

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7308799号
(P7308799)

(45)発行日 令和5年7月14日(2023.7.14)

(24)登録日 令和5年7月6日(2023.7.6)

(51)国際特許分類		F I		
C 0 8 J	3/20 (2006.01)	C 0 8 J	3/20	B
C 0 8 G	59/42 (2006.01)	C 0 8 G	59/42	
H 0 1 B	3/40 (2006.01)	H 0 1 B	3/40	M
H 0 1 B	17/56 (2006.01)	H 0 1 B	3/40	P
H 0 1 B	19/00 (2006.01)	H 0 1 B	17/56	A
請求項の数 5 (全16頁) 最終頁に続く				
(21)出願番号	特願2020-146267(P2020-146267)	(73)特許権者	501137636	
(22)出願日	令和2年8月31日(2020.8.31)		東芝三菱電機産業システム株式会社	
(65)公開番号	特開2022-41198(P2022-41198A)		東京都中央区京橋三丁目1番1号	
(43)公開日	令和4年3月11日(2022.3.11)	(74)代理人	110002147	
審査請求日	令和3年7月5日(2021.7.5)		弁理士法人酒井国際特許事務所	
		(72)発明者	牛渡 広大	
			東京都中央区京橋三丁目1番1号 東芝	
			三菱電機産業システム株式会社内	
		(72)発明者	山下 優	
			東京都中央区京橋三丁目1番1号 東芝	
			三菱電機産業システム株式会社内	
		(72)発明者	吉満 哲夫	
			東京都中央区京橋三丁目1番1号 東芝	
			三菱電機産業システム株式会社内	
		(72)発明者	今井 隆浩	
			最終頁に続く	

(54)【発明の名称】 レジン製造方法及び絶縁構造製造方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

導電体の外周部に形成される絶縁構造に含浸されるレジンを製造する方法であって、
エポキシ樹脂に非導電性のナノフィラーを15wt%以上の割合で混合して混合物を生成するフィラー混合工程と、
前記混合物をせん断混合するせん断混合工程と、
前記せん断混合工程後の混合物に、前記エポキシ樹脂の粘度を低下させる反応性希釈剤を混合する希釈剤混合工程と、
前記希釈剤混合工程後の混合物に、酸無水物硬化剤を混合する硬化剤混合工程と、
を含み、
前記レジンは、前記エポキシ樹脂を30wt%～60wt%の割合で含む、
レジン製造方法。

【請求項2】

前記希釈剤混合工程後の混合物に対し、前記ナノフィラーの分散性を評価する分散性評価工程を更に含み、
前記硬化剤混合工程は、前記分散性評価工程において前記ナノフィラーの分散性が所定の基準を満たしていると評価された場合に実行される、
請求項1に記載のレジン製造方法。

【請求項3】

前記エポキシ樹脂は、脂環式エポキシ樹脂を含む、

請求項 1 又は 2 に記載のレジン製造方法。

【請求項 4】

前記反応性希釈剤は、ブチルグリシジルエーテルを含む、

請求項 3 に記載のレジン製造方法。

【請求項 5】

導電体の外周部に形成される絶縁構造を製造する方法であって、

非導電性のナノフィラーを含むレジン製造するレジン製造工程と、

前記導電体の外周部に巻回された非導電性のテープ状部材に前記レジンを含浸させる工程と、

を含み、

前記レジン製造工程は、

エポキシ樹脂に前記ナノフィラーを 15 wt % 以上の割合で混合して混合物を生成するフィラー混合工程と、

前記混合物をせん断混合するせん断混合工程と、

前記せん断混合工程後の混合物に、前記エポキシ樹脂の粘度を低下させる反応性希釈剤を混合する希釈剤混合工程と、

前記希釈剤混合工程後の混合物に、酸無水物硬化剤を混合する硬化剤混合工程と、

を含み、

前記レジンに、前記エポキシ樹脂を 30 wt % ~ 60 wt % の割合で含む、

絶縁構造製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、レジン製造方法及び絶縁構造製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

電動機、発電機等の回転電機に用いられるコイルには、コイル内の導電体に流れる電流が外部に漏洩することを防止する絶縁構造が設けられる。

【0003】

上記のような絶縁構造として、導電体の外周部にマイカ等を含む絶縁テープを巻回し、絶縁テープ内の空間に金属酸化物等からなるフィラーを含むレジンを含浸させる構造が知られている。フィラーは、絶縁テープ内に生じた電気トリリーの進展を抑制し、絶縁性能を向上させるように機能する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【文献】米国特許出願公開第 2013 / 0131218 号明細書
特開 2006 - 246599 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

上記のようなフィラーによる電気トリリーの進展抑制効果は、フィラーの分散性に大きく依存する。フィラーの分散性が低いと、絶縁構造内でフィラーが凝集し、電気トリリーが進展しやすい領域（樹脂のみの領域）が増加するため、電気トリリーの進展抑制効果が小さくなる。

【0006】

また、フィラーを含むレジンの粘度は、絶縁構造の生産性に大きく影響する。例えば、レジンの粘度が意図せずに増加すると、レジン絶縁テープ等に含浸させる作業が困難となる。

【0007】

10

20

30

40

50

上記のように、高性能な絶縁構造を効率的に製造するためには、フィラーの分散性及び粘度の安定性が高いレジン製造することが重要となる。

【 0 0 0 8 】

そこで、本発明が解決しようとする課題は、高性能な絶縁構造を効率的に製造できるようにするレジン製造方法及び絶縁構造製造方法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 9 】

本発明の一態様は、導電体の外周部に形成される絶縁構造に含浸されるレジン製造する方法であって、エポキシ樹脂にナノフィラーを 15 w t % 以上の割合で混合して混合物を生成するフィラー混合工程と、混合物をせん断混合するせん断混合工程と、せん断混合工程後の混合物に、エポキシ樹脂の粘度を低下させる反応性希釈剤を混合する希釈剤混合工程と、希釈剤混合工程後の混合物に、酸無水物硬化剤を混合する硬化剤混合工程と、を含むレジン製造方法である。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 0 】

