(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第6291390号
(P6291390)
(45)発行日　平成30年3月14日(2018.3.14)　(24)登録日　平成30年2月16日(2018.2.16)

(51)Int.Cl.			F I		
F03G 7/00	(2006.01)		F03G	7/00	B
F01N 5/02	(2006.01)		F01N	5/02	J
B01J 19/00	(2006.01)		B01J	19/00	301Z
F02G 5/02	(2006.01)		F03G	7/00	C
			F01N	5/02	B

請求項の数 15　(全 51 頁)　最終頁に続く

(21)出願番号　特願2014-192024 (P2014-192024)
(22)出願日　平成26年9月19日 (2014.9.19)
(65)公開番号　特開2016-61267 (P2016-61267A)
(43)公開日　平成28年4月25日 (2016.4.25)
審査請求日　平成29年4月14日 (2017.4.14)

(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　渡邉　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熱・音波変換部品と、

前記熱・音波変換部品の前記第１の端面側の第１端部に近接して設けられ、該第１端部との間で熱の授受を行う低温側熱交換器と、

前記熱・音波変換部品の前記第２の端面側の第２端部に近接して設けられ、加熱流体の流入を受けて該加熱流体から熱を吸収して前記第２端部に該熱を供給することで、該第２端部を、前記第１端部よりも高温の状態に維持する高温側熱交換器と、を備えた熱・音波変換ユニットであって、

前記熱・音波変換部品は、

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×Ｓ／Ｃで定義される水力直径ＨＤが０．４ｍｍ以下であり、

前記熱・音波変換部品の前記第１の端面から前記第２の端面までの長さをＬとしたときに該熱・音波変換部品の長さＬに対する前記水力直径ＨＤの比ＨＤ／Ｌが０．００５以上０．０２未満であるものであり、

前記高温側熱交換器が、

前記熱・音波変換部品の前記第２の端面に対向する対向端面と、該対向端面から見て前

記熱・音波変換部品とは反対側を向いた非対向端面との２つの端面の間を前記延在方向に延在し前記作動流体によって内部が満たされ該作動流体の振動による音波の伝播経路となる２以上のセルを区画形成する隔壁を有する熱交換ハニカム構造体と、前記２つの端面の間に広がる前記熱交換ハニカム構造体の外周面を取り巻き前記加熱流体が流れる流路を形成する環状管であって、該流路内に設けられ前記加熱流体との接触面積を増加させるための構造部と、前記加熱流体が流入する流入口と、該加熱流体が流出する流出口とを有する環状管と、を備え、前記熱交換ハニカム構造体および前記構造部のうちの少なくとも一方が、ＳｉＣを主成分とするセラミックス材料で構成されたたものである熱・音波変換ユニット。

【請求項２】

前記熱・音波変換部品の端面における開口率が９３％以下である請求項１記載の熱・音波変換ユニット。

【請求項３】

前記熱・音波変換部品における前記セルの前記断面の形状は三角形である請求項１又は２記載の熱・音波変換ユニット。

【請求項４】

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３０ｍｍ以上１００ｍｍ以下であって、該円相当直径Ｄに対する前記熱・音波変換部品の長さＬの比Ｌ／Ｄが０．３以上１．０以下である請求項１～３のうちのいずれかに記載の熱・音波変換ユニット。

【請求項５】

前記熱・音波変換部品が、

それぞれが、前記複数のセルのうちのいくつかのセルを区画形成する前記隔壁を有し、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、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、

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５Ｗ／ｍＫ以下である請求項１記載の熱・音波変換ユニット。

【請求項６】

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５記載の熱・音波変換ユニット。

【請求項７】

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５記載の熱・音波変換ユニット。

【請求項８】

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熱容量は、前記ハニカムセグメントの構成材料の熱容量の５０％以上である請求項５～７のうちのいずれかに記載の熱・音波変換ユニット。

【請求項９】

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０．２ｍｍ以上４ｍｍ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５～８のうちのいずれかに記載の熱・音波変換ユニット。

【請求項１０】

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３ｃｍ^{2}以上１２ｃｍ^{2}以下である請求項５～９のうちのいずれかに記載の熱・音波変換ユニット。
【請求項１１】
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３０ｍｍ以上１００ｍｍ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５～１０のうちのいずれかに記載の熱・音波変換ユニット。
【請求項１２】
前記熱交換ハニカム構造体は、前記流路を流れる加熱流体と前記外周面で直接に接触して該加熱流体から熱を吸収し、その吸収した熱を前記対向端面から前記熱・音波変換部品の第２端部に伝達する請求項１～１１のうちのいずれかに記載の熱・音波変換ユニット。
【請求項１３】
前記熱交換ハニカム構造体の前記対向端面は、前記熱・音波変換部品の第２の端面に接している請求項１～１２のうちのいずれかに記載の熱・音波変換ユニット。
【請求項１４】
前記熱・音波変換部品における前記複数のセル、および、前記熱交換ハニカム構造体における２以上のセルは、いずれも、前記延在方向に垂直な平面内で周期的に配列したものであり、
前記２以上のセルの、前記平面内の一方向における周期は、前記複数のセルの、前記前記一方向についての周期の、１０以上の整数倍である請求項１～１３のうちのいずれかに記載の熱・音波変換ユニット。
【請求項１５】
前記熱交換ハニカム構造体は、前記外周面において、前記延在方向に延びるスリットを有する請求項１～１４のうちのいずれかに記載の熱・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０．５ｍｍ以上１．０ｍｍ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

【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、高いエネルギー変換効率で自動車の排ガス等の高温流体の熱を音波のエネルギーに変換するには、単に熱音響効果用のハニカム構造体が高い熱・音波変換能力を持つだけでは不十分である。実際、高温流体の熱がハニカム構造体の高温側の端部に十分に伝わらず周囲に拡散してしまう場合には、熱音響効果用のハニカム構造体のその高い熱・音波変換能力が十分に活かされず、高いエネルギー効率を実現することが困難となる。このため、熱音響効果用のハニカム構造体の高温側の端部に熱を与える高温側の熱交換器の特性がきわめて重要となる。

【０００９】

特に、自動車の排ガス等の高温流体の熱を音波のエネルギーに変換するシステムでは、高温側の熱交換器はきわめて高温の環境下に長時間さらされることとなり、高温側の熱交換器に対し、熱に対する高い熱耐久性が要求される。さらに、このシステムが高いエネルギー変換効率を達成するには、高温側の熱交換器に対し、与えられた大量の熱が周囲に拡散することを抑えつつこの大量の熱をハニカム構造体の高温側の端部に送り出すための高い熱伝導性も要求される。

【００１０】

特許文献１～３をはじめ、従来の熱音響技術の分野では、こうした、熱音響効果用のハニカム構造体の能力を十分に活かすための熱交換器の重要性についてはほとんど認識されておらず、熱音響効果用のハニカム構造体と熱交換器との組み合わせに関しては、さらなる改良が望まれる。

【００１１】

上記の事情を鑑み、本発明は、ハニカム構造を有する熱・音波変換部品と、この熱・音波変換部品の両端部との間で熱の授受を行う一対の熱交換器とで構成され、耐久性とエネルギー変換効率の向上が図られた熱・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】

【００１２】

上述の課題を解決するため、本発明は、以下の熱・音波変換ユニットを提供する。

【００１３】

［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熱・音波変換部品と、前記熱・音波変換部品の前記第１の端面側の第１端部に近接して設けられ、該第１端部との間で熱の授受を行う低温側熱交換器と、前記熱・音波変換部品の前記第２の端面側の第２端部に近接して設けられ、加熱流体の流入を受けて該加熱流体から熱を吸収して前記第２端部に該熱を供給することで、該第２端部を、前記第１端部よりも高温の状態に維持する高温側熱交換器と、を備えた熱・音波変換ユニットであって、前記熱・音波変換部品は、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×Ｓ／Ｃで定義される水力直径ＨＤが０．４ｍｍ以下であり、前記熱・音波変換部品の前記第１の端面から前記第２の端面までの長さをＬとしたときに該熱・音波変換部品の長さＬに対する前記水力直径ＨＤの比ＨＤ／Ｌが０．００５以上０．０２未満であるものであり、前記高温側熱交換器が、前記熱・音波変換部品の前記第２の端面に対向する対向端面と、該対向端面から見て前記熱・音波変換部品とは反対側を向いた非対向端面との２つの端面の間を前記延在方向に延在し前記作動流体によって内部が満たされ該作動流体の振動による音波の伝播経路となる２以上のセルを区画形成する隔壁を有する熱交換ハニカム構造体と、前記２つの端面の間に広がる前記熱交換ハニカム構造体の外周面を取り巻き前記加熱流体が流れる流路を形成する環状管であって、該流路内に設けられ前記加熱流体との接触面積を増加させるための構造部と、前記加熱流体が流入する流入口と、該加熱流体が流出する流出口とを有する環状管と、を備え、前記熱交換ハニカム構造体および前記構造部のうちの少なくとも一方が、ＳｉＣを主成分とするセラミックス材料で構成されたたものである熱・音波変換ユニット。

