

難波晃平*

Kohei Namba

山田 博*

Hiroshi Yamada

小林 稔*

Minoru Kobayashi

海外市場向け“20-VPR-D形”真空遮断器

"Type 20-VPR-D" : Vacuum Circuit Breaker for Overseas Market

要 旨

真空遮断器(Vacuum Circuit Breaker : VCB)は、小型・軽量、保守の容易性等の多くの特長から幅広く適用されている。三菱電機の“20-VPR-D形”真空遮断器は、台湾市場を中心に適用されている海外市場向け真空遮断器の主力機種である。近年、遮断器を収納するスイッチギヤの各国の規格で、スイッチギヤの安全性の観点から国際規格であるIEC(International Electrotechnical Commission)62271-200に沿った仕様を採用する気運が世界中に高まりつつある。IEC62271-200は、内部アーク試験が規定化されている等、安全性に配慮されている。このような背景の中、安全性重視に必要なオプションの拡充を図るため、20-VPR-D形真空遮断器を最新のIEC規格に対応させた。

20-VPR-D形真空遮断器の特長は次のとおりである。

(1) 安全性の追求

スイッチギヤ扉を閉めた状態で遮断器の移動が可能な外部引き出し操作方式、安全性の高い金属シャッターの標準装備、投入責務を備えたES(Earthing Switch)

(2) 環境負荷低減の追求

有害6物質が規制値以下及び真空バルブの小型化

(3) 外形寸法の同一化

定格電流2,000Aまで同一の外形寸法によって、スイッチギヤ設計の標準化が可能

(4) 保守・点検の省力化

長寿命グリースや無注油軸受適用による注油間隔の延長(3年→6年)

(2) 環境負荷低減の追求

- ・有害6物質が規制値以下
- ・真空バルブの小型化

(3) 外形寸法の同一化

定格電流2,000Aまで同一の外形寸法によって、スイッチギヤ設計の標準化が可能

(4) 保守・点検の省力化

長寿命グリースや無注油軸受適用による注油間隔の延長(3年→6年)

(1) 安全性の追求

- ・外部引き出し操作方式
- ・金属シャッター
- ・ES



金属シャッター



ES



外部引き出し操作機構

海外市場向け“20-VPR-D形”真空遮断器の特長

20-VPR-D形真空遮断器は、小型・軽量、環境負荷低減、保守・点検の省力化、安全性の高い金属シャッターの標準装備、IEC規格に対応した安全性の高いオプションメニューを持っており、多種多様な顧客ニーズに対応した製品である。また、定格電流2,000Aまで同一の外形寸法であり、スイッチギヤ設計の標準化を可能とした。

1. ま え が き ⁽¹⁾

遮断器は平常運転時には負荷電流を通電させ、事故発生時には即座に定格電流の数十倍以上の事故電流を遮断することによって、接続されている機器を保護する機能を持っており、電力システムを構成する上で重要な機能を担っている。遮断器の消弧媒体にSF₆(六フッ化硫黄)ガス、油、真空、空気などを用いた様々な遮断器が存在するが、中でも真空バルブを用いたVCBは、絶縁性、遮断性、保守性・安全性が高い等多くの特長から、特高電圧まで幅広い分野で適用されている。

VCBの多くはスイッチギヤに搭載され、配電系統で、電力を安定供給する上で重要な役割を担っている。VCBには、操作性、信頼性、安全性等従来求められていた基本性能に加え、地球環境保護及び低炭素化社会への関心の高まりなどによって環境負荷低減、ライフサイクルコスト(Life Cycle Cost : LCC)削減等が求められている。

また、スイッチギヤの国際規格であるIEC62271-200が改定されて以降、日本を始めとして、台湾などでも国内規格がIEC規格に整合化されている。IEC62271-200では、内部アーク試験や運転連続性喪失区分(Loss of Service Continuity category : LSC)が規定されており、使用者の安全性に配慮した規格になっている。

20-VPR-D形真空遮断器は2008年に製品化して以降、台湾市場を中心に幅広く適用されている海外向けVCBの主力機種である。先に述べた背景から、当社では、IEC62271-200に対応させた20-VPR-D形真空遮断器を開発した。

