

高温高速軸受用樹脂保持器の開発

Development of Plastic Retainer for High-temperature and High-speed Bearings

永井 摂男 S. NAGAI 山本 明 A. YAMAMOTO 鬼塚 高晃 T. ONIZUKA 柳井 邦夫 K. YANAI

Among those bearings used under high-speed applications, some are actually used at operating temperature up to 200°C.

Under such severe operating conditions, polyetheretherketone, which is an extremely high heat-resistant thermoplastic, is sometimes used. But its cost is still very high.

Here, using Polyamideimide with good creep performance and polyphenylenesulfide with good chemical resistance, an original material composition has been developed by making use of each material's superior characteristics.

And, a suitable crown shape retainer for high-temperature high-speed application has been designed. As a result, a cheaper retainer which can be used up under 200°C environment and high-speed use condition has been developed.

Key Words: plastic retainer, plastic alloy, polyphenylenesulfide, polyamideimide, creep performance

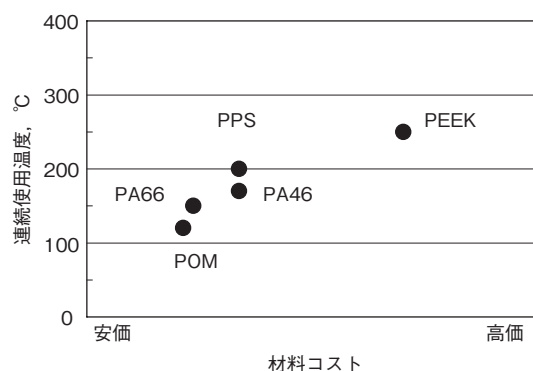
1. はじめに

転がり軸受の保持器には、金属に比べて自己潤滑性が良好なことから樹脂材料が広く適用され、また一般に生産性、組込み性などの点から、射出成形可能な熱可塑性樹脂の冠形状品が使用されることが多い。

しかし、樹脂保持器は高温高速回転条件下において、熱により樹脂材料の剛性が低下し、遠心力が加わることで、クリープによる寸法変化（以下クリープ寸法変化と称す）が大きいという問題がある。

特に、自動車のエンジン補機用軸受では、使用温度が200℃に達するものがあり、耐熱性と材料コストのバランスのとれた材料が必要となる。樹脂保持器に使用されている材料は、図1に示すように耐熱性の向上とともに材料コストが上昇する。上記のような過酷な使用条件下では、熱可塑性樹脂の中で最高の耐熱性を持つポリエーテルエーテルケトン（以下PEEKと称す）が使用される場合があるが、未だ現状では高価である。

本報では、200℃環境、高速回転条件において、PEEK同等の耐クリープ性を持ち、より安価な樹脂保持器の開発を行った結果について報告する。



POM : ポリアセタール PA66 : ポリアミド66
 PA46 : ポリアミド46 PPS : ポリフェニレンスルフィド
 PEEK : ポリエーテルエーテルケトン

図1 保持器材料の連続使用温度と単価

Relationship between continuous use temperature and cost

2. 材料開発

2.1 ベースレジンを選定

保持器材料としては耐薬品性（耐グリース性、耐油性耐洗浄剤性）、耐クリープ性が必要になる。耐薬品性は結晶性樹脂が優れ、高温での耐クリープ性は非晶性樹脂が優れる。そこでアロイ化することによってお互いの長所を活かすような材料設計を試みた。

結晶性樹脂としては、成形性に優れるポリフェニレン

スルフィド（以下 PPS と称す）、非晶性樹脂としては摩擦摩耗特性に優れるポリアミドイミド（以下 PAI と称す）を選定し、最適配合割合について検討した。

2.2 材料組成の最適化

保持器材料に必要な耐摩耗性、耐クリープ性において PAI と PPS の比率の影響、ならびに強化繊維の違いによる影響について摩擦摩耗試験により検討した¹⁾。試験を行った材料組成を表 1 に示す。PAI と PPS の比率は 3 : 5, 3 : 7 を用い、強化繊維はガラス繊維（以下 GF と称す）と炭素繊維（以下 CF と称す）を用いた。PAI と PPS の比率は、射出成形が可能であること、および、PPS より耐クリープ性向上効果が明瞭に確認されることを基準として決定した。

