

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6483729号
(P6483729)

(45) 発行日 平成31年3月13日(2019.3.13)

(24) 登録日 平成31年2月22日(2019.2.22)

(51) Int.Cl.

F I

A 6 1 B 5/055 (2006.01)

G 0 1 N 24/00 (2006.01)

A 6 1 B 5/055 3 3 1

A 6 1 B 5/055 Z A A

G 0 1 N 24/00 6 0 0 C

請求項の数 14 (全 31 頁)

(21) 出願番号 特願2016-568620 (P2016-568620)
 (86) (22) 出願日 平成27年5月5日(2015.5.5)
 (65) 公表番号 特表2017-522064 (P2017-522064A)
 (43) 公表日 平成29年8月10日(2017.8.10)
 (86) 国際出願番号 PCT/IB2015/053279
 (87) 国際公開番号 W02015/177667
 (87) 国際公開日 平成27年11月26日(2015.11.26)
 審査請求日 平成30年4月16日(2018.4.16)
 (31) 優先権主張番号 PCT/CN2014/078018
 (32) 優先日 平成26年5月21日(2014.5.21)
 (33) 優先権主張国 中国 (CN)

(73) 特許権者 590000248
 コーニンクレッカ フィリップス エヌ
 ヴェ
 KONINKLIJKE PHILIPS
 N. V.
 オランダ国 5656 アーエー アイン
 ドーフェン ハイテック キャンパス 5
 High Tech Campus 5,
 NL-5656 AE Eindhoven
 (74) 代理人 100122769
 弁理士 笛田 秀仙

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 超電導コイルを支持する装置及び方法並びに超電導コイル装置を有する装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

互いに隔てられ間隔をおかれる少なくとも第1及び第2のコイルセクションを有する第1の導電性コイルと、

前記第1及び第2のコイルセクションを支持する支持構造と、
 を有し、

前記支持構造は、前記第1の導電性コイルが通電される場合及び非通電にされる場合、前記第1及び第2のコイルセクションの相対的な軸方向位置を固定の状態に維持し、通電される場合、前記第1及び第2のコイルセクションの各々が半径方向に拡張することを可能にするように構成され、

前記支持構造が、

前記第1のコイルセクション上の第1のサイトに配される第1の部分及び前記第2のコイルセクション上の第1のサイトに配される第2の部分とを有する第1の支持素子であって、前記第2のコイルセクション上の第1のサイトに対し、前記第1のコイルセクション上の第1のサイトを軸方向、半径方向及び回転方向において固定する、第1の支持素子と、

前記第1のコイルセクション上の第2のサイトに配される第1の部分及び前記第2のコイルセクション上の第2のサイトに配される第2の部分とを有する第2の支持素子であって、前記第2のコイルセクション上の第2のサイトに対し前記第1のコイルセクション上の第2のサイトを軸方向及び回転方向において固定し、前記第1及び第2のコイルセクションの半径方向の移動を可能にする、第2の支持素子と、

10

20

前記第 1 のコイルセクション上の第 3 のサイトに配される第 1 の部分及び前記第 2 のコイルセクション上の第 3 のサイトに配される第 2 の部分を有する第 3 の支持素子であって、前記第 2 のコイルセクション上の第 3 のサイトに対し前記第 1 のコイルセクション上の第 3 のサイトを軸方向において固定し、前記第 1 及び第 2 のコイルセクションの第 3 のサイトにおける半径方向及び回転の移動を可能にする、第 3 の支持素子と、

前記第 1 のコイルセクション上の第 4 のサイトに配される第 1 の部分及び前記第 2 のコイルセクション上の第 4 のサイトに配される第 2 の部分を有する第 4 の支持素子であって、前記第 2 のコイルセクション上の第 4 のサイトに対し、前記第 1 のコイルセクション上の第 4 のサイトを軸方向において固定し、前記第 1 及び第 2 のコイルセクションの第 4 のサイトにおける半径方向及び回転の移動を可能にする、第 4 の支持素子と、
を有する、装置。

10

【請求項 2】

少なくとも第 2 の導電性コイルを更に有し、

前記第 1 の導電性コイルは磁界コイルであり、前記第 2 の導電性コイルがシールドコイルであり、

前記シールドコイルは、互いに隔てられ間隔をおかれる少なくとも第 1 及び第 2 のシールドコイルセクションを有し、

前記シールドコイルは、前記磁界コイルの直径より大きい直径を有し、

前記シールドコイルの軸は、前記磁界コイルによって規定される周の中を通り、

前記支持構造は、前記第 1 の導電性コイルが通電される場合及び非通電にされる場合、前記第 1 及び第 2 のシールドコイルセクションの相対的な軸方向位置を固定の状態に維持し、通電される場合、前記第 1 及び第 2 のシールドコイルセクションの各々が半径方向に拡張することを可能にするように構成される、請求項 1 に記載の装置。

20

【請求項 3】

前記支持構造は、前記第 1 の導電性コイルの軸と平行に延びる軸を有する支持リングを更に有し、電気絶縁性の前記支持リングは、前記第 1 の支持素子に固定的に取り付けられ、

前記第 3 及び第 4 の支持素子の各々は、それらの中に配されるスロットを有し、前記電気絶縁性の支持リングの第 1 の部分が、前記第 3 の支持素子のスロット内に配され、前記電気絶縁性の支持リングの第 2 の部分が、前記第 4 の支持素子のスロット内に配置される、請求項 1 に記載の装置。

30

【請求項 4】

前記支持リングが、少なくとも 1 つの回転制約を有し、

前記第 2 の支持素子が、その中に配されるスロットを有し、

前記支持リングの第 3 の部分が、前記第 2 の支持素子のスロット内に配され、

前記第 2 の支持素子が、少なくとも 1 つの回転制約によって回転可能に固定される、請求項 3 に記載の装置。

【請求項 5】

少なくとも第 2 の導電性コイルを更に有し、

前記第 1 の導電性コイルは磁界コイルであり、前記第 2 の導電性コイルはシールドコイルであり、

前記シールドコイルは、互いに隔てられ間隔をおかれる第 1 及び第 2 のシールドコイルセクションを少なくとも有し、

前記シールドコイルは、前記磁界コイルの直径より大きい直径を有し、

前記支持構造は、前記第 1 の導電性コイルが通電される場合及び非通電にされる場合、前記第 1 及び第 2 のシールドコイルセクションの相対的な軸方向位置を固定の状態に維持し、通電される場合、前記第 1 及び第 2 のシールドコイルセクションの各々が半径方向に拡張することを可能にするように構成され、前記第 1 の支持素子は、前記第 1 のシールドコイルセクション上の第 1 のサイトに配される第 3 の部分及び前記第 2 のシールドコイルセクション上の第 1 のサイトに配される第 4 の部分を有し、前記第 1 の支持素子は、前記

40

50

第 2 の磁界コイルセクション上の第 1 のサイトに対し、前記第 1 のシールドコイルセクション上の第 1 のサイトを軸方向、半径方向及び回転方向において固定し、

前記支持構造が更に、

前記第 1 のシールドコイルセクション上の第 2 のサイトに配される第 1 の部分及び前記第 2 のシールドコイルセクション上の第 2 のサイトに配される第 2 の部分を有する第 5 の支持素子であって、前記第 2 のシールドコイルセクション上の第 2 のサイトに対し前記第 1 のシールドコイルセクション上の第 2 のサイトを軸方向及び回転方向において固定し、前記第 1 及び第 2 のシールドコイルセクションの半径方向の移動を可能にする第 5 の支持素子と、

前記第 1 のシールドコイルセクション上の第 3 のサイトに配される第 1 の部分及び前記第 2 のシールドコイルセクション上の第 3 のサイトに配される第 2 の部分を有する第 6 の支持素子であって、前記第 2 のシールドコイルセクション上の第 3 のサイトに対し前記第 1 のシールドコイルセクション上の第 3 のサイトを軸方向において固定し、前記第 1 及び第 2 のシールドコイルセクションの半径方向及び回転の移動を可能にする第 6 の支持素子と、

前記第 1 のシールドコイルセクション上の第 4 のサイトに配される第 1 の部分を有する第 7 の支持素子であって、前記第 2 のシールドコイルセクション上の第 4 のサイトに対し前記第 1 のシールドコイルセクション上の第 4 のサイトを軸方向において固定し、前記第 1 及び第 2 のシールドコイルセクションの半径方向及び回転の移動を可能にする第 7 の支持素子と、

を有する、請求項 3 に記載の装置。

【請求項 6】

前記支持構造が、

前記第 1 の導電性コイルの軸と平行に延びる軸を有する少なくとも 1 つの支持リングと

、前記支持リングに接続される複数の支持梁と、

前記第 1 のコイルセクションに各々が接続される複数の第 1 の支持素子と、

前記第 2 のコイルセクションに各々が接続される複数の第 2 の支持素子と、

複数のヒンジ部材対であって、各々のヒンジ部材対が、前記第 1 及び第 2 の支持素子の一方を前記支持梁の 1 つに接続する、複数のヒンジ部材対と、

を更に有し、

前記第 1 及び第 2 の支持素子は、前記第 1 及び第 2 のコイルセクションの互いに対する回転及び軸方向の移動を妨げるように構成され、

前記複数のヒンジ部材対は、前記第 1 及び第 2 のコイルセクションの半径方向の移動を可能にする、請求項 1 に記載の装置。

【請求項 7】

少なくとも第 2 の導電性コイルを更に有し、

前記第 1 の導電性コイルは磁界コイルであり、前記第 2 の導電性コイルはシールドコイルであり、

前記シールドコイルは、互いに隔てられ間隔をおかれる少なくとも第 1 及び第 2 のシールドコイルセクションを有し、

前記シールドコイルは、前記磁界コイルの直径より大きい直径を有し、

前記支持構造は、前記第 1 の導電性コイルが通電される場合及び非通電にされる場合、前記第 1 及び第 2 のシールドコイルセクションの相対的な軸方向位置を固定の状態に維持し、通電される場合、前記第 1 及び第 2 のシールドコイルセクションの各々が半径方向に拡張することを可能にするように構成される、請求項 6 に記載の装置。

【請求項 8】

前記支持構造が、

前記第 1 のシールドコイルセクションに各々が接続される複数の第 3 の支持素子と、

前記第 2 のシールドコイルセクションに各々が接続される複数の第 4 の支持素子と、

複数の第2のヒンジ部材対であって、各々の第2のヒンジ部材対が、前記第3及び第4の支持素子の一方を前記支持梁の1つに接続する、複数の第2のヒンジ部材対と、
を更に有し、

前記第3及び第4の支持素子が、前記第1及び第2のシールドコイルセクションの互いに対する回転及び軸方向の移動を妨げるように構成され、

前記複数の第2のヒンジ部材対が、前記第1及び第2のシールドコイルセクションの半径方向の移動を可能にする、請求項7に記載の装置。

【請求項9】

互いに隔てられ間隔をおかれる第1及び第2のコイルセクションを少なくとも有する第1の導電性コイルを支持する方法であって、

前記第1の導電性コイルが通電される場合及び非通電にされる場合、前記第1及び第2のコイルセクションの相対的な軸方向位置を固定の状態に維持するステップと、

通電される場合、前記第1及び第2のコイルセクションの各々が半径方向に拡張することを可能にするステップと、

前記第2のコイルセクション上の第1のサイトに対し、前記第1のコイルセクション上の第1のサイトを軸方向、半径方向及び回転方向において固定するステップと、

前記第2のコイルセクション上の第2のサイトに対し、前記第1のコイルセクション上の第2のサイトを軸方向及び回転方向において固定し、その一方、前記第1のコイルセクション上の第2のサイトにおける前記第1のコイルセクションの半径方向の移動を可能にし、前記第2のコイルセクション上の第2のサイトにおける前記第2のコイルの半径方向の移動を可能にするステップと、

前記第2のコイルセクション上の第3のサイトに対し前記第1のコイルセクション上の第3のサイトを軸方向において固定し、その一方、前記第1のコイルセクション上の第3のサイトにおける前記第1のコイルセクションの半径方向及び回転の移動を可能にするとともに、前記第2のコイルセクション上の第3のサイトにおける前記第2のコイルセクションの半径方向及び回転の移動を可能にするステップと、

前記第2のコイルセクション上の第4のサイトに対し前記第1のコイルセクション上の第4のサイトを軸方向において固定し、その一方、前記第1のコイルセクション上の第4のサイトにおける前記第1のコイルセクションの半径方向及び回転の移動を可能にするとともに、前記第2のコイルセクション上の第4のサイトにおける前記第2のコイルセクションの半径方向及び回転の移動を可能にするステップと、

を有する方法。

【請求項10】

少なくとも第2の導電性コイルを支持するステップを更に有し、

前記第1の導電性コイルは磁界コイルであり、前記第2の導電性コイルはシールドコイルであり、

前記シールドコイルは、互いから隔てられ及び間隔をおかれた少なくとも第1及び第2のシールドコイルセクションを有し、

前記シールドコイルは、前記磁界コイルの直径より大きい直径を有し、

前記方法が更に、

前記第1の導電性コイルが通電される場合及び非通電にされる場合、前記第1及び第2のシールドコイルセクションの相対的な軸方向位置を固定の状態に維持するステップと、

通電される場合、前記第1及び第2のシールドコイルセクションの各々が半径方向に拡張することを可能にするステップと、

を有する、請求項9に記載の方法。

【請求項11】

前記磁界コイル及び前記シールドコイルの少なくとも一方が非通電にされる場合、前記磁界コイルの軸及び前記シールドコイルの軸はアラインされないステップと、

前記磁界コイル及び前記シールドコイルの両方が通電される場合、前記磁界コイルの軸及び前記シールドコイルの軸が同軸にアラインされるステップと、

を更に有する、請求項 10 に記載の方法。

【請求項 12】

前記第2のシールドコイルセクション上の第1のサイトに対し、前記第1のシールドコイルセクション上の第1のサイトを軸方向、半径方向及び回転方向において固定するステップと、

