

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2020年1月2日(02.01.2020)



(10) 国際公開番号

WO 2020/003579 A1

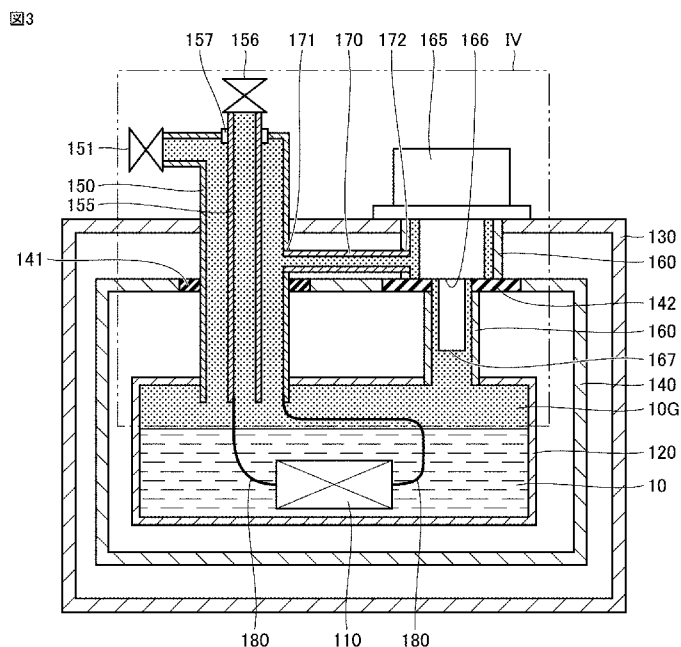
- (51) 国際特許分類:
H01F 6/04 (2006.01) *H01L 39/04* (2006.01)
A61B 5/055 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2019/003969
- (22) 国際出願日: 2019年2月5日(05.02.2019)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2018-121649 2018年6月27日(27.06.2018) JP
- (71) 出願人:三菱電機株式会社(MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008310 東

京 都 千 代 田 区 丸 の 内 二 丁 目 7 番
3号 Tokyo (JP).

- (72) 発明者: 五 明 泰 作 (GOMYO, Taisaku); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 岩本直樹(IWAMOTO, Naoki); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 井上達也(INOUE, Tatsuya); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 田中知徳(TANAKA, Tomonori); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP).

(54) Title: SUPERCONDUCTING MAGNET

(54) 発明の名称: 超電導マグネット



(57) Abstract: Provided is a superconducting magnet (100) comprising a superconducting coil (110), a coolant vessel (120), a radiation shield (140), a first pipe (150), a second pipe (160), a refrigerator (165), and a connection pipe (170). The refrigerator (165) is fixed so as to seal an end of the second pipe (160) and is inserted into the second pipe (160) such that a flow path of the coolant (10G) is formed between the refrigerator (165) and the second pipe (160). The connection pipe (170) makes the first pipe (150) and the second pipe (160) communicate with each other in a vacuum vessel (130).

(74) 代理人:特許業務法人深見特許事務所(FUKAMI PATENT OFFICE, P.C.); 〒5300005 大阪府大阪市北区中之島三丁目2番4号 中之島フェスティバルタワー・ウエスト Osaka (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, 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:

— 国際調査報告 (条約第21条(3))

The connection pipe (170) includes a first connection portion (171) that connects with the first pipe (150) and a second connection portion (172) that connects with the second pipe (160). The second connection portion (172) is provided in a position between the vacuum vessel (130) and the radiation shield (140).

(57) 要約: 超電導マグネット(100)は、超電導コイル(110)と、冷媒容器(120)と、輻射シールド(140)と、第1配管(150)と、第2配管(160)と、冷凍機(165)と、接続配管(170)とを備えている。冷凍機(165)は、第2配管(160)の末端を封じるように固定され、かつ、第2配管(160)との間に冷媒(10G)の流路を構成するように第2配管(160)に挿入されている。接続配管(170)は、真空容器(130)の内側において、第1配管(150)と第2配管(160)の内部とを連通させている。接続配管(170)は、第1配管(150)に接続する第1接続部(171)と、第2配管(160)に接続する第2接続部(172)とを含んでいる。第2接続部(172)は、真空容器(130)と輻射シールド(140)との間に位置している。

明 細 書

発明の名称：超電導マグネット

技術分野

[0001] 本発明は、超電導マグネットに関する。

背景技術

[0002] 超電導マグネットの構成を開示した先行文献として、特許第5868562号（特許文献1）がある。特許文献1に記載された超電導マグネットは、超電導コイルと、冷媒容器と、輻射シールドと、真空容器と、冷凍機と、第1排気管と、第1放圧弁とを備える。冷凍機は、真空容器から冷媒容器まで繋がるように設けられたシリンダに挿入されている。冷凍機の第1冷凍ステージは、輻射シールドと間接的に接触している。冷凍機の第2冷凍ステージは、冷媒容器の内部の上部に位置して、気化したヘリウムガスを再液化している。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特許第5868562号

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 一般的な超電導マグネットにおいては、冷媒容器に接続された配管の熱伝導および輻射シールドからの輻射により冷媒容器に侵入した熱を冷媒容器の外へ排熱するために、超電導マグネットの稼働時には、冷凍機を連続で運転するため、消費電力が大きくなる。

[0005] 冷凍機の消費電力を低減する方法の一つとして、冷凍機の運転と停止とを繰り返す間欠運転を行なう方法がある。冷凍機を間欠運転する場合、冷凍機の停止時において冷媒容器内の圧力上昇に要する時間が長いほど、また、冷凍機の運転再開時において冷媒容器内の圧力低下に要する時間が短いほど、冷凍機の作動時間を短くすることができる。

[0006] 冷凍機の停止時の冷媒容器内の圧力上昇に要する時間を長くするためには、冷媒容器への熱侵入量を低減する必要がある。冷凍機の運転再開時の冷媒容器内の圧力低下に要する時間を短くするためには、冷媒容器内の冷却効率を向上する必要がある。

[0007] 本発明は上記の問題点に鑑みてなされたものであって、冷媒容器内への熱侵入量を低減するとともに、冷媒容器内の冷却効率を向上させることにより、冷凍機の消費電力を低減できる、超電導マグネット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

[0008] 本発明に基づく超電導マグネットは、超電導コイルと、冷媒容器と、輻射シールドと、第1配管と、第2配管と、冷凍機と、接続配管とを備えている。冷媒容器は、超電導コイルを冷却するための冷媒および超電導コイルを収容している。輻射シールドは、冷媒容器と、冷媒容器を収容する真空容器との間に配置され、冷媒容器の周りを囲んでいる。第1配管は、真空容器の外側から冷媒容器に接続されている。第2配管は、真空容器の外側から冷媒容器に接続されている。冷凍機は、第2配管の末端を封じるように固定され、かつ、第2配管との間に冷媒の流路を構成するように第2配管に挿入されている。接続配管は、真空容器の内側において、第1配管の内部と第2配管の内部とを連通させている。接続配管は、第1配管に接続する第1接続部と、第2配管に接続する第2接続部とを含んでいる。第2接続部は、真空容器と輻射シールドとの間に位置している。

発明の効果

[0009] 本発明によれば、第1配管の内部と第2配管の内部とを接続配管によって連通させていることにより、密度差によって冷媒が自然に循環する循環流を発生させることができる。この循環流が、冷凍機と第2配管との間に構成された流路を通過する際に冷媒が冷却されることにより、冷媒容器内の冷却効率を向上することができる。また、第1配管および第2配管の各々を冷媒が通流するため、第1配管および第2配管の各々を通じた熱伝導による冷媒容

器内への熱侵入を抑制することができる。ひいては、超電導マグネットにおける冷凍機の消費電力を低減できる。

図面の簡単な説明

- [0010] [図1]本発明の実施の形態1に係る超電導マグネットを示す正面図である。
- [図2]図1の超電導マグネットを矢印ⅠⅠ方向から見た側面図である。
- [図3]図1の超電導マグネットをⅠⅠⅠーⅠⅠⅠ線矢印方向から見た断面図である。
- [図4]図3のⅠⅤ部を拡大して、気化した冷媒の循環流を示す図である。
- [図5]本発明の実施の形態2に係る超電導マグネットの構成を示す断面図である。
- [図6]図5の超電導マグネットのⅤⅠーⅤⅠ線矢印方向から見た断面図である。
- 。
- [図7]本発明の実施の形態2の変形例に係る超電導マグネットの構成を示す断面図である。
- [図8]本発明の実施の形態3に係る超電導マグネットの構成を示す断面図である。
- [図9]図8のⅠⅩ部を拡大して、気化した冷媒の循環流を示す図である。
- [図10]本発明の実施の形態4に係る超電導マグネットの構成を示す断面図である。
- [図11]本発明の実施の形態5に係る超電導マグネットの構成を示す断面図である。
- [図12]図11のⅩⅠⅠ部を拡大して、気化した冷媒の循環流を示す図である。
- 。

発明を実施するための形態

- [0011] 以下、本発明の各実施の形態に係る超電導マグネットについて図面を参照して説明する。以下の実施の形態の説明においては、図中の同一または相当部分には同一符号を付して、その説明は繰り返さない。以下の実施の形態においては、円筒型の超電導マグネットについて説明するが、必ずしも円筒型

の超電導マグネットに限定されるものではなく、開放型の超電導マグネットにも本発明を適用できる。

[0012] 実施の形態 1.

