

(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2018-158291

(P2018-158291A)

(43) 公開日 平成30年10月11日(2018.10.11)

(51) Int.Cl.			F I	テーマコード (参考)		
BO1F	5/00	(2006.01)	BO1F	5/00	G	4G035
BO1F	3/08	(2006.01)	BO1F	3/08	Z	
BO1F	3/18	(2006.01)	BO1F	3/18		

審査請求 未請求 請求項の数 11 O L (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2017-56568 (P2017-56568)
 (22) 出願日 平成29年3月22日 (2017.3.22)

(71) 出願人 504182255
 国立大学法人横浜国立大学
 神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台79番1号
 (74) 代理人 110000523
 アクシス国際特許業務法人
 (72) 発明者 酒井 清吾
 神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台79番1号 国立大学法人横浜国立大学内
 (72) 発明者 都築 光理
 神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台79番1号 国立大学法人横浜国立大学内
 Fターム(参考) 4G035 AB37 AB49 AC44 AE13

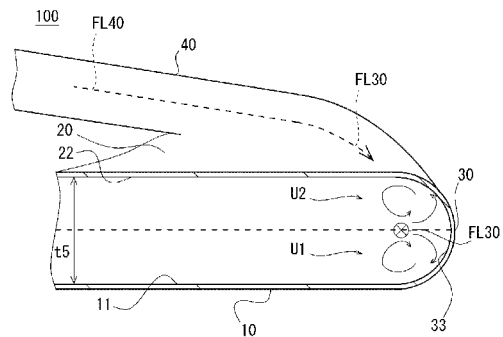
(54) 【発明の名称】 混合装置及び混合方法

(57) 【要約】

【課題】 混合装置の混合性能を高めることが望まれる。

【解決手段】 混合装置(100)の混合部(5)の内部空間を画定する第1及び第2内面(11, 22)の間隔(t5)は、第1及び第2内面(11, 22)の外周を接続する周面(33)に沿う流体の流れから生じる2次流れに応じて第1内面(11)側の第1渦(U1)と第2内面(22)側の第2渦(U2)が周面(33)の内側の位置に生じるように設定される。流体排出部(50)は、第1内面(11)及び/又は第2内面(22)に設けられた開口(OP5)を有する。周面(33)に沿う流体の流れから生じる渦流により混合された流体が開口(OP5)を介して混合部(5)の内部空間から流出する。

【選択図】 図5



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

少なくとも、第 1 内面 (1 1)、前記第 1 内面 (1 1) に対面する第 2 内面 (2 2)、及び前記第 1 内面 (1 1) の外周と前記第 2 内面 (2 2) の外周を接続する周面 (3 3) から画定される内部空間を有する混合部 (5) と、

前記周面 (3 3) に沿う流体の流れを生じさせるべく前記混合部 (5) の内部空間に流体を供給する複数の流体供給部 (4 0) と、

前記周面 (3 3) に沿う流体の流れから生じる渦流により混合された流体を排出するための流体排出部 (5 0) を備え、

前記第 1 及び第 2 内面 (1 1 , 2 2) の間隔 (t_5) は、前記周面 (3 3) に沿う流体の流れから生じる 2 次流れに応じて前記第 1 内面 (1 1) 側の第 1 渦 (U_1) と前記第 2 内面 (2 2) 側の第 2 渦 (U_2) が前記周面 (3 3) の内側の位置に生じるように設定され、

前記流体排出部 (5 0) は、前記第 1 内面 (1 1) 及び / 又は前記第 2 内面 (2 2) に設けられた開口 (OP_5) を有し、前記渦流により混合された流体が前記開口 (OP_5) を介して前記混合部 (5) の内部空間から流出する、混合装置。

【請求項 2】

前記第 1 及び / 又は第 2 内面 (1 1 , 2 2) が円形状又は楕円形状である、請求項 1 に記載の混合装置。

【請求項 3】

前記周面 (3 3) 沿いの流体の流れる方向に沿う前記周面 (3 3) の長さ (L_{35}) は、前記周面 (3 3) 沿いの流体の流れる方向において隣接する前記周面 (3 3) の間の前記流体供給部 (4 0) の開口の幅 (W_{45}) よりも大きい、請求項 1 又は 2 に記載の混合装置。

【請求項 4】

前記渦流は、前記周面 (3 3) から離れるに応じて流速が高められる強制渦領域を含む、請求項 1 乃至 3 のいずれか一項に記載の混合装置。

【請求項 5】

前記周面 (3 3) 沿いの流体の流れる方向において前記流体供給部 (4 0) から離間するに応じて前記第 1 及び / 又は第 2 渦 (U_1 , U_2) の強さが増す、請求項 1 乃至 4 のいずれか一項に記載の混合装置。

【請求項 6】

前記周面 (3 3) は、前記第 1 及び第 2 内面 (1 1 , 2 2) の間を弧状に延びる弧状面を有する、請求項 1 乃至 5 のいずれか一項に記載の混合装置。

【請求項 7】

前記第 1 及び第 2 内面 (1 1 , 2 2) の間隔を t_5 とし、前記周面 (3 3) から規定される前記混合部 (5) の内部空間の最大幅又は最大直径を r_5 とする時、

$5 < (r_5 / t_5)$ を満足する、請求項 1 乃至 6 のいずれか一項に記載の混合装置。

【請求項 8】

前記開口 (OP_5) の最大幅又は直径を r_{51} とし、前記周面 (3 3) から規定される前記混合部 (5) の内部空間の最大幅又は直径を r_5 とする時、

$5 < (r_5 / r_{51})$ を満足する、請求項 1 乃至 7 のいずれか一項に記載の混合装置。

【請求項 9】

前記流体排出部 (5 0) は、前記渦流が流れる流路を有する、請求項 1 乃至 8 のいずれか一項に記載の混合装置。

【請求項 10】

前記流体供給部 (4 0) が区分された複数の流路を有する、請求項 1 乃至 9 のいずれか一項に記載の混合装置。

【請求項 11】

少なくとも、第 1 内面 (1 1)、前記第 1 内面 (1 1) に対面する第 2 内面 (2 2)、

10

20

30

40

50

及び前記第 1 内面 (1 1) の外周と前記第 2 内面 (2 2) の外周を接続する周面 (3 3) から画定される混合部 (5) の内部空間に複数の流体供給部 (4 0) を介して 2 以上の異なる流体を供給し、前記周面 (3 3) に沿う流体の流れを生じさせる工程と、

前記周面 (3 3) 沿いの前記流体の流れから生じる渦流により混合された流体を前記混合部 (5) から排出する工程を含み、

前記周面 (3 3) に沿う流体の流れから生じる 2 次流れに応じて前記第 1 内面 (1 1) 側の第 1 渦 (U 1) と前記第 2 内面 (2 2) 側の第 2 渦 (U 2) が前記周面 (3 3) の内側の位置に生じ、

前記周面 (3 3) に沿う流体の流れから生じる渦流により混合された流体が、前記第 1 内面 (1 1) 及び / 又は前記第 2 内面 (2 2) に設けられた開口 (O P 5) を介して排出される、混合方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【 0 0 0 1 】

