

令和 5 年 6 月 7 日現在

機関番号：13801

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K04441

研究課題名（和文）電気接点内部から噴出させる高速気流によるアーク放電の超短時間消弧

研究課題名（英文）Short-time extinguishing of arc discharges by high-speed airflow ejected from the inside of an electrical contact

研究代表者

関川 純哉（Sekikawa, Junya）

静岡大学・工学部・教授

研究者番号：80332691

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：電気回路の開閉用に使われる電磁リレーやコンタクタ等のデバイスには電気接点対が搭載されている。これらのデバイスで回路を遮断する際には電気接点対間でアーク放電が発生する。このアーク放電を消す（消弧）ための手法として、本研究では接点表面から気流を噴出させる新たな手法を提案した。気流は接点そのものの動きに連動して発生させる。この手法により、接点間に発生したアーク放電を接点間隙から外側に押し出すことに成功し、磁気吹き消しに匹敵する短時間で消弧できることを確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で提案した気流噴出によるアーク放電の吹き消しは、接点そのものに気流を発生させる機構が組み込まれていることに特徴がある。この手法はこれまでにない新たな手法である。気流噴出によるアーク放電の駆動効果の最適化のために、接点構造の改良を続けた結果、ある実験条件においては、従来手法としてよく用いられている磁気吹き消しに匹敵するかそれをやや上回るアーク放電の継続時間短縮効果が得られた。

研究成果の概要（英文）：Electrical contacts are mounted in the electro-magnetic relays and contactors that are used to switch electrical circuits. Arc discharges occur in these devices when the circuit is interrupted. In this study a novel method is proposed to extinguish arc discharges. Air flow is generated from a contact surface in the method. The air flow is occurred by the motion of the electrical contact. Using this method, arc discharges generated between electrical contacts were successfully blown-out from the contact gap by the air flow, and the duration of arc discharges was shortened to a degree comparable to magnetic blowing-out.

研究分野：アーク放電、電気接点

キーワード：アーク放電

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 電気接点对が搭載されている電磁リレー等で直流回路を遮断する際には、その接点对間においてアーク放電が発生する。アーク放電は高温であり、電磁リレーのケースの内壁などが高温のアーク放電に曝されると溶融・蒸発により損傷を受ける。また、電気接点もアーク放電によって消耗する。そのため、回路遮断時に発生するアーク放電をできるかぎり短い時間で消すことが望ましい。従来のアーク放電を消す(消弧)手法としては、磁気吹き消しがある。この手法では、電気接点周辺に永久磁石等を配置する必要がある、それらのための設置空間が必要である。そこで、研究代表者は、電気接点外部での設置物をほぼ使用することなく、電気接点そのものから高速気流を噴出させてアーク放電を消弧させる方法を提案した。

2. 研究の目的

(1) 発生直後のアーク放電に高速気流を作用させてアーク放電の継続時間を短縮させる手法の実現を目指した。本研究では独自の接点構造を提案し、接点の開離動作そのものによって、一方の接点の表面から高速気流を噴出させる。はじめに高速気流によるアーク継続時間の短縮効果を確認し、その後で接点对構造の最適化によりさらに継続時間を短縮することを試みた。

3. 研究の方法

(1) 本研究の実験を実施するために、気流噴出機構を組み込むことが可能な電気接点の等速開離装置(以下、開離装置)を製作した。開離装置はリニアステージによって駆動され、接点对の開離後、可動接点を設定した一定の速度で開離させる。固定接点と可動接点とを接触させた状態で通電し、可動接点を等速で引き離すことで接点对間にアーク放電を発生させる。等速開離の最大速度は1m/sである。

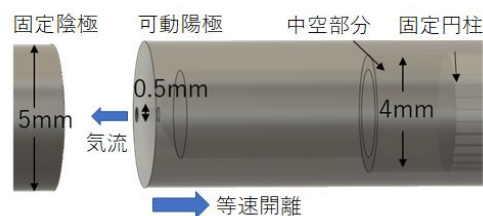


図1 気流噴出機構の模式図

(2) 気流噴出機構の模式図を図1に示す。高速気流を発生させる接点構造として、可動陽極の接触面に穴をあけ、その後部に中空部分を設けた。図1に示すように、陰極は固定し、可動陽極を等速開離させる。可動陽極の中空部分内に、それと外径がほぼ等しい固定円柱が設置されている。可動陽極を固定陰極に接触させた後に等速で開離させると、可動陽極の中空部分の空気が固定円柱によって押し出され、可動陽極の表面の穴から固定陰極側に噴出する。この気流を、接点对間に発生させたアーク放電に作用させる。使用した接点对の外径は5mm又は3mmとした。可動接点の穴の径は0.5mm又は1.0mm、中空部分の径は3mm,4mm,又は8mmとした。穴の径が小さく、中空部分の径が大きいほど噴出される気流の最大流速は速くなる。接点材料は純銀を用いた。回路条件として、電源電圧は直流48V-200V、接点接触時の電流は2.4A-10Aとした。

