

(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2017-6733

(P2017-6733A)

(43) 公開日 平成29年1月12日(2017.1.12)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
A 6 1 B 5/055 (2006.01)	A 6 1 B 5/05 3 3 1	4 C 0 9 6
A 6 1 B 5/05 (2006.01)	A 6 1 B 5/05 Z A A	
H 0 1 F 6/06 (2006.01)	H 0 1 F 6/06 1 1 0	

審査請求 有 請求項の数 6 O L (全 24 頁)

(21) 出願番号 特願2016-198214 (P2016-198214)
 (22) 出願日 平成28年10月6日 (2016. 10. 6)
 (62) 分割の表示 特願2013-511739 (P2013-511739) の分割
 原出願日 平成23年5月23日 (2011. 5. 23)
 (31) 優先権主張番号 1008742. 7
 (32) 優先日 平成22年5月26日 (2010. 5. 26)
 (33) 優先権主張国 英国 (GB)

(71) 出願人 509272285
 シーメンス ピーエルシー
 イギリス国 ジュー16 8キューディ
 ー サーレイ カンバーレイ フリムレイ
 サー ウイリアム シーメンス スクウ
 エア ファラデイ ハウス
 (74) 代理人 100075166
 弁理士 山口 巖
 (74) 代理人 100133167
 弁理士 山本 浩
 (72) 発明者 カルバート、サイモン ジェームズ
 イギリス国 オーエックス29 8エヌズ
 イー、オックスフォードシャー、ウイット
 ニー、コンベ、エイクマン、ストリート1
 7

最終頁に続く

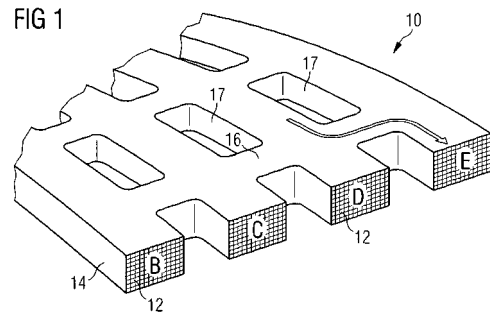
(54) 【発明の名称】 幾つかの軸方向に位置合わせされるコイルから成るソレノイドマグネット

(57) 【要約】

【課題】 巻回されるコイルを所定位置に強固に保持されるようにして製造することを可能とする、マグネットアセンブリの製造方法ならびにそれによって製造されるマグネットアセンブリの新規な構成を提供する。

【解決手段】 本発明に係るマグネットアセンブリ(10; 90)では、複数の軸方向に位置合わせされるコイル(12)を備え、各コイルの径方向中間点が内側に隣接するコイルの径方向範囲の一部と軸方向で位置合わせされ、隣接するコイル間には、周方向に間隔を隔てて、コイルを所定の相対位置に保持する圧縮ブロック(16; 56)が設けられる。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

複数のコイル（12、52、54）を備えたマグネットアセンブリ（10、90、110）であって、

前記各コイル（12、52、54）は、ワイヤを巻回してなる巻回部を有し、前記巻回部には含浸材料（14）が含浸されており、かつ、前記各コイル（12、52、54）は、その軸方向に位置合わせされていると共に、その径方向厚さの中間点が前記軸方向内側に隣接するコイルの径方向範囲の一部と前記軸方向で位置合わせされており、

前記軸方向に隣接する前記コイル（12、52、54）同士の間であってそれら隣接する両コイルにおける前記軸方向で対向する面同士の間、周方向に間隔（17）を隔てて複数の圧縮ブロック（16、56）が配設され、それら複数の圧縮ブロック（16、56）によって、前記複数のコイル（12、52、54）が所定の相対位置に保持されており、

前記コイル（12、52、54）の前記巻回部に含浸されている前記含浸材料が、前記圧縮ブロック（16）にも含浸されており、その含浸材料が、硬化材料（14）であり、

前記圧縮ブロック（16）は、前記硬化材料（14）と当該硬化材料（14）が含浸された多孔質予備成形体（34）自体との複合材料からなるものであり、前記コイル（12、52、54）および前記圧縮ブロック（16）が、前記硬化材料（14）によるモノリシックな含浸構造体を形成しており、

前記コイル（12、52、54）のうちの少なくとも1つのコイルを構成するべく巻回されたワイヤは、前記1つのコイルに隣接するべくワイヤを巻回してなるコイルに、それら両コイル間の圧縮ブロック（16）を通過して連なっている、または、結合部を介して結合されており、ここに

前記コイル（12、52、54）の巻回部においては、

前記ワイヤは、前記複数のコイル（12、52、54）のうちの第1のコイル（B）が形成されるべき位置に巻回されていて、それが前記第1のコイル（B）の第1のワイヤ層を成しており、かつ

前記ワイヤは、前記第1のコイル（B）に隣接する第2のコイル（C）の第1のワイヤ層に、それら両コイル間の圧縮ブロック（16）を通過して連なっている、または、結合部を介して結合されており、

前記複数のコイル（12、52、54）の一つ一つである前記第1のコイル（B）から最後のコイル（E）までの、全てのコイル（B、C、D、E）の第1のワイヤ層が、上記と同様のパターンで以てワイヤを巻回してなるものであり、かつ

前記ワイヤは、さらに、前記最後のコイル（E）の前記第1のワイヤ層上に巻回されたワイヤに連なっていて、その巻回されたワイヤが前記最後のコイル（E）の第2のワイヤ層を成しており、かつ

前記ワイヤは、前記最後のコイル（E）に隣接するコイル（D）における前記第1のワイヤ層上に巻回された第2のワイヤ層に、それら両コイル間の圧縮ブロック（16）を通過して連なっている、または結合部を介して結合されており、かつ

前記ワイヤは、さらに、前記最後のコイル（E）に隣接するコイル（D）にさらに隣接するコイル（C）における前記第1のワイヤ層上に巻回された第2のワイヤ層に、それら両コイル間の圧縮ブロック（16）を通過して連なっている、または、結合部を介して結合されており、さらに、前記さらに隣接するコイル（C）の前記第1のワイヤ層上にさらに巻回された第2のワイヤ層に連なっており、

前記複数のコイル（12、52、54）の一つ一つである前記最後のコイル（E）から前記第1のコイル（B）までの、全てのコイル（B、C、D、E）の第2のワイヤ層が、上記と同様のパターンで以てワイヤを巻回してなるものであり、ここに、

前記全てのコイルのうち隣接する少なくとも2つのコイルを1組として、その1組に含まれている隣接したコイル同士は、それら隣接したコイル間の圧縮ブロック（16）を通過するワイヤで以てそれらコイル同士が連なるように設けられており、かつ、その1組に

10

20

30

40

50

含まれているコイルと当該 1 組に隣接する 1 つまたは 1 組のコイルであって当該 1 組のコイル以外の 1 つまたは 1 組のコイルとの間は、前記結合部を介して結合されていることを特徴とするマグネットアセンブリ。

【請求項 2】

複数のコイル (1 2、5 2、5 4) を備えたマグネットアセンブリ (1 0、9 0、1 1 0) であって、

前記各コイル (1 2、5 2、5 4) は、ワイヤを巻回してなる巻回部を有し、前記巻回部には含浸材料 (1 4) が含浸されており、かつ、前記各コイル (1 2、5 2、5 4) は、その軸方向に位置合わせされていると共に、その径方向厚さの中間点が前記軸方向内側に隣接するコイルの径方向範囲の一部と前記軸方向で位置合わせされており、

前記軸方向に隣接する前記コイル (1 2、5 2、5 4) 同士の間であってそれら隣接する両コイルにおける前記軸方向で対向する面同士の間、周方向に間隔 (1 7) を隔てて複数の圧縮ブロック (1 6、5 6) が配設され、それら複数の圧縮ブロック (1 6、5 6) によって、前記複数のコイル (1 2、5 2、5 4) が所定の相対位置に保持されており、

前記コイル (1 2、5 2、5 4) の前記巻回部に含浸されている前記含浸材料が、前記圧縮ブロック (1 6) にも含浸されており、その含浸材料が、硬化材料 (1 4) であり、

前記圧縮ブロック (1 6) は、前記硬化材料 (1 4) と当該硬化材料 (1 4) が含浸された多孔質予備成形体 (3 4) 自体との複合材料からなるものであり、前記コイル (1 2、5 2、5 4) および前記圧縮ブロック (1 6) が、前記硬化材料 (1 4) によるモノリシックな含浸構造体を形成しており、

前記コイル (1 2、5 2、5 4) のうちの少なくとも 1 つのコイルを構成するべく巻回されたワイヤは、前記 1 つのコイルに隣接するべくワイヤを巻回してなるコイルに、それら両コイル間の圧縮ブロック (1 6) を通過して連なっている、または、結合部を介して結合されており、ここに

前記コイル (1 2、5 2、5 4) の巻回部においては、

前記ワイヤは、前記複数のコイル (1 2、5 2、5 4) のうちの第 1 のコイル (B) が形成されるべき位置に巻回されていて、その巻回されたワイヤが前記第 1 のコイル (B) を成しており、かつ

前記ワイヤは、前記第 1 のコイル (B) に隣接する第 2 のコイル (C) に、それら両コイル間の圧縮ブロック (1 6) を通過して連なっている、または、結合部を介して結合されており、

前記複数のコイル (1 2、5 2、5 4) の一つ一つである前記第 1 のコイル (B) から前記最後のコイル (E) までの、全てのコイル (B、C、D、E) が、上記と同様のパターンで以てワイヤを巻回してなるものであり、ここに、

前記全てのコイルのうち隣接する少なくとも 2 つのコイルを 1 組として、その 1 組に含まれている隣接したコイル同士は、それら隣接したコイル間の圧縮ブロック (1 6) を通過するワイヤで以てそれらコイル同士が連なるように設けられており、かつ、その 1 組に含まれているコイルと当該 1 組に隣接する 1 つまたは 1 組のコイルであって当該 1 組のコイル以外の 1 つまたは 1 組のコイルとの間は、前記結合部を介して結合されていることを特徴とするマグネットアセンブリ。

【請求項 3】

前記コイル (1 2、5 2、5 4) が、管状支持構造体 (1 6 0) に結合される請求項 1 または 2 記載のマグネットアセンブリ。

【請求項 4】

前記コイル (1 2、5 2、5 4) のそれぞれの径方向外側の面が、前記管状支持構造体 (1 6 0) の内面に結合される請求項 3 記載のマグネットアセンブリ。

