

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6373697号
(P6373697)

(45) 発行日 平成30年8月15日 (2018. 8. 15)

(24) 登録日 平成30年7月27日 (2018. 7. 27)

(51) Int. Cl.	F I				
F 2 5 B 9/00 (2006. 01)	F 2 5 B	9/00	Z		
F 0 1 N 5/02 (2006. 01)	F 0 1 N	5/02	J		
F 0 3 G 7/00 (2006. 01)	F 0 3 G	7/00	C		
H 0 2 N 11/00 (2006. 01)	F 0 3 G	7/00	B		
G 1 0 K 11/16 (2006. 01)	H 0 2 N	11/00	Z		
請求項の数 12 (全 46 頁) 最終頁に続く					

(21) 出願番号	特願2014-192022 (P2014-192022)	(73) 特許権者	000004064
(22) 出願日	平成26年9月19日 (2014. 9. 19)		日本碍子株式会社
(65) 公開番号	特開2016-61532 (P2016-61532A)		愛知県名古屋市瑞穂区須田町2番56号
(43) 公開日	平成28年4月25日 (2016. 4. 25)	(74) 代理人	100088616
審査請求日	平成29年4月14日 (2017. 4. 14)		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
最終頁に続く			

(54) 【発明の名称】 熱・音波変換部品および熱・音波変換ユニット

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

第1の端面から第2の端面まで延在する複数のセルであって、振動することで音波を伝搬する作動流体によって内部が満たされる複数のセルを区画形成する隔壁を有し、該隔壁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、それぞれがセラミックスを構成材料として一体的に形成された複数のハニカムセグメントと、

前記複数のハニカムセグメントの側面同士を互いに接合する接合部と、

前記複数のハニカムセグメントと前記接合部とで構成されるハニカム構造部の外周面を覆う外周壁と、を備えた熱・音波変換部品であって、

前記セルの延在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 mm 以下であり、

前記ハニカムセグメントの各端面における開口率が 60% 以上 93% 以下であり、

前記ハニカムセグメントの構成材料の熱伝導率が 5 W/mK 以下であり、

前記ハニカムセグメントの前記第1の端面から前記第2の端面までの長さを L としたときに該ハニカムセグメントの長さ L に対する前記水力直径 HD の比 HD / L が 0.005 以上 0.02 未満であり、

前記ハニカムセグメントの前記構成材料の、 $20 \sim 800$ における熱膨張率が 6 ppm/K 以下である熱・音波変換部品。

【請求項 2】

10

20

前記セルの前記断面の形状は三角形であり、該断面に平行な前記ハニカムセグメントの断面の形状が六角形である請求項 1 記載の熱・音波変換部品。

【請求項 3】

前記セルの前記断面の形状は三角形であり、該断面に平行な前記ハニカムセグメントの断面の形状が三角形である請求項 1 記載の熱・音波変換部品。

【請求項 4】

前記接合部および前記外周壁のそれぞれの構成材料のヤング率は、いずれも、前記ハニカムセグメントの構成材料のヤング率の 30%未満であり、前記接合部の構成材料の熱膨張係数は、前記ハニカムセグメントの構成材料の熱膨張係数の 70%以上 130%未満であり、前記接合部の構成材料の単位体積当たりの熱容量は、前記ハニカムセグメントの構成材料の単位体積当たりの熱容量の 50%以上である請求項 1～3 のうちのいずれかに記載の熱・音波変換部品。

10

【請求項 5】

互いに接合される 2 つの前記ハニカムセグメントの間の接合幅が 0.2 mm 以上 4 mm 以下であり、前記延在方向に垂直な面内における、前記熱・音波変換部品の断面積に対する前記接合部の全断面積の割合が 10%以下である請求項 1～4 のうちのいずれかに記載の熱・音波変換部品。

【請求項 6】

前記複数のハニカムセグメントそれぞれの、前記延在方向に垂直な面内における、断面積が 3 cm^2 以上 12 cm^2 以下である請求項 1～5 のうちのいずれかに記載の熱・音波変換部品。

20

【請求項 7】

前記熱・音波変換部品の、前記延在方向に垂直な面内における断面の円相当直径を D としたときに該円相当直径 D が 30 mm 以上 100 mm 以下であって、該円相当直径 D に対する前記ハニカムセグメントの長さ L の比 L/D が 0.3 以上 1.0 以下である請求項 1～6 のうちのいずれかに記載の熱・音波変換部品。

【請求項 8】

前記ハニカムセグメントの長さ L は、5 mm 以上 60 mm 以下である請求項 1～7 のうちのいずれかに記載の熱・音波変換部品。

【請求項 9】

30

前記セラミックスの原料は、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請求項 1～8 のうちのいずれかに記載の熱・音波変換部品。

【請求項 10】

前記セラミックスの原料はコージェライト化原料である請求項 9 に記載の熱・音波変換部品。

【請求項 11】

請求項 1～10 のいずれか 1 項に記載の熱・音波変換部品であって、前記ハニカムセグメントとして、前記作動流体が前記複数のセルの内部を満たしている状態において前記第 1 の端面側の第 1 端部と前記第 2 の端面側の第 2 端部との間に温度差が生じたときに、該温度差に応じて前記作動流体を前記延在方向に沿って振動させて音波を発生するハニカムセグメントを有する熱・音波変換部品と、

40

前記熱・音波変換部品の前記第 1 端部および前記第 2 端部にそれぞれ近接して設けられ、該両端部との間で熱の授受を行うことで該両端部の間に温度差を与える一対の熱交換器と、を備えた熱・音波変換ユニット。

【請求項 12】

請求項 1～10 のいずれか 1 項に記載の熱・音波変換部品であって、前記ハニカムセグメントとして、前記作動流体が前記複数のセルの内部を満たしている状態において音波の

50

伝播を受けて前記延在方向に沿って該作動流体が振動したときに、前記第 1 の端面側の第 1 端部と前記第 2 の端面側の第 2 端部との間に前記作動流体の振動に応じた温度差を生じさせるハニカムセグメントを有する熱・音波変換部品と、

前記熱・音波変換部品の前記第 1 端部および前記第 2 端部のうちの一方の端部に近接して設けられ、該一方の端部への熱の供給、あるいは、該一方の端部からの熱の吸収を行って該一方の端部の温度を一定温度に維持する熱交換器と、

前記熱・音波変換部品の前記第 1 端部および前記第 2 端部のうちの、前記一方の端部とは反対側の他方の端部に近接して設けられ、前記熱交換器により前記一方の端部の温度が一定温度に維持されている状態において前記熱・音波変換部品が音波の伝播を受けたときに、前記一定温度に維持された前記一方の端部に対し前記他方の端部が、前記音波の伝播による前記作動流体の振動に応じた温度差を有するように、前記他方の端部との間で熱の授受を行って得られた温熱あるいは冷熱を出力する温熱・冷熱出力部と、を備えた熱・音波変換ユニット。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、熱・音波変換部品および熱・音波変換ユニットに関する。さらに詳しくは、熱と音波のエネルギーとを相互に変換する熱・音波変換部品、および、熱・音波変換部品と熱交換器で構成された熱・音波変換ユニットに関する。

【背景技術】

【0002】

近年、社会全体でエネルギー資源の有効活用の要請が高まってきており、エネルギーを再利用する様々な技術の開発が試みられている。その中でも、熱音響効果を利用して自動車の排気ガス等の高温流体の熱を音波のエネルギーに変換し、そのエネルギーを最終的に電力等の形で出力するエネルギーリサイクルシステムは、得られるエネルギーの取得率（エネルギー効率）が高いことから注目を集めており、実用化に向けて様々な工夫が行われている。

【0003】

熱音響効果は、簡単に言えば、熱により音波が発生する現象であり、より詳しく言えば、細管の一端部に熱を与えて細管に温度勾配を形成することで細管中の音波伝播媒体が振動を起こして音波が発生する現象である。このとき一度に数多くの細管を用いて音波が発生させると効率がよいことから、熱音響効果を起こす細管の集合体として、孔径の小さい貫通孔が数多く形成されたハニカム構造体が採用されることが多い（たとえば、特許文献 1～3 参照）。

【0004】

ところで、ハニカム構造体自体は、その表面積の大きい立体形状を利用する目的で、熱音響効果とは無関係に、様々な用途について用いられてきた。たとえば、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は、その典型的な例であり、従来から様々なタイプのものが開発されている。また、他の例としては、イオン触媒体として利用するために、孔径が数十～数百 μm の小さい貫通孔を持つハニカム構造体も開発されており（たとえば、非特許文献 1，2 参照）、これらは、フィルタ目的のハニカム構造体で通常用いられる押出成形法とは全く異なり、専ら化学的な手法を用いて作製される。

【0005】

このように、従来からよく知られたハニカム構造体ではあるが、熱音響効果を起こす熱・音波変換部品として用いるには、熱音響効果発生に適した特有の特性を持つことが要求される。たとえば、高い熱音響効果を発揮するためには、貫通孔の孔径を小さくすることが好ましく、特許文献 3 では、排気浄化触媒担持用のハニカム構造体よりも貫通孔の孔径の小さい 0.5 mm 以上 1.0 mm 未満程度の孔径の熱音響効果用のハニカム構造体が提案されている。非特許文献 1，2 のハニカム構造体では孔径がきわめて小さいものの、専

10

20

30

40

50

ら化学的な手法を用いて作製されるため、その長さや耐久性に限界があり熱音響効果用のハニカム構造体にはあまり適さないのに対し、この特許文献3の熱音響効果用のハニカム構造体は、熱音響効果を発揮する熱・音波変換部品としての利用に耐えられるという必要条件を満たしつつ、高い熱・音波変換機能を有するという長所を有している。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】特開2005-180294号公報

【特許文献2】特開2012-112621号公報

【特許文献3】特開2012-237295号公報

10

【非特許文献】

【0007】

【非特許文献1】インターネット上のURL：<http://www.mesl.t.u-tokyo.ac.jp/ja/research/tpv.html>

【非特許文献2】インターネット上のURL：http://www.ricoh.com/ja/technology/tech/009_honeycomb.html

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

しかしながら特許文献3では、熱・音波変換部品としての長期間使用するための耐久性については全く考慮されていない。たとえば、熱・音波変換部品として長期間使用された場合、温度勾配を持たせるために局部的に加熱や冷却が継続的に行われるため、その温度差に起因する熱応力に対し十分な耐久性を確保することが不可欠となる。このように、熱・音波変換部品としてハニカム構造体を用いるにあたっては、さらなる改良が望まれる。

20

【0009】

上記の事情を鑑み、本発明は、ハニカム構造を有し耐久性の向上が図られた熱・音波変換部品、および、このような熱・音波変換部品と熱交換器で構成された熱・音波変換ユニット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】

【0010】

30

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。

【0011】

[1] 第1の端面から第2の端面まで延在する複数のセルであって、振動することで音波を伝搬する作動流体によって内部が満たされる複数のセルを区画形成する隔壁を有し、該隔壁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、それぞれがセラミックスを構成材料として一体的に形成された複数のハニカムセグメントと、前記複数のハニカムセグメントの側面同士を互いに接合する接合部と、前記複数のハニカムセグメントと前記接合部とで構成されるハニカム構造体の外周面を覆う外周壁と、を備えた熱・音波変換部品であって、前記セルの延在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 mm 以下であり、前記ハニカムセグメントの各端面における開口率が 60% 以上 93% 以下であり、前記ハニカムセグメントの構成材料の熱伝導率が 5 W/mK 以下であり、前記ハニカムセグメントの前記第1の端面から前記第2の端面までの長さを L としたときに該ハニカムセグメントの長さ L に対する前記水力直径 HD の比 HD/L が 0.005 以上 0.02 未満であり、前記ハニカムセグメントの前記構成材料の、 $20 \sim 800$ における熱膨張率が 6 ppm/K 以下である熱・音波変換部品。

40

【0012】

[2] 前記セルの前記断面の形状は三角形であり、該断面に平行な前記ハニカムセグメントの断面の形状が六角形である[1]記載の熱・音波変換部品。

50

【 0 0 1 3 】

〔 3 〕 前記セルの前記断面の形状は三角形であり、該断面に平行な前記ハニカムセグメントの断面の形状が三角形である〔 1 〕記載の熱・音波変換部品。

【 0 0 1 4 】

〔 4 〕 前記接合部および前記外周壁のそれぞれの構成材料のヤング率は、いずれも、前記ハニカムセグメントの構成材料のヤング率の 3 0 % 未満であり、前記接合部の構成材料の熱膨張係数は、前記ハニカムセグメントの構成材料の熱膨張係数の 7 0 % 以上 1 3 0 % 未満であり、前記接合部の構成材料の単位体積当たりの熱容量は、前記ハニカムセグメントの構成材料の単位体積当たりの熱容量の 5 0 % 以上である〔 1 〕～〔 3 〕のうちのいずれかに記載の熱・音波変換部品。

10

【 0 0 1 5 】

〔 5 〕 互いに接合される 2 つの前記ハニカムセグメントの間の接合幅が 0 . 2 mm 以上 4 mm 以下であり、前記延在方向に垂直な面内における、前記熱・音波変換部品の断面積に対する前記接合部の全断面積の割合が 1 0 % 以下である〔 1 〕～〔 4 〕のうちのいずれかに記載の熱・音波変換部品。

【 0 0 1 6 】

〔 6 〕 前記複数のハニカムセグメントそれぞれの、前記延在方向に垂直な面内における、断面積が 3 cm^2 以上 12 cm^2 以下である〔 1 〕～〔 5 〕のうちのいずれかに記載の熱・音波変換部品。

【 0 0 1 7 】

〔 7 〕 前記熱・音波変換部品の、前記延在方向に垂直な面内における断面の円相当直径を D としたときに該円相当直径 D が 3 0 mm 以上 1 0 0 mm 以下であって、該円相当直径 D に対する前記ハニカムセグメントの長さ L の比 L/D が 0 . 3 以上 1 . 0 以下である〔 1 〕～〔 6 〕のうちのいずれかに記載の熱・音波変換部品。

20

【 0 0 1 9 】

〔 8 〕 前記ハニカムセグメントの長さ L は、5 mm 以上 6 0 mm 以下である〔 1 〕～〔 7 〕のうちのいずれかに記載の熱・音波変換部品。

〔 9 〕 前記セラミックスの原料は、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〔 1 〕～〔 8 〕のうちのいずれかに記載の熱・音波変換部品。

30

〔 1 0 〕 前記セラミックスの原料はコージェライト化原料である〔 9 〕に記載の熱・音波変換部品。

【 0 0 2 0 】

〔 1 1 〕 〔 1 〕～〔 1 0 〕のいずれかに記載の熱・音波変換部品であって、前記ハニカムセグメントとして、前記作動流体が前記複数のセルの内部を満たしている状態において前記第 1 の端面側の第 1 端部と前記第 2 の端面側の第 2 端部との間に温度差が生じたときに、該温度差に応じて前記作動流体を前記延在方向に沿って振動させて音波を発生するハニカムセグメントを有する熱・音波変換部品と、前記熱・音波変換部品の前記第 1 端部および前記第 2 端部にそれぞれ近接して設けられ、該両端部との間で熱の授受を行うことで該両端部の間に温度差を与える一対の熱交換器と、を備えた熱・音波変換ユニット。

40

【 0 0 2 1 】

〔 1 2 〕 〔 1 〕～〔 1 0 〕のいずれかに記載の熱・音波変換部品であって、前記ハニカムセグメントとして、前記作動流体が前記複数のセルの内部を満たしている状態において音波の伝播を受けて前記延在方向に沿って該作動流体が振動したときに、前記第 1 の端面側の第 1 端部と前記第 2 の端面側の第 2 端部との間に前記作動流体の振動に応じた温度差を生じさせるハニカムセグメントを有する熱・音波変換部品と、前記熱・音波変換部品の前記第 1 端部および前記第 2 端部のうちの一方の端部に近接して設けられ、該一方の端部への熱の供給、あるいは、該一方の端部からの熱の吸収を行って該一方の端部の温度を一

50

定温度に維持する熱交換器と、前記熱・音波変換部品の前記第１端部および前記第２端部のうちの、前記一方の端部とは反対側の他方の端部に近接して設けられ、前記熱交換器により前記一方の端部の温度が一定温度に維持されている状態において前記熱・音波変換部品が音波の伝播を受けたときに、前記一定温度に維持された前記一方の端部に対し前記他方の端部が、前記音波の伝播による前記作動流体の振動に応じた温度差を有するように、前記他方の端部との間で熱の授受を行って得られた温熱あるいは冷熱を出力する温熱・冷熱出力部と、を備えた熱・音波変換ユニット。ここで、「温熱あるいは冷熱を出力する」とは、たとえば、「温度が上がった流体、あるいは、温度が下がった流体を出力する」ことを意味する。

【発明の効果】

10

【００２２】

本発明の熱・音波変換部品では、水力直径、開口率、熱伝導率、および、ハニカムセグメントの長さＬに対する前記水力直径ＨＤの比 HD/L が、それぞれ〔１〕における上記の数値範囲に属することで、熱音響効果を用いて熱を音波エネルギーに変換する際の十分なエネルギー変換効率を維持しつつ、耐久性が向上した熱・音波変換部品が実現する。

【図面の簡単な説明】

【００２３】

【図１】本発明の熱・音波変換ユニットおよび熱・音波変換部品の一実施形態が適用された電力発生システムの模式的な構成図である。

【図２】図１の熱・音波変換ユニットおよび熱・音波変換部品が適用された冷熱発生システムの模式図である。

20

【図３】図１の熱・音波変換ユニットの構成を表した模式図である。

【図４】図３の熱・音波変換ユニットにおける高温側熱交換器の外観斜視図である。

【図５】高温側環状管の流入口および流出口を含む平面で見たときの高温側熱交換器の断面図である。

【図６】高温側環状管の管内にさらに別のハニカム構造体が嵌合している熱・音波変換ユニットの一形態を表す模式図である。

【図７】図６のＡ－Ａ線の断面における高温側熱交換器の模式的な断面構成図である。

【図８】図６および図７に示す熱・音波変換ユニットとは別の本発明の熱・音波変換ユニットの一形態を表す模式図である。

30

【図９】図８に示す熱・音波変換ユニットとはさらに別の熱・音波変換ユニットの一形態を表す模式図である。

【図１０】メッシュ構造を採用した高温側熱交換器の断面図である。

【図１１】図３に示す熱・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１２】セル形状が三角形の場合において、ハニカムセグメントの形状が六角形の例を表した図である。

