(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3月5日(05.03.2020)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2020/045600 A1

(51) 国際特許分類:
H04R 23/00 (2006.01) *F25B 9/00* (2006.01)
F03G 7/00 (2006.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2019/034025

(22) 国際出願日： 2019年8月29日(29.08.2019)

(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 2018-164017 2018年8月31日(31.08.2018) JP

(71) 出願人: 京セラ株式会社 (**KYOCERA CORPORATION**) [JP/JP]; 〒6128501 京都府京都市伏見区竹田鳥羽殿町６番地 Kyoto (JP).

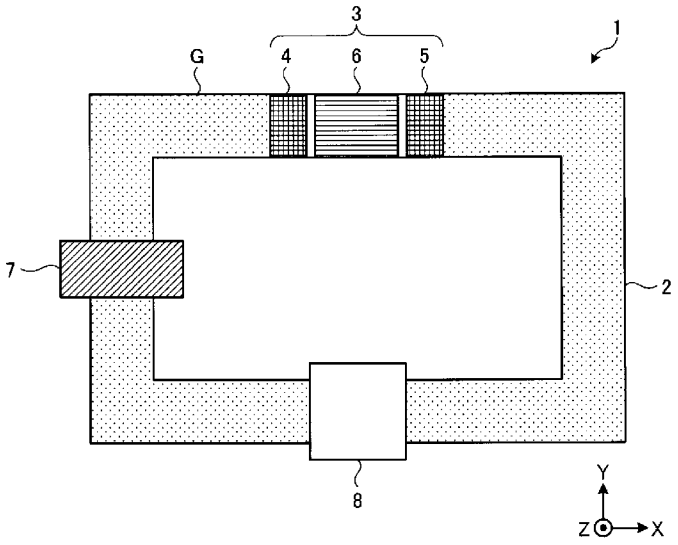
(72) 発明者: 西村 道明 (**NISHIMURA, Michiaki**); 〒6128501 京都府京都市伏見区竹田鳥羽殿町６番地 京セラ株式会社内 Kyoto (JP).

(74) 代理人: 特許業務法人酒井国際特許事務所 (**SAKAI INTERNATIONAL PATENT OFFICE**); 〒1000013 東京都千代田区霞が関３丁目８番１号 虎の門三井ビルディング 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:** THERMOACOUSTIC DEVICE

(54) 発明の名称： 熱音響装置



(57) **Abstract:** A thermoacoustic device comprising a loop-shaped waveguide and a heat exchanger. The loop-shaped waveguide has a medium filled therein. The heat exchanger is provided inside the waveguide and has a low-temperature section and a high-temperature section. The phase velocity of acoustic waves generated and amplified in the medium by the temperature gradient generated between the low-temperature section and the high-temperature section corresponds to the temperature heating or cooling rate of the medium caused by the temperature gradient.

WO 2020/045600 A1

[続葉有]

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))

(57) 要約: 熱音響装置は、ループ状の導波管と、熱交換器と、を備える。ループ状の導波管は、媒体が充填される。熱交換器は、導波管内に設けられ、低温部および高温部を有する。低温部と高温部との間に生じた温度勾配によって媒体に生じ、増幅される音波の位相速度が、温度勾配によって生じる媒体の昇温または降温速度に対応する。

明　細　書

発明の名称 ： 熱音響装置

技術分野

[0001]　開示の実施形態は、熱音響装置に関する。

背景技術

[0002]　従来、熱と音波との間の相互作用である熱音響効果によって熱エネルギーを音響エネルギーに変換し、音響エネルギーを電気エネルギーのような他のエネルギーに変換する熱音響装置が知られている。

[0003]　例えば、気体を充填したループ管に、放熱部と加熱部に挟まれた蓄熱部が配設され、蓄熱部内に生じた温度勾配によって気体に圧力振動を生じさせ、圧力振動によって生じた進行波に応動して発電を行う発電機がループ管に設けられた熱音響発電機が開示されている（例えば、特許文献１参照）。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開２００３－３２４９３２号公報

発明の概要

[0005]　実施形態の一態様に係る熱音響装置は、ループ状の導波管と、熱交換器と、を備える。ループ状の導波管は、媒体が充填される。熱交換器は、導波管内に設けられ、低温部および高温部を有する。低温部と高温部との間に生じた温度勾配によって媒体に生じ、増幅される音波の位相速度が、温度勾配によって生じる媒体の昇温または降温速度に対応する。

図面の簡単な説明

[0006] [図1]図１は、実施形態に係る熱音響装置の一例を示す図である。

[図2]図２は、実施形態に係る熱音響装置に含まれる熱交換器の高温部の一例を示す図である。

[図3]図３は、実施形態に係る熱音響装置に含まれる熱交換器の温度勾配保持部の一例を示す図である。

[図4A]図４Ａは、実施形態に係る熱音響装置における音波の位相速度と気体の昇温または降温速度との間の関係式に関する物理量を説明する図である。

[図4B]図４Ｂは、実施形態に係る熱音響装置における音波の位相速度と気体の昇温または降温速度との間の関係式に関する物理量を説明する図である。

[図5]図５は、実施形態に係る熱音響装置における気体に伝わる熱量と複数のフィンに伝わる熱量との間の関係式に関する物理量を説明する図である。

発明を実施するための形態

[0007] 以下、添付図面を参照して、本願の開示する熱音響装置の実施形態を詳細に説明する。なお、以下に示す実施形態によりこの発明が限定されるものではない。

[0008] 図１は、実施形態に係る熱音響装置１の一例を示す図である。図１を含む複数の図において、紙面に対して直交する方向において手前側がＺ軸方向の正方向であると共に熱音響装置１の長手方向および短手方向をそれぞれＸ軸方向およびＹ軸方向である三次元の直交座標系を示す。

[0009] 実施形態に係る熱音響装置１は、熱音響効果によって、熱エネルギーを音波の音響エネルギーに変換し、音波の音響エネルギーを電気エネルギーのような他のエネルギーに変換する装置である。ここで、熱音響効果は、熱と音波との間の相互作用である。図１に示すように、実施形態に係る熱音響装置１は、導波管２と、熱交換器３と、励振器７と、変換器８とを備える。

