

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5809858号  
(P5809858)

(45) 発行日 平成27年11月11日(2015.11.11)

(24) 登録日 平成27年9月18日(2015.9.18)

(51) Int.Cl.

H01F 6/02 (2006.01)

F 1

H01F 7/22

K

請求項の数 15 外国語出願 (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願2011-141293 (P2011-141293)  
 (22) 出願日 平成23年6月27日 (2011.6.27)  
 (65) 公開番号 特開2012-39092 (P2012-39092A)  
 (43) 公開日 平成24年2月23日 (2012.2.23)  
 審査請求日 平成26年6月20日 (2014.6.20)  
 (31) 優先権主張番号 201010218773.9  
 (32) 優先日 平成22年6月30日 (2010.6.30)  
 (33) 優先権主張国 中国 (CN)

(73) 特許権者 390041542  
 ゼネラル・エレクトリック・カンパニー  
 アメリカ合衆国、ニューヨーク州 123  
 45、スケネクタディ、リバーロード、1  
 番  
 (74) 代理人 100137545  
 弁理士 荒川 聰志  
 (74) 代理人 100105588  
 弁理士 小倉 博  
 (74) 代理人 100129779  
 弁理士 黒川 俊久

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】マグネットアセンブリ及びマグネットアセンブリの温度制御のための方法

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

磁場を発生するように構成されたマグネットと、  
 前記マグネットの少なくとも一部分を遮蔽するように構成された鉄製シールドと、  
 前記鉄製シールドの上に配置されると共に該鉄製シールドの温度を安定化するように構成  
 された1つまたは複数の正温度係数ヒーターと、  
 前記1つまたは複数の正温度係数ヒーターと協働するように前記鉄製シールド上に配置さ  
 れるかその中に埋め込まれた1つまたは複数の相変化材料と、

を備えた受動型温度制御を有するマグネットアセンブリであって、

前記1つまたは複数の相変化材料は硫酸ナトリウム10水和物( $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ )を含み、

能動型の制御器や温度センサを伴わずに受動型温度制御を提供するマグネットアセンブリ  
 。

## 【請求項 2】

前記1つまたは複数の正温度係数ヒーターの各々は所定の保護温度を有する、請求項1に  
 記載のマグネットアセンブリ。

## 【請求項 3】

前記マグネットは永久磁石、常伝導磁石及び超伝導マグネットのうちの1つを備える、請  
 求項1または2に記載のマグネットアセンブリ。

## 【請求項 4】

前記マグネットは、1つまたは複数の超伝導コイルを備えた超伝導マグネットを備えている、請求項3に記載のマグネットアセンブリ。

【請求項5】

前記1つまたは複数の超伝導コイルの各々はソレノイド形状を有しており、かつ前記鉄製シールドは前記マグネットを収容するために円筒形状を有している、請求項4に記載のマグネットアセンブリ。

【請求項6】

前記鉄製シールドは体部と該体部上に配置された1対の端部分とを備えており、かつ前記1つまたは複数の正温度係数ヒーターは該体部と該端部分のうちの少なくとも1つの上に配置されている、請求項1乃至5のいずれかに記載のマグネットアセンブリ。

10

【請求項7】

前記1つまたは複数の正温度係数ヒーターは、鉄製シールドの少なくとも1つの外部表面上に配置されている、請求項1乃至6のいずれかに記載のマグネットアセンブリ。

【請求項8】

前記1つまたは複数の相変化材料は1つまたは複数の区画に分離されており、該1つまたは複数の区画は鉄製シールドの内部またはその上に配置されている、請求項1乃至7のいずれかに記載のマグネットアセンブリ。

【請求項9】

さらに、前記1つまたは複数の正温度係数ヒーターと電気的に接続し、一定の電圧を供給するように構成された1つまたは複数の電源を備える請求項1乃至8のいずれかに記載のマグネットアセンブリ。

20

【請求項10】

マグネットの少なくとも一部分を遮蔽し該マグネットが発生させる漏洩磁場を限定するように構成された鉄製シールドと、

前記鉄製シールド上に配置させた鉄製シールドの温度を安定化させるための1つまたは複数の正温度係数ヒーターと、

前記1つまたは複数の正温度係数ヒーターと協働するように前記鉄製シールド上に配置されるかその中に埋め込まれた1つまたは複数の相変化材料と、  
を備える鉄製シールドアセンブリであって、

前記1つまたは複数の相変化材料は硫酸ナトリウム10水和物( $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ )を含み、

30

温度センサや温度制御器を伴わずに受動型温度制御を提供する鉄製シールドアセンブリ。

【請求項11】

さらに、前記1つまたは複数の正温度係数ヒーターと電気的に接続し、一定の電圧を供給するように構成された1つまたは複数の電源を備える請求項10に記載の鉄製シールドアセンブリ。

【請求項12】

マグネットアセンブリの温度制御を提供する方法であって、

磁場を発生するように構成されたマグネットを提供するステップと、

前記マグネットの少なくとも一部分の周りに鉄製シールドを配置するステップと、

40

前記鉄製シールドに1つまたは複数の正温度係数ヒーターを結合させるステップと、

前記鉄製シールドの温度が安定するように前記1つまたは複数の正温度係数ヒーターを構成するステップと、

前記鉄製シールドの内部またはその上に、硫酸ナトリウム10水和物( $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ )を含み、前記1つまたは複数の正温度係数ヒーターと協働する1つまたは複数の相変化素子を配置し、前記1つまたは複数の相変化素子を前記1つまたは複数の正温度係数ヒーターと協働させるステップと、

