

# 高圧真空コンタクタ・コンビネーションユニット “VZ-Eシリーズ”

後藤圭二\*  
越智 聡\*  
遠矢将大\*

High-voltage Vacuum Electromagnetic Contactors and Combination Units "VZ-E Series"

Keiji Goto, Satoshi Ochi, Nobumoto Toya

## 要 旨

高圧真空コンタクタ・コンビネーションユニット(VMC)は、主として高圧モータの制御、進相用コンデンサ等の開閉に適用され、電力エネルギー安定供給に欠かすことのできない開閉器である。このため、国内では安全・安心、環境汚染防止など多種多様なニーズが存在する。一方、海外では近年の急激な経済成長による広範囲な電力不足の顕在化以降、積極的な発電所建設、電力網整備が行われており、海外仕様対応のVMCが必要となってきた。海外市場ではIEC(International Electrotechnical Commission)規格への対応が必要となるが、2000年に改定されており、国内に比べ、定格電圧や短時間耐電流性能が異なり、高電圧化・性能向上が必要である。このような背景の中、VMCで国内業界をリードしている三菱電機は、海外市場への展開を見据えた海外仕様への対応や、安全・安心・環境負荷低減の顧客ニーズを追求した3.6/7.2kV用VMC“VZ-Eシリーズ”を新規開発した。

