(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
2018年4月26日(26.04.2018)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2018/074501 A1

(51) 国際特許分類:
F25B 9/00 (2006.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2017/037637

(22) 国際出願日： 2017年10月18日(18.10.2017)

(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 2016-204530 2016年10月18日(18.10.2016) JP

(71) 出願人: 株式会社ジェイテクト (**JTEKT CORPORATION**) [JP/JP]; 〒5428502 大阪府大阪市中央区南船場三丁目5番8号 Osaka (JP). 公立大学法人大阪市立大学 (**PUBLIC UNIVERSITY CORPORATION OSAKA CITY UNIVERSITY**) [JP/JP]; 〒5588585 大阪府大阪市住吉区杉本3丁目3番138号 Osaka (JP).

(72) 発明者: 齊藤 利幸 (**SAITO, Toshiyuki**); 〒5428502 大阪府大阪市中央区南船場三丁目5番8号 株式会社ジェイテクト内 Osaka (JP). 高畑 良一 (**TAKAHATA, Ryouichi**); 〒5428502 大阪府大阪市中央区南船場三丁目5番8号 株式会社ジェイテクト内 Osaka (JP). 武井 智行 (**TAKEI, Tomoyuki**); 〒5428502 大阪府大阪市中央区南船場三丁目5番8号 株式会社ジェイテクト内 Osaka (JP). 石川 修六 (**ISHIKAWA, Osamu**); 〒5588585 大阪府大阪市住吉区杉本3丁目3番138号 公立大学法人大阪市立大学内 Osaka (JP).

WO 2018/074501 A1

(54) **Title:** THERMOACOUSTIC DEVICE

(54) 発明の名称： 熱音響装置

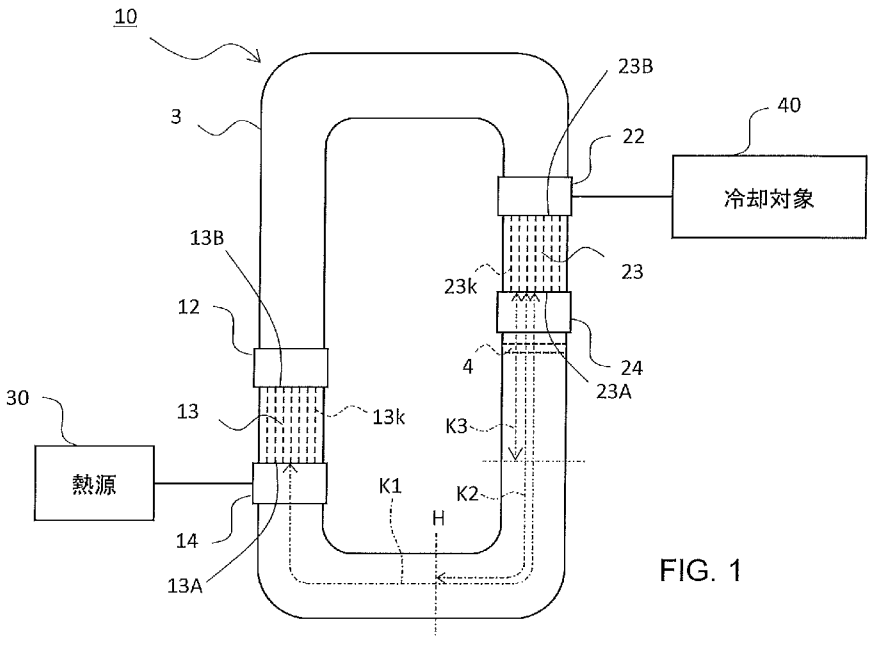


FIG. 1

FIG. 1:
30 Heat source
40 Object to be cooled

(57) **Abstract:** A thermoacoustic device comprises: a loop pipe; a first stack that is disposed in the loop pipe and that generates a sound wave in the loop pipe by way of a temperature gradient; a second stack that is disposed in the loop pipe and that generates a temperature gradient; a first high temperature side heat exchanger that is disposed at one end of the first stack and that makes the temperature of the one end of the first stack be higher than the other end; and a first low temperature side heat exchanger that is disposed at the other end of the first stack and that makes the temperature of the other end of the first stack be lower than the one end.

[続葉有]

(74) 代理人: 上野 英樹 (UENO, Hideki); 〒1700013 東京都豊島区東池袋１－２８－１－９０１ ＵＰＳＣ上野特許事務所 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, 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)）

(57) 要約: 熱音響装置は、ループ管と、前記ループ管内に配置されて温度勾配によって前記ループ管に音波を発生させる第１スタックと、前記ループ管内に配置されて温度勾配を発生させる第２スタックと、前記第１スタックの一方端に配置され、前記第１スタックの一方端を他方端より高温にする第１高温側熱交換器と、前記第１スタックの他方端に配置され、前記第１スタックの他方端を一方端より低温にする第１低温側熱交換器とを備える。

明　細　書

発明の名称 ： 熱音響装置

技術分野

[0001] 本発明の一態様は、熱エネルギーと音エネルギーの変換を利用した熱音響装置に関する。

背景技術

[0002] 近年、熱エネルギーと音エネルギーとの変換現象である熱音響効果を利用した熱音響装置が提案されている。例えば、日本国特開２００８－１０１９１０号公報（特許文献１）には、ループ管の内部に、第１のスタックと第２のスタックを配置した熱音響装置が開示されている。第１のスタックは、第１高温側熱交換器及び第１低温側熱交換器に挟まれる。第２のスタックは、第２高温側熱交換器及び第２低温側熱交換器に挟まれる。この熱音響装置では、第１のスタックに温度勾配を生じさせることによって自励の音波を発生させる。この音波によって第２低温側熱交換器を冷却することができる。

[0003] 日本国特開２００８－１０１９１０号公報では、ループ管の長さ、ループ管に封入される作動流体の状態、第１のスタック及び第２のスタックの導通路の径等を適切に設定することでスタックにおける熱交換の効率性を向上させることが開示されている。

[0004] また、日本国特開２０１２－１５９２６６号公報（特許文献２）には、原動機と冷凍機が形成されたパイプ内に、移動する気体を遮断する遮断壁を設置することが開示されている。遮断壁は、気体の振動に随伴して振動可能に設置される。遮断壁により、気体の循環流がなくなる。その結果、気体の循環流に起因する冷却不足が防止される。

[0005] また、日本国特開２０１１－１２７８７０号公報（特許文献３）には、熱エネルギーを音エネルギーに変換する原動機が配置された第１ループ管と、音エネルギーを熱エネルギーに変換する受動器が配置された第２ループ管と、第１ループ管と第２ループ管を相互に接続する接続管を備える熱音響機関

が開示されている。接続管内に、第１ループ管の作動流体と第２ループ管の作動流体を隔離する振動子が設けられる。振動子は、作動流体の振動方向に振動自在に構成される。２つに隔離された作動流体と、振動子は、所定の共振周波数で振動する。その結果、第１ループ管及び第２ループ管のループ長で規定される周波数より低い周波数で、音波が発生する。そのため、第１ループ管及び第２ループ管のループ長の３倍以上の長さの共鳴管を、第１ループ管と第２ループ管の間に設けた場合と同じ効果が得られる。そのような長さの共鳴管が不要となることにより、熱音響機関の小型化、及び、音波の減衰の低減ができる。

先行技術文献

特許文献

[0006] 特許文献1：日本国特開２００８－１０１９１０号公報

特許文献2：日本国特開２０１２－１５９２６６号公報

特許文献3：日本国特開２０１１－１２７８７０公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] 上記従来技術では、熱音響装置の管内に振動可能な遮断壁又は振動子が設けられる。遮断板は、ループ管内の気体の循環を防ぐために設けられる。振動子は、２つのループ管の気体を隔離して振動を制御するために設けられる。

[0008] 本願は、熱音響装置において、振動板によってループ管の音波を増幅する技術を開示する。

課題を解決するための手段

[0009] 本発明の一態様における熱音響装置は、

ループ管と、

前記ループ管内に配置される第１スタックであって、前記第１スタック内の温度勾配によって前記ループ管に音波を発生させる第１スタックと、

前記ループ管内に配置される第２スタックであって、前記ループ管の音波によって前記第２スタック内に温度勾配を発生させる第２スタックと、

前記第１スタックの一方端に配置され、前記第１スタックの一方端を前記第１スタックの他方端より高温にする第１高温側熱交換器と、

前記第１スタックの他方端に配置され、前記第１スタックの他方端を一方端より低温にする第１低温側熱交換器と、

前記第２スタックの両端のうち前記第１高温側熱交換器側の端に配置される第２高温側熱交換器と、

前記第２スタックの両端のうち前記第１低温側熱交換器側の端に配置される第２低温側熱交換器と、

前記ループ管内の、前記第２スタックの前記第２高温側熱交換器が配置される端と、前記第１スタックの一方端との間に設けられ、前記ループ管の軸方向に振動可能な第１振動板とを備える。

発明の効果

[0010] 本願開示によれば、熱音響装置において、ループ管の音波を増幅することができる。

図面の簡単な説明

[0011] [図1]図１は、実施形態１における熱音響装置の構成例を示す図である。

[図2]図２は、第１振動板４が配置されたループ管３の断面図である。

[図3]図３は、第１振動板４の配置例を説明するための図である。

[図4]図４は、第１振動板４の他の配置例を説明するための図である。

[図5]図５は、第１振動板４の他の配置例を説明するための図である。

[図6]図６は、図１に示す第１スタック、第１高温側熱交換器、第１低温側熱交換器の構成例を示す断面図である。

[図7]図７は、図１に示す第１スタック、第１高温側熱交換器、第１低温側熱交換器の他の構成例を示す断面図である。

[図8]図８は、実施形態２における熱音響装置の構成例を示す図である。

[図9]図９は、第２振動板の配置例を説明するための図である。

[図10]図１０は、第２振動板の他の配置例を説明するための図である。

[図11]図１１は、第２振動板の他の配置例を説明するための図である。

[図12]図１２は、第１振動板４の損失係数ｔａｎδと熱音響装置の冷却効果の関係を測定した結果を示すグラフである。

[図13]図１３は、第１振動板４の被駆動周波数Ｄと、ループ管３の共振周波数Ｆの比（Ｄ／Ｆ）と熱音響装置の冷却効果の関係を測定した結果を示すグラフである。

[図14]図１４は、円形膜の振動板の固有モードと固有値の例を示す図である。

発明を実施するための形態

[0012] 本発明の一態様における熱音響装置は、ループ管と、前記ループ管内に配置される第１スタックであって、前記第１スタック内の温度勾配によって前記ループ管に音波を発生させる第１スタックと、前記ループ管内に配置される第２スタックであって、前記ループ管の音波によって前記第２スタック内に温度勾配を発生させる第２スタックと、前記第１スタックの一方端に配置され、前記第１スタックの一方端を前記第１スタックの他方端より高温にする第１高温側熱交換器と、前記第１スタックの他方端に配置され、前記第１スタックの他方端を一方端より低温にする第１低温側熱交換器と、前記第２スタックの両端のうち前記第１高温側熱交換器側の端に配置される第２高温側熱交換器と、前記第２スタックの両端のうち前記第１低温側熱交換器側の端に配置される第２低温側熱交換器と、前記ループ管内の、前記第２スタックの前記第２高温側熱交換器が配置される端と、前記第１スタックの一方端との間に設けられ、前記ループ管の軸方向に振動可能な第１振動板とを備える（第１の構成）。

[0013] 上記第１の構成において、第１高温側熱交換器及び第１低温側熱交換器により、第１スタックの一方端と他方端に温度勾配が生じる。第１スタックの温度勾配によってループ管内の作動流体に音波が発生する。この音波によって、第２スタック内に温度勾配が生じる。この温度勾配により、第２スタッ

クの第１低温側熱交換器側の端の温度が、第２スタックの第１高温側熱交換器側の端の温度より低くなる。例えば、第２スタックの第２高温側熱交換器によって、第２スタックの高温側の端の温度を制御することで、第２スタックの低温側の端の温度をより低く制御することができる。この場合、第２低温側熱交換器を介して、ループ管の外部の冷却対象を冷却することができる。熱音響装置では、第２スタックの第２高温側熱交換器が配置される端と、第１スタックの第１高温側熱交換器が配置される一方端との間に、第１振動板が設けられる。この位置に第１振動板を設けることにより、第１スタックの温度勾配により発生する音波を増幅することができる。その結果、音エネルギーと熱エネルギーの変換効率を高めることができる。ここで、第１振動板による音波の増幅は、音波の減衰を抑制する場合も含む。

