(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2015 年 8 月 6 日(06.08.2015)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2015/115254 A1

(51) 国際特許分類:
F28F 21/04 (2006.01) *F28D 21/00* (2006.01)
C04B 38/00 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2015/051444

(22) 国際出願日: 2015 年 1 月 21 日(21.01.2015)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
特願 2014-014396 2014 年 1 月 29 日(29.01.2014) JP

(71) 出願人: イビデン株式会社 (IBIDEN CO., LTD.) [JP/JP]; 〒5038604 岐阜県大垣市神田町２丁目１番地 Gifu (JP).

(72) 発明者: 大石　真 (OISHI Shin); 〒5010695 岐阜県揖斐郡揖斐川町北方１－１イビデン株式会社大垣北事業場内 Gifu (JP). 高木　俊 (TAKAGI Takashi); 〒5010695 岐阜県揖斐郡揖斐川町北方１－１イビデン株式会社大垣北事業場内 Gifu (JP). 古賀　祥啓 (KOGA Yoshihiro); 〒5010695 岐阜県揖斐郡揖斐川町北方１－１イビデン株式会社大垣北事業場内 Gifu (JP). 久保　修一 (KUBO Syuichi); 〒5010695 岐阜県揖斐郡揖斐川町北方１－１イビデン株式会社大垣北事業場内 Gifu (JP).

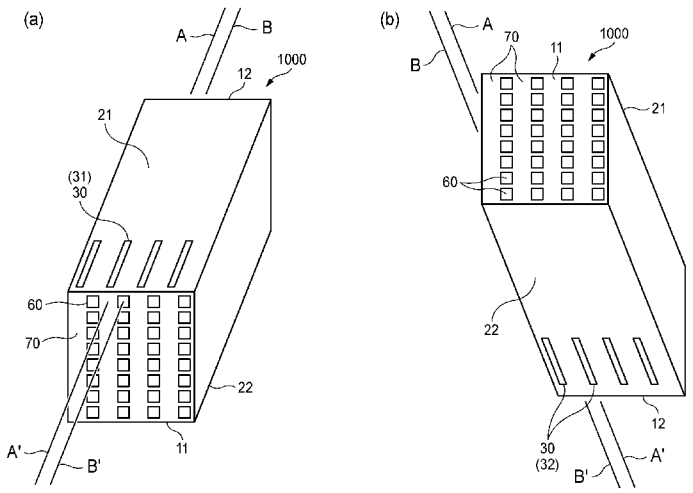
(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:
— 国際調査報告（条約第 21 条(3)）

(54) **Title**: HEAT EXCHANGER

(54) 発明の名称 : 熱交換器



(57) **Abstract**: Provided is a heat exchanger for which a new function can be imparted to a honeycomb structure, and the flow of a new fluid can be handled. This heat exchanger (1000) comprises a honeycomb structure having: first spaces (41), comprising first flow paths and pairs of connecting holes (30) extending from first apertures (31) to second apertures (32); and second spaces (42), comprising second flow paths isolated by the first flow paths and inner walls (50). Pairs of first virtual lines, which connect the mid-points of the short sides of the first apertures (31) and the second apertures (32) farther away from sealed parts, are straight lines that are parallel to each other. Pairs of second virtual lines, which connect the midpoints of the short sides of the first apertures (31) and the second apertures (32) closer to the sealed parts, are straight lines that are perpendicular to a first side wall and intersect the first virtual lines in the first side wall or a second side wall.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2015/115254 A1

ハニカム構造体に新しい機能を付与し、新しい流体の流れを扱うことのできるハニカム構造体からなる熱交換器を提供する。　ハニカム構造体からなる熱交換器１０００は、第１の流路と、第１の開口３１から第２の開口３２に延びる一対の接続孔３０と、からなる第１の空間４１と、第１の流路と内壁５０で隔離された第２の流路からなる第２の空間４２と、を有する。第１の開口３１および第２の開口３２の封止部に遠い側の短辺の中点を結ぶ一対の第１仮想線は、互いに平行な直線である。第１の開口および第２の開口の封止部に近い側の短辺の中点を結ぶ一対の第２仮想線は、第１側壁に対し垂直であるとともに第１側壁または第２側壁の中で前記第１仮想線と交差する直線である。

明　細　書

発明の名称 ： 熱交換器

技術分野

[0001] 本発明は、セラミック製のハニカム構造体からなる熱交換器に関する。

背景技術

[0002] ハニカム構造体は、内部が内壁によって仕切られた多数の流路で構成されている。ハニカム構造体の流路を流体が通過する際に、内壁を介して熱、物質などを移動させることができるので、熱交換器として広く利用されている。

[0003] 中でもセラミック製のハニカム構造体は、耐熱性、化学的安定性に優れるので、高い温度、腐食性環境下で使用される熱交換器に用いられている。

特許文献１には、内側を貫流する流体と外側に存在する流体との間で熱量の交換を行わせる多孔質炭化珪素焼結体製のエレメントを備えた高温用熱交換器であって、前記エレメントは長手方向に延びた複数のセルを有するハニカム構造体であることを特徴とした高温用熱交換器が記載されている。

このようなハニカム構造体を用いた熱交換器によれば強度に優れると共に、温度の異なる流体間での熱量の交換を効率良く行わせることができることが記載されている。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開平６－３４５５５５号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] セラミックがハニカム構造体に用いられるのは、材料を構成する原子が共有結合で強く結合し、高強度、耐熱性、耐腐食性を有しているからである。一方、このような共有結合の特長によって、セラミック材料は、硬く、脆い材料となる。

このため、セラミック製のハニカム構造体は、押出成形など単純な成形方法によって製造され、一方向に流路が並んだ単純な形状である。このような形状であるため、ハニカム構造体を適用する部品は一方向に並んだ流路を前提に設計され、ハニカム構造体を用いた熱交換器の設計の自由度は小さい。

[0006] 本発明では、このような従来のセラミック製のハニカム構造体からなる熱交換器の適用範囲を超え、ハニカム構造体に新しい機能を付与し、新しい流体の流れを扱うことのできるハニカム構造体からなる熱交換器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

[0007] 前記課題を解決するための本発明の熱交換器は、少なくとも第１端面と第２端面と第１側壁と第２側壁とを有するセラミック製のハニカム構造体からなる熱交換器であって、前記ハニカム構造体は内壁によって仕切られ前記第１端面から前記第２端面に延びる両端が封止部によって封孔された第１の流路と、両端が開放した第２の流路と、を有し、前記第１の流路および前記第２の流路は、それぞれ前記第１側壁から前記第２側壁に向かって並ぶ列を構成するとともに、交互に配置される列となって構成される熱交換器において、前記ハニカム構造体は、前記第１の流路と、前記第１側壁の前記第１端面側および前記第２側壁の前記第２端面側にそれぞれ形成された長方形の第１の開口から前記内壁に形成された長方形の第２の開口に延びる一対の接続孔と、からなる第１の空間と、前記第１の流路と前記内壁で隔離された第２の流路とからなる第２の空間と、を有し、前記第１の開口および前記第２の開口の前記封止部に遠い側の短辺の中点を結ぶ一対の第１仮想線は、互いに平行な直線であり、前記第１の開口および前記第２の開口の前記封止部に近い側の短辺の中点を結ぶ一対の第２仮想線は、前記第１側壁に垂直であるとともに第１側壁または前記第２側壁の中で前記第１仮想線と交差する直線である。

[0008] 本発明のハニカム構造体からなる熱交換器によれば、従来の一方向に流路の延びたハニカム構造体とは異なり、ハニカム構造体を横切る方向に流体の

流れをつくることができる。また、このようなハニカム構造体は、第１の開口および第１の開口の内側に第２の開口が形成されているので、最外周に位置する第１の流路のみならず、内側の第１の流路にも流体の流れをつくることができる。また、第２の開口は第１の開口に対向する位置に形成されているので、第２の開口の内側の第１の流路との流体の移動を最短距離で行うことができ、効率良く流体が流れることができる熱交換器を提供することができる。

[0009] また、本発明の熱交換器は、セラミックからなるので、耐熱性、耐蝕性を備え、高強度であるので、高温環境下あるいは腐食性環境下など過酷な環境下でも流体を扱うことができる。

さらに、本発明の熱交換器は、第１の空間が、第１端面および第２端面にそれぞれ封止部を有することによって、第１の空間に第１端面および第２端面側からの流体の侵入を防止することができる。さらに第１の空間は、第２の空間と内壁によって隔てられるため、第１の空間を流れる流体（第１の流体）と第２の空間を流れる流体（第２の流体）とが直接接することない。このため、内壁に伝熱、濾過などの機能を保有させることができる。

[0010] 本発明の熱交換器は、第１の空間に一対の接続孔を有することにより、一対の接続孔が、第１の空間を流れる流体の入口と出口となることができる。第１の空間に一対の接続孔により入口と出口を設けることによって、第１の空間を流れる流体（第１の流体）を連続的に使用することができる。

[0011] また、第１の空間に一対の接続孔を有することにより、内壁を通過する熱量を大きくする効果もある。第１の空間と第２の空間を隔てる内壁を通過する熱量は、第１の空間と第２の空間の温度差に比例する。第１の空間を流れる流体に入口から入り出口への流れを形成することにより、常に新しい第１の流体を供給し、内壁に温度差が生させ移動する熱量を大きくすることができる。

