

## 自動車電装補機向けの複合材料商品の紹介

### Introduction of Composite Material Products Used in Electrical Auxiliaries for Automobile



安田 健\* Ken YASUDA  
小松原 慎治\*\* Shinji KOMATSUBARA

当社の複合材料商品事業部は、トライボロジーを基盤技術として、樹脂、焼結金属、磁性材など幅広い素材からなる軸受、機械部品、モジュール商品を開発している。ここでは、主にサーマルマネジメントを目的とする自動車電装補機向け商品を紹介する。

Composite Material Products Division in NTN has developed bearings, mechanical parts, and module products made of multi materials such as resins, sintered metals, magnetic materials, which make full use of tribology. In this article, we mainly introduce products for thermal management of automobiles.

#### 1. はじめに

近年の自動車業界は、CASE をキーワードに様々な技術開発が進められている。電動化対応では、モータなどの動力源、インバータ、DC-DC コンバータ等、自動運転では、カメラ、センサ、それらを統合・制御する ECU など、電装補機あるいはその部品に対する開発が活発である。これら電装補機は、自動車の燃費・電費向上のために小型化・軽量化が進んでおり、表面積の減少、発熱密度の増加から、放熱の難易度が上がっている。さらに、5G など高速大容量通信で大きな発熱を伴う電気・電子デバイスが加わることから、自動車全体でのサーマルマネジメントが信頼性確保の重要なテーマになっている。また電動化により、大きな騒音源であるエンジン音から解放された静かな車内を、娯楽環境として捉える、新たな市場ニーズが生まれている。

本稿では、自動車のサーマルマネジメントに関わる電装補機の高効率化や車内居住性の向上に貢献する、複合材料商品の適用事例を紹介する。

#### 2. 電動コンプレッサ用 エラストマ製主軸シール

サーマルマネジメント関連の電装補機は、電動車の航続距離やバッテリー寿命を左右することから、省電力化・高効率化の市場ニーズがある。このような電装補機には高分子材料（エラストマ、樹脂）からなる様々な摺動部品が使用されており、そのトライボロジー特性が重要となる。

従来の内燃機関車では、エンジンの動力を利用したベルト駆動のコンプレッサが使用されているが、HEV、

PHEV、EV などの電動車では、電動コンプレッサが使用される。電動コンプレッサは、HEV、PHEV では車内冷房に、EV では冷暖房に加えバッテリーなどの温度調整に使用される。コンプレッサにはスクロール式と斜板式があるが、電動コンプレッサでは静粛性に優れたスクロール式が採用されている。

この電動スクロールコンプレッサには冷媒および冷凍機油を密封する主軸シールが使用されており、NTN は、省電力化、高効率化に貢献する、低トルク、低リークのベアリー TP5300 主軸シールを開発した。

#### 2.1 電動スクロールコンプレッサの構造

電動スクロールコンプレッサの構造を図 1 に示す。固定スクロールに対向した可動スクロールが旋回運動することで冷媒を圧縮する。可動スクロールは主軸の回転によって駆動し、主軸は転がり軸受によって支持されている。主軸シールは内径 20 mm 程度で、内外周両方にリップを備えており、ロータ側への冷媒および冷凍機油のリークを低減する目的で使用される。

EV では、電動コンプレッサは冷暖房だけでなく、バッテリーなどの温度調整に使用されるため、内燃機関車の場合より稼働時間が長い。そのため、電動コンプレッサには、耐久性の向上の要求がある。

