

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4667778号
(P4667778)

(45) 発行日 平成23年4月13日 (2011. 4. 13)

(24) 登録日 平成23年1月21日 (2011. 1. 21)

(51) Int. Cl.

F I

F 2 5 B 9/00 (2006.01)

F 2 5 B 9/00 3 9 5

請求項の数 8 (全 12 頁)

(21) 出願番号	特願2004-209302 (P2004-209302)	(73) 特許権者	390041542
(22) 出願日	平成16年7月16日 (2004. 7. 16)		ゼネラル・エレクトリック・カンパニー
(65) 公開番号	特開2005-43044 (P2005-43044A)		GENERAL ELECTRIC CO
(43) 公開日	平成17年2月17日 (2005. 2. 17)		MPANY
審査請求日	平成19年7月6日 (2007. 7. 6)		アメリカ合衆国、ニューヨーク州、スケネ
(31) 優先権主張番号	10/604, 415		クタデイ、リバーロード、1 番
(32) 優先日	平成15年7月18日 (2003. 7. 18)	(74) 代理人	100137545
(33) 優先権主張国	米国 (US)		弁理士 荒川 聡志
		(74) 代理人	100105588
			弁理士 小倉 博
		(74) 代理人	100106541
			弁理士 伊藤 信和
		(74) 代理人	100129779
			弁理士 黒川 俊久

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 冷蔵装置を有する低温冷却システム及び方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

装置 (1) に低温冷却流体を供給する冷却システム (4 0) において、
 再循環装置 (2) と、
 低温冷却流体が通過する間に低温冷却流体と直接に接触する多孔質材料マトリクスを有する第 1 の受動冷蔵装置 (1 0 1) と、
 前記再循環装置 (2) を前記第 1 の受動冷蔵装置 (1 0 1) に流体接続する流体連通供給ラインの第 1 の部分 (2 0 a) と、
 前記第 1 の受動冷蔵装置 (1 0 1) を前記装置 (1) に流体接続し、前記装置 (1) に対して低温冷却流体を連通させる流体連通供給ラインの第 2 の部分 (2 0 b) と、
 前記装置 (1) を前記再循環装置 (2) に流体接続する流体連通戻りライン (2 0 c) と、
 前記第 1 及び第 2 の部分 (2 0 a 、 2 0 b) 間において、前記第 1 の受動冷蔵装置 (1 0 1) の下流側に直列に接続された、第 2 の受動冷蔵装置 (1 0 2) と、
 前記第 1 及び第 2 の受動冷蔵装置 (1 0 1 、 1 0 2) のそれぞれを包含し且つ該第 1 及び第 2 の受動冷蔵装置 (1 0 1 、 1 0 2) をそれぞれ第 1 及び第 2 の冷凍機 (6 1 、 6 2) に熱接続する第 1 及び第 2 の熱接続装置 (1 1 1 、 1 1 2) と
 を具備する冷却システム (4 0) 。

【請求項 2】

前記第 1 の受動冷蔵装置 (1 0 1) は再生型熱交換器から構成されている請求項 1 記載の

10

20

冷却システム（４０）。

【請求項３】

前記第１の受動冷蔵装置（１０１）の多孔質材料マトリクスは金属ワイヤメッシュの多孔質マトリクス（２１）から構成されている請求項１記載の冷却システム（４０）。

【請求項４】

前記第１の受動冷蔵装置（１０１）の多孔質材料マトリクスは金属球の多孔質マトリクス（２２）から構成されている請求項１記載の冷却システム（４０）。

【請求項５】

前記流体連通供給ラインの第１の部分（２０ａ）は、流体が第１の冷凍能力で動作している前記低温冷凍機（６１又は６２）により第１の温度まで冷却されているときは、前記受動冷蔵装置（１０１）へ連通された流体が前記受動冷蔵装置（１０１）を冷却し、前記受動冷蔵装置（１０１）に供給された流体が第２の冷凍能力で動作している前記低温冷凍機（６１又は６２）により第２の温度まで冷却されているときには、前記受動冷蔵装置（１０１）が流体を冷却するように、前記低温冷凍機（６１又は６２）により冷却された流体を前記受動冷蔵装置（１０１）へ連通させ、

