

# 直流高電圧用ブレーカの無極性遮断技術

## No-Polarity Interruption Technology of Breakers for High-Voltage Direct Current

佐藤 佑高 SATO, Yutaka

住宅用以外の太陽光発電設備では、システムの大容量化に伴い、高電圧化が進んでおり、逆方向の電流でも安全に遮断できる直流高電圧対応の無極性ブレーカが求められている。富士電機は、これを実現するために消弧室の構造を改良した。構造案1と構造案2の二つの案について、磁界解析や遮断試験による検証を行った。これらを基に、小電流から大電流まで安定した遮断性能を実現する改良構造を作成した。これにより、定格使用電圧、遮断容量、外形寸法は従来品と同一で互換性を持たせながら、直流高電圧ブレーカの無極性化を実現した。

With photovoltaic power generation facilities for applications other than residential use, the voltage is being increased along with the increase in system capacity, and there is a demand for non-polarity breakers that are capable of safely interrupting currents in the opposite direction and handling high voltages. In order to realize such a breaker, Fuji Electric has improved the structure of the arc extinguishing chamber. We made two structural designs and then conducted a magnetic field analysis and an interrupting test for their verification. We have thereby achieved the improved structure that realizes stable interruption performance from small to large current. This has allowed us to realize the non-polarity of high-voltage direct current breakers while ensuring compatibility with the conventional devices by maintaining the same rated operational voltage, breaking capacity and dimensions.

### 1 まえがき

近年、世界的な環境・エネルギー問題の解決と、地球温暖化防止に向けたCO<sub>2</sub>削減のため、再生可能エネルギーの一つである太陽光発電が注目されている。住宅用以外の太陽光発電設備では、システムの大容量化に伴い、エネルギーの利用効率を向上させるため発電電圧を1,000Vにする高電圧化が進んでいる。富士電機では、2009年に発売したグローバルツインブレーカ「G-TWINシリーズ」の直流回路専用ブレーカと開閉器の適用範囲を、市場要求に応じて拡大してきた。2010年には、直流高電圧用ブレーカと開閉器（DC750V、DC1,000V）を開発した。この直流高電圧用ブレーカは、+と-の極性指定がある有極性であったが、安全要求の高まりもあり、無極性のものが市場では望まれている。

本稿では、2014年4月に発売したG-TWINシリーズの直流無極性ブレーカと開閉器に適用した無極性遮断技術について述べる。

### 2 直流無極性ブレーカの開発の背景と仕様

図1に、一般的な太陽光発電設備の概要を示す。太陽電池アレイ側から順に、接続箱、パワーコンディショナ（PCS）、分電盤で構成される。従来の有極性のDC750VやDC1,000Vのブレーカは、+と-の極性を表示し、接続方向を指定して使用していた。しかし、誤って逆方向に接続した場合や、図2に示すような短絡が生じた場合にブレーカに逆方向の電流が流れる。この場合でも安全に遮断できる無極性のブレーカが求められており、直流無極性ブレーカの開発を行った。

