

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 13 日現在

機関番号：13801

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560322

研究課題名(和文) アーク放電に接している電気接点表面の高速度分光撮影による接点消耗過程の研究

研究課題名(英文) A study of erosion process of electrical contacts by high-speed spectroscopic observation of electrical contact surfaces contacting with arc discharges

研究代表者

関川 純哉 (Sekikawa, Junya)

静岡大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：80332691

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円、(間接経費) 1,230,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、光学バンドパスフィルタと高速度カメラとの組み合わせによって、異なる波長の画像として、アーク放電発生中の接点表面とアーク放電とを同時に撮影する手法を提案した。その手法を用いて、接点表面状態の変化とアーク放電の移動特性との関係から、接点表面上の痕跡の形成過程を調べた。その結果、電気接点の表面上に残された痕跡が、アーク放電発生中のどの時間帯に形成されたものなのかを示すことができた。

研究成果の概要(英文)：An observation method of electrical contact surfaces and break arcs was proposed using two pairs of a high-speed camera and an optical band pass filter. The formation process of traces on the contact surface was investigated by the relation between the changes of the traces on the contacts and the motion characteristics of the break arcs. As a result of investigation, the periods and times when the traces on the contact surfaces were formed were shown while the break arcs were maintained.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・電力工学・電力変換・電気機器

キーワード：電磁リレー 消弧 コネクタ 高速度カメラ

### 1. 研究開始当初の背景

家庭用の直流給電システムや電気自動車などの普及により、直流回路を使用する機器の利用が拡大している。機器そのものの破壊や機器内での異常が発生した時には、すみやかに電源から負荷を切り離し、安全を確保する必要がある。そのためには、通電中の回路を電気接点で遮断する必要がある。通常の使用状態でも、通電中の回路を確実に遮断するためには、電磁リレーやブレーカーなどに搭載されている電気接点对による遮断が行われる。このとき電気接点对間ではアーク放電が発生し接点を消耗させる。

接点对の消費量が極性に依存しなければ、陰極・陽極接点ともに同量消費するだけである。しかし直流回路内で使用される電気接点では、接点の極性によって消耗・転移量が異なり、その消費量は接点材料と回路条件によって変化することが知られている。このような消耗モードは、接点表面の形状を含む状態を変化させ、開離不良や接触抵抗の増大として、電気接点を搭載している機器の動作不良の原因となる。

これまでにアーク放電による接点消耗に関する多くの報告はあるが、アーク放電発生中に、接点表面とアーク放電の動きとを、同時に高速度カメラで観察した例は、研究代表者の調べた限りでは報告されていなかった。

### 2. 研究の目的

本研究では、光学バンドパスフィルタと高速度カメラとの組み合わせによって、アーク放電中の接点表面とアーク放電とを同時に撮影する手法を提案する。この撮影手法を確立し、それによって得られる接点表面状態の変化とアーク放電の移動特性との関係から、消耗が進展する過程を調べることが目的とする。

### 3. 研究の方法

研究代表者らはこれまで高速度カメラを用いて、電気接点間に発生するアーク放電を撮影し、その移動特性に関して報告してきた。その中で、接点材料として銀を用いた場合の開離時アーク（回路を遮断するときに発生するアーク放電）について銀接点間での移動特性と接点消耗領域との関係を調べた。その際、開離時アークの中に含まれている銀蒸気が発するスペクトル線（521nm）のみを光学バンドパスフィルタを用いて観察し、接点表面近傍の銀蒸気密度が高い領域とそれ以外のアークプラズマ領域とを区別し、開離時アークの移動特性を解析した。しかし、開離時アーク発生中の接点表面状態の変化の過程は不明であった。

アーク放電の発光から銀蒸気が発するスペクトル線を選択的に観察できるのであれば、逆にアーク放電の発光を遮断することで、他の波長の光を接点表面の観察に利用可能ではないかと考えた。即ち、開離時アークの

