

技術紹介

2

異種金属の接触抵抗と摺動に関して

About electrical resistance and wiping of the dissimilar electrode contact

田井 富茂

Tomishige Tai

コネクタ事業部 技術開発部 マネージャー

キーワード： 異種金属接触、接触抵抗、摺動、電氣的接触

Keywords: dissimilar electrode contact, contact resistance, wiping, electric contact

要 旨

接触抵抗には、金属表面の皮膜の存在が影響すると考えられます。本報告では 液晶テレビのバックライト用の蛍光管ソケット向けに実施いたしました各種金属のコンタクトの初期特性の評価を例に、接点材料によって基本特性[荷重(W)-抵抗(R)、初期摺動、繰返摺動の特性]が皮膜により異なり、特に荷重による電氣的接触の形成には化合物層(酸化膜)に由来する3種類の基本モードが存在すること、また、摺動時の抵抗は、大気由来の吸着膜が支配的になっていると推測されること、加えて耐摺動特性についてご紹介いたします。

SUMMARY

It is thought that the existence of the metal surface film influences contact resistance. I introduce the evaluation of the initial characteristic of dissimilar electrode contacts that I carried out for a fluorescent tube socket for the backlight of LCD television to an example. Basic characteristics, load (W)-resistance(R), wiping and cyclically wiping, are different by the film by contact materials. There are three kinds of fundamental mode to come from film for the formation of the electric contact by the load. It is supposed that there is wiping resistance for the adsorbed film of the atmosphere origin. In addition, cyclically wiping durability is introduced.

1. まえがき

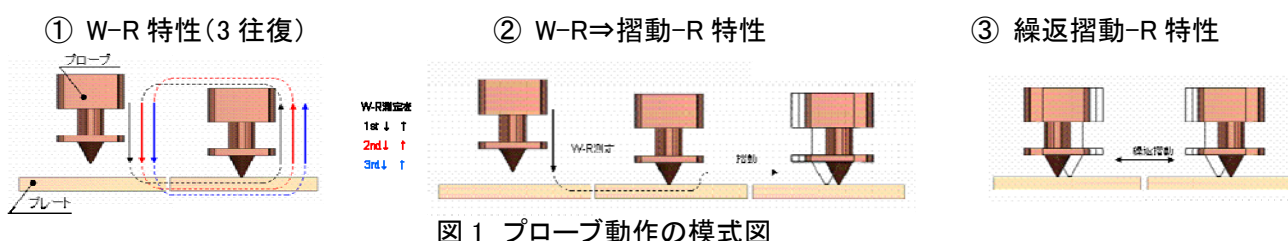
コネクタには一般に接触抵抗が十分に小さく、耐環境性能(耐食性)に優れた金(Au)や錫(Sn)のめっきに封孔処理など表面処理を組合せた端子が用いられております¹⁾。当社では低価格化や一段と厳しい環境での直付箇所の接続をコネクタ化できないかとの要望に沿い、無めっき材も含め各種金属の接触特性・信頼性を評価しております。本報告では液晶テレビのバックライト用の蛍光管ソケット向けに行った評価を基に、各種金属同士の接触において皮膜破壊の異なるモードによる接点形成が存在するを紹介させていただきます。

尚、本評価では蛍光管自体のインピーダンスが、数 10k Ω ～数 100k Ω と大きく 接触抵抗に対しては比較的許容度が大きい反面、点灯時の温度上昇および温度変化、それに伴う摺動の繰返しにも耐えうる材料が求められており、銅合金に比較し高温での応力緩和が小さな材料としてステンレス(SUS)も含め評価しております。

2. 評価項目とサンプル仕様

蛍光管ソケット用に適正材料を選択するに当たっての評価項目として、電気的接続特性を見る上で基本の以下の 3 項目を測定した結果を紹介いたします。

- ① 荷重(W)-抵抗(R)特性を 0～10N の範囲を往復測定にて 3 度の繰返測定
- ② 荷重(W)-抵抗(R)測定を 1N まで実施後 摺動させての初期摺動特性の測定
- ③ 荷重(W) 1N、振幅 300 μ m にて 3000 回の摺動回数-抵抗の変動測定



また 評価サンプルとしては、先端曲率 0.1mm のプローブと平面プレートを表 1. の材料の組合せにて作製し、測定しました。

表 1. サンプルの材料表

No.	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
プローブ材質	Sn めっき	Sn めっき	SUS	SUS	SUS	洋白	洋白
プレート材質	Sn めっき	はんだ	SUS	Ni めっき	はんだ	Ni めっき	SUS

注) プレーットのNiメッキ、Snメッキ、半田レベラーの基材はリン青銅(C5191-H)、SUS はステンレスSUS304CSP-1/2H
 プローブは洋白…C7451B、ステンレス…SUS304、Sn めっきの基材は快削黄銅棒…C3602BD-F-E

3. 測定装置

駆動装置は図 2 に示します様に 除振台上に試料取付け部と観察カメラを配置しました。

- (1) プローブを取付け、昇降とステージとの距離測定に機能するプローブ取付けヘッド
- (2) プレートを取付け、荷重の測定と摺動を行う試料ステージ
- (3) 接触部を観察するための CCD カメラ

