

# 真空遮断器の技術革新

Technological Innovations in Vacuum Circuit Breakers

下中 俊臣  
T. Shimonaka

佐藤 公哉  
K. Satoh

本間 三孝  
M. Honma

現在、36 kV までの中圧遮断器分野では、新規に製作される70%以上が真空遮断器(以下、VCBと略記)となっており、このクラスの主流になっている。当社でも近年の運転・保守の省力化や稼働率の向上などの社会的ニーズに対応した種々の研究開発により、より高性能で信頼性の高いVCBを製品化してきた。最近の代表的製品例としては、世界に先駆けて製品化を行った7.2 kV-40 kA低サージ型VCB、真空バルブを絶縁物で一体注形した24 kV超小型VCB、開閉寿命性能を向上させた多頻度型VCBなどが挙げられる。

いずれの遮断器も、真空バルブや操作機構などに革新的要素技術を取り入れた製品となっている。

In the field of medium-voltage circuit breakers rated up to 36 kV, more than 70 % of the products currently being manufactured are vacuum circuit breakers, forming the mainstream in this class.

Toshiba has been conducting wide-ranging research and development activities to meet the needs of recent years, and is manufacturing vacuum circuit breakers with high performance and high reliability. Among our representative products made available recently are a 7.2 kV-40 kA low-surge vacuum circuit breaker that Toshiba was the first in the world to manufacture, a VQ type vacuum circuit breaker in which a vacuum interrupter and an insulating material are molded in one piece, and a high-frequency-operation type vacuum circuit breaker with a prolonged switching life.

## 1 まえがき

当社は、1965年にわが国で初めて真空バルブを実用化して以来、数々の真空開閉機器を製品化してきた。その代表機器であるVCBは、真空のもつ高い絶縁性能と、周囲環境に影響されない安定した遮断性能を備えるなどの特長を持ち、小型・軽量でかつ保守点検が容易な遮断器として発展してきた。

その間、技術的には当社独自の接点材料の開発や縦磁界電極の発明などにより遮断性能を飛躍的に向上させるとともに、低サージ型VCBの開発により適用フリー化を図るなど、社会的ニーズの変化に対応した革新的製品を送り出してきた。

現在、標準品としては3.6 kVクラスから84 kVクラスまで製品ラインアップされており、受配電システムにおけるキーコンポーネントとして広く産業分野で使用されている。また、特殊なユーザーニーズにこたえる形で研究開発を行い、電力用100 kA大容量VCB、炉用および電鉄用多頻度型VCBなど、特殊用途としての遮断器も数多く製品化し、それぞれ各分野から高い評価を得ている。

## 2 最近の代表的製品とその特長

近年のVCBに対する社会的ニーズは高度化し多岐にわたっているが、共通的には運転・保守の省力化や稼働率の向

上に関する要求が高まっている。ここでは、これらのニーズに対応し製品化したと言える最近のVCBを例に、その技術動向について紹介する。

### 2.1 大容量低サージVCB(VL型VCB)

発電所の所内補機設備への適用を主用途として開発されたVL型VCBは、7.2 kV-40 kAの大容量定格で、世界で初めてサージ抑制装置を不要とする低サージ化を実現した。一般に、VCBは優れた遮断性能をもつために、電動機負荷などの遅れ小電流を開閉したときに、発生する過電圧が問題となる場合があった。そのため開閉サージの発生を低減した低サージ型VCBが開発されたが、低サージ型VCBは、負荷電流レベルではアークが維持しやすく電流が切れにく

