

高電圧直流遮断器・開閉器の遮断技術

杉本康浩*
麻生誠司*
渡邊真也**

Circuit Interruption Technologies for High Voltage DC Circuit-breakers and Switch

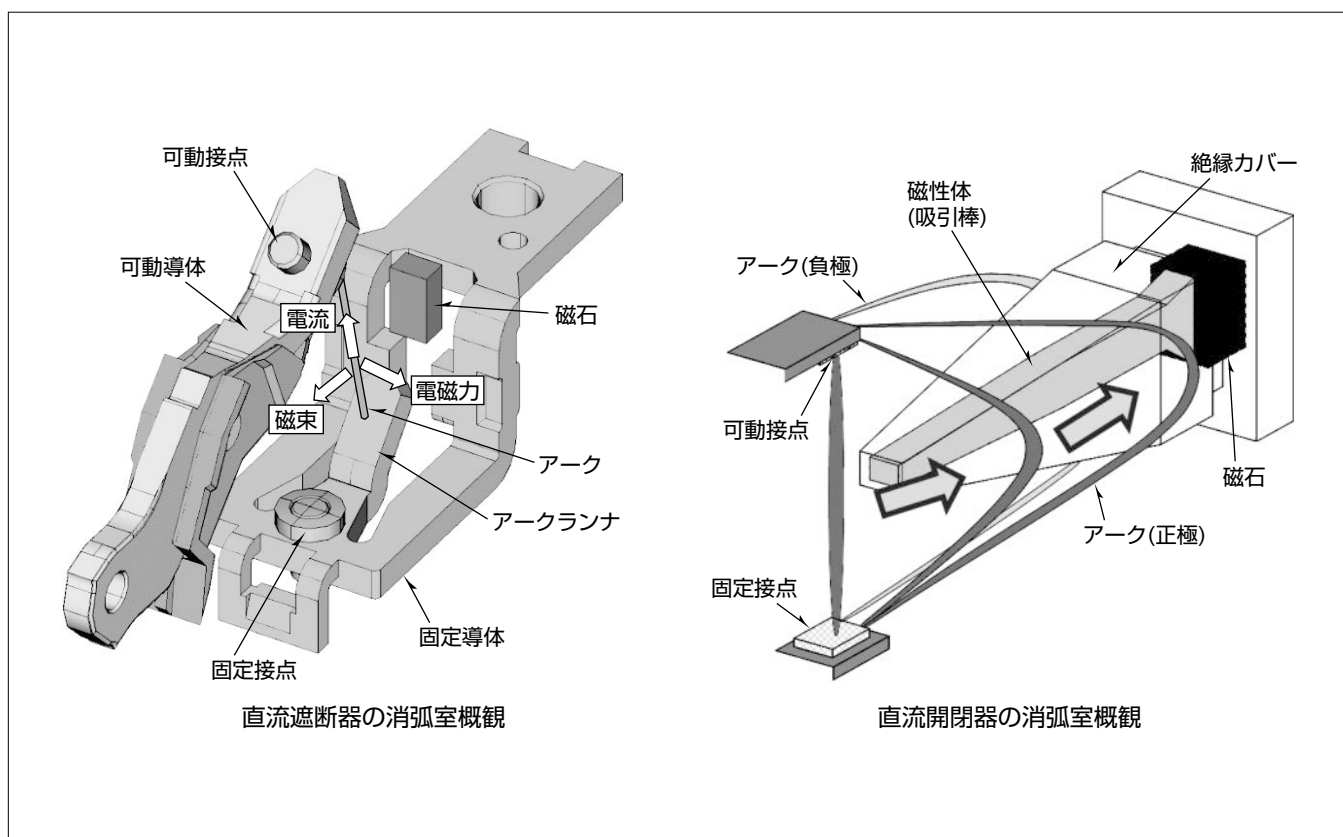
Yasuhiro Sugimoto, Seiji Aso, Shinya Watanabe

要 旨

近年、太陽光発電システムの導入拡大や、データセンターにおける高電圧直流給電システムの需要拡大に伴い、高電圧直流回路に対応した遮断器及び開閉器の需要が高まっている。従来の直流特殊電圧対応の製品では、高電圧での遮断性能を確保するため、4極外形の製品を使用する必要があった。しかし、太陽光発電システムや高電圧直流給電システムで、遮断器や開閉器の外形小型化の要求が強くなってきている。そこで、新形直流遮断器・開閉器では、外形を小型化し、かつ高電圧直流遮断が可能な遮断技術を構築した。