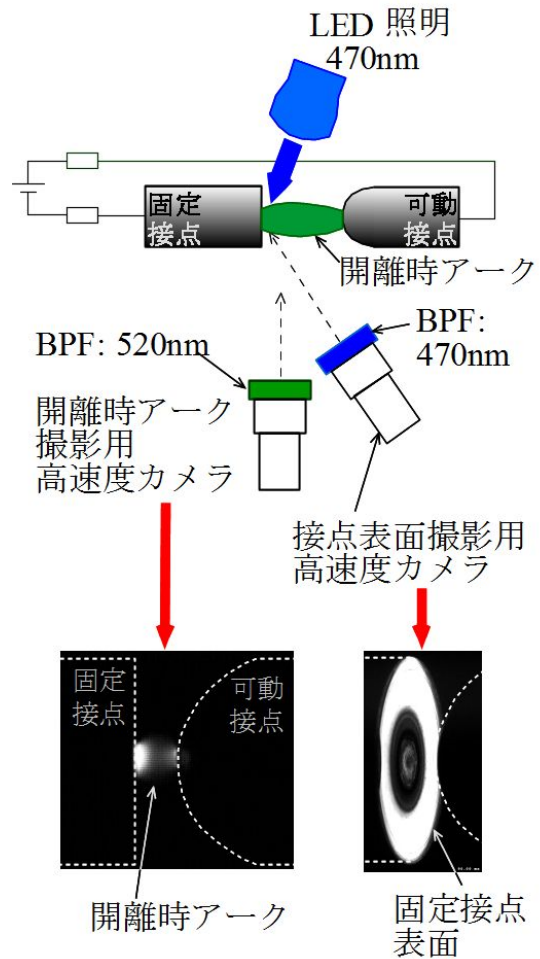


図1 銀接点間で発生する開離時アークと接点表面との分光同時撮影。下の画像はそれぞれのカメラによる撮影例。BPF：光学バンドパスフィルタ、数字は透過中心波長。

発光のスペクトル線が無い波長領域の光で接点表面を照らし、そこからの反射光を分光撮影することで、開離時アーク発生中の接点表面状態が撮影可能になると考えた。

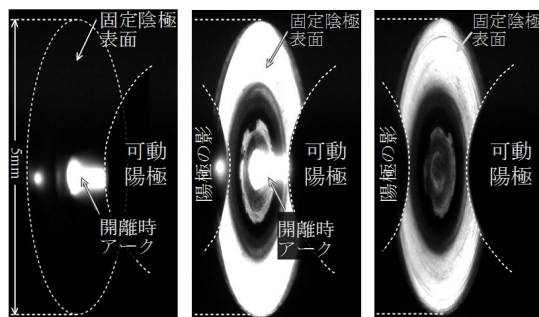
### 4. 研究成果

以下では、研究成果として、提案した手法による接点表面の撮影例、接点表面と開離時アークの同時撮影の結果、及びそれによって得られた結果の概要について述べる。

はじめに本研究で提案した高速度分光撮影の測定手法について説明する。図1にその概要を示す。開離時アーク撮影用の高速度カメラには、銀接点对使用時の開離時アークのスペクトル線の波長のひとつ（521nm）に合わせた光学バンドパスフィルタ（透過中心波長 520nm）が取り付けられている。このカメラにより、図1の左下の画像に示すように、開離時アークのみが撮影される。一方、固定接点の表面は青色発光ダイオード（LED）で照らされている。このLEDの発光の中心波長は470nmであり、この波長領域には銀蒸気からの強い発光は存在しない。接点表面撮影用

高速度カメラには、LEDからの光だけを透過する光学バンドパスフィルタ（透過中心波長470nm）が取り付けられており、接点表面のみを撮影することができる。図1の右下の画像に示すように、開離時アークは写らずに、接点表面だけが撮影されている。

