

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2005-291629

(P2005-291629A)

(43) 公開日 平成17年10月20日(2005.10.20)

(51) Int. Cl. ⁷	F I	テマコード (参考)
F 2 5 B 9/00	F 2 5 B 9/00 A	3 L O 4 4
F 2 5 D 3/10	F 2 5 D 3/10 A	
F 2 5 D 17/00	F 2 5 D 17/00 3 O 1	

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願2004-107891 (P2004-107891)	(71) 出願人	503061418 武田 常広 茨城県つくば市春日2-43-8
(22) 出願日	平成16年3月31日(2004.3.31)	(74) 代理人	100077481 弁理士 谷 義一
		(74) 代理人	100088915 弁理士 阿部 和夫
		(72) 発明者	武田 常広 茨城県つくば市春日2-43-8
		(72) 発明者	内田 公 茨城県つくば市松代2-24-1 マリノ ス松代C202
		Fターム(参考)	3L044 BA07 CA16

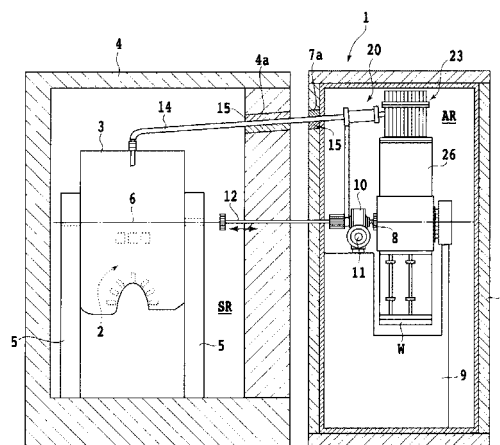
(54) 【発明の名称】 冷媒循環装置および冷媒循環方法

(57) 【要約】

【課題】 冷媒を効率よく低コストで再液化させることができるヘリウム循環装置およびヘリウム循環方法の提供。

【解決手段】 ヘリウム循環装置 20 は、およそ 4 K の液体ヘリウムを貯留するデュワー 3 と、GM 冷凍機 22 に接続されており、ヘリウムガスを再液化させる凝縮器 40 と、デュワー 3 内のヘリウムガスの一部を GM 冷凍機 22 に導くと共に、GM 冷凍機 22 により冷却されたヘリウムガスをデュワー 3 に返送するための第 1 回収管 L 10、冷却管 L 11 およびガス管 L 12 を含む第 1 の系統と、デュワー 3 内のヘリウムガスの一部を凝縮器 40 に導くと共に、凝縮器 40 で液化したヘリウムをデュワー 3 に返送するための第 2 回収管 L 20 および返送管 L 21 を含む第 2 の系統と、凝縮器 40 に設けられたヒータ 41 と、デュワー 3 の器内圧力に応じてヒータ 41 を制御する制御ユニット 100 とを備える。

【選択図】 図 1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

極低温の液状冷媒を貯留する貯留槽と、冷凍機に接続されており、前記冷媒を再液化させることができる凝縮器とを有し、前記貯留槽と前記凝縮器との間で前記冷媒を循環させる冷媒循環装置であって、

前記貯留槽内の冷媒ガスの一部を前記冷凍機に導くと共に、前記冷凍機により冷却された冷媒ガスを前記貯留槽に返送するための第 1 の系統と、

前記貯留槽内の冷媒ガスの一部を前記凝縮器に導くと共に、前記凝縮器で液化した冷媒を前記貯留槽に返送するための第 2 の系統と、

前記凝縮器に設けられたヒータと、

前記貯留槽内の圧力に応じて前記ヒータを制御する制御手段とを備えることを特徴とする冷媒循環装置。

10

【請求項 2】

前記第 1 の系統は、前記貯留槽内の冷媒ガスが前記貯留槽に侵入しようとする熱を奪って前記冷凍機に向かうように構成された領域を含むことを特徴とする請求項 1 に記載の冷媒循環装置。

【請求項 3】

前記第 1 の系統に接続されており、補充用の冷媒を貯留する補充用貯留手段を更に備え、

前記補充用貯留手段から前記第 1 の系統の一部を介して冷媒を前記貯留槽内に供給可能であることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の冷媒循環装置。

20

【請求項 4】

前記貯留槽内の液状冷媒の液面レベルを検出する液面検出手段を更に備え、

前記制御手段は、前記液面検出手段の検出値に応じて、前記冷媒貯留手段から前記第 1 の系統の一部を介して前記貯留槽内に冷媒が供給されるようにすることを特徴とする請求項 1 から 3 の何れかに記載の冷媒循環装置。

【請求項 5】

極低温の液状冷媒を貯留する貯留槽と、ヒータを有すると共に冷凍機に接続された凝縮器との間で前記冷媒を循環させる冷媒循環方法であって、

前記貯留槽内の冷媒ガスの一部を前記冷凍機に導き、前記冷凍機により冷却された冷媒ガスを前記貯留槽に返送すると共に、前記貯留槽内の圧力に応じて前記凝縮器の前記ヒータを制御しながら、前記貯留槽内の冷媒ガスの一部を前記凝縮器に導き、前記凝縮器で液化した冷媒を前記貯留槽に返送することを特徴とする冷媒循環方法。

30

【請求項 6】

前記貯留槽内の冷媒ガスの一部が前記貯留槽に侵入しようとする熱を奪って前記冷凍機に向かうようにすることを特徴とする請求項 5 に記載の冷媒循環方法。

【請求項 7】

前記貯留槽内の液状冷媒の液面レベルが下限値以下となった場合に、補充用の冷媒を貯留する補充用貯留手段から前記貯留槽への冷媒の供給を許容し、前記液面レベルが所定値に達するまで、前記補充用貯留手段からの冷媒の供給を前記貯留槽内の圧力に応じて許容または規制しながら前記貯留槽内に冷媒を補充すること特徴とする請求項 5 または 6 に記載の冷媒循環方法。