表1に、開発したDC750VとDC1,000Vのブレーカお

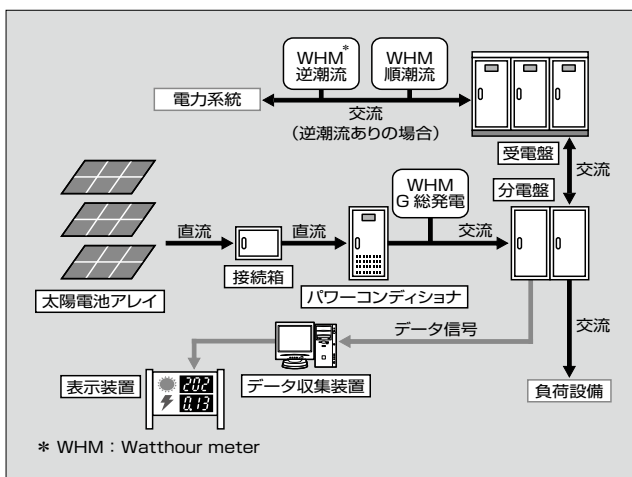


図1 太陽光発電設備の概要

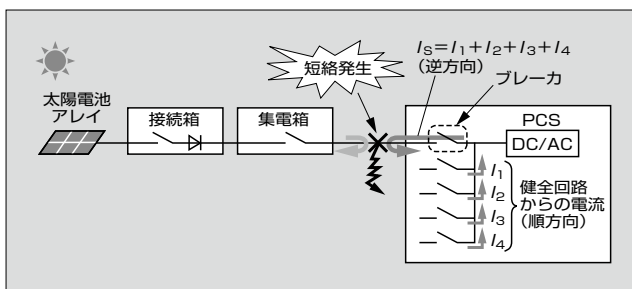


図2 短絡事故発生時の電流の流れ

よび開閉器の仕様を示す。

主な特徴は次のとおりである。

- (a) 逆接続が可能である。
- (b) 標準品で熱帯と寒冷地に対応している。
- (c) 基本構造をG-TWIN 400AF, 630AF, 800AFと同一とし、オプション（補助スイッチ、警報スイッチ、

表1 ブレーカおよび開閉器の仕様

(1) ブレーカ仕様

項目		仕様						
フレームの大きさ (AF)		400		630		800		
基本形式		BW400RAG		BW630RAG		BW800RAG		
極数		3P	4P	3P	4P	3P	4P	
定格絶縁電圧 $U_i$ (DC V)		800	1,150	800	1,150	800	1,150	
定格インパルス耐電圧 $U_{imp}$ (kV)		8						
定格電流 (A)		250, 300, 350, 400		500, 600, 630		700, 800		
定格遮断容量 (kA) $I_{cu} / I_{cs}$	JIS	DC1,000V	-	5/5	-	5/5	-	5/5
	IEC/EN	DC750V	10/5	10/5	10/5	10/5	10/5	10/5
過電流引外し方式		熱動-電磁式						

(2) 開閉器仕様

項目		仕様					
フレームの大きさ (AF)		400		630		800	
基本形式		BW400RAS		BW630RAS		BW800RAS	
極数		3P	4P	3P	4P	3P	4P
定格絶縁電圧 $U_i$ (DC V)		800	1,150	800	1,150	800	1,150
定格インパルス耐電圧 $U_{imp}$ (kV)		8					
定格電流 (A)		400		630		800	
定格短時間耐電流 $I_{cw}$		5kA・0.3s		10kA・0.3s		10kA・0.3s	

電圧引外し装置、不足電圧引外し装置など)を共用できるようにした。

- (d) 国内・海外規格 [JIS, IEC, EN (CEマーク)] に対応している。
- (e) 屋外使用を考慮し、使用可能な周囲温度の上限値を 50℃から 70℃へ引き上げた。

3 直流電流の無極性遮断技術

3.1 従来の遮断技術

ブレーカに短絡電流が流れると、内部の電流検知装置がブレーカの開閉機構を動作させることによって、可動子が開極し、可動接点と固定接点との間にアークが発生する。アークを消弧グリッドへ駆動することによって、可動接点と固定接点との間のアーク電圧が高くなり、回路インピーダンスが瞬時に増加して短絡電流を遮断する。

交流回路では電流ゼロ点が周期的に存在するので、ゼロ点において内部の絶縁が確保できていれば電流を遮断できる。しかし、直流回路にはそのままではゼロ点が存在しないので、接点間に発生するアーク電圧を電源電圧以上に上げることでアーク電流を下げてゼロ点を作り、遮断する技術が必要となる<sup>(1)</sup> (図3)。

図4にブレーカの全体構造を示す。ブレーカは、過電流を検知する電流検知機構と、接点を開閉する開閉機構およびアークを消弧する消弧室を備えている。

アーク電圧を決める主な因子は、可動子の開極速度、開極距離、消弧室のアブレーション効果、グリッド枚数、アーク駆動力である。特に、直流ブレーカにおいてはアーク駆動力を確保することが課題であった。従来のブレーカ

