

# 乾式CVT用ボールねじの開発

## Development of Ball Screws for Dry CVT

桑島 透 T.KUWAJIMA 黒川貴則 T.KUROKAWA 井上昌弘 M.INOUE 山根伸志 S.YAMANE

Many automobiles have adopted automatic transmissions (A/T) for transmission system due to its maneuverability. Now in view of improving fuel efficiency, a shift to continuously variable transmission (CVT) has been carried out. So far the main type of CVT is wet type, but dry CVT is also under consideration because further improvement of fuel efficiency is expected on it. This paper describes the examination for adapting ball screws to a dry CVT.

**Key Words:** ball screw, screw shaft circulating method, resin gear

### 1. はじめに

自動車の変速機構としては運転のしやすさから自動変速機(A/T)が多く使用されているが、燃費向上の面から無段変速機(以下CVTと称す)への移行が進んでいる。現状では金属ベルトを使用した湿式CVTが主であるが、さらに燃費の向上が期待できる乾式CVTについても検討されている。乾式CVTは乾式ベルトで駆動力を伝達し、変速は湿式CVTと同様に可動プーリを軸方向に移動させることにより行っている。プーリの軸方向の移動には種々の方法が考えられるが、効率・応答性の面からボールねじが適している。ただしCVTの構造上コンパクト化が要求され、また乾式のため、高温ドライな条件での使用に耐えられることが求められる。今回、乾式CVTへのボールねじの適用を検討したのでその内容について報告する。

今回開発の大きなポイントは

- 1) ねじ軸循環式ボールねじの採用
- 2) 高負荷、高温ドライ環境に耐えられる樹脂ギヤ

の開発であり、その内容について以下説明する。

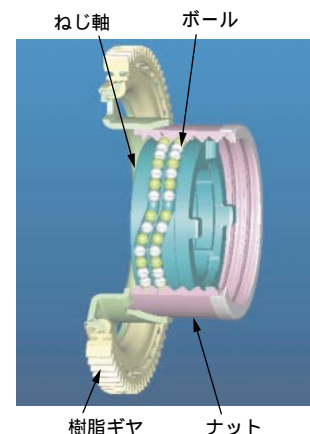


図1 開発品の構造

Structure of the developed product

### 2. 今回の開発の狙い

開発の狙いを以下に示す。

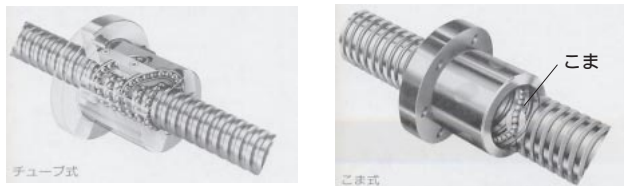
《CVT要求性能》	《対応技術》
高効率	ボールねじの採用 ねじ軸循環式 大径ギヤの樹脂化 耐熱グリース 油溜り、カバー設置 メンテナンスフリー
高速応答性	
軽量コンパクト	
長寿命	
高温ドライ環境	
メンテナンスフリー	

開発品の構造を図1に示す。開発品は循環溝をもったねじ軸にナットが組み合わされ、ナットに樹脂ギヤを取り付ける構造としている。ボールねじはモータにより、ギヤを介してナットを回転させることにより駆動される。

### 3. ボールねじ

#### 3.1 ねじ軸循環式ボールねじ

はじめに述べたように乾式CVT用ボールねじはコンパクト化が必要である。したがって従来のボールねじでは対応出来ない面があり、新しい構造のボールねじを開発した。以下に一般的なボールねじとの比較で開発品の特長を述べる。一般品の代表例を図2に示す。



1) チューブ式 2) こま式

図2 一般的なボールねじの構造

Structure of ordinary ball screws

1)のチューブ方式はナットの軌道部に接合したチューブを介してボールを循環させる構造となっている。チューブがナットの外側に配置されるためにサイズが大きくなる。

2)のこま式は循環溝を設けたこまをナットに埋め込むことにより、ボールを循環させる構造となっている。外径方向にはコンパクト化が可能であるが、こまが複雑な形状となるため、ナットの穴加工、こまの加工、および接合の精度が必要であり、信頼性・コスト面で課題がある。また両方式ともにナット側に循環路を設ける方式のため、ねじ軸が長くなる。これらの欠点を解消したのが今回開発したねじ軸循環式のボールねじである。構造を図3に示すが、従来のこま式とは逆にねじ軸の軌道部に循環溝を設け、ボールを循環させるシンプルな構造としている。

