

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第3615119号  
(P3615119)

(45) 発行日 平成17年1月26日(2005.1.26)

(24) 登録日 平成16年11月12日(2004.11.12)

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>

H01F 6/00

F I

H01F 7/22 ZAAZ

請求項の数 22 外国語出願 (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2000-120210 (P2000-120210)	(73) 特許権者	390041542
(22) 出願日	平成12年4月21日 (2000.4.21)		ゼネラル・エレクトリック・カンパニー
(65) 公開番号	特開2001-52918 (P2001-52918A)		GENERAL ELECTRIC COMPANY
(43) 公開日	平成13年2月23日 (2001.2.23)		アメリカ合衆国、ニューヨーク州、スケネクタデー、リバーロード、1番
審査請求日	平成12年4月21日 (2000.4.21)		
(31) 優先権主張番号	09/385407	(74) 代理人	100093908
(32) 優先日	平成11年8月31日 (1999.8.31)		弁理士 松本 研一
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(72) 発明者	エバンゲロス・トライフォン・ラスカリス
(31) 優先権主張番号	60/130885		アメリカ合衆国、ニューヨーク州、ニスカユナ、クリムゾン・オーク・コート、15番
(32) 優先日	平成11年4月23日 (1999.4.23)		
(33) 優先権主張国	米国 (US)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 磁極片付き超伝導マグネット用の装置および方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

a) 長手方向に延在する軸と、  
 b) 第1のアセンブリであって、  
 (1) 前記軸と概して同軸状に整列し且つ前記軸から第1の半径方向距離に配置されていて、第1の主電流を第1の方向に通す超伝導主コイルと、  
 (2) 前記超伝導主コイルを取り囲む低温流体と、  
 (3) 前記軸と概して同軸状に整列し且つ前記第1のアセンブリの前記主コイルから離隔し且つ前記低温流体と直接接触している磁化可能な磁極片と、  
 を含む第1のアセンブリとを備え、

前記磁極片の大部分が前記主コイルの半径方向内方に配置され、また前記磁極片が前記低温流体中において前記軸から半径方向外方に前記第1の半径方向距離の少なくとも75パーセントに等しい距離だけ延在しており、且つ動作時に前記磁極片を冷却すると共に、前記主コイルの温度を超伝導温度まで冷却する前記冷却流体が前記磁極片と直接的な熱的接触を行う、超伝導マグネット。

【請求項2】

a) 長手方向に延在する軸と、  
 b) 第1のアセンブリであって、  
 (1) 前記軸と概して同軸状に整列していて、第1の主電流を第1の方向に通す超伝導主コイルと、

(2) 前記軸と概して同軸状に整列し且つ前記第1のアセンブリの前記主コイルから離隔して、表面部分を有する磁化可能な磁極片であって、該磁極片の大部分が前記主コイルの半径方向内方に配置されている磁極片と、

(3) 前記主コイルを取り囲んでいて、前記磁極片の前記表面部分により一部が規定されている内部表面を有する極低温流体用デュワー瓶と、

(4) 前記主コイルと熱的に接触し、前記磁極片と直接接触する、前記デュワー瓶内の冷却流体と、

を含んでいる第1のアセンブリと、を備えている超伝導マグネット。

【請求項3】

さらに、c) 前記第1のアセンブリから長手方向に離隔した第2のアセンブリであって、  
(1) 前記軸と概して同軸状に整列して、第2の主電流を前記第1の方向に通す超伝導主コイルと、

10

(2) 前記軸と概して同軸状に整列し且つ前記第2のアセンブリの前記主コイルから離隔して、表面部分を有する磁化可能な磁極片であって、当該第2のアセンブリの該磁極片の大部分が当該第2のアセンブリの前記主コイルの半径方向内方に配置されている磁極片と、

(3) 当該第2のアセンブリの前記主コイルを取り囲んでいて、当該第2のアセンブリの前記磁極片の前記表面部分により一部が規定されている内部表面を有する極低温流体用デュワー瓶とを含んでいる第2のアセンブリを備えている請求項2に記載のマグネット。

【請求項4】

20

さらに、前記第1のアセンブリの前記磁極片に装着されていて前記第1のアセンブリの前記主コイルを支持する概して磁化されないコイル支持体と、前記第2のアセンブリの前記磁極片に装着されていて前記第2のアセンブリの前記主コイルを支持する概して磁化されないコイル支持体とを含んでいる請求項3に記載のマグネット。

【請求項5】

さらに、前記第1のアセンブリの前記磁極片に構造上装着された第1の端部および前記第2のアセンブリの前記磁極片に構造上装着された第2の端部を有すると共に、表面部分を有する概して磁化されない支持ポストを含んでいる請求項3に記載のマグネット。

【請求項6】

さらに、前記第1のアセンブリの前記デュワー瓶および前記第2のアセンブリの前記デュワー瓶と流体連通して、前記支持ポストの前記表面部分により一部が規定される内部表面を有するデュワー瓶コンジットを含んでいる請求項5に記載のマグネット。

30

【請求項7】

さらに、前記第1および第2のアセンブリの前記磁極片および前記デュワー瓶と前記支持ポストと前記デュワー瓶コンジットとから離隔していると共に、概してこれらを取り囲む熱シールドを含んでいる請求項6に記載のマグネット。

【請求項8】

さらに、前記熱シールドから離隔していると共に、これを気密に取り囲む真空容器を含んでいる請求項7に記載のマグネット。

【請求項9】

40

さらに、前記第1のアセンブリの前記磁化可能な磁極片に装着されていて前記第1のアセンブリの前記主コイルを支持する概して磁化されないコイル支持体と、前記第2のアセンブリの前記磁化可能な磁極片に装着されていて前記第2のアセンブリの前記主コイルを支持する概して磁化されないコイル支持体とを含んでいる請求項8に記載のマグネット。

【請求項10】

さらに、極低温流体が前記第1および第2のアセンブリの前記デュワー瓶内と前記デュワー瓶コンジット内とに配置されている請求項9に記載のマグネット。

【請求項11】

さらに、極低温流体が前記第1および第2のアセンブリの前記デュワー瓶内に配置されている請求項3に記載のマグネット。

50

## 【請求項 1 2】

さらに、概して前記軸上で、前記第 1 アセンブリと第 2 のアセンブリとの間で長手方向に等距離に中心を位置させた磁気共鳴イメージング空間を含んでいる請求項 3 に記載のマグネット。

## 【請求項 1 3】

a) 長手方向に延在する軸と、

b) 第 1 のアセンブリであって、

(1) 前記軸と概して同軸状に整列していて、第 1 の主電流を第 1 の方向に通す超伝導主コイルと、

(2) 前記軸と概して同軸状に整列し且つ前記第 1 のアセンブリの前記主コイルより長手方向外方に配置されていて、第 1 のシールド電流を前記第 1 の方向とは反対方向に通す超伝導シールド・コイルと、

