

平成22年度 戦略的基盤技術高度化支援事業

「防振・防音機能を持つ低コストなステアリング用
高伸縮型スプライン伝達機構の開発」

研究開発成果等報告書概要版

平成23年 9月

委託者 中部経済産業局

委託先 財団法人名古屋産業科学研究所

目次

第1章 研究開発の概要	1
1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標	1
1. 研究開発の背景	1
2. 研究開発の目標	2
1-2 研究体制	3
1. 研究組織（全体）	3
2. 管理体制	3
3. 研究体制	4
4. アドバイザー	5
5. 開発スケジュール	6
1-3 成果概要	7
1. 機械装置の製作	7
2. スプライン伝達機構の開発	7
3. 耐久試験の評価	8
1-4 当該プロジェクトの連絡窓口	8
第2章 機械装置の製作	8
2-1 樹脂コーティング装置の製作	8
1. 研究目的及び目標	8
2. 実験方法	8
3. 研究成果	9
2-2 サイジング装置の製作	9
1. 研究目的及び目標	9
2. 実験方法	9
3. 研究成果	10
第3章 スプライン伝達機構の開発	10
3-1 最適歯形に関する開発	10
1. 研究目的及び目標	10
2. 実験方法	11
3. 研究成果	11
3-2 樹脂コーティング塗布に関する開発	11
1. 研究目的及び目標	11
2. 実験方法	12
3. 研究成果	12
3-3 サイジングに関する開発	13
1. 研究目的及び目標	13

2. 実験方法	13
3. 研究成果	13
第4章 耐久試験の評価	15
4-1 ヒステリシス評価	15
1. 研究目的及び目標	15
2. 実験方法	15
3. 研究成果	15
4-2 スライド荷重評価	16
1. 研究目的及び目標	16
2. 実験方法	16
3. 研究成果	16
4-3 耐摩擦磨耗評価	17
1. 研究目的及び目標	17
2. 実験方法	17
3. 研究成果	18
第5章 全体総括	20
5-1 成果の総括	20
1. 実施計画の総括	20
2. 技術目標の総括	21
5-2 工業所有権の取得状況及び対外発表等の状況	21
1. 工場所有権	21
2. 対外発表	21
5-3 今後の事業化に向けた取組み	21
1. 今後の課題	21
2. 事業化計画	22

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

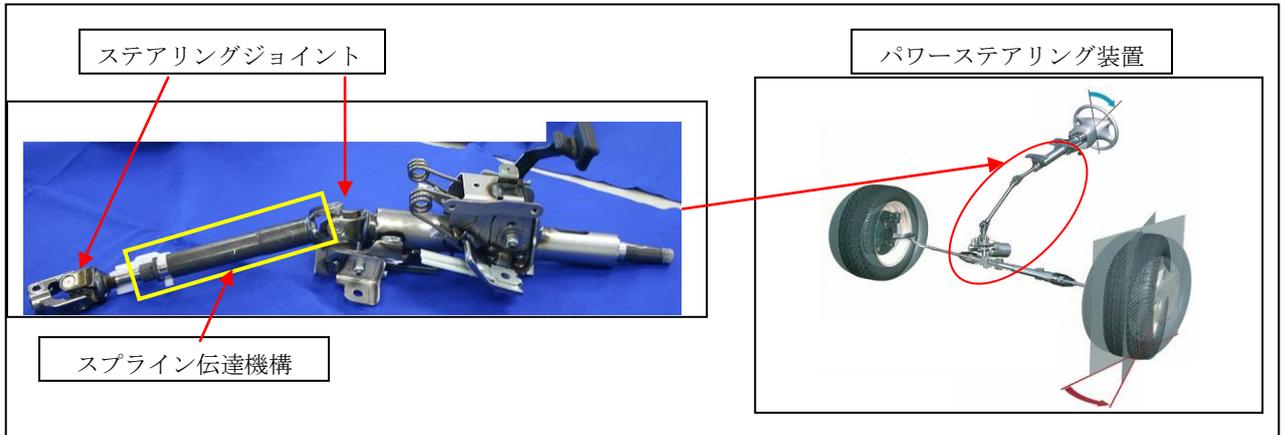
自動車産業では、衝突安全性が高く、応答性が優れ、更に低騒音・低コストであるステアリング用スプライン伝達機構の開発に対する強いニーズがある。本研究開発では、高精度な冷間成形加工で長い滑動が可能なスプライン軸を製造し、独自の工法で均一で薄く堅固なコーティング膜を形成することにより、高精度・低コストである製造技術を開発することを目的とする。これにより低コストで革新的な動力伝達機構の実現を可能とする。

本研究開発の対象とするスプライン伝達機構は、車の基本性能である“曲がる”を担う部品であり、ハンドルの動きをパワーステアリング装置で倍速し、タイヤに伝えるための動力伝達機構に組み込まれている部品である。この自動車用ステアリングシステムは、衝撃吸収やステアリングホイールに伝わる振動や騒音を吸収するため、ラバーカップリングタイプ、ゴムダンパータイプ、コルゲートチューブタイプ、樹脂ピンタイプなどがあるが、これらの方式は機能的には優れているものの、部品点数が多く、重量や大きさが増加することから、低騒音、低振動を満足する小型・軽量で低コストの動力伝達機構が求められている。最近では、安全面や車両組立面からスプライン機構の高伸縮性も求められるようになっており、伸縮性に優れたボールスプラインタイプも考案されているが、高コストが問題になっている。

本研究開発は、上記の背景で述べられている川下製造業者としてわが国の基幹産業である自動車産業の抱える問題点である「低騒音化」、「低コスト化」という課題及びニーズに対し、この問題解決のため、スプライン軸側に樹脂コーティングを行ってきたが、このコーティングの塗膜厚のバラツキが大きいため、コーティング後の切削加工が必須となっている。また、スリーブ側スプライン歯型形状の高精度加工のためには、ブローチ加工が一般的であり、これらによりスプライン伝達機構はコスト高となり、普及は進んでいない。

そこで、本研究開発では、欠陥のない薄く均一で且つ堅固な樹脂コーティング膜を成形する技術を開発すると同時に、従来の切削仕上げに代わってサイジング加工で最終精度を得る技術の確立に取り組むこととする。そして、スプライン軸部に高精度な塑性加工技術と、樹脂コーティング技術及び仕上げ加工技術を融合させることにより、小型・軽量で低コストのスプライン動力伝達機構を開発する。

