

真空開閉器用真空バルブ

古賀博美*

Vacuum Switch Tubes for Vacuum Switches

Hiromi Koga

要旨


三菱電機の真空開閉器用真空バルブは、1962年に当社で基礎研究を開始し、1965年に6.6kVのガラス容器タイプの真空バルブを開発した。1965年に真空バルブの1号機を製品化して以来、接点材料の開発、接点構造の開発及び構造の最適化設計によって真空バルブの小型化、高性能化を進めてきた結果、その用途は多方面に拡大し、国内外で幅広く使用されている。

真空バルブの用途としては、次のものがある。

- ・真空遮断器用
- ・真空コンタクタ用
- ・真空負荷開閉器用
- ・負荷時タップ切換器用、自動電圧調整器用

- ・鉄道車両搭載用(多頻度開閉遮断器)
- ・オートリクローザ用

当社では、市場ニーズに対応して、接点材料技術やアーカ制御技術、絶縁技術などの最先端技術を駆使し、コンパクトで軽量の真空バルブを製品化しており、優れた製造プロセスと50年近くに及ぶ経験によって、高い信頼性を実現している。真空バルブのラインアップとしては、定格電圧1.5~84kV、定格電流最大4,000A、定格遮断電流最大63kAに対応した製品をそろえており、また、開閉寿命、多数回遮断寿命、低サージ性能、低操作力の各性能に優れた数々の特長を持つ製品群を用意している。



コンパクトで軽量

接点材料技術、アーカ制御技術、絶縁技術などを駆使し、コンパクトで軽量の真空バルブを開発

高信頼性

優れた製造プロセスと50年近くに及ぶ豊富な経験によって高い信頼性を実現

幅広いラインアップ

定格電圧	1.5~84kV
定格電流	最大4,000A
定格遮断電流	最大63kA

真空バルブ

定格電圧1.5~84kV、定格電流最大4,000A、定格遮断電流最大63kAの幅広い定格の製品群をそろえており、国内の真空開閉器メーカーや欧米などの海外真空開閉器メーカーへの真空バルブ単品での販売、技術サポートにも力を入れている。

1. ま え が き

電力の安定供給のため、発電所で作られた電気を需要家まで供給する回路網には、多くの開閉保護装置や開閉機器が組み込まれており、その役割は重要なものとなっている。

真空開閉器は、小型・軽量・高信頼性の特長によって早くから市場に受け入れられ、現在では、中電圧・高電圧の領域で最も適用されている。これら真空開閉器に搭載されている真空バルブは、国内では1960年代に製品化され市場に出荷された。

当社では、1962年に真空バルブの基礎研究を開始し、1965年に真空バルブの製品化に成功した。以来、真空バルブの小型化、高電圧化、大容量化技術を開発・製品化し、真空バルブを始め真空開閉器の適用拡大に貢献してきた。当社の真空バルブの累積生産本数は380万本を超えている。

本稿では、現在までの真空バルブの変遷、最新技術について述べる。

2. 真空バルブの概要

真空の絶縁耐力は、空気、SF₆ガス、絶縁油などの絶縁媒体よりも優れており、この真空が持つ高い絶縁耐力によって真空バルブはコンパクトになっている。また、真空中では電流遮断時の絶縁回復速度が速く、短いアーク時間で大電流遮断が可能であり、アーク電圧も低いため、電流遮断時の接点間のアークエネルギーが小さくなり、接点消耗が少なく多数回の遮断が可能である。

図1に真空バルブの基本構造を示す。真空バルブは絶縁容器、フランジ、アークシールド、ベローズ、固定電極棒、可動電極棒、及び接点などで構成されており、絶縁容器内は高真空に維持されている。接点は操作機構に接続された可動電極棒の動作によって、ベローズを介して真空気密保持された状態で開閉動作するようになっている。接点の周囲にはアークシールドが配置されており、電流遮断時に接点間で発生する金属蒸気を捕捉して絶縁容器内沿面の絶縁性能が損なわれないようになっている⁽¹⁾。

図2に当社製7.2kV-600A-12.5kA汎用遮断器用真空バルブ

の小型化の変遷を示す。真空バルブの小型化は、遮断性能や耐電圧性能に優れた接点材料の開発とそれに適した接点構造の開発、真空中の絶縁破壊現象の研究、アーク挙動観察や電磁界解析技術、製造プロセス技術等の技術開発によって実現してきており、約40年間で容積比にして6%にまで小型化されている。

