

## 受賞商品の紹介

## 2005年度 日本トライボロジー学会 技術賞受賞

樹脂インサート型焼結金属滑り軸受「ハイブリッドベアファイト」  
"Hybrid Bearphite" a Sintered Metal Sliding Bearing Inserted with Plastic

江上 正樹\* Masaki EGAMI

樹脂摺動材を内径面にインサート成形した焼結金属滑り軸受「ハイブリッドベアファイト」について紹介する。樹脂層の厚みを0.25mmと薄くしたため温度変化による膨張収縮が小さく、広い温度範囲（10～60℃）で高回転精度が得られる。さらに、樹脂に特殊充填材を配合することにより摩擦係数を $\mu=0.05$ という樹脂軸受として極めて低い値（従来樹脂の摩擦係数の1/2）とし、低回転トルクを実現した。

本軸受は、社団法人日本トライボロジー学会の技術賞を受賞した。

This report introduces newly developed "Hybrid Bearphite", a sintered metal sliding bearing inserted with a plastic sliding material on its inner surface. Because the plastic layer is only 0.25 mm thick, this gives small expansion and contraction as a result of temperature change. Therefore, this maintains high precision over a wide temperature range (10-60°C). Furthermore, combining the plastic with a special filler gives an extremely low friction coefficient of 0.05 (1/2 the friction coefficient of conventional plastic sliding bearings), resulting in low rotational torque.

This new sliding bearing "Hybrid Bearphite" received the technology prize of Japanese Society of Tribologists.

## 1. まえがき

ハイブリッドベアファイトは、焼結金属を裏金とし、その内径面に樹脂摺動材を薄く形成した高精度低摩擦滑り軸受である<sup>1)</sup>。ハイブリッドベアファイトの特徴を以下に示す。

## ハイブリッドベアファイトの特徴

- ① 焼結含油軸受並みの高回転精度  
焼結金属の内径に樹脂を薄くインサート成形する事で実現
- ② 低摩擦 [摩擦係数 $\mu=0.05$ ]  
内径樹脂に高性能摺動材を用い、摩擦係数が従来樹脂の1/2を実現
- ③ アルミなどの軟質軸材にも使用可能  
低価格による転がり軸受からの置換え、コンパクト設計に最適

本軸受は、上述の高精度と低回転トルクを低コスト

で実現した点が認められ、社団法人日本トライボロジー学会より第50期の技術賞を受賞した。本稿では、本軸受の開発について述べる。

## 2. 開発の背景

プリンタ及び複写機の回転部（図1）には、表1に示すように様々なタイプの軸受が使用されている。転がり軸受は、滑り軸受に比べ回転精度・回転トルク・耐久性に優れるが、高価である。焼結含油軸受は転がり軸受に比べ低価格であり、樹脂軸受に比べ回転精度や低トルク性に優れるが、潤滑状態が境界潤滑であるため、プリンタや複写機で多く用いられる軟質軸（アルミ、ニッケルめっきなど）の場合、軸を摩耗させてしまう。一方、樹脂軸受は最も安価で、組成の工夫によりアルミニウムなどの軟質金属を軸材として用いることが可能であるが、成形時の収縮率や線膨張係数が

\*要素技術研究所

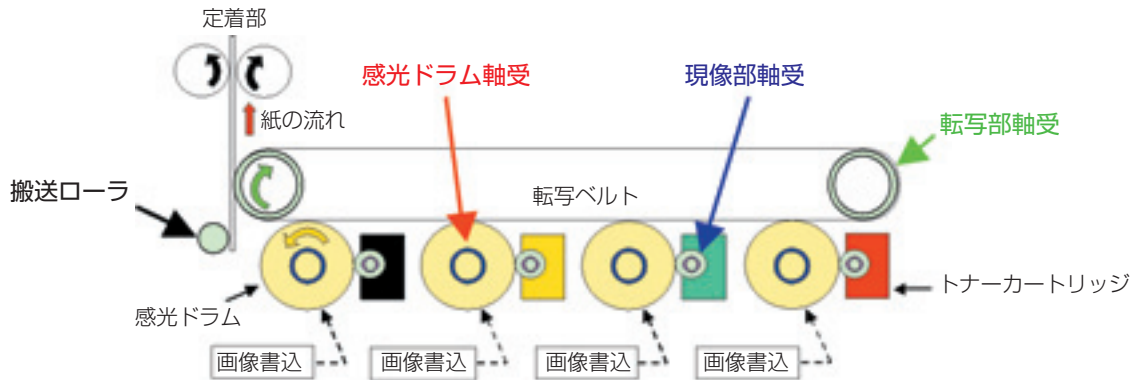


図1. 複写機の概略図  
Schematic of copying machines and printers

表1. プリンタおよび複写機に使用される各種軸受の特徴と課題  
Characteristics and problems of bearings used in copying machines and printers

