

ADBの特徴を生かした軌道曲率と潤滑

1. はじめに

自律分散式転がり軸受（ADB）は、白灯油等の悪潤滑環境において摩擦トルクが小さく、耐久性も高いことを、これまでの Technical report で報告した。

これらのADBは市販軸受を追加工したもので、基本的な設計因子である軌道曲率比（軌道の曲率半径／玉直径）は市販軸受のままであった。

今回、ADBの特徴をより活かすため、軌道曲率比を大きくした軸受を製作、摩擦特性を測定したので報告する。

またその際、ADBと相性の良い低粘度潤滑油を採用したので、合せて報告する。

2. 軌道曲率比を変える意義

軌道曲率比はその値が小さい程、玉と軌道との接触面積が増加し、接触面圧を低くすることができる。（＝計算疲れ寿命が増大する）

反面、接触面内の玉の自転半径の差（＝作動すべり）が増大することにより、摩擦トルクの増大や潤滑寿命が低下する恐れがある。

従来軸受の軌道曲率比は52%程度のものが多いが、これは“制御不能な滑り”（Technical report No.3 参照）による問題を最小化する設計、と言える。

即ち、転がり軸受は制御不能な滑りを起こして玉の自転が止った瞬間に、機能的には滑り軸受となる。その際の滑り面（玉と軌道）の損傷を抑制する為は、接触面圧を転がりの限界よりも低い滑り軸受に近づける必要があり、軌道曲率比を小さくすることでこれを成立させている。

逆に、軌道曲率比を大きくして作動すべりを減らす設計としても、制御不能な滑りによって滑り率の改善には繋がらない、との事情もある。

一方ADBは構造的に“制御不能な滑り”を生じない。

ADBとしての実証データはまだ無いが、NEDO主催の鉄鋼材料プロジェクト¹⁾や、圧痕起点型はく離と接線力の関係²⁾等を参照すれば、滑り（＝せん断力）が作用しない条件では接触面圧をより高くできると思われる。

よって、軌道曲率比を大きくすることにより、作動滑りを低く抑える試みは有意義と考える。

3. ADBの軌道曲率比

今回、ADBの軌道曲率比を決めるに当たり、“真空環境において、従来軸受と同等の許容荷重”とした。

1) 従来の真空用個体潤滑軸受の許容荷重は、通常品の定格荷重の4%程度、今回評価するアンギュラ玉軸受7000では212N程度である。

この荷重でのヘルツ応力は、軌道曲率比52%の場合、約1.5 GPaである。

2) 滑りを伴わない転がり接触面の許容面圧は、真空度と無関係（少なくとも相関が低い）と考えられる。

よって大気中で良く使用される面圧2.5 GPaを設計の狙い値とすると、荷重212Nを支持可能な軌道曲率比は、ヘルツ計算により約62%となる。

3) 軌道曲率比の増加（52 ⇒ 62%）により玉と軌道の接触楕円の長径は0.76 mmから0.44 mmに短縮、作動滑り率は0.63%から0.21%に低下する。

4) この作動滑り面のPV値は以下、軌道曲率比の拡大により、真空環境での寿命延長が狙える。

$$1.5 \text{ GPa} \times V \times 0.63\% > 2.5 \text{ GPa} \times V \times 0.21\%$$

Fig 1に、軌道曲率比と接触楕円を示す。

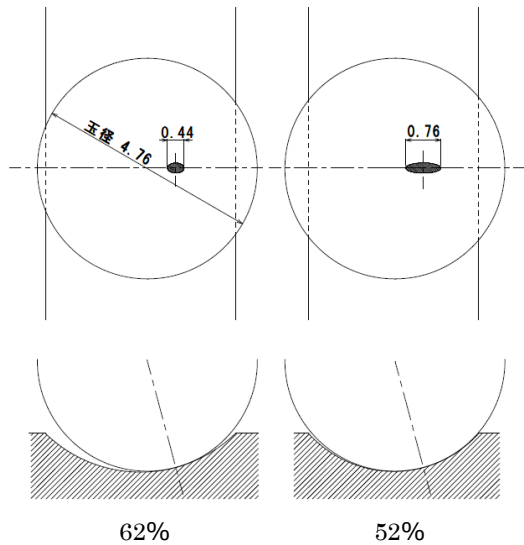


Fig 1 軌道曲率比と接触楕円

3. 試験装置

Fig 2に試験装置を示す。

フライホイール両端の評価軸受は、Vブロックで支持した。軸受外側のリングは、Vブロックのマグネットによって固定され、評価軸受を軸方向に固定している。



Fig 2 試験装置

4. 評価軸受

ADBと従来品のアンギュラ玉軸受7000について、以下の軌道曲率と潤滑での摩擦係数を評価した。

Table 1 評価軸受

No	軸受	軌道曲率比	潤滑
1	ADB	62%	オイル DX 2
2			白灯油
3			グリース SRL
4	従来品 (プラ保持器)	52%	オイル DX 2
5			ギヤオイル 75W-90
6			グリース SRL

1) 軸受について

ラジアル荷重のみが作用する使用条件であるので、下方 120° 程度の範囲が負荷領域になる。無負荷領域の玉は、内外輪のいずれか一方のみに接触する状態である。

ADBでは、接触点変化路が負荷領域の手前となる様に外輪を配置して、負荷領域の玉同士を非接触化する。(Fig 3左)

