



七田浩一*

受配電システム機器の技術展望

Technological Aspects of Power Receiving and Distribution Systems Apparatus

Koichi Shichida

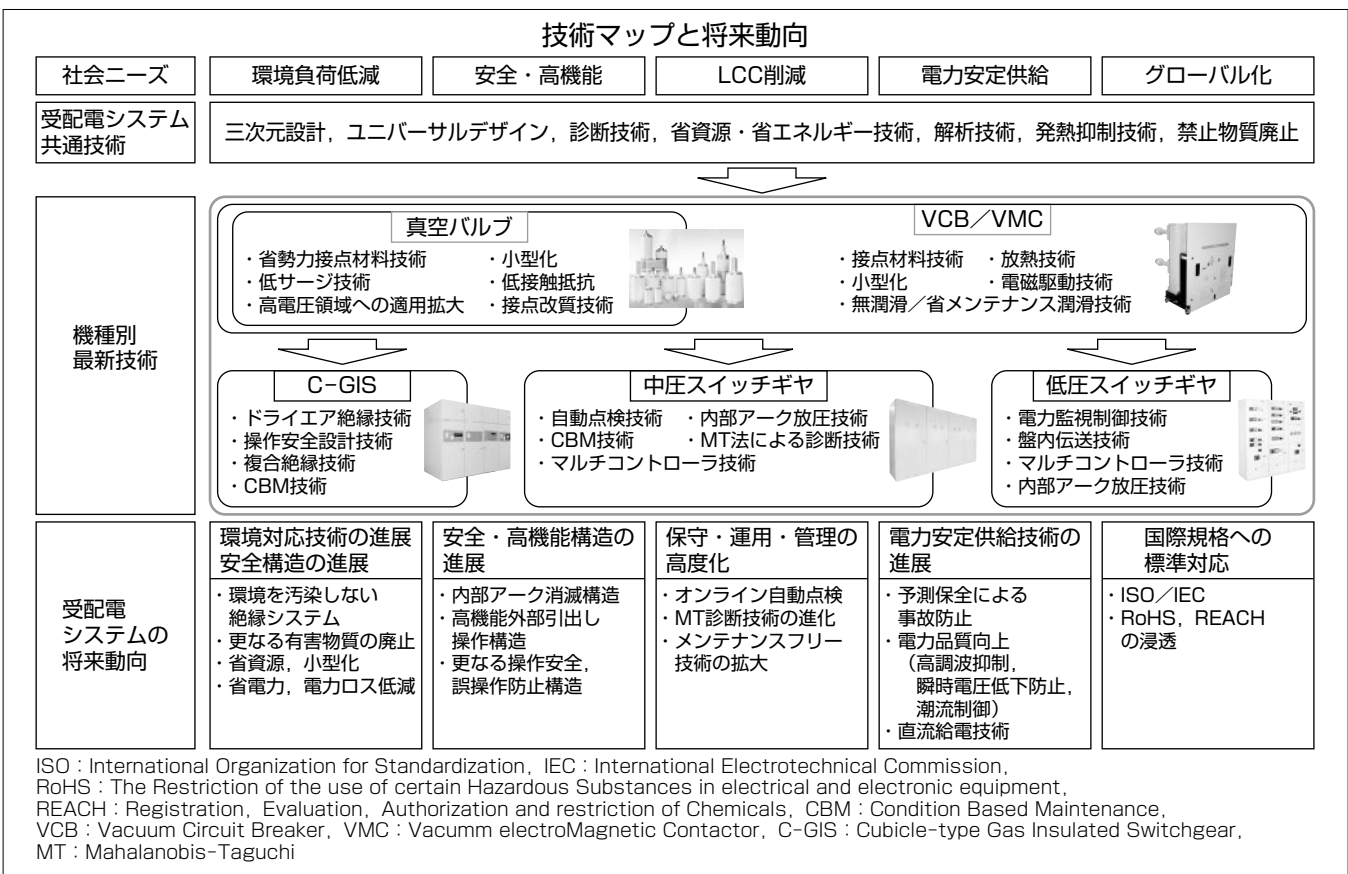
要旨

受配電システム機器は、過去から社会のニーズに対応し、技術の進展によって、安全・信頼性の追求、小型・軽量化、運用・保守性が改善されてきた。また、近年でも、変化する社会ニーズ(高効率, 更なる高信頼性, 更なる安全性向上, ライフサイクルコスト(LCC)削減)に対応した技術の進展によって、次に示すような技術が開発され新製品が投入されている。

