

# 低圧遮断器の技術変遷と今後の展望



福山製作所 遮断器製造部長  
竹内敏恵

## 1. ま え が き

現代文明に不可欠と言っても過言でない電気エネルギーの発展は、“生成”“伝送”“利用”の観点から発電機、変圧器、電動機の3つの機器が発明されたためと言われるが、ここに“保護・制御”の観点から遮断器・開閉器を付け加えてもよいのではないだろうか。遮断器・開閉器は保護する電圧に応じて、SF<sub>6</sub>ガス中、真空中、空气中で接点を開閉する方式に大別される。

我々の最も身近で電気を利用する低電圧受配電やFA (Factory Automation) などの電気回路の保護には、空气中で接点を開閉する方式が採用され、短絡故障電流、過負荷電流、感電、熱、過電圧、不足電圧などに対処する必要がある。過負荷・短絡電流保護器の歴史はヒューズに始まっているが、今日では、取扱いに利点の多い低圧遮断器 (Molded Case Circuit Breakers : MCCB) が主流の保護器である。MCCBは、過負荷・短絡電流保護のみならずほかの保護項目、感電保護の漏電遮断器を始め、過電圧や不足電圧の保護などにも関わりを持つようになっている。

1933年に三菱電機が国内初の“ノーヒューズ遮断器”を世に出して以来80有余年、小型化、大容量化、高性能化、高機能化を軸として、漏電遮断器、電子式遮断器、計測・表示・伝送機能付遮断器等、MCCBの発展の歴史を通じて、常にリーディングカンパニーの地位を占めてきた当社の

MCCB製品及び技術の歴史、変遷について述べる。

## 2. 三菱MCCBの歴史

### 2.1 黎明(れいめい)期(戦前)

1929年に、引き外し自由形の開閉機構・バイメタル式過電流検出部・グリッド式の消弧室を持ち、全体を絶縁物のモールドケースで覆った製品が米国のウェスチングハウス社(以下“W社”という。)から発売された。これが今日に至るMCCBの先陣をきる製品であり、MCCBの基本的考え方は今日でも脈々と生きている。

当社は、W社との技術提携によって、名古屋製作所で1, 2極、定格電流15 ~ 35Aの分岐回路用を開発し、1933年に国内初のMCCBを発売した(図1)。1936年にはこのMCCBを備えた“NF形”分電盤を開発し、大容量の電気設備を必要としていたビルなどに使用されていった。その後、1936年に100Aフレーム、1937年に225Aフレームと電力の大容量化に対応した製品を開発するとともに、バイメタル定格の約10倍の過電流で作動する“電磁引き外し装置”も備えた。

