

金属の摩耗に対する待機時間の効果

千葉工業大学 平塚 健一

1. はじめに

摩擦と摩耗の定義について、界面に生じる第三の物質を共通のキーワードにして整理すると次のようになる。

- 1) 摩擦；二固体界面に存在する第三の物質のせん断抵抗
- 2) 摩耗；二固体界面に第三の物質を作り出しかつそれを系外に排除する作用

さらに潤滑剤とは、界面にはさまれている第三の物質であり、摩耗粉とは、界面から排除された独立した物体である。この第三の物質を作る際、摩擦面をとりまく雰囲気が大きな役割を果たす。本稿はこの雰囲気の作用する場所と時間の重要性について論じるものである。

従来から鋼対鋼の摩耗に対する摩擦速度の影響として、図1のような関係が知られている[1]。ここで特徴的なことは、摩擦速度の増大に伴って摩耗が三桁にわたって二度増減することである。摩耗量の多い領域は摩擦面に金属光沢の残るシビア摩耗モードであり、逆に少ない領域は酸化物に覆われるマイルド摩耗モードである。この複雑な摩耗特性の原因は摩擦速度の増大によって複数のパラメータが変化することにある。

このパラメータに関し筆者は温度上昇以外の因子として、摩擦の「待機時間」の重要性を指摘している。すなわち、摩擦速度の増大に伴って、摩擦熱によって温度は上昇する一方、摩擦から次の摩擦までの待機時間は少なくなる。このことが、化学反応のような温度と時間に関係する現象に対して相反する効果を及ぼし、さらにマイルド摩耗の成立と摩耗量の減少に影響を及ぼすと考えているのである[2]。

その待機時間について、筆者はさらに次のように解釈している。

二つの摩擦材は気体あるいは液体に囲まれながら摩擦するのが普通である。すると界面に生じる潤滑剤とは摩擦材が雰囲気気体あるいは液体と反応してできた物質となる。ここで摩擦材はすべての面が常に必ず

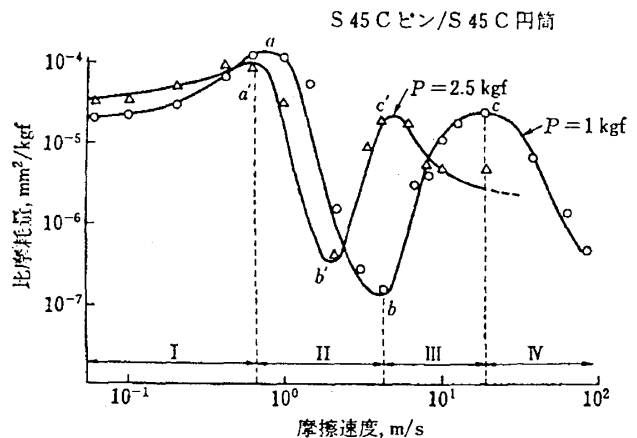


図1 鋼対鋼の摩耗に対する速度効果[1]

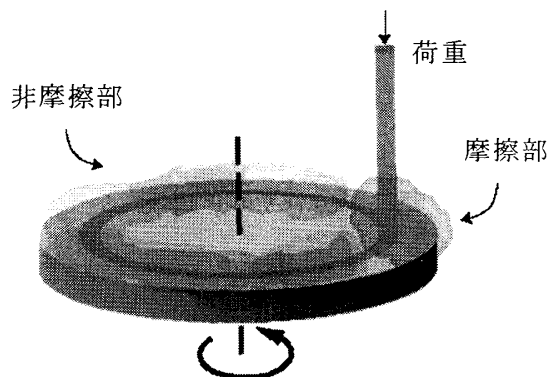


図2 摩擦部と非摩擦部に対する待機時間ならびに雰囲気効果

摩擦しているわけではなく、少なくともどちらか片方が雰囲気中に十分にさらされている時間が存在する。図2の試験片の接触状態を見ると、摩擦面と一口にいてもその瞬間に摩擦している面（摩擦部分）と次の摩擦を待っている面（非摩擦部分）の二つに分けられることがわかる。すなわち、ピン試験片とディスク試験片にはさまれた部分は常に摩擦しているが、ディスク試験片は一回転に一度摩擦するのみである。よって非摩擦部分には待機時間が存在する。筆者はそれ以外に、摩擦を停止することによって摩擦部分にも待機時間があると解釈している。すなわち、垂直荷重とせん断力をかけられながら静止している部分に対する待機時間効果があると考えている。以下にシビア摩擦とマイルド摩擦に対するこれら二つの部分の摩擦待機時間の効果を論じる。

