

玉軸受の樹脂保持器高性能化の取り組み

Efforts towards a More Efficient Resin Cage for Ball Bearings

村上正之 M. MURAKAMI 高橋 譲 Y. TAKAHASHI 岡本大輔 D. OKAMOTO

In response to the demand for more efficient, faster products using bearings, we JTEKT are continuing the development of highly efficient bearings. For more efficient ball bearings, we are advancing the change to resin materials for cages in order to utilize the benefits of resin. We have therefore developed the resin cage, which achieves improved low torque and high speed performance. The low-torque feature of the developed cage reduces the amount of lubricant accumulation inside the bearing, and its high-speed performance raises the cage's rigidity. In this report, we will introduce the resin cage.

Key Words: ball bearing, cage, resin, low friction torque, high-speed rotation

1. はじめに

近年、自動車、産業機械、家電などの分野では、環境意識の高まりによるCO₂排出削減のための高効率化と、製品性能向上のための高速化に対応すべく開発が進められている。この分野に使用される転がり軸受に対しても高効率化、高速化などの要求性能が厳しくなっている。

転がり軸受の保持器は汎用性の観点から、一般的に鋼板プレス保持器が使用されることが多いが、玉軸受については低トルク、高速性などの高性能化のために、樹脂保持器の使用が拡大している。一般的に、樹脂保持器は鋼板プレス保持器と比較して軽量、自己潤滑性、成形の自由度などが長所であり、それらの特性を活かした開発が可能である。

本報では、新たに開発した玉軸受の樹脂保持器について紹介する。

2. 玉軸受の樹脂保持器に対する要求と課題

軸受に要求される低トルク、高速性などの性能に対して、樹脂保持器に着目し、低トルク性能、高速性能に優れた保持器の開発に取り組んだ。表1に軸受への要求性能と、樹脂材料の特性について示す。

保持器は転動体を等間隔に分けている部品であり、軸受性能には保持器の材質や形状が大きく影響を及ぼし、用途に応じて要求される性能が異なる。

表1 軸受への要求性能と樹脂材料の特性
Performance requirements for bearings and the characteristics of resin materials

軸受への要求性能	樹脂材料の特性								
	自己潤滑性	高弾性	耐衝撃性	耐腐食性	軽量化	耐熱性	剛性	耐油性	寸法変化
低トルク	○				○				
高速性	○	○	○		○				
軸受の昇温低減	○	○			○				
高温条件での軸受寿命	○					△	△	△	△
音響性	○		○		○				
耐食性				○					
軽量化					○				

○：材料の長所として利用する特性

△：材料の短所としての留意点

2.1 低トルク性能

製品の高効率化のため、軸受の低トルク化は必要不可欠である。玉軸受トルクの発生要因としては、

- ①玉と軌道間に発生する転がり粘性抵抗：Mv
- ②潤滑剤のかくはん抵抗：Md
- ③転がり摩擦抵抗（弾性ヒステリシス損失 + 差動すべり + スピンすべり）：Mb
- ④すべり摩擦抵抗（玉と保持器の摩擦 + 軌道輪と保持器の摩擦）：Mc

が挙げられる（図1）。表2に玉軸受トルク要因に対する軸受内部因子の影響を示す。軸受内部因子の変更は低

トルク化に有効であるが、それらを変更せず低トルク化するためには、保持器形状設計、および軸受内部への潤滑油量低減が有効である。

また、軸受の低トルク化は、保持器以外に玉構成や軌道曲率、軌道粗さなどの内部諸元の影響も大きく、これらの工夫も必要である。

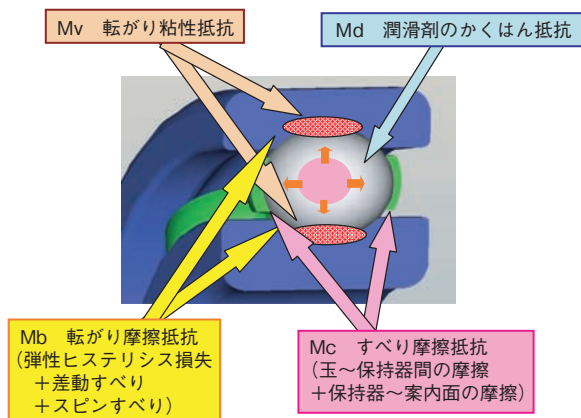


図1 玉軸受トルク要因
Elements of ball bearing torque

表2 玉軸受トルク要因に対する軸受内部因子の影響
Influence of inner bearing factors on the elements of ball bearing torque