【請求項 5】

前記コイル (1 2、5 2、5 4) のそれぞれの径方向内側の面が、前記管状支持構造体

(160)の外面に結合される
請求項3記載のマグネットアセンブリ。

【請求項6】

前記複数のコイル(12、52、54)から成るコイルアセンブリよりも大きい半径のシールドコイル(98)を更に備え、当該シールドコイル(98)が、前記複数の圧縮ブロック(16、56)のうちの前記軸方向に位置合わせされる圧縮ブロックに装着される請求項1から5のいずれか1項に記載のマグネットアセンブリ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

【0001】

本発明は、幾つかの軸方向に位置合わせされるコイルから成るソレノイドマグネットを形成するための方法、および、そのようにして形成されるソレノイドマグネットに関する。

【0002】

本発明は、特に、磁気共鳴イメージング(MRI)システムにおいて磁場発生器として使用するための、そのようなソレノイドマグネットに関する。特に、本発明は、超電導ワイヤで形成されるそのようなマグネットに関する。

【背景技術】

【0003】

20

既知のマグネット構成において、ソレノイドマグネットは、一般に、巻き数が比較的多く、そのため、断面が大きい端部コイルと、巻き数が少なく、そのため断面が小さい多数の内部コイルとを備えている。従来、アルミニウムチューブなどの正確に機械加工された成形機には、適切に形成されたスロットが設けられ、コイルを形成するために、前記のスロット内にワイヤが巻回される。コイルには、ワイヤが成形機上に巻回される前に樹脂槽に通される湿潤巻回によって、熱硬化性樹脂が含浸されてもよく、あるいは、コイルは、乾燥状態で巻回され、その後、完成したコイルと成形機とが樹脂槽中に浸漬されてもよい。同様の含浸が、蠟を用いて行なわれてもよいが、本明細書本文では、略して単に「樹脂」と称する。

【0004】

30

もう1つの方法として、成形コイルの構成が知られている。これらの構成では、コイルがモールド内に巻回され、仕上がったコイルにモールド内で樹脂が含浸される。その後、樹脂が硬化され、樹脂中に埋め込まれる中実コイルが形成される。これらの成形コイルは、その後、例えば成形機または他の機械的な支持構造体上にクランプすることによって、マグネットへと組み付けられる。

【0005】

既知の折衷的な構成は、マグネットの軸方向の中心へ向かう内部コイルが成形機上に配置され、この場合、端部コイルが成形されて、成形機に機械的に取り付けられる。端部コイルは、断面が大きくなる傾向があり、それらの配置はあまり重要でない。この折衷的な構成により、内部コイル間の正確な相対的位置を維持しつつ、より小型で安価な成形機を使用することができる。

40

【0006】

これらの既知の構成には、特定の欠点がある。

【0007】

使用時、マグネットコイルは、生成される磁場とコイルとの相互作用に起因して大きな力に晒される。これらの力の一部は、軸方向に作用して、コイルを成形機の壁の方へ付勢し、一方、他の力は、径方向に作用してコイルを更に大きい直径へと拡張させる傾向があり、あるいは、コイルを成形機の方へ圧縮させる。これらの力は、コイルを成形機に対して移動させる場合がある。そのような移動は、コイルの加熱を引き起こす場合があり、これに起因して、超電導マグネットではクエンチが生じる場合がある。

50

【0008】

コイルに作用する力は、成形機を屈曲させる場合がある。成形機は、これらの力に耐えるために、大型で、重く、機械的に頑丈である必要がある。成形機における屈曲に起因して、コイル力に耐える力反作用経路は、その後、コイルのほぼ内側縁部で作用し、この経路は、コイル断面の径方向中間点を通じて軸方向に作用すると考えられ得るコイル体積力の作用線から位置ずれされる。これは、成形機を屈曲させる傾向に寄与する。また、力は、コイルの限られた表面積によっても支えられる。これがコイル自体の変形を引き起こす場合があり、それに因って、やはり、超電導コイルにおいてクエンチが生じる場合がある。

【0009】

力の大部分は、マグネットの端部コイルに作用し、またシールドコイルが存在する場合には、シールドコイルに作用する。内部コイルには比較的軽い荷重が作用するが、内部コイルは、イメージングにおいて必要とされるような均一な磁場を形成するために、空間内に最も正確に位置決めされる必要がある。

【0010】

従来から使用されるような正確に機械加工される成形機は、高価であり、限られた数の供給元からしか入手できない。成形機工場からマグネット巻回設備への輸送コストもかなりの費用になる場合がある。大型成形機の保管が困難で費用が高くなる場合がある。

【0011】

従来、成形機内に巻回される別個のコイル、または、個別に成形されるコイルは、コイルの巻回および含浸が完了した後に行なわれる配線および接続によって、互いに接続される。これらの接続部が所定位置に強固に保持されるようにするために、また、マグネットが作動しているときに接続部が移動できないようにするために、多大な時間と空間とが捧げられてきた。これらのワイヤの僅かな移動は、マグネットにクエンチを生じさせるのに十分なものとなり得る。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0012】

本発明は、コイルを製造するため、及び、コイルをそれらの意図される相対位置に保持するための、新規な構成を提供することを課題とする。

【課題を解決するための手段】

【0013】

本発明の構成は、配線および接続のための強固な保持も提供する。

【0014】

かくして本発明は、添付の特許請求の範囲に規定される方法および装置を提供する。

【0015】

本発明の前述した及び更なる目的、特徴、並びに利点は、添付図面と併せて本発明の特定の実施形態の以下の説明を考慮することによって、更に明らかになる。

【図面の簡単な説明】

【0016】

【図1】本発明の一実施形態に係るコイルアセンブリの部分軸方向断面図を示す図である。

【図2】図1に示されるコイルアセンブリを巻回するためのモールドの図1の図に対応する部分軸方向断面図を示す図である。

【図3】図2の装置の部分的な軸方向および径方向の断面を示す図である。

【図4】本発明のコイルアセンブリの交差部材における応力上昇部を示す図である。

【図5】本発明の実施形態の他のシリーズに係るコイルアセンブリを示す図である。

【図6】圧縮ブロックを示す図5の実施形態の更なる詳細を示す図である。

【図6A】代替的な態様の圧縮ブロックを示す図である。

【図7】図5に示される圧縮ブロックのうちの1つの屈曲を示す図である。

10

20

30

40

50

【図 8 A】本発明の一実施形態に係るマグネットコイルのアセンブリを構成する方法の一例におけるステップを示す図である。

【図 8 B】本発明の一実施形態に係るマグネットコイルのアセンブリを構成する方法の一例における、図 8 A に続くステップを示す図である。

【図 8 C】本発明の一実施形態に係るマグネットコイルのアセンブリを構成する方法の一例における、図 8 B に続くステップを示す図である。

【図 8 D】本発明の一実施形態に係るマグネットコイルのアセンブリを構成する方法の一例における、図 8 C に続くステップを示す図である。

【図 9】前述したコイルアセンブリを完成マグネット構造体の状態へと、どのようにして組み込むことができるのかを示す図である。

【図 10】本発明の実施形態に係るコイルアセンブリを製造する方法のステップを示す図である。

【図 11】本発明の一実施形態に係るコイルアセンブリを製造する方法のステップを示す図である。

【図 12】本発明の一実施形態に係るコイルアセンブリを製造する方法のステップを示す図である。

【図 13】本発明の一実施形態に係るコイルアセンブリを製造する方法のステップを示す図である。

【図 14】図 10 - 13 に関して説明した方法に従って製造されることの可能な本発明の一実施形態に係るコイルアセンブリの断面斜視図を示す図である。

【図 15】外側管状コイル支持体内に装着される図 14 に示されるコイルアセンブリなどの、本発明に係るコイルアセンブリを示す図である。

【図 16】テーパボピンを使用する本発明の一実施形態に係るコイルアセンブリを製造する方法のステップを示す図である。

【図 17】対向テーパ部分ボピンを使用する本発明の一実施形態に係るコイルアセンブリを製造する方法のステップを示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0017】

図 1 は、本発明の一実施形態に係る内部コイルアセンブリ 10 の部分軸方向断面図を示している。コイルには「B」、「C」、「D」、「E」のラベルが付されている。これらはマグネットの内部コイルである。「A」および「F」として知られる端部コイルは、別個に形成されて、完成マグネットを形成するために図示の内部コイルアセンブリと組み付けられてもよい。

【0018】

図 1 に示されるように、コイルは、熱硬化性樹脂 14 内に埋め込まれるワイヤ 12 の複数の巻回部から形成される。コイルのサイズおよび意図される用途に適するように他の含浸材料が使用されてもよい。コイル間には、交差部材 16 または圧縮ブロックが設けられる。これらは、コイルの外周に亘って間隔を隔てて配置され、コイルを互いに対して所定の位置に保持する役目を果たす。

【0019】

図示の実施形態において、圧縮ブロック 16 は、ガラス繊維予備成形体あるいはガラス繊維フェルトまたは布などの多孔質材料、または、熱硬化性樹脂 14 または同等な材料が含浸されたガラスビーズなどの粒状遊離材料から形成される。含浸プロセスを改善するために、ガラス繊維の予備成形体にスターチが吹き付けられてもよい。

【0020】

熱硬化性樹脂 14 または同等な材料は、コイルを取り囲んでコイルをそれらのそれぞれの相対位置に保持するソリッド構造を形成する。

【0021】

図 2 は、図 1 に示されるようなコイルアセンブリを巻回するためのモールドの図 1 の図に対応する部分軸方向断面図を示している。ボビン 20 には端部フランジ 22 が設けられ

10

20

30

40

50

、端部フランジのうちの少なくとも1つを取り外すことができる。これらの端部フランジは内部コイルアセンブリ10の軸方向範囲を規定する。巻回チーク24がボビン20の外周に亘って所定の軸方向位置に配置される。巻回チークは、結合チャンネル26を画定するために互いに外周に亘って離間されるとともに、巻回チャンネル28を画定するために互いに軸方向に離間される。更なる巻回チャンネル28'が各端部フランジ22と軸方向で最も近い巻回チーク24の組との間に形成される。

