

(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  
2019年4月18日(18.04.2019)



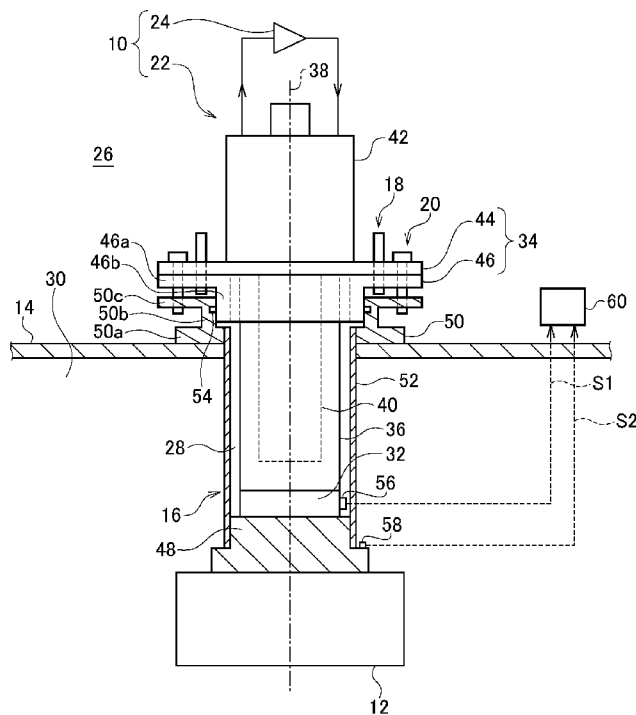
(10) 国際公開番号

WO 2019/073971 A1

- (51) 国際特許分類: *F25B 9/00* (2006.01)      *F25B 9/14* (2006.01)
- (21) 国際出願番号:                      PCT/JP2018/037606
- (22) 国際出願日:                        2018年10月9日(09.10.2018)
- (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 2017-198369    2017年10月12日(12.10.2017) 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: 足立 俊太郎 (ADACHI Shuntaro); 〒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, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY,

(54) Title: MOUNTING STRUCTURE AND MOUNTING METHOD FOR CRYOGENIC REFRIGERATOR

(54) 発明の名称: 極低温冷凍機の装着構造および装着方法



(57) Abstract: A mounting structure for a cryogenic refrigerator 10, said mounting structure comprising: a sleeve 16; a flange interval adjustment mechanism 18 for adjusting an interval between a sleeve-side flange 50 and a cold-head-side flange 34 so as to physically bring into contact or separate a cold-head-side cooling stage 32 and a sleeve-side cooling stage 48, while keeping an airtight region 28 isolated from the surrounding environment 26; and a flange fastening mechanism 20 for fastening the cold-head-side flange 34 to the sleeve-side flange 50 so as to press the cold-head-side cooling stage 32



WO 2019/073971 A1

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,  
SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,  
UG, US, UZ, VC, VN, 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))

---

against the sleeve-side cooling stage 48 with a prescribed pressing surface pressure such that the cold-head-side cooling stage 32 and the sleeve-side cooling stage 48 are in thermal contact with a thermal resistance of a value equal to or less than a threshold value.

(57) 要約 : 極低温冷凍機 10 の装着構造は、スリーブ 16 と、周囲環境 26 からの気密領域 28 の隔離を保持しつつ、コールドヘッド側冷却ステージ 32 とスリーブ側冷却ステージ 48 を物理的に接触させ又は非接触とするように、スリーブ側フランジ 50 とコールドヘッド側フランジ 34 との間隔を調整するフランジ間隔調整機構 18 と、コールドヘッド側冷却ステージ 32 とスリーブ側冷却ステージ 48 とがしきい値以下の熱抵抗で熱的に接触するように指定された押付面圧でコールドヘッド側冷却ステージ 32 をスリーブ側冷却ステージ 48 に押し付けるように、コールドヘッド側フランジ 34 をスリーブ側フランジ 50 と締結するフランジ締結機構 20 と、を備える。

## 明 細 書

発明の名称： 極低温冷凍機の装着構造および装着方法

### 技術分野

[0001] 本発明は、真空容器への極低温冷凍機の装着構造および装着方法に関する。

### 背景技術

[0002] 従来から、極低温冷凍機のコールドヘッドをスリーブを介してクライオスタットなどの極低温真空容器に装着することが知られている。極低温真空容器内には例えば超伝導コイルなどの被冷却物が収容され、この被冷却物はスリーブ末端に取り付けられ、熱接触している。コールドヘッドとスリーブとの熱接触により、極低温冷凍機は、スリーブを介して被冷却物を冷却することができる。

[0003] 極低温冷凍機を長期的に運転するなかで、極低温冷凍機のメンテナンスが定期的に必要とされうる。作業者は、スリーブを用いた装着構造を操作し、コールドヘッドとスリーブの熱接触を解除して極低温冷凍機にメンテナンスを施すことができる。極低温冷凍機は例えば室温などメンテナンス作業に都合のよい温度に昇温され、作業完了後に再冷却される。熱接触の解除により、被冷却物は低温に保つことができる。したがって、極低温冷凍機とともに被冷却物を室温に昇温して極低温冷凍機にメンテナンスを施す場合に比べて被冷却物の再冷却時間を短縮することができ、メンテナンスの所要時間を短くすることができる。

### 先行技術文献

#### 特許文献

[0004] 特許文献1：特許第3524460号公報

特許文献2：特許第3992276号公報

### 発明の概要

#### 発明が解決しようとする課題

[0005] 本発明者は、スリーブを介した真空容器への極低温冷凍機の装着構造について鋭意研究を重ねた結果、以下の課題を認識するに至った。本発明者は、この種の装着構造により装着された極低温冷凍機のメンテナンスを何回か繰り返したとき、極低温冷凍機とスリーブとの間の熱接触状態が劣化しやすいという新たな現象を発見した。通例、極低温冷凍機とスリーブの熱接触部には、熱接触をよくするためにインジウムシートが挟み込まれている。本発明者の考察によれば、熱接触状態の劣化現象は、インジウムシートの介在に起因すると考えられる。熱接触の劣化は、被冷却物の冷却温度の上昇、あるいは冷却効率の低下を招きうるので、望ましくない。

[0006] 本発明のある態様の例示的な目的のひとつは、スリーブを介して真空容器に装着される極低温冷凍機に関して、極低温冷凍機のメンテナンスが反復されても長期にわたり極低温冷凍機とスリーブの熱接触を良好に維持する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、極低温冷凍機のコールドヘッドを真空容器に装着するための装着構造であって、前記コールドヘッドは、コールドヘッド側冷却ステージと、コールドヘッド側フランジとを備えており、前記装着構造は、周囲環境から隔離された気密領域を前記コールドヘッドとの間に形成するよう前記真空容器に設置されたコールドヘッド収容スリーブであって、前記コールドヘッド側冷却ステージとの物理的接触により前記コールドヘッド側冷却ステージと熱接触するスリーブ側冷却ステージと、前記コールドヘッド側フランジに結合されるスリーブ側フランジと、を備えるコールドヘッド収容スリーブと、前記周囲環境からの前記気密領域の隔離を保持しつつ、前記コールドヘッド側冷却ステージと前記スリーブ側冷却ステージを物理的に接触させ又は非接触とするように、前記スリーブ側フランジと前記コールドヘッド側フランジとの間隔を調整するよう構成されたフランジ間隔調整機構と、前記コールドヘッド側冷却ステージと前記スリーブ側冷却ステージとがしきい値以下の熱抵抗で熱的に接触するように指定された押付面圧で前記

コールドヘッド側冷却ステージを前記スリーブ側冷却ステージに押し付けるように、前記コールドヘッド側フランジを前記スリーブ側フランジと締結するよう構成されたフランジ締結機構と、を備える。

[0008] 本発明のある態様によると、極低温冷凍機のコールドヘッドをコールドヘッド收容スリーブを介して真空容器に装着する装着方法であって、前記コールドヘッドは、コールドヘッド側冷却ステージと、コールドヘッド側フランジとを備え、前記コールドヘッド收容スリーブは、前記コールドヘッド側冷却ステージとの物理的接触により前記コールドヘッド側冷却ステージと熱接触するスリーブ側冷却ステージと、前記コールドヘッド側フランジに結合されるスリーブ側フランジと、を備え、周囲環境から隔離された気密領域を前記コールドヘッドとの間に形成するよう前記真空容器に設置されており、前記装着方法は、前記周囲環境からの前記気密領域の隔離を保持しつつ、前記コールドヘッド側冷却ステージを前記スリーブ側冷却ステージに物理的に接触させるように、前記スリーブ側フランジと前記コールドヘッド側フランジとの間隔を調整することと、前記コールドヘッド側冷却ステージと前記スリーブ側冷却ステージとがしきい値以下の熱抵抗で熱的に接触するように指定された押付面圧で前記コールドヘッド側冷却ステージを前記スリーブ側冷却ステージに押し付けるように、前記コールドヘッド側フランジを前記スリーブ側フランジと締結することと、を備える。

[0009] 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

[0010] 本発明によれば、スリーブを介して真空容器に装着される極低温冷凍機に関して、極低温冷凍機のメンテナンスが反復されても長期にわたり極低温冷凍機とスリーブの熱接触を良好に維持することができる。

### 図面の簡単な説明

[0011] [図1]実施の形態に係る装着構造を説明するための概略図である。

[図2]実施の形態に係る装着構造を説明するための概略図である。

[図3]実施の形態に係る装着方法を説明するためのフローチャートである。

[図4]温度差 $\Delta T$ と押付面圧との関係を示すグラフである。

[図5]温度差 $\Delta T$ とメンテナンス回数との関係を示すグラフである。

[図6]図6(a)および図6(b)は、実施の形態に係る極低温冷凍機に使用されうる冷却ステージ構造の一例を示す概略図である。

[図7]実施の形態に係るコールドヘッド側伝熱ブロックの例示的構成を示す概略斜視図である。

[図8]実施の形態に係るコールドヘッド側伝熱ブロックおよびその周辺構造の例示的構成を示す概略断面図である。

[図9]実施の形態に係る極低温冷凍機に使用されうるフランジ間隔調整機構およびフランジ締結機構の一例を示す概略斜視図である。

[図10]実施の形態に係る極低温冷凍機に使用されうるフランジ間隔調整機構およびフランジ締結機構の一例を示す概略斜視図である。

[図11]他の実施の形態に係る装着構造を説明するための概略図である。

[図12]他の実施の形態に係る装着構造を説明するための概略図である。

[図13]他の実施の形態に係る装着構造を説明するための概略図である。

### 発明を実施するための形態

[0012] 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。

[0013] 図1および図2は、実施の形態に係る装着構造を説明するための概略図である。図1には、極低温冷凍機10が例えば超伝導コイルなどの被冷却物12と熱的に結合された状態が示され、図2には、両者の熱的な結合が解除さ

れた状態が示されている。

- [0014] 実施の形態に係る装着構造は、真空容器 14、例えばクライオスタットなどの極低温真空容器に極低温冷凍機 10 を装着するための器具である。装着構造は、コールドヘッド收容スリーブ（以下では単に、スリーブともいう）16 と、フランジ間隔調整機構 18 と、フランジ締結機構 20 とを備える。極低温冷凍機 10 は、コールドヘッド 22 と圧縮機 24 とを備える。
- [0015] スリーブ 16 は、周囲環境 26 から隔離された気密領域 28 をコールドヘッド 22 との間に形成するよう真空容器 14 に設置される。周囲環境 26 は例えば室温の大気圧環境である。気密領域 28 は、真空中に排気されてもよいし、あるいは、ヘリウムガスのような極低温で液化しない不活性ガスで充填されてもよい。
- [0016] また、スリーブ 16 は、真空容器 14 と組み合わされて真空容器 14 内に真空領域 30 を区画するよう真空容器 14 に設置される。一例として、真空容器 14 の天板に形成された開口部にスリーブ 16 の上端部が取り付けられ、スリーブ 16 はこの開口部から真空容器 14 内に延びている。スリーブ 16 の下端が被冷却物 12 に直接に又は任意の伝熱部材を介して取り付けられている。被冷却物 12 は、真空領域 30 に配置されている。
- [0017] 極低温冷凍機 10 は、一例として、単段式のギフォード・マクマホン冷凍機（以下、GM 冷凍機ともいう）である。よって、装着構造は、単段式の GM 冷凍機を真空容器 14 に装着するよう構成されている。ただし、極低温冷凍機 10 は、これに限られず、二段式の GM 冷凍機であってもよく、その場合、装着構造は、二段式の GM 冷凍機を真空容器 14 に装着するよう構成されうる。極低温冷凍機 10 は、スターリング冷凍機、パルス管冷凍機などその他の極低温冷凍機であってもよい。
- [0018] 極低温冷凍機 10 は、上記の装着構造とともに、極低温冷凍機 10 の製造業者により顧客に提供されてもよい。被冷却物 12 を冷却する冷却装置が、極低温冷凍機 10 および装着構造から構成されるとも言える。よって、実施の形態に係る冷却装置は、極低温冷凍機 10 と、スリーブ 16 と、フランジ

間隔調整機構 18 と、フランジ締結機構 20 とを備える。

[0019] 極低温冷凍機 10 のコールドヘッド 22 は、コールドヘッド側冷却ステージ 32、コールドヘッド側フランジ 34、シリンダ 36 を備える。シリンダ 36 は、中心軸 38 に沿って延在し、コールドヘッド側フランジ 34 をコールドヘッド側冷却ステージ 32 と連結している。コールドヘッド側フランジ 34 およびコールドヘッド側冷却ステージ 32 はシリンダ 36 と同軸に配置されている。コールドヘッド側フランジ 34 はシリンダ 36 の上端に設けられ、コールドヘッド側冷却ステージ 32 はシリンダ 36 の下端に設けられている。

[0020] 一例として、シリンダ 36 は、中空の円筒状部材であり、コールドヘッド側フランジ 34 は、シリンダ 36 の上端開口周縁から中心軸 38 と垂直な径方向外側に広がる円環状部材である。コールドヘッド側冷却ステージ 32 は、シリンダ 36 の下端開口を閉じるようシリンダ 36 に固着された円板状または短い円柱状の部材である。コールドヘッド側冷却ステージ 32 は、例えば銅（例えば純銅）などの高熱伝導金属、またはその他の熱伝導材料で形成されている。コールドヘッド側フランジ 34 およびシリンダ 36 は、例えばステンレスなどの金属で形成されている。コールドヘッド側冷却ステージ 32 を形成する熱伝導材料の熱伝導率は、シリンダ 36（またはコールドヘッド側フランジ 34）を形成する材料の熱伝導率より高い。

