# "WS-Vシリーズ"のアーク走行遮断技術

牧田 陽\* 飯塚貴士\*\*\* 中川 淳\*\* 黒崎剛史\*\*\*

Arc Commutation Circuit Interruption Technologies for MCCB of "WS-V Series" Yo Makita, Jun Nakagawa, Takeshi Kurosaki, Takashi Iitsuka

# 要 旨

近年,機械装置・制御盤の小型・大容量化の進展に伴い, 搭載する低圧遮断器にも小型・高遮断容量化のニーズが高 まっている。"WS-Vシリーズ63Aフレームクラス"では新 遮断技術"アーク走行遮断技術"を採用し,業界最小となる 3極品での横幅54mmと遮断容量の格上げ(Ics<sup>(注1)</sup>三菱電機 現行品:4→8kA)の両立を実現した。

アーク走行遮断技術は,遮断初期の接点開離時に発生し たアークを,接点からグリッド等の他の消弧が容易なエリ アまで高速に転流・走行させる遮断技術であり,従来の1 点切遮断技術と比較して,より小さなアークエネルギーで (注1) 三回遮断容量 の遮断が可能となる。これまでは主にMCB(Miniature Circuit Breaker)等の小型ブレーカに用いられてきた。今 回,この方式を業界で初めてMCCB(Molded Case Circuit Breaker)へ採用し,63A定格機種F Styleとして新たにラ インアップし,高遮断容量・小型化を図った。

アーク走行遮断技術の性能向上開発として,①アーク転 流の高速化,②消弧グリッド内での消弧性能安定化,を指 向した。とりわけ,アーク挙動に影響を与える電界,ガス 流,及びアーク駆動電磁力の3因子に着目し,先に述べた ①②に対して最も効果的な因子を制御する手法を開発した。 本稿では,これらのアーク走行遮断技術について述べる。



## 新型ノーヒューズ遮断器・漏電遮断器"WS-Vシリーズ"のアーク走行遮断技術

WS-Vシリーズの新型ノーヒューズ遮断器 "NF63-SVFシリーズ" では、新遮断技術 "アーク走行遮断方式"の採用によって、機械装置・制御盤の小型化ニーズを満足した業界最小となる3極品での横幅54mmを実現した。

## 1. まえがき

近年,機械装置・制御盤の小型・大容量化が進展しており,搭載する低圧遮断器にも小型・高遮断容量化のニーズ が高くなりつつある。このような背景から,当社では WS-Vシリーズ63Aフレームクラスに新遮断技術"アーク 走行遮断技術"を適用した小型・高遮断容量ノーヒューズ 遮断器F Styleを製品化した。製品化に当たり,①アーク 転流の高速化,②消弧グリッド内での消弧性能安定化を指 向した。とりわけ,アーク挙動に影響を与える電界,ガス 流,及びアーク駆動電磁力の3因子に着目し,先に述べた ①②に対して最も効果的な因子を制御する手法を開発した。

これらの技術を駆使することで、63A定格機種でMCCB 業界最小となる横幅54mmと遮断容量の4kAから8kAへ の格上げを両立した。本稿ではこれらのアーク走行遮断技 術について述べる。

