

平成 29 年 6 月 20 日現在

機関番号：13801

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420227

研究課題名(和文) 電気接点周辺の気流と磁気吹き消しの併用による開離時アークの高速消弧

研究課題名(英文) High-speed extinction of break arcs with magnetic blow-out and air flow

研究代表者

関川 純哉 (Sekikawa, Junya)

静岡大学・工学部・准教授

研究者番号：80332691

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：抵抗性負荷回路の直流回路内で開離時アークを発生させた。空気吹き付けによるアーク継続時間の短縮効果を調べるために、大流量の空気を開離時アークに吹き付けた。その結果、磁気吹き消しの場合に比べてアーク継続時間を半分程度まで短縮することができた。磁気吹き消しと空気吹き付けの併用効果を確認するための実験を実施した。その結果、磁気吹き消しのための磁束密度がある値以上であれば、空気吹き付けによるアーク継続時間の短縮効果は限定的であった。

研究成果の概要(英文)：Break arcs are generated in a DC resistive circuit. To investigate shortening effect of arc duration by air flow, high flow rate air was blown to the break arcs. The arc duration was shortened to the half compared with the duration when the break arc was only magnetically blown-out. In order to study combination effect of the air flow and the magnetic blow-out, a series of experiments was carried out. The shortening effect of the arc duration by the air flow was insignificant when the magnetic flux density was larger than a certain value.

研究分野：電気接点、アーク放電

キーワード：アーク放電 電気接点 電磁リレー

1. 研究開始当初の背景

(1) 太陽光発電の普及や自動車の動力の電化が進んでいる。これらの機器に不具合が発生した時には蓄電池などの電源側とモータなどの負荷側を電氣的に切り離す必要がある。遮断器や電磁リレーによって回路を遮断する際には電気接点間でアーク放電が発生する。蓄電池を含むシステム内では直流回路が使用されている。直流回路は交流回路に比べて遮断の条件が厳しい。アーク放電が長時間維持されると接点の激しい消耗や機器の損傷の原因となるので、短時間で消弧させることが望ましい。

(2) 開離時アーク(通電中の回路の遮断時に発生するアーク放電)を短時間で消弧させるには、アーク電圧をできるだけ速く高くする必要がある。その方法のひとつとして、開離時アークに外部磁界によるローレンツ力を作用させる、磁気吹き消しがある。磁気吹き消しされる開離時アークの電圧の時間変化の一例を図1に示す。点弧から消弧に至るまでのアーク継続時間は、こう着時間と引き伸ばし時間の和で表される。引き伸ばし時間は外部磁界の磁束密度を高くすると短くなるが、永久磁石で印加できる程度の磁束密度では、こう着時間の短縮効果には限界がある。開離時アークのこう着時間を何らかの方法で短縮できればアーク継続時間をさらに短縮できる。

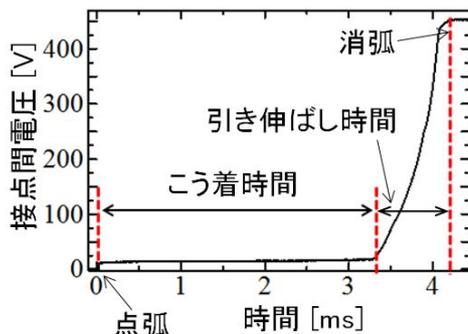


図1 磁気吹き消しされる開離時アークの電圧の時間変化

2. 研究の目的

アークこう着時間と引き伸ばし時間との両方を短縮できる方法があれば、従来の磁気吹き消しの限界を超える高速アーク消弧が実現できるのではないかと考えた。その方法として、気流によって、こう着アークを周囲の気体ごと接点間隙から押し出すことを提案した。そこで本研究では、磁気吹き消しとガス吹き付けの併用及びガス吹き付けのみにより開離時アークを超高速遮断することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 直流抵抗性負荷回路を電気接点对で遮断した。直径5mmの円柱形の銀接点の端面を水平に突き合わせた状態で通電し、可動側の陽極を等速(10mm/s~50mm/s)で引き離した。