- (1) 地球環境負荷の低減
 - ①省エネルギー・省資源化を指向した製品技術
 - ②温室効果ガスを使用しない開閉装置技術
 - ③有害指定物質の削減と小型・軽量化技術
- (2) 電力監視システムの高機能化と安全性・取扱い性の向上

- (3) LCCの削減
 - ①製品のLCC削減技術
 - ②保守・点検の効率化・省力化技術
- (4) 電力の安定供給
 - ①製品の信頼性向上技術
 - ②安定供給を支える監視技術
- (5) 国際規格への標準対応

今後も国内外を問わず顧客ニーズは多様化し、高度化するものと考えられる。先に述べた受配電システム技術を更に発展させ、製品開発を行い、受配電システム機器として付加価値の高い製品を提供することで社会に貢献していく。



受配電システム機器の技術展望

受配電システム機器の社会ニーズに基づく技術マップと将来動向を示す。

1. ま え が き

受配電システムは、電力会社の配電線から電力を受ける鉄道・工場・ビル・店舗等の受電点から動力・照明等配電端負荷にいたるまでの電力供給用設備、保護・計測・監視・制御装置を構成要素としている。また、これらは、公共・民間を問わず、社会インフラにおける重要な基幹システムに位置付けられる。

受配電システム機器は、過去から社会のニーズに対応し、技術の進展によって、安全・信頼性の追求、小型・軽量化、運用・保守性が改善されてきた。また、近年でも、変化する社会ニーズ(高効率、高信頼性、安全性向上、LCC削減)に対応した技術の進展によって、安全性・信頼性の更なる向上、運用効率の改善、省エネルギーが推進されている。

本稿では、社会のニーズに対応することで発展している受配電システム機器の技術開発や製品化動向と展望について述べる。

2. 地球環境負荷の低減

2.1 省エネルギー・省資源化を指向した製品技術

我々人類は、過去の生活水準に後退することなく、産業活動を継続しつつ、子孫のためにも低炭素化社会実現に向けて努力する必要がある。この中で、エネルギーを消費する側の対応の1つとして省エネルギー・省資源化が重要である。

低圧スイッチギヤの領域では、直流給電技術が注目されている。情報通信技術システムは、経済活動を支える基幹システムとして役割を果たしており、その信頼性を確保する電源ネットワークとして直流給電が果たす役割は大きい。また、近年の情報通信量の高密度化、大量稼働に伴い、設備の消費電力がますます増加すると予想されている。電気通信用の直流給電は交流給電(UPS)に比較して電力変換回数が削減でき、原理的に高効率である。さらに、給電電圧を従来のDC48VからDC400V程度に昇圧する直流給電システムでは、電力供給に必要な電流を低減できるとともに、電力ケーブルの細径化による設備コストの低減も図れることから、DC380V直流給電は今後の方式として注目されている。これに対応して三菱電機は、従前から培った低圧分電盤技術を基に、DC380V直流給電用分電盤(図1)を製品化している。これは、他系統への給電を維持しながら安全に改修作業を可能にするとともに、分岐回路ごとにマルチDC計測装置を搭載可能とし、見える化の観点でも省エネルギーを実現する製品としている。

高圧気中絶縁スイッチギヤに関しては、省資源、省スペース、省力化の環境負荷低減ニーズに対応する製品が持続的に開発されている。当社でも、2013年には更なる小型・軽量化を指向して、需要の高い定格・仕様限定すること