図 1 は、本発明の実施の形態 1 に係る超電導マグネットを示す正面図である。図 2 は、図 1 の超電導マグネットを矢印 11 方向から見た側面図である。図 3 は、図 1 の超電導マグネットを 111-111 線矢印方向から見た断面図である。なお、図 3 においては超電導マグネットの上側の断面のみ図示している。また、図 1 から図 3 においては、簡単のため、各構成を簡略化して示している。

[0013] 図 1～図 3 に示すように、本実施の形態 1 に係る超電導マグネット 100 は、超電導コイル 110 と、冷媒容器 120 と、真空容器 130 と、輻射シールド 140 と、第 1 配管 150 と、第 1 放圧弁 151 と、第 2 配管 160 と、冷凍機 165 と、第 3 配管 155 と、第 2 放圧弁 156 と、接続配管 170 とを備えている。ただし、超電導マグネット 100 は、第 3 配管 155 と第 2 放圧弁 156 とを必ずしも備えなくてよい。超電導マグネット 100 が第 3 配管 155 と第 2 放圧弁 156 とを備えていない場合、後述する電極として、真空容器 130 の外側から挿入される電極棒などが用いられてもよい。

[0014] 冷媒容器 120 は、超電導コイル 110 を冷却するための冷媒および超電導コイル 110 を収容している。本実施の形態において、冷媒容器 120 は、超電導コイル 110 を液状の冷媒 10 に浸漬した状態で収容している。液状の冷媒 10 は、本実施の形態においては、液体ヘリウムであるが、液体窒素などでもよい。冷媒容器 120 内の超電導コイル 110 および液状の冷媒 10 以外の部分は、気化した冷媒 10G で満たされている。液状の冷媒 10 が液体ヘリウムである場合、冷媒容器 120 は、超電導コイル 110 を 5 K 以下の極低温に維持するための低温容器として機能する。

[0015] 冷媒容器 120 には、冷媒容器 120 の内部と外部とを連通させる 2 つの開口部が設けられており、一方の開口部に第 1 配管 150 が接続されており

、他方の開口部に第2配管160が接続されている。冷媒容器120は、たとえばステンレス鋼で構成されている。

[0016] 真空容器130は、冷媒容器120を収容している。真空容器130は、冷媒容器120の外形と略相似形の中空円筒状の形状を有している。真空容器130には、冷媒容器120の2つの開口部に対応する位置に、2つの開口部が設けられている。真空容器130の内部は、冷媒容器120の断熱性を向上させるため、高真空状態まで減圧されている。より具体的には、真空容器130の内側から冷媒容器120の外側までの部分が、高真空状態まで減圧されている。真空容器130は、たとえばステンレス鋼で構成されている。

[0017] 輻射シールド140は、冷媒容器120と真空容器130との間に配置され、冷媒容器120の周りを囲んでいる。輻射シールド140は、冷媒容器120と略相似形の中空円筒状の形状を有している。輻射シールド140には、冷媒容器120の2つの開口部に対応する位置に、2つの開口部が設けられている。輻射シールド140は、真空容器130から冷媒容器120への熱輻射を低減するために設置される。輻射シールド140は、光の反射率および熱伝導率の大きい材料で構成されていることが好ましく、たとえばアルミニウムで構成されている。

[0018] 第1配管150は、真空容器130の外側から冷媒容器120に接続されている。第1配管150は、真空容器130の外側から冷媒容器120に向けて冷媒容器120の径方向に延在している。第1配管150は気化した冷媒10Gの流路となる。第1配管150の外周面上において、輻射シールド140に対応する位置に、第1サーマルアンカ141が配置されている。第1サーマルアンカ141は、熱伝導率の大きい銅またはアルミニウム等の材料で構成されたブロック状の部材である。第1サーマルアンカ141は、図示しない可撓導体を介して輻射シールド140の一方の開口部に接続されている。第1配管150は、冷凍機165の第1冷凍ステージによって間接的に冷却されているが、詳細については後述する。

[0019] 第1配管150の真空容器130側の端部は、真空容器130の外側に位置している。第1配管150の冷媒容器120側の端部は、本実施の形態において、冷媒容器120内に位置している。第1配管150の冷媒容器120側の外周面が、冷媒容器120に設けられた一方の開口部と接続されている。第1配管150と冷媒容器120とは、溶接などにより互いに接続されている。第1配管150と冷媒容器120とが、フランジを介して互いに接続されていてもよい。なお、第1配管150の冷媒容器120側の端部が、冷媒容器120に設けられた開口部に接続されていてもよい。第1配管150は、たとえばステンレス鋼で構成されている。

[0020] 本実施の形態において、第1放圧弁151は、真空容器130の外側において、第1配管150に接続されている。第1放圧弁151は、冷媒容器120内の内部圧力の過上昇を防ぐ機能を有する。すなわち、冷媒容器120の圧力が過上昇した場合に、第1放圧弁151が開くことにより、冷媒容器120内の気化した冷媒10Gが大気へと放出される。

[0021] 第2配管160は、真空容器130の外側から冷媒容器120に接続されている。第2配管160は、真空容器130の外側から冷媒容器120に向けて冷媒容器120の径方向に延在している。本実施の形態において、第2配管160は、第2配管160の延在方向における中央部において第2サーマルアンカ142を有している。第2配管160においては、第2サーマルアンカ142より冷媒容器120側および真空容器130側の各々が、冷凍機165の外径に応じて、互いに異なる外径を有している。

[0022] 第2配管160の真空容器130側の端部は真空容器130の外側に位置している。第2配管160の真空容器130側の端部に、冷凍機165のフランジが固定されている。

[0023] 一方、第2配管160の冷媒容器120側の端部は、本実施の形態においては、冷媒容器120に設けられた開口部に接続されている。第2配管160と冷媒容器120とは、溶接などにより互いに接続されている。第2配管160と冷媒容器120とが、フランジを介して互いに接続されていてもよ

い。なお、第2配管160の冷媒容器120側の端部が、冷媒容器120内に位置していてもよい。この場合、第2配管160の冷媒容器120側の外面が、冷媒容器120に設けられた他方の開口部と接続されている。

[0024] 磁気イメージング装置に用いられる超電導マグネット100は、病院の診察室などの室温環境に設置されるため、真空容器130から輻射シールド140へ熱が常に侵入し、さらに、輻射シールド140から冷媒容器120へ熱が常に侵入する。冷媒容器120への熱侵入により、冷媒容器120の内部で気化した冷媒10Gが発生し続けると、気化した冷媒10Gの物質が増大することにより、冷媒容器120の内部圧力が上昇する。冷媒容器120の内部圧力が高くなりすぎると、冷媒容器120が破損すること、または、液状の冷媒10の温度が上昇して超電導コイル110を超電導状態に維持できなくなることがある。そこで、冷媒容器120内へ侵入した熱を冷媒容器120の外へ排出するために、超電導マグネット100に冷凍機165が設置されている。

[0025] 冷凍機165は、第2配管160の末端を封じるように固定され、かつ、第2配管160との間に気化した冷媒10Gの流路を構成するように第2配管160に挿入されている。第2配管160の末端とは、第2配管160の真空容器130側の端部である。第2配管160と冷凍機165との間に構成される気化した冷媒10Gの流路については、後述する。

[0026] 本実施の形態において、冷凍機165は、第1冷凍ステージ166と、第2冷凍ステージ167とを含んでいる。冷凍機165としては、このような2段の冷凍ステージを有するギフォード・マクマホン型冷凍機またはパルスチューブ冷凍機が用いられる。冷凍機165の冷却能力は、各々の冷凍ステージの温度により変化する。第1冷凍ステージ166は、冷凍機165の長手方向の中央部に設けられており、第2冷凍ステージ167は、冷凍機165の長手方向の先端部に設けられている。

[0027] 液状の冷媒10として液体ヘリウムを用いる場合、冷凍機165の第1冷凍ステージ166の温度は、たとえば30K以上60K以下であり、第1冷

凍ステージ１６６の冷却能力は、たとえば２０Ｗ以上７０Ｗ以下であり、第２冷凍ステージ１６７の温度は、たとえば４Ｋであり、第２冷凍ステージ１６７の冷却能力は、たとえば１Ｗである。

[0028] 第１冷凍ステージ１６６は、第２配管１６０の内部において、真空容器１３０と輻射シールド１４０との間の領域に位置している。なお、第２配管１６０の内部において、真空容器１３０と輻射シールド１４０との間の領域とは、第２配管１６０の内部において、第２配管１６０の延在方向における真空容器１３０と輻射シールド１４０との間の領域を意味する。

[0029] 本実施の形態においては、第１冷凍ステージ１６６は、第２配管１６０の内部において、後述する第２接続部と輻射シールド１４０との間の領域に位置している。なお、第２配管１６０の内部において、第２接続部と輻射シールド１４０との間の領域とは、第２配管１６０の内部において、第２配管１６０の延在方向における第２接続部と輻射シールド１４０との間の領域を意味する。

