

# 論文 高信頼性摺動抵抗体の開発\*

## Development of High Reliable Resistor for Potentiometer

都外川真志 鈴木治彦  
Masashi TOTOKAWA Haruhiko SUZUKI

In order to improve reliability of potentiometer, mechanism of output noise between sliding contact and resistor is investigated. As a result of analysis, abrasion dust is proved to behave as insulation because of the conductive carbon separation. Furthermore, adsorption of volatile from the components of potentiometer is proved to increase stickiness of abrasion dust. Therefore, noise is output when the contact brush gets over the abrasion dust. On the basis of the mechanism, reduction of abrasion dust amount and stickiness is found to effective to improve reliability of potentiometer.

**Key words** : Electric Equipment, Sensor, Wear/Potentiometer, Resistor, Noise Abrasion dust, Carbon, Resin, PFPE (Perfluoropolyether)

### 1. はじめに

近年、自動車制御の高精度化と高機能化に伴い、自動車用ポテンシオメータの寿命向上が強く望まれている。Fig. 1 に示すように、ポテンシオメータは、厚膜カーボン抵抗体上を金属ブラシが接触摺動し、位置、開度の情報を得るものである。従って、その接触導通安定性が重要な特性である。しかしながら、摺動回数が増大するに伴い、摺動接点部の接触抵抗が増大する、いわゆるノイズが発生する現象が発現し、これが、長寿命化の重要な課題となっていた。従来、ノイズ発生メカニズムには、抵抗体の摩耗粉が影響するといわれているが、不明な点が多い。これは、摺動抵抗体が、導電材と樹脂との複合材料であり、また、摩擦摩耗が複雑な界面の物理化学現象を伴うことに基因している。

本研究では、長寿命化のためには、摺動ノイズ発生メカニズムの解明が不可欠と考え、ノイズ発生品を詳細に解析し、メカニズムを解析した。次に、このメカ

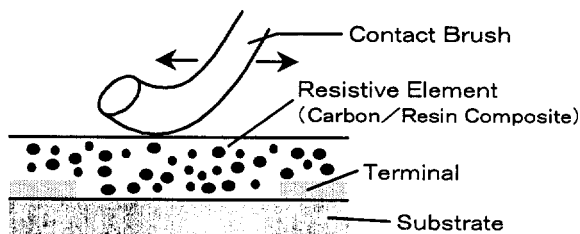


Fig. 1 Schematic view of potentiometer

ニズムに基づき、寿命向上検討を行い、信頼性の高いポテンシオメータを開発した。以下、これらの検討結果について報告する。

### 2. ノイズ発生品の解析

実際にノイズが発生した摺動抵抗体について、以下の観点および手法にて解析した。

- ① SEM, TEM による摺動表面、断面状態調査
- ② TEM, 電子線回折による摩耗粉の形態調査
- ③ TOF-SIMS による摺動最表面吸着物分析

#### 2.1 摺動表面、断面の状態

摺動抵抗体表面のSEM像をFig. 2に示す。抵抗体摩耗量は摺動回数に応じて増大しており、ノイズが開始した摺動回数あたりでは、抵抗体摩耗粉が摺動軌跡

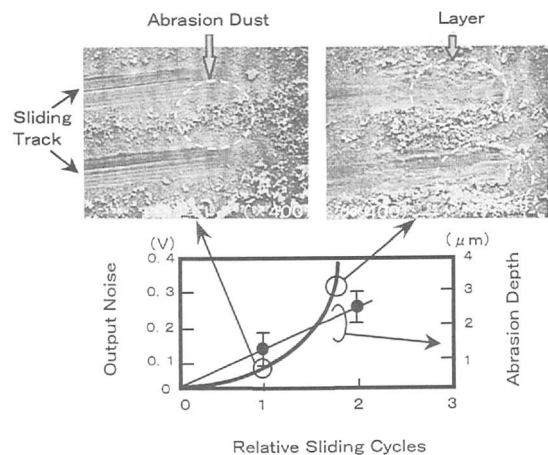


Fig. 2 SEM micrograph of sliding track

\*自動車技術会学術講演会前刷集 No. 159 より加筆転載

間に多く、また、摺動軌跡上にも少し点在しているのが見られる。

一方、ノイズが非常に大きくなった回数においては、摺動軌跡上に何らかの物質が堆積しているように見られる。

この部分を断面カットし、TEMで観察した結果を、Fig. 3に示す。堆積部には、抵抗体の導電成分であるカーボンブラックが見られず、カーボンの無い層が摺動軌跡上に形成されていることがわかった。

