

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5604038号
(P5604038)

(45) 発行日 平成26年10月8日(2014.10.8)

(24) 登録日 平成26年8月29日(2014.8.29)

(51) Int. Cl.		F I			
B O 1 J	19/24	(2006.01)	B O 1 J	19/24	Z
B O 1 F	5/00	(2006.01)	B O 1 F	5/00	G
B O 1 F	15/06	(2006.01)	B O 1 F	15/06	Z
G O 1 N	37/00	(2006.01)	G O 1 N	37/00	1 O 1

請求項の数 8 (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2008-214792 (P2008-214792)
(22) 出願日	平成20年8月25日 (2008. 8. 25)
(65) 公開番号	特開2010-46634 (P2010-46634A)
(43) 公開日	平成22年3月4日 (2010. 3. 4)
審査請求日	平成22年4月16日 (2010. 4. 16)

(73) 特許権者	000005108 株式会社日立製作所 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号
(74) 代理人	100100310 弁理士 井上 学
(74) 代理人	100098660 弁理士 戸田 裕二
(72) 発明者	白石 朋史 茨城県日立市大みか町七丁目2番1号 株式会社 日立製作 所 エネルギー・環境システム研究所内
(72) 発明者	河村 勉 茨城県日立市大みか町七丁目2番1号 株式会社 日立製作 所 エネルギー・環境システム研究所内 最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 反応装置及び反応プラント

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

それぞれ異種の物質を含んでいる複数種類の液体同士を混合させるための円筒形状の混合流路と、それぞれの流路が同一種類の液体を混合流路に流入させる入口流路を複数備えている反応装置において、

前記混合流路の中心軸に対して直交する同一平面上に液体の種類ごとに複数設けられた前記入口流路を前記混合流路の中心軸からオフセットして設け、かつ、入口流路が同一の物質を含んでいる液体毎に混合流路の中心軸に対して回転した位置に複数設置され、さらに異なる種類の液体の入口流路が交互に配置されていることを特徴とする反応装置。

【請求項2】

請求項1の反応装置において、

入口流路の流れ方向が混合流路の流れ方向に対して90度未満の角度で配置されていることを特徴とする反応装置。

【請求項3】

請求項1又は請求項2の反応装置において、

入口流路が同一の物質を含んでいる液体毎に混合流路の流れ方向に離間して複数設置されていることを特徴とする反応装置。

【請求項4】

請求項1から請求項3のいずれかの反応装置において、

前記混合流路の中央部に構造物を設置したことを特徴とする反応装置。

10

20

【請求項 5】

請求項 4 の反応装置において、

前記混合流路の中央部に設置された構造物は、前記混合流路の下流側に向かって断面積が小さく形成されていることを特徴とする反応装置。

【請求項 6】

請求項 1 から請求項 5 のいずれかの反応装置において、

前記混合流路を有する構造体を備え、該構造体に熱媒体を流通させる流路が複数形成されていることを特徴とする反応装置。

【請求項 7】

請求項 1 から請求項 6 のいずれかの反応装置において、

前記混合流路を有する構造体を備え、該構造体の表面に複数の熱交換用のフィンを形成したことを特徴とする反応装置。

10

【請求項 8】

請求項 1 から請求項 7 のいずれかの反応装置を備えた反応プラントにおいて、

異種の物質を含んでいる複数の液体を貯蔵する複数のタンクと、
複数のそれぞれのタンクに接続される配管毎に設置され混合流路に液体を送るポンプと、
前記混合流路に送る液体の流量を調整するための流量調節器と、
前記混合流路の出口側に接続され混合した液体を反応させる反応流路と、
該反応流路からの生成物を貯蔵するタンクと、
前記混合流路および反応流路を温度管理する温度制御装置を備えた反応プラント。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、化学合成や化学分析などの分野において液体同士を流路内で混合して反応させる反応装置及び反応プラントに関する。

【背景技術】

【0002】

近年、化学合成や化学分析の分野において、MEMS (Micro Electro Mechanical System) と呼ばれるマイクロ加工技術により製作された断面寸法が数十～数百 μm の流路から構成される反応器が使用され始めている。このような反応器は、マイクロミキサ、又はマイクロリアクタと呼ばれる。

30

【0003】

マイクロリアクタでは、互いに反応する 2 種類以上の物質をそれぞれ含む流体を合流させ、微細流路内で互いに接触させて化学反応を生じさせる。マイクロリアクタは、流路の幅や高さが小さく、反応部の体積当たりの表面積が大きく、流路の容積が小さいため、物質の混合時間が短く、熱交換が速くなり、その結果、反応による副生成物が低減し、反応収率が高くなるといった効果がある。

【0004】

〔特許文献 1〕には、第一反応溶液導入管，流出管，混合部の中心軸を一致させ、その中心軸に対して回転対称的に配置され、中心軸上の一点で交差せずにオフセットを有する 2 本の第二反応液導入管を設けるようにした高温高压マイクロミキサが記載されている。

40

【0005】

また、〔特許文献 2〕に記載の従来技術では、混合流路を流れる 2 種類の流体の間隔を小さくするため、混合流路の上流で各々の流体を多数に分割して 2 種類の流体を交互に流入させ、縮流部で縮流しているものがある。

【0006】

【特許文献 1】特開 2008 - 12453 号公報

【特許文献 2】WO 02 / 16017

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

50

【0007】

〔特許文献1〕に記載の高温高压マイクロミキサは、中心軸に第一反応液を導入し、中心軸上の一点で交差せずにオフセットを有する2本の第二反応液導入管を設けているので、多層状の流れが形成されにくく、混合するための距離が長くなるという問題がある。

【0008】

また、〔特許文献2〕に記載のマイクロミキサは、下流の混合流路での2種類の流体の間隔は、流体の分割数を増加させて多層状にすることにより小さくすることができる。しかし、縮流部の上流において各流体の流入口の幅は、加工精度及び流路の閉塞を考慮すると一般的に500 μ mから数mmの範囲であるため、層数を増やすためには縮流部入口の幅が大きくなり、混合流路入口までの距離が長くなるため、混合流路に達する以前に縮流部において隣接する異種の流体間で混合及び反応が開始する可能性がある。拡散距離Wの大きい縮流部で反応すると、副生成物の割合が増加して収率が減少するという問題がある。ここで、拡散距離Wは、一層当たりの幅、又は隣り合う層の中心間距離である。

10

【0009】

本発明の目的は、拡散距離Wの大きい縮流部のような流路をなくし、拡散距離Wの小さい混合流路で混合及び反応を開始して収率を向上させて大量処理することのできる反応装置及び反応プラントを提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0010】

上記目的を達成するために本発明の反応装置は、多層流れによる拡散距離の低減効果、乱流による物質拡散の増大及び旋回流による攪拌効果を相乗することにより混合性能を向上させるため、それぞれ異種の物質を含んでいる複数の流体を混合させる円筒形状の混合流路に対して、複数の流体を混合流路に導く入口流路を、入口流路の中心軸が混合流路の中心軸に交わらないように混合流路に接続したものである。また、混合流路は乱流条件としたものである。