前記鉄製シールドの温度を受動式に制御するステップと、  
を含む方法。

【請求項13】

50

正温度係数ヒーター向けの保護温度を選択するステップをさらに含む請求項 1 2 に記載の方法。

【請求項 1 4】

温度を受動式に制御する前記ステップは、能動型制御器や温度センサを伴わずに実施される、請求項 1 2 または 1 3 に記載の方法。

【請求項 1 5】

前記 1 つまたは複数の正温度係数ヒーターと電気的に接続する 1 つまたは複数の電源が、  
前記 1 つまたは複数の正温度係数ヒーターに一定の電圧を供給するステップを含む、請求  
項 1 2 乃至 1 4 のいずれかに記載の方法。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

本発明は、全般的にはマグネットアセンブリ及びマグネットアセンブリの温度制御のための方法に関する。本開示はさらに詳細には、その鉄製シールド上に温度制御素子を装備したマグネットアセンブリ及び該マグネットアセンブリの温度制御のための方法に関する。

【背景技術】

【0 0 0 2】

超伝導マグネット、永久磁石及び／または常伝導磁石などのマグネットは、様々な用途（例えば、磁気共鳴撮像（M R I）用途など）において使用されている。一般にマグネットは、マグネットが生成した磁場がマグネットの近傍に配置させた電子機器と有害な相互作用をするのを防ぐために磁気遮蔽されている。こうしたマグネットを磁気遮蔽するための幾つかの技法には、能動型遮蔽及び／または受動型遮蔽が含まれる。

20

【0 0 0 3】

受動型遮蔽は能動型遮蔽と比べて費用対効果により優れているため、幾つかの用途において受動式遮蔽の超伝導マグネットなど受動式に遮蔽されたマグネットが利用されているのが典型的である。受動型遮蔽ではマグネットの遮蔽のために鉄製シールド（鉄製ヨーク）が利用されるのが一般的である。しかし、鉄製シールドの磁気特性は、温度の変動に伴って変動する。このためこうしたマグネットが発生させる磁場は、鉄製シールドの温度変動のために不安定でありかつ動搖しており、これは磁場にとって不都合である。

30

【0 0 0 4】

能動型温度制御構成のように受動型遮蔽のマグネットに対して温度制御を提供するための試みがなされてきた。こうした能動型構成は典型的には、鉄製シールドの温度を監視する複数の温度センサと、温度センサからのデータを使用し、比例・積分・微分（P I D）制御アルゴリズムなどのある種の制御アルゴリズムに従ってヒーターを制御してシステムをある温度レンジに維持する制御器と、を利用する。こうした能動型制御によると温度システムに対する複雑性及びコストが増大する。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

40

【0 0 0 5】

新規かつ改良型のマグネットアセンブリ並びに該マグネットアセンブリの温度制御のための方法に対する必要性が継続している。

【課題を解決するための手段】

【0 0 0 6】

本発明の一実施形態ではマグネットアセンブリを提供する。本マグネットアセンブリは、磁場を発生するように構成されたマグネットと、該マグネットを遮蔽するように構成された鉄製シールドと、を備える。本マグネットアセンブリはさらに、鉄製シールド上に配置されると共に鉄製シールドの温度を安定化するように構成された 1 つまたは複数の正温度係数ヒーターを備える。本マグネットアセンブリは、能動型の制御器や温度センサを伴

50

わない受動型の温度制御を提供する。

#### 【0007】

本発明の別の実施形態では鉄製シールドアセンブリを提供する。本鉄製シールドアセンブリは、マグネットを遮蔽しマグネットが発生させた漏洩磁場を限定するように構成された鉄製シールドと、鉄製シールドの温度の安定化のために鉄製シールド上に配置させた1つまたは複数の正温度係数ヒーターと、を備える。本鉄製シールドアセンブリは、温度センサや温度制御器を伴わない受動型の温度制御を提供する。

#### 【0008】

本発明の別の態様はさらに、マグネットアセンブリの温度制御を提供する方法を含む。本方法は、磁場を発生するように構成されたマグネットを設けるステップと、マグネットの少なくとも一部分の周りに鉄製シールドを配置するステップと、鉄製シールドに対して1つまたは複数の正温度係数ヒーターを結合するステップと、鉄製シールドの温度を受動式に制御するステップと、を含む。

10

#### 【0009】

本開示の上述の態様、特徴及び利点並びにその他の態様、特徴及び利点については、添付の図面と関連して記載した以下の詳細な説明を読むことによってさらに明らかとなろう。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0010】

【図1】一実施形態によるマグネットアセンブリの概要斜視図である。

20

【図2】一実施形態による図1のマグネットアセンブリの軸対称概要断面平面図である。

【図3】一実施形態による正温度係数ヒーター及び電源の概要回路図である。

【図4】様々な実施形態による相変化素子を含むマグネットアセンブリの軸対称概要断面平面図である。

【図5】様々な実施形態による相変化素子を含むマグネットアセンブリの軸対称概要断面平面図である。

【図6】別の実施形態によるマグネットアセンブリの概要図である。

【図7】さらに別の実施形態による正温度係数ヒーター、電源及び電気式ヒーターの概要回路図である。

#### 【発明を実施するための形態】

30

#### 【0011】

ここで、本開示の実施形態について添付の図面を参照しながら説明することにする。以下の説明では、本開示が無用な詳細で不明瞭になるのを回避するためよく知られた機能や構成については詳しく記載していない。

