

接触式ポジションセンサ用抵抗基板の開発

Development of Contact type Resistance Plate for Position Sensor

大 田 典 宏* 森 山 正 人* 亀 山 勉*
Norihiro Ohta Masato Moriyama Tsutomu Kameyama

要 旨

接触式ポジションセンサに用いる抵抗基板は、テレビ・ラジオなどの家電製品用のボリュームとしてその使用の歴史は古く、技術的に確立されている。しかし、車載用としては、エンジンの高回転高出力化に伴い、振動・熱等の環境条件が厳しさを増している。その様な状況下に於いて、ボンネット内に装備される接触式ポジションセンサ、中でもスロットル開度センサ（以下スロットルセンサ）に対しては信頼性、耐振性の向上が求められている。

本論文では、上記状況をふまえて開発した、高い信頼性を持ち、且つコストの低い抵抗基板の開発について報告する。

ABSTRACT

The resistance plate used with contact position sensors is an established technology often used in electric appliances. The volume component in radios and TVs is such an example.

Its application to automotive components has an additional challenge of withstanding rigorous conditions such as vibration and heat. As the engine becomes capable of higher revolution and higher power output, these conditions become even more extreme. Under such circumstances the contact position sensors are required to have a higher degree of reliability. The throttle angle sensors, in particular, must have a high degree of vibration resistance.

1. ま え が き

接触式ポジションセンサとは、回転又は移動する被測定物と連動したブラシが抵抗体上を摺動し、その時の抵抗値変化から位置を測定する一種のポテンショメータである。筆者等は、この中でも車載用として信頼性向上の要求が高いスロットルセンサにターゲットを当てて開発を行った。抵抗基板の構造を図1、抵抗体、導電体パターンを図2に示す。

本論文では、抵抗基板の製造概要と構成材料の特長を紹介し、更に性能、耐振性向上のポイントとなる抵抗ペーストの製法と印刷について主に論じる。

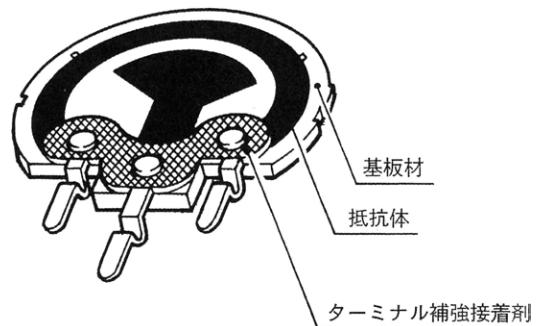


図1 抵抗基板外観図

* 朝霞北研究所

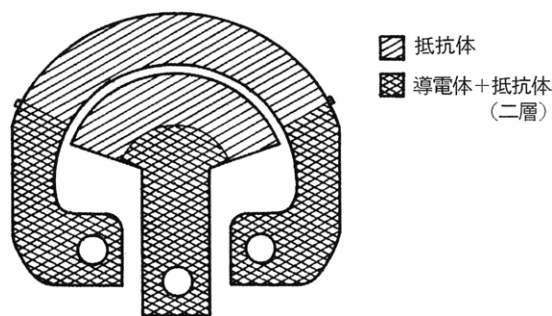


図2 パターン図

2. 開発の狙い

スロットルセンサ用抵抗基板として、次の狙いをもって開発した。

- (1) 今後のエンジンの高回転高出力化に対応可能な耐振性を有すること。
- (2) ボンネット内の温度・湿度などの雰囲気に対して耐久性（以下耐環境性）を有すること。
- (3) 電気性能 {全抵抗、抵抗値の直線性（以下リニアリティ）等} が保証されること。
- (4) 製法が簡素であること。

3. 製法の概略

抵抗基板製造工程を本開発品と従来品との対比で示したものが図3である。

従来品では耐振性を満足させる為、例えば金属

鏡面板の表面を抵抗体の表面に転写し平滑化を計る「転写法」を採用している。しかし、その工程で抵抗体を圧縮する為、抵抗体の均一膜厚化が困難となり、抵抗値を修正するトリミングが不可欠であった。

本開発では、十分な耐振性を得る材料構成を行った結果、転写工程を省略することが可能となった。又、電気性能保証については、転写工程をなくしたことと、それに伴う印刷条件の最適化で対応した。従って、工程が簡素で耐振性のある抵抗基板の製造が可能となった。

