

高速回転対応深溝玉軸受の開発

Development of Deep Groove Ball Bearings for High-speed Rotation

谷口陽三 Y. TANIGUCHI 梅野 剛 T. UMENO

Motors used in hybrid electric vehicles (HEV), electric vehicles (EV), and the like are required to be small and high-output. The downsizing of the motor brings demands for an increase in rotations to preserve motor output, and the need for higher speed in bearings is also increasing. In response to these needs, we have developed a deep groove ball bearing for high-speed rotation which adopts a dual-support type resin cage, which we will introduce in this report.

Key Words: ball bearing, cage, high-speed, dual-support

1. はじめに

低燃費ニーズが高まるにつれて HEV や EV のさらなる需要の増加が見込まれている。HEV や EV に使用されている駆動モータは限られたスペースに収めることが重要であることから、小型・軽量化が要求される。一方、モータ体格を小型化し高出力を維持するためには回転速度の増加が必要であり、モータ部の支持軸受においても高速回転に対応した軸受が必要である。今回、高速回転対応深溝玉軸受を開発したので紹介する。

2. 高速回転に対する課題

HEV や EV の駆動モータは油潤滑、またはグリース潤滑で使用されるが、油潤滑は高速回転で使用されることが多い。深溝玉軸受に使用される保持器は、通常、鉄保持器や冠形樹脂保持器が使用されるが、油潤滑下において高速回転で使用した場合は、保持器の高速限界によって許容回転速度が決まることが多い。鉄保持器においては、高速回転による保持器の偏心運動により玉と保持器ポケットとの接触が強くなり、接触部の潤滑不良が発生することで玉と保持器の間で焼付きに至る。鉄保持器における高速回転試験後の保持器の状況を図1に示す。



図1 高速回転試験後の鉄保持器の状況
State of iron cage after high-speed test

一方、冠形樹脂保持器の場合、片持ちタイプのために遠心力によりポケット爪部が変形しやすく、鉄保持器に比べ高速性に優れるものの、高速回転で使用した場合は、変形による玉とポケット爪部の強い接触に起因する昇温により焼付きに至る。冠形樹脂保持器付軸受の高速回転試験後の保持器の状況を図2に示す。

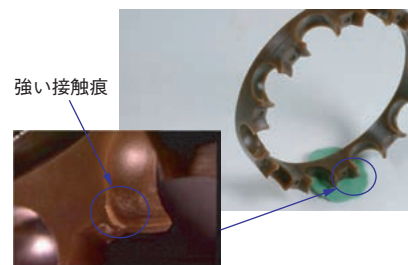


図2 高速回転試験後の冠形樹脂保持器の状況
State of snap cage after high-speed test

冠形樹脂保持器においては、高速化対応のため、従来より遠心力による変形を抑制するために保持器の円環部の軸方向厚さを増大して剛性を向上させる手段がある。しかし、この剛性を向上させた保持器においても、 d_{mn} 値*1が150万以上の高速回転では爪部の変形が大きくなってしまい、玉とポケット爪部の強い接触による昇温により焼付きに至る。そのため、さらなる高速化のためには樹脂保持器で高速回転での変形を抑えることのできる保持器形状にする必要がある。

*1 d_{mn} 値：軸受のP.C.D. (mm)×回転速度(min^{-1})

3. 開発保持器の特徴

今回、同一形状の2個1組の樹脂保持器を組合せた構造の両持ちタイプの保持器を開発した(図3)。

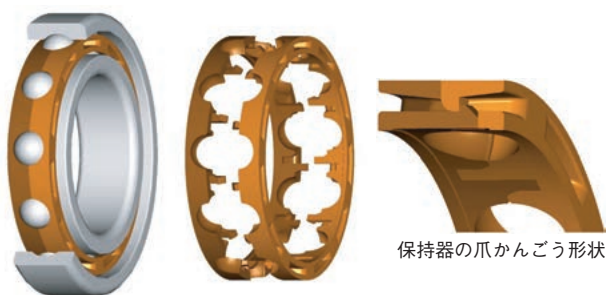


図3 開発保持器
Developed cage

両持ちタイプにすることで遠心力による変形を抑制する構造としている。また組合せ部の爪部形状においても、爪かんごう方向を内側からのかんごうにすることで、遠心力に対して爪部が変形しにくい形状としている。開発保持器による保持器変形の低減効果を確認するため、FEMにより保持器の変形量を解析した。表1に解析保持器、表2に解析条件、図4に解析結果を示す。