#### 【0012】

図1は、マグネットアセンブリの一実施形態によるマグネットアセンブリ10の概要図である。図1に示すようにマグネットアセンブリ10は、マグネット11と、鉄製ヨークとも呼ばれる鉄製シールド12と、を備える。

#### 【0013】

幾つかの実施形態ではそのマグネット11は、ヘルスケア撮像やセキュリティ/検査撮像などの用途の磁場を発生させるための磁場源の役割をすることがある。鉄製シールド12は、マグネット11の少なくとも一部分を収容すると共に、マグネット11が発生させた磁場を捕捉して鉄製シールド12の内部に閉じ込めると共にこの磁場がマグネット11の近傍に配置された電子機器と有害な相互作用をするのを防ぐための受動型遮蔽の役割をしている。

40

#### 【0014】

図示した機構では、マグネット11がソレノイド巻きのコイルを備える。鉄製シールド12は、円筒形状を有すると共に、マグネット11を収容するためのチェンバー(ラベル付けなし)を画定している。一例ではその鉄製シールド12は、コイル11と共に軸性である。幾つかの用途ではその鉄製シールド12は、1つまたは複数の磁性材料を備えると共に

50

に複数の分離されたプレートにより形成されることがある。この1つまたは複数の磁性材料の非限定の例には、フェライト、鋼、磁気合金及び適当な別の磁性材料を含むことがある。鉄製シールドはマグネットの全体を囲繞することも一部を囲繞することもあり、またその設計要件に従った様々な形状または設計を有することが可能である。

#### 【0015】

非限定の例ではそのソレノイドコイル11は、超伝導コイルを備えることがある。超伝導コイル11の非限定の例は、ニオブチタン(NbTi)、ニオブスズ(Nb<sub>3</sub>Sn)及びニホウ化マグネシウム(MgB<sub>2</sub>)ワイヤ、並びにBiSrCaCuO(BSCCO)及びYBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7</sub>(YBCO)タイプの超伝導材料を含むことがある。図1に示したようにこの例のマグネットアセンブリ10はさらに、鉄製シールド12とコイル11の間に配置させた熱シールド13を備えており、またコイル11はこの熱シールド13の内部に配置されている。

10

#### 【0016】

幾つかの機構ではそのマグネットアセンブリ11はさらに、クライオスタットや超伝導コイル11を冷凍するための液体ヘリウムを包含した容器などの冷凍素子(図示せず)その他の冷却機構と、鉄製シールド12の外部に配置させた真空容器(図示せず)と、を備えることがあり、これらは当業者によって容易に実現し得るものである。

#### 【0017】

幾つかの用途ではその真空容器は、極低温環境と周囲環境の間に熱遮断を提供するために熱シールド13、冷凍素子及び超伝導コイル11を収容するように構成されることがある。熱シールド13は、例えば極低温と周囲の環境間での放射及び対流熱の転送を低減するように構成されることがある。図1に示した例では、明瞭にするために冷凍素子と真空容器を図示していない。ある種の例ではそのマグネットアセンブリ11はさらに、様々な用途に基づいて超伝導コイルと協働する別の素子を備えることがある。

20

#### 【0018】

本発明の実施形態では鉄製シールド12は、漏洩磁場を限定するのみならずマグネット11が発生させた磁場の安定化及び均一化を容易にするために磁性材料を備えると共にある温度レンジで動作させることがある。幾つかの例では、鉄製シールド12の磁気特性がその温度変動に伴って変化することがあり、このため磁場に動搖が生じることがある。

#### 【0019】

30

したがって図1～2に示すようにマグネットアセンブリ10はさらに、鉄製シールド12の温度を安定化させ安定した磁場を維持するための受動型温度制御を形成するように鉄製シールド12と熱的に接触させた複数の正温度係数(PTC)ヒーター14を備える。本明細書で使用する場合に「PTCヒーター」という用語は、過電流や過熱保護の役割をさせるようにその電気抵抗が温度上昇に伴って増大するようなデバイスを示すことがある。ある種の用途ではその受動型温度制御は、能動型の制御器や温度センサを備えない制御を示すことがある。幾つかの機構ではその鉄製シールド12の温度は、能動型の制御器や温度センサを用いずにPTCヒーター14の特性によって制御されることがある。

#### 【0020】

非限定の例ではそのPTCヒーターは、セラミック材料を備えることがあり、かつ/またはある特定のPTCヒーター(例えば、チタン酸バリウムセラミックヒーター)に限定するものではない。PTCヒーターの材料は所望の保護温度を有するように様々な用途に基づいて決定されることがある。ある種の用途ではそのPTCヒーターの保護温度は、PTC材料特性、実装要件及び/またはPTCヒーターに対する電圧入力に従って決定されることがある。幾つかの例ではそのPTCヒーターの保護温度は、約30～70の範囲とすることがある。一例ではそのPTCヒーターの保護温度は、例えばMRI用途において約30～40の範囲とすることがある。

