

(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2005-291628

(P2005-291628A)

(43) 公開日 平成17年10月20日(2005. 10. 20)

(51) Int.Cl.⁷
F 2 5 J 1/02F I
F 2 5 J 1/02テーマコード (参考)
4 D O 4 7

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2004-107890 (P2004-107890)	(71) 出願人	503061418
(22) 出願日	平成16年3月31日 (2004. 3. 31)		武田 常広
			茨城県つくば市春日2-43-8
		(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
			千葉県柏市柏の葉5-1-5 東京大学大
			学院 新領域基盤科学研究棟 318 武
			田教授室内
		(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)	4D047 AA03 BA06 BA08 BB03 DA11
			DA14

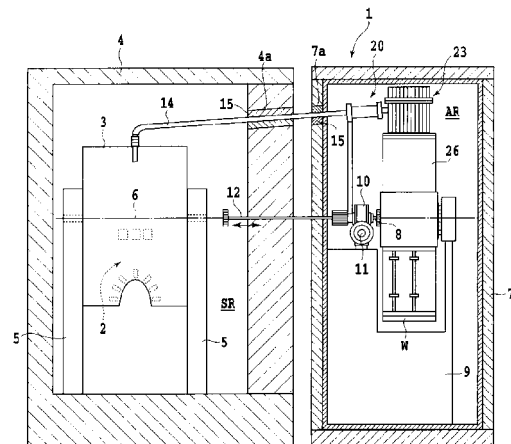
(54) 【発明の名称】 ヘリウム再液化装置、精製器、弁機構および凝縮器

(57) 【要約】

【課題】 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ためのヘリウム再液化処理を円滑に実行することを目的とする。

【解決手段】 ヘリウム再液化装置20は、ヘリウムガス中の不純物を冷却・固化させて捕捉する多孔性捕捉部325を有する精製器30と、精製器30の流体入口に接続された排気ポンプ25と、精製器30の流体出口に接続された逆止弁50と、凝縮器本体401の内部で固化した不純物を液化ヘリウムと共に貯留する液溜め部406を有する凝縮器40を含む。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

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、再液化させて前記貯留槽に返送するヘリウム再液化処理に使用され、前記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であって、

精製器本体と、

前記ヘリウムガスの流通を許容すると共に当該ヘリウムガスと十分に接触するように構成されており、前記精製器本体の出口側に配置されると共に冷熱源に接続された多孔質性の捕捉手段とを備えることを特徴とする精製器。

【請求項 2】

前記捕捉手段は、高密度に集合させられた多数の微小粒状体を含むことを特徴とする請求項 1 に記載の精製器。

【請求項 3】

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、再液化させて前記貯留槽に返送するヘリウム再液化処理に使用され、前記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であって、

冷熱源に接続された精製器本体と、

前記精製器本体の内部に並設された複数の冷却室とを備え、

互いに隣り合う前記冷却室同士は、ヘリウムガスが一方の冷却室の内壁に沿って流通してから他方の冷却室に流れ込むように連通されており、前記精製器本体の軸方向における前記冷却室の寸法は、前記精製器本体の出口に近づくにつれて小さくなっていることを特徴とする精製器。

【請求項 4】

前記各冷却室の内部には、ヘリウムガスの進路を変えるように邪魔板が配置されていることを特徴とする請求項 3 に記載の精製器。

【請求項 5】

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、再液化させて前記貯留槽に返送するヘリウム再液化装置であって、

前記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、

前記精製器により捕捉された不純物を加熱するためのヒータと、

前記精製器の流体入口に接続された吸引手段と、

前記精製器の流体出口に接続されており、弁入口および弁出口を有する本体と、前記本体の内部に配置されており、前記弁入口と前記弁出口との間の圧力差に応じて前記弁入口を開放または閉鎖するように移動することができる弁体とを含む逆止弁とを備えるヘリウム再液化装置。

【請求項 6】

低温環境下で使用される弁機構であって、

弁入口および弁出口を有する本体と、

前記本体の内部に配置されており、前記弁入口と前記弁出口との間の圧力差に応じて前記弁入口を開放または閉鎖するように移動することができる弁体とを含む弁機構。

【請求項 7】

前記本体は、前記弁体を受けるテーパ面と、前記弁体の前記弁出口への移動を規制する規制手段とを含むことを特徴とする請求項 6 に記載の弁機構。

【請求項 8】

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、再液化させて前記貯留槽に返送するヘリウム再液化処理に使用され、前記貯留槽から回収されたヘリウムガスを再液化させる凝縮器であって、

凝縮器本体と、

前記凝縮器本体に設けられており、前記凝縮器本体内で固化した不純物を液化ヘリウム

10

20

30

40

50

と共に貯留する液溜め部とを備えることを特徴とする凝縮器。

【請求項 9】

前記凝縮器本体から前記貯留槽に液体ヘリウムを返送するための返送管と、前記凝縮器本体を傾斜させるための傾斜手段とを更に備え、

前記凝縮器本体と前記返送管との接続部は、前記液溜め部に形成される液面のうち、前記傾斜手段によって前記凝縮器本体を傾斜させても変位しない位置に関連付けて配置されていることを特徴とする請求項 8 に記載の凝縮器。

【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ためのヘリウム再液化処理に関し、特に、このようなヘリウム再液化処理に使用され得る精製器、ヘリウム再液化装置、弁機構および凝縮器に関する。

【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等の冷却には、極低温（およそ 4 K）の液体ヘリウムが用いられている。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、冷却過程で気化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再液化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】

