

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6158687号
(P6158687)

(45) 発行日 平成29年7月5日(2017.7.5)

(24) 登録日 平成29年6月16日(2017.6.16)

(51) Int.Cl.	F I		
F 2 8 D 7/16 (2006.01)	F 2 8 D	7/16	A
F 2 8 F 21/04 (2006.01)	F 2 8 F	21/04	
F 2 8 F 19/02 (2006.01)	F 2 8 F	19/02	5 O 1 Z
F 2 8 F 19/06 (2006.01)	F 2 8 F	19/06	Z
F O 1 N 3/24 (2006.01)	F 2 8 F	19/06	D
請求項の数 3 (全 17 頁) 最終頁に続く			

(21) 出願番号	特願2013-229823 (P2013-229823)	(73) 特許権者	000004064
(22) 出願日	平成25年11月5日(2013.11.5)		日本碍子株式会社
(65) 公開番号	特開2015-90235 (P2015-90235A)		愛知県名古屋市瑞穂区須田町2番56号
(43) 公開日	平成27年5月11日(2015.5.11)	(74) 代理人	100088616
審査請求日	平成28年7月19日(2016.7.19)		弁理士 渡邊 一平
		(74) 代理人	100089347
			弁理士 木川 幸治
		(74) 代理人	100154379
			弁理士 佐藤 博幸
		(74) 代理人	100154829
			弁理士 小池 成
		(72) 発明者	徳田 昌弘
			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】 熱交換部材

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

筒形状の外周壁と、第一の流体の流路となる複数のセルを区画形成する隔壁とを有するセラミックスを主成分とするハニカム構造体と、

前記ハニカム構造体を被覆する被覆部材と、を備え、

前記ハニカム構造体の前記外周壁、または前記被覆部材に、前記外周壁の特定の部分に亀裂を発生しやすくする亀裂誘因部を有し、

前記亀裂誘因部は、前記外周壁の外周面及び内周面に、他の部分に比べて前記外周壁の厚さが薄くなるように形成された凹部であり、

前記セルを流通する前記第一の流体と、前記被覆部材の外側を流通する前記第二の流体とが混合しない状態で、前記ハニカム構造体の前記外周壁及び前記被覆部材を介して前記第一の流体と前記第二の流体を熱交換させる熱交換部材。

【請求項2】

筒形状の外周壁と、第一の流体の流路となる複数のセルを区画形成する隔壁とを有するセラミックスを主成分とするハニカム構造体と、

前記ハニカム構造体を被覆する被覆部材と、を備え、

前記ハニカム構造体の前記外周壁、または前記被覆部材に、前記外周壁の特定の部分に亀裂を発生しやすくする亀裂誘因部を有し、

前記亀裂誘因部は、前記外周壁において、他の部分に比べて気孔率が高く形成された、前記外周壁の外側から前記外周壁の途中までの高気孔率部であり、

10

20

前記セルを流通する前記第一の流体と、前記被覆部材の外側を流通する前記第二の流体とが混合しない状態で、前記八ニカム構造体の前記外周壁及び前記被覆部材を介して前記第一の流体と前記第二の流体を熱交換させる熱交換部材。

【請求項3】

筒形状の外周壁と、第一の流体の流路となる複数のセルを区画形成する隔壁とを有するセラミックスを主成分とする八ニカム構造体と、

前記八ニカム構造体を被覆する被覆部材と、を備え、

前記八ニカム構造体の前記外周壁、または前記被覆部材に、前記外周壁の特定の部分に亀裂を発生しやすくする亀裂誘因部を有し、

前記亀裂誘因部は、前記被覆部材の内周側に形成され、前記外周壁を押圧する、前記外周壁に接触する部分が鋭利な形状の凸部であり、

前記セルを流通する前記第一の流体と、前記被覆部材の外側を流通する前記第二の流体とが混合しない状態で、前記八ニカム構造体の前記外周壁及び前記被覆部材を介して前記第一の流体と前記第二の流体を熱交換させる熱交換部材。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、第一の流体と第二の流体との熱交換を行うことができる、八ニカム構造体を用いた熱交換部材に関する。

【背景技術】

【0002】

自動車の燃費改善のため、エンジンなどの燃焼排ガスの高温気体から熱を回収して有効利用する排熱回収の技術や、排ガスをエンジンの吸気側に再循環させる際に排ガスを冷却する排気冷却の技術が求められている。

【0003】

そのような技術に用いられる熱交換器として、特許文献1に示されるようなセラミックス製八ニカム構造体を用いた熱交換器が知られている。熱交換器では、熱を伝導する熱交換部材によって、温度の高い流体と温度の低い流体との間で熱の受け渡しを行う。このような熱交換器では、非常に温度の高い流体を使用する場合や、水などの腐食を生じさせやすい流体を使用する場合があるので、特許文献1では、セラミックス製の熱交換部材が使用されている。セラミックス製の熱交換部材を使用すると、耐熱性や耐腐食性を高めることが可能になる。

【0004】

また、熱交換部材は、温度の高い流体から熱を受けて膨張したり、あるいは温度の低い流体に熱を奪われて収縮したりすることがある。特に熱交換部材では、これら2種の流体の温度差に起因して部分によって温度差が生じやすくなる。この温度差によって、熱交換部材の部分によって熱に起因した収縮や膨張の度合いが異なる。その結果、熱交換部材中の特定の部分で局所的に大きな熱応力が生じてしまうことがある。このように熱交換部材中の特定の部分で局所的に大きな熱応力が生じてしまうと、その部分で破損しやすくなる。このような熱応力によって引き起こされる問題への対処として、特許文献2では、熱交換部材の外周壁にスリットを設けて熱応力を緩和し、破損が生じにくい構造にすることが行われている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】国際公開第2011/071161号

【特許文献2】国際公開第2013/002395号

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかしながら、特許文献2のスリットを設けた構造では、外周からの圧縮力に対して強度が低下するといった課題があった。また、許容発生応力以上の環境となった場合、応力集中箇所が存在しないため、破壊モードが安定せず、破損による破片の脱落等のリスクが懸念されていた。

【0007】

本発明の課題は、圧縮力に強く、想定外の破壊モードによる破片の脱落等のリスクを回避することができる熱交換部材を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本願発明者らは、熱交換部材を構成する八ニカム構造体、または被覆部材に、八ニカム構造体の外周壁に亀裂を発生しやすくする亀裂誘因部を形成することにより、上記課題を解決することができることを見出した。本発明によれば、以下の熱交換部材が提供される。

