

(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2017-23996
(P2017-23996A)

(43) 公開日 平成29年2月2日(2017.2.2)

(51) Int.Cl.			F I			テーマコード (参考)	
BO1F	5/06	(2006.01)	BO1F	5/06		4G035	
BO1F	3/04	(2006.01)	BO1F	3/04	Z	4G037	
BO1F	5/00	(2006.01)	BO1F	5/00	D		
BO1F	15/02	(2006.01)	BO1F	15/02	A		
			BO1F	15/02	C		

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2016-102492 (P2016-102492)
 (22) 出願日 平成28年5月23日 (2016.5.23)
 (31) 優先権主張番号 特願2015-141304 (P2015-141304)
 (32) 優先日 平成27年7月15日 (2015.7.15)
 (33) 優先権主張国 日本国 (JP)

(71) 出願人 504258527
 国立大学法人 鹿児島大学
 鹿児島県鹿児島市郡元一丁目21番24号
 (74) 代理人 100095407
 弁理士 木村 満
 (74) 代理人 100162259
 弁理士 未富 孝典
 (74) 代理人 100133592
 弁理士 山口 浩一
 (74) 代理人 100168114
 弁理士 山中 生太
 (72) 発明者 五島 崇
 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
 Fターム(参考) 4G035 AB26 AB27 AC26 AE02 AE13
 4G037 AA01 AA11 AA18 EA01

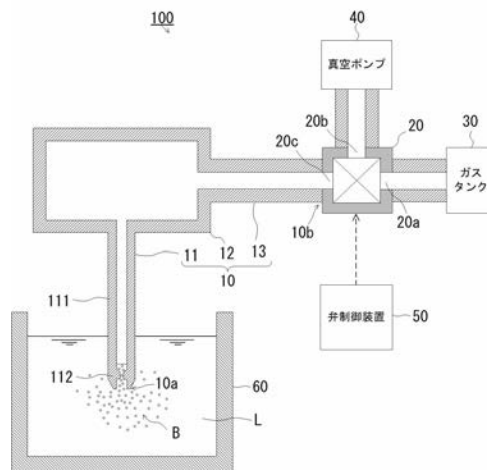
(54) 【発明の名称】 気泡生成装置及び気泡生成方法

(57) 【要約】

【課題】大がかりな構成を必要とせずに、微細化された気泡を効率よく生成することができる技術を提供する。

【解決手段】気泡生成装置100は、下流端10aが液体L中に配置されるガス流路10と、ガス流路10の上流端10bに接続された電磁弁20と、電磁弁20に接続されたガスタンク30及び真空ポンプ40と、電磁弁20を制御する弁制御装置50とを備える。電磁弁20、ガスタンク30、真空ポンプ40、及び弁制御装置50によって構成されるガス圧制御装置が、ガス流路10内を減圧することで、液体Lがガス流路10内のガスと混ざり合うように、液体Lを下流端10aから吸い込ませたのち、ガス流路10内を加圧することで、ガス流路10内の液体L及びガスを、下流端10aから噴出させる。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

下流端が液体中に配置されるガス流路と、
前記ガス流路内を減圧することにより、前記液体が前記ガス流路内のガスと混ざり合うように、前記液体を前記下流端から吸い込ませたのち、前記ガス流路内を加圧することにより、前記ガス流路内の前記液体及び該液体と混ざり合った前記ガスを、前記下流端から前記液体中に噴出させるガス圧制御装置と、
を備える気泡生成装置。

【請求項 2】

前記ガス流路の下流端が、前記液体の流れを絞る絞り部を有するノズルで構成され、
前記ガス圧制御装置によって前記ガス流路内が減圧された際に、前記ノズルから吸い込まれた液体が、前記絞り部から前記ガス流路の上流端側に向かって噴出することにより、前記ガス流路内のガスと混ざり合う請求項 1 に記載の気泡生成装置。

10

【請求項 3】

前記ガス圧制御装置が、
第 1 及び第 2 の入力ポート並びに出力ポートの少なくとも 3 つのポートを有し、前記出力ポートに前記ガス流路の上流端が接続される弁と、
前記第 1 の入力ポートに接続されるガスタンクと、
前記第 2 の入力ポートに接続される真空ポンプと、
前記第 1 の入力ポートが前記出力ポートに連通された状態と、前記第 2 の入力ポートが前記出力ポートに連通された状態とが交互に切り替えられるように、前記弁を制御する弁制御装置と、
を有する請求項 1 又は 2 に記載の気泡生成装置。