### (1) 海外仕様に対応した真空バルブの開発

・電気的性能を改良した新接点材料を開発することで接

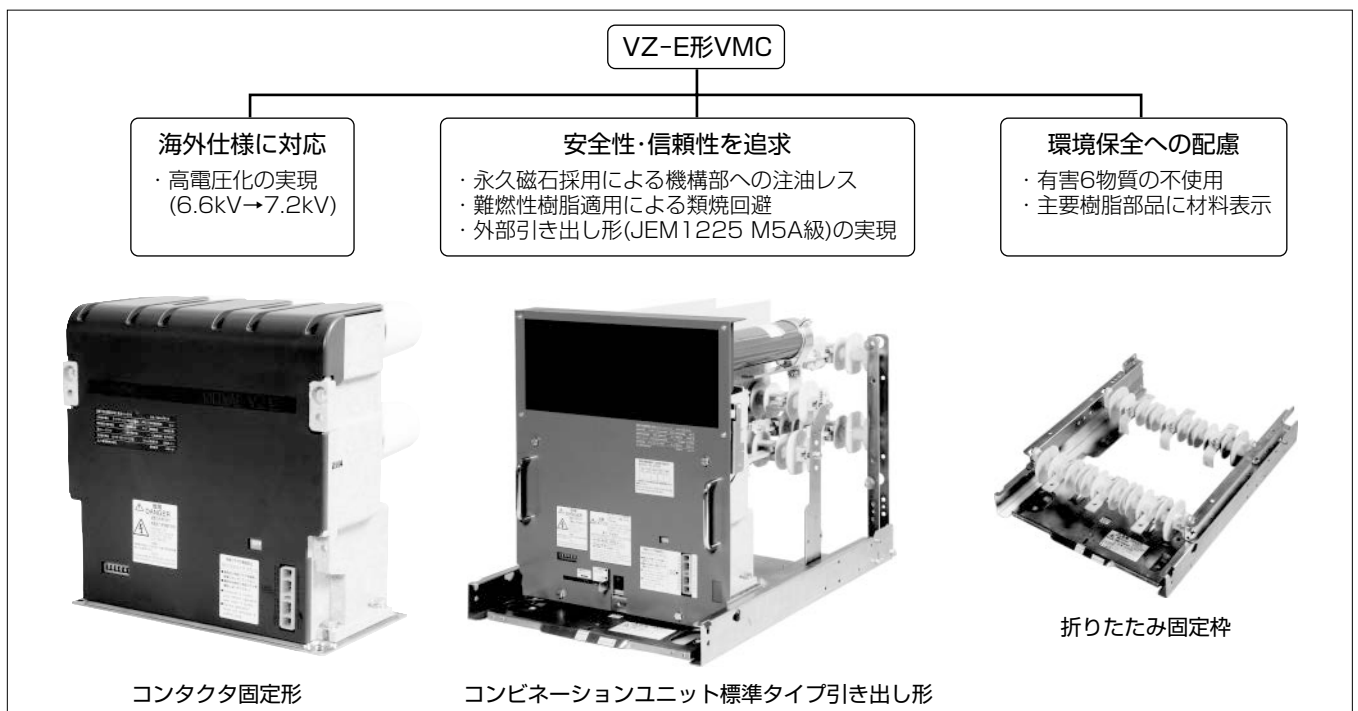
点径の約15%縮小が可能となり、高電圧化(6.6kV→7.2kV)を実現した。

### (2) 安全性・信頼性の追求

- ・ラッチ機構に永久磁石を採用することで、機構部への注油が不要となり、省メンテナンスを実現した。
- ・主要部品へ難燃性UL(Underwriters Laboratories)94(V-0)樹脂を適用することで、類焼被害の未然防止に配慮した。
- ・外部引き出し形(JEM(日本電機工業会)1225 M5A級)にも対応可能(オプション)とし、作業への安全を配慮した。

### (3) 環境保全への配慮

- ・有害6物質(水銀、カドミウム、鉛、六価クロム、PBB(ポリ臭化ジフェニール)、PBDE(ポリ臭化ジフェニルエーテル))の使用を廃止した。
- ・リサイクル及び廃棄を容易にするため、主要樹脂部品に使用材料を表示した。



## 3.6/7.2kV用VMC“VZ-Eシリーズ”

安全性・信頼性の追求、環境保全の配慮など多種多様な顧客ニーズに対応しただけでなく、固定枠とVMC本体の分離梱包(こんぼう)を可能にした折りたたみ固定枠採用による据付け作業時間の短縮、正面のフェースプレートのフラット構造による保護板配置の容易化など盤への施工性も配慮したデザインを追求した。

\*受配電システム製作所

1. ま え が き

高圧用受電設備に設置されているVMCは、電磁石の吸引力を利用し、接触部(遮断部)を動作させる開閉器であり、主として高圧モータの制御、進相用コンデンサ等の開閉に適用され、電力エネルギーの安定供給に欠かすことができない開閉器である。このため、国内では安全・安心、環境汚染防止、点検費用削減など社会動向に合わせた多種多様なニーズが存在する。一方、海外では電力需要拡大に対応するため、中国などのアジア地域では、近年の急激な経済成長による広範囲な電力不足の顕在化以降、積極的な発電所建設、電力網整備が行われており、海外仕様対応のVMCが必要となってきている。海外市場ではIEC規格への対応が必要となるが、VMCに関するIEC規格が2000年に改定されており、国内に比べ、定格電圧や短時間耐電流性能が異なり、高電圧化・性能向上が必要である。このような背景の中、VMCで国内業界をリードしている当社は、海外市場への展開を見据えた海外仕様への対応や安全・安心の追求・環境負荷低減の顧客ニーズを追求した3.6/7.2kV用VMC“VZ-Eシリーズ”を新規開発した。

本稿ではVZ-E形VMCの概要と特長について述べる。

2. VZ-E形VMC

VZ-E形VMCの定格事項を表1に、VMC(コンタクタ固定形)の構造を図1に示す。三相一体に構成された絶縁モールドフレーム内部に真空バルブを懸垂支持している。真空バルブの可動部は、絶縁ロッドを介して上下に駆動される。開閉操作機構(電磁ソレノイド)及び制御装置などは、モールドフレームの底面に取り付けられた鉄鋼製フレームに組み込まれ、ユニット構成されている。前面の充電部は、防塵(ぼうじん)を兼ねた保護カバーで覆われている。

3. 海外仕様に対応した真空バルブの開発

3.1 真空バルブ

当社は1965年に最初の真空バルブとしてVMC用真空バ

表1. VZ-E形VMCの定格事項

項目	コンタクタ	コンビネーションユニット
定格使用電圧	kV	3.3/6.6
定格使用電流	A	200/400
短絡遮断電流	kA	4 40(電力ヒューズ)
短時間耐電流	kA-S	4-2(200A), 4-10, 8-0.5(400A)
操作方式	常時励磁式, ラッチ式	
開閉容量	AC4 <sup>(注1)</sup>	
耐電圧値	kV	22(AC), 60(Imp), VST <sup>(注2)</sup> 極間40(Imp)
準拠規格	JEM1167, IEC60470	

(注1) AC4: 定格使用電流の10倍投入/8倍遮断  
 (注2) VST: 真空バルブ

kA-S : kA-Second  
 Imp : Impulse

ルブの製造を開始してから、45年以上の経験を重ね、累積生産本数は300万本を超えている。真空バルブの用途は主に真空遮断器やキュービクル形ガス絶縁スイッチギヤ(C-GIS(Gas Insulated Switchgear)), VMC, 真空負荷開閉器など多岐にわたり、多年にわたる豊富な使用実績を設計・製造・品質管理に生かし、さらに応力解析・電界解析・磁界解析などのCAE(Computer Aided Engineering)技術や、当社研究所との高性能接点材料の共同開発、アーク挙動観測などの遮断現象の基礎的な研究を実施し、小型で高信頼性のある真空バルブを開発してきた。