\* 複合材料商品事業部 精密樹脂技術部

\*\* 複合材料商品事業部 動圧軸受技術部

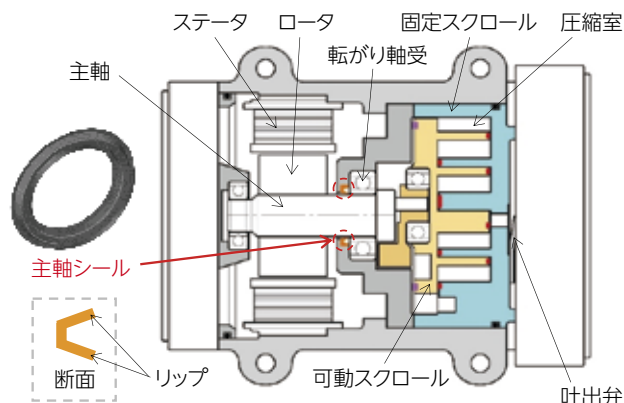


図1 電動スクロールコンプレッサの構造

### 2.2 ベアリー TP5300 主軸シールの特長

NTNのベアリー TP5300 主軸シールは、熱可塑性エラストマに充填材を配合した摩擦摩耗特性に優れた複合材料からなる。柔軟（低弾性）な熱可塑性エラストマ製であるため、主軸とのしめしろによるリップの反力が小さく、リップ先端部（内周側、外周側）が主軸およびハウジングに追従しやすいことから、低トルクかつ低リークなどの利点がある。また、リップ設計（厚さ、角度、長さなど）の最適化で更なる低トルク化を図っている。

従来の四ふつ化エチレン樹脂（PTFE）主軸シールとの性能比較を表1に示す。PTFE主軸シールは、素形材からの機械加工品であったが、ベアリー TP5300 主軸シールは射出成形可能としたことから、形状の自由度に優れ、機械加工せず所望の形状を得ることができるので、低コストである。

表1 ベアリー TP5300 と PTFE 主軸シールの性能比較

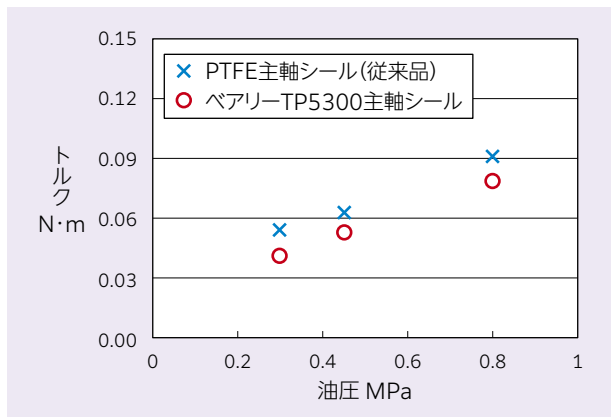
項目	ベアリー TP5300 主軸シール	PTFE主軸シール (従来品)
ベース樹脂	熱可塑性エラストマ	PTFE
加工方法	射出成形	圧縮成形+機械加工
形状自由度	◎	△
トルク	◎	○
リーク	○	○
耐久性	◎	△
コスト	◎	△

◎:優 ○:良 △:可

### 2.3 摩擦摩耗特性

冷凍機油中の主軸シールのトルク測定結果を図2に示す。ベアリー TP5300 主軸シールは PTFE 主軸シールより、トルクが 15 ~ 25 % 低く、オイルリーク量は同等の 1 mL/min 未満で低リークである。

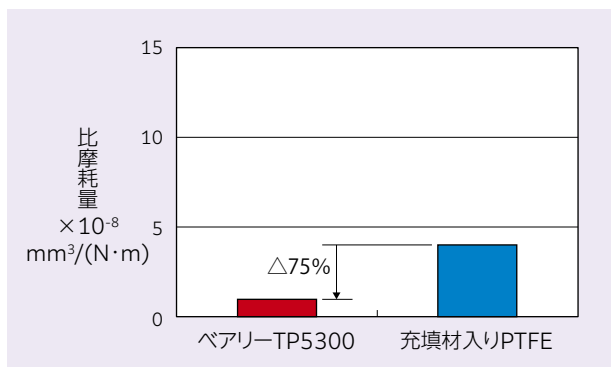
ベアリー TP5300 と、充填材入り PTFE について、リングオンディスク型試験機で摩耗試験した結果を図3に示す。ベアリー TP5300 の比摩耗量は、充填材入り PTFE の約 1/4 であり、耐久性も優れている。



