

(19) 日本国特許庁(JP)

再公表特許(A1)

(11) 国際公開番号

W02013/084830

発行日 平成27年4月27日 (2015. 4. 27)

(43) 国際公開日 平成25年6月13日 (2013. 6. 13)

(51) Int.Cl. F 1 テーマコード (参考)
F 2 5 B 9/00 (2006.01) F 2 5 B 9/00 Z

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 27 頁)

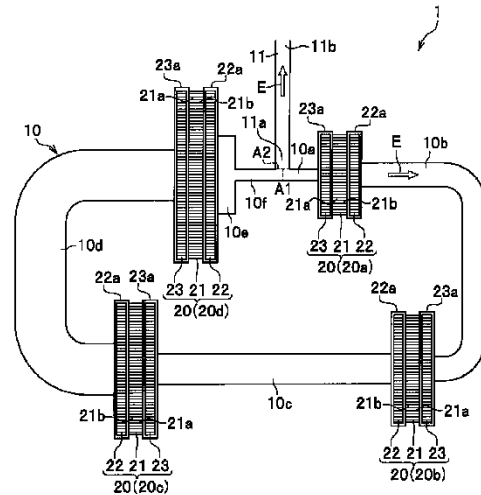
<p>出願番号 特願2013-548217 (P2013-548217)</p> <p>(21) 国際出願番号 PCT/JP2012/081193</p> <p>(22) 国際出願日 平成24年11月30日 (2012. 11. 30)</p> <p>(31) 優先権主張番号 特願2011-266181 (P2011-266181)</p> <p>(32) 優先日 平成23年12月5日 (2011. 12. 5)</p> <p>(33) 優先権主張国 日本国 (JP)</p>	<p>(71) 出願人 000125369 学校法人東海大学 東京都渋谷区富ヶ谷2丁目28番4号</p> <p>(74) 代理人 100064414 弁理士 磯野 道造</p> <p>(74) 代理人 100111545 弁理士 多田 悦夫</p> <p>(72) 発明者 長谷川 真也 神奈川県平塚市北金目四丁目1番1号 東海大学内</p> <p>(72) 発明者 押野谷 康雄 神奈川県平塚市北金目四丁目1番1号 東海大学内</p>
--	--

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 熱音響機関

(57) 【要約】

全体として環状に形成された複数の共鳴管(10)と、複数の共鳴管(10)を連結する複数の原動機(20)と、共鳴管(10)に連通して一端が接続された枝管(11)とを有し、原動機(20)は、蓄熱器(21)と、蓄熱器(21)の一端部(高温部21b)を加熱する加熱器(22)と、蓄熱器(21)の他端部(常温部21a)の熱を外部に放出する冷却器(23)とを備え、蓄熱器(21)の両端部間に温度勾配を形成させて作動気体の自励振動を発生させる熱音響機関(1)であって、加熱器(22)に連結する共鳴管(10)の流路断面積は、冷却器(23)に連結する共鳴管(10)の流路断面積に対し、自励振動による仕事流Wの増幅率と同じか、その±30%の範囲内にある増幅率で拡大したものであり、蓄熱器(21)の流路断面積は、冷却器(23)に連結する共鳴管(10)の流路断面積の4~6倍であることを特徴とする。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

作動気体が封入され、全体として環状に形成された複数の共鳴管と、前記複数の共鳴管を連結する複数の原動機と、前記複数の共鳴管のうち、環状を形成するループの始点と終点との交点から、前記共鳴管に連通して一端が接続された枝管とを有し、

前記原動機は、前記作動気体を加熱および冷却する蓄熱器と、前記蓄熱器の一端側に隣接して前記蓄熱器の一端部を加熱する加熱器と、前記蓄熱器の他端側に隣接して前記蓄熱器の他端部の熱を外部に放出する冷却器とを備え、前記蓄熱器の両端部間に温度勾配を形成させて前記作動気体の自励振動を発生させる熱音響機関であって、

前記各加熱器に連結する共鳴管の流路断面積は、当該加熱器を備える原動機の冷却器に連結する共鳴管の流路断面積に対し、前記自励振動による仕事流の増幅率と同じ、あるいはその $\pm 30\%$ の範囲内にある増幅率で拡大したものであり、

前記蓄熱器の流路断面積は、当該蓄熱器を備える原動機の冷却器に連結する共鳴管の流路断面積の4～36倍であることを特徴とする熱音響機関。

10

【請求項 2】

さらに、前記枝管の他端に接続され、前記枝管に連通して、前記作動気体に発生する自励振動に応動して発電を行なう発電機を備えることを特徴とする請求項 1 に記載の熱音響機関。

【請求項 3】

さらに、前記枝管の他端に連通して接続された環状の冷凍用ループ管を有し、前記冷凍用ループ管の管路に設けられ、前記作動気体を冷却する冷凍用蓄熱器と、前記冷凍用蓄熱器の前記自励振動が伝わる一端側に隣接して前記冷凍用ループ管の管路に設けられ、前記冷凍用蓄熱器の一端部の熱を外部に放出する冷凍用冷却器と、前記冷凍用蓄熱器の他端側に隣接して前記冷凍用ループ管の管路に設けられ、前記冷凍用蓄熱器の他端部に発生する冷気を外部に放出する冷氣放出器と、備えることを特徴とする請求項 1 に記載の熱音響機関。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、作動気体の自励振動を発生させる熱音響機関に関する。

30

【背景技術】

【0002】

近年、地球温暖化やエネルギー問題が深刻化してきている。工場や車両において発生する膨大な廃熱や、太陽光エネルギーを高効率で回収することが可能であれば、地球温暖化やエネルギー問題を解決するための切り札となる。そこで、これらのエネルギーを回収し、動力化するために、熱音響機関に関する研究が活発に行われている。

【0003】

熱音響機関は、管内に生じる自励振動を利用したものである。すなわち、管内に狭い流路の束（以下、蓄熱器と称する）を設置し、蓄熱器両端の温度比をある臨界値以上にすると、管内の流体が自励振動を起こす。この作用は熱力学的には可動部品の無い原動機とみなすことができ、この作用を用いたものが熱音響機関である（例えば、特許文献 1、2 参照）。熱音響機関はスターリングサイクルで駆動する外燃機関であるために、太陽光や工業廃熱等、あらゆる熱源から高効率で仕事を取り出せる可能性がある。また音波を利用して熱交換するシンプルな構成である為に、通常のスターリングエンジンと違い、ピストン、タービン等の可動部品を全く必要とせず、安価、長寿命、メンテナンスフリーという利点を有する。

40

【0004】

ここで、近年において実用化を目指して研究が行われている代表的な熱音響機関（例えば、非特許文献 1 参照）の構成を図 10 に示す。図 10 (a) に示す熱音響発電機 500 は、ループ管 100 と共鳴管 111 とを備える。そして、ループ管 100 内には、原動機

50

200を構成する、蓄熱器210、加熱器220および冷却器230を備え、共鳴管111の先端には発電機(リニア発電機)300を備える。熱音響発電機500においては、蓄熱器210に温度勾配を与えると、音波である自励振動(すなわち熱音響自励振動)が励起され、この音波の振動エネルギー(すなわち音響エネルギー)Eをリニア発電機300で電力に変換する。熱音響発電機500は廃熱利用発電機やソーラーパネルを超える高効率太陽光発電機としての利用が想定されている。

【0005】

一方、冷房や保冷库、極低温を生成する装置として図10(b)に示す熱音響冷凍機600(例えば、非特許文献2参照)の研究も活発に行われている。熱音響冷凍機600は、2つのループ管100, 120と共鳴管111とを備える。そしてループ管100内には、原動機200を構成する、蓄熱器210、加熱器220および冷却器230を備え、ループ管120内には、冷凍機400を構成する、冷凍用蓄熱器410、冷氣放出器420および冷凍用冷却器430を備える。熱音響冷凍機600では、一方のループ管100内に設置した蓄熱器210に温度勾配を与えると自励振動が励起される。この自励振動による音響エネルギーEは、共鳴管111を通じてもう一方のループ管120に流れ込み、逆スターリングサイクルを実行することで冷凍用蓄熱器410を冷凍作動させる。このような管内音波である自励振動を使って低温生成を行う熱音響冷凍機600には、パルス管冷凍機を超えるポテンシャルがある。

10

【0006】

以上に代表される熱音響機関は、現在、熱回収や次世代エネルギー利用の観点から多くの企業で研究が行われている。しかしながら、21世紀に入り本格的な研究が始められた新しい分野であるために、未だ基盤技術が確立されていない現状がある。

20

ここで、一般的に試みられている熱音響機関の動作温度は500程度であり(非特許文献3参照)、現実の自動車や工場からの廃熱温度(100~300程度)と比較して格段に高温である。そこで、熱音響機関の動作温度を低下させる試みとしては、近年、蓄熱器を多段直列配置することで、各蓄熱器で仕事流Wの累乗増幅を実現する「多段熱音響機関」が提案されている(非特許文献4参照)。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

30

【特許文献1】特開2006-118728号公報

【特許文献2】特開2009-74734号公報

【非特許文献】

【0008】

【非特許文献1】S.Backhaus, E.Tward and M.Petach, Appl.Phys.Lett., Vol.85, No.6, pp.1085-1087(2004)、図4

【非特許文献2】M. Miwa, T. Sumi, T. Biwa, Y. Ueda and T. Yazaki, Ultrasonics, 44, e1527-e1529(2006)、図5

【非特許文献3】D.L.Gardner, G.W.Swift, J.Acoust. Soc. Am., 114, pp. 1905-1919 (2003)

40

【非特許文献4】T. Biwa, Appl.Phys.Lett., Vol.97, 034102 (2010)

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

しかし、多段熱音響機関では、「複数の蓄熱器を用いる」という性質上、蓄熱器が音響インピーダンス分布に対して分布的に配置されるため、熱効率は10%以下と低い。また、700程度の高温領域の動作温度において高い効率を実現できることは確認されているが、工業設備から排出される廃熱は一般的に300以下の低温である。よって、現段階において工業廃熱程度の熱源温度を利用して熱効率10%を超える熱音響機関は存在しない。

50

【 0 0 1 0 】

そのため、低温領域で高い熱効率を実現できる熱音響機関の開発が切望されている。仮に300程度の工業廃熱温度で、30%を超える熱効率を有する熱音響機関の構成が明らかになれば、安価、メンテナンスフリーであり、量産が容易な高効率熱エネルギー回収システムが実現することになる。このような熱音響機関の実現による、環境面や経済的な省エネルギー面への波及効果は極めて大きく、有力な次世代のデバイスとして熱音響機関を急速に一般社会に普及させることが可能であると考えられる。

