

氏 名	石 野 正 和
授 与 学 位	工 学 博 士
学位授与年月日	昭和63年6月8日
学位授与の根拠法規	学位規則第5条第2項
最 終 学 歴	昭和46年3月 北海道大学工学部応用物理学科卒業
学 位 論 文 題 目	非封入形通信用接点の使用環境と接触抵抗の安定化に 関する研究
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 高木 相 東北大学教授 村上 孝一 東北大学教授 潮田 資勝 東北大学教授 渡邊 眞 東北大学教授 内田 勇

## 論 文 内 容 要 旨

最近の電子機器の発達には目覚ましいものがあり、特に電子計算機やVTR等に象徴されるように、その機器構成は複雑化する一方である。反面、これ等の機器には高度な信頼性が要求されており、その信頼性の多くの部分は電子回路のLSI化によって達成されている。しかしLSIの信頼性向上に追従できないでシステム中での故障率が顕在化している電子部品もある。このような部品の一つがリレーやコネクタを代表とする非封入形の通信用電気接点である。電気接点の接触安定化に関する研究は古くから行われているが、接点の使用される環境が電氣的にも、機械的にも、また周囲雰囲気的にも年々大きく変化してきているために、従来の接点技術では十分に対応できない問題が発生している。そこで、本論文では従来の接点技術では十分に解明されていなかった非封入形通信用接点の使用環境と接触抵抗の不安定要因を解析し、接触抵抗の安定化、即ち、電気接点の信頼性向上を行った結果について述べる。

### (1) 有機ガス雰囲気の問題

最近の20~30年間における有機材料の進歩は目覚ましく、リレーの構成材料としても従来になかった多くの種類の有機材料が使用されている。

これ等有機材料から揮発してくる低分子の有機ガスが接触抵抗に与える影響は大きく、本問題の解析を行った。

この結果、有機材料がカーボンを主体とするものであれば接触抵抗の増加は10オーム程度に抑制されるが、有機シリコンを主体とする場合は接点表面に抵抗率の大きなシリカが生成されて接触抵抗が桁違いに大きくなることを明らかにした。また、これ等接点表面上の付着物をX線マイクロアナライザにより組成分析した結果、シリカとカーボンの組成比が40%を越えると接触不良になりやすいことを見出した。一方、これらの故障現象は接点の開閉頻度を単純に大きくした場合、接点に吸着される有機ガスの量が減少して、接点表面に生成される付着物の量が減少するために、反って有効な加速試験とはならない。実際の故障に近い接点の開閉回数で接触不良を再現するためにはガス試験の濃度と関連した最適な開閉頻度がある。

#### (2) 塵埃の問題

従来、塵埃濃度と接触不良の発生確率の間にはある種の相関関係があると考えられていたが、必ずしも実証的なデータはなく不明確な点が多かった。本研究では塵埃の種類として砂塵（粒径10～20 $\mu\text{m}$ のシリカ粉）を用い、塵埃濃度と接触不良の発生確率の間に図1のような正比例の関係があることを明らかにした。また、塵埃による故障の発生確率は従来偶発的なものと考えられていたが、長期間の使用では接点表面に砂塵の微粒子が蓄積されて故障の発生頻度が増加する摩耗故障形になることを明らかにした。更に上記の結果を用いてリレーの高信頼度使用基準の確立に役立てた。

#### (3) 腐食性ガスの問題

非封入形の電気接点は周囲雰囲気中に含まれる腐食性ガスによって接触抵抗の安定性を著しく害されるが、特に冷却ファン等のガス流速の速い場所で使用される接点ではこの傾向が顕著に生じる。そこで、腐食性ガスの流速が接点材料の腐食に与える影響を調べて図2の結果を得た。即ちCuの腐食は $\text{H}_2\text{S}$ 単一ガスの流速の0.28乗に比例し、混合ガス（ $\text{H}_2\text{S} : \text{SO}_2 : \text{NO}_2 = 1 : 10 : 10$ ）の0.6乗に比例する。また、本結果は流体力学を用いた物質の移動理論で説明できることを示した。

一方、本結果の応用として一般大気中におけるガス腐食の加速試験装置を開発した例やスライドスイッチの寿命改善に役立てた例を示した。

#### (4) 硫酸アンモニウム状生成物の問題

電話交換機用に開発されたXS形スイッチでは接点表面に硫酸アンモニウム状物質が生成されて雑音発生の原因となった。そこで、この物質の生成原因を調べて雑音発生の防止対策を行った。