【図 1】図 1 は、実施形態に係る回転電機の構成を示す断面図である。

【図 2】図 2 は、実施形態に係る絶縁コイルの構成を示す斜視図である。

【図 3】図 3 は、実施形態に係る絶縁コイルの構成を示す断面図である。

【図 4】図 4 は、実施形態に係る主絶縁テープの構成を模式的に示す断面図である。

【図 5】図 5 は、実施形態に係る主絶縁部の内部構造を模式的に示す断面図である。

【図 6】図 6 は、実施形態に係るナノフィラーによる効果を模式的に示す断面図である。

【図 7】図 7 は、実施形態に係る絶縁コイルの絶縁構造の製造方法における手順を示すフローチャートである。

【図 8】図 8 は、実施形態に係る絶縁構造の製造方法に使用される含浸装置の前半段階における状態を示す図である。

【図 9】図 9 は、実施形態に係る絶縁構造の製造方法に使用される含浸装置の後半段階における状態を示す図である。

【図 10】図 10 は、実施形態に係るレジンの製造方法における手順を示すフローチャートである。

【図 11】図 11 は、第 1 比較例に係るレジンの製造方法における手順を示すフローチャートである。

【図 12】図 12 は、第 2 比較例に係るレジンの製造方法における手順を示すフローチャートである。

【図 13】図 13 は、絶縁寿命の試験方法を示す図である。

【図 14】図 14 は、実施形態、第 1 比較例、及び第 2 比較例について絶縁構造が絶縁破壊に至るまでの時間の比較結果を示すグラフである。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 1 】

以下に、本発明の実施形態について、図面を参照して説明する。本明細書において、実施形態に係る構成要素及び当該要素の説明が、複数の表現で記載されることがある。構成要素及びその説明は、一例であり、本明細書の表現によって限定されない。構成要素は、本明細書におけるものとは異なる名称でも特定され得る。また、構成要素は、本明細書の表現とは異なる表現によっても説明され得る。

【 0 0 1 2 】

< 回転電機の構成 >

【 0 0 1 3 】

図 1 は、実施形態に係る回転電機 1 の構成を示す断面図である。

【 0 0 1 4 】

回転電機 1 は、回転子 10 及び固定子 20 を有する。回転電機 1 は、例えば、電動機、発電機等の構成要素となるものである。

【 0 0 1 5 】

回転子 1 0 は、ロータシャフト 1 1 及び回転子鉄心 1 2 を有する。ロータシャフト 1 1 は、その両端付近が軸受 5 により回転可能に軸支されている。軸受 5 は、回転電機 1 の外郭を構成するフレーム 6 と一体に設けられた軸受ブラケット 7 に固定されている。回転子鉄心 1 2 は、ロータシャフト 1 1 の外周面に固定され、ロータシャフト 1 1 と共に回転する。

【 0 0 1 6 】

固定子 2 0 は、固定子鉄心 2 1 及び絶縁コイル 2 2 を有する。固定子鉄心 2 1 は、回転子鉄心 1 2 の径方向外側に隙間をあけて配置されている。絶縁コイル 2 2 は、固定子鉄心 2 1 に組み込まれ回転電機 1 に必須となる磁界を生じさせる部材であり、その外周部には後述する絶縁構造が設けられている。絶縁コイル 2 2 は、固定子鉄心 2 1 内を貫通するように組み付けられる。

10

【 0 0 1 7 】

< 絶縁コイルの構成 >

【 0 0 1 8 】

図 2 は、実施形態に係る絶縁コイル 2 2 の構成を示す斜視図である。図 3 は、実施形態に係る絶縁コイル 2 2 の構成を示す断面図である。

【 0 0 1 9 】

絶縁コイル 2 2 は、積層導体 3 1 (導電体) 、ターン絶縁部 3 3 、及び主絶縁部 3 5 を有する。ターン絶縁部 3 3 及び主絶縁部 3 5 により、絶縁コイル 2 2 の絶縁構造が構成される。

20

【 0 0 2 0 】

積層導体 3 1 は、複数の導線 3 1 A が積層されて構成されている。本実施形態に係る積層導体 3 1 は、1 4 本 (積層数 7 、列数 2) の導線 3 1 A が束ねられて構成されている。なお、積層導体 3 1 の構成はこれに限定されるものではなく、使用状況に応じて適宜設計されるべきものである。積層導体 3 1 は、例えば、1 4 本より多くの導線 3 1 A から構成されてもよいし、1 本の導線 3 1 A のみを積層し構成されていてもよい。

【 0 0 2 1 】

各導線 3 1 A の外面には、ターン絶縁部 3 3 が設けられている。その結果、積層導体 3 1 の外面は、ターン絶縁部 3 3 により覆われた状態となる。ターン絶縁部 3 3 の外側には、主絶縁部 3 5 が設けられている。主絶縁部 3 5 は、主絶縁テープ 4 0 (テープ状部材) が巻回されることにより構成されている。

30

【 0 0 2 2 】

本実施形態に係る主絶縁テープ 4 0 は、ハーフラップ方式により螺旋状に巻回されている。主絶縁テープ 4 0 の幅を W とするとき、螺旋のピッチは $W / 2$ となる。すなわち、主絶縁テープ 4 0 は、前回のターンで巻かれた主絶縁テープ 4 0 と半分重なるように巻回されている。積層導体 3 1 の長手方向全体への巻回が一通り完了した後、更にその上に重ねるように主絶縁テープ 4 0 を巻回してもよい。これにより、主絶縁テープ 4 0 を多層状に形成できる。主絶縁テープ 4 0 の層数が増加するほど絶縁性能を向上させることができる。主絶縁テープ 4 0 の巻回数は求められる絶縁性能等に応じて適宜選択されればよい。