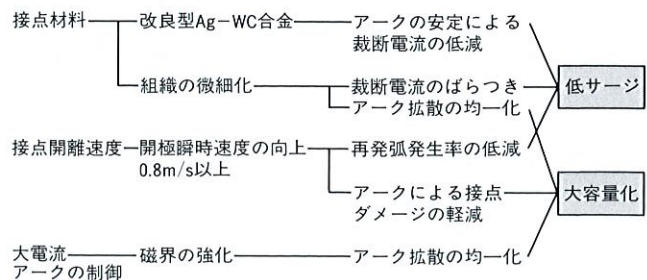


図1. 低サージ化、大容量化の技術 低サージ化、大容量化という相反する二つの性能を両立する技術。

Technical measures for low-surge and high-current-interruption capability

い接点材料を使用する必要があり、大電流遮断には不向きで 20 kA までが限界とされていた。

この VCB は、この限界を打ち破り 40 kA の大容量遮断性能と低サージ性能を両立させた。

図 1 にその技術施策を示す。

- (1) 接点材料 従来 7.2 kV-20 kA 定格の低サージ VCB 用として使用されていた Ag-WC 接点の組成に改良を加え、組織の微細化により遮断電流値を低く抑えかつ遮断性能も向上させた。
- (2) 接点開離速度の向上 遮断直後の接点間の絶縁回復特性を向上させる効果があり、再発弧の発生を低減させるとともに遮断性能も向上させた。
- (3) 大電流アークの制御 縦磁界電極は接点間に発生したアークに磁界を加えアークを磁界間に閉じ込め、アークの損失を少なくすることにより電極の溶融を抑えて遮断性能の向上を図るものである。今回の低サージ真空バルブは電極のコイルの厚さや構成を変更し、従来の 20 kA 用低サージバルブよりも縦磁界強度を強化し最適化を図った。図 2 に縦磁界電極の外観を示す。

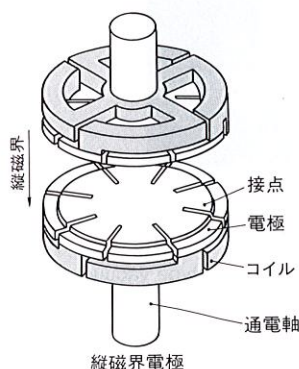


図 2. 縦磁界電極の構造 VL 型 VCB 用真空バルブは、基本構造に改良を加え最適化を図った。  
Structure of axial magnetic field type electrodes

この VCB はさらに、操作機構部のグリースレス化を図り、長期にわたる遮断器動作の信頼性を向上させるとともに、点検時の注油を不要とし、保守の省力化を図った。

グリースレス潤滑方式には、耐摩耗性能、低摩擦性能、耐食性能、耐荷重性能に優れていることが要求される。これらの要求性能を満たすため、操作機構摺(しゅう)動部品には、高性能二硫化モリブデン個体潤滑剤を採用し、さらに重要軸受部には、セラミックベアリングを適用した。グリースレス化構成により長期的な動作信頼性が向上するとともに低温動作でも  $-20^{\circ}\text{C}$  まで安定した特性を示し、周囲環境変化に対する動作の安定性を向上させることができた。

図 3 に VL 型 VCB の側面構成を示す。

以上の技術施策により、VL 型 VCB は優れた低サージ性能を示すとともに、7.2 kV-40 kA の大電流遮断性能を満足させている。図 4 は 6.6 kV-200 kW 誘導電動機の開閉試験

