

摩擦・摩耗における評価方法とその評価事例

Evaluation Methods for Friction and Wear, and Their Application to a Few Materials

出水 敬* 白川信彦**
Kei Demizu Nobuhiko Shirakawa

(2002年7月16日 受理)

キーワード：摩擦，摩耗，トライボロジー，標準試験，ピン・オン・ディスク，めっき，塑性加工

1. はじめに

摩擦係数は、密度や比熱のような物理定数の一つであると誤解されていることが多い。しかし、摩擦係数や摩耗率は固体と固体を摩擦することによって初めて生じるものであって材料の固有値ではなく、摩擦条件が変わるとそれに応じて両者の値も変化するものである。すなわち、材料に固有の値は存在せず、条件を同一にしないと比較できないという認識の下に評価を行う必要がある。また、トライボロジーの分野では、摩擦・摩耗特性が試験方法に依存することは周知の事実であり、その現象の複雑さから標準化された試験方法は少ない。たとえばJISに規定されている主な摩耗試験方法(表1)は、自動車用クラッチやブレーキ、加硫ゴム、プラスチック、ファインセラミックス等、特

定の部品や材料を対象としたものであり、最も使用頻度が高いと思われる金属を対象とした規格はない。

しかしながら、摩擦・摩耗、トライボロジーに関わる評価技術の重要性については、今さらここで触れる必要もなく、当研究所においても、ピン・オン・ディスク形を始めとして、大越式、往復動形からカーペット摩耗試験機に至るまで様々な種類の摩擦・摩耗試験機が設置されている。

そこで本報においては、材料や潤滑剤の摩擦・摩耗特性を調べるために用いる装置や評価方法、および産技研における評価事例等について紹介する。

2. 摩擦・摩耗試験における留意点

(1) 摩擦・摩耗評価の拠り所

いわゆるパートタイムトライボロジスト(初めてトライボロジーに関わる人、摩擦・摩耗のデータをとりあえず得たい人)にとって拠り所となる文献としては、トライボロジーハンドブック¹⁾と日本機械学会基準「摩耗の標準試験方法」²⁾がある。トライボロジーハンドブックには、摩擦・摩耗の評価技術はもとよりトライボロジーに関するあらゆることが網羅されており、有効な知識を簡便に得ることができる。「摩耗の標準試験方法」は、金属を対象とした摩耗試験のJIS規格がないことから、データの互換性を可能にするためやばらつきを抑えるため、またパートタイムトライボロジストが摩耗試験の拠り所とするものが必要である、等の考えから作成されたものである。この基準の中では、無潤滑下のしゅう動摩耗特性を評価するための方法として、図1に示したように、ピン・オン・ディスク摩耗試験、ブロック・オン・リング摩耗試験、ス

表1 JISに規定されている主な摩耗試験方法

規格番号	名称
JIS D 4311 (1975)	自動車用クラッチフェーシング
JIS D 4411 (1993)	自動車用ブレーキライニング及びパッド
JIS H 8503 (1989)	めっきの耐摩耗性試験方法
JIS H 8682 (1988)	アルミニウム及びアルミニウム合金の陽極酸化皮膜の耐摩耗性試験方法
JIS K 6264 (1993)	加硫ゴムの摩耗試験方法
JIS K 7204 (1995)	摩耗輪によるプラスチックの摩耗試験方法
JIS K 7205 (1995)	研磨材によるプラスチックの摩耗試験方法
JIS K 7218 (1986)	プラスチックの滑り摩耗試験方法
JIS R 1613 (1993)	ファインセラミックスのボールオンディスク法による摩耗試験方法

