

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6467284号  
(P6467284)

(45) 発行日 平成31年2月13日 (2019.2.13)

(24) 登録日 平成31年1月18日 (2019.1.18)

(51) Int.Cl.

F I

FO1N 13/00 (2010.01)

FO1N 13/00

B

FO1N 5/02 (2006.01)

FO1N 13/00

Z

FO1N 5/02

Z

請求項の数 7 (全 26 頁)

(21) 出願番号 特願2015-98473 (P2015-98473)  
 (22) 出願日 平成27年5月13日 (2015.5.13)  
 (65) 公開番号 特開2016-211517 (P2016-211517A)  
 (43) 公開日 平成28年12月15日 (2016.12.15)  
 審査請求日 平成30年1月22日 (2018.1.22)

(73) 特許権者 000004064  
 日本碍子株式会社  
 愛知県名古屋市瑞穂区須田町2番56号  
 (74) 代理人 100088616  
 弁理士 渡邊 一平  
 (74) 代理人 100154829  
 弁理士 小池 成  
 (72) 発明者 宮入 由紀夫  
 愛知県名古屋市瑞穂区須田町2番56号  
 日本碍子株式会社内  
 (72) 発明者 三輪 真一  
 愛知県名古屋市瑞穂区須田町2番56号  
 日本碍子株式会社内

審査官 二之湯 正俊

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 水回収装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

水蒸気を含む排気ガスから水を回収する水回収装置において、  
 燃料を燃焼させて、水蒸気を含む排気ガスを排出する燃焼装置に接続され、該燃焼装置により排出された排気ガスの排気路を形成する排気ガス管と、  
 前記排気ガス管中の排気ガスを冷却して該排気ガス中の水蒸気を凝結させることで水を生成する水生成部と、  
 前記排気路上に設けられ、前記水生成部によって生成された水を収容する水収容部と、  
 を備え、  
 前記水生成部が、  
 前記排気ガス管から熱を吸収し該熱を、振動することで音波を伝搬する作動流体に与えて振動させることにより、音波を発生する音波発生部と、  
 前記作動流体によって内部が満たされ、前記音波発生部により発生した音波を該作動流体の振動により伝播する伝播管と、  
 前記伝播管により伝播されて来た音波を受けて該音波に熱を渡すことで冷熱を生成して前記排気ガス管に供給する冷熱生成部と、を有するものであり、  
 前記音波発生部は、2つの端面の間を貫通する貫通孔であって前記作動流体によって内部が満たされる貫通孔を形成する壁部を有し、該壁部と前記作動流体との間で授受される熱と、前記作動流体の振動による音波のエネルギーとを相互に変換する第1の熱・音波変換部品を備えたものであり、

前記冷熱生成部は、2つの端面の間を貫通する貫通孔であって前記作動流体によって内部が満たされ前記伝播管によって伝播されてきた音波が進行する貫通孔を形成する壁部を有し、該壁部と前記作動流体との間で授受される熱と、前記作動流体の振動による音波のエネルギーとを相互に変換する第2の熱・音波変換部品を備えたものであって、

前記第1の熱・音波変換部品および前記第2の熱・音波変換部品のそれぞれは、前記壁部として、前記2つの端面の間を延在する複数のセルを区画形成する隔壁を有するハニカム構造体であり、

前記ハニカム構造体の前記セルの貫通方向に垂直な前記セルの断面の面積を $S$ 、該断面の周長を $C$ としたときに $HD = 4 \times S / C$ で定義される水力直径 $HD$ が $0.4 \text{ mm}$ 以下であり、

前記ハニカム構造体の各端面における開口率が $60\%$ 以上 $93\%$ 以下である水回収装置。

#### 【請求項2】

前記音波発生部は、前記排気ガス管に接触するとともに、前記第1の熱・音波変換部品の前記2つの端面のうちの一方の端面に近接して設けられた第1の熱交換器であって、前記排気ガス管から該一方の端面へ熱の伝達を行って該一方の端面を他方の端面よりも相対的に高温化する第1の熱交換器を備えたものであり、

前記伝播管は、該伝播管の一方の端部で前記第1の熱・音波変換部品の前記他方の端面に直接あるいは間接に接続され、該他方の端面から出てくる音波を該伝播管の他方の端部に向けて伝播するものであり、

前記冷熱生成部は、前記排気ガス管に接触するとともに、前記第2の熱・音波変換部品の前記2つの端面のうちの、前記貫通孔中の音波の進行方向上流側の端面に近接して設けられ、前記伝播管の他方の端部と接続された第2の熱交換器であって、前記伝播管により伝播されて来た音波に熱を渡して前記進行方向上流側の前記端面を前記進行方向下流側の端面よりも相対的に低温化する第2の熱交換器を備えたものである請求項1に記載の水回収装置。

#### 【請求項3】

前記音波発生部は、前記第1の熱・音波変換部品の前記2つの端面のうちの前記他方の端面に近接して設けられ、周囲の大気との間で熱交換を行って該他方の端面の温度をほぼ大気の温度に維持する第3の熱交換器をさらに備えたものであり、

前記冷熱生成部は、前記第2の熱・音波変換部品の前記2つの端面のうちの前記進行方向下流側の前記端面に近接して設けられ、周囲の大気との間で熱交換を行って前記進行方向下流側の前記端面の温度をほぼ大気の温度に維持する第4の熱交換器をさらに備えたものである請求項2に記載の水回収装置。

#### 【請求項4】

前記第1の熱・音波変換部品および前記第2の熱・音波変換部品のうちの少なくとも一方は、コーゼライト製のハニカム構造体である請求項1～3のいずれか1項に記載の水回収装置。

#### 【請求項5】

前記燃焼装置は、燃料を気化して燃焼させることで動力を生成するエンジンであって、気化した燃料に水を噴射して混入させる水混入機構を有するものであり、

前記水収容部により収容された水を前記水混入機構に供給する水供給機構をさらに備えた請求項1～4のいずれか1項に記載の水回収装置。

#### 【請求項6】

前記排気ガス管は、前記燃焼装置により排出される全排気ガスの $1 \sim 50$ 体積%の排気ガスについての排気路を形成するバイパス排気管である請求項5に記載の水回収装置。

#### 【請求項7】

該排気ガス管の外部に向かって突出し、該排気ガス管の熱を該排気ガス管外部に放出する放熱部材を前記排気ガス管上に備えた請求項1～6のいずれか1項に記載の水回収装置。

10

20

30

40

50

**【発明の詳細な説明】****【技術分野】****【0001】**

本発明は、水蒸気を含む排気ガスから水を回収する水回収装置に関する。

**【背景技術】****【0002】**

近年では、社会全体で二酸化炭素削減の要請が高まっており、この要請を受けて、燃料を燃焼して動力を生成する技術分野（たとえば自動車のエンジン）では、動力機関の熱効率（仕事率）を向上させる様々な技術の開発が試みられている。

**【0003】**

ガソリンエンジンの熱効率を向上させる一つの方法としては、気化したガソリンと空気との混合気体を圧縮する際の圧縮率を高くすることが考えられる。実際、この方法では、この圧縮混合気体に点火したときに、より大きな爆発力（膨張力）を得ることができるので、同じ量の燃料から、より大きな動力を生成することが可能となる。

**【0004】**

しかしながら、圧縮率を高くした場合には、点火装置による点火よりも前に、ガソリンエンジン内のカーボン等の不純物が火種となって発火するといった異常燃焼が起こりやすくなることが一般に知られている。

**【0005】**

こうした問題を回避するための1つの策として、気化したガソリンと空気との混合気体に対し、あらかじめ水を噴射して混入させることが提案されている（たとえば、非特許文献1参照）。この方式では、混入した水により、ガソリンエンジン内の乾燥が抑えられて異常燃焼が抑制される。この噴射混入用の水は、タンク等の容器に蓄えられてガソリンエンジンの作動とともに少しずつ使用されていき、容器内の水が不足してくると、燃料のガソリンと同様、外部から調達して補給される。

**【先行技術文献】****【非特許文献】****【0006】**

【非特許文献1】インターネット上のURL：<http://www.foxnews.com/leisure/2015/03/12/bmw-water-injection-system-gives-turbo-engine-boost/>

**【発明の概要】****【発明が解決しようとする課題】****【0007】**

ところで最近では、上述の二酸化炭素削減の問題を含む環境問題に対する意識の高まりとともに、水資源の有効活用の要請がより一層強まっており、水資源を再利用する様々な技術の開発が強く求められるようになっている。

**【0008】**

ここで、上記の非特許文献1の方式では、水は、不足すると外部から調達して補給されることになるが、そもそもガソリンエンジンの排気ガスには多量の水蒸気が含まれている。こうした多量の水蒸気を廃棄しながら、別途新たな水を外部から調達するのは、水資源の無駄使いであり水資源の有効活用の要請に反するものである。

**【0009】**

このため、非特許文献1の技術を活用するに当たっては、排気ガスから水を回収してその水を、ガソリンエンジンの異常燃焼抑制のための水として利用することが強く望まれる。

**【0010】**

以上では、回収した水の使用目的として、ガソリンエンジンにおける異常燃焼の抑制という特定の使用目的を例にとって説明した。しかしながら、水は本来的に様々な目的で使用可能なものであるので、水資源の有効活用という観点に立てば、排気ガスから水を回収

10

20

30

40

50

することそれ自体が有用であって、この有用性は、上記の特定の使用目的が存在する場合に限定されるものではない。すなわち、排気ガスからの水の回収は、ガソリンエンジンに限らず、燃料を燃焼させて水蒸気を含む排気ガスを排出する一般の燃焼装置全体に対して共通して有用なものとなる。

【 0 0 1 1 】

実際、世界には、石油などの燃料は比較的入手が容易であるが水資源は入手が困難で貴重という地域もあり、こうした地域では、水資源の有効活用の必要性がきわめて高く、様々な燃焼装置の排気ガスから水を回収することができる技術はとりわけ有用なものとなる。

【 0 0 1 2 】

上記の事情を鑑み、本発明は、水蒸気を含む排気ガスから水を回収することで水資源の有効活用を図った水回収装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 3 】

上述の課題を解決するため、本発明は、以下の熱・音波変換部品、および、熱・音波変換ユニットを提供する。

【 0 0 1 4 】

[ 1 ] 水蒸気を含む排気ガスから水を回収する水回収装置において、

燃料を燃焼させて、水蒸気を含む排気ガスを排出する燃焼装置に接続され、該燃焼装置により排出された排気ガスの排気路を形成する排気ガス管と、前記排気ガス管中の排気ガスを冷却して該排気ガス中の水蒸気を凝結させることで水を生成する水生成部と、前記排気路上に設けられ、前記水生成部によって生成された水を収容する水収容部と、を備え、