前記第2のシールドコイルセクション上の第2のサイトに対し、前記第1のシールドコイルセクション上の第2のサイトを軸方向及び回転方向において固定し、その一方、前記第1のシールドコイルセクション上の第2のサイトにおける前記第1のシールドコイルセクションの半径方向の移動を可能にするとともに、前記第2のシールドコイルセクション上の第2のサイトにおける前記第2のシールドコイルの半径方向の移動を可能にするステップと、

10

前記第2のシールドコイルセクション上の第3のサイトに対し前記第1のシールドコイルセクション上の第3のサイトを軸方向において固定し、その一方、前記第1のシールドコイルセクション上の第3のサイトにおける前記第1のシールドコイルセクションの半径方向及び回転の移動を可能にするとともに、前記第2のシールドコイルセクション上の第3のサイトにおける前記第2のシールドコイルセクションの半径方向及び回転の移動を可能にするステップと、

前記第2のシールドコイルセクション上の第4のサイトに対し前記第1のシールドコイルセクション上の第4のサイトを軸方向において固定し、その一方、前記第1のシールドコイルセクション上の第4のサイトにおける前記第1のシールドコイルセクションの半径方向及び回転の移動を可能にするとともに、前記第2のシールドコイルセクション上の第4のサイトにおける前記第2のシールドコイルセクションの半径方向及び回転の移動を可能にするステップと、

20

を更に有する、請求項 10 に記載の方法。

【請求項 13】

前記第1のコイルセクション及び前記第2のコイルセクションの一方に各々が接続される複数のヒンジ結合の支持素子を通じて通電される場合、前記第1及び第2のコイルセクションの各々が半径方向に拡張することを可能にするステップを更に有する、請求項 9 に記載の方法。

【請求項 14】

30

少なくとも第2の導電性コイルを支持するステップを更に有し、前記第1の導電性コイルは磁界コイルであり、前記第2の導電性コイルはシールドコイルであり、前記シールドコイルは、互いから隔てられ及び間隔をおかれた少なくとも第1及び第2のシールドコイルセクションを有し、前記シールドコイルは、前記磁界コイルの直径より大きい直径を有し、前記シールドコイルの軸は、前記磁界コイルによって規定される周の中を通り、

前記方法が、

前記第1の導電性コイルが通電される場合及び非通電にされる場合、前記第1及び第2のシールドコイルセクションの相対的な軸方向位置を固定の状態に維持するステップと、

前記第1のシールドコイルセクション及び前記第2のシールドコイルセクションの一方に各々が接続される複数の付加のヒンジ結合の支持素子を通じて通電される場合、前記第1及び第2のシールドコイルセクションの各々が半径方向に拡張することを可能にするステップと、

40

を更に有する、請求項 13 に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、概して、例えば極低温環境における、磁石用の超電導コイルに関する。特に、本発明は、大きい磁界強度を生成するために通電される間、超電導コイルを支持する装置又は構造、及びこのような超電導コイルを支持する方法に関する。

【背景技術】

50

【 0 0 0 2 】

超電導の磁石システムは、核磁気共鳴（NMR）解析及び磁気共鳴イメージング（MRI）を含むさまざまな状況において使用されている。超電導特性を実現するために、磁石は、絶対零度に近い温度の極低温環境において維持される。一般に、磁石システムは、1又は複数の磁石として動作する1又は複数の導電性コイルを有し、導電性コイルは、クライオスタットに配置され、超電導特性を維持するために液体ヘリウムのような極低温流体によって冷却される。

【 0 0 0 3 】

ある超電導磁石システムは、それぞれ異なる軸方向ロケーションにあって異なる半径を有する複数の超電導コイル又はコイルセクションを有する。例えば、ある例では、MRI装置用の超電導磁石システムは、それぞれ異なる軸方向位置にあって第1の半径を有する複数の主コイルセクション（又は磁界コイルセクション）を有する主超電導コイル（磁界コイルとも呼ばれる）と、それぞれ異なる軸方向位置にあって磁界コイルの第1の半径より大きい第2の半径を有する複数のシールドコイルセクションを有する超電導シールドコイルと、を有することができる。

10

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 4 】

例えば1、2メートルのオーダーでありうる直径を有する超電導コイル又はコイルセクションは、それらが通電されるとき、それらの間に大きい磁気力を課すとともに、大きい内部磁気ストレスを与える。更に、超電導のコイルが通電されるとき、コイルセクションは、（例えば1mm又はより多くの）小さい量だけ半径方向に拡張し、半径方向の拡張のこの量は、コイルの直径によって変わりうる。しかしながら、MRI装置において、超電導コイルは、イメージングに適した磁界を生成するために、ミリメートルの何分の一かの範囲で互いに対し位置付けられなければならない。従って、通電時のコイルの半径方向の拡張は課題を示す。

20

【 0 0 0 5 】

更に、超電導コイルは、超電導のままであるために、非常に低温に保持されなければならない。例えばクライオスタット内に保持される。どんな支持構造であろうとも、超電導コイルは、コイルへのいかなるエネルギー放出を生成せずに、上述のように大きい磁気負荷下で、指定される許容誤差内で超電導コイルを位置付けなければならない。

30

【 0 0 0 6 】

コイルへのかかるエネルギー放出は、コイル又は周囲の領域を加熱することがあり、それによってコイルの超電導性能に影響を及ぼすことがある。

【 0 0 0 7 】

超電導コイルと支持構造又は装置との間のインタフェースは、多くの課題を呈することがある。超電導コイルを抑制しコイルを位置付けることは、超電導コイルと支持構造との間のインタフェースに大きいせん断応力を生成しうる。同時に、摩擦又は分解される結合があるとしても、大きいフープ力と組み合わせられる大きい軸方向の力は、コイルと支持構造との間のインタフェースにエネルギーの放出をもたらすことがあり、このエネルギーは、超電導コイルをクエンチすることがある。

40

【 0 0 0 8 】

MRIの場合、超電導コイルは、多くの場合、抵抗なしに高い電流を担持するNbTiの小さいフィラメントによって作られるワイヤを使用する。フィラメントは、銅マトリックスに埋め込まれ、これは、電流が一様に分配されることを可能にし、安定性を提供する。多くの場合、付加の銅がワイヤにおいて使用され、これにより、外部エネルギー放出からコイルを一層安定化させ、コイルと支持構造との間のインタフェースにおけるストレスレベルを低下させる。しかしながら、付加の銅を超電導コイルに加えることは、それらの磁気効率を下げ、それらの熱の容量を増加させ（冷却するのにより長い時間を要する）、それらのコストを増大させる。

50

【 0 0 0 9 】

従って、超電導コイルシステム用の支持構造を有する、MRIマシンのような装置を提供することが望ましい。更に、通電される場合、超電導コイルの位置を、厳しい許容誤差の範囲内で互いに対し維持することができる当該支持構造を提供することが望ましい。更に、摩擦エネルギー及び関連する熱放散の大きい量を生成することなくこれらの目標を達成することができる当該支持構造を提供することが望ましい。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 0 】

本発明の1つの見地において、装置は、互いから隔てられ間隔をおかれた少なくとも第1及び第2のコイルセクションを有する少なくとも第1の導電性コイルと、第1及び第2のコイルセクションを支持するために配される支持構造と、を有する。支持構造は、第1の導電性コイルが通電される場合及び非通電にされる場合、第1及び第2のコイルセクションの相対的な軸方向位置を固定の状態に維持するとともに、通電される場合、第1及び第2のコイルセクションの各々が半径方向に拡張することを可能にするように構成される。

10

【 0 0 1 1 】

ある実施形態において、装置は更に、少なくとも第2の導電性コイルを有することができ、第1の導電性コイルは磁界コイルでありえ、第2の導電性コイルは、シールドコイルでありえ、シールドコイルは、少なくとも第1及び第2のシールドコイルセクションを有することができ、第1及び第2のシールドコイルセクションは、互いから隔てられ間隔をおかれ、シールドコイルは、磁界コイルの直径より大きい直径を有することができ、シールドコイルの軸は、磁界コイルによって規定される周の中を通ることができる。支持構造は、第1の導電性コイルが通電される場合及び非通電にされる場合、第1及び第2のシールドコイルセクションの相対的な軸方向位置を固定の状態に維持するとともに、通電される場合、第1及び第2のシールドコイルセクションの各々が半径方向に拡張することを可能にするように構成されることができる。

20

【 0 0 1 2 】

これらの実施形態のある変形例において、支持構造は、第1のコイルセクション上の第1のサイトに配置される第1の部分及び第2のコイルセクション上の第1のサイトに配置される第2の部分とを有することができる第1の支持素子であって、第1の支持素子は、第2のコイルセクション上の第1のサイトに対して、第1のコイルセクション上の第1のサイトを、軸方向、半径方向及び回転方向において固定することができる、第1の支持素子と；第1のコイルセクション上の第2のサイトに配置される第1の部分及び第2のコイルセクション上の第2のサイトに配置される第2の部分とを有することができる第2の支持素子であって、第2の支持素子は、第2のコイルセクション上の第2のサイトに対して、第1のコイルセクション上の第2のサイトを、軸方向及び回転方向において固定することができるとともに、第1及び第2のコイルセクションの半径方向の移動を可能にする第2の支持素子と；第1のコイルセクション上の第3のサイトに配置される第1の部分及び第2のコイルセクション上の第3のサイトに配置される第2の部分とを有することができる第3の支持素子であって、第3の支持素子は、第2のコイルセクション上の第3のサイトに対して、第1のコイルセクション上の第3のサイトを軸方向において固定することができるとともに、第1及び第2のコイルセクションの第3のサイトにおいて半径方向及び回転方向の移動を可能にする、第3の支持素子と；第1のコイルセクション上の第4のサイトに配置される第1の部分及び第2のコイルセクション上の第4のサイトに配置される第2の部分とを有することができる第4の支持素子であって、第4の支持素子は、第2のコイルセクション上の第4のサイトに対して、第1のコイルセクション上の第4のサイトを軸方向において固定することができるとともに、第1及び第2のコイルセクションの第4のサイトにおける半径方向及び回転の移動を可能にする、第4の支持素子と、を有することができる。

30

40

【 0 0 1 3 】

50

これらの実施形態のある変形例において、支持構造は、第1の導電性コイルの軸と平行に延びる軸を有する電気絶縁支持リングを更に有することができ、電気絶縁支持リングは、第1の支持素子に固定的に取り付けられることができ、第3及び第4の支持素子の各々は、その中に配置されるスロットを有することができ、電気絶縁支持リングの第1の部分は、第3の支持素子内のスロットに配置されることができ、電気絶縁支持リングの第2の部分は、第4の支持素子内のスロットに配置されることができる。

【0014】

これらの実施形態のある変形例において、電気絶縁支持リングは、少なくとも1つの回転制約を有することができ、第2の支持素子は、その中に配置されるスロットを有することができ、支持リングの第3の部分は、第2の支持素子内のスロットに配置されることができ、第2の支持素子は、少なくとも1つの回転制約によって回転可能に固定されることができる。

10

【0015】

これらの実施形態のある変形例において、装置は、電気絶縁支持リングから延びる少なくとも第1及び第2の突出部を更に有することができ、第2の支持素子は、その中に配置されるスロットを有することができ、支持リングの第3の部分は、第2の支持素子内のスロットに配置されることができ、第2の支持素子は、第1及び第2の突出部の間に回転可能に固定されることができる。

【0016】

これらの実施形態のある変形例において、装置は、少なくとも第2の導電性コイルを更に有することができ、第1の導電性コイルは、磁界コイルでありえ、第2の導電性コイルは、シールドコイルでありえ、シールドコイルは、互いから隔てられ間隔をおかれる少なくとも第1及び第2のシールドコイルセクションを有することができ、シールドコイルは、磁界コイルの直径より大きい直径を有することができ、シールドコイルの軸は、磁界コイルによって規定される周の中を通ることができ、支持構造は、第1の導電性コイルが通電される及び非通電にされる場合、第1及び第2のシールドコイルセクションの相対的な軸方向位置が固定された状態に維持するように構成されることができ、通電される場合、第1及び第2のシールドコイルセクションの各々が半径方向に拡張することを可能にすることができる。

20

【0017】

これらの実施形態のある変形例において、支持構造は、磁界コイル及びシールドコイルのうちの少なくとも一方が非通電にされる場合に、磁界コイルの軸及びシールドコイルの軸がアラインされない状態にし、磁界コイル及びシールドコイルの両方が通電される場合、磁界コイルの軸及びシールドコイルの軸が同軸にアラインされるようにするように構成されうる。

30

【0018】

これらの実施形態のある変形例において、第1の支持素子は、第1のシールドコイルセクション上の第1のサイトに配置される第3の部分及び第2のシールドコイルセクション上の第1のサイトに配置される第4の部分を有することができ、第1の支持素子は、第2の磁界コイルセクション上の第1のサイトに対して、第1のシールドコイルセクション上の第1のサイトを、軸方向、半径方向及び回転方向に固定することができ、支持構造は更に、第1のシールドコイルセクション上の第2のサイトに配置される第1の部分及び第2のシールドコイルセクション上の第2のサイトに配置される第2の部分を有する第5の支持素子であって、第5の支持素子は、第2のシールドコイルセクション上の第2のサイトに対して、第1のシールドコイルセクション上の第2のサイトを、軸方向及び回転方向において固定できるとともに、第1及び第2のシールドコイルセクションの半径方向の移動を可能にする、第5の支持素子と、第1のシールドコイルセクション上の第3のサイトに配置される第1の部分及び第2のシールドコイルセクション上の第3のサイトに配置される第2の部分を有する第6の支持素子であって、第6の支持素子は、第2のシールドコイルセクション上の第3のサイトに対して、第1のシールドコイルセクション上