* 評価技術部材料評価グループ

** 生産技術部塑性加工グループ

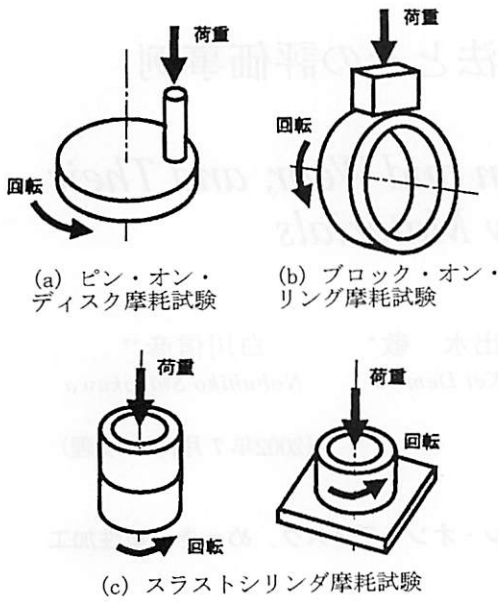


図1 摩耗の標準試験方法

ラストシリンダ摩耗試験の三種類の方法が規定されている。当所でも、ピン・オン・ディスク摩耗試験、スラストシリンダ摩耗試験については、この基準にほぼ準拠した試験が可能である。ブロック・オン・リング摩耗試験については、これに摩擦形態に近い大越式摩耗試験機がある。

上記のほかにも、分野に応じて参考となりうる様々な文献があり、それらはトライボロジストの特集号³⁾にていねいにまとめられている。

(2) 試験方法 (手順)

材料の摩擦・摩耗試験を行う際に留意すべき点については、「摩耗の標準試験方法」の摩耗試験の章が参考となる。負荷荷重やしゅう動速度、しゅう動距離のほかにも、試験片の洗浄方法、試験雰囲気(温度、湿度)等によって結果がかなり異なる場合がある。

図2は、あるめっき材料の摩擦・摩耗試験結果である。図から明らかなように、試験条件は同じであるにもかかわらず、1回目と2回目では摩擦係数、摩耗体積ともかなり異なっている。この試験は、試験雰囲気について特に注意を払わず、たまたま1回目は晴れの日、2回目は雨の日に行った。めっき材料の中には、空気中の水分によって表面の酸化状態がかなり変化するものがある。したがって、この場合は1回目と2回目の湿度が異なっていたために摩擦・摩耗特性にばらつきができてしまったと考えられる。「摩耗の標準試験方法」に準じて雰囲気を制御(温度 $23 \pm 5^\circ\text{C}$ 、相対湿度 $60 \pm 10\%$)しておけば避けられたばらつきである。

(3) 試験装置

摩擦・摩耗を評価するための試験装置には、上述の

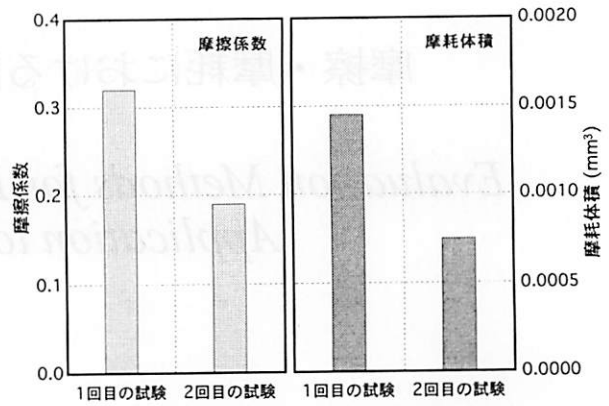


図2 あるめっき材料の摩擦・摩耗試験結果
 負荷荷重：400gf、平均摩擦速度：20mm/sec
 摩擦時間：120min、相手材：軸受鋼球

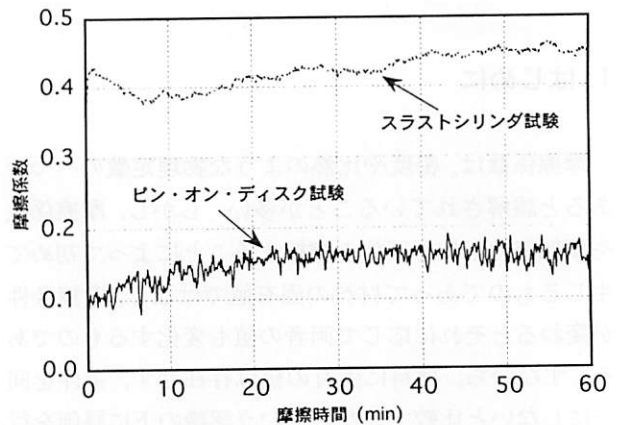


図3 高しゅう動性ポリプロピレンの摩擦係数の比較
 負荷荷重：2.0kgf、摩擦速度：1.0m/sec
 摩擦時間：60min、相手材：鋼ピンまたは鋼シリンダ

代表的な三種類の試験方法のほかにも様々なタイプのものである。また一方で、摩擦・摩耗特性が試験装置(試験片の形状、組合せやすべり形態)に依存することは周知の事実である。