40

【 0 0 2 3 】

図 4 は、実施形態に係る主絶縁テープ 4 0 の構成を模式的に示す断面図である。

【 0 0 2 4 】

主絶縁テープ 4 0 は、主絶縁層 4 1 、繊維強化層 4 2 、及び重合体層 4 3 を有する。

【 0 0 2 5 】

主絶縁層 4 1 は、非導電性の材料から構成され、主絶縁テープ 4 0 の絶縁機能を実現するための主要な部分である。繊維強化層 4 2 は、主絶縁層 4 1 を支持し、主絶縁テープ 4 0 全体としての強度を確保する機能を有する部分である。重合体層 4 3 は、接合用高分子を含み、繊維強化層 4 2 に浸透し、繊維強化層 4 2 と主絶縁層 4 1 とを接合させる機能を有する部分である。

50

【 0 0 2 6 】

主絶縁層 4 1 は、例えば、マイカ、石綿、磁器粉末等の無機質を主成分として含む。繊維強化層 4 2 は、例えば、ガラス繊維、ポリエステル繊維等を主成分として含み、通常は網目状に編み込まれている。また、繊維強化層 4 2 は、繊維に限らず、不織布として構成される場合や、ポリエステル、ポリイミド等の高分子フィルムから構成される場合もある。重合体層 4 3 は、例えば、不飽和ポリエステル樹脂、エポキシ樹脂、ポリイミド樹脂等を主成分として含む。

【 0 0 2 7 】

主絶縁層 4 1 の厚みは、例えば、100 μm 程度である。繊維強化層 4 2 の厚みは、主絶縁層 4 1 より薄く、例えば、30 μm 以下程度である場合が多い。なお、図 4 においては、主絶縁テープ 4 0 の構成要素として重合体層 4 3 が図示されているが、重合体層 4 3 は繊維強化層 4 2 に浸み込むため、重合体層 4 3 のみの厚みは殆ど存在しない。従って、主絶縁層 4 1 と繊維強化層 4 2 は、通常互いに殆ど接した状態となる。主絶縁テープ 4 0 は、通常は、主絶縁層 4 1 を絶縁対象である積層導体 3 1 に対面させ、繊維強化層 4 2 を外側にして巻回されるが、その逆の場合もある。

【 0 0 2 8 】

< 主絶縁部の内部構造 >

【 0 0 2 9 】

図 5 は、実施形態に係る主絶縁部 3 5 の内部構造を模式的に示す断面図である。

【 0 0 3 0 】

図 5 において、積層導体 3 1 (導線 3 1 A) の長手方向に沿った断面が示されている。図 5 は、主絶縁テープ 4 0 の巻回が 2 回なされ、主絶縁部 3 5 に第 1 回目の巻回によるテーピング層 A と第 2 回目の巻回によるテーピング層 B とが含まれる場合を示している。

【 0 0 3 1 】

主絶縁部 3 5 は、主絶縁層 4 1 及び含浸部 5 0 を有する。テーピング層 A 及びテーピング層 B のそれぞれにおいて、長手方向に互いに隣接する主絶縁層 4 1 同士は、幅の半分ずつ互いに重なり合っている。これは上記ハーフラップ方式の巻き方によるものである。

【 0 0 3 2 】

含浸部 5 0 は、主絶縁層 4 1 と繊維強化層 4 2 とを接合させる重合体層 4 3 又はその周囲に、ナノフィラー 5 5 を含むレジンが浸透して形成された部分である。図 5 においては、繊維強化層 4 2 又はその周囲に浸み込んで形成された重合体層 4 3 を強調するために、主絶縁層 4 1 の厚さが薄く表現され、繊維強化層 4 2 を示す線が省略されている。図 5 に示すように、主絶縁層 4 1 の周囲は、ナノフィラー 5 5 が分散された含浸部 5 0 (重合体層 4 3) で覆われた状態となる。また、ナノフィラー 5 5 を含むレジンは、主絶縁層 4 1 の内部にも浸透しているが、図 5 ではその表現が省略されている。

【 0 0 3 3 】

ナノフィラー 5 5 は、非導電性のナノオーダーの粒子であり、例えば、金属酸化物を含む粒子である。ナノフィラー 5 5 の粒径は、50 nm 以下であることが好ましい。ナノフィラー 5 5 を構成する具体的な物質例については後述する。

【 0 0 3 4 】

図 6 は、実施形態に係るナノフィラー 5 5 による効果を模式的に示す断面図である。

【 0 0 3 5 】

図 6 において、含浸部 5 0 に電気トリートが発生している状態が示されている。電気トリートは、積層導体 3 1 と固定子 2 0 とに加わる電圧により生じる電氣的な劣化現象である。電気トリートが進展して主絶縁部 3 5 の表層部にまで達すると、絶縁破壊が起き、回転電機 1 はその運転を停止することになる。

【 0 0 3 6 】

含浸部 5 0 内に分散しているナノフィラー 5 5 は、電気トリートの直線的な進展を抑制し、電気トリートの進展速度を低下させる進展抑制効果を有する。これにより、主絶縁部 3 5 の絶縁性能を向上させることができる。このような進展抑制効果は、ナノフィラー 5

10

20

30

40

50

５の含有量だけでなく、分散性に強く依存して変化する。進展抑制効果は、含浸部５０内におけるナノフィラー５５の分散性（分散の均一性）が高い程大きくなる。従って、進展抑制効果（絶縁性能）を向上させるためには、ナノフィラー５５の分散性が高いレジンを使用することが重要となる。

【００３７】

<絶縁構造の製造方法>

【００３８】

図７は、実施形態に係る絶縁コイル２２の絶縁構造の製造方法における手順を示すフローチャートである。図８は、実施形態に係る絶縁構造の製造方法に使用される含浸装置６０の前半段階における状態を示す図である。図９は、実施形態に係る絶縁構造の製造方法に使用される含浸装置６０の後半段階における状態を示す図である。

10

【００３９】

まず、積層導体３１に主絶縁テープ４０を巻回し（図２参照）、レジン含浸前の絶縁コイル２２を形成する（Ｓ１０１）。その後、レジン含浸前の絶縁コイル２２を固定子鉄心２１内に挿入して組み付け、固定子ユニット９０（図８参照）を形成する（Ｓ１０２）。その後、含浸装置６０内に固定子ユニット９０を設置し（Ｓ１０３）、含浸装置６０内を真空引きする（Ｓ１０４）。

