

錫めっき銅板での微摺動摩耗に対する間欠時間の影響

Effect of Intermittent Time on Fretting Corrosion of Tin Plated Copper

飯田 和生¹⁾ 澤田 滋¹⁾ 清水 敦¹⁾ 服部 康弘²⁾
Kazuo Iida¹⁾ Shigeru Sawada¹⁾ Atsushi Shimizu¹⁾ Yasuhiro Hattori²⁾

キーワード

微摺動摩耗、間欠時間、接触抵抗、錫めっき

1. 序文

近年、環境対策や情報通信機器の要求から自動車には電気電子機器搭載が増加している。それらの電子機器を繋ぐためには、ワイヤーハーネスやコネクタが必要となるため、その数も増加している。従って、自動車の信頼性を考慮する上で、コネクタ接触部分の信頼性が重要視されている。

コネクタは小型化が進んでおり、それに伴い接触荷重の低減が求められている。接触荷重が小さくなると、コネクタ接続接触部で微摺動摩耗が引き起こされ、接触抵抗が上昇し、不具合が発生することが懸念される。これまでの微摺動試験においては、多くの場合、連続した繰り返し摺動試験が実施されている^{1,2)}。一方、実際の自動車の使用環境においては、コネクタ接触部分は、間欠的に摺動が発生していると考えられる。この間欠摺動に関する研究に関しては、Park らによる報告がされている³⁾。Park らの研究では微摺動に伴う接触抵抗の変化は連続摺動とは違うことが報告されているものの、1度の摺動で300回のサイクルを実施した後に間欠時間を設けているため、接触抵抗が上昇した状態(錫めっきが摩耗し、下地の銅が露出した状態)で間欠時間に入っているため、実際のコネクタの摺動を模擬したものとはなっていない。

そこで、本研究では間欠時間が微摺動摩耗現象にどのような影響を及ぼすかの検討を目的として、従来実施されていた連続した繰り返し微摺動試験に対して、摺動間に停止時間を設けた間欠微摺動試験を行い両者の比較を実施した。

2. 連続摺動による接触抵抗の変化

図1に従来報告されている連続摺動試験による接触抵抗の変化を示す¹⁾。図1は摺動距離50 μm 、接触荷重3N、摺動周波数1Hzでの実験結果で接触抵抗は、摺動回数が約60回を超えると1回目の上昇が始まり、約350回でピークを迎え、その後低下し始め、約1000回で再び上昇し始めている。また、接触抵抗のピーク値は約400m Ω となっている。このような接触抵

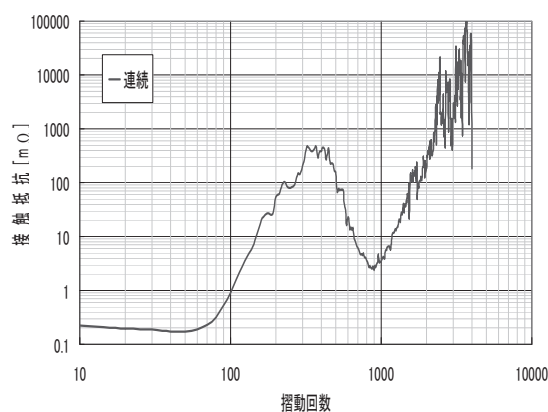


図1 連続微摺動による接触抵抗変化

1) 三重大学大学院工学研究科 車載ネットワーク技術研究室
Vehicle Network Technology Laboratory, Graduate School of Engineering, Mie University
2) ㈱オートネットワーク技術研究所 回路接続研究部
Circuits and Connection R&D Division, AutoNetworks Technologies, Ltd.

抗の変化については、錫摩耗粉の発生、酸化、堆積、排出、銅の摩耗粉の発生、酸化、堆積によるものとして報告されている^{1,2)}。

3. 実験方法

本実験では一往復の摺動の間に間欠時間を入れ、間欠時間をパラメータとし、その他の実験条件はこれまで報告した連続摺動と同じとして、微摺動試験を行った。詳しい実験条件を表1に示す。

表1 微摺動試験条件

接触荷重[N]	3
摺動距離[μm]	50
摺動周波数[Hz]	1
定電流値[mA]	10
開放端電圧[V]	1
摺動回数	1000
連続摺動回数	1
間欠時間[s]	10,100,300