尚、荷重の測定には共和電業製ロードセル LMA-A-10N、(1),(2)の駆動には駿河精機製モータ制御ステージ KS302-30 (1)の距離測定にはキーエンス製レーザ変位計 LK-G15 を使用しました。

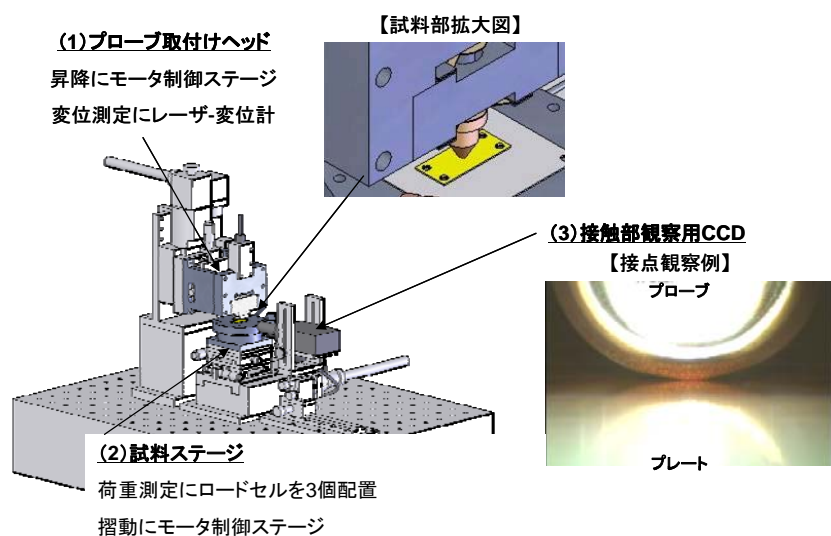


図 2 駆動装置の構成

測定系は、図 3 に示します様に 前章の評価項目の①繰返 W-R 測定 ②W-R⇒摺動-R 測定に関しましては 4 端子法にて、③繰返摺動に関しましては 2 端子法にて測定いたしました。(実験の都合上、試験目的の許容抵抗値が大きいため 2 端子法でも支障がないと判断しました。)

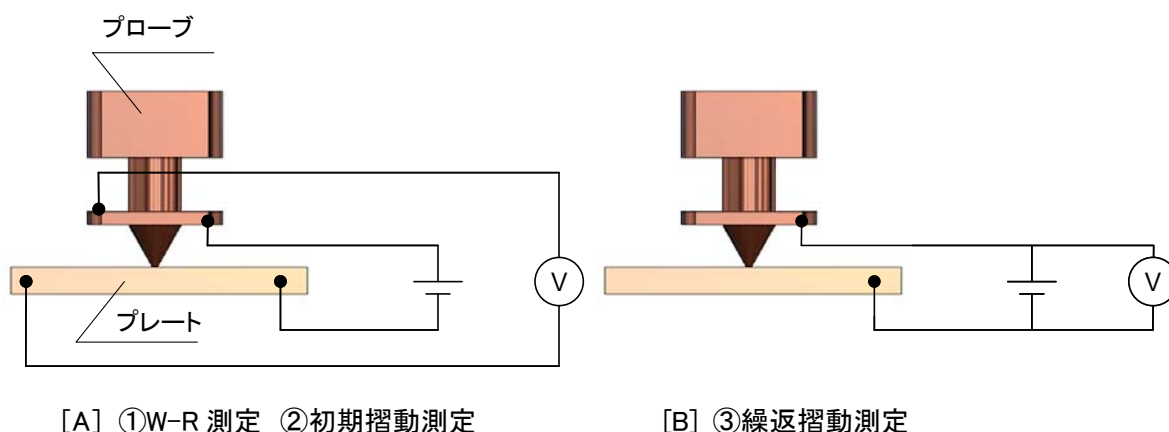


図 3. 測定系図

測定には 電源に KEITHLEY 製デジタルソースメータ 2440 を測定電流 10mA にて、電圧測定にデジタルマルチメータ 2002 を使用し電圧計測を実施しました。

4. 接触抵抗における表面皮膜の影響

測定結果を紹介します前に、金属の表面皮膜が及ぼす影響に関して考察してみます。皮膜は当然にプローブとプレートの両方に存在します。そのため 皮膜破壊の組合せは

- ①両方の皮膜とも破壊しない。
- ②片方の皮膜のみ破壊する。
- ③強度の弱い順に破壊する。
- ④両方の皮膜とも同時に破壊する。

の4種類が考えられます。それを基に、繰返 W-R 特性を模式化すれば図4に示します様に、①の皮膜が破壊しない様な接触は、典型的には、弾性接触が該当すると考えられ接触抵抗が

(a)荷重の増減方向(往復)、測定回数によらず W-R 特性が同じライン上に存在

②や④の様に1回目の最大荷重で形成された接点(打痕)での導通が1回目の荷重減少方向以降維持されると考えられる場合の接触抵抗は

(b)1回目の荷重増加方向のみ抵抗値の減少、以降はほぼ同じ抵抗値として存在

③の様に順に皮膜が破壊される場合には 接触抵抗は

(c)1回目の荷重増加方向の抵抗値の減少、荷重減少方向では同じ抵抗値として存在するラインに加え N 回目の荷重増加方向の到達抵抗値の異なる値へと向かう減少ラインと以降はほぼ同じ抵抗値としてのラインの2種が存在するものと考えられます。[(c)は(b)のラインが二つ重なったものと見なせます。]