40

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、極低温の液体ヘリウム等の冷媒を貯留する貯留槽と、冷凍機に接続された凝縮器との間で冷媒を循環させる冷媒循環装置および冷媒循環方法に関する。

【背景技術】**【0002】**

従来から、生体磁気計測システム、心磁計、NMR装置、MRI装置等といった計測器

50

等の冷却には、極低温（およそ4 K）の液体ヘリウムが冷媒として用いられている。かかる液体ヘリウムは、希少な資源であると共に比較的高価なものであることから、冷却過程で発生したヘリウムガスを大気へ開放してしまうのは好ましいことではない。このため、ヘリウムガスの再利用を可能とするための技術として、極低温の液体ヘリウムを貯留する貯留槽で気化したヘリウムを回収し、再液化させて貯留槽に返送するヘリウム循環装置が知られている（例えば、特許文献1および特許文献2参照。）

【0003】

上述のヘリウム循環装置は、ヘリウムをおよそ4 Kにまで冷却可能なギフォードマクマホンサイクル冷凍機（以下、「GM冷凍機」という）と、このGM冷凍機に接続された凝縮器と、貯留槽から回収されたヘリウムガス中の不純物を冷却・固化させて捕捉する精製器とを含む。貯留槽で発生した低温（およそ4～10 K）のヘリウムガスは、凝縮器に送られ、極低温の液体ヘリウムへと再液化させられる。また、貯留槽で発生した比較的高温（およそ300 K）のヘリウムガスは、循環ポンプによって回収されて精製器に導入され、そこでヘリウムガスから窒素や酸素といった不純物が除去される。精製器を通過したヘリウムガスは、GM冷凍機によって段階的に冷却された後、凝縮器に送られ、そこで極低温の液体ヘリウムへと再液化させられる。

10

【0004】

【特許文献1】特開平10-105072号公報

【特許文献2】米国特許第6,442,948号公報

【発明の開示】

20

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、上述の従来ヘリウム循環装置のように、貯留槽で発生したヘリウムガスを冷凍機により段階的に冷却した後、凝縮器で極低温の液体ヘリウムへと再液化させることは、効率面から見て必ずしも好ましいものとはいえない。また、ヘリウム循環装置については、配管（冷媒系統）をできるだけ少なくして装置全体のコストを低減させることも求められている。

【0006】

そこで、本発明は、冷媒を効率よく低コストで再液化させることができるヘリウム循環装置およびヘリウム循環方法の提供を目的とする。

30

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明の冷媒循環装置は、極低温の液状冷媒を貯留する貯留槽と、冷凍機に接続されており、冷媒を再液化させることができる凝縮器とを有し、貯留槽と凝縮器との間で冷媒を循環させる冷媒循環装置であって、貯留槽内の冷媒ガスの一部を冷凍機に導くと共に、冷凍機により冷却された冷媒ガスを貯留槽に返送するための第1の系統と、貯留槽内の冷媒ガスの一部を凝縮器に導くと共に、凝縮器で液化した冷媒ガスを貯留槽に返送するための第2の系統と、凝縮器に設けられたヒータと、貯留槽内の圧力に応じてヒータを制御する制御手段とを備えることを特徴とする。

【0008】

40

この冷媒循環装置では、貯留槽内の冷媒ガスのうち、周囲から熱を奪ってある程度昇温した冷媒ガスが第1の冷却系統を介して冷凍機に導かれ、当該冷媒ガスは、冷凍機により冷却された後、貯留槽に返送される。これにより、冷媒ガスによって熱が貯留槽外に排出されるので、貯留槽内での冷媒の気化が抑制されると共に、貯留槽内の冷媒ガスの更なる昇温が抑制されることになる。そして、この冷媒循環装置では、ヒータを用いて凝縮器内の温度を調整することにより、第2の系統を介して凝縮器と連通する貯留槽内の圧力を所望の値に設定して、貯留槽内の液状の冷媒の量を所望値に保つことができる。

【0009】

従って、この冷媒循環装置では、貯留槽内で気化した比較的低温の冷媒ガス（冷媒がヘリウムである場合、およそ4 Kのヘリウムガス）を第2の系統を介して凝縮器に導き、凝

50

縮器で液化した冷媒を貯留槽に返送するだけで、貯留槽内に常時十分な量の液状冷媒を確保することが可能となる。この結果、本発明によれば、貯留槽で気化した冷媒を冷凍機により段階的に冷却した後、凝縮器で再液化させるための系統を省略することが可能となり、冷媒を効率よく低コストで再液化させることができる。

【0010】

この場合、第1の系統は、貯留槽内の冷媒ガスが貯留槽に侵入しようとする熱を奪って冷凍機に向かうように構成された領域を含むと好ましい。

【0011】

このような構成を採用すれば、貯留槽への入熱を極めて確実に抑制することが可能となるので、貯留槽内の冷媒の気化と、貯留槽内の冷媒ガスの更なる昇温とを確実に抑制することができる。

10

【0012】

また、本発明による冷媒循環装置は、第1の系統に接続されており、補充用の冷媒を貯留する補充用貯留手段を更に備え、補充用貯留手段から第1の系統の一部を介して冷媒を貯留槽内に供給可能であると好ましい。

【0013】

このような構成を採用すれば、貯留槽内の冷媒の量が減少しても、冷媒を確実に補充することが可能となる。そして、補充用貯留手段から第1の系統の一部を介して冷媒を貯留槽内に供給することにより、貯留槽に冷媒を補充するための専用系統を設ける必要がなくなる。

20

【0014】

更に、本発明による冷媒循環装置は、貯留槽内の液状冷媒の液面レベルを検出する液面検出手段を更に備え、制御手段は、液面検出手段の検出値に応じて、冷媒貯留手段から第1の系統の一部を介して貯留槽内に冷媒が供給されるようにすると好ましい。

