(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
2014 年 5 月 1 日(01.05.2014)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2014/064923 A1

(51) 国際特許分類:
F25B 9/00 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2013/006243

(22) 国際出願日: 2013 年 10 月 22 日(22.10.2013)

(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 2012-232936 2012 年 10 月 22 日(22.10.2012) JP

(71) 出願人: 株式会社 東芝 (KABUSHIKI KAISHA TOSHIBA) [JP/JP]; 〒1058001 東京都港区芝浦一丁目１番１号 Tokyo (JP). 東芝マテリアル株式会社 (TOSHIBA MATERIALS CO., LTD.) [JP/JP]; 〒2358522 神奈川県横浜市磯子区新杉田町８番地 Kanagawa (JP).

(72) 発明者: 山田 勝彦 (YAMADA, Katsuhiko); 〒1058001 東京都港区芝浦一丁目１番１号 株式会社 東芝 知的財産部内 Tokyo (JP). 布施 圭一 (FUSE, Keiichi); 〒1058001 東京都港区芝浦一丁目１番１号 株式会社 東芝 知的財産部内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 特許業務法人サクラ国際特許事務所 (SAKURA PATENT OFFICE, P.C.); 〒1010048 東京都千代田区神田司町二丁目８番１号 ＰＭＯ神田司町 Tokyo (JP).

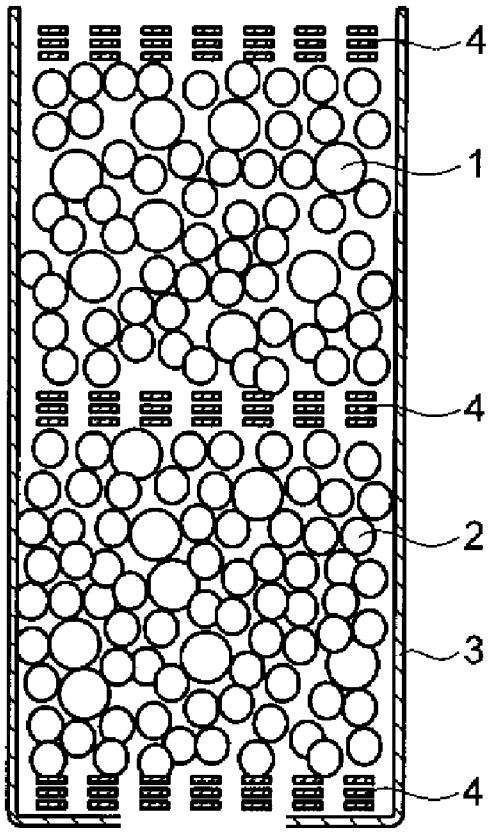
(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, 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,

[続葉有]

(54) **Title**: COLD HEAD, SUPERCONDUCTING MAGNET, INSPECTION DEVICE, AND CRYOPUMP

(54) 発明の名称 : コールドヘッド、超電導磁石、検査装置、およびクライオポンプ



(57) **Abstract**: In order to prevent a decrease in the permeability of a refrigerant gas while increasing the filling rate of cold storage material particles in a cold head stage, this cold head is provided with a stage equipped with cold storage material particle groups and with a metallic mesh material that partitions the cold storage material particle groups, wherein the metallic mesh material has quadrilateral mesh holes for which the length of the long sides is 1/10 to 1/2 the average particle diameter of the cold storage material particle groups.

(57) 要約: コールドヘッドのステージに対する蓄冷材粒子の充填率を高めつつ、冷媒ガスの通気性の低下を抑制する。蓄冷材粒子群と、蓄冷材粒子群を区分けする金属メッシュ材とを備えるステージを具備するコールドヘッドであって、金属メッシュ材は、長辺の長さが蓄冷材粒子群の平均粒径の１／１０以上１／２以下である四角形状のメッシュ穴を有する。

WO 2014/064923 A1

MZ, NA, RW, SD, SL, 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)）

明　細　書

発明の名称 ：

コールドヘッド、超電導磁石、検査装置、およびクライオポンプ

技術分野

[0001] 本発明は、コールドヘッド、超電導磁石、検査装置、およびクライオポンプに関する。

背景技術

[0002] 近年、超電導技術の発展は著しく、磁気共鳴画像（Ｍａｇｎｅｔｉｃ Ｒｅｓｏｎａｎｃｅ Ｉｍａｇｉｎｇ：ＭＲＩ）装置や核磁気共鳴（Ｎｕｃｌｅａｒ Ｍａｇｎｅｔｉｃ Ｒｅｓｏｎａｎｃｅ：ＮＭＲ）装置などの様々な検査装置が用いられている。超電導技術を用いるためには、１０Ｋ以下、さらには４Ｋ以下の極低温を実現することが必要である。このような極低温を実現するために、コールドヘッドと呼ばれる冷凍機が用いられている。

[0003] コールドヘッドとしては、ギフォード・マクマホン方式（ＧＭ方式）や、スターリング方式、パルス方式といった様々な方式がある。いずれの方式であったとしても、極低温を得るためには、ステージと呼ばれる蓄冷容器に蓄冷材を充填する。

[0004] コールドヘッドの設計によって、ステージが１ステージの場合や、２ステージなど複数に分かれる場合がある。このステージに、ヘリウムガスを通し、蓄冷材の体積比熱を利用して極低温を得ている。

[0005] ４Ｋ以下の極低温を得るためのコールドヘッドの一例は、２ステージ（２段蓄冷器）に、鉛蓄冷材、$HoCu_2$蓄冷材、ＧＯＳ蓄冷材（ガドリニウム酸硫化物蓄冷材）の３層構造を有する。

[0006] 上記コールドヘッドは、ヘリウムガスなどの冷媒ガスを断熱膨張させることにより極低温を得ることができる。このように、極低温を得るためのコールドヘッドでは、ステージに複数種の蓄冷材が層状に充填されている。

