

直流高電圧遮断器の製品拡充

小倉健太郎*
三好伸郎*

Product Expansion of DC High Voltage Circuit Breaker

Kentaro Kokura, Nobuo Miyoshi

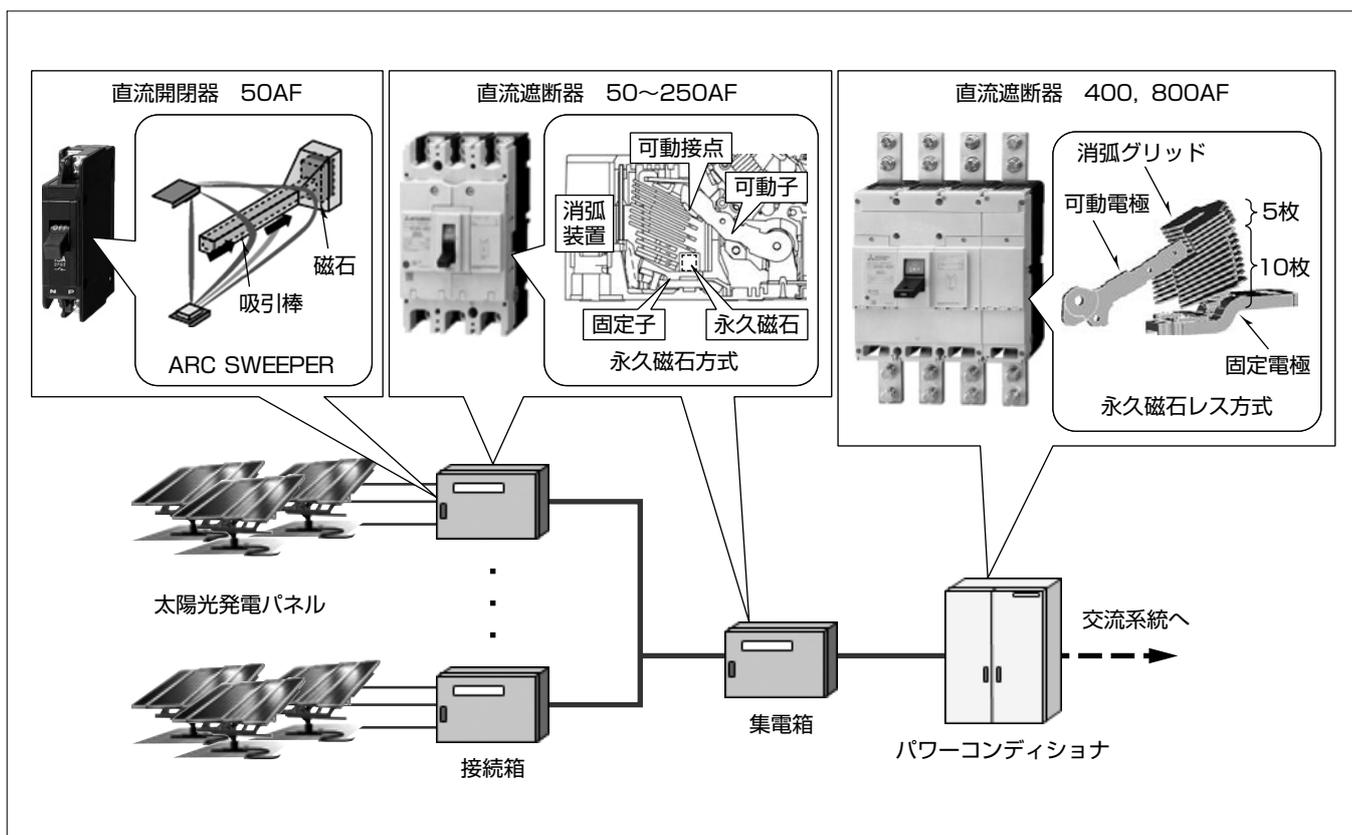
要旨

近年、地球温暖化や東日本大震災を背景に、太陽光や風力、水力、地熱、バイオマスなどの再生可能エネルギーを利用した発電システムの普及・拡大が進められている。中でも太陽光発電(Photovoltaics: PV)システムは、クリーンエネルギーの代表格として、国や自治体による法制度・助成制度の整備、ソーラーパネルの性能向上などもあり、大規模な導入が進められてきた。その中で、2012年7月に電力の固定価格買取制度が施行されたことを機に、1 MWを超える大型システムの建設が各地で盛んに行われ、発電効率向上を図った高電圧化の要求が高まっている。これを受けて、従来の製品ラインアップに加えて新たにDC1,000Vの直流高電圧設備に対応した125, 250AF

