

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2020年7月23日(23.07.2020)



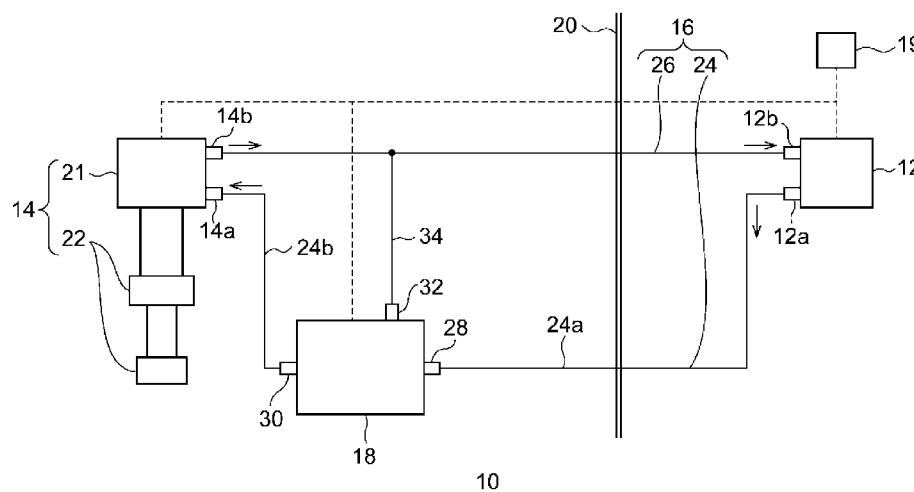
(10) 国際公開番号

WO 2020/149160 A1

- (51) 国際特許分類:
F25B 9/00 (2006.01) *F25B 41/06* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2020/000023
- (22) 国際出願日: 2020年1月6日(06.01.2020)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2019-006036 2019年1月17日(17.01.2019) JP
- (71) 出願人: 住友重機械工業株式会社
(SUMITOMO HEAVY INDUSTRIES, LTD.) [JP/
JP]; 〒1416025 東京都品川区大崎2丁目
1番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 渡邊 真 (WATANABE Makoto);
〒1888585 東京都西東京市谷戸町二丁目
1番1号住友重機械工業株式会社田
無製造所内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 森下 賢樹 (MORISHITA Sakaki);
〒1500021 東京都渋谷区恵比寿西2-
11-12 Tokyo (JP).
- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保
護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ,
BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,
CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO,
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, KE, KG, KH,
KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY,

(54) **Title:** CRYOGENIC REFRIGERATOR, REFRIGERATION CAPACITY SUPPRESSOR, AND METHOD FOR USING REFRIGERATION CAPACITY SUPPRESSOR

(54) 発明の名称: 極低温冷凍機、冷凍能力抑制器、および冷凍能力抑制器の使用方法



(57) **Abstract:** A cryogenic refrigerator (10) comprises: a compressor (12); a cold head (14); a high-pressure line (24) connecting the compressor (12) to the cold head (14); and a refrigeration capacity suppressor (18). The refrigeration capacity suppressor (18) comprises: a gas inlet (28) that receives refrigerant gas from the high-pressure line (24); a gas outlet (30) that feeds refrigerant gas to the high-pressure line (24); a plurality of internal pipes that connect the gas inlet (28)

MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ,
NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT,
QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL,
ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,
US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類：

- 一 国際調査報告（条約第21条(3)）

to the gas outlet (30) in parallel; and a switch valve that switches the plurality of internal pipes. The plurality of internal pipes cause the refrigerant gas flow to have mutually different pressure loss from the gas inlet (28) to the gas outlet (30).

(57) 要約：極低温冷凍機（10）は、圧縮機（12）と、コールドヘッド（14）と、圧縮機（12）をコールドヘッド（14）に接続する高圧ライン（24）と、冷凍能力抑制器（18）とを備える。冷凍能力抑制器（18）は、高圧ライン（24）から冷媒ガスを受け入れるガス入口（28）と、高圧ライン（24）に冷媒ガスを送り出すガス出口（30）と、ガス入口（28）をガス出口（30）に並列に接続する複数の内部配管と、複数の内部配管を切り替える切替バルブとを備える。複数の内部配管は、ガス入口（28）からガス出口（30）への冷媒ガス流れに、互いに異なる圧力損失をもたらす。

明 細 書

発明の名称：

極低温冷凍機、冷凍能力抑制器、および冷凍能力抑制器の使用方法

技術分野

[0001] 本発明は、極低温冷凍機、冷凍能力抑制器、および冷凍能力抑制器の使用方法に関する。

背景技術

[0002] 従来から、ヘリウム圧縮機から吐出されたヘリウムガスを冷凍機に供給するヘリウム圧縮機ユニットにおいて、冷凍機の負荷に応じて圧縮機的能力を可変するコントローラを備えることが知られている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2002-81773号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 本発明者らは、極低温冷凍機の用途のひとつである液体冷媒の再凝縮について検討したところ、以下の課題を認識するに至った。極低温冷凍機は、液体冷媒のなかでもとくに液体ヘリウムの再凝縮によく利用される。液体ヘリウムはヘリウム液槽に貯留され、液槽内に収容された機器、たとえば超電導コイルなどを含む超電導機器の冷却に利用される。液槽から気化したヘリウムは、極低温冷凍機によって凝縮され、再び液体ヘリウムとして液槽に戻される。こうしたヘリウムの循環は、ゼロボイルオフ技術とも呼ばれ、それにより、液体ヘリウムの蒸発による損失を最小限に抑えることができる。

[0005] ゼロボイルオフ技術では、ヘリウム循環を維持するためにヘリウム液槽を常時陽圧に維持することが望まれる。そのため、電気ヒータまたはその他の加熱器具がヘリウム液槽に設置されうる。超電導機器の稼動中、そこからの発熱および必要に応じて行われる加熱器具によるヘリウムの気化と、極低温

冷凍機によるヘリウム再凝縮がバランスし、ヘリウム液槽は所望の陽圧に継続的に保たれる。

[0006] ところが、状況によってはこのバランスが失われうる。たとえば、超電導機器の不使用时など超電導機器からの発熱量が低下すると、極低温冷凍機によるヘリウム再凝縮が過剰となり、ヘリウム液槽の圧力は低下し、さらには負圧となりうる。とりわけ、極低温冷凍機が新品である場合には冷凍能力が最大化されているので、こうした過冷却がおこりやすくなる。

[0007] 加熱器具の発熱量を増加させれば、気化される液体ヘリウムの量が増え、ヘリウム液槽の圧力は回復される。しかし、これには消費電力の増加という不利益がある。