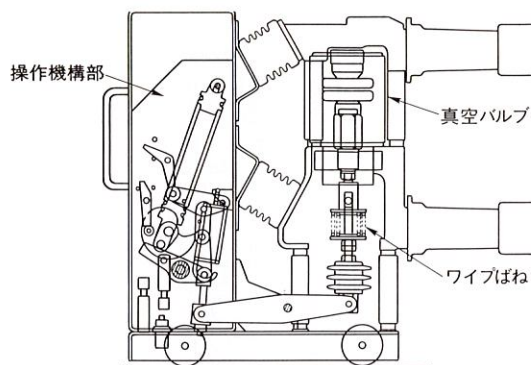


図 3. VL 型 VCB の側面構成 開極速度の向上のために、垂直動作機構、可動軸側質量の軽量化、駆動側機構の慣性力の増加などの施策を施した。

Side view of VL type VCB structure

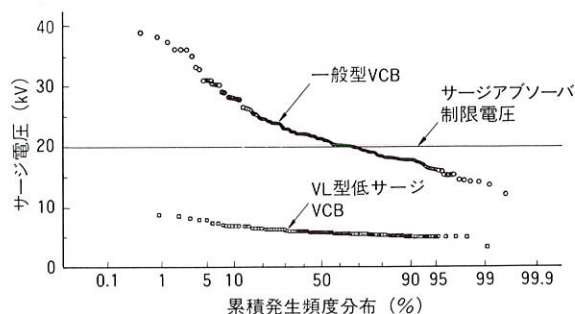


図 4. 開閉サージ電圧の累積頻度分布 200 kV 電動機を 200 回開閉したときのサージ電圧を示す。VL 型は一般の VCB の 1/5 程度となっている。

Cumulative distribution of switching surge voltage

結果である。過電圧レベルは、従来のサージアブソーバの保護レベル (20 kV) 以下であり優れた低サージ性能を示している。

## 2.2 24 kV 超小型 VCB

スイッチギヤの主要コンポーネントである遮断器の小型・軽量化は、取扱い性の向上とともにスイッチギヤ全体の高密度化、縮小化につながる。

24 kV 超小型 VCB は、消弧室である真空バルブを絶縁物で一体モールドすることにより遮断部の小型化を図り、さらに新型操作機構との組合せにより従来品に比べ、体積で 40%、質量で 62% に小型・軽量化を達成した。図 5 に側面構成を示す。

2.2.1 モールド真空バルブ 真空バルブを絶縁物でモールドするメリットは、真空バルブ極間の外部沿面距離がモールド形状の外部沿面距離まで拡大されるため、7.2 kV クラスの小型真空バルブでも一体モールドにすることにより、接点ギャップ長を変えるだけで 24 kV 定格でも使用可能となり、小型化が可能となることである。

今回、真空バルブのセラミック碍(がい)管を比較的柔ら

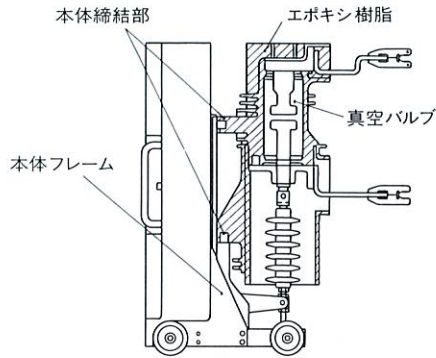


図5. VQ型VCBの側断面構造 斜線部がエポキシモールド部を示す。

Side cross-section of VQ type vacuum circuit breaker

かいエポキシ系樹脂で1段目のモールドを行い、さらに機械的特性の良好なエポキシ系樹脂で外部を注形する2段モールド構成とした。モールド真空バルブの形状構成は、機械的強度を考慮しエポキシの最大許容応力 10 MPa に対して最大 1 MPa 以下に抑える構成とした。実評価は、ヒートサイクル試験および 1 万回を超える寿命試験でその性能を確認している。

**2.2.2 新型操作機構** 従来のコイルばねを動力源とした4節リンク方式の操作機構から、渦巻ばねを動力源とした確動カム駆動方式の機構を新規開発し採用した。このシンプルな機構により、機械的信頼性がさらに高まるとともに、操作機構部のユニット化が可能となり、メンテナンス性の向上が図られた。