40

50

の第3のサイトを軸方向において固定することができるとともに、第1及び第2のシールドコイルセクションの半径方向及び回転の移動を可能にする、第6の支持素子と、第1のシールドコイルセクション上の第4のサイトに配置される第1の部分を持つ第7の支持素子であって、第7の支持素子は、第2のシールドコイルセクション上の第4のサイトに対して、第1のシールドコイルセクション上の第4のサイトを軸方向において固定することができ、第1及び第2のシールドコイルセクションの半径方向及び回転の移動を可能にする、第7の支持素子と、を有する。

【0019】

これらの実施形態のある変形例において、第6及び第7の支持素子の各々は、その中に配置されるスロットを有することができ、支持リングの第4の部分は、第6の支持素子内のスロットに配置されることができ、支持リングの第5の部分は、第7の支持素子内のスロットに配置されることができる。

10

【0020】

これらの実施形態のある変形例において、装置は、電気絶縁支持リングから延びる少なくとも第3及び第4の突出部を更に有することができ、第5の支持素子は、その中に配置されるスロットを有することができ、支持リングの第6の部分は、第5の支持素子内のスロットに配置されることができ、第5の支持素子は、第3及び第4の突出部の間に回転可能に固定されることができる。

【0021】

ある実施形態において、第1の導電性コイルは、銅及び超導材料を含むことができる。

20

【0022】

ある実施形態において、支持構造は、第1の導電性コイルの軸と平行に延びる軸を有する少なくとも1つの支持リングと、支持リングに接続される複数の支持梁と、第1のコイルセクションに各々が接続される複数の第1の支持素子と、第2のコイルセクションに各々が接続される複数の第2の支持素子と、複数のヒンジ部材ペアであって、各々のヒンジ部材ペアが、第1及び第2の支持素子のうちの一方を支持梁の1つに接続する、複数のヒンジ部材ペアと、を有し、第1及び第2の支持素子は、第1及び第2のコイルセクションの互いに対する回転方向及び軸方向の移動を妨げるように構成されることができ、複数のヒンジ部材ペアは、第1及び第2のコイルセクションの半径方向の移動を可能にすることができる。

30

【0023】

これらの実施形態のある変形例において、装置は、少なくとも第2の導電性コイルを有することができ、第1の導電性コイルは磁界コイルでありえ、第2の導電性コイルはシールドコイルでありえ、シールドコイルは、互いに隔てられ間隔をおかれる少なくとも第1及び第2のシールドコイルセクションを有することができ、シールドコイルは、磁界コイルの直径より大きい直径を有することができ、シールドコイルの軸は、磁界コイルによって規定される周の中を通ることができ、支持構造は、第1の導電性コイルが通電される場合及び非通電にされる場合、第1及び第2のシールドコイルセクションの相対的な軸方向位置を固定の状態に維持するとともに、通電される場合に、第1及び第2のシールドコイルセクションの各々が半径方向に拡張することを可能にするように構成されることができる。

40

【0024】

これらの実施形態のある変形例において、支持構造は更に、第1のシールドコイルセクションに各々が接続される複数の第3の支持素子と、第2のシールドコイルセクションに各々が接続される複数の第4の支持素子と、複数の第2のヒンジ部材ペアであって、各々の第2のヒンジ部材ペアが、第3及び第4の支持素子の一方を支持梁の1つに接続する、複数の第2のヒンジ部材ペアと、を有し、第3及び第4の支持素子は、第1及び第2のシールドコイルセクションの互いに対する回転方向及び軸方向の移動を妨げるように構成されることができ、第2のヒンジ部材ペアは、第1及び第2のシールドコイルセクションの

50

半径方向の移動を可能にすることができる。

【 0 0 2 5 】

本発明の別の見地において、互いに隔てられ間隔をおかれる少なくとも第 1 及び第 2 のコイルセクションを有する第 1 の導電性コイルを支持する方法が提供される。方法は、第 1 の導電性コイルが通電される場合及び非通電にされる場合、第 1 及び第 2 のコイルセクションの相対的な軸方向位置を固定の状態に維持すること；及び通電される場合、第 1 及び第 2 のコイルセクションの各々が半径方向に拡張することを可能にすること、を有する。

【 0 0 2 6 】

ある実施形態において、方法は更に、第 2 のコイルセクション上の第 1 のサイトに対し、第 1 のコイルセクション上の第 1 のサイトを、軸方向、半径方向及び回転方向において固定すること；第 2 のコイルセクション上の第 2 のサイトに対し、第 1 のコイルセクション上の第 2 のサイトを軸方向及び回転方向において固定し、その一方、第 1 のコイルセクション上の第 2 のサイトにおける第 1 のコイルセクションの半径方向の移動を可能にするとともに、第 2 のコイルセクション上の第 2 のサイトにおける第 2 のコイルの半径方向の移動を可能にすること；第 2 のコイルセクション上の第 3 のサイトに対し第 1 のコイルセクション上の第 3 のサイトを軸方向において固定し、その一方、第 1 のコイルセクション上の第 3 のサイトにおける第 1 のコイルセクションの半径方向及び回転方向の移動を可能にするとともに、第 2 のコイルセクション上の第 3 のサイトにおける第 2 のコイルセクションの半径方向及び回転方向の移動を可能にすること；及び第 2 のコイルセクション上の第 4 のサイトに対し第 1 のコイルセクション上の第 4 のサイトを軸方向において固定し、その一方、第 1 のコイルセクション上の第 4 のサイトにおける第 1 のコイルセクションの半径方向及び回転方向の移動を可能にするとともに、第 2 のコイルセクション上の第 4 のサイトにおける第 2 のコイルセクションの半径方向及び回転方向の移動を可能にすること、を有する。

【 0 0 2 7 】

これらの実施形態のある変形例において、方法は更に、少なくとも第 2 の導電性コイルを支持することを有することができ、第 1 の導電性コイルは磁界コイルでありえ、第 2 の導電性コイルはシールドコイルでありえ、シールドコイルは、互いに隔てられ間隔をおかれる少なくとも第 1 及び第 2 のシールドコイルセクションを有することができ、シールドコイルは、磁界コイルの直径より大きい直径を有することができ、シールドコイルの軸は、磁界コイルによって規定される周の中を通ることができる。方法は更に、第 1 の導電性コイルが通電される場合及び非通電にされる場合、第 1 及び第 2 のシールドコイルセクションの相対的な軸方向位置を固定された状態に維持するとともに、通電される場合、第 1 及び第 2 のシールドコイルセクションの各々が半径方向に拡張することを可能にすることを有する。

【 0 0 2 8 】

これらの実施形態のある変形例において、方法は更に、磁界コイル及びシールドコイルの少なくとも一方が非通電にされる場合、磁界コイルの軸及びシールドコイルの軸がアラインされない状態にされること、磁界コイル及びシールドコイルの両方が通電される場合、磁界コイルの軸及びシールドコイルの軸が同軸にアラインされること、を有する。

【 0 0 2 9 】

これらの実施形態のある変形例において、方法は更に、第 2 のシールドコイルセクション上の第 1 のサイトに対して、第 1 のシールドコイルセクション上の第 1 のサイトを軸方向、半径方向及び回転方向において固定すること；第 2 のシールドコイルセクション上の第 2 のサイトに対して、第 1 のシールドコイルセクション上の第 2 のサイトを軸方向及び回転方向において固定し、その一方、第 1 のシールドコイルセクション上の第 2 のサイトにおける第 1 のシールドコイルセクションの半径方向の移動を可能にするとともに、第 2 のシールドコイルセクション上の第 2 のサイトにおける第 2 のシールドコイルの半径方向の移動を可能にすること；第 2 のシールドコイルセクション上の第 3 のサイトに対して第

1のシールドコイルセクション上の第3のサイトを軸方向において固定し、その一方、第1のシールドコイルセクション上の第3のサイトにおける第1のシールドコイルセクションの半径方向及び回転の移動を可能にするとともに、第2のシールドコイルセクション上の第3のサイトにおける第2のシールドコイルセクションの半径方向及び回転の移動を可能にすること；及び第2のシールドコイルセクション上の第4のサイトに対して第1のシールドコイルセクション上の第4のサイトを軸方向において固定し、その一方、第1のシールドコイルセクション上の第4のサイトにおける第1のシールドコイルセクションの半径方向及び回転の移動を可能にするとともに、第2のシールドコイルセクション上の第4のサイトにおける第2のシールドコイルセクションの半径方向及び回転の移動を可能にすること、を有する。

10

【0030】

ある実施形態において、方法は更に、第1のコイルセクション及び第2のコイルセクションの一方に各々が接続される複数のヒンジ結合の支持素子を通じて通電される場合、第1及び第2のコイルセクションの各々が半径方向に拡張することを可能にすることを有することができる。

【0031】

これらの実施形態のある変形例において、方法は更に、少なくとも第2の導電性コイルを支持することを有し、第1の導電性コイルは、磁界コイルでありえ、第2の導電性コイルはシールドコイルでありえ、シールドコイルは、互いに隔てられ間隔をおかれる第1及び第2のシールドコイルセクションを少なくとも有することができ、シールドコイルは、磁界コイルの直径より大きい直径を有することができ、シールドコイルの軸は、磁界コイルによって規定される周の中を通ることができる。方法は更に、第1の導電性コイルが通電され及び非通電にされる場合に、第1及び第2のシールドコイルセクションの相対的な軸方向位置を固定の状態に維持すること、及び第1のシールドコイルセクション及び第2のシールドコイルセクションの一方に各々が接続される複数の付加のヒンジ結合支持素子を通じて通電される場合、第1及び第2のシールドコイルセクションの各々が半径方向に拡張することを可能にすること、を有する。

20

【0032】

本発明の更に別の見地において、装置は、導電性磁界コイルと、導電性シールドコイルとであって、シールドコイルが、磁界コイルの直径より大きい直径を有し、シールドコイルの軸が、磁界コイルによって規定される周の中を通る、導電性シールドコイルと、磁界コイル及びシールドコイルを支持するように構成される支持構造と、を有する。支持構造は、磁界コイル及びシールドコイルのうちの少なくとも一方が非通電にされる場合、磁界コイルの軸及びシールドコイルの軸がアラインされないようにし、磁界コイル及びシールドコイルの両方が通電される場合、磁界コイルの軸及びシールドコイルの軸がアラインされるようにする。

30

【0033】

ある実施形態において、磁界コイルは、互いに隔てられ間隔をおかれる第1及び第2の磁界コイルセクションを少なくとも有することができ、磁界コイルは、互いに隔てられ間隔をおかれる少なくとも第1及び第2の磁界コイルセクションを有することができる。

40

【0034】

これらの実施形態のある変形例において、支持構造は、導電性磁界コイルが通電される場合及び非通電にされる場合、第1及び第2の磁界コイルセクションの相対的な軸方向位置を固定の状態に維持するとともに、通電される場合、第1及び第2の磁界コイルセクションの各々が半径方向に拡張することを可能にするように構成されることができ、支持構造は更に、導電性シールドコイルが通電される場合及び非通電にされる場合、第1及び第2のシールドコイルセクションの相対的な軸方向位置を固定の状態に維持するとともに、通電される場合、第1及び第2のシールドコイルセクションの各々が半径方向に拡張することを可能にするように構成されることができ。

【0035】

50

これらの実施形態のある変更例において、支持構造は更に、磁界コイルの軸及びシールドコイルの軸と平行に延びる軸を有する電気絶縁支持リングと、磁界コイル及びシールドコイルの軸方向位置を互いに対し固定し、その一方、磁界コイルの半径方向の拡張及びシールドコイルの半径方向の拡張を可能にするように、磁界コイル、シールドコイル及び電気絶縁支持リングに機能的に係合する複数の支持素子と、を有し、磁界コイルの半径方向の拡張の量は、シールドコイルの半径方向の拡張の量とは異なる。

【0036】

本発明は、添付の図面を参照して検討される例示の実施形態の詳細な説明からより容易に理解される。

【図面の簡単な説明】

10

【0037】

【図1】磁気共鳴イメージング(MRI)装置の例示的な実施形態を示す図。

【図2】MRI装置において用いられることができる超電導磁石システムの1つの例示の実施形態を示す機能図。

【図3】超電導磁石システムの1つの例示的な実施形態の一部を示す概念図。

【図4】超電導磁石システム及び超電導磁石システム用支持構造の1つの例示的な実施形態の一部を示す第1の斜視図。

【図5】超電導磁石システム及び超電導磁石システム用支持構造の1つの例示的な実施形態の一部を示す第2の斜視図。

【図6】超電導磁石システム及び超電導磁石システム用支持構造の1つの例示的な実施形態の一部を示す側面図。

20

【図7】超電導磁石システム及び超電導磁石システム用支持構造の1つの例示的な実施形態の一部を示す正面図。

【図8】超電導磁石システム及び超電導磁石システム用支持構造の1つの例示的な実施形態の一部を示す上面図。

【図9】超電導磁石システム及び超電導磁石システム用支持構造の1つの例示的な実施形態の一部を示す下面図。

【図10】超電導磁石システムの一部及び超電導磁石システム用支持構造の1つの例示的な実施形態の底部の拡大図。

【図11】超電導磁石システム及び超電導磁石システム用支持構造の第1の例示の実施形態の機能動作を示す第1の図。

30

【図12】超電導磁石システム及び超電導磁石システム用支持構造の第1の例示の実施形態の機能動作を示す第2の図。

【図13】超電導磁石システム及び超電導磁石システム用支持構造の第2の例示の実施形態の機能動作を示す第1の図。

【図14】超電導の磁石システム及び超電導磁石システム用支持構造の第2の例示の実施形態の機能動作を示す第2の図。

【図15】超電導磁石システムの別の例示的な実施形態の一部及び超電導磁石システム用支持構造を示す斜視図。

【図16】図15に示される超電導磁石システム及び超電導磁石システム用支持構造の例示的な実施形態の一部の拡大図。

40

【図17】超電導磁石システムの1又は複数の導電性コイルを支持する方法の実施形態を示すフローチャート。

【発明を実施するための形態】

【0038】

本発明は、本発明の実施形態が図示される添付の図面を参照して以下により詳しく記述される。しかしながら、本発明は、異なる形態で具体化されることができ、ここに示される実施形態に制限されるものとして解釈されるべきでない。むしろ、これらの実施形態は、本発明の例を示すものとして提供される。本開示及び請求項において、あるものが、およそその特定の値を有すると記述される場合、それは当該値の10%以内であることを意味