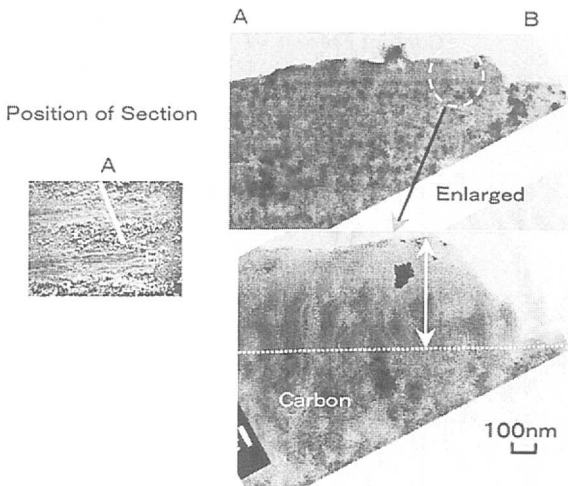


Fig. 3 TEM micrograph of sliding track section

2.2 摩耗粉の形態

摺動により発生した摩耗粉が、どのような形態をしているのか、摩耗粉を採取し、TEMおよび電子線回折で解析した。その結果をFig. 4に示す。抵抗体摩耗粉は、導電材のカーボンブラックと樹脂とに完全に分離し、それぞれ凝集していることが判明した。

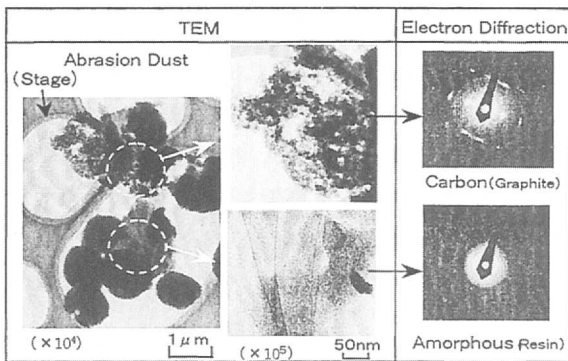


Fig. 4 TEM micrograph and electron diffraction of the abrasion dust

2.3 摺動最表面吸着成分分析

TOF-SIMSによる摺動表面の付着成分分析により、判明した吸着成分をTable 1に示す。ポテンショメータを構成する成型樹脂やゴム材料に含まれる、オリゴマーおよび添加成分が揮発し、摺動面に吸着していることが確認された。

Table 1 Ascertained adsorbate on sliding track

| Source   | Adsorbate              |
|----------|------------------------|
| Plastics | ① Oligomer             |
|          | ② Thermal Stabilizer A |
|          | ③ Thermal Stabilizer B |
|          | ④ Antioxidant          |
| Rubber   | ⑤ Additive A           |
|          | ⑥ Additive B           |

3. ノイズ発生メカニズムの考察と検証

ノイズ発生品の解析結果より、ノイズ発生メカニズムは、Fig. 5に示すごとく考えられる。すなわち、ノイズは、カーボンが分離し、絶縁物化した摩耗粉上にコンタクトが乗り上げることで導通が阻害され発生する。さらに、この挙動が繰り返されることで、摺動面に樹脂のみの摩耗粉が堆積し、絶縁層が形成され、ノ