[0010] 導波管２には、気体Ｇが充填される。気体Ｇは、例えば、空気、窒素（N_2）、ヘリウム（Ｈｅ）、アルゴン（Ａｒ）、水素（H_2）、または二酸化炭素（CO_2）などである。導波管２は、その内部に気体Ｇを密閉する。

[0011] 導波管２に充填される気体Ｇの圧力は、例えば、１気圧（１０１３．２５ｈＰａ）以上１０気圧（１０１３２．５ｈＰａ）未満である。導波管２に充填される気体Ｇの圧力を増加させることによって、熱エネルギーを音波の音響エネルギーに変換する効率を高めることができる。

[0012] 導波管２は、反射壁の無いループ状の導波管である。導波管２は、例えば、図１に示すような単一のループの形状を有する。導波管２は、気体Ｇに生

じる音波を共振させる。熱音響装置１においては、気体Ｇに生じる音波による気体Ｇの移動（移流）に対し、熱交換器３と気体Ｇとの間の熱伝導によって生じる気体Ｇの温度変化の位相は、媒体の昇温または降温速度に対応する分だけ遅延する。それに応じて、気体Ｇの音波の圧力変化の位相は、温度変化のない場合の気体Ｇの圧力変化の位相より０°～９０°遅延する。

[0013] よって、例えば、導波管２が反射壁を有する場合には、気体Ｇに生じる温度変化を介在した音波の共振が安定化されずに、気体Ｇに生じる音波の振幅を低減してしまう。実施形態に係る熱音響装置１においては、導波管２が反射壁の無いループの形状を有することによって、気体Ｇに生じる音波の共振を安定化することができる。それに応じて、実施形態に係る熱音響装置１は、音波の音響エネルギーの出力を高めることができる。

[0014] 導波管２の長さは、気体Ｇに生じる音波の波長の整数倍である。導波管２の長さは、例えば、気体Ｇに生じる音波の共振周波数が１ｍ以下であるように、設定される。導波管２は、例えば、円形または方形の断面を有する中空導波管である。

[0015] 導波管２は、例えば、ステンレス鋼（ＳＵＳ）のような金属または塩化ビニルのようなプラスチックで形成される。導波管２がプラスチックで形成される場合には、ループ状の導波管２を容易に製造することができるため、導波管２のコストを低減することができる。

[0016] 熱交換器３は、導波管２に充填された気体Ｇに対して熱を移動させる。熱交換器３は、気体Ｇを音波の移流の位相に従って加熱／冷却する。導波管２が延びる方向（Ｘ軸方向）における熱交換器３の長さは、例えば、気体Ｇに生じる音波の波長の１／２０程度、例えば、５ｃｍ程度である。熱交換器３は、導波管２内に設けられる。熱交換器３は、低温部４と、高温部５と、温度勾配保持部６とを有する。

[0017] 低温部４は、熱交換器３に含まれる相対的に低い温度を保持する部材である。高温部５は、熱交換器３に含まれる相対的に高い温度を保持する部材である。ここで、相対的に低い温度および相対的に高い温度は、低温部４の温

度および高温部５の温度の間の対比に基づいたものである。すなわち、高温部５の温度は、低温部４の温度よりも高い。熱交換器３において、低温部４と高温部５との間には温度勾配が生じる。低温部４および高温部５の構成については後述する。

[0018] 低温部４および高温部５は、それぞれ、相対的に低い温度の熱源および相対的に高い温度の熱源に接続される。相対的に低い温度の熱源は、例えば、管に供給される水のような冷媒であってもよい。相対的に高い温度の熱源は、管に供給される熱湯のような加熱媒体であってもよい。相対的に低い温度の熱源および相対的に高い温度の熱源の一方は、例えば、室温における空気であってもよい。

[0019] 温度勾配保持部６は、熱交換器３の低温部４と高温部５との間に生じた温度勾配を保持する部材である。温度勾配保持部６は、熱交換器３の低温部４と高温部５との間に設けられる。低温部４と温度勾配保持部６との間の間隔および温度勾配保持部６と高温部５との間の間隔は、例えば、０．３ｍｍ以下である。温度勾配保持部６は、低温部４と高温部５との間に生じた温度勾配によって気体Ｇに音波を生じ、増幅させる。温度勾配保持部６の構成については後述する。

[0020] 励振器７は、所定の周波数で気体Ｇに音波を生じさせる。励振器７は、気体Ｇを密閉するように、導波管２に設けられる。励振器７は、共振音波の圧力振幅が大きい箇所に設けられる場合には、導波管２の音響インピーダンスを変化させないように設けたシリンダに挿入されたピストンが往復運動することによって気体Ｇの圧力を振動させる。

[0021] 変換器８は、気体Ｇに生じた音波の音響エネルギーを所定のエネルギーに変換すると共に所定のエネルギーを取り出す。変換器８は、例えば、気体Ｇに生じた音波の音響エネルギーを電気エネルギーに変換することによって電気を発生させる発電機であってもよい。この場合には、熱音響装置１は、例えば、熱源から熱交換器３に供給される熱を用いて発電することができる。

[0022] あるいは、変換器８は、例えば、気体Ｇに生じた音波の音響エネルギーを

冷却の熱エネルギーに変換することによって変換器８に接触する媒体の温度を下げる冷却器（冷却用の熱交換器）であってもよい。この場合には、熱音響装置１は、例えば、熱源から熱交換器３に供給される熱を用いて媒体を冷却することができる。

[0023] 実施形態に係る熱音響装置１において、例えば、励振器７によって導波管２に充填された気体Ｇを所定の周波数で振動させる。例えば、気体Ｇが、熱交換器３において温度勾配保持部６の低温側から高温側へ移動する。ここで、気体Ｇは、温度勾配保持部６によって保持された温度勾配によって加熱されて膨張する。