本稿では、近年の遮断器を取り巻く環境、技術動向とそれに対応した20-VPR-D形真空遮断器について述べる。

2. 20-VPR-D形真空遮断器の定格事項

図1に20-VPR-D形真空遮断器の外観、表1にその定格事項を示す。



図1. 20-VPR-D形真空遮断器

表1. 20-VPR-D形真空遮断器の定格事項

形名	20-VPR-16D	20-VPR-25D
準拠規格	JEC-2300, IEC 62271-100	
定格電圧(kV)	24	
定格遮断電流(kA)	16	25
定格電流(A)	630, 1,250	630, 1,250, 2,000
定格周波数(Hz)	50/60	

3. 安全性の追求

スイッチギヤに要求される安全対策として規格IEC62271-200に内部アーク事故を模擬した試験・評価方法が規定化され、操作・作業への安全を配慮している。また、国内のスイッチギヤ規格もIECへの整合化が検討されており、国内外で操作・作業への安全性の配慮が拡大している。それに対応した外部引き出し操作方式を製品化し、スイッチギヤ扉を閉めた状態で挿入／引き出しハンドルを操作することでVCBを断路・試験位置から接続位置に移動することを可能にしている(図2)。

3.1 据付け方式 ⁽¹⁾

遮断器の構造は、据付け方式から大きく分けて固定形、搬出形、引き出し形があり、保守・点検などを考慮して機器選定が行われている。

固定形は屋外に設置する屋外形単独据付けタイプと屋内

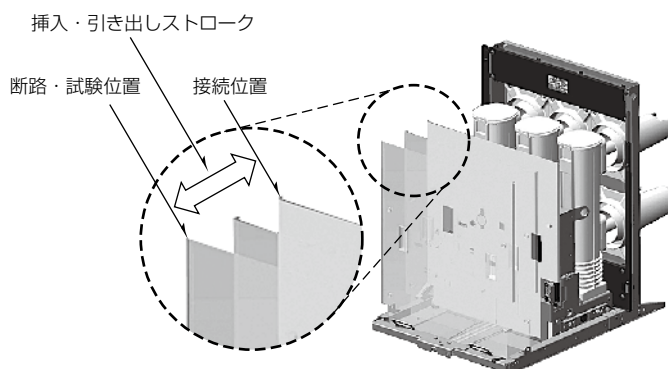
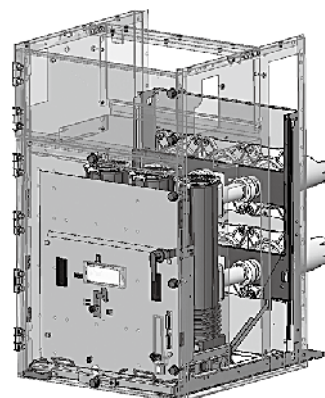


図2. 外部引き出し操作方式

に設置する単独据付けタイプ及びスイッチギヤに取り付けるパネル取付け形がある。

搬出形はVCB主回路端子接続部がボルト等によって固定接続されるためVCBの移動は停電状態で行う必要がある。

引き出し形では主回路接続部を自動接続・断路できるため保守・点検が容易であり、スイッチギヤ用の遮断器として多用されている。引き出し形はスイッチギヤ内での挿入・引き出し操作が必要になるため、誤操作を防止して安全性を確保する観点から、スイッチギヤの規格から次のインタロックが要求されている。

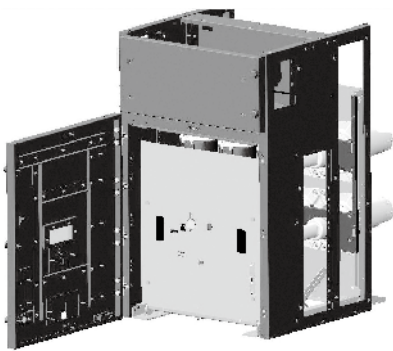
- (1) 挿入・引き出しは遮断器が開のときだけ可能であること
- (2) 遮断器が運転位置、試験位置、断路位置、引き出し位置にあるときに限り遮断器の開閉ができること
- (3) 遮断器が運転位置にあるときは、制御回路に接続されているときに限り遮断器の開路が可能であること

