(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2023年12月21日(21.12.2023)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2023/243448 A1

(51) 国際特許分類:
B01D 43/00 (2006.01) *B03B 5/00* (2006.01)
F15D 1/02 (2006.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2023/020685

(22) 国際出願日： 2023年6月2日(02.06.2023)

(25) 国際出願の言語： 日本語

(26) 国際公開の言語： 日本語

(30) 優先権データ：
特願 2022-095162 2022年6月13日(13.06.2022) JP

(71) 出願人: 株式会社ＩＨＩ (**IHI CORPORATION**) [JP/JP]; 〒1358710 東京都江東区豊洲三丁目１番１号 Tokyo (JP).

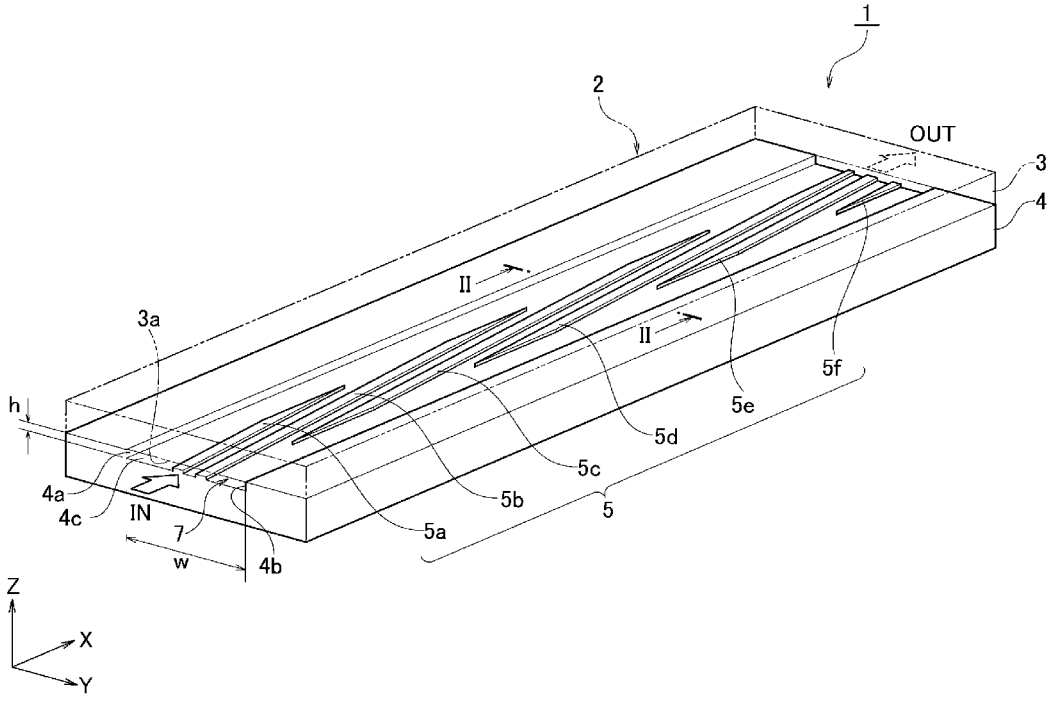
(72) 発明者: 池田 諒介(**IKEDA Ryosuke**); 〒1358710 東京都江東区豊洲三丁目１番１号 株式会社ＩＨＩ内 Tokyo (JP). 山下 達也(**YAMASHITA Tatsuya**); 〒1358710 東京都江東区豊洲三丁目１番１号 株式会社ＩＨＩ内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 三好 秀和，外 (**MIYOSHI Hidekazu** et al.); 〒1050001 東京都港区虎ノ門一丁目２番８号 虎ノ門琴平タワー Tokyo (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG,

(54) **Title:** SECONDARY FLOW FORMATION DEVICE, SOLID-LIQUID SEPARATION DEVICE, AND SOLID-LIQUID SEPARATION SYSTEM

(54) 発明の名称： 二次流れ形成装置、固液分離装置及び固液分離システム



(57) **Abstract:** A secondary flow formation device (1) causes a fluid having solid particles dispersed therein to flow through a flow passage (7) and forms a secondary flow of the fluid in the transverse-section direction, the secondary flow formation device comprising a flow passage part (2) that includes the flow passage (7), and a plurality of baffle plates (5) that are formed at the flow passage part (2). The flow passage (7) has a rectangular transverse section such that an aspect ratio (A_R), which is a flow passage width (w) divided by a flow passage

WO 2023/243448 A1

［続葉有］

KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能)：ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類：

— 国際調査報告（条約第21条(3)）

height (h), is within a range of 3-100. Inner walls forming the flow passage (7) include a top wall (3a) as a first wall and a bottom wall (4c) as a second wall, which are oriented toward each other in the direction in which the flow passage height (h) is defined. The plurality of baffle plates (5) each have a rod-shaped part disposed to the second wall so as to protrude toward the first wall. The extension direction of the baffle plates (5) is parallel to the second wall and is inclined at a fixed inclined angle with respect to the extension direction of the flow passage (7).

(57) 要約：二次流れ形成装置（１）は、固体粒子が分散された流体を流路（７）に流通させて、流体に横断面方向の二次流れを形成するものであって、流路（７）を有する流路部（２）と、流路部（２）に形成される複数の邪魔板（５）とを備える。流路（７）は、流路幅（ｗ）を流路高さ（ｈ）で除したアスペクト比（A_R）が３から１００までの範囲にある矩形の横断面を有する。流路（７）を構成する内壁は、流路高さ（ｈ）が規定される方向で互いに対向する第１壁としての上壁（３ａ）と第２壁としての底壁（４ｃ）とを含む。複数の邪魔板（５）は、それぞれ、第１壁に向かって突出するように第２壁に配置される棒状部である。邪魔板（５）の延伸方向は、第２壁と平行で、かつ、流路（７）の延伸方向に対して一定の傾斜角で傾いた方向である。

明　細　書

発明の名称 ：

二次流れ形成装置、固液分離装置及び固液分離システム

技術分野

[0001] 本開示は、二次流れ形成装置、固液分離装置及び固液分離システムに関する。

背景技術

[0002] 従来、工業や医学等の各種分野では、製造又は分析処理等において、流体中に分散している固体粒子を所望の条件で分離する技術が利用されている。代表的な固液分離技術としては、遠心分離、膜分離、沈降分離などが挙げられる。また、固液分離技術は、断面の大きさがｍｍ又はμｍのスケールで規定される微小流路を有するマイクロ流体デバイスにも応用されている。

[0003] 特許文献１は、微小流路に送液し、沈降により固液分離を行う送液装置に関する技術を開示している。この送液装置では、微小流路の内壁又は隔壁に、微小流路の断面の中央部において鉛直方向に対して上向きの流れを発生させるパターンが形成されている。このパターンは、固体粒子の沈降に伴って発生する置換流とは逆向きとなる流れを発生させることで、置換流を打ち消し、その結果、安定した沈降速度を得るのに寄与する。

[0004] 一方、固体粒子が流体及び流路の内壁から受ける揚力又は抗力により固体粒子を流路内の特定の位置に集中させるチューブラ・ピンチ効果（Tubular pinch effect）を応用した固液分離技術も知られている。例えば、横断面が円形状である流路では、チューブラ・ピンチ効果が発生すると、流路内にリング状の断面となる粒子集中領域が形成される。ところが、横断面が矩形状である流路では、流路のスパン方向での左右端部近傍でチューブラ・ピンチ効果が及ぶものの、スパン方向での中央では、チューブラ・ピンチ効果が及ばない領域が発生し得る。そこで、横断面が矩形状である流路において、横断面方向の二次流れを形成することで、チューブラ・ピンチ効果が及ぶ範囲を

広げることも考えられる。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特開２０１１－６７７８５号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] しかしながら、チューブラ・ピンチ効果を応用した固液分離技術において、流路の主流方向の長い距離に渡って安定的に二次流れを形成させることは容易ではない。例えば、外部動力を利用して二次流れを発生させようとすると、固液分離装置の構造又は操作が複雑化し得る。一方、外部動力を利用せずに、例えば、流路中に複数の支柱等の障害物を設け、障害物に起因した後流渦を二次流れとして利用することも考えられる。しかしながら、障害物の形状によっては、流路の閉塞率を高め、結果として、流路での圧力損失を高めることもあり得る。また、障害物として、例えば、特許文献１に開示されているパターンを応用したとしても、これらのパターンは、沈降により固液分離を行う送液装置に適用されるものである。したがって、チューブラ・ピンチ効果を応用した固液分離に際して、必ずしも所望の二次流れを生じさせるとは限らない。

[0007] そこで、本開示は、構造を単純化しつつ、安定的に二次流れを形成させる二次流れ形成装置、固液分離装置及び固液分離システムを提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0008] 本開示の一態様は、固体粒子が分散された流体を流路に流通させて、流体に横断面方向の二次流れを形成する二次流れ形成装置であって、流路を有する流路部と、流路部に形成される複数の邪魔板と、を備え、流路は、流路幅を流路高さで除したアスペクト比が３から１００までの範囲にある矩形の横断面を有し、流路を構成する内壁は、流路高さが規定される方向で互いに対

向する第１壁と第２壁とを含み、複数の邪魔板は、それぞれ、第１壁に向かって突出するように第２壁に配置される棒状部であり、邪魔板の延伸方向は、第２壁と平行で、かつ、流路の延伸方向に対して一定の傾斜角で傾いた方向である。

[0009] 上記の二次流れ形成装置では、邪魔板の高さは、流路高さの半分であってもよい。又は、邪魔板の高さは、流路高さの半分よりも低く、邪魔板の傾斜角をθとし、流路幅をｗとし、流路高さをｈとし、邪魔板の配列に係るピッチをP_iとし、邪魔板の設置数をｎとし、邪魔板の高さをh_Pとすると、任意の流路幅及び流路高さを有する流路に対して、以下の式（１）の条件を満たすように、ピッチ、邪魔板の設置数、及び、邪魔板の高さが設定されてもよい。

[0010] [数1]

$$\tan\theta > \frac{wh}{P_i n h_P} \qquad (1)$$

[0011] 又は、邪魔板の高さは、流路高さの半分よりも高く、邪魔板の傾斜角をθとし、流路幅をｗとし、流路高さをｈとし、邪魔板の配列に係るピッチをP_iとし、邪魔板の設置数をｎとし、邪魔板の高さをh_Pとすると、任意の流路幅及び流路高さを有する流路に対して、以下の式（２）の条件を満たすように、ピッチ、邪魔板の設置数、及び、邪魔板の高さが設定されてもよい。

[0012] [数2]

$$\tan\theta > \frac{wh}{P_i n (h - h_P)} \qquad (2)$$

[0013] また、邪魔板の幅をw_pとし、流路幅をｗとし、流路高さをｈとし、邪魔板の配列に係るピッチをP_iとし、任意の横断面における邪魔板の数をｍとし、邪魔板の高さをh_Pとすると、邪魔板の幅の上限値は、以下の式（３）条件を満たしてもよい。

[0014] [数3]

$$w_P h_P m < 0.5 w \times h \qquad (3)$$

[0015] また、邪魔板の傾斜角は、１°以上、４５°以下の範囲にあってもよい。邪魔板の延伸方向での長さをＬ$_P$とし、邪魔板の設置数をｎとし、流路高さをｈとすると、以下の式（４）条件を満たしてもよい。

[0016] [数4]

$$L_P \times n > 100 \times h \qquad (4)$$

[0017] また、流路を構成する内壁は、流路幅が規定される方向で互いに対向する第３壁と第４壁とを含み、流路幅の方向に沿った邪魔板の長さ成分は、流路幅よりも短く、邪魔板は、第３壁及び第４壁とは非接触であってもよい。更に、複数の邪魔板のうち最も下流側にある邪魔板の最後端と、当該最後端が最も近接する第３壁又は第４壁との間の距離は、流路幅をｗとすると、０．３５ｗ以上、０．６５ｗ以下の範囲にあってもよい。

[0018] また、本開示の他の態様は、固体粒子が分散された流体から固体粒子を分離させる固液分離装置であって、流体に横断面方向の二次流れを形成する二次流れ形成装置を備え、二次流れ形成装置は、上記の二次流れ形成装置であり、流体に二次流れを形成しつつ、流体から固体粒子を分離する。

[0019] 上記の固液分離装置は、二次流れ形成装置の流路の下流側と連通する少なくとも三つの導出路を有する流体導出部を備え、少なくとも三つの導出路は、流路幅が規定される方向で互いに分岐してもよい。また、流路幅が規定される方向での両端に位置する二つの導出路の各々の入口幅は、流路高さの２倍以上、流路幅の４５％以下の範囲にある寸法に設定されてもよい。

