

受配電・開閉・制御機器コンポーネントの環境対応材料技術

Environmentally-Friendly Material Technology for Power Distribution, Switching and Control Equipment Components

原 永治 HARA, Eiji

岩倉 忠弘 IWAKURA, Tadahiro

吉澤 利之 YOSHIKAWA, Toshiyuki

受配電・開閉・制御機器コンポーネントでは、RoHS 指令などの環境規制の強化や地球温暖化などの環境問題への対応のため、使用材料に対する要求が年々厳しくなっている。

富士電機は、金属材料について接点のCdフリー化を推進し、耐消耗性や温度上昇値の目標を達成して、これを実現した。また、高分子材料について、絶縁部品に使用する熱硬化性樹脂を熱可塑性樹脂へ代替することや、熱硬化性樹脂における廃棄物の削減（リデュース）を実現した。

With distribution, switching and control equipment components, requirements for employed materials are becoming stricter year by year due to the tightening of environmental regulations such as the RoHS Directive and to address environmental issues including global warming.

Concerning metal materials, Fuji Electric has worked on eliminating Cd from contacts and realized it by achieving the wear resistance and temperature rise targets. For polymeric materials, we have successfully replaced thermosetting resin in insulating parts with thermoplastic resin and reduced waste in thermosetting resin.

1 まえがき

受配電・開閉・制御機器コンポーネントでは、グローバルに対応した製品開発が必須となっている。その中で、2003年発効のRoHS指令^(注)を発端に、環境保護や健康の観点から有害物質を制限する規制が広がっている。

本稿では、環境対応の動向と、富士電機が現在開発している金属材料と高分子材料における環境対応材料技術について述べる。

2 環境対応の動向

2.1 EUの主要な環境規制

RoHS指令により、2006年7月から、カテゴリ1~7、10（家電、玩具など）が他のカテゴリに先行して、6種類^(注)の特定有害物質〔鉛（Pb）、水銀（Hg）、カドミウム（Cd）、六価クロム（Cr⁶⁺）、ポリ臭素化ビフェニル（PBB）、ポリ臭素化ジフェニルエーテル（PBDE）〕の含有率を極めて低い指定値以下に抑えることが義務化された。受配電・開閉・制御機器コンポーネントは監視・制御機器に含まれ、2014年7月から正式に適用対象となった（図1）。

分類	カテゴリ	年	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
RoHS指令の適用	CAT.1~7 CAT.10 家電~玩具 自動販売機		2006年7月~ 含有禁止							
	CAT.8 医療用機器				含有禁止 (IVD*以外)			含有禁止 (IVD含む全て)		
	CAT.9 監視・制御機器					含有禁止 (産業用以外)		含有禁止 (産業用含む全て)		
	CAT.11 CAT.1~10 以外の機器									含有禁止
適用除外用途の見直し					延長申請の審議		適用除外の廃止 (延長不可の場合)			
制限物質の見直し				追加制限物質の決定				追加制限物質の含有禁止? (未確定)		
				7/22		7/22	7/22		7/22	

*IVD : In Vitro Diagnostic (対外診断用)

図1 改正 RoHS 指令のタイムスケジュール

〈注〉 RoHS 指令：電気・電子機器に含まれる特定有害物質の使用制限についてのEU（欧州連合）の指令

2.2 国内の環境対応の動向

国内では、地球温暖化などの環境問題を解決するため、環境調和型経済社会の構築に向け、企業においても製品を通して消費電力量やCO₂の排出量を削減することが求められている。さらに、「循環型社会形成推進基本法」により、企業に対して循環型社会の形成に向けた3R（リデュース：廃棄物の発生抑制，リユース：製品や部品の再使用，リサイクル：原材料としての再利用）の推進、および鉱物資源の安定供給の確保に向けた非鉄金属資源のリサイクルや代替材料開発の推進が求められている。

