

# 受配電・制御機器コンポーネントにおける技術の変遷と動向

The transitions and trends of core technology for power distribution and control equipment

高橋 龍典 TAKAHASHI Tatsunori

クリーンエネルギー電源を扱う機器コンポーネントには、小型化かつ直流高電圧化の要求が高まっている。直流を遮断、開閉するには、機器の小型化に反して接点ギャップを大きくし、電源電圧以上にアーク電圧を瞬時に上昇安定させて絶縁性を確保する必要がある。この課題の解決に向けて、これまで交流で蓄積してきた受配電・制御機器のコア技術について、機種共通の基盤技術や固有の独自技術の変遷と動向を、商品とものつくりの観点で整理した。電流を気中で遮断、開閉する方法に縛られない有接点機器の技術分野を開拓することで、高信頼性を有する交直流相互の機器ブランドを目指す。

Demands are increasing for miniaturization, higher voltage direct current equipment that handles clean energy power sources. Interrupting and switching direct current requires a larger contact gap when equipment is miniaturized so that instantaneous rises of arc voltage over power-supply voltage can be stabilized and insulation quality can be ensured. To solve this challenge, Fuji Electric used a product and manufacturing perspective to pull together the transitions and trends of basic technology common to various types of equipment and unique inherent technology for the core technology of power distribution and control equipment, which until now has stored alternating current. By pioneering a contact-device technology field that is not constrained by methods for the interruption and switching of electric current in the air, Fuji Electric aims for brand of AC/DC interacting equipment with high reliability.

## 1 まえがき

富士電機の受配電・制御機器事業は、1950年代の超小型電磁開閉器の本格的な製造に始まり、以降、制御機器を拡充してきた。1960年代の配線用遮断器や漏電遮断器の製造開始とともに、36kV以下を網羅する受配電機器を製品化することで、両分野の商品全般に業容を拡大した。近年では、協業するフランス・シュナイダーエレクトリック社の製品もラインアップし、豊富な商品群を展開するに至っている。

これまでの商品は交流での適用が大半であったが、最近では直流の適用が活発になってきている。エネルギー・環境をキーワードに、太陽光発電や風力発電などの再生可能なクリーンエネルギーを安定した電源として利用するためである。

本稿では、受配電・制御機器コンポーネント分野の主要な商品とそのコア技術の変遷、ならびにその取り巻く環境の変化による新たな分野への商品と新技術の取組みについて展望する。

## 2 市場と技術の動向

### 2.1 商品化と技術の変遷

富士電機の受配電・制御機器コンポーネントにおける基幹商品は、電磁開閉器、受配電機器およびコマンドスイッチの三つに大別できる。

一つめの基幹商品である電磁開閉器は、当初ドイツ・シーメンス社からの技術導入により「RCシリーズ」として1954年に発売した。それ以降、「SRCシリーズ」「SCシリーズ」として小型・高信頼性のブランドを築きあげ、トップシェアを獲得して現在に至る(図1)。主回路接点

を電磁石駆動で制御し、遠隔的に開閉するシンプルな構成であり高い信頼性を実現している。また、1980年代のSCシリーズのように電磁石の駆動に電子制御を導入し、接点接触機能の最適制御による接点消耗の飛躍的な抑制など新技術の導入にも積極的に取り組んできた。接点部をパワー半導体で無接点化したソリッドステートコンタクトも開発した。また、このような産業分野で培ってきた高信頼性技術を生かし、「FMCシリーズ」など民生分野にも商品を拡充することにより、現在までの生産累計台数は3億台に迫っている。

二つ目の基幹商品である受配電機器では、その中核である配線用遮断器として、1960年代後半に独自の限流遮断技術を駆使した「Lシリーズ」の開発に続き、国内で初めての漏電遮断器を市場に投入した。以降、定格電流3,200Aに至る気中遮断器にまで商品バリエーションを拡大した。特に1990年代には、アーク制御による小型化と高遮断容量の技術を高めたことにより、それまで不可能とされていた配線用遮断器と漏電遮断器の外形寸法を同一にしたツ

