

(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  
2024年5月30日(30.05.2024)



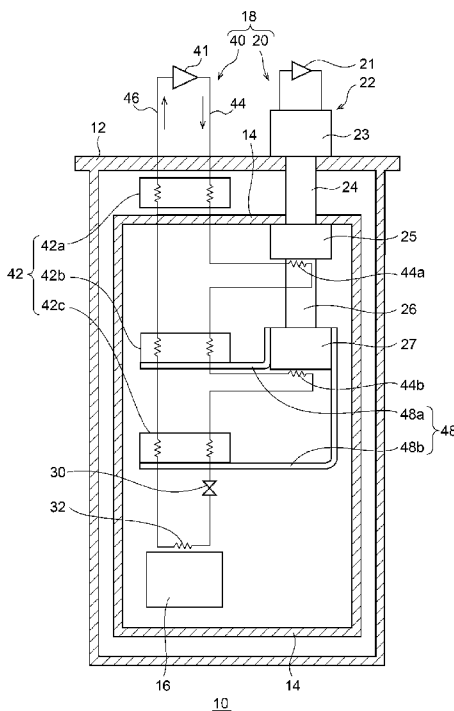
(10) 国際公開番号

WO 2024/111338 A1

- (51) 国際特許分類:  
F25B 9/02 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2023/038529
- (22) 国際出願日: 2023年10月25日(25.10.2023)
- (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 2022-187736 2022年11月24日(24.11.2022) JP
- (71) 出願人: 住友重機械工業株式会社 (SUMITOMO HEAVY INDUSTRIES, LTD.) [JP/JP]; 〒1416025 東京都品川区大崎二丁目1番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 篠野 和俊 (SASANO Kadutoshi); 〒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); 〒1530061 東京都目黒区中目黒1-8-1 VORT中目黒13階 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, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, 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, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, 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,

(54) Title: JOULE-THOMSON REFRIGERATOR

(54) 発明の名称: ジュール・トムソン冷凍機



(57) Abstract: A JT refrigerator (18) comprises: a pre-cooling refrigerator (20) provided with a second pre-cooling stage (27); a refrigerant circuit (40) comprising a second heat exchanger (42b) and a second refrigerant pipe (44b) which extends from the second heat exchanger (42b) and which is cooled by the second pre-cooling stage (27); and a first heat conduction path (48a) which is provided separately from the second refrigerant pipe (44b) and which connects the second pre-cooling stage (27) to the second heat exchanger (42b) to enable conduction cooling of the second heat exchanger (42b) by the second pre-cooling stage (27).

(57) 要約: JT 冷凍機 (18) は、第2予冷ステージ (27) を備える予冷冷凍機 (20) と、第2熱交換器 (42b) と、第2熱交換器 (42b) から延び、第2予冷ステージ (27) によって冷却される第2冷媒配管 (44b) と、を備える冷媒回路 (40) と、第2冷媒配管 (44b) とは別個に設けられ、第2予冷ステージ (27) による第2熱交換器 (42b) の伝導冷却を可能にするように第2予冷ステージ (27) を第2熱交換器 (42b) に接続する第1熱伝導経路 (48a) と、を備える。

DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS,  
IT, LT, LU, LV, MC, ME, 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)）

## 明 細 書

発明の名称：ジュール・トムソン冷凍機

### 技術分野

[0001] 本発明は、ジュール・トムソン（Joule-Thomson；JT）冷凍機に関する。

### 背景技術

[0002] 従来、JT膨張を利用した冷媒ガスの冷却を可能にするJT弁と、JT弁に供給される冷媒ガスを予冷する例えばギフォード・マクマホン（Gifford-McMahon；GM）冷凍機などの予冷冷凍機とを備えるJT冷凍機が知られている。JT弁でのJT膨張による冷媒ガスの冷却には、JT係数がゼロとなる逆転温度以下の温度に冷媒ガスがあらかじめ冷却されている必要がある。

### 先行技術文献

#### 特許文献

[0003] 特許文献1：特開2003-214719号公報

### 発明の概要

#### 発明が解決しようとする課題

[0004] JT冷凍機の始動に際して、環境温度（例えば300K程度の常温）から目的の極低温までJT冷凍機を冷却する、いわゆるクールダウンが行われる。JT弁に供給される冷媒ガスは、クールダウンによって環境温度から逆転温度以下の温度に冷却される。クールダウンは、JT冷凍機によって所望の被冷却物を極低温冷却するための準備にすぎないから、その所要時間はなるべく短いことが望まれる。

[0005] 本発明のある態様の例示的な目的のひとつは、JT冷凍機のクールダウン時間を短くすることにある。

#### 課題を解決するための手段

[0006] 本発明のある態様によると、JT冷凍機は、予冷ステージを備える予冷冷凍機と、熱交換器と、熱交換器から延び、予冷ステージによって冷却される冷媒配管と、を備える冷媒回路と、冷媒配管とは別個に設けられ、予冷ステ

ージによる熱交換器の伝導冷却を可能にするように予冷ステージを熱交換器に接続する熱伝導経路と、を備える。

### 発明の効果

[0007] 本発明によれば、J T冷凍機のクールダウン時間を短くすることができる。

### 図面の簡単な説明

[0008] [図1]実施の形態に係る極低温冷却装置を概略的に示す図である。

[図2]実施の形態に係る熱伝導経路の例示的な構成を概略的に示す図である。

[図3]実施の形態に係る熱伝導経路の変形例を概略的に示す図である。

### 発明を実施するための形態

[0009] 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。

[0010] 図1は、実施の形態に係る極低温冷却装置10を概略的に示す図である。極低温冷却装置10は、真空容器12と、輻射シールド14と、被冷却物16を冷却するためのJ T冷凍機18とを備える。

[0011] 真空容器12は、例えばクライオスタットであってもよく、内部に極低温真空環境を提供するように構成される。真空容器12は、周囲圧力（たとえば大気圧）に耐えるように、例えばステンレス鋼などの金属材料またはその他の適する高強度材料で形成される。真空容器12内には、輻射シールド14、J T冷凍機18の低温部、および被冷却物16が配置される。