[0012] 本発明の熱交換器は、接続孔を第１側壁および第２側壁にそれぞれ有することにより、入口と出口を結ぶ第１の流体の流れる距離が、どの第１の流路

を通っても同等にすることができる。このため、内壁全体に第１の流体を行き渡らせることができるので効率良く熱移動または物質移動のできる熱交換器を提供することができる。

[0013] 本発明の熱交換器は、第１の空間および第２の空間が前記第１側壁または前記第２側壁が交互に面していることにより、ハニカム構造体の流路を横切る方向への流れを交互の流路に配置することができる。このため、第２の流路に沿って流れる流体（第２の流体）と、流路を横切る方向に流れる第１の流体（第１の流体）を隔てる内壁の面積を大きくとることができる。

[0014] 本発明の熱交換器は、第１の開口および第２の開口の形状が流路の方向に長い長方形である。第１の開口および第２の開口であるので、細長い流路に圧力損失を少なくしながら効率良く流体を出し入れすることができる。

[0015] 本発明の熱交換器は、第１の開口および第２の開口の封止部に遠い側の短辺の中点を結ぶ一対の第１仮想線は、互いに平行な直線であり、第１の開口および第２の開口の封止部に近い側の短辺の中点を結ぶ一対の第２仮想線は第１側壁に対し垂直であるとともに第１側壁または前記第２側壁の中で前記第１仮想線と交差する直線であるので、第１の開口および第２の開口によって形成される接続孔の流路に沿った深さ方向への断面は、第１の開口の封止部に近い角が直角である直角三角形となる。接続孔が底に近いほど狭くなるので、接続孔の底部で流体が停滞する部分ができにくいので効率良く流体を流すことができる。また、第１の開口および第２の開口の封止部に近い側の短辺の中点を結ぶ一対の第２仮想線は、第１側壁に対し垂直であるので、接続孔を第１端部または第２端部に近づけることができ、流体の流れにくい無駄な第１の流路を小さくすることができる。

[0016] さらに、本発明のハニカム構造体は、以下の態様であることが望ましい。

（１）前記第１側壁または前記第２側壁に対する前記第１仮想線の傾斜角θが３５度～５０度である。

傾斜角θが５０度以下であると、第一の流体の圧力損失を小さくすることができ、傾斜角が３５度以上であると、流路の長さを大きくとることができ

、熱交換効率を高めることができる。

[0017] （２）前記接続孔は、５層以上の前記第２の開口が積み重なっていることを特徴とする請求項２または請求項２に記載の熱交換器。

本発明の熱交換器は、５層以上の第２の開口を積み重ねることによって第１側壁側から数えて６個目の流路に第１の流体を供給することができる。このような構成にすることによって、第１の空間と第２の空間を隔てる内壁の面積を大きくすることができる。

[0018] （３）前記接続孔は、１０層以上の前記第２の開口が積み重なっている。

本発明の熱交換器は、１０層以上の第２の開口を積み重ねることによって第１側壁側から数えて１１個目の流路に第１の流体を供給することができる。このような構成にすることによって、第１の空間と第２の空間を隔てる内壁の面積をさらに大きくすることができる。

[0019] （４）前記セラミックは、炭化珪素、シリコン含浸した炭化珪素、アルミナ、コージェライト、窒化珪素、窒化アルミニウムまたはジルコニアのいずれかよりなる。

本発明の熱交換器は、炭化珪素、シリコン含浸した炭化珪素、アルミナ、コージェライト、窒化珪素、窒化アルミニウムまたはジルコニアのいずれかよりなることにより、耐熱性、耐食性を備え、高強度な熱交換器を提供することができる。

発明の効果

[0020] 本発明によれば、熱交換器を構成するハニカム構造体の内壁によって形成される流路のみならず、流路を横切る方向に流体の流れを引き出すことができるので、従来のセラミック製のハニカム構造体からなる熱交換器にない新しい機能を付与することができる。また、接続孔は流体の停滞する部分ができにくい形状であるので、効率良く熱交換することができる。

図面の簡単な説明

[0021] [図1]本発明に係る第１実施形態の熱交換器の斜視図であり、（ａ）は上方（第１側面側）から見た斜視図、（ｂ）は下方（第２側面側）から見た斜視図

である。

[図2]本発明に係る第１実施形態の熱交換器の断面図であり、（ａ）は図１（ａ）および（ｂ）におけるＡ－Ａ’位置の断面図、（ｂ）は図１（ａ）および（ｂ）におけるＢ－Ｂ’位置の断面図である。

[図3]（ａ）、（ｂ）、（ｃ）は図１の断面図である図２の切断位置および切断方向を詳しく示す説明図である。

[図4]（ａ）および（ｂ）は本発明に係る熱交換器の接続孔の製造方法の一例を示す説明図である。

[図5]本発明に係る熱交換器の接続孔の製造方法の別の例を示す説明図である。

[図6]本発明に係る熱交換器の接続孔を、レーザー光によって製造する方法の一例を示す説明図であり、（ａ）は流路内に曲面を有する光透過性のある棒が挿入されている場合、（ｂ）は流路内に失透ガラスが挿入されている場合、（ｃ）は流路内に水が入れられている場合である。

[図7]本発明に係るハニカム構造体よりなる熱交換器の接続孔を、水流（ウォータージェット）によって導かれたレーザー光によって製造する方法の一例を示す説明図であり、（ａ）は流路内に曲面を有する光透過性のある棒が挿入されている場合、（ｂ）は流路内に失透ガラスが挿入されている場合、（ｃ）は流路内に水が入れられている場合である。

[図8]（ａ）は本発明に係る実施例のハニカム構造体よりなる熱交換器の外観写真であり、（ｂ）はその説明図である。

[図9]傾斜角θと熱交換効率比の関係を示すグラフである。

[図10]傾斜角θと圧力損失比の関係を示すグラフである。

発明を実施するための形態

[0022] 本明細書において、ハニカム構造体の断面は、流路に沿って接続孔の深さ方向に切断された断面を示す。例えば、図３（ａ）、（ｂ）に図１の断面図である図２の切断位置が詳しく記載されている。

本発明の熱交換器のハニカム構造体は、第１端面から第２端面に向かって

第１の流路および第２の流路が延びている。また、ハニカム構造体の側面は、第１側壁と第２側壁を有し、第２側壁は、第１側壁の反対に位置する。

[0023] 本発明の熱交換器は、少なくとも第１端面と第２端面と第１側壁と第２側壁とを有するセラミック製のハニカム構造体からなる熱交換器であって、前記ハニカム構造体は内壁によって仕切られ前記第１端面から前記第２端面に延びる両端が封止部によって封孔された第１の流路と、両端が開放した第２の流路と、を有し、前記第１の流路および前記第２の流路は、それぞれ前記第１側壁から前記第２側壁に向かって並ぶ列を構成するとともに、交互に配置される列となって構成される熱交換器において、前記ハニカム構造体は、前記第１の流路と、前記第１側壁の前記第１端面側および前記第２側壁の前記第２端面側にそれぞれ形成された長方形の第１の開口から前記内壁に形成された長方形の第２の開口に延びる一対の接続孔と、からなる第１の空間と、前記第１の流路と前記内壁で隔離された第２の流路とからなる第２の空間と、を有し、前記第１の開口および前記第２の開口の前記封止部に遠い側の短辺の中点を結ぶ一対の第１仮想線は、互いに平行な直線であり、前記第１の開口および前記第２の開口の前記封止部に近い側の短辺の中点を結ぶ一対の第２仮想線は、前記第１側壁に垂直であるとともに第１側壁または前記第２側壁の中で前記第１仮想線と交差する直線である。

[0024] 本発明のハニカム構造体からなる熱交換器によれば、従来の一方向に流路の延びたハニカム構造体とは異なり、ハニカム構造体を横切る方向に流体の流れをつくることができる。また、このようなハニカム構造体は、第１の開口および第１の開口の内側に第２の開口が形成されているので、最外周に位置する第１の流路のみならず、内側の第１の流路にも流体の流れをつくることができる。また、第２の開口は第１の開口に対向する位置に形成されているので、第２の開口の内側の第１の流路との流体の移動を最短距離で行うことができ、効率良く流体が流れることができる熱交換器を提供することができる。

[0025] また、本発明の熱交換器は、セラミックからなるので、耐熱性、耐蝕性を

備え、高強度であるので、高温環境下あるいは腐食性環境下など過酷な環境下でも流体を扱うことができる。

さらに、本発明の熱交換器は、第１の空間が、第１端面および第２端面にそれぞれ封止部を有することによって、第１の空間に第１端面および第２端面側からの流体の侵入を防止することができる。さらに第１の空間は、第２の空間と内壁によって隔てられるため、第１の空間を流れる流体（第１の流体）と第２の空間を流れる流体（第２の流体）とが直接接することない。このため、内壁に伝熱、濾過などの機能を保有させることができる。

[0026] 本発明の熱交換器は、第１の空間に一対の接続孔を有することにより、一対の接続孔が、第１の空間を流れる流体の入口と出口となることができる。第１の空間に一対の接続孔により入口と出口を設けることによって、第１の空間を流れる流体（第１の流体）を連続的に使用することができる。

[0027] また、第１の空間に一対の接続孔を有することにより、内壁を通過する熱量を大きくする効果もある。第１の空間と第２の空間を隔てる内壁を通過する熱量は、第１の空間と第２の空間の温度差に比例する。第１の空間を流れる流体に入口から入り出口への流れを形成することにより、常に新しい第１の流体を供給し、内壁に温度差が生させ移動する熱量を大きくすることができる。