2. シビア摩擦に対する待機時間効果

亜鉛対亜鉛の摩擦における、シビア摩擦に対する待機時間の効果を雰囲気酸素圧力の効果と共に図3に示す。この場合、ピン・オン・ディスク型の摩擦試験機を使い、ディスクを一回転ごとに所定の時間停止した。雰囲気酸素圧力が低い場合、待機時間によらず摩擦量はほぼゼロである。しかしながら雰囲気酸素圧力を増大させると、摩擦量は待機時間の対数に比例して増加する。これはAとαを定数にして、摩擦量Wが時間tに対して(1)式を満たしていることを示している。

$$\frac{dW}{dt} = Ae^{-\alpha W} \quad (1)$$

摩擦粉は移着粒子として摩擦界面で成長し、その後摩擦面外に排出され、摩擦量として測定される[3]。そこで摩擦面を取り巻く雰囲気とは、移着粒子に対して有効なのか、あるいはそれ以外の面、つまりその時間に摩擦していない面に対して有効なのかという疑問が生じる。そのため図2のように摩擦部と非摩擦部を異なる雰囲気に設定して、各々の雰囲気を独立に制御し、雰囲気気体効果を調べた。ここでは摩擦部と非摩擦部を酸素とアルゴンの二つの雰囲気に独立に設定した。

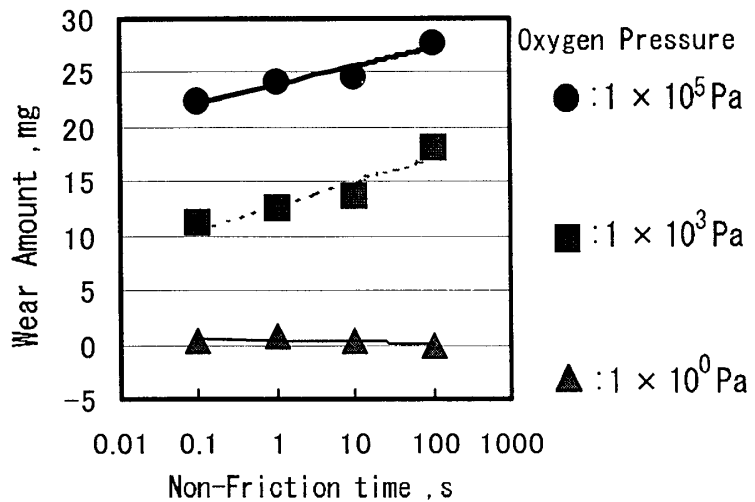
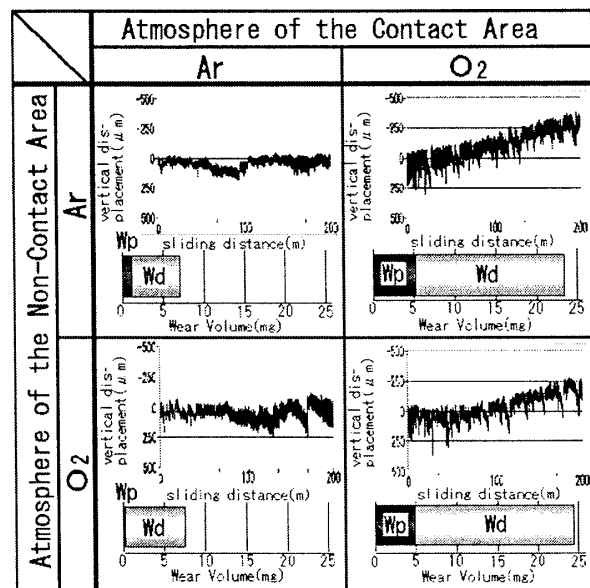


図3 亜鉛対亜鉛の摩擦に対する待ち時間効果



Wp:Wear volume of the pin,Wd:Wear volume of the disk
図4 亜鉛対亜鉛の摩擦に対する摩擦面および非摩擦面雰囲気効果[4]