【００４０】

図８に示すように、含浸装置６０は、容器６１、排気配管６２、排気弁６２Ａ、供給配管６３、供給弁６３Ａ、及び処理槽６４を有する。ステップＳ１０３において、容器６１内に載置された処理槽６４内に固定子ユニット９０が設置される。その後、ステップＳ１０４において、容器６１内が真空引きされる。真空引きを行う際には、供給弁６３Ａを閉じ、排気配管６２に接続された吸引装置により容器６１内の空気を吸引する。この結果、絶縁コイル２２の内部は、ターン絶縁部３３及びその周囲に巻回された主絶縁テープ４０内の空間も、全て真空状態となる。

20

【００４１】

上記のように真空引きを行った後、図９に示すように、処理槽６４内の固定子ユニット９０をレジン４７で浸漬する（Ｓ１０５）。このとき、排気弁６２Ａを閉じ、供給配管６３から処理槽６４内にレジン４７を供給する。レジン４７は、固定子ユニット９０全体が浸漬されるように供給される。

30

【００４２】

上記のようにレジン４７で固定子ユニット９０を浸漬した後、含浸装置６０（容器６１）内を加圧する（Ｓ１０６）。加圧は、図９に示すように、供給弁６３Ａを開き、供給配管６３から容器６１内に加圧ガス６５を供給することにより行われる。加圧ガス６５は、レジン４７と反応しない物質であることが好ましく、例えば、窒素ガス、乾燥空気等の不活性ガスであることが好ましい。このように容器６１内を加圧することにより、ナノフィラー５５を含むレジン４７が絶縁コイル２２のターン絶縁部３３及び主絶縁テープ４０内に含浸される。

【００４３】

その後、含浸装置６０から固定子ユニット９０を取り出し（Ｓ１０７）、主絶縁テープ４０を含む絶縁コイル２２の内部に含浸されたレジン４７を固化させる（Ｓ１０８）。レジン４７を固化させる方法は、利用するエポキシ樹脂の性質に応じて決定されるが、例えば、熱硬化性エポキシ樹脂を利用する場合には、固定子ユニット９０を所定温度の乾燥炉内に所定時間収容する方法等が行われ、最終的に固定子２０となる（図１参照）。その後、固定子２０は、外郭を構成するフレーム６に取り付けられる。なお、回転電機１の仕様によっては、フレーム６に予め取り付けられた固定子鉄心２１内に絶縁コイル２２を組み付ける場合もある。この場合、フレーム６と固定子鉄心２１と絶縁コイル２２とが組み付けられたものを固定子ユニット９０として扱う。

40

【００４４】

<レジンの製造方法>

50

【 0 0 4 5 】

以下に、主絶縁テープ 4 0 内に含浸させるレジン 4 7 の製造方法について説明する。上述したように、ナノフィラー 5 5 による電気トリートメントの進展抑制効果（主絶縁部 3 5 の絶縁性能）を向上させるためには、主絶縁テープ 4 0 内にナノフィラー 5 5 が高い分散性（均一性）で分散された含浸部 5 0 を形成することが必要となる。そして、そのような含浸部 5 0 を形成するためには、ナノフィラー 5 5 の分散性が高いレジン 4 7 を製造して使用することが重要となる。

【 0 0 4 6 】

本実施形態に係るレジン 4 7 は、エポキシ樹脂、ナノフィラー 5 5、反応性希釈剤、及び酸無水物系硬化剤（硬化剤）を混合させて生成される組成物である。

10

【 0 0 4 7 】

エポキシ樹脂は、炭素原子 2 個と酸素原子 1 個からなる三員環を 1 分子中に 2 個以上含み硬化し得る化合物を含む。エポキシ樹脂は、例えば、ビスフェノール A 型エポキシ樹脂、脂環式エポキシ樹脂、ビスフェノール F 型エポキシ樹脂、ピフェニル型エポキシ樹脂、ナフタレン型エポキシ樹脂、ノボラック型エポキシ樹脂、フェノールノボラック型エポキシ樹脂等を主成分として含む。エポキシ樹脂は、これらの化合物を単独で含んでもよいし、2 種以上含んでもよい。特に、エポキシ樹脂は、反応性希釈剤との化学親和性の観点から、脂環式エポキシ樹脂を含むことが好ましい。

【 0 0 4 8 】

ナノフィラー 5 5 は、非導電性の金属酸化物等を含む。ナノフィラー 5 5 は、例えば、アルミナ、シリカ、酸化チタン、酸化マグネシウム、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、酸化マンガン、酸化錫、酸化イットリウム、酸化亜鉛等を主成分として含む。ナノフィラー 5 5 は、これらの化合物を単独で含んでもよいし、2 種以上含んでもよい。ナノフィラー 5 5 の表面は、エポキシ樹脂中での分散性の向上、再凝集の防止、接着性の向上等を目的として、カップリング剤により改質されてもよい。

20

【 0 0 4 9 】

反応性希釈剤は、エポキシ樹脂と反応することでエポキシ樹脂の粘度を低下させるものである。反応性希釈剤は、分子骨格に反応基を持つことで、熱硬化性樹脂組成物の硬化物における骨格の一部となることができる化合物を含む。反応性希釈剤は、例えば、ブチルグリシジルエーテル、1, 4 - ブタンジオールジグリシジルエーテル、アルキレンモノグリシジルエーテル、アルキルフェノールモノグリシジルエーテル、ポリプロピレングリコールジグリシジルエーテル、アルキレンジグリシジルエーテル、ネオペンチルグリコールジグリシジルエーテル、1, 6 - ヘキサジオールジグリシジルエーテル、1, 12 - ドデカンジオールジグリシジルエーテル、o - クレジルグリシジルエーテル、1, 2 - エポキシテトラデカン等を主成分として含む。反応性希釈剤は、これらの化合物を単独で含んでもよいし、2 種以上含んでもよい。特に、反応性希釈剤は、エポキシ樹脂に脂環式エポキシ樹脂が含まれる場合には、ブチルグリシジルエーテルを含むことが好ましい。