表1 解析保持器
Analyzed cages

標準保持器	剛性アップ保持器	開発保持器

表2 解析条件
Analysis conditions

軸受呼び番号	6007 (内径 $\phi 35$ × 外径 $\phi 62$ × 幅 14)
回転速度, min^{-1}	MAX. 50 000
温度, $^{\circ}\text{C}$	120

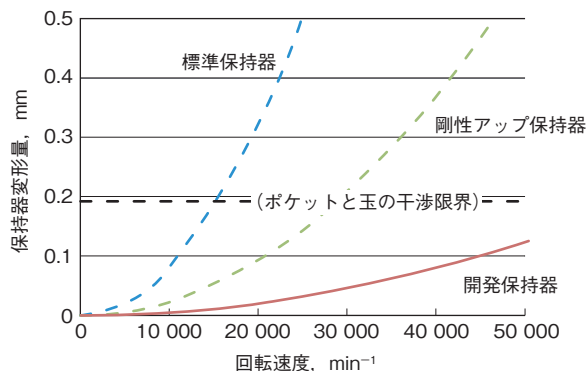


図4 解析結果
Analysis results

図4の解析結果より、従来の標準保持器に対し、円環部の軸方向厚さを増大させた剛性アップ保持器にすることで変形量は小さくなるが、前述の通り $30\,000\text{min}^{-1}$ (d_{mn} 値：約150万)を超えたあたりで玉との干渉限界に達する。これに対し、開発保持器は剛性アップ保持器よりも変形量が小さく、 $40\,000\text{min}^{-1}$ (d_{mn} 値：約200万)においても玉との干渉は発生しない。

4. 評価

4.1 保持器単体

(1) 疲労強度

開発保持器において、保持器の疲労強度を実験により確認した。また樹脂保持器の場合、油潤滑で使用すると油浸漬劣化により強度が低下するため、油浸漬後の保持器についても疲労強度を確認した。表3に試験条件、表4に油浸漬条件、図5に試験装置を示す。保持器への負荷は回転側のピン形状治具を回転方向に動かすことにより、固定側のピン形状治具の間で引張方向に与えた。試験は、各荷重において保持器が破断するまで実施し、その繰り返し数を確認した。

表3 試験条件
Test conditions

試料 (保持器)	新品, 油浸漬品
周波数, Hz	10
雰囲気温度, °C	20 ± 5 (常温)

表4 油浸漬条件
Oil dipping conditions

油種	ATF
温度, °C	140
時間, h	500

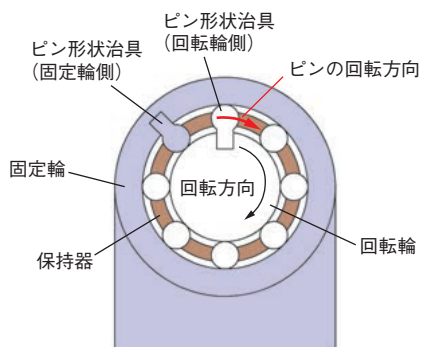


図5 試験装置
Test equipment

図6に疲労強度試験結果を、図7に疲労強度試験後の保持器の写真を示す。図7より保持器が円環部の最小厚み部（背肉部）より破損していることから、最弱部が背肉部であることが分かる。なお図6の縦軸の発生応力は、負荷荷重から FEM にて算出した背肉部の発生応力を示す。