上述のヘリウム再液化装置は、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。

【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】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

上述のようなヘリウム再液化処理に用いられる精製器は、ヘリウムガス中の不純物を確実に捕捉して、下流側への不純物の流出を抑制可能なものでなければならない。また、精製器が不純物によって閉塞し始めた場合には、不純物の下流側への流出を確実に抑制しながら、精製器から確実に不純物を除去する必要がある。更に、精製器から凝縮器へと不純物が流入するおそれもあるので、その不純物を下流側に流出させないために、低温環境下で確実に作動する弁機構が必要不可欠である。

【0006】

本発明は、上述の一つまたはそれ以上の問題点を解決することに向けられる。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明の精製器は、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再液化処理に使用される。この精製器は、貯

10

20

30

40

50

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ものであり、精製器本体と、多孔質性の捕捉手段とを備える。捕捉手段は、ヘリウムガスの流通を許容すると共に当該ヘリウムガスと十分に接触するように構成されており、精製器本体の出口側（最下流側）に配置されると共に例えばGM冷凍機等の冷熱源に接続されている。この精製器によれば、貯留槽から回収されるヘリウムガス中の窒素や酸素といった不純物を冷却・固化させて確実に捕捉することが可能となる。この場合、精製器本体の入口から捕捉手段の入口までの距離をできるだけ長くするとよい。また、精製器本体は、その入口から捕捉手段の入口までの間に、蛇行流路を含むとよい。

【0008】

好ましくは、捕捉手段は、高密度に集合させられた多数の微小粒状体を含む。この場合、ヘリウムガス中の不純物は、冷熱源からの冷熱により冷却されて固化し、多数の微小な粒状体同士の間形成される微小な隙間に確実に捕捉される。また、微小粒状体のサイズは、ヘリウムガスの流れ方向に沿って段階的に変化させられるとよい。

【0009】

本発明の他の精製器も、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再液化処理に使用される。この精製器は、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ものであり、例えばGM冷凍機等の冷熱源に接続された精製器本体と、精製器本体の内部に並設された複数の冷却室とを備える。互いに隣り合う冷却室同士は、ヘリウムガスが一方の冷却室の内壁に沿って流通してから他方の冷却室に流れ込むように連通されており、これにより、ヘリウムガスが流通する蛇行流路が形成される。また、精製器本体の軸方向における冷却室の寸法は、精製器本体の出口に近づくにつれて小さくなっている。

【0010】

このような精製器では、精製器本体におけるヘリウムガスの流路をより一層長くし、各冷却室の壁面等とヘリウムガスとが接触する確立を高めることができる。また、精製器本体の軸方向における冷却室の寸法を精製器本体の出口に近づくにつれて小さくすることにより、ヘリウムガスを均一に冷却して、精製器の閉塞を良好に抑制することが可能となる。この場合、各冷却室の内部には、ヘリウムガスの進路を変えるように邪魔板が配置されていると好ましい。

【0011】

本発明のヘリウム再液化装置は、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ものである。このヘリウム再液化装置は、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、精製器により捕捉された不純物を加熱するためのヒータと、精製器の流体入口に接続された吸引手段と、精製器の流体出口に接続された逆止弁とを備える。逆止弁は、弁入口および弁出口を有する本体と、本体の内部に配置されており、弁入口と弁出口との間の圧力差に応じて弁入口を開放または閉鎖するように移動することができる弁体とを含む。

【0012】

このヘリウム再液化装置では、精製器が閉塞を起こし始めた際に、ヒータと吸引手段とが作動させられる。ヒータが作動させられると、精製器により捕捉された不純物が加熱されて気化する。また、吸引手段が作動されると、逆止弁の弁入口側が弁出口側よりも低圧になり、弁体が弁入口を閉鎖するように移動する。これにより、精製器内で気化した不純物が逆止弁の下流側に流出することを阻止することができる。そして、精製器内で気化した不純物が吸引手段によって吸引されて外部に排出される。この結果、このヘリウム再液化装置では、不純物の下流側への流出を確実に抑制しながら、精製器から確実に不純物を除去することが可能となる。

【0013】

本発明による弁機構は、低温環境下で使用される弁機構である。この弁機構は、弁入口および弁出口を有する本体と、本体の内部に配置されており、弁入口と弁出口との間の圧力差に応じて弁入口を開放または閉鎖するように移動することができる弁体とを含む。

【0014】

この弁機構では、弁入口と弁出口との間に圧力差を生じさせるだけで、弁入口を開放または閉鎖することができる。従って、この弁機構は、例えばおよそ4～40 Kの低温環境下においても極めて確実に作動する。

【0015】

好ましくは、弁機構の本体は、弁体を受けるテーパ面と、弁体の弁出口への移動を規制する規制手段とを含む。また、弁体は、球体であるとはよく、錐体であってもよい。

【0016】

本発明による凝縮器は、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再液化処理に使用される。この凝縮器は、貯留槽から回収されたヘリウムガスを極低温の液体ヘリウムへと再液化させるものであり、凝縮器本体と、凝縮器本体に設けられた液溜め部とを備える。液溜め部は、凝縮器本体内で固化した不純物を液化ヘリウムと共に貯留する。従って、この凝縮器によれば、窒素や酸素といった不純物を確実に捕捉することが可能となる。

10

【0017】

好ましくは、この凝縮器は、凝縮器本体から貯留槽に液体ヘリウムを返送するための返送管と、凝縮器本体を傾斜させるための傾斜手段とを備え、凝縮器本体と返送管との接続部は、液溜め部に形成される液面のうち、傾斜手段によって凝縮器本体を傾斜させても変位しない位置に関連付けて配置される。これにより、貯留槽へと返送される液化ヘリウムに不純物が混入するのを確実に抑制することが可能となる。