[0020] 更に、本開示の他の態様に係る固液分離システムは、固体粒子が分散された流体から固体粒子を分離させる固液分離装置と、流体を貯留する貯留槽と、貯留槽から固液分離装置に流体を送る送液部と、少なくとも、送液部の動作を制御することで流体の少なくとも流量又は速度を調整させる制御部と、を備え、固液分離装置は、上記の固液分離装置である。

発明の効果

[0021] 本開示によれば、構造を単純化しつつ、安定的に二次流れを形成させる二次流れ形成装置、固液分離装置及び固液分離システムを提供することができ

る。

図面の簡単な説明

[0022] [図1]図１は、一実施形態に係る二次流れ形成装置の構成を示す斜視図である。

[図2]図２は、図１のII－II断面に対応した、流路部の一部を切断した断面図である。

[図3]図３は、邪魔板の形状及び配置関係を説明するための概略図である。

[図4]図４は、複数の邪魔板を通過した流体中の固体粒子の挙動を示す流体画像である。

[図5]図５は、一実施形態に係る固液分離装置の構成を示す断面図である。

[図6A]図６Ａは、固液分離装置における流体導出部の第１例の形状を示す断面図である。

[図6B]図６Ｂは、固液分離装置における流体導出部の第２例の形状を示す断面図である。

[図7A]図７Ａは、一実施形態に係る細胞培養装置の構成を示す概略図である。

[図7B]図７Ｂは、一実施形態に係る析出装置の構成を示す概略図である。

発明を実施するための形態

[0023] 以下、いくつかの例示的な実施形態について図面を参照して説明する。ここで、各実施形態に示す寸法、材料、その他、具体的な数値等は例示にすぎず、特に断る場合を除き、本開示を限定するものではない。また、実質的に同一の機能及び構成を有する要素については、同一の符号を付することにより重複説明を省略し、本開示に直接関係のない要素については図示を省略する。

[0024] （二次流れ形成装置）

図１は、一実施形態に係る二次流れ形成装置１の構成を示す斜視図である。二次流れ形成装置１は、例えば、固体粒子が分散された流体から固体粒子を分離させる固液分離装置に用いられる。二次流れ形成装置１は、流路７を

流通している流体に横断面方向の二次流れを発生させつつ、チューブラ・ピンチ効果により、固体粒子を流路７内の特定の位置に集中させる。

[0025] 固体粒子が分散された流体とは、広義として、多数の固体粒子を包含する液体（粒子分散液）をいう。本実施形態において、固液分離とは、流体には様々な粒子径（粒子サイズ）の固体粒子が予め分散していることを前提として、基本的には、その中から特定の粒子径の固体粒子を分離することをいう。二次流れ形成装置１が流通対象又は分離対象とする固体粒子としては、例えば、粒子径が１μｍから１ｍｍまでの範囲にある微粒子が想定される。

[0026] 二次流れ形成装置１は、流体が導入されて流通する流路７を有するブロック体としての流路部２を備える。流路部２は、流路７の横断面がｍｍ又はμｍのスケールで規定されるようなマイクロ流体デバイスであってもよい。なお、図１では、流路７への流体の導入方向（ＩＮ）と、流路７からの流体の排出方向（ＯＵＴ）とが、白抜きの矢印で表記されている。

[0027] 流路７は、直線状に延伸する。ここで、直線状とは、流路７の延伸方向が、一方向の例である図中のＸ方向に沿っていることをいう。ただし、厳密に一直線であることには限定されず、以下で詳説する邪魔板５による流体への作用が所望のとおり得られるという限度の上で、若干の曲がりを許容する。

[0028] また、流路７の横断面は、矩形である。ここでいう矩形は、幾何学的に厳密に解釈される形状ではなく、辺自体での若干の曲がり、又は、辺同士の連続部分での若干の曲部の存在を許容する。流路７の延伸方向がＸ方向に沿っているとすると、流路７の横断面は、ＹＺ断面である。この場合、流路７の横断面での長辺は、Ｙ方向に沿っており、以下、流路幅ｗと定義する。一方、流路７の横断面での短辺は、Ｚ方向に沿っており、以下、流路高さｈと定義する。つまり、流路高さｈは、横断面上では流路幅ｗに対して垂直である。以下、Ｙ方向を流路幅方向と、Ｚ方向を流路高さ方向と、それぞれ表現する場合がある。また、以下、Ｚ方向は、鉛直方向と平行な方向であるものとし、このＺ方向に沿って、適宜「上」又は「下」と表現する場合がある。本実施形態では、流路幅ｗの寸法値は、流路高さｈの寸法値よりも大きく、具

体的には、流路幅ｗを流路高さｈで除したアスペクト比A_R（A_R＝ｗ／ｈ）は、３から１００までの範囲にある。

[0029] 流路部２は、例えば、第１平板３と第２平板４との二つの平板をＺ方向で重ね合わせることで形成される。下段の第２平板４は、第１平板３と対向する上面側に、溝部として、流路７の形状を規定する三つの内壁、すなわち、第１側壁４ａ、第２側壁４ｂ及び底壁４ｃを有する。第１側壁４ａと第２側壁４ｂとは、互いにＹ方向で対向し、横断面でのそれぞれの短辺側に相当する側壁である。一方、上段の第１平板３は、いわゆる蓋体であり、流路７を下面で覆うように第２平板４に接合される。第１平板３が第２平板４に接合されたとき、第１平板３において、第２平板４の底壁４ｃと対向する壁部が、流路７の形状を規定する残りの一つの内壁としての上壁３ａである。上壁３ａと底壁４ｃとは、互いにＺ方向で対向し、横断面でのそれぞれの長辺側に相当する側壁である。なお、図１では、流路７の形状を全体的に明示させるために、第１平板３が二点鎖線で描画されている。

[0030] また、二次流れ形成装置１は、流路部２に複数の邪魔板５を有する。本実施形態における邪魔板５は、第２平板４の底壁４ｃから第１平板３の下面に向けて突出する突出部である。邪魔板５の上面は、第１平板３とは接触しない。複数の邪魔板５は、互いに同一形状で、以下で詳説するような一定の規則性をもって流路７内に配置される。図１では、第１板５ａ、第２板５ｂ、第３板５ｃ、第４板５ｄ、第５板５ｅ及び第６板５ｆで表される六つの邪魔板５が例示されている。なお、図１では、二次流れ形成装置１の入口又は出口と交差する邪魔板５は、描画上の例示として、当該交差位置又はその近傍から二次流れ形成装置１の外方に向かう一部位が存在しない形状で表されている。

[0031] 図２は、図１中のII－II断面に対応し、流路７の延伸方向であるＸ方向に対して垂直な面で二次流れ形成装置１の一部を切断した断面図である。図２では、流路７内を流通する流体の当該切断面における流れの様子がベクトルで例示されている。図３は、複数の邪魔板５をＺ方向に沿って見た、邪魔板

５の形状及び複数の邪魔板５の配置関係を説明するための概略図である。図３は、流路部２の一部が任意のＸＹ平面で切断された一部断面図として表現されている。

[0032] 邪魔板５は、ＸＹ平面に沿った底壁４ｃと平行で、かつ、Ｘ方向に対して傾斜角θで傾いた方向を延伸方向とする棒状部である。ただし、各々の邪魔板５の両先端部は、ＸＺ平面に沿って切り欠かれていてもよい。邪魔板５の延伸方向での長さを邪魔板長さL_Pとすると、流路幅ｗが規定される方向（以下「流路幅方向」という。）であるＹ方向での邪魔板５の長さ成分L_Yは、$L_P sin\theta$で表され、流路幅ｗよりも短い。また、邪魔板５は、第１側壁４ａ及び第２側壁４ｂのいずれとも非接触である。流路７では、このような形状を有するｎ個の邪魔板５が、ピッチP_iの等間隔で、Ｘ方向に沿って配列されている。

[0033] 邪魔板５の延伸方向に対して垂直となる断面の形状は、おおよそ矩形である。以下、邪魔板５の断面に関して、邪魔板５の高さを邪魔板高さh_Pと、邪魔板５の幅を邪魔板幅w_pと、それぞれ表記する。

[0034] 邪魔板高さh_Pは、例えば、流路７の流路高さｈを基準として、以下のように設定される。まず、流路７を流通する流体に関する流速を、次のように規定する。V_0は、流路７の延伸方向であるＸ方向に沿って流路７に導入される流体の主流流速である。V_1は、邪魔板５の延伸方向に沿った方向での第１流速である。V_2は、流路幅方向であるＹ方向での第２流速であり、主流速度V_0を用いて、式（５）で表される。

[0035] [数5]

$$V_2 = V_0 \tan\theta \qquad (5)$$

[0036] また、複数の邪魔板５が設けられている区間を流体の主流が通過する時間ｔは、式（６）で表される。

[0037] [数6]

$$t = \frac{p_i n}{V_0} \qquad (6)$$

[0038] 更に、流体中に分散されている固体粒子を少なくとも第１側壁４ａ又は第２側壁４ｂの近傍に捕捉させるためには、複数の邪魔板５が設けられている区間を流体の主流が通過する間に、流路幅方向の流れが流路７の横断面を少なくとも一周する必要がある。したがって、式（７）が成り立つ。

[0039] [数7]

$$V_2 t > 2w \qquad (7)$$

[0040] ここで、第一に、邪魔板高さｈ$_P$が、流路高さｈの半分の高さ、すなわち、０．５ｈであるとき、複数の邪魔板５は、最も効率的に二次流れを生成することができる。

[0041] 第二に、邪魔板高さｈ$_P$が０．５ｈよりも低いときには、二次流れの流量が少なくなる。したがって、邪魔板高さｈ$_P$が低くなるに従って二次流れの流量が比例的に少なくなることを想定して、流路幅方向の流れが流路７の横断面を少なくとも一周するという上記の条件は、少なくとも（０．５ｈ／ｈ$_P$）周するという条件に変更されてもよい。この場合、式（７）は、式（８）に修正される。

[0042] [数8]

$$V_2 t > 2w \times \frac{0.5h}{h_P} \qquad (8)$$

[0043] 式（８）に式（５）及び式（６）を代入して整理すると、既出の式（１）が導かれる。

[0044] [数9]

$$\tan\theta > \frac{wh}{P_i n h_P} \qquad (1)$$

[0045] したがって、邪魔板高さｈ$_P$が０．５ｈよりも低いときには、任意の流路幅ｗ及び流路高さｈを有する流路７に対して、式（１）の条件を満たすように、邪魔板５の配列に係るピッチＰ$_i$、邪魔板５の設置数ｎ及び邪魔板高さｈ$_P$が設定されればよい。

[0046] 第三に、邪魔板高さｈ$_P$が０．５ｈよりも高いときも、二次流れの流量が少

なくなる。したがって、邪魔板高さｈ$_P$が高くなるに従って二次流れの流量が比例的に少なくなることを想定して、流路幅方向の流れが流路７の横断面を少なくとも一周するという上記の条件は、少なくとも（０．５ｈ／（ｈ－ｈ$_P$））周するという条件に変更されてもよい。この場合、式（７）は、式（９）に修正される。

[0047] [数10]

$$V_2 t > 2w \times \frac{0.5h}{h - h_P} \qquad (9)$$

[0048] 式（９）に式（５）及び式（６）を代入して整理すると、既出の式（２）が導かれる。

[0049] [数11]

$$\tan\theta > \frac{wh}{P_i n(h - h_P)} \qquad (2)$$

[0050] したがって、邪魔板高さｈ$_P$が０．５ｈよりも高いときには、任意の流路幅ｗ及び流路高さｈを有する流路７に対して、式（２）の条件を満たすように、邪魔板５の配列に係るピッチＰ$_i$、邪魔板５の設置数ｎ及び邪魔板高さｈ$_P$が設定されればよい。

[0051] つまり、複数の邪魔板５が採用される場合の邪魔板高さｈ$_P$の上限値は、式（２）に基づいて規定され、邪魔板高さｈ$_P$の下限値は、式（１）に基づいて規定され得る。

[0052] また、邪魔板幅ｗ$_p$は、例えば、流路７内での圧力損失を低減させるためには流路７の横断面の閉塞率を０．５以下とすることが望ましいという条件に基づいて、以下のように設定される。邪魔板５が存在しないと仮定した場合の流路７の横断面は、（流路幅ｗ×流路高さｈ）で表される。そこで、ある横断面における邪魔板５の数をｍ個とすると、閉塞率が０．５以下であるという条件を満たすためには、邪魔板幅ｗ$_p$の上限値を、既出の式（３）を満たすように設定すればよい。一方、邪魔板幅ｗ$_p$の下限値は、可能な限り小さく設定されることが望ましい。

[0053]