[0021] 極低温冷凍機 10 の圧縮機 24 は、極低温冷凍機 10 に作動ガス（例えばヘリウムガス）を循環させるために設けられている。圧縮機 24 は、高圧の作動ガスをコールドヘッド 22 に供給し、コールドヘッド 22 内の膨張空間での断熱膨張により減圧された低圧の作動ガスをコールドヘッド 22 から回収して再び昇圧するよう構成されている。

[0022] さらに、コールドヘッド 22 は、ディスプレイサ 40 と、ディスプレイサ 40 を駆動するディスプレイサ 40 と連結された駆動部 42 とを備える。ディスプレイサ 40 は、シリンダ 36 と同軸にシリンダ 36 内に配置され、シリンダ 36 に沿って中心軸 38 の方向に往復動可能である。ディスプレイサ

40とコールドヘッド側冷却ステージ32との間に作動ガスの膨張空間が形成される。また駆動部42には、膨張空間の圧力を制御するバルブが内蔵されている。この圧力制御バルブは、圧縮機24から膨張空間への高圧作動ガス供給と膨張空間から圧縮機24への低圧作動ガス回収とを交互に切り替えるよう構成されている。駆動部42は、ディスプレイサ40の軸方向往復動による膨張空間の容積変化と、圧力制御バルブによる膨張空間の圧力変化とを適切に同期させるよう構成されている。それにより、コールドヘッド22は、コールドヘッド側冷却ステージ32を冷却することができる。

[0023] 駆動部42は、例えばボルト等の締結部材（図示せず）によってコールドヘッド側フランジ34に固定される。締結を解除することによって、駆動部42は、ディスプレイサ40とともに一体的にコールドヘッド22から取り外し可能である。

[0024] コールドヘッド側フランジ34は、2つのフランジの結合体である。すなわち、コールドヘッド側フランジ34は、シリンダ36の上端開口周縁にシリンダ36と一体形成されたシリンダフランジ44と、シリンダフランジ44の下面に取り付けられたトランジションフランジ46とを備える。駆動部42はシリンダフランジ44に取り外し可能に固定されている。駆動部42が取り外されるとき、シリンダ36の上端開口からディスプレイサ40が引き抜かれ、駆動部42が取り付けられるとき、シリンダ36の上端開口からディスプレイサ40がシリンダ36内に挿入される。

[0025] トランジションフランジ46は、装着構造のひとつの構成要素でもあり、環状の板部46aおよび筒部46bを備える。環状の板部46aが例えばボルト等の締結部材（図示せず）によってシリンダフランジ44の下面に固定される。筒部46bは、環状の板部46aから中心軸38の方向に下方に延びている。筒部46bは、短い円筒であり、シリンダ36の上端を囲んでいる。筒部46bの径はシリンダ36の径より若干大きく、筒部46bの内周面とシリンダ36の外周面との間には隙間があり互いに接触していない。

[0026] 圧縮機24、コールドヘッド側フランジ34、および駆動部42は、周囲

環境 26 に配置されている。

[0027] スリーブ 16 は、シリンダ 36 を囲むようにシリンダ 36 と同軸に配置されている。スリーブ 16 は、スリーブ側冷却ステージ 48 と、スリーブ側フランジ 50 と、スリーブ体 52 とを備える。

[0028] スリーブ側冷却ステージ 48 は、コールドヘッド側冷却ステージ 32 との物理的接触によりコールドヘッド側冷却ステージ 32 と熱接触する。一例として、スリーブ側冷却ステージ 48 とコールドヘッド側冷却ステージ 32 の接触面は平坦であるが、この形状には限られない。後述のように、コールドヘッド側冷却ステージ 32 は、テーパ面、傾斜面、または凹凸面などの非平坦面を有してもよく、気密領域 28 に露出されるスリーブ側冷却ステージ 48 の内面は、この非平坦面に対応する非平坦面を有してもよい。真空領域 30 に露出されるスリーブ側冷却ステージ 48 の外面には被冷却物 12 が取り付けられている。

[0029] したがって、コールドヘッド側冷却ステージ 32 がスリーブ側冷却ステージ 48 と物理的に接触するとき、コールドヘッド側冷却ステージ 32 がスリーブ側冷却ステージ 48 を介して被冷却物 12 と熱的に結合される。よって、コールドヘッド側冷却ステージ 32 が冷却されることによって、被冷却物 12 を冷却することができる。例えば、被冷却物 12 が超伝導コイルのような超伝導機器である場合、極低温冷凍機 10 は、超伝導材料の臨界温度以下の極低温に被冷却物 12 を冷却することができる。

[0030] なお、後述する理由により、コールドヘッド側冷却ステージ 32 とスリーブ側冷却ステージ 48 とはインジウムシートのような伝熱用の介在物無く、直接に接触することが望ましい。しかし、本発明は、介在物の不存在を必須とはしない。許容される場合には、コールドヘッド側冷却ステージ 32 とスリーブ側冷却ステージ 48 とがインジウムシートのような伝熱用の介在物を挟んで熱接触してもよい。

[0031] スリーブ側フランジ 50 は、コールドヘッド側フランジ 34 に結合され、周囲環境 26 に配置されている。一例として、スリーブ側フランジ 50 は、

環状の第1板部50a、筒部50b、および環状の第2板部50cを備える。環状の第1板部50aと環状の第2板部50cは筒部50bによって連結されている。環状の第1板部50aは例えばボルト等の締結部材（図示せず）によって真空容器14の上面に固定される。筒部50bは、短い円筒であり、第1板部50aから中心軸38の方向に上方に延びている。第2板部50cは、例えば数mm程度の間隔を隔ててトランジションフランジ46の環状の板部46aと対向している。

[0032] スリーブ側フランジ50の筒部50bはトランジションフランジ46の筒部46bのすぐ外側に隣接配置され、両者は互いに接触している。気密領域28の気密性を保持するためのシール部材54が、スリーブ側フランジ50の筒部50bとトランジションフランジ46の筒部46bの間に配置されている。シール部材54は、例えば、スリーブ側フランジ50の筒部50bに形成された周溝に配置されたOリングなどのシール部材である。

[0033] スリーブ体52は、中空の円筒状部材であり、シリンダ36と同軸に中心軸38に沿って延在し、スリーブ側フランジ50をスリーブ側冷却ステージ48と連結している。スリーブ側フランジ50はスリーブ体52の上端に設けられ、スリーブ側冷却ステージ48はスリーブ体52の下端に設けられている。スリーブ側フランジ50は、スリーブ体52の上端開口周縁から中心軸38と垂直な径方向外側に広がる円環状部材である。スリーブ側冷却ステージ48は、スリーブ体52の下端開口を閉じるようスリーブ体52に固着された円板状または短い円柱状の部材である。

[0034] スリーブ側冷却ステージ48は、例えば銅（例えば純銅）などの高熱伝導金属、またはその他の熱伝導材料で形成されている。スリーブ側フランジ50およびスリーブ体52は、例えばステンレスなどの金属で形成されている。スリーブ側冷却ステージ48を形成する熱伝導材料の熱伝導率は、スリーブ体52（またはスリーブ側フランジ50）を形成する材料の熱伝導率より高い。

[0035] コールドヘッド側フランジ34はスリーブ側フランジ50に対して軸方向

に摺動可能であり、それにより、コールドヘッド 22 は、スリーブ 16 に対し軸方向に移動可能である。この可動範囲は数 mm 程度、例えば 2 ~ 3 mm 程度である。シール部材 54 があるので、コールドヘッド 22 が移動しても気密領域 28 は周囲環境 26 から隔離されている。

[0036] 図 1 には、コールドヘッド 22 が可動範囲の下端に位置してコールドヘッド側冷却ステージ 32 とスリーブ側冷却ステージ 48 が熱接触している状態が示されている。図 2 には、コールドヘッド 22 が可動範囲の上端に位置してコールドヘッド側冷却ステージ 32 がスリーブ側冷却ステージ 48 から離れ、両者の熱接触が解除された状態が示されている。

[0037] フランジ間隔調整機構 18 は、周囲環境 26 からの気密領域 28 の隔離を保持しつつ、コールドヘッド側冷却ステージ 32 とスリーブ側冷却ステージ 48 を物理的に接触させ又は非接触とするように、スリーブ側フランジ 50 とコールドヘッド側フランジ 34 との間隔を調整するよう構成されている。作業者がフランジ間隔調整機構 18 を操作することによって、上記の可動範囲においてコールドヘッド 22 を昇降させることができる。フランジ間隔調整機構 18 の例示的な構成は、後述する。

[0038] フランジ締結機構 20 は、コールドヘッド側冷却ステージ 32 をスリーブ側冷却ステージ 48 に押し付けるように、コールドヘッド側フランジ 34 をスリーブ側フランジ 50 と締結するよう構成されている。フランジ締結機構 20 は、コールドヘッド側冷却ステージ 32 とスリーブ側冷却ステージ 48 とがしきい値以下の熱抵抗で熱的に接触するように指定された押付面圧で、コールドヘッド側冷却ステージ 32 をスリーブ側冷却ステージ 48 に押し付ける。このしきい値を以下では、熱抵抗しきい値ともいう。作業者がフランジ締結機構 20 を操作することによって、フランジ締結機構 20 は、コールドヘッド側冷却ステージ 32 とスリーブ側冷却ステージ 48 の間に働く押付面圧を調整することができる。フランジ締結機構 20 の例示的な構成は、後述する。

[0039] また、コールドヘッド 22 は、コールドヘッド側冷却ステージ 32 の温度

を測定するコールドヘッド側温度センサ56を備える。コールドヘッド側温度センサ56は、コールドヘッド側冷却ステージ32に配置されている。スリーブ16は、スリーブ側冷却ステージ48の温度を測定するスリーブ側温度センサ58を備える。スリーブ側温度センサ58は、スリーブ側冷却ステージ48に配置されている。コールドヘッド側温度センサ56は、コールドヘッド測定温度を表す信号S1を外部に出力するよう構成され、スリーブ側温度センサ58は、スリーブ測定温度を表す信号S2を外部に出力するよう構成されている。したがって、作業者は、コールドヘッド側冷却ステージ32の測定温度とスリーブ側冷却ステージ48の測定温度を取得し、それらの温度差 $\Delta T$ を取得することができる。測定温度（及び／または温度差）を表示または出力する出力部60が設けられていてもよい。

[0040] コールドヘッド側冷却ステージ32の測定温度とスリーブ側冷却ステージ48の測定温度との温度差 $\Delta T$ が熱抵抗しきい値に相当する所定の温度差以内に収まるように、フランジ締結機構20によってコールドヘッド側フランジ34がスリーブ側フランジ50と締結される。作業者は、フランジ締結機構20を操作することによって、温度差 $\Delta T$ が熱抵抗しきい値に相当する所定の温度差以内に収まるようにコールドヘッド側フランジ34をスリーブ側フランジ50と締結することができる。

[0041] 図3は、実施の形態に係る装着方法を説明するためのフローチャートである。極低温冷凍機10のメンテナンスが許容されるタイミングが到来すると、極低温冷凍機10の冷却運転が停止される（S10）。

[0042] 作業者がフランジ間隔調整機構18およびフランジ締結機構20を操作することによって、極低温冷凍機10と被冷却物12との熱的な結合が解除される（S12）。そのために、まず、フランジ締結機構20によるコールドヘッド側フランジ34とスリーブ側フランジ50との締結が解除される（S14）。次に、周囲環境26からの気密領域28の隔離を保持しつつ、コールドヘッド側冷却ステージ32をスリーブ側冷却ステージ48から物理的に非接触とするように、スリーブ側フランジ50とコールドヘッド側フランジ

34との間隔が調整される。コールドヘッド側フランジ34とスリーブ側フランジ50の間にはシール部材54が設けられているので、周囲環境26からの気密領域28の隔離は保持される。こうして、フランジ間隔調整機構18によりコールドヘッド22が引き上げられる(S16)。コールドヘッド22の引き上げにより、コールドヘッド側冷却ステージ32がスリーブ側冷却ステージ48から離れ、両者の熱接触が解除される。被冷却物12を低温に保ちつつ、コールドヘッド22を昇温することができる。

[0043] 極低温冷凍機10のメンテナンスが行われる(S18)。駆動部42およびディスプレイサ40がコールドヘッド22から取り外される。シリンダ36およびコールドヘッド側冷却ステージ32はそのままスリーブ16に設置されている。そして、メンテナンスが施された(または新品の)駆動部42およびディスプレイサ40がコールドヘッド22に取り付けられる。そして、極低温冷凍機10の冷却運転が再開される(S20)。

[0044] 作業者がフランジ間隔調整機構18およびフランジ締結機構20を再び操作することによって、極低温冷凍機10と被冷却物12とが再び熱的に結合される(S22)。周囲環境26からの気密領域28の隔離を保持しつつ、コールドヘッド側冷却ステージ32をスリーブ側冷却ステージ48に物理的に接触させるように、スリーブ側フランジ50とコールドヘッド側フランジ34との間隔が調整される。こうして、フランジ間隔調整機構18によりコールドヘッド22が降下される(S24)。コールドヘッド側冷却ステージ32は、スリーブ側冷却ステージ48と再び物理的に接触する。このとき、コールドヘッド側冷却ステージ32は、コールドヘッド22の自重、および周囲環境26と気密領域28との圧力差によって、スリーブ側冷却ステージ48に押し付けられる。

[0045] フランジ締結機構20によりコールドヘッド側フランジ34とスリーブ側フランジ50とが再び締結される(S26)。フランジ締結機構20によるコールドヘッド側フランジ34とスリーブ側フランジ50との締結によって、コールドヘッド側冷却ステージ32とスリーブ側冷却ステージ48とがし

きい値以下の熱抵抗で熱的に接触するように指定された押付面圧で、コールドヘッド側冷却ステージ32が、スリーブ側冷却ステージ48に押し付けられる。フランジ締結機構20による締結力を調整することにより、コールドヘッド側冷却ステージ32とスリーブ側冷却ステージ48との間の押付面圧を調整することができる。そこで、この指定された押付面圧、またはこれに相当するフランジ締結機構20による締結力または締結トルクは、極低温冷凍機10の取扱説明書など関連資料に記載されていてもよい。

