

## 特集

特殊形状銀粉を使用した  
導電性接着剤「TKペースト」

化研テック(株)  
開発支援部  
上川路 優

## 1. はじめに

今日のエレクトロニクス製品の進歩は、半導体をはじめとするデバイスや電子部品の進化だけでなく、これらを製造するための最先端の電子実装技術や実装材料技術の開発にも支えられている。特にモバイルやウエアラブル製品は高機能化の追求と同時に、小型・軽量・低コストの要求にも応えるため、構成される各デバイスは金属から樹脂へ、ガラスからフィルムへと、より軽く、安価で、加工しやすい有機材料への転換が積極的に進められている。これらを使用した電子部品やエレクトロニクス製品は、小型化や軽量化できる反面、はんだ付けなど従来の製造プロセスの加熱に対する耐性が十分でないことが多い。そのような耐熱性の低い部品や製品の組み立てに、より低温で電気接続ができる導電性接着剤の適用が増加している。

本稿は導電性接着剤の概要を解説したうえで、最新の技術動向として特殊形状銀粉を用いた導電性接着剤を紹介する。

## 2. 導電性接着剤の使用用途

導電性接着剤には多数の種類があり、その用途也多岐にわたる。1980年代から使用されている半導体のシリコンチップのダイアタッチ材をはじめ、LEDチップの実装やタンタル固体電解コンデンサ

および水晶振動子の内部電極など、すでに幅広い電子デバイスの内部に使用されている<sup>1), 2)</sup>。

近年では、スマートフォンに代表されるモバイル製品に搭載されているデバイスやモジュールへの採用が増えている。カメラモジュールは樹脂レンズやVCMアクチュエーターなどの熱に弱い部品が多く、さらに高精度の組み立てが必要とされるため、加熱による熱膨張に配慮した低温プロセスで硬化する導電性接着剤が使用されている。また、高周波動作のデバイスが至近距離に実装された製品では、それぞれがお互いのノイズに干渉しないようにデバイスごとにシールドされているが、それらをアースへ接続する用途にも導電性接着剤が使用される。タッチパネルディスプレイでは、ガラス表面に発生する静電気のアース接続を組み立て工程の最後に行うため、構成部材の耐熱温度である70℃以下で使用できる導電性接着剤が用いられる。

このように導電性接着剤は、高温で影響を受ける部材やはんだ付けできない用途への導電接続材料として用途が拡大している。

## 3. 導電性接着剤の導電メカニズムと種類

導電性接着剤は、エポキシ接着剤などの有機バインダーに導電性をもつ粒子(フィラー)を分散させたものであり、接着剤の硬化収縮により導電フィラー同士が接触し導通する。この導電のメカニズ

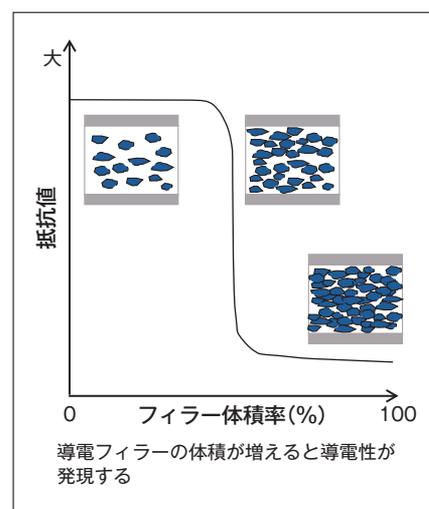


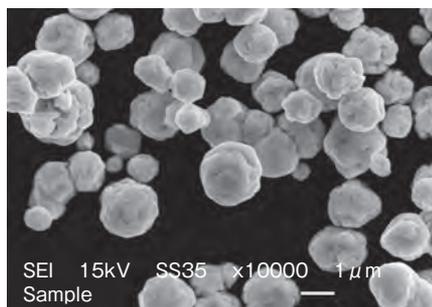
図1 導電性接着剤中の導電フィラー体積率と電気抵抗の関係概略図

ムは、はんだのように金属が熔融し合金化するのではなく、接着剤中の導電フィラーは融着せず、それぞれの導電フィラーの接触により導電経路を形成している。したがって、良好な導電性を確保するためには、少なくとも一定量以上の導電フィラーを含有する必要がある(図1)<sup>2)</sup>。フレーク(鱗片)状銀粉の場合、60wt%程度の含有率で急激に導電性が現れ、銀含有率の増加とともに電気抵抗率が減少し、80wt%以上でほぼ一定となる事例が報告されている<sup>3)</sup>。導電性接着剤の導通メカニズムにはまだ解明されていない部分も多く、導電フィラーの融点温度以下で焼結する現象<sup>4)</sup>なども報告されているが、それらについて本稿では紙面の都合上、割愛する。

