

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B1)

(11) 特許番号
特許第5114616号
(P5114616)

(45) 発行日 平成25年1月9日 (2013.1.9)

(24) 登録日 平成24年10月26日 (2012.10.26)

(51) Int.Cl.

F I

BO1J 19/12 (2006.01)

CO7B 61/00 (2006.01)

CO7C 67/08 (2006.01)

BO1J 19/12 A

CO7B 61/00 C

CO7C 67/08

請求項の数 7 (全 22 頁)

(21) 出願番号	特願2011-247955 (P2011-247955)	(73) 特許権者	508067736
(22) 出願日	平成23年11月11日 (2011.11.11)		マイクロ波化学株式会社
審査請求日	平成24年3月1日 (2012.3.1)		大阪府茨木市彩都あさぎ7-7-2 O彩都
早期審査対象出願			バイオイノベーションセンター
		(73) 特許権者	504176911
			国立大学法人大阪大学
			大阪府吹田市山田丘1番1号
		(74) 代理人	100115749
			弁理士 谷川 英和
		(74) 代理人	100121223
			弁理士 森本 悟道
		(72) 発明者	石塚 章斤
			大阪府茨木市彩都あさぎ7丁目7番20号
			彩都バイオイノベーションセンター
			マイクロ波環境化学株式会社内
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 化学反応装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

内部が仕切り板によって複数の室に仕切られており、液状の内容物が、上方に未充填空間を有した状態で水平方向に流れる横型のフロー式のリアクターと、
マイクロ波を発生するマイクロ波発生器と、
前記マイクロ波発生器の発生したマイクロ波を、前記リアクターの未充填空間に伝送する1以上の導波管と、を備え、
前記リアクターは、前記内容物の量の変化に応じて液面の高さが変化しても、当該液面の面積が不変である形状を有する、化学反応装置。

【請求項2】

前記リアクターは、前記内容物の量が所定の範囲内である場合に、前記内容物の量の変化に応じて液面の面積が不変である形状を有する、請求項1記載の化学反応装置。

【請求項3】

前記リアクターは、前記内容物の量が所定の範囲内である場合に、当該内容物の液面方向の断面が変化しない形状を有する、請求項2記載の化学反応装置。

【請求項4】

前記リアクター内の内容物を回転攪拌する1以上の攪拌手段をさらに備えた、請求項1から請求項3のいずれか記載の化学反応装置。

【請求項5】

前記攪拌手段は、

前記リアクターの流れ方向に延びる回転軸と、
前記回転軸を中心として回転する1以上の回転部材と、
前記1以上の回転部材を回転させる回転手段と、を備え、
前記リアクターは、当該回転軸よりも上方側において、前記液面方向の断面積が変化しない形状を有する、請求項4記載の化学反応装置。

【請求項6】

前記リアクターは、前記回転軸の下方側において、流れ方向に延びる、下側に凸である半円筒形状を有する、請求項5記載の化学反応装置。

【請求項7】

前記リアクターは、前記未充填空間の上方において開閉可能である、請求項1から請求項6のいずれか記載の化学反応装置。 10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、リアクターにおいてマイクロ波を照射する化学反応装置に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、反応物質に対してマイクロ波（電磁波）を照射することにより、熱処理等を行う化学反応装置や化学反応方法が知られている（例えば、特許文献1参照）。

【先行技術文献】

20

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特表2006-516008号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

そのような従来の化学反応装置において、マイクロ波をより効率よく照射することにより、化学反応をより促進したいという要望があった。

【0005】

本発明は、上記事情を考慮してなされたものであり、横型のフロー式のリアクターにおいて、内容物の量が増減したとしても、その内容物に対してより効率よくマイクロ波を照射することができる化学反応装置を提供することを目的とする。 30

【課題を解決するための手段】

【0006】

上記目的を達成するため、本発明による化学反応装置は、内部が仕切り板によって複数の室に仕切られており、液状の内容物が、上方に未充填空間を有した状態で水平方向に流れる横型のフロー式のリアクターと、マイクロ波を発生するマイクロ波発生器と、マイクロ波発生器の発生したマイクロ波を、リアクターの未充填空間に伝送する1以上の導波管と、を備え、リアクターは、内容物の量の変化に応じて液面の高さが変化しても、液面の面積が不変である形状を有する、ものである。 40

このような構成により、リアクターの内容物の量が増減し、液面の高さが上下したとしても、マイクロ波を照射する液面の面積は変わらない。その結果、液面の高さが上下することによって、マイクロ波の照射面積が少なくなることがなく、内容物に効率よくマイクロ波を照射することが可能となる。

【0007】

また、本発明による化学反応装置では、リアクターは、内容物の量が所定の範囲内である場合に、内容物の量の変化に応じて液面の面積が不変である形状を有してもよい。

このような構成により、例えば、内容物の量が第1の量から第2の量（第2の量は第1の量よりも多いものとする）までの範囲内である場合に、内容物の液面の面積が不変であるようになる。したがって、リアクターの内容物の量をその範囲内にコントロールするこ 50

とによって、マイクロ波を照射する液面の面積は変わらないことになる。

【0008】

また、本発明による化学反応装置では、リアクターは、内容物の量が所定の範囲内である場合に、内容物の液面方向の断面が変化しない形状を有してもよい。

【0009】

また、本発明による化学反応装置では、リアクター内の内容物を回転攪拌する1以上の攪拌手段をさらに備えてもよい。

このような構成により、内容物が攪拌されることによって、リアクター内の内容物に対して、より均一にマイクロ波を照射することができるようになる。その結果、例えば、リアクター内の一部の内容物にだけマイクロ波が照射されるような事態を回避することができる。

10

【0010】

また、本発明による化学反応装置では、攪拌手段は、リアクターの流れ方向に延びる回転軸と、回転軸を中心として回転する1以上の回転部材と、1以上の回転部材を回転させる回転手段と、を備え、リアクターは、回転軸よりも上方側において、液面方向の断面が変化しない形状を有してもよい。

このような構成により、例えば、マイクロ波が照射されることが適切でない素材で回転軸が構成されていたとしても、内容物の液面が回転軸よりも上方側となるように内容物の量をコントロールすることによって、回転軸にマイクロ波が直接、照射されることを回避でき、かつ、マイクロ波の照射面積が変わらないようにすることができる。

20

【0011】

また、本発明による化学反応装置では、リアクターは、回転軸の下方側において、流れ方向に延びる、下側に凸である半円筒形状を有してもよい。

このような構成により、例えば、半円筒形状が、回転部材の半径に応じた半径を有する場合に、回転軸よりも下方側において効率よく攪拌することができ、攪拌されない箇所が少なくなるようにすることができる。

【0012】

また、本発明による化学反応装置では、リアクターは、未充填空間の上方において開閉可能であってもよい。

このような構成により、リアクターの内部へのアクセスが容易になる。

30

【発明の効果】

【0013】

本発明による化学反応装置によれば、横型のフロー式のリアクターにおいて、少なくとも内容物の所定の範囲では、内容物の量が変化したとしても、マイクロ波の照射面積が変わらない。その結果、内容物に対してより効率よくマイクロ波を照射することができるようになる。

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1】本発明の実施の形態1による化学反応装置の構成を示す図

【図2】同実施の形態におけるリアクターの内部の構成の一例を示す図

40

【図3A】同実施の形態におけるリアクターの形状の一例を示す斜視図

【図3B】同実施の形態におけるリアクターの形状の一例を示す斜視図

【図3C】同実施の形態におけるリアクターの形状の一例を示す斜視図

【図3D】同実施の形態におけるリアクターの形状の一例を示す斜視図

【図4A】同実施の形態における仕切り板の形状の一例を示す図

【図4B】同実施の形態における仕切り板の形状の一例を示す図

【図4C】同実施の形態における仕切り板の形状の一例を示す図

【図4D】同実施の形態における仕切り板の形状の一例を示す図

【図4E】同実施の形態における仕切り板の形状の一例を示す図

【図4F】同実施の形態における仕切り板の形状の一例を示す図

50

【図 4 G】同実施の形態における仕切り板の形状の一例を示す図

【図 4 H】同実施の形態における仕切り板の形状の一例を示す図

【図 5 A】同実施の形態におけるリアクターの開閉機構について説明するための図

【図 5 B】同実施の形態におけるリアクターの開閉機構について説明するための図

【図 6】同実施の形態の実施例におけるエステル転化率を示すグラフ

【図 7】同実施の形態における斜めに設置されたリアクターの一例を示す図

【図 8】同実施の形態におけるマイクロ波発生部と導波管の他の一例を示す図

【図 9 A】同実施の形態におけるマイクロ波の照射位置について説明するための図

【図 9 B】同実施の形態におけるマイクロ波の照射位置について説明するための図

【発明を実施するための形態】

10

【0015】

以下、本発明による化学反応装置について、実施の形態を用いて説明する。なお、以下の実施の形態において、同じ符号を付した構成要素は同一または相当するものであり、再度の説明を省略することがある。

【0016】

(実施の形態 1)

本発明の実施の形態 1 による化学反応装置について、図面を参照しながら説明する。本実施の形態による化学反応装置は、リアクターの内容物に対してマイクロ波を照射するものである。

【0017】

20

図 1 は、本実施の形態による化学反応装置 1 の構成を示す図である。本実施の形態による化学反応装置 1 は、混合部 12 と、リアクター 13 と、マイクロ波発生器 14 と、導波管 15 と、マイクロ波制御部 16 と、触媒分離部 17 と、処理液貯留槽 18 とを備える。