[0012] 輻射シールド14は、真空容器12内でJ T冷凍機18の低温部および被冷却物16を囲むように配置されており、真空容器12からJ T冷凍機18および被冷却物16への輻射熱の侵入を抑制する。輻射シールド14は、銅

(例えば純銅) などの高熱伝導金属材料で形成される。真空容器 12 と輻射シールド 14 の間には多層断熱材などの断熱材が配置されていてもよい。

[0013] 被冷却物 16 は、例えば、超伝導コイルなどの超伝導機器、または極低温下でより良好に動作する測定機器、またはその他の極低温下で使用される機器であってもよい。あるいは、被冷却物 16 は、例えば液体ヘリウムなどの極低温流体であってもよく、JT 冷凍機 18 は、気化した極低温流体の再凝縮に使用されてもよい。

[0014] JT 冷凍機 18 は、予冷冷凍機 20 と、JT 弁 30 および最終熱交換器 32 を含む冷媒回路 40 とを備える。冷媒回路 40 を流れる冷媒は、予冷冷凍機 20 によって予冷され、JT 弁 30 での JT 膨張によりさらに冷却され、最終熱交換器 32 に供給される。被冷却物 16 は、最終熱交換器 32 との熱交換により冷却される。冷却後の冷媒は最終熱交換器 32 から回収され後述の圧縮機により昇圧され、再び予冷冷凍機 20 によって予冷され JT 弁 30 に供給される。このようにして、冷媒は冷媒回路 40 を循環する。JT 冷凍機 18 は、最終熱交換器 32 を例えば 4 K 程度またはそれ未満 (例えば 1 K ~ 4 K) の温度域に冷却可能であり、よって被冷却物 16 を当該温度域に冷却することができる。

[0015] 予冷冷凍機 20 は、一例として、二段式の GM 冷凍機である。予冷冷凍機 20 は、第 1 圧縮機 21 と、コールドヘッドとも呼ばれる膨張機 22 とを備える。膨張機 22 は、駆動部 23、第 1 シリンダ 24、第 1 予冷ステージ 25、第 2 シリンダ 26、および第 2 予冷ステージ 27 を備える。第 1 圧縮機 21 は、周囲環境 (例えば室温大気圧環境) に、すなわち真空容器 12 の外に配置される。膨張機 22 は、駆動部 23 が真空容器 12 の外に配置され、シリンダおよび予冷ステージが真空容器 12 の中に配置されるようにして真空容器 12 に設置されている。

[0016] 第 1 シリンダ 24 は第 1 予冷ステージ 25 を駆動部 23 に接続し、それにより第 1 予冷ステージ 25 は駆動部 23 に構造的に支持される。第 2 シリンダ 26 は第 2 予冷ステージ 27 を第 1 予冷ステージ 25 に接続し、それによ

り第2予冷ステージ27は第1予冷ステージ25に構造的に支持される。第1シリンダ24と第2シリンダ26は同軸に延在しており、駆動部23、第1シリンダ24、第1予冷ステージ25、第2シリンダ26、及び第2予冷ステージ27は、この順に直線状に一直列に並ぶ。典型的に、第1予冷ステージ25と第2予冷ステージ27は銅（例えば純銅）などの高熱伝導金属材料で形成され、第1シリンダ24と第2シリンダ26は例えばステンレス鋼など他の金属材料で形成される。

[0017] 第1シリンダ24及び第2シリンダ26それぞれの内部には第1ディスプレイサ及び第2ディスプレイサ（図示せず）が往復動可能に配設されている。第1ディスプレイサ及び第2ディスプレイサにはそれぞれ第1蓄冷器及び第2蓄冷器（図示せず）が組み込まれている。また、駆動部23は、第1ディスプレイサ及び第2ディスプレイサを往復動させるためのモータなど駆動機構（図示せず）を有する。駆動機構は、膨張機22の内部への冷媒ガスの供給と排出を周期的に繰り返すよう冷媒ガスの流路を切り替える流路切替機構を含む。予冷冷凍機20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。

[0018] 第1圧縮機21は、冷媒ガスを膨張機22から回収し、回収した冷媒ガスを昇圧して、再び冷媒ガスを膨張機22に供給するよう構成されている。第1圧縮機21と膨張機22との間の冷媒ガスの循環が膨張機22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、寒冷を発生する熱力学的サイクル（例えばGMサイクル）が構成され、膨張機22は極低温冷却を提供することができる。

[0019] 第1予冷ステージ25は第1冷却温度に冷却され、第2予冷ステージ27は第1冷却温度よりも低温の第2冷却温度に冷却される。第1冷却温度は、例えば、50K以上150K以下の温度範囲から選択されてもよい。第2冷却温度は、例えば、10K以上25K以下の温度範囲から選択されてもよい。

[0020] 輻射シールド14は、第1予冷ステージ25と物理的に接触して熱的に結

合し、または伝熱部材を介して第1予冷ステージ25と熱的に結合している。したがって、輻射シールド14は、第1予冷ステージ25によって第1冷却温度に冷却される。

[0021] 冷媒回路40は、JT弁30と最終熱交換器32に加えて、第2圧縮機41と、熱交換器群42と、これら構成要素を接続する冷媒供給ライン44および冷媒回収ライン46とを備える。冷媒回路40を循環する冷媒ガスは、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。なお、冷媒回路40は、ここで述べる具体的な構成には限られず、種々の典型的な構成を適宜採用することができる。

[0022] 第2圧縮機41は、冷媒回収ライン46から回収される冷媒ガスを昇圧して冷媒供給ライン44に送出するよう構成されている。理解のために、冷媒の流れる方向を図1に矢印で示す。第2圧縮機41は、冷媒回路40において冷媒を循環させる冷媒源として働く。第2圧縮機41は、真空容器12の外に配置されている。