[0028] 本発明の熱交換器は、接続孔を第１側壁および第２側壁にそれぞれ有することにより、入口と出口を結ぶ第１の流体の流れる距離が、どの第１の流路を通っても同等にすることができる。このため、内壁全体に第１の流体を行き渡らせることができるので効率良く熱移動または物質移動のできる熱交換器を提供することができる。

[0029] 本発明の熱交換器は、第１の空間および第２の空間が前記第１側壁または前記第２側壁が交互に面していることにより、ハニカム構造体の流路を横切る方向への流れを交互の流路に配置することができる。このため、第２の流路に沿って流れる流体（第２の流体）と、流路を横切る方向に流れる第１の流体（第１の流体）を隔てる内壁の面積を大きくとることができる。

[0030] 本発明の熱交換器は、第１の開口および第２の開口の形状が流路の方向に長い長方形である。第１の開口および第２の開口であるので、細長い流路に圧力損失を少なくしながら効率良く流体を出し入れすることができる。

[0031] 本発明の熱交換器は、第１の開口および第２の開口の封止部に遠い側の短辺の中点を結ぶ一対の第１仮想線は、互いに平行な直線であり、第１の開口および第２の開口の封止部に近い側の短辺の中点を結ぶ一対の第２仮想線は第１側壁に対し垂直であるとともに第１側壁または前記第２側壁の中で前記第１仮想線と交差する直線であるので、第１の開口および第２の開口によって形成される接続孔の流路に沿った深さ方向への断面は、第１の開口の封止部に近い角が直角である直角三角形となる。接続孔が底に近いほど狭くなるので、接続孔の底部で流体が停滞する部分ができにくいので効率良く流体を流すことができる。また、第１の開口および第２の開口の封止部に近い側の短辺の中点を結ぶ一対の第２仮想線は、第１側壁に対し垂直であるので、接続孔を第１端部または第２端部に近づけることができ、流体の流れにくい熱交換に寄与しにくい第１の流路を小さくすることができる。

[0032] さらに、本発明のハニカム構造体は、以下の態様であることが望ましい。

（１）前記第１側壁または前記第２側壁に対する前記第１仮想線の傾斜角θが３５度～５０度である。

傾斜角θが５０度以下であると、第一の流体の圧力損失を小さくすることができ、傾斜角が３５度以上であると、流路の長さを大きくとることができ、熱交換効率を高めることができる。

[0033] （２）前記接続孔は、５層以上の前記第２の開口が積み重なっていることを特徴とする請求項２または請求項２に記載の熱交換器。

本発明の熱交換器は、５層以上の第２の開口を積み重ねることによって第１側壁側から数えて６個目の流路に第１の流体を供給することができる。このような構成にすることによって、第１の空間と第２の空間を隔てる内壁の面積を大きくすることができる。

[0034] （３）前記接続孔は、１０層以上の前記第２の開口が積み重なっている。

本発明の熱交換器は、１０層以上の第２の開口を積み重ねることによって第１側壁側から数えて１１個目の流路に第１の流体を供給することができる。このような構成にすることによって、第１の空間と第２の空間を隔てる内壁の面積をさらに大きくすることができる。

[0035] （４）前記セラミックは、炭化珪素、シリコン含浸した炭化珪素、アルミナ、コージェライト、窒化珪素、窒化アルミニウムまたはジルコニアのいずれかよりなる。

本発明の熱交換器は、炭化珪素、シリコン含浸した炭化珪素、アルミナ、コージェライト、窒化珪素、窒化アルミニウムまたはジルコニアのいずれかよりなることにより、耐熱性、耐食性を備え、高強度な熱交換器を提供することができる。

[0036] 本発明の熱交換器は、ハニカム状のセラミックの第１側壁または第２側壁に接続孔を形成することにより得ることができる。第１および第２の開口を形成することにより得ることができる。ハニカム状のセラミックに第１側壁または第２側壁にレーザー加工によって接続孔を形成することができる。レーザー加工に用いるレーザー加工機は特に限定されない。広く使用される高出力のレーザー光を用いることによってハニカム状のセラミックを加工することができる。レーザー加工機のレーザー光の波長、出力は、ハニカム状のセラミックに応じて適宜選択することができる。

[0037] また、近年利用されるようになったウォータージェットの水流を併用したレーザー加工機を利用するとより効率良く加工することができる。ウォータージェットの水流を併用したレーザー加工法は、ウォータージェットの水流中にレーザー光を導き、全反射させながら加工点に導くことができ、レーザー光が拡散することなく、細い水流中を通過するので、焦点の深度が深く、レーザー光だけの加工機よりも高い加工性能を有している。

[0038] 本発明の熱交換器は、高い加工性能のウォータージェットの水流を併用したレーザー加工機を用いて、接続孔の底を貫通させることなく加工することによって得ることができる。

接続孔の底を残して加工するには、レーザー光を所定の箇所で散乱させ、光エネルギーを分散させることにより実現できる。所定の箇所に光拡散媒体を挿入することによりそれより下側ではレーザー光が弱められ、加工することができない。光拡散媒体は光を分散させることができれば特に限定されない。例えば、ガラス棒などの曲面を有する光透過性のある棒、失透ガラス、気泡を内部に有するガラス、水などが利用できる。光透過性のある物質は、レーザー光で加熱されることがない上に、曲面で光が散乱されるので、レーザー光の加工の能力を低下させることができ、貫通させることなく接続孔の底を残して加工することができる。

[0039] また、失透ガラスは、表面が曲面でなくても内部が相分離しているので、光が散乱しやすく、レーザー光の加工の能力を低下させることができ、貫通させることなく底を形成することができる。また、水を所定の箇所に充填することにより接続孔の底を残して加工することができる。水を充填すると、ウォータージェットの水流との混合および加工により加熱された水の沸騰により、大量の気泡を発生させる。このため、充填された水の中でレーザー光が急速に減衰し、接続孔の底を残して加工することができる。なお、水を充填していない場合でも、レーザー光とともに水流によって水が供給されるが、水流に用いられる水は量が少なくレーザー光がセラミックを加工する箇所（加工点）近傍で速やか飛散するので、レーザー光を弱めるほど区間に気泡を形成することができない。

[0040] 本発明の熱交換器は、様々な接続孔の変形例があるが、形状に応じてレーザー光を、傾斜させたり、走査することにより加工することができる。

[0041] また、レーザー光を走査しながら加工する際に、それぞれの流路に挿入する光拡散媒体の長さを適宜変更することにより目的の形状の接続孔を形成することもできる。

本発明の熱交換器の封止部はどのように形成してもよく特に限定されない。例えば内壁を構成する材料と同じセラミック材料からなる栓を挿入してもよい。例えば、ハニカム構造体が炭化珪素、窒化珪素、シリコン含浸した炭

化珪素からなる場合は、シリコンの粉末を接着材として栓に塗布したのち、焼成しても良い。シリコンが溶融し、接着材として機能する。

また、例えば、無機バインダと有機バインダと無機粒子の混合したペーストを注入し、焼成することによって得ることもできる。無機バインダは、アルミナゾル、シリカゾルなどが利用でき、有機バインダは、ポリビニールアルコール、フェノール樹脂などが利用でき、無機粒子は炭化珪素、アルミナ、コージェライト、窒化珪素、窒化アルミニウム、ジルコニアなどが利用できる。

[0042] 次に、本発明の第１実施形態について、説明する。第１実施形態は、以下の構成の熱交換器である。

＜第１実施形態＞

第１側壁における第１端面および第２端面の一方の端面側および第２側壁における他方の端面側に第１の開口および第２の開口からなる接続孔を各々設ける。第１の開口は、封止部から長手方向内側に向かってスリット状に設けられた長方形の開口である。そして、第１の開口は第２の開口よりも長く、複数の第２の開口が第１の開口に向かって順に長くなるように接続孔を設ける。このとき、接続孔の底は、第１側壁又は第２側壁まで達している。

これにより、第１の開口および第２の開口の封止部に遠い側の短辺の中点を結ぶ一対の第１仮想線は、互いに平行な直線であり、第１の開口および第２の開口の封止部に近い側の短辺の中点を結ぶ一対の第２仮想線は、第１側壁に対し垂直であるとともに第１側壁または前記第２側壁の中で前記第１仮想線と交差する直線であるように配置される。

[0043] 第１実施形態の熱交換器について、図を用いながら説明する。

図１（ａ）は本発明に係る第１実施形態の熱交換器を上方（第１側壁側）から見た斜視図であり、（ｂ）は下方（第２側壁側）から見た斜視図である。図２（ａ）は図１（ａ）および（ｂ）におけるＡ－Ａ’位置の断面図であり、図２（ｂ）は図１（ａ）および（ｂ）におけるＢ－Ｂ’位置の断面図である。図９は、傾斜角と熱交換効率比の関係を示すグラフである。また、図

１０は、傾斜角と圧力損失比の関係を示すグラフである。いずれも傾斜角４５°の時の値を基準とし偏差を％表示している。

[0044] 図１（ａ）および（ｂ）に示すように、第１側壁２１における第１端面１１および第２端面１２の一方の端面側および第２側壁２２における他方の端面側に第１の開口３１を各々設ける。

例えば、第１側壁２１における第１端面１１側端部に、接続孔３０の第１の開口３１を設けるとともに、第２側壁２２における第２端面１２側端部にも接続孔３０の第１の開口３１を設ける。

熱交換器（１０００）には、例えば、８列×８行の６４の流路６０が設けられており、第１端面１１における図１中左側から１列目、３列目、５列目および７列目には、封止部７０が設けられている。第２端面１２においても同様に、１列目、３列目、５列目および７列目に、封止部７０が設けられている。