ヒューズ付開閉器より性能が優れ、小型で外形の整ったMCCBの出現は、壁面に体裁よくまとめた配電盤のニーズに合致し、MCCBを使用した配電盤が普及していった。

### 2.2 黎明期(戦後)

第2次世界大戦の戦災で中断していたMCCBの生産は、

産業

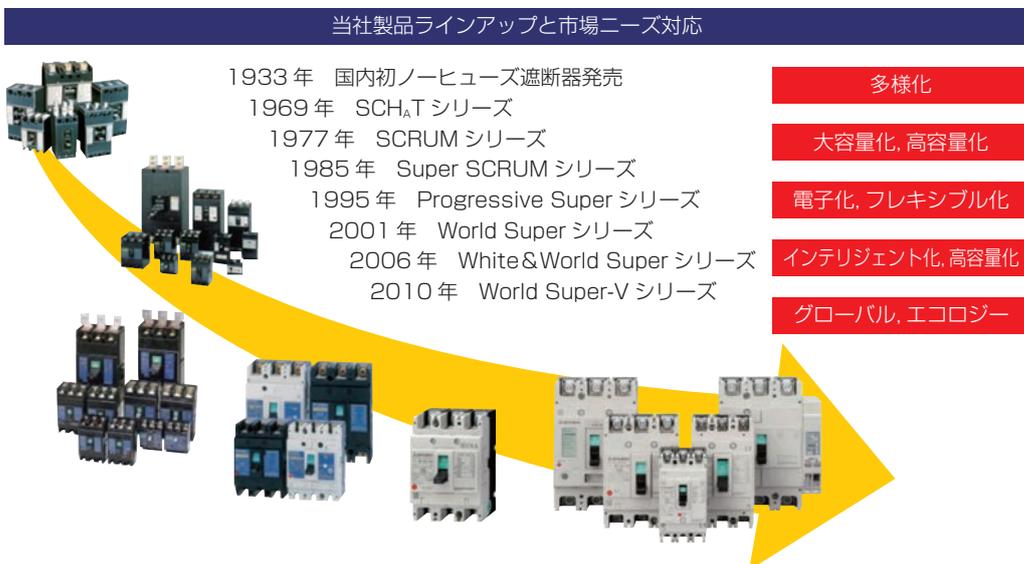


図1. 当社遮断器シリーズの変遷

1950年から戦前に開発した50～225Aの3フレームで再開し、駐留米軍の関連施設への納入が契機となり、需要が喚起されていった。

1952年頃になると回路の分岐回路数が増え、それまでの50Aフレームでは分電盤が大型、取付けが不便など、改善のニーズが生じた。この需要変化によって、小型で取付けを標準化した単極の電灯電熱分電盤用“BH形”ブレーカを開発した。当初のBH形2極品は、同一定格の単極品2台を延長ハンドルで連結した個別引き外しのものではあったが、分電盤の小型化や回路の集中化が大いに進み、分電盤の標準化が促進していった。

1954年、電灯需用家の電力料金の合理化及び屋内配線保護のためアンペア制が制定され、1955年に東部5電力会社（北海道・東北・北陸・東京・中部）で、“安全ブレーカ規格”が制定された。これに対処するための1955年“SB形”安全ブレーカを開発して東北電力に納入した。従来のヒューズにない屋内配線保護の合理性、アフターケアの容易さによって需要が拡大し、電磁式“SM形・BM形”，バイメタル式“BU形”等の各種の安全ブレーカは当社主要品目の1つに成長していった。

1957年、当社福山製作所でのMCCBの生産が始まり、同年“BH形”を小型化し電源端子をプラグイン式にした“BH-P形”を開発し、1958年には、2極2素子共通引き外し形の“BH-M形”を開発した。

BH形ブレーカの機種拡大を皮切りに始まった製品が、今日の当社遮断器事業の隆盛につながっている。

### 2.3 拡大期

1960年代半ばに入ると、工場・ビル・船舶等の電力需要がいずれも加速度的に増大し、数千kVAという低圧回路が続々と出現した。そのため、1965年MCCBに当社製“FLT形”限流ヒューズを組み合わせた“NFT形”トライパック遮断器を開発した。NFT形は、1965年100・400Aフレーム、

1966年225・600Aフレーム、1967年800Aフレームと続けて開発したが、当時国内では当社だけの製品であった。

1967年には短限時付NF形2000Aフレームという世界最大級のMCCBも開発し、翌年5月に開催された第13回全国優良電設資材展コンクールで業界最高の権威である建設大臣賞を受賞した。

我が国では1965年初め頃から漏電ブレーカが市場に出現したが、感電から人や家財を守る関心の高まりを受けて、1969年、労働省が“感電防止用漏電遮断器構造基準”及び“感電防止用漏電遮断器安全指針”を制定した。この制定が契機となり、漏電ブレーカの開発が本格化していった。

1970年純電磁式の単相2線式“NV-1形”30Aフレームと三相3線式“NV-3形”50Aフレームを発売し、また、現在の半導体式漏電ブレーカの基盤となる三相3線式“NV-5形”50Aフレームと分離形漏電リレー“NV-R形”を開発した。1971年には三相3線式“NV100形”100Aフレーム、“NV225形”225Aフレーム、一体型漏電リレー“NV-R形”を発表し、漏電ブレーカのシリーズ化への一歩を歩みだした。