表 1 材料組成
Material compositions

サンプル No.	サンプル 1	サンプル 2	サンプル 3	サンプル 4	サンプル 5	サンプル 6	サンプル 7
ベースレジシ	PAI	PAI+PPS		PPS	PAI+PPS		PPS
PAI : PPS	1 : 0	3 : 5	3 : 7	0 : 1	3 : 5	3 : 7	0 : 1
GF (mass%)	30	30	30	30	-	-	-
CF (mass%)	-	-	-	-	30	30	30

2.2.1 摩擦摩耗試験

ディスクオンリング摩擦摩耗試験装置を用いて表 2 に示す試験条件で試験を実施し、摩耗による寸法変化量（以下摩耗寸法変化量と称す）とクリープ寸法変化量を以下に示す計算式から求めた。

$$\text{摩耗寸法変化量} = \frac{\Delta_w}{S \cdot \rho}$$

$$\text{クリープ寸法変化量} = \Delta t - \frac{\Delta_w}{S \cdot \rho}$$

ρ : 樹脂材料の密度

S : リング試験片摩擦面の面積

Δ_w : リング試験片の重量変化

Δt : リング試験片の高さ変化

表 2 試験条件
Test conditions

項目	内容		
試験装置	ディスクオンリング試験装置		
試験片	リング試験片 ($\phi 20\text{mm} * \phi 25.6\text{mm} * 15\text{mm}$)		
相手材	ディスク ($40\text{mm} * 40\text{mm} * 3\text{mm}$)	材質	S45C
		表面粗さ	0.4 μmRa
しゅう動速度	0.5m/s		
しゅう動距離	6 000m		
面圧	3MPa		
雰囲気温度	室温		
潤滑条件	グリース（ふっ素系グリース）		
測定項目	リング試験片の重量変化		
	リング試験片の高さ寸法変化		

試験結果を図 2, 3 に示す。図 2 より、GF 強化材料において PPS の比率が大きくなるのに伴い、耐クリープ性が低下することが分かった。摩耗寸法変化量は PAI と PPS の比率に関係無くほぼ一定の小さい値を示した。これは、グリース潤滑の試験のため、ベースレジシ間の差が現れ難かったものと考えられる。

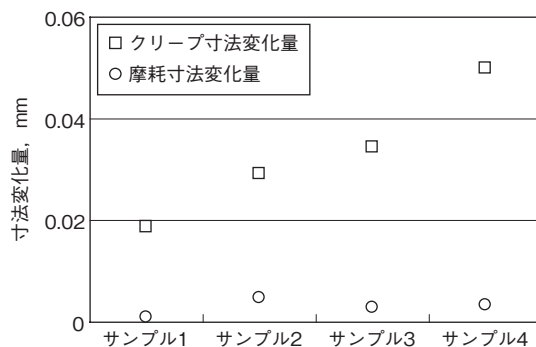


図 2 摩耗試験結果 1
Results of wear test 1

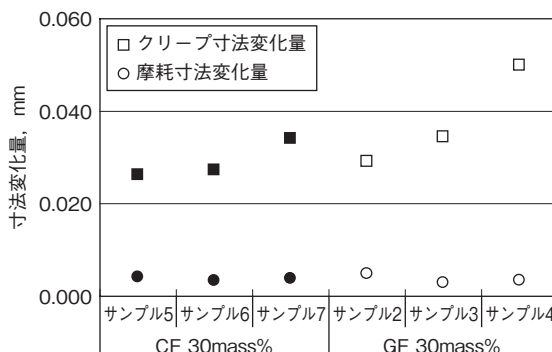


図 3 摩耗試験結果 2
Results of wear test 2

図3より、CF強化材料では、GF強化材料よりクリープ寸法変化量が低減することが分かった。また、GF強化材料と同様にPPSの比率が大きくなるのに伴い、クリープ寸法変化量が大きくなるが、ベースレジン間の差はGF強化材料より小さくなることが分かった。

