

# ドライエア密閉形キュービクル用真空遮断器

Vacuum circuit breakers for dry air insulated switchgear

大澤 雪雄 OSAWA Yukio

臼井 英人 USUI Hideto

藤城 智 FUJISHIRO Satoshi

真空遮断器（VCB）は、保守点検のための停電時間や要員の確保が難しくなっていることや、ライフサイクルコスト低減の要求があることなどから、保守点検の省力化が求められている。また、VCBの開閉動作特性を監視して保守点検を決める予防保全の要求も高まってきている。富士電機は、ドライエア密閉形キュービクル用の電磁操作形 VCB を開発した。投入状態保持用ラッチ機構を投入用電磁石に内蔵した永久磁石の磁力に置き換え、電磁石のプランジャと真空バルブを連結して構造の簡素化を図った。点検項目が少なく、コイルの電流や電圧の測定で開閉動作異常を検出できる。

Labor saving for maintenance inspections of vacuum circuit breakers (VCBs) is requested because ensuring of the power stoppage time and workers for maintenance inspections have become difficult and reducing lifecycle costs is needed. Moreover, there are increasing demands for predictive maintenance by observing the switching characteristics of VCBs to determine maintenance inspections. Fuji Electric has developed VCBs for dry air insulated switchgear. The latch mechanism to hold the switch state has been replaced with the magnetic power of the permanent magnet inside the electromagnet for switching and the plunger of the electromagnet and the vacuum valve have been connected to simplify the structure of the VCBs. These VCBs have only a few check items and can detect switching operation errors through the measurement of coil current and voltage.

## 1 まえがき

高圧受変電設備は、高度情報化社会において高品質な電力を安定供給するために重要である。設備を構成する各機器には通電、絶縁、電流開閉などの高い信頼性が長期間にわたって要求されている。さらに、近年、小型・軽量化、高機能化などの要求に加え、ライフサイクルコスト（LCC）低減や環境負荷低減への要求が高まっている。

真空遮断器（VCB）は、小型軽量、遮断部の保守点検の容易性など優れた利点があることから、高圧受変電設備で広く使用されている。近年、保守点検のための停電時間や要員の確保が難しくなっていることや、LCC 低減の市場要求などから、VCBの保守点検周期の延長や点検項目の低減に関する要求がますます高まってきている。さらには運転中の VCB の開閉動作特性を監視して、必要に応じた保守点検を実施する予防保全に対する要求も高まってきている。

このような市場要求に対応するために、操作機構部の簡素化と長期にわたる動作の信頼性向上を図るとともに、開閉操作時の電流・電圧を監視することにより開閉動作の異常を検出するドライエア密閉形キュービクル用の電磁操作形 VCB を開発した。

## 2 特徴

ドライエア密閉形キュービクルと VCB の外観を図 1 に、ドライエア密閉形キュービクルの構造を図 2 に、VCB の定格仕様を表 1 に示す。

VCB の主回路部を含む高圧充電部は、密閉金属容器内に配置されている。密閉金属容器は接地され、内部には環境負荷がないドライエアを大気圧で封入している。これに

より、主回路部はキュービクルの設置環境に影響されないクリーンな環境を長期間にわたり維持できるため、主回路部はメンテナンスフリーである。

永久磁石を使用した電磁操作形の VCB には、次の特徴がある。少ない保守点検で長期間にわたり安定した開閉性能を維持することができ、必要に応じて開閉異常を検知して保守点検要否の判断もできることが従来の VCB に対して優れている。

### (1) 高い動作信頼性

操作機構は永久磁石の磁力で閉路状態を保持する。したがって、投入状態を保持するためのラッチ装置が不要である。従来の電動ばね操作機構に対して部品点数を 60% 削減した。構造を簡素化することで動作信頼性が高くなった。