### 2.4 発展期(シリーズ化)

電気設備への多様なニーズ、高容量化、経済性、小型化などに対応するため製品の種類を増やしていったが、一方では選定に煩雑さも生じた。そこで、MCCBを遮断容量の大きさ・経済性で整理・区分するとともに、新たに開発した機種を加えて、1969年5月、①Standard(汎用品)、②Compact(小型品)、③High quality(高性能品)、④Tri-pack(トライパック)の4つのシリーズの頭文字をとって名付けた“SCH<sub>A</sub>Tシリーズ”(図2)を発売した。これは、今日のシリーズ化の先鞭(せんべん)をつけたもので、顧客から高評価を得て、50%を越すシェア獲得に大きく貢献した。

1969年のSCH<sub>A</sub>Tシリーズに始まった三菱MCCBのシ



図2. SCH<sub>A</sub>Tシリーズ



図3. WS-Vシリーズ

特集 I：当社技術の変遷と将来展望

リーズ化は、図1に示すように、何回かのシリーズ変更を経て、最新の“World Super-Vシリーズ”（図3）に至っているが、それぞれのシリーズで、常に斬新な技術発展を遂げている。

2.5 グローバル化

MCCBのような保護機器には、各国の法規制が最も顕著に表われるため、各国の製品規格や認証制度又は規格・基準の国際統合化の動向が製品開発の重要な要因の1つとなってきている。

MCCBのIEC規格がIEC157-1からIEC60947-2に代わり、また、欧州ではCEマーキングが導入された1990年代以降、三菱MCCBのシリーズ化も国際規格に大きく影響された製品開発となり、今日に至っている。

次に、最新のWorld Super-Vシリーズに至るまでの主なシリーズを技術的な話題を軸に述べる。

3. 当社独自の遮断技術の変遷

遮断器の重要責務の1つが遮断性能である。電流遮断は遮断時に接点間に発生したアークを安全確実に消弧し電流の流れを止めることであり、遮断器の小型化や回復電圧の増大要求を考慮すると、可能な限り小さな容積で短絡電流のアークエネルギーを消費し、電流ゼロ点で接点間を絶縁回復させる必要がある。これに対して低圧遮断器では遮断時に発生するアークの電圧を増大させて短絡電流を小さく絞る限流現象を積極的に利用することで電流遮断を容易にし、電流遮断部のスペース縮小化などを可能にしている。当社では図4に示す独自の遮断技術を開発・発展させ、他社に比べてより小型で大容量の遮断器を製品化してきた。

ここでは当社独自の限流技術、及び電流ゼロ点での接点間の絶縁回復性能を高める高電圧遮断技術について述べる。

3.1 気中アーク制御技術VJC

VJC(Vapor Jet Control)とは接点周辺を厚みのある絶縁

物で覆うことでアークを制御する技術である。図5に示すように絶縁物を利用することで、アークスポットの広がりを制限し、電極からの高温ベーパー・ジェット放射方向を制限する。この結果、必然的に電極間のアークの断面積は縮小し、さらに、絶縁物が出すベーパーがアーク外周部の温度を冷却する効果も相まって、アークの断面積を縮小していく。また、アークの温度分布を定める上で重要なのは輻射と圧力差に基づく膨張冷却である。したがって、VJCアークは絶縁物によってアーク空間の圧力を上昇させること、及び絶縁物蒸気の冷却効果の両者によって、膨張冷却と輻射損失を促進させることで、アークのエネルギー損失を増大させアーク電圧を上昇させることが可能となる。

この技術は1985年発売の“Super SCRUMシリーズ”に初めて搭載し、以降、この技術的思想は幅広く応用展開し2010年発売のWS-Vシリーズにも適用している。