前記流体連通供給ラインの第２の部分（２０ｂ）は、前記受動冷蔵装置（１０１）を前記装置（１）に流体接続し、前記装置（１）へ流体を連通させる

ことを特徴とする請求項１に記載の冷却システム（４０）。

【請求項６】

装置（１）に冷却流体を供給する方法において、

第１及び第２の低温冷凍機（６１又は６２）を利用して、前記第１及び第２の低温冷凍機（６１又は６２）が第１の冷凍能力で動作しているときは流体を第１の温度まで冷却し、前記第１及び第２の低温冷凍機（６１又は６２）が第１の冷凍能力より低い第２の冷凍能力で動作しているときには、流体を第１の温度より高い第２の温度まで冷却することと、流体回路（２０）の一部として、前記第１及び第２の低温冷凍機（６１又は６２）により冷却された流体を、流体が通過する間に流体と直接に接触する多孔質材料マトリクスを有する第１の受動冷蔵装置（１０１）と前記第１の受動冷蔵装置（１０１）の下流側に直列に接続された、第２の受動冷蔵装置（１０２）とへ連通させ、第１の冷凍能力で動作している前記第１及び第２の低温冷凍機（６１又は６２）により流体が第１の温度まで冷却されているときは、流体が前記第１及び第２の受動冷蔵装置を冷却し、第２の冷凍能力で動作している前記第１及び第２の低温冷凍機（６１又は６２）により流体が第２の温度まで冷却されているときには、前記第１及び第２の受動冷蔵装置（１０１）が流体を冷却するようにすることと、

前記流体回路の一部として、前記第１及び第２の受動冷蔵装置から前記装置（１）へ流体を連通させることと

を含み、

前記第１及び第２の受動冷蔵装置（１０１、１０２）のそれぞれを包含し且つ該第１及び第２の受動冷蔵装置（１０１、１０２）をそれぞれ第１及び第２の冷凍機（６１、６２）に熱接続する第１及び第２の熱接続装置（１１１、１１２）によって、前記第１及び第２の受動冷蔵装置（１０１、１０２）を前記第１及び第２の冷凍機（６１、６２）でそれぞれ冷却する

ことを特徴とする方法。

【請求項７】

前記受動冷蔵装置（１１）は再生型熱交換器から構成されている請求項６記載の方法。

【請求項８】

前記第２の冷蔵装置（１０２）は、低温冷却流体が通過する間に低温冷却流体と直接に接触する多孔質材料マトリクスを具備する請求項１乃至５のいずれか１項に記載の冷却システム（７０）。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

20

30

40

50

【 0 0 0 1 】

本発明は、高温超伝導部品を伴う回転子を有する同期機械などの装置を冷却するための低温冷凍システムに関する。

【 背景技術 】

【 0 0 0 2 】

低温冷凍機は熱負荷を冷却するために頻繁に使用されている。残念なことに、低温冷凍機（圧縮機を含む）は故障を起こしやすく、従って、定期的な修理又は交換が必要である。そのように冷凍能力が低下している期間中、冷凍システムに加わる総熱負荷を残っている冷凍能力より低くなるまで低下させない限り、冷凍機により循環される低温流体（例えば、ガス）の温度は上昇してしまう。熱負荷を縮小せずに冷却し続けなければならない、残っている冷凍能力が熱負荷より劣っている場合には、全冷凍能力が回復されるまで、追加の冷却源が必要とされる。

10

【 0 0 0 3 】

低温冷凍機により冷却できる熱負荷の一例は、同期発電機における回転子の超伝導界磁巻線である。界磁巻線は、一般に、低温のヘリウムガスを回転子中の回路を介して循環させる低温冷凍機によって極低温に保持されている。図 5 は、この種のシステムを概略的に示す。冷凍機が故障すると、ガスの温度は上昇し、界磁巻線はクエンチングを起こし、超伝導状態ではなくなるほど高い温度に達する可能性がある。システムがバックアップ冷凍機を含んでいたとしても、バックアップ冷凍機がかなりの冷却を行うために始動されるまでには何分もかかる。その時間中、界磁巻線は依然としてクエンチ温度に到達するおそれがある。

20

【 0 0 0 4 】

この冷凍障害の問題は、これまで、3つの方法により対処されてきた。第1の方法は熱負荷を急速に縮小する。この方法には2つの欠点がある。第1に、熱負荷の縮小は熱負荷と関連するシステムの信頼性を低下させる。例えば、熱負荷が発電機の超伝導界磁巻線である場合、発電機の出力を急速に低下させなければならない、その結果、電力供給の信頼性が失われる。また、冷却すべき物体への損傷を阻止できるほど速く熱負荷を縮小できない危険性もある。例えば、クエンチに続いて、超伝導界磁巻線の永久的な劣化が起こる危険がある。

【 0 0 0 5 】

30

冷凍障害の問題を解決する第2の方法は、冗長冷凍機を含む冷凍システムを提供するという方法である。しかし、冷凍障害に先立って冗長冷凍機が始動されない場合には、そのバックアップ冗長冷凍機がかなりの冷却を行うために始動された後、何分もの時間が経過してしまうであろう。その時間中に、界磁巻線は依然としてクエンチ温度に到達する可能性がある。あるいは、バックアップ冗長冷凍機を継続的に動作させることも可能である。この第2の方法の欠点は、余分な冷凍機を購入し、動作させるために、相当のコストアップが見込まれることである。

