

# フラーレン添加油を深溝玉軸受へ適用した際の回転トルクへの影響と軸受材質との関係

## Effect of Fullerene Doped Oil on Rotational Torque of Deep Groove Ball Bearings and Its Relation to Bearing Material

関東学院大・院（学）\*戸嶋 玲斗 関東学院大・理（正）堀田 智哉

Akito Tojima\*, Tomoya Hotta\*

\*Kantogakuin University

### 1. 研究背景

軸受は、回転する軸を支える部品のことを言い、モータなどの回転をともなう機械に多く使用されている。軸受自体がなめらかに回転することによって、摩擦によるエネルギー損失を防ぐなどの効果が得られる部品であり、CO<sub>2</sub>の排出低減および低燃費化、省電力化に貢献している。

玉軸受の回転トルクを低減させるためには、すべり部の摩擦低減や、損失トルクの低減、潤滑剤のかく拌抵抗の低減などをおこなう必要がある。また、軸受の回転にともなう摩擦損失を抑えるためには、潤滑油量を最小限に抑えることが有効であり、潤滑油の添加量や性能がトルクの値に大きく関わっている。

近年では、フラーレンなどのカーボンナノチューブ材料が特徴的な構造および硬度、導電性などの面から潤滑剤としての応用が注目され、物理的な機能や化学的な性質および特性が調べられている。

ナノカーボン材料の一種であるフラーレンは偶数個の炭素原子のみから構成される炭素の同素体で、かご状の多環縮構造をもつナノメートルサイズの多面体分子である。フラーレンは Kroto らの国際共同研究チームによって 1985 年に発見された<sup>1)</sup>。C<sub>60</sub>は 60 個の炭素原子による直径約 0.7 nm のサッカーボール状の特異な構造を持つことから、さまざまな機能や特性に関係する研究がおこなわれている<sup>2)3)4)</sup>。

本実験では、3 種類の深溝玉軸受（6201）にフラーレンの濃度を変化させた潤滑油を封入し、トルク試験機でトルク試験をおこなうことにより、各軸受材質の中での最も回転トルクの値が低くなるフラーレンの濃度を明らかにする。

### 2. 実験方法

Table 1 に試験軸受の諸元を示す。本実験では、転動体材質が SUJ2 および SUS440C、Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> の 3 種類の深溝玉軸受（6201）を使用し、それぞれ回転トルクの測定をおこなった。

Figure 1 に本実験で使用したトルク測定の概略、Table 2 に実験条件を示す。各軸受ともに、2 回の脱脂洗浄をおこなった後に、注射器を用いて潤滑油を注油し、トルク試験機にねじを用いて軸受を取り付け、そして、軸受カバーを被せた。その後、上からエアベアリングを通じてアキシアル荷重を加えて内輪を回転させた。この時、外輪が回転しようとする力を軸受カバーに付いているトルクバーを用いて、回転方向の力をロードセルで測定し、この力に回転中心から測定位置までの距離を乗じることによりトルクに変換した。1 分間のならし運転をおこなった後に、サンプリング間隔 10 ms で記録を 10 秒間おこなった。得られた値の平均値を評価に用いた。また、各条件で、2 個の軸受を各 6 回、計 12 回の計測をおこなった。

### 3. 実験結果および考察

#### 3.1 転動体材質が SUJ2 の場合

Figure 2 (a)に転動体材質が SUJ2 の場合フラーレンの濃度と回転数の関係を示す。フラーレンの濃度が 100 ppm の場合には、ほかの濃度の潤滑油と比較して回転トルクの値が低い結果となっている。とくに 4000min<sup>-1</sup>では、0 ppm の場合と比較して約 55%も回転トルクの値が低いことがわかる。これは、潤滑油にフラーレンを添加することにより、回転中の軸受内部に生じる金属同士の微小なすべり面に球体状のフラーレンあるいはその会合体が介入したことにより、回転トルクが減少したと考えられる。

#### 3.2 転動体材質が SUS440C の場合

Figure 2 (b)に転動体材質が SUS440C の場合のフラーレンの濃度と回転数の関係を示す。全ての回転数においてフラーレンの濃度が 1 ppm の潤滑油を用いた時の回転トルクの値が大きいことがわかる。

また、フラーレンの濃度が 1 ppm、10 ppm 以外ではフラーレンを添加したものの方が、0 ppm と比較して低い回転トルクとなっている。とくに 50 ppm では低い回転トルクとなっており、1000 min<sup>-1</sup>においては、50 ppm の潤滑油を用いた軸受の方が 0 ppm と比較して約 60%も回転トルクの値が低いことがわかる。このことから、転動体材質が SUS440C の場合には、1 ppm ではフラーレンによる摩擦低減の効果を得にくい、転動体材質が SUJ2 のときよりも幅広い濃度の潤滑油で回転トルクの低減効果を得ることができると考えられる。

#### 3.3 転動体材質が Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> の場合

Figure 2 (c)に転動体材質が Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> の場合のフラーレンの濃度と回転数の関係を示す。フラーレンの濃度が 0 ppm の場合と比較すると 100 min<sup>-1</sup>から 2000 min<sup>-1</sup>のとき、フラーレンを添加したものの方が濃度にかかわらず回転トルクの値

Table 1 Test bearings

Bearing	6201		
Bore diameter, mm	12		
Outer diameter, mm	32		
Width, mm	10		
Material (Inner ring, Outer ring)	SUJ2	SUS440C	SUJ2
Material (Rolling elements)	SUJ2	SUS440C	Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>
Material (Cage)	PA-66	PA-66	PA-66