[0014] 上記第１の構成において、前記第２スタックの両端のうち前記第２高温側熱交換器が配置される端、及び前記第１振動板は、前記第１スタックの一方端から前記ループ管の管長の２分の１の距離の位置を基準として、第１距離の範囲内に配置することができる。ここで、前記第１距離は、前記第１スタックの温度勾配によって前記ループ管に生じる１次モードの周波数の音波の振幅が、前記音波の最大振幅の１／$\sqrt{2}$倍から１倍となる前記ループ管の部分の長さに相当する距離である（第２の構成）。

[0015] 上記第２の構成では、第１スタックの高温側の一方端からループ管の管長の２分の１の距離の位置に対応するループ管の区間に、第１振動板と第２スタックの高温側の端が配置される。これにより、第１スタックの温度勾配により発生する音波を第１振動板によって増幅する効果をさらに高めることができる。

[0016] なお、上記の、「第１スタックの一方端からループ管の管長の２分の１の距離」、及び、「第１距離」における「距離」は、ループ管の経路の距離である。ループ管の経路の距離は、ループ管内の中心軸を通る経路の距離とする。以下に述べる「距離」についても同様である。

[0017] 上記第１又は第２の構成において、前記第２スタックの両端のうち前記第

２高温側熱交換器が配置される端と、前記第１振動板との距離は、前記ループ管の管長の１／４以下の長さである（第３の構成）。

[0018] 上記第３の構成では、第２スタックの高温側の端からループ管の管長の４分の１の距離の区間に、第１振動板が配置される。これにより、第１スタックの温度勾配により発生する音波を第１振動板によって増幅する効果をさらに高めることができる。

[0019] 上記第１～第２のいずれかの構成において、前記熱音響装置は、前記ループ管内において、前記第２スタックの両端のうち前記第２低温側熱交換器が配置される端と前記第１スタックの他方端との間に設けられ、前記ループ管の軸方向に振動可能な第２振動板をさらに備えてもよい（第４の構成）。第２振動板により、第１スタックの温度勾配により発生する音波をさらに増幅させることができる。

[0020] 上記第４の構成において、前記第２振動板は、前記第１スタックの両端のうち前記第１低温側熱交換器が配置される端から第２距離内に配置されてもよい。ここで、前記第２距離は、前記第１スタックの温度勾配によって前記ループ管に生じる１次モードの周波数の音波の振幅が、前記音波の最大振幅の１／√２倍から１倍となる前記ループ管の部分の長さに相当する距離である（第５の構成）。これにより、第２振動板により、第１スタックの温度勾配により発生する音波を増幅する効果をさらに高めることができる。また、前記第１スタックの両端のうち前記第１低温側熱交換器が配置される端と前記第２振動板との距離は、前記ループ管の管長の１／４以下の長さとすることもできる。この場合も同様に、第２振動板による音波増幅効果を高めることができる。

[0021] 上記第１～第５のいずれかの構成において、前記第１振動板の２５℃における共振周波数で振動時の損失係数ｔａｎδは、０≦ｔａｎδ≦０．５とすることができる（第６の構成）。好ましくは、第１振動板の損失係数ｔａｎδを、０≦ｔａｎδ≦０．２とすることができ、より好ましくは、０≦ｔａｎδ≦０．０２５とすることができる。すなわち、第１振動板の損失係数ｔ

ａｎδは、０．５以下が好ましく、０．２以下がより好ましく、０．０２５以下がさらに好ましい。また、第１振動板の損失係数ｔａｎδは、０以上とすることができる。このように、第１振動板の粘性を低くすることで、第１振動板により、第１スタックの温度勾配によって発生するループ管の音波の増幅効果をより高めることができる。

[0022] なお、第２振動板についても、前記第２振動板の２５℃における共振周波数で振動時の損失係数ｔａｎδ２は、０≦ｔａｎδ２≦０．５とすることができる。好ましくは、第２振動案の損失係数ｔａｎδ２を、０≦ｔａｎδ２≦０．２とすることができ、より好ましくは、０≦ｔａｎδ２≦０．０２５とすることができる。すなわち、第２振動板の損失係数ｔａｎδ２は、０．５以下が好ましく、０．２以下がより好ましく、０．０２５以下がさらに好ましい。また、第２振動板の損失係数ｔａｎδ２は、０以上とすることができる。これにより、第２振動板による音波増幅効果をより高めることができる。

[0023] 第１～第６のいずれかの構成において、前記第１振動板の被駆動周波数Ｄと、前記ループ管の共振周波数Ｆが、Ｄ／Ｆ≧０．８の関係を有する構成とすることができる（第７の構成）。これにより、第１振動板により、第１スタックの温度勾配によって発生するループ管の音波の増幅効果をより高めることができる。被駆動周波数Ｄは、ループ管の音波によって振動する第１振動板の周波数である。なお、第２振動板についても、前記第２振動板の被駆動周波数Ｄ２と、前記ループ管の共振周波数Ｆが、Ｄ２／Ｆ≧０．８の関係を有する構成とすることができる。これにより、第２振動板による音波増幅効果をより高めることができる。被駆動周波数Ｄ２は、ループ管の音波によって振動する第２振動板の周波数である。

[0024] 第１～第７のいずれかの構成において、前記第１振動板は、樹脂又は金属で形成することができる（第８の構成）。第１振動板を樹脂又は金属で形成することで、第１振動板の粘性が、音波増幅効果の観点から適切なものとなる。そのため、第１振動板により、第１スタックの温度勾配によって発生す

るループ管の音波の増幅効果をより高めることができる。なお、第２振動板も、樹脂又は金属で形成することができる。これにより、第２振動板による音波増幅効果をより高めることができる。

[0025] 第１～第８のいずれかの構成において、前記第１振動板は、第１スタックの温度勾配によって前記ループ管内に生じる１次モードの周波数の音波の腹の位置から第１距離の範囲内に配置されてもよい。ここで、前記第１距離は、前記第１スタックの温度勾配によって前記ループ管に生じる１次モードの周波数の音波の振幅が、前記音波の最大振幅の１／√２倍から１倍となる前記ループ管の部分の長さに相当する距離である（第９の構成）。

[0026] 上記第９の構成では、第１スタックの温度勾配によってループ管内に生じる１次モードの周波数の音波の腹の位置に対応するループ管の区間に、第１振動板が配置される。これにより、第１スタックの温度勾配により発生する音波を第１振動板によって増幅する効果をさらに高めることができる。また、前記第１距離を、前記ループ管の管長の１０分の１の長さとすることもできる。この場合も同様に、第１振動板による音波増幅効果を高めることができる。

[0027] 前記第２振動板は、第１スタックの温度勾配によって前記ループ管内に生じる１次モードの周波数の音波の腹の位置から第１距離の範囲内に配置されてもよい。これにより、第２振動板による音波増幅効果をより高めることができる。

[0028] 第１～９のいずれかの構成において、前記第１スタックの一方端から前記ループ管の管長の２分の１の距離の位置を挟んで互いに反対側に、前記第２スタックの両端のうち前記第２高温側熱交換器が配置される端と前記第１振動板とが配置されてもよい（第１０の構成）。すなわち、前記第１振動板と、前記第２スタックの高温側の端との間に、前記第１スタックの高温側の端から第２スタックの高温側へ向けてループ管の管長の２分の１の距離の位置が配置されてもよい。これにより、第１スタックの温度勾配により発生する音波を第１振動板によって増幅する効果をさらに高めることができる。

[0029] 第１～１０のいずれかの構成において、前記第１振動板は、前記第２スタックの両端のうち前記第２高温側熱交換器が配置される端から前記第１スタックの前記一方端までの管内の経路の中央の位置よりも、前記第２スタック寄りの位置に配置されてもよい（第１１の構成）。これにより、第１スタックの温度勾配により発生する音波を第１振動板によって増幅する効果をさらに高めることができる。

[0030] 以下、実施形態について図面を参照しつつ説明する。図中同一及び相当する構成については同一の符号を付し、同じ説明を繰り返さない。説明の便宜上、各図において、構成を簡略化又は模式化して示したり、一部の構成を省略して示したりする場合がある。

[0031] （実施形態１）

［熱音響装置の構成例］

図１は、本実施形態における熱音響装置の構成例を示す図である。熱音響装置１０は、１つのループ管３と、ループ管３内に設けられた第１スタック１３及び第２スタック２３を備える。ループ管３には、作動流体が封入される。作動流体は、例えば、空気、窒素、ヘリウム、アルゴン、又はそれらのうち少なくとも２つの混合気とすることができる。ループ管３には、枝管は接続されない。

[0032] 第１スタック１３は、ループ管３の長さ方向（軸方向又は管内経路の方向とも称することができる）に貫通する複数の導通路１３ｋを有する。第２スタック２３も、ループ管３の長さ方向に貫通する複数の導通路２３ｋを有する。導通路１３ｋ、２３ｋは、作動流体の流路となっている。すなわち、第１スタック１３及び第２スタック２３において、導通路１３ｋ、２３ｋ内を作動流体が移動可能となっている。作動流体は、第１スタック１３及び第２スタック２３を、ループ管３の長さ方向に通り抜けることができる。なお、スタックは、蓄熱器と称することもできる。

[0033] 第１スタック１３内の温度勾配が臨界点を越えると、スタック１３内の作動流体が振動する。第２スタック２３内の温度勾配が臨界点を越えると、ス

タック２３内の作動流体が振動する。作動流体の振動は音波を発生させる。その結果、ループ管３内の作動流体に定在波を含む音波が発生する。また、ループ管３内の音波によって、第１スタック１３又は第２スタック２３内の作動流体が振動すると、第１スタック１３又は第２スタック２３内に温度勾配が発生する。温度勾配は、第１スタック１３のループ管３の長さ方向における一方端（一方側）１３Ａと他方端（他方側）１３Ｂの間に発生する。同様に、第２スタック２３のループ管３の長さ方向における一方端（一方側）２３Ａと他方端（他方側）２３Ｂの間に温度勾配が発生する。このように、第１スタック１３及び第２スタック２３は、熱エネルギーと音エネルギーを相互に変換することができる。

[0034] 第１スタック１３及び第２スタック２３は、例えば、ループ管３の長さ方向に延びる複数の壁によって、導通路１３ｋ、２３ｋを形成する構造とすることができる。この場合、ループ管３の長さ方向に垂直な断面における複数の壁の形状を、例えば、格子状とすることができる。又は、第１スタック１３及び第２スタック２３は、ループ管３の長さ方向に伸びる柱状体に、同長さ方向に貫通する複数の孔を設けた構造とすることもできる。又は、第１スタック１３及び第２スタック２３は、ループ管３の長さ方向に伸び、ループ管３の長さ方向に貫通する孔を有する中空の柱を複数並べた構造とすることができる。この場合、例えば、各柱の軸方向に垂直な面の断面を六角形とすることで、柱を隙間なく並べることができる。すなわち、第１スタック１３及び第２スタック２３を、ハニカム構造とすることができる。

[0035] 第１スタック１３及び第２スタック２３は、例えば、金属、又は、セラミック等で形成することができる。第１スタック１３及び第２スタック２３は、多数の導通路１３ｋ、２３ｋを有することが好ましい。導通路１３ｋ、２３ｋの各々のループ管３の方向に垂直な断面の面積は、ループ管３の内部の同断面の面積に比べて十分小さいことが好ましい。なお、第１スタック１３と第２スタック２３は、必ずしも同じ構成でなくてもよい。

[0036] 本実施形態では、第１スタック１３の一方端１３Ａの温度が他方端１３Ｂ

の温度より高くなるよう温度勾配が発生する。第１スタック１３内の温度勾配により、ループ管３に音波が発生する。第１スタック１３内の温度勾配により発生した音波によって、第２スタック２３内に温度勾配が発生する。

[0037] 第１スタック１３及び第２スタック２３のそれぞれの一方端１３Ａ、２３Ａと他方端１３Ｂ、２３Ｂには、熱交換器１４、２４、１２、２２が設けられる。熱交換器１４、２４、１２、２２は、ループ管３の外部と第１スタック１３又は第２スタック２３との間で熱を交換する。熱音響装置１０の動作時は、ループ管３内に音波が生じ、第１スタック１３の一方端１３Ａと他方端１３Ｂの間、及び第２スタック２３の一方端２３Ａと他方端２３Ｂとの間に温度勾配が生じる。第１スタック１３の両端のうち、熱音響装置１０の動作時に温度勾配で高温となる一方端１３Ａに配置される熱交換器１４を第１高温側熱交換器１４とし、低温となる他方端１３Ｂに配置される熱交換器１２を第１低温側熱交換器１２とする。第２スタック２３の両端のうち、熱音響装置１０の動作時に温度勾配で高温となる一方端２３Ａに設けられる熱交換器２４を第２高温側熱交換器２４とし、低温となる他方端２３Ｂに設けられる熱交換器２２を第２低温側熱交換器２２とする。なお、熱交換器１４、２４、１２、２２は、必ずしも、スタック１３、２３の一方端１３Ａ、２３Ａ又は他方端１３Ｂ、２３Ｂに接していなくてもよい。

