

受配電・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 and control equipment

吉澤 利之 YOSHIZAWA Toshiyuki

関口 潔 SEKIGUCHI Kiyoshi

古川 雅晴 FURUKAWA Masaharu

RoHS 指令、REACH 規則、POPs 条約などの環境対応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、材料に対する要求は年々厳しくなっている。富士電機は、部品に使用する材料の熱硬化性樹脂から熱可塑性樹脂への代替や、グリースの鉛フリー化を実現した。また、難燃樹脂材料の非ハロゲン化に取り組み、りん化合物系難燃剤を用いることで実現可能であることを確認し、切替を予定している。金属材料については、接点のカドミウムフリー化を推進し、溶着性や温度上昇値の目標を達成し代替を実現した。PFOS フリー化についても代替めっき液を開発し切替を完了した。

Year by year, requirements regarding material are becoming stricter due to strengthened environmental regulations such as the RoHS directive, REACH regulation, and POPs treaty, and environmental issues such as global warming. Fuji Electric replaced the thermosetting resin material in parts with thermoplastic resin material, and it now uses lead-free grease. It is also working to develop halogen-free, flame-retardant resin material, and has confirmed the possibility of the realization by using a phosphorus-based flame retardant and plans to switch to it. For its metal materials, it promotes the use of cadmium-free contact points, implementing them after reaching its goals for deposition and temperature increases. It also developed a replacement plating liquid that is PFOS-free and is already using it.

1 まえがき

富士電機は“エネルギーと環境事業をグローバルに展開し社会に貢献する”という経営方針の下に、自らの環境負荷の低減と、製品を通じた社会全体での環境負荷の低減に全力で取り組んでいる。

受配電・制御機器コンポーネントについても、環境負荷を低減するため、国内外の規制を順守して開発を進めている。使用する材料には環境への悪影響がなく、かつ、商品性能を満足させることが要求される。本稿では、規制動向と、富士電機の高分子材料および金属材料の環境対応技術について紹介する。

2 環境対応の規制動向

2.1 EU の主要な環境規制

RoHS 指令^(注1)により、2006年7月1日に6種類の特定有害物質〔鉛、水銀、カドミウム、六価クロム、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)〕の使用が禁止された。2011年7月21日には改正 RoHS 指令が発効され、従来、適用除外だったカテゴリ 8 (医療用機器) と 9 (監視および制御機器) が対象となり、カテゴリ 11 (カテゴリ 1 から 10 の製品群以外の電気・電子機器) が新規に追加された。また、RoHS 指令適合の表示が義務化され、製造者は RoHS 指令に適合していることを自己宣言し、製品への CE マーキング表示が必要となった (図 1)。禁止物質の見直しについては検討対象物質の一つとしてヘキサブROMOシクロロドデカン (HBCDD) が

〈注1〉 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

挙げられ、臭素系難燃剤の規制が強化される動きにある。

REACH 規則^(注2)についても 2007年6月1日に発効され、成形品の SVHC (高懸念物質) 含有の届け出が義務化されている。

また、2009年5月に開催された「残留性有機汚染物質に関するストックホルム条約」(POPs 条約)において、表面処理剤や界面活性剤に多く使用されているパーフルオロオクタンスルホン酸 (PFOS) についても条約付属書に追加された。⁽¹⁾

2.2 国内の主要な環境規制

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る。さらに、循環型社会の形成のため、3R (リデュース、リユース、リサイクル) の推進、ならびに鉱物資源の安定供給確保のため、非鉄金属資源のリサイクルや代替材料開発の推進が企業に求められている。高分子材料においても、リサイクルを推進するため、産業廃棄物として捨てられていた熱硬化性樹脂製部品を熱可塑性樹脂に代替し、製造現場でのリサイクルや、回収した部品のリユースまたはリサイクルを行う動きが急速に高まっている。また、POPs 条約に基づき、「化学物質審査規制法」では PFOS が第一種特定化学物質に追加され、意図的使用が禁止された。