たとえば、市販の高しゅう動性ポリプロピレンについて、ピン・オン・ディスク試験とスラストシリンダ試験を行った。このときの摩擦時間と動摩擦係数の関係を図3に示す。どちらも、ポリプロピレンの板材を鋼のピンまたはシリンダで摩擦した。摩擦速度、負荷荷重ともに同一条件であるにもかかわらず、結果が大きく異なっている。摩擦相手材がピンの場合は、ポリプロピレンとピンとの接触部以外の摩擦面が空気に触れるため摩擦熱が逃げやすい。しかし、シリンダの場合は、常に摩擦面全体が接触しているため熱が逃げにくく、熱伝導の悪いプラスチック材料の場合は特に摩擦面の温度が上がりやすい。この試験の場合には、スラストシリンダ試験の方が接触面積が大きいので接触圧力が小さいにもかかわらずピン・オン・ディスク試

験よりも摩擦面温度が高くなり、材料が軟化して摩擦係数が大きくなったものと思われる。したがって、実機（製品）の接触形態に近い試験装置を選ぶことが重要である。

3. 産技研における評価事例

(1) 湿度を制御した雰囲気における摩擦・摩耗試験

ここでは、材料の摩擦・摩耗特性に影響を与える要因を詳細に調べるためや、実機（製品）の使用条件をできるだけシミュレートするために、より複雑な摩擦条件で評価を行った事例について紹介する。

材料の摩擦・摩耗特性をとりあえず簡便に評価したい（その材料の用途が特に決まっていないので摩擦条件を決められないが、とにかく比較データが欲しい）場合、往復動形試験機は、扱いやすい、試料が小さくてすむ、摩擦係数の測定精度が高い等の特徴を有しているため非常に有効である。この試験機は、図4のように下部試料台が往復運動し、試料台に取り付けられた平板試料が、ボール（通常は鋼球）によって往復摩擦され、そのときの摩擦係数が測定できる。また、試験後の摩耗痕の形状（深さ、幅等）を調べることで、摩耗特性の評価も可能である。

