

# 新形高低圧電磁接触器用絶縁材料

潮崎 克郎(しおざき かつろう)

石川 武史(いしかわ たけし)

高橋 渉(たかはし わたる)

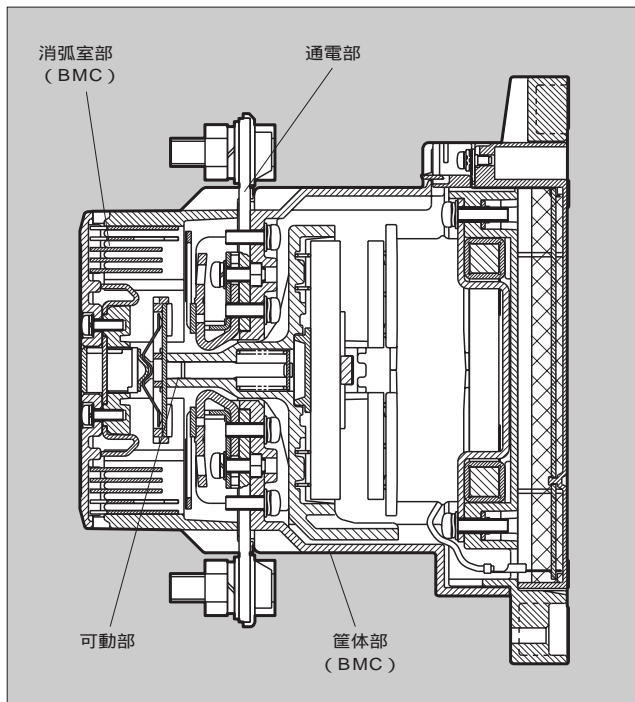
## ① まえがき

電磁接触器は、電動機の始動・停止に用いられているほか、コンデンサの開閉、抵抗制御などその用途はきわめて広い。一方、その信頼性、安全性、国際性などに対する要求はますます厳しくなり、需要家のトータルコストダウンに寄与できる新商品の開発が求められている。

この多様化する市場要求にこたえるため、富士電機では多くの新技术を盛り込み、需要家にとってメリットの多い新商品を開発した。新商品開発において、材料の果たす役割はますます大きくなっている。

本稿では、低圧電磁接触器および高圧真空電磁接触器の新シリーズを開発するにあたって、その開発を支えた幾つかの新材料開発・適用について紹介する。

図1 低圧電磁接触器の構造の一例



## ② 絶縁材料の開発

### 2.1 概要

電気機械製品の絶縁材料として使用されているポリエステルプリミックス成形材料(以下、BMCと称す)は、耐トラッキング性、高い絶縁性能などの電気的特性と、寸法安定性、高強度などの機械的特性とを兼ね備えた優れた材料である。

近年、製品の難燃化やこれまで以上の悪環境での使用などの要求が強まるなかで、従来の特長を生かしつつさらに機能を高めた新しいBMCを開発し、図1、図2に示す新商品に適用した。