【0015】

このような構成を採用すれば、貯留槽内に常時所望量の冷媒を確保しておくことが可能となる。

【0016】

本発明による冷媒循環方法は、極低温の液状冷媒を貯留する貯留槽と、ヒータを有すると共に冷凍機に接続された凝縮器との間で冷媒を循環させる冷媒循環方法であって、貯留槽内の冷媒ガスの一部を冷凍機に導き、冷凍機により冷却された冷媒ガスを貯留槽に返送すると共に、貯留槽内の圧力に応じて凝縮器のヒータを制御しながら、貯留槽内の冷媒ガスの一部を凝縮器に導き、凝縮器で液化した冷媒を貯留槽に返送することを特徴とする。

30

【0017】

この場合、貯留槽内の冷媒ガスの一部が貯留槽に侵入しようとする熱を奪って冷凍機に向かうようにすると好ましい。

【0018】

また、貯留槽内の液状冷媒の液面レベルが下限値以下となった場合に、補充用の冷媒を貯留する補充用貯留手段から貯留槽への冷媒の供給を許容し、液面レベルが所定値に達するまで、補充用貯留手段からの冷媒の供給を貯留槽内の圧力に応じて許容または規制しながら貯留槽内に冷媒を補充すると好ましい。

40

【発明の効果】

【0019】

本発明によれば、冷媒を効率よく低コストで再液化させることができるヘリウム循環装置およびヘリウム循環方法の実現が可能となる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0020】

以下、図面を参照しながら、本発明を実施するための最良の形態について詳細に説明する。

【0021】

50

図1は、本発明によるヘリウム循環装置を含む計測システムの一例である生体磁気計測システムを示す部分断面図である。生体磁気計測システム1は、脳の活動等を高時空間分解能で非侵襲的に計測可能な超電導量子干渉計（以下、「SQUID」という）2を備えており、人間の脳等から発せられる磁界を検出可能なものである。このSQUID2は、その内部におよそ4Kの液体ヘリウムを貯留するデュワー（貯留槽）3に内包されており、デュワー3内の液体ヘリウムによって動作温度であるおよそ4Kに冷却される。

【0022】

SQUID2およびデュワー3は、非磁性体の隔壁4により画成された磁気シールド室SR内に配置されている。図1からわかるように、デュワー3は、支持部材5によって、水平に延びる軸6の周りに回動自在に支持されており、デュワー3の下方には、図示されない座部および図示されないベッドが配置される。これにより、生体磁気計測システム1では、デュワー3を軸6の周りに回動（傾斜）させることにより、座部に着座した被検者またはベッドに横たわった被検者の脳等から発せられる磁界を計測することができる。

10

【0023】

生体磁気計測システム1は、希少な資源であると共に比較的高価なヘリウムを有効に活用すべく、SQUID2の冷却によりデュワー（液体ヘリウム貯留槽）3内で気化したヘリウムを回収し、再液化させてデュワー3に返送するヘリウム循環装置20を有している。ヘリウム循環装置20は、後述のGM冷凍機等を収容するコールドチャンバ23や各種配管類を収容する容器26を有し、磁気シールド室SRの隣に配置された収容室AR内に配置されている。収容室ARを画成する隔壁7の内面には、ヘリウム循環装置20から発せられる音や磁気の外部への漏洩を抑制するために、磁気シールド材が貼着されている。

20

【0024】

コールドチャンバ23および容器26の支持機構には、磁気シールド室SR内の軸6と同軸かつ水平に延びるシャフト8が固定されており、シャフト8は、支持ブロック9によって回轉自在に支持されている。シャフト8には、ウォームギア機構等の減速機構10を介して回轉ハンドル11が接続されており、回轉ハンドル11を操作することにより、コールドチャンバ23や容器26をシャフト8の周りに回動させることができる。なお、容器26の下部には、カウンタウェイトWが取り付けられている。

【0025】

また、生体磁気計測システム1は、磁気シールド室SRを画成する隔壁4と、当該隔壁4と対向する収容室ARの隔壁7とを貫通する駆動シャフト12を有している。収容室AR内のシャフト8と結合させた駆動シャフト12を回轉させれば、磁気シールド室SR内から収容室AR内のコールドチャンバ23や容器26を回動（傾斜）させることができる。すなわち、生体磁気計測システム1では、患者の姿勢に合わせて磁気シールド室SR内のデュワー3を移動させた際に、収容室AR内のコールドチャンバ23や容器26をデュワー3の姿勢に合わせて移動させることができる。

30

【0026】

図1に示されるように、デュワー3とヘリウム循環装置20のコールドチャンバ23とは、トランスファチューブ14を介して互いに接続される。トランスファチューブ14は、磁気シールド室SRの隔壁4に形成された弧状の長穴4aと、収容室ARの隔壁7に形成された弧状の長穴7aとを貫通する。長穴4aおよび7aは、デュワー3やヘリウム循環装置20の回動中心（軸6やシャフト8等）を中心として形成されている。長穴4aおよび7aには、デュワー3、ヘリウム循環装置20およびトランスファチューブ14の移動が完了した段階で、磁気シールド材15が装填される。

40

【0027】

図2は、生体磁気計測システム1に含まれるデュワー3を示す断面図である。同図に示されるように、デュワー3は、内槽301と、この内槽301を包囲する外槽302とを有する。SQUID2とその冷却媒体である液体ヘリウムとは、内槽301の下部に収容され、内槽301の内部には、液体ヘリウムの液面レベルを検出するための液面計350が配置されている。また、外槽302はFRP等の断熱材により形成されており、外槽3

50

02の上端は、閉鎖部材303によって閉鎖される。そして、内槽301と外槽302との間には、断熱空間304が画成される。断熱空間304は、真空吸引されており、これにより、内槽301と外槽302との間には、真空層が形成される。