[0007] 複数種の蓄冷材を用いる場合、個々の比熱ピーク温度が異なることから、

蓄冷材を混合して用いることができない。そのため、複数種の蓄冷材を用いる場合は、その層間を金属メッシュ材により区分けする。

[0008] 蓄冷材としては、例えば粒径が０．０１ｍｍ以上３ｍｍ以下の粒子が９０％以上であり、かつアスペクト比５以下の粒子が９０％以上である、粒径の揃った蓄冷材粒子群が用いられる。

[0009] 金属メッシュ材で複数種の蓄冷材粒子群を区分けする際、蓄冷材粒子が金属メッシュ材のメッシュ穴に詰まってしまう問題が発生していた。蓄冷材粒子がメッシュ穴に詰まってしまうと、冷媒ガスの通気性が低下する。

[0010] 蓄冷材粒子による蓄冷では、蓄冷材粒子の体積比熱による断熱膨張を利用することから、できるだけ多くの蓄冷材粒子をステージ内に充填することが好ましい。そのため、蓄冷材粒子群は、金属メッシュ材に密着するように充填される。その上で冷媒ガスの通気性を確保しなければならない。

先行技術文献

特許文献

[0011] 特許文献1：特開２００５－０９０８５４号公報

特許文献2：特許第２６０９７４７号公報

特許文献3：特許第３７６９０２４号公報

発明の概要

[0012] 本発明の一態様では、コールドヘッドのステージに対する蓄冷材粒子の充填率を高めつつ、冷媒ガスの通気性の低下を抑制することを課題の一つとする。

[0013] 実施形態のコールドヘッドは、蓄冷材粒子群と、蓄冷材粒子群を区分けする金属メッシュ材とを備えるステージを具備する。金属メッシュ材は、四角形状のメッシュ穴を有する。メッシュ穴の長辺の長さは、蓄冷材粒子群の平均粒径の１／１０以上１／２以下である。

[0014] 実施形態の超電導磁石、検査装置、クライオポンプは、コールドヘッドを具備する。

図面の簡単な説明

[0015] [図1]実施形態のコールドヘッドの第２のステージの構造例を示す図。

[図2]実施形態のコールドヘッドの第２のステージの構造例を示す図。

[図3]金属メッシュ材の構造例を示す図。

[図4]金属メッシュ材の断面の一例を示す図。

[図5]金属メッシュ材の断面の他の例を示す図。

[図6]金属メッシュ材の積層の構造例を示す図。

発明を実施するための形態

[0016] 本実施形態のコールドヘッドは、第１のステージおよび第２のステージを有する。コールドヘッドの方式としては、ＧＭ方式、スターリング方式、またはパルス方式といった様々な方式を適用することができる。いずれの場合も１０Ｋ以下、さらには５Ｋ以下の極低温を得るためには、第１のステージおよび第２のステージに蓄冷材が充填される。第１のステージの蓄冷材としては、例えば銅メッシュ材を用いることができる。

[0017] 第２のステージの構造例について図１および図２を参照して説明する。図１および図２は、コールドヘッドの第２のステージの構造例を示す図である。

[0018] 図１に示す第２のステージは、二層式のステージであり、蓄冷材粒子群１と、蓄冷材粒子群２と、蓄冷容器３と、金属メッシュ材４と、を有する。図２に示す第２のステージは、三層式のステージであり、蓄冷材粒子群１と、蓄冷材粒子群２と、蓄冷容器３と、金属メッシュ材４と、蓄冷材粒子群５と、を有する。図１および図２に示すように、第２のステージは、金属メッシュ材４により区分けされ複数の蓄冷材粒子群がそれぞれ充填された、２以上さらには３以上の複数の蓄冷材充填層を有する。

[0019] 図１に示す第２のステージは、金属メッシュ材４を挟んで蓄冷材粒子群１と蓄冷材粒子群２が充填される。これにより、蓄冷材粒子群１が充填された第１の蓄冷材充填層と蓄冷材粒子群２が充填された第２の蓄冷材充填層の２層に区分けされている。

[0020] 図２に示す第２のステージには、金属メッシュ材４を挟んで蓄冷材粒子群１と蓄冷材粒子群２と蓄冷材粒子群５が充填される。これにより、第２のステージは、蓄冷材粒子群１が充填された第１の蓄冷材充填層と、蓄冷材粒子群２が充填された第２の蓄冷材充填層と、蓄冷材粒子群５が充填された第３の蓄冷材充填層の３層に区分けされている。このように、第２のステージを、金属メッシュ材４で区分けされた２つ以上または３つ以上の領域を有する構造にしてもよい。なお、図１および図２では、第２のステージを２層または３層に区分けする構造を例示したが、これに限定されず、４層以上に区分けしてもよい。

[0021] 金属メッシュ材４は、蓄冷材粒子群１、蓄冷材粒子群２、蓄冷材粒子群５を区分けする。金属メッシュ材４は、例えば蓄冷材粒子群１、蓄冷材粒子群２、蓄冷材粒子群５の少なくとも一つに接していてもよい。

[0022] 金属メッシュ材４の構造例について図３を参照して説明する。図３は、金属メッシュ材４の構造例を示す図である。図３に示す金属メッシュ材４は、メッシュ穴６と、金属線７と、を有する。

[0023] メッシュ穴６の形状は、四角形状であることが好ましい。ここで、四角形状とは、例えば正方形または長方形である。メッシュ穴６の形状を四角形状とすることにより、蓄冷材粒子群を充填してもメッシュ穴６に隙間を作ることができる。これにより、蓄冷材粒子群がメッシュ穴６に詰まってしまうことが抑制されるため、冷媒ガスの通気性の低下を抑制することができる。なお、図３に示すように、金属メッシュ材４は、通常、円形である。よって、端部のメッシュ穴６は、四角形状でなくてもよい。

[0024] メッシュ穴６の形状が四角形状の場合、メッシュ穴６の長辺の長さが金属メッシュ材４により区分けされる蓄冷材粒子群の平均粒径の１／２以下であることが好ましい。例えば、図３に示すメッシュ穴６の横幅Ｔ１、メッシュ穴６の縦幅Ｔ２のうち、長い方が上記長辺となる。

