

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5717792号  
(P5717792)

(45) 発行日 平成27年5月13日(2015.5.13)

(24) 登録日 平成27年3月27日(2015.3.27)

(51) Int.Cl. F I  
H O 1 L 39/04 (2006.01) H O 1 L 39/04

請求項の数 8 (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願2013-111967 (P2013-111967)	(73) 特許権者	509272285
(22) 出願日	平成25年5月28日(2013.5.28)		シーメンス ピーエルシー
(62) 分割の表示	特願2009-115709 (P2009-115709) の分割		イギリス国 ジュー16 8キューディ ー サーレイ カンバーレイ フリムレイ サー ウイリアム シーメンス スクウ エア ファラデイ ハウス
原出願日	平成21年5月12日(2009.5.12)	(74) 代理人	100075166
(65) 公開番号	特開2013-191877 (P2013-191877A)		弁理士 山口 巖
(43) 公開日	平成25年9月26日(2013.9.26)	(72) 発明者	ユージン アストラ
審査請求日	平成25年6月25日(2013.6.25)		イギリス国 オーエックス3 7エヌダブ リュウ オックスフォード ガールドスト ーン クロウズ 21
(31) 優先権主張番号	0808444.4	(72) 発明者	トレヴォー ブライアン ハズバンド
(32) 優先日	平成20年5月12日(2008.5.12)		イギリス国 オーエックス16 9ワイビ ー バンバリー マーテン ゲート 3
(33) 優先権主張国	英国 (GB)		最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 極低温容器からのガスの流出の制御

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

コントローラ(30)が極低温容器内のガス圧力を示すデータを受信し、  
制御弁(40)が前記極低温容器(12)からの極低温ガスの流出を制御する、超伝導  
磁石(10)を収容する前記極低温容器(12)からのガスの流出を制御するための方法  
において、

現在の、または予定された画像形成シーケンスを示す前記磁石の状態を示すデータが前  
記コントローラに利用可能にされ、前記極低温容器からの極低温ガスの流出が、前記磁石  
の状態を示す前記利用可能なデータに応じて前記コントローラ(30)によって制御され  
る前記制御弁(40)の動作によって制御されることを特徴とする方法。

【請求項2】

現在の、または予定された画像形成シーケンスを示す前記磁石の状態を示す前記利用可  
能なデータに応じて、前記コントローラ(30)は、前記画像形成手順によって引き起こ  
される前記極低温容器内への熱の流入を妨げるための冷却効果を与えるために前記極低温  
容器内の圧力を引き下げるように前記弁(40)を制御することを特徴とする請求項1に  
記載の方法。

【請求項3】

コントローラ(30)が極低温容器内のガス圧力を示すデータを受信し、  
制御弁(40)が前記極低温容器(12)からの極低温ガスの流出を制御する、超伝導  
磁石(10)を収容する前記極低温容器(12)からのガスの流出を制御するための方法

10

20

において、

点検修理作業が実行されるべきであることを示す前記磁石の状態を示すデータが前記コントローラに利用可能にされ、かつ、前記データは遠隔の場所から受信されるデータが前記コントローラに利用可能にされ、さらに、前記極低温容器からの極低温ガスの流出が、前記磁石の状態を示す前記利用可能なデータに応じて前記コントローラ(30)によって制御される前記制御弁(40)の動作によって制御されることを特徴とする方法。

【請求項4】

点検修理作業が実行されるべきであることを示す前記磁石の状態を示す前記利用可能なデータは、遠隔供給され、電気通信ネットワークを通して受信される、請求項3に記載の方法。

10

【請求項5】

点検修理作業が実行されるべきであることを示す前記磁石の状態を示す前記利用可能なデータに応じて、前記コントローラ(30)は、前記極低温容器内の圧力が大気圧より低く降下しないことを保証しながら前記極低温容器内の圧力をほぼ大気圧に引き下げるように前記弁(40)を制御することを特徴とする請求項3または4に記載の方法。

【請求項6】

前記磁石の状態を示す前記利用可能なデータは、前記磁石の動作を制御するコントローラの機能の一部として前記コントローラによって生成される、請求項1ないし5のいずれか一項に記載の方法。

【請求項7】

前記磁石の状態を示す前記利用可能なデータは、前記磁石に関連するセンサによって前記コントローラに利用可能にされる、請求項1ないし6のいずれか一項に記載の方法。

20

【請求項8】

前記磁石の状態を示す前記利用可能なデータは、前記磁石の一部分との電気的接続によって前記コントローラに利用可能にされる、請求項1ないし7のいずれか一項に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

30

【0001】

本発明は、容器内のガス圧力と容器からのガス流とを調整するための制御装置および方法に関する。本発明は特に、MRI画像形成システムにおける超電導磁石コイルを冷却するために知られたような極低温容器内のガス圧力および極低温容器からのガスの流れの制御に関する。