[0023] 冷媒回路40において熱交換器群42は、第2圧縮機41と最終熱交換器32の間に配置されている。熱交換器群42は、一連の対向流熱交換器(42a~42c)からなり、この実施の形態では、第1熱交換器42a、第2熱交換器42b、および第3熱交換器42cの三段構成を有する。第1熱交換器42aは、真空容器12と輻射シールド14の間、すなわち、真空容器12の内側で輻射シールド14の外側のスペースに配置されている。第2熱交換器42b、第3熱交換器42c、最終熱交換器32は、輻射シールド14の内側に配置されている。

[0024] 第1熱交換器42aは、真空容器12の外から真空容器12内に流入する高温(例えば常温、例えば約300K)の冷媒ガスを冷却する。第2熱交換器42bは、第1熱交換器42aおよび第1予冷ステージ25により冷却された冷媒をさらに冷却する。第3熱交換器42cは、第2熱交換器42bおよび第2予冷ステージ27により冷却された冷媒をさらに冷却する。

[0025] 冷媒供給ライン44は、第2圧縮機41の吐出側を最終熱交換器32の冷

媒入口に接続し、冷媒回収ライン46は、最終熱交換器32の冷媒出口を第2圧縮機41の吸入側に接続する。冷媒供給ライン44が、第1熱交換器42a、第2熱交換器42b、および第3熱交換器42cそれぞれの高圧側流路を有し、冷媒回収ライン46が、第1熱交換器42a、第2熱交換器42b、および第3熱交換器42cそれぞれの低圧側流路を有する。各熱交換器において高圧側流路と低圧側流路との熱交換により、高圧側流路を流れる冷媒を冷却することができる。高圧側流路、低圧側流路はそれぞれ、高温側流路、低温側流路と呼ぶこともできる。

[0026] また、冷媒供給ライン44は、第1冷媒配管44aと第2冷媒配管44bを含む。これら冷媒配管は、例えば、銅（例えば純銅）などの高熱伝導金属材料で形成される。

[0027] 第1冷媒配管44aは、第1熱交換器42aから第1予冷ステージ25を経由して第2熱交換器42bへと延びる。第1冷媒配管44aは、第1熱交換器42aの高圧側流路を第2熱交換器42bの高圧側流路に接続する。第1冷媒配管44aは、第1予冷ステージ25に熱的に結合されており、第1冷媒配管44aを流れる冷媒は、第1予冷ステージ25により冷却される。第1冷媒配管44aは、第1予冷ステージ25の外周面に巻き付けられた状態で第1予冷ステージ25に固着されていてもよい。

[0028] 第2冷媒配管44bは、第2熱交換器42bから第2予冷ステージ27を経由して第3熱交換器42cへと延びる。第2冷媒配管44bは、第2熱交換器42bの高圧側流路を第3熱交換器42cの高圧側流路に接続する。第2冷媒配管44bは、第2予冷ステージ27に熱的に結合されており、第2冷媒配管44bを流れる冷媒は、第2予冷ステージ27により冷却される。第2冷媒配管44bは、第2予冷ステージ27の外周面に巻き付けられた状態で第2予冷ステージ27に固着されていてもよい。

[0029] JT弁30は、冷媒供給ライン44において熱交換器群42の最後の熱交換器（本例では第3熱交換器42c）と最終熱交換器32との間に配置されている。第3熱交換器42cの高圧側流路がJT弁30を介して最終熱交換

器 3 2 の冷媒入口に接続される。J T 弁 3 0 は、この実施の形態では、固定オリフィスである。しかしながら、J T 弁 3 0 は、開度を調整可能な可変オリフィスであってもよい。

[0030] J T 冷凍機 1 8 の定常運転では、以下のように冷媒回路 4 0 を冷媒が流れる。第 2 圧縮機 4 1 で圧縮された高圧冷媒は、最初に第 1 熱交換器 4 2 a の高圧側流路に供給される。第 1 熱交換器 4 2 a の高圧側流路を流れる高圧冷媒は、第 1 熱交換器 4 2 a の低圧側流路を流れる戻りの低圧冷媒と熱交換して冷却される。第 1 熱交換器 4 2 a で冷却された高圧冷媒は第 1 冷媒配管 4 4 a に流入する。

[0031] 第 1 冷媒配管 4 4 a を流れる高圧冷媒は予冷冷凍機 2 0 の第 1 予冷ステージ 2 5 によって冷却され、第 2 熱交換器 4 2 b の高圧側流路へ送り込まれる。第 2 熱交換器 4 2 b の高圧側流路を流れる高圧冷媒は、第 2 熱交換器 4 2 b の低圧側流路を流れる戻りの低圧冷媒と熱交換して冷却される。第 2 熱交換器 4 2 b で冷却された高圧冷媒は第 2 冷媒配管 4 4 b に流入する。

[0032] 第 2 冷媒配管 4 4 b を流れる高圧冷媒は予冷冷凍機 2 0 の第 2 予冷ステージ 2 7 によって冷却され、第 3 熱交換器 4 2 c の高圧側流路へ送り込まれる。第 3 熱交換器 4 2 c の高圧側流路を流れる高圧冷媒は、第 3 熱交換器 4 2 c の低圧側流路を流れる戻りの低圧冷媒と熱交換して冷却される。こうして、高圧冷媒は、J T 効果が期待される温度（すなわち逆転温度以下の温度）まで冷却され、J T 弁 3 0 へと送られる。

[0033] この冷却された高圧冷媒は、J T 弁 3 0 を通過するとき、ジュール・トムソン効果によりミスト状の気液混合状態の低圧冷媒となり、液化冷媒の温度域での冷却能力を発生させる。ミスト状低圧冷媒は最終熱交換器 3 2 に送られる。上述のように冷媒がヘリウムである場合、最終熱交換器 3 2 を液体ヘリウム温度域に冷却することができる。最終熱交換器 3 2 は、被冷却物 1 6 との熱交換により被冷却物 1 6 を当該温度に冷却できる。

[0034] 最終熱交換器 3 2 を冷却する際にミスト状低圧冷媒は蒸発し再び気化する。J T 弁 3 0 において未液化の冷媒および蒸発により気化した冷媒は、第 3

