

受配電システムの変遷と今後の展望



受配電システム製作所 主管技師長
七田浩一

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・照明など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、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・保守性の改善がなされてきた。また、近年でも、変化社会ニーズ(高効率、高信頼性、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、安全性・信頼性の更なる向上、運用効率の改善、省エネルギーの推進がなされている。

本稿では、当社受配電システム機器の歴史とそれを支える技術の歩みについて述べる。

2. 受配電システム事業を取りまく環境の変遷

受配電システムを取りまく社会のニーズ変遷は、電気工作物規定などが整備された1950年代から始まる(表1)。

2.1 1950年代

戦後復興を果たすための電力増強期であり、海外から導入された技術を基に国産化製品の普及が進む中で、安全

性・信頼性の向上、大容量化の社会のニーズとともに規定・法令の施行が求められた。

2.2 1960～1970年代

経済成長によって大規模プラントの新設が進み、動力源である電力需要が急増し、大容量化と同時に人口過密地域における用地確保の困難から省スペース化が求められ、安全性向上の観点から不燃化のニーズが高まった。

2.3 1980～1990年代

安定成長期から高度情報化期へ向かう中で、地価高騰による省スペース化のニーズが一層高まるとともに、労働力の不足から省力化が求められた。また、バブル経済期には急速な高度情報社会への進展と電力安定供給の観点から予測保全、電子機器化と設備の高信頼性ニーズが高まった。

2.4 2000年代～現在

持続可能な発展希求期として、地球温暖化、資源の枯渇等の環境問題への取組みが地球規模での最重要テーマとなっている。地球環境への悪影響を最小限にとどめつつ人間社会の継続的発展を図るための技術開発が求められ、省エネルギーや製品・材料の環境負荷低減ニーズが高まっている。プラント運転効率の向上と運用・保全コスト削減のニーズが一層高まり、LCC低減ニーズへと拡大してきている。さらに、グローバル市場での事業展開が一層加速される中、高電圧化・大容量化・安全性向上ニーズへの対応が必要であり、ユーザー、設計・施工会社、メーカーでの共

エネルギー

表1. 社会のニーズ変化と受配電システム技術の変遷

	1950	1960	1970	1980	1990	2000	2010
社会のニーズ	電力増強期 ・設備増強 ・安全性向上	高度成長期 ・用地事情の悪化→縮小化 ・安全性向上→不燃化	安定成長期 ・労働力の不足→省力化 ・電力の安定供給	高度情報化期 ・高信頼度化	高度情報化期 ・高信頼度化	地球環境負荷低減期(環境負荷・LCC) ・地球温暖化防止(京都議定書) ・RoHS発効	地球環境負荷低減期(環境負荷・LCC) ・地球温暖化防止(京都議定書) ・RoHS発効
受配電設備	屋外開放形	屋外/屋内閉鎖形	密閉縮小形(SF ₆)<GIS形>	密閉集積形(SF ₆)<C-GIS形>	密閉集積形(SF ₆)<C-GIS形>	密閉集積形(ドライエア複合絶縁)	密閉集積形(ドライエア複合絶縁)
中電圧スイッチギヤ	開放形 閉鎖形(キュービクル)	閉鎖形(メタルクラッド) ・多段積形	ガス絶縁スイッチギヤ(GIS) ・固体絶縁形(ミニクラッド)	キュービクル形ガス絶縁スイッチギヤ(C-GIS) ・薄型(前面操作・前面保守)	キュービクル形ガス絶縁スイッチギヤ(C-GIS) ・薄型(前面操作・前面保守)	複合絶縁縮小形スイッチギヤ ・超小型	複合絶縁縮小形スイッチギヤ ・超小型
中電圧遮断器	油遮断器(OCB) 空気遮断器(ABB)	磁気遮断器(MBB)	ガス遮断器(GCB) 真空遮断器(VCB)	磁気遮断器(MBB) 真空遮断器(VCB)	磁気遮断器(MBB) 真空遮断器(VCB)	真空遮断器(VCB)	真空遮断器(VCB)
低電圧モータコントロールセンター	・NC形	・E形 モータコントロールセンター	・G形 モータコントロールセンター	・V形 マルチモータコントロールセンター	・Z形 マルチモータコントロールセンター	・A形 マルチモータコントロールセンター	・B形 マルチモータコントロールセンター
電力監視システム	簡易直接監視盤・遠方監視盤	簡易直接監視盤・遠方監視盤	MELSAS-S 集中監視	MELSAS-S 集中監視	MELSAS-S 集中監視	MELSAS-S 省エネルギー・自動点検	MELSAS-S 省エネルギー・自動点検