前記水生成部が、前記排気ガス管から熱を吸収し該熱を、振動することで音波を伝搬する作動流体に与えて振動させることにより、音波を発生する音波発生部と、前記作動流体によって内部が満たされ、前記音波発生部により発生した音波を該作動流体の振動により伝播する伝播管と、前記伝播管により伝播されて来た音波を受けて該音波に熱を渡すことで冷熱を生成して前記排気ガス管に供給する冷熱生成部と、を有するものであり、前記音波発生部は、2つの端面の間を貫通する貫通孔であって前記作動流体によって内部が満たされる貫通孔を形成する壁部を有し、該壁部と前記作動流体との間で授受される熱と、前記作動流体の振動による音波のエネルギーとを相互に変換する第1の熱・音波変換部品を備えたものであり、前記冷熱生成部は、2つの端面の間を貫通する貫通孔であって前記作動流体によって内部が満たされ前記伝播管によって伝播されてきた音波が進行する貫通孔を形成する壁部を有し、該壁部と前記作動流体との間で授受される熱と、前記作動流体の振動による音波のエネルギーとを相互に変換する第2の熱・音波変換部品を備えたものであり、前記第1の熱・音波変換部品および前記第2の熱・音波変換部品のそれぞれは、前記壁部として、前記2つの端面の間を延在する複数のセルを区画形成する隔壁を有する八二カム構造体であり、前記八二カム構造体の前記セルの貫通方向に垂直な前記セルの断面の面積をS、該断面の周長をCとしたときに $HD = 4 \times S / C$ で定義される水力直径HDが0.4mm以下であり、前記八二カム構造体の各端面における開口率が60%以上93%以下である水回収装置。

【 0 0 1 5 】

[ 2 ] 前記音波発生部は、前記排気ガス管に接触するとともに、前記第1の熱・音波変換部品の前記2つの端面のうちの一方の端面に近接して設けられた第1の熱交換器であって、前記排気ガス管から該一方の端面へ熱の伝達を行って該一方の端面を他方の端面よりも相対的に高温化する第1の熱交換器を備えたものであり、

前記伝播管は、該伝播管の一方の端部で前記第1の熱・音波変換部品の前記他方の端面に直接あるいは間接に接続され、該他方の端面から出てくる音波を該伝播管の他方の端部に向けて伝播するものであり、

前記冷熱生成部は、前記排気ガス管に接触するとともに、前記第2の熱・音波変換部品の前記2つの端面のうちの、前記貫通孔中の音波の進行方向上流側の端面に近接して設け

10

20

30

40

50

られ、前記伝播管の他方の端部と接続された第2の熱交換器であって、前記伝播管により伝播されて来た音波に熱を渡して前記進行方向上流側の前記端面を前記進行方向下流側の端面よりも相対的に低温化する第2の熱交換器を備えたものである請求項1に記載の水回収装置。

【0016】

〔3〕 前記音波発生部は、前記第1の熱・音波変換部品の前記2つの端面のうちの前記他方の端面に近接して設けられ、周囲の大気との間で熱交換を行って該他方の端面の温度をほぼ大気の温度に維持する第3の熱交換器をさらに備えたものであり、前記冷熱生成部は、前記第2の熱・音波変換部品の前記2つの端面のうちの前記進行方向下流側の前記端面に近接して設けられ、周囲の大気との間で熱交換を行って前記進行方向下流側の前記端面の温度をほぼ大気の温度に維持する第4の熱交換器をさらに備えたものである〔2〕に記載の水回収装置。

10

【0018】

〔4〕 前記第1の熱・音波変換部品および前記第2の熱・音波変換部品のうちの少なくとも一方は、コーゼライト製のハニカム構造体である〔1〕～〔3〕のいずれかに記載の水回収装置。

【0019】

〔5〕 前記燃焼装置は、燃料を気化して燃焼させることで動力を生成するエンジンであって、気化した燃料に水を噴射して混入させる水混入機構を有するものであり、前記水収容部により収容された水を前記水混入機構に供給する水供給機構をさらに備えた〔1〕～〔4〕のいずれかに記載の水回収装置。

20

【0020】

〔6〕 前記排気ガス管は、前記燃焼装置により排出される全排気ガスの1～50体積%の排気ガスについての排気路を形成するバイパス排気管である〔5〕に記載の水回収装置。

【0021】

〔7〕 該排気ガス管の外部に向かって突出し、該排気ガス管の熱を該排気ガス管外部に放出する放熱部材を前記排気ガス管上に備えた〔1〕～〔6〕のいずれかに記載の水回収装置。

【発明の効果】

30

【0022】

本発明の水回収装置では、排気ガス管の熱に基づき音波が発生し、その音波を用いて冷熱が生成されて、その冷熱により排気ガス中の水蒸気が凝結して水が回収される。このように、本発明の水回収装置では、いわゆる熱・音響効果を利用して排気ガスから水を生成して回収することができ、水資源の有効活用が図られている。

【図面の簡単な説明】

【0023】

【図1】本発明の水回収装置の一実施形態が適用された水回収システムの概念的な模式構成図である。

【図2】図1の音波発生部の構成の一具体例を表した模式図である。

40

【図3】図2のAA線に沿った第1の熱交換器の断面図である。

【図4】図2に示す第1の熱・音波変換部品のセルの貫通方向に垂直な面内における熱・音波変換部品の断面図である。

【図5】図1の水回収装置1000が適用された別の水回収システムの概念的な模式構成図である。

【図6】図1の水回収装置や図5の水回収装置の水生成部における伝播管のバリエーションを表した図である。

【図7】図1の水回収装置や図5の水回収装置の水生成部における伝播管のバリエーションを表した図である。

【図8】図1の水回収装置や図5の水回収装置の水生成部における伝播管のバリエーション

50

ンを表した図である。

【図9】図1の水回収装置や図5の水回収装置の水生成部における伝播管のバリエーションを表した図である。

【発明を実施するための形態】

【0024】

以下、本発明の実施形態を、図面を参照しながら説明する。なお、本発明は以下の実施形態に限定されるものではなく、本発明の趣旨を逸脱しない範囲で、当業者の通常の知識に基づいて、適宜設計の変更、改良等が加えられることが理解されるべきである。

【0025】

図1は、本発明の水回収装置の一実施形態が適用された水回収システムの概念的な模式構成図である。

【0026】

図1に示す水回収システムは、燃焼装置2000および水回収装置1000により構成されている。

【0027】

燃焼装置2000は、燃料を燃焼させて、水蒸気を含む排気ガスを排出する装置である。燃焼装置2000としては、たとえば、燃料を燃焼させて動力を生成する動力機関（典型的にはエンジン）や、燃料を燃焼させて電力を生成する発電機関、燃料を燃焼させて暖房用の熱気（熱風）を生成する暖房機関などを挙げることができる。また、燃料としては、たとえば、石油や石炭や天然ガス、あるいは、これらの精製物・加工物からなる燃料を挙げることができる。こうした燃料では、燃焼すると空気中の酸素と結合して水蒸気の形で水が発生し、水蒸気を含む排気ガスが排出されることとなる。

【0028】

以下、水回収装置1000について説明する。水回収装置1000は、水生成部100、排気ガス管200、および水収容部300を備えている。

【0029】

排気ガス管200は、燃焼装置2000に接続され、燃焼装置2000により排出された排気ガスの排気路を形成するものである。なお、排気ガス管200上には、排気ガス管200の熱を外部に放出するため、排気ガス管200の外部に向かって突出した形状を有する放熱部材200aが設けられていることが好ましい。

【0030】

水生成部100は、排気ガス管200中の排気ガスを冷却して排気ガス中の水蒸気を凝結させることで水を生成するものである。水を生成するために水生成部100が有している構成については後述する。

【0031】

水収容部300は、上述した排気ガスの排気路上に設けられており、水生成部100で生成された水は、水収容部300に滴り落ちて水収容部300に収容される。なお、水生成部100による水の凝結処理が行われた後の排気ガスは水収容部300を通過し、最終的に外部に排気される。図1では、水収容部300を通過する排気ガスの経路が、水収容部300に向かう図中の下向き実線矢印、および、水収容部300から出ていく図中の上向き実線矢印で表されており、排気ガスが外部に排気される様子が、図中の太線右向き矢印で表されている。

【0032】

次に、水生成部100の構成について説明する。

【0033】

水生成部100は、音波発生部100A、冷熱生成部100B、および伝播管100Cを有している。

【0034】

音波発生部100Aは、排気ガス管200から熱を吸収し、その熱を、いわゆる熱音響効果を利用して音波エネルギーに変換することで音波を発生するものである。この音波工

10

20

30

40

50

エネルギーへの変換は、振動することで音波を伝搬する作動流体に対し、吸収した熱を与えて振動させることによって実現する。作動流体としては、たとえば、低粘性で反応性の低い希ガス等の気体を用いることができる。

【 0 0 3 5 】

音波エネルギーへの変換を実行するための構成として、音波発生部 1 0 0 A は、第 1 の熱・音波変換部品 1 A、および、2 つの熱交換器 2 A、3 A を備えている。第 1 の熱・音波変換部品 1 A には、第 1 の熱・音波変換部品 1 A の 2 つの端面の間を貫通する細い管状の貫通孔（たとえば、後述の複数のセル）が形成されており、この貫通孔は、内部が上述の作動流体によって満たされ後述の伝播管 1 0 0 C と連通している。2 つの熱交換器 2 A、3 A は、第 1 の熱・音波変換部品 1 A を間に置いて、第 1 の熱・音波変換部品 1 A の両端面にそれぞれ近接して設けられている。ここで、2 つの熱交換器 2 A、3 A のうち一方の熱交換器 2 A は排気ガス管 2 0 0 と接触し、他方の熱交換器 3 A は排気ガス管 2 0 0 とは離間している。この他方の熱交換器 3 A は大気との間で熱交換を行い、この他方の熱交換器 3 A が近接している第 1 の熱・音波変換部品 1 A の端面の温度を、大気温度に応じた 0 ~ 6 5 の範囲内のほぼ一定の低い温度に維持する。上記の一方の熱交換器 2 A は、排気ガス管 2 0 0 から、この一方の熱交換器 2 A が近接している第 1 の熱・音波変換部品 1 A の端面へ熱の伝達を行ってこの端面を他方の端面（上記の他方の熱交換器 3 A が近接している反対側の端面）よりも相対的に高い温度に維持する。

【 0 0 3 6 】

第 1 の熱・音波変換部品 1 A の両端部に上述の温度差が存在することにより、第 1 の熱・音波変換部品 1 A の細い管状の貫通孔内の作動流体は、この貫通孔の貫通方向に振動を開始し、その振動は音波として熱・音波変換部品 1 から外部に伝播していく。このように温度差を与えると作動流体が振動する現象は、自励振動と呼ばれており、細い管に温度勾配を与えたときに起きる従来からよく知られた現象である。熱音響効果とは、熱に起因するこうした作動流体の自励振動により音波が発生することを指している。ここで、この自励振動について簡単に説明する（なお、詳細については、数多くの文献で説明されているが、たとえば、特開 2 0 1 2 - 2 3 7 2 9 5 号公報でも詳しく説明されている）。