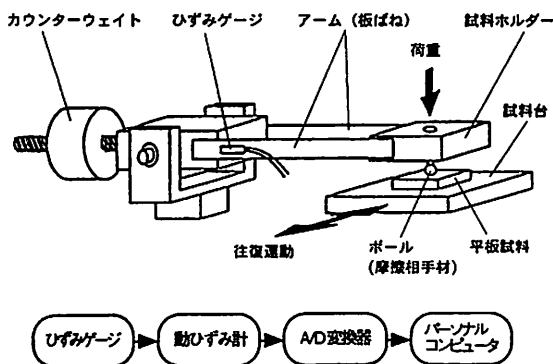


図4 往復動形摩擦・摩耗試験機

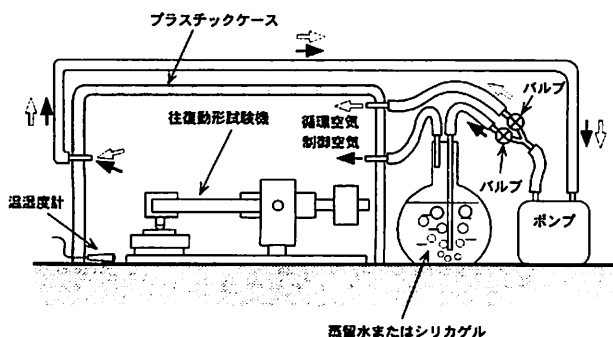
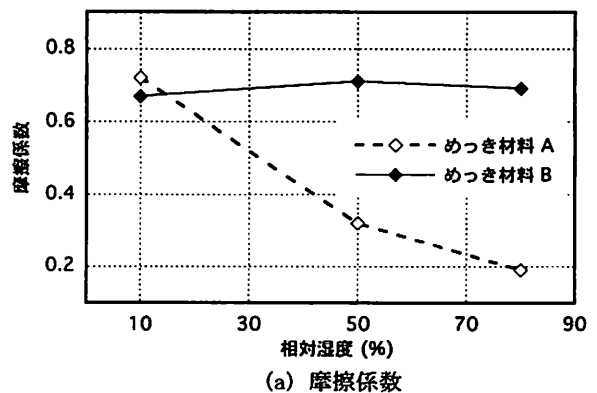


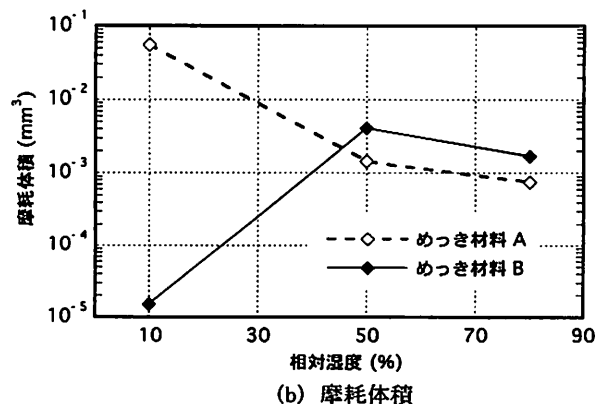
図5 雰囲気制御方法の概略図

めっき材料に限らず、表面の化学的性質が空気中の水分によって変化する材料は少なくない。このような材料の摩擦・摩耗特性を調べるためには、きめの細かい雰囲気制御が不可欠である。また、積極的に湿度を変化させて、湿度と摩擦・摩耗との関係を調べることも必要である。図5は、図4の試験機を、湿度制御のためにプラスチックケース内に設置した様子を示している。プラスチックケース内の空気は常にエアープンプによって循環され、低湿度雰囲気における実験の場合にはピーカー内にシリカゲルを、高湿度雰囲気における実験の場合には蒸留水を入れることによって、所定の雰囲気湿度に制御できる。

この装置を用いて、図2に示しためっき材料(A)と他のめっき材料(B)の摩擦・摩耗特性と湿度の関係を比較した。その結果を図6に示す。図から、めっき材料Aは湿度の上昇とともに摩擦係数も摩耗も減少する。一方、めっき材料Bの摩擦係数はほとんど湿度に影響されず、摩耗は低湿度において非常に少ないことがわかった。このように、通常の機械的特性評価（引張試験、硬さ試験等）において特に注意を払う必要のない湿度の変化であっても摩擦・摩耗にかなり影響を与える場合があるため、雰囲気の制御は非常に重要である。



(a) 摩擦係数



(b) 摩耗体積

図6 二種類のめっき材料の摩擦・摩耗に対する雰囲気湿度の影響

(2) 腐食液中における摩擦・摩耗試験

ステンレス鋼のような耐食性材料は、腐食環境におけるしゅう動材料として用いられることがある。このような場合には、当然、実際に用いられる環境に近い条件での試験が必要となる。当所の摩擦・摩耗試験機は、ステンレス製の液槽が付属しており、液中でピン・オン・ディスク試験、ボール・オン・ディスク試験またはスラストシリンダ試験が可能である。すなわち、薄い腐食液中（ステンレス製の液槽が腐食されない程度の液）における摩擦・摩耗特性の評価ができる。

図7に腐食液中における試験方法の概略図を、表2に摩擦条件および試験に用いた腐食液を示す。図のように液槽にSUS304の平板を固定し、アルミナ球で摩擦した。試験中の腐食液の変化（濃度変化、PH変化等）を防ぐために、液槽には腐食液タンクから常に新しい腐食液を供給した。また液槽内の液量も常にほぼ一定に保たれる。各腐食液中において一定時間摩擦した後の摩耗痕の断面形状（しゅう動方向に対して直角方向の断面）を、表面粗さ計を用いて測定した。比較のため