[0025] メッシュ穴６の長辺の長さが金属メッシュ材４により区分けされる蓄冷材粒子群の平均粒径の１／２を超えると、蓄冷材粒子がメッシュ穴６を通り抜

けやすくなるため、異なる種類の蓄冷材粒子群が混ざってしまい、冷凍能力が低下するおそれがある。蓄冷材粒子群を充填してもメッシュ穴６に適度な隙間を形成するには、四角形状のメッシュ穴６の長辺の長さが金属メッシュ材４により区分けされる蓄冷材粒子群の平均粒径の１／２以下、さらには１／３以下であることが好ましい。長辺の長さが短すぎると蓄冷材粒子によりメッシュ穴６が完全に塞がってしまう場合がある。長辺の長さは、金属メッシュ材４により区分けされる蓄冷材粒子群の平均粒径の１／１０以上であることが好ましい。

[0026] 金属線７は、例えばメッシュ状に編み込まれた構造を有する。このとき、金属線７に囲まれた領域がメッシュ穴６となる。なお、金属メッシュ材４は、必ずしも編み込まれた構造に限定されない。

[0027] 金属線７の線径は、２０μｍ以上９０μｍ以下であることが好ましい。線径が２０μｍ未満では、金属メッシュ材４の強度の低下や、金属メッシュ材４の製造が困難になるためにコストアップの要因となる。また、線径が９０μｍを超えると冷媒ガスの通気性が低下する。そのため、金属線７の線径は、２０μｍ以上９０μｍ以下、さらには４０μｍ以上６０μｍ以下であることが好ましい。

[0028] 図４は、金属メッシュ材４の断面の一例を示す。図４に示すように、金属メッシュ材４を、金属線７Ａに対して金属線７Ｂが上下交互に編み込まれた構造にすることにより、メッシュ穴６の形状を、凹凸がある立体形状にすることができる。立体形状にすることにより、例えば蓄冷材粒子群と金属メッシュ材４の接触面を立体的にすることができる。蓄冷材粒子によるメッシュ穴６の閉塞が効果的に抑制されるため、冷媒ガスの通気性の低下を抑制することができる。

[0029] 図５は、金属メッシュ材４の断面の他の例を示す。図５に示すように、金属線７Ａおよび金属線７Ｂの形状を平板状にしてもよい。平板状の場合、幅の厚い方を線径とする。平板状であっても、金属線７の線径は、２０μｍ以上９０μｍ以下であることが好ましい。

[0030] 金属メッシュ材４は、例えば銅メッシュ材であることが好ましい。銅メッシュ材は、前述のように第１のステージの蓄冷材としても用いられ、第２のステージに設けたとしても冷凍能力への影響を抑制することができる。また、ばね性も高いことから蓄冷材粒子の充填密度を高めるために応力を付与したとしても破損しにくい。また、コールドヘッドの動作時の振動や冷媒ガスの通気時の振動を緩和することができる。その結果、コールドヘッドを長時間稼働させた際に蓄冷材の破損を抑制することができる。

[0031] さらに、第２のステージは、複数の金属メッシュ材４を備えることが好ましい。このとき、複数の金属メッシュ材４は積層されている。２以上の金属メッシュ材４の積層を用いることにより、ばね性をさらに高めることができる。これにより、蓄冷材粒子群を充填する際の応力が大きくなり、充填密度を高くする工程を短縮することができる。なお、金属メッシュ材４の数が多すぎると、ステージ内の蓄冷材粒子群を充填するスペースが狭くなるため、金属メッシュ材４の数は、５以下であることが好ましい。

[0032] ２以上の金属メッシュ材４の積層を用いることにより、コールドヘッドを長時間稼働させた際に蓄冷材の破損をさらに抑制することができる。その結果、例えば２５０００時間以上、さらには３５０００時間以上連続稼働したとしても冷凍能力を維持することができる。

[0033] 複数の金属メッシュ材４は、メッシュ穴の位置が一致しないように（ずれるように）積層されることが好ましい。図６は、複数の金属メッシュ材の構造例を示す図である。図６に示す金属メッシュ材４－２は、金属メッシュ材４－１に積層されている。このとき、金属メッシュ材４－２のメッシュ穴は、金属メッシュ材４－１の金属線に重畳している。前述のように、金属メッシュ材を立体的に編み込んだ形状とすることにより、蓄冷材粒子による金属メッシュ材のメッシュ穴の閉塞を抑制しつつ、冷媒ガスの通気性の低下を抑制することができる。

[0034] 複数の金属メッシュ材４の積層において、メッシュ穴の位置をずらすためには、メッシュ穴形状の異なる複数の金属メッシュ材を用いることが有効で

ある。例えば、複数の金属メッシュ材４の積層において、メッシュ穴の一辺の長さが金属メッシュ材４間で異なることが好ましい。これにより、コールドヘッドを連続稼働した場合に、稼働時の振動やガス圧により蓄冷材が破壊されたとしても金属メッシュ材の目詰まりが抑制される。その結果、冷凍能力を長時間維持することができる。以上が金属メッシュ材４の構造例の説明である。

[0035] 図１および図２に示す蓄冷材粒子群（蓄冷材粒子群１、蓄冷材粒子群２、蓄冷材粒子群５）は、互いに異なる種類であってもよい。

[0036] 第２のステージ中の金属メッシュ材で区分けされた各蓄冷材充填層に充填される蓄冷材粒子群は、鉛蓄冷材粒子群、ホルミウム銅蓄冷材粒子群、エルビウムニッケル蓄冷材粒子群、エルビウムコバルト蓄冷材粒子群、ガドリニウム酸硫化物蓄冷材粒子群、およびガドリニウムアルミニウム酸化物蓄冷材粒子群から選ばれる少なくとも１種であることが好ましい。複数種の蓄冷材粒子群を用いる場合、比熱ピーク温度が同じまたは順に低い組合せを選択することが好ましい。