### (2) 容易な保守点検

VCB の投入用電磁石（投入電磁石）は、プランジャ軸

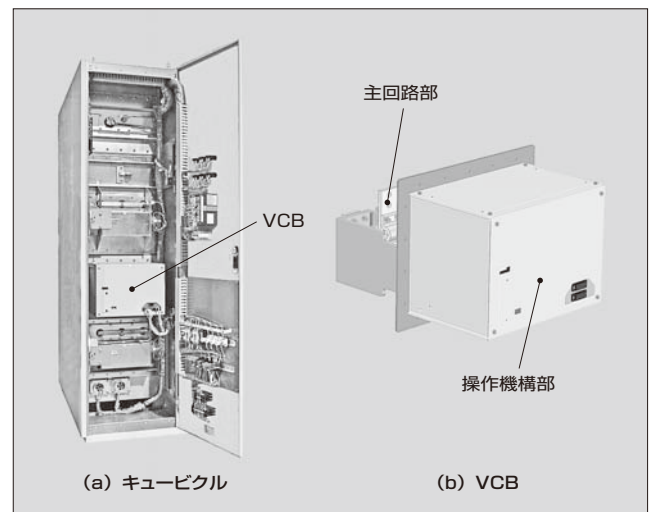


図 1 ドライエア密閉形キュービクルと VCB

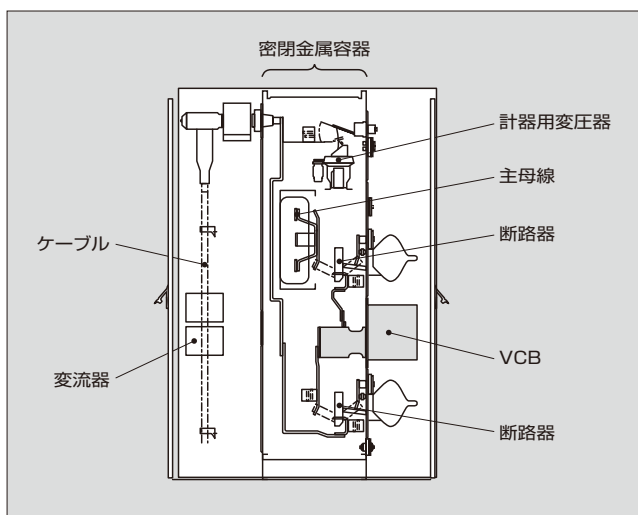


図2 ドライエア密閉形キュービクルの構造（側面）

表1 VCBの定格仕様

項目		仕様
定格	電圧	3.6/7.2 kV
	電流	600 A
	遮断電流	25 kA
	遮断時間	3 サイクル
閉極時間		0.2 s
動作責務		0-1分-C0-3分-C0
開極時間		0.03 s
閉路操作方式		電磁操作式
閉路保持方式		永久磁石保持式
機械的寿命		10,000 回

受に固体潤滑を採用してグリースレス化を図り、保守点検を省力化した。また、操作機構部は、構造を簡素化することにより点検箇所を低減するとともに、摺動（しゅうどう）部に長寿命グリースを採用して注油周期を3年から15年に延長している。

(3) 安定した開閉路速度

投入電磁石には磁気蓄勢方式を採用しており、動作原理を図3に示す。磁束 $\phi_1$ は主磁気回路で発生する主磁束で、 $\phi_2$ は補助磁気回路で発生する補助磁束である。投入コイル電流が小さい場合は、可動鉄心下面と補助ヨークが接触し、磁気抵抗が小さい補助磁気回路側の磁力 $Q_2$ が主磁気回路側の磁力 $Q_1$ より大きくなるため、可動鉄心は動作しない。投入コイル電流が大きくなってくると、磁路の断面積が小さい補助磁気回路は磁気飽和を起し、磁力 $Q_2$ はほぼ一定の値となる。一方、磁路の断面積が大きな主磁気回路の磁束 $\phi_1$ は、電流増加とともに大きくなり、 $Q_1 > Q_2$ となった瞬間に可動鉄心が動作を開始する。そして、補助ヨークと可動鉄心下面間にギャップが生じ、磁気抵抗が急激に増加するため、力 $Q_2$ は無視できる値になる。この動作は、力 $Q_2$ で引っ張っていたばねを放した場合と同じような現象である。