3.2 接点材料の開発

この開発の背景として、VMCについてのIEC規格が2000年に改定され、定格電圧が従来の6.6kVから7.2kVへ格上げされており、短時間通電性能における電流波高値が従来の2倍から2.6倍へと大電流化している(表2)。この開発ではこれらの海外仕様に対応するため真空バルブの接点材料の開発検討を行い、高性能化を図った。

接点材料への要求性能としては次の項目が挙げられる。

- ①大電流を遮断できること
- ②高電圧に耐えられること
- ③遮断電流が低いこと
- ④耐溶着性に優れること
- ⑤接触抵抗が低いこと
- ⑥耐消耗性に優れること

従来VMCの真空バルブ用接点材料としては、遮断電流が低く、耐消耗性に優れている銀系接点が使われていたが、一般的に遮断電流特性と遮断性能は相反する関係にあり、遮断電流が低い銀系接点については遮断性能が低いと

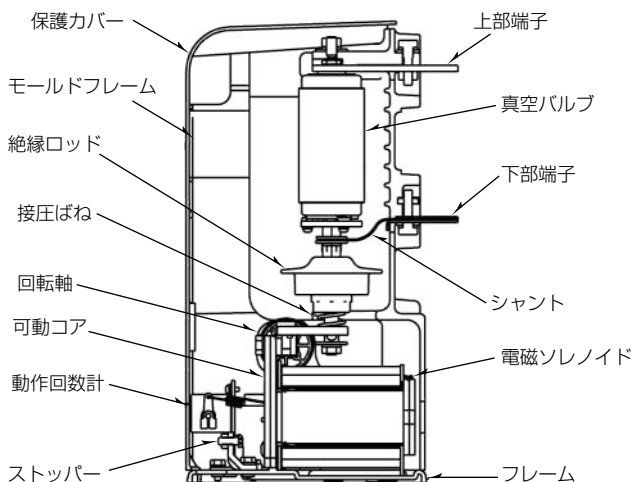


図1. VZ-E形VMC(コンタクタ固定形)の構造

表2. IEC規格とJEM規格の相違点

規格	JEM1167(2007)	IEC60470(2000)
定格使用電圧(JEM)/定格電圧(IEC)	3.3/6.6kV	3.6/7.2kV
短時間耐電流試験時波高値(60Hz時)	実効値×2.0	実効値×2.6
極間衝撃周波耐電圧値	規定なし	40kV

いう特徴があった。今回はこの銀系接点材料に添加元素を追加して遮断電流及び耐消耗性などの基本性能を維持した上で、遮断性能の向上を達成することができた。この接点材料を使用することによって、接点径を従来より約15%縮小することが可能となり、その結果、真空バルブ外径を大きくすることなく真空バルブ内部の電界緩和構造で高電圧化を実現した。さらに、この新接点を採用し、IEC規格に規定されている短時間耐電流試験及びAC 4級の開閉容量試験を実施し、性能を満足することができた。

#### 4. 安全性・信頼性の追求

##### 4.1 新形電磁操作機構による信頼性向上

VZ-E形VMCは操作機構部も従来の操作機構から一新し、ラッチ式の機械的ラッチ機構自体をなくすため永久磁石を採用した。永久磁石の採用によって、従来機種種の注油部位であるラッチ機構部への注油が不要となり保守省力化に貢献できる。更には注油忘れや劣悪な環境が重なった場合に稀(まれ)に発生するグリース固化⇒ラッチ機構の固渋⇒引き外し不能⇒引き外しコイル焼損といった事象が発生しないようにし、信頼性を向上させた。

図2に永久磁石によるVZ-E形VMCラッチ式の動作原理を示す。

- ①切断状態：VMC内部に配置された引き外しばね力によって可動子と永久磁石が開離している状態。
- ②投入動作過程：投入コイルに電流を通電し永久磁石と同方向に磁束を発生させることで、可動子を吸引する。