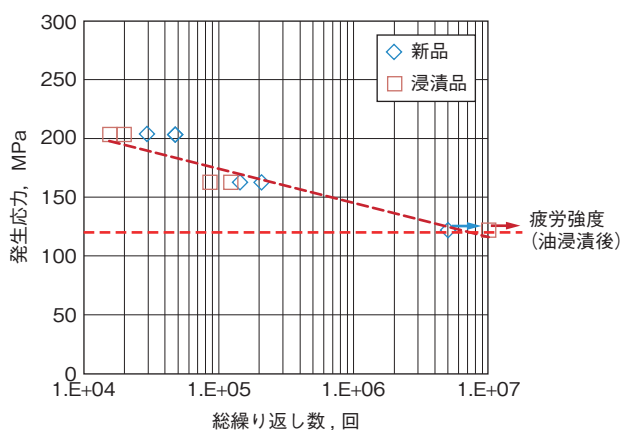


図6 疲労強度試験結果
Fatigue strength test results

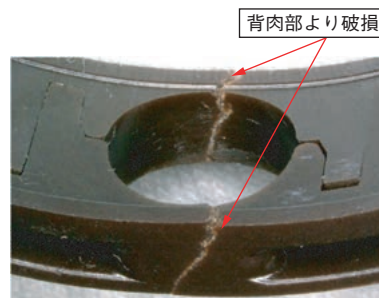


図7 疲労強度試験後保持器
Cage after fatigue strength test

図8に $40\,000\text{min}^{-1}$ (d_{mn} 値: 約 200 万) 時における開発保持器の発生応力解析結果を示すが、 $40\,000\text{min}^{-1}$ (d_{mn} 値: 約 200 万) の条件においても、発生応力は油浸漬後の疲労強度より小さいことが分かる。

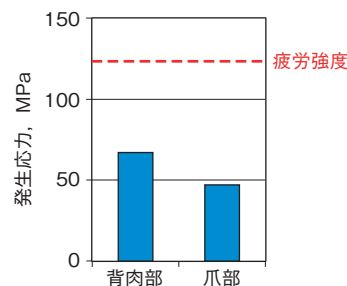


図8 発生応力解析結果
Results of occurred stress analysis

(2) ヒートショック試験

開発保持器において、ヒートショック試験により熱衝撃による保持器への影響を確認した。表5に試験条件を示す。試験後の保持器において、変形や割れなどの異常は認められない。

表5 試験条件
Test conditions

試験パターン	<p>Temperature profile graph showing a cycle between -30°C and 120°C. The cycle consists of a 35min ramp up, a 35min hold at 120°C, and a 35min ramp down. The total cycle time is 70min. Temperature transition time is 5min or less.</p>
サイクル数	200

4.2 軸受

(1)高速性

現行保持器（標準品，剛性アップ品）と開発保持器を組み込んだ軸受の昇温を比較した。表6に試験条件，図9に試験装置，図10に試験結果を示す。図10中の上矢印の回転速度はこれ以上の回転速度では異常昇温が発生することを示す。開発保持器は40 000min⁻¹においても異常昇温が発生せず，剛性アップ保持器の30 000min⁻¹と比較してさらに高速性が1.3倍以上であることを確認した。

表6 試験条件
Test conditions

軸受呼び番号	6007 (内径 φ35 × 外径 φ62 × 幅 14)
ラジアル荷重, N	1 600
アキシアル荷重, N	0
給油方法	滴下給油
油種	ATF
油温	常温 (自然昇温)
油量, ml/min	5