【００１４】

［２］　前記熱・音波変換部品の端面における開口率が９３％以下である［１］記載の熱・音波変換ユニット。

【００１５】

［３］　前記熱・音波変換部品における前記セルの前記断面の形状は三角形である［１］又は［２］記載の熱・音波変換ユニット。

【００１６】

［４］　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３０ｍｍ以上１００ｍｍ以下であって、該円相当直径Ｄに対する前記熱・音波変換部品の長さＬの比Ｌ／Ｄが０．３以上１．０以下である［１］～［３］のうちのいずれかに記載の熱・音波変換ユニット。

【００１７】

［５］　前記熱・音波変換部品が、それぞれが、前記複数のセルのうちのいくつかのセルを区画形成する前記隔壁を有し、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、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、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５Ｗ／ｍＫ以下である［１］記載の熱・音波変換ユニット。

【００１８】
［６］　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［５］記載の熱・音波変換ユニット。
【００１９】
［７］　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［５］記載の熱・音波変換ユニット。
【００２０】
［８］　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熱容量は、前記ハニカムセグメントの構成材料の熱容量の５０％以上である［５］～［７］のうちのいずれかに記載の熱・音波変換ユニット。
【００２１】
［９］　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０．２ｍｍ以上４ｍｍ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［５］～［８］のうちのいずれかに記載の熱・音波変換ユニット。
【００２２】
［１０］　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３ｃｍ^{2}以上１２ｃｍ^{2}以下である［５］～［９］のうちのいずれかに記載の熱・音波変換ユニット。
【００２３】
［１１］　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形状が円形であり、該円形の直径をＤとしたときに該直径Ｄが３０ｍｍ以上１００ｍｍ以下であって、該直径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［５］～［１０］のうちのいずれかに記載の熱・音波変換ユニット。
【００２４】
［１２］　前記熱交換ハニカム構造体は、前記流路を流れる加熱流体と前記外周面で直接に接触して該加熱流体から熱を吸収し、その吸収した熱を前記対向端面から前記熱・音波変換部品の第２端部に伝達する［１］～［１１］のうちのいずれかに記載の熱・音波変換ユニット。
【００２５】
［１３］　前記熱交換ハニカム構造体の前記対向端面は、前記熱・音波変換部品の第２の端面に接している［１］～［１２］のうちのいずれかに記載の熱・音波変換ユニット。
【００２６】
［１４］　前記熱・音波変換部品における前記複数のセル、および、前記熱交換ハニカム構造体における２以上のセルは、いずれも、前記延在方向に垂直な平面内で周期的に配列したものであり、前記２以上のセルの、前記平面内の一方向における周期は、前記複数のセルの、前記前記一方向についての周期の、１０以上の整数倍である［１］～［１３］のうちのいずれかに記載の熱・音波変換ユニット。
【００２７】
［１５］　前記熱交換ハニカム構造体は、前記外周面において、前記延在方向に延びるスリットを有する［１］～［１４］のうちのいずれかに記載の熱・音波変換ユニット。
【発明の効果】
【００２８】
　本発明の熱・音波変換部品ユニットでは、熱交換ハニカム構造体がセラミックス材料で構成されることで、熱に対する耐久性が向上しており、さらに、このセラミックス材料がＳｉＣを主成分とすることでエネルギー変換効率の向上している。
【図面の簡単な説明】

【００２９】
【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。
【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。
【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。
【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】
【００３０】
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。
【００３１】
図１は、本発明の熱・音波変換ユニット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。
【００３２】
図１に示す電力発生システム１０００は、熱・音波変換ユニット１００、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。
【００３３】
ループ管４は、熱・音波変換ユニット１００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。
【００３４】
熱・音波変換ユニット１００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。

【００３５】

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。

【００３６】

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。

【００３７】

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）。

【００３８】

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×Ｓ／Ｃで定義される水力直径ＨＤによって評価できる。

【００３９】

以下、図１に戻って電力発生システム１０００の説明を続ける。

【００４０】

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。

【００４１】

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る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。

【００４２】

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。

【００４３】

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。

【００４４】

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。

【００４５】

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。

【００４６】

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。

【００４７】

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。

【００４８】

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。

【００４９】

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。
【００５０】
　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。
【００５１】
　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。
【００５２】
　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。
【００５３】
　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。
【００５４】
　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。
【００５５】
　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１４が、隔壁１１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１４の配列だけが図示されている。各セル１４は、図３の上下方向を貫通方向（各セル１４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３２と接しているとともに、金属部材３２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３２が配置されているが、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。金属部材３２が省略された場合には、後述のメッシュ積層体３０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３２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。

【００５６】

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。

【００５７】

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３０を有している。また、低温側熱交換器３は、メッシュ積層体３０の側面を取り巻く環状の管である低温側環状管３１を有している。このようにメッシュ積層体３０の側面を取り巻く低温側環状管３１は、図３では、流入口３１ａおよび流出口３１ｂを含む断面においてメッシュ積層体３０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３１は、流入口３１ａ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３０に伝達し（逆の言い方をすればメッシュ積層体３０の熱を冷却流体に伝達し）、流出口３１ｂ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。

【００５８】

メッシュ積層体３０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。

【００５９】

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。

【００６０】

熱・音波変換部品１の側面は、干渉材１ａ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１ａ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１ａとして示されている。この干渉材１ａ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。

【００６１】

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。

【００６２】

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。

【００６３】

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に接触できるのは、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できることで、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。

【００６４】

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。

【００６５】

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。

【００６６】

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。

【００６７】

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。

【００６８】

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。

【００６９】

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。

【００７０】

　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。

【００７１】

　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。

【００７２】

　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熱・音波変換ユニットの一形態を表す模式図である。

【００７３】

　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の内部を通っ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’の内部を通っ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の内部を通っ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ている。

【００７４】

　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。

【００７５】

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。

【００７６】

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。

【００７７】

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。

【００７８】

以下、再び、図３～図５に戻って説明を続ける。

【００７９】

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。

【００８０】

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／ｃｍ^{2}であることが好ましい。

【００８１】

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_3N_4、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。

【００８２】

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。

【００８３】

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。

【００８４】

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・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う問題が生じ得る。図３の熱交換ハニカム構造体２０では、接触面２０ｓが受熱領域２１ｃ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。

【００８５】

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２０ｂの一部が欠けてセル２０ｄの貫通方向に沿って延びるスリット２０ｃ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２０ｃが形成された例が示されている。こうしたスリット２０ｃが存在することで、高温の加熱流体が直接に外周壁２０ｂに接触したときに、外周壁２０ｂに生じる熱応力を緩和することができ、この結果、外周壁２０ｂや隔壁２０ａの割れや剥離を抑えることができる。

【００８６】

また、図５に示すように、高温側環状管２１には、スリット２０ｃが延在する方向に沿って、各スリット２０ｃによる空隙を塞ぎつつ延在する４つの耐熱性金属板２１ｄが設けられている。これら４つの耐熱性金属板２１ｄにより、４つのスリット２０ｃ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２１ｄ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２１ｄ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２１ｅ（図３も合わせて参照）が備えら

れている。

【００８７】

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。

【００８８】

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。

【００８９】

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。

【００９０】

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０．４ｍｍ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、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０．４ｍｍ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。

【００９１】

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。

【００９２】

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、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１５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１５の損傷が無視できなくなる。

【００９３】

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％以下の開口率の中でも、８０％以上９３％以下の開口率が好ましい。