【 0 0 0 6 】

冷凍障害の問題を解決する第3の方法は、冷凍動作停止中の冷却源として液体状態の第2の冷凍剤を入れた貯蔵タンクを使用する。この方法は、液体冷凍剤を入れた貯蔵タンク9を有する冷凍システムを示す図6に概略的に示されている。液体冷凍剤は、全ての液体がガスに変化し終わるまで飽和温度より高い温度に上昇しない。このシステムは次のような欠点を有する。

40

【 0 0 0 7 】

第1に、液体貯蔵タンク及び液体冷凍剤のための追加費用が必要である。ネオンなど、液体冷凍剤によっては、非常に高価である。

【 0 0 0 8 】

第2に、加熱中に液体の一部は蒸気に変化する。その蒸気を液体と交換するか、又はそれを再度凝縮させるための費用が更に必要であり、複雑さも増す。

【 0 0 0 9 】

50

第3に、低いガス温度は利用可能な液体冷凍剤の飽和温度に拘束される。例えば、液体窒素の正規の飽和温度は77.4 K、液体ネオンは27.1 K、液体水素は20.3 Kである。従って、それらの液体を大気圧で使用する場合、低温ガスはそれらの温度の1つに限定される。液体圧力によって飽和温度を調整できるとしても、熱負荷の特性（すなわち、超伝導ワイヤ材料の特性）に対してガス温度を最適化する能力は依然として制限される。

【0010】

第4に、条件によって余剰の冷凍能力があり、液体がその凝固点以下の温度に冷却される場合、液体の圧力は低下する。液体タンクの圧力が周囲温度より低くなると、汚染物質（空気、油、塵芥など）を吸い込む危険がある。温度を制御する方法の1つは液体用の加熱装置を追加するというものである。しかし、加熱装置を追加するには電力消費を大きくすることが必要であり、制御は更に複雑になり、機器類の費用は増し、信頼性低下の危険もある。

【特許文献1】米国特許第6609383号

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0011】

従って、低温冷凍機又はそれに付随する機器の修理中又は交換中に熱負荷の温度が容認できないほど上昇するのを阻止するための、非常に信頼性が高い受動的な方法／システムを提供する低温冷凍システムは依然として必要とされている。

【課題を解決するための手段】

【0012】

本発明の1つの面においては、冷却システムは装置に低温冷却流体を供給する。システムは、再循環装置と、低温冷却流体が通過する間に低温冷却流体と直接に接触する多孔質材料マトリクスを有する受動冷蔵装置と、再循環装置を受動冷蔵装置に流体接続する流体連通供給ラインの第1の部分と、受動冷蔵装置を装置に流体接続し、装置に対して低温冷却流体を連通させる流体連通供給ラインの第2の部分と、装置を再循環装置に流体接続する流体連通戻りラインとを具備する。受動冷蔵装置は再生型熱交換器から構成されていても良い。多孔質材料マトリクスは金属ワイヤメッシュ、金属球又は固体鉛部材と相互に結合された固体銅部材から構成されていても良い。流体連通供給ラインの第1の部分は少なくとも1つの熱交換器を含んでいても良い。

【0013】

本発明の別の面においては、装置に冷却流体を供給する冷却システムは、第1の冷凍能力で動作しているときは、流体を第1の温度まで冷却し、第1の冷凍能力より低い第2の冷凍能力で動作しているときには、流体を第1の温度より高い第2の温度まで冷却する低温冷凍機と、低温冷却流体が通過する間に低温冷却流体と直接に接触する多孔質材料マトリクスを有する受動冷蔵装置と、流体が第1の冷凍能力で動作している低温冷凍機により第1の温度まで冷却されているときは、受動冷蔵装置へ連通された流体が受動冷蔵装置を冷却し、流体が第2の冷凍能力で動作している低温冷凍機により第2の温度まで冷却されているときには、受動冷蔵装置が流体を冷却するように、低温冷凍機により冷却された流体を受動冷蔵装置へ連通させる流体連通供給ラインの第1の部分と、受動冷蔵装置を装置に流体接続し、装置へ流体を連通させる流体連通供給ラインの第2の部分とを具備する。受動冷蔵装置は再生型熱交換器から構成されていても良い。多孔質材料マトリクスは金属ワイヤメッシュ、金属球、又は固体鉛部材と相互に結合された固体銅部材から構成されていても良い。受動冷蔵装置は、流体が第2の温度まで冷却されているとき、低温冷凍機の冷凍能力が第1の冷凍能力に切り替えられている間に流体を冷却しても良い。

【0014】

本発明の別の面においては、装置に冷却流体を供給する方法は、低温冷凍機を利用して、低温冷凍機が第1の冷凍能力で動作しているときは、流体を第1の温度まで冷却し、低温冷凍機が第1の冷凍能力より低い第2の冷凍能力で動作しているときには、流体を第1

