

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公 開 特 許 公 報(A)

(11) 特許出願公開番号
特開2014-13877
(P2014-13877A)

(43) 公開日 平成26年1月23日 (2014.1.23)

(51) Int.Cl.
H 0 1 F 6/06 (2006.01)

F I
H O 1 F 5/08 Z A A C
H O 1 F 5/08 N

テーマコード (参考)

審査請求 未請求 請求項の数 13 O L (全 26 頁)

(21) 出願番号	特願2013-36083 (P2013-36083)	(71) 出願人	000213297 中部電力株式会社 愛知県名古屋市東区東新町 1 番地
(22) 出願日	平成25年2月26日 (2013. 2. 26)	(74) 代理人	100068755 弁理士 恩田 博宣
(31) 優先権主張番号	特願2012-70050 (P2012-70050)	(74) 代理人	100105957 弁理士 恩田 誠
(32) 優先日	平成24年3月26日 (2012. 3. 26)	(72) 発明者	渡部 智則 愛知県名古屋市緑区大高町字北関山 2 〇番 地の 1 中部電力 株式会社電力技術研究 所内
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)	(72) 発明者	長屋 重夫 愛知県名古屋市緑区大高町字北関山 2 〇番 地の 1 中部電力 株式会社電力技術研究 所内
(31) 優先権主張番号	特願2012-127180 (P2012-127180)		
(32) 優先日	平成24年6月4日 (2012. 6. 4)		
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)		

最終頁に続く

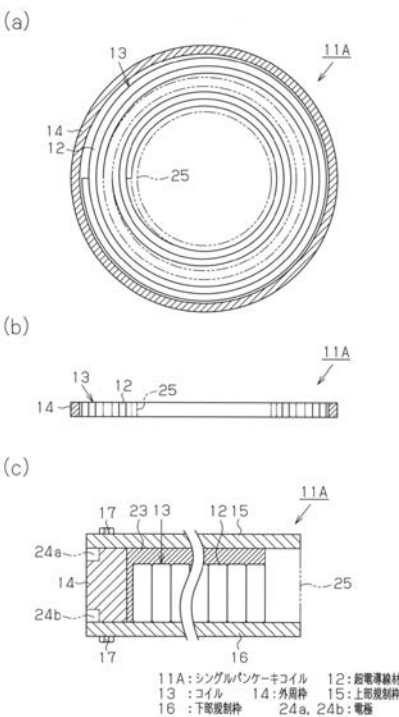
(54) 【発明の名称】 超電導パンケーキコイル及びその製造方法

(57) 【要約】

【課題】電磁応力を受けたときに超電導線材の変形によるひずみを抑制することができ、超電導特性を良好に維持することができる超電導パンケーキコイル及びその製造方法を提供する。

【解決手段】シングルパンケーキコイル 1 1 A は、基板上に中間層及び希土類系酸化物超電導体による超電導層を形成したテープ状の超電導線材 1 2 を巻回してコイル 1 3 を形成したものである。このコイル 1 3 の外周には、該コイル 1 3 の拡張を抑えるための外周枠 1 4 が設けられている。この外周枠 1 4 は繊維強化樹脂又は絶縁被覆が施された金属により形成されている。前記コイル 1 3 の軸線方向の両端面には、外周枠 1 4 の移動を規制する上部規制枠 1 5 及び下部規制枠 1 6 が設けられている。また、コイル 1 3 の外周部及び上部には、パラフィン等のモールド材によるモールド層 2 3 が形成されている。

【選択図】 図 1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

基板上に希土類系酸化物超電導体による超電導層を形成したテープ状の超電導線材を巻回してコイルを形成した超電導パンケーキコイルであって、

前記コイルの外周には、該コイルの拡径を抑えるための外周枠を設けたことを特徴とする超電導パンケーキコイル。

【請求項 2】

前記外周枠は繊維強化樹脂又は絶縁被覆が施された金属により形成されていることを特徴とする請求項 1 に記載の超電導パンケーキコイル。

【請求項 3】

前記超電導線材は超電導層が内周側に位置するように配置されていることを特徴とする請求項 1 又は請求項 2 に記載の超電導パンケーキコイル。

【請求項 4】

前記コイルの軸線方向の少なくとも一方の端面には、外周枠の移動を規制する規制枠を設けたことを特徴とする請求項 1 から請求項 3 のいずれか一項に記載の超電導パンケーキコイル。

【請求項 5】

前記コイルはダブルパンケーキコイルであることを特徴とする請求項 1 から請求項 4 のいずれか一項に記載の超電導パンケーキコイル。

【請求項 6】

前記超電導線材はその 1 本が中心側からダブルパンケーキコイルの各段に反対方向に巻回され、超電導線材の端部が各段の外周部に位置し、超電導線材の両端部に電極が接続されていることを特徴とする請求項 5 に記載の超電導パンケーキコイル。

【請求項 7】

前記コイルは円筒状以外の筒形状を有し、外周枠はそのコイルの外周に沿って形成されていることを特徴とする請求項 1 から請求項 6 のいずれか一項に記載の超電導パンケーキコイル。

【請求項 8】

前記規制枠には、外周枠の被係合部に係合する係合部を設けたことを特徴とする請求項 4 から請求項 7 のいずれか一項に記載の超電導パンケーキコイル。

【請求項 9】

前記コイルの内周には、コイルの形状を保持する内周枠を設けたことを特徴とする請求項 1 から請求項 8 のいずれか一項に記載の超電導パンケーキコイル。

【請求項 10】

前記コイルの少なくとも一方の端面に規制枠を設け、前記外周枠、内周枠及び規制枠によりケースを構成し、該ケース内には室温で液体であり、融点が $-10 \sim -100$ である油状物質が注入されていることを特徴とする請求項 9 に記載の超電導パンケーキコイル。

【請求項 11】

前記コイルの両端面に対して規制枠が接着剤により接合されていることを特徴とする請求項 10 に記載の超電導パンケーキコイル。

【請求項 12】

基板上に希土類系酸化物超電導体による超電導層を形成したテープ状の超電導線材を内周枠の外周に巻回して形成したコイルの外周に外周枠を配置した後、コイルの少なくとも一方の端面に規制枠を配置して内周枠及び外周枠に接合することを特徴とする超電導パンケーキコイルの製造方法。

【請求項 13】

基板上に希土類系酸化物超電導体による超電導層を形成したテープ状の超電導線材を内周枠の外周に巻回して形成したコイルの外周に外周枠を配置し、コイルの一端面に規制枠を配置して前記外周枠及び内周枠に接合し、コイルの他端面に、注入口を有する規制枠を配置して外周枠及び内周枠に接合してケースを構成した後、前記注入口から室温で液体であ

10

20

30

40

50

り、融点が - 10 ~ - 100 である油状物質をケース内に注入し、その後注入口を塞ぐことを特徴とする超電導パンケーキコイルの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、基板上に希土類系酸化物超電導体による超電導層を有するテープ状の超電導線材を巻回して形成され、超電導線材の変形によるひずみを抑えて、優れた超電導特性を維持することができる超電導パンケーキコイル及びその製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

10

希土類系酸化物超電導体を用いた酸化物系のテープ状の超電導線材を巻回してなる超電導パンケーキコイルは、高磁場マグネット等として好適に利用される。この高磁場マグネットにおいては、発生した高磁場に基づいて超電導線材のコイル径を拡げるように円周方向にフープ応力（電磁応力）が働く。このため、超電導パンケーキコイルにはそのフープ応力に耐え得る機械的強度が必要であるとともに、引張りや曲げなどの変形に対して許容できるひずみ量の大きいことが求められる。

【0003】

この種の超電導パンケーキコイルとしては、例えば特許文献1に記載されている高温超電導パンケーキコイルが知られている。すなわち、当該高温超電導パンケーキコイルは、金属基板の表面に中間層及び酸化物超電導層を順次形成したテープ状の高温超電導線材が巻回されることにより形成され、軸方向中心を貫通する空間を有している。そして、コイルの軸方向の一对の端面を形成する巻線側面部の少なくとも一部がエポキシ樹脂層等の樹脂層で被覆されている。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2010-267887号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

30

しかしながら、特許文献1に記載されている従来構成の高温超電導パンケーキコイルにおいては、コイル端面の巻線側面部がエポキシ樹脂等の熱硬化性樹脂による樹脂層で剛直に固定されている。この場合、パンケーキコイルは超電導線材間に絶縁テープが介在された状態で巻回されるが、十分な締付力をもって超電導線材を巻回しても超電導線材と絶縁テープとの間には微小な隙間が生じる。このため、超電導線材の巻回後にエポキシ樹脂を注入して含浸させたとき、そのエポキシ樹脂が超電導線材と絶縁テープとの隙間に入り込み、そこで硬化する。

【0006】

その結果、超電導パンケーキコイルを高磁場マグネット等として使用する場合、高磁場に基づくフープ応力が超電導パンケーキコイルに作用し、そのフープ応力が超電導線材に加わり、超電導線材が変形してひずみを生ずる。さらに、強いフープ応力により、超電導線材に接着している硬く、脆いエポキシ樹脂が割れ、その際超電導線材が壊れたり、剥離したりするおそれがある。従って、超電導パンケーキコイルは超電導特性を維持することができなくなるといった問題があった。

40

【0007】

そこで、本発明の目的とするところは、電磁応力を受けたときに超電導線材の変形によるひずみを抑制することができ、超電導特性を良好に維持することができる超電導パンケーキコイル及びその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】

【0008】

50

上記の目的を達成するために、請求項 1 に記載の発明の超電導パンケーキコイルは、基板上に希土類系酸化物超電導体による超電導層を形成したテープ状の超電導線材を巻回してコイルを形成した超電導パンケーキコイルであって、前記コイルの外周には、該コイルの拡径を抑えるための外周枠を設けたことを特徴とする。

【 0 0 0 9 】

請求項 2 に記載の発明の超電導パンケーキコイルは、請求項 1 に係る発明において、前記外周枠は繊維強化樹脂又は絶縁被覆が施された金属により形成されていることを特徴とする。

【 0 0 1 0 】

請求項 3 に記載の発明の超電導パンケーキコイルは、請求項 1 又は請求項 2 に係る発明において、前記超電導線材は超電導層が内周側に位置するように配置されていることを特徴とする。

10

【 0 0 1 1 】

請求項 4 に記載の発明の超電導パンケーキコイルは、請求項 1 から請求項 3 のいずれか一項に係る発明において、前記コイルの軸線方向の少なくとも一方の端面には、外周枠の移動を規制する規制枠を設けたことを特徴とする。

【 0 0 1 2 】

請求項 5 に記載の発明の超電導パンケーキコイルは、請求項 1 から請求項 4 のいずれか一項に係る発明において、前記コイルはダブルパンケーキコイルであることを特徴とする。

20

【 0 0 1 3 】

請求項 6 に記載の発明の超電導パンケーキコイルは、請求項 5 に係る発明において、前記超電導線材はその 1 本が中心側からダブルパンケーキコイルの各段に反対方向に巻回され、超電導線材の端部が各段の外周部に位置し、超電導線材の両端部に電極が接続されていることを特徴とする。

【 0 0 1 4 】

請求項 7 に記載の発明の超電導パンケーキコイルは、請求項 1 から請求項 6 のいずれか一項に係る発明において、前記コイルは円筒状以外の筒形状を有し、外周枠はそのコイルの外周に沿って形成されていることを特徴とする。

【 0 0 1 5 】

請求項 8 に記載の発明の超電導パンケーキコイルは、請求項 4 から請求項 7 のいずれか一項に係る発明において、前記規制枠には、外周枠の被係合部に係合する係合部を設けたことを特徴とする。

30

【 0 0 1 6 】

請求項 9 に記載の発明の超電導パンケーキコイルは、請求項 1 から請求項 8 のいずれか一項に係る発明において、前記コイルの内周には、コイルの形状を保持する内周枠を設けたことを特徴とする。