【００９４】

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Ｓ１と空隙部分面積Ｓ２を求め、Ｓ１とＳ２を用いてＳ２／（Ｓ１＋Ｓ２）として求められる。

【００９５】

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、５Ｗ／ｍＫ以下の低い熱伝導率となっている。仮に熱伝導率が５Ｗ／ｍＫより大きい場合には、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１１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５Ｗ／ｍＫ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１１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、５Ｗ／ｍＫ以下の熱伝導率の中でも、１．５Ｗ／ｍＫ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０．０１Ｗ／ｍＫ以上の熱伝導率であることが好ましい。

【００９６】

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℃～２００℃に加熱し、反対面を２０～２５℃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。

【００９７】

また、ハニカムセグメント１５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１５が長すぎて、ハニカムセグメント１５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に比してハニカムセグメント１５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、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１１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。

【００９８】

また、熱・音波変換部品１では、ハニカムセグメント１５が、図１１に示すように接合部１２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１２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１２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１５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１５、さらには、熱・音波変換部品１全体の損傷を抑えることができる。

【００９９】

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１４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１１の熱・音波変換部品１の右上のセル１４の配列の拡大図のように、三角形のセル１４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。

【０１００】

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）実際上、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。

【０１０１】

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１１のように、セル１４の形状が三角形の場合には、ハニカムセグメント１５の形状としても、セル１４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１１では、熱・音波変換部品１の外周壁１３付近を除き、三角形の形状のハニカムセグメント１５が、図１１の平面内で周期的に配列している様子が示されている。

【０１０２】

ただし、セル１４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。

【０１０３】

図１２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。

【０１０４】

図１２では、図１１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。

【０１０５】

図１２に示す熱・音波変換部品１’では、図１２の右上において拡大して示されているセル１４の配列からわかるように、ハニカムセグメント１５’において、三角形のセル１４が、セル１４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１５’の形状は六角形であり、熱・音波変換部品１’の外周壁１３付近を除き、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。

【０１０６】

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。

【０１０７】

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。

【０１０８】

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１

２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。

【０１０９】

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、１０×１０ｍｍ～３０×３０ｍｍの範囲内に属する正方形状の面と、０．５～３ｍｍ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（ｍｍ^2）、厚さをｔ（ｍｍ）とし、この板状の試料の面に対し、０～３ＭＰａの範囲内に属する荷重Ｗ（Ｎ）を加えたときの試料の厚さの変化Δｔ（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）×（ｔ／Δｔ）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。

【０１１０】

また、熱膨張係数については、ＪＩＳ　Ｒ１６１８－２００２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　Ｒ１６１８－２００２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　Ｒ１６１８－２００２に規定されている大きさの棒状部材を切り出し、ＪＩＳ　Ｒ１６１８－２００２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。

【０１１１】

また、単位体積（たとえば１ｃｃ）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砕して粉末状にする。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、サンプルとして用いた粉砕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乗じることで、単位体積（たとえば１ｃｃ）当たりの熱容量を得ることができる。

【０１１２】

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とを含む塗布材を、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、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。

【０１１３】

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。

【０１１４】

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。

【０１１５】

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、３ｃｍ^{2}以上１２ｃｍ^{2}以下となっていることが好ましい。

【０１１６】

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。

【０１１７】

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。

【０１１８】

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πＤ^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。

【０１１９】

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６ｐｐｍ／Ｋ以下であることが好ましい。

【０１２０】

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６ｐｐｍ／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、しいては、熱・音波変換部品１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。

【０１２１】

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、５ｍｍ以上６０ｍｍ以下であることが好ましい。

【０１２２】

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。

【０１２３】

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。

【０１２４】

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。なお、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、成形原料全体に対して４０～９０質量％であることが好ましい。

【０１２５】

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。

【０１２６】

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。

【０１２７】

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て使用してもよい。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。

【０１２８】

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。

【０１２９】

次に、成形原料を混練して坏土を形成する。成形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。

【０１３０】

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。

【０１３１】

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１５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。

【０１３２】

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［００２１］でも言及されている。

【０１３３】

第２の問題は、ハニカムセグメント１５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。

【０１３４】

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。

【０１３５】

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）ハニカムセグメント１５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０．０４ｍｍ以上０．０９ｍｍ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。

【０１３６】

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１５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１００質量部に対し２５～３５質量部であるのに対し、ハニカムセグメント１５の製造で用いられる坏土中の水の比率は、坏土固形成分１００質量部に対し４０～４２質量部となっている。なお、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１５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。

【０１３７】

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。

【０１３８】

図１３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１４は、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り、図１５は、図１３に示す口金の表面の一部を示す拡大平面図であり、図１６は、図１５に示す口金のＡ－Ａ’断面を示す模式図である。

【０１３９】

図１３～図１６に示されるように、口金３０１は、第２の板状部３０３と、炭化タングステン基超硬合金製の第１の板状部３０７とを備えている。ここで、第２の板状部３０３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３０３には、ハニカム成形体の成形原料を導入するための裏孔３０５が形成されている。第１の板状部３０７には、裏孔３０５に連通する穴部３１１が形成されているとともに、穴部３１１に連通しセルブロック３１３を区画するスリット３０９が形成されている。この第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。ここで、穴部３１１は、第１の層３０７ａの両面に開口しており、スリット３０９は、第２の層３０７ｂの両面に開口している。図１６には、第１の接合面３１０における穴部３１１の開口部３１１ａが、第２の接合面における裏孔３０５の開口部３０５ａ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３０１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。

【０１４０】

ここで、口金３０１の厚さは４～１０ｍｍであることが好ましい。４ｍｍより薄いと、成形時に口金が破壊されることがある。１０ｍｍ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。

【０１４１】

第２の板状部３０３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３０３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。

【０１４２】

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３０３は、スリット３０９が形成されていないため、第１の板状部３０７に比べて、摩耗の問題が少ない。第２の板状部３０３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。

【０１４３】

第２の板状部３０３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、ＳＵＳ３０４、ＳＵＳ３０３等を挙げることができる。また、第２の板状部３０３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３０３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２０～４０ｍｍであることが好ましい。また、第２の板状部３０３の厚さについては２～８ｍｍが好ましい。２ｍｍより薄いと成形抵抗による応力による変形、破損を生じ、８ｍｍ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。

【０１４４】

上述したように、第２の板状部３０３には、成形原料を導入するための裏孔３０５が形成されており、裏孔３０５は、成形原料を導入するための貫通孔（第２の板状部３０３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。

【０１４５】

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。

【０１４６】

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。

【０１４７】

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。

【０１４８】

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、ビッカース硬度が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、上記のようなビ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、靭性とを備えた層となる。そのため、裏孔３０５から穴部３１１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。

【０１４９】

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、靭性が小さすぎることにより、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、靭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。

【０１５０】

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靭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。

【０１５１】

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。

【０１５２】

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、靭性が小さすぎること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、今度は靭性が大きすぎることにより、第２の層３０７ｂが変形しやすい。

【０１５３】

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。

【０１５４】

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、高い靭性を備えた第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。

【０１５５】

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の板状部の摩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の板状部が摩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。

【０１５６】

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）が大きすぎることで、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。

【０１５７】

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。

【０１５８】

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。

【０１５９】

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。

【０１６０】

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。

【０１６１】

ここで、押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。

【０１６２】

図１７は、押さえ板構造の一例を表した図である。

【０１６３】

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、流入する坏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４０４の外周部分を調整形成する。

【０１６４】

図１８は、図１７とは別の押さえ板構造の一例を表した図である。

【０１６５】

図１８に示す押さえ板構造５５０では、図１８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５５０には、成形原料を供給する裏孔５５３と、成形原料を押し出すスリット５５２を有する口金５５４と、その口金５５４の下流側に設けた押さえ板５５５とが備えられている。口金５５４は内側部５７１と外周部５７２とからなる。内側部５７１は下流側（図１８中の下方）に突出して外周部５７２との間に段差部５７５を形成しており、この内側部５７１には、ハニカム構造を成形するスリット５７３が備わっている。一方、外周部５７２には、スリット５７３より短いスリット５７４が備わっている。口金５５４と押さえ板５５５との間には、ハニカム構造の外壁を成形する隙間部５５７が形成されている。なお、押さえ治具５５８および裏押さえ板５５９は、口金５５４と押さえ板５５５とをセットするためのホルダーである。