熱交換器 4 2 c の低圧側流路に戻される。低圧冷媒は、冷媒回収ライン 4 6 を、第 3 熱交換器 4 2 c、第 2 熱交換器 4 2 b、第 1 熱交換器 4 2 a の順に流れる。このとき低圧冷媒は上述のように、各熱交換器（4 2 c、4 2 b、4 2 a）にて高圧冷媒を冷却しながら昇温される。こうして常温に戻った低圧冷媒は真空容器 1 2 を出て第 2 圧縮機 4 1 に回収され、再び圧縮される。

[0035] このようにして、極低温冷却装置 1 0 は、予冷冷凍機 2 0 の第 2 冷却温度よりも低い温度、例えば 4 K 程度またはそれ未満（例えば 1 K ~ 4 K）の所望の温度に被冷却物 1 6 を冷却することができる。

[0036] ところで、J T 冷凍機 1 8 を始動する際、J T 冷凍機 1 8 は、環境温度（例えば 3 0 0 K 程度の常温）から目的の極低温（例えば 4 K 未満の最低到達温度）まで冷却される。この初期冷却は、クールダウンとも呼ばれる。J T 弁 3 0 に供給される冷媒ガスは、クールダウンによって環境温度から逆転温度以下の温度に冷却される。クールダウンは、J T 冷凍機 1 8 によって被冷却物 1 6 を極低温冷却するための準備にすぎないから、その所要時間はなるべく短いことが望まれる。

[0037] J T 弁 3 0 は極低温下で最適な J T 流量を実現するように設計されている。そのため、冷媒ガス温度が高いクールダウン初期に J T 弁 3 0 を通過できる冷媒ガス流量は、相当に小さくなりうる。これはクールダウンにかかる時間を顕著に増加させうる。

[0038] J T 弁 3 0 が可変オリフィスである場合には、クールダウン開始時に J T 弁 3 0 を極低温下での最適開度に比べて大きく開放して大流量を確保し、その後冷却が進むにつれて J T 弁 3 0 の開度を小さくすることによって、クールダウン時間を短縮しうる。しかし、この対策には手間がかかる。例えば、サービスマンによる J T 弁 3 0 の適切な開度調整作業が必要となり得る。また、J T 弁 3 0 が固定オリフィスである場合には、この対策は採用し得ない（その結果、可変オリフィスの場合に比べて、J T 冷凍機 1 8 を最低到達温度（例えば約 4 K）まで冷却するのに二倍以上の時間が必要となりうる）。

[0039] 既存設計の J T 冷凍機では一般に、通常運転中に予冷冷凍機から J T 冷媒

回路への侵入熱を避けるために、予冷冷凍機とJT冷媒回路の熱交換器とが互いに熱接続しないように配置されている。予冷冷凍機の予冷ステージは例えば繊維強化プラスチックなどの断熱材料で周囲構造に支持されており、予冷ステージから熱交換器への熱伝導経路は実質的に存在しない。

[0040] この実施の形態は、予冷冷凍機20を利用してクールダウンの所要時間を短縮することを志向する。JT冷凍機18は、予冷冷凍機20による熱交換器群42のうち少なくとも1つの熱交換器の伝導冷却を可能にするように、予冷冷凍機20のうち少なくとも1つの予冷ステージと少なくとも1つの熱交換器に接続する熱伝導経路48を備える。熱伝導経路48は、第2予冷ステージ27による第2熱交換器42bと第3熱交換器42cの少なくとも一方の伝導冷却を可能にするように、第2予冷ステージ27を第2熱交換器42bと第3熱交換器42cの少なくとも一方に接続してもよい。

[0041] 例えば、JT冷凍機18は、第2予冷ステージ27による第2熱交換器42bの伝導冷却を可能にするように、第2予冷ステージ27を第2熱交換器42bに接続する第1熱伝導経路48aを備えてもよい。これとともに、またはこれに代えて、JT冷凍機18は、第2予冷ステージ27による第3熱交換器42cの伝導冷却を可能にするように、第2予冷ステージ27を第3熱交換器42cに接続する第2熱伝導経路48bとを備えてもよい。

[0042] クールダウンが完了してJT冷凍機18の通常運転が行われている状態において熱負荷がJT冷凍機18の高温部から低温部にもたらされるのを避けるために、熱伝導経路48は、その両端の温度差がJT冷凍機18の通常運転中においてなるべく小さくなるように設置される。熱伝導経路48は、JT冷凍機18の通常運転中に熱伝導経路48の両端の温度差が例えば、5K未満、または3K未満となるように、設置されてもよい。

[0043] 一例として、図1に示されるように、第1熱伝導経路48aは、第2熱交換器42bの低温側に接続されてもよい。例示的なJT冷凍機18では、第2熱交換器42bの低温側と予冷冷凍機20の第2予冷ステージ27は、JT冷凍機18の通常運転中に同程度の温度（例えば12K程度）となるもの