[0030] 第２冷凍ステージ１６７は、第２配管１６０の内部における輻射シールド１４０と冷媒容器１２０との間の領域、および、冷媒容器１２０の内部における上方の領域の、少なくとも一方に位置している。

[0031] すなわち、第２冷凍ステージ１６７は、第２配管１６０の内部における輻射シールド１４０と冷媒容器１２０との間の領域に位置していてもよいし、冷媒容器１２０の内部における上方の領域に位置していてもよいし、第２配管１６０の内部における輻射シールド１４０と冷媒容器１２０との間の領域、および、冷媒容器１２０の内部における上方の領域の、各々に亘って位置していてもよい。

[0032] 第２サーマルアンカ１４２は、熱電導率の大きい銅またはアルミニウムなどの材料で構成されたブロック状の部材である。第２サーマルアンカ１４２は、図示しない可撓導体を介して輻射シールドの他方の開口部に接続されている。

[0033] 第１冷凍ステージ１６６は、第２サーマルアンカ１４２に直接的に接触し

ており、第2サーマルアンカ142を介して間接的に輻射シールド140を冷却している。輻射シールド140は、第1サーマルアンカ141に間接的に接触しているため、輻射シールド140を冷却することにより、第1サーマルアンカ141を通じた熱伝導によって第1配管150を冷却することができる。第2冷凍ステージ167は、冷媒容器120の内部の気化した冷媒10Gを冷却している。

[0034] ここで、第2配管160と冷凍機165との間に構成される気化した冷媒10Gの流路について説明する。第2サーマルアンカ142または第1冷凍ステージ166には、第2配管160の内部に気化した冷媒10Gが流れるように、図示しない冷媒流路が設けられている。冷媒流路は、第2サーマルアンカ142および第1冷凍ステージ166の両方に設けられていてもよい。

[0035] 冷媒流路の構造は、たとえば、第2サーマルアンカ142と第1冷凍ステージ166との接触部において、第2サーマルアンカ142および第1冷凍ステージ166の少なくとも一方に溝が形成されている構造であってもよい。

[0036] 第2配管160内の気化した冷媒10Gの温度は、冷凍機165によって冷却されることにより、冷媒容器120側に向かうほど小さくなる。第2配管160内の気化した冷媒10Gの密度は、冷媒容器120側に向かうほど高くなる。

[0037] 本実施の形態において、第3配管155は、真空容器130の外側から冷媒容器120に向けて延在している。第3配管155の少なくとも一部は、第1配管150の内部において第1配管150と離間しつつ第1配管150に沿って延在している。

[0038] 第1配管150と第3配管155とは互いに電氣的に絶縁されている。具体的には、第3配管155は第1配管150を貫通するように配置されており、第3配管155は、この貫通箇所において絶縁部157を介して第1配管150に固定されている。第3配管155の真空容器130側の端部は、

真空容器 130 および第 1 配管 150 の外側に位置している。第 3 配管 155 の冷媒容器 120 側の端部は、第 1 配管 150 の内部、および、冷媒容器 120 の内部の少なくとも一方に位置している。本実施の形態において、第 3 配管 155 の冷媒容器 120 側の端部は、第 1 配管 150 の冷媒容器 120 側の端部と、第 1 配管 150 の延在方向において略同一の位置となるように配置されている。

[0039] 第 3 配管 155 は、気化した冷媒 10G の補助流路を構成している。第 3 配管 155 は、たとえばステンレス鋼で構成されている。第 3 配管 155 は、第 1 配管 150 とともに、超電導コイル 110 に電流を流すための電極としても使用される。第 1 配管 150 および第 3 配管 155 の各々は、電流リード 180 で超電導コイル 110 と接続されている。

[0040] 本実施の形態において、第 2 放圧弁 156 は、第 3 配管 155 において、真空容器 130 より外側の末端に接続されている。第 3 配管 155 の末端とは、第 3 配管 155 の真空容器 130 側の端部である。第 1 配管 150 に接続された第 1 放圧弁 151 と同様に、第 2 放圧弁 156 は、冷媒容器 120 の内部圧力の過上昇を防ぐ機能を有する。

[0041] 接続配管 170 は、真空容器 130 の内側において、第 1 配管 150 の内部と第 2 配管 160 の内部とを連通させている。接続配管 170 は、たとえば、ステンレスまたはアルミニウムなどの材料で構成されている。本実施の形態において、接続配管 170 は、フレキシブル管である。

[0042] 接続配管 170 は、第 1 配管 150 に接続する第 1 接続部 171 と、第 2 配管 160 に接続する第 2 接続部 172 とを含んでいる。第 2 接続部 172 は、真空容器 130 と輻射シールド 140 との間に位置している。また、本実施の形態においては、第 1 接続部 171 も、真空容器 130 と輻射シールド 140 との間に位置している。

[0043] 接続配管 170 は、第 1 接続部 171 において、第 1 配管 150 内の気化した冷媒 10G が漏洩しないように、溶接などにより第 1 配管 150 に接続されている。接続配管 170 は、第 1 接続部 171 において、フランジを介

して第1配管150に接続されていてもよい。

[0044] 接続配管170は、第2接続部172において、第2配管160内の気化した冷媒10Gが漏洩しないように、溶接などにより第2配管160に接続されている。接続配管170は、第2接続部172において、フランジを介して第2配管160に接続されていてもよい。

[0045] 本実施の形態においては、接続配管170の全体、すなわち、第1配管150と接続している第1接続部171から、第2配管160と接続している第2接続部172まで、真空容器130の内部の真空雰囲気中に配置されている。

[0046] ここで、本実施の形態に係る超電導マグネット100において、冷媒容器120内で気化した冷媒10Gが自然に循環するような循環流が発生するメカニズムについて図4を参照して説明する。図4は、図3のIV部を拡大して、気化した冷媒の循環流を示す図である。

[0047] まず、第1配管150の内部の冷媒10Gは、真空容器130の外部から第1配管150を伝わって侵入した熱によって加熱され、温度が上昇する。温度が上昇した冷媒10Gは、比重が減少して上昇する。その結果、図4に示すように、第1配管150の内部において、冷媒10Gが上昇する流れが発生する。

[0048] 第1配管150の内部を上昇した冷媒10Gは、接続配管170に流入する。第1配管150から接続配管170を通して第2配管160に向かって流れる際に、冷媒10Gは、真空容器130からの輻射熱の影響により、温度が少し上昇する。

[0049] 接続配管170を流れた冷媒10Gは、第2配管160の内部において、真空容器130と輻射シールド140との間の領域に流入する。第2配管160の内部において、真空容器130と輻射シールド140との間の領域には、第1冷凍ステージ166も位置している。このため、接続配管170から第2配管160に流入した冷媒10Gは、第1冷凍ステージ166に沿って流動する際に冷却される。冷却された冷媒10Gは、比重が増加して下降

するため、第1冷凍ステージ166と第2配管160との間の冷媒流路を通過して冷媒容器120側に流れ、第2冷凍ステージ167へ向かう。

[0050] 第2冷凍ステージ167に沿って流動する際、冷媒10Gは、第2冷凍ステージ167によってさらに冷却され、比重が増加して下降する。このように、第2配管160の内部において、冷媒容器120に向かう冷媒10Gの流れが発生する。

[0051] 第2配管160の内部において、冷媒容器120に向かう冷媒10Gの流れが発生することにより、第2配管160の内部における真空容器130と輻射シールド140との間の領域の内圧が低下するため、接続配管170内の冷媒10Gが第2配管160の内部に引き込まれる流れが発生する。また、冷媒容器120の内部において、第2配管160側から第1配管150に向かう、冷媒10Gの流れが発生する。

[0052] このように、本実施の形態においては、冷媒容器120、第1配管150、接続配管170、第2配管160、冷媒容器120の順に冷媒10Gが循環する循環流が自然発生する。この冷媒10Gの循環流が生じることにより、第1配管150および第3配管155の各々は、冷媒10Gの顕熱により冷却される。これにより、第1配管150および第3配管155の各々を通じた熱伝導による冷媒容器120内への熱侵入を抑制することができる。

[0053] また、この循環流により、冷媒10Gを、第1冷凍ステージ166および第2冷凍ステージ167の各々を通過させることができる。第1冷凍ステージ166の冷却性能は、第2冷凍ステージ167の冷却性能より大きいため、本実施の形態に係る超電導マグネット100においては、第2冷凍ステージ167のみで冷媒を冷却する従来の超電導マグネットと比較して、第2冷凍ステージ167の熱負荷を低減でき、冷凍機165の冷却効率を向上することができる。その結果、冷媒容器120内の冷却効率を向上することができる。

[0054] さらに、接続配管170が真空容器130の内側に位置しているため、真空容器130の外側から接続配管170内への熱侵入が少ないため、冷媒容

器 1 2 0 内の冷却効率を効果的に向上することができる。

[0055] 上記のように、本実施の形態に係る超電導マグネット 1 0 0 は、真空容器 1 3 0 の内側において、第 1 配管 1 5 0 と第 2 配管 1 6 0 の内部とを連通させる接続配管 1 7 0 を備え、冷凍機 1 6 5 が、第 2 配管 1 6 0 との間に冷媒 1 0 G の流路を構成するように第 2 配管 1 6 0 に挿入されているとともに、接続配管 1 7 0 と第 2 配管 1 6 0 とを接続する第 2 接続部 1 7 2 が、真空容器 1 3 0 と輻射シールド 1 4 0 との間に位置している。

