

(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6月1日(01.06.2023)



(10) 国際公開番号

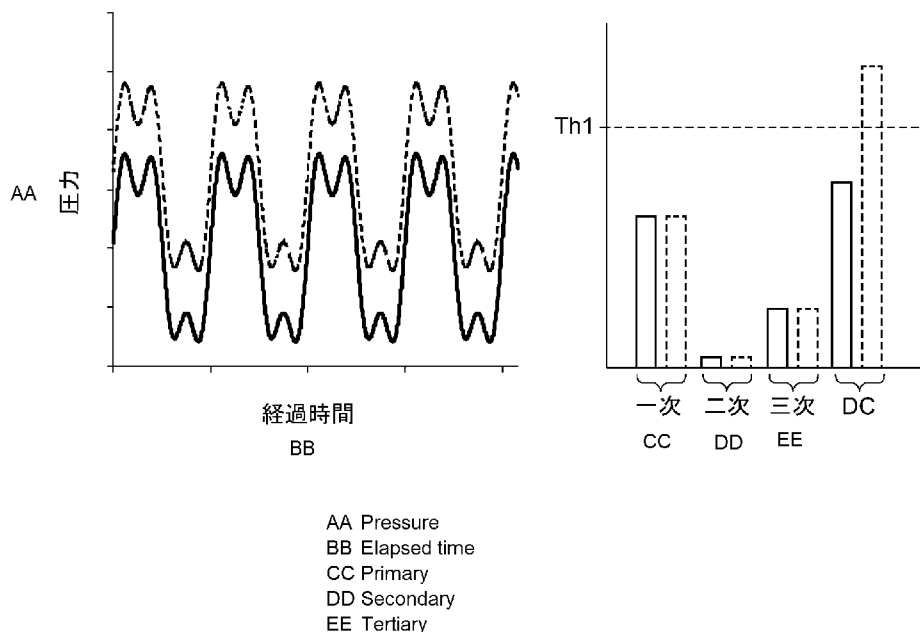
WO 2023/095514 A1

- (51) 国際特許分類:
F25B 9/14 (2006.01) *F25B 49/00* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2022/039684
- (22) 国際出願日: 2022年10月25日(25.10.2022)
- (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 2021-191466 2021年11月25日(25.11.2021) 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: 幾島 悠喜(İKUSHIMA Yuki); 〒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).
西尾 樹(NISHIO Tatsuki); 〒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 V
ORT 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,

(54) Title: CRYOGENIC REFRIGERATOR DIAGNOSTIC SYSTEM, CRYOGENIC REFRIGERATOR, AND CRYO-
GENIC REFRIGERATOR DIAGNOSTIC METHOD

(54) 発明の名称: 極低温冷凍機診断システム、極低温冷凍機および極低温冷凍機診断方法

[図5]



(57) Abstract: A diagnostic system (100) for a cryogenic refrigerator (10) is provided with: the cryogenic refrigerator (10), which is provided with a pressure sensor (50) for measuring the pressure in the cryogenic refrigerator (10); a computation processing device (60) configured to receive a measured pressure waveform indicating the pressure in an expander (14) as measured by the pressure sensor (50) and compute the amplitude of the drive frequency of the cryogenic refrigerator (10) or of a frequency component of an integral multiple of the drive frequency from the measured pressure waveform;

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, 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, 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))

and, a diagnostic device (70) configured to receive the amplitude computed by the computation processing device (60) and diagnose the cryogenic refrigerator (10) on the basis of the amplitude.

(57) 要約: 極低温冷凍機 (10) の診断システム (100) は、極低温冷凍機 (10) 内の圧力を測定する圧力センサ (50) を備える極低温冷凍機 (10) と、圧力センサ (50) によって測定される膨張機 (14) 内の圧力を示す測定圧力波形を受信し、測定圧力波形から極低温冷凍機 (10) の駆動周波数またはその整数倍の周波数成分の振幅を演算するように構成される演算処理装置 (60) と、演算処理装置 (60) によって演算される振幅を受信し、振幅に基づいて極低温冷凍機 (10) を診断するように構成される診断装置 (70) と、を備える。

明 細 書

発明の名称：

極低温冷凍機診断システム、極低温冷凍機および極低温冷凍機診断方法

技術分野

[0001] 本発明は、極低温冷凍機診断システム、極低温冷凍機および極低温冷凍機診断方法に関する。

背景技術

[0002] 従来、ギフォード・マクマホン（Gifford-McMahon；GM）冷凍機などの極低温冷凍機に関して、圧縮機内部でその高圧側と低圧側の圧力を測定し、それらの差圧を一定とするように圧縮機を制御する極低温冷凍機の運転方法が知られている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2013-185480号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 極低温冷凍機では一般に、圧力測定が上述のように行われることがあるが、その目的はたいてい、高圧側と低圧側の差圧制御に限られている。

[0005] 極低温冷凍機が現場で使用されるなかで、摺動部品の摩耗や消耗部品の寿命、その他の理由により、冷凍性能低下など故障が発生しうる。故障した極低温冷凍機の修理または新品との交換などメンテナンスが完了するまで、極低温冷凍機を搭載した極低温システム（たとえば超伝導機器、MRI（Magnetic Resonance Imaging）システムなど）の稼働は停止せざるを得ない。突然の故障の場合、例えば修理サービスの手配に時間を要するなど、復旧までにかかる時間は比較的長くなりがちである。しかし、もし、故障を予知し計画的にあらかじめ対処できたとすれば、システムの稼働への影響を最小にすることができる。

[0006] 本発明のある態様の例示的な目的のひとつは、極低温冷凍機の圧力測定に基づく診断技術を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0007] 本発明のある態様によると、極低温冷凍機診断システムは、極低温冷凍機内の圧力を測定する圧力センサを備える極低温冷凍機と、圧力センサによって測定される膨張機内の圧力を示す測定圧力波形を受信し、測定圧力波形から極低温冷凍機の駆動周波数またはその整数倍の周波数成分の振幅を演算するように構成される演算処理装置と、演算処理装置によって演算される振幅を受信し、振幅に基づいて極低温冷凍機を診断するように構成される診断装置と、を備える。

[0008] 本発明のある態様によると、極低温冷凍機診断システムは、極低温冷凍機内の圧力を示す測定圧力波形から演算される極低温冷凍機の駆動周波数またはその整数倍の周波数成分の振幅に基づいて極低温冷凍機を診断するように構成される診断装置を備える。

[0009] 本発明のある態様によると、極低温冷凍機は、極低温冷凍機内の圧力を測定する圧力センサと、圧力センサによって測定される極低温冷凍機内の圧力を示す測定圧力波形を受信し、測定圧力波形から極低温冷凍機の駆動周波数またはその整数倍の周波数成分の振幅を演算するように構成される演算処理装置と、を備える。

[0010] 本発明のある態様によると、極低温冷凍機診断方法は、極低温冷凍機内の圧力を示す測定圧力波形を取得することと、測定圧力波形から極低温冷凍機の駆動周波数またはその整数倍の周波数成分の振幅を演算することと、振幅に基づいて極低温冷凍機を診断することと、を備える。

[0011] 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

[0012] 本発明によれば、極低温冷凍機の圧力測定に基づく診断技術を提供するこ

とができる。

図面の簡単な説明

[0013] [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]実施の形態に係る極低温冷凍機を概略的に示す図である。

[図3]実施の形態に係る極低温冷凍機の診断システムを概略的に示すブロック図である。

[図4]実施の形態に係る極低温冷凍機の診断方法を示すフローチャートである。

[図5]例示的な故障モードとその診断を示す図である。

[図6]例示的な故障モードとその診断を示す図である。

[図7]例示的な故障モードとその診断を示す図である。

[図8]例示的な故障モードとその診断を示す図である。

[図9]例示的な故障モードとその診断を示す図である。

[図10]例示的な故障モードとその診断を示す図である。

[図11]実施の形態に係り、測定圧力波形に基づく極低温冷凍機の診断の原理を説明するための図である。

[図12]測定圧力波形から演算される極低温冷凍機のP V線図の例である。

発明を実施するための形態

[0014] 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。

[0015] 図1および図2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、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。図1には、極低温冷凍機10の

外観を示し、図 2 には、極低温冷凍機 10 の内部構造を示す。

- [0016] 極低温冷凍機 10 は、圧縮機 12 と、膨張機 14 とを備える。圧縮機 12 は、極低温冷凍機 10 の作動ガスを膨張機 14 から回収し、回収した作動ガスを昇圧して、再び作動ガスを膨張機 14 に供給するよう構成されている。作動ガスは、冷媒ガスとも称され、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。
- [0017] 膨張機 14 は、冷凍機シリンダ 16 と、ディスプレイサ組立体 18 と、冷凍機ハウジング 20 とを備える。冷凍機ハウジング 20 は、冷凍機シリンダ 16 と結合され、それにより、ディスプレイサ組立体 18 を収容する気密容器が構成される。なお、冷凍機ハウジング 20 の内部容積は圧縮機 12 の低压側に接続され、低压に維持されてもよい。
- [0018] 冷凍機シリンダ 16 は、第 1 シリンダ 16 a、第 2 シリンダ 16 b を有する。第 1 シリンダ 16 a と第 2 シリンダ 16 b は、一例として、円筒形状を有する部材であり、第 2 シリンダ 16 b が第 1 シリンダ 16 a よりも小径である。第 1 シリンダ 16 a と第 2 シリンダ 16 b は同軸に配置され、第 1 シリンダ 16 a の下端が第 2 シリンダ 16 b の上端に剛に連結されている。
- [0019] ディスプレーサ組立体 18 は、第 1 ディスプレーサ 18 a と第 2 ディスプレーサ 18 b とを有する。第 1 ディスプレーサ 18 a と第 2 ディスプレーサ 18 b は、一例として、円筒形状を有する部材であり、第 2 ディスプレーサ 18 b が第 1 ディスプレーサ 18 a よりも小径である。第 1 ディスプレーサ 18 a と第 2 ディスプレーサ 18 b は同軸に配置されている。
- [0020] 第 1 ディスプレーサ 18 a は、第 1 シリンダ 16 a に収容され、第 2 ディスプレーサ 18 b は、第 2 シリンダ 16 b に収容されている。第 1 ディスプレーサ 18 a は、第 1 シリンダ 16 a に沿って軸方向に往復移動可能であり、第 2 ディスプレーサ 18 b は、第 2 シリンダ 16 b に沿って軸方向に往復移動可能である。第 1 ディスプレーサ 18 a と第 2 ディスプレーサ 18 b は互いに連結され、一体に移動する。
- [0021] 本書では、極低温冷凍機 10 の構成要素間の位置関係を説明するために、