40

#### 【0021】

図1～2の機構は単に例示であることに留意すべきである。幾つかの用途ではそのマグネットアセンブリ10は、1つまたは複数のPTCヒーターを備えることがある。PTC

50

ヒーター（複数のこともある）14の数量、サイズ及び配置は様々な用途に基づいて決定されることがある。ある種の用途では、複数のコイル11が利用されることもある。

【0022】

図1～2に示した機構ではその鉄製シールド12は、コイル11を収容するためのチエンバーを画定するように、体部15と、該体部15の相対する端部に配置させた2つの端部分（フランジ）16と、を備える。体部15は円筒形状を有しており、また2つの端部分16の各々は円形状を有する。幾つかの用途ではその体部15及び各端部分16が、多角形状など別の形状を有することがある。

【0023】

図2に示したように2つの端部分16は、M R I用途においてスキャン対象物を受け容れるために例えばコイル11の中央ボア（ラベル付けなし）とそれ連絡した開口部（ラベル付けなし）を画定している。PTCヒーター14は、鉄製シールド12の体部15と鉄製シールド12の2つの端部プレート16の外部表面上に配置されており、鉄製シールド12と熱的接触の状態にある。

10

【0024】

幾つかの実施形態ではその1つまたは複数のPTCヒーター14は、体部15と端部分16のうちの少なくとも1つの上に配置させることがあり、また体部15と端部分16のうちの少なくとも1つの内側表面（ラベル付けなし）上に配置させることがある。ある種の例ではその1つまたは複数のPTCヒーター14はさらに、鉄製シールド12上に配置させるために体部15及び／または端部分16内まで延びることがある。例えば体部15及び／または端部分16は1つまたは複数のPTCヒーター14のそれそれを受け容れ1つまたは複数のPTCヒーター14を鉄製シールド12と熱的に接触させるための1つまたは複数のノッチ（図示せず）を画定している。別の構成ではそのPTCヒーターは、細長い細片状に（端同士を繋げたパターン、円周状パターンあるいは別のパターンに走行させることが可能）配備させることが可能である。

20

【0025】

幾つかの機構ではその1つまたは複数のPTCヒーター14は、鉄製シールド12上に様々な技法によって配置させることができる。非限定の一例では、1つまたは複数のPTCヒーター14を鉄製シールド12と熱的に結合させるために1つまたは複数の熱伝導性接着材料（図示せず）を利用することがある。この1つまたは複数の熱伝導性接着材料の非限定の例は、エポキシや適当な別の熱伝導性接着材料などの熱硬化性物質を含むことがある。

30

【0026】

したがって動作時において、マグネット11は磁場を発生させる。同時に図3に示すように、PTCヒーター14は電源17と電気的に接続されており、ここでPTCヒーター14は熱を発生させかつ鉄製シールド12を所望の温度及び／または温度レンジまで加熱していると共に、過電流及び／または過熱保護の役割をする。ある種の例ではその電源17は、直流（DC）電源入力を備えることも、交流（AC）電源入力を備えることもある。一例ではその電源17は、公共供給電源入力を備える。別法として、複数の電源17を設けることや、1つの電源を複数のPTCヒーター14と電気的に接続させることができる。非限定の例ではその電源は、約100ワット～500ワットの範囲の電力を提供することがある。電源として1つまたは複数のバッテリーを用いることもある。

40

【0027】

加熱中に鉄製シールド12の温度が所望の温度（例えば、PTCヒーター14の保護温度）に達すると、保護温度に到達した時点でPTCヒーター14の抵抗値は（例えば、数オームから数万オームまで）短い時間で増大する。電源17の電圧は一定であるため、PTCヒーター14の抵抗増大に由来してPTCヒーター14の電力入力が低下することがありかつ鉄製シールド12の温度がPTCヒーター14の保護温度に保持されがあり、このため鉄製シールド12は安定化温度またはある温度レンジに維持されることがある。一実施形態ではこうした温度制御が能動型の制御回路や温度センサを伴うことなく達

50

成されている。

【0028】

別の実施形態では、PTCヒーター14が保護温度にあるときに、そのPTCヒーター14が高い(例えば、 $1 \times 10^5$ オームを超える)抵抗値に達することがある。したがって電源17はPTCヒーター14に入力する電力をより少なくし、これにより鉄製シールドの温度を安定化温度に維持することがある。

【0029】

別の例では、鉄製シールド12の温度が鉄製シールド12の安定化温度またはPTCヒーター14の保護温度より低いときに、PTCヒーター14の抵抗値がより小さくなりかつ鉄製シールド12をPTCヒーター14により加熱し、これにより鉄製シールド12の温度をPTCヒーター14の保護温度の周りで安定化させることができる。非限定の例ではそのPTCヒーター14の保護温度は約30°とすることがある。この結果、鉄製シールド12の温度が安定化するために、マグネット11が発生させる磁場も安定する。こうした温度制御は能動型の制御回路なしで得られる。

10

【0030】

ある種の用途では、図1、4及び5に示した機構のような余分な熱を吸収するために鉄製シールド12内に幾つかのピークAC損失が生成されることがある、マグネットアセンブリ10はさらに、熱を吸収する熱緩衝器として機能すると共に鉄製シールド12の温度の安定化を容易にするために鉄製シールド12上に熱配置(thermally disposed)させるかこれと一体化させた1つまたは複数の相変化素子18を備える。図示した機構ではその相変化素子18は鉄製シールド12中に埋め込まれている。別の例では、体部15及び/または端部分16のうちの少なくとも1つの内側表面及び/または外部表面上に1つまたは複数の相変化素子18を配置させことがある。

