

氏 名	會 根 秀 昭
授 与 学 位	博 士 (工 学)
学 位 授 与 年 月 日	平 成 4 年 6 月 10 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 55 年 3 月 東北大学大学院工学研究科電気及通信工学専攻 前期2年の課程修了
学 位 論 文 題 目	コンタクトのアーキ放電現象の実時間デジタル計測に関する研究
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 高木 相 東北大学教授 中鉢 憲賢 東北大学教授 樋口 龍雄

論 文 内 容 要 旨

本論文の研究では、アーキ放電を伴う条件で動コンタクトの接触抵抗と消耗はメタリック相アーキ放電現象と極めて密接に関係することを発見した。また、その現象にブリッジ現象も関連し、熱的条件が大きく影響することも新たに見いだした。これらの発見から、動コンタクトの寿命性能評価のためにメタリック相アーキ継続時間を用いるべきことと、コンタクトの熱的設計が必要であることを指摘することができた。これらの発見は、本論文の研究においてデジタル計測技術を応用した実時間並列型のコンタクト現象計測システムを開発し、これを運用することによって初めて可能になったものである。

本論文では、第2章で指摘した動コンタクトの性能に関する課題に取り組むために、第3章でアーキ放電現象の実時間デジタル計測装置を開発した結果を述べ、第4章から第6章でその装置を運用して上述の発見について述べた。その知見に基づき、第7章で試験システムとその運用のあるべき姿を提案した。以下に、各章をまとめる。

第1章「緒論」では、本論文では中電力（電源制御用）の動コンタクトを対象とすることと、この分野でコンタクトの小型化と用途の多様化が近年の要求の特徴であり、これに応える設計技術の確立が早急の課題であることを述べた。すなわち、アーキ放電現象の同時並列計測によってコンタクト現象と条件および性能の関係を定量的に解明し、設計技術の構築を目指すべきであるという本論文の研究方針を決定した。

第2章「アークを伴う動コンタクトの性能に関する従来の研究と課題」では、従来の研究を概観し、本論文の課題が何であるかを検討した。コンタクトの分野では現象の観察と分析から得られた知見がよく整理されていないために、新たな要求に応えるための設計技術が確立されていない。また、設計上の問題点も体系づけられていない。そこでこれまでに得られている知見を整理し、コンタクトの設計項目が何であるか、そして従来の研究によってどこまで設計が可能になり、どのような問題点が残されているかを検討した。その結果、条件パラメータ、計測パラメータと性能パラメータを総合的に扱う実時間並列計測を開発し、これを利用して連続的な条件設定下で現象を観察し、現象を整理して設計試料を整備する必要があるという結論を得た。熱的特性が異なる代表的コンタクト材料であるAgとPdおよびそれらの合金を主な実験対象として選択した。そして、この論文の研究で取り上げるべき重要課題は周囲気圧条件とアーク放電現象および接触抵抗との関係（第4章）、電極の熱的条件とアーク放電現象、特に消耗との関係（第5章）、メタリック相およびガス相アーク放電のコンタクト性能への効果（第6章）であるという方針を決定した。

第3章「動コンタクト現象の実時間デジタル計測装置の開発」では、本論文の研究課題を遂行するために開発した動コンタクト現象の実時間デジタル計測装置について述べた。この装置はマイクロコンピュータを利用して、コンタクトの試験動作および測定データの収集と処理を自動的に行うものである。試験条件として、負荷の電圧と電流のほか、電極温度条件と周囲気圧条件が制御可能である。また、アーク電圧・電流波形から接触抵抗、アーク継続時間、ブリッジ継続時間、およびアークやブリッジへの供給エネルギーを同時並列的に自動測定する技術を考案した。動作の一回ごとの測定値を記録し、できるだけ詳細に一回ごとの現象の関連や変化の細部を観察できるようにした。さらにメタリック相アーク放電からガス相への移行点を自動測定する技術を考案して、アーク放電現象におけるメタリック相およびガス相アーク放電の効果を区別して検討することを初めて可能にした。また、実動作中にコンタクト表面形状を非接触測定し電極消耗量を測定する技術、アーク放電光の時間分解分光測定、および各測定により得られるデータの総合的分析を可能にする計測用ネットワークも新たに開発した。