項目	転がり軸受	焼結含油軸受	樹脂軸受
回転精度	◎	○	△
回転トルク	◎	○	△
軟質軸対応	◎	×	◎
コスト	△	○	○

技術課題

コスト	軟質軸摺動	寸法精度
-----	-------	------

ハイブリッド

樹脂インサート型焼結金属すべり軸受

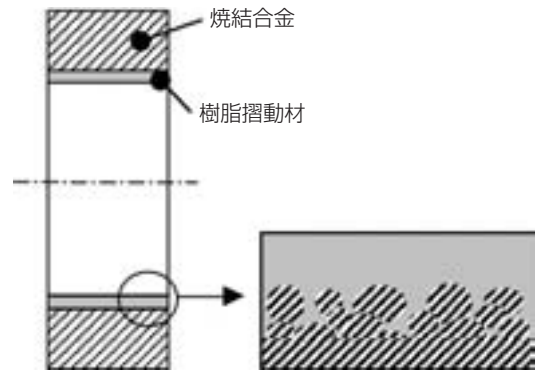


図2. ハイブリッドベアファイトのコンセプト  
Concept of HYBRID BEARPHITE

大きく、寸法精度や寸法安定性が悪い等の欠点がある。そのため、感光ドラムのように回転精度が印刷品位に影響する個所には機能を優先し、比較的高価な転がり軸受が使用されており、低コストで高精度な軸受が求められていた。

### 3. ハイブリッドベアファイトの開発

#### 3.1. 開発軸受のコンセプト

2項のニーズに対し、1) 裏金内径に樹脂を薄くインサート成形し、高寸法精度を達成する、2) 裏金に焼結金属を使用し、アンカー効果により樹脂との密着力を確保する、3) 樹脂層に低摩擦摺動材を採用し低回転トルクを実現する、というコンセプトに基づき、ハイブリッドベアファイトの開発に取り組んだ。新規軸受の概念図を図2に示す。

通常金属の内側に樹脂を成形すると、樹脂の成形収縮により界面で剥離が生じる。本軸受では、焼結金属

の空孔に樹脂を侵入させ、アンカー効果を発揮させることにより裏金と樹脂層の剥離を防ぐ。また、射出成形技術の高度化により樹脂層の厚みを0.25mmと薄くし、寸法精度および温度変化に対する寸法安定性を高めた。また、本軸受では幅面に樹脂層を形成すれば、ラジアル荷重のほか、アキシャル荷重を受けることも可能である。

#### 3.2. 樹脂摺動材の開発

本軸受の目的は転がり軸受の代替であるため、摺動面の摩擦を小さくする必要がある。しかし、これまでの樹脂摺動材は摩擦係数が0.1以上あり<sup>2)</sup>、そのまま適用することはできない。そこで、摩擦係数の半減を目標に、新規樹脂摺動材の開発に取り組んだ。

樹脂の摩擦摩耗特性の改良は、四ふっ化エチレン樹脂 (PTFE)、黒鉛などの固体潤滑材または油の配合などでなされるが、摩擦係数の低減には油の利用が効果的である。これまで、ポリマーアロイを利用した油

分散技術<sup>3)</sup>などにより低摩擦化を図ってきたが、過度の油の配合は材料の機械特性や成形性を悪化させるため、既存の手法では限界があった。そこで多孔質シリカを保油体として採用し（含油シリカ）、機械特性や成形性を確保しながら樹脂への含油量を高める技術開発を行った<sup>4)</sup>。

超高分子量ポリエチレン（UHMWRE）に含油シリカを配合した材料の組成および摩擦特性を表2および図3に示す。含油シリカを配合した材料③は、油のみを配合した材料②に比べ、同じ含油量にも拘わらず低