【図１３】本実施形態におけるハニカム成形体の作製に用いられる口金の外観斜視図である。

【図１４】図１３に示す口金の、図１３とは反対側から見たときの外観斜視図である。

40

【図１５】図１３に示す口金の表面の一部を示す拡大平面図である。

【図１６】図１５に示す口金のＡ－Ａ'断面を示す模式図である。

【図１７】押さえ板構造の一例を表した図である。

【図１８】図１７とは別の押さえ板構造の一例を表した図である。

【図１９】さらに別の押さえ板構造の一例を表した図である。

【図２０】図１９とはさらに別の押さえ板構造の一例を表した図である。

【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

50

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。

【 0 0 2 5 】

図 1 は、本発明の熱・音波変換ユニットおよび熱・音波変換部品の一実施形態が適用された電力発生システムの模式的な構成図である。

【 0 0 2 6 】

図 1 に示す電力発生システム 1 0 0 0 は、熱・音波変換ユニット 1 0 0、ループ管 4、共鳴管 5、およびエネルギー変換器 6 により構成されている。

【 0 0 2 7 】

ループ管 4 は、熱・音波変換ユニット 1 0 0 の図の上側の端部（上端部）と下側の端部（下端部）とに接続されたループ状の管である。共鳴管 5 は直線状の管であり、共鳴管 5 の一端はループ管 4 に接続されており、共鳴管 5 の他端はエネルギー変換器 6 に接続されている。ここで、共鳴管 5 とエネルギー変換器 6 とを合わせた全体は、実質的に図の右方向の端が閉じた管となっている。

【 0 0 2 8 】

熱・音波変換ユニット 1 0 0 は、熱・音波変換部品 1、高温側熱交換器 2、および、低温側熱交換器 3 を有している。

【 0 0 2 9 】

高温側熱交換器 2 は、高温の加熱流体（たとえば高温の排気ガス等）の流入を受けて、その熱を図 1 の熱・音波変換部品 1 の下端部に伝達し、流入時よりも温度の下がった加熱流体を流出させるものである。一方、低温側熱交換器 3 は、高温側熱交換器 2 に流入する加熱流体に比して相対的に温度の低い冷却流体（たとえば水等）の流入を受けて、その冷熱を図 1 の熱・音波変換部品 1 の上端部に伝達し、流入時よりも温度の上がった冷却流体を流出させるものである。このような高温側熱交換器 2 および低温側熱交換器 3 の働きにより、熱・音波変換部品 1 の下端部が上端部よりも相対的に温度が高い状態が実現する。熱・音波変換部品 1 は、図の上下方向に延びる複数の細い管状の貫通孔（以下、セルと呼ぶ）を有するハニカム構造を有している。各セルは、隣接するセルから隔壁により隔てられており、高温側熱交換器 2 および低温側熱交換器 3 を介してループ管 4 と連通している。

【 0 0 3 0 】

ここで、ループ管 4、共鳴管 5、および熱・音波変換部品 1 の各セル、のそれぞれの内部は、縦波の振動を生じて音波を伝播する作動流体で満たされている。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 1 】

熱・音波変換部品 1 では、その両端部に上述の温度差が存在することにより、各セル内の作動流体は、各セル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、特許文献 3 でも詳しく説明されている）。

【 0 0 3 2 】

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圧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

10

20

30

40

50

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 $HD = 4 \times S / C$ で定義される水力直径 HD によって評価できる。

【0033】

以下、図1に戻って電力発生システム1000の説明を続ける。

【0034】

熱・音波変換部品1では細い管状のセルが複数存在し各セル内で自励振動が起きることで、それら複数のセルの作動流体の振動の集合からなる音波が、熱・音波変換部品1からループ管4に向けて発せられる。そして、その音波は、この図の点線矢印の向きにループ管4内を伝播していく。ループ管4内を伝播する音波の多くは共鳴管5内に進行し共鳴管5内を図の右方向に進行する。上述したように、共鳴管5とエネルギー変換器6とを合わせた全体は、実質的に図の右方向の端が閉じた管となっているため、反射して逆の図の左方向に進行するものも発生し、共鳴管5内では、両進行波が重ね合わされることとなる。このとき、進行波の周波数が、共鳴管5の長さ等で決まる共鳴周波数と整合すると、共鳴管5内ではいわゆる共鳴が起こり、両進行波の重ね合わせからなりその共鳴周波数を有する定在波が発生する。図では、定在波の存在が一点鎖線の両矢印で示されている。

【0035】

ここで、エネルギー変換器6では、共鳴管5の実効的な長さを変化させることができる不図示の機構が設けられており、これにより共鳴が起きよう共鳴周波数を調整することができる。共鳴管5の実効的な長さを変化させる機構としては、たとえば、特許文献1記載のものを採用することができる。なお、ここでは、共鳴管5の実効的な長さを変化させることができるものとして説明を行うが、図1の電力発生システム1000では、熱・音波変換部品1で発生しループ管4内を進行する音波の周波数成分のうち最も支配的な周波数成分をあらかじめ把握しておき、共鳴管5の長さが、その支配的な周波数成分の周波数が共鳴周波数となるような特定の長さにあらかじめ設計されている形態が採用されてもよい。

【0036】

また、エネルギー変換器6には、音波を電気信号に変換する機構も設けられている。こうした変換機構としては、たとえば、特許文献1に記載されているようなマイクロフォンを備えた機構を挙げることができる。このようにマイクロフォンを利用する変換機構が最も簡便ではあるが、マイクロフォンを利用する変換機構に限らず、音波のエネルギーを力学的なエネルギーに変換しその力学的なエネルギーを電磁誘導により電力に変換する、従来からよく知られた様々な機構(たとえば特許文献2の機構)が採用できる。

【0037】

図1の電力発生システム1000では、以上説明した構成により、高温側熱交換器2に流入する高温の加熱流体(たとえば高温の排気ガス等)の熱を電力に変換することができ、エネルギーの有効利用(リサイクル)が可能となっている。

【0038】

次に、上記の熱・音波変換ユニット100および熱・音波変換部品1が適用された冷熱発生システムについて説明する。

【0039】

図2は、図1の熱・音波変換ユニット100および熱・音波変換部品1が適用された冷熱発生システムの模式図である。

【0040】

図2に示す冷熱発生システム2000は、ループ管4'、伝播管5'、音波発生部7、および、図1で説明した熱・音波変換ユニット100により構成されている。

【0041】

ループ管4'は、熱・音波変換ユニット100の図2の上側の端部(上端部)と下側の端部(下端部)とに接続されたループ状の管であり、高温側熱交換器2および低温側熱交

10

20

30

40

50

換器 3 を介して熱・音波変換部品 1 の複数のセルと連通している。伝播管 5' は直線状の管であり、伝播管 5' の一端はループ管 4' に接続されており、伝播管 5' の他端は音波発生部 7 に接続されている。音波発生部 7 は、音波を発生する機能を有しており、音波発生部 7 としては、たとえば、電力の供給を受けて音波を出力するスピーカを採用することができる。また、図 1 の電力発生システム 1000 からエネルギー変換器 6 を取り除いた、熱の供給を受けて音波を発生させるシステム（この場合、共鳴管 5 の右側は開放端となって反射が起きないため、図 1 の状況とは異なり共鳴管 5 内では右向きの進行波が伝播する）を採用することもできる。

【0042】

熱・音波変換ユニット 100 は、その構成自体は図 1 で説明したものと同じであるが、図 1 のときとは異なり、図 2 の高温側熱交換器 2 および低温側熱交換器 3 の双方には、図 1 の低温側熱交換器 3 に流入したのと同様の冷却流体（たとえば水）が流入するようになっている。

【0043】

ここで、ループ管 4'、伝播管 5'、および熱・音波変換部品 1 の各セルの内部は、縦波の振動を生じて音波を伝播する作動流体で満たされている。作動流体としては、たとえば、図 1 の電力発生システム 1000 と同様のものを採用できる。

【0044】

音波発生部 7 で発生した音波は、伝播管 5' を図 2 の一点鎖線矢印の方向に伝播し、さらにループ管 4' 内を図 2 の点線矢印の方向に伝播していく。そして、熱・音波変換ユニット 100 に到達し、熱・音波変換部品 1 の図 2 の上側から各セル内に進行していく。このとき、音波による熱輸送により、高温側熱交換器 2 側の端部が低温側熱交換器 3 側の端部よりも相対的に温度が高い状態が実現する。高温側熱交換器 2 では常温近傍の冷却流体が流入し、常温より高い温度で流出する。一方、音波による熱輸送により熱が高温側熱交換器 2 側の端部へ輸送されてしまうので、熱・音波変換部品 1 の低温側熱交換器 3 側の端部は、常温より低い温度となる。低温側熱交換器 3 では常温近傍の冷却流体が流入し、熱・音波変換部品 1 の低温側熱交換器 3 側の端部に熱を奪われるため、常温より低い温度で流出する。言い換えれば、冷水の形で、冷熱が出力されることになる。

【0045】

図 2 の冷熱発生システム 2000 では、以上説明した構成により、音波発生部 7 で発生した音波のエネルギーを用いて冷熱を出力することができる。特に、音波発生部 7 として、図 1 の電力発生システム 1000 からエネルギー変換器 6 を取り除いたシステムを採用した場合には、図 1 の高温側熱交換器 2 に流入する高温の加熱流体（たとえば高温の排気ガス等）の熱を冷熱に変換することができ、エネルギーの有効利用（リサイクル）が可能となっている。

【0046】

以上説明したように、図 1 の電力発生システム 1000 および図 2 の冷熱発生システム 2000 においては、本発明の一実施形態である熱・音波変換ユニット 100 がきわめて重要な役割を果たしている。以下では、図 1 の電力発生システム 1000 で使用されている状況を例にとって、熱・音波変換ユニット 100 について、さらに詳しく説明する。以下の説明では、一例として、図 1 の電力発生システム 1000 として、図 1 の高温側熱交換器 2 には、自動車の排気ガスの典型的な温度である 400 ~ 600 程度の高温の加熱流体（たとえば排気ガスそのもの）が流入し、低温側熱交換器 3 には、20 ~ 70 程度の低温の冷却流体（たとえば水）が流入するものとして話を進める。この場合、熱・音波変換部品 1 の両端部における温度差は、330 ~ 580 程度となる。

【0047】

なお、当然のことではあるが、以下に説明する熱・音波変換ユニット 100 の特性そのものは、図 2 の冷熱発生システム 2000 において使用する場合も変わるものではない。

【0048】

図 3 は、図 1 の熱・音波変換ユニット 100 の構成を表した模式図である。

【 0 0 4 9 】

熱・音波変換ユニット 1 0 0 は、熱・音波変換部品 1、高温側熱交換器 2、および、低温側熱交換器 3、金属部材 3 2、および、干渉材 1 a を備えており、これら全体は、ハウジング 1 0 0 a 内に収容されてループ管 4（図 1 も合わせて参照）に接続されている。

【 0 0 5 0 】

熱・音波変換部品 1 では、それぞれが細い管状の貫通孔である複数のセル 1 4 が、隔壁 1 1 によって区画形成されてなるハニカム構造を有している。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。なお、実際には、熱・音波変換部品 1 は、こうしたハニカム構造を有するハニカムセグメントをいくつか互いに接合した構造を備えているが、このセグメント構造については後述することとして、図 3 では、説明の簡単化のためにセル 1 4 の配列だけが図示されている。各セル 1 4 は、図 3 の上下方向を貫通方向（各セル 1 4 が延在する延在方向）とし、低温側熱交換器 3 側の端面および高温側熱交換器 2 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、低温側熱交換器 3 側の端面は、金属部材 3 2 と接しているとともに、金属部材 3 2 を間において低温側熱交換器 3 に対向している。なお、ここでは、金属部材 3 2 が配置されているが、本発明では、金属部材 3 2 が省略された形態も採用可能である。金属部材 3 2 が省略された場合には、後述のメッシュ積層体 3 0 と接触する作動流体が冷却された後に、その冷却された作動流体が、音波の振動に対応した作動流体の変位により熱・音波変換部品 1 の端面近傍に接触しこの端面近傍を冷却する。ここで、金属部材 3 2 が省略された形態では、熱・音波変換部品 1 と低温側熱交換器 3 との間の隙間は極力小さいことが好ましい。

【 0 0 5 1 】

金属部材 3 2 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 3 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。

【 0 0 5 2 】

低温側熱交換器 3 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 3 0 を有している。また、低温側熱交換器 3 は、メッシュ積層体 3 0 の側面を取り巻く環状の管である低温側環状管 3 1 を有している。このようにメッシュ積層体 3 0 の側面を取り巻く低温側環状管 3 1 は、図 3 では、流入口 3 1 a および流出口 3 1 b を含む断面においてメッシュ積層体 3 0 の両側を挟み込むものとして模式的に示されている。この低温側環状管 3 1 は、流入口 3 1 a から、後述する高温側熱交換器 2 に流入する加熱流体よりは相対的に低温の冷却流体（たとえば水）の流入を受け、その冷却流体の冷熱をメッシュ積層体 3 0 に伝達し（逆の言い方をすればメッシュ積層体 3 0 の熱を冷却流体に伝達し）、流出口 3 1 b から、温度が上昇した冷却流体を流出させる役割を果たしている。

【 0 0 5 3 】

メッシュ積層体 3 0 に伝達された冷熱は、接触している作動流体に伝わり、さらに音波の変位で熱・音波変換部品 1 の、低温側熱交換器 3 側の端面に伝達され、熱・音波変換部品 1 の低温側熱交換器 3 側の端部を冷却する。このため、金属部材 3 2 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、銅製のものをを用いることができる。

【 0 0 5 4 】

なお、以上では、低温側熱交換器 3 の構成について詳しく説明したが、本発明の熱・音波変換ユニットは、低温側の熱交換器の詳細に特に限定されず、従来から知られている熱交換器を採用してもよい。また、後述する高温側熱交換器 2 と同じ構成のものを採用してもよい。

【 0 0 5 5 】

熱・音波変換部品 1 の側面は、干渉材 1 a によって取り巻かれており、図 3 の模式的な断面図では、その取り巻く干渉材 1 a が、熱・音波変換部品 1 を図の左右両側から挟み込む 2 つに分かれた干渉材 1 a として示されている。この干渉材 1 a は、熱・音波変換部品

1 の、低温側熱交換器 3 側の端部と高温側熱交換器 2 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。

【0056】

高温側熱交換器 2 は、熱交換ハニカム構造体 20 および高温側環状管 21 を備えている。熱交換ハニカム構造体 20 は、熱・音波変換部品 1 と同様にハニカム構造を有しており、それぞれが図 3 の上下方向を貫通する細い管状の貫通孔である 2 以上のセル 20d が、隔壁 20a によって区画形成されている。高温側環状管 21 は、熱交換ハニカム構造体 20 の側面を取り巻く環状の管であり、流入口 21a から高温の加熱流体（たとえば、高温の排気ガス）の流入を受けてその加熱流体の熱を熱交換ハニカム構造体 20 に伝達し流出口 21b から温度が低下した加熱流体を流出させる役割を果たす。ここで、図 3 に示すように、高温側環状管 21 の管内には、加熱流体との接触面積を増加させるために、金属製あるいは SiC（炭化珪素）を主成分とするセラミックス製のフィン 21e が設けられている。

10

【0057】

図 4 は、図 3 の熱・音波変換ユニット 100 における高温側熱交換器 2 の外観斜視図であり、図 5 は、高温側環状管 21 の流入口 21a および流出口 21b を含む平面で見たときの高温側熱交換器 2 の断面図である。

【0058】

図 4 に示すように、高温側熱交換器 2 では、高温側環状管 21 の環状形状における中央の空洞部分に熱交換ハニカム構造体 20 が嵌め込まれた構成となっている。この高温側環状管 21 には、図 4 の太い矢印で示すように、図の下側の流入口 21a から高温の加熱流体（たとえば、高温の排気ガス）が流入し、図の上側の流出口 21b から流出する。このとき、流入口 21a から流入した高温の加熱流体は、図 5 の矢印で示すように、熱交換ハニカム構造体 20 の円形の外周を構成する外周壁 20b に直接に突き当たり、外周壁 20b の左右二手に分かれて外周壁 20b に沿って進み、流出口 21b で合流して流出する。このように熱交換ハニカム構造体 20 の外周壁 20b に対して直接に高温の加熱流体が接触することで、高温の加熱流体から外周壁 20b に対して多量の熱が直接に伝達され、その熱は、熱交換ハニカム構造体 20 内部の隔壁 20a やセル 20d 内部の作動流体にも伝達される。このように、熱交換ハニカム構造体 20 が高温の加熱流体に直接接触できるのは、後述するように、熱交換ハニカム構造体 20 が、耐熱性および熱伝導性が高い材料で構成されているためであり、直接に加熱流体と接触することで、間に他の部材を介した場合と比べ、熱の損失を抑え熱交換効率の向上が図られる。

