

(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
2018年12月13日(13.12.2018)



(10) 国際公開番号

WO 2018/225510 A1

- (51) 国際特許分類:
B01F 3/04 (2006.01) *B01F 5/00* (2006.01)
B01F 1/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2018/019795
- (22) 国際出願日: 2018年5月23日(23.05.2018)
- (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 2017-112245 2017年6月7日(07.06.2017) JP
- (71) 出願人:国立大学法人鹿児島大学(KAGOSHIMA UNIVERSITY) [JP/JP]; 〒8908580 鹿児島県

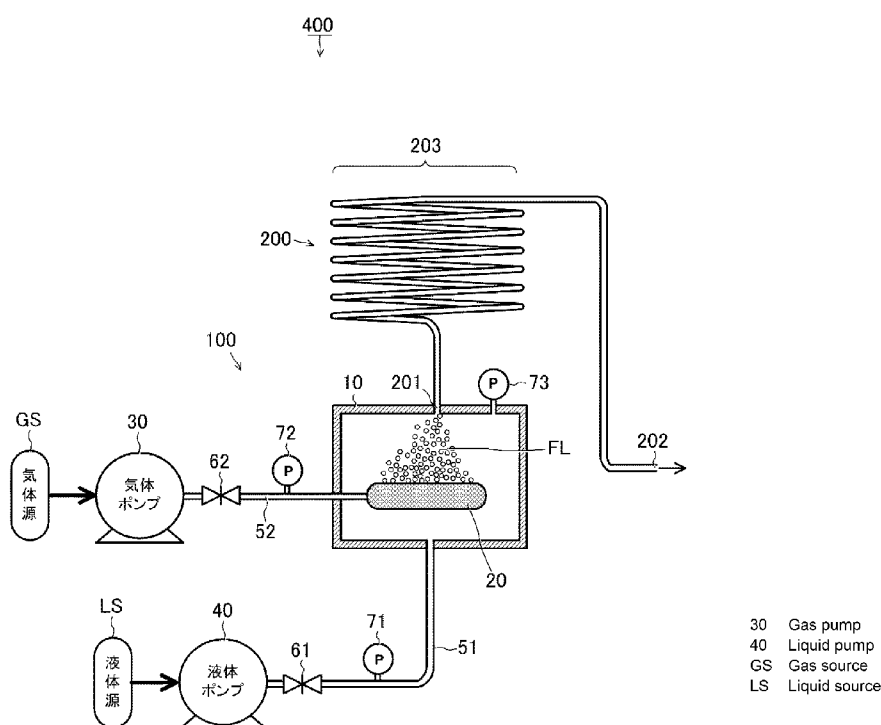
鹿児島市郡元一丁目21番24号 Kagoshima (JP).

(72) 発明者:五島 崇(GOSHIMA Takashi); 〒8908580 鹿児島県鹿児島市郡元一丁目21番24号 国立大学法人 鹿児島大学内 Kagoshima (JP). 高倉 蓮(TAKAKURA Ren); 〒8908580 鹿児島県鹿児島市郡元一丁目21番24号 国立大学法人 鹿児島大学内 Kagoshima (JP). 深谷 天(FUKATANI Takashi); 〒8908580 鹿児島県鹿児島市郡元一丁目21番24号 国立大学法人 鹿児島大学内 Kagoshima (JP).

(74) 代理人:木村 満(KIMURA Mitsuru); 〒1010054 東京都千代田区神田錦町二丁目7番地 協販ビル2階 Tokyo (JP).

(54) Title: AIR BUBBLE FORMATION DEVICE AND AIR BUBBLE FORMATION METHOD

(54) 発明の名称: 気泡形成装置及び気泡形成方法



(57) Abstract: A discharging part (100) discharges a gas-liquid fluid mixture (FL) that includes a liquid and air bubbles dispersed in the liquid. The gas-liquid fluid mixture (FL) discharged by the discharging part (100) is introduced to an air bubble atomizing tubular body (200) shaped into a tube having both ends open. The internal pressure of the air bubble atomizing tubular body (200) is increased by pressure with which the gas-liquid fluid mixture (FL) is discharged from the discharging part (100), to an extent in which the air bubbles dissolve into the liquid, and dissolution of the air bubbles into

(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, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, 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, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, 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, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, 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, 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:

一 国際調査報告(条約第21条(3))

the liquid due to the increased internal pressure advances over a period in which the gas-liquid fluid mixture (FL) flows in the air bubble atomizing tubular body (200). Accordingly, the air bubbles included in the gas-liquid fluid mixture (FL) are atomized in the air bubble atomizing tubular body (200).

(57) 要約: 吐出部(100)は、液体とその液体中に分散した気泡とを含む気液混合流体(FL)を吐出する。吐出部(100)によって吐出される気液混合流体(FL)は、両端が開口した管状をなす気泡微細化用管状体(200)に導入される。吐出部(100)から気液混合流体(FL)が吐出される圧力によって、気泡微細化用管状体(200)の内圧が、気泡が液体に溶解する程度に高められ、高められた内圧による気泡の液体への溶解が、気液混合流体(FL)が気泡微細化用管状体(200)を流れる期間にわたって進行する。これにより、気液混合流体(FL)に含まれる気泡が、気泡微細化用管状体(200)において微細化される。

明 細 書

発明の名称：気泡形成装置及び気泡形成方法

技術分野

[0001] 本発明は、気泡形成装置及び気泡形成方法に関する。

背景技術

[0002] 特許文献 1 に、タンクを用いて、液体中に気泡が分散した気液混合流体を得る気泡形成装置が開示されている。この装置では、まず、気体と液体とをタンク内で加圧することにより、タンク内で気体を液体に溶解させる。次に、タンク内の圧力を大気圧へと高めることにより、液体に溶解していた気体を液体中に気泡として出現させる。

[0003] 特許文献 2 には、多孔質部材を用いて、液体中に気泡が分散した気液混合流体を得る気泡形成装置が開示されている。この装置は、多孔質部材を通して気体を液体中に噴出させることにより、液体中に気泡が分散した気液混合流体を形成し、形成した気液混合流体を管状の放出部を通して外部に放出する。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開平 1 1－2 0 7 1 6 2 号公報

特許文献2：特開 2 0 0 3－2 6 5 9 3 9 号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 特許文献 1 の気泡形成装置は、圧力調整弁を用いて、タンクの加圧と大気圧への解放とを交互に繰り返し、タンク内の圧力が大気圧へと高められる際に、タンクから気液混合流体を放出する。このため、タンクを加圧する期間中は、気液混合流体の放出が中断され、気液混合流体を連続的に得ることができない。

[0006] 特許文献 2 の気泡形成装置は、上記放出部から気液混合流体を連続的に放

出することができるが、気液混合流体に含まれる気泡の微細化に関して改善の余地がある。特許文献2は、上記放出部の具体的な構成について何ら開示しておらず、上記放出部が気泡を微細化する作用を実質的に奏しているとは言い難い。

[0007] 本発明の目的は、溶解によって微細化された気泡を含む気液混合流体を、連続的に得ることができる気泡形成装置及び気泡形成方法を提供することである。

課題を解決するための手段

[0008] 上記目的を達成するために、本発明に係る気泡形成装置は、
液体と前記液体中に分散した気泡とを含む気液混合流体を形成すると共に、形成した前記気液混合流体を吐出する吐出部と、

両端が開口した管状をなしており、前記吐出部によって吐出される前記気液混合流体が一端から導入されると共に、導入された前記気液混合流体を他端へ案内する気泡微細化用管状体と、を備え、

前記吐出部から前記気液混合流体が吐出される圧力によって、前記気泡微細化用管状体の内圧が、前記気泡が前記液体に溶解する程度に高められ、高められた前記内圧による前記気泡の前記液体への溶解が、前記気液混合流体が前記気泡微細化用管状体を流れる期間にわたって進行することにより、前記気液混合流体に含まれる前記気泡が、前記気泡微細化用管状体において微細化される。

[0009] 前記気泡微細化用管状体が、
前記気泡微細化用管状体における前記気液混合流体が流れる部分の断面積を X 、前記気液混合流体の流路に沿う前記気泡微細化用管状体の経路長を Y としたとき、 Y/X で定義される長尺度が $250 [1/mm]$ 以上である形状をなしていてもよい。

[0010] 前記気泡微細化用管状体が、
前記気泡微細化用管状体の内部において、前記気液混合流体にディーン渦を形成させる遠心力が前記気液混合流体に作用するように、湾曲した形状を

なしていてもよい。

[0011] 前記気泡微細化用管状体が、コイル状に複数回巻かれた形状をなしていてもよい。

[0012] 前記吐出部が、大気圧より高く 0.3 MPa 以下の値に前記内圧が高められる条件で、前記気液混合流体を前記気泡微細化用管状体に導入することにより、前記気泡微細化用管状体において、前記気泡の平均直径が、1/5 以下に微細化されるように構成されていてもよい。

