

氏 名（本籍）	窪 野 隆 能 （静岡県）
学位の種類	工 学 博 士
学位記番号	工 博 第 3 7 3 号
学位授与年月日	昭和 4 8 年 3 月 2 7 日
学位授与の要件	学位規則第 5 条第 1 項該当
研究科専門課程	東北大学大学院工学研究科 （博士課程）電気及通信工学専攻
学位論文題目	コンタクトの転移現象に関する研究 （主査） 論文審査委員 教授 真野 国夫 教授 麻生 忠雄 教授 八田 吉典 教授 柴山 乾夫 助教授 高木 相

論 文 内 容 要 旨

第 1 章 緒 論

電気回路の開閉を機械的に行なう電氣的接触素子であるコンタクトはスイッチング素子として多くの利点を有しているため、電子機器の構成にあたって多数使用されている。

コンタクトにおける現象は未だに未解決の問題を数多く残している。なかでもコンタクト対の一方の接触面を離脱した電極材料が相手方の接触面上に堆積して突起状となることによって、コンタクトの接触障害の主原因となっている転移現象は多数の研究があるにもかかわらず統一的な説明がなされていない。

本研究の目的は従来の研究を吟味し、問題点を整理・解明し、転移現象の発生や転移量の軽減

化に対する基礎資料を得ることによって、コンタクトの転移現象解明および性能向上に寄与しようとしたものである。

第2章 コンタクトの転移に関する従来の研究

転移現象に関連した研究は1920年代から始まっており、多数の測定・検討がなされている⁽¹⁾⁽²⁾が、従来発表された転移量の値は各研究者毎に相違しているため、転移現象の解明は困難であった。従って転移現象に関する理論的・統一的評価が不可能となり、個々の実験例による判断がおもになってきたと考えられる。

そこで、本章では従来なされてきた研究について概説するとともに検討すべき問題点を指摘した。

第3章 転移に関する測定条件の比較検討

従来の転移量の測定値に相違の生じた原因を究明する目的で、実験条件や検出手段やその結果を比較検討した。

各研究者の測定値に相違を生じせしめた原因は多数あるが、大別すると、転移量の検出方法に関する要素やコンタクト間に発生した熱とその量に関する要素が主要因であると考えられる。この2点の究明を目的として、以下に転移量の測定方法およびアーク放電と熱エネルギーとその消散過程について検討し、前章で指摘した問題点の解明に役立てることとした。

第4章 コンタクトの転移量の測定法に関する検討

転移量の検出手段を大別すると3種類となり、各検出手段とも数々の特徴を有しているため詳しく比較検討した。

さらに転移現象の生じた場合のコンタクト材料の移動を図式的にモデル化して検討した。秤量方法による測定値 $(M_b)w.gain$ と放射性同位元素使用方法による測定値 $(M_b)net$ と体積評価方法による測定値 $(M_b)v.gain$ との三者の間に、各々被測定物として内容の違うことや各量に大小関係のあること $(M_b)w.gain < (M_b)net < (M_b)v.gain$ などの諸関係のあることを示し、さらに各量とも動作回数に依存することなどを理論的に示した。

事実 筆者の実験結果や従来の研究の結果(例えば図1)からも上記の方法による検討結果が具体的に立証された。これらのことによって、従来の転移量の測定値に相違の生じた原因の一つを、また測定方法の吟味の重要性を明確にすることができたと考えられる。