(3) 前記軸と概して同軸状に整列し且つ前記軸と交差していると共に、前記主コイルおよび前記シールド・コイルから離隔していて、表面部分を有している磁化可能で且つ概して円筒形の磁極片であって、該磁極片の大部分が長手方向において前記主コイルおよび前記シールド・コイルの間にあり且つこれらのコイルの半径方向内方に配置されている磁極片と、

(4) 前記主コイルおよび前記シールド・コイルを取り囲み、且つ前記磁極片の前記表面部分により一部が規定される内部表面を有している極低温流体用デュワー瓶と、  
を含んでいる第 1 のアセンブリと、

c) 前記第 1 のアセンブリから長手方向に離隔した第 2 のアセンブリであって、

(1) 前記軸と概して同軸状に整列していて、第 2 の主電流を前記第 1 の方向に通す超伝導主コイルと、

(2) 前記軸と概して同軸状に整列し且つ当該第 2 のアセンブリの前記主コイルより長手方向外方に配置されていて、第 2 のシールド電流を前記反対方向に通す超伝導シールド・コイルと、

(3) 前記軸と概して同軸状に整列し且つこれと交差していると共に、当該第 2 のアセンブリの前記主コイルおよび前記シールド・コイルから離隔していて、表面部分を有している磁化可能で且つ概して円筒形の磁極片であって、当該第 2 のアセンブリの該磁極片の大部分が長手方向において当該第 2 のアセンブリの前記主コイルおよび前記シールド・コイルの間にあり且つこれらの半径方向内方に配置されている磁極片と、

(4) 当該第 2 のアセンブリの前記主コイルおよび前記シールド・コイルを取り囲み、且つ当該第 2 のアセンブリの前記磁極片の前記表面部分により一部が規定される内部表面を有する極低温流体用デュワー瓶と、

を含んでいる第 2 のアセンブリと、  
を備えている開放形超伝導マグネット。

## 【請求項 1 4】

さらに、前記第 1 のアセンブリの前記磁極片に装着されていて前記第 1 のアセンブリの前記主コイルおよび前記シールド・コイルを支持する概して磁化されないコイル支持体と、前記第 2 のアセンブリの前記磁極片に装着されていて前記第 2 のアセンブリの前記主コイルおよび前記シールド・コイルを支持する概して磁化されないコイル支持体とを含んでいる請求項 1 3 に記載の開放形マグネット。

## 【請求項 1 5】

さらに、互いに離隔した概して磁化されない第 1 および第 2 の支持ポストを含んでおり、これらの第 1 および第 2 の支持ポストは、その各々が前記第 1 のアセンブリの前記磁極片に構造上装着される第 1 の端部を有し、またその各々が前記第 2 のアセンブリの前記磁極片に構造上装着される第 2 の端部を有し、且つその各々が表面部分を有している請求項 1 3 に記載の開放形マグネット。

## 【請求項 1 6】

さらに、各々が前記第 1 のアセンブリの前記デュワー瓶および前記第 2 のアセンブリの前

記デュワー瓶と流体連通する第1および第2のデュワー瓶コンジットを含んでおり、前記第1のデュワー瓶コンジットは前記第1の支持ポストの前記表面部分により一部が規定される内部表面を有し、且つ前記第2のデュワー瓶コンジットは前記第2の支持ポストの前記表面部分により一部が規定される内部表面を有している請求項15に記載の開放形マグネット。

【請求項17】

さらに、前記第1および第2のアセンブリの前記磁極片および前記デュワー瓶と前記第1および第2の支持ポストと前記第1および第2のデュワー瓶コンジットとから離隔していると共に、概してこれらを取り囲む熱シールドを含んでいる請求項16に記載の開放形マグネット。

10

【請求項18】

さらに、前記熱シールドから離隔していると共に、これを気密に取り囲む真空容器を含んでいる請求項17に記載の開放形マグネット。

【請求項19】

さらに、前記第1のアセンブリの前記磁極片に装着されていて前記第1のアセンブリの前記主コイルおよび前記シールド・コイルを支持する概して磁化されないコイル支持体と、前記第2のアセンブリの前記磁極片に装着されていて前記第2のアセンブリの前記主コイルおよびシールド・コイルを支持する概して磁化されないコイル支持体とを含んでいる請求項18に記載の開放形マグネット。

【請求項20】

20

さらに、極低温流体が前記第1および第2のアセンブリの前記デュワー瓶内と前記第1および第2のデュワー瓶コンジット内に配置されている請求項19に記載の開放形マグネット。

【請求項21】

さらに、極低温流体が前記第1および第2のアセンブリの前記デュワー瓶内に配置されている請求項13に記載の開放形マグネット。

【請求項22】

さらに、概して前記軸上で、前記第1アセンブリと第2のアセンブリとの間で長手方向に等距離に中心を位置させた磁気共鳴イメージング空間であって、前記第1および第2の支持ポストは前記軸の周りに概して110ないし150度の角度離隔をもち且つ前記イメージング空間より半径方向外方に配置されている磁気共鳴イメージング空間を含んでいる請求項13に記載の開放形マグネット。

30

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、全般的には均一な磁場を発生させるために用いられる超伝導マグネットに関し、より詳細には磁極片を有するマグネットに関する。

【0002】

【従来の技術】

マグネットには、医学的診断および処置など様々な応用例で使用される磁気共鳴イメージング(MRI)システムの一部としての抵抗型マグネットや超伝導マグネットなどがある。周知の超伝導マグネットとしては、液体ヘリウム冷却式の超伝導マグネットやクライオクーラ冷却式の超伝導マグネットなどがある。通常、この超伝導コイルアセンブリは、真空容器により取り囲まれた第1の熱シールドにより取り囲まれる超伝導主コイルを含む。通常、クライオクーラ冷却式のマグネットはまた、その真空容器の外部に取り付けられ、その熱シールドと熱的接触する第1の極低温段階を有し、且つその超伝導主コイルと熱的接触する第2の極低温段階と有するクライオクーラ・コールドヘッドを含む。通常液体ヘリウム冷却式マグネットはまた、超伝導主コイルを取り囲む液体ヘリウム用デュワー瓶と、この液体ヘリウム用デュワー瓶を取り囲む第1の熱シールドを取り囲む第2の熱シールドとを含む。

40

50

## 【0003】

周知の抵抗型および超伝導型のマグネットの設計には、閉鎖形マグネットや開放形マグネットなどがある。閉鎖形マグネットは通常、ボア ( b o r e ) を有する、単一で管状の抵抗型または超伝導コイルアセンブリを含む。このコイルアセンブリは、半径方向に整列し長手方向に離隔させた、それぞれが大きな同一の電流を同一の方向に通す幾つかの抵抗型または超伝導主コイルを含む。このため、この主コイルは画像作成しようとする物体を位置させ、マグネットのボア内の中心に位置する通常は球形のイメージング空間 ( i m a g i n g v o l u m e ) 内に、均一性が高い磁場を生成するように設計される。また単一で管状のシールド用アセンブリを用いて、主コイルによって生成され且つこれを取り囲む高い磁場がマグネットの周辺にある電子機器と不利な相互作用をするのを防ぐことがある。こうしたシールド用アセンブリは、半径方向に整列し長手方向に離隔した幾つかの抵抗型または超伝導型のシールド・コイルであって、主コイルに流れる電流と電流量が概して等しく方向が反対の電流を通し、且つ主コイルの半径方向外方に位置させたシールド・コイルを含む。

