

機関番号：13801
 研究種目：若手研究（B）
 研究期間：2008～2010
 課題番号：20760182
 研究課題名（和文） アーク放電に起因する接点消耗の低減を目的とした永久磁石埋め込み型電気接点の研究
 研究課題名（英文） A study of electrical contacts in which a permanent magnet is embedded to reduce contact erosion caused by arc discharges
 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：8032691

研究成果の概要（和文）：電磁リレーに搭載された電気接点で直流回路を開閉する場合、接点間でのアーク放電の発生は不可避である。その発生位置が接点面上で局在化すると、局所的な接点消耗が発生し電磁リレーは動作不良に至る。これを防ぐために本研究では、電気接点自体に永久磁石を埋め込むことでアーク放電を回転駆動し、接点消耗の均一化を実現する方法を提案した。その結果、直流回路内で使用される接点の消耗均一化効果が得られることを実証した。

研究成果の概要（英文）： Occurrence of arc discharges is inevitable when the DC electrical circuit is switched by electrical contacts mounted on a magnetic relay. The relay falls into the defective operation if the position of the arcs is localized on contact surfaces. A new structure of the electrical contacts in which the permanent magnet was embedded was proposed in order to avoid the defect. As results, it is proved that the new structure was effective to achieve the wide and uniform erosion of electrical contacts used in the DC circuit.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2009年度	700,000	210,000	910,000
2010年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

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、接点消耗、スイッチ、開離時アーク、高速度カメラ、直流回路

1. 研究開始当初の背景

電磁リレーなどの機械的に動作するスイッチは、半導体スイッチに比べて動作速度が遅く、電気接点の消耗による寿命の制限があることから、半導体技術の進展により使用されなくなるといわれていた。しかし、電磁リレーの利点として、価格が安いこと、サージ電圧に強いこと、接触抵抗が低く絶縁抵抗が高いこと、及び入出力回路が電氣的に分離されていることなどがあり、現在でも家電品や

自動車などで多数使用されている。最近でも国内で年間10億個以上生産されており、情報化社会の基盤を支える重要な機構デバイスのひとつである。

電磁リレーに内蔵された電気接点で直流回路を開閉する場合、接点間でのアーク放電の発生は不可避である。その発生位置が接点面上の特定箇所に固定化すると、局所的な接点消耗が発生し電磁リレーは動作不良に至る。電力用の大型電磁リレーでは、電気接点

付近に永久磁石を取り付け、磁界によってアーク放電を吹き飛ばし、電気接点の消耗を抑制する機構が利用されている。しかし、この機構を小型電磁リレーで利用しようとすると、永久磁石用のスペースをリレーケース内に新たに確保する必要があり、電磁リレーの小型化には不利である。

接点の消耗量が極性に依存しなければ、陰極・陽極ともに同量消耗するだけである。しかし直流回路内で使用される電気接点では、転移方向と転移量は接点材料と回路条件によって大きく変化することが知られており、極性によって消耗量が異なる場合には消耗量の多い側から少ない側へと接点材料が転移する。一回の動作での転移量は少なくとも、多数回動作後には接点面上に転移突起（対になる接点には窪み）が形成される。転移突起の成長は、アーク放電の発生箇所が接点面上の一部分に固定化することが原因である。即ち、接点表面上でのアーク放電の発生場所の局在化を防ぎ場所的に均一な材料転移にすることが必要である。