[0008] たとえば磁気共鳴イメージング（MRI）システムなどのゼロボイルオフ技術を適用したシステムには安全装置が装備されうる。仮に、電気ヒータによる加熱が長時間（たとえば半日以上）にわたって継続されたとすると、安全装置が作動し、その結果、ヒータへの通電が停止されうる。安全装置は、ヒータだけでなく、システム全体を停止させうる。その場合、人手により安全な状況にあることを確認したうえでシステムを再起動しなければならず、煩雑である。加えて、予定どおりにシステムを稼動することができなくなるかもしれない、問題である。

[0009] ヘリウム液槽の圧力を回復するための他の方法として、液槽の圧力を測定し、測定圧力に基づいて極低温冷凍機の冷凍能力を制御することが考えられる。しかし、低コスト指向など、市場の実情として、冷凍能力を制御する構成が極低温冷凍機に組み込まれていないこともしばしばある。そのような極低温冷凍機であっても、ヘリウム循環のアンバランスを生じさせうる過冷却を防ぐために、冷凍能力を一時的に変更することができれば便利である。

[0010] 他の用途における極低温冷凍機についても、冷凍能力の変更は望まれうる。

[0011] なお、本発明者らによって認識されたこうした課題は、本発明者らの独自の考察にもとづくものであり、当業者に一般的な認識であると理解されるべ

きではない。

- [0012] 本発明のある態様の例示的な目的のひとつは、冷凍能力の調整を可能とする極低温冷凍機、冷凍能力抑制器を提供することにある。

課題を解決するための手段

- [0013] 本発明のある態様によると、極低温冷凍機は、圧縮機と、コールドヘッドと、圧縮機をコールドヘッドに接続する高圧ラインと、高圧ラインから冷媒ガスを受け入れるガス入口と、高圧ラインに冷媒ガスを送り出すガス出口と、ガス入口をガス出口に並列に接続する複数の内部配管と、複数の内部配管を切り替える切替バルブとを備える冷凍能力抑制器と、を備える。複数の内部配管は、ガス入口からガス出口への冷媒ガス流れに、互いに異なる圧力損失をもたらす。
- [0014] 本発明のある態様によると、極低温冷凍機の冷凍能力抑制器は、圧縮機、または圧縮機に接続された冷媒ガス配管に接続可能なガス入口と、コールドヘッド、またはコールドヘッドに接続された冷媒ガス配管に接続可能なガス出口と、ガス入口をガス出口に並列に接続する複数の内部配管と、複数の内部配管を切り替える切替バルブと、を備える。複数の内部配管は、ガス入口からガス出口への冷媒ガス流れに、互いに異なる圧力損失をもたらす。
- [0015] 本発明の別の態様は、冷凍能力抑制器の使用方法である。冷凍能力抑制器の複数の内部配管は、主配管と、主配管に比べて冷媒ガス流れに大きい圧力損失をもたらす圧損配管とを含む。この方法は、極低温冷凍機が使用される現場への極低温冷凍機の新規据え付けの際に、または既設の極低温冷凍機のメンテナンスの際に、圧損配管に切替バルブを切り替えることと、以降に行われる極低温冷凍機のメンテナンスの際に、主配管、または複数の内部配管のうち圧損配管より小さい圧力損失をもたらす他の圧損配管に切替バルブを切り替えることと、を備える。
- [0016] なお、以上の構成要素の任意の組み合わせや本発明の構成要素や表現を、方法、装置、システムなどの間で相互に置換したものもまた、本発明の態様として有効である。

発明の効果

[0017] 本発明によれば、冷凍能力の調整を可能とする極低温冷凍機、冷凍能力抑制器を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0018] [図1]実施の形態に係る極低温冷凍機を概略的に示す図である。

[図2]実施の形態に係る冷凍能力抑制器を概略的に示す図である。

[図3]図3（a）から図3（e）は、実施の形態に係る冷凍能力抑制器の内部配管の例を概略的に示す斜視図である。

[図4]図4（a）から図4（c）は、実施の形態に係る冷凍能力抑制器の動作および使用方法を説明するための模式図である。

発明を実施するための形態

[0019] 以下、図面を参照しながら、本発明を実施するための形態について詳細に説明する。説明および図面において同一または同等の構成要素、部材、処理には同一の符号を付し、重複する説明は適宜省略する。図示される各部の縮尺や形状は、説明を容易にするために便宜的に設定されており、特に言及がない限り限定的に解釈されるものではない。実施の形態は例示であり、本発明の範囲を何ら限定するものではない。実施の形態に記述されるすべての特徴やその組み合わせは、必ずしも発明の本質的なものであるとは限らない。

[0020] 図1は、実施の形態に係る極低温冷凍機10を概略的に示す図である。極低温冷凍機10は、圧縮機12、コールドヘッド14、配管システム16、冷凍能力抑制器18を備える。

[0021] 極低温冷凍機10は、超電導電磁石など超電導機器を有する超電導システム（たとえば磁気共鳴イメージング（MRI）システム）に備えられた液体冷媒の再凝縮器として使用される。超電導機器は、液体ヘリウムまたはその他の適切な液体冷媒に浸漬され、または液体冷媒と熱接触することにより、臨界温度以下に冷却される。こうしたシステムは通例、外部への高磁場の漏洩を防ぐために磁気シールド20を有する。コールドヘッド14は超電導機器とともに磁気シールド20の中に配置される一方、圧縮機12は通例、磁

気シールド 20 の外に配置される。

[0022] 圧縮機 12 は、冷媒ガスをコールドヘッド 14 から回収し、回収した冷媒ガスを昇圧して、再び冷媒ガスをコールドヘッド 14 に供給するよう構成されている。コールドヘッド 14 は、膨張機とも称され、室温部 21 と、少なくとも 1 つの低温部 22 とを有する。図示されるように、コールドヘッド 14 が二段式の場合には、コールドヘッド 14 は第 1 段と第 2 段にそれぞれ低温部 22 を有する。コールドヘッド 14 は単段式であってもよい。低温部 22 は、冷却ステージとも称される。

[0023] 圧縮機 12 とコールドヘッド 14 との間の冷媒ガスの循環がコールドヘッド 14 内での冷媒ガスの適切な圧力変動と容積変動の組み合わせをもって行われることにより、極低温冷凍機 10 の冷凍サイクルが構成され、低温部 22 が所望の極低温に冷却される。低温部 22 は、図示しない凝縮器を冷却する。それにより、低温部 22 は、気化した液体冷媒を再び液化する。あるいは、低温部 22 は、熱的に結合された被冷却物を目標冷却温度に冷却することができる。極低温冷凍機 10 の冷媒ガスは、通例はヘリウムガスであるが、適切な他のガスが用いられてもよい。理解のために、冷媒ガスの流れる方向を図 1 に矢印で示す。

[0024] 極低温冷凍機 10 は、一例として、二段式のギフォード・マクマホン (Gifford-McMahon ; GM) 冷凍機であるが、パルス管冷凍機、スターリング冷凍機、またはそのほかのタイプの極低温冷凍機であってもよい。コールドヘッド 14 は、極低温冷凍機のタイプに応じて異なる構成を有する。圧縮機 12 は、極低温冷凍機のタイプによらず、同じ構成を用いることができる。

