

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2009-262106

(P2009-262106A)

(43) 公開日 平成21年11月12日(2009.11.12)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
<b>B 0 1 J 19/00 (2006.01)</b>	B 0 1 J 19/00 3 2 1	2 G 0 5 8
<b>G 0 1 N 37/00 (2006.01)</b>	G 0 1 N 37/00 1 0 1	3 C 0 8 1
<b>G 0 1 N 35/08 (2006.01)</b>	G 0 1 N 35/08 A	4 G 0 7 5
<b>B 8 1 B 1/00 (2006.01)</b>	B 8 1 B 1/00	

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 26 頁)

(21) 出願番号 特願2008-117671 (P2008-117671)  
 (22) 出願日 平成20年4月28日 (2008.4.28)

(71) 出願人 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 100077816  
 弁理士 春日 譲  
 (72) 発明者 浅野 由花子  
 茨城県ひたちなか市堀口832番地2  
 株式会社日立製作所  
 機械研究所内  
 (72) 発明者 官本 哲郎  
 茨城県ひたちなか市堀口832番地2  
 株式会社日立製作所  
 機械研究所内

最終頁に続く

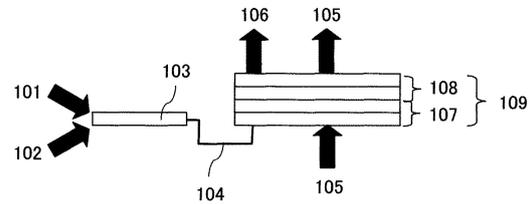
(54) 【発明の名称】 マイクロリアクタ

(57) 【要約】

【課題】系全体の圧力損失を小さくできるマイクロリアクタを提供することにある。

【解決手段】2種類の原料101, 102を混合させる混合流路を有する混合リアクタ103と、混合流路の下流側に接続され、混合流路から流出した混合物を受け入れて、その内部で前記混合物が化学反応を起こす反応流路を有する反応リアクタ109を有する。反応リアクタ109は、反応流路の表面積/体積比(S/V比)が大きい上流側の第1のリアクタ部107と、反応流路の表面積/体積比(S/V比)が小さい下流側の第2のリアクタ部108とを有する。

【選択図】 図1



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

少なくとも 2 種類の原料を混合させる混合流路と、該混合流路の下流側に接続され、前記混合流路から流出した混合物を受け入れて、その内部で前記混合物が化学反応を起こす反応流路とを有するマイクロリアクタであって、

前記反応流路内を前記混合物が流動する過程において、少なくとも 1 回は前記反応流路の表面積 / 体積比 (S / V 比) が変わり、しかも、上流側のほうが前記反応流路の表面積 / 体積比 (S / V 比) が大きいことを特徴とするマイクロリアクタ。

**【請求項 2】**

請求項 1 記載のマイクロリアクタにおいて、

前記反応流路の流路内体積比が、表面積 / 体積比 (S / V 比) が変わる地点を基準として、上流側 : 下流側 = 1 : 0.65 ~ 1 : 4 の範囲内にあることを特徴とするマイクロリアクタ。

10

**【請求項 3】**

少なくとも 2 種類の原料を混合させる混合流路と、該混合流路の下流側に接続され、前記混合流路から流出した混合物を受け入れて、その内部で前記混合物が化学反応を起こす反応流路とを有するマイクロリアクタであって、

流路の表面積 / 体積比 (S / V 比) が異なる 2 種類の平板状のプレートを設け、

前記 2 種類のプレートを同じ枚数ずつ積層させ、

流路の表面積 / 体積比 (S / V 比) が変わる地点を基準として、上流側のほうが流路の表面積 / 体積比 (S / V 比) が大きくなるように、前記反応流路を形成することを特徴とするマイクロリアクタ。

20

**【請求項 4】**

請求項 3 記載のマイクロリアクタにおいて、

前記平板状のプレートの流路が形成されている面を対面させることにより、反応流路を形成することを特徴とするマイクロリアクタ。

**【請求項 5】**

請求項 3 記載のマイクロリアクタにおいて、

前記反応流路が形成されている面の裏側の面に、熱制御用の流路が形成されていることを特徴とするマイクロリアクタ。

30

**【請求項 6】**

少なくとも 2 種類の原料を混合させる混合流路と、該混合流路の下流側に接続され、前記混合流路から流出した混合物を受け入れて、その内部で前記混合物が化学反応を起こす反応流路とを有するマイクロリアクタであって、

流路の表面積 / 体積比 (S / V 比) が異なる 2 種類の平板状のプレートと、熱制御用の流路が形成されている平板状のプレートを設け、

前記 2 種類の表面積 / 体積比 (S / V 比) が異なるプレートを同じ枚数ずつ積層させるとともに、少なくとも 1 枚は前記熱制御用のプレートを積層させ、

流路の表面積 / 体積比 (S / V 比) が変わる地点を基準として、上流側のほうが前記流路の表面積 / 体積比 (S / V 比) が大きくなるように、前記反応流路および熱媒体が流動する流路を形成することを特徴とするマイクロリアクタ。

40

**【請求項 7】**

少なくとも 2 種類の原料を混合させる第 1 の混合流路と、

該第 1 の混合流路の下流側に接続され、前記第 1 の混合流路から流出した混合物を受け入れて、その内部で前記混合物が化学反応を起こす第 1 の反応流路と、

該第 1 の反応流路から流出した生成物に他の原料を混合させる第 2 の混合流路と、

該第 2 の混合流路の下流側に接続され、前記第 2 の混合流路から流出した混合物を受け入れて、その内部で前記混合物が化学反応を起こす第 2 の反応流路とを有するマイクロリアクタであって、

前記第 1 及び第 2 の反応流路内を前記混合物が流動する過程において、少なくとも 1 回

50

は前記反応流路の表面積/体積比(S/V比)が変わり、しかも、上流側のほうが前記反応流路の表面積/体積比(S/V比)が大きいことを特徴とするマイクロリアクタ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、マイクロリアクタに係り、特に、少なくとも2種類の原料を混合させる混合流路と、その混合流路の下流側に接続され、混合流路から流出した混合物を受け入れて、その内部で混合物が化学反応を起こす反応流路を備えるマイクロリアクタに関する。

【背景技術】

【0002】

近年、マイクロ加工技術などにより作製された、微細な流路内で流体を混合させる装置、いわゆるマイクロリアクタを、バイオ・医療分野、あるいは化学反応の分野に応用しようとする取り組みが盛んに行われている。

【0003】

マイクロリアクタにおける合成反応における特徴として、反応場のサイズの低下に伴い、流体の体積に対する表面積の効果が相対的に大きくなるため、熱交換の効率が極めて高くなることが知られている。従って、通常のバッチ反応では発熱により暴走してしまう危険性のある反応、精密な温度制御を必要とする反応、急速な加熱あるいは冷却を必要とする反応でも、マイクロリアクタでは容易に行うことができる可能性がある、と期待されている。しかし、反応ごとに反応速度や反応熱、副反応の数などが異なるため、対象とする反応に応じて、マイクロリアクタの性能を最適化する必要が生じる。

【0004】

マイクロリアクタの温度制御性に関しては、これまでいろいろな開発および検討が行われている。第1には、単位長の整数倍の長さを持ち、その長さが順に長くなるように配列した複数のマイクロヒータを選択的に通電するものが知られている(例えば、特許文献1参照)。

【0005】

また、第2には、並列に設けられた複数のマイクロチャンネルに沿って複数のマイクロヒータを備え、互いに共通する各位置を一つの制御単位としてそれぞれ制御するものが知られている(例えば、特許文献2参照)。

【0006】

そして、第3には、所定の熱エネルギーを供給する複数の熱伝達手段と、各々の温度状態を制御する熱伝達制御手段をもつものが知られている(例えば、特許文献3参照)。

【0007】

【特許文献1】特開2003-47839公報

【特許文献2】特開2003-47840公報

【特許文献3】特開2003-88754公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

しかしながら、反応の種類は非常に多いため、実際には、反応ごとマイクロリアクタの温度制御性を最適化するのには現実的ではない。つまり、反応により発生する反応熱に応じた温度制御性をもつマイクロリアクタを、いかに簡単に構成できるかが重要になると考えられる。

【0009】

マイクロリアクタでは、特に原料が迅速に混合するため、原料の合流部付近で一気に反応が起こる。反応が発熱反応の場合には、反応により発生する反応熱により、原料の合流部を中心に局所的に発熱し、下流側に行くに従って発熱量が減っていくことになる。マイクロリアクタの熱制御性が十分であれば、反応に伴う温度変化は抑えられるが、実際には、熱制御性は十分でない場合が多い。従って、反応で発生する熱を適切に制御し、所定の

10

20

30

40

50

反応温度を維持するために、反応により発生する反応熱に応じた温度制御対策が必要となる。

【0010】

マイクロリアクタにおける温度制御を効率よく行うためには、1) マイクロリアクタの材質に熱伝導性の高いものを用いる、2) 流体と流路の間の表面積を増大する、などの方法が挙げられる。1) については、熱伝導率の高い、主に金属の材質を用いるのが望ましいが、熱伝導率が高い材質は耐腐食性が低く、耐腐食性が高い材質は加工性に難がある場合が多い、といった問題がある。

【0011】

一方、2) については、代表長さを短くすると、熱制御性はよくなるが圧力損失が増大するため、生産量が減少したり、高粘度流体の送液が難しくなったりする。逆に代表長さを長くすると、圧力損失は小さくなるが熱制御性は悪くなる。すなわち、温度制御性は、系全体の圧力損失と熱制御性のトレードオフになる。従って、上流側では、圧力損失が大きくても熱制御性を重視するが、下流側では、ほどほどの熱制御性ではあるが圧力損失を小さくして、系全体の圧力損失を小さくすることが望まれる。

10

【0012】

本発明の第1の目的は、系全体の圧力損失を小さくできるマイクロリアクタを提供することにある。

【0013】

本発明の第2の目的は、系全体の圧力損失を小さくできるとともに、構成の簡単なマイクロリアクタを提供することにある。

20

【0014】

本発明の第3の目的は、系全体の圧力損失を小さくでき、構成が簡単であるとともに、温度制御性を有するマイクロリアクタを提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0015】