20

【発明の効果】

【0011】

本発明によれば、混合流路内の半径方向に複数の流体を多層状に流して拡散距離を低減し、乱流及び旋回流の効果を相乗させて複数の流体の混合性を促進させることにより副反応を抑制し、高い反応収率で多量処理を実現できる。

30

【発明を実施するための最良の形態】

【0012】

本発明の各実施例について図面を用いて説明する。

【実施例1】

【0013】

本発明の実施例1を図1から図9により説明する。図1は、本実施例の反応装置の構成図である。

【0014】

図1に示すように、円筒形状の混合流路1の端部は密閉されており、密閉された端部側に、物質Aを含む流体4を混合流路1に導くための入口流路2と、物質Bを含む流体5を混合流路1に導くための入口流路3が設けられている。入口流路2と入口流路3とは、混合流路1の流れ方向に離間して複数個設けられ、入口流路2と入口流路3とは、図2に示すように、混合流路1の中心軸に対して距離オフセットされた位置に配置されている。入口流路2と入口流路3とは、混合流路1の中心軸に対して直角に交わる同一平面上に設置され、互いに反対方向に位置しており、図1に示す例では、流路は矩形に形成されている。ここで、円筒形状とは、円に近似する多角形であってもよく、これらを含めて便宜上、円筒形状という。また、入口流路2と入口流路3とが、混合流路1の中心軸に対して直角に交わる同一平面上に設置されるとは、入口流路2と入口流路3の一部が平面上にあるものも含んで定義している。

40

【0015】

50

図 1 に示す例では、物質 A を含む流体 4 は 3 本の入口流路 2 から、物質 B を含む流体 5 は 3 本の入口流路 3 からそれぞれ円筒形状の混合流路 1 に流入する。入口流路 2 から流入した流体 4 は円筒形状に沿うように流れ、入口流路 3 から流入する流体 5 は流体 4 の流れに沿うように流入する。

【 0 0 1 6 】

上述したように、入口流路 2 と入口流路 3 は、混合流路 1 の中心線に対して直角に交わる同一平面上に設置され、入口流路 2 の中心軸と入口流路 3 の中心軸は混合流路 1 の中心軸から だけオフセットしているため、入口流路 2 から流入した流体 4 と入口流路 3 から流入した流体 5 は、混合流路 1 で旋回流 6 となる。

【 0 0 1 7 】

また、入口流路 2 と入口流路 3 は、混合流路 1 の流れ方向に離間して配置されているので、図 1 の混合流路 1 の矢視 I - I 断面で示す流れは、図 3 のように、半径方向に流体 4 と流体 5 が交互に層をなす旋回流を形成する。このような流れになると、二種類の流体の拡散距離が減少し、旋回流の効果により、混合性が向上する。混合流路内の流れを乱流条件で流すことにより、乱流混合によって混合性能はさらに向上する。

【 0 0 1 8 】

ここで、物質 A が含まれる流体 4 と物質 B が含まれる流体 5 が反応すると、数 1 に示すように主生成物 R が生成され、数 2 に示すように、主生成物 R と物質 B が反応して副生成物 S が生成される。

【 0 0 1 9 】

(数 1)



(数 2)



【 0 0 2 0 】

マイクロリアクタでは流路の水力等価直径が小さいので、流体の慣性力と粘性力の比を表す無次元数であるレイノルズ数が小さいため、流れは層流となる。したがって、流体中に含まれる複数の物質を混合する場合、物質の分子拡散によって混合が進む。物質 A を含む流体 4 と物質 B を含む流体 5 の 2 流体を流した場合の各物質の混合時間 $t_m [s]$ は、数 3 で表される。

【 0 0 2 1 】

(数 3)

$$t_m = W^2 / D \quad (3)$$

【 0 0 2 2 】

ここで、 $D [m^2 / s]$ は拡散係数であり、層流条件では流体中の物質の分子拡散係数を表し、 $W [m]$ は拡散距離（多層流の 1 層当たりの幅、又は隣り合う層の中心間距離）である。

【 0 0 2 3 】

数 3 から分かるように、混合時間は拡散距離 W の 2 乗に比例するため、流路幅が小さいほど混合時間が短くなる。また、流れが層流から乱流へと遷移すると、数 3 の拡散係数 D は乱流拡散係数となる。乱流拡散係数は分子拡散係数に比べて数千倍大きな値であるため、層流条件よりも乱流条件にすることで混合時間が短くなる。

【 0 0 2 4 】

一方、数 1 の主反応及び数 2 の副反応の反応速度定数をそれぞれの $k_1 [m^3 / (kmol \cdot s)]$ 及び $k_2 [m^3 / (kmol \cdot s)]$ 、物質 A 及び物質 B の濃度を等濃度として反応させる場合の初期濃度を $C_0 [kmol / m^3]$ とすると、主生成物 R の反応時間 $t_r [s]$ は数 4 で与えられる。

【 0 0 2 5 】

(数 4)

$$t_r = 1 / (k_1 C_0) \quad (4)$$

10

20

30

40

50

【 0 0 2 6 】

マイクロ流路内での数 1 及び数 2 に示す逐次反応では、数 5 に示すように数 3 の混合時間と数 4 の反応時間の比である混合反応数 が減少するほど、反応律速の状態に近づき、物質 A に対する目的物質である主生成物 R の生成量である反応収率は増大する。

【 0 0 2 7 】

(数 5)

$$= t_m / t_r = k_1 C_0 W^2 / D \quad (5)$$

【 0 0 2 8 】

したがって、主生成物 R の反応収率を向上させるためには、多層流の各層当たりの幅を薄くすることにより拡散距離 W を小さくし、混合反応数 を小さくすればよいことが分かる。このことから、本実施例では、入口流路 2 と入口流路 3 は、混合流路 1 の流れ方向に離間して配置することにより混合反応数 を小さくし、反応収率を向上させることができる。

10

【 0 0 2 9 】

混合流路 1 の内径は限定されないが、好ましくは 1 0 mm 未満に設定するとよい。また、流れは層流、乱流のどちらでもよいが、上述したように、乱流の方が混合性能は高い。図 1 では、入口流路 2、入口流路 3 の形状が矩形の場合を示したが、円形等の任意形状が適用できる。

【 0 0 3 0 】

図 1 では、入口流路を混合流路 1 の中心軸に対して直角に交わる同一平面上に設けた例を説明したが、図 4 に示すように、入口流路 2 と入口流路 3 とを混合流路 1 の中心軸に対して直角に交わる同一平面からずらして設けてもよい。