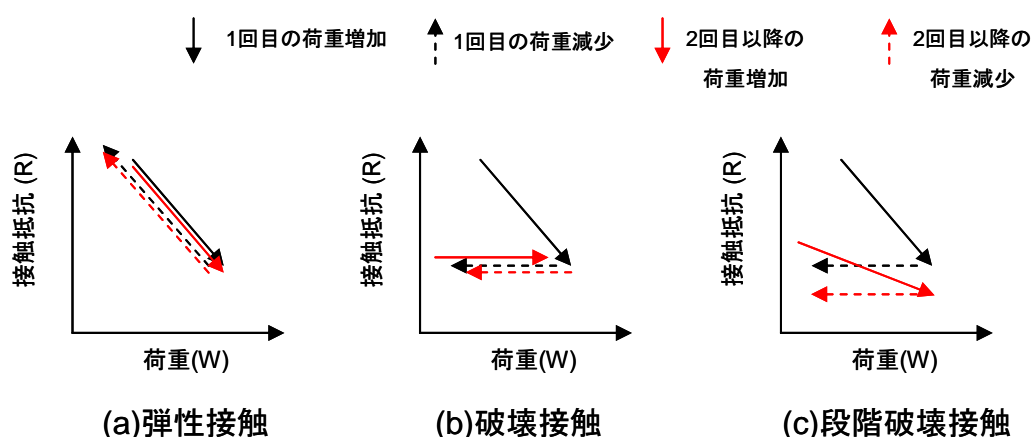


図4. W-R 特性の模式図

次に 初期摺動特性について考えてみます。摺動により皮膜の破壊が大きく進展し抵抗値の減少が観察されます。ここで摺動時の抵抗値と W-R の最小の抵抗値を比較する(比を見る)ことで、各種金属材料の皮膜の破壊強度の指標とすることができます。また、一般に接点皮膜といえば表面の化合物層(金属皮膜)をイメージいたしますが、接触が大気中で行われる以上、吸着気体、水蒸気層、有機汚染層など雰囲気由来の皮膜が存在します。即ち、摺動で固体状の皮膜(化合物層)は破壊されることが予測されますが、流動性の高い(液状またはパウダー状の)大気由来の吸着膜に関しては、外部から供給され接点部に巻き込まれ[微視的には摺動により磨耗粉となる結晶粒界の亀裂に入り込み、新たに露出する金属表面を覆い接触部を形成し^{appendix}]界面に存在している可能性が考えられます。仮に大気由来の吸着膜のみが接触抵抗に関与すると想定しますと、同一測定雰囲気であれば金属によらず同じ抵抗率、厚さを有し、真実接触面積²⁾にのみに強く依存することが予測されます。要するに真実接触面積を剛体同士の接触における力の釣り合いを規定する面積 W/Y [荷重(W)÷ヤング率(E)]³⁾とみなせば、摺動時の接触抵抗は金属材料の抵抗率によらずヤング率に比例するものと思われます。最後に、耐摺動特性に関しましては、今回の試験では蛍光管ガラスの熱膨張係数および42型液晶テレビ実機での当該摺動痕の観察より摺動距離を $300\mu\text{m}$ としました結果、一般に数 μm ~ 数 $10\mu\text{m}$ の微摺動に見られますフレッティング・コロージョン⁴⁾による酸化物の堆積の影響はなく、磨耗生成物の量と形質に依存する異物(磨耗粉)の噛み込みによる現象が見られると予測されるため、試験前後の試料外観の比較を行います。

5. 評価結果[① W-R 特性(3 往復)]