【背景技術】

【0002】

図1は、クライオスタット内に收容されたMRI画像形成磁石の断面を略図的に示す。当分野で公知のように、このような装置は一般的には、極低温液体14で部分的に満たされた極低温容器12内に吊り下げられた、形成体(図示せず)上に取り付けられた1セットの超電導コイル10を備える。極低温液体は、その沸点がコイル10に使用されているワイヤの超電導遷移温度より低くなるように選択される。極低温容器を外側真空容器OVC16が取り囲む。OVCの内面と極低温容器の外表面との間の空間18は、対流による極低温容器への熱流入を減らすために排気される。輻射による極低温容器への熱流入を減らすために、排気された空間には1つ以上の熱輻射シールド19が設けられ得る。熱流入を更に減らすために、排気された空間内にはアルミニウム被覆されたポリエステルシート19aといった固体断熱層も設けられ得る。支持・懸架部材20の慎重な設計は、伝導による極低温容器への熱流入を減らす。

40

【0003】

コイル10には、アクセスタレット24を通して極低温容器内につながる電流リード2

50

2によって電流が供給される。電流を導入または除去するプロセスは、後に詳述するようにランピング（ramping）として公知である。アクセスレットはまた、一般的には極低温ガスが流出するための通気経路25を備える。磁石10の動作状態に依存して、幾つかの理由から極低温ガスが流出することを可能にすることは必要である。本発明は、このような通気を可能にするために設けられた装置と極低温ガスの通気を制御するための方法とに関する。極低温ガスの通気を必要とする状況の幾つかの例は次のとおりである。動作時に極低温容器12は、空気進入に対して密閉された状態に留まらなくてはならないが、極低温容器内のガス圧力は超電導コイルのための正しい熱環境を維持するように正確に制御されなくてはならない。ランピング時、正確に制御された冷却ガスの放出が、電流リード22を冷却するために必要とされ得る。

10

**【0004】**

既存のシステムでは、すべての正常動作状態時（極低温冷媒充填時、ランプ（ramp）時、および現場での正常動作時）における極低温ガス通気の制御は、直接作動機械弁を使用して達成される。これらの変化する状況下で必要とされる制御精度を達成することは、困難で高価であることが分かっている。この不十分な制御によれば、結果的に増加するクウエンチの危険と増加する極低温冷媒損失と共に、ランピング時の理想以下のコイル温度につながる。

**【0005】**

公知のMRI画像形成システムなどでは、センサ32、34からデータを受信し、磁石内の電流を制御している磁石管理システム30であって、定常状態動作におけるランプアップ（ramp-up）時；画像形成時およびランプダウン（ramp-down）時に、常に最適性能のために磁石システムの動作を制御する磁石管理システム30を設けることが慣例である。

20

**【0006】**

更なる要件は、両方向への程度の高い漏れ止めの必要性である。極低温ガスが極低温容器から漏れる場合、許容できない極低温冷媒の消耗が生じ、おそらく磁石10の温度上昇を引き起こし、これはクウエンチという結果を招く可能性がある。

空気あるいはその他のガスといった汚染物質が極低温冷媒内に漏れる場合、これらは凍結してクウエンチを誘導し得る固体堆積物になる可能性があり、あるいはクウエンチの場合に危険となり得る蒸発した極低温冷媒のための排出チャンネルを塞ぐ可能性がある。クウエンチ時には磁石から崩壊破片が放出される可能性があり、これが弁座26を汚染する場合、いずれかの方向に許容できない漏洩が生じ得る。

30

**【0007】**

現在使用されている機械式通気弁は、弁のプレートの開放を調整するためにガス圧力とスプリング力とのバランスに依存する。このタイプの弁の動作力は小さくて、その結果、性能は、スプリング力、摩擦、動作温度および製造許容誤差の僅かな変化に敏感である。これらの影響を減らすために高価な較正および調整技法が使用されるが、それにもかかわらず圧力制御性能はアプリケーションによりわずかに改善されるが信頼性は不十分である。

**【0008】**

過去における大きな開発努力にもかかわらず既存の直接作用機械式通気弁（弁プレートがスプリング/ペローズシステムまたは同様のものによって直接操作される）は、MR画像形成装置および同様の装置の超電導磁石のために極低温容器圧力の正確な、あるいは最適化された制御を提供しない。要求の厳しい較正要件のために、このような弁は製造に費用がかかり、動作の信頼性が低い。

40

**【0009】**

極低温容器の空気/氷汚染の危険を避けるために極低温容器内の圧力は通常、例えば絶対圧あるいはゲージ圧トランスジューサ32からの測定データにしたがって極低温冷凍機を制御する磁石管理制御システム30によって、大気圧より高く維持される。しかしながらランピング時には、極低温液体の増加した蒸発を可能にすることによって許容可能な磁石温度を維持するために、更なる圧力上昇は制限されるべきである。これらの矛盾す

50

る要件の結果、極低温容器圧力の極めて正確な制御と測定は、通気弁 40 と一般的にはコントローラ 30 内に含まれる圧力制御システムとによって与えられることが必要とされる。

【0010】

効果的で信頼性の高いオン/オフ動作を機械弁システムに与えることが困難であることは分かっている。弁要素または弁座上の少量の汚染物質でも、閉鎖位置において弁に漏洩を起こさせる可能性がある。他方、汚染物質は弁が完全に開くことを妨げる可能性がある。いずれの場合にも弁は、容器内の必要な圧力を維持できず、あるいは容器からの必要なガス流量を可能にできない。

【0011】

代替の装置では通気は、知的コントローラを使用して制御される駆動装置を備えた弁によって制御される。この装置によれば圧力と通気ガス流量とを正確に制御することが可能である。このような装置は、例えば英国特許第 2398874 号明細書（特に図 6 と請求項 15 参照）や、国際公開第 2006/021234 号に記載されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0012】