本開示は、混合装置及び混合方法に関する。

【背景技術】

【 0 0 0 2 】

特許文献 1 は、連続式の混合装置を開示する。流体の導入によって混合槽内に旋回流が生じる。旋回流は渦流として流体出口方向に流れる。混合槽の形状としては、例えば、円筒形、楕円筒形、円錐、円錐台、卵形が例示される (同文献の段落 0 0 1 2 参照) 。

【先行技術文献】

【特許文献】

【 0 0 0 3 】

【特許文献 1】特開 2 0 0 6 - 1 6 7 6 0 0 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 4 】

小型で混合性能が高く、大量処理可能な混合装置が望まれる。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 5 】

本開示の一態様に係る混合装置は、少なくとも、第 1 内面 (1 1) 、前記第 1 内面 (1 1) に対面する第 2 内面 (2 2) 、及び前記第 1 内面 (1 1) の外周と前記第 2 内面 (2 2) の外周を接続する周面 (3 3) から画定される内部空間を有する混合部 (5) と、

前記周面 (3 3) に沿う流体の流れを生じさせるべく前記混合部 (5) の内部空間に流体を供給する複数の流体供給部 (4 0) と、

前記周面 (3 3) に沿う流体の流れから生じる渦流により混合された流体を排出するための流体排出部 (5 0) を備え、

前記第 1 及び第 2 内面 (1 1 , 2 2) の間隔 (t 5) は、前記周面 (3 3) に沿う流体の流れから生じる 2 次流れに応じて前記第 1 内面 (1 1) 側の第 1 渦 (U 1) と前記第 2 内面 (2 2) 側の第 2 渦 (U 2) が前記周面 (3 3) の内側の位置に生じるように設定され、

前記流体排出部 (5 0) は、前記第 1 内面 (1 1) 及び / 又は前記第 2 内面 (2 2) に設けられた開口 (O P 5) を有し、前記渦流により混合された流体が前記開口 (O P 5) を介して前記混合部 (5) の内部空間から流出する。

【 0 0 0 6 】

幾つかの実施形態においては、前記第 1 及び / 又は第 2 内面 (1 1 , 2 2) が円形状又は楕円形状である。

【 0 0 0 7 】

幾つかの実施形態においては、前記周面 (3 3) 沿いの流体の流れる方向に沿う前記周面 (3 3) の長さ (L 3 5) は、前記周面 (3 3) 沿いの流体の流れる方向において隣接

10

20

30

40

50

する前記周面(33)の間の前記流体供給部(40)の開口の幅(W45)よりも大きい。

【0008】

幾つかの実施形態においては、前記渦流は、前記周面(33)から離れるに応じて流速が高められる強制渦領域を含む。

【0009】

幾つかの実施形態においては、前記周面(33)沿いの流体の流れる方向において前記流体供給部(40)から離間するに応じて前記第1及び/又は第2渦(U1, U2)の強さが増す。

【0010】

幾つかの実施形態においては、前記周面(33)は、前記第1及び第2内面(11, 22)の間を弧状に延びる弧状面を有する。

【0011】

幾つかの実施形態においては、前記第1及び第2内面(11, 22)の間隔をt5とし、前記周面(33)から規定される前記混合部(5)の内部空間の最大幅又は最大直径をr5とする時、 $5 < (r5 / t5)$ を満足する。

【0012】

幾つかの実施形態においては、前記開口(OP5)の最大幅又は直径をr51とし、前記周面(33)から規定される前記混合部(5)の内部空間の最大幅又は直径をr5とする時、 $5 < (r5 / r51)$ を満足する。

【0013】

幾つかの実施形態においては、前記流体排出部(50)は、前記渦流が流れる流路を有する。

【0014】

幾つかの実施形態においては、前記流体供給部(40)が区分された複数の流路を有する。

【0015】

本開示の一態様に係る混合方法は、少なくとも、第1内面(11)、前記第1内面(11)に対面する第2内面(22)、及び前記第1内面(11)の外周と前記第2内面(22)の外周を接続する周面(33)から画定される混合部(5)の内部空間に複数の流体供給部(40)を介して2以上の異なる流体を供給し、前記周面(33)に沿う流体の流れを生じさせる工程と、

前記周面(33)沿いの前記流体の流れから生じる渦流により混合された流体を前記混合部(5)から排出する工程を含み、

前記周面(33)に沿う流体の流れから生じる2次流れに応じて前記第1内面(11)側の第1渦(U1)と前記第2内面(22)側の第2渦(U2)が前記周面(33)の内側の位置に生じ、

前記周面(33)に沿う流体の流れから生じる渦流により混合された流体が、前記第1内面(11)及び/又は前記第2内面(22)に設けられた開口(OP5)を介して排出される。

【発明の効果】

【0016】

本開示の一態様によれば、小型で混合性能が高く、大量処理可能な混合装置が提供される。

【図面の簡単な説明】

【0017】

【図1】本開示の一態様に係る混合装置の概略的な斜視図である。

【図2】本開示の一態様に係る混合装置の概略的な斜視図であり、図1に示したものの反対側を示す。

【図3】本開示の一態様に係る混合装置の概略的な上面模式図である。

10

20

30

40

50

【図 4】本開示の一態様に係る混合装置の側面模式図である。

【図 5】本開示の一態様に係る混合装置において混合部の周面に沿う流体の流れから生じる 2 次流れに応じて混合部の第 1 内面側の第 1 渦と第 2 内面側の第 2 渦が周面の内側の位置に生じることを示す模式図である。

【図 6】本開示の別態様に係る混合装置の概略的な斜視図である。

【図 7】本開示の別態様に係る混合装置の概略的な斜視図であり、図 6 に示したものの反対側を示す。

【図 8】本開示の更なる別態様に係る混合装置の概略的な斜視図であり、流体供給部が 2 段に構成される。

【図 9】シミュレーションに基づく渦流の速度変化を示す図である。

10

【図 10】シミュレーションに基づく渦流の速度変化を示すグラフである。横軸が無次元の半径位置（0 が渦中心の位置であり、1 が渦中心から最も離れた位置である）を示し、縦軸が流速を示す。流速を段階的に高めることにより渦流の下流側での最大速度が高められることも示される。

【図 11】図 12 で参照される角度位置を示す参考図である。

【図 12】シミュレーションに基づく 2 次流れの生成を示す図である。図 11 に示した各角度において 2 次流れにより対の渦が形成されることが示される。

【図 13】電気伝導度法に基づいて決定された実施例に係る混合装置の滞留時間分布関数の無次元時間上の軌跡を示す。

【図 14】実施例の混合装置における平均滞留時間と流入速度の関係を示すグラフである。

20

【図 15】実施例の混合装置における目標とする混合濃度に達するのに要する時間を示すグラフである。

【図 16】図 17 で参照される角度位置を示す参考図である。

【図 17】実施例における混合装置の混合状態の観測結果を示すグラフである。

【図 18】角度位置毎の目標濃度に対するトレーサーの濃度分散を示す。

【図 19】角度位置毎の目標濃度に対するトレーサーの濃度分散を示す。

【発明を実施するための形態】

【0018】

以下、図 1 乃至図 19 を参照しつつ、本発明の非限定の実施形態例について説明する。開示の 1 以上の実施形態例及び実施形態例に包含される各特徴は、個々に独立したものである。当業者は、過剰説明を要せず、各実施形態例及び / 又は各特徴を組み合わせることができる。また、当業者は、この組み合わせによる相乗効果も理解可能である。実施形態例間の重複説明は、原則的に省略する。参照図面は、発明の記述を主たる目的とするものであり、作図の便宜のために簡略化されている場合がある。