20

【発明の効果】

【0018】

本発明によれば、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ためのヘリウム再液化処理を極めて円滑に長時間実行することが可能となる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0019】

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。

【0020】

図1は、本発明によるヘリウム再液化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4 K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4 Kに冷却される。

30

【0021】

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。

40

【0022】

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再液化装置20を有している。ヘリウム再液化装置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、ヘリウム再液化装置20

50

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。

【0023】

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によって回転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を介して回転ハンドル11が接続されており、回転ハンドル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の周りに回転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。

【0024】

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を回転させれば、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を回転（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内のヘリウム再液化装置20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。

【0025】

図1に示されるように、デュワー3とヘリウム再液化装置20のコールドチャンバ23とは、多層構造を有する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、後述の高温回収管L1、第2冷却管L5、低温回収管L6および返送管L7を一体化させたものである。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やヘリウム再液化装置20の回転中心（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、ヘリウム再液化装置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。

【0026】

図2は、ヘリウム再液化装置20の系統図である。同図に示されるように、ヘリウム再液化装置20は、主として、循環ポンプ21、2台のGM冷凍機22、2台の精製器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、デュワー3から比較的高温（およそ300K）のヘリウムガスを回収するための高温回収管L1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。

【0027】

高温回収管L1は、デュワー3の上部と循環ポンプ21の吸入口とに接続されており、中途にバルブV1、マスフローメータMF3および電磁弁EV1（ノーマルオープン）を有する。循環ポンプ21の吐出口には、ガス管L2の一端が接続されており、ガス管L2は、フィルタF1、F2およびF3、一定流量制御弁MFC1、流量計FMおよびバルブV2を中途に有する。ガス管L2の他端は、コールドチャンバ23内の一方の精製器30の流体入口に接続されている。この精製器30の流体出口には、逆止弁50を介して第1冷却管L3の一端が接続されている。第1冷却管L3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HP1と、当該一方のGM冷凍機22の第2冷凍部22bに配置される伝熱管HP2とを有する。そして、第1冷却管L3の他端は、凝縮器40に接続されている。

【0028】

また、ガス管L2からは、フィルタF3と一定流量制御弁MFC1との間で、ガス管L4が分岐されている。ガス管L4は、一定流量制御弁MFC2、流量計FMおよびバルブV3を中途に有する。ガス管L4の他端は、コールドチャンバ23内の他方の精製器30

10

20

30

40

50

の流体入口に接続されている。この精製器 30 の流体出口には、逆止弁 50 を介して第 2 冷却管 L5 の一端が接続されている。第 2 冷却管 L5 は、一方の GM 冷凍機 22 の第 2 冷凍部 22b に配置される伝熱管 HP3 を有する。そして、第 2 冷却管 L5 の他端は、デュワー 3 の上部に接続されている。なお、第 2 冷却管 L5 は、上述のトランスファチューブ 14 の最外層に設けられ、その中央を流通するヘリウムを保冷する役割を果たす。

【0029】

デュワー 3 から蒸発した比較的高温（およそ 300 K）のヘリウムガスは、循環ポンプ 21 によってデュワー 3 から回収される。回収されたヘリウムガスの一部は、ガス管 L2 を介して一方の精製器 30 に送られ、この精製器 30 によりヘリウムガス中の窒素や酸素といった不純物が除去される。この精製器 30 から流出したヘリウムガスは、第 1 冷却管 L3 を流通する間に、一方の GM 冷凍機 22 の第 1 冷凍部 22a と、当該冷凍機 22 の第 2 冷凍部 22b とで段階的に冷却された後、凝縮器 40 へと送られる。

10

【0030】

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 4 K に保たれている。凝縮器 40 には、低温回収管 L6 と返送管 L7 とが接続されている。デュワー 3 で発生した低温（およそ 4 ~ 10 K）のヘリウムガスは、低温回収管 L6 を介して凝縮器 40 に送られ、凝縮器 40 で極低温（およそ 4 K）の液体ヘリウムへと再液化させられる。同様に、第 1 冷却管 L3 からのヘリウムガスも、凝縮器 40 で極低温の液体ヘリウムへと再液化させられる。再液化されたヘリウムは、凝縮器 40 から返送管 L7 を介してデュワー 3 へと戻される。また、デュワー 3 から回収された比較的高温（およそ 300 K）のヘリウムガスの残りは、ガス管 L4 を介して他方の精製器 30 に送られ、この精製器 30 によりヘリウムガス中の窒素や酸素といった不純物が除去される。この精製器 30 から流出したヘリウムガスは、第 2 冷却管 L5 を流通する間に、一方の GM 冷凍機 22 の第 1 冷凍部 22a でおよそ 40 K に冷却された後、デュワー 3 へと送られる。

20

【0031】

一方、ガス管 L2 の循環ポンプ 21 とフィルタ F1 との間には、バルブ V4、フィルタ F4、マスフローメータ MF4 および電磁弁 EV4 を介してヘリウムボンベ 24 が接続されている。ヘリウムボンベ 24 は、常温（300 K）のヘリウムガスを貯留するものである。これにより、ヘリウム再液化装置 20 では、電磁弁 EV4 とバルブ V2 とを開放させることにより、ヘリウムボンベ 24 からのヘリウムガスを第 1 冷却管 L3 に送り込み、凝縮器 40 で極低温の液体ヘリウムへと再液化させた上でデュワー 3 に供給（補充）することが可能となる。