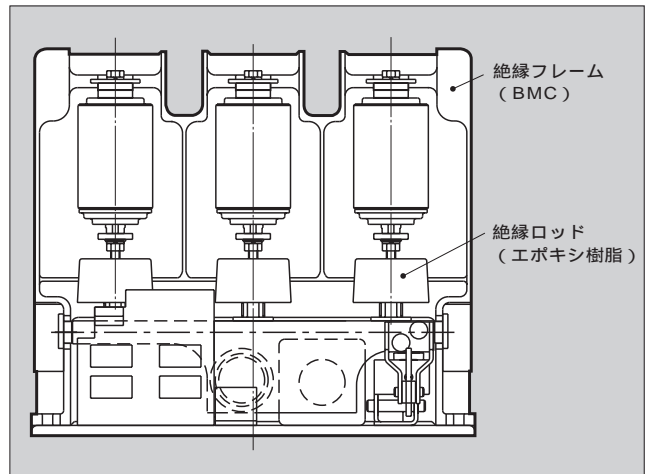
### 2.2 難燃性を付与したBMCの開発

BMCは主として下記の要素で構成されている。

- (1) 主樹脂としての不飽和ポリエステル樹脂
- (2) 材料の骨格としての充てん材
- (3) 強化材としてのガラスファイバ

従来、充てん材として使用されていた炭酸カルシウムは安価で成形性に優れているという利点がある。しかし、この充てん材には難燃性を向上させる特性はなく、その目的

図2 高圧真空電磁接触器の構造の一例



潮崎 克郎

受配電機器、制御機器の開発試験を経て、金属材料、高分子材料などの調査・研究・開発に従事。現在、機器・制御カンパニー機器事業部器具開発部主査。



石川 武史

受配電機器、制御機器に使用の高分子材料に関する調査・研究・開発に従事。現在、機器・制御カンパニー機器事業部器具開発部主任。



高橋 渉

受配電・制御機器に使用するプラスチック製品や材料の調査・研究・開発に従事。現在、機器・制御カンパニー機器事業部器具開発部。

図3 水酸化アルミニウムの熱重量測定結果

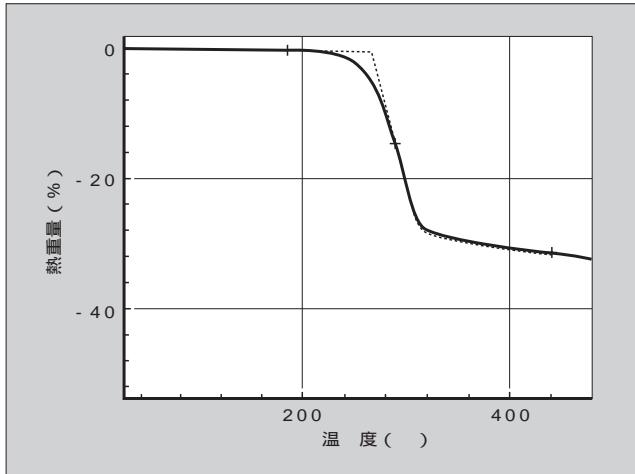
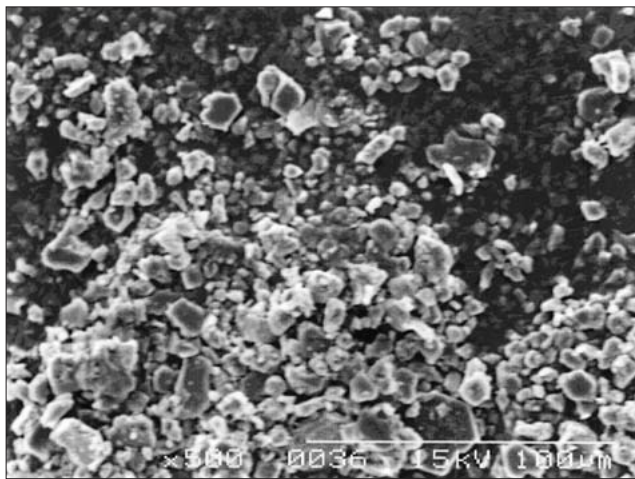


図4 水酸化アルミニウムの電子顕微鏡写真



のためにはハロゲン系などの難燃剤を添加する必要がある。

一方、これらの難燃剤のなかには必ずしも地球環境に良いとはいえないものがある。

新開発の材料は環境影響負荷の少ない水酸化アルミニウムを充てん材として使用することで、UL94 (難燃性) V-0を実現させている。

水酸化アルミニウムは、図3に熱重量測定結果に示すように250°C付近から結晶水の解離反応が起こり、このときの吸熱作用により難燃性を向上させるといわれている。

一方、その形状を図4に示すが、外力が加わった場合に一定の結晶面でへき開して雲母のような鱗片(りんぺん)状になる。このことは成形時の流動性に大きな影響を与え、かすれ、ガスなど成形性の低下と成形圧力不足や流動配向による強度低下の要因となる。

また、UL94 (難燃性) V-0を実現するには相当量の水酸化アルミニウムを充てんする必要があるが、単純に充てん量を増加することは樹脂量の減少につながり、BMCの特長を低下させることになる。

