

論文内容の要旨

電磁リレーやブレーカなどの電気接点を備えたデバイスは、大電流回路の開閉を手軽に行えるデバイスである。古くから多くの研究が報告され、多くのデバイスや機器が報告されている。最近、太陽光発電や風力発電などの直流発電が見直され、直流電力を利用したインバータ技術が省電力の電気機器に普及している。その趨勢に対応した直流用電気接点デバイスの小型化・高信頼化技術が注目されている。小型化と高信頼化の技術にとって、開離時アーク放電と電極金属の接点間転移が本質的な課題である。これらの問題に対して、通電電流遮断時の熔融現象が深く関わることはよく知られている。しかし、現象が複雑で、熔融からアーク放電に至るメカニズムはほとんど解明されていない。

本研究では、接点電圧 V_c が、熔融電圧 U_m と呼ばれる電圧付近の接点熔融現象を扱う。これまでの研究では『ブリッジ (Molten Metal Bridge)』・『初期 (イニシャルアーク)』と呼称された現象に含まれる現象であるが、取り扱う視点が異なる部分があるので、あえて熔融現象と呼んでいる。

Holm の $\varphi\theta$ 理論では、接点形状も抵抗分布も無視して接点電圧は接点の最高温度によって決まる。融点温度に対して、接点形状も抵抗分布も関係なく熔融電圧 U_m が定義され、活用されている。筆者は、熔融現象の研究を始めるにあたって、熔融現象は固相から液相への相変化であり、唯一の融点温度において、固相と液相が存在することに着目した。固相と液相では、抵抗率は大きく異なる。この変化には熔融エネルギー (潜熱・融解熱) が必要であり、ジュール熱として電気回路から供給されることになる。同じ融点温度なのに、固相での電位分布と液相での電位分布が異なることが予想される。 $\varphi\theta$ 理論で求められる U_m は固相・液相どちらの抵抗率に対応するのか、もう一方の抵抗率について異なる接点電圧が存在するはずである。固相の抵抗率を U_m に対応すれば、瞬時の相変化に抵抗率の上昇による電圧上昇は蒸発温度に対応する接点電圧 U_b を超すことになってしまう。そこで U_m を液相の抵抗率に対応すると考え、融点での固相の抵抗率の比から潜熱電圧 U_h を指標として導入してみた。熔融にかかわる接点電圧の実験結果に、この値を書き加えると、熔融にかかわると考えられる複雑さが起こる電圧下限に、この潜熱電圧 U_h が相当することが確認できた。次に、この相変化に必要なジュール熱の電源からの供給条件が、熔融現象での固体から液体への変化を支配すると考えた。

これまで、電気接点の研究において、このような相変化の熔融エネルギーと電気回路からのジュール熱の注入条件に着目した研究はわれわれの調査範囲ではなかった。上記の立場での本研究の具体的な研究目的は以下の3項目である。

- (1) 熔融と関わる複雑な電流電圧特性に熔融エネルギー(潜熱)がかかわることを確認し、潜熱電圧として U_h を提案し、指標としての妥当性を検討する。

(2) 溶融現象は溶融エネルギーが必要な相変化現象であり、抵抗増加時のジュール熱量を決める電気回路条件が溶融現象を支配することを検討する。

(3) 電流遮断時の開離後の電極痕跡を観察し、溶融痕の特徴を検討する。

本研究での特徴的な実験手法としては以下の 5 項目である。

(1) Ag、Au の細線クロスロッド構成、電極の変形・変質を避けた単発開離実験。

(2) 接点電流電圧特性を測定し、接触痕跡を観察。過渡電流スイッチ回路で開離後のアーク放電の影響回避した実験。

(3) $V_c=U_m$ 後の初期アークといわれる現象を過渡電流スイッチ回路と付加インダクタンスによって、現象時間を制御した実験。

(4) 電源から接点への電力が最大となるような回路条件に着目した実験。

(5) 接点开離後の表面（接触痕、溶融痕、アーク放電痕など）を、レーザ顕微鏡を用いて深い焦点深度で高倍率の画像観察。

本論文では、研究結果からの以下の事項を明らかにすることができた。

(1) 対象とした溶融現象が起こる融点では、金属は固体と液相があり、抵抗率は大きく異なる。

$\varphi\theta$ 理論では、抵抗率を扱わないが、接点電圧には影響を与える。融点電圧 U_m に対して、融点での液相の抵抗率と固相の抵抗率の比から求め U_h とを指標とした。溶融と関わる複雑な電流電圧特性は $V_c=U_h$ 以上で発生していることを確認した。

(2) 対象とした溶融現象が、電気的な回路条件に支配されて電流遮断へと進む。電気的な回路条件として、電源から電気接点に流れ込む電力 P_c の接点抵抗 R_c での微係数 (dP_c/dR_c) が支配的な要因であることを確認した。金属ブリッジと呼ばれる現象には、主に電気回路条件で決まる溶融現象と、電気的条件と機械的開離条件の組み合わせで決まる溶融現象の二種類があることを確認した。

(3) $V_c=U_m$ 直後の痕跡は、溶融状態での溶断を暗示する銀光沢の小球面の集合形状で、正極が凹状、負極が凸状であった。いわゆる『初期アーク』とよばれる $V-I$ 特性の初期段階では、同様の痕跡が確認された。初期アーク時間では、アーク放電への移行の萌芽となる電子的な現象と、伝導電流とが並行して存在する可能性を示す溶融痕跡を確認した。