表2に引き出し形遮断器の位置による主回路・制御回路との接続状態の関係を示す。表2では試験位置と断路位置を分かりやすいように別々に示しているが、断路位置で制御回路を接続すれば試験位置として扱われるので、試験位置と断路位置は同じ位置でもよく、ほとんどの場合このような対応にしている。

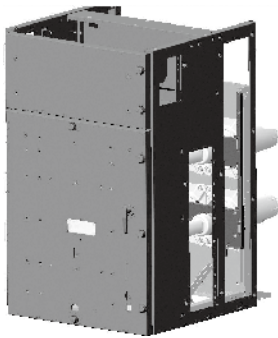
3.2 外部引き出し操作機構⁽²⁾

スイッチギヤ扉を閉めた状態で挿入・引き出しハンドルをスイッチギヤ外から操作することでVCBを断路・試験位置から接続位置に移動することを可能にする外部引き出し操作機構を製品化した。図3に内部引き出し操作と外部引き出し操作を示す。

内部引き出し操作と外部引き出し操作で、VCBの外形



扉を開けて遮断器を挿入・引き出し
(a) 内部引き出し操作



扉を閉めて遮断器を挿入・引き出し
(b) 外部引き出し操作

図3. 内部引き出し操作と外部引き出し操作

寸法を同一にするために、外部引き出し操作を行う外部引き出し操作機構をVCB内の空きスペースに配置する。図4に示す従来のねじ送り機構はねじ棒とナットで構成されておりシンプルな構造ではあるが、全移動域をねじで送るためVCB内の空きスペースに外部引き出し操作機構を配置する薄型化は困難である。

そこで、外部引き出し操作機構には図5に示すトグルリンクとウォームギヤ(ねじ歯車と斜歯(はすば)歯車を合わせた機構)を組み合わせたトグルリンク機構を採用した。機能上寸法が大きくなるねじ部は寸法の制約のない前面に配置し、空きスペース部で高さ寸法の制限のある空間には高さを抑えた板金部品でトグルリンクを構成し、ギヤで駆動させる方式にした。また、操作軸に対して歯車を左右対称に二つ配置することで歯車の面圧を低減させ、操作力を倍にした。

従来のねじ送り機構では、最大負荷に対して必要な推力を基にねじサイズが選定されるため、この値から操作回転数が決まる。トグルリンク機構はねじ送り機構と同様に図6のように回転操作で遮断器を挿入していくが、主回路接触子が係合して推力が大きくなる接続位置近傍でトグルリンクの特性を利用して推力を増加させることが可能である。また、必要とする推力が小さいところではストロークを大きくとることでねじ送り機構に比べ約1/3の回転数での操作を可能にした(図7)。

表2. 引き出し形遮断器の位置による接続状態の関係

遮断器の位置		接続状態	
		制御回路	主回路
運転位置 (接続位置)	引き出し形遮断器	接続 ON	接続 ON
	盤 主回路 制御回路		
試験位置		接続 ON	断路 OFF
断路位置		断路 OFF	断路 OFF

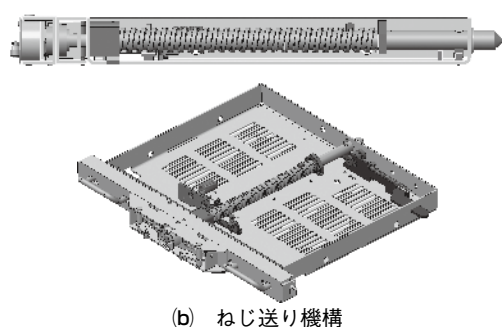
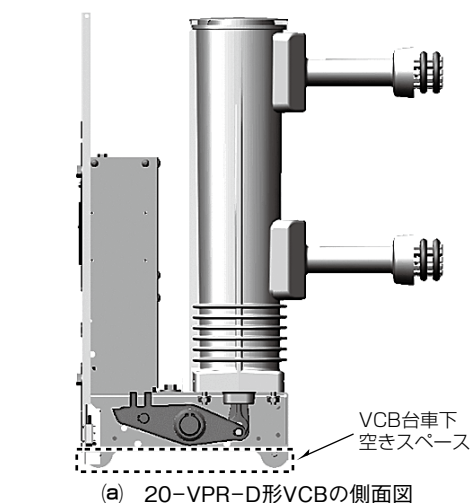