20

30

【0059】

なお、このように熱交換ハニカム構造体 20 が直接に加熱流体と接触する形態が好ましいが、本発明では、熱交換ハニカム構造体 20 の外周壁 20b が高温の加熱流体に直接に接触する代わりに、外周壁 20b の周囲を金属で覆う形態も採用することができる。特に、音波を伝播する作動流体として高圧の気体（たとえばアルゴン等の不活性の希ガス）を用いる場合には、こうした高圧の気体を密閉して漏れを防ぐ観点からこのように外周壁 20b の周囲を金属で覆う形態が好ましい。この場合、外周壁 20b の周囲を覆った金属の外周面に、図 5 の熱交換ハニカム構造体 20 の中心からみて外向き方向（動径方向）に突出した金属製のフィン（たとえば図 3 のフィン 21e 参照）を備えていることが好ましい。これは、高温の加熱流体との接触面積を増加させて熱交換効率を高めるためである。高温の加熱流体との接触面積が小さいと、高温の加熱流体と高温側熱交換器 2 との熱の授受が不十分で高温側熱交換器 2 の熱交換効率が低下してしまうので、高温加熱流体との接触面積をできるだけ大きくすることが高温側熱交換器 2 にとって重要となる。

40

【0060】

特に、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、さらに別のハニカム構造体が高温側環状管の管内に嵌合している形態が最も好ましい。これは、SiC（炭化珪素）を主成分とするセラミックス材料は、金属製のフィンより高温での熱伝導

50

率が高く、高温ガスとの接触面積も飛躍的に増加させることができ、さらに、金属製のフィンでは問題となり得る高温の加熱流体による腐食劣化の問題も回避できるからである。以下、この好ましい形態について説明する。

【0061】

図6は、高温側環状管の管内にさらに別のハニカム構造体が嵌合している熱・音波変換ユニットの一形態を表す模式図であり、図7は、図6のA-A線の断面における高温側熱交換器の模式的な断面構成図である。

【0062】

図6および図7では、図3～図5と同一の構成要素については同一の符号を付し、その重複説明は省略する。

【0063】

図6の熱・音波変換ユニット200における高温側熱交換器2'は、熱交換ハニカム構造体20'および2つの互いに異なる高温側環状管211, 212を有している。熱交換ハニカム構造体20'は、図中の水平方向を貫通方向とする2以上のセルが隔壁により区画形成されたハニカム構造を有しており、2つの異なる高温側環状管211, 212により加熱流体から伝達された熱を熱・音波変換部品1に伝達する。ここで、熱交換ハニカム構造体20'は、熱・音波変換部品1から間隔tを置いて配置されている。

【0064】

図7に示すように、2つの高温側環状管211, 212の内部には、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管内ハニカム構造体2110, 2120がそれぞれ備えられている。管内ハニカム構造体2110, 2120は、いずれも図中の水平方向を貫通方向とする2以上のセルが隔壁により区画形成されたハニカム構造を有している。2つの高温側環状管211, 212では、図の矢印で示すように、流入した加熱流体が管内ハニカム構造体2110, 2120の各セルを通過して流出していく。このとき、各セルを通過する加熱流体の熱が管内ハニカム構造体2110, 2120に伝わり、その熱は、高温側環状管211, 212の壁面、および、熱交換ハニカム構造体20'の側面(外周壁の面)を取り巻く金属管(不図示)を介して、熱交換ハニカム構造体20'に伝達される。なお、図7では、簡単のため、熱交換ハニカム構造体20'の断面が矩形形状で図示されているが、図4および図5のように断面が円形状の場合であっても、高温側環状管211, 212の形状を円形に沿うようにする等により実質的に同様の構成を取り得る。

【0065】

このように熱交換ハニカム構造体20'の外周壁を金属管で覆い、その外側に、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2つの管内ハニカム構造体2110, 2120を配置する構造では、熱交換ハニカム構造体20'は直接加熱流体と接触せず、このため、高温の加熱流体による腐食劣化を抑えることができる。また、作動流体として不活性な希ガス(たとえばアルゴン等)を用いる場合には、作動流体により熱交換ハニカム構造体20'が腐食する問題も生じない。この場合、熱交換ハニカム構造体20'の材料としては、SiC(炭化珪素)を主成分とするセラミックス材料の他、熱伝導性の高い金属材料、たとえば銅も採用できる。

【0066】

ここで、図6における熱交換ハニカム構造体20'の長さL'は、作動流体の振動より発生する音波の波長程度であることが好ましい。音波の波長よりも長すぎると作動流体(たとえば不活性な希ガス)への熱の供与が不十分となる。一方、長さL'が音波の波長よりも短すぎると、外側から熱交換ハニカム構造体20'を通り抜けて熱・音波変換部品1へ達してしまい、比較的低温の作動流体が熱・音波変換部品1の高温熱交換器側の端部を冷やしてしまうといった悪影響が生じ得る。

【0067】

図8は、図6および図7に示す熱・音波変換ユニットとは別の本発明の熱・音波変換ユニットの一形態を表す模式図、図9は、図8に示す熱・音波変換ユニットとはさらに別の

10

20

30

40

50

熱・音波変換ユニットの一形態を表す模式図である。

【0068】

図8に示す熱・音波変換ユニットでは、高温側熱交換器2Aにおいて、図中の上側から加熱流体が流入し高温側熱交換器2Aの内部を通して図中の下方向に向けて流出する。一方、図9に示す熱・音波変換ユニットでは、高温側熱交換器2A'において、図中の上側から加熱流体が流入し高温側熱交換器2A'の内部を通して図中の上方向に向けて流出する。ここで、図8および図9に示す熱・音波変換ユニットのいずれも、低温側熱交換器3Aにおいては、図中の上側から冷却流体が流入し低温側熱交換器3Aの内部を通して図中の上方向に向けて流出する。ここで、図8および図9では、内部構造（以下の2つのハニカム構造体22, 23を含む構造）を明らかにするために、一部については透視図となっ

10

【0069】

図8の高温側熱交換器2Aおよび図9の高温側熱交換器2A'は、金属材料で構成された柱状のハニカム構造体23と、その周りを取り囲む、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中空の円柱状（言い換えれば厚みのある円筒状）のハニカム構造体22とを有している。ハニカム構造体23の外周では同一の金属材料の後述の金属メッシュ外筒23aが金属製のハニカム構造体23と一体に形成されている。なお、正確には、2つのハニカム構造体22, 23の間にはメタライズ層が存在するが、これについては後述する。これら2つのハニカム構造体22, 23は、いずれも、円柱状の形状の延在方向を貫通方向とする2以上のセルが隔壁により区画形成されたハニカム構造を有している。このような図8および図9の構造によっても、熱の損失を抑え熱交換効率の向上が図られる。

20

【0070】

なお、ここでは、金属材料で構成されたハニカム構造体23によるハニカム構造が採用されているが、これに代えて金属製のメッシュで構成されたメッシュ構造が採用されてもよい。

【0071】

図10は、メッシュ構造を採用した高温側熱交換器の断面図である。

【0072】

図10に示す高温側熱交換器では、金属外筒22aで外周が囲まれた、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22のさらなる内側に、円筒状のメタライズ層23bおよび金属メッシュ外筒23aを介して金属メッシュ体23'が備えられている。ここで、メタライズ層23b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、金属製の金属メッシュ外筒23aとセラミックス製のハニカム構造体22を接合させるための層である。図10に示す構造によっても、熱の損失を抑え熱交換効率の向上が図られる。

30

【0073】

以下、再び、図3～図5に戻って説明を続ける。

【0074】

図3に示すように、熱交換ハニカム構造体20の、熱・音波変換部品1側の端面（熱交換ハニカム構造体20の上側の端面）は、熱・音波変換部品1の、高温側熱交換器2側の端面（熱・音波変換部品1の下側の端面）と直接に接触している。以下、この熱交換ハニカム構造体20の上側の端面を接触面20sと呼ぶ。なお、本発明では、このように熱・音波変換部品1と熱交換ハニカム構造体20とが直接に接触する代わりに、熱・音波変換部品1と熱交換ハニカム構造体20との間に図6の間隔tのような隙間が存在していてもよい。この場合、熱交換ハニカム構造体20に対して伝達された熱は、熱交換ハニカム構造体20と接した作動流体に伝達され、その加熱された作動流体が、音波の振動に対応した作動流体の変位により熱・音波変換部品1の端面近傍に接触し、この端面近傍が加熱される。これにより、熱・音波変換部品1の、高温側熱交換器2側の端部は、低温側熱交換器3側の端部に比して相対的に温度の高い状態に維持されることとなる。

40

50

【0075】

ここで、この熱交換ハニカム構造体20は、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。セラミックス材料は、耐熱性が高いため、上述のように直接に高温の加熱流体に接触する熱交換ハニカム構造体20の材料に適している。さらに、セラミックス材料の中でもSiCを主成分とするセラミックス材料は、熱伝導率が相対的に高いため、上述したように熱交換ハニカム構造体20が熱・音波変換部品1に熱を伝達する役割を果たすのに適した材料となっている。ここで、「SiCを主成分とする」とは、SiCが、熱交換ハニカム構造体20の材料の50質量%以上を占めることを意味する。このときの気孔率としては、0～10%であることが好ましい。また、隔壁20aの厚さが0.25～0.51mmであってセル密度が15～62セル/cm²であることが好ましい。

10

【0076】

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、Si₃N₄、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。

【0077】

ここで、熱交換ハニカム構造体20では、図5に示すように三角形のセル20dが、セル20dの貫通方向に垂直な面内で、決まった長さの周期で周期的に配列した構成が採用されている。後述するように、熱の伝達先である熱・音波変換部品1においても、複数のセル14の集合体である後述のハニカムセグメント内で同様の構成が採用されており、熱交換ハニカム構造体20におけるセル20dのこの周期は、熱・音波変換部品1におけるセル14の周期の10以上の整数倍となっている。このように、熱交換ハニカム構造体20のセル20dの形状として、熱の伝達先である熱・音波変換部品1のセル14の形状と同一の形状を採用し、熱交換ハニカム構造体20のセル20dの周期として、熱・音波変換部品1のセル14の周期の整数倍のものを採用することで、熱交換ハニカム構造体20のセル20dの内部、および、熱・音波変換部品1のセル14の内部を満たしている作動流体の動きがスムーズになるよう工夫されている。なお、熱交換ハニカム構造体20のセルの周期が、熱・音波変換部品1のセルの周期よりも大きい理由は、熱・音波変換部品1のセル14は、上述した自励振動を起こすためにきわめて細かい貫通孔であることが要求されるためである。熱交換ハニカム構造体20のセル20dには、そうした要請はなく、熱交換ハニカム構造体20は熱交換の役割を果たせば十分であるため、熱・音波変換部品1のセル14の周期に比べ、1桁（10倍）以上の大きさのものとなっている。

20

30

【0078】

なお、後述するように、熱・音波変換部品1では、後述のハニカムセグメントが、決まった長さの周期で周期的に配列した構成も備えられており、熱交換ハニカム構造体20のセルの周期が、このハニカムセグメントの周期の整数分の1（逆の言い方をすれば、このハニカムセグメントの周期が熱交換ハニカム構造体20のセルの周期の整数倍）となっていることが好ましい。こうすることで、隣接するハニカムセグメントの境界部分で熱交換ハニカム構造体20のセルが塞がれるのを低減でき、音波の減衰を抑えることができる。上記の整数倍としては、5～20倍が好ましい。

40

【0079】

また、図3に示すように、熱交換ハニカム構造体20では、熱・音波変換部品1との接触面20sは、熱交換ハニカム構造体20が高温の加熱流体と直接に接触して熱を受ける受熱領域21cよりも、熱・音波変換部品1側（図の上方向）にずれた位置にあり、受熱領域21cと重ならないようになっている。仮に、接触面20sが受熱領域21cと重なってしまうと、接触面20sのうち、受熱領域21cに近い縁の周辺と、受熱領域21cから遠い中央付近とでは、温度差が大きく異なる状態が生じることがある。この場合、熱

50

・音波変換部品 1 の、熱交換ハニカム構造体 20 側の端部（図 3 の下端部）が均一に加熱されないために、熱・音波変換部品 1 の各セルの自励振動が各セルに応じてムラが出るとい問題が生じ得る。図 3 の熱交換ハニカム構造体 20 では、接触面 20 s が受熱領域 21 c と重ならないようになっていることで、こうした問題を回避している。

【0080】

また、図 5 に示すように、熱交換ハニカム構造体 20 では、外周壁 20 b の一部が欠けてセル 20 d の貫通方向に沿って延びるスリット 20 c が形成されている。図 5 では、例として、熱交換ハニカム構造体 20 の外周面の 4 か所にスリット 20 c が形成された例が示されている。こうしたスリット 20 c が存在することで、高温の加熱流体が直接に外周壁 20 b に接触したときに、外周壁 20 b に生じる熱応力を緩和することができ、この結果、外周壁 20 b や隔壁 20 a の割れや剥離を抑えることができる。

10

【0081】

また、図 5 に示すように、高温側環状管 21 には、スリット 20 c が延在する方向に沿って、各スリット 20 c による空隙を塞ぎつつ延在する 4 つの耐熱性金属板 21 d が設けられている。これら 4 つの耐熱性金属板 21 d により、4 つのスリット 20 c から作動流体が高温側環状管 21 内に漏れ出すことが防がれる。ここで、熱交換ハニカム構造体 20 は、高温側環状管 21 の環状の中央部で、これら 4 つの耐熱性金属板 21 d に嵌め込まれることで支持される。また、4 つの耐熱性金属板 21 d において、図 5 の熱交換ハニカム構造体 20 の中心からみて外向き方向（動径方向）に突出した金属製あるいは SiC（炭化珪素）を主成分とするセラミックス製のフィン 21 e（図 3 も合わせて参照）が備えら

20

【0082】

次に、図 3 に示す熱・音波変換部品 1 について詳しく説明する。

【0083】

図 11 は、図 3 に示す熱・音波変換部品 1 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。

【0084】

図 11 に示すように、熱・音波変換部品 1 は、それぞれが一体的に形成された複数のハニカムセグメント 15、ハニカムセグメント 15 を互いに接合する接合部 12、および、このような接合体からなるハニカム構造部の外周を取り囲む外周壁 13 で構成されている。

30

【0085】

ハニカムセグメント 15 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ることにより形成されている。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、熱・音波変換部品 1 では、各ハニカムセグメントのセル 14 の水力直径 HD は 0.4 mm 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、熱・音波変換部品 1 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 0.4 mm より大きい場合、きわめて小さい熱音響効果しか得られず、たとえば、図 1 の電力発生システム 1000 や図 2 の冷熱発生システム 2000 で十分な量の電力や冷熱を得ることは難しくなる。

40

【0086】

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、ハニカムセグメント 15 の端面における開口率が大きい方が有利である。熱・音波変換部品 1 では、各ハニカムセグメントは 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。

【0087】

ただし、開口率が高すぎると、各ハニカムセグメントの空洞部分が多すぎることとなり

50

、各ハニカムセグメント、しいては、熱・音波変換部品 1 全体の耐久性が低下する。そこで、ハニカムセグメント 1 5 では開口率は 9 3 % 以下に抑えられている。実際、開口率が 9 3 % を超えると、発生した音波による衝撃やハニカムセグメント両端の温度差に起因する熱的な歪みやねじれ（後述する熱応力）により生じるハニカムセグメント 1 5 の損傷が無視できなくなる。

【 0 0 8 8 】

まとめると、熱・音波変換部品 1 では、各ハニカムセグメントの端面における開口率が 6 0 % 以上 9 3 % 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との適度なバランスが実現している。なお、6 0 % 以上 9 3 % 以下の開口率の中でも、8 0 % 以上 9 3 % 以下の開口率が好ましい。

10

【 0 0 8 9 】

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。

【 0 0 9 0 】

また、熱・音波変換部品 1 では、各ハニカムセグメントの構成材料の熱伝導率が、 $5 \text{ W} / \text{m K}$ 以下の低い熱伝導率となっている。仮に熱伝導率が $5 \text{ W} / \text{m K}$ より大きい場合には、各セル内の作動流体と隔壁 1 1 との間で熱の授受が不十分なまま各ハニカムセグメントにおいて高温側熱交換器 2 側から低温側熱交換器 3 側に隔壁 1 1 を熱が伝導していくことになり、十分な熱音響効果が得られない。これに対し、熱伝導率が $5 \text{ W} / \text{m K}$ 以下の低い熱伝導率となることで、各セル内の作動流体と隔壁 1 1 との間で熱の授受が十分に行われ、十分な熱音響効果が得られる。なお、 $5 \text{ W} / \text{m K}$ 以下の熱伝導率の中でも、 $1.5 \text{ W} / \text{m K}$ 以下の熱伝導率であることが好ましい。ただし、熱伝導率が小さすぎると、今度は、熱・音波変換部品 1 の高温側熱交換器 2 側の端面のみが局所的に高温となってセル内壁面に熱が伝わらず熱音響効果が起きにくくなるので、少なくとも $0.01 \text{ W} / \text{m K}$ 以上の熱伝導率であることが好ましい。

20

【 0 0 9 1 】

ここで、熱伝導率は、温度傾斜法（定常法）で求められる。具体的には、以下のようにして求められる。まず、熱伝導率の測定対象から板状のテストサンプルを切り出し、その板状のテストサンプルを熱伝導率が既知のスペーサ（たとえば銅やステンレス等の金属）で挟む。次に、その片面を $30 \sim 200$ に加熱し、反対面を $20 \sim 25$ に冷却することにより、テストサンプルの厚さ方向に一定の温度差を設ける。そして、伝播する熱流量をスペーサ内の温度勾配により求め、この熱流量を温度差で割り算して熱伝導率を算出する。

30

【 0 0 9 2 】

また、ハニカムセグメント 1 5 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 に比してハニカムセグメント 1 5 が長すぎて、ハニカムセグメント 1 5 の各セル内の作動流体がハニカムセグメント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 1 1 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 に比してハニカムセグメント 1 5 が短すぎて、各セル内の作動流体と隔壁 1 1 との間で熱の授受が不十分なまま各ハニカムセグメントにおいて高温側熱交換器 2 側から低温側熱交換器 3 側に隔壁 1 1 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、熱・音波変換部品 1 では、各ハニカムセグメントにおいて比 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 1 1 との間における熱の授受が十分に行われる。この結果、熱・音波変換部品 1 では、十分な熱音響効果が得ることができる。