20

【 0 0 3 1 】

反応装置の生産性を向上させるためには、反応収率と共に処理量を増大させる必要がある。図 5 に示す例では、入口流路 2、入口流路 3 を混合流路 1 の中心軸に対して 9 0 度未満の角度で設置することにより、流体 4 と流体 5 が混合流路 1 に流入するときの圧力損失が低減されるので、処理流量が増大する。

【 0 0 3 2 】

図 6 に、本実施例の反応装置の具体的な流路の製作方法の一例を示す。反応装置 9 は矩形の構造物から成り、混合流路出口 8 の方から円筒状の穴を加工して混合流路 1 を形成する。反応装置 9 の両側の側面から混合流路 1 に直角に複数の穴を加工して入口流路 2 と入口流路 3 を形成する。このとき、入口流路 2 と入口流路 3 は、混合流路 1 の中心軸からオフセットした位置に形成される。それぞれの入口流路 2、入口流路 3 に均一な流量で流体を流入させるため、流体を一時的に貯める空間となるバッファ 1 1 とバッファ入口流路 1 2 を加工した封止板 1 0 を反応装置 9 の両側の側面に設置する。

30

【 0 0 3 3 】

反応装置の材料は金属、ガラス、プラスチック等が可能であり限定されない。また、反応装置 9 と封止板 1 0 の接続には、Oリング等のシール材を介してのボルト締結や、金属の場合は溶接や拡散接合が用いられる。

【 0 0 3 4 】

このように、本実施例によれば、複数の流体の混合性を向上させることが可能となるため、副反応を抑制して高収率で生産性の高い混合流路を提供できる。

40

【 0 0 3 5 】

図 1 の変形例を図 7 に示す。図 7 は、本実施例の反応装置の斜視図であり、図 7 に示す例では、入口流路 2 と入口流路 3 を 4 個設けている。

【 0 0 3 6 】

図 7 に示す例についての数値解析結果により、上述した本実施例の効果を説明する。

【 0 0 3 7 】

この数値解析では、それぞれ 4 個ある入口流路 2 及び入口流路 3 は、流路断面を 2 5 0 μ m \times 2 5 0 μ m の正方形とし、流路長を 1 0 mm とした。混合流路 1 は、流路断面を直径

50

1 mmの円形とし、流路長を80 mmとした。入口流路2及び入口流路3における入口流速を3.333 m/sに設定すると、入口流路2及び入口流路3でのレイノルズ数は830となって層流条件となり、混合流路1でのレイノルズ数は2120となって乱流条件となる。このとき、混合流路出口における流量は、100 mL/minである。

【0038】

比較例としてT字型反応装置を解析した。図8は、比較例としたT字型反応装置の構成を表す斜視図である。T字型に形成された入口流路2と入口流路3は、円形の中空であり、混合流路1の端部に対向して1個ずつ設けられている。

【0039】

この数値解析では、入口流路2及び入口流路3は、流路断面を直径1 mmの円形とし、流路長を10 mmとした。混合流路1は、流路断面を直径1 mmの円形とし、流路長を80 mmとした。入口流路2及び入口流路3における入口流速を1.061 m/sに設定すると、入口流路2及び入口流路3でのレイノルズ数は1060となって層流条件となり、混合流路1でのレイノルズ数は2120となって乱流条件となる。このとき、混合流路における平均流量は、100 mL/minである。

【0040】

なお、流体4と流体5の物性は同一とし、密度を 10^3 kg/m^3 、粘度を $10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$ としている。そして、流体4にトレーサーとなる物質Aを 1 kmol/m^3 の濃度で混合し、物質Aの分子拡散係数を $10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ とした。

【0041】

このようにして、本実施例の反応装置とT字型反応装置について数値解析を実施したところ、図9に示すような解析結果が得られた。図9は、混合流路1の流れ方向に沿って流体の濃度ムラが減少していく様子を表している。なお、濃度ムラは、数6で与えられる。数6において、 C_{av} は流路断面での物質Aの平均濃度 $[\text{kmol/m}^3]$ 、 C は流路断面での物質Aの局所濃度 $[\text{kmol/m}^3]$ 、 u は流路断面での局所流速 $[\text{m/s}]$ である。数6における積分記号は流路断面について積分することを意味する。

【0042】

【数6】

$$\frac{\sqrt{\frac{\int_A (C - C_{av})^2 u dA}{\int_A u dA}}}{C_{av}}$$

…(6)

【0043】

図9において、流体4と流体5の合流直後では滞留時間が0であり、濃度ムラが1である。そして、混合流路1の流れ方向に進んで（言い換えれば、滞留時間が経過して）流体4と流体5が完全に混合すると、濃度が均一となって濃度ムラが0となる。図9に示すように、T字型反応装置に比べ、本実施例の反応装置のほうが、濃度ムラの変化率（曲線の傾き）が大きく、混合時間を短縮できることが分かる。

【実施例2】

【0044】

本発明の実施例2を図10、図11により説明する。図10は、本実施例の混合流路を示す縦断面図、図11は、本実施例の制作方法を示す斜視図である。

【0045】

本実施例は、実施例1と同様に構成されているが、混合流路1の入口流路2、入口流路3を設置した部分の流路中央に構造物13が設置されている。構造物13の混合流路1の中心軸に直角方向の断面面積は、流れ方向に減少するような形状となっている。

【0046】

このような構造にすることにより、混合流路1の入口流路部分の流路断面面積が減少する

10

20

30

40

50

ため、流体 4 と流体 5 の層の幅が小さくなり拡散距離が減少して混合性能が向上する。

【0047】

本実施例の製作方法は、実施例 1 の製作方法と同様であるが、混合流路 1 の入口部に構造物を設置するため、上流方向から、流路中央に構造物 1 3 を設けた台座 1 4 を設置する。

【0048】

本実施例によれば、複数の流体の混合性を向上させることが可能となるため、副反応を抑制して高収率で生産性の高い混合流路を提供できる。

【実施例 3】

【0049】

本発明の実施例 3 を図 1 2 により説明する。図 1 2 は、混合流路の温度制御を行うための構造を示す斜視図である。反応装置 9 はブロック構造のため、伝熱性能が低下する可能性がある。反応収率を向上させるためには、精密な温度制御が必要であり、ブロック構造の反応装置の伝熱性能を向上させるため、図 1 2 に示すように、熱媒体 1 6 を流通させるための複数の流路 1 5 が設けられている。この流路 1 5 は、混合流路 1 に沿って複数設けてもよく、入口流路 2 , 入口流路 3 に沿って設けられるようにしてもよい。