[0024] 次に、気体Ｇは、熱交換器３において温度勾配保持部６の高温側から低温側へ移動する。ここで、気体Ｇは、温度勾配保持部６によって保持された温度勾配によって冷却されて収縮する。このように、熱交換器３における気体Ｇの膨張および収縮の繰り返しによって導波管２に充填された気体Ｇの音波が増幅されて、熱エネルギーが気体Ｇの音波の音響エネルギーに変換される。

[0025] ここで、例えば、励振器７によって導波管２に充填された気体Ｇに生じる音波を所定の周波数で励振させることができる。気体Ｇに生じる音波は、導波管２内において共振することによって安定化される。気体Ｇに生じた音波が変換器８に到達すると、変換器８は、気体Ｇに生じた音波の音響エネルギーを所定のエネルギーに変換すると共にその所定のエネルギーを取り出すことができる。

[0026] 図２は、実施形態に係る熱音響装置１に含まれる熱交換器３の高温部５の一例を示す図である。図２に示すように、熱交換器３の高温部５は、例えば、略円筒の形状を有する。熱交換器３の高温部５の中心軸の方向（Ｘ軸方向）における厚さは、例えば、１ｃｍ以上２ｃｍ以下である。熱交換器３の高温部５は、例えば、中心軸の方向（Ｘ軸方向）に対して直交すると共に互いに直交する複数のフィン５ａ，５ｂを有する。すなわち、熱交換器３の高温部５は、格子状のフィン５ａ，５ｂを有する。

[0027] 複数のフィン５ａ，５ｂは、例えば、金属で形成される。この場合には、複数のフィン５ａ，５ｂの熱伝導率を向上させることができる。複数のフィン５ａ，５ｂを形成する金属は、例えば、銅である。この場合には、複数のフィン５ａ，５ｂのコストを低減することができる。複数のフィン５ａ，５ｂの厚さは、例えば、１００μｍ以下である。複数のフィン５ａ，５ｂの間の間隔は、例えば、０．４ｍｍ以上１．５ｍｍ以下である。

[0028] 熱交換器３の低温部４は、熱交換器３の高温部５の構造と同一または類似の構造を有する。

[0029] 図３は、実施形態に係る熱音響装置１に含まれる熱交換器３の温度勾配保持部６の一例を示す図である。図３に示すように、熱交換器３の温度勾配保持部６は、例えば、略円筒の形状を有する。

[0030] 熱交換器３の温度勾配保持部６の中心軸の方向（Ｘ軸方向）における長さは、例えば、１ｃｍ以上２ｃｍ以下である。この場合には、音波の有効な大きさの振幅を得ることによって、温度勾配保持部６の熱エネルギーから変換された、音波の音響エネルギーの有効な出力を得ることができる。

[0031] 熱交換器３の温度勾配保持部６は、例えば、中心軸の方向（Ｘ軸方向）に対して直交すると共に互いに平行である複数のフィン６ａを有する。熱交換器３の温度勾配保持部６は、例えば、複数のフィン６ａの間に設けられた複数の仕切り６ｂを有する。

[0032] 複数のフィン６ａおよび複数の仕切り６ｂは、例えば、熱伝導率の低いセラミックやガラスで形成される。この場合には、複数のフィン６ａおよび複数の仕切り６ｂの熱伝導率を小さくすることができる。よって、熱交換器３の温度勾配保持部６における温度勾配の低減を小さくすることができる。それに応じて、温度勾配保持部６は、熱交換器３の低温部４と高温部５との間に生じた温度勾配を良好に保持することができる。

[0033] 複数のフィン６ａおよび複数の仕切り６ｂを形成するセラミックは、例えば、ジルコニア、チタニア、またはステアタイトである。この場合には、複数のフィン６ａおよび複数の仕切り６ｂから気体Ｇへの熱伝導率に対して複

数のフィン６ａおよび複数の仕切り６ｂにおける熱伝導率を良好に小さくすることができる。よって、温度勾配保持部６は、複数のフィン６ａおよび複数の仕切り６ｂから気体Ｇへの熱伝導を高めることができる。それに応じて、温度勾配保持部６は、熱交換器３の低温部４と高温部５との間に所望の温度勾配を容易に保持することができる。

[0034] 複数のフィン６ａの厚さは、例えば、１００μｍ以下である。図３に示すような複数のフィン６ａ間の間隔d_Fは、例えば、０．４ｍｍ以上１．５ｍｍ以下である。複数の仕切り６ｂの厚さ、および仕切り６ｂの間隔は、適宜決定される。複数の仕切り６ｂの素材が複数のフィン６ａと同じ場合には一体で整形、作製されていても良い。

[0035] 図４Ａおよび図４Ｂは、実施形態に係る熱音響装置１における音波の位相速度と気体Ｇの昇温または降温速度との間の関係式に関する物理量を説明する図である。図４Ａに示すように、導波管２に充填された気体Ｇの密度、比熱、熱伝導率、および圧力を、それぞれ、ρ_G、C_G、κ_G、およびP_Gによって表す。気体Ｇに生じる音波の位相速度および波長を、それぞれ、v_0およびλによって表す。

[0036] 熱交換器３の低温部４および高温部５の温度を、それぞれ、T_1およびT_2によって表す。ここで、T_1およびT_2は、$T_2 > T_1$の関係を満たす。熱交換器３の温度勾配保持部６によって保持される温度差をΔＴによって表す。ここで、ΔＴ、T_1およびT_2は、実質的に$\Delta T = T_2 - T_1$の関係を満たす。熱交換器３の温度勾配保持部６における気体Ｇの昇温または降温速度をv_Tによって表す。なお、温度勾配は、温度差ΔＴを、温度勾配保持部６のＸ軸方向の長さで割ることで求めることができる。

[0037] 図４Ｂに示すように、導波管２のループの形状に沿った導波管２の中心軸の長さの合計値である導波管２の長さをL_Pによって表す。

[0038] 実施形態に係る熱音響装置１においては、熱交換器３の低温部４と高温部５との間に生じた温度差ΔＴによって気体Ｇに生じる音波の位相速度v_0が、温度差ΔＴによって生じる気体Ｇの昇温または降温速度v_Tに対応する。