[0046] コールドヘッド側温度センサ56によりコールドヘッド側冷却ステージ32の温度が測定され、スリーブ側温度センサ58によりスリーブ側冷却ステージ48の温度が測定される。コールドヘッド側冷却ステージ32の測定温度とスリーブ側冷却ステージ48の測定温度との温度差 $\Delta T$ が熱抵抗しきい値に相当する所定の温度差以内に収まるように、コールドヘッド側フランジ34がスリーブ側フランジ50と締結される。測定された温度差 $\Delta T$ が所定の温度差を超える場合には、作業者は、フランジ締結機構20による締結力を増すことによりコールドヘッド側冷却ステージ32とスリーブ側冷却ステージ48との間の押付面圧を増加させてもよい。こうして、コールドヘッド側冷却ステージ32とスリーブ側冷却ステージ48とがしきい値以下の熱抵抗で熱的に接触するように、熱抵抗が監視される(S28)。

[0047] コールドヘッド22とスリーブ16の再度の熱接触(S22)および熱抵抗の監視(S28)は、極低温冷凍機10の冷却運転再開によりコールドヘッド側冷却ステージ32およびスリーブ側冷却ステージ48が十分に冷却されてから行うことが望ましい。そのようにすれば、冷却中の熱収縮によるコールドヘッド側冷却ステージ32とスリーブ側冷却ステージ48の離間を避けることができる。なお、熱収縮によりコールドヘッド側冷却ステージ32がスリーブ側冷却ステージ48から離間した場合には、フランジ締結機構20による締結力を調整することにより、コールドヘッド側冷却ステージ32をスリーブ側冷却ステージ48と再接触させることができる。

[0048] 図4は、温度差 $\Delta T$ と押付面圧との関係を示すグラフであり、本発明者ら

の実験により得られたものである。コールドヘッド側冷却ステージ32とスリーブ側冷却ステージ48との間の熱抵抗は、コールドヘッド側冷却ステージ32の測定温度とスリーブ側冷却ステージ48の測定温度との温度差 $\Delta T$ で評価することが簡便である。コールドヘッド側冷却ステージ32とスリーブ側冷却ステージ48との間の押付面圧が大きいほど、コールドヘッド側冷却ステージ32の測定温度とスリーブ側冷却ステージ48の測定温度との温度差 $\Delta T$ が小さくなっている。したがって、押付面圧を適切に指定することにより、温度差 $\Delta T$ すなわち熱抵抗を管理することができる。指定された押付面圧は、上述のように、フランジ締結機構20による締結力を調整することにより、実現することができる。

[0049] 一例として、温度差 $\Delta T$ が1.5 Kまたは1 K以内であれば、コールドヘッド側冷却ステージ32とスリーブ側冷却ステージ48とが十分に小さい熱抵抗で良好に熱接触していると言える。よって、熱抵抗しきい値に相当する所定の温度差は、例えば1.5 Kまたは1 Kとすることができる。図示される例では、押付面圧を約4 MPa以上と指定すれば、温度差 $\Delta T$ が所定の温度差1.5 K以内となる。また、押付面圧を約7 MPa以上と指定すれば、温度差 $\Delta T$ が所定の温度差1 K以内となる。よって、指定された押付面圧（例えば、約4 MPa以上または約7 MPa以上）となるようにフランジ締結機構20による締結力を調整することにより、コールドヘッド側冷却ステージ32とスリーブ側冷却ステージ48との温度差 $\Delta T$ が1.5 Kまたは1 K以内となり、熱抵抗が十分に小さくなる。すなわち、コールドヘッド側冷却ステージ32とスリーブ側冷却ステージ48とが熱抵抗しきい値以下の熱抵抗で熱的に接触していると評価することができる。

[0050] 図5は、温度差 $\Delta T$ とメンテナンス回数との関係を示すグラフであり、本発明者らの実験により得られたものである。図5には、実施例と比較例とが示されている。上述のように、実施例においてはコールドヘッド側冷却ステージ32とスリーブ側冷却ステージ48の間にインジウムシートは使用されない。また実施例においては、上述の方法に従ってコールドヘッド側冷却ス

テージ32とスリーブ側冷却ステージ48との間の熱抵抗が管理されている。比較例においては、コールドヘッドとスリーブとの伝熱面にインジウムシートが介在している。また比較例においては伝熱面での熱抵抗は管理されていない。

[0051] 比較例では、4回目のメンテナンスまでは熱抵抗（すなわち温度差 $\Delta T$ ）がほぼ一定に維持されているが、5回目のメンテナンス後に熱抵抗が顕著に劣化している（すなわち温度差 $\Delta T$ が大きく増えている）。このように、極低温冷凍機のメンテナンスを何回か繰り返したとき、極低温冷凍機とスリーブとの間の熱接触状態が劣化しやすいという現象を本発明者は見出した。この熱接触の劣化現象は、これまで知られていない。

[0052] こうした熱接触の劣化現象が起こるメカニズムは、本発明者の考察によれば、以下の通りである。

[0053] メンテナンス開始のために極低温冷凍機がスリーブから離れるときインジウムシートも冷凍機とともに移動しスリーブから剥がされる。メンテナンスが完了し極低温冷凍機がスリーブに再び接触するときインジウムシートも再びスリーブに接触する。インジウムシートの剥離と再接触が極低温冷凍機のメンテナンスのたびに繰り返され、インジウムシートの形状が、初期の平坦なシート形状から、いくらか凹凸を含む等の初期形状と異なる形状に変わりうる。メンテナンスの間、スリーブは被冷却物とともに極低温に保たれる一方、極低温冷凍機はメンテナンスを施すために室温に戻されている。インジウムシートも極低温冷凍機とともに室温となっている。そのため、インジウムシートがスリーブに再接触する瞬間に、インジウムシートはスリーブによって急冷され、硬化されうる。このようにして、形状が変化したインジウムシートが極低温冷凍機とスリーブの間に挟まれ、その結果、インジウムシートによる極低温冷凍機とスリーブとの間の伝熱面積は、初期形状のインジウムシートに比べて、低減されうる。よって、極低温冷凍機とスリーブとの間の熱接触状態が劣化しうる。

[0054] これに対して、実施例では、メンテナンスを10回繰り返した後でも、熱

抵抗がほぼ一定に維持され、再現性が良好である。これは、押付面圧の適正な管理によるものと考えられる。また、インジウムシートのような介在物の不存も熱抵抗の再現性に寄与している。

[0055] 実施の形態に係る極低温冷凍機 10 の装着構造によれば、指定された押付面圧でコールドヘッド側冷却ステージ 32 をスリーブ側冷却ステージ 48 に押し付けるように、コールドヘッド側フランジ 34 とスリーブ側フランジ 50 とが相互に締結される。押付面圧は、コールドヘッド側冷却ステージ 32 とスリーブ側冷却ステージ 48 とが熱抵抗しきい値以下の熱抵抗で熱的に接触するように指定されている。このようにして、スリーブ 16 を介して真空容器 14 に装着される極低温冷凍機 10 に関して、極低温冷凍機 10 のメンテナンスが反復されても長期にわたり極低温冷凍機 10 とスリーブ 16 の熱接触を良好に維持することができる。

[0056] 図 6 (a) および図 6 (b) は、実施の形態に係る極低温冷凍機 10 に使用されうる冷却ステージ構造の一例を示す概略図である。図 6 (a) にはコールドヘッド側冷却ステージ 32 とスリーブ側冷却ステージ 48 が熱接触している状態が示され、図 6 (b) にはコールドヘッド側冷却ステージ 32 がスリーブ側冷却ステージ 48 から離れ、両者の熱接触が解除された状態が示されている。

[0057] コールドヘッド側冷却ステージ 32 は、コールドヘッド側熱負荷フランジ 62 とコールドヘッド側伝熱ブロック 64 とを備える。コールドヘッド側伝熱ブロック 64 は、非シート形状を有する。コールドヘッド側伝熱ブロック 64 の側面および下面が気密領域 28 に露出されている。一例として、コールドヘッド側熱負荷フランジ 62 は、シリンダ 36 の下端開口を閉じるようシリンダ 36 に固着された円板状部材である。コールドヘッド側伝熱ブロック 64 は、コールドヘッド側熱負荷フランジ 62 に取り付けられた円板状部材である。コールドヘッド側伝熱ブロック 64 は、コールドヘッド側熱負荷フランジ 62 に取り外し可能に取り付けられるアタッチメントであり、例えばボルト等の締結部材（図示せず）によりコールドヘッド側熱負荷フランジ

62に取り付けられている。

[0058] コールドヘッド側熱負荷フランジ62およびコールドヘッド側伝熱ブロック64は、例えば銅などの高熱伝導金属、またはその他の熱伝導材料で形成されている。コールドヘッド側熱負荷フランジ62およびコールドヘッド側伝熱ブロック64は、非インジウム製であり、すなわちインジウムを含有しない（ただし不可避不純物を除く）。ここで、コールドヘッド側熱負荷フランジ62とコールドヘッド側伝熱ブロック64は同じ熱伝導材料で形成されているが、それは必須ではなく、両者が異なる熱伝導材料で形成されていてもよい。

[0059] 図7は、実施の形態に係るコールドヘッド側伝熱ブロック64の例示的構成を示す概略斜視図である。コールドヘッド側伝熱ブロック64は、ブロック基部64aとブロック中心凸部64bとを備える。ブロック基部64aおよびブロック中心凸部64bは一体形成されている。ブロック基部64aには、コールドヘッド側伝熱ブロック64をコールドヘッド側熱負荷フランジ62に取り付けるための複数のボルト孔66が形成されている。これらボルト孔は円周状に等角度間隔に配置されている。

[0060] ブロック中心凸部64bはブロック基部64aの中心部から軸方向下方に突出している。一例として、ブロック中心凸部64bは、円錐台状の凸部であり、平坦なブロック端面64cとテーパ面64dとを有する。ブロック端面64cは極低温冷凍機10の中心軸に垂直な円形状領域であり、テーパ面64dは円錐台の側面にあたる傾斜面である。テーパ角度は例えば15度であり、すなわちブロック端面64cとテーパ面64dのなす角度は105度である。こうしたテーパ面64dを設けることにより、コールドヘッド側伝熱ブロック64がスリーブ側冷却ステージ48と接触する表面積を大きくすることができるので、コールドヘッド側冷却ステージ32とスリーブ側冷却ステージ48との熱交換効率を高くすることができる。

[0061] 図8は、実施の形態に係るコールドヘッド側伝熱ブロック64およびその周辺構造の例示的構成を示す概略断面図である。図8に示されるように、コ

ールドヘッド側温度センサ56は、コールドヘッド側熱負荷フランジ62とコールドヘッド側伝熱ブロック64の間に配置されている。例えば、コールドヘッド側温度センサ56は、コールドヘッド側伝熱ブロック64に取り付けられている。一例として、冗長性のために、2つのコールドヘッド側温度センサ56が設けられている。同様に、冗長性のために、2つのスリーブ側温度センサ58がスリーブ側冷却ステージ48に設けられている。

[0062] 図6(a)および図6(b)を再び参照すると、スリーブ側冷却ステージ48は、スリーブ側熱負荷フランジ68とスリーブ側伝熱ブロック70とを備える。スリーブ側熱負荷フランジ68は、スリーブ体52の下端開口を閉じるようスリーブ体52に固着された円板状部材である。スリーブ側熱負荷フランジ68に被冷却物12が取り付けられる。スリーブ側伝熱ブロック70は、非シート形状を有する。スリーブ側伝熱ブロック70の上面が気密領域28に露出されている。スリーブ側熱負荷フランジ68とスリーブ側伝熱ブロック70は一体形成されている。

[0063] スリーブ側伝熱ブロック70は、コールドヘッド側伝熱ブロック64のブロック中心凸部64bに対応する中心凹部を有する。スリーブ側伝熱ブロック70は、コールドヘッド側伝熱ブロック64のブロック基部64a、ブロック端面64c、およびテーパ面64dに対応するブロック上面70a、ブロック下面70b、および傾斜面70cを有する。コールドヘッド側伝熱ブロック64がスリーブ側伝熱ブロック70と接触するとき、ブロック基部64a、ブロック端面64c、およびテーパ面64dがそれぞれ、ブロック上面70a、ブロック下面70b、および傾斜面70cと接触する。コールドヘッド側伝熱ブロック64がスリーブ側伝熱ブロック70から離れるとき、ブロック基部64a、ブロック端面64c、およびテーパ面64dがそれぞれ、ブロック上面70a、ブロック下面70b、および傾斜面70cから離れる。

[0064] スリーブ側熱負荷フランジ68およびスリーブ側伝熱ブロック70は、例えば銅などの高熱伝導金属、またはその他の熱伝導材料で形成されている。

スリーブ側熱負荷フランジ68およびスリーブ側伝熱ブロック70は、非インジウム製であり、すなわちインジウムを含有しない（ただし不可避不純物を除く）。ここで、スリーブ側熱負荷フランジ68とスリーブ側伝熱ブロック70は同じ熱伝導材料で形成されているが、それは必須ではなく、両者が異なる熱伝導材料で形成されていてもよい。

[0065] コールドヘッド側伝熱ブロック64とスリーブ側伝熱ブロック70との直接の物理的接触により、コールドヘッド側冷却ステージ32とスリーブ側冷却ステージ48とが熱的に接触する。コールドヘッド側伝熱ブロック64とスリーブ側伝熱ブロック70とは直接に物理的に接触するから、両者の間にインジウムシートのような伝熱用の介在物は存在しない。このようにして、インジウムシートのような伝熱用の介在物無く、コールドヘッド側冷却ステージ32とスリーブ側冷却ステージ48との間に良好な熱接触を実現することができる。

[0066] 図9および図10は、実施の形態に係る極低温冷凍機10に使用されうるフランジ間隔調整機構18およびフランジ締結機構20の一例を示す概略斜視図である。図9には、図1と同様に極低温冷凍機10が被冷却物12と熱的に結合された状態が示され、図10には、図2と同様に両者の熱的な結合が解除された状態が示されている。

[0067] フランジ間隔調整機構18は、コールドヘッド側フランジ34に形成されたリフトアップ用ボルト孔72と、リフトアップ用ボルト孔72と螺合するリフトアップ用ボルト74と、を備える。フランジ間隔調整機構18は、リフトアップ用ボルト74をスリーブ側フランジ50に突き当てた状態でリフトアップ用ボルト74を回転させることによりスリーブ側フランジ50に対しコールドヘッド側フランジ34を昇降させるよう構成されている。