高分子材料においても、3Rを推進する動きが急速に高まっている。産業廃棄物として捨てられていた熱硬化性樹脂部品について、廃棄量の削減（リデュース）、熱可塑性樹脂への代替、製造現場でのリサイクル、ならびに回収した部品のリユースやリサイクルが進められている。

③ 金属材料における環境対応

3.1 富士電機のこれまでの取組み

富士電機では、Cr⁶⁺含有のクロメートやPb入りはんだなどのRoHS指令の制限物質について、2005～2006年に関連メーカーとともに代替技術の開発と切換えを行っている。ただし、接点に含まれるCdについては、RoHS指令の適用除外用途〔付属書Ⅲ-8(b)〕であることや、AgCdO系の接点が電気接点に要求される耐消耗性や耐溶着性などの特性のバランスに優れていることから、高い電気的性能や長寿命が要求される受配電・開閉・制御機器コンポーネントの一部の製品に継続して使用してきた。

しかし、RoHS指令の適用除外用途の見直しが検討され、将来、AgCdO系の接点が使えなくなることが想定されている。そこで、規制に先行して受配電・開閉・機器コンポーネントの全ての接点のCdフリー化を推進している。

3.2 低圧遮断器用接点のCdフリー化

受配電・開閉・制御機器コンポーネントの心臓部である接点には、図2に示すとおり“安定した開離機構”と“安

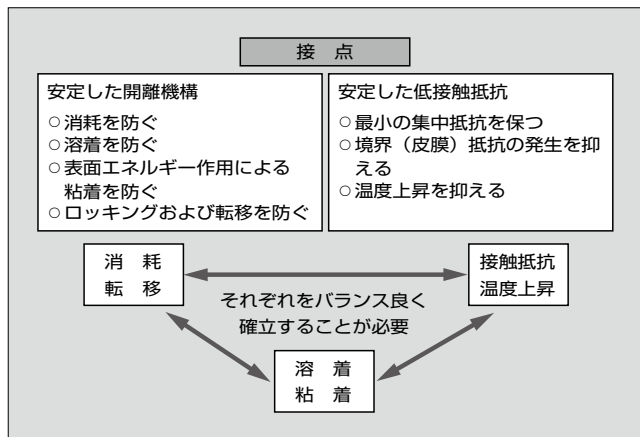


図2 接点の基本特性

定した低接触抵抗”が要求される。これらの特性を満足させるには、製品構造、電気的機械的特性、さらには量産性（組立性、コスト）などの最適化が必要である。しかし、接点では、一つの特性を改善すると他の特性が犠牲となることが多く、いかに特性のバランスを取るかが重要である。

低圧遮断器へ適用するCdフリー接点には、銀酸化不溶系（AgSnO₂系）や銀タングステンカーバイト／銀タングステンカーバイトカーボン系（AgWC/AgWCC系）の接点が挙げられる（表1）。

今回、これらの2種類のCdフリー接点について製品評価を行った。その結果、AgSnO₂系の接点では、耐消耗性や耐溶着性に問題がなく、低遮断容量から中遮断容量の製品に適用できることを確認した。一方、AgWC系の接点では、既に大電流定格の製品で使用している接点と同じ組成のものは、耐消耗性などの仕様を満足できなかった。

そこで、可動接点、固定接点それぞれについて、構成粒子の微細化、均一分散化、緻密化を行うことで耐消耗性や温度特性を改善し、併せて開離機構を見直すことで接点への熱的な負荷の低減を図った。

図3に、組成改善前と改善後の接点について、遮断試験後の断面写真を示す。改善前は固定接点が消滅しているのに対し、改善後は接点が残存している。また、可動接点、固定接点それぞれの厚みをパラメータとして遮断試験後の消耗量との関係を見極めることで、可動接点と固定接点のボリュームの最適化も図った。