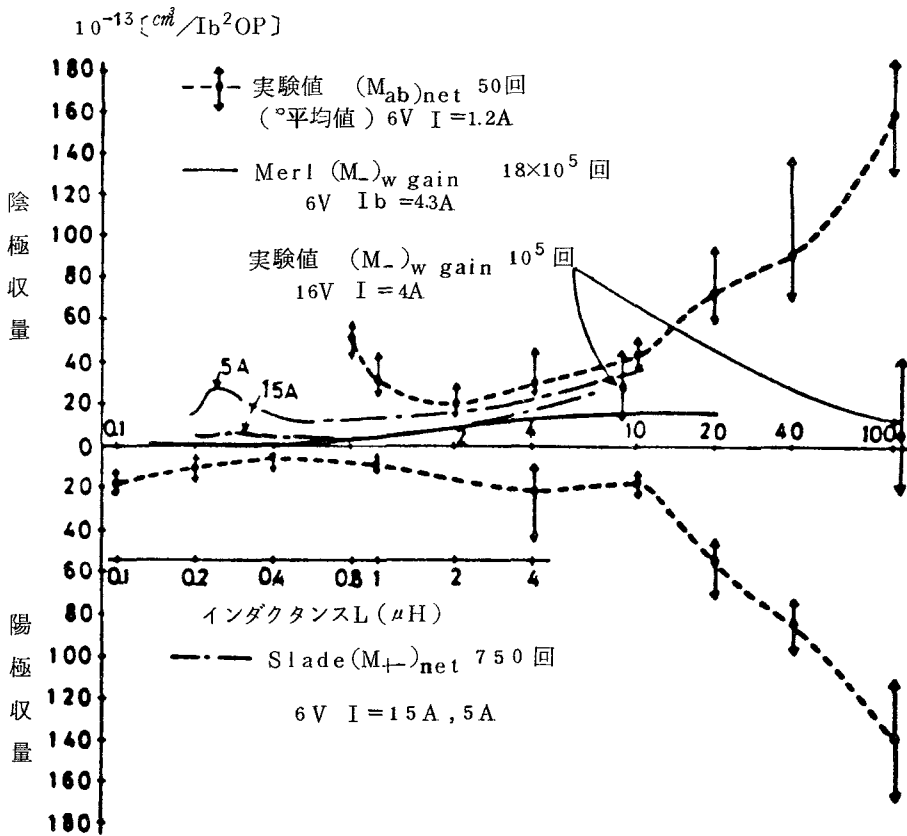


図1 Auコンタクトの転移量（一動作当りの転移量を橋絡破壊電流の自乗で除した値）

第5章 アーク放電中の陰極輝点でのエネルギーバランスに関する検討

陰極輝点に入力されるおもなエネルギーはイオンの運動およびポテンシャルエネルギーと陰極での集中抵抗による発熱エネルギーであり、流出する（冷却）エネルギーは電子の放出に伴うエネルギー、原子の蒸発エネルギー、金属ならびに気体中への伝導エネルギーである。これらの入出力エネルギーが平衡に達していることを前提とし「輝点の半径—電流密度—温度—陰極降下電圧」の関係を実験的に求める手法を示した。

アーク放電の発生条件によってアーク電流と陰極降下電圧が決まると、この手法によって輝点での電流密度や温度の範囲を求めることができる。

(3)(5)

第6章 微小アーク放電による転移に関する検討

放射性同位元素をトレーサとした方法によって両方向への移動量 $(M_{+-})_{net}$, $(M_{-+})_{net}$ を数種の材料について測定し（一例を図1, 表1に示す）, その量と放電現象との関係を明らかにした。

表1 パラジュウムコンタクトにおける転移量 (6V, 1.2A シャ断時)

インダクタンス L μH	アーク継続時間 t_a μ sec		アークエネルギー $Q = V_a \int I_a dt$ μ joule $V_e \times 10^{-13} cm^3$		転 移 量 $V \times 10^{-13} cm^3$ ⊕-⊖ ⊕-⊖		V/Q $10^{-13} \frac{cm^3}{erg}$	V/V_e	$\frac{(M_{+-})_{net}}{(M_{-+})_{net}}$
	計算値	測定値							
1	0.038		0.34	58	2.3 + 1.0 = 3.3		0.97	0.057	2.3
4	0.150		1.47	251	4.9 + 1.8 = 6.7		0.46	0.027	2.7
10	0.372		3.30	564	6.5 + 1.2 = 7.7		0.23	0.014	5.4
20	0.573	0.5	4.64	794	7.8 + 3.1 = 10.9		0.23	0.014	2.5
40	1.242	1.5	9.83	1682	12.4 + 11.0 = 23.4		0.24	0.014	1.12
100	2.268	2.2	17.09	2925	18.5 + 17.9 = 36.4		0.21	0.013	1.1