の温度より高い第2の温度まで冷却することと、流体回路の一部として、低温冷凍機により冷却された流体を、低温冷却流体が通過している間に低温冷却流体と直接に接触する多孔質材料マトリクスを有する受動冷蔵装置へ連通させ、第1の冷凍能力で動作している低温冷凍機により流体が第1の温度まで冷却されているときは、流体が受動冷蔵装置を冷却し、第2の冷凍能力で動作している低温冷凍機により流体が第2の温度まで冷却されているときには、受動冷蔵装置が流体を冷却するようにさせることと、流体回路の一部として、受動冷蔵装置から装置へ流体を連通させることとから成る。受動冷蔵装置は、流体が第2の温度まで冷却されているとき、低温冷凍機の冷凍能力が第1の冷凍能力に切り替えられている間に流体を冷却しても良い。

【0015】

本発明の別の面においては、冷却システム及び方法は装置に低温冷却流体を供給する。システムは(i)再循環装置と、(ii)再循環装置を装置に接続し、装置へ流体を連通させる流体連通供給ラインであって、第1の受動冷蔵装置と、第1の受動冷蔵装置の下流側に直列に接続された第2の受動冷蔵装置とを含む流体連通供給ラインと、(iii)装置を再循環装置に接続し、装置から再循環装置へ流体を連通させる流体連通戻りラインとを具備する。第1及び第2の受動冷蔵装置のうちの少なくとも一方は、低温冷却流体が通過している間に低温冷却流体と直接に接触する多孔質材料マトリクスを具備していても良い。多孔質材料マトリクスは金属ワイヤメッシュから成る多孔質マトリクス、金属球から成る多孔質マトリクス、又は固体鉛部材と相互に結合された固体銅部材から構成されていても良い。第1の低温冷凍機は第1の受動冷蔵装置を第1の温度まで冷却し、第2の低温冷凍機は第2の受動冷蔵装置を第1の温度とは異なる第2の温度まで冷却しても良い。第1の温度は第2の温度より高くても良い。

【発明を実施するための最良の形態】

【0016】

図1は、熱負荷1を冷却する低温冷凍システム40の概略図である。熱負荷1は、例えば、同期発電機の回転子の超伝導界磁巻線コイルであっても良い。以下に示す実施例は冷却流体として圧縮自在のガスを使用する低温冷凍システムを説明するが、液体などの別の冷却流体をその代わりに使用しても差し支えない。

【0017】

冷凍システム40は熱交換器3と、再循環圧縮機(低温冷却流体がガスである場合)、ファン又はポンプなどの再循環装置2とを含む。図1には示されていないが、信頼性を向上させるために、冗長(すなわち、バックアップ)再循環装置を再循環装置2と並列に接続することが可能である。再循環装置2は温暖のガス(例えば、300°K)を圧縮し、それを熱交換器3に供給する。再循環装置2は冷却流体の貯蔵容器を含んでいても良い。熱交換器3は再循環装置2から受け取ったガスを、圧縮ガスから熱負荷1から戻って来るガスへ熱を伝達することにより極低温まで冷却する。

【0018】

ガスは再循環装置2によりガス回路20を通して再循環される。ガス回路20は部分20a及び20bを含む流体供給ラインと、流体戻りライン20cとを含む。ガス回路20の供給ラインの部分20aは再循環装置2から熱交換器3へ圧縮ガスを連通させる。供給ラインの部分20aは、更に、熱交換器3から熱交換器8の冷却コイルへ低温圧縮ガスを搬送する。従って、熱交換器3及び8の冷却コイルは、本質的に、この実施例におけるガス回路20の供給ラインの一部を形成している。

【0019】

熱交換器3からの低温圧縮ガスは、熱交換器8の冷却コイルにガスを通すことにより更に冷却される。特に、ガスが熱交換器8の冷却コイルを通過している間に、低温冷凍機61、62及び再循環装置51、52により行われる冷却により、ガスから熱が伝達される。特に、再循環装置51は低温冷凍機61との間で冷却流体を循環させ、再循環装置52は低温冷凍機62との間で冷却流体を循環させる。低温冷凍機61、62は熱交換器3及び8と共に断熱低温ボックス7の内部に配置されている。低温冷凍機61、62は図1に

はGifford Mc-Mahon型冷凍機として示されている。しかし、低温冷凍機 6 1 及び / 又は 6 2 はその代わりにSterling冷却器又はパルスチューブにより形成されていても良い。

