

(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
2023年11月16日(16.11.2023)



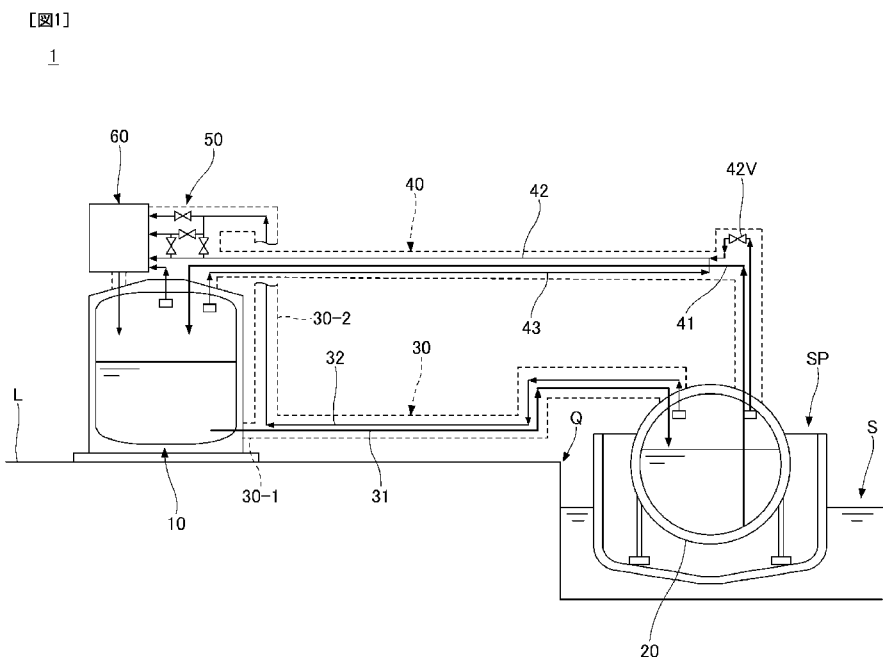
(10) 国際公開番号

WO 2023/219083 A1

- (51) 国際特許分類:
F17C 13/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2023/017457
- (22) 国際出願日: 2023年5月9日(09.05.2023)
- (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 2022-078401 2022年5月11日(11.05.2022) JP
- (71) 出願人: トキコシステムソリューションズ株式会社 (TOKICO SYSTEM SOLUTIONS, LTD.) [JP/JP]; 〒2300051 神奈川県横浜市鶴見区鶴見中央3-9-27 Kanagawa (JP).
- (72) 発明者: 吉田 純 (YOSHIDA, Jun); 〒4360082 静岡県掛川市淡陽1-3 トキコシステムソリューションズ株式会社 静岡事業所内 Shizuoka (JP). 高橋 強 (TAKAHASHI, Tsuyoshi); 〒4360082 静岡県掛川市淡陽1-3 トキコシステムソリューションズ株式会社 静岡事業所内 Shizuoka (JP). 蓮仏 達也 (REMBUTSU, Tatsuya); 〒4360082 静岡県掛川市淡陽1-3 トキコシステムソリューションズ株式会社 静岡事業所内 Shizuoka (JP).
- (74) 代理人: 伊東 忠重, 外 (ITOH, Tadashige et al.); 〒1000005 東京都千代田区丸の内二丁目1番1号 丸の内 M Y P L A Z A (明治安田生命ビル) 16階 Tokyo (JP).

(54) Title: LIQUID HYDROGEN TRANSFER SYSTEM

(54) 発明の名称: 液体水素移送システム



(57) Abstract: Provided is a technology that makes it possible to more easily prevent boil-off gas from being generated due to transfer of liquid hydrogen. A liquid hydrogen transfer system 1 according to one embodiment of the present invention comprises: a liquid hydrogen storage tank 10 that stores liquid hydrogen; a liquid hydrogen storage tank 20 that stores liquid hydrogen; transfer pipes 30, 40 that connect the liquid hydrogen storage tank 10 and the liquid hydrogen storage tank 20; liquid hydrogen flow paths 31, 41 that are provided inside the transfer pipes 30, 40, and through which the liquid



WO 2023/219083 A1

(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, 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))

hydrogen can be transferred between the liquid hydrogen storage tank 10 and the liquid hydrogen storage tank 20; and BOG flow paths 32, 42, 43 that are provided inside the transfer pipes 30, 40, and through which boil-off gas, which is the liquid hydrogen in a vaporized form, is discharged to the outside from at least one of the liquid hydrogen storage tank 10 and the liquid hydrogen storage tank 20.

(57) 要約: 液体水素の移送に伴うボイルオフガスの発生をより簡易に抑制することが可能な技術を提供する。一実施形態に係る液体水素移送システム1は、液体水素を貯留する液体水素貯槽10と、液体水素を貯留する液体水素貯槽20と、液体水素貯槽10と液体水素貯槽20との間を接続する移送管30、40と、移送管30、40の内部に設けられ、液体水素貯槽10と液体水素貯槽20との間で液体水素を移送可能な液体水素流路31、41と、移送管30、40の内部に設けられ、液体水素が気化したボイルオフガスを液体水素貯槽10及び液体水素貯槽20の少なくとも一方から外部に出力するBOG流路32、42、43と、を備える。

明 細 書

発明の名称：液体水素移送システム

技術分野

[0001] 本開示は、液体水素移送システムに関する。

背景技術

[0002] 従来、第1の貯蔵部と第2の貯蔵部との間で、液体水素を移送する移送システムが知られている（特許文献1参照）。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2014-108759号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] ところで、例えば、第1の貯蔵部と第2の貯蔵部との間を接続する液体水素の移送流路では、外部からの入熱で液体水素が気化しボイルオフガス（BOG：Boil Off Gas）が発生する場合がある。また、例えば、移送流路に相当する管部の温度が移送開始時点において相対的に高い状態である場合、管部の温度が液体水素により冷却されるまでの間で、移送中の液体水素から管部への冷熱の移動が生じ、管部の予冷によるボイルオフガスが発生する。また、例えば、第1の貯蔵部及び第2の貯蔵部のうちの移送先の温度が相対的に高い状態で液体水素の移送が開始される場合についても、移送流路に相当する管部の温度が相対的に高い場合と同様、移送先の予冷に伴うボイルオフガスが発生する。そのため、例えば、液体水素の移送先にボイルオフガスを燃料として利用可能な設備がない場合、移送先の圧力上昇に伴いボイルオフガスを大気に放出する必要が生じる。よって、液体水素の移送に伴うボイルオフガスの発生は抑制されることが望ましい。

[0005] 一方、例えば、液体水素の移送流路や移送先の貯蔵部を液体窒素等で冷却可能な構造を採用し、ボイルオフガスの発生を抑制することも可能であるが

、設備が複雑化しコストの上昇を招来する可能性がある。

[0006] そこで、上記課題に鑑み、液体水素の移送に伴うボイルオフガスの発生をより簡易に抑制することが可能な技術を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0007] 上記目的を達成するため、本開示の一実施形態では、
液体水素を貯留する第1の貯留部と、
液体水素を貯留する第2の貯留部と、
前記第1の貯留部と前記第2の貯留部との間を接続する管部と、
前記管部の内部に設けられ、前記第1の貯留部と前記第2の貯留部との間で液体水素を移送可能な第1の流路と、
前記管部の内部に設けられ、液体水素が気化したボイルオフガスを前記第1の貯留部及び前記第2の貯留部の少なくとも一方から外部に出力する第2の流路と、を備える、
液体水素移送システムが提供される。

