

NACHI
**TECHNICAL
REPORT**
Components

Vol. **18** D1
Feb/2009

機能部品事業

■ 技術講座

知りたいトライボロジー講座⑨

「生活の中のトライボロジー」

Things to Know about Tribology
"Tribology in Daily Life"

〈キーワード〉 トライボロジー・
摩擦・摩耗

部品事業部
渡辺 孝一
Kouichi WATANABE

要 旨

身の周りに生じていることが、トライボロジーで説明できることがあり、この理屈を使えば意外と役に立つ知見が得られることがある。ここでは、一日の生活の中で経験することをトライボロジー的な視点から見つめ直すこととして、硬さということの意味、硬さには限界がある、硬いものでも摩耗する、摩耗という現象は避けられない、というようなことを解説した。

摩擦、摩耗はさけられないものだが、これに抗するメカニズムが不用意なスリップを招くなど、対策が裏目に出ることもありうる。

現象をトライボロジー的な視点で理解した上で、上手につきあい、知見を広める工夫という意味で、生活の中の科学を紹介する。

Abstract

Things happening around us in our daily lives can be explained with tribology. A tribological mechanism can provide us with useful knowledge. In this course, we will observe our experience in our daily lives from the viewpoint of tribology and explain the meaning of hardness, perimeter of hardness, wear that can occur to hard materials and unavoidable wear.

Friction and wear are unavoidable and the mechanism to avoid such friction and wear can bring about unprepared slippage. We will explain such occurrences and the occasional, unintended reversal from the measures that are taken.

We will introduce science in daily life in order for us to understand various phenomena in our lives from the viewpoint of tribology and to better handle them with broader knowledge.

1. LuDeMaの視点

トライボロジーとは、摩擦、摩耗のメカニズムを調べ、これを産業に活かしていく学問大系のことだが、身の周りで生じている様々のことが、トライボロジー的視点で見つめ直すと理解されやすいことが多い。

気づかれることは少ないのだが、トライボロジーは何らかの形で、全ての産業に関わりあっている。それくらい幅広い学問なのだが、地味で目立たない特徴がある。

LuDeMaという言葉がある。Lubrication、Design、Materialの各々頭文字の組みあわせである。工業製品が何かの問題にあたったときは、潤滑、材料および設計そのもので改善するしかない、というものである。それくらい、トライボロジーに携わる人にとっては、LuDeMaは大きいウエイトを占める視点になっている。

ここでは、日常生活の中で、トライボロジーを発見し、無意識であれ、その恩恵に預かっている事例を紹介していくこととする。



2. 一日の生活の中で

1) 歯磨き粉は小さな研磨剤

朝、目を覚ますと何人かの方は歯を磨かれるのではないだろうか?ねばねばしていた口内がすっきりする。歯に舌を当てるとツルツとする。清涼剤が含まれているので、爽快感があるのかもしれないが、これを除いたとしても、歯磨き行為は爽快感をもたらしてくれる。なぜ、ピカピカになるのか。

実は、歯磨き粉には非常に微少な研磨剤が入っているのである。炭酸カルシウム CaCO_3 や水酸化アルミニウム $\text{Al}(\text{OH})_3$ がそれである。身体の中で最も硬いエナメル質といえども、摩耗の危険性があるということになる。

このため、乳歯も含めて小児のような軟らかい歯の場合は、ブラシだけで磨くようにした方がよいといわれている。研磨剤であることを実感させてくれるのは、汚くなった硬貨に歯磨き粉をつけ、手指で擦ってみればよい。歯磨き粉が灰色のように汚れ、やがて硬貨はピカピカになる。もし、キャンプなどに出かけ、洗剤を忘れたら、歯磨き粉で代用できるということを知恵として知っていれば得になると思う。