2. 研究の目的

本研究では、電気接点そのものに永久磁石を埋め込むことで、電磁リレーの構造を変えることなく、電気接点の消耗の均一化と低減

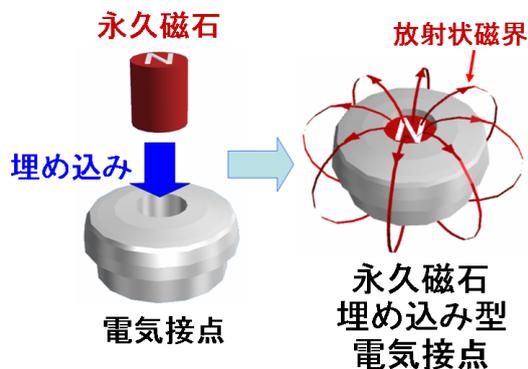


図1 永久磁石埋め込み型電気接点

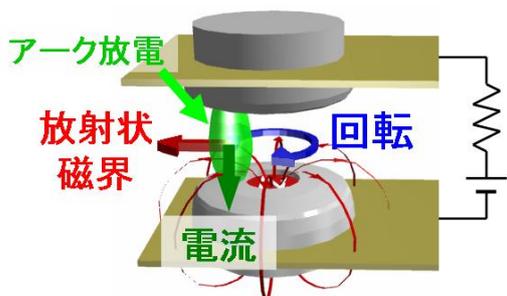


図2 電気接点間の放射状磁界によるアーク放電の回転

を実現する方法を提案し、その効果を実証することを目的とする。

3. 研究の方法

電気接点間に発生するアーク放電を接点表面上で広く動かす方法として、電気接点の中心に貫通孔を作り、その中に円柱型の永久磁石を埋め込む構造を考案した（図1）。中心の永久磁石によって、電気接点の中心軸の位置から径方向の外側に向かう放射状の磁界が形成される。図2に示すように、直流回路内の電気接点間でアーク放電が発生している状態を考えると、アーク電流は放射状磁力線によるローレンツ力で回転駆動される。永久磁石がアーク放電の発生場所に近接しているため、効率よく駆動効果が発揮される。

本研究では、まず提案する方法の効果を確認するために、アーク放電の移動特性測定（高速度ビデオカメラ、電気接点等速開離装置を使用）を実施した。次に、実際の電磁リレーに搭載された電気接点に永久磁石を埋め込み、電磁リレーによる多数回動作実験（10万回）を実施した。使用した回路は直流42Vの抵抗性負荷回路である。

4. 研究成果

(1) 純銀、及び銀系焼結合金（Ag/ZnO、

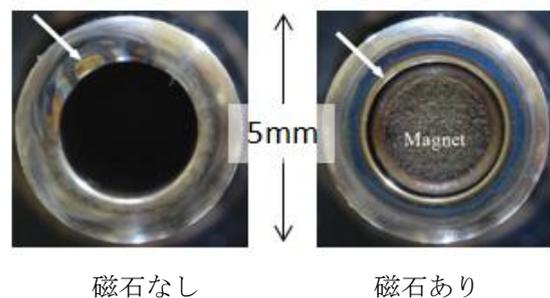


図3 開離時アーク発生後の陰極表面42V-10A抵抗性負荷回路での結果。矢印部分がアーク足（放電）の痕跡

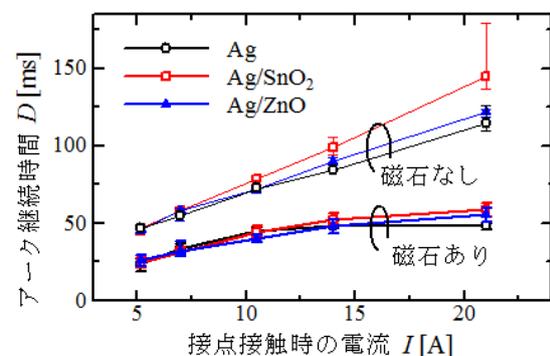


図4 アーク継続時間の回路電流依存性（42V抵抗性負荷回路）

Ag/SnO₂)の接点对を用いた実験で、電源電圧直流42V、回路電流5A-21Aの実験条件で、永久磁石による開離時アークの回転駆動効果が得られること、それによる効果として消耗領域が広く均一になること(図3)、及びアーク継続時間が短縮されること(図4)を確認した。継続時間の短縮は、接点消耗の減少に寄与する。さらに、高速度カメラで撮影した開離時アークの回転運動と電圧・電流波形から得られるデータを解析し、開離時アークを駆動するローレンツ力を計算した結果、ガス相アークへの移行後の必要最小限のローレンツ力があることを明らかにした。