[0013] 前記気泡微細化用管状体を複数本備え、
前記吐出部から吐出される前記気液混合流体が、複数本の前記気泡微細化用管状体を並列に流れるように、前記吐出部に複数本の前記気泡微細化用管状体が接続されていてもよい。

[0014] 前記吐出部が、
前記気液混合流体を構成する前記液体と、前記気液混合流体の前記気泡を構成する気体との流量を、各々独立に調整することができる構成を有していてもよい。

[0015] 前記気泡微細化用管状体を介して前記気液混合流体の温度を調整する温度調整手段、
をさらに備えてもよい。

[0016] 本発明に係る気泡形成方法は、
液体と前記液体中に分散した気泡とを含む気液混合流体を形成する事前工程と、

前記事前工程において形成された前記気液混合流体を、両端が開口した管状をなす気泡微細化用管状体に通す気泡微細化工程と、を含み、

前記気泡微細化工程では、前記気液混合流体を前記気泡微細化用管状体に導入する圧力によって、前記気泡微細化用管状体の内圧を、前記気泡が前記液体に溶解する程度に高め、高められた前記内圧による前記気泡の前記液体への溶解を、前記気液混合流体が前記気泡微細化用管状体を流れる期間にわたって進行させることにより、前記気液混合流体に含まれる前記気泡を、前

記気泡微細化用管状体において微細化させる。

[0017] 前記気泡微細化工程では、

大気圧より高く 0.3 MPa 以下の値に前記内圧が高められる条件で、前記気液混合流体を前記気泡微細化用管状体に導入することにより、前記気泡微細化用管状体において、前記気泡の平均直径を、 $1/5$ 以下に微細化させてもよい。

[0018] 前記気泡微細化工程では、

前記気泡微細化用管状体の内部に、レイノルズ数が 3000 以上の、前記気液混合流体の流れが形成される条件で、前記気液混合流体を前記気泡微細化用管状体に導入してもよい。

発明の効果

[0019] 本発明によれば、気液混合流体が気泡微細化用管状体に導入されてから、気泡微細化用管状体から導出されるまでの期間に、気泡微細化用管状体において、気泡の液体への溶解が進行する。このため、溶解によって微細化された気泡を含む気液混合流体を、連続的に得ることができる。

図面の簡単な説明

[0020] [図1]実施形態 1 に係る気泡形成装置の構成を示す概念図。

[図2]実施形態 1 に係る気泡微細化用管状体の経路長方向に平行な断面図。

[図3]実施形態 1 に係る気泡微細化用管状体の経路長方向に垂直な断面図。

[図4]実施形態 2 に係る気泡形成装置の構成を示す概念図。

[図5]実施形態 3 に係る気泡形成装置の構成を示す概念図。

[図6]実施例 1 で得た気液混合流体中の気泡の直径別頻度分布を示すグラフ。

[図7]実施例 2 で得た気液混合流体中の気泡の直径別頻度分布を示すグラフ。

[図8]実施例 3 で得た気液混合流体中の気泡の直径別頻度分布を示すグラフ。

[図9]実施例 4 で得た気液混合流体中の気泡の直径別頻度分布を示すグラフ。

発明を実施するための形態

[0021] 以下、図面を参照し、実施形態に係る気泡形成装置について説明する。図中、同一又は対応する部分に同一の符号を付す。

[0022] [実施形態 1]

図 1 に示すように、本実施形態に係る気泡形成装置 400 は、液体とその液体中に分散した気泡とを含む気液混合流体 FL を吐出する吐出部 100 と、吐出部 100 によって吐出される気液混合流体 FL が通される気泡微細化用管状体 200 とを備える。

[0023] 気泡微細化用管状体 200 は、両端が開口した管状をなしている。吐出部 100 によって吐出される気液混合流体 FL は、気泡微細化用管状体 200 の一端 201 から導入される。気泡微細化用管状体 200 は、一端 201 から導入された気液混合流体 FL を、他端 202 へ案内し、他端 202 から連続的に放出させる。

[0024] また、気泡微細化用管状体 200 は、一端 201 から他端 202 までの間に、コイル状に複数回巻かれた形状をなすコイル状部 203 を有する。コイル状部 203 の意義については後述する。

[0025] 吐出部 100 は、気泡微細化用管状体 200 の一端 201 と連通した気密かつ液密な容器よりなる気液混合室 10 と、気液混合室 10 内に配置された多孔質部材 20 と、多孔質部材 20 を通して気液混合室 10 内に気体を供給する気体ポンプ 30 と、気液混合室 10 に液体を供給する液体ポンプ 40 とを有する。

[0026] 液体ポンプ 40 は、配管 51 によって気液混合室 10 と接続されている。液体ポンプ 40 は、液体源 LS から液体を取り込み、取り込んだ液体を、配管 51 を通して気液混合室 10 に吐出する。これにより、気液混合室 10 が液体で満たされる。

[0027] 一方、気体ポンプ 30 は、配管 52 によって多孔質部材 20 と接続されている。気体ポンプ 30 は、気体源 GS から気体を取り込み、取り込んだ気体を、配管 52 及び多孔質部材 20 を通して、気液混合室 10 内に吐出する。

[0028] 多孔質部材 20 は、気液混合室 10 内で液体に浸っている。多孔質部材 20 は、多数の微細な通気孔が形成された多孔質構造を有しており、気体ポンプ 30 から供給される気体を多孔質構造において気泡化させて液体中に放出

する。これにより、気液混合室１０において、液体中に気泡が分散した気液混合流体ＦＬが形成される。

[0029] なお、多孔質部材２０は、具体的には、多孔質膜によって構成されている。但し、多孔質部材２０は多孔質膜に限られず、例えば、金属又はセラミックスの焼結体を多孔質部材２０として用いてもよい。

[0030] また、吐出部１００は、気液混合流体ＦＬを構成する液体と、気液混合流体ＦＬの気泡を構成する気体との流量を、各々独立に調整することができる構成を有する。具体的には、配管５１には、弁６１が設けられており、弁６１によって液体の流量を調整することができる。また、配管５２にも、弁６２が設けられており、弁６２によって気体の流量を調整することができる。

[0031] また、配管５１には、配管５１の内圧を計測する圧力計７１が設けられている。配管５２には、配管５２の内圧を計測する圧力計７２が設けられている。ユーザは、圧力計７１の計測結果によって液体の流量を確認することができ、圧力計７２の計測結果によって気体の流量を確認することができる。

[0032] また、気液混合室１０にも、気液混合室１０の内圧を計測する圧力計７３が設けられている。ユーザは、吐出部１００から気泡微細化用管状体２００に気液混合流体ＦＬが吐出される圧力を、圧力計７３の計測結果によって確認することができる。ユーザは、その圧力計７３が示す圧力を、弁６１及び６２を用いて所望の値に調整することができる。

[0033] 以下、気泡形成装置４００の作用について説明する。

[0034] 気体ポンプ３０が気体を吐出する圧力と、液体ポンプ４０が液体を吐出する圧力とによって、気液混合室１０の内圧が上昇する。この結果、気液混合室１０から気泡微細化用管状体２００に、気液混合流体ＦＬが流れ込む。気泡微細化用管状体２００は、一端２０１から導入される気液混合流体ＦＬを、コイル状部２０３を経由させて、他端２０２へ案内し、他端２０２から放出させる。

[0035] 気泡微細化用管状体２００の内部には、気液混合流体ＦＬの流れを絞る絞り部は設けられていない。気泡微細化用管状体２００における気液混合流体

F L が流れる部分の断面積は、一端 201 から他端 202 にわたって一定である。

[0036] しかし、気泡微細化用管状体 200 は、十分に細く長い形状を有していると共に、コイル状部 203 も有している。このため、気泡微細化用管状体 200 において圧力損失が生じる。この結果、気泡微細化用管状体 200 の内圧が上昇する。

[0037] 具体的には、吐出部 100 が気液混合流体 F L を吐出する圧力、即ち気液混合室 10 の内圧によって、気泡微細化用管状体 200 の内圧が、気泡が液体に溶解する程度に高められる。このため、その高められた内圧による気泡の液体への溶解が、気液混合流体 F L が気泡微細化用管状体 200 を流れる期間にわたって進行する。これにより、気液混合流体 F L に含まれる気泡が、気泡微細化用管状体 200 において微細化される。

[0038] 気泡微細化用管状体 200 の内圧が、気泡が液体に溶解する程度に高められるようにするための一手段として、気泡微細化用管状体 200 は、気泡微細化用管状体 200 における気液混合流体 F L が流れる部分の断面積を X、気液混合流体 F L の流路に沿う気泡微細化用管状体 200 の経路長を Y としたとき、 Y/X で定義される長尺度が 250 [1/mm] 以上である形状をなしている。