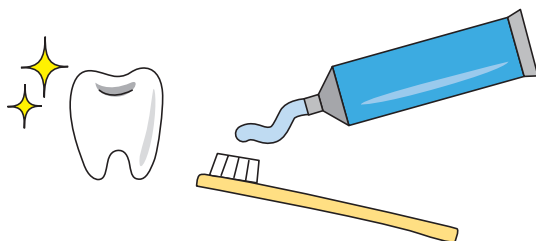


図1 歯磨き粉には研磨剤が入っている

2) 雨の日はあわててはならない

時間がないといって、あわてて外へ飛びだしたら雨が降っていた。小さな子供がシューズを履いて飛びだしたら、玄関先で転んでしまった。でも、革靴を履いたお父さんはすべらない。このような光景を目にしたら、ここでもトライボロジーで説明することができる。

軟らかいものほど、表面がなめらかなほど、接触面のスライドする速度が速いほど、膜ができやすいので、ゴムシューズの子供はすべってしまうのである。革靴や下駄は硬いので、膜ができにくい。だからすべりにくくなっているのである。

これは流体潤滑理論で膜の形成が数式化されていて、ある程度予測することが可能になっている。自動車のタイヤは軟らかいので、元々膜は形成しやすくなっている。膜を破断するために、タイヤには溝が掘ってある。溝そのものの形状の所以は理解していないが、少なくともツルツルになったタイヤはスリップしやすくなるので気を付けねばならない。この理屈も、流体潤滑理論で説明できる。



図2 シューズはすべりやすいが革靴はすべりにくい

3) 身の周りの機械には摺動部が山ほどある

車に乗ろうとしてドアを開けたら、ギーッと音がする。ドアのちょうつがい部分からの音と分かった。この部位に限らずとも、たいていの方はこのような経験を持ってはいないだろうか？

車にはそのような場所はかなりあり、軽い荷重の場合は、摺動部といえども、とくにその手当はされていないことが多い。油膜ができていないところでは、摺動すると一般には振動ないしは音をだすことが多い。振動や音は、異常のサインであり、手を打つことが必要である。このような場合は、グリースを米粒ほど塗れば解消する。もし、グリースが手元になれば、エンジンオイルの量を測るために差し込まれたオイルゲージをとり外して、ちょうつがい部に滴下すれば、それで十分である。音はしなくなる。

自動車は動く機械部品であるから、回転体と固定体があちこちで存在し、摺動部は多く存在する。このため、すべり、転がりをあわせて、100個以上の軸受が使われているといわれている。

最も身近な軸受は、タイヤを支えるホイールベアリングであろう。タイヤ交換するときに、ゆるめたナットをはずしたら出てくるボルトは、今日ではほとんどが、タイヤを支える軸受と一体になっていて、軸受メーカーでつくられているものである。

そのほか、変速機、ハンドルや座席シートのリクライニング部など多数箇所に軸受が使われているが、外からは、あまり目につかない。

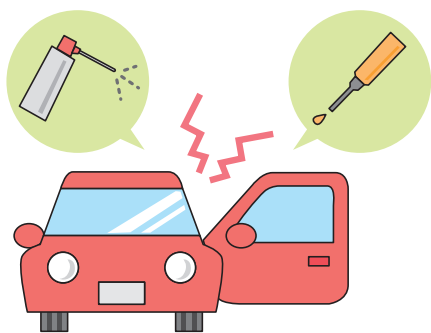


図3 ちょうつがいの音がしたとき、グリースがなければエンジンオイルを滴下する

4) 砂は鉄よりも硬い

雨が降ってきたのでワイパーを動かした。しかし、フロントガラスがすっきりしない。こんな経験もたいていの方はされていると思う。

理由は、砂などの噛み込みにより、ワイパーのゴム表面がわずかとはいえ、摩耗したためである。乾いたフロントガラスでワイパーを作動すると、ごく表面に付いた砂を噛みこんで傷付けてしまう。