亜鉛同士の摩擦における、ピンのディスクに対する垂直位置変位と摩耗量に対する摩擦部と非摩擦部の雰囲気の効果を図4にまとめた[4]。摩耗量は非摩擦部の雰囲気に影響されない。それに対して摩擦部を酸素雰囲気にすることによって摩耗量は大きく増える。これらのことは、摩耗量に影響を与えるのが摩擦部の雰囲気であることを示している。これは移着粒子の性質が待機時間中に変化することを示唆する。酸素雰囲気で待つことによって移着粒子が硬化し、硬い刃物で削られるように移着粒子の成長が促進され、それが摩耗量の増大につながったのだと推定される。この摩擦部に効く待機時間効果は紙の摩擦に見られる静止摩擦係数に対する待機時間効果[5]と対応する。

3. マイルド摩耗に対する待機時間効果

マイルド摩耗とはシビア摩耗の後に現れる摩耗率が一桁以上低くなった状態である。シビア摩耗からマイルド摩耗へのこの遷移が摩擦初期に生じれば結果的に総摩耗量が抑制される。図1の谷の領域はそのような状態である。図5に銅対鉄の摩擦におけるピンのディスクに対する垂直位置変位を示す[6]。このようにすべり距離にして140 m程でピンの変化が抑制される。この状態をマイルド摩耗と呼ぶ。そのときの

銅ピン摩擦面の様子を各摩擦距離ごとにグラフの下の写真にまとめた。マイルド摩耗に遷移すると摩擦面は黒くなる。これは鉄の酸化物であることがX線回折によって確かめられている。遷移する(c)まで摩擦面は変化がないように見えるが、顕微鏡でよく調べると細かいマイルド摩耗粉が生成して、特定箇所にそれが堆積していることがわかる。以下に示すように、この堆積量がある一定値に達するとマイルド摩耗に遷移する。

すべり速度、荷重を変化させてマイルド摩耗に遷移する距離を測定した結果を図6に示す[6]。このようにシビア摩耗からマイルド摩耗に遷移するのに必要な距離は、すべり速度と荷重に比例する。この結果は、単位真実接触面積あたりの摩擦時間がある値に達するとマイルド摩耗に遷移することを示している。つまりある「臨界摩擦時間」

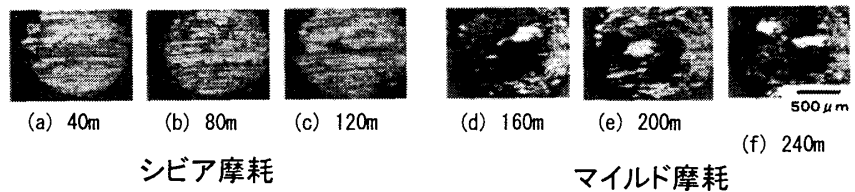
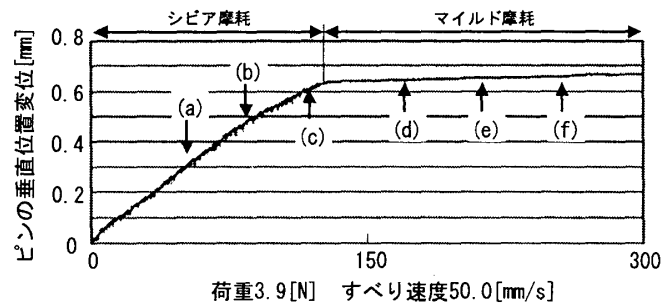


図5 シビア・マイルド摩耗遷移と対応する摩耗面の変化[6]

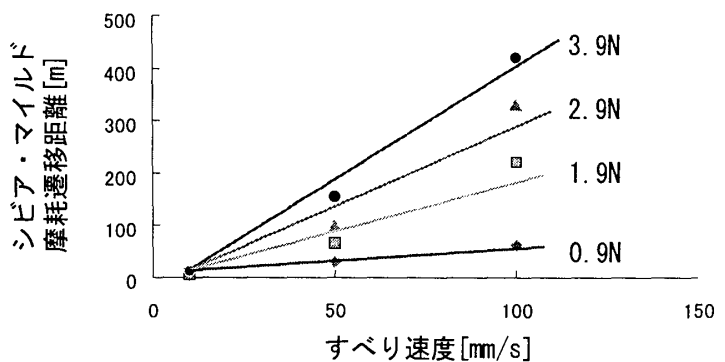


図6 シビア・マイルド摩耗遷移距離に対するすべり速度と荷重の効果[6]