【0018】

混合部 12 は、原料と固体触媒とを混合させる。混合部 12 は、原料等と反応剤とを混合させてもよい。原料は、複数の物質を含むものであってもよい。例えば、リアクター 13 においてエステル化を行う場合には、油脂とアルコールが原料であってもよい。その原料と、固体触媒とは、図 1 で示されるように、ポンプ 11 によって混合部 12 に供給されてもよく、あるいは、他の方法によって混合部 12 に供給されてもよい。混合部 12 は、例えば、羽根状の部材や翼状の部材、スクリー状の部材を回転させることによって、2 以上の物質を混合してもよい。なお、本実施の形態では、原料と混合される触媒が固体触媒（不均一系触媒）である場合について説明するが、触媒は液状の触媒（均一系触媒）であってもよい。また、固体触媒は、リアクター 13 内で流動床を形成してもよく、あるいは、そうでなくてもよい。また、その固体触媒の形状は問わない。固体触媒の形状は、例えば、無定形の粒状、円柱状（中空であってもよく、そうでなくてもよい）、球状、ペレット状、リング状、シェル状等であってもよい。また、その固体触媒は、例えば、マイクロ波吸収性もしくはマイクロ波感受性を有してもよく、または、そうでなくてもよい。固体触媒がマイクロ波吸収性やマイクロ波感受性を有する場合には、後述するリアクター 13 の内部においてマイクロ波を照射した際に、固体触媒がマイクロ波によって加熱されることになり、その固体触媒近傍での化学反応が促進されることになる。なお、そのマイクロ波吸収性やマイクロ波感受性については、照射されるマイクロ波の周波数やリアクター 13 の内部の温度等に依存することになる。すなわち、使用するマイクロ波の周波数、及び原料を反応させるリアクター 13 の内部の温度において、誘電損失係数の高いものがマイクロ波吸収性の高いものとなる。したがって、例えば、そのようなマイクロ波吸収性の高い物質を含む固体触媒を用いるようにしてもよい。例えば、2.45 GHz のマイクロ波が照射される場合には、マイクロ波吸収性を有する物質として、フラーレンを除くカーボン類（例えば、グラファイト、カーボンナノチューブ、または活性炭など）や、鉄、ニッケル、コバルト、またはフェライト等がある。したがって、固体触媒は、そのようなマイクロ波吸収性を有する物質を含むものであってもよい。具体的には、固体触媒は、そのようなマイクロ波吸収性やマイクロ波感受性を有する物質と、金属もしくは金属酸化物と

30

40

50

を組み合わせたコンポジットであってもよく、そのようなマイクロ波吸収性やマイクロ波感受性を有する物質と、アルカリ触媒もしくは酸触媒等の触媒とを組み合わせたコンポジットであってもよく、または、マイクロ波吸収性やマイクロ波感受性を有する物質と、アルカリ触媒もしくは酸触媒等の触媒と、金属もしくは金属酸化物とを組み合わせたコンポジットであってもよい。そのコンポジット化は、例えば、物理吸着によって行われてもよく、化学結合によって行われてもよく、合金化によって行われてもよく、または、その他の方法によって行われてもよい。また、混合部12において、リアクター13での反応に備えて、予備的な加熱を行ってもよく、あるいは、行わなくてもよい。その予備的な加熱を行う場合には、原料等がリアクター13に入る時点において所望の温度または所望の温度幅となるように、混合部12における予備的な加熱の温度が制御されることが好適である。なお、混合部12での予備加熱が行われない場合には、その予備加熱に対応する加熱がリアクター13において行われてもよい。混合部12で混合された原料と固体触媒は、リアクター13の上流側に入れられる。

10

【0019】

リアクター13は、液状の内容物が、上方に未充填空間を有した状態で水平方向に流れる横型のフロー式の反応器である。その内容物は、例えば、原料と触媒との混合物である。そのリアクター13の内部を、混合部12で混合された、原料と触媒とが流れることになる。なお、リアクター13における化学反応によって、原料から生成物が生成されるため、リアクター13の内容物には生成物が含まれていると考えてもよい。すなわち、その内容物は、原料及び／または生成物であるということもできる。また、内容物の上方に未充填空間が存在するため、内容物は通常、気体以外のものである。また、内容物は、リアクター13内部において、流動性を有するものであり、また、液面が平らになるものであるため、固体（例えば、粉体や粒状体等）以外のものである。したがって、内容物は、液状のものである。その液状の内容物は、例えば、水や油、水溶液、コロイド溶液等のように、流動性の高いものであってもよく、あるいは、スラリーや懸濁液のように、流動性の低いものであってもよい。なお、リアクター13内部において、内容物の液面は水平であることが好適であるため、液状の内容物は、流動性が低かったとしても、外部から振動を加えることなく、ある程度の時間の経過に応じて液面が水平になる程度の流動性を有していることが好適である。すなわち、液状の内容物は、外部からの振動がなくても、表面が変形しうる程度の流動性を有していることが好適である。なお、液面の水平状態は、完全な平坦であってもよく、または、細かい凹凸があったとしても全体として平坦であるといった程度であってもよい。内容物の流動性が高くない場合には、完全な平坦にならないこともありうるからである。リアクター13の内壁は、マイクロ波を反射する物質で構成されていることが好適である。マイクロ波を反射する物質としては、例えば、金属がある。このリアクター13の内部の構成については後述する。

20

30

【0020】

マイクロ波発生器14は、マイクロ波を発生する。本実施の形態による化学反応装置1は、1個のマイクロ波発生器14を備えていてもよく、あるいは、2個以上のマイクロ波発生器14を備えていてもよい。そのマイクロ波の周波数は限定されるものではないが、例えば、2.45GHzであってもよく、5.8GHzであってもよく、24GHzであってもよく、913MHzであってもよく、その他の300MHzから300GHzの範囲内の周波数であってもよい。

40

【0021】

1以上の導波管15は、マイクロ波発生器14の発生したマイクロ波を、リアクター13の未充填空間に伝送する。導波管15は、図1で示されるように、マイクロ波発生器14の個数と同じ個数だけ存在してもよい。また、導波管15は、分岐を有し、未充填空間の2以上の位置にマイクロ波を伝送してもよい。なお、導波管15は、マイクロ波発生器14が発生するマイクロ波の周波数に応じた規格のものを使用することが好適である。

【0022】

マイクロ波制御部16は、後述する温度測定部25が測定した温度に応じて、リアクタ

50

ー１３に照射するマイクロ波の出力を制御する。このマイクロ波制御部１６による制御によって、リアクター１３の内部を所望の温度または所望の温度幅に維持することが可能となる。

【００２３】

触媒分離部１７は、リアクター１３における反応後の生成物から触媒を分離する。原料と混合された触媒が固体触媒である場合には、例えば、フィルタによって固体触媒を分離してもよく、固体触媒と生成物の一方を沈澱させることによって固体触媒を分離してもよい。また、固体触媒が磁性体を含むものである場合には、磁石（永久磁石でもよく、電磁石でもよい）によって固体触媒を吸着することによって、固体触媒を分離してもよい。なお、分離された固体触媒は、適宜、再利用することができうる。また、液体の触媒を用いた場合には、触媒分離部１７において、蒸留や抽出、中和を行うことによって、触媒を分離してもよい。

10

【００２４】

処理液貯留槽１８には、触媒分離部１７において触媒の分離された生成物が入れられる。そして、適宜、最終的な製造物と副生成物等に分けられることになる。例えば、原料が遊離脂肪酸であり、リアクター１３においてエステル化が行われた場合には、バイオディーゼル燃料である製造物と、水である副生成物とが得られることになる。その場合には、酸触媒が用いられる。また、例えば、原料がトリグリセリドであり、リアクター１３においてエステル交換が行われた場合には、バイオディーゼル燃料である製造物と、グリセリンである副生成物とが得られることになる。その場合には、アルカリ触媒が用いられる。

20

【００２５】

なお、リアクター１３の後段に、リアクター１３での反応後の物質を冷却する図示しない冷却器を備えてもよく、あるいは、そうでなくてもよい。前者の場合には、例えば、その冷却器は、リアクター１３での反応後の物質を水冷するものであってもよい。

【００２６】

図２は、本実施の形態によるリアクター１３の内部構造の一例を示す図である。図２において、リアクター１３は、内部が仕切り板２１によって複数の室３１，３２，３３，３４に仕切られている。その複数の室３１，３２，３３，３４は、直列に連続した室である。前述のように、リアクター１３の内部では、上方に未充填空間２２が存在する。その未充填空間２２に対して、導波管１５を介して、マイクロ波発生器１４で発生されたマイクロ波が照射されることになる。なお、図２では、リアクター１３内部に単一の未充填空間が存在する場合、すなわち、すべての室３１～３４において未充填空間が共有されている場合について示しているが、そうでなくてもよい。すなわち、未充填空間は、すべての室のうち、少なくとも一部の２以上の室において共有されていてもよく、あるいは、すべての室において共有されていなくてもよい（この場合には、各仕切り板２１によって未充填空間が分断されていることになる）。各導波管１５は、図２で示されるように、各室３２，３３，３４の中央付近の位置に設けられてもよく、あるいは、そうでなくてもよい。前者の場合には、例えば、一の導波管１５によって未充填空間２２に伝送されたマイクロ波が、その下方に存在する室に主に照射される。なお、マイクロ波は未充填空間を伝わるため、例えば、室３２の位置の導波管１５によって伝送されたマイクロ波が、未充填空間を介して室３１や室３３の内容物にも照射されることになる。なお、導波管１５を仕切り板２１の位置、すなわち、仕切り板２１の上方の位置に設けてもよい。そのようにすることで、一の導波管１５によって未充填空間２２に伝送されたマイクロ波が、その導波管１５に対応する位置の仕切り板２１で区切られる２個の室に主に照射されることになる。なお、未充填空間が複数の室で共有されている場合には、その共有されている未充填空間に伝送されたマイクロ波は、その未充填空間を共有している複数の室の内容物２０に対して照射されることになる。仕切り板２１は、マイクロ波透過性のものであってもよく、マイクロ波吸収性のものであってもよく、あるいは、マイクロ波を反射するものであってもよい。マイクロ波を透過する材料としては、例えば、テフロン（登録商標）や、石英ガラス、セラミック、窒化珪素アルミナ等がある。したがって、マイクロ波透過性の仕切り板２１