【 0 0 1 7 】

請求項 10 に記載の発明の超電導パンケーキコイルは、請求項 9 に係る発明において、前記コイルの少なくとも一方の端面に規制枠を設け、前記外周枠、内周枠及び規制枠によりケースを構成し、該ケース内には室温で液体であり、融点が - 10 ~ - 100 である油状物質が注入されていることを特徴とする。

40

【 0 0 1 8 】

請求項 11 に記載の発明の超電導パンケーキコイルは、請求項 10 に係る発明において、前記コイルの両端面に対して規制枠が接着剤により接合されていることを特徴とする。

請求項 12 に記載の発明の超電導パンケーキコイルの製造方法は、基板上に希土類系酸化物超電導体による超電導層を形成したテープ状の超電導線材を内周枠の外周に巻回して形成したコイルの外周に外周枠を配置した後、コイルの少なくとも一方の端面に規制枠を配置して内周枠及び外周枠に接合することを特徴とする。

【 0 0 1 9 】

50

請求項 13 に記載の発明の超電導パンケーキコイルの製造方法は、基板上に希土類系酸化物超電導体による超電導層を形成したテープ状の超電導線材を内周枠の外周に巻回して形成したコイルの外周に外周枠を配置し、コイルの一端面に規制枠を配置して前記外周枠及び内周枠に接合し、コイルの他端面に、注入口を有する規制枠を配置して外周枠及び内周枠に接合してケースを構成した後、前記注入口から室温で液体であり、融点が $-10 \sim -100$ である油状物質をケース内に注入し、その後注入口を塞ぐことを特徴とする。

【発明の効果】

【0020】

本発明によれば、次のような効果を発揮することができる。

本発明の超電導パンケーキコイルでは、基板上に希土類系酸化物超電導体による超電導層を形成したテープ状の超電導線材を巻回してコイルが形成されている。そして、コイルの外周には、該コイルの拡張を抑えるための外周枠が設けられている。このため、超電導パンケーキコイルを例えば高磁場マグネット等として使用した場合、高磁場による電磁応力が超電導パンケーキコイルに作用してコイルを拡張するように働いたとき、この応力がコイルの外周に設けられた外周枠に受け止められる。従って、超電導線材に作用する電磁応力は外周枠に分担して受承されて軽減され、超電導線材の機能は電磁応力の有無に拘らず良好に発揮される。

10

【0021】

よって、本発明の超電導パンケーキコイルによれば、電磁応力を受けたときに超電導線材の変形によるひずみを抑制することができ、超電導特性を良好に維持することができるという効果を奏する。

20

【図面の簡単な説明】

【0022】

【図 1】本発明を具体化した第 1 実施形態の超電導パンケーキコイルを示す図であって、(a) はシングルパンケーキコイルを示す概略横断面図、(b) はシングルパンケーキコイルを示す概略縦断面図、(c) はシングルパンケーキコイルを示す要部拡大縦断面図。

【図 2】テープ状の超電導線材を示す断面図。

【図 3】そのシングルパンケーキコイルの外周枠上に上部規制枠を固定した状態を示す平面図。

【図 4】そのシングルパンケーキコイルの製造工程を示す図であって、(a) は内周枠にテープ状の超電導線材を巻回した状態を示す概略横断面図、(b) はその超電導線材の外周に外周枠を配置した状態を示す概略横断面図、(c) はその状態の超電導線材の上部及び外周部にパラフィンのモールド層を形成した状態を示す部分縦断面図。

30

【図 5】第 2 実施形態の超電導パンケーキコイルを示す図であって、(a) はダブルパンケーキコイルを示す概略横断面図、(b) はダブルパンケーキコイルを示す概略縦断面図、(c) はダブルパンケーキコイルを示す要部拡大縦断面図。

【図 6】そのダブルパンケーキコイルの製造工程を示す図であって、内周枠の周囲にテープ状の超電導線材を巻回し始めた状態を示す斜視図。

【図 7】図 6 の状態から、さらに超電導線材を巻回した状態を示す部分縦断面図。

【図 8】図 7 の状態から、超電導線材の外周に外周枠を配置した後、超電導線材の上部及び外周部にパラフィンのモールド層を形成した状態を示す部分縦断面図。

40

【図 9】ダブルパンケーキコイルの超電導特性を示し、コイル電流とコイル電圧との関係を示すグラフ。

【図 10】コイル中心からの距離とフープ応力との関係を示すグラフ。

【図 11】第 3 実施形態における異形状のシングルパンケーキコイルを示す概略横断面図。

【図 12】(a) は上部規制枠の係合部が外周枠及び内周枠の被係合部に係合した状態を示す縦断面図、(b) は上部規制枠の係合部と外周枠及び内周枠の被係合部との異なる係合状態を示す縦断面図。

【図 13】第 4 実施形態におけるシングルパンケーキコイルを示す分解斜視図。

50

【図 1 4】シングルパンケーキコイルを示す部分縦断面図。

【図 1 5】第 4 実施形態の実施例におけるダブルパンケーキコイルに通電したときの電流 - 電圧特性を示し、コイル電流とコイル電圧との関係を示すグラフ。

【図 1 6】第 4 実施形態の実施例におけるダブルパンケーキコイルに外部磁場を印加した状態の通電試験結果を示し、コイル電流とコイル電圧との関係を示すグラフ。

【図 1 7】第 4 実施形態の別の実施例におけるシングルパンケーキコイルに通電したときの電流 - 電圧特性を示し、コイル電流とコイル電圧との関係を示すグラフ。

【発明を実施するための形態】

【0023】

(第 1 実施形態)

以下、本発明の超電導パンケーキコイルをシングルパンケーキコイルに具体化した第 1 実施形態に関し、図 1 ~ 図 4 に基づいて詳細に説明する。

【0024】

図 1 (a) ~ (c) に示すように、超電導パンケーキコイルとしてのシングルパンケーキコイル 11A においては、テープ状の超電導線材 12 が巻回されて形成されたコイル 13 の外周に外周枠 14 が配置されている。図 1 (c) 及び図 2 に示すように、該外周枠 14 の上端部及び下端部には、外周枠 14 の移動を規制する上部規制枠 15 及び下部規制枠 16 が複数のボルト 17 により連結されている。この外周枠 14 と上部規制枠 15 及び下部規制枠 16 との連結は、接着等の手段であってもよい。前記コイル 13 の外周に外周枠 14 を設けることにより、コイル 13 が高磁場によるフープ応力 (電磁応力) を受けたときに、そのコイル 13 の拡張を抑えるようになっている。

【0025】

図 2 に示すように、前記テープ状の超電導線材 12 は、基板 18 上に中間層 19 を介して超電導層 20 が形成され、その超電導層 20 上に第 1 安定化層 21 が形成されるとともに、それらの外周部に第 2 安定化層 22 が被覆されて構成されている。前記基板 18 は、ニッケル合金 (ハステロイ)、銀、銀合金等の金属により、例えば厚さ 100 μm 、幅 10 mm に形成されている。中間層 19 は、ガドリニウム・ジルコニウム酸化物 (Gd・Zr 酸化物)、酸化マグネシウム (MgO)、イットリウム安定化ジルコニウム (YSZ)、バリウム・ジルコニウム酸化物 (Ba・Zr 酸化物)、酸化セリウム (CeO₂) 等の化合物により、例えば厚さ 500 nm、幅 10 mm に形成されている。

【0026】

超電導層 20 は、希土類系酸化物超電導体の CVD 法 (化学蒸着法) により、例えば厚さ約 1 μm 、幅 10 mm に形成されている。希土類元素としては、ランタン (La)、ネオジム (Nd)、サマリウム (Sm)、ユウロピウム (Eu)、ガドリニウム (Gd)、ジスプロシウム (Dy)、ホルミウム (Ho)、エルビウム (Er)、イットリウム (Y)、イッテルビウム (Yb) 等が挙げられる。希土類系酸化物としては、RE・Ba・Cu・O 等が挙げられる。但し、RE は希土類元素を表す。この超電導層 20 として具体的には、イットリウム・バリウム・銅酸化物、ランタン・バリウム・銅酸化物 (La・Ba・Cu 酸化物) 等が挙げられる。

【0027】

第 1 安定化層 21 は、銀等の金属のスパッタリング等により、例えば厚さ約 15 μm 、幅 10 mm に形成されている。第 2 安定化層 22 は、銅等の金属のメッキ等により、例えば厚さ約 50 μm に形成されている。

【0028】

前記外周枠 14 は、繊維強化樹脂又は絶縁被覆が施された金属により形成されている。繊維強化樹脂としては、ガラス繊維強化樹脂 (GFRP)、炭素繊維強化樹脂 (CFRP) 等が用いられる。絶縁被覆された金属としては、樹脂被覆されたステンレス鋼等が用いられる。前記上部規制枠 15 及び下部規制枠 16 も外周枠 14 と同種の材料により形成される。外周枠 14 に上部規制枠 15 及び下部規制枠 16 を連結することにより、外周枠 14 を補強してその移動を規制することができ、コイル 13 がフープ応力を受けたときその

10

20

30

40

50

コイル 1 3 の拡径を強固に制限することができる。

【 0 0 2 9 】

前記コイル 1 3 の外周部及び上部は、パラフィン、ワックス等のモールド材によるモールド層 2 3 でモールドされている。このモールド材は、シングルパンケーキコイル 1 1 A を液体ヘリウム、液体窒素等で冷却する際に超電導線材 1 2 が損傷を受けないように保護するための低強度の材料である。すなわち、冷却時にはモールド層 2 3 が冷却による応力を受け止め、場合によっては自らが壊れることにより、超電導線材 1 2 を保護するようになっている。

【 0 0 3 0 】

前記テープ状の超電導線材 1 2 をコイル状に巻回する際には、超電導線材 1 2 は超電導層 2 0 が内周側で基板 1 8 が外周側に位置するように配置される。超電導層 2 0 を内周側に配置することにより、超電導層 2 0 の円弧が基板 1 8 の外周側の円弧に比べて小さくなることから、圧縮ひずみが大きくなり、コイル 1 3 がフープ応力を受けたときに及ぼされる引張りひずみが緩和され、フープ応力に対する抵抗性が大きくなるため好ましい。

【 0 0 3 1 】

前記外周枠 1 4 の外周部には一対の電極 2 4 a、2 4 b が設けられている。一方の電極 2 4 a は巻回された超電導線材 1 2 の外周端に接続され、他方の電極 2 4 b は超電導線材 1 2 の内周端に図示しないリード線を介して接続されている。

【 0 0 3 2 】

次に、前記シングルパンケーキコイル 1 1 A の製造方法について説明する。

図 4 (a) に示すように、まず円筒状に形成された内周枠 2 5 の外周に、テープ状の超電導線材 1 2 をその一端から所定の巻数で巻回してコイル 1 3 を形成する。続いて、図 4 (b) に示すように、超電導線材 1 2 のコイル 1 3 の外周に外周枠 1 4 を配置してコイル 1 3 の組立体を形成する。この場合、コイル 1 3 の外周面と外周枠 1 4 の内周面との間に若干の隙間が形成されていてもよい。この状態で、コイル 1 3 の組立体をパラフィン溶湯に浸漬し、脱気した後、冷却してモールド層 2 3 を形成する。

【 0 0 3 3 】

次いで、図 4 (c) に示すように、内周枠 2 5 と外周枠 1 4 の下端部に下部規制枠 1 6 を宛がって複数のボルト 1 7 により下部規制枠 1 6 を内周枠 2 5 と外周枠 1 4 に締付けて固定する。続いて、図 1 (c) に示すように、下部規制枠 1 6 を内周枠 2 5 に固定しているボルト 1 7 を外し、内周枠 2 5 を取り出す。その後、図 3 に示すように、外周枠 1 4 の上端部に上部規制枠 1 5 を載せ、複数のボルト 1 7 により上部規制枠 1 5 を外周枠 1 4 に連結する。このようにして、目的とするシングルパンケーキコイル 1 1 A を得ることができる。