[0045] 図２（ａ）に示すように、第１側壁２１および第２側壁２２に設けられている接続孔３０は、封止部７０が設けられている列に位置する。

第１の開口３１は、封止部７０から長手方向内側にスリット状に設けられた長方形の開口である。そして、第１の開口３１は第２の開口３２よりも長く、複数の第２の開口３２は、第１の開口３１に向かって順に長くなるように設けられている。このとき、接続孔３０の底は、第１側壁２１又は第２側壁２２まで達している。

[0046] これにより、第１の開口３１および第２の開口３２の封止部７０に遠い側の短辺の中点を結ぶ一対の第１仮想線は、互いに平行な直線であり、第１の開口３１および第２の開口３２の封止部７０に近い側の短辺の中点を結ぶ一対の第２仮想線は、第１側壁２１に対し垂直であるとともに第１側壁２１または第２側壁２２の中で第１仮想線と交差する直線であるように配置される。

[0047] 従って、第１端面１１側の三角柱形状の領域Ｒ１（Ｒ）、流路６０および第２端面１２側の三角形状の領域Ｒ２（Ｒ）により、クランク形状の第１の

空間４１が形成される。これにより、流体は、第１の空間４１を通ってクランク状に流れる。

ここで、第１側壁２１または第２側壁２２に対する第１仮想線なす角を傾斜角θと云う。傾斜角θは、後述するように、３５度～５０度が望ましい。ハニカム構造体は直方体であるので第１側壁２１および第２側壁２２は平行である。

[0048] なお、接続孔３０が設けられていない断面では、図２（ｂ）に示すように、複数の流路６０により、第２の空間４２が形成される。

第２の空間４２では、流路６０は、第１の端面１１および第２の端面１２において、開口しており、第２の空間４２を流れる流体は直線状に流れる。

[0049] 図９には、傾斜角θと熱交換効率比の関係を示すグラフが示されている。なお、図９においては、５０ｍｍ×５０ｍｍで、長さが２１０ｍｍで、１０ｍｉｌ、３００ｃｐｓｉのハニカム構造体１０００（熱交換器）を対象とする。また、横軸は傾斜角θ（度）、縦軸は熱交換効率比である。熱交換効率比とは傾斜角４５°の時の熱交換効率を基準とし偏差を％表示している。

図１０には、傾斜角θと圧力損失比の関係を示すグラフが示されている。なお、図９においては、５０ｍｍ×５０ｍｍで、長さが２１０ｍｍで、１０ｍｉｌ、３００ｃｐｓｉのハニカム構造体１０００（熱交換器）を対象とする。また、横軸は傾斜角θ（度）、縦軸は圧力損失比である。圧力損失比とは傾斜角４５°の時の圧力損失を基準とし偏差を％表示している。

[0050] なお、このときの条件は、流体が層流として流れる条件を想定している。このため、層流として流体が流れている限りはこの傾向に変化はなく、ピーク位置、傾きの正負は変わらない。本発明に係る構成の熱交換器においては流路におけるレイノルズ数が２３００以下であれば流体が層流として流れることができる。

[0051] 図９、図１０に示すように、傾斜角θが２０度では、傾斜角θが３５度～５０度の場合に比べて、圧力損失は小さいが、熱交換効率が低い。また、傾斜角θが６０度では、傾斜角θが３５度～５０度の場合に比べて、圧力損失

が大きく、熱交換効率が低い。

以上の結果から、傾斜角θは、３５度～５０度であることが望ましい。さらに、傾斜角θは４０～４５度であることが一層望ましい。

[0052] 次に、第１の空間４１を形成する方法について説明する。なお、図２（ａ）中、左側の三角柱形状の領域Ｒ１と、右側の領域Ｒ２は、ハニカム構造体１０００（熱交換器）の中心に対して点対称と考えられるので、同じ方法で加工することができる。従って、左側の領域Ｒ１について説明する。

領域Ｒ１の形成には、図４（ａ）、（ｂ）あるいは図５の形成方法を用いることができる。すなわち、図４（ａ）、（ｂ）に示すように光拡散媒体９０を第１の流路に挿入し、レーザー光を用いて加工することにより図１０に示したように、光拡散媒体９０の挿入する長さを適宜変えることによって三角柱形状の接続孔３０を得ることができる。あるいは、レーザー光８０を適宜傾斜させながら走査することにより、三角柱形状の接続孔３０を得ることができる。

[0053] 光拡散媒体９０を用いてレーザー光８０を遮断することにより、領域Ｒ１を形成する方法として、以下のものが適用できる。

図６（ａ）、図７（ａ）は、光拡散媒体９０にガラス棒９１を用いた場合であり、ガラスの凸面によるレーザー光８０の拡散によってレーザー光８０を遮断することができる。

図６（ｂ）、図７（ｂ）は、光拡散媒体９０に失透ガラス９２を用いた説明図であり、ガラス内部の乱反射によってレーザー光８０を拡散させレーザー光８０を遮断することができる。

図６（ｃ）、図７（ｃ）は、光拡散媒体９０に水９３を用いた説明図であり、加工による熱、水の乱流によって発生した気泡の乱反射によってレーザー光８０を拡散させレーザー光８０を遮断することができる。

[0054] 本実施形態のハニカム構造体（熱交換器）１０００は、第１の空間４１をクランク状に形成することにより、流路６０を横切る方向に流体の流れを引き出すことができる。

これにより、従来のセラミック製のハニカム構造体からなる熱交換器にない新しい機能を付与することができる。また、接続孔３０は流体の停滞する部分ができにくい形状であるので、効率良く熱交換することができる。

実施例

[0055] 本実施例では、実際に多孔質の炭化珪素からなるハニカム状のセラミックに台形の断面を有する接続孔３０を形成し、本発明に係るハニカム構造体（熱交換器）１０００を製造した結果について、図８（ａ）、（ｂ）を用いて説明する。

２４×２４個、計５７６個の正方形の流路６０を有し、３４ｍｍ×３４ｍｍ×１３０ｍｍの炭化珪素からなるハニカム状のセラミックを用いて、本発明に係るハニカム構造体１０００（熱交換器）を製作した。なお、長手方向の端面は、流路６０の開口を有し、第１端面１１および第２端面１２である。第１端面１１および第２端面１２以外の４つの面は側壁であり、そのうち接続孔３０を形成する面が第１側壁２１、その反対側の面が第２側壁２２となる。内壁５０の厚さは０．２５ｍｍ、第１側壁２１および第２側壁２２の厚さは、０．３ｍｍである。流路の大きさは、一辺が１．１４ｍｍの正方形である。

[0056] 図８（ａ）、（ｂ）に示すように、このハニカム状のセラミックに接続孔３０を形成した。第１側壁２１に面する２４本の流路６０のうち、交互となるよう１２本の流路６０に第１の開口３１を形成し、さらに第２の開口３２を形成することにより、１２個の接続孔３０を形成した。接続孔３０の底は、第２側壁２２であり、全ての内壁５０には第２の開口３２が形成されている。第１の開口３１および第２の開口３２と第１端面１１との距離は１０ｍｍ、第１の開口３１は第１端面１１から４０ｍｍの位置まで延びている。第２の開口３２は第１の開口３１に向かって順に長くなり、接続孔３０の断面は、ハニカム構造体の流路の方向の中央側を斜辺とする直角三角形である。また、第１の開口３１の幅は、０．６ｍｍである。

[0057] 詳しい加工方法は以下に説明する。接続孔３０を形成する際、第２側壁２

２に面する流路６０には、流路６０よりも長い円形のガラス棒９１を挿入し、その他の流路６０には、台形の流域以外の部分まで円形のガラス棒９１を挿入した。

次に第１側壁２１に面する流路６０に沿って牧野フライス社製ＭＣＳ３００型レーザー加工機を用いて加工した。レーザーの波長は５３２ｎｍ、出力８０Ｗ、水流８２のノズル径はφ８０μｍ、走査速度は３００ｍｍ／ｍｉｎで加工した。

[0058] このように加工して得られたハニカム構造体１０００（熱交換器）を接続孔３０に沿って切断し、接続孔３０を確認した。図２（ａ）に示すように接続孔３０の断面は台形であり、内壁５０は全て貫通し、第１の開口３１が長さ３０ｍｍ、最下層の第２の開口３２が長さ１５ｍｍであった。

このように水流８２を用いたレーザー加工機で接続孔３０を形成できることが確認できた。ハニカム構造体１０００（熱交換器）に接続孔３０を形成する方法は水流８２を用いたレーザー光に限定されず、時間をかけ、高出力のレーザー加工機であれば、水流８２を併用することなく加工することができる。

[0059] また、接続孔３０の大きさ、配置、数は適宜選択することができる。

産業上の利用可能性

[0060] 本発明の熱交換器は、内燃機関、燃焼炉などの熱交換器として利用することができる。

符号の説明

[0061] １１ 第１端面

１２ 第２端面

２１ 第１側壁

２２ 第２側壁

３０ 接続孔

３１ 第１の開口

３２ 第２の開口

４１　第１の空間

４２　第２の空間

５０　内壁

６０　流路

７０　封止部

８０　レーザー光

８２　水流（ウォータジェット）

８５　レーザー源

９０　光拡散媒体

９１　ガラス棒

９２　失透ガラス

９３　水

１０００　ハニカム構造体（熱交換器）

Ｐ　交差部

Ｒ　領域

θ　傾斜角

請求の範囲

[請求項1] 少なくとも第１端面と第２端面と第１側壁と第２側壁とを有するセラミック製のハニカム構造体からなる熱交換器であって、前記ハニカム構造体は内壁によって仕切られ前記第１端面から前記第２端面に延びる両端が封止部によって封孔された第１の流路と、両端が開放した第２の流路と、を有し、前記第１の流路および前記第２の流路は、それぞれ前記第１側壁から前記第２側壁に向かって並ぶ列であるとともに、交互に配置される列となって構成される熱交換器において、