30

【 0 0 5 0 】

酸無水物系硬化剤は、例えば、4 - メチルヘキサヒドロ無水フタル酸、ヘキサヒドロ無水フタル酸、テトラヒドロ無水フタル酸、4 - メチルテトラヒドロ無水フタル酸、テトラプロモ無水フタル酸、無水ナジック酸、無水メチルナジック酸、無水トリメリット酸、無水ピロメリット酸、無水メチルハイミック酸等を主成分として含む。酸無水物系硬化剤は、これらの化合物を単独で含んでもよいし、2 種以上含んでもよい。

40

【 0 0 5 1 】

なお、レジン 4 7 を乾燥炉等で固化（硬化）させる工程における反応を速めるために、硬化促進剤を使用してもよい。硬化促進剤は、例えば、エポキシ化合物と酸無水物系硬化剤との架橋反応を加速できる化合物を含む。硬化促進剤は、例えば、金属キレート化合物、アンモニウムイオン化合物、イミダゾール化合物等を主成分として含む。硬化促進剤は、これらの化合物を単独で含んでもよいし、2 種以上含んでもよい。

50

【 0 0 5 2 】

レジン 4 7 は、例えば、エポキシ樹脂、ナノフィラー 5 5、反応性希釈剤、及び酸無水物系硬化剤を下記割合で含む。

エポキシ樹脂：3 0 w t % ~ 6 0 w t % ... (1)

酸無水物系硬化剤：3 0 w t % ~ 6 0 w t % ... (2)

反応性希釈剤：5 w t % ~ 3 0 w t % ... (3)

ナノフィラー 5 5：(1) ~ (3) の混合物全体に対し 2 w t % ~ 3 0 w t %

【 0 0 5 3 】

図 1 0 は、実施形態に係るレジン 4 7 の製造方法における手順を示すフローチャートである。

10

【 0 0 5 4 】

まず、エポキシ樹脂にナノフィラー 5 5 を 1 5 w t % 以上の割合で混合する（フィラー混合工程：S 2 0 1）。当該割合（1 5 w t % 以上）は、エポキシ樹脂の重量に対するナノフィラー 5 5 の重量の割合である。当該フィラー混合工程は、この工程により生成される混合物の粘度が 1 0 0 P（ポアズ：d P a ・ s）以上となるように行われることが好ましい。このように、本実施形態に係るレジン 4 7 の製造方法においては、まず、エポキシ樹脂に所定値（1 5 w t %）以上の割合でナノフィラー 5 5 を混合することにより、所定値（1 0 0 P）以上の粘度を有する混合物を生成する。

【 0 0 5 5 】

その後、1 0 0 P 以上の混合物をせん断混合する（せん断混合工程：S 2 0 2）。混合物のせん断混合は、粘度が比較的高い場合の方が、粘度が比較的低い場合よりも良好に行うことができるものである。当該せん断混合工程は、混合物にせん断応力を発生させることが可能な適宜な装置を使用して行われるが、例えば、3 本ロールミル混合機、プラネタリーミキサー（遊星式攪拌機）、ラボプラストミル混合機（登録商標）、ミラクル K C K 混合機（登録商標）等を使用して行われる。

20

【 0 0 5 6 】

その後、せん断混合された混合物に反応性希釈剤を混合し、攪拌する（希釈剤混合工程：S 2 0 3）。当該希釈剤混合工程は、この工程で生成される混合物（組成物）の粘度が 1 0 P 未満となるように行われることが好ましい。当該希釈剤混合工程における攪拌は、高速攪拌が可能な適宜な装置を使用して行うことができるものであるが、例えば、ディスパー混合機、同心二軸混合機、プラネタリーミキサー、ビーズミル混合機等を使用して行われる。

30

【 0 0 5 7 】

ここで、希釈剤混合工程（S 2 0 3）により生成された 1 0 P 未満の混合物に対し、ナノフィラー 5 5 の分散性の評価を行う（分散性評価工程：S 2 1 0）。ナノフィラー 5 5 の分散性を評価する方法として、例えば、レーザーポインターを混合物に向けて照射する方法がある。混合物中のナノフィラー 5 5 はレーザーポインターの光を散乱させるため（チンダル現象）、レーザーポインターを混合物に向けて照射すると、光の軌跡が混合物中に現れる場合がある。例えば、6 3 5 n m ~ 6 9 0 n m の波長を有する赤色の光を混合物に照射するとき、ナノフィラー 5 5 の粒径が当該波長より大きい場合には、混合物中に光の軌跡が明瞭に現れる。これに対し、ナノフィラー 5 5 の粒径が当該波長より小さい場合には、光の軌跡はほとんど視認できない。従って、混合物中に現れる光の軌跡の光度が低いほど、混合物中におけるナノフィラー 5 5 の分散性が高いと評価できる。上記ステップ S 2 0 1 ~ ステップ S 2 0 3 の工程を経て生成された混合物に対して赤色の光を照射した場合における混合物中の光の軌跡は、ほとんど視認することができず、その光度は極めて低くなる。なお、レーザーポインターを用いる方法は、簡易且つ便利であるが、混合物中のナノフィラー 5 5 のブラウン運動等からその粒径を測定する各種粒度測定装置を用いてもよい。

40

【 0 0 5 8 】

その後、希釈剤混合工程（S 2 0 3）により生成された 1 0 P 未満の混合物に酸無水物

50

硬化剤を混合し、攪拌する（硬化剤混合工程：S 2 0 4）。酸無水物硬化剤は、使用したエポキシ樹脂と化学当量的に同程度混合される。このとき、上述したように、エポキシ樹脂と酸無水物硬化剤との硬化反応を促進させるための硬化促進剤（触媒）を添加してもよい。当該硬化剤混合工程は、組成物が所定な粘度（例えば含浸用のレジン 4 7 として実用上適切な粘度）となるように行われる。当該硬化剤混合工程における攪拌は、上記希釈剤混合工程（S 2 0 3）と同様の装置を用いて行われ得る。

