

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5176103号
(P5176103)

(45) 発行日 平成25年4月3日(2013.4.3)

(24) 登録日 平成25年1月18日(2013.1.18)

(51) Int. Cl.		F I	
BO1F	13/08	(2006.01)	BO1F 13/08 Z
BO1J	19/00	(2006.01)	BO1J 19/00 311A
HO2K	7/14	(2006.01)	BO1J 19/00 321
			HO2K 7/14 Z

請求項の数 15 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2007-512982 (P2007-512982)	(73) 特許権者	504147243
(86) (22) 出願日	平成18年4月7日(2006.4.7)		国立大学法人 岡山大学
(86) 国際出願番号	PCT/JP2006/307487		岡山県岡山市北区津島中一丁目1番1号
(87) 国際公開番号	W02006/109741	(74) 代理人	100113181
(87) 国際公開日	平成18年10月19日(2006.10.19)		弁理士 中務 茂樹
審査請求日	平成21年4月2日(2009.4.2)	(74) 代理人	100114535
(31) 優先権主張番号	特願2005-111760 (P2005-111760)		弁理士 森 寿夫
(32) 優先日	平成17年4月8日(2005.4.8)	(74) 代理人	100075960
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		弁理士 森 廣三郎
		(72) 発明者	鈴木 康一
			岡山県岡山市津島中三丁目1番1号 岡山
			大学大学院自然科学研究科内
		(72) 発明者	神田 岳文
			岡山県岡山市津島中三丁目1番1号 岡山
			大学大学院自然科学研究科内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 混合流発生装置および混合流の発生方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

2種以上の液体を混合して混合流を発生させるための混合流発生装置であって、
 [1] 上流側に複数の液体導入口を有し、下流側に液体送出口を有するパイプPと、
 [2] パイプPの外周部に配されて、パイプPの中心軸L₀を中心とした回転磁界を発生する磁界発生手段Cと、
 [3] パイプPの内部に收容されて、下流側の端部が先細りに形成され、前記回転磁界の発生によって中心軸L₀を中心に回転する円柱状のロータRと、
 [4] 液体導入口と液体送出口との間に配されて、ロータRの下流側の端部を支持するピボット軸受Bと、
 を備え、

液体導入口からパイプPの内部に導入された液体を通すための貫通孔がピボット軸受Bに設けられた混合流発生装置。

【請求項2】

複数の液体導入口のうち少なくとも1つの液体導入口がパイプPの上流側の端部に設けられ、残りの液体導入口のうち少なくとも1つの液体導入口がパイプPの側周部に設けられ、液体送出口がパイプPの下流側の端部に設けられてなる請求項1記載の混合流発生装置。

【請求項3】

2種以上の液体を混合して混合流を発生させるための混合流発生装置であって、

- [1] 上流側に複数の液体導入口を有し、下流側に液体送出口を有するパイプ P と、
 [2] パイプ P の外周部に配されて、パイプ P の中心軸 L_0 を中心とした回転磁界を発生する磁界発生手段 C と、
 [3] パイプ P の内部に收容されて、下流側の端部が先細りに形成され、前記回転磁界の発生によって中心軸 L_0 を中心に回転する円柱状のロータ R と、
 [4] 液体導入口と液体送出口との間に配されて、ロータ R の下流側の端部を支持するピボット軸受 B と、
 を備え、

複数の液体導入口のうち少なくとも 1 つの液体導入口がパイプ P の上流側の端部に設けられ、残りの液体導入口のうち少なくとも 1 つの液体導入口がパイプ P の側周部に設けられ、液体送出口がパイプ P の下流側の端部に設けられ、パイプ P の側周部に設けられた液体導入口が、パイプ P の中心軸 L_0 と平行な方向に細長いスリット状に形成されるとともに、短手方向に沿った幅がパイプ P の内半径 r_1 とロータ R の外半径 r_2 との差 r 以下に設定されてなる混合流発生装置。

10

【請求項 4】

磁界発生手段 C が中心軸 L_0 を中心として回転対称に配された複数のコイルからなる請求項 1 ~ 3 いずれか記載の混合流発生装置。

【請求項 5】

ロータ R が磁化されてなる請求項 1 ~ 4 いずれか記載の混合流発生装置。

【請求項 6】

パイプ P の中心軸 L_0 が鉛直方向に配されてなる請求項 1 ~ 5 いずれか記載の混合流発生装置。

20

【請求項 7】

パイプ P の内半径 r_1 とロータ R の外半径 r_2 との差が 2 mm 以下である請求項 1 ~ 6 いずれか記載の混合流発生装置。

【請求項 8】

液体送出口の下流側に断面積が 10 mm^2 以下の流路が接続されてなる請求項 1 ~ 7 いずれか記載の混合流発生装置。

【請求項 9】

請求項 1 ~ 8 いずれか記載の混合流発生装置を用いて混合流を発生させる混合流の発生方法。

30

【請求項 10】

複数の液体導入口から互いに相溶しない液体を導入する請求項 9 記載の混合流の発生方法。

【請求項 11】

パイプ P の内周面とロータ R の外周面との隙間で各液体間の界面が螺旋状に現われる螺旋流を発生させ、該螺旋流を各液体間の界面が流れ方向に繰り返し現われる交互流に変換して液体送出口の下流側に接続された流路に流す請求項 10 記載の混合流の発生方法。

【請求項 12】

請求項 11 記載の混合流の発生方法によって交互流を発生させ、液体送出口の下流側に接続された流路で化学反応を進行させる化学反応方法。

40

【請求項 13】

請求項 11 記載の混合流の発生方法によって交互流を発生させ、液体送出口の下流側に接続された流路で抽出を進行させる抽出方法。

【請求項 14】

2 種以上の液体を混合して混合流を発生させるための混合流発生装置を用いる抽出方法であって、

- [1] 上流側に複数の液体導入口を有し、下流側に液体送出口を有するパイプ P と、
 [2] パイプ P の外周部に配されて、パイプ P の中心軸 L_0 を中心とした回転磁界を発生する磁界発生手段 C と、

50

[3] パイプ P の内部に收容されて、下流側の端部が先細りに形成され、前記回転磁界の発生によって中心軸 L_0 を中心に回転する円柱状のロータ R と、

[4] 液体導入口と液体送出口との間に配されて、ロータ R の下流側の端部を支持するピボット軸受 B と、

を備えてなる混合流発生装置を用いて、複数の液体導入口から互いに相溶しない液体を導入し、パイプ P の内周面とロータ R の外周面との隙間で各液体間の界面が螺旋状に現われる螺旋流を発生させ、該螺旋流を液体送出口の下流側に接続された流路に流し、該流路で抽出を進行させる抽出方法。

【請求項 15】

2 種以上の液体を混合して混合流を発生させるための混合流発生装置を用いる抽出方法であって、

[1] 上流側に複数の液体導入口を有し、下流側に液体送出口を有するパイプ P と、

[2] パイプ P の外周部に配されて、パイプ P の中心軸 L_0 を中心とした回転磁界を発生する磁界発生手段 C と、

[3] パイプ P の内部に收容されて、下流側の端部が先細りに形成され、前記回転磁界の発生によって中心軸 L_0 を中心に回転する円柱状のロータ R と、

[4] 液体導入口と液体送出口との間に配されて、ロータ R の下流側の端部を支持するピボット軸受 B と、

を備えてなる混合流発生装置を用いて、複数の液体導入口から互いに相溶しない液体を導入し、パイプ P の内周面とロータ R の外周面との隙間で各液体間の界面が螺旋状に現われる螺旋流を発生させ、該螺旋流を各液体間の界面が流れ方向に繰り返し現われる交互流に変換して液体送出口の下流側に接続された流路に流し、該流路で抽出を進行させる抽出方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、2 種以上の液体を混合して混合流を発生させるための混合流発生装置と、それを用いた混合流の発生方法とに関する。