同一電源電圧・電流の回路をシャ断するコンタクトにおいても両方向への転移量は回路インダクタンスの値に依存する傾向にある。

同じ回路条件下でコンタクト材料の相違による転移量の大小は材料の熱特性に関係しており、単位体積を溶融・蒸発させるに要するエネルギーの大きい金属ほど転移量は少なくなる。

アークエネルギー当りの転移量は数 $\times 10^{-14} cm^3/erg$ であり、アークエネルギーすべてを蒸発に費したとした場合転移量は蒸発量の数%となる。

コンタクト間に発生したアーク放電によって両電極は加熱される。前章での手法によって輝点での諸量を求め、両極を加熱するエネルギーを理論的に計算し、次の関係を具体的に知ることができた。

$$\frac{\text{陽極加熱エネルギー } Q_a}{\text{陰極加熱エネルギー } Q_a} \approx \frac{\text{陽極から放出された原子の数}}{\text{陰極から放出された原子の数}}$$

$$\approx \frac{\text{陰極側収量 } (M_{+-})_{net}}{\text{陽極側収量 } (M_{-+})_{net}}$$

すなわち Q_a/Q_c の値は両方向への転移量の比 $(M_{+-})_{net}/(M_{-+})_{net}$ と比較的よく一致した。今後、 Q_a/Q_c （または瞬時加熱エネルギーの比 P_A/P_K ）と放電現象との関係を検討することから、 $(M_{+-})_{net}/(M_{-+})_{net}$ の値が予想できることや突起のできる電極を予想できること、さらにこれらの検討から転移の軽減化方法を得ることも可能であると考えられる。

第7章 放電現象と転移現象との関係に関する検討

コンタクトを含む回路条件によって発生した放電が両電極面を非対称に加熱することから、一方の電極に突起ができると考えて、コンタクト開離時の放電を中心にして転移現象全般について検討した。

低電圧回路の場合、回路インダクタンスが放電の発生原因となっていることやアーク継続時間も密接な関係にあることなどから、回路インダクタンスと転移現象についても定性的に考察した。また、インダクタンスの大きさによって突起のできる電極が移り変わることを実験的に確認し、定性的な理論考察と一致することを示した。

第8章 コンタクトにおける転移量の軽減方法

コンタクトの長寿命化、高信頼性化は重要な課題であり、転移現象は接触抵抗の増大とともに最も大きな問題となっている。このことから転移量の軽減化を計る必要があり、前章までの実験結果や検討結果を基礎として、コンタクトの接触障害防止の一助とすべく転移量の軽減化（突起の縮小化）を計る方法を検討した。

回路条件の適切な選択、材料の選択や異種材料の組合せなどによって転移量を軽減化できる方法について提案し、実験的に突起の縮小化や発生防止の事例を示した。

以上のことから転移によって引き起こされる接触抵抗の増大、開離不能、開閉時間の変動などの障害が軽減されて、コンタクトの長寿命化、高信頼性化に寄与するものと考えられる。

第9章 結 論

第2章から第8章までの実験結果や検討結果をまとめて総合的、統一的に考察し、さらに今後の問題点についても述べた。

以上本論文は、コンタクトにおいて多数回の動作後に一対の接触面の一方に突起が、相手方に窪みができる転移現象について考察したものである。従来発表されている転移量の値に相違の生じた原因についての検討、転移量の測定方法について詳しい検討、両極を加熱するエネルギーが放電の特徴によって異なるために突起のできる電極の極性が移り変ることの検討、さらに転移量の軽減化方法についての検討などによって、従来未解決のまま看過されていた問題をある程度確明