この要因はGFとCFの比重の差に起因する。GF強化材料、CF強化材料は共に同じ充てん率(30mass%)であり、比重の軽いCFのほうが樹脂部に対する体積比が大きくなる。つまり、試験片に占める樹脂部の体積はGF強化材料よりCF強化材料の方が小さくなる。この状態を図4に示す試験後のしゅう動面観察から確認した。クリープ発生は樹脂部で発生するため、樹脂部の体積が小さいCF強化材料で材料間の差が小さくなったと考える。

一方、摩耗寸法変化量はほぼ一定の小さい値を示しており、GF強化材料と同様にグリース潤滑の影響と考える。

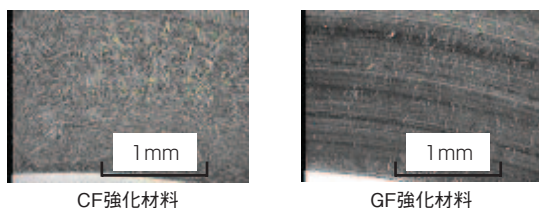


図4 摩擦摩耗試験後のしゅう動面観察写真
Appearance of wear surface

2.3 保持器を用いた耐クリープ試験

摩擦摩耗試験結果から、CF強化材料はGF強化材料に比べて耐クリープ性の向上効果大きいことを確認した。しかし、耐クリープ性は繊維配向の影響を受けるため、実際の繊維配向を持った保持器で遠心力負荷状態を想定したクリープ試験を行った。

試験では保持器の開口側爪部に鋼球を乗せ、鋼球の自重を遠心力の代わりとして負荷した。この状態で200℃環境下に所定時間放置し、試験前後の爪部の寸法変化をクリープ寸法変化として評価を行った。(表3、図5)

図6に示す試験結果から、PAI + PPS + CF(サンプル5、6)のクリープ寸法変化はPEEK + GFよりも小さく、保持器形状においても耐クリープ性の向上効果があることを確認した。

CF強化材料ではPAIとPPSの比率が3:5、3:7のいずれにおいても同等の耐クリープ性を示すが、開発にあたって、成形性の良い3:7の材料をベースに進め

ることとした。

表3 試験条件
Test conditions

項目	内容	
試験環境	200℃ 空气中	
試験時間	160時間	
鋼球	大きさ	φ40
	重量	約260g

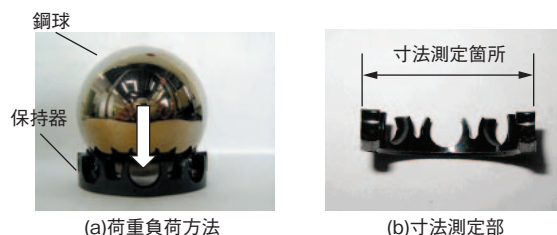


図5 保持器クリープ試験方法
Creep test method for retainer

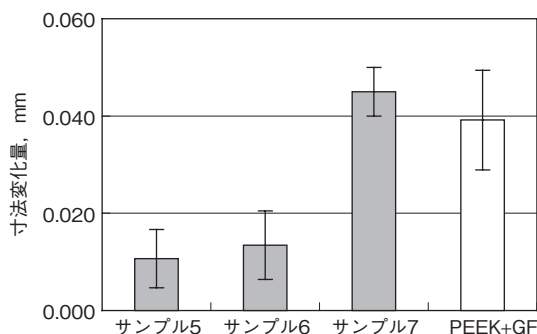


図6 保持器での耐クリープ試験結果
Results of retainer creep test

3. 保持器設計

3.1 課題

高温高速条件においては、保持器にかかる遠心力により開口側爪部が外径側に広がる。また、遠心力が継続的に負荷される条件では、クリープ寸法変化により外径側への広がりは一時的に大きくなる。この程度が大きい場合には、保持器のポケット(玉の保持部)や内周、外周に偏摩耗が発生し(図7(a), (b))、さらに大きい場合には爪部の割れ、クラック(図7(c), (d))が引き起こされる。