[0037] 例えば、複数種の蓄冷材粒子群の１つを、ホルミウム銅蓄冷材粒子群またはエルビウムニッケル蓄冷材粒子群とすることができる。ホルミウム銅蓄冷材粒子群またはエルビウムニッケル蓄冷材粒子群として、例えば特許第３７６９０２４号公報（特許文献３）に示されるように、形状因子Ｒや強度が優れたものが開発されている。

[0038] ホルミウム銅蓄冷材粒子は、例えば$HoCu_2$または$HoCu$であることが好ましい。エルビウムニッケル蓄冷材粒子は、例えば$ErNi$またはEr_3Niであることが好ましい。

[0039] 蓄冷材粒子群の平均粒径は、２００μｍ以上３００μｍ以下であることが好ましい。平均粒径を２００μｍ以上３００μｍ以下にすることにより、機械的強度が高い蓄冷材粒子を調製し易くなる。また、第２のステージ内に充填する際にも、充填密度を高めつつ、冷媒ガスの通気性を維持するための隙間を形成することができる。

[0040] 蓄冷材粒子群において、粒径が１５０μｍ以上３５０μｍ以下の範囲である蓄冷材粒子の個数割合は、９５％以上であることが好ましい。粒径が１５０μｍ未満の蓄冷材粒子が多いと金属メッシュ材４のメッシュ穴６が塞がる原因となる。また、粒径が３５０μｍを超える蓄冷材粒子が多いと、蓄冷材の充填密度が低くなり冷凍能力が低下する。そのため、粒径が１５０μｍ以上３５０μｍ以下の範囲である蓄冷材粒子の個数割合は、例えば９５％以上、より好ましくは９８％以上、さらに好ましくは１００％である。

[0041] 蓄冷材粒子群を構成する蓄冷材粒子の形状は、充填密度を高くするために球体もしくは球体に近似した形状であることが好ましい。

[0042] 蓄冷材粒子群を構成する蓄冷材粒子の投影像の周囲長をＬとし、該投影像の実面積をＡとしたとき、$Ｌ^{2}／４πＡ$で表される形状因子Ｒが１．５を超える該蓄冷材粒子の比率は、５％以下であることが好ましい。$Ｌ^{2}／４πＡ$で表される形状因子Ｒが１．５以下であるということは、蓄冷材粒子の球状度が高く、表面が滑らかであることを意味している。見掛け上、球体であったとしても表面に微小な凹凸が多数存在すると形状因子Ｒは１．５を超える場合がある。

[0043] 金属メッシュ材４と蓄冷材粒子群の間に不要な隙間が生じないように充填するには、例えば蓄冷容器に小さな振動を与え、蓄冷材粒子同士の隙間が小さくなるように蓄冷材粒子を充填し、その後、応力を付与しながら金属メッシュ材４を押しつけて固定することが好ましい。このように、蓄冷材粒子群を効率的に充填するためには、振動や応力を付与することが有効である。

[0044] 蓄冷材粒子に振動や応力を付与する場合、蓄冷材粒子の機械的強度が高いことが求められる。蓄冷材粒子の機械的強度を向上させる手段の一つとして、形状因子Ｒを１．５以下にすることが挙げられる。表面の微細な凹凸をなくすことにより、機械的強度を向上させることができる。形状因子Ｒが１．５を超える蓄冷材粒子の比率は、５％以下、さらには２％以下、さらには０％であることが好ましい。また、蓄冷材粒子の形状因子Ｒは、１．２以下であることが好ましい。

[0045] 蓄冷材粒子の形状因子Ｒを低くすることにより、蓄冷材粒子の機械的強度が高くなり、金属メッシュ材４との間に不要な隙間が生じないように、蓄冷材粒子を充填することができるため、冷凍能力を向上させることができる。

[0046] 複数種の蓄冷材粒子群を用いる場合、少なくとも１つの蓄冷材粒子群において、形状因子Ｒが１．５以下である比率が５％以下であることが好ましい。特に、第２のステージ内で下側に配置される蓄冷材粒子群が上記比率を満足することが好ましい。これは第２のステージ内に蓄冷材粒子群を充填する際に、下側に配置される蓄冷材粒子群から充填され、下側に配置される蓄冷材粒子群の方が上側に配置される蓄冷材粒子群よりも振動や応力を受けるためである。なお、複数種の蓄冷材粒子群を用いる場合、全ての蓄冷材粒子群において、形状因子Ｒが１．５以下である比率が５％以下であることがより好ましい。

[0047] 蓄冷材粒子群において、前述の粒径の制御と形状因子Ｒの制御とをそれぞれ単独で行ってもよいが、両方を組み合わせることが好ましい。

[0048] 本実施形態のコールドヘッドでは、金属メッシュ材のメッシュ穴の形状が調整されている。これにより、蓄冷材粒子群によりメッシュ穴が塞がることを抑制することができるため、冷媒ガスの通気性の低下が抑制される。このため、コールドヘッドのステージに、複数種の蓄冷材粒子群を充填して冷凍能力を向上させることができる。従って、本実施形態のコールドヘッドを具備する超電導磁石、検査装置、クライオポンプなどの各種装置の信頼性が向上する。

[0049] 検査装置としては、ＭＲＩ装置やＮＭＲ装置などが挙げられる。例えば、ＭＲＩ装置は磁気を利用して人体を縦横に撮影できる医療機器である。現在ＭＲＩ装置は、Ｘ線ＣＴ（Ｃｏｍｐｕｔｅｄ　Ｔｏｍｏｇｒａｐｈｙ：ＣＴ）装置と同等以上の鮮明な画像が得られるようになり、血管撮影や脳内の動脈瘤や脳腫瘍の有無などの撮影に使われている。

