業務管理者) 営業管理 G 江島 啓宣

国立大学法人佐賀大学

(経理担当者) 財務部 経理調達課長 中村 和也

(業務管理者) 工学系研究科長 石橋 考治

1-3 成果概要

【1-1】許容傾斜角度の拡大技術開発

従来の製品が許容出来る傾斜角は 6° とされていたが、本研究開発の成果として倍の 12° を許容傾斜角度とすることが可能となった。さらに、各サブテーマにおける成果を盛り込んだ製品設計を行うことで、安全性能評価技術によるユーザーへの安心感と、飛躍的に加工効率が上がったことによるコストダウン効果によって、競合他社との競争に負けない製品の開発に成功した。

【1-2】振動騒音低減技術の確立

走行時に急コーナーやトンネル前にて惰性走行となる際に、従来技術では歯面求心力を失うことで異常振動が発生する問題を長年抱えていたが、本研究開発の成果においては歯面間クリアランスを高精度にコントロールすることで、人が感じる事ができないレベルまで異常振動を低減することができた。

【1-3】潤滑改善による長寿命化技術の開発

本研究では、グリースの長寿命化を達成するために、接触応力の減少および耐摩耗性の向上を目的として、スリーブの材質をリン青銅として負荷運転試験を行い、摩耗量を測定した。その結果、短時間の試験であったが従来の鋼-鋼のギヤカップリングに比べ摩耗量を減少することができた。

【2-1】非インポリュート荒歯切スカイピング加工用工具開発

スカイピング工具の設計法を確立するべく、ピニオンカット製作にて培ってきたノウハウを用いて、インポリュート歯車用の工具を設計し、設計～製作を行った。加工トライにて加工ワークの精度、及び従来加工法とのサイクルタイム比較を行った結果、サイクルタイム8 min を達成した。

【2-2】非インポリュート仕上げスカイピング加工用工具開発

非インポリュート歯形のスカイピング加工を実現するため、今回、スカイピングに特化したシミュレーションを作成。工具輪郭の計算のみならず、スカイピング加工特有の歯面干渉、治具干渉などを確認出来るようにし、任意の歯形に対応できる設計基盤を構築した。

【3－1】性能評価技術の確立

本製品の安全性能評価については基準化なされていない。海外においては RAMS 規格として指標された数値により安全性能を評価する仕組みもある。しかし、日本国内での採用見通しは無い。但し、指標による評価は実車での走行試験が困難である代替案としての評価方法である。実車走行試験を行うことが最も信頼できる評価方法であるが、車両メーカーは試験線を持たないのが実情である。よって、ユーザーによる営業線での走行試験を行う方法を取っているが、営業線での走行試験自体に大きなリスクがある。その為、新製品や新規メーカー採用においては事前に十分な安全性能の確認が必要となる。本研究開発の成果として、部品単体にて試験することによって、ユーザーが満足する安全性能を評価できる技術の確立に成功した。

1－4 当該研究開発の連絡窓口

公益財団法人飯塚研究開発機構研究開発部 林 伊久

TEL： 0948-21-1156 FAX： 0948-21-2150

E-mail: hayashi@cird.or.jp

第2章 鉄道駆動用ギヤカップリングの開発

2-1 鉄道駆動用ギヤカップリングの開発・・・株式会社九州ハセック

2-1-1 概要

噛合いシミュレーションを用いて、仕様条件での傾斜角に対応した歯面形状を設計し、実車の動きを与えた回転試験機により【1-2】～【3-1】までの技術を勘案した実証実験により、最大許容傾斜角度 $6^{\circ} \Rightarrow 12^{\circ}$ 2倍に拡大する。

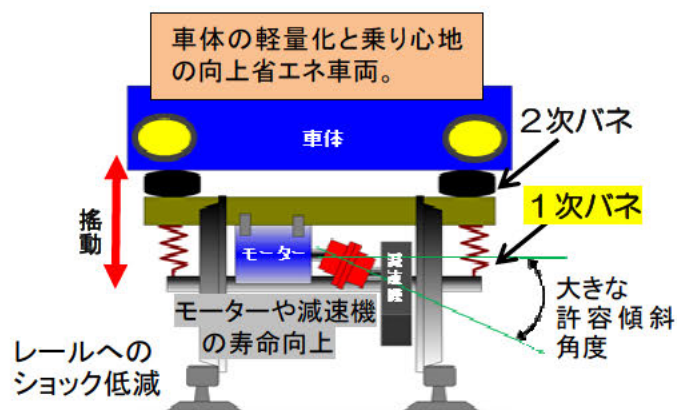
2-1-2 目標

従来の許容傾斜角度 $6^{\circ} \Rightarrow$ 開発品の許容傾斜角 12°

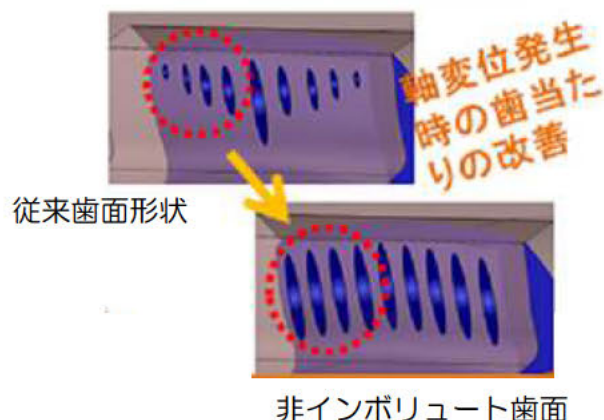
2-1-3 研究内容及び成果

〈許容傾斜角度の拡大〉

- ①従来型要求上下動10mm（傾斜角 6° ）②開発1次車両要求上下動18mm（傾斜角 10° ）③開発2次車両要求上下動21mm（傾斜角 12° ）



電車の上下動吸収装置には1次バネと2次バネがある。2次バネはエア式となっており、大きな動きを吸収している。1次バネがレールの継ぎ目のような衝撃的で瞬間的な動きを吸収しており、人が乗っている車体が上下する動きとは違い、バネが柔くなることで、ガタガタ、ゴトゴトといった衝撃的な振動が穏やかになる。その結果レールへの攻撃性も穏やかになることで、レールや周辺機器の寿命向上に寄与する。



＜開発手法＞

非インボリュート歯面を採用することによって、従来では不可能であった許容傾斜角の増加が見込める。また、その時の歯面噛合い状態を良好とする設計が必要となるが、開発したシミュレーション技術を使用することで開発設計効率を向上することができる。噛合いシミュレーションにより設計された歯面形状を実車の動きを与えた回転試験機による信頼性評価技術確立する。様々な試験条件を与えて実験を行い。許容できる最大傾斜角度を 12° まで拡大する。

各年度における開発内容は、

＜平成 26年度＞

【1－2】～【3－1】において試作加工したテスト品を使用して、従来の許容傾斜角度となる 6° を試験条件として、従来品と開発品の比較試験を行い開発品の優位性を明確にした。歯面設計と構成において 7.6° を許容できる量産製品の設計が完成し試作製作完成した。

＜平成 27年度＞

【1－2】～【3－1】において試作加工したテスト品を使用して、許容傾斜角度 10° を試験条件として実験を行った。200時間におよぶ耐久試験を終了しすべての検査項目において合格した。本試験条件はユーザーより承認を得た試験条件となる。