<試験条件>

PAG油 油温度 100℃  
油圧 0.3 ~ 0.8 MPa  
回転速度 7 500 min<sup>-1</sup> 鉄製主軸

図2 トルク測定結果



<試験条件>

リングオンディスク型試験機 PAG油 室温  
面圧 0.3 MPa 速度 1 m/s  
相手材 SUJ2 50 h

図3 摩耗試験結果

## 3. 電動ウォーターポンプ用 低トルク樹脂滑り軸受

電動車には、サーマルマネジメント関連の電装補機として、電動コンプレッサと共に、冷却水を循環する電動ウォーターポンプが搭載されている。これに使用される滑り軸受には、低燃費・省電力化のために、さらなる低摩擦化が求められている。

NTNは、ポリフェニレンサルファイド (PPS) に四ふっ化エチレン樹脂 (PTFE)、炭素繊維 (CF)などを配合した独自の複合材料<sup>1)2)</sup>からなる PPS 滑り軸受のスラスト面に特殊潤滑溝を形成することで、冷却水中での摩擦係数を大幅に低減した「低トルク樹脂軸受」を開発した。

### 3.1 電動ウォーターポンプの役割と構造

電動ウォーターポンプは、流量により大流量、中流量、小流量タイプに分類され、車両に複数台搭載される。大流量タイプはエンジン冷却、中流量タイプはバッテリー、モータ、インバータの冷却、小流量タイプはインタークーラ、排ガス再循環装置の冷却、暖房に用いられている。

代表的な電動ウォーターポンプの構造を図4に示す。インペラ、マグネット、滑り軸受を一体化したロータがポンプ室に収納されており、マグネットに対向してステータが配置されている。ロータは滑り軸受を介して、軸によって回転自在に支持されている。ステータへの通電によって発生する磁界により、ロータが軸を中心に回転する。インペラはロータと一体となっているため、ロータの回転に伴いインペラも回転し、ポンプ室に吸入された冷却水が移送される。

滑り軸受の内径は4～10 mm程度で、ロータ回転時にはラジアル荷重およびアキシャル荷重が発生するため、冷却水中にて滑り軸受の内径面と軸、スラスト面とスラスト受が摺動する。滑り軸受はインペラ側のスラスト受に押し付けられ、そのアキシャル荷重はラジアル荷重より大きいため、スラスト面は内径面より摩擦抵抗が大きくなる。したがって、滑り軸受の摩擦抵抗を低減するにはスラスト面の低摩擦化が有効である。

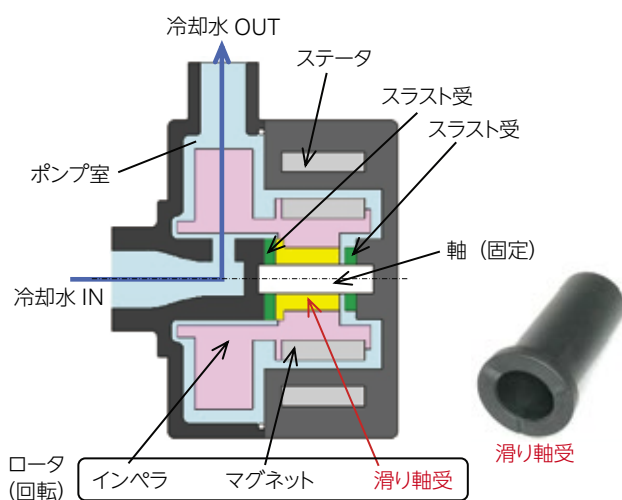


図4 電動ウォーターポンプの構造

### 3.2 軸受スラスト面の潤滑溝形状

電動ウォーターポンプの滑り軸受は、潤滑状態が良好な条件 (高速、且つ低荷重) では安定して低摩擦を維持でき、

摩擦も少ない。しかし、起動・停止時や運転中の局所的な水膜切れの発生時に、滑り軸受とスラスト受が接触することで摩擦係数が高くなり、摩擦が生じやすくなる。そのため、対策として滑り軸受のスラスト面に潤滑溝を設けている。