図4. 外部引き出し操作機構(ねじ送り機構)

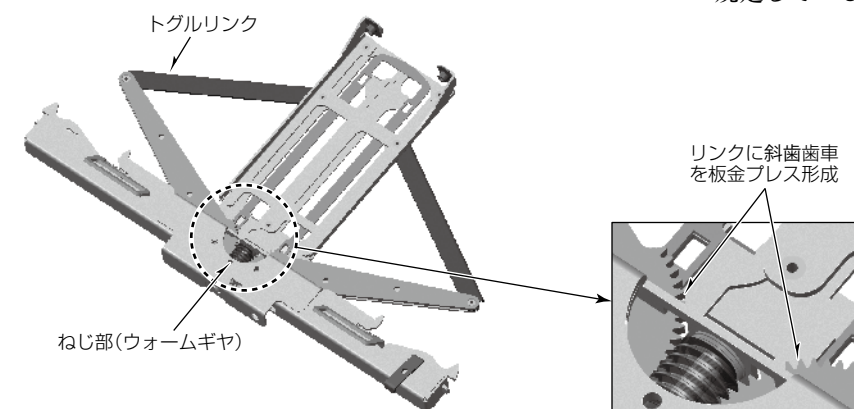


図5. 外部引き出し操作機構(トグルリンク機構)

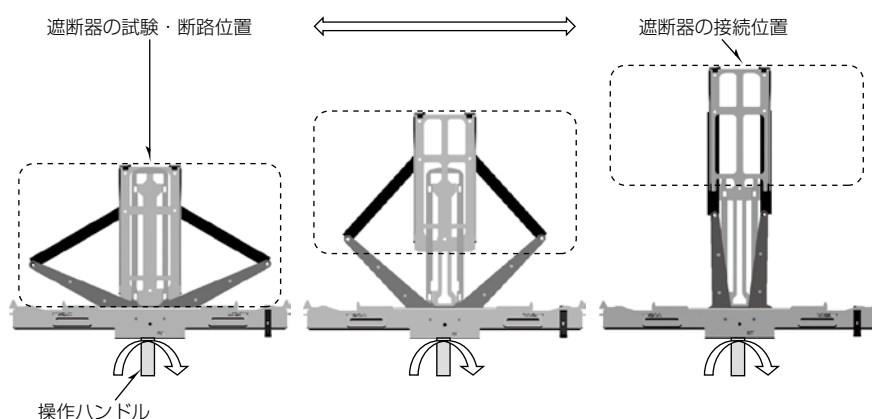


図6. トグルリンク機構(機構上面図)による挿入／引き出し操作

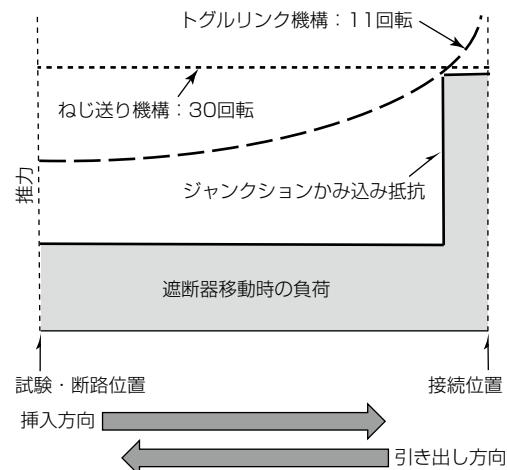


図7. 外部引き出し操作機構の操作回転数と推力

3.3 シャッター構造⁽²⁾

スイッチギヤ内部では人が接近可能なコンパートメントと充電部との間に、充電部との接触から保護する目的で仕切り板やシャッターを設ける場合がある。

スイッチギヤ規格IEC62271-200では、メンテナンス性に視点を置いた運転連続性喪失区分(LSC)を用いてコンパートメントを構成する仕切り板、カバー及び扉の構成を規定している(表3)。