【0050】

また、図示はしていないが、流路 1 5 の代わりに反応装置 9 に複数のフィンを設けても良い。

【0051】

このように、本実施例によれば、混合流路 1 に沿って温度制御が行えるので、反応収率を向上させることができる。

【実施例 4】

【0052】

本発明の実施例 4 を図 1 3 から図 2 3 により説明する。図 1 3 は、本実施例の反応装置の構成図である。

【0053】

図 1 3 に示すように、円筒形状の混合流路 1 の端部は密閉されており、密閉された端部側に、物質 A を含む流体 4 を混合流路 1 に導くための入口流路 2 と、物質 B を含む流体 5 を混合流路 1 に導くための入口流路 3 が設けられている。この例では、混合流路 1 の中心軸に対して直角に交わる同一平面上に、90 度間隔で入口流路 2 , 入口流路 3 , 入口流路 2 , 入口流路 3 の 4 個の入口流路を設け、入口流路 2 と入口流路 3 とは、図 1 4 に示すように、混合流路 1 の中心軸に対しての距離オフセットされた位置に配置されている。図 1 3 に示す例では、流路は矩形に形成されているが、円筒形状に形成されていてもよい。ここで、円筒形状とは、円に近似する多角形であってもよく、これらを含めて便宜上、円筒形状という。

【0054】

上述したように、入口流路 2 と入口流路 3 は、混合流路 1 の中心線に対して直角に交わる同一平面上に設置され、入口流路 2 の中心軸と入口流路 3 の中心軸は混合流路 1 の中心軸からだけオフセットしているので、入口流路 2 から流入した流体 4 と入口流路 3 から流入した流体 5 は、混合流路 1 で旋回流 6 となる。

【0055】

また、入口流路 2 と入口流路 3 は、混合流路 1 の中心線に対して直角に交わる同一平面上で交互に設置されているので、図 1 3 の混合流路 1 の矢視 I - I 断面で示す流れは、実施例 1 の図 3 と同じように、半径方向に流体 4 と流体 5 が交互に層をなす旋回流を形成する。このような流れになると、二種類の流体の拡散距離が減少し、旋回流の効果により、混合性が向上する。混合流路内の流れを乱流条件で流すことにより、乱流混合によって混合性能はさらに向上する。

【0056】

図 1 5 は、入口流路 2 , 入口流路 3 の変形例を示す側面図である。この例では、混合流

10

20

30

40

50

路 1 の中心軸に対して直角に交わる同一平面上に、45 度間隔で入口流路 2 , 入口流路 3 , ... の 8 個の入口流路を設けている。このように、入口流路の個数を増加する程、流れの層数が増大するため拡散距離が減少して混合性は向上する。

【 0 0 5 7 】

図 1 6 に、本実施例の入口流路が 4 個ある反応装置の具体的な流路の製作方法の一例を示す。反応装置 9 は矩形の構造物から成り、混合流路出口 8 の方から円筒状の穴を加工して混合流路 1 を形成する。反応装置 9 の左右及び上下側面から混合流路 1 に直角に穴を加工して入口流路 2 と入口流路 3 をそれぞれ 2 個ずつ形成する。このとき、入口流路 2 と入口流路 3 は、混合流路 1 の中心軸からオフセットした位置に形成される。

【 0 0 5 8 】

反応装置の材料は金属 , ガラス , プラスチック等が可能であり限定されない。

【 0 0 5 9 】

また、上述した反応装置では、2 種類の流体を混合させたが、それぞれの入口流路にそれぞれ異なる物質を含む流体を流入させても良い。特に、混合する流体が 3 種類の場合は、入口流路を 120 度ずつの 3 個設けるようにしてもよく、あるいは入口流路を 60 度ずつの 6 個設けるようにしてもよい。

【 0 0 6 0 】

図 1 7 から図 2 1 に、本実施例の入口流路が 8 個ある反応装置の具体的な流路の製作方法の一例を示す。図 1 7 は、反応装置の構成を表す斜視図である。

【 0 0 6 1 】

反応装置 9 は、混合流路 1 が形成された出口部材 4 1 , 入口流路が形成された流路部材 4 2、それぞれの入口流路に均一な流量で流体を流入させるため、流体を一時的に貯める空間となるバッファとバッファ入口流路が形成されたバッファ部材 4 3 の 3 個の円柱状の構造物から成る。

【 0 0 6 2 】

出口部材 4 1 は、図 1 8 に示すように混合流路 1 となる円筒形状の穴を貫通加工している。

【 0 0 6 3 】

流路部材 4 2 は、図 1 9 に示すように入口流路 2 と入口流路 3 がそれぞれ 4 個ずつ平面上に加工され、図 2 0 に示すように入口流路 2 の中心軸と入口流路 3 の中心軸は流路部材 4 2 の中心 (言い換えると、出口部材 4 1 の混合流路 1 の中心軸) からオフセットした位置に形成される。入口流路 2 と入口流路 3 は、流路部材 4 2 の中心とは反対側の端面にバッファ部材 4 3 からの流体を入口流路 2 と入口流路 3 に供給するための導入流路 4 5 と導入流路 4 6 が形成される。

【 0 0 6 4 】

バッファ部材 4 3 は、図 2 1 に示すように流路部材 4 2 の入口流路 2 , 入口流路 3 に均一な流量で流体を流入させるため、流体を一時的に貯める空間となるバッファ 1 1 , バッファ 3 1 とバッファに流体を供給するバッファ入口流路 1 2 , バッファ入口流路 3 2 が形成される。

【 0 0 6 5 】

部材 4 1 , 4 2 及び 4 3 の接続には、リング等のシール材を介してボルトで締結する。これにより、ボルトを取り外して部材 4 1 , 4 2 及び 4 3 分解することが可能なため、流路の点検や洗浄を容易に行うことができる。一方、例えば流路の点検や洗浄が不要であるならば、接着剤 , レーザ溶接 , 拡散接合、又は溶着等の方法によって部材 4 1 , 4 2 及び 4 3 を互いに接着しても良い。

【 0 0 6 6 】

このように、本実施例によれば、複数の流体の混合性を向上させることが可能となるため、副反応を抑制して高収率で生産性の高い混合流路を提供できる。

【 0 0 6 7 】

図 2 0 に示す例についての数値解析結果により、上述した本実施例の効果を説明する。

10

20

30

40

50

図 2 2 は、入口流路 2 と入口流路 3 を 4 個設けている場合の斜視図である。

【 0 0 6 8 】

この数値解析では、それぞれ 4 個ある入口流路 2 及び入口流路 3 は、流路断面を $250 \mu\text{m} \times 250 \mu\text{m}$ の正方形とし、流路長を 10mm とした。混合流路 1 は、流路断面を直径 1mm の円形とし、流路長を 80mm とした。入口流路 2 及び入口流路 3 における入口流速を 3.333m/s に設定すると、入口流路 2 及び入口流路 3 でのレイノルズ数は 830 となって層流条件となり、混合流路 1 でのレイノルズ数は 2120 となって乱流条件となる。このとき、混合流路出口における流量は、 100mL/min である。