い動摩擦係数を示す。また、含油シリカの増量により（材料④）、動摩擦係数は更に低くなり、PTFE系滑り材に比べ、1/3以下の値が得られた。

材料④の試験後の摺動面を観察したところ、含油シリカが摺動面に露出している様子が見られた（図4）。また、材料④の常温15MPa加圧で静的な油しみ出し量を測定したところ、図5に示すように、油しみ出し量は時間の経過に伴い増加する傾向があり、100hで6%しみ出した。この油量は、単に表層近傍の油がしみ出したとするには過大な量である。

以上より、本材料の低摩擦メカニズムを図6のように推定した。すなわち、含油シリカが荷重負荷点となることで、固体同士の接触が抑制され、油膜が形成され易くなる。さらに含油シリカは樹脂内部で連結して油の導通路としても機能し、それを通して内部の油が摺動面に継続的に供給されることにより、低い摩擦係数が安定的に得られると考えた。

この樹脂摺動材④の熔融粘度を射出成形可能なように調整し、本軸受の樹脂層に採用した。

表2. 含油シリカ配合材の組成  
Composition of test specimens for sliding tests

材料	組成（容量%）
①	UHMWPE(100)
②	UHMWPE(85)/シリコン油（15）
③	UHMWPE(82)/含油シリカ*（18）
④	UHMWPE(70)/含油シリカ*（30）

\*多孔質シリカ：シリコン油=1：5

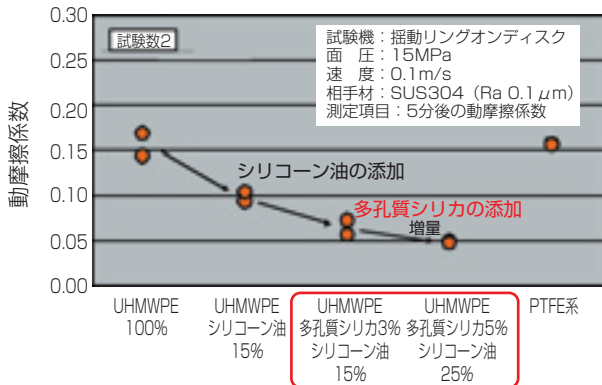


図3. 含油シリカ配合材の摩擦特性  
Friction properties of the materials filled with oil-impregnated-silica

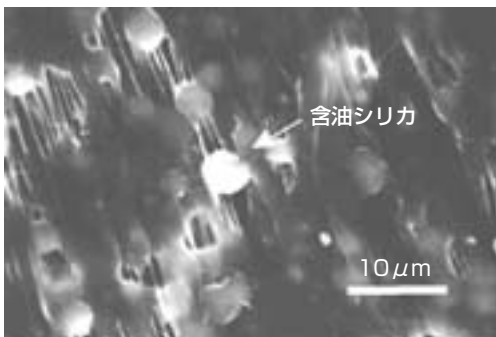


図4. 含油シリカ配合材④の試験後の摺動面  
Surface of the material ④ after sliding test

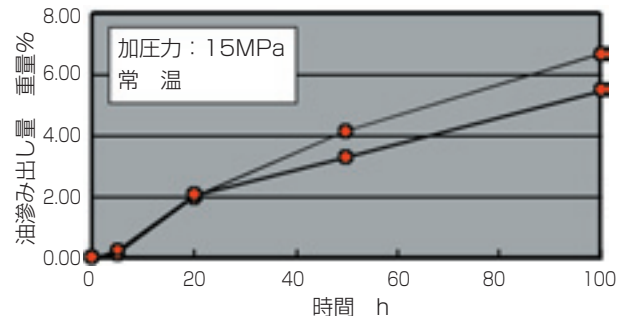


図5. 材料④の加圧時間と油しみ出し量の関係  
Relationship between loading time and oozed oil amount from the material ④

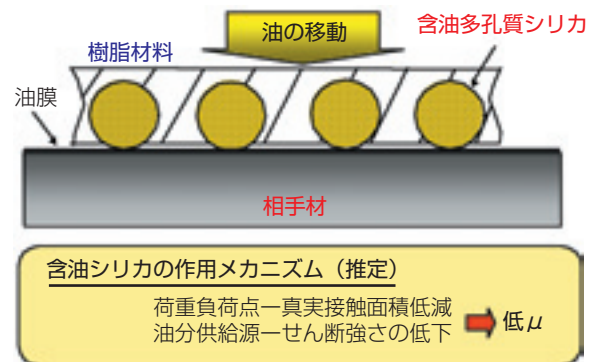


図6. 開発材の低摩擦メカニズム（推定）  
Estimated mechanism of low friction of the developed material