評価結果の紹介に入ります。まず、① W-R 特性(3 往復)のデータを図 5 に示します。

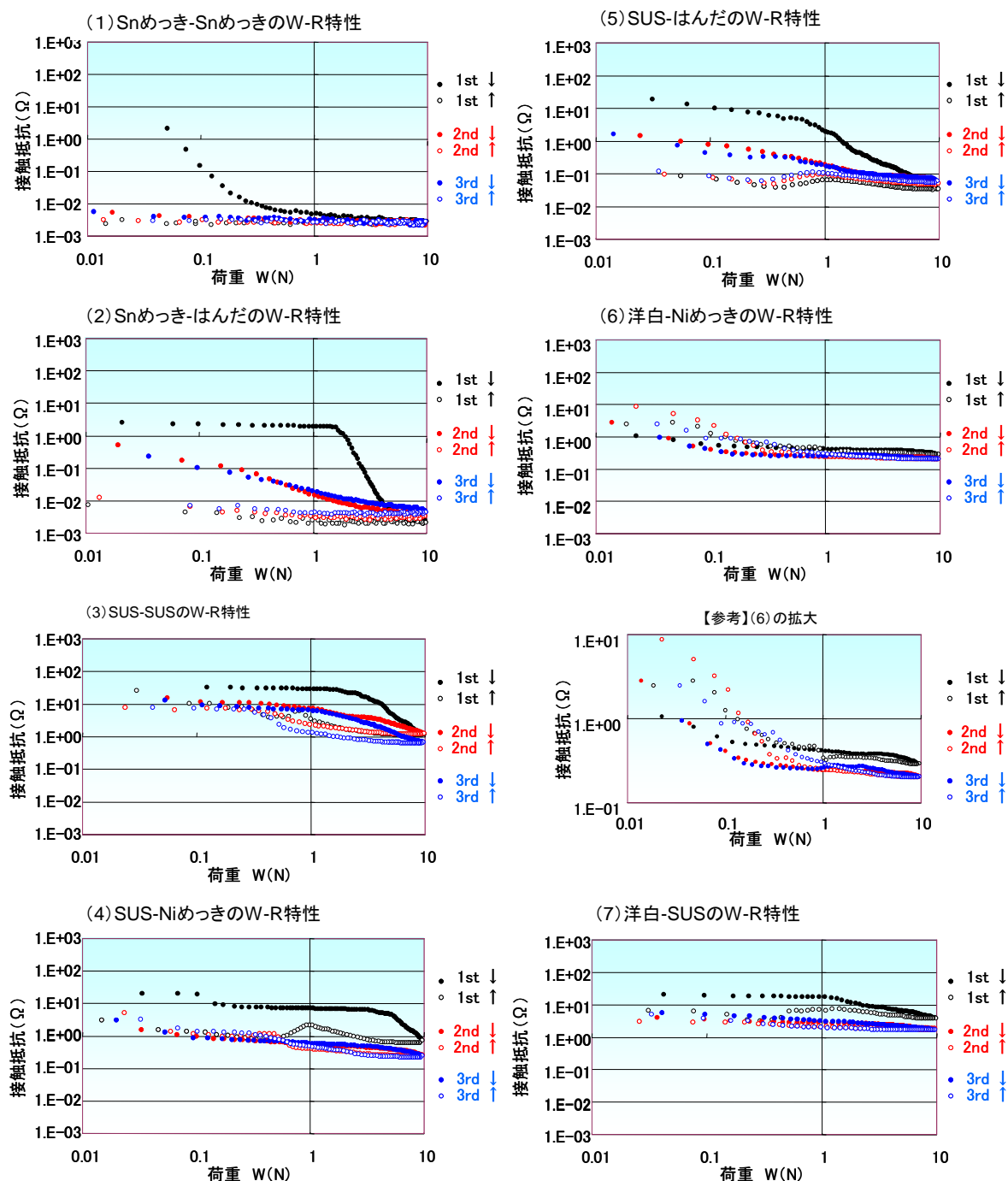


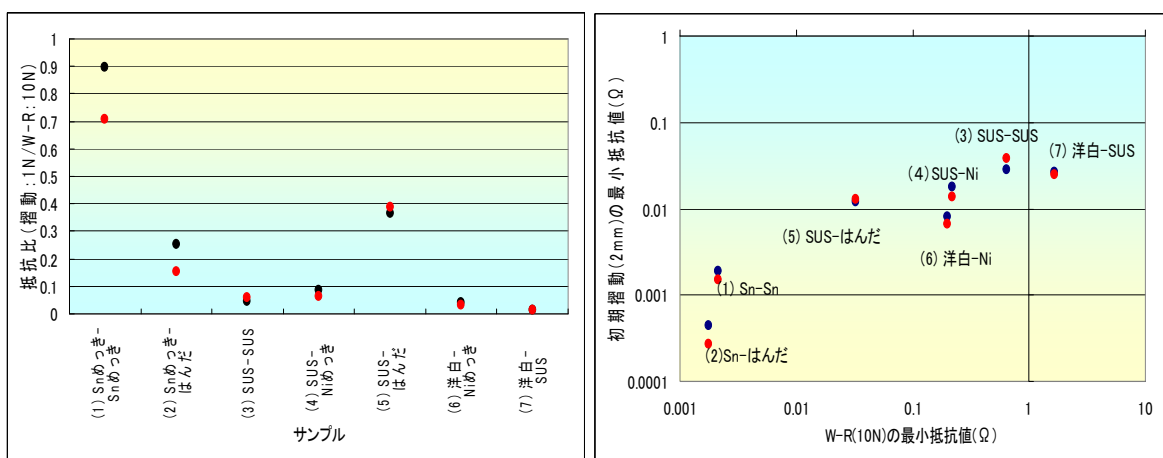
図 5. ① 0～10N の範囲を往復にて 3 度の繰返測定 of 荷重(W)-抵抗(R)特性

以上の結果を前章の図 4 に示した分類を基に見れば、(b) の 1 回目の荷重増加方向のみ抵抗値の減少、以降はほぼ同じ抵抗値として存在に該当するのは(1)Snめっき-Snめっきのみであります。また、(4)SUS-Niめっき、(6)洋白-Niめっき、(7)洋白-SUS は 2 回目で W-R による皮膜の破壊が完了しております。(3)

SUS-SUS に関しては 3 回目に到達抵抗値がシフトしているが見て取れます。尚、(2)Sn めっき-はんだと(5)SUS-はんだは、前章の分類に無い型であり、1 回目の W-R で最小抵抗値を取り 2 回目以降 到達抵抗値が上昇し \searrow 型のラインをなしています。これは、はんだに含まれるフラックスが影響しているのではないかと推測されます。[尚、本試験では前章の分類における(a)弾性接触に該当する結果はありませんが、当社の S-Film[®] ⁵⁾や f-CONNECT[®] ⁶⁾⁷⁾⁸⁾、先端曲率の大きな鏡面接触など特殊な低荷重コンタクトに例外的に見ることができます。]