10

## 【0004】

開放形マグネット ( 「 C 」 字形のマグネットを含む ) は通常、2個の互いに離隔したコイル・アセンブリを利用する。このアセンブリ間のスペースはイメージング空間を含み、且つこの磁気共鳴イメージングの間に外科的処理その他の処置のために医療従事者がアクセスできるようにしている。このスペース内、あるいはまた環状コイルアセンブリのボア内に患者を位置させることができる。この開放スペースは、閉鎖形マグネット設計で患者が起こすことがある閉所恐怖の感覚を克服するのに役立つ。シールドを有する周知の開放形マグネット設計は、各々のコイルアセンブリが開放形のボアを有すると共に、この抵抗性または超伝導の主コイルから長手方向且つ半径方向外方に位置する抵抗性または超伝導シールド・コイルを包含するようにした設計を含む。超伝導マグネットの場合、シールド・コイルの影響を差し引くように磁場に対処するため、主コイルで高価な超伝導体を大量に必要とする。計算により、0.75テスラのマグネットのためには、概して2300ポンドの超伝導体が必要であり、概して12000ポンドの重量をもつ高価なマグネットになることが示されている。この適度な重量では、妥当なマグネット設計ができる。

20

## 【0005】

開放形マグネット設計では、鉄製の磁極片をシールド用コイルのない抵抗型または超伝導コイルアセンブリのボア内に配置することもまた周知である。この鉄製の磁極片により磁場の強度を高めることができ、また磁極片の表面を成型することにより、そのマグネットを磁氣的にシム ( 補正 ) し、磁場の均一性を改善させることができる。2個の鉄製磁極片を接続するためには鉄製の帰還経路が用いられる。この鉄製磁極片はまた、マグネットをシールドする役割をすることに留意されたい。しかし、強力なマグネットでシールドを実現するためには、鉄製磁極片で大量の鉄が必要となる。超伝導マグネットの場合、計算により0.75テスラのマグネットのためには、必要となる超伝導体は概して200ポンドのみで、概して7000ポンドを超える重量をもつマグネットになることが示されており、この重量では重すぎて病院などの医療施設で使用することはできない。この重量では妥当なマグネット設計ができない。

30

40

## 【0006】

## 【発明が解決しようとする課題】

周知の設計と比較して物理的により稠密 ( コンパクト ) であり、且つマグネットのイメージング空間内により高い磁場の均一性を提供する超伝導マグネット設計が必要である。

## 【0007】

## 【課題を解決するための手段】

本発明の第1の実施形態では、超伝導マグネットは、長手方向に延在する軸と、超伝導主コイルおよび磁化可能な磁極片を有する第1のアセンブリとを含む。主コイルは、その軸と概して同軸状に整列し、第1の主電流を第1の方向に通し、且つこの軸から第1の半径方向距離に位置する。磁極片はこの軸と概して同軸状に整列し、且つ前記第1のアセンブ

50

りの主コイルから離隔される。前記第1のアセンブリの磁極片の大部分は、前記第1のアセンブリの主コイルの半径方向内方に配置される。また前記第1のアセンブリの磁極片はこの軸から半径方向外方に第1の半径方向距離の少なくとも75パーセントに等しい距離だけ延在する。マグネットの動作時には、第1のアセンブリの磁極片は、第1のアセンブリの主コイルの温度と概して等しい温度を有する。

**【0008】**

本発明の第2の実施形態では、超伝導マグネットは、長手方向に延在する軸を含み、また超伝導主コイル、磁化可能な磁極片および極低温流体用デュワー瓶を有する第1のアセンブリを含む。主コイルはその軸と概して同軸状に整列し、且つ第1の主電流を第1の方向に通す。磁極片はこの軸と概して同軸状に整列し、第1のアセンブリの主コイルから離隔し、且つ表面部分を有する。第1のアセンブリの磁極片の大部分は第1のアセンブリの主コイルの半径方向内方に配置される。デュワー瓶は第1のアセンブリの主コイルを取り囲み、且つ第1のアセンブリの磁極片の表面部分により一部が規定される内部表面を有する。

10

**【0009】**

本発明の第3の実施形態では、超伝導開放形マグネットは、長手方向に延在する軸と、互いに長手方向に離隔した第1および第2のアセンブリとを含み、これらの第1および第2のアセンブリの各々は、超伝導主コイル、超伝導シールド・コイル、磁化可能であり概して円筒形の磁極片、および極低温流体用デュワー瓶を有する。主コイルの各々はこの軸と概して同軸状に整列し、第1の主電流を同じ第1の方向に通す。磁極片の各々はこの軸と概して同軸状に整列し且つこれと交差し、その対応する主コイルから離隔し、且つ表面部分を有する。磁極片の各々は、その大部分がその対応する主コイルの半径方向内方に位置する。デュワー瓶の各々は、その対応する主コイルおよびシールド・コイルを取り囲み、且つその対応する磁極片の表面部分により一部が規定される内部表面を有する。

20

**【0010】**

一つの構造では、その開放形マグネットはまた、互いに離隔した概して磁化されない第1および第2の支持ポストを含む。これら支持ポストはそれぞれ、第1のアセンブリの磁極片に構造上装着される第1の端部を有し、第2のアセンブリの磁極片に構造上装着される第2の端部を有し、且つ表面部分を有する。この構造では、その開放形マグネットはさらに、それぞれが第1のアセンブリのデュワー瓶および第2のアセンブリのデュワー瓶と流体連通する第1および第2のデュワー瓶コンジット（導管）を含む。ここで第1のデュワー瓶コンジットは第1の支持ポストの表面部分により一部が規定される内部表面を有し、また第2のデュワー瓶コンジットは第2の支持ポストの表面部分により一部が規定される内部表面を有する。

30

**【0011】**

本発明による第1の方法は、磁化可能な磁極片および臨界温度をもつ超伝導主コイルを有する超伝導マグネットのために均一な磁気共鳴イメージング空間を提供するために、以下のステップa)およびステップb)を含む。即ち、a)主コイルをその臨界温度と等しいかこれより低い温度まで冷却するステップと、b)磁極片を主コイルの温度と概して等しい温度まで冷却するステップとを含む。

40

**【0012】**

本発明の第2の方法では、磁化可能な磁極片および超伝導主コイルを有する超伝導マグネットのために、物理的稠密性と均一なイメージング空間の双方を提供し、以下のステップa)ないしステップd)を含む。即ち、a)概して磁化されないコイル支持体を用意するステップと、b)このコイル支持体を磁極片に装着するステップと、c)主コイルをこのコイル支持体で支持するステップと、d)主コイルを取り囲み且つ磁極片の表面部分により一部が規定される内部表面を有するように、極低温流体用デュワー瓶を製作し配置するステップとを含む。