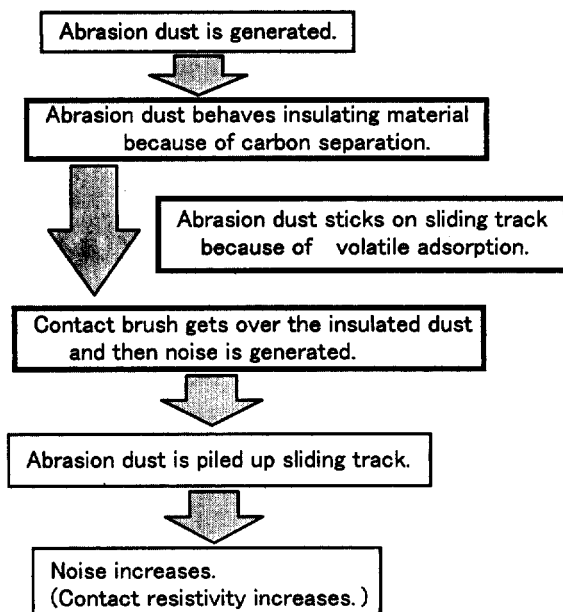


Fig. 5 Mechanism of the output noise abrasion dust

イズが増大する。一方、コンタクトが摩耗粉に乗り上げるには、接圧荷重以上の摩耗粉への粘着力が作用していると考えられ、これには、TOF-SIMSにより判明した種々の吸着成分が影響し、摩耗粉の粘着性が増大し、払拭性が悪化しているものと推定される。

このメカニズムの検証として、以下の事象を確認した。

- ①ノイズ発生の可視化  
(摩耗粉へのコンタクトブラシの乗り上げ)
- ②吸着成分の摩耗粉粘着性への影響調査

### 3.1 ノイズ発生状況の可視化

電子顕微鏡の鏡筒内試料台上でコンタクトと抵抗体を摺動させ、摩耗粉乗り上げ時のノイズ発生状況を観測した。結果を Fig. 6 に示す。実際に、摩耗粉がコンタクトと抵抗体間に潜り込んだ時、すなわち、乗り上げた時、接触抵抗が増大し、ノイズが発生することが確認できた。

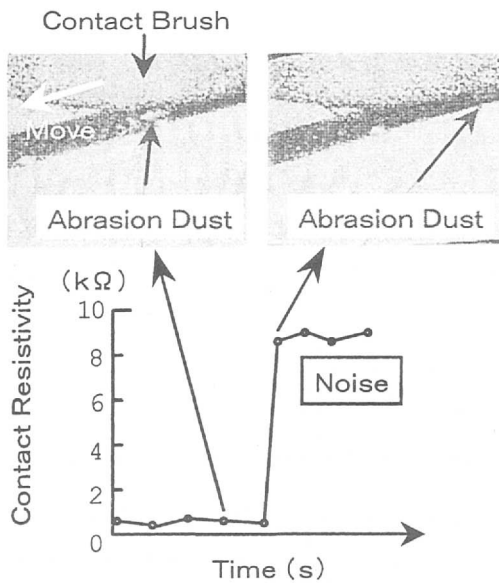


Fig. 6 Observation of the noise output

### 3.2 摩耗粉の粘着性解析

Table 1 に示した吸着成分が、それぞれ、摩耗粉の粘着性にどの程度影響するか、これらの各成分を接点室内に封入し、摺動表面に積極的に吸着させ、摩耗粉の粘着力を測定した。摺動試験は、120°Cの環境温度下で100万回行った。この摺動試験後に、Fig. 7 に示すように、一本の圧子にて荷重を変化させ摩耗粉上をクロスし、接触抵抗が安定した荷重（摩耗粉が払拭できた荷重：図中P）を測定し、粘着力の指標とした。結果を Fig. 8 に示す。吸着する成分により摩耗粉の粘着力は大きく