6. 評価結果[② 初期摺動特性]

次に、② 初期摺動特性の結果を示します。(各金属の組合せによる個別のデータは、次頁の図 8.に記載します。) ここでは まず、3 章の考察に基づき図 6 にサンプル毎での摺動時の最小抵抗(1N-2mm)と W-R 特性(W:0~10N)の最小抵抗の比を、図 7 にヤング率と摺動時の最小抵抗の関係を提示します。



(A) W-R と摺動の最小抵抗値比の比較

(B) W-R と摺動抵抗の最小値比較

図 6. サンプル毎での摺動時の最小抵抗と W-R 特性の最小抵抗の比較

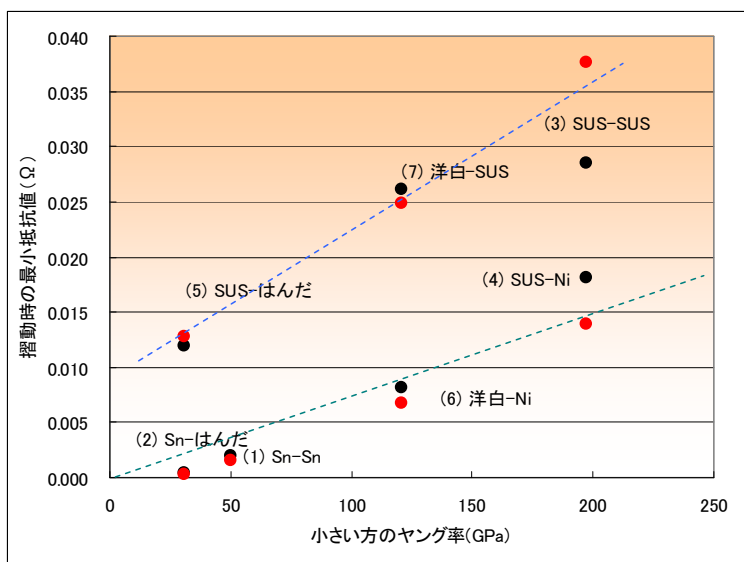


図 7. ヤング率と摺動時最小抵抗の関係

表 2. 材料の物性値

金属	抵抗率 (Ωm)	ヤング率 (GPa)
錫 (Sn)	1.09×10^{-7}	49.9
SUS304	7.20×10^{-7}	197
洋白 (C7451)	1.92×10^{-7}	121
はんだ (Sn-Ag-Cu)	1.10×10^{-7}	31
ニッケル (Ni)	6.99×10^{-8}	200

図 6. の(A)より、W-R では荷重を 10N に増やしても 1N で摺動させた場合ほどの抵抗値の減少は得られないことが、また、(1) Sn-Sn では 8 割程度、(2) Sn-はんだ、(5) SUS-はんだでは 2 割、4 割程度のダメージを皮膜に与えるが、他の組合せでは 1 割に満たないことがわかります。(B)よりは、W-R と摺動抵抗の最小値抵抗値には一

応の相関が見られることが確認できます。図7よりは、ヤング率に比例する組合せ[(1),(2),(4),(6)]と外れた組合せ[(3),(5),(7)]が見られます。外れた組合せにおいてもヤング率に対しては相関が見られ化合物層の残存物が一定の割合で真実接触面に介在していることが考えられます。ここで参考までに表2に各材料の抵抗率とヤング率を記載しますが、金属の抵抗率と摺動時の抵抗とに関連性を見出すことはできません。(尚、ヤング率に比例する組合せから、吸着層厚さを数 nm とすれば抵抗率は $10^{-5} \sim 10^{-4} \Omega \cdot m$ となります。)