【 0 0 3 4 】

このシングルパンケーキコイル 1 1 A の製造方法により、強固に構成され、優れた超電導特性を発揮できるシングルパンケーキコイル 1 1 A を順序良く、頑丈に製造することができる。

【 0 0 3 5 】

次に、上記構成のシングルパンケーキコイル 1 1 A について作用を説明する。

さて、本実施形態のシングルパンケーキコイル 1 1 A を高磁場マグネット等として使用する場合には、コイル 1 3 に通電して発生した高磁場に基づいてコイル 1 3 の接線方向 (周方向) にフープ応力 (引張応力) が作用し、そのフープ応力がコイル 1 3 を拡げるように働く。このとき、コイル 1 3 の外周部には外周枠 1 4 が配置されていることから、フープ応力によってコイル 1 3 が拡径しようとしたときコイル 1 3 の外周面が外周枠 1 4 に当たり、そのフープ応力が受け止められる。

【 0 0 3 6 】

その上、外周枠 1 4 には下部規制枠 1 6 及び上部規制枠 1 5 が複数のボルト 1 7 で固定され、一体化されていることから、外周枠 1 4 の形状が頑丈に保持される。このため、コイル 1 3 にフープ応力が作用して拡径しようとする力が働いても、外周枠 1 4 がその力を

10

20

30

40

50

十分に受け止めることができ、超電導線材 1 2 にその力が及ぶことを防止することができる。

【 0 0 3 7 】

加えて、モールド層 2 3 はエポキシ樹脂のような硬質樹脂ではなく、パラフィン等の低強度の材料であることから、フープ応力を受けたときにはそのモールド層 2 3 が容易に変形し、コイル 1 3 を形成する超電導線材 1 2 間は相対移動して超電導層 2 0 には応力が及ぶことはない。

【 0 0 3 8 】

その結果、超電導線材 1 2 の引張ひずみを限界ひずみ量（不可逆ひずみ量、0.7%程度）よりも小さくすることができ、通電特性を維持することができる。言い換えれば、シングルパンケーキコイル 1 1 A はその形状を保持することができ、フープ応力の影響を極力回避することができ、超電導特性を発揮することができる。

【 0 0 3 9 】

以上詳述した第 1 実施形態によって得られる効果を以下にまとめて記載する。

（ 1 ）この第 1 実施形態のシングルパンケーキコイル 1 1 A において、そのコイル 1 3 の外周には外周枠 1 4 が設けられている。このため、シングルパンケーキコイル 1 1 A の使用時に発生した高磁場による電磁応力がコイル 1 3 に作用して該コイル 1 3 を拡張するように働いたとき、この応力が外周枠 1 4 に受け止められる。従って、超電導線材 1 2 に作用する電磁応力の一部は外周枠に分担して受承されて軽減され、超電導線材 1 2 の機能は電磁応力の有無に拘らず良好に発揮される。

【 0 0 4 0 】

よって、第 1 実施形態のシングルパンケーキコイル 1 1 A によれば、電磁応力を受けたときに超電導線材 1 2 の変形によるひずみを抑制することができ、超電導特性を良好に維持することができるという効果を奏する。

（ 2 ）前記外周枠 1 4 は繊維強化樹脂又は絶縁被覆が施された金属により形成されている。このため、外周枠 1 4 は高い強度及び剛性を発揮することができ、フープ応力に対する十分な抵抗性を発揮することができる。

（ 3 ）前記超電導線材 1 2 は超電導層 2 0 が内周側に位置するように配置されている。従って、超電導層 2 0 が外周側に配置された場合に比べて、内周側の超電導層 2 0 にはより大きな圧縮ひずみが形成され、コイル 1 3 がフープ応力を受けたときの引張ひずみを有効に緩和することができる。

（ 4 ）前記コイル 1 3 の軸線方向の両端面には、外周枠 1 4 の移動を規制する下部規制枠 1 6 及び上部規制枠 1 5 が設けられている。そのため、両規制枠 1 5、1 6 により外周枠 1 4 の移動を一層効果的に規制することができる。

（第 2 実施形態）

次に、本発明の超電導パンケーキコイルをダブルパンケーキコイルに具体化した第 2 実施形態に関し、図 5 ～ 図 1 0 に基づいて詳細に説明する。なお、この第 2 実施形態では、前記第 1 実施形態と重複する部分についてその説明を省略する。

【 0 0 4 1 】

図 5（a）～（c）に示すように、超電導パンケーキコイルとしてのダブルパンケーキコイル 1 1 B は、超電導線材 1 2 が巻回されて形成されたコイル 1 3 が中間規制枠 2 6 を介して上下 2 段に積層されている。各段のコイル 1 3 の外周には外周枠 1 4 が配置されるとともに、下段の外周枠 1 4 の下面には下部規制枠 1 6 が複数のボルト 1 7 により固定され、上段の外周枠 1 4 の上面には上部規制枠 1 5 が複数のボルト 1 7 により固定されている。外周枠 1 4 と下部規制枠 1 6 及び上部規制枠 1 5 との連結は、接着等の手段であっても差し支えない。また、下段のコイル 1 3 においては、その外周部及び下部にパラフィン等のモールド材によるモールド層 2 3 が形成されるとともに、上段のコイル 1 3 においては、その外周部及び上部に同様のモールド層 2 3 が形成されている。

【 0 0 4 2 】

次に、このダブルパンケーキコイル 1 1 B の製造方法について説明する。

図 6 に示すように、中間規制棒 2 6 が連結された内周棒 2 5 に対し、1 本のテープ状をなす超電導線材 1 2 の中央部を中心にして上下 2 段に反対方向に巻き付ける。すなわち、上段のコイル 1 3 は上方から見て反時計方向に巻回し、下段のコイル 1 3 は上方から見て時計方向に巻回する。なお、中間規制棒 2 6 には図示しない貫通孔が設けられ、その貫通孔を超電導線材 1 2 が通るようになっている。また、内周棒 2 5 に対する超電導線材 1 2 の巻き付け方向は、上記とは逆方向であってもよい。

【 0 0 4 3 】

そして、図 7 に示すように、各段において超電導線材 1 2 を所定方向へ巻回することにより、中間規制棒 2 6 の上下両面にコイル 1 3 が形成される。続いて、図 8 に示すように、各段のコイル 1 3 の外周にそれぞれ外周棒 1 4 を配置してコイル 1 3 の組立体を形成する。次いで、コイル 1 3 の組立体をパラフィン溶湯に浸漬し、脱気した後、冷却して各コイル 1 3 の外周並びに上部及び下部の空間部にモールド層 2 3 を形成する。

10

【 0 0 4 4 】

その後、図 5 (c) に示すように、内周棒 2 5 を中間規制棒 2 6 から外し、その状態で外周棒 1 4 に対して下部規制棒 1 6 及び上部規制棒 1 5 を複数のボルト 1 7 により締付固定する。このようにして、ダブルパンケーキコイル 1 1 B を得ることができる。

【 0 0 4 5 】

次に、以上のように構成されたダブルパンケーキコイル 1 1 B の作用を説明する。

さて、第 2 実施形態のダブルパンケーキコイル 1 1 B を高磁場マグネット等として用いる場合には、発生する高磁場に基づいてコイル 1 3 を広げる方向にフープ応力が作用する。このとき、上下のコイル 1 3 の外周部にはそれぞれ外周棒 1 4 が配置されていることから、フープ応力によってコイル 1 3 が拡張しようとしたときコイル 1 3 の外周面が外周棒に当たり、そのフープ応力が受け止められる。

20

【 0 0 4 6 】

さらに、上段の外周棒 1 4 には中間規制棒 2 6 及び上部規制棒 1 5 が固定され、下段の外周棒 1 4 には中間規制棒 2 6 及び下部規制棒 1 6 が固定されていることから、両段の各外周棒 1 4 の形状が頑丈に保持される。そのため、各コイル 1 3 にフープ応力が作用して拡張力が働いても、各外周棒 1 4 がその拡張力を十分に受承することができ、超電導線材 1 2 にその力が及ぶことを抑制することができる。従って、ダブルパンケーキコイル 1 1 B は、その形状を保持することができ、フープ応力の影響を極力軽減できて優れた超電導特性を維持することができる。

30

【 0 0 4 7 】

ここで、上記のダブルパンケーキコイル 1 1 B に関し、超電導特性の試験を行った実施例の結果について説明する。

温度 4 . 2 K (液体ヘリウム中)、磁束密度 8 T の外部磁場中で、ダブルパンケーキコイル 1 1 B (超電導線材 1 2 の長さは 5 0 m) に 1 7 A / 秒の電流を総電流量が 1 5 0 0 A に到るまで通電を行った。このとき、ダブルパンケーキコイル 1 1 B に電磁誘導で発生する電圧は 4 0 m V 程度であった。そして、ダブルパンケーキコイル 1 1 B に流れるコイル電流 (A) とコイル電圧 (m V) の変化を常法に従って測定し、その結果を図 9 に示した。この図 9 に示したように、コイル電圧にはノイズのピークが見られるほかは、限界電流を超える電圧 (5 m V の電圧が発生したときの電流値が限界電流) は観察されなかった。

40

【 0 0 4 8 】

また、ひずみゲージを用いて超電導線材 1 2 のひずみ量を測定した結果、ひずみ量は 0 . 4 0 ~ 0 . 5 5 % であった。この超電導線材 1 2 のひずみ量は、超電導線材 1 2 の限界ひずみ量である 0 . 7 % を下回っていた。上記のような通電を複数回繰り返しても、超電導線材 1 2 のひずみ量は限界ひずみ量を下回っていた。

【 0 0 4 9 】

従って、このダブルパンケーキコイル 1 1 B においては、超電導特性を悪化させることなく、通電を継続することができた。

50

このとき、ダブルパンケーキコイル 11B に加わるフープ応力 (MPa) は図 10 に示すようになった。すなわち、ダブルパンケーキコイル 11B への総通電量を 800A とした場合 (図 10 の ○ 印)、総通電量を 1000A とした場合 (図 10 の □ 印)、総通電量を 1300A とした場合 (図 10 の △ 印)、総通電量を 1500A とした場合 (図 10 の × 印) について、コイル 13 中心からの距離 (mm) とフープ応力 (MPa) との関係を図 10 に示した。この図 10 に示したように、フープ応力はコイル 13 の中心側で最も大きく、外周側ほど次第に小さくなる傾向を示した。総通電量が最も多い 1500A である場合、コイル 13 の内周側で約 1700MPa (1.7GPa) という最も高いフープ応力を示した。

【0050】

一方、比較例として前記特許文献 1 に記載されているように、モールド材にエポキシ樹脂を使用してモールドした場合について検討する。

前記実施例に示したように、超電導線材 12 には最大 1.7GPa のフープ応力が加わることから、そのとき基板 18 には 1700N (1.7GPa × 幅 10mm × 厚さ 0.1mm) の応力が加わる。一般に、エポキシ樹脂の引張強さは 35 ~ 140MPa であることから、仮にエポキシ樹脂の引張強さが 100MPa であるとしたとき、1700N の応力を受けるためには 17mm² の断面積が必要になる。これは、超電導線材 12 の断面積である 3mm² (幅 10mm × 厚さ 0.3mm) の 5 倍以上となる。このため、応力の半分を超電導線材 12 が負担するとしても、エポキシ樹脂は超電導線材 12 の約 3 倍の断面積が必要となり、現実的な超電導パンケーキコイルとして全く成立しない。