OCB : Oil Circuit Breaker, ABB : Air Blast Circuit Breaker, MBB : Magnetic Blow-out Circuit Breaker, GCB : Gas Circuit Breaker, VCB : Vacuum Circuit Breaker, RoHS : Restriction of the use of certain Hazardous Substances

特集 I : 当社技術の変遷と将来展望

通課題として中国・ロシアの勃興に伴う国際標準化の重要性の高まりへの対応も急務となっている。

3. 事業や技術の変遷

3.1 中電圧スイッチギヤ

中電圧(72 / 84kVも含む)スイッチギヤは、電力供給の信頼性と安全性のニーズに対し、電気絶縁・開閉遮断・制御技術及び製造技術の進歩によって、機器単体を敷地に配置した開放形から、金属閉鎖形、密閉形(ガス・固体)へと発展しており、小形・軽量・省勢力化を追求してきた(表2)。

3.1.1 1950年代

主として米国から、遮断器とともにメタルクラッドスイッチギヤ技術を導入し国産化した時代であり、引出形遮断器による保守の安全性と利便化・省力化に対する配慮に加え、開放形から閉鎖形への小形・軽量化が行われた。

3.1.2 1960年～1970年代

省スペース化・不燃化のニーズに対応して進化し、収納する遮断器は、従来の油(OCB)・空気(ABB)・磁気遮断器(MBB)等からガス遮断器(GCB)、真空遮断器(VCB)へと置き換わった。三菱電機では、1967年にVCBを収納した“WV形”メタルクラッドスイッチギヤを発売した。これは多段積スイッチギヤで、箱体にアングルフレームを使用せず、現代の主流となっている鋼板折り曲げ構造が採用された。また、より小型化を目指した固体絶縁スイッチギヤが出現した。

3.1.3 1980年～1990年代

この年代では、保守スペースも含めた電気室の省スペース化ニーズに対応して、7.2kVの“FF形”薄型スイッチギヤを発売した(図1)。これは奥行きが700mmと極端に小さく、後面を壁に密着して据付け可能なため、バブル期のビル建設ラッシュと相まって需要を拡大し、前面操作・保守形態の特長的製品として現在まで長期にわたり適用されている。

また、地価高騰による省スペース化や省力化のニーズが一層高まった結果、36kV以下へのキュービクル形ガス絶縁スイッチギヤ(C-GIS)需要に対応して、1985年に“GS形”C-GISを製品化した。これは定格圧力を0.12MPa-gとしてGCBを搭載し、世界初となる3,000A定格の大容量化を実現した(図2)。これを端緒としてC-GISの開発は進み、1988年には24 / 36kV定格でGCB搭載の“GX-20 / 30G形”C-GISを、1992年には24kV定格でVCB収納の“GX-20V形”C-GISを発売し設備の小形・軽量化に大きく貢献した。1996年には72 / 84kVで一層の小型化を図り従来より更に省スペース化した“GX-70V形”C-GIS(図3)を発売した。タンクに革新的な薄板構造を適用した製品で、遮断器は当初2点切りVCBを搭載し、後に1点切り搭載へと発展した。

保護・計測・制御機器では、従来の電磁機械形やアナログ静止形に代わりデジタル形保護計測制御装置(図4)が標準搭載され、盤内配線ケーブルの削減とともにデジタル形が持つ自己診断機能や伝送システムによって受配電システム全体の高信頼度化と高機能化を実現している。