[0025] なお、一般に、圧縮機 12 からコールドヘッド 14 に供給される冷媒ガスの圧力と、コールドヘッド 14 から圧縮機 12 に回収される冷媒ガスの圧力は、ともに大気圧よりかなり高く、それぞれ第 1 高圧及び第 2 高圧と呼ぶことができる。説明の便宜上、第 1 高圧及び第 2 高圧はそれぞれ単に高圧及び低圧とも呼ばれる。典型的には、高圧は例えば約 2 ～ 3 MPa の範囲にあり、低圧は例えば約 0.5 ～ 1.5 MPa の範囲にある。これに対して、コー

ルドヘッド 14 によって再凝縮される液体冷媒の圧力は、大気圧程度である。

[0026] 圧縮機 12 は、吐出ポート 12 a と吸入ポート 12 b とを有する。吐出ポート 12 a は、圧縮機 12 により高圧に昇圧された冷媒ガスを圧縮機 12 から送出するために圧縮機 12 に設けられた冷媒ガスの出口であり、吸入ポート 12 b は、低圧の冷媒ガスを圧縮機 12 に受け入れるために圧縮機 12 に設けられた冷媒ガスの入口である。

[0027] コールドヘッド 14 は、高圧ポート 14 a と低圧ポート 14 b とを有する。高圧ポート 14 a は、コールドヘッド 14 の低温部 22 の内部に高圧の作動ガスを受け入れるためにコールドヘッド 14 の室温部 21 に設けられた冷媒ガスの入口である。低圧ポート 14 b は、コールドヘッド 14 の低温部 22 の内部での冷媒ガスの膨張により減圧された低圧の冷媒ガスをコールドヘッド 14 から排出するためにコールドヘッド 14 の室温部 21 に設けられた冷媒ガスの出口である。

[0028] 配管システム 16 は、圧縮機 12 とコールドヘッド 14 との間で冷媒ガスを循環させるべくこれらを接続する。配管システム 16 は、液体ヘリウムなど超電導機器を冷却する冷媒流体の循環回路とは別個に設けられている。したがって、配管システム 16 を流れるヘリウムガスなどの冷媒ガスが冷媒流体と混ざり合うことはない。また、上述のように圧縮機 12 が磁気シールド 20 の外にあり、コールドヘッド 14 が磁気シールド 20 の中にあるので、配管システム 16 は磁気シールド 20 を貫通している。

[0029] 配管システム 16 は、圧縮機 12 の吐出ポート 12 a をコールドヘッド 14 の高圧ポート 14 a に接続する高圧ライン 24 と、圧縮機 12 の吸入ポート 12 b をコールドヘッド 14 の低圧ポート 14 b に接続する低圧ライン 26 とを備える。よって、高圧の冷媒ガスは、圧縮機 12 から高圧ライン 24 を通じてコールドヘッド 14 に供給され、低圧の冷媒ガスは、コールドヘッド 14 から低圧ライン 26 を通じて圧縮機 12 に回収される。

[0030] 高圧ライン 24 は、吐出ポート 12 a に接続された高圧上流管 24 a と、

高圧ポート 14 a に接続された高圧下流管 24 b とを有する。高圧上流管 24 a、高圧下流管 24 b は、一例として、フレキシブル管またはフレキシブルホースであり、あるいはリジッド管であってもよい。同様に、低圧ライン 26 は、フレキシブル管またはリジッド管で形成されてもよい。

[0031] 冷凍能力抑制器 18 は、圧縮機 12 とは別体であり、配管システム 16 に設けられている。冷凍能力抑制器 18 は、高圧ライン 24 の途中に接続されている。冷凍能力抑制器 18 は、一例として、磁気シールド 20 に対してコールドヘッド 14 側に配置されている。

[0032] 冷凍能力抑制器 18 は、高圧ライン 24 から冷媒ガスを受け入れるひとつのガス入口 28 と、高圧ライン 24 に冷媒ガスを送り出すひとつのガス出口 30 と、を備える。ガス入口 28 およびガス出口 30 はそれぞれ、高圧上流管 24 a および高圧下流管 24 b に取り外し可能に接続されている。冷凍能力抑制器 18 の例示的な内部構成については、詳しく後述する。

[0033] 一例として、ガス入口 28 とガス出口 30 は、セルフシーリング・カップリングのような脱着可能な継手であり、高圧上流管 24 a と高圧下流管 24 b はそれぞれガス入口 28 とガス出口 30 に容易に取り付け、または取り外すことができる。

[0034] なお、ガス出口 30 は、高圧下流管 24 b を介してコールドヘッド 14 に取り外し可能に接続されるのではなく、コールドヘッド 14 の高圧ポート 14 a に直接接続可能であってもよい。ガス入口 28 は、高圧上流管 24 a を介して圧縮機 12 に取り外し可能に接続されるのではなく、圧縮機 12 の吐出ポート 12 a に直接接続可能であってもよい。

[0035] また、冷凍能力抑制器 18 は、ガス放出口 32 と、リリーフライン 34 とを備える。リリーフライン 34 は、ガス放出口 32 を低圧ライン 26 に接続する。リリーフライン 34 は、低圧ライン 26 に取り外し可能に接続されている。リリーフライン 34 は、ガス放出口 32 に取り外し可能に接続されていてもよい。

[0036] 冷凍能力抑制器 18 は、圧縮機 12 およびコールドヘッド 14 に取り外し

可能に接続され、持ち運び可能なユニットとして構成されている。冷凍能力抑制器 18 が取り外された場合には、冷凍能力抑制器 18、高圧上流管 24 a、高圧下流管 24 b に代えて、高圧ライン 24 は、低圧ライン 26 と同様に 1 本の配管で構成されうる。高圧上流管 24 a と高圧下流管 24 b が直接接続されてもよい。

[0037] 冷凍能力抑制器 18 は、例えば、極低温冷凍機 10 の製造業者によって製造され、極低温冷凍機 10 の付属品として利用者に提供される。

[0038] 極低温冷凍機 10 の各構成要素は、主電源 19 から給電される。主電源 19 は、例えば商用電源、または、商用電源に接続された電源装置であってもよい。圧縮機 12、コールドヘッド 14、および冷凍能力抑制器 18 はそれぞれ、給電配線により主電源 19 に接続されている。よって、冷凍能力抑制器 18 には専用の電源を別に用意する必要はない。なお、極低温冷凍機 10 の給電システムは、種々の既知の構成を採用可能である。例えば、圧縮機 12 が主電源 19 に接続されており、コールドヘッド 14 および冷凍能力抑制器 18 は、圧縮機 12 から給電されてもよい。