図6に今回の確動カム方式操作機構の構成を示す。

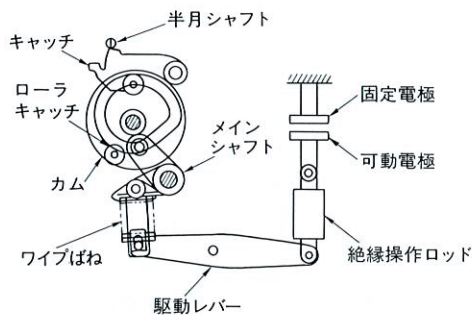


図6. 確動カム駆動方式操作機構の構成 確動カムによりメインシャフトをダイレクト駆動するシンプルなメカニズム。

Cam-assisted drive mechanism

### 2.3 24 kV/36 kV 多頻度型 VCB

多頻度型遮断器の用途としては、鉄鋼アーク炉用変圧器の開閉に用いられるものが多い。当社は、1967年に従来の気中開閉器+バックアップ遮断器に代る多頻度型気中遮断

器を製品化以来、1974年には10万回の期待寿命と5万回の保証寿命性能をもつ多頻度型真空遮断器を実用化するなど、この分野でもつねに最新の技術を提供してきた。製鋼炉用として使用される機器は、その開閉頻度が10~200回/日にも及ぶため開閉寿命性能の高い機器が要求される。また、開閉器とバックアップ遮断器の組合せに比べて、多頻度型遮断器は1台で機能するため設備の構成上もコスト的にも経済的である。

今回当社は、モデルチェンジにより期待寿命を1.5倍(10万回→15万回)保証寿命を1.4倍(5万回→7万回)と開閉寿命を向上させ、高い信頼性を維持しつつ保守性の向上を図った多頻度型 VCB の製品化を行った。

図7に外観を示す。



図7. 新型多頻度型 VCB 定格：24 kV-1,250/2,000 A-20 kA, 36 kV-1,250/2,000 A-12.5 kA。

External view of new high-frequency-operation type vacuum circuit breaker

今回のモデルチェンジの大きな特長は、上記寿命性能の向上を図るため摩擦摩耗の低減を考慮したことにある。

- (1) 真空バルブ 高耐圧接点を採用しギャップ長を従来比 30%縮小してストロークの低減を図るとともに、製造方法を真空中封着方式として排気管をなくし、信頼性を向上させた。バルブ可動軸の駆動は、スコットラッセル機構を採用するとともに、可動部の通電をマルチコンタクトを使用したスライド通電方式とし、直進運動性を高めた。
- (2) 新型操作機構 操作機構構成を投入動作時に直線動作を行うリニアガイド駆動方式の新規機構を開発し、採用した。

駆動源は、従来と同様多頻度開閉に適したソレノイドコイルを使用している。

なお、信頼性を確かなものとする付属装置である真空不良検出装置、サージサプレッサ、防塵(じん)箱は従来どおり使用可能な構成となっている。

### 3 製品を支える基礎技術 (CAD/CAE 技術)

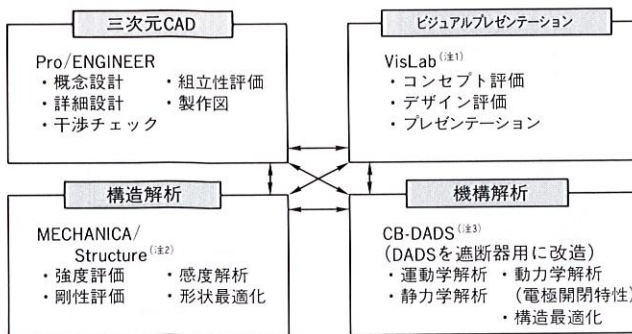
以上のとおり、真空遮断器の分野でも近年ますます高い信頼性と高度な性能・機能が求められてきている。したがって、製品開発における手法も高い精度が必要とされ、コンピュータを最大限に利用する手法、いわゆる CAD/CAE の活用が推進されている。