便宜上、ディスプレイサの軸方向往復動の上死点に近い側を「上」、下死点に近い側を「下」と表記することとする。上死点は膨張空間の容積が最大となるディスプレイサの位置であり、下死点は膨張空間の容積が最小となるディスプレイサの位置である。極低温冷凍機 10 の運転時には軸方向上方から下方へと温度が下がる温度勾配が生じるので、上側を高温側、下側を低温側と呼ぶこともできる。

[0022] 第 1 ディスプレーサ 18 a は、第 1 蓄冷器 26 を収容する。第 1 蓄冷器 26 は、第 1 ディスプレーサ 18 a の筒状の本体部の中に、例えば銅などの金網またはその他適宜の第 1 蓄冷材を充填することによって形成されている。第 1 ディスプレーサ 18 a の上蓋部および下蓋部は第 1 ディスプレーサ 18 a の本体部とは別の部材として提供されてもよく、第 1 ディスプレーサ 18 a の上蓋部および下蓋部は、締結、溶接など適宜の手段で本体に固定され、それにより第 1 蓄冷材が第 1 ディスプレーサ 18 a に収容されてもよい。

[0023] 同様に、第 2 ディスプレーサ 18 b は、第 2 蓄冷器 28 を収容する。第 2 蓄冷器 28 は、第 2 ディスプレーサ 18 b の筒状の本体部の中に、例えばビスマスなどの非磁性蓄冷材、 HoCu_2 などの磁性蓄冷材、またはその他適宜の第 2 蓄冷材を充填することによって形成されている。第 2 蓄冷材は粒状に成形されていてもよい。第 2 ディスプレーサ 18 b の上蓋部および下蓋部は第 2 ディスプレーサ 18 b の本体部とは別の部材として提供されてもよく、第 2 ディスプレーサ 18 b の上蓋部の下蓋部は、締結、溶接など適宜の手段で本体に固定され、それにより第 2 蓄冷材が第 2 ディスプレーサ 18 b に収容されてもよい。

[0024] ディスプレーサ組立体 18 は、上部室 30、第 1 膨張室 32、第 2 膨張室 34 を冷凍機シリンダ 16 の内部に形成する。極低温冷凍機 10 によって冷却すべき所望の物体または媒体との熱交換のために、膨張機 14 は、第 1 冷却ステージ 33 と第 2 冷却ステージ 35 を備える。上部室 30 は、第 1 ディスプレーサ 18 a の上蓋部と第 1 シリンダ 16 a の上部との間に形成される。第 1 膨張室 32 は、第 1 ディスプレーサ 18 a の下蓋部と第 1 冷却ステー

ジ 3 3 との間に形成される。第 2 膨張室 3 4 は、第 2 ディスプレーサ 1 8 b の下蓋部と第 2 冷却ステージ 3 5 との間に形成される。第 1 冷却ステージ 3 3 は、第 1 膨張室 3 2 を取り囲むように第 1 シリンダ 1 6 a の下部に固着され、第 2 冷却ステージ 3 5 は、第 2 膨張室 3 4 を取り囲むように第 2 シリンダ 1 6 b の下部に固着されている。

[0025] 第 1 蓄冷器 2 6 は、第 1 ディスプレーサ 1 8 a の上蓋部に形成された作動ガス流路 3 6 a を通じて上部室 3 0 に接続され、第 1 ディスプレーサ 1 8 a の下蓋部に形成された作動ガス流路 3 6 b を通じて第 1 膨張室 3 2 に接続されている。第 2 蓄冷器 2 8 は、第 1 ディスプレーサ 1 8 a の下蓋部から第 2 ディスプレーサ 1 8 b の上蓋部へと形成された作動ガス流路 3 6 c を通じて第 1 蓄冷器 2 6 に接続されている。また、第 2 蓄冷器 2 8 は、第 2 ディスプレーサ 1 8 b の下蓋部に形成された作動ガス流路 3 6 d を通じて第 2 膨張室 3 4 に接続されている。

[0026] 第 1 膨張室 3 2、第 2 膨張室 3 4 と上部室 3 0 との間の作動ガス流れが、冷凍機シリンダ 1 6 とディスプレーサ組立体 1 8 との間のクリアランスではなく、第 1 蓄冷器 2 6、第 2 蓄冷器 2 8 に導かれるようにするために、第 1 シール 3 8 a、第 2 シール 3 8 b が設けられていてもよい。第 1 シール 3 8 a は、第 1 ディスプレーサ 1 8 a と第 1 シリンダ 1 6 a との間に配置されるように第 1 ディスプレーサ 1 8 a の上蓋部に装着されてもよい。第 2 シール 3 8 b は、第 2 ディスプレーサ 1 8 b と第 2 シリンダ 1 6 b との間に配置されるように第 2 ディスプレーサ 1 8 b の上蓋部に装着されてもよい。

[0027] また、膨張機 1 4 は、圧力切替バルブ 4 0 と、駆動モータ 4 2 とを備える。圧力切替バルブ 4 0 は、冷凍機ハウジング 2 0 に収容され、駆動モータ 4 2 は、冷凍機ハウジング 2 0 に取り付けられている。

[0028] 図 2 に示されるように、圧力切替バルブ 4 0 は、高圧バルブ 4 0 a と低圧バルブ 4 0 b を備え、冷凍機シリンダ 1 6 内に周期的圧力変動を発生させるように構成されている。圧縮機 1 2 の作動ガス吐出口が高圧バルブ 4 0 a を介して上部室 3 0 に接続され、圧縮機 1 2 の作動ガス吸入口が低圧バルブ 4

0 bを介して上部室30に接続されている。高圧バルブ40 aと低圧バルブ40 bは、選択的かつ交互に開閉するように（すなわち、一方が開いているとき他方が閉じるように）構成されている。高圧（例えば2～3 MP a）の作動ガスが圧縮機12から高圧バルブ40 aを通じて膨張機14に供給され、低圧（例えば0.5～1.5 MP a）の作動ガスが膨張機14から低圧バルブ40 bを通じて圧縮機12に回収される。理解のために、作動ガスの流れる方向を図2に矢印で示す。

[0029] 駆動モータ42は、ディスプレイサ組立体18の往復動を駆動するために設けられている。駆動モータ42は、たとえばスコッチヨーク機構などの運動変換機構43を介してディスプレイサ駆動軸44に連結されている。運動変換機構43は、圧力切替バルブ40と同様に、冷凍機ハウジング20に収容されている。ディスプレイサ駆動軸44は、運動変換機構43から冷凍機ハウジング20を貫通して上部室30の中へと延び、第1ディスプレイサ18 aの上蓋部に固定されている。上部室30から冷凍機ハウジング20（上述のように低圧に維持されている場合がある）への作動ガスのリークを防ぐために、第3シール38 cが設けられている。第3シール38 cは、冷凍機ハウジング20とディスプレイサ駆動軸44との間に配置されるように冷凍機ハウジング20に装着されてもよい。

[0030] 駆動モータ42が駆動されるとき、駆動モータ42の回転出力は運動変換機構43によってディスプレイサ駆動軸44の軸方向往復動に変換され、ディスプレイサ組立体18は冷凍機シリンダ16内を軸方向に往復する。また、駆動モータ42は、高圧バルブ40 aと低圧バルブ40 bを選択的かつ交互に開閉するようにこれらバルブに連結されている。

[0031] 極低温冷凍機10は、圧縮機12および駆動モータ42が運転されるとき、第1膨張室32および第2膨張室34において周期的な容積変動とこれに同期した作動ガスの圧力変動を発生させ、それにより冷凍サイクルが構成され、第1冷却ステージ33および第2冷却ステージ35が所望の極低温に冷却される。第1冷却ステージ33は、例えば約20 K～約40 Kの範囲にあ

る第1冷却温度に冷却されることができる。第2冷却ステージ35は、第1冷却温度より低い第2冷却温度（例えば、約1 K～約4 K）に冷却されることができる。

[0032] ある実施の形態においては、図1に示されるように、極低温冷凍機10において圧縮機12と膨張機14を循環する作動ガスの量を調整するために、極低温冷凍機10は、ガス量調整部46を備えてもよい。ガス量調整部46は、バッファタンクなどの作動ガス源46aと、供給バルブ46bと、回収バルブ46cとを備えてもよい。作動ガス源46aには、圧縮機12の吐出圧（上述の高圧）と吸入圧（上述の低圧）の中間圧で作動ガスが蓄えられている。供給バルブ46bは、圧縮機12と膨張機14を接続する低圧側の配管13bに作動ガス源46aを接続し、回収バルブ46cは、圧縮機12と膨張機14を接続する高圧側の配管13aに作動ガス源46aを接続する。

[0033] 供給バルブ46bを開き回収バルブ46cを閉じることによって、作動ガス源46aから低圧側の配管13bへと作動ガスを供給し、極低温冷凍機10を循環する作動ガス量を増加させることができる。循環する作動ガス量が増加すれば高圧側の配管13aおよび低圧側の配管13bそれぞれの圧力は増加する。逆に、供給バルブ46bを閉じ回収バルブ46cを開くことによって、高圧側の配管13aから作動ガス源46aへと作動ガスを回収し、極低温冷凍機10を循環する作動ガス量を減少させることができる。循環する作動ガス量が減少すれば高圧側の配管13aおよび低圧側の配管13bそれぞれの圧力は減少する。

[0034] 極低温冷凍機10は、起動時に環境温度（例えば室温）から極低温（例えば上述の第1および第2冷却温度）へと冷却され、その後極低温に維持されることから、かなり広い温度範囲で動作することになる。動作温度の変化により、極低温冷凍機10を循環する作動ガスの密度が変わり、それにより圧力も変わる。そこで、ガス量調整部46を利用して作動ガス量を増減させることにより、極低温冷凍機10の高圧側および低圧側それぞれの圧力を最適に調整することができる。