(1) 上記第1の目的を達成するため、本発明は、少なくとも2種類の原料を混合させる混合流路と、該混合流路の下流側に接続され、前記混合流路から流出した混合物を受け入れて、その内部で前記混合物が化学反応を起こす反応流路とを有するマイクロリアクタであって、前記反応流路内を前記混合物が流動する過程において、少なくとも1回は前記反応流路の表面積/体積比(S/V比)が変わり、しかも、上流側のほうが前記反応流路の表面積/体積比(S/V比)が大きくなるようにしたものである。

30

かかる構成により、系全体の圧力損失を小さくできるものとなる。

【0016】

(2) 上記(1)において、好ましくは、前記反応流路の流路内体積比が、表面積/体積比(S/V比)が変わる地点を基準として、上流側:下流側=1:0.65~1:4の範囲内にある。

【0017】

(3) また、上記第2の目的を達成するため、本発明は、少なくとも2種類の原料を混合させる混合流路と、該混合流路の下流側に接続され、前記混合流路から流出した混合物を受け入れて、その内部で前記混合物が化学反応を起こす反応流路とを有するマイクロリアクタであって、流路の表面積/体積比(S/V比)が異なる2種類の平板状のプレートを設け、前記2種類のプレートを同じ枚数ずつ積層させ、流路の表面積/体積比(S/V比)が変わる地点を基準として、上流側のほうが流路の表面積/体積比(S/V比)が大きくなるように、前記反応流路を形成するようにしたものである。

40

かかる構成により、系全体の圧力損失を小さくできるとともに、構成を簡単とし得るものとなる。

【0018】

(4) 上記(3)において、好ましくは、前記平板状のプレートの流路が形成されている面を対面させることにより、反応流路を形成するようにしたものである。

50

## 【0019】

(5) 上記(3)において、好ましくは、前記反応流路が形成されている面の裏側の面に、熱制御用の流路が形成されているものである。

## 【0020】

(6) さらに、上記第3の目的を達成するため、本発明は、少なくとも2種類の原料を混合させる混合流路と、該混合流路の下流側に接続され、前記混合流路から流出した混合物を受け入れて、その内部で前記混合物が化学反応を起こす反応流路とを有するマイクロリアクタであって、流路の表面積/体積比(S/V比)が異なる2種類の平板状のプレートと、熱制御用の流路が形成されている平板状のプレートを設け、前記2種類の表面積/体積比(S/V比)が異なるプレートを同じ枚数ずつ積層させるとともに、少なくとも1枚は前記熱制御用のプレートを積層させ、流路の表面積/体積比(S/V比)が変わる地点を基準として、上流側のほうが前記流路の表面積/体積比(S/V比)が大きくなるように、前記反応流路および熱媒体が流動する流路を形成するようにしたものである。

10

かかる構成により、系全体の圧力損失を小さくでき、構成が簡単であるとともに、温度制御性を有するものとなる。

## 【0021】

(7) また、上記第1の目的を達成するため、本発明は、少なくとも2種類の原料を混合させる第1の混合流路と、該第1の混合流路の下流側に接続され、前記第1の混合流路から流出した混合物を受け入れて、その内部で前記混合物が化学反応を起こす第1の反応流路と、該第1の反応流路から流出した生成物に他の原料を混合させる第2の混合流路と、該第2の混合流路の下流側に接続され、前記第2の混合流路から流出した混合物を受け入れて、その内部で前記混合物が化学反応を起こす第2の反応流路とを有するマイクロリアクタであって、前記第1及び第2の反応流路内を前記混合物が流動する過程において、少なくとも1回は前記反応流路の表面積/体積比(S/V比)が変わり、しかも、上流側のほうが前記反応流路の表面積/体積比(S/V比)が大きいうようにしたものである。

20

かかる構成により、系全体の圧力損失を小さくできるものとなる。

## 【発明の効果】

## 【0022】

本発明によれば、系全体の圧力損失を小さくできるものとなる。

## 【0023】

また、本発明によれば、系全体の圧力損失を小さくできるとともに、構成を簡単に行うことができる。

30

## 【0024】

さらに、本発明によれば、系全体の圧力損失を小さくでき、構成が簡単であるとともに、温度制御性を有するものとすることができる。

## 【発明を実施するための最良の形態】

## 【0025】

以下、図1~図11を用いて、本発明の第1の実施形態によるマイクロリアクタの構成について説明する。

最初に、図1を用いて、本実施形態によるマイクロリアクタの全体構成について説明する。

40

図1は、本発明の第1の実施形態によるマイクロリアクタの全体構成を示す正面図である。

## 【0026】

本実施形態のマイクロリアクタは、混合流路を有する混合リアクタ103と、接続チューブ104と、反応流路を有する反応リアクタ109とから構成される。混合リアクタ103には、第1の原料101と、第2の原料102とが導入され、その内部の混合流路において、2種類の原料を混合される。混合リアクタ103にて混合された原料は、接続チューブ104を経由して、反応リアクタ109に導入される。反応リアクタ109の内部では、混合された2種類の原料が化学反応して、生成物106が生成される。また、反応

50

リアクタ 109 における化学反応を所定温度で行うための、温度制御用の熱媒体 105 が反応リアクタ 109 に導入される。反応リアクタ 109 の内部には、熱媒体が流れるための熱媒体流路が形成されている。なお、混合リアクタ 103 の混合流路の構成については、図 2 を用いて後述する。また、反応リアクタ 109 の反応流路及び熱媒体流路の構成については、図 3 を用いて後述する。

【0027】

本実施形態における反応リアクタ 109 の特徴としては、反応リアクタ 109 は、上流側の反応流路の表面積 / 体積比 (S / V 比) の大きな第 1 のリアクタ部 107 と、下流側の流路の表面積 / 体積比 (S / V 比) の小さな第 2 のリアクタ部 108 から構成されている。なお、S / V 比の詳細については、図 3 以降を用いて後述する。

10

【0028】

ここで、第 1 の原料 101、第 2 の原料 102 および熱媒体 105 は、何らかの送液手段により導入されるが、送液手段は、例えばシリンジポンプや、手動によるシリンジや、プランジャーポンプや、ダイヤフラムポンプや、スクリュポンプを用いることができる。また、水頭差を用いる送液手段でもよいものである。

【0029】

熱媒体 105 の種類は、設定したい反応温度に応じて適宜変更することができる。例えば、水、水 - エタノール混合溶媒、エチレングリコールなど、設定したい反応温度で液体であるものを用いることができる。また、反応温度が室温である場合には、反応熱とマイクロリアクタの熱制御性によっては、必ずしも熱媒体 105 は必要ないものである。

20

【0030】

また、混合リアクタ 103 では 2 種類の原料を混合させているが、3 種類以上の原料を混合させてもよい。さらに、原料どうしは、均一に混ぜり合っても、混ぜり合わなくて不均一になっても (いわゆる乳化状態になっても) よいものである。

【0031】

接続チューブ 104 の材質は、反応に悪い影響を与えないものであれば、チューブ内を流れる溶液の温度や物性に依りて適宜変更することができる。例えば、ステンレス、シリコン、ガラス、ハステロイ、シリコン樹脂、およびフッ素系樹脂などを用いることができる。また、ガラスライニング、ステンレスやシリコンなどの表面にニッケルや金などのコーティングをしたものや、シリコンの表面を酸化させたものなど、耐食性を向上させたものを用いることもできる。

30

【0032】

さらに、反応リアクタ 109 の材質は、反応に悪い影響を与えないものであれば、反応の種類に応じて適宜変更することができる。例えば、ステンレス、シリコン、金、ガラス、ハステロイ、シリコン樹脂、およびフッ素系樹脂などを用いることができる。また、ガラスライニング、金属の表面にニッケルや金などのコーティングをしたものや、シリコンの表面を酸化させたものなど、耐食性を向上させたものを用いてもよいものである。

【0033】

次に、図 2 を用いて、本実施形態によるマイクロリアクタに用いる混合リアクタ 103 の構成について説明する。

40

図 2 は、本発明の第 1 の実施形態によるマイクロリアクタに用いる混合リアクタの構成を示す斜視図である。

【0034】

混合リアクタ 103 は、その内部に、点線で示すように、流入口が 2 つで、流出口が 1 つの Y 字状の混合流路 103 a を備えている。第 1 の流入口から、第 1 の原料 101 が混合流路 103 a の内部に導入され、第 2 の流入口から、第 2 の原料 102 が混合流路 103 a の内部に導入される。第 1 の流入口と第 2 の流入口から流入した 2 種類の原料は、混合流路 103 a の途中で合流し、混合される。

【0035】

次に、図 3 ~ 図 6 を用いて、本実施形態によるマイクロリアクタに用いる反応リアクタ

50

109の構成について説明する。

図3は、本発明の第1の実施形態によるマイクロリアクタの第1のリアクタ部に用いるプレートの構成を示す平面図及び底面図である。図4は、本発明の第1の実施形態によるマイクロリアクタの第2のリアクタ部に用いるプレートの構成を示す平面図及び底面図である。図5は、本発明の第1の実施形態によるマイクロリアクタに用いる反応リアクタの第1及び第2のリアクタ部の構成を示す平面図である。図6は、本発明の第1の実施形態によるマイクロリアクタに用いる反応リアクタの分解正面図及び正面図である。

【0036】

前述したように、本実施形態における反応リアクタ109は、上流側の反応流路の表面積/体積比(S/V比)の大きな第1のリアクタ部107と、下流側の流路の表面積/体積比(S/V比)の小さな第2のリアクタ部108から構成されている。第1のリアクタ部107は、図3に示す第1のプレート107Aを2枚重ね合わせることで形成される。第1のプレート107Aの一方の面には、反応流路が形成され、他方の面には、熱媒体流路が形成されている。また、第2のリアクタ部108は、図4に示す第2のプレート108Aを2枚重ね合わせることで形成される。第2のプレート108Aの一方の面には、反応流路が形成され、他方の面には、熱媒体流路が形成されている。ここで、上流側に配置される第1のプレート107Aの反応流路における表面積/体積比(S/V比)は、下流側に配置される第2のプレート108Aの反応流路における表面積/体積比(S/V比)よりも大きくなるように設定されている。

10

【0037】

最初に、図3を用いて、本実施形態によるマイクロリアクタの第1のリアクタ部107に用いるプレート107Aの構成について説明する。図3(A)は正面側から見たプレート107Aの表面201の図であり、図3(B)は底面側から見たプレート107Aの裏面202の図である。プレート107Aには、反応流路の表面積/体積比(S/V比)が大きくなるような流路が形成されている。