ここでも膜をつくって作動すれば、傷は付きにくくなる。水をフロントガラスにかけた後、作動するようにすれば摩耗は減らせると考えられる。

ゴムは砂により、簡単に傷付いてしまうことは理解しやすいが、鉄と砂はどうであろう。実は、砂は鉄よりも硬いのである。砂には、酸化珪素 SiO_2 という石英(水晶)に含まれるような、硬い物質が含まれている。

硬いということは、ある力で接触しあったときに、硬い方が軟らかい方を傷付けるということである。もともと、硬さは、基本的に比べあう2個を傷付けあい、傷のついたほうが軟らかいとしたのである。

このような方法で硬さの大小比較をし、並べたものに、モース硬度がある。鉱物を10段階に硬さ分類したものだが、10段階の数値間は比例しておらず、定量的評価でもないが、屋外などで分析装置がない場合は、その物質をある程度特定するには有効な手段となりうる。

モース硬度では、石英(水晶)は硬さ7であり、こすりあわせるとガラスや鋼鉄などに傷がつくとされている。

■モース硬度	
1.	滑石
2.	石膏
3.	方解石
4.	螢石
5.	磷灰石
6.	正長石
7.	石英(水晶)
8.	トパーズ(黄玉)
9.	コランダム(鋼玉)
10.	ダイヤモンド(金剛石)

これを身近に感じる事例は裁縫のはさみであろう。裁縫のはさみで紙を切ると、そのうちに布が切れなくなる。紙には、その製造工程で砂が微量とはいえ侵入してしまい、これがはさみの刃を摩耗させるのである。だから、紙を切るはさみは刃こぼれしているのだ、軟らかい布は切れにくくなるのである。

裁縫の好きなご婦人がいらっしゃる家庭では、ご婦人専用のはさみで紙は切らないよう、気を付けた方がよい。

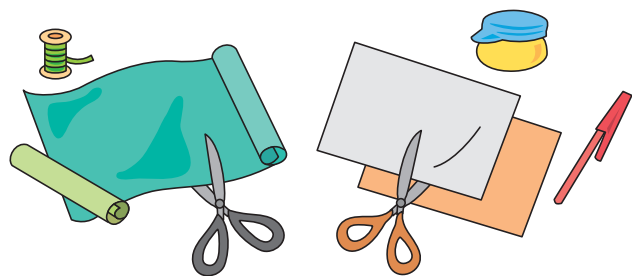


図4 裁縫ばさみと紙ばさみは区別する

これをわかりやすくするため、10mmのボールを地球(直径12,700km)の大きさに拡大するとその表面の凸凹は

$0.00025 \times 12,700 \times 1,000 / 10 = 317.5\text{m}$
 となって、東京タワー(高さ333m)程度になる。

宇宙から見た地球は丸く、東京タワー程度の凹凸は区別することができない。それくらい丸いのである。まさに、ダイヤモンド級の精度といえる。

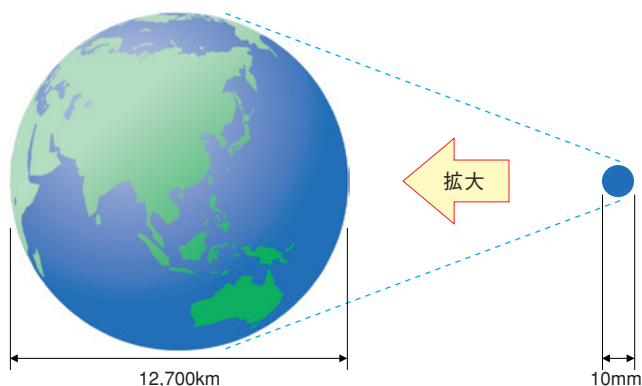


図5 東京タワーが見えないくらい丸い

5) ボールは工業製品のダイヤモンド級精度

大人になると、たいていの方は、1度はパチンコに手を染めることがあると思う。パチンコ玉には約10mmの炭素鋼でできたボールが使われている。約10mmといったのは、ボールはそのほとんどが、インチサイズで今日でも製作されており、ミリサイズはあまり流通していないからである。