3.1.4 2000年～現在

SF₆ガス(地球温暖化係数:22,800)を使用した中電圧C-GISは、元々低ガス圧のためSF₆ガス使用量が少ない製品である。更なる使用量削減のための小型化、または脱SF₆ガスによる低炭素化の取組みが積極的になされた結果、2000年に、低ガス圧“ドライエア(地球温暖化係数0)”絶縁でVCB搭載の24 / 36kV複合絶縁“HS-X形”C-GISを発売した(図5)。7.2kVについては、2006年に低圧力(0.15MPa-g)の複合絶縁“HG-VA形”C-GISを発売、2007年には7.2kV“MG-VA形”C-GISを発売して国内受配電設備向けドライエア複合絶縁C-GISのシリーズ化を完了した。

また、保護と計測・制御機能を一体化したデジタル形保護計測制御装置は、測定電流60～600Aを1種類の定格変流比の変流器(図6)にも対応し、ワイドレンジ変流器とト

表2. 社会のニーズ変化と中電圧スイッチギヤ技術の変遷

	1950	1960	1970	1980	1990	2000	2010
社会のニーズ	電力増強期 ⇄ 高度成長期 ⇄ 安定成長期 ⇄ 高度情報化期 ⇄ 地球環境負荷低減期(環境負荷・LCC) ・設備増強・用地事情の悪化→縮小化・労働力の不足→省力化 ・地球温暖化防止(京都議定書) ・安全性向上→不燃化 ・電力の安定供給→高信頼度化 ・RoHS発効						
中電圧スイッチギヤ	開放形	閉鎖形(メタルクラッド)	ガス絶縁スイッチギヤ(GIS)	キュービクル形ガス絶縁スイッチギヤ(C-GIS)		複合絶縁縮小形スイッチギヤ	
	閉鎖形(キュービクル)	多段積形	・固体絶縁形(ミニクラッド)	・薄型(前面操作・前面保守)	超小型		



図1. FF形スイッチギヤ



図2. GS形C-GIS



図3. GX-70V形C-GIS



図4. デジタル形保護計測制御装置



図5. HS-X形複合絶縁スイッチギヤ



図6. 複合変流器

エネルギー

ラック形の零相変流器を一体注型した複合変流器を発表した。

海外対応では、操作・作業への安全配慮のニーズに対し、国際規格IEC62271-200に準拠した12kV“MS-E形”スイッチギヤを発売した。これは安全対策として全ての機械的インターロックを装備するとともに、内部事故アーク試験分類AFRLR 40kA 1sのIEC規格を満足している。

3.2 中電圧遮断器

中電圧遮断器は、1950年代の油・空気・磁気等の消弧媒体を使用したものから、電気絶縁・開閉遮断・制御技術及び製造技術の進歩によって、GCBからVCBへと発展し、小形・軽量・長寿命・省操作力化を追求してきた(表3)。

3.2.1 1950年代

OCB・MBBなどの技術を導入して国産化した時代であり、主としてメタルクラッドスイッチギヤへ収納される形態で、難燃化・軽量化が行われた。MBBについては1952年に“DH形”を製品化して以降、3～15kV級、遮断容量50～500MVAの製品が系列化された(図7)。遮断部を駆動する操作機構は、機械的なラッチ保持方式を用いた電磁ソレノイド機構が主流であった。

3.2.2 1960年～1970年代

高度経済成長によって電力需要が急増し、大容量化と同時に小型化のニーズが高まった。この間、絶縁・遮断技術の革新によって、GCBとVCBが市場へ投入され、1965年に“VPE形”VCB(7.2kV-8kA)を、1973年には“SFG形”GCB(36kV-25kA)を製品化した。1970年代後半からは、次第に大容量はGCB、中小容量はVCBという2種2極に淘汰(とうた)集約していく時代でもあった。大容量領域では、1979年に36kV級で“30-SFG-25A形”(図8)を発売し、海外向けを中心に急速に生産を拡大した。また、中小容量領域ではVCBの小型化が進展し、1979年に12kV級で“10-VPR-25M形”が発売された。その後、“VPR形”は24/36kVへと開発が進み、海外向けVCBのシリーズ化を実現