【0051】

また、前記実施例に示したように、超電導線材 12 の 1m 当りに加わる径方向の応力は 12000N (8T × 1500A) である。この応力は 1cm 当り 120N である。エポキシ樹脂は超電導線材 12 の端面に接着されるため、その接着面の面積は 3mm² (超電導線材 12 の幅 10mm × 厚さ 0.3mm) である。この接着面積で前記 120N の応力を受けるとすると、エポキシ樹脂の引張剪断強さが 40MPa (120N / 3mm²) が必要になる。しかしながら、一般にエポキシ樹脂の接着面の引張剪断強さは 18MPa 程度である。従って、エポキシ樹脂はそのような引張剪断強さに耐えることはできず、壊れるか又は剥離を生じさせることになる。

【0052】

なお、モールド材としてのエポキシ樹脂が超電導線材 12 の外周面に接着されているときには、エポキシ樹脂と超電導線材 12 の接着面に前述のフープ応力 (1.7GPa) が作用するため、エポキシ樹脂は簡単に壊れることになる。

(第 3 実施形態)

次に、本発明の超電導パンケーキコイルを具体化した第 3 実施形態に関し、図 11 及び図 12 に基づいて詳細に説明する。なお、この第 3 実施形態では、前記第 1 実施形態と重複する部分についてその説明を省略する。

【0053】

図 11 に示すように、この実施形態の超電導パンケーキコイルを構成するシングルパンケーキコイル 11A は、円筒状以外の筒形状 (異形状)、すなわち平面円弧筒状に形成されている。このコイル 13 の外周には外周枠 14 が配置されるとともに、内周には内周枠 25 が配置されている。外周枠 14 はコイル 13 の外周面に沿うように平面円弧筒状に形成され、内周枠 25 はその外周面がコイル 13 の内周面に沿うように平面円弧筒状に形成されている。

【0054】

図 12 (a) に示すように、前記外周枠 14 及び内周枠 25 の上端部には上部規制枠 15 が配置されるとともに、下端部には下部規制枠 16 が配置されている。上部規制枠 15 の外周端縁は下方へ直角に曲げ形成されて外周側係合部 15a となり、外周枠 14 の被係合部としての外周面 14a に係合されている。また、上部規制枠 15 の内周端縁も下方へ直角に曲げ形成されて内周側係合部 15b となり、内周枠 25 の被係合部としての内周面

10

20

30

40

50

25aに係合されている。

【0055】

従って、この第3実施形態によれば、シングルパンケーキコイル11Aを加速器等として異形状で使用する場合、そのコイル13の外周部に沿って外周枠14が設けられていることから、フープ応力によるコイル13全体の拡張やフープ応力と直交方向の応力によるコイル13の変形を効果的に抑制することができる。さらに、その外周枠14の上端部には上部規制枠15が配置され、その上部規制枠15の外端部及び内端部には外周側係合部15a及び内周側係合部15bが設けられて外周枠14及び内周枠25に係合していることから、外周枠14及び内周枠25の軸線と直交する方向（水平方向）へのコイル13の動きを一層効果的に抑制することができる。

10

【0056】

加えて、図11に示すように、この第3実施形態のシングルパンケーキコイル11Aにおいては、コイル13が円筒状の場合には存在しないネガティブベンド部N（内側に凹んだ部分）が形成されている。このネガティブベンド部Nでは、フープ応力やその直交方向の応力によりコイル13が損傷を受けて壊れやすい。しかし、本実施形態ではネガティブベンド部Nにおいてもコイル13の外周に沿って外周枠14が配置され、かつコイル13の内周に沿って内周枠25が配置されている。従って、ネガティブベンド部Nを有するコイル13の形状維持を図ることができ、応力に対する耐性を格段に向上させることができる。

【0057】

20

なお、前記上部規制枠15の外周側係合部15a及び内周側係合部15bと外周枠14及び内周枠25の被係合部としての外周面14a及び内周面25aを図12（b）に示すように変更してもよい。すなわち、上部規制枠15の外周端部及び内周端部には断面三角形の突起よりなる外周側係合部15c及び内周側係合部15dが設けられている。一方、外周枠14の上端面には上部規制枠15の外周側係合部15cに係合する被係合部として三角凹状の被係合凹部14bが設けられるとともに、内周枠25の上端面には上部規制枠15の内周側係合部15dに係合する被係合部として三角凹状の被係合凹部25bが設けられている。

【0058】

従って、この場合にも上部規制枠15の外周側係合部15c及び内周側係合部15dと外周枠14及び内周枠25の被係合凹部14b、25bとの係合により、外周枠14及び内周枠25の動きを有効に抑制することができる。

30

（第4実施形態）

次に、本発明の超電導パンケーキコイルを具体化した第4実施形態に関し、図13～図17に基づいて詳細に説明する。なお、この第4実施形態では、前記第1実施形態と重複する部分についてその説明を省略する。

【0059】

図13に示すように、外周にコイル13が巻回される内周枠25と、コイル13の外周に配置される外周枠14と、コイル13の両端面に配置される上部規制枠15と、下部規制枠16とによりケース30が構成される。図14に示すように、上部規制枠15には注入口27が開口され、その注入口27からケース30内に油状物質28が注入されてコイル13に含浸されるようになっている。その後、注入口27はエポキシ樹脂等の接着剤で封止され、シングルパンケーキコイル11Aが形成される。

40

【0060】

前記油状物質28としては、融点が $-10 \sim -100$ の物質が好ましく、また融点ができるだけ低い物質がより好ましい。この油状物質28としては、例えば融点が -12.6 のエチレングリコール、融点が -59.0 のプロピレングリコール、融点が -90 のパーフルオロポリエーテル等が用いられる。油状物質28の融点が -10 より高いと油状物質28による熱応力の緩和作用が十分に発揮されず、その一方融点が -100 より低いと油状物質28として適切な物質が得られない。

50

【 0 0 6 1 】

このような油状物質 2 8 がコイル 1 3 に含浸されることにより、冷却時に油状物質 2 8 が固化する前又は昇温時に油状物質 2 8 が液化した後には、冷却時の収縮によるコイル 1 3 の変形や超電導線材 1 2 の滑りが許容される。油状物質 2 8 を注入しない場合には、コイル 1 3 の端面の凹凸や、コイル 1 3 とケース 3 0 との隙間によって熱伝導が不十分になり、コイル 1 3 を伝導冷却するためには問題となる。一方で、強固な材料でコイル 1 3 を含浸して超電導線材 1 2 を室温で拘束した状態にすると、冷却した際に、200 以上の温度差による熱応力が超電導線材 1 2 に作用する。油状物質 2 8 をケース 3 0 内に注入した場合には、隙間をなくして熱伝導が確保できて伝導冷却が適用できるようになり、油状物質 2 8 が固化後冷却温度までの温度差分の熱応力が超電導線材 1 2 に作用することになる。従って、コイル 1 3 に作用する応力を低減させることができる。

10

【 0 0 6 2 】

油状物質 2 8 が固化した後には、シングルパンケーキコイル 1 1 A 又はダブルパンケーキコイル 1 1 B は、前記第 1 ~ 第 3 実施形態のシングルパンケーキコイル 1 1 A 又はダブルパンケーキコイル 1 1 B とそれぞれ同様の構成になることから、電磁力に対して優れた耐性を発揮することができる。

【 0 0 6 3 】

次に、この第 4 実施形態の実施例を示す。

長さ 50 m の超電導線材 1 2 を用い、第 2 実施形態と同様にしてダブルパンケーキコイル 1 1 B を作製した。超電導線材 1 2 は、ハステロイ製の基板 1 8 の幅 10 mm、厚さ 100 μ m、中間層 1 9 の厚さが約 500 nm、超電導層 2 0 の厚さが約 1 μ m、銀製の第 1 安定化層 2 1 の厚さが約 15 μ m 及び銅製の第 2 安定化層 2 2 の厚さが約 50 μ m であった。さらに、第 2 安定化層 2 2 の外周にはエポキシ樹脂による絶縁被覆層が形成された。また、液体窒素の沸点 (77 K) での臨界電流は約 300 A であった。

20

【 0 0 6 4 】

そして、この超電導線材 1 2 を内周枠 2 5 の外周に巻回してダブルパンケーキコイル 1 1 B を作製した。このダブルパンケーキコイル 1 1 B の外周に、0.2 ~ 0.4 mm の間隙をおいて外周枠 1 4 を配置した。ダブルパンケーキコイル 1 1 B の内径は 200 mm、外径は 240 mm であった。なお、銅製の電極 2 4 a, 2 4 b を、ハンダにより第 2 安定化層 2 2 に接続した。その後、内周枠 2 5 及び外周枠 1 4 の両端面に上部規制枠 1 5 及び下部規制枠 1 6 をエポキシ樹脂接着剤で接着してケース 3 0 を作製した。

30

【 0 0 6 5 】

その後、直径 8 mm の注入口 2 7 から、油状物質 2 8 としてパーフルオロポリエーテル ((株) ダイトクテック製、ガルデン HT55、融点 - 90) を前記ケース 3 0 内へ注入して満たした。次いで、前記注入口 2 7 をエポキシ樹脂接着剤で封止した。

【 0 0 6 6 】

このような方法でダブルパンケーキコイル 1 1 B を製造することにより、油状物質 2 8 をケース 3 0 内に容易に注入できるとともに、ケース 3 0 を簡単に密閉構造とすることができ、油状物質 2 8 による熱応力の緩和効果を速やかに得ることができる。

【 0 0 6 7 】

40

そして、得られたダブルパンケーキコイル 1 1 B を常法により伝導冷却して、冷却試験を行った。その結果、コイル 1 3 にパラフィンを含浸した場合に比べて冷却速度は速く、ダブルパンケーキコイル 1 1 B 内の温度差は 3 K 以内であった。ケース 3 0 内のパーフルオロポリエーテルは - 90 で固化するが、コイル 1 3 に外観上の変化は見られなかった。 - 100 より低温では、冷却槽を真空にし、断熱性を高めて伝導冷却を継続した。そして、77 K、外部磁場のない条件で、ダブルパンケーキコイル 1 1 B に通電したときの電流 - 電圧特性を測定し、その結果を図 15 に示した。この図 15 に示したように、超電導線材 1 2 の特性として良好な結果であった。

【 0 0 6 8 】

続いて、ダブルパンケーキコイル 1 1 B を 20 K に冷却し、8 T の外部磁場をかけた状

50

態で通電試験（フープ力試験）を行った。その結果を図 16 に示した。この図 16 に示したように、1000 A の電流を流しても超電導特性が維持され、異常な電圧が発生することとはなかった。電磁力の計算によれば、このときダブルパンケーキコイル 11 B には最大で約 1 GPa 程度の応力が加わることになるが、そのような応力下でも良好な超電導特性を維持することができた。なお、この通電を複数回繰返しても超電導特性を発揮することができた。

【0069】

このフープ力試験終了後、再度 77 K で前記と同様の通電試験を行ったが、特性低下は認められなかった。

次に、長さ 20 m の前記超電導線材 12 を用い、前記第 1 実施形態と同様にして内径 125 mm、外径 185 mm のシングルパンケーキコイル 11 A を作製した。超電導線材 12 の仕様、コイル 13 の構成は第 4 実施形態の前記実施例と同様であるが、油状物質 28 としてエチレングリコールを使用した。続いて、シングルパンケーキコイル 11 A を伝導冷却により冷却した。伝導冷却に際し、シングルパンケーキコイル 11 A 内の温度差は 2 K 以内であって、パラフィンに比較してシングルパンケーキコイル 11 A の温度低下は速かった。これは、シングルパンケーキコイル 11 A 内に熱伝導特性の良い油状物質 28 としてエチレングリコールが注入されているためと考えられる。

【0070】

・ 12 程度でエチレングリコールが固化した後、冷却槽を真空にして断熱性を高め、伝導冷却を継続した。このとき、シングルパンケーキコイル 11 A に外観上の変化は認められなかった。