【 0 0 5 9 】

なお、硬化剤混合工程（S 2 0 4）は、分散性評価工程（S 2 1 0）においてナノフィラー 5 5 の分散性が所定の基準を満たしていると評価された場合に実行されてもよい。例えば、レーザーポインターを利用する方法において混合物中に現れる光の軌跡の光度が閾値以下である場合にステップ S 1 0 4 が実行されるようにしてもよい。

10

【 0 0 6 0 】

その後、硬化剤混合工程（S 2 0 4）により生成された混合物を収集する（S 2 0 5）。収集された混合物は、上述したように含浸用のレジン 4 7 として使用される。

【 0 0 6 1 】

上記製造方法により、ナノフィラー 5 5 が高い分散性で分散されたレジン 4 7 を製造できる。これにより、ナノフィラー 5 5 による電気トリートメントの進展抑制効果（絶縁性能）を向上させることができる。また、ナノフィラー 5 5 の高い分散性により、レジン 4 7 の粘度を長期間にわたって安定化でき、レジン 4 7 の可使寿命を向上させることができる。

【 0 0 6 2 】

20

以下に、比較例に係るレジン製造方法を示す。

【 0 0 6 3 】

図 1 1 は、第 1 比較例に係るレジンの製造方法における手順を示すフローチャートである。

【 0 0 6 4 】

第 1 比較例に係る製造方法は、エポキシ樹脂に混合するナノフィラーの割合を上記実施形態より少なくするものである。

【 0 0 6 5 】

まず、エポキシ樹脂にナノフィラーを 1 5 w t % 未満の割合で混合する（S 3 0 1）。この工程により生成される混合物の粘度は、1 0 0 P 未満となる。

30

【 0 0 6 6 】

その後、1 0 0 P 未満の混合物をせん断混合する（S 3 0 2）。ここでのせん断混合の方法は、上記実施形態におけるステップ S 2 0 2 と同様である。

【 0 0 6 7 】

その後、せん断混合された混合物に反応性希釈剤を混合し、攪拌する（S 3 0 3）。この工程は、混合物の粘度が 1 0 P 未満となるように行われる。ここでの混合及び攪拌の方法は、上記実施形態におけるステップ S 2 0 3 と同様である。

【 0 0 6 8 】

ここで、上記ステップ S 3 0 3 により生成された 1 0 P 未満の混合物に対し、ナノフィラーの分散性の評価を行う（S 3 1 0）。ここでの評価方法は、上記実施形態におけるステップ S 2 1 0 と同様である。上記ステップ S 3 0 1 ～ステップ S 3 0 3 の工程を経て生成された混合物に対して赤色の光を照射した場合における混合物中の光の軌跡は、明瞭に視認できるものであり、その光度は比較的高くなる。これは、ステップ S 3 0 1 においてナノフィラーの混合割合を 1 5 w t % 未満としたため、上述したように、混合物の粘度が 1 0 0 P 未満となり、混合物に高いせん断応力が加えられなかったことによる。

40

【 0 0 6 9 】

その後、ステップ S 3 0 3 により生成された 1 0 P 未満の混合物に酸無水物硬化剤を混合し、攪拌する（硬化剤混合工程：S 3 0 4）。ここでの混合及び攪拌の方法は、上記実施形態におけるステップ S 2 0 4 と同様である。

【 0 0 7 0 】

50

その後、ステップ S 3 0 4 により生成された混合物を収集する (S 3 0 5)。

【 0 0 7 1 】

図 1 2 は、第 2 比較例に係るレジンの製造方法における手順を示すフローチャートである。

【 0 0 7 2 】

第 2 比較例に係る製造方法は、ナノフィラーを含まないレジンを製造するものである。

【 0 0 7 3 】

まず、エポキシ樹脂に反応性希釈剤を混合し、攪拌する (S 4 0 1)。

【 0 0 7 4 】

その後、ステップ S 4 0 1 により生成された混合物に酸無水物硬化剤を混合し、攪拌する (S 4 0 2)。

【 0 0 7 5 】

その後、ステップ S 4 0 2 により生成された混合物を収集する (S 4 0 3)。

【 0 0 7 6 】

< 絶縁寿命の評価 >

【 0 0 7 7 】

以下に、上述した実施形態、第 1 比較例、及び第 2 比較例のそれぞれの製造方法により製造されたレジンが含浸された絶縁構造の絶縁寿命について評価する。

【 0 0 7 8 】

図 1 3 は、絶縁寿命の試験方法を示す図である。

【 0 0 7 9 】

まず、実施形態に係るレジン 4 7 が含浸された試験片 1 0 1、第 1 比較例に係るレジンが含浸された試験片 1 0 2、及び第 2 比較例に係るレジンが含浸された試験片 1 0 3 を準備した。各試験片 1 0 1 ~ 1 0 3 は、数十枚重ねられたマイカテープの間に針状の電極 1 1 1 を挟み込み、マイカテープの端部を接地電極 1 1 3 に接触させたものである。左端の試験片 1 0 1 のマイカテープには、実施形態に係るレジン 4 7 が加圧含浸され、加熱硬化されている。中央の試験片 1 0 2 のマイカテープには、第 1 比較例に係るレジンが加圧含浸され、加熱硬化されている。右端の試験片 1 0 3 のマイカテープには、第 2 比較例に係るレジンが加圧含浸され、加熱硬化されている。電圧発生器 1 1 2 から各電極 1 1 1 に高電圧を印加し、各試験片 1 0 1 ~ 1 0 3 が絶縁破壊に至るまでの時間を計測した。

【 0 0 8 0 】

図 1 4 は、実施形態、第 1 比較例、及び第 2 比較例について絶縁構造が絶縁破壊に至るまでの時間の比較結果を示すグラフである。

【 0 0 8 1 】

図 1 4 に示す縦軸の値は、第 2 比較例の値を 1 とした場合の相対値である。図 1 4 に示すように、実施形態に係るレジン 4 7 を用いた絶縁構造が絶縁破壊に至るまでの時間は、第 1 比較例及び第 2 比較例を用いた場合より 2.5 倍以上長くなっている。

