

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局

(43) 国際公開日  
2022年2月3日(03.02.2022)



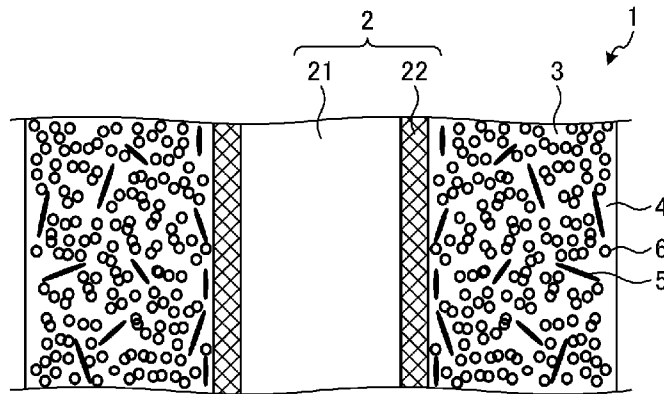
(10) 国際公開番号

WO 2022/024181 A1

- (51) 国際特許分類:  
*H02K 3/30* (2006.01) *C08L 79/08* (2006.01)  
*C08L 101/00* (2006.01) *C08K 3/36* (2006.01)  
*H01B 3/40* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2020/028714
- (22) 国際出願日: 2020年7月27日(27.07.2020)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人:三菱電機株式会社(MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者:殷 暁紅(YIN, Xiaohong); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 馬淵 貴裕(MABUCHI, Takahiro); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 鮫島 壮平(SAMEJIMA, Sohei); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人:高村 順(TAKAMURA, Jun); 〒1000013 東京都千代田区霞が関3丁目8番1号 虎の門三井ビルディング 特許業務法人酒井国際特許事務所 Tokyo (JP).
- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN,

(54) Title: THERMOSETTING RESIN COMPOSITION, STATOR COIL AND ROTARY ELECTRIC MACHINE

(54) 発明の名称: 熱硬化性樹脂組成物、固定子コイルおよび回転電機



(57) Abstract: This thermosetting resin composition contains: a thermosetting resin (4); organic microfiller (5); and inorganic nanofiller (6). The thermosetting resin composition is used for making an insulation layer (3) for a stator coil of a rotary electric machine. The surface of the organic microfiller (5) is coated with an inorganic layer. The stator coil comprises: a conductive wire; and the insulation layer (3) that covers the conductive wire. The insulation layer (3) contains: the thermosetting resin (4); the organic microfiller (5); and the inorganic nanofiller (6).

(57) 要約: 熱硬化性樹脂組成物は、熱硬化性樹脂(4)と、有機マイクロフィラー(5)と、無機ナノフィラー(6)と、を含有しており、回転電機の固定子コイルの絶縁層(3)に用いられる。有機マイクロフィラー(5)の表面は、無機層でコーティングされている。固定子コイルは、導線と、導線を覆う絶縁層(3)と、を備える。絶縁層(3)は、熱硬化性樹脂(4)と、有機マイクロフィラー(5)と、無機ナノフィラー(6)と、を含有する。

WO 2022/024181 A1

HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH,  
KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY,  
MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ,  
NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT,  
QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL,  
ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,  
US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保  
護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS,  
MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM,  
ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ,  
TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ,  
DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT,  
LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS,  
SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM,  
GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類 :

- 一 国際調査報告 (条約第21条(3))

## 明 細 書

**発明の名称**：熱硬化性樹脂組成物、固定子コイルおよび回転電機  
**技術分野**

[0001] 本開示は、熱硬化性樹脂組成物、この熱硬化性樹脂組成物で形成された絶縁層を備える固定子コイルおよびこの固定子コイルを備える回転電機に関する。

### 背景技術

[0002] 従来の回転電機の固定子コイルとして、絶縁層を備える構造が知られている。このような固定子コイルは、固定子鉄心のティースにコイル線が巻き付けられて形成された固定子コイルに絶縁ワニスとして熱硬化性樹脂組成物を含浸した後、熱硬化性樹脂組成物を加熱して硬化させることにより絶縁層を形成することで得られる。

[0003] 回転電機の運転中、固定子コイルは高電圧に曝されるため、絶縁層には長期間に亘って高電圧に耐えられる特性を有することが要求される。また、近年、回転電機の更なる小型化および高効率化が進む中、絶縁層に印加される電界強度が益々増大する傾向にある。そこで、長期間に亘って高電圧に耐えられる特性、すなわち長期耐電圧特性を向上させた絶縁層が多数提案されている。

[0004] 例えば、特許文献1には、エポキシ樹脂と無機ナノフィラーと無機マイクロフィラーとを含有した熱硬化性樹脂組成物を、絶縁層に用いる技術が開示されている。特許文献1に開示された技術では、無機ナノフィラーおよび無機マイクロフィラーが電氣的な破壊現象である電気トリーの進展を抑制する効果を発揮するため、絶縁層の長期耐電圧特性を向上させることができる。

### 先行技術文献

#### 特許文献

[0005] 特許文献1：特開2008-75069号公報

### 発明の概要

## 発明が解決しようとする課題

[0006] しかし、特許文献1に開示された熱硬化性樹脂組成物は、硬くて脆い性質を有する無機マイクロフィラーを含有するため、靱性が低下する虞があった。そのため、特許文献1に開示された熱硬化性樹脂組成物を回転電機の固定子コイルの絶縁層に用いると、回転電機の運転中に発生する振動により絶縁層にクラックが発生しやすくなり、絶縁層の絶縁寿命を短くしてしまう虞があった。

[0007] 本開示は、上記に鑑みてなされたものであって、従来よりも靱性を高めることができる熱硬化性樹脂組成物を得ることを目的とする。

## 課題を解決するための手段

[0008] 上述した課題を解決し、目的を達成するために、本開示にかかる熱硬化性樹脂組成物は、熱硬化性樹脂と、有機マイクロフィラーと、無機ナノフィラーと、を含有しており、回転電機の固定子コイルの絶縁層に用いられる。

## 発明の効果

[0009] 本開示によれば、従来よりも靱性を高めることができるという効果を奏する。

## 図面の簡単な説明

- [0010] [図1]実施の形態1にかかるサーボモータを中心軸に沿って切った断面図  
[図2]実施の形態1にかかるサーボモータを中心軸と直交する方向で切った断面図であって、固定子を示す部分拡大断面図  
[図3]実施の形態1におけるコイル線を模式的に示す断面図  
[図4]実施の形態2における有機マイクロフィラーを模式的に示す断面図  
[図5]実施の形態3におけるコイル線を模式的に示す断面図  
[図6]実施の形態3の絶縁層全体における有機マイクロフィラーの体積比率とエナメル線の半径方向に沿った中心軸からの距離との関係を示すグラフ

## 発明を実施するための形態

[0011] 以下に、実施の形態にかかる熱硬化性樹脂組成物、固定子コイルおよび回

転電機を図面に基づいて詳細に説明する。

[0012] 実施の形態 1.