実験装置は図2に示すような微摺動摩耗試験機を用い、図3に示す平板、エンボス試験片からなる試料を用いて微摺動摩耗を生じさせ、接触抵抗の変化を測定した。

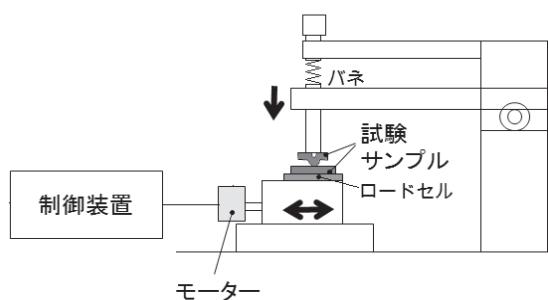
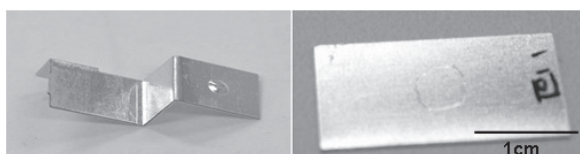


図2 微摺動摩耗試験機



(a)エンボス試験片 (b)平板試験片

図3 試験試料

図2において、上側の試料となるエンボス試験片は天秤の取り付け部に、下側の試料となる平板試験片はモータと連結された台に、ともにネジで固定し、接触荷重は試料と垂直方向に設置されたバネにより加えた。コンピュータでモータを制御することにより、任意の摺動距離、摺動周波数、連続摺動回数、間欠時間の微摺動試験の実施が可能である。また、接触抵抗測定には4端子法を用いた。

試料として、エンボス側は曲率半径 $R=1\text{mm}$ の打ち出しがある錫めっき厚さ $3\mu\text{m}$ の銅板、平板側にも錫めっき厚さ $3\mu\text{m}$ の銅板を用いた。エンボス側、平板側ともに実験装置に設置する前にアセトンを用いて、5分間超音波洗浄を行った。

4. 実験結果

4.1. 様々な間欠時間での微摺動試験

間欠時間 10s, 100s, 300s の実験結果をそれぞれ図4、5、6に示す。図中横軸は、摺動回数を示し、縦軸は接触抵抗を示している。

図4に示す間欠時間 10s の場合は錫酸化摩耗粉の堆積によるピークまでは連続摺動との特に大きな差は認められず、ピーク後の減少と増加が連続摺動よりもやや早い傾向が見られるが、全体としては 10s の間欠時間は接触抵抗の変化に大きな影響はないものと考えられる。

図5に示す間欠時間 100s の場合、接触抵抗のピークがやや大きくなり、ピーク後の減少と増加もやや早くなっているように見られる。

図6に示す間欠時間 300s の場合、接触抵抗のピークの大きさは間欠時間 10s、100s に比べて更に大きくなっている。接触抵抗値は測定限界 ($10000\text{m}\Omega$) の値を超えた高い接触抵抗で推移している。

以上の 10s から 300s までの間欠時間が変わる場合の接触抵抗の変化をまとめると、接触抵抗の上昇し始める摺動回数にはそれ程大きな変化は見られないが、第1ピークを迎えるまでの抵抗上昇の過程ではグラフが左側にシフト

しており接触抵抗の上昇が早まっている。ピーク値に関して、間欠時間 100s、300s どちらも 10000mΩ に達しており高くなっている。第 1 ピーク後、間欠時間 10s、100s では連続時より少ない摺動回数で接触抵抗がボトムとなっている。また、間欠時間 100s、300s ではピーク後接触抵抗の下がり方が少なく、変動も激しくなっている。

