

# 最近の真空遮断器（VCB）の技術動向

🔗 遮断器，スイッチギヤ，真空インタラプタ，真空アーク，磁界解析，電界解析

\* 齋藤 仁 Hitoshi Saito    \*\* 本間 信 Makoto Honma    \*\* 榊 正幸 Masayuki Sakaki

## 概要

当社では、1960年代に真空遮断器（VCB）の普及当初から、一貫して電流遮断技術の中核にVCBを据えて自社開発を続けてきた。1970年代にはいち早く高電圧化に取り組み、84kV 1点切り・168kV 2点切りVCBの製品化に成功した。その後、1980年代の新電極材料（Cu-Cr系）の登場、遮断能力に優れた縦磁界電極方式の開発、90年代後半のセラミック絶縁筒の採用などによって、真空インタラプタ（VI）の小形・大容量化、更には機器全体の縮小化を進めることができた。2000年代以降は、温暖化ガスであるSF<sub>6</sub>ガスを使用しない環境低負荷形スイッチギヤの製品化や、ライフサイクルコストの低減などお客様の要求に沿った技術開発及び製品開発を志向している。



72kVクラスVIの小形化変遷

## 1. ま え が き

真空遮断器（VCB）は小形で操作力が小さく、保守が容易、多数回遮断が可能などの特長から、72kV以下の中電圧階級を中心に広く電力系統で適用されている。近年これらの特長に加えて、遮断に地球温暖化ガスであるSF<sub>6</sub>を使わないことや、従来以上の高電圧大容量化が進んだこともあり、その適用範囲を広げている。最近のVCBの技術動向として、以下の4点が挙げられる（第1図）。

- (1) VCBの高電圧・大容量化（204kVクラスまで）
- (2) 環境低負荷形遮断器の製品化（脱SF<sub>6</sub>ガス）
- (3) ライフサイクルコスト（LCC）の低減志向
- (4) VCBの特長を生かした新たな用途・市場への適用拡大