[0056] これにより、冷媒容器 1 2 0 内で気化した冷媒 1 0 G が密度差によって自然に循環する循環流を発生させることができる。この循環流によって、第 2 配管 1 6 0 内の冷凍機 1 6 5 と第 2 配管 1 6 0 との間に構成された流路中にて冷媒 1 0 G を冷却することができるため、冷媒容器 1 2 0 内の冷却効率を向上することができる。

[0057] また、第 1 配管 1 5 0 および第 2 配管 1 6 0 の各々を気化した冷媒 1 0 G が通流するため、第 1 配管 1 5 0 および第 2 配管 1 6 0 の各々を通じた熱伝導による冷媒容器 1 2 0 内への熱侵入を抑制することができる。ひいては、超電導マグネット 1 0 0 における冷凍機 1 6 5 の消費電力を低減できる。

[0058] さらに、本実施の形態においては、第 1 冷凍ステージ 1 6 6 が、第 2 配管 1 6 0 の内部において、真空容器 1 3 0 と輻射シールド 1 4 0 との間の領域に位置しており、かつ、第 2 冷凍ステージ 1 6 7 が、第 2 配管 1 6 0 の内部における輻射シールド 1 4 0 と冷媒容器 1 2 0 との間の領域、および、冷媒容器 1 2 0 の内部における上方の領域の、少なくとも一方に位置している。

[0059] これにより、冷媒 1 0 G を、第 1 冷凍ステージ 1 6 6 および第 2 冷凍ステージ 1 6 7 の各々に通過させることができるため、第 2 冷凍ステージ 1 6 7 の熱負荷を低減させて冷凍機 1 6 5 の冷却効率を向上させることができる。ひいては、冷媒容器 1 2 0 内の冷却効率を向上させることができる。

[0060] さらに、本実施の形態においては、第 1 冷凍ステージ 1 6 6 が、第 2 配管 1 6 0 の内部において、第 2 接続部 1 7 2 と輻射シールド 1 4 0 との間の領域に位置していることにより、循環流が第 1 冷凍ステージ 1 6 6 を直接通過

するようにして、第1冷凍ステージ166にて冷媒10Gを効果的に冷却することができる。

[0061] さらに、本実施の形態に係る超電導マグネット100は、真空容器130の外側から冷媒容器120に向けて延在し、少なくとも一部が第1配管150の内部において第1配管150と離間しつつ第1配管150に沿って延在する第3配管155をさらに備えている。冷媒10Gの圧力が高まったときには、第1配管150および第3配管155の各々の末端を開放することにより、冷媒容器120の内部圧力の過上昇を防ぐことができる。

[0062] なお、第1冷凍ステージ166は、第2配管160の内部において、真空容器130と輻射シールド140との間の領域に位置していればよく、必ずしも、第2配管160の内部において、第2接続部172と輻射シールド140との間の領域に位置していなくてもよい。すなわち、第1冷凍ステージ166は、第2配管160の内部において、真空容器130と第2接続部172との間の領域に位置していてもよい。この場合にも、第2配管160の内部において、真空容器130と輻射シールド140との間の領域に流入した冷媒10Gを、第1冷凍ステージ166によって冷却することができる。なお、第2配管160の内部において、真空容器130と第2接続部172との間の領域とは、第2配管160の内部において、第2配管160の延在方向における真空容器130と第2接続部172との間の領域を意味する。

[0063] 実施の形態2.

以下、本発明の実施の形態2に係る超電導マグネットについて説明する。本発明の実施の形態2に係る超電導マグネットは、第1配管の構成のみが本発明の実施の形態1に係る超電導マグネット100と異なるため、本発明の実施の形態1に係る超電導マグネット100と同様である構成については説明を繰り返さない。

[0064] 図5は、本発明の実施の形態2に係る超電導マグネットの構成を示す断面図である。図6は、図5の超電導マグネットのVⅠ-VⅠ線矢印方向から見た断面図である。なお、図5においては超電導マグネットの上側の断面のみ

図示している。また、図5においては、簡単のため、各構成を簡略化して示している。

[0065] 本発明の実施の形態2に係る超電導マグネットは、図5および図6に示すように、第1接続部171より冷媒容器120側において、第1配管150の内面に設けられた放熱部259をさらに備えている。

[0066] 放熱部259は、たとえば、熱伝導率の大きい銅またはアルミニウムなどの材料で構成されている。また、図6に示すように、本実施の形態に係る超電導マグネットは、複数の放熱部259を備えており、複数の放熱部259の各々は、第1配管150の周方向に互いに間隔をおいて配置されている。複数の放熱部259の各々は、第3配管155に対して間隔をあけて位置している。

[0067] 第1配管150内の気化した冷媒10Gが、循環流により、放熱部259と第3配管155との隙間、および、放熱部259同士の隙間を流れる際に、第1配管150が放熱部259を介して冷媒10Gと熱交換する。その結果、第1配管150は、冷媒10Gと直接的に熱交換をするとともに、放熱部259を介して冷媒10Gと間接的に熱交換することにより、冷却される。第1配管150を冷却した冷媒10Gが、第1冷凍ステージ166にて冷却されることにより、顕熱輸送される。

[0068] なお、放熱部259と第3配管155との間隔は、特に限定されるものではないが、超電導マグネットの組立時の工作性を阻害せず、また、第1配管150と第3配管155との絶縁距離が確保できる程度の間隔が必要である。

[0069] 本実施の形態においては、放熱部259の形状は、第1配管150の延在方向に沿って延びるフィン形状であるが、これに限られない。

[0070] 図7は、本発明の実施の形態2の変形例に係る超電導マグネットの構成を示す断面図である。図7においては、図6と同一の断面視にて図示している。

[0071] 図7に示すように、本発明の実施の形態2の変形例に係る超電導マグネッ

トにおいては、放熱部259は、第3配管155の外面に設けられている。
なお、放熱部259は、第1配管150の内面、および、第3配管155の外面の、各々に設けられていてもよい。この場合、第1配管150の内面に設けられた放熱部259同士の間、第3配管155の外面に設けられた放熱部259が配置される。

[0072] 本変形例においては、第1配管150内の気化した冷媒10Gが、循環流により、放熱部259と第1配管150との隙間、および、放熱部259同士の隙間を流れる際に、第3配管155が放熱部259を介して冷媒10Gと熱交換する。その結果、第3配管155は、冷媒10Gと直接的に熱交換をするとともに、放熱部259を介して冷媒10Gと間接的に熱交換することにより、冷却される。第3配管155を冷却した冷媒10Gが、第1冷凍ステージ166にて冷却されることにより、顕熱輸送される。

[0073] 上記のように、第1接続部171より冷媒容器120側において、第1配管150の内面および第3配管155の外面のうち少なくとも一方に、放熱部259が設けられていることにより、第1配管150内を流れる気化した冷媒10Gとの熱交換面積を増加させて、第1配管150および第3配管155の少なくとも一方の温度を低くすることができる。すなわち、第1配管150および第3配管155の少なくとも一方から冷媒容器120内への熱侵入量を低減することができ、ひいては、冷媒容器120内の冷却効率を向上することができる。

[0074] 実施の形態3.

以下、本発明の実施の形態3に係る超電導マグネットについて説明する。
本発明の実施の形態3に係る超電導マグネットは、接続配管および輻射シールドの各々の構成が超電導マグネット100と異なるため、本発明の実施の形態1に係る超電導マグネット100と同様である構成については説明を繰り返さない。

[0075] 図8は、本発明の実施の形態3に係る超電導マグネットの構成を示す断面図である。図9は、図8のIX部を拡大して、気化した冷媒の循環流を示す

図である。なお、図8においては超電導マグネットの上側の断面のみ図示している。また、図8および図9においては、簡単のため、各構成を簡略化して示している。

[0076] 本発明の実施の形態3に係る超電導マグネットにおいては、図8および図9に示すように、接続配管370の外周面が、輻射シールド340に間接的に接触している。具体的には、接続配管370の外周面が、熱伝導部375を介して、輻射シールド140に間接的に接触している。

[0077] 本実施の形態において、接続配管370の第1接続部371は、輻射シールド140と冷媒容器120との間に位置している。接続配管370の第2接続部172は、本発明の実施の形態1と同様に、真空容器130と輻射シールド340との間に位置している。輻射シールド340には、一方の開口部と他方の開口部との間の位置に、貫通孔343が設けられている。

[0078] 接続配管370は、輻射シールド140と冷媒容器120との間に位置する第1接続部371から、貫通孔343を通過して、真空容器130と輻射シールド340との間に位置する第2接続部172まで、設けられている。

[0079] 熱伝導部375は、熱伝導率が比較的大きい材料で構成されていることが好ましい。熱伝導部375は、たとえば、銅で構成されている。熱伝導部375は、可撓性を有する撓み導体で構成されていることが好ましい。