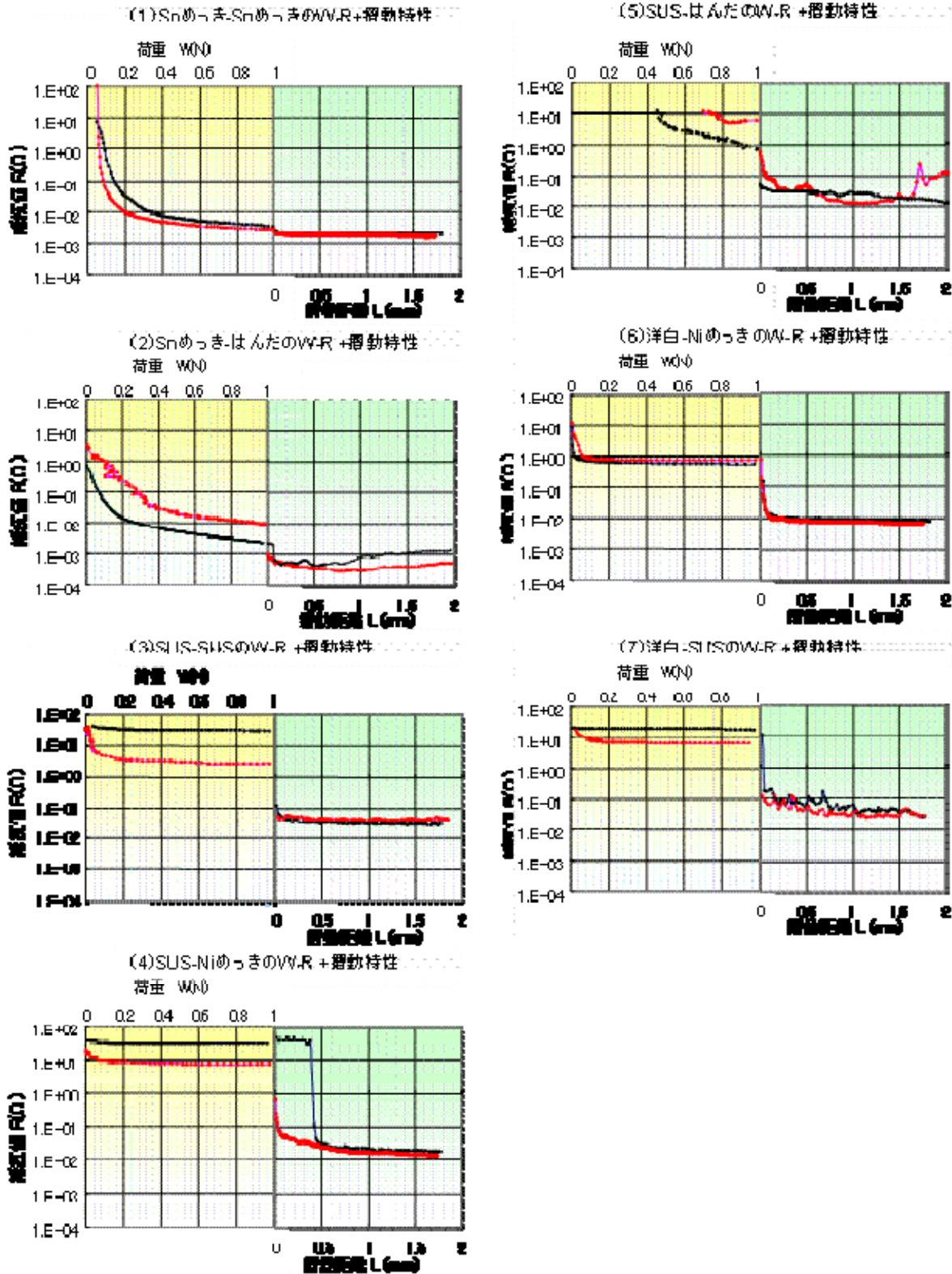


図8.に W-R から初期摺動にいたる抵抗値の変化

7. 評価結果[③ 耐摺動特性]