【0009】

[1] 筒形状の外周壁と、第一の流体の流路となる複数のセルを区画形成する隔壁とを有するセラミックスを主成分とする八ニカム構造体と、前記八ニカム構造体を被覆する被覆部材と、を備え、前記八ニカム構造体の前記外周壁、または前記被覆部材に、前記外周壁の特定の部分に亀裂を発生しやすくする亀裂誘因部を有し、前記亀裂誘因部は、前記外周壁の外周面及び内周面に、他の部分に比べて前記外周壁の厚さが薄くなるように形成された凹部であり、前記セルを流通する前記第一の流体と、前記被覆部材の外側を流通する前記第二の流体とが混合しない状態で、前記八ニカム構造体の前記外周壁及び前記被覆部材を介して前記第一の流体と前記第二の流体を熱交換させる熱交換部材。

【0012】

[2] 筒形状の外周壁と、第一の流体の流路となる複数のセルを区画形成する隔壁とを有するセラミックスを主成分とする八ニカム構造体と、前記八ニカム構造体を被覆する被覆部材と、を備え、前記八ニカム構造体の前記外周壁、または前記被覆部材に、前記外周壁の特定の部分に亀裂を発生しやすくする亀裂誘因部を有し、前記亀裂誘因部は、前記外周壁において、他の部分に比べて気孔率が高く形成された、前記外周壁の外側から前記外周壁の途中までの高気孔率部であり、前記セルを流通する前記第一の流体と、前記被覆部材の外側を流通する前記第二の流体とが混合しない状態で、前記八ニカム構造体の前記外周壁及び前記被覆部材を介して前記第一の流体と前記第二の流体を熱交換させる熱交換部材。

【0013】

[3] 筒形状の外周壁と、第一の流体の流路となる複数のセルを区画形成する隔壁とを有するセラミックスを主成分とする八ニカム構造体と、前記八ニカム構造体を被覆する被覆部材と、を備え、前記八ニカム構造体の前記外周壁、または前記被覆部材に、前記外周壁の特定の部分に亀裂を発生しやすくする亀裂誘因部を有し、前記亀裂誘因部は、前記被覆部材の内周側に形成され、前記外周壁を押圧する、前記外周壁に接触する部分が鋭利な形状の凸部であり、前記セルを流通する前記第一の流体と、前記被覆部材の外側を流通する前記第二の流体とが混合しない状態で、前記八ニカム構造体の前記外周壁及び前記被覆部材を介して前記第一の流体と前記第二の流体を熱交換させる熱交換部材。

【発明の効果】

【0014】

熱交換部材を構成する八ニカム構造体、または被覆部材に、八ニカム構造体に亀裂を発生させる亀裂誘因部を有することにより、外周壁の特定の部分に亀裂を発生しやすくすることができる。亀裂を発生させることにより、熱応力を緩和し、熱応力による破損を抑制することができる。これにより、外周壁や隔壁の脱落を防止することができる。

【図面の簡単な説明】

【0015】

【図1】熱交換部材を構成する八ニカム構造体の軸方向における端面の模式図である。

10

20

30

40

50

【図 2 A】八二カム構造体と、被覆部材とを一体とする前を示す斜視図である。

【図 2 B】八二カム構造体と、被覆部材とを一体化した、熱交換部材を示す斜視図である。

【図 2 C】軸方向における端面側から見た熱交換部材の模式図である。

【図 2 D】凹部が、軸方向において複数箇所に分離して形成された実施形態を示す模式図である。

【図 3 A】八二カム構造体の外周壁に形成された、凹部の他の実施形態を示す軸方向における端面の模式図である。

【図 3 B】八二カム構造体の外周壁に形成された、凹部のさらに他の実施形態を示す軸方向における端面の模式図である。

【図 4】八二カム構造体の外周壁に、気孔率が高く形成された高气孔率部が設けられた実施形態を示す模式図である。

【図 5】被覆部材の内周側に、外周壁を押圧する凸部が形成された実施形態を示す模式図である。

【図 6】熱交換部材を備えた熱交換器を示す模式図である。

【図 7 A】比較例 1 の熱交換部材を軸方向の一方の端面側から見たところを示す模式図である。

【図 7 B】比較例 2 の熱交換部材を軸方向の一方の端面側から見たところを示す模式図である。

【発明を実施するための形態】

【0016】

以下、図面を参照しつつ本発明の実施形態について説明する。本発明は、以下の実施形態に限定されるものではなく、発明の範囲を逸脱しない限りにおいて、変更、修正、改良を加え得るものである。

【0017】

(熱交換部材)

図 1 に本発明の熱交換部材 10 を構成する八二カム構造体 1 の軸方向 9 における端面 2 の模式図を示す。また、図 2 A は、熱交換部材 10 を構成する八二カム構造体 1 と、被覆部材 11 とを一体とする前を示す斜視図である。さらに、図 2 B は、八二カム構造体 1 と、被覆部材 11 とを一体化した、熱交換部材 10 を示す斜視図である。図 2 C は、軸方向 9 における端面 2 側から見た熱交換部材 10 の模式図である。

【0018】

本発明の熱交換部材 10 は、筒形状の外周壁 7 と、第一の流体の流路となる複数のセル 3 を区画形成する隔壁 4 とを有するセラミックスを主成分とする八二カム構造体 1 と、八二カム構造体 1 を被覆する被覆部材 11 と、を備える。また、八二カム構造体 1 の外周壁 7、または被覆部材 11 に、外周壁 7 の特定の部分に亀裂を発生しやすくする亀裂誘因部 15 を有する。図 1 では、亀裂誘因部 15 として、外周壁 7 に凹部 15 a が形成されている(被覆部材 11 に亀裂誘因部 15 が形成された実施形態は、後述する。)。外周壁 7 の凹部 15 a は、外周壁 7 の外周面 7 h 及び/又は内周面 7 g に形成されていることが好ましい。熱交換部材 10 は、セル 3 を流通する第一の流体と、被覆部材 11 の外側を流通する第二の流体とが混合しない状態で、八二カム構造体 1 の外周壁 7 及び被覆部材 11 を介して第一の流体と第二の流体を熱交換させる。

【0019】

被覆部材 11 が八二カム構造体 1 の外周面 7 h を被覆しているため、八二カム構造体 1 の内部を流れる第一の流体と八二カム構造体 1 の外部(被覆部材 11 の外側)を流れる第二の流体とを混合させずに、それぞれを流通させ、熱交換することができる。外周壁 7 や隔壁 4 に熱を伝導させて、第一の流体と第二の流体との熱交換を行わせると、外周壁 7 や隔壁 4 において場所により温度差が生じる。こうした温度差は熱に伴う膨張や収縮の度合いの差を生み、その結果、外周壁 7 や隔壁 4 に熱応力を生じさせる。この熱応力は、外周壁 7 や隔壁 4 の歪みや割れの原因になりうる。本発明の熱交換部材 10 では、外周壁 7 の