発明の効果

[0008] 上述の実施形態によれば、液体水素の移送に伴うボイルオフガスの発生をより簡易に抑制することができる。

図面の簡単な説明

[0009] [図1]液体水素移送システムの一例を示す図である。
[図2]移送管の構造の一例を示す断面図である。
[図3]移送管の構造の一例を示す断面図である。
[図4]再液化装置の構成の一例を概略的に示す図である。

発明を実施するための形態

[0010] 以下、図面を参照して実施形態について説明する。

[0011] [液体水素移送システムの構成]

図1を参照して、本実施形態に係る液体水素移送システム1について説明する。

- [0012] 図1は、液体水素移送システム1の一例を示す図である。
- [0013] 液体水素移送システム1は、液体水素貯槽10、20と、移送管30、40と、断熱バルブボックス50と、再液化装置60とを含む。
- [0014] 液体水素貯槽10は、液体水素を貯留する。例えば、液体水素貯槽10は、岸壁Qに隣接する地上Lの液体水素の貯留用の施設内に設置される。
- [0015] 液体水素貯槽20は、液体水素を貯留する。例えば、液体水素貯槽20は、岸壁Qに接岸される船舶SPに搭載される。
- [0016] 移送管30、40は、液体水素貯槽10と液体水素貯槽20との間で液体水素を移送する管である。移送管30、40は、後述の如く、断熱構造を有する。断熱には、熱の出入りがない状態だけでなく、熱の出入りが通常の構造の管よりも抑制された状態が含まれ、以下、同様の意図で用いる。
- [0017] 移送管30は、液体水素貯槽10から液体水素貯槽20に向けて液体水素を移送するために用いられる。例えば、移送管30は、船舶SPが液体水素を液体水素貯槽20に貯留し外部に運搬する際に用いられる。
- [0018] 移送管30は、一端が液体水素貯槽20に接続されると共に、他端側で移送管30-1、30-2に分岐する。
- [0019] 移送管30-1は、その先端が液体水素貯槽10に接続される。
- [0020] 移送管30-2は、その先端が断熱バルブボックス50に接続される。
- [0021] 移送管30は、液体水素流路31と、BOG流路32とを含む。
- [0022] 液体水素流路31は、一端が液体水素貯槽20に接続されると共に、他端が移送管30-1に内包される形で液体水素貯槽10の底部と接続され、液体水素貯槽10から液体水素貯槽20に液体水素を移送する。
- [0023] BOG流路32は、一端が液体水素貯槽20に接続されると共に、他端が移送管30-2に内包される形で断熱バルブボックス50に接続され、液体水素貯槽20から断熱バルブボックス50を経由して再液化装置60にボイルオフガス(BOG)を移送する。これにより、液体水素流路31に沿って配置されるBOG流路32を通流する、極低温のボイルオフガスの顕熱を利用した熱シールド作用で、液体水素流路31の液体水素への外部からの熱侵

入量を抑制することができる。その結果、液体水素のガス化量を低減し、エネルギーロスを抑制することができる。

[0024] 尚、液体水素貯槽 20 のボイルオフガスには、液体水素流路 31 を通じた液体水素の移送中に発生するボイルオフガスと、液体水素貯槽 20 の内部で生じるボイルオフガスとが含まれる。液体水素の移送中に発生するボイルオフガスには、外部からの入熱に伴うフラッシュにより発生するガスや圧力差に伴うフラッシュにより発生するガスが含まれる。圧力差に伴うフラッシュにより発生するガスには、液体水素流路 31 の圧力損失に伴うフラッシュ、移送中に通過する弁によるフラッシュ、液体水素流路 31 から液体水素貯槽 20 の内部への流入時の膨張に伴うフラッシュ等により発生するガスが含まれる。液体水素貯槽 20 の内部で生じるのボイルオフガスには、水素の核スピニング異性体であるオルト水素からパラ水素への変換（オルト・パラ平衡変換）に伴う転移熱により発生する蒸発ガスを含むあらゆる蒸発ガスが含まれる。

[0025] 移送管 40 は、液体水素貯槽 20 から液体水素貯槽 10 に向けて液体水素を移送するために用いられる。例えば、移送管 40 は、液体水素を液体水素貯槽 20 に貯留した状態で船舶 SP が岸壁 Q に接岸する際に用いられる。

[0026] 移送管 40 は、一端が液体水素貯槽 20 の底部に接続されると共に、他端が断熱バルブボックス 50 に接続される。

[0027] 移送管 40 は、液体水素流路 41 と、BOG 流路 42, 43 とを含む。

[0028] 液体水素流路 41 は、一端が液体水素貯槽 20 の底部に接続されると共に、他端が断熱バルブボックス 50 の内部を経由して液体水素貯槽 10 に接続され、液体水素貯槽 20 から液体水素貯槽 10 に液体水素を移送する。

[0029] BOG 流路 42 は、一端が液体水素貯槽 20 に接続されると共に、他端が断熱バルブボックス 50 に接続され、液体水素貯槽 20 から断熱バルブボックス 50 を経由して再液化装置 60 にボイルオフガスを移送する。これにより、液体水素流路 41 に沿って配置される BOG 流路 42 を通流する、極低温のボイルオフガスの顕熱を利用した熱シールド作用で、液体水素流路 41

の液体水素への外部からの熱侵入量を抑制することができる。その結果、液体水素のガス化量を低減し、エネルギーロスを抑制することができる。

[0030] B O G 流路 4 2 には、バルブ 4 2 V が設けられる。

[0031] バルブ 4 2 V は、B O G 流路 4 2 を開閉させることができる。

[0032] B O G 流路 4 3 は、一端が B O G 流路 4 2 の中間部に接続されると共に、他端が断熱バルブボックス 5 0 を経由して液体水素貯槽 1 0 と接続され、液体水素貯槽 1 0 から B O G 流路 4 2 に液体水素貯槽 1 0 のボイルオフガスを移送し合流させる。これにより、液体水素流路 4 1 に沿って配置される B O G 流路 4 3 を通流する、極低温のボイルオフガスの顕熱を利用した熱シールド作用で、液体水素流路 4 1 の液体水素への外部からの熱侵入量を抑制することができる。その結果、液体水素のガス化量を低減し、エネルギーロスを抑制することができる。

[0033] また、B O G 流路 4 3 は、B O G 流路 4 2 のバルブ 4 2 V よりも断熱バルブボックス 5 0 (再液化装置 6 0) 側で B O G 流路 4 2 に接続される。これにより、バルブ 4 2 V が閉じられている場合に、液体水素貯槽 1 0 のボイルオフガスのみを B O G 流路 4 2, 4 3 に通流させることで、液体水素流路 4 1 の液体水素への外部からの熱侵入量を抑制することができる。その結果、液体水素のガス化量を低減し、エネルギーロスを抑制することができる。