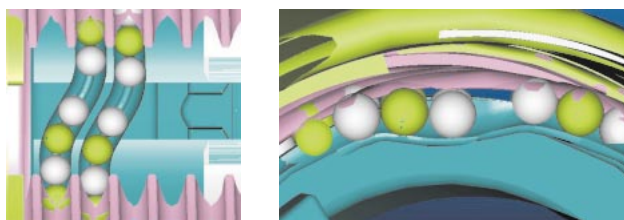


図3 ねじ軸循環部形状

Configuration of screw shaft circulating section

ねじ軸循環式ボールねじは以下のような利点がある。

- 1) ねじ軸の幅が必要最小限に抑えられることによりコンパクト化が可能  
開発品は外輪側でのボール循環に比べてねじ軸の軌道部の幅を1/2に減少が可能
- 2) 穴開け、接合が不要であり、加工工程の減少によるコストダウン
- 3) 別部材の接合が不要であり高信頼性

ねじ軸循環方式は、構造がシンプルであるとともに加工面が外径側であるために加工しやすく、循環部の形状を最適にすることができる。従来循環部および軌道との継目でのボールの挙動に不安定な面があったが、今回の開発品ではスムーズなボール循環を可能としている。

### 3.2 メンテナンスフリー化

開発品はメンテナンスフリーを考えているため、グリース封入方式としている。グリースについては特に高温特性を考慮したグリースを採用している。またナットの軌道の底にグリース溜まり溝を追加することにより、グリース封入量を確保している。さらにカバーを設置することにより、異物の浸入、グリースの飛散を防止している。

### 3.3 性能評価結果

表1に開発品の評価項目と目標を示す。効率については常温および低温時の評価、また耐久試験については負荷耐久、高温耐久について評価を実施している。

表1 ボールねじの評価項目と目標

Criteria and target of evaluation on ball screw

評価項目	耐久回数, cy	温度,
効率	標準	- 常温
	低温	- 0
耐久試験	負荷	100万 90
	高温	5万 110

評価結果を図4～7及び以下に示す。

- 1) 効率は常温で80%以上、低温時(0℃)でも60%以上の高効率である。
- 2) 負荷耐久、高温耐久ともに試験後の効率低下は2%以下とわずかであり、グリース寿命も高温耐久でも20%の余寿命がある。軌道には軽微な摩耗は認められるが、はく離などの異常はなく、問題はない。