[0068] リフトアップ用ボルト孔72は、コールドヘッド側フランジ34において円周状に等角度間隔に配置されている。一例として、コールドヘッド側フランジ34には4つのリフトアップ用ボルト孔72が設けられている。リフトアップ用ボルト孔72は、シリンダフランジ44とトランジションフランジ

46の環状の板部46aとを貫通している。

[0069] スリーブ側フランジ50においてリフトアップ用ボルト孔72の直下に位置する部位には穴が無く、したがって、リフトアップ用ボルト74の先端をスリーブ側フランジ50の環状の第2板部50cに突き当てることことができる。上述のように、リフトアップ用ボルト74はリフトアップ用ボルト孔72と螺合している。そのため、リフトアップ用ボルト74の先端が環状の第2板部50cに突き当てられた状態でリフトアップ用ボルト74を締め方向（例えば時計回り）に回転させることにより、コールドヘッド側フランジ34がスリーブ側フランジ50から離れるようにコールドヘッド側フランジ34を上方に移動させることができる。こうして、フランジ間隔調整機構18は、スリーブ側フランジ50とコールドヘッド側フランジ34との間隔を広げることができ、コールドヘッド22がスリーブ16から引き上げられる。その結果、図2に示されるように、コールドヘッド側冷却ステージ32がスリーブ側冷却ステージ48から離れ、これらの熱接触が解除される。

[0070] 逆に、リフトアップ用ボルト74の先端が環状の第2板部50cに突き当てられた状態でリフトアップ用ボルト74を緩め方向（例えば反時計回り）に回転させることにより、コールドヘッド側フランジ34がスリーブ側フランジ50に近づくようにコールドヘッド側フランジ34を下方に移動させることができる。こうして、フランジ間隔調整機構18は、スリーブ側フランジ50とコールドヘッド側フランジ34との間隔を狭めることができ、コールドヘッド22が降下される。その結果、図1に示されるように、コールドヘッド側冷却ステージ32がスリーブ側冷却ステージ48と物理的に接触し、これらの熱接触が実現される。リフトアップ用ボルト74を緩め方向（例えば反時計回り）にさらに回転させると、リフトアップ用ボルト74の先端はスリーブ側フランジ50から離れる。

[0071] このようにして、リフトアップ用ボルト孔72とリフトアップ用ボルト74の組み合わせという比較的簡単な構造で、コールドヘッド側フランジ34とスリーブ側冷却ステージ48との間隔を調整することができる。

- [0072] フランジ締結機構 20 は、スリーブ側フランジ 50 に形成された締め付け用ボルト孔 76 と、締め付け用ボルト孔 76 と螺合する締め付け用ボルト 78 と、を備える。フランジ締結機構 20 は、締め付け用ボルト 78 の回転によりコールドヘッド側冷却ステージ 32 とスリーブ側冷却ステージ 48 の押付面圧を調整するよう構成されている。
- [0073] 締め付け用ボルト孔 76 は、スリーブ側フランジ 50 において円周状に等角度間隔に配置されている。一例として、スリーブ側フランジ 50 には 8 つの締め付け用ボルト孔 76 が設けられている。締め付け用ボルト 78 は、コールドヘッド側フランジ 34 とスリーブ側フランジ 50 の両方を貫通している。ただし、締め付け用ボルト 78 は、コールドヘッド側フランジ 34 に遊嵌し、従って、コールドヘッド側フランジ 34 とは螺合していない。締め付け用ボルト 78 は、コールドヘッド側フランジ 34 に形成された切り欠き部 80 に收容されている。切り欠き部 80 は、例えば、コールドヘッド側フランジ 34 の外周縁に形成され軸方向に延びる U 字溝である。締め付け用ボルト 78 の頭部は、コールドヘッド側フランジ 34 の上面、すなわちシリンダフランジ 44 に接触しうる。
- [0074] コールドヘッド側冷却ステージ 32 がスリーブ側冷却ステージ 48 と物理的に接触した状態で、締め付け用ボルト 78 を締め方向に回転させることにより、コールドヘッド側フランジ 34 とスリーブ側フランジ 50 との締結力が増加され、コールドヘッド側冷却ステージ 32 とスリーブ側冷却ステージ 48 の押付面圧も増加される。逆に、締め付け用ボルト 78 を緩め方向に回転させることにより、コールドヘッド側フランジ 34 とスリーブ側フランジ 50 との締結力が減少され、コールドヘッド側冷却ステージ 32 とスリーブ側冷却ステージ 48 の押付面圧も減少される。
- [0075] このようにして、締め付け用ボルト孔 76 と締め付け用ボルト 78 の組み合わせという比較的簡単な構造で、コールドヘッド側フランジ 34 とスリーブ側冷却ステージ 48 との押付面圧を調整することができる。
- [0076] 図 11 から図 13 は、他の実施の形態に係る装着構造を説明するための概

略図である。この実施の形態においては、極低温冷凍機 10 は、二段式のコールドヘッド 22 と圧縮機 24 とを備える。よって、装着構造は、二段式のスリーブ 16 と、フランジ間隔調整機構 18 と、フランジ締結機構 20 とを備える。極低温冷凍機 10 は、例えば、二段 GM 冷凍機である。ただし、極低温冷凍機 10 は、他の二段式の極低温冷凍機であってもよい。

[0077] 図 11 には、コールドヘッド 22 とスリーブ 16 が一段と二段の両方で熱接触している状態が示されている。図 12 には、一段については熱接触が保持され、二段については熱接触が解除された状態が示されている。図 13 には、一段と二段の両方について熱接触が解除された状態が示されている。

[0078] コールドヘッド 22 は、コールドヘッド側一段冷却ステージ 132、一段シリンダ 136、コールドヘッド側二段冷却ステージ 232、二段シリンダ 236 を備える。一段シリンダ 136 は、コールドヘッド側フランジ 34 をコールドヘッド側一段冷却ステージ 132 と連結し、二段シリンダ 236 は、コールドヘッド側一段冷却ステージ 132 をコールドヘッド側二段冷却ステージ 232 と連結する。一段シリンダ 136 および二段シリンダ 236 は同軸に配置されている。

[0079] コールドヘッド側一段冷却ステージ 132 およびコールドヘッド側二段冷却ステージ 232 は、例えば銅（例えば純銅）などの高熱伝導金属、またはその他の熱伝導材料で形成されている。一段シリンダ 136 および二段シリンダ 236 は、例えばステンレスなどの金属で形成されている。冷却ステージを形成する熱伝導材料の熱伝導率は、シリンダを形成する材料の熱伝導率より高い。

[0080] スリーブ 16 は、スリーブ側一段冷却ステージ 148、一段スリーブ体 152、スリーブ側二段冷却ステージ 248、二段スリーブ体 252 を備える。一段スリーブ体 152 は、スリーブ側フランジ 50 をスリーブ側一段冷却ステージ 148 と連結し、二段スリーブ体 252 は、スリーブ側一段冷却ステージ 148 をスリーブ側二段冷却ステージ 248 と連結する。一段スリーブ体 152 および二段スリーブ体 252 はそれぞれ、一段シリンダ 136 お

よび二段シリンダ 2 3 6 を囲むように一段シリンダ 1 3 6 および二段シリンダ 2 3 6 と同軸に配置されている。

[0081] スリーブ側一段冷却ステージ 1 4 8 は、コールドヘッド側一段冷却ステージ 1 3 2 との物理的接触によりコールドヘッド側一段冷却ステージ 1 3 2 と熱接触する。スリーブ側二段冷却ステージ 2 4 8 は、コールドヘッド側二段冷却ステージ 2 3 2 との物理的接触によりコールドヘッド側二段冷却ステージ 2 3 2 と熱接触する。図 1 ～図 1 0 を参照して説明した実施の形態と同様に、スリーブ側の冷却ステージとコールドヘッド側の冷却ステージの接触面の形状は、テーパ面、傾斜面、または凹凸面などの非平坦面であってもよいし、または、平坦面であってもよい。

[0082] スリーブ側一段冷却ステージ 1 4 8 およびスリーブ側二段冷却ステージ 2 4 8 は、例えば銅（例えば純銅）などの高熱伝導金属、またはその他の熱伝導材料で形成されている。一段スリーブ体 1 5 2 および二段スリーブ体 2 5 2 は、例えばステンレスなどの金属で形成されている。冷却ステージを形成する熱伝導材料の熱伝導率は、スリーブ体を形成する材料の熱伝導率より高い。

[0083] 真空領域 3 0 に露出されるスリーブ側二段冷却ステージ 2 4 8 の外面には被冷却物 1 2 が取り付けられている。真空領域 3 0 に露出されるスリーブ側一段冷却ステージ 1 4 8 の外面には、被冷却物 1 2 とは別の被冷却物（例えば、被冷却物 1 2 を囲む熱シールド）が取り付けられていてもよい。

[0084] スリーブ側一段冷却ステージ 1 4 8 の中心部には、一段スリーブ体 1 5 2 の内部空間を二段スリーブ体 2 5 2 の内部空間に接続する開口部が設けられている。二段シリンダ 2 3 6 およびコールドヘッド側二段冷却ステージ 2 3 2 はこの開口部から二段スリーブ体 2 5 2 の内部空間へと挿入される。

[0085] スリーブ側一段冷却ステージ 1 4 8 は、スリーブ側一段熱負荷フランジ 1 6 8 とスリーブ側一段伝熱ブロック 1 7 0 と、伝熱バネ機構 1 8 0 とを備える。スリーブ側一段熱負荷フランジ 1 6 8 は、一段スリーブ体 1 5 2 の下端に固着されている。スリーブ側一段伝熱ブロック 1 7 0 は、気密領域 2 8 に

収容され、伝熱バネ機構 180 を介してスリーブ側一段熱負荷フランジ 168 に取り付けられている。スリーブ側一段伝熱ブロック 170 は、伝熱バネ機構 180 の伸縮によりスリーブ側一段熱負荷フランジ 168 に対して軸方向に変位可能である。スリーブ側一段熱負荷フランジ 168 およびスリーブ側一段伝熱ブロック 170 は、同軸に配置された円環状部材であり、上述のように、その中心開口部を通じて二段シリンダ 236 およびコールドヘッド側二段冷却ステージ 232 が二段スリーブ体 252 の内部空間へと挿入される。

[0086] 伝熱バネ機構 180 は、伝熱バネ部 182 と、支持バネ部 184 とを備える。伝熱バネ部 182 および支持バネ部 184 は、スリーブ側一段熱負荷フランジ 168 とスリーブ側一段伝熱ブロック 170 との間に並列に設けられている。すなわち、伝熱バネ部 182 は、スリーブ側一段伝熱ブロック 170 をスリーブ側一段熱負荷フランジ 168 に接続する。同様に、支持バネ部 184 は、スリーブ側一段伝熱ブロック 170 をスリーブ側一段熱負荷フランジ 168 に接続する。スリーブ側一段伝熱ブロック 170 は、伝熱バネ部 182 および支持バネ部 184 によってスリーブ側一段熱負荷フランジ 168 に弾性的に支持される。

[0087] 伝熱バネ部 182 は、スリーブ側一段伝熱ブロック 170 からスリーブ側一段熱負荷フランジ 168 への伝熱経路として機能する。伝熱バネ部 182 は、例えば銅などの高熱伝導金属、またはその他の熱伝導材料で形成されたバネである。伝熱バネ部 182 は、例えばコイルバネ、またはその他の任意の形状を有してもよい。伝熱バネ部 182 は、支持バネ部 184 に比べて小さいバネ定数を有してもよい。

[0088] 支持バネ部 184 は、コールドヘッド側一段冷却ステージ 132 がスリーブ側一段伝熱ブロック 170 に押し付けられるとき、コールドヘッド側一段冷却ステージ 132 とスリーブ側一段伝熱ブロック 170 が軸方向に沈み込むことを許容する。また、支持バネ部 184 は、コールドヘッド側一段冷却ステージ 132 とスリーブ側一段伝熱ブロック 170 の過剰な沈み込みを抑

える機能も有する。上述のように、主な伝熱経路は伝熱バネ部 182 であるが、支持バネ部 184 も伝熱機能のある程度受け持ってもよい。支持バネ部 184 は、例えば金属材料、またはその他の適する材料で形成されたバネである。支持バネ部 184 は、例えばコイルバネ、皿バネ、またはその他の任意の形状を有してもよい。

[0089] コールドヘッド側一段冷却ステージ 132 とスリーブ側一段伝熱ブロック 170 との物理的接触により、コールドヘッド側一段冷却ステージ 132 とスリーブ側一段伝熱ブロック 170 が熱的に接触する。スリーブ側一段伝熱ブロック 170 は、伝熱バネ機構 180 を介してスリーブ側一段熱負荷フランジ 168 と熱的に接触する。こうして、コールドヘッド側一段冷却ステージ 132 は、スリーブ側一段冷却ステージ 148 と熱的に接触する。

[0090] また、スリーブ側一段伝熱ブロック 170 は、伝熱バネ部 182 および支持バネ部 184 の弾性変形によりスリーブ側一段熱負荷フランジ 168 に対して軸方向に変位することができる。コールドヘッド側一段冷却ステージ 132 がスリーブ側一段伝熱ブロック 170 に押し付けられるとき、コールドヘッド側一段冷却ステージ 132 はスリーブ側一段伝熱ブロック 170 とともに軸方向に弾性的に変位することができる。

[0091] なお、伝熱バネ機構 180 が伝熱バネ部 182 を有することは必須ではない。伝熱バネ機構 180 は、伝熱バネ部 182 に代えて、ベローズ、網状物、膜などの柔軟性を有する伝熱部材を有してもよい。

[0092] 伝熱バネ機構 180 は、伝熱バネ部 182 および支持バネ部 184 を個別のバネとして有することは必須ではない。伝熱バネ機構 180 は、伝熱機能と支持機能の両方を有する単一のバネ部材を有してもよい。

[0093] 伝熱バネ機構 180 は、スリーブ側一段冷却ステージ 148 に組み込まれることは必須ではない。伝熱バネ機構 180 は、コールドヘッド側一段冷却ステージ 132 に組み込まれていてもよい。例えば、コールドヘッド側一段冷却ステージ 132 は、コールドヘッド側熱負荷フランジと、コールドヘッド側伝熱ブロックと、伝熱バネ機構 180 とを備えてもよい。コールドヘッ