[0038] 第１高温側熱交換器１４は、第１スタック１３の一方端１３Ａに対応する位置に配置される。第１高温側熱交換器１４は、例えば、ループ管３内に配置される管内部分と、ループ管３外に配置される管外部分を含んでもよい。管内部分は、ループ管３内の第１スタック１３の一方端１３Ａに対向し、複数の導通路を有する構成とすることができる。管外部分は、ループ管３の外周面の第１スタック１３の一方端１３Ａに対応する位置に配置される構成とすることができる。

[0039] 第１低温側熱交換器１２は、第１スタック１３の他方端１３Ｂに対応する位置に配置される。第１低温側熱交換器１２は、例えば、ループ管３内に配置される管内部分と、ループ管３外に配置される管外部分を含んでもよい。

管内部分は、ループ管３内の第１スタック１３の他方端１３Ｂに対向し、複数の導通路を有する構成とすることができる。管外部分は、ループ管３の外周面の第１スタック１３の他方端１３Ｂに対応する位置に配置される構成とすることができる。このように、第１スタック１３のループ管３の長さ方向の両端に、第１高温側熱交換器１４及び第１低温側熱交換器１２が配置される。第１高温側熱交換器１４及び第１低温側熱交換器１２は、第１スタック１３を挟むように配置される。

[0040] 第１高温側熱交換器１４は、ループ管３の外部からの熱により第１スタック１３の一方端１３Ａを加熱する。第１高温側熱交換器１４により、第１スタック１３の一方端１３Ａは、他方端１３Ｂより高温になる。第１高温側熱交換器１４は、外部の熱源３０に熱伝導可能に接続される。熱源３０の熱は、第１高温側熱交換器１４を介して第１スタック１３の一方端１３Ａへ伝わる。

[0041] 第１低温側熱交換器１２は、ループ管３の外部と第１スタック１３の他方端１３Ｂとの間で熱を伝導することにより、第１スタック１３の他方端１３Ｂの温度を調整する。例えば、第１低温側熱交換器１２は、第１スタック１３の他方端１３Ｂの温度を所定の基準温度より上がらないようにすることができる。第１低温側熱交換器１２により、第１スタック１３の他方端１３Ｂが一方端１３Ａより低温になる。このようにして、第１高温側熱交換器１４及び第１低温側熱交換器１２によって、第１スタック１３の一方端１３Ａと他方端１３Ｂの間の温度勾配（温度差）を制御することができる。

[0042] 第１低温側熱交換器１２、第１スタック１３、及び第１高温側熱交換器１４は、入力された熱を作動流体の振動に変換して音波を発生させる熱音響原動機（熱音響エンジン）を構成する。

[0043] 本実施形態では、第１スタック１３内に生じた温度勾配によって発生した音波により第２スタック２３内に温度勾配が生じると、第２スタック２３の他方端２３Ｂの温度が、一方端２３Ａの温度より低くなる。第２高温側熱交換器２４は、第１スタック１３内の温度勾配に起因して第２スタック２３内

に温度勾配が生じた際に、高温となる一方端２３Ａに設けられる。第２低温側熱交換器２２は、第１スタック１３の温度勾配に起因して第２スタック２３に温度勾配が生じた際に、低温となる他方端２３Ｂに設けられる。

[0044] 言い換えれば、第２高温側熱交換器２４は、第２スタック２３の両端のうち第１高温側熱交換器１４側の端（一方端２３Ａ）に配置される。第２低温側熱交換器２２は、第２スタック２３の両端のうち第１低温側熱交換器１２側の端（他方端２３Ｂ）に配置される。ここで、第１高温側熱交換器１４へ向くとは、ループ管３内の経路において第１高温側熱交換器１４へ向いていることである。すなわち、第１高温側熱交換器１４へ向くスタック２３の一方端２３Ａから出て、ループ管３内の経路を進むと、第１低温側熱交換器１２よりも先に、第１高温側熱交換器１４に到達する。同様に、第１低温側熱交換器１２に向くとは、ループ管３内の経路において第１低温側熱交換器１２へ向いていることである。すなわち、第１低温側熱交換器１２へ向くスタック２３の他方端２３Ｂから出て、ループ管３内の経路を進むと、第１高温側熱交換器１４よりも先に、第１低温側熱交換器１２に到達する。

[0045] 第２高温側熱交換器２４は、第２スタック２３の一方端２３Ａに対応する位置に配置される。第２高温側熱交換器２４は、例えば、ループ管３内に配置される管内部分と、ループ管３外に配置される管外部分を含んでもよい。管内部分は、ループ管３内の第２スタック２３の一方端２３Ａに対向し、複数の導通路を有する構成とすることができる。管外部分は、ループ管３の外周面の第２スタック２３の一方端２３Ａに対応する位置に配置される構成とすることができる。

[0046] 第２低温側熱交換器２２は、第２スタック２３の他方端２３Ｂに対応する位置に配置される。第２低温側熱交換器２２は、例えば、ループ管３内に配置される管内部分と、ループ管３外に配置される管外部分を含んでもよい。管内部分は、ループ管３内の第２スタック２３の他方端２３Ｂに対向し、複数の導通路を有する構成とすることができる。管外部分は、ループ管３の外周面の第２スタック２３の他方端２３Ｂに対応する位置に配置される構成と

することができる。このように、第２スタック２３のループ管３の長さ方向の両端に、第２高温側熱交換器２４及び第２低温側熱交換器２２が配置される。第２高温側熱交換器２４及び第２低温側熱交換器２２は、第２スタック２３を挟むように配置される。

[0047] 第２高温側熱交換器２４は、ループ管３の外部と第２スタック２３の一方端２３Ａとの間で熱を伝導することにより、第２スタック２３の一方端２３Ａの温度を調整する。例えば、第２高温側熱交換器２４は、第２スタック２３の一方端２３Ａの温度を一定に保つことができる。

[0048] 第２低温側熱交換器２２は、ループ管３の外部の熱を吸収して、第２スタック２３の他方端２３Ｂへ取り込む。これにより、ループ管３の外部を冷却する。言い換えれば、第２低温側熱交換器２２は、第２スタック２３内に生じた温度勾配によって温度が低下した第２スタック２３の他方端２３Ｂの冷熱を取り出し、ループ管３の外部へ伝える。第２低温側熱交換器２２は、例えば、ループ管３の外部の冷却対象４０に熱伝導可能に接続される。

[0049] 第２低温側熱交換器２２、第２スタック２３、及び第２高温側熱交換器２４は、音波（作動流体の振動）から温度勾配を発生させる熱音響ヒートポンプを構成する。

[0050] 図１に示す構成において、熱源３０の熱は、第１高温側熱交換器１４を介して、第１スタック１３の一方端１３Ａに伝えられる。これにより、第１スタック１３の一方端１３Ａが、加熱される。第１低温側熱交換器１２は、ループ管３の外部と第１スタック１３の他方端１３Ｂとの間で熱を伝導することにより、第１スタック１３の他方端１３Ｂを所定の第１基準温度（例えば、室温）以下に維持する。これにより、第１スタック１３の一方端１３Ａの温度は他方端１３Ｂの温度より高くなる。すなわち、第１スタック１３の一方端１３Ａと他方端１３Ｂとの間に温度勾配（温度差）が発生する。

[0051] 第１スタック１３内の温度勾配が臨界点を超えると、第１スタック１３内の作動流体が振動して音波が生じる。第１スタック１３内の作動流体の振動は、ループ管３内の作動流体に伝わる。これにより、ループ管３内には、音

波が発生する。音波の振動により、第２スタック２３の作動流体が振動する。第２スタック２３内の作動流体が振動すると、第２スタック２３内に温度勾配（温度勾配）が生じる。すなわち、第２スタック２３の一方端２３Ａの温度が、他方端２３Ｂの温度より高くなる。

[0052] 第２高温側熱交換器２４は、ループ管３の外部と第２スタック２３の一方端２３Ａとの間で熱を伝導することにより、第２スタック２３の一方端２３Ａを所定の第２基準温度（例えば、室温）に維持する。そのため、第２スタック２３内に温度勾配が生じると、第２スタック２３の他方端２３Ｂの温度は、第２基準温度より低くなる。すなわち、第２スタック２３の他方端２３Ｂは冷却される。第２低温側熱交換器２２は、第２スタック２３の他方端２３Ｂの冷熱をループ管３の外部の冷却対象４０へ伝える。これにより、冷却対象４０が冷却される。

[0053] ［振動板の構成例］

従来、熱音響装置のループ管の作動流体を隔離する遮断壁により、気体の移動を遮断することが行われていた（例えば、日本国特開２０１２－１５９２６６号公報（特許文献１）参照）。このようなループ管内の遮断壁は、熱音響装置の動作に必要な音波の振動を妨げないことが好ましい。遮断壁は、音波の振動を妨げないために振動可能に構成されていた。発明者らは、ループ管に設ける振動膜の様々な構成について検討したところ、ループ管内に振動板を設けることにより、ある条件下では、ループ管内の音波を増幅できる場合があることを見出した。そして、さらなる検討の結果、発明者らは、第１スタックの高温側の端と、第２スタックの高温側の端との間のループ管の経路上に振動板を設けることで、熱音響装置の動作に寄与するループ管内の音波を増幅できることを見出した。本実施形態の熱音響装置１０の構成は、このような知見に基づいている。

[0054] ループ管３内の、第２スタック２３の第２高温側熱交換器２４が配置される一方端２３Ａと、第１スタック１３の第１高温側熱交換器１４が配置される一方端１３Ａとの間に、第１振動板４が設けられる。第１振動板４は、ル

ープ管３の軸方向（長さ方向）に振動可能な板である。第１振動板４は、板状の弾性体で形成される。第１振動板４は、ループ管３内において、第１スタック１３の一方端１３Ａと、第２スタック２３の一方端２３Ａの間のループ管３の経路Ｋ１上に配置される。この位置に第１振動板４を配置することで、第１スタック１３の温度勾配により発生したループ管３内の音波を、第１振動板４によって増幅することができる。また、この位置に配置された第１振動板４により、第１スタックの温度勾配により発生した音波の周波数が調整される。これにより、熱音響効果の効率を向上させることができる。

[0055] 図１に示す例では、第１振動板４は、第１スタック１３の一方端１３Ａから、第２スタック２３の一方端２３Ａまでのループ管３内の経路Ｋ１の中央Ｈの位置よりも、第２スタック２３寄りの位置（経路Ｋ２上の位置）に配置される。これにより、第１振動板４による音波の増幅効果を高めることができる。好ましくは、第１スタック１３の一方端１３Ａから第２スタック２３の一方端２３Ａまでのループ管３内の経路Ｋ１のうち、第２スタック２３側の４分の１の範囲内の位置（経路Ｋ３上の位置）に、第１振動板４を設けることができる。

[0056] 図２は、第１振動板４が配置されたループ管３の断面図である。図２は、ループ管３の中心軸Ｊを含む面における第１振動板４及びループ管３の断面を示している。図２に示すように、第１振動板４の端部は、ループ管３の内面に固定される。第１振動板４の表面は、ループ管３の中心軸Ｊに垂直に配置される。第１振動板４は、ループ管３の軸方向（長さ方向）に振動可能となる。図２の例では、第１振動板４の中心部（ループ管３の中心軸Ｊが通る部分）で、振幅Ｗが最も大きくなる。

[0057] ［振動板の配置位置］

発明者らは、第１振動板４の配置位置について鋭意検討した結果、下記の第１振動板４の配置例に想到した。

[0058] ＜第１振動板の配置例１＞

図３は、第１振動板４の配置例を説明するための図である。図３は、説明

を分かりやすくするために、図１に示すループ管３を直線状に展開して示している。図３に示す配置例では、第１振動板４と第２スタック２３の第２高温側熱交換器２４が配置される一方端２３Ａは、第１スタック１３の一方端１３Ａからループ管３の管長Ｌの２分の１の距離（Ｌ／２）の位置Ｔに対して、第１距離Ｃ１内に配置される。第１距離Ｃ１は、例えば、ループ管３の管長Ｌの１０分の１の長さ（Ｌ／１０）とすることができる。発明者らは、このように第１距離Ｃ１を設定することで、第１スタック１３の温度勾配により発生する音波を第１振動板４によって増幅する効果をさらに高めることができることを見出した。