[0039] 図 2 は、実施の形態に係る冷凍能力抑制器 18 を概略的に示す図である。冷凍能力抑制器 18 は、ガス入口 28 をガス出口 30 に並列に接続する複数の内部配管 36 と、複数の内部配管 36 を切り替える切替バルブ 38 とを備える。複数の内部配管 36 および切替バルブ 38 は、筐体 40 に収容されている。ガス入口 28、ガス出口 30、およびガス放出口 32 は、筐体 40 の表面に設けられている。

[0040] 複数の内部配管 36 は、ガス入口 28 からガス出口 30 への冷媒ガス流れに、互いに異なる圧力損失をもたらす。複数の内部配管 36 は、1 本の主配管 36 a と、少なくとも 1 本の圧損配管とを含む。主配管 36 a は、複数の内部配管 36 のうち冷媒ガス流れに最小の圧力損失をもたらす配管を指す。圧損配管は、当該配管を流れる冷媒ガス流れに、主配管 36 a に比べて大きい圧力損失をもたらす。複数の圧損配管が設けられている場合、それらは、ガス入口 28 からガス出口 30 への冷媒ガス流れに、互いに異なる圧力損失

をもたらす。圧損配管の数はとくに限定されず、１本のみであってもよいし、３本またはそれより多くてもよい。冷凍能力抑制器１８の持ち運びなど取り扱いのしやすさを考慮すると、圧損配管はたとえば２～４本であってもよい。主配管３６ａを含めると、内部配管３６はたとえば３～５本であってもよい。

[0041] この実施の形態では、冷凍能力抑制器１８には２本の圧損配管が組み込まれ、以下ではこれらを、第１圧損配管３６ｂ、第２圧損配管３６ｃと称する。第２圧損配管３６ｃは、主配管３６ａに比べて冷媒ガス流れに大きい圧力損失をもたらす。よって、冷媒ガス流れに与えられる圧力損失は、主配管３６ａ、第１圧損配管３６ｂ、第２圧損配管３６ｃの順に大きくなっている。

[0042] 内部配管３６は、非磁性材料、たとえば銅などの非磁性金属で形成されている。あるいは、内部配管３６は、合成樹脂材料で形成されてもよい。同様に、冷凍能力抑制器１８の各構成要素、たとえば筐体４０も、非磁性材料で形成されてもよい。こうして、冷凍能力抑制器１８の全体または大部分が非磁性材料で製作されることは、磁気シールド２０内のような強磁場環境での使用にあたって有利である。冷凍能力抑制器１８が放射線管理区域など他の環境で使用される場合には、内部配管３６、筐体４０など冷凍能力抑制器１８の構成要素は耐放射線材料またはその環境に適合する材料で形成されてもよい。

[0043] 複数の内部配管３６は、ガス入口２８から分岐し、ガス出口３０へと合流している。複数の内部配管３６は、互いに並列に配置されている。各内部配管３６は、直線状に延びている。各内部配管３６は、同じ長さを有し、同じ幅（たとえば直径）を有する。こうした内部配管３６の配置、形状、寸法は例示にすぎず、とくに限定されない。内部配管３６は、円筒の管であってもよいし、角形の管であってもよい。内部配管３６は、直管には限られず、湾曲していてもよい。内部配管３６ごとに異なる寸法を有してもよい。

[0044] 切替バルブ３８は、ガス入口２８とガス出口３０がいずれか１本の内部配管３６で接続されるように動作可能である。選択された１本の内部配管３６

を通じてガス入口 28 からガス出口 30 へと冷媒ガスが流れることができる。選択されていない他の内部配管 36 には冷媒ガスは流れない。なお、たとえば冷媒ガス流量を増やすため等、必要とされる場合には、切替バルブ 38 は、2 本またはそれより多数の内部配管 36 で同時にガス入口 28 とガス出口 30 を接続するように動作してもよい。

[0045] 例示的な構成として、切替バルブ 38 は、ガス入口 28 から内部配管 36 への分岐部と、内部配管 36 からガス出口 30 への合流部の両方に設けられている。分岐部には、内部配管 36 の数と同数の開閉バルブが設けられ、各開閉バルブは対応する内部配管 36 の上流端を開閉する。同様に、合流部には、内部配管 36 の数と同数の開閉バルブが設けられ、各開閉バルブは対応する内部配管 36 の下流端を開閉する。開閉バルブは、たとえば電磁弁、電動弁などの電氣的に駆動される弁であってもよい。あるいは、開閉バルブは、手動の弁であってもよい。いずれか 1 本の内部配管 36 の上下流端両方の開閉バルブが開かれるとともに、他の内部配管 36 の上下流端両方の開閉バルブが閉鎖される。上下流の開閉バルブが開いている内部配管 36 を通じてガス入口 28 からガス出口 30 へと冷媒ガスが流れる。こうして、高圧上流管 24 a から高圧下流管 24 b へと冷凍能力抑制器 18 を通じて冷媒ガスが流れる。

[0046] なお、切替バルブ 38 が複数の開閉バルブからなることは必須ではない。切替バルブ 38 の具体的構成はとくに限定されず、三方弁、四方弁、五方弁、またはその他の切替バルブであってもよい。また、切替バルブ 38 は、分岐部と合流部の両方ではなく、片側（たとえば分岐部）のみに設置されてもよい。

[0047] 冷凍能力抑制器 18 は、切替バルブ 38 の操作部 42 を備えてもよい。操作部 42 は、筐体 40 に設置された例えば操作スイッチまたは操作ボタンのような人手により操作可能な操作具を備えてもよい。操作部 42 が操作されたとき切替バルブ 38 によって内部配管 36 が切り替わる。

[0048] また、リリーフライン 34 は、ガス入口 28 と切替バルブ 38 との間で分

岐している。リリーフライン 34 は、リリーフバルブ 44 を有する。リリーフバルブ 44 は、ガス入口 28 の冷媒ガス圧力（または高圧ライン 24 と低圧ライン 26 の差圧）が規定の圧力値を下回っているとき閉じており、規定の圧力値を上回ると開く。万が一、内部配管 36 の詰まりや切替バルブ 38 の動作不良などによりガス入口 28 の圧力が過剰に高まったときには、その圧力の作用によりリリーフバルブ 44 が開き、圧力は低圧ライン 26 に解放される。

[0049] 図 3（a）から図 3（e）は、実施の形態に係る冷凍能力抑制器 18 の内部配管 36 の例を概略的に示す斜視図である。図 3（a）には、主配管 36 a を示し、図 3（b）から図 3（e）には第 1 圧損配管 36 b を示す。図 3（b）から図 3（e）に示される例は、第 2 圧損配管 36 c として使用されてもよい。

[0050] 図 3（a）に示されるように、主配管 36 a は、一重管である。主配管 36 a は、たとえば円筒の直管である。主配管 36 a の内部は単一の空洞であり、冷媒ガス流れを妨げる突起その他の構造物は設けられていない。そのため、主配管 36 a は、冷媒ガスの圧力、流量にほとんど損失をもたらさない。