最後に、[③耐摺動特性]の結果を図 9、外観を図 10 に示します。

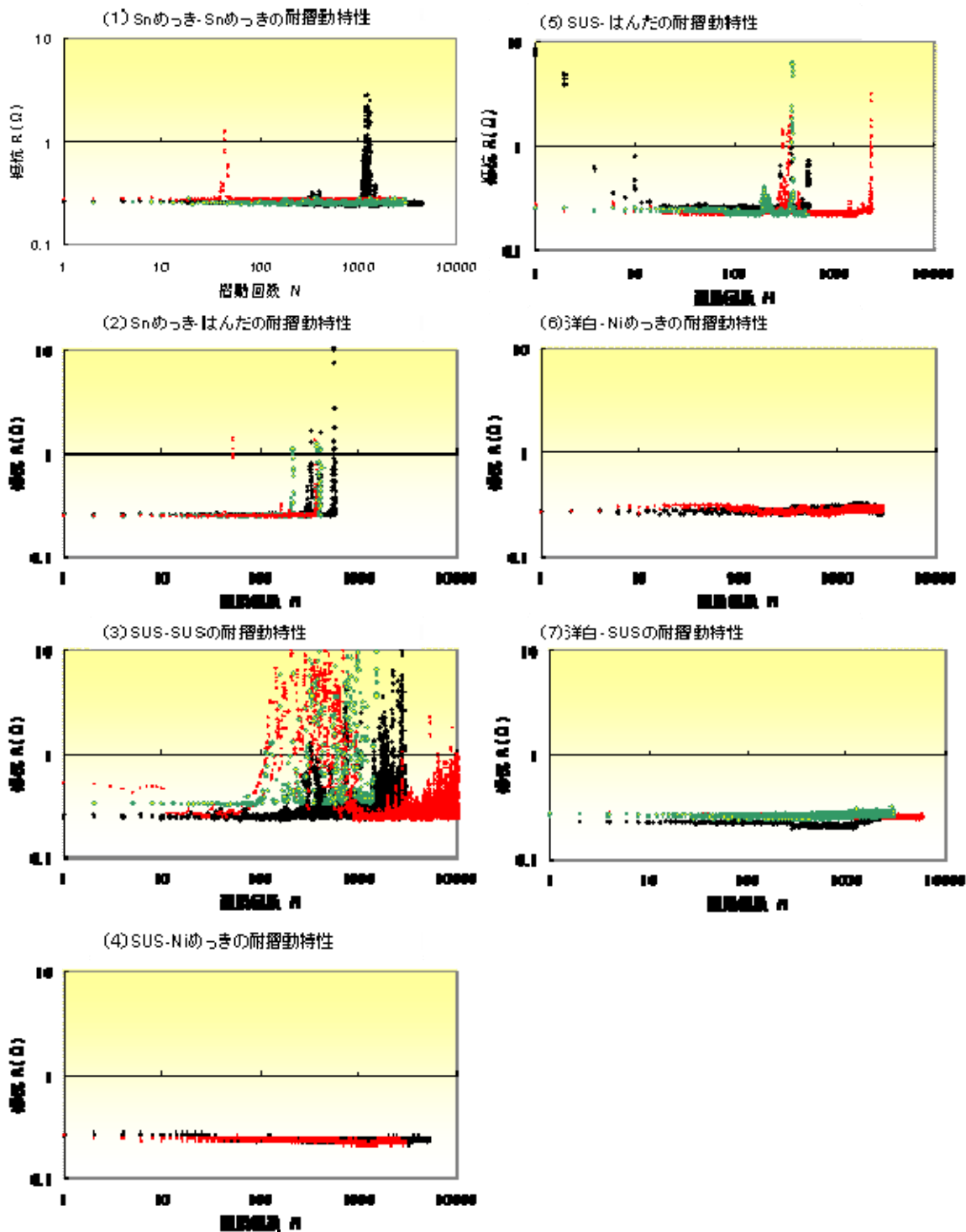


図 9. 摺動回数と接続抵抗の関係

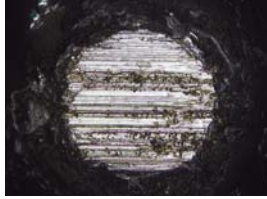

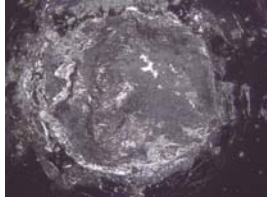
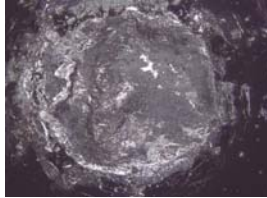






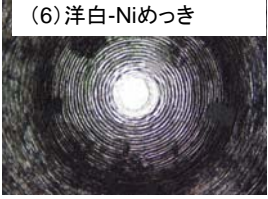
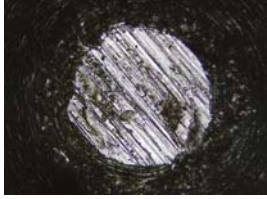
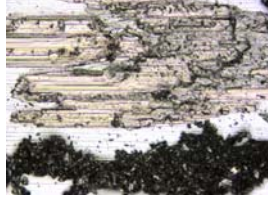
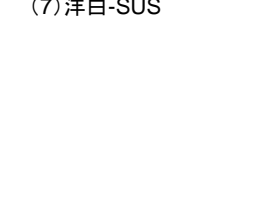





摺動前のプローブ外観	摺動後のプローブ外観	摺動後のプレート外観	備考
(1) Snめっき-Snめっき 			プローブ、プレート共にSnメッキは削りとられてしまっている。 磨耗物はプローブ、プレート共に付着している。
(2) Snめっき-はんだ 			プローブ、テストピース共に削れる。 プレート上の磨耗物が多い。
(3) SUS-SUS 			プローブが主に削れた。 磨耗粉の多くはプローブ先端に堆積するが、摺動面に糊状に残余が見られる。
(4) SUS-Niめっき 			Niメッキが主に削れている。 摺動による磨耗粉が少ない。
(5) SUS-はんだ 			半田のみが削れる。 プレート上の磨耗物が多く、削れた半田は黒く変色。
(6) 洋白-Niめっき 			プローブ、テストピース共に削れた。 磨耗粉は、プローブ先端にくっつくように堆積した。
(7) 洋白-SUS 			洋白のみが削れる。 磨耗粉はサラサラ

図 10 外観比較

今回の試験におきましては、(4)SUS-Ni めっき、(6)洋白-Ni めっき、(7)洋白-SUS が良好であり、(1)Sn めっき-Sn めっき、(2)Sn めっき-はんだ、(5)SUS-はんだでは何回かの一時的な抵抗上昇-復帰が、(5)SUS-SUS では累積的增加傾向をみせる抵抗上昇がありました。

良好な推定原因

- (4)SUS-Ni めっき 他と比較し磨耗物が極端に少ない。
- (6)洋白-Ni めっき 磨耗物(洋白の磨耗粉)の殆どがプローブ側に付着し噛み込みにくい。
- (7)洋白-SUS 磨耗物(洋白の磨耗粉)がサラサラ状態で接点近傍から排除されやすい。

一時的悪化の推定原因

- (1)Sn めっき-Sn めっき、(2)Sn めっき-はんだ、(5)SUS-はんだは、いずれも磨耗粉がプレート上に多く残余しており、噛み込む確率が高くなっています。

抵抗値が累積的增加上昇傾向の(5)SUS-SUS は摺動面に磨耗粉が糊状につぶされ凝着しており、摺動回数と共に摺動面への残余物が増加するためだと思われます。

8. むすび

液晶テレビのバックライト用の蛍光管ソケット向けに実施いたしました各種金属のコンタクトの初期特性の評価を例に、接点材料によって異なる ①荷重(W)-抵抗(R)、②初期摺動、③繰返摺動の特性を比較考察しました。