単位は1/64インチ(0.3968mm)とびに規格化されているが、この単位幅ではあまり入手できない。せいぜい1/32インチ(0.7938mm)とびが、いつでも入手できる寸法の限界である。このボールは、工業製品としてはかなり大量に製造されているのだが、その割にはきわめて精度の高い製品になっている。

その精度度合いを示すのがグレード(G)である。極端ないい方になるが、G10という、そのボールの真球度(丸さ加減を示す精度)は、10×100万分の1インチ以下になっている。換算すれば0.00025mmである。表面の面粗度もこの程度以下に仕上がっている。

いかに丸いかを実感する方法として、軸受に使用されるボールを、定盤といって平面度の優れた分厚い鋼板に、上から自由落下で落として見ればよい。ボールは垂直に跳ね上がってくる。

パチンコ玉はそうはいかない。熱処理してないこともあるが、そもそも精度が軸受に使用されてるボールとは比べものにならないからである。この精度は、正しく軸受を使うことで、はじめて維持される。侵入したゴミなどには、たいていの場合、鉄よりも固い物質があるので、簡単に傷付いてしまい、音響が悪くなる。

逆にいえば、これだけの精度があるからこそ、静かな回転音で済んでいるということができる。

6) 硬さには限界がある

工業製品には、一般的に硬さが決められている。材料の破断に抗する力と硬さとは比例するからである。硬さを得るには、通常熱処理で、金属材料の組織を変える。このことにより硬くなるので、熱処理前の材料を生材と呼ぶこともある。

硬さのものさしが必要だが、軸受のような硬い部品を扱うには、ピッカース硬さ(単位HV)ないしはロックウエル硬さのCスケール(単位HRC)が用いられる。いずれも、ダイヤモンドの触子で傷を付けて、その傷の大きさで硬さを決めるものである。

したがって、この2つの単位には比例関係があり、相互に変換が可能になっている。

また、硬いということは傷が付きにくいということで、破断の耐力があるということ。このことは、硬さと破断に対する抗力は比例する、ということになっている。

したがって、硬くすればするほど強度が得られるので、硬さをとことん大きくしたい気持ちになるのが人情である。しかし、硬さには限界がある。鉄鋼材料であれば、ピッカース硬さでHV1,000、ロックウエル硬さでは、HRC68が限界といわれている。

軸受に使われるボールは、大体HRC62~65程度である。いかに硬いかが理解されると思う。それでも、SiO₂、石英(水晶)にはおよばない。

7) 硬さも「過ぎたるはおよばざる」

硬さが大きいことは確かに優れた特性が多いが、反面「脆い」という欠点を招くことがある。その代表はセラミックスであろう。セラミックスとは、元もと粘土を固めて焼いたもののことを指すが、今日では、炉の中で焼いたものを全て総称しているらしい。

転がり軸受でも、セラミックスはボール材として採用されることがある。ただし、狙いは硬いことではなく、高温に強いことや密度が小さく高速回転に適していることの特性を利用したものである。

軸受も含めて、一般に機械部品には変動荷重や衝撃力が、その一生の間に数回は負荷されることがある。「割れる、割れない」を問題にするときに、この脆さが話題にされる。

脆さのものさしは、「靱性」と呼ばれる特性である。そして、一般的には硬さが大きくなるほど靱性は低下し脆くなっていく傾向がある。

セラミックスは硬いが、きわめて靱性は低い。脆いのである。金属とこすりあっても傷は付かないが、簡単に割れることがある。プラスチックのコップは落としでも割れにくいですが、ガラスのコップは割れてしまうのと似ている。傷をとるか、割れをとるか、適切な判断が軸受という商品に折り込まれていることを知ってほしい。