【特許文献 1】英国特許第 2398874 号明細書

【特許文献 2】国際公開第 2006/021234 号

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

【0013】

このような制御弁の使用によって自己補正制御ループが達成され得るので、正確に較正された弁の必要性はなくなる。これは、選択された圧力が極低温容器内において高い信頼度で維持されることを可能にする、および/または内部の絶対圧力またはゲージ圧力がある一定値に達したときにガスの通気が行われ得る。極低温容器を含むシステムの動作のために必要とされるような通気ガス流量の正確で予測可能な制御も同様に与えられ得る。

【0014】

このようにして機械弁 26 の機能は、磁石管理制御ユニット 30 のような知的制御システムの制御下で制御弁 40 によって置き換えられ得る。磁石管理制御ユニット 30 に利用可能なデータ入力、極低温容器絶対圧力および/または極低温容器温度を含み得る。図 1 に示された例ではセンサ 32、34 は、極低温容器内の圧力と極低温容器から排気されるガスの流量とを示すデータを磁石管理ユニット 30 に供給する。

【0015】

制御弁 40 は、単純な周期的オン/オフ機能を有し得る。正確な圧力制御は、弁のオン/オフ状態のデューティサイクルを変えることによって達成され、弁の正確な較正の必要性をなくす。このような装置では圧力測定とデューティサイクル調整とが小さな変動を補正するので、弁の正確な流動容量は特に重要ではない。ある幾つかの装置では磁石管理制御システム 30 は、制御弁 40 を周期的に開閉するオン・オフ時間比率（デューティサイクル）を変えるコントローラによって、必要とされる圧力または必要とされるガス流量を維持するように弁 40 を制御する。適当に寸法決めされた弁と動作周期とを使用することによって圧力の変化は近接した限界内に維持され得る。

【0016】

例えば極めて単純な制御方法は、

- (1) 必要とされる極低温容器内絶対圧力 =  $x$  を設定し；
- (2) 通常設けられているセンサ 32 から極低温容器内の実際の圧力  $p$  を検出し；
- (3)  $p > x$  の場合、弁動作デューティサイクルの「開放」比率を増加、即ち、弁を周期的に開閉する際の弁開状態の時間割合を増加させ；
- (4)  $p < x$  の場合、弁動作デューティサイクルの「開放」比率を減少させるという方法によってなし得る。

10

20

30

40

50

## 【0017】

ガス圧力よりむしろガス流量の制御が必要とされる場合には、制御方法は、同様に、

(1) 必要とされる極低温容器からのガス流量 = R を設定し；

(2) 通常設けられているセンサ34から極低温容器からの実際のガス流量 r を検出し；

(3)  $r < R$  の場合、弁動作デューティサイクルの「開放」比率を増加させ；

(4)  $r > R$  の場合、弁動作デューティサイクルの「開放」比率を減少させるという方法によってなし得る。

## 【0018】

適当な制御信号と、必要とされる動作を与えるように制御信号を修正するための適当な装置とは、当業者によって簡単に導き出され得る。正確な信号と選択された制御信号の変化は、本発明にとって特に重要ではない。

10

## 【0019】

代替の装置では制御弁40は、磁石管理制御システム30によって制御される可変の開放を有し得る。例えばボール弁は、ステップモータに送られた信号によって決定される位置にまで弁ボールを回転させるステップモータに動作可能に接続され得る。利用可能なガス流動経路の断面は、弁の正確な較正をなくして所望の効果を得るために、例えば関連ステップモータを動作させることによる弁40の制御によって変えられ得る。このような変化の影響は、32、34で示されたようなセンサによって監視される。このような装置では弁の正確な流動容量は、流動測定とデューティサイクル調整とが僅かな変動を補正する

20

ので特に重要ではない。例えば極めて単純な制御方法は、

(1) 必要とされる極低温容器内絶対圧力 = x を設定し；

(2) 通常設けられているセンサ32から極低温容器内の実際の圧力 p を検出し；

(3)  $p > x$  の場合、利用可能なガス流動経路の断面積を増加させ；

(4)  $p < x$  の場合、利用可能なガス流動経路の断面積を減少させるという方法によってなし得る。

## 【0020】

ガス圧力よりむしろガス流量の制御が必要とされる場合には、制御方法は、同様に、

(1) 必要とされる極低温容器からのガス流量 = R を設定し；

(2) 通常設けられているセンサ34から極低温容器からの実際のガス流量 r を検出し；

30

(3)  $r < R$  の場合、利用可能なガス流動経路の断面積を増加させ；

(4)  $r > R$  の場合、利用可能なガス流動経路の断面積を減少させるという方法によってなし得る。

## 【0021】

弁に関して種々の制御戦略が可能であり、制御ユニットのソフトウェアで定義されることが可能である。制御弁装置の利点は、弁ハードウェアの不完全さが磁石管理制御システム30のソフトウェアで補正され得ることである。必要とされるように極低温容器内の絶対圧力を制御するための制御弁を動作させるためにこのようなセンサによって与えられるデータを使用することができる。大気圧センサを設けることによって極低温容器12の内部のゲージ圧力は制御され得る。