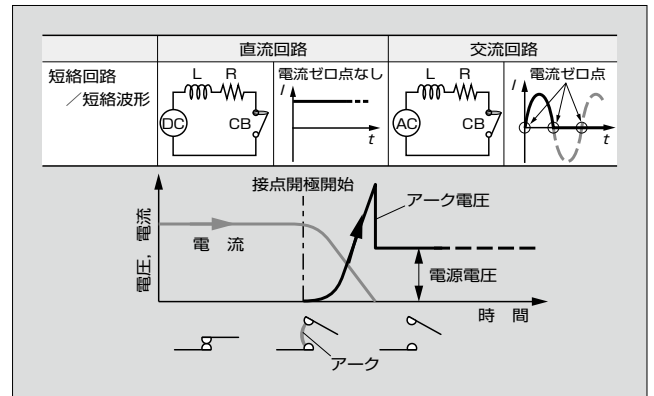


図3 電流遮断とアーク電圧

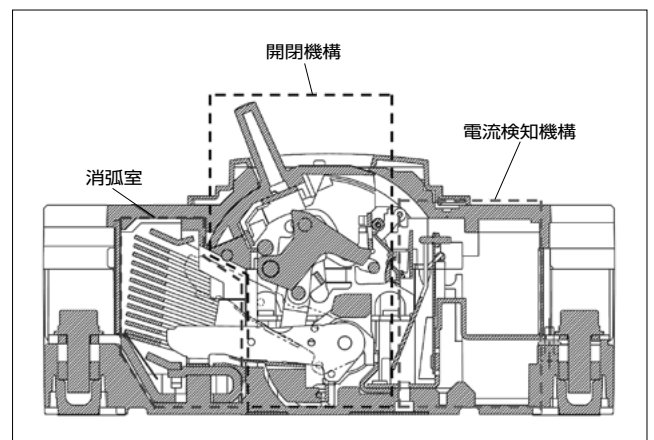


図4 ブレーカの全体構造

の消弧グリッド、可動子、可動接点、固定接点の構造と接点間アークの状態を図5に示す。

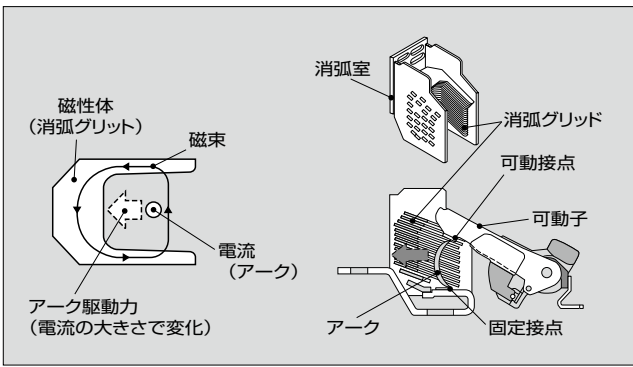


図5 アーク駆動の基本原理

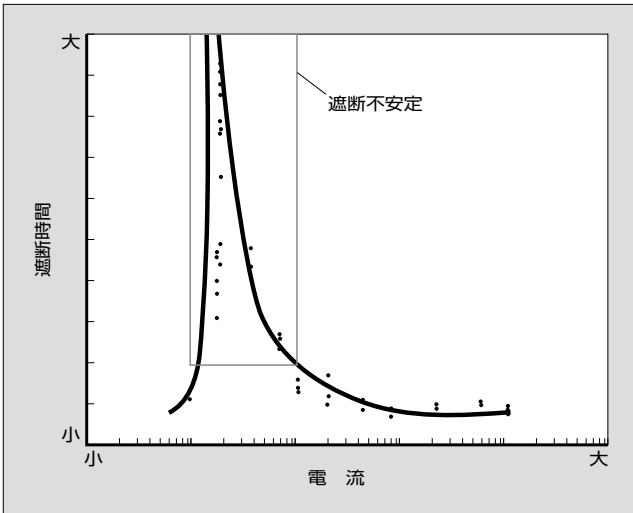


図6 直流ブレーカの電流値と遮断時間の関係

図5に示した従来の構造では、アークにより発生する磁束が消弧グリッドの中を通り、その際に発生するローレンツ力により、アークを駆動している。図6に示すように、電流が大きくなるとアーク駆動力も大きくなるが、1～10A程度の小電流領域ではアーク駆動力が不足して消弧グリッドへアークを誘導できず、アーク電圧が上がらないことから、遮断時間が長くなり不安定になってしまう。JISやIECでは、400～800AFのブレーカは、定格電流に満たないこのような小電流領域を遮断する責務はないが、富士電機では全領域で安定して開閉・遮断ができることを検証している。