変化することが確認できた。従って、摩耗粉の粘着性がブラシの接圧荷重より大きくなることで、摩耗粉の堆積を加速させると考えられる。

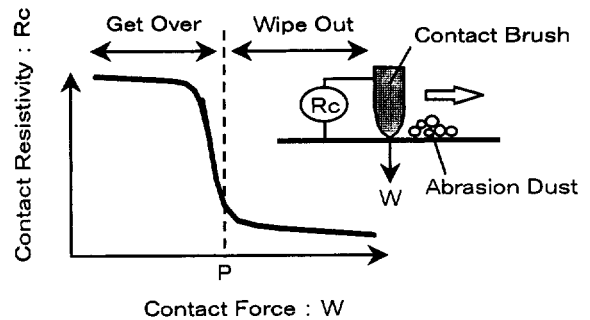


Fig. 7 Schematic view of stickiness measurement

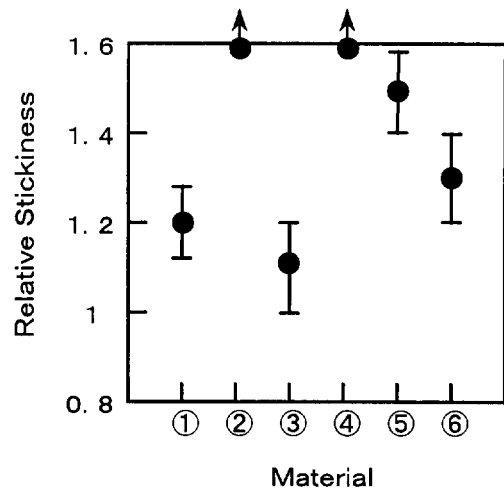


Fig. 8 Influence of the adsorption on the stickiness of abrasion dust

## 4. 寿命向上検討

本研究でのノイズ発生メカニズムに基づく、寿命を向上させるには、下記観点での改良が効果的と考えられる。

- ①ノイズ発生源である抵抗体摩耗量の低減
- ②摩耗粉の粘着性の低減（払拭性の向上）

これらには、当然コンタクトの影響も大きいと考えられるが、今回は、主として、抵抗体材料および界面での検討結果について以下述べる。

### 4.1 抵抗体摩耗量の低減

一般的に、抵抗体の摩耗量は、下記式で表現される<sup>2)</sup>。

$$V \propto \frac{\mu \cdot W}{H \cdot \epsilon} \quad (1)$$

ここで、 $V$ 、 $\mu$ 、 $W$ 、 $H$ 、 $\epsilon$ はそれぞれ、摩耗量、摩擦係数、荷重、硬度、伸びである。従って、抵抗体

材料物性として、硬度、伸び（引っ張り強度）を向上させればよいと考えられるが、本研究では、その表面微小硬度を評価し、硬度増大による摩耗量低減を試みた。

摺動抵抗体の主成分は、バインダー樹脂である熱硬化樹脂と導電成分であるカーボン材料である。抵抗体の硬度を増大させる材料設計手法は、種々あると考えられるが、本研究では、まず、ベースとなるバインダー樹脂そのものの硬度を増大させることを検討した。その結果、バインダー樹脂としてフェノール樹脂を選定した。次に、カーボンについては、抵抗体の体積固有抵抗値を変えずに抵抗体中のカーボン含有量を増大すること、さらに、複合材として最も弱いのは、樹脂とカーボンとの界面であるため、樹脂とのぬれ性を向上することを検討した。カーボンブラックは、その粒子形状、表面化学的性質により、様々なグレードが存在

する<sup>3)</sup>。前述の狙いを達成するためには、カーボンの凝集単位であるストラクチャーは小さく、また、カーボン表面の官能基量は多い方向と考えた。

Fig. 9 に、今回検討したカーボンのストラクチャーと表面官能基量を示す。図中のカーボン材料について、フェノール樹脂中に分散し、摺動抵抗体として検討した。結果を Fig. 10 に示す。材料設計の狙いどおり、抵抗体硬度を増大させることにより抵抗体の摩耗量を低減できることが確認できた。しかしながら、抵抗体の硬度が高すぎるとコンタクトの摩耗が大きくなるため、開発品は、総合的にバランスのとれた硬度（図中）に設定した。