この結果、従来最も耐食性に優れ触媒作用も小さいと思われたAu接点においても $\text{NH}_3$ 、 $\text{NO}_2$ 、 $\text{SO}_2$ を含む雰囲気中では接点の触媒作用により硫酸アンモニウム状物質が生成されることを見出した。この硫酸アンモニウム状物質はガス濃度や湿度に比例して生成量が増加する反面、接点の加工歪を除去したり、AuAu1合金接点を使用することにより生成量が減少することを見出した。また硫酸アンモニウム状物質を破壊して良好な電氣的接触を得るためには接点表面に微小な凹凸を付けるドライホーニング処理が有効であることも見出した。

#### (5) Auめっき接点の問題

高信頼度を必要とする産業用電子機器ではAu接点を使用するケースが多い。しかし、機器のコストを低減するためにAuの使用量は減少する傾向にあり、特にコネクタではめっき接点として薄層

化して使用される場合が多い。めっき接点ではピンホールに腐食物が発生し、この腐食物が接触抵抗の安定化を阻害する要因となっている。この現象を解明するために Energy dispersive X-ray analyzer を用いて腐食物のマイクロな部分の厚さと組成を調べると共に、10  $\mu\text{m}$  間隔で接触抵抗の面分布が測定できる装置を開発して接触抵抗の測定を行った。この結果、腐食物は中心部分が厚く周辺に行くに従って薄くなると共に、組成的にも抵抗率の大きな銅の酸化物が中心部分程多いことを明らかにした。このために接触抵抗の値は周辺から中心に行くに従って大きくなる。しかし、中心部分での接触抵抗は接触力が200g 以上あれば5 オームを越えないことも分かった。

即ち、通常の電子回路中ではコネクタの継続的な接触不良は発生し難いことを明らかにした。

#### 6) コネクタの雑音発生原因

A Uめっきコネクタはピンホールの腐食のみでは継続的な接触不良となりにくいことがわかった。しかし、実際の装置ではコネクタの接触不良に起因すると思われる故障が多発している。これは接触不良の原因が接触抵抗の増加のみならず、振動や衝撃という外部の別なストレスとの複合により発生する結果である。この種の複合ストレスによる故障は瞬時にして故障状態から回復するインターミット不良となりやすく、故障原因の解明が極めて困難である。そこで本研究ではコネクタの静的な接触抵抗と衝撃を印加した時の動的な接触抵抗である雑音の発生量との関係を調べ、以下の結論を得た。

図3 に示すようにコネクタの静的な接触抵抗が30m  $\Omega$  を越えると雑音の発生量が増加することが分かった。これは従来小さな接触抵抗の増加で不良と判定していたコネクタの選別基準にも実際の故障が生じることの根拠を与える重要なデータである。また、雑音の発生量は衝撃力の3乗に比例して増加することも見出した。一方、雑音の発生モデルとして衝撃印加時の接触力の変動、接触点の摺動、転動で説明できることも示した。

以上、従来十分に解明されていなかった電気接点の問題点を種々の観点より調べて電気接点の信頼性向上に役立てると共に、コネクタから発生する電気雑音が電子機器の信頼性に大きな影響を与えることも指摘した。