10

20

30

40

50

他の部分に比べ外周壁 7 の特定の部分に亀裂を発生しやすくする亀裂誘因部 1 5 が設けられている。亀裂誘因部 1 5 が亀裂発生起点となって亀裂が発生し、外周壁 7 に生じる熱応力を緩和させる。これによって外周壁 7 や隔壁 4 での歪みや割れの発生を抑えることができる。以下、さらに詳しく説明する。

【 0 0 2 0 】

(八二カム構造体)

八二カム構造体 1 は、隔壁 4 を有し、隔壁 4 によって軸方向 9 の一方の第一の端面 2 a から他方の第二の端面 2 b まで貫通する複数のセル 3 が区画形成されている。隔壁 4 を有することにより、八二カム構造体 1 の内部を流通する第一の流体からの熱を効率よく集熱し、外部に伝達することができる。

10

【 0 0 2 1 】

図 1 に示す実施形態では、亀裂誘因部 1 5 は、外周壁 7 の外周面 7 h 及び内周面 7 g に、他の部分に比べて外周壁 7 の厚さが薄くなるように形成された凹部 1 5 a である。すなわち、外周壁 7 の外周側及び内周側に、軸方向 9 における端面 2 (または軸方向 9 に垂直な断面)において、三角形状 (V 字形状) の凹部 1 5 a が形成されている (図 1、図 2 C 参照)。この凹部 1 5 a は、図 2 A に示すように、軸方向 9 の一方の第一の端面 2 a から他方の第二の端面 2 b まで形成された溝部である (なお、軸方向 9 の全長に形成されていなくてもよい)。本実施形態では、図 1 に示すように、凹部 1 5 a は、軸方向 9 に垂直な断面において 90° 間隔に 4 つ形成されている。凹部 1 5 a は、軸方向 9 に垂直な断面において、中心軸 9 a を中心とした点対称の位置に形成されていることが好ましい。外周壁 7 の凹部 1 5 a は、外周壁 7 の外周面 7 h 及び / 又は内周面 7 g に形成されていることが好ましく、外周壁 7 の外周面 7 h に形成されていることがより好ましい。外周壁 7 の外周面 7 h の方が、凹部 1 5 a を形成することが容易である。高温の流体をセル 3 内に流通させることにより熱応力が負荷された際、外周壁 7 の外周面 7 h の温度が低く拘束されるため、中心部の膨張により外周面 7 h を起点として亀裂が発生する。そのため、亀裂の起点となる外周面 7 h に凹部 1 5 a を形成した方が、亀裂誘因部 1 5 としての効果が大きい。

20

【 0 0 2 2 】

亀裂誘因部 1 5 である凹部 1 5 a は、軸方向 9 (流体流れ) に垂直な断面において、三角形形状 (V 字形状) となることが望ましい。このように形成することにより、先端部に応力が集中し、亀裂誘因部 1 5 としての機能を発揮することができる。外周面 7 h または内周面 7 g のどちらか一方に凹部 1 4 a が形成された場合、凹部 1 5 a の深さ 1 5 t は、八二カム構造体 1 の外周壁 7 の厚み 7 t に対し、10% 以上 90% 以下の深さであることが好ましく、20% 以上 70% 以下であることがさらに好ましい。外周面 7 h および内周面 7 g の両方に凹部 1 4 a が形成された場合、外周面 7 h および内周面 7 g の凹部 1 5 a の深さ 1 5 t の和が、八二カム構造体 1 の外周壁 7 の厚み 7 t に対し、10% 以上 90% 以下の深さであることが好ましく、20% 以上 70% 以下であることがさらに好ましい。

30

【 0 0 2 3 】

亀裂誘因部 1 5 は、外周壁 7 を分断するスリットではなく、外周壁 7 の一部に形成された凹部 1 5 a であるため、外周壁 7 は連続体として維持されており、圧縮力に強い。許容発生応力以下の使用条件下では、外周壁 7 の気密性が確保されるため、高い耐久信頼性を有する。もし、許容応力を超えた場合には、凹部 1 5 a が予め設定された亀裂発生起点となって亀裂が発生するため、応力を緩和することができる。これにより、想定外の破壊モードによる破片の脱落等のリスクを回避することができる。

40

【 0 0 2 4 】

亀裂誘因部 1 5 は、軸方向 9 に垂直な断面において、少なくとも 4 等配の箇所に配置されているのが好ましく、8 等配の箇所に配置されているのがさらに好ましい。亀裂誘因部 1 5 は、軸方向 9 において八二カム構造体 1 の全長に設けられていることが好ましいが、全長に施されてなくてもよい。軸方向 9 において、複数箇所に分離して形成されていてもよい (図 2 D 参照)。

【 0 0 2 5 】

50

図3Aに、八二カム構造体1の外周壁7に形成された、亀裂誘因部15である凹部15aの他の実施形態を示す。この実施形態では、凹部15aの断面がV字形状に、言い換えると、略二等辺三角形として形成されている。この二等辺三角形は、底辺15m(外周面7h上の辺)に対し、他の二辺15nが長く形成されている。外周上の辺(底辺15m)に対し、残り二辺15nの長さが長くなるような三角形であると、先端部に応力が集中することになり、好ましい。また、本実施形態は、亀裂誘因部15の凹部15aが、軸方向9に垂直な断面において、8等配の箇所配置されている。

【0026】

図3Bに、八二カム構造体1の外周壁7に形成された、亀裂誘因部15である凹部15aのさらに他の実施形態を示す。この実施形態では、凹部15aの軸方向9に垂直な断面が四角形として形成されている。凹部15aをこのように形成しても、亀裂誘因部15として亀裂を発生させることができる。凹部15は、軸方向9に垂直な断面が四角形以上の多角形で形成された形態、あるいは、その多角形の頂点それぞれにRがついている(角をとって丸くした)形態とすることもでき、このように凹部15を形成することにより、三角形形状(V字形状)にするより、応力が集中しにくい構造となるため、圧縮力に対して強固になる。

【0027】

図4に、亀裂誘因部15が、外周壁7において、他の部分に比べて気孔率が高く形成された高気孔率部15bである実施形態を示す。図4では、軸方向9における端面2(または軸方向9に垂直な断面)において、高気孔率部15bは、外周壁7の外側から内側まで形成されている。高気孔率部15bは、外周壁7の外側から内側まで形成されるよりも、外周壁7の外側から外周壁7の途中まで高気孔率部15bが存在し、内側は他の部分と同じ気孔率となっている方がより好ましい。この場合、高気孔率部15bの深さは、八二カム構造体1の外周壁7の厚み7tに対し、10%以上90%以下の深さであることが好ましく、20%以上70%以下であることがさらに好ましい。