これらの装置は移行点の自動測定や消耗量の実時間測定のように、従来は困難だった測定を可能にしたのみでなく、従来と同様な測定についても装置の制御や測定の処理を自動化して正確な測定と多様なデータ処理を容易にする効果をもたらした。この装置を開発したことによって、コンタクト現象を多角的に捕え、そのデータを総合的に分析して接触性能と現象の関係を検討するという本論文の研究が可能になった。第4章以下では、この装置を用いて測定を行い、これらより得られた成果に基づいて検討を行った。

第4章「コンタクトのアーク放電現象と接触抵抗との関連に関する実験」では、コンタクト性能の基本である接触抵抗を主な測定項目としてアーク放電現象との同時並列測定を行い、周囲気圧・材料条件を変化させたときのアーク放電現象諸量との関係を検討した。この測定から、アーク継続時間、接触抵抗とブリッジ電圧が密接な関連をもって変化し、アーク放電のガス相への移行が起こ

るときに接触抵抗の不連続的な上昇とブリッジ電圧の低下が起こるといふ新しい知見を得た。

Ag, Pd およびそれらの合金のコンタクトについて周囲気圧と電流の条件、および電極材料を変化させた実験により、ガス相アーク放電への移行が起こる境界とほぼ同じ条件のときに接触抵抗が不連続的に上昇することを見いだした。また、Ag コンタクトについて動作ごとのアーク継続時間と接触抵抗を同時並列的に測定して、両者の間に回路電流条件や周囲気圧条件がほとんど影響しない密接な関係があることを発見した。さらに、Ag コンタクトではガス相アーク放電への移行が起きて接触抵抗が大きく増加する条件において、ブリッジ電圧波形の溶融電圧と蒸発電圧が低下することを見いだした。第4章で得られた知見は、将来、放電と電極表面の関係を明らかにして行くうえで一つの足がかりを得たものと考えられる。また、これらの発見は、設計資料を充実させていくうえで意義深いものである。例えば、アーク放電がガス相へ移行しないほどに継続時間が短い動作条件で用いれば、安定した低接触抵抗を持続できる。

第5章「コンタクトの熱的条件とアーク放電現象および消耗転移に関する実験」では、接触抵抗と並んで重要な性能パラメータである消耗転移量を主な測定項目とした。電極の熱的条件とアーク放電現象、とくに消耗転移との関係を検討し、熱的条件の影響が大きいことを明らかにした。熱的条件が設計問題の重要な要素であることを指摘できたことが本論文の研究における主要な成果の一つである。

温度条件と放熱特性を変化させて熱的条件の影響を実験した。その結果、その影響が陽極と陰極で異なることと、アーク継続時間よりも十分に短い時間でアーク点近傍の温度が定常状態になる条件のときに放熱特性が顕著に影響することを見いだした。また、アーク放電のガス相への移行の有無によって熱的条件の影響が異なり、メタリック相のみのときに高温条件にするとアーク継続時間と消耗転移量が顕著に減少することを見いだした。この知見はコンタクトの設計技術を構築するうえで重要なものであり、放熱のための熱伝導を考慮した設計によりアーク放電現象を制御して低消費にできる可能性が示された。ただし、ここで用いた電極材料は主に Ag と Pd のみであり、材料ごとの明確な指針や異種材料を用いた多層構造コンタクトを設計する指針は今後の課題である。

熱的条件を変化させたときのブリッジ現象も同時に観測し、ガス相への移行が起こらなければ電極温度を高くしたときにブリッジエネルギーと消耗量が減少することをはじめて明らかにした。この現象を分析し、熱的条件が変化したときのブリッジエネルギーの変化が消耗量に密接に影響するという解釈が得られた。これにより、メタリック相のみのアーク放電が生じる条件では電極温度を高くすることにより低消費とすることができるといふ一つの知見をコンタクトの設計問題に加えることができた。この考察に基づいて、ガス相アーク放電への移行が生じる場合にもメタリック相アーク継続時間のみを分け、これを用いて消耗転移量との関係を検討すべきであるという提案を行った。

第6章「メタリック相アーク放電と電極の消耗転移に関する実験」では、第5章の提案を受けてアーク放電のメタリック相とガス相を区別した測定を行い、アーク放電に伴う消耗の機構を検討し