で、容積比で45%減、質量40%減(当社従来比)となる7.2kVスイッチギヤ“MS-VC”を製品化した。小型化を進めることによって、機器内スペースが減少し、メンテナンス性の低下を招くという課題に対し、ZCT(Zero-phase Current Transformer)一体型ワイドレンジCT(Current Transformer)の適用、制御機器類の集合化等ユニットを最適化することで省スペース化を図り、カラー化した液晶表示や視野角を拡大させたLED表示を採用して保守性向上を実現した。

キュービクル形ガス絶縁スイッチギヤ(C-GIS)に関しては、24~84kV級縮小形機器として1980年代に国内で製品化されて以来、省スペース、電力の安定供給に資する機器として発展してきた。近年までの約30年の間、技術開発が進み、SF₆ガス使用C-GISでは小型化・高機能化が進んでいる。表1に示すように、当社で1990年代に開発した72/84kV C-GIS“GX-70V”に対し、2013年に開発した“HG-VG-A”では2回線受電1VCT2バンク回路の設置面積比で31%減、総質量36%減に低減している。これは、84kV定格における固体絶縁母線の新規開発による母線系統の1系統増(2→3系統)実現とCTの小型化、接地断路器(EDS)ユニットの小型化によって配置構成を最適化(7→5面構成)した新技術によって実現している。今後も、新設、更新需要に対応する中で、低炭素化社会に向けた取り組みによってコンパクト化を実現する技術開発を進める所存である。

2.2 温室効果ガスを使用しない開閉装置技術

SF₆ガスは絶縁性能、アーク消弧性能に優れたガスであるが、地球温暖化係数が高いことから排出量を制限する必要がある。

受配電システム機器の24~84kV領域では環境劣化因子の排除や縮小化等のニーズに呼応して1980年代からSF₆ガ

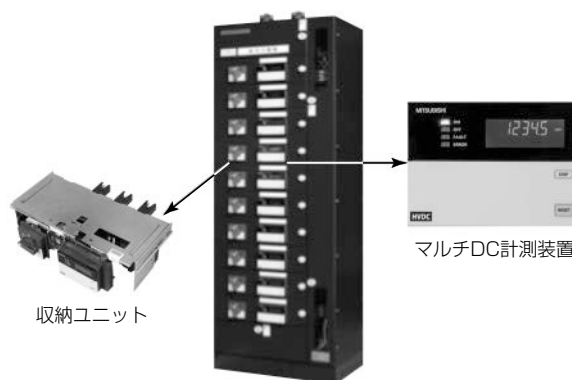


図1. DC380V直流給電用分電盤

表1. 設置面積、質量の比較(2回線受電1VCT2バンク回路)

項目	GX-70V(従来)	HG-VG-A(開発)
設置面積	19.2m ²	13.2m ² (▲31%)
総質量	21.0ton	13.5ton (▲36%)

VCT: Voltage and Current Transformer

ス絶縁によるC-GISが適用されてきた。さらに当社は、業界を先導する形でSF₆ガスを使用しないドライエア絶縁C-GISの製品化に取り組んでおり、近年の低炭素化への取組みから、密閉容器などが軽量化可能な低ガス圧技術と複合絶縁技術を追求している。一方、72/84kV級のタンク形真空遮断器(VCB)は、1980年に国内で、SF₆ガスを充填した接地タンク内に真空バルブ(VST)を設置し、空気操作式として製品化されている。その後、電動ばね操作化、小型化が図られている。当社は、環境負荷低減及び保守・点検の短縮を目的に、タンク形VCBについても、C-GISで培った脱SF₆ガス技術を展開することで、2010年に、定格電圧72/84kV級及び24/36kV級を製品化した。これらの製品ではドライエア絶縁と固体絶縁を合わせた複合絶縁を採用することによってドライエア中の最大電界値を半減化し、低ガス圧でのドライエア絶縁を実現している。図2にSF₆ガス絶縁構造と複合絶縁構造での等電位分布の比較を示す。同図(b)の複合絶縁構造で、SF₆ガスに比較し絶縁耐力の低いドライエア絶縁を適用する中で、磁気碍管(がいかん)はSF₆ガス機器に使用されている標準規格品を採用することから、エポキシ被覆絶縁によって最大電界部をドライエア絶縁の設計基準以下とする工夫をしている。