ド側熱負荷フランジが一段シリンダ 136 の下端に固着され、コールドヘッド側伝熱ブロックが伝熱バネ機構 180 を介してコールドヘッド側熱負荷フランジに取り付けられていてもよい。コールドヘッド側伝熱ブロックがスリーブ側一段冷却ステージ 148 と熱接触するとともに、コールドヘッド側熱負荷フランジが伝熱バネ機構 180 の弾性変形により軸方向に変位可能であってもよい。

[0094] また、コールドヘッド側温度センサ 56 は、コールドヘッド側二段冷却ステージ 232 の温度を測定するためにコールドヘッド側二段冷却ステージ 232 に配置されている。スリーブ側温度センサ 58 は、スリーブ側二段冷却ステージ 248 の温度を測定するためにスリーブ側二段冷却ステージ 248 に配置されている。

[0095] コールドヘッド側二段冷却ステージ 232 およびスリーブ側二段冷却ステージ 248 は、図 1～図 10 を参照して説明した実施の形態におけるコールドヘッド側冷却ステージ 32 およびスリーブ側冷却ステージ 48 と同様の構成を有する。よって、コールドヘッド側二段冷却ステージ 232 がスリーブ側二段冷却ステージ 248 と物理的に接触するとき、コールドヘッド側二段冷却ステージ 232 がスリーブ側二段冷却ステージ 248 を介して被冷却物 12 と熱的に結合される。よって、コールドヘッド側二段冷却ステージ 232 が冷却されることによって、被冷却物 12 を冷却することができる。

[0096] 図 11 から図 13 を参照して、実施の形態に係る装着方法を説明する。この方法は基本的に図 3 に示される方法と同様である。

[0097] 極低温冷凍機 10 のメンテナンスが許容されるタイミングが到来すると、極低温冷凍機 10 の冷却運転が停止される。このとき、図 11 に示されるように、コールドヘッド側一段冷却ステージ 132 はスリーブ側一段冷却ステージ 148 と物理的かつ熱的に接触し、コールドヘッド側二段冷却ステージ 232 はスリーブ側二段冷却ステージ 248 と物理的かつ熱的に接触している。

[0098] まず、作業者がフランジ締結機構 20 を操作することによって、コールド

ヘッド側フランジ34とスリーブ側フランジ50との締結が解除される。図12に示されるように、伝熱バネ機構180の弾性力によってコールドヘッド22はいくらか持ち上がり、コールドヘッド側二段冷却ステージ232とスリーブ側二段冷却ステージ248の物理的接触は解除され、極低温冷凍機10と被冷却物12との熱的な結合が解除される。コールドヘッド側一段冷却ステージ132はスリーブ側一段冷却ステージ148と接触している。

[0099] 作業者がフランジ間隔調整機構18を操作することによって、コールドヘッド22がさらに引き上げられる。図13に示されるように、周囲環境26からの気密領域28の隔離を保持しつつ、コールドヘッド側一段冷却ステージ132をスリーブ側一段冷却ステージ148から物理的に非接触とするように、スリーブ側フランジ50とコールドヘッド側フランジ34との間隔が調整される。コールドヘッド側フランジ34とスリーブ側フランジ50の間にはシール部材54が設けられているので、周囲環境26からの気密領域28の隔離は保持される。

[0100] こうして、コールドヘッド側一段冷却ステージ132およびコールドヘッド側二段冷却ステージ232はそれぞれ、スリーブ側一段冷却ステージ148およびスリーブ側二段冷却ステージ248から熱的に非接触となる。被冷却物12を低温に保ちつつ、コールドヘッド22を昇温することができる。

[0101] 極低温冷凍機10のメンテナンスが行われる。コールドヘッド22の駆動部およびディスプレイサがコールドヘッド22から取り外される。コールドヘッド側一段冷却ステージ132、一段シリンダ136、コールドヘッド側二段冷却ステージ232、および二段シリンダ236はそのままスリーブ16に設置されている。そして、メンテナンスが施された（または新品の）駆動部およびディスプレイサがコールドヘッド22に取り付けられる。そして、極低温冷凍機10の冷却運転が再開される。

[0102] 作業者がフランジ間隔調整機構18およびフランジ締結機構20を再び操作することによって、極低温冷凍機10と被冷却物12とが再び熱的に結合される。フランジ間隔調整機構18によりスリーブ側フランジ50とコールド

ドヘッド側フランジ34との間隔が調整され、コールドヘッド22が降下される。図12に示されるように、周囲環境26からの気密領域28の隔離は保持された状態で、コールドヘッド側一段冷却ステージ132は、スリーブ側一段冷却ステージ148と再び物理的かつ熱的に接触する。このとき、コールドヘッド側二段冷却ステージ232とスリーブ側二段冷却ステージ248は接触していない。

[0103] フランジ締結機構20によりコールドヘッド側フランジ34とスリーブ側フランジ50とが再び締結される。フランジ締結機構20によるコールドヘッド側フランジ34とスリーブ側フランジ50との締結によって、伝熱バネ機構180が圧縮され、コールドヘッド側一段冷却ステージ132およびスリーブ側一段伝熱ブロック170がスリーブ側一段熱負荷フランジ168に向かって沈み込む。それにより、図11に示されるように、コールドヘッド側二段冷却ステージ232とスリーブ側二段冷却ステージ248が物理的に接触する。

[0104] さらに締結されることによって、コールドヘッド側二段冷却ステージ232とスリーブ側二段冷却ステージ248とがしきい値以下の熱抵抗で熱的に接触するように指定された押付面圧で、コールドヘッド側二段冷却ステージ232が、スリーブ側二段冷却ステージ248に押し付けられる。フランジ締結機構20による締結力を調整することにより、コールドヘッド側二段冷却ステージ232とスリーブ側二段冷却ステージ248との間の押付面圧を調整することができる。

[0105] コールドヘッド側温度センサ56によりコールドヘッド側二段冷却ステージ232の温度が測定され、スリーブ側温度センサ58によりスリーブ側二段冷却ステージ248の温度が測定される。コールドヘッド側二段冷却ステージ232の測定温度とスリーブ側二段冷却ステージ248の測定温度との温度差 $\Delta T$ が熱抵抗しきい値に相当する所定の温度差以内に収まるように、コールドヘッド側フランジ34がスリーブ側フランジ50と締結される。測定された温度差 $\Delta T$ が所定の温度差を超える場合には、作業者は、フランジ

締結機構 20 による締結力を増すことによりコールドヘッド側二段冷却ステージ 232 とスリーブ側二段冷却ステージ 248 との間の押付面圧を増加させてもよい。こうして、コールドヘッド側二段冷却ステージ 232 とスリーブ側二段冷却ステージ 248 とがしきい値以下の熱抵抗で熱的に接触するように、熱抵抗が監視される。

[0106] 図 11 から図 13 を参照して説明した実施の形態に係る極低温冷凍機 10 の装着構造によれば、指定された押付面圧でコールドヘッド側二段冷却ステージ 232 をスリーブ側二段冷却ステージ 248 に押し付けるように、コールドヘッド側フランジ 34 とスリーブ側フランジ 50 とが相互に締結される。押付面圧は、コールドヘッド側二段冷却ステージ 232 とスリーブ側二段冷却ステージ 248 とが熱抵抗しきい値以下の熱抵抗で熱的に接触するように指定されている。このようにして、スリーブ 16 を介して真空容器 14 に装着される極低温冷凍機 10 に関して、極低温冷凍機 10 のメンテナンスが反復されても長期にわたり極低温冷凍機 10 とスリーブ 16 の熱接触を良好に維持することができる。

[0107] また、伝熱バネ機構 180 がスリーブ側一段冷却ステージ 148 (またはコールドヘッド側一段冷却ステージ 132) に組み込まれているため、コールドヘッド側一段冷却ステージ 132 とスリーブ側一段冷却ステージ 148 は、伝熱バネ機構 180 を介して熱接触する。したがって、コールドヘッド側一段冷却ステージ 132 とスリーブ側一段冷却ステージ 148 の熱接触を保持しつつ、コールドヘッド側二段冷却ステージ 232 とスリーブ側二段冷却ステージ 248 との間の押付面圧を調整することができる。

[0108] 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。

### 符号の説明

[0109] 10 極低温冷凍機、 14 真空容器、 16 スリーブ、 18 フ

ランジ間隔調整機構、 20 フランジ締結機構、 22 コールドヘッド、 26 周囲環境、 28 気密領域、 32 コールドヘッド側冷却ステージ、 34 コールドヘッド側フランジ、 48 スリーブ側冷却ステージ、 50 スリーブ側フランジ、 56 コールドヘッド側温度センサ、 58 スリーブ側温度センサ、 64 コールドヘッド側伝熱ブロック、 66 ボルト孔、 70 スリーブ側伝熱ブロック、 72 リフトアップ用ボルト孔、 74 リフトアップ用ボルト、 132 コールドヘッド側一段冷却ステージ、 148 スリーブ側一段冷却ステージ、 232 コールドヘッド側二段冷却ステージ、 248 スリーブ側二段冷却ステージ。

### 産業上の利用可能性

[0110] 本発明は、真空容器への極低温冷凍機の装着構造および装着方法の分野における利用が可能である。

## 請求の範囲

### [請求項1]

極低温冷凍機のコールドヘッドを真空容器に装着するための装着構造であって、前記コールドヘッドは、コールドヘッド側冷却ステージと、コールドヘッド側フランジとを備えており、前記装着構造は、

周囲環境から隔離された気密領域を前記コールドヘッドとの間に形成するよう前記真空容器に設置されたコールドヘッド収容スリーブであって、前記コールドヘッド側冷却ステージとの物理的接触により前記コールドヘッド側冷却ステージと熱接触するスリーブ側冷却ステージと、前記コールドヘッド側フランジに結合されるスリーブ側フランジと、を備えるコールドヘッド収容スリーブと、

前記周囲環境からの前記気密領域の隔離を保持しつつ、前記コールドヘッド側冷却ステージと前記スリーブ側冷却ステージを物理的に接触させ又は非接触とするように、前記スリーブ側フランジと前記コールドヘッド側フランジとの間隔を調整するよう構成されたフランジ間隔調整機構と、

前記コールドヘッド側冷却ステージと前記スリーブ側冷却ステージとがしきい値以下の熱抵抗で熱的に接触するように指定された押付面圧で前記コールドヘッド側冷却ステージを前記スリーブ側冷却ステージに押し付けるように、前記コールドヘッド側フランジを前記スリーブ側フランジと締結するよう構成されたフランジ締結機構と、を備えることを特徴とする装着構造。

### [請求項2]

前記コールドヘッド側冷却ステージの温度を測定するコールドヘッド側温度センサと、

前記スリーブ側冷却ステージの温度を測定するスリーブ側温度センサと、をさらに備え、

前記コールドヘッド側冷却ステージの測定温度と前記スリーブ側冷却ステージの測定温度との温度差が前記しきい値に相当する所定の温度差以内に収まるように、前記フランジ締結機構によって前記コールド

ドヘッド側フランジが前記スリーブ側フランジと締結されることを特徴とする請求項1に記載の装着構造。

[請求項3] 前記フランジ間隔調整機構は、前記コールドヘッド側フランジに形成されたリフトアップ用ボルト孔と、前記リフトアップ用ボルト孔と螺合するリフトアップ用ボルトと、を備え、前記リフトアップ用ボルトを前記スリーブ側フランジに突き当てた状態で前記リフトアップ用ボルトを回転させることにより前記スリーブ側フランジに対し前記コールドヘッド側フランジを昇降させるよう構成されていることを特徴とする請求項1または2に記載の装着構造。

[請求項4] 前記コールドヘッド側冷却ステージは、熱伝導材料からなるコールドヘッド側伝熱ブロックを備え、  
前記スリーブ側冷却ステージは、熱伝導材料からなるスリーブ側伝熱ブロックを備え、  
前記コールドヘッド側伝熱ブロックと前記スリーブ側伝熱ブロックとの直接の物理的接触により、前記コールドヘッド側冷却ステージと前記スリーブ側冷却ステージとが熱的に接触す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装着構造。

[請求項5] 前記コールドヘッドは、二段式のコールドヘッドであり、前記コールドヘッド収容スリーブは、二段式のスリーブであり、  
前記フランジ締結機構は、コールドヘッド側二段冷却ステージとスリーブ側二段冷却ステージとがしきい値以下の熱抵抗で熱的に接触するように指定された押付面圧で前記コールドヘッド側二段冷却ステージを前記スリーブ側二段冷却ステージに押し付けるように、前記コールドヘッド側フランジを前記スリーブ側フランジと締結するよう構成されてい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装着構造。

[請求項6] コールドヘッド側一段冷却ステージとスリーブ側一段冷却ステージは、伝熱バネ機構を介して熱接触することを特徴とする請求項5に記

載の装着構造。

[請求項7]

極低温冷凍機のコールドヘッドをコールドヘッド収容スリーブを介して真空容器に装着する装着方法であって、

前記コールドヘッドは、コールドヘッド側冷却ステージと、コールドヘッド側フランジとを備え、

前記コールドヘッド収容スリーブは、前記コールドヘッド側冷却ステージとの物理的接触により前記コールドヘッド側冷却ステージと熱接触するスリーブ側冷却ステージと、前記コールドヘッド側フランジに結合されるスリーブ側フランジと、を備え、周囲環境から隔離された気密領域を前記コールドヘッドとの間に形成するよう前記真空容器に設置されており、前記装着方法は、

前記周囲環境からの前記気密領域の隔離を保持しつつ、前記コールドヘッド側冷却ステージを前記スリーブ側冷却ステージに物理的に接触させるように、前記スリーブ側フランジと前記コールドヘッド側フランジとの間隔を調整することと、

前記コールドヘッド側冷却ステージと前記スリーブ側冷却ステージとがしきい値以下の熱抵抗で熱的に接触するように指定された押付面圧で前記コールドヘッド側冷却ステージを前記スリーブ側冷却ステージに押し付けるように、前記コールドヘッド側フランジを前記スリーブ側フランジと締結することと、を備えることを特徴とする装着方法。

[請求項8]