た。Ag コンタクトの開離時アークについて、周囲気圧と回路電流を変えてメタリック相アーク継続時間と全アーク継続時間それぞれと電極の消耗転移量の関係を測定した。その結果、メタリック相アーク継続時間が電極材料の消耗転移と密接な関係を持ち、その関係は気圧条件の影響を受けないことを発見した。この発見は、本論文の研究で最も重要な成果である。コンタクトの寿命性能を評価する目的で、従来の研究では全アーク継続時間が消耗転移量との相関があると考えられていた。しかし、ここの発見で得た知見から考えると、メタリック相アーク継続時間を用いることが適当である。

第7章「アーク放電現象からみた動コンタクトの性能向上に関する提案」では、第3章から第6章の実験的検討で得られた成果を整理し、コンタクトの設計問題へ活用することを目的に検討を行った。これらの実験事実より接触抵抗の安定化、低消費化を目指したコンタクトの使用条件をAg, Pd材料について提言し、動コンタクトの熱設計への基本的概念を提示することができた。ブリッジ現象とメタリック相アーク放電および消耗転移量の関連から、ブリッジ現象の観察の重要性とメタリック相アーク継続時間を性能劣化と関連づけて観測する必要があることを指摘した。コンタクトの設計技術の構築を目指すうえで、この指摘に従ってアーク放電を伴う動コンタクトの試験方法を見直すことが次なる課題である。そのためにコンタクトの材料評価と性能試験を総合的に行い得る総合試験システムの構築が必要であり、その構成を提案した。これは、本論文の研究で開発した試験システムを運用し、それにより得られた知見に基づいて試験システムのあるべき姿を見いだしたものである。

今後、第7章で提案した総合試験システムを構築し、アーク放電現象を同時並列的に実時間デジタル計測することによって設計条件に対する材料・構造の評価が可能になり、コンタクトの設計技術に接近できるものと期待される。

第8章「結論」で、本論文をまとめた。

審査結果の要旨

コンタクト（電気接点）はスイッチ素子として、耐電磁環境性やオン・オフ抵抗比などの点で半導体素子に比べて優れていることから、各種電気・電子・情報機器に多く使用されている。しかし、アーク放電現象と、接触抵抗や電極材料の消耗などとの間の量的関係は、使用電圧電流値、開閉速度などの機械的条件、電極材料定数、などが複雑に関係するため、まだ十分把握されておらず、コンタクトの設計法は確立されていないのが現状である。著者は、コンタクトのアーク放電現象のデジタル計測システムを開発し、多くのパラメータを同時並列的に計測することにより、パラメータ間の関係を明らかにすることを試み、有用な知見を得た。本論文はこの成果を取り纏めたもので全編8章よりなる。

第1章は緒論である。

第2章では、アークを伴うコンタクトの性能、すなわち接触抵抗と電極の消耗及びこれらによって定まる寿命に関する従来の研究を概観している。ここで、接触抵抗及び消耗量と、これらを支配する周囲気圧、電極温度、材料定数、アーク継続時間などのパラメータとの関係を同時並列的に計測することの必要性を述べている。

第3章では、新しく開発した、コンタクトアーク放電現象の実時間同時並列計測システムについて述べている。これにより、以下の章で述べる実験的研究が可能となった。実験には電極材料として主にAgを用いている。

第4章では、周囲気圧、アーク放電現象、接触抵抗などについての実験結果を述べている。ここで、低気圧条件下で金属相アーク放電のみが発生する時には、接触抵抗は低く安定しているが、通常の気圧条件下でガス相アーク放電が混在して発生する時には、接触抵抗は高くなるという新知見を得ている。

第5章では、電極の温度と消耗との関係についての実験結果を述べている。ここでは、金属相アーク放電のみが発生する条件では、陰極を高温にすると低消耗となること、これには材料の熱伝導率が大きく影響することなどを見出している。

第6章では、金属相アーク放電及びガス相アーク放電と電極の消耗量との関係についての実験結果を述べている。ここでは、金属相アーク継続時間と消耗量との間には、周囲気圧とは無関係に一定の直線関係があることを明らかにしている。これはコンタクトの設計上重要な知見である。

第7章では、本研究で得られた成果を取り纏めて、長寿命コンタクトを得るための設計に関する提案と、総合的なコンタクト試験システムの提案とを行っている。

第8章は結論である。

以上要するに本論文は、従来ほとんど解明されていなかった、コンタクトの放電と接触抵抗、及び材料の消耗などの相互関係の一部を明らかにし、コンタクトの設計に資する有用な資料を得たもので、電気工学並びに計測工学の発展に資するところが少なくない。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。