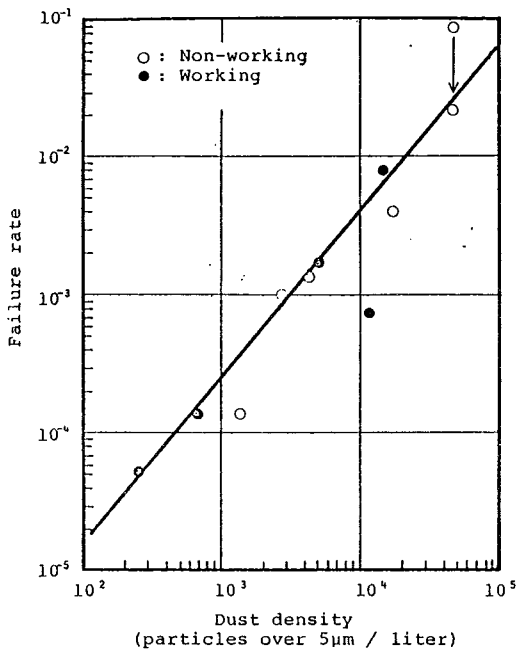


図1 塵埃濃度と接触不良率の関係

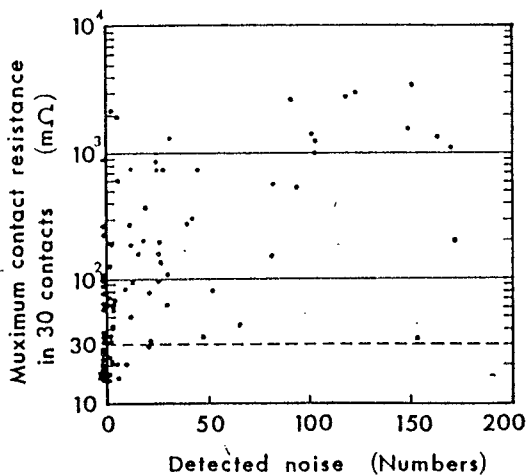


図3 接触抵抗と雑音発生量の関係

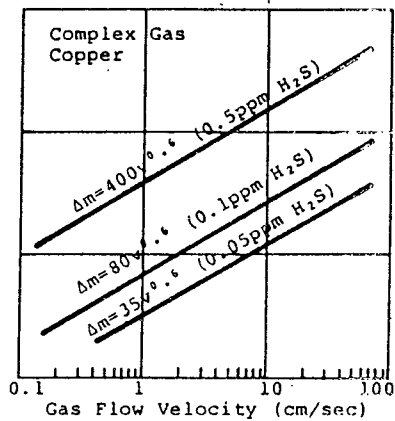
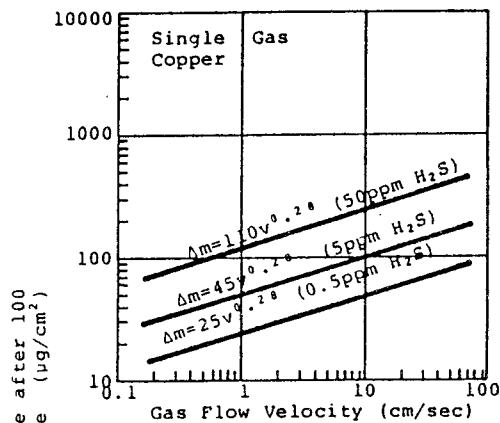


図2 ガス流速が腐食速さに及ぼす影響

## 審 査 結 果 の 要 旨

近年電子・情報機器の発達が目覚ましく、システム化・ネットワーク化による規模の拡大化が進行し、これに伴い大規模電子・情報機器システムには高い信頼性が要求されているが、信頼性を損なう主要因のひとつに電気接点の接触不安定性が指摘されている。著者はこの問題を解決する目的をもって、信号制御用継電器や信号伝達用タネクタ用非封入形通信用接点に関し、これらの使用環境条件と接触抵抗の変動との関連について明確にし、これらの知見を製造技術に反映させて接触抵抗の安定化をはかるとともに、適切な環境試験法を提案した。本論文はこれらの成果をとりまとめたもので全編7章よりなる。

第1章は序論である。

第2章では継電器接点の接触抵抗に及ぼす有機ガスと塵埃の影響を調べた結果について述べている。とくに継電器の構成材料などから放出される有機シリコン系ガスの影響が大きいことと、接触不良の発生率と塵埃の濃度は比例関係にあることなどを明確にしている。

第3章ではCuとAg接点の接触抵抗に及ぼすH<sub>2</sub>Sなどの腐食性ガスの影響について述べている。次いで第4章では、もっともこれまで耐食性が良好であることから、コネクタ等に多く用いられているAuめっき接点について、実使用中にしばしば起こる接触不良現象が、使用環境中に存在するNH<sub>3</sub>、NO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>の混合ガスが原因であることを明らかにし、接触不良現象はAu表面に形成される(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>(硫酸アンモニウム)の影響によって起こることを明らかにしている。ついで、この混合ガスの濃度と接触不良故障に至るまでの時間は、等湿度条件下で、一定の関係にあることを見出し、この関係から、この混合ガスに対するAuめっき接点の加速寿命試験が可能であることを示している。これは実用上重要な知見である。

第5章では、Auめっきのピンホールから腐食物が形成されて起こる接触抵抗の増加現象について述べている。微小部分の接触抵抗分布を種々の接触力のもとで、詳細に測定し、安定な接触抵抗を確保するための接触力の条件を得ている。

第6章では、コネクタに外部から衝撃が加わったときに生ずる一時的な接触抵抗の変動とデジタル電子機器の誤動作との関係を実験的に明らかにし、耐衝撃性を得るための接触力の条件を新しく見出している。

第7章は結論である。

以上要するに本論文は、従来は定量的に検討していなかった、非封入形通信用電気接点の使用環境条件と接触安定性との関係を、多くの実験によって定量化することに成功し、接点の接触安定化に大きく寄与したもので、通信工学ならびに信頼性工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。