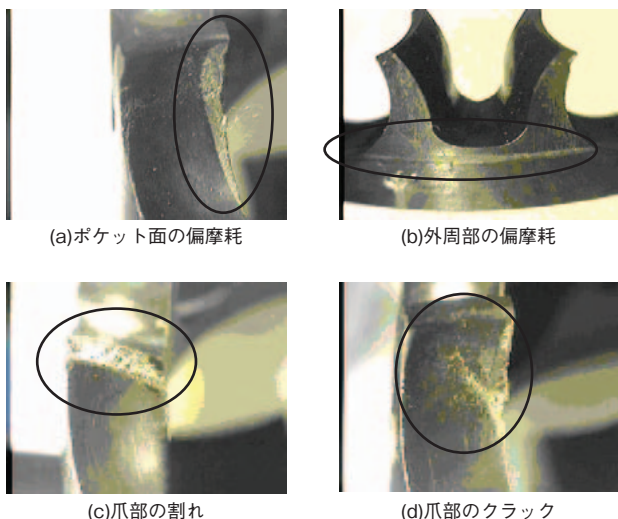


図7 摩耗した保持器外観
Damage area of retainer

3.2 検討

対策として以下の保持器形状の変更を検討し、FEM解析により高温高速回転時の保持器に及ぼす影響について確認した。

- 1) 開口側爪部の内径側への傾倒
- 2) PCD, ポケット径の最適化

1) は軸受回転時の遠心力による開口側の爪の開きが発生した場合においても、玉と保持器ポケット面の接触による偏摩耗を抑制することを狙いとした。

2) はPCDとポケット径の最適化を行うことにより、保持器の自由移動量を小さくし、内輪・外輪と保持器の接触を防止することを狙いとした。

3.2.1 開口側爪部の内径側への傾倒

使用条件 $200^{\circ}\text{C} \cdot 18\,000\text{min}^{-1}$ において、遠心力と熱膨張による保持器の変形を求め、玉と保持器の相対位置の確認を行った。

図8に作成したFEMモデルの概略図を、表4に解析条件を示す。モデルは対称性を考慮して1/14モデルとし、高温(200°C)に加熱して遠心力を負荷した場合の保持器の変形状態について確認した。

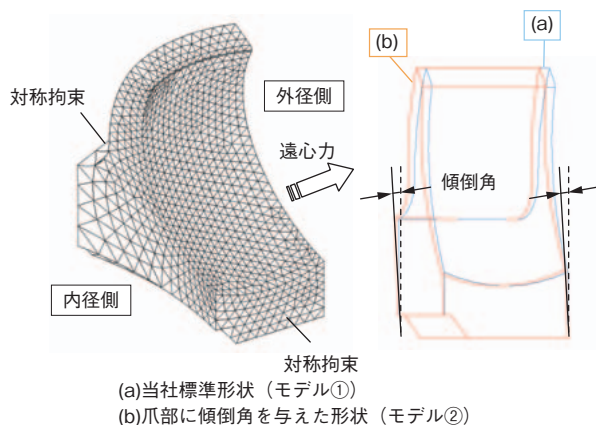


図8 FEMモデル概略図
FEM model

表4 解析条件
Analysis conditions

項目	内容
解析タイプ	材料・幾何学非線形
温度条件	常温→200°Cまで加熱
負荷条件	回転軸回りの遠心力を付与

ここで検討したモデルは当社標準形状である傾倒角なしモデル(以下モデル①と称す)と、爪先端部を内径側に傾倒させたモデル(以下モデル②と称す)の2種類である。図9に変形前後の保持器と玉(呼びP.C.D位置に配置)の相対位置関係を確認した結果について示す。ここで、モデル①は高温・高速回転時に保持器の内径側ですきまが小さくなっており、接触しやすい状態になっているのに対し、モデル②では玉-保持器間のすきまに余裕があり、接触が生じにくくなっていることが分かる。なお、保持器の傾倒角には幾何学的な限界値があり、今回の取組みでは傾倒角の限界値を算出し、形状の決定を行った。