【 0 0 1 1 】

本発明はこのような背景のもとになされたものであり、低温駆動を可能とし、かつ高い熱効率を有する熱音響機関を提供することを課題とする。

10

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 2 】

本発明者らは、熱音響機関に関して、以下の事項について検討した。

進行波型の熱音響エンジンは、等温可逆的な熱交換によってエネルギー変換を行うために、理想的にはカルノー効率が期待できる。しかしながら、これを実現するためには外部入力、又は音波のフィードバックが必須である。1998年に矢崎らはトラス型のループ内に蓄熱器を設置することで音波のフィードバックを行い、初めて実用的な進行波型エンジンを実証した(T.Yazaki et al., Phys. Rev. Lett. 81, pp.3128-3131, 1988.)。しかし、スタック位置が低音響インピーダンス(圧力と流速の比)であるために、粘性散逸とドリームパイプ効果が大きいという面が存在した。ドリームパイプ効果とは以下の事項をいう。温度勾配のある容器内の流体を外部ピストン等で強制振動させると、高温部から低温部へと非常に大きな熱流が発生する。その有効的熱輸送量は振動がない場合の1000倍以上に達する。結果的に流体を振動させただけで金属の熱伝導度を上回る熱輸送が可能となる。しかしながら、エンジンとして熱音響機関を用いる場合には、低温側への熱輸送は効率の低下につながるため、ドリームパイプ効果は熱音響エンジンの効率を低下させる大きな要因となる。

20

【 0 0 1 3 】

一方、2000年にBackhausとSwiftは、ループに枝管共鳴管を備えた熱音響エンジンを提案した(S. Backhaus and G. W. Swift, J. Acoust. Soc. Am. 107, 6, pp.3148-3166, 2000.)。Backhausらの提案した熱音響エンジンは、ループ構造によって進行波を用いたエネルギー変換を可能にすると同時に、枝管共鳴管によって1/4波長による共振と蓄熱器位置における高音響インピーダンスを実現している。よって、蓄熱器における粘性散逸並びにドリームパイプ効果は少なく、熱効率30%というガソリンエンジン並みの高効率を実現している。ただし、この効率は入力熱量と枝管共鳴管に出力される仕事流Wの比である。枝管共鳴管では定在波が支配的であるために、粘性散逸が大きく、エネルギー輸送の面では効率の低下を招く可能性がある。また、動作温度は1000K程度と高温である。そのため、実用的な熱音響エンジンを実現するためには、低温動作と高効率を両立させる必要がある。

30

【 0 0 1 4 】

動作温度を低下させる試みとしては、近年蓄熱器を多段直列に配置した多段熱音響エンジンが提案されている。Gardnerらは定在波型エンジンから生じる仕事流Wを高音響インピーダンス位置に設置した進行波型エンジンで増幅することで、約1kWの出力を得ることに成功している(D.L.Gardner and G.W.Swift, J.Acoust.Soc.Am.114, pp.1905-1919, 2003.)。琵琶らは、ループ熱音響エンジンに5個の蓄熱器を設置することで臨界発振温度比1.19を実現している(T.Biwa et al., Appl. Phys. Lett. 97, 034102, 2010.)。しかしながら、低温発振を実現する多段型にも問題点は存在する。すなわち、前述のとおり、多段型は「複数の蓄熱器を用いる」という性質上、蓄熱器が音場に対して分布的に配置される。よって多くの場合、高音響インピーダンス部分以外にも蓄熱器を設置する必要があり、一般的に効率が低い場合が多い。この問題を解決し、低温駆動と高効率を両立する熱音響エンジンを実現するためには、多段型でありながら全ての蓄熱器が高音響イン

40

50

ピーダンスを示す進行波位置に設置される構成を実現する必要がある。

【0015】

そこで、本発明者らは鋭意検討した結果、ループ型多段熱音響エンジンの蓄熱器位置全てで、高音響インピーダンスの進行波を用いたエネルギー変換を実現する構成を見出した。また同時に、蓄熱器以外の位置では音響インピーダンスの値が c 程度 (c : 気体の密度, c : 音速) の進行波を実現し、共鳴管における粘性散逸を低減する構成を見出した。

【0016】

すなわち、前記課題を解決するための手段として、本発明に係る熱音響機関は、作動気体が封入され、全体として環状に形成された複数の共鳴管と、前記複数の共鳴管を連結する複数の原動機と、前記複数の共鳴管のうち、環状を形成するループの始点と終点との交点から、前記共鳴管に連通して一端が接続された枝管とを有し、前記原動機は、前記作動気体を加熱および冷却する蓄熱器と、前記蓄熱器の一端側に隣接して前記蓄熱器の一端部を加熱する加熱器と、前記蓄熱器の他端側に隣接して前記蓄熱器の他端部の熱を外部に放出する冷却器とを備え、前記蓄熱器の両端部間に温度勾配を形成させて前記作動気体の自励振動を発生させる熱音響機関であって、前記各加熱器に連結する共鳴管の流路断面積は、当該加熱器を備える原動機の冷却器に連結する共鳴管の流路断面積に対し、前記自励振動による仕事流の増幅率と同じ、あるいはその $\pm 30\%$ の範囲内にある増幅率で拡大したものであり、前記蓄熱器の流路断面積は、当該蓄熱器を備える原動機の冷却器に連結する共鳴管の流路断面積の $4 \sim 36$ 倍であることを特徴とする。

10

【0017】

このような構成によれば、蓄熱器の一端部が加熱器により加熱され、蓄熱器の他端部が冷却器により冷却されることで、蓄熱器の両端部間に温度差、すなわち温度勾配が生じる。そしてこの温度差により、主として作動気体の自励振動(圧力振動)による仕事流 W が生じる。

20

そして、加熱器に連結する共鳴管の流路断面積を、冷却器に連結する共鳴管の流路断面積に対し、自励振動による仕事流 W の増幅率と同じ、あるいはその $\pm 30\%$ の範囲内にある増幅率で拡大することで、蓄熱器以外の位置では音響インピーダンスの値が c 程度の進行波とすることができる。また、蓄熱器の流路断面積を、冷却器に連結する共鳴管の流路断面積の $4 \sim 36$ 倍とすることで、蓄熱器位置全てで高音響インピーダンスの進行波とすることができる。

30

【0018】

本発明に係る熱音響機関は、さらに、前記枝管の他端に接続され、前記枝管に連通して、前記作動気体に発生する自励振動に応動して発電を行なう発電機を備えることで熱音響発電機とすることができる。

このような構成によれば、作動気体に発生した自励振動による音響エネルギーが、発電機によって電気エネルギーに変換される。そして、熱音響発電機として、低温かつ高効率で駆動することができる。

【0019】

本発明に係る熱音響機関は、さらに、前記枝管の他端に連通して接続された環状の冷凍用ループ管を有し、前記冷凍用ループ管の管路に設けられ、前記作動気体を冷却する冷凍用蓄熱器と、前記冷凍用蓄熱器の前記自励振動が伝わる一端側に隣接して前記冷凍用ループ管の管路に設けられ、前記冷凍用蓄熱器の一端部の熱を外部に放出する冷凍用冷却器と、前記冷凍用蓄熱器の他端側に隣接して前記冷凍用ループ管の管路に設けられ、前記冷凍用蓄熱器の他端部に発生する冷気を外部に放出する冷気放出器と、備えることで熱音響冷凍機とすることができる。

40

【0020】

このような構成によれば、冷凍用蓄熱器の一端部が冷凍用冷却器により冷却されるとともに、作動気体に発生した自励振動による音響エネルギーが、冷凍用蓄熱器に伝達される。これにより、伝達された音響エネルギーが冷凍用蓄熱器一端部と冷凍用蓄熱器の他端部との間における温度差に変換される。そして、この冷凍用蓄熱器の両端の温度差によって冷凍

50

用蓄熱器の他端部に発生した冷気が、冷気放出器によって外部に取り出される。そして、熱音響冷凍機として、低温かつ高効率で駆動することができる。

【発明の効果】

【0021】

本発明に係る熱音響機関によれば、従来の熱音響機関と比較して、高効率のエネルギー変換が可能となる。また、従来の熱音響機関と比較して、低温の駆動が可能となる。さらに、進行波位相位置に複数の蓄熱器を設置することが出来る。そして、複数の蓄熱器を設置することで、複数の廃熱源を用いたエネルギー回収が可能になる。

【0022】

さらに、高効率のエネルギー変換が可能のため、装置全体の小型化が可能であり、また装置全体の体積を減少させることが可能である。

また、熱音響発電機として用いた場合、従来の熱音響機関と比較して発電量の向上が可能であり、熱音響冷凍機として用いた場合、従来の熱音響機関と比較して低温で高熱効率の駆動を実現することが可能である。

【図面の簡単な説明】

【0023】

【図1】本発明に係る熱音響機関の構成を模式的に示す模式図である。

【図2】本発明に係る熱音響機関を熱音響発電機として用いた場合の模式図である。

【図3】本発明に係る熱音響機関を熱音響冷凍機として用いた場合の模式図である。

【図4】実施例における、本発明の熱音響機関についての数値計算モデルの概略図である

。【図5】実施例で用いた熱音響機関についての数値計算モデルにおける、音響インピーダンス分布を示すグラフであり、(a)はインピーダンスの実数部、(b)はインピーダンスの虚数部を示す。

【図6】実施例で用いた熱音響機関についての数値計算モデルにおける、圧力と流速との間の位相差を示すグラフである。

【図7】実施例で用いた熱音響機関についての数値計算モデルにおける、正規化した仕事流Wの空間分布を示すグラフである。

【図8】実施例で用いた熱音響機関についての数値計算モデルにおける、蓄熱器の熱流成分を示すグラフであり、(a)は原動機20aの蓄熱器の熱流成分、(b)は原動機20bの蓄熱器の熱流成分である。

【図9】実施例で用いた熱音響機関についての数値計算モデルにおける、蓄熱器の熱流成分を示すグラフであり、(c)は原動機20cの蓄熱器の熱流成分、(d)は原動機20dの蓄熱器の熱流成分である。

【図10】従来の熱音響機関の構成を模式的に示す模式図であり、(a)は、熱音響機関を熱音響発電機として用いた場合の模式図、(b)は、熱音響機関を熱音響冷凍機として用いた場合の模式図である。

【発明を実施するための形態】

【0024】

次に、本発明について、図面を参照して詳細に説明する。なお、各図面が示す部材の大きさや位置関係等は、説明を明確にするため誇張していることがある。さらに以下の説明において、同一の名称、符号については、原則として同一もしくは同質の部材を示しており、詳細説明を適宜省略する。

【0025】

<熱音響機関>

図1に示すように、熱音響機関1は、作動気体が封入され、全体として環状に形成された複数の共鳴管10a~10fと、前記複数の共鳴管10a~10fを連結する複数の原動機20(20a~20d)と、前記複数の共鳴管10a~10fのうち、環状を形成するループの始点と終点との交点から、共鳴管10に連通して一端が接続された枝管(枝管共鳴管)11とを有する。