＜パワーステアリング装置とスプライン伝達機構＞



2. 研究開発の目標

本研究開発では、川下製造業者となる自動車製造業で達成すべき高度化目標「低騒音化」、「生産の効率化」をスプライン軸部に高精度な塑性加工技術と、樹脂コーティング技術および仕上げ加工技術を融合させることにより、実現を図るものである。

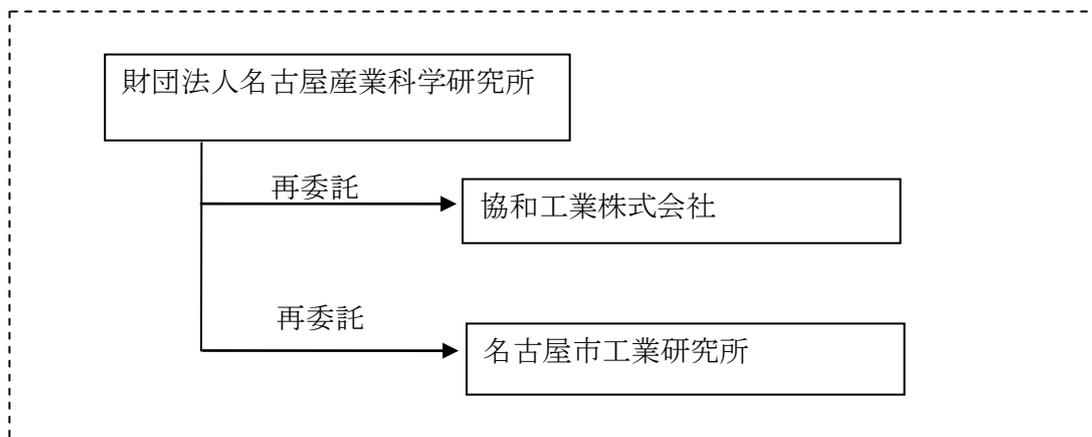
振り剛性の特性曲線により、ヒステリシスが微小でガタつきのないものとなり、すなわち低騒音が実現できる。さらに樹脂コーティングによる振動吸収も期待できる。またスプライン軸部に高精度な塑性加工技術を用いることで切削加工に比べ「生産の効率化」を図ることができる。さらに樹脂コーティングの薄膜コーティング技術により仕上げ加工を切削加工からサイジング仕上げにすることで「生産の効率化」と「低コスト」を実現できる。

目標値を下記に定める。

No.	項目	従来品	本方式
1	コスト	100%	30%削減 ↓
2	軽量化	100%	30%削減 ↓
3	伝達トルク	100%	30%向上 ↑
4	振動吸収	100%	20%向上 ↑
5	伸縮	100%	90%向上 ↑

1-2 研究体制

1. 研究組織（全体）



総括研究代表者（PL）
 所属：協和工業株式会社
 役職：代表取締役社長
 氏名：鬼頭 佑治

副総括研究代表者（SL）
 所属：名古屋市工業研究所
 役職：機械金属部
 機械システム研究室 室長
 氏名：児島 澄人

2. 管理体制

事業管理者 財団法人名古屋産業科学研究所
 （最寄り駅：名古屋市営地下鉄東山線伏見駅）
 〒460-0008 愛知県名古屋市中区栄二丁目10番19号

氏名	所属・役職	備考
古川 俊治	中部ハイテクセンター 産学連携支援部門 担当部長	
藤根 道彦	中部ハイテクセンター 産学連携支援部長	
松田 清美	中部ハイテクセンター 産学連携支援部門	
浅田 節子	中部ハイテクセンター	
森加 なつ美	中部ハイテクセンター 産学連携支援部門	

3. 研究体制

(再委託先) 協和工業株式会社 本社 (最寄り駅: JR東海道本線共和駅)

〒474-0011 愛知県大府市横根町坊主山1-31

〃 長浜工場 (最寄り駅: JR北陸本線長浜駅)

〒526-0802 滋賀県長浜市東上坂町367-2

氏名	所属・役職	備考
鬼頭 佑治	代表取締役社長	
辻 隆之	グローバル推進グループ 営業チーム マネージャー	
清水 徳善	グローバル推進グループ 技術チーム リーダー	
鬼頭 滋雄	ものづくり開発室 マネージャー	
高矢 弘章	ものづくり開発室 チーフリーダー	
丸山 健一	ものづくり開発室 製品・開発チーム チーフリーダー	
安永 高広	ものづくり開発室 設備・工機開発チーム エキスパート	
安藤 晃	ものづくり開発室 設備・工機開発チーム エキスパート	
山崎 重浪	ものづくり開発室 顧問	
関 辰也	製造グループ マネージャー	
黒田 季彦	製造グループ P. Mチーム チーフリーダー	~11.03
服部 義明	製造グループ P. Mチーム リーダー	~11.03
森 晃司	品質保証グループ 担当	
久野 敬次	管理グループ マネージャー	

南部 豊	ものづくり開発室 設備・工機開発チーム	11.04～
石原 仁	ものづくり開発室 設備・工機開発チーム	11.04～
山本 光雄	ものづくり開発室 設備・工機開発チーム	11.04～

(再委託先) 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番41号

氏名	所属・役職	備考
児島 澄人	機械金属部 機械システム研究室 室長	
深谷 聡	機械金属部 機械システム研究室 研究員	

4. アドバイザー

氏名	所属・役職	備考
佐藤 尚	名古屋工業大学 大学院工学研究科 おもひ領域 准教授	
大橋 和義	アルケマ株式会社 機能性樹脂営業本部 営業2部	
山内 治	ダイハツ工業株式会社 第1シャシー設計部 主担当	
光永 亮	株式会社山田製作所 開発本部 技術研究所 主幹研究員	
安田 良	名古屋市工業研究所 材料化学部 部長	
伊藤 清治	名古屋市工業研究所 材料化学部 プラスチック材料研究室 室長	
小田 三都郎	名古屋市工業研究所 材料化学部 プラスチック材料研究室	