[0039] 具体的には、気泡微細化用管状体 200 の内径は 5 [mm] 以下であり、気泡微細化用管状体 200 の経路長は、5 [m] 以上である。なお、気泡微細化用管状体 200 における圧力損失を一層確実なものとするために、長尺度 Y/X は、500 [1/mm] 以上であることが好ましく、750 [1/mm] 以上であることがより好ましい。

[0040] また、気泡微細化用管状体 200 の内圧が、気泡が液体に溶解する程度に高められるようにするためのもう一つの手段として、本実施形態では、コイル状部 203 における気泡微細化用管状体 200 の巻き数を、5 以上としている。なお、気泡微細化用管状体 200 における圧力損失を一層確実なものとするために、コイル状部 203 の巻き数は、10 以上であることが好まし

く、15以上であることがより好ましい。

[0041] 上述した構成により、気泡微細化用管状体200の内圧を、例えば、大気圧より高く0.3MPa以下の値に高めることができ、気泡微細化用管状体200において、気泡の平均直径を、 $1/5$ 以下、より好ましくは $1/10$ 以下に微細化することができる。例えば、気液混合室10における気泡の平均直径が10[μm]以下の場合、気泡微細化用管状体200の他端202から、平均直径が2[μm]以下、より好ましくは1[μm]以下の気泡を含む気液混合流体FLを得ることができる。また、気液混合室10における気泡の平均直径が1[μm]以下の場合、気泡微細化用管状体200の他端202から、平均直径が200[nm]以下、より好ましくは100[nm]以下の気泡を含む気液混合流体FLを得ることができる。

[0042] また、気泡微細化用管状体200に気液混合流体FLが通されたとき、気泡微細化用管状体200の内部には渦が生じる。以下、これについて具体的に説明する。

[0043] 図2に示すように、気泡微細化用管状体200の内部には、気泡微細化用管状体200の経路長方向に平行な断面内で、乱流渦(Turbulent vortex)TVが生じる。この乱流渦TVは、吐出部100が、気泡微細化用管状体200の内部における気液混合流体FLの流れのレイノルズ数(Reynolds number)が3000以上となる条件で、気液混合流体FLを気泡微細化用管状体200に導入することで実現されたものである。この乱流渦TVによって、気泡微細化用管状体200における気泡の微細化が促進される。

[0044] 図3に示すように、気泡微細化用管状体200の経路長方向に垂直な断面内には、ディーン渦(Dean vortex)DVも形成される。このディーン渦DVは、上述したコイル状部203で気液混合流体FLに作用する遠心力によって形成される。図3には、気液混合流体FLに遠心力が作用する向きを矢印で示した。このディーン渦DVによっても、気泡微細化用管状体200における気泡の微細化が促進される。このように、上述したコイル状部203は、気泡微細化用管状体200に圧力損失を生じさせる役割のみならず、ディ

ーン渦DVを形成する役割も果たしている。

[0045] 以上説明した本実施形態に係る気泡形成装置400によれば、次の効果が得られる。

[0046] 気液混合流体FLが気泡微細化用管状体200に導入されてから、気泡微細化用管状体200から導出されるまでの期間に、気泡微細化用管状体200において、気泡の液体への溶解が進行する。このため、気液混合流体FLを気泡微細化用管状体200に連続的に導入することにより、溶解によって微細化された気泡を含む気液混合流体FLを、連続的に得ることができる。

[0047] 特許文献1に開示される従来技術では、タンク内での加圧により気体を液体に一旦完全に溶解させてから、所望サイズの気泡が出現するように、タンク内の圧力を大気圧へと高めていた。これに対して、本実施形態によれば、気体を液体に一旦完全に溶解させる工程を経る必要がなく、気泡を直接的に所望サイズへと微細化することができる。また、気泡を所望サイズへと微細化するために、気液混合流体FLを、気泡微細化用管状体200に一回通せば足りる。このため、溶解によって微細化された気泡を含む気液混合流体FLを、効率的に得ることができる。

[0048] また、気体を液体に一旦完全に溶解させる工程を経る必要がないため、気泡形成装置400内において生じる最大圧力を、従来技術に比べて低減できる。具体的には、気泡微細化用管状体200の内圧は、0.3MPa以下の値、好ましくは0.2MPa以下の値に高めれば充分である。このように、気泡形成装置400内で生じる圧力を従来よりも低減できるため、気泡形成装置400の重厚化を抑えることができ、かつ気泡形成装置400に故障が生じにくい。

[0049] なお、気泡微細化用管状体200内で乱流渦TV及びディーン渦DVが生じるようにしたので、それら乱流渦TV及びディーン渦DVを生じさせない場合に比べると、気泡形成装置400の内圧が低くても、気泡を所望サイズへと微細化することができる。つまり、乱流渦TV及びディーン渦DVを生じさせることは、気泡微細化用管状体200の内圧を低減することに寄与し

ている。

[0050] 特許文献 1 に開示される従来技術では、タンク内における液体と気体の挙動がランダムであるため、タンク内の圧力が大気圧へと高められたときに得られる気液混合流体の、気泡と液体の割合を制御することが困難であった。これに対して、本実施形態では、気泡微細化用管状体 200 の形状が定まっているため、気泡微細化用管状体 200 を通過する前の気液混合流体 F L における気泡と液体の割合と、気泡微細化用管状体 200 を通過した後の気液混合流体 F L における気泡と液体の割合とが、無相関となりにくい。

[0051] そして、気泡微細化用管状体 200 の通過前の気液混合流体 F L における気泡と液体の割合は、弁 61 及び 62 を用いて独立に調整できるので、気泡微細化用管状体 200 の通過後の気液混合流体 F L における気泡と液体の割合も独立に調整できる。

[0052] [実施形態 2]

上記実施形態 1 では、気液混合流体 F L を積極的に温度調整しなかったが、気泡形成装置 400 は、気泡微細化用管状体 200 を介して気液混合流体 F L の温度を調整する温度調整手段をさらに備えてもよい。以下、その具体例について説明する。

[0053] 図 4 に示すように、本実施形態に係る気泡形成装置 500 は、気泡微細化用管状体 200 を介して気液混合流体 F L の温度を調整する温度調整手段としての温度調整装置 300 を備える。温度調整装置 300 は、温度調整用液体が貯められる恒温液槽 310 と、恒温液槽 310 内の温度調整用液体を予め定められた温度に保つ温度調整器 320 とを有する。温度調整用液体には、例えば水を用いることができる。

[0054] 本実施形態では、気泡微細化用管状体 200 のコイル状部 203 が、熱伝導の良好な金属、具体的には、銅よりなり、恒温液槽 310 内の温度調整用液体に浸っている。このため、コイル状部 203 を介して気液混合流体 F L の温度を調整することができる。コイル状部 203 は、表面積が大きいいため、気液混合流体 F L の温度調整が容易である。

[0055] 本実施形態によれば、所望の温度に調整された気液混合流体F Lを得ることができる。また、気液混合流体F Lの温度によって、気泡微細化用管状体200内における気泡の液体への溶解度を調整することもできる。気液混合流体F Lの温度が低い程、気泡が液体に溶けやすく、気液混合流体F Lの温度が高い程、気泡が液体に溶けにくい。

[0056] [実施形態3]

上記実施形態1では、1本の気泡微細化用管状体200を用いて気泡を微細化した。また、気泡形成装置400は、気泡微細化用管状体200を複数本備えてもよい。以下、その具体例について説明する。

[0057] 図5に示すように、本実施形態に係る気泡形成装置600は、2本の気泡微細化用管状体210及び220を備える。吐出部100から吐出される気液混合流体F Lが、2本の気泡微細化用管状体210及び220を並列に流れるように、吐出部100の気液混合室10に、2本の気泡微細化用管状体210及び220が接続されている。

[0058] 本実施形態によれば、気泡微細化用管状体210及び220において、気泡の微細化を並列に行うことができるので、気泡の微細化を効率的に行うことができる。

[0059] [実施例1]

図1に示した気泡形成装置400を用い、気泡微細化用管状体200によって微細化された気泡を含む気液混合流体F Lを得た。気液混合流体F Lを構成する気体には、空気を用い、液体には、蒸留水を用いた。

[0060] また、気泡微細化用管状体200には、内径が4 [mm] で経路長が10 [m] の金属管を用いた。この金属管の上記長尺度Y/Xは、796 [1/mm] である。また、コイル状部203の直径は約20 [cm] であり、コイル状部203の巻き数は15とした。

[0061] まず、気液混合室10において、空気よりなる気泡が蒸留水に分散されてなる気液混合流体F Lを形成した。気液混合室10における気液混合流体F Lに含まれる気泡の平均直径は、1 [μm] であった。