[数12]

$$w_p h_p m < 0.5w \times h \qquad (3)$$

[0054] 更に、邪魔板５の傾斜角θは、式（１）及び式（２）に基づいた上限値及び下限値で規定される範囲を決定し、当該範囲に含まれる値に設定されてもよい。ただし、傾斜角θが大きすぎる場合、流れの剥離が起こり、二次流れが意図しないものとなることも考えられる。一方、傾斜角θは、同様に流れの剥離を抑える観点では、極力小さい方が望ましいが、小さすぎる場合、ｔａｎθの値が小さくなり、その結果、式（１）等で参照する邪魔板５の配列に係るピッチＰ$_i$又は邪魔板５の設置数ｎを大きく設定する必要が生じ得る。これは、流路７内での圧力損失上昇の観点から望ましくないので、傾斜角θは少なくとも１°以上であることが望ましい。そこで、傾斜角θは、１°以上、４５°以下の範囲にあることが望ましく、更には、１°以上、３０°以下であることがより望ましい。

[0055] 二次流れ形成装置１が複数の邪魔板５を採用することで、図２に示す流路７内での各位置におけるベクトルの向く方向から明らかなように、流路７を流通する流体には、横断面方向での二次流れが生じていることがわかる。比較例として、複数の邪魔板５に代えて、複数の円柱を採用する場合、二次流れは、円柱の直後では強く生じるものの、下流側に向かうにつれて徐々に減衰する。これに対して、複数の邪魔板５を採用する場合には、二次流れが減衰しにくい。

[0056] 図４は、流路７を通過した流体中の固体粒子ｐの挙動を示す流体画像である。なお、流路７を通過している間の流体中の固体粒子の挙動についても、図４に示す挙動と類似したものとなり得る。図４に示す流体画像は、流路７の一部を流通する流体をＺ方向に沿って撮影することで得られたものである。ここで、複数の邪魔板５は、Ｘ方向に沿って流路７の上流側から下流側に向けて配置されている。なお、図４では、流体画像が取得された流路７中の位置に対する邪魔板５の概略位置が、流体画像に隣接して二点鎖線で示されている。

[0057] 図４に示すように、固体粒子ｐが分散されている流体が流路７を流通することで、固体粒子ｐは、少なくとも、第１側壁４ａ又は第２側壁４ｂの近傍に捕捉されることがわかる。一例として、図４に示す流体画像が得られたとき、流路７の入口領域R_{IN}での粒子濃度は、０．５５ｖｏｌ％であった。これに対して、流路７の出口側において、固体粒子ｐが集まってきた高濃度領域R_Hでの粒子濃度は、１．３３ｖｏｌ％であった。一方、流路７の出口側において、固体粒子ｐが少ない低濃度領域R_Lでの粒子濃度は、０．１１ｖｏｌ％であった。

[0058] 一方、二次流れ形成装置１は、複数の邪魔板５を採用することで、固体粒子ｐを、第１側壁４ａ又は第２側壁４ｂの近傍のみならず、図４に示すように流路７の流路幅方向の中央領域にも捕捉させることができる。

[0059] ここで、流路７の流路幅方向の中央領域に固体粒子ｐを捕捉させる条件として、邪魔板長さL_Pに着目する。このように中央領域に固体粒子ｐを捕捉させるためには、複数の邪魔板５による作用としてチューブラ・ピンチ効果を生じさせる必要があり、つまり、固体粒子ｐが邪魔板５に沿って、ある程度の距離を流れる必要がある。そして、この距離は、少なくとも、流路高さｈの１００倍以上となる必要がある。そこで、邪魔板長さL_P、邪魔板の設置数ｎ、及び、流路高さｈを用いた既出の式（４）の条件が満たされればよい。

[0060] [数13]

$$L_P \times n > 100 \times h \qquad (4)$$

[0061] 更に、流路７の流路幅方向の中央領域に固体粒子ｐを捕捉させる条件として、複数の邪魔板５のうち最も下流側にある邪魔板５の最後端の位置に着目する。図２を参照すると、複数の邪魔板５のうち最も下流側にある邪魔板５は、第６板５ｆに相当する。複数の邪魔板５によって流路７の流路幅方向の中央領域に捕捉した固体粒子ｐを、その状態のまま流路７の下流にまで導くためには、最も下流側にある邪魔板５の最後端が可能な限り流路７の流路幅方向の中央に近い位置にあることが望ましい。そこで、複数の邪魔板５のうち最も下流側にある邪魔板５の最後端と、当該最後端が最も近接する第１側

壁４ａ又は第２側壁４ｂとの間の距離ｅは、流路幅をｗとすると、０．３５ｗ以上、０．６５ｗ以下の範囲にあることが望ましい。図３を参照すると、距離ｅは、第６板５ｆに相当し得る邪魔板５の最後端と、第１側壁４ａとの間の距離に相当する。

[0062] 次に、二次流れ形成装置１の効果について説明する。

[0063] 二次流れ形成装置１は、固体粒子ｐが分散された流体を流路７に流通させて、流体に横断面方向の二次流れを形成するものであって、流路７を有する流路部２と、流路部２に形成される複数の邪魔板５とを備える。流路７は、流路幅ｗを流路高さｈで除したアスペクト比A_Rが３から１００までの範囲にある矩形の横断面を有する。流路７を構成する内壁は、流路高さｈが規定される方向で互いに対向する第１壁と第２壁とを含む。複数の邪魔板５は、それぞれ、第１壁に向かって突出するように第２壁に配置される棒状部である。各々の邪魔板５の延伸方向は、第２壁と平行で、かつ、流路７の延伸方向に対して一定の傾斜角で傾いた方向である。

[0064] ここで、上記例示では、第１壁は、流路部２の一部を構成する第１平板３の上壁３ａに相当し、第２壁は、流路部２の他の一部を構成する第２平板４の底壁４ｃに相当する。

[0065] まず、二次流れ形成装置１では、流路７が、アスペクト比A_Rが３から１００までの範囲にある矩形の横断面を有するものとして規定される。これにより、流路７内を流通する流体に対してチューブラ・ピンチ効果を生じさせ、流体中に分散されている固体粒子ｐを、少なくとも、流路幅方向で互いに対向する内壁である第１側壁４ａ又は第２側壁４ｂの近傍に捕捉させることができる。

[0066] また、二次流れ形成装置１では、複数の邪魔板５が設けられるので、流路７を流通する流体に二次流れを形成させることができる。このような二次流れが生じることにより、流体に分散されている固体粒子ｐは、二次流れに誘起された抗力を受けるので、例えば、単に流体の主流が誘起する揚力のみで固体粒子ｐを分離させる場合よりも、分離効率を向上させることができる。

そして、特に上記のように規定された複数の邪魔板５の形状及び配置によれば、流路７の閉塞率の増加を抑え、結果として流路７での圧力損失を抑えることができるので、流路７の主流方向の長い距離に渡って安定的に二次流れを形成させることができる。

[0067] 更に、複数の邪魔板５は、外部動力を利用しない、いわゆるパッシブ型の二次流れ形成機構と位置付けられるので、二次流れ形成装置１全体としても単純な構造となり得る。

[0068] 以上のように、本実施形態によれば、構造を単純化しつつ、安定的に二次流れを形成させる二次流れ形成装置１を提供することができる。

[0069] また、二次流れ形成装置１では、邪魔板５の高さh_Pは、流路高さｈの半分であってもよい。

[0070] この二次流れ形成装置１によれば、流路７での圧力損失を抑える観点から、複数の邪魔板５が最も効率的に二次流れを生成することができる。

[0071] また、二次流れ形成装置１では、邪魔板５の高さh_Pは、流路高さｈの半分よりも低くてもよい。ここで、邪魔板５の傾斜角をθとし、流路幅をｗとし、流路高さをｈとし、邪魔板５の配列に係るピッチをP_iとし、邪魔板５の設置数をｎとし、邪魔板５の高さをh_Pとする。この場合、任意の流路幅ｗ及び流路高さｈを有する流路７に対して、上記の式（１）の条件を満たすように、ピッチP_i、邪魔板５の設置数ｎ、及び、邪魔板５の高さh_Pが設定されてもよい。

[0072] 上記のとおり、邪魔板の高さh_Pが０．５ｈよりも低いときには、二次流れの流量が少なくなる。この二次流れ形成装置１によれば、邪魔板高さh_Pが低くなるに従って二次流れの流量が比例的に少なくなることを予め想定して各部の寸法を設定することができるので、二次流れの生成効率の低下を抑えることができる。

[0073] また、二次流れ形成装置１では、邪魔板５の高さh_Pは、流路高さｈの半分よりも高くてもよい。ここで、邪魔板５の傾斜角をθとし、流路幅をｗとし、流路高さをｈとし、邪魔板５の配列に係るピッチをP_iとし、邪魔板５の設

置数をｎとし、邪魔板５の高さをh_Pとする。この場合、任意の流路幅ｗ及び流路高さｈを有する流路７に対して、上記の式（２）の条件を満たすように、ピッチP_i、邪魔板５の設置数ｎ、及び、邪魔板５の高さh_Pが設定されてもよい。

[0074] 上記のとおり、邪魔板の高さh_Pが０．５ｈよりも高いときにも、二次流れの流量が少なくなる。この二次流れ形成装置１によれば、邪魔板高さh_Pが高くなるに従って二次流れの流量が比例的に少なくなることを予め想定して各部の寸法を設定することができるので、二次流れの生成効率の低下を抑えることができる。

[0075] また、邪魔板５の幅をw_pとし、流路幅をｗとし、流路高さをｈとし、邪魔板５の配列に係るピッチをP_iとし、任意の横断面における邪魔板５の数をｍとし、邪魔板５の高さをh_Pとする。この場合、二次流れ形成装置１では、邪魔板５の幅w_pの上限値は、上記の式（３）の条件を満たしてもよい。

[0076] この二次流れ形成装置１によれば、閉塞率が０．５以下であるという条件を満たすことができるので、結果として、流路７内での圧力損失をより低減させることができる。

[0077] また、二次流れ形成装置１では、邪魔板５の傾斜角θは、１°以上、４５°以下の範囲にあってもよい。

[0078] この二次流れ形成装置１によれば、流路７内での流れの剥離を抑え、ひいては、流路７内での圧力損失の上昇を抑えることができる。

[0079] また、二次流れ形成装置１では、邪魔板５の延伸方向での長さをL_Pとし、邪魔板５の設置数をｎとし、流路高さをｈとすると、上記の式（４）の条件を満たしてもよい。

[0080] この二次流れ形成装置１によれば、流体中に分散されている固体粒子ｐを、流路幅方向で互いに対向する内壁である第１側壁４ａ又は第２側壁４ｂの近傍に捕捉させるだけでなく、流路７の流路幅方向の中央領域に捕捉させることができる。

[0081] また、流路７を構成する内壁は、流路幅ｗが規定される方向で互いに対向

する第３壁と第４壁とを含む。この場合、二次流れ形成装置１では、流路幅ｗの方向に沿った邪魔板５の長さ成分L_Yは、流路幅ｗよりも短く、邪魔板５は、第３壁及び第４壁とは非接触であってもよい。

[0082] ここで、上記例示では、第３壁は、流路部２の一部を構成する第２平板４の第１側壁４ａに相当し、第４壁は、第２平板４の第２側壁４ｂに相当する。

[0083] この二次流れ形成装置１によれば、流路幅方向の流れが流路７の横断面で周回しやすくなるため、流路７の主流方向の長い距離に渡って、より安定的に二次流れを形成させることができる。

[0084] また、二次流れ形成装置１では、複数の邪魔板５のうち最も下流側にある邪魔板５の最後端と、当該最後端が最も近接する第３壁又は第４壁との間の距離ｅは、流路幅をｗとすると、０．３５ｗ以上、０．６５ｗ以下の範囲にあってもよい。

[0085] この二次流れ形成装置１によれば、流体中に分散されている固体粒子ｐを、流路幅方向で互いに対向する内壁である第１側壁４ａ又は第２側壁４ｂの近傍に捕捉させるだけでなく、流路７の流路幅方向の中央領域に捕捉させることができる。

[0086] なお、上記の例では、複数の邪魔板５が、第２平板４の底壁４ｃに設けられ、底壁４ｃから第１平板３の上壁３ａに向けて突出する。つまり、第１壁が上壁３ａに相当し、第２壁が底壁４ｃに相当する。これに対して、複数の邪魔板５は、上壁３ａに設けられ、上壁３ａから底壁４ｃに向けて突出するものであってもよい。つまり、第１壁が底壁４ｃに相当し、第２壁が上壁３ａに相当してもよい。又は、複数の邪魔板５は、上壁３ａと底壁４ｃとの双方に、互いに非接触で対向するように設けられるものであってもよい。

