

# 低挿入力を実現した多極コネクタ用端子めっき

## Terminal Plating to Lower the Insertion Force of Multiway Connectors

渡邊 玄\*  
Hajime Watanabe

坂 喜文  
Yoshifumi Saka

古川 欣吾  
Kingo Furukawa

齋藤 寧  
Yasushi Saitoh

近年、自動車の電子制御化による性能向上は著しく、電子制御ユニットの数および回路数は増加し、コネクタの増加や極数の増加（多極化）が進行している。コネクタが多極化すると嵌合力が大きくなり、組み立て作業性を悪くするため、嵌合力を低く抑えることができる摩擦係数の小さい、端子用低挿入力めっきの開発要求が高まってきている。そこで、端子用に広く用いられているスズ（Sn）めっきの摩擦係数を低減させることを目的に、Sn合金めっきを開発し、端子挿入時の凝着摩耗を抑制することで低挿入力化に成功した。

Recent advancements in automotive electronic control systems have led to an increase in the numbers of electronic control units and circuits, and accordingly the number of the necessary connectors and terminals has risen. Meanwhile, multiway connectors require high insertion force, which makes the assembly operation difficult. Therefore, demand has grown for a terminal plating that lowers the insertion force. We have developed tin (Sn) alloy plating to replace the widely-used Sn plating. The Sn alloy plating restrains abrasive wear during connector matching and successfully reduces the insertion force.

キーワード：低挿入力、低摩擦性、接触抵抗、めっき、Sn-Pd

### 1. 緒言

近年、自動車では、環境性能・安全性・快適性などを向上させるため、車の様々な機能の電子制御化が進んでいる。このため、必要となる電子制御ユニット（Electronic Control Unit）の数が増加している。また、それぞれのユニットに繋がるセンサーなども増加しているため、個々のユニットの回路数が増え、コネクタは多極化の傾向にある。多極になると、車両への取り付け時などでのコネクタの嵌合に必要な力（嵌合力）が大きくなり作業性を悪くすることがある。

従来、嵌合力が大きくなった場合には、コネクタを分割したり、レバー構造をコネクタに組み込んで嵌合力を低減させる等の方策を採用してきた。

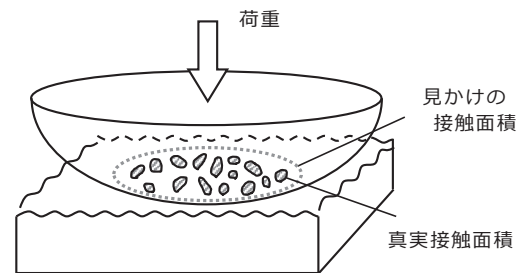
しかし、搭乗員の快適性・利便性向上を確保するため電子制御ユニットに割り当てられる設置スペースは減少する傾向にあり、スペースを必要とするコネクタの分割やレバー構造の採用が困難になる場合が生じてきている。

このため、コネクタが多極化しても、嵌合力を低く抑えることができる摩擦係数の小さい、端子用低挿入力めっきへの開発要求が高まってきている。

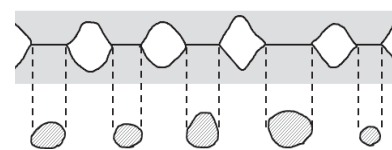
当社では、コネクタ嵌合力の大半を占める端子の挿入力を低減させる独自の端子用低挿入力めっきを開発することでコネクタの多極化を実現した。

### 2. 接触、摩耗のメカニズム

固体同士の接触では、固体表面には必ず表面粗さが存在するため、図1 (a) に示すように真実接触面積は見かけの接触面積よりきわめて小さい。真実接触面積は図1 (b) のように突起頂点同士で起こり、接触面積はきわめて大きくなる。



見かけの接触面積 ≫ 真実接触面積  
(a) 見かけの接触面積と真実接触面積



(b) 真実接触面の断面図

図1 固体表面の接触の模式図

り、接触面には強い結合力が生じ凝着が起こる。接触する二面の一方に外力が作用すると、凝着部は引きはがされ、同時に新しい凝着が発生する。この繰り返しに必要な力が凝着摩擦力である<sup>(1)</sup>。

