

外3~2/

早稲田大学大学院理工学研究科

博士論文概要

論文題目

通信機器用高信頼度接点
設計法に関する研究

申請者

梅 村 茂

Shigeru UMEMURA

平成 3 年 7 月

情報ネットワーク社会を支える通信システム内には多種多様な電気接続技術が用いられている。その技術の基盤をなす電気接点には、多数回の開閉動作条件で使用されるスイッチ・リレー接点や、静止接触で必要に応じて挿抜されるコネクタ・ピンボードスイッチ接点など多様な使用形態があり、各接点の接触信頼性支配要因も使用形態に応じて多様である。本論文は、通信機器用接点の高信頼度化・低価格化、接続部品の高密度化のため、これらの接点について、主に接触信頼性支配要因の解明とそれに立脚した設計に関する研究成果をまとめたものである。

本論文は第1編「雰囲気制御法による高信頼度スイッチ・リレー用封入接点の設計法」、第2編「高密度・経済化静止接点の設計法」、総括で構成され、さらに、第1編は(1)序論、(2)酸素・窒素混合雰囲気における金めっきおよびロジウムめっきリードスイッチ接点の接触抵抗特性と酸化被膜生成、(3)酸素雰囲気におけるAg-Pd系、Au-Pd系接点の接触抵抗特性と酸化被膜生成、(4)雰囲気制御による高信頼度封入接点設計法、(5)貴金属接点の接触抵抗特性に及ぼす二酸化炭素の影響、(6)接点表面分析におけるラマンマイクロプローブの有効性、(7)結論、第2編は(1)序論、(2)コネクタ用貴金属合金クラッド接点の接触抵抗特性、(3)自動化MDF用高密度ピンボードマトリクススイッチの設計、(3)結論で構成されている。以下に各章ごとの概要を述べる。

第1編第1章 序論：封入接点は外部雰囲気の影響を受けにくいいため、高信頼度が要求されるスイッチ・リレーに用いられてきたが、接点封入形スイッチ・リレーはその構造上、接点の開離力・接触力を十分大きくとれないため、接点粘着による開離不良と接触抵抗増大による導通不良が問題点であった。このため、従来の封入接点では粘着・接触抵抗増大防止のため、高硬度の接点を還元性雰囲気中に封入する方法がとられていたが、接点開閉動作に伴う被膜破壊によって露出した清浄表面間の粘着、あるいは雰囲気中の腐食性不純物成分によって生成した被膜による接触抵抗増大は避けなかった。一方、粘着は接点表面に被膜があれば防止でき、また被膜量が少ない場合は接触抵抗増大も避けられる。そこで、酸化性雰囲気により生成被膜量を制御し、粘着防止と接触抵抗増大防止を両立させる新たな封入接点設計法を立案した。本章では以上のような第1編の背景を述べる。

第1編第2章 酸素・窒素混合雰囲気における金めっきおよびロジウムめっきリードスイッチ接点の接触抵抗特性と酸化被膜生成：封入雰囲気と酸化被膜生成の関係を明らかにするため、 N_2+O_2 混合雰囲気中に封入したAuめっき、Rhめっき接点のリードスイッチの走行試験と約10年間の放置試験を行った。その結果、走行試験接点は両接点とも接触抵抗が著しく増大したのに対し、放置試験接点の接触抵抗増大はわずかであった。接点表面分析の結果、走行試験接点接触部のみに酸化被膜が選択的に生成することを見出し、接点の開閉動作が酸化被膜生成を促進することを明らかにした。本研究は、接点開閉動作による被膜生成促進効果を積極的に利用すれば被膜による粘着防止は可能との見通しを明らかにし、雰囲気制御による封入接点設計法（第1編第4章）確立への足掛かりとなった。

第1編第3章 酸素雰囲気におけるAg-Pd系、Au-Pd系接点の接触抵抗特性と酸化被膜生成：開放型接点材料として広く使用されているAg-Pd系、Au-Pd系の単体および合金等のバルク接点の酸化被膜生成特性を明らかにするため、これらの接点を O_2 雰囲気中で動作させ、酸化被膜生成量を分析した。その結果、酸化被膜はめっき接点と同様、接点接触部のみに生成しており、高耐食性のAg-Pd系、Au-Pd系接点においても接点開閉動作が酸化被膜生成を促進することを明らかにした。本研究は、雰囲気制御と接点開閉動作の被膜生成促進効果の利用による粘着防止方法がAg-Pd系、Au-Pd系接点にも適用可能であることを明らかにし、雰囲気制御による接点設計法（第1編第4章）確立へ貢献した。

第1編第4章 雰囲気制御による高信頼度封入接点設計法： N_2 中に O_2 を適量混合する雰囲気制御により粘着防止と接触抵抗増大防止を両立させた高信頼度封入接点を実現するため、AgPd合金、AuPd合金接点について、接触抵抗特性と粘着特性の O_2 濃度依存性、封入容器内の O_2 濃度変動要因を検討した。その結果、接触抵抗が安定でかつ粘着障害がない O_2 濃度（許容 O_2 濃度）範囲が各接点ごとに存在し、AgPd対AuPd異種対向接点の許容 O_2 濃度範囲が最も広いこと、また、接点開閉動作による O_2 消耗や大気リークによる封入雰囲気中の O_2 濃度変動幅に対して、異種対向接点の許容 O_2 濃度範囲は十分広いことを明らかにした。さらに、最適 O_2 濃度雰囲気中に異種対向接点を封入したスイッチ・リレーは、交換機用接点負荷の走行試験で粘着障害、接触抵抗増大がなく、高信頼性を持つことを確認した。本研究は、新たな封入接点設計法の提案とその有効性の実証によって接点研究進展に貢献するとともに、電子交換機用スイッチ・リレー接点の設計に適用され、通信システムの高信頼化に事業貢献した。