〈注2〉 REACH 規則：化学物質の登録、評価、認可及び制限に関する EU (欧州連合) の規則

カテゴリ	年度	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
カテゴリ 1～7 家電～玩具 カテゴリ 10 自動販売機		含有禁止									
		CE マーキング									
カテゴリ 8 医療用機器						含有禁止 (IVD * 以外)		含有禁止 (IVD を含む全て)			
						CE マーキング (IVD 以外)		CE マーキング (IVD を含む全て)			
カテゴリ 9 監視・制御機器						含有禁止 (産業用以外)		含有禁止 (産業用を含む全て)			
						CE マーキング (産業用以外)		CE マーキング (産業用を含む全て)			
カテゴリ 11 カテゴリ 1～10 以外の機器											含有禁止
											CE マーキング
企業の義務開始 (月 / 日)		1/2		7/22		7/22		7/22		7/22	

* IVD : In Vitro Diagnostic (体外診断用)

図1 RoHS 指令における企業の義務化スケジュール

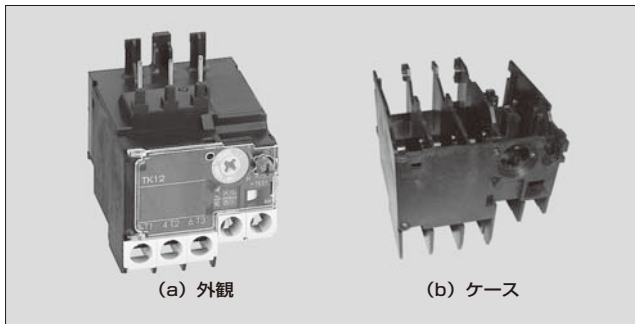


図2 新型サーマルリレー

3 高分子材料における環境対応技術

3.1 サーマルリレー用ケース材の熱可塑性

従来、サーマルリレーのケース材として使用していたフェノール (PF) などの熱硬化性樹脂は、リサイクルできず環境への負荷が大きい。

図2に示す新型サーマルリレーでは、リサイクル性を考慮しつつ小型化と薄肉化を実現するためにケース材に熱可塑性樹脂を採用した。過電流印加時の通電部発熱による変形や溶融が起きないように、耐熱性に優れた芳香族ナイロン (芳香族 PA) を使用した。芳香族 PA と PF の各種特性比較を表1に示す。

また、ケースの寸法が製品のトリップ性能に影響するため、芳香族 PA を採用するためには、吸湿時の寸法変化を現行の PF と同等以下に抑える必要がある。芳香族 PA と PF との加湿放置による寸法変化量の比較試験結果を図3に示す。PF ケース材に比べ、芳香族 PA ケース材は寸法変化率が1/3以下と小さくなり、製品間のトリップ最小動作電流特性のばらつきを大きく改善することができた。

今後、全てのサーマルリレーのケース材に熱可塑性樹脂の採用を水平展開していく。

表1 ケース材の特性

材 料	芳香族 PA (熱可塑性樹脂)	PF (熱硬化性樹脂)
リサイクル性	○	×
耐熱性 (融点)	300℃	なし
UL94 燃焼性クラス*	V-0	HB

* UL94 燃焼性クラス : (Underwriters Laboratories Inc.: アメリカ保険業者安全試験所) の製品安全規格の一つ。難燃性の高い順に V-0, V-1, V-2, HB のクラスがある。