【０１６６】

図１８に示す押さえ板構造５５０を用いた押出成形においては、成形原料は、口金５５４の上流側（図１８中の上方）から押出機（図示しない）によって口金５５４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５５４の内側部５７１に備えられているスリット５７３から押し出された成形原料５６１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５５４の外周部５７２に備わるスリット５７４から押し出

された成形原料５６１は、隙間部５５７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５７５方向へと進行方向を変え、押さえ板５５５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。

【０１６７】

図１９は、さらに別の押さえ板構造の一例を表した図である。図２０は、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。

【０１６８】

図１９（ａ）に示す押さえ板構造は、図１９（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６０２を有する口金６０４を有している。この口金６０４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６０５により固定されている。ここで、スリット６０２は、裏孔６０３に連通している。この押さえ板構造では、スリット６０２の長さＬ１、スリット６０２の長さＬ１から段差部６１５の段差の長さを引いた長さＬ２、スリット６０２の幅Ｗ、および、押さえ板６０５と段差部６１５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。

【０１６９】

図２０は、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。

【０１７０】

図２０（ａ）に示す押さえ板構造は、図２０（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７０２を有する口金７０４を有している。この口金７０４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７０５により固定されている。ここで、スリット７０２は、裏孔７０３に連通している。この押さえ板構造も、スリット７０２の長さＬ１、スリット７０２の長さＬ１から段差部７１５の段差の長さを引いた差の長さＬ２、スリット７０２の幅Ｗ、および、押さえ板７０５と段差部７１５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。

【０１７１】

図１９および図２０の押さえ板構造のいずれにおいても、スリット７０２の長さＬ１は、０．３～１．０ｍｍであることが好ましく、０．４～０．８ｍｍであることがさらに好ましい。また、差の長さＬ２は０．１～０．５ｍｍであることが好ましい。

【０１７２】

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。

【０１７３】

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。

【０１７４】

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ことが好ましい。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。

【０１７５】

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０．５～２０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、酸素雰囲気で、１３００～１５００℃で１～２０時間加熱することが好ましい。

【０１７６】

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。

【０１７７】

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。

【０１７８】

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。

【０１７９】

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。

【０１８０】

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。

【０１８１】

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坏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）の凝固物が取り囲むとともに、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。

【０１８２】

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が取り囲むとともに、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。

【０１８３】

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。

【０１８４】

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。

【０１８５】

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。

【０１８６】

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。

【０１８７】

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。

【０１８８】

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】

【０１８９】

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。

【０１９０】

（実施例１）

実施例１の熱・音波変換ユニットにおける熱・音波変換部品１を以下のようにして作製した。まず、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、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。コージェライト化原料としては、平均粒子径が３μｍのタルクを３８．９質量部、平均粒子径が１μｍのカオリンを４０．７質量部、平均粒子径が０．３μｍのアルミナを５．９質量部、及び平均粒子径が０．５μｍのベーマイトを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。

【０１９１】

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。

【０１９２】
　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。
【０１９３】
　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。
【０１９４】
　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。
【０１９５】
　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、コージェ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。
【０１９６】
　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。
【０１９７】
　以上の過程を経て、実施例１の熱・音波変換ユニットにおける熱・音波変換部品が完成した。
【０１９８】
　実施例１の熱・音波変換ユニットにおける高温側熱交換器については、以下のようにして作製した。
【０１９９】
　高温側熱交換器の構成部材のうち熱交換ハニカム構造体の作製については、以下の通りである。
【０２００】
　上述の実施例１における熱・音波変換部品の製造方法において、コージェライト化原料の代わりに、ＳｉＣ粉末に炭素粉末（黒鉛粉末等）を加えたものを用いた以外は、同様の方式で坏土を調製した。
【０２０１】
　次に、得られた坏土を、口金を用いて押出成形し、セル形状が三角形のハニカム成形体を複数個作製した。ここで、この口金は、上述の実施例１における熱・音波変換部品の製造方法において用いたハニカム成形体の口金に比べると、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である。特に、熱交換ハニカム構造体の口金では、

熱交換ハニカム構造体のハニカム成形体におけるセルの周期が、上述の熱・音波変換部品のハニカム成形体におけるセルの周期の整数倍となるように、熱・音波変換部品の製造方法において用いたハニカム成形体の口金の押出口の周期の整数倍の周期を持つものとなっている。

【０２０２】

そして、押出成形した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、焼成した。

【０２０３】

成形体を焼成した後、このハニカム成形体に、溶融した珪素（Ｓｉ）を含浸させる処理を行った。

【０２０４】

次に、含浸処理後のハニカム成形体の外周部分を、このハニカム成形体の断面の形状が、上述の熱・音波変換器の形状と一致するように、円柱状に切削加工した。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た。このときの塗布方法としては、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でコーティングする方法を用いた。また、外周コート材としては、焼結処理後のハニカム成形体の構成材料と同様の珪素（金属珪素）－炭化珪素系材料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。

【０２０５】

最後に、外周コート材が塗布され乾燥させた後のハニカム成形体の外周壁に対し、ダイヤモンド砥石を用いて、セルの貫通方向に沿ってスリットを形成するスリット加工を行った。以上の過程を経て、熱交換ハニカム構造体が完成した。

【０２０６】

高温側熱交換器の構成部材のうち高温側環状管の作製については、高耐熱性ステンレス材料を環状に成形することで作製した。ここでは、図６および図７に示す高温側熱交換器２’のタイプの高温側熱交換器で使用される２つの高温側環状管を作製した。

【０２０７】

上述のようにして完成した熱交換ハニカム構造体をこれら２つの高温側環状管に取り付けるとともに、さらに、この熱交換ハニカム構造体と同様の製造方法で作製した２つの管内ハニカム構造体をそれぞれ２つの高温側環状管の内部にも取り付けた。これにより、図６に示す高温側熱交換器２’と同じタイプの高温側熱交換器が完成した。

【０２０８】

低温側熱交換器については、ステンレス製の低温側環状管と、銅製のメッシュ板を重ね合わせてなる銅製のメッシュ積層体とを準備し、この低温側環状管の環状における、穴となっている中央部にこのメッシュ積層体を組み込むことで作製した。

【０２０９】

実施例１の熱・音波変換ユニットを構成するその他の部材、たとえば、金属部材やハウジングや干渉材としては、銅板を加工した金属部材、ステンレス材を加工したハウジング、既知の熱耐久性の高い断熱用ガラス繊維（シリガラス等）の干渉材をそれぞれ用いた。

【０２１０】

以上の過程を経て、実施例１の熱・音波変換ユニットが完成した。

【０２１１】

完成した実施例１の熱・音波変換ユニットにおける熱・音波変換部品について、以下の測定を行った。

【０２１２】

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×Ｓ／Ｃ）に従って計算し、その平均値として算出した。

【０２１３】

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。

【０２１４】

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。

【０２１５】

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。

【０２１６】

（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熱容量に対する接合部の熱容量の比
（１４）隣接ハニカムセグメント間における接合部の幅

【０２１７】

実施例１の熱・音波変換ユニットにおける熱・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。

【０２１８】

【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

【０２１９】

【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

【０２２０】
この実施例１の熱・音波変換ユニットにおける熱・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。

【０２２１】
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・音波変換ユニットにおける熱・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。

【０２２２】
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。

【０２２３】
（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、熱・音波変換部品の製造方法において、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・音波変換ユニットを作製した。

【０２２４】
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。

【０２２５】
（実施例４，５および比較例４～８）
上述の実施例１の製造方法とは、熱・音波変換部品の製造方法において、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４，５および比較例４～８の熱・音波変換ユニットを作製した。

【０２２６】
そして、これらの実施例４，５および比較例４～８について、実施例１と同様の２つの

実験１，２を行った。

【０２２７】

以上説明した実施例１～５および比較例１～８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。

【０２２８】

【表３】

	セル水力直径HD（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	エネルギー変換効率(%)	損傷の程度
実施例1	0.2	0.75	30	0.0067	30	0
実施例2	0.3	0.75	30	0.0100	27	0
実施例3	0.4	0.75	30	0.0133	22	0
比較例1	0.45	0.75	30	0.0150	9	0
比較例2	0.6	0.75	30	0.0200	5	0
比較例3	1	0.75	30	0.0333	2	0
比較例4	0.2	0.1	4	0.0500	18	6
比較例5	0.2	0.25	10	0.0200	19	3
実施例4	0.2	0.3	12	0.0167	30	0
実施例5	0.2	0.95	38	0.0053	32	0
比較例6	0.2	1.1	44	0.0045	25	3
比較例7	0.2	1.5	60	0.0033	23	3
比較例8	0.2	1.6	64	0.0031	22	9