5. 開発スケジュール

実施内容	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月
平成23年度									
①機械装置の製作									
①-1 樹脂コーティング装置の製作		←-----→							
①-2 サイジング装置の製作		←-----→							
②スプライン伝達機構の開発									
②-1 最適歯形に関する開発							←-----→		
②-2 樹脂コーティング塗布に関する開発							←-----→		
②-3 サイジングに関する開発							←-----→		
③耐久試験の評価							←-----→		
④プロジェクトの管理・運営		←-----→							
・ 研究開発委員会			○				○		○
・ 報告書作成								←-----→	

1-3 成果概要

1. 機械装置の製作

① 樹脂コーティング装置の製作

装置のコンセプトである「コンパクト」で「一個流し」を可能としてさらに産業廃棄物を発生させない装置を製作した。

凸凹したスプライン軸の金属表面と樹脂コーティングの密着性向上を図るプライマー塗布装置の構造は、水系プライマー槽を設け、スプライン軸を浸漬する方式とし、あわせてプライマー液の攪拌や液面を制御する装置とした。

樹脂コーティングでは、浸漬塗布前に加熱する必要がある、「生産の効率化」を図るために短時間で加熱する装置を組み込んだ。

流動浸漬槽では、ナイロン11パウダーを槽内で圧縮空気を送り流動させるとともに、槽内温度を制御する機能、塗布長さの均一化を図るために液面の水平を保ちながら一定の水面高さを制御する機能、さらに塗膜状態を確認する画像検査装置を組み込み、樹脂コーティング部の欠損の有無が検知可能な機能を有することで工程内での「品質のつくり込み」を実現した。

加えて、「生産の効率化」を図るため、それぞれの装置を搬送装置（ロボット等）で連結させた一体型の装置として目標であるサイクルタイム60秒の樹脂コーティング装置を製作した。

② サイジング装置の製作

樹脂コーティングで200 μm に塗膜された膜厚をサイジングのみで最終精度を得るために、一定の荷重でスライドすることやスライド速度の調整ができることと、スライド荷重と振り剛性が検証できる測定装置もあわせて製作した。

2. スプライン伝達機構の開発

① 最適歯形に関する研究

樹脂コーティング前のスプライン軸は、引き抜き材を使用した。

スリーブ素材の加工に際し、冷間成形によるスリーブを開発し、ブローチ工数低減を実現した。しかし冷間成形のみで最終形状となる工法開発が今後の研究課題として残った。

② 樹脂コーティング塗布に関する開発

スプライン軸の表面精度を向上させるショットでは、コーティングの密着性に最適な表面精度を得られるスチール系研掃材を選定した。

また、プライマー及び樹脂パウダーを選定して樹脂コーティングを実施するとともに、加熱時間、加熱温度を検証し、最適なコイル形状を開発した。

塗布においては、槽内の温度、塗布時間を検証して200 μm 以下で均一な塗膜厚を形成する技術を確立した。

③ サイジングに関する開発

サイジング装置は、荷重、速度、ストローク量が調整できる電動シリンダーを設置した。測定装置は、スライド荷重の変位について縦軸に荷重、横軸にスライド量を表示できる装置、同様に捩り剛性も表示できる装置を製作した。この装置によりスプライン伝達機構のリアルタイム検証を可能とした。

3. 耐久試験の評価

自社耐久性評価試験装置において実施した。

評価試験後、下記に示す評価基準で検証した。

- ・ガタ量は評価基準値をオーバーした。
- ・スライド荷重、樹脂コーティング部の剥離、異常磨耗は問題がなかった。
- ・コーティング膜の耐摩耗性、耐剥離性も特に問題はなかった。

1-4 当該プロジェクトの連絡窓口

財団法人名古屋産業科学研究所 [Tel:052-223-5694](tel:052-223-5694) Fax:052-211-6224

中部ハイテクセンター産学連携支援部門 担当部長 古川 俊治(furukawa@nisri.jp)

第2章 機械装置の製作

2-1 樹脂コーティング装置の製作

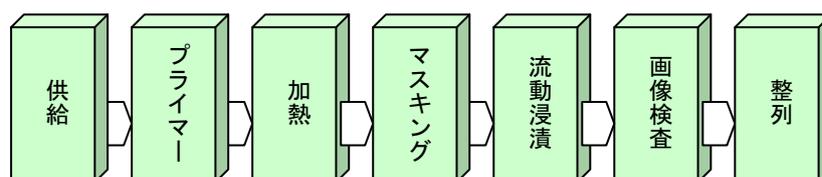
1. 研究目的及び目標

本装置は、200 μ mの樹脂コーティングを満たす加工プロセスを有してコンパクトな装置とする。さらに供給からプライマー塗布⇒加熱⇒マスクング⇒流動浸漬⇒画像検査⇒整列をライン化しロボット搬送することでサイクルタイム60秒を目指す。さらに「1個流し」もあわせて実現する他では類を見ない革新的な装置とする。

2. 実験方法

コンパクトな装置で、供給からプライマー塗布⇒加熱⇒マスクング⇒流動浸漬⇒画像検査⇒整列をロボットで連結してサイクルタイム60秒とする。以下にフロー図と全体写真を示す。

工程フロー図



樹脂コーティング装置全体写真



3. 研究成果

以下に工程毎の成果を記述する。

- a) 供給部：スプライン軸を定位置よりロボットがつかみ搬送するとセンサーにより整列されたスプライン軸が前進して定位置に移動する機構とした。
- b) プライマー部：スプライン軸には、必要な部位のみにプライマーを塗布できる制御方式である。また液面が管理水準を下回った場合には上部に補充用タンクから補充する。
- c) 加熱装置部：電磁加熱方式を選定したことで、30秒で300℃まで加熱することが可能となり、サイクルタイム60秒を実現することができた。
- d) マスキング部：スプライン軸が金属であることに着目しマグネットをスプライン軸の下部に吸着させる。
- e) 流動浸漬部：スプライン軸には、必要な部位のみに樹脂パウダーを塗布できる制御方式である。また液面が管理水準を下回った場合には上部に補充用タンクから補充するさらに槽内の温度上昇時には冷却できる装置である。
- f) 画像検査部：カメラ1台、照明ライン1台で長さ150mmまで検知ができ、搬送ロボットが360度回転させることで全周方向も一度に検査することができる。
- g) 整列部：最大60本まで樹脂コーティング完成品を整列することが可能である。