30

【0019】

以下の記述において、ある混合装置及び / 又は混合方法に関して記述される複数の特徴が、これらの特徴の組み合わせとして理解される他、他の特徴とは独立した個別の特徴として理解される。個別の特徴は、他の特徴との組み合わせを必須とすることなく独立した個別の特徴として理解されるが、1 以上の他の個別の特徴との組み合わせとしても理解される。個別の特徴の組み合わせの全てを記述することは当業者には冗長である他なく、省略される。個別の特徴は、「幾つかの実施形態」、「幾つの場合」、「幾つかの例」といった表現により明示される。個別の特徴は、例えば、図面に開示された混合装置及び / 又は混合方法にのみ有効であるものではなく、他の様々な混合装置及び / 又は混合方法にも通用する普遍的な特徴として理解される。

40

【0020】

図 1 は、本開示の一態様に係る混合装置の概略的な斜視図である。図 2 は、本開示の一態様に係る混合装置の概略的な斜視図であり、図 1 に示したものの反対側を示す。図 3 は、本開示の一態様に係る混合装置の概略的な上面模式図である。図 4 は、本開示の一態様に係る混合装置の側面模式図である。図 5 は、本開示の一態様に係る混合装置において混

50

合部の周面に沿う流体の流れから生じる２次流れに応じて混合部の第１内面側の第１渦と第２内面側の第２渦が周面の内側の位置に生じることを示す模式図である。

【 0 0 2 1 】

図 1 乃至図 5 の参照から分かるように、幾つの場合、混合装置 1 0 0 は、混合部 5 と、複数の流体供給部 4 0 を有し、少なくとも一つの流体排出部 5 0 を有する。混合部 5 は、図 5 の参照から良く分かるように、第 1 内面 1 1、第 1 内面 1 1 に対面する第 2 内面 2 2、第 1 内面 1 1 の外周と第 2 内面 2 2 の外周を接続する周面 3 3 を有し、また、少なくともこれらの面から画定される内部空間を有する。流体供給部 4 0 は、周面 3 3 に沿う流体の流れを生じさせるべく混合部 5 の内部空間に流体を供給する。流体排出部 5 0 は、周面 3 3 に沿う流体の流れから生じる渦流により混合された流体を混合部 5 から排出する。流体排出部 5 0 が 2 以上設けられる例も想定される。流体排出部 5 0 は、後述の開口 O P 5 を有し、オプションとして、混合部 5 の開口 O P 5 を介して流入する渦流が流れる流路を有する。

10

【 0 0 2 2 】

流体供給部 4 0 は、周面 3 3 に沿う流体の流れを生じさせるべく混合部 5 の内部空間に流体を供給する。流体供給部 4 0 を介して混合部 5 へ流体を供給する様々な態様が検討される。幾つの場合では、複数の流体供給部 4 0 は、第 1 流体の供給のために設けられた流体供給部と、第 2 流体の供給のために設けられた流体供給部を含む。混合部 5 により混合されるべき流体の数は、２つに限られるべきではなく、２以上であるものと理解される。目標とする混合（例えば、濃度比、質量比）の混合物を得るため、ある流体のために用いられる流体供給部 4 0 の本数やその流路幅又は径が適切に設定される。流体供給部 4 0 は、周面 3 3 に設けられた開口を介して混合部 5 の内部空間へ流体を供給する。別例では、流体供給部 4 0 は、第 1 内面 1 1 及び / 又は第 2 内面 2 2 に設けられた開口を介して混合部 5 の内部空間へ流体を供給する。

20

【 0 0 2 3 】

上述した混合されるべき第 1 流体と第 2 流体は、異種類又は異成分の流体であり得る。例えば、第 1 流体は、第 1 成分の液体であり、第 2 流体は、第 2 成分の液体である。例えば、第 1 流体は、第 1 種類の粉体であり、第 2 流体は、第 2 種類の粉体である。流体は、液体や粉体といった流動材を意味するものと理解される。流体は、食品、薬品、自動車、機械といった様々な分野で用いられる流体であり得る。なお、幾つの場合、粘度 1 ~ 5 0 0 m P a · S 以下の流体が用いられる（流体の粘度は、細管式粘度計計測に即して計測するものとする）。

30

【 0 0 2 4 】

流体供給部 4 0 の流路から混合部 5 の内部空間に供給された流体は、混合部 5 の周面 3 3 に沿って流れ、結果として、混合部 5 の内部空間には渦流が形成される。混合部 5 に形成された渦流により混合された流体が流体排出部 5 0 を介して排出される。流体排出部 5 0 の流路を流れる流体は渦流を維持し得る。混合部 5 の下流側での渦流の維持は、流体の混合状態の維持又は向上に貢献し得る。流体排出部 5 0 の流出口に渦流の程度を低減するための邪魔板が設けられ得る。一つの混合装置 1 0 0 から排出された流体は、更なる混合のため、又は、濃度比の段階的な調整のため、別の同一構成又は異構成の混合装置 1 0 0 へ供給され得る。

40

【 0 0 2 5 】

幾つの実施形態においては、第 1 及び第 2 内面 1 1 , 2 2 の間隔 t_5 は、周面 3 3 に沿う流体の流れから生じる２次流れに応じて第 1 内面 1 1 側の第 1 渦 U_1 と第 2 内面 2 2 側の第 2 渦 U_2 が周面 3 3 の内側の位置に生じるように設定される。第 1 及び第 2 渦 U_1 , U_2 といった一对の渦によって流体の混合が促進され、混合装置 1 0 0 の混合性能が高められる。後述の実施例から裏付けられるように周面 3 3 沿いを流体が流れるに応じて渦流の中心に向かう径方向の濃度分散が小さくなり、混合の促進が裏付けられる。

【 0 0 2 6 】

２次流れやこれに応じて形成される第 1 及び第 2 渦の形成メカニズムについて確認する

50

わけではないが、次のように推測できる。周面 33 沿いに流れる流体には遠心力により周面 33 に向かう流れが生じるが、周面 33 の近傍では水圧が高くなり、より低い水圧側への流れが生じる。第 1 及び第 2 内面 11, 12 の間隔の設定によって、周面 33 から第 1 内面 11 又は第 2 内面 12 に向かって流体が流れるよりは第 1 内面 11 又は第 2 内面 12 に沿って周面 33 から離れる方向に流体が流れる。周面 33 から十分に離れた位置では遠心力が優位となり、周壁部 30 に向かう流れが支配的になる。このような 2 次流れによって第 1 及び第 2 渦 U1, U2 が生じ、混合装置 100 の混合性能が高められる。

【0027】

周面 33 は、第 1 及び第 2 内面 11, 22 の間を弧状に延びる弧状面を有することができ、これにより、2 次流れの形成が促進される。周面 33 は、渦流の中心に関する径方向外側に凹んだ弧状面を有し得る。