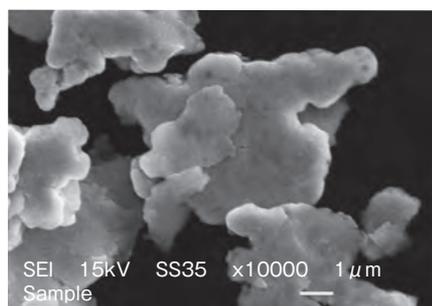
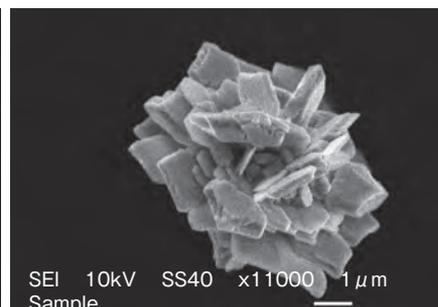
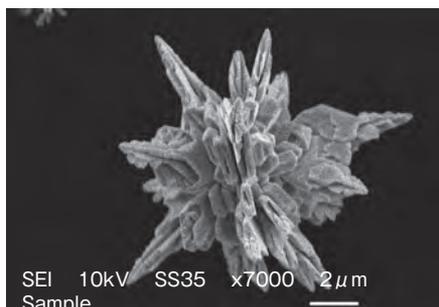
導電性接着剤の有機バインダーにはエ

問い合わせ

✉ kamikawaji@kaken-tech.co.jp



(a)球状銀粉



(b)フレーク状銀粉

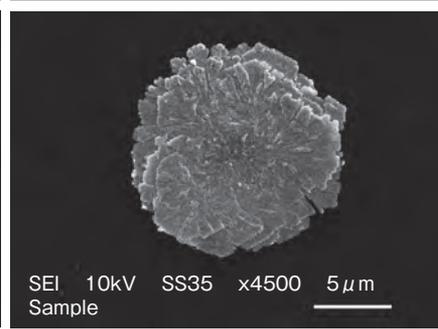
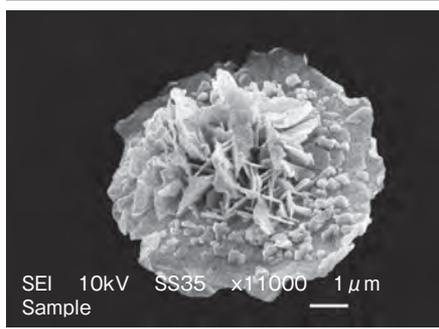


写真1 導電性フィラー（銀）

ポキシ系、フェノール系、アクリル系、ウレタン系、シリコン系など数多くの種類が使われる。それらの有機バインダーに金、銀、銅、ニッケル、カーボンなどの導電フィラーの組み合わせがあり、非常に多くの導電性接着剤が開発されている。使用するユーザーは、性能、用途、コスト、使い方などを評価したうえで、選定することが必要となる。電子部品の接続用途としては、エポキシ系のバインダーと銀の導電フィラーを使用する加熱反応硬化型の接着剤が主流であり、活発に開発が進められている。エポキシ系接着剤は、金属に対する接着力が良好、耐熱性が高い、硬化時の体積収縮が少ないなどの利点がある。銀は導電性が安定して良好、酸化しにくく貯蔵安定性が良い、熱伝導性が高いなどの利点があり、電子材料では広く利用されている。銀の導電フィラーには、球状、フレーク状、デンドライト（樹状）など形状のバリエーションに加え、ナノからマイクロサイズまで粒径にも非常に多様な選択肢がある

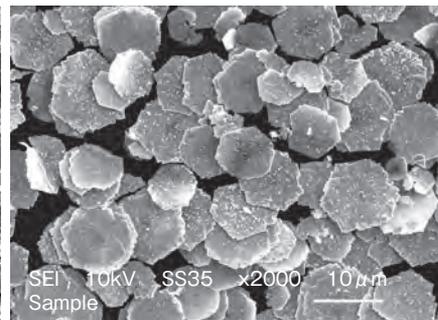
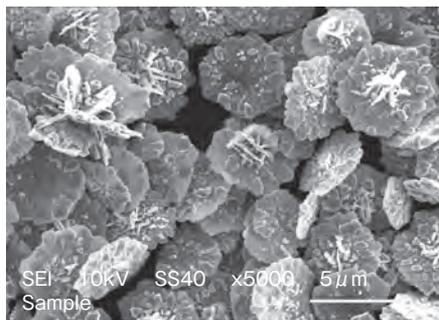
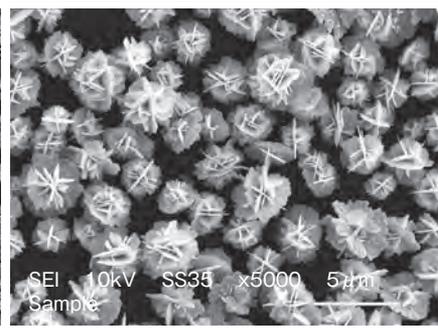
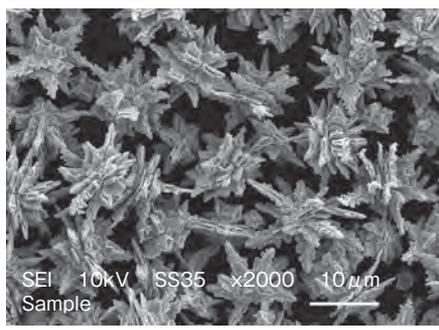