10

20

30

40

50

以下、各構成について説明する。

【0026】

[共鳴管]

共鳴管10a～10fは、作動気体が満たされる管であり、全体として環状に形成されている。ここでは、6本の共鳴管10a～10fからなり、原動機20を介して接続されて環を構成し、環状の共鳴管10を構成している。すなわち、共鳴管10bは、図1における紙面上、右側に配置されてその上下が湾曲し、共鳴管10dは、図1における紙面上、左側に配置されてその上下が湾曲している。また、共鳴管10a、10c、10e、10fは、直線状の管である。ここで、図1の破線(符号A1)を基準として図1における紙面上、右側の管部が共鳴管10aであり、左側の管部が共鳴管10fである。共鳴管10aと共鳴管10fの境界は厳密に規定されるものではなく、例えば、符号A1の破線が、紙面上、やや右側、あるいは左側に位置するものであってもよい。そして、これら共鳴管10a～10fにより、全体としての共鳴管10a～10fからなる管路は角丸の四角形に形成され、環状を構成している。

10

【0027】

ここで、環状に形成された複数の共鳴管10は、冷却器23に連結された共鳴管10のうち流路断面積が最小となる共鳴管10aの管路に、圧力振幅が同等(ここでは同一)となる環(ループ)の始点と終点(符号A1の破線の部位(図4の0の点位置))とを有する。すなわち、ここでは、共鳴管10aと共鳴管10fとの接続部位が始点と終点である。始点および終点は同一の箇所であり(すなわち交点となる)、後記する実施例の数値シミュレーション上で、音響インピーダンスの値をcと設定した場合の始点および終点である。なお、「共鳴管10aの管路」とは、共鳴管10a自体の他、この共鳴管10aに連通した共鳴管(ここでは共鳴管10f)も含むという意味である。

20

この始点および終点では、共鳴管10eおよび10fの流路断面積並びに長さを変更し、調整することで、共鳴管10aと圧力振幅を同等とする。

そして、この共鳴管10における始点および終点の位置(すなわち交点)に連通して枝管11が分岐状に接続されている。

【0028】

[枝管]

枝管11は、作動気体が封入される直線状の管であり、その一端11aが共鳴管10の一部、ここでは、共鳴管10aと共鳴管10fの連結部に連通して、すなわち作動気体が共鳴管10と枝管11とを流通可能な状態で接続されている。つまり枝管11は、前記複数の共鳴管10a～10fのうち、環状を形成するループの始点と終点との位置(交点)から、共鳴管10に連通して分岐している。なお、「始点および終点の位置から分岐している」とは、枝管11と共鳴管10の連結部分における、枝管11の延長線がこの始点および終点を含むことを意味する。ここで、図1の破線(符号A2)を基準として図1における紙面上、上側の管部が枝管11であり、下側の管部が共鳴管10(10f, 10a)である。枝管11と共鳴管10の境界は厳密に規定されるものではなく、例えば、符号A2の破線が、紙面上、やや上側に位置するものであってもよい。

30

なお、作動気体としては、窒素、ヘリウム、アルゴン、ヘリウムとアルゴンとの混合物や空気等がよく用いられる。

40

【0029】

[原動機]

原動機20は、複数の共鳴管10a～10fを連結している。「原動機が共鳴管を連結している」とは、封入した作動気体が流通可能なように、原動機を介して共鳴管が接続されている状態をいう。ここでは、4つの原動機20a～20dが共鳴管10a～10eに連結され、共鳴管10fが共鳴管10eおよび10aに連結することで、共鳴管10a～10fが一体の環状の共鳴管10として原動機20a～20dにより連結されている。

【0030】

原動機20(20a～20d)は、熱音響機関1の自励振動発生手段として機能するも

50

のであり、共鳴管 10 の管路に設けられている。原動機 20 は、共鳴管 10 の管路に設けられた蓄熱器 21 と、蓄熱器 21 の両端を挟むように設けられた加熱器 22 および冷却器 23 とを有している。そして、加熱器 22 は蓄熱器 21 の一端側に配置され、冷却器 23 はその反対側、すなわち蓄熱器 21 の他端側に配置されている。なお、原動機 20 の位置は、自励振動による仕事流 W が、音響エネルギー E として枝管 11 の他端 11b に伝達される位置であれば、特に限定されるものではない。

原動機 20 の構成について、ここでは、原動機 20a を取り上げて説明するが、原動機 20b ~ 20d についても原理は同様である。

【0031】

(蓄熱器)

蓄熱器(原動機用蓄熱器)21は、共鳴管10の管路に設けられ、作動気体を加熱および冷却するものである。

蓄熱器21は、加熱器22および冷却器23によって蓄熱器21の両端部間に温度勾配を形成して作動気体の自励振動を発生させる。すなわち蓄熱器21は、その一端部(以下、適宜、高温部21bと称する)と、その他端部(以下、適宜、常温部(原動機側常温部)21aと称する)との間に生じる温度差を保つことによって、主として作動気体の自励振動(圧力振動)による仕事流 W を発生する機能を有している。蓄熱器21は、例えば共鳴管10の延在方向(管路方向)に多数の平行通路を有するセラミックス製の八ニカム構造体や、多数枚のステンレス鋼メッシュ薄板を微小ピッチで積層した構造体とすることができる。あるいは金属繊維よりなる不織布状物等を用いることも可能である。

【0032】

(加熱器)

加熱器22は、蓄熱器21の一端側に隣接して共鳴管10の管路に設けられ、蓄熱器21の一端部(高温部21b)を加熱するものである。すなわち加熱器22は、外部熱源に接続して蓄熱器21の一端を加熱する熱入力部として機能する。加熱器22は、例えば、加熱用の熱交換器から構成される。具体的には、例えば、メッシュ板等の多数枚の金属板が微小ピッチで積層された構成とされる。この加熱器22には図示しない加熱装置が接続されており、その外周に設けられた環状部材22aを介して加熱処理される構成になっている。なお、図面では便宜上、蓄熱器21と加熱器22の間に環状部材22aの左壁が示されているが、加熱器22は、この左壁を通して蓄熱器21の一端側と隣接、すなわち密着している。

【0033】

(冷却器)

冷却器23は、蓄熱器21の他端側に隣接して共鳴管10の管路に設けられ、蓄熱器21の他端部(常温部21a)の熱を外部に放出するものである。すなわち冷却器23は、冷却水や空気等を用いて蓄熱器21の他端の熱を外部に放出して冷却する機能を有している。冷却器23は、例えば、冷却用の熱交換器から構成される。冷却器23としては、基本的には加熱器22と同一構成で、例えば、メッシュ板等の多数枚の金属板が微小ピッチで積層された構成になっている。この冷却器23は、その周囲に冷却ブラケット23aが配設されている。この冷却ブラケット23aには図示しない冷却水路が接続されており、冷却水路を流れる冷却水により、冷却器23は冷却ブラケット23aを介して一定の冷却温度を維持しうる構成になっている。なお、図面では便宜上、蓄熱器21と冷却器23の間に冷却ブラケット23aの右壁が示されているが、冷却器23は、この右壁を通して蓄熱器21の他端側と隣接、すなわち密着している。

【0034】

そして本発明は、共鳴管および蓄熱器の流路断面積、共鳴管の流路断面積と蓄熱器の流路断面積との関係を規定したものである。以下、これらを規定した理由について説明する。

【0035】

共鳴管における空間的な粘性散逸は定在波の音場の場合に大きく、進行波の音場の場合

10

20

30

40

50

に少ない。よって、共鳴管を進行波音場とすることはエネルギー輸送の面で優位性を有する。本発明においては、「蓄熱器位置全てで高音響インピーダンスの進行波を実現」と同時に、「蓄熱器以外の位置では音響インピーダンスの値が c 程度の進行波を実現」するため、まず始点（図 4 の 0 の点位置）の音響インピーダンスの値を c 程度とし、共鳴管 10 a の区間を進行波音場とする。

ここで、 ρ は作動気体の密度、 c は音速であり、 ρc は物理値として一定になる。例えば 0.1 MPa の空気（300 K）の場合 ρc は約 403.3 N s / m^3 、3.0 MPa の空気（300 K）の場合 ρc は約 $12098.1 \text{ N s / m}^3$ 、0.1 MPa のヘリウム（300 K）の場合 ρc は約 163.6 N s / m^3 、0.1 MPa のアルゴン（300 K）の場合 ρc は約 517.0 N s / m^3 である。「 c 程度」とは、音響インピーダンスの値が c と同一の場合の他、例えば、 $\pm 30\%$ 程度の範囲内であってもよいことを意味する。すなわち、前記の ρc の値に対する $\pm 30\%$ の範囲内であり、 $\pm 15\%$ であることがより好ましい。

【0036】

一方、蓄熱器において c 程度の進行波では圧力振幅に対して流速振幅が大きいために、大きな粘性散逸とドリムパイプ効果を生み出し、高いエネルギー変換効率を実現することは難しい。高いエネルギー変換効率を実現するためには、高音響インピーダンスの進行波が必要となる。ここで、局所的に蓄熱器の流路断面積を拡大することによって、圧力振幅を大きく変化させずに、流速振幅を小さくすることが可能であり、高音響インピーダンスを実現することができる。

【0037】

そこで本発明では、局所的に蓄熱器の流路断面積を共鳴管の流路断面積に対して 4 ~ 36 倍に拡大することで高音響インピーダンスの進行波を用いたエネルギー変換を実現した。ただし、高音響インピーダンスの進行波を空間的に維持することは困難である。よって、蓄熱器直後の共鳴管の流路断面積を、蓄熱器の流路断面積よりも縮小することで、 c 程度の進行波を再び実現する。また、仕事流 W の増幅率と同じ、あるいはその $\pm 30\%$ の範囲内にある増幅率で共鳴管 10 b の流路断面積を共鳴管 10 a の流路断面積に対して拡大することで、共鳴管 10 b においても c 程度の進行波を実現する。そして、以降の共鳴管 10 b ~ 10 e と原動機 20 b ~ 20 d の蓄熱器 21 に関しても同様の構成とする。

【0038】

なお、音響インピーダンスは、半導体圧力センサーを用いて、角周波数（ $2\pi f$: f は周波数）、時間 t 、位相差 ϕ を測定し、下記式から求められる（特開 2011-99606 号公報参照）。

【0039】

音響インピーダンスを、

気体の圧力振幅を、 $P = |P| \exp(i\omega t)$

音波の流速振幅を、 $U = |U| \exp\{i(\omega t + \phi)\}$

とするとき、

$$Z = P / U = \{|P| \exp(i\omega t)\} / \{|U| \exp\{i(\omega t + \phi)\}\}$$

【0040】

すなわち、音響インピーダンスは、気体の圧力振幅（ P ）の音波の流速振幅（ U ）に対する比で表され、そして、実数部と虚数部とで構成される。

【0041】

そして、共鳴管 10 の流路断面積は、作動気体の密度を ρ 、音速を c としたときに、音響インピーダンスの値が ρc 程度となるように設定されている。そして、共鳴管 10 では、音場が進行波へと調整される。