[0034] 尚、移送管 3 0 についても、移送管 4 0 と同様に、液体水素貯槽 1 0 のボイルオフガスを B O G 流路 3 2 に合流させる B O G 流路が設けられてもよい。また、液体水素貯槽 1 0 のボイルオフガスには、液体水素流路 4 1 を通じた液体水素の移送中に発生するボイルオフガスと、液体水素貯槽 1 0 の内部で生じるボイルオフガスとが含まれる。液体水素の移送中に発生するボイルオフガスには、外部からの入熱に伴うフラッシュにより発生するガスや圧力差に伴うフラッシュにより発生するガスが含まれる。圧力差に伴うフラッシュにより発生するガスには、液体水素流路 4 1 の圧力損失に伴うフラッシュ、移送中に通過する弁によるフラッシュ、液体水素流路 4 1 から液体水素貯槽 1 0 の内部への流入時の膨張に伴うフラッシュ等により発生するガスが含

まれる。液体水素貯槽 10 の内部で生じるのボイルオフガスには、水素の核スピン異性体であるオルト水素からパラ水素への変換（オルト・パラ平衡変換）に伴う転移熱により発生する蒸発ガスを含むあらゆる蒸発ガスが含まれる。

[0035] 断熱バルブボックス 50 は、地上 L の液体水素の貯留用の施設内に設置され、BOG 流路 32, 42 を通じて移送されるボイルオフガスを再液化装置 60 に投入する。断熱バルブボックス 50 は、例えば、液体水素貯槽 20 の上部に設置される。断熱バルブボックス 50 は、断熱構造を有し、内部を通過する各流路の液体水素やボイルオフガスへの外部からの熱の侵入を抑制することができる。

[0036] 例えば、断熱バルブボックス 50 は、BOG 流路 32, 42 から移送されるボイルオフガスを再液化装置 60 の複数の投入経路のうちの何れか一つに選択的に投入する。具体的には、断熱バルブボックスは、複数の投入経路に接続される複数の流路と、複数の流路の何れか一つに選択的にボイルオフガスを流入させるためのバルブ群とを含む。

[0037] 再液化装置 60 は、地上 L の液体水素の貯留用の施設内に設置され、液体水素貯槽 10 や液体水素貯槽 20 のボイルオフガスを再液化する。再液化装置 60 から出力される液体水素は、液体水素貯槽 10 に戻される。

[0038] 尚、断熱バルブボックス 50 及び再液化装置 60 は、省略されてもよい。この場合、BOG 流路 32, 42 のボイルオフガスは、液体水素流路 31, 41 の液体水素への外部からの熱侵入量の抑制のために利用された後、大気に放出される。また、再液化装置 60 に代えて、或いは、加えて、ボイルオフガスを気体のままで燃料等として直接消費可能な設備が設けられてもよい。

[0039] [移送管の構造]

次に、図 2、図 3 を参照して、移送管 30, 40 の構造について説明する。

[0040] 図 2、図 3 は、移送管 30 の一例を示す断面図である。具体的には、図 2

、図3は、移送管30の一例の互いに異なる箇所断面図である。

[0041] 以下、移送管30、40の構造は、略同じであるため、移送管30の構造を中心に説明し、移送管40の構造の図示及び説明を簡略化する。

[0042] 図2、図3に示すように、移送管30は、外管30Aと、シールド内管30Bと、移送管30C、30Dとを含む。

[0043] 外管30Aは、移送管30の外形に相当し、例えば、円形の横断面を有する。

[0044] シールド内管30Bは、外管30Aからの放射入熱が移送管30Cに直接伝わらないように外管30Aの内側に設けられる。例えば、シールド内管30Bは、外管30Aより外径が小さく且つ外管30Aと略同心の円形の横断面を有する。「略」は、例えば、製造上の誤差や製造上の限界を許容する意図であり、以下同様の意味で使用する。

[0045] 外管30Aとシールド内管30Bの間には、移送管30の延びる方向で所定の間隔ごとにスペーサ30Fが設けられる。これにより、外管30Aの内部でシールド内管30Bの位置を真空断熱層中に保持することができる。

[0046] 外管30Aとシールド内管30Bとの間の空間SP1は、例えば、略真空状態とされている。これにより、外管30Aからシールド内管30Bへの入熱を抑制し、移送管30C、30Dで移送される液体水素やボイルオフガスへの熱侵入量を抑制することができる。そのため、液体水素のガス化によるエネルギーロスを抑制することができる。

[0047] 移送管30Cは、外管30A及びシールド内管30Bからの放射侵入熱が直接伝わらないようにシールド内管30Bの内側に設けられる。例えば、移送管30Cは、シールド内管30Bより外径が小さく且つ外管30A及びシールド内管30Bと略同心の円形の横断面を有する。移送管30Cの内部は、液体水素流路31に相当し、液体水素が通流する。

[0048] シールド内管30Bと移送管30Cの間には、移送管30の延びる方向で所定の間隔ごとにスペーサ30Gが設けられる。これにより、シールド内管30Bの内部で移送管30Cの位置を真空断熱層中に保持することができ

る。

[0049] シールド内管30Bと移送管30Cとの間の空間SP2は、例えば、略真空状態とされている。これにより、外管30Aやシールド内管30Bから移送管30Cへの入熱を抑制し、移送管30Cで移送される液体水素への熱侵入量を抑制することができる。そのため、液体水素のガス化量を低減し、エネルギーロスを抑制することができる。

[0050] 移送管30Dは、シールド内管30Bに熱接触する形で配置される。例えば、移送管30Dは、シールド内管30Bより外径が小さい円形の横断面を有する。移送管30Dの内部は、BOG流路32に相当し、ボイルオフガスが通流するのに十分な断面内径を有する。

[0051] 移送管30Dは、例えば、シールド内管30Bに取り付けられる。具体的には、シールド内管30Bの周方向の一部が切り欠かれ、移送管30Dは、その切り欠かれた部分に嵌め込まれる形で固定されてよい。これにより、極低温のボイルオフガスが通流する移送管30Dの作用により、シールド内管30Bが有効な放射シールド温度に保たれ、その結果、シールド内管30Bの内側の移送管30Cの液体水素への熱侵入量を更に抑制することができる。そのため、液体水素のガス化量を更に低減し、エネルギーロスを更に抑制することができる。

[0052] また、移送管30Dは、例えば、複数（本例では、2つ）設けられる。複数の移送管30Dの周方向での配置位置は、それぞれに通流するボイルオフガスの温度レベルに応じ最適に決められる。本例（図2、図3）では、2つの移送管30Dが周方向で180度間隔に配置される。これにより、移送管30Cの液体水素への熱侵入量を更に抑制することができる。その結果、液体水素のガス化量を更に低減し、エネルギーロスを更に抑制することができる。

[0053] また、外管30Aと移送管30Dの間には、移送管30の延びる方向で所定間隔ごとにスペーサ30Hが設けられる。これにより、外管30Aの内部で移送管30を介してシールド内管30Bを真空断熱層中に保持すること

ができる。

[0054] 尚、移送管40の場合、移送管30Dと同様の管（以下、便宜的に「移送管40D」）の内部は、BOG流路42，43の何れかに相当する。そのため、移送管40の場合、複数の移送管40Dのうちの一部の移送管40DがBOG流路42に対応し、残りの一部の移送管40DがBOG流路43に対応する形で構成されてよい。