した。また、操作機構は、操作電流が小さく、操作電源がなくても開閉可能なばね操作機構が主流となっていった。

3.2.3 1980年～1990年代

高信頼度化、長寿命化、保守の省力化のニーズが高まった結果、遮断部が密閉されたGCBとVCBが主流となり、接地タンクの安全性と大容量に適したGCB、開閉寿命が長く保守が容易なVCBのそれぞれの特長を活かして、更に小形・大容量化・高機能化した製品が開発された。GCBは1985年に7.2kV / 63kAを1991年には12kV-80kA大容量品を発売した。

VCBは、1982年に真空遮断方式の重要課題であった低サージ真空バルブ(VST)の開発に成功した。7.2kV / 8・13kAと7.2kV / 20kAの遮断器にそれを搭載して製品化し、国内の7.2kV級VCBの領域でシェア拡大を図った。その後、適用領域を広げ、低サージVCBとしては7.2kV / 40kAクラスまで発売し国内の業界をリードしている。1997年には国内向け“VFシリーズ”と海外向け“VPRシリーズ”を統合標準化するとともに、“BH形”新ばね操作機構搭載の“Cシリーズ”(図9)を発売し国内外での生産を拡大した。

3.2.4 2000年～現在

小形、長寿命、保守の利便性からVCBが主流を占める時代となり高電圧化とともに、社会の環境負荷低減ニーズに対応し、省エネルギー化、製品・材料の環境負荷低減化が進展した。2004年には省電力化及び他社に先駆け、有害6物質を使用しない7.2kVの“VF-8 / 13D”VCB(図10)を発売し、国内での高いシェアを継続している。2004年にはC-GIS用で操作機構の機械保持に永久磁石を用いた電磁ソレノイド機構を搭載した24kV VCBを発売した。2010年には環境負荷・LCC削減ニーズに対応して、72 / 84kV級で低ガス圧ドライエア絶縁を実現し、遮断部に開閉寿命の長いVSTを適用したタンク形VCBを発売した(図11)。海外向けには、2012年に、最新国際規格IEC62271-100に

表3. 社会のニーズ変化と中電圧遮断器技術の変遷

	1950	1960	1970	1980	1990	2000	2010
社会のニーズ		電力増強期 ・設備増強 ・安全性向上	高度成長期 ・用地事情の悪化 ・不燃化	安定成長期 ・労働力の不足 ・電力の安定供給	高度情報化期 ・省力化 ・高信頼度化	地球環境負荷低減期(環境負荷・LCC) ・地球温暖化防止(京都議定書)	RoHS発効
中電圧遮断器	油遮断器(OCB)	空気遮断器(ABB)	磁気遮断器(MBB)	ガス遮断器(GCB)	真空遮断器(VCB) 電磁操作式→バネ操作式	(VCB)電磁操作式	
遮断器操作方式		電磁操作式(保持:機械式ラッチ)			電動ばね操作方式		電磁操作式(保持:永久磁石)



図7. DH形MBB



図8. SFG形GCB



図9. VPR-C形VCB



図10. VF-8 / 13D形VCB



図11. F-VPR形VCB

特集 I : 当社技術の変遷と将来展望

準拠するとともに欧州でのRoHS指令・REACH規制施行などの動きに対応して、有害6物質を使用しない12kV級の“10-VPR-32 / 40D形” VCBを投入した。これは、スイッチギヤの内部アーク事故を想定し、操作・作業への安全を配慮した外部引出操作方式とし、扉を閉めた状態でVCB移動を可能にしている。

3.3 低電圧モータコントロールセンター

モータコントロールセンター (MCC)は、社会ニーズに沿った機種を市場投入し、安全性・信頼性・保守性・環境への適合性の向上、小型化・高機能化を追求してきた(表4)。