[0062] 次に、その気液混合流体F Lを、気泡微細化用管状体200の内圧が0.2 [MPa] に高められ、かつ気液混合流体F Lの流れのレイノルズ数が3000以上となる条件で、気泡微細化用管状体200に導入させた。すると、気泡微細化用管状体200の他端202から、溶解によって微細化された気泡を含む気液混合流体F Lが連続的に放出された。

[0063] 図6に、気泡微細化用管状体200から放出された気液混合流体F L中の気泡の直径別頻度分布を示す。グラフAは、度数分布を示し、グラフBは、累積度数分布を示す。気液混合流体F Lに含まれる気泡の平均直径は、100 nm以下であった。即ち、気泡微細化用管状体200にて、気泡の平均直径が1 / 10以下に微細化されたことが確認された。

[0064] [実施例2]

気液混合流体F Lを構成する気体に酸素を用いたこと以外は、実施例1と同じ条件で、溶解によって微細化された気泡を含む気液混合流体F Lを得た。

[0065] 図7に、得られた気液混合流体F L中の気泡の直径別頻度分布を示す。グラフCは、度数分布を示し、グラフDは、累積度数分布を示す。気液混合流体F Lに含まれる気泡の平均直径は、100 nm以下であった。即ち、気泡微細化用管状体200にて、気泡の平均直径が1 / 10以下に微細化されたことが確認された。

[0066] [実施例3]

気液混合流体F Lを構成する液体に水道水を用いたこと以外は、実施例1と同じ条件で、溶解によって微細化された気泡を含む気液混合流体F Lを得た。

[0067] 図8に、得られた気液混合流体F L中の気泡の直径別頻度分布を示す。グラフEは、度数分布を示し、グラフFは、累積度数分布を示す。気液混合流体F Lに含まれる気泡の平均直径は、100 nm以下であった。即ち、気泡微細化用管状体200にて、気泡の平均直径が1 / 10以下に微細化されたことが確認された。

[0068] [実施例 4]

気液混合流体 F L を構成する液体に水道水を用い、気体に酸素を用いたこと以外は、実施例 1 と同じ条件で、溶解によって微細化された気泡を含む気液混合流体 F L を得た。

[0069] 図 9 に、得られた気液混合流体 F L 中の気泡の直径別頻度分布を示す。グラフ G は、度数分布を示し、グラフ H は、累積度数分布を示す。気液混合流体 F L に含まれる気泡の平均直径は、100 nm 以下であった。即ち、気泡微細化用管状体 200 にて、気泡の平均直径が 1 / 10 以下に微細化されたことが確認された。

[0070] 以上、本発明の実施形態と実施例について説明したが、本発明はこれに限られない。例えば、以下に述べる変形も可能である。

[0071] 上記実施形態 1 では、気泡微細化用管状体 200 にコイル状部 203 を設けたが、コイル状部 203 は必須ではない。気泡微細化用管状体 200 の一部分が湾曲していれば、ディーン渦 D V が形成され得る。また、気泡を微細化させるにあたり、ディーン渦 D V の形成は必須ではない。直線状に延びる直管よりなる気泡微細化用管状体においても、圧力損失による内圧の上昇は生じ得、上昇した内圧で気泡が微細化され得る。

[0072] 図 1 には、理解を容易にするために、気体源 G S を示したが、例えば気体が空気である場合には、気体源 G S を省略できる。また、気体源 G S として、気体が圧入されたポンペを用いる場合は、そのポンペからの気体の吐出圧を利用できるため、気体ポンプ 30 を省略し得る。また、液体として水道水を用いる場合のように、加圧された液体が得られる場合は、液体源 L S と液体ポンプ 40 を省略し得る。

[0073] 上記実施形態 1 では、気泡微細化用管状体 200 における気液混合流体 F L が流れる部分の断面積が、一端 201 から他端 202 にわたって一定であったが、このことは必須ではない。気泡微細化用管状体 200 の断面積が、気泡微細化用管状体 200 の経路長方向の位置によって異なってもよい。例えば、気泡微細化用管状体 200 内に、気液混合流体 F L の流れを絞る

絞り部が設けられていてもよい。気泡微細化用管状体 200 の断面積が経路長方向の位置によって異なる場合、長尺度 Y/X を定義する断面積を X とは、気泡微細化用管状体 200 における断面積の最大値を指すものとする。

[0074] 上記実施形態 3 では、気泡形成装置 600 が 2 本の気泡微細化用管状体 210 及び 220 を備えたが、気泡形成装置 600 は 3 本以上の気泡微細化用管状体を備えてもよい。また、それら複数本の気泡微細化用管状体の寸法及び形状が、互いに異なってもよい。

[0075] 本発明は、その広義の精神と範囲を逸脱することなく、様々な変形が可能とされる。上記実施形態及び実施例は、本発明を説明するためのものであり、本発明の範囲を限定するものではない。本発明の範囲は、請求の範囲によって示される。請求の範囲内及びそれと同等の範囲内で施される様々な変形が、本発明の範囲内とみなされる。

[0076] 本出願は、2017 年 6 月 7 日に日本国に出願された特願 2017-112245 号に基づく。本明細書中に特願 2017-112245 号の明細書、特許請求の範囲、図面全体を参照として取り込むものとする。

産業上の利用可能性

[0077] 本発明に係る泡形成装置及び気泡形成方法は、微細化された気泡を含む気液混合流体の形成に用いることができる。

符号の説明

[0078] 10…気液混合室、
20…多孔質部材、
30…気体ポンプ、
40…液体ポンプ、
51, 52…配管、
61, 62…弁、
71, 72, 73…圧力計、
100…吐出部、
200, 210, 220…気泡微細化用管状体、

201 …気泡微細化用管状体の一端、
202 …気泡微細化用管状体の他端、
203 …コイル状部、
300 …温度調整装置（温度調整手段）、
310 …恒温液槽、
320 …温度調整器、
400, 500, 600 …気泡形成装置、
LS …液体源、
GS …気体源、
FL …気液混合流体、
TV …乱流渦、
DV …ディーン渦。

請求の範囲

- [請求項1] 液体と前記液体中に分散した気泡とを含む気液混合流体を形成すると共に、形成した前記気液混合流体を吐出する吐出部と、
- 両端が開口した管状をなしており、前記吐出部によって吐出される前記気液混合流体が一端から導入されると共に、導入された前記気液混合流体を他端へ案内する気泡微細化用管状体と、を備え、
- 前記吐出部から前記気液混合流体が吐出される圧力によって、前記気泡微細化用管状体の内圧が、前記気泡が前記液体に溶解する程度に高められ、高められた前記内圧による前記気泡の前記液体への溶解が、前記気液混合流体が前記気泡微細化用管状体を流れる期間にわたって進行することにより、前記気液混合流体に含まれる前記気泡が、前記気泡微細化用管状体において微細化される、
- 気泡形成装置。
- [請求項2] 前記気泡微細化用管状体が、
- 前記気泡微細化用管状体における前記気液混合流体が流れる部分の断面積を X 、前記気液混合流体の流路に沿う前記気泡微細化用管状体の経路長を Y としたとき、 Y/X で定義される長尺度が $250[1/mm]$ 以上である形状をなしている、
- 請求項1に記載の気泡形成装置。
- [請求項3] 前記気泡微細化用管状体が、
- 前記気泡微細化用管状体の内部において、前記気液混合流体にディーン渦を形成させる遠心力が前記気液混合流体に作用するように、湾曲した形状をなしている、
- 請求項1又は2に記載の気泡形成装置。
- [請求項4] 前記気泡微細化用管状体が、コイル状に複数回巻かれた形状をなしている、
- 請求項3に記載の気泡形成装置。
- [請求項5] 前記吐出部が、大気圧より高く $0.3MPa$ 以下の値に前記内圧が

高められる条件で、前記気液混合流体を前記気泡微細化用管状体に導入することにより、前記気泡微細化用管状体において、前記気泡の平均直径が、 $1/5$ 以下に微細化される、

請求項 1 から 4 のいずれか 1 項に記載の気泡形成装置。

[請求項6]

前記気泡微細化用管状体を複数本備え、

前記吐出部から吐出される前記気液混合流体が、複数本の前記気泡微細化用管状体を並列に流れるように、前記吐出部に複数本の前記気泡微細化用管状体が接続されている、

請求項 1 から 5 のいずれか 1 項に記載の気泡形成装置。

[請求項7]

前記吐出部が、

前記気液混合流体を構成する前記液体と、前記気液混合流体の前記気泡を構成する気体との流量を、各々独立に調整することができる構成を有する、

請求項 1 から 6 のいずれか 1 項に記載の気泡形成装置。

[請求項8]