40

【 0 0 9 3 】

50

また、熱・音波変換部品 1 では、ハニカムセグメント 1 5 が、図 1 1 に示すように接合部 1 2 により互いに接合した接合構造となっていることで、熱応力に対し接合部 1 2 が緩衝作用を発揮できる。一般に、図 3 の高温側熱交換器 2 および低温側熱交換器 3 により、熱・音波変換部品 1 の両端部に対し加熱や冷却が行われると、両端部の熱膨張量の相違に起因する熱応力が熱・音波変換部品 1 に及ぶことになる。上記の接合構造によれば、接合部 1 2 が、こうした熱応力に対し、ある程度、弾性的に変形しながらその熱応力を弱めるような弾性力を発生する（緩衝作用）。このため、ハニカムセグメント 1 5 自体に直接熱応力が及びにくくなり、ハニカムセグメント 1 5、しいては、熱・音波変換部品 1 全体の損傷を抑えることができる。

【 0 0 9 4 】

10

ここで、本発明の熱・音波変換部品では、各ハニカムセグメントにおける、セル 1 4 の貫通方向に垂直な面内でのセルの形状としては、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 1 1 の熱・音波変換部品 1 の右上のセル 1 4 の配列の拡大図のように、三角形のセル 1 4 がこの垂直な面内で周期的に配列した構成が特に好ましい。

【 0 0 9 5 】

三角形のセル 1 4 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（ハニカムセグメント）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のセル形状を積極的に活用できる。

20

【 0 0 9 6 】

一方、本発明のハニカムセグメントの形状としては、ハニカムセグメントが複数のセルの集合体であることから、セルの形状をそのまま反映したセルの形状と同一の形状のものを採用することが、熱・音波変換部品の断面全体にできるだけ数多くのセルを配列させる上で都合がよい。たとえば、図 1 1 のように、セル 1 4 の形状が三角形の場合には、ハニカムセグメント 1 5 の形状としても、セル 1 4 の形状をそのまま反映した三角形とすることが好ましい。図 1 1 では、熱・音波変換部品 1 の外周壁 1 3 付近を除き、三角形の形状のハニカムセグメント 1 5 が、図 1 1 の平面内で周期的に配列している様子が示されている。

30

【 0 0 9 7 】

ただし、セル 1 4 の形状が三角形の場合には、ハニカムセグメントの形状としては、三角形の他に六角形も採用できる。これは、六角形は、6 つの三角形により構成することができるためである。

【 0 0 9 8 】

40

図 1 2 は、セル形状が三角形の場合において、ハニカムセグメントの形状が六角形の例を表した図である。

【 0 0 9 9 】

図 1 2 では、図 1 1 と同じ構成要素については同じ符号が付されており、その説明についての重複説明は省略する。

【 0 1 0 0 】

図 1 2 に示す熱・音波変換部品 1 ' では、図 1 2 の右上において拡大して示されているセル 1 4 の配列からわかるように、ハニカムセグメント 1 5 ' において、三角形のセル 1 4 が、セル 1 4 の貫通方向に垂直な面内で周期的に配列した構成が採用されている。このハニカムセグメント 1 5 ' の形状は六角形であり、熱・音波変換部品 1 ' の外周壁 1 3 付

50

近を除き、六角形の形状の複数のハニカムセグメント 15' が図 11 の平面内で周期的に並んでいる。このような形態によっても、熱・音波変換部品 1' の断面全体においてできるだけ数多くのセルを配列させることができる。

【0101】

以下、図 11 に戻って、図 11 の熱・音波変換部品 1 の説明を続ける。なお、以下に説明する熱・音波変換部品 1 の特性は、図 12 に示す熱・音波変換部品 1' にも共通する特性である。

【0102】

図 11 の熱・音波変換部品 1 では、上述の接合部 12 および外周壁 13 のそれぞれの構成材料のヤング率は、いずれも、ハニカムセグメント 15 の構成材料のヤング率の 30% 未満であり、接合部 12 の構成材料の熱膨張係数は、ハニカムセグメント 15 の構成材料の熱膨張係数の 70% 以上 130% 未満であり、接合部 12 の構成材料の単位体積当たりの熱容量は、ハニカムセグメント 15 の構成材料の単位体積当たりの熱容量の 50% 以上となっていることが好ましい。

【0103】

接合部 12 および外周壁 13 のそれぞれの構成材料のヤング率が、ハニカムセグメント 15 の構成材料のヤング率の 30% 未満となることで、上述した熱応力に対する緩衝作用を十分に得ることができる。このとき、構成材料の材質の相違に起因して接合部 12 および外周壁 13 の熱膨張係数や単位体積当たりの熱容量が、ハニカムセグメント 15 の構成材料の熱膨張係数や単位体積当たりの熱容量と比べて大きく異なると、今度は、接合部 12 および外周壁 13 と、ハニカムセグメント 15 との間で剥離等の問題が生じ、やはり熱応力に対する耐久性が低下する。接合部 12 および外周壁 13 の熱膨張係数や単位体積当たりの熱容量が、上述の数値範囲内にあることで、熱応力に対する十分な耐久性が発揮される。

【0104】

ここで、ヤング率は、次の方式に従って算出する。まず、各構成材料について、ある決まった寸法の板状の試料を切り出す。この寸法とは、 $10 \times 10 \text{ mm} \sim 30 \times 30 \text{ mm}$ の範囲内に属する正方形の面と、 $0.5 \sim 3 \text{ mm}$ の範囲内に属する厚さとを有する板の寸法であり、各構成材料について共通の寸法である。この板状の試料の面積を $S (\text{mm}^2)$ 、厚さを $t (\text{mm})$ とし、この板状の試料の面に対し、 $0 \sim 3 \text{ MPa}$ の範囲内に属する荷重 $W (\text{N})$ を加えたときの試料の厚さの変化 $\Delta t (\text{mm})$ を測定する。この荷重 W も、各構成材料について共通である。そして、ヤング率を E とし、 $E = (W / S) \times (t / \Delta t)$ の式に従ってヤング率 E を算出する。特に、ハニカムセグメント 15 の構成材料のヤング率については、まず、ハニカム構造を有する試料について上記のようにヤング率を測定し、次に、その測定したヤング率を、そのハニカム構造を考慮して、ハニカムセグメント 15 の構造材料のヤング率（すなわち、ハニカム構造には無関係なハニカムセグメント 15 の材料特性としてのヤング率）に換算することで得られる。

【0105】

また、熱膨張係数については、JIS R 1618 - 2002 に記載される「ファインセラミックスの熱機械分析による熱膨張の測定方法」に準拠して求めることができる。この測定では、まず、JIS R 1618 - 2002 に規定されている測定対象の棒状部材の長尺方向がハニカムセグメント 15 のセルの貫通方向と一致するように、ハニカムセグメント 15 から、JIS R 1618 - 2002 に規定されている大きさの棒状部材を切り出し、JIS R 1618 - 2002 に規定されている方式で熱膨張係数を求める。得られた熱膨張係数は構成材料のセルの貫通方向と一致する方向の熱膨張係数とみなせる。

【0106】

また、単位体積（たとえば 1 cc ）当たりの熱容量については、以下のようにして求められる。まず、測定対象の一部を粉碎して粉末状にする。その粉末状のものをサンプルとして、そのサンプルについて断熱型熱量計を用いて投入熱と温度上昇の関係を調べる。これにより、そのサンプルの単位質量当たりの熱容量を求めることができる。そして、サン

ブルとして用いた粉碎前の測定対象の密度（体積当たりの質量）を、その求めた単位質量当たりの熱容量に乘じることで、単位体積（たとえば 1 cc ）当たりの熱容量を得ることができる。

【0107】

ここで、ハニカムセグメント15は、コージェライト、ムライト、アルミニウムチタネート、アルミナ、窒化珪素、炭化珪素、および耐熱性樹脂のうちの1つ、あるいは、2つ以上の組み合わせを主成分とするものであることが好ましい。ここで、「主成分とする」とは、ハニカムセグメント15の50質量%以上を占めることを意味する。一方、接合部12や外周壁13は、無機粒子とコロイド状酸化物を含む塗布材を、接合材や、外周壁形成のための外周コート材として用いることで形成されることが好ましい。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、磷酸ジルコニウム、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。

10

【0108】

また、図11の熱・音波変換部品1では、互いに接合される2つのハニカムセグメント15の間の接合幅が0.2mm以上4mm以下であり、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の断面積に対する接合部12の全断面積の割合が10%以下となっていることが好ましい。

20

【0109】

互いに接合される2つのハニカムセグメント15の間の接合幅や、熱・音波変換部品1の断面積に対する接合部12の全断面積の割合が上記の数値範囲内に属することで、接合部12の存在による開口率の減少に起因する熱音響効果の低下を抑えつつ、熱応力に対する十分な耐久性が発揮される。

【0110】

また、熱・音波変換部品1では、複数のハニカムセグメント15それぞれの、セル14の貫通方向に垂直な面内における断面積は、 3 cm^2 以上 12 cm^2 以下となっていることが好ましい。

30

【0111】

各ハニカムセグメントの断面積が上記の数値範囲に属することで、十分な熱音響効果の発揮と十分な耐久性との適度なバランスが実現する。

【0112】

熱・音波変換部品1では、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の断面の円相当直径Dが30mm以上100mm以下であって、円相当直径Dに対するハニカムセグメント15の長さLの比 L/D が0.3以上1.0以下であることが好ましい。

【0113】

ここで、上記の「円相当直径」は、上記の熱・音波変換部品1の断面の面積を $\pi D^2/4$ と表現したときのDとして定義される。30mm以上100mm以下の数値範囲内に属する円相当直径Dに対する、ハニカムセグメント15の長さLの比 L/D が0.3以上1.0以下となることで、十分な熱音響効果を発揮する適度な大きさの熱・音波変換部品が実現する。

40

【0114】

また、熱・音波変換部品1では、ハニカムセグメント15の構成材料の、20~800における熱膨張率が 6 ppm/K 以下であることが好ましい。

【0115】

ハニカムセグメント15の構成材料の、20~800における熱膨張率が 6 ppm/K 以下となることで、両端部に温度差が生じたときのハニカムセグメント15の損傷、し

50

いては、熱・音波変換部品 1 の損傷が抑えられる。なお、6 ppm / K 以下の熱膨張率の中でも、4 ppm / K 以下の熱膨張率であることがさらに好ましい。

【0116】

また、熱・音波変換部品 1 では、ハニカムセグメント 15 の長さ L は、5 mm 以上 60 mm 以下であることが好ましい。

【0117】

各ハニカムセグメントの長さ L が上記の数値範囲に属することで、十分な熱音響効果が発揮される。

【0118】

以下、熱・音波変換部品 1 の製造方法について説明する。以下では、ハニカムセグメント 15 がセラミックス材料で構成されている場合を例にとって説明する。

【0119】

まず、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原料とする。セラミック原料としては、コーゼライト化原料、炭化珪素 - コーゼライト系複合材料、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、コーゼライト化原料が好ましい。なお、コーゼライト化原料とは、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、焼成されてコーゼ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、成形原料全体に対して 40 ~ 90 質量%であることが好ましい。

【0120】

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、成形原料全体に対して 2 ~ 20 質量%であることが好ましい。

【0121】

水の含有量は、成形原料全体に対して 7 ~ 45 質量%であることが好ましい。

【0122】

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

【0123】

造孔材としては、焼成後に気孔となるものであれば特に限定されるものではなく、例えば、澱粉、発泡樹脂、吸水性樹脂およびシリカゲル等を挙げることができる。造孔材の含有量は、成形原料全体に対して 15 質量%以下であることが好ましい。

【0124】

次に、成形原料を混練して坯土を形成する。成形原料を混練して坯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。

【0125】

次に、坯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複数個形成する。押出成形に際しては、上述した、各セルの水力直径、開口率、ハニカムセグメント形状、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。

10

20

30

40

50

【 0 1 2 6 】

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）ハニカムセグメント 1 5 を作製するには、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。

【 0 1 2 7 】

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、特許文献 3 の段落 [0 0 2 1] でも言及されている。

10

【 0 1 2 8 】

第 2 の問題は、ハニカムセグメント 1 5 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 . 3 mm 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。

【 0 1 2 9 】

そこで、熱・音波変換部品 1 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。

【 0 1 3 0 】

20

第 1 の問題に関しては、各セルの水力直径が 0 . 4 mm 以下であって開口率が 6 0 % 以上 9 3 % 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）ハニカムセグメント 1 5 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、リブの厚さが 0 . 0 4 mm 以上 0 . 0 9 mm 以下というリブ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「リブの厚さ」とは、成形体ハニカム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、「リブの厚さ」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。

30

【 0 1 3 1 】

第 2 の問題に関しては、押出成形によるハニカムセグメント 1 5 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坏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坏土の粘性を低減するにあたっては、坏土中の水の比率を、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坏土中の水の比率が、坏土固形成分 1 0 0 質量部に対し 2 5 ~ 3 5 質量部であるのに対し、ハニカムセグメント 1 5 の製造で用いられる坏土中の水の比率は、坏土固形成分 1 0 0 質量部に対し 4 0 ~ 4 2 質量部となっている。なお、坏土中の水の比率を増加した場合には、坏土の粘性が低減してハニカムセグメント 1 5 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。

40

【 0 1 3 2 】

ここで、本実施形態におけるハニカム成形体の作製（すなわち押出成形）に用いられる口金について説明する。なお、以下では、説明の簡単化のために、主に、セル形状が四角形の場合について説明する。

【 0 1 3 3 】

50

図 1 3 は、本実施形態におけるハニカム成形体の作製に用いられる口金の外観斜視図であり、図 1 4 は、図 1 3 に示す口金の、図 1 3 とは反対側から見たときの外観斜視図であり、図 1 5 は、図 1 3 に示す口金の表面の一部を示す拡大平面図であり、図 1 6 は、図 1 5 に示す口金の A - A ' 断面を示す模式図である。

【 0 1 3 4 】

図 1 3 ~ 図 1 6 に示されるように、口金 3 0 1 は、第 2 の板状部 3 0 3 と、炭化タングステン基超硬合金製の第 1 の板状部 3 0 7 とを備えている。ここで、第 2 の板状部 3 0 3 は、鉄、鋼材、アルミ合金、銅合金、チタン合金およびニッケル合金からなる群から選択される少なくとも一種により構成されたものであり、この第 2 の板状部 3 0 3 には、ハニカム成形体の成形原料を導入するための裏孔 3 0 5 が形成されている。第 1 の板状部 3 0 7 には、裏孔 3 0 5 に連通する穴部 3 1 1 が形成されているとともに、穴部 3 1 1 に連通しセルブロック 3 1 3 を区画するスリット 3 0 9 が形成されている。この第 1 の板状部 3 0 7 は、第 2 の板状部 3 0 3 側に配設された第 1 の層 3 0 7 a と、第 1 の層 3 0 7 a に配設された第 2 の層 3 0 7 b とから構成されている。ここで、穴部 3 1 1 は、第 1 の層 3 0 7 a の両面に開口しており、スリット 3 0 9 は、第 2 の層 3 0 7 b の両面に開口している。図 1 6 には、第 1 の接合面 3 1 0 における穴部 3 1 1 の開口部 3 1 1 a が、第 2 の接合面における裏孔 3 0 5 の開口部 3 0 5 a と一致するように配置されている状態が示されている。以上の口金 3 0 1 の構成は、後述するように、口金の長寿命化を図るためのものである。

【 0 1 3 5 】

ここで、口金 3 0 1 の厚さは 4 ~ 1 0 mm であることが好ましい。4 mm より薄いと、成形時に口金が破壊されることがある。1 0 mm より厚いと、ハニカム構造体を成形する際に、圧力損失が高く、成形し難いことがある。

【 0 1 3 6 】

第 2 の板状部 3 0 3 は、鉄、鋼材、アルミ合金、銅合金、チタン合金およびニッケル合金からなる群から選択される少なくとも一種により構成された板状部材から構成される。ここで、鋼材とは、ステンレス鋼、ダイス鋼およびハイス鋼からなる群から選択される少なくとも一種のことである。第 2 の板状部 3 0 3 の材質としては、これらの中でも、鋼材が好ましく、ステンレス鋼が更に好ましい。

【 0 1 3 7 】

なお、本願においては、「鉄、鋼材、アルミ合金、銅合金、チタン合金およびニッケル合金からなる群から選択される少なくとも一種」のことを「快削材」と称することがある。快削材は、炭化タングステン基超硬合金と比較して、容易に研削加工することができる材質（材料）である。第 2 の板状部 3 0 3 は、スリット 3 0 9 が形成されていないため、第 1 の板状部 3 0 7 に比べて、摩耗の問題が少ない。第 2 の板状部 3 0 3 は、快削材により形成されたものであるため、炭化タングステン基超硬合金に比べて加工性に優れている。また、炭化タングステン基超硬合金より、快削材のほうが安価であるため、製造コストを低下させることが可能である。

【 0 1 3 8 】

第 2 の板状部 3 0 3 の材質の一種であるステンレス鋼としては、公知のステンレス鋼を用いることができる。たとえば、SUS 3 0 4、SUS 3 0 3 等を挙げることができる。また、第 2 の板状部 3 0 3 の大きさは、特に限定されず、用途に合わせて、所望の大きさにすることができる。ただし、第 2 の板状部 3 0 3 が円板状である場合、円板の直径（一方の面および他方の面の直径）は 2 0 ~ 4 0 mm であることが好ましい。また、第 2 の板状部 3 0 3 の厚さについては 2 ~ 8 mm が好ましい。2 mm より薄いと成形抵抗による応力による変形、破損を生じ、8 mm より厚いと成形抵抗が過大になり成形体の押し出しが困難となる。

【 0 1 3 9 】

上述したように、第 2 の板状部 3 0 3 には、成形原料を導入するための裏孔 3 0 5 が形成されており、裏孔 3 0 5 は、成形原料を導入するための貫通孔（第 2 の板状部 3 0 3 の