4. 材 料

4.1. 基板材料

抵抗基板の耐振性或耐環境性を向上させるには、抵抗体だけでなく、その支持体となる基板材の特性が重要な要因となる。表1に示す様に、耐熱性、

表1 基板材特性表

	ガラスクロス入り ポリイミド系	ガラスクロス入り エポキシ系
耐 熱 性 ガラス転移点 (°C)	200以上	120 ~130
曲げ強度 (kg/mm ²)	60	45
耐マイグレーション性 85°C/80%RH300VDC	2000Hr以上 劣化なし	400Hr で絶縁 抵抗50%低下

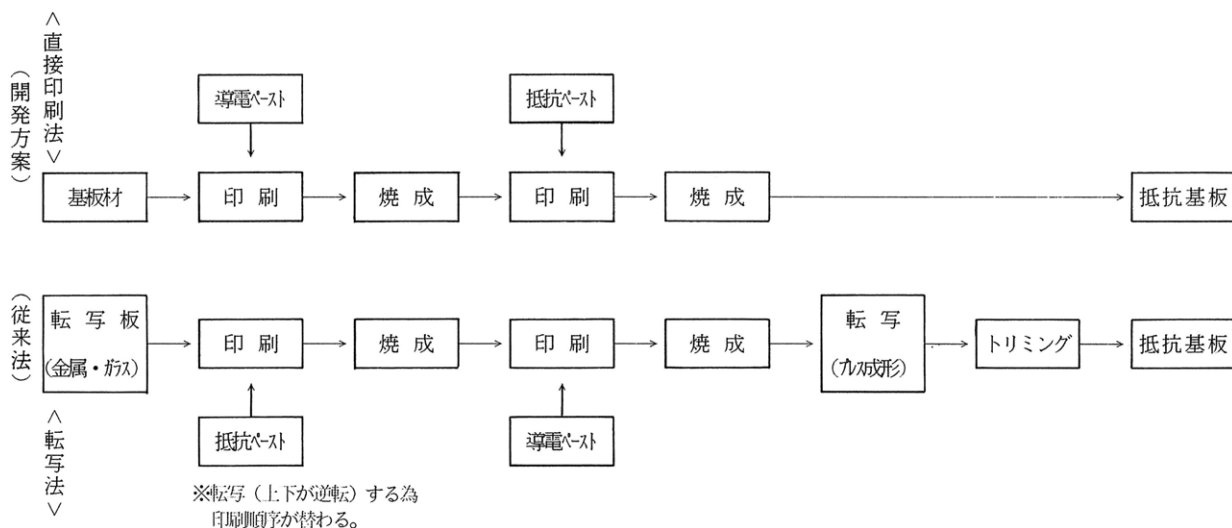


図3 抵抗基盤製造工程

強度及び耐マイグレーション性の優れたポリイミド系のガラスクロス入り積層基板を選定した。

4.2. 抵抗ペースト材料

抵抗ペーストとは、主に厚膜抵抗体の用途で用いられるもので、導電体及びその導電体間を結び付けるバインダにより構成される材料である。

用途別に大別すると次の二種がある。

(1) セラミックペースト

ハイブリッド IC の印刷抵抗体、半固定式ボリューム（トリマ）など

(2) 樹脂ペースト

ボリューム、ポテンショメータの抵抗体、電磁波シールド用塗料など

スロットルセンサ用として合致するのは樹脂ペーストであるが、市販品では抵抗体摩耗の激しいことが分った。ブラシの耐摩耗性には限界がある為、耐摩耗性の優れた樹脂ペーストを新たに開発することとした。

樹脂ペーストを作製する上で必要な主たる材料構成は次の通りである。

- (1) バインダ（液状樹脂）
- (2) 導電材（カーボン・ブラック）
- (3) 添加剤（分散促進剤）
- (4) 減摩材

4.2.1. バインダ

バインダは耐摩耗性を向上させる上で最も重要な構成材料である。樹脂そのものの耐摩耗性能に加え、カーボンの易分散性と優れた印刷性が要求される。

表2 に示す4種類の樹脂でテストを行った結果分散性、印刷性、耐摩耗性の優れたフェノール系樹脂を選定した。

4.2.2. 導電材

導電材は所定の抵抗値を得る為に用いるが、抵抗体の剛性にも貢献している。樹脂ペースト用導電材として大別すると、ファーンেস系とアセチレン系があるが、導電性、分散性に優れたアセチレン・ブラックを選定した。