【0042】

上記事項に基づき、本発明の熱音響機関は、共鳴管および蓄熱器の流路断面積、共鳴管の流路断面積と蓄熱器の流路断面積を以下のように規定したものである。

【0043】

10

20

30

40

50

加熱器 22 に連結する共鳴管 10 の流路断面積は、加熱器 22 を備える原動機 20 の冷却器 23 に連結する共鳴管 10 の流路断面積に対し、自励振動による仕事流 W の増幅率と同じ、あるいはその $\pm 30\%$ の範囲内にある増幅率で拡大したものとする。

例えば、原動機 20 a では、この原動機 20 a の加熱器 22 に連結する共鳴管 10 b の流路断面積は、この蓄熱器 21 を備える原動機 20 a の冷却器 23 に連結する共鳴管 10 a の流路断面積に対し、自励振動による仕事流 W の増幅率と同じ、あるいはその $\pm 30\%$ の範囲内にある増幅率で拡大している。原動機 20 b ~ 20 d に連結する共鳴管 10 b ~ 10 e についても同様である。

【0044】

言い換えれば、複数の共鳴管 10 のそれぞれの流路断面積は、自励振動による仕事流 W の進行方向に向かうにつれて、共鳴管 10 毎に仕事流 W の増幅率と同じ、あるいはその $\pm 30\%$ の範囲内にある増幅率で拡大している。なお、「仕事流 W の進行方向」は、共鳴管 10 a から順に、10 b、10 c、10 d、10 e、10 f に向かう方向である。

ここで、「共鳴管の流路断面積」とは、長手方向（流路方向）に対して垂直に切断した場合の流路の断面積であり、管の内径の面積、すなわち、仕事流 W が流通する部位の面積である。「仕事流 W」とは、作動気体の振動に基づく仕事、エネルギーの移動を意味し、音波によって運ばれる力学的エネルギーであり、後記する実施例での式(6)で定義される。具体的には、圧力振幅と断面平均体積流速振幅を乗じ、2 で除したものが仕事流 W の値になる。

【0045】

また、「仕事流 W の増幅率」とは、ここでは、加熱器温度を T_H 、冷却器温度を T_C としたときの各蓄熱器の温度比である「 T_H / T_C 」をいうものとする。例えば、原動機 20 a において、加熱器温度が 600 K、冷却器温度が 300 K であれば、仕事流 W の増幅率は 2 倍である。この場合、共鳴管 10 b の流路断面積を共鳴管 10 a の流路断面積に対して 2 倍とする。

共鳴管 10 b の流路断面積を、仕事流 W の増幅率と同じ、あるいはその $\pm 30\%$ の範囲内にある増幅率で共鳴管 10 a の流路断面積に対して拡大することで、共鳴管 10 b においても、音響インピーダンスの値が c 程度の進行波を実現することができる。共鳴管 10 c ~ 10 e についても同様である。

【0046】

ここで、共鳴管 10 b の流路断面積は、仕事流 W の増幅率と同じであることが好ましいが、仕事流 W の増幅率と $\pm 30\%$ の範囲内であれば高い熱効率を示す。なお、 $\pm 30\%$ の範囲のうちでも、好ましくは $\pm 20\%$ 、より好ましくは $\pm 10\%$ 程度である。

【0047】

なお、各蓄熱器においては、温度比「 T_H / T_C 」の「仕事流 W の増幅率」が見込まれる。ただし、実際は不可逆的なエネルギー変換が含まれるため、実際の「仕事流 W の増幅率」は「 T_H / T_C 」より小さい値となる。後記する実施例でのシミュレーションにおいても不可逆的なエネルギー変換を考慮しているため、「仕事流 W の増幅率」は「 T_H / T_C 」より小さい値となっている。ここで、「仕事流 W の増幅率」は、測定値、シミュレーションの値、温度比「 T_H / T_C 」の順に正確な増幅率であるため、共鳴管 10 b は、実際の測定値や、シミュレーションの値と同一の増幅率としてもよい。この場合、これらの値は、前記した「 $\pm 30\%$ 」の範囲に含まれる。なお、本発明においては、利便性の観点から、温度比「 T_H / T_C 」を「仕事流 W の増幅率」とすることとしている。

【0048】

ここで、仕事流 W の測定方法について以下に示す（琵琶 哲志：“熱音響工学初学者のための計測入門”。低温工学, Vol. 43, pp.517-526 (2008) 参照）。

すなわち仕事流 W は、 Z_R （音響インピーダンス実数部）と次式で関係づけられる。

$$W = (A / 2) (Z_R) |U|^2$$

このとき Z_R ：音響インピーダンス実数部，A：管内流路断面積，U：流速振幅である。

上式で与えられる仕事流 W の符号は音響パワーの流れの向きを表す。正ならば座標軸の向きに流れ、負ならば逆方向への流れを表す。

【0049】

さらに、蓄熱器 21 の流路断面積は、蓄熱器 21 を備える原動機 20 の冷却器 23 に連結する共鳴管 10 の流路断面積の 4 ~ 36 倍とする。好ましくは 6.5 ~ 15 倍、より好ましくは 7 ~ 11 倍である。これらの範囲内にあると、実用的な高い熱効率を示す。

例えば、原動機 20 a の蓄熱器 21 の流路断面積は、原動機 20 a に連結する共鳴管 10 a の流路断面積の 4 ~ 36 倍とする。原動機 20 b ~ 20 d についても同様である。

ここで、「蓄熱器の流路断面積」とは、共鳴管の流路断面積に対向する面の断面積であり、仕事流 W が流通する部位の面積である。

蓄熱器の流路断面積を、冷却器に連結する共鳴管の流路断面積の 4 ~ 36 倍とすることで、蓄熱器位置全てで高音響インピーダンスの進行波とすることができる。なお、4 倍未満、あるいは 36 倍を超えても、蓄熱器の流路断面積が、冷却器に連結する共鳴管の流路断面積よりも大きければ、音響インピーダンスはある程度高くはなるが、4 ~ 36 倍の範囲内に比べると高くはなく、熱効率が低下し、実用的ではない。また、36 倍を超えると、熱音響機関のサイズが大きくなり、生産性に劣るといふ問題や、取り扱いが不便になるという問題が生じる。よって、本発明においては、熱効率が比較的高く、かつ生産性や取り扱い等を考慮して、4 ~ 36 倍の範囲に規定することとした。

【0050】

また、最終的に共鳴管 10 f の流路断面積並びに長さを変更することで圧力振幅の実数部と虚数部の空間的变化を調整し、共鳴管 10 における「ループ始点と終点における圧力振幅は同等である」という境界条件を満たすことができる。

【0051】

本発明の熱音響機関は、主に、熱音響発電機や、熱音響冷凍機として用いられる。

次に、図面を参照して、熱音響機関を用いた熱音響機関の一例として、前記の熱音響機関 1 を用いた場合の熱音響発電機および熱音響冷凍機について説明する。

【0052】

< 熱音響発電機 >

図 2 に示すように、熱音響発電機 50 は、前記した熱音響機関 1 に加え、さらに、枝管 11 の他端 11 b に接続され、枝管 11 に連通して、作動気体に発生する自励振動に共振して発電を行なう発電機（リニア発電機）30 を備えるものである。発電機 30 を備える以外については、前記の熱音響機関 1 で説明したとおりであるので、ここでは発電機 30 について説明する。

【0053】

[発電機]

発電機 30 は、枝管 11 の他端 11 b に接続され、枝管 11 に連通して、さらに共鳴管 10 の一部（共鳴管 10 f , 10 a）に連通するかたちで設けられており、作動気体に発生する自励振動に共振して発電を行なうリニア発電機として機能する。すなわち、音響エネルギー E である自励振動に基づき内側ヨーク 33 を往復振動させて、音響エネルギー E を電気エネルギーに変換するものである。これにより、枝管 11 を通って伝達した音響エネルギー E を、内側ヨーク 33 の往復運動を介して電気エネルギーに変換する、いわゆる熱音響発電機 50 を形成することができる。ここで、図 2 の破線（符号 A 3）を基準として図 2 における紙面上、上側が発電機 30 であり、下側の管部が枝管 11 である。枝管 11 と発電機 30 の境界は厳密に規定されるものではなく、符号 A 3 の破線が、紙面上、やや下側に位置するものであってもよい。

【0054】

発電機 30 は、枝管 11 の他端 11 b に接続され、共鳴管 10 および枝管 11 の内部で生じる圧力変動に対応した内部圧力変動を受ける圧力容器 39 を備えている。圧力容器 39 内には、外側ヨーク（円筒）31 , 31 と、外側ヨーク 31 , 31 にそれぞれ収容されるコイル 32 , 32 と、外側ヨーク 31 , 31 の間に位置する内側ヨーク（円筒）33 と

10

20

30

40

50

、外側ヨーク 3 1 , 3 1 のそれぞれと内側ヨーク 3 3 との間に設けられた永久磁石 3 4 , 3 4 と、が備えられている。なお、永久磁石 3 4 , 3 4 は、それぞれ S 極と N 極の磁石から構成されている。

【 0 0 5 5 】

発電機 3 0 におけるこのような構造は、コイル 3 2 , 3 2 を周回する磁束密度の時間変化により電流が発生するという原理に基づいた発電方式を採用している。すなわち、音響エネルギー E である自励振動に基づき内側ヨーク 3 3 がストロークすることにより、コイル 3 2 , 3 2 を周回する磁束密度が大きく変化し、発電が行われる。また、内側ヨーク 3 3 に突起 3 3 a を取り付けることによって、エアギャップを磁束が通過することによる磁束密度の低下を抑止することができる。

10

【 0 0 5 6 】

このような直線運動を直接電力に変換するリニア発電システムは、変換機構による変換ロスや摩擦損失が根本的に存在しないというメリットがあり、発電機全体を小型化することや、高効率化を期待することができる。また、往復運動のストローク変動が発生するフリーピストン型スターリングエンジンを用いたり、潮力エネルギー、振動エネルギー等を発電に利用したりした場合、振動を回転に変換することが困難であることから、高効率リニア発電機へのニーズは高まっている。

【 0 0 5 7 】

< 熱音響冷凍機 >

図 3 に示すように、熱音響冷凍機 6 0 は、前記した熱音響機関 1 に加え、さらに、枝管 1 1 の他端 1 1 b に連通して接続された環状の冷凍用ループ管 1 2 を有する。そして、冷凍用ループ管 1 2 の管路に、冷凍機 4 0 として、冷凍用蓄熱器 4 1 と、冷凍用冷却器 4 3 と、冷氣放出器 4 2 と、を備える。冷凍機 4 0 および冷凍用ループ管 1 2 を備える以外については、前記の熱音響機関 1 で説明したとおりであるので、ここでは冷凍機 4 0 およびこれを管路に備える冷凍用ループ管 1 2 について説明する。