写真2 多様な構造をもつTK銀粉

(写真1)。かつてはエポキシ系導電接着剤と言えば、二液を混合して使用するものが多かった。二液硬化型接着剤は常温保管や低温硬化などのメリットがある反面、配合比を正確に計量する必要や混合後のポットライフ（可使用時間）が短く多量の廃棄ロスが出てしまうなどのデメリットもある。ユーザーの負担軽減と廃

棄コスト低減の要求を受け、接着剤メーカーおよび原材料メーカーの開発努力もあり、近年では一液硬化型のエポキシ系接着剤が主流となっている。その中でも高銀含有で高温硬化のものは、導電性・熱伝導性・強度に優れ、高温高湿や熱衝撃などの環境試験や強度試験に良好なものが多く、硬化温度の制約と銀の含有

が多く高コストである部分がネックとなる。

#### 4. 特殊形状銀粉とTKペースト

すでに市場には多様な導電性接着剤があるが、ここでは当社が開発している「TKペースト」について紹介する。TKペーストは自社開発したTK銀粉を使用する導電性接着剤である。TK銀粉は放射状に伸びるデンドライト集合体形状をはじめ、非常に多様な構造をもつ銀粉である（写真2）。球状やフレーク状の銀粉の生成方法は一般的に知られているが、TK銀粉のように立体構造をもつ銀粉は生成が難しいとされる。当社では独自技術を用いて、このような構造を任意に作り出せるだけでなく、均等な大ききで大量に生成することが可能である。導電フィラーは、形状によって導電性や物性が異なることが知られており、当社ではこのTK銀粉を使用し、従来にない機能を持つ導電性接着剤を開発している。

#### 5. 低銀・低比重導電性接着剤

TK銀粉は複雑な立体形状をもつため、低濃度の銀含有率でも導電性が得られ、非常に低比重で低コストの導電性接着剤ができる。中心からデンドライトが放射状に伸びた球栗状のTK銀粉（写真3）を使用した場合、50wt%の銀含有率で、球状銀粉を80wt%含有している導電性接着剤とほぼ同程度の導電性を有する（図2）。導電性接着剤の比重として計算すると、球状銀粉（80wt%）のものは4.0であるがTKペースト（50wt%）は2.1となり、同じ重量でも2倍近い体積を得ることができる（表1）。導電性接着剤は銀の市場価格にも大きく左右されるが、低濃度で十分な導電性を持つTKペーストは体積当たりで安価になるうえ、銀の価格変動による影響も受けにくい。