(2) 永久磁石を実際の電磁リレーの電気接点部分に埋め込み(図5)、開離責務動作(回路オフのみの動作)及び閉成責務動作(回路オンだけの動作)による多数回動作実験(10万回)を実施した。その結果、開離責務動作接点对間での開離時アークに対して、回転駆動効果が得られることを確認した(図6、図7)。実験条件は、接点材料Ag/SnO₂、電源電圧42V、接点接触時の回路電流10Aである。それに対して、閉成責務動作接点对では回転駆動効果が得られなかった。

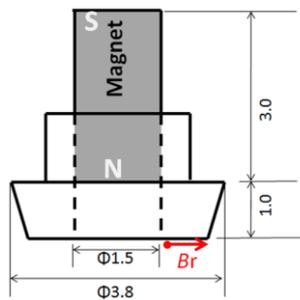


図5 固定接点と永久磁石 (B_r はアーク放電を回転駆動する磁束密度成分:10mT、永久磁石はネオジム磁石)

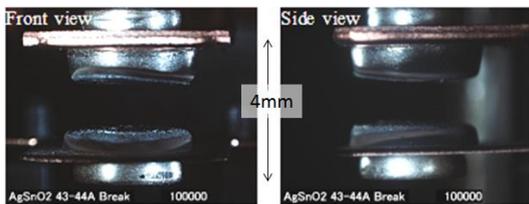


図6 100,000回動作後の開離責務動作接点对

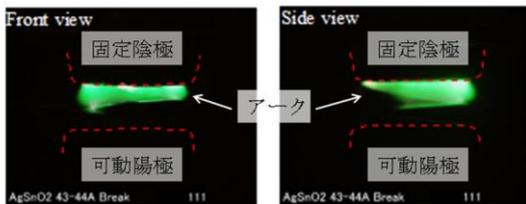


図7 開離動作中に発生するアーク放電

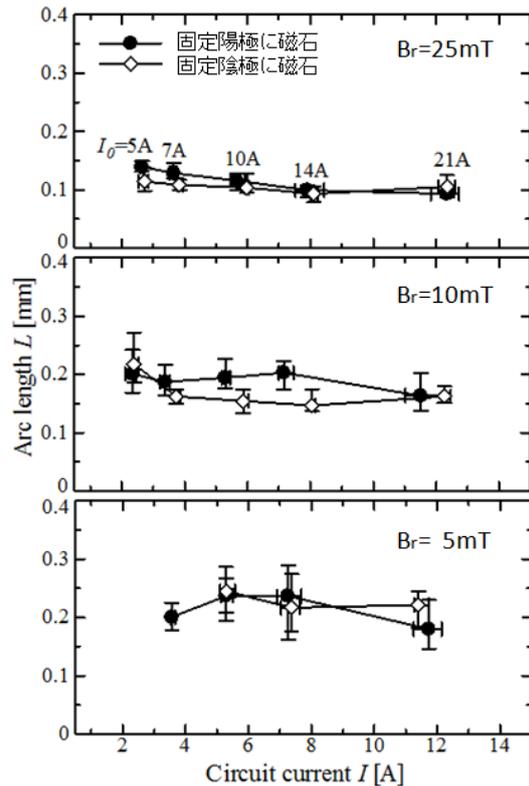


図8 回転開始時のアーク長さの回路電流依存性。 B_r はアーク放電を回転駆動する磁束密度成分、 I_0 は接点接触時の回路電流。

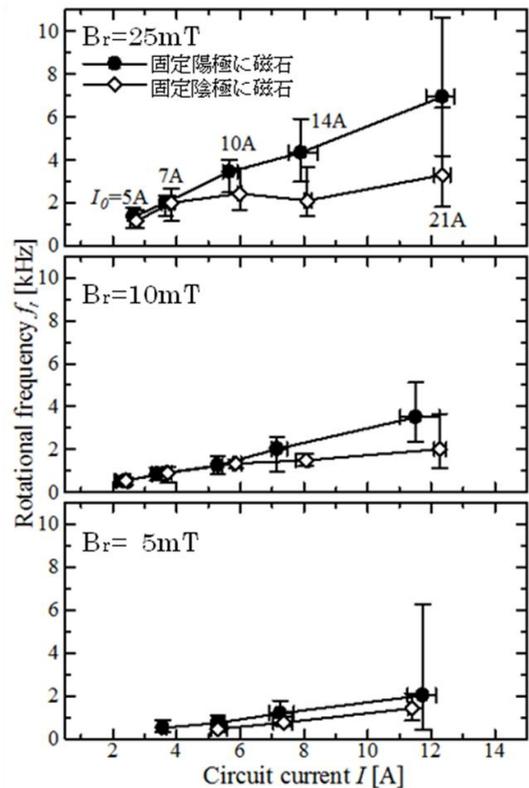


図9 回転開始時の回転周波数の回路電流依存性

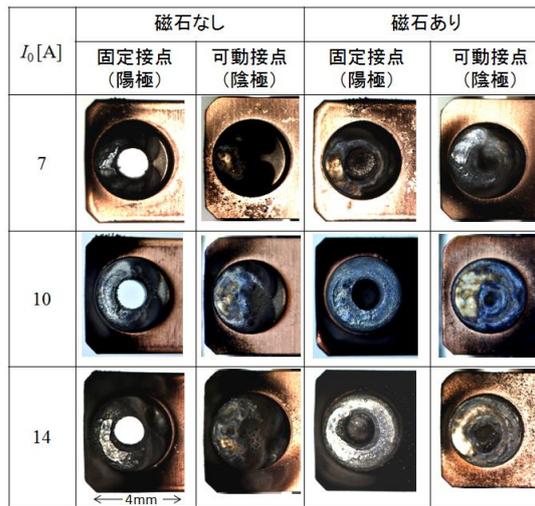


図10 100,000万回開離責務動作後の接点表面

(3) 接点开離装置を用いた実験により、開離時アークの駆動開始に必要な条件を調べるための実験を実施した。その結果、アーク放電を駆動するための条件は、ローレンツ力だけでは決まらず、アーク長さも影響していることが明らかとなった。開離時アークの回転運動を開始させるためには、ある値以上のローレンツ力が必要なだけでなく、回路条件で決まるある長さにアーク長さが達することが必要であることを明らかにした(図8)。また、接点开離装置を用いて、開離時アークの回転開始条件とその特性を詳細に調べ、連続的な回転開始時の回転周波数の特性が得られた(図9)。これは実際の電磁リレーの開離速度を想定する場合の、必要な回転速度を求めるための目安となる有用な数値となった。