本実施の形態では、回転電機がサーボモータ 8 である場合を例にして説明する。図 1 は、実施の形態 1 にかかるサーボモータ 8 を中心軸 C に沿って切った断面図である。サーボモータ 8 は、固定子 9 と、回転子 10 と、シャフト 11 と、フレーム 12 と、2 つのブラケット 13 とを備える。固定子 9 は、中心軸 C を有する円筒形状に形成されている。以下、サーボモータ 8 の各構成要素について方向を説明するときには、中心軸 C と平行な方向を軸方向、中心軸 C と直交する方向を半径方向、中心軸 C を中心とする回転方向を周方向とする。

[0013] 回転子 10 は、固定子 9 の内側に配置されている。固定子 9 と回転子 10 との間には、隙間が周方向の全周に亘って設けられている。回転子 10 の中心には、シャフト 11 が連結されている。シャフト 11 と固定子 9 の中心軸 C とは、同軸に設けられている。回転子 10 は、中心軸 C を回転軸として回転可能である。フレーム 12 は、サーボモータ 8 の外郭を構成するとともに、固定子 9 および回転子 10 を收容する。フレーム 12 は、軸方向に沿った両端部が開く円筒形状に形成されている。一方のブラケット 13 は、フレーム 12 の軸方向に沿った一端部の開口を塞ぐように配置されている。他方のブラケット 13 は、フレーム 12 の軸方向に沿った他端部の開口を塞ぐように配置されている。シャフト 11 の軸方向に沿った一端部は、一方のブラケット 13 に形成された孔 13 a を通じて、フレーム 12 の外部に突出している。

[0014] 固定子 9 は、固定子鉄心 14 と、コイル線 1 とを備える。図 2 は、実施の形態 1 にかかるサーボモータ 8 を中心軸 C と直交する方向で切った断面図であって、固定子 9 を示す部分拡大断面図である。固定子鉄心 14 は、磁性体で形成された円筒形状のコアバック 15 と、コアバック 15 の内周面から半径方向内側に向かって突出する複数のティース 16 とを有する。隣り合うティース 16 の間には、スロット 17 が形成されている。スロット 17 内には

、インシュレータ18が挿入されている。インシュレータ18は、コアバック15のうちスロット17に臨む面とティース16のうちスロット17に臨む面とを覆っている。複数のティース16のそれぞれには、インシュレータ18を介してコイル線1が巻き付けられて固定子コイル19が形成されている。各スロット17において隣接する固定子コイル19の間には、テープ20が配置されている。テープ20は、隣接する固定子コイル19の間を電氣的に絶縁する役割を果たす。テープ20の材料には、例えば、ポリイミドフィルム、ポリエステルフィルムが使用される。なお、固定子9は、図示の例に限定されることなく、公知の固定子の中から適宜選択して用いればよい。

[0015] 図3は、実施の形態1におけるコイル線1を模式的に示す断面図である。コイル線1は、エナメル線2と、エナメル線2を覆う絶縁層3とを備える。エナメル線2は、導電性の芯線21がエナメル層22で覆われた絶縁導線である。芯線21は、例えば、銅線である。なお、エナメル線2は、図示の例に限定されることなく、公知のエナメル線の中から適宜選択して用いればよい。

[0016] 絶縁層3は、熱硬化性樹脂組成物で形成されている。絶縁層3は、熱硬化性樹脂4と、有機マイクロフィラー5と、無機ナノフィラー6とを含有する。有機マイクロフィラー5および無機ナノフィラー6は、熱硬化性樹脂4のマトリックス中に分散している。以下、絶縁層3に用いられる熱硬化性樹脂組成物の成分について詳しく説明する。

[0017] 熱硬化性樹脂4には、耐熱性、接着性、電気絶縁性、機械的強度を向上させる観点から、エポキシ樹脂、フェノール樹脂、シリコン樹脂、イミド樹脂が使用されることが好ましく、エポキシ樹脂が使用されることがより好ましい。エポキシ樹脂としては、例えば、ビスフェノールA型エポキシ樹脂、ビスフェノールF型エポキシ樹脂、ビスフェノールS型エポキシ樹脂、ビスフェノール型エポキシ樹脂、フェノールノボラック型エポキシ樹脂、クレゾールノボラック型エポキシ樹脂、ビスフェノールA型ノボラック型エポキシ樹脂、ビスフェノールF型ノボラック型エポキシ樹脂、脂環式エポキシ樹脂、脂

肪族鎖状エポキシ樹脂、グリシジルエステル型エポキシ樹脂、グリシジリアミン型エポキシ樹脂、ヒダントイン型エポキシ樹脂、イソシアヌレート型エポキシ樹脂、サリチルアルデヒドノボラック型エポキシ樹脂、二官能フェノール類のジグリシジルエーテル化物、二官能フェノール類のハロゲン化物、二官能フェノール類の水素添加物、二官能アルコール類のジグリシジルエーテル化物、二官能アルコール類のハロゲン化物、二官能アルコール類の水素添加物が挙げられる。これらのエポキシ樹脂は、それぞれ単独で使用されてもよいし、2種以上が併用されてもよい。一方、材料コスト、粘度、耐熱性のバランスを向上させる観点から、熱硬化性樹脂4には、エピクロロヒドリンとビスフェノールA化合物との反応生成物が使用されることが好ましい。

[0018] 有機マイクロフィラー5は、無機ナノフィラー6よりも高い靱性を有するため、サーボモータ8の運転により振動が発生する環境下においても、絶縁層3におけるクラックの発生を抑制して、絶縁層3の絶縁寿命を向上させる効果を発揮する。また、有機マイクロフィラー5は、その比重が熱硬化性樹脂4の比重と概ね同じであるため、後記する含浸処理時に熱硬化性樹脂4中に沈殿し難く、熱硬化性樹脂4中に均一に分散するという効果を発揮する。また、有機マイクロフィラー5は、無機ナノフィラー6と併用されることにより、含浸処理時の熱硬化性樹脂組成物のチクソ性を改善して、含浸処理を行う際の作業性を大幅に向上させる効果を発揮する。

[0019] 有機マイクロフィラー5には、例えば、熱硬化性樹脂ポリイミド樹脂、ポリイミドアミド樹脂、ポリエステルイミド樹脂が使用される。有機マイクロフィラー5には、誘電率が低く、絶縁破壊電界強度の高い絶縁性樹脂が使用されることが好ましく、熱硬化性樹脂4よりも誘電率が低く、熱硬化性樹脂4よりも絶縁破壊電界強度の高い樹脂が使用されることがより好ましい。例えば、有機マイクロフィラー5にポリイミド系樹脂を使用する場合には、ポリイミド基濃度の低いポリイミド樹脂が使用されることが好ましい。ポリイミド基濃度が低いポリイミド樹脂は、誘電率が低いため、絶縁層3の部分放電開始電圧 (Partial Discharge Inception Voltage : PDIV) が高くなる

ことを期待でき、絶縁層3の絶縁寿命を長くする効果を発揮する。

[0020] また、有機マイクロフィラー5には、融点が高いとともに誘電率が低く、かつ、絶縁破壊電界強度の高い熱可塑性樹脂が使用されてもよい。融点が高いとは、例えば、融点が200℃以上であることを意味する。このような熱可塑性樹脂としては、例えば、エンジニアリングプラスチック、スーパーエンジニアプラスチックが挙げられる。エンジニアリングプラスチックとしては、例えば、融点が243℃のポリブチレンナフタレート、融点が224℃のポリブチレンテレフタレート、融点が269℃のポリエチレンナフタレート、融点が258℃のポリエチレンテレフタレートが挙げられる。スーパーエンジニアプラスチックとしては、例えば、融点が285℃のポリフェニレンサルファイド、融点が338℃の熱可塑性ポリイミド、融点が334℃のポリエーテルエーテルケトン、融点が373℃のポリエーテルケトンが挙げられる。

[0021] また、有機マイクロフィラー5には、棒状、繊維状、または、鱗片状の樹脂が使用されることが好ましい。このような形状の有機マイクロフィラー5を一定方向に配向すると、球状の有機マイクロフィラー5を一定方向に配向する場合と比較して、絶縁層3の絶縁破壊時の破壊経路を大幅に伸ばすことができ、絶縁層3の絶縁破壊電圧を高めることが期待できる。また、有機マイクロフィラー5には、結晶性の樹脂が使用されることが好ましい。結晶性の樹脂を使用すると、絶縁層3の絶縁破壊電界強度を高めることができる。

[0022] 熱硬化性樹脂組成物全体における有機マイクロフィラー5の体積含有率は、1体積%以上で30体積%以下であることが好ましく、5体積%以上で20体積%以下であることがより好ましい。なお、有機マイクロフィラー5の体積含有率は、有機マイクロフィラー5の体積を、熱硬化性樹脂組成物の体積で除した値を百分率で示した値である。有機マイクロフィラー5の体積は、有機マイクロフィラー5の粉末の質量を、有機マイクロフィラー5の真密度で除することにより求められる。有機マイクロフィラー5の体積含有率が1体積%以上であると、熱硬化性樹脂組成物の絶縁性能を大幅に向上させる

ことができる。一方、有機マイクロファイラー5の体積含有率が30体積%以下であると、熱硬化性樹脂組成物の粘度が低くなり、熱硬化性樹脂組成物を固定子コイル19に含浸させやすくなる。