前記ハニカム構造体は、

前記第１の流路と、前記第１側壁の前記第１端面側および前記第２側壁の前記第２端面側にそれぞれ形成された長方形の第１の開口から前記内壁に形成された長方形の第２の開口に延びる一対の接続孔と、からなる第１の空間と、

前記第１の流路と前記内壁で隔離された第２の流路とからなる第２の空間と、を有し、

前記第１の開口および前記第２の開口の前記封止部に遠い側の短辺の中点を結ぶ一対の第１仮想線は、互いに平行な直線であり、前記第１の開口および前記第２の開口の前記封止部に近い側の短辺の中点を結ぶ一対の第２仮想線は、前記第１側壁に対し垂直であるとともに前記第１側壁または前記第２側壁の中で前記第１仮想線と交差する直線であることを特徴とする熱交換器。

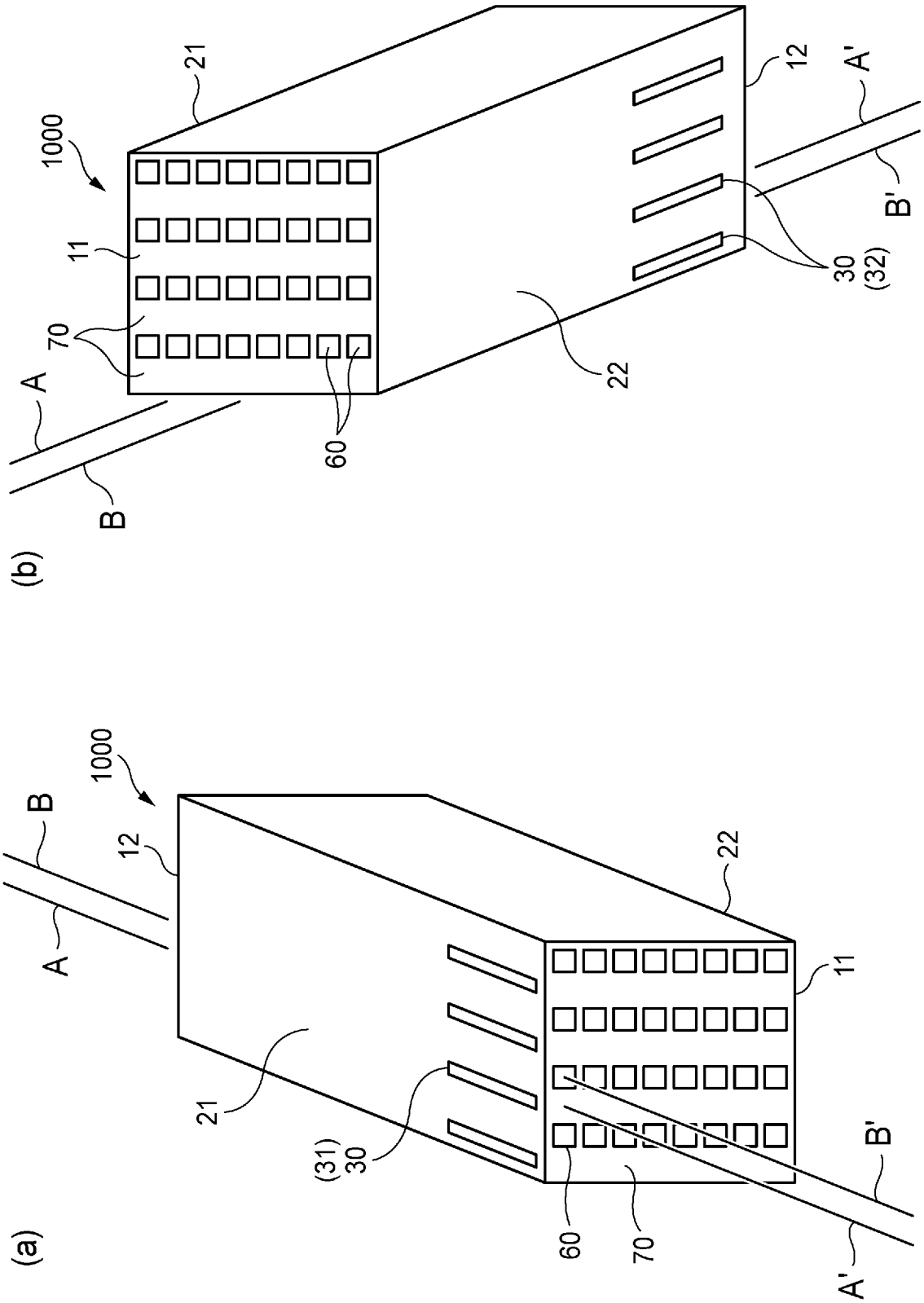
[請求項2] 前記第１側壁または前記第２側壁に対する前記第１仮想線の傾斜角θが３５度～５０度であることを特徴とする請求項１に記載の熱交換器。

[請求項3] 前記接続孔は、５層以上の前記第２の開口が積み重なっていることを特徴とする請求項１または請求項２に記載の熱交換器。

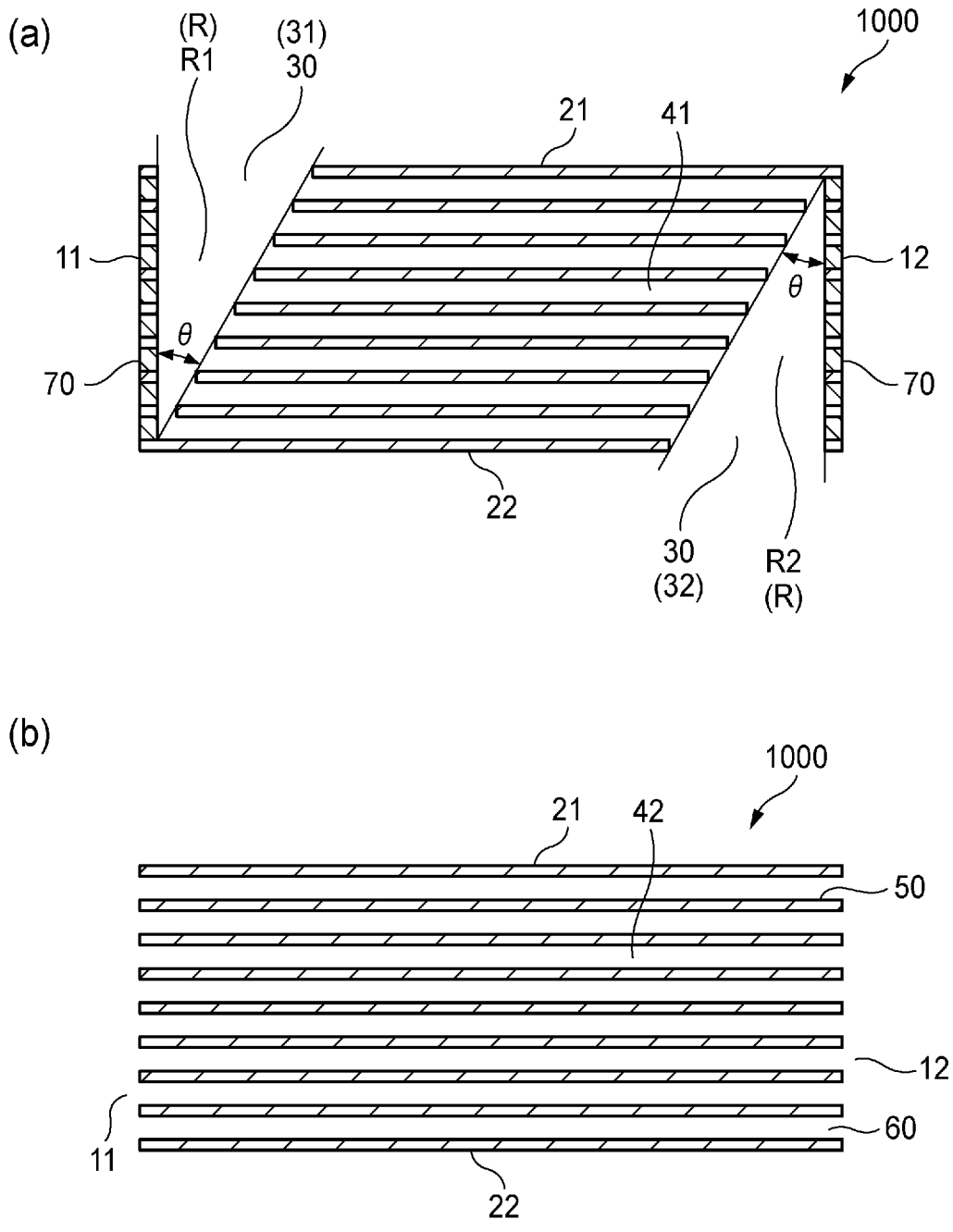
[請求項4] 前記接続孔は、１０層以上の前記第２の開口が積み重なっていることを特徴とする請求項３に記載の熱交換器。