### 3.2 小電流領域のアーク駆動力の向上

従来の構造では、小電流領域のアーク駆動力を向上するために、直流ブレーカの本体内部に搭載した永久磁石の磁界によりアークを強制的に駆動している<sup>(2)</sup>(図7)。しかし、電流が逆方向に流れた場合はアークに働くローレンツ力も逆方向となり、アークが駆動できず遮断ができなかった。そのため、ブレーカの極性の指定が必要となっていた。

直流高電圧用ブレーカを無極性化するためには、永久磁石を使用せずに、小電流領域のアーク駆動力をいかに確保するかが課題となる。アーク駆動力であるローレンツ力を高めるためには、磁気回路の磁気抵抗を減らすことが必要

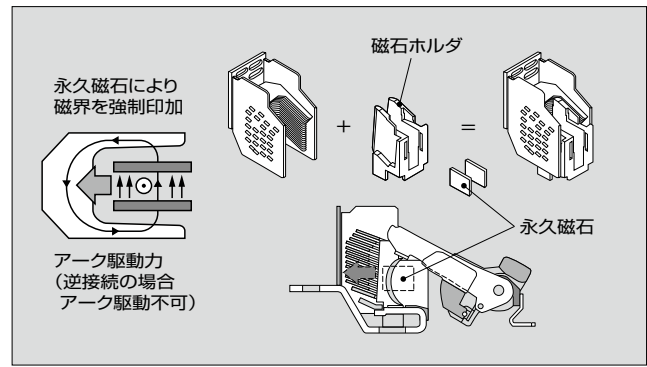


図7 従来の消弧室の構造

であり、磁気回路のエアギャップを小さくすることが有効である。

この観点から消弧室の構造について、次の二つの構造案を検討した。

#### (1) 構造案1

従来の磁石に替えて磁性体を使用する方式である(図8)。アークとグリッドの間に磁性体を配置することにより、磁気回路におけるエアギャップが小さくなる。

#### (2) 構造案2

アークに対してグリッドを近づけてエアギャップを縮小し、グリッドの枚数を増やす方式である(図9)。グリッド枚数を増やすことにより、磁束が通過する磁性体の断面積を増加させる。構造案1よりもアーク駆動力の向上効果が期待できる。

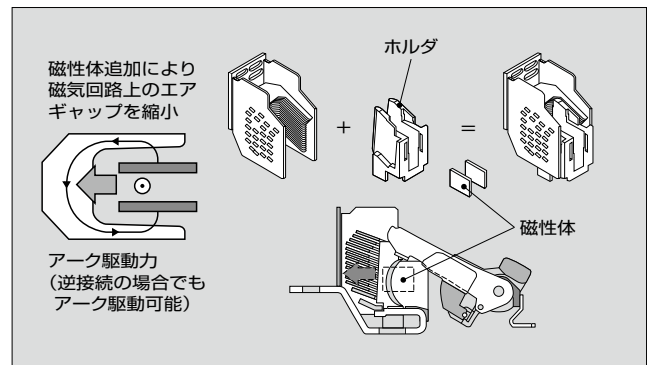


図8 構造案1

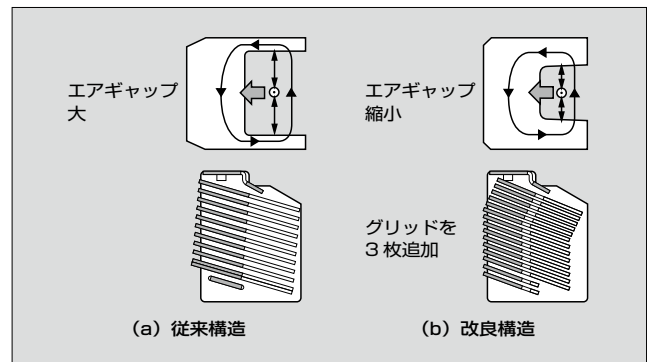


図9 構造案2

### 3.3 磁界解析による検討

二つの構造案について、消弧グリッド、可動子、可動接点、固定接点、アークの三次元モデル化を行い、磁界解析により磁束密度のベクトル図を作成し、アークに働く駆動力（ローレンツ力）を算出した（図10、図11）。解析の結果、400AFは構造案1によりアーク駆動力が改善されたが、630～800AFは構造案1では駆動力が不足していたため、構造案2を採用した。630～800AFでは、400AFに比べてグリッドと可動子の距離が離れるため、400AFと同様に磁性体を配置してもアーク駆動力に差異が生じたと推定される。400AFでは消弧室の構造案1で、630～800AFでは構造案2でそれぞれ試作し、遮断試験評価で効果を確認した。