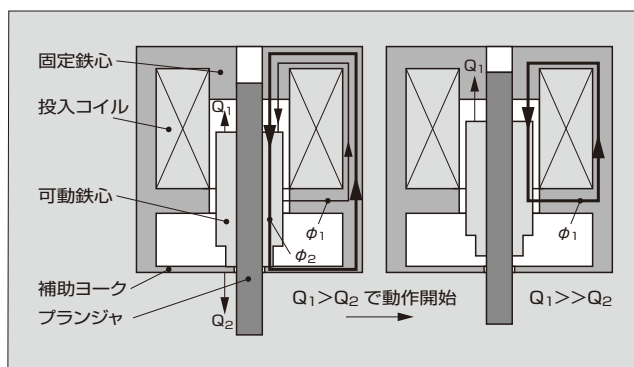


図3 投入電磁石における磁気蓄勢方式の動作原理

このように、力 $Q_2$ で磁氣的にエネルギーを蓄勢して、一気に動作を開始する方式が磁気蓄勢方式である。可動鉄心の動作タイミングは投入コイル電流値で決まるため、操作投入操作電圧が変動しても安定した閉路速度が得られる。開路動作は、投入動作時に蓄勢した遮断ばね力で行う方式であるため開路速度は安定する。

(4) 早期の異常検知

投入電磁石のプランジャと真空バルブの開閉軸を連結しているため、真空バルブの接点の動きとプランジャの動きは連動している。したがって、プランジャの動きで変化するコイル電流やコイルに誘起される電圧波形の測定や監視を行う装置を設けることにより、VCBの異常や故障を早期に発見することができる。この装置はドライエア密閉形キュービクルのオプションとして提供している。定期点検や不具合発生時にしか検知できなかったVCBの異常や故障が、VCB開閉特性の自動監視により検知できるため、よりいっそうの停電時間の短縮に貢献できる。

異常検知可能な代表的項目は次のとおりである。

- (a) 開閉負荷異常（摩擦増大、ばね異常）
- (b) 永久磁石の保持力低下
- (c) 真空バルブの真空漏れ
- (d) 接点消耗

3 構造

電磁操作形 VCB の構造図を図4に示す。大気圧のドライエア封入用タンクのふたを兼ねたフランジを境として、操作機構部と主回路部を配置している。操作機構部は、通常の VCB と同じ気中配置である。

3.1 操作機構部

投入電磁石の構造を図5に示す。投入電磁石のプランジャは、三相の真空バルブを一括して駆動する開閉軸と連結している。板状の永久磁石は、閉路操作時および閉路保持時のどちらでも磁力を効率的に利用できるように、上部ヨークとサイドヨークの間に配置している。可動鉄心と一体で動くプランジャは、上下に設けた軸受の案内で滑らかに上下運動をする。軸受は保守を不要とするため固体潤滑式である。また、投入コイルと引外しコイルは同じボビン