20

【請求項 4】

前記ガス流路の下流端が配置される前記液体を貯留する液体貯留部を有する蓄気室と、
前記液体貯留部を、前記蓄気室の外部において液体を貯留する液槽に連通させる液体連通路と、をさらに備え、
前記ガス圧制御装置が、前記ガス流路の上流端からガスを送り込む際に前記蓄気室を加圧し、前記ガス流路内を減圧する際に前記蓄気室を減圧する制御を行う請求項 1 から 3 のいずれか 1 項に記載の気泡生成装置。

30

【請求項 5】

前記蓄気室が前記ガス流路と連通している請求項 4 に記載の気泡生成装置。

【請求項 6】

下流端が液体中に配置されたガス流路内を減圧することにより、前記液体が前記ガス流路内のガスと混ざり合うように、前記液体を前記下流端から吸い込ませるステップと、
前記吸い込ませた液体及び該液体と混ざり合った前記ガスを、前記ガス流路内を加圧することにより、前記下流端から前記液体中に噴出させるステップと、
を含む気泡生成方法。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】**

40

【0001】

本発明は、気泡生成装置及び気泡生成方法に関する。

【背景技術】**【0002】**

近年、化学工業や生物工業等の分野で、液体中に生成した気泡、特にファインバブルと呼ばれる直径 100 μm 以下の気泡が利用されている。気泡を生成する手法を開示した文献として、下記特許文献 1 及び 2 が挙げられる。

【0003】

特許文献 1 は、下流端が液体中に配置されたガス管の上流端から、オーディオスピーカで生成した音波を導入する手法を提案している。特許文献 1 は、音波の振動によって、ガ

50

ス管の下流端から気泡が生成されると説明している。

【0004】

特許文献2は、気泡を噴出する微細孔が多数形成された円盤を液体中で回転させる手法を開示している。円盤の回転によって気泡に剪断力が作用し、この剪断力によって気泡が微細化される。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特開2008-36502号公報

【特許文献2】国際公開第2008/143319号

10

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

特許文献1の技術では、微細化された気泡を効率的に生成することが難しい。これは、音波はその振動によってガス管の下流端からガスを少しずつ離脱させる作用を奏するにすぎないためと考えられる。

【0007】

特許文献2の円盤を用いれば、微細化された気泡を効率的に生成しうるが、液槽中で円盤を回転させる機構が必要となるため、装置構成が大がかりとなる。

【0008】

20

本発明は、上記事情に鑑みてなされたものであり、大がかりな構成を必要とせずに、微細化された気泡を効率よく生成することができる技術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】

【0009】

上記目的を達成するために、本発明の第1の観点に係る気泡生成装置は、
下流端が液体中に配置されるガス流路と、

前記ガス流路内を減圧することにより、前記液体が前記ガス流路内のガスと混ざり合うように、前記液体を前記下流端から吸い込ませたのち、前記ガス流路内を加圧することにより、前記ガス流路内の前記液体及び該液体と混ざり合った前記ガスを、前記下流端から前記液体中に噴出させるガス圧制御装置と、

30

を備える。

【0010】

上記気泡生成装置においては、

前記ガス流路の下流端が、前記液体の流れを絞る絞り部を有するノズルで構成され、

前記ガス圧制御装置によって前記ガス流路内が減圧された際に、前記ノズルから吸い込まれた液体が、前記絞り部から前記ガス流路の上流端側に向かって噴出することにより、前記ガス流路内のガスと混ざり合うようにしてもよい。

【0011】

また、前記ガス圧制御装置が、

第1及び第2の入力ポート並びに出力ポートの少なくとも3つのポートを有し、前記出力ポートに前記ガス流路の上流端が接続される弁と、

40

前記第1の入力ポートに接続されるガスタンクと、

前記第2の入力ポートに接続される真空ポンプと、

前記第1の入力ポートが前記出力ポートに連通された状態と、前記第2の入力ポートが前記出力ポートに連通された状態とが交互に切り替えられるように、前記弁を制御する弁制御装置と、