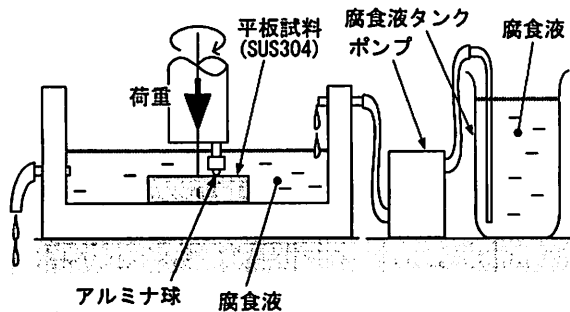


図7 腐食液中におけるボール・オン・ディスク試験の概略図

表2 摩擦条件および試験に用いた腐食液

平板試料	SUS304
相手材	アルミナ球 (直径4.8mm)
摩擦円半径	5mm
回転数	200rpm
摩擦時間	1h
荷重	2kgf (19.6N)
温度	室温 (約20℃)
腐食液	硫酸 (0.02N)
	塩酸 (0.02N)
	食塩水 (3wt%)
	硝酸 (0.02N)

めに、大気中（乾燥状態）および蒸留水中においても試験を行った。それらの結果を図8に示す。図8から、腐食液によって摩耗量が大きく異なることがわかる。

(3) 板材成形用トライボシミュレータの試み

塑性加工はトライボロジーの技術抜きにして成り立たないため、従来から、塑性加工用潤滑剤や工具の表面処理に関する相談、問い合わせは非常に多い。塑性加工は、接触面圧が高く、かつ被加工材の新生面が常に金型表面としゅう動する等、摩擦・摩耗を制御する側からみると非常に厳しい条件である。したがって、通常の摩擦・摩耗試験機では塑性加工の摩擦条件を再現できない場合が多く、研究目的によって多様な試験機が開発されてきた。塑性加工の分野では、このような試験機をトライボシミュレータと称するが多い。

当所においては、代表的な板材成形用トライボシミュレータの一つである「絞りビード形」(図9(a))を改良して「絞りビード形」のビード部を棒材とし(図9(b)), 板材成形金型に対する潤滑剤や表面処理の効果を検討している。こうすることによってビード部の交換が可能となり、複数の表面処理を比較することが容

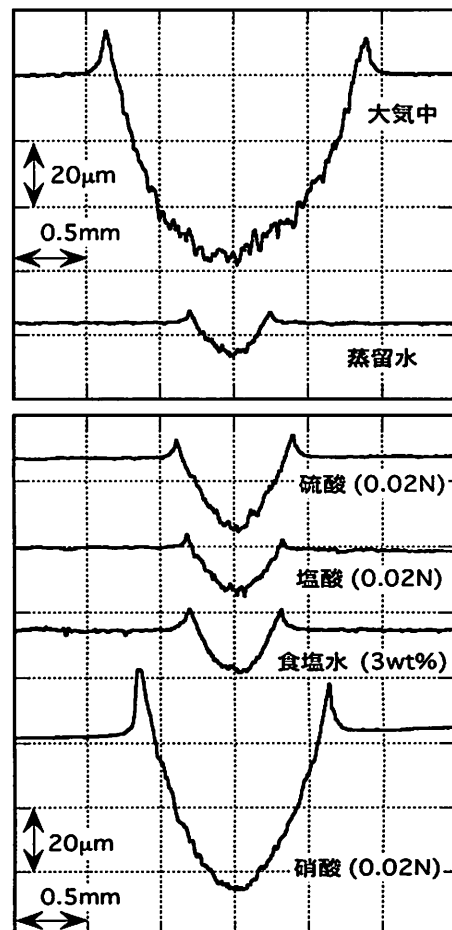
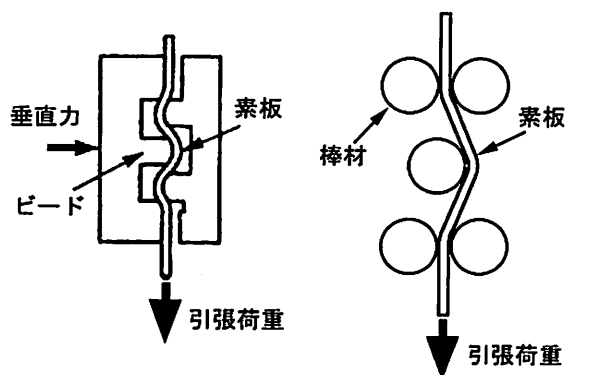