両面に開口する孔)である。この口金301を用いてハニカム構造体を成形するときには、裏孔305からハニカム構造体の成形原料が導入される。裏孔305の形状については、導入された成形原料を、穴部311およびスリット309に導くことができるような形状であれば特に制限はないが、裏孔305を成形原料が流れる方向(第2の板状部の厚さ方向)に直交する断面における形状が、円形であることが好ましい。また、裏孔305の開口部の直径は0.15~0.45mmであることが好ましく、0.25~0.40mmであることが更に好ましい。このような裏孔305は、例えば、電解加工(ECM加工)、放電加工(EDM加工)、レーザ加工、ドリル等の機械加工等の方法によって形成することができる。これらの方法の中でも、効率的に、精度良く裏孔305を形成することが可能であることより、電解加工(ECM加工)が好ましい。裏孔の空間は円柱形状であることが好ましい。この場合、裏孔を成形原料が流れる方向(第2の板状部の厚さ方向)に直交する断面における直径(裏孔の直径)が一定の値となる。そして、この場合、裏孔の直径は、第2の接合面における裏孔の開口部の直径と同じ値になる。また、裏孔の個数は、特に限定されず、作製しようとするハニカム構造体の形状等に合わせて適宜決定することができるが、セル形状が三角形の場合には、ハニカム隔壁交差部に対応する全ての位置に裏孔を配置することが好ましく、セル形状が四角セルの場合には、ハニカム隔壁交差部一つおきに千鳥状に裏孔を配置することが好ましい。

10

【0140】

第1の板状部307は、炭化タングステン基超硬合金製の板状部材から構成されている。そして、裏孔305の直径に比べて、スリット309の幅は、非常に狭く形成されている。このため、成形原料を押出成形する際に、裏孔305内の圧力が高くなって、スリット309に応力が集中し、摩耗したり変形したりする等の不具合が生じやすい。そのため、第1の板状部307は、耐摩耗性の高い材料である炭化タングステン基超硬合金によって形成されている。ここで、「炭化タングステン基超硬合金(超硬合金)」とは、炭化タングステンと結合材とが焼結した合金のことである。結合材は、コバルト(Co)、鉄(Fe)、ニッケル(Ni)、チタン(Ti)、およびクロム(Cr)からなる群から選ばれる少なくとも1種の金属であることが好ましい。このような炭化タングステン基超硬合金は、耐摩耗性や機械的強度に特に優れている。

20

【0141】

第1の板状部307の大きさは特に限定されず、用途に合わせて、所望の大きさにすることができる。ただし、第1の板状部307が円板状である場合、円板の直径は、20~40mmが好ましい。第1の板状部307および第2の板状部303が円板状である場合、第1の板状部307の直径は、第2の板状部303の直径の90~100%が好ましい。なお、第1の板状部307の厚さは、0.3~1.2mmであることが好ましく、0.5~0.9mmであることが更に好ましい。また、第1の板状部307の厚さは、第2の板状部303の厚さの0.05~2倍であることが好ましい。

30

【0142】

上述したように、第1の板状部307は、第2の板状部303側に配設された第1の層307aと、第1の層307aに配設された第2の層307bとから構成されている。口金301は、このように第1の板状部が、第1の層307aおよび第2の層307bの2層から構成されているため、押出成形時の応力を緩和することができ、破損を防止することができる。第1の層307aと第2の層307bの材質は、同じ種類であってもよいが、異なる種類であってもよい。

40

【0143】

このように第1の層307aは、第1の板状部307を構成する一つの層であって第2の板状部303側に配置される層である。ここで、第1の層307aには穴部311が形成されている。第1の層307aは、ピッカース硬度が2000~3000HVであり、ヤング率が600~800GPaである超硬合金製の層であることが好ましい。第1の層307aは、上記のようなピッカース硬度とヤング率を有する場合、穴部311にかかる応力に耐え得る硬度と、靱性とを備えた層となる。そのため、裏孔305から穴部311

50

に流入した成形原料の応力によって、第1の板状部307が割れるなどの不具合を防止でき、口金の寿命を長くすることができる。穴部311は、第1の層307aの両面に開口するように形成されている。

【0144】

第1の層307aのビッカース硬度は、2000～3000HVであることが好ましく、2000～2200HVであることが更に好ましい。上記所定のビッカース硬度を有することにより、第1の層307aは、裏孔305から穴部311に流入したセラミック原料の応力に耐え得る硬度を備えることができる。そのため、穴部311が磨耗することを防ぐことができる。第1の層307aのビッカース硬度が2000HV未満である場合には、強度不足で磨耗が生じることがある。また、第1の層307aのビッカース硬度が3000HV超である場合には、硬すぎることににより、第1の層307aが割れ易くなることがある。また、第1の層307aのヤング率は、600～800GPaであることが好ましく、600～700GPaであることが更に好ましい。これにより、第1の層307aの破損を防止することができる。第1の層307aのヤング率が、600GPa未満である場合には、靱性が小さすぎることににより、割れてしまうなどの不具合が生じることがある。また、ヤング率が800GPaを超える場合には、靱性が大きすぎて穴部311が変形してしまうおそれがある。穴部311が変形した口金を使用してハニカム構造体を成形すると、ハニカム構造体に歪みが生じ成形性が低下する。

10

【0145】

上述したように、第2の層307bは、第1の板状部307を構成する1つの層であり、第1の層307aに配設されている。第2の層307bには、スリット309が形成され、スリット309は、第2の層307bの両面に開口するように形成されている。ここで、「第2の層307bの両面」とは、第2の層307bの、第1の層307aに接する（接合している）面と、この第1の層307aに接する面に対して反対側（裏側）の面との両方の面を意味する。図16では、スリット309の成形原料の吐出口は、スリット309の開口部309aとして示されている。第2の層307bは、ビッカース硬度が500～3000HVであり、ヤング率が400～700GPaであることが好ましい。第2の層307bがこのようなビッカース硬度とヤング率とを有する場合、スリット309にかかる応力に耐え得る十分な靱性および硬度を備えた層となる。このため、スリット309の変形や磨耗を防ぐことができる。

20

30

【0146】

第2の層307bは、ビッカース硬度が500～3000HVであることが好ましく、ビッカース硬度が2000～3000HVであることが更に好ましい。このようなビッカース硬度を有することにより、第2の層307bの磨耗を抑制することができる。第2の層307bのビッカース硬度が500HV未満である場合には、硬度不足で簡単に磨耗が生じることがある。また、ビッカース硬度が3000HV超である場合には、第2の層307bが割れやすくなることがある。

【0147】

第2の層307bは、ヤング率が400～700GPaであることが好ましく、ヤング率が500～700GPaであることが更に好ましい。第2の層307bがこのようなヤング率を有することで、割れにくくなる。第2の層307bのヤング率が400GPa未満である場合には、靱性が小さすぎることににより割れなどの不具合が生じやすい。また、ヤング率が700GPa超であると、今度は靱性が大きすぎることににより、第2の層307bが変形しやすい。

40

【0148】

さらに、口金301は、第2の層307bのビッカース硬度とヤング率が、第1の層307aのビッカース硬度とヤング率よりも大きいものであることが好ましい。すなわち、第2の層307bのビッカース硬度が、第1の層307aのビッカース硬度よりも大きく、第2の層307bのヤング率が、第1の層307aのヤング率よりも大きいことが好ましい。このような関係により、スリット309が形成された第2の層307bは、摩耗し

50

にくく、穴部 311 が形成された第 1 の層 307a は割れにくくなる。そして、磨耗を抑制する第 2 の層 307b と、割れを抑制する第 1 の層 307a とにより、口金の更なる長寿命化が図られる。

【0149】

口金 301 においては、第 2 の層 307b のビッカース硬度が第 1 の層 307a のビッカース硬度よりも、1000～2500HV 大きく、第 2 の層 307b のヤング率が、第 1 の層 307a のヤング率よりも 50～300GPa 大きいことが好ましい。これにより、耐摩耗性を備えた第 2 の層 307b と、高い靱性を備えた第 1 の層 307a を確実に第 1 の板状部 307 に形成することができ、口金の寿命を長くすることができる。

【0150】

また、第 1 の層 307a の厚さが 0.1～5mm であることが好ましく、第 1 の層 307a の厚さが 0.2～5mm であることが更に好ましい。第 1 の層 307a が上記範囲内の厚さに形成されることにより、第 2 の板状部の磨耗を効果的に抑制することができる。第 1 の層 307a の厚さが 0.1mm 未満であると、第 2 の板状部が磨耗し易くなることがある。また、第 1 の層 307a の厚さが 5mm を超えると、口金の厚さが厚いために押出成形時の圧力が高くなりすぎることがある。

【0151】

また、第 2 の層 307b の厚さが 0.3～4mm であることが好ましく、1～4mm であることが更に好ましい。第 2 の層 307b が上記範囲内の厚さに形成されることにより、押出成形されたハニカム構造体の変形を抑制することが可能となる。第 2 の層 307b の厚さが 0.3mm 未満であると、押出成形されたハニカム構造体の形状が変形することがあり、第 2 の層 307b の磨耗や変形が生じる可能性がある。また、第 2 の層 307b の厚さが 4mm を超えると第 2 の層 307b が厚くなってスリットの深さ（成形原料を押し出す方向におけるスリットの長さ）が大きすぎること、押出成形時の圧力が高くなりすぎることがある。また、スリットに囲まれる部位が極端に細長くなり、坏土との摩擦により断裂してしまうこともある。これらの事態を防ぐ観点からスリットの深さは大きくはできない。一方、スリットの深さを適度に浅くすると、複数のスリットの間でスリットの深さについての相対的なばらつきが大きくなる。この結果、押出成形されたハニカム構造体の形状に適度の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。

【0152】

上述したように、第 1 の板状部 307 には、穴部 311 に連通し、成形原料を成形するためのスリット 309 が形成されている。スリット 309 は、第 1 の板状部 307 に形成された隙間（切れ込み）である。裏孔 305 から導入された成形原料が、口金内でスリット 309 に入り、さらに、スリット 309 の開口部 309a から成形原料が押し出されて、ハニカム形状の成形体が形成される。

【0153】

上述したように、スリット 309 は、第 2 の層 307b の両面に開口している。スリット 309 は、第 2 の層 307b のみに形成されていてもよいが、第 1 の層 307a にも形成されていることが好ましい。第 1 の層 307a に形成されるときには、第 2 の層 307b に形成されたスリット 309 が第 1 の層側に延長されるようにして第 1 の層 307a に形成されていることが好ましい。この場合、第 1 の層 307a に形成されるスリット 309 は、第 1 の層 307a の、第 2 の層 307b に接する面に形成されることになる。また、この場合、スリット 309 の深さが、第 2 の層 307b の厚さよりも深く形成されていることになる。スリット 309 の深さは 0.3～1.0mm であることが好ましく、0.4～0.8mm であることが更に好ましい。スリット 309 の、第 1 の層側に延長された部分の深さは 0.1～0.5mm であることが好ましく、0.2～0.5mm であることが更に好ましい。これにより、良好なハニカム形状の成形体を形成することができる。また、スリット 309 の幅が 0.03～0.05mm であることが好ましく、0.04～0.05mm であることが更に好ましい。

【0154】

上述したように、第1の板状部307の第1の層307aには穴部311が形成されており、この穴部311は、第2の板状部303に形成される裏孔305、および、第1の板状部307に形成されるスリット309に連通するように形成される。また、この穴部311は、第1の板状部307の第1の層307aに形成された貫通孔でもある。すなわち、穴部311は、第2の層307bの第2の板状部303に接する側の面（第1の板状部307の第1の接合面310）に開口するとともに、第2の層307bの第1の層307aに接する側の面（第2の層の一方の面307ba）」に開口する貫通孔でもある。第1の接合面310は、図16に示されるように、第1の板状部307の、第2の板状部303に接合されている（接している）面である。このような穴部311が形成されることにより、第2の板状部303に形成された裏孔305から導入された成形原料が、この穴部311を通過してスリット309に入る。そして、スリット309の開口部309aから成形原料が押し出され、ハニカム形状の成形体（ハニカム構造体）が形成される。穴部311は、深さh（図16参照）が0.1～4mmであることが好ましく、0.2～3mmであることが更に好ましい。このように、穴部311の深さhが上記範囲であることにより、第2の板状部303の摩耗を効果的に抑制することができる。穴部の深さhが、0.1mm未満であると、成形原料を押し出成形する際に第1の板状部307の強度が低下し易くなる。穴部の深さhが4mmを超えると、口金作製の際に、第1の板状部材を加工して穴部を形成することが困難となりやすい。ここで、穴部311の深さhは、図16に示されるように、第1の板状部307の第1の接合面310から、第2の層307bの一方の面307baまでの距離である。なお、この穴部311の深さは、第1の層307aの厚さと一致する。穴部311の開口部311aの直径は0.15～0.4mmであることが好ましく、0.2～0.4mmであることが更に好ましい。穴部311は、例えば、電解加工（ECM加工）、放電加工（EDM加工）、レーザ加工、ドリル等の機械加工等の方法によって形成することができる。これらの中でも、効率的に、精度良く穴部311を形成することが可能であることより、電解加工（ECM加工）が好ましい。穴部311の空間は、円柱形状であることが好ましい。この場合、穴部311の成形原料が流れる方向（第1の板状部の厚さ方向）に直交する断面における直径（穴部311の直径）が一定の値となる。このとき、穴部311の直径は、第1の接合面310における穴部の開口部311aの直径と同じ値になる。また、穴部311の個数は、裏孔の個数と同じであることが好ましい。

【0155】

図16に示されるように、口金301は、第1の接合面310における穴部311の開口部311a（円形）の直径d1が、第2の接合面306における裏孔の開口部305a（円形）の直径D1と同じ大きさに形成されている。ここで、第2の接合面306は、図16に示されるように、第2の板状部303の、第1の板状部307に接合されている（接している）面である。第1の接合面310における穴部311の開口部311aは、第1の接合面310に開口する、貫通孔の入口部分（成形原料の流入部分）である。また、第2の接合面306における裏孔305の開口部305aは、裏孔305の第2の接合面306に開口する、第2の接合面306側の出口部分（成形原料の出口部分）である。成形原料は、この出口部分を通過すると同時に、穴部311に供給される。

【0156】

ここで、押し出成形を行うにあたっては、口金を固定する押さえ板構造が備えられていることが好ましい。

【0157】

図17は、押さえ板構造の一例を表した図である。

【0158】

図17に示す押さえ板構造では、図17の下向き矢印の向きに成形原料は押し出される。このとき、裏押さえ部403により、流入する坯土の量を調整することができる。口金401は、押さえ部402によって固定されており、口金401と押さえ部402との間隙405より押し出される成形原料は傾斜面406および対向面407とでハニカム成形

体 4 0 4 の外周部分を調整形成する。

【 0 1 5 9 】

図 1 8 は、図 1 7 とは別の押さえ板構造の一例を表した図である。

【 0 1 6 0 】

図 1 8 に示す押さえ板構造 5 5 0 では、図 1 8 の下向き矢印の向きに成形原料は押し出される。この押さえ板構造 5 5 0 には、成形原料を供給する裏孔 5 5 3 と、成形原料を押し出すスリット 5 5 2 を有する口金 5 5 4 と、その口金 5 5 4 の下流側に設けた押さえ板 5 5 5 とが備えられている。口金 5 5 4 は内側部 5 7 1 と外周部 5 7 2 とからなる。内側部 5 7 1 は下流側（図 1 8 中の下方）に突出して外周部 5 7 2 との間に段差部 5 7 5 を形成しており、この内側部 5 7 1 には、ハニカム構造を成形するスリット 5 7 3 が備わっている。一方、外周部 5 7 2 には、スリット 5 7 3 より短いスリット 5 7 4 が備わっている。口金 5 5 4 と押さえ板 5 5 5 との間には、ハニカム構造の外壁を成形する隙間部 5 5 7 が形成されている。なお、押さえ治具 5 5 8 および裏押さえ板 5 5 9 は、口金 5 5 4 と押さえ板 5 5 5 とをセットするためのホルダーである。

10

【 0 1 6 1 】

図 1 8 に示す押さえ板構造 5 5 0 を用いた押出成形においては、成形原料は、口金 5 5 4 の上流側（図 1 8 中の上方）から押出機（図示しない）によって口金 5 5 4 を通じて下流側に向かって押し出される。下流側が開放された口金 5 5 4 の内側部 5 7 1 に備えられているスリット 5 7 3 から押し出された成形原料 5 6 1 は、多数のセルからなるハニカム構造に成形される。一方、口金 5 5 4 の外周部 5 7 2 に備わるスリット 5 7 4 から押し出された成形原料 5 6 1 は、隙間部 5 5 7 の作用によって、ハニカム形状が潰されるとともに、押出方向から段差部 5 7 5 方向へと進行方向を変え、押さえ板 5 5 5 が開口したところで、再び押出方向へと進行方向を変え、セルを取り囲む外壁を形成する。

20

【 0 1 6 2 】

図 1 9 は、さらに別の押さえ板構造の一例を表した図である。図 2 0 は、図 1 9 とはさらに別の押さえ板構造の一例を表した図である。

【 0 1 6 3 】

図 1 9 (a) に示す押さえ板構造は、図 1 9 (b) に示すように正三角形の周期的な配列を形成するスリット 6 0 2 を有する口金 6 0 4 を有している。この口金 6 0 4 は、正三角形のセル形状を有するハニカム構造体を成形するためのものであり、押さえ板 6 0 5 により固定されている。ここで、スリット 6 0 2 は、裏孔 6 0 3 に連通している。この押さえ板構造では、スリット 6 0 2 の長さ L_1 、スリット 6 0 2 の長さ L_1 から段差部 6 1 5 の段差の長さを引いた長さ L_2 、スリット 6 0 2 の幅 W 、および、押さえ板 6 0 5 と段差部 6 1 5 との間の距離 d により、成形されるハニカム成形体の形状（寸法）が決定される。