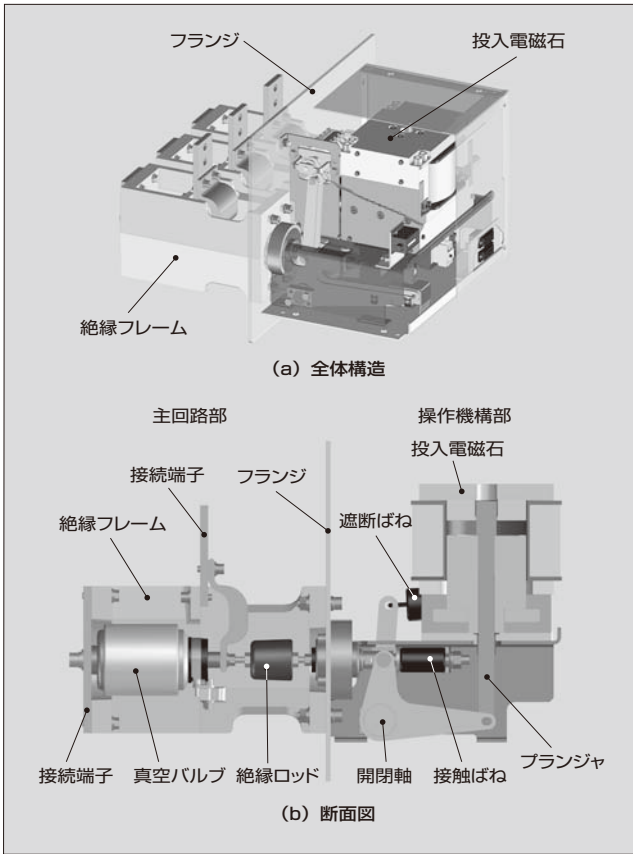


図4 電磁操作形 VCB の構造

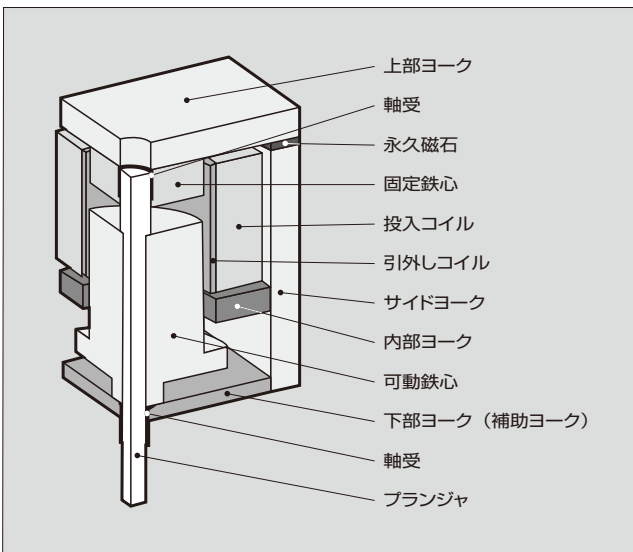


図5 投入電磁石の構造

内に二層に巻いてあり、コイルの小型化を図っている。可動鉄心は、上部端面およびつば状に張り出して内部ヨークと対面する2面で永久磁石の磁力を効率的に利用する構造とし、電磁石の小型化を図っている。