【０２２９】

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。

【０２３０】

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４，５および比較例４～８を比較すればわかるように、実施例４，５は、比較例４～８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。

【０２３１】

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４，５および比較例４～８の中で、比較例４および比較例８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、５ｍｍ以上６０ｍｍ以下の程度であることが望ましいということがいえる。

【０２３２】

以下では、さらに、他の実施例について説明する。

【０２３３】

（実施例６～１３）

上述の実施例１の製造方法とは、熱・音波変換部品の製造方法において、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６～１３の熱・音波変換ユニットを作製した。

【０２３４】

そして、これらの実施例６～１３について、実施例１と同様の２つの実験１，２を行っ

た。

【０２３５】

（実施例１４～１８）

上述の実施例１の製造方法とは、熱・音波変換部品の製造方法において、セラミック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、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１４～１８の熱・音波変換ユニットを作製した。ここで、実施例１４，１５では、実施例１のタルク、カオリン、アルミナ、ベ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１６～１８では、セラミック原料として、実施例１のコージェライト化原料に代えて、アルミナーコージェライト系複合材料、金属珪素－炭化珪素－コージェライト系複合材料、および炭化珪素－コージェ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。

【０２３６】

そして、これらの実施例１４～１８について、実施例１と同様の２つの実験１，２を行った。

【０２３７】

（実施例１９）

上述の実施例１の製造方法とは、熱・音波変換部品の製造方法において、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とは異なる実施例１９の熱・音波変換ユニットを作製した。

【０２３８】

そして、実施例１９について、実施例１と同様の２つの実験１，２を行った。

【０２３９】

以上説明した実施例６～１９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４に示す。

【０２４０】

【表４】

	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	エネルギー変換効率(%)	損傷の程度
実施例6	25	1	1.2	接合型	2	0
実施例7	35	1	1.2	接合型	5	0
実施例8	55	1	1.2	接合型	9	0
実施例9	60	1	1.2	接合型	20	0
実施例10	70	1	1.2	接合型	21	0
実施例11	80	1	1.2	接合型	22	0
実施例12	93	1	1.2	接合型	22	0
実施例13	95	1	1.2	接合型	20	9
実施例14	80	1	1.2	接合型	28	0
実施例15	80	1.5	1.2	接合型	25	0
実施例16	80	5	4	接合型	20	2
実施例17	80	5	4	接合型	20	2
実施例18	80	7	3	接合型	5	9
実施例19	80	1	1.2	一体型	30	9

【０２４１】

表４において、セルの開口率が互いに異なる実施例６～１３を比較すればわかるように、実施例９～１２は、実施例６～８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、実施例１３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。

【０２４２】

また、表４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１４～１８を比較すればわかるように、実施例１４～１７は、実施例１８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５Ｗ／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。

【０２４３】

また、表４の一体型の実施例１９を、表１の実施例１（その実験結果については表３参照）と比較すればわかるように、実施例１は、実施例１９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。

【０２４４】

（実施例２０～２２）

上述の実施例１の製造方法とは、熱・音波変換部品の製造方法において、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２０～２２の熱・音波変換ユニットを作製した。

【０２４５】

そして、これらの実施例２０～２２について、実施例１と同様の２つの実験１，２を行った。

【０２４６】

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５に示す。

【０２４７】

【表５】

	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20	三角形/三角形	30	1
実施例21	四角形/四角形	28	3
実施例22	六角形/六角形	24	0

【０２４８】

表５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２０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２１および実施例２２と比較すればわかるように、実施例１および実施例２０は、実施例２１および実施例２２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。

【０２４９】

（実施例２３～３４）

上述の実施例１の製造方法とは、熱・音波変換部品の製造方法において、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、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２３～３４の熱・音波変換ユニットを作製した。

【０２５０】

そして、これらの実施例２３～３４について、実施例１と同様の２つの実験１，２を行った。

【０２５１】

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６に示す。

【０２５２】

【表６】

	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23	0.25	0.2	1.1	0.8	30	0
実施例24	0.32	0.2	1.1	0.8	30	2
実施例25	0.4	0.2	1.1	0.8	30	3
実施例26	0.2	0.28	1.1	0.8	30	0
実施例27	0.2	0.34	1.1	0.8	30	1
実施例28	0.2	0.45	1.1	0.8	30	2
実施例29	0.2	0.2	0.6	0.8	30	2
実施例30	0.2	0.2	0.7	0.8	30	0
実施例31	0.2	0.2	1.2	0.8	30	1
実施例32	0.2	0.2	1.5	0.8	30	2
実施例33	0.2	0.2	1.1	0.45	20	2
実施例34	0.2	0.2	1.1	0.5	28	2

【０２５３】

表６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異なる実施例２３～２５を比較すればわかるように、実施例２３は、実施例２４および実施例２５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。

【０２５４】

また、表６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２６～２８を比較すればわかるように、実施例２６は、実施例２７および実施例２８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。

【０２５５】

また、表６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、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。

【０２５６】

また、表６において、ハニカムセグメントの熱容量に対する接合部の熱容量の比が互いに異なる実施例３３，３４を比較すればわかるように、実施例３４は、実施例３３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熱容量は、ハニカムセグメントの構成材料の熱容量の５０％以上である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。

【０２５７】

（実施例３５～３８）

上述の実施例１の製造方法とは、熱・音波変換部品の製造方法において、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３５～３８の熱・音波変換ユニットを作製した。

【０２５８】
そして、これらの実施例３５～３８について、実施例１と同様の２つの実験１，２を行った。
【０２５９】
（実施例３９～４１）
上述の実施例１の製造方法とは、熱・音波変換部品の製造方法において、コージェ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３９～４１の熱・音波変換ユニットを作製した。ここで、これらの実施例３９～４１では、実施例１のタルク、カオリン、アルミナ、ベ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。
【０２６０】
そして、これらの実施例３９～４１について、実施例１と同様の２つの実験１，２を行った。
【０２６１】
以上説明した、実施例３５～４１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。
【０２６２】
【表７】

	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35	2.5	1.2	25	3
実施例36	3	1.2	30	0
実施例37	12	1.2	30	0
実施例38	12.5	1.2	24	5
実施例39	9	3.7	30	0
実施例40	9	6	30	2
実施例41	9	8	30	6

【０２６３】
表７において、ハニカムセグメントの断面積が異なる実施例３５～３８を比較すればわかるように、実施例３６および実施例３７は、実施例３５および実施例３８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３ｃｍ^{2}以上１２ｃｍ^{2}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。
【０２６４】
また、表７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３９～４１を比較すればわかるように、実施例３９および実施例４０は、実施例４１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。
【０２６５】
（実施例４２～４５）
上述の実施例１の製造方法とは、熱・音波変換部品の製造方法において、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、および、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に合うものに変更した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４２～４５の熱・音波変換ユニットを作製した。ここで、これら実

施例４２～４５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。

【０２６６】

これらの実施例４２～４５について、実施例１と同様の２つの実験１，２を行った。

【０２６７】

（実施例４６～４９）

上述の実施例１の製造方法とは、熱・音波変換部品の製造方法において、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４６～４９の熱・音波変換ユニットを作製した。

【０２６８】

そして、これらの実施例４６～４９について、実施例１と同様の２つの実験１，２を行った。

【０２６９】

以上説明した、実施例４２～４９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８に示す。

【０２７０】

【表８】

	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42	28	0.5	1.07	24	2
実施例43	32	0.5	0.94	30	0
実施例44	100	0.5	0.3	30	0
実施例45	120	0.5	0.25	25	5
実施例46	40	0.15	0.75	30	3
実施例47	40	0.3	0.75	30	0
実施例48	41	3.5	0.73	26	0
実施例49	42	5	0.71	25	3

【０２７１】

表８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４２～４５を比較すればわかるように、実施例４３および実施例４４は、実施例４２および実施例４５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３０ｍｍ以上１００ｍｍ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。