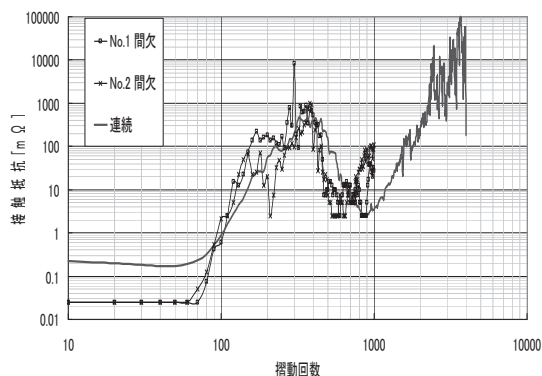


図4 間欠時間 10s での接触抵抗変化

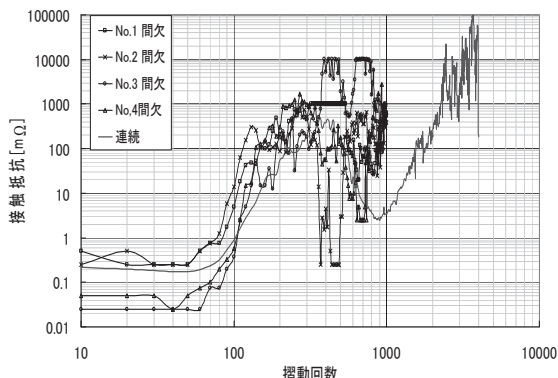


図5 間欠時間 100s での接触抵抗変化

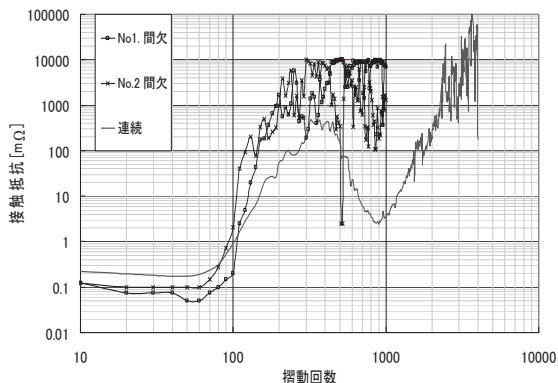


図6 間欠時間300s での接触抵抗変化

4.2.SEM 観察

間欠時間による接触抵抗への影響を検討する為に、同じ実験条件のもと間欠時間 100s で接触抵抗がピークとなる摺動 350 回までの微摺動試験を行い、SEM によるエンボス、平板の表面観察を行った。図 7 に、SEM 観察を行った試料の接触抵抗の変化を示す。350 回での接触抵抗は約 10000mΩ であった。

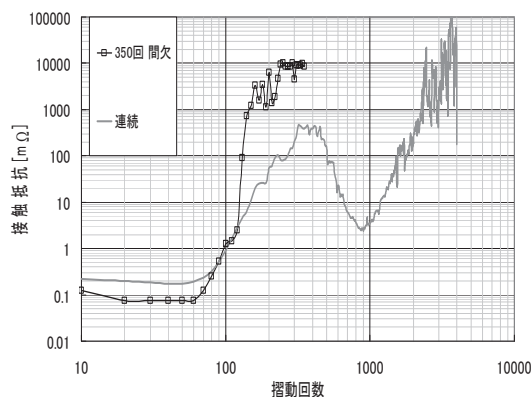
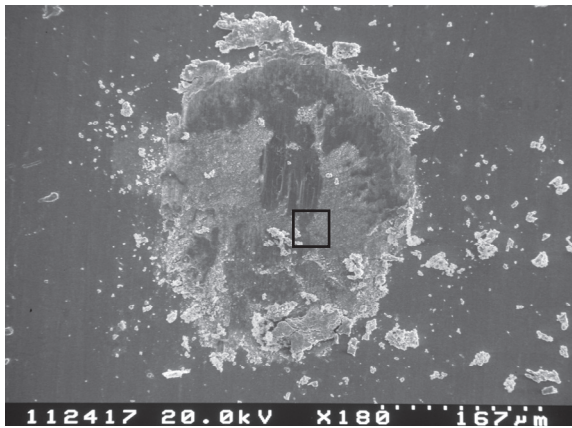


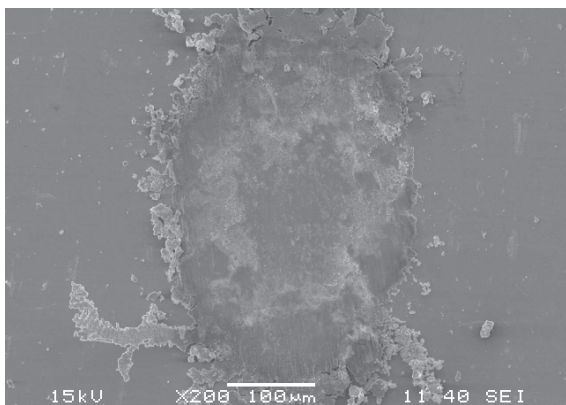
図7 SEM 観察用試料の微摺動による接触抵抗変化 (間欠時間100s 摺動350回)

