

電気接触部に使われる材料の摩耗特性

Wear of Materials used for Electric Contacts

千葉工大・工（正）*平塚 健一

Ken'ichi Hiratsuka*

*Chiba Institute of Technology

1. はじめに

電気接触部では、通常の摩擦材料における低摩擦・低摩耗の性質の他に、接触部を通して電流が安定して流れる特性が要求される。そこで、接触電気抵抗に影響を与える可能性のある次の三つの現象、すなわち

- 1) 摩擦化学反応による表面性状の変化,
- 2) 変形による表面形状や接触面積の変化,
- 3) 摩耗粉の介在による接触形態の変化,

などをできるだけ少なくすることが摩擦材としての課題となる。接点部の材料設計の際には、固体潤滑の原理を取り入れながら材料の化学的性質、機械的性質、さらには組み合わせ、積層形態などが考慮される。実際の電気接点材料の選択は電流条件、摩擦条件に応じて多岐にわたるが、直接接触する最表面の材料としては、貴金属系、カーボン系、軟質金属系、などが基本的なものである。

一般に、空気中の摩耗現象は大気の成分である酸素や水蒸気の影響を著しく受ける。そこで上記の材料の摩耗におよぼす雰囲気气体の影響を理解しておくことは材料開発の上で有効となる。そこで本報告では、貴金属として金、カーボン系としてグラファイト、軟質金属系として錫の摩耗に対する酸素と水蒸気の効果を取り上げる。

2. 金の摩耗

電流が流れる接触部の材料に要求される性質として、電気抵抗が低いことはいうまでもないが、それが経年により変化しにくいことも重要である。電気の良導体である金属は一般に酸化により電気抵抗が増大する。それを避けるために、電気抵抗が低いことに加えて化学反応性の低い金、銀、銅に代表される貴金属が使われてきた。銅の摩耗特性については以前に詳しく述べている¹⁾ので、ここでは金の摩耗特性について改めて取り上げる²⁾。

ツインリング摩擦試験機の摩擦部を囲んだ小さな空間に、酸素あるいはアルゴンを作動気体として水蒸気を導入し、それらの気体中の湿度を変化させた。湿度調整済の気体を摩擦開始前ならびに摩擦中に連続的に流し入れ、かつ、回転軸と壁の隙間から同じ量の気体を流し出すことで、摩擦部近傍の気体の種類と湿度を一定に保った。金同士を摩擦した場合の摩耗に対する酸素と水蒸気の効果についてFig. 1に示す。アルゴン中と酸素中では摩耗率に大差がなく、かつ、雰囲気湿度の影響もほとんど受けないことがわかる。発生した摩耗粉も条件によらず、形状・大きさともにはほぼ同じであった。これらのことから金の摩耗は酸素や水蒸気の影響をほとんど受けずに、しかも安定して低摩耗を保つことが理解される。

3. グラファイトの摩耗

カーボン材料は電気の良導体であると同時に、軽量で摩擦が低く、化学的にも安定していることから、固定部と回転体との間に電気を流す材料として広く使われている。その低摩擦の機構は層状構造としての層間すべりに起因するが、それを可能にするのはダンギングボンドを雰囲気气体の吸着によって終端化していることがある。それによって摩耗も抑えられる。低摩耗化に有効に働く圧力は気体の種類によって異なるが、ここではグラファイトの摩耗に対する空気中の水蒸気の影響について述べる^{3,4)}。

装置は金と同じく、ツインリング摩擦試験機の摩擦部に湿度を調整した空気を導入した。この実験ではグラファイトに対して鋳鉄を摩擦させた。摩擦途中の摩耗率の変化を詳しく知るために二つの試料の回転中心間距離を逐次モニターした。これによって摩耗率変化すなわちシビア・マイルド摩耗遷移に必要な繰り返し摩擦回数を知った。三種類の湿度条件における軸間距離の変化をFig.2に示した。

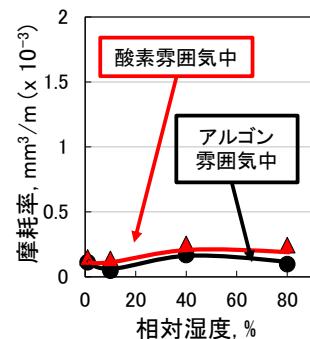


Fig.1 Wear of gold in various humidity conditions in oxygen or argon²⁾

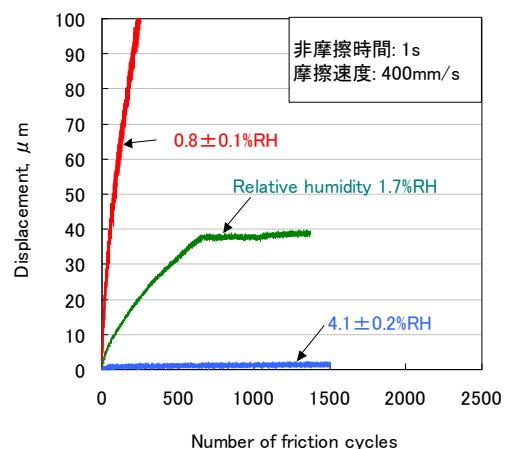


Fig.2 Approaching displacement between graphite and cast iron specimens during friction in three humidity conditions³⁾

相対湿度 0.8%RH ではシビア摩耗が続き大きな摩擦音が発生していた。それに対して 4.1%RH ではほぼ摩擦開始からマイルド摩耗の安定した摩耗状態であった。このようにわずかな水蒸気の存在で摩耗が著しく減少するのがグラファイトの特徴である。