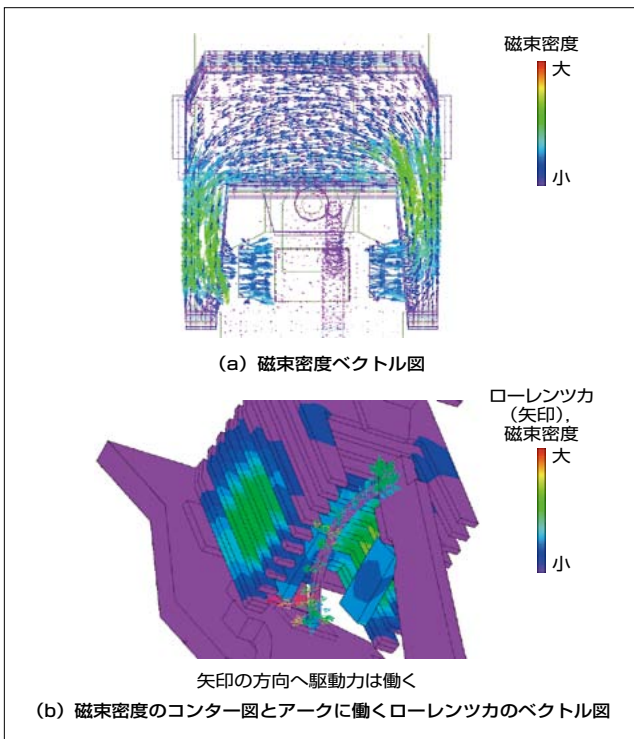


図10 磁束密度とローレンツ力の解析結果

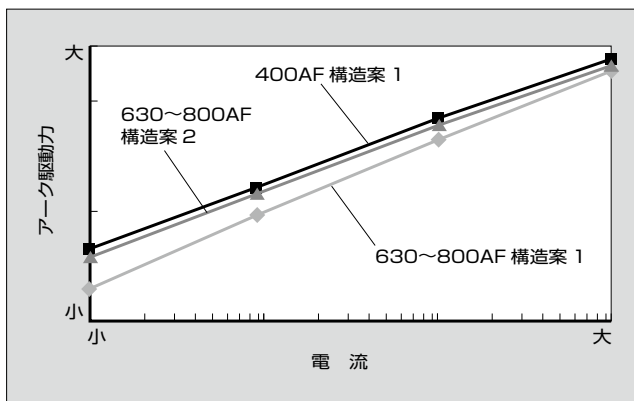


図11 アーク駆動力の解析結果

### 3.4 遮断性能の検証結果

遮断試験は、従来品の磁石を削除した構造、構造案1、構造案2について行った。400AFについては構造案1において、遮断時間が改善され、全領域で安定した遮断性能が実現できた（図12）。630～800AFについては構造案2において小電流領域では改善が見られたものの、中から大電流領域では安定せず（図13）、性能達成のためにはグリッド側面の絶縁を強化する必要があった。

遮断した後の消弧室を調査した結果、可動子先端からアークがグリッド上部まで伸びずに、グリッド中部付近で横方向に短絡していることが分かった。そこで、グリッド形状は変更せずに、可動子の近傍に絶縁壁を追加した（図14）。この狙いは次の2点である。

- (a) アークとグリッドの間に絶縁壁を追加することでアークの横方向への短絡を防止する。

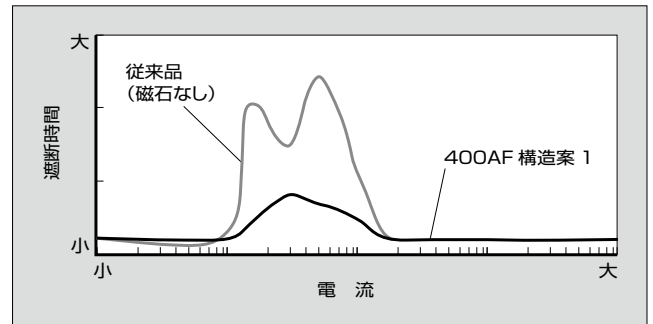


図12 全領域遮断の結果 (400AF)