**【0013】**

本発明の第3の方法では、長手方向に延在する軸を有し、且つその各々が、その軸、超伝

50

導主コイルおよび超伝導シールド・コイルと交差する磁化可能であり概して円筒形の磁極片を含む互いに長手方向に離隔し概して同軸状に整列させた第1および第2のアセンブリを有する超伝導開放形マグネットのために、物理的稠密性と均一な磁気共鳴イメージング空間の双方を提供し、以下のステップa)ないしステップj)を含む。即ち、a)概して磁化されない第1のコイル支持体を用意するステップと、b)第1のコイル支持体を第1のアセンブリの磁極片に装着するステップと、c)第1のアセンブリの主コイルおよびシールド・コイルを第1のコイル支持体で支持するステップと、d)第1のアセンブリの主コイルおよびシールド・コイルを取り囲み、且つ第1のアセンブリの磁極片の表面部分により一部が規定される内部表面を有するように、極低温流体用デュワー瓶を製作し配置するステップと、e)概して磁化されない第2のコイル支持体を用意するステップと、f)第2のコイル支持体を第2のアセンブリの磁極片に装着するステップと、g)第2のアセンブリの主コイルおよびシールド・コイルを第2のコイル支持体で支持するステップと、h)第2のアセンブリの主コイルおよびシールド・コイルを取り囲み、且つ第2のアセンブリの磁極片の表面部分により一部が規定される内部表面を有するように、極低温流体用デュワー瓶を製作し配置するステップと、i)概して磁化されない支持ポストの第1の端部を第1のアセンブリの磁極片に装着し、且つこの支持ポストの第2の端部を第2のアセンブリの磁極片に装着するステップと、j)第1のアセンブリのデュワー瓶および第2のアセンブリのデュワー瓶と流体連通し、この支持ポストの表面部分により一部が規定される内部表面を有するデュワー瓶コンジットを製作し配置するステップとを含む。

10

#### 【0014】

20

本発明より幾つかの恩恵および利点がもたらされる。磁極片を極低温磁極片として製作することにより、従来の室温磁極片設計で温度変動により生じていたような室温変化に起因する磁場の不均一性が排除されるため、そのマグネットのイメージング空間内で高い磁場の均一性が得られる。磁極片をデュワー瓶の一部として製作することにより、本発明の極低温磁極片を極低温流体用デュワー瓶により完全に囲みようとするために余分なスペースを必要としないため物理的稠密性が得られる。

#### 【0015】

##### 【発明の実施の形態】

ここで同じ番号は一貫して同じ要素を表すようにした図面を参照して説明する。図1および2は、本発明によるマグネット10の実施の一形態を示している。ある応用例では、マグネット10は、医学的診断で用いられる磁気共鳴イメージング(MRI)用システム(図示しない)に静止磁場を提供する。本発明を記述するにあたり、マグネットがコイル、磁極片、またはデュワー瓶その他のコンポーネントを含むと述べた場合、このマグネットが少なくとも一つのコイル、少なくとも一つの磁極片、または少なくとも一つのデュワー瓶その他を含むという意味である理解すべきであることに留意されたい。

30

#### 【0016】

本発明の第1の形態では、超伝導マグネット10は、長手方向に延在する軸12および第1のアセンブリ14を含む。この第1のアセンブリ14は、超伝導主コイル16および磁化可能な磁極片18を含む。この主コイル16は軸12と概して同軸状に整列し、第1の主電流を第1の方向に通し、且つ軸12から第1の半径方向距離に配置される。この第1の方向は、電流の方向の僅かな長手方向成分を無視すると、軸12の周りの時計廻りあるいは反時計廻りのいずれかの円周方向と規定される。磁極片18は軸12と概して同軸状に整列し、且つ第1のアセンブリ14の主コイル16から離隔する。第1のアセンブリ14の磁極片18の大部分は、第1のアセンブリ14の主コイル16の半径方向内方に配置される。第1のアセンブリ14の磁極片18は軸12から半径方向外方に第1の半径方向距離の少なくとも75パーセントに等しい距離だけ延在する。マグネット10の動作時には、第1のアセンブリ14の磁極片18は第1のアセンブリ14の主コイル16の温度と概して等しい温度を有する。第1のアセンブリ14はテーブル・マグネット(図示しない)として単独で用いられることがあり、あるいは(図に示すような)開放形マグネットの2つのアセンブリの一つとして用いられることがあることに留意すべきである。マグネッ

40

50

ト 10 の動作時には、第 1 のアセンブリ 14 の主コイル 16 および磁極片 18 はクライオクーラのコールドヘッド（図示しない）、および/または極低温流体その他により冷却される。

【 0017 】

本発明の第 2 の形態では、超伝導マグネット 10 は長手方向に延在する軸 12 および第 1 のアセンブリ 14 を含む。この第 1 のアセンブリ 14 は超伝導主コイル 16、磁化可能な磁極片 18、および極低温流体用デュワー瓶 20 を含む。この超伝導主コイル 16 は軸 12 と概して同軸状に整列し、且つ第 1 の主電流を第 1 の方向に通す。この磁極片 18 は軸 12 と概して同軸状に整列し、主コイル 16 から離隔し、且つ表面部分 22 を有する。磁極片 18 の大部分は、主コイル 16 の半径方向内方に配置される。デュワー瓶 20 は主コイル 16 を取り囲み、且つ磁極片 18 の表面部分 22 により一部が規定される内部表面 24 を有する。

10

【 0018 】

特定のマグネット設計では、マグネットのイメージング空間内に大きな磁場強度を達成するために第 1 のアセンブリ 14 に別の超伝導主コイル（図示しない）を必要とすることがある。この際、当業者には周知のように、超伝導コイルで用いられている超伝導体の臨界電流密度を超えることがないようにする。超伝導主コイル 16 用の超伝導体の一例はニオブ・チタンである。磁極片 18 用の素材の一例は鉄である。

【 0019 】

一例では、マグネット 10 はまた、第 1 のアセンブリ 14 から長手方向に離隔した第 2 のアセンブリ 26 を含む。この第 2 のアセンブリ 26 は、超伝導主コイル 28、磁化可能な磁極片 30 および極低温流体用デュワー瓶 32 を含む。超伝導主コイル 28 は軸 12 と概して同軸状に整列し、且つ第 1 の主電流を上記の第 1 の方向に通す。磁極片 30 は軸 12 と概して同軸状に整列し、主コイル 28 から離隔し、且つ表面部分 34 を有する。この磁極片 30 の大部分は、主コイル 28 の半径方向内方に配置される。デュワー瓶 32 は主コイル 28 を取り囲み、且つ磁極片 30 の表面部分 34 により一部が規定される内部表面 36 を有する。図 1 および 2 に示す例では、その磁極片 18 はデュワー瓶 20 の内部表面 24 を規定しない別の表面部分 23 を含み、またその磁極片 30 はデュワー瓶 32 の内部表面 36 を規定しない別の表面部分 35 を含む。