【 0 0 3 7 】

細い管に温度勾配が与えられると、高温側では、細い管の内部の作動流体は、管の壁面から熱を吸収して高温側から低温側へ向けて膨張する。そして、その低温側で壁面に対し熱を放出して収縮して元の高温側の方に戻る。このような壁面との熱の授受と膨張圧縮が繰り返されることで、結果的に、作動流体が管の延在方向に振動することとなる。簡単にいえば、この作動流体の動きは、壁の壁面の温度勾配を緩和する（弱める）ように、熱を運ぶ作動流体の動きだということができる。この説明からも明らかであるが、この現象は、管が細いために内部の作動流体に対する壁面の熱的影響が大きい場合にのみ生じるものである。このため、管を太くしていくと壁面の熱的影響が小さくなっていき（すなわち断熱状態に近づき）、こうした自励振動は生じにくくなる。そこで、自励振動により音波を発生させる上では、管の太さが重要な要素となり、この管の太さは、より定量的には、管の断面の面積を  $S$ 、この断面の周長を  $C$  としたときに  $H D = 4 \times S / C$  で定義される水力直径  $H D$  によって評価できる。

【 0 0 3 8 】

上述の第 1 の熱・音波変換部品 1 A における細い管状の貫通孔は、自励振動が生じるような十分に小さい水力直径  $H D$  を有しており、第 1 の熱・音波変換部品 1 A の両端面における上述の温度差により自励振動が生じる。この自励振動により、高温側である熱交換器 2 A 側の端面から低温側である熱交換器 3 A 側に進行する音波が発生する。熱交換器 3 A は、後述の伝播管 1 0 0 C と接続されており、発生した音波は、後述の冷熱生成部 1 0 0 B の熱交換器 2 B に向かってこの伝播管 1 0 0 C 内を進行する。

【 0 0 3 9 】

水生成部 1 0 0 の構成の説明に戻って、音波発生部 1 0 0 A 以外の水生成部 1 0 0 の構成要素である伝播管 1 0 0 C および冷熱生成部 1 0 0 B の説明を行う。

## 【 0 0 4 0 】

伝播管 1 0 0 C は、上述の作動流体によって内部が満たされており、音波発生部 1 0 0 A により発生した音波をこの作動流体の振動により伝播するものである。

## 【 0 0 4 1 】

冷熱生成部 1 0 0 B は、伝播管 1 0 0 C により伝播されて来た音波を受けて、上述の熱音響効果のメカニズム（貫通孔の温度勾配に起因して音波が発生）とは逆のメカニズム（音波に起因して貫通孔に温度勾配が発生）を利用して冷熱を生成し排気ガス管 2 0 0 に供給するものである。言い換えれば、冷熱生成部 1 0 0 B は、伝播管 1 0 0 C により伝播されて来た音波に対し、温度勾配が発生するように熱を渡すことで特定の箇所において低温状態を作り出し、この低温状態による冷熱を排気ガス管 2 0 0 に供給する。

10

## 【 0 0 4 2 】

冷熱生成のための構成として、冷熱生成部 1 0 0 B は、第 2 の熱・音波変換部品 1 B、および、2 つの熱交換器 2 B、3 B を備えている。上述の熱音響効果のメカニズムとは逆のメカニズムを利用することから明らかなように、第 2 の熱・音波変換部品 1 B、および、2 つの熱交換器 2 B、3 B としては、上述の音波発生部 1 0 0 A における、第 1 の熱・音波変換部品 1 A、および、2 つの熱交換器 2 A、3 A とそれぞれ同様の構成のものを採用することができる。

## 【 0 0 4 3 】

すなわち、第 2 の熱・音波変換部品 1 B には、第 2 の熱・音波変換部品 1 B の 2 つの端面の間を貫通する細い管状の貫通孔（たとえば、後述の複数のセル）が形成されており、この貫通孔は、内部が上述の作動流体によって満たされ後述の伝播管 1 0 0 C と連通している。伝播管 1 0 0 C により伝播されて来た音波はこの貫通孔内を進行する。2 つの熱交換器 2 B、3 B のうち一方の熱交換器 2 B は、上記の貫通孔における音波の進行方向上流側の第 2 の熱・音波変換部品 1 B の端面に近接するとともに、排気ガス管 2 0 0 と接触している。他方の熱交換器 3 B は、音波の進行方向下流側の第 2 の熱・音波変換部品 1 B の端面に近接しており、大気との間で熱交換を行ってこの下流側の端面の温度を、大気温度に応じた 0 ~ 65 の範囲内のほぼ一定の低い温度に維持する。上記の一方の熱交換器 2 B は、伝播管 1 0 0 C に接続されており、伝播管 1 0 0 C により伝播されて来た音波を受けて、この音波に応じた温度勾配が貫通孔に形成されるようにその音波に熱を渡す。この結果、この一方の熱交換器 2 B や、この一方の熱交換器 2 B が近接する第 2 の熱・音波変換部品 1 B の端面（音波の進行方向上流側の端面）は、他方の端面（音波の進行方向下流側の端面）よりも相対的に低い温度となる。排気ガス管 2 0 0 は、低温状態のこの一方の熱交換器 2 B に接触することで冷却される。言い換えれば、この一方の熱交換器 2 B から排気ガス管 2 0 0 に冷熱が供給されることとなる。

20

30

## 【 0 0 4 4 】

以下では、4 つの熱交換器 2 A、2 B、3 A、3 B を互いに明確に区別するため、排気ガス管 2 0 0 と接触している熱交換器である、音波発生部 1 0 0 A の熱交換器 2 A、および、冷熱生成部 1 0 0 B の熱交換器 2 B を、それぞれ、第 1 の熱交換器 2 A および第 2 の熱交換器 2 B と呼ぶ。また、排気ガス管 2 0 0 と接触していない熱交換器である、音波発生部 1 0 0 A の熱交換器 3 A、および、冷熱生成部 1 0 0 B の熱交換器 3 B を、それぞれ、第 3 の熱交換器 3 A および第 4 の熱交換器 3 B と呼ぶ。ここで、第 2 の熱交換器 2 B は、第 1 の熱交換器 2 A とは異なる役割を果たしているが、上述したように、第 1 の熱交換器 2 A と同じ構成のものを採用することができる。また、第 4 の熱交換器 3 B も、上述したように、第 3 の熱交換器 3 A と同じ構成のものを採用することができる。

40

## 【 0 0 4 5 】

上述したように、伝播管 1 0 0 C は、音波発生部 1 0 0 A における第 3 の熱交換器 3 A と、冷熱生成部 1 0 0 B における第 2 の熱交換器 2 B との双方に接続され、音波発生部 1 0 0 A で発生した音波を冷熱生成部 1 0 0 B に伝播する役割を果たしている。ここで、図 1 に示すように、伝播管 1 0 0 C は、冷熱生成部 1 0 0 B における第 4 の熱交換器 3 B と、音波発生部 1 0 0 A における第 1 の熱交換器 2 A との双方にも接続されており、この結

50



果、図1の水生成部100では、全体としてループ状の音波の伝播経路が形成されている。作動流体は、このループ状の伝播管100Cの中に閉じ込められて音波の伝播を担っており、音波は主に、このループ状の音波の伝播経路を、図1における時計回りの向きに進行する。以下では、このループ状の伝播管100Cに基づき、説明を続けるが、本発明では、伝播管の形状としては、必要最小限の要件として、音波発生部100Aで発生した音波を冷熱生成部100Bに伝播する経路があればよい。すなわち、本発明では、伝播管の形状は、図1の伝播管100Cのようなループ状の形態以外に、上記の必要最小限の要件を満たす、熱音響効果の分野ではよく知られて様々な形態を採用することができる。これら採用可能な様々な形態については後述する。

【0046】

以上が、図1の水生成部100の構成の説明である。

【0047】

水回収装置1000は、このように熱音響効果を利用する水生成部100を用いて排気ガス管200を冷却することで、排気ガス管200中の排気ガスから水を効率よく回収することができる。このため、本来ならば、大気中に廃棄されてしまう水を、別の目的で使うことができ、水資源の有効活用が図られている。ここで、水の使用目的としては、様々なものが考えられるが、たとえば、何らかの装置や部品の冷却や洗浄や加湿（加湿の具体的な一例については後述する）といった目的を挙げることができる。

【0048】

また、水生成部100による冷却は、本来ならばそのまま放出される排気ガス管200の熱を利用して行われるものであって、この熱以外には、外部からエネルギーの供給を受けていない（たとえば、別途の冷却水の循環などは必要とされない）ため、エネルギー資源の有効活用も同時に図られている。

【0049】

以下、図1に示す音波発生部100Aの構成の一具体例について説明する。

【0050】

図2は、図1の音波発生部100Aの構成の一具体例を表した模式図である。

【0051】

以下では、図1の音波発生部100Aの構成の一具体例について説明するが、図1の構成要素と対応する構成要素については同一の符号を用いて説明する。なお、上述したように、図1の冷熱生成部100Bは、音波発生部100Aと同じ構成を取り得るため、以下に説明する音波発生部100Aの構成の具体例は、冷熱生成部100Bの構成の具体例にもなっている。

【0052】

図2の音波発生部100Aは、図1の説明で上述したように、第1の熱・音波変換部品1A、第1の熱交換器2Aおよび第3の熱交換器3Aを備えており、さらにこれらの構成要素に加えて、金属部材32および干渉材12も備えている。

【0053】

図2の第1の熱・音波変換部品1Aは、それぞれが細い管状の貫通孔である複数のセル14が、隔壁11によって区画形成されてなるハニカム構造体である。ここで、本明細書では、「セル」という語を、隔壁を含まない貫通孔のみを指すものとして用いる。各セル14は、図2の水平方向（左右方向）を貫通方向（各セル14が延在する延在方向）とし、第3の熱交換器3A側の端面および第1の熱交換器2A側の端面の両端面において開口する。熱・音波変換部品1の、第3の熱交換器3A側の端面は、金属部材32と接しているとともに、金属部材32を間において第3の熱交換器3Aに対向している。ここで、後述するように金属部材32は熱伝導を担うものなので、金属部材32の材質としては熱伝導率の高いものが好ましく、たとえば、銅製のものを用いることができる。なお、本発明では、金属部材32が省略された形態も採用可能であるが、この場合、熱・音波変換部品1と第3の熱交換器3Aとの間の隙間は極力小さいことが好ましい。

【0054】

10

20

30

40

50

金属部材 32 は、中央部に互いに平行な複数本のスリット（不図示）が形成された板状の金属製部材であり、図 2 では、その板状の側面部（厚みの部分）のみが図示されている。

#### 【0055】

図 2 の第 3 の熱交換器 3A は、複数枚の金属製（たとえば銅製）メッシュ板を重ね合わせてなるメッシュ積層体 30 を有している。メッシュ積層体 30 の側面には、メッシュ積層体 30 の外側に向かって突出したフィン 31 が設けられている。フィン 31 は、メッシュ積層体 30 と大気との間における熱のやりとりを媒介してメッシュ積層体 30 の温度を、大気温度に応じた 0 ~ 65 の範囲内のほぼ一定の低い温度に保つ役割を果たしている。たとえば、フィン 31 がメッシュ積層体 30 の熱を大気へ逃がすことで、メッシュ積層体 30 が高温状態となるのが回避される。メッシュ積層体 30 の温度がこのような低い温度に保たれることで、金属部材 32 を介してメッシュ積層体 30 と近接する第 3 の熱交換器 3A 側の熱・音波変換部品 1 の端面もこのような低い温度に保たれる。