[0059] また、第１距離Ｃ１は、ループ管３の管長Ｌの２０分の１の長さ（Ｌ／２０）としてもよい。これにより、第１振動板４による音波増幅効果をより高めることができる。また、第２スタック２３の両端のうち、第２高温側熱交換器２４が配置される一方端２３Ａと、第１振動板４との距離Ｆ１が、ループ管３の管長Ｌの１／４以下の長さ（すなわち、Ｆ１≦Ｌ／４）になるように、第１振動板４は配置される。この構成においても、第１振動板４による音波増幅効果を高めることができる。好ましくは、距離Ｆ１をループ管３の管長Ｌの１／８以下の長さ（すなわち、Ｆ１≦Ｌ／８）とすることができる。

[0060] ＜第１振動板の配置例２＞

図４は、第１振動板４の他の配置例を説明するための図である。図４は、説明を分かりやすくするために、図１に示すループ管３を直線状に展開して示している。また、図４の下部に、スタック１２の温度勾配によってループ管３に発生する１次モードの周波数の音波ＴＷの波形例を示している。図４に示す例では、図３と同様に、第１振動板４と第２スタック２３の第２高温側熱交換器２４が配置される一方端２３Ａは、第１スタック１３の一方端１３Ａからループ管３の管長Ｌの２分の１の距離（Ｌ／２）の位置Ｔに対して、第１距離Ｃ１内に配置される。

[0061] 図４に示す配置例では、第１距離Ｃ１が、第１スタック１３の温度勾配に

よって生じるループ管３の１次モードの周波数の音波の形状によって決められる。図４に示す例では、第１距離Ｃ１は、第１スタック１３の温度勾配によってループ管３に生じる１次モードの周波数の音波の振幅ＴＡが最大振幅Ｍの１／√２倍から１倍（（１／√２）Ｍ≦ＴＡ≦Ｍ）となるループ管３の連続する区間の長さ（距離）Ｄ１に相当する距離である（Ｃ１＝Ｄ１）。発明者らは、このように第１距離Ｃ１を設定することで、第１スタック１３の温度勾配により発生する音波を第１振動板４によって増幅する効果をさらに高めることができることを見出した。

[0062] また、第１距離Ｃ１は、第１スタック１３の温度勾配によってループ管３に生じる１次モードの周波数の音波の振幅ＴＡが、最大振幅Ｍの０．９倍から１倍（０．９Ｍ≦ＴＡ≦Ｍ）となるループ管３の連続する区間の長さ（距離）に相当する距離としてもよい。

[0063] 図３及び図４に示す例では、第１スタック１３の一方端１３Ａから第２スタック２３の一方端２３Ａへ向かってループ管３の管長の２分の１の距離の位置Ｔを挟んで、互いに反対側に、第２スタック２３の一方端２３Ａと、第１振動板４とが配置される。発明者らは、このように、第１スタック１３、第２スタック２３及び第１振動板４を配置することで、第１スタック１３の温度勾配により発生する音波を第１振動板４によって増幅する効果をさらに高めることができることを見出した。

[0064] なお、第２スタック２３の一方端２３Ａ及び第１振動板４が、いずれも、上記位置Ｔから第１距離Ｃ１内であって、上記位置Ｔに対して同じ側に配置してもよい。

[0065] ＜第１振動板の配置例３＞

図５は、第１振動板４の他の配置例を説明するための図である。図５は、説明を分かりやすくするために、図１に示すループ管３を直線状に展開して示している。また、図５の下部に、スタック１２の温度勾配によってループ管３に発生する１次モードの周波数の音波ＴＷの波形例を示している。図５に示す配置例では、第１振動板４は、第１スタック１３の温度勾配によって

ループ管３内に生じる１次モードの周波数の音波の腹Ｕの位置から第１距離Ｃ１の範囲内に配置される。本例では、腹Ｕの位置は、１次モードの周波数の音波の振幅が最も大きくなる位置のうち、第１スタック１３から遠い方の位置である。

[0066] 第１距離Ｃ１は、第１スタック１３の温度勾配によってループ管３に生じる１次モードの周波数の音波の振幅ＴＡが、音波の最大振幅Ｍの１／√２倍から１倍（（１／√２）Ｍ≦ＴＡ≦Ｍ）となる前記ループ管の連続する区分の長さＤ１に相当する距離である（Ｃ１＝Ｄ１）。また、第１距離Ｃ１は、上記音波の振幅ＴＡが、最大振幅Ｍの０．９倍から１倍（０．９Ｍ≦ＴＡ≦Ｍ）となるループ管３の連続する区間の長さに相当する距離としてもよい。発明者らは、このように第１距離Ｃ１を設定することで、第１スタック１３の温度勾配により発生する音波を第１振動板４によって増幅する効果をさらに高めることができることを見出した。

[0067] なお、図５において、第１距離Ｃ１は、例えば、ループ管３の管長Ｌの１０分の１の長さ（Ｌ／１０）又は、ループ管３の管長Ｌの２０分の１の長さ（Ｌ／２０）とすることができる。発明者らは、このように、音波の腹Ｕからの第１距離Ｃ１を設定することで、第１スタック１３の温度勾配により発生する音波を第１振動板４によって増幅する効果をさらに高めることができることを見出している。

[0068] ［スタックの端］

図６は、図１に示す第１スタック１３、第１高温側熱交換器１４、第１低温側熱交換器１２の構成例を示す断面図である。図６に示す例では、第１低温側熱交換器１２は、管内部分１２ｂと、管外部分１２ａを含む。管内部分１２ｂは、ループ管３内に、第１スタック１３の他方端１３Ｂに対向して配置される。管内部分１２ｂは、ループ管３の長さ方向に貫通する複数の導通路を有する。導通路を作動流体が通り抜けることができる。

[0069] 管外部分１２ａは、第１スタック１３の他方端１３Ｂの径方向外側のループ管３の外周面を囲むように形成される。管外部分１２ａは、ループ管３の

外周面を囲む流路１２ｃを有する。流路１２ｃには流体５が流れる。流体５は、ループ管３の外周面を周方向に沿って流れる。図示しないが、流路１２ｃは、流体５が流入する流入口と、流体５が流出する流出口を有する。

[0070] 第１高温側熱交換器１４は、管内部分１４ｂと、管外部分１４ａを含む。管内部分１４ｂは、ループ管３内に、第１スタック１３の一方端１３Ａに対向して配置される。管内部分１４ｂは、ループ管３の長さ方向に貫通する複数の導通路を有する。導通路を作動流体が通り抜けることができる。管外部分１４ａは、第１スタック１３の一方端１３Ａの径方向外側のループ管３の外周面を囲むように形成される。管外部分１４ａは、金属等の熱伝導体で形成される。

[0071] 図６に示す例では、第１スタック１３の一方端１３Ａは、第１高温側熱交換器１４の管内部分１４ｂに対向する面となる。第１スタック１３の他方端１３Ｂは、第１低温側熱交換器１２の管内部分１２ｂに対向する面となる。第２スタック２３も、図６と同様の構成にすることができる。この場合、第２スタック２３の一方端２３Ａは、第２高温側熱交換器２４の管内部分に対向する面となる。第２スタック２３の他方端２３Ｂは、第２低温側熱交換器２２の管内部分に対向する面となる。なお、第２スタック２３では、第２高温側熱交換器２４の管外部分に、図６に示す流路１２ｃと同様の流路を設けることができる。

[0072] 図７は、図１に示す第１スタック１３、第１高温側熱交換器１４、第１低温側熱交換器１２の他の構成例を示す断面図である。図７に示す例では、第１高温側熱交換器１４、第１低温側熱交換器１２は、管内部分を有さず、管外部分１４ａ、１２ａで構成される。管外部分１４ａは、第１スタック１３の一方端１３Ａから第１スタック１３の内側に入った部分を、ループ管３の外周から取り囲むように設けられる。管外部分１２ａは、第１スタック１３の他方端１３Ｂから第１スタック１３の内側に入った部分を、ループ管３の外周から取り囲むように設けられる。

[0073] 図７に示す構成では、第１スタック１３のループ管３の長さ方向における

両端面のうち、第１高温側熱交換器１４が設けられた方の端面が、一方端１３Ａとなり、第１低温側熱交換器１２が設けられた方の端面が、他方端１３Ｂとなる。第２スタック２３を、図７と同様に構成した場合、第２スタック２３のループ管３の長さ方向における両端面のうち、第２高温側熱交換器２４が設けられた方の端面が、一方端２３Ａとなり、第２低温側熱交換器２２が設けられた方の端面が、他方端２３Ｂとなる。

[0074] （実施形態２）

図８は、本実施形態における熱音響装置の構成例を示す図である。図８に示す熱音響装置１０は、図１に示す構成において、第２振動板６を追加した構成である。第２振動板６は、ループ管３内の、第２スタック２３の第２低温側熱交換器２２が配置される他方端２３Ｂと、第１スタック１３の他方端１３Ｂとの間に設けられる。第２振動板６は、ループ管３の軸方向（長さ方向）に振動可能である。第２振動板６は、板状の弾性体で形成される。第２振動板６は、第１スタック２３の他方端１３Ｂと、第２スタック２３の他方端２３Ｂの間のループ管３の経路Ｋ４上に配置される。この位置に第２振動板６を配置することで、第１スタック１３の温度勾配により発生したループ管３内の音波を、第２振動板６によってさらに増幅することができる。

[0075] 図８に示す例では、第２振動板６は、第１スタック１３の他方端１３Ｂから、第２スタック２３の他方端２３Ｂまでのループ管３内の経路Ｋ６の中央Ｈ２の位置よりも、第１スタック１３寄りの位置（経路Ｋ５上の位置）に配置される。これにより、第２振動板６による音波の増幅効果を高めることができる。好ましくは、第１スタック１３の他方端１３Ｂから第２スタック２３の他方端２３Ｂまでのループ管３内の経路Ｋ４のうち、第１スタック１３側の４分の１の範囲内の位置（経路Ｋ６上の位置）に、第２振動板６を設けることができる。

[0076] ＜第２振動板の配置例１＞

図９は、第２振動板６の配置例を説明するための図である。図９は、説明を分かりやすくするために、図８に示すループ管３を直線状に展開して示し

ている。図９に示す配置例では、第２振動板６は、第１スタック１３の第１低温側熱交換器１２が配置される他方端１３Ｂから第２距離Ｃ２内に配置される。第２距離Ｃ２は、例えば、ループ管３の管長Ｌの４分の１の長さ（Ｌ／４）とすることができる。すなわち、第１スタック１３の他方端１３Ｂと第２振動板６との距離は、ループ管３の管長Ｌの１／４以下とすることができる。発明者らは、このように第２距離Ｃ２を設定することで、第１スタック１３の温度勾配により発生する音波を第２振動板６によって増幅する効果をさらに高めることができることを見出した。また、第２距離Ｃ２は、ループ管３の管長Ｌの８分の１の長さ（Ｌ／８）としてもよい。これにより、第２振動板６による音波増幅効果をより高めることができる。さらに好ましくは、第２距離Ｃ２を、ループ管３の管長Ｌの２０分の１の長さ（Ｌ／２０）とすることもできる。

[0077] ＜第２振動板の配置例２＞

図１０は、第２振動板６の他の配置例を説明するための図である。図１０は、図８に示すループ管３を直線状に展開して示している。また、図１０の下部に、スタック１２の温度勾配によってループ管３に発生する１次モードの周波数の音波ＴＷの波形例を示している。図１０に示す例では、図９と同様に、第２振動板６は、第１スタック１３の他方端１３Ｂから第２距離Ｃ２内に配置される。

[0078] 図１０に示す配置例では、第２距離Ｃ２が、第１スタック１３の温度勾配によって生じるループ管３の１次モードの周波数の音波の形状によって決められる。図１０に示す例では、第２距離Ｃ２は、第１スタック１３の温度勾配によってループ管３に生じる１次モードの周波数の音波の振幅ＴＡが、音波の最大振幅Ｍの１／√２倍から１倍（（１／√２）Ｍ≦ＴＡ≦Ｍ）となるループ管３の連続する区間の長さ（距離）Ｄ１に相当する距離である（Ｃ２＝Ｄ１）。発明者らは、このように第２距離Ｃ２を設定することで、第２スタック２３の温度勾配により発生する音波を第２振動板６によって増幅する効果をさらに高めることができることを見出した。

[0079] また、第２距離Ｃ２は、第１スタック１３の温度勾配によってループ管３に生じる１次モードの周波数の音波の振幅ＴＡが、最大振幅Ｍの０．９倍から１倍（０．９Ｍ≦ＴＡ≦Ｍ）となるループ管３の連続する区間の長さに相当する距離としてもよい。