2-2 サイジング装置の製作

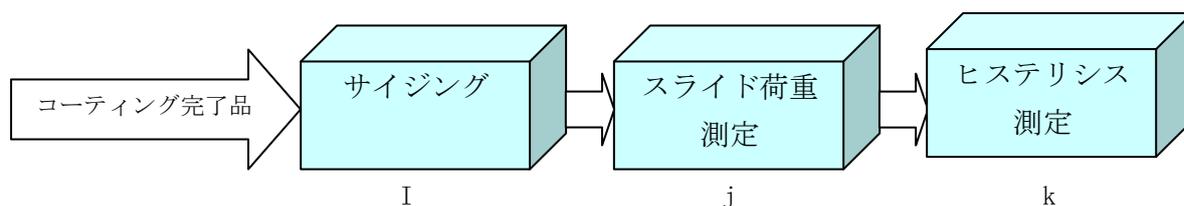
1. 研究目的及び目標

樹脂コーティングで200 μm に塗膜された膜厚をサイジングのみで最終精度を得る。測定装置は、スライド荷重と捩り剛性も表示できる装置を製作する。この装置によりスプライン伝達機構のリアルタイム検証を可能とする。

2. 実験方法

- a) サイジング装置は、荷重、速度、ストローク量が調整でき、安定した速度でサイジングできる装置とする。また最終精度を得るダイスは容易に交換できる構造とした。
- b) 測定装置は、ヒステリシス測定とスライド荷重測定がリアルタイムに表示できることと、サイクルタイム60秒を実現した。

工程フロー図



サイジング装置全体写真



3. 研究成果

- a) サイジング装置は、荷重、速度、ストローク量が調整できる機構を設置したことで自動送りの安定した速度を得られた。最終精度を得るダイスは容易に交換できる構造となっている。
- b) 測定装置は、スライド荷重をリアルタイムにパソコンにインターフェースを介して表示できる装置とした。同様に振り剛性も同装置で表示できるようにした。

第3章 スプライン伝達機構の開発

3-1 最適歯形に関する開発

1. 研究目的及び目標

最適歯形形状の設計として、三次元CADを導入するとともに、スライド荷重低減を念頭に面圧計算・ねじり強度計算を検討する。また、軸の加工方法は冷間引き抜き工法とし、加工に必要な引き抜きダイスを製作する。高精度スリーブは冷間成形だけでは難しく、冷間成形後ブローチ刀具を購入し、最終精度に仕上げる。

a) スプライン歯形形状

最適歯形形状の改良・設計は、JIS規格のスプライン歯形が必ずしも最適であるとの結論にないため、金属加工、樹脂加工のし易さ、強度、耐久性、振動吸収等を含めた歯形の検討をする。

b) スプライン軸

スプライン軸の製造は、歯形形状が50mm程度の場合、転造や冷間成形が選定されてい

るが、歯形形状が100mm以上の長尺スプライン軸の場合、この方法は軸方向で寸法が安定しない等の欠点を持っている。また、長尺スプライン軸は切削（ホブ）加工では可能であるが、低コストの要求に応えることができない。さらに、スプライン軸を熱処理し磨耗や強度向上を図っているが、これらが高コスト要因となっている。

c) スリーブ

スリーブ長尺スプラインは歯形形状が40mm程度の場合、冷間成形が行なわれているが、歯形形状が40mm以上の長尺スプラインの場合、この方法は軸方向で寸法が安定しない等の欠点を持っている。また、高精度スリーブのスプラインは、ブローチ加工で製作されるが、低コストの要求に応えることができない。

2. 実験方法

a) スプライン歯形形状

最適歯形形状の設計として、三次元CADの解析とスライド荷重低減を念頭に面圧計算・ねじり強度計算を検討した。

b) スプライン軸

引き抜きでスプライン形状に成形させ、なお強度を得る工法を開発した。

c) スリーブ

一度の冷間整形で内径にスプライン形状を成形する開発をした。

3. 研究成果

a) スプライン歯形形状

強度や耐久性さらに加工方法も考慮して最終形状を決定した

b) スプライン軸は、引き抜き素材を使用することで長い歯形形状が可能となった。

c) スリーブ素材の加工に際し、冷間成形のみで最終精度をだすことを目指したが安定することができず断念した。そこでブローチ加工の切削代を最小限にする冷間成形品を使用した。しかし冷間成形のみで最終形状となる工法開発が今後の研究課題として残った。

3-2 樹脂コーティング塗布に関する開発

1. 研究目的及び目標

樹脂はナイロン11、ナイロン12のトライ結果から、塗布・サイジング・静的試験・動的試験において満足な結果を得ることができた。また、塗膜において凸凹の歯面に均一に付着させるには流動浸漬法が良いことが判明した。

a) 樹脂選択

加工や耐久性さらには動力伝達機能に樹脂の種類や厚さが重大な影響を及ぼす。そこで樹脂の選択や前処理、皮膜形成条件等について幅広い検討が必要であることが明らかと

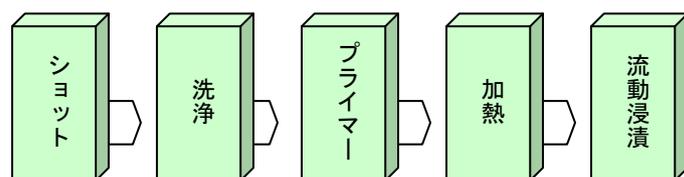
なり、最適な樹脂としてナイロン11またはナイロン12を中心に他の樹脂も検討課題とする。

b) 樹脂塗布

金属材料表面に樹脂被膜を形成する事は困難ではないが、スプラインの様に凸凹の激しい表面形状に薄く均一に塗膜することは類例が無いことから、高負荷に耐えるような塗膜技術を開発する必要がある。

2. 実験方法

工程フロー図



a) ショット

スプライン軸表面のバリ・スケールを除去するために必要であることが判った。研掃材は当初ガラス系を使用していたが、スチール系が適していることからスチールグリットを選定した。

b) 洗浄

環境を考慮して、既存設備の産業廃棄物が微小なアルカリイオン水シャワー洗浄機で行った。

c) プライマー

樹脂パウダーの密着性を高めるために必要であることが判った。

プライマーは水系のプライマーを選定した。

d) 加熱

スプライン軸を加熱することで樹脂パウダーの密着性が高まることが検証できた。

e) 流動浸漬

流動させる圧縮空気の圧力を一定にすることや一定の温度以下に保持する必要があることが判明した。

3. 研究成果

スプライン軸の表面精度を向上させるショットでは、コーティングの密着性に最適な表面精度を得られるスチール系研掃材を選定した。また、プライマーは水系を選定、樹脂パウダーはナイロン11を選定して樹脂コーティングを実施した。加熱は、サイクルタイム60秒が可能な方式とした。塗布においては、槽内の温度、塗布時間を検証して200μm以下で均一な塗膜厚を形成する技術を確立することができた。