従来、端子用めっきには一般にリフローSnめっきが用いられている。これは銅合金母材の上にSnめっきした後、リフロー処理<sup>\*1</sup>により一度Snを熔融、再結晶化させためっきである。同材料同士の摩擦では、その親和性の高さから強い凝着が起こり、摩擦力が高くなる。

また、接触する二面間は形状の差などで、一方が他方の表面に押し込まれた状態を取る。図2のように一方が球面で他方が平面の場合、二面間を滑らせると球面が平面を掘り起こさなければならない。押し込まれた球面の移動に伴い、進行方向前面に向かい平面が掘り起こされてゆく。この掘り起こしに必要な力が掘り起こし摩擦力となる<sup>(2)</sup>。

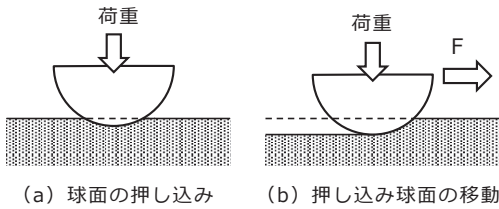


図2 掘り起こし摩擦力

端子挿入時のSnめっき同士の摩擦にも、上記の凝着摩擦力と掘り起こし摩擦力が影響する。これまでに、挿入力低減のために、表1に示す3層めっきの様にSnのめっき厚を薄くしためっきが開発されている。Snめっきを薄くすることで、見かけの硬度を高くして表面の変形である掘り起こし摩擦力を小さくする効果があるが、摩擦係数の低減効果には限界があり、20%程度である。

表1 Snめっきの種類(代表例)

	リフローSnめっき IMC <sup>*2</sup> /Sn	3層めっき (Ni/IMC/Sn)
めっき構造		
Snめっき厚さ	0.8μm	0.3μm
IMC厚さ	0.4μm	0.3μm
Ni下地めっき厚さ	なし	0.5μm
リフロー処理	有り	有り
摩擦係数 低減効果	-	20%

さらなる低摩擦化のため、筆者らは図3に示すように軟質層と、硬質層を交互に設けた構造のめっきにすることにより、軟質層(Sn)で接触抵抗の確保、硬質層で端子挿入時の荷重を支え、掘り起こし摩擦力や凝着摩擦力を抑制する機能分離型のめっきの実現を検討した。

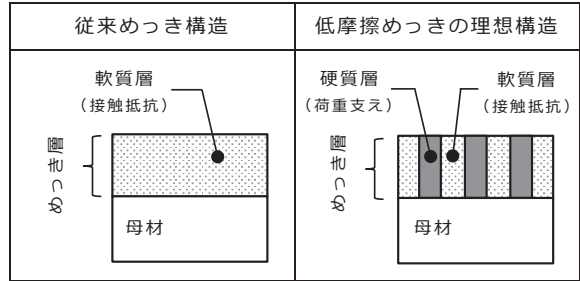


図3 低摩擦めっきの理想構造

この構造を理想構造とし、Snとパラジウム(Pd)の金属間化合物(Sn-Pd合金)が硬く、また、網目状に成長することに着目して、低挿入力めっきに適用するため開発を行った。開発品のめっき構造を図4に示す。柔らかいSnめっき中に、硬いSn-Pd合金を厚さ方向に形成し、最表面に露出していることを特徴としている。Sn-Pdの合金量はPd濃度に依存しており、必要に応じて合金量を調整することが可能である。