前記気泡微細化用管状体を介して前記気液混合流体の温度を調整する温度調整手段、

をさらに備える、

請求項 1 から 7 のいずれか 1 項に記載の気泡形成装置。

[請求項9]

液体と前記液体中に分散した気泡とを含む気液混合流体を形成する事前工程と、

前記事前工程において形成された前記気液混合流体を、両端が開口した管状をなす気泡微細化用管状体に通す気泡微細化工程と、を含み、

前記気泡微細化工程では、前記気液混合流体を前記気泡微細化用管状体に導入する圧力によって、前記気泡微細化用管状体の内圧を、前記気泡が前記液体に溶解する程度に高め、高められた前記内圧による前記気泡の前記液体への溶解を、前記気液混合流体が前記気泡微細化用管状体を流れる期間にわたって進行させることにより、前記気液混

合流体に含まれる前記気泡を、前記気泡微細化用管状体において微細化させる、

気泡形成方法。

[請求項10]

前記気泡微細化工程では、

大気圧より高く 0.3 MPa 以下の値に前記内圧が高められる条件で、前記気液混合流体を前記気泡微細化用管状体に導入することにより、前記気泡微細化用管状体において、前記気泡の平均直径を、1/5 以下に微細化させる、

請求項 9 に記載の気泡形成方法。

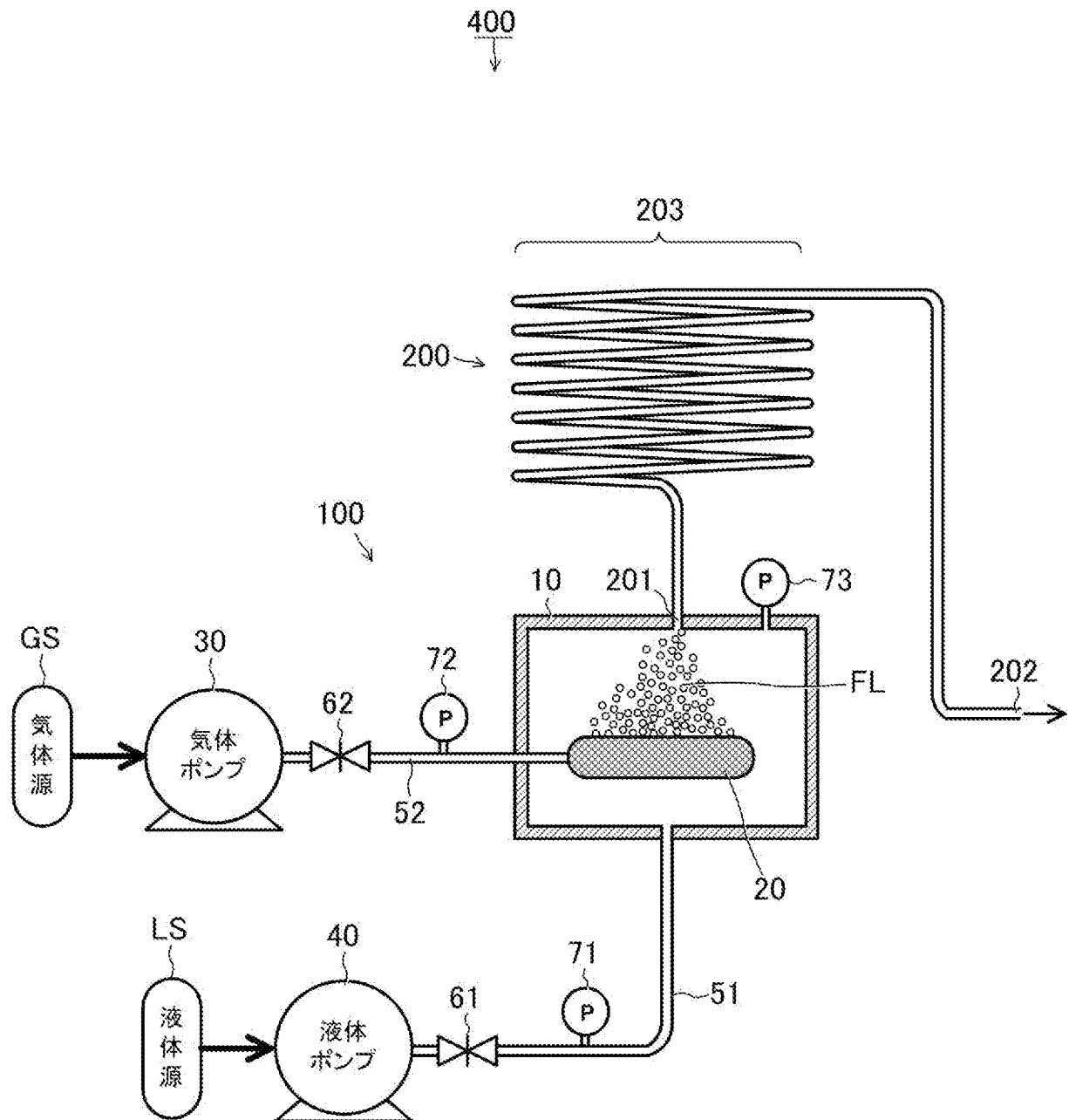
[請求項11]

前記気泡微細化工程では、

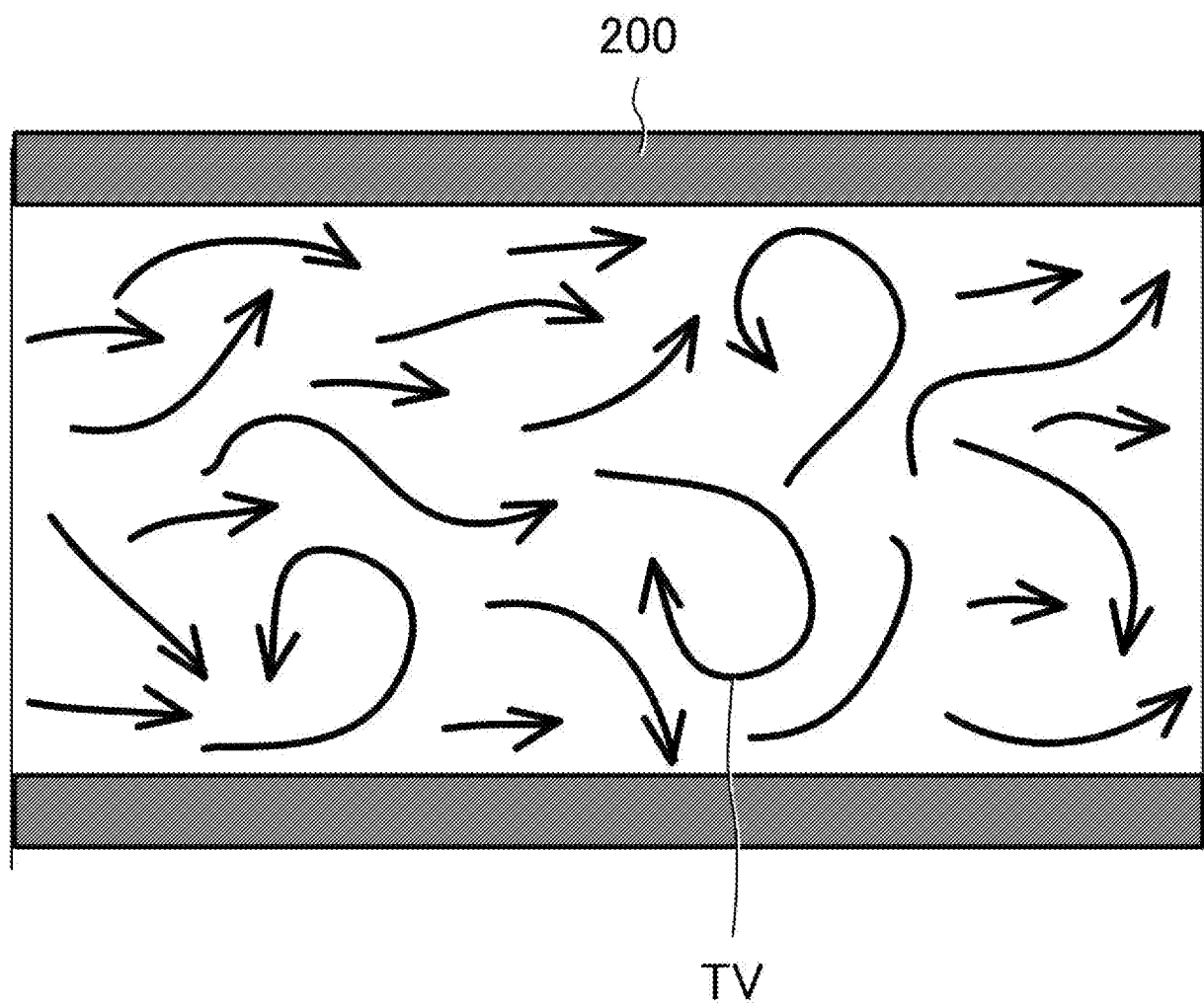
前記気泡微細化用管状体の内部に、レイノルズ数が 3000 以上の、前記気液混合流体の流れが形成される条件で、前記気液混合流体を前記気泡微細化用管状体に導入する、

