

# 直流高電圧回路中で発生する開離時アークの研究

静岡大学 大学院総合科学技術研究科 工学専攻  
教授 関川 純哉

Professor Junya Sekikawa  
Department of Engineering, Graduate School of Integrated Science and Technology  
Shizuoka University



## 1. はじめに

電力用機器になじみが深いと思われる本稿の読者は、高電圧と聞くと数千V以上の電圧を想像するのではないかと推測する。しかし本稿での高電圧とは、それよりもずっと低い、60V以上で数百V程度の電圧領域を想定している。電気設備技術基準の高圧・低圧の区分でいえば、低圧（直流750V以下）の区分である。それをあえて高電圧と呼ぶのは、著者らが主に関わっている技術分野（自動車、電話等の情報通信機器）での電圧区分に由来する。自動車の分野では、電装品用の電源系統としては現在でも14V系が使用されている。最近普及が目立ってきたマイルドハイブリッド車では主に48V系が採用されている。自動車分野の技術基準では、感電事故が発生し得る電圧として、直流60Vを超えると高電圧として扱われる<sup>(1)</sup>。また、電話等の情報通信機器では、アナログ電話回線の直流48Vが長年使用されてきた。そのためこれを超える直流260V～400Vの電圧領域が高電圧と定義されている<sup>(2)</sup>。

特に近年の情報通信機器の急激な普及に伴い、その給電システムの高効率化が重要な課題となっている。クラウドサーバー等の機器はその性質上、常時稼働させる必要がある。そのため通常は電源部分にはバッテリーによるバックアップシステムが組み込まれている。従来の電源システムでは、外部から交流で受電した後、バックアップ用バッテリーのために直流に変換し、再び交流に変換して各機器に給電していた。各機器の中では再び直流に変換しCPUやハードディスク等を動作させていた。この交流-直流の変換を減らし、バッテリーから各機器までの間を直流で給電することで変換の損失が減り給電効率が向上する。2014年ごろからは、給電電圧を380Vの高電圧直流（HVDC）にすることで高効率化した直流給電システムが実用化されている<sup>(3)</sup>。これに先行して、2000年頃にはすでに直流400Vに対応した配電用のプラグとソケットが開発されている<sup>(4)</sup>。このソケットの中には電気接点对によるアーク消弧モジュールが内蔵されており、プラグの金属部分が露出する際に高電圧が印加されないように工夫がされている。

直流数百Vの高電圧回路を電気接点对で遮断する際には激しいアーク放電が発生する。それを搭載したアーク

消弧モジュールや電磁リレーなどの機器の性能向上のためには、アーク放電の特性を正確に知る必要がある。過去の報告において、電磁リレー等を想定した数十V程度の電圧領域、及び電力用遮断器等を想定した数千V以上の電圧領域における報告は多くあるが、その間の数百ボルトの直流回路はそれらの既存の機器ではほとんど使用されていなかったため、その回路の遮断時に発生するアーク放電に関する報告はほとんど無かった。近年、上述の背景により、直流高電圧領域でのアーク放電に関する報告が増えている。

著者らの研究室では、数百Vの直流高電圧回路を遮断する際に発生するアーク放電について、その基礎特性を実験的に解析する研究と、これまでにない新たな消弧方法の提案と実証を行っている。以下では、それぞれについての最近の研究結果について紹介する。

## 2. 開離時アークに関する最近の研究結果

### 2.1 消弧直前のアーク放電の長さの三次元解析<sup>(5)</sup>

基礎特性に関する研究として、直流高電圧回路（500V-10A）を電気接点对で遮断する際に発生するアーク放電（開離時アーク）について、横磁界で磁気吹き消しした場合の消弧直前のアーク長さを定量的に調べた。視線が直交する二方向から二台の高速度カメラで開離時アークを同時撮影し、三次元的に複雑に変形するその長さを画像から解析した。横磁界の磁束密度を高くすると、消弧直前のアーク長さは短くなる傾向があった。横磁界の磁束密度が20mT及び140mTの場合、その長さはそれぞれ49mm及び28mmであった。この結果について、開離時アークの引き伸ばし速度によって説明できることを明らかにした。

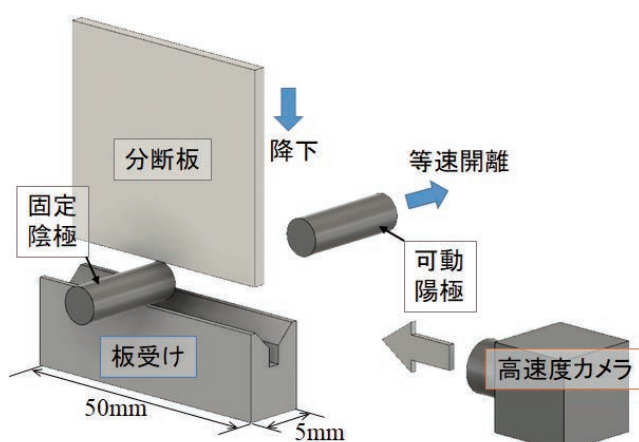
### 2.2 新たな消弧方法の提案と実証<sup>(5)</sup>

著者が提案した新たな手法を用いて開離時アークを消弧させた場合の結果について述べる。磁気吹き消しによる消弧では、横磁界の磁束密度を高くすると消弧直前のアーク長さは短くなるが、その短縮効果には限界があった。そこで開離時アークをより狭い空間内で消弧させることを目的として、それを空間的に分断し、電気接点の直径程度（3mmφ）の極小空間内で消弧させる手法を提案しその実証を試みた。接点間隙に発生した開離時アーク