20

【 0 0 5 8 】

[冷凍用ループ管]

冷凍用ループ管 1 2 は、作動気体が封入される環状の管であり、その管路は角丸の四角形に形成され、四辺に該当する直線部を形成する直管部 1 2 a ~ 1 2 d からなる。すなわち、四辺に該当する直線部を形成する縦方向に略平行に並んだ 2 つの直管部 1 2 a、1 2 b と、横方向に略平行に並んだ 2 つの直管部 1 2 c、1 2 d と、を有している。そして、直管部 1 2 a の一端と直管部 1 2 c の一端、直管部 1 2 b の一端と直管部 1 2 c の他端、直管部 1 2 b の他端と直管部 1 2 d の一端が接続されて湾曲している。また、直管部 1 2 a の他端と直管部 1 2 d の他端が接続されるとともに、この部位において、冷凍用ループ管 1 2 に連通して枝管 1 1 の他端 1 1 b が接続されている。ここで、図 3 の破線 (符号 A 4) を基準として図 3 における紙面上、上側の管部が冷凍用ループ管 1 2 であり、下側の管部が枝管 1 1 である。ここでは、枝管 1 1 における冷凍用ループ管 1 2 との接続部は、右側が湾曲しているが、直角に形成しているものであってもよい。また、枝管 1 1 と冷凍用ループ管 1 2 の境界は厳密に規定されるものではなく、符号 A 4 の破線が、紙面上、やや下側 (例えば、前記湾曲していない部分) に位置するものであってもよい。

30

40

【 0 0 5 9 】

[冷凍機]

冷凍機 4 0 は、原動機 2 0 によって発生する作動気体の自励振動による仕事流 W を冷氣 (冷熱) に変換するヒートポンプ手段として機能するものである。冷凍機 4 0 は、冷凍用ループ管 1 2 内に設けられた冷凍用蓄熱器 4 1 と、冷凍用蓄熱器 4 1 の両端を挟むように設けられた冷凍用冷却器 4 3 および冷氣放出器 4 2 とを有している。より具体的には、冷凍機 4 0 は、本実施形態において、冷凍用ループ管 1 2 における枝管 1 1 が接続されている側、すなわち冷凍用ループ管 1 2 の直管部 1 2 a の管路に設けられている。そして、冷凍用冷却器 4 3 は冷凍用蓄熱器 4 1 の直管部 1 2 c 側に配置され、冷氣放出器 4 2 はその反対側、すなわち冷凍用蓄熱器 4 1 の直管部 1 2 d 側に配置されている。

50

【 0 0 6 0 】

(冷凍用蓄熱器)

冷凍用蓄熱器 4 1 は、冷凍用ループ管 1 2 の管路に設けられ、作動気体を冷却するものである。

冷凍用蓄熱器 4 1 は、原動機 2 0 から、枝管 1 1、冷凍用ループ管 1 2 の直管部 1 2 d、1 2 b、1 2 c、1 2 a の順にこれらの管を通じて冷凍用蓄熱器 4 1 の一端部（以下、適宜、常温部（冷凍機側常温部）4 1 a と称する）に伝達された自励振動を、冷凍用蓄熱器 4 1 の一端部（常温部 4 1 a）と冷凍用蓄熱器 4 1 の他端部（以下、適宜、低温部 4 1 b と称する）との間における温度差に変換する機能を有している。冷凍用蓄熱器 4 1 の常温部 4 1 a は冷凍用冷却器 4 3 によって冷却されているため、伝達された自励振動によって、冷凍用蓄熱器 4 1 の低温部 4 1 b は、常温部 4 1 a よりも低い温度まで冷却されて冷気が発生する。この冷気は、冷気放出器 4 2 によって外部に取り出される。冷凍用蓄熱器 4 1 は、熱容量の大きい蓄冷材からなる。蓄冷材としては、例えば、ステンレス鋼、銅、鉛等を用いることができ、またその形状は多様な形状を適用することが可能である。

10

【 0 0 6 1 】

(冷凍用冷却器)

冷凍用冷却器 4 3 は、冷凍用蓄熱器 4 1 の自励振動が伝わる一端側に隣接して冷凍用ループ管 1 2 の管路に設けられ、冷凍用蓄熱器 4 1 の一端部（常温部 4 1 a）の熱を外部に放出するものである。すなわち冷凍用冷却器 4 3 は、冷却水や空気等を用いて冷凍用蓄熱器 4 1 の一端の熱を外部に放出して冷却する機能を有している。冷凍用冷却器 4 3 は、例えば、冷却用の熱交換器から構成される。具体的には、例えば、メッシュ板等の多数枚の金属板が微小ピッチで積層された構成になっている。この冷凍用冷却器 4 3 は、その周囲に冷却ブラケット 4 3 a が配設されている。この冷却ブラケット 4 3 a には図示しない冷却水路が接続されており、冷却水路を流れる冷却水により、冷凍用冷却器 4 3 は冷却ブラケット 4 3 a を介して一定の冷却温度を維持しうる構成になっている。なお、図面では便宜上、冷凍用蓄熱器 4 1 と冷凍用冷却器 4 3 の間に冷却ブラケット 4 3 a の左壁が示されているが、冷凍用冷却器 4 3 は、この左壁を通して冷凍用蓄熱器 4 1 の一端側と隣接、すなわち密着している。

20

【 0 0 6 2 】

(冷気放出器)

冷気放出器 4 2 は、冷凍用蓄熱器 4 1 の他端側に隣接して冷凍用ループ管 1 2 の管路に設けられ、冷凍用蓄熱器 4 1 の他端部（低温部 4 1 b）に発生する冷気を外部に放出するものである。すなわち冷気放出器 4 2 は、冷凍用蓄熱器 4 1 の他端において発生する冷気を外部に取り出す冷気出力部として機能する。冷気放出器 4 2 は、例えば、冷凍用の熱交換器から構成される。冷気放出器 4 2 としては、基本的には冷凍用冷却器 4 3 と同一構成とされており、例えば、メッシュ板等の多数枚の金属板が微小ピッチで積層された構成とされている。この冷気放出器 4 2 の外周位置には、冷気（冷熱）を取り出す高熱伝導率材料（例えば、銅）よりなる環状部材 4 2 a が配設されている。なお、図面では便宜上、冷凍用蓄熱器 4 1 と冷気放出器 4 2 の間に環状部材 4 2 a の右壁が示されているが、冷気放出器 4 2 は、この右壁を通して冷凍用蓄熱器 4 1 の他端側と隣接、すなわち密着している。

30

40

【 0 0 6 3 】

< 熱音響機関の動作 >

次に熱音響機関の動作について、前記説明した熱音響発電機および熱音響冷凍機を例にして図 2 および図 3 を参照して説明する。

【 0 0 6 4 】

[熱音響発電機の動作]

図 2 に示すように、まず、原動機 2 0 において、加熱器 2 2 によって蓄熱器 2 1 の高温部 2 1 b を加熱し、かつ、冷却器 2 3 によって蓄熱器 2 1 の常温部 2 1 a を冷却すると、蓄熱器 2 1 の両端に、すなわち、高温部 2 1 b と常温部 2 1 a との間に温度差が生じる。

50

この温度差により、原動機 20 (具体的には、蓄熱器 21) には、主として作動気体の自励振動による仕事流 W が生じる。そして、原動機 20 において発生した自励振動による仕事流 W は、音響エネルギー E として、例えば原動機 20 a では、共鳴管 10 b , 10 c , 10 d , 10 e , 10 f、枝管 11 の順にこれらの管を通じて発電機 30 へと伝達される。原動機 20 b ~ 20 d おいても同様に、発生した自励振動による仕事流 W は、音響エネルギー E として、共鳴管 10、枝管 11 を通じて発電機 30 へと伝達される。そして発電機 30 に伝達された自励振動に基づき内側ヨーク 33 を往復振動させることで、音響エネルギー E が電気エネルギーに変換されて発電が行なわれる。

【 0065 】

[熱音響冷凍機の動作]

図 3 に示すように、前記した熱音響発電機の動作と同様にして、原動機 20 (具体的には、蓄熱器 21) に主として作動気体の自励振動による仕事流 W が生じる。そして、原動機 20 において発生した自励振動による仕事流 W は、音響エネルギー E として枝管 11 を通じて冷凍機 40 へと伝達される。より具体的には、例えば原動機 20 a では、蓄熱器 21 の高温部 21 b から、音響エネルギー E として共鳴管 10 b , 10 c , 10 d , 10 e , 10 f、枝管 11、冷凍用ループ管 12 の直管部 12 d , 12 b , 12 c , 12 a を通じて冷凍用蓄熱器 41 の常温部 41 a へと伝達される。原動機 20 b ~ 20 d おいても同様に、発生した自励振動による仕事流 W は、音響エネルギー E として、共鳴管 10、枝管 11、冷凍用ループ管 12 を通じて冷凍機 40 へと伝達される。

【 0066 】

次に、冷凍用蓄熱器 41 へと伝達された自励振動は、冷凍用冷却器 43 によって外部に熱を放出して冷却されている冷凍用蓄熱器 41 の常温部 41 a と冷凍用蓄熱器 41 の低温部 41 b との間における温度差に変換される。そして、この冷凍用蓄熱器 41 の両端の温度差によって冷凍用蓄熱器 41 の低温部 41 b に発生した冷気 (冷熱) が、冷気放出器 42 によって外部に取り出されることにより、冷凍能力が得られる。

【 実施例 】

【 0067 】

次に、本発明に係る実施例について説明する。本実施例では、数値計算によって、「蓄熱器位置全てで高音響インピーダンスの進行波を実現」すると同時に、「蓄熱器以外の位置では音響インピーダンスの値が c 程度の進行波を実現」する装置構成を提案し、実際の性能を検証した。すなわち、後記する所定の計算式を用いて装置構成を提案し、さらにこの計算式を用いたシミュレーションにより、図 5 ~ 9 に示すデータを算出し、性能を検証した。

【 0068 】

本実施例で用いる数値計算モデル (すなわち、熱音響機関の構成) を図 4 に示す。なお、図 4 においては、熱音響機関の形状をわかりやすくするため、模式的に図示している。ここでは、冷却器、加熱器および蓄熱器からなる原動機 (ゼロ点 (0 の点) から時計回りに原動機 20 a , 20 b , 20 c , 20 d とする) を、共鳴管 10 a ~ 10 f、枝管 11 で構成した枝付きループ管内に四ヶ所設置する多段増幅型熱音響エンジンを計算モデルの一例として用いた。なお、図中、 $L_1 \sim L_6$ は、それぞれ共鳴管 10 a ~ 10 f の長さである。