20

【0031】

ある種の用途では、相変化素子18が熱のより多い位置に配置されるように、そのピークAC損失によって鉄製シールド12を不均一に加熱せざることがある。幾つかの機構ではその相変化素子18のサイズ及び機構を設計基準に応じて異ならざることがある。一例ではその相変化素子18は区分式であり、一方別の実施形態ではその相変化素子18はその全体または一部が鉄製シールド12と一体化されるかこの中に埋め込まれている。相変化素子(複数のこともある)18の数量、サイズ及び配置もまた、様々な用途に基づいて決定されることがある。

30

【0032】

幾つかの実施形態では、相変化素子18の各々は1つまたは複数の相変化材料を備えることがある。1つまたは複数の相変化材料の非限定の例は、パラフィンなどの1つまたは複数の有機材料や、硫酸ナトリウム10水和物( $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ )などの1つまたは複数の無機材料を含むことがある。1つまたは複数の相変化材料は1つまたは複数の区画(素子)に分離されると共に、この1つまたは複数の区画は鉄製シールド12の内部に配置されている。

【0033】

したがって動作時において、相変化素子18の少なくとも一部分が固相から液相または液相/固相の混合相に変化して鉄製シールド12が発生させる熱を吸収し、これにより鉄製シールド12の所望の温度での安定化を容易にするように1つまたは複数のPTCヒーター14と協働することがある。

40

【0034】

図1~6に示した機構は単に例示であることに留意すべきである。ある種の用途ではそのマグネット11及び/または鉄製シールド12は、矩形状などの別の形状を有することもある。さらにマグネット11は、永久磁石や常伝導磁石など適当な別のマグネットを備えることがある。永久磁石及び/または常伝導磁石が利用される場合に、図1に示した熱シールド13、冷凍素子及び真空容器は利用されることも利用されないこともある。

【0035】

50

図6は、本発明の別の実施形態によるマグネットアセンブリの10の概要図である。図6に示すようにマグネットアセンブリ10は、鉄製シールド12、マグネット19及び複数のPTCヒーター14を備える。マグネット19は、磁場を発生させるために互いに協働し合う2つの部分(ラベル付けなし)を備える。幾つかの例では、1つのPTCヒーター14が利用されることがある。

#### 【0036】

図6に示した例では鉄製シールド12は、体部(ポスト)20と該体部20の2つの端部上に配置させた2つの端部分21とをC字形構成を形成するようにして備える。マグネット19は、部分21の上に配置させている。PTCヒーター14は、体部20及び端部分21の外部表面上に配置させている。同様に幾つかの例ではその1つまたは複数のPTCヒーター14はさらに、体部20と2つの部分21のうちの少なくとも1つの内側表面上に配置させるかこれの中まで延びるようにして、鉄製シールド12を所望の温度に安定化させることがある。さらに、端部分21と接続させるために複数の体部20を利用することもある。PTCヒーターと協働して鉄製シールド12の温度を安定化させるために1つまたは複数の相変化素子18を利用することもある。

10

#### 【0037】

幾つかの用途ではそのマグネット19は、永久磁石、常伝導磁石、あるいは図1のコイル11のような超伝導マグネットを備えることがある。超伝導マグネットは、コイル11の材料と同様の磁性材料を備えることがある。永久磁石の材料の非限定の例は、ネオジム-鉄-ホウ素、サマリウム-コバルト、アルニコ及びハードフェライトを含むことがある。常伝導磁石の材料の非限定の例は、銅及びアルミニウムを含むことがある。

20

#### 【0038】

したがって動作時において、マグネット19が発生させた磁場の安定化を容易にするように、1つまたは複数のPTCヒーター14によって鉄製シールド12の温度を制御し安定化させている。非限定の例ではその相変化素子18は、鉄製シールド12の温度の安定化を容易にするように1つまたは複数のPTCヒーター14と協働する熱緩衝器の役割をすることがある。

#### 【0039】

図7は、電源17、PTCヒーター14及び電気式ヒーター22の概要回路図である。図7に示したようにPTCヒーター14は、電気式ヒーター22と直列に電気的に接続されている。電源17は、加熱のため及び鉄製シールド12の温度の安定化を容易にするためにPTCヒーター14及び電気式ヒーター22と電気的に接続されている。幾つかの例では、複数の電源、複数のPTCヒーター及び複数の電気式ヒーター22が利用されることがある。

30

#### 【0040】

幾つかの機構ではそのPTCヒーター14及び電気式ヒーター22を鉄製シールド12上に熱配置せることがある(図示せず)。電気式ヒーター22は、主たる加熱機能を提供するために、加熱ワイヤや適当な別の電気式ヒーターなど従来式の電気ヒーターを備えることがある。PTCヒーター14の温度が保護温度に達するとPTCヒーター14は高抵抗を有するようになりヒーター22の電流が制限されるため、PTCヒーター14は過電流及び/または過熱保護として機能することがある。図7の機構は単に例示であることに留意すべきである。非限定の例では電気式ヒーター22が利用されないことがある。

40

#### 【0041】

本発明の実施形態では、鉄製シールドの温度を安定化するために1つまたは複数のPTCヒーターが利用されることがあり、これは能動型の制御器や温度センサを用いないマグネット向けの受動型温度制御技法の一タイプとなっている。比例-積分-微分(PID)制御アルゴリズムなどの目下の能動型温度制御技法と比較して、本システムの機構は能動型の温度制御器や温度センサを伴わない受動型温度制御を提供しており、信頼性がより高く、より単純でありかつ費用対効果がより高い。さらに、ある種の用途において鉄製シールドの温度安定化を保証するように、1つまたは複数のPTCヒーターと協働する1つ