		Mv	Mb	Md	Mc
軸受内部因子	玉構成	○	○	○	○
	軌道曲率	○	○	-	-
	軌道粗さ	○	○	-	-
	すきま	○	○	-	-
	軌道輪硬さ	○	○	-	-
かくはん因子	保持器設計	-	-	○	○
	潤滑油量	-	-	○	-

○：影響する -：影響しない

2.2 高速性能

軸受の高速性能を向上させるには、自己潤滑性や軽量性を有する樹脂保持器を用いることが有効である。しかし、樹脂保持器は高速回転時、遠心力の増大により変形する場合がある。保持器が変形すると、保持器が玉と干渉し軸受温度が高くなる、あるいは保持器の応力が高くなり破断する等の問題が考えられる。それらの対策として、保持器剛性を考慮した設計を行う必要がある。

2.3 樹脂保持器の課題

樹脂保持器は鋼板プレス保持器と比較して、一般的に耐熱性・剛性・耐油性の点で劣る。保持器剛性を上げる

ためにはサイズを大きくするなどの対応策はあるが、軸受サイズの制約を考慮する必要がある。剛性はCAE解析や実験確認、耐熱性は使用温度を考慮した材料選定、耐油性は潤滑剤との相性試験での確認により設計を行い、樹脂保持器の課題を対策している。

3. 開発保持器の特長

3.1 低トルク保持器

3.1.1 低トルク保持器の概要

油浴中で使用される環境で、低トルク性に優れた保持器を開発した(図2)。開発のポイントは、保持器形状により軸受内部への油量制御を行うことである。低トルク円すいころ軸受の開発において、油量制御は低トルク化に効果があることを既に明らかにしている¹⁾。表3に現行保持器と開発保持器の比較を示す。現行の鋼板プレス保持器や冠型樹脂保持器は、内輪外径と保持器内径、外輪内径と保持器外径のクリアランスが大きいいため、油が軸受内部に流入しやすく、軸受内部に滞留する油量が多い。開発保持器は軸受内部への油の流入を抑制するため外輪案内とし、案内すきまの最適化を図った。さらに、

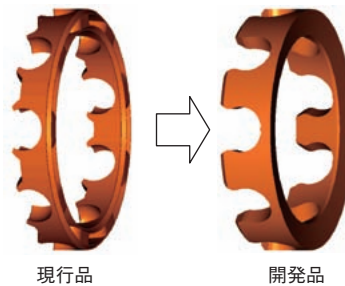


図2 開発保持器形状
Form of developed cage

表3 保持器形状比較
Cage form comparison

現行保持器		開発保持器
鋼板プレス保持器	冠型樹脂保持器	低トルク用樹脂保持器
		保持器案内面、背面角度、内径形状を工夫
①油が流入しやすく内部油量が増加 ②軸受内部から排出量少		①油の流入を抑制 ②軸受内部の油の排出促進

← →：油の流れ

保持器背面をテーパ形状とすることで、保持器回転の遠心力により油の流入を抑制する。また、保持器内径面の形状工夫で、軸受内部の油の排出を促進することにより、軸受内部の滞留油量を減少させた。

CAE による効果の検証と各部の形状最適化の検証結果を次に示す。

<流体解析>

現行保持器と開発保持器で、軸受周辺や内部の油の流れを比較し、確認するために流体解析を実施した。表4に流体解析モデルと解析条件を示し、図3に流体解析結果を示す。従来保持器は軸受内部へ油が流入しやすく、内部に滞留する油量が多いのに対し、開発保持器では次の効果が確認できた。

- ①案内すきまのラビリンスにより、軸受内部への油の流入を抑制できている。
- ②背面テーパ形状と遠心力により、下方から上方への油の流れが形成されている。
- ③傾斜部のポンプ効果で、軸受内部の油が外部へ排出されている。
- ④ポンプ効果により、軸受内部への油の逆流を防止している。

表4 流体解析モデルと解析条件

Fluid analysis model and analysis conditions

軸受基本呼び番号	6206 (内径 $\phi 30 \times$ 外径 $\phi 62 \times$ 幅 16)
回転速度, min^{-1}	5 000
油浴状態	油浴中で左右に 68Pa の圧力差を付与
油種	CVT 油
油温, $^{\circ}\text{C}$	30
流体解析モデル	