### 3. 3. 焼結金属裏金へのインサート射出成形

本軸受の高精度を達成するための要因を図7に示す。前述のように金属の内側に樹脂を成形すると、樹脂の成形収縮により界面で剥離が生じる。本軸受では、焼結金属の空孔に樹脂を侵入させ、アンカー効果により裏金と樹脂層の剥離を防ぐ。そのため、樹脂が侵入しやすいように焼結金属の表面気孔率、射出成形条件を最適化した。

図8に、焼結裏金の表面気孔率の最適化例を示す。図8(a)は含油焼結滑り軸受用の標準的な焼結金属、また図8(b)は原料金属粉末粒径や成形圧力の調整により表面気孔率を本軸受用に最適化したもので、それぞれについて樹脂成形前表面（黒色部が空孔）および、樹脂をインサート成形した後、樹脂層を強制的に剥離させた表面を示した。図8(a)の樹脂を引き剥がした表面には樹脂の痕跡がなく、樹脂は焼結金属空

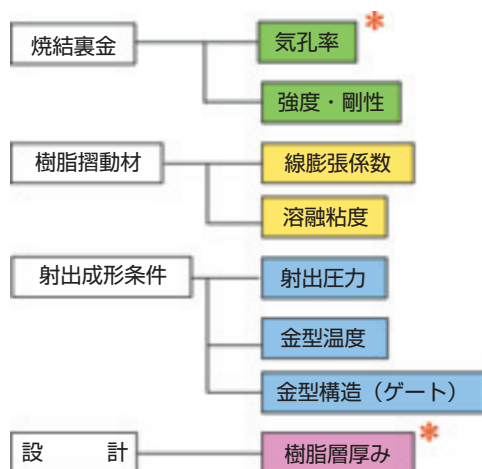


図7. 高精度を達成するための要因  
(\*は本文中で説明)  
Factors to achieve high precision

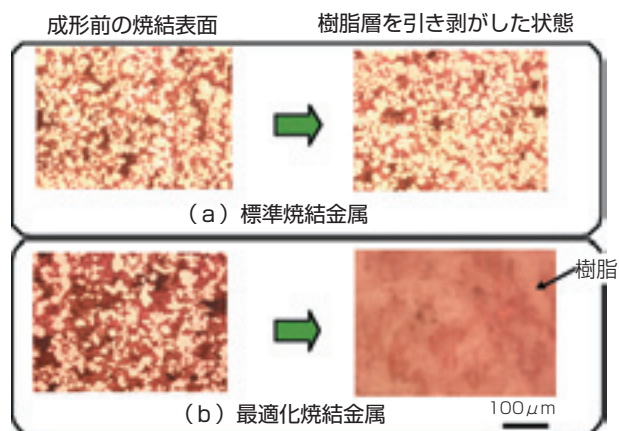


図8. 焼結裏金内径面の観察写真  
Inner surface of sintered back metal

孔に侵入していないことが窺われる。一方、図8(b)では樹脂は層内で破壊しており、樹脂層と焼結金属の密着が強固になっている。このように焼結裏金と樹脂層の密着性を確保した。

## 4. ハイブリッドベアファイトの性能

樹脂インサート型焼結金属滑り軸受「ハイブリッドベアファイト」の外観写真を図9に示す。写真は、幅面にも樹脂層を設けてラジアル荷重のほかアキシヤル荷重も受けられるようにしたものである。樹脂層の厚さは、内径面、幅面いずれも0.25mmである。以下、ハイブリッドベアファイトの性能について紹介する。

### 4. 1. 摩擦摩耗特性

3.2項の樹脂摺動材を内径にインサート成形したハイブリッドベアファイト（内径7.5mm、幅5mm）をラジアル荷重29.6N、回転速度240min<sup>-1</sup>の条件でニッケルめっき軸相手に運転した時の摩擦係数を図10に示す。比較として、焼結含油軸受（鈹油含浸銅系焼結軸受）の特性を併記した。