(Ampere Frame)の直流高電圧遮断器を開発し、高電圧化が進むPVシステム市場に向けた製品拡充を行った。

直流は電流零点がないため交流と比較して電流遮断が困難であり、高電圧になるに従ってその難易度が増大する。今回のDC1,000Vに対応する125, 250AFの直流遮断器は、DC600V遮断器の消弧室に搭載しているアークの磁気駆動制御をする永久磁石の配置を改良したものであり、限られた消弧空間で効率的にアークを伸長することで遮断性能を高めて、直流高電圧回路で信頼性の高い性能を実現した。

これによって、PVシステム市場で要求のある接続箱や集電箱、パワーコンディショナ向けの直流高電圧開閉器・遮断器の幅広いラインアップを構築した。



太陽光発電システムへの直流高電圧開閉器・遮断器の適用

大規模太陽光発電設備の普及拡大に伴い、高電圧大容量のパワーコンディショナ・集電箱・接続箱に搭載する直流高電圧対応の開閉器・遮断器の製品拡充を行った。従来品との取付け互換性を確保しつつ、電線の接続を逆接続可能にすることで、省施工・配線の効率化に貢献できる。

1. ま え が き

近年、地球温暖化や東日本大震災を背景に、太陽光や風力、水力、地熱、バイオマスなどの再生可能エネルギーを利用した発電システムの普及・拡大が進められている。中でも太陽光発電(PV)システムは、クリーンエネルギーの代表格として、国や自治体による法制度・助成制度の整備、ソーラーパネルの性能向上などもあり、大規模な導入が進められてきた。そのような状況の中、2012年7月の電力の固定価格買取制度の施行を機に、1 MWを超える大型システムの建設が各地で盛んに行われ、直流高電圧に対応した開閉保護機器が必要になってきた。

三菱電機は、従来の製品ラインアップに加えて新たにDC1,000Vのシステムに対応可能な125, 250AFの直流高電圧遮断器を開発して、高電圧システムへの対応力を更に強化した。

2. 直流高電圧開閉器・遮断器の特長

当社の直流高電圧回路用の開閉器・遮断器のラインアップを表1に示す。直流開閉器・遮断器は400~800AFの機種を除いて、アークの磁気駆動制御に永久磁石を利用した遮断方式を適用している。接続箱に用いられる“KB-HD”“KB-HDA”の直流開閉器は、当社独自技術である“ARC SWEEPER”方式⁽¹⁾⁽²⁾を採用している。この技術は、狭い消弧空間で効率的にアークを伸長させることが可能であり、さらに、電流通電方向が反転する逆接にも対応して高い遮断信頼性を実現しているため、高い評価を得ている。一方、接続箱、集電箱に用いられる125, 250AFの直流遮断器は、接点空間近傍に永久磁石を配置して消弧グリッドにアークを駆動して分断冷却する方式である⁽³⁾⁽⁴⁾。今回開発したDC1,000V対応の“HDVAシリーズ”は、DC750V遮断器(250V/極×3極)の極数を3極から4極にすること

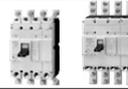
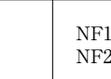
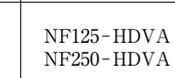
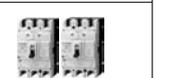
で高電圧化に対応したものであり、この消弧室は先行リリースしたDC600V対応の“HDVシリーズ”の永久磁石の配置を見直して高電圧化したものである。その内容は、3章で述べる。パワーコンディショナに搭載する“HDWシリーズ”の400~800AFの遮断器は、パワーコンディショナに接続されるPVシステム全ての電力を遮断する能力が要求されるため、小電流から数kAを超える事故電流までの幅広い電流域に対応できる直流遮断技術が必要となる。これに関しては、遮断器の筐体(きょうたい)自体が大きく十分な接点開離距離が確保できるため、永久磁石を利用せず磁性体である消弧グリッドの磁気吸引力を利用してアークを制御する方式を採用している。