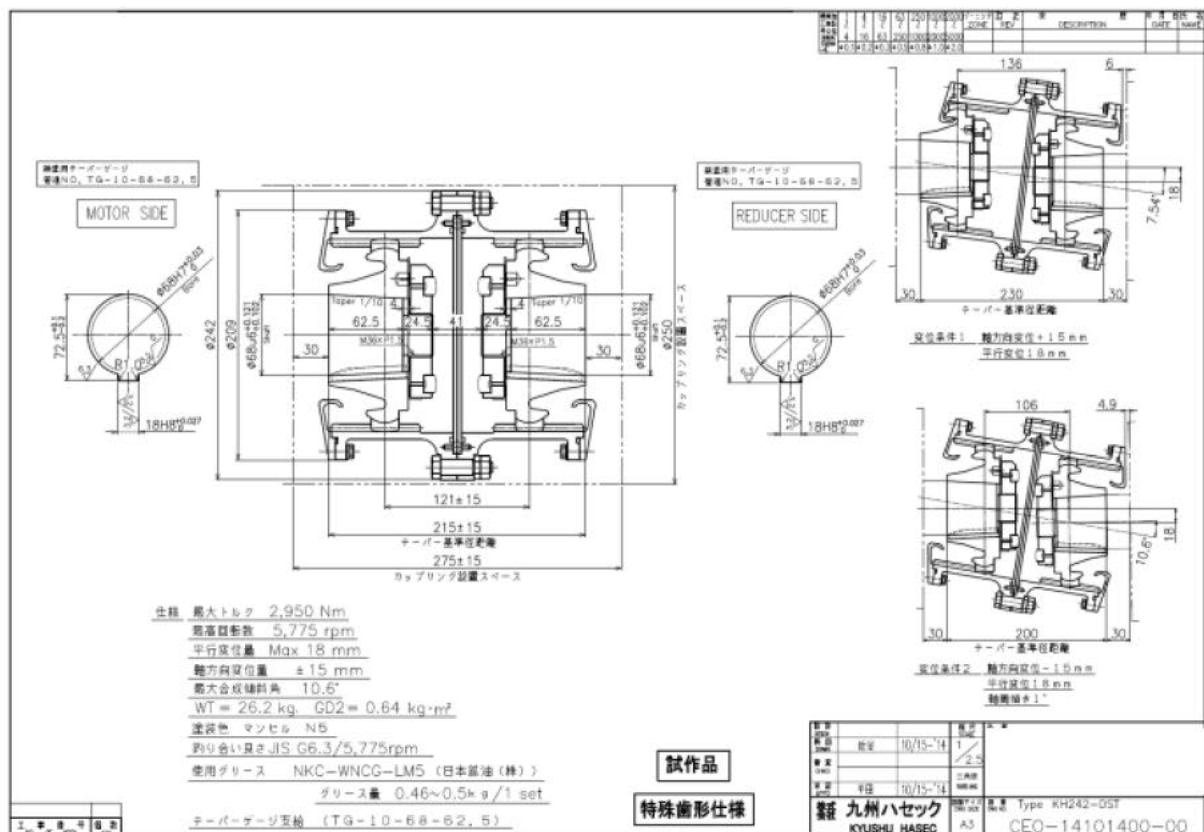
〈平成 28年度〉

【1-2】～【3-1】において試作加工したテスト品を使用して、許容傾斜角度 12° を試験条件として試験を行い製品化の可否を判断する。また、ユーザーにおいて実車での走行試験を行う事が決定しており製品化の最終確認を行う。

各サブテーマにおける成果を盛り込んだ製品設計により、最終目標値である許容傾斜角度 12° を必要とする製品の開発に成功した。

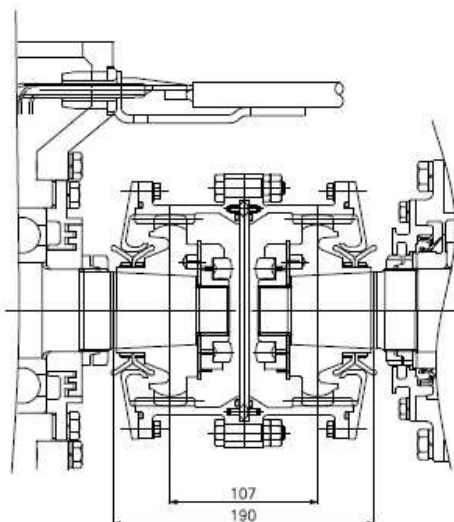
案件①大変位が必要となる仕様

- 最高回転数 3,662 rpm
- 常用最大トルク 2,797 Nm
- 平行変位量 MAX 18mm (設計許容傾斜角 12°)
- 軸方向変位量 ± 11 mm

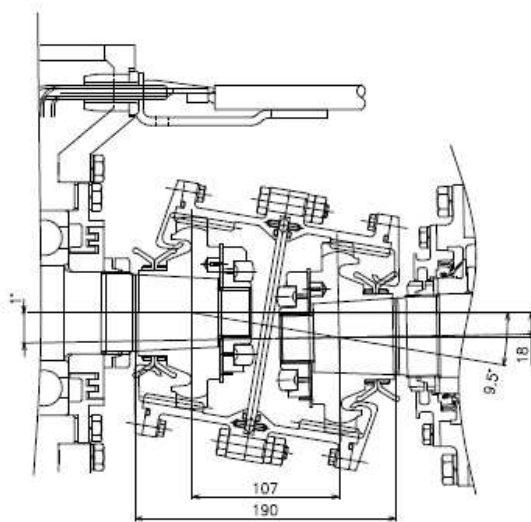


案件②大変位が必要となる仕様

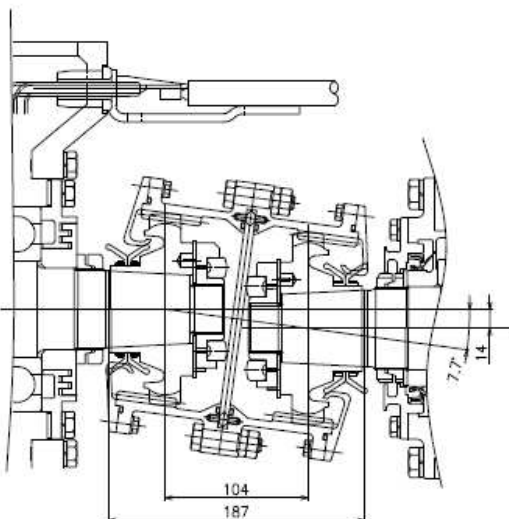
- 最高回転数 5, 130 rpm
- 常用最大トルク 874 Nm
- 平行変位量 MAX18mm (設計許容傾斜角 12°)
- 軸方向変位量 ± 3 mm
- 軸角 最大 3°



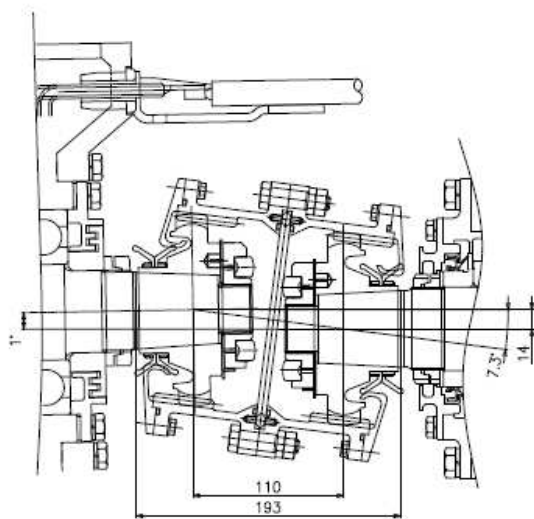
検証1-1 L=190 (基準位置)
平行変位=0 軸方向変位=0
軸周傾き=0°