3-3 サイジングに関する開発

1. 研究目的及び目標

スプライン軸に均一で $200\mu\text{m}$ と薄く皮膜を形成することが、サイジング加工前に重要なことが明らかとなった。サイジング加工においては、最適なダイス形状やスプライン軸の保持方法や加工速度等を選定し、均一で欠陥のない樹脂コーティングを薄膜な $150\mu\text{m}$ の膜厚を目指す。

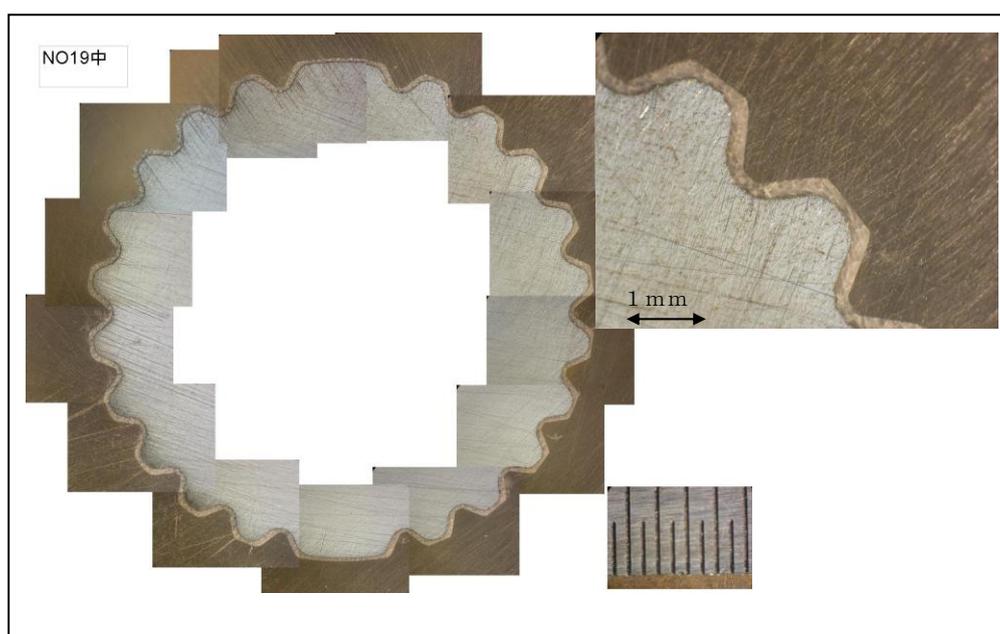
2. 実験方法

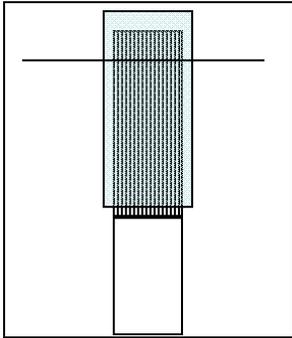
サイジングダイスを製作しサイジング後相手側スリーブとはめ合わせ検証を行ない形状決定した。サイジングの保持方法では、スプライン軸の端面側まですべて樹脂コーティングされていることでサイジング時に振れが発生し精度が安定しないことが判明した。そこで保持可能な方式に変更した。

3. 研究成果

コーティング樹脂塗膜皮膜状態を確認するためにサイジング後のスプライン軸の断面観察を行った。代表的な断面写真を示す。グレーの部分がスプラインシャフトの素材であり、その外面の黄色い部分がナイロンの塗膜である。膜厚はスプラインの傾斜部で約 0.2mm であった。塗膜はスプライン軸の形状に沿って、すきまなくコーティングされていた。その膜厚も均等になっていて、スプライン軸中心に対する偏心は見られなかった。

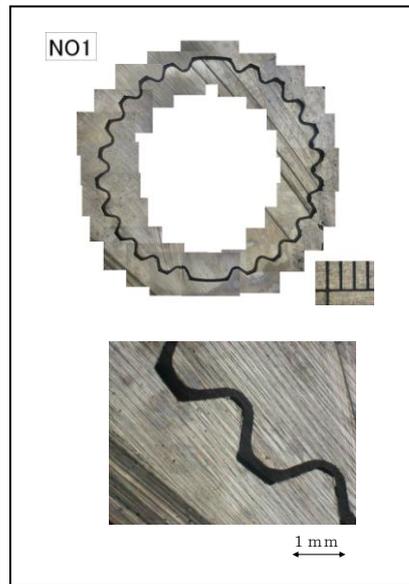
コーティングスプライン軸の断面状態



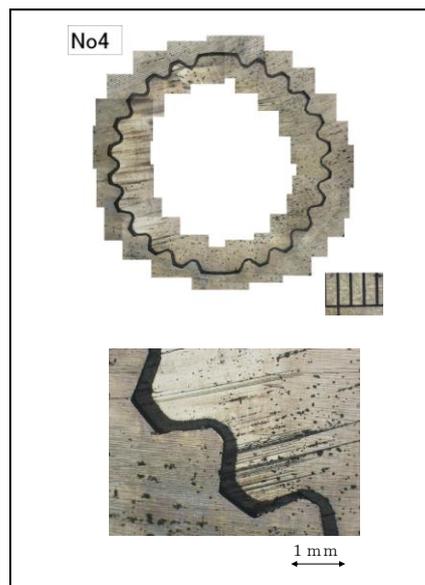


このスプライン軸とスリーブとのはめ合わせを確認するため、非破壊によるX線CT分析を行い、またははめ合わせた状態でエポキシ系の硬化剤で固着させ、左図のように切断し、その断面観察を行った。なお、観察試料はNo.1：スリーブ最大押込み力1.2N（軽く動く）とNo.4：スリーブ最大押込み力70N（手で力一杯の抵抗）の2種類を観察し、それぞれを下記に示す。