[請求項5] 前記セラミックは、炭化珪素、シリコン含浸した炭化珪素、アルミナ、コージェライト、窒化珪素、窒化アルミニウムまたはジルコニアのいずれかよりなることを特徴とする請求項１ないし請求項４のいずれか１項に記載の熱交換器。

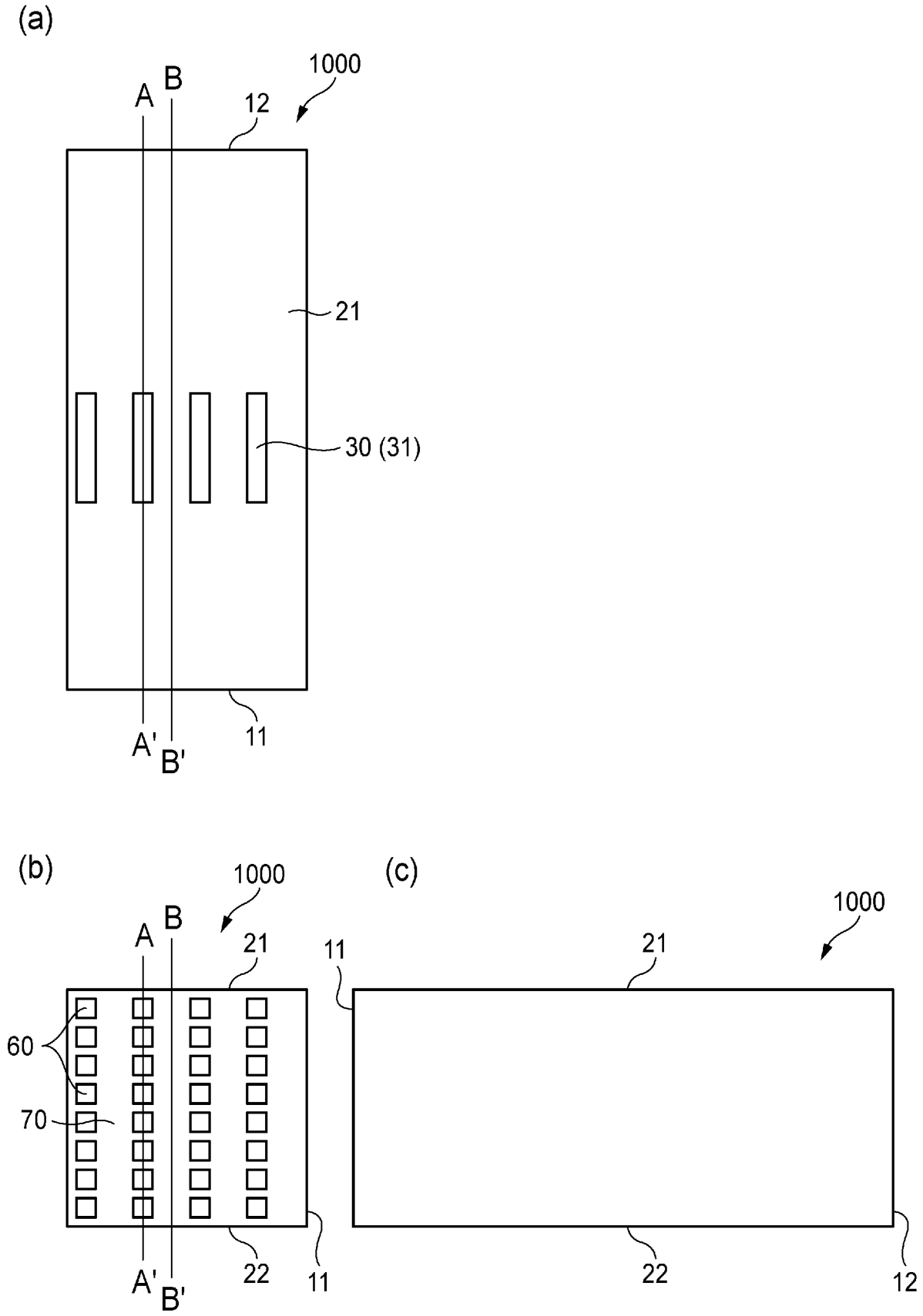
[図1]


(b)
1000
21
12
A'
B'
11
30
(32)
70
22
A
60
B
(a)
1000
B
12
22
A
11
21
(31)
30
B'
60
70
A'

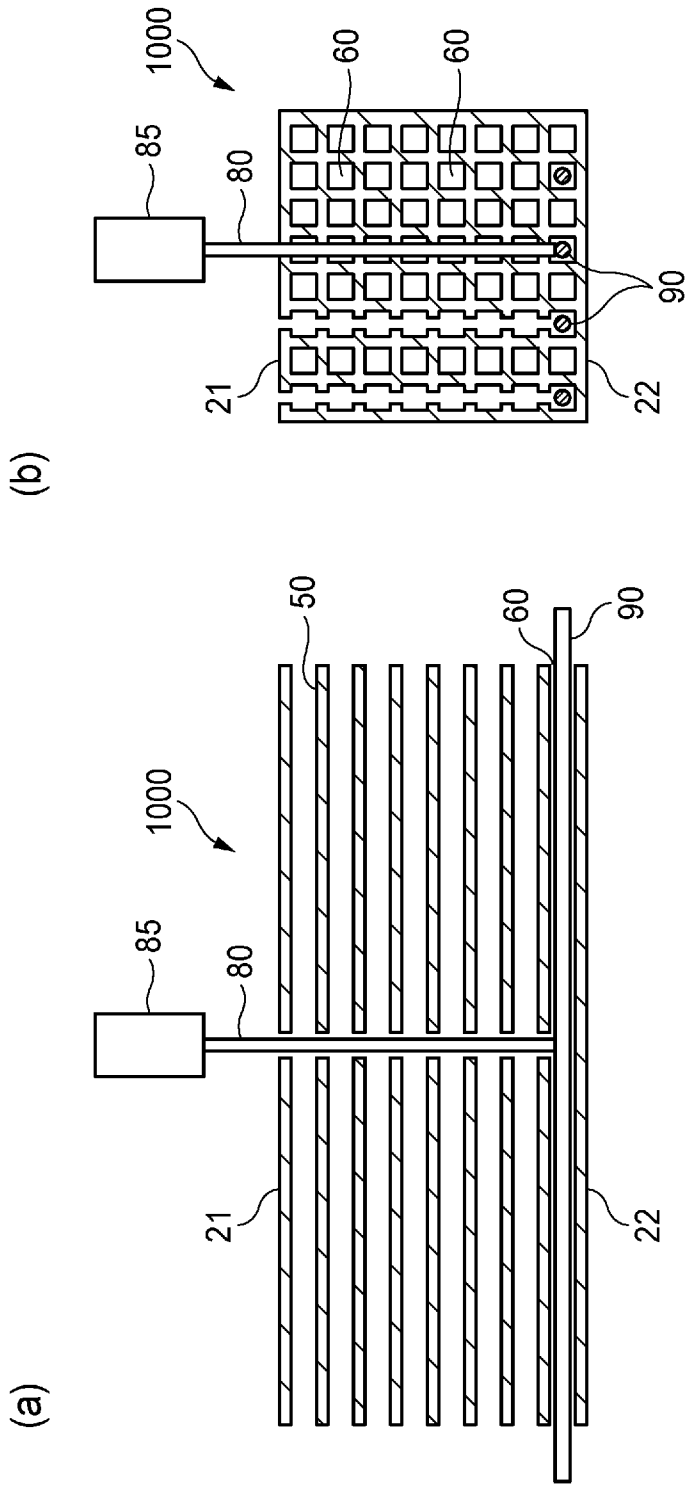
[図2]


(a)
(R)
R1
(31)
30
1000
21
41
11
12
θ
θ
70
70
22
30
(32)
R2
(R)
(b)
1000
21
42
50
12
11
60
22

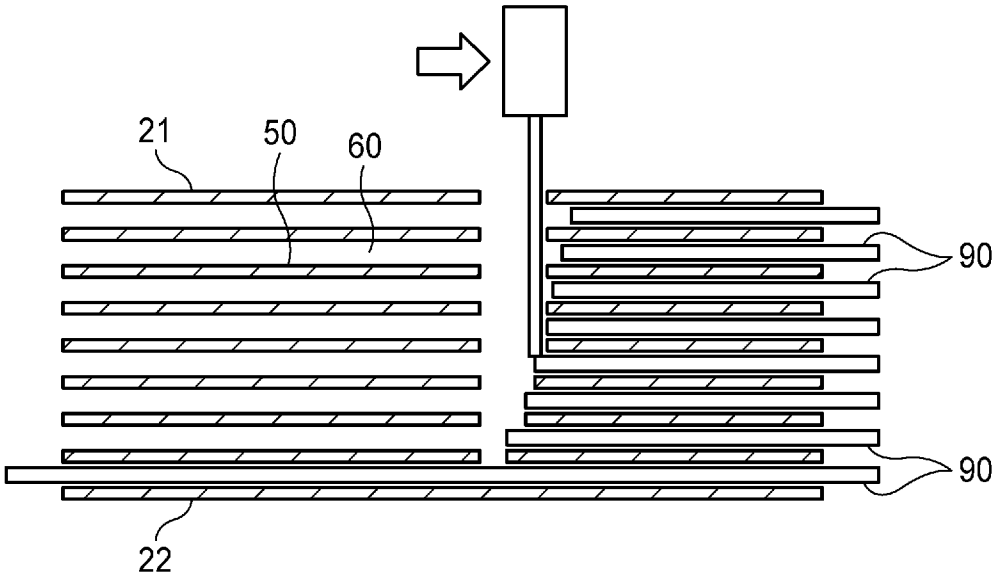
[図3]