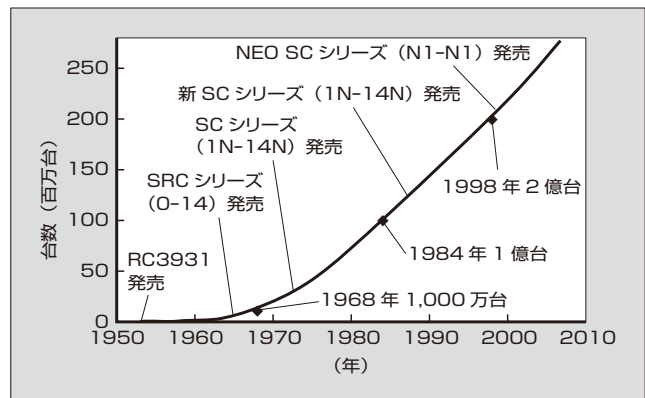


図1 電磁開閉器の累計生産台数の推移

インブレーカを開発し、その後の業界標準となった。さらに、交流 600 V クラスを超える中圧遮断器では、T シャルタ（極少油量遮断器）から、接点電極部を真空絶縁筒で覆う真空バルブ方式を適用することで、高電圧遮断領域を賄う小型の真空遮断器（VCB）へと技術転換を図った。

三つ目の基幹商品であるコマンドスイッチは、1959 年に初代のφ30 mm 丸穴取付け品「Rca470 シリーズ」を開発した後、独自のサイズに小型化したφ25 mm 対応品を経て、国際標準のφ22 mm 品へとラインアップを拡大してきた。これらの商品の生産には、高精密な金属加工と樹脂成形の部品製造技術をベースにしたアセンブリ量産技術を適用している。

こうした単体の機器類だけでなく、配電盤や制御盤で主幹から分岐への主回路系統を構成する主要部の通電状態を監視・保護する機器のニーズに応じて、6.6kV クラスの高圧受配電盤用にデジタル形多機能リレー「F-MPC60 シリーズ」を 1997 年に市場投入した。同シリーズは、マイクロプロセッサによるサンプリング制御を行い、保護継電器、電気指示計器、表示器および操作スイッチ機能を集約した。電磁形・静止形にはなかった自己診断と通信機能も備えており、電力監視の要望を受配電機器群としていち早く製品化した。さらに、低圧の配電盤や分電盤のきめ細かな電力監視を効率的に行えるように、単回路や多回路形の監視ユニットをラインアップした「F-MPC04 シリーズ」の拡充により、エネルギー監視による省エネルギーと受配電・制御機器コンポーネントのシステム化のニーズに柔軟に対応してきた。

## 2.2 取り巻く市場ニーズと技術動向

これまでの低圧受配電・制御機器コンポーネントは 600 V 以下の交流適用が主な用途で、750 V 以下の直流適用の需要は少なかった。しかし、最近では大規模な太陽光発電設備用パワーコンディショナなどクリーンエネルギーを電源とする電気設備装置で、1,000 V クラスの直流高電圧のニーズが増えている。従来は交流 600 V 以下での産業用ニーズに対応してきたが、家庭や商業用施設などの領域にも直流高電圧の用途が拡大しつつある（図 2）。

具体的な直流適用例としては前述のクリーンエネルギー

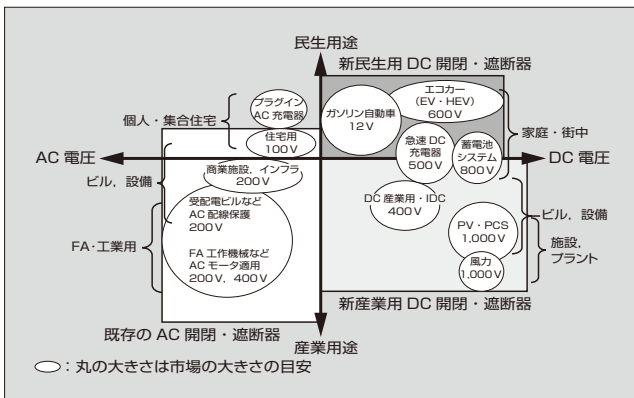


図 2 受配電・制御機器の交流/直流適用分野と動向

だけでなく、国内のビルや設備系で交流 200 V クラスからデータセンターなどの直流 400 V クラスへの移行が検討されている。住宅用にも、交流 100 V クラスから太陽電池などの直流高電圧を使用するスマートハウス用途への進化が見られる。