(2) 等速で開離される電気接点对の間隙付近にガス吹き付け用のノズルの先端を配置する。接点对とノズルの配置図を図2に示す。吹き付けるガスは空気であり、その風量によって、空気ポンプ、又はコンプレッサーを使い分けた。永久磁石による磁気吹き消しを併用する場合には、磁気吹き消しにより開離時アークが引き伸ばされる方向と、空気吹き付けによって開離時アークが引き伸ばされる方向とを同一方向に設定した。

(3) 接点間で吹き消される開離時アークの様子を、引き伸ばされる方向と、それに直角な方向の2方向から同時に2台の高速度カメラで撮影した。

(4) 接点表面から接点支持片等の物にアーク足が移動する状況を想定して、接点对にアークランナーを取り付けて、磁気吹き消しと空気吹き付けの併用により開離時アークを駆動する実験を実施した。接点对、アークランナー、及びノズルの配置図を図3に示す。可動陽極を固定陰極に接触させた状態で通電し、可動陽極を等速で引き離して開離時アークを発生させた。内径3mmのノズルから空気を吹き付け、開離時アークを上方に引き伸ばした。

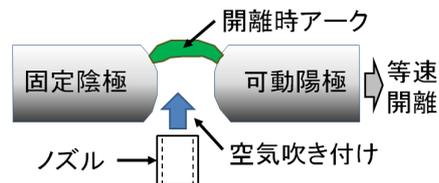


図2 接点对とノズルの配置図

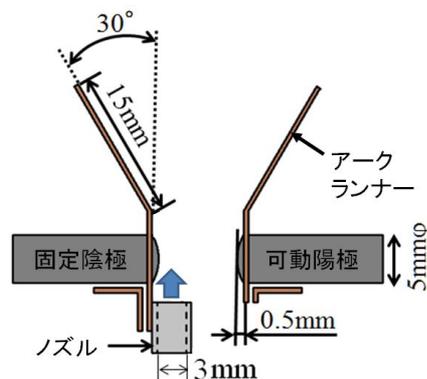


図3 接点对、アークランナー、及びノズルの配置図

4. 研究成果

(1) 外部磁界印加と空気吹き付けとの組み合わせによるアーク継続時間の効果を確認するための実験と解析を実施した。いくつかの実験条件で実験を実施した結果、当初想定していた流量では、アークこう着時間の短縮効果が限定的であったため、大流量の空気を吹き付ける実験も実施した。また、アークランナーを取り付けた接点の間隙に、空気を吹き付け再発弧の発生条件を調べた。以下では、

大流量空気の吹き付け、空気吹き付けと磁気吹き消しとの併用、及びアークランナーを用いた場合の実験結果を順に述べる。

(2) 大流量の空気を接点間隙に吹き付け、開離時アークの継続時間の短縮効果を確認した。電源電圧 48V、接点接触時の電流 10A、接点开離速度は 10mm/s ~ 50mm/s とした。内径 6mm のノズルを使用し、水平方向から吹き付けた空気の流量を最大 250L/min とした。消弧直前の開離時アークを高速度カメラで撮影した画像の一例を図 5 に示す。空気吹き付けにより開離時アークが風下側に押し流されている。開離時アーク発生時の電圧波形と撮影画像の一例を図 6 に示す。接点对の開離と開離時アークの引き伸ばしに伴いアーク電圧が増大し 3.4ms で消弧に至る。この間、図 6 (b) の真上から撮影した画像において、風下方向 (画像の上から下方向) へと開離時アークが移動している。