30

【0032】

更に、図 2 に示されるように、マスフローメータ MF5 が、電磁弁 EV2（ノーマルクローズ）を介してガス管 L2 の流量計 FM とバルブ V2 との間に、電磁弁 EV3（ノーマルクローズ）を介してガス管 L4 の流量計 FM とバルブ V3 との間に接続されている。そして、このマスフローメータ MF5 には、バルブ V5 および真空引きポートを介して排気ポンプ（吸引手段）25 が接続されている。排気ポンプ 25 は、後述のように精製器 30 から不純物を除去する際に使用される。

40

【0033】

加えて、ヘリウム再液化装置 20 は、圧力センサ P1、P2 および P3 を有する。圧力センサ P1 は、デュワー 3 内のヘリウムガスの圧力を検出する。圧力センサ P2 は、第 1 冷却管 L3 に接続された精製器 30 の入口におけるヘリウムガスの圧力を検出し、圧力センサ P3 は、第 2 冷却管 L5 に接続された精製器 30 の入口におけるヘリウムガスの圧力を検出する。これらの圧力センサ P1 ~ P3 は、図示されない他のセンサと共にコントローラ（図示省略）に接続されている。このコントローラは、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 25 および各種バルブ等を制御する。

【0034】

次に、上述のヘリウム再液化装置 20 の精製器 30、逆止弁 50 および凝縮器 40 につ

50

いて、それぞれ詳細に説明する。

【0035】

(精製器)

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、図3に示されるように、良好な熱伝導性を有する銅材等により概ね円筒状に形成された精製器本体301を有する。精製器30は、上述のコールドチャンバ23内に配置され、精製器30の周囲は真空雰囲気中に保たれる。精製器本体301は、上部302と、上部302よりも大きい厚みを有する下部303とを含む。下部303には、環状の孔部303aが形成されており、孔部303aには、加熱ヒータHが配置される。精製器本体301(下部303)の下端部は、連結部材304を介してGM冷凍機22の第1冷凍部22aに連結されている。これにより、ヘリウム再液化装置20の稼動中、精製器本体301は、GM冷凍機22によっておよそ40Kに冷却される。精製器本体301(上部302)の上端部は、閉鎖部材305によって閉鎖されている。

【0036】

精製器本体301の中心には、円筒状の導入管306が配置されており、導入管306の周囲には、円筒状の内管307が導入管306と同軸に配置されている。内管307は、下部303の内壁面から内方に延びる支持部303bに固定されている。導入管306の上端は、固定部材308により、内管307の上端に固定されている。上述の閉鎖部材305と導入管306の上端との間には、空間が画成される。また、導入管306の外壁面、内管307の内壁面および固定部材308により、断熱空間309が画成される。この断熱空間309の内部は、精製器本体301の周囲と同様に真空雰囲気中に保たれる。

【0037】

精製器本体301の上部302の内壁面と、内管307の外壁面との間には、複数の流路形成部材310が精製器本体301の軸方向に配設されている。流路形成部材310は、良好な熱伝導性を有する銅材により形成されており、内管307が挿入される中心孔部と概ね扇形の開口部311とを有する天井部312と、天井部312の外周から下方に延びる筒状の側壁314とを有する(図3および図4参照)。そして上下に隣り合う流路形成部材310同士は、開口部311同士が上下に重なり合わないよう配置され、上下に隣り合う流路形成部材310(天井部312)同士の間には、冷却室315が画成される。また、上下に隣り合う流路形成部材310(天井部312)同士の間には、仕切板319が配置されている。仕切板319は、上側の位置する開口部311の一方の側縁部(例えば図4における下側の側縁部)と、下側に位置する開口部311の他方の側縁部(例えば図5における上側の側縁部)とに固定され、冷却室315内の流体の基本的な流れ方向を一方向にする。

【0038】

これにより、上下に隣り合う冷却室315同士は、ヘリウムガスが上側の冷却室315の内壁に沿って流通してから下側の冷却室315に流れ込むように連通され、この結果、ヘリウムガスが流通する蛇行流路が形成される。そして、各冷却室315の内部には、ヘリウムガスの進路を変えて冷却室315内にジグザグ流路を形成するように複数の邪魔板320が配置されている。更に、本実施形態において、流路形成部材310は、精製器本体301内の下側(下流側)に配置されるものほど低背とされる。従って、冷却室315の高さ(精製器本体310の軸方向における冷却室315の寸法)は、精製器本体301内の下端(出口324)に近づくにつれて小さくなる。

【0039】

精製器本体301の下部303の内壁面と、内管307の外壁面との間には、下部303の上端付近に位置するように多孔板(銅製金網)321が配置されている。この多孔板321の下方には、所定間隔を隔てて多孔板(銅製金網)322が配置されている。多孔板322と下部303の支持部303bとの間には、空間323が画成され、空間323には、出口管(流体出口)324が接続されている。

【0040】

そして、多孔板 3 2 1 と多孔板 3 2 2 との間の空間には、多数の微小球体（微小粒体）が高密度に充填されている。これにより、精製器本体 3 0 1 の出口側（最下流側）に、流体の流通を許容すると共に当該流体と十分に接触可能な多孔性捕捉部 3 2 5 が形成される。本実施形態では、多孔性捕捉部 3 2 5 の上側のおよそ 3 分の 1 の領域に、直径 2 mm の銅球が充填されており、多孔性捕捉部 3 2 5 の中央のおよそ 3 分の 1 の領域に、直径 1 mm の銅球が充填されており、多孔性捕捉部 3 2 5 の下側のおよそ 3 分の 1 の領域に、直径 0.5 mm の銅球が充填されている。すなわち、本実施形態では、微小球体のサイズが流体の流れ方向に沿って段階的に変化させられている。なお、多孔性捕捉部 3 2 5 には、微小球体（微小粒体）の代わりに、折り畳まれたメッシュ材が配置されてもよい。