[0051] 図 3（b）に示されるように、第 1 圧損配管 36 b は、円筒の二重管であってもよい。内管 46 b が外管 46 a の中心に配置されている。冷媒ガスは、外管 46 a と内管 46 b の間の領域、および内管 46 b の内部を流れることができる。一重管に比べて冷媒ガスと配管の接触面積が増えるので、第 1 圧損配管 36 b は、主配管 36 a に比べてわずかに多くの圧力損失を冷媒ガス流れにもたらす。第 1 圧損配管 36 b は、三重管またはその他の多重管であってもよい。

[0052] 図 3（c）に示されるように、第 1 圧損配管 36 b は、二重管であってもよい。図 3（b）に示される例とは異なり、内管 46 b は、星形の断面を有し、頂点が外管 46 a に接触している。そのため、外管 46 a と内管 46 b の間の領域が複数の区画に分割されている。内管 46 b の表面積が増えてい

るので、冷媒ガスと配管の接触面積が増え、図3（c）の第1圧損配管36bは、図3（b）の第1圧損配管36bに比べて、より大きな圧力損失を冷媒ガス流れにもたらす。

[0053] 図3（d）に示されるように、第1圧損配管36bは、内部に仕切板48を有してもよい。仕切板48によって、管内の空間が複数の区画に分割されている。一重管に比べて冷媒ガスと配管の接触面積が増えるので、第1圧損配管36bは、主配管36aに比べてわずかに大きい圧力損失を冷媒ガス流れにもたらす。

[0054] 図3（e）に示されるように、第1圧損配管36bは、内部に充填材50を有してもよい。充填材50は、たとえば、スポンジ状の金属または他の材料であってもよい。充填材50は、砂状または粒状の充填材であってもよい。充填材50は、金網の積層物であってもよい。管内に充填材50が充填されているので、空隙容積が小さくなり、第1圧損配管36bは、比較的大きな圧力損失を冷媒ガス流れにもたらす。

[0055] 圧損配管の構成はほかにも種々ありうる。たとえば、管の内面にらせん状またはその他の形状の突起物が形成されていてもよい。あるいは、管の端部または中間部にバッフルまたはオリフィスが設けられてもよい。

[0056] 図4（a）から図4（c）は、実施の形態に係る冷凍能力抑制器18の動作および使用方法を説明するための模式図である。一般に、新品の極低温冷凍機10は冷凍能力が最も高く、長期の使用とともに経年劣化など通常想定される損耗により少しずつ冷凍能力は低下していく傾向にある。

[0057] そこで、図4（a）に示されるように、極低温冷凍機10が使用される現場への極低温冷凍機10の新規据え付けの際に、第2圧損配管36cに切替バルブ38を切り替える。この工程は、作業者が操作部42を操作することによって行われる。そうすると、圧縮機12から高圧ライン24を通じてコールドヘッド14に供給される冷媒ガスは、冷凍能力抑制器18において第2圧損配管36cを流れることになる。

[0058] 第2圧損配管36cは、複数の内部配管36のなかで最も大きい圧力損失

を冷媒ガス流れにもたらず。コールドヘッド 14 に供給される冷媒ガス圧力は、圧縮機 12 の吐出圧力に比べて低下する。冷凍能力はコールドヘッド 14 に作用する高圧と低圧の差圧に比例するので、冷凍能力抑制器 18 は、極低温冷凍機 10 の冷凍能力を抑制することができる。

[0059] たとえば数週間または数ヶ月後に、次回のメンテナンスタイミングがくる。そのとき、図 4 (b) に示されるように、第 2 圧損配管 36 c から第 1 圧損配管 36 b に切替バルブ 38 が切り替えられる。コールドヘッド 14 に供給される冷媒ガスは、冷凍能力抑制器 18 において第 1 圧損配管 36 b を流れることになる。第 1 圧損配管 36 b は第 2 圧損配管 36 c に比べて圧力損失が小さいので、冷凍能力抑制器 18 による極低温冷凍機 10 の冷凍能力の抑制は緩和される。これにより、それまでの使用に伴って冷凍能力がいくらか低下したとしても、回復させることができる。

[0060] 同様に、極低温冷凍機 10 を継続して使用していくと、たとえば数週間または数ヶ月後に、さらに次回のメンテナンスタイミングがくる。今度は、図 4 (c) に示されるように、第 1 圧損配管 36 b から主配管 36 a に切替バルブ 38 が切り替えられる。コールドヘッド 14 に供給される冷媒ガスは、冷凍能力抑制器 18 において主配管 36 a を流れることになる。主配管 36 a は最も圧力損失が小さく、冷凍能力抑制器 18 は極低温冷凍機 10 の冷凍能力を実質的に抑制しない。これにより、極低温冷凍機 10 の使用に伴って冷凍能力がいくらか低下したとしても、回復させることができる。

[0061] 極低温冷凍機の新規据え付けの際だけではなく、既設の極低温冷凍機のメンテナンスの際に、切替バルブ 38 が第 2 圧損配管 36 c に、または圧力損失の大きい他の圧損配管に切り替えられてもよい。メンテナンスの際にはコールドヘッド 14 の新品への交換や修理が行われ、メンテナンス前に比べて冷凍能力が向上されることがある。こうして、冷凍能力抑制器 18 を利用して極低温冷凍機 10 の冷凍能力が抑制されてもよい。以降は上述のように、切替バルブ 38 は、たとえばメンテナンスのたびに、圧力損失の小さい内部配管 36 に徐々に切り替えられ、最終的には主配管 36 a に切り替えられて

もよい。

[0062] なお、毎回のメンテナンスで必ず切替バルブ 38 を切り替える必要はない。メンテナンス以外のタイミングで切替バルブ 38 を操作することも許される。

[0063] 実施の形態に係る冷凍能力抑制器 18 は、切替バルブ 38 を切り替えるという簡単な操作によって極低温冷凍機 10 の冷凍能力を調整することができる。より圧力損失の大きい内部配管 36 に切り替えることによって冷凍能力を抑制することができる。また、より圧力損失の小さい内部配管 36 に切り替えることによって冷凍能力を増加することができる。

[0064] 冷凍能力抑制器 18 は、極低温冷凍機 10 が磁気共鳴イメージング (MRI) システムなどのゼロボイルオフ技術を適用したシステムにおいて液体ヘリウム再凝縮器として使用される場面において、とくに有利でありうる。極低温冷凍機 10 が新品であるときなど、極低温冷凍機 10 の冷凍能力が高いためにヘリウム再凝縮が過剰となる状況では、冷凍能力抑制器 18 を利用して極低温冷凍機 10 の冷凍能力を抑制することができる。それにより、ヘリウム液槽に設置された電気ヒータなど加熱器具の連続通電は抑制され、ヘリウム循環のバランスが適正に保たれる。冷凍能力抑制器 18 は、システム側の安全装置の作動によるシステムの突然の停止といった望まれない事態を防ぐことに役立つ。

