

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4266425号  
(P4266425)

(45) 発行日 平成21年5月20日(2009.5.20)

(24) 登録日 平成21年2月27日(2009.2.27)

(51) Int.Cl.		F I	
HO 1 F	6/00 (2006.01)	HO 1 F	7/22 Z A A F
HO 1 F	27/36 (2006.01)	HO 1 F	27/36 Z A A B
HO 5 K	9/00 (2006.01)	HO 5 K	9/00 Z A A H
A 6 1 B	5/055 (2006.01)	A 6 1 B	5/05 3 3 1

請求項の数 16 (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願平11-37964	(73) 特許権者	390041542 ゼネラル・エレクトリック・カンパニイ GENERAL ELECTRIC CO MPANY アメリカ合衆国、ニューヨーク州、スケネ クタデイ、リバーロード、1番
(22) 出願日	平成11年2月17日(1999.2.17)	(74) 代理人	100093908 弁理士 松本 研一
(65) 公開番号	特開平11-283824	(72) 発明者	エヴァンゲロス・トゥリフォン・ラスカリ ス アメリカ合衆国、ニューヨーク州、スケ クタデイ、クリムゾン・オーク・コート、 15番
(43) 公開日	平成11年10月15日(1999.10.15)		
審査請求日	平成18年2月14日(2006.2.14)		
(31) 優先権主張番号	09/061415		
(32) 優先日	平成10年4月16日(1998.4.16)		
(33) 優先権主張国	米国(US)		
(31) 優先権主張番号	09/026390		
(32) 優先日	平成10年2月19日(1998.2.19)		
(33) 優先権主張国	米国(US)		
(31) 優先権主張番号	09/035639		
(32) 優先日	平成10年3月5日(1998.3.5)		
(33) 優先権主張国	米国(US)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 遮蔽付き開放型超伝導磁石

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

第1のアセンブリと第2のアセンブリとを備えた開放型超伝導磁石であって、前記第1のアセンブリは、

(a1) 第1のボアを包囲していると共に、全体的に縦方向に伸びている第1の軸を有している全体的にトロイド形の第1の真空密閉容器と、

(a2) 前記第1の軸と全体的に同軸状に整列して、前記第1の真空密閉容器の内部に設けられていると共に、第1の主電流を第1の方向に流す全体的に円環形の第1の超伝導主コイルと、

(a3) 前記第1の軸と全体的に同軸状に整列して、前記第1の超伝導主コイルより縦方向外側で前記第1の真空密閉容器の内部に設けられていると共に、第1の遮蔽電流を前記第1の方向とは反対の方向に流す全体的に円環形の第1の超伝導遮蔽コイルと、

(a4) 縦方向において前記第1の超伝導主コイルと前記第1の超伝導遮蔽コイルとの間に設けられており、前記第1の軸と全体的に同軸状に整列して、前記第1の真空密閉容器の内部に設けられていると共に、前記第1の超伝導主コイル及び遮蔽コイルから離隔して設けられている磁化可能で且つ全体的に円環形の第1のリングと、

(a5) 前記第1の軸と全体的に同軸状に整列して、前記第1のボアの内部に且つ前記第1の真空密閉容器の外部に設けられている磁化可能で且つ全体的に円筒形の第1の磁極片とを含んでおり、また、前記第2のアセンブリは、

(b1) 第2のボアを包囲していると共に、前記第1の軸と全体的に同軸状に整列してい

10

20

る全体的に縦方向に伸びている第 2 の軸を有して、前記第 1 の真空密閉容器から縦方向に離隔して設けられている全体的にトロイド形の第 2 の真空密閉容器と、

(b 2) 前記第 2 の軸と全体的に同軸状に整列して、前記第 2 の真空密閉容器の内部に設けられていると共に、第 2 の主電流を前記第 1 の方向に流す全体的に円環形の第 2 の超伝導主コイルと、

(b 3) 前記第 2 の軸と全体的に同軸状に整列して、前記第 2 の超伝導主コイルより縦方向外側で前記第 2 の真空密閉容器の内部に設けられていると共に、第 2 の遮蔽電流を前記反対の方向に流す全体的に円環形の第 2 の超伝導遮蔽コイルであって、ここで、前記第 1 及び第 2 の超伝導主コイル同士が前記第 1 及び第 2 の超伝導遮蔽コイル同士よりも互いに縦方向に近接している、第 2 の超伝導遮蔽コイルと、

(b 4) 縦方向において前記第 2 の超伝導主コイルと前記第 2 の超伝導遮蔽コイルとの間に設けられており、前記第 2 の軸と全体的に同軸状に整列して、前記第 2 の真空密閉容器の内部に設けられていると共に、前記第 2 の超伝導主コイル及び遮蔽コイルから離隔して設けられている磁化可能で且つ全体的に円環形の第 2 のリングと、

(b 5) 前記第 2 の軸と全体的に同軸状に整列して、前記第 2 のボアの内部で前記第 2 の真空密閉容器の外部に設けられていると共に、前記第 1 の磁極片から縦方向に離隔して設けられて、該第 1 の磁極片への磁化可能な実体経路を有していない磁化可能で且つ全体的に円筒形の第 2 の磁極片とを含んでいること、を特徴とする開放型超伝導磁石。

#### 【請求項 2】

前記第 1 の磁極片は前記第 1 の真空密閉容器に取り付けられており、前記第 2 の磁極片は前記第 2 の真空密閉容器に取り付けられており、前記磁石はまた、前記第 1 及び第 2 の磁極片を接続する唯一の支持部材を含んでおり、該支持部材は、縦方向において完全に前記第 1 の磁極片と前記第 2 の磁極片との間に配置されている非磁化可能な支持部材であり、前記支持部材を全体的に二分する切断平面内に前記第 1 の軸が完全に位置するような切断平面により形成される前記磁石の断面から見ると、前記支持部材並びに前記第 1 及び第 2 のアセンブリは組み合わさって全体的に C 字形の形状を構成している請求項 1 に記載の開放型超伝導マグネット。