50

し、あるものが、約を付されて特定の値を有すると記述される場合、それは当該値の25%以内であることを意味する。

【0039】

図1は、磁気共鳴イメージング(MRI)装置100の例示的な実施形態を示す。MRI装置100は、磁石システム102と、患者10を保持するように構成される患者テーブル104と、MRI装置100が画像を生成する患者10の少なくとも一部を少なくとも部分的に囲むように構成される勾配コイル106と、無線周波数信号をイメージングされている患者10の少なくとも一部に適用し、磁界のアライメントを変更するように構成される無線周波数コイル108と、を有する。MRI装置の一般の動作は、良く知られており、従って、ここで繰り返されない。

10

【0040】

図2は、MRI装置100のようなMRI装置において用いられることができる超電導磁石システム200の1つの例示の実施形態を示す。特に、超電導磁石システム200は、MRI装置100の磁石システム102の一実施形態でありうる。概して、超電導磁石システム200が、図2に示されない多くの他のコンポーネントを有することができることが理解されるべきである。いくつかのコンポーネントは、図示を明確にするため及び後述される本発明の見地を隠さないように、図2から省かれている。

【0041】

超電導磁石システム200は、筐体又は外側真空コンテナ211を有するクライオスタット210と、筐体211内に配置される熱シールド213と、ヘリウムタンク212とを有する。

20

【0042】

超電導磁石システム200は、クライオスタット210のヘリウムタンク内に配置される1又は複数の導電性コイル230及び永久電流スイッチ240と、クライオスタット210の外側に(外部に)配置される電源250と、を有する。超電導磁石システム200は更に、ヘリウムタンク212からのヘリウムを再凝縮するためにコンプレッサ270によって駆動されるコールドヘッド260を有する。超電導磁石システム200は更に、超電導磁石システム200のさまざまな動作を制御することができる磁石コントローラ280を有する。

【0043】

30

超電導磁石システム200は更に、第1及び第2の導電性リード線201及び202、並びに第3及び第4の導電性リード線203及び204を有する。第1及び第2の導電性リード線201及び202は、電気接点205において互いに接続され、第3及び第4の導電性リード線203及び204は、電気接点206において互いに接続される。第1の導電性リード線201は、スイッチ215を通じて電源250に接続される。第3の導電性リード線203は、電源250にも接続される。第2及び第4の導電性リード線202及び204は、導電性コイル230の両端に接続される。

【0044】

有利には、超電導磁石システム200は、ヘリウム槽タイプのシステムである。ある実施形態において、ヘリウムタンク212は、典型的なヘリウム槽タイプのシステム内のヘリウムボリュームと比較して、極低温流体の相対的に小さい量を含むことができ、例えば50乃至100リットル(又はより少ない量)の液体ヘリウムを含むことができる。

40

【0045】

永久電流スイッチ240は、ヘリウムタンク212内に配置されるとともに、第2及び第4の導電性リード線202及び204を通じて導電性コイル230の両端に接続される超電導ワイヤの部品を含むことができ、かかるワイヤは、小さいヒータに取り付けられる。

【0046】

超電導磁石システム200は、さまざまなロケーションで、極低温流体(例えば液体ヘリウム)のレベルで、例えば温度のようなさまざまな動作パラメータを測定し、コンプレ

50

ッサ 270 のようなコンポーネントが適切に動作しているかどうか、例えば停電により電力が失われたかどうか等を測定する 1 又は複数のセンサ（図 2 に図示せず）を有することができる。各々のセンサは、磁石コントローラ 280 に接続され、磁石コントローラ 280 に、対応するセンサ信号を供給することができる。

【0047】

磁石コントローラ 280 は、プロセッサと、不揮発性メモリ及び揮発性メモリを含むメモリとを有することができる。不揮発性メモリは、超電導磁石システム 200 の動作を制御するための 1 又は複数のアルゴリズムをプロセッサに実行させるプログラムコード又は命令（ソフトウェア）を記憶することができる。ある実施形態において、第 1 及び第 3 の導電リード線 201 及び 203 はそれぞれ、格納式であってもよい。

10

【0048】

超電導磁石システム 200 の最初の動作の間、格納式リード線 201 及び 203 は、ヘリウムタンク 212 に挿入され、永久電流スイッチ 240 のワイヤは、それが抵抗性になるように、その遷移温度を上回って加熱される。ある実施形態において、第 1 及び第 3 の導電性リード線 201 及び 203 はそれぞれ、その端部に突出ピンを有することができ、突出ピンは、各電気接点 205 及び 206 に提供されるソケットに受け取られ、結合されることができる。

【0049】

導電性コイル 230 は、導電性コイル 230 に電流を流す外部電源 250 によって最初に通電される。永久電流スイッチ 240 のワイヤは、最初の動作の間、加熱されるので、その抵抗は、導電性コイル 230 の抵抗より実質的に大きく、従って、外部電源からの電流が、導電性コイル 230 を通る。

20

【0050】

永久モードの動作に遷移するために、導電性コイル 230 を通る電流は、所望の磁界が得られるまで調整され、その後、永久電流スイッチ 240 のヒータは、オフにされる。ヒータがオフにされた後、永久電流スイッチ 240 内の超電導体ワイヤは、その超電導温度まで冷却し、導電性コイル 230 を短絡させ、これは、上述したように超電導である。電源の電流は、逡減し、リード線 201 及び 203 は、ヘリウムタンク 212 から引っ込められる。

【0051】

30

図 3 は、超電導磁石システム 300 の 1 つの例示的な実施形態の一部の概念図である。特に、図 3 は、例えば患者の組織のような関心領域 12 の 1 又は複数の画像を生成するために、例えば MRI 装置 100 のような MRI 装置において用いられることができる超電導磁石システム 300 の 1 つの例示的な実施形態の一部の断面を概念的に示す。図示を簡単にするために、例えば勾配コイル、RF コイル、その他の MRI イメージャのコンポーネントは、図 3 から省かれている。超電導磁石システム 300 は、MRI 装置 100 の磁石システム 102 の一実施形態でありうる。

【0052】

超電導磁石システム 300 は、真空領域 321 によって囲まれる又は実質的に（すなわち少なくとも 90 % を）囲まれる内側チャンバ 322 を有するクライオスタット 320 を有する。内側チャンバ 322 内には、1 又は複数の超電導コイル 328（以下「磁界コイル 328」と称する）を有する超電導磁石及び極低温流体 323 が配置される。ある実施形態において、極低温流体 323 は、液体ヘリウムを含むことができる。ある実施形態において、ヘリウムガスの極低温流体が更に、クライオスタット 320 の内側チャンバ 322 内に配置されることができる。ある実施形態において、1 又は複数のシールドコイル 318 が更に、内側チャンバ 322 内に配置される。ある実施形態において、シールドコイル 318 は、クライオスタット 320 内に配置されなくてもよい。

40

【0053】

図 3 に概念的に示されるように、磁界コイル 328 は、第 1、第 2、第 3 及び第 4 の磁界コイルセクション 328a、328b、328c 及び 328d を有し、それらは、互い

50

に隔てられ間隔をおかれているが、単一コイルを形成するように互いに電氣的に接続されている（図3には図示せず）。図3は、磁界コイルセクションの数が4である実施形態を示しているが、他の実施形態において、磁界コイルセクションの数は4とは異なるものでもよい。同様に、シールドコイル318は、第1及び第2のシールドコイルセクション318a及び318bを有し、互いに隔てられ及び間隔をおかれているが、単一コイルを形成するように互いに電氣的に接続される（図3に図示せず）。図3は、シールドコイルセクションの数が2である実施形態を示しているが、他の実施形態において、シールドコイルセクションの数は、2とは異なるものでもよい。

【0054】

図4 - 図10は、超電導磁石システム及び超電導磁石システム用の支持構造400の1つの例示的な実施形態の一部を示すさまざまな図である。ある実施形態において、図4 - 図10の超電導磁石システムは、磁石システム102、超電導磁石システム200及び/又は超電導磁石システム300を有することができる。

【0055】

特に、図4は、超電導磁石システム及び超電導磁石システム用支持構造400の1つの例示的な実施形態の一部の第1の斜視図であり、図5は、超電導磁石システム及び超電導磁石システム用支持構造の1つの例示的な実施形態の一部の第2の斜視図であり、図6は、超電導磁石システム及び超電導磁石システム用支持構造の1つの例示的な実施形態の一部の側面図であり、図7は、超電導磁石システム及び超電導磁石システム用支持構造の1つの例示的な実施形態の一部の正面図であり、図8は、超電導磁石システム及び超電導磁石システム用支持構造の1つの例示的な実施形態の一部の上面図であり、図9は、超電導磁石システム及び超電導磁石システム用支持構造の1つの例示的な実施形態の一部の底面図であり、図10は、超電導磁石システム及び超電導磁石システム用支持構造の1つの例示的な実施形態の底部の一部の拡大図である。

【0056】

支持構造400のさまざまな構成要素は、後で詳しく述べるように図4 - 図10の1又は複数に図示されうるが、図示の明確さのために、すべての構成要素が各図面において標識付けされているわけではない。さまざまな方向が、図4 - 図10の1又は複数において標識付けされており、以下の記述において使用される。特に、図4 - 図10は、X、Y、Z及びR方向（R方向は図7にのみ示される）を集合的に示す。以下の記述において、X方向は軸方向と呼ばれ、R方向は回転方向と呼ばれる。Y - Z平面の構成要素又はコンポーネントの拡張又は移動は、半径方向の拡張又は半径方向の移動と呼ばれる。

【0057】

支持構造400は、第1の導電性コイル（例えば磁界コイル328）及び第2の導電性コイル（例えばシールドコイル318）を支持するための構成要素又はコンポーネントで構成される概略の実施形態を示す。しかしながら、他の実施形態において、支持構造400の変更例は、磁界コイル328のみ又はシールドコイル318のみを支持するための構成要素又はコンポーネントのみを有するものでもよい。更に、支持構造400の変更例は、4より多い又は少ない磁界コイルセクション及び/又は2より多くのシールドコイルセクションを支持するように構成されることができる。

【0058】

以下により詳しく述べるように、支持構造400は、とりわけ、第1及び第2の磁界コイルセクション328a及び328bを支持し、及び磁界コイル328が通電される場合及び非通電にされる場合、第1及び第2の磁界コイルセクション328a及び328bの相対的な軸方向位置を固定の状態に維持し、一方で、通電される場合、第1及び第2の磁界コイルセクション328a及び328bが半径方向に拡張することを可能にする。同様に、支持構造400は、とりわけ、第3及び第4の磁界コイルセクション328c及び328dを支持し、磁界コイル328が通電される場合及び非通電にされる場合、第3の及び第4の磁界コイルセクション328c及び328dの相対的な軸方向位置を固定の状態に維持し、その一方、通電される場合、第3及び第4の磁界コイルセクション328c及

び 3 2 8 d が半径方向に拡張することを可能にするように構成されることができる。更に、支持構造 4 0 0 は、とりわけ、第 1 及び第 2 のシールドコイルセクション 3 1 8 a 及び 3 1 8 b を支持し、シールドコイル 3 1 8 が通電される場合及び非通電にされる場合、第 1 及び第 2 のシールドコイルセクション 3 1 8 a 及び 3 1 8 b の相対的な軸方向位置を固定の状態に維持し、その一方、通電される場合、第 1 及び第 2 のシールドコイルセクション 3 2 8 a 及び 3 2 8 b が半径方向に拡張することを可能にするように構成されることができる。さらに、ある実施形態において、支持構造 4 0 0 は、とりわけ、磁界コイル 3 2 8 及び / 又はシールドコイル 3 1 8 が非通電にされる場合、磁界コイル 3 2 8 の軸及びシールドコイル 3 1 8 のアラインされないよう又は互いからオフセットされるように、及び磁界コイル 3 2 8 及びシールドコイル 3 1 8 両方が通電される場合、磁界コイル 3 2 8 の軸及びシールドコイル 3 1 8 の軸が互いに同軸にアラインされるように、磁界コイル 3 2 8 及びシールドコイル 3 1 8 を支持する。

10

【 0 0 5 9 】

支持構造 4 0 0 は、第 1 の支持素子 4 0 2、第 2 の支持素子 4 2 0 a、第 3 の支持素子 4 2 0 b 及び第 4 の支持素子 4 2 0 c を有する。有利には、第 1、第 2、第 3、及び第 4 の支持素子 4 0 2、4 2 0 a、4 2 0 b 及び 4 2 0 c は各々、電氣的に非導電性又は電気絶縁性材料を有することができる。ある実施形態において、少なくとも第 2 の支持素子 4 2 0 a、第 3 の支持素子 4 2 0 b 及び第 4 の支持素子 4 2 0 c の各々は、X、Y、Z 及び R 方向においてある程度変形可能である可撓性コンポーネントを有することができる。ある実施形態において、第 1 の支持素子 4 0 2 は、より高い剛性の構造を有することができる。ある実施形態において、第 1 の支持素子 4 0 2 は、例えばクライオスタット 2 1 0 及び / 又はクライオスタット 3 2 0 のようなクライオスタットの内部壁に、（直接又は間接的に）固定的に取り付けられることができる。