【0022】

巻回チーク24は、好ましくは、径方向に向けられる端面29を有して周方向に円弧状を成している。巻回チークにはテーパ面30が設けられてもよく、それにより、チークのその径方向外側面における軸方向範囲a1は、後述する理由により、その径方向内側面におけるその軸方向範囲a2よりも大きい。

10

【0023】

チークは、取り外すことができるとともに、ボビン30の径方向内側面から、ボビンを通り、チーク内の相補的なネジ穴へと通過するネジ32などの機械的な保持手段によって所定位置に保持されてもよい。

【0024】

使用時、ワイヤ12は、コイルを形成するために巻回チャンネル28、28'内へ巻回される。ワイヤは、特にMRIイメージングのためのマグネットを形成するようになっている場合には、それ自体良く知られる超電導ワイヤであってもよい。結合チャンネル26には、発泡体またはガラス繊維成形品などの多孔質予備成形体34が充填されてもよい。巻回中、多孔質予備成形体は、巻回されるワイヤが巻回チャンネル28、28'内にとどまるようにする。

20

【0025】

巻回が完了すると、例えば閉塞プレートによって成形キャビティ38が閉じられる。コイル構造体および多孔質予備成形体には、硬化させられるあるいは硬化させることができるエポキシ樹脂などの固化材料が含浸される。結果として得られる構造体は、ワイヤ12および多孔質予備成形体34を取り囲む硬化材料のモノリシック構造体である。含浸ステップ中、環状の成形キャビティを画定するために、コイルおよび成形チーク上に亘って配置される閉塞プレートによってコイルが取り囲まれてもよい。図3は、密閉成形キャビティ38を形成する閉塞プレート36を示す、図2の構造体の部分軸方向断面を示している。

30

【0026】

図示のケースでは、全てのコイルは、含浸が完了すると、等しい外半径および等しい内半径を有する。構造体のコイルが異なる外半径を有することができるようにする他の構成が与えられてもよい。

【0027】

含浸プロセスが完了すると、閉塞プレート36が使用される場合には、該閉塞プレートが取り外される。巻回チーク24も取り外される。テーパ面30および径方向に向けられる端面29は、硬化材料からの取り外しに役立つ。巻回チークは、それらの取り外しに役立つゴムなどの変形可能な材料で覆われあるいは該材料から形成されてもよい。巻回チーク24には、硬化材料からのそれらの取り外しに役立つべく適切な離型剤がコーティングされてもよい。

40

【0028】

結果として得られる含浸コイルアセンブリ10は、その後、例えば端部フランジ22のうちの1つを取り外してアセンブリをボビン20から離れるように軸方向にスライドさせることによりモールドから取り外される。端部フランジおよびボビンの外面には、固化したコイルアセンブリの取り外しに役立つべく適切な離型剤がコーティングされてもよい。

【0029】

図1に戻って参照すると、このときに、結合チャンネル26が設けられた場所に交差部材16が形成されるのが分かる。コイルは正確な相対位置に保持され、また、これは比較的

50

低コストで達成された。成形機は、コイルを周方向であるいはそれらの相対的な軸方向位置に保持する必要がない。交差部材 16 は、コイルに作用する電磁気力を支え、したがって、コイルに作用する体積力に反作用する圧縮ブロックの機能を果たす。交差部材 16 が軸力の面内に設けられるため、外的構造がそれらの荷重を支える必要がない。コイルを周方向に拡張させるあるいは収縮させるように作用する力は、コイル自体の機械的強度により抑制される。内部コイルアセンブリ 10 は、必要に応じて、内径の内側にあるいは外径の外側に適用される単純な管状支持体上で支えられてもよい。しかしながら、軸方向荷重を支える成形機は必要とされない。

【0030】

完成構造体は、巻回チーク 24 の成形機位置に対応するボイド 17 によって離間される交差部材 16 を有する。ボイドは有利な特徴である。これは、ボイドによってそれぞれのコイルが比較的独立して径方向に拡張または収縮できるからである。また、ボイドの存在は、ボイドが設けられなかった構成と比較して、使用される樹脂の量を減少させる。これにより、使用される樹脂のコストおよび環境的影響が減少される。

10

【0031】

正確に形成される部分は、ポピン 20、端部フランジ 22、および、巻回チーク 24 である。これらの全ては何回でも使用できる。各コイルは、固有の量のワイヤに加えて、安価な構成要素、すなわち、硬化材料、一般的にはエポキシ樹脂、および、一般的にはガラス繊維および樹脂の多孔質予備成形体だけを消費する。モノリシック構造体は、コイル 12 がそれらのそれぞれの相対位置にしっかり保持されるようにする。

20

【0032】

図 16 は、コイル 12 および交差部材 16 がポピン 20 の外面上に形成される本発明の一実施形態に係るマグネットアセンブリを貫く軸方向断面を示している。この場合、ポピンはテーパ状を成して円錐形状になっている。しかしながら、図では例示のためにテーパがかなり誇張されており、1 m の軸方向長さに亘って直径が 1 mm ~ 2 mm しか変化しないテーパに相当する場合には、ポピンの外面が依然として略円筒状と見なされてもよい。本明細書中で説明した方法によってマグネットアセンブリが形成されたら、ポピンが方向 160 で取り外されてもよい。ポピンのテーパにより、ポピンは、それが移動すると直ぐにマグネット構造体から自由になることができ、また、ポピンのテーパは、それが取り外されるときにマグネット構造体に損傷を与えない。ポピンが正確に円筒状であった場合には、取り外しが困難であるとともに、ポピンが取り外される際にポピンの表面がマグネット構造体の内面に亘って擦れ、それにより、マグネット構造体を損傷させる場合がある。無論、このようにして形成されるマグネット構造体は、他のコイル（この例では、D、E）よりも大きい直径を伴う幾つかのコイル（この例では、B、C）を有する。これが構造体により発生される磁場に与え得る影響は、コイルの一部または全部の巻き数または軸方向位置を適合させることによって予め補償されてもよい。

30

【0033】

図 17 は、コイル 12 および交差部材 16 がポピンの外面上に形成される本発明の一実施形態に係るマグネットアセンブリを貫く他の軸方向断面を示している。この場合、ポピンは 2 つの別個の部分 20 a、20 b から形成される。両方の部分がテーパ状を成して円錐形状になっている。部分 20 a、20 b の細い端部がマグネット構造体の軸方向の中心へ向けて互いに隣り合って配置される。図では例示のためにテーパがかなり誇張されており、1 m の軸方向長さに亘って直径が 1 mm ~ 2 mm しか変化しないテーパに相当する場合には、ポピンの外面が依然として略円筒状と見なされてもよい。

40

【0034】

本明細書中で説明した方法によってマグネットアセンブリが形成されたら、それぞれのポピン部分 20 a、20 b がマグネット構造体の軸方向の中心から軸方向で離れるようにそれぞれの方向 170 a、170 b で取り外されてもよい。各ポピン部分のテーパにより、ポピンは、それが移動すると直ぐにマグネット構造体から自由になることができ、また、各ポピン部分のテーパは、それが取り外されるときにマグネット構造体に損傷を与えな

50

い。ボビンが正確に円筒状であった場合には、取り外しが困難であるとともに、ボビンが取り外される際にボビンの表面がマグネット構造体の内面に亘って擦れ、それにより、マグネット構造体を損傷させる場合がある。

【0035】

無論、このようにして形成されるマグネット構造体は、他のコイル（この例では、C、D）よりも大きい直径を伴う幾つかのコイル（この例では、B、E）を有する。これが構造体により発生される磁場に与え得る影響は、コイルの一部または全部の巻き数または軸方向位置を適合させることによって予め補償されてもよい。しかしながら、この例では、構造体の対称性により、名目上同一なコイルCおよびD；並びにBおよびEが同じ半径を有し、それにより、この補償が簡略化される。このことは、両方のボビン部分が、同じテ

10

【0036】

図17に示される構造と同様の構造を形成する別の態様は、図16に示される態様で2つの部分マグネット構造体を形成した後に、それらの部分マグネット構造体同士を例えば樹脂接着剤によって結合することである。これは、特に、僅かな数で製造される大型マグネットに適用されてもよい。しかしながら、そのような結合ステップは、必要とされる精度をもって接着を形成することが多大な時間を要して困難であるため好ましくない。大量生産においては、一体品の状態でマグネット構造体を形成して該構造体の含浸を行なうことが好ましい。それぞれが図16に示されるものと同様である2つの別個の部品の状態でマグネット構造体を形成した後にそれらを互いに結合する利点は、マグネットの軸方向の中心に最も近いコイルがマグネットの端部に近いコイルよりも大きい直径を有するように部品の径端部をマグネットの軸方向の中心へ向けて互いに結合させることができるという点であり、これは、MRIイメージングにおいて必要とされるような均一な磁場の生成に役立つと従来から見なされている。

20

【0037】

図4は本発明の一実施形態の特徴を示しており、この場合、成形されたコイルの分離が容易になる。適切に形成された巻回チークを使用することにより、応力上昇部、この場合には切り欠き40が、交差部材16に形成されてもよい。これらの応力上昇部の存在は、例えば、のみあるいはハンマーの一撃を使用すること、握ってポキッと折ること、あるいは、のこぎりで切ることにより、必要に応じて交差部材16を破壊することを更に容易にする。応力上昇部40は、隣接する巻回ワイヤ12からある距離を隔てて形成されるのが好ましく、それにより、硬化材料14に与えられる損傷がコイル自体に対して影響を何ら及ぼさない。図4に示される取り外し可能な交差部材は、製造欠陥または損傷の場合にコイルの取り外しをもたらすことに加えて、コイル間の相対的な動きが必要であることが明らかになる場合には、そのような動きを可能にするように取り外されてもよい。取り外し可能な交差部材が取り外されると、コイルをそれらの相対位置に保持するために、より従来型の構成が必要とされる。

30

【0038】

例えば図示のようなコイルアセンブリを形成する際に一般に使用される幾らかの長さのワイヤ間に結合部を形成するプロセスは、高価であり時間がかかることが知られており、有毒な化学物質を必要とするとともに、結果として得られるマグネット構造体の故障原因となる。本発明の幾つかの実施形態は、超電導結合部を形成する必要性を減らす。