前記コールドヘッド側冷却ステージの温度を測定することと、

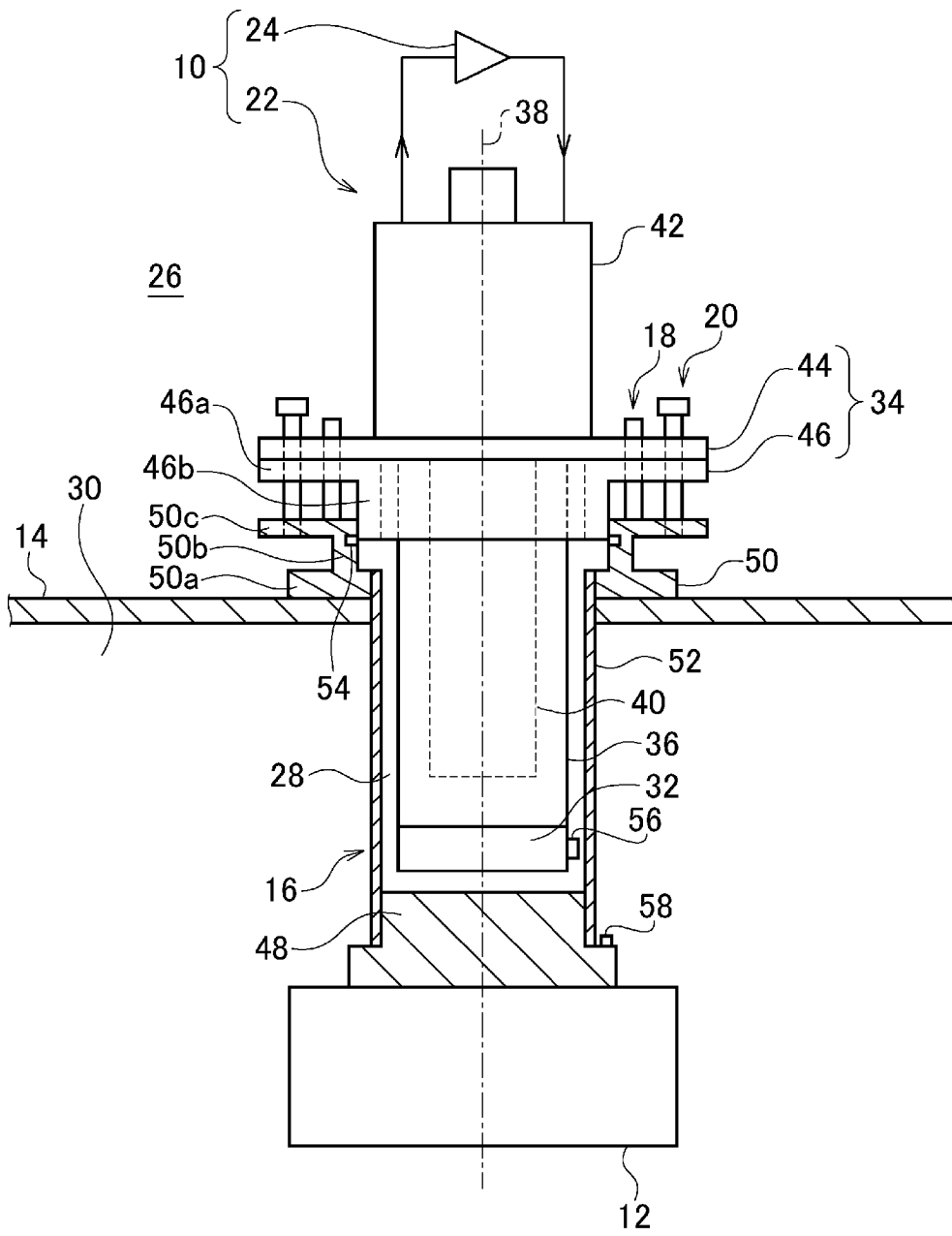
前記スリーブ側冷却ステージの温度を測定することと、をさらに備え、

前記コールドヘッド側冷却ステージの測定温度と前記スリーブ側冷却ステージの測定温度との温度差が前記しきい値に相当する所定の温度差以内に収まるように、前記コールドヘッド側フランジが前記スリーブ側フランジと締結されることを特徴とする請求項7に記載の装着

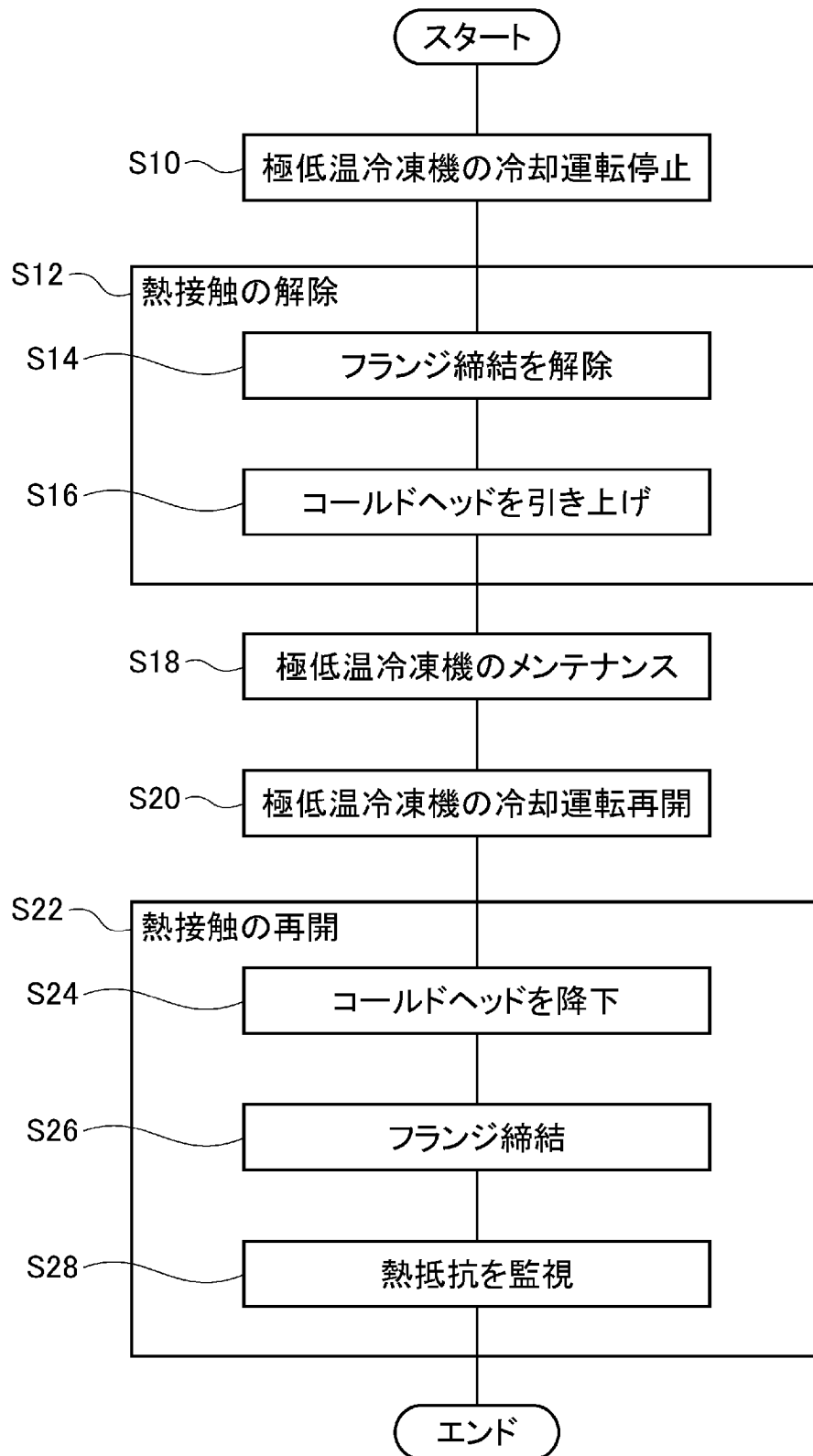
方法。



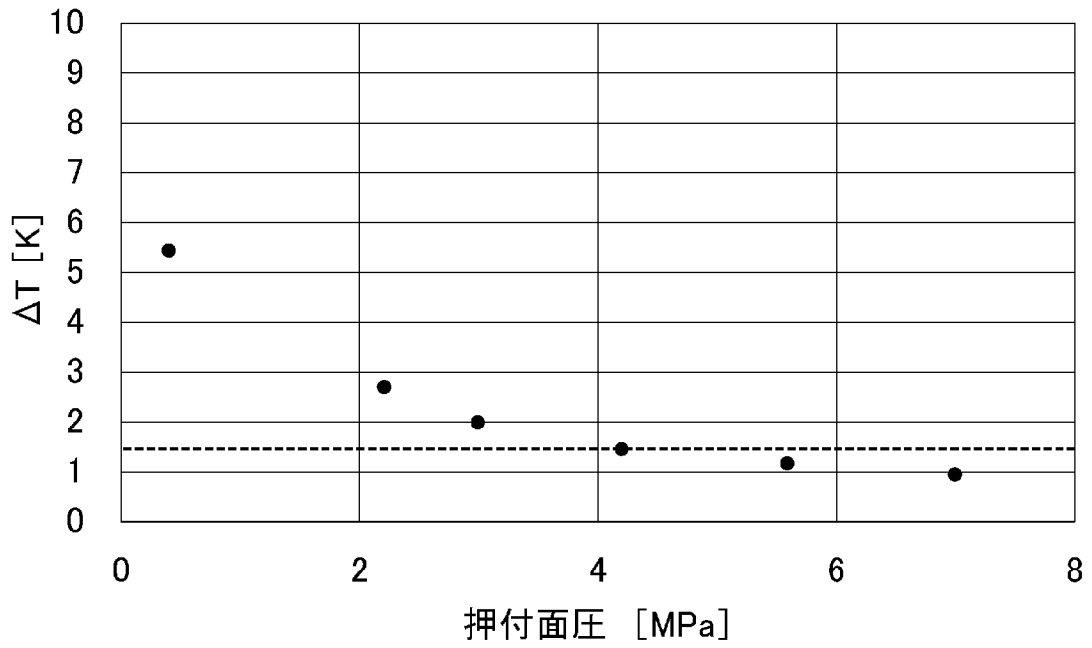
[図2]



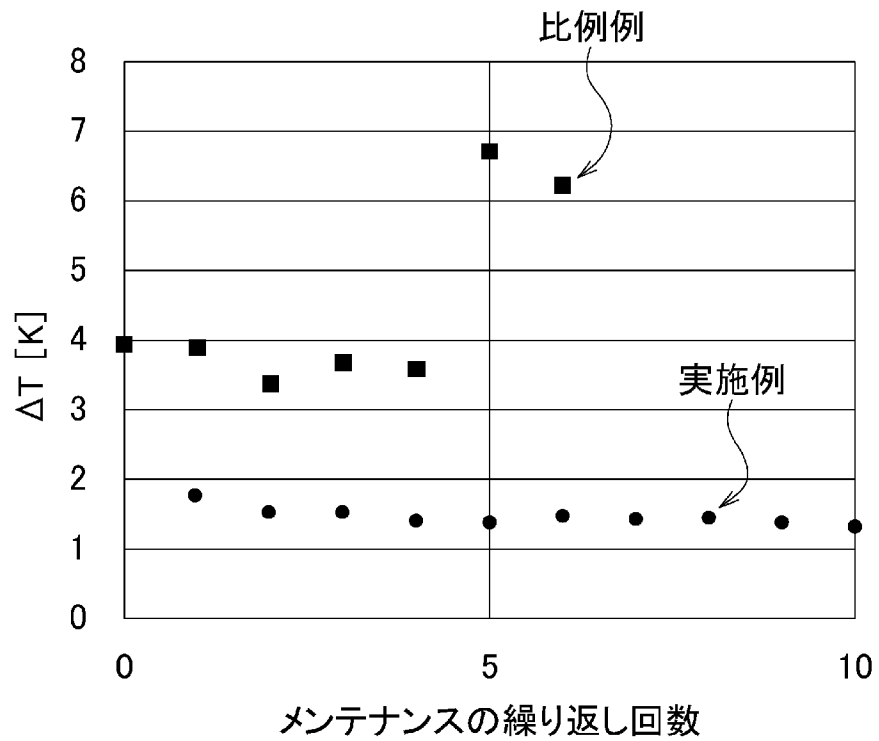
[図3]



[図4]

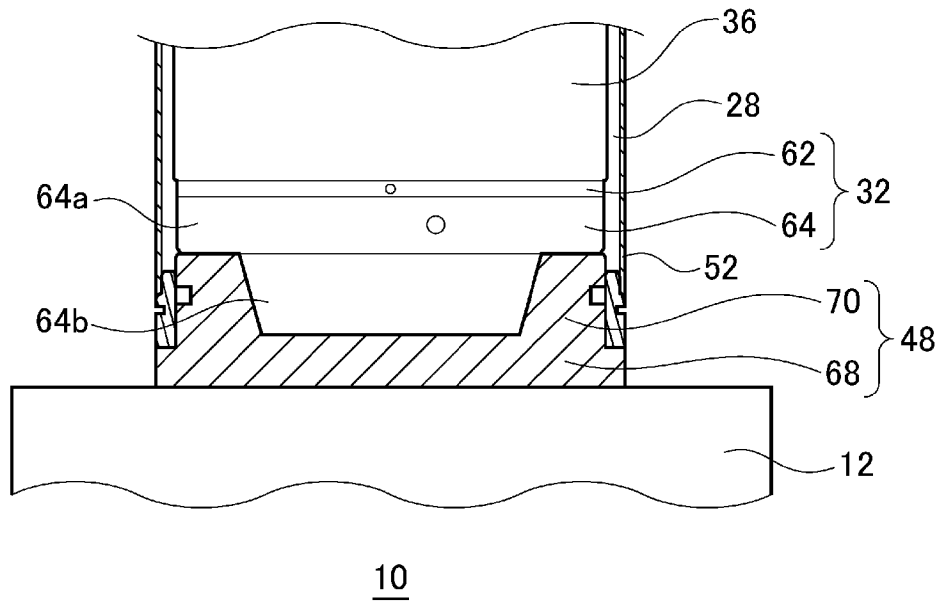


[図5]