4. 研究成果

(1) 回路条件を電源電圧48V、接点接触時の電流を9Aとして、2種類の接点構造を用いてアーク継続時間の短縮効果を確認した結果を図2に示す。タイプAとBは可動陽極の構造の違いを示す。タイプAの穴の径は1mm、固定円柱の径が3mmであり、タイプBの穴の径は0.5mm、固定円柱の径が4mmである。タイプAよりもタイプBの方が気流の噴出速度が速いことが期待される。図2に示すように、開離速度が0.5m/sの場合には気流によるアーク継続時間の短縮効果は見られなかった。開離速度が0.7m/sと1.0m/sの場合、タイプBを用いた場合にややアーク継続時間が短くなる傾向があった。気流噴出の有無によるアーク継続時間の顕著な短縮効果は得られなかった。その理由としては、この回路条件の場合には消弧直前のアーク長さが約1mmと短かったことが考えられる。そこで、消弧時のアーク長さがより長くなる実験条件として、電源電圧がより高い場合の実験を実施した。

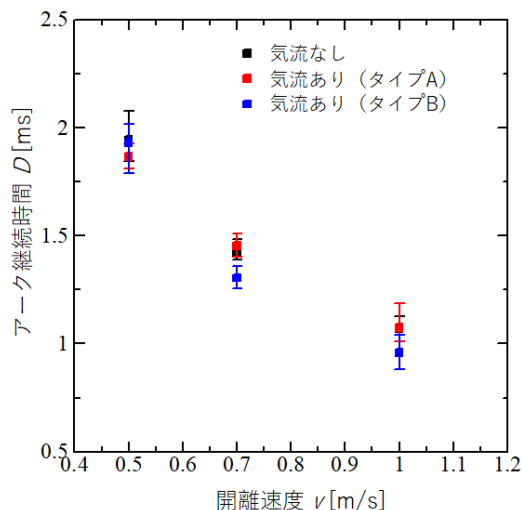


図2 アーク継続時間の開離速度依存性
(48V-9A)

(2) 回路条件を電源電圧 100V、接点接触時の電流を 10A として、気流噴出ありなしの場合の実験を実施した。この回路条件での実験では、気流噴出の効果を高めるために、穴の径は 0.5mm、固定円柱の径を 8mm とした。実験結果として、アーク継続時間の開離速度依存性を図 3 に示す。この回路条件で気流なしの場合、消弧直前のアーク長さは約 10mm である。図 3 に示すように、気流ありの場合に明確なアーク継続時間の短縮効果が得られた。

開離時アークの動きを高速度カメラで撮影した結果を図 4 に示す。気流なしの場合には接点对の開離動作に伴いアーク長さは長くなるが、開離時アークの位置はほぼ接点間隙の接点中心軸付近にとどまっている。これに対し、気流ありの場合には、開離時アークは気流によって上方に押し出されている。

(3) 同様の接点構造で、永久磁石による横磁界を開離時アークに印加し、磁気吹き消しとの併用の効果を確認した結果を図 5 に示す。磁気吹き消しの方向として、上向きにローレンツ力が作用するように永久磁石を設置した。それに合わせて、固定陰極の中心軸を可動陽極の中心軸よりも 0.2mm 上に設置した。これは、開離時アークの点弧位置を陰極中心軸の上側にするためである。図 5 に示すように、気流噴出と磁気吹き消しとを併用した場合、磁気吹き消しの効果が強く表れ、気流噴出による追加の継続時間短縮効果はほとんど得られなかった。横磁界の磁束密度が 50mT の場合、気流噴出によりややアーク継続時間が短くなる傾向は見られたが顕著な効果はなかった。

(4) この原因として、点弧から消弧に至るまでの間に、開離時アークが接点間隙で中心軸付近から外周方向まで走行する時間が影響していると予想した。図 4 に示すように、気流により開離時アークが動かされるとき、接点对接触面上を開離時アークが走行するため、接点間隙の外に押し出されて消弧に至るまでの時間が長くなる。そこで、接点接触面上での走行距離を短くするために接点对の直径を 3mm とした。また、気流分布が固定陰極付近に偏らないように、穴の径を 0.5mm から 1mm として実験を実施した。その結果、アーク継続時間は約 0.9ms となった。これは、図 5 に示した磁気吹き消しと同等以上の効果である。本研究で提案した気流噴出構造を有する独自の接点によって、磁気吹き消しに匹敵するアーク継続時間の短縮効果が得られた。