30

40

50

は、そのようなマイクロ波を透過する材料で構成されたものであってもよい。また、マイクロ波を吸収する材料としては、例えば、フラーレンを除くカーボン類等がある。したがって、マイクロ波吸収性の仕切り板 21 は、そのようなマイクロ波を吸収する材料で構成されたものであってもよい。また、マイクロ波を反射する材料としては、例えば、金属がある。したがって、マイクロ波を透過しない仕切り板 21 は、そのようなマイクロ波を反射する材料で構成されたものであってもよい。また、仕切り板 21 は、マイクロ波透過性の材料、マイクロ波吸収性の材料、マイクロ波反射性の材料のうち、任意の 2 以上の材料の組み合わせによって構成されてもよい。

【0027】

また、図 2 で示されるように、化学反応装置 1 は、攪拌手段 23 をさらに有してもよい。すなわち、本実施の形態による化学反応装置 1 は、リアクター 13 内の内容物 20 を回転攪拌する 1 以上の攪拌手段 23 をも有してもよい。図 2 では、各室 31 ~ 34 に攪拌手段 23 が存在する場合について示しているが、そうでなくてもよい。1 以上の室に攪拌手段 23 が存在しなくてもよい。また、図 2 では、攪拌手段 23 が羽根状のものである場合について示しているが、これは攪拌手段 23 を模式的に示したものであり、その攪拌は、例えば、羽根状、翼状、あるいは、棒状の回転部材が回転されることによって行われてもよい。その回転部材は、マイクロ波透過性のものであってもよく、マイクロ波吸収性のものであってもよく、マイクロ波反射性のものであってもよく、あるいは、マイクロ波透過性の材料、マイクロ波吸収性の材料、マイクロ波反射性の材料のうち、任意の 2 以上の材料の組み合わせによって構成されたものであってもよい。その回転は、例えば、シャフトに装着された回転部材がシャフトの回転に応じて回転されることによって行われてもよく、あるいは、マグネティックスターラーのように、磁性を用いて回転部材が回転されてもよい。シャフトを用いる前者の場合には、そのシャフトは室ごとに独立したものであってもよく、あるいは、複数の室において共通して用いられるものであってもよい。磁性を用いる後者の場合には、棒状や羽根状、翼状等の回転部材（磁性攪拌子）が、磁石によって回転されることになる。なお、攪拌手段 23 による内容物の攪拌が、内容物を上流から下流の方向、もしくは、逆の方向に流すために用いられてもよく、または、そうでなくてもよい。なお、回転攪拌については、すでに公知であり、それらの詳細な説明を省略する。

【0028】

ここで、攪拌手段 23 がリアクター 13 の内容物を回転攪拌する理由について簡単に説明する。攪拌手段 23 が内容物を攪拌する第 1 の理由は、マイクロ波によって内容物が均一に加熱されるようにするためである。内容物の種類や内容物の温度にも依存するが、あるマイクロ波が浸透する深さは決まっているため、内容物の全体に均一にマイクロ波が照射され、均一に加熱されるように攪拌することになる。また、未充填空間 22 における内容物の表面積が大きくなると、マイクロ波をより効率よく内容物に照射することができるようになる。したがって、内容物を攪拌する第 2 の理由は、マイクロ波の照射面積をより広くするためである。そのため、攪拌手段 23 による内容物の攪拌は、未充填空間 22 における内容物の表面に波が起こる程度の激しさであることが好適であるが、そうでなくてもよい（第 1 の理由に応じた攪拌が行われるのであれば、結果として内容物の全体が加熱され、それで十分である場合もあるからである）。また、このように、攪拌手段 23 を用いて原料等の攪拌を行うため、原料に密度の異なる 2 以上の物質が含まれている場合であっても、両者を適切に混合して反応させることができるようになる。例えば、縦型のフロー式のリアクターにおいて、アルコールと廃油のように、密度の違うものを反応させようとしても、両者が容易に分離してしまうことになるが、本実施の形態のように横型のフロー式のリアクター 13 であって、攪拌手段 23 が存在する場合には、両者を適切に混合して反応させることができるようになる。

【0029】

また、図 2 で示されるように、リアクター 13 は、温度測定部 25 をも有してもよい。すなわち、本実施の形態による化学反応装置 1 は、リアクター 13 の内部の温度を測定する温度測定部 25 を備えていてもよい。リアクター 13 の内部の温度は、リアクター 13

の内容物の温度であることが好適である。図2では、各室31～34に温度測定部25が存在する場合について示しているが、そうでなくてもよい。1以上の室に温度測定部25が存在しなくてもよい。また、図2では、温度測定部25を模式的に示しているが、温度測定部25は、例えば、熱電対によって温度を測定してもよく、赤外線センサによって温度を測定してもよく、光ファイバーによって温度を測定してもよく、その他の方法によって温度を測定してもよい。温度測定部25が測定した温度（厳密に言えば、温度を示すデータである）は、マイクロ波制御部16に渡され、マイクロ波発生器14によるマイクロ波の出力の制御のために用いられる。その制御は、前述のように、各室31～34の温度を所望の温度または所望の温度幅に維持するための制御である。例えば、図2で示されるように、仕切り板21の位置にマイクロ波が照射される場合には、その位置に照射されるマイクロ波の出力の制御を、例えば、マイクロ波が照射される位置の仕切り板21で区切られる2個の室の温度のうち、一方を用いて行ってもよく、あるいは、両者を用いて行ってもよい。前者の場合には、例えば、低い方の温度を用いて制御を行ってもよく、高い方の温度を用いて制御を行ってもよく、あるいは、あらかじめ決められた室の温度を用いて制御を行ってもよい。後者の場合には、例えば、両者の平均を用いて制御を行ってもよく、あるいは、両者の室の容量に応じた加重平均（室の容量に応じた重みを考慮した平均）を用いて制御を行ってもよい。

10

【0030】

図3A、図3Bは、本実施の形態によるリアクター13の形状の一例を示す図である。なお、図3A、図3Bにおいて、説明の便宜上、仕切り板21や攪拌手段23等を省略している。図3A、図3Bにおいて、本実施の形態によるリアクター13は、内容物の量の変化に応じて液面の高さが変化しても、液面の面積が不変である形状を有している。なお、「内容物の量の変化に応じて液面の高さが変化しても、液面の面積が不変である」とは、内容物の量が増加したとしても、液面の面積が不変であるような内容物の範囲が少なくとも存在する、という意味である。したがって、どのような内容物の量であったとしても、内容物の量に応じて液面の面積が不変であってもよく、あるいは、内容物の量が所定の範囲内である場合、すなわち、内容物の量が第1の量から第2の量（第2の量は、第1の量よりも多い量であるとする）までの間である場合に、内容物の量に応じて液面の面積が不変であってもよい。本実施の形態では、後者の場合について主に説明する。すなわち、本実施の形態では、リアクター13は、内容物の量が所定の範囲内である場合に、内容物の量の変化に応じて液面の面積が不変である形状を有する。そのため、リアクター13は、例えば、図3A、図3Bで示されるように、内容物の量が所定の範囲内である場合に、内容物の液面方向の断面が変化しない形状を有していてもよい。なお、前述の第1の量は通常、内容物の下限値となり、第2の量は通常、内容物の上限値となる。また、内容物が第2の量である場合にも、内容物の上方に未充填空間が存在していることが必要である。リアクター13では、未充填空間を介してマイクロ波を照射するからである。また、前述のように、リアクター13内部において攪拌を行う場合には、液面が波立つこともありうるが、ここでの液面は、そのような波立ち等のない状態における液面である。

20

30

【0031】

図3Aでは、リアクター13は、流れ方向に延びる、下側に凸である半円筒形状を有している。すなわち、図3Aのリアクター13は、上面が開口した、下側に凸である半円筒形状と、その半円筒形状と同じ長さであり、下面が開口した直方体とをその開口において連続させた形状を有している。なお、その半円筒形状の開口と、直方体の開口とはそれぞれ同じ大きさ、形状であり、両者がその開口で連続していることによって、リアクター13が形成されることになる。言い方を変えれば、図3Aのリアクター13は、断面がU字型の側面と、断面がそのU字型の開口部を閉じる上面とを有する管形状であって、その管形状の両端の開口が、長さ方向に直角な平面で閉じられた形状を有している。その図3Aのリアクター13では、内容物の液面の高さが、例えば、レベル1やレベル2の高さのように、範囲R1内である場合には、液面の面積は不変である。なお、範囲R1の最下位の液面の高さが、リアクター13の上側の直方体形状の最下位の位置となる。

40

50

【0032】

図3Bでは、リアクター13は、直方体の形状を有している。その図3Bのリアクター13では、内容物の液面の高さが、例えば、レベル1やレベル2の高さのように、すべての範囲R1である場合に、液面の面積は不変である。すなわち、内容物がどのような量であったとしても、液面の面積は不変となる。

