

# 太陽光発電市場対応遮断器・開閉器の製品拡充

幸本茂樹\*  
小倉健太郎\*  
渡邊真也\*\*

## Expansion of Circuit-breaker and Switch Lineup for Photovoltaics Market

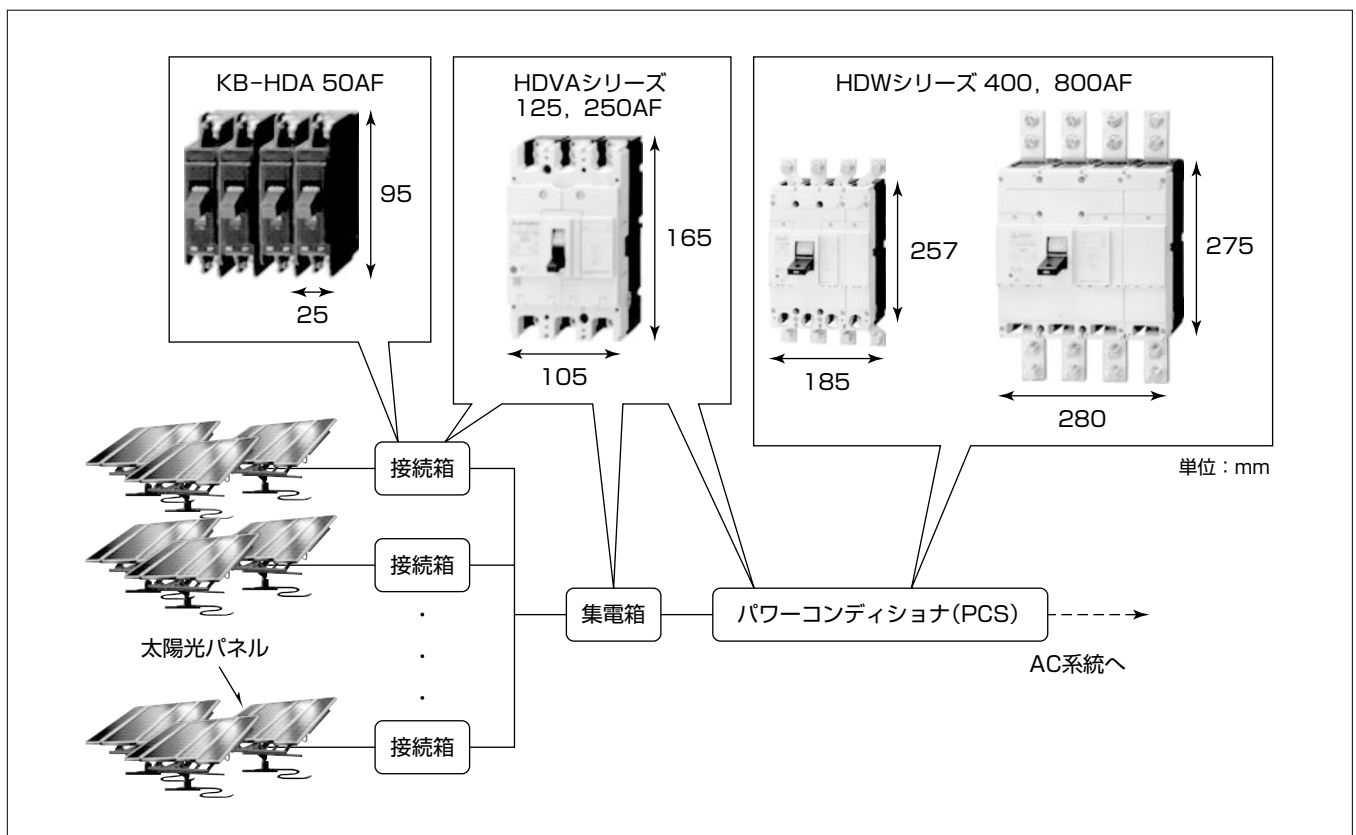
Shigeki Koumoto, Kentaro Kokura, Shinya Watanabe

### 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による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って大規模な導入が進められてきた。2012年7月に固定価格買取制度が施行されたのを機にメガソーラー級の建設計画が各地で盛んに行われるようになり、これに対応したDC750/1,000Vクラスの直流高電圧の設備が必要となってきた。今回、この直流高電圧設備に対応した新形遮断器・開閉器を開発し、太陽光発電(Photovoltaics: PV)