[0065] 冷凍能力抑制器 18 は、圧縮機 12 とコールドヘッド 14 に取り外し可能に接続され、持ち運び可能なユニットとして構成されている。このようにすれば、冷凍能力抑制器 18 を極低温冷凍機に後から追加して設置することができるので、都合がよい。冷凍能力抑制器 18 は極低温冷凍機 10 の付属品またはアクセサリとして、既設の極低温冷凍機 10 に持ち運んで取り付けることができる。冷凍能力を制御する構成が極低温冷凍機 10 に組み込まれていない場合であっても、冷凍能力抑制器 18 を付加することによって、冷凍能力を調整することができる。逆に、冷凍能力抑制器 18 を設ける必要がなくなったときには取り外すことができる。

[0066] 以上、本発明を実施例にもとづいて説明した。本発明は上記実施形態に限定されず、種々の設計変更が可能であり、様々な変形例が可能であること、またそうした変形例も本発明の範囲にあることは、当業者に理解されるところである。ある実施の形態に関連して説明した種々の特徴は、他の実施の形態にも適用可能である。組合せによって生じる新たな実施の形態は、組み合わされる実施の形態それぞれの効果をあわせもつ。

[0067] 実施の形態にもとづき、具体的な語句を用いて本発明を説明したが、実施の形態は、本発明の原理、応用の一側面を示しているにすぎず、実施の形態には、請求の範囲に規定された本発明の思想を逸脱しない範囲において、多くの変形例や配置の変更が認められる。

産業上の利用可能性

[0068] 本発明は、極低温冷凍機、冷凍能力抑制器、および冷凍能力抑制器の使用方法の分野における利用が可能である。

符号の説明

[0069] 10 極低温冷凍機、 12 圧縮機、 14 コールドヘッド、 18 冷凍能力抑制器、 24 高圧ライン、 26 低圧ライン、 28 ガス入口、 30 ガス出口、 34 リリーフライン、 36 内部配管、 36 a 主配管、 36 b 第1圧損配管、 36 c 第2圧損配管、 38 切替バルブ、 44 リリーフバルブ、 48 仕切板、 50 充填材。

請求の範囲

- [請求項1] 圧縮機と、
 コールドヘッドと、
 前記圧縮機を前記コールドヘッドに接続する高圧ラインと、
 前記高圧ラインから冷媒ガスを受け入れるガス入口と、前記高圧ラインに冷媒ガスを送り出すガス出口と、前記ガス入口を前記ガス出口に並列に接続する複数の内部配管と、前記複数の内部配管を切り替える切替バルブとを備える冷凍能力抑制器と、を備え、
 前記複数の内部配管は、前記ガス入口から前記ガス出口への冷媒ガス流れに、互いに異なる圧力損失をもたらすことを特徴とする極低温冷凍機。
- [請求項2] 前記冷凍能力抑制器は、前記圧縮機および前記コールドヘッドに取り外し可能に接続され、持ち運び可能なユニットとして構成されていることを特徴とする請求項1に記載の極低温冷凍機。
- [請求項3] 前記複数の内部配管は、主配管と、前記主配管に比べて前記冷媒ガス流れに大きい圧力損失をもたらす圧損配管とを含むことを特徴とする請求項1または2に記載の極低温冷凍機。
- [請求項4] 前記主配管は、一重管であることを特徴とする請求項3に記載の極低温冷凍機。
- [請求項5] 前記圧損配管は、多重管であり、または、内部に仕切板または充填材を有することを特徴とする請求項3または4に記載の極低温冷凍機。
- [請求項6] 前記複数の内部配管は、非磁性材料で形成されていることを特徴とする請求項1から5のいずれかに記載の極低温冷凍機。
- [請求項7] 前記コールドヘッドを前記圧縮機に接続する低圧ラインをさらに備え、
 前記冷凍能力抑制器は、前記ガス入口と前記複数の内部配管との間で分岐し、リリースバルブを有するリリースラインを備え、前記リリース

ーラインは、前記ガス入口を前記低圧ラインに接続することを特徴とする請求項 1 から 6 のいずれかに記載の極低温冷凍機。

[請求項8] 前記冷凍能力抑制器は、前記冷凍能力抑制器の筐体に設置され、前記複数の内部配管を切り替えるように前記切替バルブを操作するための操作部を備えることを特徴とする請求項 1 から 7 のいずれかに記載の極低温冷凍機。

[請求項9] 前記コールドヘッドおよび前記冷凍能力抑制器は、磁気シールドの中に配置され、前記圧縮機は、前記磁気シールドの外に配置されることを特徴とする請求項 1 から 8 のいずれかに記載の極低温冷凍機。