【0033】

次に、仕切り板21について説明する。リアクター13に入った原料等の内容物20は、各室31～34の間を流通し、最終的に下流（図2のリアクター13の右端）から出力される。なお、その仕切り板21には、内容物が流通する流路が存在する。その流路は、内容物が主にリアクター13の上流側（図2の左側）から、下流側（図2の右側）に向かって流れていく流路であるが、一部は下流側から上流側に流れてもよい。その仕切り板21の流路は、例えば、仕切り板21の上方において内容物がオーバーフローする流路であってもよく、あるいは、仕切り板21の隙間において内容物が流れる流路であってもよい。図4A～図4Hは、図3Aの形状のリアクター13に設けられた仕切り板21を、そのリアクター13の長さ方向から見た図である。例えば、図4A～図4Eは、前者のオーバーフローの流路を有する仕切り板21である。それらの仕切り板21では、未充填空間22の位置に仕切りが存在せず、その位置（すなわち、仕切り板21の上方）を内容物が流れることになる。そのオーバーフローの流路は、図4AのようにV字形状の流路であってもよく（三角堰）、図4Bのように矩形の流路であってもよく（四角堰）、図4CのようにU字形状の流路であってもよい。また、その流路は、図4A～図4Cのように単数であってもよく、あるいは、図4Dのように複数であってもよい。なお、図4Dでは、複数の流路の各形状がすべて同じである場合について示しているが、そうでなくてもよい。複数の流路の形状がそれぞれ異なってもよい。また、複数の流路の個数は、2個であってもよく、3個以上であってもよい。また、その流路の形状は、図示したもの以外であってもよい。例えば、半円形状であってもよく、台形状であってもよく、または、その他の形状であってもよい。また、図4Eの仕切り板21のように、仕切り板21の上方の辺に切り込み（切り欠き）等の凹形状を有しておらず、リアクター13の幅全体が流路であってもよい（全幅堰）。また、例えば、図4F～図4Hは、隙間の流路を有する仕切り板21である。それらの場合に、例えば、図4Gのように、仕切り板21とリアクター13の内壁との間に隙間27が存在してもよく、図4Fや図4Hのように、仕切り板21自体に隙間27が存在してもよい。その隙間27の大きさは、内容物が流通可能である以上の大きさであることが好適である。なお、その隙間27の形状や個数は問わない。図4Gでは、隙間27がU字形状の場合を示しているが、隙間27の形状は、例えば、U字の一部が塞がれた形状であってもよい。また、図4Fや図4Hでは、隙間27が円形状の場合を示しているが、隙間27の形状は、例えば、三角形であってもよく、矩形であってもよく、その他の形状であってもよい。また、隙間27の個数は、例えば、図4Fや図4Hよりも多くてもよく、少なくともよい（1個でもよく、複数でもよい）。なお、図4F～図4Hのように、隙間の流路を有する場合であっても、内容物の量が多くなれば、オーバーフローによっても内容物が流通することになる。また、図4A～図4Gのように、未充填空間22の上方側に仕切り板21が存在しなくてもよく、または、図4Hのように、未充填空間22の上方側にも仕切り板21の一部が存在してもよい。図4Hの場合には、仕切り板21の上方の開口を介して、複数の室において、未充填空間22が共有されることになる。なお、図4A～図4Hでは、その仕切り板21によって仕切られる2個の室において未充填空間22が共有される場合の仕切り板について示しているが、未充填空間22が共有されない場合には、未充填空間22の位置にも仕切り板21が存在してもよい。また、リアクター13が図3A以外の形状である場合には、その形状に応じた仕切り板21の形状となることは言うまでもない。また、リアクター13の内部に複数の仕切り板21が存在する場合に、各仕切り板21は、同じ形状であってもよく、あるいは、そうでなくてもよい。

【0034】

なお、リアクター１３内における液面の高さは、全体としては、リアクター１３の流出孔の位置によって決まることになる。通常、液面の高さは、その流出孔の位置よりも高くなるため、その流出孔の位置によって、液面の下限を決定することができる。また、各室の液面の高さは、その室と、隣接する後段の室との間の流路の高さによって決まることになる。この場合にも、通常、各室の液面の高さは、その室から流出する流路の位置と同程度になるため、その流路の位置によって、液面の高さを制御することもできる。なお、通常は、リアクター１３からの流出孔の高さと、各室から内容物が後段側に流出する流路の高さとはほぼ同程度となる。

【００３５】

また、リアクター１３は、未充填空間２２の上方において開閉可能であってもよい。その場合には、例えば、図５Ａで示されるように、リアクター１３の上面板１３ａが、リアクター１３の容器部１３ｂの上部開口に対して開閉可能に設けられていてもよい。具体的には、上面板１３ａは、リアクター１３の長さ方向のヒンジ（軸）を中心として、容器部１３ｂに対して回動可能に設けられていてもよい。その上部開口が上面板１３ａによって閉じられた場合には、上面板１３ａと容器部１３ｂとの隙間からマイクロ波が漏れないようになっていることが好適である。そのため、例えば、上部開口と上面板１３ａとは同じ形状（例えば、矩形等）をしており、上面板１３ａで上部開口が閉じられた場合に、隙間が存在しないようになっているてもよい。なお、リアクター１３の上面板１３ａが、開閉可能である場合に、導波管１５は、上面板１３ａを介して未充填空間２２にマイクロ波を伝送してもよく、あるいは、リアクター１３の側面を介して未充填空間２２にマイクロ波を伝送してもよい。導波管１５の設けられる面は開閉しない方がよいという観点からは、後者の方が好適である。

【００３６】

また、リアクター１３は、例えば、図５Ｂで示されるように、容器部１３ｂの上端から開口が小さくなるように上方に延びる環状部１３ｃをさらに備え、リアクター１３の上面板１３ａが、その環状部１３ｃの上部開口に対して開閉可能に設けられていてもよい。具体的には、上面板１３ａは、リアクター１３の長さ方向のヒンジを中心として、環状部１３ｃに対して回動可能に設けられていてもよい。その上部開口が上面板１３ａによって閉じられた場合には、上面板１３ａと環状部１３ｃとの隙間からマイクロ波が漏れないようになっていることが好適である。そのため、例えば、上部開口と上面板１３ａとは同じ形状（例えば、矩形等）をしており、上面板１３ａで上部開口が閉じられた場合に、隙間が存在しないようになっているてもよい。なお、リアクター１３の上面板１３ａが、開閉可能である場合に、導波管１５は、上面板１３ａを介して未充填空間２２にマイクロ波を伝送してもよく、環状部１３ｃを介して未充填空間２２にマイクロ波を伝送してもよく、あるいは、リアクター１３の側面を介して未充填空間２２にマイクロ波を伝送してもよい。

【００３７】

このように、リアクター１３が未充填空間の上方において開閉可能であることにより、例えば、リアクター１３のメンテナンスが容易となる。特に、未充填空間２２の上方で開閉可能であることによって、リアクター１３に内容物が入っている状態で上面板１３ａを開けたとしても、内容物が漏れることはない。そのため、内容物が入った状態で、リアクター１３の内部にアクセスすることが可能となる。また、未充填空間の上方で開閉可能なリアクター１３とすることは、リアクター１３の内部の様子を確認したり、内部のメンテナンスを行ったりというように、リアクター１３の内部にアクセスすることを目的としているため、開閉可能な開口は、リアクター１３の長さ方向の長さと同程度の長さを有していることが好適であるが、そのようになっていなくてもよい。

また、リアクター１３の壁面は、断熱材で覆われていてもよい。そのようにすることで、リアクター１３の内部の熱が外部に放出されることを防止することができる。

【００３８】

次に、本実施の形態による化学反応装置１の動作について簡単に説明する。原料と触媒とは、ポンプ１１によって混合部１２に供給される。そして、混合部１２において混合さ

れ、リアクター１３に投入される。そのリアクター１３への原料等の供給速度は、あらかじめ決められていてもよい。

【００３９】

リアクター１３に供給された原料等は、攪拌手段２３によって攪拌されながら、上流側から下流側に流れていく。その際に、マイクロ波発生器１４が発生したマイクロ波が導波管１５を介してリアクター１３の未充填空間２２に伝送され、原料等に照射される。その結果、原料等が加熱されることになり、原料等の反応が促進されることになる。なお、各室３１～３４の温度は、温度測定部２５によって測定され、図示しない経路によって、マイクロ波制御部１６に渡される。そして、マイクロ波制御部１６は、各室３１～３４の温度が所望の温度または所望の温度幅となるようにマイクロ波発生器１４の出力を制御する。

10

【００４０】

リアクター１３から出力された生成物は、触媒分離部１７に投入され、触媒が分離される。そして、触媒の分離された生成物がポンプ１１によって処理液貯留槽１８に投入され、処理液貯留槽１８において、目的とする製造物と副生成物とに分けられる。このようにして、最終的な製造物が得られることになる。また、このような処理が繰り返して実行されることにより、目的とする製造物が順次、生成されていくことになる。その処理において、リアクター１３内における内容物の量が増えたり減ったりしたとしても、液面の高さが前述の範囲Ｒ１内であれば、マイクロ波の照射面積は変わらないことになる。その結果、効率よくマイクロ波を照射することができる。また、リアクター１３が、図５Ａ、図５Ｂで示されるように、未充填空間の上部で開閉可能な構成になっているのであれば、例えば、リアクター１３の内部の様子を確認したい場合、または、リアクター１３の内部のメンテナンスを行いたい場合に、上面板１３ａを開けることによって、リアクター１３の内部にアクセスすることも可能である。

20

【００４１】

なお、触媒分離部１７における触媒の分離の処理や、処理液貯留槽１８における製造物と副生成物との分離の処理は、生成物が投入されるごとに順次、行ってもよく、あるいは、投入された生成物が一定の分量だけたまってから、一括して行ってもよい。すなわち、リアクター１３における処理はフロー式（流通式）で処理されるが、その後段の触媒分離部１７や処理液貯留槽１８における処理は、フロー式で処理されてもよく、あるいは、バッチ式で処理されてもよい。

30

【００４２】

また、本実施の形態による化学反応装置１において行われる化学反応は、マイクロ波の照射自体、あるいは、マイクロ波の照射に応じた加熱によって引き起こされる化学反応であれば、どのようなものであってもよい。例えば、エステル化やエステル交換によるバイオディーゼル燃料の生成であってもよく、エステルであるインク原料の生成であってもよく、その他の化学反応であってもよい。

【００４３】

次に、本実施の形態による化学反応装置１を用いて廃油からバイオディーゼル燃料（脂肪酸メチルエステル）を生成する処理について、実施例を用いて説明する。なお、本発明がその実施例に限定されないことは言うまでもない。

40

【００４４】

（反応システム構築例）

本実施例において、原料として、油脂と遊離脂肪酸との混合物、及びアルコールを用いた。アルコールは、反応剤である。その原料と触媒とは、それぞれポンプ１１で混合部１２へ送られ、均一に混合される。その混合液はリアクター１３へ供給される。リアクター１３内の混合液に対して、マイクロ波発生器１４から発生したマイクロ波が照射され、エステル化反応が促進される。また、そのリアクター１３内の混合液は、リアクター１３内の仕切り板２１で仕切られた各室３１～３４に充填される。混合液は触媒と共に攪拌手段２３によって攪拌されながらマイクロ波の照射によって反応が進行する。マイクロ波はリ