開発品は、Niめっき、Snめっき、Pdめっきを積層し、リフロー処理の合金化によって、図4に示すような独自の構造が得られる。

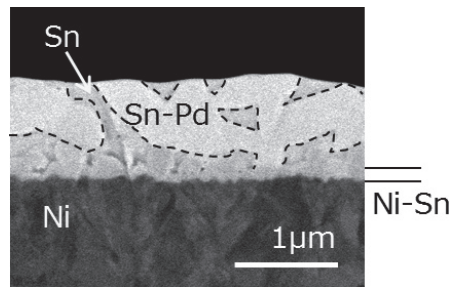


図4 Sn-Pdめっきの断面構造

### 3. Sn-Pdめっきの性能

低摩擦性めっきであるSn-Pdめっきの特性を、従来のリフローSnめっきと比較しつつ評価した。

端子嵌合状態の断面模式図を図5に示す。メス端子には、オス端子との接触部に球面上の突起が設けられている。端子挿入時には、メス端子の突起部とオス端子との摩擦力が挿入力に大きな影響を与える。そのため、評価用の試験片には、図6の写真に示す、オス端子を模擬した平板試験片、メス端子の突起部を模擬したエンボス試験片<sup>※3</sup>を準備した。各試験片は板厚0.25mmの銅合金材で作製し、めっき仕様を表2に示す。エンボス試験片には、コネクタに幅広く使用しているリフローSnめっきを施し、平板はリフローSnめっきとSn-Pdめっきの2種類を作製した。評価の際のめっきの組合せを表3に示す。

これらの条件で3-1摩擦係数、3-2耐摩耗性、3-3接触抵抗特性、3-4耐ウィスカ<sup>※4</sup>性を評価した。

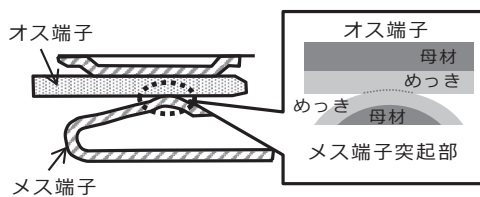


図5 端子嵌合状態の断面模式図

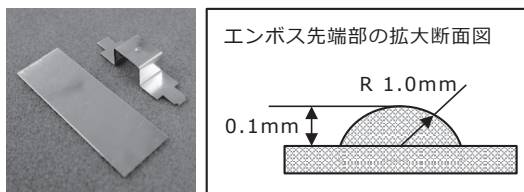


図6 平板試験片とエンボス試験片

表2 試験片のめっき仕様

サンプル	めっき種	めっき条件	リフロー処理
エンボス試験片	リフローSnめっき	Sn1.0μm	有り
平板	リフローSnめっき	Sn1.0μm	有り
	Sn-Pdめっき	Sn1.0μm Pd0.02μm	有り

表3 摩擦係数測定のためっき組合せ条件

条件	エンボス試験片	平板
①	リフローSnめっき	リフローSnめっき
②	リフローSnめっき	Sn-Pdめっき

### 3-1 摩擦係数

端子挿入力は摩擦係数に依存し、摩擦係数が小さい方が

低挿入力となる。SnめっきからSn-Pdめっきにすることで摩擦係数の低減効果を検証した。

摩擦係数測定方法の模式図を図7に示す。試験荷重を多極コネクタに用いられる小型端子の接触荷重を模擬した3Nとし、また、摺動距離をコネクタ嵌合時の端子挿入距離を模擬した2mmとした。

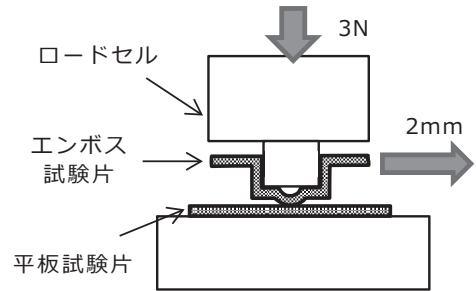


図7 摩擦係数測定方法の模式図

各試験条件での摩擦係数の測定結果を図8に示す。摺動距離2mmまでのピーク値を取ると、リフローSnめっきは0.54、Sn-Pdめっきは0.36であり、33%の摩擦係数の低減効果を確認した。