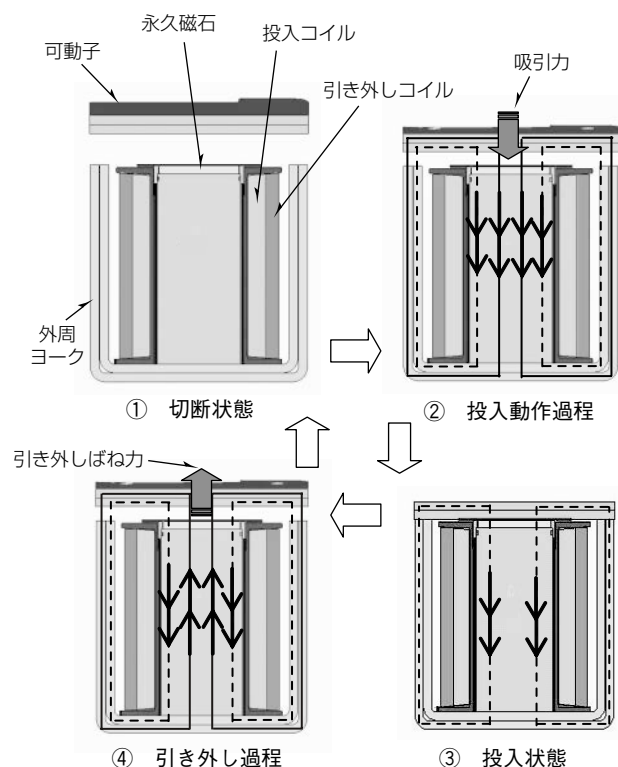


図2. ラッチ式の動作原理

③投入状態：可動子が外周ヨークと接触した状態で投入コイル電流を遮断し、永久磁石の吸引力のみで投入状態を保持する。

④引き外し過程：引き外しコイルに電流を通電し、永久磁石と逆方向に磁束を発生させることで、永久磁石の吸引力を低減させ、引き外しばね力によって外周ヨークと可動子を分離する。

永久磁石採用にあたり次に示す課題などを解決し、新形操作機構による信頼性向上を達成した。

##### (1) 永久磁石の最適配置

永久磁石は磁気特性の優れたネオジム磁石を採用し、電磁界解析を用いることで、ネオジム磁石の磁石吸引力が最大限発揮できる最適配置構造を実現した。図3に電磁操作機構のカットモデル、図4に開極位置から電磁コイルに電流を通電し、電磁力によって可動子を吸引して投入動作が完了するまでの電磁界解析結果を示す。

##### (2) 永久磁石減磁評価

永久磁石を採用する上で永久磁石の減磁を評価することが重要である。次の例に挙げるように永久磁石の減磁評価に対し、実測及び理論的に評価し、製品期待寿命で問題ないことを確認した。