[0080] ＜第２振動板の配置例３＞

図１１は、第２振動板６の他の配置例を説明するための図である。図１１は、説明を分かりやすくするために、図８に示すループ管３を直線状に展開して示している。また、図１１の下部に、スタック１２の温度勾配によってループ管３に発生する１次モードの周波数の音波ＴＷの波形例を示している。図１１に示す配置例では、第２振動板６は、第１スタック１３の温度勾配によってループ管３内に生じる１次モードの周波数の音波の腹Ｕ２の位置から第２距離Ｃ２の範囲内に配置される。本例では、腹Ｕ２の位置は、１次モードの周波数の音波の振幅が最も大きくなる位置Ｕ１、Ｕ２のうち、第１スタック１３から近い方の位置である。

[0081] 第２距離Ｃ２は、第１スタック１３の温度勾配によってループ管３に生じる１次モードの周波数の音波の振幅ＴＡが、音波の最大振幅Ｍの１／√２倍から１倍（（１／√２）Ｍ≦ＴＡ≦Ｍ）となる前記ループ管３の連続する区間の長さＤ１に相当する距離である（Ｃ２＝Ｄ１）。また、第２距離Ｃ２は、上記音波の振幅ＴＡが、音波の最大振幅Ｍの０．９倍から１倍（０．９Ｍ≦ＴＡ≦Ｍ）となるループ管３の連続する区間の長さに相当する距離としてもよい。発明者らは、このように第２距離Ｃ２を設定することで、第１スタック１３の温度勾配により発生する音波を第２振動板６によって増幅する効果をさらに高めることができることを見出した。

[0082] なお、図１１において、第２距離Ｃ２は、例えば、ループ管３の管長Ｌの４分の１の長さ（Ｌ／４）、又は、ループ管３の管長Ｌの８分の１の長さ（Ｌ／８）、若しくは、ループ管３の管長Ｌの２０分の１の長さ（Ｌ／２０）とすることができる。発明者らは、このように、音波の腹Ｕ２からの第２距離Ｃ２を設定することで、第１スタック１３の温度勾配により発生する音波

を第２振動板６によって増幅する効果をさらに高めることができることを見出している。

[0083] なお、上記図９～図１１に示す第２振動板６の配置例１～３において、第１振動板４の配置は、例えば、上記図３～５に示す第１振動板４の配置例１～３のいずれかにすることができる。また、上記図９～図１１に示す第２振動板６の配置例１～３において、第１振動板４と第２振動板６との距離Ｅ１は、例えば、ループ管３の管長Ｌの２分の１とすることができる。これにより、第２振動板６の追加による音波の増幅効果を、より高めることができる。

[0084] ［振動板の材料］

上記実施形態１、２における第１振動板４及び第２振動板６は、例えば、金属又は樹脂で形成することができる。発明者らは、第１スタック１３の温度勾配により発生するループ管３の音波を効率よく増幅するための第１振動板４及び第２振動板６の材料について、種々の検討を行った。その結果、音波の増幅の観点からは、第１振動板４及び第２振動板６は、ゴムのように粘性が高い材料よりも、樹脂又は金属のように、粘性が低い材料が好ましいことがわかった。

[0085] 例えば、第１振動板４の２５℃における共振周波数で振動時の損失係数ｔａｎδは、０≦ｔａｎδ≦０．５であることが好ましい。損失係数ｔａｎδが０．５以下の材料で第１振動板４を形成することで、第１振動板４による音波増幅効果がより得られやすくなる。また、０≦ｔａｎδ≦０．２とすることがより好ましく、０≦ｔａｎδ≦０．０２５とすることがさらに好ましい。

[0086] 同様に、第２振動板６の２５℃における共振周波数で振動時の損失係数ｔａｎδは、０≦ｔａｎδ≦０．５であることが好ましい。損失係数ｔａｎδが０．５以下の材料で第２振動板６を形成することで、第２振動板６による音波増幅効果がより得られやすくなる。また、０≦ｔａｎδ≦０．２とすることがより好ましく、０≦ｔａｎδ≦０．０２５とすることがさらに好まし

い。

[0087] 図１２は、第１振動板４の損失係数ｔａｎδと熱音響装置１０の冷却効果の関係を測定した結果を示すグラフである。図１２に示す測定では、様々な損失係数の振動板を、図１に示す熱音響装置１０の第１振動板４として用いて、熱音響装置１０の冷却効果を測定した。冷却効果は、熱音響装置１０の動作時の第２低温側熱交換器２２と第２高温側熱交換器２４の温度差を所定の基準温度で除した値で表される。損失係数ｔａｎδは、損失弾性率G”/貯蔵弾性率G’であり、粘性と弾性の比と考えることができる。損失係数ｔａｎδの測定は、動的粘弾性測定装置を用いた。すなわち、振動板に応力を入力し、入力応力に対する応答の位相差δを測定した。損失係数ｔａｎδの測定は、２５℃の雰囲気下で、第１振動板４の共振周波数で振動する応力を、第１振動板４に加えて、第１振動版４の応答変形の入力応力に対する位相差を測定することにより行った。

[0088] 図１２に示す測定結果から、第１振動板４の損失係数ｔａｎδが、０≦ｔａｎδ≦０．０２５の範囲において、熱音響装置１０による冷却効果が特に良好となることがわかった。また、第１振動板４の損失係数ｔａｎδが、０．０２０以下の場合に、さらに良好な冷却効果が得られた。

[0089] また、発明者らは、第１振動板４の被駆動周波数Ｄと、ループ管３の共振周波数Ｆの比（Ｄ／Ｆ）を１に近づけることで、第１スタック１３の温度勾配により発生するループ管３の音波を効率よく増幅することができることを見出した。例えば、Ｄ／Ｆの下限は、Ｄ／Ｆ≧０．８とすることが好ましく、Ｄ／Ｆ≧０．８５とすることがより好ましく、Ｄ／Ｆ≧０．９とすることがさらに好ましい。Ｄ／Ｆの上限は、例えば、Ｄ／Ｆ≦１．１とするのが好ましく、Ｄ／Ｆ≦１．０とするのがさらに好ましい。Ｄ／Ｆの範囲は、例えば、１．１≧Ｄ／Ｆ≧０．８とするのが好ましく、１．０≧Ｄ／Ｆ≧０．８５とするのがより好ましい。

[0090] なお、被駆動周波数Ｄとは、ループ管３の音波の振動によって振動する第１振動板４の周波数である。この被駆動周波数Ｄとループ管３の共振周波数

Ｆとの比（Ｄ／Ｆ）を１に近づけるには、例えば、第１振動板４に、ループ管３の共振周波数Ｆに近い値の共振周波数を設定することで実現できる。また、第１振動板４の共振周波数が、ループ管３の共振周波数Ｆより小さい場合であっても、例えば、第１振動板４の共振周波数の高調波周波数がループ管３の共振周波数Ｆに近くなるように、第１振動板４の共振周波数を設定することができる。

[0091] 第２振動板６の被駆動周波数Ｄ２とループ管３の共振周波数Ｆの比（Ｄ２／Ｆ）も、第１振動板４と同様に、１に近い方が好ましい。

[0092] 図１３は、第１振動板４の被駆動周波数Ｄと、ループ管３の共振周波数Ｆの比（Ｄ／Ｆ）と熱音響装置１０の冷却効果の関係を測定した結果を示すグラフである。図１３に示す測定では、ループ管３の音波が基本波であることを前提として、図１に示す熱音響装置１０の第１振動板４の構成を変えて、熱音響装置１０の冷却効果を測定した。第１振動板４の被駆動周波数Ｄは、様々な周波数の振動を第１振動板４に入力することによって測定した。ループ管３の共振周波数Ｆは、様々な周波数の振動をループ管３に入力することによって測定した。冷却効果は、熱音響装置１０の動作時の第２低温側熱交換器２２と第２高温側熱交換器２４の温度差を所定の基準温度で除した値で表される。

[0093] 図１３の測定結果において、ループ管３の共振周波数Ｆは、ループ管３の一次モードの周波数とした。

[0094] 図１３に示す測定結果から、第１振動板４の被駆動周波数Ｄと、ループ管３の共振周波数Ｆの比（Ｄ／Ｆ）は１に近い方が好ましいことがわかった。具体的には、Ｄ／Ｆは、１．０≧Ｄ／Ｆ≧０．８とすることが好ましく、１．０≧Ｄ／Ｆ≧０．８５とすることがより好ましく、１．０≧Ｄ／Ｆ≧０．９とすることがさらに好ましいことがわかった。

[0095] ［振動板の共振周波数］

第１振動板４及び第２振動板６の共振周波数は、例えば、主に、振動板の面積、厚み、曲げ剛性から、推定（計算）することができる。また、ループ

管３の共振周波数は、主に、ループ管３の管長Ｌから推定（計算）することができる。例えば、第１振動板４及び第２振動板６の共振周波数ｆｎｓは、下記式（１）によって計算することができる。下記式（１）は、振動板を円形膜とした場合の計算式である。

[0096] [数1]

$$f_{ns} = \frac{\lambda_{ns}}{2R}\sqrt{\frac{T}{\rho_a}} \quad \text{——（1）}$$

Ｒ：円形膜の半径

Ｔ：単位長さ当たりの一定の張力（Ｎ／ｍ）

ρ_α：単位面積当たりの質量

λｎｓのｎ：周方向の次数（節直径の数）

λｎｓのｓ：半径方向の次数（節円の数）

[0097] 図１４は、円形膜の振動板の固有モードと固有値λｎｓの例を示す図である。図１４において、円の中の白抜きの部分と斜線の部分は異なる位相で振動することを示している。例えば、図１４に示す固有モードＧ１は、節直径の数ｎ＝０、節円の数ｓ＝０の固有モードである。この場合、固有値λ_{00}＝０．７６５となる。固有モードＧ２は、節直径の数ｎ＝１、節円の数ｓ＝０の固有モードである。この場合、固有値λ_{10}＝１．２１６となる。

[0098] 上記のように、振動板の共振周波数を計算することで、ループ管内の音波を効率よく増幅できる振動板の設計が容易になる。また、例えば、上記実施形態１における第１振動板４の配置例１～３と、上記振動板の好ましい材料特性とを組み合わることで、第１振動板４によるループ管３の音波の増幅効果を、効率よく高めることができる。

[0099] なお、第１振動板４の位置に関わらず、第１振動板４の材料に上記の好ま

しい例を用いることで、第１振動板４によるループ管３の音波の増幅効果を奏することができる。例えば、他の実施形態として、第１高温側熱交換器１４及び第１低温側熱交換器１２の間の第１スタック１３、及び第２高温側熱交換器２４及び第２低温側熱交換器２２の間の第２スタック２３を管内に有するループ管３において、第１振動板４と同様の構成の振動板をループ管３内に配置することができる。この構成おいて、振動板の２５℃における共振周波数で振動時の損失係数ｔａｎδを、０≦ｔａｎδ≦０．５とすることができる。好ましくは、振動板の損失係数ｔａｎδを０．２以下、さらに好ましくは、振動板の損失係数を０．０２５以下とすることができる。これにより、振動板がループ管３内のいずれの位置に配置されていても、振動板によるループ管３の音波の増幅効果を得ることができる。或いは、振動板の被駆動周波数Ｄと、ループ管の共振周波数Ｆが、Ｄ／Ｆ≧０．８の関係を有する構成とすることができる。これによっても、振動板によるループ管３の音波の増幅効果を得ることができる。

[0100] 以上、本発明の実施形態について説明したが、本発明は、上記実施形態に限られない。スタック１３、２３の構成は、上記例に限られない。例えば、第１スタック１３及び第２スタック２３の、管３の長さ方向に貫通する複数の導通路１３ｋ、２３ｋは、湾曲していてもよい。

[0101] 上記の熱音響装置１０では、第２のスタックの温度勾配を利用してループ管の外部の物を冷却する熱音響冷却装置である。熱音響装置の用途は、冷却装置に限られない。例えば、熱音響装置１０は、例えば、第２のスタックの温度勾配を利用してループ管の外部の物を加熱する熱音響加熱装置とすることもできる。

[0102] 本出願は、２０１６年１０月１８日出願の日本特許出願（特願２０１６－２０４５３０）に基づくものであり、その内容はここに参照として取り込まれる。

符号の説明

[0103] １０：熱音響装置、１２：第１低温側熱交換器、１３：第１スタック、１

４：第１高温側熱交換器、２２：第２低温側熱交換器、２３：第２スタック、２４：第２高温側熱交換器、４：第１振動板、６：第２振動板

請求の範囲

[請求項1] ループ管と、

前記ループ管内に配置される第１スタックであって、前記第１スタック内の温度勾配によって前記ループ管に音波を発生させる第１スタックと、

前記ループ管内に配置される第２スタックであって、前記ループ管の音波によって前記第２スタック内に温度勾配を発生させる第２スタックと、

前記第１スタックの一方端に配置され、前記第１スタックの一方端を前記第１スタックの他方端より高温にする第１高温側熱交換器と、

前記第１スタックの他方端に配置され、前記第１スタックの他方端を一方端より低温にする第１低温側熱交換器と、

前記第２スタックの両端のうち前記第１高温側熱交換器側の端に配置される第２高温側熱交換器と、

前記第２スタックの両端のうち前記第１低温側熱交換器側の端に配置される第２低温側熱交換器と、

前記ループ管内の、前記第２スタックの前記第２高温側熱交換器が配置される端と、前記第１スタックの一方端との間に設けられ、前記ループ管の軸方向に振動可能な第１振動板とを備える、熱音響装置。