[0039] ここで、音波の位相速度v_0は、音波の山または谷のような音波の特定の位置が移動する速度である。気体Ｇの昇温または降温速度v_Tは、熱交換器３の低温部４と高温部５との間に生じた温度差ΔＴによって気体Ｇが加熱膨張または冷却収縮する際に気体Ｇが昇温または降温する速度である。

[0040] 実施形態に係る熱音響装置１においては、気体Ｇに生じる音波の位相速度v_0が、気体Ｇの昇温または降温速度v_Tに対応するため、気体Ｇの移動と温度差ΔＴに起因する気体Ｇの加熱膨張または冷却収縮とをより良好に同期させることができる。

[0041] このように、気体Ｇを効率的に昇温または降温させることができる。すなわち、熱交換器３と気体Ｇとの間の熱伝導を音波の移流のタイミングにあわせる効率を高めることができる。それに応じて、実施形態に係る熱音響装置１は、熱エネルギーを音波の音響エネルギーに変換する効率を高めることができる。

[0042] 従来の技術においては、熱エネルギーを音波の音響エネルギーに変換する効率が低いことがあった。従来の技術においては、例えば、熱源の温度と室温との温度勾配が減少すると、熱エネルギーを音波の音響エネルギーに変換する効率が小さくなることがあった。例えば、１００℃以下の熱源の温度と室温との温度勾配によって熱エネルギーを音波の音響エネルギーに変換する効率が低いことがあった。

[0043] 一方、実施形態に係る熱音響装置１は、例えば、熱交換器３の低温部４および高温部５にそれぞれ室温の熱源および１００℃以下の温度の熱源を接続する場合にあっても、１００℃以下の温度の熱源からの熱エネルギーを音波の音響エネルギーに効率的に変換することができる。よって、実施形態に係る熱音響装置１は、１００℃以下の温度の熱源からの熱、例えば、廃熱を、例えば、発電または冷却に、効率良く利用することができる。

[0044] 実施形態に係る熱音響装置１においては、気体Ｇの昇温または降温速度v_Tは、例えば、

$$v_T=(\kappa_G/(\rho_G\times C_G))\times\Delta T/((d_F/2)^2\times P_G) \quad \cdots$$

・（１）

の式によって表される。

[0045] 熱交換器３の低温部４と高温部５との間に生じた温度差ΔＴによって気体Ｇが昇温または降温する温度の範囲をδＴによって表す。ここで、δＴおよびΔＴは、δＴ＜ΔＴの関係を満たす。この場合には、気体Ｇが昇温または降温する時間は、δＴ／ｖ$_T$によって表される。

[0046] 気体Ｇに生じる音波の圧力が山から谷までまたは谷から山まで変化する、すなわち、音波の波長λの１／４分の距離だけ気体Ｇが位相速度ｖ$_0$で変化する間に気体Ｇが昇温または降温速度ｖ$_T$でδＴだけ昇温または降温するとすれば、例えば、

ｖ$_0$×（δＴ／ｖ$_T$）＝λ／４ ・・・・・（２）

の式が満たされる。

[0047] すなわち、

ｖ$_0$＝｛（λ／４）／δＴ｝×ｖ$_T$ ・・・・・（３）

の式が満たされる。

[0048] 実施形態に係る熱音響装置１においては、例えば、複数のフィン６ａの間の間隔ｄ$_F$は、音波の位相速度ｖ$_0$が気体Ｇの昇温または降温速度ｖ$_T$に対応するように設定される。式（１）および式（２）または（３）より、

ｄ$_F$＝２×（（（λ／４）／ｖ$_0$）×（κ$_G$／（ρ$_G$×Ｃ$_G$×Ｐ$_G$））／（δＴ／ΔＴ））$^{1/2}$ ・・・・・（４）

の式が得られる。なお、０．０２≦δＴ／ΔＴ≦１である。

[0049] すなわち、複数のフィン６ａの間の間隔ｄ$_F$を式（４）に従って設定することによって、気体Ｇに生じる音波の位相速度ｖ$_0$が気体Ｇの昇温または降温速度ｖ$_T$に対応するように熱音響装置１を設計することができる。

[0050] この場合には、複数のフィン６ａの間の間隔ｄ$_F$がこのように設定された温度勾配保持部６を用意することによって、熱音響装置１の仕様（気体Ｇの種類、音波の波長λに対応する導波管２の長さＬ$_P$、δＴ／ΔＴの値）に応じた熱音響装置１を適宜設計することができる。

[0051] 実施形態に係る熱音響装置１において、例えば、導波管２の長さＬ$_p$は、音波の位相速度ｖ$_0$が気体Ｇの昇温または降温速度ｖ$_T$に対応するように設定される。式（１）および式（２）または（３）より、

$$\lambda = 4 \times v_0 / (\kappa_G / (\rho_G \times C_G \times P_G)) \times (\delta T / \Delta T) \times (d_F / 2)^2 \quad \cdots\cdots (5)$$

の式が得られる。

[0052] また、導波管２の長さＬ$_p$は、音波の波長λの整数倍である。すなわち、

$$L_p = n \times \lambda \quad \cdots\cdots (6)$$

の式が満たされる。ここで、ｎは、正の整数である。

[0053] 式（５）および式（６）より、

$$L_p = 4 \times n \times v_0 / (\kappa_G / (\rho_G \times C_G \times P_G)) \times (\delta T / \Delta T) \times (d_F / 2)^2 \quad \cdots\cdots (7)$$

の式が得られる。

[0054] すなわち、導波管２の長さＬ$_p$を式（７）に従って設定することによって、気体Ｇに生じる音波の位相速度ｖ$_0$が気体Ｇの昇温または降温速度ｖ$_T$に対応するように熱音響装置１を設計することができる。