[0087] また、上記の例では、流路７の延伸方向の全体に渡って、複数の邪魔板５が一つの値のピッチP_iで配列されている。これに対して、複数の邪魔板５は、流路７の延伸方向の全体に渡って、複数の値のピッチP_iで配列される、すなわち、途中でピッチP_iの値が変更されて配列されるものであってもよい。

ただし、ピッチP_iの値が小さすぎる場合、粘性抵抗が大きくなるため、ピッチP_iの値は、流路高さｈよりも大きく設定されることが望ましい。

[0088] また、上記の例では、複数の邪魔板５が、流路７の流路幅ｗの中央部に設けられている。つまり、流路幅方向において、邪魔板５から第１側壁４ａまでの距離と、邪魔板５から第２側壁４ｂまでの距離とは、同一である。これに対して、複数の邪魔板５は、流路幅方向において、第２側壁４ｂの側よりも第１側壁４ａの側に寄るように設けられてもよいし、反対に、第１側壁４ａの側よりも第２側壁４ｂの側に寄るように設けられてもよい。

[0089] 更に、上記の例では、流路部２が第１平板３と第２平板４との二つの平板の組み合わせで構成される場合を例示した。これに対して、例えば、三次元金属積層造形技術を利用することで、流路部２が一体的に形成されてもよい。流路部２がこのように造形されることで、流路部２ひいては二次流れ形成装置１を低コストで大量生産することができる。

[0090] （固液分離装置）

次に、二次流れ形成装置１を用いた固液分離装置について説明する。

[0091] 図５は、一実施形態に係る固液分離装置１０の構成を示す概略断面図である。図５では、固液分離装置１０の全体構成が、二次流れ形成装置１に関する説明で用いられた図３の断面図に合わせて描画されている。

[0092] 固液分離装置１０は、固体粒子が分散された流体から所望の基準で固体粒子を分離し、当該基準で振り分けられた固体粒子を含む各々の流体を外部に導出する。ここでいう基準は、例えば、固体粒子の粒子径である。固液分離装置１０は、上記説明した二次流れ形成装置１と、流体導入部１１と、流体導出部１２とを備える。

[0093] 流体導入部１１は、二次流れ形成装置１の上流側に接続され、流体の導入方向（図１中の「ＩＮ」）に合わせて流路７へ流体を導入させる。流体導入部１１は、例えば、二次流れ形成装置１の上流側の形状に合わせて、流路１１ａを有するブロック体である。なお、流体導入部１１は、図５に示すように、二次流れ形成装置１と予め一体化された部分であってもよい。又は、流

体導入部１１は、二次流れ形成装置１とは別体として製造され、その後、二次流れ形成装置１に接続されるものであってもよい。

[0094] 流路１１ａは、流体の導入側となる第１導入口１１ｂと、流体の導出側となる第１導出口１１ｃとを有する。第１導入口１１ｂは、流体を流体導入部１１に供給する不図示の供給機構と連通する。第１導入口１１ｂの設置数は、本実施形態では一つであるが、これに限定されず、複数の供給機構から個別に流体を同一の流路１１ａに導入させるように、複数存在してもよい。すなわち、流体導入部１１では、第１導入口１１ｂは、少なくとも一つある。一方、第１導出口１１ｃは、二次流れ形成装置１の流路７における流体の導入側となる第２導入口８ａと連通する。すなわち、流路１１ａのうち、少なくとも、第２導入口８ａに接続される第１導出口１１ｃでの横断面は、二次流れ形成装置１の流路７の横断面と同一形状である。

[0095] 流体導出部１２は、二次流れ形成装置１の下流側に接続され、流体の排出方向（図１中の「ＯＵＴ」）に合わせて流路７から流体を導入した後、複数に振り分けて外部に導出する。流体導出部１２は、例えば、二次流れ形成装置１の下流側の形状に合わせつつ、少なくとも三つの導出路を有するブロック体である。なお、流体導出部１２は、図５に示すように、二次流れ形成装置１と予め一体化された部分であってもよい。又は、流体導出部１２は、二次流れ形成装置１とは別体として製造され、その後、二次流れ形成装置１に接続されるものであってもよい。

[0096] 流体導出部１２において、少なくとも三つの導出路は、二次流れ形成装置１の流路７で振り分けられた固体粒子を含む各々の流体ごとに予め設定される。ここで、二次流れ形成装置１では、流体中に分散されている固体粒子ｐが、流路７の流路幅方向で互いに対向する内壁である第１側壁４ａ又は第２側壁４ｂの近傍に捕捉されるとともに、流路幅方向の中央領域にも捕捉され得る場合を例示した。そこで、流体導出部１２では、流路７における流体の導出側となる第２導出口８ｂと連通する第３導入口１２ｄから、流路幅方向に、少なくとも三つの導出路に分岐する。図５の例示では、流体導出部１２

は、第１導出路１２ａ、第２導出路１２ｂ及び第３導出路１２ｃの三つの導出路を有する。

[0097] 図６Ａは、図５に示す固液分離装置１０の断面図から一部抽出した流体導出部１２の拡大断面図である。以下、第１導出路１２ａ、第２導出路１２ｂ及び第３導出路１２ｃの横断面の形状は、それぞれ矩形であるものとし、各部の開口の形状に関して、Ｙ方向に沿った長さを「開口幅」と表記し、Ｚ方向に沿った長さを「開口高さ」と表記する。

[0098] 第１導出路１２ａは、二次流れ形成装置１の流路７において第１側壁４ａの近傍に捕捉された固体粒子を含む流体を流通させることを想定した流路である。第１導出路１２ａの流体の導入側の開口は、第１分岐口１２ｈであり、第３導入口１２ｄに面する。第１導出路１２ａの流体の導出側の開口は、第１排出口１２ｅである。

[0099] 第２導出路１２ｂは、二次流れ形成装置１の流路７において第２側壁４ｂの近傍に捕捉された固体粒子を含む流体を流通させることを想定した流路である。第２導出路１２ｂの流体の導入側の開口は、第２分岐口１２ｉであり、第３導入口１２ｄに面する。第２導出路１２ｂの流体の導出側の開口は、第３排出口１２ｇである。

[0100] 第３導出路１２ｃは、二次流れ形成装置１の流路７において流路幅方向の中央領域が、図４において低濃度領域R_Lとして示されているような領域である場合には、固体粒子ｐの含有量が少ない流体を流通させることを想定した流路である。又は、第３導出路１２ｃは、流路７において流路幅方向の中央領域が、図４において高濃度領域R_Hとして示されているような領域である場合には、捕捉された固体粒子を含む流体を流通させることを想定した流路である。第３導出路１２ｃの流体の導入側の開口は、第３分岐口１２ｊであり、第３導入口１２ｄに面する。第３導出路１２ｃの流体の導出側の開口は、第２排出口１２ｆである。

[0101] 流体導出部１２において、第３導入口１２ｄ全体の横断面は、二次流れ形成装置１の流路７の横断面と同一形状である。第３導入口１２ｄでは、第１

分岐口１２ｈ、第２分岐口１２ｉ及び第３分岐口１２ｊは、流路幅方向に対応する図中のＹ方向に沿って、第１分岐口１２ｈ、第３分岐口１２ｊ及び第２分岐口１２ｉの順に並ぶ。図６Ａでは、第３導入口１２ｄにおける開口幅（以下「入口幅」と表記する。）について、第１分岐口１２ｈと第２分岐口１２ｉとの入口幅ｗ１は、互いに同一で、かつ、第３分岐口１２ｊの入口幅よりも大きい場合を例示している。ただし、第１導出路１２ａ、第２導出路１２ｂ及び第３導出路１２ｃの各々の開口高さは、全体として、流路７の流路高さｈと同一である。一方、第１排出口１２ｅ、第２排出口１２ｆ及び第３排出口１２ｇも、Ｙ方向に沿って、当該順に並ぶ。図６Ａでは、第１排出口１２ｅ、第２排出口１２ｆ及び第３排出口１２ｇの各々の開口幅及び開口高さが互いに同一となる場合を例示している。

[0102] ここで、固液分離装置１０は、第１例としての流体導出部１２に代えて、四つの導出路を有する第２例としての流体導出部２２を備えるものとしてもよい。

[0103] 図６Ｂは、図６Ａに対応して描画された、流体導出部２２の拡大断面図である。流体導出部２２は、第１導出路２２ａ、第２導出路２２ｂ、第３導出路２２ｃ及び第４導出路２２ｄの四つの導出路を有する。

[0104] 第１導出路２２ａは、二次流れ形成装置１の流路７において第１側壁４ａの近傍に捕捉された固体粒子を含む流体を流通させることを想定した流路である。第１導出路２２ａの流体の導入側の開口は、第１分岐口２２ｊであり、第３導入口２２ｅに面する。第１導出路２２ａの流体の導出側の開口は、第１排出口２２ｆである。

[0105] 第２導出路２２ｂは、二次流れ形成装置１の流路７において流路幅方向の中央領域に捕捉された固体粒子を含む流体を流通させることを想定した流路であってもよい。又は、第２導出路２２ｂは、低濃度領域R_Lにある、固体粒子ｐの含有量が少ない流体を流通させることを想定した流路であってもよい。第２導出路２２ｂの流体の導入側の開口は、第２分岐口２２ｍであり、第３導入口２２ｅに面する。第２導出路２２ｂの流体の導出側の開口は、第２

排出口２２ｇである。

[0106] 第３導出路２２ｃは、第２導出路２２ｂと同様に想定された流路である。第３導出路２２ｃの流体の導入側の開口は、第３分岐口２２ｎであり、第３導入口２２ｅに面する。第３導出路２２ｃの流体の導出側の開口は、第３排出口２２ｈである。

[0107] 第４導出路２２ｄは、二次流れ形成装置１の流路７において第２側壁４ｂの近傍に捕捉された固体粒子を含む流体を流通させることを想定した流路である。第４導出路２２ｄの流体の導入側の開口は、第４分岐口２２ｋであり、第３導入口２２ｅに面する。第４導出路２２ｄの流体の導出側の開口は、第４排出口２２ｉである。

[0108] 流体導出部２２において、第３導入口２２ｅ全体の横断面は、二次流れ形成装置１の流路７の横断面と同一形状である。第３導入口２２ｅでは、第１分岐口２２ｊ、第２分岐口２２ｍ、第３分岐口２２ｎ及び第４分岐口２２ｋは、流路幅方向に対応する図中のＹ方向に沿って、当該順に並ぶ。図６Ｂでは、第３導入口２２ｅにおける第１分岐口２２ｊと第４分岐口２２ｋとの入口幅ｗ２は、互いに同一で、かつ、第２分岐口２２ｍ及び第３分岐口２２ｎの入口幅よりも大きい場合を例示している。ただし、第１導出路２２ａ、第２導出路２２ｂ、第３導出路２２ｃ及び第４導出路２２ｄの各々の開口高さは、全体として、流路７の流路高さｈと同一である。一方、第１排出口２２ｆ、第２排出口２２ｇ、第３排出口２２ｈ及び第４排出口２２ｉも、Ｙ方向に沿って、当該順に並ぶ。図６Ｂでは、第１排出口２２ｆ、第２排出口２２ｇ、第３排出口２２ｈ及び第４排出口２２ｉの各々の開口幅及び開口高さが互いに同一となる場合を例示している。

[0109] 図６Ｂに示すような流体導出部２２によれば、導出路を四つ備えることで、第３導入口２２ｅでの横断面の各位置に合わせて、所望の基準ごとに振り分けられた固体粒子を含む各々の流体を、より厳密に分岐させて導出することができる。

[0110] また、固液分離装置１０は、二次流れ形成装置１と流体導出部１２との間

に、中間流路部１３を備えてもよい。中間流路部１３は、二次流れ形成装置１の流路部２の形状に合わせて設けられたブロック体である。ただし、中間流路部１３には、流路部２が有する邪魔板５のような部位は設けられていない。なお、中間流路部１３は、図５に示すように、二次流れ形成装置１と予め一体化された部分であってもよい。又は、中間流路部１３は、二次流れ形成装置１とは別体として製造され、その後、二次流れ形成装置１に接続されるものであってもよい。

[0111] 中間流路部１３は、横断面が二次流れ形成装置１の流路７の横断面と同一である流路１３ａを有する。流路１３ａは、流体の導入側となる第４導入口１３ｂと、流体の導出側となる第４導出口１３ｃとを有する。固液分離装置１０が中間流路部１３を備える場合、第４導入口１３ｂは、二次流れ形成装置１側の第２導出口８ｂと連通し、第４導出口１３ｃは、流体導出部１２側の第３導入口１２ｄと連通する。すなわち、二次流れ形成装置１側の第２導出口８ｂと、流体導出部１２側の第３導入口１２ｄとは、中間流路部１３の流路１３ａを介して連通することになる。