【 0 0 6 9 】

なお、流体 4 と流体 5 の物性は、実施例 1 と同一にした。

10

【 0 0 7 0 】

本実施例の反応装置について数値解析を実施したところ、図 2 3 に示すような解析結果が得られた。図 2 3 は、混合流路 1 の流れ方向に沿って流体の濃度ムラが減少していく様子を表しており、実施例 1 の反応装置及び T 字型反応装置での解析結果も示している。図 2 3 に示すように、実施例 1 の反応装置や T 字型反応装置に比べ、本実施例の反応装置のほうが、濃度ムラの変化率（曲線の傾き）が大きく、混合時間を短縮できることが分かる。

【 実施例 5 】

【 0 0 7 1 】

本発明の実施例 5 を図 2 4 により説明する。図 2 4 は、実施例 1 から 4 で示した反応装置のいずれかを用いた反応プラントの構成図である。

20

【 0 0 7 2 】

原料貯蔵タンク 1 8 a には物質 A が含まれる流体 4 が貯蔵され、原料貯蔵タンク 1 8 b には物質 B が含まれる流体 5 が貯蔵されている。原料貯蔵タンク 1 8 a には、開閉弁 2 1 a を介してポンプ 1 9 a が接続され、原料貯蔵タンク 1 8 b には、開閉弁 2 1 b を介してポンプ 1 9 b が接続されている。

【 0 0 7 3 】

ポンプ 1 9 a には、圧力計 2 0 a , 流量調節弁 2 2 a , 流量計 2 3 a が順次接続され、ポンプ 1 9 b には、圧力計 2 0 b , 流量調節弁 2 2 b , 流量計 2 3 b が順次接続されている。流量計 2 3 a に接続される配管 2 7 a には熱媒体の流路 1 5 により熱媒体が供給され熱交換するようになっており、流量計 2 3 b に接続される配管 2 7 b には熱媒体の流路 1 5 により熱媒体が供給され熱交換するようになっている。

30

【 0 0 7 4 】

配管 2 7 a と配管 2 7 b は、恒温槽 2 4 内に設置された反応装置 9 に接続され、反応装置 9 は恒温槽 2 4 内に設置された反応流路 2 5 に接続され、反応流路 2 5 は生成物貯蔵タンク 2 6 に接続されている。生成物貯蔵タンク 2 6 の下部には開閉弁 2 1 c が設けられ、生成物貯蔵タンク 2 6 から生成物を取り出すようになっている。

【 0 0 7 5 】

原料貯蔵タンク 1 8 a に貯蔵されている物質 A を含む流体 4 は、流量計 2 3 a で計測された流量計測値がフィードバックされて流量調節弁 2 2 a が調整され、ポンプ 1 9 a により反応装置 9 に送られる。原料貯蔵タンク 1 8 b に貯蔵されている物質 B を含む流体 5 は、流量計 2 3 b で計測された流量計測値がフィードバックされて流量調節弁 2 2 b が調整され、ポンプ 1 9 b により反応装置 9 に送られる。

40

【 0 0 7 6 】

反応装置 9 と反応流路 2 5 は、恒温槽 2 4 内に設置されており、熱媒体の流路 1 5 により供給される熱媒体により設定された温度となるように制御されている。反応装置 9 に送られた流体 4 と流体 5 は、実施例 1 から 4 で説明したように、物質 A を含む流体 4 は入口流路 2 から、物質 B を含む流体 5 は入口流路 3 からそれぞれ円筒形状の混合流路 1 に流入し、入口流路 2 から流入した流体 4 と入口流路 3 から流入した流体 5 は、半径方向に流体 4 と流体 5 が交互に層をなす旋回流を形成する。このような流れになると、二種類の流体

50

の拡散距離が減少し、旋回流の効果により、混合性が向上し、二種類の原料は反応装置 9 と反応流路 2 5 内で混合、反応した後、生成物貯蔵タンク 2 6 に貯蔵される。

【 0 0 7 7 】

本実施例によれば、反応装置を用いた反応プラントでは、高収率で生産量の高い反応物質を生産することが可能となる。

【 0 0 7 8 】

以上説明したように、各実施例では、それぞれ異種の物質を含む複数の流体を好ましくは内径 1 0 mm 未満の円筒形状の混合流路に合流させ、それぞれ異種の物質を含んでいる複数の流体を混合流路に導く入口流路を入口流路の中心軸が混合流路の中心軸と交わらないように設置する。また、入口流路は混合流路の流れ方向に対して 9 0 度未満の角度とする。また、入口流路を混合流路の流れ方向に多段に設置する。これにより、混合流路内の半径方向に複数の流体を多層状に流して拡散距離を低減し、乱流及び旋回流の効果を相乗させて複数の流体の混合性を促進させることにより副反応を抑制して高い反応収率を得、さらに圧力損失を低減することにより多量処理を実現できる混合流路を提供できる。

【産業上の利用可能性】

【 0 0 7 9 】

医薬品、化学工業製品の合成プロセスにおける流体中に含まれる複数の物質の反応において反応収率を向上させ、生産量を増大させることができる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 8 0 】