【0041】

10

上述の精製器 3 0 では、導入管 3 0 6 の入口（流体入口）3 0 6 a にデュワー 3 から回収されたおよそ 3 0 0 K のヘリウムガスが導入される。ヘリウムガスは、導入管 3 0 6 の内部を上昇し、導入管 3 0 6 の上端から流出する。導入管 3 0 6 の上端から流出したヘリウムガスは、複数の流路形成部材 3 1 0 によって導入管 3 0 6 の周囲に画成されている蛇行流路（各冷却室 3 1 5）に流入する。

【0042】

最上段の冷却室 3 1 5 に流れ込んだヘリウムガスは、当該冷却室 3 1 5 の内壁（側壁 3 1 4 の内周面）に沿って流通し、開口部 3 1 1 を介して下方の冷却室 3 1 5 へと流れ込む。そして、ヘリウムガスは、順次下方の冷却室 3 1 5 へと流下していく。この際、各流路形成部材 3 1 0 は、精製器本体 3 0 1 を介して GM 冷凍機 2 2 によっておよそ 4 0 K に冷却されているので、ヘリウムガスは、流路形成部材 3 1 0 の天井部 3 1 2、側壁 3 1 4、仕切板 3 1 9、邪魔板 3 2 0 と接触し、均一に冷却される。

20

【0043】

このように、精製器 3 0 では、精製器本体 3 0 1 の内部に上述の複数の冷却室 3 1 5 が上述のように配設されているので、精製器本体 3 0 1 におけるヘリウムガスの流路をより一層長くし、各冷却室 3 1 5 の壁面等とヘリウムガスとが接触する確立を高めることができる。また、冷却室 3 1 5 の高さを精製器本体 3 0 1 の出口に近づくにつれて小さくすることにより、ヘリウムガスを均一に冷却して、精製器 3 0 の閉塞を良好に抑制することが可能となる。

【0044】

30

最下段の冷却室 3 1 5 を流出したヘリウムガスは、多孔板 3 2 1 を介して多孔性捕捉部 3 2 5 に流入する。上述のように、多孔性捕捉部 3 2 5 は、高密度に集合させられた多数の銅製の微小球体を含み、これらの微小球体は、精製器本体 3 0 1 を介して GM 冷凍機 2 2 によっておよそ 4 0 K に冷却されている。従って、ヘリウムガスが多孔性捕捉部 3 2 5 の多数の微小球体同士の間形成された微小な隙間を通過する際に、ヘリウムガス中の不純物は、微小球体を介して冷却されて固化し、微小な隙間に確実に捕捉されることになる。この結果、精製器 3 0 によれば、デュワー 3 から回収されるヘリウムガス中の窒素や酸素といった不純物を冷却・固化させて確実に捕捉することが可能となる。

【0045】

また、本実施形態のように、微小球体のサイズをヘリウムガスの流れ方向に沿って段階的に減少させることにより、ヘリウムガス中の不純物を確実に捕捉して、不純物が精製器 3 0 から排出されてしまうことを確実に抑制することができる。更に、精製器本体 3 0 1 は、その入口 3 0 6 a から多孔性捕捉部 3 2 5 の入口（多孔板 3 2 2）までの間に蛇行流路を含むので、入口 3 0 6 a から多孔性捕捉部 3 2 5 までの距離をできるだけ長くすることができる。これにより、多孔性捕捉部 3 2 5 の前段において、不純物をできるだけ捕捉すると共にヘリウムガスの温度を低下させておくことが可能となる。

40

【0046】

（逆止弁）

上述の精製器 3 0 の出口管 3 2 4 に接続される逆止弁 5 0 は、従来の逆止弁が動作し得なかった例えばおよそ 4 ~ 4 0 K の極低温環境下で使用され得るものである。図 6 に示さ

50

れるように、逆止弁50は、弁本体501と、弁本体501の内部に移動自在に収容された弁体502とを有する。弁本体501は、下側半部503および上側半部504を含む。下側半部503および上側半部504は、何れも高い熱伝導性を有する銅材により概ね筒状に形成されている。また、本実施形態において、弁体502は、セラミック等の軽量かつ剛性の高い素材により球状に形成されている。

【0047】

下側半部503は、下端側に弁体502の直径よりも小さな内径を有する弁入口505を含むと共に、上端側に弁入口505（弁体502の直径）よりも大きな内径を有する腔部506を含む。そして、下側半部503の内部には、弁入口505と腔部506との間に、テーパ面507が形成されている。テーパ面507は、下から上に向かって拡げられており、このテーパ面507によって弁体502が受けられる。上側半部504は、上端側に弁出口508を含むと共に、下端側に弁体502の弁出口508への移動を規制する突起509を含む。突起509には、下側半部503の腔部506（弁入口505）と、上側半部504の弁出口508とを連通させる開口部510が形成されている。