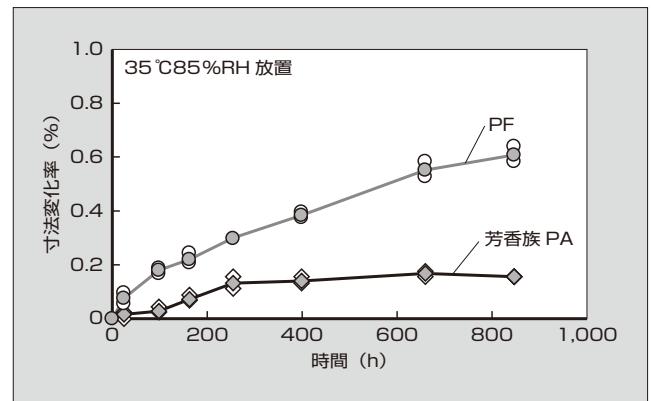


図3 芳香族 PA と PF の加湿寸法変化

3.2 高圧機器グリースの鉛フリー化

受配電・制御機器コンポーネントでは機構部が多く、機構部品の摺動 (しゅうどう) には耐摩耗や摩擦係数の安定化のためにグリースを塗布している。特に高圧機器では面圧が高くなるため、使用するグリースには、耐荷重性を付与し、焼き付きやかじりを防止する極圧添加剤が配合されている。この極圧添加剤の成分として鉛 (Pb) が約 5,000 ppm 含まれている。高圧機器は RoHS 指令の対象ではないものの、将来の対象拡大への対応として、Pb を使用しない極圧添加剤を配合した改良グリースを開発した。新規の Pb フリー極圧添加剤の極圧性能については、グ

機器を支える基盤技術・生産技術

リース単体での JIS K2519 曾田式四球試験（焼付き荷重）で確認した。焼付き荷重が約 8% 低くなるが、十分な耐荷重性能（5,000 MPa）を維持している。

また、長期劣化評価として、開閉機構部の高温放置試験を行ったところ、改良品のトリップ荷重の変化率は現行品と差がなく、耐久性が同等であることを確認した（図 4）。

3.3 非ハロゲン難燃 PA 材の適用

現在、コンタクタなどの商品には臭素（Br）系難燃 PA 材を使用している。改正 RoHS 指令では禁止物質の見直し検討対象に Br 系難燃剤の一種が挙がっており、他の Br 系難燃剤も禁止される可能性がある。このため、富士電機では材料メーカーが開発している非ハロゲン系難燃 PA 材の適用評価を進めている。

EU では非ハロゲン系難燃剤として、赤りんが広く使用されている。赤りんは少量の添加で UL94 燃焼性クラス V-0 を達成でき、機械的強度に優れているが、吸湿により難燃剤が表面に析出し、成形品表面の絶縁抵抗を低下させるという欠点がある。また、揮発した難燃剤が電気接点面に付着し、接触不良の原因となる。赤りん以外の非ハロゲン系難燃剤として、りん化合物系があり、このりん化合物系難燃 PA 材について評価を実施した。その結果、図 5 に示すように接点面への難燃剤の付着がなく、Br 系から