[請求項2] 請求項１に記載の熱音響装置であって、

前記第２スタックの両端のうち前記第２高温側熱交換器が配置される端、及び前記第１振動板は、前記第１スタックの一方端から前記ループ管の管長の２分の１の距離の位置を基準として、第１距離の範囲内に配置され、

前記第１距離は、前記第１スタックの温度勾配によって前記ループ管に生じる１次モードの周波数の音波の振幅が、前記音波の最大振幅の１／$\sqrt{2}$倍から１倍となる前記ループ管の部分の長さに相当する距離である、熱音響装置。

[請求項3] 請求項１に記載の熱音響装置であって、

前記第２スタックの両端のうち前記第２高温側熱交換器が配置される端と、前記第１振動板との距離は、前記ループ管の管長の１／４以下の長さである、熱音響装置。

[請求項4] 請求項１～３のいずれか１項に記載の熱音響装置であって、

前記ループ管内において、前記第２スタックの両端のうち前記第２低温側熱交換器が配置される端と前記第１スタックの他方端との間に設けられ、前記ループ管の軸方向に振動可能な第２振動板をさらに備える、熱音響装置。

[請求項5] 請求項４に記載の熱音響装置であって、

前記第２振動板は、前記第１スタックの両端のうち前記第１低温側熱交換器が配置される端から第２距離内に配置され、

前記第２距離は、前記第１スタックの温度勾配によって前記ループ管に生じる１次モードの周波数の音波の振幅が、前記音波の最大振幅の１／$\sqrt{2}$倍から１倍となる前記ループ管の部分の長さに相当する距離である、熱音響装置。

[請求項6] 請求項１～５のいずれか１項に記載の熱音響装置であって、

前記第１振動板の２５℃における共振周波数で振動時の損失係数ｔａｎδが、０≦ｔａｎδ≦０．５である、熱音響装置。

[請求項7] 請求項１～６のいずれか１項に記載の熱音響装置であって、

前記第１振動板の被駆動周波数Ｄと、前記ループ管の共振周波数Ｆが、Ｄ／Ｆ≧０．８の関係を有する、熱音響装置。

[請求項8] 請求項１～７のいずれか１項に記載の熱音響装置であって、

前記第１振動板は、樹脂又は金属で形成される、熱音響装置。

[請求項9] 請求項１～８のいずれか１項に記載の熱音響装置であって、

前記第１振動板は、前記第１スタックの温度勾配によって前記ループ管内に生じる１次モードの周波数の音波の腹の位置から第１距離の範囲内に配置され、

前記第１距離は、前記第１スタックの温度勾配によって前記ループ管に生じる１次モードの周波数の音波の振幅が、前記音波の最大振幅の１／√２倍から１倍となる前記ループ管の部分の長さに相当する距離である、熱音響装置。

[請求項10] 請求項１～９のいずれか１項に記載の熱音響装置であって、

前記第１スタックの一方端から前記ループ管の管長の２分の１の距離の位置を挟んで互いに反対側に、前記第２スタックの両端のうち前記第２高温側熱交換器が配置される端と、前記第１振動板とが配置される、熱音響装置。

[請求項11] 請求項１～１０のいずれか１項に記載の熱音響装置であって、

前記第１振動板は、前記第２スタックの両端のうち前記第２高温側熱交換器が配置される端から前記第１スタックの前記一方端までの管内の経路の中央の位置よりも、前記第２スタック寄りの位置に配置される、熱音響装置。

[図1]

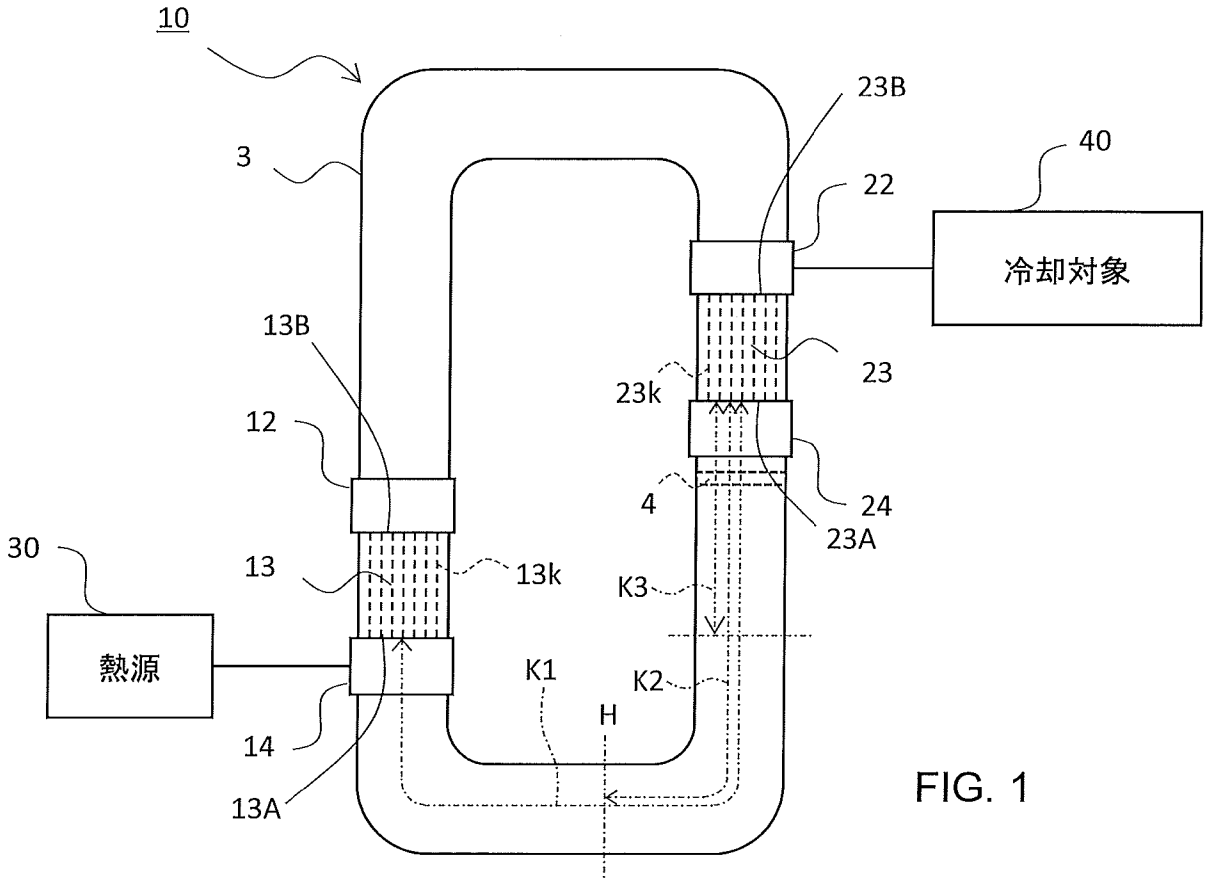


FIG. 1

[図2]

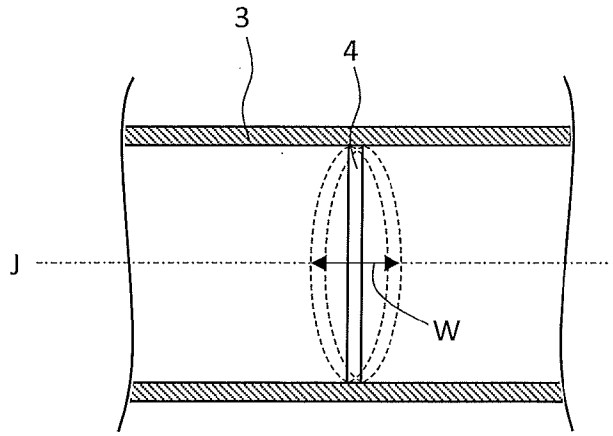


FIG. 2

[図3]

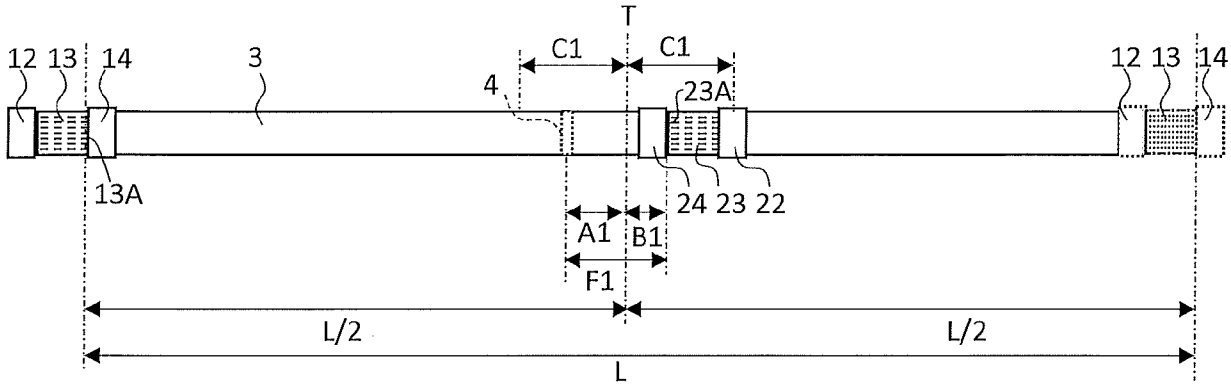


FIG. 3

[図4]

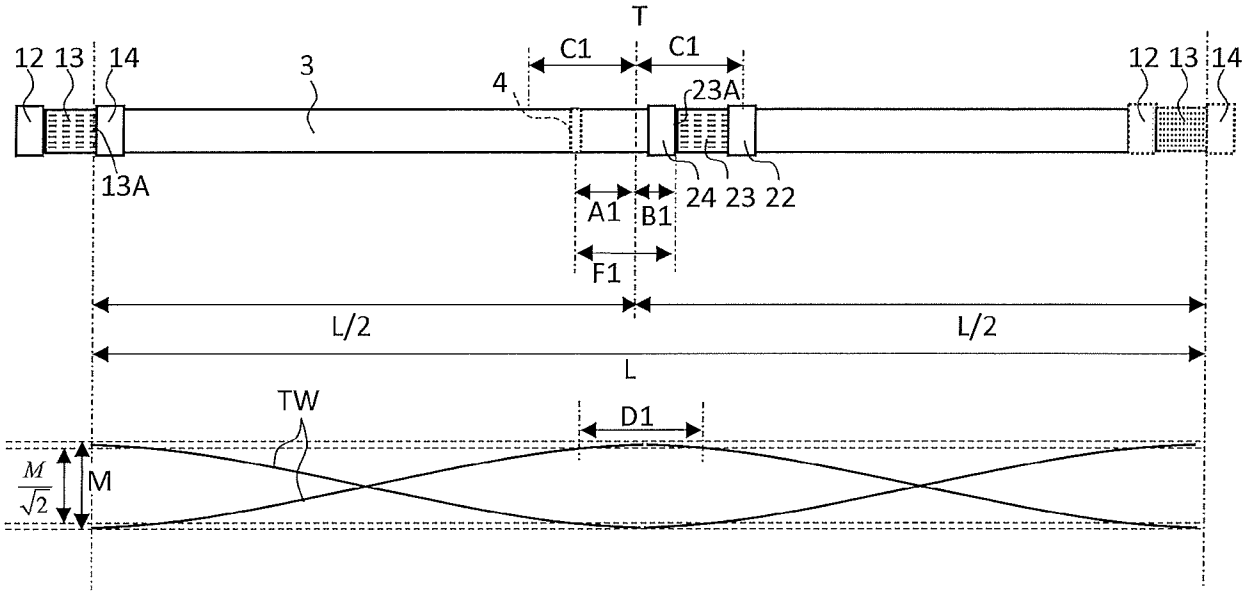


FIG. 4

[図5]