【0071】

そして、77 K、外部磁場なしでシングルパンケーキコイル 11 A に通電したときの電流 - 電圧特性を求め、図 17 に示した。この図 17 に示したように、シングルパンケーキコイル 11 A は、超電導線材 12 の特性により得られる良好な通電特性を発揮することができた。また、シングルパンケーキコイル 11 A を室温に戻した後、再度冷却し、通電試験を行ったが、劣化は認められず、超電導特性が維持された。

【0072】

なお、前記各実施形態を次のように変更して具体化することも可能である。

・ 前記両実施形態において、上部規制枠 15 及び下部規制枠 16 の双方を省略したり、上部規制枠 15 及び下部規制枠 16 の少なくとも一方を省略したりしてもよい。このように構成した場合、シングルパンケーキコイル 11 A やダブルパンケーキコイル 11 B の構成を簡単にでき、それらの製造を容易に行うことができる。

【0073】

- ・ 前記外周枠 14 の内周には図示しない補助枠を配置し、該補助枠に電極 24 a、24 b を設けるように構成してもよい。
- ・ 前記内周枠 25 を取り外すことなく、そのまま残してシングルパンケーキコイル 11 A やダブルパンケーキコイル 11 B を構成してもよい。

【0074】

・ 前記外周枠 14 の強度を高める補強構造として、外周枠 14 の外周面に剛性の高いカーボン繊維、金属テープ等を巻き付けるように構成してもよい。また、外周枠 14 の外周面に突条を設けたり、外周枠 14 の一部の肉厚を厚く形成したりするように構成してもよい。

【0075】

・ 前記モールド層 23 を形成するモールド材が硬く、フープ応力を受けて壊れたとき超電導線材 12 に引張応力を及ぼすおそれがある場合には、超電導線材 12 の外周面にシリコンオイル等の離型剤を予め塗布してもよい。

【0076】

・ 前記第 2 実施形態において、内周枠 25 及び外周枠 14 の少なくとも一方を、上段と下段で一体となるように構成してもよい。その場合、中間規制枠 26 は内周枠 25 又は

10

20

30

40

50

外周枠 1 4 の分だけ幅狭に形成される。

【 0 0 7 7 】

・ 前記第 3 実施形態において、下部規制枠 1 6 を固定するボルト 1 7 を省略し、下部規制枠 1 6 にも外周側係合部 1 5 a 及び内周側係合部 1 5 b と同様の係合部を設け、外周枠 1 4 及び内周枠 2 5 の下端部の被係合部としての外周面 1 4 a 及び内周面 2 5 a に係合可能に構成してもよい。この場合には、簡易な構成で、外周枠 1 4 及び内周枠 2 5 の動きをそれらの上下両端で規制することができる。

【 0 0 7 8 】

・ 前記第 3 実施形態において、内周枠 2 5 を中実体で構成してもよい。この場合、上部規制枠 1 5 の内周側係合部 1 5 b を省略し、外周側係合部 1 5 a が外周枠 1 4 の周囲を取り囲むように構成する。

10

【 0 0 7 9 】

・ 前記第 3 実施形態において、上部規制枠 1 5 の外周側係合部 1 5 c 及び内周側係合部 1 5 d を凹部で構成し、外周枠 1 4 の被係合凹部 1 4 b 及び内周枠 2 5 の被係合凹部 2 5 b を凸部で構成するように変更してもよい。

【 0 0 8 0 】

・ 前記第 3 実施形態における上部規制枠 1 5 の外周側係合部 1 5 c 及び内周側係合部 1 5 d の形状を、断面四角形状、断面 U 字形状、断面円弧形状等の凸形状に変更し、外周枠 1 4 及び内周枠 2 5 の被係合凹部 1 4 b、2 5 b の形状を前記各凸形状に対応するように凹形状に変更してもよい。

20

【 0 0 8 1 】

・ 前記第 3 実施形態における異形状のシングルパンケーキコイル 1 1 A のコイル形状を、その用途に応じて平面楕円筒状、平面山型筒状等に変更してもよい。

・ 前記第 3 実施形態のシングルパンケーキコイル 1 1 A をダブルパンケーキコイル 1 1 B に変更して実施してもよい。

【 0 0 8 2 】

・ 前記第 4 実施形態において、上部規制枠 1 5 を省略し、外周枠 1 4、内周枠 2 5 及び下部規制枠 1 6 でケース 3 0 を構成してもよい。

・ 前記第 4 実施形態において、注入口 2 7 を複数箇所に設けたり、注入口 2 7 の大きさを変更したり、注入口 2 7 の形状を平面楕円形状、平面角型形状、異形状等に変更したりしてもよい。

30

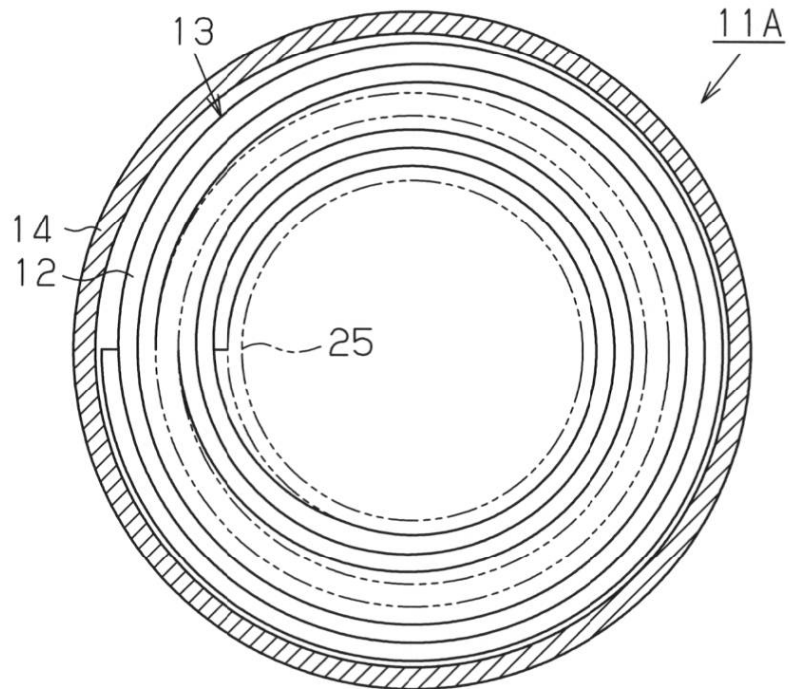
【 符号の説明 】

【 0 0 8 3 】

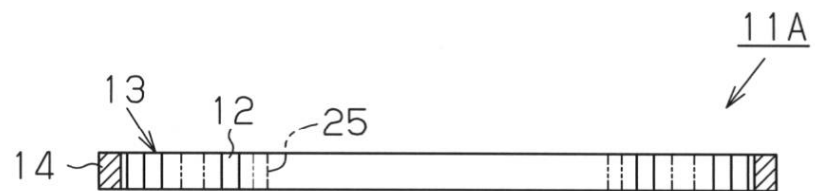
1 1 A ... シングルパンケーキコイル、1 1 B ... ダブルパンケーキコイル、1 2 ... 超電導線材、1 3 ... コイル、1 4 ... 外周枠、1 4 a ... 被係合部としての外周面、1 5 ... 上部規制枠、1 5 a ... 外周側係合部、1 6 ... 下部規制枠、1 8 ... 基板、1 9 ... 中間層、2 0 ... 超電導層、2 4 a、2 4 b ... 電極、2 5 ... 内周枠、2 7 ... 注入口、2 8 ... 油状物質、3 0 ... ケース。

【図 1】

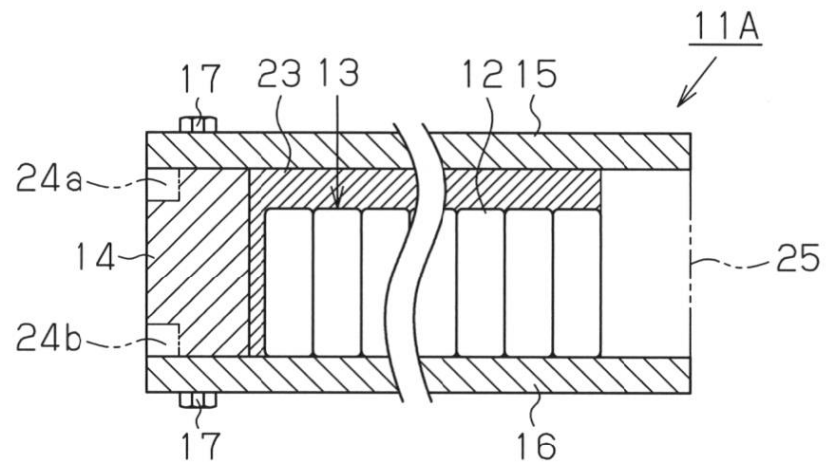
(a)



(b)

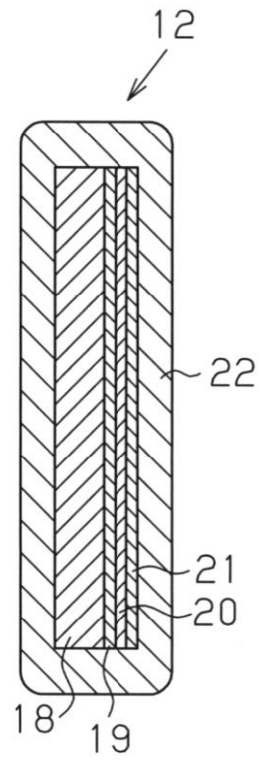


(c)

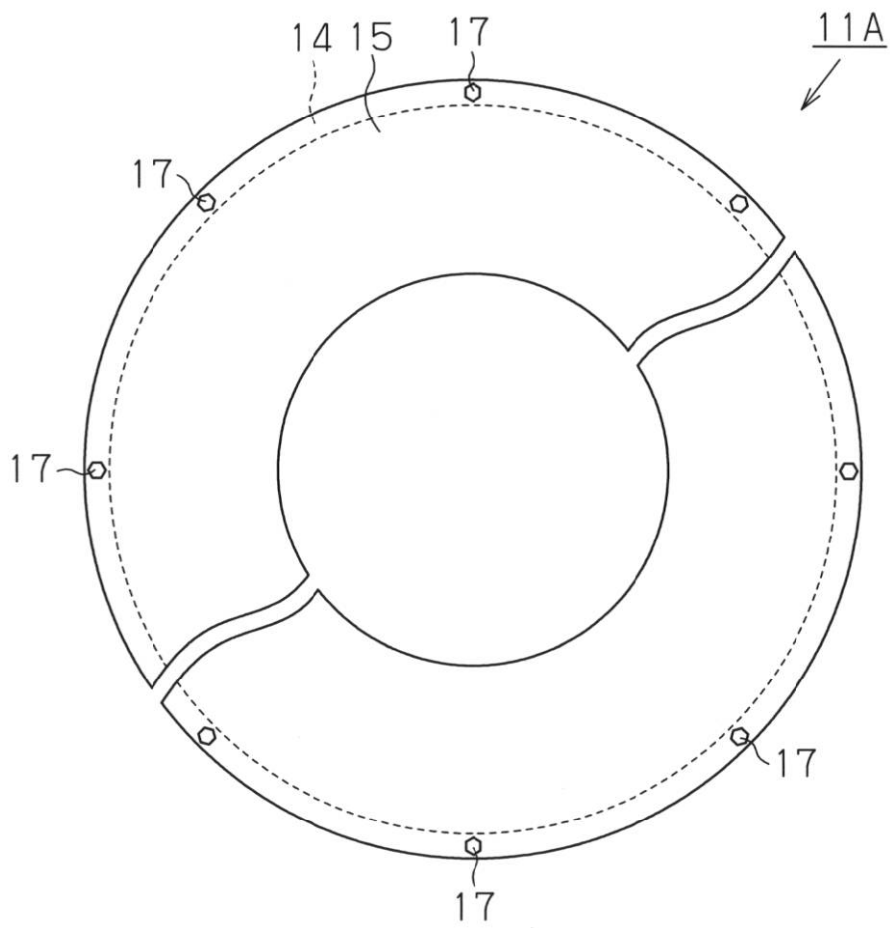


11A : シングルパンケーキコイル 12 : 超電導線材
 13 : コイル 14 : 外周枠 15 : 上部規制枠
 16 : 下部規制枠 24a, 24b : 電極