10

#### 【0056】

図 2 の熱・音波変換部品 1 の側面は、干渉材 12 によって取り巻かれており、図 2 の模式的な断面図では、その取り巻く干渉材 12 が、熱・音波変換部品 1 を図の上下両側から挟み込む 2 つに分かれた干渉材 12 として示されている。この干渉材 12 は、熱・音波変換部品 1 の、第 3 の熱交換器 3A 側の端部と第 1 の熱交換器 2A 側の端部との間で熱・音波変換部品 1 外部の周囲環境を介して熱の伝達が行われるのを防ぐ断熱材としての役割を果たしている。

20

#### 【0057】

図 2 の第 1 の熱交換器 2A は、作動流体用ハニカム構造体 20 および排気ガス用ハニカム構造体 21 を備えている。

#### 【0058】

作動流体用ハニカム構造体 20 は、金属材料で構成された柱状のハニカム構造体であり、作動流体用ハニカム構造体 20 では、それぞれが図 2 の水平方向（左右方向）に延びた 2 以上のセル 202 が、隔壁 201 によって区画形成されている。これら 2 以上のセル 202 は、伝播管 100C および第 1 の熱・音波変換部品 1A の複数のセル 14 と連通しており、作動流体で満たされている。ただし、第 1 の熱・音波変換部品 1A とは異なり、これら 2 以上のセル 202 それぞれの水力直径は十分に大きく、作動流体用ハニカム構造体 20 では自励発振はほとんど無視できる。図 2 に示すように、作動流体用ハニカム構造体 20 は、第 1 の熱・音波変換部品 1A の端面（第 1 の熱交換器 2A 側の端面）と近接しており、以下に説明する排気ガス用ハニカム構造体 21 から熱を受け取ってその熱をこの端面（第 1 の熱交換器 2A 側の端面）に伝達し高温状態（第 3 の熱交換器 3A 側の端面の温度より高い状態）に維持する役割を果たす。

30

#### 【0059】

この熱伝達という役割を果たす上で、金属製の作動流体用ハニカム構造体 20 の材料としては熱伝導率の高いものが好ましく、たとえば銅を用いることができる。さらには、このようにハニカム構造を有する部材に代えて、複数枚の金属製（たとえば銅製）メッシュ板を重ね合わせてなるメッシュ積層体の構造を有する部材を採用してもよい。ただし、こうした金属製の作動流体用ハニカム構造体 20（あるいはメッシュ積層体）が、高温下で作動流体と反応して変質することを防ぐ観点から、作動流体としては、希ガス等、金属との反応性の低いものを採用することが好ましい。なお、作動流体として金属との反応性の低いものを採用しない場合、たとえば、大気をそのまま作動流体と使用する場合には、金属製の作動流体用ハニカム構造体 20 に代えて、金属ではないが比較的熱伝導率が高い SiC（炭化珪素）を主成分とするセラミックス材料で構成されたハニカム構造体を採用することもできる。

40

#### 【0060】

作動流体用ハニカム構造体 20 は、伝播管 100C と接続されることで、上述の熱伝達という役割以外に、音波の進行経路という役割も担っている。すなわち、音波発生部 10

50

0 Aで発生し図2の太線矢印の向きに伝播管100Cを進行する音波のうち、図1の冷熱生成部100Bを通過することができた音波があれば、そうした音波は、冷熱生成部100B通過後、音波発生部100Aに再び到達し、作動流体用ハニカム構造体20における2以上のセル202内を進行することとなる。

【0061】

次に、作動流体用ハニカム構造体20以外の第1の熱交換器2Aのもう1つの構成要素である排気ガス用ハニカム構造体21について説明する。

【0062】

排気ガス用ハニカム構造体21は、作動流体用ハニカム構造体20を取り巻くように配置された中空の円柱状（言い換えれば径方向に厚みのある円筒状）のハニカム構造体であり、SiC（炭化珪素）を主成分とするセラミックス材料で構成されている。図2では、作動流体用ハニカム構造体20を取り巻く排気ガス用ハニカム構造体21が、作動流体用ハニカム構造体20の上下に分かれて図示されている。なお、また、実際には、作動流体用ハニカム構造体20と排気ガス用ハニカム構造体21との間には、以下の図3で説明する金属外筒23およびメタライズ層22が存在するが、図2ではその図示は省略されている。

10

【0063】

図3は、図2のAA線に沿った第1の熱交換器2Aの断面図である。

【0064】

図3に示すように、排気ガス用ハニカム構造体21は、筒状のメタライズ層22および金属外筒23を介して作動流体用ハニカム構造体20を取り巻いている。ここで、金属外筒23は、作動流体用ハニカム構造体20が嵌め込まれる筒状の金属部材であり、作動流体用ハニカム構造体20をその外周側から保持する役割を果たす。なお、作動流体用ハニカム構造体20それ自身が、その外周面を取り巻く金属製の外周壁を有する場合には、金属外筒23は省略してもよい。メタライズ層22は、モリブデンやマンガン等の金属の焼き付けによって形成された層であり、金属製の金属外筒23（金属外筒23を省略する場合は作動流体用ハニカム構造体20の金属製の外周壁）とセラミックス製の排気ガス用ハニカム構造体21を接合させるための層である。

20

【0065】

図2に戻って、排気ガス用ハニカム構造体21の説明を続ける。

30

【0066】

排気ガス用ハニカム構造体21は、作動流体用ハニカム構造体20と同様、図2の水平方向（左右方向）に延びた2以上のセルが隔壁によって区画形成された構造を備えている。排気ガス用ハニカム構造体21は、排気ガス管200と接続されており、排気ガスは、排気ガス用ハニカム構造体21に流入して熱を与えて排気ガス用ハニカム構造体21から流出する。図2では、排気ガスの移動経路が一点鎖線矢印で示されており、この図に示すように、排気ガス用ハニカム構造体21の各セルは、排気ガス管200から流入した排気ガスの移動経路になっている。排気ガスから排気ガス用ハニカム構造体21に伝達された熱は、排気ガス用ハニカム構造体21によって取り巻かれている作動流体用ハニカム構造体20の外周面に伝達されて外周側から作動流体用ハニカム構造体20が加熱されていく。このようにして作動流体用ハニカム構造体20が受け取った熱は、上述したように、第1の熱・音波変換部品1Aにおける第1の熱交換器2A側の端面を高温状態（第3の熱交換器3A側の端面の温度より高い状態）に維持するのに用いられる。

40

【0067】

以上説明したように、排気ガス用ハニカム構造体21は、排気ガス管200から熱を受け取って作動流体用ハニカム構造体20に伝達する役割を果たしている。このため、作動流体用ハニカム構造体20の材料としては、耐熱性が高いとともに熱伝導率が高いことが望ましく、上述のSiC（炭化珪素）を主成分とするセラミックス材料は、この要請に応える最も適した材料である。実際、セラミックス材料は一般に耐熱性が高いが、セラミックス材料の中でもSiC（炭化珪素）を主成分とするセラミックス材料は、比較的耐熱性

50

が高いことで知られた材料である。

【0068】

ここで、排気ガス用ハニカム構造体21が「SiCを主成分とする」とは、SiCが、排気ガス用ハニカム構造体21の材料の50質量%以上を占めることを意味する。このとき排気ガス用ハニカム構造体21の気孔率としては、0~10%であることが好ましい。また、隔壁201の厚さが0.25~0.51mmであってセル密度が15~62セル/cm<sup>2</sup>であることが好ましい。

【0069】

SiCを主成分とするセラミックス材料としては、具体的には、単純なSiCに加え、Si含浸SiC、(Si+Al)含浸SiC、金属複合SiC、再結晶SiC、Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>、及びSiC等を採用することができる。これらの中でも、Si含浸SiC、(Si+Al)含浸SiCが好ましい。その理由は、Siを含浸するSiCは、高い熱伝導率および耐熱性を有することに加え、多孔質体であっても気孔率が低く緻密に形成されているため、Siを含浸しないSiCに比して相対的に高い強度を実現できるからである。

【0070】

以上が、第1の熱交換器2Aについての説明である。以下、図2の第1の熱・音波変換部品1Aの構成の詳細について説明する。

【0071】

図4は、図2に示す第1の熱・音波変換部品1Aのセル14の貫通方向に垂直な面内における熱・音波変換部品1の断面図である。

【0072】

図4に示すように、第1の熱・音波変換部品1Aは、それぞれが細い管状の貫通孔である複数のセル14が、隔壁11によって区画形成され、さらにそれら隔壁11の全体の外周を外周壁13(図2では図示が省略されている)で取り囲むことで形成されている。ここで、外周壁13の構成材料としては、隔壁11の構成材料と同じものを採用できる。

【0073】

上述したように、自励振動により音波を発生させる上でセル14の水力直径HDが1つの重要な要素であり、第1の熱・音波変換部品1Aのセル14の水力直径HDは0.4mm以下のきわめて小さい値となっている。このような水力直径HDがきわめて小さいセルが形成されていることで、第1の熱・音波変換部品1Aでは、十分な熱音響効果を得ることができる。逆に、水力直径HDが0.4mmより大きい場合、小さい熱音響効果しか得られず、たとえば、図1の水回収システムでは、回収される水の量が多少少なめとなる。

【0074】

ここで、より大きな熱音響効果を発揮するには、上述の水力直径HDが小さいセルを、できるだけ数多く形成するのが有利である。言い換えれば、第1の熱・音波変換部品1Aの端面における開口率が大きい方が有利である。第1の熱・音波変換部品1Aは、各端面において60%以上の高い開口率を有しており、これにより大きな熱音響効果を発揮することができる。逆に60%未満の開口率では、熱音響効果に寄与するセルが少なすぎてあまり大きな熱音響効果は得られない。

【0075】

ただし、開口率が高すぎると、第1の熱・音波変換部品1Aの空洞部分が多すぎることとなり、第1の熱・音波変換部品1A全体の耐久性や強度が低下する。そこで、第1の熱・音波変換部品1Aでは開口率は93%以下に抑えられている。実際、開口率が93%を超えると、発生した音波による衝撃や第1の熱・音波変換部品1Aの両端の温度差に起因する熱的な歪みやねじれ(熱応力)により生じる第1の熱・音波変換部品1Aの損傷が無視できなくなる。

【0076】

まとめると、第1の熱・音波変換部品1Aでは、第1の熱・音波変換部品1Aの端面における開口率が60%以上93%以下となることで、十分な熱音響効果の発揮と十分な耐久性・強度との適度なバランスが実現している。なお、60%以上93%以下の開口率の