30

【 0 1 6 4 】

図 2 0 は、図 1 9 とはさらに別の押さえ板構造の一例を表した図である。

【 0 1 6 5 】

図 2 0 (a) に示す押さえ板構造は、図 2 0 (b) に示すように正方形の周期的な配列を形成するスリット 7 0 2 を有する口金 7 0 4 を有している。この口金 7 0 4 は、正方形のセル形状を有するハニカム構造体を成形するためのものであり、押さえ板 7 0 5 により固定されている。ここで、スリット 7 0 2 は、裏孔 7 0 3 に連通している。この押さえ板構造も、スリット 7 0 2 の長さ L_1 、スリット 7 0 2 の長さ L_1 から段差部 7 1 5 の段差の長さを引いた差の長さ L_2 、スリット 7 0 2 の幅 W 、および、押さえ板 7 0 5 と段差部 7 1 5 との間の距離 d により、成形されるハニカム成形体の形状（寸法）が決定される。

40

【 0 1 6 6 】

図 1 9 および図 2 0 の押さえ板構造のいずれにおいても、スリット 7 0 2 の長さ L_1 は、 $0.3 \sim 1.0$ mm であることが好ましく、 $0.4 \sim 0.8$ mm であることがさらに好ましい。また、差の長さ L_2 は $0.1 \sim 0.5$ mm であることが好ましい。

【 0 1 6 7 】

50

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

【0168】

得られた複数個のハニカム成形体について、焼成前に乾燥を行うことが好ましい。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。

10

【0169】

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、両端部（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。

【0170】

次に、複数個のハニカム成形体を焼成して、複数個のハニカムセグメント15を完成する。ここで、焼成の前には、バインダ等除去するため、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0.5～20時間行うことが好ましい。仮焼成及び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。焼成条件は、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、1～20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、1300～1500℃で1～20時間加熱することが好ましい。

20

【0171】

次に、複数個のハニカムセグメント15を、互いの側面同士が対向するように配置し、接合部12の固化前の材料である接合材で互いに接合して乾燥させる。接合材をハニカムセグメントの側面に塗布する方法は、特に限定されず刷毛塗り等の従来の方法を用いることができるが、対向する側面全体に塗布されることが好ましい。これは、接合部12が、各ハニカムセグメントを互いに接合するだけでなく、上述したように、熱応力を緩衝する（吸収する）役割も果たすためである。ここで、接合材としては、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、コーゼライト、アルミナ、アルミニウムヒドロキサイド、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。

30

【0172】

次に、接合材で互いに接合された複数個のハニカムセグメント15全体の外周部分を、所望の熱・音波変換部品1の断面形状が実現するように切削加工する。さらに、切削加工後の複数個のハニカムセグメント15全体の外周面に外周コート材を塗布して乾燥させる。ここで、外周コート材としては接合材と同じ材料を用いることができる。また、外周コート材を塗布する方法は特に限定されず、ハニカムセグメント接合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等を挙げることができる。

40

【0173】

以上の過程を経て、最終的に熱・音波変換部品1が完成する。

【0174】

次に、図3の高温側熱交換器2の製造方法について説明する。

【0175】

50

図3の高温側熱交換器2における熱交換ハニカム構造体20については、上記の熱・音波変換部品1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）を加えたものを用い、押出成形の際の口金として相対的にセルの水力直径の大きいハニカム成形体の作製に適した口金を用い、さらに、セグメント接合の過程を省く（すなわち、単一のハニカムセグメントでハニカム構造体を作製する）ことを別にすれば、上記の熱・音波変換部品1の製造方法と同様の製造方法で作製することができる。

【0176】

この熱交換ハニカム構造体20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熱交換ハニカム構造体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、乾燥処理および焼結処理を行った後に、溶融した珪素（Si）をこのハニカム成形体に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、焼結処理後に、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が実現する。

10

【0177】

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、焼結処理後に、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が実現する。

20

【0178】

なお、熱交換ハニカム構造体20の外周コート材においても、上記と同様の理由で、外周コート材の材料（熱・音波変換部品1の接合材の材料）となる無機粒子の候補として上述した材料の粒子のうち、珪素（金属珪素）-炭化珪素系複合材料の粒子を用いることが好ましい。

【0179】

また、外周コート材の塗布により形成された外周壁に対して、セルの貫通方向に沿ってスリットを形成するスリット形成処理を行うことが好ましい。なお、スリット形成処理を行う場合には、以下に説明する高温側環状管21の作製において、耐熱性金属板21dやフィン21eを形成する。

30

【0180】

図3の高温側熱交換器2における高温側環状管21については、耐熱性の高い材料を環状に成形する（ただし、熱交換ハニカム構造体20との結合時に熱交換ハニカム構造体20の外周壁の一部が高温側環状管内で露出するような、中央側の壁面の一部が欠落した環状に成形する）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銅等の金属、さらには、セラミックス材料（たとえば、熱・音波変換部品1や熱交換ハニカム構造体20の材料として挙げたもの）を採用できる。

40

【0181】

図3の高温側熱交換器2は、基本的には、高温側環状管21の環状における、穴となっている中央部に熱交換ハニカム構造体20を組み込むことによって完成する。

【0182】

次に、図3の低温側熱交換器3の製造方法について説明する。従来から知られている熱交換器を低温側熱交換器3として用いる場合には、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。また、上述の高温側熱交換器2と同じ構成のものを低温側熱交換器3として用いる場合には、上述の高温側熱交換器2の製造方法と同じ製造方法を用いることができる。

【0183】

50

図3の熱・音波変換ユニット100を構成するその他の部材、たとえば、金属部材32やハウジング100aや干渉材1aについては、従来から知られているものを採用でき、その製造方法についても従来から知られているものを流用することができる。

【実施例】

【0184】

以下、本発明を実施例によって更に具体的に説明するが、本発明はこれらの実施例によって何ら限定されるものではない。

【0185】

(実施例1)

実施例1においては、まず、セラミック原料としてコーゼライト化原料を用い、コーゼライト化原料100質量部に対して、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、混練して坏土を調製した。コーゼライト化原料としては、平均粒子径が3 μ mのタルクを38.9質量部、平均粒子径が1 μ mのカオリンを40.7質量部、平均粒子径が0.3 μ mのアルミナを5.9質量部、及び平均粒子径が0.5 μ 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。

【0186】

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。

【0187】

次に、得られた坏土を、口金を用いて押出成形し、セル形状が三角形で、全体形状が六角形のハニカム成形体を複数個作製した。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におけるハニカムセグメント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0.07mm程度のダミー口金での坏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坏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坏土における水の比率が、坏土固形成分100質量部に対し41質量部(誤差は ± 1 質量部の範囲内)となるように坏土成分を厳格に制御した。

【0188】

なお、このときの口金の押さえ板構造としては、図19に示す押さえ板構造を用いた。この押さえ板構造では、スリットの長さL1(図19参照)が0.5mmであり、スリットの長さL1から段差部の段差の長さを引いた差の長さL2(図19参照)は0.2mmである。また、スリットの幅W(図19参照)が0.05mmであり、押さえ板と段差部との間の距離d(図19参照)は0.5mmである。

【0189】

そして、複数個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、焼成することによって、ハニカムセグメントを完成した。

【0190】

次に、複数個のハニカムセグメントを、互いの側面同士が対向するように配置し、接合部12の固化前の材料である接合材で互いに接合して乾燥させた。このときの塗布方法としては刷毛塗りをを用い、対向する側面全体に塗布した。また、接合材としては、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。

【0191】

次に、接合材で互いに接合された複数個のハニカムセグメント全体の外周部分を、円柱状に切削加工した。さらに、切削加工後の複数個のハニカムセグメント15全体の外周面に外周コート材を塗布して乾燥させた。このときの塗布方法としては、切削加工後の複数個のハニカムセグメント全体をろくろ上で回転させながらゴムベラでコーティングする方

10

20

30

40

50

法を用いた。また、外周コート材としては、接合材と同じものを用いた。

【 0 1 9 2 】

以上の過程を経て、最終的に実施例 1 の熱・音波変換部品が完成した。

【 0 1 9 3 】

完成した実施例 1 の熱・音波変換部品から無作為に 1 つのハニカムセグメントを選択し、このハニカムセグメントについて、セルの水力直径 HD 、開口率、構成材料の熱伝導率、両端面間の長さ L 、構成材料のヤング率、構成材料の（室温での）熱膨張係数、構成材料の単位体積当たりの熱容量、および、セルの貫通方向に垂直な面内における断面積、をそれぞれ測定した。なお、セルの水力直径 HD については、上記の 1 つのハニカムセグメントについて、セルの貫通方向に垂直な面内における断面の拡大写真を撮り、このハニカムセグメント内で 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 $HD = 4 \times S / C$ ）に従って計算し、その平均値として算出した。

10

【 0 1 9 4 】

また、接合部について、構成材料のヤング率（ここでは外周壁のヤング率と同じ）、構成材料の（室温での）熱膨張係数、構成材料の単位体積当たりの熱容量、隣接ハニカムセグメント間における接合部の幅、および、セルの貫通方向に垂直な面内における接合部の断面積の総和、をそれぞれ測定した。

【 0 1 9 5 】

また、熱・音波変換部品について、セルの貫通方向に垂直な面内における直径および断面積を測定した。

20

【 0 1 9 6 】

以上の測定によって得られた測定値から、以下の 14 種類のパラメータの値を得た。なお、以下の 14 種類のパラメータの中には、互いに独立ではなく連動して変化するものも含まれているが、都合上、それらも含めて記載している。

【 0 1 9 7 】

- (1) セルの貫通方向に垂直な面（垂直面）内でのセルの水力直径 HD
- (2) ハニカムセグメント端面の開口率
- (3) ハニカムセグメントの熱伝導率
- (4) ハニカムセグメントの熱膨張係数
- (5) ハニカムセグメントのヤング率に対する外周壁のヤング率の比
- (6) 上記垂直面内での 1 つのハニカムセグメントの断面積
- (7) 上記垂直面内での熱・音波変換部品の直径 D
- (8) 熱・音波変換部品の直径 D に対するハニカムセグメントの長さ L の比 L / D
- (9) ハニカムセグメントの長さ L
- (10) ハニカムセグメントの長さ L に対するセルの水力直径 HD の比 HD / L
- (11) ハニカムセグメントのヤング率に対する接合部のヤング率の比
- (12) ハニカムセグメントの熱膨張係数に対する接合部の熱膨張係数の比
- (13) ハニカムセグメントの単位体積当たりの熱容量に対する接合部の単位体積当たりの熱容量の比
- (14) 隣接ハニカムセグメント間における接合部の幅

30

40

【 0 1 9 8 】

実施例 1 の熱・音波変換部品について、これら 14 種類のパラメータのうち、接合部とは直接には無関係な (1) ~ (9) のパラメータの値を以下の表 1 に記載し、接合部に関連する (10) ~ (14) のパラメータの値を以下の表 2 に記載する。なお、表 2 には、(10) ~ (14) のパラメータの値と合わせて、セグメント構造（接合型・一体型）やセルおよびセグメントの形状についても記載されている。

【 0 1 9 9 】

【表 1】

	セル水力 直径HD (mm)	セグメント 開口率(%)	セグメント 熱伝導率 (W/mK)	セグメント 熱膨張係 数(ppm/K)	外周壁ヤン グ率/セグ メントヤング 率	セグメント断 面積 (cm ²)	熱・音波変 換部品直径 D (mm)	セグメント長さ L/熱・音波変 換部品直径 D	セグメント長 さL (mm)	水力直径 HD/セグメ ント長さL
実施例 1	0.2	80	1	1.2	0.2	9	40	0.75	30	0.0067

10

20

30

40

【表 2】

	接合型・ 一体型	セル形状/セグメ ント形状	接合部ヤン グ率/セグメ ントヤング率	接合部熱膨張 係数/セグメン ト熱膨張係数	接合部熱容量/ セグメント熱容 量	接合部幅 (mm)
実施例1	接合型	三角形/六角形	0.2	1.1	0.8	0.5

【0201】

この実施例1の熱・音波変換部品を用いて以下の実験1および実験2を行った。

10

【0202】

実験1の内容は以下のとおりである。まず、図1の電力発生システム1000において、熱・音波変換部品1の代わりに実施例1の熱・音波変換部品を組み込んだ。そして、高温側熱交換器2に対し500程度の自動車の排気ガスを流入させ、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電力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、熱・音波変換部品1の高温側熱交換器2側の端部の温度はほぼ500に保たれていた。一方、低温側熱交換器3に対しては60の水を流入させ、熱・音波変換部品1の低温側熱交換器3側の端部の温度を60に保った。そして、図1の電力発生システム1000のエネルギー変換器としてマイクロフォン等を用い、上記の熱・音波変換部品1の両端部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、自励振動を起こす、ループ管4や共鳴管5やセル内の作動流体としては、10atmのヘリウムガスを用いた。

20

【0203】

実験2の内容は以下のとおりである。上記の排気ガスの流入を24時間連続して行った。24時間経過後、後の熱・音波変換部品1の損傷の拡大鏡を用いて観察し、小さな欠けやクラックが何個あるかを調べた。

30

【0204】

（実施例2，3および比較例1～3）

上述の実施例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14種類のパラメータのうちセルの水力直径HDに関連するパラメータ（水力直径HDおよびHD/L）の値のみが実施例1とは異なる実施例2，3および比較例1～3の熱・音波変換部品を作製した。

【0205】

そして、これらの実施例2，3および比較例1～3について、実施例1と同様の2つの実験1，2を行った。

【0206】

40

（実施例4～7および比較例4～7）

上述の実施例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14種類のパラメータのうちセグメントの開口率の値のみが実施例1とは異なる実施例4～7および比較例4～7の熱・音波変換部品を作製した。

【0207】

そして、これらの実施例4～7および比較例4～7について、実施例1と同様の2つの実験1，2を行った。

【0208】

（実施例8～11および比較例8）

上述の実施例1の製造方法とは、セラミック原料が異なる点を除き同じ製造方法を用い

50

て、上述の 14 種類のパラメータのうち、セグメントの熱伝導率に関連するパラメータ（熱伝導率および熱膨張係数）のみが実施例 1 とは異なる実施例 8 ～ 11 および比較例 8 の熱・音波変換部品を作製した。ここで、実施例 8, 9 では、実施例 1 のタルク、カオリン、アルミナ、ペーマイトの割合を変更することで、実施例 1 よりも熱伝導率の高いか同程度の熱・音波変換部品となっている。また、実施例 10, 11 および比較例 8 では、セラミック原料として、実施例 1 のコーゼライト化原料に代えて、アルミナ - コーゼライト系複合材料、金属珪素 - 炭化珪素 - コーゼライト系複合材料、および炭化珪素 - コーゼライト系複合材料が、それぞれ用いられていることで、熱伝導率に関連するパラメータが実施例 1 とは異なるようになっている。

【0209】

10

そして、これらの実施例 8 ～ 11 および比較例 8 について、実施例 1 と同様の 2 つの実験 1, 2 を行った。

【0210】

（比較例 9）

上述の実施例 1 の製造方法とは、複数のハニカムセグメントの接合の過程が存在せず 1 つのハニカムセグメントのみで熱・音波変換部品の作製が行われる点を除き、同じ製造方法を用いて、セグメント構造（接合型・一体型）が一体型である点でのみ実施例 1 とは異なる比較例 9 の熱・音波変換部品を作製した。

【0211】

そして、比較例 9 について、実施例 1 と同様の 2 つの実験 1, 2 を行った。

20

【0212】

（実施例 12, 13 および比較例 10 ～ 14）

上述の実施例 1 の製造方法とは、押出成形の際の押出し長さが異なる点を除き同じ製造方法を用いて、上述の 14 種類のパラメータのうちセグメントの長さ L に関連するパラメータ（セグメントの長さ L、 L/D 、および、 HD/L ）の値のみが実施例 1 とは異なる実施例 12, 13 および比較例 10 ～ 14 の熱・音波変換部品を作製した。

【0213】

そして、これらの実施例 12, 13 および比較例 10 ～ 14 について、実施例 1 と同様の 2 つの実験 1, 2 を行った。

【0214】

30

以上説明した実施例 1 ～ 13 および比較例 1 ～ 14 の実験結果を、実施例 1 とは異なる各パラメータの値とともに下記の表 3 に示す。

【0215】

【表 3】

	セル水力 直径HD (mm)	セグメント開 口率(%)	セグメント 熱伝導率 (W/mK)	セグメント 熱膨張係 数(ppm/K)	接合型・一 体型	セグメント長 さL/熱・音 波変換部品 直径D	セグメント 長さL(m)	水力直径 HD/セグメ ント長さL	エネルギー 変換効率(%)	損傷の程 度
実施例1	0.2	80	1	1.2	接合型	0.75	30	0.0067	30	0
実施例2	0.3	80	1	1.2	接合型	0.75	30	0.0100	27	0
実施例3	0.4	80	1	1.2	接合型	0.75	30	0.0133	22	0
比較例1	0.45	80	1	1.2	接合型	0.75	30	0.0150	9	0
比較例2	0.6	80	1	1.2	接合型	0.75	30	0.0200	5	0
比較例3	1	80	1	1.2	接合型	0.75	30	0.0333	2	0
比較例4	0.3	25	1	1.2	接合型	0.75	30	0.0100	2	0
比較例5	0.3	35	1	1.2	接合型	0.75	30	0.0100	5	0
比較例6	0.3	55	1	1.2	接合型	0.75	30	0.0100	9	0
実施例4	0.3	60	1	1.2	接合型	0.75	30	0.0100	20	0
実施例5	0.3	70	1	1.2	接合型	0.75	30	0.0100	21	0
実施例6	0.3	80	1	1.2	接合型	0.75	30	0.0100	22	0
実施例7	0.3	93	1	1.2	接合型	0.75	30	0.0100	22	0
比較例7	0.3	95	1	1.2	接合型	0.75	30	0.0100	20	9
実施例8	0.3	80	1	1.2	接合型	0.75	30	0.0100	28	0
実施例9	0.3	80	1.5	1.2	接合型	0.75	30	0.0100	25	0
実施例10	0.3	80	5	4	接合型	0.75	30	0.0100	20	2
実施例11	0.3	80	5	4	接合型	0.75	30	0.0100	20	2
比較例8	0.3	80	7	3	接合型	0.75	30	0.0100	5	9
比較例9	0.2	80	1	1.2	一体型	0.75	30	0.0067	30	9
比較例10	0.2	80	0.2	1.2	接合型	0.1	4	0.0500	18	6
比較例11	0.2	80	0.2	1.2	接合型	0.25	10	0.0200	19	3
実施例12	0.2	80	0.2	1.2	接合型	0.3	12	0.0167	30	0
実施例13	0.2	80	0.2	1.2	接合型	0.95	38	0.0053	32	0
比較例12	0.2	80	0.2	1.2	接合型	1.1	44	0.0045	25	3
比較例13	0.2	80	0.2	1.2	接合型	1.5	60	0.0033	23	3
比較例14	0.2	80	0.2	1.2	接合型	1.6	64	0.0031	22	9