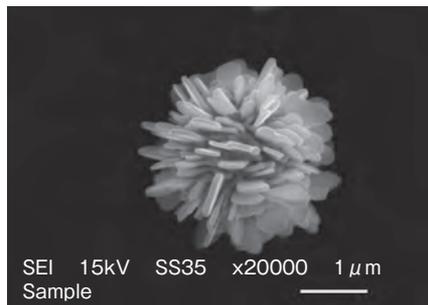


写真3 球栗状TK銀粉

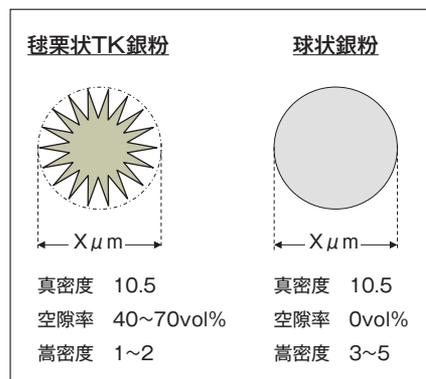


図3 銀粉形状による嵩密度の比較

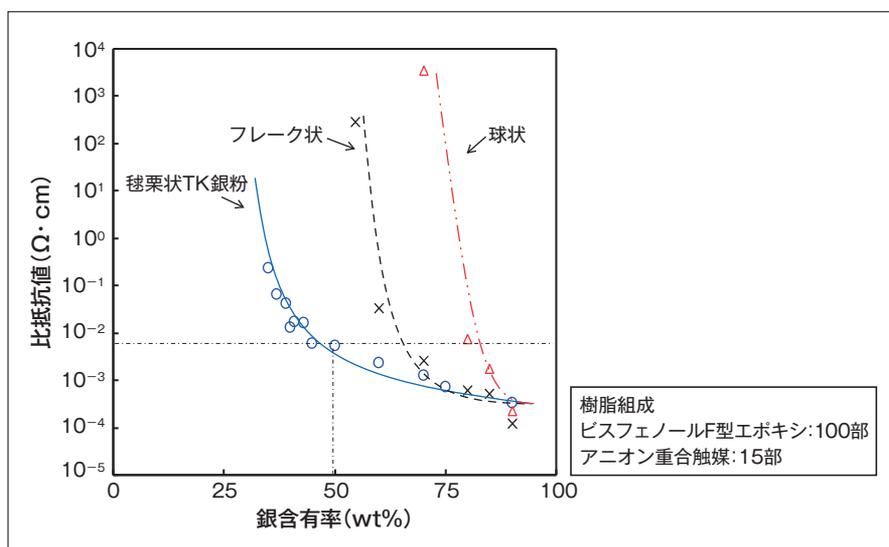


図2 銀粉形状の違いによる銀含有率と比抵抗値の関係

表1 銀粉形状の違いによる比重と体積の比較

銀粉形状	球栗状TK銀粉	球状銀粉
銀の含有率	50wt%	80wt%
比重	2.1	4.0
体積 (1kgあたり)	480mL	250mL
接着剤容量のイメージ		
比抵抗 (参考)	$10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$ オーダー	$10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$ オーダー

この低銀含有率での導電性メカニズムは各銀粉の嵩密度の比較で説明することができる。TK銀粉の突起の先端を外郭と

し、同じ直径の球状銀粉と比較した場合、TK銀粉は40~70vol%の空隙率を有している。銀粉の嵩密度は球状銀粉の3~5

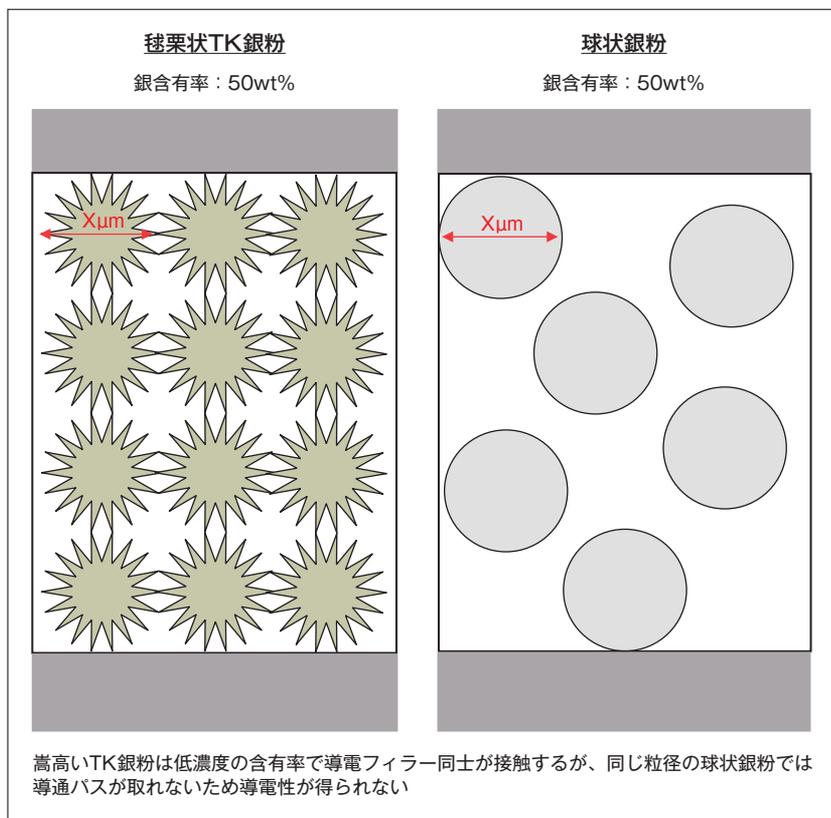


図4 導電性接着剤内部の導電フィラーの分散

に対してTK銀粉は1~2と半分以下となる(図3)。先に述べたように、導電性接着剤は有機バインダー内部の導電フィラーの接触によって導電性を発現するため、導電フィラーがある一定以上の体積