40

## 【0022】

磁石管理制御システム30によって生成される、ステップモータによって操作される弁のための制御信号は、当業者によって容易に導き出され得る。

## 【0023】

現在のMRI画像形成磁石システムに関しては、システムのサイズを考えると1Hz未満の弁動作周期で、まったく十分であることが分かっている。特に、遥かに小さな極低温容器に関しては、弁動作のより高い周期が必要である。

## 【0024】

説明された制御方法はおそらく、コンピュータプログラムなどとして操作されることは

50

無論である。このような制御装置によれば、必要な圧力 $\times$ または所望のガス流量 $r$ を変えることは簡単である。

【0025】

制御弁40自体は、適当な適度の圧力上昇によって一般的にはランピング時に最も高い意図された極低温ガス流出流量を受け入れるために十分な最大流動容量を有するように選択されるべきである。しかしながら弁の流動容量は、低下した制御精度と密閉効率の危険を冒してまで不必要に大きくすべきでない。

【0026】

極低温冷媒、一般的にはヘリウムの使用は、著しい増加したコストを表す。更にヘリウムは、有限の消耗品資源であって、現在ではヘリウムの消耗を減らす方策が必要とされている。

10

【0027】

図2は、直接作用機械弁を使用する従来のクライオスタット装置の弁装置を略図的に表す。極低温容器12から大気または極低温冷媒回復設備60に3個の並列な弁62、64、66が繋がっている。

【0028】

第1の弁62は、受動的な安全保護弁である。極低温容器12内の圧力が最大安全値より低いある一定値を超える場合、圧力は機械弁62または同等物のスプリングバイアス要素または重力バイアス要素に作用してこの弁をある一定の程度まで開き、極低温ガスが極低温容器12から大気中に、あるいは回復設備60に流出することを可能にする。いったん極低温容器内圧力が一定値より低く下がると、弁は再び閉じる。一般的には、ある一定の閾値より低い、一般的には大気または回復設備60の圧力より低い圧力である過小圧力は、弁62の要素に作用してこの弁を堅く閉じた状態に保持し、大気または回復設備60から極低温容器12内へのガスの流入を防止または制限する。

20

【0029】

第2の弁64は、クウェンチ弁である。極低温容器12内に収容された超電導磁石にクウェンチが発生したとき、大量の蓄積エネルギーが熱として急激に解放されて、極低温容器圧力の突然の急上昇を伴う大量の極低温冷媒の突然の蒸発を引き起こす。このような事象は比較的稀ではあるが、受動的保護安全弁62では一般的には小さすぎてうまく対処できない。クウェンチ弁64は一般的には、受動的保護安全弁62より高い極低温容器圧力で開き、遥かに大きなガス流出経路断面積を備える。クウェンチ弁は一般的には、スプリングバイアスの直接作用機械弁である。極低温容器内圧力が十分に高い圧力に達すると、クウェンチ弁はスプリングの力に対して強制的に開けられて大きなガス流出経路を与え、大量の極低温冷媒の通気を可能にし、極低温容器内圧力が危険なレベルに達するのを防止する。受動的保護安全弁62も、比較的低い圧力で駆動されて開くことは無論である。クウェンチ時に極低温容器から放出された破片によって受動的保護安全弁62が汚染または損傷され得るという危険が存在する。受動的保護安全弁62が損傷または汚染される場合、この弁はクウェンチの後に正しく閉じることができず、極低温冷媒の無制御損失を生じる；あるいは極低温容器内圧力が再び一定値を超えたときに開くことができないという恐れがある。クウェンチ弁はバーストディスクによって取って代わられることも可能である。スプリング弁要素よりむしろバーストディスクは、クウェンチガス流出経路を閉鎖する壊れ易い密封材を備える。クウェンチの場合にバーストディスクは、粉々に壊れて大きな断面積のガス流出経路を与える。クウェンチが終わると、バーストディスクの残余部分は除去されて、代替りのディスクが設置されなくてはならない。このようなバーストディスクは、機械式クウェンチ弁と比較して漏洩傾向が小さいという利点を有する。

30

40

【0030】

第3の弁66は、圧力制御弁である。これは、制御システムにおいて直接機械的にあるいはユーザ介入によって、手動的に操作され得る。この弁は、ユーザが極低温容器内圧力を意図的に下げたいと思うときに使用される。例えばサービスエンジニアは、点検修理作業を実行する前に極低温容器内圧力を大気圧にまで下げる必要があり得る。手動操作弁に

50

よれば、極低温容器 1 2 内の圧力が大気または回復設備 6 0 の圧力より低く下がっている限り、弁が開いた状態になっていて、大気または回復設備 6 0 から極低温容器 1 2 内へのガスの流入を可能にするという危険が存在する。

【 0 0 3 1 】

本発明は、以下に説明されるように、磁石の動作時の種々の時点で、極低温容器内の圧力および極低温容器からの流出ガスの流量を制御するための改善された方法を提供する。

【 0 0 3 2 】

このようにして本発明は、請求項に記載の方法を提供する。

【 0 0 3 3 】

本発明の上記の、および更なる目的、特徴および利点は、下記の図面に関連して単に例として与えられたある幾つかの実施形態の下記の説明を考慮すれば、より明らかになる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 3 4 】

【 図 1 】 M R I システムの磁石を収容するクライオスタットの略図的断面図である。

【 図 2 】 直接作用機械弁を使用する従来のクライオスタット装置の弁装置を略図的に表す図である。

【 図 3 】 本発明において使用されたクライオスタット装置の弁装置を略図的に表す図である。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 3 5 】