3. 真空バルブの接点構造

当社では、真空バルブの接点構造として、平板接点構造、スパイラル接点構造及び縦磁界接点構造を採用している。表1にそれぞれの接点構造について示す。真空バルブの電

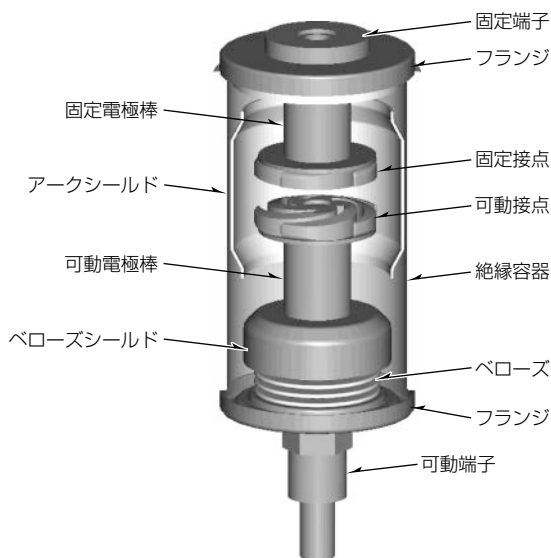


図1. 真空バルブの基本構造

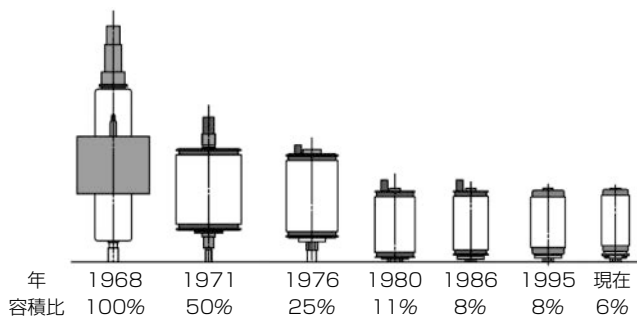


図2. 7.2kV-600A-12.5kA汎用遮断器用真空バルブの小型化の変遷

表1. 真空バルブの接点構造

接点構造	平板接点構造	スパイラル接点構造	縦磁界接点構造
形状			
適用例	<ul style="list-style-type: none"> 遮断電流12.5kA以下の遮断器及び負荷開閉器用 電磁接触器用 	<ul style="list-style-type: none"> 遮断電流16kA以上の遮断器及び負荷開閉器用 	<ul style="list-style-type: none"> 低サージ遮断器用 大容量多数回遮断器用 高電圧遮断器用

流遮断時の現象は、電流通電状態から接点が開き始めると接点間にアークが発生し電流零点までアークが継続する。このアークによって、接点材料が溶融して金属蒸気が発生するが、電流零点を迎えるとこの金属蒸気は急速に拡散し接点間が高真空状態に戻り、接点間の絶縁耐力が回復して電流遮断が完了する。遮断電流が小さい場合は、アークは接点表面で自然に拡散するので平板接点構造でも電流遮断が可能であるが、遮断電流が大きくなるとアークは一部分に集中しやすくなり、接点の局所的な加熱によって多量の金属蒸気が発生して電流遮断が困難となる。電流遮断性能を向上させるためには、アークの挙動を制御して接点の局所的な加熱を抑制することが重要であり、この接点の局所的な加熱を抑制して遮断性能を向上させる接点構造として、スパイラル接点構造及び縦磁界接点構造がある。

3.1 スパイラル接点構造

スパイラル接点構造は、スパイラル接点を流れる電流によって発生する半径方向の磁界によってアークに対し円周方向に磁界が発生し、接点間のアークを接点表面上で円周方向に駆動回転させ、アークによる局所的な加熱を抑制する接点構造であり、主に銅クロム接点材料と組み合わせて適用している。電流遮断時のアークの挙動観測や磁界解析によってスパイラル接点構造の最適化を図っている。図3にスパイラル接点の磁界解析例を示す。図4に示すように、従来の接点中央部で接触する形状から接点外周部で接触する形状に改良することによって、接点が開極した直後から高速でアークを駆動回転させ(図5)、遮断性能を向上させた。これによって、接点径の小径化さらに真空バルブの小型化を実現した。この接点構造の改良によって遮断限界電流値を大幅に向上させ、24kV-25kAの真空バルブで、従来の接点構造の接点径に対して73%まで縮小することができた。また、アークの駆動速度を向上させた接点構造は、アーク時間の短い領域の遮断性能にも優れており、真空バルブが持つ優れた高周波遮断性能と相まって、直流高速度真空遮断器のように、直流の事故電流を遮断する際、高周波電流を重畳させ強制的に電流零点を作って短いアーク時間で電流遮断する遮断器にも適用している。