図9. ハイブリッドベアファイトの外観写真  
Appearance of HYBRID BEARPHITE

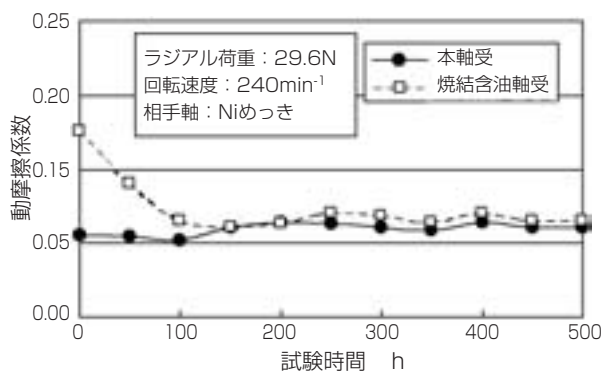


図10. ハイブリッドベアファイトの摩擦特性  
Friction property of HYBRID BEARPHITE

焼結含油軸受の摩擦係数は初期は高いが、なじみにより低下し、最終的には0.06の値で安定した。一方、ハイブリッドベアファイトは初期から0.06程度の値で推移し、安定していた。また500h後の摩耗も、焼結含油軸受が10 $\mu$ m摩耗するのに対し、ハイブリッドベアファイトは6 $\mu$ mと小さく、焼結含油軸受より優れた摩擦摩耗特性を示した。

なお、軸をアルミに替えた場合、焼結含油軸受は直ちに軸を摩耗させるのに対し、ハイブリッドベアファイトでは図10と同等の性能が得られた。

#### 4.2. 寸法精度

本軸受の寸法精度と特徴を表3に示す。本軸受は焼結含油軸受と同等の寸法精度を有する。さらに、本軸受の樹脂摺動材層は焼結金属との界面を基準面として膨張収縮するため、温度に対する寸法変化が極めて小さい(図11)。寸法変化が大きいと、温度に対する軸とのすきまの変化が大きくなり、回転精度が変動する。

表3. 各種すべり軸受の寸法精度と特徴

Dimensional properties and characteristics of sliding bearings

項目	本軸受	樹脂製すべり軸受	焼結含油軸受
内径	$\pm 5\mu\text{m}$	$\pm 15\mu\text{m}$	$\pm 5\mu\text{m}$
外径	$\pm 15\mu\text{m}$	$\pm 15\mu\text{m}$	$\pm 15\mu\text{m}$
内径真円度	10 $\mu\text{m}$ 以下	50 $\mu\text{m}$ 以下	10 $\mu\text{m}$ 以下
同軸度	15 $\mu\text{m}$ 以下	30 $\mu\text{m}$ 以下	15 $\mu\text{m}$ 以下
円筒度	10 $\mu\text{m}$ 以下	40 $\mu\text{m}$ 以下	10 $\mu\text{m}$ 以下
寸法変化	○	×	○
対アルミ摺動	○	○	×
対SUM+Niメッキ摺動	○	○	△

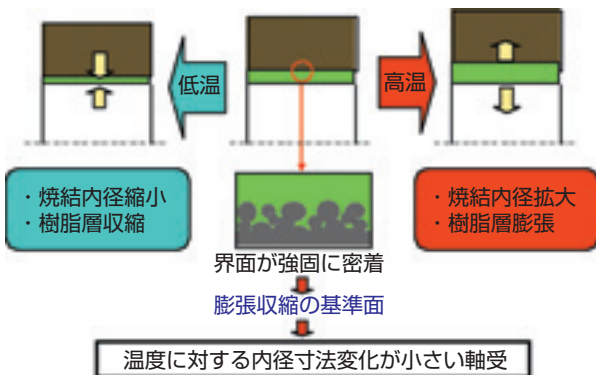


図11. ハイブリッドベアファイトの温度に対する寸法変化挙動  
Dimensional change of HYBRID BEARPHITE against temperature change

図12は、内径7.5mmの軸受について、樹脂層の厚みを0.25mm、線膨張係数を $14 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ として、本軸受の温度に対する内径寸法変化(基準温度: 25 $^{\circ}\text{C}$ )を計算により求め、樹脂単体で形成した一般の樹脂すべり軸受と比較したものである。図には60 $^{\circ}\text{C}$ での実測データも併記した。ハイブリッドベアファイトにおいては、寸法変化を表す直線の傾きは樹脂層厚みの設計により決まる。すなわち、軸の寸法変化を考慮し樹脂層厚みを設定すれば、広い温度範囲で軸と軸受のすきまを一定にできるという、樹脂軸受にとっては画期的な性質を有する。これにより、従来では不可能であった高回転精度を広い温度範囲で得ることが可能となった。