【図 1】本発明の実施例 1 である反応装置の構成を示す斜視図。

【図 2】図 1 に示す反応装置を上流側からみた側面図。

【図 3】図 1 の矢視 I - I 断面図。

【図 4】本発明の実施例 1 の反応装置の変形例を示す斜視図。

【図 5】本発明の実施例 1 の反応装置の変形例を示す斜視図。

【図 6】本発明の実施例 1 の反応装置の製作方法を示す斜視図。

【図 7】本発明の実施例 1 に相当する反応装置の解析体系を示す斜視図。

【図 8】比較例である T 字型反応装置の解析体系を示す斜視図。

【図 9】反応装置の混合性能の解析結果を示す図。

【図 1 0】本発明の実施例 2 である反応装置の構成を示す縦断面図。

【図 1 1】本発明の実施例 2 の反応装置の製作方法を示す斜視図。

【図 1 2】本発明の実施例 3 である反応装置の構成を示す斜視図。

【図 1 3】本発明の実施例 4 である反応装置の構成を示す斜視図。

【図 1 4】図 1 3 に示す反応装置を上流側からみた側面図。

【図 1 5】本発明の実施例 4 の反応装置の変形例を示す斜視図。

【図 1 6】図 1 3 に示す反応装置の製作方法を示す斜視図。

【図 1 7】図 1 5 に示す反応装置の構成を示す斜視図。

【図 1 8】図 1 7 に示す反応装置の出口部材の構成を示す平面図及び断面図。

【図 1 9】図 1 7 に示す反応装置の流路部材の構成を示す平面図及び断面図。

【図 2 0】図 1 9 に示す流路部材の中心部の詳細な構成を示す平面図。

【図 2 1】図 1 7 に示す反応装置のバッファ部材の構成を示す平面図及び断面図。

【図 2 2】本発明の実施例 4 に相当する反応装置の解析体系を示す斜視図。

【図 2 3】反応装置の混合性能の解析結果を示す図。

【図 2 4】本発明の実施例 5 である反応プラントの構成図。

【符号の説明】

【 0 0 8 1 】

1 混合流路

2 , 3 入口流路

4 , 5 流体

6 旋回流

10

20

30

40

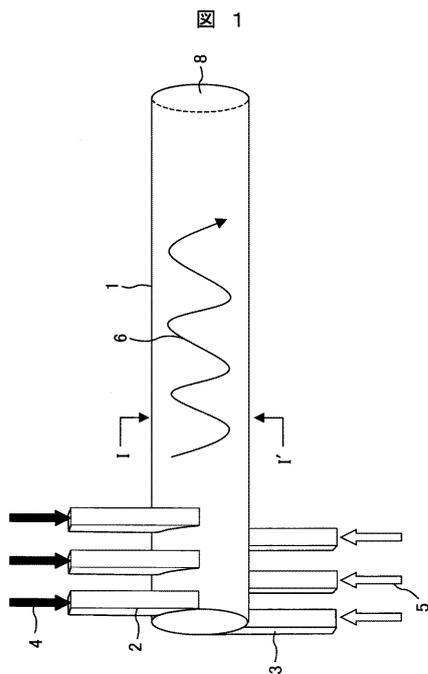
50

- 8 混合流路出口
- 9 反応装置
- 10 封止板
- 11, 31 バッファ
- 12, 32 バッファ入口流路
- 13 構造物
- 14 台座
- 15 熱媒体の流路
- 16 熱媒体
- 18 原料貯蔵タンク
- 19 ポンプ
- 20 圧力計
- 21 開閉弁
- 22 流量調節弁
- 23 流量計
- 24 恒温槽
- 25 反応流路
- 26 生成物貯蔵タンク
- 41 出口部材
- 42 流路部材
- 43 バッファ部材
- 45, 46 導入流路