[0023] 無機ナノファイラー6には、例えば、酸化物、窒化物の何れかよりなる粒子、またはその2種以上の混合物が使用される。酸化物としては、例えば、シリカ、アルミナ、酸化チタン、三酸化ビスマス、二酸化セリウム、一酸化コバルト、酸化銅、三酸化鉄、酸化ホルミウム、酸化インジウム、酸化マンガ、酸化錫、酸化イットリウム、酸化亜鉛が挙げられる。これらの酸化物は、それぞれ単独で使用されてもよいし、2種以上が併用されてもよい。窒化物には、Ti, Ta, Nb, Mo, Co, Fe, Cr, V, Mn, Al, Siなどの窒化物が使用される。これらの窒化物は、それぞれ単独で使用されてもよいし、2種以上が併用されてもよい。

[0024] 熱硬化性樹脂組成物全体における無機ナノファイラー6の体積含有率は、1体積%以上で20体積%以下であることが好ましく、3体積%以上で10体積%以下であることがより好ましい。なお、無機ナノファイラー6の体積含有率は、無機ナノファイラー6の体積を、熱硬化性樹脂組成物の体積で除した値を百分率で示した値である。無機ナノファイラー6の体積は、粉末状の無機ナノファイラー6の質量を、無機ナノファイラー6の真密度で除することにより求められる。無機ナノファイラー6の体積含有率が1体積%以上であると、熱硬化性樹脂組成物の絶縁性能を大幅に向上させることができる。ここで、絶縁性能とは、例えば、絶縁寿命、耐部分放電性である。一方、無機ナノファイラー6の体積含有率が20体積%以下であると、熱硬化性樹脂組成物全体における無機ナノファイラー6の分散性が最も良好になる。

[0025] 無機ナノファイラー6の1次粒径は、1nmから500nmまでの範囲とすることが好ましい。無機ナノファイラー6の1次粒径が1nmから500nmまでの範囲から逸脱すると、熱硬化性樹脂組成物の絶縁性能が損なわれるおそれがあるとともに、含浸処理を行う際の作業性が落ちるおそれがある。

[0026] 無機ナノファイラー6の表面は、表面処理剤を用いて改質されてもよい。こ

ここでは、無機ナノフィラー6がシリカ粒子である場合を例にして説明する。シリカ粒子の表面は、通常、シラノール基で覆われるため、親水性となる。そこで、表面処理剤を用いてシリカ粒子の表面に疎水化処理を施してもよい。疎水化処理とは、シリカ表面のシラノール基を表面処理剤と反応させ、メチル基、ジメチル基、トリメチル基、オクチル基、アミノ基などの官能基で修飾させることを意味する。また、マトリックスの熱硬化性樹脂4とシリカ粒子との密着性を高めるように、表面処理剤を用いてシリカ粒子の表面を改質してもよい。

[0027] 表面処理剤としては、例えば、 $\gamma$ -グリシドオキシプロピルトリメトキシシラン、 $\gamma$ -アミノプロピルトリメトキシシラン、ビニルトリエトキシシラン、3-メタクリルオキシプロピルトリメトキシシラン、3-グリシジルオキシプロピルトリメトキシシランなどのシランカップリング剤、チタネート系カップリング剤、アルミニウム系カップリング剤などのカップリング剤、ラウリン酸アルミニウム、ステアリン酸アルミニウム、ステアリン酸鉄アルミナ、水酸化アルミニウム、アルミナ、ジルコニア、シリコンが挙げられる。これらの表面処理剤は、それぞれ単独で使用されてもよいし、2種以上が併用されてもよい。

[0028] 図示は省略するが、熱硬化性樹脂組成物には、熱硬化性樹脂4を硬化させるために、硬化剤が添加される。樹脂の硬化剤には、例えば、酸無水物、アミン系化合物、イミダゾール系化合物が使用される。なお、硬化剤の代わりに、熱硬化性樹脂4を硬化させる触媒が添加されてもよい。

[0029] 酸無水物としては、例えば、ヘキサヒドロ無水フタル酸、テトラヒドロ無水フタル酸、メチルヘキサヒドロ無水フタル酸、メチルテトラヒドロ無水フタル酸、無水メチルナジック酸が挙げられる。これらの酸無水物は、それぞれ単独で使用されてもよいし、2種以上が併用されてもよい。酸無水物の配合量は、特に限定されず、使用する酸無水物の種類、熱硬化性樹脂4の種類などに応じて適宜調整すればよい。例えば、熱硬化性樹脂4にビスフェノール型エポキシ樹脂を使用する場合には、酸無水物の配合量は、ビスフェノール

ル型エポキシ樹脂100質量部に対して、10質量部から150質量部であることが好ましく、30質量部から120質量部であることがより好ましく、50質量部から100質量部であることがさらに好ましい。このような酸無水物の配合量であれば、熱硬化性樹脂組成物を適切に硬化させることができる。ビスフェノール型エポキシ樹脂とビスフェノール型の硬化剤とを使用する場合には、エポキシ樹脂のエポキシ基に対する酸無水物の酸無水物基の当量比は、特に限定されないが、0.7から1.3であることが好ましく、0.8から1.2であることがより好ましく、0.9から1.1であることがさらに好ましい。前記当量比が0.7未満であると、絶縁層3を形成する際の作業性が低下する傾向がある。一方、前記当量比が1.3を超えると、絶縁層3の耐熱性などが低下する傾向がある。

[0030] アミン系化合物としては、例えば、エチレンジアミン、1,3-ジアミノプロパン、1,4-ジアミノブタン、ヘキサメチレンジアミン、ジプロレンジアミン、ポリエーテルジアミン、2,5-ジメチルヘキサメチレンジアミン、トリメチルヘキサメチレンジアミン、ジエチレントリアミン、イミノビスプロピルアミン、ビス(ヘキサメチル)トリアミン、トリエチレントトラミン、テトラエチレンペンタミン、ペンタエチレンヘキサミン、アミノエチルエタノールアミン、トリ(メチルアミノ)ヘキサン、ジメチルアミノプロピルアミン、ジエチルアミノプロピルアミン、メチルイミノビスプロピルアミン、メンセンジアミン、イソホロンジアミン、ビス(4-アミノ-3-メチルジシクロヘキシル)メタン、ジアミノジシクロヘキシルメタン、ビス(アミノメチル)シクロヘキサン、N-アミノエチルピペラジン、3,9-ビス(3-アミノプロピル)2,4,8,10-テトラオキサスピロ(5,5)ウンデカン、m-キシレンジアミン、メタフェニレンジアミン、ジアミノジフェニルメタン、ジアミノジフェニルスルホン、ジアミノジエチルジフェニルメタン、ジシアンジアミド、有機酸ジヒドラジドが挙げられる。

[0031] イミダゾール系化合物としては、例えば、2-メチルイミダゾール、2-ウンデシルイミダゾール、1,2-ジメチルイミダゾール、2-エチル-4

ーメチルイミダゾール、2-ヘプタデシルイミダゾール、2-フェニルイミダゾール、2-フェニル-4-メチルイミダゾール、1-ベンジル-2-メチルイミダゾール、1-ベンジル-2-フェニルイミダゾールが挙げられる。

[0032] 硬化剤には、反応性希釈剤が添加されてもよい。反応性希釈剤には、スチレンモノマー、またはそのフェニル基に炭化水素の官能基が付与したモノマー、あるいはメタクリルモノマー、アクリルモノマーが使用される。メタクリルモノマーとしては、エポキシ樹脂の硬化を損なわないものであれば特に限定されず、例えば、直鎖状メタクリレート、分岐状メタクリレート、環状メタクリレートが挙げられる。耐熱性の観点から、メタクリルモノマーには、直鎖状メタクリレートが使用されることが好ましい。直鎖状メタクリレートとしては、例えば、ラウリルメタクリレート、イソボルニルメタクリレート、テトラヒドロフルフリルメタクリレート、2-ヒドロキシエチルメタクリレート、ベンジルメタクリレート、シクロヘキシルメタクリレートが挙げられる。これらの直鎖状メタクリレートは、それぞれ単独で使用されてもよいし、2種以上が併用されてもよい。アクリルモノマーとしては、エポキシ樹脂の硬化を損なわないものであれば特に限定されず、直鎖状アクリレート、分岐状アクリレート、環状アクリレートが挙げられる。耐熱性の観点から、アクリルモノマーには、直鎖状アクリレートが使用されることが好ましい。直鎖状アクリレートとしては、例えば、2-エチルヘキシルアクリレート、シクロヘキシルアクリレート、ジエチレングリコールモノ2-エチルヘキシルエーテルアクリレート、ジエチレングリコールモノフェニルエーテルアクリレート、テトラエチレングリコールモノフェニルエーテルアクリレート、トリメチロールプロパントリアクリレート、ラウリルアクリレート、イソボルニルアクリレート、2-フェノキシエチルアクリレート、テトラヒドロフルフリルアクリレート、2-ヒドロキシプロピルアクリレート、ベンジルアクリレート、2-(2, 4, 6-トリブromoフェノキシ)エチルアクリレートが挙げられる。これらの直鎖状アクリレートは、それぞれ単独で使用さ