[0080] なお、熱伝導部375は必ずしも設けられていなくてもよく、接続配管370の外周面が、輻射シールド340に直接的に接触していてもよい。この場合、接続配管370の外周面が、輻射シールド340に設けられた貫通孔343の縁部と接触する。

[0081] 図9に示すように、本実施の形態に係る超電導マグネットは、本発明の実施の形態1に係る超電導マグネットと同様に、第2配管160内における気化した冷媒10Gの密度差を駆動力とする、冷媒10Gの循環流が自然発生する。すなわち、冷媒容器120、第1配管150、接続配管370、第2配管160、冷媒容器120の順に冷媒10Gが循環する循環流が自然発生する。冷媒10Gは、この循環流により、冷媒容器120内に侵入した熱を

、気化した冷媒１０Ｇの顕熱を利用して冷凍機１６５の第１冷凍ステージ１６６に輸送することができる。ひいては、冷媒容器１４０内の冷却効率を向上させることができる。

[0082] さらに、本実施の形態に係る超電導マグネットは、接続配管３７０の外周面が、輻射シールド３４０に直接的または間接的に接触しているため、接続配管３７０内を流れる気化した冷媒１０Ｇと輻射シールド３４０との間で、接続配管３７０を介した熱交換が行なわれる。この熱交換により、輻射シールド３４０の温度を低くすることができるため、輻射シールド３４０から冷媒容器１２０への輻射による熱侵入を低減することができる。これにより、冷媒容器１２０内を冷却するために必要となる熱量を低減でき、ひいては、冷媒容器１２０の冷却効率をさらに向上させることができる。

[0083] 実施の形態４．

以下、本発明の実施の形態４に係る超電導マグネットについて説明する。本発明の実施の形態４に係る超電導マグネットは、第１配管の構成のみが本発明の実施の形態３に係る超電導マグネットと異なるため、本発明の実施の形態３に係る超電導マグネットと同様である構成については説明を繰り返さない。

[0084] 図１０は、本発明の実施の形態４に係る超電導マグネットの構成を示す断面図である。なお、図１０においては超電導マグネットの上側の断面のみ図示している。また、図１０においては、簡単のため、各構成を簡略化して示している。

[0085] 本発明の実施の形態４に係る超電導マグネットは、図１０に示すように、第１接続部３７１より冷媒容器１２０側において、第１配管１５０の内面に設けられた放熱部４５９をさらに備えている。

[0086] 放熱部４５９は、たとえば、熱伝導率の大きい銅またはアルミニウムなどの材料で構成されている。また、本実施の形態に係る超電導マグネットは、本発明の実施の形態２に係る超電導マグネットと同様に、複数の放熱部４５９を備えており、複数の放熱部４５９の各々は、第１配管１５０の周方向に

互いに間隔をおいて配置されている。複数の放熱部459の各々は、第3配管155に対して間隔をあけて位置している。

[0087] 第1配管150内の気化した冷媒10Gが、循環流により、放熱部459と第3配管155との隙間、および、放熱部459同士の隙間を流れる際に、第1配管150が放熱部459を介して冷媒10Gと熱交換する。その結果、第1配管150は、冷媒10Gと直接的に熱交換をするとともに、放熱部459を介して冷媒10Gと間接的に熱交換することにより、冷却される。第1配管150を冷却した冷媒10Gが、第1冷凍ステージ166にて冷却されることにより、顕熱輸送される。

[0088] なお、放熱部459と第3配管155との間隔は、特に限定されるものではないが、超電導マグネットの組立時の工作性を阻害せず、また、第1配管150と第3配管155との絶縁距離が確保できる程度の間隔が必要である。

[0089] 本実施の形態においては、放熱部459の形状は、第1配管150の延在方向に沿って延びるフィン形状であるが、これに限られない。また、本発明の実施の形態2の変形例と同様に、放熱部459は、第3配管155の外面に設けられていてもよい。

[0090] 上記のように、第1接続部371より冷媒容器120側において、第1配管150の内面および第3配管155の外面のうち少なくとも一方に、放熱部459が設けられていることにより、第1配管150内を流れる気化した冷媒10Gとの熱交換面積を増加させて、第1配管150および第3配管155の少なくとも一方の温度を低くすることができる。すなわち、第1配管150および第3配管155の少なくとも一方から冷媒容器120内への熱侵入量を低減することができ、ひいては、冷媒容器120内の冷却効率を向上することができる。

[0091] 実施の形態5.

以下、本発明の実施の形態5に係る超電導マグネットについて説明する。本発明の実施の形態5に係る超電導マグネットは、第3配管の構成のみが本

発明の実施の形態１に係る超電導マグネット１００と異なるため、本発明の実施の形態１に係る超電導マグネット１００と同様である構成については説明を繰り返さない。

[0092] 図１１は、本発明の実施の形態５に係る超電導マグネットの構成を示す断面図である。図１２は、図１１のＸ－Ｘ部を拡大して、気化した冷媒の循環流を示す図である。図１１および図１２においては、簡単のため、各構成を簡略化して示している。

[0093] 図１１に示すように、本発明の実施の形態５に係る超電導マグネット５００においては、第３配管５５５が、第３配管５５５の内部と外部とを接続する孔部５５８を有している。

[0094] 図１２に示すように、本実施の形態においては、冷媒容器１２０の内部で気化することにより発生した冷媒１０Ｇが、循環流により、第１配管１５０と第３配管５５５との間を流れるとともに、第３配管５５５の内部にも流れる。その結果、第３配管５５５は、外部側および内部側の各々において冷媒１０Ｇと直接的に熱交換することにより、冷却される。

[0095] 第３配管５５５の内部を流れることにより第３配管５５５を内部側から冷却した冷媒１０Ｇは、第３配管５５５の内部から、孔部５５８を通過して、第３配管５５５の外部へ流れる。この冷媒１０Ｇは、第１配管１５０と第３配管５５５との間を流れる冷媒１０Ｇと合流しつつ、接続配管１７０へと流れる。このようにして、第１配管１５０を冷却し、かつ、第３配管５５５を外部側および内部側の両方から冷却した冷媒１０Ｇは、接続配管１７０を流れたのち、冷凍機１６５の第１冷凍ステージ１６６にて冷却されることにより、顕熱輸送される。

[0096] 本実施の形態においては、孔部５５８の少なくとも一部が、接続配管１７０の第１接続部１７１と対向する位置に配置されている。なお、第３配管５５５の内部を流れた冷媒１０Ｇが、孔部５５８を通過して接続配管１７０へ流入するように配置されていれば、孔部５５８が配置される位置は、当該位置に限定されない。孔部５５８は、第１接続部１７１と対向する位置より上方

に配置されていてもよいし、第1接続部171と対向する位置より下方に配置されていてもよい。孔部558は、必ずしも、第1接続部171と対向していなくてもよい。

[0097] また、本実施の形態においては、第3配管555に、1つの孔部558が設けられているが、複数の孔部558が設けられていてもよい。複数の孔部558は、第3配管555の延在方向に沿って配置されていてもよいし、第3配管555の周方向に沿って配置されていてもよい。また、孔部558の大きさおよび形状の各々は、第3配管555の強度が保たれるものであれば、特に制限されない。

[0098] 上記のように、孔部558が第3配管555に設けられることで、循環流により、第3配管555の内部にも気化した冷媒10Gが流れる。これにより、冷媒10Gと第1配管150との伝熱面積の大きさを維持しつつ、冷媒10Gと第3配管555との伝熱面積を増加させて、第3配管555の温度を低くすることができる。すなわち、第1配管150および第3配管555の各々から冷媒容器120内への熱侵入量を低減することができ、ひいては、冷媒容器120内の冷却効率を向上させることができる。

[0099] なお、今回開示した上記実施の形態はすべての点で例示であって、限定的な解釈の根拠となるものではない。したがって、本発明の技術的範囲は、上記した実施の形態のみによって解釈されるものではなく、請求の範囲の記載に基づいて画定される。また、請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれる。

符号の説明

[0100] 10, 10G 冷媒、100 超電導マグネット、110 超電導コイル、120 冷媒容器、130 真空容器、140, 340 輻射シールド、141 第1サーマルアンカ、142 第2サーマルアンカ、150 第1配管、151 第1放圧弁、155, 555 第3配管、156 第2放圧弁、157 絶縁部、160 第2配管、165 冷凍機、166 第1冷凍ステージ、167 第2冷凍ステージ、170, 370 接続配管、17

1, 3 7 1 第1接続部、1 7 2 第2接続部、1 8 0 電流リード、2 5
9, 4 5 9 放熱部、3 4 3 貫通孔、3 7 5 熱伝導部、5 5 8 孔部。