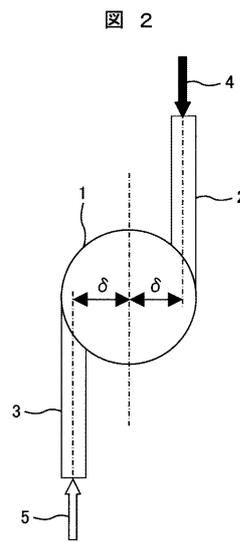
10

20

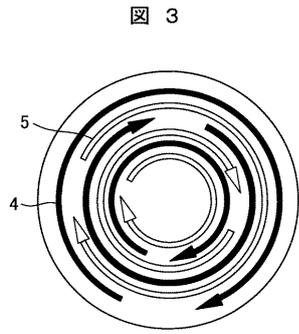
【図1】



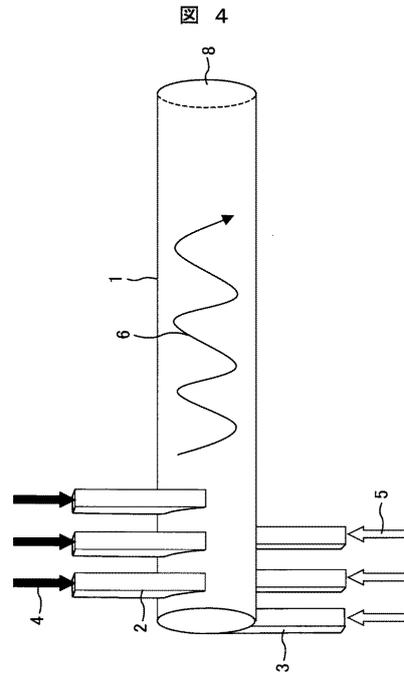
【図2】



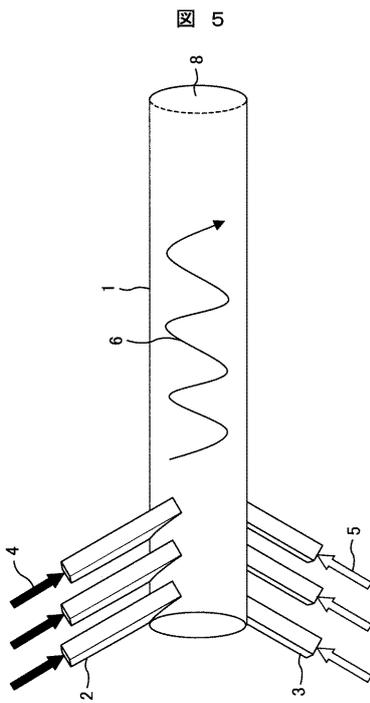
【図3】



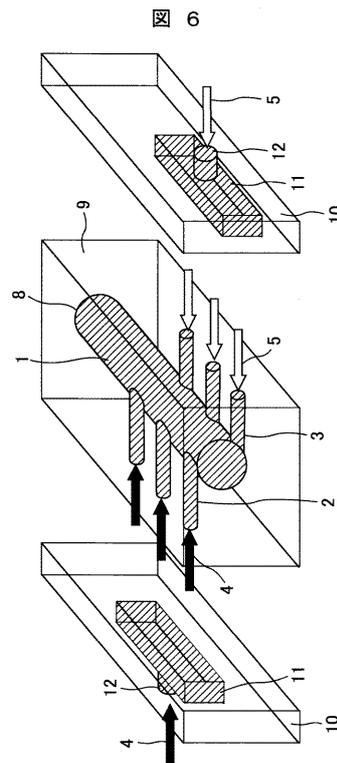
【図4】



【図5】

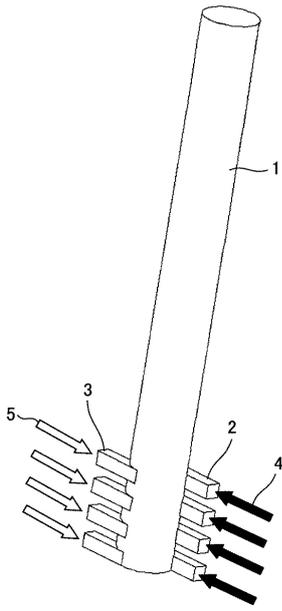


【図6】



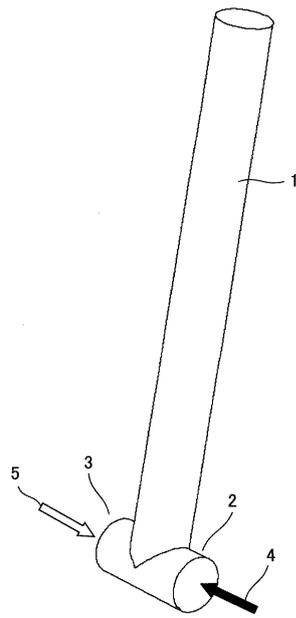
【図7】

図7



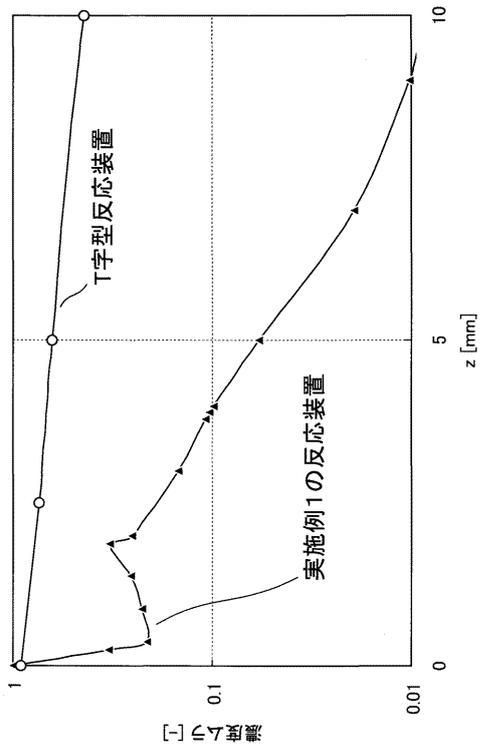
【図8】

図8



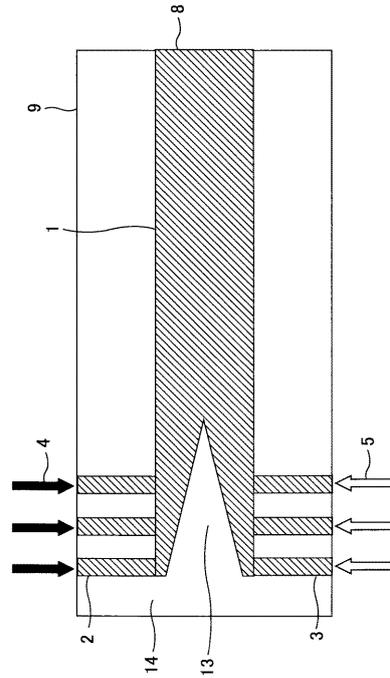
【図9】

図9

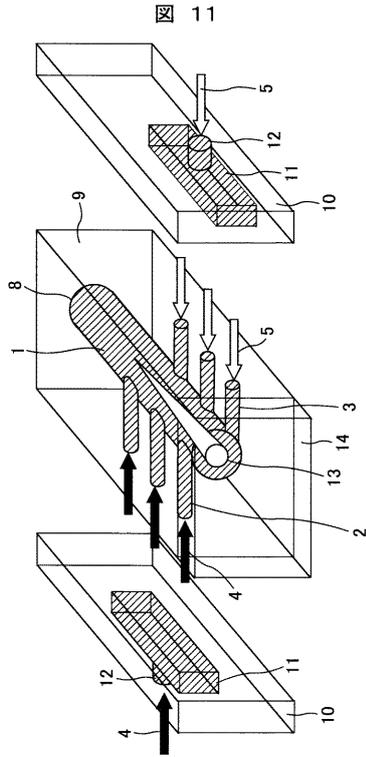


【図10】

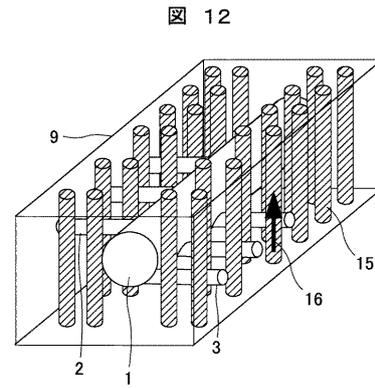
図10



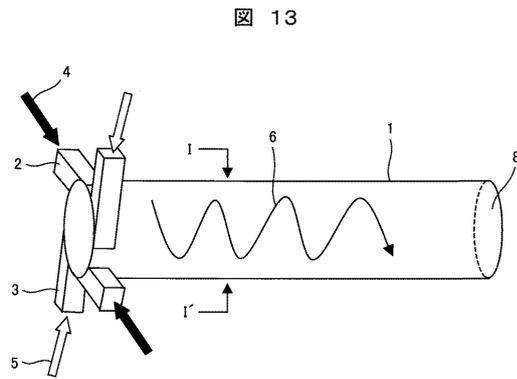
【 図 1 1 】



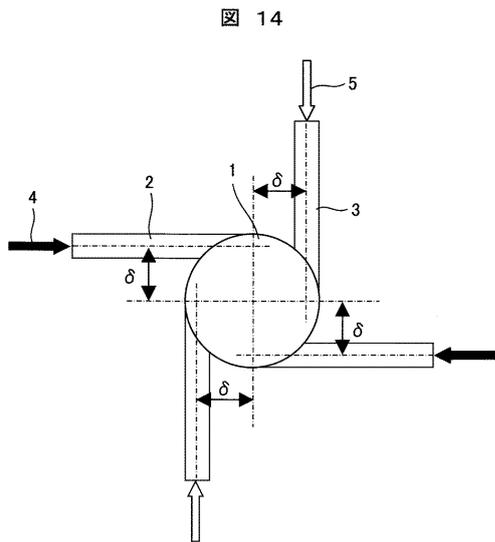
【 図 1 2 】



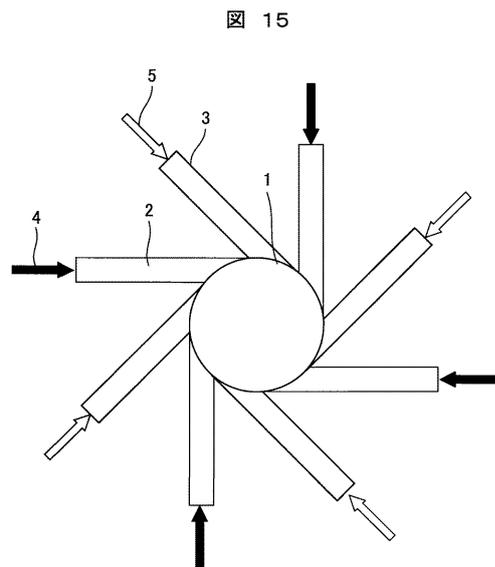
【 図 1 3 】



【 図 1 4 】

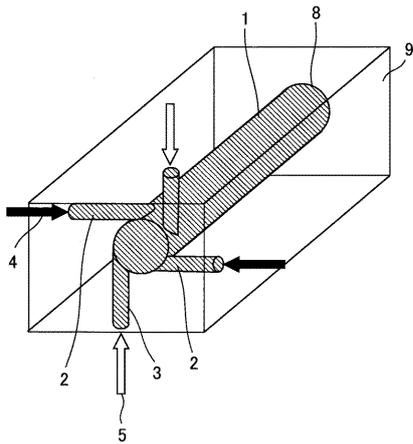


【 図 1 5 】



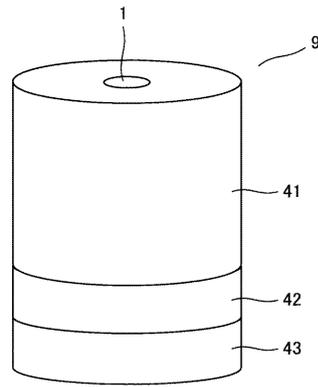
【図16】

図 16



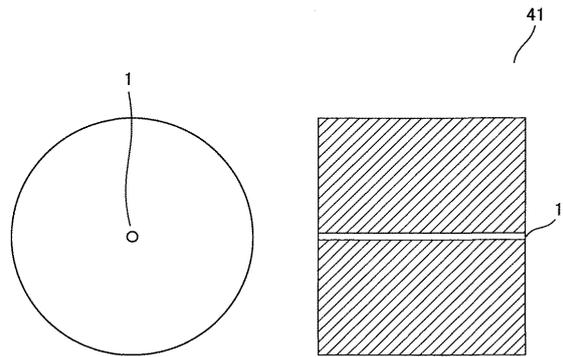
【図17】

図 17