を有してもよい。

【0012】

また、前記ガス流路の下流端が配置される前記液体を貯留する液体貯留部を有する蓄気室と、

50

前記液体貯留部を、前記蓄気室の外部において液体を貯留する液槽に連通させる液体連通路と、をさらに備え、

前記ガス圧制御装置が、前記ガス流路の上流端からガスを送り込む際に前記蓄気室を加圧し、前記ガス流路内を減圧する際に前記蓄気室を減圧する制御を行ってもよい。

【0013】

また、前記蓄気室が前記ガス流路と連通していてもよい。

【0014】

本発明の第2の観点に係る気泡生成方法は、

下流端が液体中に配置されたガス流路内を減圧することにより、前記液体が前記ガス流路内のガスと混ざり合うように、前記液体を前記下流端から吸い込ませるステップと、

前記吸い込ませた液体及び該液体と混ざり合った前記ガスを、前記ガス流路内を加圧することにより、前記下流端から前記液体中に噴出させるステップと、

を含む。

【発明の効果】

【0015】

本発明によれば、ガス流路内に吸い込まれた液体が、ガス流路内でガスと混ざり合うため、ガス流路内で気泡を生成することができる。生成された気泡に対し、ガス流路の減圧及び加圧のそれぞれの過程で、ガス流路内で攪拌力等を作用させることができるため、気泡の微細化を効率的に行うことができる。液体中にはガス流路の下流端を配置するだけでよく、従来必要であった円盤等の剪断力を付与するための部材が不要であるため、大がかりな構成を必要とせずに済む。

【図面の簡単な説明】

【0016】

【図1】第1の実施形態に係る気泡生成装置の概略構成を示す概念図である。

【図2】気泡生成ノズルの断面図である。

【図3】蓄気室内の気圧変動を模式的に示すグラフである。

【図4】第2の実施形態に係る気泡生成装置の概略構成を示す概念図である。

【図5】ガス流路の下流端の部分の構成例を示す断面図である。

【図6】(A)は実施例1に係る蓄気室内の気圧変動を示すグラフであり、(B)は実施例1で得られた気泡の直径別頻度分布を示すヒストグラムである。

【図7】(A)は実施例2に係る蓄気室内の気圧変動を示すグラフであり、(B)は実施例2で得られた気泡の直径別頻度分布を示すヒストグラムである。

【図8】(A)は実施例3に係る蓄気室内の気圧変動を示すグラフであり、(B)は実施例3で得られた気泡の直径別頻度分布を示すヒストグラムである。

【図9】(A)は実施例4～7で共通して用いた気泡生成ノズルの斜視図であり、(B)は同気泡生成ノズルの断面図である。

【図10】(A)は実施例4に係る蓄気室内の気圧変動を示すグラフであり、(B)は実施例4で得られた気泡の直径別頻度分布を示すヒストグラムである。

【図11】(A)は実施例5に係る蓄気室内の気圧変動を示すグラフであり、(B)は実施例5で得られた気泡の直径別頻度分布を示すヒストグラムである。

【図12】(A)は実施例6に係る蓄気室内の気圧変動を示すグラフであり、(B)は実施例6で得られた気泡の直径別頻度分布を示すヒストグラムである。

【図13】(A)は実施例7に係る蓄気室内の気圧変動を示すグラフであり、(B)は実施例7で得られた気泡の直径別頻度分布を示すヒストグラムである。

【図14】気泡のゾータ平均径の、蓄気室内の気圧変動の周波数に対する依存性を示すグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0017】

以下、本発明の一実施形態に係る気泡生成装置について、図面を参照しながら説明する。図中、同一又は相当する部分に同一符号を付す。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 8 】

〔 第 1 の 実 施 形 態 〕

図 1 に示すように、第 1 の実施形態に係る気泡生成装置 1 0 0 は、下流端 1 0 a が液槽 6 0 内の液体 L 中に配置されるガス流路 1 0 と、ガス流路 1 0 の上流端 1 0 b に接続された電磁弁 2 0 と、電磁弁 2 0 に接続されたガスタンク 3 0 及び真空ポンプ 4 0 と、電磁弁 2 0 を制御する弁制御装置 5 0 とを備える。

【 0 0 1 9 】

ガス流路 1 0 は、内部にガスを収容する空間を画定する蓄気室 1 2 と、蓄気室 1 2 内のガスを液槽 6 0 に案内する下流側ガス管 1 1 と、蓄気室 1 2 を電磁弁 2 0 に接続する上流側ガス管 1 3 とを有する。

【 0 0 2 0 】

下流側ガス管 1 1 は、蓄気室 1 2 に接続される本体部 1 1 1 と、本体部 1 1 1 の下流側端部に接続される気泡生成ノズル 1 1 2 とを有する。気泡生成装置 1 0 0 は、後述するように、気泡生成ノズル 1 1 2 から液体 L を吸い込み、吸い込んだ液体 L をガス流路 1 0 内のガスと共に気泡生成ノズル 1 1 2 から噴出させる動作を繰り返す。