[0055] このように気体Ｇに生じる音波の位相速度ｖ$_0$が気体Ｇの昇温または降温速度ｖ$_T$に対応するように導波管２の長さＬ$_p$を設定することによって、熱音響装置１のエネルギー変換効率を顕著に小さくすることなく導波管２の長さＬ$_p$を小さくすることができる。それに応じて、熱音響装置１のサイズを小さくすることができる。

[0056] 例えば、気体Ｇに生じる音波の位相速度ｖ$_0$が気体Ｇの昇温または降温速度ｖ$_T$に対応する一方で、式（５）に従って音波の波長λが１ｍ以下であるように導波管２の長さＬ$_p$を設定することができる。それに応じて、導波管２が延びる方向（Ｘ軸方向）における熱交換器３の長さが、例えば、気体Ｇに生じる音波の波長１ｍの１／２０程度、すなわち、５ｃｍ程度であるように、熱交換器３を設計することができる。

[0057] 実施形態に係る熱音響装置１において、例えば、気体Ｇは、音波の位相速

度v_0が気体Gの昇温または降温速度v_Tに対応するように選択される。式（1）および式（2）または（3）より、

$$v_0 / (\kappa_G / (\rho_G \times C_G \times P_G)) = (\lambda / 4) / ((\delta T / \Delta T) \times (d_F / 2)^2) \quad \cdots\cdots (8)$$

の式が得られる。

[0058] すなわち、熱音響装置1の仕様（複数のフィン6aの間の間隔d_F、音波の波長λに対応する導波管2の長さL_P、および$\delta T / \Delta T$の値）に基づいて、式（8）の関係を満たすまたは式（8）の関係に近似する関係を満たす気体Gを選択する。式（8）の関係に近似する関係を満たす気体Gを選択した場合には、式（8）の関係を満たすように、例えば、気体Gの圧力P_Gを設定する。

[0059] このようにして、気体Gに生じる音波の位相速度v_0が気体Gの昇温または降温速度v_Tに対応するように熱音響装置1を設計することができる。それに応じて、熱音響装置1の仕様を実現することに適切な気体Gを選択することができる。よって、熱音響装置1をより容易に設計することができる。

[0060] ここで、気体Gに生じる音波の位相速度v_0が気体Gの昇温または降温速度v_Tに対応するように構成された熱音響装置1の設計例を表1および表2に示す。

[0061] 表1：熱音響装置1の設計例

[表1]

気体G	密度ρ_G (kg/m^3)	比熱C_G (J/kgk)	熱伝導率κ_G (W/mk)	圧力P_G (気圧)	音速V_O (m/s)
空気	1.091	1008	0.0272	1	331
窒素	1.023	1043	0.0279	1	337
ヘリウム	0.179	5192	0.1442	1	970
アルゴン	1.519	519	0.0187	1	319
水素	0.0734	14403	0.1919	1	1270
二酸化炭素	1.616	875	0.0183	1	258

[0062] 表２：熱音響装置１の設計例（続き）

[表2]

気体G	温度範囲δT/温度差ΔT	波長λ(m)	フィン間隔d_F(mm)
空気	0.2	0.45	0.410
窒素	0.2	0.45	0.418
ヘリウム	0.2	0.45	0.600
アルゴン	0.2	0.45	0.409
水素	0.2	0.45	0.567
二酸化炭素	0.2	0.45	0.336

[0063] 表１および表２は、気体Ｇの各々（空気、窒素、ヘリウム、アルゴン、水素、または二酸化炭素）について圧力P_G、温度範囲δＴ／温度差ΔＴの値、および音波の波長λが、それぞれ、１気圧、０．２、および４５ｃｍである場合における温度勾配保持部６の複数のフィン６ａの間隔d_Fの設計例を示す。

[0064] 図５は、実施形態に係る熱音響装置１における気体Ｇに伝わる熱量と複数のフィン６ａに伝わる熱量との間の関係式に関する物理量を説明する図である。図５に示すように、熱交換器３の温度勾配保持部６は、温度差ΔＴを保持する。熱交換器３の温度勾配保持部６の複数のフィン６ａの間を移動する気体Ｇの熱伝導率および熱伝導有効長さをそれぞれκ_GおよびL_Gによって表す。ここで、気体Ｇの熱伝導有効長さL_Gは、熱交換器３の温度勾配保持部６の中心軸の方向（Ｚ軸方向）における温度勾配保持部６の複数のフィン６ａの一つにおける気体Ｇへの熱伝導の評価単位長さに対応する値である。

[0065] 熱交換器３の温度勾配保持部６の中心軸の方向（Ｚ軸方向）における複数のフィン６ａの各々の長さをL_Fによって表す。温度勾配保持部６の複数のフィン６ａの配列の方向（Ｙ軸方向）における複数のフィン６ａの各々の厚さをt_Fによって表す。複数のフィン６ａの間の間隔をd_Fによって表す。複数のフィン６ａの各々の熱伝導率をκ_Fによって表す。

[0066] 実施形態に係る熱音響装置１においては、温度差ΔＴによって気体Ｇに伝わる熱量は、温度差ΔＴによって複数のフィン６ａの高温側の端から低温側の端に伝わる熱量より大きい。

[0067] 温度差ΔＴによって気体Ｇに伝わる熱量H_Gは、例えば、

$$H_G=\kappa_G\times\Delta T\times L_G/(d_F/2) \quad \cdots\cdots(9)$$

の式によって表される。

[0068] 温度差ΔＴによって複数のフィン６ａに伝わる熱量H_Fは、例えば、

$$H_F=\kappa_F\times\Delta T\times t_F/L_F \quad \cdots\cdots(10)$$

の式によって表される。

[0069] 式（９）および式（１０）より、$H_G>H_F$が満たされる場合には、

$$\kappa_F<\kappa_G\times(L_G\times L_F)/\{(d_F/2)\times t_F\} \quad \cdots\cdots(11)$$