第1編第5章 貴金属接点の接触抵抗特性に及ぼす二酸化炭素の影響：前章の封入接点用 N_2+O_2 雰囲気の代替検討の一環として、これまで未解明であった CO_2 雰囲気の粘着特性・接触抵抗特性に及ぼす影響と被膜生成特性を検討した。その結果、 CO_2 の分解反応により、Ag接点、Au接点の接触部で非晶質カーボン被膜が生成することを見出した。この被膜はAg接点、Au接点の粘着を抑制するが接触抵抗増大の原因となるため、Ag、Auを含む接点に対して、 CO_2 は N_2+O_2 雰囲気の代替雰囲気としては不適当であることを明らかにした。従来、有機ガスの分解による接点上のポリマ被膜生成はよく知られていたが、本研究のような無機ガスの分解による被膜生成は新発見であり、本研究は新たなタイプの接点劣化要因の発見として、接点研究進展に貢献した。

第1編第6章 接点表面分析におけるラマンマイクロプローブの有効性：接点上の被膜は微小・微量であっても接触信頼性に影響を与える。そのため、微小・微量の被膜の分析にはオージェ電子分光が広く用いられてきたが、元素分析手法のため被膜の同定には限界があった。そこで、被膜同定のためラマンマイクロプローブによる接点被膜分析法を検討した。 SO_2 を含む雰囲気中で動作させたAg接点上の生成被膜について、オージェ電子分光より得られる情報はSを構成元素とすることのみであったが、ラマンマイクロプローブにより、被膜が Ag_2SO_4 、 $Ag_2S_2O_7$ 、 S_x の3種であることを解

明できた。本研究はラマンマイクロプローブが接点被膜分析手法として有効であることを明らかにし、以後、接点表面分析にラマンマイクロプローブが使用される契機となって、接点研究進展に貢献した。

第1編第7章 結論：雰囲気制御による封入接点設計法の有効性の実証、開閉動作による被膜生成促進が接点劣化主要因であることの解明、無機ガスの分解反応による被膜生成現象の発見等の第1編の主要成果を総括する。

第2編第1章 序論：金めっき接点は高信頼度が要求されるコネクタに広く用いられてきたが、接点経済化のため、Pd系材料がクラッド接点、めっき接点の両面にわたって検討されてきた。しかし、コネクタ用クラッド接点の接触抵抗特性は未解明の点が多かった。また、通信網において、線路・局内ケーブル間のジャンパ線接続替えと回線試験ルート設定を行うMDF(Main Distributing Frame: 主配線盤)では接続替え稼働の軽減のため、遠隔操作による自動化が望まれてきた。そのため、マトリクスボードと接続ピンからなるピンボードマトリクススイッチとピン挿抜ロボット機構を用いてMDF作業を遠隔自動化する構想が提案され、自動化MDFシステム実現に向けて、高密度・低価格のピンボードマトリクススイッチの研究開発が必要となった。本章では、以上のような第2編の背景を述べる。

第2編第2章 コネクタ用貴金属合金クラッド接点の接触抵抗特性：コネクタ用金めっき接点に代替可能な低価格クラッド接点材料を見出すため、Pd系の各種合金接点の接触抵抗特性の評価と接点劣化機構の検討を行った。その結果、AgPdがクラッド接点の最適候補であること、クラッド接点と金めっき接点の異種対向化が安定な接触抵抗特性を示すのは金めっきの潤滑効果によること、クラッド接点の劣化主要因は挿抜により活性化された接点表面での腐食生成であること等を明らかにした。本研究は高信頼度・低価格のコネクタ接点構成法を明らかにし、接点研究進展に貢献した。

第2編第3章 自動化MDF用高密度ピンボードマトリクススイッチの設計：自動化MDF用のマトリクスボードおよび接続ピンについて、接触信頼性および絶縁特性確保の点から、マトリクスボード差点ピッチの高密度限界を検討し、これに基づきマトリクスボードと接続ピンの設計を行った。その結果、低接触力化設計と導体間間隙最小化設計により、差点ピッチ 1.5mmのマトリクスボード、外径約1mmの接続ピンを実現した。さらに、マトリクスボード・接続ピンの電気的特性、接触信頼性の評価により、本設計の妥当性を確認するとともに、これらが自動化MDFシステムに適用可能との見通しを得た。本設計によるピンボードマトリクススイッチは自動化MDFシステムに適用され、通信システム運用の高効率化・低コスト化に事業貢献した。

第2編第4章 結論：コネクタ用クラッド接点の接触特性と接点劣化機構の解明、自動化メタリックMDF用高密度ピンボードマトリクススイッチの設計法とその有効性の実証等の第2編の主要成果を総括する。

総括：第1編および第2編の主要成果を総括し、通信機器用高信頼度接点に関する将来展望を述べる。