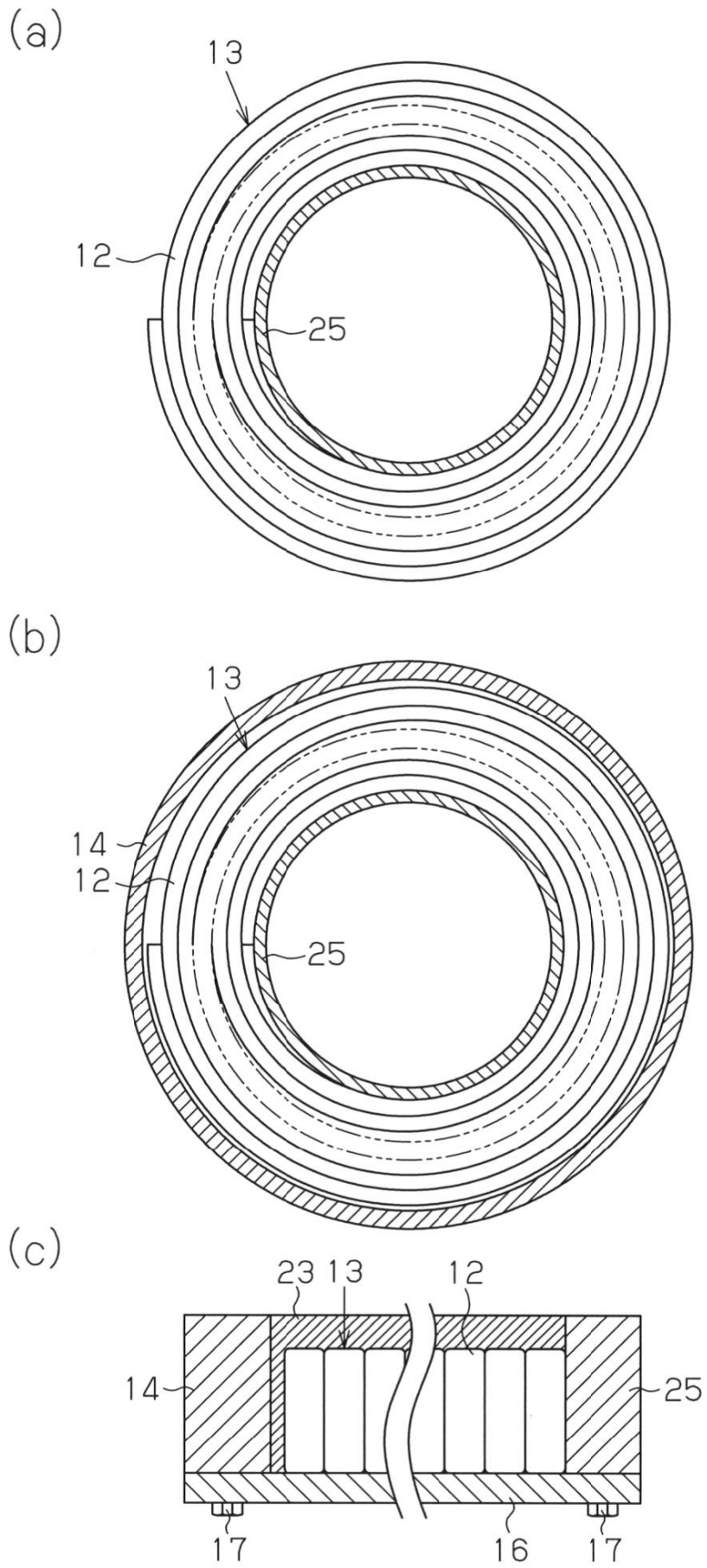
【 図 2 】



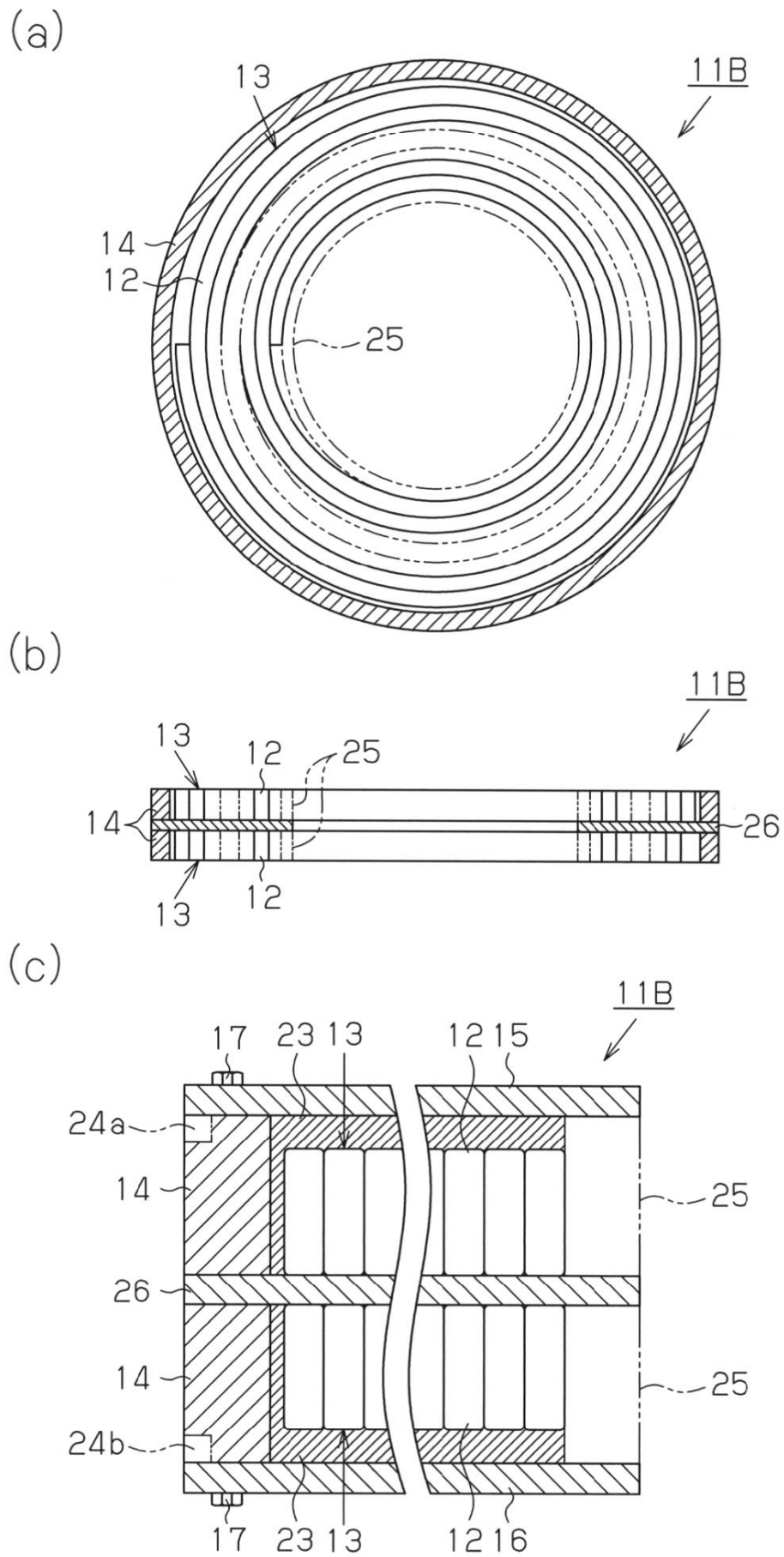
【 図 3 】



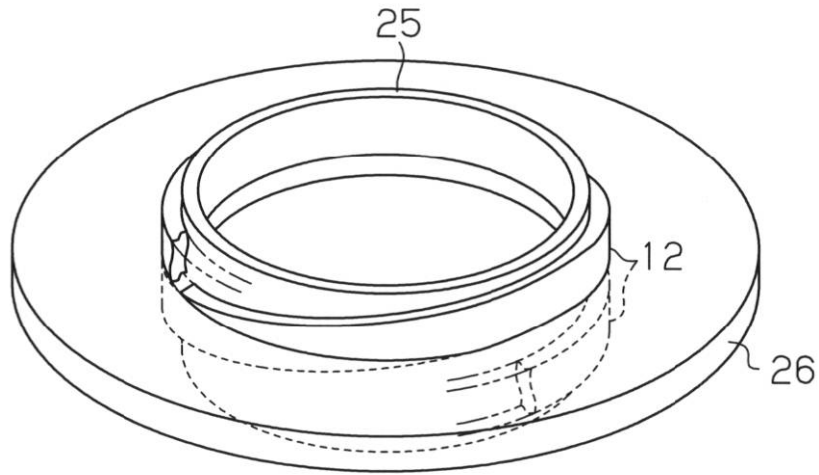
【図 4】



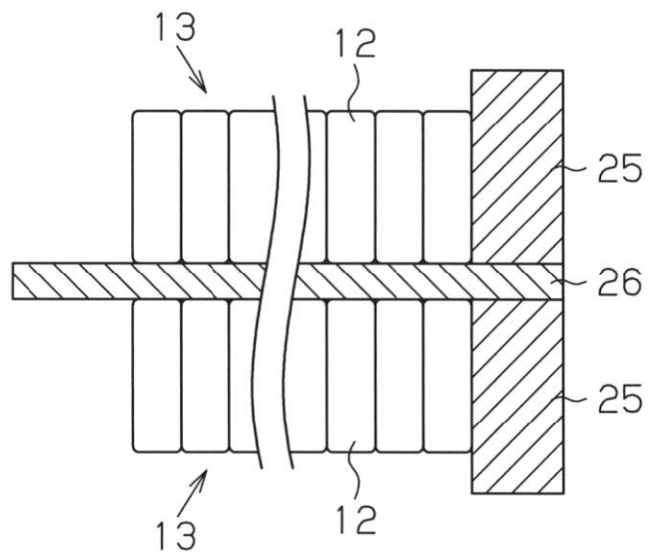
【 図 5 】



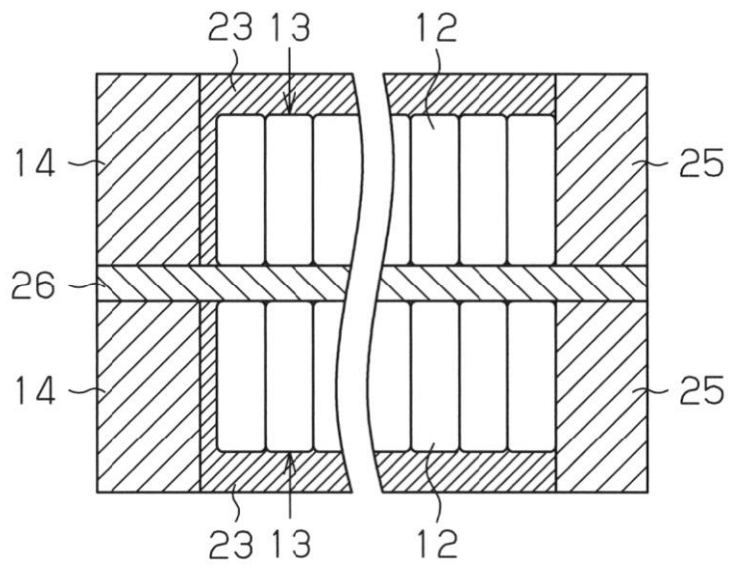
【図 6】



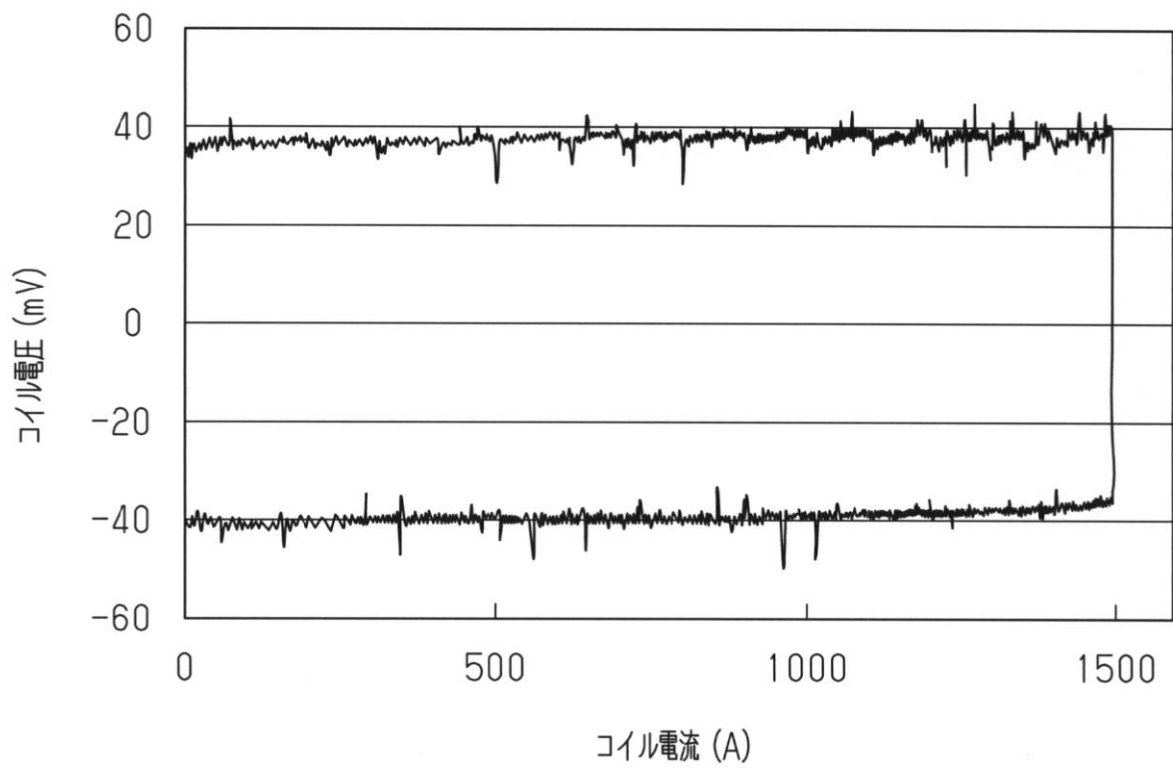