そこで材料配合において下記のような工夫を盛り込み、成形性、強度などを低下させることなく、難燃性を付与したBMCを実現することができた。

表1 難燃性BMCのUL特性

項目		特性
最小厚み		0.86 mm
UL94 燃焼グレード		94V-0
相対温度指数	電氣的	105
	機械的(衝撃あり)	130
	機械的(衝撃なし)	130
ホットワイヤ発火性		レベルカテゴリー 1
高電流アーク発火性		レベルカテゴリー 0
高電圧アーク発火性		レベルカテゴリー 0
耐アーク性(D495)		レベルカテゴリー 0
比較トラッキング指数		レベルカテゴリー 0

- (1) 粒径の異なる水酸化アルミニウムを組み合わせ、静的強度と衝撃強度のバランスがよく取れるようにした。
- (2) 成形時間を適切にするため、やや硬化速度の速い触媒を使用するとともに、成形性向上のため複合触媒とした。
- (3) 有機系および無機系フィラーを添加し、成形圧力下での材料の流動性を適切に調整した。

これらの工夫により、表1に示すように高いレベルのUL規格の認定を取得することができ、新商品の性能向上にも寄与することができた。

### 2.3 しゅう動性と強度・耐熱性を兼ね備えたBMCの開発

前節で低圧電磁接触器の消弧室部に使用される難燃性BMCの開発について述べた。この節では、構造部に使用されるBMCの開発について述べる。

従来、大形の低圧電磁接触器の構造部にはアルミダイキャストを使用していたが、小形化・低コスト化を狙い新規にBMCを開発し適用した。

図1に示したように、筐体(きょうたい)部には開閉時の衝撃荷重が加わり、さらに可動部とのしゅう動性も要求される。当該形式の低圧電磁接触器は500万回の開閉寿命を有することから、開発材料もこの回数の繰返し荷重としゅう動に耐えなければならない。

また、この部分は通電部を支える機能もあり、IEC規格の要求から960時間の耐グローワイヤ性も満足する必要がある。これは通電部が異常加熱したときの耐燃性を保証するためである。

BMCは前節で述べたように、さまざまな特長を有するが、一般にはしゅう動性・耐摩耗性はあまり良くない。これは強化材として使用されているガラスファイバの硬度が高いため、アブレッシブ摩耗(研削摩耗)によるものが主原因である。

このしゅう動性を向上させるためには、一般に次のような手法がある。

- (1) タルクやドロマイトなどの軟らかい無機材料を充てん材として使用する。
- (2) ビニロンやポリエステルなどの有機繊維を添加する。
- (3) テフロンやフッ素油などの特殊有機材料を添加する。

表2 しゅう動性BMCの特性

項目	しゅう動性BMC	従来材料
比重	1.68	1.85
曲げ強さ (MPa)	90以上	90以上
曲げ弾性率 (MPa)	9,500以上	10,500以上
衝撃強さ (kJ/m <sup>2</sup> )	18以上	19以上
耐電圧 (MV/m)	10以上	10以上
絶縁抵抗 ( )	10 <sup>12</sup> 以上	10 <sup>12</sup> 以上
摩耗量 (mg)	30以下	250
グローワイヤ ( )	960	—

ここで、(1)は成形性や強度の低下につながり、(2)は耐燃性の低下につながる。また、(3)は経済性が悪い。

すなわち、一つの手法だけでは要求仕様を満足することができないため、これらを適切に組み合わせてそれぞれの配合量と分散方式に工夫を加えた。

その結果、表2に示すように従来材料に比べて大幅に摩耗量を減少させたしゅう動性BMCを開発することができた。また、要求仕様の耐燃性と強度を満足することにより、部品の質量もアルミダイキャスト品の半分以下とすることができた。

2.4 耐環境性を向上させたBMCの開発

次に高圧真空電磁接触器に使用される絶縁材料について述べる。

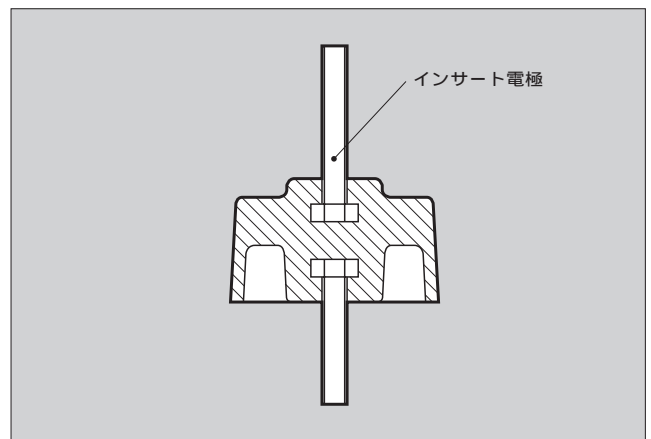
図2に示したように、主として二つの目的で絶縁物が使用されている。すなわち、全体の絶縁と構造物としての役割を持つ絶縁フレーム、ならびに対地絶縁と動作伝達の役割を持つ絶縁ロッドである。