10

【0048】

この逆止弁50は、好ましくは、弁入口505が下に、弁出口508が上に位置する状態で使用される。精製器30から弁入口505にヘリウムガスが流れ込むと、軽量の弁体502は、ヘリウムガスによって弁出口508に向けて移動させられ、それにより、弁入口505が開放されることになる。そして、弁入口505から腔部506に流れ込んだヘリウムガスは、突起509の開口部510を介して弁出口508へと流れていく。また、弁体502の弁出口508への移動は、突起509の先端により規制される。一方、弁入口505に対するヘリウムガスの供給を停止させたり、弁入口505の圧力を弁出口508の圧力よりも小さく設定したりすると、弁体502は、弁入口505に向かって移動する。そして、弁体502は、テーパ面507と係合し、弁入口505を閉鎖することになる。

20

【0049】

このように、弁体502は、弁入口505と弁出口508との間の圧力差に応じて弁入口505を開放または閉鎖するように移動する。従って、逆止弁50では、弁入口505と弁出口508との間に圧力差を生じさせるだけで、弁入口505を開放または閉鎖することができる。このような単純な構造を有しているため、逆止弁50は、4～40Kの低温環境下においても極めて確実に作動する。なお、弁体502は、球状に形成される代わりに、テーパ面507に係合する錐体として形成されてもよい。

30

【0050】

（精製器からの不純物の除去処理）

上述のヘリウム再液化装置20が稼動されていくと、上述の精製器30の多孔性捕捉部325等が固化した窒素や酸素といった不純物によって閉塞してしまうおそれがある。精製器30の多孔性捕捉部325等が閉塞してしまうおそれがある。そして、精製器30が閉塞を起こし始めた際には、圧力センサP2、P3によって検出される精製器30の入口におけるヘリウムガスの圧力が所定の閾値を上回る。このため、ヘリウム再液化装置20のコントローラは、例えば圧力センサP2の検出値が上記閾値を上回った際には、電磁弁EV2およびバルブV5を開放させると共に、排気ポンプ25を作動させる。また、コントローラは、適切なタイミングで冷凍機22を停止させ、第1冷却管L3に接続された精製器30の加熱ヒータHを作動させる。

40

【0051】

精製器30の加熱ヒータHが作動されると、当該精製器30の多孔性捕捉部325や、蛇行流路内に捕捉されている不純物が加熱されて気化する。また、排気ポンプ25が作動されると、逆止弁50の弁入口505が弁出口508よりも低圧になるので、弁体502は弁入口505を閉鎖するように移動する。これにより、精製器30内で気化した不純物が逆止弁50の下流側に流出するのを阻止することができる。そして、精製器30内で気化した不純物は、排気ポンプ25によって吸引されて外部に排出される。この結果、ヘリ

50

ウム再液化装置 20 では、不純物の下流側への流出を確実に抑制しながら、精製器 30 から確実に不純物を除去することが可能となる。

【0052】

なお、第 2 冷却管 L5 に接続された精製器 30 から不純物を除去する際には、電磁弁 EV3 およびバルブ V5 を開放させると共に、排気ポンプ 25 を作動させ、更に、当該精製器 30 の加熱ヒータ H を作動させればよい。また、高温回収管 L1 には、図 2 に示されるように、中途に電磁弁 EV5 を有するヘリウム排出管が接続されており、上述の精製器 30 からの不純物の除去処理に際しては、電磁弁 EV5 が開放され、デュワー 3 内で気化したヘリウムガスは、ヘリウム排出管を介して大気中に排出される。

【0053】

10

(凝縮器)

凝縮器 40 は、図 7 に示されるように、チャンバ 402 を有する凝縮器本体 401 と、多数の孔 404 を有する多孔性ブロック 403 (図 7 および図 8 参照) と、取付板 405 とを有する。凝縮器本体 401、多孔性ブロック 403 および取付板 405 は、何れも、高い熱伝導性を有する銅材により形成されている。多孔性ブロック 403 の孔 404 は、それぞれ下方にのみ開口しており、多孔性ブロック 403 の上部は、取付板 405 の裏面中央部に固定される。同様に、凝縮器本体 401 の上端 (開放端) も取付板 405 の裏面中央部に固定され、多孔性ブロック 403 はチャンバ 402 内に収容される。この際、多孔性ブロック 403 の下端面とチャンバ 402 の底面との間には空間が画成される。更に、凝縮器本体 401 の下部 (チャンバ 402 の下方) には、チャンバ 402 に連なる液溜め部 406 が形成されている。

20

【0054】

取付板 405 の両端部は、それぞれ GM 冷凍機 22 の第 2 冷凍部 22b に接続され、これにより、ヘリウム再液化装置 20 の稼動中、凝縮器本体 401、多孔性ブロック 403 および取付板 405 は、GM 冷凍機 22 によっておよそ 4 K に冷却される。また、凝縮器本体 401 には、デュワー 3 から低温 (およそ 4 ~ 10 K) のヘリウムガスを回収するための低温回収管 L6 がチャンバ 402 の上部と連通するように接続される。更に、凝縮器本体 401 には、第 1 冷却管 L3 がチャンバ 402 の下部と連通するように接続される。そして、凝縮器本体 401 には、再液化されたヘリウムをデュワー 3 へと返送するための返送管 L7 が接続される。