本稿では、上記の4テーマについて概説し、今後の動向について紹介する。

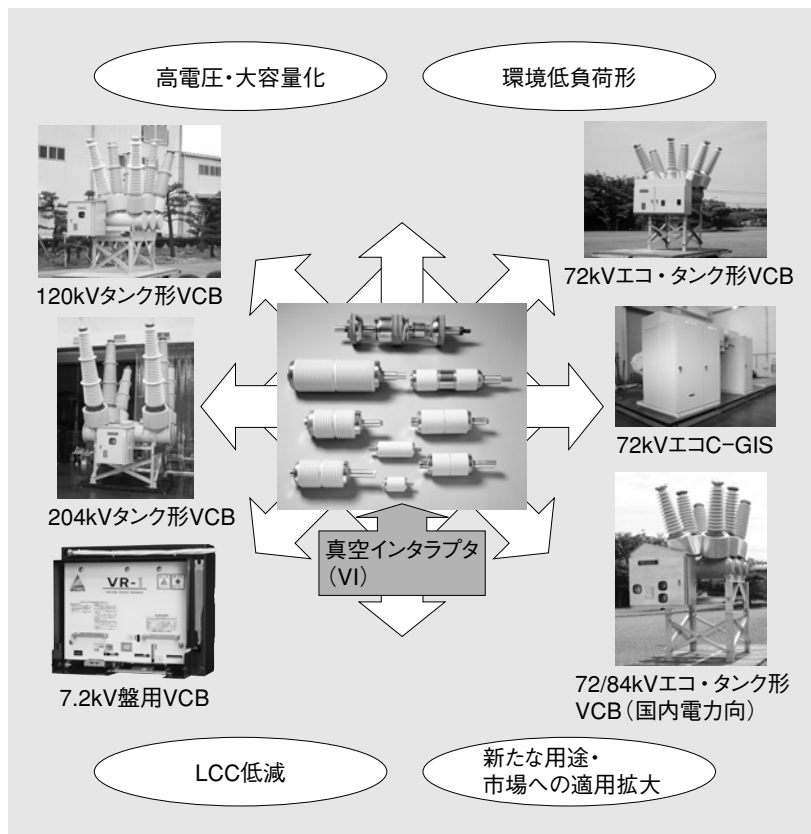
\*材料技術研究所    \*\*スイッチギヤ工場

## 2. VCBの技術動向

### 2.1 高電圧・大容量化技術の動向

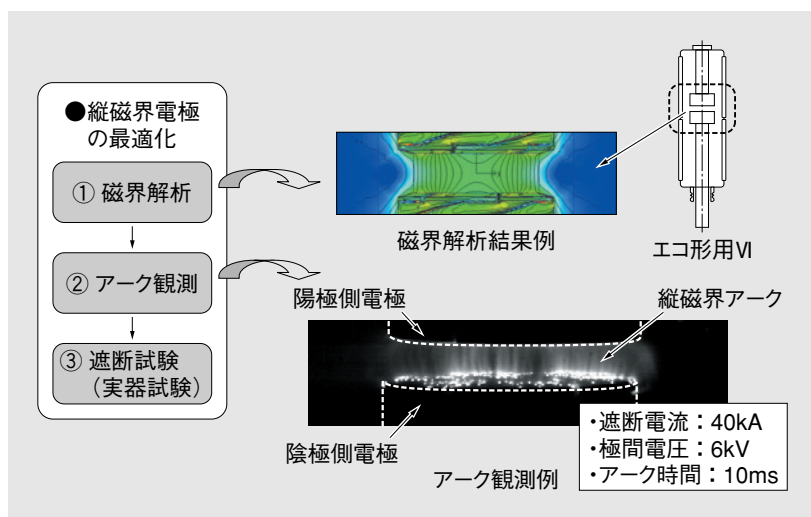
#### 2.1.1 遮断電流の大容量化

遮断容量の増加は、電極材料の進歩と縦磁界電極の発展によってもたらされた。縦磁界電極は、電流遮断時に発生アークを電極表面に均一に広げるため、電磁力によってアークを回転させて遮断するスパイラル電極方式に比べて遮断時のアークエネルギーが数分の一と非常に小さい。その結果、電極面の局所的な溶融が少なく、多数回の電流開閉に適している。第2図に縦磁界電極の磁界解析とアーク観測例を示す。三次元の電界・磁界解析と高速度ビデオの技術は近年著しい進歩があり、詳細に縦磁界強度とアーク挙動の関係が把握できた。そういった解析・観測技術の進歩の結果、遮断部は大幅に小形・大容量化することができた。



第1図 最近のVCBの技術・製品動向

VIの高電圧・小形化技術の進歩と低環境負荷・LCC低減の特長から適用範囲が拡大している。



第2図 縦磁界電極の磁界解析とアーク観測例

解析・観測技術の進歩で大容量・小形化が可能となる。

### 2.1.2 通電電流の大容量化

遮断部内部の発熱の放熱手段は、真空中であるために主に熱伝導となり、ガス遮断器 (GCB) と比較して対流損による放熱効果は得難い。そのため、VCBは通電電流の大容量化には不利であるとされてきたが、近年、遮断部に隣接する導体などから熱を逃がす構造やタンク自体を渦電流損の発生しないア

ルミタンクを採用することなどで、72/84kVタンク形VCBについては3000A、また36kVクラスのキュービクル形ガス絶縁開閉装置 (C-GIS) については2500Aまで製品化が完了している。

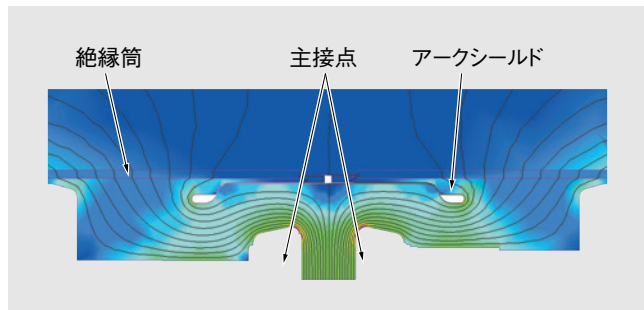
### 2.1.3 高電圧化について

耐電圧性能の向上には真空バルブ中の電極材料であるCu-Cr合金やシールド材料であるステンレスの真空中での高電界下での絶縁破壊現象、またセラミック絶縁筒の高電界下での帯電現象などの把握が重要となる。最近の研究でこの分野は大きく進歩してきている<sup>(1)(2)</sup>。真空中の絶縁破壊メカニズムはガス中の絶縁媒体によるものと異なるため、電界分布に加えて適用している金属材料とコンディショニング効果を最適化する必要がある。コンディショニング効果は、真空中の絶縁破壊特性として放電を繰り返すことで破壊電圧が上昇していく特性で、金属材料・電界分布によって特性が異なる。**第3図**に72kVクラスの遮断部内部の電位分布図を示す。コンディショニング特性を有効に活用し、形状・材料を最適に組み合わせることで従来以上の耐電圧性能の向上と小形化を達成した。