表2 バインダ選定テスト結果

		分散性	印刷性	耐摩耗性
1	フェノール系樹脂	良	良	良
2	ポリイミド①	良	良	否
3	ポリイミド②	良	可	否
4	ナイロン	否	否	—

アセチレン・ブラックには以下の特徴点がある。

- (1) ストラクチャ（連鎖構造）が高度に発達している為、他のカーボンに比較して低濃度で抵抗値を下げられる。
- (2) ストラクチャ間の凝集力が小さく、バインダ中での分散性が良好である。

4.2.3. 添加剤

導電材の均一分散を化学的に促進させる目的で、界面活性剤と分散剤（カップリング剤）を添加した。

a. 界面活性剤

界面活性剤はバインダに作用し、分散性を向上させる。6種の界面活性剤でテストを行った結果、表3 に示す様に、分散性及び抵抗値の経時変化を抑制する効果の高いシリコン系を選定した。このような効果は界面活性剤の次の働きによる。

- (1) 導電材の濡れ性向上
- (2) 印刷時の帯電防止
- (3) 泡立ち抑制

b. 分散剤

分散剤は無機材料と有機材料を複合させる場合、両者の親和性を改善し複合材としての機能を高め

表3 界面活性剤選定テスト結果

		分散性	抵抗値の経時変化
1	シリコン系①	良	良
2	シリコン系②	良	可
3	フッ素系①	可	可
4	フッ素系②	可	否
5	両性系	可	否
6	特殊高分子系	可	否

表 4 分散剤選定テスト結果

		分散性	抵抗値の経時変化
1	チタネート系①	良	良
2	チタネート系②	良	可
3	チタネート系③	可	可
4	シラン系①	否	否
5	シラン系②	否	否
6	アルミ系	可	否

る効果がある。6種の分散剤でテストを行った結果、表4に示す様に、分散性及び抵抗値の経時変化を抑制する効果の高いチタネート系①を選定した。

4.2.4. 減摩材

耐摩耗性をさらに向上させる為、二十数種の減摩材を添加して摩耗テストを行い、高純度アルミナ (Al_2O_3) を選定した。アルミナの減摩効果は以下の働きによる。

- (1) アルミナの持つ硬さが抵抗体を補強する。
- (2) 酸化物にはポリマーの架橋促進効果があるとされている。⁽¹⁾ 従って、アルミナの添加により三次元構造がより強固となり、強度を増して耐摩耗性向上につながる。

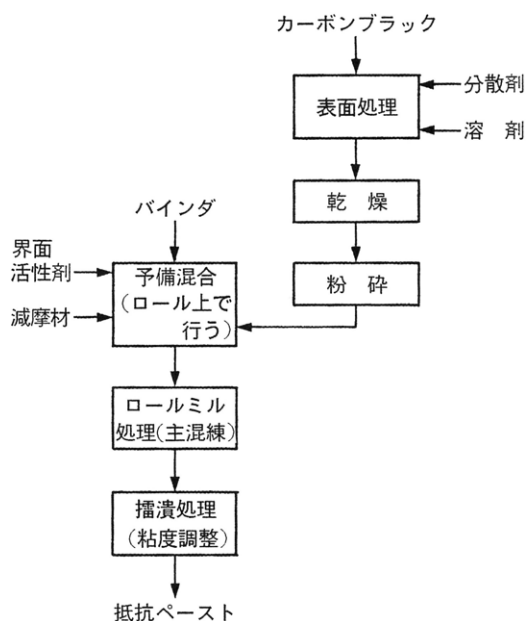


図 4 分散工程

5. 分散工程

カーボン・ブラックは、微粒子間に働く電氣的引力により、粒径バラツキの大きな凝集体を形成している。抵抗値バラツキ及び耐摩耗性向上の観点から、この凝集体の粒径及び粒径バラツキをより小さくした状態でバインダ中に均一分散させることが重要ポイントとなる。