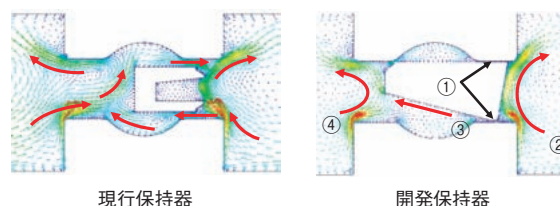


図3 流体解析結果

Results of fluid analysis

<形状最適化>

開発保持器の最適設計を行うため、案内方式、背面角度、案内すきまをパラメータ(図4)として軸受の貫通油量を比較した。表5に試験条件と図5に試験装置、図6に貫通油量測定結果を示す。貫通油量の最も少ない保持器形状は、外輪案内と背面角度 b_3 と案内すきま c_1 の組合せであった。最適設計を行った開発保持器は現行保持器と比較して、貫通油量を 90% 以上低減することができた。

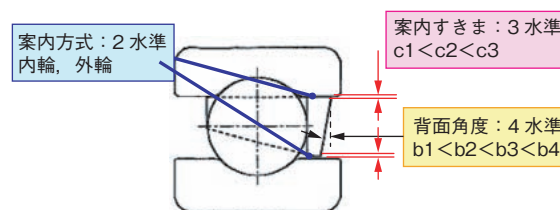


図4 保持器形状パラメータ

Cage form parameters

表5 試験条件

Test conditions

軸受基本呼び番号	6206 (内径 $\phi 30 \times$ 外径 $\phi 62 \times$ 幅 16)	6206 (内径 $\phi 30 \times$ 外径 $\phi 62 \times$ 幅 16)
試験条件	合成荷重	ラジアル荷重
ラジアル荷重, N	2 000	2 000
アキシアル荷重, N	1 000	0
給油方法	循環給油	循環給油
油種	ATF	ATF
油温, $^{\circ}\text{C}$	30 ± 2	30 ± 2
油量, 一定*	軸中心レベル (軸中心 - 10mm)	軸中心レベル (軸中心 - 10mm)