10

20

30

40

50

中でも、80%以上93%以下の開口率が好ましい。

【0077】

なお、上記開口率は、貫通方向に垂直な断面を顕微鏡で撮影し、このときの断面の撮影画像から、材料部分面積 $S_1$ と空隙部分面積 $S_2$ を求め、 $S_1$ と $S_2$ を用いて $S_2/(S_1 + S_2)$ として求められる。

【0078】

また、第1の熱・音波変換部品1Aでは、セル14の貫通方向に垂直な前記セルの断面形状は、角部が弯曲した多角形の形状であり、その形状の角部における曲率半径が0.02mm以上0.1mm以下であることが好ましい。図4では、セル14の形状の例としては、角部が弯曲した三角形の形状が図の右上の拡大図に示されており、この角部の曲率半径は0.02mm以上0.1mm以下となっている。曲率半径が0.02mm以上であることでその緩やかに弯曲した形状により、セル14を押しつぶすように働く衝撃に対し十分に対抗できる。これは、トンネル等の穴の形状としては、丸みを帯びた形状の方が角ばった形状よりも、周囲からの外力に対抗しやすいのと同様の理由に基づくものである。ただし、弯曲部分が大きすぎると、今度は、各セルの角部付近で隔壁11が分厚くなって開口率が減少し、得られる熱音響効果が小さくなる。そこで、曲率半径が0.1mm以下となっていることで、同時に高い熱音響効果も維持されている。

【0079】

なお、セル14の角部における曲率半径については、セル14の貫通方向に垂直な断面の拡大写真を取り、そのセル14の断面形状に基づき測定することができる。

【0080】

セル14の貫通方向に垂直な面内でのセル14の形状としては、三角形、四角形、五角形、六角形等の様々な多角形、および、楕円形（真円の形状含む）を採用できるが、三角形、四角形、六角形、およびこれらの組み合わせが好ましく、図4の第1の熱・音波変換部品1Aの右上のセル14の拡大図のように、三角形のセル14が特に好ましい。三角形のセル14が特に好ましいのは、様々な多角形および楕円形のセル形状のうち、三角形のセル形状が、隔壁の厚さをできるだけ薄くして数多くのセルを配列させるのに最も適しているからである。ここで、自動車の排気ガスから微粒子を取り除く排気浄化触媒担持用のハニカム構造体では、セルの角部が鋭角であると、微粒子が角部に堆積しやすいといった問題があるため、三角形のセル形状は、（原理的には採用可能であっても）實際上、採用されないことが多い。しかし、熱音響効果を発揮するハニカム構造体としては、自励振動を起こす作動流体（希ガス等の気体）に関して、このような問題は存在しないため、数多くのセルを配列させるのに最も適した三角形（ただし角部が弯曲した三角形）のセル形状を積極的に活用できる。

【0081】

また、第1の熱・音波変換部品1Aでは、その両端面の間の長さを $L$ としたときに、この長さ $L$ に対する上述の水力直径 $HD$ の比 $HD/L$ が0.005以上0.02未満となっている。仮に、 $HD/L$ が0.005未満であると、水力直径 $HD$ に比して第1の熱・音波変換部品1Aが長すぎて、第1の熱・音波変換部品1Aの各セル内の作動流体が熱・音波変換部品両端の温度差の影響を受けにくくなる。この場合、各セル内の作動流体と隔壁11との間における熱の授受が不十分で十分な熱音響効果が得られない。一方、仮に、 $HD/L$ が0.02以上であると、今度は、水力直径 $HD$ に比して第1の熱・音波変換部品1Aが短すぎて、各セル内の作動流体と隔壁11との間で熱の授受が不十分なまま第1の熱・音波変換部品1Aにおいて第1の熱交換器2A側から第3の熱交換器3A側に隔壁11を熱が伝導していくことになる。この結果、やはり十分な熱音響効果が得られない。そこで、第1の熱・音波変換部品1Aでは、比 $HD/L$ が0.005以上0.02未満となるよう工夫されており、このため、各セル内の作動流体と隔壁11との間における熱の授受が十分に行われる。この結果、第1の熱・音波変換部品1Aでは、十分な熱音響効果を得ることができる。

【0082】

また、第1の熱・音波変換部品1Aでは、第1の熱・音波変換部品1Aの構成材料、特に、隔壁11の構成材料の20～800における熱膨張率が6ppm/K以下であることが好ましい。このように熱膨張率が低い状態を実現するための1つの方法としては、セラミック材料の中でも熱膨張率が低いコージェライト製のハニカム構造体を採用することが考えられる。ここで、「コージェライト製のハニカム構造体」とは、ハニカム構造体を作製するためのセラミック原料として、シリカが42～56質量%、アルミナが30～45質量%、マグネシアが12～16質量%の範囲に入る化学組成となるように配合され、焼成されるとコージェライトになるコージェライト化原料を用いて作製されたハニカム構造体を指している。

【0083】

10

熱膨張率の測定方法としては、たとえば、各セルの貫通方向に沿った10mm以上の長さを有する試験片であって、この貫通方向、および、この貫通方向に直交する方向を含む断面の面積が4mm<sup>2</sup>以上100mm<sup>2</sup>以下である試験片を第1の熱・音波変換部品1Aから切り出し、この試験片の貫通方向の熱膨張率を、石英を標準比較サンプルとする示差式の熱膨張計により測定する方法を採用することができる。

【0084】

隔壁11の構成材料の、20～800における熱膨張率が6ppm/K以下となることで、両端部に温度差が生じたときの第1の熱・音波変換部品1Aの損傷が抑えられる。なお、6ppm/K以下の熱膨張率の中でも、4ppm/K以下の熱膨張率であることがさらに好ましい。

20

【0085】

以上が、図2の第1の熱・音波変換部品1Aの構成の詳細な説明である。

【0086】

以下、図2の音波発生部100Aの具体例が適用された図1の水回収装置1000の製造方法について説明する。

【0087】

まず、音波発生部100Aの製造方法について説明する。最初に第1の熱・音波変換部品1Aの製造方法について説明する。

【0088】

セラミック原料にバインダ、界面活性剤、造孔材、水等を添加して成形用原料とする。セラミック原料としては、コージェライト化原料、炭化珪素-コージェライト系複合材料、アルミニウムチタネート、炭化珪素、珪素-炭化珪素系複合材料、アルミナ、ムライト、スピネル、リチウムアルミニウムシリケート、および、鉄-クロム-アルミニウム系合金のうちの1つ、あるいは、2つ以上の組み合わせであることが好ましい。これらの中でも、コージェライト化原料が好ましい。上述したように、コージェライト化原料とは、シリカが42～56質量%、アルミナが30～45質量%、マグネシアが12～16質量%の範囲に入る化学組成となるように配合されたセラミック原料であって、焼成されてコージェライトになるものである。なお、セラミック原料の含有量は、成形用原料全体に対して40～90質量%であることが好ましい。

30

【0089】

40

バインダとしては、メチルセルロース、ヒドロキシプロポキシルセルロース、ヒドロキシエチルセルロース、カルボキシメチルセルロース、ポリビニルアルコール等を挙げることができる。これらの中でも、メチルセルロースとヒドロキシプロポキシルセルロースとを併用することが好ましい。バインダの含有量は、成形用原料全体に対して2～20質量%であることが好ましい。

【0090】

水の含有量は、成形用原料全体に対して7～45質量%であることが好ましい。

【0091】

界面活性剤としては、エチレングリコール、デキストリン、脂肪酸石鹸、ポリアルコール等を用いることができる。これらは、単独で使用してもよいし、2つ以上を組み合わせ

50

て使用してもよい。界面活性剤の含有量は、成形用原料全体に対して5質量%以下であることが好ましい。

【0092】

造孔材としては、澱粉、発泡樹脂、吸水性樹脂およびシリカゲル等を採用することができる。

【0093】

次に、成形用原料を混練して坏土を形成する。成形用原料を混練して坏土を形成する方法としては特に制限はなく、例えば、ニーダー、真空土練機等を用いる方法を挙げることができる。

【0094】

次に、坏土を押出成形することで、複数のセルを区画形成する隔壁を備えたハニカム成形体を形成する。押出成形に際しては、上述した、各セルの水力直径、開口率、第1の熱・音波変換部品1Aの形状、セル形状、各セルの周期、に対応した形状の口金を用いることが好ましい。口金の材質としては、摩耗し難い超硬合金が好ましい。なお、ハニカム成形体における各セルの水力直径、開口率、等の値については、後述の乾燥処理および焼成の処理で生じる収縮をも考慮して決定することが好ましい。

【0095】

ここで、大きな熱音響効果を発揮するための、上述したような、各セルの水力直径がきわめて小さく開口率が高い（セル密度が高い）第1の熱・音波変換部品1Aを作製する際には、以下の2つの問題により、こうした制約がない従来の排気浄化触媒担持用のハニカム構造体で用いられている押出成形法をそのまま単純に流用する（口金を、高密度の細孔形成用の口金に取り換えただけで同様の製造方法をそのまま実行する）ことはできない。

【0096】

第1の問題は、押出成形の際に、高温で押し出された坏土が成形用口金の孔内に密着して目詰まりが起こりやすいことである。なお、この問題については、たとえば、上述した特許文献・特開2012-237295号公報の段落[0021]でも言及されている。

【0097】

第2の問題は、上述の第1の熱・音波変換部品1Aのような各セルの水力直径がきわめて小さく開口率が高い（セル密度が高い）ハニカム構造体に対応する口金には、必然的にきわめて細い微細部分（典型的には0.3mm程度の太さの部分）が存在することとなり、この微細部分が、坏土押出しの際の粘性摩擦により損傷（たとえば引きちぎれる等）を受けやすいことである。

【0098】

そこで、上述の第1の熱・音波変換部品1Aの製造方法においては、これら2つの問題を解消するために、以下の工夫が凝らされている。

【0099】

第1の問題に関しては、各セルの水力直径が0.4mm以下であって開口率が60%以上93%以下の、水力直径がきわめて小さく開口率が高い（セル密度が高い）上述の第1の熱・音波変換部品1Aに対応した口金（以下、正規口金と呼ぶ）による押出成形の実行前に、リップの厚さが0.04mm以上0.09mm以下というリップの厚さがきわめて小さい口金（以下、ダミー口金と呼ぶ）での坏土の押出処理が行われる。なお、ここでいう「リップの厚さ」とは、ハニカム成形体の隔壁厚さのことで、口金におけるスリット幅を指しており、各スリットは、坏土の排出孔であって作製対象のハニカム構造体の各隔壁部分の形状を決定するものである。以下、「リップの厚さ」を、スリット幅を意味するものとして用いる。このダミー口金を用いた押出処理により、目詰まりの原因となりやすい坏土成分をあらかじめ取り除くことができる。この押出処理後の坏土を用いて正規口金による押出成形を実行することにより、上記の目詰まりの発生を抑えることが可能となる。