【0028】

また、高気孔率部15bは、軸方向9の一方の第一の端面2aから他方の第二の端面2bまで、八二カム構造体1の全長に形成されていることが好ましい。本実施形態では、図4に示すように、高気孔率部15bは、軸方向9に垂直な断面において90°間隔に4つ形成されている。高気孔率部15bは、軸方向9に垂直な断面において、対称の位置に形成されていることが好ましい。高気孔率部15bの気孔率は、八二カム構造体1の外周壁7の他の箇所と比べ、10%以上高いことが好ましく、50%以上高いことがさらに好ましい。このように他の箇所と比べ気孔率の高い高気孔率部15bを形成すると、その部分において亀裂が発生しやすくなる。亀裂を発生させることによって外周壁7に生じる熱応力を緩和させることができる。これによって外周壁7や隔壁4での歪みや割れの発生を抑えることができる。

【0029】

図5は、被覆部材11の内周側に、外周壁7を押圧する凸部15cが形成された実施形態を示す。被覆部材11の内周側に形成された凸部15cは、亀裂誘因部15である。凸部15cは、外周壁7を押圧し、これにより、外周壁7に亀裂が発生する。凸部15cは、八二カム構造体1の外周壁7に接触する部分が鋭利な形状になっていることが好ましい。また、作りやすさの観点から、凸部15cは、外周壁7を押圧する凸部の先端から、凸部でないところの被覆部材11の内周面までの距離(凸部15cの長さ15u)が大きくなりすぎないことが好ましく、その長さ15uは0.5mm以下が好ましい。

【0030】

八二カム構造体1の外形は、円筒状(円柱状)に限らず、軸(長手)方向9に垂直な断面が楕円形状、円弧が複合されたオーバル形状、四角形、またはその他の多角形の、角柱状であってもよい。隔壁4を有することにより、八二カム構造体1の内部を流通する流体からの熱を効率よく集熱し、伝達することができる。八二カム構造体1が円柱状の場合、その直径は、200mm以下であることが好ましく、100mm以下であることがさらに

10

20

30

40

50

好ましい。

【0031】

八ニカム構造体1の主成分は、セラミックスを主成分とすることが好ましい。ここで、セラミックスを主成分とするとは、セラミックスを50質量%以上含むことをいう。

【0032】

八ニカム構造体1は、耐熱性に優れるセラミックスを用いることが好ましく、特に伝熱性を考慮すると、熱伝導性が高いSiC(炭化珪素)が主成分であることが好ましい。なお、主成分が炭化珪素とは、50質量%以上が炭化珪素であることを意味する。

【0033】

ただし、必ずしも八ニカム構造体1の全体がSiC(炭化珪素)で構成されている必要はなく、SiC(炭化珪素)が本体中に含まれていれば良い。すなわち、八ニカム構造体1は、SiC(炭化珪素)を含むセラミックスからなるものであることが好ましい。

10

【0034】

なお、SiC(炭化珪素)であっても多孔体の場合は高い熱伝導率が得られないため、八ニカム構造体1の作製過程でシリコンを含浸させて緻密体構造とすることが好ましい。緻密体構造にすることで高い熱伝導率が得られる。例えば、SiC(炭化珪素)の多孔体の場合、 $20\text{ W}/(\text{ m}\cdot\text{ K})$ 程度であるが、緻密体とすることにより、 $150\text{ W}/(\text{ m}\cdot\text{ K})$ 程度とすることができる。

【0035】

八ニカム構造体1として、Si含浸SiC、(Si+Al)含浸SiC、金属複合SiC、再結晶SiC、 $\text{ Si}_3\text{ N}_4$ 、及びSiC等を採用することができるが、高い熱交換率を得るための緻密体構造とするためにSi含浸SiC、(Si+Al)含浸SiCを採用することができる。Si含浸SiCは、SiC粒子表面を金属珪素融体の凝固物が取り囲むとともに、金属珪素を介してSiCが一体に接合した構造を有するため、炭化珪素が酸素を含む雰囲気から遮断され、酸化から防止される。さらに、SiCは、熱伝導率が高く、放熱しやすいという特徴を有するが、Siを含浸するSiCは、高い熱伝導率や耐熱性を示しつつ、緻密に形成され、伝熱部材として十分な強度を示す。つまり、Si-SiC系(Si含浸SiC、(Si+Al)含浸SiC)材料からなる八ニカム構造体1は、耐熱性、耐熱衝撃性、耐酸化性をはじめ、酸やアルカリなどに対する耐蝕性に優れた特性を示すとともに、高熱伝導率を示す。

20

30

【0036】

八ニカム構造体1は、熱伝導率が $50\text{ W}/(\text{ m}\cdot\text{ K})$ 以上であることが好ましい。より好ましくは、 $100\sim 300\text{ W}/(\text{ m}\cdot\text{ K})$ 、さらに好ましくは、 $150\sim 300\text{ W}/(\text{ m}\cdot\text{ K})$ である。このような八ニカム構造体1は、熱伝導性が良好なため、熱交換部材10として好適である。熱伝導率の測定は、八ニカム構造体から切り出したテストピースに対して、光交流法で測定した熱拡散率、DSC(Differential Scanning Calorimetry: 示差走査熱量分析)法で測定した比熱、及びアルキメデス法で測定した密度、の値を用いて、室温における値を算出する。

【0037】

八ニカム構造体1のセル3の隔壁4の気孔率は、10%以下であることが好ましく、3%以下であることが好ましい。このような範囲とすることにより、熱伝導性を向上させることができる。

40

【0038】

八ニカム構造体1のセル3の隔壁4の密度は、 $0.5\sim 5\text{ g}/\text{ cm}^3$ であることが好ましい。 $0.5\text{ g}/\text{ cm}^3$ 以上の場合、隔壁4の強度が十分であり、第一の流体が流路内を通り抜ける際に圧力により隔壁4が破損することを防止できる。また、 $5\text{ g}/\text{ cm}^3$ 以下であると、八ニカム構造体1自体が重くなりすぎず、軽量化することができる。上記の範囲の密度とすることにより、八ニカム構造体1を強固なものとするすることができる。また、熱伝導率を向上させる効果も得られる。