請求の範囲

- [請求項1] 超電導コイルと、
前記超電導コイルを冷却するための冷媒および前記超電導コイルを収容する冷媒容器と、
前記冷媒容器と、該冷媒容器を収容する真空容器との間に配置され、前記冷媒容器の周りを囲む輻射シールドと、
前記真空容器の外側から前記冷媒容器に接続された第1配管と、
前記真空容器の外側から前記冷媒容器に接続された第2配管と、
前記第2配管の末端を封じるように固定され、かつ、前記第2配管との間に前記冷媒の流路を構成するように前記第2配管に挿入された冷凍機と、
前記真空容器の内側において、前記第1配管の内部と前記第2配管の内部とを連通させる接続配管とを備え、
前記接続配管は、前記第1配管に接続する第1接続部と、前記第2配管に接続する第2接続部とを含み、
前記第2接続部は、前記真空容器と前記輻射シールドとの間に位置している、超電導マグネット。
- [請求項2] 前記冷凍機は、第1冷凍ステージと、第2冷凍ステージとを含み、
前記第1冷凍ステージは、前記第2配管の内部において、前記真空容器と前記輻射シールドとの間の領域に位置し、
前記第2冷凍ステージは、前記第2配管の内部における前記輻射シールドと前記冷媒容器との間の領域、および、前記冷媒容器の内部における上方の領域の、少なくとも一方に位置する、請求項1に記載の超電導マグネット。
- [請求項3] 前記第1冷凍ステージは、前記第2配管の内部において、前記第2接続部と前記輻射シールドとの間の領域に位置している、請求項2に記載の超電導マグネット。
- [請求項4] 前記真空容器の外側から前記冷媒容器に向けて延在し、少なくとも

一部が前記第 1 配管の内部において前記第 1 配管と離間しつつ前記第 1 配管に沿って延在する第 3 配管をさらに備える、請求項 1 から請求項 3 のいずれか 1 項に記載の超電導マグネット。

[請求項5] 前記第 1 接続部より冷媒容器側において、前記第 1 配管の内面および前記第 3 配管の外面のうち少なくとも一方に設けられた放熱部をさらに備える、請求項 4 に記載の超電導マグネット。

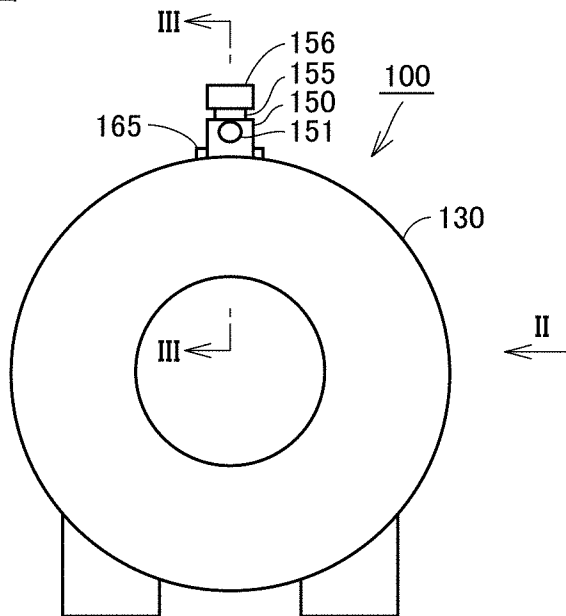
[請求項6] 前記第 3 配管は、前記第 3 配管の内部と外部とを接続する孔部を有し、

前記第 3 配管の内部と前記接続配管の内部とは、前記孔部を通じて互いに連通している、請求項 4 または請求項 5 に記載の超電導マグネット。

[請求項7] 前記接続配管の外周面が、前記輻射シールドに直接的または間接的に接触している、請求項 1 から請求項 6 のいずれか 1 項に記載の超電導マグネット。

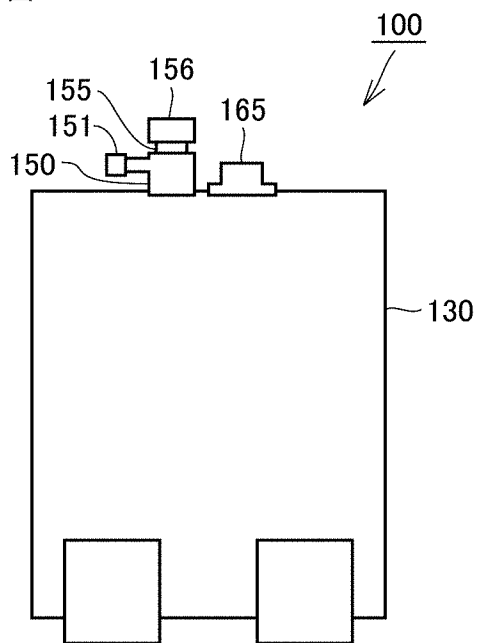
[図1]

図1



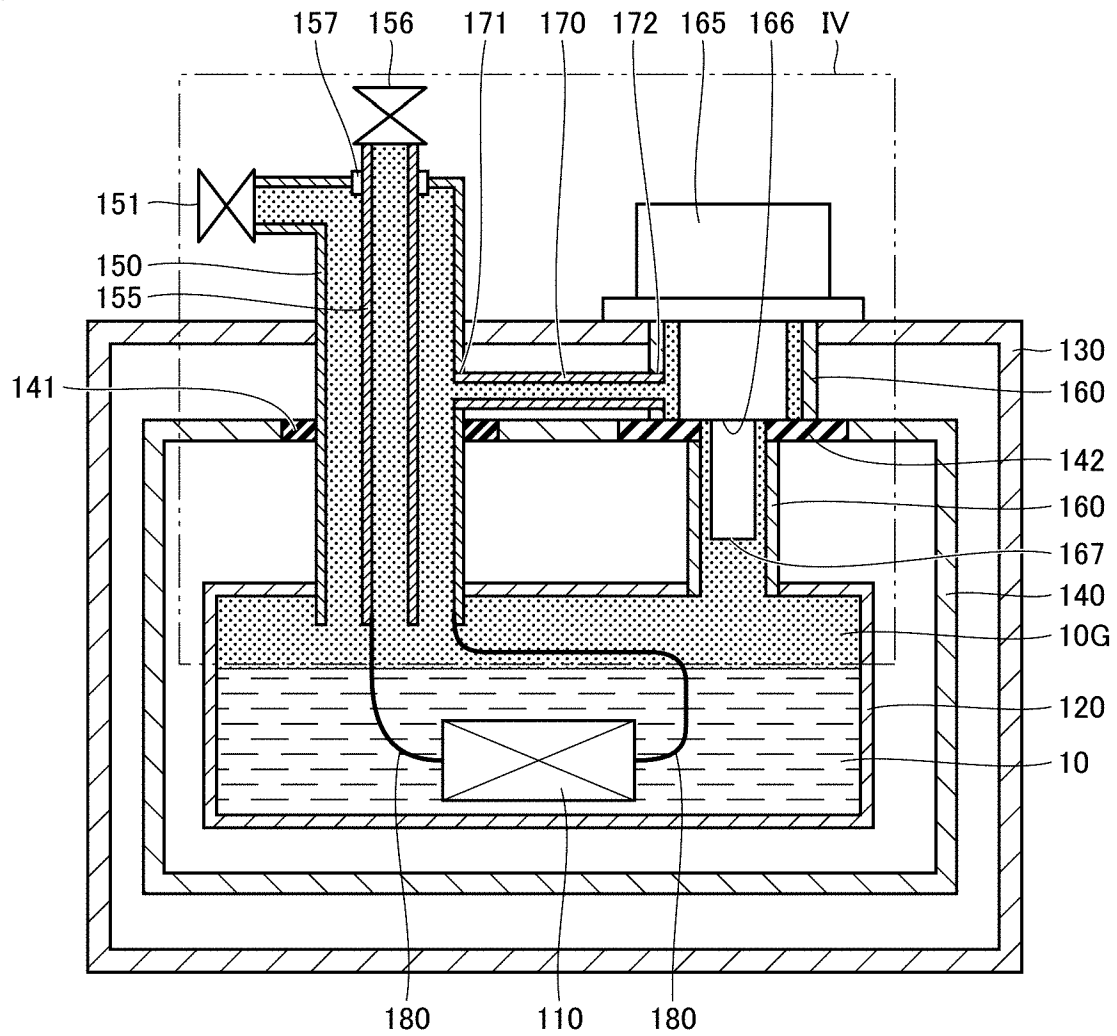
[図2]