#### 4.3. 樹脂層の密着強さ

高寸法精度を維持するためには、焼結金属と樹脂層の密着が不可欠である。密着性の強さを表すデータとしてヒートショック試験の結果を表4に示す。4.2項と同じ軸受を【-20 $^{\circ}\text{C} \times 1\text{h} \Leftrightarrow +60^{\circ}\text{C} \times 1\text{h}$ 】のパターンで100サイクル加熱冷却し、ヒートショック前

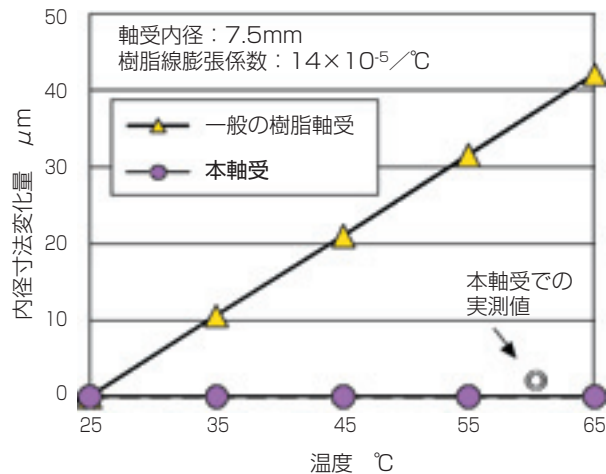


図12. ハイブリッドベアファイトの寸法変化  
Dimensional stability of HYBRID BEARPHITE

表4. ヒートショック100サイクル後の内径寸法 (-20 $^{\circ}\text{C} \times 1\text{h} \Leftrightarrow +60^{\circ}\text{C} \times 1\text{h}$ )

Inner diameter change of HYBRID BEARPHITE after 100 cycles of heat shock test

TP	試験前 mm	試験後 mm	変化量 $\mu\text{m}$	密着状態
1	7.501	7.500	1	剥離なし
2	7.510	7.508	2	剥離なし
3	7.508	7.504	3	剥離なし

後の寸法変化と、焼結金属と樹脂の密着状態を調べた(試験軸受数:3個)。樹脂と金属の膨張係数の差により、冷却時には樹脂を剥離させようとする力が作用する厳しい試験である。

試験前後の寸法変化は極めて小さく、ハイブリッドベアファイトの焼結金属と樹脂間の密着力が強固であることが分かる。

#### 4.4. ケミカルアタック性

OA機器を中心に軸受ハウジングに樹脂を用いることが多くなっている。ハウジングに使用される樹脂は、寸法精度や耐衝撃強度の点から、ポリカーボネート(PC)、アクリロニトリル-ブタジエン-スチレン共重合体(ABS)など、耐油性に乏しい非晶質樹脂が多く用いられている。接触する油の種類が不適切であると、使用中にハウジングにクラックが生じる。これは溶剤クラックといわれ、樹脂と油の親和性が高い場合に、樹脂を構成している高分子間に油が入り込み、分子の絡み合いをほぐし、クラックやクレーズ(曇り)を発生させる現象である。

長さ152mm、幅12.5mm、厚み6.35mmのPC板に、最大引張応力が発生する箇所に各種油脂を接触

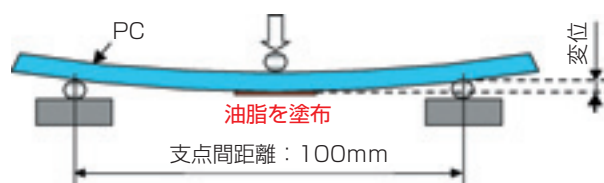


図13. ケミカルアタック試験の概念図  
Test rig for chemical attack

表5. 油脂のPCに対するケミカルアタック性  
Chemical attack of oils for polycarbonate

油種	条件	変位,mm	1.5	3.0	3.5	3.5
	時間,h		3	3	3	196
油脂なし					○○○○○	
ポリエチレングリコール		×××××				
ポリオールエステル油		×××××				
エーテル油(ADE油)			○○×××			
鉛油			○○○○○	○○×××		
PAO*			○○○○○	×××××		
シリコン油**			○○○○○	○○○○○	○○○○○	○○○○○