3. DC1,000V対応の125, 250AF直流遮断器

3.1 HDVAシリーズの消弧室構造

図1にHDVAシリーズの消弧室側面の断面図を、図2に消弧室に搭載された消弧装置の斜視図を示す。図1は、可動子が開極の状態(接点OFF)を示したものであり、遮断時は接点間に発生したアークを図1の左方にある消弧装置に取り込んで遮断する。消弧装置はU字形の消弧グリッドを積層配置したものであり、アークを分断することでアーク内部に高い電圧降下(アーク電圧)を発生させる。直流遮断では、アークを接点空間から消弧グリッドにすみやかに駆動して遮断完了まで安定的にアークの分断状態を維持するか、又はアークを伸長させるなどの対応によって高いアーク電圧を発生させることが重要である。このシリーズは、DC600V対応のHDVシリーズの消弧室が母体であり、遮断可能電圧を高電圧化するため、単極あたりに発生させるアーク電圧を200Vから250Vへ増大させる必要があった。次に、アーク電圧の高電圧化を狙った大電流、小電流領域に対する遮断性能の改善内容を述べる。

表1. 直流高電圧開閉器・遮断器のラインアップ

	最大使用電圧		
	DC600V	DC750V	DC1,000V
パワーコンディショナ盤 (大容量)	NF400-SW, NF630-SW NF800-SDW, NF1250-SDW		NF400-HDW NF800-HDW
パワーコンディショナ盤 (中容量)	NF125-HDV  NF250-HDV 	NF125-HDVA  NF250-HDVA 	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> NF125-HDVA NF250-HDVA 新発売  </div>
パワーコンディショナ盤 (小容量)	NF63-HDV 	NF125-HDVA  NF250-HDVA 	
集電箱	NF63-HDV  NF125-HDV  NF250-HDV 	NF125-HDVA  NF250-HDVA 	
接続箱	KB-HD 	KB-HDA 	

(1) 大電流領域での遮断性能改善

消弧装置への駆動では、大電流領域では電流の自己磁場を利用してアークに磁気駆動力を発生させることが可能であるため、消弧装置で発生させるアーク電圧の高電圧化が課題である。一般的に、消弧グリッド1枚当たりの電圧降下は約20~30Vであり、消弧装置内に取り込んだ場合のアーク電圧は消弧グリッドの枚数に依存する。したがって、**図1**に示すように、HDVAシリーズでは消弧グリッド枚数を9枚から12枚に増大させるとともに、枚数増大に伴う橋絡問題に対して消弧グリッドの厚み、間隔等も最適化したことで高電圧大電流の遮断性能を確立した。

(2) 小電流領域での遮断性能改善

小電流領域では、アークを接点空間で伸長してアーク内部の抵抗を増大させ、アーク電圧を高めることが有効である。ただし、電流が小さいことからアーク制御に電流の自己磁場を利用できないため、永久磁石の磁場を利用してアークに磁気駆動力を発生させて制御することが一般的である。HDVシリーズでは、永久磁石を接点空間の片側側面に、固定接点に対して磁極面を向けて配置した。そのため、逆接続時の電流方向反転によって消弧グリッドへの駆動が得られず、250V/極のアーク電圧向上が見込めなかった。今回のHDVAシリーズでは、**図2**に示すように、接

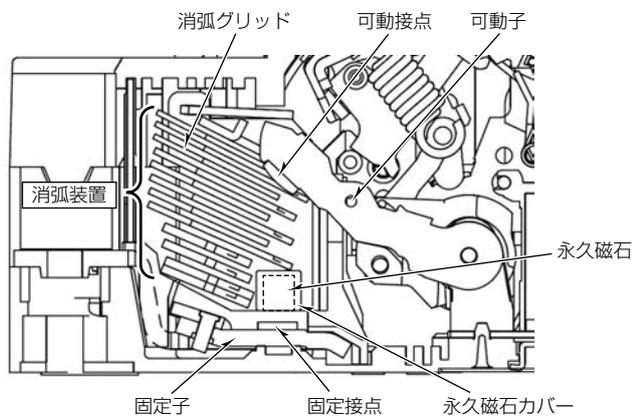


図1. HDVAシリーズ消弧室側面の断面(開極状態)