一般的に、電動ウォーターポンプの滑り軸受には、スラスト面の潤滑溝として表2 (b) に示す矩形潤滑溝が使用されている。この矩形潤滑溝は、軸受の内径側から外径側に放射状に貫通しており、断面が矩形の単純形状であることから、従来からウォーターポンプに使用されるカーボン滑り軸受のような成形素材からの機械加工品にも適用されている。

一方、NTNの低トルク樹脂軸受では、PPS 滑り軸受のスラスト面に表2 (a) に示す特殊潤滑溝を形成している。この特殊潤滑溝は、射出成形時に金型転写が可能な形状で、図5に示すように軸受の反回転方向に溝が徐々に浅くなる勾配を設けて、軸受回転時に冷却水が潤滑溝の浅い方向に押し込まれ、動圧効果によって圧力が発生する設計としている。これにより、軸受のスラスト摺動面に冷却水が入り込みやすくなる。

スラスト面に特殊潤滑溝、潤滑溝なし、矩形潤滑溝をそれぞれ3本形成した3種類の PPS 滑り軸受について、冷却水中での動摩擦係数を図6に示す。特殊潤滑溝を形成した PPS 滑り軸受の動摩擦係数は潤滑溝なし比で65%、矩形潤滑溝比で30%低減しており、特殊潤滑溝の効果が発現している。

表2 各スラスト軸受のスラスト面の潤滑溝形状

項目	(a)特殊潤滑溝	(b)矩形潤滑溝	(c)潤滑溝なし
スラスト面の潤滑溝形状			
摺動面積比	0.88	0.95	1 (基準)
面圧, MPa	1.06	1.00	0.93

注) 面圧は後述の試験 (荷重128 N) における値

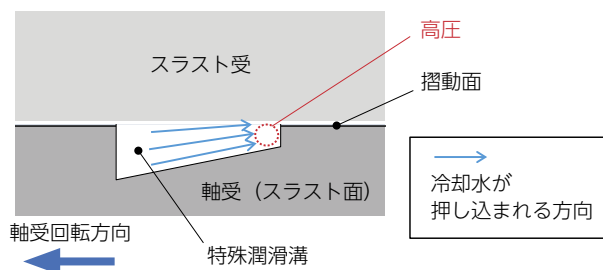
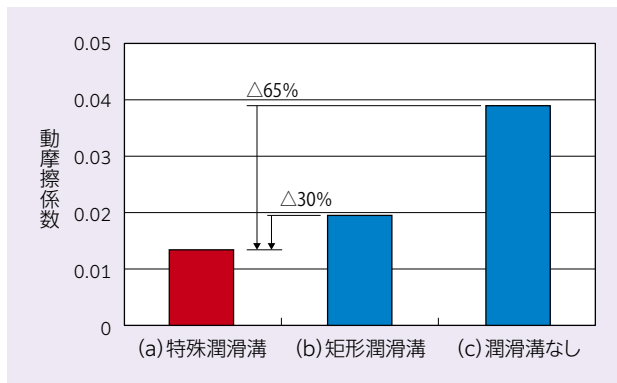


図5 特殊潤滑溝による動圧効果



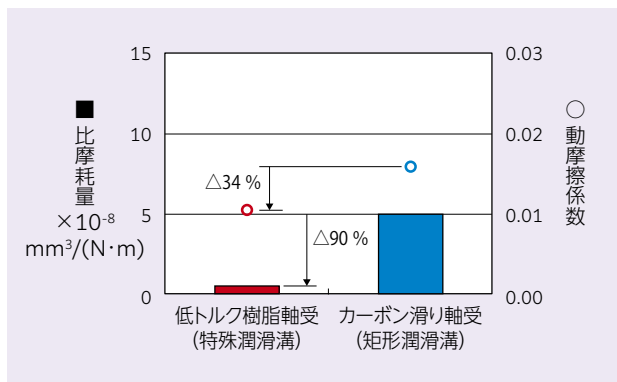
<試験条件>  
 リングオンディスク型試験機 冷却水（エチレングリコール濃度 50 %）  
 室温 荷重 128 N（面圧約 1 MPa）速度 125 m/min  
 相手材 SUS304