遮断器の外形小型化と高電圧直流遮断を両立させるため

には、接点开離時に発生したアークをすみやかに消滅させる消弧室が必要となる。今回、接点近傍に磁石を配置し、アークと磁石の磁場が鎖交して発生する電磁力を用いて効果的にアークを伸長、消弧させる遮断方式を開発し、高電圧直流遮断器及び開閉器に採用した。その結果、遮断器については従来の4極外形から3極外形へ小型化し、市場で要求される遮断性能を確保した。開閉器については分電盤用遮断器と同一外形を維持しつつ、DC400Vの開閉性能を実現した。これらの遮断技術は、基礎研究で得られた知見に基づいており、より高電圧回路での遮断責務が求められる上位機種への展開が可能である。



高電圧直流遮断器・開閉器の遮断技術

高電圧直流遮断器・開閉器では、接点近傍に配置した磁石の磁場でアークに電磁駆動力を与え、伸長させる消弧室構造を採用したことによって、外形の小型化を図りつつ高電圧での直流遮断性能を実現した。

1. ま え が き

近年のクリーンエネルギー化の機運の高まりに加え、再生可能エネルギー固定買取制度の導入によって、太陽光発電システムの導入が拡大している。また、クラウドコンピューティングやソーシャル・ネットワーキング・サービス等の普及に伴い、情報通信機器を収容するデータセンターの新設が増加している一方、データセンターにおける消費電力の大幅な削減が求められている。この対応として、給電の高電圧直流化による給電損失低減の動きがある。太陽光発電システムや、データセンターにおける高電圧直流給電システムの需要拡大に伴い、小型で高電圧直流に対応した遮断器及び開閉器の需要が高まっている。これらに応えるため、高電圧直流遮断器・開閉器の開発を行った（図1）。

本稿では、高電圧直流遮断器・開閉器の特長、及びこれから機種に適用した直流遮断技術について述べる。

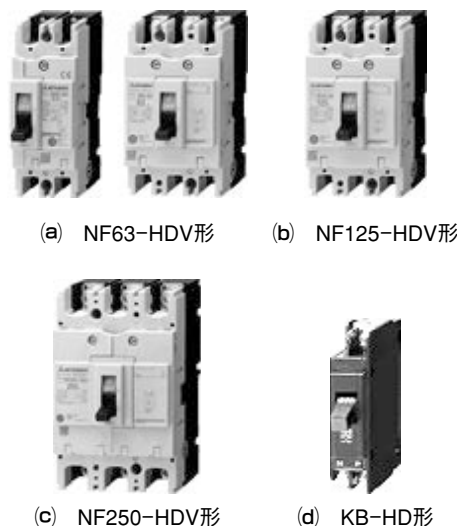


図1. 高電圧直流遮断器・開閉器

表1. 高電圧直流遮断器の仕様

形名		NF63-HDV	NF125-HDV	NF250-HDV
定格電流	DC A	15, 20, 30, 60	75, 125	125, 150, 175, 200, 225, 250
基準周囲温度	40℃	40, 50	63	
極数		2, 3	3	3
定格絶縁電圧 U_i	DC V	600V	690V	690V
定格遮断容量 (kA)	JIS C 8201-2-1 Ann.1 JIS C 8201-2-1 Ann.2 IEC 60947-2 EN 60947-2 (I_{cu}/I_{cs})	400V 600V	10/5 5/5	— —
	JIS C 8201-2-1 Ann.2 (I_{cu})	600V	—	5
開閉寿命 (回)	機械的	8,500	8,500	8,000
	電氣的	1,500	1,500	1,000
定格インパルス耐電圧 U_{imp}	kV	8	8	8
逆接続		可		
外形寸法 (mm)		a: 50, b: 130, c: 68, ca: 92	a: 75, b: 130, c: 68, ca: 92	a: 105, b: 165, c: 68, ca: 92

2. 高電圧直流遮断器・開閉器の特長

高電圧直流遮断器の仕様を表1に、高電圧直流開閉器の仕様を表2に示す。今回開発した高電圧直流遮断器は、従来の直流特殊電圧用遮断器に比べ、外形(横幅)を25%小型化し、 I_{cu} (2回の動作を保障する短絡電流値による遮断)の遮断容量は、“NF63-HDV”3極品及び“NF125-HDV”では5kA、“NF250-HDV”では10kAを確保している。一方高電圧直流開閉器では、分電盤用遮断器“BHシリーズ”と同一外形を維持しつつ、DC400Vで60Aの投入遮断容量を確保した。小型化しながら高電圧直流遮断を実現するため、新形直流遮断器・開閉器では、消弧室近傍に磁石を配置してアーク伸長を増強する消弧装置を適用した。