3.3.1 1950年代

設備が増強される中、モータ制御装置を集中化した安全な全閉鎖形ニーズに対応し、1954年に国内初の“NC形”MCC(図12)を発売した。箱体の前後両面にコンパクトな引出構造ユニットを最大16台収納でき、限られた床面積に据付け可能であった。また配線用遮断器と連動したインターロック構造、母線とユニットの接続にグリップ(接触子)を採用する等、現在も要求されている基本機能を実現した。

3.3.2 1960年～1970年代

高度成長によって社会インフラが拡大していく中、1976年発売の“G形”MCC(図13)は、大容量系統へ対応し、短絡強度75kAを実現した“Z形”垂直母線、耐震性能と箱体強度を向上させた溶接構造の箱体、垂直母線との連結が確実なフローティンググリップを採用した。また、自動シャッターや絶縁母線、負荷側自動連結ユニットを採用し、現在の最新機種につながる信頼性と安全性を画期的に向上させた。

3.3.3 1980年～1990年代

1985年に発売した“V形”MCC(図14)は、3インターロック付き配線用遮断器操作ハンドルや、垂直母線を鋼板で遮

蔽した構造を採用し、安全性を更に向上させた。また、世界で初めてモータの監視・保護に必要な機能を1つのリレーで実現した“EMC-V形”マルチモータコントローラを採用した。さらに省力化ニーズに対応し、MCCで初めてCDL形伝送装置を採用することで、中央から現場の伝送接続による制御電線レスとし、配線工事の大幅削減を図った。

急激に情報技術革新が進展する中、1993年に発売した“Z形”MCCは、表示装置に液晶を搭載し、ラダーシーケンスを備え制御の柔軟性を高めた“EMC-Z形”マルチモータコントローラを採用した。また情報量の拡大によって計測精度が向上した“CDL形”伝送装置を採用した。

3.3.4 2000年～現在

1999年に発売した“A形”MCCは、環境負荷低減ニーズを受け、ノンハロゲン電線及び盤幅600mm箱体を採用し、200mmユニットの適用範囲を15kWより37kWに拡大して省資源・省スペース化を実現した。また、電力量監視で省エネルギー監視を可能とした“EMC-A形”マルチモータコントローラを採用した。

2008年に発売した“B形”MCC(図15)は、使いやすさをキーワードとして、視認性に優れた液晶・LED表示灯・配線用遮断器操作ハンドルを採用し保守効率化を実現した。また薄形大容量グリップの開発によって、引出形ユニット定格を400Aまで引き上げるとともに、長寿命グリースを採用した。さらに“EMC-B形”マルチモータコントローラは、保全支援機能の拡張、寿命部品(コンデンサと液晶)の交換を可能としLCC低減に寄与する製品である。

2010年には、海外市場への本格参入を目的に、大型プラント建設が見込まれる東南アジア、中東、南米等での高電圧・高遮断ニーズに対応し、ユニット幅/盤幅を拡張したIEC規格対応の“B形”ワイド盤を発売した。高遮断容量機器(最大690V / 80kA)などの高収納化を実現し、トータル

表4. 社会のニーズ変化と低電圧モータコントロールセンター技術の変遷

	1950	1960	1970	1980	1990	2000	2010
社会のニーズ		電力増強期 ・設備増強 ・用地事情の悪化 ・安全性向上	高度成長期 → 縮小化 → 不燃化	安定成長期 → 省力化 → 高信頼度化	高度情報化期 → 高信頼度化	地球環境負荷低減期(環境負荷・LCC) ・地球温暖化防止(京都議定書)	RoHS発効
低電圧モータコントロールセンター	NC形	E形 モータコントロールセンター	G形	V形 マルチモータコントローラ搭載モータコントロールセンター	Z形 マルチモータコントローラ搭載モータコントロールセンター	A形 マルチモータコントローラ搭載モータコントロールセンター	B形 マルチモータコントローラ搭載モータコントロールセンター
				GNF形分電盤		LIM形インバータ盤	