図4に、AgCdO系の接点とAgWC/AgWCC系の接点の一例について、遮断時のアークエネルギーと可動接点の体積消耗率の関係を求めた結果を示す。

AgCdO系の接点は最も消耗が少なく、AgWC/AgWCC系の接点（改善前）はこれに及ばない。ただし、AgWC/AgWCC（改善後）の接点では、アークエネルギーの高い

表1 低圧遮断器用のCdおよびCdフリー接点

接点材料	特徴	性能*			適用電流領域
		耐消耗	耐溶着	接触抵抗	
AgCdO	40年以上の使用実績がある。内部酸化法などにより性能は大幅に向上した。CdOは昇華するので温度的に有利である。	○	○	○	小～中電流
AgSnO ₂ +α	Cdの代替として最有力である。Inなどの添加で性能は大幅に向上した。	◎	○	△	
AgWC/AgWCC	融点の高いWを多量に添加して耐アーク性を改良している。さらに、WCにすることでWの酸化を抑制している。また、固定接点のAg-WC-Cと組み合わせて接触抵抗を改善している。しかし、Ag-WC-C接点は消耗が激しい。	△	◎	○	中～大電流

*性能 ◎：優秀 ○：良好 △：やや劣る

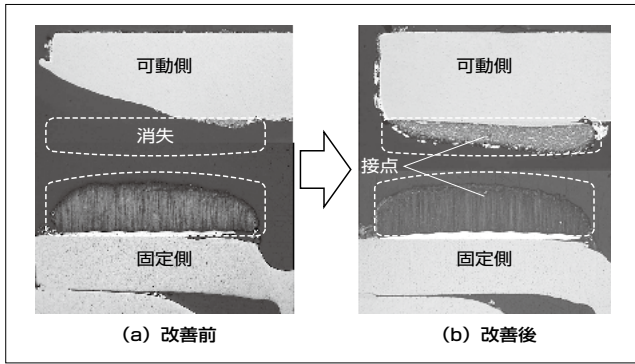


図3 遮断試験後の接点の断面写真

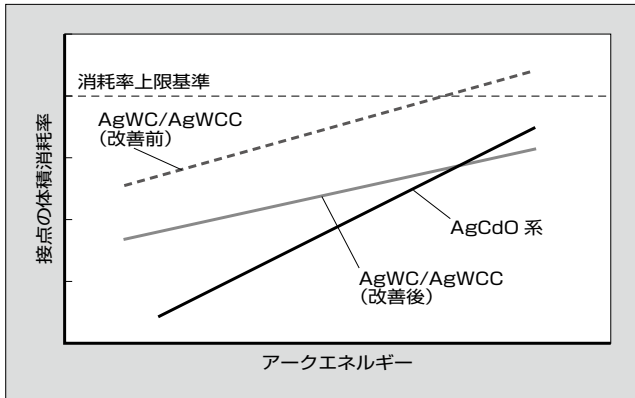


図4 遮断時のアークエネルギーと可動接点の体積消耗率

領域では AgCdO 系の接点との差異がなくなり、消耗に対する問題はないことを確認した。

溶着や温度上昇の問題に対しては、WC 濃度や C 濃度の最適化を図ることで製品仕様を満足させることができた。

4 高分子材料における環境対応

4.1 「SK シリーズ」の部品の熱可塑性樹脂化

小型電磁接触器に使用するプラスチック材料の変遷を図5に示す。1965年に発売した「Sシリーズ」では、下部フレーム、上部フレームおよび接点支えの部品に熱硬化性樹脂（フェノール樹脂）を適用していた。その後、1988年に発売した「SCシリーズ」では、部品の生産性の向上（リサイクル）や小型化のため、下部フレームに薄肉成形が可能な熱可塑性樹脂の適用を進めた。

「SKシリーズ」では、市場要求である、さらなる小型化に対応するために、通電保持機能を持つ上部フレームや接点支えの熱可塑性樹脂化が必須であった。部品の熱可塑性樹脂化において、過負荷電流の通電時に発生する通電発熱やアークに対する耐熱性（形状維持性、耐消耗性）を向上する必要があった。