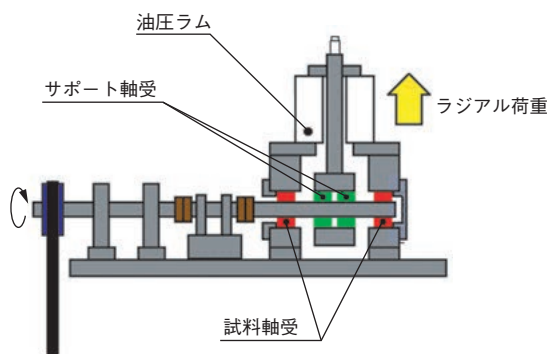


図9 試験装置
Test equipment

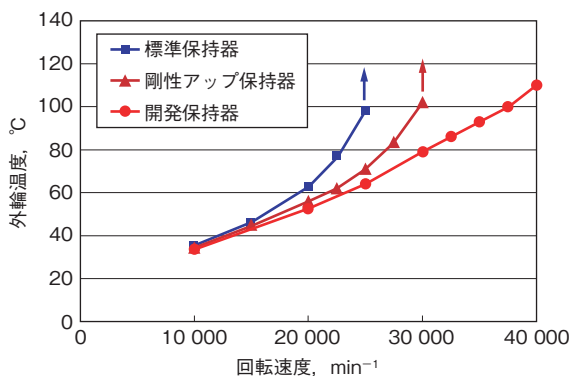


図10 高速性評価結果
Results of high-speed performance evaluation

(2)耐久性

①高速耐久

開発保持器において，高速耐久試験を実施した。表7に試験条件を示す。試験の結果，開発保持器は200時間の試験条件を満足した。試験後の外観を図11に示すが，剥離や焼付きは認められず，保持器にも摩耗などの異常は認められなかった。

表7 試験条件
Test conditions

軸受呼び番号	6007 (内径 φ35 × 外径 φ62 × 幅 14)
ラジアル荷重, N	1 600
アキシアル荷重, N	0
回転速度, min ⁻¹	30 000
給油方法	滴下給油
油種	ATF
油温, °C	140
油量, ml/min	50
試験時間, h	200

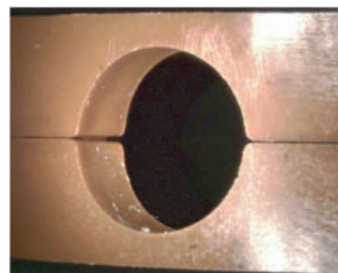


図11 高速耐久試験後の外観
Appearance after high-speed durability test

②高負荷耐久

開発保持器において，高負荷耐久試験を実施した。表8に試験条件を示す。保持器は油浸漬品を使用した。試験の結果，開発保持器はn = 2とともに計算寿命の3倍を満足した（図12）。試験後の外観を図13に示すが，剥離や焼付きは認められず，保持器にも摩耗などの異常は認められなかった。

表8 試験条件
Test conditions

軸受呼び番号	6007 (内径 φ35 × 外径 φ62 × 幅 14)
保持器	油浸漬品 (条件: 表4)
ラジアル荷重, N	4 900
アキシアル荷重, N	0
回転速度, min ⁻¹	10 000
軸の傾き	3/1 000
給油方法	滴下給油
油種	ATF
油温, °C	80
油量, ml/min	50
試験時間, h	171 (計算寿命の3倍)

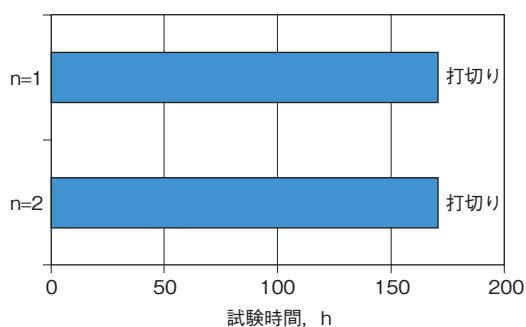


図12 高負荷耐久試験結果
High-load durability test results



図13 高負荷耐久試験後の外観
Appearance after high-load durability test

5. おわりに

開発保持器の高速性は現行保持器（標準品、剛性アップ品）に対して1.3倍以上であることを確認した。またヒートショック試験後および耐久試験後においても、保持器に異常はなく十分な耐久性を有することを確認した。

今後 HEV や EV の市場拡大にともない、モータの高速化が予想される。本報では高速回転対応の深溝玉軸受を紹介したが、これからも軸受の高性能化に向けた新技術開発の取り組みをすることで、自動車の燃費改善、省エネルギー化に貢献していきたい。

参考文献

- 1) 百々路博文, 岩田 孝, 松山博樹: トライボロジー会議 予稿集, 2017 春東京(2017)D30.
- 2) 横田邦彦: JTEKT ENGINEERING JOURNAL, No. 1014(2016)14.
- 3) 村上正之, 高橋 譲, 岡本大輔: JTEKT ENGINEERING JOURNAL, No. 1011(2013)39.

筆者



谷口陽三*

Y. TANIGUCHI



梅野 剛**

T. UMENO

* 軸受事業本部 自動車軸受開発部

** 軸受事業本部 実験解析部