の式が満たされる。

[0070] すなわち、複数のフィン６ａの熱伝導率κ_Fが式（１１）の関係を満たすように複数のフィン６ａの材料を選択することによって、温度差ΔＴによって気体Ｇに伝わる熱量H_Gは、温度差ΔＴによって複数のフィン６ａの高温側の端から低温側の端に伝わる熱量H_Fより大きいように熱音響装置１を設計することができる。

[0071] この場合には、複数のフィン６ａの高温側の端から低温側の端への熱伝導と比べて複数のフィン６ａと気体Ｇとの間の熱伝導の効率を高めることができる。それに応じて、実施形態に係る熱音響装置１は、熱エネルギーを音波の音響エネルギーに変換する効率を高めることができる。

[0072] 例えば、気体Ｇの熱伝導有効長さL_G、複数のフィン６ａの各々の長さL_F、複数のフィン６ａの間の間隔d_F、複数のフィン６ａの各々の厚さt_Fが、それぞれ、１ｍｍ、１０ｍｍ、２ｍｍ、および０．１ｍｍであるとすれば、式（１１）より、複数のフィン６ａの熱伝導率κ_Fおよび気体Ｇの熱伝導率κ_Gは、$\kappa_F<\kappa_G\times 100$の関係を満たす。

[0073] 例えば、気体Ｇが空気である場合には、気体Ｇの熱伝導率κ_Gは、０．０２６Ｗ／（ｍ・Ｋ）である。この場合には、複数のフィン６ａの熱伝導率κ_Fは

、κ_F＜２．６Ｗ／（ｍ・Ｋ）の関係を満たす。κ_F＜２．６Ｗ／（ｍ・Ｋ）の関係を満たすような複数のフィン６ａの材料は、例えば、ジルコニア、チタニア、またはステアタイトである。

[0074] 実施形態に係る熱音響装置１においては、導波管２は気体Ｇが充填されるとしたが、導波管２は、気体Ｇ以外の媒体が充填されるとしてもよい。例えば、導波管２は、音波が有効に生成し、増幅される範囲において液体が充填されるとしてもよい。

[0075] 実施形態に係る熱音響装置１においては、導波管２が単一のループの形状を有するとしたが、導波管２は、例えば、少なくとも一つの管で連結された複数のループの形状を有するとしてもよい。この場合には、熱音響装置１は、導波管２の同一のループまたは異なるループに複数の変換器８を有するものであってもよい。

[0076] 実施形態に係る熱音響装置１においては、励振器７によって導波管２に充填された気体Ｇを振動または励振させるようにしたが、熱音響装置１は、励振器７を含まないものであってもよい。

[0077] この場合には、熱交換器３の低温部４と高温部５との間に温度差ΔＴが生じる際に、導波管２に存在する１／ｆノイズを音源として気体Ｇに音波が生じる。気体Ｇに生じる音波は、熱交換器３の低温部４と高温部５との間に生じる温度差ΔＴによって励振されると共に導波管２内において安定して共振する。

[0078] このように、熱音響装置１が励振器７を含まない場合であっても、熱音響装置１は、例えば、熱交換器３に供給される熱エネルギーを気体Ｇに生じる音波の音響エネルギーに変換することができる。

[0079] さらなる効果や変形例は、当業者によって容易に導き出すことができる。このため、本発明のより広範な態様は、以上のように表しかつ記述した特定の詳細および代表的な実施形態に限定されるものではない。したがって、添付の請求の範囲およびその均等物によって定義される総括的な発明の概念の精神または範囲から逸脱することなく、様々な変更が可能である。

符号の説明

[0080] 1 熱音響装置

2 導波管

3 熱交換器

4 低温部

5 高温部

5ａ，５ｂ フィン

6 温度勾配保持部

６ａ フィン

６ｂ 仕切り

7 励振器

8 変換器

G 気体

請求の範囲

[請求項1] 媒体が充填されるループ状の導波管と、

前記導波管内に設けられ、低温部および高温部を有する熱交換器と、

を備え、

前記低温部と前記高温部との間に生じた温度勾配によって前記媒体に生じ、増幅される音波の位相速度が、前記温度勾配によって生じる前記媒体の昇温または降温速度に対応する、