(4) 電気接点对を搭載した電磁リレーを用いて、回路電流を変化させ(7A-14A)、開離時アークの回転駆動効果が得られることを確認した。接点接触時の回路電流が10A以上の場合には、実験後の接点表面の消耗の痕跡は、局在化することなく接点面上に広く分布していた(図10)。

(5) 以上の結果から、本研究で提案する方式により接点消耗の低減と均一化効果が得られることを実証した。また、その駆動効果が得られるために必要な条件を接点开離装置によって明確にした。

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4件)

- ① Naoya TAKESHITA, Junya SEKIKAWA and Takayoshi KUBONO, Arc Duration and Rotational Frequency of Break Arcs Driven by Radial Magnet Field in a DC42V Resistive Circuit, IEICE Trans. Electron.、査読有、E94-C、2011、掲載予定
- ② Junya SEKIKAWA and Takayoshi KUBONO, Effect of Contact Materials of Ag/SnO₂ and Ag/ZnO on Rotational Motion of Break Arcs Driven by Radial Magnetic Field, IEICE Trans. Electron.、査読有、E93-C、2010、pp.1387-1392
- ③ Junya SEKIKAWA and Takayoshi KUBONO, Rotational Motion of Break Arcs Driven by Radial Magnetic Field in a DC Resistive Circuit、IEICE Trans. Electron.、査読有、E92-C、2009、pp.992-997