【０２７２】

また、表８において、接合幅が異なる実施例４６～４９を比較すればわかるように、実施例４７および実施例４８は、実施例４６および実施例４９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０．２ｍｍ以上４ｍｍ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０．２ｍｍ以上４ｍｍ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０．２ｍｍ以上４ｍｍ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。

【０２７３】

以下、熱交換器の構成が、実施例１とは異なる実施例や比較例について説明する。

【０２７４】

（実施例５０）
上述の実施例１の製造方法とは、高温側熱交換器において熱・音波変換部品の端部を加熱する加熱部材として、熱交換ハニカム構造体の代わりに、低温側熱交換器における銅製のメッシュ積層体と同じものを用いた点を除き同じ製造方法を用いて、実施例５０の熱・音波変換ユニットを作製した。

【０２７５】
（実施例５１）
上述の実施例１の製造方法とは、加熱流体との接触面積を増加させるための構造部として、管内ハニカム構造体の代わりに、ステンレス製のフィンを用いた点を除き同じ製造方法を用いて、実施例５１の熱・音波変換ユニットを作製した。

【０２７６】
（比較例９）
上述の実施例１の製造方法とは、加熱部材として、熱交換ハニカム構造体の代わりに、低温側熱交換器における銅製のメッシュ積層体と同じものを用いた点、および、構造部として、管内ハニカム構造体の代わりに、ステンレス製のフィンを用いた点を除き同じ製造方法を用いて、比較例９の熱・音波変換ユニットを作製した。

【０２７７】
（比較例１０）
上述の実施例１の製造方法とは、構造部となる部材を一切用いない点を除き同じ製造方法を用いて、比較例１０の熱・音波変換ユニットを作製した。

【０２７８】
（比較例１１）
上述の実施例１の製造方法とは、加熱部材として、熱交換ハニカム構造体の代わりに、チューブ型のステンレスを用いこのチューブ型のステンレスが熱・音波変換部品と接触させる点、および、構造部として、管内ハニカム構造体の代わりに、ステンレス製のフィンを用いた点を除き同じ製造方法を用いて、比較例１１の熱・音波変換ユニットを作製した。

【０２７９】
（実施例５２）
上述の実施例１の製造方法とは、熱交換ハニカム構造体を熱・音波変換部品に接触させる点を除き同じ製造方法を用いて、実施例５２の熱・音波変換ユニットを作製した。

【０２８０】
（実施例５３）
上述の実施例１の製造方法とは、構造部として、管内ハニカム構造体の代わりに、ステンレス製のフィンを用いた点、および、熱交換ハニカム構造体を熱・音波変換部品に接触させる点、および、低温側熱交換器における銅製のメッシュ積層体に代えて、高温側熱交換器における熱交換ハニカム構造体と同じハニカム構造体を用いた点、および、加熱部材となる熱交換ハニカム構造体が直接に加熱流体と接触するよう熱交換ハニカム構造体の一部がむき出しになっている点を除き同じ製造方法を用いて、実施例５３の熱・音波変換ユニットを作製した。

【０２８１】
（実施例５４）
上述の実施例１の製造方法とは、構造部として、管内ハニカム構造体の代わりに、ステンレス製のフィンを用いた点、および、熱交換ハニカム構造体を熱・音波変換部品に接触させる点、および、熱・音波変換部品のセルの周期に対する熱交換ハニカム構造体のセルの周期が整数倍とはなっていない点、および、熱交換ハニカム構造体が直接に加熱流体と接触するよう熱交換ハニカム構造体の一部がむき出しになっている点を除き同じ製造方法を用いて、実施例５４の熱・音波変換ユニットを作製した。

【０２８２】
（実施例５５）

上述の実施例１の製造方法とは、構造部として、管内ハニカム構造体の代わりに、ステンレス製のフィンを用いた点、および、熱交換ハニカム構造体が直接に加熱流体と接触するよう熱交換ハニカム構造体の一部がむき出しになっている点を除き同じ製造方法を用いて、実施例５５の熱・音波変換ユニットを作製した。

【０２８３】

以上の実施例１，５０～５５および比較例９～１１の熱・音波変換ユニットを用いて実施例１と同様の実験１を行い、エネルギー変換効率を求めた。さらに、このとき、加熱部材等の高温側熱交換器を構成する各部材の温度変化も調べ、加熱流体から伝えられた熱の総量のうちどのくらいが高温側熱交換器それ自体の温度上昇に費やされたかを求めた。そして、その残りの熱が熱・音波変換部品の端部に伝えられたものとして、熱・音波変換部品の端部に伝えられた熱の総量を、加熱流体から伝えられた熱の総量で除算することで加熱流体からの熱エネルギーの回収率（エネルギー回収率）を求めた。

【０２８４】

以上説明した、実施例１，５０～５５および比較例９～１１の結果を、実施例１とは異なる特性とともに下記の表９に示す。

【０２８５】

【表９】

	熱・音波変換部品の端部を加熱する加熱部材	加熱流体との接触面積を増加させるための構造部	加熱流体と加熱部材の接触	熱・音波変換部品の端部を冷却する冷却部材	加熱部材のセルの周期/熱・音波変換部品のセルの周期	加熱部材と熱・音波変換部品の接触	加熱流体からのエネルギー回収率(%)	エネルギー変換効率(%)
実施例1	SiCハニカム構造体	SiCハニカム構造体	非接触	銅製のメッシュ体	整数倍	無	50	27
実施例50	銅製のメッシュ体	SiCハニカム構造体	非接触	銅製のメッシュ体	／	無	40	27
実施例51	SiCハニカム構造体	ステンレス製のフィン	非接触	銅製のメッシュ体	整数倍	無	35	27
比較例9	銅製のメッシュ体	ステンレス製のフィン	非接触	銅製のメッシュ体	／	無	15	27
比較例10	SiCハニカム構造体	無	非接触	銅製のメッシュ体	整数倍	無	5	27
比較例11	チューブ型ステンレス	ステンレス製のフィン	非接触	銅製のメッシュ体	／	有	20	8
実施例52	SiCハニカム構造体	ステンレス製のフィン	非接触	銅製のメッシュ体	整数倍	有	20	18
実施例53	SiCハニカム構造体	ステンレス製のフィン	接触	SiCハニカム構造体	整数倍	有	20	32
実施例54	SiCハニカム構造体	ステンレス製のフィン	接触	銅製のメッシュ体	非整数倍	有	20	18
実施例55	SiCハニカム構造体	ステンレス製のフィン	接触	銅製のメッシュ体	整数倍	無	20	24

【０２８６】

表９において、加熱部材や構造部の内容が互いに異なる実施例１，５０，５１および比較例９～１１を比較すればわかるように、実施例１，５０，５１は、比較例９～１１に比べ、エネルギー回収率が高い。このことより、実施例１，５０，５１のように、加熱流体との接触面積を増加させるための構造部を備えていることが重要であり、さらに、この構造部、および、熱・音波変換部品の端部を加熱する加熱部材のうちの少なくとも一方がＳｉＣのハニカム構造体であることが重要であることがわかる。

【０２８７】

また、残りの実施例５２～５５を比較すればわかるように、実施例５３，５５は、実施例５２，５４に比べ、エネルギー変換効率が高い。このことより、低温側熱交換器においても冷却部材としてＳｉＣのハニカム構造体を用いることが好ましく、また、熱・音波変換部品のセルの周期に対する熱交換ハニカム構造体のセルの周期が整数倍とはなっていることが好ましいことがわかる。

【０２８８】

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。

【０２８９】

（１）リブの厚さが０．０９ｍｍ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。

【０２９０】

（２）リブの厚さが０．１０ｍｍ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。

【０２９１】

（３）リブの厚さが０．０４ｍｍ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。

【０２９２】

（４）リブの厚さが０．０３ｍｍ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。

【０２９３】

（５）坏土中の水の比率が、坏土固形成分１００質量部に対し４３質量部程度（誤差１質量部以内）となる坏土用いた以外は、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。

【０２９４】

（６）坏土中の水の比率が、坏土固形成分１００質量部に対し３９質量部程度（誤差１質量部以内）となる坏土用いた以外は、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。

【０２９５】

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、坏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。

【０２９６】

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、坏土中の水の比率が、坏土固形成分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。