【0028】

内槽301内の上部には、中空かつ概ね筒状に形成された上側インサート305が配置されている。この上側インサート305の内部には、真空状態に維持される第1真空チャンバ306が画成される。上側インサート305の外壁面と内槽301の内壁面との間には、環状の空間307が画成される。また、内槽301の内部には、上側インサート305の下面と、液体ヘリウムの液面との間に位置するように下側インサート308が配置される。この下側インサート308も、中空かつ概ね筒状に形成されており、その内部には、真空状態に維持される第2真空チャンバ309が画成される。

10

【0029】

図2に示されるように、上側インサート305の下面と下側インサート308の上面との間には、上述の空間307と連通する空間310が画成され、下側インサート308の外壁面と内槽301の内壁面との間には、空間307および310と連通する環状の空間311が画成される。更に、下側インサート308の下面と液体ヘリウムの液面との間には、空間311と連通する空間312が画成される。本実施形態では、下側インサート308の下面が、外周から中心に向かって上方に傾斜する円錐面状に形成されている。この場合、下側インサート308の下面を円錐面状に形成する代わりに、下側インサート308の下面を平坦にした上で、この下面に上述のような円錐面を有するウレタン等からなる別部材を取り付けてもよい。

20

【0030】

第1真空チャンバ306の内壁面の複数箇所（本実施形態では、高さ方向における中央の2箇所）には、銅材等からなる熱シールド部材313を介して伝熱部材314が取り付けられている。また、第1真空チャンバ306の外壁面の複数箇所（本実施形態では、3箇所）にも、銅材等からなる熱シールド部材315が取り付けられている。本実施形態では、上側の2個の熱シールド部材315が上側インサート305内の各熱シールド部材313と対応するように配置され、下側の1個の熱シールド部材315が上側インサート305と下側インサート308との間の空間310を囲むように配置されている。

【0031】

各熱シールド部材315には、それぞれ内槽301を囲むように形成された複数（本例では3体）の伝熱部材316、317、318が固定されており、各伝熱部材316～318は、上述の断熱空間304内に位置する。これらの伝熱部材316～318のうち、外側の2体の伝熱部材316および317は、概ね筒状に形成されており、それぞれの遊端部は、内槽301の下端部付近まで達している。また、最も内側の伝熱部材318は、有底筒状に形成されており、内槽301の下部の概ね半分を覆っている。

30

【0032】

図2に示されるように、上述の上側インサート305の上端部（閉鎖部材303側の端部）は縮径されており、これにより、上側インサート305の上端部の周囲には、上述の空間307と連通する空間319が画成される。そして、閉鎖部材303には、当該空間319と連通するように、第1回収管L10が接続されている。また、上述の上側インサート305および下側インサート308の中心孔部には、上述のトランスファチューブ14の先端部が挿通される。

40

【0033】

ここで、トランスファチューブ14は、外側から順番に、冷却管L11、第2回収管L20および返送管L21を同心に一体化させることにより多重管として構成されている。そして、トランスファチューブ14を構成する冷却管L11は、図2に示されるように、上側インサート305と下側インサート308との間の空間310において開口している。また、トランスファチューブ14を構成する第2回収管L20および返送管L21は、下側インサート308と液体ヘリウムの液面との間の空間312において開口している。

50

なお、第2回収管L20の外周面と、下側インサート308の中心孔部の内周面との間には、空間310と空間312とを連通する隙間320が画成される。

【0034】

図3は、生体磁気計測システム1に含まれるヘリウム循環装置20の系統図である。同図に示されるように、ヘリウム循環装置20は、上述のデュワー3や第1回収管L10、冷却管L11、第2回収管L20および返送管L21に加えて、循環ポンプ21、2台のGM冷凍機22、精製器30、凝縮器40、GM冷凍機22、精製器30および凝縮器40を収容するコールドチャンバ23等を含む。各GM冷凍機22は、ヘリウムガスをおよそ40Kまで冷却するための第1冷凍部22aおよびヘリウムガスをおよそ4Kまで冷却するための第2冷凍部22bを有するものである。

10

【0035】

デュワー3の上部から延びる第1回収管L10は、中途にバルブV1、マスフローメータMF1および電磁弁EV1(ノーマルオープン)を有し、その先端は、循環ポンプ21の吸入口に接続されている。循環ポンプ21の吐出口には、ガス管L12の一端が接続されている。このガス管L12は、第1回収管L10および冷却管L11と共に、デュワー3内のヘリウムガスの一部をGM冷凍機22に導くと共に、GM冷凍機22により冷却されたヘリウムガスをデュワー3に返送するための第1の系統を構成する。ガス管L12は、フィルタF1およびF2、一定流量制御弁MFC、流量計FMおよび電磁弁EV2を中途に有し、ガス管L12の他端は、コールドチャンバ23内の精製器30の流体入口に接続されている。

20

【0036】

精製器30は、デュワー3から回収されたヘリウムガス中の不純物を冷却・固化させて捕捉するものであり、例えば、本体と、ヘリウムガスの流通を許容すると共にヘリウムガスと十分に接触するように構成された多孔質性の捕捉手段とを備えており、捕捉手段は、本体の出口側に配置されると共に冷熱源に接続される。この精製器30の流体出口には、逆止弁50を介して上述の冷却管L11の一端が接続されている。冷却管L11は、一方のGM冷凍機22の第1冷凍部22aに配置される伝熱管HPを有する。また、凝縮器40は、2台のGM冷凍機22の第2冷凍部22bに接続されており、凝縮器40の器内温度は、各第2冷凍部22bによりおよそ4Kに保たれる。更に、凝縮器40には、器内温度を調整するためのヒータ41が備えられている。そして、凝縮器40には、上述の第2回収管L20と返送管L21とが接続されている。第2回収管L20および返送管L21は、デュワー3内のヘリウムガスの一部を凝縮器40に導くと共に、凝縮器40で液化したヘリウムをデュワー3に返送するための第2の系統を構成する。