[0055] このように、本例では、シールド内管30Bによって、移送管30Cを二重に真空断熱することができると共に、移送管30Dのボイルオフガスによってシールド内管30Bを有効な放射シールド温度に保つことができる。そのため、シールド内管30Bの内側の移送管30Cを通流する液体水素への熱侵入量を抑制することができ、その結果、液体水素のガス化量を低減し、エネルギーロスを抑制することができる。

[0056] [再液化装置の構成]

次に、図4を参照して、再液化装置60の構成の概略について説明する。

[0057] 図4は、再液化装置の構成の一例を概略的に示す図である。具体的には、図4は、比較的液化効率が高いプロセスの事例として、クロードサイクルを例示している。

[0058] 尚、図4では省略されるが、実際には、再液化装置60において、水素ガスの液化の際のオルト水素のパラ水素への変換の進行を早めるための低温触媒槽等の構成要素も必要となる。また、再液化装置60には、他の液化ガス（例えば、液体ヘリウム等）が補助冷媒として組み込まれる方式や、タービン回路と液化回路とが完全に分離される分離ブライトン方式等の様々な方式が任意に適用されてよい。

[0059] 再液化装置60は、経路L1～L3と、圧縮機CPと、熱交換器HX1～HX6と、超臨界膨張タービンEPと、ジュールトムソン弁JTと、膨張タービンEP3と、低圧戻りIN1，IN2と、液化経路OUTとを含む。

[0060] 経路L1は、低圧戻りIN1，IN2を通じて投入される液化循環ガス及びボイルオフガス（水素ガス）を圧縮機CPの吸入側へ送る。

- [0061] 経路L 1は、極低温側（上流側）から順に、熱交換器HX 6、熱交換器HX 5、熱交換器HX 4、熱交換器HX 3、熱交換器HX 2、及び熱交換器HX 1を通過し、圧縮機CPに接続される。
- [0062] 経路L 2は、圧縮機CPにより外部エネルギーで機械圧縮された水素ガスを熱交換器HX 1～HX 6により経路L 1の水素ガス（低圧戻りガス）で冷却し、最終的に、ジュールトムソン弁JT等の断熱膨張により水素ガスの一部を液化するために循環させる。
- [0063] 経路L 2は、高温側（上流側）から順に、熱交換器HX 1、熱交換器HX 2、熱交換器HX 3、熱交換器HX 4、熱交換器HX 5、超臨界膨張タービン、熱交換器HX 6、及びジュールトムソン弁JTを通過する。
- [0064] 経路L 3は、経路L 2の熱交換器HX 2、HX 3の間の箇所から水素ガスを分岐させ、膨張タービンEP 3により断熱膨張し温度を低下させた水素ガスを寒冷利用するため、経路L 1の熱交換器HX 6及び熱交換器HX 5の間の箇所に合流させる。
- [0065] 圧縮機CPは、経路L 1から供給される水素ガスを断熱圧縮し、経路L 2に吐出する。
- [0066] 熱交換器HX 1は、経路L 1の上流側の相対的に温度が低い水素ガス、及び外部から供給される液体窒素と、経路L 2の圧縮機CPにより機械圧縮された直後の相対的に温度が高い水素ガスとの間で熱交換を行う。これにより、経路L 2の水素ガスを順次冷却することができる。
- [0067] 熱交換器HX 2は、経路L 1の相対的に温度が低い水素ガスと、経路L 2相対的に温度が高い水素ガスとの間で熱交換を行う。これにより、熱交換器HX 1を通過後の経路L 2の水素ガスを更に冷却することができる。
- [0068] 熱交換器HX 3は、経路L 1の相対的に温度が低い水素ガスと、経路L 2の相対的に温度が高い水素ガスとの間で熱交換を行う。これにより、熱交換器HX 2を通過後の経路L 2の水素ガスを更に冷却することができる。
- [0069] 熱交換器HX 4は、経路L 1の相対的に温度が低い水素ガス、及び経路L 3の膨張タービンEP 3 1で断熱膨張された相対的に温度が低い水素ガスと

、経路L 2の上流側の相対的に温度が高い水素ガスとの間で熱交換を行う。これにより、熱交換器HX 3を通過後の経路L 2の水素ガスを更に冷却することができる。

[0070] 熱交換器HX 5は、経路L 1の相対的に温度が低い水素ガスと、経路L 2の上流側の相対的に温度が高い水素ガスとの間で熱交換を行う。これにより、熱交換器HX 4を通過後の経路L 2の水素ガスを更に冷却することができる。

[0071] 熱交換器HX 6は、経路L 1の相対的に温度が低い水素ガスと、経路L 2の相対的に温度が高い水素ガスとの間で熱交換を行う。これにより、超臨界膨張タービンEPで断熱膨張された水素ガスを更に冷却することができる。

[0072] 超臨界膨張タービンEPは、経路L 2における熱交換器HX 5と熱交換器HX 6との間に設けられ、熱交換器HX 5を通過した水素ガスを断熱膨張させることで温度を低下させ、熱交換器HX 6に供給する。

[0073] ジュールトムソン弁JTは、経路L 2において、熱交換器HX 6から出力される水素ガスを等エンタルピ膨張させる。この際、ジュールトムソン弁JTに供給される水素ガスの温度が逆転温度以下であるため、等エンタルピ膨張によって温度降下が生じる。これにより、ジュールトムソン弁JTは、水素ガスの一部を液化させて液化経路OUTに出力し、液体水素を液体水素貯槽10に戻すことができる。

[0074] 膨張タービンEP 3は、上述の如く、経路L 3に設けられる。膨張タービンEP 3は、膨張タービンEP 31、EP 32を含む。膨張タービンEP 3は、経路L 3の水素ガスを断熱膨張させ、経路L 1に還流させる。これにより、熱交換器HX 1～HX 5の低温側である経路L 1に必要な寒冷量を生成することができる。

[0075] 膨張タービンEP 31は、経路L 3の最上流の水素ガスを断熱膨張させる。これにより、経路L 2で熱交換器HX 2を通過後の水素ガスの温度を更に低下させ、経路L 3の下流側（熱交換器HX 4）に供給することができる。

[0076] 膨張タービンEP 32は、経路L 3の熱交換器HX 4から出力される水素

ガスを断熱膨張させる。これにより、更に水素ガスの温度を低下させ、相対的に温度が低い水素ガスを経路L1に還流させることができる。そのため、熱交換器HX1～HX5の低温側（経路L1）に必要な寒冷量を確保することができる。