3. 直流電流の無極性遮断技術

三菱電機では直流開閉器の取付けミスによる事故を防止するため、通電方向に関係なく電流遮断が可能な(無極性)遮断技術を構築し、任意の接続方法で取り付けできる直流開閉器を開発した。この章ではこの遮断技術について述べる。

3.1 新形アーク伸長装置による無極性遮断技術

図2は太陽光発電システム向け直流開閉器の内部構造を示したものである。ハンドル操作によって接点が開極した状態であり、電流通電状態で開極した場合に接点間でアークが発生する。直流開閉器内に搭載した新形アーク伸長装置(図2の破線部)では、接点間に発生したアークを通電方

表2. 高電圧直流開閉器の仕様

形名		KB-HD
定格電流	DC A	15
基準周囲温度	40℃	
極数		2
定格絶縁電圧 U_i	DC V	600
定格使用電圧 $U_e^{(註1)}$	DC V	400
使用負荷種別	JIS C 8201-3	DC-22A
投入遮断容量	投入電流	DC A 60
JIS C 8201-3	遮断電流	DC A 60
	時定数	ms 2.5
	開閉回数	5
短絡特性	短時間耐電流 I_{cw}	DC A 180
JIS C 8201-3		s 1
	短絡投入容量 I_{cm}	DC A 180
開閉寿命 (回)	機械的	8,500
	電氣的 $^{(註1)}$ DC400V	1,500
定格インパルス耐電圧 U_{imp}	kV	4
逆接続		可
極性		L極: N(-) R極: P(+)
外形寸法 (mm)		a: 25, b: 95, c: 60, ca: 77

(注1) 太陽光発電システムで使用の場合、定格電圧DC400V、開放電圧DC600V、開閉回数100回

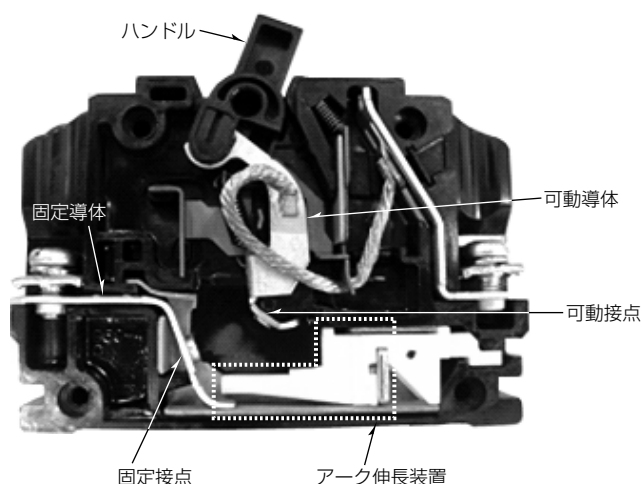


図2. 太陽光発電システム向け直流開閉器の内部構造

向に関係なく同一方向へ伸長でき、さらに従来よりも伸長量の増加が可能となる。

図3は新形アーク伸長装置の構成とともに、接点間に発生したアークを伸長させた状態を示す概観図である。この装置は長尺状の磁性体(吸引棒)を消弧空間に配置し、その一端部を接点間へ延伸させ、他端部に磁石を設けている。そして、吸引棒と磁石を樹脂製の絶縁カバーで被覆して構成する。

図4を用いて、新形アーク伸長装置による無極性遮断原理を述べる。

- (1) 吸引棒先端から放出する磁力線がアークに鎖交することで電磁力が発生し、吸引棒軸上からアークが外れて図中下方向に移動する。
- (2) 吸引棒先端から磁石のS極へ回り込む磁力線的作用によってアークが吸引棒側面空間へ誘導される。
- (3) 吸引棒側面からの漏れ磁束がアークに作用し、吸引棒側面空間の更に奥へアークが誘導される。
- (4) 吸引棒側面空間の奥側でアークは絶縁カバーに接触し、圧縮され、アークの熱によって絶縁カバーから溶発ガス(絶縁性ガス)がアークに向かって噴出する。

この結果、アークは急速に冷却され、導電性を失って消滅する。通電方向が異なる場合でも吸引棒の反対側にアークを伸長できる。また、磁石を接点間のアーク発生部から距離を離して隔離できるため遮断時の熱減磁も防止できる。