20

【0038】

図3(A)に示すように、第1のプレート107Aの表面201には、プレートを積層してネジ留めするためのネジ穴203と、プレートからの漏れを防ぐために用いるリング用の溝206と、表面積/体積比(S/V比)の大きな流路205と、第1のプレート107A上の流路205内の液体を次のプレートに連通させるための貫通穴204Aとが形成されている。

30

【0039】

また、図3(B)に示すように、第1のプレート107Aの裏面202には、プレートを積層してネジ留めするためのネジ穴203と、プレートからの漏れを防ぐために用いるリング用の溝206と、熱媒体用の流路207と、第1のプレート107A上の流路207内の液体を次のプレートに連通させるための貫通穴204Bと、熱媒体の流れを確保するためのガイド208が形成されている。

【0040】

次に、図4を用いて、本実施形態によるマイクロリアクタの第2のリアクタ部108に用いるプレート108Aの構成について説明する。図4(A)は正面側から見たプレート108Aの表面209の図であり、図4(B)は底面側から見たプレート108Aの裏面210の図である。プレート108Aには、反応流路の表面積/体積比(S/V比)が、プレート107Aの反応流路に比べて小さくなるような流路が形成されている。

40

【0041】

図4(A)に示すように、第2のプレート108Aの表面209には、プレートを積層してネジ留めするためのネジ穴203と、プレートからの漏れを防ぐために用いるリング用の溝206と、表面積/体積比(S/V比)の小さな流路211と、第2のプレート108A上の流路211内の液体を次のプレートに連通させるための貫通穴204Aとが形成されている。

【0042】

50

また、図4(B)に示すように、第2のプレート108Aの裏面210は、プレートを積層してネジ留めするためのネジ穴203と、プレートからの漏れを防ぐために用いるリング用の溝206と、熱媒体用の流路207と、第2のプレート108A上の流路207内の液体を次のプレートに連通させるための貫通穴204Bと、熱媒体の流れを確保するためのガイド208とが形成されている。

【0043】

ここで、第1のプレート107Aの表面201、裏面202、第2のプレート108Aの表面209、裏面210のすべてにおいて、プレートを180度回転させたときの流路構造が、もとの流路構造の鏡像体になっている。また、第1のプレート107Aの裏面202および第2のプレート108Aの裏面210は同じ流路構造となっており、一方のプレート

10

【0044】

図5(A)は、流路の表面積/体積比(S/V比)が大きい第1のプレート107Aを表面側から見た状態を示している。図5(B)は、流路の表面積/体積比(S/V比)が第1のプレート107Aに比べて小さい第2のプレート108Aを表面側から見た状態を示している。第1のプレート107A、第2のプレート108Aともに、表面と裏面で流路の構造は異なっているが、貫通穴204は重なっている。

【0045】

図6(A)は、反応リアクタ109の組立状態を示している。2種類の平板状プレートである第1のプレート107Aおよび第2のプレート108Aを、それぞれ、2枚ずつ積層させて、マイクロリアクタを構築する。

20

【0046】

第1のプレート107Aの表面201および第2のプレート108Aの表面209において、プレートを180度回転させたときの流路構造が、もとの流路構造の鏡像体になっているため、同じ種類のプレート、第1のプレート107Aもしくは第2のプレート108Aの表面どうしを、貫通穴204A, 204Bが連通するように合わせることで、各面の流路形状が完全に一致し、反応流路を形成することができる。

【0047】

また、第1のプレート107Aの裏面202および第2のプレート108Aの裏面210は同じ流路構造となっており、一方のプレートを180度回転させたときの流路構造が、同じプレートの流路構造の構造体になるとともに、他方のプレートの流路構造の鏡像体にもなっているため、同じ種類のプレート、第1のプレート107Aもしくは第2のプレート108Aの裏面どうしを、もしくは一方のプレートの裏面と他方のプレートの裏面を、貫通穴204A, 204Bが連通するように合わせることで、各面の流路形状が完全に一致し、熱媒体流路を形成することができる。

30

【0048】

貫通穴204A, 204Bが連通するように合わせると、図6(A)に示すように、上流側から下流側に行くにつれて、第1のプレート107Aの裏面202、第1のプレート107Aの表面201、第1のプレート107Aの表面201、第1のプレート107Aの裏面202、第2のプレート108Aの裏面210、第2のプレート108Aの表面209、第2のプレート108Aの表面209、第2のプレート108Aの裏面210の順番に積層することが可能である。従って、上流側から導入される混合物106および熱媒体105は、貫通穴204A, 204Bを経て、第1のプレート107Aおよび第2のプレート108Aを連通できる。なお、流路からの液体の漏れを防止するため、必要箇所にリング405を設けている。

40

【0049】

また、図6(B)に示すように、くみ上げられた反応リアクタ109は、上流側から導入される混合物106および熱媒体105は、貫通穴204A, 204Bを経て、第1のプレート107Aおよび第2のプレート108Aを連通できる。

50

## 【0050】

なお、第1のプレート107Aの裏面202および第2のプレート108Aの裏面210の流路構造については、熱媒体の流れが確保されるように、貫通穴204A, 204Bさえ合うような位置関係になっていればよく、流路構造のすべてが、必ずしも一方のプレートを180度回転させたときの流路構造が、同じプレートの流路構造の構造体になっていたり、他方のプレートの流路構造の鏡像体になっていたりする必要はない。また、図6(A), (B)において、ネジ穴203およびネジ留めするためのネジは図示していない。

## 【0051】

また、図6(A)に示す状態において、最下段に位置する第1のプレート107Aの裏面202の熱媒体流路の部分及び、最上段に位置する第2のプレート108Aの裏面210の熱媒体流路の部分は、熱媒体流路としては用いないものである。

10

## 【0052】

さらに、表面積/体積比(S/V比)の大きな流路205および表面積/体積比(S/V比)の小さな流路211の代表長さは、反応の種類や使用目的に応じて設定する。通常は、1cm以下の範囲、より好ましくは、パッチ法による実験において攪拌することにより得られる渦塊の直径より小さい値、すなわち1mm以下の範囲で、適宜変更する。熱媒体用の流路207の代表長さについても、使用目的に応じて設定すればよいが、通常は、熱制御性を向上させるとともに、系全体の圧力損失ができるだけ少なくなるように、使用する送液手段に応じて変更することができる。

20

## 【0053】

なお、流路の代表長さとは、流路の断面形状が矩形(長方形や、台形等)の場合には、その対角線の長さである。また、流路の断面形状が円形の場合には、その直径である。長円の場合には、長径と短径の平均値である。

## 【0054】

次に、図7~図11を用いて、本実施形態によるマイクロリアクタに用いる反応リアクタにおける流路の表面積/体積比(S/V比)の値の設定方法について説明する。

図7は、本発明の第1の実施形態によるマイクロリアクタに用いる反応リアクタにおいて、解析に用いた熱反応モデルの説明図である。図8は、本発明の第1の実施形態によるマイクロリアクタに用いる反応リアクタにおいて、解析に用いた流路の表面積/体積比(S/V比)を変更させたリアクタモデルの説明図である。図9及び図10は、本発明の第1の実施形態によるマイクロリアクタに用いる反応リアクタの解析結果の説明図である。図11は、本発明の第1の実施形態によるマイクロリアクタに用いる反応リアクタにおける、 $k_A/k_{Q1}$ の体積比依存性の解析結果の説明図である。

30

## 【0055】

前述したように、本実施形態における反応リアクタ109は、上流側の反応流路の表面積/体積比(S/V比)の大きな第1のリアクタ部107と、下流側の流路の表面積/体積比(S/V比)の小さな第2のリアクタ部108から構成されている。ここで、流路の表面積/体積比(S/V比)の値は、次のような方法により決めることができる。ここでは、流路の表面積/体積比(S/V比)の値を変えた場合の、熱量の時間変化に関する解析による検討を行っている。原料Aからの反応は、厳密には素反応の組み合わせで表現されるが、実験的には大まかに一次反応として記述可能であると考えられる。従って、流路中で反応させたときの温度-時間曲線(熱-時間曲線)は、大まかには1次反応の組み合わせで近似可能であると考えられる。

40

## 【0056】

図7は、解析に用いた熱反応モデルを示している。この反応では、反応物Aから生成物Bが生成し、反応に伴って発生する反応熱がQである。この反応の反応速度定数を $k_A$ 、反応熱の反応熱定数を $U_B$ で表す。また、発生した反応熱Qは、反応時間tが0から $t_s$ の範囲では除熱速度定数 $k_{Q1}$ により、 $t_s$ から $t_R$ の範囲では除熱速度定数 $k_{Q2}$ により、 $Q_c$ へと除熱される。ここで、 $t_s$ は流路幅が変更する反応時間であり、 $t_R$ は

50

反応が終了する時間である。また、 $k_{Q1} > k_{Q2}$  である。

【0057】

図7のモデルに基づいて反応速度式を記述すると、以下の式(1)～式(5)のようになる。

【0058】

【数1】

$$-\frac{d[A]}{dt} = \frac{d[B]}{dt} = k_A[A] \quad \dots (1)$$

【0059】

【数2】

$$\frac{dQ}{dt} = k_A U_B [A] - k_{Q1} Q \quad (0 \leq t \leq t_s) \quad \dots (2)$$

【0060】

【数3】

$$\frac{dQ}{dt} = k_A U_B [A] - k_{Q2} Q \quad (t_s \leq t \leq t_R) \quad \dots (3)$$

【0061】

【数4】

$$\frac{dQ_C}{dt} = k_{Q1} Q_1 \quad (0 \leq t \leq t_s) \quad \dots (4)$$

【0062】

【数5】

$$\frac{dQ_C}{dt} = k_{Q2} Q_2 \quad (t_s \leq t \leq t_R) \quad \dots (5)$$

【0063】

ここで、 $Q$ は熱量、 $Q_C$ は除熱量、 $[M]$ は物質 $M$ の濃度、 $t$ は反応時間、 $t_s$ ：流路幅が変更する反応時間、 $t_R$ ：反応が終了する時間、 $k_A$ ：反応速度定数、 $U_B$ ：反応熱定数、 $k_{Q1}$ ：除熱速度定数( $0 \leq t \leq t_s$ )、 $k_{Q2}$ ：除熱速度定数( $t_s \leq t \leq t_R$ )、および $k_{Q1} > k_{Q2}$ である。