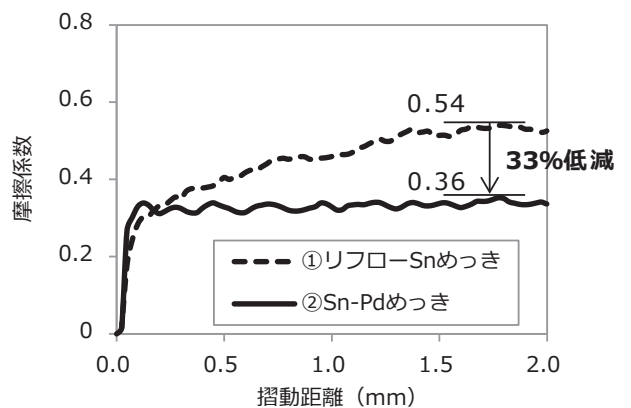


図8 摩擦係数測定結果

### 3-2 耐摩耗性

前項の摩擦係数測定での摩耗痕の観察結果を図9に示す。観察には走査型電子顕微鏡 (SEM) を用いた。

リフローSnめっきは、摺動距離が進むにつれ摩擦係数が上がっていく。これは、リフローSnめっきは掘り起しが大きく、エンボス側のSnと凝着を繰り返しながら進んだ

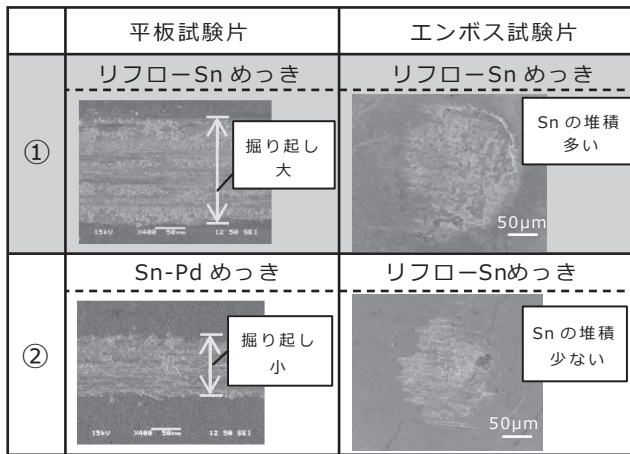


図9 摩耗痕の比較観察結果

めである。それにより、エンボス試験片にはSnが多く堆積している。

対してSn-Pdめっきは、摺動距離が進んでも摩擦係数が横ばいに推移している。Sn-Pdめっきは、硬い合金が荷重を支え、エンボスの押し込みを抑制することで掘り起しを低減し、摩耗幅が小さくなっている。さらに、表面に露出しているSn-Pd合金部とSnの凝着力は弱く、凝着摩耗を抑制する働きがあるため摩擦係数が低減したと考えられる。

### 3-3 接触抵抗特性

コネクタ用めっきの重要特性の1つである、接続信頼性の評価として、荷重—接触抵抗特性を測定した。

評価方法は、エンボス試験片を平板試験片に図10のように押し当て、垂直荷重を0Nから40Nまで徐々に印加させながら、10mA通電し4端子法で接触抵抗を測定した。

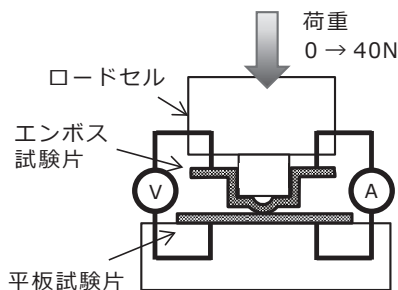


図10 荷重—接触抵抗特性の測定模式図

荷重—接触抵抗特性の測定結果を図11に示す。接触抵抗には荷重依存性があり、荷重が高くなると接触抵抗が低下する。これは、荷重が高くなるにつれ、真実接触面積が増加することに起因し<sup>(3)</sup>、その特性は、リフロー-Snめっきと