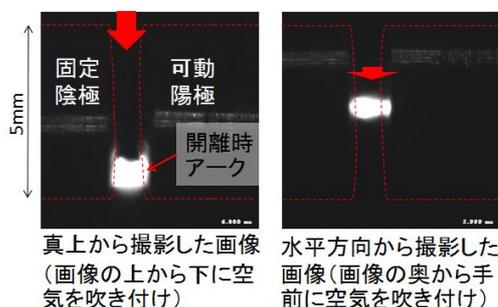
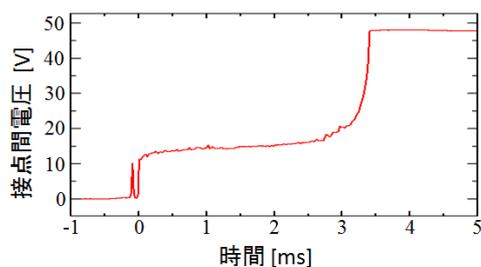
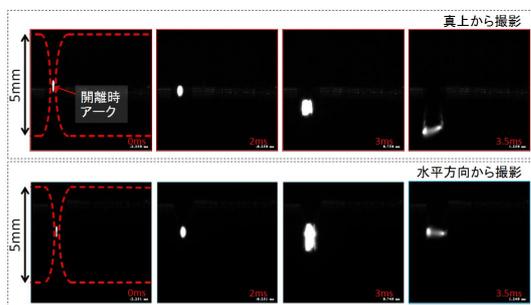


図 5 高速度カメラで撮影した画像の一例 (図中の矢印は空気の吹き付けを示す)



(a) 接点間電圧波形



(b) 開離時アークの画像

図 6 開離時アークの電圧波形と画像の一例 (開離速度 50mm/s、空気流量 50L/min)

アーク継続時間の空気吹き付け流量依存

性を図 7 に示す。吹き付けた空気の流量が 100L/min 以上の場合、アーク継続時間は磁気吹き消しのみ (150mT) の場合の 2.9ms よりも短縮された。磁束密度 150mT は、我々が使用している実験装置において、一つの永久磁石を用いて接点間隙に印加できる最大磁束密度である。250L/min の最大風量時には、アーク継続時間を、磁気吹き消しの場合 (2.9ms) の約半分である 1.6ms まで短縮することができた。

吹き付ける空気の流量を変えた場合の典型的な接点間電圧の波形を図 8 に示す。空気吹き付けの流量の増大に伴い、こう着時間の短縮とともにアーク継続時間も短くなった。

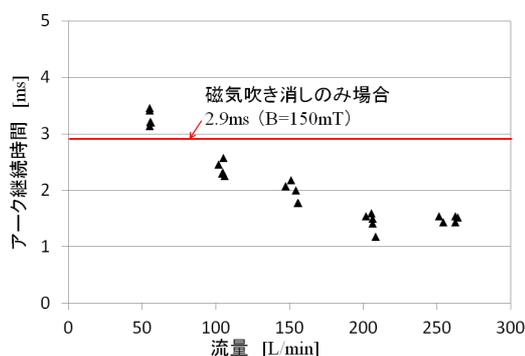


図 7 アーク継続時間の空気吹き付け流量依存性 (接点对開離速度 50mm/s)

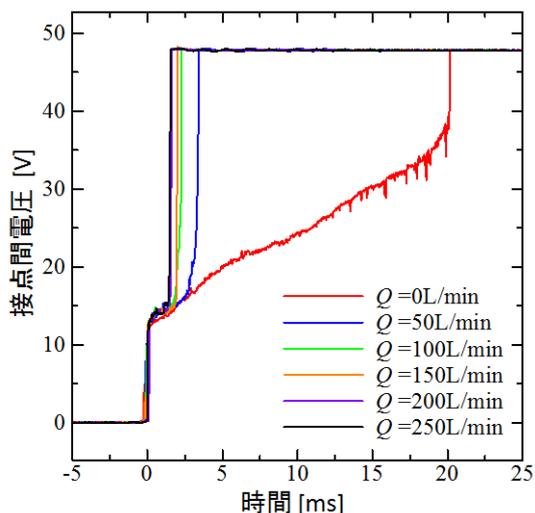


図 8 流量ごとの典型的な接点間電圧の波形 (接点对開離速度 50mm/s)