図10に、モデル①とモデル②の高温・高速回転時における保持器と外輪の距離の比較(FEM解析結果)を示す。図10より、モデル②は当社標準形状であるモデル①より保持器と外輪軌道肩部の距離は0.66mm大きくなっており、爪部の傾倒が外輪と保持器の接触による偏摩耗防止に有効であることが確認された。

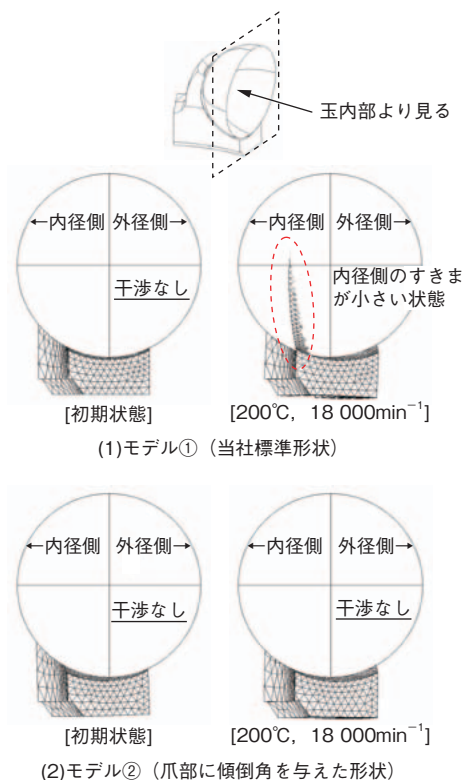


図9 変形前後の保持器と玉の位置関係
Position of retainer and ball before and after transformation

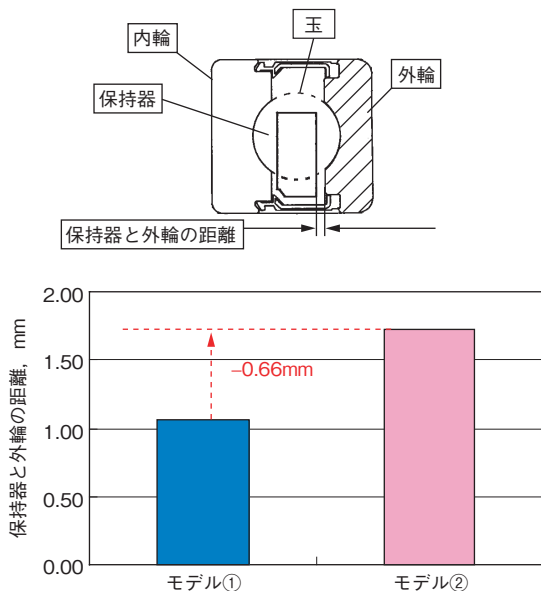


図10 高温高速回転時の保持器と外輪の距離
Distance between retainer and outer ring during high-speed rotation at high temperature

3.2.2 PCD・ポケット径の最適化

保持器のPCD, ポケット径を最適化した形状について, 軸受内における保持器の自由移動量の確認を行った。

解析モデルは, 以下の2種を用いた。

- 1) 爪部の傾倒のみ (モデル②)
- 2) 爪部の傾倒に加え, PCDとポケット径を最適化したもの (以下モデル③と称す)

解析手順を以下に示す。

- 1) 1/14モデルによる遠心力+熱膨張の保持器の変形解析を実施 (図9)
- 2) 変形後の1/14モデルをフルモデル (1/1) に復元
- 3) 内輪と外輪の間にセットした2)のモデルのポケットに剛表面の玉を等配に設置
- 4) 内輪, 外輪を固定し, 重力を付与した後の保持器と玉の移動量を評価