【 0069 】

ここでは、後記する計算手法を用いて「蓄熱器位置全てで高音響インピーダンスの進行波を実現」すると同時に、「蓄熱器以外の位置では音響インピーダンスの値が c 程度の進行波を実現」するように、蓄熱器の設置位置、断面積、流路、並びに共鳴管流路等を最適化した。各部詳細諸元を表 1 に示す。なお、表 1 中、Unit 1 ~ 4 は、それぞれ原動機 20 a ~ 20 d を意味する。また、Unit における流路は、例えばメッシュの直径を想定している。さらに、共鳴管の直径は内径を意味し、Unit の直径は内径、すなわち仕事流 W が流通する部位を意味する。

【 0070 】

10

20

30

40

50

【表 1】

Table 1 装置各部諸元

	長さ (m)	直径 (mm)	開口率 (%)	流路徑 (mm)
共鳴管 10a	0.1	40	100	40
Unit 1				
冷却器	0.04	154	83.4	2.6
蓄熱器	0.02	154	60	0.13
加熱器	0.04	154	83.4	2.6
共鳴管 10b	2.865	57	100	57
Unit 2				
冷却器	0.04	218	83.4	2.6
蓄熱器	0.02	218	60	0.13
加熱器	0.04	218	83.4	2.6
共鳴管 10c	2.865	81	100	81
Unit 3				
冷却器	0.04	310	83.4	2.6
蓄熱器	0.02	310	60	0.13
加熱器	0.04	310	83.4	2.6
共鳴管 10d	2.865	114	100	114
Unit 4				
冷却器	0.04	437	83.4	2.6
蓄熱器	0.02	437	60	0.13
加熱器	0.04	437	83.4	2.6
共鳴管 10e	0.074	166	100	166
共鳴管 10f	0.1	40	100	40

10

20

30

40

50

【0071】

なお各加熱器温度は600 K、各冷却器温度は300 K、作動気体は300 Kのヘリウムガス(3 MPa)とした。純粋な進行波音場では音響インピーダンスは空間的に一様であり、純実数 c で与えられる。本実施例で一例として用いる作動気体は300 Kのヘリウムガス(3 MPa)であるため、 c は約 4973.4 N s / m^3 となる。

【0072】

次に、本実施例で用いた計算手法を以下に記す。ただし、熱音響機関は本発明の構成を満たす条件であればよく、その詳細な条件は、以下の計算手法に限らず、他の手法を用いて決定してもよい。本実施例の数値計算では、運動量の式、連続の式を線形長波長近似することによってRottが導いた以下の式 (N. Rott, Z. Angew. Math. Phys. 20, pp.230-243, 1969.) を用いた。

【 0 0 7 3 】

【 数 1 】

$$\frac{d}{dx} \begin{bmatrix} p \\ U \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \frac{-j\omega\rho_m}{A_c(1-\chi_v)} \\ -\frac{j\omega A_c}{p_m} \left\{ 1 - \frac{\gamma-1}{\gamma}(1-\chi_v) \right\} & \frac{\chi_\alpha - \chi_v}{(1-\chi_v)(1-\sigma)} \frac{1}{T_m} \frac{dT_m}{dx} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p \\ U \end{bmatrix} \tag{1}$$

$$= \mathbf{A} \begin{bmatrix} p \\ U \end{bmatrix} \tag{1}$$

10

20

【 0 0 7 4 】

ここで p : 圧力振幅, U : 断面平均体積流速振幅, j : 虚数, ω : 角周波数, ρ_m : 平均密度, A_c : 断面積, p_m : 平均圧力, γ : 比熱比, Pr : プラントル数, T_m : 平均温度, α, ν : 温度拡散係数, 動粘性係数に依存する複素関数である。式 (1) の行列 A の固有値と固有ベクトルを求め対角化を行うと, x = 0 における p (0) と U (0) を使って連続な x 点の情報を得ることが可能な以下の式を得る。

【 0 0 7 5 】

【 数 2 】

$$\begin{bmatrix} p(x) \\ U(x) \end{bmatrix} = \mathbf{B} \begin{bmatrix} p(0) \\ U(0) \end{bmatrix} \tag{2}$$

30

$$B_{11} = \frac{(-\lambda_2 e^{\lambda_1 x} + \lambda_1 e^{\lambda_2 x})}{\sqrt{A_{22}^2 + 4A_{12}A_{21}}}, \quad B_{12} = \frac{A_{12}(e^{\lambda_1 x} - e^{\lambda_2 x})}{\sqrt{A_{22}^2 + 4A_{12}A_{21}}},$$

$$B_{21} = \frac{A_{21}(e^{\lambda_1 x} - e^{\lambda_2 x})}{\sqrt{A_{22}^2 + 4A_{12}A_{21}}}, \quad B_{22} = \frac{(\lambda_1 e^{\lambda_1 x} - \lambda_2 e^{\lambda_2 x})}{\sqrt{A_{22}^2 + 4A_{12}A_{21}}},$$

40

$$\lambda_{1,2} = \frac{A_{22} \pm \sqrt{A_{22}^2 + 4A_{12}A_{21}}}{2}.$$

50

【 0 0 7 6 】

式 (2) を図 4 に おける ゼロ 点 から 時計 回りに 連続 空間 毎に 連結 し 「 ループ 始点 と 終点 に おける 圧力 振幅 は 同等 」 である という 境界 条件 を 用いる と 伝達 マトリクス は 以下 と なる

【 0 0 7 7 】

【 数 3 】

$$\begin{bmatrix} p(x_n) \\ U(x_n) \end{bmatrix} = \mathbf{B}_n \cdots \mathbf{B}_2 \mathbf{B}_1 \begin{bmatrix} p(0) \\ U(0) \end{bmatrix} = \mathbf{C} \begin{bmatrix} p(0) \\ U(0) \end{bmatrix} \quad \dots \dots \dots (3)$$

10

【 0 0 7 8 】

ここで、各蓄熱器の温度勾配は「蓄熱器においてエンタルピー流Hは一定」であるという条件を用いて求めている。式 (3) より 始点 の インピーダンス は 次式 で 表す こと が でき る。

【 0 0 7 9 】

【 数 4 】

$$\frac{p(0)}{V(0)} = Z(0) = \frac{C_{12}}{1 - C_{11}} \quad \dots \dots \dots (4)$$

20

【 0 0 8 0 】

式 (4) の 値 を 初期 値 と して 用いる こと で ループ 内 の インピーダンス 分布 を 求める。 な お、 エンジン に 入力 され る 熱量 Q 並び に 仕事 流 W は 以下 の 式 で 求め た。

【 0 0 8 1 】

【 数 5 】

$$Q = H - W = -\frac{1}{2} \operatorname{Re} \left[\frac{\chi_a - \tilde{\chi}_v}{(1 + \sigma)(1 - \tilde{\chi}_v)} p \cdot \tilde{U} \right] + \frac{C_p \rho_m}{A_C 2 \omega} \operatorname{Im} \left[\frac{\chi_a - \sigma \chi_v}{|1 - \chi_v|^2 (1 - \sigma^2)} \right] |U|^2 \frac{dT_m}{dx} \quad \dots \dots \dots (5)$$

30

$$W = \frac{1}{2} \operatorname{Re} [p \cdot \tilde{U}] \quad \dots \dots \dots (6)$$

40

【 0 0 8 2 】

ここで C_p は 等 圧 比 熱、 「 ~ 」 は 複 素 共 役 で あり ます。 本 実 施 例 で は 基 礎 的 な 検 討 を 目 的 と して いる た め に、 式 (5) に お い て 単 純 熱 伝 導 に よ る 熱 流 は 無 視 し て いる。

【 0 0 8 3 】

な お、 熱 音 響 機 関 は ループ 形 状 な の で、 始 点 と 終 点 は 同 一 箇 所 と なる。 当 然、 熱 音 響 機 関 が 実 機 で 駆 動 し て いる 際 は 始 点 と 終 点 の 圧 力 振 幅 は 同 等 と なる。 例 え ば、 数 値 シ ム ュ レ ー シ ョ ン 上 で 始 点 の 音 響 イ ン ピ ー ダ ン ス の 値 を c と 設 定 し た 場 合、 終 点 の 圧 力 振 幅 の 値 が 始 点 の 圧 力 振 幅 の 値 と 同 等 に な れ ば、 そ の 熱 音 響 機 関 は 実 際 に 実 機 に お い て も 駆 動 す る こと に なる。 終 点 の 圧 力 振 幅 の 値 が 始 点 の 圧 力 振 幅 の 値 と なる よ う に 共 鳴 管 1 0 e お よ び

50

10 f の直径並びに長さを変更することで圧力振幅の実数部と虚数部の空間的变化を調整し、数値シミュレーション上で、「始点と終点の圧力振幅は同等である」という境界条件を満たしている。数値シミュレーションで上述の境界条件が満たされていれば、実機も同様に始点の音響インピーダンスの値が c で駆動する。なお、図 4 では、共鳴管 10 e から 10 f へと直径を一段で小さく変更して 10 a と同じにしているが、例えば、テーパ状に収縮して共鳴管 10 a と同じ直径にしてもよい。

【0084】

本実施例の数値計算モデルにおける、音響インピーダンス分布を図 5 (a)、(b) に、圧力と流速との間の位相差を図 6 に、仕事流 W 分布を図 7 に示す。図中のハッチングは各原動機 (図中、Unit と記す) の位置である。なお、図 5 (a) は実数部、図 5 (b) は虚数部を示している。さらに図 7 は、始点の仕事流 W の値 W_0 で任意点の仕事流 W を除すことで始点を基準とした値に正規化した。

10

【0085】

結果を確認すると、図 5 (a) では共鳴管 10 a ~ 10 e それぞれにおいて音響インピーダンスは概ね 4973.4 N s / m^3 前後であると同時に、図 5 (b) においても、各共鳴管の音響インピーダンス虚数部は、ほぼゼロである。さらに図 6 における圧力と流速との間の位相差は、共鳴管 10 a ~ 10 e の全領域に渡り $\pm 19^\circ$ 以内であり、提案した構成では概ね進行波音場が実現されていることが確認できる。

【0086】

次に、図 7 の仕事流 W を確認する。本実施例では各加熱器温度 T_H を 600 K 、冷却器温度 T_C を 300 K としているために、理想的には各蓄熱器で「温度比： $T_H / T_C = 2$ 」となり、2 倍の仕事流 W 増幅が見込まれる。図 7 より、本実施例における各蓄熱器の仕事流 W 増幅率は 1.91 , 1.90 , 1.91 , 1.91 倍であり、温度比に比較的近い増幅率を得ることに成功している。最終的な仕事流 W の増幅率は 12.4 倍に達した。また、共鳴管においては、 c 程度の進行波が実現されているために、粘性散逸に伴う仕事流 W の減衰は非常に少ない。以上の検証により、提案した構成を用いることで、「蓄熱器位置全てで高音響インピーダンスの進行波を実現」すると同時に、「蓄熱器以外の位置では音響インピーダンスの値が c 程度の進行波を実現」することが可能であることが示された。