また遮断部であるVSTを駆動する操作装置には、直線駆動方式の電磁ばね操作装置を適用し、長寿命、省メンテナンス化を実現している。

2.3 有害指定物質の削減と小型・軽量化技術

欧州でのRoHS指令・REACH規制施行の動向に対応して、当社は特定6物質を使用しない真空遮断器、開閉器を順次製品化している。2004年に製品化した7.2kV-12.5kA VCBを初めとして、2007年に20kA級VCBを、2009年に31.5/40kA級を、2010年には新型VMCと適用を拡大してきた。さらに、当社ではグローバル化を進めるため、新製品開発に取り組み、最新の国際規格IEC-62271-100に標準適用できる海外向け12kV-31.5/40kA級のVCB“10-VPR-D”を製品化している。これは小型・軽量化、保守性向上、安全性向上、長期信頼性向上実現のために外部引

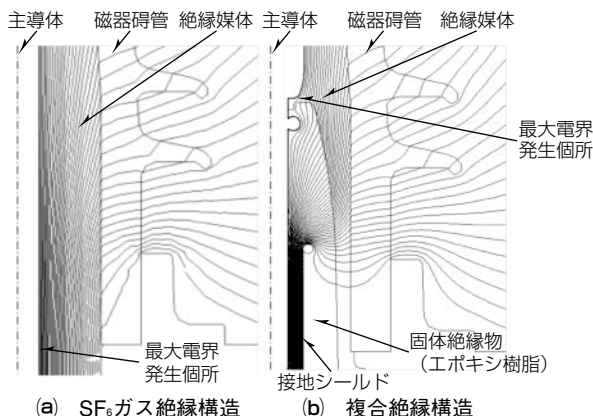


図2. 72/84kV-タンク形VCB磁気碍管周辺の電界解析

出し操作やアーシングスイッチなどのメニュー充実、部品点数の削減、注油周期の延長、低操作エネルギー化、特定6物質の廃止を実現している。また、このVCBは、主回路充電部への小動物進入による短絡事故防止のため、充電露出部を極小化した筒形状の絶縁モールド構造を採用し、安全性を追求した。また、粉塵(ふんじん)、水滴が内部に入りにくい構造とし耐環境性にも配慮している。この構造は、放熱性では不利な構造となるが、熱流体解析技術の進歩によって、筒形状内部の熱を効率良く放熱する形状にして定格電流3,150Aまで自冷式を実現している(当社評価基準に基づく)。図3に熱流体解析結果の一例を示す。

一方、受配電システム機器の領域における電圧級(3.6~84kV)の遮断器・開閉器の消弧ユニットについては、優れた開閉寿命、消弧部のメンテナンスフリー等の特長から真空バルブが揺るぎない地位を確保している。海外でも12kV定格を中心に高い比率で適用されており、高電圧化の開発も各国で進められている。

図4は当社製7.2kV-600A-12.5kA汎用遮断器用真空バルブの変遷で、約40年間で容積比にして6%まで小型化している。接点技術に関しては、当社は、平板・スパイラル・縦磁界の各接点の材料・形状の研究を進め小型化・高寿命化を図っている。スパイラル電極では接触点を外周部とする電極構造の改良によって接点开閉直後から高速でアークを駆動回転させ、24kV-25kA定格で、従来の電極構造の電極径に対し、27%減まで縮小している。一方、縦磁界電極ではアーク電圧が低いという特徴から大容量多数回遮断用として適用しているとともに、低サージ品として、銀系接点材料と縦磁界電極構造を組み合わせて、7.2kV-