市場への製品拡充を行った。

直流の遮断は、電流零点がないため交流の場合と比較して難しい。この直流高電圧遮断を可能にするためには、接点开極時に発生する直流のアーク(高温のプラズマ)を確実に消滅させる必要がある。新形遮断器に関しては、消弧室内の積層鉄板の形状や枚数、接点周辺の絶縁物の配置を改良することで、直流高電圧回路で信頼性の高い遮断性能を実現した。一方、新形開閉器に関しては、三菱電機独自のアーク伸長方式に改良を加え、高電圧化に対応した。これら消弧室構造の採用によって、多様な結線方法にも対応可能になり、省施工・配線の効率化に貢献できるようになった。



### 太陽光発電システムへの遮断器・開閉器の適用

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遮断器・開閉器の製品拡充を行った。従来形との取付け互換性は確保しつつ、電線の接続を逆接続可能とすることで、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による発電システムの普及・拡大が進められている。中でも太陽光発電システム(以下“PVシステム”という)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って大規模な導入が進められてきた。2012年7月に固定価格買取制度が施行されたのを機にメガソーラー級の建設計画が各地で盛んに行われるようになり、直流高電圧に対応した開閉保護機器が必要となってきた。そこで、当社はこれまでDC600V以下のシステムに対応した直流高電圧遮断器、開閉器を開発してきた。ここ数年では、PVシステムに代表される直流高電圧給電システムの需要拡大に伴い、更に高い電圧に対応した遮断器、開閉器の需要も高まっており、今回、DC750/1,000Vのシステムに対応した直流高電圧遮断器・開閉器を開発した。

本稿では、新たに開発したDC750/1,000VのPVシステムに最適な直流高電圧遮断器・開閉器について、特長及び適用した直流遮断技術について述べる。

2. 直流高電圧遮断器・開閉器の特長

開発した直流高電圧回路用の遮断器・開閉器の仕様を表1、表2に示す。今回、DC750/1,000Vの高電圧に対応した3つのシリーズを開発した。同シリーズは図1に示したPVシステムへの適用に最適であり、各シリーズの特長を次に述べる。

(1) DC750/1,000V対応の遮断器“HDWシリーズ”

大容量パワーコンディショナ(PCS)に最適なDC750/1,000Vに対応しており、最大定格電流が400Aの“NF400-HDW”，800Aの“NF800-HDW”をラインアップしている。いずれも3極品でDC750V，4極品でDC1,000V回路に適用でき、逆接続が可能で施工性の向上と省配線に貢献できる。

表1. 製品仕様(遮断器)

形名	NF125-HDVA	NF250-HDVA	NF400-HDW	NF800-HDW				
定格電流	DC A 50, 60, 125	125, 150, 175, 250	250, 300, 350, 400	500, 600, 630, 700, 800				
基準周囲温度	40℃							
極数	3	3	3, 4	3, 4				
定格絶縁電圧 Ui	DC V 800	800	800, 1,000	800, 1,000				
定格遮断容量 (kA)	JIS C 8201-2-1 Ann.1	1,000V	-	-	-	10/5	-	10/5
	JIS C 8201-2-1 Ann.2 <sup>(注1)</sup>	750V	-	-	-	10/10	10/10	10/10
	IEC 60947-2	600V	-	-	-	-	-	-
	EN 60947-2	600V	-	-	-	-	-	-
開閉寿命(回)	機械的	10,000	8,000	8,000	8,000	5,000	3,000	
	電氣的	1,500	1,000	1,000	1,000	1,000	500	
定格インパルス耐電圧 Uimp	kV	8						
逆接続		可						
外形寸法 (mm)	a	105		140	185	210	280	
	b	165		257		275		
	c	68		109		109		
	ca	92		161		161		

(注1) DC1,000V品はAnn.1のみ

この機種では電流遮断部で永久磁石を使用せずにアークを伸長させることで高電圧化に対応した。その内容については3章で述べる。

(2) DC750V対応の遮断器“HDVAシリーズ”

接続箱や集電箱、小型PCSに最適な遮断器“NF125-HDVA”，“NF250-HDVA”は、永久磁石とグリッド配置の見直しを行い遮断性能を向上させ、既存ラインアップであるDC600V対応“HDVシリーズ”と同じ3極外形でのDC750V対応を可能にしておき、外形標準化によって施工性の向上と配線の効率化に貢献している。