と期待される。

- [0044] 一方、第2熱交換器42bの高温側は、予冷冷凍機20の第1予冷ステージ25と同程度の温度と想定される。仮に、第1熱伝導経路48aが第2熱交換器42bの高温側と予冷冷凍機20の第2予冷ステージ27を接続したとすると、JT冷凍機18の通常運転中、第1予冷ステージ25と第2予冷ステージ27の温度差に相当する温度差が第1熱伝導経路48aの両端に発生し、第2予冷ステージ27への熱負荷が大きくなり、JT冷凍機18の冷凍性能に望ましくない影響を与えうる。
- [0045] 同様の理由から、図1に示されるように、第2熱伝導経路48bは、第3熱交換器42cの低温側に接続されてもよい。それに代えて、またはそれとともに、第2熱伝導経路48bは、第3熱交換器42cの高温側に接続されてもよい。
- [0046] 冷媒回路40を構成する冷媒配管（例えば、第1冷媒配管44a、または第2冷媒配管44b）は、予冷ステージと熱交換器を構造上接続するが、管軸方向に垂直な断面積がかなり小さいため、クールダウンの時間短縮を可能にするほど十分な熱伝導を実現することはできない。
- [0047] そこで、熱伝導経路48は、冷媒回路40を構成する冷媒配管とは別個に設けられる。すなわち、第1熱伝導経路48aは、第2冷媒配管44bとは別個に設けられ、第2予冷ステージ27と第2熱交換器42bを互いに熱的に結合する。第2熱伝導経路48bは、第2冷媒配管44bとは別個に設けられ、第2予冷ステージ27と第3熱交換器42cを互いに熱的に結合する。
- [0048] 熱伝導経路48は、1つ又は複数の熱伝導部材で形成される。こうした熱伝導部材は、例えば、銅（例えば、純銅または銅合金）またはアルミニウム（例えば、純アルミニウム、またはアルミニウム合金）など熱伝導率の高い金属材料、またはその他の高熱伝導材料で形成される。熱伝導部材は、例えば、ステンレス鋼（例えばSUS304）よりも高い熱伝導率を有する材料で形成されてもよい。

- [0049] 図2は、実施の形態に係る熱伝導経路の例示的な構成を概略的に示す図である。図示されるように、第1熱伝導経路48aは、熱伝導部材の一例としてのステージ延長部品50および熱伝導プレート52を有する。
- [0050] ステージ延長部品50は、高熱伝導材料（例えば純銅）で形成された筒状（例えば円筒状）の熱伝導部材であり、その一端で第2予冷ステージ27に熱的に結合され、他端で熱伝導プレート52に熱的に結合される。例えば、ステージ延長部品50の一端に形成されたフランジがボルトなどの締結部材により第2予冷ステージ27に固定され、ステージ延長部品50の他端に形成されたフランジが熱伝導プレート52に固定されてもよい。
- [0051] 熱伝導プレート52は、高熱伝導材料（例えばアルミニウム合金）で形成された平板状の熱伝導部材であり、ステージ延長部品50と第2熱交換器42bの低温端とが熱伝導プレート52により熱的に結合される。ステージ延長部品50と第2熱交換器42bは、熱伝導プレート52に対して同じ側に配置され、熱伝導プレート52の同じ面に固定されてもよい。
- [0052] 第2熱交換器42bは、筒状の筐体をもつ典型的な構成を有してもよい。第2熱交換器42bは、この筐体の内部に同軸配置されたマンドレルと、マンドレル外周面に巻き回されマンドレルと筐体間の筒状空洞に配置された配管とを備えてもよい。この配管が第2熱交換器42bの高圧側流路として用いられ、筒状空洞が第2熱交換器42bの低圧側流路として用いられてもよい。
- [0053] 第2熱交換器42bの筐体の低温側の端板には、図示されるように、第2冷媒配管44bと、冷媒回収ライン46とが貫通している。図1を参照して説明したように、第2冷媒配管44bは、第2熱交換器42bの高圧側流路に接続され、冷媒回収ライン46は、第2熱交換器42bの低圧側流路に接続される。また、第2冷媒配管44bは、第2予冷ステージ27との熱交換を可能とするように、第2予冷ステージ27に巻き回されて取り付けられている。
- [0054] 図2には示されていないが、同様に第3熱交換器42cも熱伝導プレ

ート52およびステージ延長部品50を介して第2予冷ステージ27に熱的に結合されてもよい。第3熱交換器42cも第2熱交換器42bと同様に筒状の外形を有し、その低温端が熱伝導プレート52に固定されてもよい。例示的な配置として、第3熱交換器42cは、第2熱交換器42bと平行に並んで、図2の紙面に対して第2熱交換器42bの手前側または奥側に配置されてもよい。

[0055] 説明したように、実施の形態によると、第2熱交換器42bと第3熱交換器42cが熱伝導経路48によって予冷冷凍機20の第2予冷ステージ27に接続される。クールダウン中、冷媒回路40を循環する冷媒ガスに加えて、熱伝導経路48を介した伝導冷却を使用して、JT冷凍機18の熱交換器群42の冷却を促進できる。よって、JT冷凍機18のクールダウン時間を短縮することができる。

[0056] 本発明者の検証によると、熱伝導経路48が設けられていない既存設計ではクールダウンに約24時間を要するのに対して、熱伝導経路48が設けられた実施の形態では約12時間でクールダウンを完了することが可能になる。

[0057] 図3は、実施の形態に係る熱伝導経路の変形例を概略的に示す図である。図示されるように、第3熱交換器42cは、第2熱伝導経路48bにより第2予冷ステージ27に熱的に結合されてもよい。ただし、第2熱伝導経路48bは、熱伝導部材（例えばステージ延長部品50および熱伝導プレート52）に加えて、熱抵抗要素60を含んでもよい。第2熱伝導経路48bは、熱抵抗要素60を介して第2予冷ステージ27を第3熱交換器42cに接続してもよい。

[0058] 熱抵抗要素60は、熱伝導部材よりも熱伝導率の小さい金属材料またはその他の材料で形成されたスペーサーであってもよく、第3熱交換器42cは、その低温端と熱伝導プレート52との間に熱抵抗要素60を挟み込むようにして熱伝導プレート52に固定されてもよい。例えば熱伝導部材が上述のように銅またはアルミニウムで形成される場合、熱抵抗要素60は、ステン