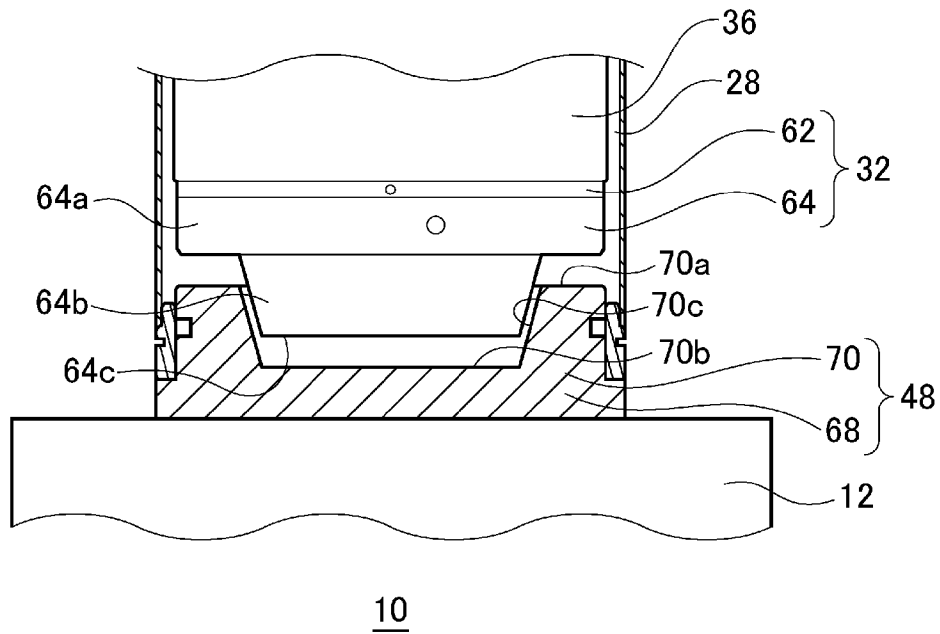


[図6]

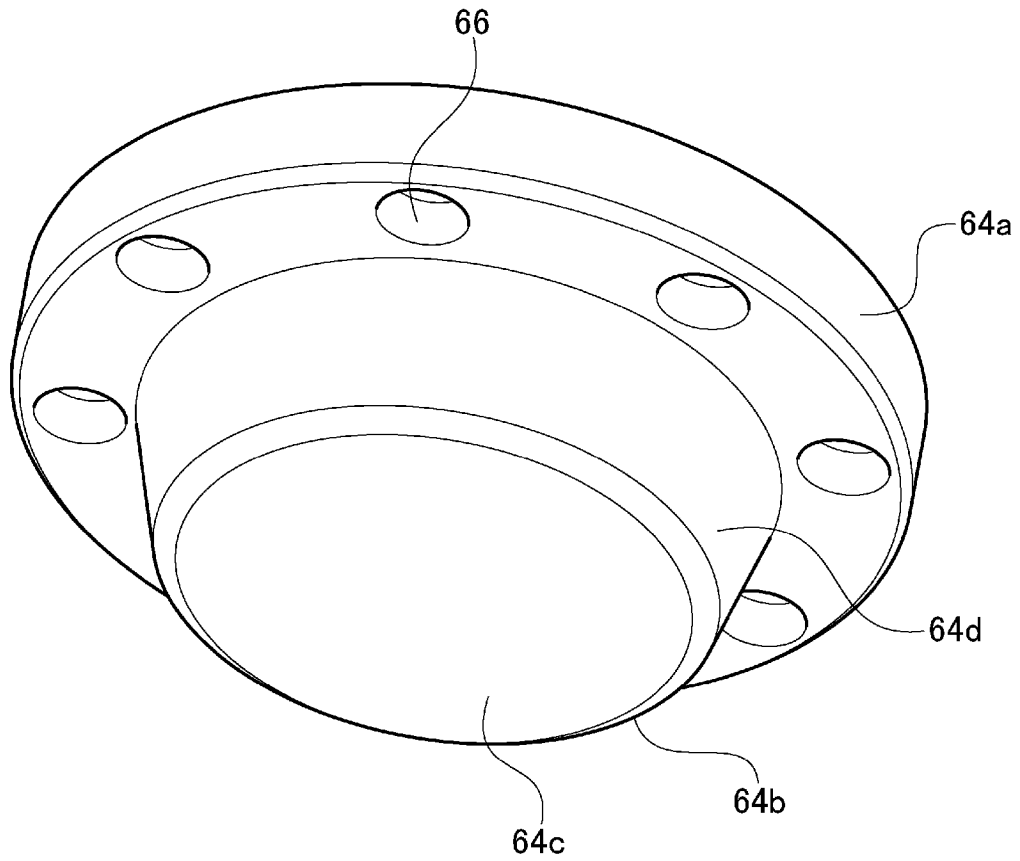
(a)



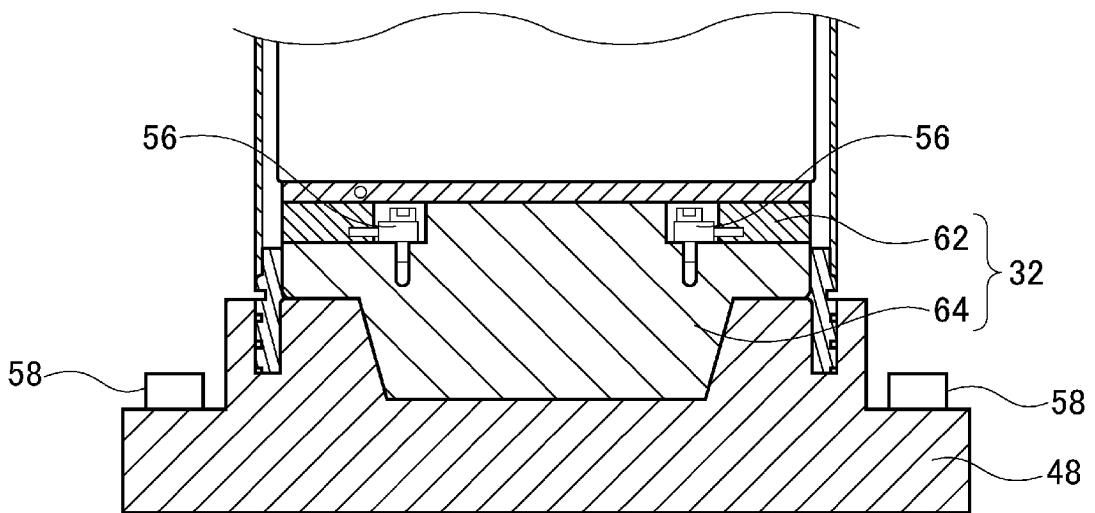
(b)



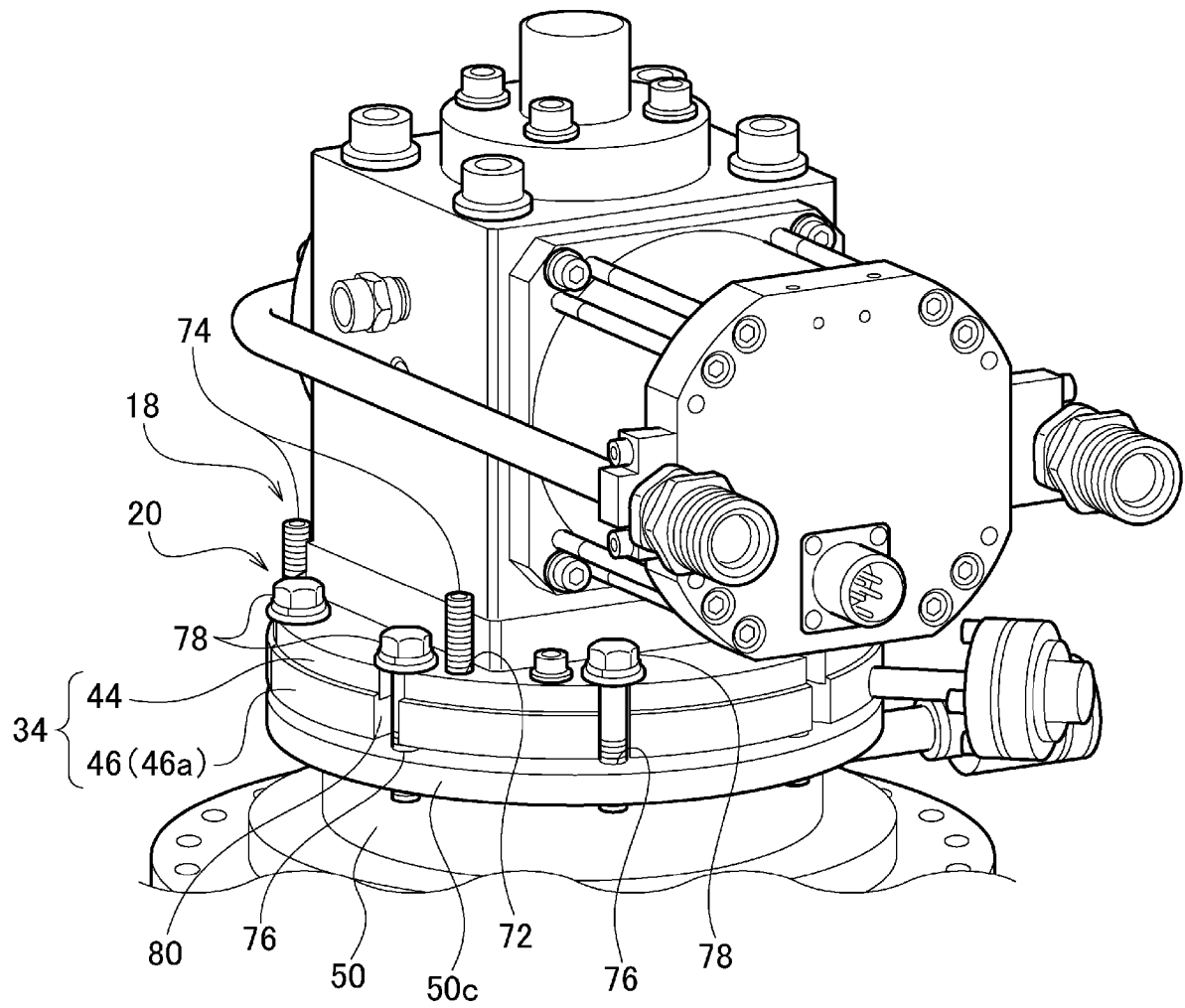
[図7]

64

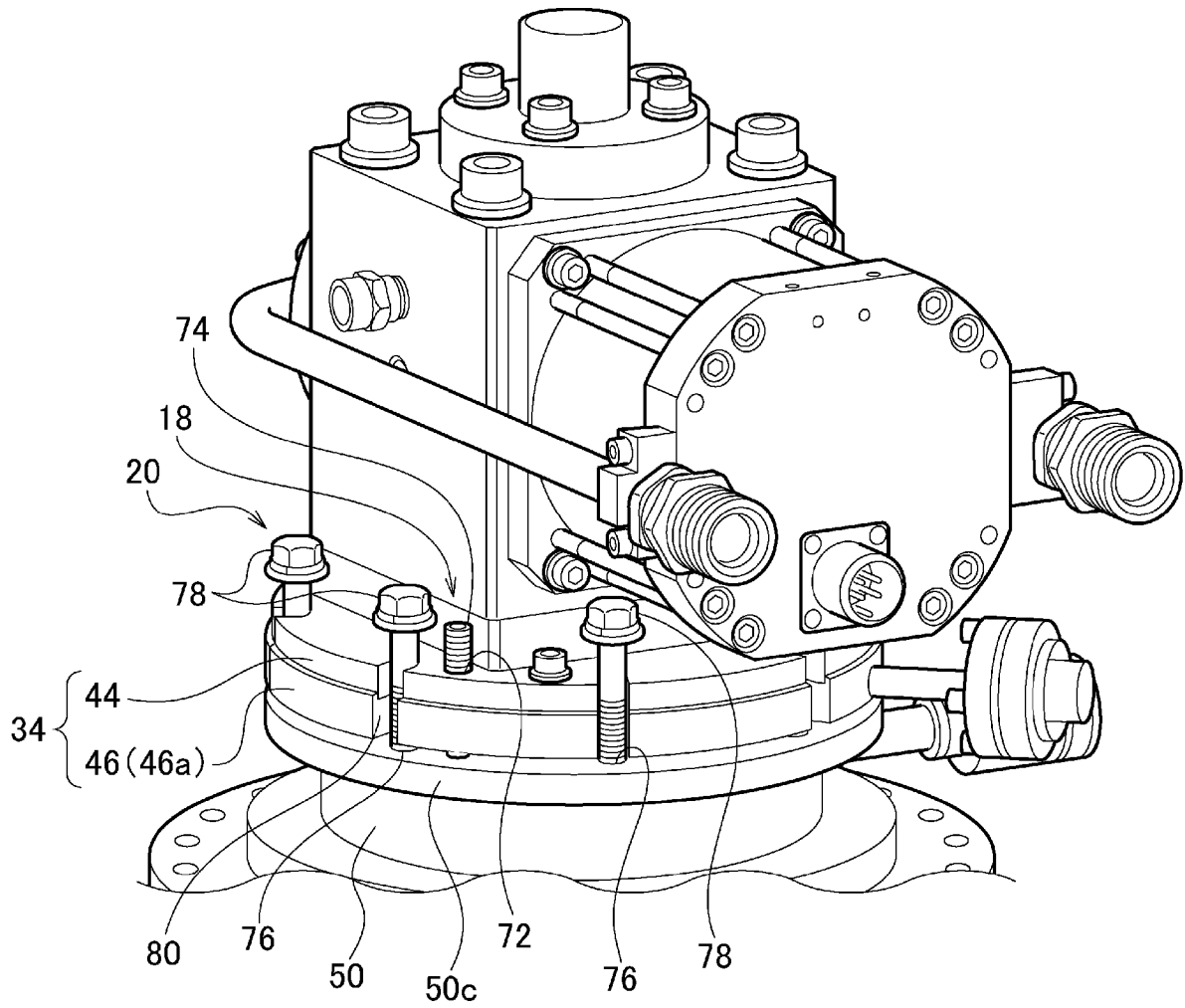
[図8]