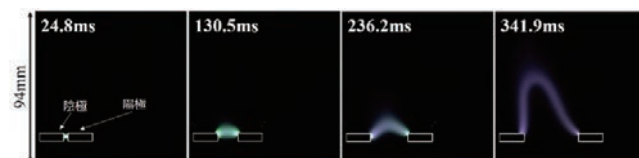
クが伸びる前に、絶縁物の板をその間隙に挿入し開離時アークを強制的に分断する。

直流600V-10Aの抵抗性負荷回路において、銀接点对を等速開離させ開離時アークを発生させる。電気接点对と分断機構の配置図を第1図に示す。分断板、板受けの材料はPTFEである。分断板の厚さは1mmである。接点对の直径は3mmである。可動陽極を固定陰極に接触させ、通電した後に可動陽極を100mm/sで等速開離する。接点間隙が1mmに達した直後（開離開始から10ms後）に分断板をバネで板受けに向けて降下させる。その後、約15ms後に分断板は板受けに接触する。

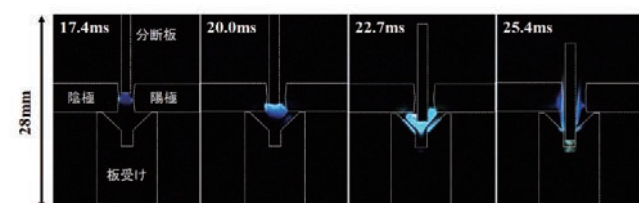
比較のために、分断操作をせずに自由に開離時アークを発生させた場合の撮影結果を第2図に示す。図の左から2コマ目の画像において、接点間隙に存在する緑色の発光部分が開離時アークである。接点間隙に発生した開離時アークは、初期段階では水平方向に直線的に伸びているが、時間経過に伴い上方方向にアーチ状に伸長し消弧に至る。第2図の右端の画像を解析すると、消弧直前のアーク長さは81mm、到達した高さは35mmであった。即ち、600V-10A回路内において磁気吹き消しをせずに自然に開離時アークを発生させた場合、上方に35mm程度まで伸びる。



第1図 分断板と接点对の配置図



第2図 分断操作をしない場合の撮影画像の一例



第3図 分断操作ありの場合の撮影画像の一例

次に、同じ回路条件で分断操作をした場合の結果を第3図に示す。接点間隙に発生した開離時アークが分断板の下辺によって板受けの溝の中に押し込まれ、分断板が溝の底に接触した時点で開離時アークが消弧した。磁気吹き消し等の既存の消弧手法よりも、非常に狭い空間内で開離時アークを消弧させることができることを実証した。

## ・おわりに

本稿では、高電圧の定義が技術分野ごとに違うことについて説明した後に、開離時アークに関する著者らの最近の研究結果について紹介した。

著者らの研究室では、他にも直流48V-300Aの回路内で発生する開離時アークについて研究している。また、電気接点の接触現象に関する基礎的な研究として、接触抵抗-荷重特性の測定装置を用いた研究も実施している。

## 参考文献

- (1) 電気自動車及び電気式ハイブリッド自動車の衝突後の高電圧からの乗車人員の保護に関する技術基準、第17条の2、電気装置、国土交通省、道路運送車両の保安基準（2020年4月1日現在）、[https://www.mlit.go.jp/jidosha/jidosha\\_fr7\\_000007.html](https://www.mlit.go.jp/jidosha/jidosha_fr7_000007.html)
- (2) ICT装置等の高電圧直流給電インタフェースに関するテクニカルリクワイアメント（第1.2版）、日本電信電話株式会社、<https://www.ntt.co.jp/ontime/policy/tr/>、平成30年9月3日制定
- (3) 山下 暢彦, 田中 徹, 加藤 潤, 櫻井 敦, 岩戸 健, 新宅 幹雄, 高橋 晶子, 浅木森 孔貴, 花岡 直樹, 松盛 裕, "高電圧直流給電システム導入拡大に向けた取り組み", NTT技術ジャーナル, vol.27, no.1, pp.36-40, Jan. 2015.
- (4) 廣瀬 圭一, 則竹 政俊, 柚場 誉嗣, 桐生 幸一, 中村 昭夫, 宮澤 英夫, 関川 純哉, "直流400V級配電システム用プラグ&ソケットの開発", 電気設備学会誌, vol.31, no.11, pp.888-896, 2011年11月.
- (5) Y. Kaneko, J. Sekikawa, "Arc Length Just before Extinction of Break Arcs Magnetically Blown-out by an Appropriately Placed Permanent Magnet in a 200V-500VDC/10A resistive circuit," IEICE Trans. Electron., Vol. E103-C, No. 12, Dec. 2020 (in press)
- (6) 木村雄一朗, 関川 純哉, "150V-600VDC/10A 抵抗性負荷回路内で発生する開離時アークのPTFE製の分断板による狭小空間内での強制分断", 信学技報, vol. 119, no. 412, EMD2019-57, pp. 17-21, 2020年2月

## 関川 純哉（せきかわ じゅんや）氏 略歴

- 1998年3月 名古屋大学大学院工学研究科博士後期課程  
エネルギー理工学専攻単位取得退学
- 1999年3月 博士（工学）名古屋大学
- 2000年11月 静岡大学工学部電気・電子工学科助手
- 2009年4月 静岡大学工学部電気電子工学科准教授
- 2017年9月 静岡大学学術院工学領域電気電子工学系列教授