(a)
1000
A
B
12
21
30 (31)
11
A'
B'
(b)
1000
A
B
21
60
70
22
11
A'
B'
(c)
1000
11
21
22
12

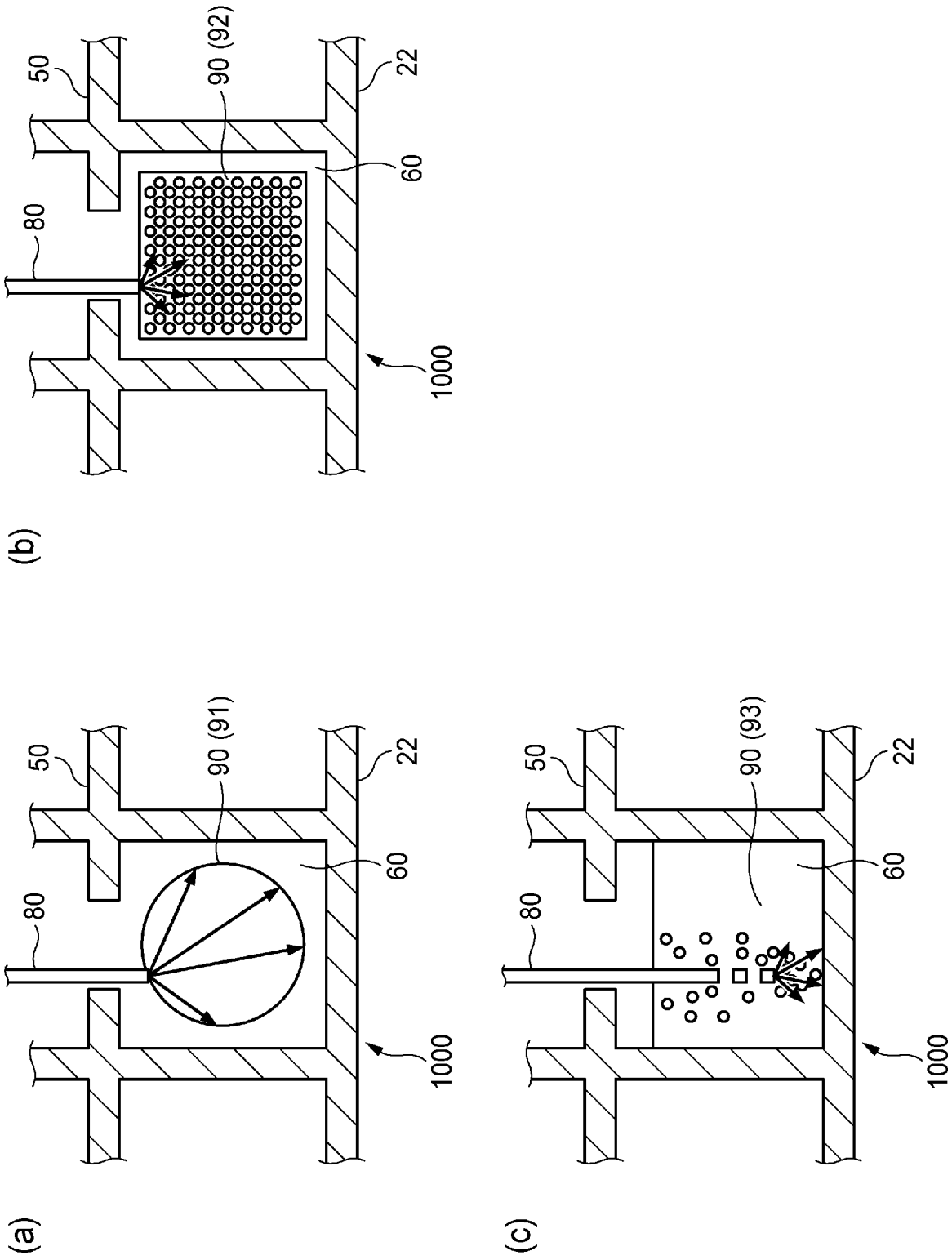
[図4]



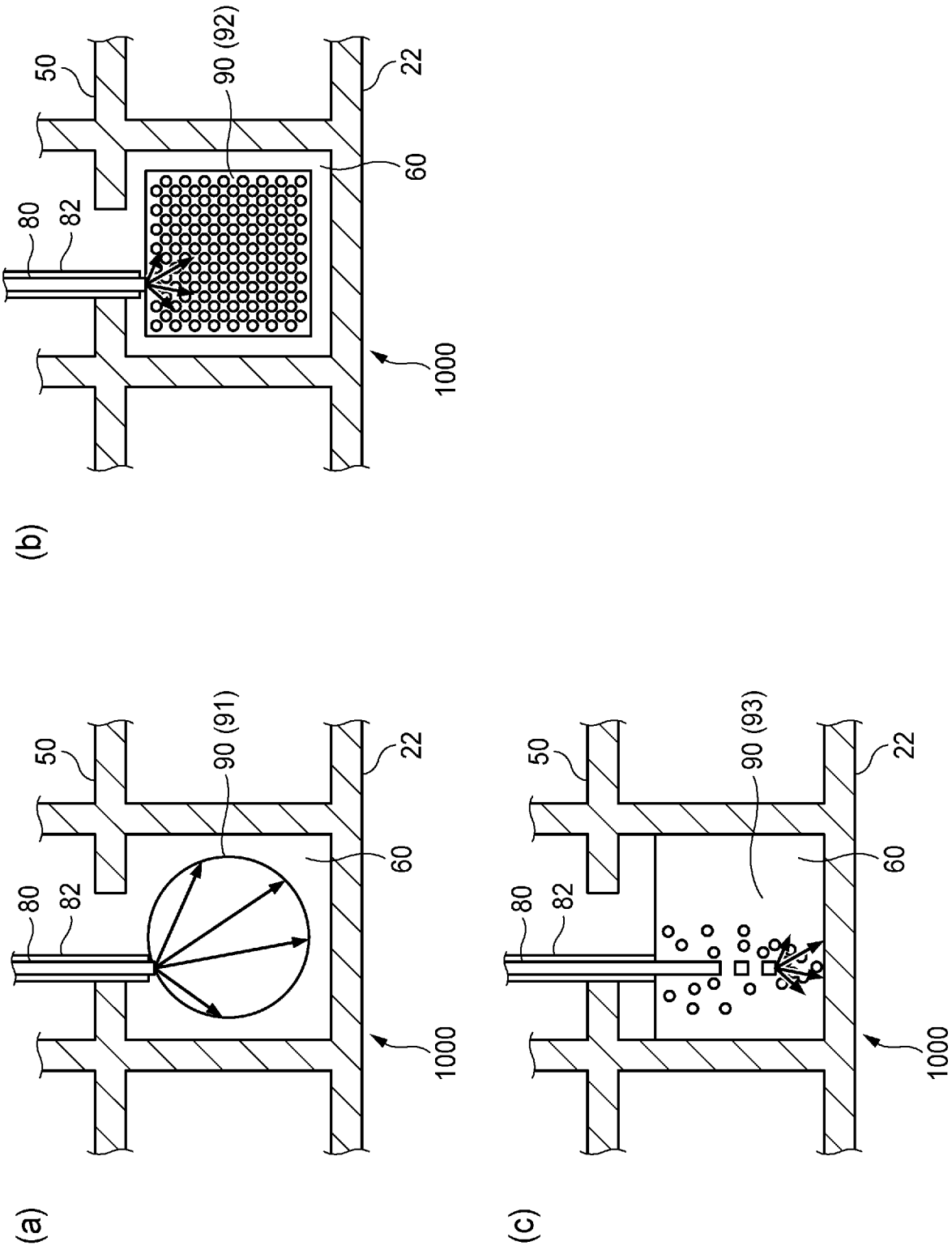
[図5]



[図6]

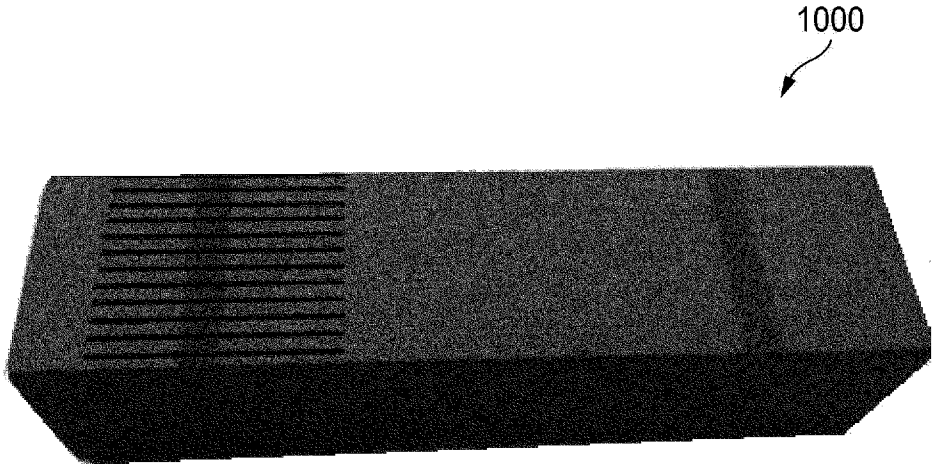

50
90 (92)
22
60
80
1000
(b)
50
90 (91)
22
60
80
1000
(a)
50
90 (93)
22
60
80
1000
(c)