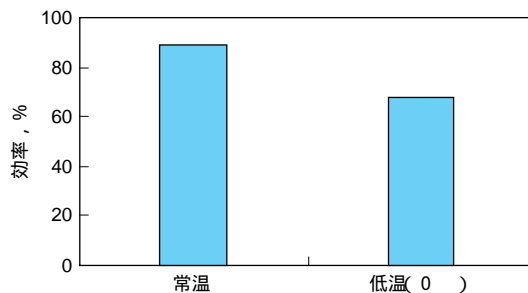


図4 効率評価

Efficiency evaluation

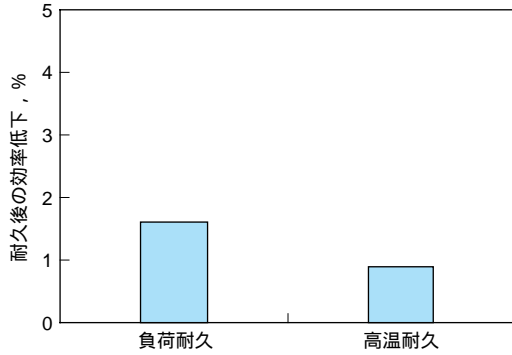


図5 耐久試験後の効率低下

Deterioration of efficiency after endurance test

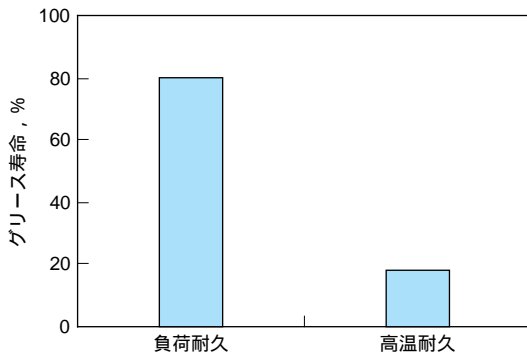


図6 耐久試験後のグリース寿命

Grease life after endurance test

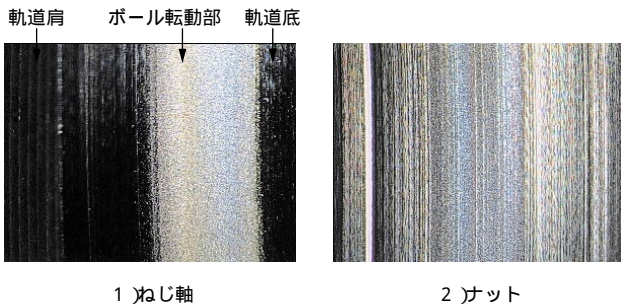


図7 負荷耐久試験後の軌道状況

Raceway conditions after loaded endurance test

## 4. 樹脂ギヤ

### 4.1 樹脂ギヤ要求特性

樹脂ギヤに要求される特性をまとめると下記の通りとなる。

- 1) ボールねじは高速で作動する．このため樹脂ギヤは始動時，停止時の衝撃荷重に耐えられる強度が必要となる．
- 2) 高温環境下，無潤滑環境下での厳しいしゅう動条件となり，高い耐摩耗性が必要となる．
- 3) 樹脂ギヤはナット外周に位置するため，大径のギヤとなる．このため低温時に発生する熱応力は大きく，高い耐ヒートショック性を有した材料が必要となる．

開発内容を以下に述べる．

### 4.2 高耐熱性

樹脂材料のベースレジンは自己潤滑性，耐熱性，耐衝撃性が高くコストパフォーマンスに優れたポリアミド系樹脂(PA66)を選択した．また強度，寸法安定性の問題からガラス繊維による補強を施した組成とした．

高温環境下での長期使用による強度への影響を調査したが120 × 1 500hrで強度低下は認められず十分な耐熱性を有する材料であることを確認した．

### 4.3 ギヤ諸元の最適化とギヤの強度

樹脂ギヤの強度には歯諸元が大きく影響を与える．そこで設計面での検討を実施したのでその結果について述べる．減速比，軸間距離の問題からモジュール，歯数の最適化を検討．さらに樹脂ギヤの強度向上のための設計として，転位係数，歯底の応力集中の緩和についても検討した．

転位係数が樹脂ギヤの性能に及ぼす影響として，強度と摩耗(歯先の厚さ)が挙げられ，それぞれの関係は図8に示す通りである．両者のバランスを検討した上で転位係数の最適値を設定した．

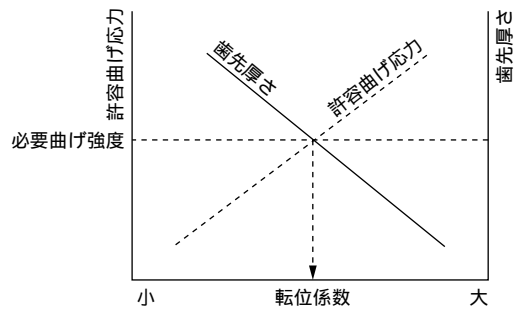


図8 転位係数の検討

Examination of shift volume coefficient

また樹脂ギヤの破損は歯底R部を起点として発生する．したがって歯底R部の応力集中を緩和させることでギヤの強度は大幅に向上する．しかし歯底R拡大に伴い歯丈が縮小し接触面積の減少が生じる．そこで本開発では歯底Rの拡大と歯丈減少の関係について図9に示すようにFEM解析を行い最適値の検討を行った．その結果最大発生応力を30%低減することができた．

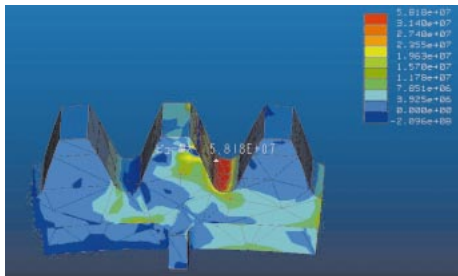


図9 FEM解析結果  
FEM analysis result

開発した樹脂ギヤの静ねじり強度の試験結果を図10に示す。新品時の強度はもちろん熱劣化後、吸水後も十分な強度を保持していることが分かる。

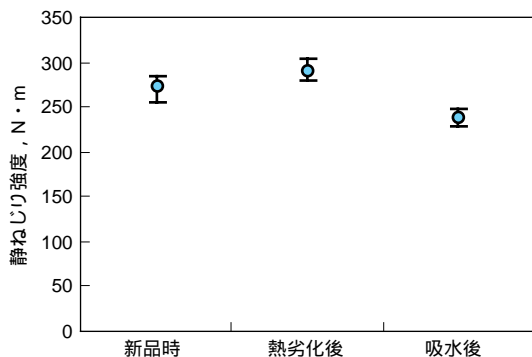


図10 静ねじり強度試験結果  
Static torsional strength test result

4.4 耐摩耗性

本開発ギヤのしゅう動形態は無潤滑下での転がり滑りでありかつ面圧が高く、条件的には厳しいものである。そこで材料の耐摩耗性を向上させるためさまざまな材料組成について、摩擦摩耗試験機を用いて検討を行った。材料コストのバランスを考慮した結果、固体潤滑剤の添加による対策が最も有効であることを確認した。改善効果の確認結果を図11に示す。