4. 錫の摩耗

ワイヤーハーネスのコネクタ端子には錫あるいはその合金が使用されることが多い。錫は軟質であるが故に摩擦抵抗が小さくまた密着性も良好であるが、繰り返して摩擦することで摩耗が発生し、その際、空気の影響で摩耗粉が大きくなる可能性がある。ピン・オン・ディスク型試験機を用いて、ロータリーポンプの真空中とターボ分子ポンプの真空中における摩耗量を比較した。その結果によれば、 3×10^{-1} Pa のロータリーポンプの真空状態の方が 1×10^{-4} Pa のターボポンプの真空に比べて比摩耗量が 3 倍増大した⁵⁾。また、酸素圧力の増大と共に摩耗粉が大型化することも示された。

別の実験においてピン・オン・ディスク型試験機の回転ディスクに錫を用い、銅ピンと摩擦させた。その際、酸素あるいはアルゴンの乾燥状態と水蒸気を含んだ状態の気体を接触部近くに吹き付けた。Fig.3 の結果によれば、乾燥アルゴンに比べ、乾燥酸素の吹き付けにより、移着粒子の成長とその摩耗粉への転換の頻度が多くなり、さらに酸素に水蒸気を含ませることで成長の規模が大きくなることが示された^{6,7)}。錫に関する以上の現象は軟らかい金属の表面が部分的にせよ酸化されることで相対的に硬い材料に変化し、それが金属内部での破断を促進し摩耗粉を作り出すためと解釈される。

5. おわりに

以上、電気接触部に使われる材料の代表として三つの材料の摩耗特性について取り上げた。酸素や水蒸気の存在によって三つの材料がそれぞれ以下のように極めて異なる挙動を取ることを示した。

- 1) 摩耗が変化しない（金）
- 2) 摩耗が減少する（グラファイト）
- 3) 摩耗が増加する（錫）

特に、3) のように雰囲気気体との反応によって摩耗が増える摩擦材は、はじめに挙げた三つの現象の全てが生じるので、その使用に際して注意が必要である。実際には通電によってジュール加熱あるいはスパークによる影響が加わる。そのため、摩擦面を観察し、現象を適切にとらえその対策をすることが欠かせない。

文献

- 1) 堤貴明・小滝詠人・平塚健一：銅の摩耗に対する酸素と水蒸気の効果トライボロジー会議 2021 春東京 予稿集, (2021) D9.
- 2) 三田村知夫・堤貴明・平塚健一：貴金属の摩耗に及ぼす湿度の影響, トライボロジー会議 2014 秋盛岡 予稿集, (2014) F33.
- 3) 鞠子凌平・平塚健一, 黒鉛の摩耗に対する摩擦速度の効果, トライボロジー会議 2014 秋盛岡予稿集(2014) F36.
- 4) Ken'ichi Hiratsuka, Ryohei Mariko, Takaaki Tsutsumi, Effects of sliding speed, periodic pauses, and atmospheric moisture content on the wear of graphite against cast iron, Wear 424-425 (2019) 255-260.
- 5) 平塚健一, 菅原淳, Sn 同士および Zn 同士の摩擦における移着粒子の成長促進に対する酸素の効果, 日本機械学会論文集 (C 編) 66, 641 (2000-1) 291-299.
- 6) 堤貴明・平塚健一：金属の摩耗に対する各種気体の吹き付け効果, トライボロジー会議 2010 秋福井 予稿集, (2010) 31-32.
- 7) 平塚健一：摩耗粒子の生成機構, トライボロジスト, 57, 5 (2012) 321-326.

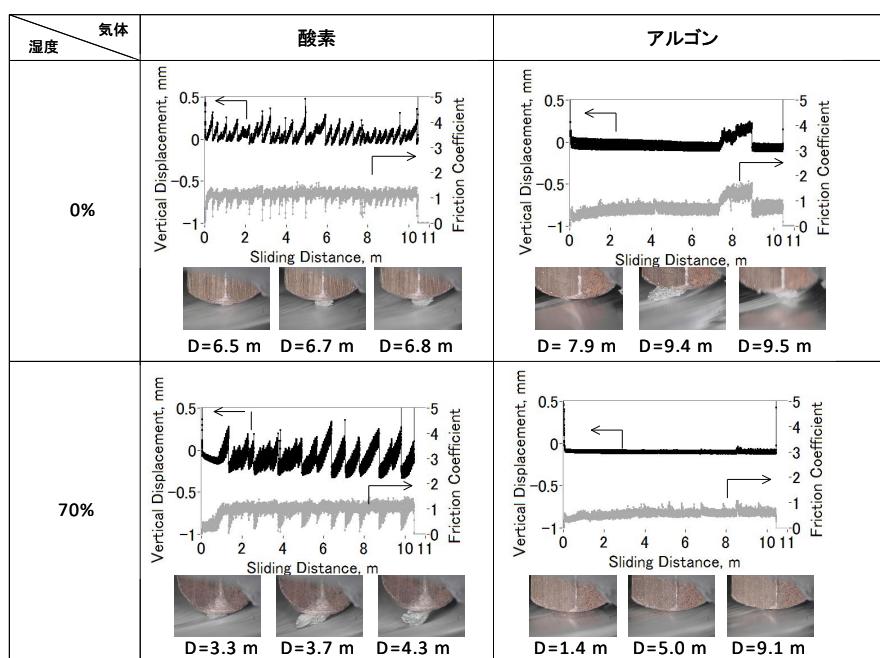


Fig.3 Effect of blow of oxygen or argon around the interface with/without water vapor on the friction and wear behavior in the rubbing between copper pin and tin disk⁷⁾