20

【 0020 】

1 つの構造では、そのマグネット 10 はまた、磁極片 18 に装着され、第 1 のアセンブリ 14 の主コイル 16 を支持する概して磁化されないコイル支持体 38 を含み、またさらに磁極片 30 に装着され、第 2 のアセンブリ 26 の主コイル 28 を支持する概して磁化されないコイル支持体 40 を含む。ここで「磁化されない」とは、非磁性のステンレス鋼と同程度にしか磁化できないことを意味する。コイル支持体 38 および 40 用の素材の一例は、非磁性のステンレス鋼またはファイバークラスである。

30

【 0021 】

あるマグネット設計では、そのマグネット 10 はまた、第 1 のアセンブリ 14 の磁極片 18 に構造上装着される（たとえば溶接される）第 1 の端部を有し、第 2 のアセンブリ 26 の磁極片 30 に構造上装着される（たとえば溶接される）第 2 の端部を有し、且つ表面部分 44 を有する概して磁化されない（第 1 の）支持ポスト 42 を含む。（第 1 の）支持ポスト 42 用の素材の一例は、非磁性のステンレス鋼である。この設計では、そのマグネット 10 はさらに、第 1 のアセンブリ 14 のデュワー瓶 20 および第 2 のアセンブリ 26 のデュワー瓶 32 と流体連通する（第 1 の）デュワー瓶コンジット（導管）46 を含む。この（第 1 の）デュワー瓶コンジット 46 は、（第 1 の）支持ポスト 42 の表面部分 44 により一部が規定される内部表面 48 を有する。ここで、プレートアセンブリ 50 は第 1 のアセンブリ 14 のデュワー瓶 20 の内部表面の一部を規定している第 1 の部分 52 と、第 2 のアセンブリ 26 のデュワー瓶 32 の内部表面の一部を規定している第 2 の部分 54 と、（第 1 の）デュワー瓶コンジット 46 の内部表面の一部を規定している第 3 の部分 56 とを含む内部表面を有する。この例では、そのマグネット 10 はさらに、熱シールド 58

40

50



および真空容器 60 を含む。この熱シールド 58 は、第 1 および第 2 のアセンブリ 14 および 26 に対する磁極片 18 および 30 とデュワー瓶 20 および 32、(第 1 の) 支持ポスト 42 並びに (第 1 の) デュワー瓶コンジット 46 から離隔すると共に、概してこれらを取り囲む。この真空容器 60 は、熱シールド 58 から離隔し、且つこれを気密に取り囲む。プレートアセンブリ 50、熱シールド 58 および真空容器 60 用の素材の一例は非磁性のステンレス鋼である。この例において、上記した「離隔」は、従来のスペーサ 62 を用いて達成できることに留意すべきである。

#### 【0022】

動作時には、マグネット 10 は、第 1 および第 2 のアセンブリ 14 および 26 のデュワー瓶 20 および 32 内、並びに (第 1 の) デュワー瓶コンジット 46 内に配置された極低温流体 64 を含むことになる。極低温流体の一例は液体ヘリウムである。クライオクーラのコールドヘッド (図示しない) は、熱シールド 58 と接触するコールドヘッドの第 1 段階を有し、且つデュワー瓶 20 および 32 の最高点近くでデュワー瓶のボイド空間 (void volume) 内に貫通するコールドヘッドの第 2 段階を有することにより、気化した液体ヘリウムを再凝縮させるために使用されることがある。本発明のマグネットの別の実施形態 (図示しない) では、第 1 および第 2 のアセンブリ 14 および 26 はそれぞれ、自己完結型のデュワー瓶、熱シールドおよび真空容器を有することになる。この際、支持ポストにより真空容器は相互接続されることになるか、あるいは 2 つのアセンブリ 14 および 26 は「C」字形アーム、床および/または壁に対するボルト留め、またはその他の手段によって、離隔された関係で支持されることになる。図示しないこの実施形態では、その極低温流体 64 は、(第 1 の) デュワー瓶コンジット 46 がないため、第 1 および第 2 のアセンブリ 14 および 26 のデュワー瓶 20 および 32 内のみに配置されることになる。図 1 および 2 に示す実施形態では、そのマグネット 10 はまた、概して軸 12 上で第 1 および第 2 のアセンブリ 14 および 26 の間で長手方向に等距離に位置する中心を有する磁気共鳴イメージング空間 66 を含む。イメージング空間 66 の形状の一つは球形である。第 2 のアセンブリ 26 は通常、軸 12 と垂直であり、且つ第 1 および第 2 のアセンブリ 14 および 26 間の概して等距離に配置される面 (図示しない) に対して第 1 のアセンブリ 14 の鏡面像となることに留意すべきである。

#### 【0023】

本発明の第 3 の形態では、開放形超伝導マグネット 10 は長手方向に延在する軸 12 と、第 1 のアセンブリ 14 と、第 1 のアセンブリ 14 と長手方向に離隔した第 2 のアセンブリ 26 とを含む。第 1 のアセンブリ 14 は、超伝導主コイル 16 と、超伝導シールド・コイル 68 と、磁化可能であり概して円筒形の磁極片 18 と、極低温流体用デュワー瓶 20 とを含む。超伝導主コイル 16 は、軸 12 と概して同軸状に整列し、且つ第 1 の主電流を第 1 の方向に通す。超伝導シールド・コイル 68 は軸 12 と概して同軸状に整列し、主コイル 16 から長手方向外方に配置され、且つ第 1 のシールド電流を上記の第 1 の方向と反対方向に通す。磁極片 18 は軸 12 と概して同軸状に整列し且つこれと交差し、主コイル 16 およびシールド・コイル 68 から離隔し、且つ表面部分 22 を有する。磁極片 18 の大部分は、長手方向で主コイル 16 およびシールド・コイル 68 の間であり、且つこれらの半径方向内方に配置される。デュワー瓶 20 は主コイル 16 およびシールド・コイル 68 を取り囲み、且つ磁極片 18 の表面部分 22 によりその一部が規定される内部表面 24 を有する。第 2 のアセンブリ 26 は超伝導主コイル 28 と、超伝導シールド・コイル 70 と、磁化可能であり概して円筒形の磁極片 30 と、極低温流体用デュワー瓶 32 とを含む。超伝導主コイル 28 は軸 12 と概して同軸状に整列し、且つ第 2 の主電流を上記の第 1 の方向に通す。超伝導シールド・コイル 70 は軸 12 と概して同軸状に整列し、主コイル 28 より長手方向外方に配置され、且つ第 2 のシールド電流を上記の反対方向に通す。磁極片 30 は軸 12 と概して同軸状に整列し且つこれと交差し、主コイル 28 およびシールド・コイル 70 から離隔し、且つ表面部分 34 と有する。磁極片 30 の大部分は、長手方向で主コイル 28 およびシールド・コイル 70 の間であり、且つこれらの半径方向内方に配置される。デュワー瓶 32 は主コイル 28 およびシールド・コイル 70 を取り囲み、且つ