4.2 摩耗粉の粘着力の低減

摩耗粉に作用する粘着力は、摺動表面と摩耗粉表面における相互作用力であると考えられる。現状は、摩耗粉そのものの粘着力に加え、表面に吸着した有害成分により、さらに粘着力が増大した状態にあることから、粘着力を低減するには、まず、ポテンシオメータを構成する材料中から粘着力を増大させる有害成分を除去することが必要である。この改良に加え、さらに、摩耗粉の粘着力を低減するためには、摩耗粉および摺動表面を不活性で安定な状態にすれば良いと考えられる。これは、抵抗体摺動表面に、積極的に、表面エネルギーの低い物質を介在させ、この物質が、発生した摩耗粉表面および摺動面に吸着されることで達成できると考えられる。そこで、抵抗体表面に極薄いフッ素オイル（パーフルオロポリエーテル）の吸着膜を形成することを検討した。しかしながら、フッ素オイルは、もともと絶縁物質であるため、コンタクトと抵抗体界面に厚い油膜が形成されると、それ自体で接触抵抗が増大してしまう。これは、オイルの塗布量そのものにも起因するが、ストライベック曲線<sup>4)</sup>で示されるように、コンタクトのすべり速度が大きくなると、コンタクトと抵抗体界面にオイルが凝集し、油膜が生成されやすくなる現象が現れ問題となる。本研究では、種々の分子構造を有する PFPE を用い、分子構造による上記現象への影響を調査した。一例として、Fig. 11 に、コンタクトのすべり速度に対する接触抵抗変化を示す。すべり速度の増大に対して、分子末端に極性基を付与したタイプの PFPE は、安定した接触抵抗を示すことがわかる。これは、側鎖、直鎖の構造差よりは、分子末端の極性基により、抵抗体との密着性が向上したことがオイル分子の凝集を抑制している効果と考えられる。このオイルを塗布した抵抗体の摩耗粉の粘着性評

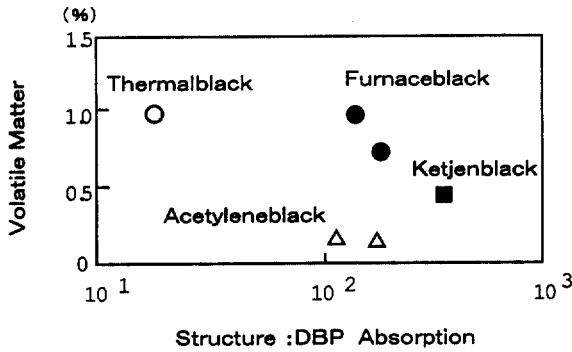


Fig. 9 Characteristic of carbon

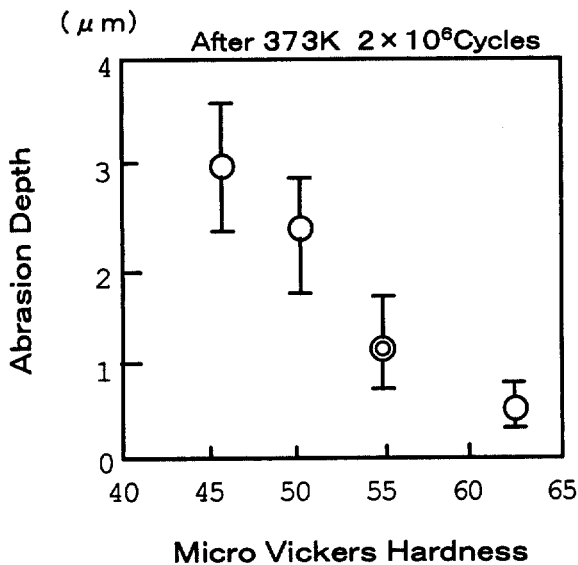


Fig. 10 Effect of resistor hardness on abrasion depth

価結果を Fig. 12 に示す。吸着成分を除去し、さらにフッ素オイル吸着膜を形成することにより、摩耗粉の粘着力を大幅に低減できることが確認できた。

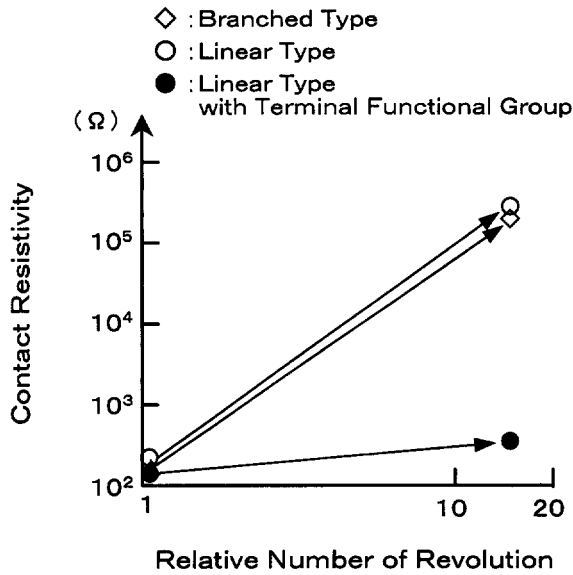


Fig. 11 Stability of contact resistivity for number of revolution

(Viscosity of PFPE ; 20~50 cSt at 313K, contact force ; constant.)