30

【0055】

上述の凝縮器 40 では、凝縮器本体 401 のチャンバ 402 内に第 1 冷却管 L3 および低温回収管 L6 を介して低温 (およそ 4 ~ 10 K) のヘリウムガスが導入される。かかるヘリウムガスは、チャンバ 402 内において、多孔性ブロック 403 の孔 404 内に流入し、多孔性ブロック 403 等と熱交換することにより、再液化し、孔 404 からチャンバ 402 の底部へと滴下する。そして、再液化されたヘリウムは、返送管 L7 を介して適量ずつデュワー 3 に返送され、余剰のヘリウムは、液溜め部 406 内に貯留される。この際、ヘリウムガス中になお窒素や酸素といった不純物が残留していたとしても、不純物は、チャンバ 402 内でヘリウムと同様に冷却されて固化し、重力により液溜め部 406 の底に溜まっていくことになる。これにより、凝縮器 40 によれば、精製器 30 にて完全に処理しきれなかった窒素や酸素といった不純物を確実に捕捉可能となる。

40

【0056】

ところで、上述のように、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 が移動させられた際、収容室 AR 内のコールドチャンバ 23 や容器 26 もデュワー 3 の姿勢に合うように移動 (傾斜) させられる。本実施形態では、ヘリウム再液化装置 20 が移動 (傾斜) させられると、容器 26 内の凝縮器 40 は、図 9 の矢印方向に傾いていく。

【0057】

このため、本実施形態において、凝縮器 40 (取付板 405) は、図 9 からわかるように、同図における矢印方向に微小角度 θ (例えば 2 ~ 3 ° 程度) だけ傾けた状態で 2 台の GM 冷凍機 22 に連結されている。また、固化した不純物を液体ヘリウムと共に貯留する

50

液溜め部４０６は、凝縮器４０（容器２６）の回動中心（シャフト８等）から最も遠くなるように凝縮器本体４０１に設けられている。そして、凝縮器本体４０１と返送管Ｌ７との接続部は、液溜め部４０６に形成される液面ＬＬのうち、凝縮器本体４０１を傾斜させても変位しない位置（図８の液面ＬＬの中心）の延長線上に配置される。これにより、凝縮器本体４０１が傾斜させられたとしても、デュワー３へと返送される液化ヘリウムに不純物が混入するのを確実に抑制することが可能となる。

【００５８】

なお、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。

10

【図面の簡単な説明】

【００５９】

【図１】本発明によるヘリウム再液化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】本発明によるヘリウム再液化装置の系統図である。

【図３】図２のヘリウム再液化装置に含まれる精製器を示す断面図である。

【図４】図３におけるⅣ－Ⅳ線についての断面図である。

【図５】図３におけるⅤ－Ⅴ線についての断面図である。

【図６】図２のヘリウム再液化装置に含まれる逆止弁を示す断面図である。

【図７】図２のヘリウム再液化装置に含まれる凝縮器の正面図である。

20

【図８】図７におけるⅧⅢ－ⅧⅢ線についての断面図である。

【図９】図７の凝縮器の側面図である。

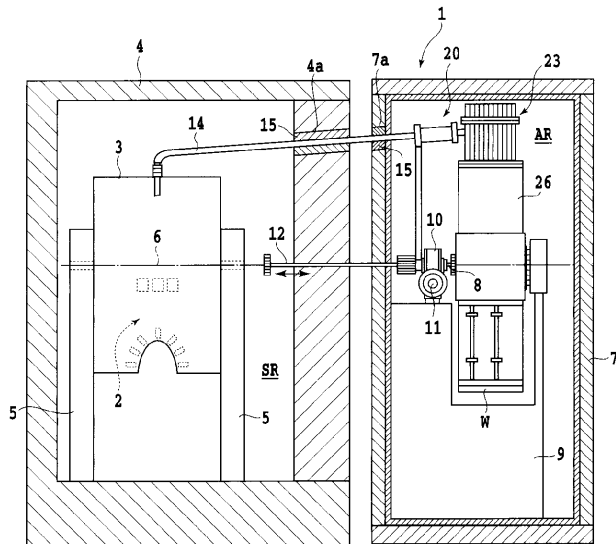
【符号の説明】

【００６０】

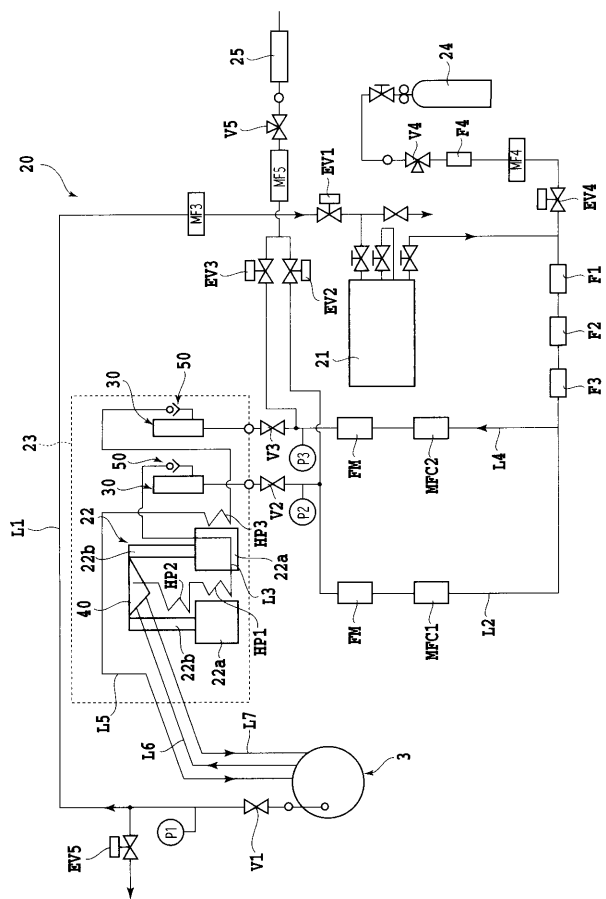
- １ 生体磁気計測システム
- ２０ ヘリウム再液化装置
- ２２ ＧＭ冷凍機
- ３０ 精製器
- ３２５ 多孔性捕捉部
- ４０ 凝縮器
- ５０ 逆止弁