また、2011 年の東日本大震災での経験から商用電源だ

表 1 受配電・制御機器コンポーネントを構成するコア技術

商品化技術	電磁界技術	
	接点開閉技術	
	遮断・絶縁技術	
	光照射表示技術	
	安全化適用技術	
	環境適用技術	
	材料技術	材料物性・工学技術 材料分析技術
機械技術	機械要素 構造・構成技術 パッケージング メカニズム技術 騒音振動技術 トライボロジー 熱冷却	
情報処理技術	組込ソフトウェア・システムソフトウェア 言語プログラミング Web, OSS, ASP 通信ネットワーク、 プロトコル	
電気電子技術	デジアナ回路技術 マイコン応用技術 EMC 技術 センシング技術	
シミュレーション技術	現象分析技術 CAE 適用技術	
製造・生産技術	精密金属加工技術	プレス加工技術 レーザー加工技術 曲げ絞り加工技術
	精密樹脂成形技術	射出成形技術 熱硬化成形技術 インサート成形技術 インライン成形技術
	量産金型技術	単型プレス加工技術 順送プレス加工技術
	締結・接合技術	ろう付け接合技術 溶接技術 接着技術
	表面処理技術	めっき技術 塗装技術
	量産組立技術	自動化組立技術 治具、専用機械 クリーン化技術
	ライン生産管理技術	部品、部材供給技術 最適在庫技術 商品供給技術
設計管理技術	設備・保全技術	
	2-3D/CAD 技術	CAD・CAM・CAT
	設計製図	図面管理 公差設計
品質・評価技術	開発マネジメント	
	ライン検査技術	
	トレーサビリティ技術	

機器を支える基盤技術・生産技術

けに依存することの危うさが顕在化し、停電が長く続いた場合の対策の必要性が認識され、家庭でも太陽電池を含めた蓄電池設備の導入に関心が高まっている。電気自動車(EV)に搭載の電池を蓄電池設備として連系したスマートコミュニティの構想もあり、直流高電圧に適用できる小型で安価な電路開閉および保護機器のニーズが急速に高まるものと思われる。

受配電・制御機器の交流・直流適用分野は、図2に示すように、交流低電圧で産業用途の左下領域から次に示す二つの領域に拡大するものと思われる。一つは、データセンターや新エネルギーといった右隣にある直流高電圧の新産業分野への拡大である。もう一つは、EV・HEVなどエコカーの電池を電源に適用する右上方向への新民生分野への拡大である。

### ③ 受配電・制御機器コンポーネントにおける技術開発

受配電・制御機器コンポーネントにおける技術開発の構成を要素技術ごとに整理し、表1に示す。コア技術は、低圧配電システムの電気回路における短絡や過負荷による過大電流を保護する配線用遮断器、および地絡・漏電を保護する漏電遮断器を軸とする受配電機器群、ならびに電動機の始動・停止や過負荷、欠相運転を防ぐ電磁開閉器を軸とする制御機器群から抽出したものである。共通する主要構成は主回路の過負荷電流を検出し、その出力信号をきっかけに接点を開閉する駆動メカニズムが心臓部を成す。開閉する接点と接点開離時に発生するアーク消弧部による遮断・絶縁機能がこれに続く。商品化への技術開発だけでなく、設計、生産、品質保証においても新技術開発に挑んでいる。