【 0 0 2 0 】

熱交換器 8 で冷却されたガスは、その後、冷蔵装置 1 1 へ連通される。冷蔵装置 1 1 は再生型熱交換器の一形態である。再生型熱交換器は一般に 2 つの動作モードを有する。第 1 の動作モードでは、低温の流体は温暖の再生型熱交換器に入って、それを冷却し、流入した時点より多くの熱エネルギーを持って熱交換器から出る。第 2 の動作モードにおいては、暖かな流体が低温の再生型熱交換器に入って、それを暖め、流入した時点より少ない熱エネルギーを持って熱交換器から出る。再生型熱交換器は、通常、(i) 金属ワイヤメッシュ、(i i) 金属球又はセラミック球、(i i i) 金属リボン又はセラミックリボン、あるいは(i v) 高い熱伝達係数を有する固体部材 (例えば、銅) と高い体積比熱を有する別の固体部材 (例えば、鉛) との相互結合構造などの 2 つの異なる物質の相互結合構造のような、熱スポンジとして作用する多孔質マトリックスで充填されている。供給ラインの部分 2 0 a から受け取られたガスは供給ラインの一部である冷蔵装置 1 1 により直接に受け取られ、冷蔵装置 1 1 から供給ラインの部分 2 0 b により熱負荷 1 へ搬送される。冷却流体が流体供給ラインの一部である受動冷蔵装置 1 1 を通して連通されている間に、受動冷蔵装置 1 1 の多孔質マトリックスは冷却流体と直接に接触する。

【 0 0 2 1 】

図 2 から図 4 は、冷蔵装置 1 1 の一部を形成する材料を示す。特に、図 2 A 及び図 2 B は、再生型熱交換器の多孔質金属ワイヤメッシュ 2 1 を示す。多孔質金属ワイヤメッシュ 2 1 は熱スポンジとして有効に作用する。図 3 A 及び図 3 B は、再生型熱交換器の一部を形成する金属球又はセラミック球の多孔質マトリックス 2 2 を示す。金属球又はセラミック球から成るこの多孔質マトリックス 2 2 も熱スポンジとして作用する。図 4 は、高い熱伝達係数を有する固体の銅及び高い体積比熱を有する固体の鉛などの、再生型熱交換器の 2 種類の材料の相互結合構造を示す。熱は、高い体積比熱と高い熱伝達に関して最適化された固体材料及び形状の組み合わせに蓄積される。図 3 から図 4 に示す再生型熱交換器の材料は、共通して、冷却流体から発する熱を蓄積し、流体への熱を拒絶することが可能であるという性質を有する。

【 0 0 2 2 】

冷蔵装置 1 1 は、供給ライン部分 2 0 b を介して熱負荷 1 に供給されるガスが容認できないほどの温度まで上昇するのを確実に、受動的に阻止することができる。特に、冷蔵装置 1 1 は、熱負荷 1 に供給されるガスの温度が低温冷凍機 6 1 又は 6 2 、あるいはその付属機器類の修理中又は交換中であっても容認できないほど高い温度まで上昇するのを確実に、受動的に阻止する。

【 0 0 2 3 】

低温冷凍機 6 1 及び 6 2 が全冷凍能力によって動作しているとき、ガス回路 2 0 の供給ラインを流れるガスは極低温まで冷却される。この極低温まで冷却されたガスはガス回路 2 0 を流れて、冷蔵装置 1 1 を冷却する。従って、ガス回路 2 0 の供給ラインを流れる極低温のガスは、低温冷凍機 6 1 及び 6 2 が全冷凍能力で適正に動作しているときに冷蔵装置 1 1 を冷却する。

【 0 0 2 4 】

しかし、冷凍能力が低下すると (例えば、低温冷凍機 6 1 及び / 又は 6 2 又はその付属機器類が適正に動作できなくなった場合) 、供給ラインを流れるガスは冷凍機 6 1 及び 6 2 が全冷凍能力で適正に動作している場合と同じ温度まで冷却されなくなると思われる。すなわち、流体供給ラインの部分 2 0 a を流れるガスは、全冷凍能力の期間中にガスが冷却される温度より高い温度までしか冷却されない。冷凍能力が低下すると、ガスは完全には冷却されなくなるため、ガスを熱負荷 1 に供給する前にガスの追加冷却が必要になる。この追加冷却は冷蔵装置 1 1 により実行される。すなわち、低温冷凍機 6 1 及び / 又は 6 2 の冷凍能力が低下したとき、熱負荷 1 に供給されるガスが容認できないほどの温度まで上昇しないように、冷蔵装置 1 1 がガスを冷却する (すなわち、熱負荷は超伝導状態にと

10

20

30

40

50

どまるように冷却される)。冷蔵装置 11 は、低温冷凍機 61 及び / 又は 62 の全冷凍能力が回復されている期間中、ガスを冷却する。

【0025】

熱負荷 1 に入ったガスは対流熱伝達により熱負荷 (例えば、発電機回転子の超伝導コイル) を極低温に維持し、熱負荷が超伝導状態で動作できるように保証する。

【0026】

熱負荷 1 を通って流れ、熱負荷 1 を冷却した後、循環されたガスはガス回路 20 の流体戻りライン 20c を流れる。戻りライン 20 は熱負荷 1 から熱交換器 3 のコイルを介して再循環装置 2 へガスを連通させて戻す。再循環装置 2 に戻されるガスは温暖である。そこで、再循環装置 2 は熱交換器 3 の冷却コイルにガスを供給することにより、ガスを再循環させても良い。