【 0 0 8 2 】

上記のような結果は、実施形態に係るレジン 4 7 に含まれるナノフィラー 5 5 の分散性が第 1 比較例より高いことに起因している。このようなナノフィラー 5 5 の分散性の向上は、主に、上述したフィラー混合工程 (S 1 0 1) 及びせん断混合工程 (S 1 0 2) の実行により実現される。すなわち、先ずエポキシ樹脂にナノフィラー 5 5 を 15 wt % 以上の割合で混合することにより 100 P 以上の粘度を有する混合物を生成し、この高粘度の混合物を高せん断混合する手法により、最終的にナノフィラー 5 5 の分散性を大きく向上させることができるのである。そして、ナノフィラー 5 5 の分散性の向上は、レジン 4 7 の粘度の安定性の向上 (時間経過に伴う粘度増加の抑制) を実現する。

【 0 0 8 3 】

以上のように、本実施形態によれば、ナノフィラー 5 5 の分散性及び粘度の安定性が高いレジン 4 7 を製造することが可能となる。これにより、高性能な絶縁構造を効率的に製造することが可能となる。

10

20

30

40

50

【 0 0 8 4 】

上述の本発明の実施形態は、発明の範囲を限定するものではなく、発明の範囲に含まれる一例に過ぎない。本発明のある実施形態は、上述の実施形態に対して、例えば、具体的な用途、構造、形状、作用、及び効果の少なくとも一部について、発明の要旨を逸脱しない範囲において変更、省略、及び追加がされたものであっても良い。

【 符号の説明 】

【 0 0 8 5 】

1 ... 回転電機、 5 ... 軸受、 6 ... フレーム、 7 ... 軸受ブラケット、 1 0 ... 回転子、 1 1 ... ロータシャフト、 1 2 ... 回転子鉄心、 2 0 ... 固定子、 2 1 ... 固定子鉄心、 2 2 ... 絶縁コイル、 3 1 ... 積層導体（導電体）、 3 1 A ... 導線、 3 3 ... ターン絶縁部、 3 5 ... 主絶縁部、 4 0 ... 主絶縁テープ（テープ状部材）、 4 1 ... 主絶縁層、 4 2 ... 繊維強化層、 4 3 ... 重合体層、 4 7 ... レジン、 5 0 ... 含浸部、 5 5 ... ナノフィラー、 6 0 ... 含浸装置、 6 1 ... 容器、 6 2 ... 排気配管、 6 2 A ... 排気弁、 6 3 ... 供給配管、 6 3 A ... 供給弁、 6 4 ... 処理槽、 6 5 ... 加圧ガス、 9 0 ... 固定子ユニット、 1 0 1 ~ 1 0 3 ... 試験片、 1 1 1 ... 電極、 1 1 2 ... 電圧発生器、 1 1 3 ... 接地電極、 T ... 電気トリー