分散を行う混練機には多くの種類がある。この中でも、カーボン・ブラックの凝集体を破壊する能力に優れ、取扱いの容易なロールミル機を主混練用とした。又、粘度調整及びカーボン・ブラックの表面処理用として播潰機（らいかいき）を採用した。

分散工程を図4に示す。混合はロールミル上で行う。バインダ、界面活性剤、減摩材、表面処理されたカーボンの順で加え、一定時間混合する。最後に播潰機で粘度調整を行う。

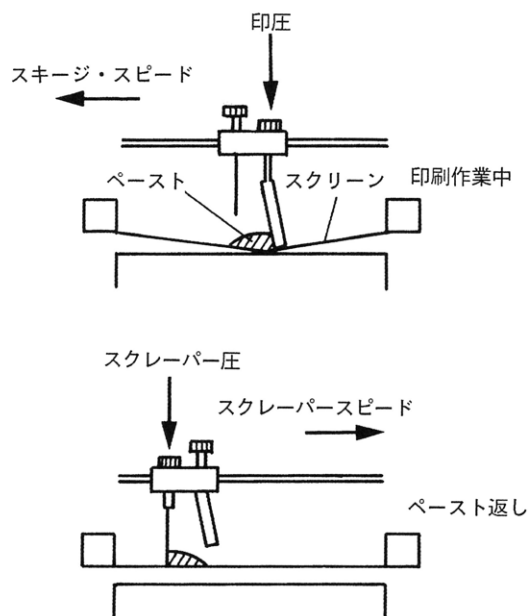
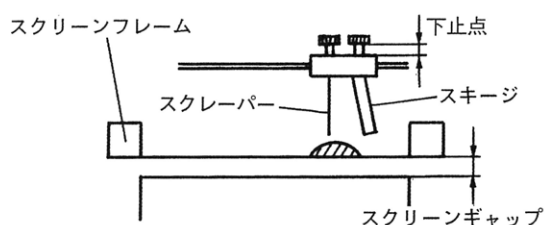


図 5 印刷工程

6. 印刷工程

作製した抵抗ペーストを基板に印刷する工程では、厚膜印刷で一般に用いる精密スクリーン印刷機を用いる。

その主な特長は次のとおりである。

- (1) 抵抗ペーストの厚膜印刷が可能である。
- (2) 多種類の印刷用ペーストに適用可能である。
- (3) 被印刷物の形状が自由である。

図5に印刷工程を示す。

所定の電気性能(全抵抗・リニアリティ)を得る為には、印刷条件を最適化し、パターンの位置精度と形状の再現性及び膜厚の均一化を達成しなければならない。表5は項目別の管理ポイントであり、主な管理ポイントと全抵抗の関係を図6～図10に示す。これらとリニアリティを含めたデータから各条件を決定した。

表5 印刷工程管理ポイント

項 目	管理ポイント	項 目	管理ポイント
環 境	清浄度	印刷機 条 件	スキージ・スピード
	温 度		印 圧
スクリーン	湿 度		スキージ下止点
	メッシュ材質 番 手 織り方 乳 剤 乳剤厚 張 力		スクレーパー・スピード
			スクレーパー圧
			スクレーパー下止点
			スクリーン・ギャップ
			スキージ・アタック角度
スキージ	材 質 硬 度 厚 み	ペースト	パターン位置決め
			粘 度
			保管状態