## 2. NF63-SVFとアーク走行遮断技術の特徴

### 2.1 54幅63A定格F Styleの概要

NF-63SVFシリーズの製品仕様を表1に示す。今回新 たにシリーズ化した63A定格F Styleは,現行製品に比べ

フレームA				63	
形名				NF63-SVF	
定格電流A				63	
極数				2	3
定格絶縁電圧V				440	
定格遮断容量(kA)	JIS C 8201-2-1 Ann1 JIS C 8201-2-1 Ann2 IEC 60947-2 EN 60947-2 (Icu∕Ics)	AC	690V	-	
			500V	-	
			440V	7.5 ⁄ 7.5	
			415V	10/8	
			400V	10/8	
			380V	10/8	
			230V	15/15	
		DC	250V	-	
			125V	10/10	
	GB 14048.2 (Icu∕Ics)	AC	415V	10/8	
			400V	10/8	
			380V	10/8	
			230V	15/15	
		DC	250V	-	
			125V	10/10	
	NK (Icu∕Ics)	AC	450V	-	
			240V	-	
		DC	250V	-	
外形 寸法 (mm)			а	36	54
			b	100	
			с	68 90	
(11111)			ca		
電気用品安全法				適合	
CEマーキング				TUV認証	
CCC認証				適合	
JIS      :日本工業規格      NK      :日本海事協会規格        IEC      :国際標準会議規格      CE      :欧州認証        EN      :欧州規格      TUV:テュフラインランド国際認証        GB      :中国規格      CCC      :中国認証					

表1. 63A定格F Styleの製品仕様概略

筐体(きょうたい)容積を約50%小型化(75×130×68mm→ 54×100×68mm)したとともに,遮断容量はIcsを4kAか ら8kAに格上げした。小型化しながら高遮断容量化を実 現するため,同機種では,これまで主としてMCB<sup>(1)(2)</sup>等の 小型ブレーカに用いられてきたアーク走行遮断技術を業界 で初めてMCCBに適用した。

### 2.2 アーク走行遮断技術の特徴

アーク走行遮断技術は,接点開離時に発生したアークを グリッド等の消弧が容易な空間まで高速に転流・走行させ ることによって,従来の1点切よりも優れた限流性能を実 現した遮断技術である。この方式におけるアーク挙動と遮 断電流・電圧波形との対応を図1と図2に示す。消弧室は 可動子,固定子,可動子側ランナ導体(可動ランナ),消弧 グリッドによって構成されている。図1,図2の①~④の 過程でのアーク挙動について述べる。

- ①可動子が開極し始め、接点間でアークが発生すると、 アークが磁気駆動力と筐体内の雰囲気圧力の上昇によって図1下方に引き伸ばされ、アーク電圧が上昇を始める。
- ②可動子上のアークが可動ランナに転流し、固定子と可 動ランナの間に形成されたアークはグリッドに向かっ て走行を開始する。



図1. アーク走行遮断時のアーク挙動



図2. アーク走行遮断時の電流・電圧波形一例

- ③アークがグリッドに到達し,分断アークが形成される と,アーク電圧は急激に上昇する。
- ④分断アークがグリッド内部で冷却されアークが維持で きなくなり消弧する。

この方式では、開極から消弧まで、アークを転流、走行 させる高度なアーク制御技術が不可欠となる。優れた遮断 性能を得るためには過程①~④の中でも、開極直後の転流 過程とグリッド到達後の分断アークを冷却する消弧過程の 安定維持が重要となる。先に述べた性能を達成するために、 **3章**で述べる遮断時の電界強度、ガス流分布やアーク駆動 電磁力に着目したアーク制御技術を新たに開発し、性能向 上を図った。

# 3. 電界,ガス流,及びアーク駆動電磁力に着目した アーク走行制御技術

## 3.1 電界制御による転流高速化

開極初期のアーク挙動について,電磁力や圧力によるア ーク駆動力に加え,可動子と固定子の間に形成される電界 分布と電界ベクトルの方向が転流性能に影響すると考え, 電界解析による接触子の形状最適化設計を実施した。図3 に開発初期品の電界分布を示す。矢印は導体表面における 電界ベクトルを示している。可動子表面の電界強度は接点 表面上が最も高く,その方向は固定接点に向いている。開 極直後の円滑なアークの転流には可動接点から可動子先端



図3. 電界強度分布(開発初期品)



図4. 電界強度分布(改良モデル)

までの電界強度の均一化と,電界方向を転流先である可動 ランナ側に向けることが必要であると考えた。そこで可動 ランナの可動子近傍の形状をV字形化し可動子先端の電界 をより集中させ,可動子先端形状自体も改良することで電 界方向が可動ランナ側へ向くように最適化した。