で存在する必要がある。突起が伸びた稜栗状のTK銀粉は有機バインダー内で極めて効率よく電気を通す低密度のネットワークとして存在し、低濃度で導電性を有する(図4)。このTK銀粉を使用した導

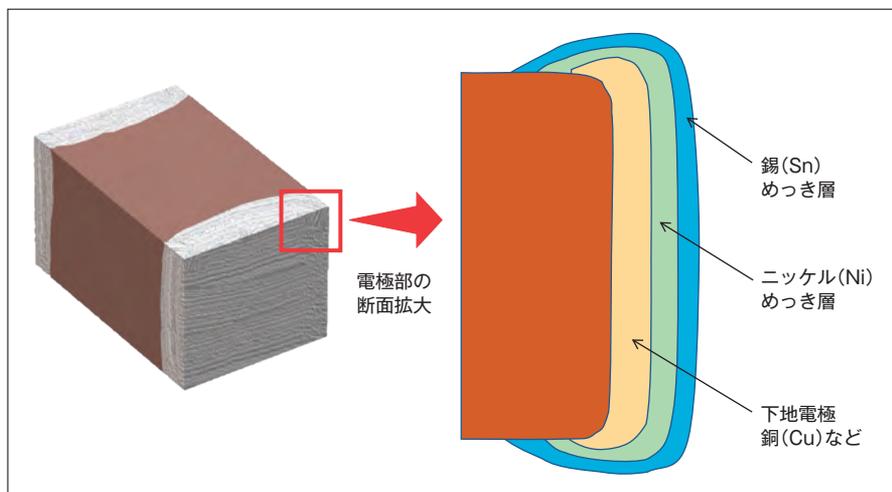


図5 積層チップセラミックコンデンサの端子電極構造

表2 低銀濃度一液型エポキシ系導電性接着剤の代表特性

項目	代表値	備考
バインダー	エポキシ樹脂	一液加熱硬化型
銀含有率	50wt%	稜栗形状TK銀粉
比重	2.1	@25°C
硬化条件	90°C 60分	
比抵抗	$6 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$	四端子法
粘度	30 Pa · S	@25°C
ポットライフ	24hr	@25°C
保管条件	冷凍 -10°C以下	

表3 TKペースト CR-5200の代表特性

項目	代表値	備考
品名	CR-5200	
バインダー	エポキシ樹脂	一液加熱硬化型
導電フィラー	特殊形状銀粉	
比重	2.8	@25°C
硬化条件	100°C 60分	
比抵抗	$3 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$	四端子法
粘度	20 Pa · S	@25°C
ポットライフ	48hr	@25°C
保管条件	冷凍 -10°C以下	

電性接着剤は、90°Cで60分の加熱で硬化する一液型エポキシ系導電性接着剤(表2)として、すでに情報通信分野の主要な機器において十数年にわたり数億台に使用された実績を持つ。

## 6. 抵抗安定・低温硬化導電性接着剤 CR-5200

次に、スマートフォンのカメラモジュールなど、熱に弱い材料で構成された部品の接着用に開発した「TKペースト CR-5200」を紹介する(表3)。多くの電子部品は、はんだ付けに対応するため接合端子部に錫(Sn)を含む金属処理がなされている(図5)。銀を含む導電性接着剤でこれを接着した場合、高温高湿環境下においてガルバニック腐食と呼ばれる化学反応が起き、極端に抵抗値が悪化することが知られている<sup>5), 6)</sup>。ガルバニック腐食は電位差の大きい金属同士が水分を介して接触した場合に、卑金属側の電子が移動することで生じる(図6)。導電性接着剤に含まれる銀は貴金属であるた

