# 軸受が最も危ないのは、回っているときではなく、止まる直前である

— 最小油膜厚さが速度の 0.68 乗に比例するので、全速度で膜厚比 3.0 の軸受は、速度 50 % で 1.872496、20 % で 1.004203、10 % で 0.626789 まで落ちる — 分離子は、膜厚比が 1 を超えるかどうか — [論文712]

山岸 勇輝 (Yuuki YAMAGISHI)
Yamagishi Complexity Torus Lab, Japan｜山岸勇輝ラボ
2026年9月

*— From thinking to syncing. —*

## 要旨

軸受の設計は、定常の回転を思い浮かべて行われる。だが油膜は速度でできているので、遅くなるほど薄くなる。どこで膜が足りなくなり、そこで寿命がどれだけ落ちるのかを数える。新しい定理も法則も主張しない。第一に、油膜は速度でできている——最小油膜厚さが速度の 0.68 乗に比例するので、速度を落とせば膜も薄くなる（第2節）。 第二に、全速度で余裕があっても、低速では割る——膜厚比 3.0 の軸受が、速度 50 % で 1.872496、20 % で 1.004203、10 % で 0.626789 になる（第2節）。 第三に、これが本稿の芯である。膜厚比が 1 を割るのは、全速度の 0.198770 である——止まるずっと手前、五分の一の速度で、もう境目を越えている（第2節）。 第四に、境目の向こう側では、寿命が桁で落ちる——膜厚比 1 と 3 で寿命が 100 倍／1000 倍変わるとすると、寿命の冪は 4.191807／6.287710 になる（第3節）。 第五に、その冪では、低速の寿命は千分の一である——速度 10 % での寿命は全速度の 0.001411 にすぎない（第3節）。 第六に、分離子は、膜厚比が 1 を超えるかどうかである——定常ではなく、最悪の瞬間が設計を決める（第4節）。 キーワード：膜厚比、最小油膜厚さ、境界潤滑への移行、軸受の寿命、低速の危険、最悪の瞬間で決まる設計。

本稿の射程（射程注記）：新しい定理も法則も主張しない——膜厚比による潤滑領域の区別、最小油膜厚さの速度依存、寿命への効きは、いずれも既知である（ハムロック＆ダウソン 1981、ハリス＆コッツァラス 2006）。寿命式を使わない——軸受の寿命式そのものは使わない。寿命の冪は「膜厚比 1 と 3 で 100 倍／1000 倍」という前提から逆算した代表値である。冪を主張しない——速度の冪 0.68 は前提の代表値であり、軸受の型と条件で動く。実務を扱わない——起動・停止の回数、潤滑剤の供給、予圧の設定は扱わない。機構を論じない——摩耗の機構（凝着・アブレシブ・疲労）は扱わない。既刊との関係：論文711 は、同じ膜厚の軸の上で摩擦係数に谷があり、非単調が二つの項の和にだけ在ることを示した——そこでは同じ軸で内点の最適（谷）を見た。ここでは同じ軸で境目（膜厚比 1）を見る。横軸は共通で、縦軸を替えると「最適がある」が「越えてはいけない線がある」に変わる。加えたのは、速度ごとの膜厚比を並べたこと、1 を割る速度を **0.198770** と数にしたこと、寿命の冪を二通り逆算し、後者が前者のちょうど 1.5 倍であることを示したこと、低速の寿命を **0.001411** としたこと、分離子を「膜厚比が 1 を超えるか」に置いたことである。

## 1. 記法と問い

設定：最小油膜厚さを表面の粗さで割った値を膜厚比と呼ぶ。膜厚厚さは速度の冪に比例する。

$$\Lambda(v) = \Lambda_0\, v^{\,0.68}, \qquad v_1 = \Lambda_0^{-1/0.68}, \qquad L(\Lambda) \propto \Lambda^{m}, \qquad m = \frac{\ln R}{\ln 3}$$

$v$ は全速度を 1 とした速度、$R$ は膜厚比 1 と 3 のあいだの寿命の比である。$\Lambda_0 = 3.0$ を置く。

問い：軸受が最も危ないのは、いつか。

## 2. 遅くなると、膜が割る

計算 2.1：速度ごとに膜厚比を出した。

| 速度 | 膜厚比 |
|---|---|
| 100 % | 3.000000 |
| 50 % | 1.872496 |
| 20 % | 1.004203 |
| 10 % | 0.626789 |
| 5 % | 0.391220 |

計算 2.2：膜厚比が 1 を割るのは、全速度の 0.198770 のときである。

> **観察 2.3**
>
> これが本稿の芯である。境目は、止まる直前ではなく五分の一の速度に在る。全速度で 3.0 という十分な余裕があっても、0.198770 まで落ちればもう境目である——「止まる瞬間だけ気をつければよい」では遅い。

> **観察 2.4**
>
> 余裕を三倍取っても、速度の余裕は五倍にしかならない。冪が 0.68 なので、膜厚比を 3 倍にするには速度を $3^{1/0.68} = 5.0309$ 倍にしなければならない——冪が 1 より小さいので、速度の側の余裕は膜の側の余裕より高くつく。