れてもよいし、2種以上が併用されてもよい。反応性希釈剤の配合量は、特に限定されず、適宜調整すればよい。

[0033] 本実施の形態の熱硬化性樹脂組成物には、前記した成分以外に、本実施の形態の効果を阻害しない範囲において、各種添加剤が添加されてもよい。このような添加剤としては、例えば、消泡剤、レベリング剤、溶剤、分散剤が挙げられる。

[0034] 次に、本実施の形態にかかる固定子コイル19の製造方法について説明する。固定子コイル19の製造方法は、剪断分散工程と、混合工程と、塗布工程とを含んでいる。

[0035] 剪断分散工程は、図3に示される無機ナノフィラー6を熱硬化性樹脂4に添加して剪断し、熱硬化性樹脂4中に分散させる工程である。無機ナノフィラー6は、通常、熱硬化性樹脂4への添加前に二次粒子または三次粒子として凝集しているため、剪断分散工程を行うことにより、無機ナノフィラー6の二次粒子または三次粒子を破砕して熱硬化性樹脂4に分散させる必要がある。剪断分散条件を適宜設定することにより、無機ナノフィラー6の凝集状態および分散状態を調整することができる。剪断分散工程では、剪断力により熱硬化性樹脂4と無機ナノフィラー6とが混合される。剪断分散工程に使用される装置は、無機ナノフィラー6に剪断力を与えられる混合装置であれば特に限定されず、公知の装置の中から適宜選択すればよい。剪断分散工程に使用される装置としては、例えば、湿式高圧剪断分散装置が挙げられる。

[0036] 混合工程は、無機ナノフィラー6が分散された熱硬化性樹脂4に、有機マイクロフィラー5と硬化剤とを添加して混合する工程である。混合工程によって、有機マイクロフィラー5および硬化剤が熱硬化性樹脂4中に分散される。有機マイクロフィラー5および硬化剤を熱硬化性樹脂4に混合する方法は、特に限定されず、公知の方法の中から適宜選択すればよい。例えば、有機マイクロフィラー5および硬化剤を熱硬化性樹脂4に添加した後、攪拌機などの機械を用いて有機マイクロフィラー5と硬化剤と熱硬化性樹脂4とを混合すればよい。以上の剪断分散工程および混合工程により、熱硬化性樹脂

組成物が得られる。

[0037] 塗布工程は、熱硬化性樹脂組成物を固定子コイル19に塗布する工程である。熱硬化性樹脂組成物の塗布方法は、特に限定されず、公知の方法の中から適宜選択すればよい。熱硬化性樹脂組成物の塗布方法としては、例えば、熱硬化性樹脂組成物を入れた容器に固定子コイル19を浸漬する方法がある。含浸処理方法としては、例えば、真空含浸、真空加圧含浸、常圧含浸が挙げられる。含浸処理の条件は、特に限定されず、熱硬化性樹脂組成物、エナメル線2などの種類に応じて適宜設定すればよい。また、熱硬化性樹脂組成物の塗布方法としては、熱硬化性樹脂組成物を固定子コイル19に滴下する方法がある。塗布工程の後に熱硬化性樹脂組成物を加熱して硬化させることにより、絶縁層3を備えた固定子コイル19が得られる。絶縁層3の厚さは、特に限定されず、製造する固定子コイル19の大きさなどに応じて適宜設定すればよい。

[0038] 次に、本実施の形態にかかる熱硬化性樹脂組成物の効果について説明する。

[0039] 本実施の形態では、図3に示すように、熱硬化性樹脂組成物は、熱硬化性樹脂4と、有機マイクロフィラー5と、無機ナノフィラー6とを含有する。有機マイクロフィラー5を含有する熱硬化性樹脂組成物が絶縁層3に用いられることにより、無機マイクロフィラーを含有する熱硬化性樹脂組成物が絶縁層に用いられる場合と比較して、絶縁層3の靱性を高めることができる。これにより、サーボモータ8の運転中に発生する振動による絶縁層3におけるクラックの発生を抑制することができるため、絶縁層3の絶縁寿命を長くすることができる。また、有機マイクロフィラー5と無機ナノフィラー6とを含有する熱硬化性樹脂組成物が固定子コイル19の絶縁層3に用いられることにより、絶縁層3の電氣的な破壊現象である電気トリの進展を抑制することができるため、絶縁層3の長期耐電圧特性を向上させることができる。

[0040] なお、本実施の形態では、サーボモータ8の固定子コイル19の絶縁層3

に本開示の熱硬化性樹脂組成物を用いたが、サーボモータ 8 以外の電動機、発電機、圧縮機などの回転機の固定子コイルの絶縁層に本開示の熱硬化性樹脂組成物を用いてもよい。

[0041] 実施の形態 2.

図 4 は、実施の形態 2 における有機マイクロファイラ 5 を模式的に示す断面図である。実施の形態 2 では、有機マイクロファイラ 5 の表面が無機層 7 でコーティングされた点が、前記した実施の形態 1 と相違する。実施の形態 2 では、前記した実施の形態 1 と重複する部分については、同一符号を付して説明を省略する。

[0042] 有機マイクロファイラ 5 の表面は、無機材料により形成された無機層 7 でコーティングされている。無機層 7 は、有機マイクロファイラ 5 よりも薄い薄膜状の絶縁層であって、絶縁層 3 の耐電圧特性を向上させる効果を発揮する。無機層 7 には、例えば、シリカ、アルミナよりなる群より選択された物質が使用されてもよいし、酸化物、窒化物よりなる群より選択された物質が使用されてもよい。無機層 7 の厚さは、0.1  $\mu\text{m}$  から 1.5  $\mu\text{m}$  までの範囲であることが好ましく、0.5  $\mu\text{m}$  から 1.0  $\mu\text{m}$  までの範囲であることがより好ましい。無機層 7 の厚さが 0.1  $\mu\text{m}$  未満であると、絶縁層 3 の耐電圧特性を向上させる効果が低くなるおそれがあるため、無機層 7 の厚さは 0.1  $\mu\text{m}$  以上であることが好ましく、0.5  $\mu\text{m}$  以上であることがより好ましい。一方、無機層 7 の厚さが 1.5  $\mu\text{m}$  を超えると、無機層 7 にクラックが発生する可能性が高まるため、無機層 7 の厚さは 1.5  $\mu\text{m}$  以下であることが好ましく、1.0  $\mu\text{m}$  以下であることがより好ましい。

[0043] 次に、有機マイクロファイラ 5 の表面を無機層 7 でコーティングするコーティング工程について説明する。コーティング工程は、前記した混合工程の前に行えばよい。有機マイクロファイラ 5 の表面を無機層 7 でコーティングする方法には、例えば、有機マイクロファイラ 5 を無機コーティング剤に浸漬する浸漬法、有機マイクロファイラ 5 に無機コーティング剤をスプレーで噴霧する方法がある。無機コーティング剤には、高温焼成タイプ、触媒を添

加することによって硬化温度を抑えた低温タイプ、常温タイプがある。無機コーティング剤には、有機マイクロフィラー5の耐熱温度以下である低温タイプ、または、常温タイプが使用されることが好ましい。耐熱温度以下とは、例えば、250℃以下であることを意味する。