【0064】

反応開始時( $t = 0$ )の条件は、式(6)及び式(7)で与えられる。

【0065】

【数6】

$$Q = Q_C = 0 \quad \dots (6)$$

【0066】

【数7】

$$[A] = [A]_0 \neq 0 \quad \dots (7)$$

【0067】

流路幅変更時( $t = t_s$ )の条件は、式(8)で与えられる。

【0068】

【数8】

$$Q = Q_{ts} \quad \dots (8)$$

10

20

30

40

50

【 0 0 6 9 】

従って、式 ( 1 ) および式 ( 7 ) より、物質 A の濃度は、式 ( 9 ) となる。

【 0 0 7 0 】

【 数 9 】

$$[A] = [A]_0 \exp(-k_A t) \quad \cdots (9)$$

【 0 0 7 1 】

ここで、式 ( 7 ) を式 ( 2 ) に代入し、式 ( 6 ) 式の関係を使うと、以下の式 ( 1 0 ) となる。

【 0 0 7 2 】

【 数 1 0 】

$$Q = [A]_0 \left( \frac{k_A U_B}{k_{Q1} - k_A} \right) \{ \exp(-k_A t) - \exp(-k_{Q1} t) \} \quad (0 \leq t \leq t_s) \quad \cdots (10)$$

【 0 0 7 3 】

また、式 ( 7 ) を式 ( 3 ) に代入し、式 ( 8 ) の関係を使うと、以下の式 ( 1 1 ) となる。

【 0 0 7 4 】

【 数 1 1 】

$$Q = Q_{ts} + [A]_0 \left( \frac{k_A U_B}{k_{Q2} - k_A} \right) \{ \exp(-k_A t) - \exp(-k_{Q2} t) \} \quad (t_s \leq t \leq t_R) \quad \cdots (11)$$

【 0 0 7 5 】

次に、図 8 を用いて、流路の表面積 / 体積比 ( S / V 比 ) を変更させた反応リアクタのモデルについて説明する。

【 0 0 7 6 】

図 8 ( A ) は、平板状マイクロリアクタ ( 直方型流路 ) のモデルである。ここで、上流側の流路の長さを  $L_1$ 、体積を  $V_1$ 、流路幅を  $d_1$  とし、下流側の流路の長さを  $L_2$ 、体積を  $V_2$ 、流路幅を  $d_2$  とおき、流路深さ  $w$  を一定で共通としている。そして、圧力損失  $P$  および流路内の全体積  $V$  (  $V = V_1 + V_2$  ) は一定の条件下で、流路幅  $d_1$  および  $d_2$  ( および流路長さ  $L_1$ 、 $L_2$  ) を変更した。

【 0 0 7 7 】

図 8 ( B ) は、チューブ状リアクタ ( 円柱型流路 ) のモデルである。上流側の流路の長さを  $L_1$ 、体積を  $V_1$ 、流路径を  $d_1$  とし、下流側の流路の長さを  $L_2$ 、体積を  $V_2$ 、流路幅径を  $d_2$  とおいている。そして、圧力損失  $P$  および流路内の全体積  $V$  (  $V = V_1 + V_2$  ) は一定の条件下で、流路径  $d_1$  および  $d_2$  ( および流路長さ  $L_1$ 、 $L_2$  ) を変更した。

【 0 0 7 8 】

図 9 は、図 8 ( A ) に示した平板状マイクロリアクタ ( 直方型流路 ) のモデルによる解析結果である。ここで、除熱速度は流路の表面積 / 体積比 ( S / V 比 ) に比例し、流路長さに垂直な方向には発熱分布はないと仮定している。

【 0 0 7 9 】

図 9 ( A ) は、熱 - 時間曲線の一例であり、点線で示す  $Q(k_{Q1})$  は除熱速度定数が  $t = t_s$  以降も  $k_{Q1}$  で一定の場合、破線で示す  $Q(k_{Q2})$  は除熱速度定数が  $t = t_s$  以前も  $k_{Q2}$  で一定の場合、実線で示す  $Q(k_{Q1} \quad k_{Q2})$  は、 $t = t_s$  で流路幅が  $d_1$  から  $d_2$  に変わり、除熱速度定数が  $k_{Q1}$  から  $k_{Q2}$  に変わる場合である。時刻  $t = t_s$  までは、点線で示す  $Q(k_{Q1})$  は、実線で示す  $Q(k_{Q1} \quad k_{Q2})$  と同じ曲線となっている。

10

20

30

40

50

## 【0080】

図9(B)は、熱量の体積比依存性の一例であり、図9(A)の熱-時間曲線のうち、 $Q(k_{Q1}, k_{Q2})$ を時間積分したものと、 $Q(k_{Q2})$ を時間積分したものとを比  $Q(k_{Q1}, k_{Q2}) dt / Q(k_{Q2}) dt$  の、体積比  $V_1 / V$  への依存性を示したものである。また、 $d_1 / d_2$ の流路内体積比  $V_1 / V$  への依存性も併せて示している。

$Q(k_{Q1}, k_{Q2}) dt / Q(k_{Q2}) dt$ が1以下の場合に、上流側の除熱速度定数を  $k_{Q1}$  にすると除熱性能が上がることを示している。従って、図9(B)の場合には、 $V_1 / V = 0.31$ のときに、流路の表面積/体積比 ( $S / V$ ) 比を変えることにより、効率よく除熱できる効果があることを表している。ここで、 $t = t_R$  は、原料Aが99.9%反応したときの反応時間とした。

10

## 【0081】

図10は、図8(B)に示したチューブ状マイクロリアクタ(円柱型流路)のモデルによる解析結果である。ここで、除熱速度は流路の表面積に比例し、流路の長さには垂直な方向には発熱分布はないと仮定している。

## 【0082】

図10(A)は、熱-時間曲線の一例であり、 $Q(k_{Q1})$ は除熱速度定数が  $t = t_s$  以降も  $k_{Q1}$  で一定の場合、 $Q(k_{Q2})$ は除熱速度定数が  $t = t_s$  以前も  $k_{Q2}$  で一定の場合、 $Q(k_{Q1}, k_{Q2})$ は、 $t = t_s$  で流路径が  $d_1$  から  $d_2$  に変わり、除熱速度定数が  $k_{Q1}$  から  $k_{Q2}$  に変わる場合である。

## 【0083】

図8(B)は、熱量の体積比依存性の一例であり、図8(a)の熱-時間曲線のうち、 $Q(k_{Q1}, k_{Q2})$ を時間積分したものと  $Q(k_{Q2})$ を時間積分したものとを比  $Q(k_{Q1}, k_{Q2}) dt / Q(k_{Q2}) dt$  の、体積比  $V_1 / V$  への依存性を示したものである。また、 $d_1 / d_2$ の流路内体積比  $V_1 / V$  への依存性も併せて示している。 $Q(k_{Q1}, k_{Q2}) dt / Q(k_{Q2}) dt$ が1以下の場合に、上流側の除熱速度定数を  $k_{Q1}$  にすると除熱性能が上がることを示している。従って、図8(B)の場合には、 $V_1 / V = 0.24$ のときに、流路の表面積/体積比 ( $S / V$  比) を変えることにより、効率よく除熱する効果があることを表している。ここで、 $t = t_R$  は、原料Aが99.9%反応したときの反応時間とした。

20

## 【0084】

図11は、図8(A), (B)のマイクロリアクタモデルにおける、 $k_A / k_{Q1}$ の体積比依存性の解析結果であり、 $Q(k_{Q1}, k_{Q2}) dt / Q(k_{Q2}) dt = 1$ のときの  $k_A / k_{Q1}$ の、流路内体積比  $V_1 / V$  への依存性を示したものである。また、 $d_1 / d_2$ の流路内体積比  $V_1 / V$  への依存性も併せて示している。

30

## 【0085】

図11(A)は、図8(A)の平板状マイクロリアクタ(直方型流路)のモデルの場合であり、 $V_1 / V = 0.25$ のときに、流路の表面積/体積比 ( $S / V$  比) を変えることにより、効率よく除熱する効果があることを表している。 $V_1 / V = 0.65$ が変曲点となっているので、実用的範囲を考えると、 $0.25 < V_1 / V < 0.65$ の範囲で、流路の表面積/体積比 ( $S / V$  比) を変えることにより、効率よく除熱する効果があると言える。

40

## 【0086】

一方、図11(B)は、図8(B)のチューブ状マイクロリアクタ(円柱型流路)のモデルの場合であり、 $V_1 / V = 0.20$ のときに、流路の表面積/体積比 ( $S / V$  比) を変えることにより、効率よく除熱する効果があることを表している。 $V_1 / V = 0.60$ が変曲点となっているので、実用的範囲を考えると、 $0.20 < V_1 / V < 0.60$ の範囲で、流路の表面積/体積比 ( $S / V$  比) を変えることにより、効率よく除熱する効果があると言える。

## 【0087】

以上から、流路内体積比が  $0.20 < V_1 / V < 0.65$  ( $V_1 : V_2 = 1 : 0.53$ )

50

～ 1 : 4 ) の範囲、さらに詳しくは  $0.25 \leq V_1 / V_2 \leq 0.60$  ( $V_1 : V_2 = 1 : 0.67 \sim 1 : 3$ ) の範囲で、それに対応する  $d_1 / d_2$  の値を用いて、上流側と下流側で流路の表面積 / 体積比 (  $S / V$  比 ) を変えることにより、発熱量に応じて系全体の圧力損失  $P$  を小さくしつつ、系全体の熱量を抑えることが可能となる。

【 0 0 8 8 】

また、ここでは、原料 A からの反応が、反応熱が正の発熱反応であるとしているが、反応熱が負の吸熱反応でもよい。吸熱反応のときには、式 ( 2 )、式 ( 4 ) における  $k_{Q1}(t_s - t_R)$ 、および式 ( 3 )、式 ( 5 ) における  $k_{Q2}(t_s - t_R)$  をともに与熱速度定数とすることにより、同様の議論が成り立つことは明らかである。