【0039】

50

八ニカム構造体 1 のセル 3 の形状は、円形、楕円形、三角形、四角形、六角形、その他の多角形等の中から所望の形状を適宜選択すればよい。

【 0 0 4 0 】

また、八ニカム構造体 1 の 1 つ当たりのセル数は、16 ~ 10,000 が望ましく、50 ~ 2,000 が特に望ましい。セル数が多すぎると八ニカム自体が大きくなるため第一の流体側から第二の流体側までの熱伝導距離が長くなり、熱伝導ロスが大きくなり熱流束が小さくなる。またセル数が少ない時には第一の流体側の熱伝達面積が小さくなり第一の流体側の熱抵抗を下げることが出来ず熱流束が小さくなる。

【 0 0 4 1 】

八ニカム構造体 1 のセル 3 の隔壁 4 の厚さ（壁厚）についても、目的に応じて適宜設計すればよく、特に制限はない。壁厚を 0.1 ~ 1 mm とすることが好ましく、0.2 ~ 0.5 mm とすることが更に好ましい。壁厚を 0.1 mm 以上とすると、機械的強度が向上して衝撃や熱応力による破損を防止できる。一方、1 mm 以下とすると、八ニカム構造体 1 側に占めるセル容積の割合が大きくなることにより流体の圧力損失が小さくなり、熱交換率を向上させることができる。

【 0 0 4 2 】

八ニカム構造体 1 のセル密度（即ち、単位断面積当たりのセルの数）については特に制限はなく、八ニカム構造体 1 の構造強度の観点から、隔壁 4 の厚みに応じて適宜設計すればよい。八ニカム構造体 1 のアイソスタティック強度は、1 MPa 以上が好ましく、5 MPa 以上がさらに好ましい。

【 0 0 4 3 】

第一の流体（高温側）が排ガスの場合、第一の流体が通過する八ニカム構造体 1 のセル 3 内部の壁面には、触媒が担持されていることが好ましい。これは、排ガス浄化の役割に加えて、排ガス浄化の際に発生する反応熱（発熱反応）も熱交換することが可能になるためである。貴金属（白金、ロジウム、パラジウム、ルテニウム、インジウム、銀、及び金）、アルミニウム、ニッケル、ジルコニウム、チタン、セリウム、コバルト、マンガン、亜鉛、銅、スズ、鉄、ニオブ、マグネシウム、ランタン、サマリウム、ビスマス及びバリウムからなる群から選択された元素を少なくとも一種を含有すると良い。これらは金属、酸化物、及びそれ以外の化合物であっても良い。

【 0 0 4 4 】

第一の流体が通過する八ニカム構造体 1 の第一流体流通部 5 のセル 3 の隔壁 4 に担持される触媒（触媒金属 + 担持体）の担持量としては、10 ~ 400 g/L であることが好ましく、貴金属であれば 0.1 ~ 5 g/L であることが更に好ましい。触媒（触媒金属 + 担持体）の担持量を 10 g/L 以上とすると、触媒作用が十分に発現する。一方、400 g/L 以下とすると、圧力損失が大きくなりすぎず、製造コストの上昇も抑えることができる。

【 0 0 4 5 】

（被覆部材）

図 1 に示すように、八ニカム構造体 1 が被覆部材 11 に収容されていることにより、八ニカム構造体 1 を保護することができる。また、被覆部材 11 は、八ニカム構造体 1 の軸方向 9 の長さよりも長くすることが好ましい形態の一つである。このように構成すると、熱交換部材 10 の設置場所や用途に応じて、被覆部材 11 の端部を加工しやすい。ただし、図 2 B の実施形態に限られるものではなく、被覆部材 11 は、八ニカム構造体 1 の軸方向 9 の長さと同じでもよく、短くても良い。

【 0 0 4 6 】

被覆部材 11 としては、金属管 12、セラミックス管等が挙げられる。金属管 12 としては、耐熱性、耐蝕性のあるものが好ましく、例えば、SUS 管、銅管、真鍮管等を用いることができる。金属管 12 の外周面上を流通する第二の流体の温度のために、金属管 12 と八ニカム構造体 1 との熱膨張率の差により、八ニカム構造体 1 と金属管 12 との間の圧力が抜けてしまわないようにする必要がある。このため、常温時において、八ニカム構

10

20

30

40

50

造体 1 の外径よりも内径の小さい金属管 1 2 を用いて、これを嵌合させるとよい。

【 0 0 4 7 】

(中間材)

熱交換部材 1 0 は、八ニカム構造体 1 と被覆部材 1 1 (金属管 1 2 等) との間に挟み込まれた被覆部材 1 1 よりもヤング率が低い材質からなる中間材 1 3 を備えることが好ましい。図 4 は、中間材 1 3 を備える実施形態を示す。八ニカム構造体 1 とその外周側の被覆部材 1 1 との間に被覆部材 1 1 よりもヤング率が低い材質からなる中間材 1 3 を備えることにより、密着性が向上する。これにより、被覆部材 1 1 と八ニカム構造体 1 との間のシール性が良好となる。また、金属管 1 2 に振動が加わった際、中間材が衝撃を吸収し、八ニカム構造体 1 に衝撃が伝わりにくくなる。中間材 1 3 としては、断熱マット、グラファイトシートが挙げられる。なお、中間材 1 2 を備える実施形態は、図 4 に限定されない。

10

【 0 0 4 8 】

(熱交換部材の製造方法)

まず、八ニカム構造体 1 の製造方法を説明し、次に、被覆部材 1 1 と八ニカム構造体 1 との嵌合について説明する。なお、被覆部材 1 1 を金属管 1 2 として説明する。

【 0 0 4 9 】

まず、平均粒径の異なる S i C 粉末を混ぜ合わせて、S i C 粉末の混合物を調製する。この S i C 粉末の混合物に、バインダー、水を混ぜ合わせ、ニーダーを用いて混練することにより、混練物を得る。この混練物を真空土練機に投入し、円柱状の坏土を作製する。

【 0 0 5 0 】

20

次に、坏土を押出成形して八ニカム成形体を形成する。押出成形では、適当な形態の口金や治具を選択することにより、外周壁 7 の形状や厚さ、隔壁 4 の厚さ、セル 3 の形状、セル密度などを所望のものにすることができる。口金は、摩耗し難い超硬合金で作られたものを用いることが好ましい。八ニカム成形体については、外周壁 7 を円筒形状または四角柱形状とし、外周壁 7 の内部を隔壁 4 により四角形の格子状に区分された構造となるように形成する。また、これらの隔壁 4 については、互いに直交する方向のそれぞれで等間隔に並行し、かつ、真っすぐに外周壁 7 の内部を横切るように形成する。これにより、外周壁 7 の内部の最外周部以外にあるセル 3 の断面形状を正方形にすることができる。