10

【0028】

周面 33 沿いに流れる流体によって混合部 5 の内部空間には渦流が形成される。混合部 5 の内部空間に供給された流体は、渦流の中心に向かって周壁部 30 から次第に離れるように螺旋状に流れる。渦流は、混合部 5 の第 1 内面 11 と第 2 内面 12 の間隔 t_5 により、渦流の中心軸 AX に沿って螺旋状に流れることが抑制される。渦流は、第 1 内面 11 と第 2 内面 12 の間隔 t_5 により「平面的な渦流」として形成され得る。幾つかの場合、第 1 内面 11 と第 2 内面 22 の間隔 t_5 と、流体供給部 40 の内面 41 から画定される最大幅又は最大直径 r_{41} が一致する。

【0029】

幾つかの場合、第 1 及び第 2 内面 11, 22 の間隔を t_5 とし、周面 33 から規定される混合部 5 の内部空間の最大幅又は最大直径を r_5 とする時、 $5 < (r_5 / t_5)$ を満足する。かかる場合、渦 U1, U2 がより確実に形成され得る。

20

【0030】

幾つかの場合、周面 33 沿いの流体の流れる方向に沿う周面 33 の長さ L_{35} は、周面 33 沿いの流体の流れる方向において隣接する周面 33 の間の流体供給部 40 の開口の幅 W_{45} よりも大きい。渦 U1, U2 のより十分な形成が促進される。

【0031】

幾つかの場合、第 1 及び / 又は第 2 内面 11, 22 が円形状又は楕円形状である。この場合、上述の周面 33 の長さ L_{35} は、第 1 又は第 2 内面 11, 22 の周方向沿いの長さである。同様、周方向沿いで隣接する周面 33 の間の流体供給部 40 の開口の幅 L_{45} も、第 1 又は第 2 内面 11, 22 の周方向沿いの幅である。

30

【0032】

幾つかの場合、周面 33 沿いの流体の流れる方向において流体供給部 40 から離間するに依りて第 1 及び / 又は第 2 渦 U1, U2 の強さが増す。従って、周面 33 の長さ L_{35} を十分な長さとするべく、適切な個数の流体供給部 40 が設けられる。流体供給部 40 の個数は、2 以上であり得る。流体供給部 40 の個数は、幾つかの場合、4 つ以上であり得る。流体供給部 40 の個数は、幾つかの場合、6 つ以下であり得る。

【0033】

第 1 及び第 2 渦 U1, U2 の存在は、流体（例えば、水）に適切なトレーサー（例えば、色素、顔料、蛍光材）を導入し、適切な方法でトレーサーの流れを観察することにより裏付け可能である。例えば、カメラにより観察されるトレーサーの流れが、第 1 及び第 2 渦 U1, U2 の存在を直接的に裏付ける。第 1 及び第 2 渦 U1, U2 を直接的に観察しなくとも、後述の図 16 乃至図 19 に示すような観測に基づいて第 1 及び第 2 渦 U1, U2 の存在が裏付けられる。後述の光輝度測定法に依拠して第 1 及び第 2 渦の存在が検証されるものとする。

40

【0034】

幾つかの場合、第 1 内面 11 と第 2 内面 22 が平行に配され、上述の渦流の形成又は安定化が促進される。幾つかの場合、第 1 内面 11 と第 2 内面 22 の少なくとも一方又は両方が平坦面であり、渦流の流れが阻害されない。追加的又は代替的に、第 1 内面 11 と第

50

2内面22の少なくとも一方又は両方には渦流の流れを案内する渦巻き状の凹部（又は弧状凹部）が形成され、渦流の円滑な流れが促進される。

【0035】

幾つかの実施形態においては、流体排出部50は、第1内面11及び/又は第2内面22に設けられた開口OP5を有し、渦流により混合された流体が開口OP5を介して混合部5の内部空間から流出する。幾つかの実施形態においては、流体排出部50は、渦流により混合された流体が流れる流路を有し、この流路の内面が第1内面11及び/又は第2内面22に接続される。渦流により十分に混合された流体の排出が促進される。流体排出部50の開口OP5は、円形状、楕円形状、又は他の形状（例えば、矩形状）であり得る。好適な幾つかの場合、開口OP5は、円形又は楕円形状である。

10

【0036】

幾つかの場合、渦流は、周面33から離れるに従って流速が高くなる強制渦領域を含み得る。幾つかの場合、渦流の中心寄りに強制渦領域が形成される。強制渦領域においてより早い速度で流体が流れ、流体がより十分に混合され得る。

【0037】

混合部5の周面33から混合部5の内部空間の最大幅又は最大直径 r_5 が規定される。なお、周面33が対向して配置されない場合、周面33又はその延長面によって混合部5の内部空間の最大幅又は最大直径 r_5 が規定される。流体供給部40は、流体の流路を画定する内面41を有する。流体供給部40の内面41の断面形状は、円形状又は矩形状であり得る。流体供給部40は、その内面41から画定される最大幅又は最大直径 r_{41} を有する。流体排出部50は、流体の排出のための開口OP5を有する。流体排出部50は、流体の流路を画定する内面51を有し得る。流体排出部50の内面51の断面形状は、円形状又は矩形状であり得る。開口OP5の最大幅又は最大直径 r_{51} は、流路を画定する内面51から画定される最大幅又は最大直径に等しいが、必ずしもこの限りではない。流体排出部50の内面51は、混合部5の第1又は第2内面11, 22に接続される。

20

【0038】

幾つかの場合、 $5 < (r_5 / r_{51})$ を満足する。幾つかの場合、 $5 < (r_5 / r_{41})$ を満足する。幾つかの場合、 $(20 \times r_{51}) > r_5 > (5 \times r_{51})$ を満足する。幾つかの場合、 $(20 \times r_{41}) > r_5 > (5 \times r_{41})$ を満足する。必ずしもこの限りではないが、幾つかの場合、 $r_{41} = r_{51}$ である。

30

【0039】

混合装置100に他の攪拌手段を組み込むことも想定される。混合装置100のみにより十分な混合が得られるため、混合装置100に他の攪拌手段を組み込む必要はなく、この場合、混合装置100の簡素化又は低コスト化が促進される。

【0040】

混合部5の外観又は外形、流体供給部40の外観又は外形、流体排出部50の外観又は外形が、混合装置100の製造方法又は組立方法に依拠して様々な変更がされ得る。流体供給部40は、流体に対して流路を提供するための部分である。混合部5は、流体の混合のための混合空間を提供するための部分である。流体排出部50は、混合部5から流体を排出させるための部分である。混合部5、流体供給部40、及び流体排出部50は、幾つかの場合、流路又は内部空間を画定するための部材、例えば、平板、筒材の接合によって構築されるが、必ずしもこの限りではない。

40

【0041】

幾つかの場合、混合部5、流体供給部40、及び流体排出部50が、半導体プロセス技術を用いて構築され得る。シリコン基板のエッチングによって第1基板に凹部下半分を形成し、第2基板に凹部上半分を形成し、第1基板と第2基板を貼り合わせるにより混合装置100が構築される。凹部下半分と凹部上半分は、図1乃至図4に示した混合装置100を中心軸AXに直交する平面で上下に分割したものと同一の空間を画定する。第1基板又は第2基板の貫通孔が流体排出部50として用いられ得る。中心軸AXは、渦流の中心に設定される。シリコン基板以外の基板、例えば、樹脂基板も採用可能である。