【背景技術】

【0002】

従来より、種々の混合流発生装置が提案されており、例えば、特許文献 1 には、複数種の液体が導入されるパイプの内部にロータを收容し、該ロータを回転駆動することによって、前記パイプの内周面と前記ロータの外周面との隙間を流れる液体を混合する化学反応用の装置が記載されている。この装置では、前記ロータが前記パイプの外部に設けられたモータに駆動軸を介して連結されており、前記モータを駆動することによって前記ロータを回転駆動するものとなっている。

【0003】

しかし、特許文献 1 の装置では、駆動軸を軸支するための貫通孔をパイプやパイプに取り付けられる蓋体などに設ける必要があり、駆動軸と前記貫通孔との隙間には、パイプの外部に液体が漏れることのないように、何らかのシールを施す必要があった。ところが、前記シールを液密性の高いものとする、駆動軸に作用する摩擦力が大きくなって、ロータが円滑に回転しなくなるばかりか、シールの磨耗やそれによる発熱など、新たな不具合が生じるおそれもあった。また、特許文献 1 の装置は、駆動軸やシールの存在が支障となるために、寸法の小型化が困難であった。

【0004】

近年の MEMS (Micro Electro Mechanical System) の進展に伴って、化学工学や生物工学などの分野においても装置の小型化が積極的に行われるようになっており、反応場の寸法が微小化されたマイクロリアクタとよばれる化学反応器が注目を集めるようになってきている。マイクロリアクタは、単にスペースを節約したり、環境に対する負荷を軽減したりすることができるというだけでなく、以下のよう

10

20

30

40

50

に、化学反応器としても優れた性能を発揮するために、化学薬品のスクリーニングのための合成反応試験や、新しい化学プロセスの開発研究などにおいて、その実用化が期待されている。

【0005】

すなわち、マイクロリアクタは、(1)反応場の寸法が小さいために、混合や抽出に要する時間を短縮することができることや、(2)反応場を流れる液体の体積に対する表面積の割合が高くなるために、液体と液体の界面での反応や分子移動を効率的に行うことができることや、(3)反応場を流れる液体の熱容量が小さく熱交換が速やかに行われるために、精密な温度制御を容易に行うことができるなどの利点をも有している。

【0006】

しかしながら、反応場の寸法を小さくしていくと、従来のマクロなスケールでの反応とは異なった流動現象が発現するようになる。例えば、反応場を流れる液体のレイノルズ数が小さくなるために、層流が支配的になることや、反応場を流れる液体の体積に対する表面積の割合が大きくなるために、表面張力の影響が大きくなることなどが挙げられる。このように、反応場の寸法が小さくなると、マクロなスケールにおける機械的攪拌による乱流発生などとは大きく異なった現象が発現することになるので、それをうまく制御することが重要になってくる。

【0007】

マイクロリアクタにおいて、反応場を流れる液体の流動状態を調整する方法は、多数提案されており、その中には、互いに相溶しない2種類の液体を反応場である流路に同時に流して流路内に並行二相流を発生させるものや、互いに相溶しない2種類の液体を反応場である流路に交互に流して流路内に交直流を発生させるものなどもある(非特許文献1を参照)。特に、交直流を発生させる方法は、並行二相流を発生させる方法と比較して、抽出率を大きくできることが分かっており、この優劣は、交直流のピッチを流路径よりもはるかに長くした場合においても確認されている。

【0008】

このことは、接触する界面までの分子移動の距離を考えれば驚きであるが、レイノルズ数が小さく、層流が支配的である微細な流路内での交直流において、分子移動に有利な特別な流動状態が発現していると考えられる。例えば、各相内において循環流が発生して攪拌と同じような効果が得られ、結果として界面近郷の境膜厚みが減少して界面における分子移動速度が増加するような現象が生じていると推定することができる。

【0009】

また、特許文献2には、容器に導入される2以上の物質を攪拌混合する装置であって、容器を非磁性材料によって形成し、容器内部に配した攪拌子に磁性体を装着し、回転磁界を発生するための巻線を容器の外部に配置したものが記載されている。この装置では、巻線から発生された回転磁界によって容器の内部に収容された攪拌子を回転させるものとなっており、攪拌混合する物質は、容器の下面に設けられた導入口から供給されるようになっている。特許文献2には、攪拌子の下面中央(上流側の端部の中央)に設けた尖頭を容器の下側の内壁面に接触させた状態で攪拌子を回転することについても記載されている。

【0010】

この特許文献2の装置は、攪拌子が回転磁界によって回転されるので、特許文献1の装置に見受けられた欠点を有さないものの、攪拌子が自重によって支持される構造のものとなっていた。このため、攪拌子を軽くすると、容器の下側から供給された物質によって攪拌子の尖頭が容器の下側の内壁面から浮き上がってしまい、攪拌子の中心軸がぶれるおそれがあるなど、攪拌子を安定して回転させることができるものとはなっていなかった。したがって、攪拌子を軽く寸法の小さいものとして、装置を小型化することが困難であった。

【0011】

【特許文献1】米国特許出願公開第2004/0013587号明細書

【特許文献2】特開平03-181324号公報

10

20

30

40

50

【非特許文献1】園田 康夫、外3名、“3次元マイクロリアクター内流動状態の制御と流動状態が反応速度に及ぼす影響”，化学工学会第70年会予稿集（CD-ROM），平成17年2月，講演番号J215

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0012】

本発明は、上記課題を解決するためになされたものであり、駆動軸を設けなくともロータを回転させることが可能な混合流発生装置を提供することを目的とする。また、構造が簡素で小型化に適し、化学反応装置として好適に用いることもできる混合流発生装置を提供することも本発明の目的である。さらに、これらの混合流発生装置を用いて行うことが好適な混合流の発生方法を提供することも本発明の目的である。

10

【課題を解決するための手段】

【0013】

上記課題は、2種以上の液体を混合して混合流を発生させるための混合流発生装置であって、[1]上流側に複数の液体導入口を有し、下流側に液体送出口を有するパイプPと、[2]パイプPの外周部に配されて、パイプPの中心軸 L_0 を中心とした回転磁界を発生する磁界発生手段Cと、[3]パイプPの内部に収容されて、下流側の端部が先細りに形成され、前記回転磁界の発生によって中心軸 L_0 を中心に回転する円柱状のロータRと、[4]液体導入口と液体送出口との間に配されて、ロータRの下流側の端部を支持するピボット軸受Bと、を備え、液体導入口からパイプPの内部に導入された液体を通すための貫通孔がピボット軸受Bに設けられた混合流発生装置を提供することによって解決される。

20

【0014】

これにより、駆動軸を設けなくともロータRを回転させることが可能になるだけでなく、ロータRに作用する摩擦力を小さくすることや、ロータRの周囲を流れる液体によってロータRの中心軸を高い精度でパイプPの中心軸 L_0 に自動的に一致させることも可能になる（自動調芯効果）。また、これにより、パイプPの内部を流れる液体を各貫通孔Hの周辺部で切断して、液体送出口の下流側に接続された流路を流れる混合流を交互流とすることも可能になると推測される。

【0015】

ここで、「混合流」とは、各液体が均一に混合された状態にある流れだけでなく、各液体が均一には混合しておらず界面が存在している状態にある流れをも含む概念であるものとする。なかでも、本発明の混合流発生装置は、層流支配下における流れを調整するものとして好適である。層流支配下における流れとしては、各液体間の界面が流れ方向に繰り返し現われる交互流や、各液体間の界面が螺旋状に現われる螺旋流などが例示される。

30

【0016】

また、「回転磁界」は、ある軸を中心に一定の回転速度で一定の強さを維持しながら回転する磁界を意味することもあるが、これに限定されず、回転速度や強さが変化しながら回転する磁界をも含む概念であるとする。