(3) 外部磁界印加と空気吹き付けとの組み合わせの効果を確認した実験の結果を述べる。永久磁石による磁束密度は最大 150mT、ノズルの内径は 3mm、空気吹き付けの流量は最大 20L/min とした。電源電圧は最大 450V、接点接触時の回路電流は 10A、接点对の開離速度は 50mm/s とした。

実験結果を図 9 に示す。外部磁界の磁束密度が 60mT 以上であれば、空気吹き付けの追加効果がほとんどなくなる程度まで、アーク継続時間が十分に短縮された。

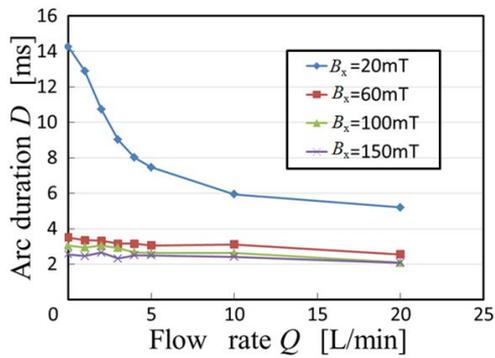


図9 磁気吹き消しと空気吹き付けを併用した場合のアーキ継続時間の流量依存性

この時、空気の流量の増大によるアーキ継続時間の短縮効果はわずかであった。但し、吹き付けの空気の流量が大きい場合、特に20L/minの場合には、空気吹き付けによるアーキ継続時間の短縮効果がやや強くなった。これは流量の増大によりアーキこう着時間と引き伸ばし時間の両方がそれぞれ短くなったことに起因していた。

アーキ引き伸ばしが始まる直前に、アーキ柱に作用する力を、ローレンツ力と空気吹き付けによる力とに分けて解析した結果、20L/minの条件において、空気吹き付けによる力がローレンツ力と同程度以上となっていた。

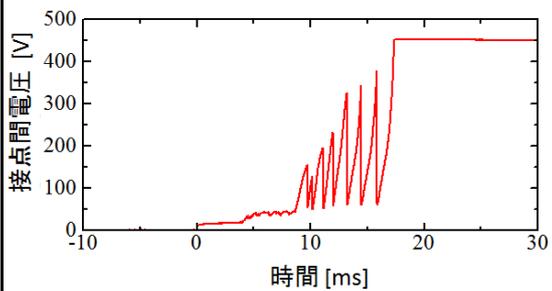
(4) 図3に示すように接点对、銅製のアーキランナー、及びノズルを配置し、開離時アーキを発生させた。開離時アーキを磁気吹き消しするために、永久磁石(高さ20mm、幅15mm、厚さ5mm、接点中心軸上での磁束密度20mT)を配置した。ノズルの内径は3mm、空気の吹き付けの流量は最大10L/minとした。電源電圧は最大450V、接点接触時の回路電流は10A、接点对の開離速度は50mm/sとした。

図10に開離時アーキの接点間電圧波形と、水平方向から高速カメラで撮影した画像の一例を示す。点弧直後は接点間隙の接点の中心軸上に開離時アーキが発生した。その後、開離に伴い開離時アーキは上方に引き伸ばされた。その際、一度引き伸ばされた開離時アーキがランナーの根本付近で再発弧した。再発弧の発生に伴い、図10(a)に示すような振動波形が現れた。図10(b)に示すように、開離時アーキがランナー間に移動してから消弧に至るまで、陽極輝点はランナー上を走行するが、陰極輝点はランナーと陰極側面との境界位置に留まっていた。図11に示すように、アーキ継続時間は電源電圧の増大とともに長くなり、空気吹き付けの流量を増やすと短くなる傾向がみられた。

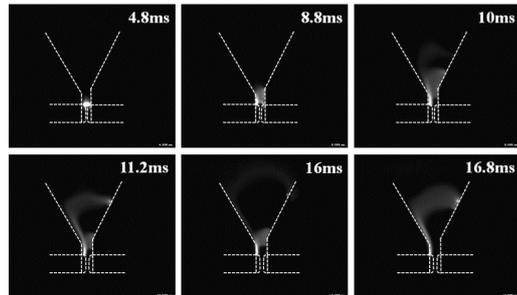
一回ごとの開離動作中に発生した再発弧の回数を解析した結果を図12に示す。流量が2L/minの際に、再発弧の発生回数が最も少なくなる事が明らかとなった。再発弧回数を抑制するためには、磁気吹き消しに空気吹き付けを併用することが有効であり、