[0044] ここで、無機層7により絶縁層3の耐電圧特性を向上させる原理について説明する。一般論として、絶縁破壊電界強度に関しては、無機材料の方が有機材料よりも高い。そのため、熱硬化性樹脂に無機材料を添加することによって、絶縁層3の耐電圧特性を向上させることができる。一方、静的強度に関しては、無機材料の方が有機材料よりも高いが、動的強度および靱性に関しては、有機材料の方が無機材料よりも高い。つまり、無機材料は、硬い性質と脆い性質とを併せ持つ。このため、熱硬化性樹脂に無機材料を添加すると、絶縁層3の靱性が低下して絶縁層3が脆くなり、サーボモータ8の運転中に発生する振動により絶縁層3にクラックが生じやすくなる。そこで、本実施の形態では、無機材料の高い耐電圧特性を利用しつつ、無機材料の脆い性質を克服する方法として、無機材料で形成された薄膜状の無機層7で有機マイクロフィラー5の表面をコーティングする方法を取った。薄膜状の無機層7を用いると、無機層7に亀裂が発生しにくくなり、亀裂が伝搬する経路に無機層7がならないため、絶縁層3の機械的強度の低下を抑制することができる。以上のとおり、本実施の形態では、有機マイクロフィラー5の表面が薄膜状の無機層7でコーティングされることにより、絶縁層3の機械的強度を損なうことなく、絶縁層3の耐電圧特性および絶縁寿命を向上させることができる。

[0045] 実施の形態3.

図5は、実施の形態3におけるコイル線1を模式的に示す断面図である。図6は、実施の形態3の絶縁層3全体における有機マイクロフィラー5の体積比率とエナメル線2の半径方向に沿った中心軸C1からの距離との関係を示すグラフである。実施の形態3では、絶縁層3全体における有機マイクロフィラー5および無機ナノフィラー6のうち少なくとも1つの体積比率を、

エナメル線2の中心軸C1に近いほど高くする点が、前記した実施の形態1と相違する。実施の形態3では、前記した実施の形態1と重複する部分については、同一符号を付して説明を省略する。本実施の形態では、絶縁層3全体における有機マイクロフィラー5の体積比率のみがエナメル線2の中心軸C1に近いほど高く、絶縁層3全体における無機ナノフィラー6の体積比率がエナメル線2の半径方向に沿った中心軸C1からの距離に関係なく均一である場合を例にして説明する。

[0046] 図5に示すように、エナメル線2は、中心軸C1を有する円柱形状に形成されている。図5では、図6のX軸に対応する線であって、中心軸C1を通過して半径方向に延びる二本の線を図示している。有機マイクロフィラー5には、前記した実施の形態1の有機マイクロフィラー5が使用されてもよいし、前記した実施の形態2の無機層7でコーティングされた有機マイクロフィラー5が使用されてもよい。図6の縦軸は、絶縁層3全体における有機マイクロフィラー5の体積比率を示している。図6の横軸は、エナメル線2の半径方向に沿った中心軸C1からの距離を示している。図6の横軸の0（零）は、エナメル線2の中心軸C1を示し、横軸に沿って0（零）から離れるほどコイル線1における半径方向外側に位置することを意味する。図5および図6に示されるAは、絶縁層3のうち最も半径方向内側に位置する部分、すなわち絶縁層3とエナメル線2との界面の位置を表している。また、図5および図6に示されるBは、絶縁層3のうち最も半径方向外側に位置する部分、すなわち絶縁層3の外周部の位置を表している。図6に示すように、絶縁層3全体における有機マイクロフィラー5の体積比率は、BからAに向かうほど高い。つまり、絶縁層3全体における有機マイクロフィラー5の体積比率は、エナメル線2の中心軸C1に近いほど高い。

[0047] 次に、本実施の形態における絶縁層3の形成方法について説明する。一般的には、熱硬化性樹脂組成物を固定子コイル19に含浸した後、熱硬化性樹脂組成物を加熱して硬化させることにより絶縁層3を形成する。この点、本実施の形態では、エナメル線2の半径方向に沿った中心軸C1からの距離に

より、絶縁層3全体における有機マイクロフィラー5の体積比率を変える必要があるため、前記した含浸処理を複数回に分けて実施する。まず、有機マイクロフィラー5の含有率が高い熱硬化性樹脂組成物を固定子コイル19に含浸して、固定子コイル19の表面に絶縁層3を薄く形成する。絶縁層3を薄く形成する方法として、熱硬化性樹脂組成物に希釈剤を添加して、熱硬化性樹脂組成物の粘度を適度に調整する方法がある。また、絶縁層3を薄く形成する別の方法として、絶縁層3を乾燥させる前に、振動処理または離心処理を施すことにより、絶縁層3の厚さを薄くする方法がある。続いて、前回の含浸処理よりも有機マイクロフィラー5の含有率が低い熱硬化性樹脂組成物を固定子コイル19に含浸する。絶縁層3の厚さは、前記した方法で調整することができる。含浸処理は、複数回行えばよい。以上のとおり、複数回の含浸処理を行うとともに、含浸処理の回数を重ねるごとに熱硬化性樹脂組成物全体における有機マイクロフィラー5の含有率を低くすることにより、エナメル線2の中心軸C1に近いほど有機マイクロフィラー5の体積比率が高い絶縁層3を形成することができる。

[0048] ここで、本実施の形態の絶縁層3の耐電圧特性を向上させる原理について説明する。熱硬化性樹脂4に有機マイクロフィラー5を添加することにより、絶縁層3の耐電圧特性を向上させることができる。有機マイクロフィラー5の添加量が多くなるほど、絶縁層3の耐電圧特性を向上させることができる。一方で、絶縁層3とエナメル線2との界面からの距離が近いほど、絶縁層3に加わる電界強度が強くなる。したがって、絶縁層3のうちエナメル線2との界面に近いほど有機マイクロフィラー5の体積比率を高くすることにより、絶縁層3の絶縁破壊を抑制することができる。一方で、絶縁層3のうち絶縁層3とエナメル線2との界面からの距離が遠いほど有機マイクロフィラー5の体積比率を低くしても、絶縁層3の絶縁破壊を抑制することができる。

[0049] 一般的に、熱硬化性樹脂4の熱膨張率は、エナメル線2の熱膨張率よりも高い。また、有機マイクロフィラー5および無機ナノフィラー6の熱膨張率

は、熱硬化性樹脂4の熱膨張率よりも低い。そのため、熱硬化性樹脂4に有機マイクロファイラー5および無機ナノファイラー6を添加することにより、熱硬化性樹脂組成物の熱膨張率がエナメル線2の熱膨張率に近づく。したがって、熱硬化性樹脂組成物を固定子コイル19に含浸する過程で、エナメル線2と熱硬化性樹脂組成物との間に、両者の熱膨張率の差によって発生する熱応力を緩和することができる。また、サーボモータ8の運転中には、通電時の熱膨張率の差によってエナメル線2と絶縁層3との間に発生する熱応力を緩和することができる。そして、これらの熱応力の緩和により、絶縁層3の熱ひずみを下げることになり、ひいては機械的欠陥の発生確率を下げるることができる。その結果、絶縁層3の耐電圧特性および絶縁寿命を向上させることができる。

[0050] 以上のとおり、本実施の形態では、絶縁層3全体における有機マイクロファイラー5の体積比率がエナメル線2の中心軸C1に近いほど高いことにより、絶縁層3の耐電圧特性および絶縁寿命を向上させることができる。

[0051] なお、絶縁層3全体における有機マイクロファイラー5の体積比率のみがエナメル線2の中心軸C1に近いほど高い構成にしたが、絶縁層3全体における有機マイクロファイラー5および無機ナノファイラー6のうち少なくとも1つの体積比率がエナメル線2の中心軸C1に近いほど高ければよい。すなわち、絶縁層3全体における無機ナノファイラー6の体積比率のみがエナメル線2の中心軸C1に近いほど高い構成でもよい。また、絶縁層3全体における有機マイクロファイラー5および無機ナノファイラー6の両方の体積比率がエナメル線2の中心軸C1に近いほど高い構成でもよい。これらの構成の固定子コイル19は、前記した含浸処理方法により得られる。また、これらの構成にしても、絶縁層3の耐電圧特性および絶縁寿命を向上させることができる。