受配電・制御機器コンポーネント全般にわたる共通基盤技術をプラットフォームとして、各機種に富士電機ならではの工夫を凝らした応用的な独自技術を開発し、適用している。

#### 3.1 基盤技術

##### (1) 受配電・制御機器コンポーネントの外郭筐体

商品化の基盤となる技術開発として、図3にSCシリーズの電磁接触器を例に、材料の観点から受配電・制御機器コンポーネントの外郭筐体(きょうたい)の変遷を示す。

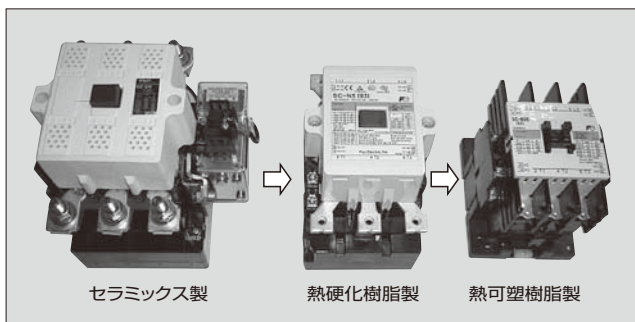


図3 外郭筐体の材料の変遷

当初は、有接点機器に特有の接点開離時に発生するプラズマアークに対する耐熱性のため、消弧部を覆うセラミック製の筐体を上部ケースとして採用していた。その後、アークの消炎抑制技術などにより、熱硬化性の樹脂成形材が使用できるようになり形状設計の柔軟性を得た。近年は、リサイクル性を考慮した熱可塑性の樹脂成形材に移行し、さらに環境に配慮した非ハロゲン難燃剤含有のUL規格に適合した高耐熱性を持つ外郭筐体や通電接触部を持つ部品を採用するようになった。

##### (2) 要素技術

電磁接触器は、電気的な開閉寿命として200万回、機械的な開閉寿命として1,000万回の高寿命を持つ。その接点可動と保持の機構部材の組合せ部位に、接触摺動(しゅうどう)を維持しながら保持する機能部分の潤滑性被膜や、相互材質の表面改質といったトライボロジーを考慮した摩擦低減の要素技術の開発に取り組んできた。また、低圧遮断器の高面圧となる引き外し掛け金部分などは、グリースの長期安定性と相反する粘性や塗布量均一化のバランスを改良する必要がある。このため、地肌となる金属表面処理と面粗度との最適な組合せによる部材強度と動作時摩擦の関係性を追求し、改良とノウハウの蓄積を地道に続けている。

##### (3) 設計技術

1980年代後半のパソコン全盛となる以前からワークステーション上で動作する、UNIXをOSとする三次元CADソフトウェアを導入し、1991年発売の初代ツインプレーカの開発設計に適用した。当時、黎明(れいめい)期であったCAMと連携して板金部品のCADデータを図面なしでワイヤカット加工機に直接読み込ませて、試作品製作期間の短縮を図った。さらに、ラピッドプロトタイプング機も導入し、樹脂部品試作の開発期間を大幅に短縮した。同時に三次元CADのデータをCAEに連携させて、遮断器の接点開閉機構の動作解析ソフトウェアを開発し、超小型リンク機構を採用したツインプレーカやコマンドスイッチの開発に活用した。図4に配線用遮断器で適用した接点開閉機構の解析例を、図5にコマンドスイッチのマイクロアクチュエータへの適用例を示す。先駆的な解析手法や環境整備により、設計者が自ら専門的に扱えるシミュレーション技術を確立した。

規格への対応としては、商品立上げの黎明期は国内規格対応を優先した。次に、各海外規格ごとに対応した商品化を行い、現在では「G-TWINプレーカ」のように、1台でほとんどの各種海外規格に適合するグローバル標準化思想を取り入れている。

##### (4) 製造・生産技術

鉄心自動計量かしめ機や静電塗装機、板金や機械加工のNC化などに加え、1980年代のワイヤカット機の導入により、複雑かつ精密な金型製作が大幅にスピードアップした。また、型内タッピングユニットの開発により、金型内で異種の部品を同時に加工する複合加工技術にも取り組んだ。