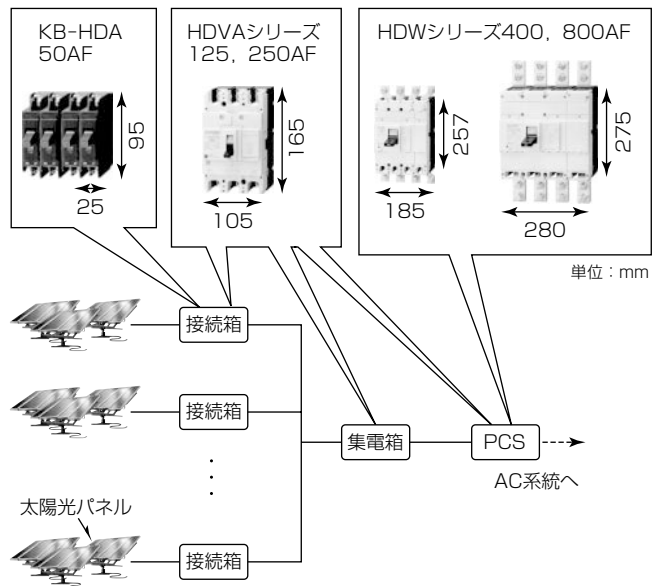


図1. PVシステムへの適用

表2. 製品仕様(開閉器)

形名	KB-HDA		
定格電流	DC A 15		
基準周囲温度	40℃		
極数	2		
定格絶縁電圧 Ui	DC V 800		
定格使用電圧 Ue	DC V 750		
使用負荷種別	DC750V	DC-21B	
	DC400V	DC-22A	
投入遮断容量 JIS C 8201-3	投入電流	22.5	
	遮断電流	22.5	
	時定数	1	
	開閉回数	5	
投入遮断容量 JIS C 8201-3	投入電流	60	
	遮断電流	60	
	時定数	2.5	
	開閉回数	5	
短絡特性 JIS C 8201-3	短時間耐電流 Icw	DC A 180	
	短絡投入容量 Icm	DC A 180	
開閉寿命	DC750V	機械的	2,000
		電氣的	300
	DC400V	機械的	10,000
		電氣的	1,500
定格インパルス耐電圧 Uimp	kV	6	
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	

## (3) DC750V対応の開閉器“KB-HDA”

ストリングごとの開閉を行い、配線をまとめる接続箱に最適な開閉器であり、開放電圧がDC600Vまで適用できる既存の“KB-HD”に加えてラインアップした。KB-HDとも外形互換性のある幅25mm、縦寸法95mmの小型化を実現しており、接続箱のコンパクト化に貢献することができる。また、新たにIEC 35mmレールへの取付けと、逆接続に対応していることから、施工性の向上と省配線を可能にした。JIS C 8201-3に適合し、端子部の絶縁保護、及び目視での取付けねじ締結確認が可能ないように、透明端子カバー(別売り)の取付けも可能となっている。

## 3. PV向け遮断器・開閉器の直流高電圧遮断技術

## 3.1 大容量PCS向け遮断器の直流高電圧遮断技術

PCSに搭載する直流遮断器HDWシリーズには、PCS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を超える事故電流にいたる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。広範囲の電流域での遮断性能を確保するには、デアイオン式遮断方式<sup>(1)</sup>が特に有効となる。デアイオン式遮断方式は、U字形の積層鉄板から構成される消弧グリッドと呼ばれる消弧部品(図2(a))を使用してアークを消弧する。この方式では、アークの伸長だけでは困難な大電流の遮断でも、アークを消弧グリッドに押し込んで分割することでアーク内部に高い電圧降下(アーク電圧)を引き起こし遮断することができる。

今回、消弧グリッドと、固定電極をアークから保護する絶縁カバーの改良によって直流遮断器のDC1,000Vへの対応を実現させた。次に、これらの改良内容について述べる。

高電圧化するために重要となるのが、消弧グリッド配置条件(枚数、間隔など)の選定である。この条件選定のため、アーク電圧実験式(消弧室設計値とアーク電圧の関係式)<sup>(2)</sup>を用いて、消弧室サイズ、電極間隔等を考慮して必要な消弧グリッド枚数を見積った結果、DC1,000Vへの対応には10枚以上の消弧グリッドが必要であると推定した。