図6 スラスト面の潤滑溝形状と動摩擦係数の関係

### 3.3 摩擦摩耗特性

PPS 滑り軸受のスラスト面に特殊潤滑溝 3 本を形成した低トルク樹脂軸受と、表 2 (b) の矩形潤滑溝 3 本を形成した従来のカーボン滑り軸受について、冷却水中での摩擦摩耗試験結果を図 7 に示す。低トルク樹脂軸受（特殊潤滑溝）は、カーボン滑り軸受（矩形潤滑溝）と比較して、動摩擦係数は 34 % 低く、比摩耗量は 1/10 であった。この摩擦係数の差は、図 6 の矩形潤滑溝と特殊潤滑溝の結果と同様である。

低トルク樹脂軸受は、冷却水中での摺動に適した充填材を配合した PPS 複合材料からなり、スラスト面に特殊潤滑溝を形成しているため、カーボン滑り軸受（矩形潤滑溝）より低摩擦低摩耗特性で、表 3 に示すようにその他の各種特性も優れている。



<試験条件>  
 リングオンディスク型試験機 冷却水（エチレングリコール濃度 50 %）  
 室温 荷重 128 N（面圧約 1 MPa）速度 125 m/min  
 相手材 SUS304 50 h

図7 各滑り軸受の摩擦摩耗特性

表3 各滑り軸受の特性比較

項目	低トルク樹脂軸受 (特殊潤滑溝)	カーボン滑り軸受 (矩形潤滑溝)
加工方法	射出成形	機械加工
耐薬品性	◎	○
耐衝撃性	○	△
形状自由度	◎	△
摩擦特性 (冷却水中)	◎	○
耐摩耗性 (冷却水中)	◎	○
コスト	◎	△

◎:優 ○:良 △:可

### 4. ヘッドライト冷却ファン用焼結流体動圧軸受 動圧ベアファイト

自動車の電動化によって車内の静粛性が向上したことに伴い、従来の内燃機関車ではエンジン音などに埋もれていた電装補機の作動音に対する静音化の要求が高まっている。また、自動車の電装補機は幅広い温度範囲での高い信頼性が要求される。

近年、省エネルギーかつ長寿命である LED ライトが主流となってきているヘッドライトは、視認性の確保に必要な光度を得るために大電流が必要なため、LED 回路基板の発熱量が大きくなる。そのため、サーマルマネジメントの必要性が高まっており、放熱のために用いられる冷却ファンモータ (図 8) には、低温 (-40 °C) から高温 (100 °C) までの幅広い温度領域において、安定した性能が要求される。

NTN はこれらの要求に対応する、幅広い温度域において静粛性に優れた流体動圧軸受「動圧ベアファイト」(図 9) を開発した。

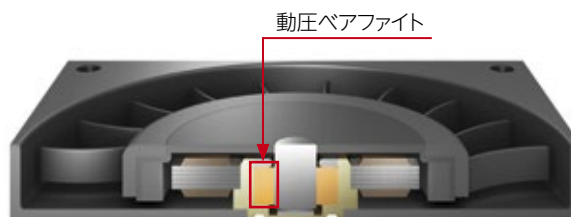


図8 冷却ファンモータ



図9 動圧ベアファイト

#### 4.1 優れた静粛性

動圧ベアファイトは粉末冶金法によって製造され、軸受内径面にヘリングボーン型の動圧溝を有する焼結含油軸受の一種である(図10)。軸の回転によって発生する動圧効果により、軸受すきま内に油膜を形成し、軸と軸受を非接触で支持する。