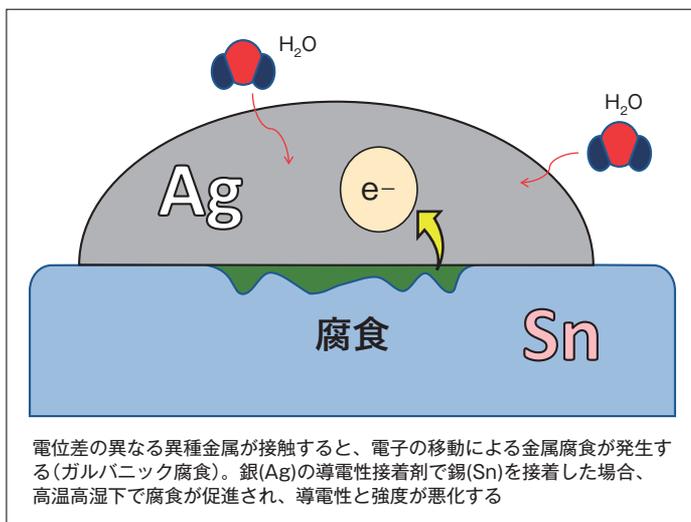


図6 ガルバニック腐食

め、卑金属である錫の被着面で腐食が起こり抵抗や強度が悪化する。この現象を抑えるには、錫の被着面へ水分を浸透させないことが重要である。

しかし、導電性接着剤をマイクロでみた場合、バインダー樹脂と導電フィラーの表面に非常に多くの界面が存在しており、水分はバインダー樹脂の吸湿だけでなく、表層から樹脂とフィラーとの界面を経路として侵入し、錫の被着面に到達してしまう。CR-5200に使用しているTK銀粉はフレークの表面に多数の突起がある複雑な形状(写真4)をしており、球状銀粉やフレーク状銀粉と比較して、非常に大きな比表面積を有している。そ

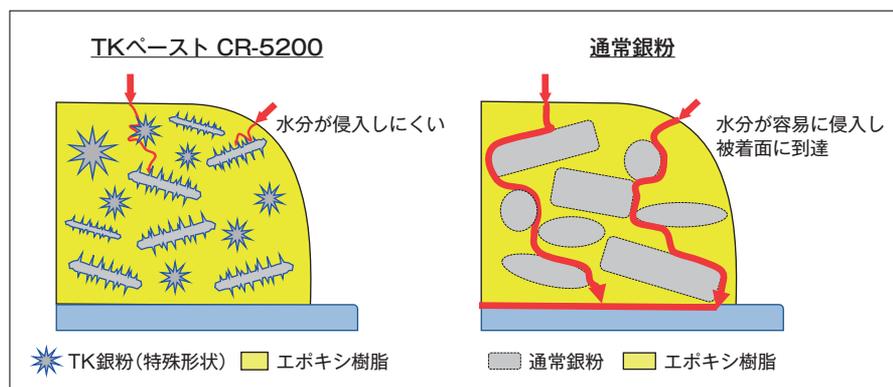


図7 導電性接着剤における水分の侵入

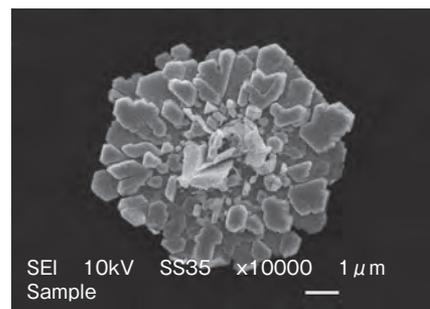


写真4 表面に多数の突起があるフレーク状TK銀粉

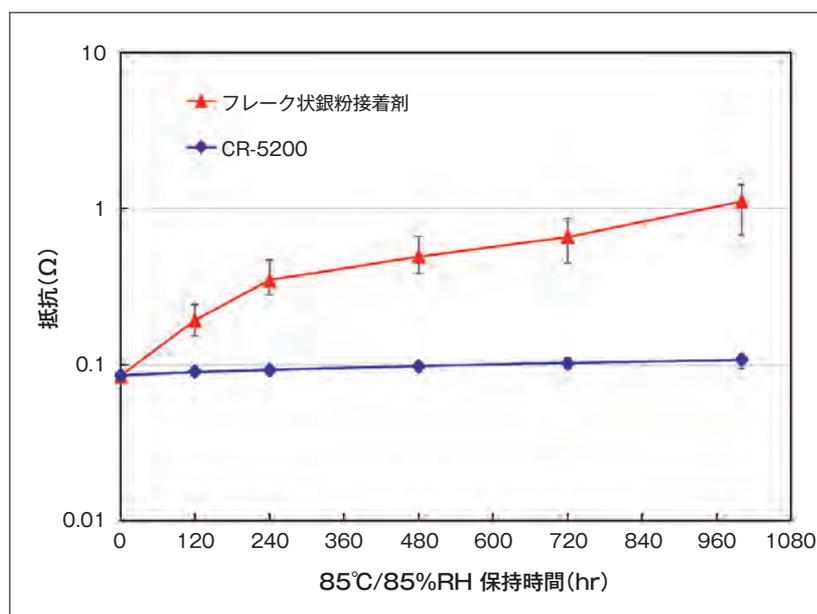
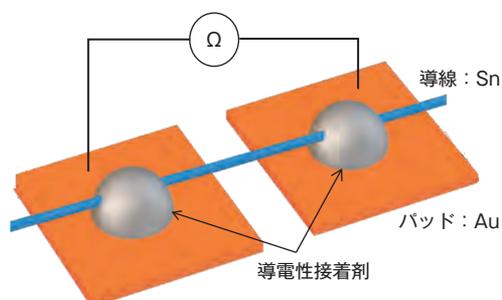