【0216】

表3において、セルの水力直径HD（および比HD/L）が互いに異なる実施例1～3および比較例1～3を比較すればわかるように、実施例1～3は、比較例1～3に比べ、はるか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

10

20

30

40

50

0.4 mm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。

【0217】

また、表3において、セルの開口率が互いに異なる実施例4～7および比較例4～7を比較すればわかるように、実施例4～7は、比較例4～6に比べ、はるかに高いエネルギー変換効率を発揮しており、比較例7に比べ、はるかに損傷が少ない。このことより、ハニカムセグメントの各端面における開口率が60%以上93%以下であることが、大きな熱音響効果の発揮と損傷回避の適度なバランスを得る上で必要であることがわかる。

【0218】

また、表3において、熱伝導率（および熱膨張係数）が互いに異なる実施例8～11および比較例8を比較すればわかるように、実施例8～11は、比較例8に比べ、はるかに高いエネルギー変換効率を発揮し、はるかに損傷も少ない。このことより、ハニカムセグメントの構成材料の熱伝導率が5 W/mK以下であることが、大きな熱音響効果の発揮と損傷回避の上で必要であることがわかる。

10

【0219】

また、表3において、接合型の実施例1を一体型の比較例9と比較すればわかるように、実施例1は、比較例9に比べ、はるかに損傷が少ない。このことより、接合型を採用することが傷回避の上で必要であることがわかる。

【0220】

また、表3において、比 HD/L （さらに L および L/D ）が互いに異なる実施例12, 13および比較例10～14を比較すればわかるように、実施例12, 13は、比較例10～14に比べ、はるかに高いエネルギー変換効率を発揮し、損傷も少ない。このことより、比 HD/L が0.005以上0.02未満であることが、大きな熱音響効果の発揮と損傷回避の上で必要であることがわかる。

20

【0221】

なお、表3において、ハニカムセグメントの長さ L にのみ着目してみると、実施例12, 13および比較例10～14の中で、比較例10および比較例14が、エネルギー変換効率および損傷の双方について極端に悪い結果となっていることから、ハニカムセグメントの長さ L としては、5 mm以上60 mm以下の程度であることが望ましいということがいえる。

30

【0222】

以下では、さらに、他の実施例について説明する。

【0223】

（実施例14～16）

上述の実施例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、セルの形状あるいはハニカムセグメントの形状が実施例1とは異なる実施例14～16の熱・音波変換部品を作製した。

【0224】

そして、これらの実施例14～16について、実施例1と同様の2つの実験1, 2を行った。

40

【0225】

その結果を、実施例1とは異なるセルおよびハニカムセグメントの形状とともに下記の表4に示す。

【0226】

【表 4】

	セル形状/セグメント形状	エネルギー変換効率(%)	損傷の程度
実施例1	三角形/六角形	30	0
実施例14	三角形/三角形	30	1
実施例15	四角形/四角形	28	3
実施例16	六角形/六角形	24	0

10

【0227】

表4において、セルの形状が三角形であってハニカムセグメントの形状が三角形または六角形の実施例1および実施例14を、それ以外のセルの形状およびハニカムセグメントの形状を有する実施例15および実施例16と比較すればわかるように、実施例1および実施例14は、実施例15および実施例16に比べ、若干、エネルギー変換効率が高い。このことより、セルの形状が三角形であってハニカムセグメントの形状が三角形または六角形であることが、大きな熱音響効果の発揮の上で好ましいことがわかる。

20

【0228】

(実施例17～28)

上述の実施例1の製造方法とは、外周壁や接合部の材料が異なる点を除き同じ製造方法を用いて、外周壁のヤング率、および、接合部の、ヤング率、熱膨張係数、単位体積当たりの熱容量のうちのいずれか1つが実施例1とは異なる実施例17～28の熱・音波変換部品を作製した。

【0229】

そして、これらの実施例17～28について、実施例1と同様の2つの実験1, 2を行った。

30

【0230】

その結果を、実施例1とは異なる各パラメータの値とともに下記の表5に示す。

【0231】

【表5】

	外周壁ヤング率/セグメントヤング率	接合部ヤング率/セグメントヤング率	接合部熱膨張係数/セグメント熱膨張係数	接合部熱容量/セグメント熱容量	エネルギー変換効率(%)	損傷の程度
実施例17	0.25	0.2	1.1	0.8	30	0
実施例18	0.32	0.2	1.1	0.8	30	2
実施例19	0.4	0.2	1.1	0.8	30	3
実施例20	0.2	0.28	1.1	0.8	30	0
実施例21	0.2	0.34	1.1	0.8	30	1
実施例22	0.2	0.45	1.1	0.8	30	2
実施例23	0.2	0.2	0.6	0.8	30	2
実施例24	0.2	0.2	0.7	0.8	30	0
実施例25	0.2	0.2	1.2	0.8	30	1
実施例26	0.2	0.2	1.5	0.8	30	2
実施例27	0.2	0.2	1.1	0.45	20	2
実施例28	0.2	0.2	1.1	0.5	28	2

40

【0232】

表5において、ハニカムセグメントのヤング率に対する外周壁のヤング率の比が互いに

50

異なる実施例 17 ~ 19 を比較すればわかるように、実施例 17 は、実施例 18 および実施例 19 に比べ、若干、損傷が少ない。このことより、外周壁の構成材料のヤング率は、ハニカムセグメントの構成材料のヤング率の 30 % 未満であることが損傷回避の上で好ましいことがわかる。

【0233】

また、表 5 において、ハニカムセグメントのヤング率に対する接合部のヤング率の比が互いに異なる実施例 20 ~ 22 を比較すればわかるように、実施例 20 は、実施例 21 および実施例 22 に比べ、若干、損傷が少ない。このことより、接合部の構成材料のヤング率は、ハニカムセグメントの構成材料のヤング率の 30 % 未満であることが損傷回避の上で好ましいことがわかる。

10

【0234】

また、表 5 において、ハニカムセグメントの熱膨張係数に対する接合部の熱膨張係数の比が互いに異なる実施例 23 ~ 26 を比較すればわかるように、実施例 24 および実施例 25 は、実施例 23 および実施例 26 に比べ、若干、損傷が少ない。このことより、接合部の構成材料の熱膨張係数は、ハニカムセグメントの構成材料の熱膨張係数の 70 % 以上 130 % 未満であることが損傷回避の上で好ましいことがわかる。

【0235】

また、表 5 において、ハニカムセグメントの単位体積当たりの熱容量に対する接合部の単位体積当たりの熱容量の比が互いに異なる実施例 27 , 28 を比較すればわかるように、実施例 28 は、実施例 27 に比べ、エネルギー変換効率が高い。このことより、接合部の構成材料の単位体積当たりの熱容量は、ハニカムセグメントの構成材料の単位体積当たりの熱容量の 50 % 以上であることが大きな熱音響効果の発揮の上で好ましいことがわかる。

20

【0236】

(実施例 29 ~ 32)

上述の実施例 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 14 種類のパラメータのうちハニカムセグメントの断面積の値のみが実施例 1 とは異なる実施例 29 ~ 32 の熱・音波変換部品を作製した。

【0237】

そして、これらの実施例 29 ~ 32 について、実施例 1 と同様の 2 つの実験 1 , 2 を行った。

30

【0238】

(実施例 33 ~ 35)

上述の実施例 1 の製造方法とは、コーゼライト化原料が異なる点を除き同じ製造方法を用いて、上述の 14 種類のパラメータのうちハニカムセグメントの熱膨張係数の値のみが実施例 1 とは異なる実施例 33 ~ 35 の熱・音波変換部品を作製した。ここで、これらの実施例 33 ~ 35 では、実施例 1 のタルク、カオリン、アルミナ、ペーマイトの割合を変更することで、実施例 1 よりも熱膨張係数の大きい熱・音波変換部品となっている。

【0239】

そして、これらの実施例 33 ~ 35 について、実施例 1 と同様の 2 つの実験 1 , 2 を行った。

40

【0240】

以上説明した、実施例 29 ~ 35 の結果を、実施例 1 とは異なる各パラメータの値とともに下記の表 6 に示す。

【0241】

【表 6】

	セグメント断面積 (cm ²)	セグメント熱膨張係数(ppm/K)	エネルギー変換効率(%)	損傷の程度
実施例29	2.5	1.2	25	3
実施例30	3	1.2	30	0
実施例31	12	1.2	30	0
実施例32	12.5	1.2	24	5
実施例33	9	3.7	30	0
実施例34	9	6	30	2
実施例35	9	8	30	6

10

【0242】

表6において、ハニカムセグメントの断面積が異なる実施例29～32を比較すればわかるように、実施例30および実施例31は、実施例29および実施例32に比べ、若干、エネルギー変換効率が高く、若干、損傷が少ない。このことより、1つのハニカムセグメントの断面積が3cm²以上12cm²以下であることが大きな熱音響効果の発揮と損傷回避の上で好ましいことがわかる。

【0243】

20

また、表6において、ハニカムセグメントの熱膨張係数が異なる実施例33～35を比較すればわかるように、実施例33および実施例34は、実施例35に比べ、若干、損傷が少ない。このことより、1つのハニカムセグメントの熱膨張率が6ppm/K以下であることが損傷回避の上で好ましいことがわかる。

【0244】

(実施例36～39)

上述の実施例1の製造方法とは、互いに接合された複数個のハニカムセグメント全体の外周部分を円形状に切削加工する際の円形状の直径の大きさが異なる点を除き同じ製造方法を用いて、上述の14種類のパラメータのうち熱・音波変換部品の直径Dに関連するパラメータ(熱・音波変換部品の直径D、および、 L/D)の値のみが実施例1とは異なる実施例36～39の熱・音波変換部品を作製した。ここで、これら実施例36～39では、実施例1に比べると、熱・音波変換部品に含まれるハニカムセグメントの数が異なる(ただし、接合部の幅は同じ)ものとなっている。

30

【0245】

これらの実施例36～39について、実施例1と同様の2つの実験1, 2を行った。なお、この実験1, 2においては、熱・音波変換部品の両端部にそれぞれ近接する一対の熱交換器についても、それらの径が、熱・音波変換部品の直径Dに合うものを実施例36～39それぞれについて作製し、それらを用いて実験1, 2を行った。

【0246】

(実施例40～43)

40

上述の実施例1の製造方法とは、複数個のハニカムセグメントを接合する際の接合部の幅が異なる点を除き同じ製造方法を用いて、上述の14種類のパラメータのうち接合部の幅に関連するパラメータ(接合部の幅、および、熱・音波変換部品の直径D)の値のみが実施例1とは異なる実施例40～43の熱・音波変換部品を作製した。

【0247】

そして、これらの実施例40～43について、実施例1と同様の2つの実験1, 2を行った。

【0248】

以上説明した、実施例36～43の結果を、実施例1とは異なる各パラメータの値とともに下記の表7に示す。

50

【 0 2 4 9 】

【表 7】

	熱・音波変換 部品直径 D (mm)	接合部幅(mm)	セグメント長さL/ 熱・音波変換部 品直径 D	エネルギー変 換効率(%)	損傷の程度
実施例36	28	0.5	1.07	24	2
実施例37	32	0.5	0.94	30	0
実施例38	100	0.5	0.3	30	0
実施例39	120	0.5	0.25	25	5
実施例40	40	0.15	0.75	30	3
実施例41	40	0.3	0.75	30	0
実施例42	41	3.5	0.73	26	0
実施例43	42	5	0.71	25	3

【 0 2 5 0 】

表 7 において、熱・音波変換部品の直径 D（および L/D ）が異なる実施例 36～39 を比較すればわかるように、実施例 37 および実施例 38 は、実施例 36 および実施例 39 に比べ、若干、エネルギー変換効率が高く、若干、損傷が少ない。このことより、熱・音波変換部品の直径 D が 30 mm 以上 100 mm 以下であって L/D が 0.3 以上 1.0 以下であることが大きな熱音響効果の発揮と損傷回避の上で好ましいことがわかる。

【 0 2 5 1 】

また、表 7 において、接合幅が異なる実施例 40～43 を比較すればわかるように、実施例 41 および実施例 42 は、実施例 40 および実施例 43 に比べ、若干、損傷が少ない。このことより、隣接するハニカムセグメントの間の接合幅が 0.2 mm 以上 4 mm 以下であることが損傷回避の上で好ましいことがわかる。ここで、実際には、接合幅が 0.2 mm 以上 4 mm 以下である場合は、セルの貫通方向に垂直な面（垂直面）内での熱・音波変換部品の断面積に対する接合部の全断面積の比が 10 % 以下となる場合であり、接合幅が 0.2 mm 以上 4 mm 以下であって、熱・音波変換部品の断面積に対する接合部の全断面積の比が 10 % 以下であることが好ましいということもできる。

【 0 2 5 2 】

さらに、上述した押出成形時の 2 つの工夫の効果を確認するための参考実験として、以下の押出成形の実験を行った。

【 0 2 5 3 】

（１）リブの厚さが 0.09 mm のダミー口金を用いた以外は、実施例 1 と同じ方法で熱・音波変換部品の押出成形を試みた。

【 0 2 5 4 】

（２）リブの厚さが 0.10 mm のダミー口金を用いた以外は、実施例 1 と同じ方法で熱・音波変換部品の押出成形を試みた。

【 0 2 5 5 】

（３）リブの厚さが 0.04 mm のダミー口金を用いた以外は、実施例 1 と同じ方法で熱・音波変換部品の押出成形を試みた。

【 0 2 5 6 】

（４）リブの厚さが 0.03 mm のダミー口金を用いた以外は、実施例 1 と同じ方法で熱・音波変換部品の押出成形を試みた。

【 0 2 5 7 】

（５）坯土中の水の比率が、坯土固形成分 100 質量部に対し 43 質量部程度（誤差 1 質量部以内）となる坯土を用いた以外は、実施例 1 と同じ方法で熱・音波変換部品の押出成形を試みた。

【 0 2 5 8 】

（６）坯土中の水の比率が、坯土固形成分 100 質量部に対し 39 質量部程度（誤差 1 質

量部以内)となる坯土用いた以外は、実施例1と同じ方法で熱・音波変換部品の押出成形を試みた。

【0259】

結果としては、(1)および(3)では、問題なく成形できたが、(2)および(6)では、坯土が成形用口金の孔内に目詰まりを起こしてできなかった。(4)では、ダミー口金による押出成形時に多大な圧力が必要となり、口金の損傷の可能性が生じたので実験を中止した。(5)では、押出成形で得られた成形体が自重で容易に変形してしまい、所望の形状のものが得られなかった。

【0260】

これらの結果と実施例1での押出成形が成功していることとを加味すると、リブの厚さが0.04mm以上0.09mm以下のダミー口金を用いて事前の押出処理を行い、坯土中の水の比率が、坯土固形成分100質量部に対し40~42質量部のものを用いるのが、好ましいことがわかる。

【産業上の利用可能性】

【0261】

本発明は、自動車の排ガス等の熱を有効利用して、電力や冷熱を発生させるシステムにおいて好適に利用することができる。

【符号の説明】

【0262】

1：熱・音波変換部品、1a：干渉材、2，2'，2A，2A'：高温側熱交換器、3：低温側熱交換器、3A：低温側熱交換器、4：ループ管、4'：ループ管、5：共鳴管、5'：伝播管、6：エネルギー変換器、7：音波発生部、11：隔壁、12：接合部、12'：接合部、13：外周壁、14：セル、15：ハニカムセグメント、15'：ハニカムセグメント、20：熱交換ハニカム構造体、20'：熱交換ハニカム構造体、20a：隔壁、20b：外周壁、20c：スリット、20d：セル、20s：接触面、21：高温側環状管、211：高温側環状管、212：高温側環状管、2110：管内ハニカム構造体、2120：管内ハニカム構造体、21a：流入口、21b：流出口、21c：受熱領域、21d：耐熱性金属板、21e：フィン、22，23：ハニカム構造体、23'：金属メッシュ体、22a：金属外筒、23a：金属メッシュ外筒、23b：メタライズ層、30：メッシュ積層体、31：低温側環状管、31a：流入口、31b：流出口、32：金属部材、301：口金、303：第2の板状部、305：裏孔、305a，309a，311a：開口部、306：第2の接合面、307：第1の板状部、307a：第1の層、307b：第2の層、307ba：第2の層の一方の面、309：スリット、310：第1の接合面、311：穴部、313：セルブロック、401：口金、402：押さえ部、403：裏押さえ部、404：ハニカム成形体、405：間隙、406：傾斜面、407：対向面、550：押さえ板構造、552：スリット、553：裏孔、554：口金、555：押さえ板、557：隙間部、558：押さえ治具、559：裏押さえ板、561：押し出された成形原料、571：内側部、572：外周部、573，574：スリット、575：段差部、602，702：スリット、603，703：裏孔、604，704：口金、605，705：押さえ板、615，715：段差部、100：熱・音波変換ユニット、200：熱・音波変換ユニット、100a：ハウジング、1000：電力発生システム、2000：冷熱発生システム。