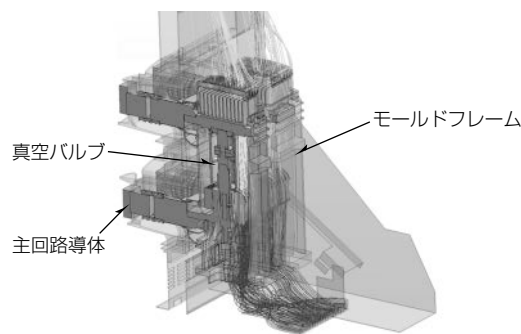


図3. 真空遮断器の熱流体解析結果例

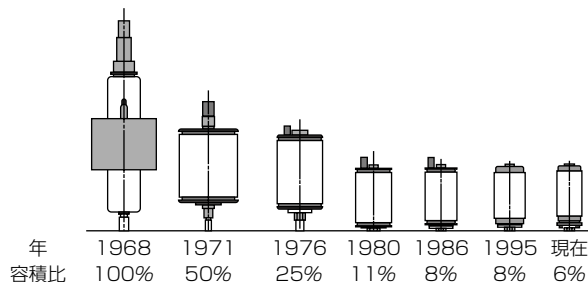


図4. 7.2kV-600A-12.5kA汎用遮断器用真空バルブの変遷

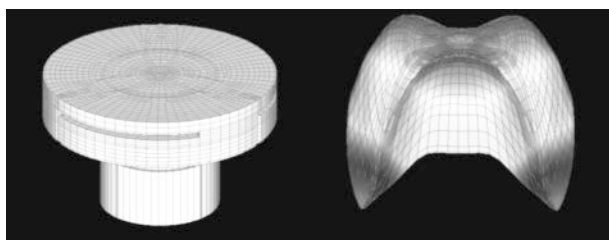


図5. 縦磁界接点真空バルブの磁界解析

40kAまでを製品化している。低サージ性と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5)及びアーク駆動観測によって実現している。さらに、VSTの最近における真空絶縁技術の研究で得られた接点表面粗さ、面積効果の研究成果を基に材料配合・製造プロセスの改良を進めている。VST技術は、精力的に小型化、高電圧化をしており今後も世界的に技術が発展する領域である。

3. 電力監視システム高機能化と安全性・取扱い性の向上

近年の受配電システムは、社会ニーズに呼応して、システムの複雑化に伴う視認性の向上、誤操作の防止、自動化を目的とした運転支援、保守支援技術が進歩している。

電力監視システムについては、環境に対する配慮が求められるようになり、受配電設備を管理するユーザーからも設備の省エネルギーに寄与できる機能が求められている。これに対応して、使用電力を監視して使用電力量を抑えるデマンド監視機能、コンデンサ開閉による制御で力率を100%に近づける無効電力制御機能が実用化されている。また、定期点検作業の省力化・短時間化を目的に、当社の独自機能であるリレーの自動点検機能が搭載されるとともに、遠隔で設備の状況を監視できるWeb監視機能、ユーザーが自由に名称やスケールを変更できるエンジニアリング機能が搭載されている。当社は、よりきめ細かな省エネルギー及び設備監視のニーズに応えるため、監視点数20,000点に対応できる電力監視システム“MELSAS-S”を製品化している。また、最近では、監視員の高齢化に伴い、見やすい画面構成、受配電設備監視業務経験の浅い監視員にも分かりやすい操作を目的に、UD(ユニバーサルデザイン)を画面構成及び操作に適用してデザインを一新するとともに、無停電でのリレーの自動点検を実現した電力監視システムを製品化している。

4. LCCの削減

4.1 製品のLCC削減技術

36kV級以下の遮断器として、中東を中心に当社が1980年代に納入したガス遮断器(GCB)が数多く稼働しているが、納入後30年以上の歳月が経過しており、設備更新の時期を迎えている。現在の顧客ニーズとして、環境負荷低減