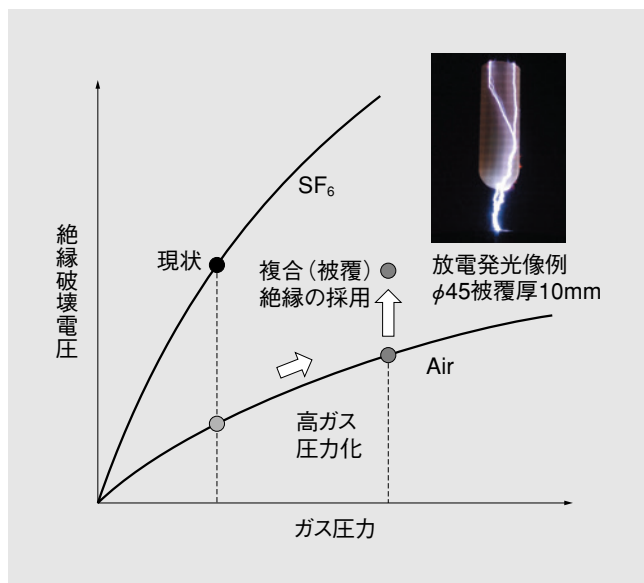
## 2.2 環境低負荷形開閉器の製品化技術

### 2.2.1 開発の背景と動向

国内では、SF<sub>6</sub>ガスの大気への排出抑制とリサイクルを念頭に置き、電気事業連合会と日本電機工業会が1998年に「電気事業におけるSF<sub>6</sub>ガス排出抑制に関する自主行動計画」を策定し、いち早くSF<sub>6</sub>ガス排出量の削減に取り組んできた。海外でもSF<sub>6</sub>ガスの管理の厳格化、また使用量削減への目標の導入が進められていることから、SF<sub>6</sub>ガスを使用しない機器への期待は、今後一層高まるものと予想される。このような背景を基に、2000年代に入って遮断部にVCBを採用し、周辺の絶縁を空気などのSF<sub>6</sub>代替ガスで置き換える方式である環境低負荷形のVCB・開閉装置が開発された。空気はSF<sub>6</sub>ガスよりも絶縁



第3図 遮断部の電界解析例 (電位分布)  
遮断部内部の主接点・アークシールドの電界・材質の最適化を実施する。

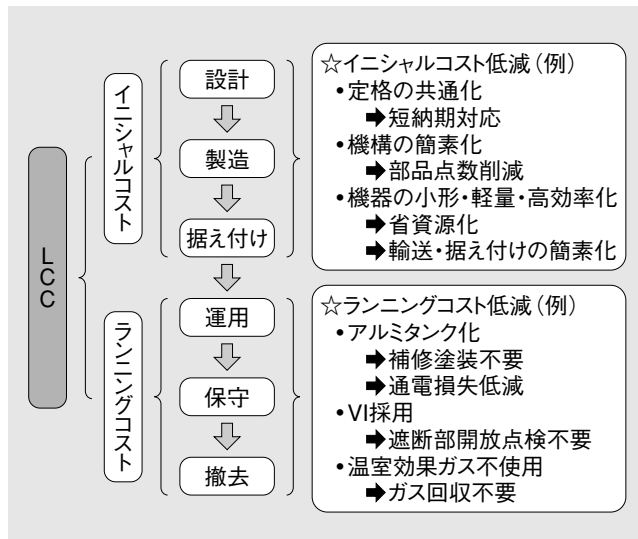


第4図 複合絶縁のイメージ  
電界が集中する部分を被覆することで電界緩和を行う。

性能が劣るため、ガス圧を高めることに加えて固体絶縁物を組み合わせた複合絶縁を利用するなどの手法が用いられている。当社では2000年に24kVのC-GISを開発、2003年には72/84kV単体VCB<sup>(3)</sup>、2009年には72kV低ガス圧のC-GISを製品化している<sup>(4)</sup>。いずれも絶縁ガスは乾燥空気である。