【0018】

複数の液体導入口に供給する液体は、混合流発生装置で発生させる混合流の種類などによっても異なり、特に限定されないが、それぞれの液体導入口から互いに相溶しない液体を導入すると好ましい。このような場合には、流路内において、それぞれの液体の間で形成される界面の状況を調整することができ、本発明のマイクロリアクターを採用する意義も高まる。

40

【0019】

パイプPの向きは、特に限定されないが、その中心軸 L_0 が鉛直方向と平行になるように配されていると好ましい。これにより、重力によるロータRの偏心を防止して、ロータRの中心軸をパイプPの中心軸 L_0 に高い精度で一致させることが可能となる。この場合には、パイプPを、液体導入口が設けられた側が鉛直上向きとなるように配すると好まし

50

い。

【 0 0 2 0 】

パイプ P の内半径 r_1 やロータ R の外半径 r_2 は、液体導入口から導入される液体や発生させる混合流の種類などによって異なり、特に限定されないが、混合流発生装置で層流支配の混合流を発生する場合には、通常、内半径 r_1 と外半径 r_2 との差が 2 mm 以下となるように設定される。

【 0 0 2 1 】

液体送出口の下流側には、通常、パイプ P の内部で発生した混合流を流すための流路が接続される。液体送出口の下流側に接続された流路は、化学反応や抽出を進行させるための反応流路として利用できる。液体送出口の下流側に接続される流路の断面積は、特に限定されないが、該流路内の流れを層流支配とするためには、通常、 10 mm^2 以下に設定される。

10

【 0 0 2 2 】

液体導入口や液体送出口の配置は、液体導入口が液体送出口よりも上流側に位置していれば特に限定されないが、複数の液体導入口のうち少なくとも 1 つの液体導入口をパイプ P の上流側の端部に設け、残りの液体導入口のうち少なくとも 1 つの液体導入口をパイプ P の側周部に設け、液体送出口をパイプ P の下流側の端部に設けると好ましい。これにより、パイプ P の上流側の端部に設けられた液体導入口から導入された液体と、パイプ P の側周部に設けられた液体導入口から導入された液体とを、パイプ P の内部で螺旋状に絡ませやすくすることが可能になる。従って、後述する交互流や螺旋流を綺麗に発生させることも容易になる。

20

【 0 0 2 3 】

上記課題は、2 種以上の液体を混合して混合流を発生させるための混合流発生装置であって、[1] 上流側に複数の液体導入口を有し、下流側に液体送出口を有するパイプ P と、[2] パイプ P の外周部に配されて、パイプ P の中心軸 L_0 を中心とした回転磁界を発生する磁界発生手段 C と、[3] パイプ P の内部に収容されて、下流側の端部が先細りに形成され、前記回転磁界の発生によって中心軸 L_0 を中心に回転する円柱状のロータ R と、[4] 液体導入口と液体送出口との間に配されて、ロータ R の下流側の端部を支持するピボット軸受 B と、を備え、複数の液体導入口のうち少なくとも 1 つの液体導入口がパイプ P の上流側の端部に設けられ、残りの液体導入口のうち少なくとも 1 つの液体導入口がパイプ P の側周部に設けられ、液体送出口がパイプ P の下流側の端部に設けられ、パイプ P の側周部に設けられた液体導入口が、パイプ P の中心軸 L_0 と平行な方向に細長いスリット状に形成されるとともに、短手方向に沿った幅がパイプ P の内半径 r_1 とロータ R の外半径 r_2 との差 r 以下に設定されてなる混合流発生装置を提供することによっても解決される。これにより、駆動軸を設けなくともロータ R を回転させることが可能になるだけでなく、ロータ R に作用する摩擦力を小さくすることや、ロータ R の周囲を流れる液体によってロータ R の中心軸を高い精度でパイプ P の中心軸 L_0 に自動的に一致させることも可能になる（自動調芯効果）。また、これにより、パイプ P の側周部に設けられた液体導入口からパイプ P の内部に帯状の流れを導入することが可能になり、パイプ P の上流側の端部に設けられた液体導入口から導入された液体と、パイプ P の側周部に設けられた液体導入口から導入された液体とを、パイプ P の内部で螺旋状に絡ませることがさらに容易になる。

30

40

【 0 0 2 4 】

磁界発生手段 C は、パイプ P の中心軸 L_0 を中心とした回転磁界を発生できるものであれば特に限定されず、例えば、パイプ P の外周部を機械的に回転する永久磁石のようなものであってもよいが、中心軸 L_0 を中心として回転対称に配された複数のコイルであると好ましい。これにより、磁界発生手段 C の構造を簡素化して、混合流発生装置をさらに小型化することが可能になる。また、各コイルに流す交流電流の大きさや周波数を変化させるだけで、前記回転磁界の強さや回転速度を調整することができるようになるために、ロータ R を容易に制御することもできるようになる。磁界発生手段 C として用いるコイルの

50

本数は、2本以上であれば特に限定されないが、通常、3本以上に設定され、より好ましくは、 $3n$ 本に設定される。ロータRは、前記回転磁界の発生によって回転するものであれば特に限定されず、誘導電動機に用いられるロータのように、誘導電流を流すための導体部（コイルなど）を備えたものを用いてもよいが、同期電動機に用いられるロータのように、磁化されたものを用いると好ましい。これにより、混合流発生装置を、ロータRのすべりが無く制御しやすいものとするだけでなく、大きなトルクを発揮しやすいものとすることもできる。ただし、「ロータRが磁化されてなる」とは、ロータR全体が磁化された磁性体からなる場合と、磁化された磁性体をロータRに固定した場合とのいずれの場合をも含む概念であるものとする。ロータRは、通常、その中心軸に対して磁極が回転対称に現われるように磁化される。

10

【0025】

また、上記課題は、2種以上の液体を混合して混合流を発生させるための混合流発生装置を用いる抽出方法であって、[1]上流側に複数の液体導入口を有し、下流側に液体送出口を有するパイプPと、[2]パイプPの外周部に配されて、パイプPの中心軸 L_0 を中心とした回転磁界を発生する磁界発生手段Cと、[3]パイプPの内部に收容されて、下流側の端部が先細りに形成され、前記回転磁界の発生によって中心軸 L_0 を中心に回転する円柱状のロータRと、[4]液体導入口と液体送出口との間に配されて、ロータRの下流側の端部を支持するピボット軸受Bと、を備えてなる混合流発生装置を用いて、複数の液体導入口から互いに相溶しない液体を導入し、パイプPの内周面とロータRの外周面との隙間で各液体間の界面が螺旋状に現われる螺旋流を発生させ、該螺旋流を液体送出口の下流側に接続された流路に流し、該流路で抽出を進行させる抽出方法を提供することによっても解決される。さらに、上記課題は、2種以上の液体を混合して混合流を発生させるための混合流発生装置を用いる抽出方法であって、[1]上流側に複数の液体導入口を有し、下流側に液体送出口を有するパイプPと、[2]パイプPの外周部に配されて、パイプPの中心軸 L_0 を中心とした回転磁界を発生する磁界発生手段Cと、[3]パイプPの内部に收容されて、下流側の端部が先細りに形成され、前記回転磁界の発生によって中心軸 L_0 を中心に回転する円柱状のロータRと、[4]液体導入口と液体送出口との間に配されて、ロータRの下流側の端部を支持するピボット軸受Bと、を備えてなる混合流発生装置を用いて、複数の液体導入口から互いに相溶しない液体を導入し、パイプPの内周面とロータRの外周面との隙間で各液体間の界面が螺旋状に現われる螺旋流を発生させ、該螺旋流を各液体間の界面が流れ方向に繰り返し現われる交互流に変換して液体送出口の下流側に接続された流路に流し、該流路で抽出を進行させる抽出方法を提供することによっても解決される。