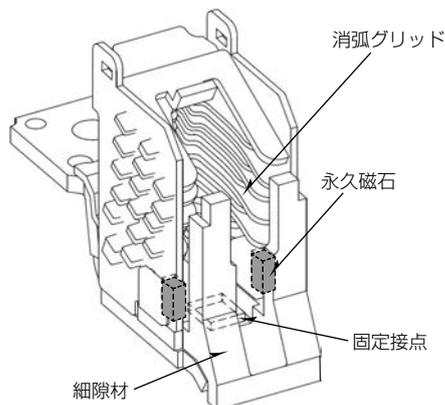


図2. HDVAシリーズの消弧装置

点空間の両側面に配置してアークに対して鎖交する永久磁石の磁束密度を2倍に増加させ、更なるアーク伸長を可能にした。次に、小電流遮断時のアーク制御について述べる。

3.2 小電流領域におけるアーク制御技術

図3、**図4**は、消弧装置内部の磁場分布、及び磁気駆動力を受けて接点空間に伸長したアークの形態を示したものである。上面図は消弧装置の上から固定子方向への視点、正面図は可動子側から消弧装置方向への視点である。**図3**は通電方向が固定子から可動子に流れる正接続で、**図4**は可動子から固定子に流れる逆接続の状態を示している。永久磁石A、Bは、高温のアークから保護するために熱硬化樹脂材で保護支持しており、それぞれN極の磁極面を接点空間へ向けて配置している。アークに対して磁力線(A1, A2, B1, B2)が鎖交すると、各磁力線に垂直に磁気駆動力が発生する。遮断器の接続が正接続の場合、磁力線A2, B1はN極とS極の境界に駆動する方向に、磁力線A1, B2はN極とS極の境界から遠ざける方向に作用する。この結果、磁力線B1はアークを反発して磁力線A1方向に駆動し、永久磁石A側へ駆動される。また、磁力線A2はアークを反発して磁力線B2の方向に駆動し、永久磁石B側へ駆動される。

このような条件の下、正接続で可動子が完全開極した

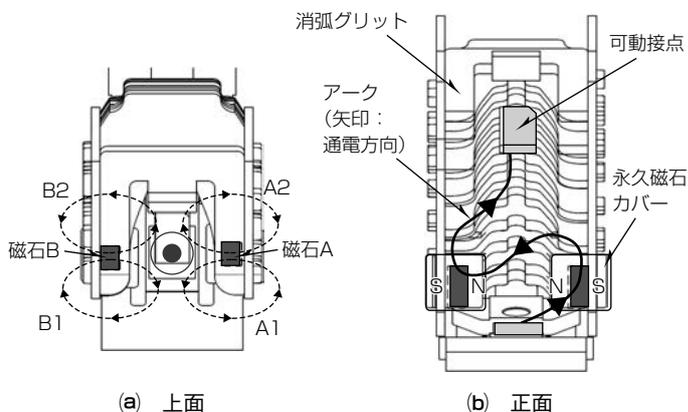


図3. 磁場分布、磁気駆動アークの形態(正接続)

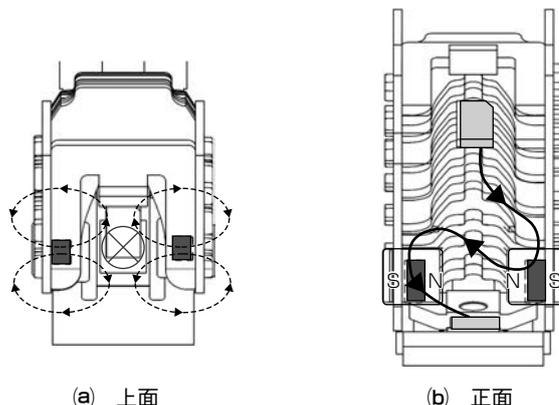


図4. 磁場分布、磁気駆動アークの形態(逆接続)