### 2.2.2 複合絶縁システム

VCBは遮断にSF<sub>6</sub>ガスを使わないため、絶縁ガスに乾燥空気を用いれば完全にSF<sub>6</sub>ガスフリーの遮断器となる。しかし、乾燥空気はSF<sub>6</sub>と同じガス圧力の場合、1/3程度の絶縁性能しかない。そのため、従来機種と同じ機器の寸法とするためには、ガス圧力を上げる方法がとられる。それでも絶縁性能が不足する場合は、導体表面の高電界部分を被覆やコーティングをするなどして、固体の高い絶縁性能を組み合わせた複合絶縁技術が用いられる。第4図に複合絶縁のイメージを示す。



第5図 LCCの低減  
インシヤルコストに加えてランニングコスト削減が要求されている。

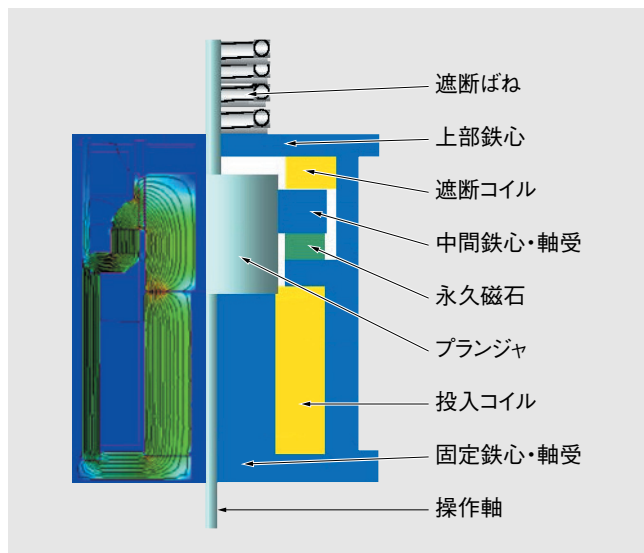
## 2.3 LCCの低減志向

近年、温室効果ガスの不使用のみならず、地球環境保全のための循環型社会形成を目指した3R・LSすなわち、Reduce (減量化), Reuse (再利用), Recycle (再利用), Long-use (長期使用), Separable (分解・分別)などを考慮したライフサイクル (設計・製造・据え付け・運用・保守・撤去に至るまでのサイクルのこと)における環境負荷低減への要求が増している。次に第5図に示すLCCの中でも特にランニングコスト低減のための最近の技術例を紹介する。

### 2.3.1 高効率電磁操作器 (容易なメンテナンス)

2004年から複雑なギヤ部や機械的ラッチ部を一切伴わない、極めてシンプルな操作機構を特長とする永久磁石磁気ラッチ式電磁操作形VCBを開発してきた。操作軸と一体のプランジャと固定鉄心を中心に、リング状永久磁石、投入及び遮断コイル、軸受を内蔵した中間鉄心などをケース内に収納し、上部に遮断ばねを備える。第6図に電磁操作機構の構造と保持力解析結果を示す。部品点数は全18点で、従来のばね操作方式の部品点数約50点に比べ大幅に削減されている。また、操作軸及びプランジャの摺動部には無給油軸受を適用し、グリスレス化によってメンテナンスを容易にした。開発した電磁操作器は、近年の永久磁石材料の進歩、電磁場過渡解析技術と機構解析を用いた連成解析の発達を背景に、操作電流ピーク値を従来比50%以下に低減し、定期的な交換が必要な電源ア





第 6 図 電磁操作機構の構造（投入状態）と保持力解析結果

左が磁束分布図，解析によって操作電流の低減を実施している。

シスト用電解コンデンサも不要とした。今後，特高クラス（24kV）の製品化も目指していく。

### 2.3.2 遮断部の10,000回寿命（内部点検不要）

遮断部の電極方式に，電流開閉時のアークによる損傷が大幅に低減できる縦磁界電極方式を用いることで，多数回電流開閉能力が大幅に向上する。そのため通常の使用状況では，VCB遮断部の内部点検が不要となるため，点検コストを抑制できる。