20

【0087】

次に、同条件における提案構成の熱効率について検証する。各原動機における蓄熱器の熱流成分を図 8、9 に示す。図 8 において、(a) は原動機 20 a における蓄熱器 (蓄熱器 1)、(b) は原動機 20 b における蓄熱器 (蓄熱器 2)、図 9 において、(a) は原動機 20 c における蓄熱器 (蓄熱器 3)、(b) は原動機 20 d における蓄熱器 (蓄熱器 4) の熱流成分である。なお、同図において、 W は仕事流、 Q_{prog} は進行波による熱流、 Q_{stand} は定在波による熱流、 Q_D はドリームパイプ効果による熱流であり、横軸は各蓄熱器内部の位置を示している。本実施例では各蓄熱器位置において、高音響インピーダンスの進行波が実現されているため、ドリームパイプ効果による熱流と定在波による熱流は極めて少ない。

30

【0088】

図 8、9 より、各蓄熱器における熱効率は、蓄熱器 1 で 34.1% 、蓄熱器 2 で 33.6% 、蓄熱器 3 で 34.5% 、蓄熱器 4 で 33.5% であった。また、全ての加熱器に投入した熱量を負荷に流れ出す仕事流 W で除すことで求めた装置全体の熱効率は 33.8% であった。これは、カルノー効率の 67.7% に達する高効率であり、加熱器温度 600 K 程度の低温熱源でガソリンエンジン並みの効率を実現している。

40

【0089】

なお、熱効率は熱音響エンジンにおける仕事流 W の増幅量 (W) を、入力熱量の総和 ($Q_D + Q_{prog} + Q_{stand}$) により除すことで求めている。 Q_D と Q_{prog} と Q_{stand} は蓄熱器の加熱器側の端部の値であり、グラフの右端の値である。また、 W は蓄熱器両端の値の差である。これらの値から、以下の式により熱効率 を求めること

50

ができる。

$$\text{「熱効率} = W / (Q_D + Q_{p r o g} + Q_{s t a n d}) \text{」}$$

【0090】

以上のとおり、本実施例では多段熱音響エンジンを対象に「蓄熱器位置全てで高音響インピーダンスの進行波を実現」すると同時に、「蓄熱器以外の位置では音響インピーダンスの値が c 程度の進行波を実現」する構成を数値計算により提案した。そして、提案した構成における粘性散逸並びに不可逆的なエネルギー変換は極めて少なく、熱効率は加熱器温度 600 K の際、33.8% を実現した。すなわち、カルノー効率の 67.7% に達する高効率であった。

【0091】

以上、本発明について実施の形態および実施例を示して詳細に説明したが、本発明の趣旨は前記した内容に限定されることなく、その権利範囲は請求の範囲の記載に基づいて広く解釈しなければならない。なお、本発明の内容は、前記した記載に基づいて広く改変・変更等が可能であることはいうまでもない。

【0092】

例えば、熱音響発電機や熱音響冷凍機の構成は、前記説明した形態のものに限定されるものではなく、その他の一般的に用いられている構成の熱音響発電機や熱音響冷凍機においても、本発明の構成を適用することができる。例えば、熱音響発電機においては、発電機（リニア発電機）の構成は、前記説明したものに限定されるものではなく、熱音響発電機として用いられる発電機であればどのような構成であってもよい。

【0093】

また、全体としての共鳴管や冷凍用ループ管の平面視の形状は、前記した実施形態では角丸の四角形としたが、これらの形状はこれに限定されるものではなく、例えば、正方形や円、あるいは楕円の形状であってもよい。さらに、原動機の数 は 4 つとして説明したが、その数は任意であり、2 ~ 20 個程度まで共鳴管の経路内に設置可能である。

また、ここでは、枝管に接続される共鳴管は、共鳴管 10 f と共鳴管 10 a とからなるが、これらは直径（内径）が同一の一体とした 1 つの共鳴管としてもよい。同様に、共鳴管 10 e と共鳴管 10 f は、ここでは別の共鳴管としたが、これらを一体とした 1 つの共鳴管としてもよい。

【符号の説明】

【0094】

- 1 熱音響機関
- 10, 10 a ~ 10 f 共鳴管
- 11 枝管
- 12 冷凍用ループ管
- 20, 20 a ~ 20 d 原動機
- 21 蓄熱器
- 22 加熱器
- 23 冷却器
- 30 発電機（リニア発電機）
- 40 冷凍機
- 41 冷凍用蓄熱器
- 42 冷気放出器
- 43 冷凍用冷却器
- 50 熱音響発電機
- 60 熱音響冷凍機

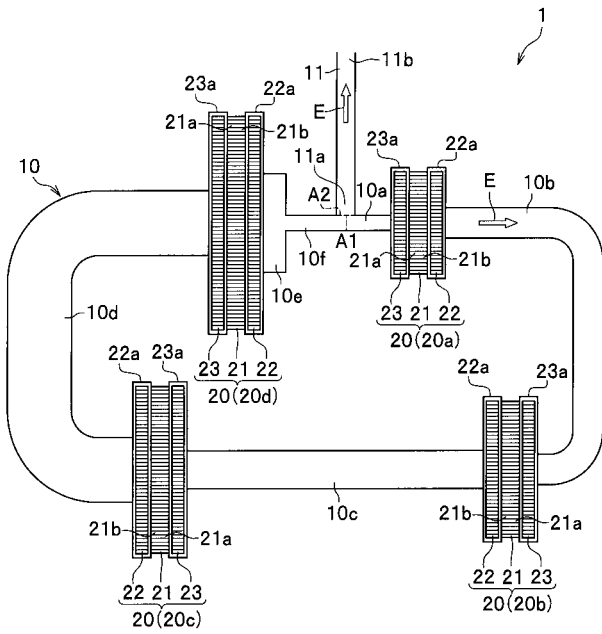
10

20

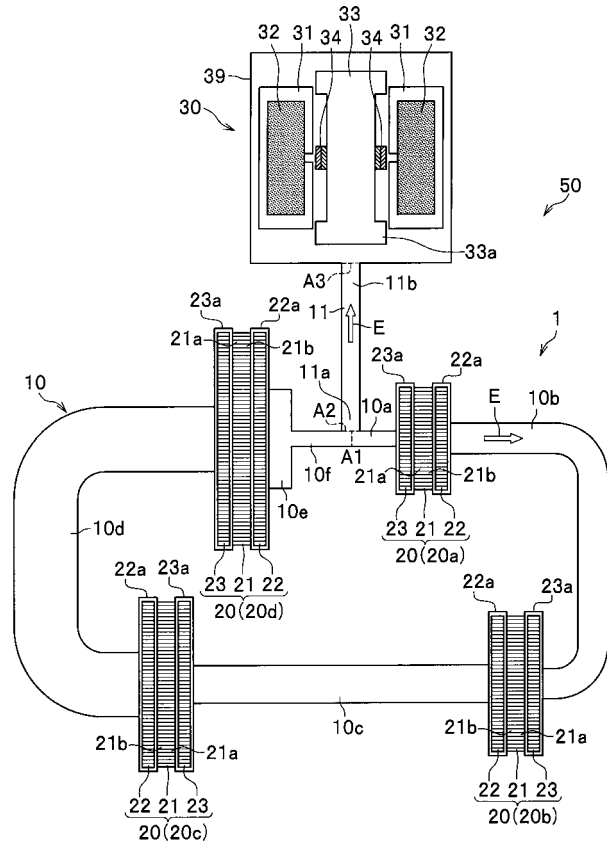
30

40

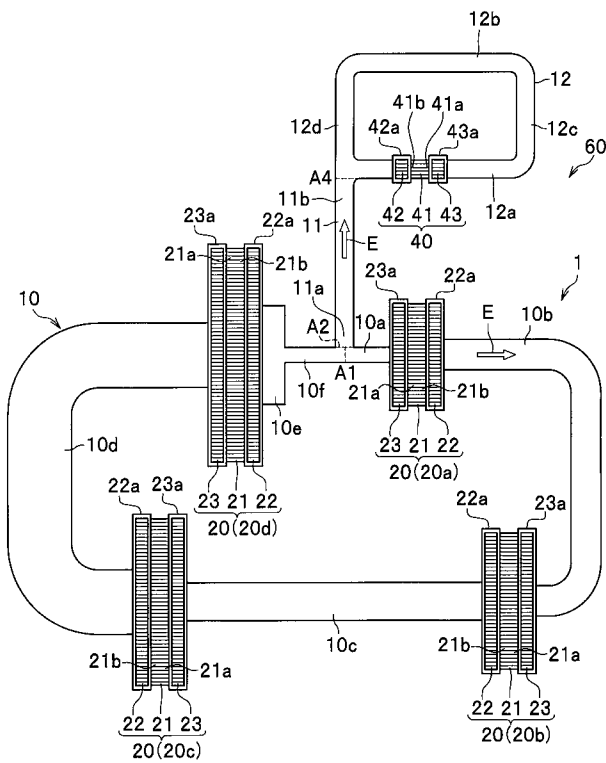
【 図 1 】



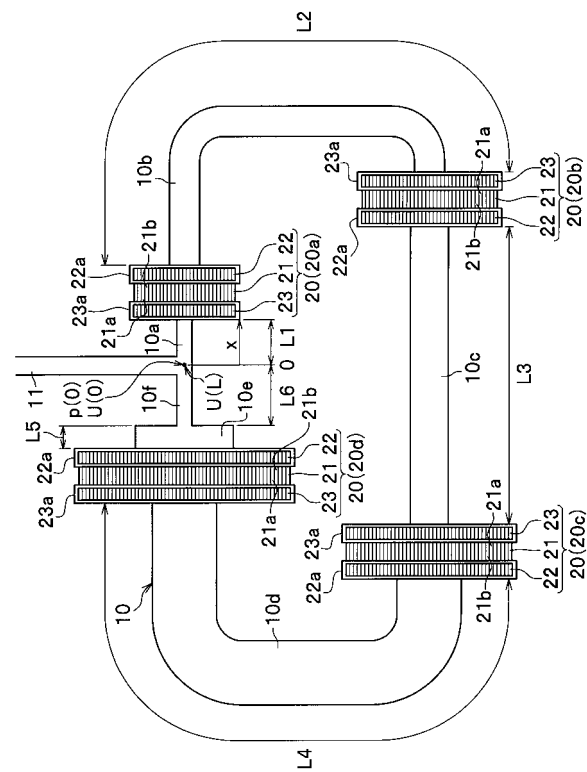
【 図 2 】



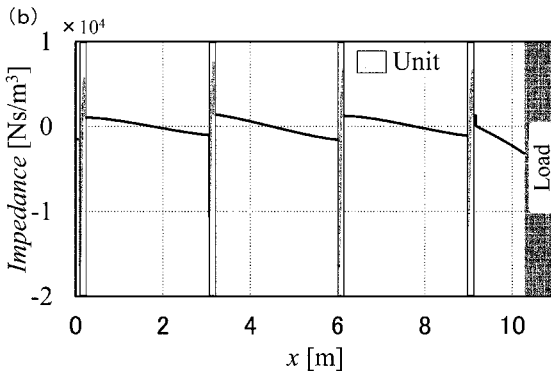
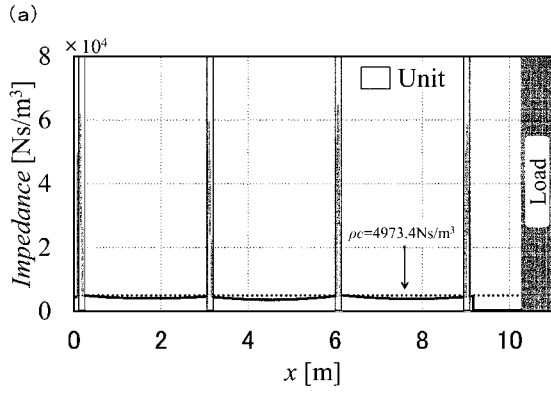
【 図 3 】