動圧溝の有無による油膜形成性の差異を確認するため、電気抵抗法により軸と動圧ベアファイトの接触有無を判断した結果を図11に示す。検出された電圧を基に、接触状態を油膜形成率0%、非接触状態を100%と設定した。動圧溝を有することで安定して軸を非接触で支持していることが分かる。

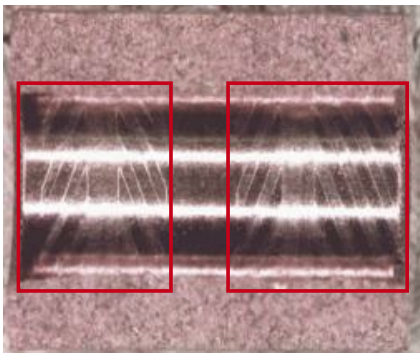


図10 動圧ベアファイトの内径面  
(赤枠部：動圧溝)

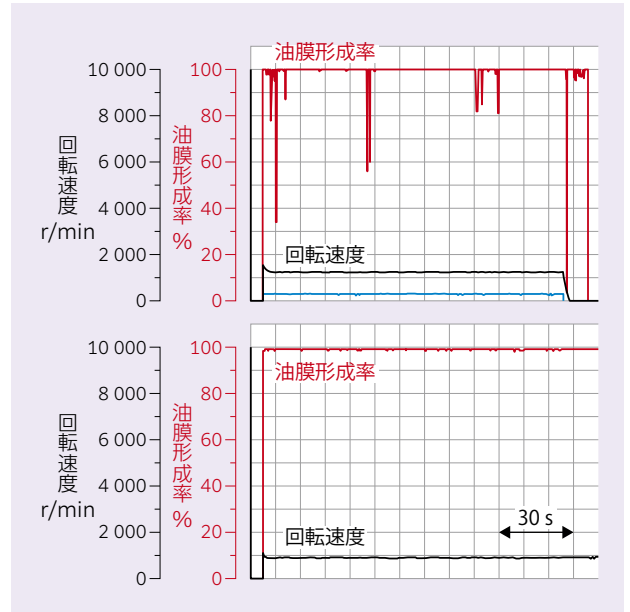


図11 動圧溝の有無による油膜形成性の違い  
(上：動圧溝なし，下：動圧溝あり)

一般的に、油膜圧力の低下が懸念される低速時の回転速度においても非接触で支持が可能<sup>3)</sup>で、静粛性に優れることから、動圧ベアファイトは薄型ノートパソコンやモバイル端末など情報機器の冷却ファンモータで多く採用されている。ヘッドライト用冷却ファンモータにおいても、低速から高速までの幅広い回転速度領域における高い静粛性が評価され、採用が進んでいる。

#### 4.2 幅広い温度領域における高い信頼性

ヘッドライトに要求される幅広い温度領域において、潤滑油粘度の変化量を小さくすることが、安定した軸受性能の確保につながる。特に高温環境での潤滑油の著しい粘度低下は、軸の回転によって発生する動圧効果を下げる要因となる。そこで、従来品に対し、高温での粘度低下が少ない潤滑油を適用し、温度特性に優れた動圧ベアファイトを開発した。(図12)