10

【0027】

再循環装置 2 及び熱交換器 3 を通してガスを供給ライン部分 20a に供給する代わりに、ガスは低温ガスサーキュレータ / ファン 4 (代替構造であることを表すために破線で示されている) から供給ライン部分 20a に供給されても良い。従って、サーキュレータ / ファン 4 から供給される低温ガスは供給ライン部分 20a を介して熱交換器 8 に供給される。サーキュレータ / ファン 4 は低温ボックス 7 の内部に配置されているため、冷却流体はサーキュレータ / ファン 4 を通って循環している間にはかなりの低温に維持される。従って、サーキュレータ / ファン 4 の下流側に熱交換器を接続する必要はない。冷却の信頼性を向上させるために、サーキュレータ / ファン 4 と並列に冗長サーキュレータ / ファン (図 1 には図示せず) を接続することができる。

20

【0028】

熱交換器 8 の冷却コイルからのガスは冷蔵装置 11 を通過し、次に、先に説明したように流体供給ラインの部分 20b を介して熱負荷 1 に供給される。熱負荷 1 から流れる暖かなガスは流体戻りライン部分 20c を介してガスサーキュレータ / ファン 4 に戻される。冷蔵装置 11 は、ガスが低温冷凍機 61 及び 62 の適正な動作 (例えば、冷凍機 61 及び 62 の全冷凍能力による動作) によって熱交換器 8 で完全に冷却されている場合には、(i) 低温ガスサーキュレータ / ファン 4 又は (ii) 再循環装置 2 及び熱交換器 3 から出て、冷蔵装置 11 を流れるガスにより冷却される。しかし、ガスが完全には冷却されていない (例えば、低温冷凍機 61 及び 62 の 1 つ以上が低下した冷凍能力で動作している) 場合には、冷蔵装置 11 は先に説明したように通過しているガスを受動的に冷却する。従って、熱負荷 1 に供給されるガスの温度は、低温冷凍機 61 及び / 又は 62、あるいはその付属機器類 51 及び / 又は 52 が修理又は交換されているときであっても、容認できる極低温に確実に、受動的に保持される。

30

【0029】

低温ボックス 7 は流体供給ライン部分 20a、20b のそれぞれ一部分、少なくとも流体戻りライン 20c の一部、熱交換器 3 及び 8、低温冷凍機 61 及び 62 の少なくとも一部、並びにガスサーキュレータ / ファン 4 を封入している。低温ボックス 7 は、極低温に維持される冷凍システムの断熱部分である。低温ボックス 7 は低温ボックス内部の構成要素の周囲に真空状態を発生させても良い。

40

【0030】

図 4 は、本発明の第 2 の実施例に従った低温冷凍システム 70 の概略図である。図 1 に示す低温冷凍システム 40 と共通する低温冷凍システム 70 の構成要素は同じ図中符号で指示されている。2 つの低温冷凍システム 70 及び 40 の相違点のみを詳細に説明する。

【0031】

低温冷凍システム 70 は、流体回路 20 の流体連通供給ラインの一部として直列に接続された複数の受動冷蔵装置 101 及び 102 を含む。受動冷蔵装置 101 及び 102 を包囲しているヒートパイプ、固体伝導材料又はヒートパイプ型装置などの熱接続装置 111 及び 112 は、受動冷蔵装置 101 及び 102 を冷凍機 61 及び 62 にそれぞれ熱接続している。従って、冷凍機 61 及び 62 は、正常動作の場合、受動冷蔵装置 101 及び 10

50

2をそれぞれ冷却する。あるいは、複数の冷凍機は受動冷蔵装置101及び102をそれぞれ冷却しても良い。各々の受動冷蔵装置101及び102は、図2から図3に示すような多孔質材料マトリクスを含んでいても良い。また、図4に示す実施例は2つの受動冷蔵装置101及び102を示しているが、更に多くの受動冷蔵装置が直列に接続されていても良く、その場合、各冷蔵装置に1つ以上の冷凍機が熱接続される。冷却ボックス6は少なくとも冷凍機61及び62の一部、熱接続装置111及び112、並びに受動冷蔵装置101及び102を封入している。

【0032】

低温冷凍システム70はモジュール設計であるため、効率及び信頼性が向上することを含めていくつかの利点を得られる。効率の向上は、個々の冷凍機61及び62を異なる極低温で動作させる結果として得られる利点である。従って、冷凍機61及び62は冷蔵装置101及び102をそれぞれ異なる極低温に冷却する。最も上流側の冷蔵装置101は最も高温な低温液体温度であり、それに続く各々の冷蔵装置（例えば、装置102）は冷凍機により徐々に低い温度まで冷却される。一般に、冷凍機の効率はその冷却温度に伴って低下するため、最も上流側の冷蔵装置101に対応する冷凍機61はそれぞれ後続する段の冷凍機より高い効率を示す。更に、最も下流側の冷蔵装置のみが出口（最低）温度まで冷却されれば良いので、システムのクールダウン及びウォームアップに要する時間は短縮される。信頼性の向上は2つの理由によってもたらされる。第1は、1つの冷蔵装置、熱接続及び対応する冷凍機から1つ以上の冗長モジュールを形成する能力である。第2は、1つのモジュールが適正に動作していないとき、総冷凍能力の一部のみが失われるにすぎないことである。