図8に、サンプルの平板側の摺動痕の SEM 像を示す。参考のため、同一回数連続摺動を行った場合での結果も合わせて示した。摺動痕の周りも含めて、摩耗粉が間欠摺動、連続摺動ともにたくさん堆積しているが、図8(a)の間欠摺動の場合には摩耗粉の塊が散らばっているのに対して、図8(b)の連続摺動の場合には摩耗粉同士が繋がっているように見える。

図 9 はエンボス側の摺動痕の SEM 観察結果を示す。エンボス側の摩耗粉の堆積の様子を間欠摺動と連続摺動で比べると、図 9(a)に示すように間欠摺動では連続摺動の場合(図 9(b))よりも摩耗粉がたくさん堆積しているように見える。連続摺動の場合に 350 回の摺動回数は錫めっきの下地の銅板部分まで摩耗が進んで、最も多くの錫摩耗粉が堆積した状態であり¹⁾、摩耗粉も微摺動に伴い酸化し、数十 nm の粒径まで微細化している。

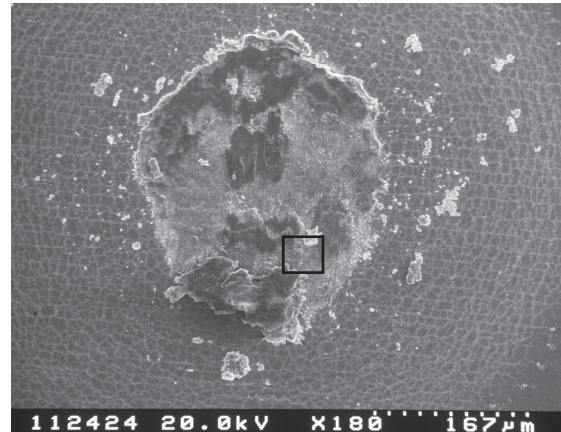


(a) 間欠摺動

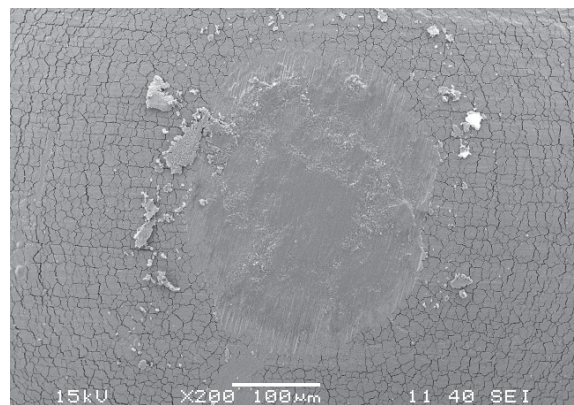


(b) 連続摺動

図 8 平板側摺動痕表面観察



(a) 間欠摺動



(b) 連続摺動

図 9 エンボス側摺動痕表面観察

図 10 は図 8(a)に示した間欠摺動の平板側の摺動痕の口の印を付けた部分の高倍率での SEM 観察結果を示す。粒径数十 nm の微細な摩耗粉が観察された。この表面に見られる摩耗粉を 117 個選び、粒径を評価したところ、最小値 49.3nm、最大値 161.2nm、平均 93.5nm となった。測定した平板側の摩耗粉粒径分布を図 11 に示す。摩耗粉の大きさが 80~100nm 付近に集中しているため、これらの摩耗粉は、酸化の状態にあると考えられる²⁾。