図12. NC形MCC



図13. G形MCC

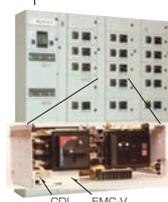


図14. V形MCC



図15. B形MCC

面数削減を可能にした。また、“EMC-B形”マルチモータコントローラは、海外市場でのデファクトスタンダード伝送であるModbus^(注1)-RTUに対応可能となった。

(注1) Modbusは、Schneider Electric SAの登録商標である。

3.4 電力監視システム

電力監視システムは、受配電設備の制御・監視の集中化による運転業務の効率化など、社会ニーズに沿った機種を投入して効率化と使いやすさを追求してきた(表5)。

3.4.1 1960年代～1980年代

1960年代は、ローカルな監視制御だけではなく、遠方からの監視制御が始められた。受配電設備との取り合いは、全点直結方式で構築していた(図16)。

1970, 1980年代は、中央監視室に設けられた監視制御盤にプラントの運転状態をビジュアル表示するため、大パネル面にプラント全体の諸設備の関係をグラフィカルに表したいというニーズに応え、グラフィックパネルを採用した。

3.4.2 1990年代

1990年代に入ると、プロセス計算機が本格的に制御に使用され、集中監視が行われるようになった。監視も設備個々の状態を把握する目的から、プラント全体の有機的な状態を把握するようになってきた。これらニーズに応えるため、集中監視型のMELSAS-Sを発売した(図17)。プロセス計算機の大形化・大容量化が進み、運転状態の履歴データの長期保存が可能となったことを受け、自動帳票機能や過去データとのトレンド比較機能を搭載した。

3.4.3 2000年代

2000年代になると、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にとっても設備の省エネルギーに寄与できる機能が求められるようになった。使用電力量を抑えるデマンド監視機能と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を搭載した。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を搭載した。さらに、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を搭載した(図18)。

2010年代になると、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MELSAS-Sを発売した。また、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、ユニバーサルデザインを適用し、デザインを一新した。

4. む す び

受配電設備に対する安全性、信頼性、環境負荷低減、LCC削減などの社会的ニーズは、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。また再生可能エネルギー拡大に基づく電源の多様化など、今後も国内外を問わず顧客ニーズは多様化・高度化されるものと考えられる。本稿で述べた受配電システム技術を更に発展させ、①真空技術の高度化と適用拡大、②ドライエア絶縁技術と固体絶縁技術の高度化による脱SF₆ガス機器拡大、③グローバル市場を見据えた共通プラットフォーム化、④状態監視技術の高度化・余寿命推定技術等のサービス事業の強化などに向けた付加価値技術開発と製品化を進め、受配電システム設備に対する一層の省メンテナンス化、環境負荷低減、さらには受配電システム機器としてのLCCのミニマム化等よって社会に貢献していく必要がある。

参 考 文 献

- (1) 藤本隆一, ほか：受配電システムの技術展望, 三菱電機技報, 78, No.12, 768～772(2004)

表5. 社会のニーズ変化と電力監視システム技術の変遷

	1950	1960	1970	1980	1990	2000	2010
社会のニーズ		電力増強期 ・設備増強 ・安全性向上→不燃化	⇔ 高度成長期 ・用地事情の悪化→縮小化 ・労働力の不足→省力化	⇔ 安定成長期 ・電力の安定供給→高信頼度化	⇔ 高度情報化期 ⇔ 地球環境負荷低減期(環境負荷・LCC) ・地球温暖化防止(京都議定書)		⇔ 地球環境負荷低減期(環境負荷・LCC) ・地球温暖化防止(京都議定書) ・RoHS発効
電力監視システム		簡易直接監視盤・遠方監視盤		MELSAS-S 集中監視		MELSAS-S 省エネルギー・自動点検	

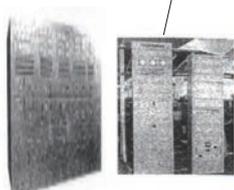


図16. 簡易直接監視



図17. 遠方集中監視



図18. 省エネルギー・省力機能強化