図8 導電性接着剤でSn導線を接着し、高温高湿下で放置した抵抗値変化



基板上のAuパッドに導電性接着剤でSn導線を接着。導線間の抵抗値変化を測定した。導線はSnを含むため、ガルバニック腐食が起きやすい

の結果、水分の侵入経路が長くなり、被着面への到達を大幅に遅らせることができる(図7)。各導電性接着剤で錫の導線を接着し、85℃・85%RHの高温高湿環境で放置した時間ごとの抵抗値変化を図8に示す。フレーク状銀粉を使用した導電性接着剤は短時間で抵抗値が大幅に悪化したが、TK銀粉を使用したCR-5200は1000時間経過後も抵抗値の悪化を抑制している。CR-5200の硬化温度は100℃であり、耐熱性の低い部材への部品実装にも適用が可能である(写真5)。

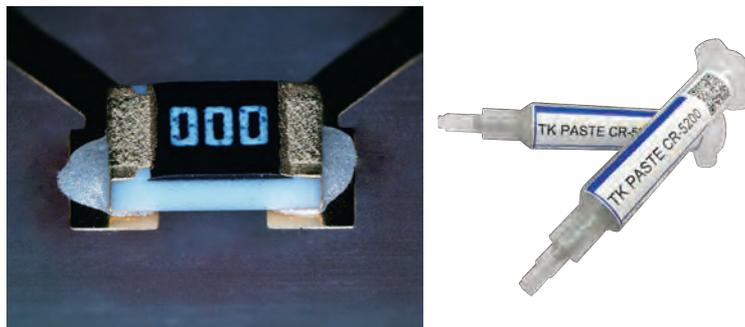


写真5 TKペースト CR-5200を用いた部品実装

## 7. ウェアラブルに対応した伸縮性導電ペースト

最後にTK銀粉を使用した事例として、開発中のウェアラブル用途向けの配線用ペーストについて紹介する。身に着られるエレクトロニクス製品としてウェアラブル用の材料が日々開発されている。ウェアラブル製品には曲げや折りが可能な柔軟性と身体の動きに追従する伸縮性が要求される。従来のめっきや金属配線に対応できない柔軟性や伸縮性の要求に、新しい素材としてストレッチャブルな樹脂に導電フィラーを配合したペーストでの配線形成が目目されている。

単純形状の導電フィラーはわずかな接点で導通しているため、バインダーが伸ばされると導電フィラーも追従し、粒子間が離れ絶縁または電気抵抗値が上がる。一方TK銀粉は放射状に伸びた突起が多数の接点を持つため、基材の伸縮や曲げによって粒子間の距離が離れても、いずれかの接点が導通ネットワークを維持するため、抵抗値の変化が少ない(図9、図10)。この原理はウェアラブルだけでなく、加飾印刷技術を使った立体成形表面への配線形成への応用なども可能である(図11)。本ペーストの開発には基材にあわせた伸び率のバインダーの選定や耐洗濯性能など、今後も検討すべき課題が多いが、TK銀粉の特長を生かせる用途