3.2 超限流遮断技術

更なる大容量化にある受配電方式を背景に短絡容量の増大が課題となる中、遮断容量200kAの性能を持つ超限流遮断器を製品化した。同遮断器は図6に示すように、超限流ユニットを遮断器本体に接続するという全く新しい発想を持つ画期的な製品であった。超限流ユニットはフォーク形2点切構造となっており、短絡電流の電磁力を利用して可動子を高速開極することで瞬時に高いアーク電圧を発生させ、遮断器本体と合わせ3点切アーク構成となっている。さらに、VJC技術を併用しており推定短絡電流を1/10まで限流させることを可能にした。

3.3 高限流遮断技術ISTAC

短絡時の限流効果の発生が早いほど、小さい電流から限流を開始するため、結果的に通過電流値を小さくすることができる。そのためには、短絡初期に可動子をより速く開極動作させてアークを長く引き伸ばすことが重要である。ISTAC(Impulsive Slot Type Accelerator)技術はこのような

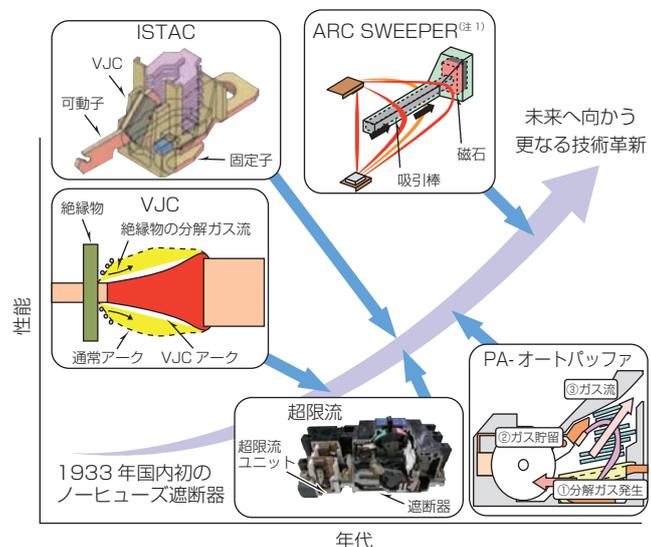


図4. 当社遮断技術の変遷

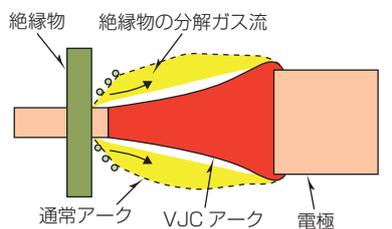


図5. VJCの有無によるアークの違い

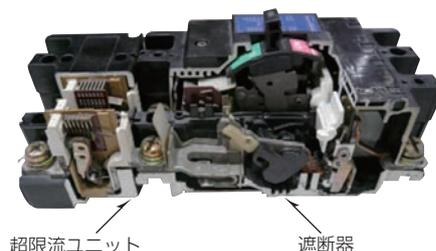


図6. 超限流遮断器の断面

産業

効果をねらった可動子・アークの高速駆動構造とVJC技術を融合したものである。

ISTAC技術は可動子の高速開極とアークの伸長に電流路からの磁場を利用する。開極初期で固定子を構成する全ての電流路(通電方向)を可動子やアークを駆動する方向に配置しているため開極速度の高速化が可能になる。図7にISTACの構造を示す。さらに、絶縁材料で固定子側接点周辺の遮断部を囲んでいるため、発生した圧力が可動子の開極速度を向上させ、アーク断面積の縮小も行うためアーク電圧が飛躍的に高まる。

ISTAC技術は1995年発売の“Progressive Superシリーズ”に搭載し、その後も上記基本原理を基に継続的に性能向上を図り続け、当社の高遮断容量品の大部分に適用している。

### 3.4 高電圧遮断技術PA-オートパッファ

この技術は限流後に発生する電流ゼロ点の極間の絶縁回復向上に着目した技術である。PA-オートパッファ(Polymer Ablation type Auto-Puffer)構造を適用した消弧室構造を図8に示す。接点开極し発生したアークによる熱で消弧室の絶縁物から高分子分解ガスが発生する。このガスを一旦貯留し、その後、アークに吹き付けることで、電流ゼロ点までに接点間を冷却し、導電性ガスが存在しない状態にすることで遮断を確実にする。