[0052] 次に、実施例および比較例により、本開示の効果について更に説明する。

[0053] (実施例1)

熱硬化性樹脂としてビスフェノールA型エポキシ樹脂100質量部と、硬化剤としてメチルー1, 2, 3, 6-テトラヒドロ無水フタル酸90質量部

とを混合して攪拌した後、脱泡を行った。これにより得られた混合物に、無機ナノフィラーとして一次粒子の平均粒径が40 nmであるナノシリカ粒子5体積%を添加し、自転公転式攪拌機を用いて2000 rpmで2分間の条件で攪拌した。これにより得られた混合物を、湿式高圧剪断分散装置を用いて200 MPa以下の条件で剪断分散処理を行った。これにより得られた混合物に、有機マイクロフィラーとして平均粒径が5 μmで平均長さが50 μmであるポリイミド微粒子10体積%を添加し、自転公転式攪拌機を用いて2000 rpmで2分間の条件で攪拌した。これにより得られた混合物に、イミダゾール系硬化剤3質量部を添加して攪拌した後、真空脱気処理することにより熱硬化性樹脂組成物を得た。

[0054] 次に、JIS C2103に準拠して、ポリアミドイミド皮膜をエナメル被覆としたエナメル線を用いて、ツイストペアケーブルを作製した。作製したツイストペアケーブルに前記した熱硬化性樹脂組成物を含浸した後、180°Cで5時間加熱することによりツイストペアの表面に絶縁層を形成した。絶縁層の厚さは、約600 μmであった。実施例1では、絶縁層全体における有機マイクロフィラーの体積比率が絶縁層全域に亘って均一であった。

[0055] (実施例2)

有機マイクロフィラーとして、実施例1のポリイミド微粒子の代わりに、シリカで表面がコーティングされたポリイミド微粒子を使用した以外は、実施例1と同様にして絶縁層が形成されたツイストペアケーブルを得た。シリカで形成された無機層の厚さは、約1 μmであった。

[0056] (実施例3)

有機マイクロフィラーとして、実施例2と同様の有機マイクロフィラーを使用した。また、絶縁層全体における有機マイクロフィラーの体積比率がエナメル線の中心軸に近いほど高くなるようにした。実施例3では、エナメル線の半径方向に沿ったエナメル線の中心軸からの距離により絶縁層全体における有機マイクロフィラーの体積比率を変える方法として、以下に示すステップ方式含浸処理法を使用した。ステップ方式含浸処理法は、第1ステップ

と、第2ステップと、第3ステップとを含んでいる。第1ステップでは、第1の体積比率の有機マイクロフィラーを含有した熱硬化性樹脂組成物をツイストペアケーブルに含浸して、ツイストペアケーブルの表面に第1の絶縁層を形成する。第2ステップでは、第1の体積比率よりも低い第2の体積比率の有機マイクロフィラーを含有した熱硬化性樹脂組成物をツイストペアケーブルに含浸して、ツイストペアケーブルの表面に第2の絶縁層を形成する。第3ステップでは、有機マイクロフィラーを含有していない熱硬化性樹脂組成物をツイストペアケーブルに含浸して、ツイストペアケーブルの表面に第3の絶縁層を形成する。これにより、第1の絶縁層、第2の絶縁層および第3の絶縁層が形成されたツイストペアケーブルを得た。第1の絶縁層全体における有機マイクロフィラーの体積比率は、20%であった。第2の絶縁層全体における有機マイクロフィラーの体積比率は、10%であった。第3の絶縁層全体における有機マイクロフィラーの体積比率は、0%であった。第1の絶縁層、第2の絶縁層および第3の絶縁層の厚さは、概ね均等で、それぞれ約200 $\mu$ mであった。なお、前記したステップ方式含浸処理法は一例であり、エナメル線の半径方向に沿ったエナメル線の中心軸からの距離により有機マイクロフィラーの体積比率を変える方法を限定する趣旨ではない。

[0057] (比較例1)

実施例1のポリイミド微粒子の代わりに、無機マイクロフィラーを使用した以外は、実施例1と同様にして絶縁層が形成されたツイストペアケーブルを得た。無機マイクロフィラーとして、平均粒径が約8 $\mu$ mの球状シリカ粒子を使用した。

[0058] (試験方法)

実施例1から3および比較例1の絶縁層が形成されたツイストペアケーブルについて、以下に示した試験方法により破壊靱性、破壊電圧、絶縁寿命、部分放電開始電圧をそれぞれ測定した。

[0059] [破壊靱性]

A S T M D 5 0 4 5 - 9 1 に準拠して、コンパクトテンション試験片に

初期亀裂を生成し、引張り荷重を加え、亀裂が進展して破断した時の荷重から破壊靱性値 ( $K_{Ic}$ ) を算出した。クロスヘッドの移動速度は 1 mm/分、測定温度は室温とした。

[0060] [破壊電圧]

ヤマヨ試験器社製の絶縁破壊電圧測定装置を用いて、ツイストペアケーブルの導体間に、昇圧速度 500 V/sec で正弦波 50 Hz の交流電圧を印加して、連続的に昇圧させながら絶縁破壊する電圧の実効値を測定した。測定温度は室温とした。

[0061] [絶縁寿命]

ヤマヨ試験器社製の耐压試験機を用いて、ツイストペアケーブルの導体間に 2 kV/50 Hz の交流電圧を印加して、破壊する時間を測定した。測定温度は室温とした。

[0062] [部分放電開始電圧]

三菱電線社製の部分放電試験機を用いて、ツイストペアケーブルの導体間に正弦波 50 Hz の交流電圧を印加して、連続的に昇圧させながら放電電荷量が 10 pC のときの電圧の実効値を測定した。測定温度は室温とした。

[0063] 実施例 1 から 3 および比較例 1 についての評価結果を表 1 に示した。なお、表 1 では、比較例 1 の各特性値を 1 として、実施例 1 から 3 の各特性値を比較例 1 との比率で示している。各物性値の数値が大きいほど特性が優れていることを意味している。

[0064] [表1]

(表1)

	比較例1	実施例1	実施例2	実施例3
破壊靱性	1	2	2	2
破壊電圧	1	1.1	1.2	1.4
絶縁寿命	1	2.3	2.5	3.1
部分放電開始電圧	1	1.3	1.2	1.2

[0065] 表1から明らかのように、有機マイクロフィラーを含有した熱硬化性樹脂組成物を用いてツイストペアケーブルの絶縁層を形成した実施例1から3は、無機マイクロフィラーを含有した熱硬化性樹脂組成物を用いてツイストペアケーブルの絶縁層を形成した比較例1と比較して、破壊靱性、破壊電圧、絶縁寿命および部分放電開始電圧の全ての評価項目で高い数値を示した。このことから、有機マイクロフィラーが、絶縁層の靱性の向上、絶縁層の耐電圧特性の向上および絶縁層の絶縁寿命の向上に有効であることが分かる。

[0066] 絶縁層の耐電圧特性および絶縁寿命に対する無機層の存在の影響を考察する。実施例1, 2の相違は無機層の有無のみである。有機マイクロフィラーの表面が無機層でコーティングされた実施例2は、有機マイクロフィラーの表面が無機層でコーティングされない実施例1と比較して、破壊電圧および絶縁寿命の評価項目で高い数値を示した。このことから、有機マイクロフィラーの表面をコーティングする無機層が、絶縁層の耐電圧特性の向上および絶縁層の絶縁寿命の向上に有効であることが分かる。

[0067] 絶縁層の耐電圧特性および絶縁寿命に対する有機マイクロフィラーの体積比率の影響を考察する。絶縁層全体における有機マイクロフィラーの体積比率がエナメル線の中心軸に近いほど高い実施例3は、絶縁層全体における有機マイクロフィラーの体積比率が絶縁層全域に亘って均一である実施例2と比較して、破壊電圧および絶縁寿命の評価項目で高い数値を示した。このことから、絶縁層全体における有機マイクロフィラーの体積比率をエナメル線の中心軸に近いほど高くすることが、絶縁層の耐電圧特性の向上および絶縁層の絶縁寿命の向上に有効であることが分かる。