[0035] 図3は、実施の形態に係る極低温冷凍機10の診断システム100を概略的に示すブロック図である。診断システム100は、圧力センサ50と、演算処理装置60と、診断装置70とを備える。

[0036] 圧力センサ50は、極低温冷凍機10内の圧力を測定するように構成される。例えば、圧力センサ50は、圧力切替バルブ40が膨張機14内に発生させる周期的圧力変動を測定するように配置される。圧力センサ50は、図2に示されるように、例えば、圧力切替バルブ40と上部室30をつなぐ作動ガス流路36eに設置されてもよい。圧力センサ50は、図1に示されるように、冷凍機ハウジング20に取り付けられてもよい。

[0037] よって、圧力センサ50は、上部室30の周期的圧力変動を測定し、測定圧力波形S1を出力する。測定圧力波形S1は、極低温冷凍機10の運転中における圧力センサ50の測定値の時間変化を示す。圧力センサ50は、有線または無線により演算処理装置60に通信可能に接続されている。

[0038] なお、圧力センサ50は、冷凍機シリンダ16内の圧力、例えば第1膨張室32または第2膨張室34の圧力を測定するように、冷凍機シリンダ16に設置されてもよい。このようにしても、圧力センサ50は、圧力切替バルブ40が膨張機14内に発生させる周期的圧力変動を測定することができる。

[0039] また、他の代替例として、圧力センサ50は、圧縮機12と膨張機14を接続する高圧側の配管13aに設けられ、高圧側の配管13aの圧力を測定してもよい。あるいは、圧力センサ50は、圧縮機12と膨張機14を接続する低圧側の配管13bに設けられ、低圧側の配管13bの圧力を測定してもよい。このようにしても、圧力センサ50は、圧力切替バルブ40の動作に起因する極低温冷凍機10内の周期的圧力変動を測定することができ、得られる測定圧力波形S1は、極低温冷凍機10の診断に使用できる。

[0040] 演算処理装置60は、圧力センサ50から測定圧力波形S1を受信し、これを処理して、極低温冷凍機10の診断に利用可能なデータS2を生成するように構成される。診断装置70は、演算処理装置60が生成するデータS

2を受信し、これに基づいて極低温冷凍機10を診断するように構成される。演算処理装置60と診断装置70は、極低温冷凍機10の冷凍機ハウジング20と同様に、周囲環境（例えば室温大気圧環境）に配置される。

[0041] この実施の形態では、診断装置70は、演算処理装置60から遠隔に配置され、例えばインターネットまたはその他適宜の通信ネットワーク80を介して演算処理装置60と通信可能に接続される。演算処理装置60は、生成するデータS2を通信ネットワーク80に出力し、診断装置70は、演算処理装置60から出力されるデータS2を通信ネットワーク80から受信することができる。

[0042] 例示的な使用場面においては、演算処理装置60は、極低温冷凍機10の一部として、または極低温冷凍機10とともに、極低温冷凍機10のユーザーの管理下に置かれてもよい。その一方、診断装置70は、極低温冷凍機10の製造業者、または極低温冷凍機10の修理などメンテナンスサービスを提供するサービス業者の管理下に置かれてもよい。

[0043] あるいは、演算処理装置60と診断装置70は、近接して配置されてもよいし、あるいは、統合されていてもよい。この場合、演算処理装置60と診断装置70はともに、極低温冷凍機10のユーザーの管理下に置かれてもよい。

[0044] 診断装置70は、診断結果を示す情報を視覚的に通知する通知手段72を備えてもよく、通知手段72はたとえばディスプレイや警告灯を含みうる。通知手段72は、スピーカーなど音声により診断結果を通知するものであってもよい。通知手段72は、通信ネットワーク80を介して他の機器に診断結果を送信してもよい。

[0045] 演算処理装置60および診断装置70の内部構成は、ハードウェア構成としてはコンピュータのCPU（Central Processing Unit）やメモリをはじめとする素子や回路で実現され、ソフトウェア構成としてはコンピュータプログラム等によって実現されるが、図では適宜、それらの連携によって実現される機能ブロックとして描いている。これらの機能ブロックはハードウェア

、ソフトウェアの組合せによっていろいろなかたちで実現できることは、当業者には理解されるところである。

[0046] 図4は、実施の形態に係る極低温冷凍機10の診断方法を示すフローチャートである。本方法は、極低温冷凍機10内の圧力を示す測定圧力波形S1を取得することと(S10)、測定圧力波形S1から対象の周波数成分の振幅を演算することと(S20)、演算される振幅に基づいて極低温冷凍機10を診断することと(S30)、を備える。

[0047] S10では、圧力センサ50を使用して、測定圧力波形S1が取得される。測定圧力波形S1は、極低温冷凍機10の運転中、随時取得されてもよい。

[0048] あるいは、極低温冷凍機10は、診断用の運転モードを有してもよく、測定圧力波形S1を取得するためにこの運転モードを実行してもよい。診断用の運転モードは、極低温冷凍機10を搭載した例えば超伝導機器やMRIシステムなどの極低温冷凍機利用設備の未使用時間帯（例えば、夜間や、当該利用設備のメンテナンス作業中など）に実行されてもよい。診断用の運転モードでは、極低温冷凍機10は、予め定められた駆動周波数で運転されてもよい。それとともに、診断用の運転モードでは、極低温冷凍機10は、予め定められた冷却温度で運転されてもよい。このようにすれば、測定圧力波形S1を毎回同じ運転条件で取得することができ、診断精度の向上につながる。

[0049] S20では、演算処理装置60を使用して、極低温冷凍機10の駆動周波数またはその整数倍の周波数成分の振幅が測定圧力波形S1から演算される。そのために、演算処理装置60は、測定圧力波形S1を受信し、測定圧力波形S1から極低温冷凍機10の駆動周波数またはその整数倍の周波数成分の振幅を演算するように構成される。演算処理装置60は、少なくとも、極低温冷凍機10の駆動周波数の振幅を測定圧力波形S1から演算してもよい。

[0050] ここで、極低温冷凍機10の駆動周波数とは、極低温冷凍機10の冷凍サ

イクルの単位時間あたりの回数に相当し、膨張機 14 の駆動モータ 42 の運転周波数または回転数に基づき定まる。駆動周波数は、典型的には例えば 1 Hz 程度である。駆動周波数の値は、演算処理装置 60 に予め入力され格納されていてもよい。演算処理装置 60 は、測定圧力波形 S1 から駆動周波数を求めてもよい。

[0051] 演算処理装置 60 は、測定圧力波形 S1 から極低温冷凍機 10 の駆動周波数およびその整数倍の周波数成分のうち複数の周波数成分それぞれについて振幅を演算するように構成されてもよい。演算処理装置 60 は、極低温冷凍機 10 の駆動周波数の振幅、駆動周波数の二倍の周波数成分の振幅、および駆動周波数の三倍の周波数成分の振幅から選択される少なくとも 2 つの振幅（例えば、駆動周波数およびその二倍の周波数成分の振幅）、または、これら 3 つの振幅を演算してもよい。

[0052] また、極低温冷凍機 10 の駆動周波数またはその整数倍の周波数成分の振幅を演算するとともに、またはこれに代えて、演算処理装置 60 は、測定圧力波形 S1 の直流成分（すなわち、測定圧力波形 S1 の平均圧力）を演算するように構成されてもよい。

[0053] 演算処理装置 60 は、高速フーリエ変換(Fast Fourier transform; FFT)処理を実行可能なプロセッサであってもよく、測定圧力波形 S1 に FFT 処理を適用することによって対象の周波数成分の振幅を演算してもよい。このようにして、演算処理装置 60 が生成するデータ S2 には、演算された対象の周波数成分の振幅および直流成分を示すデータが含まれる。

[0054] S30 では、診断装置 70 を使用して、極低温冷凍機 10 の駆動周波数またはその整数倍の周波数成分の振幅に基づいて極低温冷凍機 10 が診断される。診断装置 70 は、演算処理装置 60 によって演算される振幅を受信し、振幅に基づいて極低温冷凍機 10 を診断するように構成される。上述のように診断装置 70 が演算処理装置 60 から遠隔に配置される場合、診断装置 70 は、演算処理装置 60 によって演算される振幅を通信ネットワーク 80 を介して受信するように構成される。

- [0055] 演算処理装置 60 によって上述のように測定圧力波形 S 1 から複数の周波数成分が演算される場合、診断装置 70 は、それら複数の周波数成分の振幅を受信し、複数の周波数成分の振幅に基づいて極低温冷凍機 10 を診断するように構成されてもよい。演算処理装置 60 によって測定圧力波形 S 1 の直流成分が追加的に演算される場合、診断装置 70 は、演算される振幅および直流成分を受信し、振幅および直流成分に基づいて極低温冷凍機 10 を診断するように構成されてもよい。
- [0056] 診断装置 70 は、取得される振幅を振幅しきい値と比較し（及び／または、取得される直流成分をそのしきい値と比較し）、比較結果に基づいて極低温冷凍機 10 を診断してもよい。診断装置 70 は、振幅及び／または直流成分がしきい値に達するとき、極低温冷凍機 10 の故障を検知してもよい。あるいは、診断装置 70 は、振幅及び／または直流成分がしきい値に達するとき、近い将来に故障が発生しうると極低温冷凍機 10 の故障を予測してもよい。このような振幅及び／または直流成分のしきい値は、設計者の経験的知見または設計者による実験やシミュレーション等に基づき適宜設定することが可能である。
- [0057] あるいは、診断装置 70 は、深層学習などの機械学習に基づく診断アルゴリズムを備えてもよく、診断アルゴリズムは、取得される振幅及び／または直流成分を入力として特定の診断モード（例えば、後述の診断モードのうち少なくとも 1 つ）について診断結果を出力するように構成されてもよい。
- [0058] この実施の形態では、診断装置 70 は、極低温冷凍機 10 の複数の故障モードを診断するように構成される。いくつかの例示的な故障モードとその診断について、図 5 から図 10 を参照して以下に述べる。これらの故障モードの診断のために、演算処理装置 60 は、測定圧力波形 S 1 から、極低温冷凍機 10 の駆動周波数（以下、一次周波数ともいう）の振幅、駆動周波数の二倍の周波数成分（以下、二次周波数ともいう）の振幅、駆動周波数の三倍の周波数成分（以下、三次周波数ともいう）の振幅、および直流成分を演算する。