#### 【請求項 3】

前記第 2 のアセンブリは、前記第 1 及び第 2 のアセンブリの間に縦方向に等距離に配置されると共に前記第 1 の軸に対して全体的に垂直に配向する平面に関して、前記第 1 のアセンブリの全体的な鏡映像である請求項 1 に記載の開放型超伝導磁石。

#### 【請求項 4】

前記磁石はまた、前記第 1 及び第 2 のアセンブリの間に全体的に縦方向に等距離に配置される磁気共鳴イメージング空間を含んでいる請求項 3 に記載の開放型超伝導磁石。

#### 【請求項 5】

前記イメージング空間は、前記第 1 の軸の上に全体的に位置する中心を有している全体的に球状のイメージング空間である請求項 4 に記載の開放型超伝導磁石。

#### 【請求項 6】

前記第 1 の真空密閉容器の内部に設けられている超伝導コイルは、前記第 1 の超伝導主コイル及び前記第 1 の超伝導遮蔽コイルのみである請求項 3 に記載の開放型超伝導磁石。

#### 【請求項 7】

前記磁石はまた、冷却段を有しているクライオクーラ・コールドヘッドを含んでおり、前記冷却段は、前記第 2 の超伝導遮蔽コイルと実体として熱伝導接触している請求項 3 に記載の開放型超伝導磁石。

#### 【請求項 8】

前記第 1 の超伝導主コイルは、前記第 1 のリングに対して、前記第 1 の超伝導遮蔽コイルが前記第 1 のリングに対するよりも縦方向に近接して設けられている請求項 7 に記載の開放型超伝導磁石。

#### 【請求項 9】

前記平面への前記第 1 のリングの縦方向投影が、前記平面への前記第 1 の超伝導主コイ

10

20

30

40

50

ルの縦方向投影を完全にカバーしていると共に、前記平面への前記第 1 の超伝導遮蔽コイルの縦方向投影を完全にカバーしている請求項 7 に記載の開放型超伝導磁石。

【請求項 1 0】

前記平面への前記第 1 の超伝導遮蔽コイルの縦方向投影が、前記平面への前記第 1 の超伝導主コイルの縦方向投影の少なくとも 2 分の 1 をカバーする請求項 7 に記載の開放型超伝導磁石。

【請求項 1 1】

前記第 1 のアセンブリはまた、前記第 1 の真空密閉容器の内部に設けられていて、前記第 1 の超伝導主コイルを支持していると共に、前記第 1 のリングに隣接している主コイル側フランジを有している主コイル巻型と、前記第 1 の真空密閉容器の内部に設けられていて、前記第 1 の超伝導遮蔽コイルを支持していると共に、前記第 1 のリングに隣接している遮蔽コイル側フランジを有している遮蔽コイル巻型と、前記第 1 の軸の周りに円周方向に配列されていて、それぞれ前記第 1 の真空密閉容器の内部に設けられて、それぞれ前記第 1 の軸に全体的に平行に整列していると共に、それぞれ前記主コイル側フランジ、前記第 1 のリング及び前記遮蔽コイル側フランジを完全に貫通している複数の隔設されたボルトとを含んでいる請求項 3 に記載の開放型超伝導磁石。

10

【請求項 1 2】

前記ボルトはそれぞれ、前記遮蔽コイル側フランジの縦方向外側に、該フランジを越えて伸びている雄ねじ付き縦方向外側端部を有しており、前記ボルトはそれぞれ、前記主コイル側フランジの縦方向内側に、該フランジを越えて伸びている雄ねじ付き縦方向内側端部を有しており、前記第 1 のアセンブリは更に、前記ボルトの前記縦方向内側及び縦方向外側の各端部にねじ係合する多数の雌ねじ付きナットを含んでいる請求項 1 1 に記載の開放型超伝導磁石。

20

【請求項 1 3】

前記第 1 の磁極片は実質的に鉄から成り、前記第 1 のリングは実質的に炭素鋼から成る請求項 3 に記載の開放型超伝導磁石。

【請求項 1 4】

前記磁石はまた、前記第 1 の真空密閉容器の内部に設けられていると共に前記第 1 の超伝導主コイル及び遮蔽コイル並びに前記第 1 のリングを包囲している第 1 の冷凍剤容器を含んでおり、該第 1 の冷凍剤容器は液体冷凍剤を収容している請求項 3 に記載の開放型超伝導磁石。

30

【請求項 1 5】

前記第 1 のアセンブリはまた、すべて前記第 1 の真空密閉容器の内部に設けられている第 1 の熱遮蔽体と、内側支持円筒と、外側支持円筒とを含んでおり、前記第 1 の熱遮蔽体は、前記第 1 の冷凍剤容器と前記第 1 の真空密閉容器との間に、これらから離隔して設けられており、前記内側支持円筒は、前記第 1 の軸と全体的に同軸状に整列しており、前記第 1 の真空密閉容器に固定されている第 1 の端部と、前記第 1 の熱遮蔽体に固定されている第 2 の端部とを有しており、前記外側支持円筒は前記第 1 の軸と全体的に同軸状に整列しており、前記外側支持円筒は、前記第 1 の熱遮蔽体に固定されている第 1 の端部と、前記第 1 の冷凍剤容器に固定されている第 2 の端部とを有している請求項 1 4 に記載の開放型超伝導磁石。

40

【請求項 1 6】

前記内側支持円筒及び外側支持円筒はそれぞれ、実質的に繊維強化複合材から成り、前記液体冷凍剤は実質的に液体ヘリウムから成る請求項 1 5 に記載の開放型超伝導磁石。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は一般的には、一様な磁場を形成するのに用いられる開放型超伝導磁石に関し、より具体的には、磁石から発生する迷走磁場から磁石の周囲の区域を保護する遮蔽を有している上述の磁石に関する。