[0068] 以上の実施の形態に示した構成は、一例を示すものであり、別の公知の技術と組み合わせることも可能であるし、実施の形態同士を組み合わせることも可能であるし、要旨を逸脱しない範囲で、構成の一部を省略、変更することも可能である。

## 符号の説明

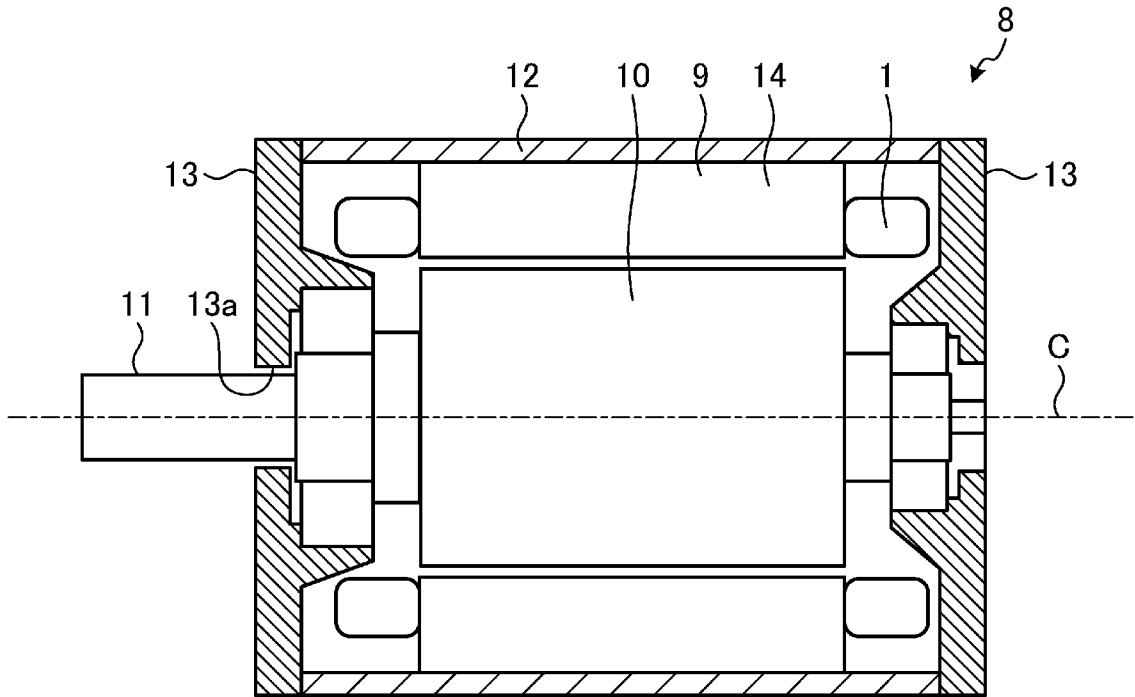
[0069] 1 コイル線、2 エナメル線、3 絶縁層、4 熱硬化性樹脂、5 有

機マイクロファイラー、6 無機ナノファイラー、7 無機層、8 サーボモータ、9 固定子、10 回転子、11 シャフト、12 フレーム、13 ブラケット、13a 孔、14 固定子鉄心、15 コアバック、16 ティース、17 スロット、18 インシュレータ、19 固定子コイル、20 テープ、21 芯線、22 エナメル層。

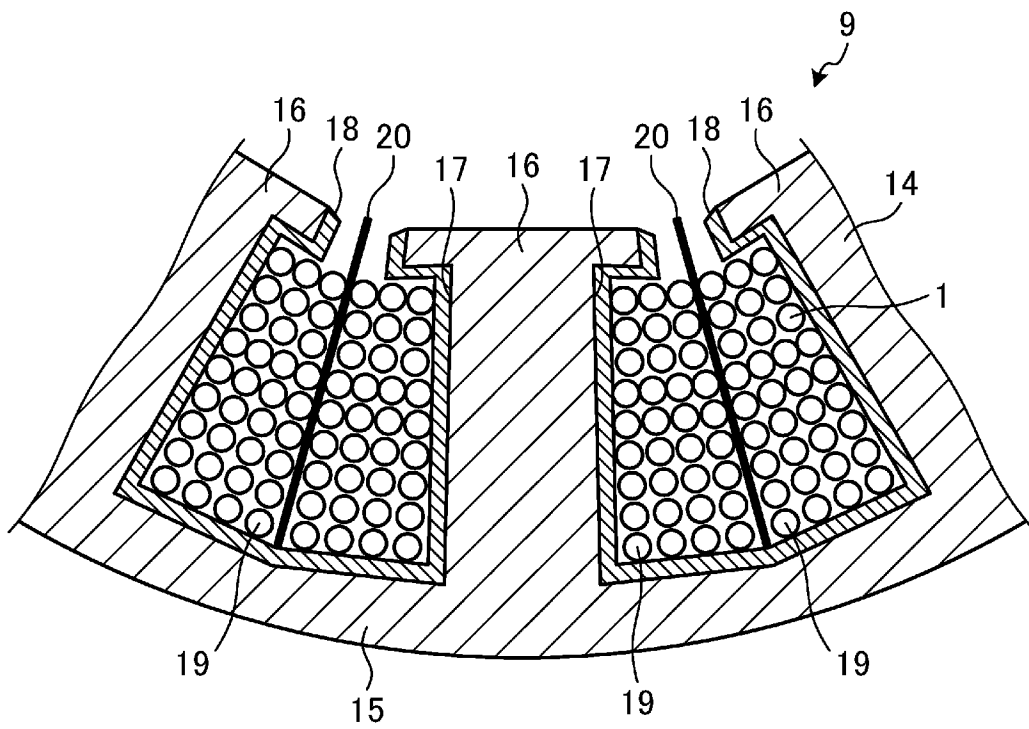
## 請求の範囲

- [請求項1] 熱硬化性樹脂と、  
有機マイクロフィラーと、  
無機ナノフィラーと、を含有しており、  
回転電機の固定子コイルの絶縁層に用いられることを特徴とする熱硬化性樹脂組成物。
- [請求項2] 前記有機マイクロフィラーの表面は、無機層でコーティングされていることを特徴とする請求項1に記載の熱硬化性樹脂組成物。
- [請求項3] 前記無機層の厚さは、0.1  $\mu\text{m}$ から1.5  $\mu\text{m}$ までの範囲であることを特徴とする請求項2に記載の熱硬化性樹脂組成物。
- [請求項4] 導線と、  
前記導線を覆う絶縁層と、を備え、  
前記絶縁層は、  
熱硬化性樹脂と、  
有機マイクロフィラーと、  
無機ナノフィラーと、を含有することを特徴とする固定子コイル。
- [請求項5] 前記有機マイクロフィラーおよび前記無機ナノフィラーのうち少なくとも1つの体積比率は、前記導線の中心軸に近いほど高いことを特徴とする請求項4に記載の固定子コイル。
- [請求項6] 複数のティースを有する固定子鉄心と、  
複数の前記ティースのそれぞれに形成された請求項4または5に記載の固定子コイルと、を備えることを特徴とする回転電機。

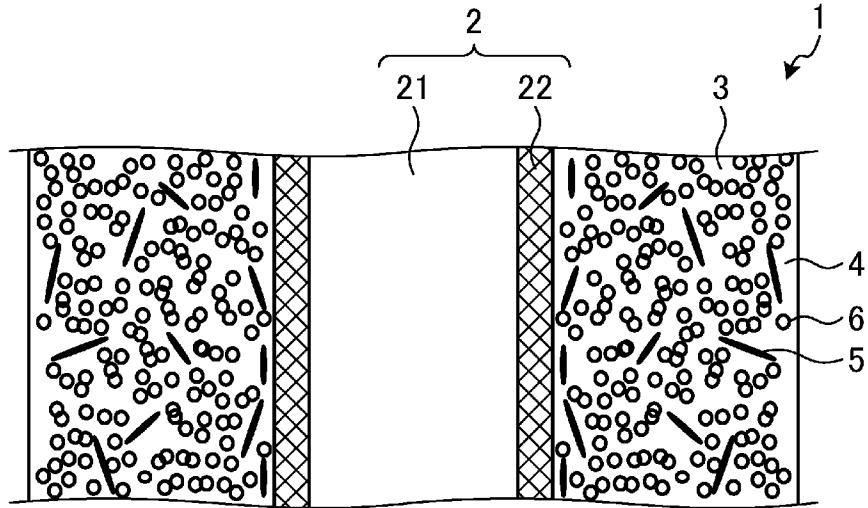
[図1]