[図7]

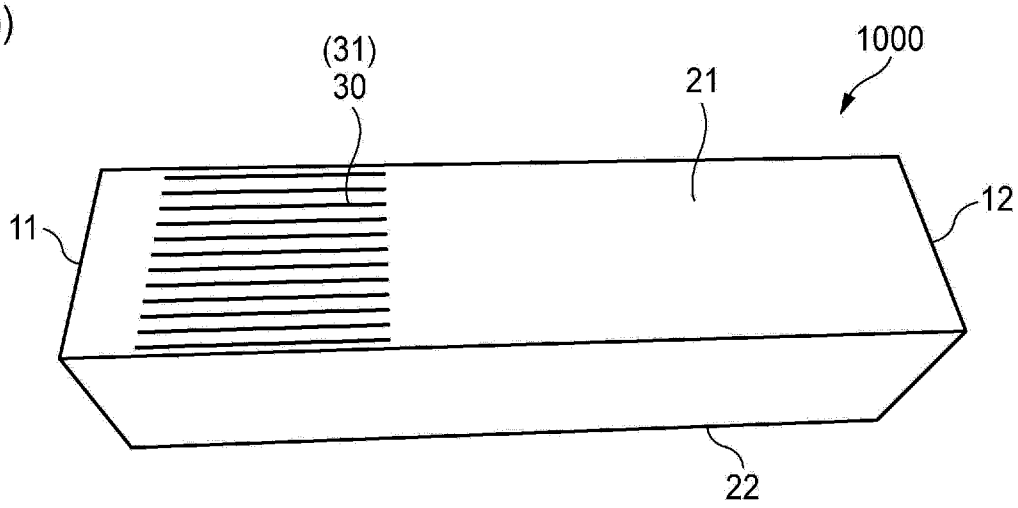

50
90 (92)
22
60
80
82
1000
(b)
50
90 (91)
22
60
80
82
1000
(a)
50
90 (93)
22
60
80
82
1000
(c)

[図8]

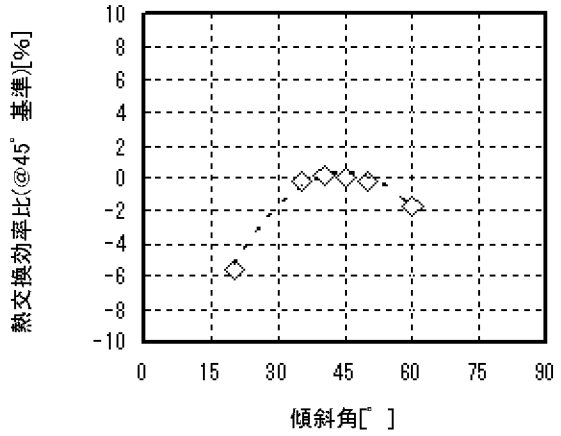
(a)



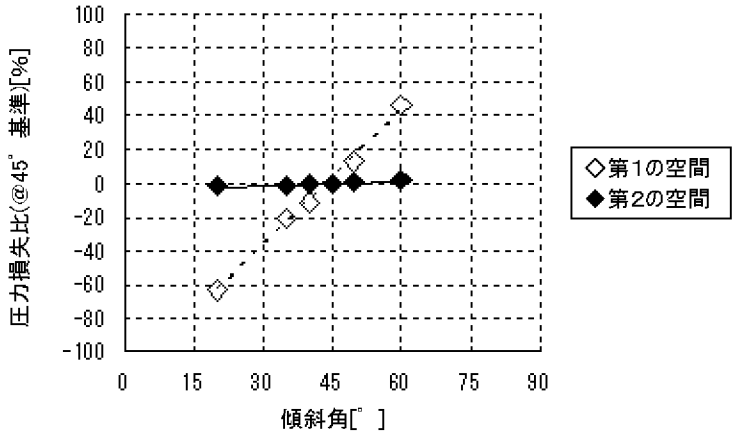
(b)



[図9]


熱交換効率比(@45° 基準)[%]
10
8
6
4
2
0
-2
-4
-6
-8
-10
0
15
30
45
60
75
90
傾斜角[°]

[図10]


圧力損失比(@45° 基準)[%]
100
80
60
40
20
0
-20
-40
-60
-80
-100
0
15
30
45
60
75
90
傾斜角[°]
◇第1の空間
◆第2の空間

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2015/051444

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
F28F21/04(2006.01)i, *C04B38/00*(2006.01)i, *F28D21/00*(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
F28F21/04, C04B38/00, F28D21/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2015
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2015	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2015

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	US 4041591 A (CORNING GLASS WORKS), 16 August 1977 (16.08.1977), column 4, line 15 to column 5, line 4; column 6, lines 28 to 40; fig. 1 to 4 & JP 52-103058 A & GB 1566029 A & DE 2705123 A & FR 2342122 A	1-3,5 4
Y	Microfilm of the specification and drawings annexed to the request of Japanese Utility Model Application No. 181845/1983(Laid-open No. 91969/1985) (Kawasaki Heavy Industries, Ltd.), 24 June 1985 (24.06.1985), page 3, line 18 to page 7, line 5; fig. 1 to 4 (Family: none)	4

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
25 March 2015 (25.03.15)	07 April 2015 (07.04.15)
Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3,Kasumigaseki,Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915,Japan	Authorized officer Telephone No.

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 2009)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2015/051444

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 55-102891 A (Ceraver), 06 August 1980 (06.08.1980), page 3, upper left column, line 10 to lower left column, line 18; page 4, upper left column, line 17 to upper right column, line 8; fig. 1, 3 & US 4271110 A & GB 2032609 A & DE 2937342 A & FR 2436958 A & BE 878683 A & NL 7907058 A & AU 5101379 A & SE 7907802 A & CA 1118988 A & IT 1121038 B & AU 531203 B	1-5
A	KR 885499 B1 26 February 2009 (26.02.2009), fig. 4, 5 & KR 10-2004-0006790 A	1-5
A	JP 60-141541 A (Nippon Soken, Inc.), 26 July 1985 (26.07.1985), page 7, lower right column, line 9 to page 8, upper right column, line 10; page 9, upper right column, line 1 to page 10, upper left column, line 2; fig. 7 to 13 & US 4746479 A	1-5
A	WO 2010/110238 A1 (IHI Corp.), 30 September 2010 (30.09.2010), paragraphs [0001], [0019], [0029] & JP 5514190 B & US 2012/0048524 A1 & EP 2413079 A1 & CN 102439389 A	5
A	US 5915469 A (TAT AERO EQUIPMENT INDUSTRIES LTD.), 29 January 1999 (29.01.1999), fig. 6 & IL 114613 A	1-2

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１５／０５１４４４

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　F28F21/04(2006.01)i, C04B38/00(2006.01)i, F28D21/00(2006.01)i

Ｂ．　調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　F28F21/04, C04B38/00, F28D21/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	１９２２－１９９６年
日本国公開実用新案公報	１９７１－２０１５年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１５年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１５年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

Ｃ．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
X Y	US 4041591 A (CORNING GLASS WORKS) 1977.08.16, 第４欄第１５行－第５欄第４行, 第６欄第２８－４０行, 第１－４図 & JP 52-103058 A & GB 1566029 A & DE 2705123 A & FR 2342122 A	1-3,5 4

☑　Ｃ欄の続きにも文献が列挙されている。

☐　パテントファミリーに関する別紙を参照。

＊　引用文献のカテゴリー
「Ａ」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「Ｅ」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「Ｌ」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「Ｏ」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「Ｐ」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献
「Ｔ」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「Ｘ」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Ｙ」特に関連のある文献であって、当該文献と他の１以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「＆」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日	国際調査報告の発送日
２５．０３．２０１５	０７．０４．２０１５

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ）
郵便番号１００－８９１５
東京都千代田区霞が関三丁目４番３号

特許庁審査官（権限のある職員）　３Ｍ　４６５７
松井　裕典
電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３３７７

Ｃ（続き）．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
Y	日本国実用新案登録出願58-181845号(日本国実用新案登録出願公開60-91969号)の願書に添付した明細書及び図面の内容を撮影したマイクロフィルム（川崎重工業株式会社） 1985.06.24，第３頁第１８行－第７頁第５行，第１－４図 (ファミリーなし)	4
A	JP 55-102891 A (セラヴエール) 1980.08.06，第３頁左上欄第１０行－左下欄第１８行， 第４頁左上欄第１７行－右上欄第８行，第１，３図 & US 4271110 A & GB 2032609 A & DE 2937342 A & FR 2436958 A & BE 878683 A & NL 7907058 A & AU 5101379 A & SE 7907802 A & CA 1118988 A & IT 1121038 B & AU 531203 B	1-5
A	KR 885499 B1 2009.02.26，第４，５図 & KR 10-2004-0006790 A	1-5
A	JP 60-141541 A (株式会社日本自動車部品総合研究所) 1985.07.26，第７頁右下欄第９行－第８頁右上欄第１０行， 第９頁右上欄第１行－第１０頁左上欄第２行，第７－１３図 & US 4746479 A	1-5
A	WO 2010/110238 A1 (株式会社ＩＨＩ) 2010.09.30，段落[0001]，[0019]，[0029] & JP 5514190 B & US 2012/0048524 A1 & EP 2413079 A1 & CN 102439389 A	5
A	US 5915469 A (TAT AERO EQUIPMENT INDUSTRIES LTD.) 1999.01.29，第６図 & IL 114613 A	1-2