[請求項10] 圧縮機、または圧縮機に接続された冷媒ガス配管に接続可能なガス入口と、

コールドヘッド、またはコールドヘッドに接続された冷媒ガス配管に接続可能なガス出口と、

前記ガス入口を前記ガス出口に並列に接続する複数の内部配管と、
前記複数の内部配管を切り替える切替バルブと、を備え、

前記複数の内部配管は、前記ガス入口から前記ガス出口への冷媒ガス流れに、互いに異なる圧力損失をもたらすことを特徴とする極低温冷凍機の冷凍能力抑制器。

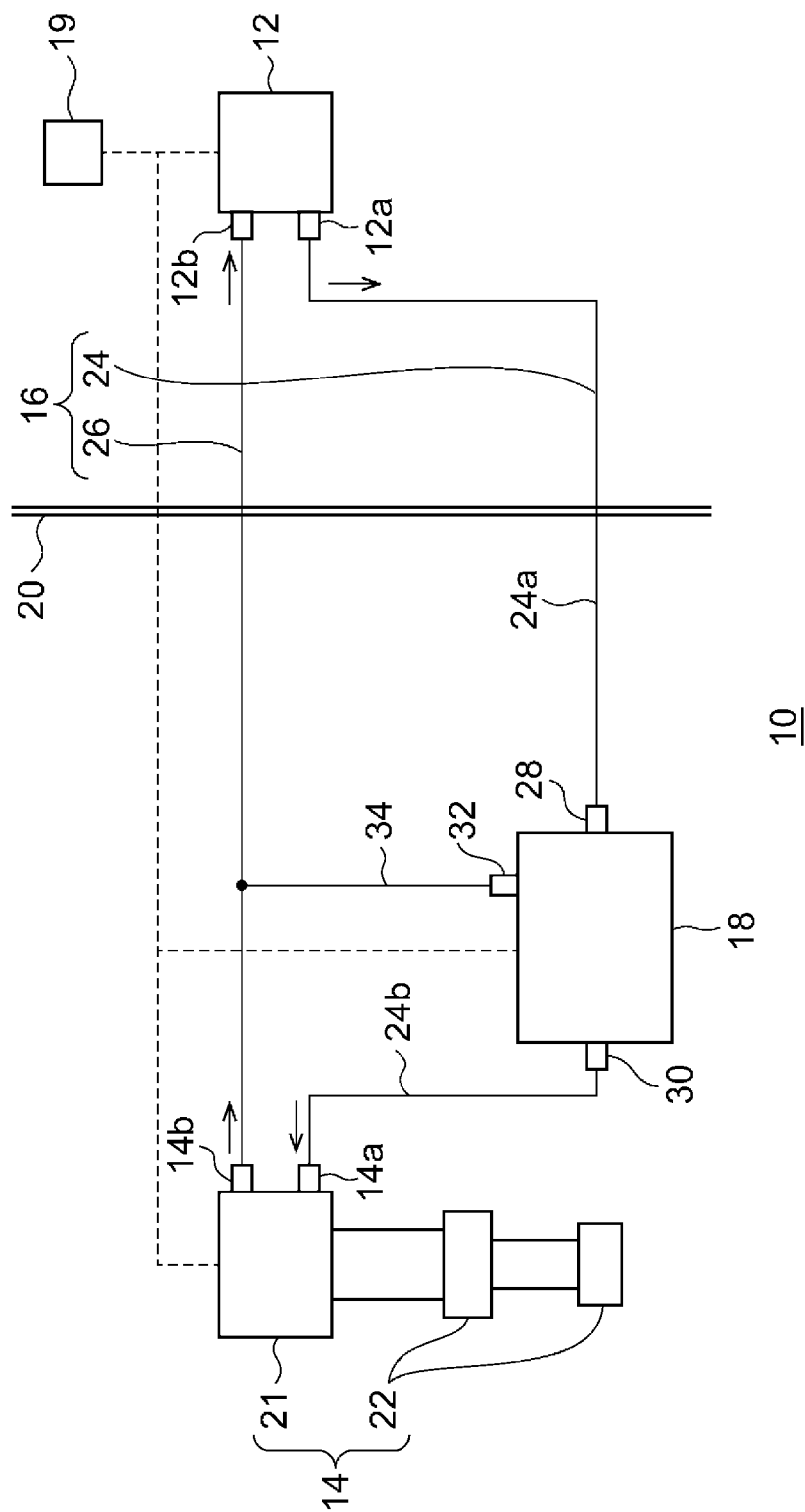
[請求項11] 請求項 10 に記載の冷凍能力抑制器の使用方法であって、

前記複数の内部配管は、主配管と、前記主配管に比べて前記冷媒ガス流れに大きい圧力損失をもたらす圧損配管とを含み、

極低温冷凍機が使用される現場への極低温冷凍機の新規据え付けの際に、または既設の極低温冷凍機のメンテナンスの際に、前記圧損配管に前記切替バルブを切り替えることと、

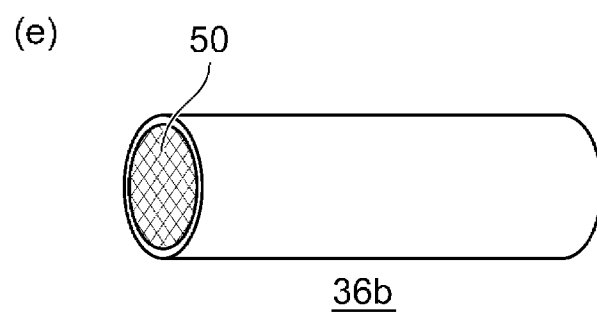
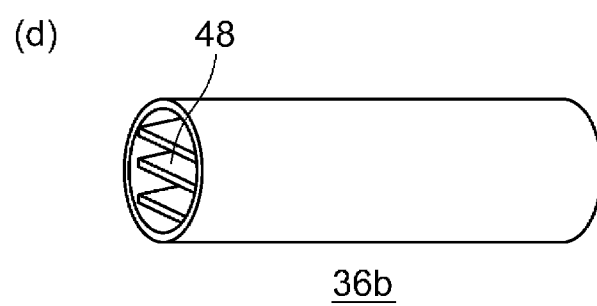
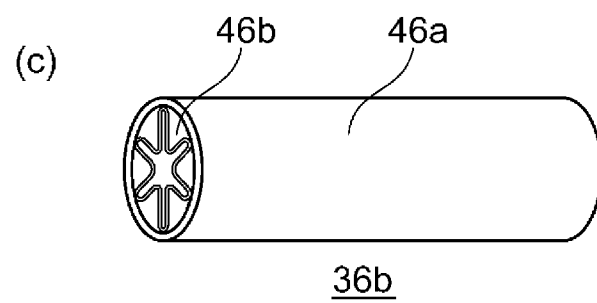
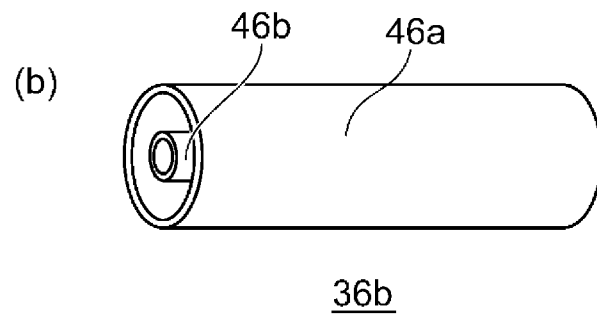
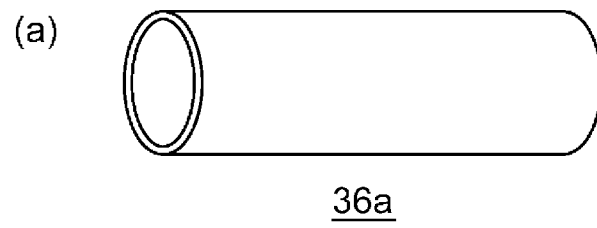
以降に行われる極低温冷凍機のメンテナンスの際に、前記主配管、または前記複数の内部配管のうち前記圧損配管より小さい圧力損失をもたらす他の圧損配管に前記切替バルブを切り替えることと、を備えることを特徴とする冷凍能力抑制器の使用方法。

[図1]