*油面高さが一定になるように供給油量を調整

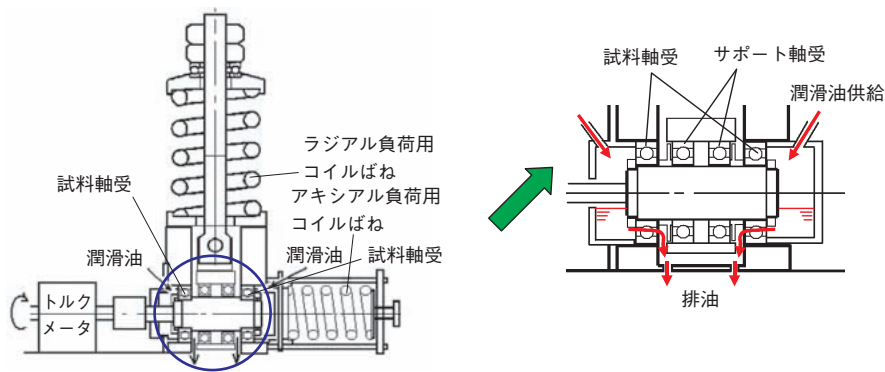


図5 試験装置
Test equipment

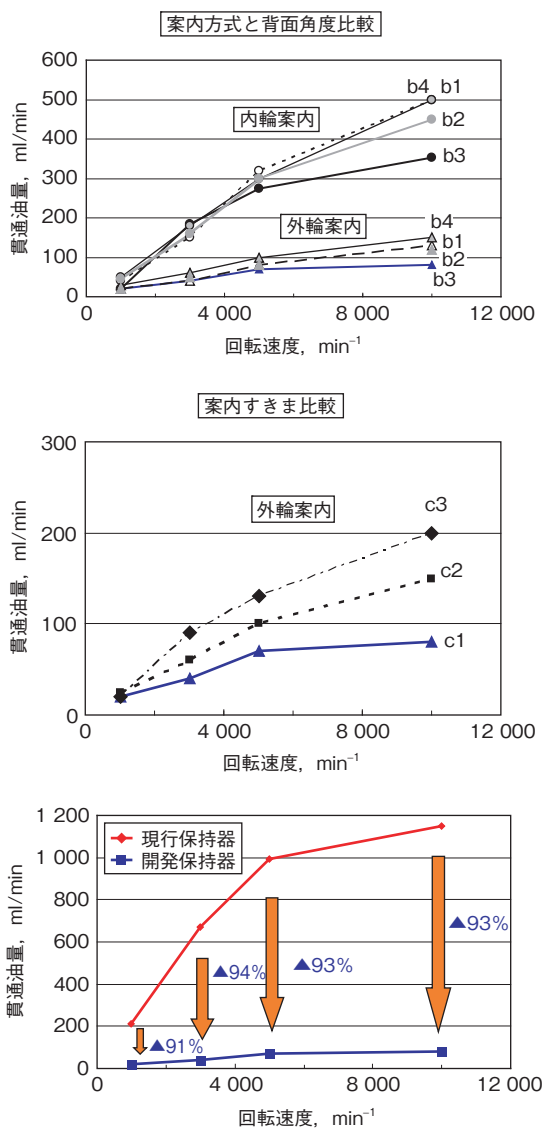


図6 貫通油量測定結果
Results of penetrated lubricant measurement

3.1.2 効果確認

開発保持器を用いて、回転トルクの低減効果を実験により確認した。

図7に回転トルクの測定結果を示す。開発保持器付軸受の回転トルクは従来保持器付に比べ、ラジアル荷重条件では最大31%、合成荷重条件では最大16%低減し、開発保持器はトルク低減効果があることが立証できた。両荷重条件でのトルク差は、主に荷重の違いによる転がり摩擦抵抗の差と考えられる。

潤滑油量が少なくなる背反事象として焼付きが考えられるため、昇温特性を確認した。表6に試験条件、図8に昇温試験結果を示す。開発保持器の昇温特性は、従来保持器と同等であり、軸受内部への油の供給に問題がないことを確認した。

以上のとおり、玉軸受の内部に滞留する油量を減らすことで、油のかくはん抵抗を低減させ、低トルク化を可能とした。

表6 試験条件
Test conditions

軸受基本呼び番号	6206 (内径 φ30 × 外径 φ62 × 幅 16)
ラジアル荷重, N	1 200
アキシャル荷重, N	600
給油方法	循環給油
油種	ATF
油温, °C	100 ± 5
油量, ml/min	50

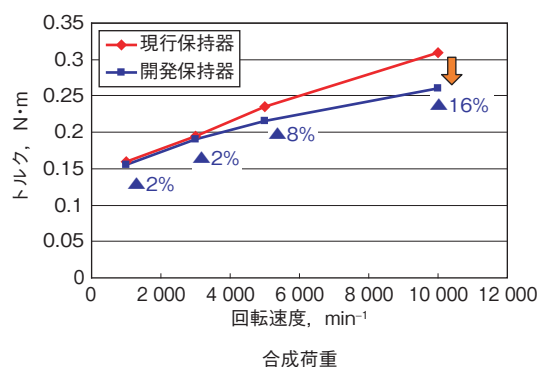
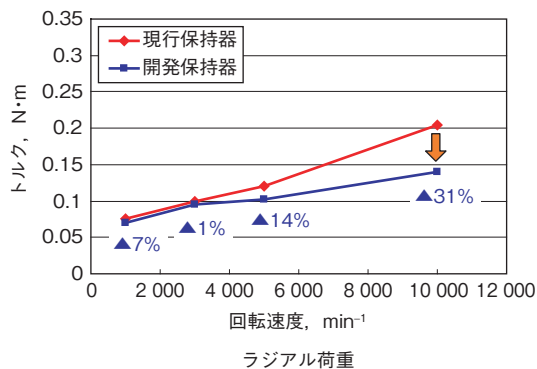


図7 トルク測定結果
Results of torque measurement

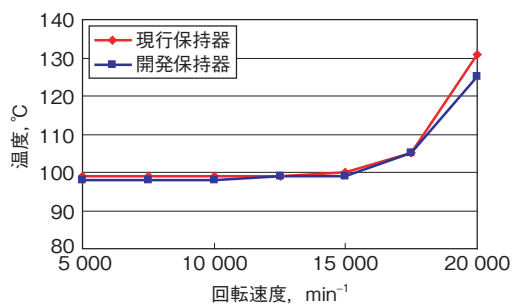
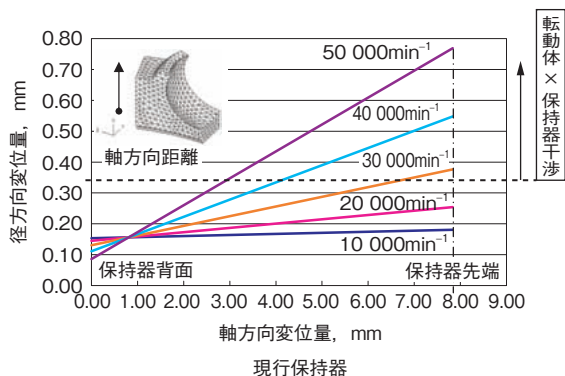