【 0 0 8 9 】

以上説明したように、本実施形態によれば、前記反応流路内を前記混合物が流動する過程において、少なくとも 1 回は前記反応流路の表面積 / 体積比 (  $S / V$  比 ) が変わり、しかも上流側のほうが前記反応流路の表面積 / 体積比 (  $S / V$  比 ) が大きくすることで、系全体の圧力損失を小さくできる。

【 0 0 9 0 】

また、流路の表面積 / 体積比 (  $S / V$  比 ) が異なる 2 種類の平板状のプレートを用い、この 2 種類のプレートを同じ枚数ずつ積層させることで反応リアクタを構成することで、反応リアクタの構成を簡単にすることができる。

【 0 0 9 1 】

さらに、熱制御用の流路が形成されている平板状のプレートを設けることで、温度制御性を有するものとしてすることができる。したがって、反応が進行するにつれて反応熱が発生しても、反応熱に応じた温度制御性が保たれているため、安定した温度場で反応を進行させることができ、温度変化に伴う副生成物の生成や反応の暴走を抑制できる。

【 0 0 9 2 】

次に、図 1 2 ~ 図 1 6 を用いて、本発明の第 2 の実施形態によるマイクロリアクタの構成について説明する。本実施形態によるマイクロリアクタの全体構成は、図 1 に示したものと同様である。また、本実施形態によるマイクロリアクタに用いる混合リアクタ 1 0 3 の構成は、図 2 に示したものと同様である。

図 1 2 及び図 1 3 は、本発明の第 2 の実施形態によるマイクロリアクタの第 1 のリアクタ部に用いるプレートの構成を示す平面図及び底面図である。図 1 4 及び図 1 5 は、本発明の第 2 の実施形態によるマイクロリアクタの第 2 のリアクタ部に用いるプレートの構成を示す平面図及び底面図である。図 1 6 は、本発明の第 2 の実施形態によるマイクロリアクタに用いる反応リアクタの分解正面図及び正面図である。

【 0 0 9 3 】

本実施形態では、反応流路の表面積 / 体積比 (  $S / V$  比 ) が大きい反応リアクタも、小さい反応リアクタも、それぞれ、2 種類の平板状プレートを重ねて構成している。

【 0 0 9 4 】

最初に、図 1 2 及び図 1 3 を用いて、反応リアクタの第 1 のリアクタ部 1 0 7 に用いるプレートの構成について説明する。

【 0 0 9 5 】

図 1 2 に示すプレート 1 0 7 B と、図 1 3 に示すプレート 1 0 7 C は、一方の面には、反応流路の表面積 / 体積比 (  $S / V$  比 ) が大きい反応流路が形成され、他方の面には、熱制御用の流路が形成されている。

【 0 0 9 6 】

図 1 2 ( A ) に示すように、プレート 1 0 7 B の表面 1 0 0 1 には、プレートを積層してネジ留めするためのネジ穴 2 0 3 と、プレートからの漏れを防ぐために用いる O リング用の溝 2 0 6 と、表面積 / 体積比 (  $S / V$  比 ) の大きな流路 2 0 5 と、プレート 1 0 7 B 上の流路 2 0 5 内の液体を次のプレートに連通させるための貫通穴 2 0 4 A とが形成されている。

【 0 0 9 7 】

10

20

30

40

50

図12(B)に示すように、プレート107Bの裏面1002には、プレートを積層してネジ留めするためのネジ穴203と、プレートからの漏れを防ぐために用いるリング用の溝206と、熱媒体用の流路207と、プレート107B上の流路207内の液体を次のプレートに連通させるための貫通穴204Bと、熱媒体の流れを確保するためのガイド208とが形成されている。

【0098】

一方、図13(A)に示すように、プレート107Cの表面1003には、プレートを積層してネジ留めするためのネジ穴203と、プレートからの漏れを防ぐために用いるリング用の溝206と、表面積/体積比(S/V比)の大きな流路205と、プレート107C上の流路205内の液体を次のプレートに連通させるための貫通穴204Aとが形成されている。また、図13(B)に示すように、プレート107Cの裏面1004には、プレートを積層してネジ留めするためのネジ穴203と、プレートからの漏れを防ぐために用いるリング用の溝206と、熱媒体用の流路207と、プレート107C上の流路207内の液体を次のプレートに連通させるための貫通穴204Bと、熱媒体の流れを確保するためのガイド208が形成されている。

10

【0099】

ここで、プレート107Bの表面1001を180度回転させたときの流路構造が、プレート107Cの表面1003の流路構造に重なるものであり、プレート107Bの裏面1002を180度回転させたときの流路構造が、プレート107Cの裏面1004の流路構造に重なるものである。また、プレート107Bの裏面1002およびプレート107Cの裏面1004は同じ流路構造となっており、一方のプレートを180度回転させたときに、その流路構造がもとの流路構造に重なりとともに、他方のプレートの流路構造にも重なるものである。

20

【0100】

次に、図14に示すプレート108Bと、図15に示すプレート108Cは、一方の面には、反応流路の表面積/体積比(S/V比)が小さい反応流路が形成され、他方の面には、熱制御用の流路が形成されている。

【0101】

図14(A)に示すように、プレート108Bの表面1101には、プレートを積層してネジ留めするためのネジ穴203と、プレートからの漏れを防ぐために用いるリング用の溝206と、表面積/体積比(S/V比)の小さな流路211と、プレート108B上の流路211内の液体を次のプレートに連通させるための貫通穴204Aとが形成されている。図14(B)に示すように、プレート108Bの裏面1102には、プレートを積層してネジ留めするためのネジ穴203と、プレートからの漏れを防ぐために用いるリング用の溝206と、熱媒体用の流路207と、プレート108B上の流路207内の液体を次のプレートに連通させるための貫通穴204Bと、熱媒体の流れを確保するためのガイド208が形成されている。

30

【0102】

図15(A)に示すように、プレート108Cの表面1103には、プレートを積層してネジ留めするためのネジ穴203と、プレートからの漏れを防ぐために用いるリング用の溝206と、表面積/体積比(S/V比)の小さな流路211と、プレート108C上の流路211内の液体を次のプレートに連通させるための貫通穴204が形成されている。また、図15(B)に示すように、プレート108Cの裏面1104には、プレートを積層してネジ留めするためのネジ穴203と、プレートからの漏れを防ぐために用いるリング用の溝206と、熱媒体用の流路207と、プレート108C上の流路207内の液体を次のプレートに連通させるための貫通穴204Bと、熱媒体の流れを確保するためのガイド208とが形成されている。

40

【0103】

ここで、プレート108Bの表面1101を180度回転させたときの流路構造が、プレート108Cの表面1103の流路構造に重なるものであり、プレート108Bの裏面

50

1102を180度回転させたときの流路構造が、プレート108Cの裏面1104の流路構造に重なるものである。また、プレート108Bの裏面1102およびプレート108Cの裏面1104は同じ流路構造となっており、一方のプレートを180度回転させたときに、その流路構造がもとの流路構造に重なるとともに、他方のプレートの流路構造にも重なるものである。

【0104】

さらに、プレート108Bの裏面1102はプレート107Bの裏面1002と、プレート108Cの裏面1104はプレート107Cの裏面1004と同じ流路構造となっており、プレート108Bの裏面1102を180度回転させたときの流路構造が、プレート107Cの裏面1004およびプレート108Cの裏面1104の流路構造に重なる

10

【0105】

図16(A)は、反応リアクタ109の組立状態を示している。4種類の平板状プレート107B, プレート107C, プレート108B, プレート108Cを1枚ずつ積層させて、マイクロリアクタを構築している。

【0106】

プレート107Bの表面1001を180度回転させたときの流路構造が、プレート107Cの表面1003の流路構造に重なるとともに、プレート108Bの表面1101を180度回転させたときの流路構造が、プレート108Cの表面1103の流路構造に重なるため、プレート107Bとプレート107Cの表面どうしを、もしくはプレート108Bとプレート108Cの表面どうしを、貫通穴204A, 204Bが連通するように合わせる

20

【0107】

また、プレート107Bの裏面1002を180度回転させたときの流路構造が、プレート108Bの裏面1102の流路構造に重なるとともに、プレート107Cの裏面1004を180度回転させたときの流路構造が、プレート108Cの裏面1104の流路構造に重なるため、同じ種類のプレート107B, 107C, 108B, 108Cの裏面どうしを、もしくはこれらのうちの一つのプレートの裏面ともう一つのプレートの裏面を、貫通穴204A, 204Bが連通するように合わせる

30

【0108】

貫通穴204A, 204Bが連通するように合わせると、図16(A)に示すように、上流側から下流側に行くにつれて、プレート107Bの裏面1002、プレート107Bの表面1001、プレート107Cの表面1003、プレート107Cの裏面1004、プレート108Bの裏面1102、プレート108Bの表面1101、プレート108Cの表面1103、プレート108Cの裏面1104の順番に並ぶことが可能である。従って、上流側から導入される混合物106および熱媒体105は、貫通穴204A, 204Bを経て、プレート107B、プレート107Cおよびプレート108B、プレート108Cを連通

40

【0109】

また、図16(B)に示すように、くみ上げられた反応リアクタ109は、上流側から導入される混合物106および熱媒体105は、貫通穴204A, 204Bを経て、プレート107B 1201、プレート107C 1202およびプレート108B 1203、プレート108C 1204を連通できることがわかる。

【0110】

なお、プレート107B, 107C, 108B, 108Cの裏面の流路構造については、熱媒体の流れは確保されるように、貫通穴204A, 204Bさえ合うような位置関係になっていればよい。また、図16(A)(B)において、ネジ穴203およびプレート

50

を積層してネジ留めするためのネジ、リング用の溝 206 は図示していない。

【0111】

以上説明したように、本実施形態によれば、前記反応流路内を前記混合物が流動する過程において、少なくとも1回は前記反応流路の表面積/体積比(S/V比)が変わり、しかも上流側のほうが前記反応流路の表面積/体積比(S/V比)が大きくなることで、系全体の圧力損失を小さくできる。

【0112】

また、流路の表面積/体積比(S/V比)が異なる2種類の平板状のプレートを用い、この2種類のプレートを同じ枚数ずつ積層させることで反応リアクタを構成することで、反応リアクタの構成を簡単にすることができる。

10

【0113】

さらに、熱制御用の流路が形成されている平板状のプレートを設けることで、温度制御性を有するものとすることができる。

【0114】

次に、図17及び図18を用いて、本発明の第3の実施形態によるマイクロリアクタの構成について説明する。本実施形態によるマイクロリアクタの全体構成は、図1に示したものと同様である。また、本実施形態によるマイクロリアクタに用いる混合リアクタ103の構成は、図2に示したものと同様である。