##### (a) 経年変化

永久磁石は微量ながら経年変化し時間の対数に比例す

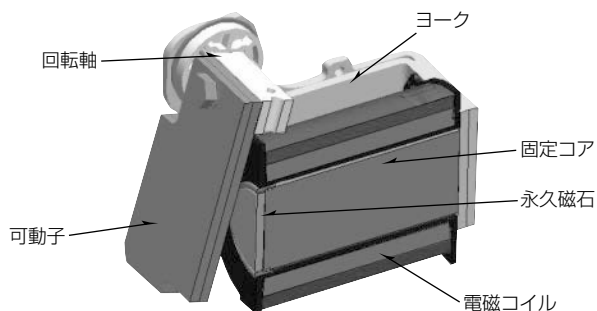


図3. 電磁操作機構

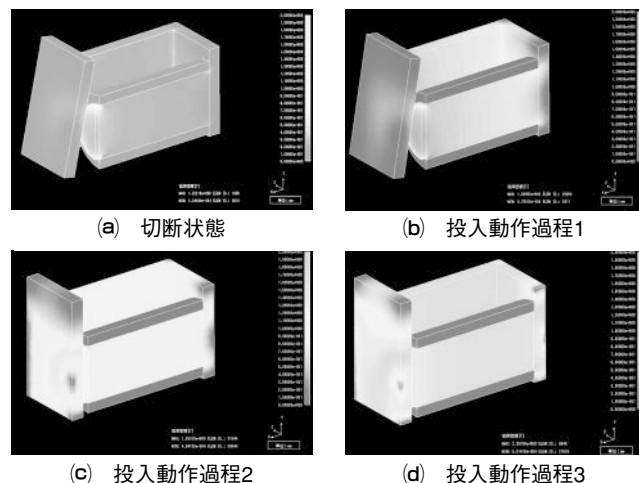


図4. 電磁界解析結果の一例

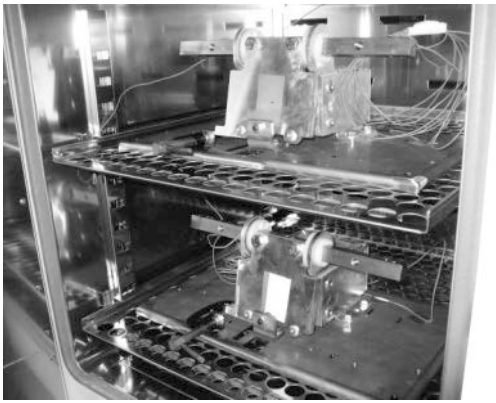


図5. 経年劣化試験状態



図6. コンビネーションユニット(外部引き出し形)

ることが一般的に知られている。また、経年変化は周囲温度及び磁気抵抗に依存し、周囲温度及び磁気抵抗に比例して劣化の傾向が高くなる。よって、劣化傾向が最も高くなる状態(高温、高磁気抵抗)で劣化程度を測定し、設計に反映することで期待寿命(15年)に対し十分な保持裕度を持った製品とした。図5は経年劣化試験状態を示す。

(b) 逆励磁

引き外し過程で、永久磁石には引き外しコイルによる逆励磁が発生する。ただし、永久磁石を逆励磁しても屈曲点を越えない限り永久磁石の不可逆減磁は発生しない。永久磁石の逆励磁の影響は電磁界解析と永久磁石の特性表より明らかにし、連続開閉試験で永久磁石の逆励磁の影響がないことを確認した。

4.2 難燃性樹脂適用による安全性の向上

保護カバーや主回路端子管など充電部付近や電磁ソレノイド付近の主要部品に難燃性UL94(V-0)グレードの樹脂を採用し、万一の類焼、延焼を回避することに配慮した。また焼損試験(トリップコイル/投入コイルの連続通電)を実施し、類焼及び延焼しないことを確認し、安全性の向上を図った。

4.3 外部引き出し形による安全性の向上

JEM1225 M5A級に対応したコンビネーションユニットの外部引き出し形(ブッシング形のみ)を開発した(図6)。これは安全性を重視したタイプであり、盤扉を閉めた状態で、盤扉正面より専用ハンドルでVMC本体を試験位置⇄接続位置へ移動が可能である。VMC本体が接続位置の場合、盤扉が開かないインターロック機能を付しており、充電部へ不用意に接近できないように、作業への安全を配慮した製品になっている。また、操作電圧がない状態でも、緊急で手動引き外し操作が可能な構造(ラッチ式)や盤扉内面の制御機器が配置できるスペースを確保するなど様々な特長も持っている。年々、安全に対するニーズが増加する中、このような作業への安全を配慮した製品が求められている。

5. 環境保全への配慮

5.1 有害6物質の全廃

今回開発したVZ-E形VMCは、欧州RoHS(The Restriction of the use of certain Hazardous Substances in Electrical and Electronic Equipment)指令6物質の内、従来機種で使用していた六価クロムと鉛を廃止し、欧州RoHS指令6物質の使用を全廃した。六価クロムは従来、亜鉛めっきの防錆(ほうせい)処理剤として広く使用されていたが、近年欧州を中心に環境への影響が指摘され、使用禁止物質に指定された。今回、ボルト、ピン、ねじ類の亜鉛めっき表面上の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。三価クロメート処理の採用にあたっては、耐食性など各種評価試験を行い、長期信頼性を確認した。また、制御基板に使用されていた鉛はんだに対しても耐久性など各種評価試験を行い、作業性や長期信頼性を確認し錫(すず)-銀-銅系鉛フリーはんだに変更した。

5.2 材料表示によるリサイクル、廃棄の容易化

VMC本体に使用されている保護カバーや主回路端子管などの主要樹脂部品に対し、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に配慮した。

6. む す び

今回開発したVZ-E形VMCの海外仕様に対応した真空バルブの高電圧化の技術、永久磁石を採用した新形電磁操作機構の技術、M5A級外部引き出し形や環境保全に対する取組みについて述べた。今後も国内外問わず顧客ニーズは多様化され、高度化されるものと考えられる。電気設備に対する一層の省力化、省メンテナンス化、環境負荷低減に貢献していく所存である。

参 考 文 献

(1) 中田高義, ほか: 有限要素法による交直電磁石の設計と応用, 森北出版(株) (2005)