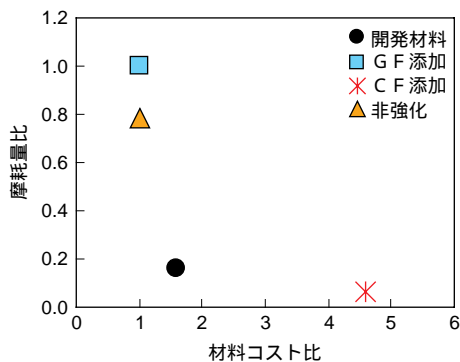


図11 耐摩耗性  
Abrasion resistance

ボールねじアッセンブリでの耐久評価を実施し、摩耗対策による改善効果をまたぎ歯厚の減少量により確認した。またぎ歯厚が所定量減少するまでの耐久サイクル数を調査した結果を図12に示す。材料に摩耗対策を施すことにより3倍以上の寿命を確保することが出来た。

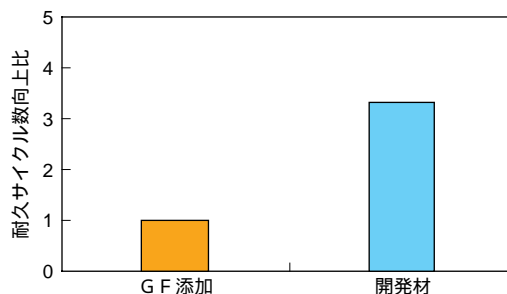


図12 またぎ歯厚が所定量減少する耐久寿命化  
Durability improvement evaluated by reduction amount of base tangent length

4.5 耐ヒートショック性

雰囲気温度が急激に低下した場合、樹脂と金属ブラケットの線膨張率の差により応力が発生し、ウェルド部分で破損が懸念される。

そこで耐ヒートショック性の向上対策として

- ・材料組成での対策
- ・成形条件での対策

について検討を行ったのでその結果について以下に述べる。

開発材料は固体潤滑剤が添加されているために強度低下が発生し、ギヤの耐ヒートショック特性に大きく影響を及ぼす結果となった。そこで材料組成での対策として添加剤を付加し、強度の向上をはかった。材料物性の改善効果を図13に示す。また図14に示すが、この対策によりヒートショック破損寿命が約6倍まで向上することを確認した。

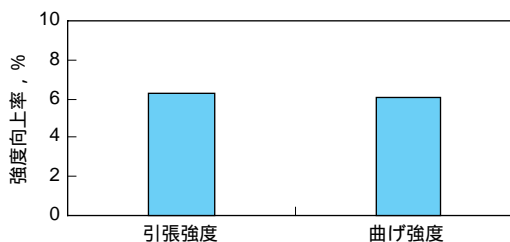


図13 強度試験結果  
Strength test result

ウェルド強度の向上は金型内ウェルド形成時の樹脂温度、樹脂圧力を向上させることで可能である。今回流動解析を実施し、検討を行った。今回



の解析で成形条件を最適化することでギヤ成形品のヒートショック破損寿命は対策前に比べ約3倍向上することを確認した。

ヒートショック対策による効果を図14に示す。以上に述べた2項目の対策によりヒートショック破損寿命は対策前に比べ15倍向上した。

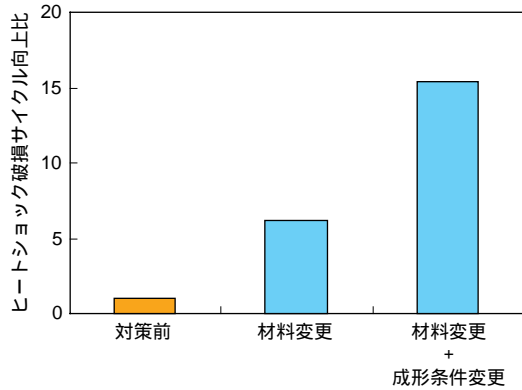


図14 ヒートショック評価結果

Thermal shock test result

### 5. おわりに

今回、乾式CVTにボールねじを適用する検討を進めてきたが、使用可能な目処づけをすることができた。具体的には

- 1) コンパクト・低コスト・高効率のねじ軸循環式ボールねじ
- 2) 高温ドライ環境に耐えられる高強度・高耐摩耗性にすぐれた樹脂ギヤ

の獲得であり、今後、自動車関連分野での展開を乾式CVT用以外へも考えていきたい。

### 筆者



桑島 透\*

T. KUWAJIMA



黒川貴則\*\*

T. KUROKAWA



井上昌弘\*

M. INOUE



山根伸志\*

S. YAMANE

\* 軸受事業本部 ユニット技術部

\*\* 総合技術研究所 基礎技術研究部