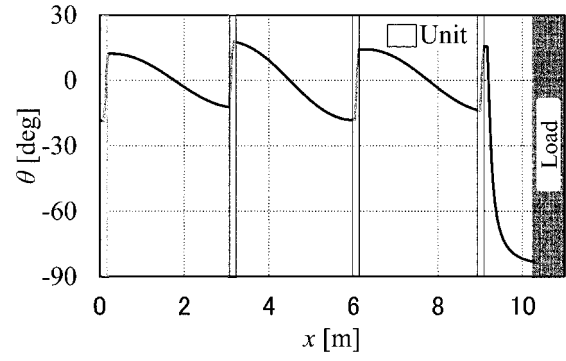
【 図 4 】



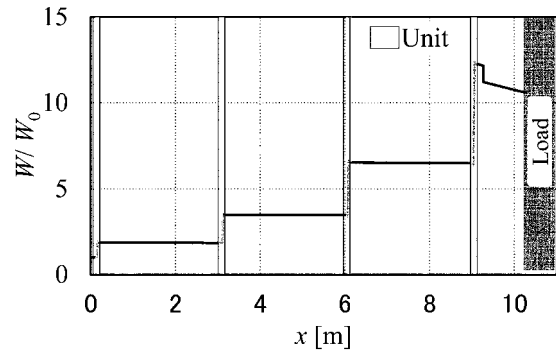
【 5 】



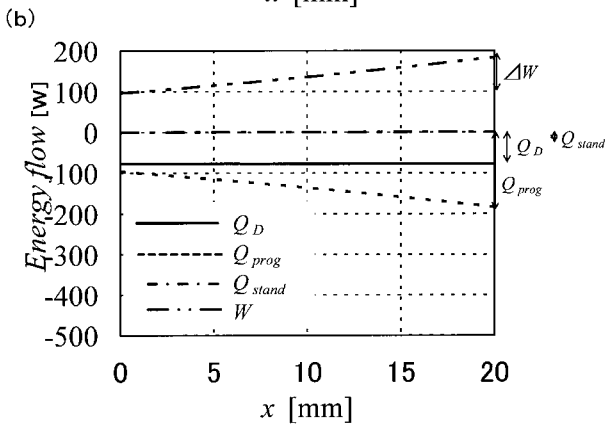
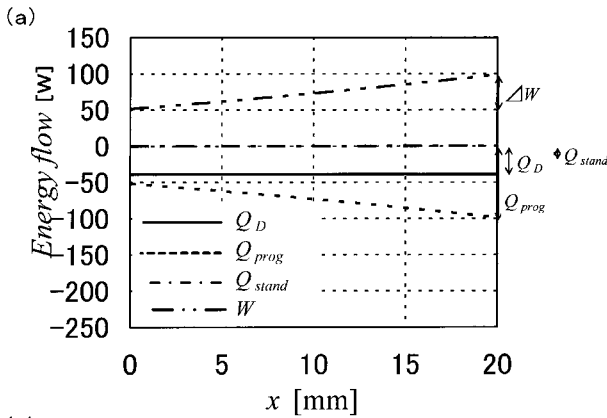
【 6 】



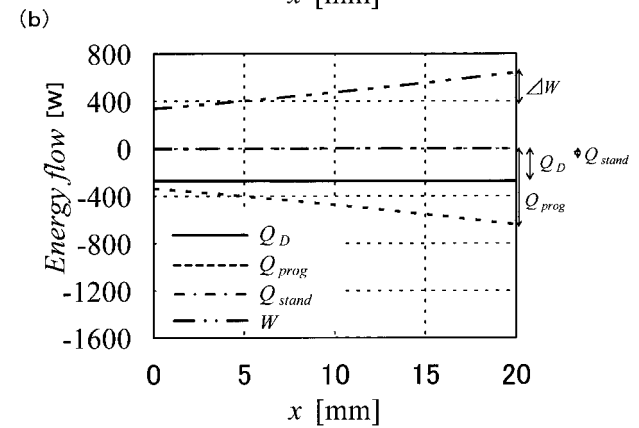
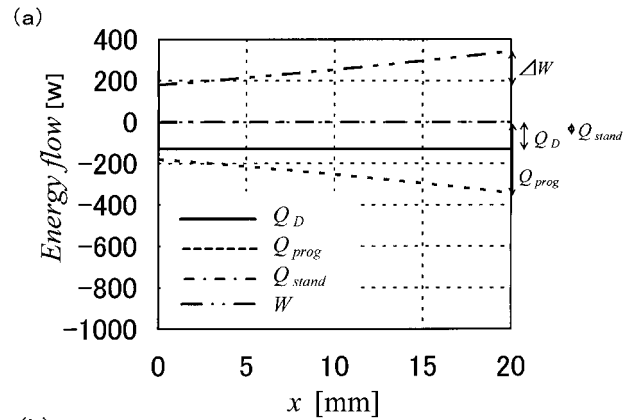
【 7 】



【 8 】

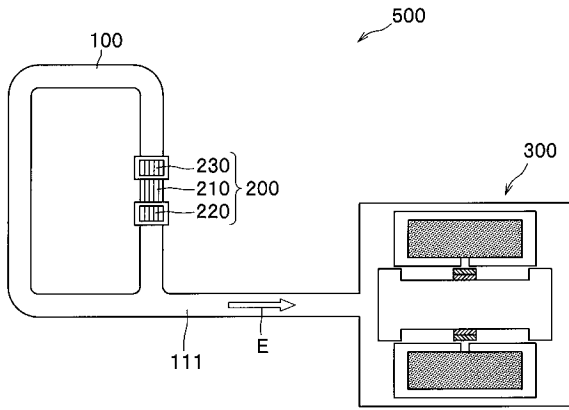


【 9 】

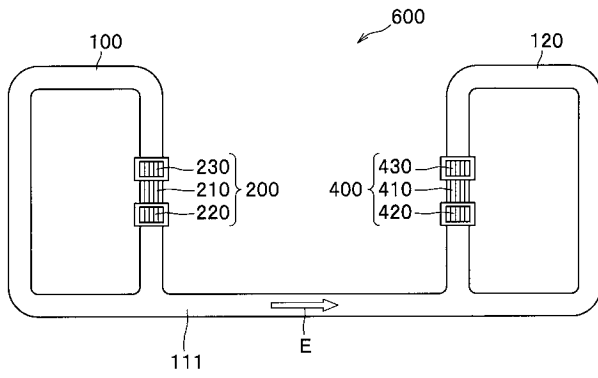


【 図 1 0 】

(a)



(b)



【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/JP2012/081193
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 1996-2013 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2013 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2013 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 2006-118728 A (Daikin Industries, Ltd.), 11 May 2006 (11.05.2006), entire text; all drawings (Family: none)	1-3
A	JP 2010-261687 A (Isuzu Motors Ltd.), 18 November 2010 (18.11.2010), entire text; all drawings (Family: none)	1-3
A	US 5901556 A (THE UNITED STATES OF AMERICA), 11 May 1999 (11.05.1999), column 8, line 19 to column 9, line 3; column 11, lines 35 to 57; fig. 1, 4 (Family: none)	1-3
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> 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 14 February, 2013 (14.02.13)		Date of mailing of the international search report 26 February, 2013 (26.02.13)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office		Authorized officer
Facsimile No.		Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2012/081193

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 2006-214406 A (Denso Corp.), 17 August 2006 (17.08.2006), paragraphs [0093], [0099]; fig. 16, 21 (Family: none)	1-3

国際調査報告		国際出願番号 PCT/J P 2 0 1 2 / 0 8 1 1 9 3									
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 <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922-1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971-2013年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2013年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2013年</td> </tr> </table>				日本国実用新案公報	1922-1996年	日本国公開実用新案公報	1971-2013年	日本国実用新案登録公報	1996-2013年	日本国登録実用新案公報	1994-2013年
日本国実用新案公報	1922-1996年										
日本国公開実用新案公報	1971-2013年										
日本国実用新案登録公報	1996-2013年										
日本国登録実用新案公報	1994-2013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 2006-118728 A (ダイキン工業株式会社) 2006.05.11, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-3									
A	JP 2010-261687 A (いすゞ自動車株式会社) 2010.11.18, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-3									
A	US 5901556 A (THE UNITED STATES OF AMERICA) 1999.05.11, 第8欄第19行-第9欄第3行、第11欄第35-57行、図1,4 (ファミリーなし)	1-3									
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。		<input type="checkbox"/> 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 14.02.2013		国際調査報告の発送日 26.02.2013									
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) 鈴木 充	3M 8916 電話番号 03-3581-1101 内線 3377								

国際調査報告		国際出願番号 PCT/JP2012/081193
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 2006-214406 A (株式会社デンソー) 2006.08.17, 【0093】, 【0099】, 図16, 21 (ファミリーなし)	1-3

フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), EP(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), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), 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, IS, JP, KE, KG, KM, 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, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC

(72)発明者 山口 剛史
神奈川県平塚市北金目四丁目1番1号 東海大学内

(72)発明者 金子 知弘
神奈川県平塚市北金目四丁目1番1号 東海大学内

(注)この公表は、国際事務局(WIPO)により国際公開された公報を基に作成したものである。なおこの公表に係る日本語特許出願(日本語実用新案登録出願)の国際公開の効果は、特許法第184条の10第1項(実用新案法第48条の13第2項)により生ずるものであり、本掲載とは関係ありません。