【0033】

動作中、冷凍機61は冷蔵装置101を熱接続装置111を介して第1の極低温まで冷却する。そこで、冷蔵装置101は供給ライン部分20aを通過して冷蔵装置101に流入する流体を冷却する。これにより冷却された流体は冷蔵装置101から出て、直列に接続されている（下流側の）冷蔵装置102に入る。冷凍機62は冷蔵装置102を熱接続装置112を介して、冷凍機61が冷蔵装置101を冷却する第1の極低温より低い第2の極低温まで冷却する。そこで、冷蔵装置102は受け入れた流体を冷却する。冷蔵装置102の下流側に冷蔵装置がそれ以上直列に接続されていない場合、冷蔵装置102を出た冷却流体は供給ライン部分20bを介して熱負荷1に入る。次に、流体は熱負荷1から出て、流体連通戻りライン20cを介して熱交換器3及び再循環装置2（あるいはサーキュレータ/ファン4）に戻る。冷蔵装置102の下流側に追加の受動冷蔵装置（例えば、図4に破線で示す再循環装置53を有する低温冷凍機63により熱接続装置113を介して冷却される受動冷蔵装置103）が直列に接続されている場合には、冷蔵装置102を出た冷却流体は供給ライン部分20bを介して熱負荷1に入る前に追加の受動冷蔵装置103に入る。冷凍機63は冷蔵装置103を熱接続装置113を介して、冷凍機62が冷蔵装置102を冷却する第2の極低温より低い極低温まで冷却する。そこで、冷蔵装置103は受け取った冷却流体を冷却し、流体を供給ライン部分20bを介して熱負荷1に直接供給するか、又は別の下流側の（例えば、第4、第5、第6の）受動冷蔵装置を介して供給する（図4には図示せず）。

【0034】

先に述べた通り、冷蔵装置101、熱接続装置111及び/又は冷凍機61が適切に動作できず、冷蔵装置101が低下した冷凍能力でしか動作しない、又は冷凍能力を全く持たなくなった場合でも、流体供給ラインを通過して流れる流体は冷蔵装置102により冷却される（冷蔵装置102、熱接続装置112及び冷凍機62が適正に動作していると仮定した場合）。これに対し、冷蔵装置102、熱接続装置112及び/又は冷凍機62が適正に動作できず、冷蔵装置102が低下した冷凍能力でしか動作しない、又は冷凍能力を全く持たなくなった場合には、流体供給ラインを通過して流れる流体は冷蔵装置101により冷却されることになる（冷蔵装置101、熱接続装置111及び冷凍機61が適正に動作していると仮定した場合）。従って、1つの特定の冷蔵装置が熱負荷1へ連通されるべ

10

20

30

40

50

き流体を適正に冷却できなくなったときでも、冷凍能力の一部が失われるだけであるため、熱負荷 1 は確実に冷却されることが可能であろう。

【 0 0 3 5 】

先に述べた通り、図 5 及び図 6 は、熱負荷を冷却するための周知の低温冷凍システムを示す。図 5 及び図 6 に示される、先に説明した構成要素と共通する構成要素は同じ図中符号で指示されている。

【 0 0 3 6 】

本発明を現時点で最も実用的で好ましい実施例であると考えられるものと関連させて説明したが、本発明は開示された実施例に限定されるべきではなく、また、特許請求の範囲に記載された符号は、理解容易のためであってなんら発明の技術的範囲を実施例に限縮するものではない。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 3 7 】

【図 1】本発明の一実施例に従って冷却流体を熱負荷に供給する低温冷凍システムの概略図。

【図 2 A】本発明の一実施例に従った受動冷蔵装置の材料の図。

【図 2 B】図 2 A に示される材料のインプレッションを示す図。

【図 3 A】本発明の別の実施例に従った受動冷蔵装置の別の材料の図。

【図 3 B】図 3 A に示される材料の詳細な図。

【図 4】本発明の別の実施例に従って冷却流体を熱負荷に供給する低温冷凍システムの概略図。

【図 5】冷却流体を熱負荷に供給する周知の低温冷凍システムの概略図。

【図 6】冷却流体を熱負荷に供給する別の周知の低温冷凍システムの概略図。

【符号の説明】

【 0 0 3 8 】

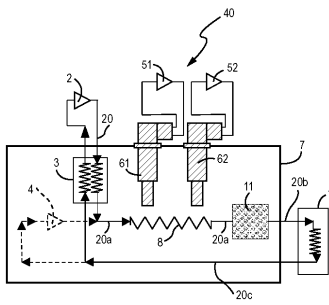
1 ... 熱負荷、2 ... 再循環装置、3 ... 熱交換器、4 ... サーキュレータ / ファン、8 ... 熱交換器、11 ... 受動冷蔵装置、20 ... ガス回路、20 a、20 b ... 流体供給ライン部分、20 c ... 流体戻りライン、21 ... 多孔質金属ワイヤメッシュ、22 ... 金属球又はセラミック球の多孔質マトリクス、40 ... 低温冷凍システム、61、62 ... 低温冷凍機、70 ... 低温冷凍システム、101、102 ... 受動冷蔵装置、111、112 ... 熱接続装置