### 2.3.3 タンクのアルミ化（低損失・保守低減）

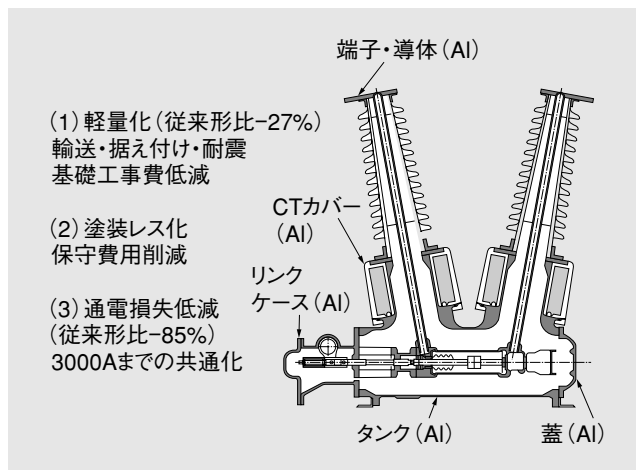
72/84kVエコ・タンク形VCBは，温室効果ガスの不使用のみならず，LCCの低減にも積極的に取り組んだ機器で，従来のタンク形VCBではタンク材料として鉄鋼を使用していたが，エコ・タンク形VCBではアルミ材を採用した。第 7 図にアルミ部材使用による効果を示す。アルミタンクの場合，機器の軽量化，補修塗装不要（防錆材），さらに渦電流損が小さく通電損失を低減できるという特長がある。その結果，輸送・据え付け・基礎工事・保守（塗装）の費用削減，及び送配電損失率を低減できる<sup>6)</sup>。

## 2.4 適用の拡大

VCBの様々な特長を生かすことで，適用が拡大している。以下にその例を紹介する。

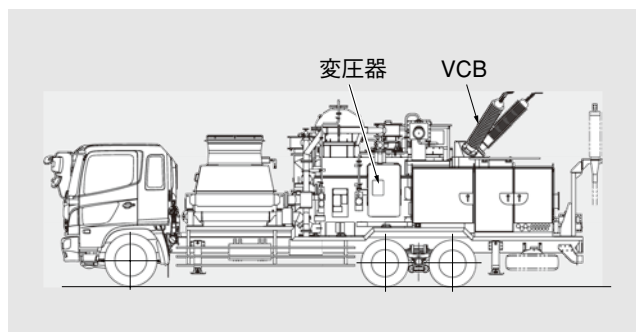
### 2.4.1 移動用変電設備

東日本大震災を機に電力インフラの重要性が再認識されており，災害時の復旧用として移動用変電機器への要求が高まっている。VCBは小形・軽



第 7 図 アルミ部材使用による効果

72/84kVエコ・タンク形VCBの断面図であり，タンク・ケースをすべてアルミ化した。



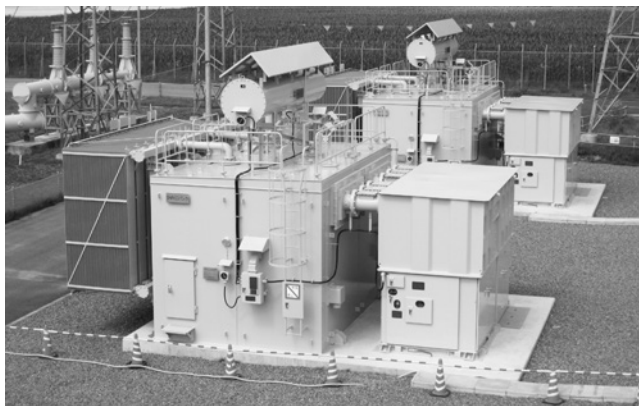
第 8 図 72/84kV移動用変圧器・遮断器（20t車）

72/84kV VCBの小形化・軽量化によって車載可能となる。

量であるとともに絶縁ガス (SF<sub>6</sub>) が低圧力なため，移動先の現地でガス処理の必要がない。VCBと変圧器とを組み合わせた移動用変電設備や，VCB単体で移動用としたものなど，様々な要求に対応したバリエーションを用意している。第 8 図に 72/84kV移動用変圧器・遮断器（20t車）を示す。