図8 昇温試験結果
Results of elevated temperature test



3.2 高速回転用保持器

3.2.1 高速回転用保持器の概要

油浴中で使用される環境で高速性に優れた保持器を開発した(図9)。開発のポイントは、保持器剛性を上げるため、従来の片抱き形状から両抱き形状とし、高速回転時の遠心力による保持器の変形抑制により玉との干渉を防止することで、昇温を抑える設計とした。さらに、外輪案内や玉と点接触となるようなポケット内径面形状を採用して、高速性を高めた。



図9 開発保持器形状
Form of developed cage

3.2.2 効果確認

(1)変形解析

現行保持器と開発保持器で、遠心力による変形解析を実施した。表7に解析条件、図10に解析結果を示す。現行保持器は保持器の変形量が大きく、玉との干渉が発生するのに対して、開発保持器は高速回転時の変形量が少なく、玉との干渉が発生しないことが確認できた。

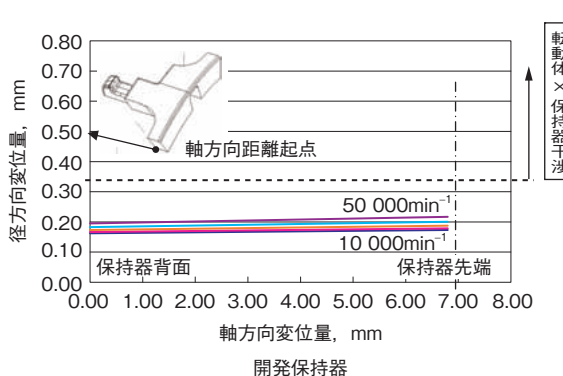


図10 解析結果
Analysis results

表7 解析条件
Analysis conditions

軸受基本呼び番号	60/32 (内径 $\phi 32 \times$ 外径 $\phi 58 \times$ 幅 13)
回転速度, min^{-1}	10 000 \Rightarrow 20 000 \Rightarrow 30 000 \cdots 50 000 (10 000 ずつステップアップ)
温度, $^{\circ}\text{C}$	100

(2)実験確認

現行保持器と開発保持器を組み込んだ軸受の昇温低減効果を実験により確認した。表8に試験条件、図11に開発保持器と現行保持器の昇温測定結果を示す。開発保持器は現行保持器と比較して、昇温性能が大幅に向上した。実験確認により開発保持器は、高速回転時の保持器と玉の干渉を防止し、高速化を可能とした。

表8 試験条件
Test conditions

軸受基本呼び番号	6204 (内径 $\phi 20 \times$ 外径 $\phi 47 \times$ 幅 14)
ラジアル荷重, N	0
アキシアル荷重, N	550
給油方法	滴下給油
油種	ATF
給油量, ml/min	100

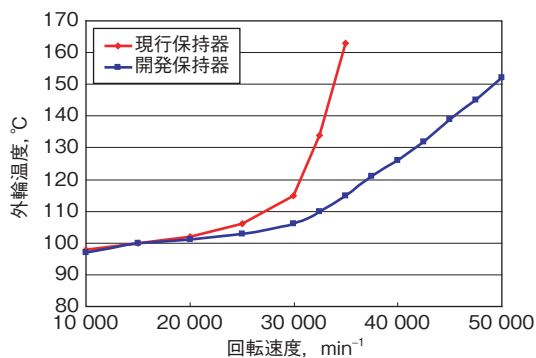


図11 昇温測定結果

Results of elevated temperature measurement

4. おわりに

自動車をはじめとしてあらゆる産業分野で、今後さらに玉軸受の高性能化への要求は高まることが予想される。また使用条件の過酷化、要求性能の多様化・高性能化とともに、軸受に使用される保持器にはさらなる進化が求められる。

今後も、保持器開発を含めた軸受の基盤技術をさらに進化させ、将来の技術革新に対応した軸受の開発を目指したい。

参考文献

1) 千葉博行, 松山博樹, 戸田一寿: Koyo Engineering Journal, no. 168(2005)25

筆者



村上正之*

M. MURAKAMI



高橋 譲**

Y. TAKAHASHI



岡本大輔**

D. OKAMOTO

* 軸受事業本部 軸受技術部

** 軸受事業本部 実験解析部