10

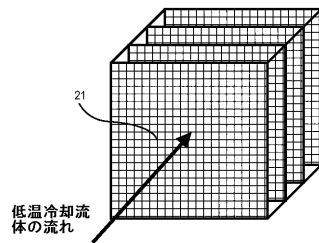
20

30

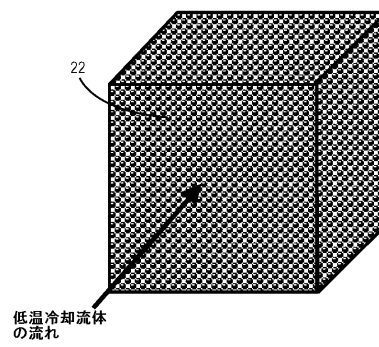
【図 1】



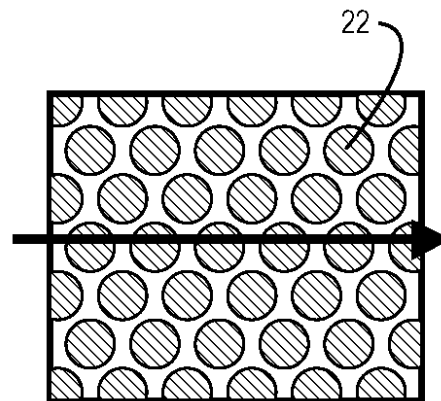
【図 2 A】



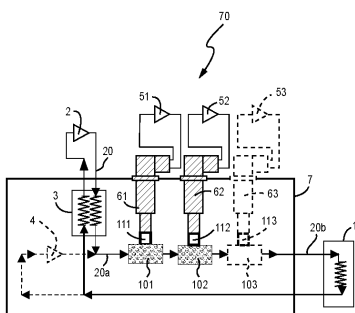
【図 3 A】



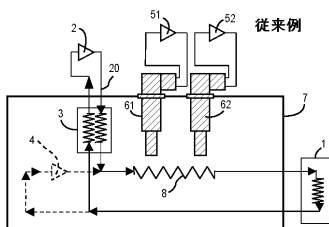
【図 3 B】



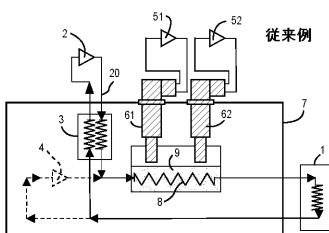
【図 4】



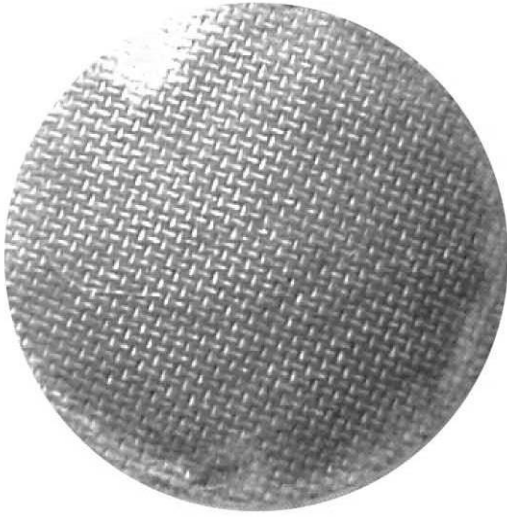
【図 5】



【図 6】



【図 2 B】



フロントページの続き

- (72)発明者 アルバート・ユージーン・シュタインバッハ
アメリカ合衆国、ニューヨーク州、スケネクタディ、ゴードン・ロード、141番
- (72)発明者 ロバート・アドルフ・アッカーマン
アメリカ合衆国、ニューヨーク州、スケネクタディ、コンソール・ロード、4125番
- (72)発明者 シャンルイ・ファン
アメリカ合衆国、ニューヨーク州、クリフトン・パーク、ディボー・ドライブ、16番

審査官 田々井 正吾

- (56)参考文献 実開平05-069563(JP, U)
特開平05-288420(JP, A)
特開2003-148844(JP, A)
特開2002-125555(JP, A)
米国特許第05429177(US, A)
特表2003-509653(JP, A)
特開2000-186876(JP, A)
特開平09-033126(JP, A)
特開2004-119966(JP, A)
特開2003-336923(JP, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
F25B 9/00