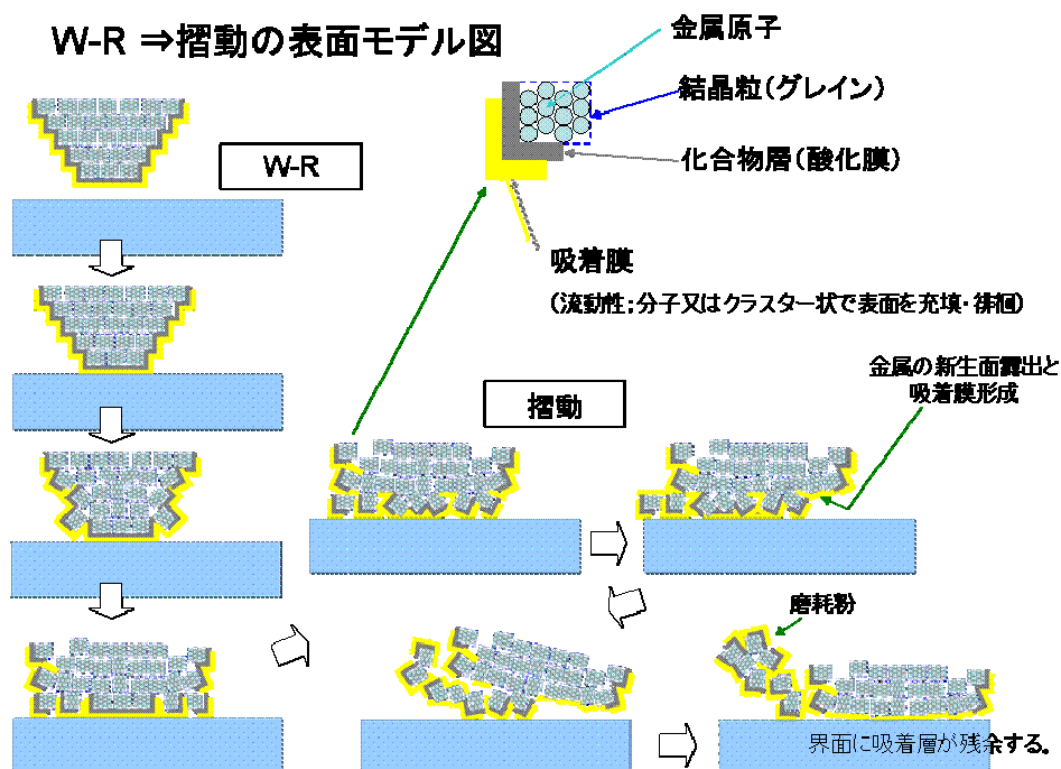
特に荷重(W)-抵抗(R)による電氣的接触の形成では、化合物層(酸化膜)に由来する(a)弾性接触 (b)破壊逆接触 (c)段階破壊接触の3つの基本モードが存在すること、尚、はんだに対してはフラックスが影響しているのではないかと見られる特性を示すことを また、摺動時の抵抗は、雰囲気(大気)由来の吸着膜(吸着気体、水蒸気層、有機汚染層など)が支配的になっている可能性が高いこと、繰返摺動特性における抵抗上昇は磨耗物の量と形質に原因があること外観との比較で説明しました。

接触抵抗は、厚さがナノメートルオーダー(原子数個分)の表面皮膜^{9) 10)}(接触時には界面層)とそれに付随する導電現象が支配しており、詳細を論ずるには量子論による理解が不可欠な分野であります。今後は、各種試験評価を継続しつつ 接点における導電現象の調査を実施していく予定です。

尚、本評価の結果を含め各種試験を行い、当社では液晶テレビ向バックライト用の蛍光管ソケットとしてEL シリーズを販売・開発いたしております。

【appendix】

W-R ⇒ 摺動の表面モデル図



【参考文献】

- 1) 譲原 靖弘 ”金めっき接点の摩擦摩耗と潤滑処理” 航空電子技報 No.27(2004)
- 2) R. Holm :Electric Contacts, 4th ed., Springer(1967)
- 3) 田井富茂 他 ”原子変位エネルギーに基づく接触モデル解析(再考)”航空電子技報 No.30(2007)
- 4) 水戸瀬賢悟 他 ”摺動接点の初期抵抗上昇に及ぼす Sn めっき厚さの影響” 古河電工時報 No.121(2008)
- 5) 高橋誠哉 他 ”フィルムコネクタ(S-film)の開発”航空電子技報 No.29(2006)
- 6) 田井富茂 他 ”原子間エネルギーから見た接触構造解析”航空電子技報 No.25(2002)
- 7) 高橋威 他 ”低接圧検査治具の開発”航空電子技報 No.28(2005)
- 8) 樋口 孝二 ”f-CONNECT 5475 芯 LGA ソケットの開発”航空電子技報 No.30(2007)
- 9) 鍋田佑也 他 ”錫(Sn)めっき接触面での酸化皮膜の成長と接触抵抗特性 ～ エリプソメトリによる研究 ～” 電子情報通信学会 EMD2008-121pp.7-12
- 10) 玉井輝雄 ”電気接点表面と接触のメカニズム”表面技術 Vol.55, No12 p852-857(2004)