20

【 0 0 6 0 】

支持構造 4 0 0 は更に、支持リング 4 1 0 を有し、支持リングは電気絶縁でありうる。支持リング 4 1 0 は、磁界コイル 3 2 8 及びシールドコイル 3 1 8 に実質的に平行にアラインされる。より具体的には、支持リング 4 1 0 の軸は、磁界コイル 3 2 8 の軸及びシールドコイル 3 1 8 の軸と平行に X 方向に延びる。ある実施形態において、磁界コイル 3 2 8 及びシールドコイル 3 1 8 が通電される場合、支持リング 4 1 0 の軸は、磁界コイル 3 2 8 及びシールドコイル 3 1 8 の軸に同軸にアラインされることができる。支持リング 4 1 0 は、絶縁リングコネクタ 4 1 2 を通じて、第 1 の支持素子 4 0 2 に固定的に取り付けられる。図 1 0 に最もよく示されるように、支持リングは、概してその「底部」部分で、突出部の複数の対 4 5 0 a、4 5 0 b 及び 4 5 0 c と関連付けられ、突出部の対の昨日及び目的については、以下に記述される。

30

【 0 0 6 1 】

第 1 の支持素子 4 0 2 は、第 1 の磁界コイルセクション 3 2 8 a 上の第 1 のサイト（例えば第 1 の磁界コイルセクション 3 2 8 a の「上部」）に配置される第 1 の部分と、第 2 の磁界コイルセクション 3 2 8 b 上の第 1 のサイト（例えば第 2 の磁界コイルセクション 3 2 8 b の「上部」）に配置される第 2 の部分と、を有する。第 1 の支持素子 4 0 2 は、第 2 の磁界コイルセクション 3 2 8 b 上の第 1 のサイト（例えば第 2 の磁界コイルセクション 3 2 8 b の「上部」）に対し、第 1 の磁界コイルセクション 3 2 8 a 上の第 1 のサイト（例えば第 1 の磁界コイルセクション 3 2 8 a の「上部」）を軸方向（X 方向）、半径方向（Y - Z 平面）及び回転方向（R 方向）において固定する。すなわち、図 4 - 図 1 0 の実施形態において、第 1 の磁界コイルセクション 3 2 8 a 及び第 2 の磁界コイルセクション 3 2 8 b の上部は、第 1 の支持素子 4 0 2 によって、軸方向、半径方向及び回転方向において互いに対し所定の位置に固定される。

40

【 0 0 6 2 】

第 2 の支持素子 4 2 0 a は、第 1 の磁界コイルセクション 3 2 8 a 上の第 2 のサイト（例えば、第 1 の磁界コイルセクション 3 2 8 a の「底部」）に配置される第 1 の部分と、第 2 の磁界コイルセクション 3 2 8 b 上の第 2 のサイト（例えば、第 2 の磁界コイルセク

50

ション 3 2 8 b の「底部」) に配置される第 2 の部分と、を有する。図 4 及び図 1 0 に最も良く示されるように、第 2 の支持素子 4 2 0 a は更に、その中に形成されるスロットを有し、支持リング 4 1 0 の一部がスロットに配置される。第 2 の支持素子 4 2 0 a の軸方向 (X 方向) の移動は、そのスロット内に挿入されている支持リング 4 1 0 の部分によって抑制される。図 1 0 に最も良く示されるように、第 2 の支持素子 4 2 0 a は、突出部の対 4 5 0 b によって支持リング 4 1 0 に対し回転方向 (R 方向) において固定される。すなわち、突出部の対 4 5 0 b は、第 2 の支持素子 4 2 0 a の回転移動を抑制し又は防ぐように動作する。上述したように支持リング 4 1 0 との相互作用によって、第 2 の支持素子 4 2 0 a は、第 2 の磁界コイルセクション 3 2 8 b 上の第 2 のサイト (例えば、第 2 の磁界コイルセクション 3 2 8 b の底部) に対し、第 1 の磁界コイルセクション 3 2 8 a 上の第 2 のサイト (例えば、第 1 の磁界コイルセクション 3 2 8 a の底部) を軸方向 (X 方向) 及び回転方向 (R 方向) において固定するが、第 2 の支持素子 4 2 0 a のスロット内で支持リング 4 1 0 が半径方向に摺動することを可能にすることによって、第 1 及び第 2 の磁界コイルセクション 3 2 8 a 及び 3 2 8 b の半径方向 (実質的に Y 方向) の移動又は拡張を、それらの個々の第 2 のサイト (例えばその底部) において可能にする。

【 0 0 6 3 】

第 3 の支持素子 4 2 0 b は、第 1 の磁界コイルセクション 3 2 8 a 上の第 3 のサイト (例えば第 1 の磁界コイルセクション 3 2 8 a の「上部」から約 9 0 度回転される第 1 の側部) に配置される第 1 の部分と、第 2 の磁界コイルセクション 3 2 8 b 上の第 3 のサイト (例えば第 2 の磁界コイルセクション 3 2 8 b の「上部」から約 9 0 度回転される第 1 の側部) に配置される第 2 の部分と、を有する。図 4 に最も良く示されるように、第 3 の支持素子 4 2 0 b は更に、その中に形成されるスロットを有し、支持リング 4 1 0 の一部がスロット内に配置される。第 3 の支持素子 4 2 0 b の軸方向 (X 方向) の移動は、そのスロット内に挿入されている支持リング 4 1 0 の部分によって抑制される。上述したように支持リング 4 1 0 との相互作用によって、第 3 の支持素子 4 2 0 b は、第 3 の磁界コイルセクション 3 2 8 b 上の第 3 のサイトに対し、第 1 の磁界コイルセクション 3 2 8 a 上の第 3 のサイトを軸方向 (X 方向) において固定するが、第 3 の支持素子 4 2 0 b のスロット内で支持リング 4 1 0 が半径方向及び回転方向に摺動することを可能にすることによって、第 1 及び第 2 の磁界コイルセクション 3 2 8 a 及び 3 2 8 b の回転 (R 方向) 及び半径方向 (実質的に Y 方向) における移動又は拡張を、それらの個々の第 3 のサイト (例えばその第 1 の側部) において可能にする。

【 0 0 6 4 】

第 4 の支持素子 4 2 0 c は、構造及び動作において第 3 の支持素子 4 2 0 b と同様である。特に、第 4 の支持素子 4 2 0 c は、第 1 の磁界コイルセクション 3 2 8 a 上の第 4 のサイト (例えば第 1 の磁界コイルセクション 3 2 8 a の「上部」から約 9 0 度回転された第 2 の側部) に配置される第 1 の部分と、第 2 の磁界コイルセクション 3 2 8 b 上の第 4 のサイト (例えば第 2 の磁界コイルセクション 3 2 8 b の「上部」から約 9 0 度回転された第 2 の側部) に配置される第 2 の部分と、を有する。第 4 の支持素子 4 2 0 c は更に、その中に形成されるスロットを有し、支持リング 4 1 0 の一部が、スロット内に配置される。第 4 の支持素子 4 2 0 c の軸方向 (X 方向) の移動は、そのスロット内に挿入されている支持リング 4 1 0 の部分によって抑制される。上述したような支持リング 4 1 0 との相互作用によって、第 4 の支持素子 4 2 0 c は、第 2 の磁界コイルセクション 3 2 8 b 上の第 4 のサイトに対し、第 1 の磁界コイルセクション 3 2 8 a 上の第 4 のサイトを軸方向 (X 方向) において固定するが、第 4 の支持素子 4 2 0 c のスロット内で支持リング 4 1 0 が半径方向及び回転方向に摺動することを可能にすることによって、第 1 及び第 2 の磁界コイルセクション 3 2 8 a 及び 3 2 8 b の回転 (R 方向) 及び半径方向の (実質的に Y 方向) の移動又は拡張を、それらの個々の第 4 のサイト (例えばその第 2 の側部) において可能にする。

【 0 0 6 5 】

上述したように、ある実施形態において、支持構造は、一対のコイルセクションのみを

支持することができ、その場合、図4 - 図10に示される上述されていない付加の素子は省かれることができる。しかしながら、図4 - 図10に示される特定の支持構造400は、4つの磁界コイルセクション328a、328b、328c及び328dを有する磁界コイル328を支持し、更に2つのシールドコイルセクション318a及び318bを有するシールドコイル318を支持するように構成される。このために、支持構造400は、後述するように付加の素子又はコンポーネントを有する。

【0066】

特に、支持構造400は、第3の及び第4の磁界リングセクション328c及び328dを支持するための第5の支持素子430a、第6の支持素子430b、及び第7の支持素子430cを有する。有利には、第5、第6及び第7の支持素子430a、430b、430cの各々は、非導電性又は電気絶縁性材料を有することができる。ある実施形態において、第5、第6及び第7の支持素子430a、430b、430cの各々は、X、Y、Z及びR方向にある程度変形可能である可撓性コンポーネントを有することができる。更に、支持構造400は、第1及び第2のシールドリングセクション318a及び318bを支持するための第8の支持素子440a、第9の支持素子440b及び第10の支持素子440cを有する。有利には、第8、第9及び第10の支持素子440a、440b、440cの各々は、非導電性又は電気絶縁性材料を有することができる。

【0067】

第5の支持素子430aは、第3の磁界コイルセクション328c上の第2のサイト（例えば第3の磁界コイルセクション328cの「底部」）に配置される第1の部分と、第4の磁界コイルセクション328d上の第2のサイト（例えば第4の磁界コイルセクション328dの「底部」）に配置される第2の部分と、を有する。図4、図6及び図10に最も良く示されるように、第5の支持素子430aは更に、その中に形成されるスロットを有し、支持リング410の一部が、スロット内に配置される。第5の支持素子430aの軸方向（X方向）の移動は、そのスロット内に挿入されている支持リング410の部分によって抑制される。図10に最も良く示されるように、第5の支持素子430aは、突出部の対450cによって支持リング410に対し回転方向（R方向）において固定される。すなわち、突出部の対450cは、第5の支持素子430aの回転移動を抑制し又は防ぐように動作する。上述したように支持リング410との相互作用によって、第5の支持素子430aは、第4の磁界コイルセクション328d上の第2のサイト（例えば第4の磁界コイルセクション328dの底部）に対し、第3の磁界コイルセクション328c上の第2のサイト（例えば第3の磁界コイルセクション328cの底部）を軸方向（X方向）及び回転方向（R方向）において固定するが、第5の支持素子430aのスロット内で支持リング410が半径方向に摺動することを可能にすることによって、第1及び第2の磁界コイルセクション328a及び328bの半径方向（実質的にY方向）の移動又は拡張を、それらの個々の第2のサイト（例えば、その底部で）において可能にする。

【0068】

第6の支持素子430bは、第3の磁界コイルセクション328c上の第3のサイト（例えば第3の磁界コイルセクション328cの「上部」から約90度回転された第1の側部）で配置される第1の部分と、第4の磁界コイルセクション328d上の第3のサイト（例えば第4の磁界コイルセクション328dの「上部」から約90度回転された第1の側部）に配置される第2の部分と、を有する。図4、図5、図6、図8及び図9に最も良く示されるように、第6の支持素子430bは更に、その中に形成されるスロットを有し、支持リング410の一部がスロット内に配置される。第6の支持素子430bの軸方向（X方向）の移動は、そのスロット内に挿入されている支持リング410の部分によって抑制される。上述したように支持リング410との相互作用によって、第6の支持素子430bは、第3の磁界コイルセクション328b上の第3のサイトに対し、第3の磁界コイルセクション328c上の第3のサイトを軸方向（X方向）において固定し、第6の支持素子430bのスロット内で支持リング410が半径方向及び回転方向に摺動することを可能にすることによって、第1及び第2の磁界コイルセクション328a及び328b

の回転（R方向）及び半径方向（実質的にY方向）の移動又は拡張を、それらの個々の第3のサイト（例えば、その第1の側部）において可能にする。

【0069】

第7の支持素子430cは、構造及び動作において第6の支持素子430bと同様である。特に、第7の支持素子430cは、第3の磁界コイルセクション328c上の第4のサイト（例えば第3の磁界コイルセクション328cの「上部」から約90度回転された第2の側部）に配置される第1の部分と、第4の磁界コイルセクション328d上の第4のサイト（例えば第4の磁界コイルセクション328dの「上部」から約90度回転された第2の側部）に配置される第2の部分と、を有する。図8及び図9に最も良く示されるように、第7の支持素子430cは更に、その中に形成されるスロットを有し、支持リング410の一部が、スロット内に配置される。第7の支持素子430cの軸方向（X方向）の移動は、そのスロット内に挿入されている支持リング410の部分によって抑制される。上述したように支持リング410との相互作用によって、第7の支持素子430cは、第4の磁界コイルセクション328d上の第4のサイトに対し、第3の磁界コイルセクション328c上の第4のサイトを軸方向（X方向）において固定するが、第7の支持素子430cのスロット内で支持リング410が半径方向及び回転方向に摺動することを可能にすることによって、第1及び第2の磁界コイルセクション328a及び328bの回転（R方向）及び半径方向（実質的にY方向）の移動又は拡張を、それらの個々の第4のサイト（例えばその第2の側部）において可能にする。

【0070】

第8の支持素子440aは、第1のシールドコイルセクション318a（例えば第1のシールドコイルセクション318aの「底部」）上の第2のサイトに配置される第1の部分と、第2のシールドコイルセクション318b（例えば第2のシールドコイルセクション318bの「底部」）上の第2のサイトに配置される第2の部分と、を有する。図4及び図10に最も良く示されるように、第8の支持素子440aは更に、その中に形成されるスロットを有し、支持リング410の一部はスロット内に配置される。第8の支持素子440aの軸方向（X方向）における移動は、そのスロット内に挿入されている支持リング410の部分によって抑制される。図10に最も良く示されるように、第8の支持素子440aは、突出部の対450aによって支持リング410に対し回転方向（R方向）に固定される。すなわち、突出部の対450aは、第8の支持素子440aの回転移動を抑制し又は防ぐために動作させる。上述したように支持リング410との相互作用によって、第8の支持素子440aは、第2のシールドコイルセクション318b上の第2のサイト（例えば第2のシールドコイルセクション318bの底部）に対し、第1のシールドコイルセクション318a上の第2のサイト（例えば第1のシールドコイルセクション318aの底部）を軸方向（X方向）及び回転方向（R方向）において固定するが、第2に支持素子420aのスロット内で支持リング410が半径方向に摺動することを可能にすることによって、第1及び第2の磁界コイルセクション328a及び328bの半径方向（実質的にY方向）の移動又は拡張をそれらの個々の第2のサイト（例えばその底部）において可能にする。