が存在することを示している。

次の疑問はこの臨界摩擦時間が摩擦部に作用している時間かあるいは非摩擦部に作用している時間かということである。

鉄対鉄の摩擦において図4と同様に摩擦部、非摩擦部の雰囲気独立にアルゴンと酸素にして実験をおこなった。

図7に示したその結果によれば、雰囲気効果は図4と逆になった[4]。すなわち非摩擦部の雰囲気をアルゴンにするとシビア摩耗が、酸素にするとマイルド摩耗が現れたのである。摩擦部を酸素雰囲気にしても非摩擦部がアルゴン雰囲気であるとマイルド摩耗は得られない。逆に摩擦部がアルゴンでも非摩擦部が酸素雰囲気であればマイルド摩耗遷移する。このことからマイルド摩耗にとって重要な時間は非摩擦部の待機時間であることが理解される。同様な待機時間効果は動摩擦に対しても成り立つ場合がある。この場合は待ち時間中に非摩擦部に気体が吸着しそれが摩擦を増大させる原因となる[7]。すなわち、非摩擦部分に対する待機時間効果として本研究と統一的に論じられるのである。

4. おわりに

以上示したように、シビア摩耗とマイルド摩耗において摩擦の待機時間の持つ役割は異なる。シビア摩耗において待機時間は接触部分に対して影響を持ち、移着粒子の成長を促進する。シビア・マイルド摩耗遷移に対してそれは非摩擦部分に対して影響を持つ。それはマイルド摩耗粉の発生と面への固着に対して影響を与え、マイルド摩耗の成立をもたらす。これらの結果は、静止摩擦と動摩擦に対する待機時間効果と共通点を持つ。すなわち静止摩擦係数に対する待機時間効果は、本研究での摩擦部に対する待機時間効果と対応し、動摩擦に対する効果は非摩擦部に対する効果と対応するのである。

参考文献

- [1] 曾田・森, 潤滑, 31, 4 (1986) 245
- [2] 平塚, 恵比根, 日本トライボロジー学会トライボロジー会議東京予稿集 (2002) 87
- [3] 平塚, 物性研究, 76, 2 (2001) 228
- [4] 目木, 平塚, 日本トライボロジー学会トライボロジー会議仙台予稿集 (2002) 199
- [5] Heslot, et.al., Phys. Rev. E49 (1994) 4973
- [6] 平塚, 村本, 日本トライボロジー学会トライボロジー会議東京予稿集 (2003) 19
- [7] Heimberg.et.al., Appl. Phys. Lett., 78, 17 (2001) 2449

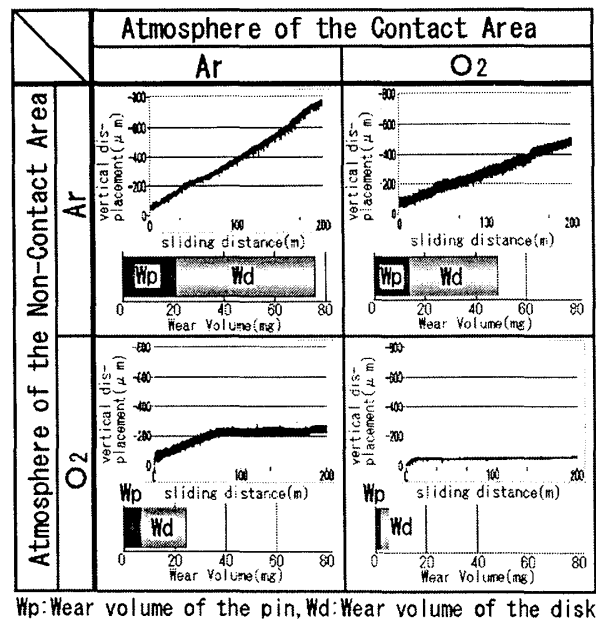


図7 鉄対鉄の摩耗に対する摩擦面と非摩擦面の雰囲気の効果[4]