## 3. 境目の向こうでは、寿命が桁で落ちる

計算 3.1：膜厚比 1 と 3 のあいだで寿命が 100 倍／1000 倍変わるとすると、寿命の冪はそれぞれ 4.191807／6.287710 である。後者は前者のちょうど 1.5 倍になる。

計算 3.2：その冪で、速度ごとの寿命（全速度を 1 とする）は次のようになる。

| 速度 | 寿命（100 倍の冪） | 寿命（1000 倍の冪） |
|---|---|---|
| 100 % | 1.000000 | 1.000000 |
| 50 % | 0.138655 | 0.051630 |
| 20 % | 0.010177 | 0.001027 |
| 10 % | 0.001411 | 0.000053 |

> **観察 3.3**
>
> 速度 10 % での寿命は、全速度の 0.001411 にすぎない。低速で回っている時間は全体のごく一部でも、損傷のほとんどはそこで起きる——時間の割合と損傷の割合は、まったく別の量である。

**観察 3.4**

だから設計は、平均ではなく最悪の瞬間で決まる。定常で $\Lambda = 3$ を確保しても、起動と停止を通る回数が寿命を決める——定格の条件だけを見た設計は、実際に起きることを見ていない。

**観察 3.5**

冪の不確かさは、結論を変えない。100 倍を置いても 1000 倍を置いても、速度 10 % の寿命は 0.001411 と 0.000053 で、どちらも三桁以上落ちる——置いた前提の幅より、結論のほうが頑丈である。

## 4. 分離子

**観察 4.1**

分離子は、膜厚比が 1 を超えるかどうかである。超えていれば面は触れず、割れば触れる。触れた瞬間から、寿命は別の法則に従う——連続に動く速度が、一点で不連続な帰結を持つ。

**観察 4.2**

論文711 と並べる。711 は、同じ膜厚の軸の上で摩擦係数に谷があり、非単調が二つの項の和にだけ在ることを示した——そこでは同じ軸で内点の最適を見た。ここでは同じ軸で境目を見る。横軸は共通で、縦軸を替えると「最適がある」が「越えてはいけない線がある」に変わる。

**観察 4.3**

言わないこと。寿命式も実務も摩耗の機構も扱わず、冪はすべて代表値である——示したのは、境目が止まる直前ではなく五分の一の速度に在ることである。

## 5. 点呼と結び

1. 速度 50 % で膜厚比 **1.872496**（計算 2.1）：まだ余裕がある。

2. 速度 20 % で **1.004203**（計算 2.1）：境目に着く。
3. 速度 10 % で **0.626789**（計算 2.1）：割っている。
4. 1 を割る速度 **0.198770**（計算 2.2）：本稿の芯。
5. 膜厚比 3 倍には速度 **5.030937** 倍（観察 2.4）：冪が 1 未満。
6. 寿命の冪 **4.191807**（計算 3.1）：100 倍を置いたとき。
7. 1000 倍なら **6.287710**（計算 3.1）：ちょうど 1.5 倍。
8. 速度 10 % の寿命 **0.001411**（計算 3.2）：三桁落ちる。
9. 1000 倍の冪でも **0.000053**（計算 3.2）：結論は変わらない。
10. 膜厚比が 1 を超えるか（観察 4.1）：分離子・論文711。

結び：軸受が最も危ないのは、回っているときではなく、止まる直前である。最小油膜厚さが速度の 0.68 乗に比例するので、全速度で膜厚比 3.0 の軸受も、速度 50 % で 1.872496、20 % で 1.004203、10 % で 0.626789 まで落ちる。膜厚比が 1 を割るのは全速度の 0.198770——止まるずっと手前、五分の一の速度で、もう境目を越えている——しかも冪が 1 未満なので、膜厚比を 3 倍取るには速度を 5.030937 倍にせねばならず、速度の側の余裕は高くつく。境目の向こうでは寿命が桁で落ちる——膜厚比 1 と 3 で寿命が 100 倍／1000 倍変わるとすると冪は 4.191807／6.287710 で、速度 10 % の寿命は 0.001411／0.000053 にすぎない。置いた前提の幅より、結論のほうが頑丈である。分離子は、膜厚比が 1 を超えるかどうかである。既刊との位置——論文711 では同じ軸で内点の最適を見た。ここでは同じ軸で越えてはいけない線を見る。正直に言えば——寿命式も実務も扱わず、冪はすべて代表値である。

## 参考文献


1. Hamrock, B. J., & Dowson, D. (1981). *Ball Bearing Lubrication*. Wiley.
2. Harris, T. A., & Kotzalas, M. N. (2006). *Rolling Bearing Analysis*. Taylor & Francis.
3. 山岸勇輝 (2026). 『「潤滑を良くするほど滑らかになる」は、谷の手前でだけ正しい』[論文711]. Zenodo. 10.5281/zenodo.23014946


*— From thinking to syncing. —*


**山岸 勇輝 (Yuuki YAMAGISHI)**



© 2026 Yamagishi Complexity Torus Lab, Japan · Licensed under Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)