レス鋼（例えばSUS304）で形成されてもよい。

- [0059] 第3熱交換器42cの筐体の低温側の端板には、図示されるように、冷媒供給ライン44と冷媒回収ライン46が接続されている。図1を参照して説明したように、冷媒供給ライン44は、第3熱交換器42cの高圧側流路に接続され、冷媒回収ライン46は、第3熱交換器42cの低压側流路に接続される。また、冷媒供給ライン44は、JT弁30に接続されている。
- [0060] このようにしても、クールダウン中には第2予冷ステージ27から第2熱伝導経路48bを介した伝導冷却によって第3熱交換器42cの冷却を促進し、JT冷凍機18のクールダウン時間を短縮することができる。
- [0061] 一方、JT冷凍機18の通常運転中には、第3熱交換器42cの低温端と第2予冷ステージ27との間にある程度の温度差が生じうる。例えば、第3熱交換器42cの低温端が約5Kに冷却される一方で、第2予冷ステージ27は上述のように約12Kに冷却されうる。このとき、第2予冷ステージ27は、第3熱交換器42cに対して熱源となり、第2予冷ステージ27から第2熱伝導経路48bを介して第3熱交換器42cに入る熱は、JT冷凍機18の冷凍性能を低下させうる。
- [0062] しかしながら、この実施の形態では第2熱伝導経路48bには熱抵抗要素60が設けられているので、JT冷凍機18の通常運転中に生じうる第2熱伝導経路48bを介した第3熱交換器42cへの入熱を制限することができる。したがって、上述の問題を軽減または防止することができる。
- [0063] なお、必要とされる場合には、第1熱伝導経路48aに熱抵抗要素60が設けられてもよい。第1熱伝導経路48aは、熱抵抗要素60を介して第2予冷ステージ27を第2熱交換器42bに接続してもよい。
- [0064] 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ことである。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。

[0065] 予冷冷凍機 20 は、GM 冷凍機には限られない。予冷冷凍機 20 は、パルス管冷凍機、スターリング冷凍機など、他の形式の極低温冷凍機であってもよい。

[0066] 上述の実施の形態では、熱交換器群 42 が第 1 から第 3 の熱交換器を有する場合を例として説明しているが、熱交換器群 42 は、その他の多段構成を有してもよい。例えば、JT 冷凍機 18 は、例えば第 3 熱交換器 42c と最終熱交換器 32 との間に追加の熱交換器（つまり第 4 熱交換器）を有してもよい。

[0067] 上述の JT 弁 30 は、冷媒供給ライン 44 において熱交換器群 42 の最後の熱交換器（すなわち第 4 熱交換器）と最終熱交換器 32 との間に配置されてもよい。あるいは、JT 冷凍機 18 は、二段階の JT 膨張方式を採用してもよく、第 1 の JT 弁が冷媒供給ライン 44 において第 3 熱交換器 42c と第 4 熱交換器との間に配置され、第 2 の JT 弁が冷媒供給ライン 44 において第 4 熱交換器と最終熱交換器 32 との間に配置されてもよい。

[0068] JT 冷凍機 18 は、第 2 予冷ステージ 27 による第 4 熱交換器の伝導冷却を可能にするように、第 2 予冷ステージ 27 を第 4 熱交換器に接続する第 3 熱伝導経路を備えてもよい。第 3 熱伝導経路もまた、第 1 熱伝導経路 48a および第 2 熱伝導経路 48b と同様に、ステージ延長部品 50 および熱伝導プレート 52 であってもよい。つまり、第 4 熱交換器は、熱伝導プレート 52 およびステージ延長部品 50 を介して第 2 予冷ステージ 27 に熱的に結合されてもよい。

[0069] 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

[0070] 本発明は、ジュール・トムソン冷凍機分野における利用が可能である。

## 符号の説明

[0071] 10 極低温冷却装置、 18 JT冷凍機、 20 予冷冷凍機、 25 第1予冷ステージ、 27 第2予冷ステージ、 30 JT弁、 32 最終熱交換器、 40 冷媒回路、 42 熱交換器群、 42a 第1熱交換器、 42b 第2熱交換器、 42c 第3熱交換器、 44a 第1冷媒配管、 44b 第2冷媒配管、 48 熱伝導経路、 48a 第1熱伝導経路、 48b 第2熱伝導経路、 50 ステージ延長部品、 52 熱伝導プレート、 60 熱抵抗要素。