移動量のコンタ図を図11に示す。爪部の傾倒のみのモデル (図11(a)) では, 保持器, 玉ともに自重による移動量は大きく, 内輪・外輪と保持器のクリアランス量が小さくなっていることが分かる。

一方, PCD, ポケット径を最適化したモデル (図11(b)) では, 保持器, 玉ともに自重による移動量は爪部の傾倒のみのモデルよりも小さくなっており, 内輪・外輪と保持器のクリアランス量が保持されている。以上からモデル③ではモデル②に比べて内輪・外輪と保持器の接触が生じにくくなっていることが分かった。

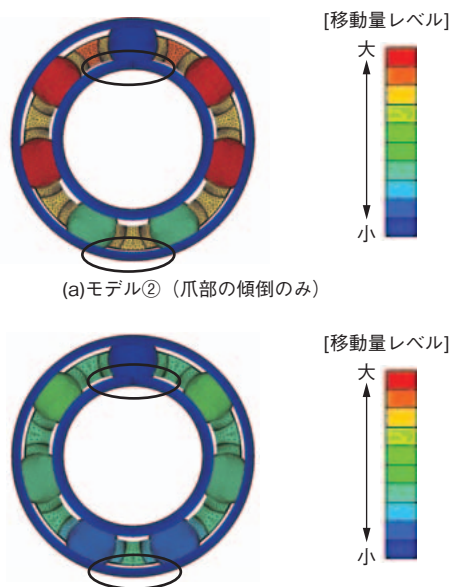


図11 自重による玉と保持器の移動量
Position of ball and retainer in gravitational field

3.2.3 組付性

図12に軸受組立時の保持器組付工程を想定した場合の保持器(モデル③)の最大主応力コンタ図を示す。組付工程における保持器の応力値は、開発材料の許容応力値より十分小さく、形状変更による組付性への影響は小さいことが分かった。

以上より、開口側爪部を内径側へ傾倒させることにより、玉とポケット面の接触による偏摩耗を抑制することが可能であることが分かった。また、PCDおよびポケット径の最適化を図ることで、保持器と内輪・外輪の接触を抑制することが可能であることが分かった。

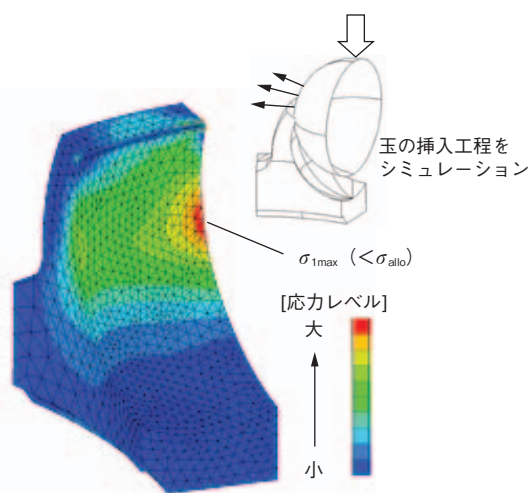


図12 最大主応力コンタ図(モデル③)
FEM analysis of maximum main stress

4. 軸受性能試験

前項の内容を踏まえ、爪部の傾倒、および、PCD・ポケット径の最適化を行った(以下開発形状と称す)樹脂保持器を作製し、組付性、および玉と保持器、内外輪と保持器の接触防止効果について検証した。

4.1 組付試験

組付試験は、内輪と外輪の間に配置した玉と組み込む前の保持器のピッチを合わせた状態で、圧縮試験機にて保持器を挿入して行った。試験では、挿入時の最大荷重と挿入後の保持器外観(クラック、白化の発生有無)を確認した。試験環境は室温、押込速さは10mm/minで実施した。