図 3 は、制御弁 4 0 を使用する、本発明において使用されたクライオスタット装置の弁装置を略図的に表す。図 2 の特徴要素に対応する特徴要素は対応する符号を保持する。制御弁 4 0 は、ある一定の圧力およびガス流出流量制御方法にしたがって磁石管理制御システム 3 0 によって制御され、これらの方法のあるものは本発明の態様を形成する。特に制御弁 4 0 は、受動的圧力制御機能を与えて、図 2 の受動的保護安全弁 6 2 を不必要にするようになされる。能動的に制御される弁 4 0 は、図 2 の公知の装置の受動的保護安全弁 6 2 と圧力制御弁 6 6 の両者にとって代わり、各機能のための弁の以前の装置よりむしろ 2 つの機能のために単一の弁を与える。

【 0 0 3 6 】

制御弁 4 0 は、極低温ガスの通気を可能にするためにある程度まで開くことによって極低温容器内の過大圧力に回答し、また弁を堅く閉じた状態に保持するために極低温容器内の過小圧力によって作用されて、大気または回復設備 6 0 から極低温容器 1 2 内へのガスの流入を防止または制限する。例えば制御弁 4 0 は、本出願人によって同日付で出願された同時係属中の英国特許出願第 0 8 0 8 4 4 2 . 8 号明細書に記載されているようなものであり得る。

【 0 0 3 7 】

図 2、図 3 の比較から直ちに見られるように図示のような制御弁 4 0 の使用は、受動的保護安全弁 6 2 の必要性を回避してシステム全体を単純化する。

【 0 0 3 8 】

本発明の態様によれば、弁 4 0 を制御する磁石管理制御システム 3 0 によって操作される特定の制御方法が提供される。本発明の方法は、磁石管理制御システム 3 0 によるコンピュータプログラムの実行を含み得る。これらの方法は、磁石管理制御システム 3 0 によって適用され、好ましくは大気または回復設備 6 0 への極低温冷媒の流出を制限するように適応される。

【 0 0 3 9 】

磁石管理システム 3 0 は、磁石の動作状態を示すデータ入力および/または極低温容器内の温度および/または圧力を示すデータ入力を受信する。磁石管理システムはまた、電気通信システム上で遠隔ユーザからのデータ入力を受信する。磁石管理制御システムは、このような入力データにしたがって弁 4 0 を制御する。

【 0 0 4 0 】

磁石管理制御システム30によって制御される制御弁40の知的制御は、コイルの熱環境の改善された制御を可能にする。この改善された制御は好ましくは正常動作状態で、極低温冷媒の消耗を低減し、さらに好ましくは、クエンチの確率を低減し、それによって、極低温冷媒損失を減少させるように機能する。制御弁は、本発明の方法にしたがってガス流出流量を制御するように、またしたがってコイル温度を制御するように動作させられ得る。本発明の態様によれば制御弁は、極低温冷媒の消耗を最小にするために極低温容器内圧力とガス流出流量とを最適化するように動作させられ得る。

【0041】

本発明の方法は、極低温容器内圧力を制御することによって温度制御を実行するように弁40を制御し得る。極低温容器内圧力は、磁石動作の関数および/または大気圧の関数として制御され得る。

10

【0042】

以下に本発明の特定の方法が、ある程度詳細に説明される。  
ランピング時の余分な通気

ランプアップとして公知である磁石への電流の導入時に、極低温容器内の温度は上昇して極低温容器内圧力を上昇させ、電流リードが温度上昇するにつれて極低温冷媒蒸発損の速度を増加させる。

【0043】

同様に、ランプダウンとして公知である磁石からの電流の除去時に、極低温容器内の温度は、電流が再び抵抗性の電流リードを流れるにつれて上昇する。これは、電流リードが温度上昇するにつれて極低温容器内圧力を上昇させ、極低温冷媒蒸発損の速度を増加させる。

20

【0044】

本明細書では用語「ランピング」および「ランプ手順 (ramp procedure)」は、磁石へ電流を導入して漸増する際のランプアップおよび磁石電流を漸減させて除去する際のランプダウンの両者を含む、と理解されるべきである。

【0045】

磁石のランピングは、一般的には磁石管理制御システム30によって制御される。したがって磁石管理制御システム30は、進行中の、または予定されたランプ手順にしたがって制御弁40を制御し得る。ランプ手順が始まろうとしているとき、あるいは進行中であるとき、制御弁40は、使用されている弁の特定のタイプに依存して、完全に開放された状態、またはデューティサイクルの大きな「開放」比率をもって開放された状態、または利用可能なガス流動経路の大きな断面積をもって開放された状態に保持され得る。これは、蒸発極低温冷媒の容易な流出を保証し、極低温容器内圧力が低いことと通気の流れが滑らかに変化することを保証する。同様にこれは、極低温容器内の温度上昇が限定されて急激ではないことを保証し、磁石のための最適化された熱環境を与える。蒸発した極低温ガスが極低温容器から出るときに、電流リードを冷却するという有益な副作用も現れる。

30

【0046】

直接作用機械弁を使用する同等の方法では、圧力制御弁66は、ランピング手順の継続中、開いた状態に保持される。しかしながらこれは、極低温容器内へのガスの流入という危険を冒し、また極低温冷媒消耗の観点から最適化されなかった。