永久磁石を使用した投入電磁石の動作原理を図6に示す。それぞれの状態の説明は次のとおりである。

- (a) 遮断ばね力によって開路状態を保持する。
- (b) 磁気蓄勢動作により可動鉄心は一気に固定鉄心方向に移動する。

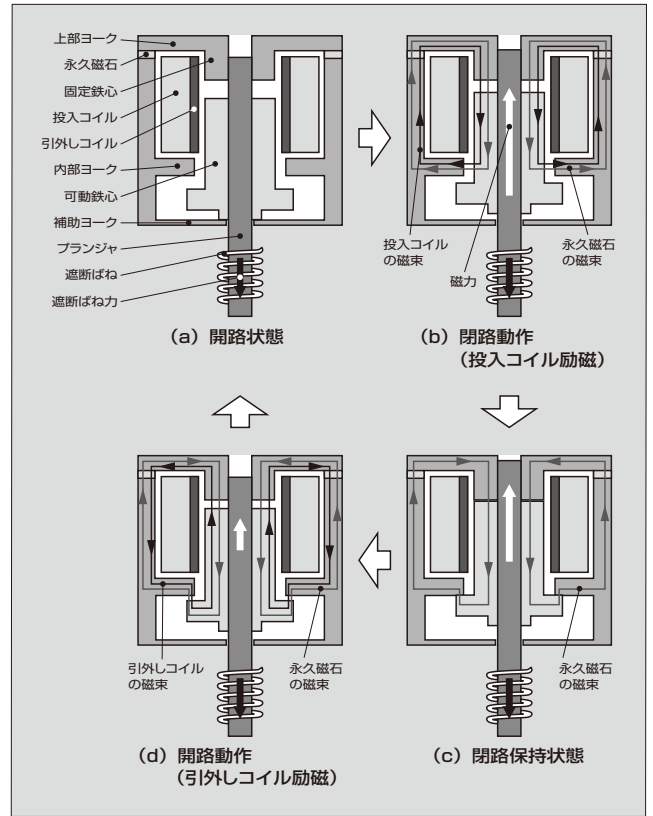


図6 投入電磁石構造と動作原理

(c) 投入コイルの励磁がなくなっても永久磁石の磁力で投入状態を保持する。

(d) 引外しコイルの磁束で永久磁石の磁束を打ち消し、遮断ばね力で開路動作を行う。

電磁石が励磁されてプランジャが上方に吸引されると、開閉軸は反時計方向に回転し、真空バルブの接点が投入方向に駆動されて閉路状態になる。プランジャは動作エンドで電磁石内に配置された永久磁石の磁力で閉路状態を保持する。

開路操作は、投入コイルと同じボビンに巻いた引外しコイルを励磁することにより、永久磁石の磁束と反対方向の永久磁石の磁力を弱め、遮断ばねによる力を利用して遮断を行う構造である。

### 3.2 トリップ回路

フリートリップ機構のない電磁操作機構では、CO動作（閉路直後に開極動作すること）時に閉路動作の残留磁気の影響で開極時間が延びても規定の遮断時間が確保できるように、CO動作の時だけ引外し指令と同時に投入コイルを逆励磁する簡単な回路を追加した。

### 3.3 主回路部

絶縁フレームに収納固定した真空バルブは、絶縁ロッドを介して開閉軸に三相とも連結し、プランジャの動きで接点が接離する構造である。この主回路部分は、ドライエアを封入したタンク内に取め、メンテナンスフリーである。