3.2 新形アーク伸長装置の遮断性能評価

図5は新形アーク伸長装置を搭載した消弧室で遮断時のアーク挙動を撮影した映像である。この映像からアークは右方向に伸長し、接点間に位置する場合に比べ大幅にアークを伸長できていることが分かる。

図6は回路条件DC800V/20Aにおける電流遮断時の電流とアーク電圧の波形である。この装置を適用しない場合の単極あたりのアーク電圧(破線)が最大約100Vであるのに対し、適用した場合では電源電圧を大きく上回るアーク

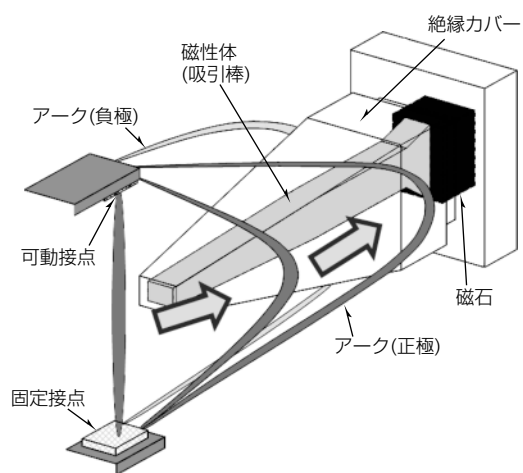


図3. 新形アーク伸長装置

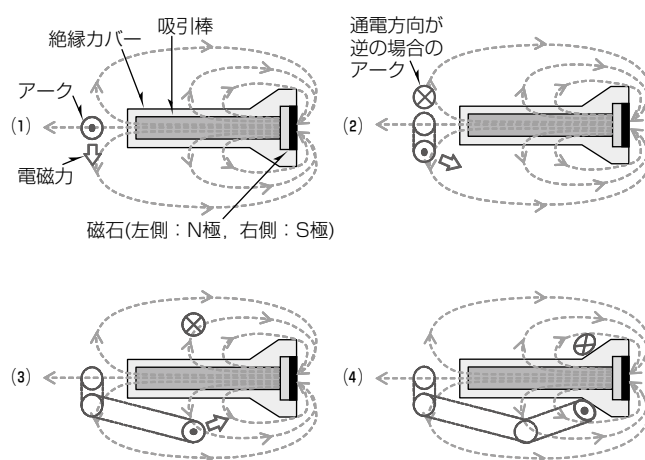


図4. 無極性遮断原理

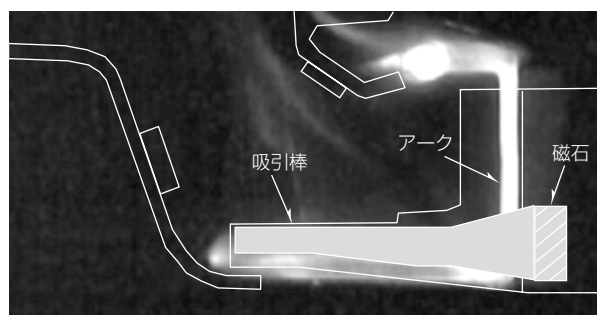


図5. 新形アーク伸長装置適用時のアーク形態

電圧(実線)が単極だけで発生し、最終的に1,600V以上まで上昇して遮断に成功している。また、図5の撮影映像から推定したアーク長を用いてアークの平均電界強度を計算したところ、圧縮及び絶縁性ガス吹き付けの効果によってフリーアークの場合⁽¹⁾よりも平均電界強度は約7倍以上高く、この装置の適用によって無極性対応で従来よりも高い遮断性能を持った直流開閉器を提供できるようになった。