20

30

【発明の効果】

【0026】

以上のように、本発明によって、駆動軸を設けなくともロータRを回転させることが可能になり、駆動軸のための特別なシール構造を省略できるなど、混合流発生装置の構造を簡素化することができる。したがって、混合流発生装置の生産コストを低減できるだけでなく、混合流発生装置を大幅に小型化することも可能となる。ゆえに、マイクロリアクタと呼ばれる小型の反応装置に組み込むものとして好適な混合流発生装置を提供することも可能となる。

40

【図面の簡単な説明】

【0027】

【図1】本発明の混合流発生装置をパイプPの中心軸 L_0 を含む鉛直面で切断した状態を示した断面図である。

【図2】本発明の混合流発生装置を図1における $Y_1 - Y_1$ で切断した状態を示した断面図である。

【図3】本発明の混合流発生装置を図1における $Y_2 - Y_2$ で切断した状態を示した断面図である。

【図4】本発明の混合流発生装置を図1における $Y_3 - Y_3$ で切断した状態を示した断面

50

図である。

【図5】パイプPの内部を螺旋状に絡み合っ流れる液体 F_A と液体 F_B とを示した図である。

【図6】液体送出口 OUT_1 の下流側に接続された流路の内部を螺旋状に絡み合っ流れる液体 F_A と液体 F_B とを示した図である。

【図7】液体送出口 OUT_1 の下流側に接続された流路の内部を短いピッチで交互に流れる液体 F_A と液体 F_B とを示した図である。

【図8】液体送出口 OUT_1 の下流側に接続された流路の内部を長いピッチで交互に流れる液体 F_A と液体 F_B とを示した図である。

【符号の説明】

【0028】

B ピボット軸受

C 磁界発生手段

$C_1 \sim C_3$ コイル

F_A, F_B, F_{AB} 液体

H 貫通孔

L_0 パイプPの中心軸

P パイプ

P_1 パイプ上流部

P_2 パイプ中流部

P_3 パイプ下流部

P_4 液体送出口 OUT_1 の下流側に接続された流路

R ロータ

IN_1, IN_2 液体導入口

OUT_1 液体送出口

【発明を実施するための最良の形態】

【0029】

本発明の混合流発生装置の好適な実施態様を、図面を用いてより具体的に説明する。図1は、本発明の混合流発生装置をパイプPの中心軸 L_0 を含む鉛直面で切断した状態を示した断面図である。図2は、本発明の混合流発生装置を図1における $Y_1 - Y_1$ で切断した状態を示した断面図である。図3は、本発明の混合流発生装置を図1における $Y_2 - Y_2$ で切断した状態を示した断面図である。図4は、本発明の混合流発生装置を図1における $Y_3 - Y_3$ で切断した状態を示した断面図である。本発明の混合流発生装置は、図1に示すように、液体を流すためのパイプPと、回転磁界を発生するための磁界発生手段Cと、前記液体の流れを調整するためのロータRと、を備えたものとなっている。

【0030】

【パイプP】

パイプPは、図1に示すように、液体導入口 IN_1, IN_2 を有するパイプ上流部 P_1 と、液体導入口 IN_1, IN_2 から導入された液体 F_A, F_B の流れを調整するためのパイプ中流部 P_2 と、液体送出口 OUT_1 を有するパイプ下流部 P_3 と、がそれぞれ別個に成形されたものとなっている。パイプ上流部 P_1 とパイプ下流部 P_3 は、大径開口部と小径開口部とを両端に有する漏斗状のものとなっており、パイプ中流部 P_2 は、径の等しい開口部を両端に有する円筒状のものとなっている。パイプ上流部 P_1 とパイプ下流部 P_3 の大径開口部は、パイプ中流部 P_2 の両端に設けられた各開口部と略同一の寸法となっており、それぞれがパイプ中流部 P_2 の各開口部に接続されている。

【0031】

パイプPの素材は、特に限定されないが、鉄などの強磁性体であると、ロータRがパイプPによって磁気遮蔽された状態となり、磁界発生手段Cによって発生した磁界がパイプPの内部で著しく弱まるおそれがあるために、通常、ガラス、セラミックス、プラスチック、アルミニウム、銅、ステンレス鋼などの非磁性体を選択される。具体的にどの素材を

10

20

30

40

50

選択するかは、液体 F_A 、 F_B との相性などを考慮して適宜決定される。本例の混合流発生装置では、パイプ上流部 P_1 とパイプ下流部 P_3 の素材にオーステナイト系のステンレス鋼を採用し、パイプ中流部 P_2 の素材に石英ガラスを採用している。

【0032】

[パイプ上流部 P_1]

パイプ上流部 P_1 には、液体 F_A 、 F_B を導入するための液体導入口 IN_1 、 IN_2 が設けられている。液体導入口 IN_1 、 IN_2 は、合計2箇所以上に設けられていればよく、その配置も特に限定されないが、本実施態様の混合流発生装置においては、図1に示すように、液体導入口 IN_1 から導入された液体 F_A と液体導入口 IN_2 から導入された液体 F_B とがパイプ上流部 P_1 の内部で垂直に交わるように、液体導入口 IN_1 をパイプ上流部 P_1 の小径開口部に設けて、液体導入口 IN_2 をパイプ上流部 P_1 の側周部に設けている。パイプ上流部 P_1 における液体導入口 IN_1 近傍の内周面は、液体 F_A を円滑に案内できるように、テーパ状に形成されている。液体導入口 IN_1 、 IN_2 は、互いに垂直でなく傾けて配置してもよい。

10

【0033】

また、本実施態様の混合流発生装置においては、液体導入口 IN_2 を、パイプ P の中心軸 L_0 と平行な方向に細長いスリット状に形成しており、液体導入口 IN_2 からパイプ上流部 P_1 の内部に導入された液体 F_B の流れが帯状となるようにしている。液体導入口 IN_2 の短手方向に沿った幅は、パイプ P (パイプ上流部 P_1) の内半径 r_1 とロータ R の外半径 r_2 との差 r や、液体 F_A と液体 F_B との流量比などによって適宜調整され、特に限定されないが、パイプ上流部 P_1 の内部で螺旋流を生じやすくするためには、通常、 r 以下に設定される。本実施態様の混合流発生装置において、液体導入口 IN_2 の短手方向に沿った幅は、 $r/2$ ($=0.5\text{ mm}$) となっている。また、液体導入口 IN_2 の長手方向に沿った幅は 3 mm となっている。

20

【0034】

さらに、本実施態様の混合流発生装置においては、図2に示すように、液体導入口 IN_2 の内壁を構成する一の面をパイプ上流部 P_1 の内周面と接するように接続しており、液体 F_B を液体導入口 IN_2 からパイプ上流部 P_1 の内周面の接線方向に導入することができるようになっている。これにより、液体導入口 IN_1 から導入されてパイプ上流部 P_1 の内周面とロータ R の外周面との隙間で環状になって流れている液体 F_A の外周部に、液体 F_B を滑らかな角度で当てることが可能になり、パイプ P の内部で螺旋流を容易に発生させることができるようになる。図2においては、ロータ R は矢印 A の向きに回転している。

30

【0035】

[パイプ中流部 P_2]

パイプ中流部 P_2 (パイプ P) の内半径 r_1 は、ロータ R の外半径 r_2 や、液体 F_A 、 F_B の流量などによって異なり、特に限定されないが、パイプ中流部 P_2 の混合流を層流支配とするために、通常、内半径 r_1 と外半径 r_2 との差が 2 mm 以下となるように設定することが好ましい。内半径 r_1 と外半径 r_2 との差は、 1.5 mm 以下であるとより好ましく、 1 mm 以下であるとさらに好ましい。本実施態様の混合流発生装置においては、内半径 r_1 が 4 mm 、外半径 r_2 が 3 mm で内半径 r_1 と外半径 r_2 との差が 1 mm となるように設定されている。パイプ中流部 P_2 の長さは、ロータ R の長さなどによっても異なり、特に限定されないが、本実施態様のパイプ P においては 26 mm となっている。パイプ P の厚さは 1 mm となっている。