30

【0037】

一方、第1回収管L10には、中途に電磁弁EV3を有するヘリウム排出管が接続されている。また、ガス管L12の流量計FMとバルブV2との間には、電磁弁EV4、マスフローメータMF4、バルブV4および真空引きポートを介して排気ポンプ(吸引手段)24が接続されている。排気ポンプ24は、精製器30から不純物を除去する際に使用される。更に、ガス管L12の循環ポンプ21とフィルタF1の間には、電磁弁EV5、マスフローメータMF5、フィルタF5、およびバルブV5を介してヘリウムポンプ25が接続されている。ヘリウムポンプ25は、常温(300K)のヘリウムガスを貯留するものである。

40

【0038】

加えて、ヘリウム循環装置20は、圧力センサPaおよびPbを有する。圧力センサPaは、デュワー3の器内圧力(ヘリウムガスの圧力)を検出するものである。また、圧力センサPbは、精製器30の入口におけるヘリウムガスの圧力を検出するものである。これらの圧力センサPaおよびPbは、図4に示されるように、ヘリウム循環装置20の制御手段として機能する制御ユニット100に接続されている。また、制御ユニット100には、上述のマスフローメータMF1, MF4, MF5、流量計FM、電磁弁EV1~EV5等のバルブ類、循環ポンプ21および排気ポンプ24等が接続されている。更に、制

50

御ユニット100には、デュワー3の液面計350や、凝縮器40のヒータ41等も接続されている。制御ユニット100は、各種センサの検出値に基づいて、上述の循環ポンプ21、排気ポンプ24および各種バルブ等を制御する。

【0039】

次に、上述のヘリウム循環装置20の動作について説明する。

【0040】

生体磁気計測システム1が使用され、ヘリウム循環装置20（循環ポンプ21や各GM冷凍機22）が作動される際、デュワー3内では、SQUID2等を冷却することにより液体ヘリウムが少なからず気化する。そして、液体ヘリウムの液面付近で気化したおよそ4Kのヘリウムガスの一部は、下側インサート308の下面に沿ってその中心へと流れ、空間312において開口している第2回収管L20を介して凝縮器40へと流入する。そして、凝縮器40へと流れ込んだおよそ4Kのヘリウムガスは、各GM冷凍機22の第2冷凍部22bによっておよそ4Kに保たれている凝縮器40にて液化し、返送管L21を介してデュワー3の内槽301の下部へと返送される。

10

【0041】

ここで、本実施形態のデュワー3では、外槽302の内部に侵入した熱が各伝熱部材316～318に伝わると、熱は、伝熱部材316～318から熱シールド部材315に伝わり、そこに蓄積される。同様に、トランスファチューブ14等を介して上側インサート305に伝わった熱は、伝熱部材314を介して熱シールド部材313に伝わり、そこに蓄積される。従って、デュワー3内のヘリウムガスの一部が、空間310の周辺から上側インサート305の周囲の空間307を介して内槽301の上部の空間319へと流れていくと、当該ヘリウムガスは、各熱シールド部材313、315に蓄積された熱を奪って、例えばおよそ300K程度まで昇温する。

20

【0042】

このようにして、デュワー3内のヘリウムガスのうち、周囲から熱を奪ってある程度昇温したヘリウムガスは、循環ポンプ21によって第1回収管L10へと吸い込まれ、一方のGM冷凍機22の第1冷凍部22aに配置されている伝熱管HPへと導かれる。そして、当該ヘリウムガスは、第1冷凍部22aにておよそ40Kに冷却され、冷却管L11を介して上側インサート305と下側インサート308との間の空間310へと返送される。空間310に戻されたおよそ40Kのヘリウムガスは、第1回収管L10等を含む第1

30

【0043】

更に、ヘリウム循環装置20では、制御ユニット100により、凝縮器40のヒータ41が図5に示される手順に従って制御される。すなわち、ヘリウム循環装置20の作動中、制御ユニット100は、デュワー3の器内圧力Pを検出する圧力センサPaの検出値をモニタしており、凝縮器40でのヘリウムの液化が進められてデュワー3の器内圧力Pが低下し、圧力センサPaにより検出されるデュワー3の器内圧力Pが下限値 P_1 になると、凝縮器40のヒータ41をONにする。これにより、ヒータ41の作用により凝縮器40の器内温度が上昇することになり、凝縮器40でのヘリウムの液化が抑制されると共に、デュワー3の器内圧力Pが上昇する。また、制御ユニット100は、図5に示されるように、ヒータ41をONにした後も圧力センサPaの検出値をモニタしており、ヒータ41をONにした後、デュワー3の器内圧力Pが上限値 P_2 になると、凝縮器40のヒータ41をOFFにする。これにより、ヒータ41による加熱が停止され、凝縮器40でのヘリウムの液化が促進させられ、デュワー3の器内圧力Pが低下する。

40

【0044】

上述のように、ヘリウム循環装置20では、デュワー3内のヘリウムガスの一部が、上述の第1の系統に含まれる空間307等にて内槽301内に侵入しようとする熱を奪ってGM冷凍機22の第1冷凍部22aに向かうことになるので、デュワー3の内部で気化したヘリウムガスによって熱がデュワー3外に排出され、デュワー3内でのヘリウムの気化と、デュワー3内のヘリウムガスの更なる昇温とが確実に抑制されることになる。また、

50

ヘリウム循環装置 20 では、ヒータ 41 を ON / OFF 制御することにより凝縮器 40 内の温度が調整されるので、第 2 回収管 L 20 および返送管 L 21 (第 2 の系統) を介して凝縮器 40 と連通するデュワー 3 の器内圧力 P を所望の値に設定して、デュワー 3 内の液体ヘリウムの量を所望値に保つことができる。