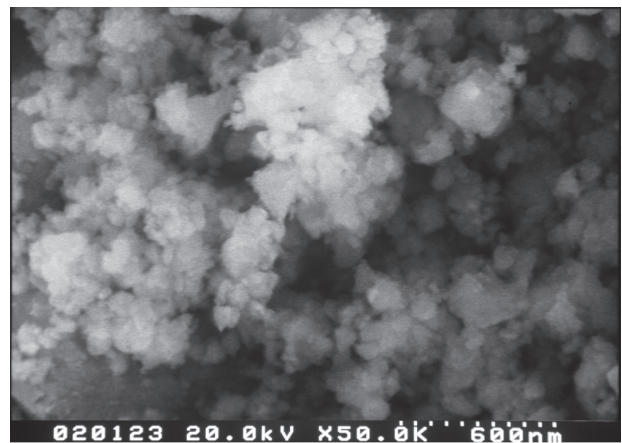


図 10 平板側表面の摩耗粉

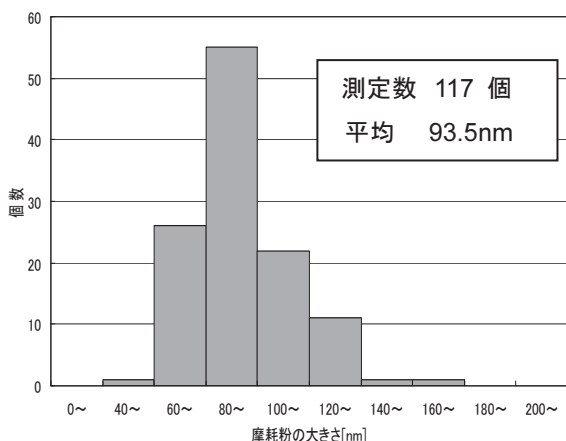


図 11 平板側摩耗粉粒径分布

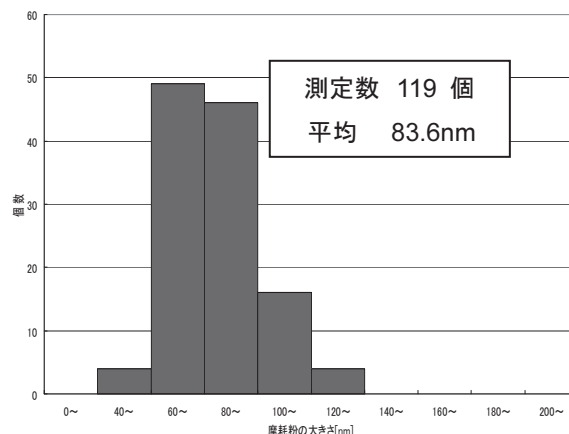


図 13 エンボス側摩耗粉粒径分布

図 12 は図 9(a)に示した間欠摺動のエンボス側の摺動痕の□の印を付けた部分の高倍率での SEM 観察結果を示す。平板側同様に粒径数十 nm の微細な摩耗粉が見られる。この表面に見られる摩耗分を 119 個選び、粒径を評価したところ、最小値 53.7nm、最大値 129.9nm、平均 83.6nm となった。測定したエンボス側の摩耗粉粒径分布を図 13 に示す。摩耗粉の大きさは 60~100nm 付近に集中しているため、これらの摩耗粉は、酸化の状態にあるものと考えられる²⁾。

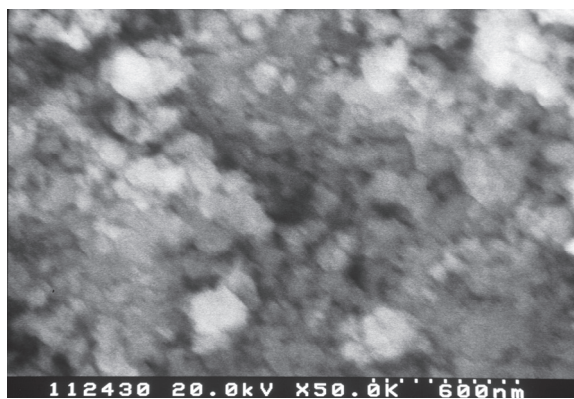


図 12 エンボス側表面の摩耗粉

5. まとめ

摺動試験の摺動間に間欠時間を設けた微摺動と連続摺動の接触抵抗の変化を比較した。間欠時間を入れても接触抵抗が上昇し始める回数はほとんど影響を受けなかったが、錫酸化摩耗粉の堆積に伴うピークの大きさが間欠時間を入れることにより大きくなり、ピーク後の低下、再上昇の回数に影響を受けた。これは停止時間中に摺動によって発生した摩耗粉の酸化が進行し、酸化摩耗粉の堆積状況が変化したことによるものと考えられる。

文 献

- 1) 佐藤尚幸, 齋藤寧, 他, “微摺動摩耗による接触抵抗変化の機構に関する研究”, 電子情報通信学会技術研究報告, EMD2007-119, 2008.
- 2) N.Sato, Y.Saitoh, T.Tamai, K.Iida, T.Ito and Y.Hattori. “Study of Fretting Corrosion in Early Stage”, IECE Technical Report. EMD2008-77, 2008
- 3) Young Woo Park, Hyung Goun Joo, Kang Yong Lee, “Effect of intermittent fretting on corrosion behavior in electrical contact”, Wear, **268**, pp.353-360, August 2009.