【図18】

図 18



【図19】

図 19

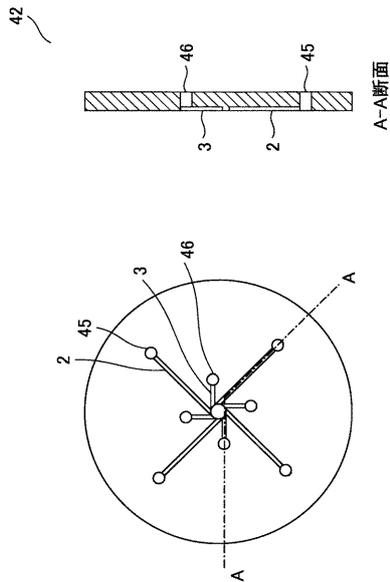
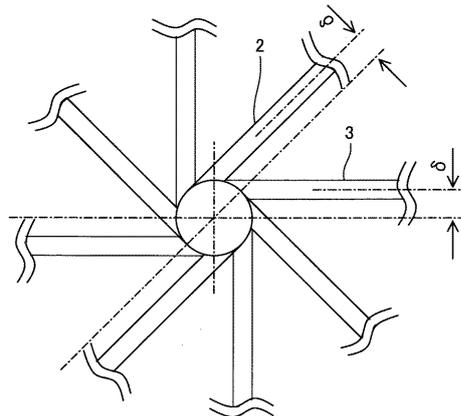
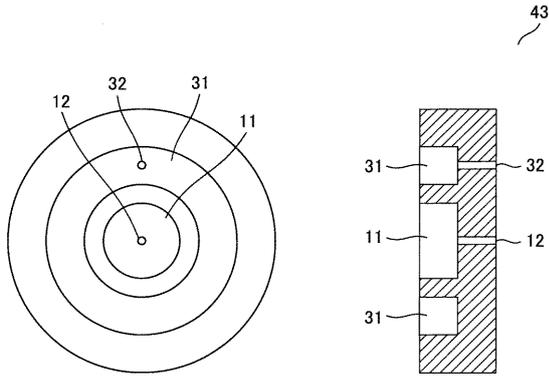


図 20



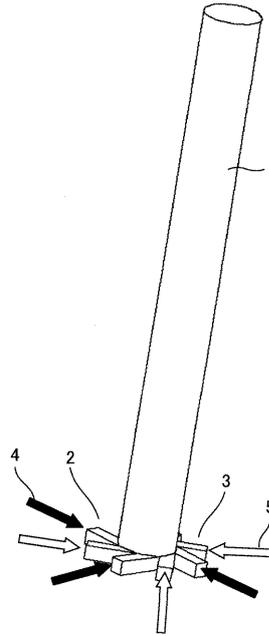
【図 2 1】

図 21



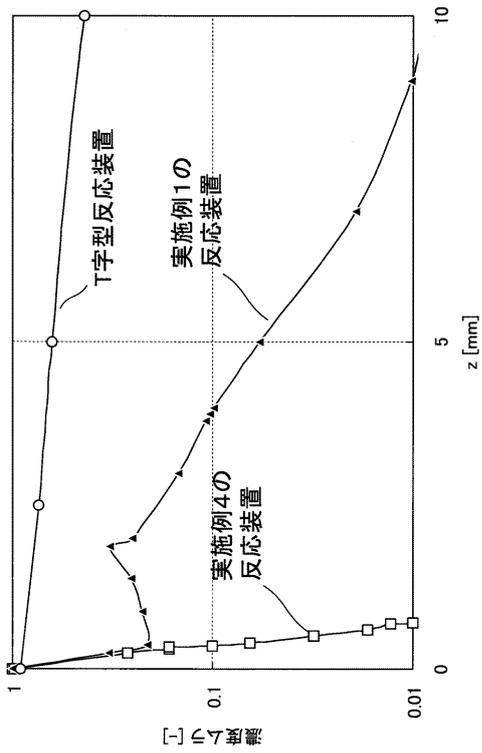
【図 2 2】

図 22



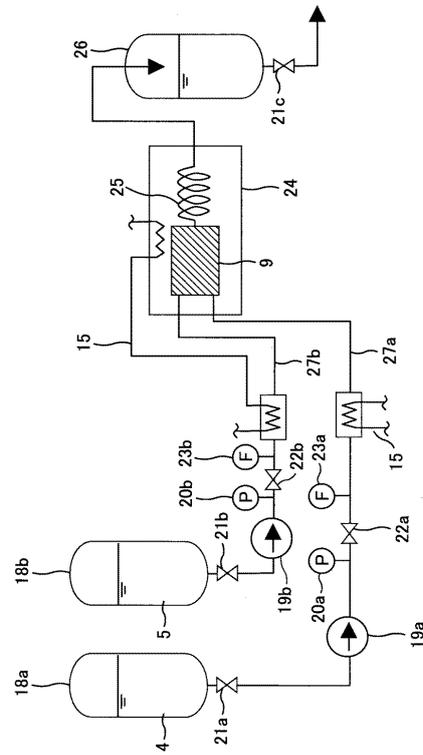
【図 2 3】

図 23



【図 2 4】

図 24



フロントページの続き

(72)発明者 近藤 健之

茨城県日立市大みか町七丁目2番1号
ー・環境システム研究所内

株式会社 日立製作所 エネルギー

審査官 長谷川 真一

(56)参考文献 特開2007-232311(JP,A)

特開平09-157664(JP,A)

特開平08-270906(JP,A)

特開2002-228106(JP,A)

特開平06-034106(JP,A)

実開昭50-148132(JP,U)

特開2008-168168(JP,A)

特開2006-167600(JP,A)

特開昭57-117328(JP,A)

特表2003-508691(JP,A)

実開昭53-088878(JP,U)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B01J 10/00 - 12/02

B01J 14/00 - 19/32

B01F 1/00 - 5/26

B01F 15/00 - 15/06

G01N 35/00 - 37/00

F23D 11/00 - 11/02

F23D 11/10 - 11/22

F23D 11/40 - 11/46

F23C 99/00