40

【0036】

[パイプ下流部 P_3]

パイプ下流部 P_3 には、液体 F_A 、 F_B が混合された液体 F_{AB} を送出口 OUT_1 が設けられている。液体送出口 OUT_1 は、1箇所以上に設けられていればよく、その配置も特に限定されないが、本実施態様の混合流発生装置においては、図1に示すように、パイプ P の内周面とロータ R の外周面との隙間を環状に流れる液体 F_A 、

50

F_B を真直ぐパイプ P の外部へ送出できるように、液体送出口 OUT_1 をパイプ下流部 P_3 の小径開口部に設けている。パイプ下流部 P_3 における液体送出口 OUT_1 近傍の内周面は、液体 F_A 、 F_B を円滑に案内できるように、テーパ状に形成されている。

【0037】

[磁界発生手段 C]

磁界発生手段 C は、図 3 に示すように、パイプ中流部 P_2 の外周部に配されており、パイプ中流部 P_2 の中心軸 L_0 を中心とした回転磁界を発生するためのものとなっている。本実施態様の混合流発生装置においては、磁界発生手段 C として、パイプ P の中心軸 L_0 を中心として 120° の回転対称に配された 3 本のコイル $C_1 \sim C_3$ を用いている。各コイル $C_1 \sim C_3$ の中心軸 $L_1 \sim L_3$ は、パイプ中流部 P_2 の中心軸 L_0 に対して垂直とな
10

【0038】

コイル $C_1 \sim C_3$ の取り付け構造は、特に限定されないが、本実施態様の磁界発生手段 C においては、コイル $C_1 \sim C_3$ を等間隔に固着したシート S をパイプ中流部 P_2 の外周部に巻回することによって取り付けられている。これにより、コイル $C_1 \sim C_3$ を狭いスペースで密に配することが可能になり、混合流発生装置をさらに小型化することができる。シート S は、通常、コイル $C_1 \sim C_3$ が固着された側の面を内側にして巻回される。シート S の素材は、特に限定されないが、各コイル $C_1 \sim C_3$ で発生した磁界がシート S を伝搬して他のコイル $C_1 \sim C_3$ で発生する磁界に影響を及ぼすのを防止するために、通常、非磁性体
20

【0039】

[ロータ R]

ロータ R は、円柱状のものとなっている。ロータ R の下流側の端部は、先細りに形成されており、後述するピボット軸受 B に支持されるようになって
30

【0040】

ロータ R の素材は、磁界発生手段 C によって発生した回転磁界によって回転するものであれば特に限定されないが、本実施態様の混合流発生装置においては、永久磁石によって形成している。ロータ R に用いる永久磁石としては、サマリウムコバルト磁石やフェライト磁石などの化合物磁石や、K S 磁石鋼や M K 磁石鋼などの合金磁石が例示される。本実施態様の混合流発生装置においては、耐腐食性に優れているサマリウムコバルト磁石を円柱状に成形したものをロータ R として用いている。本実施態様のロータ R は、全体が一体的に成形されたものとなっており、その中心軸を通る平面で分けた片側が N 極で、その反対側が S 極となるように磁化されているが、これに限定されない。例えば、複数の永久磁石を貼り合わせてロータ R を形成するような場合には、磁極の数を 3 極以上とすることも
40

【0041】

[ピボット軸受 B]

ピボット軸受 B は、ロータ R の先細りに形成された下流側の端部（ピボット）を支持す
50

るためのものとなっている。本実施態様のピボット軸受Bは、図1と図4に示すように、円盤状のものとなっており、その片面の中心にピボット穴を設けている。本実施態様のピボット軸受において、ピボット穴は、その開口径が0.5mmで深さが約0.4mmとなっており、その内壁面はテーパ状に形成されている。ピボット穴の内壁面を形成するテーパ面は、その母線がピボット軸受Bの中心軸に対して32.5°の角度をなすように形成されており、ロータRの下流側の端部を略1点で支持するものとなっている。

【0042】

また、ピボット軸受Bには、図4に示すように、液体 F_A 、 F_B を通すための貫通孔Hを設けている。このような構成を採用することで、パイプPの内部を流れる液体 F_A 、 F_B を各貫通孔Hの周辺部で切断して、パイプ下流部 P_3 の液体送出口OUT₁から流れる混合流 F_{AB} を交互流とすることも可能になると推測される。貫通孔Hの数や配置は、特に限定されないが、複数個の貫通孔HをパイプPの中心軸 L_0 を中心として回転対称に設けた方が好ましい。これにより、パイプPの内部を流れる液体 F_A 、 F_B を各貫通孔Hの周辺部で規則正しく切断して、パイプ下流部 P_3 の液体送出口OUT₁から流れる混合流 F_{AB} をピッチの揃った交互流とすることも可能であると推測されるためである。本実施態様のピボット軸受Bにおいては、4個の貫通孔 $H_1 \sim H_4$ を、ピボット穴を中心として回転対称に設けている。貫通孔 $H_1 \sim H_4$ の合計の開口面積は、液体 F_A 、 F_B の流量などによっても異なり、特に限定されないが、本実施態様のピボット軸受Bにおいては、約21mm²となっている。

【0043】

[混合流の発生方法]

次に、本発明の混合流発生装置を用いて行うのに好適な混合流の発生方法について説明する。本発明の混合流の発生方法は、交互流や螺旋流などの混合流を発生させるためのものとして好適である。この場合には、液体導入口IN₁、IN₂に供給する液体 F_A 、 F_B として、互いに相溶しない液体を選択すると好ましい。これにより、液体 F_A と液体 F_B との間に形成される界面の状況を容易に調整することができるようになるためである。以下においては、特に好適な例である交互流を発生させる場合を例に挙げて説明する。

【0044】

生じさせる交互流のピッチは、必ずしも均一でなくてもよいが、略均一であることが好ましい。これにより、液体送出口OUT₁の下流側に接続された流路で行う化学反応や抽出の再現性を高めることが可能になる。ここで、「交互流のピッチ」とは、液体送出口OUT₁の下流側に接続された流路を流れる一の液滴の先端から、次に流れてくる同じ種類の液滴の先端までの距離のことをいう。交互流のピッチは、液体送出口OUT₁の下流側に接続された流路 P_4 の断面積や、液体 F_A や液体 F_B の流量を変えることによって調整することができる。

【0045】

具体的に交互流のピッチをいくりに設定するかは、液体送出口OUT₁の下流側に接続された流路 P_4 の断面積や、化学反応や抽出の種類などによって異なるが、短く設定しすぎると、流路 P_4 を流れる液体 F_{AB} の分離回収が困難になるおそれがあるために、通常、0.01mm以上となるように設定する。交互流のピッチは、0.05mm以上であると好ましく、0.2mm以上であるとより好ましい。ところが、交互流のピッチが長すぎると、流路 P_4 で行う化学反応や抽出の速度がそれ程速くならず、交互流を発生させる意義が低下するために、通常、30mm以下に設定される。交互流のピッチは、20mm以下であると好ましく、10mm以下であるとより好ましい。

【0046】

液体送出口OUT₁の下流側に接続された流路 P_4 の断面積も、特に限定されないが、小さすぎると、流路 P_4 を流れる液体 F_{AB} の分離回収が困難になるおそれがあるために、通常、 1×10^{-4} mm²以上に設定される。流路 P_4 の断面積は、 1×10^{-3} mm²以上であると好ましく、 1×10^{-2} mm²以上であるとより好ましく、 5×10^{-2} mm²であるとさらに好ましい。ところが、流路 P_4 の断面積が大きすぎると、流路 P_4