40

【0039】

結合部の形成は、内部コイルアセンブリ10のコイルB、C、D、Eのうちの幾つかあるいは全てを単一の長さのワイヤから巻回することにより減少されてもよい。全てのコイルが直列に接続されるべき場合には、第1のコイルBが前記ワイヤから巻回され、その後、該ワイヤは、例えば予備成形体に適切なカットまたはキャビティを形成することにより結合チャンネル26に通されて、隣のコイルCを巻回するために使用され、以下同様になされる。しかしながら、そのような構成は、ワイヤが1つのコイルの外半径を次のコイルの内半径に結合する場所に、欠陥の影響を受けやすい部位をもたらす場合がある。2つのコイ

50

ルを結合するワイヤの部分がコイルの巻回部に作用する過剰な圧力に耐えるのを防止するために、例えば成形プラスチックの保護ガイドが設けられてもよい。そのような構成では、図4の取り外し可能な交差部材が使用されるべきではない。これは、ワイヤが交差部材を通過するからである。

【0040】

同等な最終結果は、最初に第1のワイヤ層をコイルBの状態へと巻回した後、ワイヤを結合チャンネル26に通して、第1のワイヤ層をコイルCの状態へと巻回し、以下、第1のワイヤ層がコイルEの状態へと巻回されるまで同様になされ、その後、第2のワイヤ層をコイルE上に巻回した後、ワイヤを交差部材16に通して、第2のワイヤ層をコイルDの状態へと巻回し、以下、第2のワイヤ層がコイルBの状態へと巻回されるまで同様になされることによって得られてもよい。この構成では、ワイヤが決して複数の層を移行せず、そのため、1つのコイルの外半径を隣接するコイルの内半径に結合することによりもたらされる想定し得る不具合部位が生じない。この場合も先と同様、図4の取り外し可能な交差部材が使用されるべきでない。

10

【0041】

図5は、本発明の実施形態の他のシリーズに係るコイルアセンブリを示している。図5は、6コイルマグネットの軸方向部分断面を示している。端部コイルAが52で示され、それと共に、内部コイルB、Cが54で示される。対応する更なるコイルD、E、Fがそれぞれ設けられるが、図面に示されていない。これらの実施形態において、コイルA～Fは、別個の成形コイルを形成するために個別に成形される。これらのコイルは、コイルに作用する軸力の面内に軸方向で自立するアセンブリを設けるために、コイルの外周に亘って間隔を隔てて配置される圧縮ブロック56により互いに結合される。このことは、依然としてそれらの軸方向荷重に耐えることができる更に軽量の構造が設けられてもよいことを意味する。大型で重い高価な耐力成形機が必要とされない。

20

【0042】

一般に、エポキシ樹脂が含浸材料として使用され、また、結果して得られる含浸コイルは非常に高い固有の機械的強度を有する。本発明は、マグネットアセンブリ全体の強度が成形機の強度に大きく依存する従来の成形機ベースのマグネット構造とは対照的に、この固有の機械的強度を使用する。本発明のこの実施形態によれば、多くの圧縮ブロック56が、コイル52、54間に設けられてコイルを支持している。これらのブロックは圧縮に強い。これらのブロックは、ブロックの材料に適合し且つコイルの含浸のために使用される材料に適合する接着材料を使用してコイルに接着結合されてもよい。

30

【0043】

図6は、圧縮ブロックを含むアセンブリの更なる詳細を示している。圧縮ブロック56は、安価で且つ磁性でないアルミニウム押出材として形成されてもよい。好ましくは、押出材は、幅広い「I」断面を伴って方向60で予備成形され、また、結果として得られる押出材が圧縮ブロック56を形成するようにスライスされる。ブロックの寸法の大部分は、重大ではなく、そのため、押出成形などの安価な製造技術に良く適する。逆に、圧縮ブロックの軸方向寸法bは正確でなければならない。これは、その寸法が、仕上がったマグネットのコイル間の距離間隔を決定するからであり、この距離間隔は、発生される磁場において設計された均一性を達成するのに極めて重要である。好ましい実施形態において、押出材は、この寸法bが若干大きめに形成され、それから、押出材から形成される圧縮ブロックが、この寸法にのみサイズが合うように切削される。そのような切削は、比較的簡単に安価なプロセスであるが、比較的正確である。結果として生じる表面は、隣接する構成要素に対する接着結合のために、例えば陽極酸化処理によって特別に前処理されてもよい。

40

【0044】

図6Aは別のタイプの圧縮ブロック57を示している。該圧縮ブロックは、方向60において略長方形断面を成しており、押出成形によって形成されてもよい。圧縮ブロックは、略長方形断面の角の付近に形成される穴59を略径方向に有する。これらの穴により、

50

何らかの柔軟性を圧縮ブロックに与えることができるとともに、圧縮力 61 は、圧縮ブロック 56 の応力経路と同様、圧縮ブロック 57 の本体を通じて優先的に伝わる。穴 59 によってもたらされる屈曲は、図 6 の圧縮ブロック 57 の径方向に向けられる縁部の屈曲と同様、圧縮ブロック 57 の径方向に向けられる縁部 63 に高い圧縮力が作用するのを防止する。表面 65 は、機械加工されてもよく、また、この表面は、図 6 の圧縮ブロックに関して説明した態様と同様の態様で前処理されてもよい。

【0045】

圧縮ブロック 56 は、コイルに対して直接に取り付けられないことが好ましい。図 6 に示されるように、シート電気絶縁体のアーク 58、好ましくはコイルの含浸のために使用される樹脂と効果的に結合するアークが、各圧縮ブロック 56 と隣接するコイル 52、54 との間に設けられる。適した材料の例としては、ガラス繊維、強化エポキシ樹脂、フェノール樹脂のシート、例えば「TUFNOL Grade 10G/40」の名前で販売されるフェノール樹脂のシートが挙げられる。シート電気絶縁体は、対応するコイルと適合するための曲率を有し且つ圧縮ブロック 56 の中心間の周方向距離の倍数に相当する周方向範囲を有する円弧形状 58 にカットされる。アーク 58 は、圧縮ブロック 56 に対して接着であるいは機械的に取り付けられる。図 6 に示されるように、これは、圧縮ブロック 56 の耐力面に穴 62 をドリル加工してネジ切りするとともに、対応するネジ無しの皿穴 64 をアーク 58 に設けて、ナイロンネジ 66 を用いてアーク 58 をブロック 56 に取り付けることにより達成されてもよい。圧縮ブロック 56 がアーク 58 に接着結合されてもよい。ブロック 56 およびアーク 58 が完成リングの状態へと組み付けられてもよく、その後、完成リングは、このプロセス部分のための治具または同様の構造体に正確に配置される隣接するコイルに接着結合される。

10

20

【0046】

押出材 56 の幅広い「I」断面は、高い局所的な圧縮力を引き起こす場合がある急激な縁部を与えることなく、隣接するコイル 52、54 の表面上に圧縮力の有用な分布を与えると考えられる。

【0047】

図 5 にはインアウトブロック 67 が示されている。これらのブロックは既知の構造を成している。これらのブロックは、コイルから突出する超電導ワイヤの部分、一般的には、各コイルの始端および終端、並びに、ワイヤの複数の長さの間に結合を形成するために必要とされる接続部を保護する役目を果たす。例えば、それぞれのインアウトブロック 67 は、コイルで使用されるような超電導ワイヤを受け入れるのに適する 1 つ以上のガイドチャンネルをそれぞれが備える熱可塑性プレートの積層体から形成されてもよい。超電導ワイヤの突出部分は、ワイヤがコイルから突出するポイントと一致する径方向位置で、チャンネルのうちの 1 つに配置される。インアウトブロックは、コイルが巻回されるときに形成されるとともに、コイルに強固に結合されるようになるためにコイルに含浸されてもよい。

30

【0048】

圧縮ブロック 56 の変形例が、図 5 に示され、コイル A とコイル B との間に配置されるとともに、図 7 に更に詳しく示されている。端部コイル A は、内部コイル B、C よりもかなり大きく、フープ応力として一般に知られる更に大きな径方向力に晒される。これにより、端部コイル A は、隣接するコイル B よりも大きい度合まで径方向に拡張する可能性がある。これは、大きな径方向の曲げ荷重を中実圧縮ブロック 56 に作用させる。この荷重を減らすため、また、荷重がコイル 52、54 にもたらす応力を減らすため、図 5 および図 7 に示されるように改良された圧縮ブロックが使用されてもよい。改良された圧縮ブロック 56 には、圧縮ブロック 56 を貫通して延びる軸方向延在スロット 70 が設けられる。これらのスロット 70 は、ブロックを、それらの軸方向端部が結合される複数の径方向に細いブロックへとほぼ分割する。そのような構成は、中実ブロックよりも容易に変形され得る。図 7 は、図 5 に示される圧縮ブロックのうちの 1 つの屈曲を示している。明確にするために、屈曲度合が誇張されている。

40

【0049】

50

図 7 に示されるように、スロット 70 は、端部コイル A が内部コイル B よりも大きい度合まで径方向に拡張できるようにする。好ましい実施形態において、スロット 70 は、ブロックの屈曲に役立つとともにスロットの端部での金属疲労の発生を減らすための拡大部 72 をその各端部に有する。スロット 70 および任意の拡大部 72 は、高圧水ジェットの操作によって形成されてもよい。同様に、これらは、ドリル加工および切断など、より従来型の手段によって形成されてもよい。

【 0 0 5 0 】

従来の超電導結合部 73 が圧縮ブロック 56 間の位置に設けられてもよい。

【 0 0 5 1 】

図 5 に示されるように、コイル C、D は、他のコイルよりもかなり小さい断面を有する。コイル A および B、並びに、コイル E および F に作用する軸方向荷重は、コイル C、D の構造体によって支えられなければならない。これらのコイルは比較的小さい断面を有するため、例えばコイル C、D の径方向内側面及び / 又は径方向外側面の周囲に亘って補強層 74 が設けられてもよい。これは、コイルと共に巻回されて含浸ステップで含まれる例えばアルミニウムまたはステンレス鋼の強化ワイヤの形態を成してもよい。これらの強化ワイヤの効果は、コイル自体の機械的強度を増大させるとともに、コイルの径方向寸法を増大させ、それにより、より厚い、より強力な圧縮ブロック 56 を使用できるようにすることである。

10

【 0 0 5 2 】

図 8 A ~ 8 D は、図 5 ~ 7 に関連して説明した実施形態に類似するが、コイルが圧縮ブロックおよびアークの間にその場で巻回される、本発明の一実施形態に係るマグネットコイルのアセンブリを構成する方法の一例におけるステップを示している。