図17は、本発明の第3の実施形態によるマイクロリアクタに用いるプレートの構成を示す平面図である。図18は、本発明の第3の実施形態によるマイクロリアクタに用いる反応リアクタの分解正面図及び正面図である。

20

【0115】

本実施形態では、反応流路の表面積/体積比(S/V比)が大きい反応リアクタ用の平板状プレート107Dと、反応流路の表面積/体積比(S/V比)が小さい反応リアクタ用の平板状プレート108Dと、熱制御用流路の形成された平板状のプレート110とを用いている。各プレート107D, 108D, 110においては、流路は一方の面にのみ形成され、他方が平板状である。

【0116】

最初に、図17を用いて、反応リアクタに用いるプレートの構成について説明する。

【0117】

図17(A)は、流路の表面積/体積比(S/V比)が大きい平板状プレート107Dを示している。プレート107Dの表面1301には、プレートを積層してネジ留めするためのネジ穴203と、プレートからの漏れを防ぐために用いるリング用の溝206と、表面積/体積比(S/V比)の大きな流路205と、プレート107D上の流路205内の液体を次のプレートに連通させるための貫通穴204Aとが形成されている。プレート107Dの裏面は、貫通穴204が貫通している以外、流路等は形成されていない。

30

【0118】

図17(B)は、流路の表面積/体積比(S/V比)が小さい平板状プレート108Dを示している。プレート108Dの表面1302には、プレートを積層してネジ留めするためのネジ穴203と、プレートからの漏れを防ぐために用いるリング用の溝206と、表面積/体積比(S/V比)の小さな流路211と、プレート108D上の流路211内の液体を次のプレートに連通させるための貫通穴204Aとが形成されている。プレート108Dの裏面は、貫通穴204が貫通している以外、流路等は形成されていない。

40

【0119】

図17(C)は、熱制御用プレート110を示している。熱制御プレート110の表面1303には、プレートを積層してネジ留めするためのネジ穴203と、プレートからの漏れを防ぐために用いるリング用の溝206と、熱媒体用の流路207と、熱制御用プレート上の流路207内の液体を次のプレートに連通させるための貫通穴204Bと、熱媒体の流れを確保するためのガイド208が形成されている。熱制御プレートの裏面は、貫通穴204が貫通している以外、流路等は形成されていない。

50

## 【0120】

図18は、図17の2種類の平板状プレート107Dと、プレート108Dを1枚ずつ積層させ、その間に熱制御用プレート110を挟んで反応リアクタ109を構築した状態を示している。

## 【0121】

図18(A)に示すように、プレート107Dおよび熱制御用プレート110、もしくはプレート108Dおよび熱制御用プレート110を、貫通穴204A、204Bが連通するように合わせることにより、一方のプレートの表面に形成されている流路が、隣り合う他方のプレートの裏面によりフタをされ、流路を形成することができる。

## 【0122】

貫通穴204A、204Bが連通するように合わせると、図18(A)に示すように、上流側から下流側に行くにつれて、熱制御用プレート110、プレート107D、熱制御用プレート110、プレート108D、熱制御用プレート110の順番に並ぶことが可能である。従って、上流側から導入される混合物106および熱媒体105は、貫通穴204A、204Bを経て、プレート107D、プレート108Dおよび熱制御プレート110を連通できる。

## 【0123】

また、図18(B)に示すように、上流側から導入される混合物106および熱媒体105は、貫通穴204A、204Bを経て、プレート107D、プレート108Dおよび熱制御用プレート110を連通できる。

## 【0124】

なお、図18(A)、(B)において、ネジ穴203およびプレートを積層してネジ留めするためのネジ、Oリング用の溝206は図示していない。

## 【0125】

以上説明したように、本実施形態によれば、前記反応流路内を前記混合物が流動する過程において、少なくとも1回は前記反応流路の表面積/体積比(S/V比)が変わり、しかも上流側のほうが前記反応流路の表面積/体積比(S/V比)が大きくなることで、系全体の圧力損失を小さくできる。

## 【0126】

また、流路の表面積/体積比(S/V比)が異なる2種類の平板状のプレートを用い、この2種類のプレートを同じ枚数ずつ積層させることで反応リアクタを構成することで、反応リアクタの構成を簡単にすることができる。

## 【0127】

さらに、熱制御用の流路が形成されている平板状のプレートを設けることで、温度制御性を有するものとすることができる。

## 【0128】

また、プレートの枚数は、第1若しくは第2実施形態の例に比べると1枚増えることになるが、流路は一方の面にのみ形成されているため、製作性が向上する。

## 【0129】

次に、図19及び図20を用いて、本発明の第4の実施形態によるマイクロリアクタの構成について説明する。

図19は、本発明の第4の実施形態によるマイクロリアクタの全体構成を示す正面平面図である。図20は、本発明の第4の実施形態によるマイクロリアクタに用いる混合リアクタの構成を示す斜視図である。

## 【0130】

本実施形態のマイクロリアクタは、混合流路を有する混合リアクタ103Aと、反応流路を有する反応リアクタ109とから構成される。本実施形態における特徴は、混合リアクタ103Aが反応リアクタ109に積層され、一体的に構成されていることである。

## 【0131】

混合リアクタ103Aには、第1の原料101と、第2の原料102とが導入され、そ

10

20

30

40

50

の内部の混合流路において、2種類の原料を混合される。混合リアクタ103Aにて混合された原料は、反応リアクタ109に導入される。反応リアクタ109の内部では、混合された2種類の原料が化学反応して、生成物106が生成される。また、反応リアクタ109における化学反応を所定温度で行うための、温度制御用の熱媒体105が反応リアクタ109に導入される。反応リアクタ109の内部には、熱媒体が流れるための熱媒体流路が形成されている。なお、混合リアクタ103Aの混合流路の構成については、図20を用いて後述する。また、反応リアクタ109の反応流路及び熱媒体流路の構成は、図3～図6に示したもののや、図12～図16に示したもののや、図17及び図18に示したものである。

#### 【0132】

次に、図20を用いて、本実施形態によるマイクロリアクタに用いる混合リアクタ103Aの構成について説明する。

図20は、本発明の第4の実施形態によるマイクロリアクタに用いる混合リアクタの構成を示す斜視図である。

#### 【0133】

混合リアクタ103Aは、その内部に、点線で示すように、流入口が2つで、流出口が1つのY字状の混合流路103bを備えている。第1の流入口から、第1の原料101が混合流路103bの内部に導入され、第2の流入口から、第2の原料102が混合流路103bの内部に導入される。第1の流入口と第2の流入口から流入した2種類の原料は、混合流路103bの途中で合流し、混合される。

#### 【0134】

なお、図2に示したものと、混合流路103bの流出口の位置が異なり、例えば、図6の最下段に示した第1のプレート107Aの貫通穴204Aに接続される位置に設けられている。また、熱媒体導入用の貫通穴103cを備えている。

#### 【0135】

以上説明したように、本実施形態によっても、前記反応流路内を前記混合物が流動する過程において、少なくとも1回は前記反応流路の表面積/体積比(S/V比)が変わり、しかも上流側のほうが前記反応流路の表面積/体積比(S/V比)が大きくなることで、系全体の圧力損失を小さくできる。

#### 【0136】

また、流路の表面積/体積比(S/V比)が異なる2種類の平板状のプレートを用い、この2種類のプレートを同じ枚数ずつ積層させることで反応リアクタを構成することで、反応リアクタの構成を簡単にすることができる。

#### 【0137】

さらに、熱制御用の流路が形成されている平板状のプレートを設けることで、温度制御性を有するものとすることができる。

#### 【0138】

また、混合リアクタを反応リアクタに一体化することで、マイクロリアクタをコンパクトに構成することができる。

#### 【0139】

次に、図21及び図22を用いて、本発明の第5の実施形態によるマイクロリアクタの構成について説明する。

図21は、本発明の第5の実施形態によるマイクロリアクタの全体構成を示す分解正面図である。図22は、本発明の第5の実施形態によるマイクロリアクタに用いる混合リアクタの構成を示す斜視図である。

#### 【0140】

本実施形態では、2種類の原料を混合させる混合リアクタ103Aの下流側に、第1の反応リアクタ100Aが接続され、さらに、第3の原料を混合させる混合リアクタ103Bが接続され、さらに、第2の反応リアクタ100Bが接続されている。また、第1の反応リアクタ100Aと、混合リアクタ103Bとの間には、第2の熱媒体105Aを供給

10

20

30

40

50

するための熱媒体用プレート 110B が挿入されている。

【0141】

2種類の原料を混合させる混合リアクタ 103A の構成は、図 20 にて説明したものと同様である。第 1 の反応リアクタ 100A 及び第 2 の反応リアクタ 100B の構成は、図 3 ~ 図 6 に示したものと同様である。

【0142】

仕切り用熱媒体用プレート 110B では、仕切り用熱媒体用プレート 110B より上流側で流れていた第 1 の熱媒体 105 を外に排出するとともに、第 2 の熱媒体 105A を導入することができる。従って、仕切り用熱媒体用プレート 110B を入れることにより、仕切り熱媒体用プレート 110B の上流側と下流側を同じ温度に制御したい場合でも、より精密に温度制御することが可能であり、上流側と下流側を異なる温度に制御することもできる。

10

【0143】

また、仕切り用熱媒体用プレート 110B の下流側に、2種類の原料を混合させる混合リアクタ 103B を接続することにより、上流側の混合リアクタから流出した混合物に対し、新たな第 3 の原料 106A を導入することが可能である。これにより、本実施形態のマイクロリアクタは、多段反応やクエンチ反応にも適用することができる。

【0144】

ここで、図 22 を用いて、本実施形態によるマイクロリアクタに用いる混合リアクタ 103B の構成について説明する。

20

混合リアクタ 103B は、その内部に、点線で示すように、混合流路 103d を備えている。第 1 の流入口から、第 1 の生成物 106 が混合流路 103d の内部に導入され、第 2 の流入口から、第 3 の原料 106A が混合流路 103d の内部に導入される。第 1 の流入口と第 2 の流入口から流入した 2 種類の原料は、混合流路 103d の途中で合流し、混合され、混合物 106A が流出する。