この技術は極間の回復電圧立ち上がり早い高電圧回路を遮断する際に効果があり2001年にグローバルにも対応できる“World Superシリーズ”として製品化した。

### 3.5 高電圧DC遮断技術ARC SWEEPER

上述の短絡電流に対する限流、遮断技術の高度化に対する取組みに加え、近年の太陽光発電システムの普及に伴い直流電流(DC)を遮断できるDC回路遮断器、開閉器用遮断技術の向上が求められるようになってきた。

一般的に、DC遮断では定格電流以下の小電流アークに

対して磁石でローレンツ力を発生させ、アークを伸長させてアーク電圧を高めるが、電流極性の反転によって伸長方向が逆転し遮断性能が低下する問題があった。この課題を克服するとともに、従来にないアーク伸長を可能にしたアーク伸長方式の概念図を図9に示す。この方式では長尺状の磁性体(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、吸引棒と磁石を樹脂製の絶縁カバーで被覆し構成している。この構造によって、接点間に発生したアークに対して吸引棒からの漏れ磁場が鎖交し、同図に示すように絶縁カバーの側面側空間に沿って磁石を配置した奥側にアークが伸長し、最終的には絶縁カバーに衝突、アークは圧縮される。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。また、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。

この技術は2013年発売のDC400V開閉器の電流遮断部に搭載し、今後の更なる高電圧化への対応が期待される。

## 4. む す び

当社低圧遮断器製品及び技術の歴史、変遷について述べた。低圧遮断器は責務の多様さから様々なシリーズが開発・製品化されてきた。昨今では、地球温暖化や安全性への配慮から、太陽光など自然エネルギーを利用した発電方式が増加傾向にあり、DC遮断器や開閉器の普及、高電圧化が求められるようになってきた。また、新エネルギーの保護・制御に関する法整備もIECなどの国際規格委員会で進められており、新たな機能要求が発生することも考えられる。国内でも、東京オリンピックに向けた新たな需要の高まりも予想でき、需要家の新たなニーズを掘り起こす機会と期待している。今後もより安全で使いやすく多機能な低圧遮断器・開閉器開発を目指し、遮断技術の向上を図っていく。

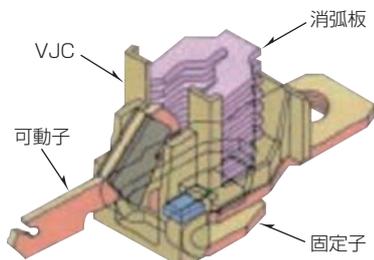


図7. ISTACの構造

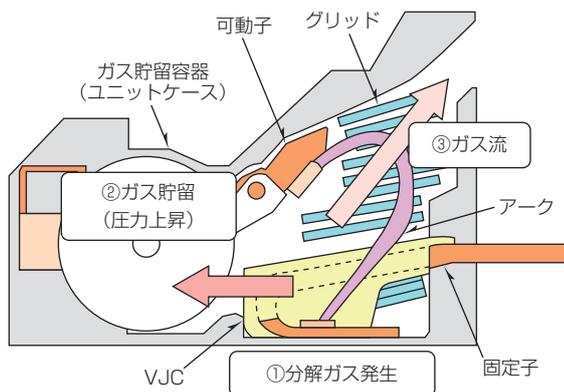


図8. PA-オートパッファ遮断器の構造

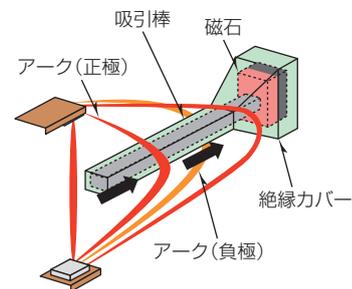


図9. アーク伸長方式の概念図