【 0 0 2 1 】

図 2 に示すように、気泡生成ノズル 1 1 2 は、本体部 1 1 1 側から、ガス流路 1 0 (図 1 参照) の下流端 1 0 a に位置する端部開口 1 1 2 e に向かって順に連続して形成される縮径テーパ部 1 1 2 a、喉部 1 1 2 b、拡径テーパ部 1 1 2 c、及び直管部 1 1 2 d を有する。これらのうち、縮径テーパ部 1 1 2 a、喉部 1 1 2 b、及び拡径テーパ部 1 1 2 c によって、液体 L の流れを絞る絞り部が構成されている。

【 0 0 2 2 】

縮径テーパ部 1 1 2 a では、喉部 1 1 2 b に向かってガス流路 1 0 の断面積が次第に減少する。喉部 1 1 2 b では、ガス流路 1 0 の断面積は略一定である。喉部 1 1 2 b におけるガス流路 1 0 の断面積は、気泡生成ノズル 1 1 2 において最も小さい。拡径テーパ部 1 1 2 c では、直管部 1 1 2 d に向かってガス流路 1 0 の断面積が次第に増大する。直管部 1 1 2 d におけるガス流路 1 0 の断面積は、本体部 1 1 1 におけるガス流路 1 0 の断面積よりも小さい。

【 0 0 2 3 】

図 1 に戻って、電磁弁 2 0 は、第 1 の入力ポート 2 0 a、第 2 の入力ポート 2 0 b、及び出力ポート 2 0 c を有する三方弁である。第 1 の入力ポート 2 0 a に、ガスタンク 3 0 が接続されている。第 2 の入力ポート 2 0 b に、真空ポンプ 4 0 の吸気口が接続されている。出力ポート 2 0 c に、ガス流路 1 0 の上流端 1 0 b が接続されている。

【 0 0 2 4 】

ガスタンク 3 0 は、気密な容器で構成される。ガスタンク 3 0 には、気泡 B を形成するガスがコンプレッサにより予め圧入されている。ガスタンク 3 0 は、第 1 の入力ポート 2 0 a が出力ポート 2 0 c と連通した際に、ガス流路 1 0 の上流端 1 0 b からガス流路 1 0 内にガスを送り込む。

【 0 0 2 5 】

真空ポンプ 4 0 は、第 2 の入力ポート 2 0 b が出力ポート 2 0 c と連通した際に、ガス流路 1 0 からガスを排出することで、ガス流路 1 0 内を減圧する。

【 0 0 2 6 】

弁制御装置 5 0 は、第 1 の入力ポート 2 0 a が出力ポート 2 0 c に連通された状態と、第 2 の入力ポート 2 0 b が出力ポート 2 0 c に連通された状態とが交互に切り替えられるように、電磁弁 2 0 を制御する。これにより、弁制御装置 5 0 は、電磁弁 2 0、ガスタンク 3 0、及び真空ポンプ 4 0 と共に、ガス流路 1 0 内のガス圧を制御するガス圧制御装置としての役割を果たす。

【 0 0 2 7 】

図 3 は、蓄気室 1 2 内の気圧変動を模式的に示したグラフである。以下、図 3 を参照し、弁制御装置 5 0 によって実現される気泡生成装置 1 0 0 の動作を説明する。

10

20

30

40

50

【 0 0 2 8 】

時刻 T 0 で、弁制御装置 5 0 は、第 2 の入力ポート 2 0 b を出力ポート 2 0 c と連通させる。これにより、ガス流路 1 0 内のガスが、真空ポンプ 4 0 によって排気される。このため、蓄気室 1 2 内の気圧が次第に低下してゆく。以降、弁制御装置 5 0 は、時刻 T 0 ~ T 2 の間、第 2 の入力ポート 2 0 b を出力ポート 2 0 c と連通させた状態を保つ。

【 0 0 2 9 】

時刻 T 1 で、蓄気室 1 2 内の気圧が大気圧 P 0 未満の臨界値（以下、吸引開始圧力という。）まで低下し、気泡生成ノズル 1 1 2 内への液体 L の吸い込みが始まる。以降、時刻 T 1 ~ T 3 の間、気泡生成ノズル 1 1 2 内への液体 L の吸い込みが継続する。