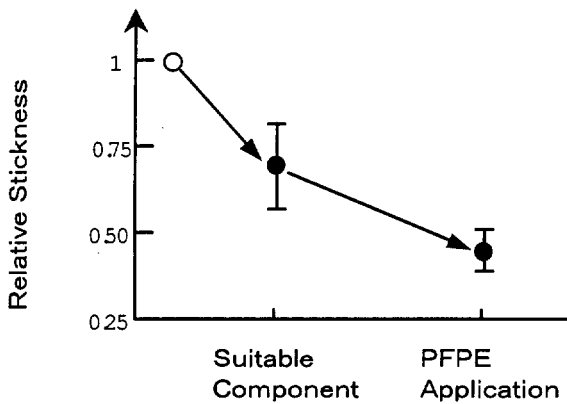


Fig. 12 Effect of PFPE application on reduction of abrasion dust stickiness

#### 4.3 寿命評価

今回検討した摩耗量の低減および摩耗粉の粘着性改善による効果により、ポテンショメータの寿命は、従来のものに比べ、5倍以上に向上できることを確認した。

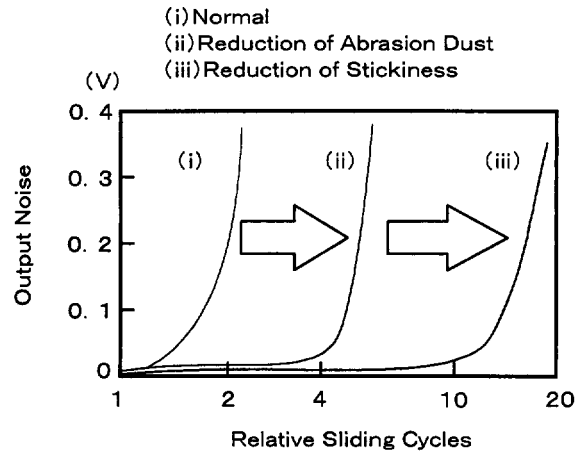


Fig. 13 Reliability of potentiometer at 393K condition

#### 5. まとめ

自動車用ポテンショメータに使用される摺動抵抗体の課題であったノイズ発生メカニズムを解析し、以下の点が明らかになった。

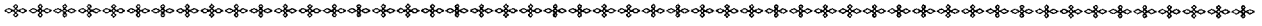
- (1) 摺動により発生した摩耗粉は、カーボンが分離し、樹脂のみの絶縁物として挙動するため、コンタクトが摩耗粉に乗り上げるとノイズが発生する。
  - (2) 摩耗粉および摺動面に、ポテンショメータ構成材料からの揮発成分が吸着し、摩耗粉の粘着性が增大するため、コンタクトが乗り上げやすくなる。
- 上記メカニズムにより、抵抗体の硬度増大による摩耗量低減、および、抵抗表面へのフッ素オイル塗布による摩耗粉払拭性向上が、寿命向上に効果があることを確認した。

謝辞

本研究において、分析面で多大な御協力、御助言をいただいた豊田中央研究所に深く感謝いたします。

#### <参考文献>

- 1) 村井高人ほか：マルチワイヤ型摺動接点の高寿命化技術，自動車技術会学術講演会前刷集 912 (1991)。
- 2) Mituru Saitou : Long life potentiometric position sensor.
- 3) カーボンブラック便覧，カーボンブラック協会
- 4) 桜井俊男：潤滑の物理化学，幸書房。



〈著 者〉



都外川真志 (ととかわ まさし)

生産技術開発部  
機能厚膜材料の開発に従事。



鈴木 治彦 (すずき はるひこ)

機能品技術部  
自動車用回転位置センサの設計に  
従事。