10

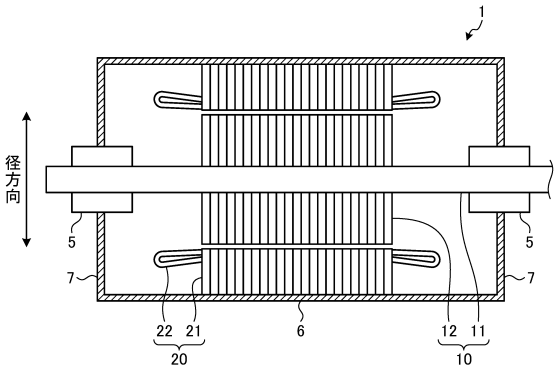
20

30

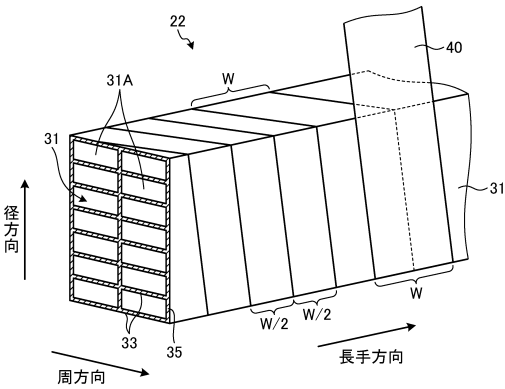
40

50

【図面】
【図 1】



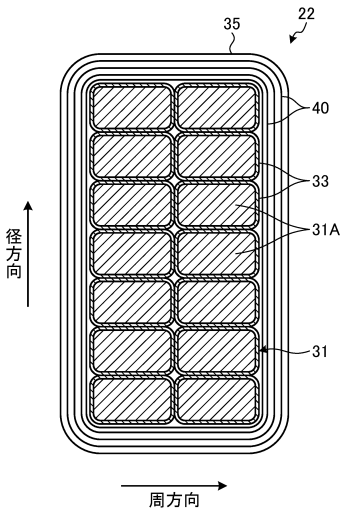
【図 2】



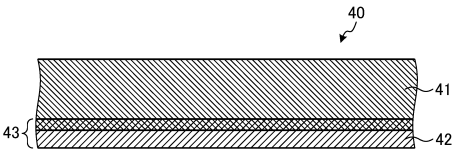
10

20

【図 3】



【図 4】

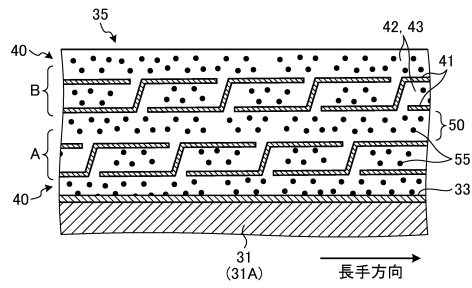


30

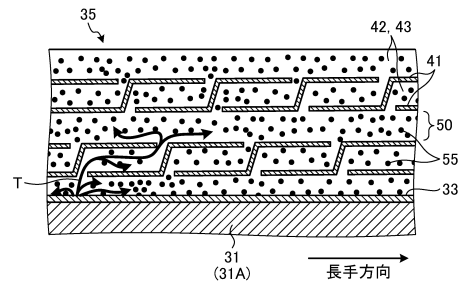
40

50

【 図 5 】



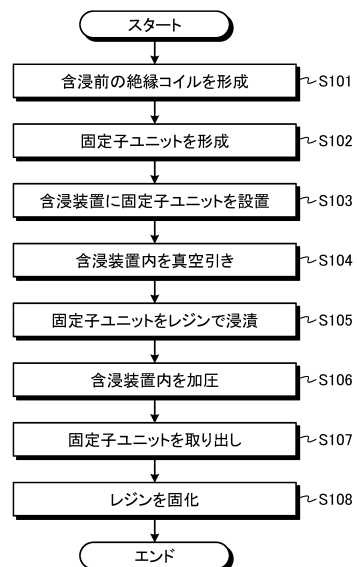
【 図 6 】



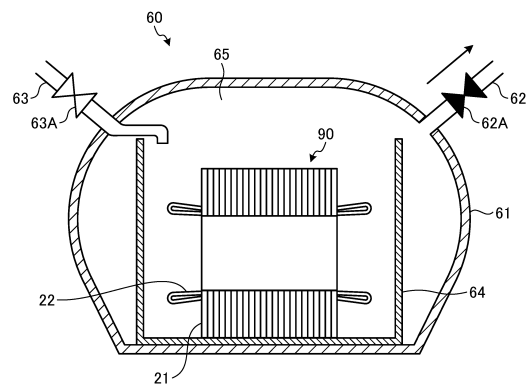
10

20

【圖 7】



【圖 8】

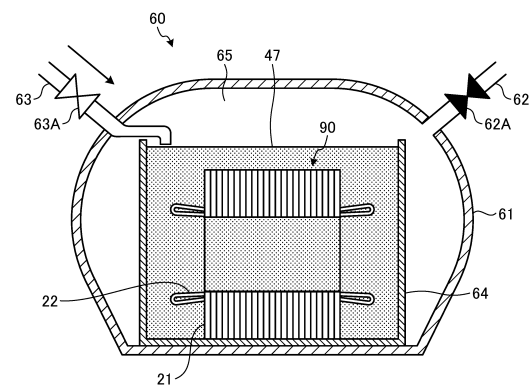


30

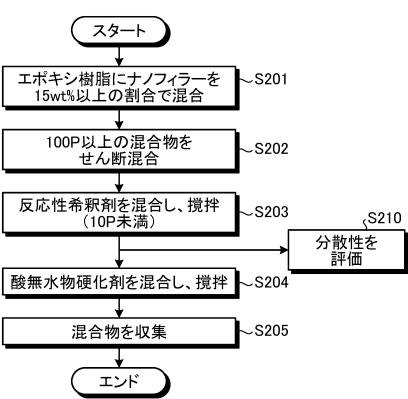
40

50

【 図 9 】



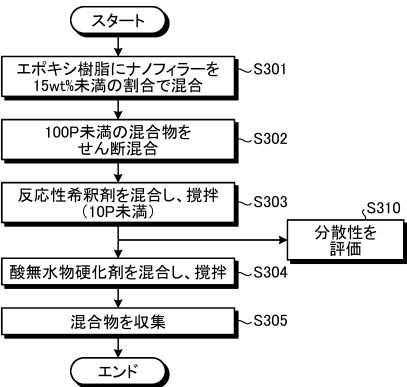
【 図 1 0 】



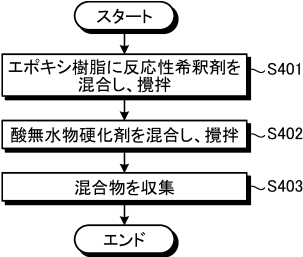
10

20

【 図 1 1 】



【 図 1 2 】

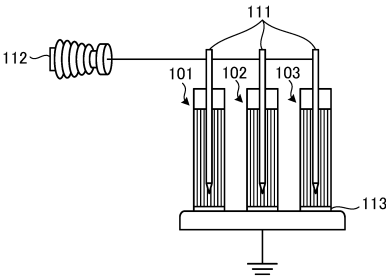


30

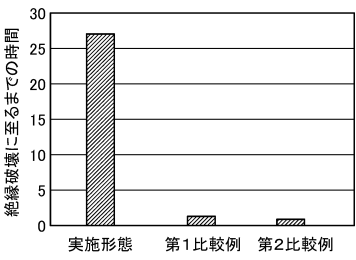
40

50

【 図 1 3 】



【 図 1 4 】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

(51)国際特許分類

F I

H 0 1 F	5/00 (2006.01)	H 0 1 B	19/00	3 2 1
H 0 1 F	5/06 (2006.01)	H 0 1 F	5/00	D
H 0 1 F	27/32 (2006.01)	H 0 1 F	5/06	R
H 0 1 F	41/12 (2006.01)	H 0 1 F	27/32	1 7 0
H 0 2 K	3/30 (2006.01)	H 0 1 F	41/12	B
H 0 2 K	3/34 (2006.01)	H 0 1 F	41/12	D
		H 0 2 K	3/30	
		H 0 2 K	3/34	C

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地34 東芝インフラシステムズ株式会社内

(72)発明者 平井 宏光

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地34 東芝インフラシステムズ株式会社内

審査官 脇田 寛泰

(56)参考文献

韓国公開特許第10-2010-0111454(KR,A)
 特開2008-075069(JP,A)
 国際公開第2012/043751(WO,A1)
 特開2006-249276(JP,A)
 特開2019-131629(JP,A)
 特開2009-013227(JP,A)
 特表2018-517048(JP,A)
 米国特許出願公開第2018/0204649(US,A1)
 米国特許出願公開第2014/0148529(US,A1)
 欧州特許出願公開第02372725(EP,A1)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)

C 0 8 G 5 9 / 0 0 - 5 9 / 7 2
 C 0 8 J 3 / 0 0 - 3 / 2 8
 9 9 / 0 0
 C 0 8 K 3 / 0 0 - 1 3 / 0 8
 C 0 8 L 1 / 0 0 - 1 0 1 / 1 4
 H 0 1 B 3 / 1 6 - 3 / 5 6