図3はこの結果に基づき設計した消弧グリッドの配置図である。少なくとも10枚の消弧グリッドを確実に利用できるようにするため、安定したアークの分割が可能な固定-可動電極間に10枚配置し、可動電極の先端付近には更に5枚配置している。

図2(a)、図2(b)はそれぞれ改良構造を適用した消弧グリッドと絶縁カバーを示している。消弧グリッドには、アークに対する磁気吸引力<sup>(2)</sup>が高まるように設計したアーク引込み溝と、消弧グリッド奥側(図3の右側)に排気形状を追加している。これら形状の採用によって、アークを消弧グリッド奥側に引き込むための電磁力が助長されるとともに、引き込んだアークに対して負圧が発生してアークの分

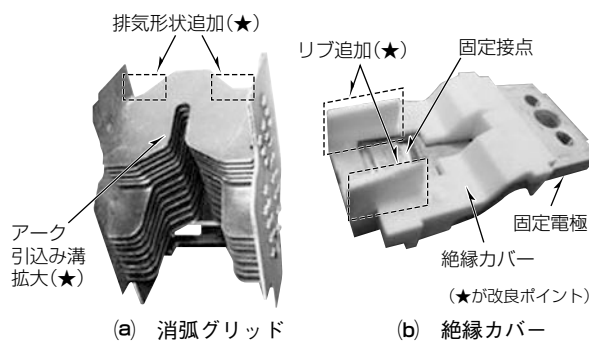


図2. アーク伸長・駆動制御の改良構造

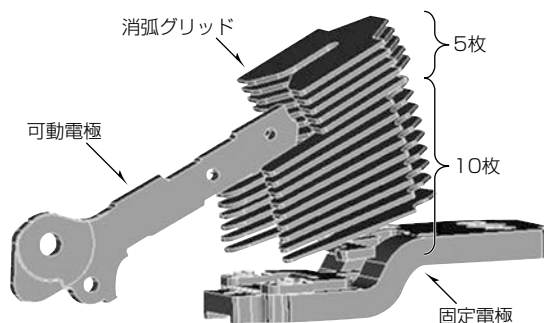


図3. 消弧室内部の消弧グリッド配置

割が促進されるようになる。一方、絶縁カバーには固定-可動接点間を挟み込むように樹脂製のリブを設けている。このリブはアークとの熱反応で絶縁性の溶発ガスが噴出するようになっており、消弧グリッドに向かってアークを押し込むガス流が生成されると同時に、接点間の空間絶縁性が高まるため、一旦、消弧グリッド内に引き込まれたアークが接点間で短絡することを防止できる。

図4はこの改良構造を適用した場合の遮断時のアーク挙動を観測した映像である。改良後ではアークを消弧グリッド内に容易に引き込めるようになり、DC1,000V回路での数A~10kAの広範囲の電流域で信頼性の高い遮断を実現した。

## 3.2 接続箱向け開閉器の直流高電圧遮断技術

PVシステムの接続箱内には、太陽電池の入力ストリングを開閉するための開閉器が搭載される。入力ストリング数が多い接続箱では、同時に数十個の開閉器を並べて配置する必要があるため、省スペースで配置可能な小型開閉器が要求される。また、この要求と併せて、施工時に誤配線(+ -を逆に接続)した場合でも事故を招くことがないように、開閉器には通電方向に関係なく直流高電圧を遮断できる性能も求められている。当社では、これらの市場要求に応えるため、通電方向に依存しないアークの伸長制御を可能とした直流高電圧遮断技術“ARC SWEEPER”を開発し、業界最小クラスで、逆接続も可能とする直流開閉器を実現した。今回、この新技術の改良によって直流開閉器をDC750Vまでの電圧範囲に対応可能としたので、この改良点について次に述べる。