[0059] 図5から図10には、それぞれ第1から第6の故障モードについて診断装置70による診断が可能であることを実証すべく本発明者により行われた検討結果が示される。図5から図10の各図は、左側に測定圧力波形S1を示し、右側に対象周波数成分の振幅および直流成分を示す。正常な極低温冷凍機10について取得された測定圧力波形S1が破線で示され、故障した極低温冷凍機10（より正確には、正常な極低温冷凍機10において当該故障モードを模擬するように構成しまたは動作させたもの）について取得された測定圧力波形S1が実線で示される。同様に、正常な極低温冷凍機10について取得された振幅および直流成分が破線で示され、故障した極低温冷凍機10について取得された振幅および直流成分が実線で示される。

[0060] 図5に示される第1故障モードは、極低温冷凍機10に封入される作動ガス圧力の不足である。封入圧不足であっても、圧縮機12の正常な運転により、その高圧側と低圧側との差圧は維持される。そのため、第1故障モードの測定圧力波形S1は、正常時の測定圧力波形S1に対して下方に平行移動したものとなる。よって、第1故障モードは、測定圧力波形S1の直流成分（DC）に現れる。一次周波数をはじめとして他の周波数成分の振幅は、波形が維持されていることから、変わらない。

[0061] そこで、測定圧力波形S1の直流成分について第1しきい値 T_{h1} が設定される。診断装置70は、測定圧力波形S1の直流成分を第1しきい値 T_{h1} と比較し、比較結果に基づいて第1故障モードを診断する。第1故障モードについて、診断装置70は、測定圧力波形S1の直流成分が第1しきい値 T_{h1} を上回るとき正常と判定し、測定圧力波形S1の直流成分が第1しきい値 T_{h1} を下回るとき異常と判定する。このようにして、診断装置70は、第1故障モード、すなわち極低温冷凍機10の封入圧不足を検知し、または予測することができる。

[0062] 図6に示される第2故障モードは、膨張機14内の圧損増加による冷却不足である。圧損増加により膨張機14内で作動ガスが流れにくくなるため、第2故障モードの測定圧力波形S1は、正常時の測定圧力波形S1と比べて

、高圧側の圧力がより高まり、低圧側の圧力がより低くなる。つまり差圧が拡大する。その影響により、第2故障モードは、測定圧力波形S1の一次周波数の振幅に現れる。図示されるように、二次周波数および三次周波数の振幅は変わらないことがわかる。平均圧力は維持されるから、直流成分も変わらない。

[0063] そこで、一次周波数の振幅について第2しきい値 T_{h2} が設定される。診断装置70は、測定圧力波形S1の一次周波数の振幅を第2しきい値 T_{h2} と比較し、比較結果に基づいて第2故障モードを診断する。第2故障モードについて、診断装置70は、一次周波数の振幅が第2しきい値 T_{h2} を下回るとき正常と判定し、一次周波数の振幅が第2しきい値 T_{h2} を上回るとき異常と判定する。このようにして、診断装置70は、第2故障モード、すなわち膨張機14内の圧損増加を検知し、または予測することができる。

[0064] 図7に示される第3故障モードは、高低圧吹き抜けである。これはつまり、膨張機14内での高圧領域から低圧領域への作動ガスのリークであり、その原因は例えば、膨張機14内のシール部（例えば第3シール38c）の劣化、圧力切替バルブ40がロータリーバルブで構成される場合にその回転摺動面でのリークなどがありうる。高低圧吹き抜けは極低温冷凍機10の冷凍能力低下をもたらさうる。

[0065] 第3故障モードの測定圧力波形S1は、正常時の測定圧力波形S1と比べて、高圧側の圧力が下がり、低圧側の圧力が上がる。このように差圧が縮小するため、第3故障モードは、測定圧力波形S1の一次周波数の振幅に現れる。図示されるように、二次周波数および三次周波数の振幅は変わらないことがわかる。平均圧力は維持されるから、直流成分も変わらない。

[0066] そこで、一次周波数の振幅について第3しきい値 T_{h3} が設定される。診断装置70は、測定圧力波形S1の一次周波数の振幅を第3しきい値 T_{h3} と比較し、比較結果に基づいて第3故障モードを診断する。第3故障モードについて、診断装置70は、一次周波数の振幅が第3しきい値 T_{h3} を上回るとき正常と判定し、一次周波数の振幅が第3しきい値 T_{h3} を下回るとき

異常と判定する。このようにして、診断装置 70 は、第 3 故障モード、すなわち膨張機 14 内の高低圧吹き抜けを検知し、または予測することができる。

[0067] 図 8 に示される第 4 故障モードは、圧縮機 12 の高圧低下である。これは例えば、圧縮機 12 の高圧側の作動ガス流路に設けられる構成要素（例えば、アドゾーバ）での圧損増加、またはその他の異常に起因すると考えられる。圧縮機 12 の高圧低下も極低温冷凍機 10 の冷凍能力低下をもたらさう。高圧の低下により、第 4 故障モードは、測定圧力波形 S1 の直流成分と一次周波数の振幅に現れる。図示されるように、二次周波数および三次周波数の振幅は変わらないことがわかる。

[0068] そこで、第 4 故障モードについては、測定圧力波形 S1 の直流成分について第 4 しきい値 $Th4_1$ が設定され、一次周波数の振幅について別のしきい値 $Th4_2$ が設定される。診断装置 70 は、測定圧力波形 S1 の直流成分を第 4 しきい値 $Th4_1$ と比較し、測定圧力波形 S1 の一次周波数の振幅を別のしきい値 $Th4_2$ と比較し、これら比較結果に基づいて第 4 故障モードを診断する。診断装置 70 は、(i) 測定圧力波形 S1 の直流成分が第 4 しきい値 $Th4_1$ を上回ること、または、(ii) 一次周波数の振幅がしきい値 $Th4_2$ を上回るもののうちいずれか一方が成立するとき正常と判定する。また、診断装置 70 は、測定圧力波形 S1 の直流成分が第 4 しきい値 $Th4_1$ を下回り、かつ一次周波数の振幅がしきい値 $Th4_2$ を下回るとき異常と判定する。

[0069] このようにして、診断装置 70 は、第 4 故障モード、すなわち圧縮機 12 の高圧低下を検知し、または予測することができる。直流成分と一次周波数の振幅を両方見ることによって、第 1 故障モードと第 4 故障モードを区別することができる。

[0070] 図 9 に示される第 5 故障モードは、圧力センサ 50 の異常である。診断装置 70 は、測定圧力波形 S1 から演算される対象周波数成分の振幅の大小関係を取得し、この大小関係に基づいて第 5 故障モードを診断してもよい。図

から理解されるように、正常な極低温冷凍機 10 は、一次周波数の振幅が最も大きく、三次周波数の振幅が次に大きく、二次周波数の振幅はこれらのなかで最小となる傾向をとりうる。これに対して、図 9 に示される第 5 故障モードの測定圧力波形 S1 では、一例として、二次周波数の振幅が三次周波数の振幅よりも大きくなっている。したがって、正常時の振幅の大小関係「一次の振幅＞三次の振幅＞二次の振幅」と異なる大小関係が発生した場合、診断装置 70 は、圧力センサ 50 の異常であると判断することができる。

[0071] 図 10 に示される第 6 故障モードは、モータスリップである。この場合、駆動モータ 42 の回転が不規則となり、膨張機 14 内の周期的圧力変動も乱され、その結果として、測定圧力波形 S1 から演算される対象周波数成分の振幅が低下する。図示されるように、一次周波数だけでなく、二次周波数および三次周波数の振幅も低下する。そこで、第 6 故障モードについては、演算される複数の周波数成分それぞれにしきい値が設定され、診断装置 70 は、各周波数成分の振幅を対応するしきい値と比較し、それら比較結果に基づいて第 6 故障モードを診断する。第 6 故障モードについて、診断装置 70 は、すべての周波数成分の振幅がそれぞれのしきい値を下回るとき異常と判定し、それ以外の場合には正常と判定してもよい。

[0072] 以上説明したように、実施の形態によると、極低温冷凍機 10 の圧力測定に基づく診断技術を提供することができる。極低温冷凍機の駆動周波数またはその整数倍の周波数成分には極低温冷凍機 10 の動作および性能を反映する情報が含まれるものと期待されるところ、こうした周波数成分を利用して、上述のようにさまざまな故障モードを診断することができる。

[0073] また、測定圧力波形 S1 を振幅データに加工することで、診断に使用されるデータ量を顕著に低減することができる。1 周期分の冷凍サイクルについての測定圧力波形 S1 を十分な再現性をもって表現するには多数の圧力測定点を必要とするのに対し、振幅の値は 1 周期分の冷凍サイクルについて 1 つだけでよい。したがって、実施の形態は、診断装置 70 が演算処理装置 60 から遠隔に配置される場合に好適である。測定圧力波形 S1 を振幅データに

加工することによって、通信ネットワーク 80 を介する演算処理装置 60 から診断装置 70 への通信データ量を低減することができる。

[0074] 仮に、極低温冷凍機が突然故障した場合、復旧までにかかる時間は比較的長くなりがちである。例えば、極低温冷凍機の修理サービスが混雑していれば、修理完了まで数日以上待たなければならないかもしれない。予定どおりにシステムを稼働させることができなくなるかもしれない、問題である。また、液体ヘリウムなどの極低温冷媒が冷却に使用されるシステムでは、極低温冷凍機が停止している間、冷媒を再凝縮することができない。極低温冷凍機の停止期間が延びるほど、蒸発して失われる冷媒の量も増え、冷媒を多量に補充しなければならないかもしれない。とくに、冷媒が液体ヘリウムの場合には、近年液体ヘリウムは高価であるので、ユーザーの経済的な負担が大きくなる。