【 0 0 5 1 】

次に、押出成形により得た八ニカム成形体の乾燥を行なう。まず、八ニカム成形体を電磁波加熱方式で乾燥し、続いて、外部加熱方式で乾燥を行なう。こうした二段階の乾燥により、乾燥前の八ニカム成形体に含まれる全水分量の 9 7 % 以上に相当する水分を八ニカム成形体から除去する。

30

【 0 0 5 2 】

八ニカム構造体 1 の外周壁 7 に凹部 1 5 a を有する実施形態の場合、八ニカム成形体に凹部 1 5 a を形成する。凹部 1 5 a は、八ニカム成形体の外周壁 7 に溝部を形成することによって形成することができる。なお、八ニカム構造体 1 の外周壁 7 に凹部 1 5 a を設ける方法としては、坏土を押出成形して八ニカム成形体を形成する際に、口金の該当部分に凸部を設けて押出成形する方法も挙げられる。

【 0 0 5 3 】

40

一方、八ニカム構造体 1 の外周壁 7 に高気孔率部 1 5 b を有する実施形態の場合、乾燥までは外周壁 7 に凹部 1 5 a を有する実施形態と同様である。乾燥後に該当部分を除去 (外周壁 7 に溝部を形成) し、除去した箇所に対して高気孔率部 1 5 b を形成するペースト原料を充填する。ペースト原料は、平均粒径の異なる S i C 粉末を混ぜ合わせた S i C 粉末混合物、バインダー、水で構成され、通常の原料に比べ、バインダー、水の分量が多めに設定する。その後の製造方法は、その他の実施形態と同じである。

【 0 0 5 4 】

次に、八ニカム成形体に対して窒素雰囲気中で脱脂を行なう。さらに、こうした脱脂により得られた八ニカム構造体 1 の上に金属 S i の塊を載せ、真空中または減圧の不活性ガス中で、焼成をする。この焼成中に、八ニカム構造体 1 の上に載せた金属 S i の塊を融解さ

50

せ、外周壁 7 や隔壁 4 に金属 Si を含浸させる。例えば、外周壁 7 や隔壁 4 の熱伝導率を $100\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ にする場合には、八ニカム構造体 100 質量部に対して 70 質量部の金属 Si の塊を使用する。また、外周壁 7 や隔壁 4 の熱伝導率を $150\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ にする場合には、八ニカム構造体 100 質量部に対して 80 質量部の金属 Si の塊を使用する。

【0055】

次に、上記のようにして製造した八ニカム構造体 1、及び金属管 12 の一体化の方法について説明する。なお、八ニカム構造体 1 の外周側に、中間材 13 を備えた後に、金属管 12 を八ニカム構造体 1 に嵌合させることが好ましい様態の一つである。

【0056】

まず、中間材 13 として用いる、例えば断熱マットを八ニカム構造体 1 の外周壁 7 の外周面に巻き付ける。このとき、接着剤を用いて貼り付けてもよい。続いて金属管 12 を高周波加熱機で 1000 程度まで昇温させる。そして、八ニカム構造体 1 を金属管 12 に挿入して嵌合により一体化し、熱交換部材 10 を形成することができる。

【0057】

(熱交換器)

図 6 に本発明の熱交換部材 10 を含む熱交換器 30 の斜視図を示す。図 6 に示すように、熱交換器 30 は、熱交換部材 10 と、熱交換部材 10 を内部に含むケーシング 21 によって形成されている。八ニカム構造体 1 のセル 3 が第一の流体が流通する第一流体流通部 5 となる。熱交換器 30 は、八ニカム構造体 1 のセル 3 内を、第二の流体よりも高温の第一の流体が流通するように構成されている。

【0058】

また、ケーシング 21 に第二の流体の入口 22 及び出口 23 が形成されており、第二の流体は、熱交換部材 10 の金属管 12 (被覆部材 11) の外周面 12h 上を流通する。つまり、ケーシング 21 の内側面 24 と金属管 12 の外周面 12h とによって第二流体流通部 6 が形成されている。第一の流体と第二の流体とは、完全に分離されており、これらの流体は混じり合わないよう構成されている。

【0059】

熱交換器 30 は、第二の流体よりも高温である第一の流体を流通させ、第一の流体から第二の流体へ熱伝導するようにすることが好ましい。第一の流体として気体を流通させ、第二の流体として液体を流通させると、第一の流体と第二の流体の熱交換を効率よく行うことができる。つまり、本発明の熱交換器 30 は、気体/液体熱交換器として適用することができる。

【0060】

以上のような構成の本発明の熱交換器 30 に流通させる第一の流体である加熱体は、熱を有する媒体であれば、気体、液体等、特に限定されない。例えば、気体であれば自動車の排ガス等が挙げられる。また、加熱体から熱を奪う(熱交換する)第二の流体である被加熱体は、加熱体よりも低い温度であれば、媒体としては、気体、液体等、特に限定されない。

【実施例】

【0061】

以下、本発明を実施例に基づいてさらに詳細に説明するが、本発明はこれらの実施例に限定されるものではない。

【0062】

(参考例 1)

(八ニカム構造体の製造)

Si 含浸 SiC 複合材料を主成分とする八ニカム構造体を、以下のように作製した。まず、所定量の SiC 粉末、バインダー、水又は有機溶媒などを混練した成形用原料を、所望の形状に押し出し、乾燥して八ニカム成形体を得た。

【0063】

10

20

30

40

50

得られた八ニカム成形体に対して、外周壁 7 の外周面 7 h 部分に亀裂誘因部 1 5 となる凹部 1 5 a を形成した。凹部 1 5 a は外周壁 7 に 8 箇所 (0、45、90、135、180、225、270、315°) とした (図 3 A 参照) 。

【 0 0 6 4 】

次いで、減圧の不活性ガス又は真空中で、八ニカム成形体中に金属 Si を含浸させた。このように作製した八ニカム構造体は、SiC 粒子の隙間に金属 Si が充填された緻密質の材料となっており、熱伝導が約 150 W / (m · K) と高い熱伝導性を示した。八ニカム構造体の形状は、直径 60 mm、長さ 12 mm で、セル構造部分は、隔壁の厚み約 0.5 mm、セルピッチ約 3.6 mm であった。

【 0 0 6 5 】

(被覆部材)

ステンレス製の被覆部材 1 1 を八ニカム構造体 1 の外周面 7 h に焼きばめにより嵌合させて熱交換部材 1 0 を製造した。

【 0 0 6 6 】

(ケーシング (流体回路の作製))

ステンレスからなるケーシング 2 1 に熱交換部材 1 0 を配置した (図 6 参照) 。

【 0 0 6 7 】

(耐熱試験)