50

【 0 0 4 2 】

幾つかの場合、混合部 5、流体供給部 4 0、及び流体排出部 5 0 が、射出成形技術を用いて構築され得る。混合部 5 の内部空間、流体供給部 4 0 の流路、及び流体排出部 5 0 の流路と同一形状の分割コアが用いられる。上型と下型のキャビティーに対して分割コアが配置された状態で溶融樹脂が供給され、金型が冷却される。金型から取り出された成形品によって（又は更なる必要な加工又は処理を経て）混合装置 1 0 0 が構築される。

【 0 0 4 3 】

幾つかの場合、混合装置 1 0 0 は、混合部 5 として容器本体を有し、流体供給部 4 0 として流体供給部材を有し、流体排出部 5 0 として流体排出部材を有する。幾つかの場合、容器本体は、中空の円盤材であり、第 1 内面 1 1 が設けられた第 1 板 1 0 と、第 2 内面 2 2 が設けられた第 2 板 2 0 と、第 1 板 1 0 の外周と第 2 板 2 0 の外周を接続する周壁部 3 0 を有する。周壁部 3 0 には上述の周面 3 3 が設けられる。幾つかの場合、第 1 板 1 0 及び / 又は第 2 板 2 0 が円板であり、実質的に同一の直径を有する。必ずしもこの限りではないが、少なくとも一方の円板の中心には開口 O P 5 が設けられ得る。なお、第 1 板 1 0 及び / 又は第 2 板 2 0 が楕円形状であるとしても同様の効果が得られることは言うまでも無い。

10

【 0 0 4 4 】

流体供給部材が容器本体の周壁部 3 0 に対して接続される。流体供給部材の流路と容器本体の内部空間が空間連通する。流体排出部材の開口 O P 5 が、容器本体の第 1 板 1 0 及び / 又は第 2 板 2 0 に設けられる。流体排出部材の流路と容器本体の内部空間が開口 O P 5 を介して空間連通し得る。幾つかの場合、流体供給部 4 0 は、周面 3 3 の接線方向沿いに延びる。図 3 から分かるように、流体供給部 4 0（流体供給部材）は、仮想円 C 1 の接線方向 D 2 に沿って延びる。流体供給部 4 0（流体供給部材）は、周壁部 3 0 の接線方向 D 1 沿いに延びる。

20

【 0 0 4 5 】

幾つかの場合、円形状の混合部 5（容器本体）の中心点（或いは、開口 O P 5 上に設けられた中心軸 A X）に関して第 1 角度範囲 1 に流体供給部 4 0（流体供給部材）の開口が割り当てられ、円形状の混合部 5（容器本体）の中心点（或いは、開口 O P 5 上に設けられた中心軸 A X）に関して第 2 角度範囲 2 に周面 3 3（周壁部 3 0）が割り当てられる。幾つかの場合、第 1 角度範囲 1 に対応する開口の幅 W 4 5 は、第 2 角度範囲 2 に対応する周面 3 3 の長さ L 3 5 よりも小さい。幾つかの実施形態において、 $15^\circ < \theta_1 < 50^\circ$ であり、 $50^\circ < \theta_2 < 75^\circ$ である。

30

【 0 0 4 6 】

適切に設定された流速で流体が流体供給部 4 0 を介して混合部 5 に供給され、混合部 5 の周面 3 3 近傍の 2 次流れに応じた一对の渦と、混合部 5 における渦流の相乗効果により、流体の混合が促進される。流体供給部 4 0 から混合部 5 への流体の流入速度が流体の種類等に応じて適切に設定される。混合部 5 の内部空間や、流体供給部 4 0 及び流体排出部 5 0 の流路の寸法が流体の種類や目標とする混合比に応じて適切に設定される。

【 0 0 4 7 】

図 6 は、本開示の別態様に係る混合装置の概略的な斜視図である。図 7 は、本開示の別態様に係る混合装置の概略的な斜視図であり、図 6 に示したものの反対側を示す。図 6 及び図 7 から分かるように、周壁部 3 0 が平板に構成され、周面 3 3 が（中心軸 A X に直交する）平面に構成され得る。流体供給部 4 0 の断面形状が矩形状に構成され得る。このような実施形態においても上述と同様の効果が得られる。

40

【 0 0 4 8 】

図 8 は、本開示の更なる別態様に係る混合装置の概略的な斜視図であり、流体供給部が 2 段に構成される。接線方向に延びる流体供給部 4 0 が 2 段に分割されている。幾つかの場合、流体供給部 4 0 は、区分された複数の流路を有する。区分された流路の本数は 2 以上であり得る。区分された流路の本数は 2 つに限定されない。図 8 に示すように、流体供給部 4 0 は、流路上段部 4 0 a と流路下段部 4 0 b を有し得る。流路上段部 4 0 a と流路

50

下段部 40b が隔壁部により空間連通されず、各流路に流体が別々に流れる。区分された各流路（流路上段部 40a と流路下段部 40b）の各断面形状（各断面積）は同一又は非同一である。区分された各流路（流路上段部 40a と流路下段部 40b）に同一又は異なる流体が流され得る。

【0049】

上述の記述から次の混合方法も理解される。混合方法は、(I) 少なくとも、第 1 内面 11、第 1 内面 11 に対面する第 2 内面 22、及び第 1 内面 11 の外周と第 2 内面 22 の外周を接続する周面 33 から画定される混合部 5 の内部空間に複数の流体供給部 40 を介して 2 以上の異なる流体を供給し、周面 33 に沿う流体の流れを生じさせる工程と、(II) 周面 33 沿いの流体の流れから生じる渦流により混合された流体を混合部 5 から排出する工程を含む。ここで、周面 33 に沿う流体の流れから生じる 2 次流れに応じて第 1 内面 11 側の第 1 渦 U1 と第 2 内面 22 側の第 2 渦 U2 が周面 33 の内側の位置に生じる。更に、周面 33 に沿う流体の流れから生じる渦流により混合された流体が、第 1 内面 11 及び / 又は第 2 内面 22 に設けられた開口 OP5 を介して排出される。

10

【0050】

以下、シミュレーション結果について開示又は検討する。シミュレーションのため、第 1 流体として水（密度 998.2 kg/m^3 、粘性 $1.002 \times 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$ ）を用いた。第 1 流体に混合されるべき第 2 流体（以下、トレーサーと呼ぶ）として NaCl 水溶液（密度 1002.2 kg/m^3 、粘性 $1.003 \times 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$ 、拡散係数 1.2×10^{-9} ）を用いた。水とトレーサーの流入速度が同一であり、 $0.2 \sim 1 \text{ m/s}$ で変化させた。定常流動解析で流動場の解析を行った後、その解析データを基に非定常拡散解析で 0.04 秒間トレーサーを流入させ、その後 10 秒間の時間範囲にわたるシミュレーション結果を得た。

20

【0051】

図 9 及び図 10 は、シミュレーションに基づく渦流の速度変化を示す。図 10 の横軸が無次元の半径位置（0 が渦中心の位置であり、1 が渦中心から最も離れた位置である）を示し、縦軸が流速を示す。流入速度（ v ）を段階的に高めることにより渦流の下流側での最大速度が高められることも示される。図 10 は、 $v = 0.2 \text{ m/s}$ 、 $v = 0.3 \text{ m/s}$ 、 $v = 0.4 \text{ m/s}$ 、 $v = 0.5 \text{ m/s}$ 、 $v = 0.6 \text{ m/s}$ と流入速度を変えた時の渦流の速度波形の変化も示す。 $v = 0.2 \text{ m/s}$ 、 $v = 0.3 \text{ m/s}$ 、 $v = 0.4 \text{ m/s}$ 、 $v = 0.5 \text{ m/s}$ 、 $v = 0.6 \text{ m/s}$ の順で最大速度が高くなる。