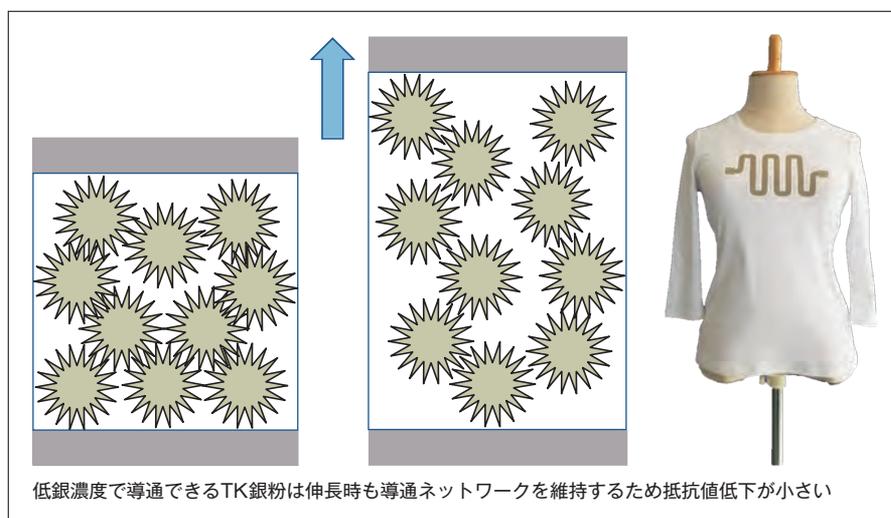


図9 伸縮性導電ペースト

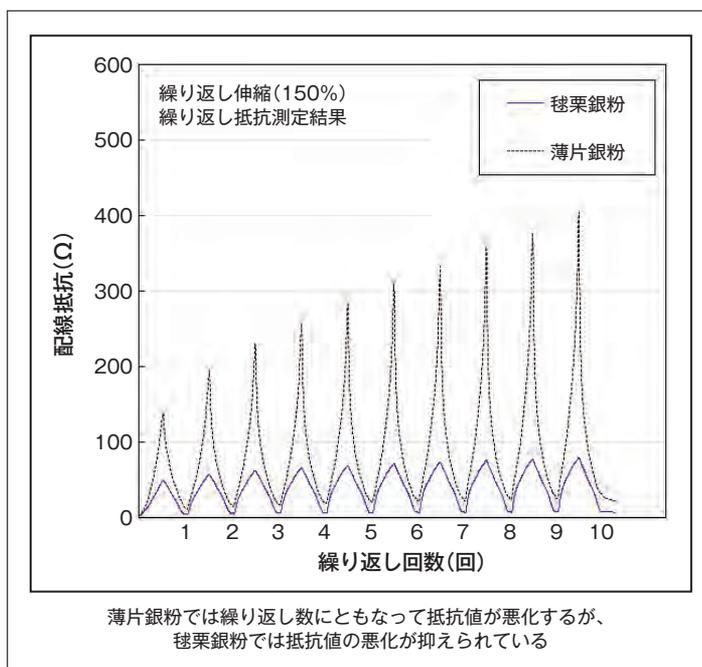


図10 伸縮性導電ペーストの繰り返し伸縮による抵抗値変化

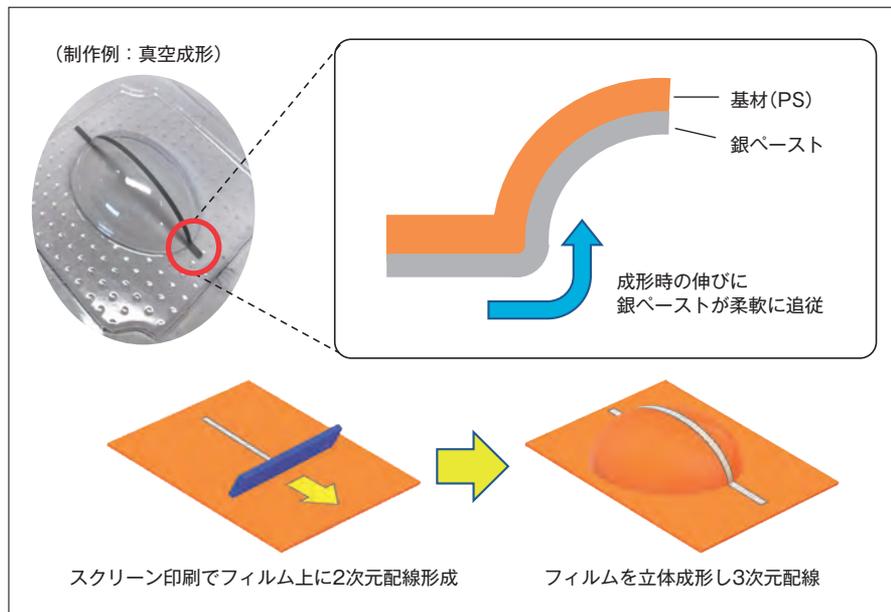


図11 立体成形による3次元配線用伸縮ペースト

の一つとして開発を進めている。

## 8. おわりに

導電性接着剤は新しい技術ではないが、モバイルやウェアラブル製品などの

小型化・軽量化要求に対して、他の導電接合材料では達成できない新しいものづくりを実現する技術として注目されている。当社も進化するものづくりが直面する課題を解決する、新たな導電性接着剤

の開発を続けていく所存である。

### <参考文献>

- 1) 小日向, “導電性接着剤の基礎(その1)”, *エレクトロニクス実装学会誌*, Vol.9, No.6, pp. 495-505, 2006.
- 2) 菅原, “導電性接着剤技術”, *精密工学会誌*, Vol.79, No.8, pp. 730-734, 2013.
- 3) 西川, “導電性接着剤の導電フィラーと導電性”, *スマートプロセス学会誌*, 第1巻, 第3号, pp. 138-142, 2012.
- 4) 西川, “マイクロサイズAg粒子を利用した高耐熱用溶結型接合”, *スマートプロセス学会誌*, 第9巻, 第6号, pp. 259-263, 2020.
- 5) 菅原, 進藤, 大塚, 荻谷, “エレクトロニクス分野の導電性接着剤技術の動向”, *エレクトロニクス実装学会誌*, Vol.12, No.1, pp. 79-85, 2009.
- 6) 田中, “導電性接着剤を用いた表面実装基板の信頼性試験”, *日本接着学会誌*, Vol.43, No.5, pp. 187-194, 2007.