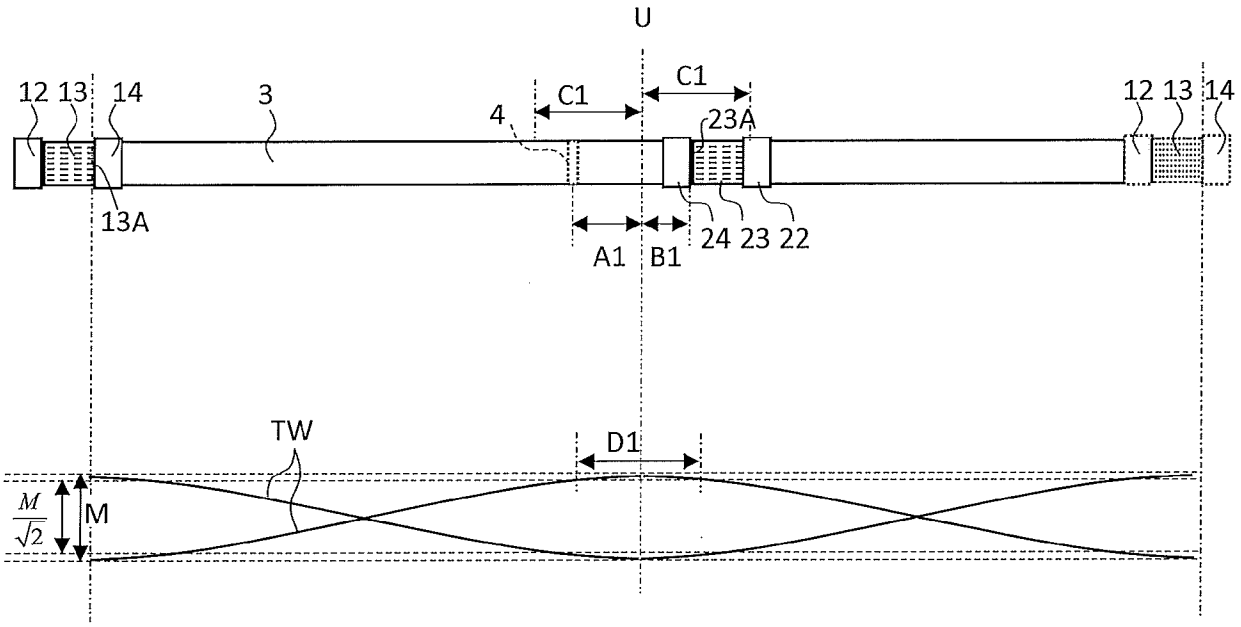


FIG. 5

[図6]

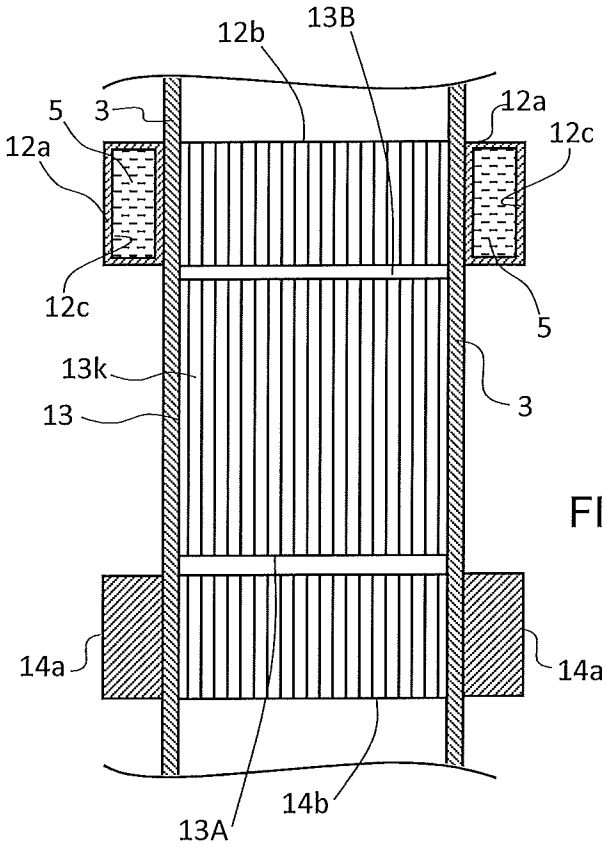


FIG. 6

[図7]

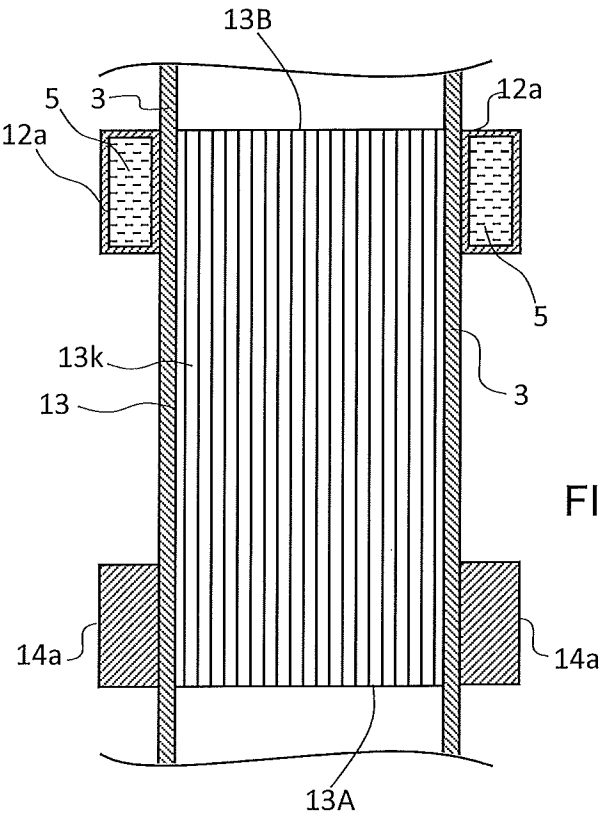


FIG. 7

[図8]

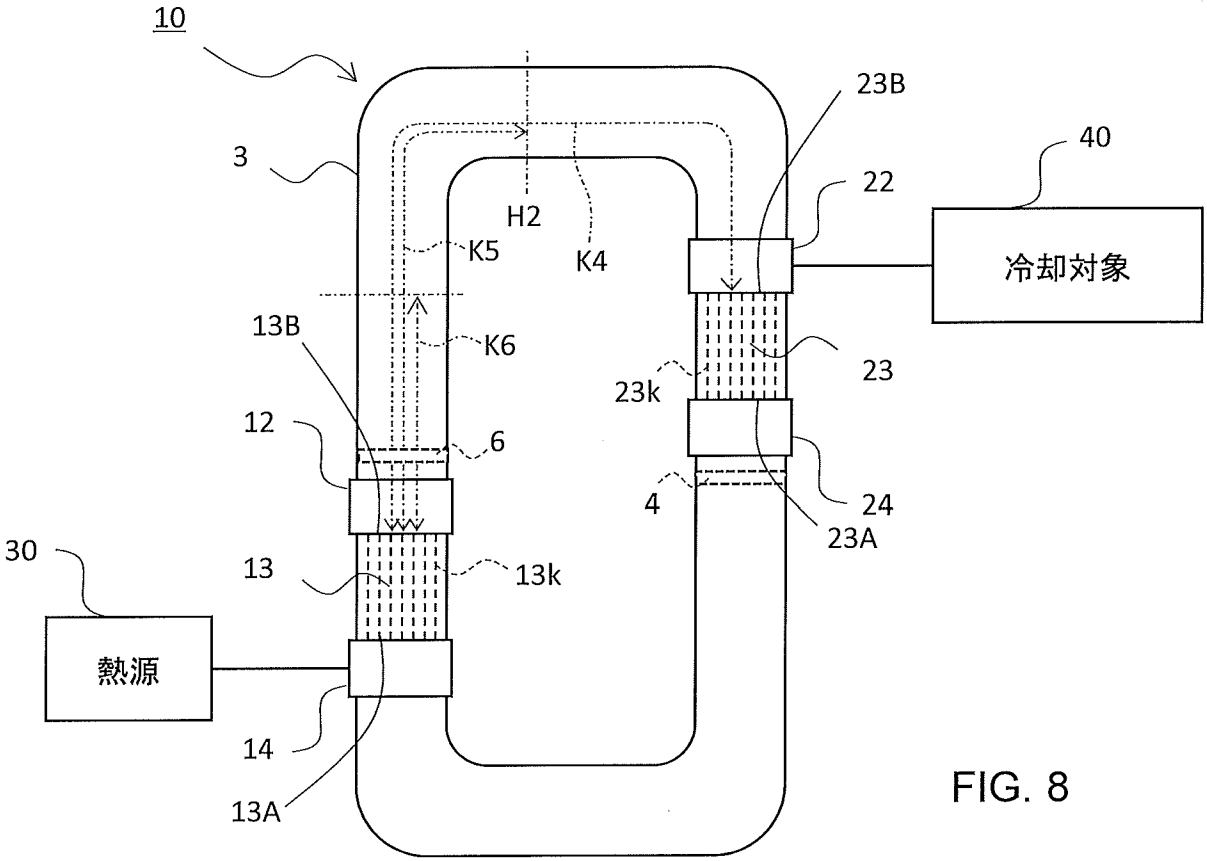


FIG. 8

[図9]

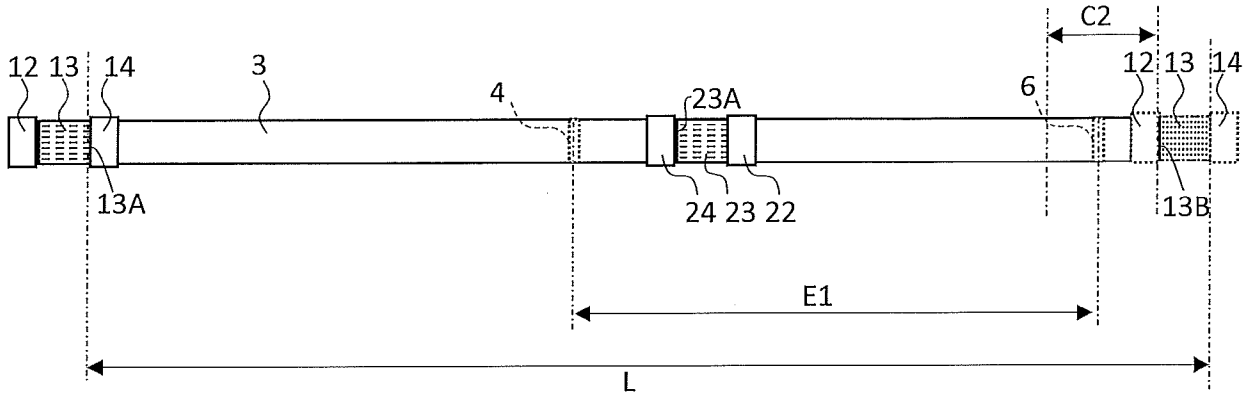


FIG. 9

[図10]

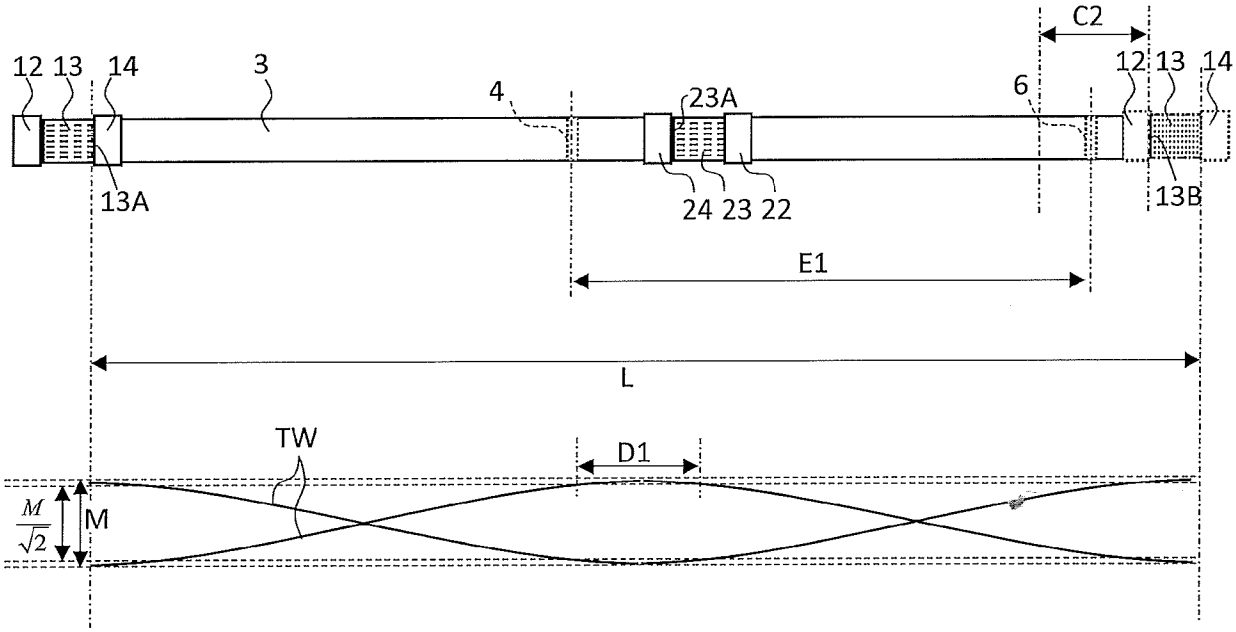


FIG. 10

[図11]