引き出し形遮断器で遮断器室を構成する場合、接続位置や試験位置での遮断器動作に関連するインタロックや主回路接続部のシャッター構造などに関連してスイッチギヤと遮断器との取り付け部分が重要になるため、引き出しレールやシャッター機構、インタロックなどの機能を一体化した固定枠として遮断器製造業者側が遮断器と一体で提供している場合が多い。このため、この仕切り構造に合わせて、シャッター部についても遮断器側で接続位置や引き出し位置での性能評価が行われている。この仕切り板やシャッターには非金属製(絶縁材料製)のものと金属製のものとがあり、絶縁材料で構成された非金属仕切り板及びシャッターについては、耐電圧試験及び漏れ電流の測定を実施するように規定されており、安全性は高い。最近では、金属シャッターを装備した更に安全性の高い構造への要求が増加しており、こうした金属シャッター装備への要求に対

表 3. LSCの一例

		LSC1	LSC2B-PI ^(注1) ／LSC2B-PM ^(注2)
単線	コンパートメント	主母線	
	母線	主母線	
	遮断器 (CB)	主母線	
	接続 (ケーブル)	主母線	
仕切り		無	有
		無	有
		無	有

(注 1) 全てのコンパートメントに仕切りあり(仕切り又はシャッターの一部が絶縁物)
(注 2) 全てのコンパートメントに仕切りあり(仕切り又はシャッターの全てが接地金属)
CT : Current Transformer, ZCT : Zero-phase sequence CT

応している。金属シャッターの場合、非金属製シャッターに比べて絶縁距離を大きくとる必要があり、LSC2B-PIとLSC2B-PMの要求に応じて絶縁ブッシングを使い分けるなどして必要な絶縁距離を確保する必要がある。また、絶縁距離が変わり絶縁ブッシングが変わることに伴い、VCBの奥行き方向の寸法が変わる。

そこで、金属シャッターと絶縁シートを組み合わせることによって耐電圧性能を向上させ(図 8)、金属シャッター適用時にも非金属製シャッター適用時と同等の絶縁距離を実現することによってLSC2B-PIとLSC2B-PMの異なる仕様でも同一の外形寸法を達成してスイッチギヤ設計標準化が可能になり、顧客メリットを高めた。

3. 4 ES⁽²⁾

ESは海外市場からの要求が増えつつあり、保守点検時に容易に安全が確保できる安全関連機器として多く使用されている。図 9 に 20-VPR-D 形真空遮断器用 ES の外観、表 4 にその定格事項を示す。

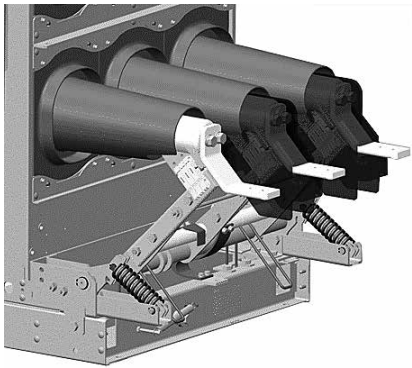


図 9. ES

表 4. ESの定格事項

形名	20-ESV-M25D
準拠規格	IEC62271-102
定格電圧(kV)	24
定格周波数(Hz)	50/60
定格投入電流(kAp)	65
定格短時間耐電流(kA)	25(3s)

VCBが試験位置状態ではじめてESが開閉できるインタロック機能も持っており、スイッチギヤの前面から操作ハンドルで安全に入切操作できる。また、短絡電流を投入通電する責務があり、投入時のアーク電磁反発力(接触子の電流による電磁反発力)に打ち勝つために投入方向と同じ方向に電磁力(接続導体の電流による電磁力)を発生させるよう通電経路を三次元の電磁力解析によって最適配置検討を行った(図10)。