【図 7】



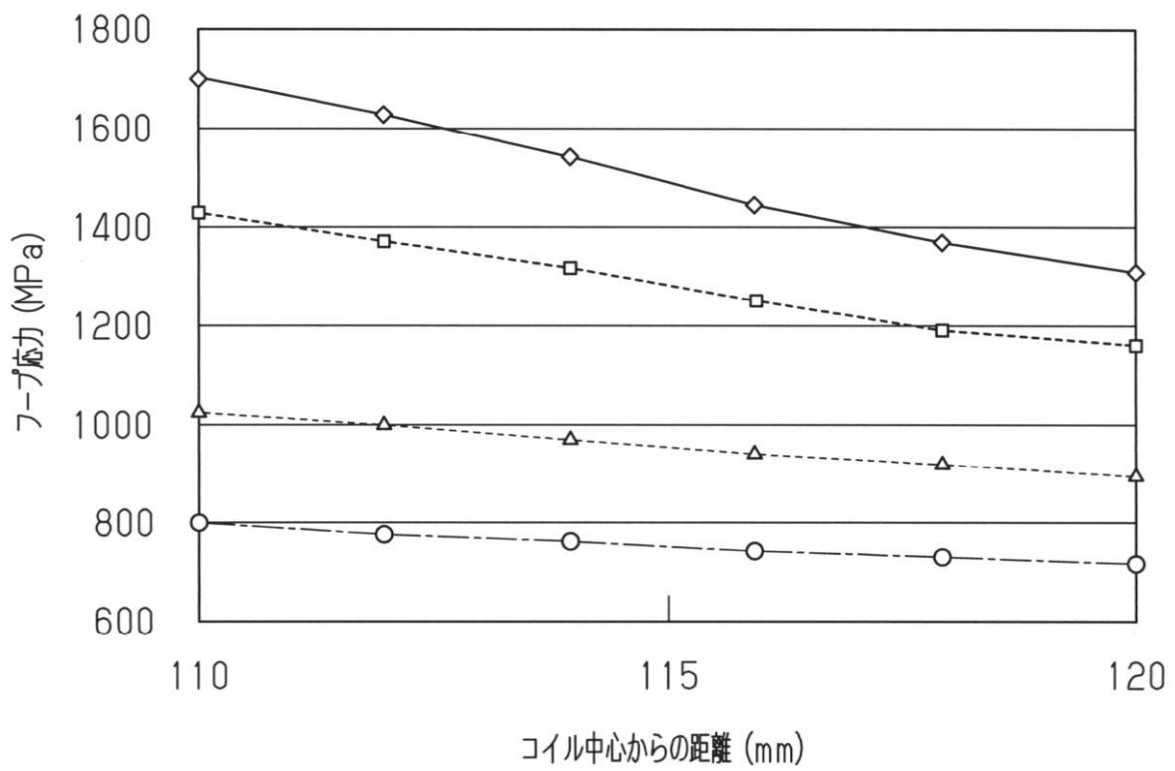
【図 8】



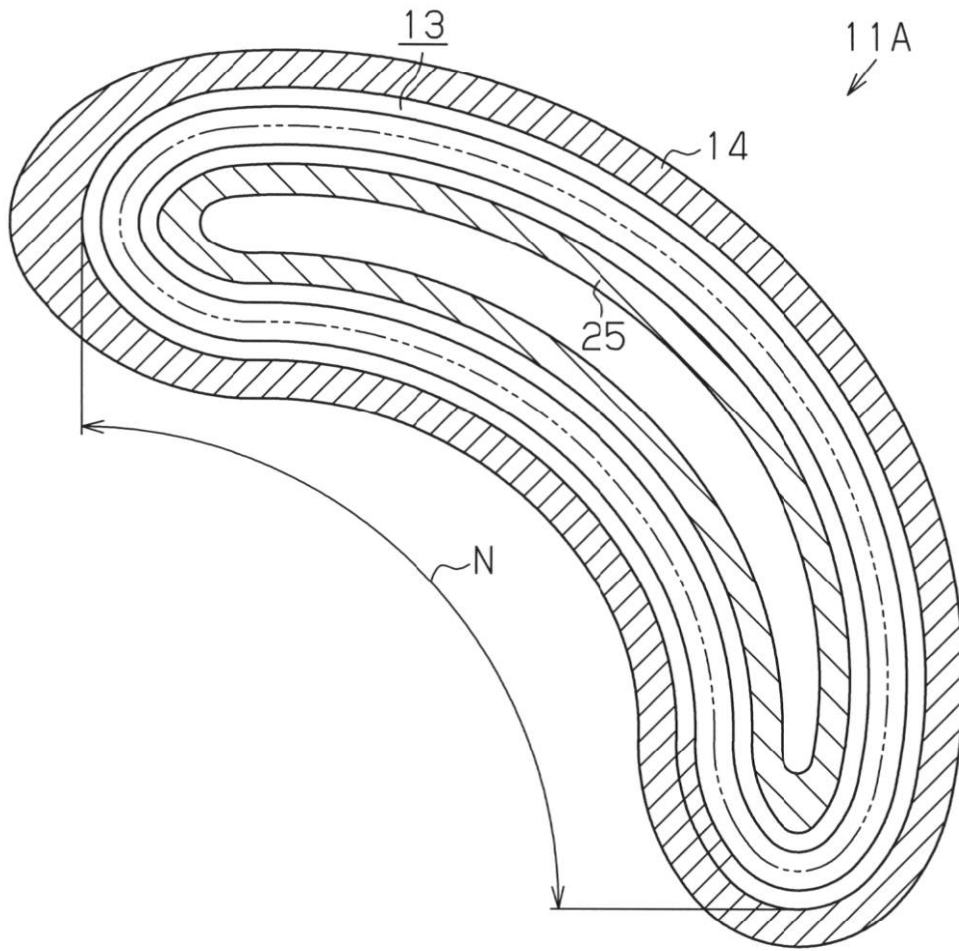
【図 9】



【図 10】

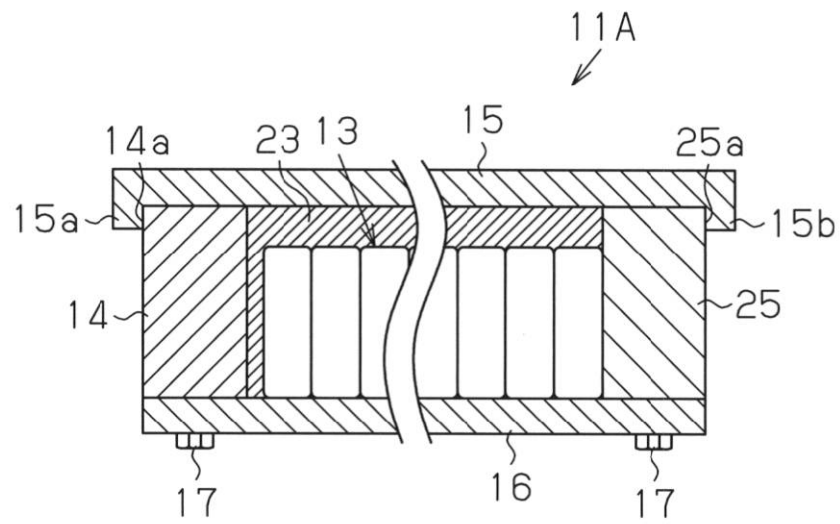


【図 11】

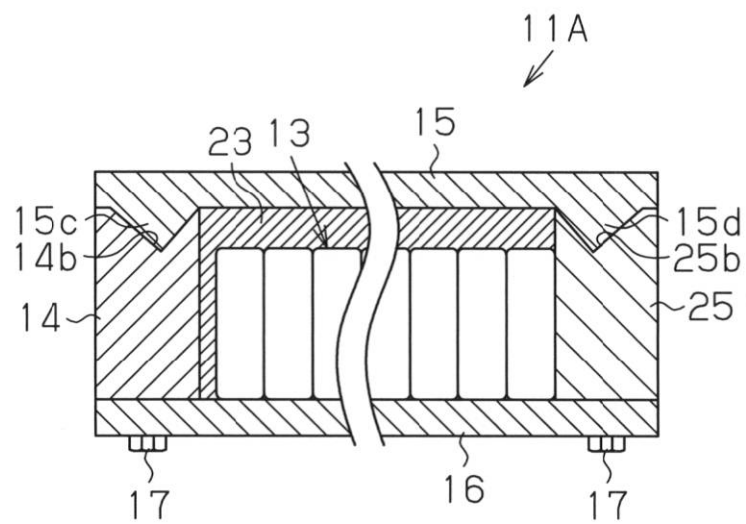


【図 12】

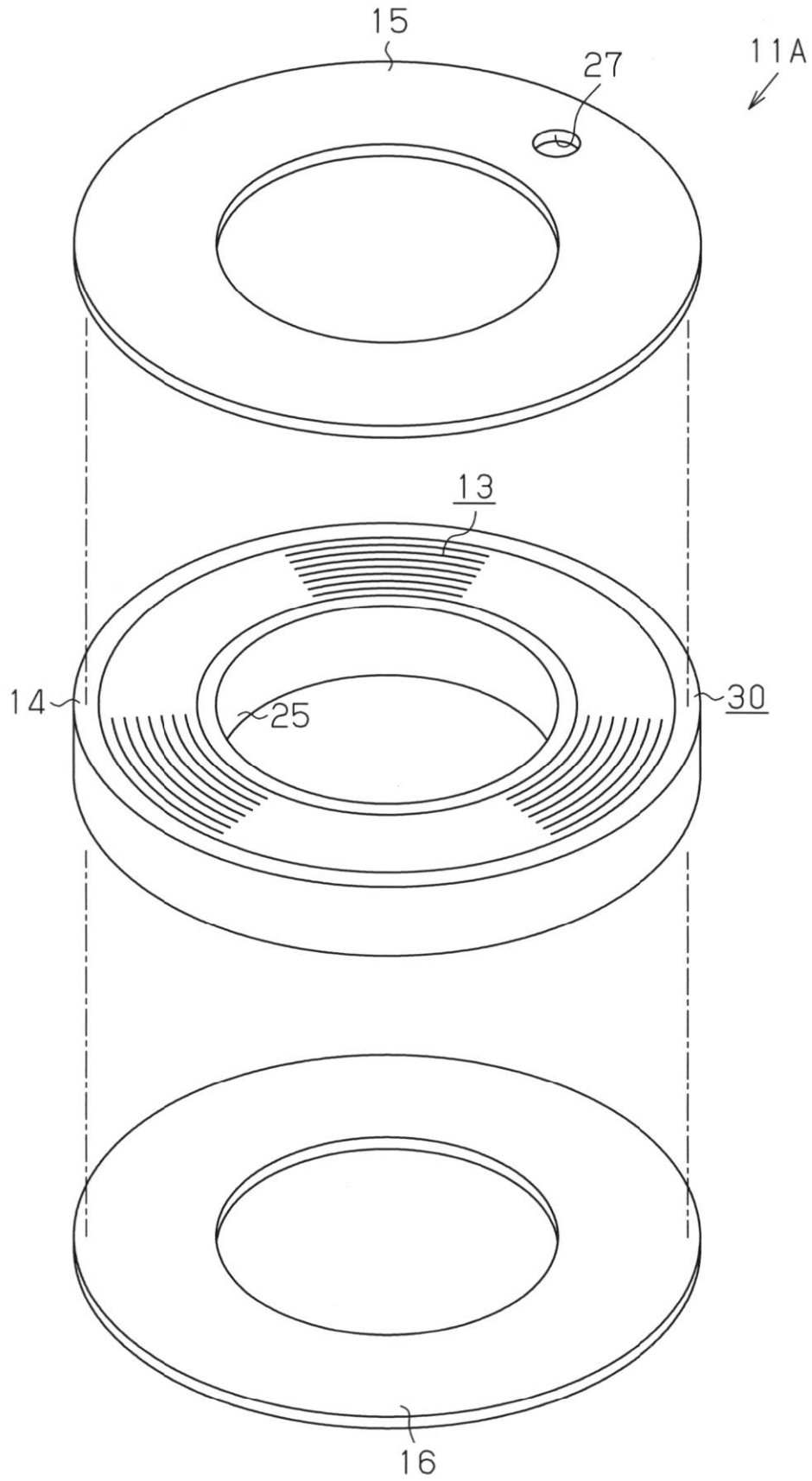
(a)