【0045】

従って、ヘリウム循環装置 20 では、デュワー 3 内で気化したおよそ 4 K のヘリウムを第 2 回収管 L 20 (第 2 の系統) を介して凝縮器 40 に導き、凝縮器 40 で液化したヘリウムをデュワー 3 に返送するだけで、デュワー 3 内に常時十分な量の液体ヘリウムを確保することが可能となる。この結果、本発明によれば、デュワー 3 で気化した冷媒を GM 冷凍機 22 により段階的に冷却した後、凝縮器 40 で再液化させるための系統を省略することが可能となり、ヘリウムを効率よく低コストで再液化させることができる。

10

【0046】

ところで、ヘリウム循環装置 20 によれば、上述のように、デュワー 3 内でのヘリウムの気化と、デュワー 3 内のヘリウムガスの更なる昇温とを確実に抑制することができる。しかしながら、生体磁気計測システム 1 の運転時間が長期化したような場合には、デュワー 3 と凝縮器 40 との間で第 2 の系統 (第 2 回収管 L 20 および返送管 L 21) を介してヘリウムを循環させるだけでは、デュワー 3 内の液体ヘリウムが不足することもあり得る。また、精製器 30 の閉塞の解除作業に伴ってデュワー 3 からヘリウムを外部に排出した際にも、デュワー 3 内にヘリウムを補充する必要がある。

20

【0047】

これらの点に鑑みて、ヘリウム循環装置 20 では、上述のように、第 1 回収管 L 10 および冷却管 L 11 と共に第 1 の系統を構成するガス管 L 12 に、ヘリウムガスを貯留するヘリウムポンペ 25 が接続されている。これにより、ヘリウムポンペ 25 から第 1 の系統の一部であるガス管 L 12 や冷却管 L 11 を介してヘリウムガスをデュワー 3 内に供給可能となるので、デュワー 3 にヘリウムを補充するための専用系統を設けることなく、ヘリウム補充を実行することができる。

【0048】

このようなデュワー 3 に対するヘリウムの補充処理は、図 6 および図 7 に示される手順に従って行われる。すなわち、ヘリウム循環装置 20 の作動中、制御ユニット 100 は、図 6 に示されるように、液面計 350 の検出値に基づいてデュワー 3 内の液体ヘリウムの液面レベル L を取得し (S 10)、取得した液面レベル L が予め定められた下限値 L_L 以下であるか否かが判定している (S 12)。そして、制御ユニット 100 は、S 10 および S 12 の処理を繰り返し実行していくうちに、S 12 にてデュワー 3 内の液体ヘリウムの液面レベル L が予め定められた下限値 L_L 以下であると判断すると、再度、液面計 350 の検出値に基づいてデュワー 3 内の液体ヘリウムの液面レベル L を取得し (S 14)、取得した液面レベル L が予め定められた値 L_H を下回っているか否かが判定する (S 16)。値 L_H は、下限値 L_L よりも十分に大きな値であり、液面レベルが値 L_H 以上であれば、デュワー 3 内に十分に液体ヘリウムが存在しているとみなされる。

30

【0049】

制御ユニット 100 は、S 16 にて液面レベル L が予め定められた値 L_H を下回っていると判断した場合、圧力センサ P a の検出値に基づいてデュワー 3 の器内圧力 P を取得し (S 18)、取得したデュワー 3 の器内圧力 P が予め定められた値 P_3 以下であるか否かが判定する (S 20)。ここで、値 P_3 は、図 7 に示されるように、上述の凝縮器 40 のヒータ 41 が ON にされる圧力 (下限値) P_1 よりも大きく、ヒータ 41 が OFF にされる圧力 (上限値) P_2 よりも小さな値として定められる。制御ユニット 100 は、S 20 にてデュワー 3 の器内圧力 P が予め定められた値 P_3 以下であると判断するまで、S 18 および S 20 の処理を繰り返す。

40

【0050】

そして、制御ユニット 100 は、S 20 にてデュワー 3 の器内圧力 P が値 P_3 以下であると判断すると、電磁弁 E V 5 等を開放させ、ヘリウムポンペ 25 からデュワー 3 へのヘ

50

リウムガスの供給（補充）を開始させる（S 2 2）。これにより、ガス管 L 1 2 および冷却管 L 1 1 を介してヘリウムポンペ 2 5 からのヘリウムガスがおよそ 4 0 K に冷却された上でデュワー 3 へと供給されることになる。S 2 2 の処理の後、制御ユニット 1 0 0 は、圧力センサ P a の検出値に基づいてデュワー 3 の器内圧力 P を取得し（S 2 4）、取得したデュワー 3 の器内圧力 P が予め定められた値 P₄ 以上であるか否か判定する（S 2 6）。ここで、値 P₄ は、図 7 に示されるように、デュワー 3 における安全圧を下回る範囲内で上述の凝縮器 4 0 の温度制御に際して用いられる圧力の上限值 P₂ よりも大きい値として定められると好ましいが、P₃ < P₄ < P₂ を満たすように値 P₄ を設定してもよい。

【0 0 5 1】

制御ユニット 1 0 0 は、S 2 6 にてデュワー 3 の器内圧力 P が値 P₄ 以上であると判断すると、電磁弁 E V 5 等を閉鎖させ、ヘリウムポンペ 2 5 からデュワー 3 へのヘリウムガスの供給（補充）を停止させる（S 2 8）。S 2 8 の処理の後、制御ユニット 1 0 0 は、S 1 4 に戻ってデュワー 3 内の液体ヘリウムの液面レベル L を取得し、取得した液面レベル L が予め定められた値 L_H を下回っているか否か判定する（S 1 6）。この段階で、デュワー 3 の液体ヘリウムの液面レベルが L_H を下回っている場合、制御ユニット 1 0 0 は、デュワー 3 内に液体ヘリウムが十分に補充されていないとみなし、上述の S 1 8 ~ S 2 8 の処理を繰り返す。また、この段階で、デュワー 3 の液体ヘリウムの液面レベルが L_H 以上となっている場合、制御ユニット 1 0 0 は、デュワー 3 内に十分な量の液体ヘリウムが存在しているとみなし、S 1 0 および S 1 2 におけるデュワー 3 内の液体ヘリウムの液面レベル L のモニタリングを実行する。