部品の表面処理では、遮断器可動接触部などの通電と摺

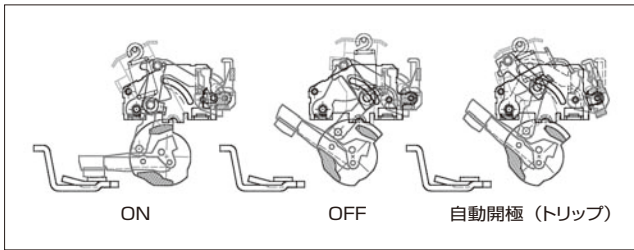


図4 配線用遮断器で適用した接点開閉機構の解析例

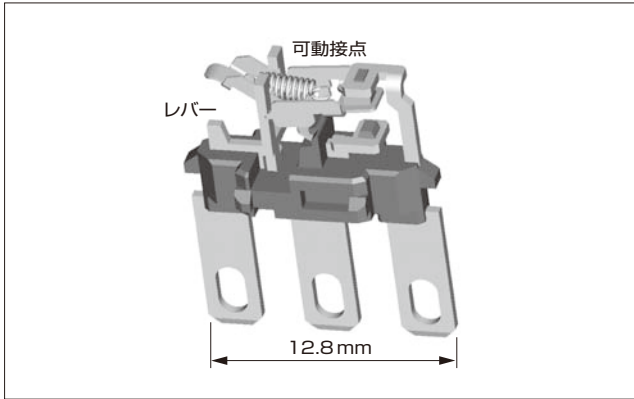


図5 コマンドスイッチにおけるマイクロアクチュエータへの適用例

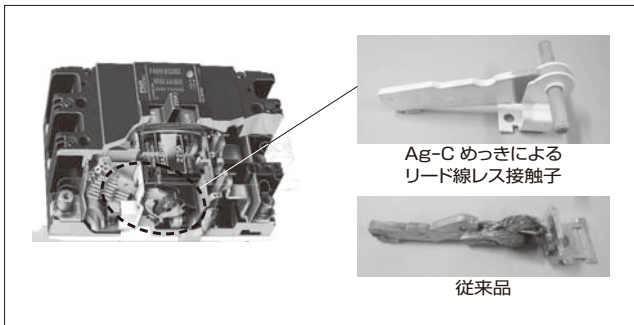


図6 ツインブレードに適用したAg-Cめっき例

動機能部の部材銅表面にAg-Cを施した機能めっきを独自に開発し、通電摺動部を小型・高性能化した(図6)。

CO<sub>2</sub> レーザ切断やNC 折り曲げ加工などの技術も、ワイヤカット機とともに1980年代から業界に先駆けて導入した。生産面では、電磁開閉器の小型機種自動化ラインの立上げやかんばん方式の導入、日々の生産計画と受発注のオンライン化、電磁開閉器手組み機種のセル生産方式などにより、今日の変種変量生産の基礎を築いた。

### 3.2 固有技術

#### (1) 電磁開閉器への小型アクチュエータ技術

電磁開閉器は、モデルチェンジごとに小型・高性能のニーズに応えてきた。特に直流操作形では、コイル容積増のため交流操作形よりも外形が大きかった。このため、図7(a)に示すようにコイル両側の永久磁石と組み合わせることにより、2.2kWクラスで1.2Wの超低消費駆動電力で、交流操作形と同じ外形寸法となる世界最小のミニコンタク