50

## 【 0 0 0 2 】

## 【従来の技術】

超伝導磁石には、医用診断等の様々な用途に用いられる磁気共鳴イメージング(MRI)システムの一部である超伝導磁石がある。また公知の超伝導磁石では、液体ヘリウム冷却式超伝導磁石及びクライオクーラ冷却式超伝導磁石がある。典型的には、超伝導コイル・アセンブリは、第1の熱遮蔽体によって包囲されている超伝導主コイルを含んでいる。第1の熱遮蔽体は、真空密閉容器によって包囲されている。クライオクーラ冷却式磁石では好ましくはまた、この真空密閉容器に外部から装着されているクライオクーラ・コールドヘッドが含まれている。クライオクーラ・コールドヘッドの第1の冷却段が上述の熱遮蔽体と熱的に接触しており、第2の冷却段が超伝導主コイルと熱的に接触している。液体ヘリウム冷却式磁石では好ましくはまた、超伝導主コイルを包囲している液体ヘリウム容器と、液体ヘリウム容器を包囲している第1の熱遮蔽体を更に包囲する第2の熱遮蔽体とが含まれている。

10

## 【 0 0 0 3 】

公知の超伝導磁石設計には、閉鎖型磁石及び開放型磁石がある。閉鎖型磁石は典型的には、ボア(中孔)を有している単一の筒形の超伝導コイル・アセンブリを有している。この超伝導コイル・アセンブリは、半径方向に整列し且つ縦方向に隔設されているいくつかの超伝導主コイルを含んでおり、これらの超伝導主コイルの各々は同じ方向に同一の大電流を流す。このようにして、超伝導主コイルは、磁石ボア内に中心を有する典型的には球状のイメージング空間内に高度に一様性の磁場を形成するように設計されており、その中にイメージング対象の物体が置かれる。また、単一の筒形の超伝導遮蔽アセンブリを用いて、主コイルを包囲するように主コイルによって形成される高磁場が磁石の付近の電子設備と不利な相互作用をするのを防止してもよい。このような遮蔽アセンブリは、半径方向に整列し且つ縦方向に隔設されているいくつかの超伝導遮蔽コイルを含んでいる。これらの超伝導遮蔽コイルは、主コイルに流れる電流とほぼ等しいアンペア数を有するがその反対方向に電流を流し、また主コイルの半径方向外側に配置されている。

20

## 【 0 0 0 4 】

C字形磁石を含めた開放型磁石は典型的には、2つの隔設された超伝導コイル・アセンブリを用いており、これらのアセンブリの間の空間がイメージング空間を収容し、またこの空間によって、磁気共鳴イメージング中に外科的処置または他の医療処置を行う医療人員が近付き得るようになっている。患者は、この空間に配置してもよいし、またはトロイド形コイル・アセンブリのボア内に配置してもよい。開放空間になっていると、閉鎖型磁石設計の場合に経験されることのある閉所恐怖症的なあらゆる感覚を患者が克服する助けになる。遮蔽を有している公知の開放型超伝導磁石設計には、各々の超伝導コイル・アセンブリが、開放したボアを有していると共に、縦方向に且つ超伝導主コイル(1つまたは複数)より半径方向外側に配置されている超伝導遮蔽コイルを含んでいるものがある。遮蔽コイルの磁場減殺効果を克服するためには、主コイルに高価な超伝導体が大量に必要とされる。計算によると、0.75テスラの磁石の場合、ほぼ2300ポンドの超伝導体が必要とされ、ここからほぼ12000ポンドの重量の高価な磁石が得られる。この重量は適度であり、この磁石は利用可能性のある磁石設計となっている。

30

40

## 【 0 0 0 5 】

## 【発明が解決しようとする課題】

超伝導コイル・アセンブリのボア内に鉄製の磁極片を設けた開放型磁石設計もまた公知であり、この設計では超伝導遮蔽コイルを含んでいない。鉄製の磁極片は、磁場の強度を増強し、また磁極片の表面を成形することにより磁石を磁氣的にシミング(shimming)して磁場の均一性を向上させる。2つの鉄製磁極片を接続するために、鉄製の戻り経路(リターン・パス)が用いられる。鉄製の磁極片はまた、磁石を遮蔽するように作用することに留意されたい。しかしながら、強い磁石に対する遮蔽を達成するためには、鉄製の磁極片に大量の鉄が必要とされる。計算によると、0.75テスラの磁石の場合には、ほぼ200ポンドの超伝導体しか必要とされないが、ここから7000ポンドを上回る重量の磁石

50

が得られ、これは病院等の医療施設で用いるには重すぎる。この重量では、この磁石は利用可能性のある磁石設計とはならない。

【0006】

従って、医療施設で用いるのに十分軽量で且つ公知の設計よりも安価な遮蔽付き開放型超伝導磁石設計が必要とされている。

【0007】

【課題を解決するための手段】

本発明の開放型超伝導磁石は、第1のアセンブリと第2のアセンブリとを含んでいる。第1のアセンブリは、全体的にトロイド形の第1の真空密閉容器と、全体的に円環形の第1の超伝導主コイルと、全体的に円環形の第1の超伝導遮蔽コイルと、磁化可能で且つ全体的に円環形の第1のリングと、磁化可能で且つ全体的に円筒形の第1の磁極片とを含んでいる。第1の真空密閉容器は第1のボアを包囲しており、また全体的に縦方向に伸びている第1の軸を有する。第1の超伝導主コイル、第1の超伝導遮蔽コイル及び第1のリングは、第1の軸と全体的に同軸状に整列していると共に、第1の真空密閉容器の内部に配置されている。第1の超伝導主コイルは第1の主電流を第1の方向に流し、第1の超伝導遮蔽コイルは第1の遮蔽電流を第1の方向とは反対の方向に流す。第1の超伝導遮蔽コイルは第1の超伝導主コイルより縦方向外側に配置されている。第1のリングは第1の超伝導主コイル及び遮蔽コイルから離隔して設けられている。第1の磁極片は、第1の軸と全体的に同軸状に整列していると共に、第1のボアの内部に且つ第1の真空密閉容器の外部に配置されている。