50

または複数の相変化素子を設けることがある。鉄製シールドが安定化温度に維持されているときに、マグネットのシム調整も実施されることがある。

#### 【0042】

典型的な実施形態について本開示を図示し説明してきたが、本開示の精神から全く逸脱することなく様々な修正形態や置換形態の実施が可能であるため、提示した詳細に限定する意図ではない。このため当業者にとっては本明細書に示した開示に対するさらなる修正形態や等価形態の実施はルーチンの試み以上のものではなく、またこうした修正形態及び等価形態はすべて添付の特許請求の範囲に規定したような本開示の精神及び趣旨に適うものと考えられる。

#### 【符号の説明】

10

#### 【0043】

- |     |                       |    |
|-----|-----------------------|----|
| 1 0 | マグネットアセンブリ            |    |
| 1 1 | マグネット、ソレノイドコイル、超伝導コイル |    |
| 1 2 | 鉄製シールド                |    |
| 1 3 | 熱シールド                 |    |
| 1 4 | P T C ヒーター            |    |
| 1 5 | 鉄製シールドの体部             |    |
| 1 6 | 鉄製シールドの端部分（フランジ）      |    |
| 1 7 | 電源                    | 20 |
| 1 8 | 相変化素子                 |    |
| 1 9 | マグネット                 |    |
| 2 0 | 鉄製シールドの体部（ポスト）        |    |
| 2 1 | 鉄製シールドの端部分            |    |
| 2 2 | 電気式ヒーター               |    |