検証1-2 L=190 (基準位置)
平行変位=18 軸方向変位=0
軸周傾き=1°



検証1-3 L=185
平行変位=14 軸方向変位=-3
軸周傾き=0°



検証1-4 L=195
平行変位=14 軸方向変位=+3
軸周傾き=1°

2-2 振動騒音低減技術の確立・・・株式会社九州ハセック

2-2-1 概要

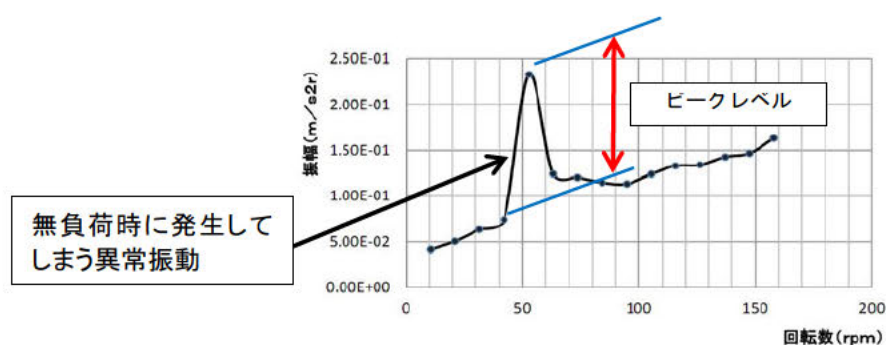
特殊加工により歯面間クリアランスを精度よくコントロールすることによって、惰性走行時の異常振動のピークレベルを10%以下とする。

2-2-2 目標

基準振動値200%以上発生するピークレベル⇒ピークレベル10%以下

2-2-3 研究内容及び成果

特殊加工により歯面間クリアランスを低減することによって、惰性走行時の異常振動のピークレベルを 10%以下とする。



従来は200%以上発生するピークレベルを ①100%以下 ②70%以下 ③10%以下とする。

<開発手法>

本研究で使用する加工機械はギヤカップリング専用加工機で内歯車の歯底径を高精度に加工可能とする。これによって、従来では困難であった異常振動の原因とされるクリアランスを少なくすることができる。回転試験機において、惰性走行状態を再現し、異常振動の発生メカニズムを解明し、最適なクリアランス量設定の為の実証実験を行う。

各年度における開発内容は、

<平成 26年度>

従来品TC0.875mmに対してTC①0.4mm②0.3mm③0.2mmの試作加工を行い無負荷による回転試験を行い振動レベルの測定を行った。異常振動が発生するとさ

れているクリアランスを0.2mm以下（従来品は1mm）としたテスト品の製作が完成。

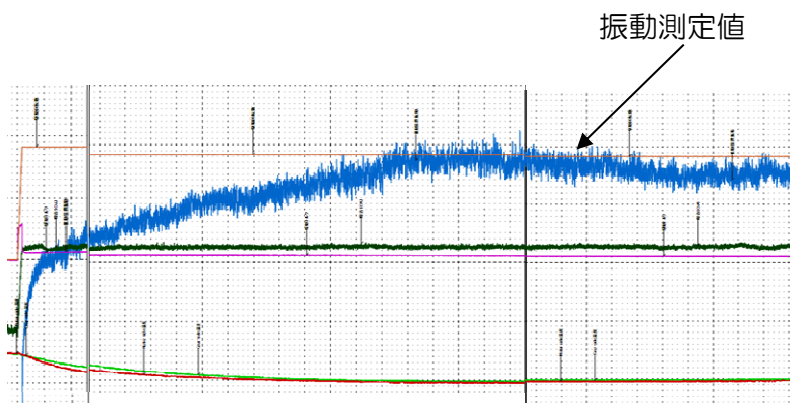
<平成 27年度>

TC①0.15mm②0.1mmの試作加工を行い無負荷による回転試験を行い振動レベルの測定を行った。無負荷の回転試験において異常振動が発生せず、0.5時間において異常振動は発生しなかった。現状のTC0.1mmが適正である結果を得られた。27年度目標値、従来は200%以上発生するピークレベルを70%以下を達成した。

<平成 28年度>

TC0.1mm以下の試作加工を行い無負荷による回転試験を行い振動レベルの測定を行う。また、ユーザーでの実車走行試験において異常振動発生有無の確認を行う。

惰性走行時を想定した無負荷による回転試験を行った。



回転試験による振動測定値

この試験の結果、0.5時間において異常振動は発生しなかった。TC0.1mm程度のクリアランス設定が最適であるという結果が得られた。

2-2-4 今後の課題

回転試験での無負荷状態と実際の走行時の無負荷条件は異なる為、実車での走行試験結果にて最終的な評価が必要となる。

2-3 潤滑改善による長寿命化技術の開発・・・国立大学法人佐賀大学

2-3-1 概要

噛合いシミュレーションを使用した潤滑状態の解析技術の確立によって、定期点検期間となる4年に一度のグリース交換サイクル ⇒ 8年サイクル 2倍に拡大する。

2-3-2 目標

グリース交換サイクル ⇒ 8年サイクル

2-3-3 研究内容及び成果

噛合いシミュレーションを用いた解析を行い、グリースの長寿命化をもたらす歯形について検討した。図2-3-3-1は、軸角を 7° 与えた時の従来のホブ切りによる歯形を用いた場合（従来方式）、非インボリュートを用いた場合（本研究方式）、インボリュート歯形を用いた場合のスリーブとハブの隙間を等高線で示している。また、図2-3-3-2に実際に運転した後の歯当たりも示している。図から、非インボリュート歯形を用いた場合におい