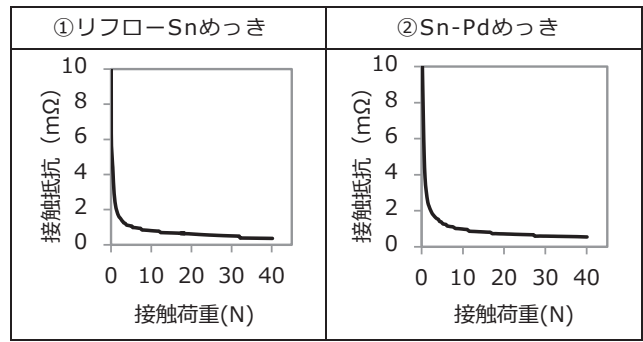


図11 荷重-接触抵抗特性の比較

Sn-Pdめっきで大きな差は見られず、良好である結果を示した。

### 3-4 耐ウィスカ性

オス端子には、メス端子との接触部や、ハウジングへの圧入部において、めっきに外部応力がかかる。リフロー処理を行っていないSnめっきは外部応力を受けると、めっき表面からウィスカが発生する可能性がある。

一般的に、Snめっきはリフロー工程でSnを熔融し、再結晶化させることで内部応力を緩和し、ウィスカの発生を抑制している。Sn-Pdめっきはリフロー処理をしていることに加え、硬いSn-Pd合金が外部応力を支え、純Sn部にかかる荷重を緩和していること、更に、ウィスカの発生源となる純Snが少ないことから、耐ウィスカ性がリフローSnめっきより優れていると考えられる。そこで、Sn-Pdめっきの優位性を評価するため、リフロー-Snめっきでウィスカが発生する厳しい条件である球圧子試験（一般社団法人電子情報技術産業協会JEITA RC-5241）を実施した。球圧子試験方法を図12に示す。試験条件は、試験荷重を3Nとし、72時間の放置を行った。

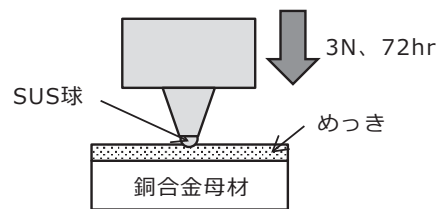


図12 球圧子試験の模式図

図13に試験後の圧痕をSEMで観察した結果を示す。リフロー-Snめっきでは圧痕の周辺でSnが変形し、ウィスカの発生が観察された。一方、Sn-Pdめっきでは、圧痕は見

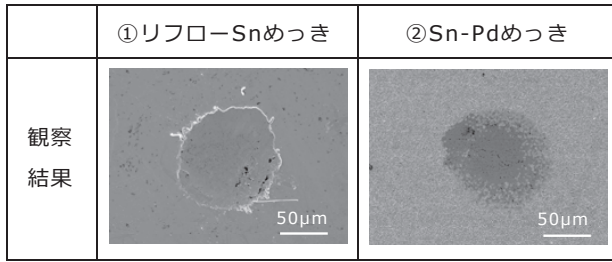


図13 圧球試験後のめっき表面状態

られるが、ウイスカの発生は見られない。

このことから、リフロー-Snめっきに対して、Sn-Pdめっきは耐ウイスカ性が高いと言える。

## 4. 製品適用例

### 4-1 コネクタ嵌合力

Sn-Pdめっきを適用した多極オスコネクタの嵌合力の評価結果の例を図14に示す。相手側のメスコネクタはリフロー-Snめっきであり、オスコネクタ側のめっきのみを変更した結果である。従来のリフロー-Snめっきの嵌合力を100%とした場合、Sn-Pdめっきを採用することにより33%のコネクタ嵌合力の低減を実現した。

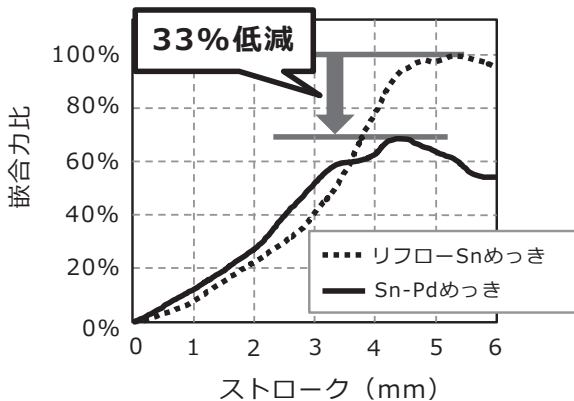


図14 コネクタ嵌合力低減効果の例

### 4-2 コネクタ耐久性能

車両での使用環境を想定し、コネクタ耐久評価を実施した。通常、車両組み立て時、コネクタは1回の嵌合のみである。しかし、何らかの故障や不具合が発生した場合は複数回のコネクタ挿抜が必要となる場合がある。このようなコネクタ挿抜回数の最悪条件を想定し、10回挿抜後でも接