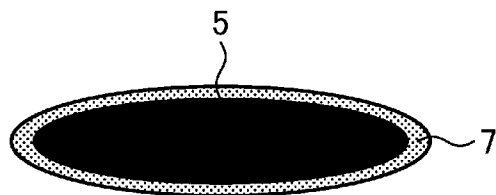
[図2]



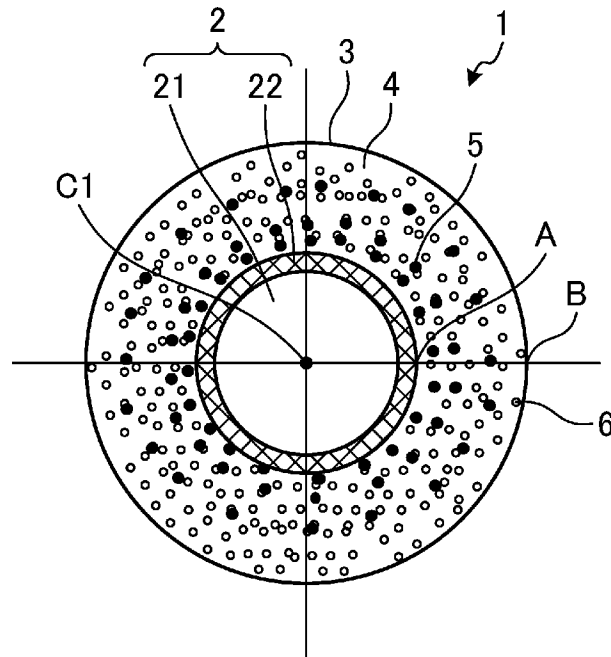
[図3]



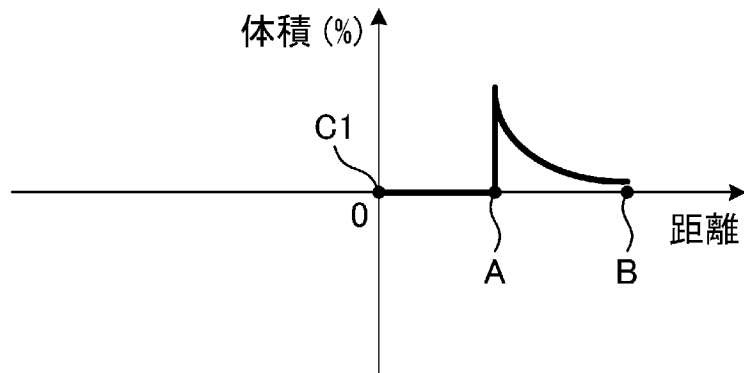
[図4]



[図5]



[図6]



**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP2020/028714

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**

Int. Cl. H02K3/30 (2006.01) i, C08L101/00 (2006.01) i, H01B3/40 (2006.01) i, C08L79/08 (2006.01) i, C08K3/36 (2006.01) i

FI: C08L101/00, C08K3/36, C08L79/08, H01B3/40, H02K3/30

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int. Cl. H02K3/30, C08L101/00, H01B3/40, C08L79/08, C08K3/36

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996

Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2020

Registered utility model specifications of Japan 1996-2020

Published registered utility model applications of Japan 1994-2020

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A	JP 2015-59148 A (MITSUBISHI HITACHI POWER SYSTEMS, LTD.) 30 March 2015, claims, paragraph [0035], examples 6, 7, paragraph [0071], fig. 1	1, 4, 6 2, 3, 5
Y A	JP 2018-115273 A (HITACHI METALS, LTD.) 26 July 2018, claims, paragraphs [0002], [0039]-[0042], examples 6, 7, fig. 3-5, paragraphs [0130], [0131]	1, 4-6 2, 3
Y	WO 2019/077793 A1 (MITSUBISHI ELECTRIC CORP.) 25 April 2019, claims, fig. 1	1, 4-6
Y	WO 2018/011904 A1 (MITSUBISHI ELECTRIC CORP.) 18 January 2018, claims, fig. 2, paragraphs [0004]-[0009]	1, 4-6

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
28.09.2020

Date of mailing of the international search report  
06.10.2020

Name and mailing address of the ISA/  
Japan Patent Office  
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,  
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer  
  
Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**International application No.  
PCT/JP2020/028714

## C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2015-231322 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORP.) 21 December 2015, claims, fig. 2, paragraph [0007]	1, 4-6
A	JP 2020-45417 A (HITACHI INDUSTRIAL EQUIPMENT SYSTEM CO., LTD.) 26 March 2020, entire document	1-6
A	JP 2015-228781 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORP.) 17 December 2015, entire document	1-6

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
Information on patent family members

International application No.  
PCT/JP2020/028714

Patent Documents referred to in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
JP 2015-59148 A	30.03.2015	(Family: none)	
JP 2018-115273 A	26.07.2018	(Family: none)	
WO 2019/077793 A1	25.04.2019	(Family: none)	
WO 2018/011904 A1	18.01.2018	US 2019/0165632 A1 claims, fig. 2 EP 3486285 A1 CN 109415554 A	
JP 2015-231322 A	21.12.2015	(Family: none)	
JP 2020-45417 A	26.03.2020	(Family: none)	
JP 2015-228781 A	17.12.2015	(Family: none)	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） H02K 3/30(2006.01)i; C08L 101/00(2006.01)i; H01B 3/40(2006.01)i; C08L 79/08(2006.01)i; C08K 3/36(2006.01)i FI: C08L101/00; C08K3/36; C08L79/08; H01B3/40; H02K3/30		
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC）） H02K3/30; C08L101/00; H01B3/40; C08L79/08; C08K3/36 最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2020年 日本国実用新案登録公報 1996-2020年 日本国登録実用新案公報 1994-2020年 国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）		
C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X A	JP 2015-59148 A（三菱日立パワーシステムズ株式会社）30.03.2015（2015-03-30） 特許請求の範囲, [0035], 実施例6, 7, [0071], 図1	1, 4, 6 2, 3, 5
Y A	JP 2018-115273 A（日立金属株式会社）26.07.2018（2018-07-26） 特許請求の範囲, [0002], [0039]-[0042], 実施例6, 7, 図3-5, [0130]-[0131]	1, 4-6 2, 3
Y	WO 2019/077793 A1（三菱電機株式会社）25.04.2019（2019-04-25） 特許請求の範囲, 図1	1, 4-6
Y	WO 2018/011904 A1（三菱電機株式会社）18.01.2018（2018-01-18） 特許請求の範囲, 図2, [0004]-[0009]	1, 4-6
Y	JP 2015-231322 A（三菱電機株式会社）21.12.2015（2015-12-21） 特許請求の範囲, 図2, [0007]	1, 4-6
A	JP 2020-45417 A（株式会社日立産機システム）26.03.2020（2020-03-26） 文献全体	1-6
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input checked="" type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。		
* 引用文献のカテゴリー “A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの “E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの “L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す） “O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 “P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献	“T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの “X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの “Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの “&” 同一パテントファミリー文献	
国際調査を完了した日 28.09.2020	国際調査報告の発送日 06.10.2020	
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	権限のある職員（特許庁審査官） 堀 洋樹 4J 3034 電話番号 03-3581-1101 内線 3457	



国際調査報告  
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号  
 PCT/JP2020/028714

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 2015-59148 A	30.03.2015	(ファミリーなし)	
JP 2018-115273 A	26.07.2018	(ファミリーなし)	
WO 2019/077793 A1	25.04.2019	(ファミリーなし)	
WO 2018/011904 A1	18.01.2018	US 2019/0165632 A1 特許請求の範囲, 図2 EP 3486285 A1 CN 109415554 A	
JP 2015-231322 A	21.12.2015	(ファミリーなし)	
JP 2020-45417 A	26.03.2020	(ファミリーなし)	
JP 2015-228781 A	17.12.2015	(ファミリーなし)	