40

【0047】

代替として磁石管理制御システム30は、電流入力リードにおける単なる電圧測定値であり得る、ランピングが進行中であることを示すデータ入力と；極低温容器12内および大気または回復設備60内の圧力を示すデータ入力とを供給され得る。磁石管理制御システム30は、ランピングが進行中であるかどうかを信号通知するデータ入力と極低温容器12内および大気または回復設備60内の圧力を示すデータ入力とにしたがって制御弁40を制御し得る。ランピングが進行中である間中、磁石管理制御システム30は、大気または回復設備60と比較して極低温容器内のある一定の過剰圧力を維持しながら、制御弁40をできる限り開き得る。ランピングが終了すると、対応するデータ入力によって磁石

50

管理制御システム 30 に示されるように、磁石管理制御システム 30 は極低温容器 12 内の一定圧力を維持するために制御弁 40 を動作させる安定なルーチンに復帰し得る。ランピング時の限定された余分な通気

代替として全ランピングプロセス時に最大のガス流出流量を与えることよりむしろ、極低温容器圧力およびガス流出流量は、ランプ手順内の臨界時点において最大冷却を、また他の時点において減少してはいるがなお十分な冷却効果を与えるようにランピング時に制御され得る。このような改善された方法は、ランピング手順時の極低温冷媒消費を更に減らすために役立つ。このような改善の一例として制御弁 40 の開放およびその結果得られるガス流量は、電流リードを冷却するために最適化されたプレランプ (pre-ramp) 極低温冷媒流動を生成するように選択され得る。磁石管理制御システム 30 は、ランプ手順を制御するように機能し、したがってランピングプロセスが始まる前でも、リード冷却極低温ガス流を発生させることによって始まり得る。

【0048】

更に磁石のコイルは、コイルが経験する変化する電界強度と電流とによって変化する力を受ける。それ自体で公知であるように、コイルのある動きが発生する可能性がある。このような加熱またはコイル運動がありそうなときに与えられる更なる冷却は、クウェンチの確率を減らすことにおいて有益である。

【0049】

クウェンチは、比較的高い電流が磁石に流れていて、コイルがきちんと動作位置にないかもしれないときに、ランプアップの初め近くで発生する可能性が最も高いと考えられている。

【0050】

本発明の方法によればランプ時の時間に伴う極低温容器圧力の変化は、全体的極低温冷媒消費を減らしながら、必要な場合に冷却を与えるように最適化され得る。極低温容器内の増加した圧力を作り上げることによって磁石への余分な冷却は、極低温容器圧力を下げるときに与えられ得る。放出される極低温ガスは、極低温ガスが極低温容器を離れるときに電流リードを冷却するために使用され得る。

【0051】

従来、極低温容器内圧力は一定に保持されており、必要な場合に更なる冷却が生成されることを可能にせず、また比較的高い極低温冷媒消費という結果を招く。本発明による 1 つの方法では、極低温容器内圧力は初めのうち、比較的高く維持されており、それから冷却が必要となる後刻に低くされる。極低温容器圧力の比較的急激な低下は、これに対応して比較的急激な温度低下を引き起こし、従来の方法と比較して、より効果的な冷却とより減少した極低温冷媒消費とを与えるために、ランピング手順の熱生成ステップと一致するようにタイミングを合わせてなされ得る。本発明の改善された方法では、安定した低いレベルへの制御された徐々の圧力降下が実行される。圧力低下は、ランプ時に余分の冷却を引き起こす。圧力を徐々に引き下げることによって、増加した冷却効果がより長い間維持され得る。

【0052】

このようにして、温度プロファイルは、超伝導であることを止めるために十分に温度を上昇させる磁石の如何なる部分の危険も減らすことによってクウェンチの危険を減らすようにランプ時に最適化され得る。磁石電流と極低温ガス温度および/または圧力を測定することによって、閉ループ制御方法が実行され得る。

正常動作時の漏洩防止

超伝導磁石の正常動作時に磁石管理制御システム 30 は、正常時に閉じている制御弁 40 によって、正常動作の最大許容値にまで上げられた極低温容器 12 内の必要圧力をもって動作し得る。制御弁 40 の使用は極低温容器 12 内の検出された過剰圧力への信頼度の高い迅速な応答を可能にし、それによって従来望ましいと考えられていたより高い極低温容器内正常動作圧力を有することが可能となる。極低温容器 12 内の圧力は、センサ 32 と、極低温容器 12 内圧力が設定された限界値に達した場合に制御弁 40 を開くように動

10

20

30

40

50

作する磁石管理制御システム30と、によって監視される。従来の圧力制御方法は、極低温容器内の最大圧力を制限するために直接作用機械弁の開放に依存していた。これらの機械弁が正常動作時に漏洩するのを防止するために、正常動作圧力は最大圧力および機械弁を開くために必要とされる圧力よりかなり低く保持されていたが、それでもなお極低温冷媒漏洩は発生した。制御弁40を動作させるために使用される本発明の方法によれば、比較的小さな圧力増加を信頼度高く検出することと、制御弁40を開くことによって、あるいは制御弁40の開放を増加させることによって迅速に対処することが可能である。それによって極低温冷媒の漏洩は、従来の圧力制御方法と比較して減らされる。