- [0077] 低圧戻りIN1は、液体水素貯槽10のボイルオフガス（水素ガス）を再液化装置60（経路L1）に投入するために用いられる。
- [0078] 低圧戻りIN2は、BOG流路32, 42を通じて移送される、液体水素貯槽20のボイルオフガスを再液化装置60の低温側（経路L1）に投入するために用いられる。
- [0079] 低圧戻りIN2は、低圧戻りIN21～IN23を含む。
- [0080] 低圧戻りIN21は、BOG流路32, 42を通じて移送される、液体水素貯槽20のボイルオフガスを経路L1における最も温度の低い（最上流の）熱交換器HX6の上流側に投入するために用いられる。
- [0081] 低圧戻りIN22は、BOG流路32, 42を通じて移送される、液体水素貯槽20のボイルオフガスを経路L1における熱交換器HX6と熱交換器HX5との間に投入するために用いられる。
- [0082] 低圧戻りIN23は、BOG流路32, 42を通じて移送される、液体水素貯槽20のボイルオフガスを経路L1における熱交換器HX2と熱交換器HX1との間に投入するために用いられる。
- [0083] 低圧戻りIN21～IN23のうちの何れの投入経路を使用するかは、上述の如く、断熱バルブボックス50に内蔵されるバルブ群の開閉状態が適宜制御されることにより、切り換えることができる。断熱バルブボックス50のバルブ群を制御する制御装置は、任意の場所に設置されてよい。例えば、制御装置は、再液化装置60に搭載されてもよいし、断熱バルブボックス50に搭載されてもよいし、地上Lの液体水素の貯留施設に設置されてもよい。
- [0084] 例えば、制御装置は、BOG流路32, 42を通じて移送されるボイルオフガスの温度状態に応じて、バルブ群を制御し、低圧戻りIN21～IN2

3のうちの何れか一つを選択的に利用する。BOG流路32, 42を通じて移送されるボイルオフガスの温度状態は、例えば、断熱バルブボックス50に設けられる温度センサにより計測され、その計測結果は、制御装置に取り込まれる。具体的には、ボイルオフガスの温度領域を低い方から第1の領域～第3の領域に区分してよい。そして、制御装置は、ボイルオフガスの温度が第1の領域にある場合、低圧戻りIN21を使用し、第2の領域にある場合、低圧戻りIN22を使用し、第3の領域にある場合、低圧戻りIN23を使用してよい。これにより、制御装置は、経路L1の下流側に向けて高くなる水素ガスの温度に合わせて、経路L1へのボイルオフガスの投入経路を適切に選択することができる。

[0085] また、制御装置は、低圧戻りIN1を通じて経路L1に投入される液体水素貯槽10のボイルオフガスの温度状態を更に考慮して、低圧戻りIN21～IN23のうちの何れか一つを選択的に利用してもよい。液体水素貯槽10のボイルオフガスの温度状態は、例えば、液体水素貯槽10に設置される温度センサにより計測され、その計測結果は、制御装置に取り込まれる。例えば、ボイルオフガスの温度領域（第1の領域～第3の領域）が液体水素貯槽10のボイルオフガスの温度状態に応じて可変される。これにより、制御装置は、経路L1の温度状態に対して支配的な、液体水素貯槽のボイルオフガスの温度状態に合わせて、経路L1へのボイルオフガスの投入経路を適切に選択することができる。

[0086] 尚、低圧戻りIN2には、液体水素貯槽20のボイルオフガスを投入可能な1つのみ或いは2つのみの投入経路が含まれてもよいし、4つ以上の投入経路が含まれてもよい。

[0087] 液化経路OUTは、ジュールトムソン弁JTから出力される液体水素を液体水素貯槽10に向けて出力する。

[0088] このように、本例では、再液化装置60は、液体水素貯槽10, 20のボイルオフガスを再液化し、液体水素貯槽10に戻すことができる回路の一例を示している。

[0089] また、本例では、再液化装置60は、液体水素貯槽20から移送されるボイルオフガスの温度状態に合わせて、断熱圧縮後の水素ガスの冷却に使用される断熱圧縮前の水素ガスに液体水素貯槽20のボイルオフガスを合流させる位置を変化させる。これにより、液化の効率が常に最適になるような運転を選択することができる。

[0090] [作用]

次に、本実施形態に係る液体水素移送システム1の作用について説明する。

[0091] 例えば、第1の貯蔵部と第2の貯蔵部との間を接続する液体水素の移送流路では、外部からの入熱で液体水素が気化しボイルオフガスが発生する場合がある。

[0092] また、液体水素の移送流路や移送先の貯蔵部において、液化水素がその状態に平衡な、オルト水素及びパラ水素の成分比率にない場合、オルト・パラ平衡変換が進行し、その転移熱で更に液体水素のガス化が進行する場合がある。

[0093] また、移送流路に相当する管部の温度が移送開始時点において相対的に高い状態である場合、管部の温度が液体水素により冷却されるまでの間で、移送中の液体水素から管部への冷熱の移動が生じ、管部の予冷に伴うボイルオフガスが大量に発生する。

[0094] 更に、例えば、移送先の貯蔵部の温度が相対的に高い状態で液体水素の移送が開始される場合についても、移送流路に相当する管部の温度が相対的に高い場合と同様、移送先の予冷に伴うボイルオフガスが大量に発生する。

[0095] そのため、例えば、液体水素の移送先にボイルオフガスを燃料として利用可能な設備がない場合、移送先の圧力上昇に伴いボイルオフガスを大気に放出する必要が生じる。よって、液体水素の移送に伴うボイルオフガスの発生は抑制されることが望ましい。

[0096] 一方、例えば、液体水素の移送流路や移送先の貯蔵部を液体窒素等で冷却可能な構造を採用し、ボイルオフガスの発生を抑制することも可能であるが

、設備が複雑化しコストの上昇を招来する可能性がある。

[0097] これに対して、本実施形態では、液体水素移送システム 1 は、第 1 の貯留部と、第 2 の貯留部と、管部と、第 1 の流路と、第 2 の流路と、を備える。第 1 の貯留部は、例えば、液体水素貯槽 10 である。第 2 の貯留部は、例えば、液体水素貯槽 20 である。管部は、例えば、移送管 30 や移送管 40 である。第 1 の流路は、例えば、液体水素流路 31 や液体水素流路 41 である。第 2 の流路は、例えば、BOG 流路 32 や BOG 流路 42, 43 である。具体的には、第 1 の貯留部は、液体水素を貯留する。また、第 2 の貯留部は、液体水素を貯留する。また、管部は、第 1 の貯留部と第 2 の貯留部との間を接続する。また、第 1 の流路は、管部の内部に設けられ、第 1 の貯留部と第 2 の貯留部との間で液体水素を移送可能に構成される。そして、第 2 の流路は、管部の内部に設けられ、液体水素が気化したボイルオフガスを第 1 の貯留部及び第 2 の貯留部の少なくとも一方から外部に出力する。

[0098] これにより、管部の内部の第 2 の流路の極低温のボイルオフガスによって、管部の内部の第 1 の流路の液体水素の温度上昇を抑制することができる。そのため、液体水素移送システム 1 は、第 1 の貯留部や第 2 の貯留部のボイルオフガスを利用して、第 1 の貯蔵部と第 2 の貯蔵部との間の液体水素の移送に伴うボイルオフガスの発生を抑制することができる。また、第 1 の貯留部や第 2 の貯留部には、液体水素の移送時における圧力差によって生じる、不可避のフラッシュガスに起因するボイルオフガスが含まれる。そのため、ゼロにすることが不可能なボイルオフガスを利用して、第 1 の貯蔵部と第 2 の貯蔵部との間の液体水素の移送に伴うボイルオフガスの発生を安定的に抑制することができる。