50

アクター 1 3 内部に存在する未充填空間 2 2 に対して照射され、リアクター 1 3 内部へ拡散する。各室内の反応液は仕切り板 2 1 に設けられた流路により次段の室へ移動する。反応液はリアクター 1 3 内で一定の滞留時間を保持した後、リアクター 1 3 外へ排出される。リアクター 1 3 から排出された反応後の混合液は触媒分離部 1 7 に供給され、その触媒分離部 1 7 において触媒が分離されて処理液貯留槽 1 8 へ充填される。触媒分離後の反応液は処理液貯留槽 1 8 において副生成物である水、グリセリンと分離され、目的物である粗メチルエステルが取り出される。

【0045】

(工業廃油のエステル化反応)

工業廃油を用いた遊離脂肪酸のエステル化反応の典型的な実施例を示す。遊離脂肪酸 3 4 w t % 含有の工業廃油 (その他、トリグリセリドや、ピッチ成分等を含有している) と、反応剤であるメタノール 2 . 8 モル当量 (工業廃油の遊離脂肪酸をオレイン酸に換算した際のモル当量である) と、固体酸触媒 3 w t % (工業廃油に対する重量%である) を混合部 1 2 で混合した後にリアクター 1 3 へ供給した。リアクター 1 3 への供給速度は、次に示す空間速度で約 1 . 2 / h とした。ここで、反応器容量とは、本実施例では、リアクター 1 3 内の全容量から未充填空間 2 2 の容量を減算した容量である。

(空間速度) = (廃油の体積流量) / (反応器容量)

【0046】

リアクター 1 3 のマイクロ波出力は各室 3 1 ~ 3 4 の内部温度によるフィードバック制御を行い、各室 3 1 ~ 3 4 の温度を一定に保った。本実験では反応温度を 7 0 °C に設定した。図 6 は、本実施例における脂肪酸とメタノールのエステル化反応による脂肪酸メチルエステルの転化率を示している。メチルエステル転化率の計算式は次の通りである。

メチルエステル転化率 (%) = [メチルエステル濃度] / [脂肪酸初濃度] × 1 0 0

【0047】

図 6 から明らかなように、エステル化反応は反応開始後急速に進行し、3 0 分で転化率は 8 7 % に達した。その後、転化率は緩やかに増加し、1 . 5 時間で反応はほぼ平衡に達した。なお、廃油中のその他の成分は、特に変化は見られなかった。この結果から、本実施の形態による流通式反応器によるエステル化反応は、廃油中の遊離脂肪酸に対して効率よくエステル化反応を進行させ、かつ安定した反応を連続的に行うことが可能であることがわかる。

【0048】

以上のように、本実施の形態による化学反応装置 1 によれば、内容物の量の変化に応じて液面が上下したとしても、液面の面積が不変となるため、マイクロ波の照射面積が変わらず、リアクター 1 3 において内容物に効率よくマイクロ波を照射することができる。その結果、リアクター 1 3 の内部における化学反応を促進することができる。従来、横型のフロー式のリアクターとしては、長さ方向が流れ方向となる円筒形のリアクターが用いられることが多く、そのようなリアクターでは、液面の高さに応じて照射面積が変わり、効率よくマイクロ波を照射できないこともあった。例えば、液面が上端に近くなり、未充填空間が少なくなると、マイクロ波の照射面積が狭くなり、内容物を効率よく加熱することができなくなる。一方、本実施の形態によるリアクター 1 3 によれば、そのようなことがなく、内容物を効率よく加熱することが可能となる。また、攪拌手段 2 3 を用いてリアクター 1 3 内部で内容物を攪拌することによって、マイクロ波の浸透深さがあまり深くない場合であっても、内容物に対して均等にマイクロ波を照射することができるようになる。また、リアクター 1 3 が複数の室に分かれていることによって、内容物が各室に滞留しながら反応することになるため、各室において、内容物にマイクロ波を効果的に照射することができようになる。その結果、リアクター 1 3 から未反応の原料が出力されること (すなわち、リアクター 1 3 の流入孔から流出孔に対して原料が短絡して流れること) を回避することができうる。また、固体触媒がマイクロ波吸収性やマイクロ波感受性を有する場合には、マイクロ波の照射によって、固体触媒が効率よく加熱されることになり、固体触媒の近傍での化学反応を促進することができる。このように、リアクター 1 3 内

10

20

30

40

50

部での化学反応が促進されることによって、より効率よく生成物を得ることができるようになる。

【0049】

なお、本実施の形態では、リアクター13が水平方向に設置される場合について説明したが、そうでなくてもよい。リアクター13は、図7で示されるように、上流側が上方となり、下流側が下方となるように傾斜されて設置されてもよい。その場合であっても、リアクター13は、内容物の量の変化に応じて液面の高さが室ごとに変化しても、その液面の面積（厳密には、各室の液面の面積の合計）が不変である形状を有していることが好適である。そのため、リアクター13は、内容物の量が所定の範囲内である場合に、各室ごとに、内容物の液面方向の断面が変化しない形状を有していることが好適である。通常、内容物の量が所定の範囲内である場合に、リアクター13が水平方向に設置された状態で、内容物の液面方向の断面が変化しない形状を有しているのであれば、リアクター13が傾斜させて設置された状態でも、内容物の液面方向の断面が変化しない形状を有していることが多いと考えられる。したがって、水平に設置されたリアクター13において内容物の液面方向の断面が変化しない形状を有しておれば、通常、傾斜させて設置されたリアクター13においても、内容物の量の変化に応じて液面の面積が不変であると考えられる。

10

【0050】

また、リアクター13が水平方向に設定される場合であっても、上流側から下流側に向かって、仕切り板21の高さを低くすることによって、内容物が流れやすくすることも可能である。その場合であっても、リアクター13は、内容物の量の変化に応じて液面の高さが室ごとに変化しても、その液面の面積（厳密には、各室の液面の面積の合計）が不変である形状を有していることが好適である。そのため、リアクター13は、内容物の量が所定の範囲内である場合に、各室ごとに、内容物の液面方向の断面が変化しない形状を有していることが好適である。

20

【0051】

また、本実施の形態では、図3A、図3Bで示されるように、内容物の量の変化に応じて液面の面積が不変であるリアクター13の形状が、リアクター13の側面が液面の法線方向に延びているものである場合について主に説明したが、そうでなくてもよい。リアクター13の側面が液面の法線方向とは異なる方向に延びている場合でも、リアクター13の形状は、内容物の量の変化に応じて液面の面積が不変であってもよい。例えば、図7で示されるように、リアクター13を傾斜させて設置した場合には、そのようになりうる。

30

【0052】

また、本実施の形態では、内容物の量が所定の範囲内である場合に、リアクター13は、その内容物の液面方向の断面が変化しない形状を有する場合について説明したが、そうでなくてもよい。結果として、内容物の量が所定の範囲内である場合に、リアクター13が内容物の量の変化に応じて液面の面積が不変である形状を有するのであれば、内容物の液面方向の断面が変化しない形状を有していなくてもよい。具体的には、内容物の液面方向の断面が、液面の高さに応じて、ある形状（例えば、矩形等）から、別の形状（例えば、台形等）に変化したとしても、内容物の液面方向の断面の面積が、各液面の高さにおいて同じであるのであれば、リアクター13が、内容物の液面方向の断面が変化する形状を有していたとしても、内容物の量の変化に応じて液面の面積が不変である形状を有していることになる。

40

【0053】

また、図2では、室ごとに攪拌手段23が存在する場合について説明したが、そうでなくてもよい。複数の室において、単一または複数の攪拌手段23が存在してもよい。化学反応装置1が単一の攪拌手段23を有する場合には、前述のように、その攪拌手段23は、複数の室において共通して用いられるシャフト（回転軸）を有するものであってもよい。その場合には、攪拌手段23は、回転軸と、複数の回転部材と、回転手段とを備えるものであってもよい。回転軸は、リアクター13の流れ方向に延びる軸である。例えば、図2において、回転軸は、リアクター13の左端の面から、右端の面まで延びていてもよい