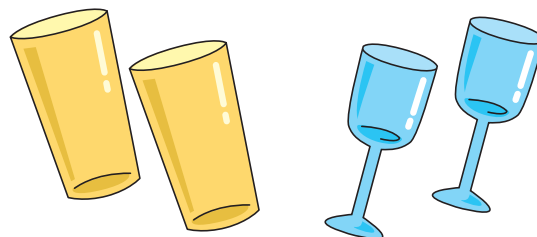


図6 プラスチックコップはガラスコップより割れにくい

セラミックスの特性を応用したものに、コーティング技術があり、加工工具などにはすでに応用されている。炭化珪素SiCなどを材料表面に溶射して数ミクロンの膜を付けるのだが、このことで表面硬度が増し、耐摩耗性も向上するなどの特性が得られる。今日では比較的低温でコーティングが可能になってきており、今後の展開が予想されている。

ただし、セラミックスはきわめて硬い物質なので、鉄鋼材料の上に溶射するのは、冬の季節の田んぼの上に薄氷を張るのと似ている。膜が割れたり剥がれたりすると、かえって仇になることも考えられる。

膜の密着性をいかにして高めるかが、コーティング技術の秘訣のひとつになっている。

3. 軸受は身の周りの労苦を助ける、環境に優しい工業商品

工業製品は、基本的に動力伝達を行なう要素をもっているため、回転体の固まりになっている。

回転体があるということは、止まっている部品もあるということ、摺動部分が必ずあるということになる。このことは、程度の差こそあれ、軸受が必ず必要である、ということである。

軸受が産業の米といわれる所以である。転がり軸受は、統計によれば、日本国内だけでも年間7,000億円程生産され、身の周りには必ずといっていいほど、使われている。

トライボロジーを応用した、この軸受というものがなかったら、回転体を回転させるのに、とんでもないほどのエネルギーを使わねばならないのである。

1) 摩擦が小さい

オーダーでものを考えると、世界が変わって見える。例えば、高さというスケールでみたとき、どんなものが目に入るかを記載してみる。

- 1m：一般家庭の建物、庭木
- 10m：道路の電柱、オフィスビル
- 100m：超高層ビル
- 1,000m：山岳地帯
- 10,000m：航空機の飛行高度
- 100,000m：行ったことがないから分からないが、宇宙衛星の飛行高度か？

今度はこれと逆方向に、スケールを変えてみたとき、どんなものが目に入るかを試されることを薦める。

0.1m、0.01m、0.001m、0.0001m……である。これと同じように、摩擦係数の大きさをみってみる。

- 0.1：乾燥摩擦での接触しあう2面の摩擦
- 0.01：上記に油をたらしたときの摩擦
- 0.001：さらに、転がり軸受にしたときの摩擦
- 0.0001：エアーベアリング、ただし高価な機械に使用され、流通は少ない

転がり軸受は、流通性が高い割には、いかに小さい摩擦係数を有しているかがわかる。

ものを移動するのに必要な力が、転がり軸受のなかった時代の人に比べ、1/10~1/100に減じているのである。環境にやさしいというのは当然のことであろう。

2) 摩耗も小さい

すべり部分というものを皆無にするということは、世の中にあるすべての物体が弾性体であるとする限り不可能なことである。したがって、多かれ少なかれ、物は必ず摩耗する。

摩耗が生じると、製品にガタが発生したり、やせ細って使い物にならなくなる。例えば、タイヤの摩耗はやせ細ってしまい、溝がなくなってしまう。メタルベアリングは一般に軟らかい材料でできていることが多いが、これも摩耗してしまうと、ガタが発生してしまい、芯ブレが大きくなって使い物にならなくなる。転がり軸受はどうかということになるが、摩耗はするが他の軸受に比べ、摩耗量は少ない。