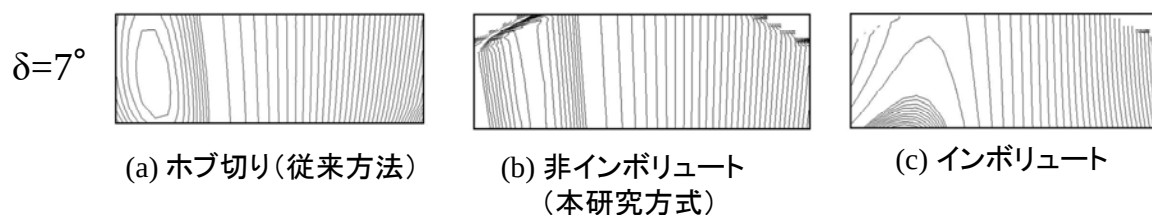


図2-3-3-1 スリーブとハブのかみあい隙間（等高線間隔 0.1mm. ただし、接触から 0.1mm までは 0.01mm 間隔）

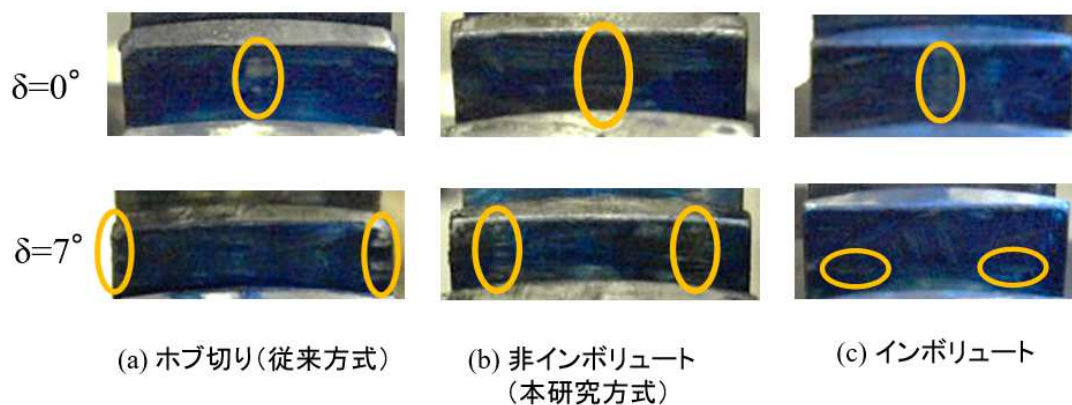
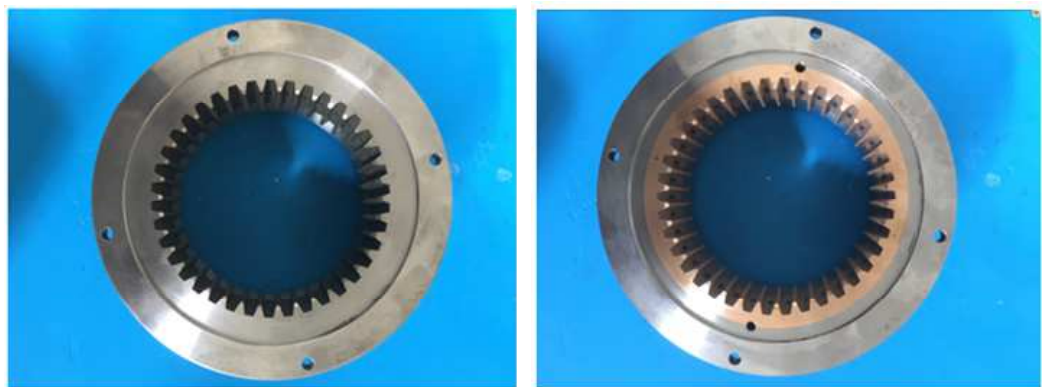


図2-3-3-2 運転後の歯当たり

て歯当たりが歯たけ方向に確保されていることがわかる。このため、接触面積が広くなることで、接触応力が軽減され歯面摩耗が低減されることが予想される。また、ホブ切りによる加工方法に比べ、非インボリュート歯形は成形研削によって歯面が仕上げられているために、歯面の表面粗さ向上に起因する摩擦係数の低下も期待できると考えられる。

また、本研究ではさらなる長寿命を目指し、鋼製のハブとかみ合うスリーブの材質をリン青銅とした場合の運転試験を行った。スリーブの材質をリン青銅とした理由は、摩耗強さの向上と歯面の摩擦係数の低下を期待したからである。図2-3-3-3は、本研究で製作したスリーブを示す。スリーブは、鋼（以下 SCM440）とリン青銅（以下、C5191）を用いて製作した。なお、C5191 については、鋼のスリーブを元にリン青銅のリングを焼き嵌めで締結した。どちらのスリーブも、ワイヤーカット放電加工機を用いて仕上げた。



(a) 鋼製スリーブ

(b) リン青銅製スリーブ

図2-3-3-3 製作したスリーブ

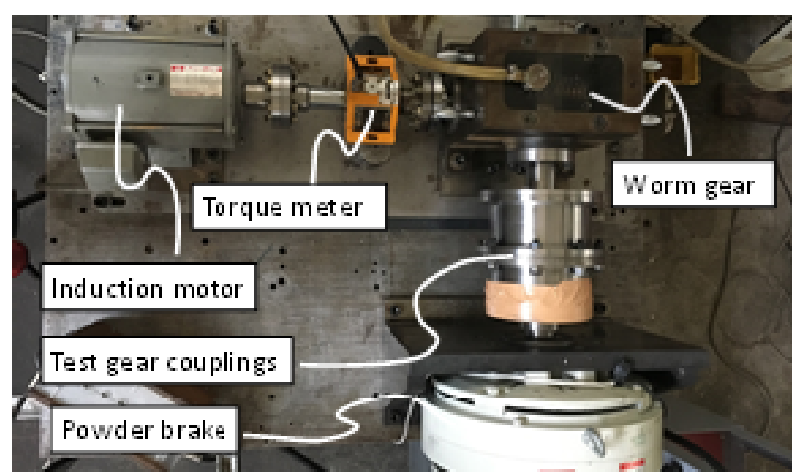


図2-3-3-4 負荷運転試験機の全体図

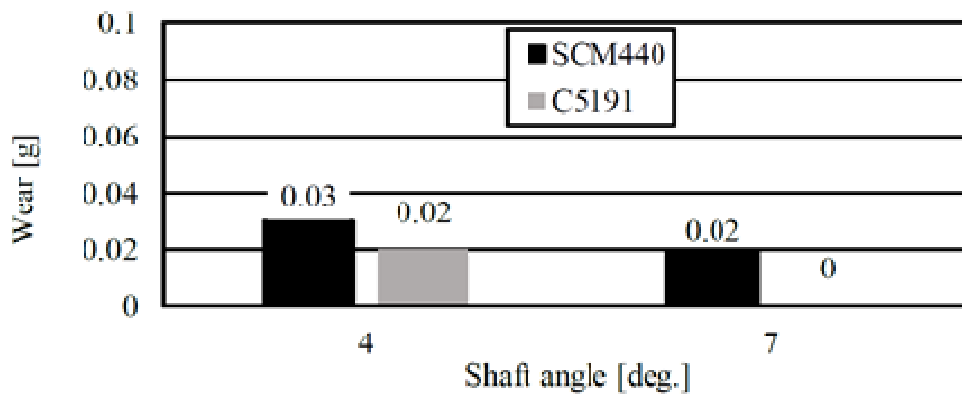


図2-3-3-5 ハブの摩耗に及ぼす材質の影響

また、スリーブとかみ合うハブの材質は、どちらも SCM440（クロムモリブデン鋼）であり、調質後 NC 歯車成形研削盤を用いて円弧運動を与えて歯面を仕上げた。図2-3-3-4は、負荷運転試験機の全体図を示す。インダクションモータで発生した動力は、トルクメータ、ウォームギヤ、ギヤカップリングと伝達され、パウダーブレーキで吸収される。試験は、軸変位を軸角で 4° 、 7° と与えて、負荷トルクが 97Nm となるように設定し、それぞれ2時間ずつの負荷運転を行った。ギヤカップリングの回転数は 142rpm とし、潤滑は二硫化モリブデングリースを歯面に塗布するグリース潤滑とした。摩耗量は、ハブの運転前後の重量の差を測定し、算出した。図2-3-3-5は、軸角を変化させた場合のハブの摩耗量を示している。軸角が変化してもハブの摩耗量はリン青銅製のスリーブの方が少ないことがわかる。以上より、本研究はあくまで短時間の実験結果であるがスリーブの材質をリン青銅とすることにより摩耗が抑制され、グリースの長寿命化につながる可能性を示した。

2-3-4 今後の課題

本研究で得られた結果は、あくまで短時間の実験による結果であるので、長時間運転による検証が必要と思われる。

第3章 鉄道駆動用ギヤカップリングの高効率加工試作技術

3-1 非インボリュート荒歯切スカイピング加工用工具開発・・・九州精密工業株式会社

3-1-1 概要

非インボリュート荒歯切スカイピング加工用工具開発

内歯車の新工法であるスカイピング加工非インボリュート用工具の開発を行うことによって、従来加工法35min ⇒ 新工法15min 60%削減する。

3-1-3 研究内容及び成果

3-1-3-1 スカイピング加工

近年歯車加工方法として、(ギヤ)スカイピングが注目を集めているが、スカイピングは、歯車型工具の端部切れ刃とワーク歯車をねじ歯車としてかみ合わせ、切れ刃とワークの相対運動を利用してワークを加工するものである。加工原理は古くから知られていたが、加工機械の剛性や精度、工具切れ刃の計算環境が十分でなかったこともあって、現在までほとんど普及していなかった。