【0 0 5 2】

このように、ヘリウム循環装置 2 0 では、デュワー 3 内の液体ヘリウムの液面レベル L が上述の下限值 L_L 以下になると、ヘリウムポンペ 2 5 からガス管 L 1 2 や冷却管 L 1 1 を介してヘリウムガスがおよそ 4 0 K に冷却された上でデュワー 3 へと供給されるので、デュワー 3 内に常時所望量の液体ヘリウムを確保しておくことが可能となる。また、本実施形態では、デュワー 3 の器内圧力 P が、上記圧力（上限値）P₁ よりも大きい値 P₃ まで低下すると、ヘリウムポンペ 2 5 からデュワー 3 へのヘリウムガスの補充が開始される（S 2 2）ので、それ以後、図 7 に示されるようにデュワー 3 の器内圧力が上昇し、ヘリウムガスの補充中に凝縮器 4 0 のヒータ 4 1 が ON にされてしまうことはない。従って、デュワー 3 外でヘリウムガスを液化させずヘリウムガスを直接デュワー 3 内に供給（補充）しても、当該ヘリウムガスは、デュワー 3 内や凝縮器 4 0 にて確実に液化する。更に、デュワー 3 の器内圧力 P が値 P₄ 以上になると、ヘリウムガスの補充が停止されるので（S 2 8）、デュワー 3 の器内圧力 P の過剰上昇により液体ヘリウムが気化してしまうことが確実に抑制される。

【0 0 5 3】

なお、本発明において、デュワー 3 内の液面制御手順は、図 5 に例示されるものに限られず、また、デュワー 3 へのヘリウムの補充手順は、図 6 に例示されるものに限られず、これらの液面制御手順やヘリウムの補充手順として、他の手順を採用し得ることはいうまでもない。そして、本発明は、その思想や主要な特徴から逸脱することなく、他のいかなる形態においても実施され得る。そのため、上述の実施形態は、あらゆる点で単なる例示にすぎず、限定的に解釈されてはならない。

【図面の簡単な説明】

【0 0 5 4】

【図 1】本発明によるヘリウム循環装置を含む計測システムの一例を示す部分断面図である。

【図 2】図 1 の計測システムに含まれるデュワーを示す断面図である。

【図 3】本発明によるヘリウム循環装置の系統図である。

【図 4】図 3 に示されるヘリウム循環装置の制御ブロック図である。

【図 5】図 3 のヘリウム循環装置の動作を説明するためのタイムチャートである。

【図 6】図 3 のヘリウム循環装置の動作を説明するためのフローチャートである。

10

20

30

40

50

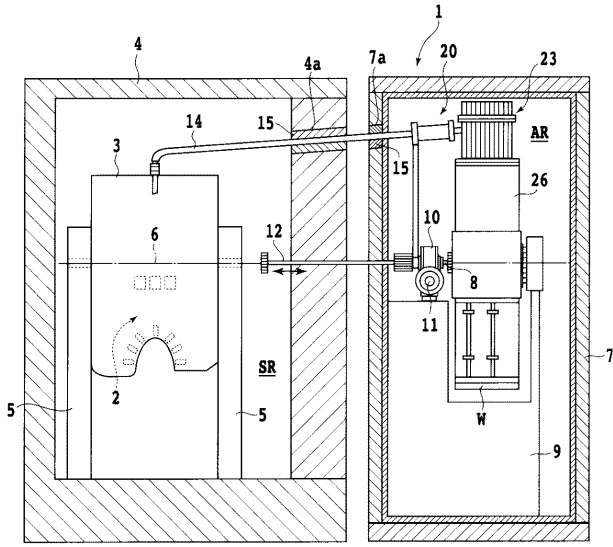
【図7】図3のヘリウム循環装置の動作を説明するためのタイムチャートである。

【符号の説明】

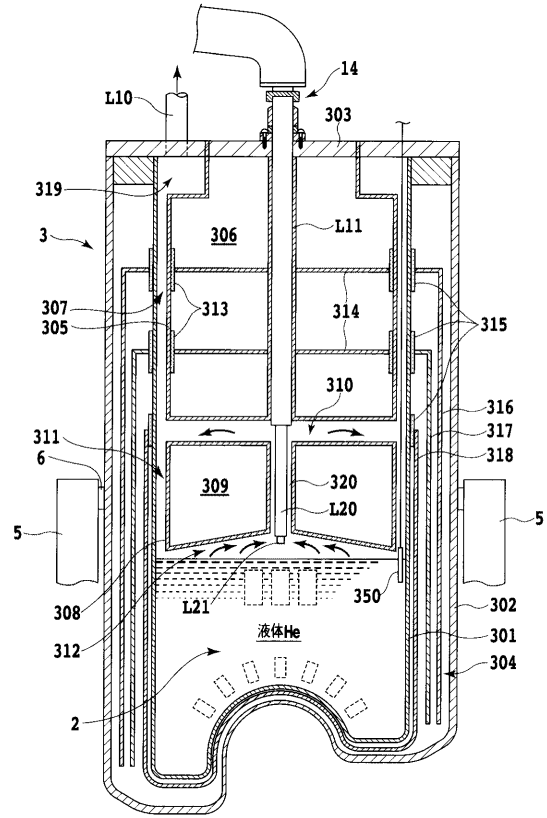
【0055】

- 1 生体磁気計測システム
- 2 S Q U I D
- 3 デュワー
- 14 トランスファチューブ
- 20 ヘリウム循環装置
- 21 循環ポンプ
- 22 GM冷凍機 10
- 25 ヘリウムポンプ
- 30 精製器
- 40 凝縮器
- 41 ヒータ
- 100 制御ユニット
- 301 内槽
- 302 外槽
- 304 断熱空間
- 305 上側インサート
- 306, 309 真空チャンバ 20
- 307, 310, 311, 312, 319 空間
- 308 下側インサート
- 313, 315 熱シールド部材
- 314, 316, 317, 318 伝熱部材
- 320 隙間
- 350 液面計
- EV1, EV2, EV3, EV4, EV5 電磁弁
- L10 第1回収管
- L11 冷却管
- L12 ガス管 30
- L20 第2回収管
- L21 返送管
- Pa 圧力センサ
- Pb 圧力センサ