シャフトとスリーブをはめ合わせた状態の断面観察（はめ込み抵抗1.2N）



シャフトとスリーブをはめ合わせた状態の断面観察（はめ込み抵抗70N）



シャフトとスリーブの隙間はスプラインの外周の頂上部と内側の谷部に見られた。スプライン傾斜部ではシャフトとスリーブとの隙間が見られなかった。このことから、スプライン軸の回転のガタはほとんどないと考えられる。なおシャフトとスリーブのはめ込み強さの差はほとんど見られなかった。この以外は両者に挟まれた樹脂部の圧縮ひずみに要因があると思われるが、断面では同じく圧縮されており、最初のはめ合わせ前との形状変化を見直す必要があると考えられる。

第4章 耐久試験の評価

4-1 ヒステリシス評価

1. 研究目的及び目標

耐久性評価試験装置においては、片側にトルクを掛けながら40mmスライドできる試験装置で実施した。ヒステリシス曲線で試験前と試験後を測定し、評価基準は回転方向ガタ増加量 $1' 30''$ 以下とする。

2. 実験方法

自社製耐久試験機を用いてスライド耐久試験を行った。

耐久試験機写真



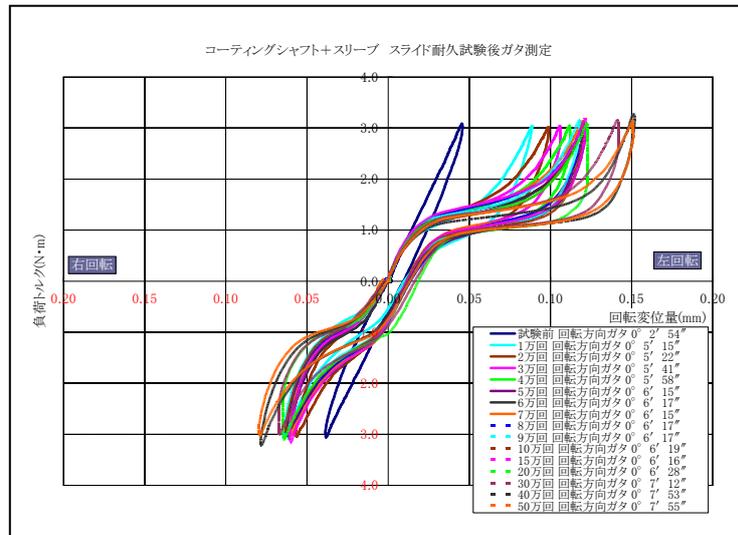
3. 研究成果

スライド耐久試験前、試験過程および試験後のガタ量をヒステリシス曲線で検証した。この結果初期の増加量が大きいとその後は微小の増加に留まっている。

目標値に試験後の増加量 $0^{\circ} 0 1' 30''$ 以下と設定したが大幅に目標値をオーバーした。しかし初期のガタ量を $1 5'$ 以下と想定していたので非常に満足できる製品であった。

この結果は川下ニーズも満足できる値である。今後目標値の見直しを検討することとした。

ヒステリシスデータ



4-2 スライド荷重評価

1. 研究目的及び目標

耐久性評価試験装置においては、片側にトルクを掛けながら40mmスライドできる試験装置で実施した。なお、軸とスリーブの結合部に最適なグリスを選定して塗布することでスライド荷重の低減を実現した。

評価試験後、下記に示す評価基準で検証した。

スライド荷重変位が15~20Nの範囲であること。また、樹脂コーティング部の剥離、異常磨耗を判別した。

2. 実験方法

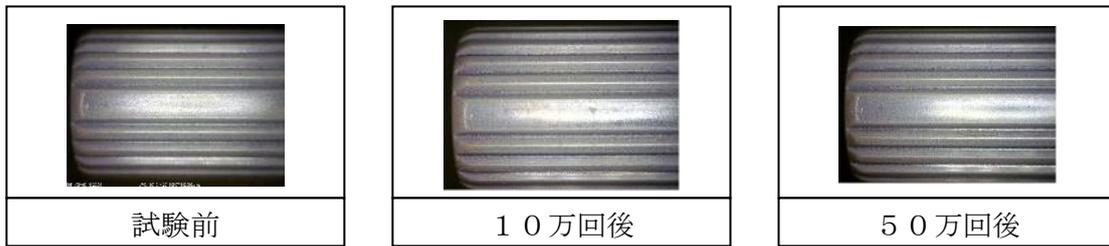
自社製耐久試験機を用いてスライド耐久試験を行う。

試験装置への取り付けは、スライド機構の両端にステアリングジョイントを溶接し試験機に固定をして、40mm摺動（スライド）させ、初期の状態から50万回まで実施した。確認項目は、樹脂コーティングの磨耗状況をオーバーピン径で測定。また樹脂コーティングの剥離については目視で確認。スライド荷重は初期と50万回の2回測定した。

3. 研究成果

- ①スライド荷重変位は、10Nの範囲であり、目標値内であった。
 - ②樹脂コーティング部の剥離はなかった。
- 試験前と試験中定期的に確認を行った。

樹脂コーティング部写真



③異常磨耗も見受けられなかった。



オーバーピン径の測定

オーバーピン径で測定した結果1万回と2万回では0.01%ずつの減少はしたがそれ以降は目立った現象は見受けられなかった。この測定結果とガタ量の測定結果では同じような現象であったことからスライド機構としての性能は満足できるものであった。

4-3 耐摩擦磨耗評価

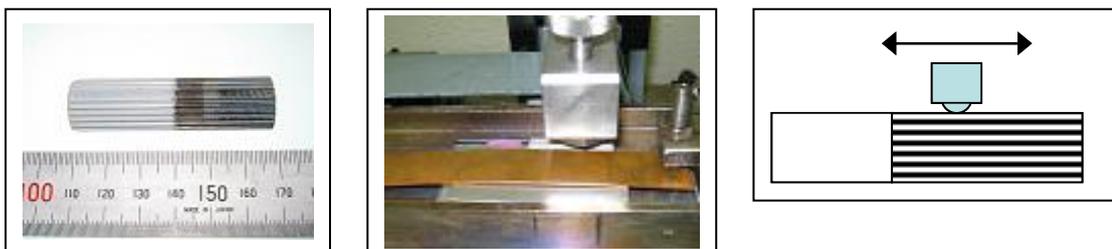
1. 研究目的及び目標

ナイロンの塗膜が使用時において、摩耗や剥離しないか調べるために、塗膜された部分の摩耗特性を調べた。またスプライン軸の摺動抵抗に繋がるナイロンの塗膜面の摩擦係数を調べ、滑らかな摺動性のあるスプライン軸の開発を目指した。