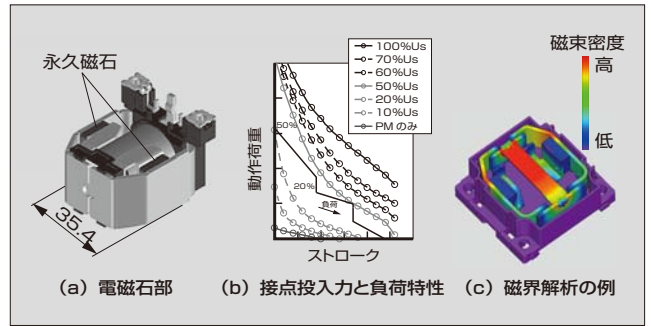


図7 電磁開閉器の電磁石部の小型化

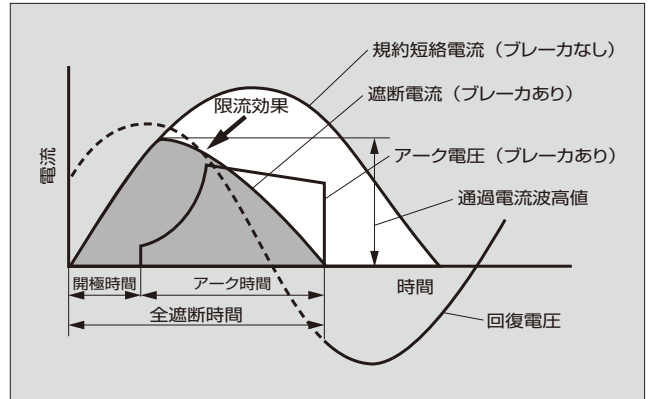


図8 高遮断容量を迫及した限流遮断特性

タ「SK シリーズ」を新商品として投入した。

超小型化に寄与した永久磁石とコイルを組み合わせたアクチュエータの開発では、図7(b)に示す接点負荷力の折れ線に重ならないように、コイルの駆動電圧を定格の50%で投入動作し、定格の20%で解放動作するように低消費電力化した。このために図7(c)に示すように三次元CADにおいて電磁界解析を積極的に活用した。

#### (2) ツインブレードへの限流遮断技術

配線用遮断器・漏電遮断器の外形式法の統一という業界標準を築いたツインブレードは、小型化・高遮断容量化の技術開発の積重ねであった。最初に市場投入したL形から図8に示す限流遮断特性をコンパクトに収めるために、「EA・SAシリーズ」を経て、ツインブレード以降の遮断時可動接点反転メカ、ブローアウト磁石、2接点間開極によるアーク駆動制御を開発した。さらに、アークガス流制御やフォーク式2接点直列遮断などの高度な遮断技術の開発を行ってきた(図9)。これらの技術開発が実を結び、最新のG-TWIN ブレードの商品化につながった。

#### (3) 製造・生産における固有技術

異種金属部材の接合には独自の工夫を凝らしている。例えば薄銅板を加熱しながらプレスで圧着するろう付け技術や、拡散接合の技術などを開発して省銀と金属接合の信頼性を高めてきた(図10)。特に拡散接合の技術では、従来は、電磁開閉器などの銀合金接点を銅母体の接点台にろう材を挟んで双方を接合するガスろう付けによる方法であったが、AgとCuの共晶反応を応用することでろう材を用いることなく直接接合した。