[0112] 固液分離装置１０は、中間流路部１３を備えることで、二次流れ形成装置１の流路７を通過した流体に対して、引き続き中間流路部１３の流路１３ａにおいてもチューブラ・ピンチ効果を生じさせることができる。これにより、二次流れ形成装置１単体を用いる場合よりも分離効率を向上させることができる可能性がある。

[0113] 次に、固液分離装置１０の効果について説明する。

[0114] 固液分離装置１０は、固体粒子が分散された流体から固体粒子を分離させるものであって、流体に横断面方向の二次流れを形成する二次流れ形成装置を備える。二次流れ形成装置は、上記の二次流れ形成装置１であり、流体に二次流れを形成しつつ、流体から固体粒子を分離する。

[0115] この固液分離装置１０によれば、上記の二次流れ形成装置１を備えるので、構造を単純化しつつ、安定的に二次流れを形成させることができ、ひいては、チューブラ・ピンチ効果が及ぶ範囲を広げることで分離効率を向上させ

ることができる。

[0116] また、固液分離装置１０は、二次流れ形成装置１の流路７の下流側と連通する少なくとも三つの導出路を有する流体導出部を備えてもよい。少なくとも三つの導出路は、流路幅ｗが規定される方向で互いに分岐してもよい。

[0117] ここで、流体導出部が、図６Ａに例示した流体導出部１２である場合には、少なくとも三つの導出路は、第１導出路１２ａ、第２導出路１２ｂ及び第３導出路１２ｃに相当する。又は、流体導出部が、図６Ｂに例示した流体導出部２２である場合には、少なくとも三つの導出路は、第１導出路２２ａ、第２導出路２２ｂ、第３導出路２２ｃ及び第４導出路２２ｄに相当する。

[0118] この固液分離装置１０によれば、流体導出部１２等は、二次流れ形成装置１の流路７において流路幅方向で固体粒子が捕捉される各位置に合わせて、所望の基準で分離された固体粒子を含む各々の流体を所望の導出路に導入させることができる。

[0119] また、固液分離装置１０では、流路幅ｗが規定される方向での両端に位置する二つの導出路の各々の入口幅は、流路高さｈの２倍以上、流路幅ｗの４５％以下の範囲にある寸法に設定されてもよい。

[0120] ここでいう入口幅は、図６Ａの例示によれば、第１分岐口１２ｈ及び第２分岐口１２ｉの各々の入口幅ｗ１に相当し、図６Ｂの例示によれば、第１分岐口２２ｊ及び第４分岐口２２ｋの各々の入口幅ｗ２に相当する。

[0121] この固液分離装置１０によれば、二次流れ形成装置１の流路７を流通してきた流体のうち、高濃度領域R_Hを含む流体と、低濃度領域R_Lを含む流体とを、より効率的に分岐させ、導出させることができる。

[0122] なお、流体導入部１１、流体導出部１２又は中間流路部１３は、二次流れ形成装置１の流路部２と同様に、それぞれ、二つの平板の組み合わせで構成されてもよい。一方、例えば、三次元金属積層造形技術を利用することで、二次流れ形成装置１、流体導入部１１、流体導出部１２及び中間流路部１３を含む固液分離装置１０が一体的に形成されてもよい。固液分離装置１０がこのように造形されることで、固液分離装置１０を低コストで大量生産する

ことができる。

[0123] （固液分離システム）

次に、固液分離装置１０を用いた固液分離システムについて説明する。

[0124] 図７Ａ及び図７Ｂは、上記の固液分離装置１０を備える固液分離システムの構成例を示す概略図である。

[0125] 図７Ａは、本実施形態に係る固液分離システムの一例としての細胞培養装置（動物細胞連続培養装置）１００を示す図である。細胞培養装置１００では、固体粒子が分散されている流体として培養液が想定されている。細胞培養装置１００は、培地を貯留する貯留槽としての培養槽１０２と、培養液を培養槽１０２から固液分離装置１０に送る送液部としてのポンプ１０６ａとを備える。培地は、第１供給バルブ１０４ａを備える培地追加配管１０４を介して培養槽１０２に供給される。培養槽１０２は、撹拌器１０２ａを備え、培地を培養する。培養槽１０２内の培養液は、ポンプ１０６ａに接続された培養液供給配管１０６を介して固液分離装置１０に供給される。固液分離装置１０は、流路７に導入された培養液を、高濃度領域R_Hを含む流体としての濃縮液と、低濃度領域R_Lを含む流体としての清澄液とに分離することができる。清澄液は、そのまま回収される。一方、濃縮液は、第２供給バルブ１０８ａを備える濃縮液返送配管１０８を介して培養槽１０２に戻される。また、細胞培養装置１００は、少なくとも、ポンプ１０６ａの動作を制御することで培養液の少なくとも流量又は速度を調整させる制御部１１０を備える。制御部１１０は、その他、撹拌器１０２ａの動作や、第１供給バルブ１０４ａ又は第２供給バルブ１０８ａの開閉動作などを制御してもよい。

[0126] 図７Ｂは、本実施形態に係る固液分離システムの一例としての析出装置２００を示す図である。析出装置２００では、固体粒子ｐが分散されている流体として、結晶化した大径粒子や小径粒子を含む流体が想定されている。析出装置２００は、析出液を貯留する貯留槽としての析出槽２０２と、流体を析出槽２０２から固液分離装置１０に送る送液部としてのポンプ２０６ａと、固液分離装置１０により分離された濃縮液から大径粒子のみを抜き出す分

離膜２０７ａとを備える。析出液は、第１供給バルブ２０４ａを備える析出液追加配管２０４を介して析出槽２０２に供給される。析出槽２０２は、撹拌器２０２ａを備え、析出を促す。析出槽２０２内の流体は、ポンプ２０６ａに接続された流体供給配管２０６を介して固液分離装置１０に供給される。固液分離装置１０は、流路７に導入された流体を、主に大径粒子を含有する濃縮液と、主に小径粒子を含有する清澄液とに分離することができる。濃縮液は、濃縮液供給配管２０７を介して分離膜２０７ａに送られる。分離膜２０７ａによって濃縮液から抜き出された大径粒子は、そのまま回収される。その後、大径粒子が抜き出された流体は、清澄液として、第２供給バルブ２０９ａを備える清澄液返送配管２０９を介して析出槽２０２に戻される。一方、固液分離装置１０で分離された清澄液は、バイパス配管２０８を介して直接的に清澄液返送配管２０９に送られ、析出槽２０２に戻される。また、析出装置２００は、少なくとも、ポンプ２０６ａの動作を制御することで流体の少なくとも流量又は速度を調整させる制御部２１０を備える。制御部２１０は、その他、撹拌器２０２ａの動作や、第１供給バルブ２０４ａ又は第２供給バルブ２０９ａの開閉動作などを制御してもよい。

[0127] 次に、細胞培養装置１００や析出装置２００のような本実施形態に係る固液分離システムの効果について説明する。

[0128] 固液分離システムは、固体粒子が分散された流体から固体粒子を分離させる固液分離装置を備える。また、固液分離システムは、流体を貯留する貯留槽と、貯留槽から固液分離装置に流体を送る送液部と、少なくとも、送液部の動作を制御することで流体の少なくとも流量又は速度を調整させる制御部とを備える。ここで、固液分離装置は、上記の固液分離装置１０である。

[0129] この固液分離システムによれば、上記の固液分離装置１０を備えるので、構造を単純化しつつ、安定的に二次流れを形成させることができ、ひいては、分離効率を向上させ、又は、処理量を維持しつつ、所望の分解能を得やすくすることができる。

[0130] なお、本実施形態に係る固液分離システムは、上記のような細胞培養装置

１００又は析出装置２００に限られない。例えば、本実施形態に係る固液分離システムは、流体に分散されている固体粒子を、懸濁液中に分散されている細胞又は細胞塊として、懸濁液から細胞又は細胞塊を大きさごとに選別する細胞スクリーニング装置であってもよい。又は、本実施形態に係る固液分離システムは、流体に分散されている固体粒子を、懸濁液中に分散されている微生物として、懸濁液から微生物を大きさごとに選別する微生物スクリーニング装置であってもよい。

[0131] いくつかの実施形態を説明したが、上記開示内容に基づいて実施形態の修正又は変形をすることが可能である。上記の実施形態のすべての構成要素、及び請求の範囲に記載されたすべての特徴は、それらが互いに矛盾しない限り、個々に抜き出して組み合わせてもよい。

[0132] 本出願は、２０２２年６月１３日に出願された日本国特許願第２０２２－０９５１６２に基づく優先権を主張しており、この出願の全内容が参照により本明細書に組み込まれる。

符号の説明

[0133] １ 二次流れ形成装置
２ 流路部
３ａ 上壁
４ａ 第１側壁
４ｂ 第２側壁
４ｃ 底壁
５ 邪魔板
５ａ 第１板
５ｂ 第２板
５ｃ 第３板
５ｄ 第４板
５ｅ 第５板
７ 流路

１０　　固液分離装置

１２，２２　　流体導出部

１２ａ，２２ａ　　第１導出路

１２ｂ，２２ｂ　　第２導出路

１２ｃ，２２ｃ　　第３導出路

２２ｄ　　第４導出路

１００　　細胞培養装置

１０２　　培養槽

１０６ａ　ポンプ

１１０　　制御部

２００　　析出装置

２０２　　析出槽

２０６ａ　ポンプ

２１０　　制御部

請求の範囲

[請求項1] 固体粒子が分散された流体を流路に流通させて、前記流体に横断面方向の二次流れを形成する二次流れ形成装置であって、

前記流路を有する流路部と、

前記流路部に形成される複数の邪魔板と、を備え、

前記流路は、流路幅を流路高さで除したアスペクト比が３から１００までの範囲にある矩形の横断面を有し、

前記流路を構成する内壁は、前記流路高さが規定される方向で互いに対向する第１壁と第２壁とを含み、

複数の前記邪魔板は、それぞれ、前記第１壁に向かって突出するように前記第２壁に配置される棒状部であり、

前記邪魔板の延伸方向は、前記第２壁と平行で、かつ、前記流路の延伸方向に対して一定の傾斜角で傾いた方向である、二次流れ形成装置。

[請求項2] 前記邪魔板の高さは、前記流路高さの半分である、請求項１に記載の二次流れ形成装置。

[請求項3] 前記邪魔板の高さは、前記流路高さの半分よりも低く、

前記邪魔板の前記傾斜角をθとし、前記流路幅をｗとし、前記流路高さをｈとし、前記邪魔板の配列に係るピッチをP_iとし、前記邪魔板の設置数をｎとし、前記邪魔板の前記高さをh_Pとすると、

任意の前記流路幅及び前記流路高さを有する前記流路に対して、

[数1]

$$\tan\theta > \frac{wh}{P_i n h_P}$$

の条件を満たすように、前記ピッチ、前記邪魔板の前記設置数、及び、前記邪魔板の前記高さが設定される、請求項１に記載の二次流れ形成装置。

[請求項4] 前記邪魔板の高さは、前記流路高さの半分よりも高く、

前記邪魔板の前記傾斜角をθとし、前記流路幅をｗとし、前記流路高さをｈとし、前記邪魔板の配列に係るピッチをＰ$_{i}$とし、前記邪魔板の設置数をｎとし、前記邪魔板の前記高さをｈ$_{P}$とすると、

任意の前記流路幅及び前記流路高さを有する前記流路に対して、

[数2]

$$\tan\theta > \frac{wh}{P_i n(h-h_P)}$$

の条件を満たすように、前記ピッチ、前記邪魔板の前記設置数、及び、前記邪魔板の前記高さが設定される、請求項１に記載の二次流れ形成装置。

[請求項5] 前記邪魔板の幅をｗ$_{p}$とし、前記流路幅をｗとし、前記流路高さをｈとし、前記邪魔板の配列に係るピッチをＰ$_{i}$とし、任意の前記横断面における前記邪魔板の数をｍとし、前記邪魔板の高さをｈ$_{P}$とすると、

前記邪魔板の前記幅の上限値は、

[数3]

$$w_P h_P m < 0.5w \times h$$

の条件を満たす、請求項１に記載の二次流れ形成装置。

[請求項6] 前記邪魔板の前記傾斜角は、１°以上、４５°以下の範囲にある、請求項１に記載の二次流れ形成装置。

[請求項7] 前記邪魔板の前記延伸方向での長さをＬ$_{P}$とし、前記邪魔板の設置数をｎとし、前記流路高さをｈとすると、

[数4]

$$L_P \times n > 100 \times h$$

の条件を満たす、請求項１に記載の二次流れ形成装置。

[請求項8] 前記流路を構成する内壁は、前記流路幅が規定される方向で互いに対向する第３壁と第４壁とを含み、

前記流路幅の方向に沿った前記邪魔板の長さ成分は、前記流路幅よ

りも短く、

前記邪魔板は、前記第３壁及び前記第４壁とは非接触である、請求項１に記載の二次流れ形成装置。

[請求項9] 複数の前記邪魔板のうち最も下流側にある前記邪魔板の最後端と、当該最後端が最も近接する前記第３壁又は前記第４壁との間の距離は、前記流路幅をｗとすると、０．３５ｗ以上、０．６５ｗ以下の範囲にある、請求項８に記載の二次流れ形成装置。