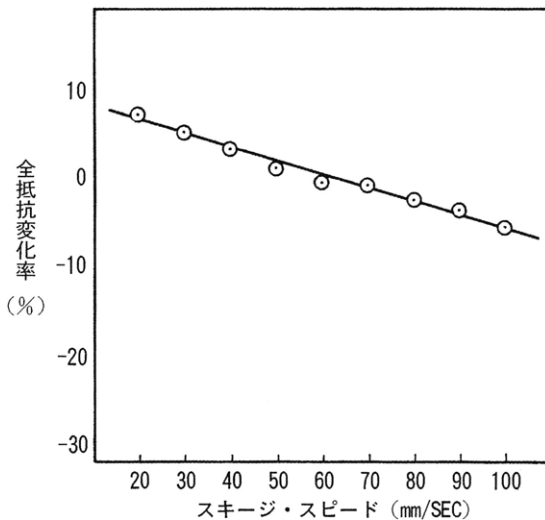


図6 スキージ・スピード～全抵抗

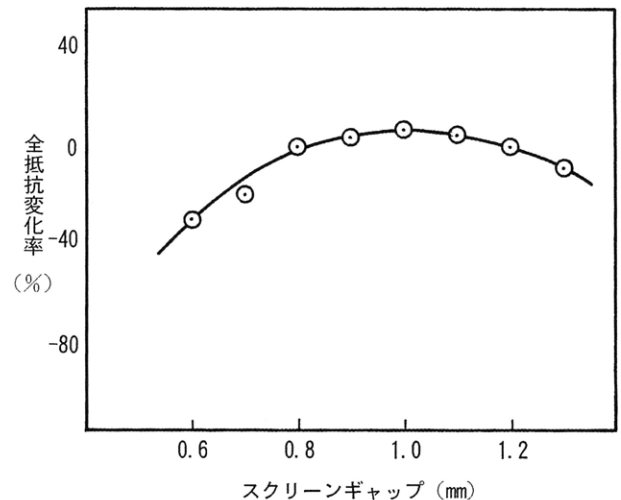


図8 スクリーンギャップ～全抵抗

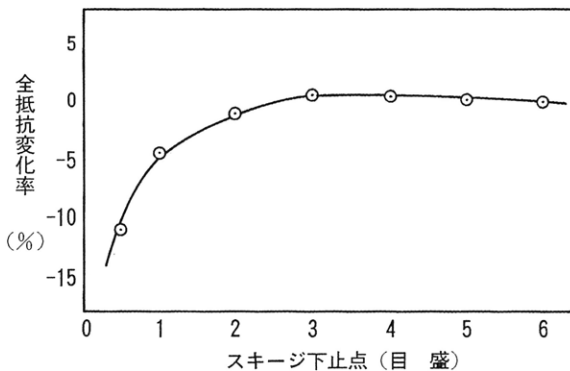


図7 スキージ下止点～全抵抗

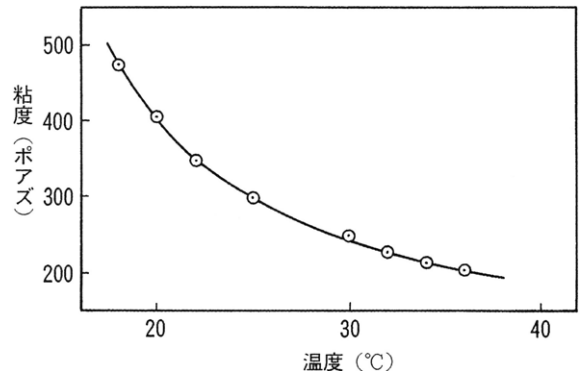


図9 温度～ペースト粘度

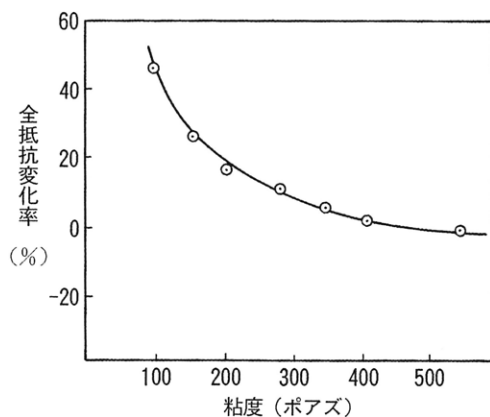


図 10 ペースト粘度—全抵抗

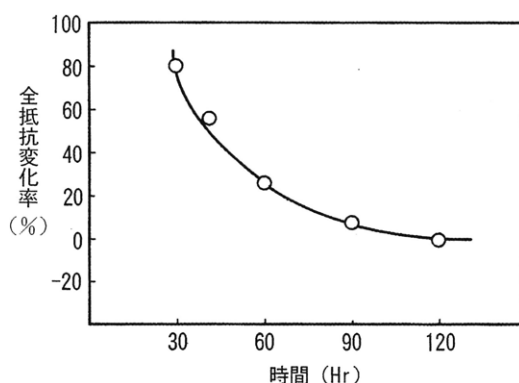


図 11 全抵抗の時間依存性

表 6 電気性能比較表

	開 発 品	従 来 品
リニアリティ	± 0.8%	± 2.0%
全 抵 抗 バ ラ ツ キ	± 6.0%	± 8.0%
出力温度変化	0.1mV/°C	0.2mV/°C