この節ではまず絶縁フレーム用の新開発BMCについて述べる。通常のBMCは高い濃度の酸性ガスの存在など悪環境の下で使用された場合、その表面に吸湿性のある物質を生成することがある。これは絶縁抵抗の低下につながる恐れがあるため、必要により特殊コーティングなどを施してきた。今回の新商品開発では市場の要求にこたえ、これまで以上に信頼性を向上させるため、BMC材料自身に耐環境性機能を付与することにした。

吸湿性のある物質の生成は、充てん材として使用している炭酸カルシウムと酸性イオンとの反応により引き起こされることが分かっている。そこで、酸性イオンと反応しにくい水酸化アルミニウムを充てん材として使用することにした。水酸化アルミニウムを使用することにより、2.2節と同様の問題の発生が予想されたが、すでに述べた工夫に加えてさらに下記(1),(2)を盛り込むことで、BMCの特長を生かしたまま耐環境性の優れた材料を開発することができた。

- (1) 成形時の材料の流れを可視化する手法を用いることにより、最適な材料配置方法を決定した。
- (2) 抜きテーパ、ガス抜き用のエジェクタなど金型構造を新しい材料の特性に合致したものとした。

図5 絶縁ロッドの構造



この結果、ウェルド、クラック、ポイドなどの内部欠陥を極力少なくし、成形圧力・流動配向による強度低下もなく、しかも酸性雰囲気強い成形品を得ることができた。

③ エポキシ樹脂の活用による小形化・低コスト化

3.1 概要

この節では、もう一つの絶縁物である絶縁ロッドの製造方法の工夫について述べる。

絶縁ロッドは長期間高い電界強度にさらされる。従来、ここには材料単価の安いBMCを使用していたが、エポキシ樹脂の標準化および製造方法の合理化による小形化と低コスト化を狙いとして、今回はエポキシ樹脂での絶縁ロッド成形に取り組んだ。

ここでは特に注力したインサート電極部のバリレス成形と、製造過程における性能の作り込みについて述べる。

3.2 インサート電極部のバリレス成形

図5に絶縁ロッドの構造を示す。2本の電極をエポキシ樹脂で成形して、絶縁と動作伝達を行うものである。

従来は、インサート電極として特殊形状品を使用してバリレスを実現していた。今回は、調達性とコストダウンのために標準の規格ねじを使用してバリレスを実現させることに取り組んだ。

この目的のために、インサート電極のホルダに構造的にバリ止め機構を盛り込むとともに、樹脂圧によるセルフシーリング機能も持たせてねじ部へのバリ流出がないように工夫した。これによりバリ除去の工数と成形サイクルの大幅な低減ができた。