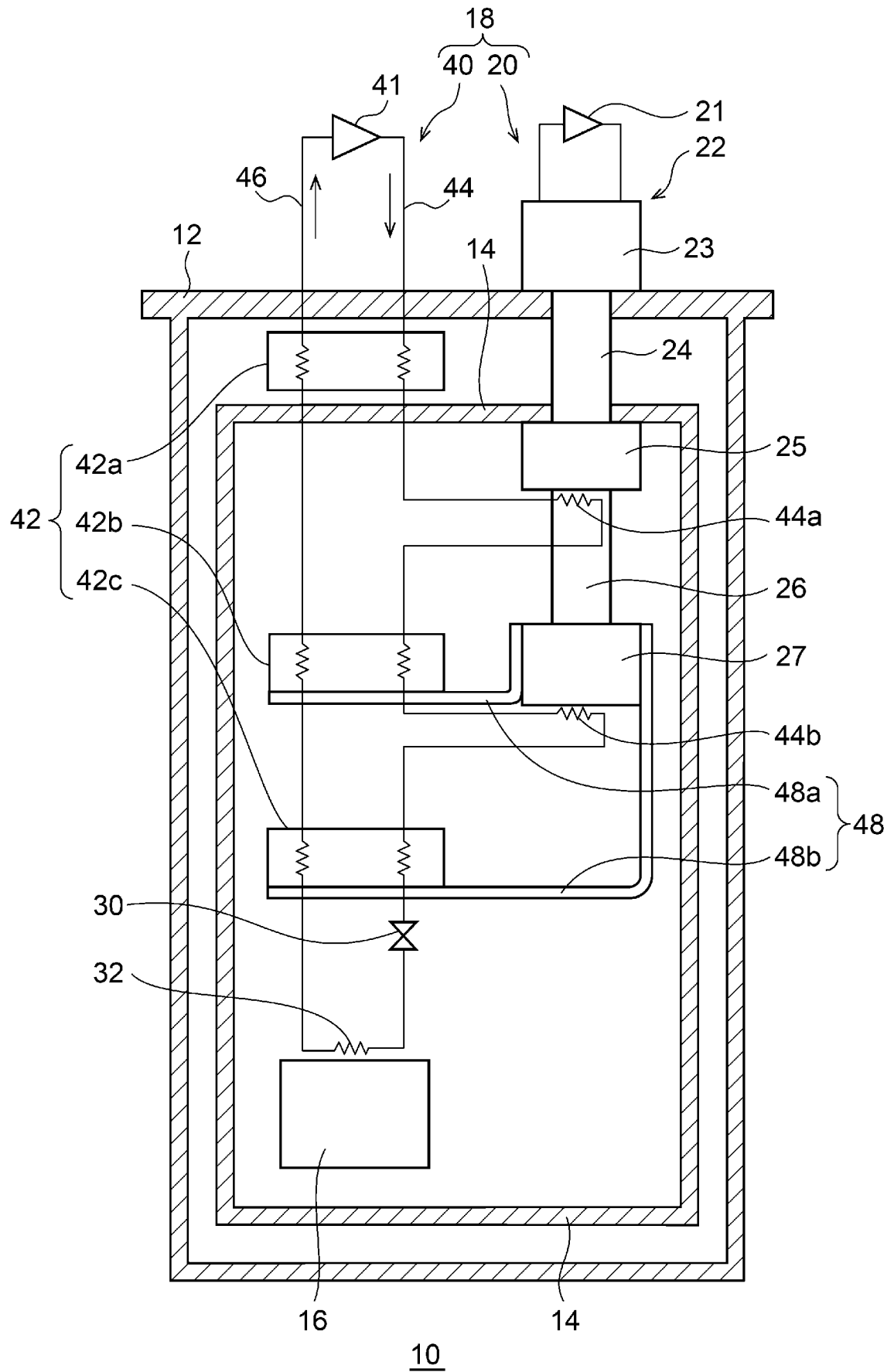
## 請求の範囲

- [請求項1] 予冷ステージを備える予冷冷凍機と、  
熱交換器と、前記熱交換器から延び、前記予冷ステージによって冷却される冷媒配管と、を備える冷媒回路と、  
前記冷媒配管とは別個に設けられ、前記予冷ステージによる前記熱交換器の伝導冷却を可能にするように前記予冷ステージを前記熱交換器に接続する熱伝導経路と、を備えることを特徴とするジュール・トムソン冷凍機。
- [請求項2] 前記予冷冷凍機は、前記予冷ステージから延在するシリンダを備え、  
前記熱伝導経路は、  
前記予冷ステージに熱的に結合され、前記予冷ステージから前記シリンダとは反対側に延在する第1熱伝導部材と、  
前記熱交換器に前記第1熱伝導部材を熱的に結合する第2熱伝導部材と、を備えることを特徴とする請求項1に記載のジュール・トムソン冷凍機。
- [請求項3] 前記予冷冷凍機は、第1予冷ステージと、前記第1予冷ステージよりも低温に冷却される第2予冷ステージと、を備え、  
前記冷媒回路は、第1熱交換器と、前記第1熱交換器によって冷却された冷媒をさらに冷却する第2熱交換器と、前記第2熱交換器によって冷却された冷媒をさらに冷却する第3熱交換器と、を備え、前記冷媒配管は、前記第2熱交換器から前記第2予冷ステージを經由して前記第3熱交換器へと延び、  
前記熱伝導経路は、前記第2予冷ステージによる前記第2熱交換器と前記第3熱交換器の少なくとも一方の伝導冷却を可能にするように、前記第2予冷ステージを前記第2熱交換器と前記第3熱交換器の前記少なくとも一方に接続することを特徴とする請求項1に記載のジュール・トムソン冷凍機。

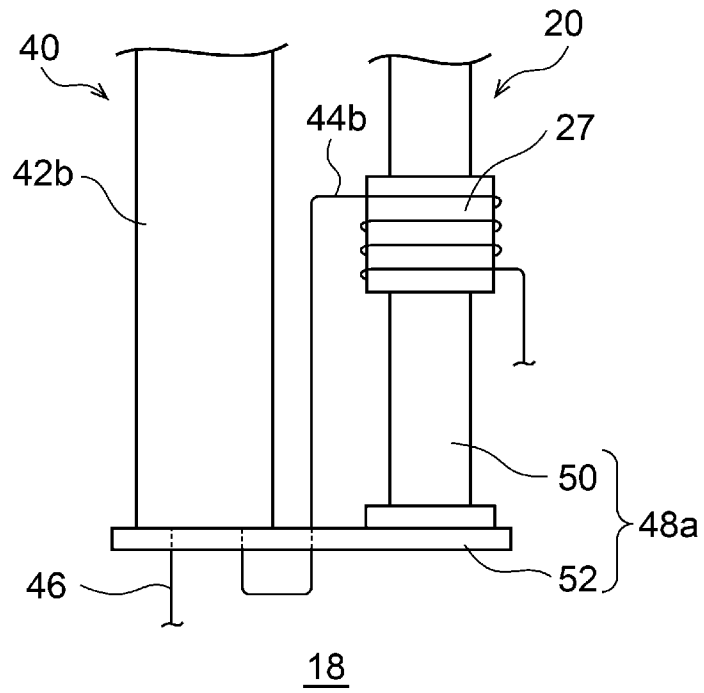
- [請求項4] 前記熱伝導経路は、前記第2予冷ステージによる前記第2熱交換器の伝導冷却を可能にするように、前記第2予冷ステージを前記第2熱交換器に接続することを特徴とする請求項3に記載のジュール・トムソン冷凍機。
- [請求項5] 前記予冷冷凍機は、前記第2予冷ステージを前記第1予冷ステージに接続するシリンダを備え、  
前記熱伝導経路は、  
前記予冷ステージに熱的に結合され、前記予冷ステージから前記シリンダとは反対側に延在するステージ延長部品と、  
前記第2熱交換器と前記第3熱交換器の前記少なくとも一方に前記ステージ延長部品を熱的に結合する熱伝導プレートと、を備えることを特徴とする請求項3に記載のジュール・トムソン冷凍機。
- [請求項6] 前記第2熱交換器と前記第3熱交換器の前記少なくとも一方と前記ステージ延長部品は、前記熱伝導プレートに対して同じ側に配置されていることを特徴とする請求項5に記載のジュール・トムソン冷凍機。
- [請求項7] 前記熱伝導経路は、熱抵抗要素を含むことを特徴とする請求項1に記載のジュール・トムソン冷凍機。
- [請求項8] 前記熱伝導経路は、前記熱交換器と第2熱伝導部材との間に熱抵抗要素を備え、  
前記熱抵抗要素の熱伝導率は、前記第2熱伝導部材の熱伝導率よりも小さいことを特徴とする請求項2に記載のジュール・トムソン冷凍機。
- [請求項9] 前記熱伝導経路は、熱抵抗要素を介して前記第2予冷ステージを前記第3熱交換器に接続することを特徴とする請求項3または4に記載のジュール・トムソン冷凍機。
- [請求項10] 前記熱伝導経路は、前記第3熱交換器と前記熱伝導プレートとの間に熱抵抗要素を備え、