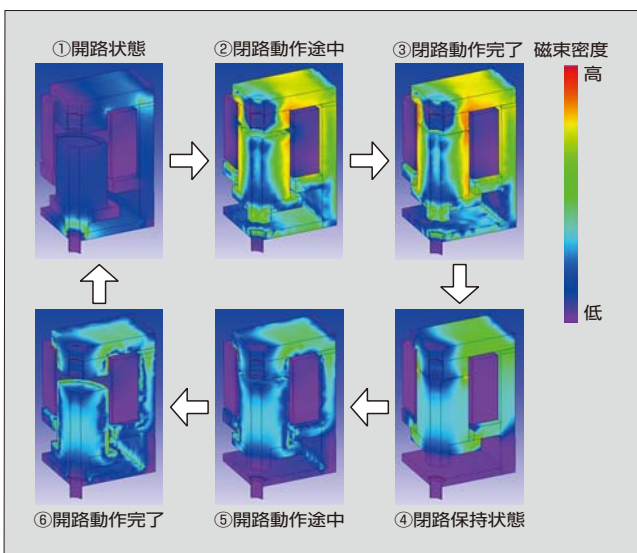


図7 連成解析例

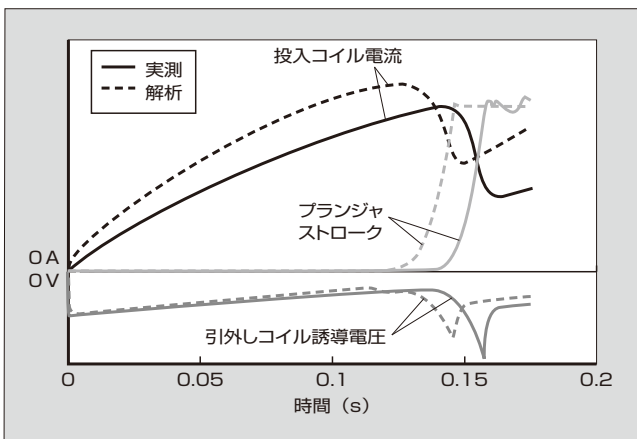


図8 連成解析結果と実測値

4 適用技術・評価結果

4.1 開閉特性の連成解析

投入電磁石は、主磁束による力が投入に必要な力になるまで補助磁束による反対方向の磁力（後引き力）で動作しない構造（後引き構造）であるが、後引き力の大きさにより、閉路速度、コイル電流、閉路時間が変わるため、後引き力は電磁石設計で重要な特性値である。この値を決めるに当たって、電磁界と電磁石動作の連成解析を実施した。解析例を図7に示す。

解析は、渦電流の影響で後引き力の立上りが遅れることを考慮した条件で実施した。解析結果と実測値の比較を図8に示す。解析結果は実測値に対し10%程度の差異に抑えることができ、投入電磁石の最適設計に利用した。

4.2 評価結果

電磁操作形 VCB の開閉特性は、表2に示すように1万回の機械的寿命試験前後でも非常に安定している。これは、VCBの開閉特性を監視し、その状態に応じて保守点検の

表2 連続開閉試験前後の開閉特性

試験項目	試験前	試験後
閉極時間 (ms)	166	167
閉路速度 (m/s)	0.7	0.7
開極時間 (ms)	20	21
開路速度 (m/s)	0.9	0.9
引外しコイル電流 (A)	2.6	2.5

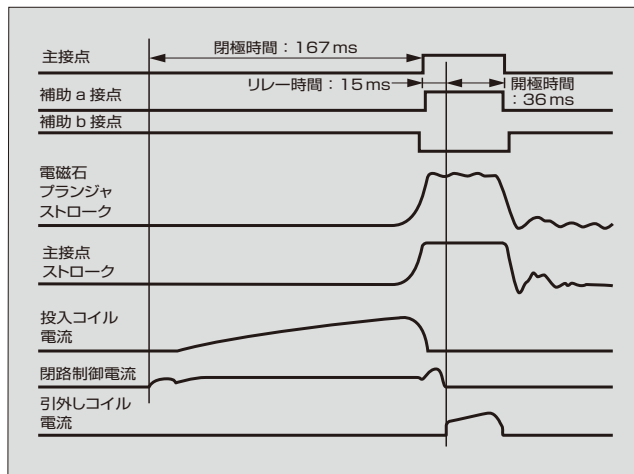


図9 VCB開閉時のオシログラム

タイミングを決めて、保守点検の省力化を図っていく上で重要である。

図9は、VCB開閉時におけるCO動作時のオシログラムである。リレーの動作時間が15msの場合でも開極時間は36msで、最大アーク時間の11.3msを開極時間に加えた遮断時間は47.3msとなる。この値は60Hzの3サイクル時間50msより小さく、定格の遮断時間である3サイクルで遮断を実現している。なお、最大アーク時間は最小アーク時間3msと60Hzの半分のサイクル時間8.3msの合計時間である。

5 あとがき

ドライエア密閉形キュービクル用真空遮断器は、保守点検周期の延長や点検項目の削減などにより配電盤のライフサイクルコスト低減に寄与できるものである。今後も、いっそうの信頼性を確保し、市場要求を反映した真空遮断器を開発することにより、社会の発展に寄与していく所存である。



大澤 雪雄

高圧受配電機器の開発に従事。現在、富士電機機器制御株式会社技術・開発本部開発部課長。電気学会会員。



**白井 英人**

高圧受配電機器の開発に従事。現在、富士電機機器制御株式会社技術・開発本部開発部。



**藤城 智**

高圧受配電機器の試験業務に従事。現在、富士電機機器制御株式会社技術・開発本部開発技術部。電気学会会員。





\*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する  
商標または登録商標である場合があります。