[0099] また、本実施形態では、管部は、外形に相当する第 1 の管部と、第 1 の管部の内側に配置される第 2 の管部と、を含んでもよい。第 1 の管部は、例えば、外管 30A である。第 2 の管部は、例えば、シールド内管 30B である。そして、第 1 の流路は、第 2 の管部の内側に設けられ、第 2 の流路は、第 2 の管部に沿って取り付けられてもよい。

- [0100] これにより、液体水素移送システム 1 は、第 2 の流路のボイルオフガスによって第 2 の管部を冷却し、第 2 の管部の内側に配置される第 1 の流路の液体水素の温度上昇を抑制することができる。
- [0101] また、本実施形態では、液体水素移送システム 1 は、第 2 の流路を通じて移送されるボイルオフガスを液化する液化部を備えてもよい。液化部は、例えば、再液化装置 60 である。
- [0102] これにより、液体水素移送システム 1 は、ボイルオフガスを大気に排出することなく再液化し液体水素として利用することができる。
- [0103] 以上、実施形態について詳述したが、本開示はかかる特定の実施形態に限定されるものではなく、特許請求の範囲に記載された要旨の範囲内において、種々の変形・変更が可能である。
- [0104] 最後に、本願は、2022年5月11日に出願した日本国特許出願2022-078401号に基づく優先権を主張するものであり、日本国特許出願の全内容を本願に参照により援用する。

符号の説明

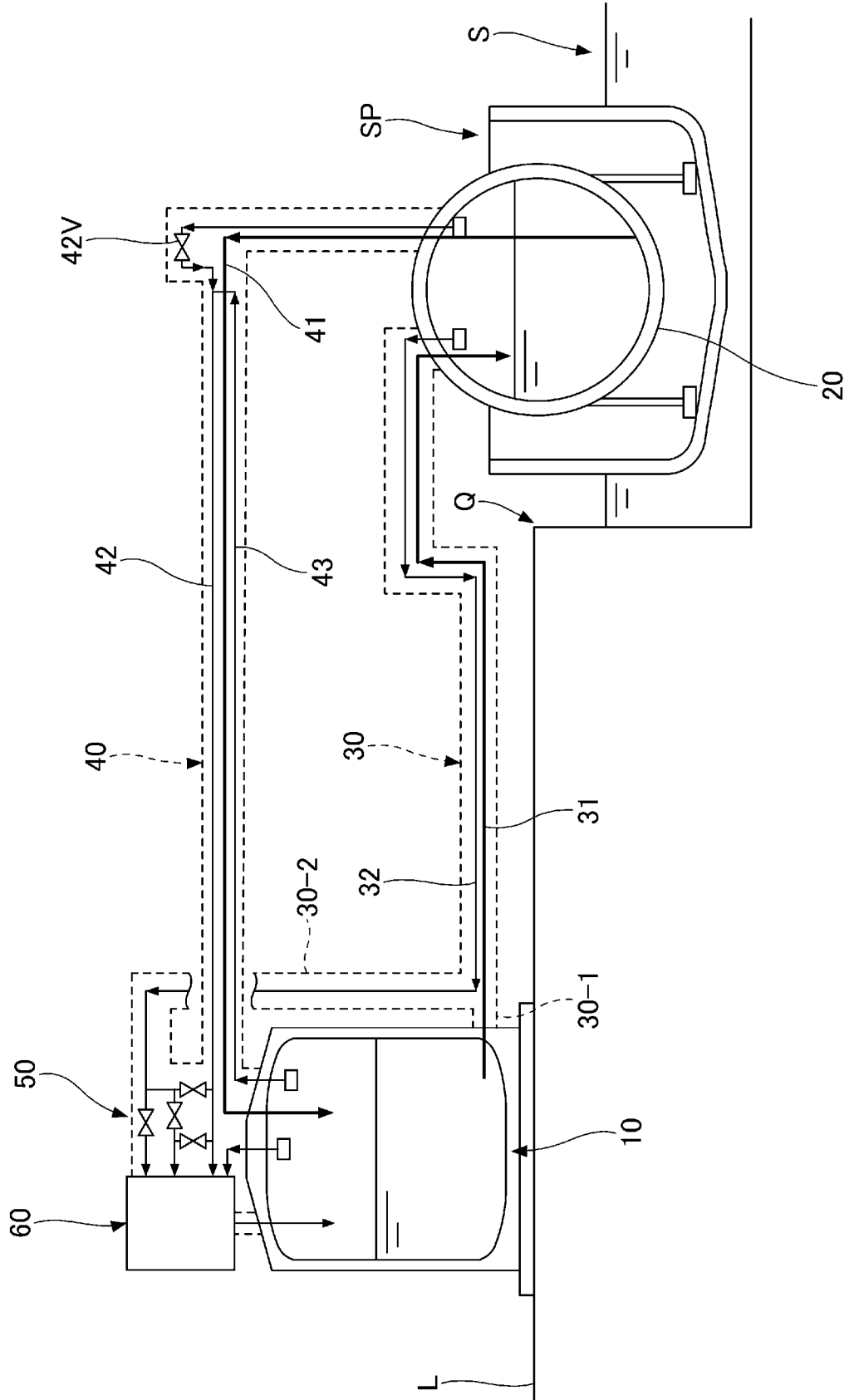
- [0105] 1 液体水素移送システム
- 10 液体水素貯槽（第1の貯留部）
 - 20 液体水素貯槽（第2の貯留部）
 - 30, 30-1, 30-2 移送管（管部）
 - 30A 外管（第1の管部）
 - 30B シールド内管（第2の管部）
 - 30C 移送管
 - 30D 移送管
 - 30F スペーサ
 - 30G スペーサ
 - 30H スペーサ
 - 31 液体水素流路（第1の流路）
 - 32 BOG流路（第2の流路）

40 移送管 (管部)
41 液体水素流路 (第1の流路)
42 BOG流路 (第2の流路)
42V バルブ
43 BOG流路 (第2の流路)
50 断熱バルブボックス
60 再液化装置 (液化部)
CP 圧縮機
EP 超臨界膨張タービン
EP3, EP31, EP32 膨張タービン
HX1~HX6 熱交換器
IN1 低圧戻り
IN2, IN21~IN23 低圧戻り
JT ジュールトムソン弁
L1~L3 経路
OUT 液化経路