という時代の流れやSF₆ガス処理や遮断部の清掃といった保守点検費用の問題もあり、LCCの面でメリットのあるVCBへの切り換えが望まれている。当社は、最新型VCB“10-VPR-32/40D”を母体としたレトロフィットVCB“10-VPR-40D(GV)”を製品化した。また、LCCを低減する施策としてスイッチギヤ本体を残しながら、既納品であるGCBからVCBの更新の場合でも、既設スイッチギヤに対する出し入れ機構を同一にするとともに、VCBの開閉サージを抑制し、負荷を保護するためのサージ吸収装置をVCB本体に搭載している。これによって、スイッチギヤの現地改造を不要とする完全互換の製品化を実現しLCC削減に貢献している。停電時間の短時間化は顧客ニーズの重要項目であることから、今後の更新製品の形態として配慮されるべきものと考えられる。

4.2 保守・点検の効率化・省力化技術

4.2.1 保守省力化

LCC削減を目的とした保守、点検の省力化ニーズに対応して、遮断器のVCB化、機構部のグリースレス化を理想とする省メンテナンス化が進んでいる。C-GIS搭載VCBやタンク形VCBでは、操作機構の機械保持を担うラッチ機構に永久磁石による保持方式を採用することで損耗部品を削減するとともに、グリス劣化による不具合に対して注油レスとした構造に進歩している。また、機械式ラッチ機構を持つばね操作装置でも、最新のVCBでは、三次元機構シミュレーションによる動作信頼性の向上を図るとともに、長寿命グリースの適用や微小力で駆動する部位の軸受にグリースの塗布が不要なPTFE(ポリテトラフルオロエチレン)をベースとした無注油軸受を採用することで、安定した動作特性を実現し、注油間隔を従来の3年から6年に延長している。また、状態監視技術については、通信技術の高度化に伴い、劣化をセンシング・診断し、保守員に状態を提示する技術が進展している。

4.2.2 余寿命推定技術の進化

当社では2000年に絶縁物の劣化診断・余寿命推定技術(MT法)を確立し、既に500件以上の診断実績を得ている。一方、従来のMT法診断に対して、①現状のオフライン状態での絶縁物表面データ取得から、リアルタイムでの機器の状態を監視したい。②現状の放電開始時期を寿命とする判定から更に、絶縁短絡時期を推定したい。③診断実施以降の周囲環境変化に対応できる配慮がほしいなどの更なる社会ニーズがある。これに対応して、近年では、機器の信頼性、余寿命診断の高精度化、省メンテナンス性の向上を目的に、オンラインの余寿命推定技術の確立を目指した技術開発を進めている。これは、フェノール樹脂、ポリエステル樹脂、エポキシ樹脂等の絶縁物について、絶縁物が寿命にいたる劣化メカニズムを詳細解明するとともに、劣化メカニズムに基づいた“劣化監視センサ”を開発し、MT法

診断の考え方や実際の診断で得られた知見を取り入れた新しいCBMの確立を図っている。このセンサを適用することで、リアルタイムで絶縁物の劣化を計測し、絶縁物の寿命を常時監視するとともに、絶縁物の経年劣化に対して必要な保全情報を提供する予防保全システムへの展開を考えている。

5. 電力の安定供給

5.1 製品の信頼性向上技術

開閉装置全体構造は、C-GISの発展によって、容器外に環境に影響を受けない密閉主回路によって電力供給信頼性は向上している。一方、遮断器などの開閉器については、障害の65%は操作装置部で発生している。当社では、操作装置の信頼性向上技術として部品点数の削減、機械摺動(しゅうどう)部を削減した機構方式の電磁ばね操作装置をタンク形VCBに適用して製品化している(図6)。これは、真空バルブの可動導体と電動ばね操作装置の可動軸を直線上に配置し、また、電動ばね操作装置内に設けた永久磁石の磁束によって可動鉄心を開極位置に保持することで機械式ラッチなどの損耗部品を排除して信頼性を向上させている。