〔学会発表〕(計24件)

- ① 関川純哉、電気接点に埋め込まれた永久磁石による開離時アークの回転駆動効果の電流依存性、2011年電子情報通信学会総合大会、2011年3月17日、東京都
- ② 竹下直弥、永久磁石埋め込み型接点で回転駆動される開離時アークの回転半径、2011年電子情報通信学会総合大会、2011年3月17日、東京都
- ③ Junya Sekikawa、Effect of Permanent Magnets Embedded in Electrical Contacts Mounted on Electro-magnetic Relays, IS-EMD2010, IEICE、2010年11月11日、西安市・中国
- ④ 竹下直弥、電気接点に埋め込まれた永久磁石の極性が開離時アークの回転運動に与える影響、電子情報通信学会、機構デバイス研究会、2010年10月15日、武蔵野市
- ⑤ Junya Sekikawa、Rotational Drive of Arc discharges by a Permanent Magnet Embedded in an Electrical Contact Mounted on a Relay, The 56th IEEE Holm Conference on Electrical Contacts、2010年10月4日、チャールストン(SC)・アメリカ
- ⑥ 関川純哉、電磁リレーに搭載された電気接点对の陰極側に埋め込まれた永久磁石によるアーク放電の回転駆動、2010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、2010年9月16日、堺市
- ⑦ 竹下直弥、永久磁石を埋め込む極性が開離時アークの回転駆動に与える影響、2010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、2010年9月16日、堺市

- ⑧ 竹下直弥、電気接点に埋め込まれた永久磁石によって磁気駆動される開離時アークの回転開始条件、電子情報通信学会、機構デバイス研究会、2010年 5月21日、秋田市
- ⑨ 関川純哉、陰極に埋め込まれた永久磁石によって回転駆動される開離時アークの継続時間と回転周波数、2010年 電子情報通信学会総合大会、2010年 3月17日、仙台市
- ⑩ Junya Sekikawa、Effects of Contact Materials on Rotational Motion of Break Arcs Driven by Radial Magnetic Field、IS-EMD2009, IEICE、2009年 11月20日、東京都
- ⑪ Junya Sekikawa、Rotational Drive of Break Arcs using a Permanent Magnet Embedded in an Electrical Contact、The 55th IEEE Holm Conference on Electrical Contacts、2009年 9月15日、バンクーバー・カナダ
- ⑫ 関川純哉、Ag 電気接点に埋め込まれた永久磁石によって磁気駆動される開離時アークの回転速度、電子情報通信学会、機構デバイス研究会、2009年 7月17日、千歳市
- ⑬ 関川純哉、窪野隆能、直流抵抗性負荷回路内で永久磁石によって回転駆動される開離時アークの諸特性、電子情報通信学会 2009 総合大会、2009年 3月20日、松山市
- ⑭ Junya Sekikawa、Rotational motion of Break Arcs Driven by Radial Magnetic Field in a DC Resistive Circuit、IS-EMD2008, IEICE、2008年11月16日、仙台市

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

窪野 隆能 (KUBONO TAKAYOSHI)
静岡大学・名誉教授
竹下 直弥 (TAKESHITA NAOYA)
静岡大学・工学研究科・大学院生
伴 倫充 (BAN NORIMITSU)
静岡大学・工学研究科・大学院生
渥美 友裕 (ATSUMI TOMOHIRO)
静岡大学・工学研究科・大学院生 (H22)
杉本 和是 (SUGIMOTO KAZUYOSHI)
静岡大学・工学部・4年生 (H20)