第一の流体として 700、800、900、1000 の大気ガスを八ニカム構造体 1 のセル 3 中を通過させ、第二の流体として 20 の水をケーシング内の第二流体流通部 6 に流した。試験は第一の流体を 700 からステップアップすることにより実施した。試験後、八ニカム構造体 1 の割れ、破損有無を確認した。

【 0 0 6 8 】

(アイソスタティック強度の評価)

八ニカム構造体 1 (被覆部材 1 1 なし) の外周面に、厚さ 0.5 mm のウレタンゴム製のシートを巻き付けた。更に、八ニカム構造体 1 の両端面 2 に、円形のウレタンゴム製のシートを挟んで、厚さ 20 mm のアルミニウム製の円板を配置した。アルミニウム製の円板、及びウレタンゴム製のシートは、八ニカム構造体 1 の端面の半径と同じ半径のものを用いた。アルミニウム製の円板の外周に沿ってビニールテープで巻くことにより、アルミニウム製の円板の外周とウレタンゴム製のシートとの間を封止して、試験用サンプルとした。

【 0 0 6 9 】

作製した試験用サンプルを水の入った圧力容器に入れた。そして 0.3 ~ 3.0 MPa / 分の速度で圧力を上昇させて 30 MPa の静水圧を試験用サンプルにかけ、八ニカム構造体 1 の破壊及びクラックの発生を確認した。クラックの発生の有無は、試験中の破壊音の確認と、試験後に八ニカム構造体 1 の外観を目視することによって行った。

【 0 0 7 0 】

(比較例 1)

(八ニカム構造体の製造)

成形体に亀裂誘因部 1 5 (凹部 1 5 a 等) を形成する代わりに、図 7 A に示すように、外周壁 7 にスリット部 1 6 を形成した。スリット部 1 6 は、外周 8 箇所 (0、45、90、135、180、225、270、315°) とした。上記以外は、参考例 1 と同じ方法で八ニカム構造体を作製した。

【 0 0 7 1 】

被覆部材 1 1、ケーシング 2 1 (流体回路の作製)、耐熱試験、アイソスタティック強度は、参考例 1 と同じ手法で製作、評価した。

【 0 0 7 2 】

(比較例 2)

(八ニカム構造体の製造)

成形体に亀裂誘因部 1 5 (凹部 1 5 a 等) や、スリット部 1 6 を形成せず、図 7 B に示

10

20

30

40

50

すようなハニカム構造体 1 を作製した。上記以外は、参考例 1 と同じ方法でハニカム構造体 1 を作製した。

【 0 0 7 3 】

被覆部材 1 1、ケーシング 2 1（流体回路の作製）、耐熱試験、アイソスタティック強度は、参考例 1 と同じ手法で製作、評価した。

【 0 0 7 4 】

【 表 1 】

	耐熱試験						アイソスタティック強度
	700℃		800℃		900℃		
	破損有無	破損箇所・モード	破損有無	破損箇所・モード	破損有無	破損箇所・モード	
参考例1	無	-	無	-	有	亀裂発生起点のみの亀裂	30MPaまで破損無し
比較例1	無	-	無	-	無	-	25MPaで破損発生 (隔壁に亀裂)
比較例2	無	-	有	外周壁、隔壁に一部亀裂	有	外周壁、隔壁の一部が脱落	30MPaまで破損無し

10

20

30

40

【 0 0 7 5 】

(結果)

(耐熱試験)

参考例1ではセル3内を通過する第一の流体が900 の条件で亀裂発生が見られたが、比較例1と同様、隔壁4、外周壁7の脱落等は確認されなかった。一方、比較例2では

50

セル 3 内を通過する第一の流体が 7 0 0 の条件まで亀裂発生が見られなかったものの、8 0 0 の条件で隔壁 4、外周壁 7 の亀裂が確認され、9 0 0 の条件では一部の隔壁 4、外周壁 7 が脱落した。

【 0 0 7 6 】

(アイソスタティック強度の評価)

参考例 1、比較例 2 では 3 0 M P a 条件まで破損が見られなかったものの、比較例 1 では 2 5 M P a で内部の隔壁 4 に亀裂が発生する破損が確認された。

【 0 0 7 7 】

以上より、参考例 1 は、アイソスタティック強度が十分な上、耐熱試験においても隔壁 4、外周壁 7 の脱落等が確認されず、これらの性能が良好であった。

10

【産業上の利用可能性】

【 0 0 7 8 】

本発明の熱交換器は、加熱体（高温側）と被加熱体（低温側）で熱交換する用途であれば、特に限定されず、自動車分野、化学分野、製薬分野等に利用できる。特に、加熱体、被加熱体の双方が気体の場合に好適である。

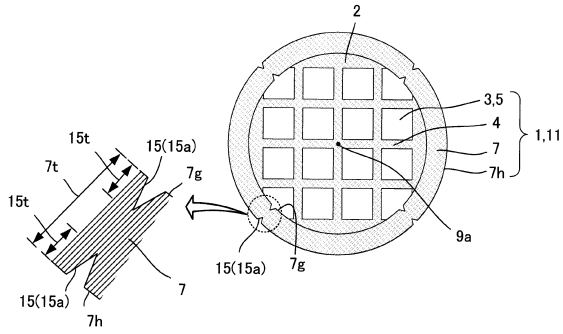
【符号の説明】

【 0 0 7 9 】

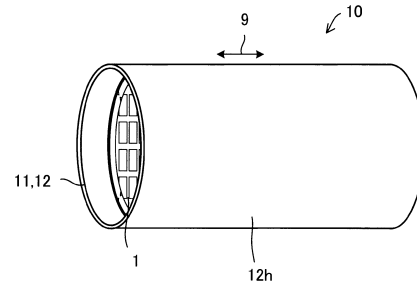
1 : ハニカム構造体、2 : (軸方向の) 端面、2 a : 第一の端面、2 b : 第二の端面、3 : セル、4 : 隔壁、5 : 第一流体流通部、6 : 第二流体流通部、7 : 外周壁、7 g : (ハニカム構造体の外周壁の) 内周面、7 h : (ハニカム構造体の外周壁の) 外周面、7 t : (外周壁の) 厚み、9 : 軸方向、9 a : 中心軸、1 0 : 熱交換部材、1 1 : 被覆部材、1 2 : 金属管、1 2 h : (金属管の) 外周面、1 3 : 中間材、1 5 : 亀裂誘因部、1 5 a : 凹部、1 5 b : 高気孔率部、1 5 c : 凸部、1 5 m : (凹部の) 底辺、1 5 n : (凹部の) 底辺以外の辺、1 5 t : (凹部の) 深さ、1 5 u : (凸部 1 5 の) 長さ、1 6 : スリット部、2 1 : ケーシング、2 2 : (第二の流体の) 入口、2 3 : (第二の流体の) 出口、2 4 : (ケーシングの) 内側面、3 0 : 熱交換器。