請求項 9 又は 10 に記載の気泡形成方法。

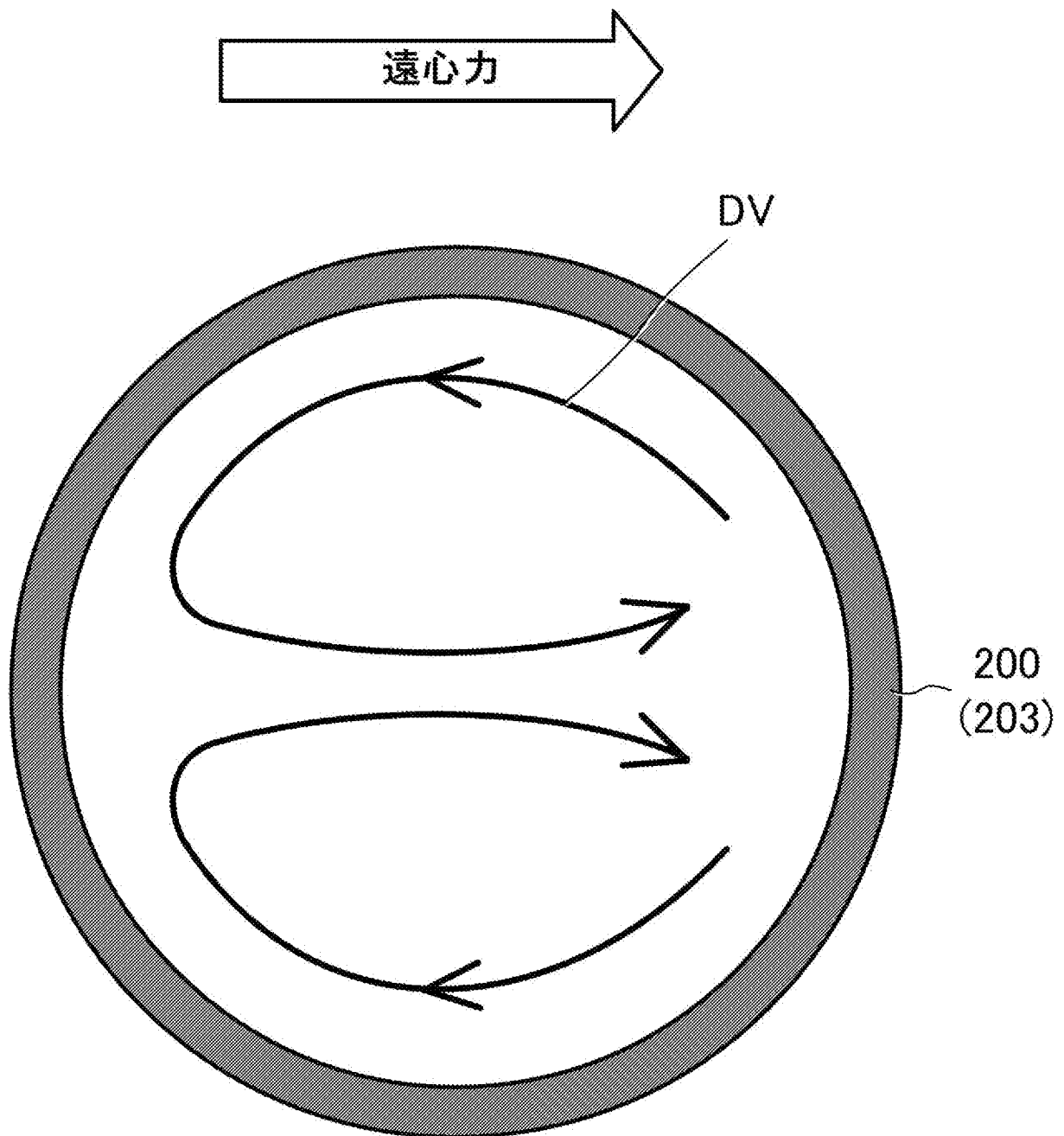
[図1]



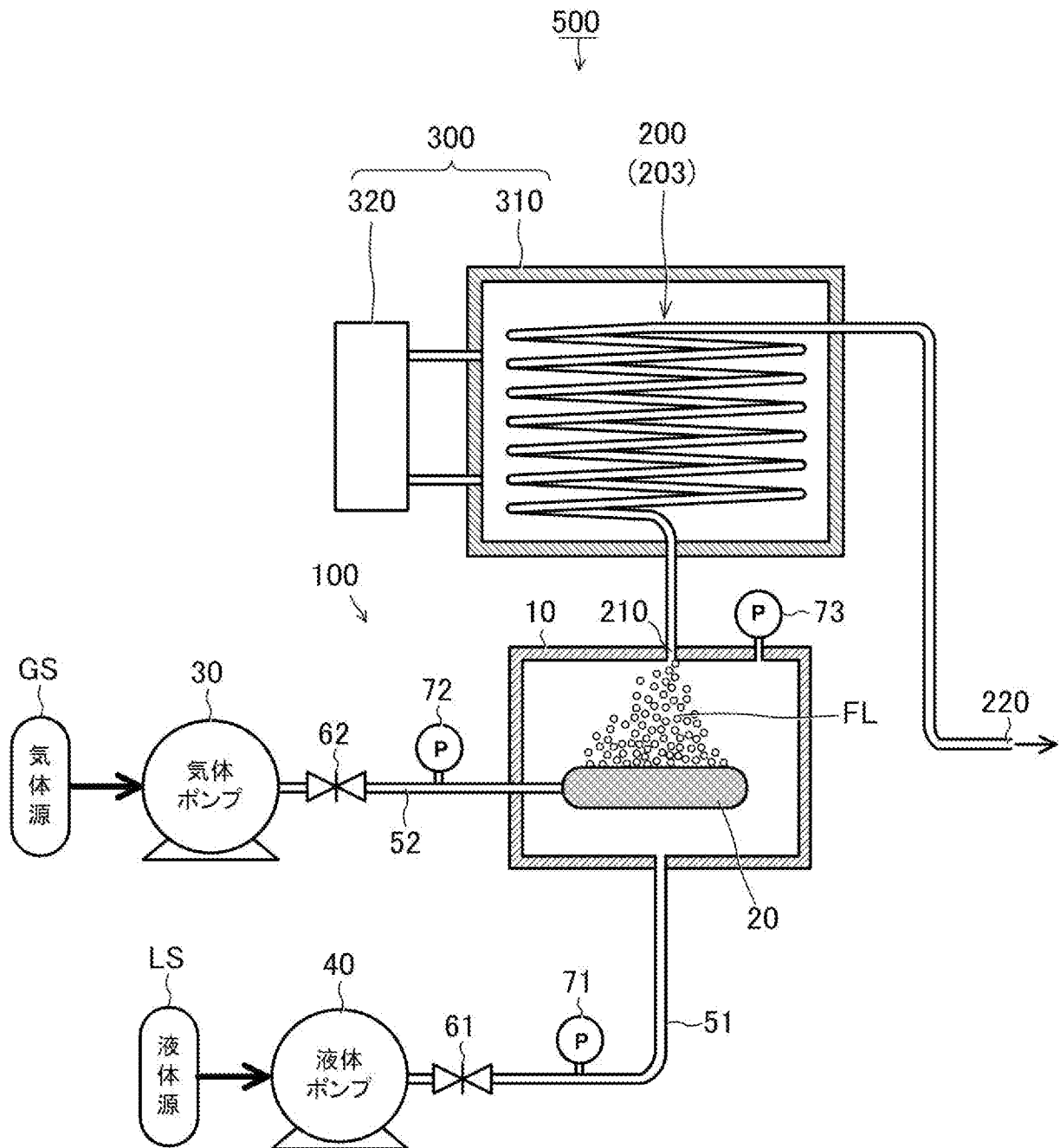
[図2]