【0008】

第2のアセンブリは、全体的にトロイド形の第2の真空密閉容器と、全体的に円環形の第2の超伝導主コイルと、全体的に円環形の第2の超伝導遮蔽コイルと、磁化可能で且つ全体的に円環形の第2のリングと、磁化可能で且つ全体的に円筒形の第2の磁極片とを含んでいる。第2の真空密閉容器は、第2のボアを包囲しており、また第1の軸と全体的に同軸状に整列して全体的に縦方向に伸びている第2の軸を有する。第2の超伝導主コイル、第2の超伝導遮蔽コイル及び第2のリングは、第2の軸と全体的に同軸状に整列していると共に、第2の真空密閉容器の内部に配置されている。第2の超伝導主コイルは第1の主電流を上記で定義した第1の方向に流し、第2の超伝導遮蔽コイルは第1の遮蔽電流を上記で定義したような反対の方向に流す。第2の超伝導遮蔽コイルは第2の超伝導主コイルより縦方向外側に配置されている。第2のリングは第2の超伝導主コイル及び遮蔽コイルから離隔して設けられている。第2の磁極片は、第2の軸と全体的に同軸状に整列していると共に、第2のボアの内部に且つ第2の真空密閉容器の外部に配置されている。第2の真空密閉容器は第1の真空密閉容器から縦方向に離隔して設けられている。第2の磁極片は、第1の磁極片から縦方向に離隔して設けられていて、第1の磁極片への磁化可能な実体(solid)経路を有していない。第1及び第2の超伝導主コイルは、第1及び第2の超伝導遮蔽コイル同士よりも互いに縦方向に近接している。例示的な構成では、第1及び第2の磁極片は実質的に鉄から成り、第1及び第2のリングは実質的に炭素鋼から成る。

【0009】

本発明から、様々な長所及び利点を得られる。磁極片及びリングは、磁場の強度を増強するので、主コイルに必要な超伝導体が少なくて済む。炭素鋼製のリングは、主コイルのための部分的な磁束戻り路を提供し、これにより磁極片に必要とされる鉄が減少し、また主コイルに必要とされる超伝導体の量が減少する。炭素鋼製のリングはまた、遮蔽コイルを主コイルから磁氣的に減結合(decouple)して、遮蔽コイルからの磁束線が鉄製リングによって捕捉されるようにすると共に主コイルからの磁束線に影響を及ぼさないようにする。このように、遮蔽コイルからの磁束線は、炭素鋼製リングの存在によって阻止されるので、これらの磁束線の磁場低減効果を相殺するために磁極片の鉄の質量を増大させたり主コイル内の超伝導体の量を増大させたりする必要がない。コンピュータ・シミュレーションによると、本発明に従った0.7テスラの磁石では、ほぼ800ポンドの超伝導体を用い、ここからほぼ16000ポンドの重量の磁石が得られ(この重量は医療施設に設置する

10

20

30

40

50

のに十分に軽量である)、しかも、利用可能性のある等価な従来の磁石に比べて僅か半分の経費しか掛からない。

【0010】

【発明の実施の形態】

ここで、図面を参照して説明する。図面では、類似の参照番号は、全体を通して類似の構成要素を表している。図1～図4は、本発明の開放型超伝導磁石の第1の好ましい実施例10を示している。好ましくは、磁石10は、0.5テスラまたはそれよりも強い磁石である。磁石10は、第1のアセンブリ12を含んでいる。第1のアセンブリ12は、全体的にトロイド形の第1の真空密閉容器14を含んでおり、第1の真空密閉容器14は第1のボア16を包囲しており、また全体的に縦方向に伸びている第1の軸18を有する。好ましくは、第1の真空密閉容器14は実質的に非磁性のステンレス鋼またはアルミニウムから成る。

10

【0011】

第1のアセンブリ12はまた、第1の軸18と全体的に同軸状に整列していると共に第1の真空密閉容器14の内部に設けられている全体的に円環形の第1の超伝導主コイル20を含んでいる。第1の超伝導主コイル20は、第1の主電流を第1の方向に流す。この第1の方向は、電流方向のあらゆる微弱な縦方向成分を無視した状態で、第1の軸18を巡る時計回りまたは反時計回りの円周方向のいずれかであるものと定義される。当業者に公知のように、磁石のイメージング空間内で、超伝導コイルに用いられている超伝導体の臨界電流密度を超えることなく高い磁場強度を達成するためには、追加の第1の超伝導主コイルが必要とされる可能性があることを特記しておく。第1の超伝導主コイル20として好ましい超伝導体は、ニオブ-チタンである。

20

【0012】

第1のアセンブリ12は加えて、第1の軸18と全体的に同軸状に整列している全体的に円環形の第1の超伝導遮蔽コイル22を含んでいる。第1の超伝導遮蔽コイル22は、第1の超伝導主コイル20の縦方向外側で、第1の真空密閉容器14の内部に設けられている。第1の超伝導遮蔽コイル22は、第1の遮蔽電流を上で定義した第1の方向と反対の方向に流す。第1の超伝導遮蔽コイル22として好ましい超伝導体は、ニオブ-チタンである。

【0013】

第1のアセンブリ12は更に、第1の軸18と全体的に同軸状に整列していると共に第1の真空密閉容器14の内部に設けられている磁化可能で且つ全体的に円環形の第1のリング24を含んでいる。第1のリング24は、第1の超伝導主コイル20及び遮蔽コイル22から離隔して設けられている。好ましくは、第1のリング24は実質的に強磁性物質から成る。好ましい構成では、第1のリング24は実質的に炭素鋼から成る。

30

【0014】

第1のアセンブリ12は更に、第1の軸18と全体的に同軸状に整列している磁化可能で且つ全体的に円筒形の第1の磁極片26を含んでいる。第1の磁極片26は、第1のボア16の内部に且つ第1の真空密閉容器14の外部に配置されている。好ましくは、第1の磁極片26は実質的に強磁性物質から成る。好ましい構成では、第1の磁極片26は実質的に鉄から成る。一実施例では、第1の磁極片26は第1の真空密閉容器14に取り付けられている。