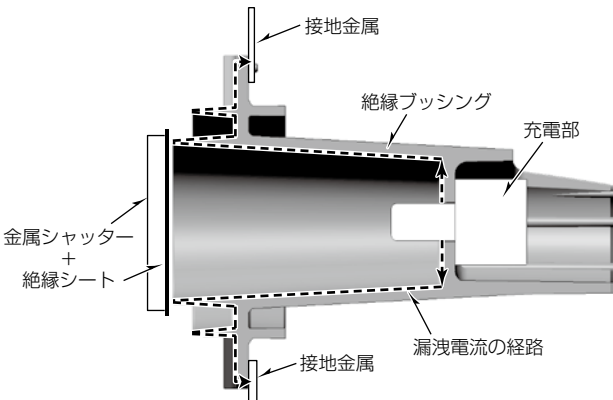


図 8. シャッター構造

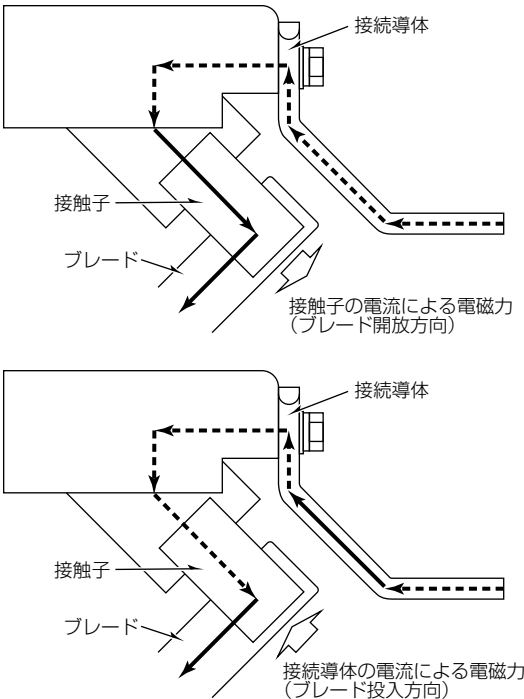


図 10. 投入時の電流経路と電磁力

ESは気中投入であり、図11のように投入過程でプレアークが発生する。投入電流はプレアーク時間を経て接触子からブレードへ流れるが、図12のようにチャタリングOFF時間の長い部位と投入電流ピークが一致した場合、大電流で発弧してESの接触部の損傷が大きくなる。短絡電流の投入を達成するためには、投入時に発生する接触部の損傷を低減する必要がある、そのためにはチャタリングOFF時間を抑制する必要がある。