50

。その回転軸は、リアクター 13 の底面に平行に設けられていてもよい。この回転軸は、例えば、マイクロ波透過性の材料で構成されたものであってもよく、マイクロ波吸収性の材料で構成されたものであってもよく、マイクロ波反射性の材料で構成されたものであってもよく、あるいは、それらの任意の 2 以上の材料の組み合わせによって構成されたものであってもよい。回転軸がマイクロ波反射性の材料（例えば、金属など）で構成されている場合には、回転軸にマイクロ波が照射されることによってマイクロ波が反射されることになる。したがって、そのような場合に、リアクター 13 内において、内容物の液面よりも上方に回転軸が存在すると、その回転軸によって一部のマイクロ波が反射され、その反射された分だけ内容物に照射されないことになる。したがって、そのような事態を回避するためには、内容物の液面が、回転軸よりも上方になる位置する、すなわち、内容物中に回転軸が存在することが好適である。また、回転軸がマイクロ波吸収性の材料で構成されている場合には、回転軸にマイクロ波が照射されることによってマイクロ波が吸収されることになる。したがって、そのような場合に、リアクター 13 内において、内容物の液面よりも上方に回転軸が存在すると、その回転軸によって一部のマイクロ波が吸収され、その吸収された分だけ内容物に照射されないことになる。また、回転軸が異常に加熱する可能性もある。したがって、そのような事態を回避するためには、内容物の液面が、回転軸よりも上方になる位置する、すなわち、内容物中に回転軸が存在することが好適である。したがって、内容物の液面が、回転軸よりも上方になるように内容物の量を制御してもよく、また、リアクター 13 は、少なくとも回転軸よりも上方側において、液面方向の断面積が変化しない形状を有していてもよい。例えば、図 3 C で示されるように、液面の面積が不変となる範囲 R 1 の最下位の液面の高さが、回転軸 28 がちょうど内容物で覆われる高さであるようにしてもよい。そのようにすることで、液面が範囲 R 1 内である場合には、液面の面積は不変であり、かつ、液面は回転軸 28 よりも上に存在することになる。なお、図 3 C において、リアクター 13 の下部の半円筒形状における半径は、回転軸 28 を中心に回転する回転部材の回転半径に応じた半径を有していることが好適である。その場合には、リアクター 13 の底部領域において、攪拌洩れの起こることを効果的に防止することができるからである。また、例えば、図 3 D で示されるリアクター 13 では、内容物の液面の高さがすべての範囲 R 1 である場合に、液面の面積は不変であるが、その液面の高さが、範囲 R 2 内となるようにコントロールすることによって、液面の面積は不変であり、かつ、液面は回転軸 28 よりも上に存在するようにコントロールできる。なお、範囲 R 2 の最下位の液面の高さが、回転軸 28 がちょうど内容物で覆われる高さであるとする。また、上方、下方とは、鉛直方向における上方や下方の意味である。また、リアクター 13 の流れ方向とは、リアクター 13 内の内容物の流れ方向であり、通常、リアクター 13 の長さ方向と同じである。回転部材は、回転軸を中心として回転する部材である。この回転部材が回転することによって、内容物が回転攪拌されることになる。なお、回転部材は、前述のように、例えば、羽根状の部材であってもよく、あるいは、翼状の部材や、棒状の部材等であってもよい。また、その回転部材は、各室に存在してもよく、あるいは、そうでなくてもよい。回転部材の存在しない室があってもよい。また、一の室に二以上の回転部材が存在してもよい。攪拌手段 23 は、少なくとも 1 以上の回転部材を有するものであればよい。また、回転手段は、各回転部材を回転させる。回転部材が回転軸に固定されている場合には、回転手段は、その回転軸を回転させるものであってもよい。その場合には、回転手段は、例えば、モータや、エンジン等であってもよい。また、回転軸が回転部材を回転可能に支持し、回転軸自体は回転しないものであってもよい。その場合には、回転手段は、例えば、磁石を有する回転部材を磁力によって回転させるものであってもよい。具体的には、永久磁石である回転子（ロータ）を、その回転子の周りに設けられた電磁石の固定子（ステータ）で回転させるタイプのモータと同様に、回転部材（回転子）を、回転手段（固定子）によって回転させてもよい。なお、その場合に、固定子である回転手段は、リアクター 13 の外部に存在することが好適であるが、そうでなくてもよい。リアクター 13 の材質によっては、リアクター 13 の外部に固定子である回転手段を設けることができないこともあるからである。また、攪拌手段 23 が複数の室にわたる回転軸を

10

20

30

40

50

有する場合には、仕切り板 2 1 に、回転軸が貫通する孔が存在してもよく、あるいは、流路である凹形状の位置や隙間 2 7 の位置を回転軸が貫通してもよい。なお、図 7 で示されるようにリアクター 1 3 が傾斜している場合であって、攪拌手段 2 3 が、複数の室を貫く回転軸を有する場合であっても、その回転軸は、リアクター 1 3 の流れ方向に延びていると言うことができる。各室においては、内容物は水平方向に流れると思われるが、リアクター 1 3 全体としては、内容物はリアクター 1 3 の長さ方向に流れるからである。したがって、この場合には、回転軸の延びる方向と、液面の方向とが異なることになる。また、例えば、内容物の液面が回転軸よりも上方になるようにするため、リアクター 1 3 の流出孔の位置を、回転軸よりも上方の位置に設けてもよい。

【0054】

10

また、本実施の形態において、攪拌手段 2 3 の有する回転軸や回転手段の個数は問わない。例えば、単数の回転軸、回転手段によって、1 以上の回転部材が回転されてもよく、2 以上の回転軸や 2 以上の回転手段を用いて、2 以上の回転部材が回転されてもよい。

【0055】

なお、本実施の形態では、原料と触媒とを混合する混合部 1 2 が存在する場合について説明したが、そうでなくてもよい。例えば、あらかじめ混合された原料と触媒とを用いる場合や、リアクター 1 3 において混合をも行う場合、リアクター 1 3 内を流れる固体触媒がリアクター 1 3 内に留まっている場合、または、リアクター 1 3 内を流れる固体触媒に代えて固定床の固体触媒を用いる場合などには、化学反応装置 1 は、混合部 1 2 を備えなくてもよい。なお、固定床の固体触媒を用いる場合には、通常、その固定床の固体触媒はリアクター 1 3 の内部に存在することになる。その固定床の固体触媒は、例えば、リアクター 1 3 の内壁に貼着されたものであってもよく、あるいは、リアクター 1 3 の内部において触媒充填層やカラム等に充填されることによって固定されたものであってもよい。その固体触媒の形状は、例えば、無定形の粒状、円柱状（中空であってもよく、そうでなくてもよい）、球状、ペレット状、リング状、シェル状、ハニカム状、発泡体状、繊維状、布状、板状、あるいは、その他の形状であってもよい。

20

【0056】

また、本実施の形態では、リアクター 1 3 が、図 2 で示されるように、直列に連続した 4 個の室 3 1 ~ 3 4 を有する場合について説明したが、この室の個数は問わない。通常、室の数が多いほど、リアクター 1 3 の流入孔から流出孔に対して原料が短絡して流れることを効果的に防止できる。また、その室の数の増減に応じて室の容積が変わらない場合には、室の数が多いほど、リアクター 1 3 の内容物がリアクター 1 3 に流入してから流出するまでの滞留時間が長くなり、室の数が少ないほど、その滞留時間が短くなる。したがって、その場合には、所望の滞留時間となるように、その室の個数を調整することができる。

30

【0057】

また、本実施の形態では、複数のマイクロ波発生器 1 4 を備える場合について説明したが、そうでなくてもよい。例えば、図 8 で示されるように、マイクロ波発生器 1 4 で発生されたマイクロ波を、分岐を有する導波管 1 5 によって、複数の箇所に伝送してもよい。複数の箇所は、例えば、複数の室であってもよい。なお、図 8 では、化学反応装置 1 が一のマイクロ波発生器 1 4 のみを備えている場合について示しているが、化学反応装置 1 が 2 以上のマイクロ波発生器 1 4 を備えている場合に、その複数のマイクロ波発生器 1 4 のいずれかで発生されたマイクロ波が、分岐を有する導波管 1 5 によって複数の箇所に伝送されてもよい。例えば、マイクロ波発生器 1 4 で発生されたマイクロ波が複数の室に伝送される場合には、マイクロ波制御部 1 6 は、そのマイクロ波発生器 1 4 で発生されたマイクロ波が伝送される各室の温度のいずれか、あるいは、すべてを用いて、そのマイクロ波発生器 1 4 の出力を制御してもよい。例えば、マイクロ波制御部 1 6 は、各室のすべての温度の平均を用いて制御を行ってもよく、各室の温度の最高値または最低値を用いて制御を行ってもよい。

40

【0058】

50

また、本実施の形態では、化学反応装置 1 が温度測定部 2 5 とマイクロ波制御部 1 6 とを備える場合について説明したが、そうでなくてもよい。例えば、マイクロ波の出力をあらかじめ決められた値にすることによって、リアクター 1 3 の内部の温度を所望の温度や温度幅に維持することができる場合には、温度を用いたマイクロ波の出力の制御を行わなくてもよい。

【0059】

また、本実施の形態では、リアクター 1 3 の後段に触媒分離部 1 7 を備えた場合について説明したが、そうでなくてもよい。他の装置によって触媒を分離する場合や、リアクター 1 3 内を流れる固体触媒がリアクター 1 3 内に留まっている場合、リアクター 1 3 内を流れる固体触媒に代えて固定床の固体触媒を用いる場合、リアクター 1 3 での化学反応に触媒を用いない場合などのように、本実施の形態による化学反応装置 1 において触媒の分離を行わなくてもよい場合には、触媒分離部 1 7 を備えていなくてもよい。

10

【0060】

また、本実施の形態では、原料と触媒とが混合されてリアクター 1 3 に投入される場合について説明したが、そうでなくてもよい。例えば、原料のみがリアクター 1 3 に投入されてもよい。また、原料と触媒との混合が行われない場合には、リアクター 1 3 の内部を、原料のみが流れてもよい。すなわち、リアクター 1 3 の内容物は、例えば、複数の原料の混合物であってもよい。また、原料と触媒との混合が行われない場合であっても、例えば、リアクター 1 3 内を流れる固体触媒がリアクター 1 3 内に留まっているときには、リアクター 1 3 の内部を原料と触媒とが流れてもよい。また、原料と触媒との混合が行われない場合には、混合部 1 2 は、例えば、原料を混合させてもよく、あるいは、原料（基質）と反応剤とを混合させてもよい。また、その原料等の混合が必要ない場合には、前述のように、化学反応装置 1 は、混合部 1 2 を備えていなくてもよい。

20

【0061】

また、本実施の形態では、リアクター 1 3 内の原料を攪拌する 1 以上の攪拌手段 2 3 を備える場合について説明したが、そうでなくてもよい。例えば、リアクター 1 3 がマイクロ波を原料の全体に容易に照射することができるような構成である場合（例えば、リアクター 1 3 の内径が小さい場合等）には、攪拌手段 2 3 がなくてもよい。

【0062】

また、本実施の形態では、化学反応装置 1 が処理液貯留槽 1 8 を備える場合について説明したが、そうでなくてもよい。例えば、化学反応装置 1 から出力された生成物や副生成物が混合したものについて、他の装置において生成物の抽出等が行われてもよい。