改良形状での電界解析の結果を図4に示す。可動子上の 電界強度の均一度を,可動子先端のA点と可動接点上のB 点の電界強度比で定義すると,開発初期品が0.05であるの に対し改良品では0.5に改善した。さらに両形状でアーク 発生から可動ランナ・固定子間にアークが転流するまでの 時間を比較した結果,1.0msから0.6msに短縮した。このよ うに可動子,固定子,可動ランナ間の電界分布の最適化に よって,転流性能が向上することが確認できた。

## 3.2 熱ガス流制御及び電磁駆動力強化による消弧性能安定化

アークがグリッドへ到達し分断, 冷却される消弧過程で は, アークがグリッド内でいかに安定維持できるかが優れ た消弧性能を確保する上でのポイントとなる。一方で, グ リッド内で分断アーク状態を安定維持するには, 電磁力や 圧力勾配(こうばい)によるアーク駆動力のバランス維持が 重要となる。そこで, 熱ガス流解析技術を用いて排気口の 形状を最適化し, その上で, グリッド部の電磁力解析によ るアーク駆動電磁力の強化設計を実施した。次に解析手順 について述べる。

図1,図2に示した遮断時のアーク位置及び発熱量を考 慮した発熱源を設定し、ガス流分布の時間変化を解析した。 発熱量としてアークエネルギーによるジュール熱(IV積) を設定し、熱伝導方程式及びNavier-Stokes方程式を解い た。排気口形状の最適パラメータの抽出ではタグチメソッ ドを適用し、グリッド入り口から排気口におけるガス流分 布が均一になるように形状を最適化した。図5に最適化後 のガス流分布を示す。この最適化設計によって固定子と可 動ランナ近傍の流量比は0.3から0.8へと向上し、ガス流分 布解析による流路形状設計の有効性を確認できた。

流路形状を最適化した上で,転流後のアークがグリッド 到達直前の位置にある状態を模擬してアークの駆動電磁力



図5. 遮断時のガス流分布(改良モデル)



を解析した。その結果,図6に示すとおり固定子近傍のグ リッド厚を0.8mmから2.4mmに増強することでアーク駆動 電磁力を約3割増強することができた。これらの結果を単 極試作器の構造に反映し,遮断試験によってアークがグリ ッドに到達してから遮断までの平均アーク電圧を比較した 結果,250Vから350Vに上昇し,冷却性能向上を確認でき た。

## 3.3 製品形態における遮断性能検証

図7と図8に、製品形態における遮断試験時の電流・電 圧波形とアーク観測画像の一例を示す(短絡電流10kA)。 図7中の(1)~(5)は図8の番号にそれぞれ対応している。(1) で接点間でアークが発生し、(2)、(3)で接点間のアークが可 動ランナへ転流し、グリッドへ走行している。さらに(4)で グリッド内でアークが良好に維持され、(5)で消弧し1/2サ イクルで良好に遮断完了している。また、図9に示した旧 WSシリーズとWS-Vシリーズの性能比較では、電流ピー ク(I<sub>pk</sub>)と注入アークエネルギー(I<sup>2</sup>t)はそれぞれ45%、75% 削減しており、大幅な性能向上を実現した。これによって、



筐体容積の約50%削減と遮断容量を2倍向上(Ics=4→8kA)の両立を達成した。

# 4. む す び

63Aフレームに新たにラインアップしたF Styleに搭載 したアーク走行遮断技術の特徴と,電界制御技術によるア ーク転流の高速化とガス流及びアーク駆動電磁力制御によ る消弧性能安定化について述べた。今後更に適用機種の拡 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

- 石田 伸,ほか:UL489対応ノーヒューズ遮断器 "NF50-SMUシリーズ",三菱電機技報,79,No.6, 405~408 (2005)
- (2) 三橋孝夫,ほか:UL489対応ノーヒューズ遮断器
  "NF50-SMUシリーズ"の遮断技術,三菱電機技報, 79, No.6, 409~412 (2005)