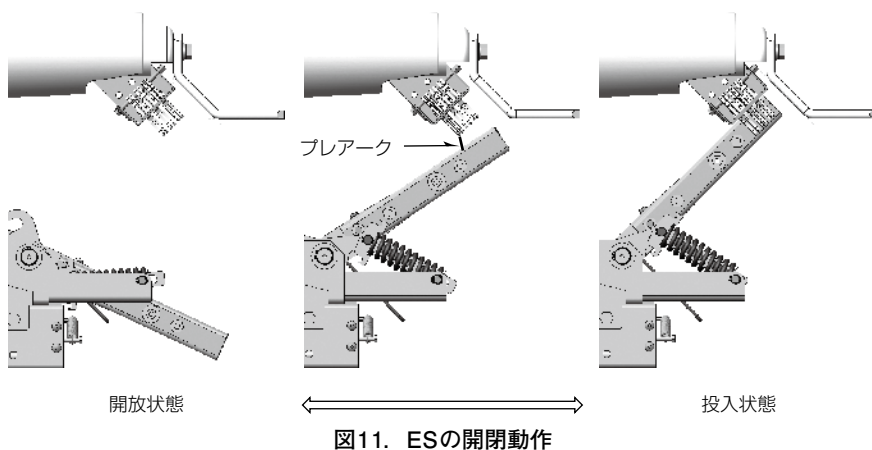


図11. ESの開閉動作

チャタリング : 投入時に発生する機械的振動によって主接点の開閉を反復する現象
 チャタリングOFF時間 : チャタリングによって主接点がOFFとなる時間

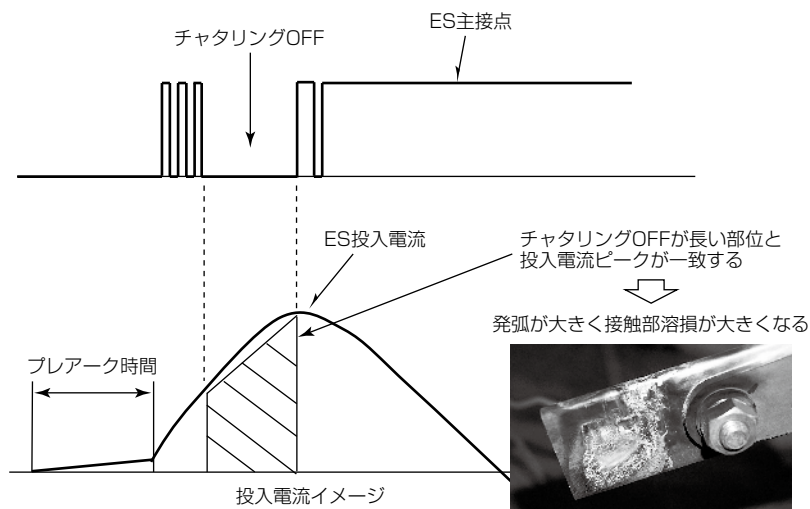


図12. ES投入電流

チャタリングOFF時間の抑制に当たり、高速度カメラを用い投入時の接触子及びブレードの挙動を観測した(図13)。観測の結果、投入時にワニ口形の接触子に挿入するブレードの動作衝撃によって、ワニ口形の接触子先端がブレードに弾(はじ)かれる挙動になり接触子に微細な振動が発生、この振動によってチャタリングOFF時間が発生していることが分かった。そこで、接触子ガイド・接触子反跳ストッパによって投入時に接触子の挙動を抑制するチャタリング抑制構造(図14)によってチャタリングOFF時間の低減を図った。その結果、安定した短絡投入性能が得られた。

3.5 VCBの構造⁽³⁾

主回路充電部への小動物進入による短絡事故防止を図るため、充電露出部を極小化した筒形状の絶縁モールド構造を採用して安全性を追求するとともに、粉塵(ふんじん)と水滴が内部に入りにくい構造にすることで耐環境性にも配慮している。また熱流体解析を行い(図15)、筒形状内部の熱を効率良く放熱する形状にし、

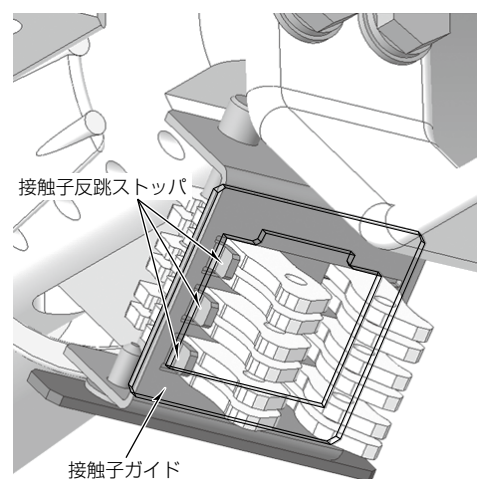


図14. チャタリング抑制構造



図13. 高速度カメラによる挙動観測

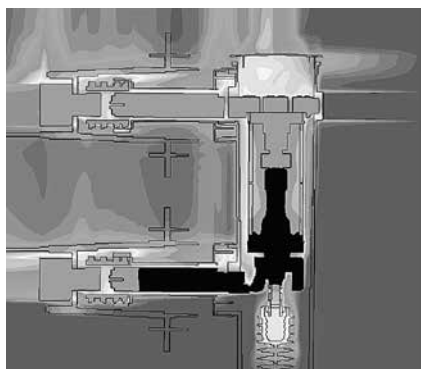


図15. 熱流体解析結果の一例

定格電流2,000Aまで自冷式を実現した。さらに、保護カバーなど充電部付近の主要絶縁物に難燃性UL94(V-0)グレードの樹脂を採用することで万一の類焼・延焼を回避している。