20

【 0 0 5 3 】

図 8 A はモールドを準備する最初のステップを示している。多孔質 P T F E の層 80 が、モールドの内面上に亘って、すなわち、ポピン 20 上および端部フランジ 22 上に亘って位置している。この層は、モールドからの完成品の解放を助ける。圧縮ブロック 56 は、巻回チャンネル 82 を画定するために所定の軸方向位置で一定の周方向間隔を隔ててポピン 20 上に亘って配置される。対応する貫通穴 84 が設けられ、これにより、保持ネジ 32 が圧縮ブロックの対応するネジ孔 86 内へとポピン 20 を貫通できる。各圧縮ブロックごとに 1 つ以上の穴 86 およびネジ 32 が設けられてもよい。

30

【 0 0 5 4 】

図 8 B に示されるように、ここで、巻回チャンネル 82 を画定するためにアーク 58 が配置される。図 6 に関連して説明したように、アーク 58 は、ナイロンネジ 66 などの固定手段によって圧縮ブロック 56 に取り付けられてもよい。

【 0 0 5 5 】

図 8 C に示されるように、適したサイズおよび形状の変形可能なディスプレイサ 60 が隣接する圧縮ブロック 56 とアーク 58 との間に挿入されてもよい。これらのディスプレイサは、コイル 52、54 が巻回されるときに巻回チャンネル 82 の壁を形成するアークを支持する。ディスプレイサ 60 を含む、図 8 C に示されるアセンブリにはエポキシ樹脂などの硬化材料が含浸され、それにより、コイルに含浸させて、コイルをアーク 58 に結合させるとともに、アークを圧縮ブロック 56 に結合させる。

40

【 0 0 5 6 】

図 3 に示される構成と同様に、コイルの周囲で中空の円筒成形キャビティを取り囲むために閉塞プレートが設けられてもよい。

【 0 0 5 7 】

成形キャビティに硬化材料を充填するとともに、硬化材料が固化できるようにするあるいは硬化材料を固化させることにより、一定の外半径を有する含浸構造体が形成されてもよい。巻回コイルを共通の外半径へと至らせるために、巻回コイルの外面上に亘って充填材料が設けられてもよい。例えば、ガラス繊維テープが使用されてもよい。これは、コイルアセンブリが外側円筒支持構造体に取り付けられるようになっている場合に有益である

50

。その場合、前記支持構造体が一定の内半径の単純なチューブであれば済むからである。硬化材料が硬化したら、変形可能なディスプレイサ 6 0 が取り外されてもよい。

【 0 0 5 8 】

別の実施形態では、より複雑な閉塞プレート構成が使用されてもよく、それにより、コイルが異なる外半径を有するように含浸されて成形されるようになっていてもよい。

【 0 0 5 9 】

含浸ステップが完了すると、コイルアセンブリがモールドから取り外される。ネジ 3 2 が圧縮ブロック 5 6 から取り外されるとともに、端部フランジ 2 2 が取り外される。結果として得られるコイルアセンブリの表面は、成形品の取り外しに役立つ多孔質 P T F E 層 8 0 で覆われる。ポピン 2 0 からのコイルアセンブリの取り外しを助けるために、ポピンの表面が僅かにテーパ状を成すことが好ましい。

10

【 0 0 6 0 】

テーパポピンの利点は、特定の例と共に図 1 6 ~ 1 7 に示されており、対応する説明がなされた。そのようなテーパポピンは、本発明の方法および構造体の任意の例と共に使用されてもよい。

【 0 0 6 1 】

図 9 は、前述したコイルアセンブリを完成マグネット構造体の状態へとどのようにして組み込むことができるのかを示している。内部コイルアセンブリ 9 0 が前述した方法のいずれかにしたがって設けられる。図 9 に示される例では、内部コイルアセンブリに 3 つのコイルが示されている。しかしながら、本発明は、任意の数のコイルを有する内部コイルアセンブリに適用されてもよい。奇数の数のコイルを有する内部コイルアセンブリでは、内部コイルが存在する。内部コイルアセンブリが偶数の数のコイルを有する場合には、アセンブリの軸方向の中間点が一般に 2 つのコイル間に位置する。図 9 の例では、別個の端部コイル 9 2 が設けられる。これらの端部コイルは、一般に、モールド内に巻回されて、エポキシ樹脂等の硬化材料が含浸される。材料が硬化すると、コイルは頑丈な自立コイルになる。これらのコイルは、例えば前述したアルミニウム押出材の圧縮ブロック 9 6 を使用して内部コイルアセンブリに取り付けられてもよい。一般に、端部コイル 5 2 は内部コイルアセンブリのコイル 5 4 と比べて異なる寸法を有し、また、圧縮ブロック 9 6 は、端部コイル 5 2 および内部コイルアセンブリ 9 0 と許容できるように界面を成すべく径方向に特別に形成される必要があるかもしれない。図 9 に示される例では、使用時に様々なコイルに作用する体積力 B F が、マグネットの軸方向中間点にある中心面へ向けてコイル 5 2、5 4 を付勢する傾向がある。これにより、圧縮ブロック 5 6、9 6 が全て圧縮状態になる。圧縮ブロックは大きな圧縮強度を有するが、圧縮ブロックに対してコイルを保持する結合は、張力があまり強力でない。各コイルに作用する力の方向は、各マグネットの構造の特徴である。

20

30

【 0 0 6 2 】

多くの超電導マグネットでは、アクティブシールドコイル 9 8 が設けられる。これらのコイルは、内部コイル 5 4 または端部コイル 5 2 のいずれかよりも大きい半径を有する。使用時、シールドコイル 9 8 は、一般に内部コイル 5 4 によって伝えられる電流の方向と反対の方向で電流を伝える。図示の例では、体積力 B F は、シールドコイルをマグネットの軸方向中央面から離れるように付勢するべく作用する。

40

【 0 0 6 3 】

図 9 は、本発明のコイルアセンブリの周囲の所定位置に保持されたシールドコイル 9 8 の構成例を示している。図示の構成において、シールドコイル 9 8 は、図 5 にも示される保持ウェブ 1 0 2 によってそれら自体が本発明のコイルアセンブリに取り付けられる対応するジャーナル 1 0 0 内に保持される。シールドコイルを所定位置に保持するために、他の構成、例えば、軸方向に位置合わせされる圧縮ブロック 5 6 上の対応する位置に装着される単純なフレームが設けられてもよい。シミュレーションにより計算されてもよい関与する機械的な力に応じて、フレームまたはウェブが、例えば、軸方向に位置合わせされる圧縮ブロック 5 6 の各組に対して、あるいは、軸方向に位置合わせされる圧縮ブロック 5

50

6の1つおきの組に対して、あるいは、軸方向に位置合わせされる圧縮ブロックの3番目の組ごとに装着されてもよい。一般に、圧縮ブロック56は、圧縮ブロックが軸方向に位置合わせされなかった場合のように任意の曲げモーメントがコイルに加えられるのを回避するべく軸方向に位置合わせされるのが好ましい。

【0064】

例えば図9に示されるような構成は、図1に示されるようなモノリシック樹脂含浸アセンブリの内部コイルアセンブリ90を用いて、あるいは、図5に示されるように成形コイルおよび押出圧縮ブロックから成るアセンブリの内部コイルアセンブリ90を用いて構成されてもよい。内部コイルアセンブリ90は本発明の任意の実施形態にしたがってもよい。

10

【0065】

本発明のコイルアセンブリおよび方法の好ましい実施形態について図10～図12を参照して説明する。

【0066】

好ましい実施形態にしたがって形成される構造体は、ワイヤ12の複数の巻回部から形成されるコイルが熱硬化性樹脂14または同様のものの内部に埋め込まれる図1に示される構造体に類似している。コイル間には、交差部材16または圧縮ブロックが設けられる。これらは、コイルの外周に亘って間隔を隔てて配置されるとともに、コイルを互いに対して所定位置に保持する役目を果たす。

20

【0067】

図10は、本発明に係るコイルアセンブリを巻回するためのモールドの図2の図に対応する部分軸方向断面図を示している。ポビン20には端部フランジ22が設けられ、端部フランジのうち少なくとも1つを取り外すことができる。これらの端部フランジは内部コイルアセンブリ10の軸方向範囲を規定する。巻回ガイドコム120がポビン20の外周に亘って所定の軸方向位置に配置される。巻回ガイドコムは、キャビティによって互いから離間されて外周部分126によって結合される巻回チーク122を含む。キャビティは結合チャンネル128を画定する。巻回ガイドコムは、巻回チャンネル28を画定するために互いに軸方向に離間される。更なる巻回チャンネル28'が各端部フランジ22と軸方向で最も近い巻回ガイドコム120との間に形成される。巻回ガイドコムは、周方向に円弧状を成すことが好ましい。巻回ガイドコム120、特に巻回チーク122には、後のコムの取り外しを助けるために、チークのその径方向外側面の軸方向範囲がチークの径方向内側面のその軸方向範囲よりも大きくなるようにテーパ面が設けられてもよい。同様に、巻回チーク122には、チークのその径方向外側面の周方向範囲がチークの径方向内側面のその周方向範囲よりも大きくなるようにテーパ端部が設けられてもよい。チークは取り外しできる。

30

【0068】

図2の例の場合と同様に、ワイヤ12は、コイルを形成するために巻回チャンネル28、28'内へ巻回される。ワイヤは、特にMRIイメージングのためのマグネットを形成するようになっている場合には、それ自体良く知られる超電導ワイヤであってもよい。キャビティ128には、発泡体またはガラス繊維成形品などの多孔質予備成形体が充填されてもよい。巻回中、巻回ガイドコムおよび多孔質予備成形体は、巻回されるワイヤが巻回チャンネル28、28'内にとどまるようにする。多孔質予備成形体は、この例では、巻回コイルの径方向寸法の一部だけに達する。

40

【0069】

巻回が完了すると、コイル構造体および多孔質予備成形体には、硬化させることができるエポキシ樹脂などの固化材料が含浸される。結果として得られる構造体は、ワイヤ12および多孔質予備成形体34を取り囲む硬化材料のモノリシック構造体である。含浸ステップ中、環状の成形キャビティを画定するために、コイルおよび成形チーク上に亘って配置される円筒状の閉塞プレートによってコイルが取り囲まれてもよい。図示のケースでは、全てのコイルは、含浸が完了すると、等しい外半径を有する。構造体のコイルが異なる