5.2 安定供給を支える監視技術

電力安定供給のためには設備異常や劣化を電力供給が絶たれる前にタイムリーに把握し、適切な処置を施すことが肝要である。この観点から、スイッチギヤの状態監視技術は、既に複合絶縁C-GISで開閉動作特性変動を駆動電流波形で監視診断する開閉動作特性監視、駆動コンデンサ容量監視、保持用永久磁石劣化監視、ノイズ性高周波電磁波による部分放電・真空劣化監視を行うCBMコントローラが製品化されている。近年では、予測保全による故障防止技術としてスイッチギヤ絶縁物に設置したセンサと漏れ電流検出器によってMT法による絶縁診断をオンラインでタブレット端末に伝送する絶縁余寿命推定システムの研究が進んでいる。さらには、巻線機器のレヤーショート、モータ軸受の劣化等の異常を負荷電流波形から監視・診断する研究も進んでおり、今後も持続的かつ勢力的に開発が進み、データ伝送機能を設けユビキタス社会に呼応した遠隔状態監視の進化・拡大へと発展していくと予想される。

6. 国際規格への標準対応

グローバル化の流れの中で、従来の日本の国内規格に重点を置いた製品開発から、国際電気標準会議(IEC)との整合性が強く求められるようになってきた。遮断器の国際規格であるIEC 62271-100は2001年以降に2度の改定を経て、2008年にEdition2.0が発行された。IEC62271ではユーザーのニーズに合わせた遮断器を提供することを目的に、信頼性や用途からクラス分けが規定されている。これに対応し

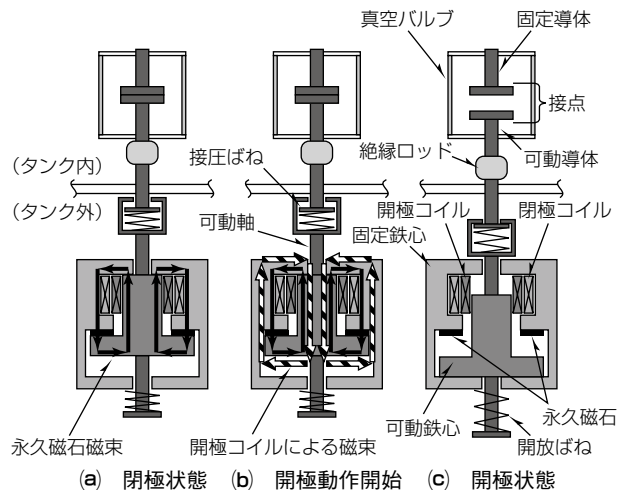


図6. 電磁ばね操作装置による真空バルブの直線駆動

て当社では、新規の海外向け開発でクラスE2の実力を確認している。また、中電圧スイッチギヤでは、IEC-62271-200で規定されている内部アーク対応の確認を行った製品で海外向けに対応している。モータコントロールセンタ(MCC)についても、IEC-61439に対応し、AC690V/80kAまでの高電圧・大容量化に対応するとともに、内部アーク対応構造を実現している。さらに、IEC-60947に対応し、コーディネーションTYPE2要求にも対応している。今後も開閉装置共通規格の制定とIECを中心に、それぞれの改定に継続して注目・参加していく必要がある。

7. む す び

受配電システム機器の技術展望を、最近の技術・製品動向を主体に述べた。

受配電設備は社会インフラの基礎であることから、安全性、信頼性、環境負荷低減、LCC削減等の社会的ニーズは、グローバル市場の中で、ますます重要性が高まると考えられる。また最近では、太陽光発電や風力発電のような自然エネルギーを利用した分散型電源の普及が推進されており、直流給電を含む再生可能エネルギー拡大に基づく電源の多様化も進展すると予想されるなど、国内外を問わず顧客ニーズは多様化し、要求も高度化している。このような社会変動の中にあって、今後も当社は、技術開発を更に進め、受配電システム機器として付加価値の高い製品を提供することによって社会に貢献していく所存である。

参 考 文 献

- (1) 次世代電力システムにおける直流給配電の研究動向，電気学会技術報告，No.1215 (2011)
- (2) 真空遮断器・開閉器の技術動向，電気学会技術報告，No.1278 (2013)
- (3) 密封形変電設備の劣化保全技術高度化，電気共同研究，61，No.3 (2005)