【図1】

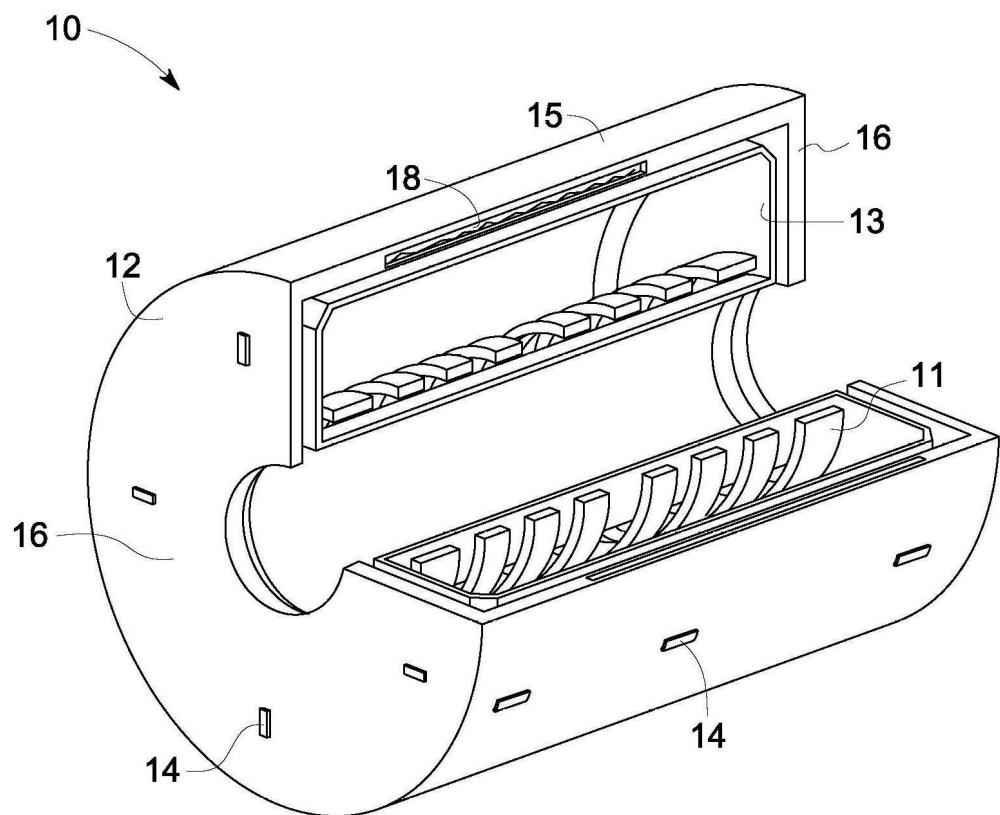


FIG. 1

【図2】

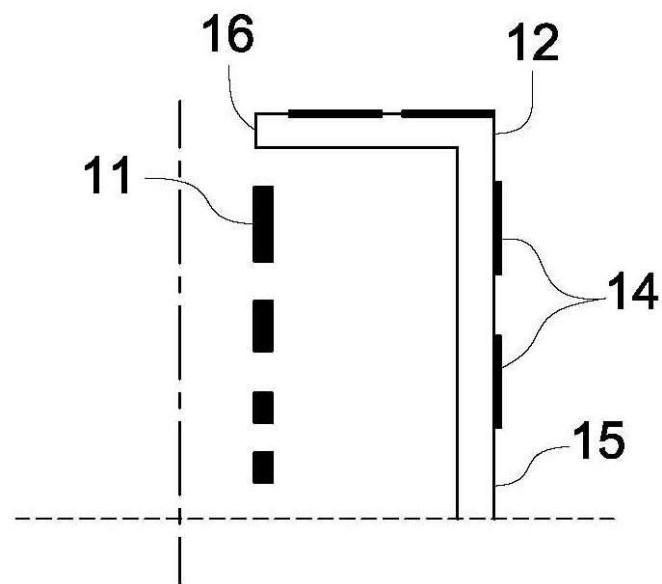


FIG. 2

【図3】

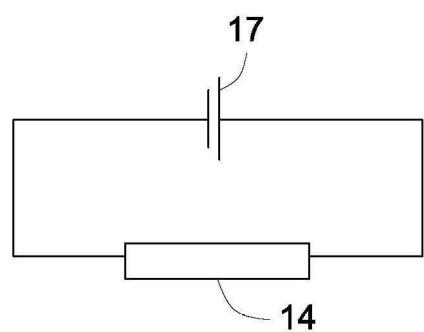


FIG. 3

【図4】

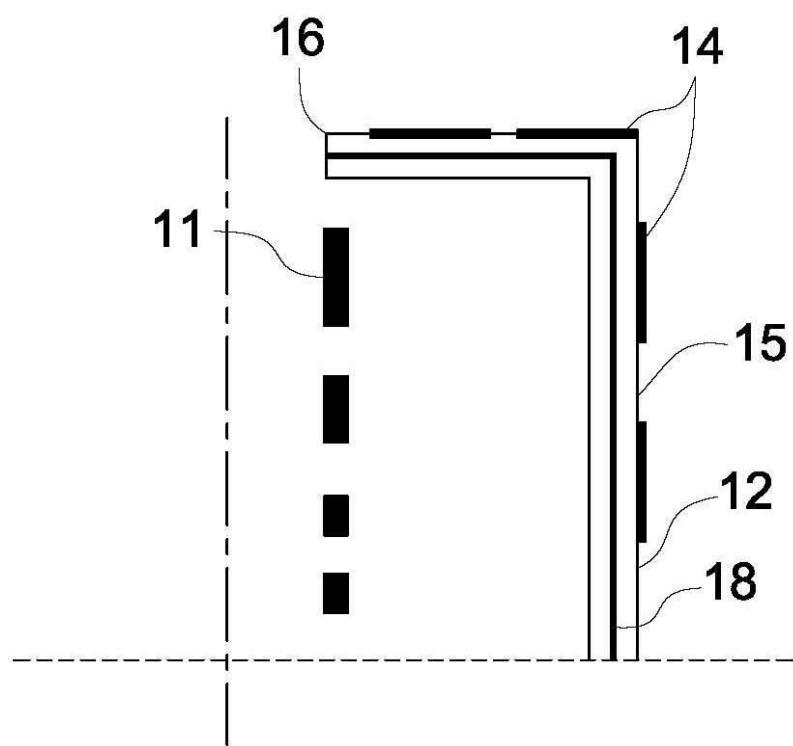


FIG. 4

【図5】

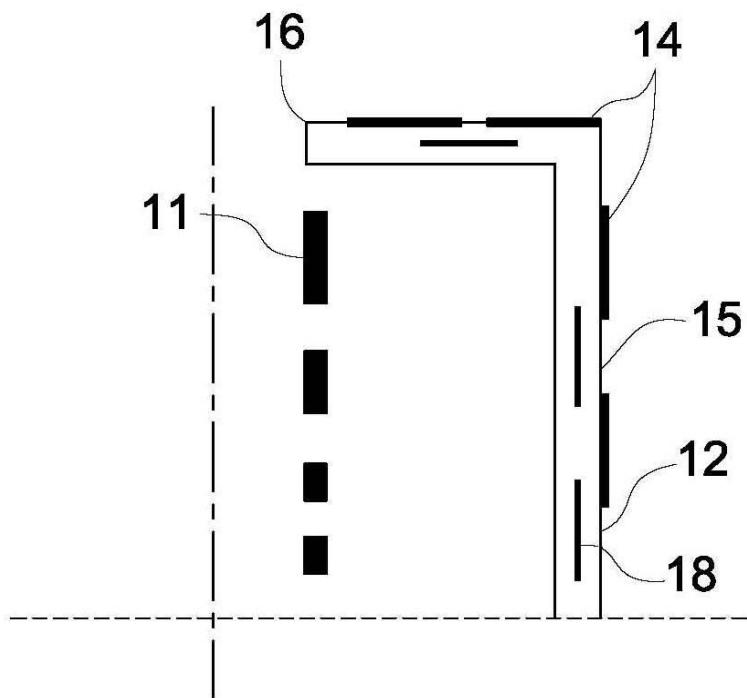


FIG. 5

【図6】

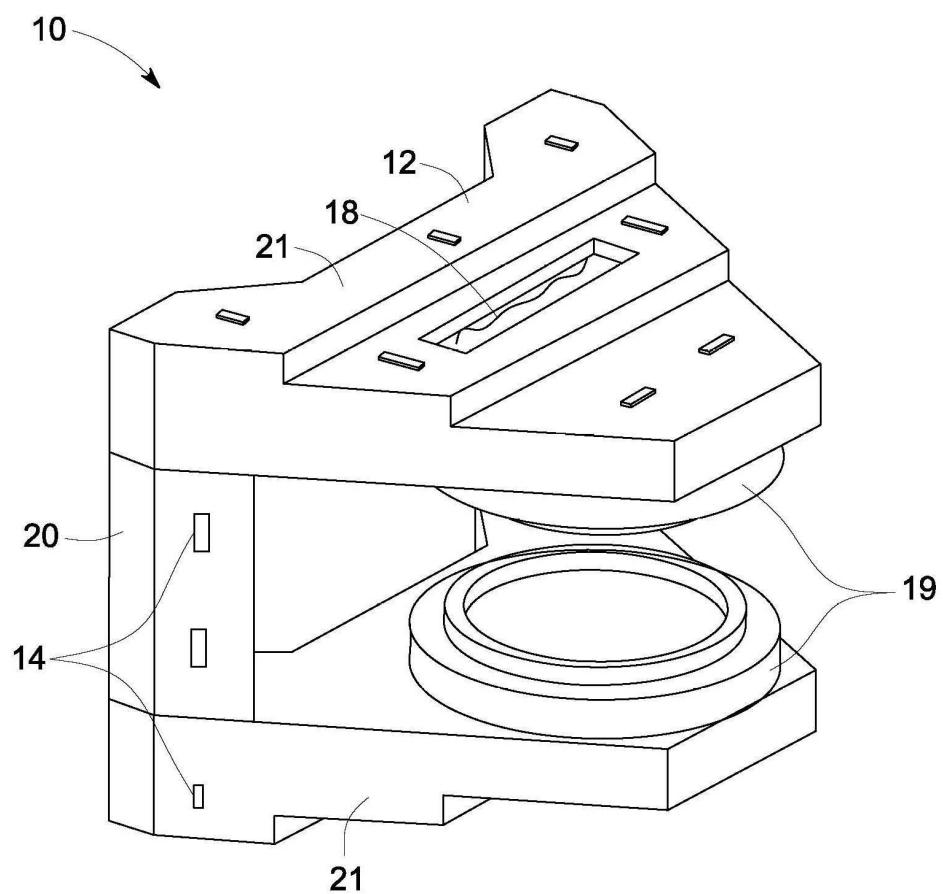


FIG. 6

【図7】

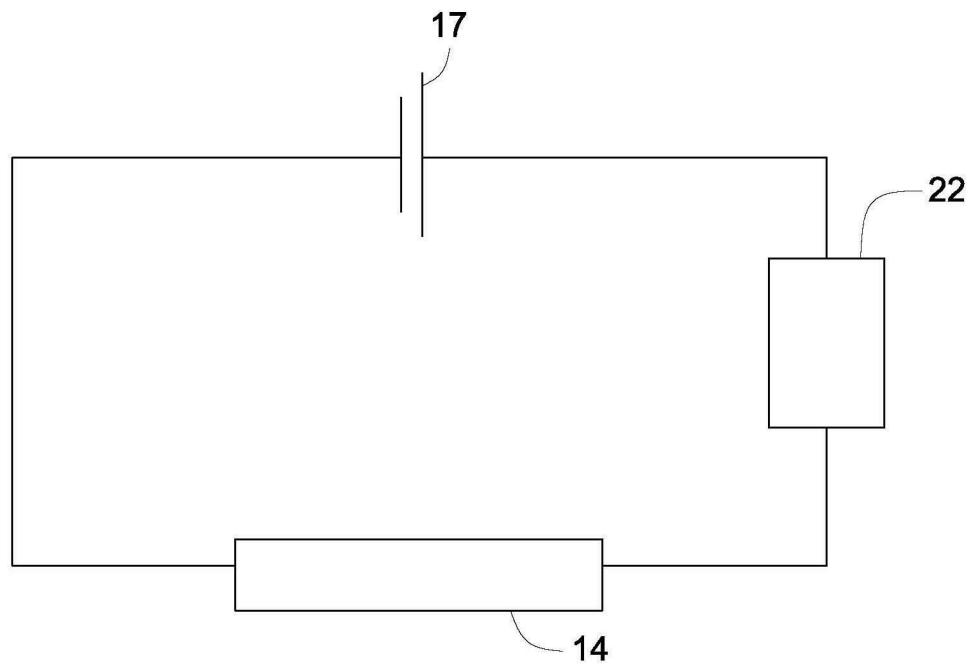


FIG. 7

---

フロントページの続き

(72)発明者 アンボ・ウー

アメリカ合衆国、ニューヨーク州、ニスカユナ、ビルディング・ケイ1-3エイ59、ワン・リサ  
ーチ・サークル、ゼネラル・エレクトリック・カンパニイ・グローバル・リサーチ

(72)発明者 ジュン・パン

アメリカ合衆国、ニューヨーク州、ニスカユナ、ビルディング・ケイ1-3エイ59、ワン・リサ  
ーチ・サークル、ゼネラル・エレクトリック・カンパニイ・グローバル・リサーチ

(72)発明者 ヤン・ツアオ

アメリカ合衆国、ニューヨーク州、ニスカユナ、ビルディング・ケイ1-3エイ59、ワン・リサ  
ーチ・サークル、ゼネラル・エレクトリック・カンパニイ・グローバル・リサーチ

(72)発明者 シャンルイ・ファン

アメリカ合衆国、ニューヨーク州、クリフトン・パーク、ディヴォー・ドライブ、16番

審査官 井上 健一

(56)参考文献 特開平05-161625(JP, A)

特開平06-213987(JP, A)

特開平06-165766(JP, A)

特開2009-119261(JP, A)

特開2007-136202(JP, A)

特開平02-232035(JP, A)

特開平10-241841(JP, A)

特開2005-249377(JP, A)

特開2005-288044(JP, A)

特開2006-311957(JP, A)

特開2008-149133(JP, A)

国際公開第2006/003892(WO, A1)

特開2009-183372(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , DB名)

H01F 6/02