[0050] ＭＲＩ装置での撮影は、定期健診に限らず、当然ながら緊急の診察で行われる場合もある。このため、常にＭＲＩ装置を稼働させ、いつでも撮影する

ことができるようにする必要がある。常にＭＲＩ装置を稼働させるには、極低温を得るための超電導磁石、さらに超電導磁石を具備するコールドヘッドを稼働状態とすることが必要である。本実施形態のコールドヘッドでは、蓄冷材粒子の充填密度を向上させ、その上で冷媒ガスの通気性の低下が抑制されている。これにより、蓄冷材粒子の持つ冷凍能力を長期にわたり維持することができる。従って、コールドヘッドさらにはコールドヘッドを具備する超電導磁石、検査装置、クライオポンプなどの各種装置の長期信頼性を得ることができる。

実施例

[0051] （実施例１ないし実施例１０、比較例１）

蓄冷材粒子群として表１に示す蓄冷材粒子を具備する試料を用意した。なお、表１において、Ｐｂ粒子は鉛蓄冷材粒子を表す。ＨｏＣｕ$_2$粒子はホルミウム銅蓄冷材粒子を表す。Ｅｒ$_3$Ｎｉ粒子はエルビウムニッケル蓄冷材粒子を表す。ＧＯＳ粒子はガドリニウム酸硫化物蓄冷材粒子を表す。ＧＡＰ粒子はガドリニウムアルミニウム酸化物蓄冷材粒子を表す。ＨｏＣｕ粒子はホルミウム銅蓄冷材粒子を表す。Ｅｒ$_3$Ｃｏ粒子はエルビウムコバルト蓄冷材粒子を表す。また、形状因子Ｒや粒径の制御は形状分級により行った。

[0052] [表1]

蓄冷材試料	蓄冷材粒子群	形状因子R			平均粒径（μm）	粒径150μm～350μmの個数割合（%）
		R＞1.5の個数割合（%）	1.5≧R＞1.2の個数割合（%）	1.2≧Rの個数割合（%）		
試料1	Pb粒子	0	4	96	250	100
試料2	$HoCu_2$粒子	1	2	97	200	98
試料3	$HoCu_2$粒子	0	0	100	260	100
試料4	$HoCu_2$粒子	10	20	70	380	70
試料5	Er_3Ni粒子	2	1	97	270	98
試料6	GOS粒子	0	0	100	240	100
試料7	GAP粒子	2	3	95	250	98
試料8	HoCu粒子	1	5	94	240	100
試料9	Er_3Co粒子	3	7	90	270	100

[0053] 次に、金属メッシュ材として表２に示す銅メッシュ材試料を用意した。な

お、編み込み構造「あり」は、銅線を編み込んで形成した金属メッシュ材試料を示し、編み込み構造「なし」は、銅金属板をエッチングして形成した金属メッシュ材試料を示す。

[0054] [表2]

銅メッシュ材	メッシュ穴			銅線の線径（μm）	編み込み構造
	形状	T1（μm）	T2（μm）		
試料A	長方形	120	100	100	なし
試料B	正方形	100	100	85	あり
試料C	正方形	70	70	50	あり
試料D	正方形	40	40	30	あり
試料E	円形	直径100		70	なし

[0055] 次に、蓄冷材粒子群試料（試料１ないし試料９）および金属メッシュ材試料（試料Ａないし試料Ｅ）を表３に示すように組み合わせてコールドヘッドの第２のステージ内を２層構造または３層構造とした。このとき、できるだけ充填率が高くなるように振動を加えながら蓄冷材粒子群を充填した。各蓄冷材粒子群の間には、金属メッシュ材試料を３つずつ積層して配置した。

[0056] 各実施例および比較例に対し、冷媒ガスの通気性を調べた。冷媒ガスの通気性の調査では、比較例１の通気量を１００としたとき、通気量が１２０以上１４１未満のコールドヘッドを三角印で示し、１４１以上のコールドヘッドを丸印で示した。その結果を表３に示す。

[0057]

[表3]

	第1の蓄冷材粒子群	第2の蓄冷材粒子群	第3の蓄冷材粒子群	金属メッシュ材	充填率（%）	通気性
実施例1	試料1	試料2	―	試料A	62	△
実施例2	試料1	試料3	―	試料B	62	○
実施例3	試料1	試料3	試料6	試料C	63	○
実施例4	試料1	試料3	試料7	試料D	62	○
実施例5	試料2	試料4	―	試料B	55	△
実施例6	試料3	試料5	―	試料C	63	○
実施例7	試料3	試料6	―	試料D	63	○
実施例8	試料1	試料3	試料3	試料B	62	○
実施例9	試料8	試料3	試料6	試料C	62	○
実施例10	試料8	試料9	試料6	試料C	62	○
比較例1	試料1	試料2	―	試料E	62	―

[0058] 実施例１ないし実施例１０に係るコールドヘッドでは、冷媒ガスの通気性が高いことがわかった。特に、実施例２ないし実施例４、実施例６ないし実施例８では、冷媒ガスの通気性が高かった。上記に示すように、蓄冷材粒子の形状、金属メッシュ材のメッシュ穴の形状を最適化することにより冷媒ガスの通気性の低下が抑制される。このため、蓄冷材の性能を生かし、コールドヘッドの冷凍能力を向上させることができる。

[0059] （実施例１１ないし実施例１３）

実施例３と同じ蓄冷材粒子の組合せ（試料１、試料３、試料６）を用意した。次に、金属メッシュ材として試料Ｂないし試料Ｄの３種類を用意し、表４のように積層させて実施例１１ないし実施例１３に係るコールドヘッドを作製した。

[0060] 実施例３および実施例１１ないし実施例１３に係るコールドヘッドに対し、連続稼働後の冷凍能力の維持率を調べた。冷凍能力の維持率は初期値の冷凍能力（Ｗ）を１００としたときの、２００００時間後、３００００時間後、４００００時間後の冷凍能力（Ｗ）を比で示した。なお、各実施例のコー