10

20

30

40

50

で行う化学反応や抽出の速度がそれ程速くならないばかりか、そもそも液体 $F_{A/B}$ が乱流となって交直流が発生しないおそれもあるために、通常、 10 mm^2 以下に設定される。流路 P_4 の断面積は、 5 mm^2 以下であることが好ましく、 3 mm^2 以下であるとより好ましい。

【0047】

液体 F_A 、 F_B の流量比も、特に限定されないが、流動状態を安定させるためには、 $1/9 \sim 9/1$ であること好ましく、 $2/8 \sim 8/2$ であるとより好ましい。

【0048】

[実験結果]

次に、本発明の混合流発生装置の動作を確認するために、下記初期条件で実験を行った

10

液体 F_A ：水道水（青色に着色），流量 50 mL/分

液体 F_B ：シリコンオイル，粘度 10 cSt ，流量 50 mL/分

ロータRの回転速度： 300 rpm

【0049】

その結果、図5に示すように、パイプPの内部で、液体 F_A と液体 F_B の界面が螺旋状に形成されて流れているのが確認できた。このとき、図6に示すように、液体送出口 OUT_1 の下流側に接続された流路 P_4 の内部でも、液体 F_A と液体 F_B の界面が螺旋状に形成されて流れているのが確認できた。このように、パイプPの内部や液体送出口 OUT_1 の下流側に接続された流路で螺旋流を生じさせることによって、並行二相流の場合と比較して、液体 F_A と液体 F_B の界面の面積を増大させることができるので、反応効率を向上

20

【0050】

続いて、液体送出口 OUT_1 の下流側に接続された流路の先端部（液体送出口 OUT_1 に接続されていない側の端部）を押し潰して、該流路の内部圧力を高めてみると、図7に示すように、螺旋状に形成されていた界面が途切れて、液体 F_A と液体 F_B とが繰り返し現われる交直流が発生しているのが確認できた。さらに、液体 F_A の流量を大きくすると、図8に示すように、液体 F_A の容積比が高くなった交直流が発生しているのが確認できた。このように、液体送出口 OUT_1 の下流側に接続された流路で交直流を生じさせることによって、既述の分子移動に有利な特別な流動状態を発現させ、並行二相流の場合と比較して、液体 F_A と液体 F_B との反応効率を向上することができると考えられる。

30

【0051】

以上の実験結果から、本発明の混合流発生装置は、各条件を変化させることで、層流支配下において、螺旋流や交直流など、化学反応や抽出に好ましい混合流を発生できるものであることが分かった。

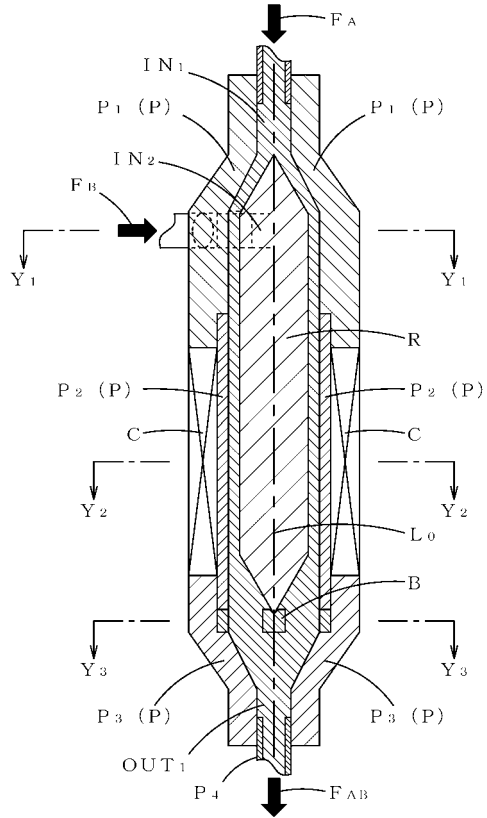
【0052】

[用途]

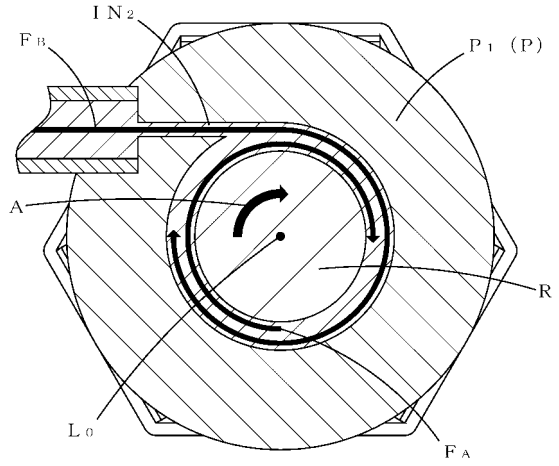
本発明の混合流発生装置は、様々な用途に用いることができるが、化学反応や抽出を行わせるための混合流を発生させるためのものとして好適に用いることができる。中でも、層流支配下において、交直流や螺旋流などの混合流を発生させるためのものとして好適であり、特に、交直流を発生させるためのものとして好適なものである。また、小型化が容易であることから、マイクロリアクタとして実用化することもできる。中でも、化学薬品のスクリーニングのための合成反応試験に用いられるマイクロリアクタや、新しい化学プロセスの開発研究などに用いられるマイクロリアクタとしての実用化が期待される。また、一部のファインケミカル分野で研究開発が進められている、製品を工業的に製造するためのマイクロリアクタとしての実用化も期待される。