そこで、「SKシリーズ」では通電部品である接点台の導電率を上げることや断面積を増やすことで、通電時の発熱を低減した。さらに、通電保持部品である接点支えには、溶融や変形がなく、耐消耗性に優れている高融点の熱可塑性樹脂を適用することで耐熱性を満足し、体積比較で「SCシリーズ」から15%減の小型化を実現した。熱可塑性樹脂としては、エンジニアリングプラスチックやスーパーエンジニアリングプラスチック（芳香族ナイロン、架橋ナイロン）を用いている。それらの特性を表2に示す。

4.2 「MULTI.VCB」の絶縁シャフトの廃棄物抑制

「MULTI.VCB」は電力供給の安定性や信頼性の向上を図った高圧遮断器であり、各部品には安定した強度・耐電圧性能が要求される。

特に MULTI.VCB の絶縁シャフト（図6）には、機構部

シリーズ	Sシリーズ	SCシリーズ	SKシリーズ
外 観			
体 積	338 cm ³	343 cm ³	292 cm ³
下部フレーム	熱硬化性樹脂	熱可塑性樹脂	熱可塑性樹脂 (エンジニアリングプラスチック)
上部フレーム	熱硬化性樹脂	熱硬化性樹脂	熱可塑性樹脂 (エンジニアリングプラスチック)
接点支え	熱硬化性樹脂	熱硬化性樹脂	熱可塑性樹脂 (スーパーエンジニアリングプラスチック)
販売期間	1965～1988年	1988年～現在	2011年～現在

図5 小型電磁接触器に使用するプラスチック材料の変遷

表2 各種プラスチック材料の特性比較

プラスチック材料	強度	耐熱性 (融点)	リサイクル
熱硬化性樹脂	中	なし	不可
熱可塑性樹脂 (エンジニアリングプラスチック)	高	200~ 270℃	可
熱可塑性樹脂 (スーパーエンジニアリングプラスチック)	高	290~ 350℃	可

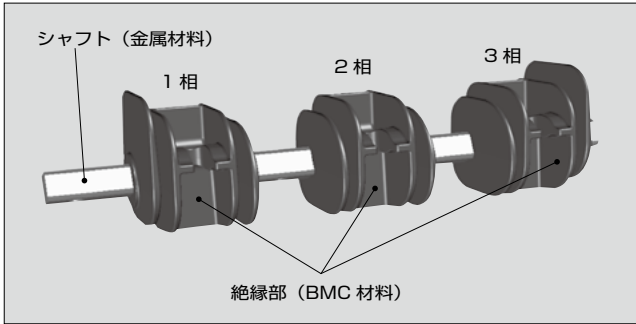


図6 「MULTI.VCB」の絶縁シャフト成形品

品として、3相の真空バルブ内の接点を開閉する機能と相间絶縁性の確保が要求される。そのため、熱硬化性樹脂であるBMC（ポリエステルプリミクスを用いたバルクモールドニングコンパウンド材料）に金属製のシャフトを挿入して圧縮成形を行う生産方式で製造している。BMCは、電気的特性、耐熱性、寸法安定性および機械的特性に優れた材料であるが、材料のリサイクルが難しいため、不良部品は産業廃棄物として処理されている。そこで、廃棄物抑制に向けて不良部品の低減を検討した。

MULTI.VCBの開発における絶縁シャフトの試作段階で、成形品内部に欠陥（ポイド、クラック）が発生し、耐圧不良率が40%であった。そこで、部品形状や金型構造および成形条件について要因分析を行い、表3に示す改善を実施した。

材料流動については、耐電圧が必要な箇所に内部欠陥が生成しやすいウェルドライン（樹脂の流れが合流する線）が発生しないように、肉盛りやコーナー部の丸みの変更など部品形状の最適化を行った。