50

外半径を有することができるようにする他の構成が与えられてもよい。

【0070】

含浸プロセスが完了すると、閉塞プレート36が使用される場合には、該閉塞プレートは取り外される。巻回ガイドコム120が取り外されてもよい。巻回チーク122のテーパ面およびテーパ端部、並びに、コムの径方向に向けられる端面は、硬化材料からの取り外しに役立つ。巻回ガイドコムは、それらの取り外しに役立つゴムなどの変形可能な材料で覆われあるいは該材料から形成されてもよい。巻回ガイドコムには、硬化材料からのそれらの取り外しに役立つべく適切な離型剤がコーティングされてもよい。あるいは、巻回ガイドコムが所定の位置に残されてもよい。

【0071】

図11、12、13は、想定し得る巻回ガイドコム配置を示している。各巻回ガイドコムは、隣接するコイル間に結合チャンネル128を形成するための対応するキャビティを画定する外周部分126によって分離される少なくとも2つの巻回チーク122を備える。

【0072】

図11の左側には、ポビン20の表面の90°に亘って延びる巻回ガイドコム120-1が示されている。巻回ガイドコム120-1は、矢印の方向130-1で取り外すことができるように形成される。径方向に向けられる端面129は、巻回ガイドコムのうちの1つの取り外しが隣接する巻回ガイドコムに支障を来さないようにする。キャビティは、取り外し方向130-1と平行な端部を有する。これにより、巻回ガイドコムは、それが取り外されるときに結合チャンネル128内に形成される交差部材16に影響を与えない。キャビティは、これよりも幅広い径方向内側端部を有するようにテーパ状を成していてもよい。含浸材料が硬化されると、巻回ガイドコム120-1が方向130-1で取り外され、それにより、結合チャンネル128の交差部材16により結合された含浸コイルが残存する。

【0073】

図11の右側には、一对の別の巻回ガイドコム120-2が示されており、それぞれの巻回ガイドコムはポビン20の表面の45°に亘って延びる。巻回ガイドコム120-2は、それぞれの矢印の方向130-2で取り外すことができるように形成される。径方向に向けられる端面129は、巻回ガイドコムのうちの1つの取り外しが隣接する巻回ガイドコムに支障を来さないようにする。キャビティは、それぞれの取り外し方向130-2と平行な端部を有する。これにより、巻回ガイドコムは、それが取り外されるときに結合チャンネル128内に形成される交差部材16に影響を与えない。キャビティは、これよりも幅広い径方向内側端部を有するようにテーパ状を成していてもよい。

【0074】

図12は、それぞれがポビン20の表面の90°に亘って延びる巻回ガイドコム120-3を示している。各巻回ガイドコム120-3は、それぞれの矢印の方向130-3で取り外すことができるように形成される。径方向に向けられる端面129は、巻回ガイドコムのうちの1つの取り外しが隣接する巻回ガイドコムに支障を来さないようにする。キャビティは、それぞれの取り外し方向130-3と平行な端部を有する。これにより、巻回ガイドコムは、それが取り外されるときに結合チャンネル128内に形成される交差部材16に影響を与えない。キャビティは、これよりも幅広い径方向内側端部を有するようにテーパ状を成していてもよい。

【0075】

図13は、ポビン20の表面の全周に亘って延びる巻回ガイドコム120-4を示している。そのような巻回ガイドコムは、例えば適した材料の押し出しによって形成できる。そのような巻回ガイドコムをポビン20の外径よりも僅かに小さい内径を伴って弾性材料から形成することにより、巻回ガイドコム120-4はポビン上の所定の位置にとどまる。図示の巻回ガイドコム120-4は、巻回ガイドコムがコイル含浸後に所定の位置に残される実施形態において適している。これに代えて、また、巻回ガイドコムのために選択される材料に応じて、巻回ガイドコムが破断されて廃棄されてもよい。更なる他の変形に

10

20

30

40

50

において、巻回ガイドコムは、柔軟な材料から成り、含浸材料が硬化したときに含浸コイルから剥離されてもよい。そのような実施形態において、巻回ガイドコムは、ポビン20の周囲で適切に一括して保持される幾つかの部分を成して形成されてもよい。キャビティは径方向の端部を有する。これにより、巻回ガイドコムは、それが取り外されるときに結合チャンネル128内に形成される交差部材16に影響を与えない。キャビティは、これよりも幅広い径方向内側端部を有するようにテーパ状を成していてもよい。

【0076】

巻回ガイドコムが所定の位置に残されるようになっている場合、巻回ガイドコムは、コイルが巻回されるときにワイヤを巻回チャンネルに位置合わせするように十分強力であるが作業時にコイルの屈曲および相対的な動きを防止するほど強力ではない材料から形成されなければならない。材料の例は、例えば建設業で使用される構造ポリウレタンフォームである。

10

【0077】

結果として得られる含浸コイルアセンブリは、その後、例えば端部フランジ22のうちの1つを取り外してアセンブリをポビン20から離れるように軸方向にスライドさせることによりモールドから取り外される。端部フランジおよびポビンの外面には、固化したコイルアセンブリの取り外しに役立つべく適切な離型剤がコーティングされてもよい。

【0078】

結果として得られるコイルアセンブリの例が図14に110で示されている。結合チャンネル128が設けられた場合には、このときに、コイルの径方向寸法の一部だけに亘って延びる交差部材16が形成される。モノリシック構造により、コイル12はそれらのそれぞれの相対位置に強固に保持される。

20

【0079】

図4の特徴が例えば図14に示されるコイルアセンブリに適用されてもよい。切り欠き40などの応力上昇部によって成形コイルの分離が容易にされてもよい。

【0080】

前述した実施形態の場合と同様、内部コイルアセンブリ10のコイルB、C、D、Eの幾つかあるいは全てが単一の長さのワイヤから巻回されてもよい。しかしながら、単一の長さのワイヤから巻回される場合には、そのワイヤを1つのコイルから交差部材16を介して次のコイルへと通すのが都合良いと考えられ得る。そのような解決策が使用される場合には、交差部材16を破断すべきでない。

30

【0081】

ほぼ同一の外半径のコイル12を伴うコイルアセンブリ10は、前述した方法のいずれかによって形成されると、例えば図15に示されるように外側管状コイル支持体160内に装着されてもよい。このようにして前述したコイル構成のいずれかが装着されてもよいが、図15は、例えば図14に示される外側支持コイル構造110の軸方向断面を示している。図15には、コイル12と、交差部材16の多孔質予備成形体34と、コイルをほぼ同じ外半径に至らせるために使用される充填材料118の例との相対位置が示されている。これらの構造体の全ては、エポキシ樹脂などの硬化材料14中にモノリシックに埋め込まれる。

40

【0082】

交差部材16は、外側管状コイル支持体160内に組み付けられると、図4に関連して説明した態様で破断されてもよく、これにより、コイルは、外側管状コイル支持体160に関して、比較的独立して更に自由に拡張または収縮できる。コイル12の径方向高さの一部だけに亘って延びる交差部材16の使用は、この目的のために有益である。図1に示されるようなコイルの径方向高さ全体の交差部材16が外側管状コイル支持体160に結合されると、それを必要に応じて取り外すことは非常に困難である。

【0083】

図15のアセンブリは、外側管状コイル支持体160の内面、または、コイル12の径方向外側面、または、これらの両方に対して接着剤、例えばエポキシ樹脂を塗布した後に

50

、コイルアセンブリ 110 を外側管状コイル支持体 160 内へとスライドさせることにより構成されてもよい。あるいは、コイルアセンブリが外側管状コイル支持体 160 内に乾燥配置されて、コイルアセンブリを外側管状コイル支持体 160 に結合するために含浸プロセスが適用されてもよい。

【0084】

本発明のコイルアセンブリは、径方向および軸方向の安定性を与えるためにコイル自体の構造的強度に依存する。コイルを成形機に適合させる必要がないため、例えばテーパコイル断面および他の非長方形コイル断面の非従来型の断面のコイルを本発明の方法によって形成することができる。

【0085】

シールドコイルは、例えば図 5 および図 9 に示される支持構造と同様の支持構造を外側管状コイル支持体 160 の外面上に装着することにより、図 15 の構造体に加えられてもよい。

【0086】

特定の非限定的な例に特に関連して本発明を説明してきたが、本発明は、以下の利点のうち少なくとも一部を与える。

【0087】

支持構造体は、ほぼ一軸の荷重に反作用しさえすればよい。これにより、更に軽い構造体を使用できる。

【0088】

樹脂含浸コイルの構造的強度が使用される。すなわち、含浸コイルは、本発明のコイルアセンブリにおいて一体構造要素としての機能を果たす。樹脂含浸複合コイルの固有の圧縮強度は、コイル体積力をマグネットの軸方向中央面に伝えるために利用される。

【0089】

本発明は、端部フランジ 22 を有する単一のポピン 20 などの非常に簡単な工具だけを使用する。したがって、工具は、比較的安価であるとともに、比較的頑丈である。多くのコイルアセンブリを形成するために同じ工具が使用されるため、本発明は、マグネット間で一貫したベアマグネット均一性を伴ってマグネットを形成する。

【0090】

巻回マグネットのために従来から使用される大型の精密機械加工成形機は、材料費および人件費が高い。これらの成形機は、世界中の数か所からしか調達できない。成形機は、大型であり、輸送に高い費用がかかる。本発明は、マグネットコイルの含浸中にその場で形成される樹脂含浸ガラス繊維などの複合材料から成る圧縮ブロックを使用してもよい。そのような圧縮ブロックは、非常に安価であり、その場で形成され、機械加工、第三者供給元からの入手、輸送、または、保管を必要としない。構成部品、必要に応じて、充填材料、硬化材料、および、硬化剤の十分なストックだけを維持しさえすればよい。あるいは、例えば押出アルミニウムの圧縮ブロックが使用されてもよい。これらは、軸方向で正確に機械加工されれば済む。これらは、多くの製造者のうちのいずれか 1 つで安価に製造されてもよい。これらは、軽量であり、輸送時にほんの僅かの空間しか必要としない。押し出し後のアルミニウム圧縮ブロックの処理は、正確な軸方向長さのための 2 つの向き合う面の切削、場合により角部での応力緩和のための穴加工のみから成る。押出ダイにおける圧縮ブロックの形状は、ブロックの縁部での応力集中を減少させるようになっていてもよい。