請求の範囲

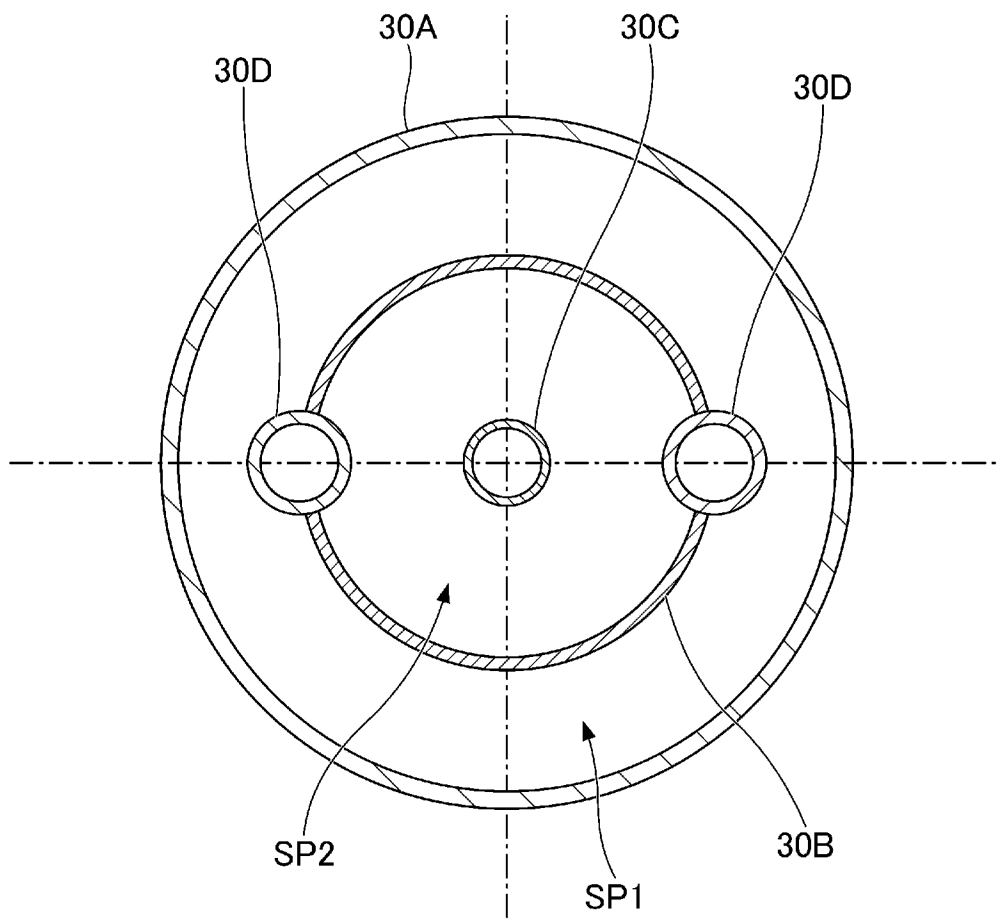
- [請求項1] 液体水素を貯留する第1の貯留部と、
液体水素を貯留する第2の貯留部と、
前記第1の貯留部と前記第2の貯留部との間を接続する管部と、
前記管部の内部に設けられ、前記第1の貯留部と前記第2の貯留部との間で液体水素を移送可能な第1の流路と、
前記管部の内部に設けられ、液体水素が気化したボイルオフガスを前記第1の貯留部及び前記第2の貯留部の少なくとも一方から外部に出力する第2の流路と、を備える、
液体水素移送システム。
- [請求項2] 前記管部は、外形に相当する第1の管部と、前記第1の管部の内側に配置される第2の管部と、を含み、
前記第1の流路は、前記第2の管部の内側に設けられ、
前記第2の流路は、前記第2の管部に沿って取り付けられる、
請求項1に記載の液体水素移送システム。
- [請求項3] 前記第2の流路を通じて移送されるボイルオフガスを液化する液化部を備える、
請求項1又は2に記載の液体水素移送システム。

[図1]