図8 試験後の摩耗痕の断面形状

易になる。また試験の際にビード部に焼付きが生じて
も、棒材の交換によって簡単に金型表面を初期状態に
戻すことができる。

「絞りビード形」トライボシミュレータの場合、引張
荷重の差や引抜き後の素板表面の粗さ、ビード部の表
面状態等から潤滑剤、表面処理の特性を相対的に評価
するのが一般的である。図9(b)に示した装置を用いて
二種類の潤滑剤の評価を行った例を図10に示す。二種
類の潤滑剤は、明らかに引張荷重に差が認められた。
また、潤滑油Bの場合は、ビード部にかじりが見られ
た。したがって、本シミュレータで潤滑油等の相対的



(a) 一般的な絞りビード形 (b) 当研究所による改良形

図9 板材成形用トライボシミュレータ

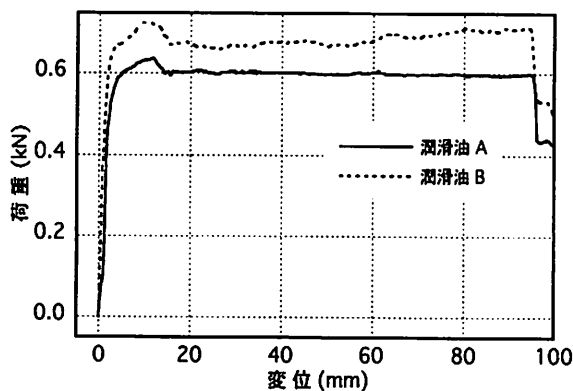


図10 プレス加工用潤滑油の評価結果
表面に潤滑油を塗布
引張速度：100mm/min
被加工材（素板）：純アルミニウム板 t1.0

な評価が可能であることが確認できた。

そのほかにも、鍛造加工における新しいトライボシ
ミュレータについて提案している。その詳細は文献⁴⁾
を参照されたい。

4. おわりに

摩擦・摩耗の評価を行う上で重要な事項について
は、トライボロジーハンドブックと日本機械学会基準
「摩耗の標準試験方法」にほとんど網羅されている。そ
こで、本報告においては、主に当所で可能な評価方法、
あるいはその事例について紹介した。試験機で得られ
た摩擦・摩耗特性が、実機（製品）の設計、開発に適
用され得るためには、摩擦・摩耗状態が物理的にも化
学的にも同じである必要がある。3章で紹介したよう
に、筆者らはできるだけ摩擦・摩耗状態を実機に近づ
けるように工夫して試験を行っているが、厳密に一致
させることは不可能である。しかし、そのような認識
の下で試験方法、条件を選択し試験を行うことによっ
て、結果の信頼性向上が図れ利用価値の高いものにな
る。したがって、摩擦・摩耗の評価方法は千差万別で
あって非常に研究的要素の高い技術でもある。

最後に、この報告が、摩擦・摩耗における評価試験
の必要に迫られた際に少しでも拠り所となれば幸いで
ある。

参考文献

- 1) (社)日本トライボロジー学会編, トライボロジー
ハンドブック, 養賢堂(2001)
- 2) (社)日本機械学会編, 日本機械学会基準「摩耗の
標準試験方法」JSME S 013-1999, (社)日本機械学会
(1999)
- 3) トライボロジスト 小特集・リファレンスオプ
リファレンス -入門者のための推薦書-, 46, 4(2001)
- 4) 白川信彦, 和田林良一, 大阪府立産業技術総合研
究所報告, 15, 53(2001)