[請求項10] 固体粒子が分散された流体から前記固体粒子を分離させる固液分離装置であって、

前記流体に横断面方向の二次流れを形成する二次流れ形成装置を備え、

前記二次流れ形成装置は、請求項１に記載の二次流れ形成装置であり、前記流体に前記二次流れを形成しつつ、前記流体から前記固体粒子を分離する、固液分離装置。

[請求項11] 前記二次流れ形成装置の前記流路の下流側と連通する少なくとも三つの導出路を有する流体導出部を備え、

少なくとも三つの前記導出路は、前記流路幅が規定される方向で互いに分岐する、請求項１０に記載の固液分離装置。

[請求項12] 前記流路幅が規定される方向での両端に位置する二つの前記導出路の各々の入口幅は、前記流路高さの２倍以上、前記流路幅の４５％以下の範囲にある寸法に設定される、請求項１１に記載の固液分離装置。

[請求項13] 固体粒子が分散された流体から前記固体粒子を分離させる固液分離装置と、

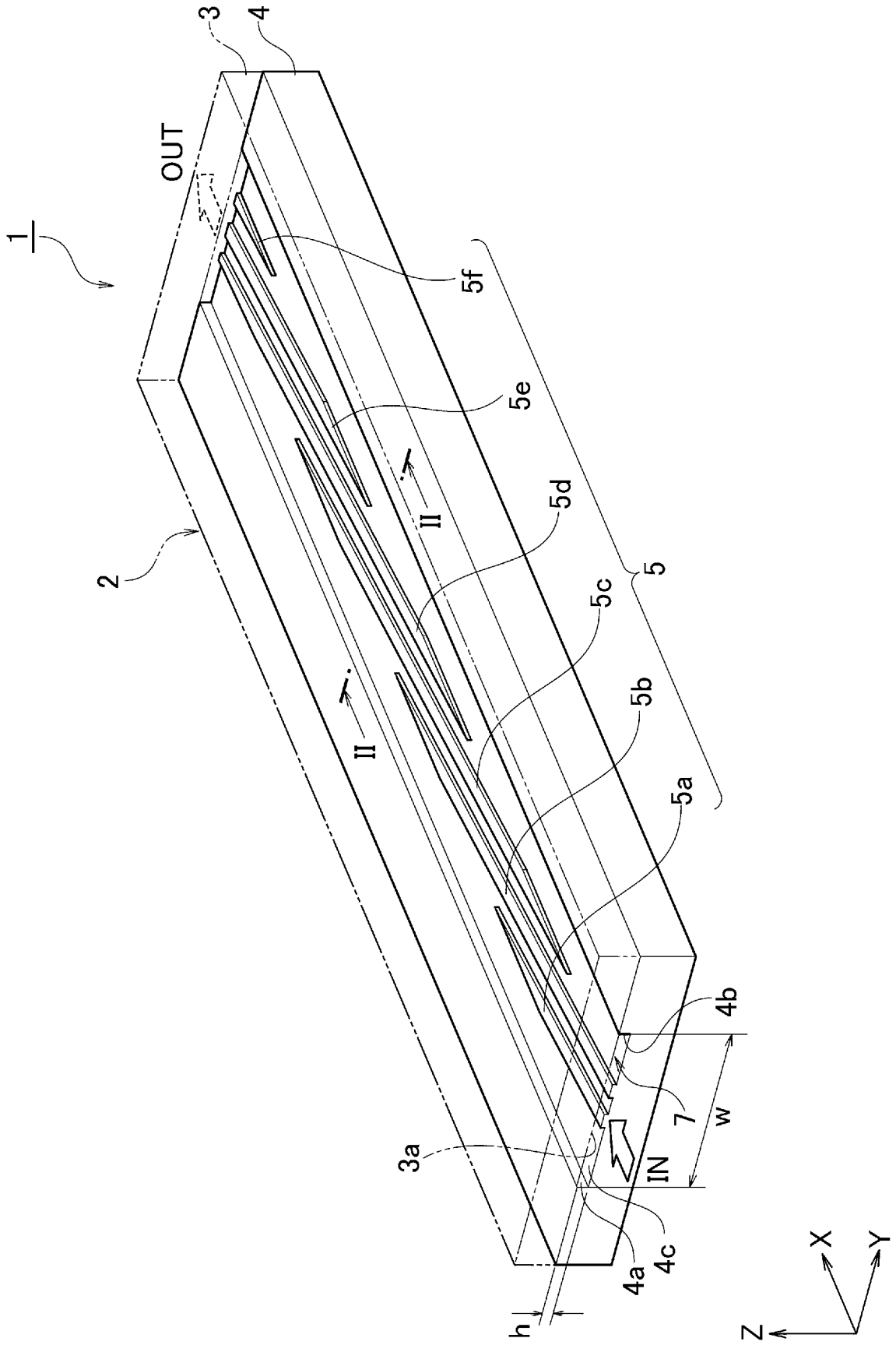
流体を貯留する貯留槽と、

前記貯留槽から前記固液分離装置に流体を送る送液部と、

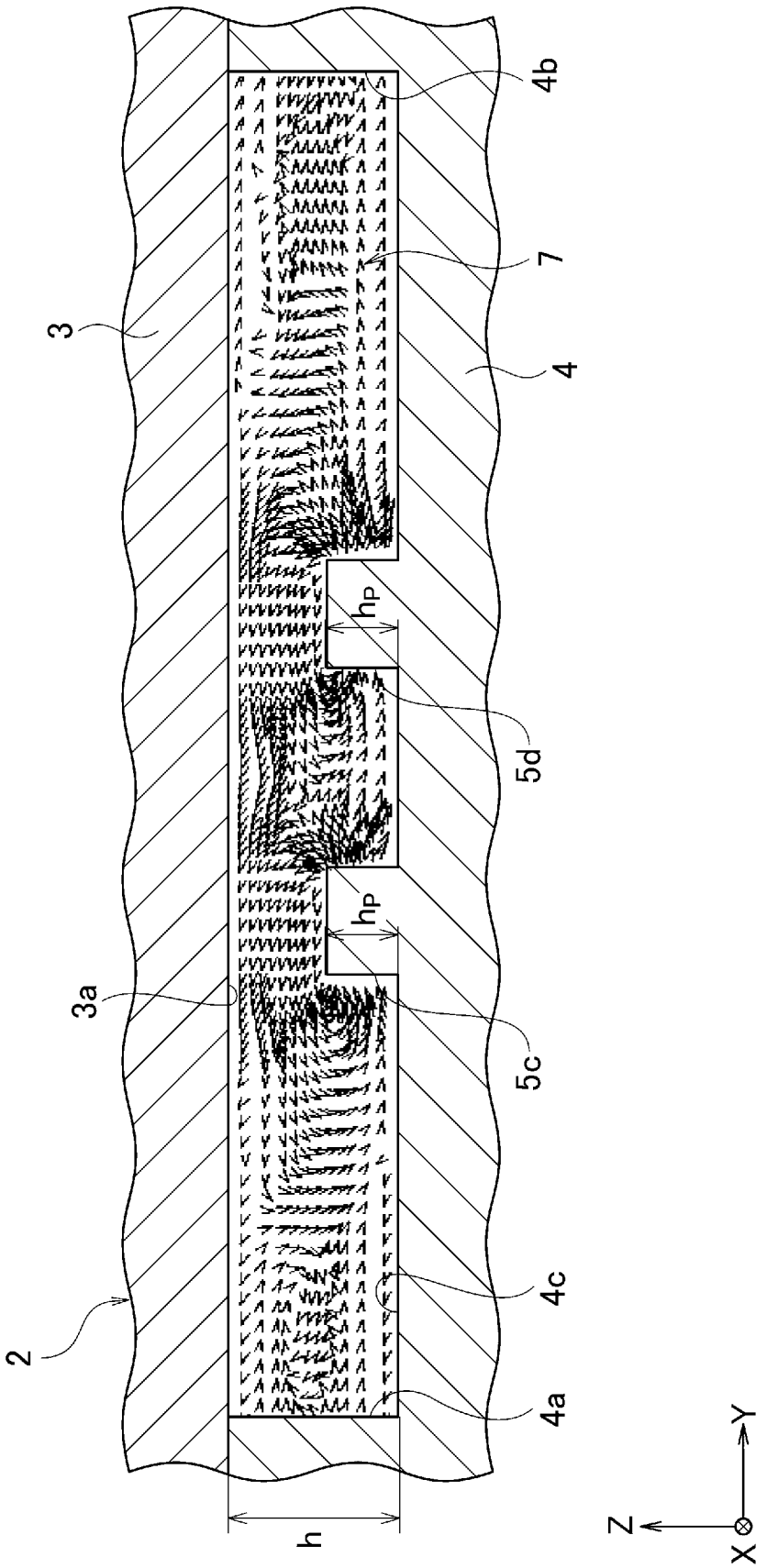
少なくとも、前記送液部の動作を制御することで流体の少なくとも流量又は速度を調整させる制御部と、を備え、

前記固液分離装置は、請求項１０に記載の固液分離装置である、固液分離システム。

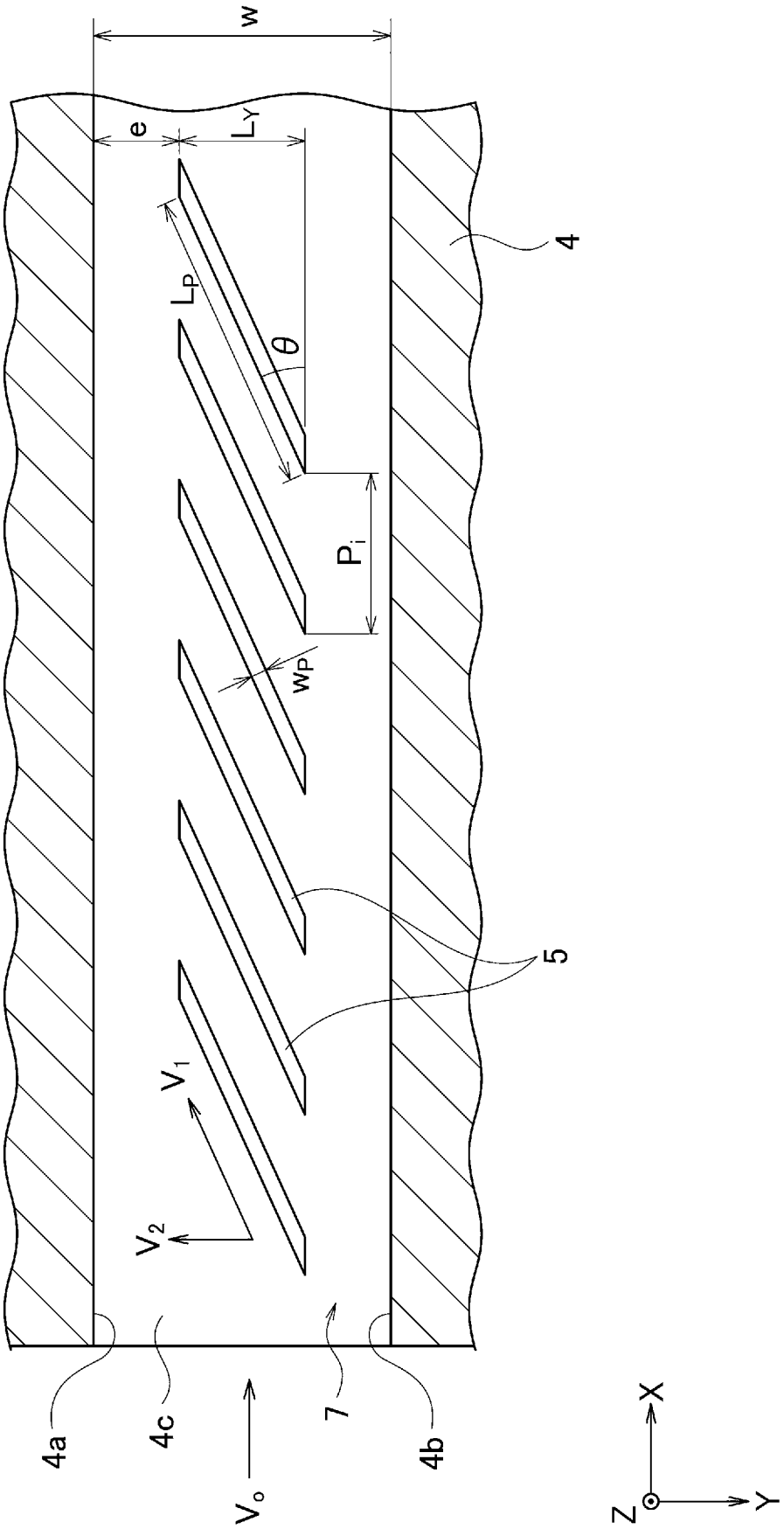
[図1]