[0075] ところが、実施の形態によれば、極低温冷凍機 10 を診断できるので、これを利用して、極低温冷凍機 10 または極低温冷凍機 10 を搭載したシステム（例えば MRI システム）のユーザーまたはサービス業者は、修理または新品との交換などメンテナンスを予め計画することができる。都合のよいタイミングにメンテナンスを設定することにより、システムの稼働への影響を最小にすることができる。蒸発による冷媒の損失も低減され、システムの運転コストも抑制できる。

[0076] なお、ある実施の形態においては、診断装置 70 は、測定圧力波形 S1 を取得し、測定圧力波形 S1 に基づいて極低温冷凍機 10 を診断するように構成されてもよい。例えば、診断装置 70 は、測定圧力波形 S1 に基づいて上述の第 3 故障モード（高低圧吹き抜け）を診断してもよい。

[0077] 図 11 は、実施の形態に係り、測定圧力波形 S1 に基づく極低温冷凍機 10 の診断の原理を説明するための図である。図 11 には、圧力センサ 50 の出力、すなわち測定圧力波形 S1 が示されている。正常な極低温冷凍機 10 について取得された測定圧力波形 S1 が破線で示され、故障した極低温冷凍機 10 について取得された測定圧力波形 S1 が実線で示される。

[0078] 極低温冷凍機 10 がある長い期間にわたって運転され、膨張機 14 内のシール部品（例えば第 3 シール 38c）が劣化した場合、作動ガスが当該シール部品で高圧領域から低圧領域にリークするため、測定圧力波形 S1 のピーク値が正常時に比べて低下する。ピーク値の低下量 ΔS は、極低温冷凍機 10 の累積の運転時間が長くなるほど拡大する。低下量 ΔS の拡大（すなわち内部リークの増加）は極低温冷凍機 10 の冷凍性能の低下を招く。したがって、ピーク値の低下量 ΔS に基づいて、極低温冷凍機 10 を診断することができる。

[0079] また、演算処理装置 60 は、測定圧力波形 S1 に基づいて極低温冷凍機 10 の膨張仕事（膨張機 14 の P V 仕事）を演算するように構成されてもよい。図 12 は、測定圧力波形 S1 から演算される極低温冷凍機 10 の P V 線図の例である。図 12 の縦軸は圧力（P）を示し、横軸は容積（V）を示す。正常な極低温冷凍機 10 の測定圧力波形 S1 から演算される P V 線図が破線で示され、故障した極低温冷凍機 10 の測定圧力波形 S1 から演算される P V 線図が実線で示される。知られているように、P V 仕事は P V 線図の面積で与えられる。

[0080] 診断装置 70 は、演算処理装置 60 によって演算される P V 仕事を受信し、P V 仕事に基づいて極低温冷凍機 10 を診断してもよい。P V 仕事は極低温冷凍機 10 の冷凍能力を概ねよく表すから、診断のために P V 仕事にしきい値が設定されてもよい。診断装置 70 は、取得される P V 仕事をしきい値と比較し、比較結果に基づいて極低温冷凍機 10 を診断する。診断装置 70 は、P V 仕事としきい値を上回るとき正常と判定し、P V 仕事としきい値を下回るとき異常と判定してもよい。このようにして、診断装置 70 は、極低温冷凍機 10 の冷凍能力低下を検知し、または予測することができる。

[0081] 極低温冷凍機の冷却温度をモニタすることによって極低温冷凍機の故障を予測する試みがある。これは、極低温冷凍機が長期の使用につれてだんだんと冷えにくくなり、冷却温度が長期的に少しずつ高まりうることに基づく。しかしながら、冷却温度は、累積の運転時間だけでなく、極低温部への入熱

など極低温冷凍機の運転条件にも依存する（入熱増加を冷凍能力低下と誤検知するリスクがある）。また、冷却温度は、累積の運転時間に応じて線形に変化するとは限らない。したがって、現実には、冷却温度に基づく故障予知がうまく機能する場面は限定的である。

[0082] これに対して、P V仕事に基づく診断は、極低温冷凍機10への外部からの熱負荷の影響を受けない。そのため、冷却温度に基づく診断に比べて、正確な診断が可能になるものと期待される。

[0083] 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、組み合わせられる実施の形態それぞれの効果をあわせもつ。

[0084] 上述の実施の形態では、GM冷凍機を例として説明しているが、本発明はこれに限定されない。ある実施の形態においては、極低温冷凍機10は、例えば、ソルベイ冷凍機、スターリング冷凍機、パルス管冷凍機など、他の形式の極低温冷凍機であってもよい。

[0085] 上述の実施の形態では、極低温冷凍機10が例えばMRIシステムなど超伝導機器に搭載されその冷却に利用される場合を例として説明しているが、これは例示にすぎない。ある実施の形態においては、極低温冷凍機10は、例えばクライオポンプなど他の極低温機器に搭載されその冷却に利用されてもよい。実施の形態に係る診断技術は、そうした極低温機器に適用可能である。

[0086] 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

[0087] 本発明は、極低温冷凍機診断システム、極低温冷凍機および極低温冷凍機診断方法の分野における利用が可能である。

符号の説明

[0088] 10 極低温冷凍機、 14 膨張機、 40 圧力切替バルブ、 50 圧力センサ、 60 演算処理装置、 70 診断装置、 80 通信ネットワーク、 100 診断システム。

請求の範囲

- [請求項1] 極低温冷凍機内の圧力を測定する圧力センサを備える極低温冷凍機と、
- 前記圧力センサによって測定される前記極低温冷凍機内の圧力を示す測定圧力波形を受信し、前記測定圧力波形から前記極低温冷凍機の駆動周波数またはその整数倍の周波数成分の振幅を演算するように構成される演算処理装置と、
- 前記演算処理装置によって演算される前記振幅を受信し、前記振幅に基づいて前記極低温冷凍機を診断するように構成される診断装置と、
- を備えることを特徴とする極低温冷凍機診断システム。
- [請求項2] 前記診断装置は、前記極低温冷凍機の複数の故障モードを診断するように構成されることを特徴とする請求項1に記載の極低温冷凍機診断システム。
- [請求項3] 前記演算処理装置は、前記測定圧力波形から前記極低温冷凍機の駆動周波数およびその整数倍の周波数成分のうち複数の周波数成分それぞれについて振幅を演算するように構成され、
- 前記診断装置は、前記演算処理装置によって演算される前記複数の周波数成分の振幅を受信し、前記複数の周波数成分の振幅に基づいて前記極低温冷凍機を診断するように構成される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診断システム。
- [請求項4] 前記演算処理装置は、前記測定圧力波形の直流成分を演算するように構成され、
- 前記診断装置は、前記演算処理装置によって演算される前記振幅および前記直流成分を受信し、前記振幅および前記直流成分に基づいて前記極低温冷凍機を診断するように構成されることを特徴とする請求項1から3のいずれかに記載の極低温冷凍機診断システム。
- [請求項5] 前記演算処理装置は、前記測定圧力波形に基づいて前記極低温冷凍機の膨張仕事を演算するように構成されることを特徴とする請求項1

から4のいずれかに記載の極低温冷凍機診断システム。

[請求項6] 前記診断装置は、前記演算処理装置から遠隔に配置され、前記演算処理装置によって演算される前記振幅を通信ネットワークを介して受信するように構成され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診断システム。

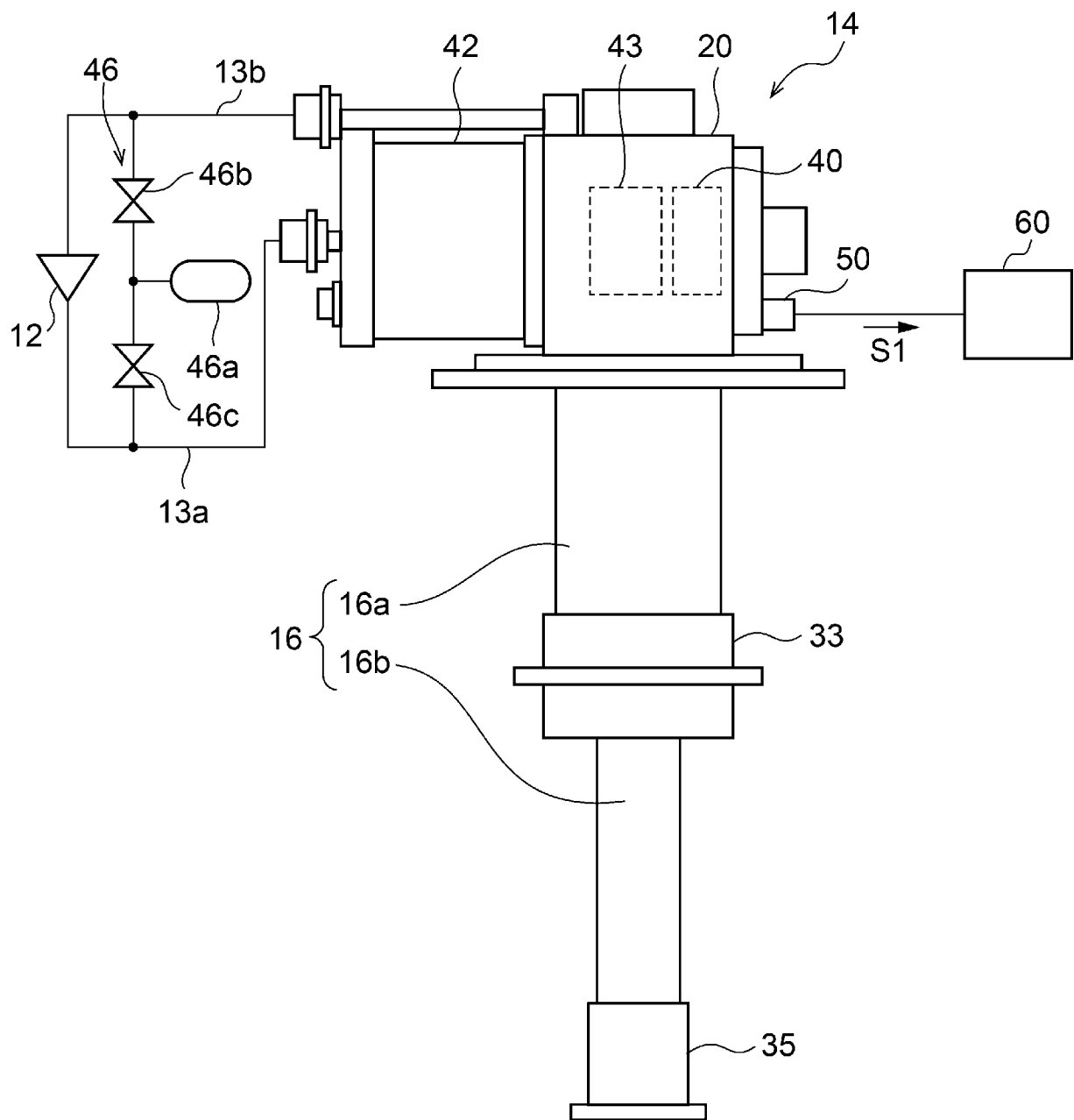
[請求項7] 前記極低温冷凍機は、膨張機と、前記膨張機内に周期的圧力変動を発生させるように動作する圧力切替バルブとを備え、前記圧力センサは、前記膨張機内に発生する前記周期的圧力変動を測定するように配置されることを特徴とする請求項1から6のいずれかに記載の極低温冷凍機診断システム。