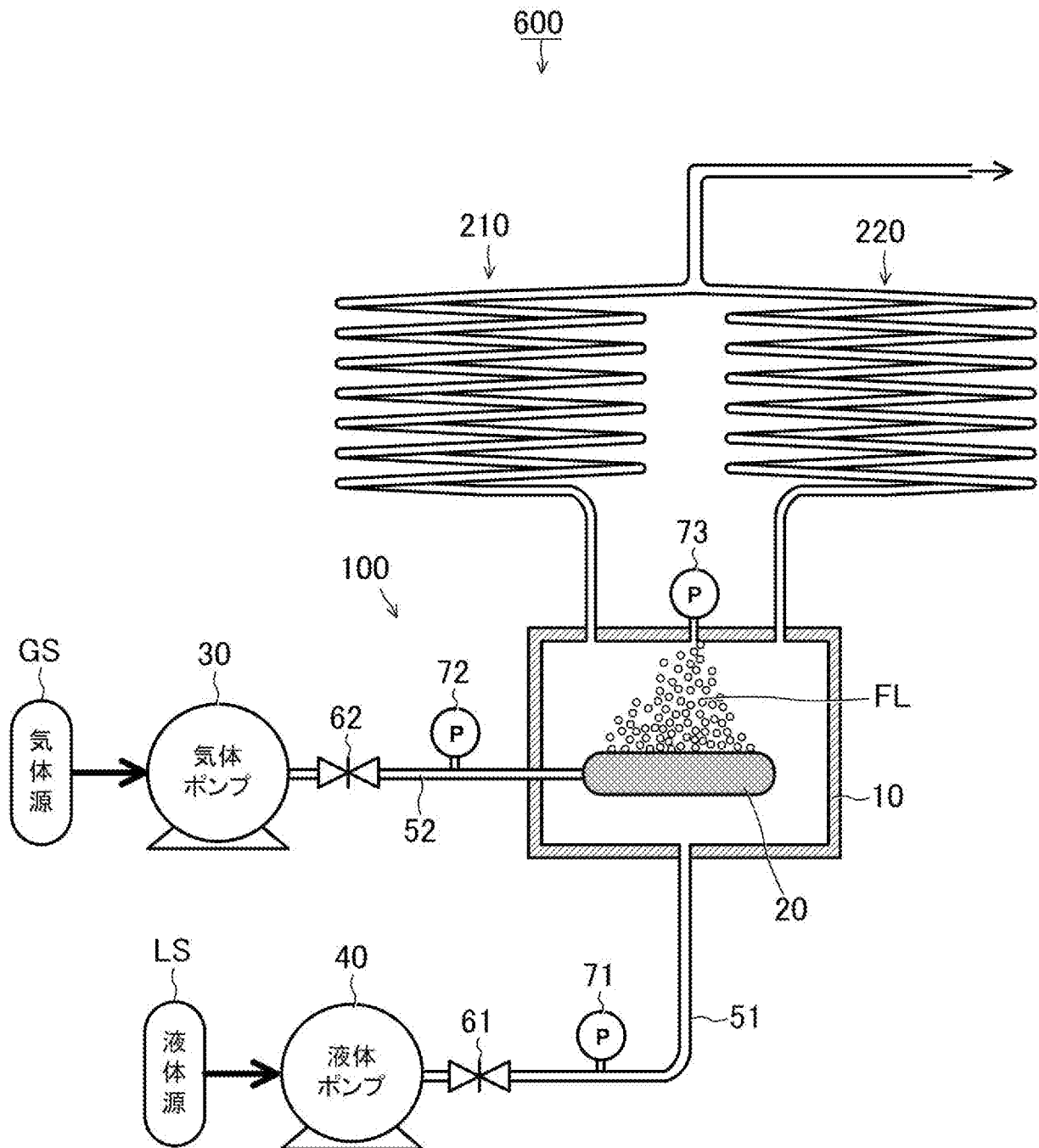
[図3]



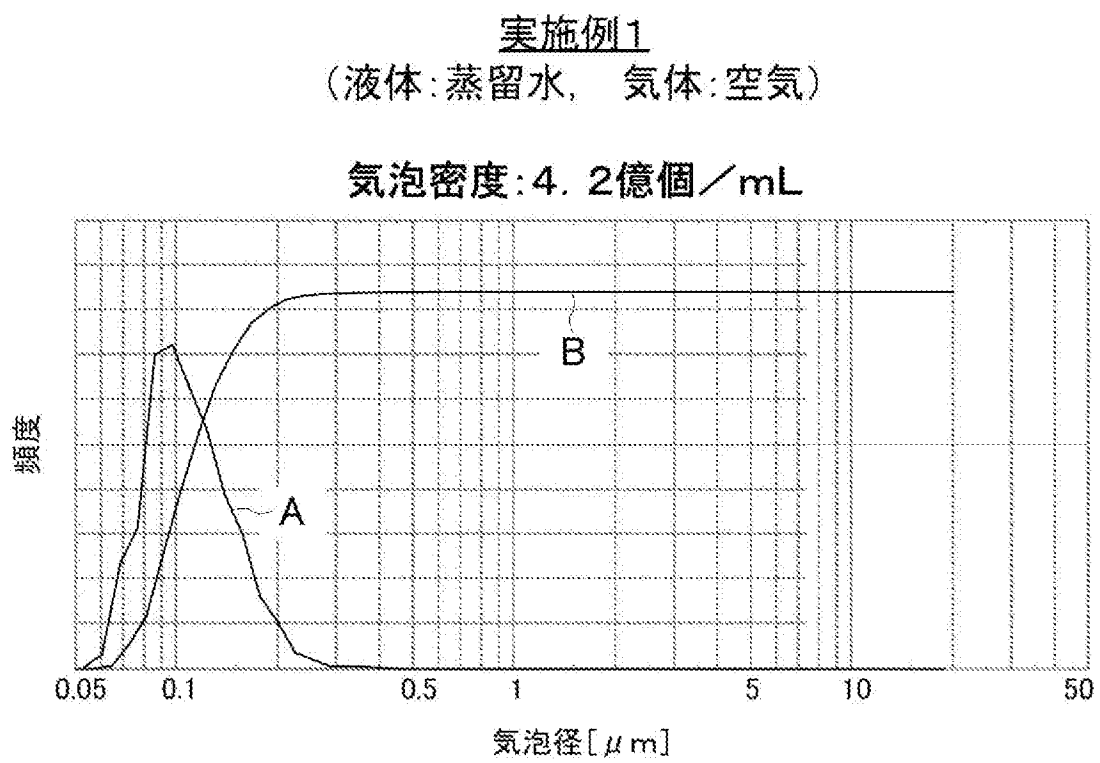
[図4]



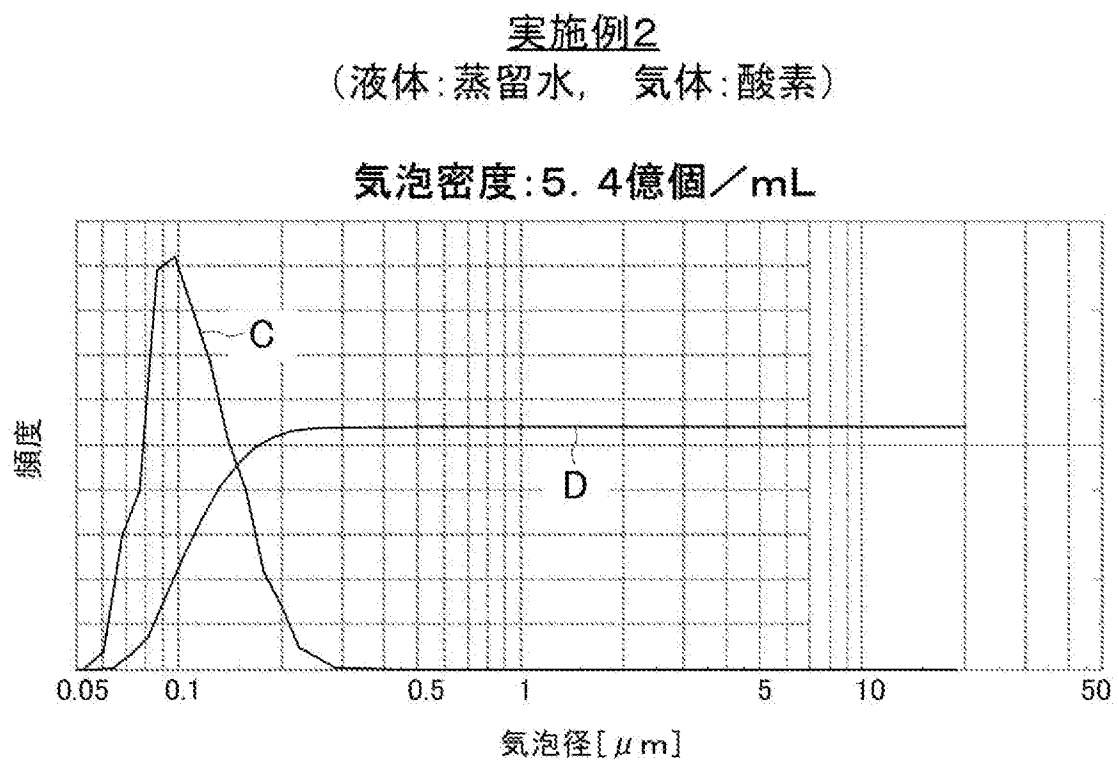
[図5]