30

【0052】

図 9 及び図 10 は、周面 33 から渦中心に向かって離れるに従って流速が高くなる強制渦領域の存在を裏付ける。強制渦領域においてより早い速度で流体が流れ、トレーサーが水により十分に混合される。

【0053】

図 11 は、図 12 で参照される角度位置を示す参考図である。図 12 は、シミュレーションに基づく 2 次流れの生成を示す図である。図 11 に示した各角度において 2 次流れにより一對の渦が形成されることが示される。図 11 及び図 12 は、周面 33 沿いの流体の流れる方向において流体供給部 40 から離間するに応じて第 1 及び / 又は第 2 渦 U1、U2 の強さが増すことを裏付ける。例えば、角度 40° において角度 30° よりも強い第 1 及び第 2 渦 U1、U2 が形成されることが見て分かる。

40

【実施例】

【0054】

実施例 1 において、アクリル材（アクリル板、アクリル筒）を用いて混合装置を試作した。流体供給部の径 20 mm 、流体排出部の径 20 mm 、混合部の直径 200 mm 、周面 33 の半径 10 mm とした。

【0055】

図 13 は、電気伝導度法に基づいて決定された実施例 1 に係る混合装置の滞留時間分布関数の無次元時間上の軌跡を示す。図 13 において、パラメーター N に関して、 $N = 4$ と

50

N = 10 の滞留時間分布関数の無次元時間上の軌跡も併せて示される。0.2 m/s、0.3 m/s、0.4 m/s、0.5 m/s、0.6 m/s と流入速度を変えた場合の滞留時間分布関数の無次元時間上の軌跡は、N = 4 と N = 10 の滞留時間分布関数の無次元時間上の軌跡の間にある。従って、実施例 1 における混合装置では N = 4 ~ 10 の混合特性が得られることが裏付けられた。図 13 から裏付けられるように、流入速度を高めると滞留時間分布関数の軌跡のピークが幅広になり、またピーク高さが低くなる。

【0056】

電気伝導度法による滞留時間分布関数の決定方法に関して、まず、定常状態になるまで第 1 流体（水）が流される。次に、第 2 流体（トレーサー）が瞬間的に流入される。混合装置の流体排出部から流出される流体の電気伝導度が計測される。従って、トレーサーとして、NaCl 溶液といった濃度と電気伝導度に相関がある材料が用いられる。これにより時間経過に応じた電気伝導度の変化が得られる。次に、電気伝導度を濃度（w/v）に変換し、濃度（w/v）を濃度（mol/L）に変換する。このように算出された濃度（mol/L）の時間変化から滞留時間分布関数と平均滞留時間が算出される。

10

【0057】

滞留時間分布関数は、次式により算出される。

【数 1】

$$E(t) = \frac{C(t)}{\int_0^{\infty} C(t) dt}$$

20

ここで、C(t) が出口のトレーサー濃度である。

C(t) が、時間 0 ~ まで積分した C(t) で除算される。

【0058】

平均滞留時間は、次式により算出される。

【数 2】

$$t_m = \int_0^{\infty} t E(t) dt$$

30

【0059】

無次元時間

$$\theta \left(= \frac{t}{t_m} \right)$$

を用いると、滞留時間分布関数 E(t) は、次式から算出される。

【数 3】

$$E(\theta) = \frac{C(\theta)}{\int_0^{\infty} C(\theta) d\theta}$$

40

ここで、C() が出口のトレーサー濃度である。

【0060】

次式が満足される。

【数 4】

$$\int_0^{\infty} E(\theta) d\theta = 1$$

【0061】

50

混合装置においては混合の程度が高められるに従い、押し出し流れの滞留時間分布関数から完全混合流れの滞留時間分布関数に接近する。完全混合槽列モデルでは、等しい容積の完全混合槽の直列と考える。混合の程度が槽の個数 N により表される。 N 個の完全混合槽列に対する滞留時間分布関数は、次式により与えられる。

【数 5】

$$E(\theta) = \frac{N^N}{(N-1)!} \theta^{N-1} \exp(-N\theta)$$

【0062】

図 1 4 は、実施例の混合装置における平均滞留時間と流入速度の関係を示すグラフである。図 1 5 は、実施例の混合装置における目標とする混合濃度に達するのに要する時間を示すグラフである。図 1 4 において一点鎖線がシミュレーション結果を示す。図 1 4 において二点鎖線が実施例の観測結果を示す。図 1 5 において $N = 4$ の変化曲線が一点鎖線で示され、 $N = 10$ の変化曲線が二点鎖線で示される。図 1 5 の縦軸は、出口のトレーサー濃度を目標トレーサー濃度 C_g で除算した値である。図 1 4 は、流入速度が大きくなると、平均滞留時間が低くなることを示す。図 1 5 は、目標とする出口のトレーサー濃度に許容範囲内の時間で到達することを示す。

【0063】

図 1 6 は、図 1 7 で参照される角度位置を示す参考図である。図 1 7 は、実施例における混合装置の混合状態の観測結果を示すグラフである。図 1 7 のグラフは、光輝度測定法による観測により作成されたものである。トレーサーとしてメチレンブルーを用いた。流入速度 0.3 m/s とした。カメラの撮像フレーム速度は、 480 fps とした。定常状態になるまで水を流入させ、トレーサーを一定濃度で流入させた。なお、光輝度測定法では、光源と高速カメラが用いられる。高速カメラは、中心軸 $A-X$ に直交する撮像面を有する。従って、カメラにより得られる画像の輝度値は、混合部の第 1 内面と第 2 内面の間に存在するメチレンブルーの積算値に対応する。カメラを用いたトレーサー濃度の観察から、図 1 6 の各角度位置におけるトレーサーの濃度分散 (concentration variance) が得られる。上流側の角度位置 20° と下流側の角度位置 50° の間で濃度分散 (concentration variance) が小さくなることが確認でき、第 1 及び第 2 渦の存在が確認できた。角度位置 20° から角度位置 50° に向かって第 1 及び第 2 渦の強さが増すことも確認できた。図 1 8 及び図 1 9 は、参考のため、角度位置毎の目標濃度に対するトレーサーの濃度分散 (concentration variance) を示す。なおトレーサーの濃度分散 M は次式から算出される。

【数 6】

$$M = \frac{1}{C_g^2} \{C(x, t) - C_g\}^2$$

C_g : 目標濃度、 $C(x, t)$: 任意の時間 t 、任意の位置 x における濃度

【0064】

上述の教示を踏まえると、当業者をすれば、各実施形態に対して様々な変更を加えることができる。請求の範囲に盛り込まれた符号は、参考のためであり、請求の範囲を限定解釈する目的で参照されるべきものではない。

【符号の説明】

【0065】

- | | |
|-----|--------|
| 5 | 混合部 |
| 1 1 | 第 1 内面 |
| 2 2 | 第 2 内面 |
| 3 3 | 周面 |