触抵抗を低く保てるか評価を実施した。また、Sn系のめっきでは、時間経過とともに金属間化合物が成長していくことから、長期安定性を確認するために高温放置試験を実施した。温度条件は、従来のリフロー-Snめっきにおいて接触抵抗が上昇する非常に厳しい条件で160°Cの大気雰囲気中に200時間保持した。

この一連の耐久試験を行った結果を図15に示す。コネクタ嵌合1回目と10回目の接触抵抗は同等であり、繰返し嵌合による抵抗上昇は見られなかった。10回挿抜後の高温放置試験では、抵抗上昇が見られるが、リフロー-Snめっきよりも低い値であった。

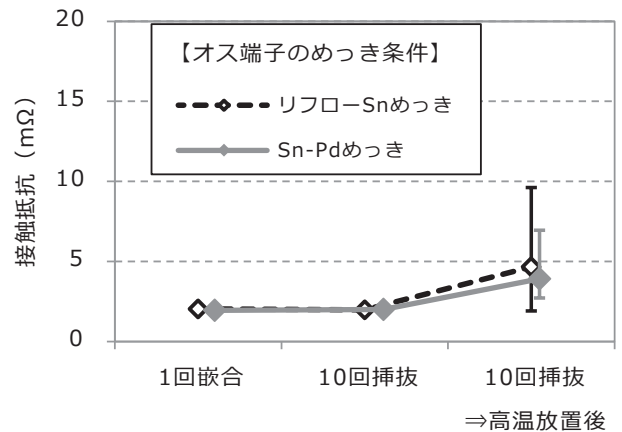


図15 コネクタ耐久評価結果

## 5. 結 言

車載コネクタの多極化対応のため、低摩擦性めっきのSn-Pdめっきの開発を行い、以下の成果を得ることができた。

- ①小型端子を想定した、摩擦係数評価において、従来リフロー-Snめっきから摩擦係数を33%低減
- ②オスコネクタへのSn-Pdめっき適用で、コネクタ嵌合力の33%低減を実現
- ③従来リフロー-Sn同等以上の接続信頼性を実現
- ④従来リフロー-Sn以上の耐ウイスカ性

また、本開発めっきは、当社のオスコネクタに採用され、2016年より量産を開始している。

## 用語集

---

### ※1 リフロー処理

めっき後に加熱することで、溶融、再結晶化し、めっき被膜の内部応力の緩和、下地金属との熱拡散による金属間化合物層を形成することで経時変化を抑制する処理。

### ※2 IMC

InterMetallic Compound : 2種類以上の金属によって構成される化合物。

### ※3 エンボス試験片

金型によって、金属の板材に半球状の突起部を形成させた試験片。

### ※4 ウィスカ

めっき皮膜表面に発生する髭状の純金属の単結晶。主にSnめっきで多く見られる。

## 参考文献

---

- (1) 橋本巨、「基礎から学ぶトライボロジー」、森北出版(株)、pp.21、35-36 (2006)
  - (2) 山本雄二、兼田禎宏、「トライボロジー」、理工学社、pp.42-43 (1998)
  - (3) 澤田滋 他、「錫及び銀めっき電気接点の接触抵抗予測」、SEIテクニカルレビュー第177号、pp.36-42 (2010年)
- 

## 執筆者

---

渡邊 玄\* : (株)オートネットワーク技術研究所  
回路接続研究部



坂 喜文 : 住友電装(株) 部品事業本部  
第2事業部 主幹



古川 欣吾 : (株)オートネットワーク技術研究所  
回路接続研究部 室長



齋藤 寧 : (株)オートネットワーク技術研究所  
回路接続研究部 部長



---

\*主執筆者