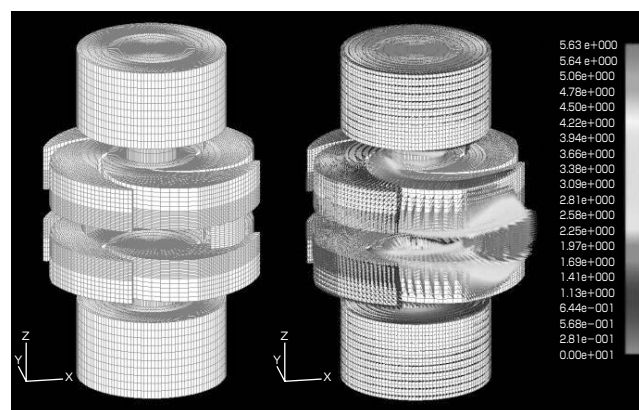
3.2 縦磁界接点構造

アークと平行に外部から磁界を加えるとその磁界強度とともにアーク電圧の異常な上昇をきたす電流値が増大し、遮断限界も同時に増大するという現象を発見し、当社が世界に先駆けて(注1)24kV真空遮断器に適用した。その後、接点背部に構成したコイルによってアークに平行に磁界を加える縦磁界接点構造へと進化した。この縦磁界接点構造は、アークを接点表面全体に拡散させ接点の局所的な加熱を抑制することができ、アーク電圧が非常に低いのが特長である。この接点構造は大電流の多数回遮断に優れており、大容量多数回遮断器用真空バルブの接点構造として採用して

いる。また、低サージ接点材料である銀系接点材料と縦磁界接点構造を組み合わせ、低サージ真空バルブを実現しており、7.2kV-40kAまでのシリーズ化を図っている。低サージ性と7.2kV-40kAの大電流遮断性能を両立させるために、接点材料に適した磁界強度と磁界分布の均一化を磁界解析(図6)及びアーク挙動観測によって求めた。

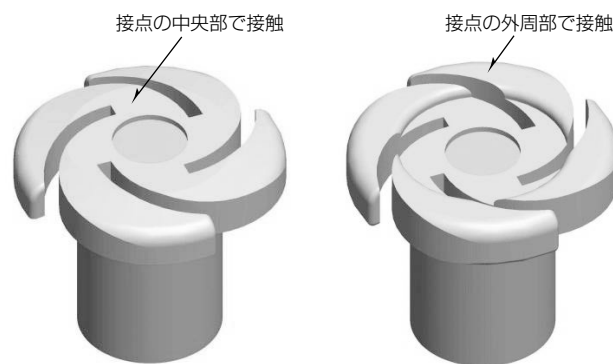
縦磁界接点は、スパイラル接点に比べて接点表面部の絶縁性能に対する構造上の弱点が少なく72/84kVクラスの高電圧遮断器用の真空バルブにも適している。

(注1) 2014年7月4日現在、当社調べ



(a) スパイラル接点モデル (b) 接点部の磁界分布

図3. スパイラル接点の磁界解析例



(a) 接点中央部接触形 (b) 接点外周部接触形

図4. スパイラル接点構造

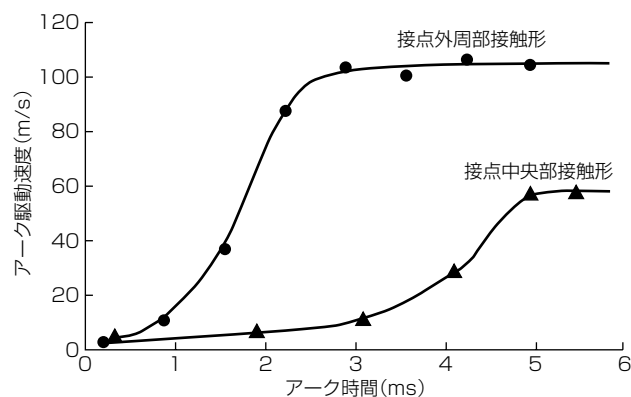
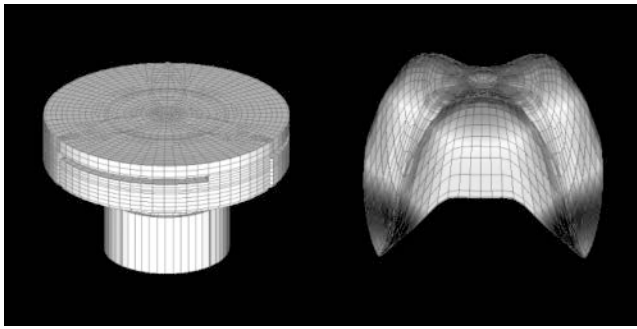


図5. スパイラル接点のアーク駆動特性



(a) 縦磁界接点モデル (b) 接点部の磁界分布

図6. 縦磁界接点構造の磁界解析

4. 真空絶縁技術

真空バルブの小型化を目的に行われてきた接点間距離や真空バルブ外径の縮小，さらに真空バルブの高電圧化では，真空ギャップの絶縁信頼性を確保しつつ実現することが重要である。