[図6]



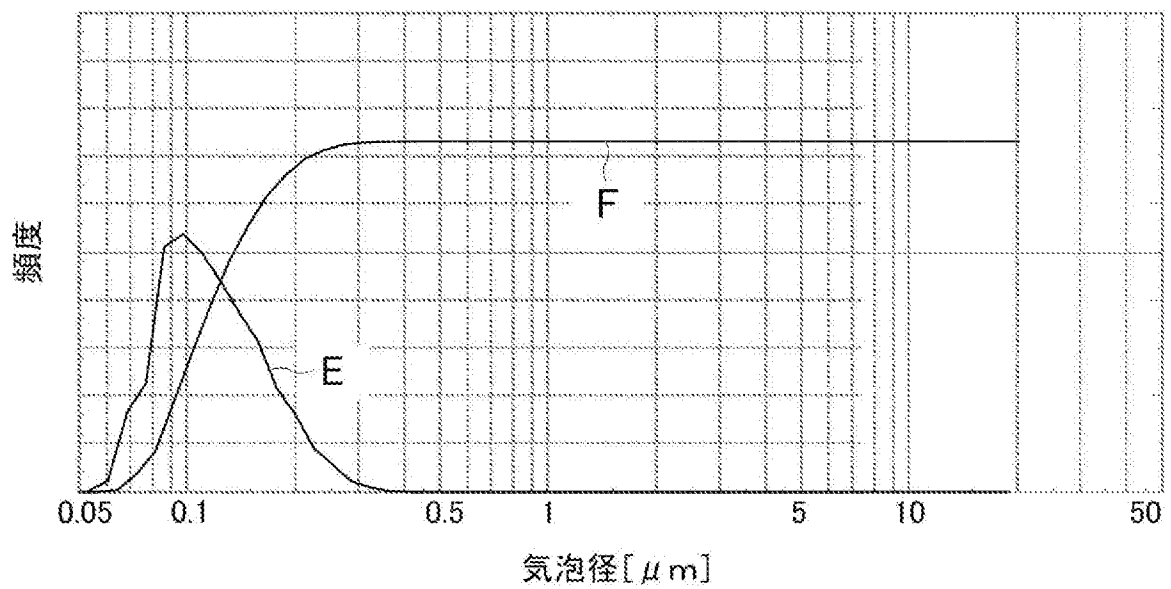
[図7]



[図8]

実施例3
(液体:水道水, 気体:空気)

気泡密度: 3.7億個/mL

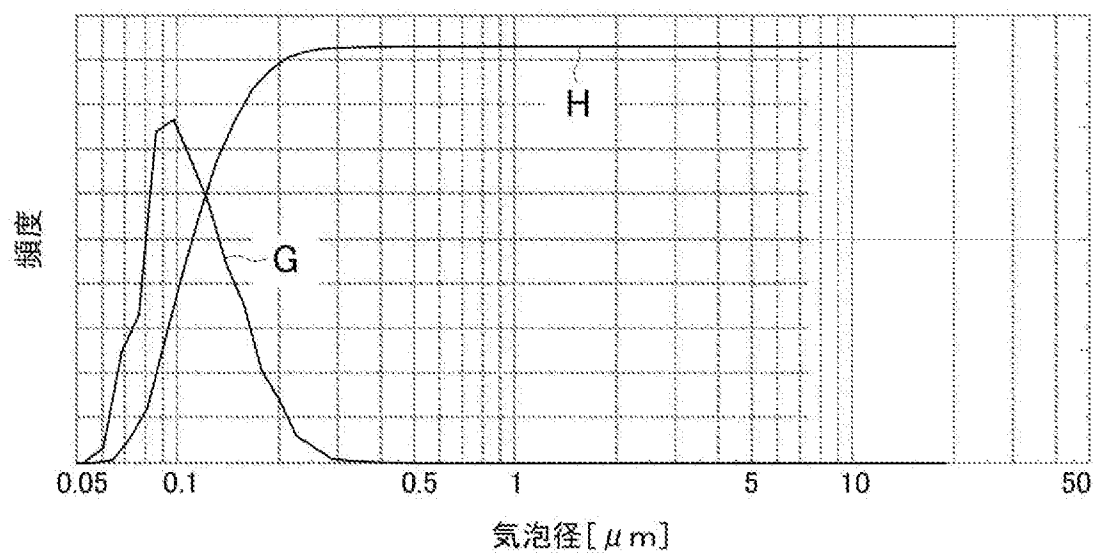


[図9]

実施例4

(液体:水道水, 気体:酸素)

気泡密度: 9.3億個/mL



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2018/019795

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl. B01F3/04 (2006.01) i, B01F1/00 (2006.01) i, B01F5/00 (2006.01) i

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)

Int.Cl. B01F1/00-B01F5/26

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	1971-2018
Registered utility model specifications of Japan	1996-2018
Published registered utility model applications of Japan	1994-2018

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 2016-155081 A (TECH CORPORATION CO., LTD.) 01	1-10
Y	September 2016, claims, paragraphs [0016], [0019]-[0083], fig. 1-6 & WO 2016/136762 A1	3-4, 11
Y	JP 2014-147870 A (SHINWA CO., LTD.) 21 August 2014, claims, paragraphs [0010], [0014], [0017], [0028]-[0034], fig. 1, 4, 5 (Family: none)	3-4



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

26 July 2018 (26.07.2018)

Date of mailing of the international search report

07 August 2018 (07.08.2018)

Name and mailing address of the ISA/

Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2018/019795

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 2011/0301531 A1 (SPEARS, James Richard) 08 December 2011, claims, paragraphs [0005]-[0017], [0053], [0054], examples, fig. 1, 2A-E & US 2014/0035173 A1 & US 2016/0220969 A1 & WO 2011/156231 A1 & CA 2802095 A1	11
A	JP 2010-194440 A (PANASONIC ELECTRIC WORKS CO., LTD.) 09 September 2010, entire text (Family: none)	1-11
A	JP 2013-123701 A (PANASONIC CORP.) 24 June 2013, entire text (Family: none)	1-11
A	JP 2011-152513 A (PANASONIC ELECTRIC WORKS CO., LTD.) 11 August 2011, entire text (Family: none)	1-11
A	JP 2008-188574 A (PANASONIC ELECTRIC WORKS CO., LTD.) 21 August 2008, entire text & JP 2009-160589 A & JP 2009-165491 A & JP 2009-172606 A	1-11
A	EP 2103344 A1 (TENG, Minchien) 23 September 2009, entire text & TW M341556 U & TW M341551 U	1-11

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. B01F3/04(2006.01)i, B01F1/00(2006.01)i, B01F5/00(2006.01)i

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））

Int.Cl. B01F1/00-B01F5/26

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	1971-2018年
日本国実用新案登録公報	1996-2018年
日本国登録実用新案公報	1994-2018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 Y	JP 2016-155081 A（株式会社テックコーポレーション）2016.09.01, 特許請求の範囲、[0016]、[0019] - [0083]、図1 - 6 & WO 2016/136762 A1	1-10 3-4, 11
Y	JP 2014-147870 A（株式会社 シンワ）2014.08.21, 特許請求の範囲、[0010]、[0014]、[0017]、[0028] - [0034]、図1、4、5（ファミリーなし）	3-4

☒ 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矛盾するものではなく、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

26.07.2018

国際調査報告の発送日

07.08.2018

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/J P）

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

小久保 勝伊

4D

9831

電話番号 03-3581-1101 内線 3421

C (続き) . 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
Y	US 2011/0301531 A1 (SPEARS James Richard) 2011.12.08, 請求の 範囲、[0005] - [0017]、[0053]、[0054]、実施 例、図1、2A-E & US 2014/0035173 A1 & US 2016/0220969 A1 & WO 2011/156231 A1 & CA 2802095 A1	11
A	JP 2010-194440 A (パナソニック電工株式会社) 2010.09.09, 全文 (ファミリーなし)	1-11
A	JP 2013-123701 A (パナソニック株式会社) 2013.06.24, 全文 (フ ァミリーなし)	1-11
A	JP 2011-152513 A (パナソニック電工株式会社) 2011.08.11, 全文 (ファミリーなし)	1-11
A	JP 2008-188574 A (パナソニック電工株式会社) 2008.08.21, 全文 & JP 2009-160589 A & JP 2009-165491 A & JP 2009-172606 A	1-11
A	EP 2103344 A1 (TENG Min Chien) 2009.09.23, 全文 & TW M341556 U & TW M341551 U	1-11