[請求項8] 極低温冷凍機内の圧力を示す測定圧力波形から演算される前記極低温冷凍機の駆動周波数またはその整数倍の周波数成分の振幅に基づいて前記極低温冷凍機を診断するように構成される診断装置を備えることを特徴とする極低温冷凍機診断システム。

[請求項9] 極低温冷凍機内の圧力を測定する圧力センサと、
前記圧力センサによって測定される前記極低温冷凍機内の圧力を示す測定圧力波形を受信し、前記測定圧力波形から極低温冷凍機の駆動周波数またはその整数倍の周波数成分の振幅を演算するように構成される演算処理装置と、を備えることを特徴とする極低温冷凍機。

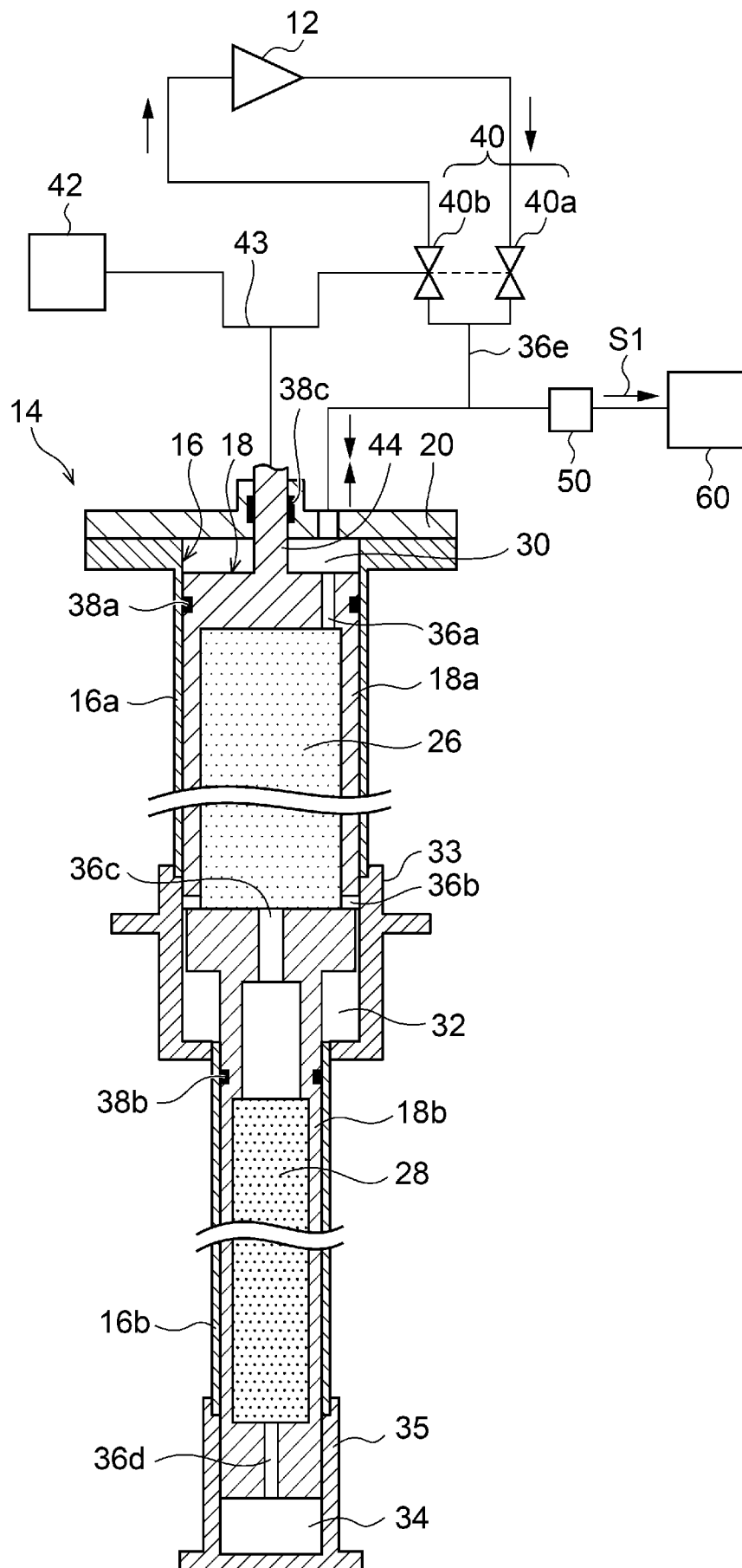
[請求項10] 極低温冷凍機内の圧力を示す測定圧力波形を取得することと、
前記測定圧力波形から前記極低温冷凍機の駆動周波数またはその整数倍の周波数成分の振幅を演算することと、
前記振幅に基づいて前記極低温冷凍機を診断することと、を備えることを特徴とする極低温冷凍機診断方法。

[図1]

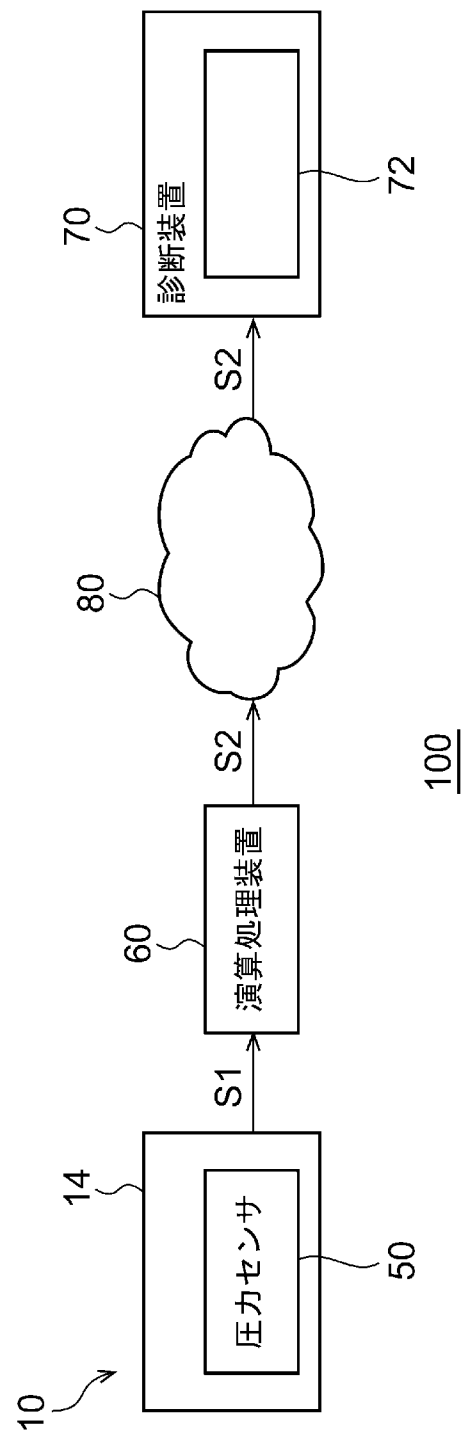


[図2]