低速時に無負荷領域の玉は、図の様に自重で下方に集まる。この玉の接触圧は非常に軽微であるが、それでも滑り摩擦が生じるので、理想的なADBの使い方では無い。

この接触は、予圧を掛けて負荷領域を拡大することにより軽減、または解消される (Fig 3右) が、今回はあえて予圧を掛けていない。

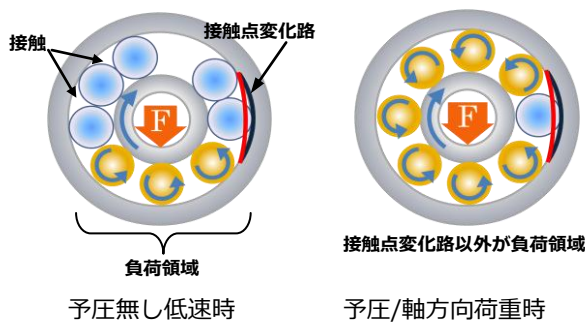


Fig 3 ADBの状態

2) 潤滑について

ADBの潤滑について、粘度が白灯油に近い 2.2mm²/s の潤滑油“スーパーマルパスDX2”が良好な特性であったことより、これを中心に評価した。

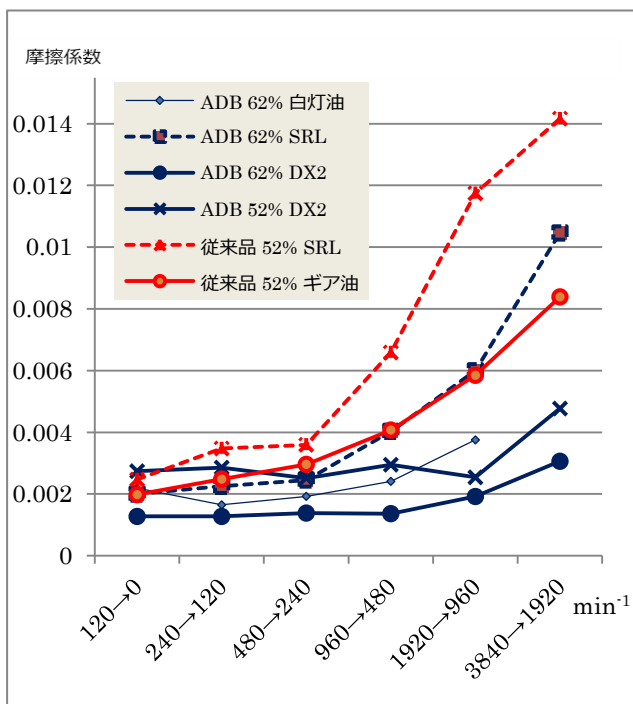


Fig 4 水平軸ラジアル荷重での摩擦係数

従来軸受の必用動粘度は 13mm²/s 以上 (カタログ) であることより、75W-90 のギヤオイルを使用した。

グリースは、基油動粘度 26 mm²/s のマルテンプ SRL を使用、ADBは必用油量が少ないことから塗布量 0.01cc とし、従来軸受は空間容積の 50%である 0.45cc とした。

4. 結果

モータ駆動のローラをフライホイール外径に押し当て、所定の回転速度でローラを離し、自然停止するまでの時間より、各速度区間における摩擦係数を算出した。

結果を Fig 4 に示す。

- 1) ADBの軌道曲率比を 62%とすることにより、52%品に対して、摩擦係数を半減することが出来た。(潤滑：スーパーマルパスDX2)
- 2) 軌道曲率比 52%同士の油潤滑の比較では、ADB (スーパーマルパスDX2) が従来品 (ギヤ油) に対して、高速域で 1/2 程度の摩擦係数であった。
- 3) グリース (破線) の比較で ADBは、従来品の 2/3 程度の摩擦係数であった。
- 4) 全体的に高速での摩擦係数が大きい理由は、油やグリースの流体摩擦、及びフライホイールの風損による。

5. あとがき

Fig3に示す様に、ADBにとって不利な荷重条件にも関わらず、軌道曲率比 62%の ADBと低粘度潤滑油との組合せで摩擦係数 0.001 程度を確認できた。

62%とした根拠は“真空用個体潤滑軸受”の許容荷重 212N であるが、一般に使われている軸受も、実荷重はこの程度の場合が多い様に思われる。そうした用途でも、エネルギー損失の低減に貢献できることを PR して行きたい。

ADBのこれまでの摩擦係数の最小値は、 $\mu = 0.00054$ である。これは軌道曲率比 52%、白灯油潤滑、垂直軸アキシアル荷重条件で、120→0rpm を測定したものの。

今回試験の軌道曲率比と潤滑油で再測定をすれば、半分以下の摩擦係数が狙えそうである。

機械工学便覧の転がり摩擦係数 0.00002 と同じ桁数 (従来軸受の 2 桁下) を狙う皮算用である。

個別用途での対応に追われ、なかなか手を出せない状態であるが、チャンピオンデータを狙う試みも、いずれトライしてみたい、と思う。

参考文献

- 1) 鉄鋼材料の革新的高強度・高機能化基盤研究開発プロジェクト, 内部起点疲労破壊 SG 公演予稿集 NEDO
- 2) トライボロジー学会 トライボロジー会議 東京 2005 秋 異物混入潤滑環境下のはく離形態 日本精工㈱