#### 【0053】

磁石管理制御システムは、所定の圧力が到達されるまで極低温ガスが通気することを可能にし、それから制御弁40を閉じることによって極低温容器内の圧力を制御し得る。磁石管理システムは、例えば極低温容器12の内部を冷却するように整えられた極低温冷凍機の動作を制御することによって極低温容器内の圧力が大気圧より低くならないことを保証するために圧力センサで監視し得る。

画像形成シーケンス時の蒸発ガスの排出

超電導磁石10を備えるMRIシステムの画像形成シーケンス時には、画像形成のために必要とされる傾斜磁場を与える傾斜磁場コイル(図示せず)を通してパルス電流が流される。これらのパルス電流とその結果生じる変化する磁場の結果として、クライオスタットの一部分には渦電流が誘導され得る。これらの渦電流は、クライオスタットの電気抵抗のために加熱を生じ得る。傾斜磁場コイル自体はパルス電流のために温度上昇する可能性がある。全体として結果は、画像形成シーケンス時の極低温容器12への増加した熱流入である。今度は、これは増加した通気を与えられなければ、極低温容器12内の極低温ガスの温度と圧力を上昇させる。本発明の方法によれば、増加した極低温冷媒通気が必要とされる期間中、例えば関連MRIシステムの画像形成手順中、磁石管理制御システム30は制御弁40を制御する。単に極低温容器内圧力の増加にตอบสนองすることよりもむしろ、本発明は、画像形成サイクルが増加した蒸発を引き起こす前に、増加した冷却が開始されることを可能にする。磁石管理システム30は画像形成シーケンスを管理しているので、本発明の1実施形態によればこのシステムは、画像形成シーケンスが増加した蒸発を引き起こす前に、または引き起こすと同時に極低温容器12内の圧力を引き下げるように制御弁40を動作させることができる。

自身の保護のためにクウェンチ時に閉じた状態に保持される制御弁

クウェンチでは極めて大量の極低温冷媒が極めて短時間に流出する。必要とされる限界圧力が超えられたときに開くように適当なバイアススプリングによって閉鎖位置に押し付けられる機械制御弁の従来の装置は、このような事象のときに不具合である可能性がある。クウェンチ時に極低温容器圧力は急激に上昇し、単純なスプリング機械弁は開く。極低温容器から放出される破片からの弁座汚染の可能性は比較的高い。

弁に対する、特に弾性弁密閉に対する他の損傷も起こる可能性がある。

#### 【0054】

超電導コイルを収容する極低温容器に単純スプリング弁である別のクウェンチ弁を取り付けることは、従来から行われている。クウェンチの場合、この弁はクウェンチによって引き起こされた高い流量を持つように開くが、それでまったく十分である。本発明の方法によれば、制御弁40は、クウェンチ時に制御システム30によって閉鎖位置に保持され、それによって弁座の破片汚染または制御弁40に対する他の損傷の危険を防止する。クウェンチの開始は、当業者によって公知であるように極低温容器内に通常設けられているセンサによって指示されるように磁石管理制御システム30によって検出され得る。クウェンチの開始の検出に応じて磁石管理制御システム30は、制御弁40を完全に閉じる。クウェンチによって開かれるクウェンチ弁は、必要に応じて極低温冷媒の流出を可能にするために十分である。制御弁40を閉じた状態に保持することによって制御弁40に対する弁座汚染および他の損傷は防止される。クウェンチ時の弁座汚染を防止するという有利な効果は、従来技術の単純機械スプリング弁も極低温容器内の上昇した圧力のためにクウ

10

20

30

40

50

エンチ時に開くので、この単純機械スプリング弁によって可能とはならない。

【0055】

代替の、または相補的な方法では制御弁40は、安全弁として配置され、極低温容器内の過剰圧力の検出に応じて完全に、または大きく開かれ得る。例えば極めて高い圧力は、クウェンチ弁またはバーストディスクが開くことができなかつたことを示し得る、そして、制御弁を開くことによって少なくとももある通気が与えられ得る。

遠隔点検修理準備

本発明が特に有利である状況は、極低温容器の点検修理のための準備のときである。極低温容器内に収容されたMRI画像形成システムの磁石の点検修理を特に参照しながら、以下にこのような作業について述べる。しかしながら、このような作業および利点は、他のタイプの装置が極低温容器内に収容されている状況にも適用され得る。

10

【0056】

前に記載したように極低温容器内圧力は、一般的には磁石の正常動作時に大気圧より高く維持される。サービスエンジニアが磁石10に取り掛かることが可能になる前に、極低温容器12内の圧力は大気圧にまで下げられなくてはならない。従来からこれは次のように実行される。サービスエンジニアは現場に到着し、通気経路25を開くために圧力制御弁66を手で開く。通気経路は、極低温容器内ガス圧力が大気圧にまで降下する(ゲージ圧力=0)までガス状極低温冷媒を大気または回復設備60に排気しながら開放状態に保持される。これは現在公知のシステムでは通常、約30分を要する。これは、極低温冷媒の著しい消耗とサービスエンジニアの時間の非効率な使用とを示す。