3-1-3-2 荒歯切スカイピング加工用工具試作

スカイピング工具は従来のピニオンカッタと非常によく似た形状をしているが、その加工法の違いから工具設計については確立されていないとされる。

そこで、歯形をインボリュートの形状とし、既知の理論を応用した試作～テスト加工を行うとともに、非インボリュート歯形の工具設計を可能とすべく、スカイピング加工の理論解析を並行して進めてゆくこととした。

まず、インボリュート歯形の工具製作について、ねじ歯車のかみ合い計算を用いて工具寸法、形状を定め、設計を行った。工具の素材については、過酷なスカイピング加工に耐えるべく高速度工具鋼の中でも耐摩耗性に優れた粉末製法の母材を選定。表面処理についても同様に耐熱性に優れたクロム系の膜とした。歯車の諸元については図の通りである。

製作した試作工具をもとに、設備メーカーにてスカイピング工具の評価を実施した。

機械

e500H-GS 横形マシニングセンタ
ギヤスカイピングパッケージ

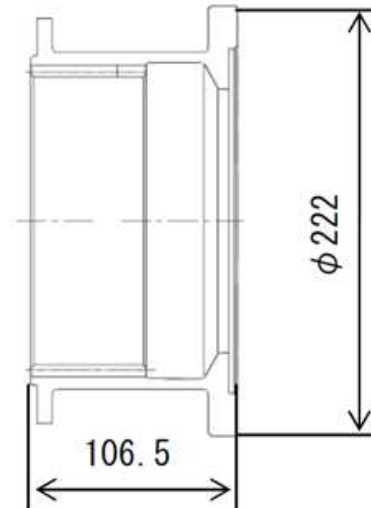
・主 軸 仕 様 : 6,000min⁻¹/BT50/ 30/25kW

・ワーク軸仕様 : 3,000min⁻¹/ 28.3/33.5kW

工作物

・歯車諸元

モジュール (mm)	歯数 (枚)	基準円ピッチ (mm)	歯幅 (mm)	歯丈 (mm)
3.5	44	154	59.5	5.8



工作物概観

1.加工条件

No.	実施項目	対策 ①	対策 ②	対策 ③	主軸回転 速度 (min ⁻¹)	ワーク回転 速度 (min ⁻¹)	送り速度 (mm/min)	切削速度 (m/min)
3	工具振れ 10 μm				2123	965	193	170
4	工具振れ 5 μm	○			↑	↑	↑	↑
5	仕上げ切込み量 0.1(mm), f0.1(mm/rev)	○	○	○	↑	↑	↑	↑

No.	送り量 (mm/rev)	パス回数 (回)
3	0.2	10
4	↑	↑
5	↑	↑



段取状況

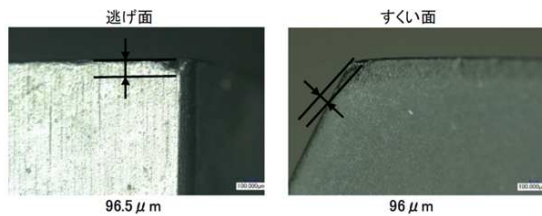


工具概観

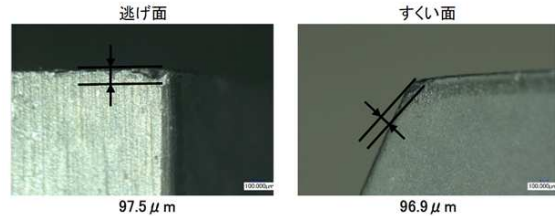
No.	歯形誤差 (μm)	歯すじ誤差 (μm)	単一ピッチ 誤差 (μm)	累積ピッチ 誤差 (μm)	歯溝の振れ (μm)	加工時間 (s)
目標	25	29	18	70	56	600(10.0min)
3	18.2	13.7	27.5	57.6	37	299(5min)
4	14.4	18.9	17.8	55.6	55.7	↑
5	14.2	16.6	5.8	59.2	27.6	388(6.5min)

No.	切りくずの堆積	切粉噛み	評価	備考
目標	-	-	-	-
3	大量	大量	×	ワーク振れ $15\mu\text{m}$, 切粉噛みあり
4	中量	大量	×	ワーク振れ $10\mu\text{m}$, 切粉噛みあり
5	少量	少量	○	ワーク振れ $20\mu\text{m}$

N 増し加工 1 ヶ目の工具



N 増し加工 6 ヶ目の工具



結果、品質（加工ワークの精度）面では JIS N8 級となり、これは従来のピニオンカット歯切りに対して 2～3 等級良好な結果が得られたことになる。また、サイクルタイムは 10min 以下を実現し、当初の目標としていた 15min をクリアすることができた。

3-1-3 非インボリュート用工具の設計法を確立

非インボリュートの工具を設計するにあたっては、従来の設計法は使えないことから、工具歯形計算のためのシミュレーションの作成に取り組んだ。スカイピングのための工具の切れ刃輪郭は、実際の加工での運動をシミュレーション上で忠実に再現する事で求める。つまり、歯切りしようとする円筒歯車（ワーク歯車）がすでに存在していたと仮定し、両歯車を食い違う 2 軸に取り付け、所定の歯数比の下で回転させる。つぎに、工具歯車をワーク歯車の軸方向に移動させ、工具歯車に配置したすくい面上に表れるワーク歯形群の包絡線を求めることで算出可能とした。

上記シミュレーションソフトを用い、設備、加工条件に最も適合した工具を選定するため、以下の 4 種の試作カッタを設計～製作を行った。

	種別	カッタ仕様変更内容	検証内容
A	基準カッタ	---	
B	強二番カッタ	工具二番角を A の 2 倍とする	工具に二番角が切削、摩耗に与える影響
C	転位カッタ	ワークと工具の中心距離を変更する	工具転位が切削、摩耗に与える影響
D	円筒カッタ	工具に二番角を持たない、円筒形状の工具とする	円筒工具と円錐工具の違いが切削、摩耗に与える影響

九州精密工業が試作製作したスカイピング工具によるテスト加工を九州ハセックにて実施した。テストについては、加工ワーク流動数の影響もあり、期間中(A)カッタのみを使用。



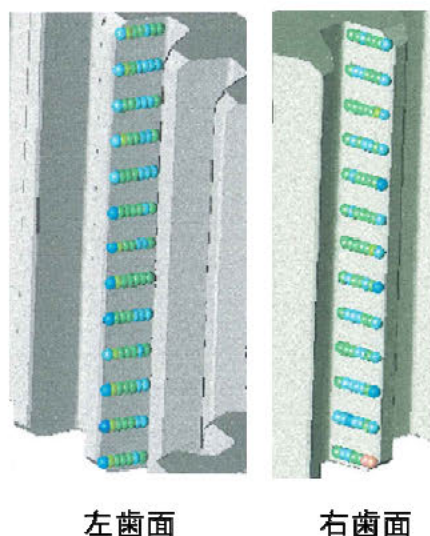
- ・設備仕様 JTEKT製
e500H-GS 横形マシニングセンタ
ギヤスカイピングパッケージ
- ・主 軸 仕 様 : 6,000min⁻¹/BT50/ 30/25kW
- ・ワーク軸仕様 : 3,000min⁻¹/ 28.3/33.5kW