2. 実験方法

名古屋市工業研究所に保有されている付着すべり試験機（神鋼造機株式会社製）を用いて、摺動摩擦試験を行った。図のイラスト図のように試験体に垂直に摩擦圧子を当てて、錘を用いて垂直荷重をかけながら、試験体を固定したテーブルを左右に駆動させて、圧子と試験体の駆動方向の摩擦抵抗を測定した。本試験では、図の右側に示す塗膜された面（白色）と塗膜のない素材の鋼の面の摩擦試験を行った。圧子には3/16インチ球のSUJ2鋼球を用いた。

塗膜部の摩擦試験



試験条件は以下で行った。

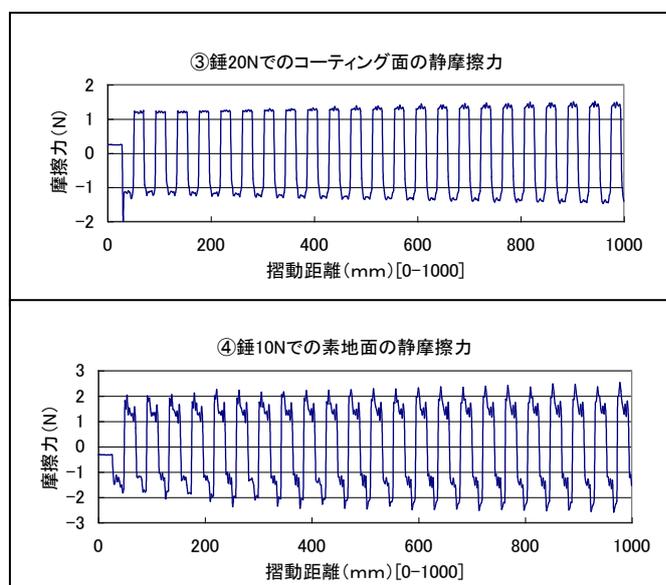
左右駆動速度 20 mm/s、ストローク 20 mm、試験時間 10 min、この条件で圧子の垂直荷重を変えた以下の 4 条件を行った。なお、いずれも乾式で行い、グリスは使用しませんでした。

	摩擦対象面	垂直荷重
①	塗膜面	2 N
②	〃	10 N
③	〃	20 N
④	素材面	10 N

3. 研究成果

(1) 静摩擦測定

試験初期の摩擦力



試験開始直後の摩擦力を上記に示す。ここで示される摩擦力は動摩擦力を測定しているが、開始直後であることから静摩擦力に近いものと考え、それぞれの比較を行った。図において、往復駆動時に生じる摩擦力は+側、-側に生じており、①から④の条件で平均的な摩擦力と摩擦係数は下記の表に示すとおりであった。

	摩擦力 (≒静摩擦力)	摩擦係数
①	0.15 N	0.075
②	0.6 N	0.06
③	1.3 N	0.065
④	2 N	0.2

①②③は塗膜面の摩擦試験結果であるが、計算 (= 摩擦力 / 錘) から求めた摩擦係数は

ほぼ同じく平均すると約0.07であった。一方、④はスプラインシャフトの素地面であるが、摩擦係数は0.2であった。この値は一般的な機械仕上げでの鋼同士の摩擦係数に近い値だった。ナイロン塗膜をすることで、摩擦係数が下がる結果であり、摺動抵抗の低減につながると考えられる。

(2) 摩擦力の変動

摩擦面は摺動の間に摩耗したり、変形したり、付着したり、変化することが考えられる。そのため摺動距離を12mまで行って、摩擦力の変動を調べた。

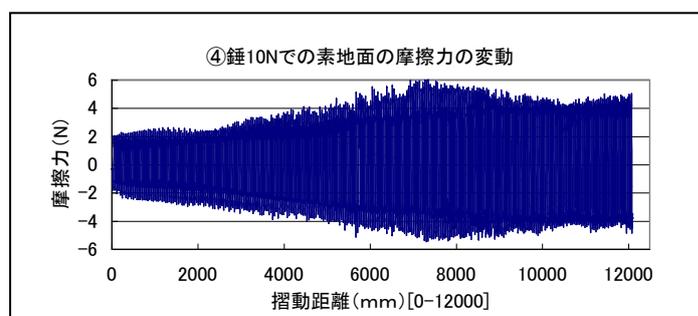
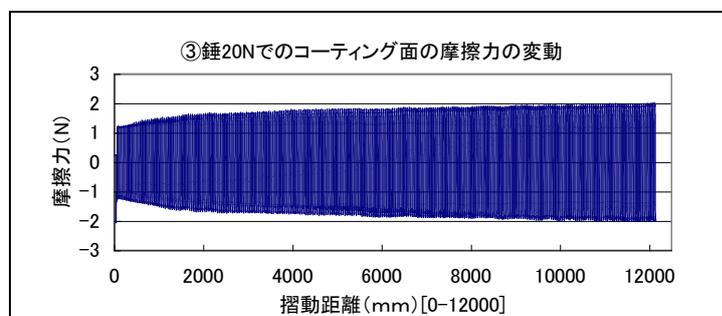
①②③は塗膜面の摩擦力の変動であるが、初期から2000mまでは摩擦力が大きくなっていくが、その後はその増加量は少なくなっている。12m摺動させた塗膜面は外観上大きな変化がなかった。

一方、④の素地面では、摩擦力の変動が激しく、初期の3倍の最大摩擦力になった。また12m摺動させた素地面は摺動方向のきずが見られた。

(3) 摩擦特性のまとめ

ナイロン塗膜をされたスプライン軸のコーティング面と鋼球との繰り返し摩擦試験を行った結果、ナイロン塗膜されていない素地の鋼表面（塑性仕上げ面）に比べて、摺動の摩擦係数が減少し、その後の摩擦距離の増加に対して、摩擦抵抗の大きな増加は生じず、対摩耗性の向上が確認された。