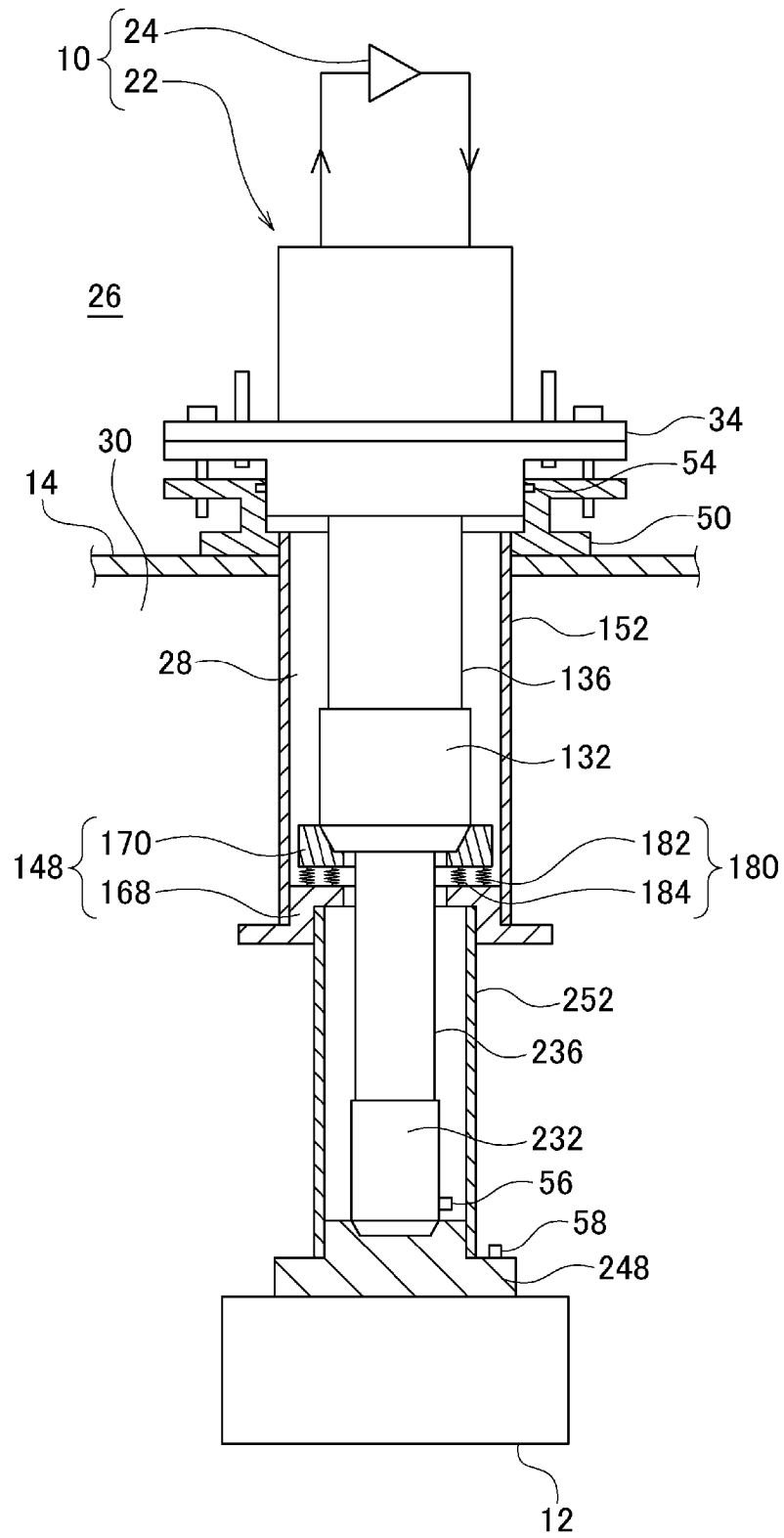
[図9]



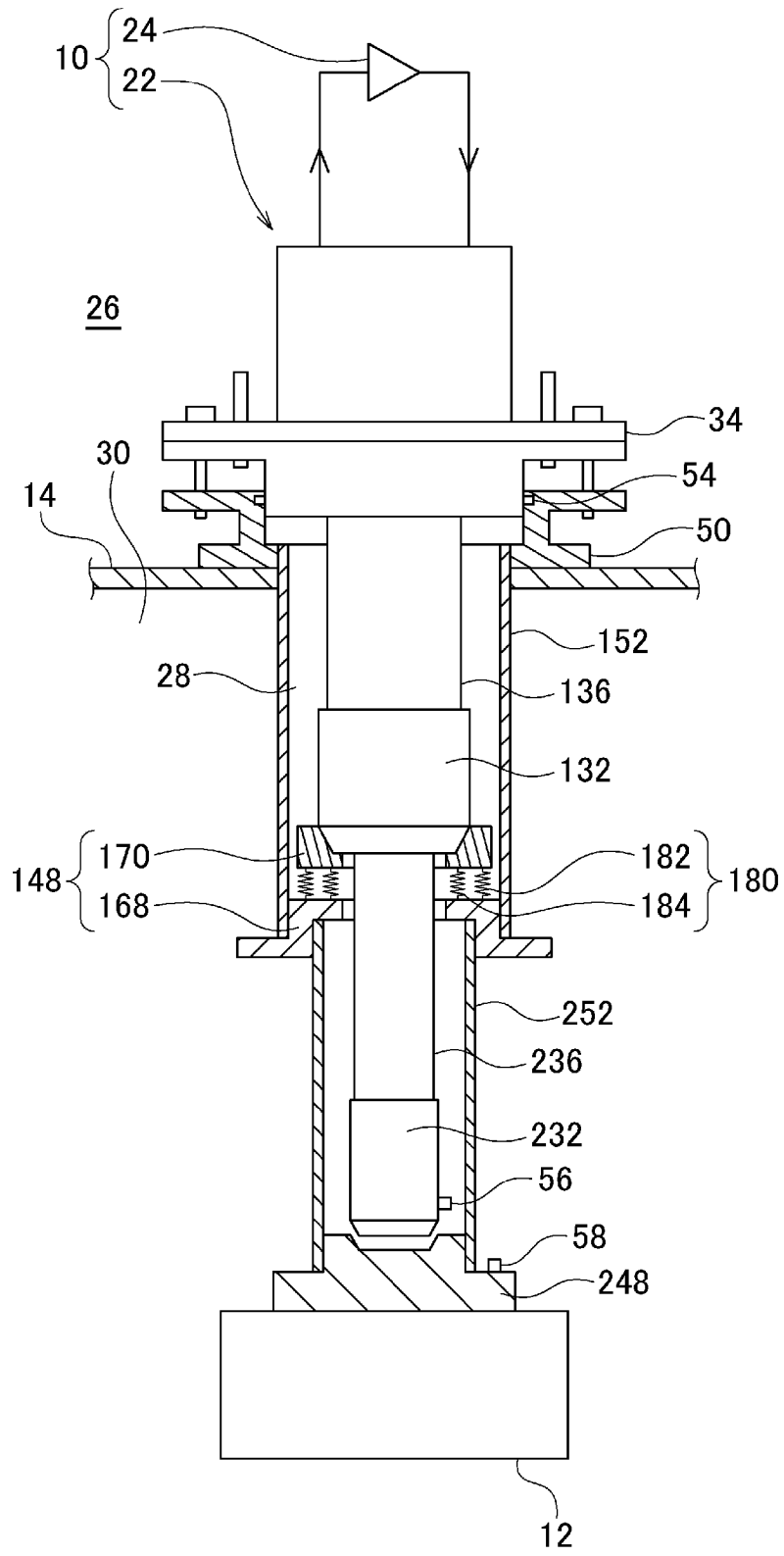
[図10]



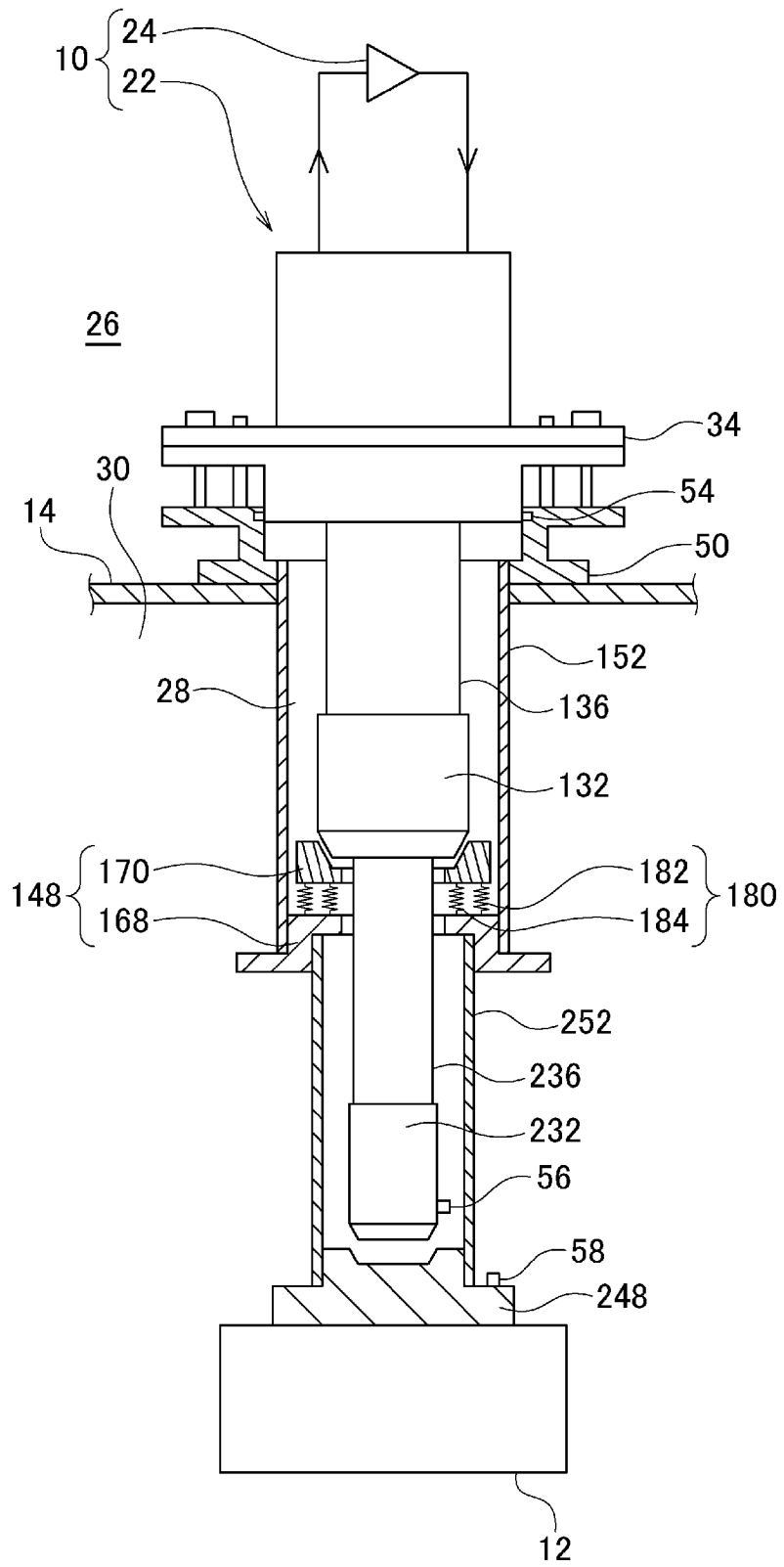
[図11]



[図12]



[図13]



**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP2018/037606

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**

Int.Cl. F25B9/00 (2006.01) i, F25B9/14 (2006.01) i

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, F25B9/14

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 1971-2018

Registered utility model specifications of Japan 1996-2018

Published registered utility model applications of Japan 1994-2018

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 2004-294041 A (AISIN SEIKI CO., LTD.) 21 October 2004, entire text, all drawings (Family: none) | 1-8                   |
| A         | JP 2-4172 A (TOSHIBA CORP.) 09 January 1990, entire text, all drawings (Family: none)              | 1-8                   |

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  
06 December 2018 (06.12.2018)

Date of mailing of the international search report  
18 December 2018 (18.12.2018)

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

International application No.

PCT/JP2018/037606

## C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages   | Relevant to claim No. |
|-----------|--|-----------------------|
| A         | JP 9-287838 A (KOBE STEEL, LTD.) 04 November 1997, entire text, all drawings (Family: none)  | 1-8                   |
| A         | JP 2005-210015 A (KOBE STEEL, LTD.) 04 August 2005, entire text, all drawings & US 2007/0271933 A1, entire text, all drawings & EP 1557624 A2  | 1-8                   |
| A         | JP 2001-230459 A (SUMITOMO HEAVY INDUSTRIES, LTD.) 24 August 2001, entire text, all drawings (Family: none)  | 1-8                   |
| A         | JP 2004-53068 A (SUMITOMO HEAVY INDUSTRIES, LTD.) 19 February 2004, entire text, all drawings & KR 10-2004-0008256 A   | 1-8                   |
| A         | JP 2013-160393 A (SUMITOMO HEAVY INDUSTRIES, LTD.) 19 August 2013, entire text, all drawings & US 2013/0192034 A1, entire text, all drawings & CN 103245119 A & KR 10-2013-0089177 A | 1-8                   |

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. F25B9/00(2006.01)i, F25B9/14(2006.01)i

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))

Int.Cl. F25B9/00, F25B9/14

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 | 1971-2018年 |
| 日本国実用新案登録公報 | 1996-2018年 |
| 日本国登録実用新案公報 | 1994-2018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<br>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<br>請求項の番号 |
|-----------------|--|----------------|
| A               | JP 2004-294041 A (アイシン精機株式会社)<br>2004.10.21, 全文, 全図<br>(ファミリーなし) | 1-8            |
| A               | JP 2-4172 A (株式会社東芝)<br>1990.01.09, 全文, 全図<br>(ファミリーなし)          | 1-8            |

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。

\* 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矛盾するものではなく、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

06.12.2018

国際調査報告の発送日

18.12.2018

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)  
郵便番号 100-8915  
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

森山 拓哉

3M

3924

電話番号 03-3581-1101 内線 3377

| C (続き) . 関連すると認められる文献 |   |                |
|-----------------------|---|----------------|
| 引用文献の<br>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<br>請求項の番号 |
| A                     | JP 9-287838 A (株式会社神戸製鋼所)<br>1997. 11. 04, 全文, 全図<br>(ファミリーなし)  | 1-8            |
| A                     | JP 2005-210015 A (株式会社神戸製鋼所)<br>2005. 08. 04, 全文, 全図<br>& US 2007/0271933 A1, 全文, 全図<br>& EP 1557624 A2                           | 1-8            |
| A                     | JP 2001-230459 A (住友重機械工業株式会社)<br>2001. 08. 24, 全文, 全図<br>(ファミリーなし)   | 1-8            |
| A                     | JP 2004-53068 A (住友重機械工業株式会社)<br>2004. 02. 19, 全文, 全図<br>& KR 10-2004-0008256 A   | 1-8            |
| A                     | JP 2013-160393 A (住友重機械工業株式会社)<br>2013. 08. 19, 全文, 全図<br>& US 2013/0192034 A1, 全文, 全図<br>& CN 103245119 A & KR 10-2013-0089177 A | 1-8            |