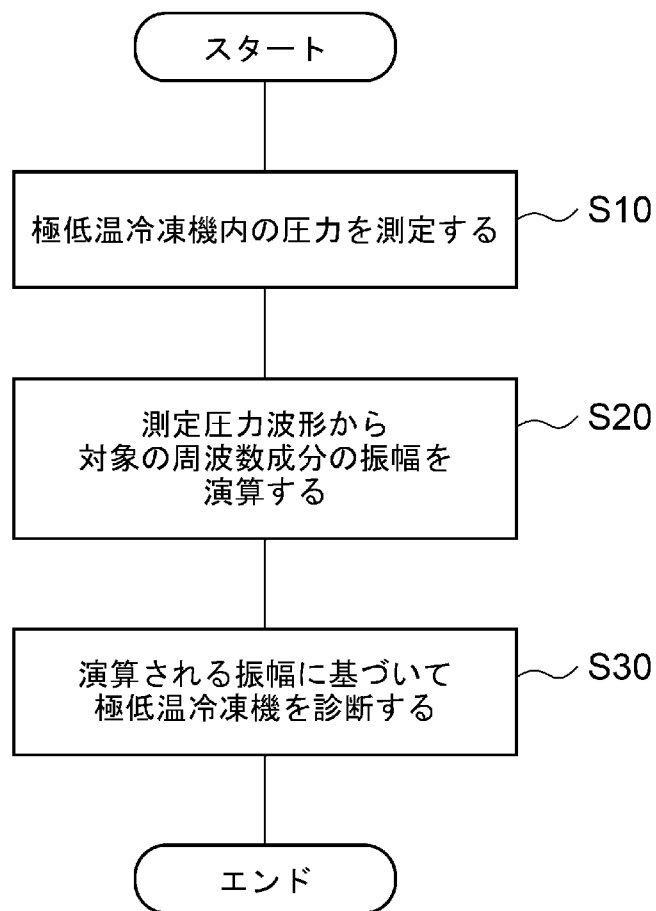
10



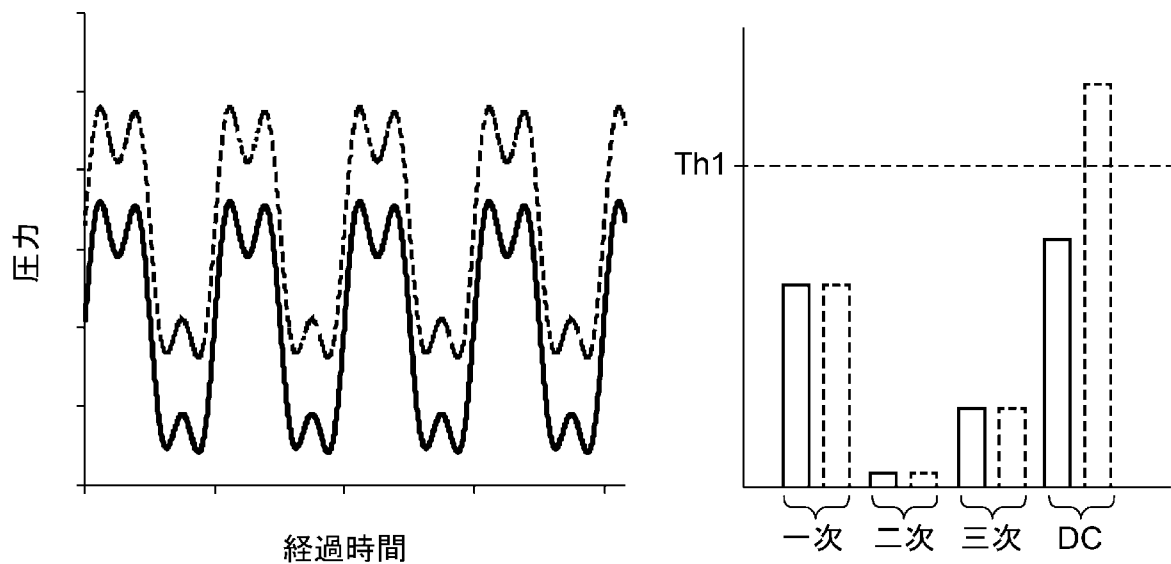
[図3]



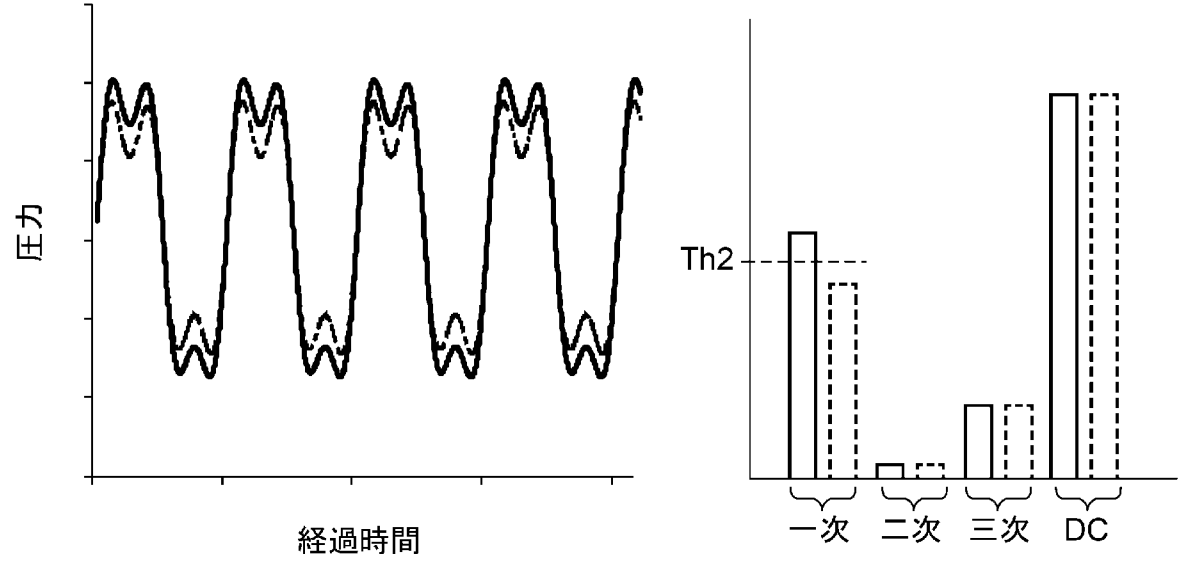
[図4]



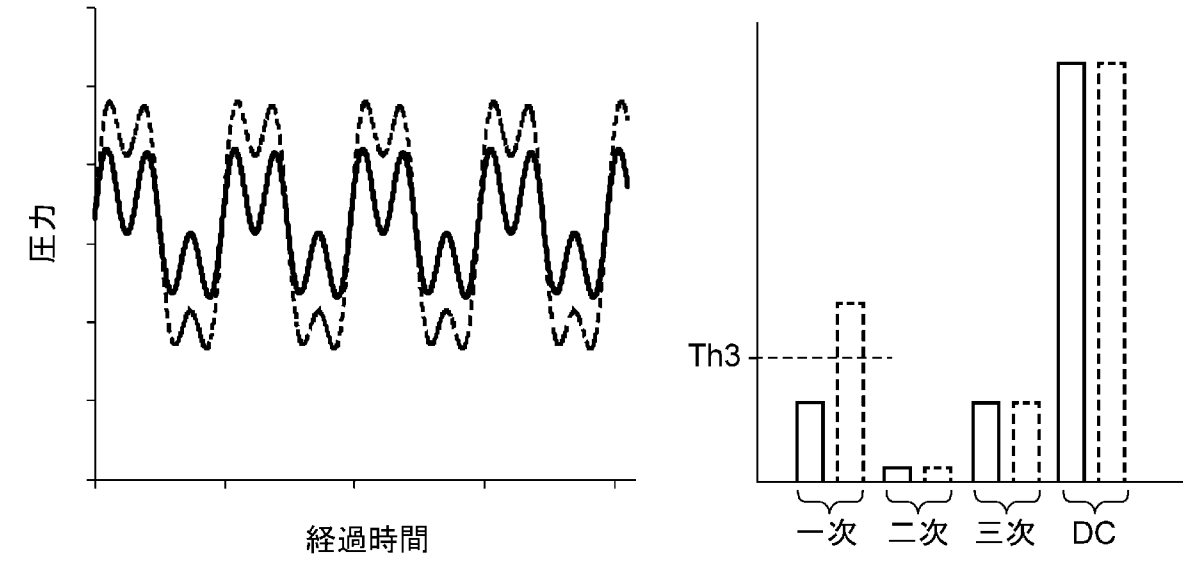
[図5]



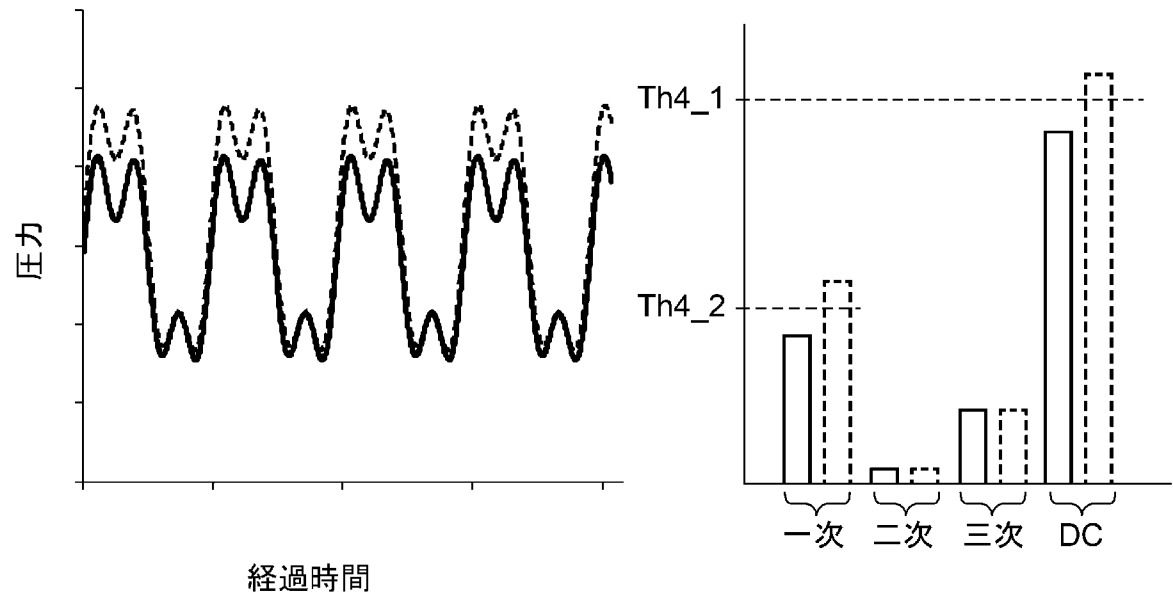
[図6]



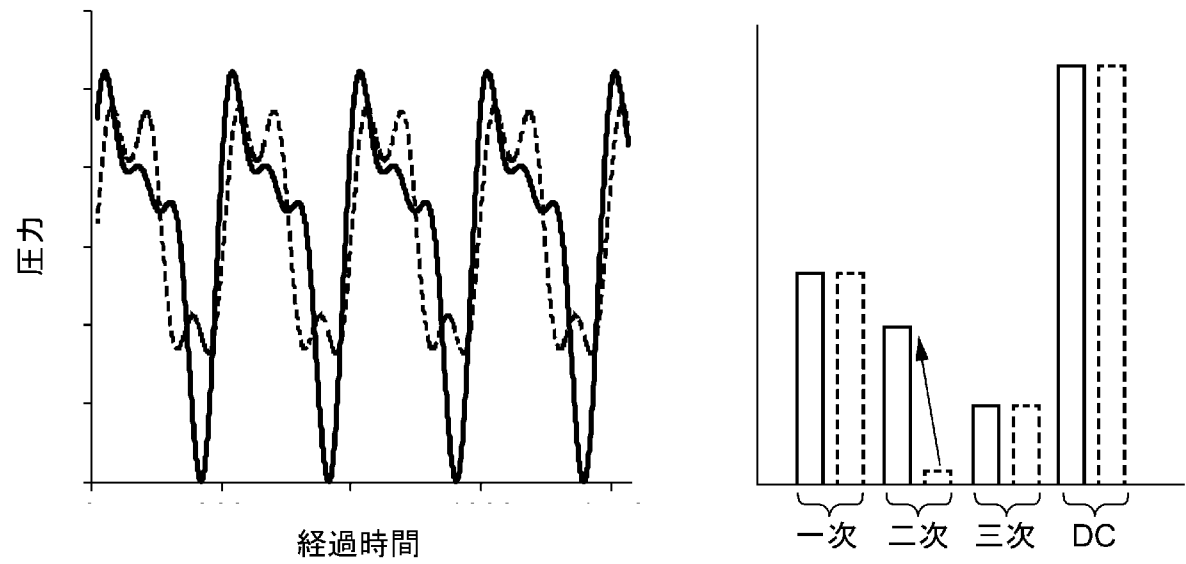
[図7]