40

【0015】

開放型超伝導磁石10はまた、第2のアセンブリ28を含んでいる。第2のアセンブリ28は、全体的にトロイド形の第2の真空密閉容器30を含んでおり、第2の真空密閉容器30は第2のボア32を包囲しており、また第1の軸18と全体的に同軸状に整列しており全体的に縦方向に伸びている第2の軸34を有している。第2の真空密閉容器30は、第1の真空密閉容器14から縦方向に離隔して設けられている。好ましくは、第2の真空密閉容器30は実質的に非磁性のステンレス鋼またはアルミニウムから成る。

【0016】

50

第2のアセンブリ28はまた、第2の軸34と全体的に同軸状に整列していると共に第2の真空密閉容器30の内部に設けられている全体的に円環形の第2の超伝導主コイル36を含んでいる。第2の超伝導主コイル36は、第2の主電流を上記で定義した第1の方向に流す。当業者に公知のように、第1のアセンブリに追加の第1の超伝導主コイルが存在しているならば、これと均衡を取るためには、追加の第2の超伝導主コイルが必要とされる可能性があることを特記しておく。第2の超伝導主コイル36として好ましい超伝導体は、ニオブ - チタンである。

【0017】

第2のアセンブリ28は更に、第2の軸34と全体的に同軸状に整列している全体的に円環形の第2の超伝導遮蔽コイル38を含んでいる。第2の超伝導遮蔽コイル38は、第2の超伝導主コイル36の縦方向外側で、第2の真空密閉容器30の内部に設けられている。第2の超伝導遮蔽コイル38は、第2の遮蔽電流を上記で定義したような反対の方向に流す。第1及び第2の超伝導主コイル20及び36は、第1及び第2の超伝導遮蔽コイル22及び38同士よりも互いに縦方向に近接している。第2の超伝導遮蔽コイル38として好ましい超伝導体は、ニオブ - チタンである。

10

【0018】

第2のアセンブリ28は更に、第2の軸34と全体的に同軸状に整列していると共に第2の真空密閉容器30の内部に設けられている磁化可能で且つ全体的に円環形の第2のリング40を含んでいる。第2のリング40は、第2の超伝導主コイル36及び遮蔽コイル38から離隔して設けられている。好ましくは、第2のリング40は実質的に強磁性物質から成る。好ましい構成では、第2のリング40は実質的に炭素鋼から成る。

20

【0019】

第2のアセンブリ28は更に、第2の軸34と全体的に同軸状に整列している磁化可能で且つ全体的に円筒形の第2の磁極片42を含んでいる。第2の磁極片42は、第2のボア32の内部に且つ第2の真空密閉容器30の外部に配置されている。第2の磁極片42は、第1の磁極片26から縦方向に離隔して設けられていると共に、第1の磁極片26への磁化可能な実体経路を有していない。好ましくは、第2の磁極片42は実質的に強磁性物質から成る。好ましい構成では、第2の磁極片42は実質的に鉄から成る。一実施例では、第2の磁極片42は第2の真空密閉容器30に取り付けられている。

30

【0020】

図示例の構成では、開放型超伝導磁石10は、第1のアセンブリ12と第2のアセンブリ28とを接続する唯一の支持部材44を含んでおり、支持部材44は、望ましくは第1及び第2のアセンブリ12及び28の第1の磁極片26と第2の磁極片42とを接続している。好ましくは、支持部材44は、実質的に非磁性のステンレス鋼から成る非磁化可能な支持部材である。支持部材44は、縦方向に完全に第1の磁極片26と第2の磁極片42との間に配置されている。好ましくは、切断平面によって形成される磁石10の断面から見ると、支持部材44、第1のアセンブリ12及び第2のアセンブリ28は組み合わせて、全体的にC字形の形状を構成する。このとき、第1の軸18は切断平面内に完全に位置しており、切断平面は支持部材44を全体的に二分しているものとする。上記で定義した断面は、図3に示されている断面であり、図3を反時計回りに90°回転させることによりC字形に見えることを特記しておく。

40

【0021】

好ましくは、第2のアセンブリ28は、第1のアセンブリ12と第2のアセンブリ28との間に縦方向に等距離に配置されると共に第1の軸18に対して全体的に垂直に配向する平面46（その縁部が図3の破線で示されている）に関して、第1のアセンブリ12の全体的な鏡映像となっている。磁石10がMRI（磁気共鳴イメージング）用磁石として用いられるときには、磁石10は、第1のアセンブリ12と第2のアセンブリ28との間に全体的に縦方向に等距離に配置される磁気共鳴イメージング空間48（図1～図3では点線で示されている）を含んでいる。好ましくは、イメージング空間48は、全体的に球状のイメージング空間であり、第1の軸18の上に全体的に位置している中心50を有して

50

いる。図 1 及び図 2 では、イメージング位置に患者 5 1 が示されている。

【 0 0 2 2 】

超伝導コイル 2 0、2 2、3 6 及び 3 8 は、好ましくは、液体ヘリウムなどの冷凍剤(cryogen)による冷却、クライオクーラによる冷却またはこれらの併用による冷却によって、各コイルの臨界温度よりも低い温度に冷却されて、超伝導を実現すると共に維持することを特記しておく。また、第 1 及び第 2 のリング 2 4 及び 4 0 は、超伝導コイル 2 0、2 2、3 6 及び 3 8 と同じ極低温に冷却されることを特記しておく。冷却方法の第 1 の選択肢(図 4 を参照)では、第 1 のアセンブリ 1 2 に図示されているように、磁石 1 0 はまた第 1 の冷凍剤容器 5 2 を含んでいる。第 1 の冷凍剤容器 5 2 は、第 1 の真空密閉容器 1 4 の内部に設けられていると共に、第 1 の超伝導主コイル 2 0 及び遮蔽コイル 2 2 並びに第 1 のリング 2 4 を包囲している。第 1 の冷凍剤容器 5 2 は、液体ヘリウムから実質的に成るもの等の液体冷凍剤 5 4 を収容している。好ましくは、第 1 の冷凍剤容器 5 2 は実質的にアルミニウムまたは非磁性のステンレス鋼から成る。