【0071】

第9の支持素子440bは、第1のシールドコイルセクション318a上の第3のサイト（例えば第1のシールドコイルセクション318aの「上部」から約90度回転された第1の側部）に配置される第1の部分と、第2のシールドコイルセクション318b上の第3のサイトに配置される第2の部分（例えば第2のシールドコイルセクション318bの「上部」から約90度回転される第1の側部）と、を有する。最も図4に示すように、第9の支持素子440bは更に、その中に形成されるスロットを有し、支持リング410の一部がスロット内に配置される。第9の支持素子440bの軸方向（X方向）の移動は、そのスロット内に挿入されている支持リング410の部分によって抑制される。上述したように支持リング410との相互作用によって、第9の支持素子440bは、第3の磁界コイルセクション328b上の第3のサイトに対し、第1のシールドコイルセクショ

ン 3 1 8 a 上の第 3 のサイトを軸方向 (X 方向) において固定するが、第 9 の支持素子 4 4 0 b のスロット内で支持リング 4 1 0 が半径方向及び回転方向に摺動することを可能にすることによって、第 1 及び第 2 の磁界コイルセクション 3 2 8 a 及び 3 2 8 b の回転 (R 方向) 及び半径方向 (実質的に Y 方向) の移動又は拡張を、それらの個々の第 3 のサイト (例えばその第 1 の側部) において可能にする。

【 0 0 7 2 】

第 1 0 の支持素子 4 4 0 c は、構造及び動作において第 9 の支持素子 4 4 0 b と同様である。特に、第 1 0 の支持素子 4 4 0 c は、第 1 のシールドコイルセクション 3 1 8 a 上の第 4 のサイト (例えば第 1 のシールドコイルセクション 3 1 8 a の「上部」から約 9 0 度回転された第 2 の側部) に配置される第 1 の部分と、第 2 のシールドコイルセクション 3 1 8 b 上の第 4 のサイト (例えば第 2 のシールドコイルセクション 3 1 8 b の「上部」から約 9 0 度回転される第 2 の側部) に配置される第 2 の部分と、を有する。第 1 0 の支持素子 4 4 0 c は更に、その中に形成されるスロットを有し、支持リング 4 1 0 の一部がスロット内に配置される。第 1 0 の支持素子 4 4 0 c の軸方向の (X 方向) 移動は、そのスロット内に挿入されている支持リング 4 1 0 の部分によって抑制される。上述したように支持リング 4 1 0 との相互作用によって、第 1 0 の支持素子 4 4 0 c は、第 2 のシールドコイルセクション 3 1 8 b 上の第 4 のサイトに対し、第 1 のシールドコイルセクション 3 1 8 a 上の第 4 のサイトを軸方向 (X 方向) において固定するが、第 1 0 の支持素子 4 4 0 c のスロットの中で支持リング 4 1 0 が半径方向及び回転方向に摺動することを可能にすることによって、第 1 及び第 2 の磁界コイルセクション 3 2 8 a 及び 3 2 8 b の回転 (R 方向) 及び半径方向 (実質的に Y 方向) の移動又は拡張を、それらの個々の第 4 のサイト (例えばその第 2 の側部) において可能にする。

【 0 0 7 3 】

上述したように、磁界コイル 3 2 8 及びシールドコイル 3 1 8 の各々が、高磁界を生成するために大きな電流によって通電される場合、それらは各々、半径方向の拡張を経験することができ、半径方向の拡張の量は、磁界コイル 3 2 8 とシールドコイル 3 1 8 との間で異なりうる。これを例によって示すために、1 つの例示の磁石システムにおいて、磁界コイルは、約 1 メートルの直径を有することができ、その一方、シールドコイルは、約 1 . 7 メートルの直径を有することができる。更に、この例において、通電される場合、磁界コイル及びシールドコイルは各々が、約 1 mm の半径方向の拡張を経験することができる。磁石システム用の支持構造においてこれを収容するための設備はないので、この拡張は、磁界コイル及びシールドコイルの相対的なアライメントに小さい変化をもたらす。しかしながら、概して、磁石システムの中のコイル及びコイルセクションのアライメントは、非常に正確であり、例えばミリメートルの何分の一かのオーダーである。

【 0 0 7 4 】

従って、ある実施形態において、支持構造 4 0 0 は、この問題に対処することができ、支持リング 4 1 0 と第 1 乃至第 1 0 の支持素子 4 0 2、4 2 0 a - c、4 3 0 a - c、4 4 0 a - c 及び突出部 4 5 0 a - c との相互作用によって、磁界コイル 3 2 8 とシールドコイル 3 1 8 との間の所望のアライメントを維持することができる。特に、図 1 3 及び図 1 4 に関して更に詳しく示されるように、支持構造 4 0 0 は、磁界コイル 3 2 8 及び / 又はシールドコイル 3 1 8 が非通電にされる場合、磁界コイル 3 2 8 の軸及びシールドコイル 3 1 8 の軸が互いにアラインされず又は小さい量 (例えばミリメートルより小さい量) オフセットされるように構成されることができる。次に、磁界コイル 3 2 8 及びシールドコイル 3 1 8 が通電され、半径方向に拡張する際、支持構造 4 0 0 は、磁界コイル 3 2 8 の軸及びシールドコイル 3 1 8 の軸が互いに同軸にアラインされるように構成される。

【 0 0 7 5 】

図 1 1 - 図 1 4 は、支持構造 4 0 0 のような支持構造が、磁界コイル及び / 又はシールドコイルが通電される場合及び非通電にされる場合に、どのように磁界コイルの磁界コイルセクション及び / 又はシールドコイルのシールドコイルセクションの相対的な軸方向位置を固定の状態に維持し、その一方で、通電される場合、どのように磁界コイルセクショ

ン（及び／又はシールドコイルセクション）が半径方向に拡張することを可能にすることができるかを説明することを助ける。更に、図１３及び図１４は、支持構造４００のような支持構造が、磁界コイル及び／又はシールドコイルが非通電にされる場合、どのように磁界コイルの軸及びシールドコイルの軸がアラインされないようにし又は互いにオフセットされるようにすることができるか、及びそれら両方が通電される場合、磁界コイルの軸及びシールドコイルの軸が同軸にアラインされるようにすることができるか、を説明する。

【００７６】

図１１は、超電導磁石システム及び超電導磁石システム用支持構造の第１の例示の実施形態の機能的動作を示す第１の図であり、図１２は、超電導磁石システム及び超電導磁石システム用支持構造の第１の例示の実施形態の機能的動作を示す第２の図である。

10

【００７７】

図１１及び図１２に示されるように、コイル１１２８は、４つの支持素子１１０２、１１２０ａ、１１２０ｂ及び１１２０ｃによってそれぞれ上部、底部及びその側部において支持される。さまざまな実施形態において、図１１及び図１２に示されない他の支持素子が更に用いられることができる。ここで、支持素子１１０２は、コイルセクション１１２８ａ及び１１２８ｂの位置を、互いに対して軸方向、半径方向及び回転方向において固定する。支持素子１１２０ａは、コイルセクション１１２８ａ及び１１２８ｂの相対的な軸方向（Ｘ方向）位置及び回転（Ｒ方向）位置を、互いに対し固定するが、コイルセクション１１２８ａ及び１１２８ｂが半径方向（概してＹ方向）に拡張することを可能にする。支持素子１１２０ｂ及び１１２０ｃの各々は、コイルセクション１１２８ａ及び１１２８ｂの相対的な軸方向位置（Ｘ方向）を互いに対し固定するが、コイルセクション１１２８ａ及び１１２８ｂが位置を回転（Ｒ方向）させ又は半径方向に拡張する（Ｙ－Ｚ平面）ことを可能にする。

20

【００７８】

図１１及び図１２は、コイル１１２８の通電前の、コイル１１２８、及びコイルセクション１１２８ａ及び１１２８ｂ（実線）の位置、及び支持素子１１０２、１１２０ａ、１１２０ｂ及び１１２０ｃの位置を示し、コイル１１２８が通電された後の、コイル１１２８及びコイルセクション１１２８ａ及び１１２８ｂ（破線）の位置、及び支持素子１１０２、１１２０ａ、１１２０ｂ及び１１２０ｃの位置を示す。通電前及び通電後の位置の違いは、その違いをより明確に示すために、図１１及び図１２において誇張されている。通電される場合のコイル１１２８の半径方向の拡張の結果として、コイル１１２８の軸がＹ方向にシフトされていることが図１１及び図１２から見られることができる。すなわち、非通電のコイル１１２８は、軸１１２９ａを有し、その一方、通電されたコイル１１２８は、軸１１２９ｂを有する。

30

【００７９】

図１３は、超電導磁石システム及び超電導磁石システムの支持構造の第２の例示の実施形態について機能的動作を示す第１の図であり、図１４は、超電導磁石システム及び超電導磁石システムの支持構造の第２の例示の実施形態について機能的動作を示す第２の図である。

40

【００８０】

図１３及び図１４に示されるように、第１のコイル１３２８（例えば磁界コイル）は、４つのコイルセクション１３２８ａ、１３２８ｂ、１３２８ｃ及び１３２８ｄを有する。

【００８１】

支持素子１３０２、１３２０ａ、１３３０ａ、１３２０ｂ、１３２０ｃ及び図１３及び図１４に示されない向こう側の支持素子によって、その上部、底部及びその側部において支持される。同様に、第２のコイル１３１８（例えばシールドコイル）は、支持素子１３０２、１３４０ａ、１３４０ｂ、１３４０ｃによって、その上部、底部及びその側部においてそれぞれ支持される２つのコイルセクション１３１８ａ及び１３１８ｂを有する。

【００８２】

50

ここで、支持素子 1302 は、コイルセクション 1328 a - d の位置を互いに対し軸方向、半径方向及び回転方向において固定し、更に、コイルセクション 1318 a 及び 1318 b の位置を互いに対し軸方向、半径方向及び回転方向において固定する。支持素子 1320 a は、コイルセクション 1328 a 及び 1328 b の相対的な軸方向 (X 方向) 位置及び回転 (R 方向) 位置を互いに対し固定するが、コイルセクション 1328 a 及び 1328 b が半径方向 (概して Y 方向) に拡張することを可能にする。支持素子 1330 a は、コイルセクション 1328 c 及び 1328 d の相対的な軸方向 (X 方向) 位置及び回転 (R 方向) 位置を互いに対して固定するが、コイルセクション 1328 c 及び 1328 d が半径方向 (概して Y 方向) に拡張することを可能にする。

【0083】

支持素子 1320 b 及びそれぞれ 1320 c は、コイルセクション 1328 a 及び 1328 b の相対的な軸方向 (X 方向) 位置を互いに対し固定するが、コイルセクション 1328 a 及び 1328 b が位置を回転 (R 方向) させ又は半径方向に拡張する (Y - Z 平面) ことを可能にする。図 13 及び図 14 に示されない向こう側の支持素子の各々は、コイルセクション 1328 c 及び 1328 d の相対的な軸方向位置 (X 方向) を互いに対し固定するが、コイルセクション 1328 c 及び 1328 d が位置を回転 (R 方向) させ又は半径方向に拡張する (Y - Z 平面において) と可能にする。

【0084】

図 13 及び図 14 は、コイル 1318 及び 1328 の通電前の、コイル 1318、コイル 1328、及びコイルセクション 1328 a - d 及び 1318 a - b (実線) の位置、並びに支持素子 1302、1320 a - c、1330 a 及び 1340 a - c の位置と、コイル 1318 及び 1328 が通電された後の、コイル 1318、コイル 1328、及びコイルセクション 1328 a - d 及び 1318 a - b (破線) の位置、並びに支持素子 1302、1320 a - c、1330 a 及び 1340 a - c の位置と、を示す。通電前及び通電後の位置の違いは、より明確に違いを示すために、図 13 及び図 14 において誇張されている。通電される場合のコイル 1318 及び 1328 の半径方向の拡張の結果として、図 13 及び図 14 から、コイル 1318 及び 1328 の軸が Y 方向にシフトされていることが分かる。すなわち、コイル 1318 及び 1328 が非通電であるとき、コイル 1318 及び 1328 の軸はアラインされず又は互いにオフセットされているが、コイル 1318 及び 1328 が通電されると、コイル 1318 及び 1328 の軸は互いに同軸にアラインされる。

【0085】

図 4 - 図 14 に関して上述された実施形態は、磁界コイル及びシールドコイルのコイルセクションの各々の対のための、互いに 90 度の角度間隔をおかれた 4 つの支持素子を有することが理解されるべきである。

【0086】

他の実施形態又はこれらの実施形態の変更例において、支持構造は、各々のコイルセクション対用の 4 より多くの支持素子を有することができ、例えば 6 つの支持素子 (例えば 60 度の角度間隔をおかれうる) 又は 8 つの支持素子 (例えば 45 度の角度間隔をおかれうる) 等を有することができる。

【0087】

図 15 は、超電導磁石システム及び超電導磁石システム用の支持構造 1500 の別の例示的な実施形態の一部の斜視図である。図 16 は、超電導磁石システム及び支持構造 1500 の例示的な実施形態の一部の拡大図であり、図 15 に破線円で示される領域をより詳しく示す。ある実施形態において、図 15 及び図 16 の超電導磁石システムは、磁石システム 102、超電導磁石システム 200、及び / 又は超電導磁石システム 300 を有することができる。