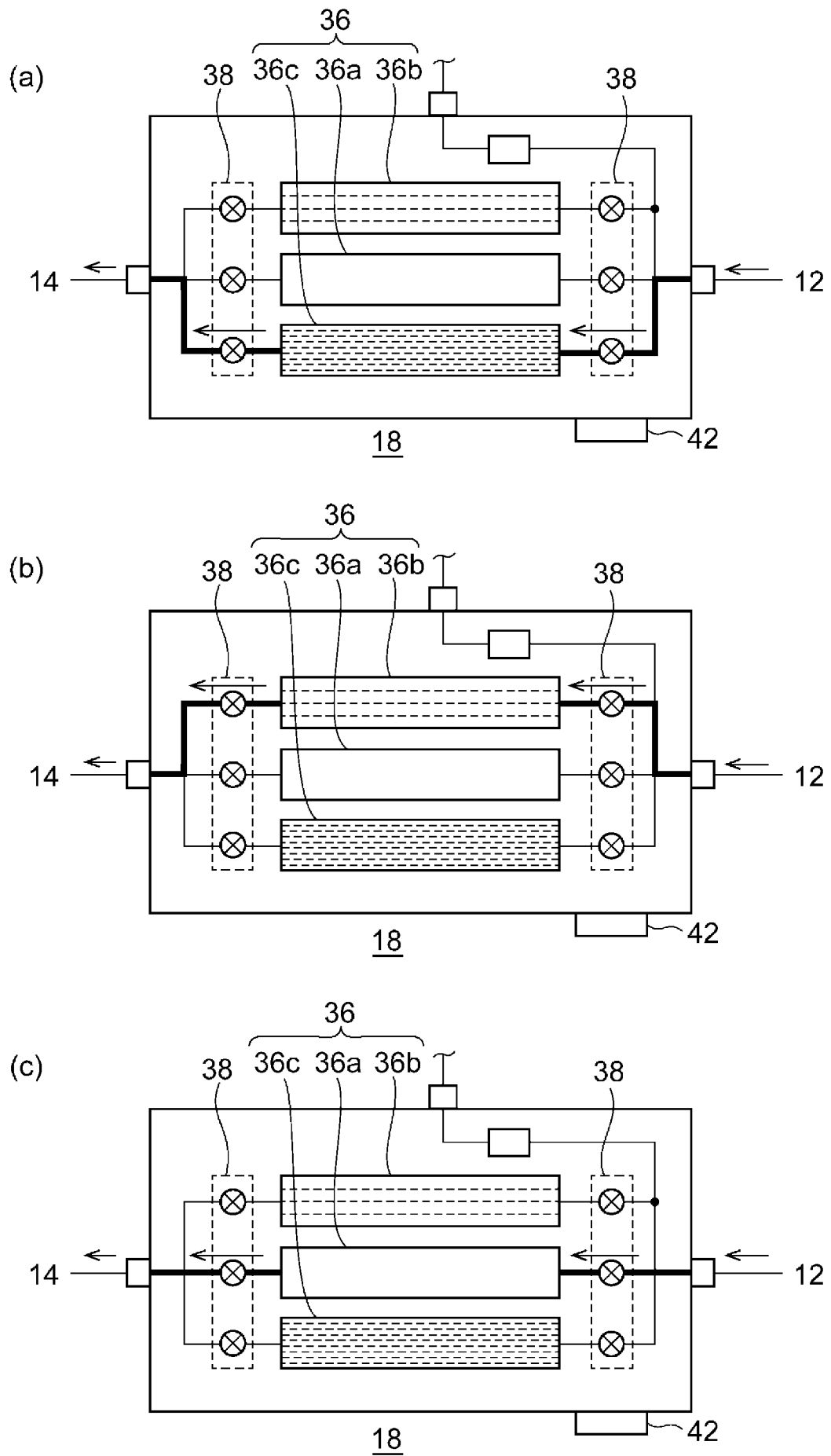


[illegible]

[図3]



[図4]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2020/000023

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl. F25B9/00(2006.01)i, F25B41/06(2006.01)i
FI: F25B9/00B, F25B9/00A, F25B9/00Z, F25B41/06Z

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl. F25B9/00, F25B41/06

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan	1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan	1971-2020
Registered utility model specifications of Japan	1996-2020
Published registered utility model applications of Japan	1994-2020

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2001-358008 A (SUMITOMO HEAVY INDUSTRIES, LTD.) 26.12.2001 (2001-12-26), paragraphs [0015]-[0026], fig. 1-3	1-11
A	JP 4-68267 A (DAIKIN INDUSTRIES, LTD.) 04.03.1992 (1992-03-04), claims, page 3, lower left column, line 6 to page 4, upper left column, line 13, page 9, upper left column, line 17 to lower left column, line 5, page 10, upper right column, lines 2-14, fig. 1, 4	1-11

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.	☒ See patent family annex.
---	--

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 05.02.2020	Date of mailing of the international search report 18.02.2020
Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan	Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2020/000023

JP 2001-358008 A 26.12.2001 (Family: none)

JP 4-68267 A 04.03.1992 (Family: none)

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） F25B 9/00(2006.01)i; F25B 41/06(2006.01)i FI: F25B9/00 B; F25B9/00 A; F25B9/00 Z; F25B41/06 Z														
B. 調査を行った分野														
調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC）） F25B9/00; F25B41/06														
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの														
<table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922-1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971-2020年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2020年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2020年</td> </tr> </table>			日本国実用新案公報	1922-1996年	日本国公開実用新案公報	1971-2020年	日本国実用新案登録公報	1996-2020年	日本国登録実用新案公報	1994-2020年				
日本国実用新案公報	1922-1996年													
日本国公開実用新案公報	1971-2020年													
日本国実用新案登録公報	1996-2020年													
日本国登録実用新案公報	1994-2020年													
国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）														
C. 関連すると認められる文献														
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号												
X	JP 2001-358008 A（住友重機械工業株式会社）26.12.2001（2001-12-26） [0015]-[0026], [図1]-[図3]	1-11												
A	JP 4-68267 A（ダイキン工業株式会社）04.03.1992（1992-03-04） 特許請求の範囲，第3ページ左下欄第6行-第4ページ左上欄第13行，第9ページ左 上欄第17行-左下欄第5行，第10ページ右上欄第2行-第14行，第1図，第4図	1-11												
☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。 ☒ パテントファミリーに関する別紙を参照。														
<table border="0"> <tr> <td>* 引用文献のカテゴリー</td> <td>“T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの</td> </tr> <tr> <td>“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの</td> <td>“X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの</td> </tr> <tr> <td>“E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの</td> <td>“Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの</td> </tr> <tr> <td>“L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）</td> <td>“&” 同一パテントファミリー文献</td> </tr> <tr> <td>“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献</td> <td></td> </tr> <tr> <td>“P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献</td> <td></td> </tr> </table>			* 引用文献のカテゴリー	“T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの	“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの	“X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの	“E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの	“Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの	“L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）	“&” 同一パテントファミリー文献	“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献		“P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献	
* 引用文献のカテゴリー	“T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの													
“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの	“X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの													
“E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの	“Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの													
“L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）	“&” 同一パテントファミリー文献													
“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献														
“P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献														
国際調査を完了した日 05.02.2020	国際調査報告の発送日 18.02.2020													
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	権限のある職員（特許庁審査官） 山田 裕介 3M 3422 電話番号 03-3581-1101 内線 3377													

国際調査報告
パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2020/000023

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP	2001-358008	A	26.12.2001	(ファミリーなし)	
JP	4-68267	A	04.03.1992	(ファミリーなし)	