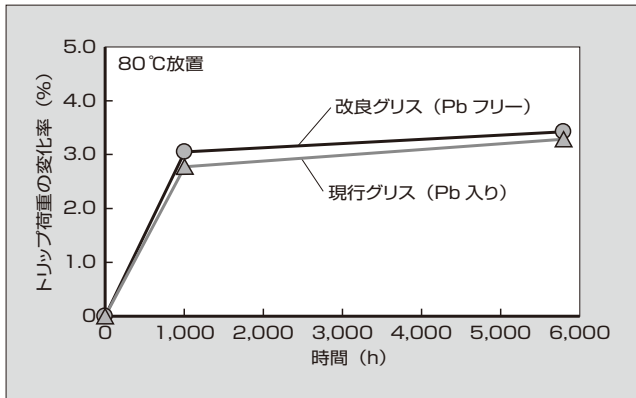


図 4 高温放置によるトリップ荷重の変化

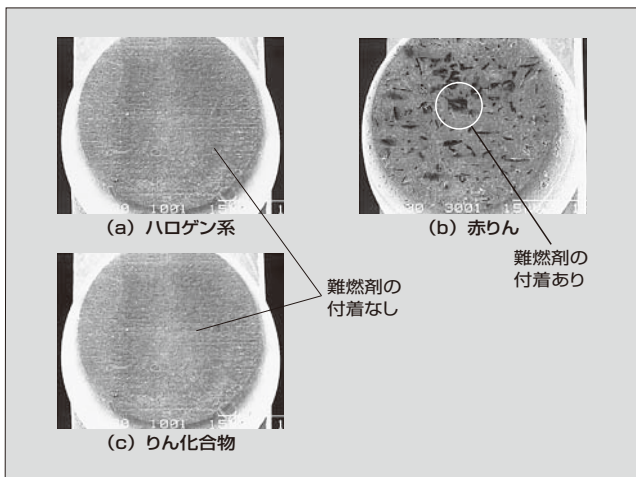


図 5 接点面への難燃剤付着の状況

の切り換えが可能と判断した。今後の環境規制の強化を考慮し、適用を検討している。

4 金属材料における環境対応技術

受配電・制御機器コンポーネントには、主に次の部位に特定有害物質が使用されている。

- (a) 電気接点：カドミウム（Cd）
- (b) 鋼板，鋼帯，ねじなどの亜鉛めっきのクロメート処理：六価クロム（Cr⁶⁺）
- (c) 機器や電子部品などのはんだ付け部位：鉛（Pb）

これらの特定有害物質の代替には新しい適用技術の開発が必要となる。環境対応を支える金属材料技術を紹介する。

4.1 電気接点のカドミウムフリー化

電気接点の基本特性は、図 6 に示すように消耗・溶着・接触抵抗（温度上昇）のバランスおよび生産性やコスト面から銀酸化カドミウム（AgCdO）系接点が幅広い電流領域で適用されてきた。しかし、カドミウムは慢性中毒になると腎臓・肝臓障害や骨軟化を引き起こすため、RoHS 指令における使用禁止物質である。

各種接点材料の特徴、性能および受配電・制御機器コンポーネントへの適用機種を表 2 に示す。

受配電・制御機器に適用している Cd フリー接点材料として、銀酸化すず系（AgSnO₂系）、銀タングステンカーバイド系（AgWC系）などいくつかの代替材料を採用している。ここでは主として AgSnO₂系接点材料について述べる。

電流遮断時の AgSnO₂系接点は AgCdO系接点に比べて、次の点で性能が劣る。

- (a) 消耗が多い
- (b) 溶着が高い
- (c) 温度上昇が高い

図 7 は AgSnO₂系接点の金属顕微鏡の断面写真である。従来の接点は耐溶着性がやや劣る傾向にあった。そこで内部酸化などの製造条件を改良した。酸化物の結晶粒を微細にしてさらに結晶粒内に針状結晶を析出させることで、

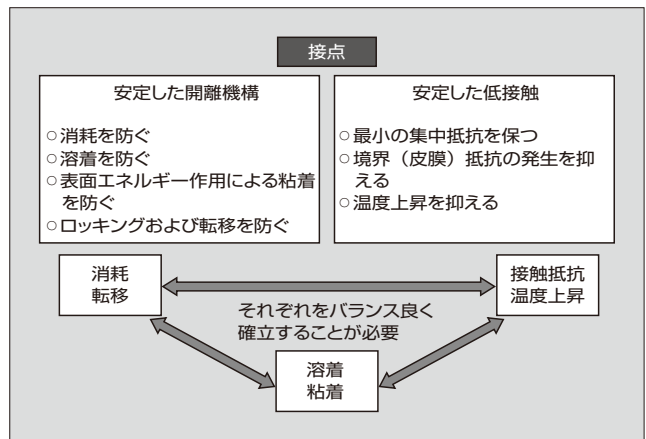


図 6 接点の基本特性

表 2 各種接点材料の特徴と適用機種

接点材料	特徴	性能*			適用機種
		耐消耗	耐溶着	接触抵抗	
Ag-Ni	Agより融点の高いNiを添加して溶着・消耗を改善している。Agと同等の塑性加工性を持ち、接触抵抗が良い。中負荷以上の性能は酸化物系より劣る。	△	△	○	制御器具 電磁開閉器 配線用遮断器
Ag-CdO	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。	○	○	○	
Ag-CdO+α	内部酸化条件およびSnの添加により性能は大幅に向上した。	◎	◎	◎	
Ag-SnO ₂ +α	Cd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。	◎	△	○	
Ag-C	AgとぬれないCの添加により耐溶着性を改善している。Cの還元性によりAg-WCなどの接触抵抗を安定している。	△	◎	◎	配線用遮断器
Ag-WC/ (Ag-WC-C)	融点の高いWを多量に添加することで耐アーク性を改良し、WCにすることでWの酸化を抑制している。固定接点のAg-WC-Cと組み合わせると接触抵抗を改善できるがAg-WC-C接点は消耗が激しい。	◎/△	◎/◎	○/○	