摩擦力の変動



第5章 全体総括

5-1 成果の総括

自動車産業からのニーズとして衝突衝撃の安全面からスプライン伝達機構の高伸縮性、寸法誤差や組立誤差による騒音や振動を吸収する機能が求められている。運転時の操舵性向上を図り路面からの振動やステアリング操作時のガタツキ感を排除しなければ快適なドライビングにならない。この問題を解決する手段としてスプライン軸に樹脂コーティング膜を形成することが低騒音化に最適である。また川下製造業は様々な問題解決と低コストを要求する。そこでこれらの要求を満たすため部品の削減、加工工数の削減とともに「生産の効率化」を実現しなければならない。

その実現のため三つの開発を柱に進めた。ひとつ目は、「マーケットの開発」で新たなアプリケーションの実現である。つまり本研究開発品の事業化である。二つ目は、「強いつくりの開発」で本研究開発の機械設備の製作である。つまりつくり方、つくる設備を独自で実践することである。三つ目は、「最適デザインの開発」で本研究開発品である中間スライド機構を示している。

中小企業がグローバル競争で生き残るためにこの三つの開発で川下製造業に価値を提供して、限りなきコスト競争の回避を目指すことができる新製品を創出することができた。

1. 実施計画の総括

実施計画として掲げた、機械装置の製作、スプライン伝達機構の開発、耐久試験の評価の3項目を項目毎に総括を行う。

① 機械装置の製作では、「コンパクト」であること、「1個流し」ができること、工程内で「品質のつくり込み」ができることをコンセプトに取り組んだ。

樹脂コーティング装置は、供給部からプライマー浸漬塗布、加熱、樹脂パウダー塗布と独自のノウハウを随所に織り込んだ設備とした。コンセプトである「1個流し」では、加熱部に電磁式加熱装置を組み込むことで実現でき、さらにサイクルタイム60秒も実現できた。また「品質のつくり込み」では樹脂コーティング後に画像検査装置を組み入れたことで実現できた。

サイジング装置は、スプライン軸が安定する固定方法として横型方式とした。さらにスプライン軸の端面にセンター孔を設けることでサイジング時の振れ防止を図った。またサイジング時に荷重、速度の安定を図るために電動シリンダーを組み込んだ。さらにスライド機構の性能を確認できる測定装置を設置し工程での「品質のつくり込み」を実践した。

② スプライン伝達機構の開発は、独自の機械装置を製作し試作品の製作を行うことで薄膜で強固な樹脂コーティング膜を形成する技術を構築できた。ただ樹脂コーティングを行うだけでなく、強靱で安価な素材の開発、強固な樹脂コーティング膜を形成する前

処理もあわせて開発した。まず、素材表面のバリ・スケール等の除去するショット研掃材の選定、密着性を向上させるプライマー、さらに樹脂パウダーの選定を行い、今回開発した装置で実証した。

③ 耐久試験の評価は、自社製耐久試験機を用いた試験と名古屋市工業研究所が保有する試験装置で実施した。内容は自社製耐久試験機ではスライド耐久試験を50万回実施して評価を行い、十分な結果を得ることができた。名古屋市工業研究所の評価は付着すべり試験機による、耐摩擦磨耗試験を行い特に問題になる所見はなかった。さらに樹脂コーティングしたプライン軸とスリーブをはめ合わせた検証も行った。名古屋市工業研究所が保有するX線CT装置を使用した非破壊測定やはめ合わせた上体で切断しその断面から観察を行い、はめ合わせが良好であることが検証できた。

2. 技術目標の総括

技術目標値と掲げた項目について総括を行う。

研究開発の目標は、コスト30%削減、軽量化30%、伝達トルク30%向上、振動吸収20%向上、伸縮量90%向上を掲げ満足な結果を得ることができた。

- ・機械装置の製作により生産の効率化を図ることでコスト30%削減ができた。
- ・様々な複合機能を削減することでコスト30%削減と軽量化30%ができた。
- ・スプライン軸の新たな加工方法を構築することで伝達トルク30%向上とコスト30%削減、伸縮量90%向上ができた。
- ・耐久試験後の検証結果より振動吸収20%向上ができた。
- ・機械装置の開発で伸縮量90%向上ができた。

5-2 工業所有権の取得状況及び対外発表等の状況

1. 工場所有権

特になし

2. 対外発表

2011年12月開催される「東京モーターショー」で発表予定をしている。出展は申込済みである。

5-3 今後の事業化に向けた取組み

1. 今後の課題

① スプライン伝達機能の評価基準の見直しが必要である。
当初ガタ量の増加量を評価基準としてきたが、本研究開発で得られた結果から初期のガタ量も重要な要素であるが、耐久試験後のガタ量の基準を定めることが重要であること

がわかった。現在国内自動車メーカーに本装置で製造した試作品を提供して評価していただいているが、試験終了後のガタ量は、ヒステリシス曲線でガタ量15' が評価基準になっている。今回の評価結果では耐久試験後8' 以下の高水準であることから十分対応できることが証明された。

② 樹脂コーティング後の安定

樹脂コーティングに24時間養生させサイジングを行っているが、短時間で安定した樹脂コーティングが必須の課題である。そのため樹脂コーティング後の養生時間短縮を検討していく必要がある。

2. 事業化計画

自動車メーカーの次期開発車種に本研究開発品を提供して、高評価を得ている。さらに他の国内自動車メーカーへサンプル品を提供し評価をしていただく。

従来の冷間鍛造製自在継手（ステアリングジョイント）に本研究開発品を付加した新製品もあわせてPRも行う。そのため、下記事業を実施する。

本年12月に東京ビックサイトで開催される東京モーターショーに出展して、本製品を広くPRする計画をしている。

また自動車産業以外のステアリング機構を有する産業車両メーカーや農業機械メーカーへのPRも今後開始する予定である。国内各社の自動車メーカーや産業車両メーカー、農業機械メーカーへは、ジョイントの専門メーカーである協和工業が、ステアリングジョイントを納入しており、本研究開発品とのモジュール化でさらなる付加価値を提供して販路拡大を目指していく。

これら販路開拓を行い本開発品の2～3年後の量産化を目標にする。また「協和工業(株)」のタイおよび中国の合弁企業を活用し、国内自動車メーカーの海外拠点や海外の自動車メーカー、さらに国内の農業機械メーカーや産業車両メーカーの海外拠点や海外の現地メーカーにもあわせて販路開拓を行なう。