7. 焼 成 工 程

印刷した導電ペースト及び抵抗ペーストは、温風循環式の恒温槽中で硬化させた。以下、抵抗ペーストの硬化条件について説明する。

抵抗ペーストの硬化はバインダ樹脂の反応性に依存するが、本開発で選定した樹脂は一般のフェノール樹脂に比較し反応速度がやや遅い。従って、硬化後の抵抗体の諸性質を安定させる為、図11に示す様に全抵抗の硬化時間依存性を確認し、抵抗値が安定になる領域で条件を設定した。

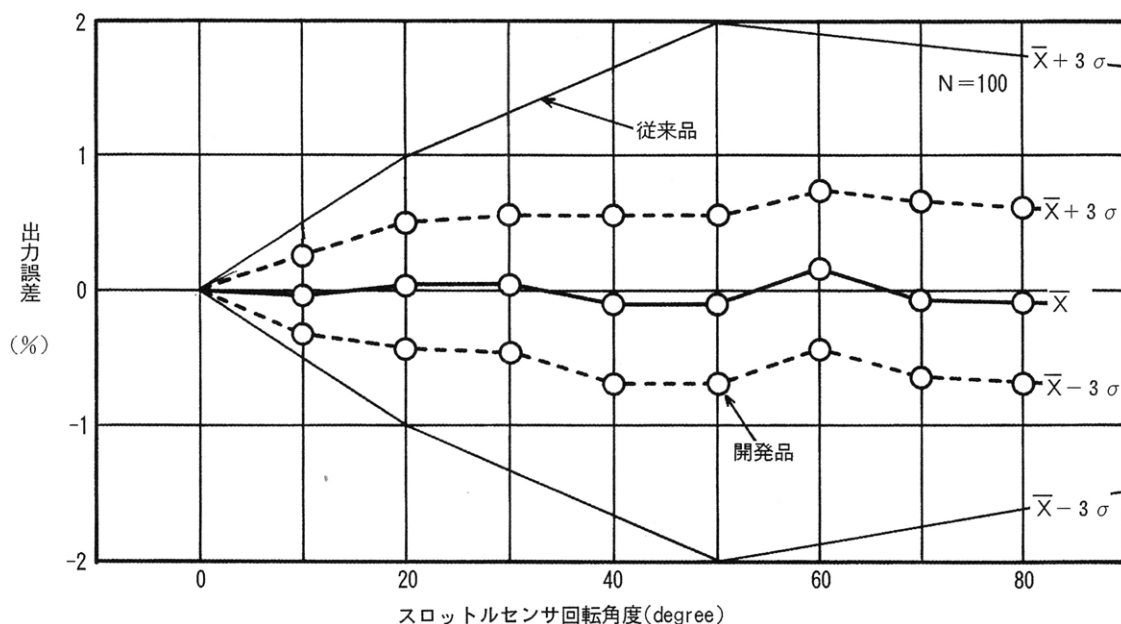


図 12 開発品のリニアリティ

8. 信頼性

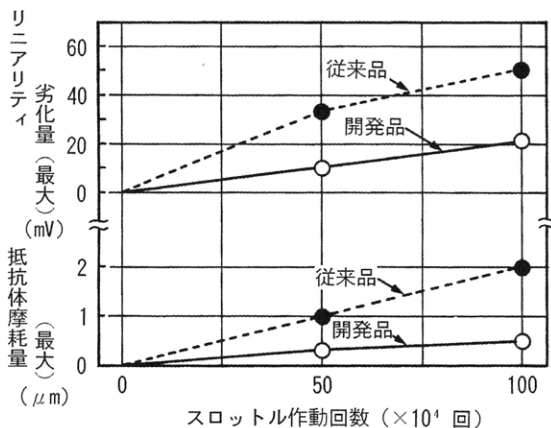
8.1. 電気性能

スロットルセンサに要求される電気性能には、リニアリティ、全抵抗バラツキ及び出力温度変化があるが、表6に示す様に、本開発品は従来品より優れている。特にリニアリティは、図12の如く、トリミングがなくても従来品と比較してバラツキが1/2以下という優れた性能を示す。