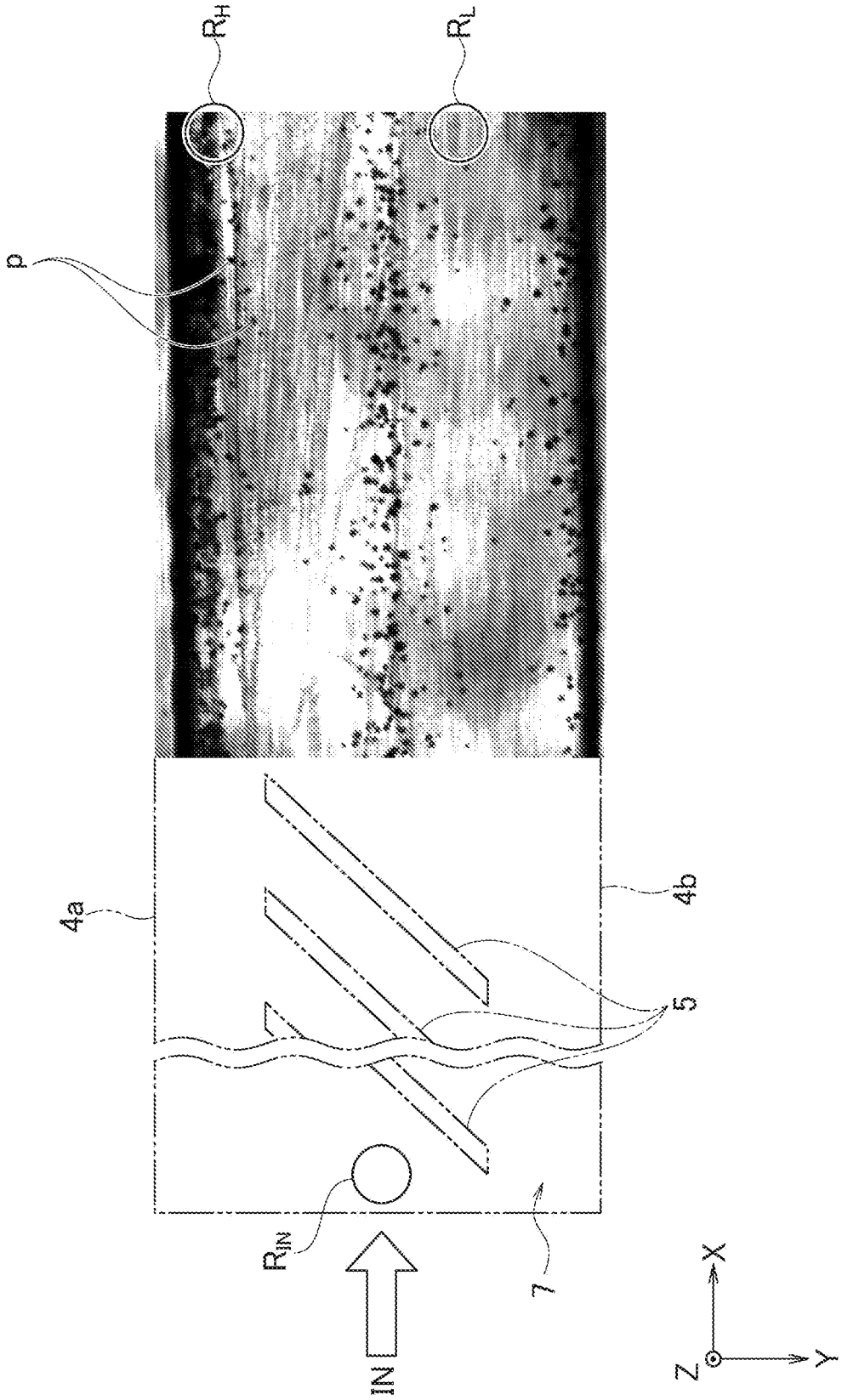
[図2]



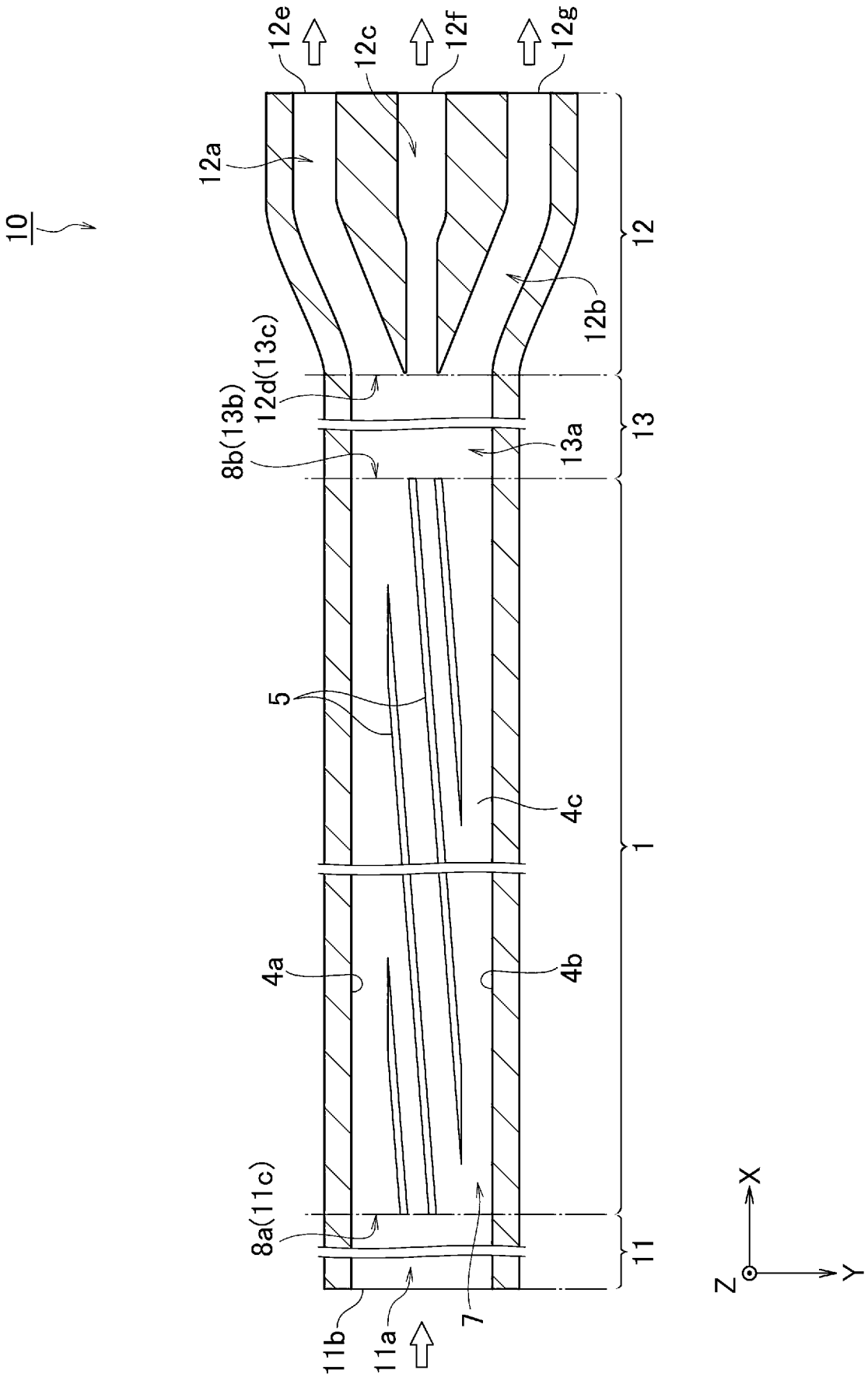
[図3]



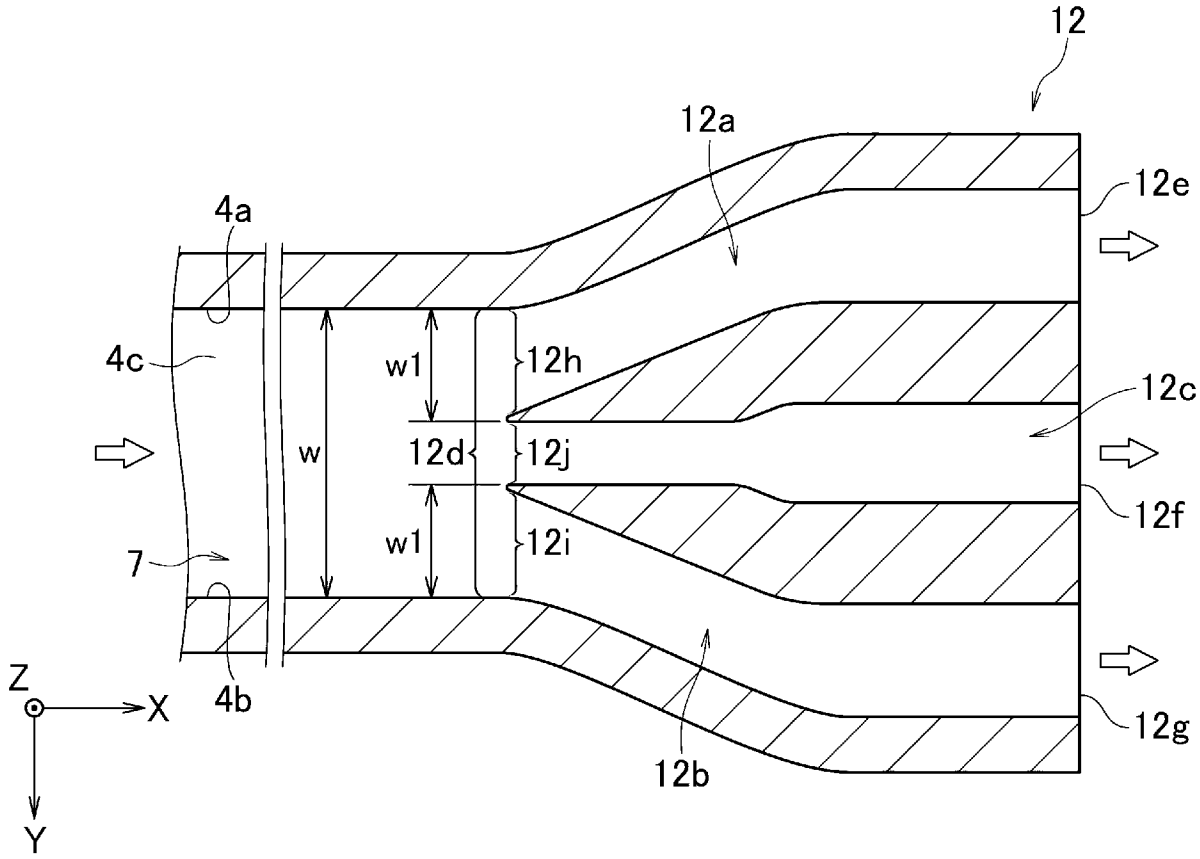
[図4]