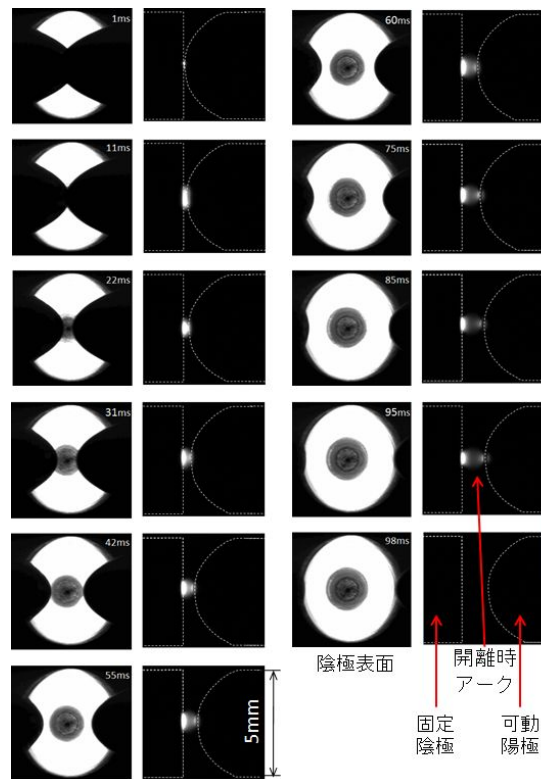
上述の手法により、開離時アーク発生中の固定側接点の表面だけが撮影できることを確認した撮影例を図2に示す。図1に示したように固定側接点の表面は斜め方向から撮影されているため、その表面は図2に示すように楕円状に撮影される。図2の画像中で、可動陽極は右側に移動していく。その可動陽極の裏側にLEDがあるため、図2(b)では、可動陽極そのものとその影が写りこんでいる。図2の各画像は、光学バンドパスフィルタ(BPF)とLEDの使用条件を変えて撮影した画像である。図2(a)では、LEDなし、BPFなし、の場合であり、接点間隙に発生している開離時アークだけが撮影されている。次にLEDによって接点表面を照らすと、図2(b)のように、開離時アークと接点表面の様子が同時に撮影される。さらに、開離時アークの光を遮断し、LEDの光のみを透過するBPFを高速度カメラに取り付けると、図2(c)のように、開離時アークの発光は消え、接点表面のみが撮影される。



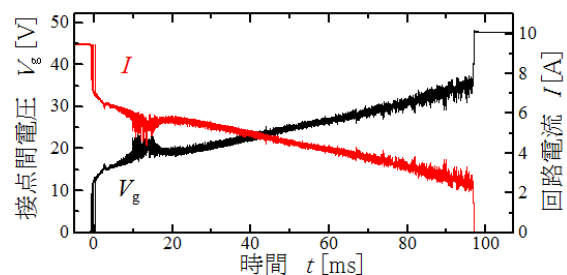
(a) LEDなし BPFなし (b) LEDあり BPFなし (c) LEDあり BPFあり

図2 固定接点表面と開離時アークの撮影例  
(直流 48V-9A の抵抗性負荷回路による。撮影時の接点間隙は約0.7mm。銀接点对を使用。)

電気接点表面の状態変化と開離時アークの動きとを同時撮影した結果を図3に示す。図3(a)は、電気接点(陰極)表面の画像と、開離時アークの画像を示す。接点表面の画像は、正面から見たような画像となるように、横方向に引き伸ばされている。図1(a)中の時間は図3(b)の時間に対応している。時間0で開離時アークが発生し、電圧が12V程度まで急激に立ち上がる。その後、接点間隙の増大に伴い、アーク電圧は徐々に増大していく。97ms頃に回路電流が0となって開離時ア



(a) 接点表面と開離時アーク



(b) 電圧・電流波形

図3 接点表面と開離時アークの同時撮影の一例  
(直流 48V-9A の抵抗性負荷回路による。銀接点对を使用。開離動作一回目。)

ークが消弧している。図3(a)の接点表面と開離時アークの画像は、同期して同時に撮影されている。接点の中心軸付近で開離時アークが動いていること、及びその発光よりも広い範囲で接点表面上の痕跡が時間経過とともに広がっていることが確認できる。

これらの手法による撮影した画像から、放電発生中に接点表面状態の変化が起こった位置を画像解析によって特定し、開離時アーク発生後の接点表面状態と比較した。画像解析の方法としては、異なる時刻で撮影された画像の差分を計算した。その結果、接点表面上に残された痕跡が、開離時アーク発生中のどの時間帯に形成されたのかを特定することができた。この時、開離時アークのアーク足はその痕跡部分には直接触れていなかった

た。これにより、開離時アークが直接接している位置の接点表面の変化だけではなく、直接接していない領域の痕跡が形成される様子も分かるようになった。この成果により、接点表面に形成される痕跡について、中心から外側に向かって、放電期間中に直接開離時アークに触れていた部分、触れていないが強く影響を受けた部分、及び開離回数が増えると影響が累積して現れる部分に区別することができた。

また、銀接点以外にも、電磁リレー用の接点材料としてよく使用される銀酸化スズ(Ag/SnO<sub>2</sub> 12wt%)を用いた場合にも、同様に撮影できることを確認した。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 6 件)