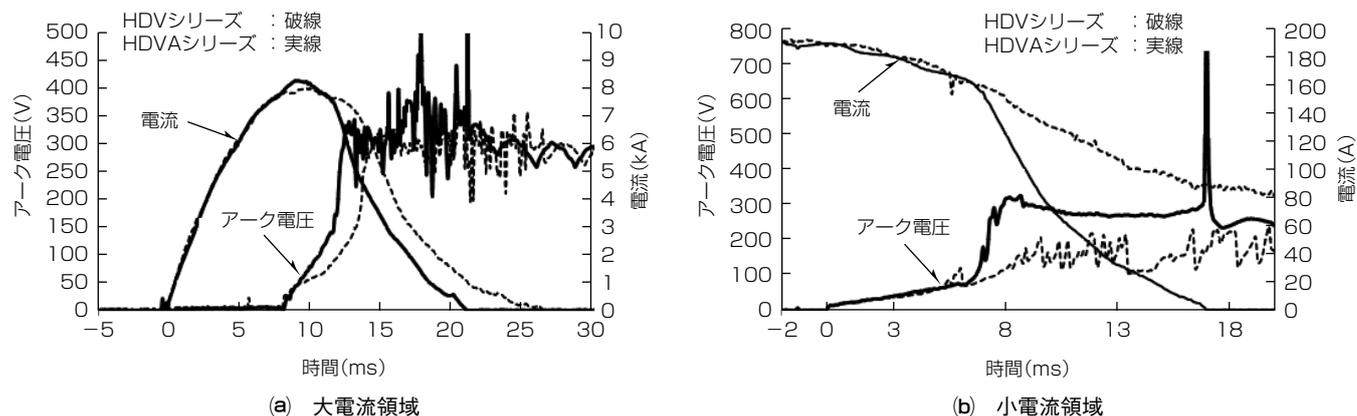


図5. 改良構造適用前後の遮断波形

状態になると、固定接点から発生したアークは永久磁石AのA1側へ駆動されて永久磁石カバーに衝突する。永久磁石カバーは高温のアークにさらされることでアブレーションガスが発生して、アブレーションガスによってアークが圧縮され、冷却効果によってアーク電圧が上昇する。アークの衝突後、永久磁石B側へ駆動されて永久磁石カバーに衝突した後、可動接点にいたる(図3(b))。逆接続の場合、アークは正接続での挙動と逆方向に駆動されるが、同様に伸長と永久磁石カバーへの衝突を経て可動接点から固定接点にいたる(図4(b))。

これらのことから、正接続時、逆接続時ともに、アークの伸長、永久磁石カバーへの衝突を発生させることで、アーク電圧は更に上昇する。

3.3 遮断性能の改善結果

図5は、HDV、HDVAシリーズの大電流遮断時、小電流遮断時のアーク電圧、電流波形を比較したものである。

大電流遮断試験は、単極のDC275V/10kA遮断で行った(図5(a))。この結果、HDVシリーズではアーク電圧が約300Vまで上昇して約26msで遮断完了した。引き続き実施した2回目は、遮断不能であった。一方、HDVAシリーズではアーク電圧が約350Vまで上昇して、約21msで遮断完了した。2回目もほぼ同じ時間で遮断に成功した。消弧グリッドの枚数増による高いアーク電圧の発生で短時間遮断が可能となり、遮断による消弧室内部の損耗が抑制されて多数回の遮断が可能な信頼性の高い消弧室を実現した。

小電流遮断試験は、2極でDC500V/200A遮断で行った(図5(b))。図のアーク電圧は、1極分の結果だけを示

したものである。この結果から、HDVAシリーズでは約6msからアーク電圧が急上昇して、その後のアーク維持電圧もHDVシリーズより1.5倍ほど高く、アーク伸長の効果が確認できる。HDVAシリーズは約20msで遮断完了し、HDVシリーズは図に示していないが74msで遮断完了した。このアーク伸長の効果から、100A以下の電流領域では単極当たり360Vの遮断性能を確立できた。

4. むすび

PV市場対応の直流高電圧開閉器・遮断器の製品ラインアップ拡充について述べた。今後はPVシステムに代表される直流給電市場の動向を注視していくとともに、一連の直流開閉器・遮断器の開発で得たアーク制御技術の知見を他製品群に拡大適用していく。

参考文献

- (1) 渡邊真也, ほか: 直流アークの無極性駆動制御方式の開発, 電気学会全国大会論文集, No.6, 526~527 (2014)
- (2) 渡邊真也, ほか: 太陽光発電用開閉器向け直流高電圧遮断技術, 放電学会年次大会講演論文集, B-1-6 (2014)
- (3) 三菱電機: 三菱ノーヒューズ遮断器・漏電遮断器技術資料集, 5-3 (2013)
- (4) 杉本康浩, ほか: 高電圧直流遮断器・開閉器の遮断技術, 三菱電機技報, 88, No.4, 261~264 (2014)