\*: ポリ $\alpha$ オレフィン油

\*\* : ハイブリッドベアファイト配合油

表中の記号 ○ : クラックなし × : クラックあり

させながら、曲げ荷重を所定時間負荷し(図13)、油脂のケミカルアタック性を調査した。試験条件は、支点間距離100mm、温度75℃である。表5に示すように、ハイブリッドベアファイトの樹脂層に配合しているシリコン油はPCに対しケミカルアタックを及ぼさないことが分かる。

#### 4.5 導電性「ハイブリッドベアファイトEC」

電子写真方式のプリンタや複写機では、静電気を利用して画像の形成や紙へのトナーの受け渡しを行っている。そのため、軸受が摩擦帯電すると、感光ドラム(図1)を帯電させる電荷や付着しているトナーに悪影響を及ぼして画像を乱す。また、感光ドラム以外の軸受においても静電除荷を必要とする箇所があり、アース機構を設けるなどして対応しているが、アース機構は部品点数の増加につながるため、軸受自体に導電性が求められる場合がある。

樹脂材料は電気絶縁性でありこの要求に応えられないため、3.2項で開発した樹脂摺動材にナノメートルサイズのカーボン粒子を追加配合することにより導電性の「ハイブリッドベアファイトEC」を開発した。本樹脂の体積抵抗率は $3 \times 10^3 \Omega \text{cm}$ であり、静電除去には十分な性能を有する。ニッケルめっき軸相手に摺動させた場合の摩擦特性を図14に示す。カーボン粒子の添加により摩擦係数は0.1程度に増加したが、市販の導電性樹脂摺動材に比べ1/2以下の特性を示す。なお、ケミカルアタック性などの性質は絶縁性のハイブリッドベアファイトと同様である。

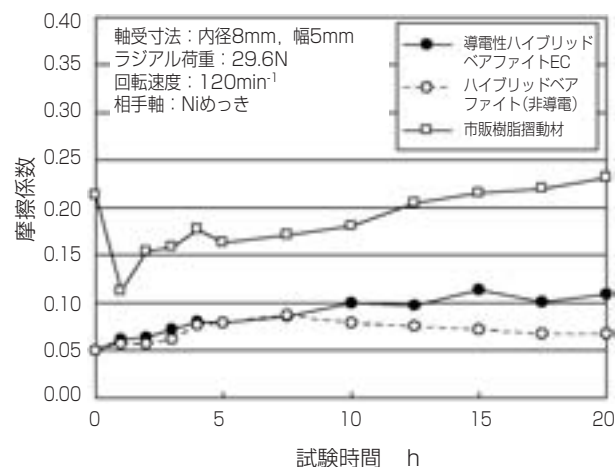


図14. 導電性ハイブリッドベアファイトECの摩擦特性  
Friction property of electrically conductive "HYBRID BEARPHITE EC"

## 5. まとめ

高精度と低回転トルクを低コストで実現した樹脂インサート型焼結金属滑り軸受「ハイブリッドベアファイト」について紹介した。今後、転がり軸受の代替や、滑り軸受の高機能化を中心に、事務機以外の様々な分野でも応用が期待できる。引き続き、耐熱性などの機能向上に取り組み、機器の小型・軽量化、省エネ化、低コスト化に貢献していきたいと考える。

## 参考文献

- 1) 江上, 清水, 大平: トライボロジー会議予稿集 2006-5 東京(2006)313.
- 2) 江上, 廣瀬: OA機器用樹脂摺動材の開発, NTN TECHNICAL REVIEW, No.67(1998)98.
- 3) 島津, 江上, 下楠園: トライボロジー会議予稿集 1998-10名古屋(1998)379.
- 4) 筒井, 江上, 石井: トライボロジー会議予稿集 2003-5東京(2003)77.

執筆者近影



江上 正樹  
要素技術研究所



**NTN**®

[www.ntn.co.jp](http://www.ntn.co.jp)

JAPAN U.S.A. CANADA MEXICO PANAMA BRAZIL GERMANY ITALY U.K. FRANCE  
SINGAPORE PHILIPPINES INDIA CHINA THAILAND MALAYSIA KOREA AUSTRALIA