#### 3.1 遮断器における CAE の活用

現在、種々の技術分野で三次元設計化が推進されているが、その主な理由として大きく三つが考えられる。

- (1) 設計段階で製品イメージを立体的に把握できる。
- (2) 工作図面への展開が容易に行えるようになって設計業務の効率が向上する。
- (3) 構造解析、運動解析をはじめとする各種解析への展開が容易であり、シミュレーションにより設計精度が向上する。

当社でも、三次元 CAD (Pro/ENGINEER) を中核に据え、各種解析評価を行い設計の高度化、最適設計を図っている (図 8)。



(注1) 米国 Engineering Animation Inc. のコンピュータグラフィックソフトウェア  
 (注2) 米国 Parametric Technology Corporation の構造解析ソフトウェア  
 (注3) 米国 Computer Aided Design Software Inc. の動解析ソフトウェア

図 8. 遮断器設計における CAE ツール相関図 三次元 CAD を中心とし、各種 CAE ツールを結合して設計の高度化を図る。

Relationships of CAE tools in circuit breaker design

#### 3.2 真空バルブにおける CAE の活用

真空バルブは、設計開発技術、試験検査技術、製造技術などを基盤とし、高い信頼性を維持している。その結果、当社真空バルブの累計生産本数は、220 万本以上に達し、さらに高信頼性、小型化、高性能化に努め、市場に合った真空バルブの開発に努めている。

また、真空バルブの小型化の基礎技術として、真空絶縁現象の解析を行っている。真空バルブの設計製作図面の CAD データを電界解析データに自動変換し、高速表面電荷法を用いて電界解析を行う。解析結果は CAD データに変換

し、CAD 上で設計の図面形状と電界解析結果を同一画面上で確認可能とした。さらに、真空絶縁に及ぼす電界強度と面積の関係や、電界強度と表面微粒子の関係などの現象解析を実施している。これらの電界解析結果と各種の基礎現象解析結果に基づき、真空バルブ形状の最適化を図り小型化を実現した。

さらに、真空バルブの遮断性能を向上させるため、当社では縦磁界電極を発明し、電流遮断時に接触子間に発生するアーク放電を安定化させる技術を最適化している。縦磁界電極は、各遮断電流におけるアーク電圧と磁界強度の関係で、アーク電圧が最低になる磁界強度をコイル電極から発生させる方式を採用している。一方、縦磁界強度は、磁界発生用コイル電極の形状、電極部分などでの渦電流による損失、などの影響を考慮する必要がある。そこで、当社では汎(はん)用電磁界解析ソフトウェア (ELEKTRA) により磁界解析技術を開発した。

この手法は、三次元でコイル電極により発生する磁界だけでなく、電極部分などに発生する渦電流の影響を考慮できる。詳細な磁界解析を実施することにより、電極形状の最適化を図っている。同時にアーク状態の解析・観測により、電極構造の最適化を図っている。

### 4 あとがき

最近の代表的な製品を例に、VCB 技術動向について紹介した。今後の動向もしばらくは省メンテナンス化、高密度化がキーワードとなるものと考えられる。さらに高度で信頼性の高い VCB の製品化を図っていく。

### 文 献

- (1) 佐藤公哉, 他: 真空遮断器の低サージ化技術と VTL 型スイッチギヤ, 東芝レビュー, 48, 10, pp.755-760 (1993)
- (2) 松尾和宏, 他: 真空バルブモールド型真空遮断器の開発, 電気学会全国大会分冊 6, p.364 (1995)



下中 俊臣 Toshiomi Shimonaka

電機システム事業部産業電力システム技術部部长。  
 産業用受変電システムのエンジニアリング業務に従事。電気学会会員。  
 Industrial Automation Systems Div.



佐藤 公哉 Kimiya Satoh

府中工場スイッチギヤ部主査。  
 真空遮断器の開発設計に従事。電気学会会員。  
 Fuchu Works



本間 三孝 Mitutaka Honma

府中工場スイッチギヤ部主査。  
 真空遮断器の開発設計に従事。電気学会会員。  
 Fuchu Works