磁極片 30 の表面部分 34 によりその一部が規定される内部表面 36 を有する。

【 0024 】

1つの構造では、その開放形マグネット 10 はまた、磁極片 18 に装着されると共に第 1 のアセンブリ 14 の主コイル 16 およびシールド・コイル 68 を支持する概して磁化されないコイル支持体 38 および 72 を含み、またさらに磁極片 30 に装着されると共に第 2 のアセンブリ 26 の主コイル 28 およびシールド・コイル 70 を支持する概して磁化されないコイル支持体 40 および 74 を含む。あるマグネット設計では、その開放形マグネット 10 はまた、その各々が第 1 のアセンブリ 14 の磁極片 18 に構造上装着される第 1 の端部を有し、その各々が第 2 のアセンブリ 26 の磁極片 30 に構造上装着される第 2 の端部を有し、且つその各々が表面部分 44 を有する、概して磁化されない第 1 の支持ポスト 42 および第 2 の支持ポスト（図示しないが第 1 の支持ポスト 42 と同一である）を含む。この設計では、その開放形マグネット 10 はさらに、それぞれ第 1 のアセンブリ 14 のデュワー瓶 20 および第 2 のアセンブリ 26 のデュワー瓶 32 と流体連通する、第 1 のデュワー瓶コンジット 46 および第 2 のデュワー瓶コンジット（図示しないが第 1 のデュワー瓶コンジット 46 と同一である）を含む。第 1 のデュワー瓶コンジット 46 は、第 1 の支持ポスト 42 の表面部分 44 によりその一部が規定される内部表面 48 を有し、また第 2 のデュワー瓶コンジットは、第 2 の支持ポストの表面部分によりその一部が規定される内部表面を有する。この例では、その開放形マグネット 10 はさらに、熱シールド 58 および真空容器 60 を含む。熱シールド 58 は、第 1 および第 2 のアセンブリ 14 および 26 の磁極片 18 および 30 とデュワー瓶 20 および 32、第 1 の支持ポスト 42 および第 2 の支持ポスト、並びに第 1 のデュワー瓶コンジット 46 および第 2 のデュワー瓶コンジットから離隔し、且つこれらを概して取り囲む。真空容器 60 は、熱シールド 58 から離隔し、且つこれを気密に取り囲む。第 1 の支持ポスト 42 および第 1 のデュワー瓶コンジット 46 は真空容器 60 の第 1 の部分 76 内に配置されること、第 2 の支持ポストおよび第 2 のデュワー瓶コンジットはこの真空容器の第 2 の部分 78 内に配置されること、並びに真空容器 60 のこれら第 1 および第 2 の部分 76 および 78 は図 1 に示されていることに留意すべきである。動作時には、マグネット 10 は、上記の極低温流体 64 および磁気共鳴イメージング空間（単に「イメージング空間」とも言う）66 を含むことになる。ある構造では、第 1 の支持ポスト 42 および第 2 の支持ポストは（図 1 に示す真空容器 60 の第 1 および第 2 の部分 76 および 78 から分かるように）軸 12 の周りに概して 110 ないし 150 度の角度離隔をもち、且つイメージング空間 66 より半径方向外方に配置される。一例では概して 130 度の角度間隔により、イメージング空間 66 内に患者（図示しない）を都合良く配置できる。

【 0025 】

1つの応用例では、その開放形マグネット 10 はそのイメージング空間 66 内に概して 1.4 ないし 1.5 テスラの磁場を有する。開放形マグネット 10 がある向きの場合、その真空容器 60 の第 1 および第 2 の部分 76 および 78 は（図 1 に示すように）水平方向に整列し、患者は通常イメージング空間 66 内で立った姿勢をとることになる。開放形マグネット 10 が別の向きの場合（図示しない）には、真空容器 60 の第 1 および第 2 の部分 76 および 78 は垂直方向に整列し、患者は通常イメージング空間 66 内で患者用寝台に横たえられることになる。磁極片 18 および 30 によりコイル 16、28、68 および 70、並びにデュワー瓶 20 および 32 を含むマグネット 10 の主構造支持体が提供されること、磁極片 18 および 30 はイメージング空間 66 内により均一な磁場を提供するような形状とする（たとえばリング状ステップを有する）ことに留意すべきである。磁場不均一性に対する別の補正は、当業者の技術範囲内にあるような能動型シミングにより達成されることがある。図に示す例において、マグネット 10 は、アセンブリ 14 および 26 のそれぞれが分離された一对の平坦なシールド型傾斜 RF コイルに関するイメージング空間 66 に対面するくぼみ 80 を真空容器 60 内に有するように設計されること、その際磁極片 18 および 30 のポールフェースは、当業者によって評価されるように、層構造でないことにさらに留意すべきである。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 2 6 】

本発明による第 1 の方法は、以下のステップ a ) およびステップ b ) を含み、且つ磁化可能な磁極片 1 8 および臨界温度 (すなわち、その温度およびその温度以下で超伝導が起こる温度) をもつ超伝導主コイル 1 6 を有する超伝導マグネット 1 0 のために均一な磁気共鳴イメージング空間 6 6 を提供する。ここで、ステップ a ) は、主コイル 1 6 をその臨界温度と等しいかこれより低い温度まで冷却することを含む。ステップ b ) は、磁極片 1 8 を主コイル 1 6 の温度と概して等しい温度まで冷却することを含む。マグネット 1 0 の動作時には、第 1 のアセンブリ 1 4 の主コイル 1 6 および磁極片 1 8 はクライオクーラのコールドヘッド (図示しない)、および / または極低温流体その他により冷却される。

## 【 0 0 2 7 】

本発明の第 2 の方法では、ステップ a ) ないしステップ d ) を含み、磁化可能な磁極片 1 8 および超伝導主コイル 1 6 を有する超伝導マグネット 1 0 のために、物理的稠密性と均一な磁気共鳴イメージング空間 6 6 の双方を提供する。ここで、ステップ a ) は、概して磁化されないコイル支持体 3 8 を用意することを含む。ステップ b ) は、このコイル支持体 3 8 を磁極片 1 8 に装着することを含む。ステップ c ) は、主コイル 1 6 をこのコイル支持体 3 8 で支持することを含む。ステップ d ) は、主コイル 1 6 を取り囲み且つ磁極片 1 8 の表面部分 2 2 により一部が規定される内部表面 2 4 を有するように、極低温流体用デュワー瓶 2 0 を製作し配置することを含む。

## 【 0 0 2 8 】

本方法の一実施例では、磁極片 1 8 およびデュワー瓶 2 0 から離隔し、且つこれらを概して取り囲むように熱シールド 5 8 を配置するためのステップが追加される。この実施例では、この熱シールド 5 8 から離隔し、且つこれを気密に取り囲むように真空容器 6 0 を配置するためのステップがさらに追加される。これに、極低温流体 6 4 をデュワー瓶 2 0 内に配置するためのステップがさらに追加される。

## 【 0 0 2 9 】

本方法の 1 つの応用例では、ステップ d ) により、磁極片 1 8 の表面部分 2 2 が、磁極片 1 8 の全表面積の概して 4 0 パーセントと概して 6 0 パーセントとの間にあるようにデュワー瓶 2 0 を製作する。この同じ応用例あるいは別の応用例では、ステップ d ) によりボイド空間を有するようにデュワー瓶 2 0 を製作し、このボイド空間の少なくとも概して 6 0 パーセントを磁極片 1 8 の長手方向外方に位置させる。