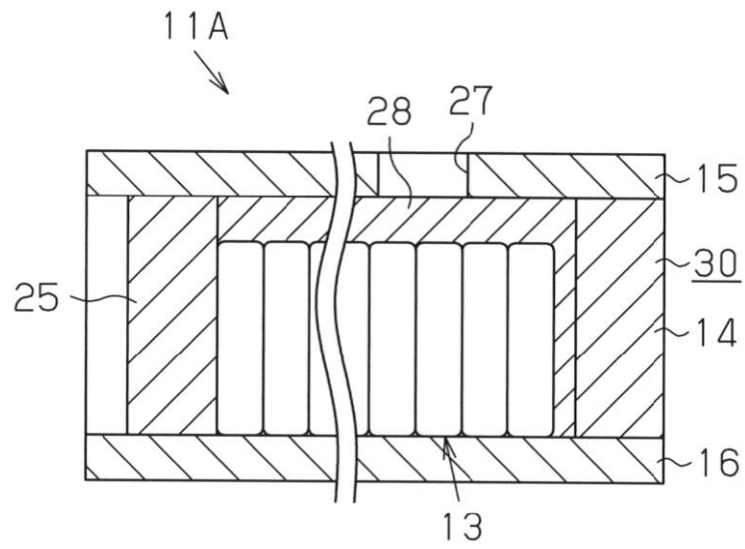
(b)



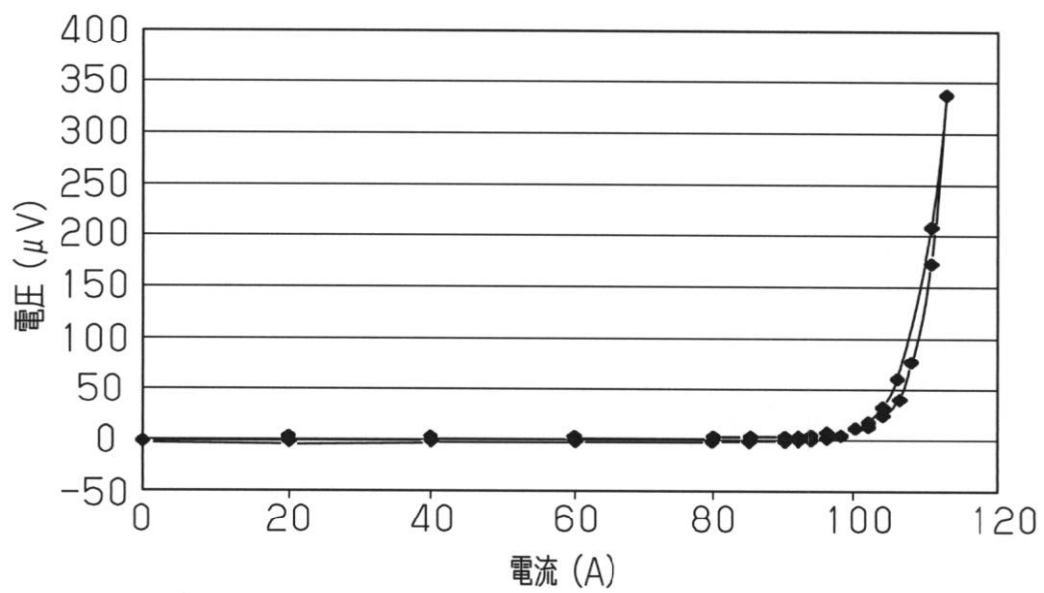
【図 13】



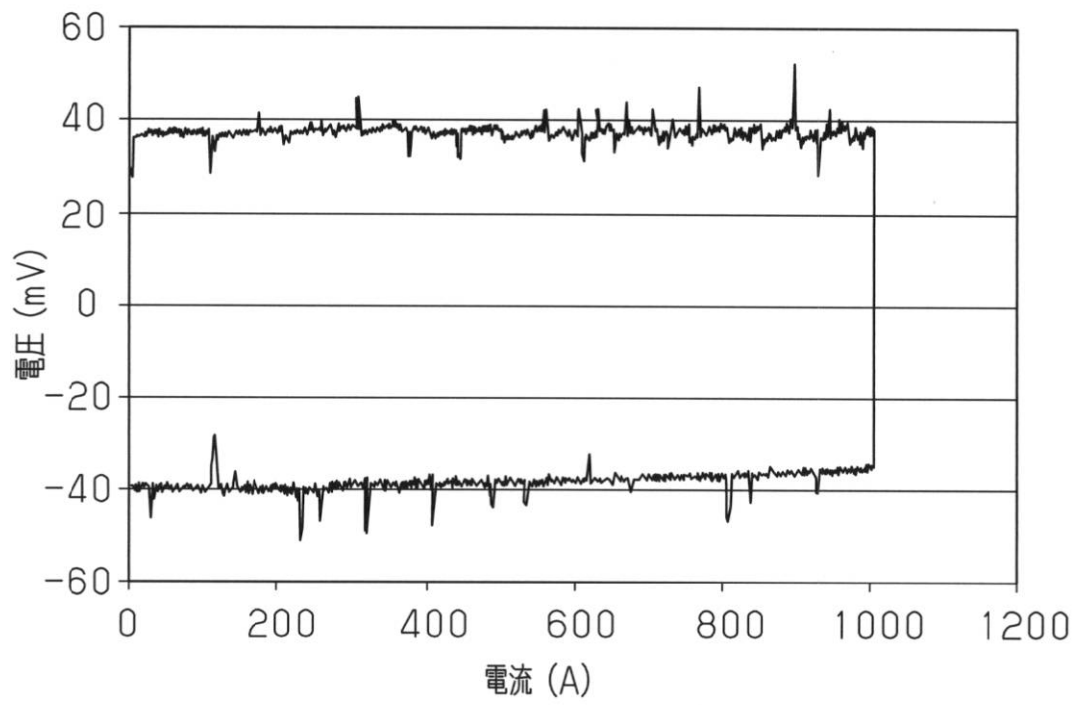
【図 1 4】



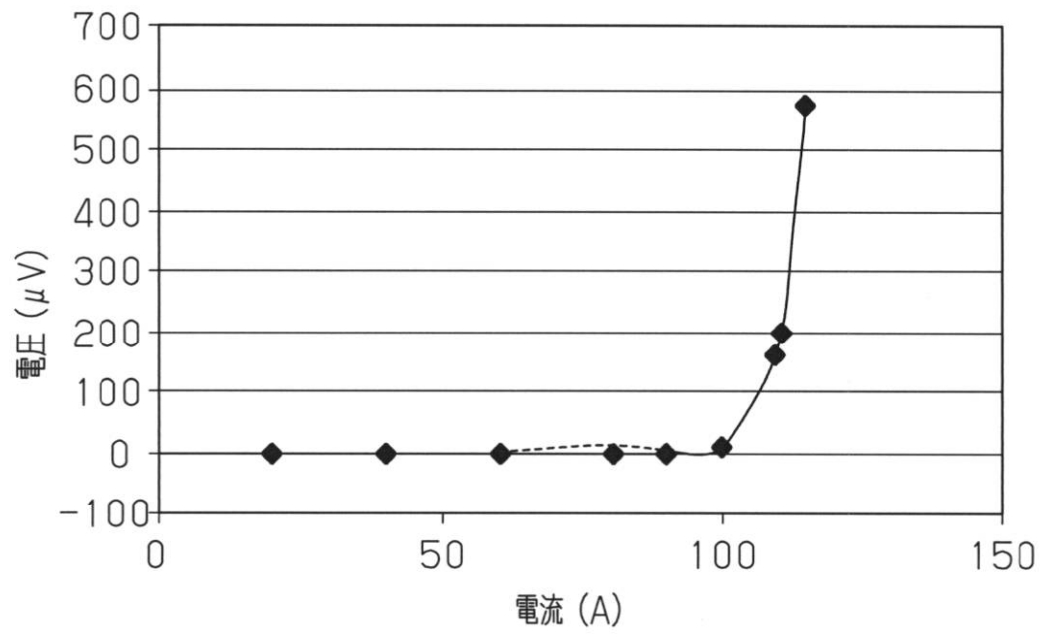
【図 1 5】



【図 16】



【図 17】



フロントページの続き

(72)発明者 淡路 智

宮城県仙台市青葉区片平二丁目 1 番 1 号 国立大学法人 東北大学 金属材料研究所 内