図2



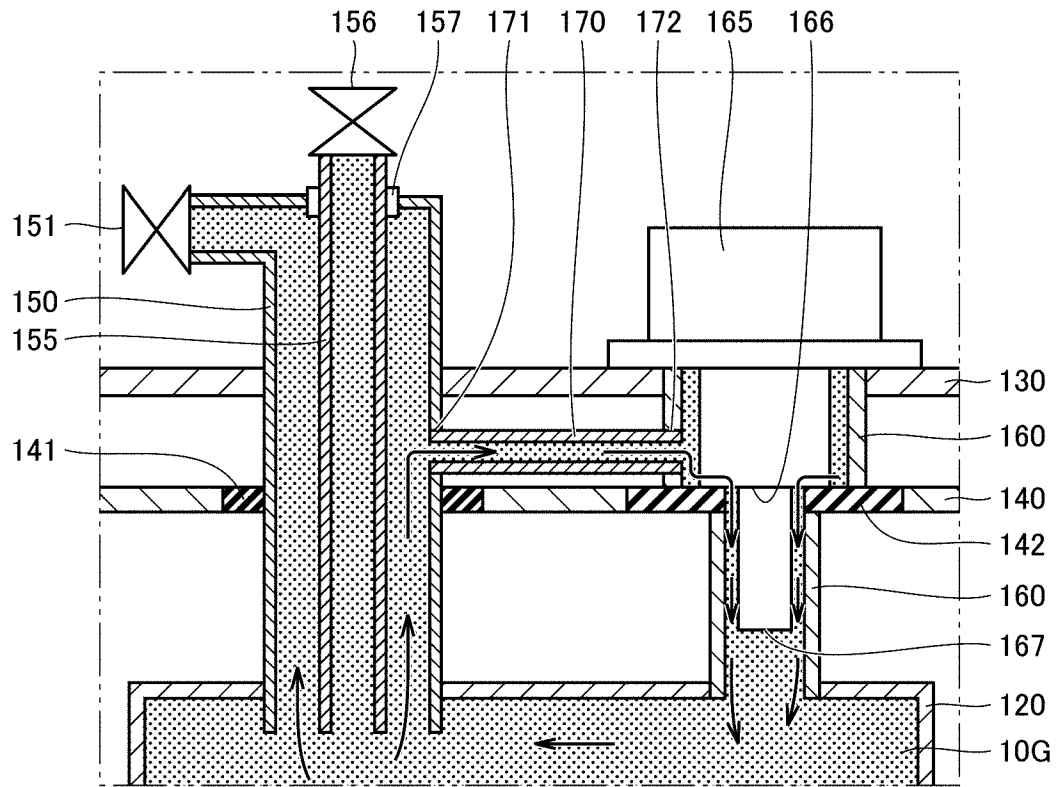
[図3]

図3



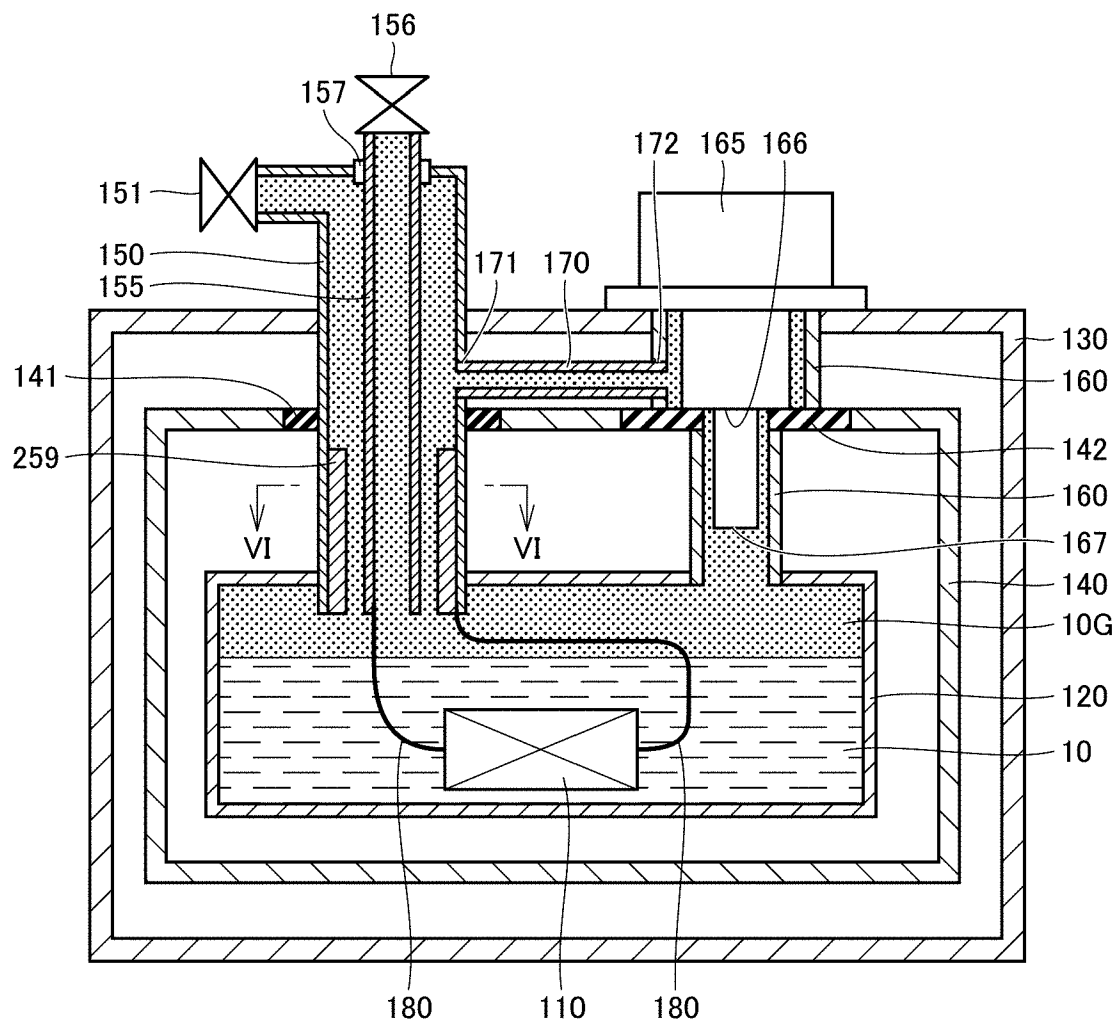
[図4]

図4



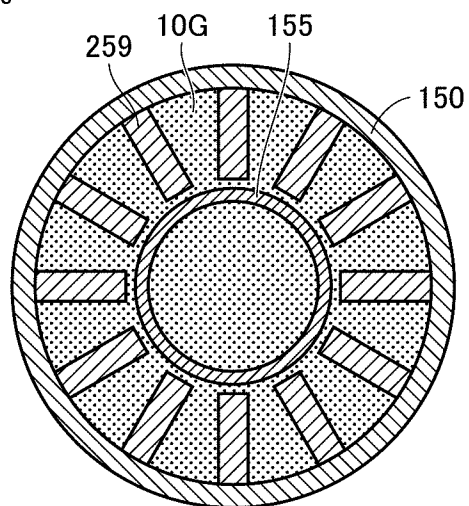
[図5]

図5



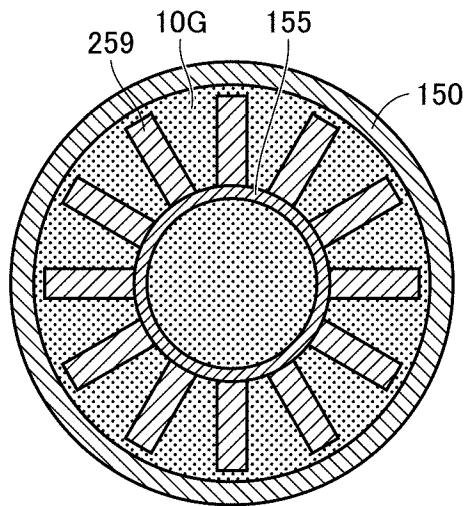
[図6]

図6



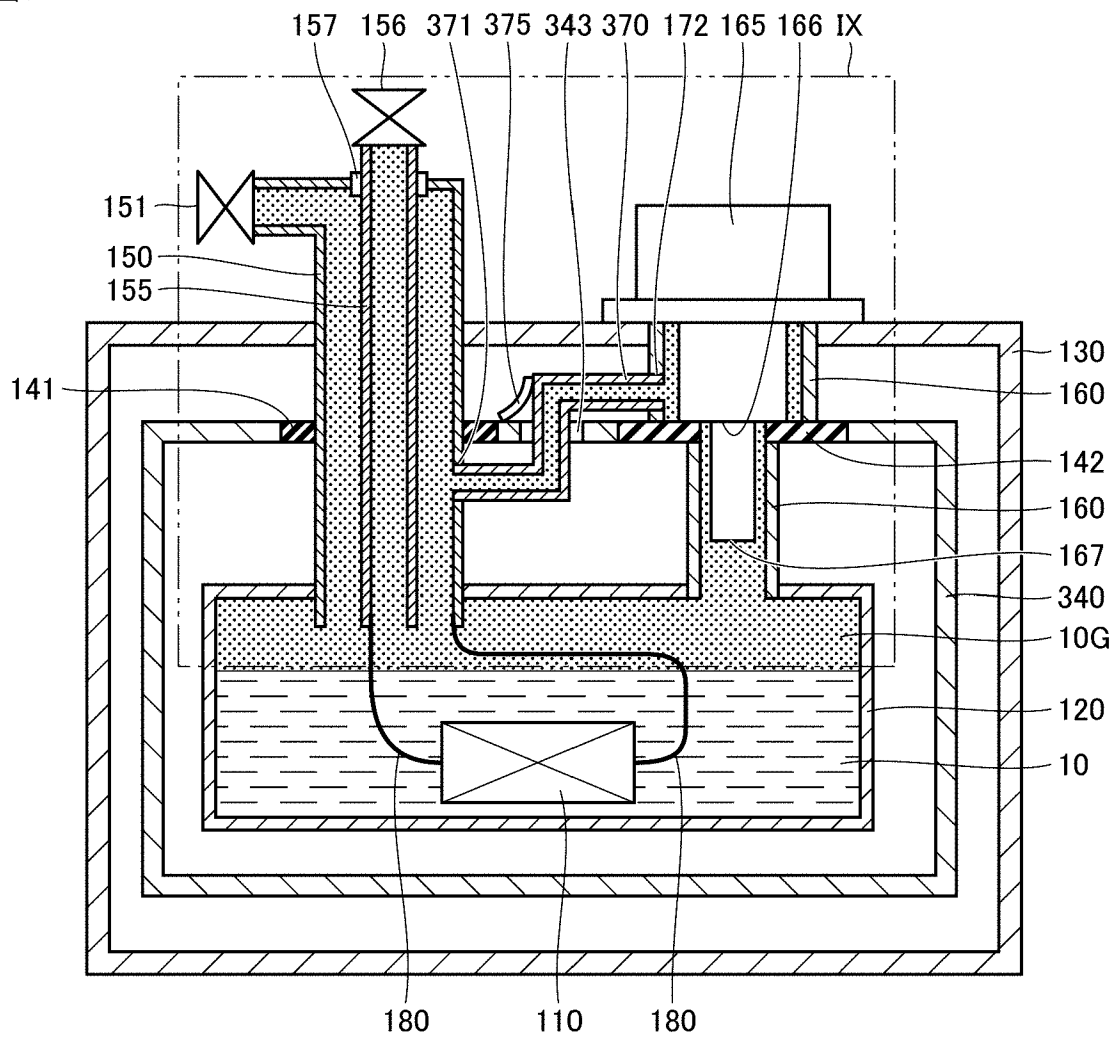
[図7]