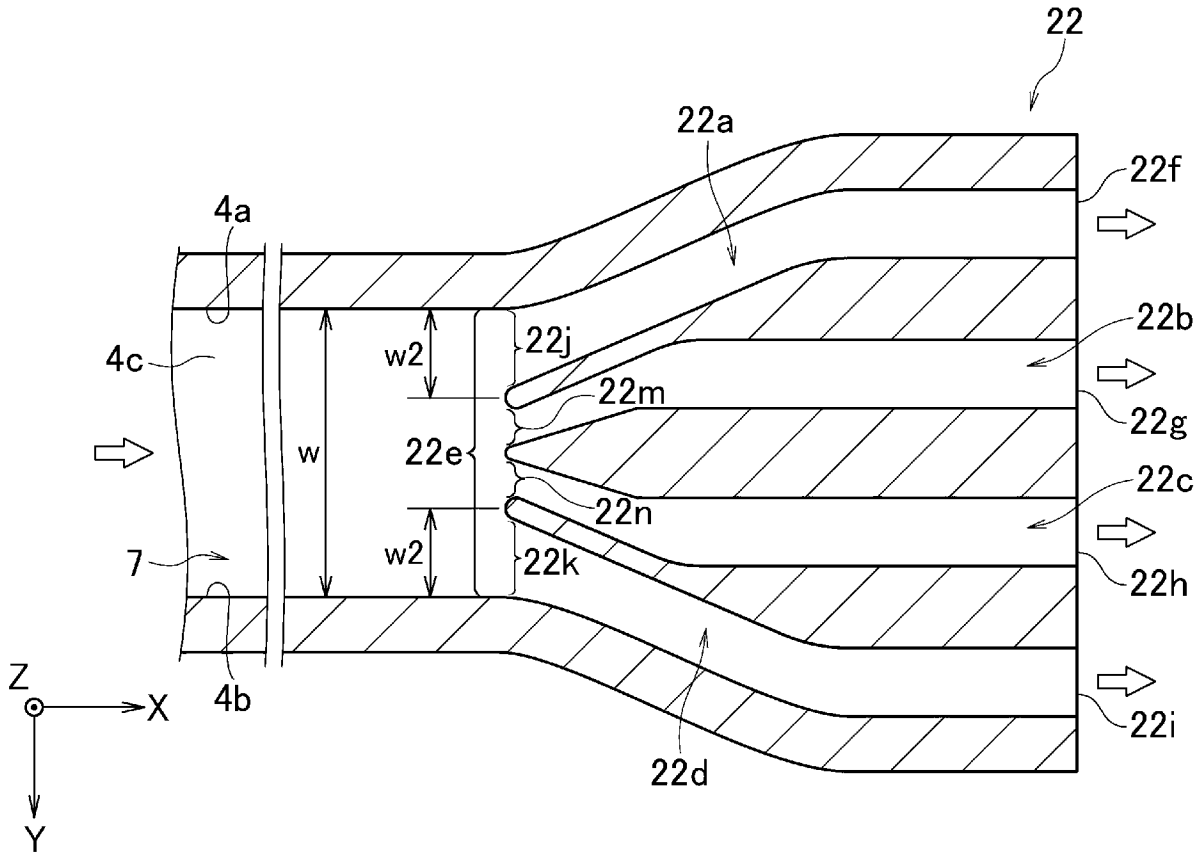
[図5]


10
12e
12c
12f
12g
12a
12b
12
12d(13c)
8b(13b)
13a
13
5
4c
1
4a
4b
8a(11c)
11
11b
11a
7
X
Y
Z

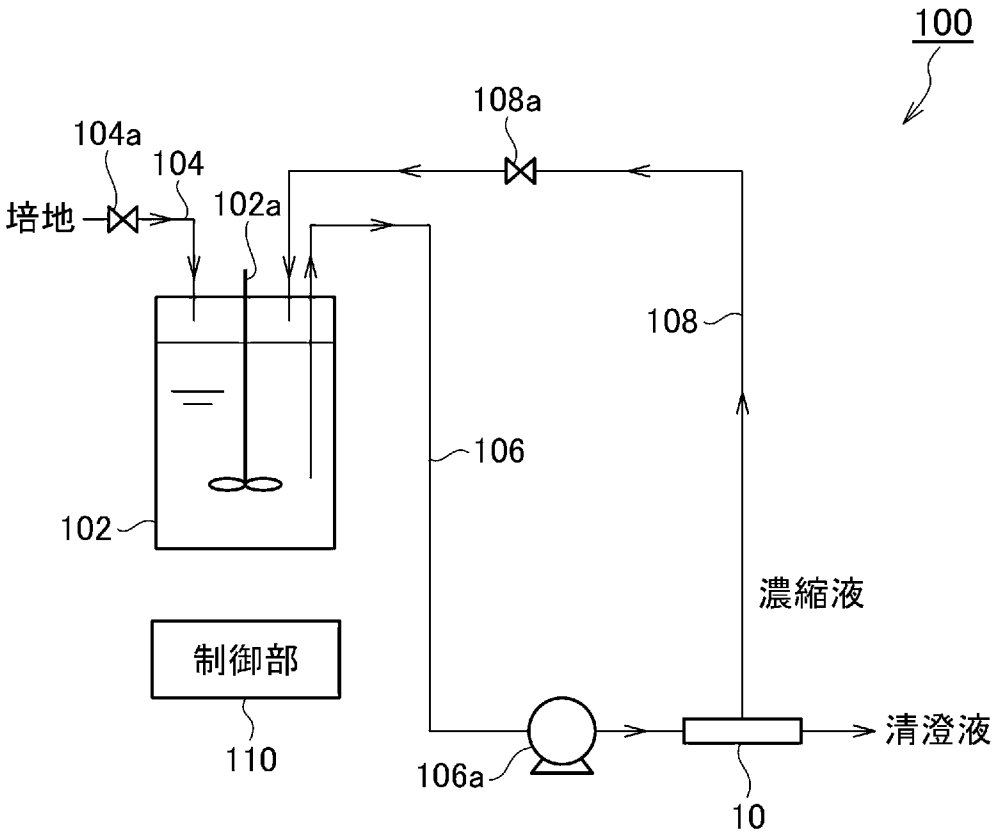
[図6A]


12
12a
12e
4a
4c
w1
12h
12c
w
12d
12j
12f
w1
12i
7
4b
12g
12b
Z
X
Y

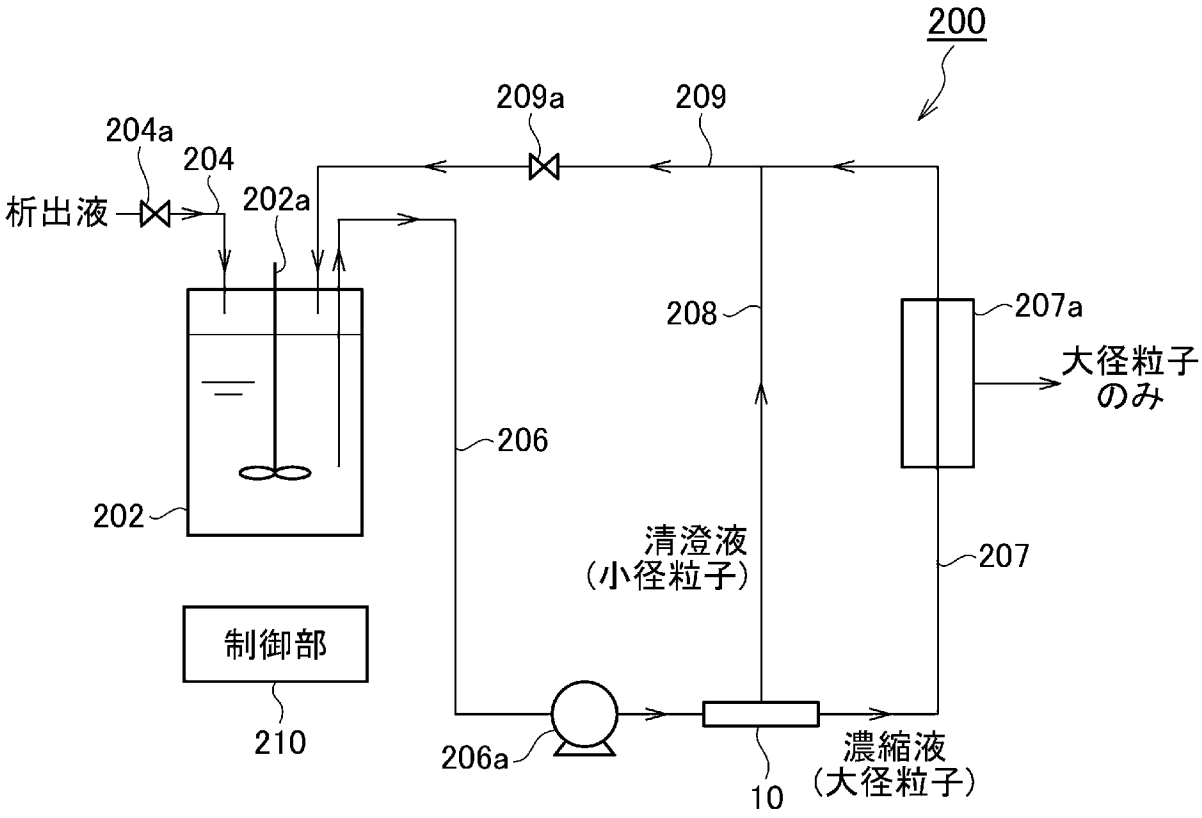
[図6B]


22
22a
22f
4a
22b
4c
w2
22j
22m
22g
w
22e
22c
22n
w2
22k
7
22h
4b
22i
22d
Z
X
Y

[図7A]


100
108a
104a
104
培地
102a
108
106
102
濃縮液
制御部
110
106a
清澄液
10

[図7B]


200
209a
209
204a
204
析出液
202a
208
207a
大径粒子
のみ
206
202
清澄液
(小径粒子)
207
制御部
210
206a
10
濃縮液
(大径粒子)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2023/020685

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

B01D 43/00(2006.01)i; ***F15D 1/02***(2006.01)i; ***B03B 5/00***(2006.01)i
FI: B01D43/00 A; F15D1/02 C; B03B5/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

B01D43/00; F15D1/02; B03B5/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2023
Registered utility model specifications of Japan 1996-2023
Published registered utility model applications of Japan 1994-2023

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2015-051430 A (ASAHI KASEI CORPORATION) 19 March 2015 (2015-03-19) paragraphs [0031]-[0121], fig. 1-5	1, 6-13
A		2-5
A	JP 2019-502936 A (CURIOSIS COMPANY, LIMITED) 31 January 2019 (2019-01-31)	1-13
A	JP 2012-076016 A (CHIBA UNIVERSITY) 19 April 2012 (2012-04-19)	1-13
A	US 6494084 B1 (SANDIA CORPORATION) 17 December 2002 (2002-12-17)	1-13
A	JP 2011-067785 A (FUJI XEROX COMPANY, LIMITED) 07 April 2011 (2011-04-07)	1-13

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☑ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
03 August 2023	**15 August 2023**
Name and mailing address of the ISA/JP **Japan Patent Office (ISA/JP)** **3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915** **Japan**	Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2023/020685

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP 2015-051430 A	19 March 2015	(Family: none)	
JP 2019-502936 A	31 January 2019	US 2020/0269242 A1 WO 2017/116214 A1 EP 3398680 A1 KR 10-2017-0080165 A CN 108698045 A	
JP 2012-076016 A	19 April 2012	(Family: none)	
US 6494084 B1	17 December 2002	(Family: none)	
JP 2011-067785 A	07 April 2011	US 2011/0073530 A1	

国際調査報告

国際出願番号
PCT/JP2023/020685

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

B01D 43/00(2006.01)i; F15D 1/02(2006.01)i; B03B 5/00(2006.01)i
FI: B01D43/00 A; F15D1/02 C; B03B5/00

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（ＩＰＣ））

B01D43/00; F15D1/02; B03B5/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	１９２２－１９９６年
日本国公開実用新案公報	１９７１－２０２３年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０２３年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０２３年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー*	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
X	JP 2015-051430 A (旭化成株式会社) 19.03.2015 (2015-03-19) 段落0031-0121,図1-5	1,6-13
A		2-5
A	JP 2019-502936 A (クリオシス・カンパニー・リミテッド) 31.01.2019 (2019-01-31)	1-13
A	JP 2012-076016 A (国立大学法人 千葉大学) 19.04.2012 (2012-04-19)	1-13
A	US 6494084 B1 (SANDIA CORPORATION) 17.12.2002 (2002-12-17)	1-13
A	JP 2011-067785 A (富士ゼロックス株式会社) 07.04.2011 (2011-04-07)	1-13

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☑ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー
"A" 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
"E" 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
"L" 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
"O" 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
"P" 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献
"T" 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
"X" 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
"Y" 特に関連のある文献であって、当該文献と他の１以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
"&" 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日	国際調査報告の発送日
03.08.2023	15.08.2023

名称及びあて先
日本国特許庁(ISA/JP)
〒100-8915
日本国
東京都千代田区霞が関三丁目４番３号

権限のある職員（特許庁審査官）
塩谷　領大 4Q 4665
電話番号 03-3581-1101 内線 3468

国際調査報告
パテントファミリーに関する情報

国際出願番号
PCT/JP2023/020685

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 2015-051430 A	19.03.2015	（ファミリーなし）	
JP 2019-502936 A	31.01.2019	US 2020/0269242 A1	
		WO 2017/116214 A1	
		EP 3398680 A1	
		KR 10-2017-0080165 A	
		CN 108698045 A	
JP 2012-076016 A	19.04.2012	（ファミリーなし）	
US 6494084 B1	17.12.2002	（ファミリーなし）	
JP 2011-067785 A	07.04.2011	US 2011/0073530 A1	