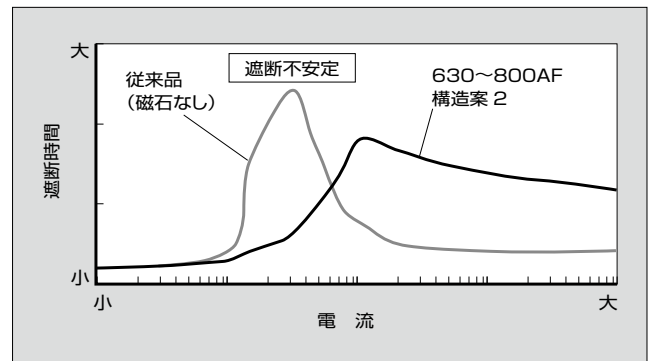


図13 全領域遮断の結果 (630～800AF)

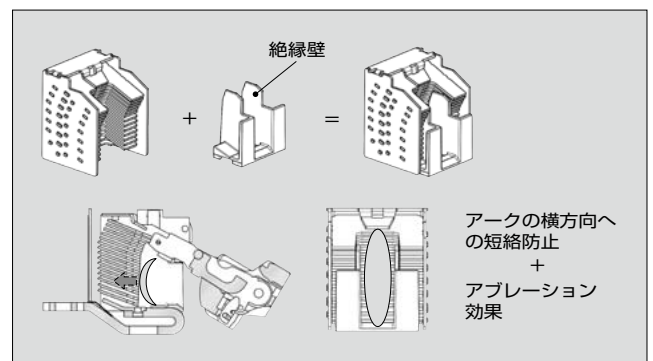


図14 改良構造

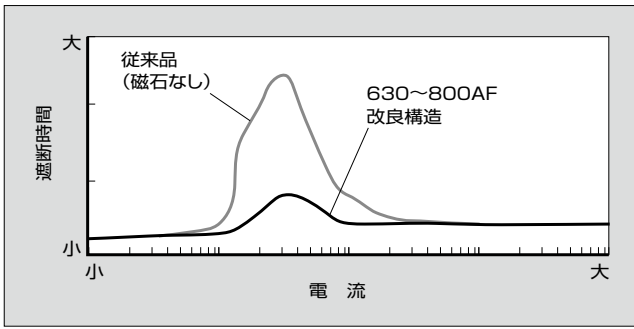


図 15 改良構造による試験結果 (630~800AF)

(b) 絶縁壁を樹脂製とすることでアブレーション効果により、アーク電圧向上効果を狙う。アブレーション効果とは、樹脂が気化する際のエネルギーによりアーク電圧が向上することである。

この改良を加えることで、小電流から大電流まで安定した遮断性能を実現することができた (図 15)。

消弧室の構造の改良により、無極性の仕様においても数 A~10kA の広範囲で安定した遮断が可能となり、開閉安全性を確保できていることを確認した。

#### 4 あとがき

本稿では、大容量太陽光発電設備に設置可能な直流高電圧用ブレーカの無極性遮断技術について述べた。

今後は、国内外の新エネルギー発電関連設備やグリーンデータセンター関連設備など、直流配電設備の給電信頼性や安全性に対する要求が強まることが予想される。さらなる高電圧化への製品技術の対応など、市場やお客さまのニーズを的確に捉え、研究・開発を進めていく所存である。

#### 参考文献

- (1) 岡本泰道ほか. グローバルツインブレーカ「G-TWINシリーズ」の新技术. 富士時報. 2010, vol.83, no.2, p.161-166.
- (2) 森合浩. 直流高電圧用ブレーカの遮断技術. 富士時報. 2012, vol.85, no.2, p.158-163.



#### 佐藤 佑高

低圧遮断器の開発設計に従事。現在、富士電機機器制御株式会社開発・生産本部開発統括部受配電開発部主任。





\*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する  
商標または登録商標である場合があります。