4. 環境負荷低減の追求⁽¹⁾

欧州でのRoHS(the Restriction of the use of certain Hazardous Substances in electrical equipment)指令等の動きに対応して、有害6物質が規制値以下である定格電圧24kVの新形VCBを開発した。ボルト、ピン、ねじ類の垂鉛めっきに使用する六価クロメート処理を廃止し、三価クロメート処理を採用した。採用に当たっては、耐食性など各種評価試験を実施し、長期信頼性を確認した。また主要樹脂部品に使用材料を表示することでリサイクル・廃棄時の分別容易化への配慮も行っている。

図16にVCBに使用する真空バルブ(24kV・16kA)小型化の変遷を示す。この真空バルブは銅系接点を適用し、アーク挙動解析に基づく最適な電極構造の開発と電極コン

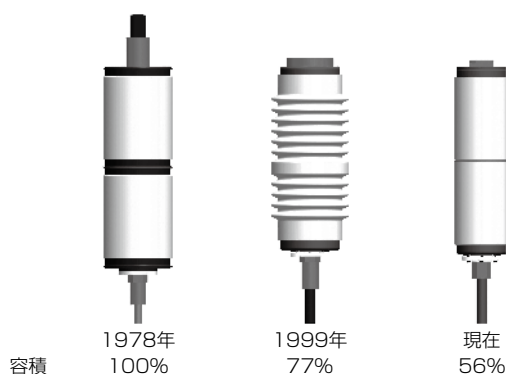


図16. 真空バルブ小型化の変遷

ディショニングの最適化によって、遮断性能と耐電圧性能の向上及び小型化を実現させ使用材料の削減を図った。

5. 外形寸法の同一化⁽³⁾

熱流体解析に基づき設計した高い放熱効率を持つVCBの主回路構造を実現することで主回路充電部を完全に覆うモールドタイプとして絶縁信頼性を向上させながらも、定格電流2,000A品では遮断器全体として約10%の軽量化を達成するとともに、定格電流2,000Aまで同一の外形寸法を達成した。また、金属シャッターでの絶縁シートを採用することで、より広い定格領域でスイッチギヤ設計の標準化を可能にするなど、顧客メリットを高めた。

6. 保守・点検の省力化⁽¹⁾

遮断器の操作機構が駆動する際、グリースの経年的な劣化が起り、動作不良を引き起こすことがある。そのため、遮断器の保守・点検として操作機構などの摺動(しゅうどう)部への注油が定期的に必要である。しかし、近年LCC削減を目的とした保守・点検の効率化が求められている。この要求に対し、三次元機構シミュレーションによる動作信頼性の向上を図るとともに、長寿命グリースの適用や小勢力で駆動する部位の軸受にグリースの塗布が不要な無注油軸受を採用することで、安定した動作特性を実現し、注油間隔を従来の3年から6年に延長した。

7. む す び

受配電設備の重要な役割を担う遮断器に対する安全性、信頼性向上、環境負荷低減、LCC削減などの社会ニーズは、グローバル市場の中で、ますます重要性が高まると考えられ、それに対応した20-VPR-D形真空遮断器について述べた。今後も国内外問わず顧客ニーズは多様化し、高度化するものと考えられる。電気設備に対する一層の省メンテナンス化、環境負荷低減など社会に貢献していく。

参 考 文 献

- (1) 難波晃平：遮断器に求められる性能，電設技術，**66**，No.814，27～30（2020）
- (2) IEC62271-200対応“20-VPR-D型”真空遮断器，三菱電機技報，**93**，No.1，59（2019）
- (3) IEC62271-200対応真空遮断器（定格電流2,000A）“20-VPR-25D”，三菱電機技報，**94**，No.1，11（2020）