図7



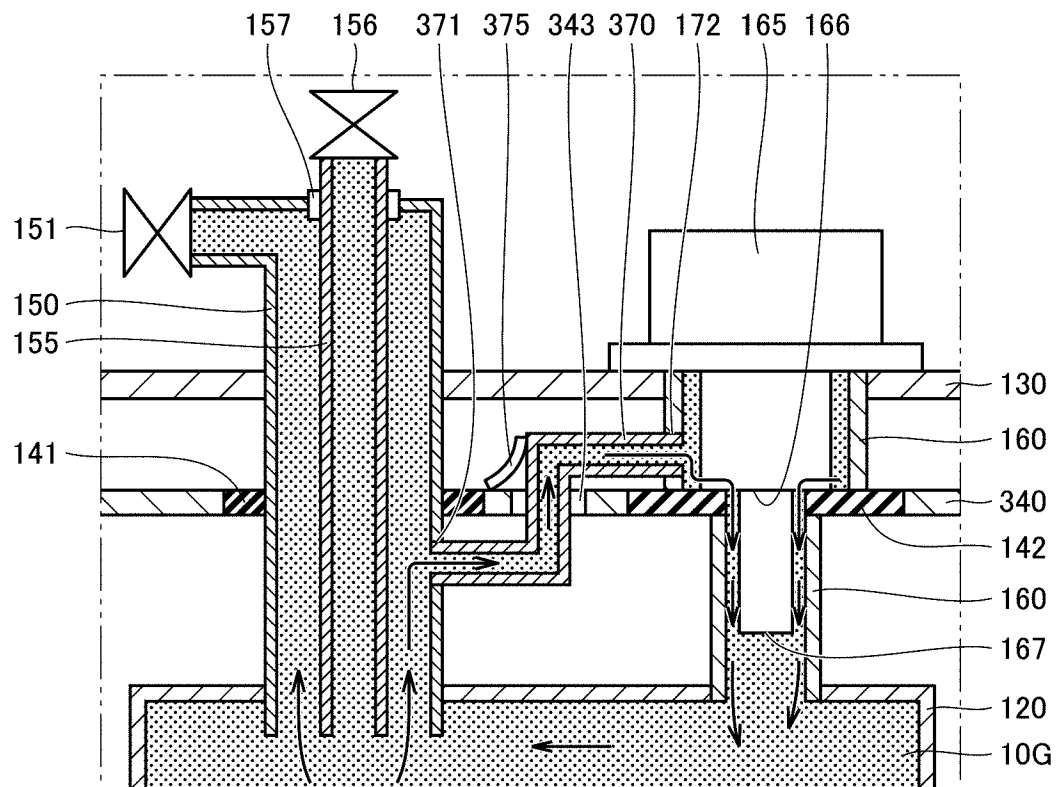
[図8]

図8



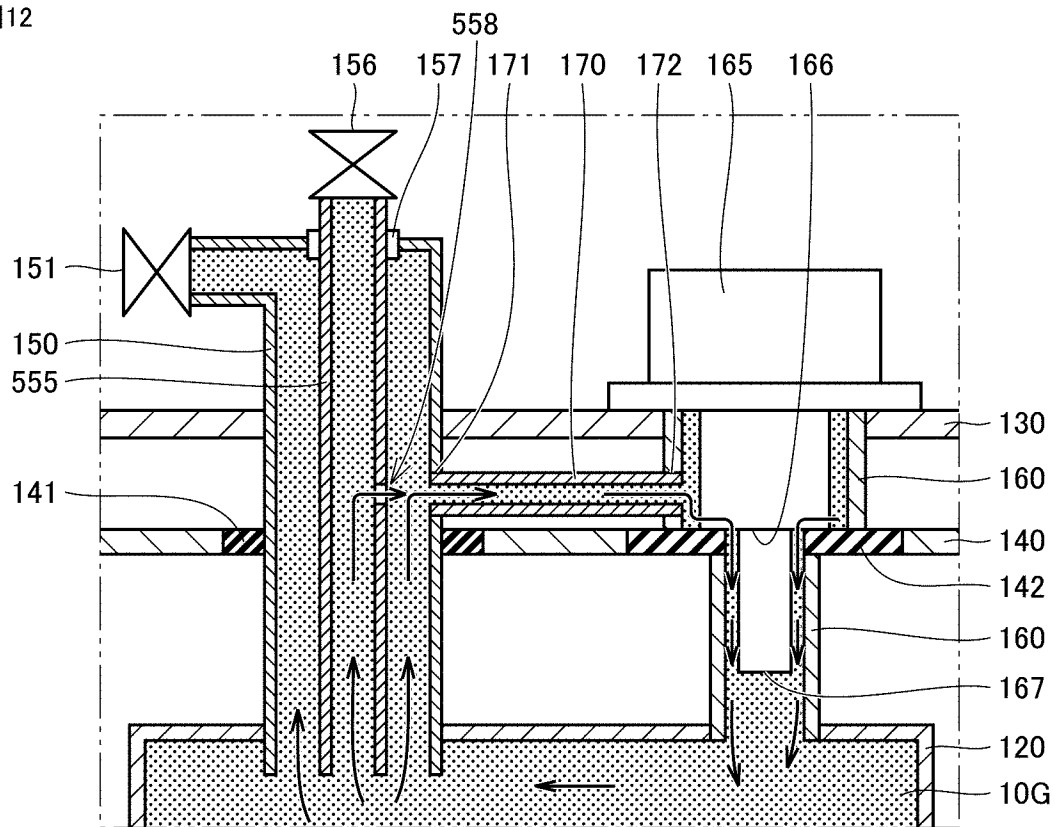
[図9]

図9



[図12]

図12



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2019/003969

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int. Cl. H01F6/04 (2006.01) i, A61B5/055 (2006.01) i, H01L39/04 (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. H01F6/04, A61B5/055, H01L39/04

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 1971-2019

Registered utility model specifications of Japan 1996-2019

Published registered utility model applications of Japan 1994-2019

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 5868562 B1 (MITSUBISHI ELECTRIC CORP.) 24 February 2016 & US 2018/0040402 A1 & WO 2016/163021 A1 & CN 107430920 A	1-7
A	WO 2016/093085 A1 (HITACHI, LTD.) 16 June 2016 (Family: none)	1-7
A	JP 2004-235653 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORP.) 19 August 2004 (Family: none)	1-7
A	JP 2017-183526 A (JAPAN SUPERCONDUCTOR TECHNOLOGY INC.) 05 October 2017 & US 2017/0287606 A1	1-7

☐ 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
10.04.2019

Date of mailing of the international search report
23.04.2019

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. H01F6/04(2006.01)i, A61B5/055(2006.01)i, H01L39/04(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. H01F6/04, A61B5/055, H01L39/04

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	1971-2019年
日本国実用新案登録公報	1996-2019年
日本国登録実用新案公報	1994-2019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 5868562 B1 (三菱電機株式会社) 2016.02.24, & US 2018/0040402 A1 & WO 2016/163021 A1 & CN 107430920 A	1-7
A	WO 2016/093085 A1 (株式会社日立製作所) 2016.06.16, (ファミリーなし)	1-7
A	JP 2004-235653 A (三菱電機株式会社) 2004.08.19, (ファミリーなし)	1-7

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

10.04.2019

国際調査報告の発送日

23.04.2019

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)

秋山 直人

5 D

5893

電話番号 03-3581-1101 内線 3551

C（続き）． 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 2017-183526 A (ジャパンスーパーコンダクタテクノロジー株式会社) 2017. 10. 05, & US 2017/0287606 A1	1-7