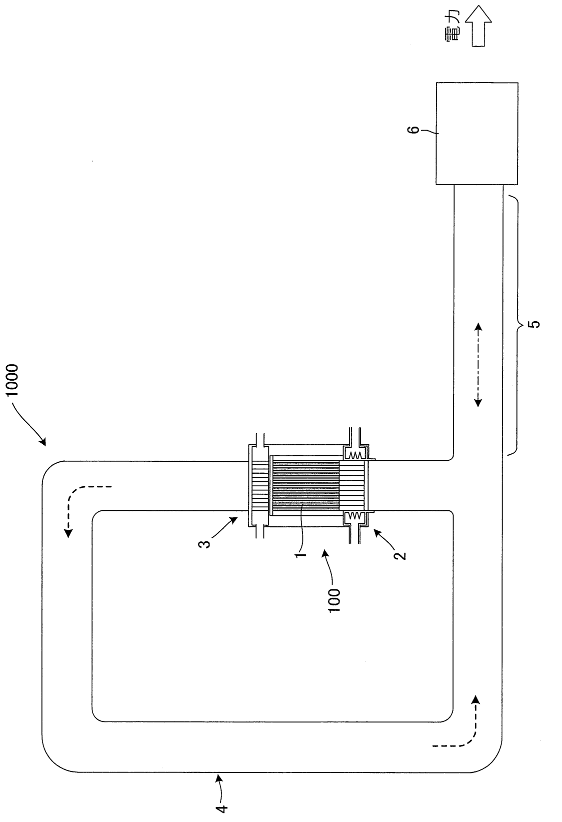
【産業上の利用可能性】

【０２９７】

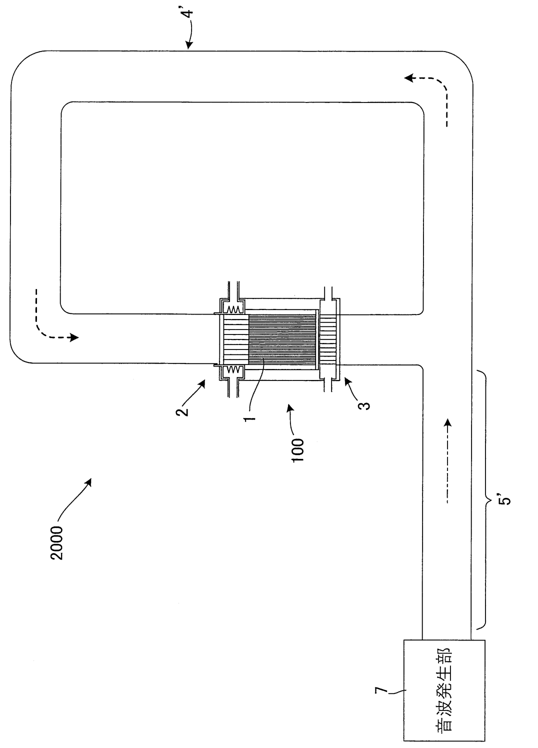
本発明は、自動車の排ガス等の熱を有効利用して、電力や冷熱を発生させるシステムにおいて好適に利用することができる。

【符号の説明】
【０２９８】
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。

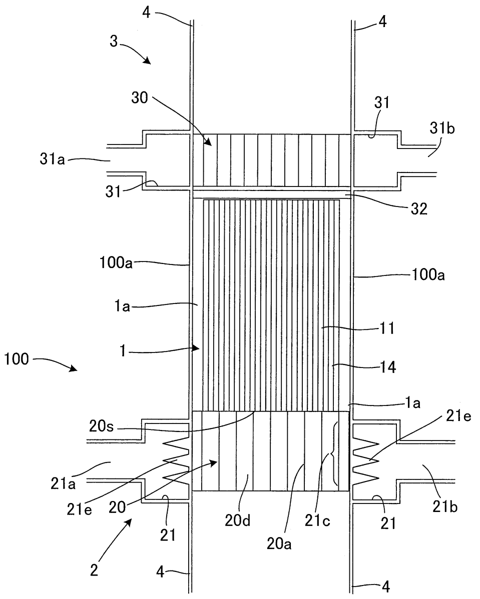
【図１】



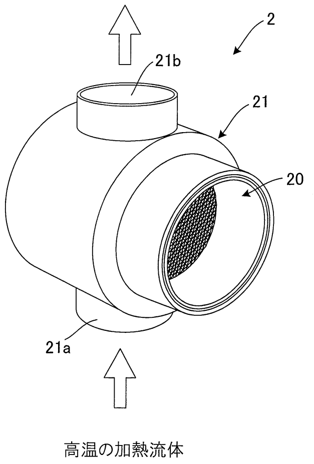
【図２】



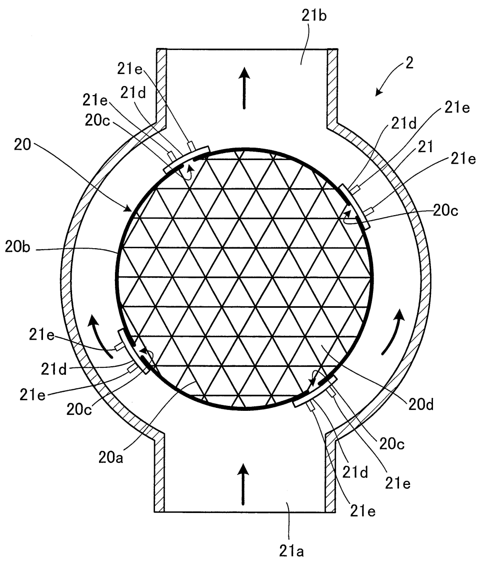
【図３】


4
4
3
30
31
31b
31a
31
32
100a
100a
1a
11
1
14
100
1a
20s
21e
21a
21e
20
20d
21c
21b
21
21
20a
2
4
4

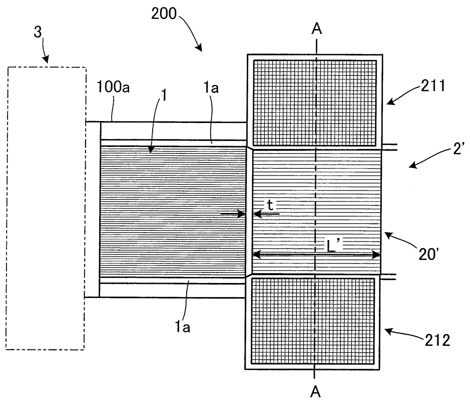
【図４】


2
21b
21
20
21a
高温の加熱流体

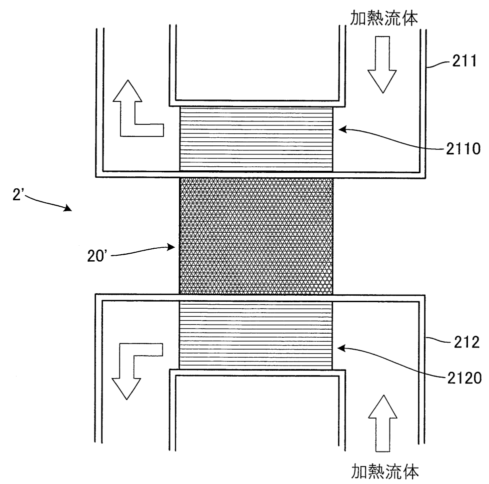
【図５】


21b
2
21e
21d
21e
21e
20c
21d
20
21
21e
20c
20b
21e
21d
21e
20d
20c
20a
20c
21d
21e
21e
21a