*：◎優秀、○良好、△やや劣る

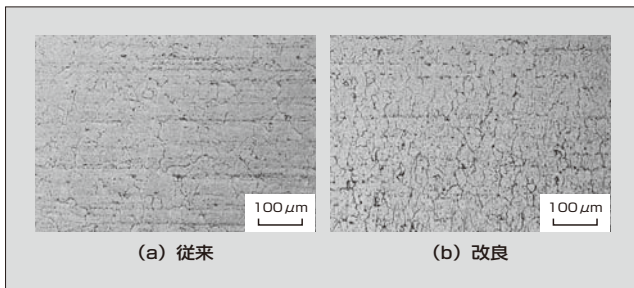


図 7 AgSnO₂系（内部酸化法）接点の断面写真

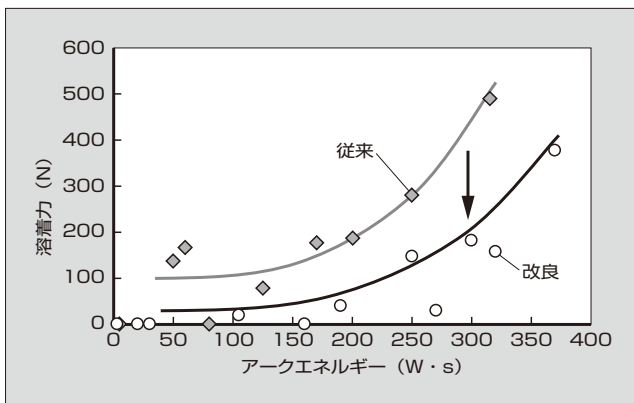


図 8 接点モデル機による溶着性評価結果

アーク熱による接点表層部の酸化結晶の溶融（崩れ）を抑制し耐溶着性能を向上させた。その結果、図 8 に示すように耐溶着性能が約 30～40% 向上し、組織の溶融が抑制され酸化物の堆積が少なくなったことで、温度上昇値も約 15～30% 低減し、代替が可能になった。

4.2 通電摺動部めっきの PFOS フリー化

受配電・制御機器コンポーネントにおいて、配線用遮断器（図 9）や高圧真空遮断器の通電摺動部めっきの界面活性剤として PFOS を使用している。ふっ素系界面活性剤である PFOS は、表面張力の低下など界面の物理化学的性質を変化させる親水性と親油性を持つ両親媒性の有機化