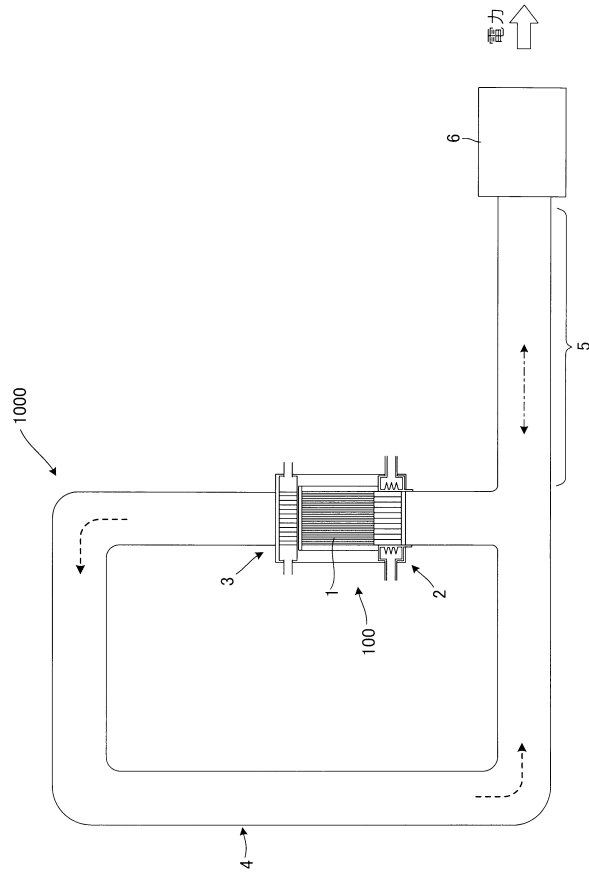
10

20

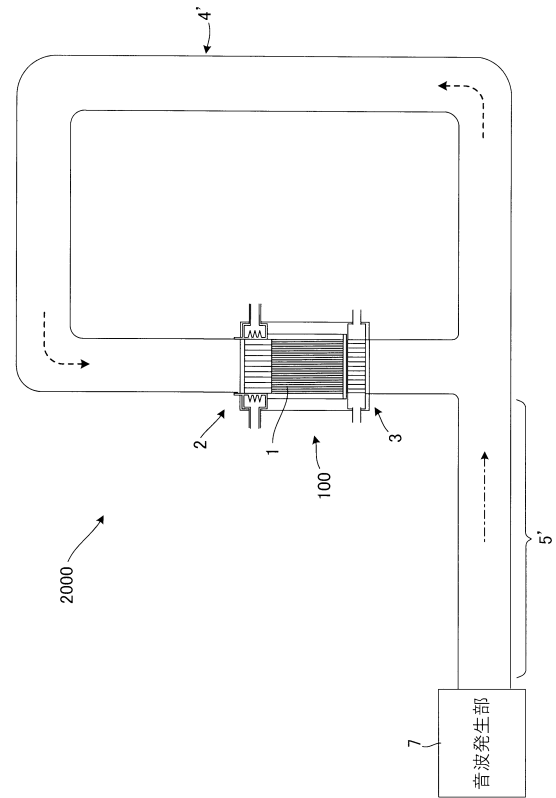
30

40

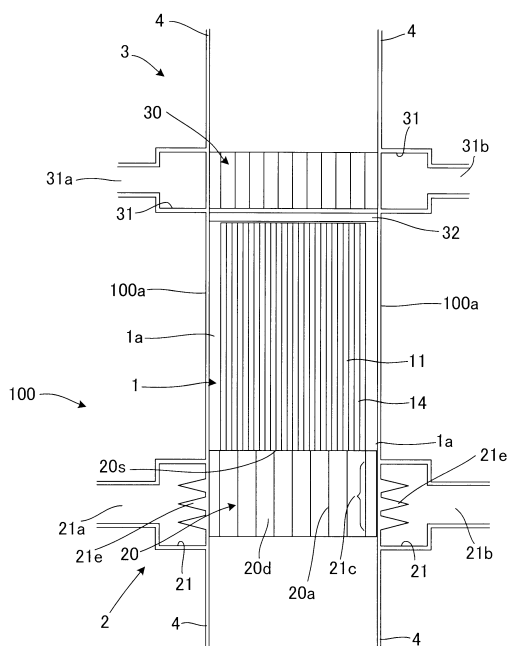
【図 1】



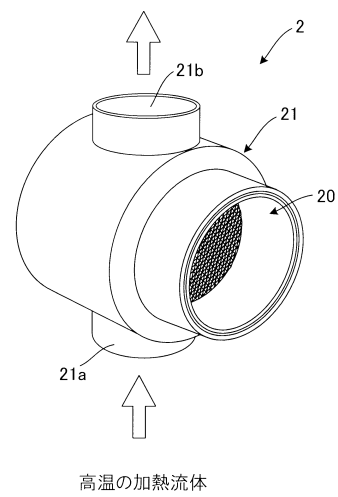
【図 2】



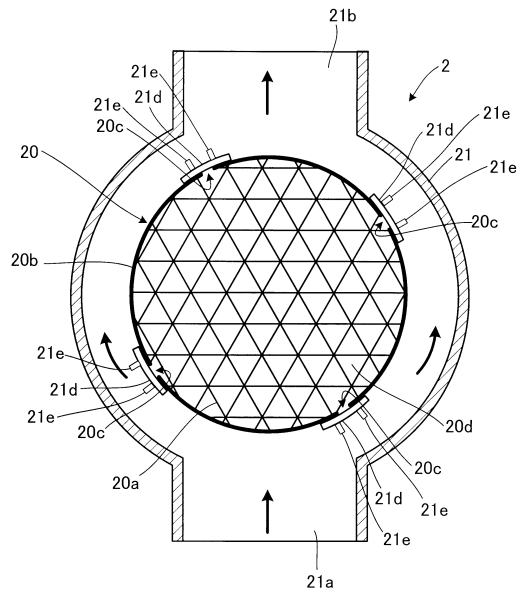
【図 3】



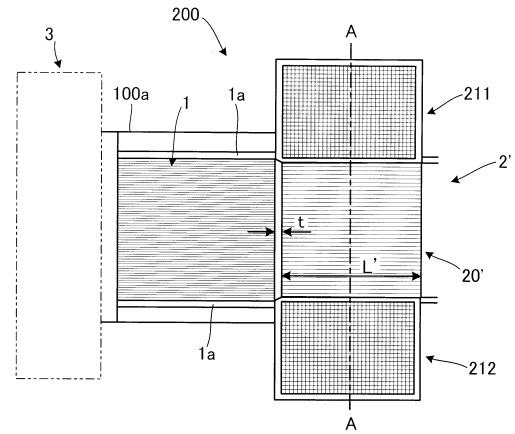
【図 4】



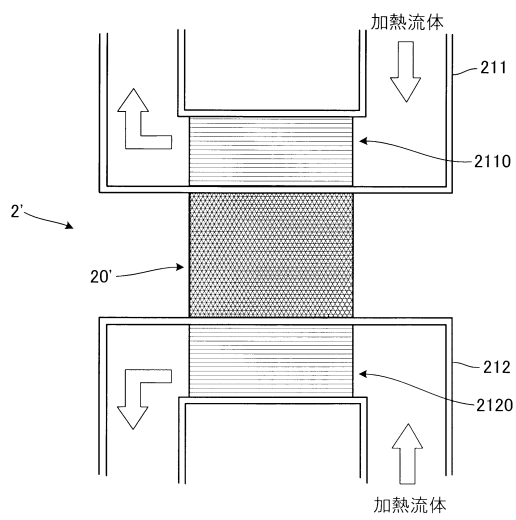
【図 5】



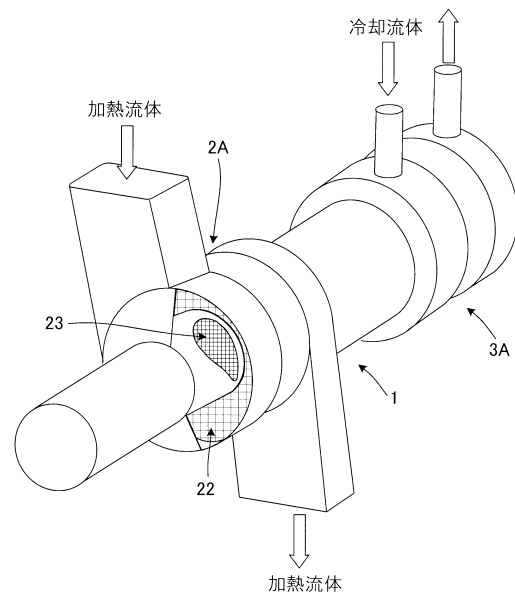
【図 6】



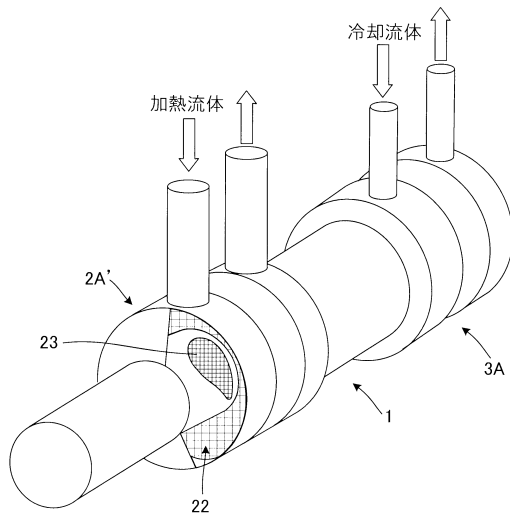
【図 7】



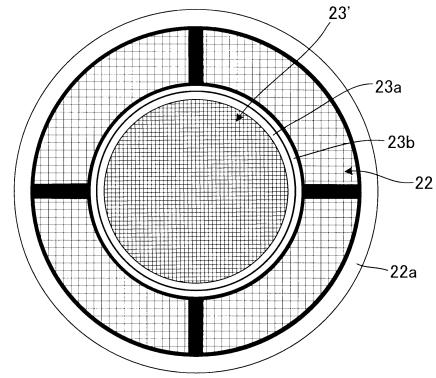
【図 8】



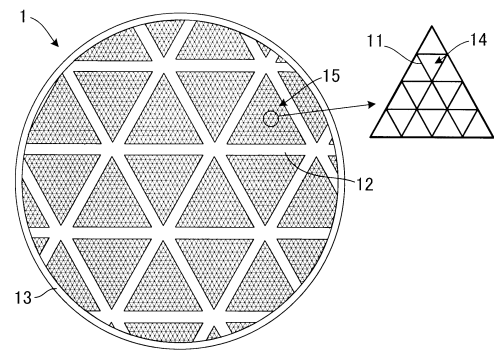
【図 9】



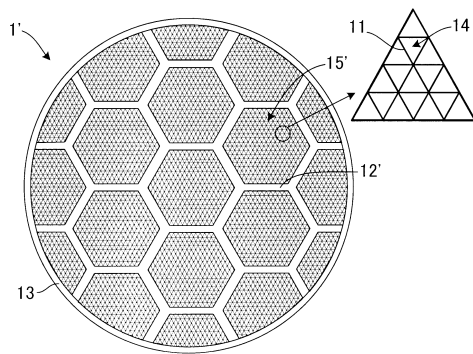
【図 10】



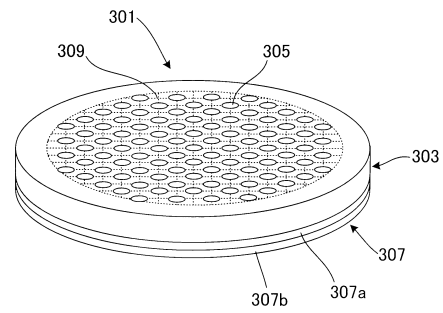
【図 11】



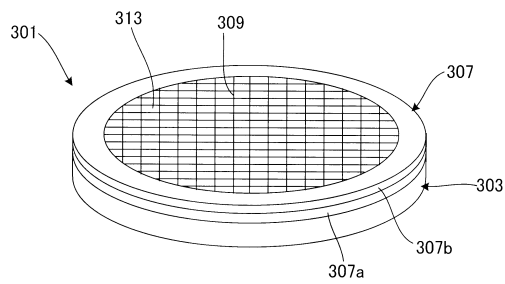
【図 12】



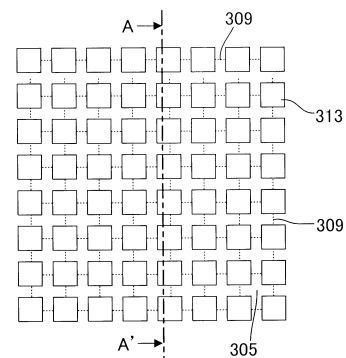
【図 14】



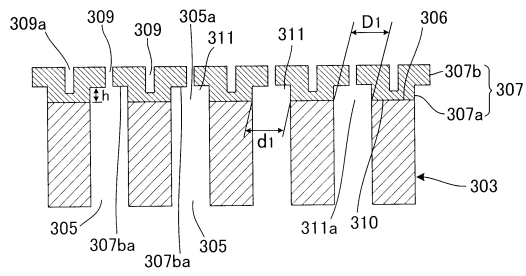
【図 13】



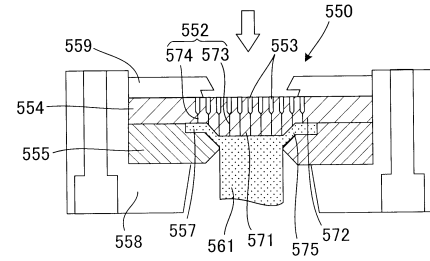
【図 15】



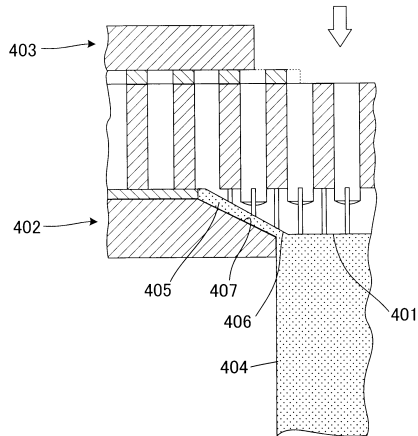
【図 16】



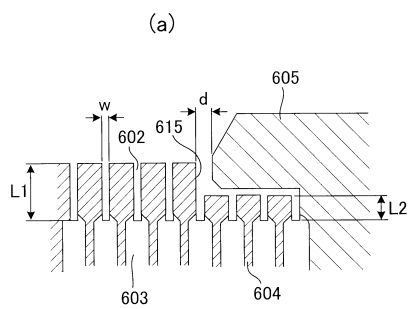
【図 18】



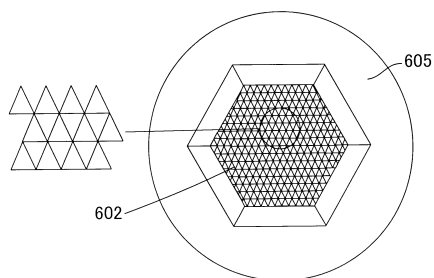
【図 17】



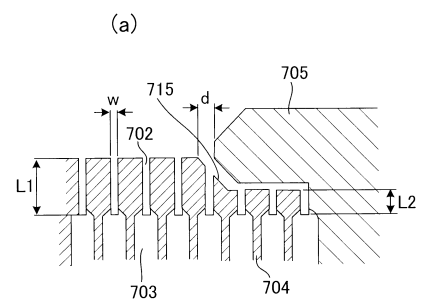
【図 19】



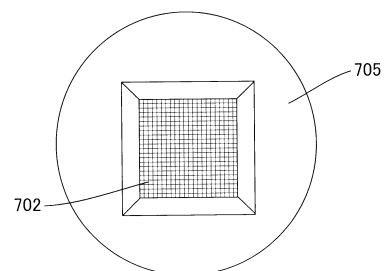
(b)



【図 20】



(b)



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
G 1 0 K 11/16 1 1 0

- (72)発明者 出口 勇次
愛知県名古屋市長久区須田町2番56号 日本碍子株式会社内
- (72)発明者 森 照芳
愛知県名古屋市長久区須田町2番56号 日本碍子株式会社内
- (72)発明者 濱塚 和彦
愛知県名古屋市長久区須田町2番56号 日本碍子株式会社内
- (72)発明者 末信 宏之
愛知県名古屋市長久区須田町2番56号 日本碍子株式会社内
- (72)発明者 弘永 昌幸
愛知県名古屋市長久区須田町2番56号 日本碍子株式会社内
- (72)発明者 熊澤 和彦
愛知県名古屋市長久区須田町2番56号 日本碍子株式会社内
- (72)発明者 野田 直美
愛知県名古屋市長久区須田町2番56号 日本碍子株式会社内

審査官 小原 一郎

- (56)参考文献 特開2012-237295(JP,A)
国際公開第2007/000847(WO,A1)
特表2005-522664(JP,A)
特開2012-187510(JP,A)
国際公開第2006/137162(WO,A1)
特開2011-041946(JP,A)
特開2003-275521(JP,A)
特開2013-202557(JP,A)
国際公開第2006/137163(WO,A1)
特開2009-195805(JP,A)
特開2005-180294(JP,A)
特開2012-112621(JP,A)
米国特許第05220789(US,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

F 2 5 B 9 / 0 0 - 1 1 / 0 4
F 0 3 G 7 / 0 0
F 0 1 N 5 / 0 2
G 1 0 K 1 1 / 1 6
H 0 2 N 1 1 / 0 0