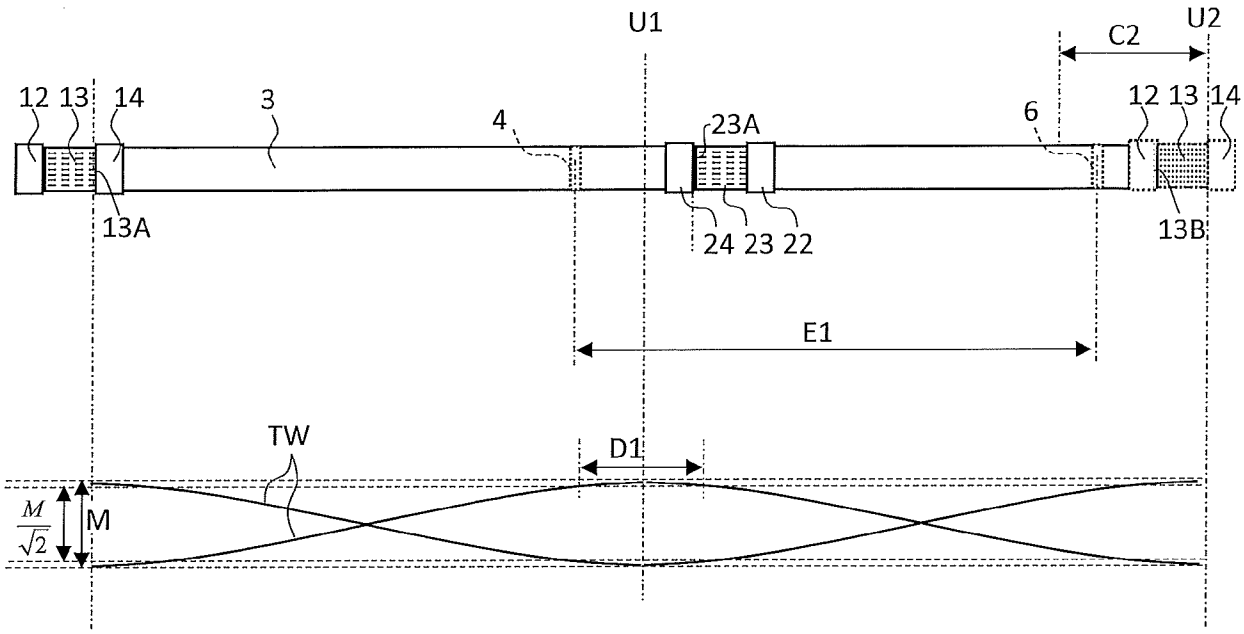


FIG. 11

[図12]

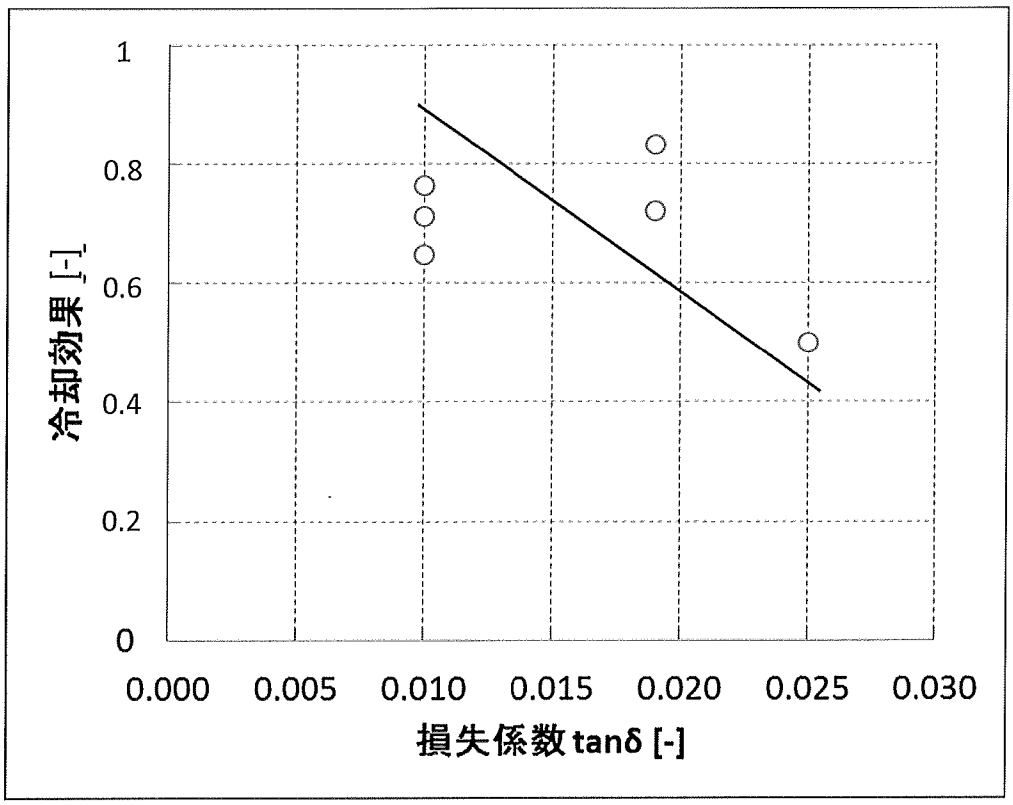


FIG. 12

[図13]

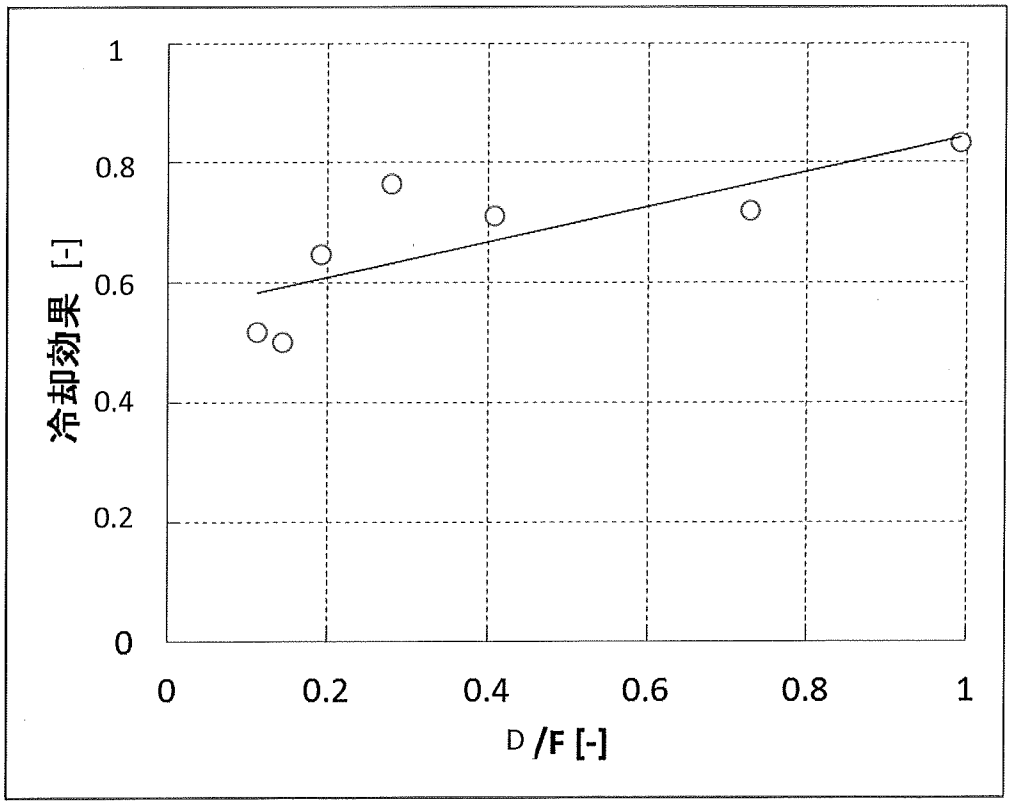


FIG. 13

[図14]

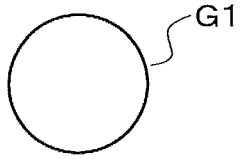
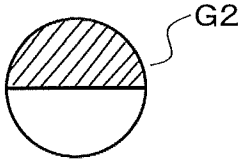
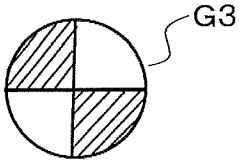
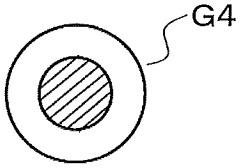
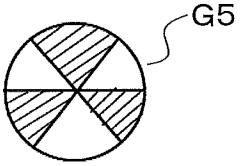
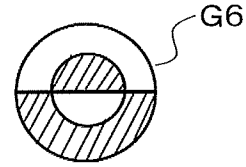
		
$\lambda_{00} = 0.765$	$\lambda_{10} = 1.216$	$\lambda_{20} = 1.637$
		
$\lambda_{01} = 1.760$	$\lambda_{30} = 2.027$	$\lambda_{11} = 2.234$

FIG. 14

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2017/037637

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl. 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. 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	1971-2018
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.
Y A	JP 2012-159266 A (ISUZU MOTORS LTD.) 23 August 2012, paragraphs [0026]-[0039], fig. 1-3 (Family: none)	1, 4, 8 2-3, 5-7, 9-11
Y A	JP 2011-153742 A (ISUZU MOTORS LTD.) 11 August 2011, claims, paragraphs [0014], [0047], fig. 1, 10 (Family: none)	1, 4, 8 2-3, 5-7, 9-11
A	JP 2011-127870 A (ISUZU MOTORS LTD.) 30 June 2011, entire text, all drawings (Family: none)	1-11

☒ 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
05 January 2018 (05.01.2018)	16 January 2018 (16.01.2018)

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

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2017/037637

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 2013-117324 A (ISUZU MOTORS LTD.) 13 June 2013, entire text, all drawings (Family: none)	1-11
A	JP 2002-535597 A (THE REGENTS OF THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA) 22 October 2002, entire text, all drawings & US 6032464 A & WO 2000/043639 A1 & AU 2731500 A & NO 20013588 A & BR 9005 A & PL 349152 A & CA 2358858 A & CN 1341189 A	1-11
A	JP 2007-315680 A (TOYOTA MOTOR CORP.) 06 December 2007, entire text, all drawings (Family: none)	1-11
A	JP 2013-234823 A (HONDA MOTOR CO., LTD.) 21 November 2013, entire text, all drawings & US 2013/0298547 A1	1-11

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１７／０３７６３７

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	１９７１－２０１８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 A	JP 2012-159266 A（いすゞ自動車株式会社）2012.08.23, ［００２６］－［００３９］, 第１－３図（ファミリーなし）	1,4,8 2-3,5-7,9-11
Y A	JP 2011-153742 A（いすゞ自動車株式会社）2011.08.11, 特許請求の範囲, ［００１４］, ［００４７］, 第１，１０図（ファミリーなし）	1,4,8 2-3,5-7,9-11
A	JP 2011-127870 A（いすゞ自動車株式会社）2011.06.30, 全文, 全図（ファミリーなし）	1-11

☑　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
０５．０１．２０１８	１６．０１．２０１８

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　３５４５
伊藤　紀史
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
A	JP 2013-117324 A（いすゞ自動車株式会社）2013.06.13, 全文, 全図（ファミリーなし）	1-11
A	JP 2002-535597 A（ザ　リージェンツ　オブ　ザ　ユニバーシティ　オブ　カリフォルニア）2002.10.22, 全文, 全図 & US 6032464 A & WO 2000/043639 A1 & AU 2731500 A & NO 20013588 A & BR 9005 A & PL 349152 A & CA 2358858 A & CN 1341189 A	1-11
A	JP 2007-315680 A（トヨタ自動車株式会社）2007.12.06, 全文, 全図（ファミリーなし）	1-11
A	JP 2013-234823 A（本田技研工業株式会社）2013.11.21, 全文, 全図 & US 2013/0298547 A1	1-11