10

【 0 0 2 3 】

冷却方法の第 1 の選択肢では、好ましくは、第 1 のアセンブリ 1 2 はまた第 1 の熱遮蔽体 5 6 と内側支持円筒 5 8 と外側支持円筒 6 0 とを含んでおり、これらはすべて第 1 の真空密閉容器 1 4 の内部に設けられている。第 1 の熱シールド 5 6 は、第 1 の冷凍剤容器 5 2 と第 1 の真空密閉容器 1 4 との間に、これらから離隔して設けられている。内側支持円筒 5 8 は、第 1 の軸 1 8 と全体的に同軸状に整列しており、その第 1 の端部が第 1 の真空密閉容器 1 4 に固定され、第 2 の端部が第 1 の熱遮蔽体 5 6 に固定されている。外側支持円筒 6 0 は、第 1 の軸 1 8 と全体的に同軸状に整列しており、その第 1 の端部が第 1 の熱シールド 5 6 に固定され、第 2 の端部が第 1 の冷凍剤容器 5 2 に固定されている。例示的な構成では、第 1 の熱遮蔽体 5 6 は実質的にアルミニウムから成り、内側及び外側の支持円筒 5 8 及び 6 0 は実質的に繊維強化複合材から成る。好ましくは、非金属の各支持円筒の各端部の上述したような固定は、支持円筒の端部に丸みのついたリムを形成し、リムを把捉する金属製リングを用いることにより達成され、いくつかのこれらのようなリングが、当業者には理解され得るように、金属製真空密閉容器、金属製熱シールドまたは金属製冷凍剤容器に適当に取り付けられている。内側及び外側の支持円筒 5 8 及び 6 0 には張力が働いており、これらの円筒 5 8 及び 6 0 が、当業者には理解され得るように、磁石 1 0 によって発生される磁力に対して第 1 の真空密閉容器 1 4 の内部の磁石構成要素を機械的に支持するための優れたシステムを形成していることを特記しておく。

20

30

【 0 0 2 4 】

冷却方法の第 2 の選択肢では、第 2 のアセンブリ 2 8 に図示されているように、磁石 1 0 はまたクライオクーラ・コールドヘッド 6 2 を含んでおり、クライオクーラ・コールドヘッド 6 2 は、第 2 の真空密閉容器 3 0 に取り付けられているハウジング 6 4 と、冷却段 6 6 とを有している。冷却段 6 6 は、第 2 の超伝導遮蔽コイル 3 8 と実体として熱伝導接触していると共に、相互接続用熱バス・バー(図面には示されていない)によって第 2 の超伝導主コイル 3 6 と熱伝導接触している。

【 0 0 2 5 】

冷却方法のその他の選択肢(図面には示されていない)には、各々のアセンブリが個有の冷凍剤容器を有しており、一方の冷凍剤容器内の液体冷凍剤が、支持部材の内部に又は支持部材に並行して設けられている相互接続用断熱導管を介して他方の冷凍剤容器内の液体冷凍剤と流体連通するものがある。代替的には、支持部材内に実体の熱伝導経路を設けて、第 2 の真空密閉容器上に設けられているクライオクーラ・コールドヘッドが、第 1 の真空密閉容器内の超伝導主コイル及び遮蔽コイルをも冷却し得るようにすることもできる。典型的には、1 つ(図 4 に示すような)またはそれ以上の熱遮蔽体が、超伝導主コイル及び遮蔽コイルから離隔して設けられ、これらを包囲している。冷凍剤による冷却の場合には、これらのような熱遮蔽体(図 4 に示すような)は、クライオジェン容器の外部に配置される。2 つのアセンブリを熱的に相互接続するためには、各々のアセンブリの真空密閉容器、熱遮蔽体及び(存在しているならば)クライオジェン容器は、好ましくは支持部材

40

50

の近傍で相互接続される。当業者に公知のように、いずれの選択肢の冷却方法の場合でも、磁石10は更に、必要に応じて、磁石構成要素を適正に隔離配置すると共に支持するための熱スペーサ及びコイル巻型を含むことを特記しておくが、これらのスペーサは、簡明にするために図面から省略されており、また、コイル巻型については以下で述べる。

【0026】

好ましい構成では、第1のアセンブリ12は、主コイル巻型68と、遮蔽コイル巻型70と、隔設されている複数のボルト72(うち1つのみを図面に示す)と、多数の雌ねじ付きナット74(うち2つのみを図面に示す)とを含んでいる。主コイル巻型68は第1の真空密閉容器14の内部に設けられており、第1の超伝導主コイル20を支持していると共に、第1のリング24に隣接している主コイル側フランジ76を有している。遮蔽コイル巻型70は、第1の真空密閉容器14の内部に設けられており、第1の超伝導遮蔽コイル22を支持していると共に、第1のリング24に隣接している遮蔽コイル側フランジ78を有している。ボルト72はそれぞれ第1の真空密閉容器14の内部に設けられており、これらのボルトは第1の軸18の周りに円周方向に配列されている。ボルト72はそれぞれ、第1の軸18と全体的に平行に整列していて、主コイル側フランジ76、第1のリング24及び遮蔽コイル側フランジ78を完全に貫通している。ボルト72の各々は、遮蔽コイル側フランジ78の縦方向外側にこのフランジ78を越えて伸びている雄ねじ付き縦方向外側端部と、主コイル側フランジ76の縦方向内側にこのフランジ76を越えて伸びている雄ねじ付き縦方向内側端部とを有している。ナット74は、ボルト72の縦方向内側端部及び縦方向外側端部にねじ係合している。第1及び第2のリング24及び40が、好ましくは炭素鋼製であって、極低温では脆性であるので、ねじを全く含んでいないことを特記しておく。好ましくは、主コイル巻型68及び遮蔽コイル巻型70は、実質的にガラス繊維から成る。熱及び応力に関する理由から望ましい場合には、当業者には理解され得るように、ガラス繊維断熱材を超伝導コイルと冷凍剤容器との間に設けることもできるし、アルミニウム製のオーババンド(overband)が(ガラス繊維断熱材を挟んで)超伝導コイルを包囲していてもよい。