## 【 0 0 3 0 】

本発明の第 3 の方法では、ステップ a ) ないしステップ j ) を含み、長手方向に延在する軸 1 2 を有し、且つその各々が、軸 1 2、超伝導主コイル 1 6 および 2 8、並びに超伝導シールド・コイル 6 8 および 7 0 と交差する磁化可能であり概して円筒形の磁極片 1 8 および 3 0 を含む互いに長手方向に離隔し概して同軸状に整列させた第 1 および第 2 のアセンブリ 1 4 および 2 6 を有する超伝導開放形マグネット 1 0 のために、物理的稠密性と均一な磁気共鳴イメージング空間 6 6 の双方を提供する。ここで、ステップ a ) は、概して磁化されない第 1 のコイル支持体 3 8 および 7 2 を用意することを含む。ステップ b ) は第 1 のコイル支持体 3 8 および 7 2 を第 1 のアセンブリ 1 4 の磁極片 1 8 に装着することを含む。ステップ c ) は、主コイル 1 6 およびシールド・コイル 6 8 を第 1 のアセンブリ 1 4 の第 1 のコイル支持体 3 8 および 7 2 で支持することを含む。ステップ d ) は、第 1 のアセンブリ 1 4 の主コイル 1 6 およびシールド・コイル 6 8 を取り囲み、且つ磁極片 1 8 の表面部分 2 2 により一部が規定される内部表面 2 4 を有するように、極低温流体用デュワー瓶 2 0 を製作し配置することを含む。ステップ e ) は、概して磁化されない第 2 のコイル支持体 4 0 および 7 4 を用意することを含む。ステップ f ) は、第 2 のコイル支持体 4 0 および 7 4 を第 2 のアセンブリ 2 6 の磁極片 3 0 に装着することを含む。ステップ g ) は、主コイル 2 8 およびシールド・コイル 7 0 を第 2 のアセンブリ 2 6 の第 2 のコイル支持体 4 0 および 7 4 で支持することを含む。ステップ h ) は、第 2 のアセンブリ 2 6 の主コイル 2 8 およびシールド・コイル 7 0 を取り囲み、且つ磁極片 3 0 の表面部分 3 4 により一部が規定される内部表面 3 6 を有するように、極低温流体用デュワー瓶 3 2 を製

10

20

30

40

50

作し配置することを含む。ステップ i ) は、概して磁化されない ( 第 1 の ) 支持ポスト 4 2 の第 1 の端部を第 1 のアセンブリ 1 4 の磁極片 1 8 に装着し、且つ ( 第 1 の ) 支持ポスト 4 2 の第 2 の端部を第 2 のアセンブリ 2 6 の磁極片 3 0 に装着することを含む。ステップ j ) は、第 1 のアセンブリ 1 4 のデュワー瓶 2 0 および第 2 のアセンブリ 2 6 のデュワー瓶 3 2 と流体連通し、( 第 1 の ) 支持ポスト 4 2 の表面部分 4 4 により一部が規定される内部表面 4 8 を有する ( 第 1 の ) デュワー瓶コンジット 4 6 を製作し配置することを含む。

#### 【 0 0 3 1 】

本方法の一実施例では、第 1 および第 2 のアセンブリ 1 4 および 2 6 の磁極片 1 8 および 3 0 とデュワー瓶 2 0 および 3 2、( 第 1 の ) 支持ポスト 4 2、並びに ( 第 1 の ) デュワー瓶コンジット 4 6 から離隔し、且つこれらを概して取り囲むように熱シールド 5 8 を配置するためのステップが追加される。この実施例では、この熱シールド 5 8 から離隔し、且つこれを気密に取り囲むように真空容器 6 0 を配置するためのステップがさらに追加される。これに、第 1 および第 2 のアセンブリ 1 4 および 2 6 のデュワー瓶 2 0 および 3 2 内、並びに ( 第 1 の ) デュワー瓶コンジット 4 6 内に極低温流体 6 4 を配置するためのステップがさらに追加される。

#### 【 0 0 3 2 】

本方法の 1 つの応用例では、ステップ d ) により、磁極片 1 8 の表面部分 2 2 が、磁極片 1 8 の全表面積の概して 4 0 パーセントと概して 6 0 パーセントの間にあるように第 1 のアセンブリ 1 4 のデュワー瓶 2 0 を製作し、またステップ h ) により、磁極片 3 0 の表面部分 3 4 が、磁極片 3 0 の全表面積の概して 4 0 パーセントと概して 6 0 パーセントの間にあるように第 2 のアセンブリ 2 6 のデュワー瓶 3 2 を製作する。この同じ応用例あるいは別の応用例では、ステップ d ) により、ボイド空間を有するように第 1 のアセンブリ 1 4 のデュワー瓶 2 0 を製作し、デュワー瓶 2 0 のボイド空間の少なくとも概して 6 0 パーセントを磁極片 1 8 の長手方向外方に位置させ、またステップ h ) により、ボイド空間を有するように第 2 のアセンブリ 2 6 のデュワー瓶 3 2 を製作し、デュワー瓶 3 2 のボイド空間の少なくとも概して 6 0 パーセントを磁極片 3 0 の長手方向外方に位置させる。一例では、ステップ j ) により、( 第 1 の ) 支持ポスト 4 2 の半径方向外方にその全体が位置するボイド空間を有するように ( 第 1 の ) デュワー瓶コンジット 4 6 を製作する。

#### 【 0 0 3 3 】

本発明より幾つかの恩恵および利点がもたらされる。磁極片を極低温磁極片として製作することにより、従来の室温磁極片設計で温度変動により生じていたような室温変化に起因する磁場の不均一性が排除されるため、そのマグネットのイメージング空間内で高い磁場の均一性が得られる。磁極片をデュワー瓶の一部として製作することにより、本発明の極低温磁極片を極低温流体用デュワー瓶により完全に取り囲みようとするために余分なスペースを必要としないため物理的稠密性が得られる。

#### 【 0 0 3 4 】

当業者であれば、従来の磁場分析技法を基にコンピュータ・シミュレーションを使用すること、並びに本発明による教示を用いることで、所望の磁場強度、所望レベルの磁場の不均一性および所望レベルのシールド ( すなわち、漂遊磁場が 5 ガウスとなる開放形超伝導マグネットのイメージング空間 6 6 の中心からの所望の位置 ) をもつシールド付き開放形超伝導マグネット 1 0 を設計できる。磁極片は磁場の強度を強めるため、主コイルで必要とする超伝導体はより少なくすむ。磁極片の半径方向で最外側の部分により、局所的な磁束の帰還が主コイルにもたらされ、これにより磁極片で必要となる鉄を少なくし、且つ主コイルで必要となる超伝導体の量を減らすことができる。またこの磁極片の半径方向で最外側の部分により、シールド用コイルの主コイルからの磁気結合が遮断されるため、シールド用コイルからの磁力線は磁極片の半径方向で最外側の部分により捕捉され、主コイルからの磁力線に到達することはない。このため、シールド用コイルからの磁力線の影響を差し引くように磁場を相殺するために、磁極片の鉄の質量を増加させる必要はなく、また主コイルの超伝導体の量を増加させる必要はない。その理由は、磁極片の半径方向で最