40

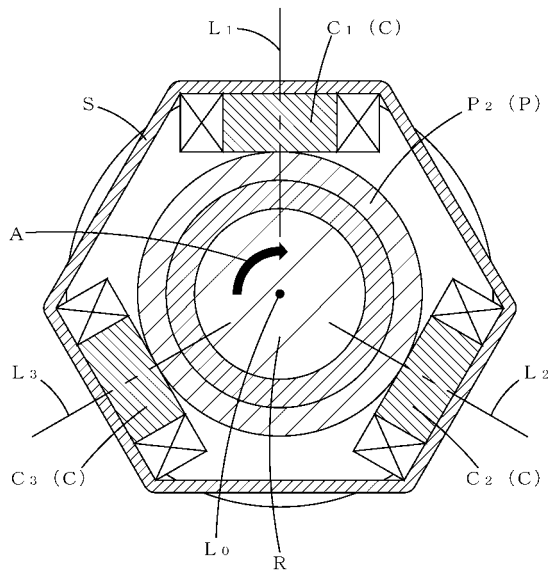
【図1】



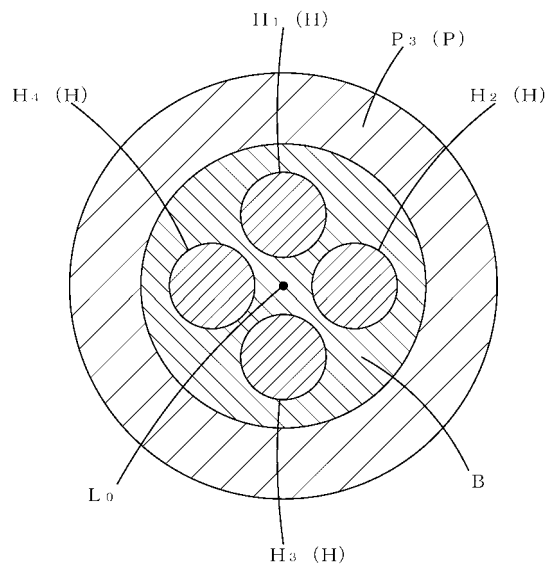
【図2】



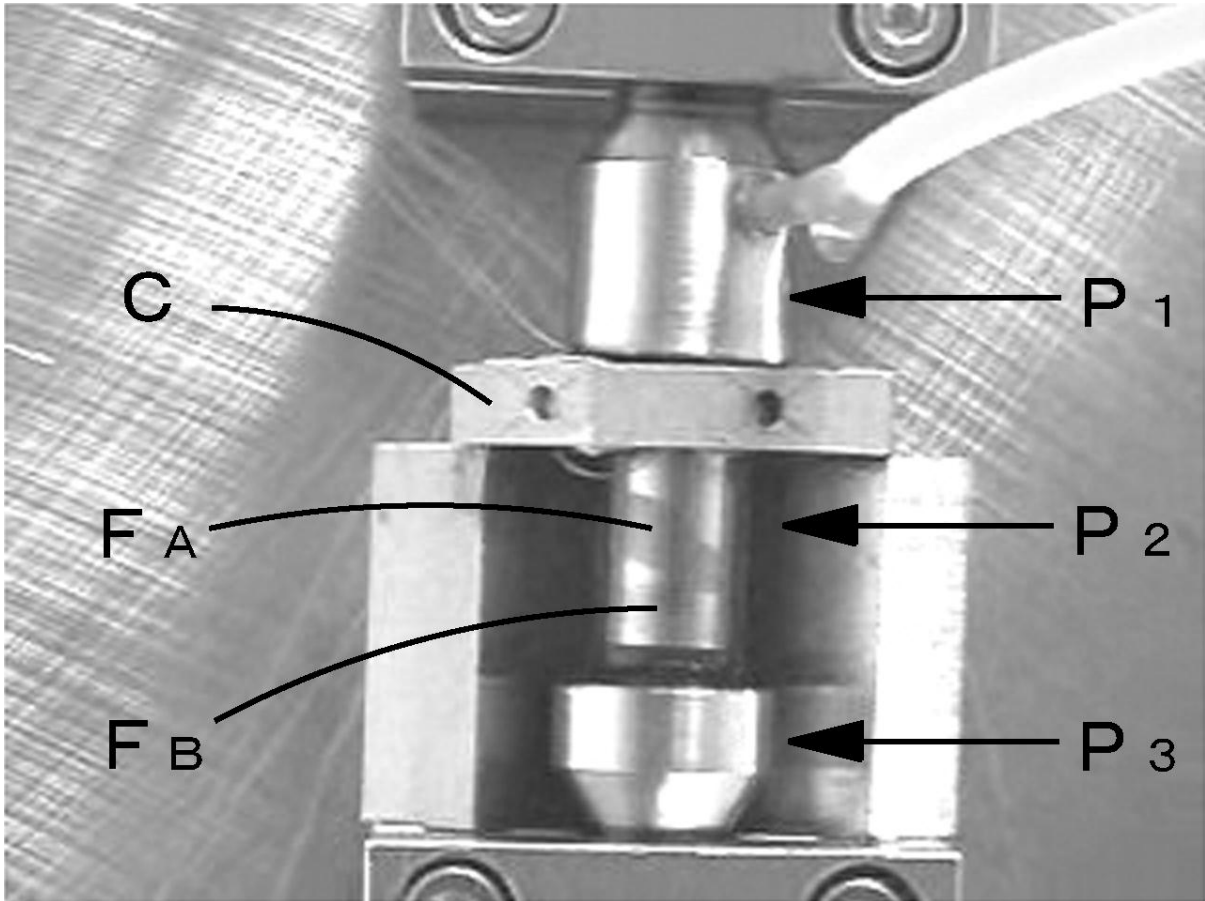
【図3】



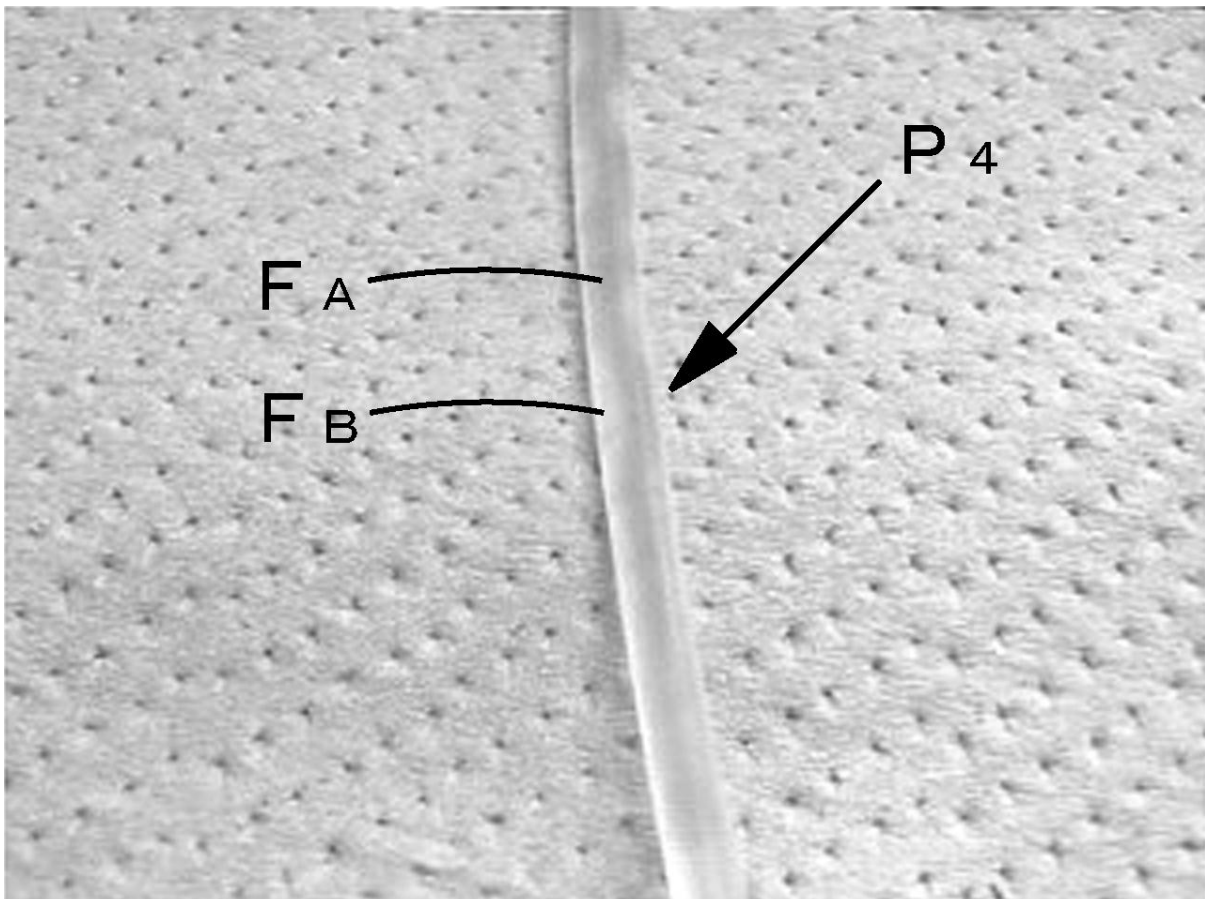
【図4】



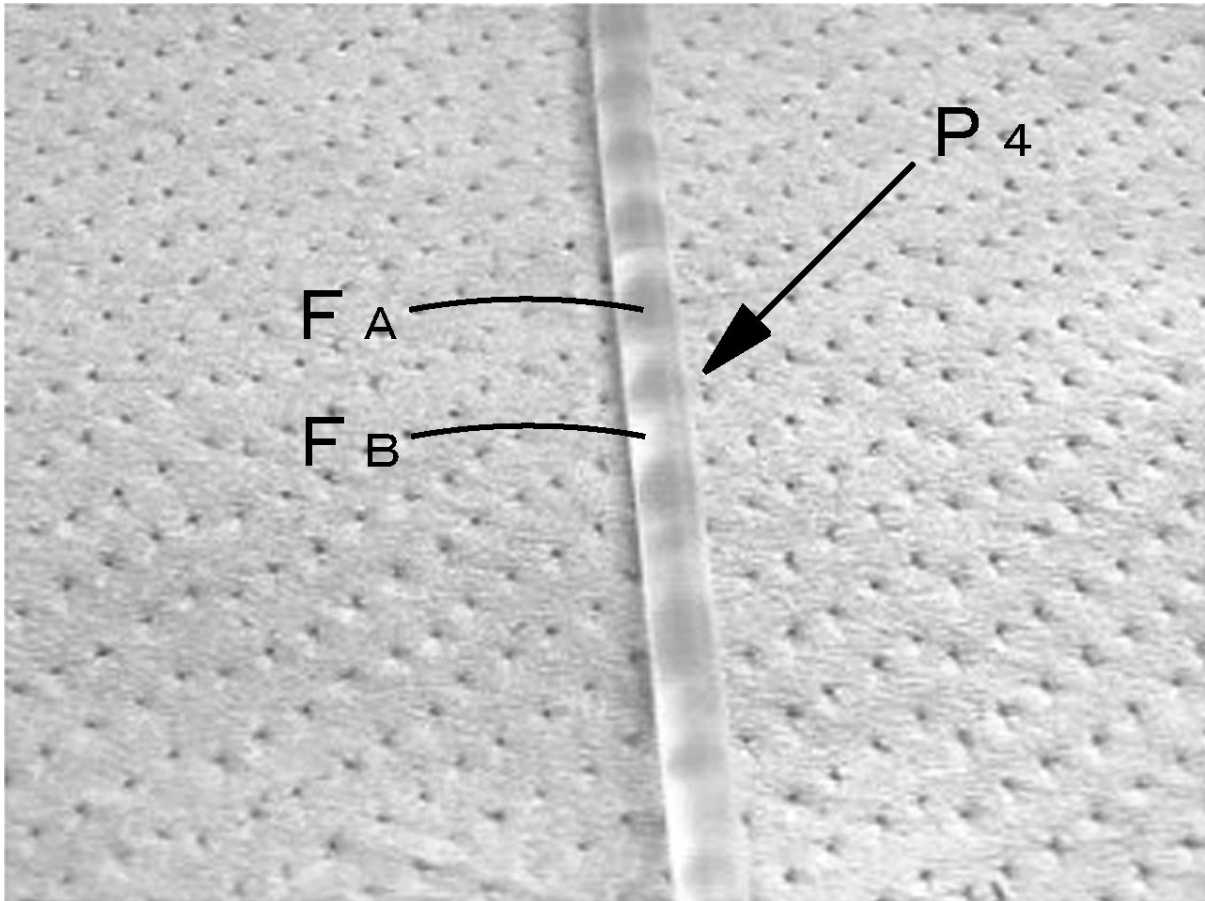
【図5】



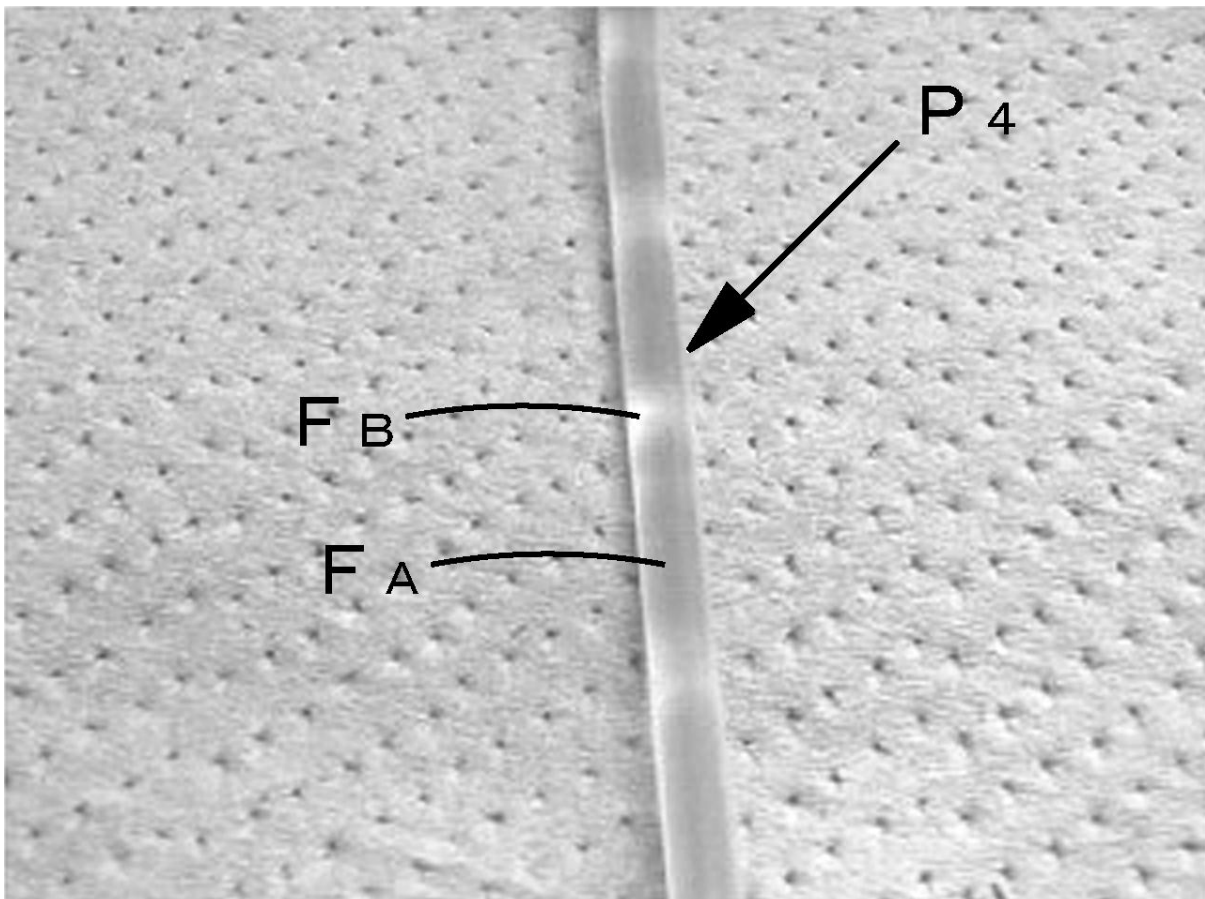
【図6】



【 図 7 】



【 図 8 】



フロントページの続き

- (72)発明者 武藤 明德
岡山県岡山市津島中三丁目1番1号 岡山大学大学院自然科学研究科内
- (72)発明者 阪田 祐作
岡山県岡山市津島中三丁目1番1号 岡山大学大学院自然科学研究科内

審査官 伊藤 紀史

- (56)参考文献 米国特許出願公開第2004/0013587(US, A1)
特開昭62-221427(JP, A)
特表平03-503137(JP, A)
特開昭46-004111(JP, A)
特開平03-181324(JP, A)
特開昭64-051131(JP, A)
特開平01-199637(JP, A)
特開平07-190906(JP, A)
特開平08-196888(JP, A)
特開2001-009254(JP, A)
特開2001-252897(JP, A)
特開2004-121963(JP, A)
特開昭52-038672(JP, A)
実開昭57-062630(JP, U)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B01F 13/08
B01J 19/00
H02K 7/14