【0088】

支持構造 1500 は、複数の同様の又は同一の構造を有するが、図示の明確さのために、これらの構造の全てが標識付けされているわけではない。図 4 - 図 10 と同様に、図 1

10

20

30

40

50

5 及び図 16 は、X、Y、Z 及び R 方向を示しており、X 方向は軸方向であり、R 方向は回転方向であり、半径方向の拡張又は移動が、Y - Z 平面に生じる。

【0089】

支持構造 1500 は、第 1 の導電性コイル（例えば磁界コイル 328）及び第 2 の導電性コイル（例えばシールドコイル 318）の両方を支持するための素子又はコンポーネントを有して構成される特定の実施形態を示す。しかしながら、他の実施形態において、支持構造 1500 は、磁界コイル 328 のみ又はシールドコイル 318 のみを支持するための素子又はコンポーネントのみを有することができる。更に、図 15 の図示の簡潔さのために、2 つの磁界コイルセクション 328c 及び 328d のみが図示されているが、概して、支持構造 1500 は、図 3 に示すように磁界コイルセクション 328a 及び 328b を更に支持することができる。更に、支持構造 1500 の変更例は、4 より多い又は少ない磁界コイルセクション、及び / 又は 2 より多くのシールドコイルセクションを支持するように構成されることができる。

10

【0090】

支持構造 400 と同様に、支持構造 1500 は、とりわけ、第 1 及び第 2 のシールドコイルセクション 318a 及び 318b を支持し、シールドコイル 318 が通電される場合及び非通電にされる場合、第 1 及び第 2 のシールドコイルセクション 318a 及び 318b の相対的な軸方向位置を固定の状態に維持し、その一方、通電される場合、第 1 及び第 2 のシールドコイルセクション 328a 及び 328b が半径方向に拡張することを可能にするように構成されることができる。更に、支持構造 1500 は、とりわけ、磁界コイルセクション 328c 及び 328d を支持し、磁界コイル 328 が通電される場合及び非通電にされる場合、磁界コイルセクション 328c 及び 328d の相対的な軸方向位置を固定の状態に維持し、その一方、通電される場合、磁界コイルセクション 328c 及び 328d が半径方向に拡張することを可能にするように構成されることができる。同様に、支持構造 1500 は、とりわけ、磁界コイルセクション 328a 及び 328b を支持し、磁界コイル 328 が通電される場合及び非通電にされる場合、磁界コイルセクション 328a 及び 328b の相対的な軸方向位置を固定の状態に維持し、その一方、通電される場合、磁界コイルセクション 328a 及び 328b が半径方向に拡張することを可能にするように構成されることができる。

20

【0091】

支持構造 1500 は、複数の支持梁 1502、第 1 の支持素子 1530a、第 2 の支持素子 1530b、第 3 の支持素子 1540a、及び第 4 の支持素子 1540b を有する。図 15 に示したように、支持構造 1500 は、12 の支持梁 1502、12 の第 1 の支持素子 1530a、12 の支持素子 1530b、12 の第 3 の支持素子 1540a、及び 12 の第 4 の支持素子 1540b を有する。しかしながら、明確にするため、すべての 12 の支持梁 1502 のうち、12 の第 1 の支持素子 1530a、12 の第 2 の支持素子 1530b、12 の第 3 の支持素子 1540a、及び 12 の第 4 の支持素子 1540b は、図 15 において標識付けされている。更に、支持構造 1500 の変更例は、12 より多い又は少ない支持梁 1502、12 の第 1 の支持素子 1530a、12 の第 2 の支持素子 1530b、12 の第 3 の支持素子 1540a、及び 12 の第 4 の支持素子 1540b を有することができる。ある実施形態において、支持梁 1502 は、剛体構造素子を有する。ある実施形態において、支持梁 1502 は、アルミニウム又は他の非磁性金属を含むことができる。他の実施形態において、支持梁 1502 は、グラファイトを有することができる。

30

40

【0092】

ある実施形態において、第 1、第 2、第 3、及び第 4 の支持素子 1530a、1530b、1530c 及び 1530d の各々は、非導電性又は電気絶縁性材料を有することができる。ある実施形態において、第 1、第 2、第 3、及び第 4 の支持素子 1530a、1530b、1530c 及び 1530d の各々は、剛体構造を有することができる。

【0093】

50

支持構造 1 5 0 0 は更に、第 1 及び第 2 の支持リング 1 5 1 0 a 及び 1 5 1 0 b を有する。支持リング 1 5 1 0 a 及び 1 5 1 0 b は、磁界コイル 3 2 8 及びシールドコイル 3 1 8 と実質的に平行にアラインされる。より具体的には、リング 1 5 1 0 a 及び 1 5 1 0 b の軸は、磁界コイル 3 2 8 の軸及びシールドコイル 3 1 8 の軸と平行に X 方向に延びる。ある実施形態において、支持リング 1 5 1 0 a 及び 1 5 1 0 b の軸は、磁界コイル 3 2 8 及びシールドコイル 3 1 8 の軸に、同軸にアラインされることができる。ある実施形態において、支持リング 1 5 1 0 a 及び 1 5 1 0 b は、クライオスタット（例えばクライオスタット 2 1 0 及び / 又はクライオスタット 3 2 0 ）の内部壁に、（直接又は間接的に）固定的に取り付けられることができる。支持構造 1 5 0 0 の変更例は、ただ 1 つの支持リングを有することができ、又は 2 より多くの支持リングを有することができる。

10

【 0 0 9 4 】

各々の支持梁 1 5 1 2 は、例えばエポキシによって又は溶接接続を通じて、第 1 及び第 2 の支持リング 1 5 1 0 a 及び 1 5 1 0 b に接続される。各々の支持梁 1 5 1 2 は更に、図 1 6 に最も良く示されるように第 1 及び第 2 のヒンジ部材 1 6 1 0 a 及び 1 6 1 0 b を有する一対のヒンジ部材を通じて、第 1 の支持素子 1 5 3 0 a の対応するもの、第 2 の支持素子 1 5 3 0 b の対応するもの、第 3 の支持素子 1 5 4 0 a の対応するもの、及び第 4 の支持素子 1 5 4 0 b の対応するものの各々に接続される。

【 0 0 9 5 】

第 1 の支持素子 1 5 3 0 a の各々は、磁界コイルセクション 3 2 8 a 上の対応するサイトにおいて、例えばエポキシによって磁界コイルセクション 3 2 8 c に接続される。同様に、第 2 の支持素子 1 5 3 0 b の各々は、磁界コイルセクション 3 2 8 c 上の対応するサイトにおいて、磁界コイルセクション 3 2 8 d に接続され、第 3 の支持素子 1 5 4 0 a の各々は、磁界コイルセクション 3 1 8 a 上の対応するサイトにおいてシールドコイルセクション 3 1 8 a に接続され、第 4 の支持素子 1 5 4 0 b の各々は、シールドコイルセクション 3 1 8 b 上の対応するサイトにおいて、シールドコイルセクション 3 1 8 b に接続される。

20

【 0 0 9 6 】

支持梁 1 5 0 2 及び第 1 及び第 2 の支持リング 1 5 1 0 a 及び 1 5 1 0 b との組み合わせにおいて、第 3 の支持素子 1 5 4 0 a 及び第 4 の支持素子 1 5 4 0 b の各々は、シールドコイルセクション 3 1 8 a 及びシールドコイルセクション 3 1 8 b 上の対応するサイトを、軸方向（X 方向）及び回転方向（R 方向）において互いに対し固定するが、例えばシールドコイル 3 1 8 の通電に応じて、シールドコイルセクション 3 1 8 a 及びシールドコイルセクション 3 1 8 b が独立して又は一緒に半径方向（X - Y 平面）に拡張することを可能にする。

30

【 0 0 9 7 】

これに関して、例えば、各々の支持梁 1 5 0 2 を第 3 の支持素子 1 5 4 0 a に取り付けるヒンジ部材 1 6 1 0 a 及び 1 6 2 0 b の使用は、各々の第 3 の支持素子 1 5 4 0 a に関し 4 つのヒンジ点 1 6 0 0 を生成する。その結果、各々のヒンジ部材 1 6 1 0 a 及び 1 6 2 0 b のピボット回転動作は、図 1 6 に最も良く示されるように、各々の第 3 の支持素子 1 5 4 0 a の移動が半径方向に維持されるようにする。同様の状況が、第 4 の支持素子 1 5 4 0 b に関して当てはまる。

40

【 0 0 9 8 】

同様に、支持梁 1 5 0 2 及び第 1 及び第 2 の支持リング 1 5 1 0 a 及び 1 5 1 0 b と組み合わせ、第 1 の支持素子 1 5 3 0 a 及び第 2 の支持素子 1 5 3 0 b の各々は、磁界コイルセクション 3 2 8 c 及び磁界コイルセクション 3 2 8 d 上の対応するサイトを、軸方向（X 方向）及び回転方向（R 方向）において互いに対し固定するが、例えば磁界コイル 3 2 8 の通電に回答して、磁界コイルセクション 3 2 8 c 及び磁界コイルセクション 3 2 8 d が独立して又は一緒に半径方向（X - Y 平面）に拡張することを可能にする。

【 0 0 9 9 】

これに関して、各々の支持梁 1 5 0 2 を第 1 の支持素子 1 5 3 0 a に取り付けるヒンジ

50

部材対 1 6 1 0 a 及び 1 6 2 0 b の使用は、例えば、各々の第 1 の支持素子 1 5 3 0 a に対し 4 つのヒンジ点 1 6 0 0 を生成する。その結果、ヒンジ部材対 1 6 1 0 a 及び 1 6 2 0 b のピボット回転動作は、各々の第 1 の支持素子 1 5 3 0 a の移動が半径方向に維持されるようにする。同様の状況が、第 2 の支持素子 1 5 3 0 b に関して当てはまる。

【 0 1 0 0 】

ある実施形態において、支持構造 1 5 0 0 は、1 又は複数の支え棒 (tie bars) 1 5 0 3 を有することができる。各々の支え棒 1 5 0 3 は、支持梁 1 5 0 2 の対応する 1 つの全体に延在することができ、支持梁 1 5 0 2 及び支持構造 1 5 0 0 の強度及び構造整合性を高めることができる。他の実施形態は、支え棒 1 5 0 3 を省くことができる。

【 0 1 0 1 】

図 1 7 は、超電導磁石システムの 1 又は複数の導電性コイルを支持する方法 1 7 0 0 のフローチャートを示す一実施形態である。方法 1 7 0 0 は、図 4 - 図 1 6 を参照して上述されたさまざまな支持構造によって実現されることができる。

【 0 1 0 2 】

方法 1 7 0 0 は、第 1 の導電性コイルが通電される場合及び非通電にされる場合、各々の導電性コイルの第 1 及び第 2 のコイルセクションの相対的な軸方向位置を、互いに対し固定される状態に維持する動作 1 7 1 0 と、通電される場合、第 1 及び第 2 のコイルセクションの各々が半径方向に拡張することを可能にする動作 1 7 2 0 と、を有する。実現される支持構造のタイプに依存して、方法は、更なる動作 1 7 3 0 a 又は 1 7 3 0 b の一方を有することができる。

【 0 1 0 3 】

動作 1 7 3 0 a が実施されるとき、支持構造は：第 2 のコイルセクション上の第 1 のサイトに対し、第 1 のコイルセクション上の第 1 のサイトを軸方向、半径方向及び回転方向において固定し；第 2 のコイルセクション上の第 2 のサイトに対し、第 1 のコイルセクション上の第 2 のサイトを軸方向及び回転方向において固定し、その一方、第 1 のコイルセクション上の第 2 のサイトにおける第 1 のコイルセクションの半径方向の移動を可能にするとともに、第 2 のコイルセクション上の第 2 のサイトにおける第 2 のコイルの半径方向の移動を可能にし；第 2 のコイルセクション上の第 3 のサイトに対し、第 1 のコイルセクション上の第 3 のサイトを軸方向において固定し、その一方、第 1 のコイルセクション上の第 3 のサイトにおける第 1 のコイルセクションの半径方向及び回転の移動を可能にするとともに、第 2 のコイルセクション上の第 3 のサイトにおける第 2 のコイルセクションの半径方向及び回転の移動を可能にし；第 2 のコイルセクション上の第 4 のサイトに対し第 1 のコイルセクション上の第 4 のサイトを軸方向において固定し、その一方、第 1 のコイルセクション上の第 4 のサイトにおける第 1 のコイルセクションの半径方向及び回転の移動を可能にするとともに、第 2 のコイルセクション上の第 4 のサイトにおける第 2 のコイルセクションの半径方向及び回転の移動を可能にする。

【 0 1 0 4 】

支持構造が第 1 の (磁界) コイル及び第 2 の (シールド) コイルを支持する実施形態において、動作 1 7 3 0 a が実施される際、磁界コイル及びシールドコイルの少なくとも一方が非通電にされる場合、磁界コイルの軸及びシールドコイルの軸はアラインされなくなり、磁界コイル及びシールドコイルの両方が通電される場合、磁界コイルの軸及びシールドコイルの軸は同軸にアラインされることができる。

【 0 1 0 5 】

動作 1 7 3 0 b が実施される際、支持構造は、第 1 のコイルセクション又は第 2 のコイルセクションに各々が接続される複数のヒンジ結合の支持素子を通じて通電される場合、第 1 及び第 2 のコイルセクションの各々が半径方向に拡張すること可能にする。

【 0 1 0 6 】

好適な実施形態がここに開示されているが、本発明の概念及び範囲内にある多くの変更例が可能である。例えば、上述の実施形態は、ヘリウム槽タイプのシステムの状況において記述されている。しかしながら、他の実施形態において、ここに開示される原理は、「