図13から最大荷重は、開発形状と当社標準形状でほぼ同等であり形状の違いによる組付荷重の変化は確認さ

れなかった。なお、どちらの形状においても組付時に爪の白化やクラックなどの損傷も確認されず良好な状態であった。

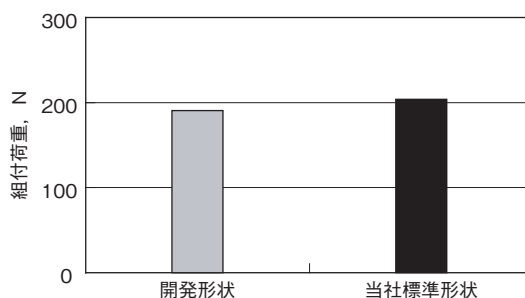


図13 組付試験結果

Results of assembling test

4.2 高温高速耐久試験

高温高速耐久試験装置の概要を図14に示す。試料軸受にコイルばねで荷重を与え、Vベルトを介して駆動モータにより内輪回転を与えた。温度は試料軸受外輪外径部の温度が200℃となるように制御した。

試験条件を表5に、試験結果を表6に示す。開発形状の保持器を組み付けた軸受は、要求仕様である1000時間を満足した。

試験後の保持器外観を図15に示す。試験後のプラスチック保持器にはクラック、割れなどの不具合は見られず、200℃環境で使用可能であることが分かった。

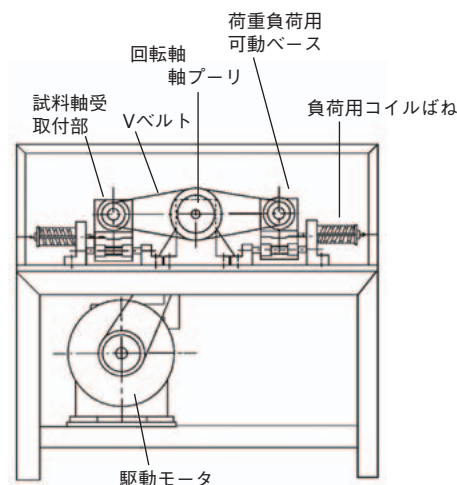


図14 試験装置
Test equipment

表5 高温高速耐久試験条件
Test conditions

項目		内容
試料	軸受の種類	深溝玉軸受
	主寸法	内径 φ17 外径 φ52
	保持器	PAI + PPS + CF
試験条件	荷重 ラジアル	1.32
	kN アキシアル	0
試験条件	回転速度, min ⁻¹	18 000
	潤滑	ふっ素グリース
	温度, °C	200 (外輪外径)
	試験時間, h	1 000
n 数		2

表6 高温高速耐久試験結果
Result of durability test

試料 No.	500	1 000[h]	
1			1 000h 打切り
2			1 000h 打切り

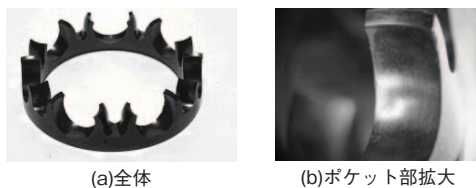


図15 高温高速耐久試験後保持器外観2
Appearance of retainer after durability test

5. おわりに

ベースレジンにポリアミドイミド (PAI) とポリフェニレンスルフィド (PPS) のアロイ材を用い、さらに強化繊維に炭素繊維 (CF) を適用することにより、保持器材料としてガラス繊維強化ポリアーテルエーテルケトンと同等の性能を有し、200℃ 環境下、高速回転の厳しい使用条件でも実用可能な材料を開発した。

開発材料の特性と使用条件を考慮した冠型保持器形状の設計を行うことで、高温高速用軸受用に実用化可能である。

参考文献

- 1) 永井摂男, 新井大和: トライボロジー会議予稿集(鳥取 2004-10)55

筆者



永井摂男*
S. NAGAI



山本 明**
A. YAMAMOTO



鬼塚高晃**
T. ONIZUKA



柳井邦夫***
K. YANAI

* 研究開発センター 材料技術研究部

** 軸受事業本部 解析技術部

*** 軸受事業本部 自動車軸受技術部