前記熱抵抗要素の熱伝導率は、前記熱伝導プレートの熱伝導率よりも小さいことを特徴とする請求項5または6に記載のジュール・トムソン冷凍機。

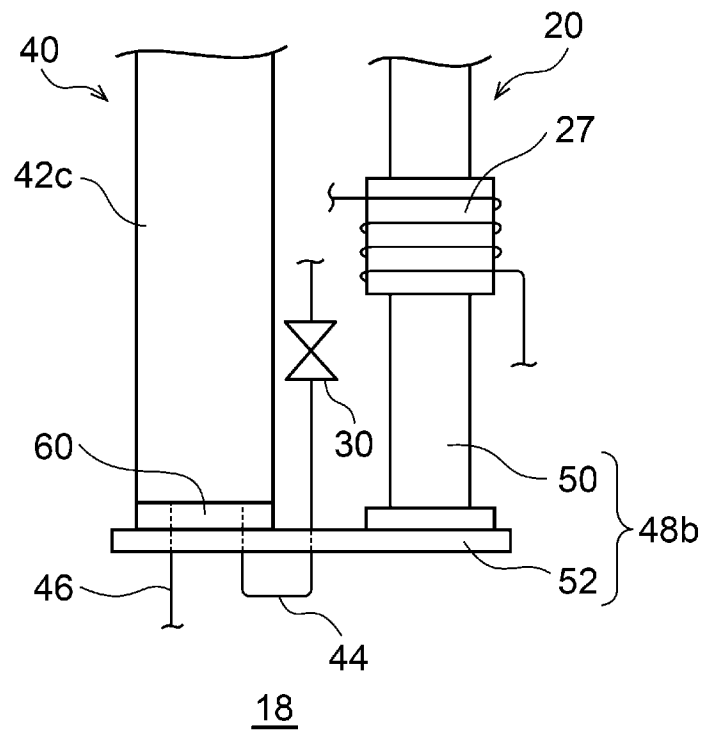
[図1]



[図2]



[図3]



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

**PCT/JP2023/038529**

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b>		
<i>F25B 9/02</i> (2006.01) FI: F25B9/02 C		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b>		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) F25B9/02		
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 1971-2023 Registered utility model specifications of Japan 1996-2023 Published registered utility model applications of Japan 1994-2023		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 2006-125772 A (CHUBU ELECTRIC POWER CO INC) 18 May 2006 (2006-05-18) paragraphs [0036]-[0039], [0053]-[0054], fig. 1	1-4, 7-9 5-6, 10
Y A	JP 2020-3098 A (ULVAC CORP) 09 January 2020 (2020-01-09) paragraphs [0014]-[0025], fig. 1, 4	1-4, 7-9 5-6, 10
Y A	US 4265220 A (MCALISTER, Roy E.) 05 May 1981 (1981-05-05) column 7, lines 29-32	7-9
A	JP 5-71817 A (NEC CORP) 23 March 1993 (1993-03-23) paragraphs [0004]-[0007], fig. 1	1-10
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "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) "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 "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 "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 "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 "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search <b>09 November 2023</b>		Date of mailing of the international search report <b>23 January 2024</b>
Name and mailing address of the ISA/JP <b>Japan Patent Office (ISA/JP) 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915 Japan</b>		Authorized officer  Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
**Information on patent family members**

International application No.

**PCT/JP2023/038529**

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP 2006-125772	A	18 May 2006	(Family: none)
JP 2020-3098	A	09 January 2020	(Family: none)
US 4265220	A	05 May 1981	(Family: none)
JP 5-71817	A	23 March 1993	(Family: none)

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） F25B 9/02(2006.01)i FI: F25B9/02 C		
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）） F25B9/02 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 日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2023年 日本国実用新案登録公報 1996-2023年 日本国登録実用新案公報 1994-2023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
Y A	JP 2006-125772 A (中部電力株式会社) 18.05.2006 (2006 - 05 - 18) 段落[0036]-[0039], [0053]-[0054], 図1	1-4, 7-9 5-6, 10
Y A	JP 2020-3098 A (株式会社アルバック) 09.01.2020 (2020 - 01 - 09) 段落[0014]-[0025], 図1, 4	1-4, 7-9 5-6, 10
Y	US 4265220 A (MCALISTER ROY E) 05.05.1981 (1981 - 05 - 05) 第7欄第29行-第32行	7-9
A	JP 5-71817 A (日本電気株式会社) 23.03.1993 (1993 - 03 - 23) 段落[0004]-[0007], 図1	1-10
<input type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input checked="" type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。		
* 引用文献のカテゴリー “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 “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 “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） “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 “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 “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 “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 “&” 同一パテントファミリー文献		
国際調査を完了した日 09.11.2023	国際調査報告の発送日 23.01.2024	
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） 関口 勇 3M 9238 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/JP2023/038529

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 2006-125772 A	18.05.2006	(ファミリーなし)	
JP 2020-3098 A	09.01.2020	(ファミリーなし)	
US 4265220 A	05.05.1981	(ファミリーなし)	
JP 5-71817 A	23.03.1993	(ファミリーなし)	