10

20

30

40

50

クライオフリー」又はシールされたシステムにおいて用いられるように適応されうることも可能である。このような変更例は、明細書、図面及び請求項の検討後に当業者に明らかになる。従って、本発明は、添付の請求項の範囲内にあること以外は制限されない。

【図 1】

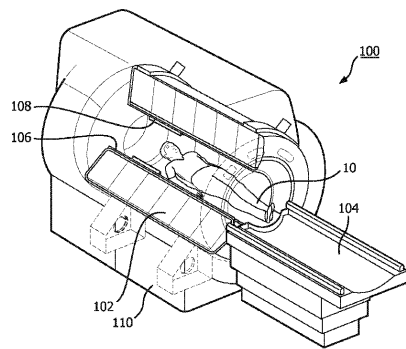
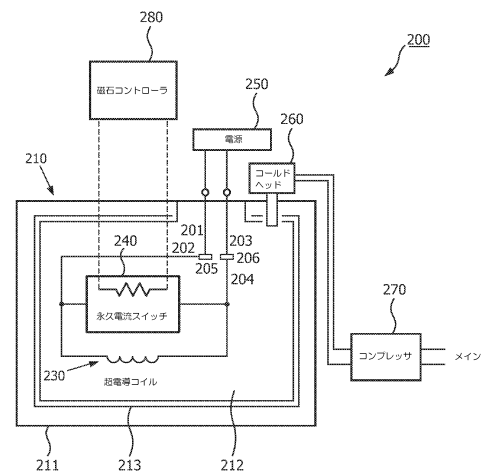
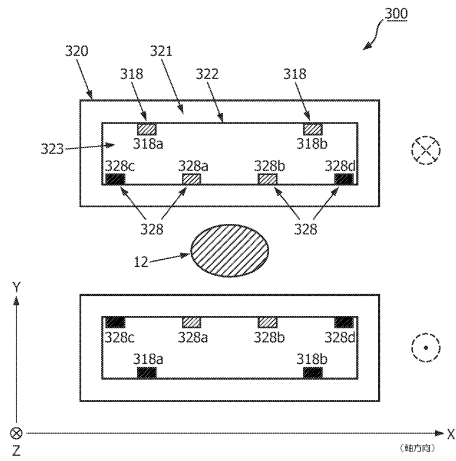


FIG. 1

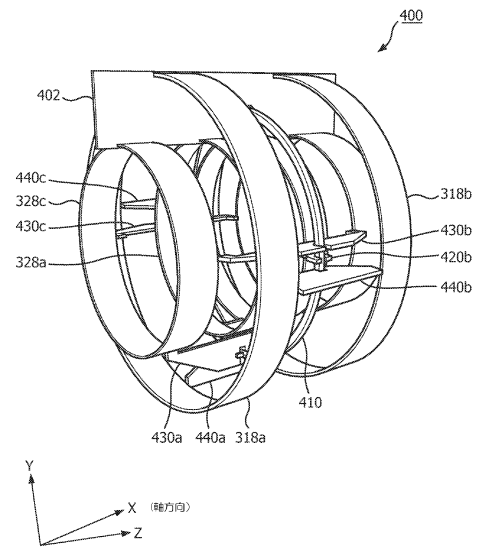
【図 2】



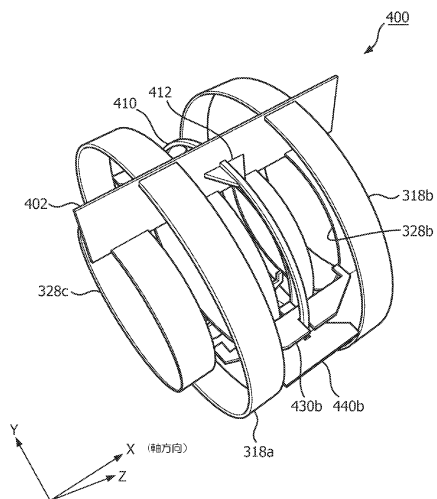
【図 3】



【図 4】



【図 5】



【図 6】

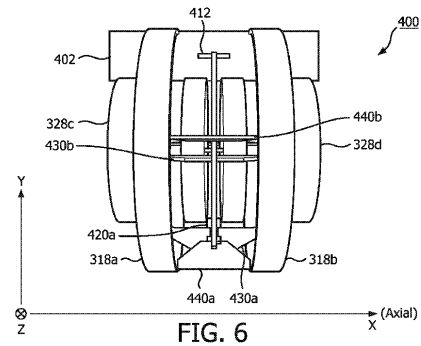
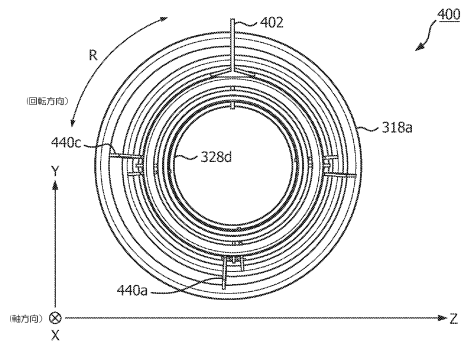
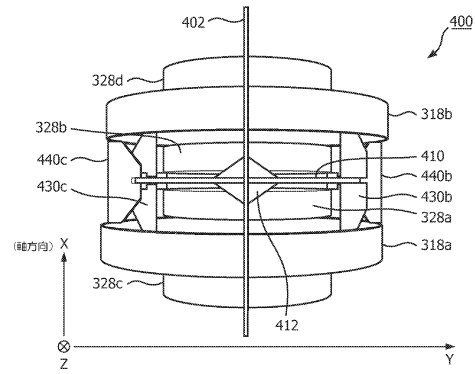


FIG. 6

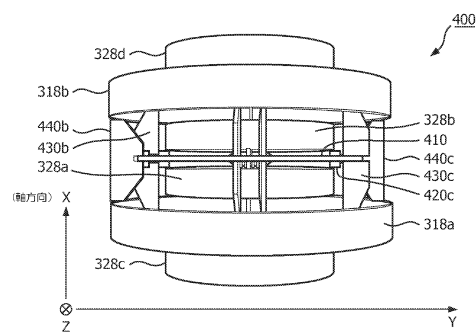
【図 7】



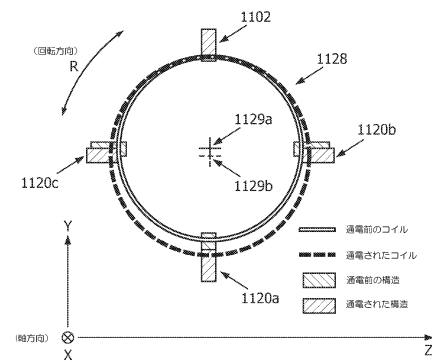
【図 8】



【図 9】



【図 11】



【図 10】

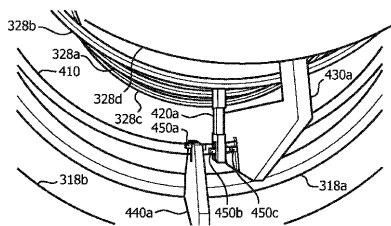
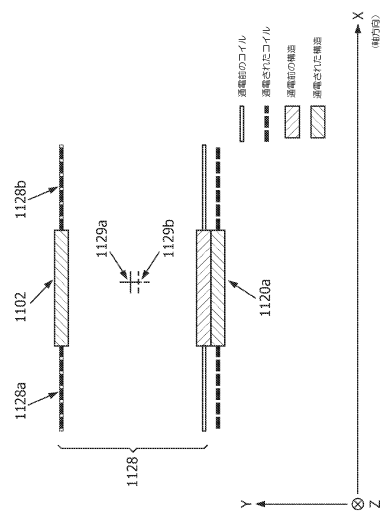
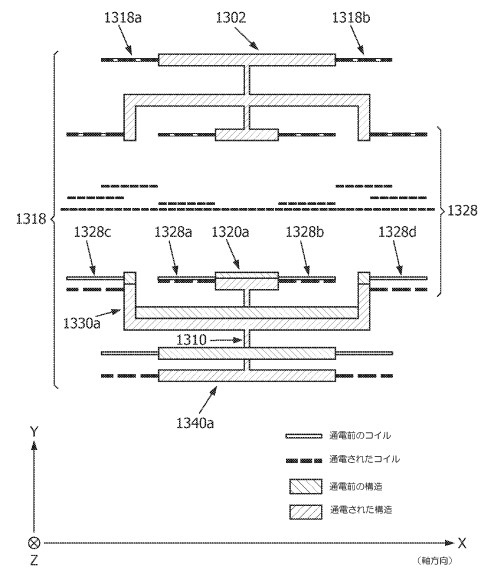


FIG. 10

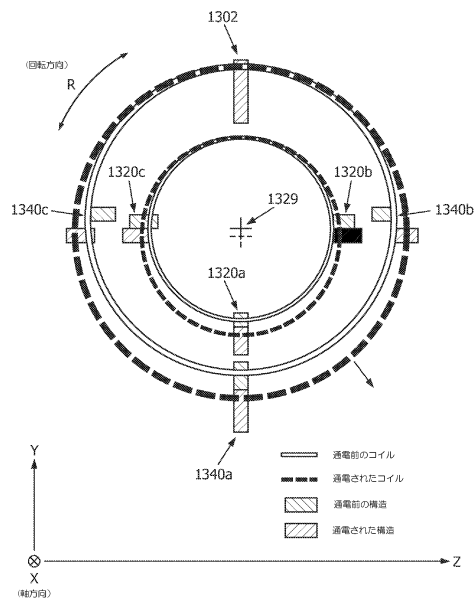
【図 12】



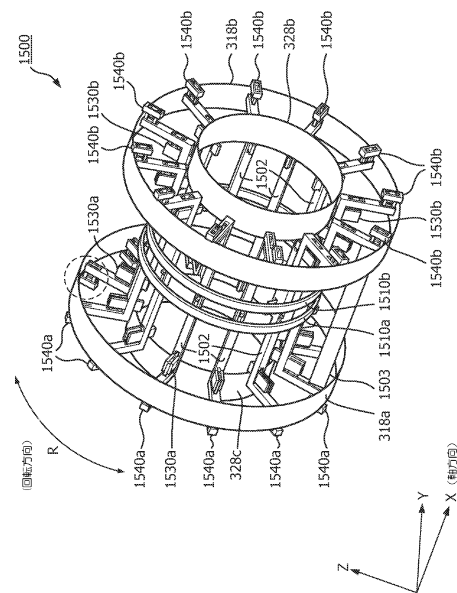
【図 13】



【図 14】



【図 15】



【図 16】

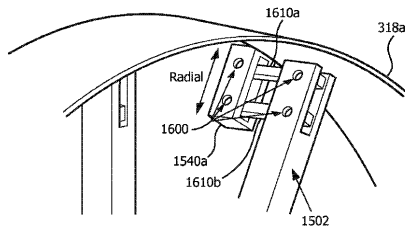
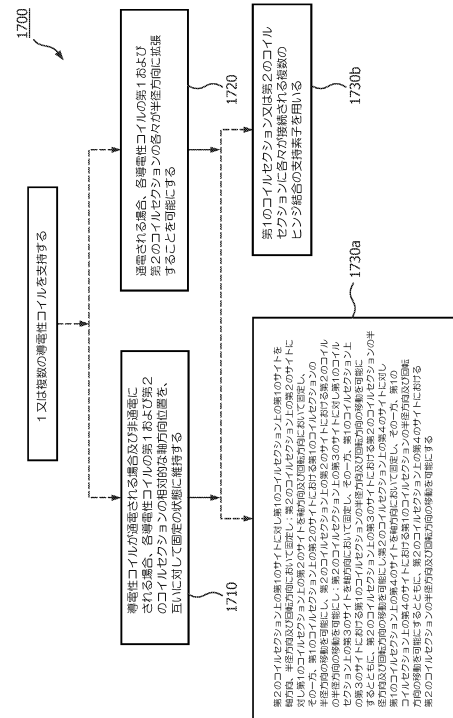


FIG. 16

【図 17】



 フロントページの続き

- (72)発明者 ヨナス フィリップ アレクサンダー
オランダ国 5 6 5 6 アーエー アインドーフエン ハイ テック キャンパス 5
- (72)発明者 オーバーウェッグ ヨハネス アドリアヌス
オランダ国 5 6 5 6 アーエー アインドーフエン ハイ テック キャンパス 5
- (72)発明者 ヴォス マシュー
オランダ国 5 6 5 6 アーエー アインドーフエン ハイ テック キャンパス 5
- (72)発明者 リーフマン ダーク
オランダ国 5 6 5 6 アーエー アインドーフエン ハイ テック キャンパス 5
- (72)発明者 クラリック ジェームス ハワード
オランダ国 5 6 5 6 アーエー アインドーフエン ハイ テック キャンパス 5
- (72)発明者 フアン シャンルイ
オランダ国 5 6 5 6 アーエー アインドーフエン ハイ テック キャンパス 5
- (72)発明者 マルダー ジェラルドゥス ベルナルドゥス ジョゼフ
オランダ国 5 6 5 6 アーエー アインドーフエン ハイ テック キャンパス 5
- (72)発明者 ヒルダーブランド ジョシュア ケント
オランダ国 5 6 5 6 アーエー アインドーフエン ハイ テック キャンパス 5

審査官 伊藤 昭治

- (56)参考文献 特開 2 0 1 1 - 1 7 1 7 3 1 (J P , A)
米国特許出願公開第 2 0 1 1 / 0 1 9 3 6 6 5 (U S , A 1)
特表 2 0 1 3 - 5 4 2 7 4 8 (J P , A)
国際公開第 2 0 1 1 / 1 4 8 1 6 3 (W O , A 1)

- (58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)
A 6 1 B 5 / 0 5 5
G 0 1 N 2 4 / 0 0