2L/min程度の僅かな流量で有効であった。但し図11に示すようにアーキ継続時間は、空気吹き付けの流量を大きくすると短くなる傾向があった。

(5) 以上の結果を以下にまとめる。(2)として大流量の空気吹き付けによって、磁気吹き消しを超える、アーキこう着時間の短縮を伴うアーキ継続時間の短縮効果を確認した。そのために必要な、空気吹き付けの流量を明らかにした。(3)として、磁気吹き消しと空気吹き付けの併用によるアーキ継続時間の短縮効果が得られる、磁束密度と流量との関係を明らかにした。(4)として、磁気吹き消しされる開離時アーキに少ない流量の空気を吹き付けた場合、僅かな流量で再発弧の発生回数を抑制できることを示した。



(a) 接点間電圧波形



(b) 開離時アーキの画像

図10 開離時アーキの電圧波形と画像の一例(開離速度50mm/s、空気吹き付けの流量1L/min)

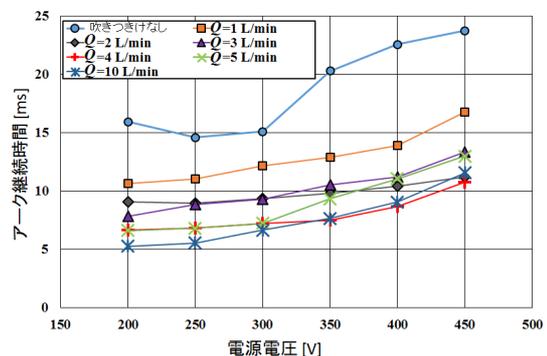


図11 アークランナー間で磁気吹き消しされる開離時アーキに空気を吹き付けたときのアーキ継続時間の電源電圧依存性

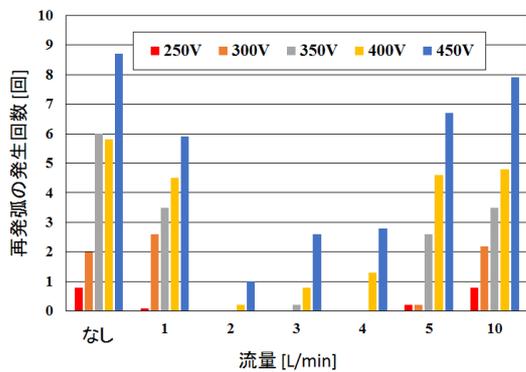


図 1 2 アークランナー間で磁気吹き消しされる開離時アークに空気を吹き付けたときの再発弧発生回数の流量依存性

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 3 件)

Junya SEKIKAWA, Occurrence of Reignitions of Break Arcs When Moving Range of Arc Spots are Restricted within the Contact Surfaces, IEICE Trans. Electron., 査読有, Vol.E99-C, 2016, pp. 992-998, DOI: 10.1587/transele.E99.C.992

Keisuke KATO, Junya SEKIKAWA, Restriction on Motion of Break Arcs Magnetically Blown-Out by Surrounding Walls in a 450VDC/10A Resistive Circuit, IEICE Trans. Electron., 査読有, Vol.E99-C, 2016, pp. 1009-1015, DOI: 10.1587/transele.E99.C.1009

Haruki MIYAGAWA, Junya SEKIKAWA, Motion of Break Arcs Occurring between Silver Electrical Contacts with Copper Arc Runners, IEICE Trans. Electron., 査読有, Vol.E98-C, 2016, pp. 919-922, DOI: 10.1587/transele.E98.C.919

〔学会発表〕(計 2 2 件)