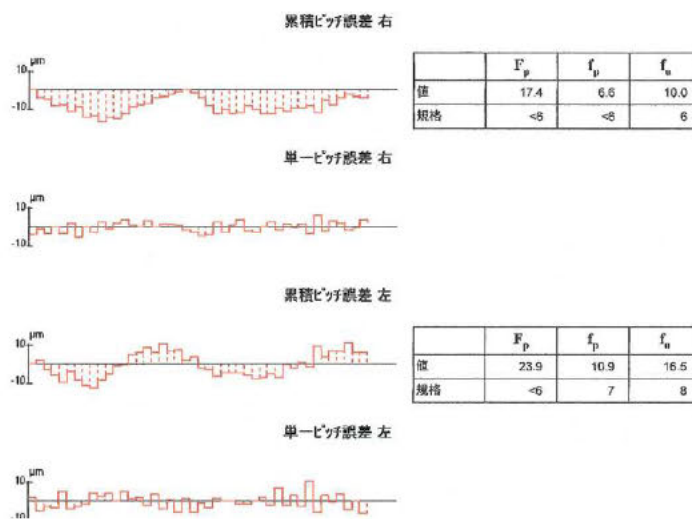
加工するテスト品の諸元はモジュール3.5、圧力角25°、歯数44枚、歯幅56mmの内歯車であるが、歯面形状は非インボリュート形状である。

<テスト加工結果>

・歯面形状誤差

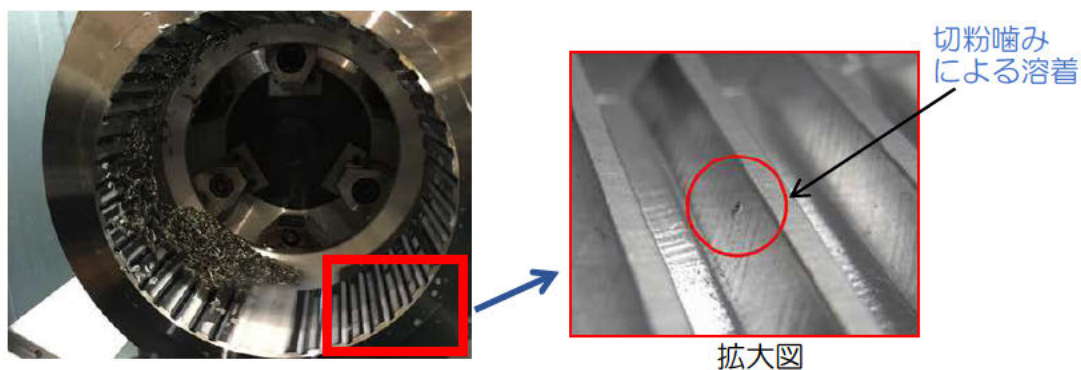


・ピッチ誤差

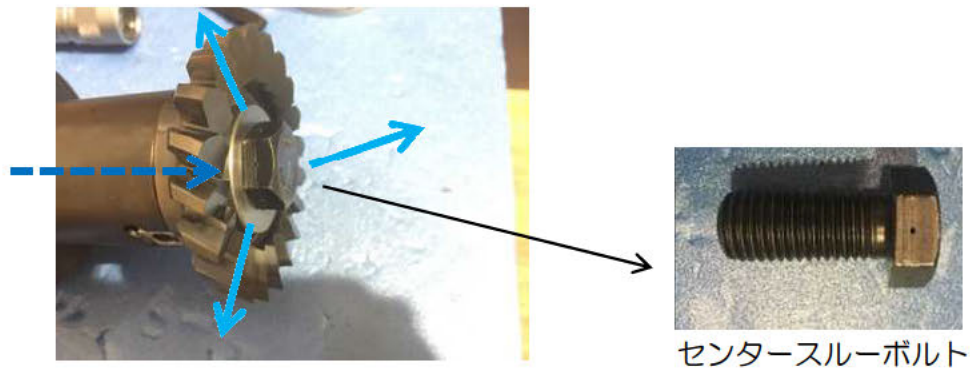


歯車精度は JIS N6～8級が出ており、荒歯切加工としては十分な加工精度を得ることができた。さらに、加工タイムは目標値15minを大幅に上回る8minという結果となり、複合加工による同時加工によるメリットも合わせると、従来加工法と比較した効果は予想以上の結果を得られた。

しかし、切粉の排出が不十分な為に、仕上がった歯面に切粉が溶着する問題が発生した。

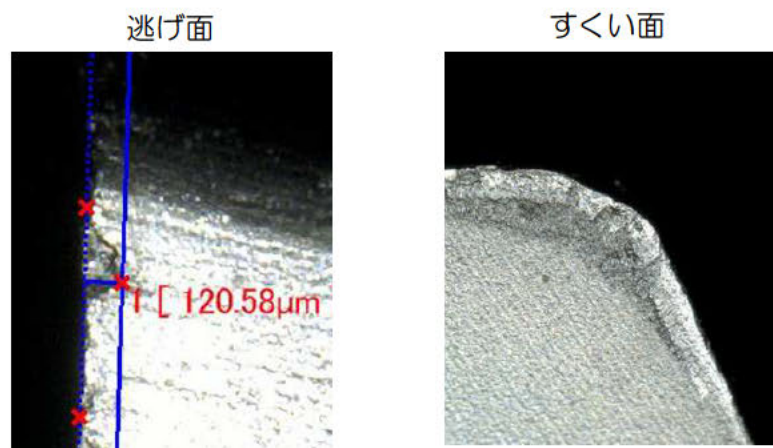


この対策として、



クーラントの圧力を上げることで、切粉を排出する力を上げようと画策し、センタースルーボルトのノズル径を① $\Phi 2.0$ ② $\Phi 1.5$ ③ $\Phi 1.0$ と小さくすることで、クーラント圧力は① 1.7 MPa ② 2.1 MPa ③ 5.1 MPa と上昇させる事が可能となり、その結果段階的に切粉噛みの発生数量が減少する事が確認できたが、現状のクーラントポンプではこれ以上の圧力アップは望めない為、さらなる対策が必要となる。

切粉噛みの発生は完全に無くなってはいないが、ごく稀な発生に留まっていることより量産品にて工具寿命と精度の安定性の検証を行った結果、



加工 104 個目

連続加工による加工テストの結果、104 個目において工具寿命の基準となる逃げ面摩耗量 $120\text{ }\mu\text{m}$ を超えた。これにより、従来工具と比較しても同程度の工具コストにて運用できる確認もできた。

3-1-4 今後の課題

スカイピング加工については高効率な加工法であることが実証できたが、依然として切粉噛みの問題が解決できていない。切粉噛みの発生を完全除去した後は、上記(B)～(D)のカッタを用いた比較試験を行い、スカイピング加工に最も適した、高寿命なカッタの選定を進めてゆく。

3-2 非インポリュート仕上げスカイピング加工用工具開発・・・九州精密工業株式会社

3-2-1 概要

浸炭焼入れ後に研削加工を行っているが、非インポリュート専用超硬工具を開発することによって、従来加工法 15min ⇒ 新工法 10min 30%削減する。

3-2-2 目標

サイクルタイムを歯車精度 JIS 2 級 10min

3-2-3 研究内容及び成果

非インポリュートカッタ形状の工具を、超硬素材で製作し、焼き入れ後の仕上げ加工法の確立を行う。

製作するカッタは、1、円錐形状カッター。2、円筒形状カッターの 2 種類。

1、超硬材質の選定

超硬合金（Cemented Carbide）は、金属の炭化物を Fe、Co、Ni などの鉄系金属で焼結した複合材料。機械的特性が最も優れるものは WC-Co 系合金であり、この合金を一般には超硬合金と呼ばれている。いずれの合金も低温硬さはもちろん、高温硬さが優れ、高強度で諸物性が安定しており、切削工具として多く用いられている。