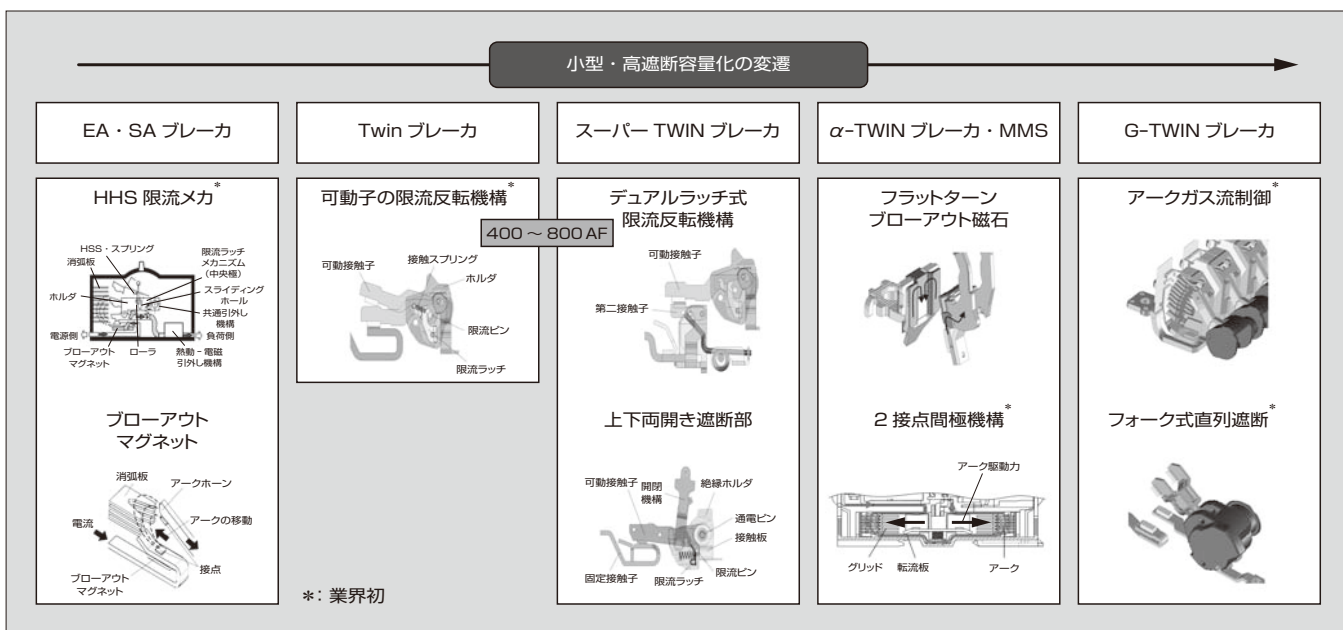


図9 配線用遮断器の高遮断容量化への技術開発

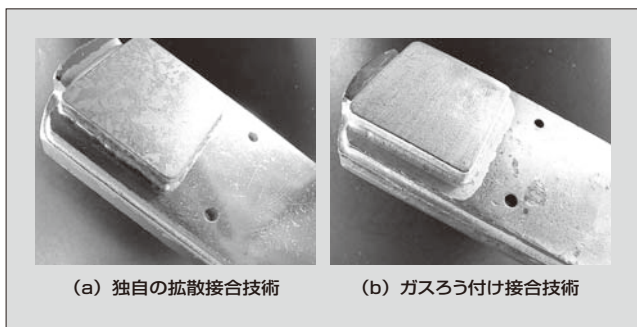


図10 電磁開閉器の接点接合の例

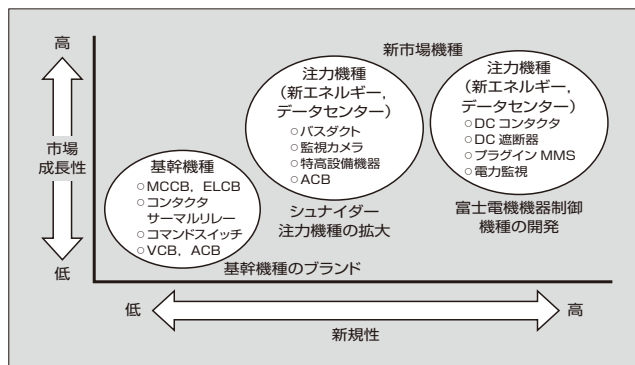


図11 新分野新市場に向けた施策 (3ヵ年ローリングプラン)

接合の固有技術においては、特に長期間にわたり技術開発を継続し、技術レベルを向上することで長期信頼性を向上させてきた。例えば、真空遮断器の要である接点電極部を真空にした絶縁バルブでは、熱膨張率が異なるセラミックと金属間接合に、メタライズ層を介したろう付け技術を採用している。

高精度な製造・生産技術では、操作表示機器に接点部のタイパー加工方式を採用している。この高度な加工方式は、今日にも引き継がれている。精密機構などのミクロン単位の寸法精度が要求される精密部品の金属条を加工段階で連続的に結び付けながらアセンブリ直前で切り離すことにより、高い位置精度を保つ自動化組立てを実現してきた。

4 新分野・新市場開拓と将来へのイノベーション技術

富士電機は、“3ヵ年ローリングプラン”において新市場の開拓に向け、新エネルギー用途とデータセンター分野に適用する直流・高電圧対応機器を注力開発する方針を表明した(図11)。