【0145】

なお、図 20 と同様に、熱媒体導入用の貫通穴 103c を備えている。

【0146】

なお、本実施例では、マイクロリアクタ 110A, 110B の構成としては、図 12 ~ 図 16 に示したのものや、図 17 及び図 18 に示したものをを用いることができるし、マイクロリアクタ 110A とマイクロリアクタ 110B に別々のものをもちいることもできる。

30

【0147】

以上説明したように、本実施形態によっても、前記反応流路内を前記混合物が流動する過程において、少なくとも 1 回は前記反応流路の表面積 / 体積比 (S / V 比) が変わり、しかも上流側のほうが前記反応流路の表面積 / 体積比 (S / V 比) が大きくすることで、系全体の圧力損失を小さくできる。

【0148】

また、流路の表面積 / 体積比 (S / V 比) が異なる 2 種類の平板状のプレートを用い、この 2 種類のプレートを同じ枚数ずつ積層させることで反応リアクタを構成することで、反応リアクタの構成を簡単にすることができる。

40

【0149】

さらに、熱制御用の流路が形成されている平板状のプレートを設けることで、温度制御性を有するものとすることができる。

【0150】

また、多段反応やクエンチ反応にも適用できる。

【図面の簡単な説明】

【0151】

【図 1】本発明の第 1 の実施形態によるマイクロリアクタの全体構成を示す正面図である。

【図 2】本発明の第 1 の実施形態によるマイクロリアクタに用いる混合リアクタの構成を

50

示す斜視図である。

【図 3】本発明の第 1 の実施形態によるマイクロリアクタの第 1 のリアクタ部に用いるプレートの構成を示す平面図及び底面図である。

【図 4】本発明の第 1 の実施形態によるマイクロリアクタの第 2 のリアクタ部に用いるプレートの構成を示す平面図及び底面図である。

【図 5】本発明の第 1 の実施形態によるマイクロリアクタに用いる反応リアクタの第 1 及び第 2 のリアクタ部の構成を示す平面図である。

【図 6】本発明の第 1 の実施形態によるマイクロリアクタに用いる反応リアクタの分解正面図及び正面図である。

【図 7】本発明の第 1 の実施形態によるマイクロリアクタに用いる反応リアクタにおいて、解析に用いた熱反応モデルの説明図である。

【図 8】本発明の第 1 の実施形態によるマイクロリアクタに用いる反応リアクタにおいて、解析に用いた流路の表面積 / 体積比 (S / V 比) を変更させたリアクタモデルの説明図である。

【図 9】本発明の第 1 の実施形態によるマイクロリアクタに用いる反応リアクタの解析結果の説明図である。

【図 10】本発明の第 1 の実施形態によるマイクロリアクタに用いる反応リアクタの解析結果の説明図である。

【図 11】本発明の第 1 の実施形態によるマイクロリアクタに用いる反応リアクタにおける、 $k_A / k_{Q1}$  の体積比依存性の解析結果の説明図である。

【図 12】本発明の第 2 の実施形態によるマイクロリアクタの第 1 のリアクタ部に用いるプレートの構成を示す平面図及び底面図である。

【図 13】本発明の第 2 の実施形態によるマイクロリアクタの第 1 のリアクタ部に用いるプレートの構成を示す平面図及び底面図である。

【図 14】本発明の第 2 の実施形態によるマイクロリアクタの第 2 のリアクタ部に用いるプレートの構成を示す平面図及び底面図である。

【図 15】本発明の第 2 の実施形態によるマイクロリアクタの第 2 のリアクタ部に用いるプレートの構成を示す平面図及び底面図である。

【図 16】本発明の第 2 の実施形態によるマイクロリアクタに用いる反応リアクタの分解正面図及び正面図である。

【図 17】本発明の第 3 の実施形態によるマイクロリアクタに用いるプレートの構成を示す平面図である。

【図 18】本発明の第 3 の実施形態によるマイクロリアクタに用いる反応リアクタの分解正面図及び正面図である。

【図 19】本発明の第 4 の実施形態によるマイクロリアクタの全体構成を示す正面平面図である。

【図 20】本発明の第 4 の実施形態によるマイクロリアクタに用いる混合リアクタの構成を示す斜視図である。

【図 21】本発明の第 5 の実施形態によるマイクロリアクタの全体構成を示す分解正面図である。

【図 22】本発明の第 5 の実施形態によるマイクロリアクタに用いる混合リアクタの構成を示す斜視図である。

【符号の説明】

【 0 1 5 2 】

1 0 1 ... 第 1 の原料

1 0 2 ... 第 2 の原料

1 0 3 ... 混合リアクタ

1 0 4 ... 接続チューブ

1 0 5 ... 熱媒体

1 0 6 ... 混合物

10

20

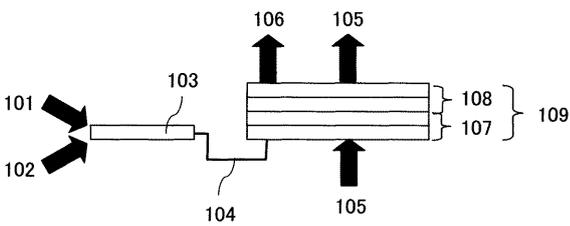
30

40

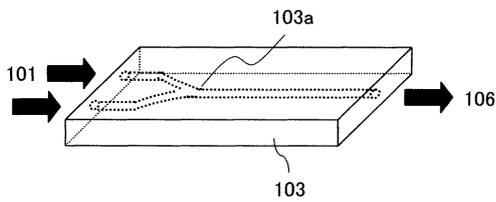
50

- 107 ... 第1のリアクタ部
- 107A, 107B, 107C ... 第1のプレート
- 108 ... 第2のリアクタ部
- 108A, 108B, 108C ... 第2のプレート、
- 109 ... 反応リアクタ
- 110 ... 熱制御用プレート
- 110B ... 仕切り用プレート
- 203 ... ネジ穴
- 204 ... 貫通穴
- 205 ... 表面積 / 体積比 (S / V比) の大きな流路
- 206 ... オリング用の溝
- 207 ... 熱媒体用流路
- 208 ... ガイド
- 211 ... 表面積 / 体積比 (S / V比) の小さな流路

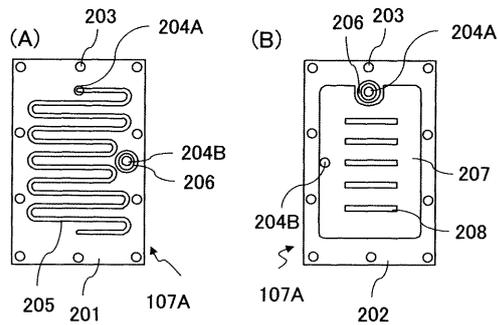
【 図 1 】



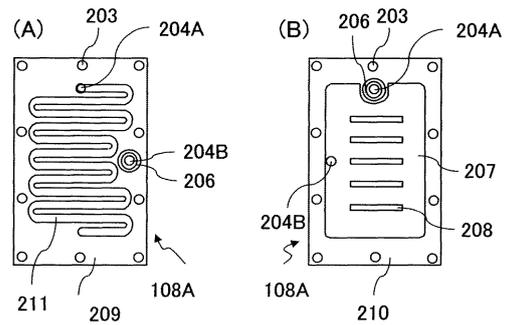
【 図 2 】



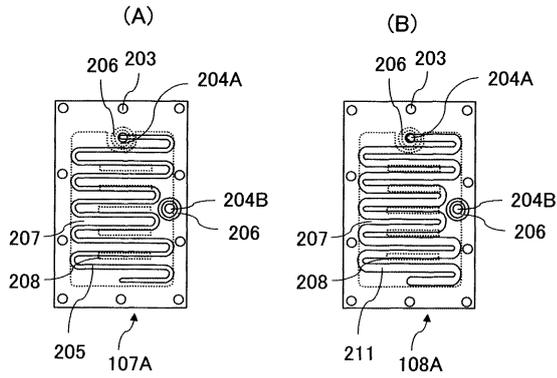
【 図 3 】



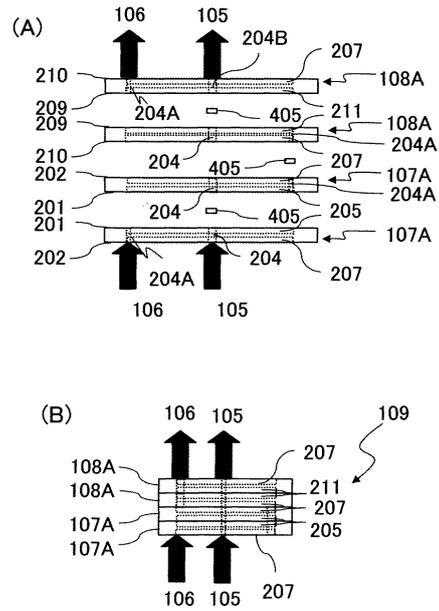
【 図 4 】



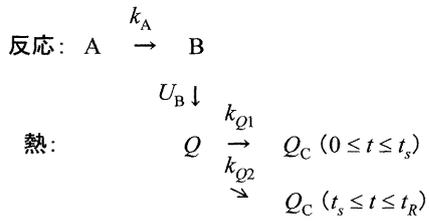
【 図 5 】



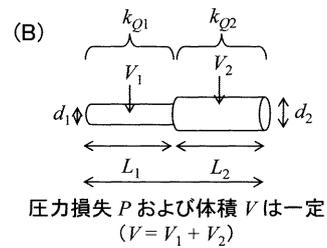
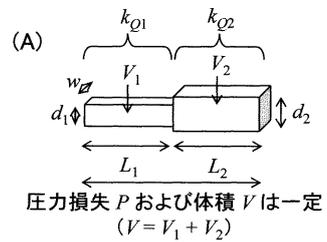
【 図 6 】