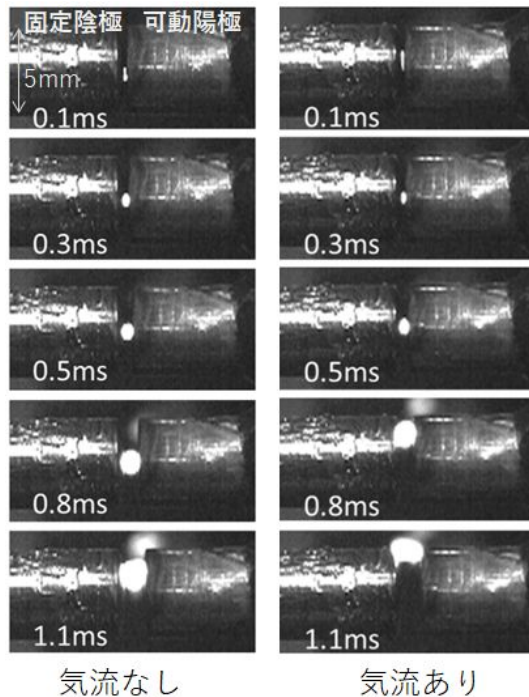


図 4 高速度カメラで撮影した開離時アークの例。図中の時刻は開離動作開始からの時刻を示す。
(100V-10A、開離速度 1.0m/s)

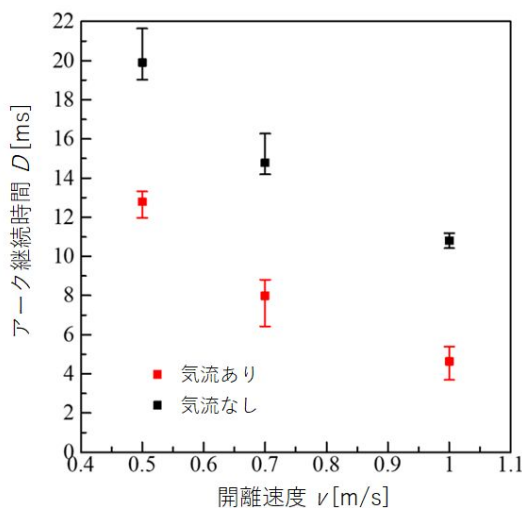


図 3 アーク継続時間の開離速度依存性
(100V-10A)

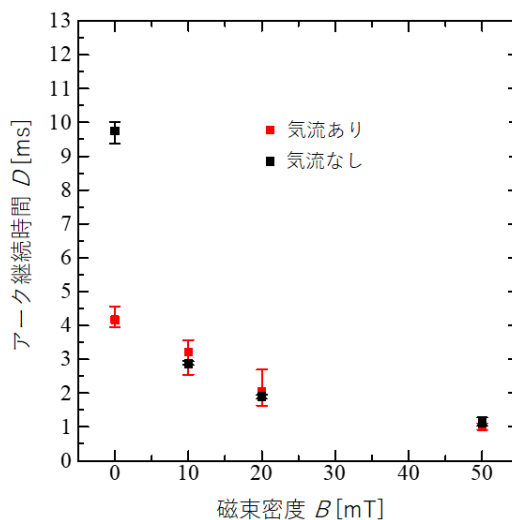


図 5 アーク継続時間の磁束密度依存性
(100V-10A、開離速度 1.0m/s)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 服部聖也、関川純哉
2. 発表標題 電気接点内部から噴出させる気流が開離時アークに及ぼす影響の実験的検討
3. 学会等名 2022年 電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐藤 裕之、関川 純哉
2. 発表標題 450VDC/10A回路における開離時アークの陰極輝点の 移動特性とアークランナー表面の温度
3. 学会等名 電子情報通信学会・機構デバイス研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 亀山滉貴、関川純哉
2. 発表標題 開離時アークの動きに作用させるために電気接点对の表面から噴出される気流の数値解析
3. 学会等名 電子情報通信学会・機構デバイス研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 服部聖也、関川純哉
2. 発表標題 気流を噴出させる接点对間で発生させた開離時アークの継続時間に対する開離速度と接点形状の影響
3. 学会等名 2022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
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 服部聖也、関川純哉
2. 発表標題 接点表面から噴出させる気流が開離時アークの継続時間と陰極輝点の移動特性に与える影響
3. 学会等名 2023年電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 神田直輝、服部聖也、関川純哉
2. 発表標題 気流噴出構造を有する電気接点对間で発生させた開離時アークの継続時間短縮効果と移動特性
3. 学会等名 2023年電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	服部 聖也 (Hattori Seiya)		
研究協力者	神田 直輝 (Kanda Naoki)		
研究協力者	亀山 滉貴 (Kameyama Koki)		

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------