今回、焼き入れ後のサラエ加工に使用するため、エッジの強度を確保し易い超々微粒子合金を選定し、製作した。

2、製作する超硬カッター

製作するカッターは、上述の 2 種類の工具とし、以下に示す。

	種別	カット仕様変更内容	検証内容
A	基準カット (円錐カット)	---	
B	円筒カット	工具に二番角を持たない、 円筒形状の工具とする	円筒工具と円錐工具の違いが 切削、摩耗に与える影響

今回は、工具製作まで実施したが、切粉噛み込み問題や加工機の歯合わせ装置など、設備面での調整の問題から、期限内での工具評価が実施できなかった。

3-2-4 今後の課題

仕上用工具の評価について、切粉噛みの問題解決と加工ワーク及び設備の準備が整い次第、加工評価を行っていく。

第4章 鉄道駆動用ギヤカップリングの性能評価

4-1 性能評価技術の確立・・・株式会社九州ハセック

4-1-1 概要

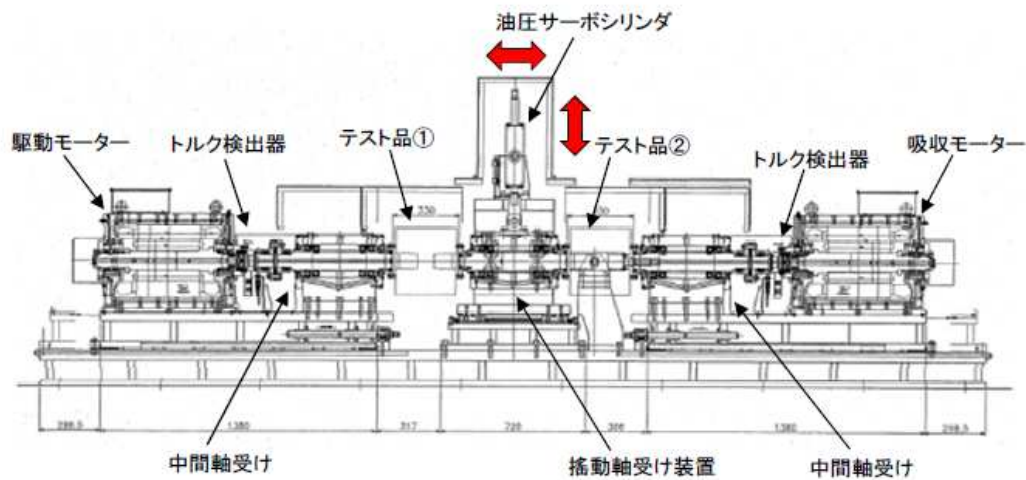
従来は実車走行試験によって最終的な性能の評価を行っていたが、実車の動きを再現した試験機による評価技術の確立を行う事によって、実車走行試験までの評価試験を単体試験にて完了する。

4-1-2 目標

実車走行状態を再現する試験機の開発を行い、・温度測定・振動解析・騒音測定において評価する技術の確立を行うことで、安全性能を保証することでユーザーの安心に繋げることで製品採用を目指す。

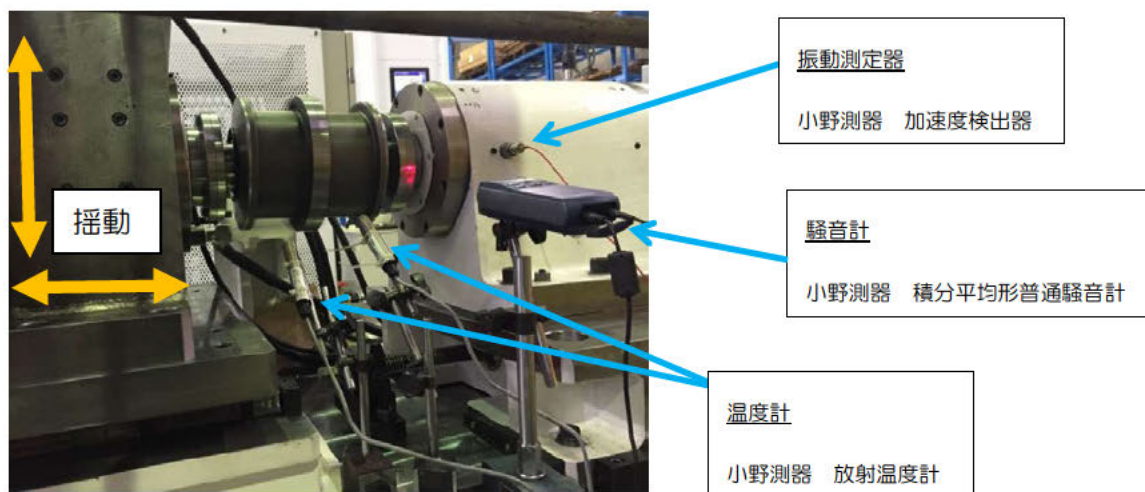
4-1-3 研究内容及び成果

従来は実車走行試験によって最終的な性能の評価を行っていたが、実車の動きを再現した試験機による評価技術の確立を行う。



試験機仕様

- ・最高回転数: 9,000rpm $\pm$ 0.2%(F. S)
- ・最高トルク: 300Nm(0~6,000rpm)
- ・軸方向変位: $\pm$ 20mm(2Hz) Max $\pm$ 30mm
- ・軸垂直方向変位: $\pm$ 20mm(2Hz) Max $\pm$ 30mm



回転試験機概要

各年度における開発内容は、

＜平成 26年度＞

専用機となる試験機の仕様検討を試験機メーカーと行う。試験機完成後は試験機メーカーにおいて実車走行を再現できる揺動条件の設定を行う。その後回転試験を行うが、安全性能評価方法の一つとして温度による測定及び評価方法の確立を行った。課題となる実車走行状態を再現する試験条件を与える事が可能となった。その試験結果よりトルクと揺動条件により温度上昇に変化が出ることが明確となった。これにより本開発品の優位性と安全性能評価技術の確立の見込みが付いたと言える。

<平成 27年度>

安全性能評価方法として振動による測定及び評価方法の確立を行うが、回転試験機より発生する振動からギヤカップリングの振動を抽出することは困難である。FFTによる周波数解析を行いギヤカップリングの振動評価を行った。温度、振動、騒音共に試験時間100時間において、安定しており平衡状態を保った。ハブ、スリーブ共に歯面損傷や異常摩耗は見られず、シミュレーション通りで非常に良い歯当たりをしていることを確認した。

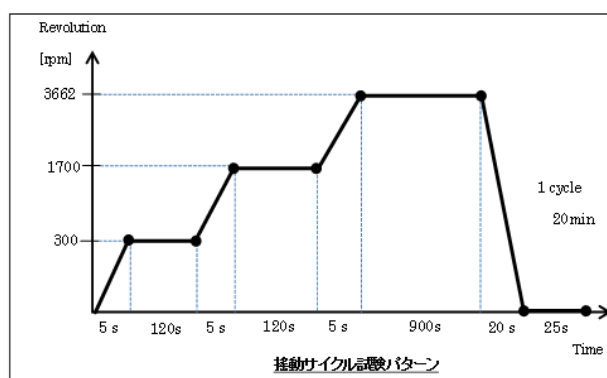
<平成28年度>

安全性能評価方法として騒音による測定及び評価方法の確立を行うが、回転試験機より発生する騒音からギヤカップリングの騒音を抽出することは困難である。FFTによる周波数解析を行いギヤカップリングの振動評価を行った。