30

【0063】

また、本実施の形態において、化学反応装置 1 は 2 以上のマイクロ波発生器 1 4 を備えており、その 2 以上のマイクロ波発生器 1 4 は、2 以上の周波数のマイクロ波を発生してもよい。すなわち、リアクター 1 3 の内容物に対して、2 以上の周波数のマイクロ波が照射されてもよい。その場合において、2 以上の周波数のマイクロ波を同じ位置において照射してもよく、2 以上の周波数のマイクロ波をそれぞれ異なる位置において照射してもよい。例えば、図 9 A で示されるように、リアクター 1 3 の同じ位置において、すなわちリアクター 1 3 の中流域において、マイクロ波発生器 1 4 a、1 4 d がそれぞれ発生した周波数 X、Y のマイクロ波を照射してもよい。なお、周波数 X、Y のマイクロ波はそれぞれ、導波管 1 5 a、1 5 d を介してリアクター 1 3 に伝送される。また、例えば、図 9 B で示されるように、リアクター 1 3 の上流側から中流域において、マイクロ波発生器 1 4 a、1 4 b、1 4 c が発生した周波数 X のマイクロ波を照射し、リアクター 1 3 の下流側において、マイクロ波発生器 1 4 d が発生した周波数 Y のマイクロ波を照射してもよい。なお、周波数 X のマイクロ波はそれぞれ、導波管 1 5 a、1 5 b、1 5 c を介してリアクター 1 3 に伝送される。また、周波数 Y のマイクロ波は、導波管 1 5 d を介してリアクター 1 3 に伝送される。ここで、図 9 A、図 9 B は、それぞれリアクター 1 3 を上方から見た図であり、図中の矢印は、リアクター 1 3 内における内容物の流れを示すものである。なお、2 以上の周波数のマイクロ波が照射される場合に、その周波数の個数は、2 個であっ

40

50

てもよく、あるいは、3個以上であってもよい。その2以上の周波数は、300MHzから300GHzの範囲から選択される2以上の周波数であればどのような組み合わせであってもよい。例えば、2個の周波数のマイクロ波が照射される場合に、その周波数の組み合わせは、2.45GHzと5.8GHzであってもよく、2.45GHzと24GHzであってもよく、2.45GHzと913MHzであってもよく、5.8GHzと24GHzであってもよく、5.8GHzと913MHzであってもよく、24GHzと913MHzであってもよい。また、2以上の周波数のマイクロ波を照射する場合に、それらを照射するタイミングは問わない。例えば、2以上の周波数のマイクロ波を同時に照射してもよく、あるいは、周波数ごとに照射する期間が異なるようにマイクロ波を照射してもよい。例えば、後者の場合には、ある期間には周波数Xのマイクロ波が照射され、次の期間には周波数Yのマイクロ波が照射されてもよい。また、2以上の周波数のマイクロ波が照射される場合に、2以上の周波数のマイクロ波が一の未充填空間22に導入されてもよく、あるいは、各周波数のマイクロ波がそれぞれ異なる未充填空間22に導入されてもよい。後者の場合には、リアクター13において、仕切り板21によって分断された未充填空間22が少なくとも2以上存在することになる。なお、2以上の周波数のマイクロ波を照射した場合には、1個の周波数のマイクロ波の照射ではマイクロ波の作用（例えば、加熱等）の対象とならなかった物質に対してもマイクロ波を作用させることができ、より幅の広い物質に対してマイクロ波を作用させることができるようになる。

10

【0064】

また、上記実施の形態において、各構成要素が実行する処理に関する情報、例えば、各構成要素が受け付けたり、取得したり、選択したり、生成したり、送信したり、受信したりした情報や、各構成要素が処理で用いるしきい値や数式、アドレス等の情報等は、上記説明で明記していない場合であっても、図示しない記録媒体において、一時的に、あるいは長期にわたって保持されていてもよい。また、その図示しない記録媒体への情報の蓄積を、各構成要素、あるいは、図示しない蓄積部が行ってもよい。また、その図示しない記録媒体からの情報の読み出しを、各構成要素、あるいは、図示しない読み出し部が行ってもよい。

20

【0065】

また、上記実施の形態において、各構成要素等で用いられる情報、例えば、各構成要素が処理で用いるしきい値やアドレス、各種の設定値等の情報がユーザによって変更されてもよい場合には、上記説明で明記していない場合であっても、ユーザが適宜、それらの情報を変更できるようにしてもよく、あるいは、そうでなくてもよい。それらの情報をユーザが変更可能な場合には、その変更は、例えば、ユーザからの変更指示を受け付ける図示しない受付部と、その変更指示に応じて情報を変更する図示しない変更部とによって実現されてもよい。その図示しない受付部による変更指示の受け付けは、例えば、入力デバイスからの受け付けでもよく、通信回線を介して送信された情報の受信でもよく、所定の記録媒体から読み出された情報の受け付けでもよい。

30

【0066】

また、上記実施の形態において、各構成要素は専用のハードウェアにより構成されてもよく、あるいは、ソフトウェアにより実現可能な構成要素については、プログラムを実行することによって実現されてもよい。例えば、ハードディスクや半導体メモリ等の記録媒体に記録されたソフトウェア・プログラムをCPU等のプログラム実行部が読み出して実行することによって、各構成要素が実現され得る。

40

【0067】

また、本発明は、以上の実施の形態に限定されることなく、種々の変更が可能であり、それらも本発明の範囲内に包含されるものであることは言うまでもない。

【産業上の利用可能性】**【0068】**

以上より、本発明による化学反応装置によれば、原料等に対して効率的にマイクロ波を照射することができるという効果が得られ、例えば、加熱の必要な化学反応を行う化学反

50

応装置として有用である。

【符号の説明】

【0069】

- 1 化学反応装置
- 12 混合部
- 13 リアクター
- 14、14a～14d マイクロ波発生器
- 15、15a～15d 導波管
- 16 マイクロ波制御部
- 17 触媒分離部
- 18 処理液貯留槽
- 23 攪拌手段
- 25 温度測定部
- 28 回転軸

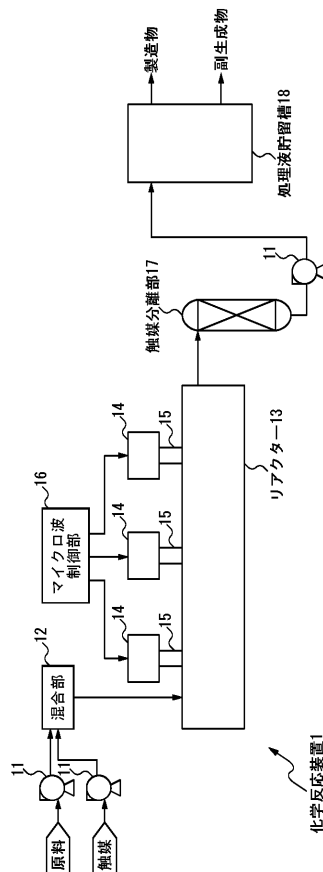
【要約】

【課題】内容物の量が変化しても、内容物に効率よくマイクロ波を照射することができる化学反応装置を提供する。

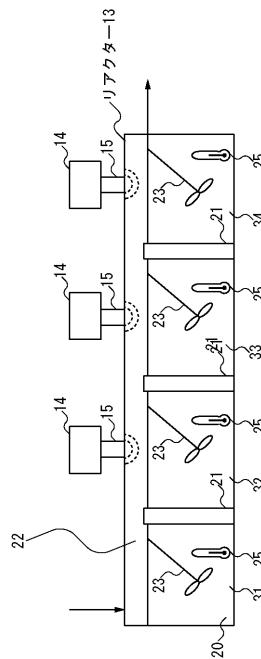
【解決手段】内部が仕切り板によって複数の室に仕切られており、液状の内容物が、上方に未充填空間を有した状態で水平方向に流れる横型のフロー式のリアクター13と、マイクロ波を発生するマイクロ波発生器14と、マイクロ波発生器14の発生したマイクロ波を、リアクター13の未充填空間に伝送する1以上の導波管15と、を備え、リアクター13は、内容物の量の変化に応じて液面の高さが変化しても、液面の面積が不変である形状を有している。