山下翔真、関川純哉、高速空気吹き付けによる開離時アーク継続時間の短縮、2017年 電子情報通信学会総合大会、2017年 3月 25日、名城大学 天白キャンパス (愛知県・名古屋市)

山村龍一郎、関川純哉、450VDC 回路における空気吹き付けと磁気吹き消しによる開離時アーク継続時間の短縮効果、2017年 電子情報通信学会総合大会、2017年 3月 25日、名城大学 天白キャンパス (愛知県・名古屋市)

石原彰典、関川純哉、直流高電圧回路内で磁気吹き消しされる開離時アークの消弧直前におけるアーク長さの接点材料依存性、電子情報通信学会機構デバイス研究会、2016年 12月 16日、機械振興会館 (東京都・港区)

太田 優、関川純哉、磁気吹き消しされる開離時アークの金属板側面による移動制限その 2、電子情報通信学会機構デバイス研究会、2016年 12月 16日、機械振興会館 (東京都・港区)

Haruki Miyagawa, Junya Sekikawa, Effect of Magnetic Blow-out of Break Arcs with air flow Occurring between Silver Electrical Contacts with Copper Runners, 電子情報通信学会機構デバイス研究会 IS-EMD2016, 2016年 11月 4日、淡路夢舞台国際会議場 (兵庫県・淡路市) Yu Ota, Junya Sekikawa, Restriction of Motion of Break Arcs Being Magnetically Blown-out by Side Surface of Metal Plates, 電子情報通信学会機構デバイス研究会 IS-EMD2016, 2016年 11月 4日、淡路夢舞台国際会議場 (兵庫県・淡路市)

宮川晴希、関川純哉、銅又は銀ランナーを伴う銀接点对間で発生する磁気吹き消しされる開離時アーク、2016年 電子情報通信学会ソサイエティ大会、2016年 9月 22日、北海道大学札幌キャンパス (北海道・札幌市)

山下翔真、関川純哉、空気吹き付けによる開離時アーク継続時間の短縮効果、2016年 電子情報通信学会ソサイエティ大会、2016年 9月 22日、北海道大学札幌キャンパス (北海道・札幌市)

加藤圭佑、関川純哉、磁気吹き消しされる開離時アークの高分子材料を用いた移動制限、電子情報通信学会機構デバイス研究会、2016年 2月 19日、あざれあ (静岡県・静岡市)

渥美知之、関川純哉、窒素吹き付け下で開離時アーク発生後の銀接点表面の成分分布、電子情報通信学会機構デバイス研究会、2015年 2月 20日、静岡大学浜松キャンパス (静岡県・浜松市)

小西弘純、関川純哉、DC450V 回路の開離時アークに対して用いる高分子壁材料の比較、電子情報通信学会機構デバイス研究会、2015年 2月 20日、静岡大学浜松キャンパス (静岡県・浜松市)

蒔山敦史、関川純哉、直流高電圧回路中で発生する開離時アークのガス吹き付けによる消弧、電子情報通信学会機構デバイス研究会、2015年 1月 23日、富士通アドバンステクノロジー (神奈川県・川崎市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

関川 純哉 (SEKIKAWA Junya)

静岡大学・工学部・准教授

研究者番号: 80332691

(2) 研究協力者

野中 大輔 (NONAKA Daisuke)

静岡大学・工学部・学部生

山下 翔真 (YAMASHITA Shoma)

静岡大学・工学部・学部生

山村 龍一郎 (Ryuichiro YAMAMURA)

静岡大学・工学部・学部生

石原 彰典 (ISHIHARA Akinori)

静岡大学・総合科学技術研究科・大学院生

太田 優 (OTA Yu)

静岡大学・総合科学技術研究科・大学院生

宮川 晴希 (MIYAGAWA Haruki)

静岡大学・工学研究科・大学院生

加藤 圭佑 (KATO Keisuke)

静岡大学・工学研究科・大学院生

蔭山 敦史 (MAKIYAMA Atsushi)

名古屋大学・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

渥美 知之 (ATSUMI Tomoyuki)

静岡大学・工学研究科・大学院生