### 2.4.2 鉄道向けや調相用開閉器への適用

VCBは負荷電流10,000回開閉に対して，遮断部のメンテナンス無しで開閉できることから，多頻度開閉が必要とされる鉄道向けや調相用開閉器への適用が拡大している。電鉄向けVCBは，約30年以上前に多頻度用に開発・適用し，その後現在に至るまで，その高い信頼性が評価されている。近年は国内のみならず，中国など海外においても鉄道のインフラ整備が進んでおり，多頻度用途として適用が拡大している。また多頻度で使われる用途の一つに，リアクトルやコンデンサバンクなどの調相設備への適用がある。第 9 図に北海道電力（株）と共同開発した72kVツインリアクトルと呼ばれ



第9図 分路リアクトル (ツインリアクトル)  
低サージ対応遮断部を適用した多頻度開閉適用例を示す。

る分路リアクトルを示す。2台の小容量リアクトルと真空開閉器 (VS) を各々タンク内に収納し、開閉器とリアクトルを管路で直結している。並列に接続した2台のリアクトルをVSで開閉することで、瞬時に容量を切り替えることができる。

### 3. 今後の動向と課題

VCBは、消弧媒体としてSF<sub>6</sub>を使わない唯一の高電圧・大容量遮断器として期待が高まっている。今後、より高電圧・大容量化へ進むためには、GCBと比較した場合のコストを低減し、真空中での通電容量を更に向上させる必要がある。環境低負荷形の機器としてのVCBは、SF<sub>6</sub>代替ガスとして乾燥空気を絶縁に用いたものが主流になり、72kV以下ではその適用が更に拡大していくものと思われる。また、省エネ・ライフサイクルコストに対する意識が高まるにつれ、グリースレス化などのメンテナンス性の向上とともに、TBM (Time Based Maintenance) からCBM (Condition Based Maintenance) を目指した診断機能に対する要求が高まってきている。電磁操作器については操作電流の低減が重要であり、低電圧クラスを中心に磁気ラッチ式電磁操作器を採用した製品が適用を拡大していくことが予想される。

### 4. む す び

本稿では、最近のVCBの技術・製品動向として、高電圧・大容量化、環境負荷低減、LCC低減、適用拡大について紹介した。現在、当社の特長である72kVクラスVCBの納入台数は累計で約6000台となり、国内外の多くのお客様にご使用いただいて

いる。VCBは環境低負荷・LCC低減などの点で現在の要求に合致した製品であり、120~168kVクラスの高電圧VCBについても小形・高性能化を進め、今後更に適用の拡大を進めて行く所存である。

・本論文に記載されている会社名・製品名などは、それぞれの会社の商標又は登録商標である。

### 《参考文献》

- (1) 西村亮岐・小島寛樹・早川直樹・佐藤裕昌・齊藤仁・野田泰司・大久保仁：「真空中Cu-Cr電極コンディショニングにおける微細分散層形成プロセスに関する検討」, 平成23年電気学会全国大会, No.1-084, 2011
- (2) 成瀬浩樹・齊藤仁・榊正幸・山本修：「真空中におけるアルミナの帯電パラメータの検討」, 平成24年電気学会全国大会, No.x-5, 2012
- (3) 長竹和浩：「環境低負荷形72/84kVタンク形真空遮断器の開発」, 平成15年電気学会電力・エネルギー部門大会, No.237, 2003
- (4) 榊正幸・古賀博勝・福田純孝・北村博益：「72kVキュービクル形乾燥空気絶縁開閉装置の開発」, AEパワーレビュー, 3号, 2010.7, p.15
- (5) 齊藤仁・長竹和浩・榊正幸：「72/84kV乾燥空気絶縁タンク形真空遮断器の開発」, 電気学会論文誌B, Vol.129, No.2, 2009.2, p.353

### 《執筆者紹介》



齋藤 仁 Hitoshi Saito  
真空遮断器・スイッチギヤの研究開発に従事



本間 信 Makoto Honma  
真空遮断器・スイッチギヤの開発設計に従事



榊 正幸 Masayuki Sakaki  
真空遮断器・スイッチギヤの研究開発に従事