【選択図】図1

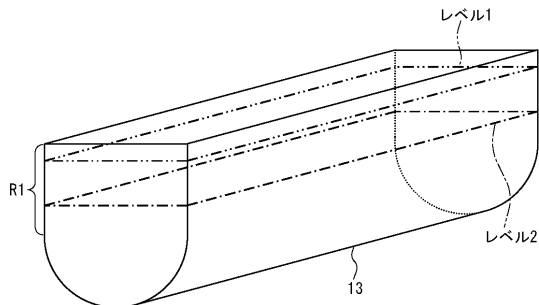
【図1】



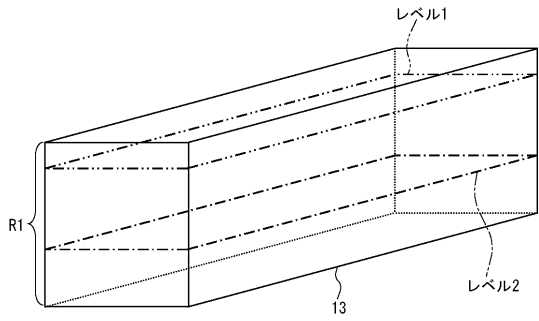
【図2】



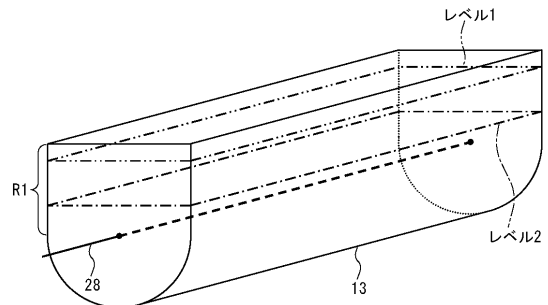
【図 3 A】



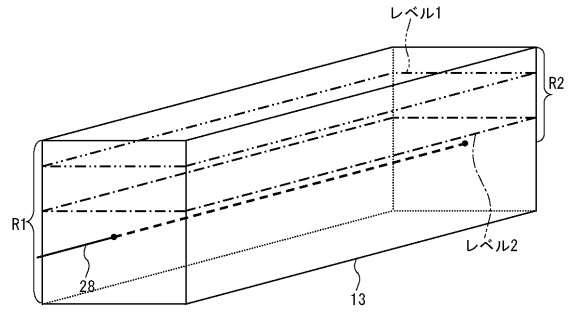
【図 3 B】



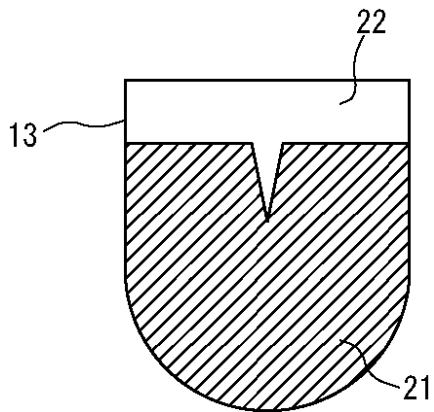
【図 3 C】



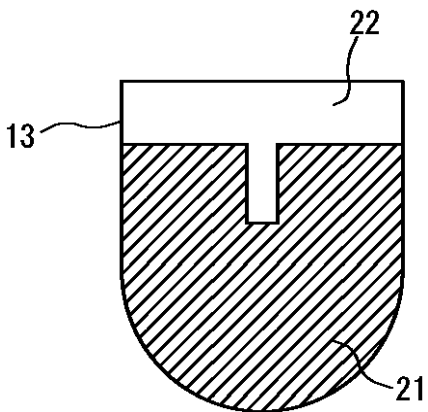
【図 3 D】



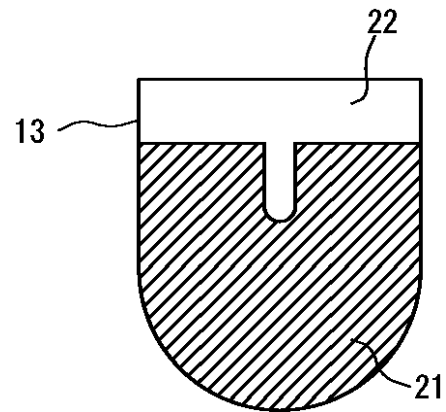
【図 4 A】



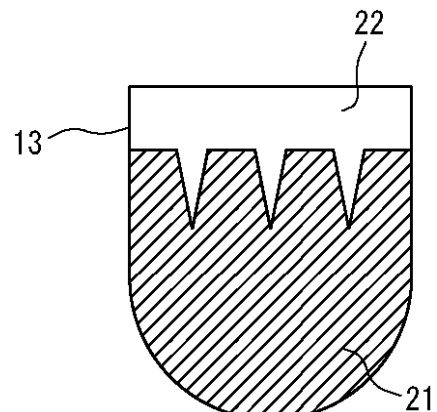
【図 4 B】



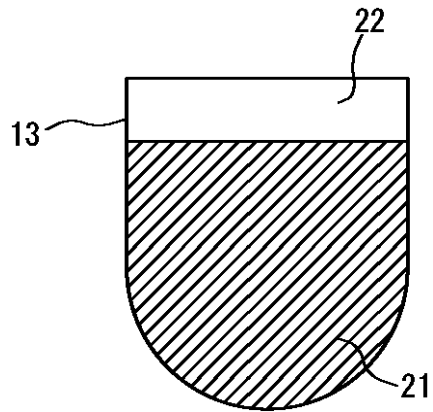
【図 4 C】



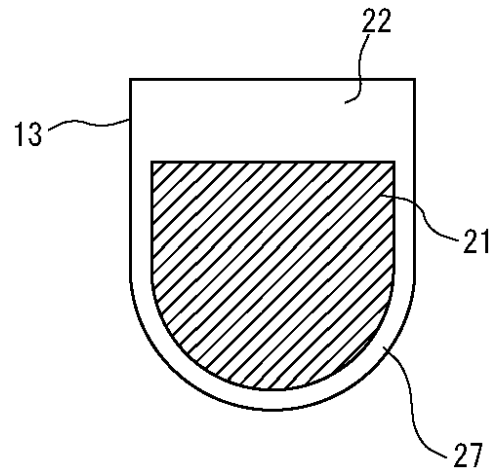
【図 4 D】



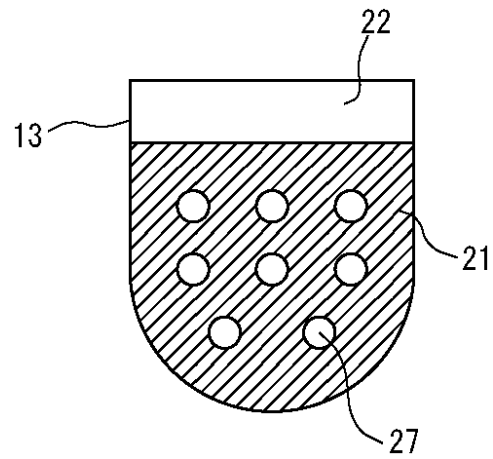
【図 4 E】



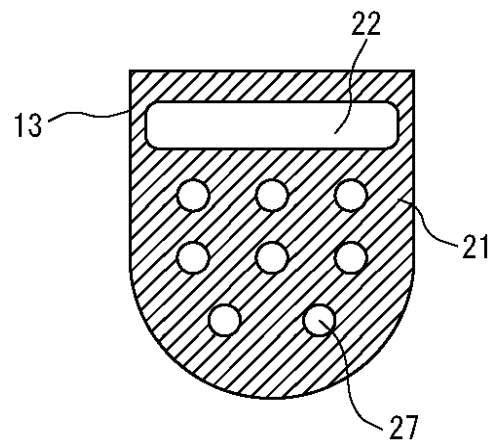
【図 4 G】



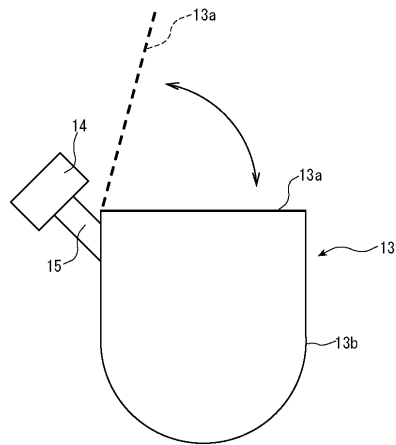
【図 4 F】



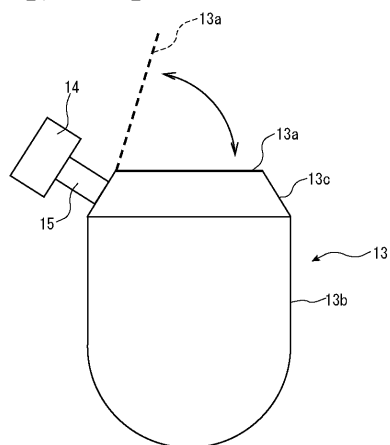
【図 4 H】



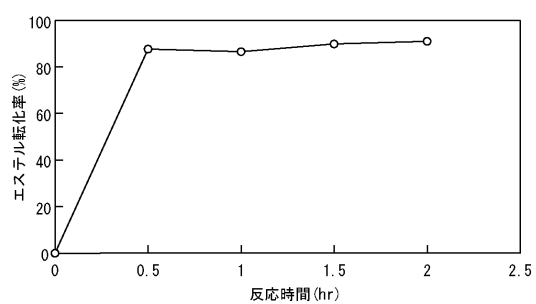
【図 5 A】



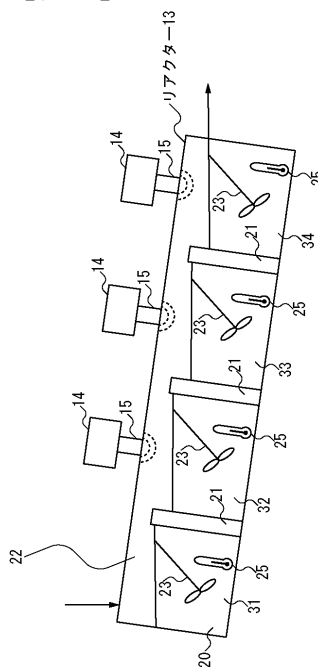
【図 5 B】



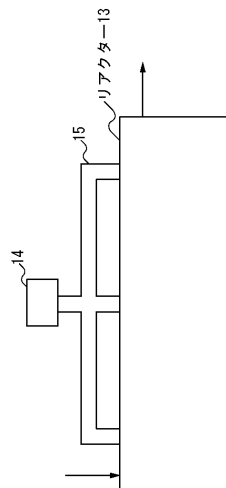
【図 6】



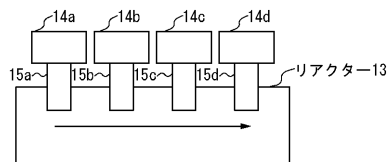
【図 7】



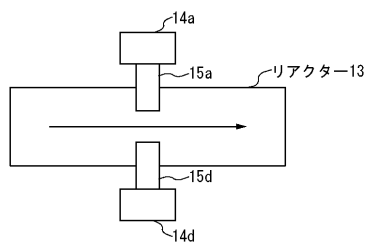
【図 8】



【図 9 B】



【図 9 A】



フロントページの続き

- (72)発明者 吉野 巖
大阪府茨木市彩都あさぎ7丁目7番20号 彩都バイオイノベーションセンター マイクロ波環境
化学株式会社内
- (72)発明者 百田 邦堯
大阪府茨木市彩都あさぎ7丁目7番20号 彩都バイオイノベーションセンター マイクロ波環境
化学株式会社内
- (72)発明者 塚原 保徳
大阪府吹田市山田丘1番1号 国立大学法人大阪大学内

審査官 谷水 浩一

- (56)参考文献 再公表特許第2010/013696 (JP, A1)
特開2010-184230 (JP, A)
特開2006-185757 (JP, A)
特開2008-41578 (JP, A)
特開昭59-4431 (JP, A)
特表平8-501016 (JP, A)
特表2000-500061 (JP, A)
特開昭52-35350 (JP, A)
特開2009-178656 (JP, A)
特開2011-235262 (JP, A)
特開2011-235263 (JP, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
B01J 10/00-12/02
B01J 14/00-19/32
C07B 31/00-63/04
C07C 1/00-409/44
C02F 1/30-1/32
C02F 11/00-11/20
B09B 1/00-5/00
H05B 6/46-6/80