【0027】

例示的な設計では、第1のリング24は縦方向において第1の超伝導主コイル20と遮蔽コイル22との間に設けられており、第2のリング40は縦方向において第2の超伝導主コイル36と遮蔽コイル38との間に設けられている。また、第1の超伝導主コイル20は、第1のリング24に対して、第1の超伝導遮蔽コイル22が第1のリング24に対するよりも縦方向に近接して設けられており、そして第2の超伝導主コイル36は、第2のリング40に対して、第2の超伝導遮蔽コイル38が第2のリング40に対するよりも縦方向に近接して設けられている。更に、前に定義した平面46への第1のリング24の縦方向投影は、前に定義した平面46への第1の超伝導主コイル20の縦方向投影を完全にカバーしていると共に、前に定義した平面46への第1の超伝導遮蔽コイル22の縦方向投影を完全にカバーしている。同様に、前に定義した平面46への第2のリング40の縦方向投影は、前に定義した平面46への第2の超伝導主コイル36の縦方向投影を完全にカバーしていると共に、前に定義した平面46への第2の超伝導遮蔽コイル38の縦方向投影を完全にカバーしている。加えて、前に定義した平面46への第1の超伝導遮蔽コイル22の縦方向投影は、前に定義した平面46への第1の超伝導主コイル20の縦方向投影の少なくとも2分の1をカバーしており、また、前に定義した平面46への第2の超伝導遮蔽コイル38の縦方向投影は、前に定義した平面46への第2の超伝導主コイル36の縦方向投影の少なくとも2分の1をカバーしている。好ましくは、第1の真空密閉容器14の内部に設けられている超伝導コイルは、第1の超伝導主コイル20及び遮蔽コイル22のみであり、第2の真空密閉容器30の内部に設けられている超伝導コイルは、第2の超伝導主コイル36及び遮蔽コイル38のみである。

【0028】

当業者は、従来の磁場分析手法に基づくコンピュータ・シミュレーション及び本発明の教示を用いて、所望の磁場強度、所望の磁場不均一度、及び所望の遮蔽レベル(すなわち、

10

20

30

40

50

開放型超伝導磁石のイメージング空間の中心からの所望の5ガウスの迷走磁場の位置)を有する開放型磁石を設計し得ることを特記しておく。当業者には理解され得るように、このような分析から判明することとして、図3に示すように、磁石10の性能に影響を及ぼすことなく、同軸状に整列する鉄の円板を第1の磁極片26の縦方向外側の区域80から除去し得ることを特記しておく。前述のように、磁極片及びリングは、磁場の強度を増強するので、主コイルに必要な超伝導体が少なく済む。炭素鋼製のリングは、主コイルのための部分的な磁束戻り路を提供し、これにより磁極片に必要とされる鉄が減少し、また主コイルに必要とされる超伝導体の量が減少する。炭素鋼製のリングはまた、遮蔽コイルを主コイルから磁氣的に減結合して、遮蔽コイルからの磁束線が炭素鋼製リングによって捕捉されるように且つ主コイルからの磁束線に影響を及ぼさないようにする。このように、遮蔽コイルからの磁束線は、炭素鋼製リングの存在によって阻止されるので、これらの磁束線の磁場低減効果を相殺するために磁極片の鉄の質量を増大させたり主コイル内の超伝導体の量を増大させたりする必要がない。コンピュータ・シミュレーションによると、本発明に従った0.7テスラの磁石では、5ガウスの迷走磁場が磁石10のイメージング空間48の中心50から垂直方向に3.8メートルの範囲内及び水平方向に4.8メートルの範囲内に含まれている場合には、ほぼ800ポンドの超伝導体を用いて、ほぼ16000ポンドの重量の磁石が得られ(この重量は、医療施設に設置するのに十分に軽量である)、しかも、利用可能性のある等価な従来の磁石に比べて僅か半分の経費しか掛からない。

10

#### 【0029】

20

本発明のいくつかの好ましい実施例についての以上の説明は、例示の目的のためになされている。この説明は網羅的なものではなく又発明を開示された厳密な形態に限定するものでもなく、以上の教示に照らすと多くの改変及び変形が可能であることは明らかである。本発明の要旨は特許請求の範囲によって画定されるものとする。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の開放型超伝導磁石の第1の好ましい実施例の概略正面図である。

【図2】図1の磁石の概略上面図である。

【図3】図1及び図2の磁石を図2の線3-3に沿って見たときの断面図であり、クライオクーラ・コールドヘッドを付加して示している図である。

【図4】図3に示す磁石の下方右側部分の詳細図である。

30

#### 【符号の説明】

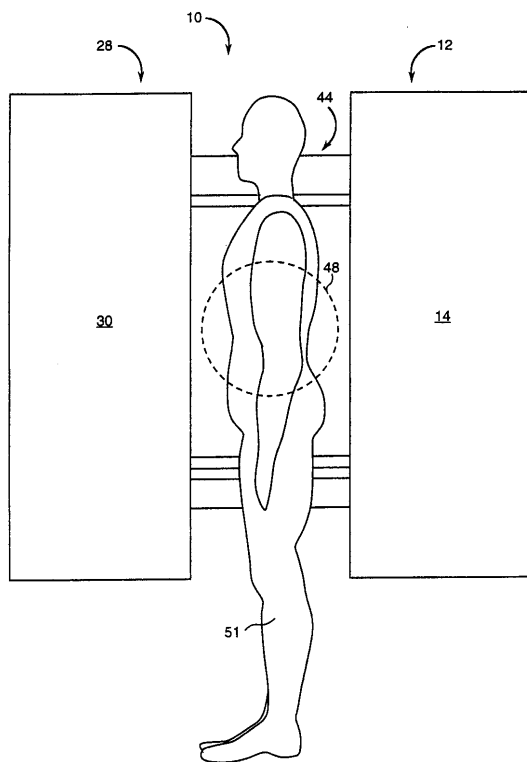
- 10 開放型超伝導磁石
- 12 第1のアセンブリ
- 14 第1の真空密閉容器
- 16 第1のボア
- 18 第1の軸
- 20 第1の超伝導主コイル
- 22 第1の超伝導遮蔽コイル
- 24 第1のリング
- 26 第1の磁極片
- 28 第2のアセンブリ
- 30 第2の真空密閉容器
- 32 第2のボア
- 34 第2の軸
- 36 第2の超伝導主コイル
- 38 第2の超伝導遮蔽コイル
- 40 第2のリング
- 42 第2の磁極片
- 44 支持部材
- 46 鏡映面