【0091】

超電導コイルを内部マグネットアセンブリへと互いに組み付けるための従来の方法は、一般に、複数の含浸ステップまたは結合ステップを必要とし、それにより、長い製造期間になるとともに、コイルへの損傷の機会が増大する。本発明は、コイルに含浸させ、圧縮ブロックの形態を成すスペーサおよび機械的支持構造体を製造して取り付ける単一ステップ法を提供し、それにより、かなりスピードが上がり、製造プロセスが簡略化される。

【0092】

10

20

30

40

50

当業者であれば明らかなように、本発明は他の変形および改良にまで及び、そのような改良の幾つかの例を以下の段落で説明する。

【0093】

本発明により提供されるコイルアセンブリは、液体凍結剤を収容する凍結剤容器を使用して効果的に冷却されてもよい。あるいは、伝導冷却または熱サイフォン冷却などの他の冷却システムが本発明のコイルアセンブリと共に使用されてもよい。これは、コイルの表面に容易にアクセスできるからである。

【0094】

本発明の内部コイルアセンブリは、結果として得られるマグネットの安定性を高めるために、支持構造体、例えば管状非磁性構造体に対して内的にあるいは外的に結合されてもよい。内部コイルアセンブリは、内部コイルアセンブリ内でのコイルの正確な相対的位置決めを確保する。

10

【0095】

磁場の大部分は、端部コイル52およびシールドコイル98によって発生される。本明細書中に記載される内部コイルアセンブリの内部コイルには、比較的低い荷重が作用するが、イメージングのために必要とされる均一な磁場を形成するために空間内に最も正確に配置される必要がある。本発明によれば、内部コイルは、単一のユニット、すなわち本発明の内部コイルアセンブリとして製造されてもよい。これにより、これらの重要なコイルの相対位置を確保することができ、また一方で、比較的低い固有の荷重により、構造体は、従来の成形機などの外部荷重支持構造を伴うことなく作動できる。図9の例図から分かるように、各コイルの径方向中間点は、内側に隣接するコイルの径方向範囲の一部と軸方向で位置合わせされ、それにより、圧縮ブロックは、いずれかのコイルに曲げモーメントを与えることなく、各コイルの体積力に反作用することができる。

20

【0096】

4つの内部コイル54と、一对の端部コイル52と、一对のシールドコイル98とを有するマグネットに関して本発明を特に説明してきた。無論、本発明は、異なる数のコイルを有するマグネットに適用されてもよい。同様に、本発明の方法で説明されるボビン20は、円筒状または略円筒状であってもよく、好ましくはテーパ状を成し、それにより、円形コイルを形成してもよいが、コイルを巻回するのに適した表面であるという要件をボビンが満たし、したがって、完成したコイル内からボビンを取り外すことができるようにボビンが形成される場合には、他の外面形状を有するボビンが使用されてもよい。

30

【0097】

前述したマグネットアセンブリおよび方法の多くの他の変形および改良は、当業者に明らかであり、添付の請求項により規定される本発明の範囲内に入る。

【符号の説明】

【0098】

- 10 内部コイルアセンブリ
- 12 コイル
- 14 熱硬化性樹脂
- 16 交差部材
- 17 ボイド
- 20 ボビン
- 20 a ボビン部分
- 22 端部フランジ
- 24 巻回チーク
- 26 結合チャネル
- 28 巻回チャネル
- 29 端面
- 30 テーパ面
- 32 ネジ

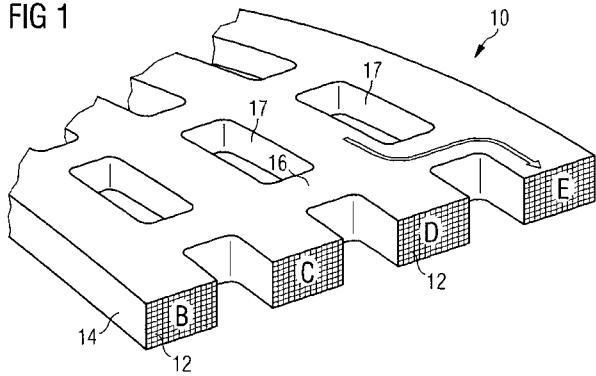
40

50

3 4	多孔質予備成形体	
3 6	閉塞プレート	
3 8	密閉成形キャビティ	
4 0	切り欠き	
5 2	端部コイル	
5 4	内部コイル	
5 6、5 7、9 6	圧縮ブロック	
5 8	アーケ	
5 9、6 2、8 6	穴	
6 0	ディスプレイサ	10
6 1	圧縮力	
6 3	縁部	
6 4	皿穴	
6 5	表面	
6 6	ナイロンネジ	
6 7	インアウトブロック	
7 0	軸方向延在スロット	
7 2	拡大部	
7 3	超電導結合部	
7 4	補強層	20
8 0	多孔質 P T F E 層	
8 2	巻回チャネル	
8 4	貫通穴	
9 0	内部コイルアセンブリ	
9 2	端部コイル	
9 8	アクティブシールドコイル	
1 0 0	ジャーナル	
1 0 2	保持ウェブ	
1 1 0	外側支持コイル構造	
1 1 8	充填材料	30
1 2 0	巻回ガイドコム	
1 2 2	巻回チーク	
1 2 6	外周部分	
1 2 8	結合チャネル	
1 2 9	端面	
1 6 0	外側管状コイル支持体	
A、B、C、D、E	コイル	
a 1、a 2	軸方向範囲	
b	軸方向寸法	40