10

20

30

40

50

外側の部分があることによってこの磁力線が阻止されるからである。

【 0 0 3 5 】

コンピュータ・シミュレーションにより、図に示す直径 35 センチメートルの球形のイメージング空間を有する 1.4 テスラの MRI (磁気共鳴イメージング) 用マグネットであれば、重量が約 30000 ポンドであり、また 5 ガウス漂遊磁場はイメージング空間 66 の中心から垂直方向に 4.5 メートル、水平方向に 5.5 メートルの広がりをもつことになることが示されている。12000 ポンドのルーム・シールドを使用することにより、この 5 ガウス漂遊磁場は垂直方向に 2.5 メートル、水平方向に 3.5 メートルに抑えることができる。このマグネットは一辺が 180 センチメートルの立方体 (すなわち、長さ、幅および高さがすべて 180 センチメートルの立方体) の内部に収まることになる。

10

【 0 0 3 6 】

本発明のマグネットおよび本発明に関する幾つかの方法の実施形態に関し、その幾つかの表現形を上記で述べてきたが、これは例示を目的として提示してきたものである。すべてを網羅したり、本発明を開示した詳細の形態に限定する意図ではなく、上記の教示に照らして多くの修正形態や変形形態が可能であることは明らかである。本発明の範囲は添付の特許請求の範囲により規定されるように意図したものである。

【 図面の簡単な説明 】

【 図 1 】 本発明のマグネットの実施の一形態の斜視略図である。

【 図 2 】 図 1 の線 2 - 2 に沿って見た図 1 のマグネットの断面略図である。

【 符号の説明 】

20

- 10 (開放形) マグネット
- 12 長手方向に延在する軸
- 14 第 1 のアセンブリ
- 16 第 1 のアセンブリの超伝導主コイル
- 18 第 1 のアセンブリの磁極片
- 20 第 1 のアセンブリのデュワー瓶
- 22 第 1 のアセンブリの磁極片の表面部分
- 23 第 1 のアセンブリの磁極片の別の表面部分
- 24 第 1 のアセンブリのデュワー瓶の内部表面
- 26 第 2 のアセンブリ
- 28 第 2 のアセンブリの超伝導主コイル
- 30 第 2 のアセンブリの磁極片
- 32 第 2 のアセンブリのデュワー瓶
- 34 第 2 のアセンブリの磁極片の表面部分
- 35 第 2 のアセンブリの磁極片の別の表面部分
- 36 第 2 のアセンブリのデュワー瓶の内部表面
- 38 第 1 のアセンブリの超伝導主コイルのコイル支持体
- 40 第 2 のアセンブリの超伝導主コイルのコイル支持体
- 42 (第 1 の) 支持ポスト
- 44 (第 1 の) 支持ポストの表面部分
- 46 (第 1 の) デュワー瓶コンジット
- 48 (第 1 の) デュワー瓶コンジットの内部表面
- 50 第 1 のアセンブリのデュワー瓶、第 2 のアセンブリのデュワー瓶および (第 1 の) デュワー瓶コンジット用のプレートアセンブリ
- 52 プレートアセンブリの内部表面の第 1 の部分
- 54 プレートアセンブリの内部表面の第 2 の部分
- 56 プレートアセンブリの内部表面の第 3 の部分
- 58 熱シールド
- 60 真空容器
- 62 スペース

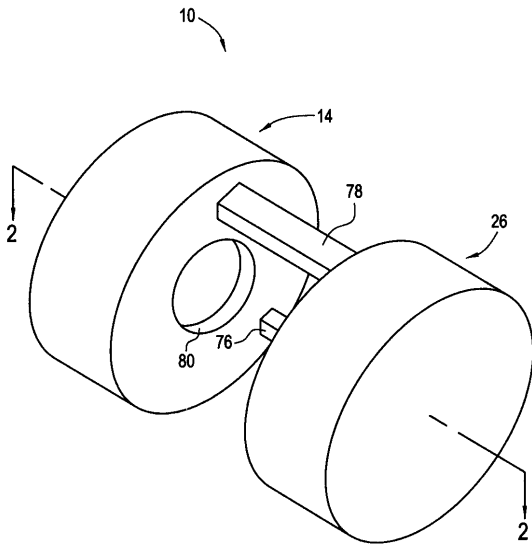
30

40

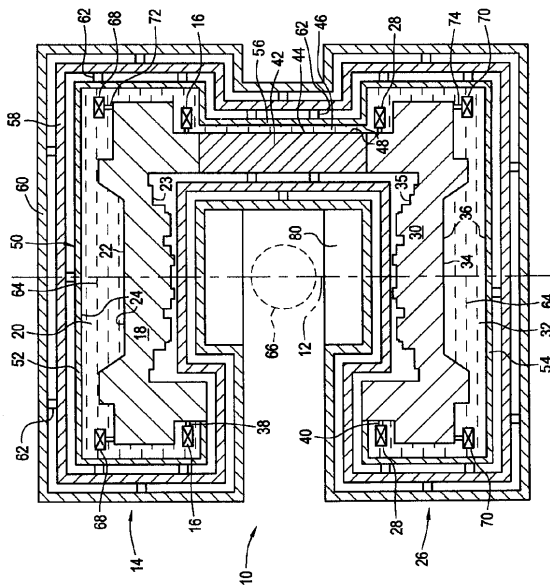
50

- 6 4 極低温流体
- 6 6 イメージング空間
- 6 8 第 1 のアセンブリの超伝導シールド・コイル
- 7 0 第 2 のアセンブリの超伝導シールド・コイル
- 7 2 第 1 のアセンブリの超伝導シールド・コイル用のコイル支持体
- 7 4 第 2 のアセンブリの超伝導シールド・コイル用のコイル支持体
- 7 6 真空容器の第 1 の部分
- 7 8 真空容器の第 2 の部分
- 8 0 くぼみ

【 図 1 】



【 図 2 】



---

フロントページの続き

(72)発明者 マイケル・アンソニー・パルモ, ジュニア  
アメリカ合衆国、ニューヨーク州、ボールストン・スパ、ディビジョン・ストリート、4番

審査官 鈴木 匡明

(56)参考文献 特開平09 - 182730 (JP, A)  
実開昭62 - 126809 (JP, U)  
特開平09 - 213519 (JP, A)  
特開平10 - 135027 (JP, A)  
特開平05 - 090022 (JP, A)  
特開2000 - 037366 (JP, A)  
特開2000 - 051178 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl.<sup>7</sup>, DB名)

H01F 6/00- 6/06  
H01L 39/02-39/04  
H01L 39/14-39/16  
H01L 39/20  
A61B 5/05  
G01N 24/06