Masato NAKAMURA, Junya SEKIKAWA, Real Time Spectroscopic Observation of Contact Surfaces Being Eroded by Break Arcs Date of Evaluation, IEICE Trans. Electron., 査読有、Vol.E97-C、2014、pp. 592-598

小野仁、関川純哉、壁により移動範囲を制限される開離時アークの磁気吹き消し、電子情報通信学会、和文論文誌 C、査読有、Vol. J96-C、2013、pp. 167-173

Tomoaki SASAKI, Junya SEKIKAWA, and Takayoshi KUBONO, Position and Shape of Break Arcs Driven by Transverse Magnetic Field, IEICE Trans. Electron., 査読有、Vol. E95-C、2012、pp. 1527-1530

[学会発表](計 2 5 件)

関川純哉、Ag/SnO<sub>2</sub> 接点对間で発生する開離時アークと接点表面との高速度分光同時撮影、2014 年 電子情報通信学会総合大会、2014 年 3 月 18 日、新潟市

原拓也、関川純哉、Ag 蒸気中のアークプラズマの熱力学・輸送特性に対する雰囲気ガス圧力の影響、2014 年 電子情報通信学会総合大会、2014 年 3 月 18 日、新潟市

渥美知之、関川純哉、開離時アーク発生後に加熱された銀陰極表面の成分分布、電子情報通信学会・機構デバイス研究会、2014 年 1 月 31 日、東京都

Masato Nakamura, Junya Sekikawa, Observation of Cathode Surfaces Being Affected by a Break Arc, 電子情報通信学会・機構デバイス研究会・IS-EMD2013、2013 年 11 月 17 日、中国・武漢市

Kojun Konishi, Junya Sekikawa, Influence of Contact Opening Speed on Motion of Arc Spots on Contact Surfaces for Break Arcs occurring in a DC 450V Circuit, 電子情報通信学会・機構デバイ

ス研究会・IS-EMD2013、2013 年 11 月 16 日、中国・武漢市

中村真人、関川純哉、高速度分光撮影による電気接点表面と開離時アークの同時撮影結果、平成 25 年度 電気関係学会 東海支部連合大会、2013 年 9 月 24 日、静岡県

中村真人、関川純哉、高速度分光撮影による電気接点表面の撮影結果への画像解析、2013 年 電子情報通信学会エレクトロニクスソサイエティ大会、2013 年 9 月 17 日、福岡県

関川純哉、開離時アーク発生中の陽極表面とアーク放電光との高速度分光撮影、2013 年 電子情報通信学会総合大会、2013 年 3 月 21 日、岐阜県

Masato Nakamura, Junya Sekikawa, Real Time Spectroscopic Observation of Contact Surfaces being Eroded by Break Arcs, 電子情報通信学会・機構デバイス研究会・IS-EMD2012、2012 年 12 月 1 日、千葉県

Junya Sekikawa, High-Speed Spectroscopic Imaging of Contact Surfaces Eroded by Break Arcs, 58th IEEE Holm Conf. on Electrical Contacts, 2012 年 9 月 26 日、アメリカ・ポートランド

関川純哉、開離時アーク発生中の接点表面とアーク放電光の高速度同時撮影、2012 年 電子情報通信学会エレクトロニクスソサイエティ大会、2012 年 9 月 14 日、富山県

中村真人、関川純哉、開離時アークに接している電気接点表面の高速度分光撮影方法、2012 年 電子情報通信学会エレクトロニクスソサイエティ大会、2012 年 9 月 14 日、富山県

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

関川 純哉 (SEKIKAWA Junya)  
静岡大学・工学研究科・准教授  
研究者番号：80332691

### (2) 研究協力者

中村 真人 (NAKAMURA Masato)  
静岡大学・工学研究科・大学院生

小野 仁 (ONO Hitoshi)  
静岡大学・工学研究科・大学院生

渥美 知之 (ATSUMI Tomoyuki)  
静岡大学・工学研究科・大学院生

佐々木 友彰 (SASAKI Tomoaki)  
静岡大学・工学研究科・大学院生

原 拓也 (HARA Takuya)  
静岡大学・工学研究科・大学院生

小西 弘純 (KONISHI Kojun)  
静岡大学・工学研究科・大学院生

窪野 隆能 (KUBONO Takayoshi)  
静岡大学・名誉教授