ルドヘッドとしては、いずれもＧＭ方式コールドヘッドであり、４．２Ｋのときの冷凍能力が０．５Ｗであるものを用いた。

[0061] [表4]

	金属メッシュ材	冷凍能力			
		初期値	20000時間	30000時間	40000時間
実施例3	試料C×3	100	94	90	85
実施例11	試料B＋試料C	100	95	92	89
実施例12	試料B×2＋試料C	100	96	93	90
実施例13	試料B＋試料C＋試料D	100	96	93	90

[0062] 表４から分かるとおり、実施例１１ないし実施例１３に係るコールドヘッドでは、２００００時間後、３００００時間後、４００００時間後でも冷凍能力の維持率が高かった。このことは、振動により蓄冷材が破壊されても金属メッシュ材の目詰まりが発生し難いことを示している。

[0063] 実施例１１ないし実施例１３のように、メッシュ穴のサイズが異なる金属メッシュ材を積層させたものにおいて、冷凍能力の維持率が高かった。このことは、立体的に編み込まれた金属メッシュ材において、重なり合う金属メッシュ材のメッシュ穴の位置がずれていることにより、金属メッシュ材の目詰まりが抑制されることを示している。

[0064] さらに、パルス方式コールドヘッド（４．２Ｋでの冷凍能力が０．５Ｗ）に用いた場合における連続稼働後の冷凍能力の維持率を調べた。その結果を表５に示す。

[0065]

[表5]

	金属メッシュ材	冷凍能力			
		初期値	20000時間	30000時間	40000時間
実施例3	試料C×3	100	96	93	90
実施例11	試料B＋試料C	100	98	96	92
実施例12	試料B×2＋試料C	100	98	97	95
実施例13	試料B＋試料C＋試料D	100	98	97	95

[0066] 表５からパルス式コールドヘッドを用いた場合についても優れた特性が得られることが分かった。このことは、振動により蓄冷材が破壊されても金属メッシュ材の目詰まりが発生し難いことを示している。なお、ＧＭ方式とパルス方式とを比較したとき、パルス方式の方がＧＭ方式よりも振動が少ないため、冷凍能力の低下率は低かった。

[0067] なお、上記実施形態は例として提示したものであり、発明の範囲を限定することは意図していない。これら新規な実施形態は、その他の様々な形態で実施し得るものであり、発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々の省略、置き換え、変更を行うことができる。これら実施形態やその変形は、発明の範囲や要旨に含まれると共に、特許請求の範囲に記載された発明とその均等の範囲に含まれる。

符号の説明

[0068] １…蓄冷材粒子群、２…蓄冷材粒子群、３…蓄冷容器、４…金属メッシュ材、４－１…金属メッシュ材、４－２…金属メッシュ材、５…蓄冷材粒子群、６…メッシュ穴、７…金属線、７Ａ…金属線、７Ｂ…金属線。

請求の範囲

[請求項1] 蓄冷材粒子群と、前記蓄冷材粒子群を区分けする金属メッシュ材とを備えるステージを具備するコールドヘッドであって、

前記金属メッシュ材は、長辺の長さが前記蓄冷材粒子群の平均粒径の１／１０以上１／２以下である四角形状のメッシュ穴を有する、コールドヘッド。

[請求項2] 前記金属メッシュ材は、メッシュ状に編み込まれ、線径が２０μｍ以上９０μｍ以下である金属線を有する、請求項１に記載のコールドヘッド。

[請求項3] 前記金属メッシュ材は、銅メッシュ材である、請求項１に記載のコールドヘッド。

[請求項4] 前記ステージは、複数の前記金属メッシュ材の積層を備え、

前記複数の金属メッシュ材は積層されている、請求項１に記載のコールドヘッド。

[請求項5] 前記複数の金属メッシュ材における前記メッシュ穴の一辺の長さが異なる、請求項４に記載のコールドヘッド。

[請求項6] 前記複数の金属メッシュ材は、前記メッシュ穴の位置が一致しないように積層されている、請求項４に記載のコールドヘッド。

[請求項7] 前記ステージは、

前記金属メッシュ材により区分けされ、異なる種類の前記蓄冷材粒子群がそれぞれ充填された複数の蓄冷材充填層を有する、請求項１に記載のコールドヘッド。

[請求項8] 前記蓄冷材粒子群は、鉛蓄冷材粒子群、ホルミウム銅蓄冷材粒子群、エルビウムニッケル蓄冷材粒子群、エルビウムコバルト蓄冷材粒子群、ガドリニウム酸硫化物蓄冷材粒子群、およびガドリニウムアルミニウム酸化物粒子群から選ばれる少なくとも１種である、請求項１に記載のコールドヘッド。

[請求項9] 前記ステージは、前記金属メッシュ材で区分けされた３つ以上の領

域を有する、請求項１に記載のコールドヘッド。

[請求項10] 蓄冷材を備える第１のステージと、

前記ステージで構成された第２のステージと、を具備する、請求項１に記載のコールドヘッド。

[請求項11] 前記蓄冷材粒子のそれぞれの投影像の周囲長をＬとし、前記投影像の実面積をＡとしたとき、$Ｌ^{2}／４\pi Ａ$で表される形状因子Ｒが１．５を超える前記蓄冷材粒子の比率は、５％以下である、請求項１に記載のコールドヘッド。

[請求項12] 前記蓄冷材粒子群の平均粒径は、２００μｍ以上３００μｍ以下であり、

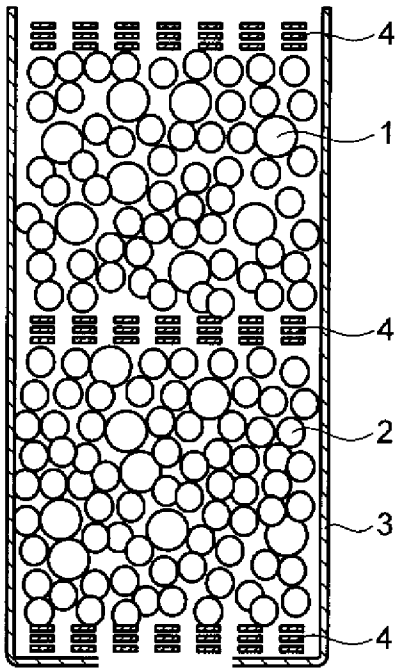
前記蓄冷材粒子群において、粒径が１５０μｍ以上３５０μｍ以下の範囲の前記蓄冷材粒子の個数割合は、９５％以上である、請求項１に記載のコールドヘッド。