熱音響装置。

[請求項2] 前記熱交換器は、前記低温部と前記高温部との間に設けられ、前記温度勾配を保持する温度勾配保持部をさらに有する、請求項１に記載の熱音響装置。

[請求項3] 前記温度勾配保持部は、複数のフィンを有し、

前記複数のフィンの間の間隔は、前記音波の位相速度が前記媒体の昇温または降温速度に対応するように設定される、

請求項２に記載の熱音響装置。

[請求項4] 前記温度勾配によって前記媒体に伝わる熱量は、前記温度勾配によって前記複数のフィンの高温側の端から低温側の端に伝わる熱量より大きい、

請求項３に記載の熱音響装置。

[請求項5] 前記導波管の長さは、前記音波の位相速度が前記媒体の昇温または降温速度に対応するように設定される、

請求項１から４のいずれか一項に記載の熱音響装置。

[請求項6] 前記媒体は、前記音波の位相速度が前記媒体の昇温または降温速度に対応するように選択される、

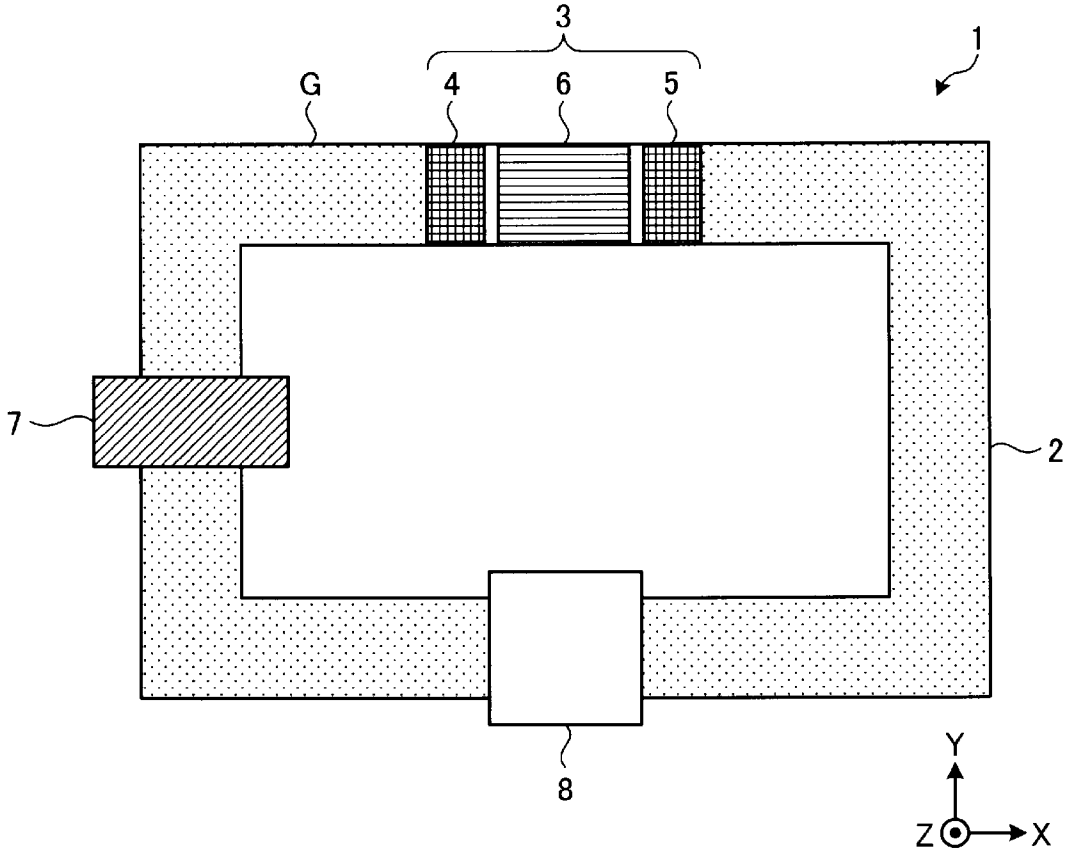
請求項１から５のいずれか一項に記載の熱音響装置。

[請求項7] 前記導波管に設けられ、前記音波を励振させる励振器

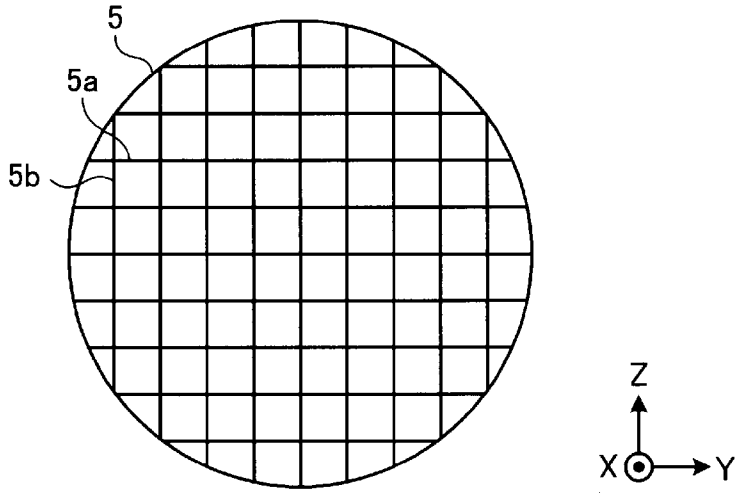
をさらに備える、請求項１から６のいずれか一項に記載の熱音響装置

°

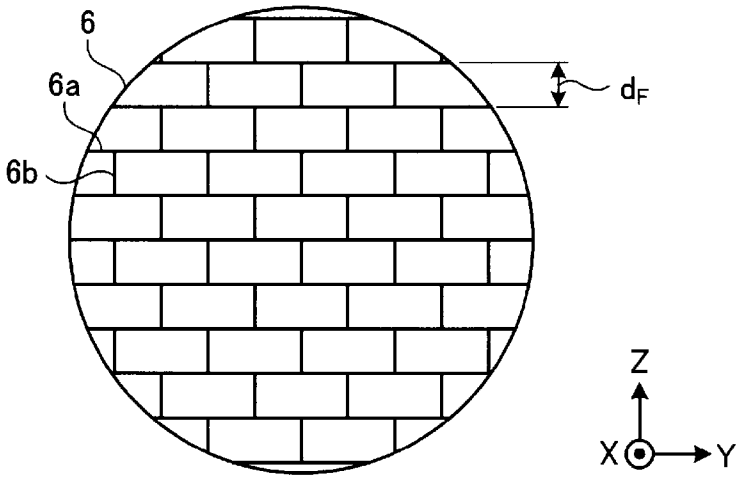
[図1]



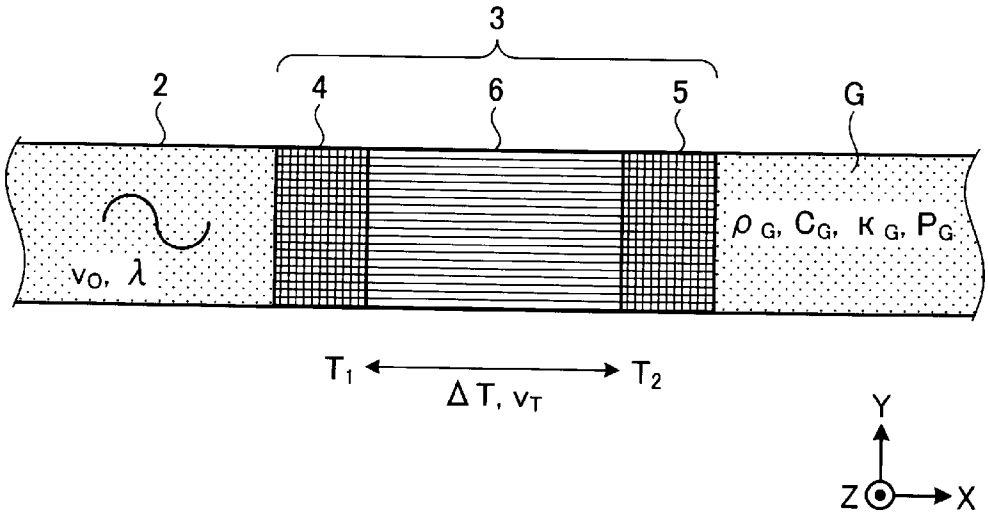
[図2]