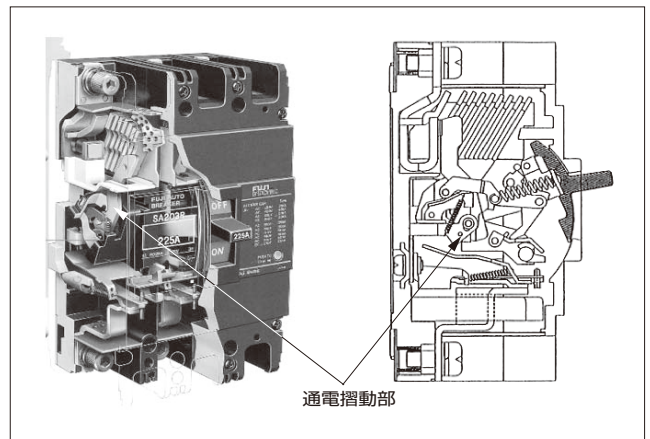


図 9 配線用遮断器の通電摺動部

表 3 PFOS の性質

利点	欠点
親水性	難分解性
親油性	環境残留性
化学的安定性	生物蓄積性
熱安定性	生物濃縮性
耐薬品性	有害性
非粘着性	毒性

水にも油にも良く溶け、微量の添加でこれら有用な効果を示すため、工業的にさまざまな分野に利用できる。

最近の研究により蓄積性や毒性が問題視され、規制への動きが活発化している。

合物であり、表 3 に示す性質がある。

今回、めっき液メーカーと共同して現行と同等な PFOS フリー AgC めっき液を開発した。このめっき液を用いて、実機評価を行った。配線用遮断器（800 AF）による評価結果を表 4 に、摺動特性（機械的開閉 6,000 回後の可動接触子摺動荷重）を図 10 に示す。表面上カーボン（C）あり、C 共折量 5～6% 品の機械的な摺動荷重は、現行の PFOS 含有めっき液品よりやや高いが仕様を満足しており、かつ、安定していることが分かった。

表4 配線用遮断器（800 AF）における評価結果

表面上 C有無	仕様 C共析量 (%)	機械的評価		電氣的評価		
		操作力	摩耗量	接触 抵抗	発弧	溶着
あり	3～4	○	△	○	△	○
	5～6	○	○	○	○	○
なし	3～4	×	×	△	△	○
	5～6	×	○	△	△	○
現行（PFOS含有）		○	○	○	○	○

○：製品性能を満足し現行と同等
 △：製品性能を満足するか現行より劣る
 ×：製品性能を満足しない

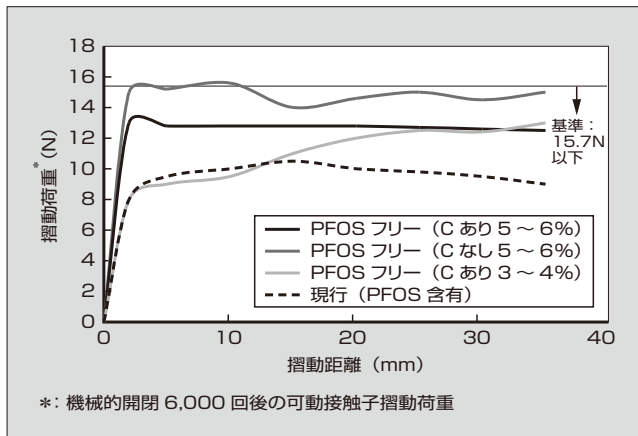


図10 配線用遮断器（800 AF）における摺動特性

電氣的な接触抵抗および発弧溶着特性についても製品性能を満足し、各評価後のめっき残存量も現行と同等であることから製品への採用を決定し、切替を完了した。

量産品の切替に際しては、めっき浴管理条件（電流密度・時間、光沢剤の補給頻度）を明確にし、作業標準への規定化も併せて実施した。

5 あとがき

高分子材料においては、電氣的特性や機械的特性を低下

させずに、高機能化を達成するためには革新的な材料技術や製造技術が不可欠である。また、金属材料では調達環境の悪化などの問題からレアースやレアメタルをいかに低減、あるいはなくしながら、必要とする特性を達成するかが重要な課題になっている。高分子材料、金属材料を問わず、材料は常に環境への配慮と機能の両立を要求され、材料開発はますます難しく、かつ、厳しくなりつつある。環境に優しい材料の開発をさらに加速し、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) 環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部. PFOS含有廃棄物の処理に関する技術的留意事項. 2011.
- (2) “地球温暖化対策について”. 経済産業省. http://www.meti.go.jp/policy/energy_environment/global_warming/pdf/gaiyo_all.pdf. (参照 2011-12-05).



吉澤 利之

受配電・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技術・開発本部開発技術部アシスタントマネージャー。



関口 潔

受配電・制御機器コンポーネントの材料および環境対応の金属材料研究に従事。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。



古川 雅晴

プラスチック材料および成形加工技術の開発に従事。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マネージャー。プラスチック成形加工学会会員。





*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。