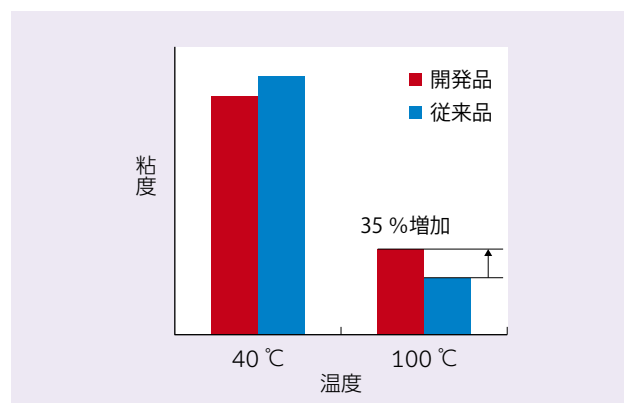


図12 潤滑油の温度と粘度の関係

高温時（100℃）の軸の偏心率の計算結果を図13に示す。偏心率は、半径すきまに対する軸芯の変位量の比率であり、偏心率が小さいほど最小油膜厚さは大きくなることを意味する。開発品は従来品に対し、偏心率を大幅に低減できることから、幅広い温度領域において軸受の信頼性の確保が可能である。

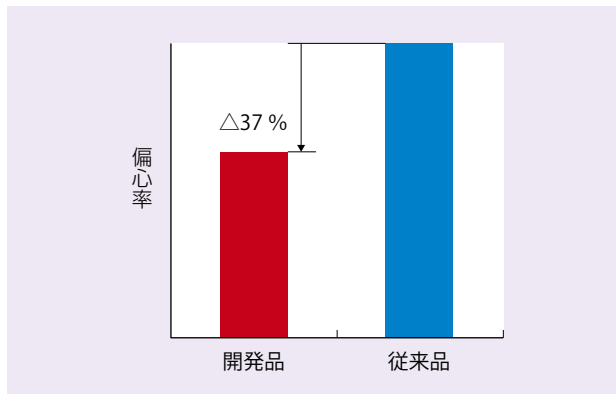


図13 偏心率の計算結果

さらに、動圧ベアファイトは、粉末冶金法の特長として、軸受表層および内部に有する気孔（図14）に潤滑な潤滑油を保持可能なことから、想定する使用温度範囲を超えた場合でも、軸と動圧ベアファイトの接触による焼付き寿命の低下を抑制する効果がある。

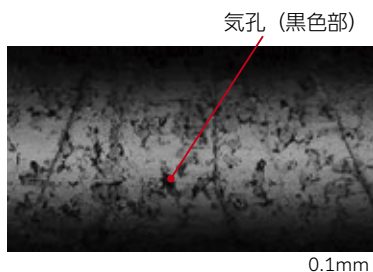


図14 動圧ベアファイト表面状態

執筆者近影



安田 健

複合材料商品事業部  
精密樹脂技術部



小松原 慎治

複合材料商品事業部  
動圧軸受技術部

## 5. おわりに

本稿では、NTNの樹脂、焼結金属などの材料からなる軸受・要素部品が、自動車の省エネルギーと、快適な車内居住環境の提供のために採用された事例を紹介した。

自動車の電動化・自動運転・コネクテッドに向けた開発において、サーマルマネジメントは必須となっている。また、四輪車の騒音に関する国際規格UN-R51はフェーズ3の段階を迎え、厳格化が進んでいる。フェーズ3では、新たにタイヤノイズの騒音値も加味され、走行時の騒音は、フェーズ2での掃除機程度のレベルから、洗濯機と同程度まで低減することが求められるようになる。さらに、自動運転の実現で運転操作から解放され、走行中に仕事や読書、映画鑑賞などの時間に充てることのできる未来が訪れた場合、これまで以上に静粛性の高い車内空間が求められるようになると予想される。

今後も、サーマルマネジメントと車内居住性の向上をキーワードとする商品・技術開発を行い、車両を中心とするモビリティ社会の発展に寄与する所存である。

## 参考文献

- 1) 石井卓哉, 安田健, 自動車・航空機用樹脂の最新技術, 技術情報協会 (2016) 167.
- 2) 安田健, 電動ウォーターポンプ用樹脂製すべり軸受の技術, 月刊トライボロジー, 2021年5月号, No.405 (2021) 32.
- 3) 小松原慎治, 薄型冷却ファンモータ用動圧ベアファイト軸受, NTN TECHNICAL REVIEW, No.88 (2021) 44-45.