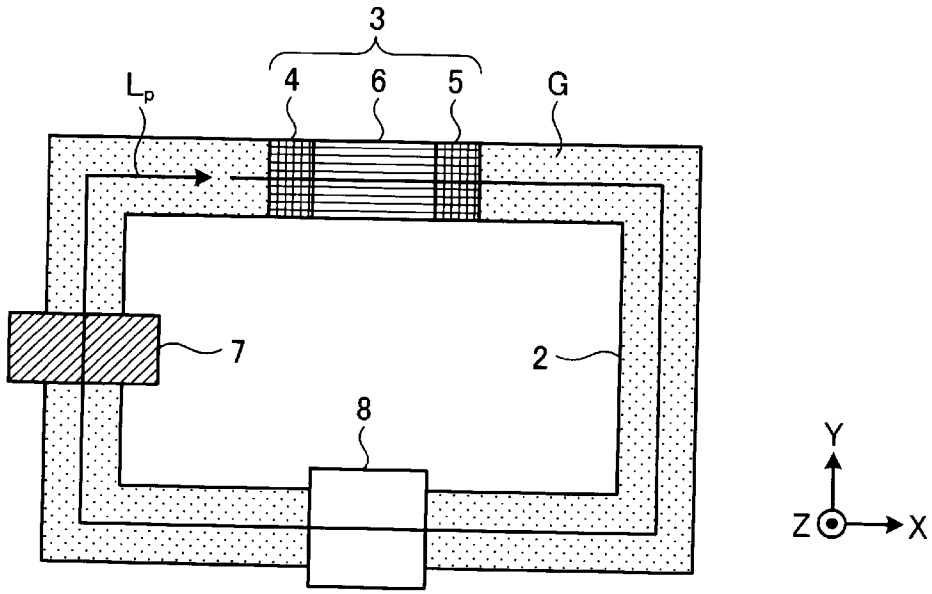
[図3]



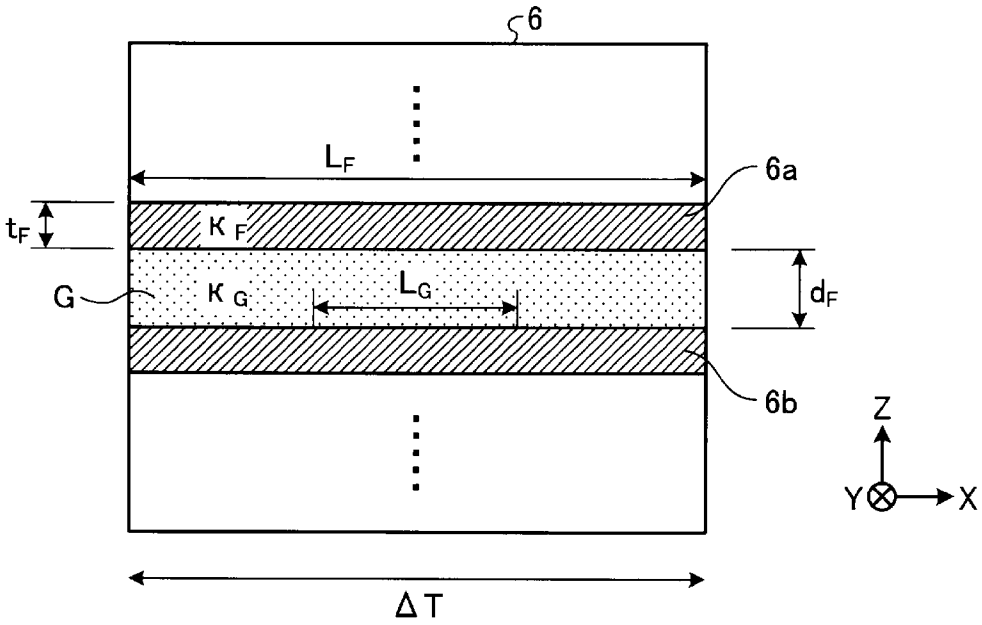
[図4A]


3
2
4
6
5
G
v_O, λ
ρ_G, C_G, κ_G, P_G
T_1
T_2
ΔT, v_T
Y
Z
X

[図4B]


3
L_p
4
6
5
G
7
2
8
Y
Z
X

[図5]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2019/034025

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl. H04R23/00(2006.01)i, F03G7/00(2006.01)i, 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)
Int.Cl. H04R23/00, F03G7/00, F25B9/00

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

Published examined utility model applications of Japan	1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan	1971-2019
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.
X A	JP 2008-101910 A (THE DOSHISHA) 01 May 2008, paragraphs [0020]-[0051], fig. 1, 2 (Family: none)	1-3, 5-7 4
A	JP 2005-274101 A (THE DOSHISHA) 06 October 2005, entire text, all drawings & US 2007/0220903 A1, entire text, all drawings	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	Date of mailing of the international search report
30 October 2019 (30.10.2019)	12 November 2019 (12.11.2019)

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan	Telephone No.

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１９／０３４０２５

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　H04R23/00(2006.01)i, F03G7/00(2006.01)i, 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.　H04R23/00, F03G7/00, 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	１９７１－２０１９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
X A	JP 2008-101910 A（学校法人同志社）2008.05.01, 段落［００２０］－［００５１］、図１、２（ファミリーなし）	1-3, 5-7 4
A	JP 2005-274101 A（学校法人同志社）2005.10.06, 全文、全図 & US 2007/0220903 A1, 全文、全図	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	国際調査報告の発送日
３０．１０．２０１９	１２．１１．２０１９

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）　５Ｚ　５５８４
篠田　享佑
電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３５９１