3.3 直流遮断器向け無極性遮断技術

図7は直流遮断器の消弧室における磁石位置を示したものである。図示していないが、アークランナの上方向空間に

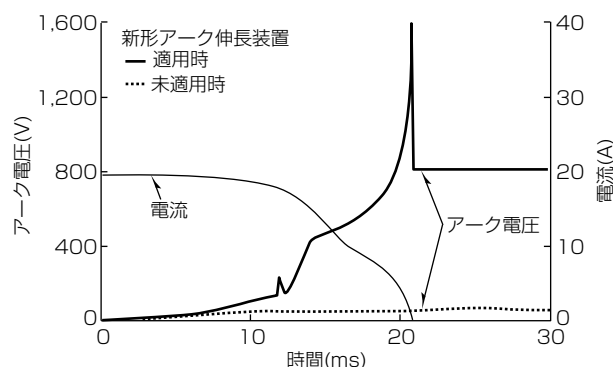


図 6. 新形アーク伸長装置適用時のアーク電圧・電流波形

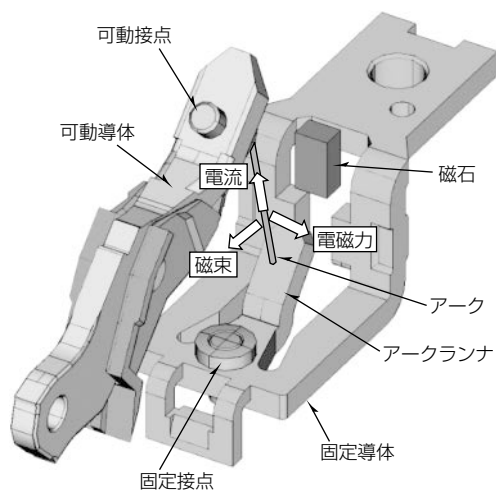


図 7. 直流遮断器の磁石位置

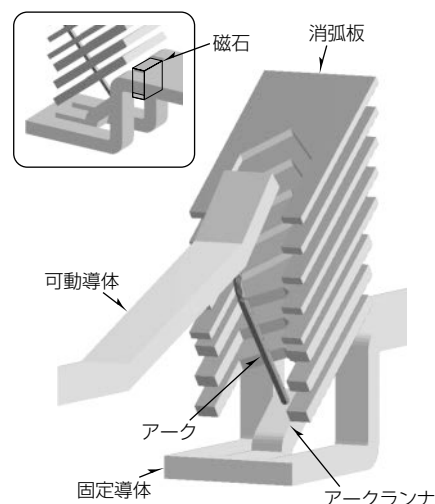


図 8. 三次元電磁界解析モデル

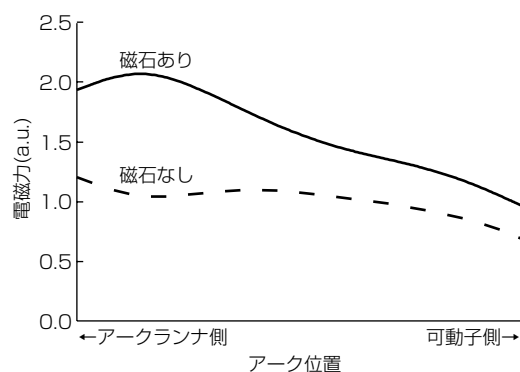


図 9. 磁石搭載による電磁力の改善効果

はアークを分断，冷却する消弧板を遮断に必要な枚数分⁽²⁾配置し，磁石を消弧板の後端部付近に磁極面を接点間方向に対向させて配置している。アークにはデアイオンの原理によって生じる消弧板への吸引力⁽³⁾に加え，配置した磁石によって消弧室側面方向の電磁力を重畳するようにした。そして，固定子を磁性体で形成することで，磁石から発生する磁束をアークに誘導し電磁力を更に高めている。これによって，消弧室側面方向にもアークが伸長するようになり，消弧板で効率よく分断，冷却できるようになる。この構成では，通電方向が異なる場合でも，逆側の消弧室側面方向の駆動力が発生するため，通電方向に依存しない遮断性能を実現できる。

図 8 はこの磁石配置時にアークに作用する磁束密度を計算した三次元電磁界解析のモデルである。この解析モデルを用いて定格電流通電時の可動接点とアークランナ間で発生するアークに作用する電磁力を計算した結果を図 9 に示す。この結果，磁石の搭載によってアークに作用する電磁力を従来よりも 1.5～2 倍程度強化でき，この構成で通電方向に関係なく遮断できるようになった。

4. む す び

高電圧直流遮断器・開閉器に搭載した直流電流の無極性遮断技術について述べた。今後更に適用機種拡大と使用電圧範囲の拡大に取り組み，ユーザーニーズに対応した遮断技術開発に取り組んでいく。

参 考 文 献

- (1) C. G. Suits: High Pressure Arcs in Common Gases in Free Convection, Physical Review, **55**, pp. 561～567 (1939)
- (2) 渡邊真也，ほか：大電流気中アークにおける消弧グリッド配置時の電圧特性および消弧グリッドの有効利用度改善に向けた検討，電気学会論文誌.B, **133**, No.11, 806～817 (2013)
- (3) 渡邊真也，ほか：配線用遮断器における消弧グリッドの有効利用に必要な磁気駆動力の検討，電気学会全国大会論文集, No.6, 364～365 (2013)