20

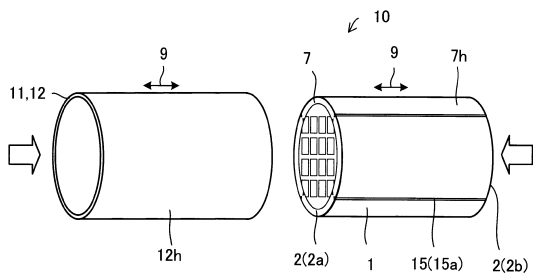
【図 1】



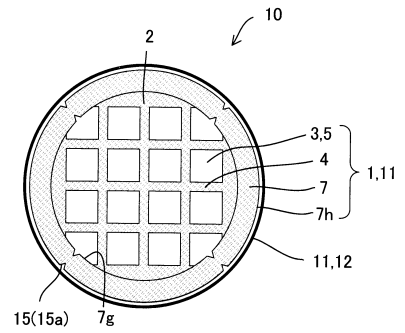
【図 2 B】



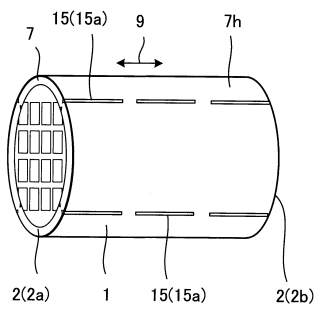
【図 2 A】



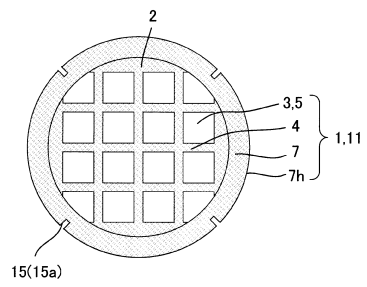
【図 2 C】



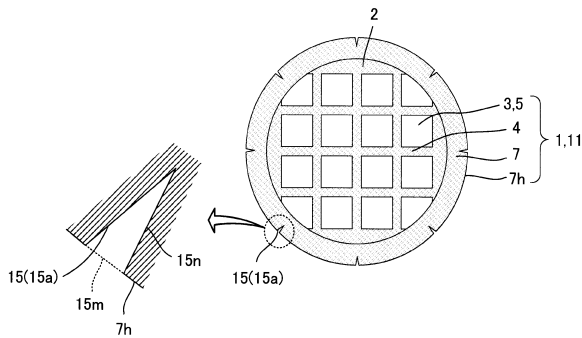
【図 2 D】



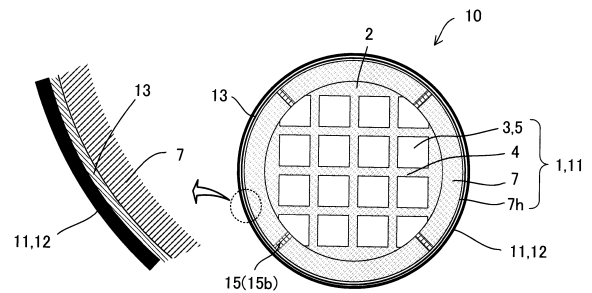
【図 3 B】



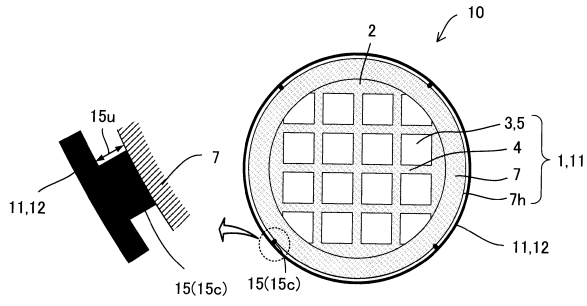
【図 3 A】



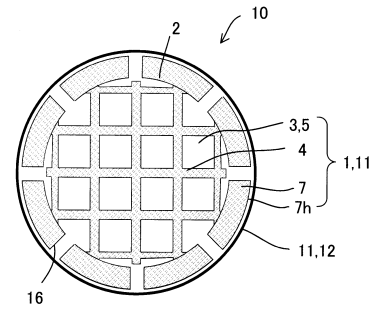
【図 4】



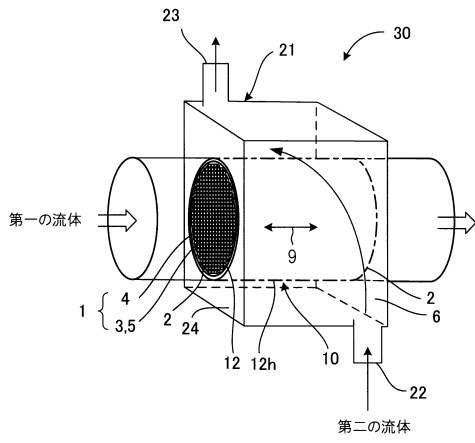
【図5】



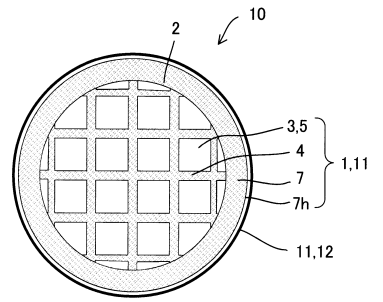
【図7A】



【図6】



【図7B】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.		F I			
B 2 8 B	11/08 (2006.01)	F 0 1 N	3/24		L
B 2 8 B	3/20 (2006.01)	B 2 8 B	11/08		
		B 2 8 B	3/20		E

(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 宮崎 誠
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 小原 一郎

(56)参考文献 国際公開第2013/002395(WO, A1)
実開昭53-051444(JP, U)
実開昭50-023348(JP, U)
特開2005-087805(JP, A)
特開2012-170935(JP, A)
特開2012-207845(JP, A)
国際公開第2011/071161(WO, A1)
特開平02-311349(JP, A)
特開平03-258347(JP, A)
米国特許出願公開第2010/0132928(US, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

F 2 8 D	1 / 0 0	-	1 1 / 0 8
F 2 8 F	1 / 0 0	-	2 7 / 0 2
F 0 1 N	3 / 0 0	-	9 / 0 0
B 0 1 J	2 1 / 0 0	-	3 8 / 7 4
B 2 8 B	3 / 2 0		
B 2 8 B	1 1 / 0 8		