3.3 絶縁ロッドの小形化と性能の作り込み

次に製造過程での性能の作り込みについて述べる。エポキシ樹脂は高強度、高いトラッキング性など多くの特長を有するが、成形直後の高温強度はそれほど高くない。

例えば、成形直後に過大な外力が加わりインサート電極とエポキシ樹脂の間に界面はく離などが生じた場合、高い電界強度の下では部分放電により長期使用後に絶縁破壊に

図6 エポキシ樹脂製絶縁ロッドの電気的性能と外観レベルの関係

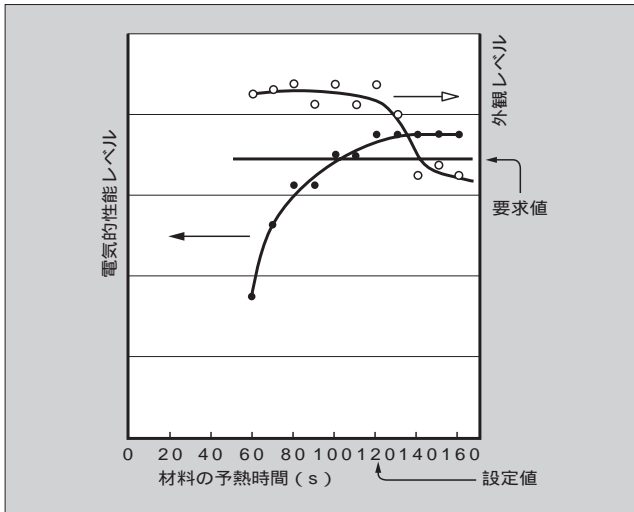


図7 成形品の強度の裕度評価結果

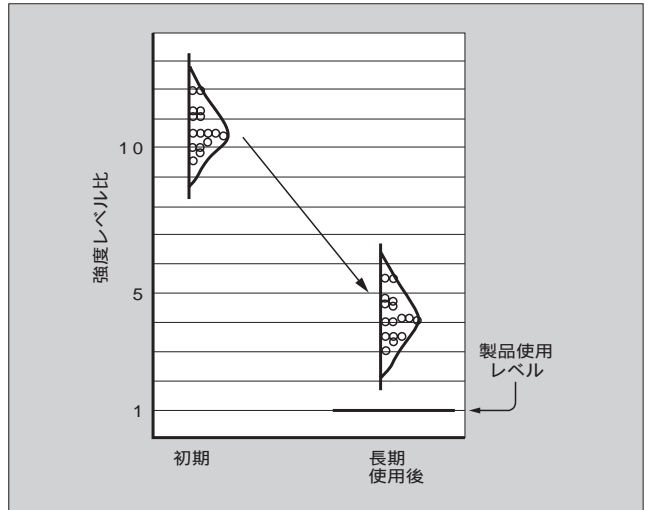


表3 絶縁ロッドの特性比較

項目	材料	エポキシ樹脂	BMC
比重		2.08	2.00
曲げ強さ (MPa)		147以上	80以上
耐電圧 (MV/m)		18以上	14以上
絶縁抵抗 ( )		$10^{14}$ 以上	$10^{14}$ 以上
電極間距離の縮小率		0.75	1
容積の縮小率		0.73	1
コストレベル		0.64	1

至ることが考えられる。すなわち、エポキシ樹脂の持つ特長を十分に発揮させるには、製造過程での作り込みがきわめて重要である。

また、図6に示すように今回の成形品では電気的性能と外観はトレードオフの関係にあった。種々の事前評価を実施し、材料の適切な予熱時間と充てん時間を設定することにより、外観と電気的性能を満足させる成形条件を決定することができた。さらに、成形直後に過大な外力が加わらないように周辺治具および型構造にその工夫を盛り込んだ。

これらにより、内部クラックや界面はく離などのない成形品の作り込みが可能となった。また、成形後の検査工程の簡素化にも役立ち、表3のように小形化・低コスト化が実現した。

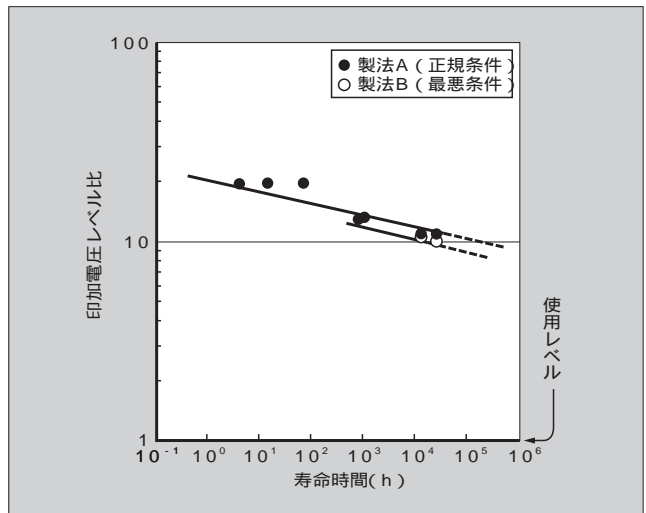
#### 4 成形品の実機評価結果

##### 4.1 成形品の強度の裕度評価

これまでの検討で、材料としては設計仕様を十分に満足するものが開発できた。次に、この材料で成形品を製作し実機評価を行った結果について述べる。

プラスチック成形品は温度ストレスと応力ストレスの下で長期使用される場合、あらかじめこれらを考慮した強度設計をしなければならない。

図8 絶縁ロッドの V-t 特性



そこで、応力解析などの手法により発生応力の高い部分を求め、その部分の発生応力と破壊応力を実測した。この破壊応力は長期使用により低下してくるので、次の項目を検討したのが図7である。