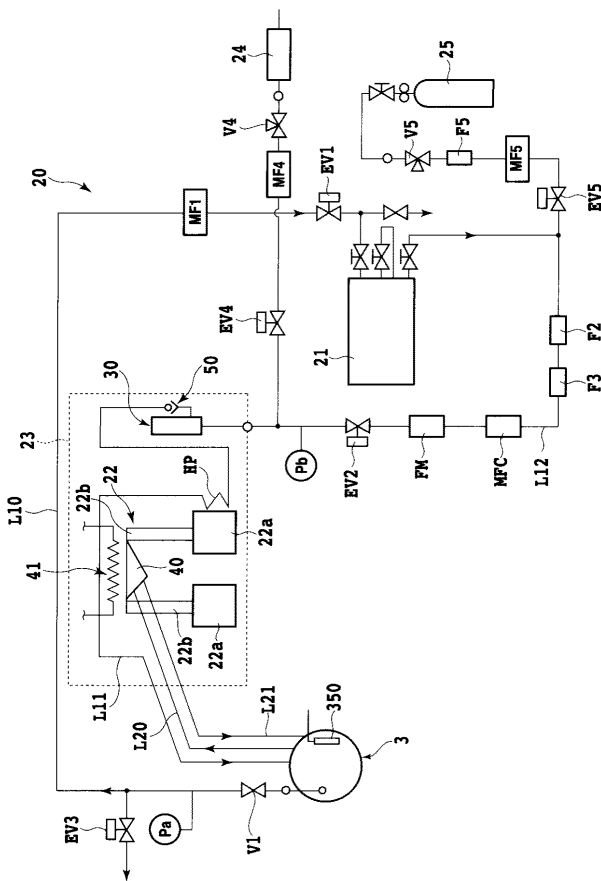
【図 1】



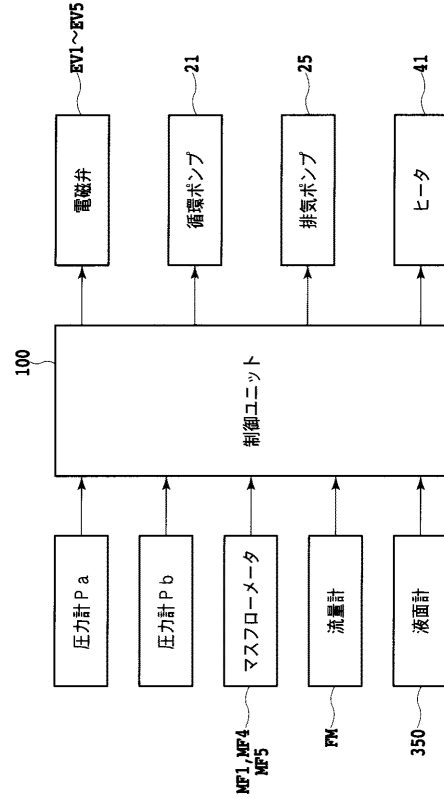
【図 2】



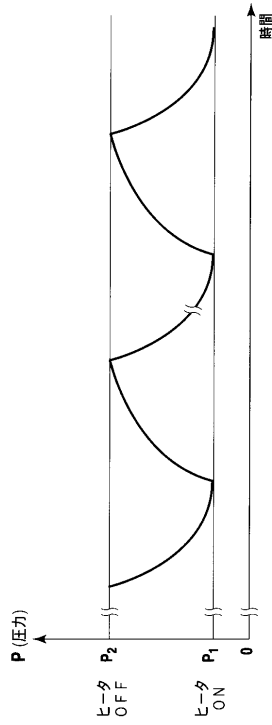
【図 3】



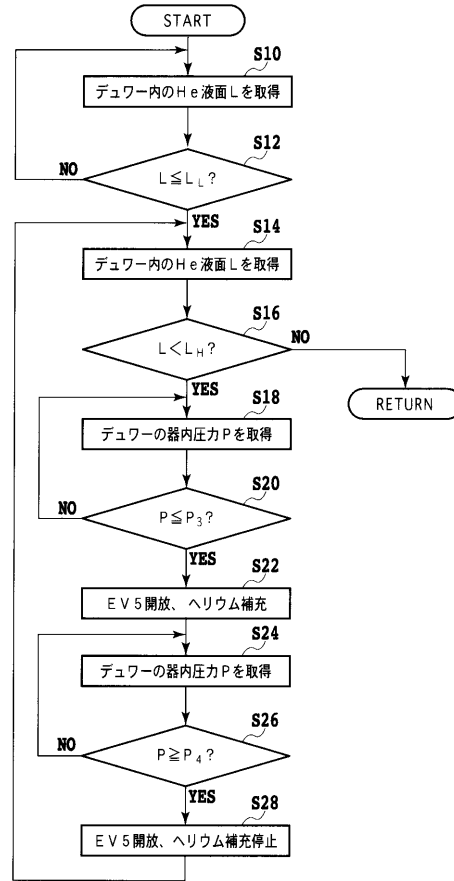
【図 4】



【 図 5 】



【 図 6 】



【 図 7 】