[請求項13] 請求項１に記載のコールドヘッドを具備する、超電導磁石。

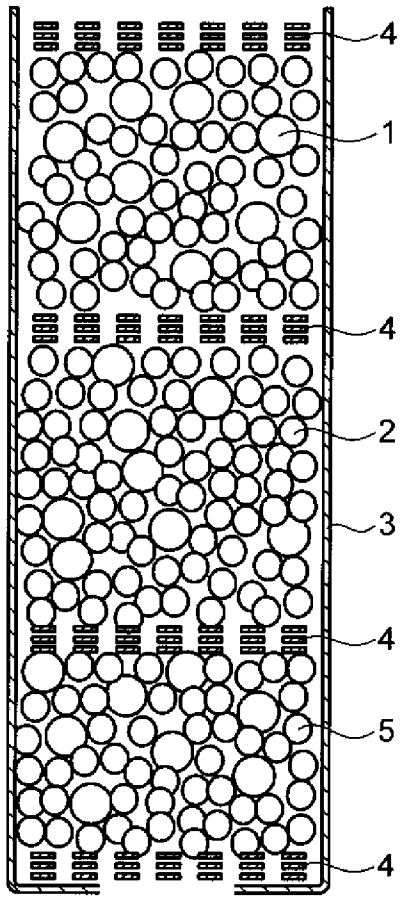
[請求項14] 請求項１に記載のコールドヘッドを具備する、検査装置。

[請求項15] 請求項１に記載のコールドヘッドを具備する、クライオポンプ。

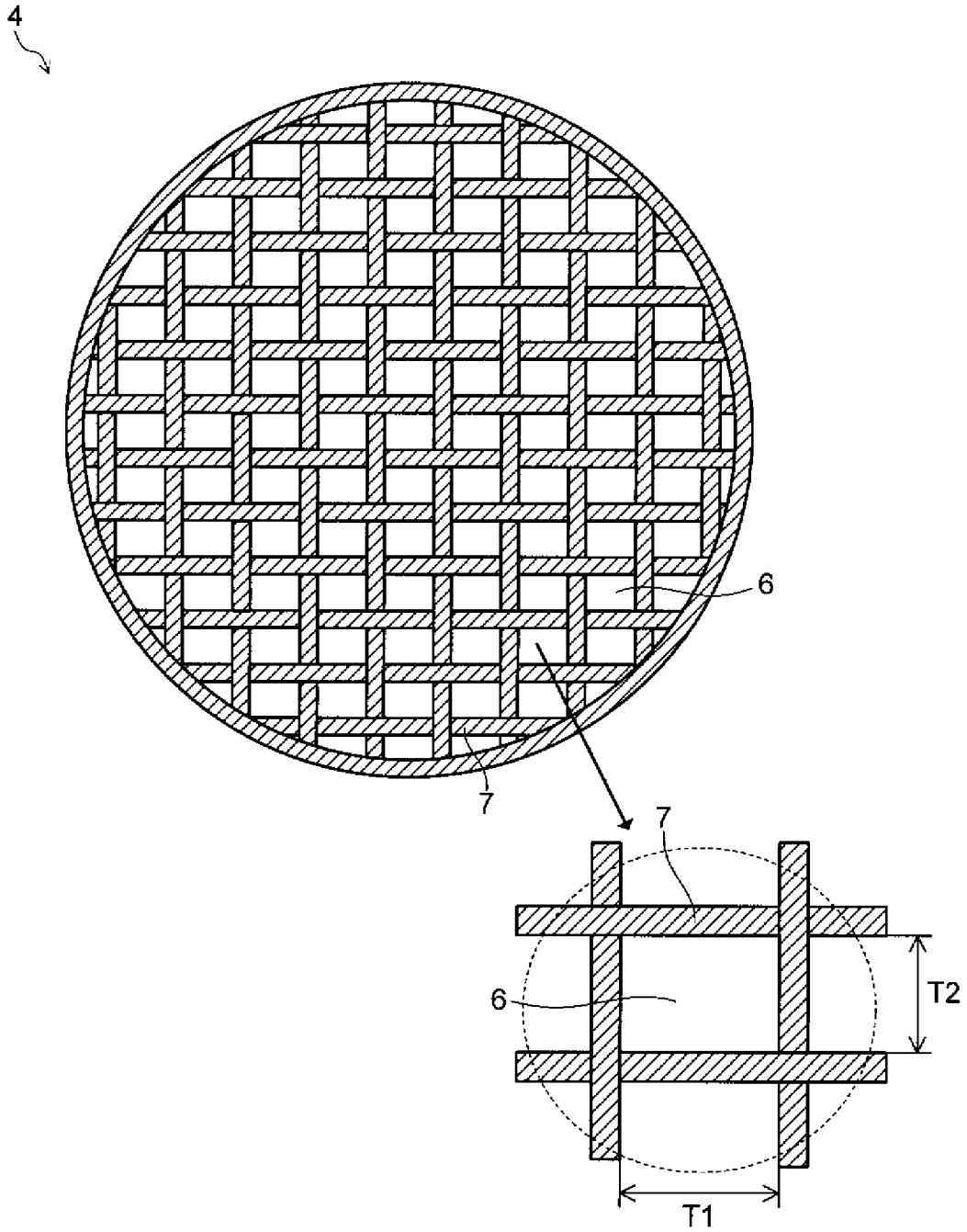
[図1]