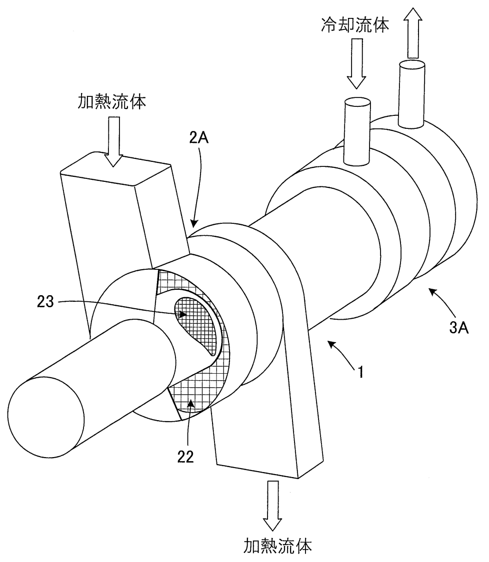
【図６】


200
3
A
100a
1
1a
211
2'
t
L'
20'
1a
212
A

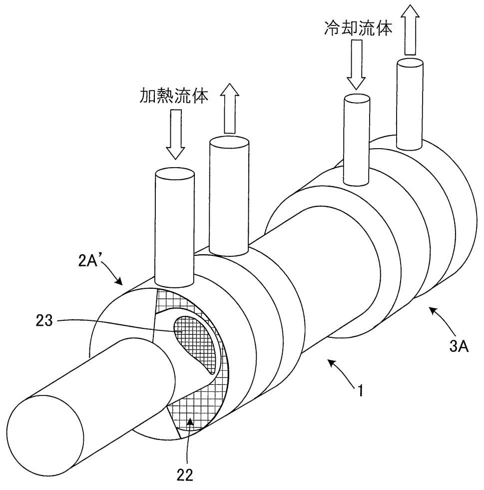
【図７】



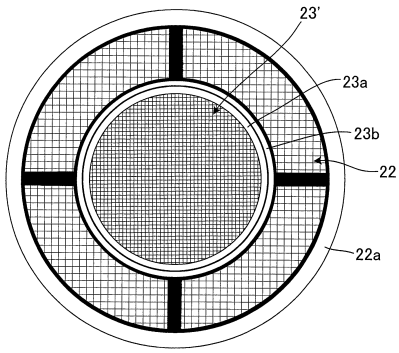
【図８】



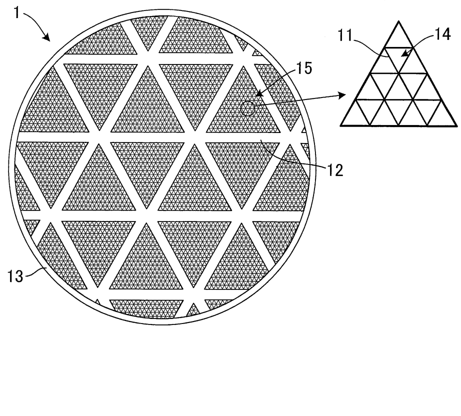
【図９】



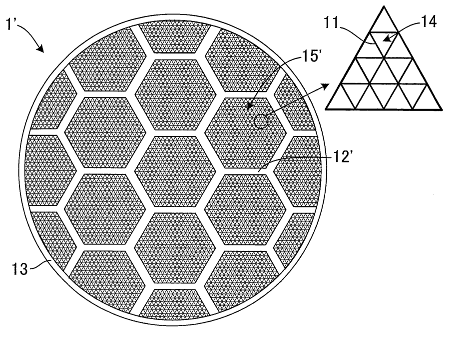
【図１０】



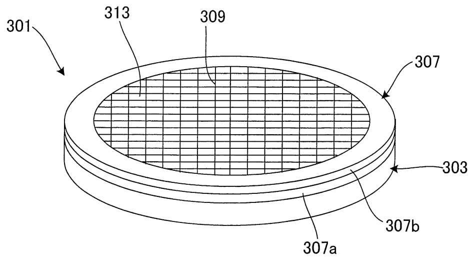
【図１１】



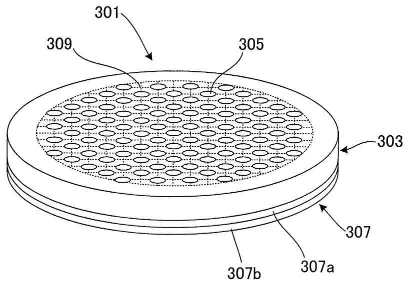
【図１２】



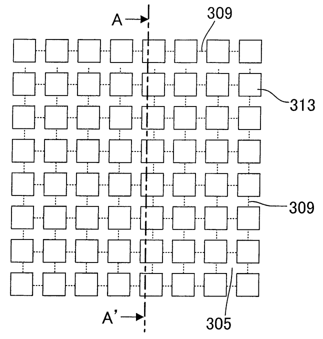
【図１３】



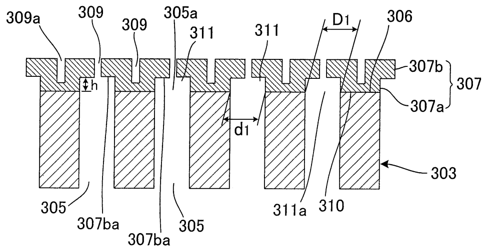
【図１４】



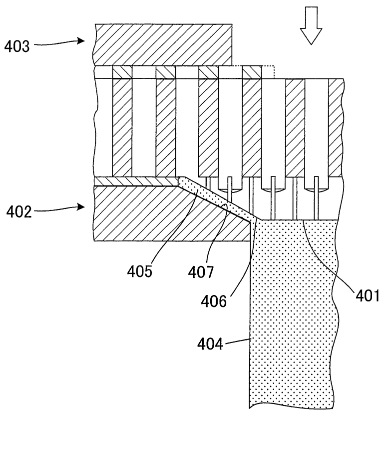
【図１５】



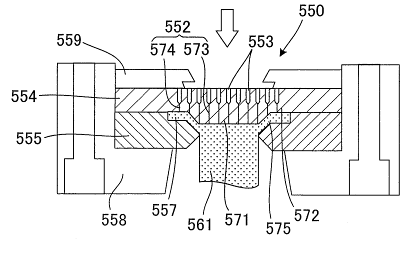
【図１６】



【図１７】

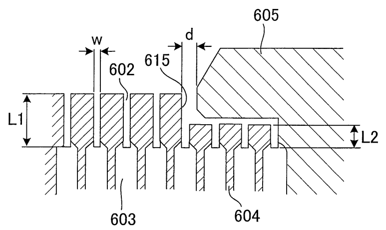


【図１８】

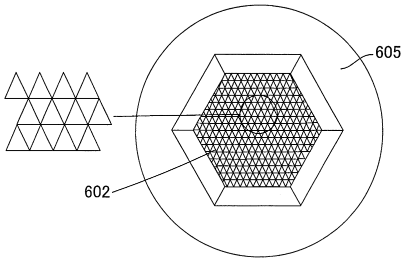


【図１９】

(a)

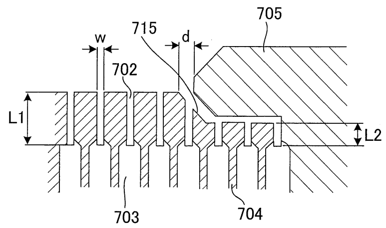

w
d
605
602
615
L1
L2
603
604

(b)

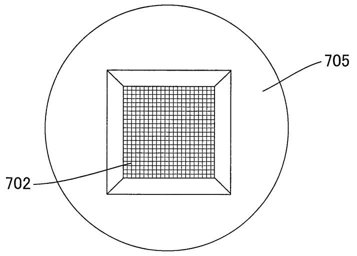

605
602

【図２０】

(a)


705
w
715
d
702
L1
L2
703
704

(b)


705
702

フロントページの続き

(51)Int.Cl.	ＦＩ		
	Ｆ０２Ｇ	5/02	Ａ
	Ｆ０２Ｇ	5/02	Ｂ

(72)発明者　川口　竜生
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　野田　直美
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　出口　勇次
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　森　照芳
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　濱塚　和彦
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　末信　宏之
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　弘永　昌幸
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　熊澤　和彦
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　山崎　孔徳

(56)参考文献　特開２００６－００２７３８（ＪＰ，Ａ）
特開２０００－０８８３７８（ＪＰ，Ａ）
特開２００１－１９０９１７（ＪＰ，Ａ）
特開２０１４－０６９１２３（ＪＰ，Ａ）
特開２０１２－２３７２９５（ＪＰ，Ａ）
特開２０１２－０４７４４０（ＪＰ，Ａ）
特開２００７－２９２３２６（ＪＰ，Ａ）
米国特許出願公開第２００４／０２３１３４１（ＵＳ，Ａ１）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｆ０３Ｇ　７／００
Ｂ０１Ｊ　１９／００
Ｆ０１Ｎ　５／０２
Ｆ０２Ｇ　５／０２