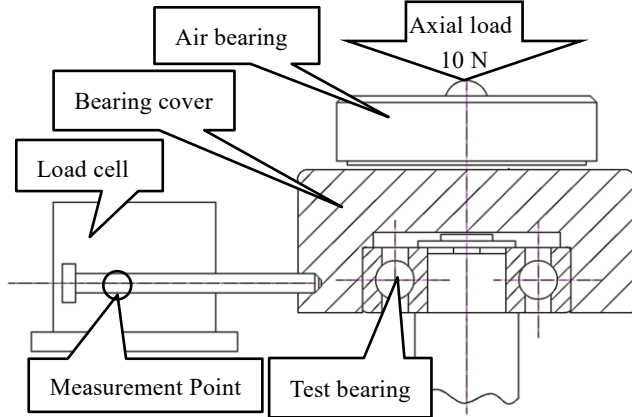
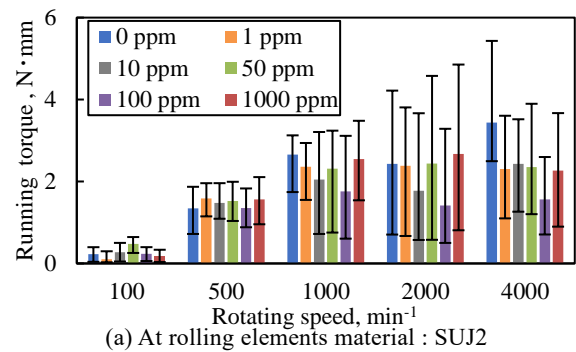


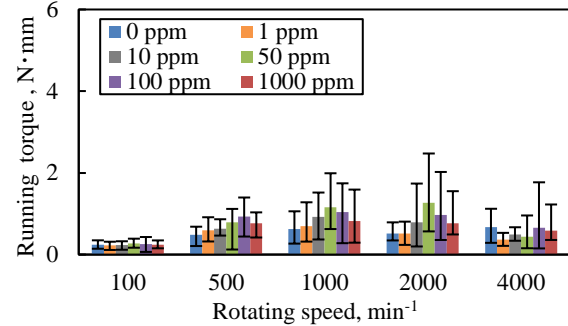
Fig. 1 Cross section of torque measuring instrument

Table 2 Experimental conditions

Axial load, N	10
Running time, s	60
Rotating speed, min <sup>-1</sup>	100, 500, 1000, 2000, 4000
Test Number of times	2 pieces 6 times each (12 times/conditions)
Lubricant	PAO-4
Fullerene concentration, ppm	0, 1, 10, 50, 100, 1000
Mass of lubricant, mg	5.0 ± 0.5



(a) At rolling elements material : SUJ2



(b) At rolling elements material : SUS440C

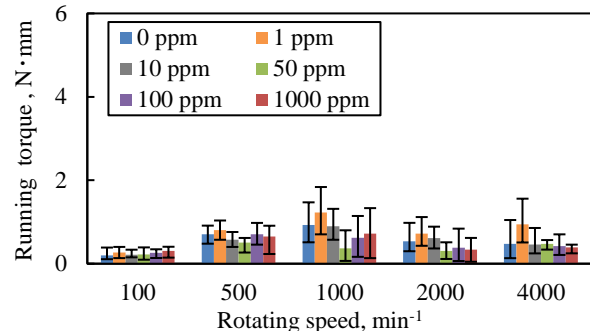
(c) At rolling elements material : Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>

Fig. 2 Relationship between fullerene concentration and running torque in bearing 6201

が高い結果となっている。しかし、4000 min<sup>-1</sup>においては、フラーレンを添加したものの方が回転トルクの値が低いことがわかる。このことから転動体材質が Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> の場合には、4000 min<sup>-1</sup> の回転数でないとフラーレンによる回転トルクの低減効果が得られにくいと考えられる。

#### 4. まとめ

フラーレンを添加した潤滑油を転動体材質が SUJ2 および SUS440C, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> の深溝玉軸受 (6201) に注油し、回転トルクを測定した結果、明らかになった内容を以下にまとめる。

- (1) 転動体材質が SUJ2 の場合、フラーレンの濃度が 100 ppm の潤滑油を用いた時の回転トルクの値がすべての回転数においてフラーレンを添加していない潤滑油を用いるよりも低い回転トルクとなった。
- (2) 転動体材質が SUS440C の場合、全ての回転数において 1 ppm の潤滑油を用いた時の回転トルクの値が大きくなり、回転数が 500 min<sup>-1</sup>, 1000 min<sup>-1</sup>, 2000 min<sup>-1</sup> および 4000 min<sup>-1</sup> の場合には、50 ppm のフラーレンを添加したものの方が、低い回転トルクとなった。
- (3) 転動体材質が Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> の場合、2000min<sup>-1</sup> 以下の回転数においてフラーレンを添加した潤滑油を用いた時の回転トルクの値がフラーレンを添加していない潤滑油を用いるよりも大きくなり、回転数が 4000 min<sup>-1</sup> の場合には、1 ppm および 10 ppm, 50 ppm ではフラーレンを添加したものの方が、低い回転トルクとなった。

#### 文献

- 1) 赤阪健・山田道夫・前田優・永瀬茂：フラーレンの化学，共立出版株式会社，(2016 年 11 月)，p.1.
- 2) 広中清一郎・浅沼寿昭・吉本護・鯉沼秀臣：イオンブレイティング C60 フラーレン薄膜の摩擦特性と膜強度，Journal of the Ceramic Society of Japan, Vol.105, No.9(1997), pp.756-760.
- 3) 沖田俊一・松室昭仁・三浦浩治：単層 C60 薄膜の形成と摩擦特性，精密工学会誌, Vol.69, No.1(2003), pp.130-134.
- 4) 垣内孝宏・平田敦：オニオン構造フラーレンの多量生成および潤滑剤への適用，精密工学会誌, Vol.67, No.7(2001), pp.1175-1179.