30

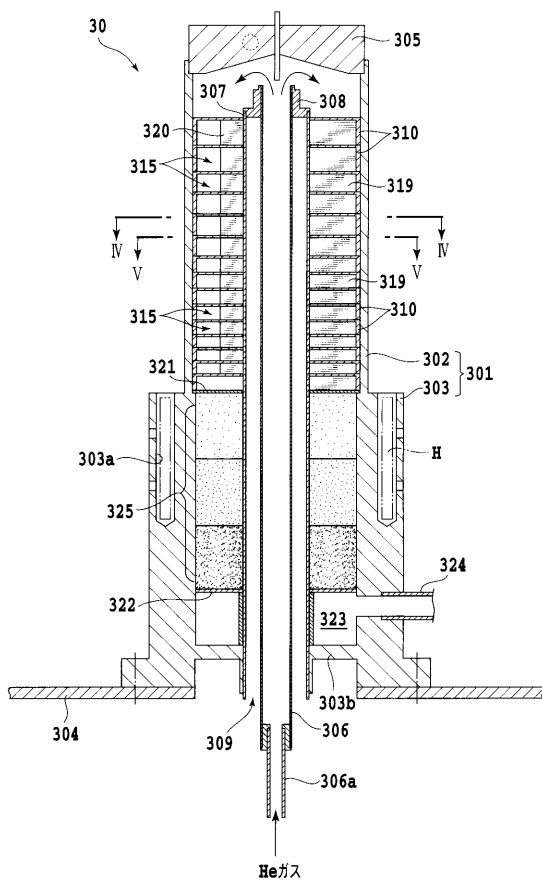
【図 1】



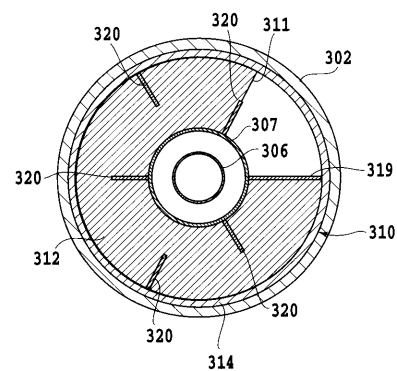
【図 2】



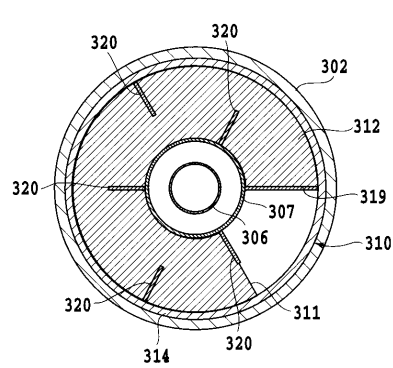
【図 3】



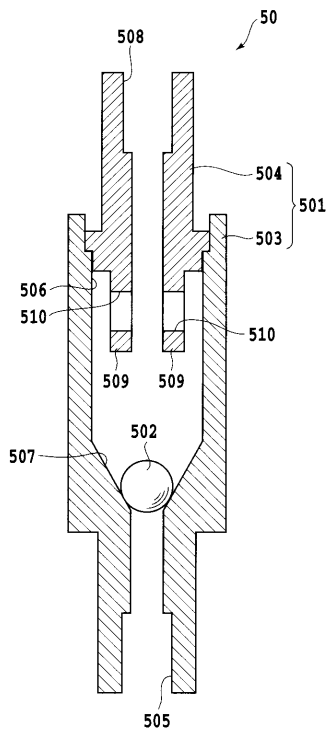
【図 4】



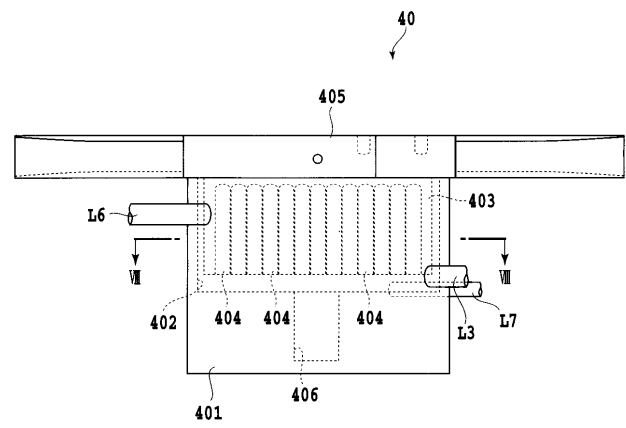
【図 5】



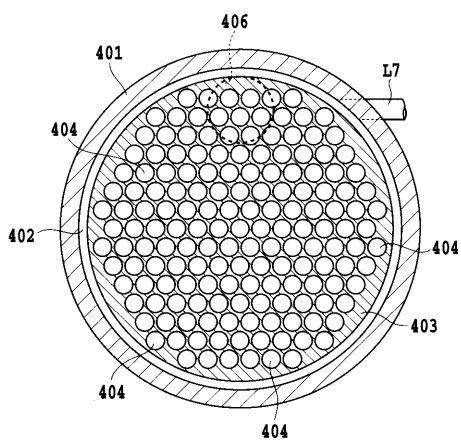
【図 6】



【図 7】



【図 8】



【図 9】