8.2. 耐久性

スロットルセンサに要求される耐久性には、表7に示す様に、耐振性、耐熱性、耐湿性、耐Fuel性等があるが、耐振性はもとより、耐環境性改良の観点からも材料選定を行った結果、実使用条件では全ての項目で従来品と同等以上の信頼性を達成できた。

耐振性は、抵抗体とブラシの接触部がエンジン振動により強制的に高速摺動する為に要求される特性である。スロットルセンサの使用環境のシミュレーションを行って決めた耐久テストを実施した結果、図13に示す様に、本開発品の抵抗体摩耗量及びリニアリティ劣化量は、共に従来品に対し1/2以下になり優れた特性が確認された。



振動条件: 30G

温度条件: -30℃ ~ +120℃

使用ブラシ: 貴金属系6元合金

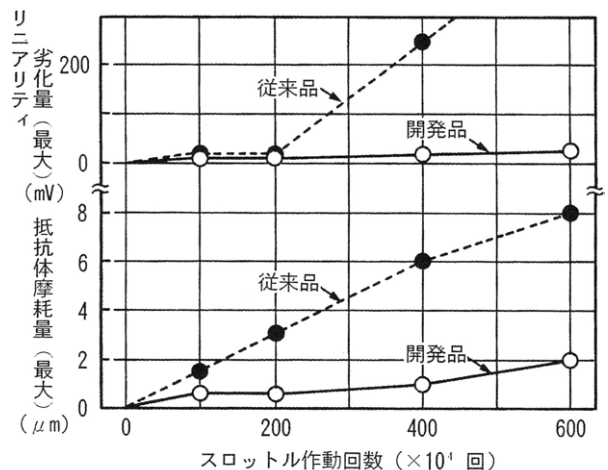
作動スピード: 60回/分

図13 耐振性比較

表7 耐久性比較表

		開発品	従来品
耐振性	抵抗体摩耗	0.3 μm	2.0 μm
	リニアリティ変化	15mV	25mV
耐熱性	全抵抗変化	9%	12%
耐湿性	全抵抗変化	5%	9%
耐Fuel	全抵抗変化	1%	10%

又、耐振性向上の証明として摩耗限界性を確認した結果を図14に示す。従来品はスロットル作動400万回が限度であるのに対し、開発品は600万回に至っても抵抗体摩耗量及びリニアリティ劣化量にほとんど変化がなく、優れた摩耗限界性を示した。



温度条件: 室温

使用ブラシ: 貴金属系6元合金

作動スピード: 130回/分

図14 耐摩耗限界性比較

9. ま と め

以上述べた様に、スロットルセンサ用抵抗基板のエンジン振動に対する耐久信頼性向上を目的として、特に抵抗ペーストの材料選定(バインダ、導電材、添加剤、減摩材)及び製法の最適化を重点に開発した。その結果、従来品に対し、耐久信頼性、リニアリティ特性共に2倍以上の優れた性能を持つスロットルセンサ用抵抗基板を開発することができた。

表面平滑化によって耐久信頼性の向上を狙う従来の「転写法」は、電気性能を確保する為にトリミングを行う必要があった。しかし、本開発では抵抗体自身の耐摩耗性を改良した結果、工程が簡素な「直接印刷法」を用いて抵抗基板を作製することが可能となり、性能の向上とコストの低下という抵抗基板にとって相反する要素を同時に満足する新しい抵抗基板を開発することができた。

10. あと が き

抵抗ペーストは、ポリウムメーカーやペーストメーカーの一部で製造・販売されている。しかし、抵抗ペーストを含め抵抗基板の市場実績のほとんどは民生用である為、そうした既存技術で作製された市販ペーストを使用する限り、大巾な性能向上は得られない。従って、本開発に当っては抵抗ペーストの作製から開始し、材料の進歩、装置の改良が進んでいることから、新技術の取り込みによって可能と考えた。

しかしながら、理論的考察が難しく、相性という言葉で説明されることが多い開発ではあったが、高信頼性を有した抵抗基板を完成させることができた。

参 考 文 献

- (1) 村橋俊介等、“プラスチックハンドブック”
朝倉書店出版 P.140

■ 著 者 ■



大 田 典 宏



森 山 正 人



亀 山 勉