10

20

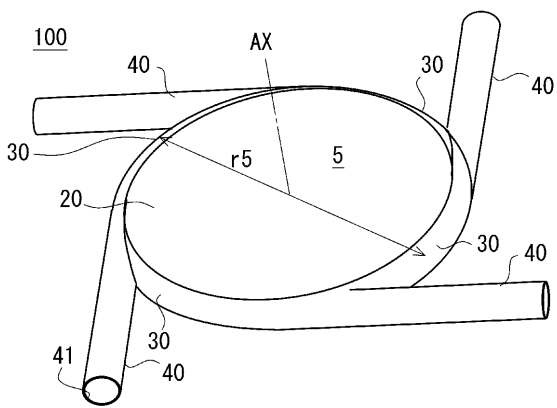
30

40

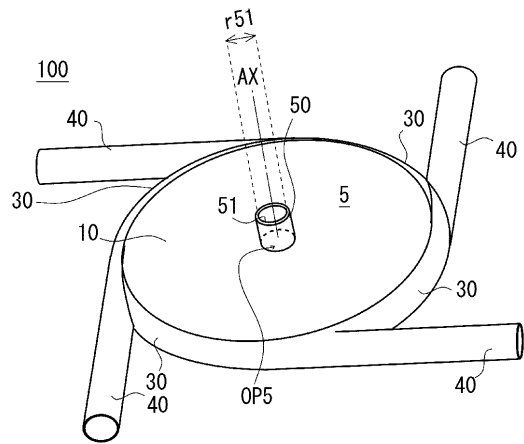
50

- 4 0 流体供給部
- 5 0 流体排出部
- U 1 第 1 渦
- U 2 第 2 渦

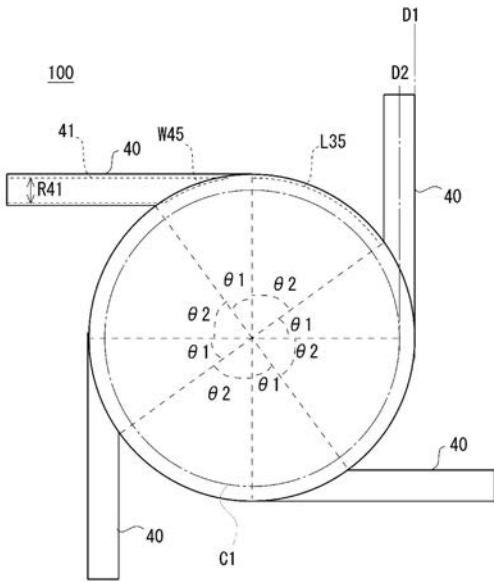
【 図 1 】



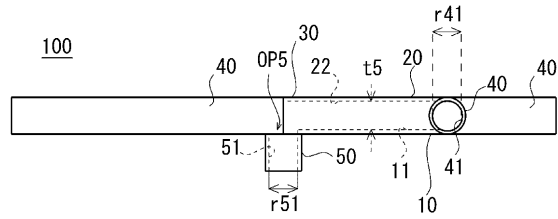
【 図 2 】



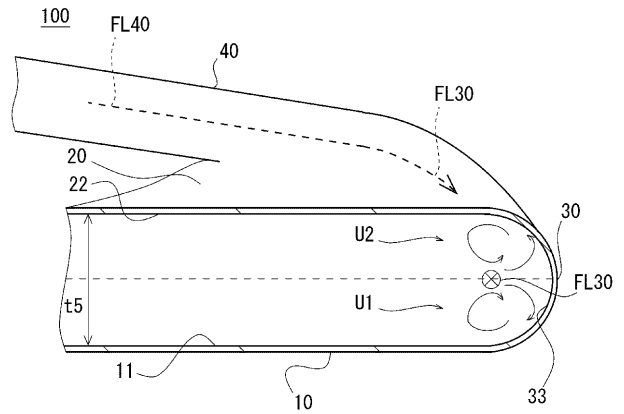
【 図 3 】



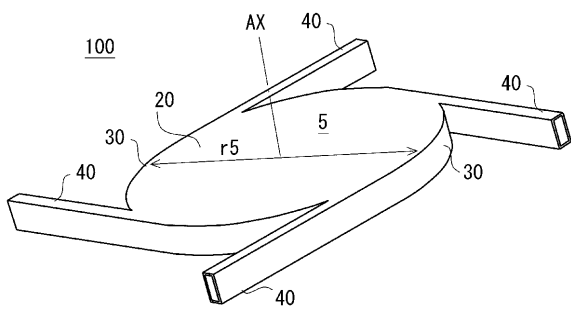
【 図 4 】



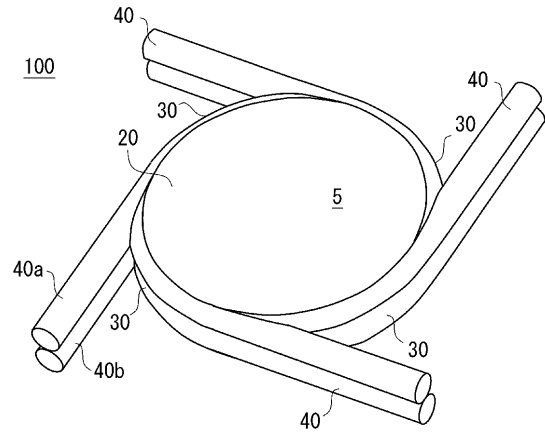
【 図 5 】



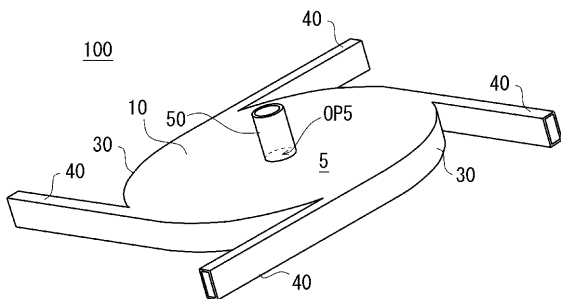
【 図 6 】



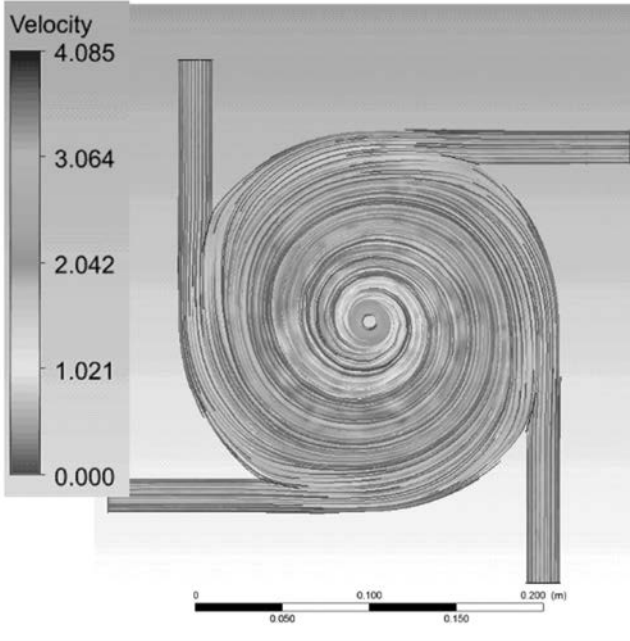
【 図 8 】