真空ギャップの破壊電圧は接点表面粗さに依存し，図7に示すように表面粗さによって破壊電圧は大きく変化する。また，真空中の絶縁破壊特性には面積効果がある。真空中の面積効果は，SF₆ガス中の面積効果や絶縁油中における体積効果に比べてより顕著である。図8は無酸素銅接点における有効面積と破壊電界の関係を示したもので，接点の有効面積が大きくなると絶縁破壊電界が低下する傾向にあることが分かる。これは，面積の増加に伴い，絶縁破壊の原因となる電子放出点などの弱点の数が増加するためと考えられる。このように有効面積で整理すると定量的に各部位の破壊電界を把握することができる。真空中の絶縁設計では，これら表面粗さ及び面積効果を考慮する必要がある⁽²⁾。これら真空絶縁技術を駆使して真空容器内に，遮断・断路部と接地開閉部を収納した24kV複合絶縁多機能真空開閉装置用の真空バルブを製品化した(図9)。また，84kV定格までの真空バルブを製品群として用意している。

5. むすび

当社の真空バルブに関して，接点構造とアーク制御技術及び真空絶縁技術について述べた。今後も多様化する市場ニーズに応えるため，更なる技術開発に取り組んでいく。

また，当社真空開閉器に加え，国内の真空開閉器メーカー及び欧米などの海外真空開閉器メーカーへの真空バルブ単品での販売，技術サポートも強化しており，信頼性の高い当社真空バルブを搭載した真空開閉器が，世界中の電力の安定供給に貢献できれば幸いである。

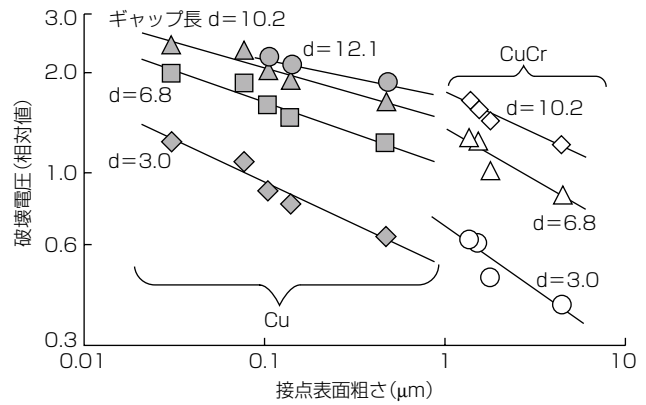


図7. 真空ギャップ(平板-平板)破壊電圧に対する接点表面粗さの影響

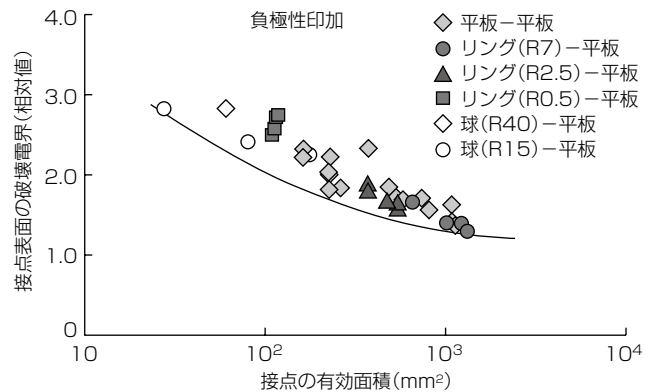


図8. 銅接点真空ギャップの破壊電界での面積効果

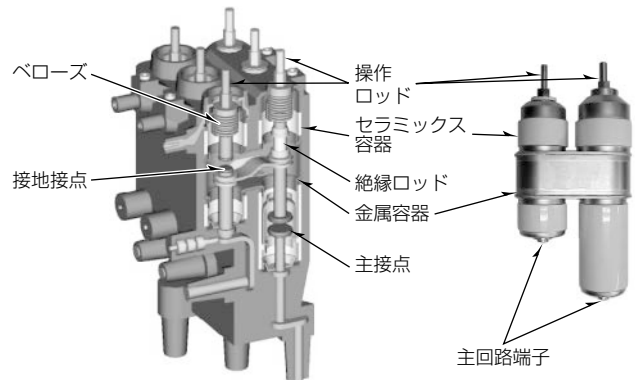


図9. 24kV複合絶縁多機能真空開閉装置の構造

参考文献

- (1) 大川義博，ほか：環境保全に配慮した真空遮断器“VFシリーズ”とキーパーツ真空バルブ，三菱電機技報，82，No.11，689～693（2008）
- (2) 佐藤伸治，ほか：真空遮断技術と真空絶縁技術の変遷，三菱電機技報，80，No.7，443～446（2006）