【0100】

第2の問題に関しては、押出成形による第1の熱・音波変換部品1Aの成形体の保形性を維持できる（つまり、成形体の形が崩れない）範囲内で、押出成形に用いる坏土の粘性

10

20

30

40

50

を、従来の排気浄化触媒担持用のハニカム構造体の製造で用いられる坯土の粘性に比べ大幅に低減して粘性摩擦を小さくすることで対処している。ここで、このように保形性維持の条件を満たしつつ坯土の粘性を低減するにあたっては、坯土中の水の比率を、従来の排気浄化触媒担持用のハニカム構造体の製造時に比べ、より厳格に制御する（すなわち、水の比率の制御目標値と実際の水の比率の値との間の誤差をきわめて狭い範囲内に抑える）ことも必要となる。より具体的には、従来の排気浄化触媒担持用のハニカム構造体の製造で用いられる坯土中の水の比率が、坯土固形成分 100 質量部に対し 25 ~ 35 質量部であるのに対し、上述の第 1 の熱・音波変換部品 1 A の製造で用いられる坯土中の水の比率は、坯土固形成分 100 質量部に対し 40 ~ 42 質量部となっている。なお、坯土中の水の比率を増加した場合には、坯土の粘性が低減して上述の第 1 の熱・音波変換部品 1 A の成形体の形状に適度なばらつきが生じるようになり、音波の自励振動が起こりやすくなるという効果も生じる。

10

#### 【0101】

以下、押出成形によって得られたハニカム成形体のその後の処理について説明を続ける。

#### 【0102】

得られたハニカム成形体について、焼成前に乾燥を行う。乾燥の方法は特に限定されず、例えば、マイクロ波加熱乾燥および高周波誘電加熱乾燥等の電磁波加熱方式と、熱風乾燥および過熱水蒸気乾燥等の外部加熱方式とを挙げることができる。また、電磁波加熱方式で一定量の水分を乾燥させた後、残りの水分を外部加熱方式により乾燥させることも可能である。この場合、電磁波加熱方式にて、乾燥前の水分量に対して、30 ~ 90 質量%の水分を除いた後、外部加熱方式にて、3 質量%以下の水分にすることが好ましい。電磁波加熱方式としては誘電加熱乾燥が好ましく、外部加熱方式としては熱風乾燥が好ましい。

20

#### 【0103】

各セルの貫通方向に沿ったハニカム成形体の長さが所望の長さではない場合は、両端面（両端部）を切断して所望の長さとするのが好ましい。切断方法は特に限定されないが、丸鋸切断機等を用いる方法を挙げることができる。

#### 【0104】

次に、このハニカム成形体を焼成する。ここで、焼成の前には、バインダ等を除去するため、仮焼成を行うことが好ましい。また、仮焼成は大気雰囲気において、400 ~ 500 で 0.5 ~ 2.0 時間行うことが好ましい。仮焼成および焼成（本焼成）の方法は特に限定されず、電気炉およびガス炉等を用いて焼成することができる。また、焼成（本焼成）の条件としては、たとえば、珪素 - 炭化珪素系複合材料を用いた場合には、窒素およびアルゴン等の不活性雰囲気において、1300 ~ 1500 で、1 ~ 2.0 時間加熱することが好ましい。一方、酸化物系材料を用いた場合には、酸素雰囲気において、1300 ~ 1500 で 1 ~ 2.0 時間加熱することが好ましい。

30

#### 【0105】

最後に、所望の第 1 の熱・音波変換部品 1 A の断面形状（たとえば、図 4 のような円形）を実現するのに必要であれば、焼成後のハニカム成形体の外周部分を、適宜、切削加工して形状を整える。さらに、切削加工後のハニカム成形体の外周面に外周コート材を塗布して乾燥させ外周壁 13 を形成する。ここで、外周コート材としては、無機粒子とコロイド状酸化物を含む原料に、有機バインダ、発泡樹脂、分散剤等の添加材を加えたものに水を加えて混練したスラリー等を挙げることができる。ここで、無機粒子としては、たとえば、コージェライト、アルミナ、アルミニウムチタネート、炭化珪素、窒化珪素、ムライト、ジルコニア、燐酸ジルコニウム、および、チタニア、のうちの 1 つ、あるいは、2 つ以上の組み合わせからなるセラミックス材料の粒子や、Fe - Cr - Al 系金属、ニッケル系金属、珪素（金属珪素） - 炭化珪素系複合材料の粒子を挙げることができる。一方、コロイド状酸化物としては、シリカゾル、アルミナゾル等が挙げられる。また、外周コート材を塗布する方法は特に限定されず、切削加工後のハニカム成形体をろくろ上で回転さ

40

50



せながらゴムベラ等でコーティングする方法等を挙げることができる。

【0106】

以上の工程を経て最終的に、第1の熱・音波変換部品1Aが完成する。

【0107】

次に、図2の第1の熱交換器2Aの製造方法について説明する。

【0108】

図2の第1の熱交換器2Aにおける排気ガス用ハニカム構造体21については、上記の図4の一体型の第1の熱・音波変換部品1Aの製造方法において、セラミック原料としてSiC粉末に炭素粉末（黒鉛粉末等）を加えたものをを用いる点、押出成形の際の口金として相対的にセルの水力直径HDの大きいハニカム成形体の作製に適した口金を用いる点、および、中空の円柱状（言い換えれば厚みのある円筒状）の形状を実現するため、焼成処理後にこの形状に切削加工するか、あるいは、この形状となるような口金を成形処理で用いる点、を別にすれば、上記の図4の第1の熱・音波変換部品1Aの製造方法と同様の製造方法で作製することができる。

10

【0109】

この排気ガス用ハニカム構造体21の作製においては、たとえば、Si含浸SiC複合材料を主成分とする作動流体用ハニカム構造体20を製造する場合には、SiC粉末および炭素粉末を混合・混練して調整された坯土を成形してハニカム成形体を作製した後、乾燥処理および焼成処理を行った後に、溶融した珪素（Si）をこのハニカム成形体中含浸させる処理を行うことが好ましい。この処理を行うことで、焼成処理後に、SiC粒子の表面を金属Si（金属珪素）の凝固物を取り囲むとともに、金属Siを介してSiC粒子同士が接合した構造が形成される。この構造により、気孔率が小さく緻密な構造であって高い熱耐久性および熱伝導性を実現する。

20

【0110】

なお、溶融した珪素（Si）だけでなく、Al、Ni、Cu、Ag、Be、Mg、Ti等といったその他の金属に含浸させてもよい。この場合、焼成処理後に、SiC粒子の表面を金属Si（金属珪素）、および含浸に用いたその他の金属の凝固物を取り囲むとともに、金属Si、および含浸に用いたその他の金属を介してSiC粒子同士が結合した構造が形成される。この構造によっても、気孔率が小さく緻密な構造であって高い熱耐久性および熱伝導性を実現する。

30

【0111】

図2の第1の熱交換器2Aにおける作動流体用ハニカム構造体20については、鋳型を用いたハニカム構造の成形方法や、切削加工によるハニカム構造の成形方法など、金属製のハニカム構造体を作製する際に用いられる従来の製造方法で製造することができる。また、金属外筒23およびメタライズ層22についても従来の製造方法で形成することができる。

【0112】

以上のようにして、最終的に、第1の熱交換器2Aが完成する。

【0113】

図2の第3の熱交換器3Aについては、従来から知られている熱交換器の製造方法を流用することができる。

40

【0114】

以上が、音波発生部100Aの製造方法についての説明である。

【0115】

冷熱生成部100Bについては、上述したように、音波発生部100Aと同様のものを採用できるため、上述の音波発生部100Aと同様にして製造できる。

【0116】

伝播管100Cについては、耐久性の高い材料を環状に成形する（ただし、音波発生部100Aや冷熱生成部100Bと接続できるように一部が欠落した環状に成形する）ことで作製できる。耐久性の高い材料については特に限定されないが、具体的には、たとえば

50

、鉄等の金属、硬質のプラスチック材、硬化ガラス、さらには、セラミックス材料（たとえば、上述の第１の熱・音波変換部品１Ａの材料として挙げたもの）を採用できる。

【０１１７】

以上が、水生成部１００の製造方法についての説明である。

【０１１８】

排気ガス管２００については、耐熱性の高い材料を、図１に示すように水生成部１００や水収容部３００との接続可能な態様で成形することで作製できる。耐熱性の高い材料については特に限定されないが、具体的には、たとえば、高耐熱性ステンレスや鉄や銅等の金属、さらには、セラミックス材料（たとえば、図４の第１の熱・音波変換部品１Ａや作動流体用ハニカム構造体２０の材料として挙げたもの）を採用できる。

10

【０１１９】

水収容部３００については、水回収装置１０００の大きさや回収する水の量等に応じた大きさの容器を用いることができる。この容器については、金属やプラスチック材やセラミック等の適当な材料で加工して作製してもよいが、市販のものを適宜選択・流用してもよい。

【０１２０】

以上が、水回収装置１０００の製造方法についての説明である。

【０１２１】

次に、図１の水回収装置１０００が適用された別の水回収システムについて説明する。

【０１２２】

20

図５は、図１の水回収装置１０００が適用された別の水回収システムの概念的な模式構成図である。

【０１２３】

図５においては、図１の水回収システムと同じ構成要素には同一の符号を付されており、その構成要素について重複説明は省略する。図５に示す水回収システムは、気化したガソリンを空気と混合して高圧縮しこの圧縮気体に点火したときの爆発力（膨張力）を利用して動力を生成するエンジン２００１を有している。この動力生成の際に生じた排気ガスは、第１の排気ガス管２００４を通して排出される。ここで、動力生成の際には、気化したガソリン中の水素（水素原子）が空気中の酸素と結合することで水が生成し、水蒸気の形で排気ガスに含まれている。

30

【０１２４】

排気ガスは、第１の排気ガス管２００４の途中に設けられている２つの三元触媒コンバータ２００３によって浄化処理を受けた後、分岐２００５において、２つの排気路に分かれて排出される。１つの排気路は、第２の排気ガス管２００６によって形成された排気路であり、排気ガスの多く（後述するように５０～９９体積％）は、この第２の排気ガス管２００６を通り、さらに、第２の排気ガス管２００６の途中に設けられているマフラー２００７を経て外部に排出される。

【０１２５】

ここで、分岐２００５には、図１で説明した水回収装置１０００における排気ガス管２００の一端が接続しており、この排気ガス管２００が、上述の第２の排気ガス管２００６とは別の排気路を形成している。以下、図５において、第１の排気ガス管２００４や第２の排気ガス管２００６に対して、排気ガス管２００を区別するために、この排気ガス管２００をバイパス管２００と呼ぶことがある。

40

【０１２６】

すなわち、図５の水回収システムでは、エンジン２００１から排出される排気ガスの一部をバイパスさせて、そのバイパスさせた排気ガスから水の回収が行われる。この水の回収は、図１で説明した、水生成部１００、排気ガス管２００、および水収容部３００を用いたものであり、ここでは、その重複説明は省略する。なお、図５の水回収システムにおいても、水生成部１００として、図２で説明した具体例を適用することができる。