40

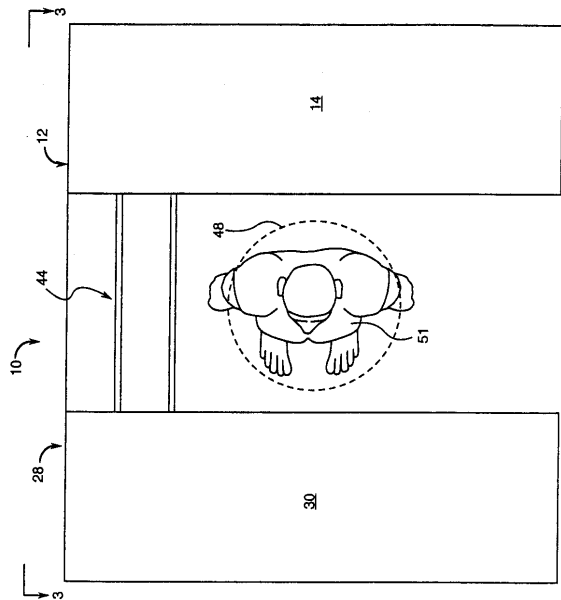
50

- 4 8 磁気共鳴イメージング空間
- 5 2 第 1 の冷凍剤容器
- 5 4 液体冷凍剤
- 5 6 第 1 の熱遮蔽体
- 5 8 内側支持円筒
- 6 0 外側支持円筒
- 6 2 クライオクーラ・コールドヘッド
- 6 4 ハウジング
- 6 6 冷却段
- 6 8 主コイル巻型
- 7 0 遮蔽コイル巻型
- 7 2 ボルト
- 7 4 ナット
- 7 6 主コイル側フランジ
- 7 8 遮蔽コイル側フランジ
- 8 0 第 1 の磁極片の縦方向外側区域

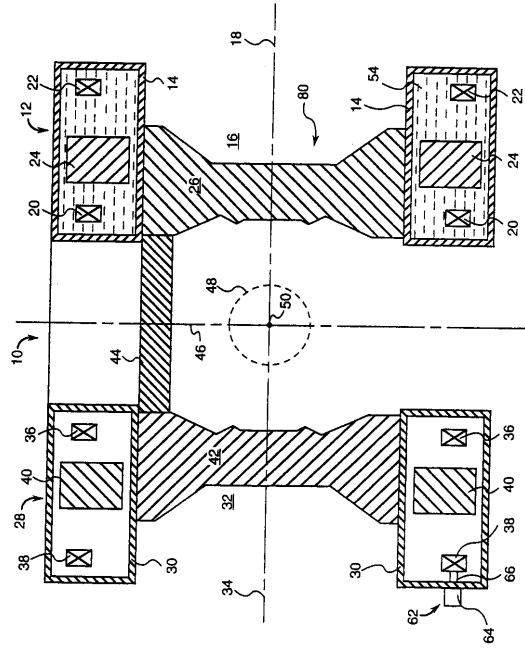
【 図 1 】



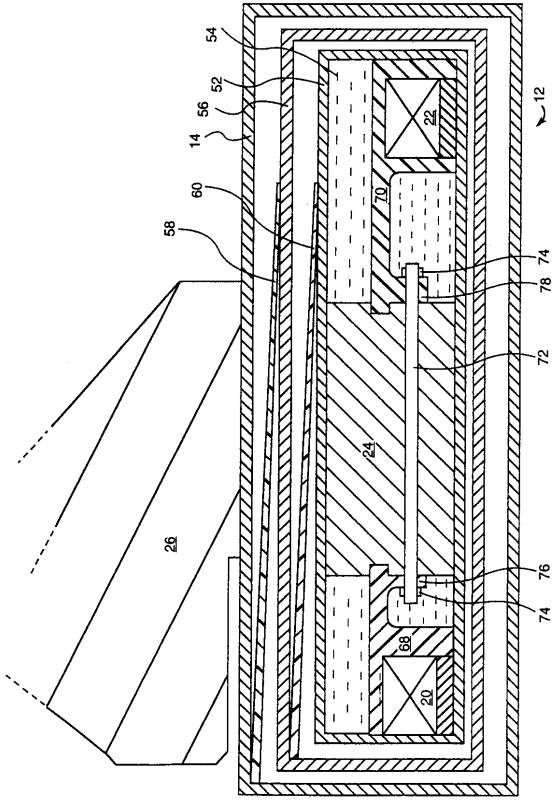
【 図 2 】



【 図 3 】



【 図 4 】



---

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、ディヴィジョン・ストリート、4番
- (72)発明者 ブ・シン・スー  
アメリカ合衆国、サウス・カロライナ州、フローレンス、ブライアー・レイ・ロード、708番

審査官 右 高 孝幸

- (56)参考文献 特開平07-204174(JP,A)  
特開平09-276246(JP,A)  
特開平09-190913(JP,A)  
特開平09-271469(JP,A)  
特開平04-038931(JP,A)  
特開平04-504067(JP,A)  
特開平08-159633(JP,A)  
特開平11-318857(JP,A)  
特開平02-139903(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

A61B 5/055  
G01R 33/20-33/64