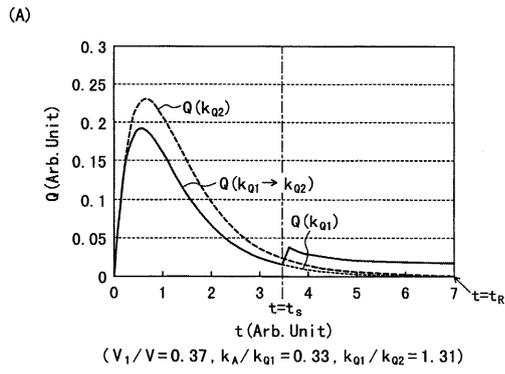
【 図 7 】



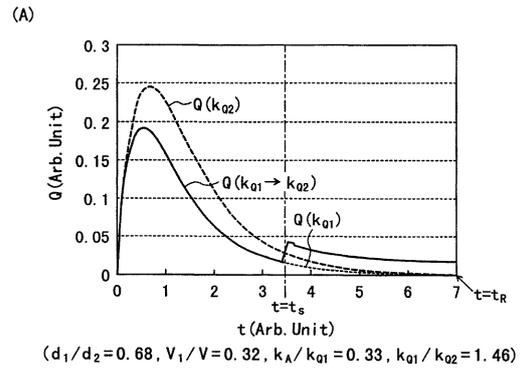
【 図 8 】



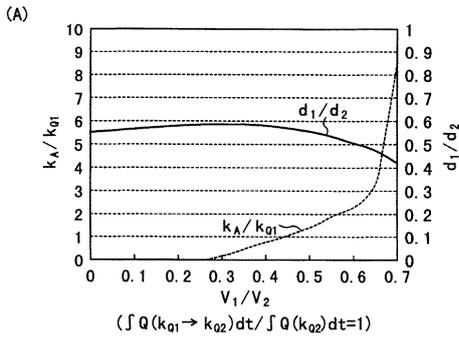
【 図 9 】



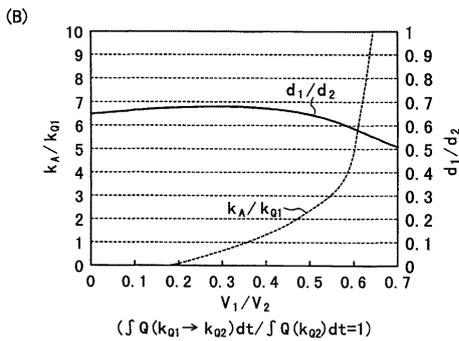
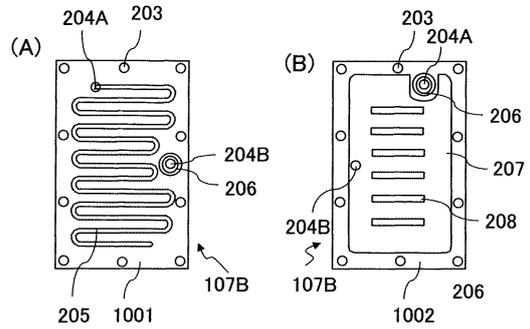
【 図 10 】



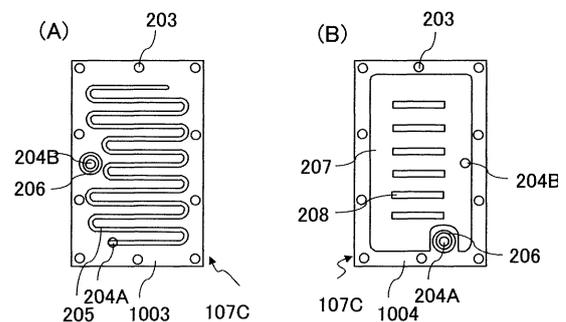
【 図 11 】



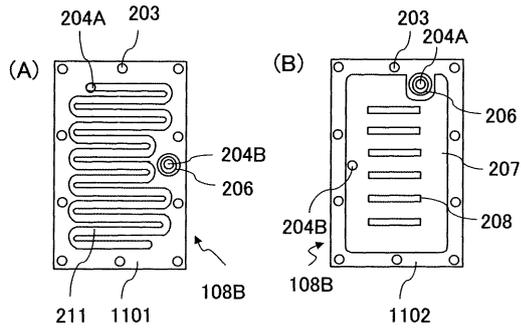
【 図 12 】



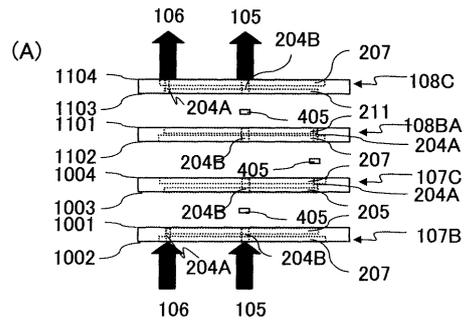
【 図 13 】



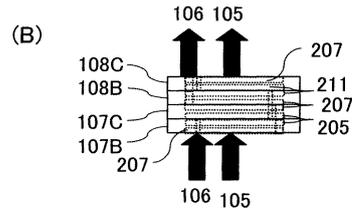
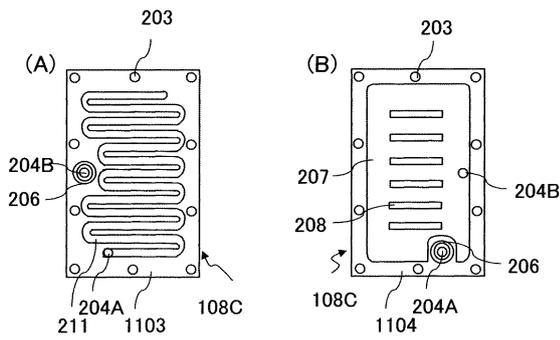
【 図 1 4 】



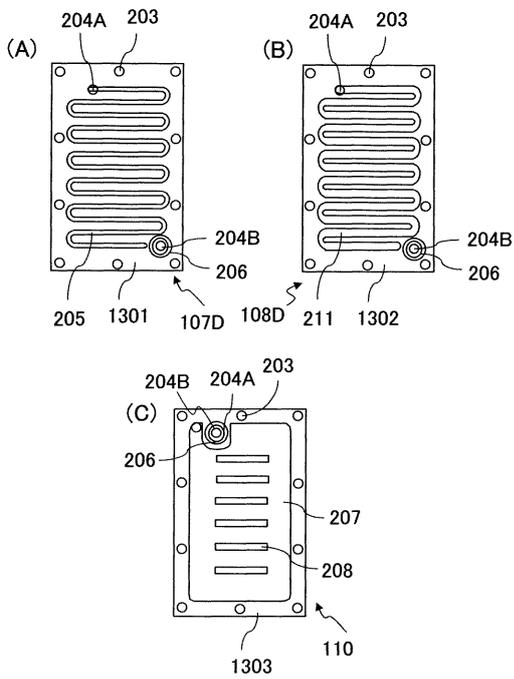
【 図 1 6 】



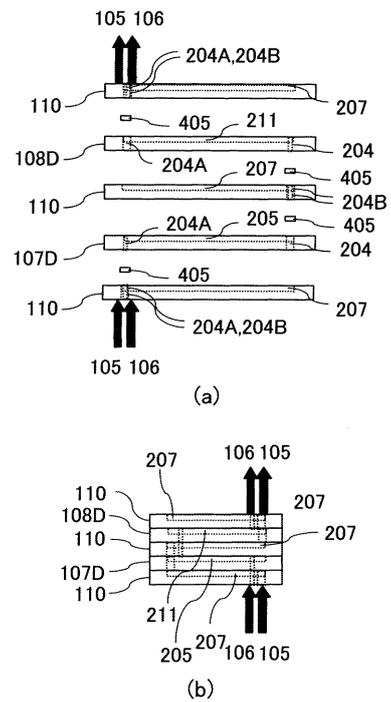
【 図 1 5 】



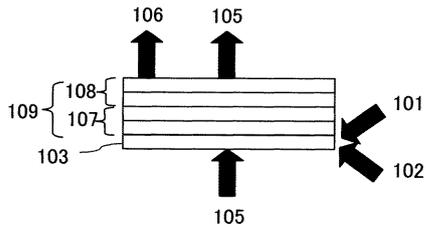
【 図 1 7 】



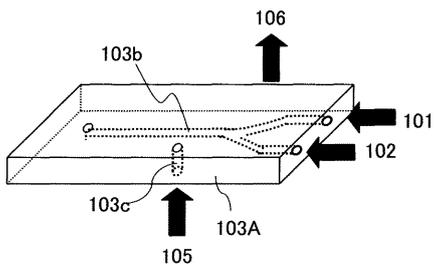
【 図 1 8 】



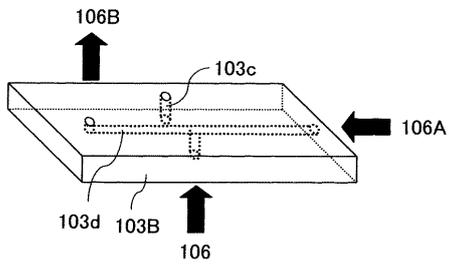
【 図 1 9 】



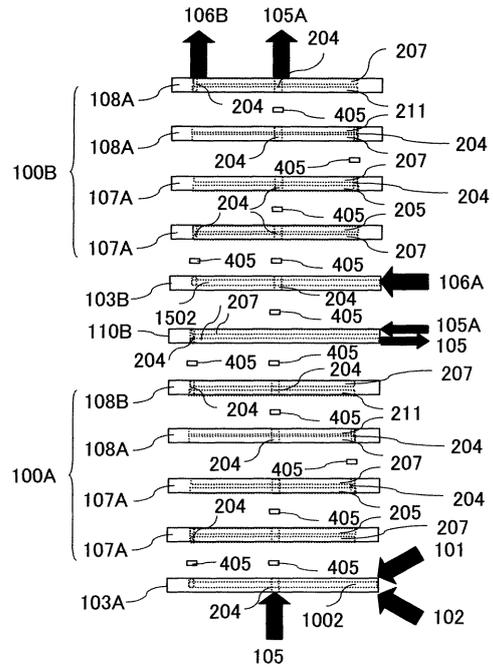
【 図 2 0 】



【 図 2 2 】



【 図 2 1 】



---

フロントページの続き

(72)発明者 加藤 宗

茨城県ひたちなか市堀口832番地2

株式会社日立製作所機械研究所内

(72)発明者 富樫 盛典

茨城県ひたちなか市堀口832番地2

株式会社日立製作所機械研究所内

Fターム(参考) 2G058 BB02 BB09 BB17 DA07

3C081 BA04 BA05 BA24 BA26 BA71 EA28 EA37

4G075 AA39 BA10 BB05 DA18 FA01 FA12