【０１２７】

50

ここで、図5の水回収システムでは、エンジン2001において、気化したガソリンと空気との混合気体に対して水を噴射するインジェクタ2002が備えられている。

【0128】

一般に、気化したガソリンと空気との混合気体を高圧縮した場合には、点火装置による点火よりも前に、ガソリンエンジン内のカーボン等の不純物が火種となって発火するといった異常燃焼が起こりやすくなることが知られている。図5の水回収システムでは、混合気体に対し、インジェクタ2002により水を噴射して混入することで、ガソリンエンジン内の乾燥を抑えて異常燃焼を抑制することができる。この水の噴射混入は、水を用いた一種の加湿処理と呼ぶことができる。

【0129】

ここで、図5の水回収システムでは、水回収装置1000'は、上述の水生成部100、排気ガス管200、および水収容部300に加え、インジェクタ2002に水を供給する水供給機構400をさらに備えている。水供給機構400は、ポンプ401と水供給管402とを有しており、ポンプ401により、水収容部300の水を汲み上げて、汲み上げた水を、水供給管402を介してインジェクタ2002に送ることができる。このように、水回収装置1000'では、排気ガスから回収した水を、異常燃焼抑制用の水として、有効活用することができる。

【0130】

ここで、一般にガソリンエンジンの排気ガスには多量の水が含まれているので、仮に全排気ガスを回収対象とすると多量の水を収容する必要性から水回収装置が大型化してしまうおそれがある。図5の水回収システムでは、バイパスした排気ガスのみを水の回収対象とすることで、水回収装置の大型化を避けて適切な大きさにすることが可能となっている。具体的には、バイパス管200が、全排気ガスの1~50体積%の排気ガスについての排気路を形成するものであることが望ましい。ここで、1体積%未満の場合、回収する水の量が少なすぎ、一方、50体積%を超えた場合には、回収する水の量が多く、水回収装置1000の大型化を避けることが難しくなる。

【0131】

なお、図5の水回収装置1000'の製造方法としては、上述した図1の水回収装置1000の製造方法に、ポンプ401と水供給管402とを有する水供給機構400を組み合わせることで製造できる。ここで、水供給機構400としては、従来から知られている水の循環システム、たとえば、市販の水循環装置等をそのまま適用できる。

【0132】

以上説明した図1の水回収装置1000や図5の水回収装置1000'では、水生成部100は、排気ガス管200とは接触しない第3の熱交換器3Aや第4の熱交換器3Bは、大気との間で熱交換を行っていたが、本発明では、循環する常温の水との間で熱交換を行う形態を採用してもよい。この場合、大気との間で熱交換を行う場合に比べて、水循環のための動力エネルギーが必要となり、また、水回収装置が大型化するといった欠点があるが、その反面、各熱交換器が近接する各熱・音波変換部品の端面の温度は、より安定して常温程度の一定温度に維持されるという利点がある。

【0133】

また、以上説明した図1の水回収装置1000や図5の水回収装置1000'では、ループ状の伝播管100Cが採用されていたが、本発明では、伝播管の形状としては、必要最小限の要件として、音波発生部100Aで発生した音波を冷熱生成部100Bに伝播する経路があればよく、この要件を満たす他の形態も採用できる。たとえば、ループ状の形態以外に、熱音響効果の分野ではよく知られて様々な形態を採用することができる。ここで、上記の要件を満たす、伝播管100Cのバリエーションについて説明する。

【0134】

図6~図9は、図1の水回収装置1000や図5の水回収装置1000'の水生成部100における伝播管100Cのバリエーションを表した図である。

【0135】

図 6 には、全体的に直線状の伝播管が示されており、図 7 には、音波発生部 100A の周辺のみがループ状で、冷熱生成部 100B の周辺が直線状となった伝播管が示されている。これらの形態では、冷熱生成部 100B よりも各図の右方で伝播管が開口しており、作動流体としては空気（大気）が使用される。一方、図 8 には、音波発生部 100A の周辺および冷熱生成部 100B の周辺が、それぞれ別々のループ状となった伝播管が示されており、この形態では開口が存在せず、伝播管に対する大気の流入がない。このため、作動流体としては、反応性の低い希ガス等、特定の種類の気体を採用することができる。さらに、図 9 には、図 7 の形態において、伝播管の開口部に音・電力変換部 2008 が接続された例が示されている。この場合、冷熱生成部 100B を通過した音波のエネルギーは音・電力変換部 2008 で電力に変換され、電力の形で有効活用できる。なお、音・電力変換部 2008 としては、たとえば、マイクロフォンを用いることができる。なお、音波のエネルギーを電力に変換する代わりに、何らかの動力源（音波をファンに衝突させることでファンの回転力を生成する等）として用いることもできる。

10

#### 【実施例】

##### 【0136】

以下では、本発明の効果を示す具体的な実施例について説明する。以下では、図 5 の水回収システムにおいて、水回収装置 1000' として図 2 の具体例を適用した場合における実施例について説明する。

##### 【0137】

エンジンとしては、排気量 2 L のエンジンガソリンを用いた。また、作動流体としては、圧力が 1 MPa のヘリウムガスを用い、作動流体の伝播管としては配管径が 40 mm のものを用いた。また、第 1 の熱・音波変換部品および第 2 の熱・音波変換部品の各熱・音波変換部品（同じものを採用する）としては、直径 40 mm 長さ 60 mm の円柱状であって各セルの水力直径が 0.3 mm、端面における開口率が 74 % のコージェライト製ハニカム構造体を用いた。

20

##### 【0138】

ここで、上記の熱・音波変換部品は、以下のようにして製造した。

##### 【0139】

セラミック原料としてコージェライト化原料を用い、コージェライト化原料 100 質量部に対して、造孔材を 1 質量部、分散媒を 35 質量部、有機バインダを 6 質量部、分散剤を 0.5 質量部、それぞれ添加し、混合、混練して坯土を調製した。コージェライト化原料としては、平均粒子径が 3  $\mu$ m のタルクを 38.9 質量部、平均粒子径が 1  $\mu$ m のカオリンを 40.7 質量部、平均粒子径が 0.3  $\mu$ m のアルミナを 5.9 質量部、及び平均粒子径が 0.5  $\mu$ m のペーマイトを 11.5 質量部、用いた。ここで、平均粒子径とは、各原料の粒子の分布におけるメジアン径（d50）のことである。

30

##### 【0140】

分散媒としては、水を用いた。有機バインダとしては、ヒドロキシプロピルメチルセルロースを用いた。分散剤としては、エチレングリコールを用いた。

##### 【0141】

次に、得られた坯土を、口金を用いて押出成形し、セル形状が三角形で、全体形状が円形のハニカム成形体を作製した。なお、このときの押出成形においては、上述したように、実施例 1 の熱・音波変換部品に対応した正規口金による押出成形の実行前に、リブの厚さが 0.07 mm 程度のダミー口金での坯土の押出処理が行われた。そして、このダミー口金を用いた押出処理後の坯土を用いて正規口金による押出成形が実行された。さらに、このとき、正規口金による押出成形に用いる坯土における水の比率が、坯土固形成分 100 質量部に対し 41 質量部（誤差は  $\pm 1$  質量部の範囲内）となるように坯土成分を厳格に制御した。

40

##### 【0142】

そして、このハニカム成形体をマイクロ波乾燥機で乾燥し、更に熱風乾燥機で完全に乾燥させた後、ハニカム成形体の両端面を切断し、セルの貫通方向に沿ったハニカム成形体

50

の長さを調整した。そのハニカム成形体を熱風乾燥機で乾燥し、更に、1445 で、5 時間、焼成した。

【0143】

最後に、焼成後のハニカム成形体の外周部分を、適宜切削加工して円柱状に整えた。さらに、切削加工後のハニカム成形体の外周面に外周コート材を塗布して乾燥させ外周壁を形成した。ここで、外周コート材としては、コーゼライトの粒子とシリカゾルを含む原料に、有機バインダ、発泡樹脂、分散剤を加えたものに水を加えて混練したスラリーを用いた。また、外周コート材を塗布する方法としては、切削加工後のハニカム成形体をろくろ上で回転させながらゴムベラ等でコーティングする方法を用いた。

【0144】

以上の工程を経て、熱・音波変換部品が完成した。完成した熱・音波変換部品について、各セルの貫通方向に垂直な面（垂直面）内におけるセルの水力直径  $H D$ 、および、熱・音波変換部品の端面における開口率を測定したところ、上述したように、セルの水力直径  $H D$  が  $0.3 \text{ mm}$  で、熱・音波変換部品の端面における開口率は  $74\%$  であった。

【0145】

ここで、セルの水力直径  $H D$  については、上記垂直面内における熱・音波変換部品の断面の拡大写真を撮り、この断面の拡大写真中の  $10$  個のセルを無作為に選択してそれぞれについて水力直径を定義式（セルの断面の面積を  $S$ 、該断面の周長を  $C$  としたときに  $H D = 4 \times S / C$ ）に従って計算したときの、その平均値として算出した。

【0146】

また、開口率は、上記垂直面における断面を顕微鏡で撮影し、このときの断面の撮影画像から、材料部分面積  $S_1$  と空隙部分面積  $S_2$  を求め、 $S_1$  と  $S_2$  を用いて  $S_2 / (S_1 + S_2)$  として求めた。なお、断面全体における開口率は、端面における開口率と等価であるとして、断面全体における開口率を端面における開口率とみなしている。

【0147】

以上が、この実施例における各熱・音波変換部品の製造の説明である。熱・音波変換部品以外の構成要素、たとえば、各熱交換器や伝播管については、上記の熱・音波変換部品の大きさや形状に合わせたものを適宜準備した。

【0148】

以上説明した構成条件の下、エンジンの回転数を  $2000$  [回転数/分] とし、 $2$  つの三元触媒コンバータの排気ガス出口付近の温度が  $600$  となる制御条件の下で運転を行った。

【0149】

このとき、インジェクタによって噴射された水、すなわち、水回収装置により回収された水の量は、 $0.8$  [Kg/時間] であった。

【0150】

このように、単位時間あたりに十分な量の水が回収できたことから、熱音響効果を利用した水回収装置により、エンジンの排気ガスから効率よく水を回収できるということがわかる。

【0151】

次に、熱・音波変換部品として、各セルの水力直径が  $0.4 \text{ mm}$  以下であって開口率が  $60\%$  以上  $93\%$  以下の、水力直径がきわめて小さく開口率が高い（セル密度が高い）ハニカム構造体を用いることで、高い熱音響効果が発揮されることを、以下のハニカム構造体  $1 \sim 4$  の熱・音波変換部品を用いた実験により説明する。

【0152】

（ハニカム構造体  $1$ ）

ハニカム構造体  $1$  は、上記の実施例において熱・音波変換部品として用いられたコーゼライト製ハニカム構造体であり、上述したように、このハニカム構造体  $1$  では、各セルの貫通方向に垂直な面内におけるセルの水力直径  $H D$  が  $0.3 \text{ mm}$ 、ハニカム構造体  $1$  の端面における開口率は  $74\%$  である。