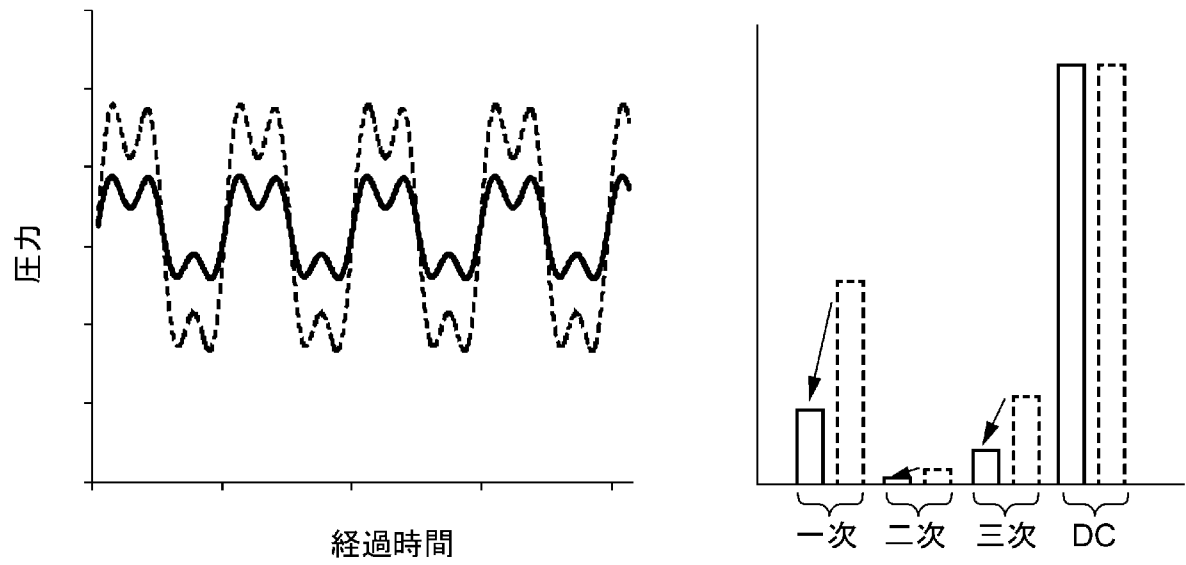
[図8]



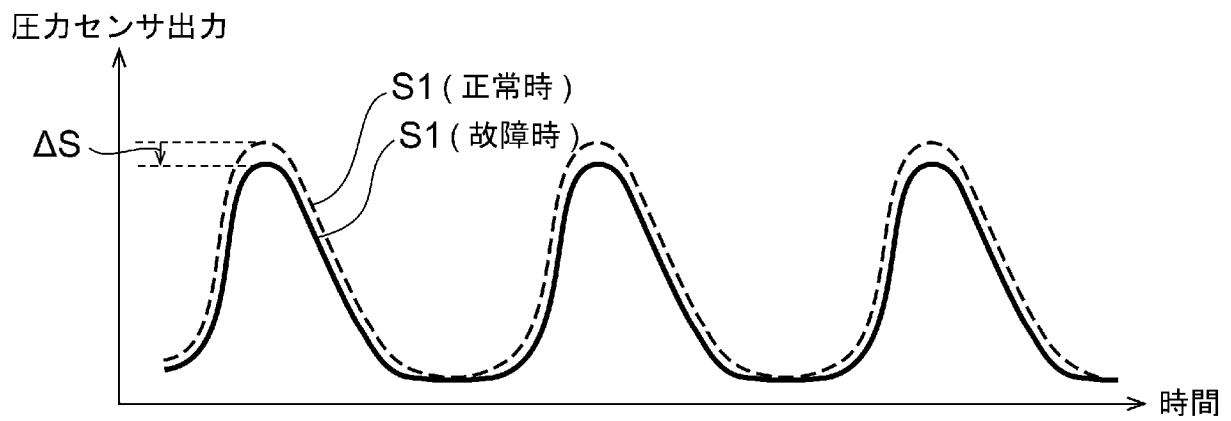
[図9]



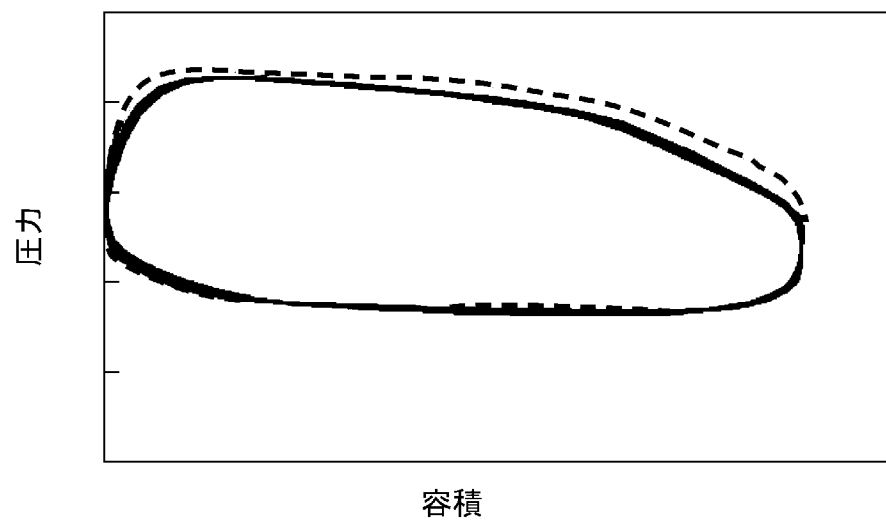
[図10]



[図11]



[図12]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2022/039684

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**F25B 9/14**(2006.01)i; **F25B 49/00**(2006.01)i

FI: F25B9/14 530Z; F25B49/00 A

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)

F25B9/00-9/14; F25B49/00

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 1971-2022
 Registered utility model specifications of Japan 1996-2022
 Published registered utility model applications of Japan 1994-2022

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.
A	JP 2020-134007 A (SUMITOMO HEAVY INDUSTRIES, LTD.) 31 August 2020 (2020-08-31) entire text, all drawings	1-10
A	US 2010/0037639 A1 (OGDEN) 18 February 2010 (2010-02-18) entire text, all drawings	1-10
A	JP 2014-526643 A (GENERAL ELECTRIC CO.) 06 October 2014 (2014-10-06) entire text, all drawings	1-10
A	JP 2014-512799 A (ABB TECHNOLOGY AG) 22 May 2014 (2014-05-22) entire text, all drawings	1-10



Further documents are listed in the continuation of Box C.



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

21 November 2022

Date of mailing of the international search report

13 December 2022

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/JP2022/039684

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
JP	2020-134007	A	31 August 2020	US	2020/0263907	A1	
				CN	111579258	A	
US	2010/0037639	A1	18 February 2010	WO	2010/019836	A2	
				EP	2326893	A2	
				CA	2732452	A	
JP	2014-526643	A	06 October 2014	US	2013/0073175	A1	
				WO	2013/039722	A1	
				CN	103814202	A	
				EA	201490352	A1	
JP	2014-512799	A	22 May 2014	US	2014/0049285	A1	
				WO	2012/146613	A1	
				EP	2518456	A1	
				CN	103620354	A	
				KR	10-2014-0031240	A	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） F25B 9/14(2006.01)i; F25B 49/00(2006.01)i FI: F25B9/14 530Z; F25B49/00 A										
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）） F25B9/00-9/14; F25B49/00										
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										
<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>1971-2022年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2022年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2022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	1971-2022年	日本国実用新案登録公報	1996-2022年	日本国登録実用新案公報	1994-2022年
日本国実用新案公報	1922-1996年									
日本国公開実用新案公報	1971-2022年									
日本国実用新案登録公報	1996-2022年									
日本国登録実用新案公報	1994-2022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								
A	JP 2020-134007 A（住友重機械工業株式会社）31.08.2020（2020-08-31） 全文，全図	1-10								
A	US 2010/0037639 A1（OGDEN）18.02.2010（2010-02-18） 全文，全図	1-10								
A	JP 2014-526643 A（ゼネラル・エレクトリック・カンパニイ）06.10.2014（2014-10-06） 全文，全図	1-10								
A	JP 2014-512799 A（アーベーバー・テヒノロジー・アーゲー）22.05.2014（2014-05-22） 全文，全図	1-10								
☐ 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 “A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技术水準を示すもの “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 </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 “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 </td> </tr> </table>			* 引用文献のカテゴリー “A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技术水準を示すもの “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						
* 引用文献のカテゴリー “A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技术水準を示すもの “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 21.11.2022	国際調査報告の発送日 13.12.2022									
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） 西山 真二 3M 9536 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/JP2022/039684

引用文献			公表日	パテントファミリー文献			公表日
JP	2020-134007	A	31.08.2020	US	2020/0263907	A1	
				CN	111579258	A	
US	2010/0037639	A1	18.02.2010	WO	2010/019836	A2	
				EP	2326893	A2	
				CA	2732452	A	
JP	2014-526643	A	06.10.2014	US	2013/0073175	A1	
				WO	2013/039722	A1	
				CN	103814202	A	
				EA	201490352	A1	
JP	2014-512799	A	22.05.2014	US	2014/0049285	A1	
				WO	2012/146613	A1	
				EP	2518456	A1	
				CN	103620354	A	
				KR	10-2014-0031240	A	