絶縁シャフト金型は、図6に示すように絶縁部が3相に分割しているため、各相について適量に計量したBMCを金型に置いて圧縮圧力と加熱で成形する。各相の材料量の違いにより、各相間の圧力が大きくなり欠陥が発生する。そこで、3相独立して加圧できる金型構造（図7）を採用することで圧力の安定化を図った。

併せて、金型に圧力センサを組み込み、図8に示すように内部圧力が見える化を行い、生産現場で成形条件の最適

表3 耐圧不良（内部欠陥）の要因と対策

要因	対策（改善因子）
材料流動	流動調査での形状最適化（部品形状）
分離した構造による 内部圧力の変化	金型圧力方式の変更（金型構造）
	金型内部圧力の監視（成形条件）

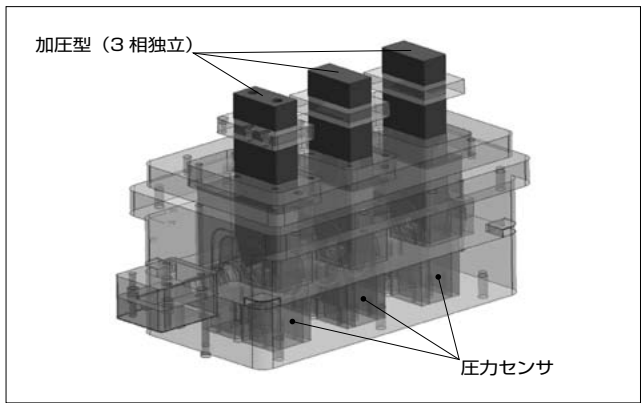


図7 絶縁シャフトの金型構造

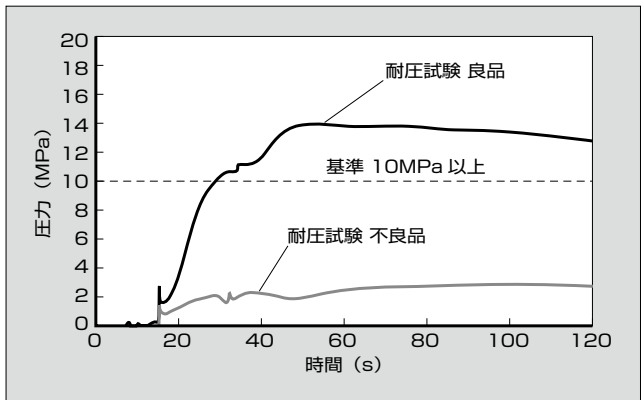


図8 金型の内部圧力

化と生産管理値の設定を行うことで、成形品内部の欠陥を削減した。

これらの対策により、試作時で40%あった耐圧不良率を量産・発売時には完全になくすことで、廃却物を削減し、環境負荷の低減を実現した。

5 あとがき

受配電・開閉・制御機器コンポーネントに使われる高分子材料や金属材料は、常に耐環境性と機能との両立を要求され、材料開発はますます難しく、かつ、厳しくなるものと思われる。今後も、環境に優しい材料の開発を積極的に推進し、グローバルな法規制に先行して製品に適用していくことで、安心して暮らせる社会の実現に貢献していく所存である。

参考文献

- (1) 潮崎克郎. 新グローバルMCCB/ELCBの環境対応技術. 富士時報. 2006, vol.79, no.2, p.172-176.



原 永治

受配電・開閉・制御機器コンポーネントの樹脂材料の研究開発に従事。現在、富士電機機器制御株式会社開発・生産本部開発統括部技術開発部主任。



岩倉 忠弘

受配電・開閉・制御機器コンポーネントの金属材料の研究開発に従事。現在、富士電機機器制御株式会社開発・生産本部開発統括部技術開発部課長補佐。腐食防食学会会員。



吉澤 利之

受配電・開閉・制御機器コンポーネントの樹脂材料の研究開発に従事。現在、富士電機機器制御株式会社開発・生産本部開発統括部技術開発部課長補佐。





*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。