- (1) 使用温度による強度低下
- (2) 開閉疲労による強度低下
- (3) 長期使用による材料劣化
- (4) 長期負荷(クリープ)による強度低下

図7からこれらの項目を考慮して、長期使用後の強度低下を見込んで十分な裕度があることが分かった。また、実機で高温雰囲気中での開閉寿命試験を実施して問題のないことを確認した。

##### 4.2 長期的な電気的性能の評価

小形化した絶縁ロッドを組み込んだ実機の V-t 特性の結果を図8に示す。製法Aは正規の製造過程で作込んだものである。一方、製法Bは起こりうる最悪の条件で製造したものである。

図8から正規品はもちろんのこと、最悪条件で製造した



ものでも期待寿命を十分に満足していることが分かった。

また、商用周波耐電圧試験やインパルス耐電圧試験なども実施して問題のないことを確認した。

4.3 耐環境性の評価

さらに、耐環境性 BMC を使用した成形品を高濃度の酸性ガス雰囲気暴露してその挙動を調査した。その結果、フィールドで考えられる以上の厳しい雰囲気でも絶縁抵抗の低下は見られず良好な結果が得られた。

5 あとがき

以上、新形の低圧電磁接触器および高圧真空電磁接触器

の開発を支える新材料の一端を紹介した。

新商品が受配電制御システムのさらなる発展に貢献できることを確信するが、今後とも関係各位のご指導、ご協力を仰いで新材料の開発技術・適用技術を高めていく所存である。

参考文献

- (1) 滝山栄一郎：ポリエステル樹脂ハンドブック，日刊工業新聞社（1988）
- (2) 広田耕人ほか：長寿命・高機能の新小形コンタクタ SC シリーズ，富士時報，Vol.61，No.10，p.633-637（1988）
- (3) 石川熙ほか：動作信頼性を高めた IC 搭載高圧真空電磁接触器，富士時報，Vol.59，No.2，p.141-146（1986）

最近登録になった富士出願

〔特 許〕

登録番号	名 称	発明者	登録番号	名 称	発明者
2902953	薄膜光電変換素子の製造装置	清水 均	2903834	防音装置	坂田 伸一
2903563	操作パネルのコントラスト調節回路	松本 栄治 山水 英貴	2903837	自動販売機の制御装置	小池 輝男
2903636	距離継電器	戸井 雅則	2903855	送水管路の弁切換え方法	窪田 真和 黒谷 憲一
2903638	自動販売機の商品取出装置	杉野 一彦	2903864	平形半導体装置の製造方法	遠藤 勝弘
2903641	水車の軸受装置	高橋 正己	2903878	筐体のカバー開放防止機構	藤原 宏和
2903642	回路遮断器	三浦 正夫 内田 直司	2903879	筐体のカバー開放防止機構	藤原 宏和
2903717	電動機速度制御装置	藤田 光悦 佐度 勝祐	2903925	板材の積み重ね装置	鈴木 勲夫 進藤 益夫 中尾 靖
2903722	電子写真用感光体	柳内 一樹 古庄 昇			
2903736	パルスジェネレータの断線検出回路	仲井 康二	2904362	プログラマブルコントローラのデータ読み/書き方法	小高 秀之
2903749	伝導度変調型 MISFET を備えた半導体装置	藤島 直人	2904938	マンマシンインタフェイス装置用画面表示時間計測装置	笹野喜三郎
2903795	自動販売機の機内洗浄装置	喜田 明	2905509	表示情報処理回路	菊池 孝弘 高橋 潔
2903806	冷却装置の水受け皿構造およびその水受け皿支持構造	島崎 哲也			



\*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。