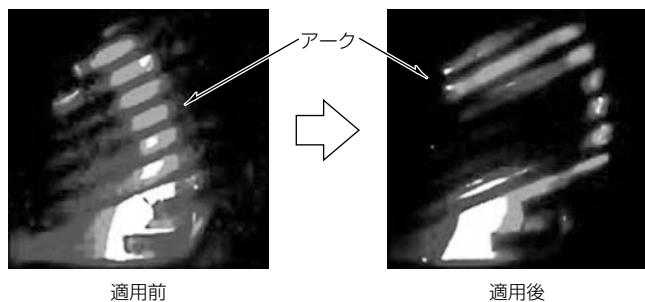


図4. 改良構造適用前後のアーク観測映像

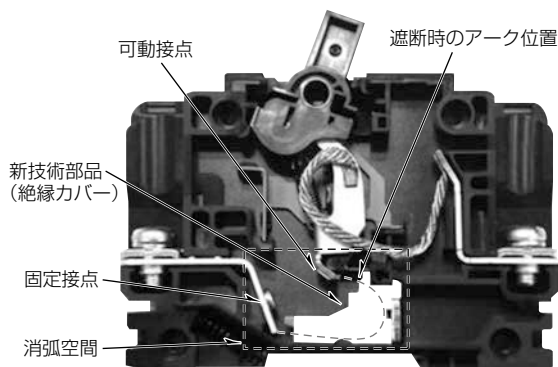


図5. KB-HDAの内部構造

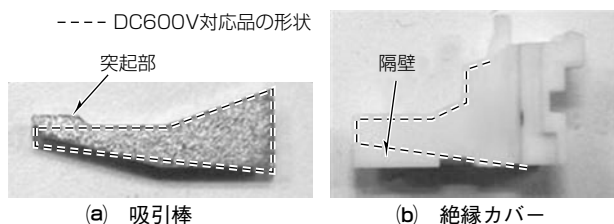


図6. 新技術の改良点

図5は新技術を適用した直流開閉器KB-HDAの内部構造である。消弧空間に絶縁カバーを配置し、この絶縁カバー内部に磁石と磁界を制御する棒状鉄心(吸引棒)を搭載している。遮断時に接点間でアークが発生すると、吸引棒から放出される漏れ磁束がアークと作用し、アークは絶縁カバーの側面へ引き込まれて伸長する。また、通電方向が逆転した場合でも、絶縁カバーの他方の側面側からアークを引き伸ばすことができる<sup>(3)(4)</sup>。

図6はDC750V対応品(KB-HDA)の吸引棒と絶縁カバーである。ここで、同図の破線部はDC600V対応品(KB-HD)の吸引棒と絶縁カバーのそれぞれの形状を示している。DC750V対応品では吸引棒の先端部を突起させ、接点間にこの突起部を近接させた形状を採用している。この突起部によって遮断開始時でアークに作用する磁気効果が強化され、以前よりもアークを高速に絶縁カバーの側面に引き込むことができる。一方、絶縁カバーについては、カバ

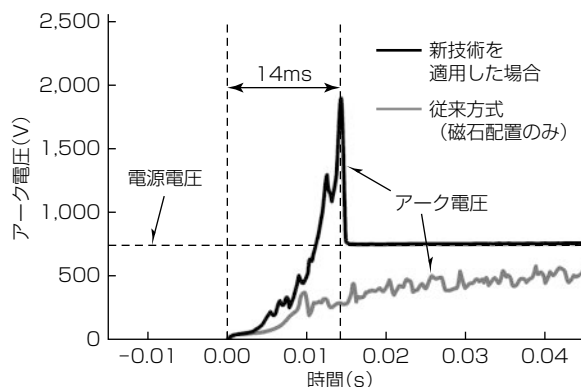


図7. 新技術及び従来方式における遮断性能の比較

ー下部を拡大し、カバー両側面(紙面手前と奥側)に位置する空間を隔てる隔壁を追加している。この隔壁によってアーク周囲で発生する高温(導電性)ガスの拡散を抑える効果が得られ、アークの伸長状態を安定的に保持することが可能になる。

図7はDC750V20Aの直流回路で、開閉器に新技術を適用した場合と従来方式を用いた場合の、それぞれの遮断性能を比較した例である。ここで、従来方式とは接点近傍に大形の磁石を配置し、磁石だけのアーク伸長作用でアークを消弧する方式である。各方式を適用した場合のアーク電圧を比較すると、従来方式では約500Vまで上昇するが電源電圧以上のアーク電圧を発生できず遮断不能となる。一方、新技術を適用した場合には遮断開始時から0.01秒程度でアーク電圧が電源電圧を超え、約0.014秒で遮断を完了している。

このように、改良した新技術を適用することで、従来方式では困難であったDC750Vに対応した。

#### 4. む す び

太陽光発電市場対応の直流高電圧遮断器・開閉器の特長及びそれに搭載した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、及びユーザーニーズに対応した製品の開発に取り組んでいく所存である。

#### 参 考 文 献

- (1) 三菱電機株：三菱ノーヒューズ遮断器・漏電遮断器，技術資料集，5-3 (2013)
- (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：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)
- (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)