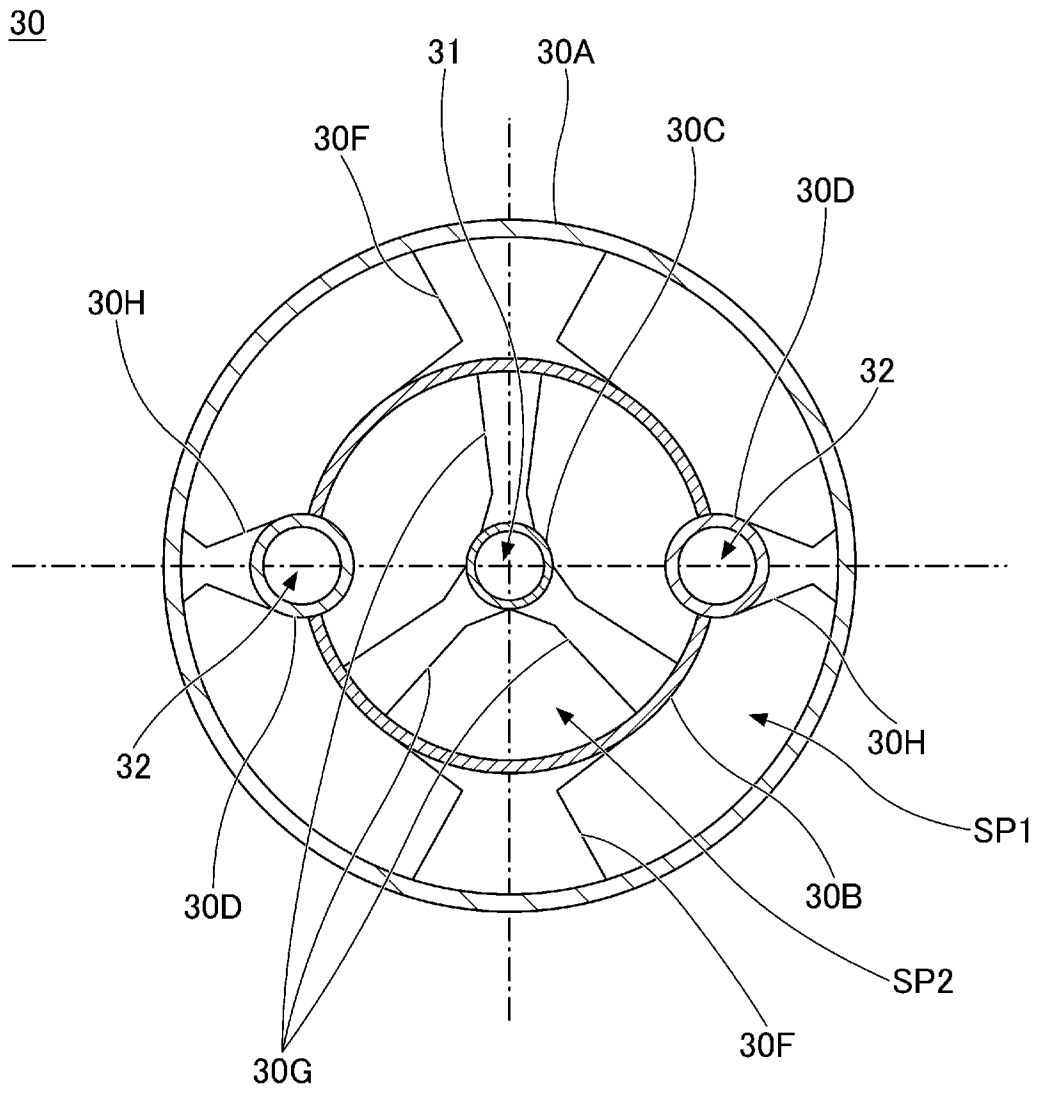


1

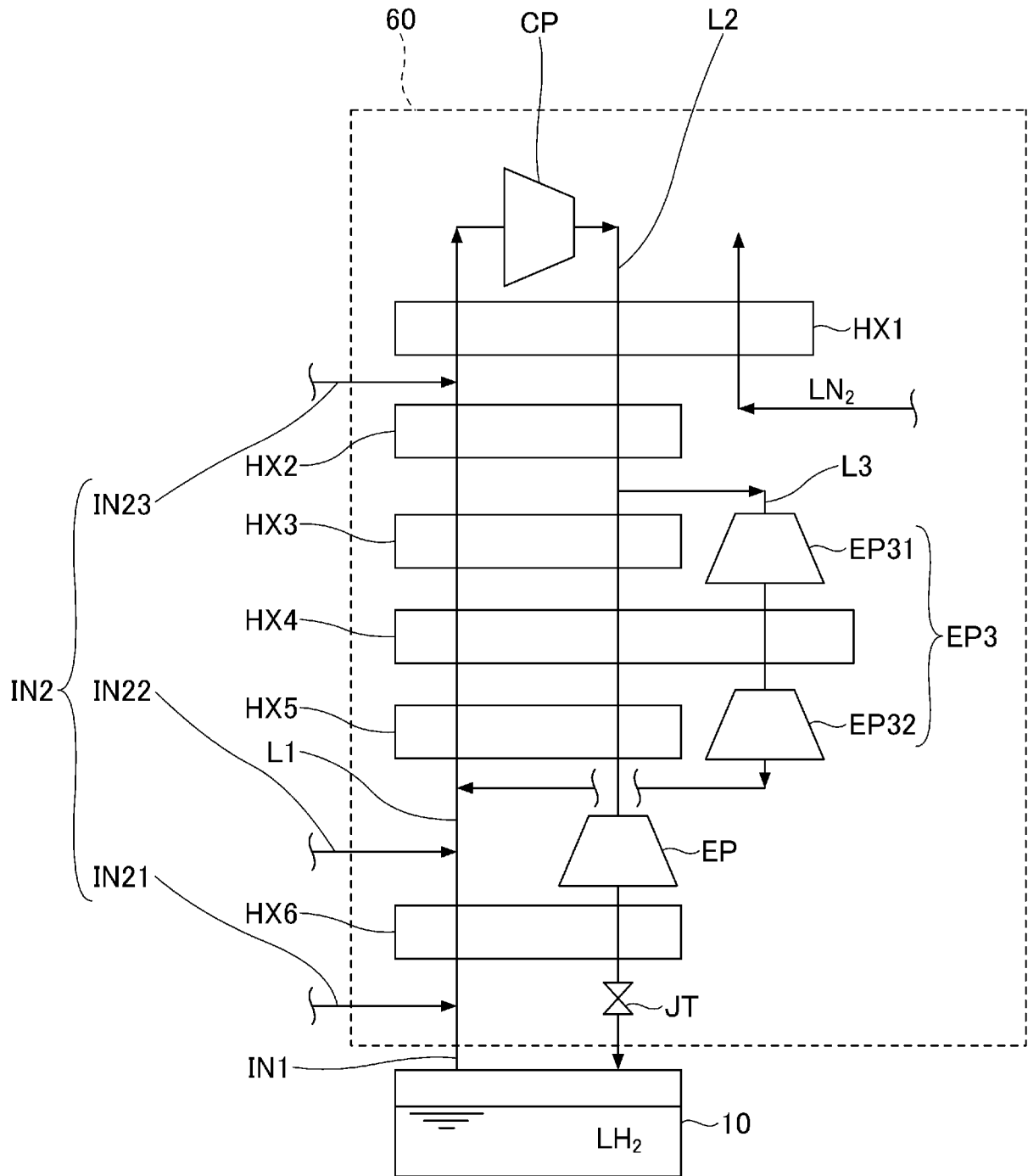
[図2]

30

[図3]



[図4]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2023/017457

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
<i>F17C 13/00</i> (2006.01)i FI: F17C13/00 302A		
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) F17C13/00		
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)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2007-255670 A (TOYOTA MOTOR CORP) 04 October 2007 (2007-10-04) paragraphs [0024]-[0046], fig. 1-4	1-2
Y	paragraphs [0024]-[0046], fig. 1-4	1-3
Y	JP 2022-502616 A (L'AIR LIQUIDE, SOCIETE ANONYME POUR L'ETUDE ET L'EXPLOITATION DES PROCEDES GEORGES CLAUDE) 11 January 2022 (2022-01-11) paragraphs [0007]-[0014], fig. 1	1-3
A	US 2015/0219243 A1 (KUMAR, Rakesh) 06 August 2015 (2015-08-06) paragraphs [0046]-[0088], fig. 4-5	1-2
A	JP 56-76800 A (SUMITOMO HEAVY INDUSTRIES) 24 June 1981 (1981-06-24)	1-3
<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 18 July 2023		Date of mailing of the international search report 01 August 2023
Name and mailing address of the ISA/JP Japan Patent Office (ISA/JP) 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/JP2023/017457

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP 2007-255670 A	04 October 2007	(Family: none)	
JP 2022-502616 A	11 January 2022	JP 2022-504226 A US 2021/0341101 A1 paragraphs [0008]-[0015], fig. 1 US 2021/0348721 A1 WO 2020/074802 A1 WO 2020/074801 A1 FR 3086993 A1 CN 112789443 A CN 112789444 A KR 10-2021-0066907 A KR 10-2021-0070293 A	
US 2015/0219243 A1	06 August 2015	WO 2012/089647 A1 CA 2823227 A1 CN 103314246 A EP 2472165 A1	
JP 56-76800 A	24 June 1981	(Family: none)	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） F17C 13/00(2006.01)i FI: F17C13/00 302A		
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）） F17C13/00 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
X	JP 2007-255670 A (トヨタ自動車株式会社) 04.10.2007 (2007 - 10 - 04) [0024]-[0046], 第1-4図	1-2
Y	[0024]-[0046], 第1-4図	1-3
Y	JP 2022-502616 A (レール・リキード・ソシエテ・アノニム・プール・レテュード・エ・レクスプロワタシオン・デ・プロセデ・ジョルジュ・クロード) 11.01.2022 (2022 - 01 - 11) [0007]-[0014], 第1図	1-3
A	US 2015/0219243 A1 (KUMAR RAKESH) 06.08.2015 (2015 - 08 - 06) [0046]-[0088], 第4-5図	1-2
A	JP 56-76800 A (住友重機械工業株式会社) 24.06.1981 (1981 - 06 - 24)	1-3
<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 18.07.2023	国際調査報告の発送日 01.08.2023	
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） 長谷川 一郎 3N 9135 電話番号 03-3581-1101 内線 3361	

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/JP2023/017457

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 2007-255670 A	04.10.2007	(ファミリーなし)	
JP 2022-502616 A	11.01.2022	JP 2022-504226 A US 2021/0341101 A1 [0008]-[0015], 第1図 US 2021/0348721 A1 WO 2020/074802 A1 WO 2020/074801 A1 FR 3086993 A1 CN 112789443 A CN 112789444 A KR 10-2021-0066907 A KR 10-2021-0070293 A	
US 2015/0219243 A1	06.08.2015	WO 2012/089647 A1 CA 2823227 A1 CN 103314246 A EP 2472165 A1	
JP 56-76800 A	24.06.1981	(ファミリーなし)	