理由は、硬いことにもよるが、材料そのものが摩耗しにくい合金でできているからである。

したがって、比較的長持ちする。身の周りで使う工業製品で、軸受がおかしくなって機械の動作が停止したという経験は、かなり少ないはずである。それくらい、現在の転がり軸受は優れたものになっている。問題は、摩耗も少なく、硬くもなっているものを、どうやって加工するかである。

転がり軸受は、熱処理して硬くなった後は、研削といって、砥石で表層をわずかに削り取る加工が施される。研削行為そのものは、実は積極的な摩耗を発生させているのと等価であり、研削砥石には鉄よりも硬いアルミナ系か炭化ケイ素系などの粒子（これを砥粒という）が埋め込まれている。

それでも現実的には、HRC60前後におけるHRC1の硬度差ですら、大量生産では加工性難易性に影響するといわれている。

転がり軸受は、まさにギリギリの線で作られた、高精度大量省エネ商品といえる。

4. トライボロジーが教えてくれるもの

軸受のことを英語でbearingと書き、bearには「耐える」という意味があって、文字通りに軸受は「縁の下の力持ち」になっているというのは、よく聞かれる話である。暗い感じがするが、本当にそうだろうか？ 免震業界もそうだが、中国語では「支承」と呼ばれる。「ササエうけたまわる」である。

日本文化的な解釈を勝手にしてるのだが、丁寧な印象がする。

筆者には、飲み物のbeerの発音に近いかもしれないが、b=earのように思えるときがある。earは耳で

あり、bはその文字の形から、人間の耳のように思えることがある。bをhにすれば、まさしく「聞く」である。

軸受をお使いいただく方々に耳を素直に傾け、回転体を支えさせていただくのである。ずーっと機械部品の中であって、まさしく片腕のように、生涯を共にしなくてはならない部品である。

軸受に携わっている方々には、そんな謙虚な思いが自ずと備わっているように思われる。

LuDeMaを使い、全ての問題をclearしなければならないのである。

関連記事

- 1) 渡辺 孝一：知りたいトライボロジー講座①「トライボロジー入門」
NACHI-BUSINESS news、Vol.7 D1、May / 2005
- 2) 横山 良彦・渡辺 孝一：知りたいトライボロジー講座②「摩擦・摩耗」
NACHI-BUSINESS news、Vol.9 D2、November (2005)
- 3) 高木 俊行・渡辺 孝一：知りたいトライボロジー講座③
「転がり接触について」
NACHI-BUSINESS news、Vol.10 D1、June (2006)
- 4) 渡辺 孝一：知りたいトライボロジー講座④
「弾性流体潤滑理論 (EHL理論)」
NACHI TECHNICAL REPORT、Vol.11 D1、October (2006)
- 5) 菅洞 英樹・渡辺 孝一：知りたいトライボロジー講座⑤
「転がり運動について」
NACHI TECHNICAL REPORT、Vol.13 D1、June (2007)
- 6) 渡辺 孝一：知りたいトライボロジー講座⑥
「転がり接触面下の応力」
NACHI TECHNICAL REPORT、Vol.14 D1、October (2007)
- 7) 渡辺 孝一：＜基礎講座＞転がり軸受の潤滑グリース
マシンリアルアプリケーション 2007年 11・12月号
- 8) 岡島 正和：知りたいトライボロジー講座⑦
「潤滑グリースについて」
NACHI TECHNICAL REPORT、Vol.16 D1、June (2008)
- 9) 渡辺 孝一：情報・財産を地震から守る免震台「マグニクレードル」
NACHI-BUSINESS news、Vol.4 B3、August (2004)
- 10) 笠松 利安：小型・軽量・組合わせ自在形免震台
「マグニクレードル Gシリーズ」
NACHI TECHNICAL REPORT、Vol.14 D1、February (2007)
- 11) 渡辺 孝一：知りたいトライボロジー講座⑧
「免震とトライボロジー」
NACHI TECHNICAL REPORT、Vol.17 D1、October (2008)