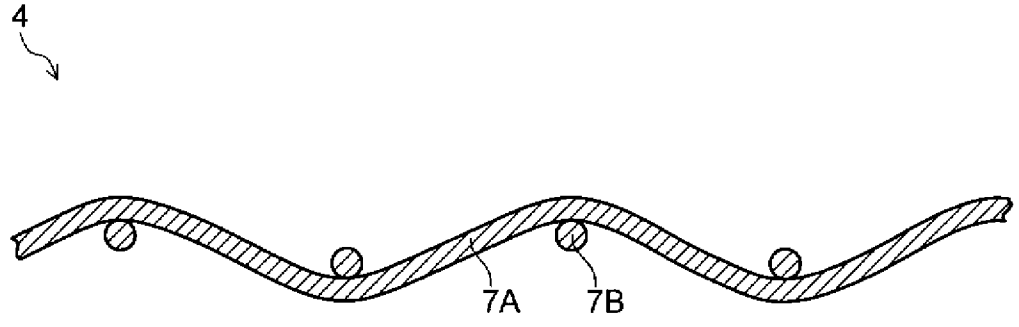
[図2]



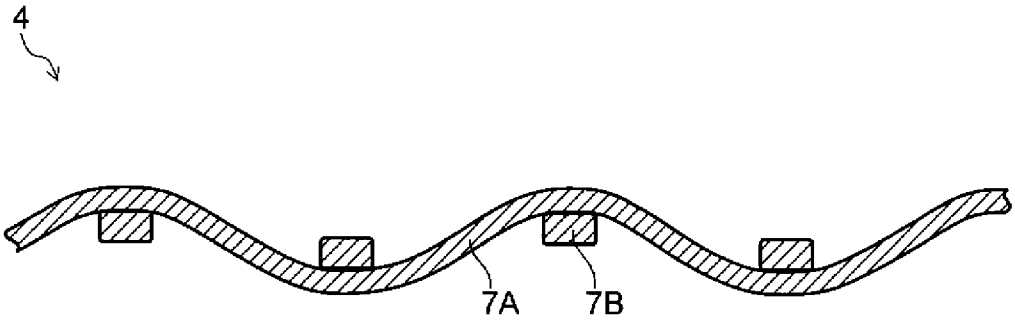
[図3]



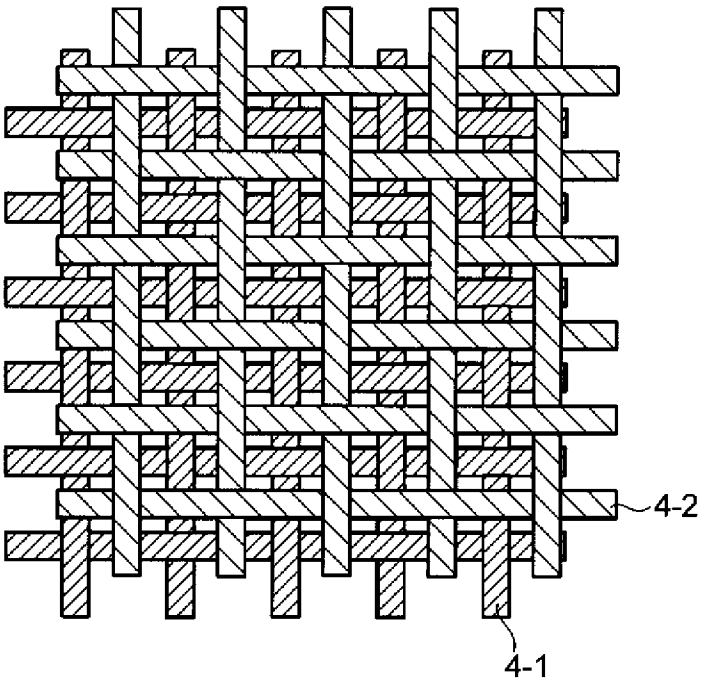
[図4]



[図5]



[図6]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2013/006243

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
F25B9/00(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)
F25B9/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2014
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2014	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2014

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.
Y A	WO 2011/024757 A1 (Toshiba Corp.), 03 March 2011 (03.03.2011), claims; paragraphs [0020] to [0023], [0036] to [0039], [0073]; fig. 5 & US 2012/0157320 A1 & EP 2472201 A1	1-3,8-10, 13-15 4-7,11-12
Y A	JP 2011-27272 A (Sumitomo Heavy Industries, Ltd.), 10 February 2011 (10.02.2011), claims; paragraphs [0017] to [0022], [0040] to [0049]; fig. 4, 7 to 8 (Family: none)	1-3,8-10, 13-15 4-7,11-12
Y A	JP 9-269156 A (Sanyo Electric Co., Ltd.), 14 October 1997 (14.10.1997), paragraph [0019] (Family: none)	2 4-7,11-12

☐ 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	Date of mailing of the international search report
07 January, 2014 (07.01.14)	21 January, 2014 (21.01.14)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office Facsimile No.	Authorized officer Telephone No.

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１３／００６２４３

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

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

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	１９７１－２０１４年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１４年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１４年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

Ｃ．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
Y	WO 2011/024757 A1（株式会社東芝）2011.03.03, 特許請求の範囲、［００２０］－［００２３］、［００３６］－［００３９］、［００７３］、図５ & US 2012/0157320 A1 & EP 2472201 A1	1-3,8-10,13-15
A		4-7,11-12
Y	JP 2011-27272 A（住友重機械工業株式会社）2011.02.10, 特許請求の範囲、【００１７】－【００２２】、【００４０】－【００４９】、図４、図７－８（ファミリーなし）	1-3,8-10,13-15
A		4-7,11-12

☑　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 ０７．０１．２０１４	国際調査報告の発送日 ２１．０１．２０１４
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ） 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）　３Ｍ　９２３９ 仲村　靖 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

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
Y	JP 9-269156 A（三洋電機株式会社）1997.10.14, 【００１９】（ファミリーなし）	2
A		4-7,11-12