20

【0057】

本発明のある幾つかの実施形態では、弁40の動作は遠隔制御される。例えば磁石管理制御システム30は、ネットワークを通してコマンドを受信するためにインターネットまたは電話システムまたは私設ネットワークといったネットワークに接続され得る。これは例えば、サービス要員が現場に到着するまでの時間、極低温容器をある一定の状態にしておくように制御弁40に遠隔指令し得るサービス要員にとって特に有用である。これは、サービス要員の到着時には極低温容器は点検修理の準備ができていたので、サービス要員が時間を節約し、彼等の生産性を向上させることを可能にする。極低温容器および関連装置の所有者/運用者にとってのサービスコストは削減され得る。減圧ステップが遠隔制御されるので、減圧ステップは従来ほど迅速に実行される必要はない。今ではサービスエンジニアの時間を浪費せずにゆっくりした減圧(例えば数時間以上)が可能である。更に、ゆっくりした減圧は磁石を冷却する際の蒸発の潜熱をより十分に利用し、それによって通気時の極低温冷媒損失を減少させる。

30

【0058】

制御された開放は、従来、手動減圧で遭遇した「フラッシュロス」を減らす、または、なくすことができるので極低温冷媒消耗を削減できる。

【0059】

本発明は画像形成システムのための極低温に冷却される磁石の使用における別の段階に各々が取り組む方法を参照しながら説明されてきたが、本発明の方法の各々は、磁石管理制御システムに利用可能なデータであって、温度、圧力および流量といった極低温ガスの特徴よりむしろ磁石の状態を示すデータに応じて通気を制御することによって極低温冷媒の消耗を削減するように、極低温容器からの極低温ガスの通気の制御を改善することを追求するという特徴を共有する。

40

【0060】

磁石の状態を示すデータは、磁石の動作を制御するコントローラの機能の一部としてコントローラによって生成されることが可能であり;あるいは磁石に関連するセンサによってコントローラに利用可能にされることが可能であり;あるいは磁石の一部分との電氣的接続によってコントローラに利用可能にされ得る。

【0061】

ある幾つかの実施形態では制御弁は、ソレノイドコイルによって直接操作される弁要素

50

を含む。代替実施形態では例えば、モータ駆動ボール弁または空気圧駆動弁が使用され得る。使用される弁の正確なタイプは、本発明にとって本質的ではない。

【符号の説明】

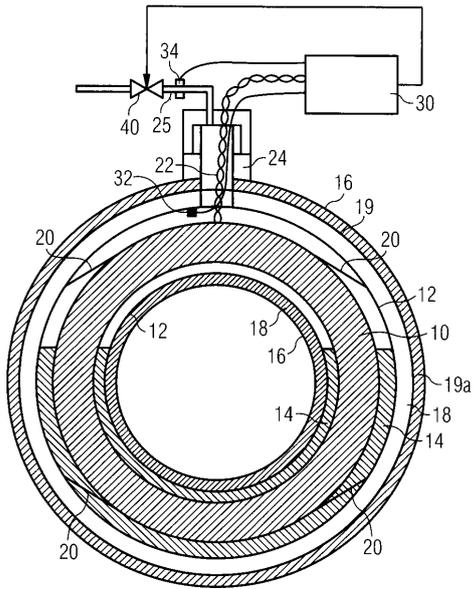
【0062】

- 10 超電導コイル
- 12 極低温容器
- 14 極低温液体
- 16 外側真空容器OVC
- 18 空間
- 19 熱輻射シールド
- 19 a アルミニウム被覆ポリエステルシート
- 20 支持・懸架部材
- 22 電流リード
- 24 アクセスタレット
- 25 通気経路
- 30 磁石管理システム
- 32、34 センサ
- 40 制御弁
- 60 極低温冷媒回復設備
- 62 受動的的安全保護弁
- 64 クウエンチ弁
- 66 圧力制御弁

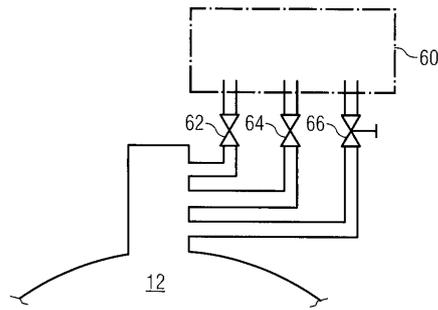
10

20

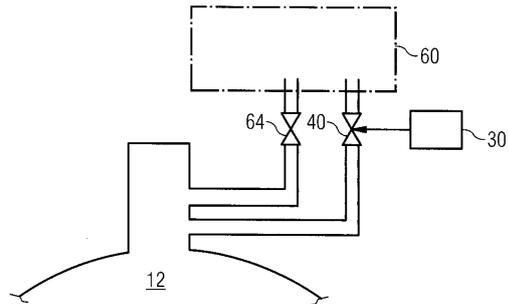
【図1】



【図2】



【図3】



---

フロントページの続き

- (72)発明者 ニコラス マン  
イギリス国 アールジー-20 6アールビー バークシャー コンプトン シェパーズ ヒル 2  
ザ フォールド
- (72)発明者 フィリップ アラン チャールズ ワルトン  
イギリス国 オーエックス28 5エヌエル オクソン ウィットニイ ウィルモット クロウズ  
15

審査官 須原 宏光

- (56)参考文献 特開平05-335636(JP,A)  
特開2006-165009(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
- |      |       |
|------|-------|
| H01L | 39/04 |
| F25D | 3/10  |