し、さらにこの分野における新しい知見と示唆を得ることができたと考える。

謝 辞

本研究を遂行するに当り、御指導御鞭撻を賜った真野国夫教授をはじめとして、有益なる御教示を賜った八田吉典教授、麻生忠雄教授、柴山乾夫教授、高木相助教授ならびに本学諸先生に深く感謝する次第である。

文 献

- (1) R.Holm "Electric Contact Handbook" Springer-Verlag.(1958)
"Electric Contact" Springer-Verlag (1967)
- (2) F.Llewellyn-Jones "The Physics of Electrical Contacts" Oxford
(1957)
- (3) T.Kubono, K.Mano : Proceeding of Sixth International Conference
on Electric Contact Phenomena (at Chicago June 5-9, 1972) P.1
- (4) 窪野, 真野 : 電子通信学会論文誌C, Vol.55-C, No.11, P.610 (昭47-11)
- (5) 窪野, 真野 : 電子通信学会論文誌C, Vol.56-C, No.3, P.397 (昭48-3)

審 査 結 果 の 要 旨

電気回路の開閉を機械的に行なう電氣的接触子であるコンタクトは広範囲に数多く使用されているが、開閉時には複雑な各種の現象を生ずる。そのうちで、転移現象は動コンタクトの寿命信頼性に関する主要因の一つであるにもかかわらず、個々の条件での実験的考察が行なわれているのみで、現象の基礎的研究はほとんどなされていないと言っても過言ではない。本論文は転移量の測定方法ならびに、転移の主要な現象である放電転移について、基礎的解明を試みたもので、全文9章および付録よりなる。

第1章は緒論である。第2章では転移および関連諸現象について、従来の研究結果を検討し、本研究の意義と目的について述べている。

第3章では、従来発表されている転移量測定値の相違について回路条件と試験条件などから検討した結果、コンタクト間に発生する熱エネルギーの発生源とその消散過程に関係する要因および転移量の測定法とに、その相違の主原因があることを指摘している。

第4章では、転移現象の生じた場合のコンタクト材料の移動と、転移量の検出方法とに関して検討を加えている。すなわち、3種類の検出手段によって、それぞれ得られた被測定物の内容の異なること、転移量測定値に差のあること、およびそれらについて動作回数依存性のあることなどを、理論的・実験的に指摘し、さらに観測に適した検出方法の実験例を示している。これは今後転移現象を考察する手段に対する一つの指針となることが考えられる。

第5章では、アーク放電時の陰極輝点でのエネルギーバランスについて検討し、輝点での温度、電流密度の存在範囲を理論的に求める手法を示している。

第6章では、開離時の微小アーク放電による転移について実験し、前章の結果を参考として考察を加えている。その結果、転移に寄与するアークエネルギーの割合がある程度明らかとなり、さらにアーク放電の発生した際における両方のコンタクトを加熱するエネルギーの大小を検討することにより、突起の発生する側のコンタクトが予想できることを述べている。これは一つの重要な知見である。

第7章では、放電現象と転移との関係についての検討のなかで、従来不明であった回路インダクタンスと転移現象との関係について定性的な説明を試み、これを実験的に実証している。

第8章では、以上の考察結果より、回路条件やコンタクト材料による転移量軽減法について述べ、具体的に突起の発生を少なくした事例を示している。

第9章は結論である。

以上要するに、本論文はコンタクトの転移量に関する従来発表の測定値に相違のある原因について検討し、検出手段によってそれぞれ得られた被測定物の内容の異なること、転移量測定値に差のあること、およびこれらについて動作回数依存性のあることなどを指摘するとともに観測に適した方法を示し、また放電転移に関し、ある程度の理論的解明を試み、コンタクトを加熱するエネルギーと転移現象との関係や、その機構を説明している。これらはコンタクトの転移現象の解明に有用な知見を加えると同時に今後の研究の進展に示唆を与えたものであって、部品材料工学電子工学に寄与するところ少なくない。

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。