10

20

30

40

50

## 【 0 1 5 3 】

このハニカム構造体 1 を用いて以下の実験を行った。

## 【 0 1 5 4 】

図 1 の水生成部 1 0 0 において冷熱生成部 1 0 0 B を取り外してその冷熱生成部 1 0 0 B に接続していた音波発生部 1 0 0 A 側の伝播管 1 0 0 C の一端にマイクロフォンを接続したシステムにおいて、音波発生部 1 0 0 A における熱・音波変換部品 1 としてハニカム構造体 1 を組み込んだ。そして、5 0 0 程度の自動車の排気ガスを 1 0 分間流入させ、温度がいくらか下がって流出する排気ガスの温度を測定した。このときの温度変化からこのシステムに流入した熱量を算出した。この排気ガスの流入により、第 1 の熱交換器側のハニカム構造体 1 の端面の温度はほぼ 5 0 0 に保たれていた。このとき、この端面と反対側の第 3 の熱交換器側の端面の温度は、大気との熱交換でほぼ 6 0 に保たれていた。このハニカム構造体 1 の温度差に伴う熱音響効果で発生した音波からどのくらいの電力量が生じたかを上記のマイクロフォンを用い計測した。そして、あらかじめ把握されているマイクロフォンのエネルギー変換効率（音波エネルギーを電力に変換する効率）により、上記の電力量の計測値を除算することで音波のエネルギーの推定値を求めた。そして、この音波のエネルギーの推定値と、上述した、電力発生システムに流入した熱量とから、熱から音波エネルギーへのエネルギー変換効率を求めた。なお、この実験では、作動流体として 1 0 a t m のヘリウムガスを用いた。

10

## 【 0 1 5 5 】

（ハニカム構造体 2 およびハニカム構造体 3 ）

20

上述のハニカム構造体 1 の製造方法とは、押出成形の際に用いる口金が異なる点を除き同じ製造方法を用いて、上述の 2 種類のパラメータのうちセルの水力直径 H D の値のみがハニカム構造体 1 とは異なるハニカム構造体 2 およびハニカム構造体 3 を作製した。

## 【 0 1 5 6 】

そして、これらのハニカム構造体 2 およびハニカム構造体 3 について、ハニカム構造体 1 と同様の実験を行った。

## 【 0 1 5 7 】

（ハニカム構造体 4 ~ 7 ）

上述のハニカム構造体 1 の製造方法とは、押出成形の際に用いる口金が異なる点を除き同じ製造方法を用いて、端面の開口率（各セルの貫通方向に垂直な面内の開口率と同じ）の値がハニカム構造体 1 とは異なるハニカム構造体 4 ~ 7 を作製した。

30

## 【 0 1 5 8 】

そして、これらのハニカム構造体 4 ~ 7 について、実施例 1 と同様の実験を行った。

## 【 0 1 5 9 】

以上説明したハニカム構造体 1 ~ 7 の実験結果を、各パラメータの値とともに下記の表 1 に示す。

## 【 0 1 6 0 】

【表 1】

	セル水力直径 HD(mm)	端面の開口率 (%)	エネルギー変換効率 (%)
ハニカム構造体<1>	0.30	74	18.3
ハニカム構造体<2>	0.40	74	13.8
ハニカム構造体<3>	0.45	74	10.0
ハニカム構造体<4>	0.30	55	8.8
ハニカム構造体<5>	0.30	60	17.6
ハニカム構造体<6>	0.30	93	20.0
ハニカム構造体<7>	0.30	95	-

10

## 【0161】

表1において、セルの水力直径HDが互いに異なるハニカム構造体 1 ~ 3 を比較すればわかるように、ハニカム構造体 1 , 2 は、ハニカム構造体 3 に比べて十分に高いエネルギー変換効率を発揮している。このことより、セルの水力直径HDが0.4mm以下であることが、大きな熱音響効果を発揮する上で必要であることがわかる。

## 【0162】

また、表1において、各端面における開口率（上記垂直面における開口率）が互いに異なるハニカム構造体 4 ~ 6 を比較すればわかるように、ハニカム構造体 5 , 6 は、ハニカム構造体 4 に比べて十分に高いエネルギー変換効率を発揮している。ここで、ハニカム構造体 7 は、実験の途中で破損してしまったために実験を中止したのでエネルギー変換効率の最終的な値が得られなかった。その理由は、開口率が高すぎて強度や耐久性に欠けているためだと思われる。以上のハニカム構造体 4 ~ 7 の結果から考えると、熱・音波変換部品の端面における開口率が60%以上93%以下であることが、大きな熱音響効果を発揮と損傷回避の上で必要であることがわかる。

20

## 【産業上の利用可能性】

## 【0163】

本発明は、燃焼装置の排気ガスに含まれる水蒸気を有効利用するのに有用である。

## 【符号の説明】

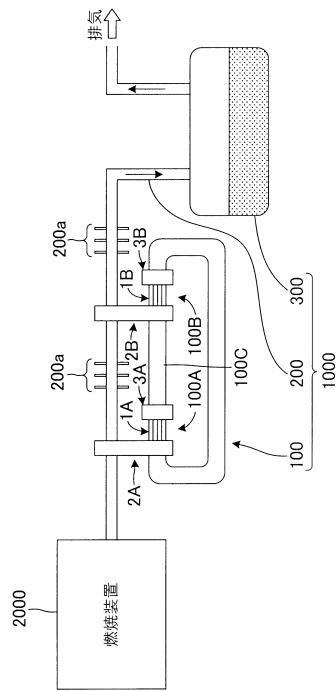
30

## 【0164】

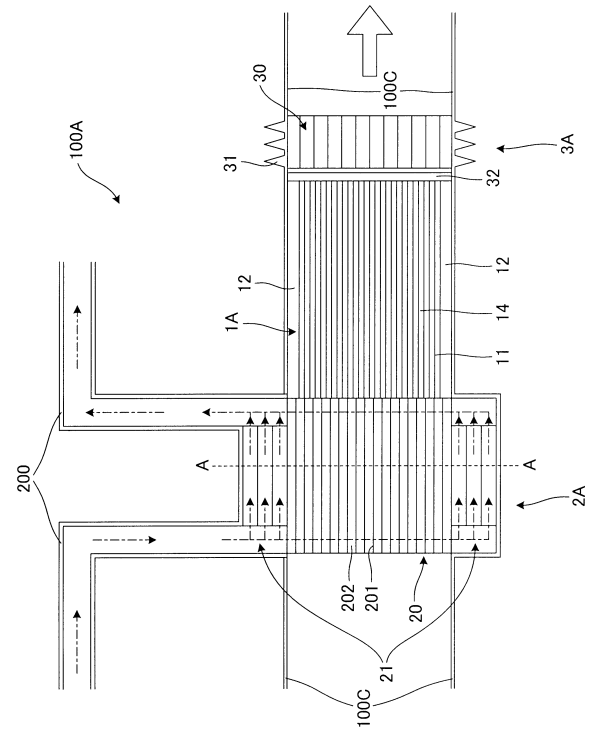
1A：第1の熱・音波変換部品、1B：第2の熱・音波変換部品、11：隔壁、12：干渉材、13：外周壁、14：セル、2A：第1の熱交換器、2B：第2の熱交換器、20：作動流体用ハニカム構造体、201：隔壁、202：セル、21：排気ガス用ハニカム構造体、22：メタライズ層、23：金属外筒、3A：第3の熱交換器、3B：第4の熱交換器、30：メッシュ積層体、31：フィン、32：金属部材、100：水生成部、100A：音波発生部、100B：冷熱生成部、100C：伝播管、200：排気ガス管、200a：放熱部材、300：水収容部、400：水供給機構、401：ポンプ、402：水供給管、1000, 1000'：水回収装置、2000：燃焼装置、2001：エンジン、2002：インジェクタ、2003：三元触媒コンバータ、2004：第1の排気ガス管、2005：分岐、2006：第2の排気ガス管、2007：マフラー、2008：音・電力変換部。

40

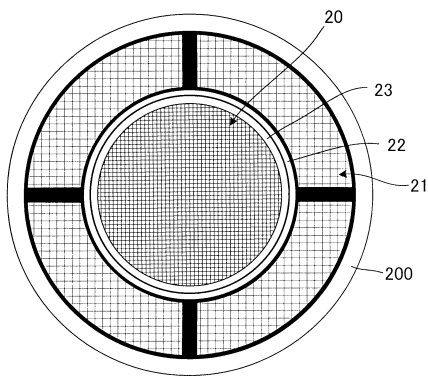
【図 1】



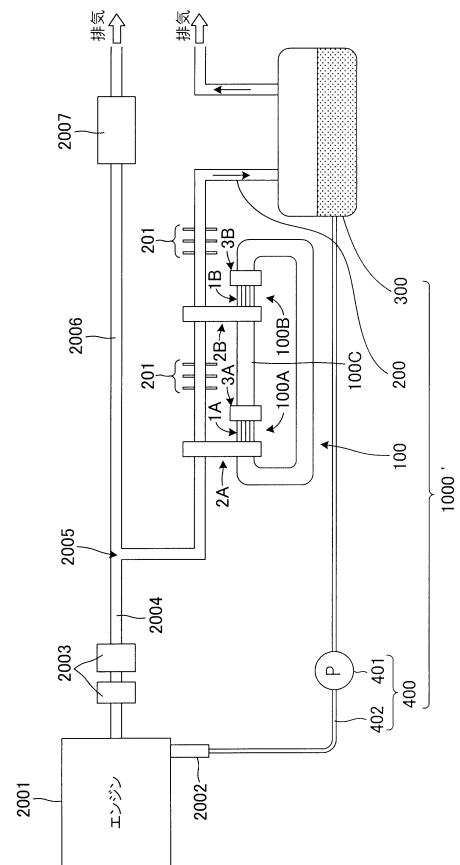
【図 2】



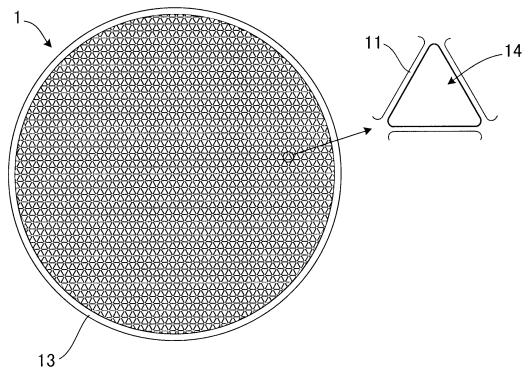
【図 3】



【図 5】

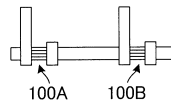


【図 4】

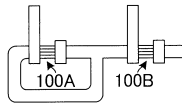




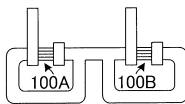
【図 6】



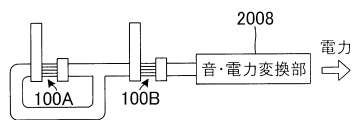
【図 7】



【図 8】



【図 9】



---

フロントページの続き

(56)参考文献 特開2013-199882(JP,A)  
特開2012-154251(JP,A)  
特開平01-134021(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

F01N 1/00 - 1/24  
F01N 5/00 - 5/04  
F01N 13/00 - 13/20