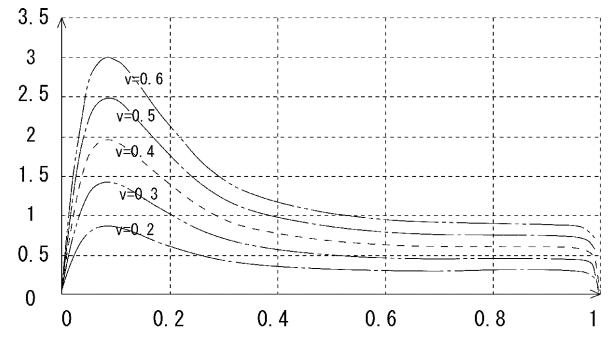
【 図 7 】



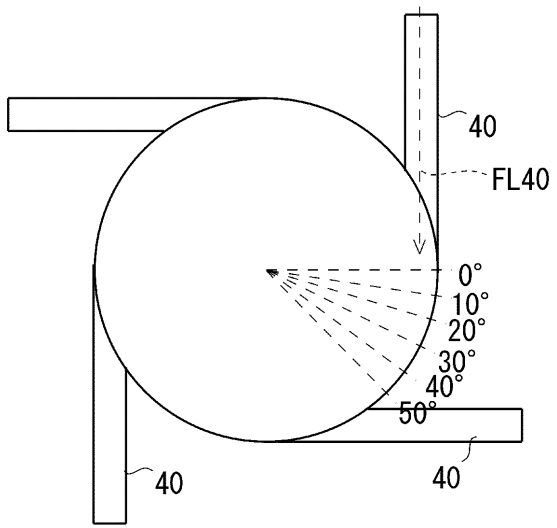
【 図 9 】



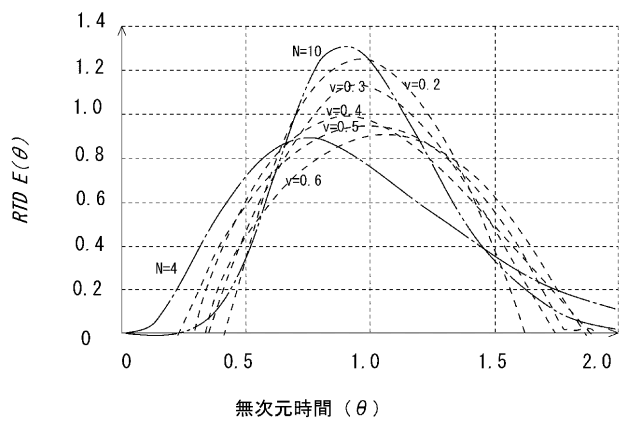
【 図 10 】



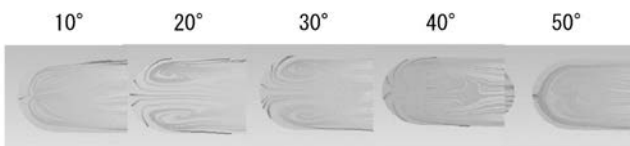
【 図 11 】



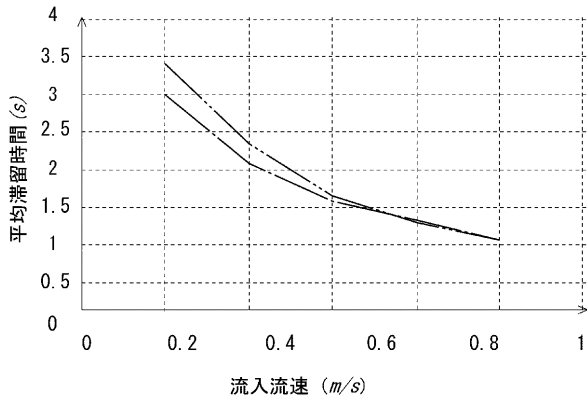
【 図 13 】



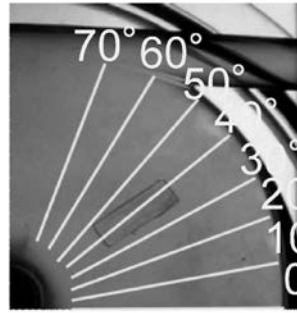
【 図 12 】



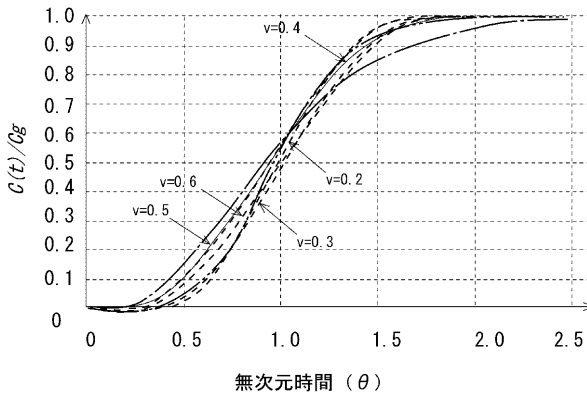
【 図 1 4 】



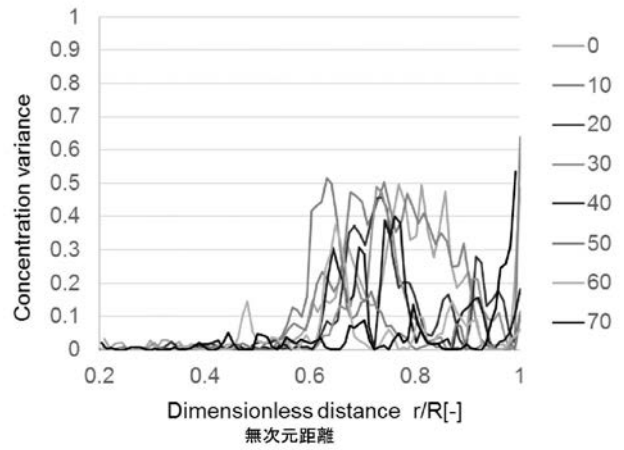
【 図 1 6 】



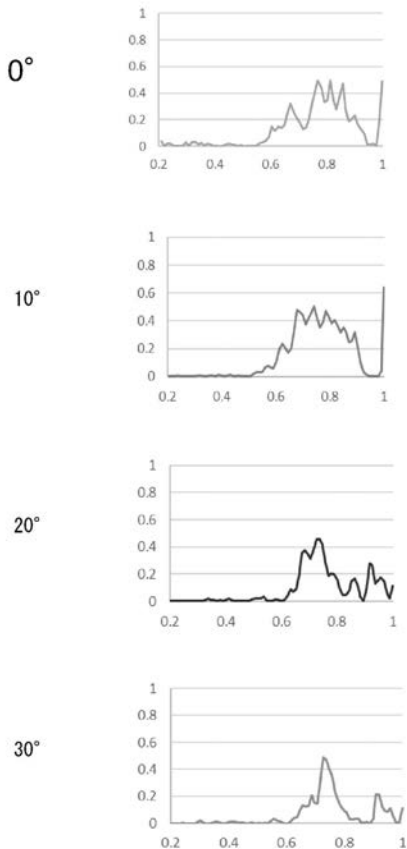
【 図 1 5 】



【 図 1 7 】



【 図 1 8 】



【 図 1 9 】