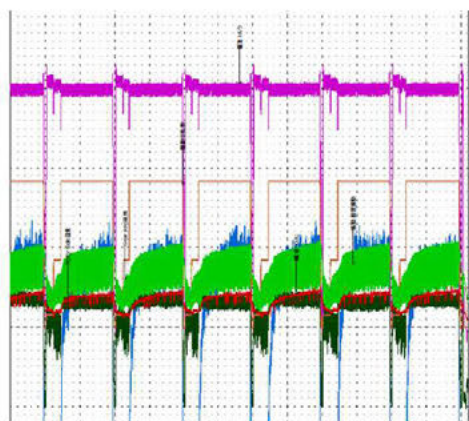
ユーザーによる営業路線を使用した走行試験に向けた耐久試験を下記条件にて行った。

ギヤカップリング型式試験条件表

項目	試験名	試験条件					備考
		回転数 (rpm)	トルク (Nm)	変位条件		時間 (Hour)	
				軸方向 (mm)	平行方向 (mm)		
1	静的最大変位試験	0	0	±10.59	±17.71	0	ロックしない事を確認
2	トルク負荷回転試験	1700	945	-8.1	15	100	異常振動及び温度平衡状態を確認
3	動的揺動サイクル試験	0～3662	300	±8.1(2Hz)	7.1±8.6(2Hz)	100	回転方向は正転50H後に逆転50H行う
4	無負荷・無変位回転試験	3662	0	0	0	0.5	異常振動が無い事を確認

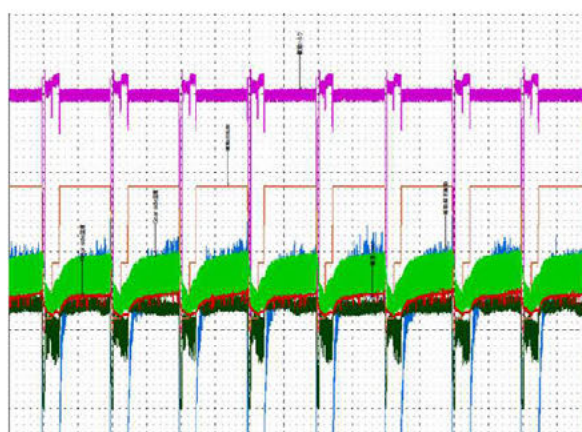


その結果、温度、振動、騒音共に試験時間50Hにおいて安定しており平衡状態を保った。



試験開始時8H

G側温度 MAX55. 1℃
M側温度 MAX60. 7℃



試験終了時50H

G側温度 MAX55. 3℃
M側温度 MAX60. 3℃

検査結果

試験項目	測定項目	判定値	測定値	判定
静的最大変位試験	スリーブ軸方向ストローク量 (i)	29±2mmにて干渉無きこと	27.7 mm	合格
	スリーブ軸方向ストローク量 (ii)	6±2mmにて干渉無きこと	4 mm	合格
トルク負荷回転試験	騒音レベル L_c (dB)	平衡状態かつ 120 dB以下	103.7 dB	合格
	温度	平衡状態かつ 120℃以下	62.1 ℃	合格
	振動加速度 (m/s^2)	平衡状態かつ 4.0 m/s^2 以下	3.92 m/s^2	合格
	グリース漏れ確認	漏れ無きこと	無し	合格
動的揺動サイクル 耐久回転試験	騒音レベル L_c (dB)	平衡状態かつ 120 dB以下	110.5 dB	合格
	温度	平衡状態かつ 120℃以下	61.9 ℃	合格
	振動加速度 (G)	平衡状態かつ 3.0G以下	2.527 G	合格
	グリース漏れ確認	漏れ無きこと	無し	合格
無負荷・無変位 回転試験	騒音レベル L_c (dB)	異常なピーク値が無きこと	無し	合格
	温度	温度上昇無きこと	無し	合格
	振動加速度 (G)	異常なピーク値が無きこと	無し	合格
	官能検査	異常な振動、騒音無きこと	無し	合格
	グリース漏れ確認	漏れ無きこと	無し	合格
分解検査	歯面に異常な摩耗や焼け跡が無きこと。	異常無きこと	無し	合格
	ストッパリングに異常な摩耗や亀裂が無きこと。	異常無きこと	無し	合格
	締め付けボルトに緩みが無きこと。	異常無きこと	無し	合格
	O-ring に異常な摩耗や亀裂が無きこと。	異常無きこと	無し	合格
	グリース調査			
	混和ちょう度 (1/4スケール)	250~360	293	合格
	滴点 (℃)	180℃以上	220 ℃	合格
	水分 (wt %)	1.0wt %以下	0.092 wt %	合格
	酸価 (%)	5.0 %以下	0.77 %	合格
	鉄分 (wt %)	0.5 wt %以下	0.0656 wt %	合格
	融着荷重 (kgf)	200 kgf以上	200 kgf	合格
	赤外分光分析	異常無きこと	無し	合格

安全性能評価技術の確立により走行試験用製品の耐久試験結果において全ての項目において合格が得られた。

4-1-4 今後の課題

本開発のテーマである安全性能評価技術の確立によって、ユーザーも納得して使用できるという安心感に繋げることが出来たと考える。しかし、海外案件においては安全性能を証明し認証する国際規格として、RAMS (IEC 62278) 規格を要求されるケースが増えてきた。

R: Reliability (信頼性) A: Availability (アベイラビリティ)

M: Maintainability (保全性) S: Safety (安全性)

これらの指標に対応する為の試験方法も今後は検討していかなければならない。

第5章 全体総括

5-1 主な成果

- ① 従来技術では 6° までが許容できる傾斜角であったが、本研究開発によって倍の 12° まで許容拡大を図ることができた。
- ② 既存製品の課題として、惰性走行時に異常振動が発生していた。本研究開発によって、人が感じる事ができないレベルまで低減することができた。
- ③ ユーザーにとっての保守期間の延長によるメリットは大きく、周辺部品においても長期化の研究が進んでいる。本研究開発にてその長期化の目途が付いたと言える。
- ④ 欧州メーカーのコストダウンへの努力は目に見張るものがあり、品質的にも優れている為、受注獲得には大幅なコストダウンが要求される。本研究開発により、従来加工におけるネック工程である内歯車の歯切り加工工数を大幅に削減 (35min ⇒ 8min) できた。これによるコストダウン効果と生産能力アップによる効果は大きい。

これらの各サブテーマによる成果を基にして製品化の為の設計製作を行った結果、従来では実現出来なかった新しい駆動方式を採用した鉄道台車への採用検討が進んでいる。新規採用に向けた安全性能評価技術による耐久試験結果は、ユーザーの安心感に繋がり開発期間の短縮に繋がる成果を得られた。

5-2 研究開発後の事業化展開

安全性能評価技術の確立によって、2017年は海外メーカー向けに従来仕様（許容傾斜角6°以下）の製品306setの受注に繋がった。今後は本研究開発の成果となる世界初となる許容傾斜角12°の製品にて日本国内での実績を作っていきたいと考える。また、海外においても世界最大の鉄道メーカーである中国中車との販売契約を締結完了したことより、大量受注を目指す計画である。しかし、その達成には現在の生産能力では完全に不足している為、2018年より大規模な設備投資により年間3000setの生産能力を確保する計画である。



これにより、アジア地域でのシェア30%を獲得し2021年には目標受注額7億円に向けて取り組む計画である。