この先駆けとして、大規模太陽光発電装置(メガソー

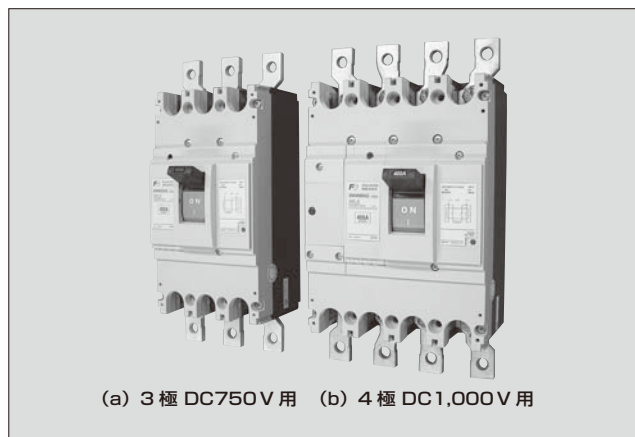


図12 「G-TWIN シリーズ」の高電圧直流ブレーカ

ラー)向け直流高電圧回路用ブレーカを開発した(図12)。「G-TWIN シリーズ」400~800 AFと同一外形でありながら、JISだけでなく、IECといったグローバル規格に対応している。従来は直流600Vクラスが上限であったが、開発品では3極品で直流750Vまで対応し、4極品では直流1,000Vまでの高電圧領域を網羅する。直流高電圧では、

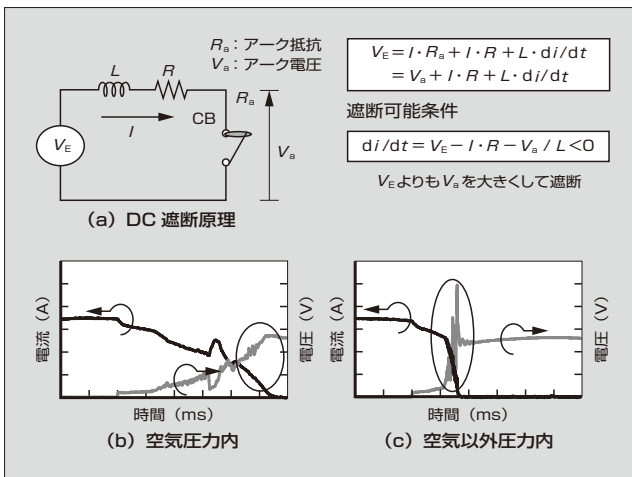


図13 高電圧直流遮断の基礎検討

交流のように電流ゼロ点がなく、短ギャップではアークが持続して遮断不能になるため、絶縁回復を考慮した電源電圧以上のアーク電圧を発生させる必要がある。本開発品は、前述した直流消弧部に発生するアークガス流制御とアーク駆動用永久磁石の組合せ方式を採用した。高電圧直流遮断を短ギャップで接点开極するため、ミニコンタクタ SK シリーズの開発でも適用した電磁界解析手法を応用することにより、アーク駆動を効果的に制御して小型化を実現した。

今後、1,000 V 以上の高電圧直流遮断が可能な小型の受配電・制御機器コンポーネントへのニーズが高まっていくことが予想される。アプローチとしては、半導体と有接点機器によるハイブリッド式の遮断原理の構成が考えられる。また、真空遮断器の真空バルブのような気密容器内での電極入り封止チャンバーの小型化や真空だけでなく、遮断時のガス流制御がさらに進化した空気以外のガス密閉内での直流遮断などが挙げられる。

図13に、ガス雰囲気チャンバー内での高電圧直流遮断の原理を示す。アーク電圧を瞬時に立ち上げて安定的に絶縁回復する技術開発が、今後の直流適用における受配電・制御機器コンポーネントの次世代につながる鍵を握るものと思われる。

## 5 あとがき

受配電・制御機器コンポーネントにおける技術の変遷と動向について整理した。産業用途の汎用機器には家電のような消費財が持つ派手さはないが、社会の安心と安全なインフラを支える使命がある。富士電機は、60年近い有接点機器開発の歴史があり、信頼のブランドを築いてきた。今後は、アークレス交流開閉器やブレーカといった有接点機器の無接点化・ハイブリッド化の実現を目指し、将来の商品開発として夢の実現に浪漫を抱きつつも、足元は着実に基礎技術を積み重ねていきたい。将来のエネルギーと環境技術を切り開く新たな気持ちで、富士電機ならではの新技術の開発に邁進（まいしん）し、豊かな社会への発展に貢献していく所存である。

## 参考文献

- (1) 久保山勝典ほか. 開閉, 操作・表示, 制御機器の現状と展望. 富士時報. 2010, vol.83, no.2, p.146-149.



### 高橋 龍典

受配電・制御機器コンポーネントの設計・開発および全社技術企画に従事。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長。機械学会会員。



\*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。