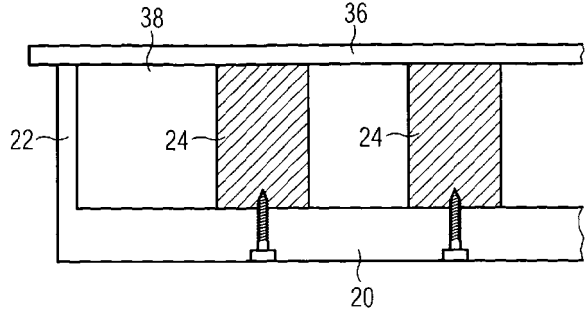
【 図 1 】

FIG 1



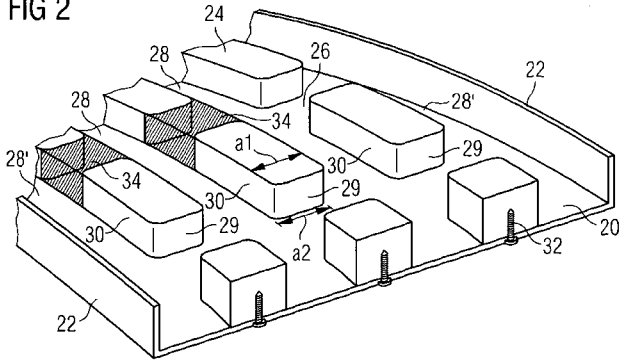
【 図 3 】

FIG 3



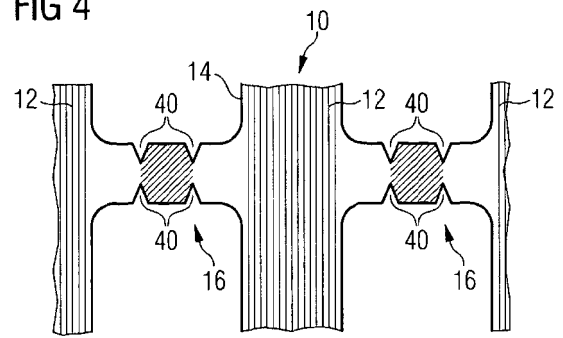
【 図 2 】

FIG 2



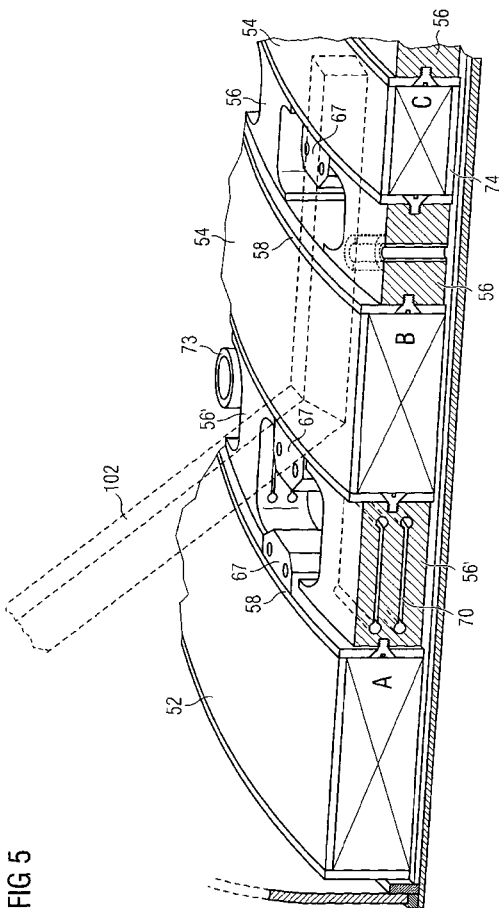
【 図 4 】

FIG 4



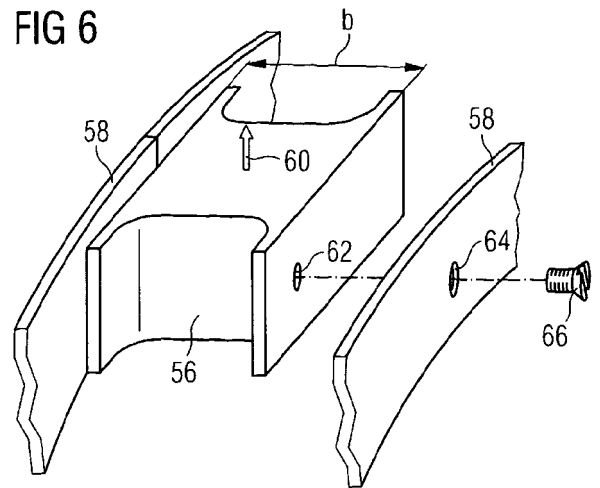
【 図 5 】

FIG 5



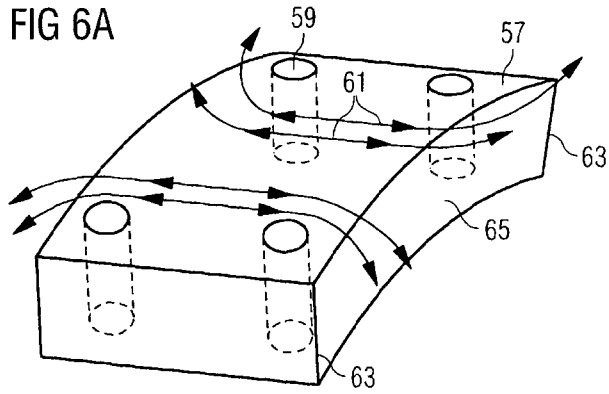
【 図 6 】

FIG 6



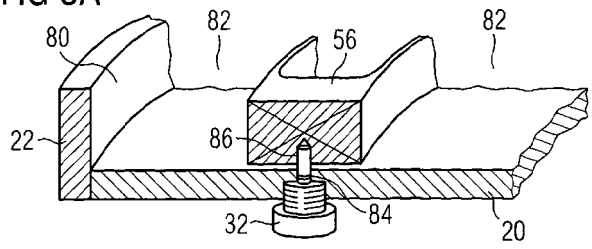
【 図 6 A 】

FIG 6A



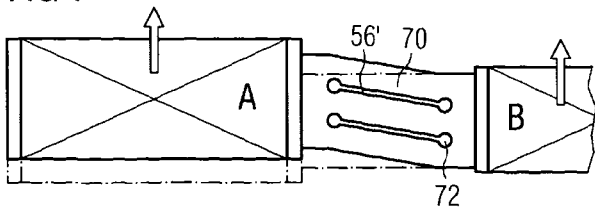
【 図 8 A 】

FIG 8A



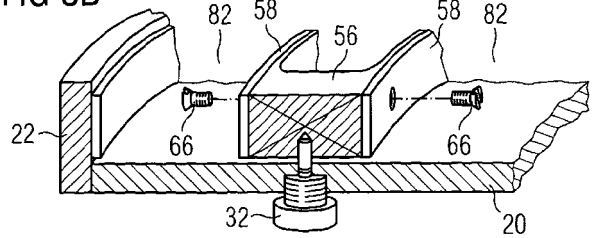
【 図 7 】

FIG 7



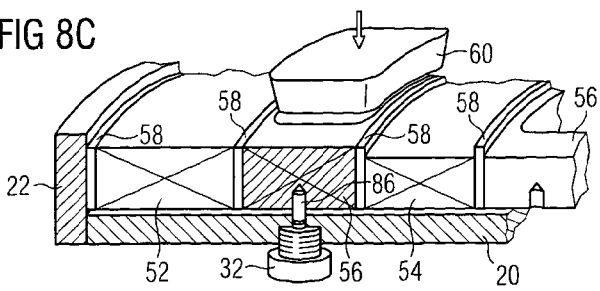
【 図 8 B 】

FIG 8B



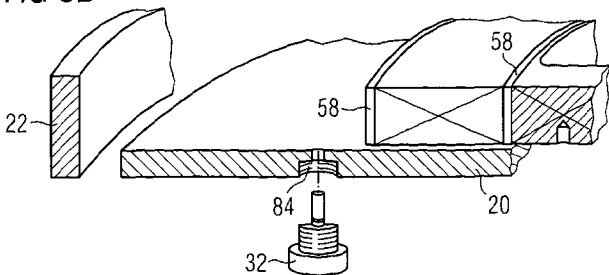
【 図 8 C 】

FIG 8C



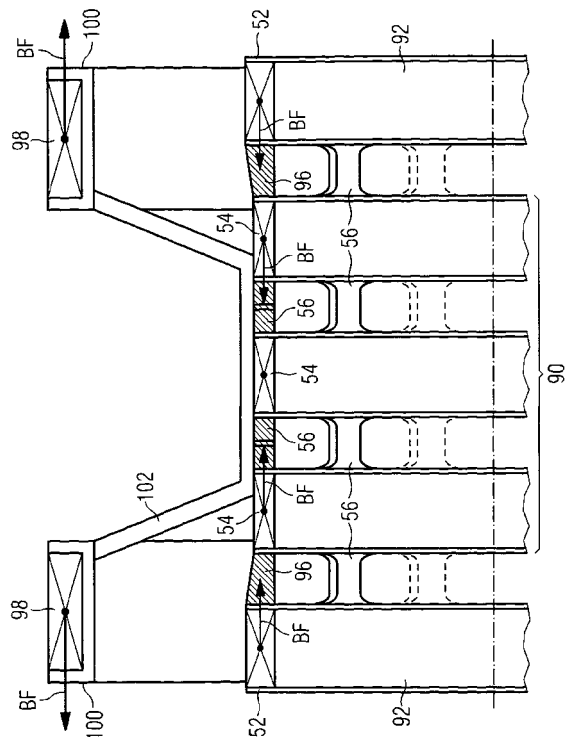
【 図 8 D 】

FIG 8D



【 図 9 】

FIG 9



【 図 1 0 】

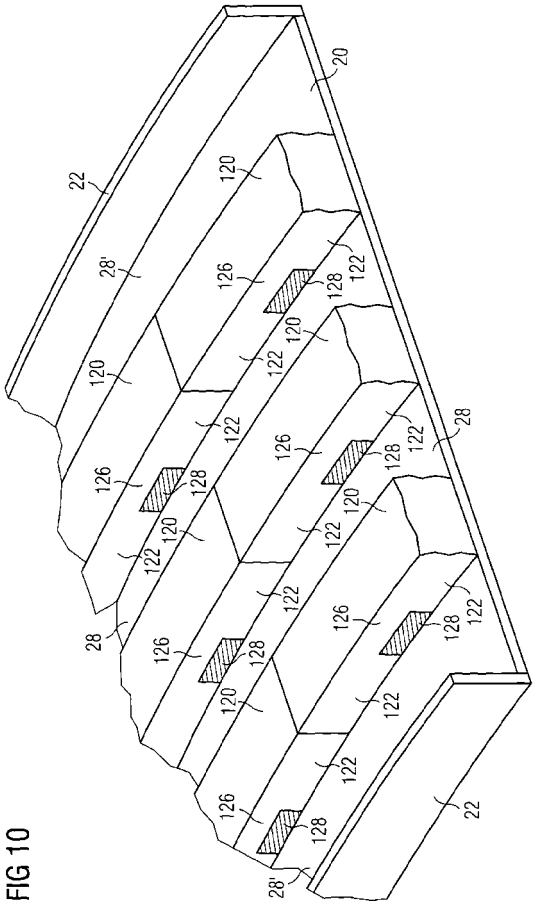
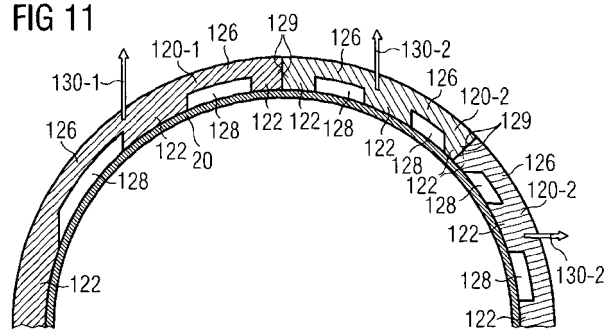


FIG 10

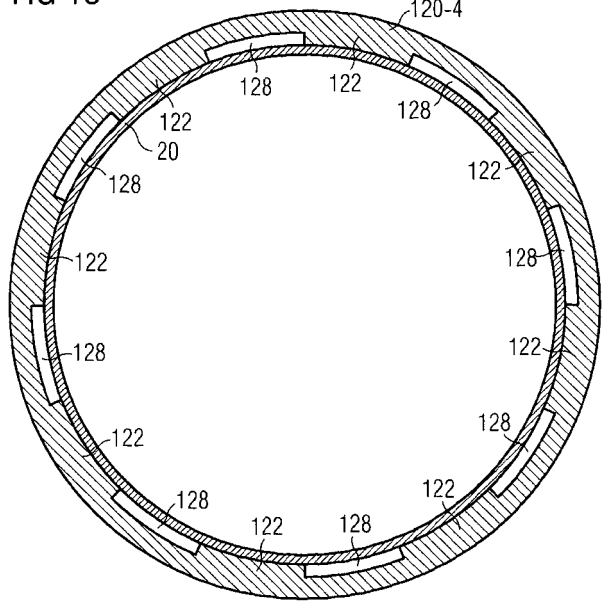
【 図 1 1 】

FIG 11



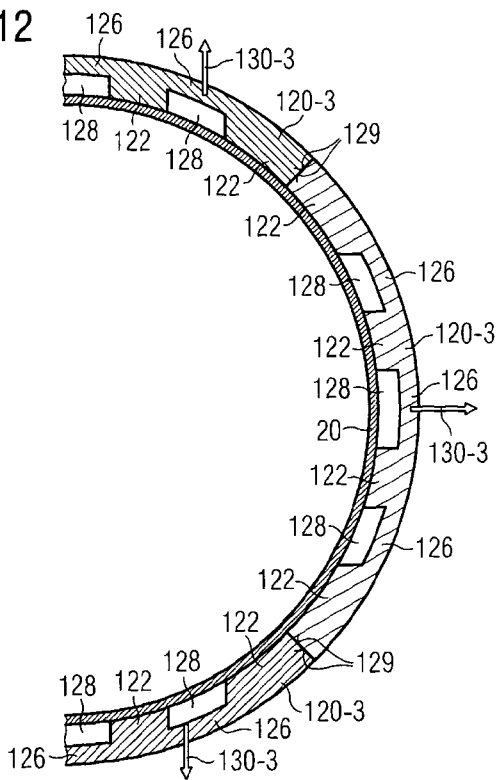
【 図 1 3 】

FIG 13



【 図 1 2 】

FIG 12



フロントページの続き

(72)発明者 ゴア、ラッセル ピーター

イギリス国 オーエックス14 3エイワイ、オックスフォードシャー、アビントン、ロウワーラ
ドレイ 51、スピネイズ、コッテージ

Fターム(参考) 4C096 AB42 AB44 CA02 CA33 CA36 CA40