【 0 0 3 0 】

図 2 を参照し、液体 L が気泡生成ノズル 1 1 2 内に吸い込まれる際の作用を説明する。液体 L は、加圧されつつ拡径テーパ部 1 1 2 c を通り、喉部 1 1 2 b 及び縮径テーパ部 1 1 2 a を通る過程で急激に減圧されることにより、本体部 1 1 1 側に噴出する。これにより、気泡生成ノズル 1 1 2 内又は本体部 1 1 1 内で、液体 L とガスとが混ざり合う。この結果、気泡生成ノズル 1 1 2 内又は本体部 1 1 1 内で、液体 L 中に気泡 B が生成される。また、気泡 B が生成された後も液体 L の吸い込みが継続されるため、いったん生成された気泡 B が、気泡生成ノズル 1 1 2 内又は本体部 1 1 1 内で攪拌力を受ける。この攪拌力で気泡 B が分裂するため、気泡 B の微細化も図られる。

10

【 0 0 3 1 】

時刻 T 2 で、蓄気室 1 2 の内圧が最小値 P m i n に達する。時刻 T 2 で、弁制御装置 5 0 は、第 1 の入力ポート 2 0 a を出力ポート 2 0 c と連通させる。これにより、ガスタンク 3 0 からガス流路 1 0 内にガスが圧入される。このため、蓄気室 1 2 内の気圧が次第に上昇する。以降、弁制御装置 5 0 は、時刻 T 2 ~ T 5 の間、第 1 の入力ポート 2 0 a を出力ポート 2 0 c と連通させた状態を保つ。

20

【 0 0 3 2 】

時刻 T 3 で、蓄気室 1 2 内の気圧が大気圧 P 0 に戻り、気泡生成ノズル 1 1 2 への液体 L の吸い込みが止まる。このとき、気泡 B を含む液体 L の上面は、図 2 に示す縮径テーパ部 1 1 2 a よりも蓄気室 1 2 側の位置まで達する。

【 0 0 3 3 】

時刻 T 4 で、蓄気室 1 2 内の気圧が大気圧 P 0 を超える臨界値（以下、噴出開始圧力という。）に達し、気泡生成ノズル 1 1 2 からの、液体 L 及び気泡 B の噴出が始まる。以降、時刻 T 4 ~ T 6 の間、気泡生成ノズル 1 1 2 からの液体 L 及び気泡 B の噴出が継続する。

30

【 0 0 3 4 】

図 2 を参照し、液体 L 及び気泡 B が気泡生成ノズル 1 1 2 から噴出する際の作用を説明する。上述した時刻 T 1 ~ T 3 の間に、気泡生成ノズル 1 1 2 内で混ざり合ったガス及び液体 L、即ち気泡生成ノズル 1 1 2 内で生成された気泡 B を含む液体 L は、本体部 1 1 1 側から加圧されつつ縮径テーパ部 1 1 2 a を通り、喉部 1 1 2 b 及び拡径テーパ部 1 1 2 c を通る過程で急激に減圧されることにより、端部開口 1 1 2 e 側に噴出する。この加圧と減圧及び噴出の過程で、気泡 B が攪拌力を受ける。攪拌力で気泡 B が分裂するため、気泡 B のさらなる微細化が図られる。こうして、微細化された気泡 B が液槽 6 0 内に噴出される。

40

【 0 0 3 5 】

時刻 T 5 で、蓄気室 1 2 の内圧が最大値 P m a x に達する。時刻 T 5 で、弁制御装置 5 0 は、第 2 の入力ポート 2 0 b を出力ポート 2 0 c と連通させる。これにより、ガス流路 1 0 内のガスが、真空ポンプ 4 0 によって排気される。このため、蓄気室 1 2 内の気圧が次第に低下してゆく。以降、弁制御装置 5 0 は、時刻 T 5 ~ T 8 の間、第 2 の入力ポート 2 0 b を出力ポート 2 0 c と連通させた状態を保つ。

【 0 0 3 6 】

時刻 T 6 で、蓄気室 1 2 内の気圧が大気圧 P 0 に戻り、気泡生成ノズル 1 1 2 からの気

50

泡 B 及び液体 L の噴出が止まる。

【0037】

時刻 T 7 で、蓄気室 12 内の気圧が吸引開始圧力まで低下し、気泡生成ノズル 112 内への液体 L の吸い込みが始まる。以降、時刻 T 7 ~ T 9 の間、気泡生成ノズル 112 内への液体 L の吸い込みが継続される。

【0038】

このとき、上述した時刻 T 4 ~ T 6 の間に液槽 60 中に噴出した気泡 B が再び吸い込まれることもあり得る。この場合、気泡 B 及び液体 L は、液槽 60 から吸い込まれる際、図 2 に示す端部開口 112 e の位置で剪断力を受ける。剪断力で気泡 B が分裂するため、気泡 B のさらなる微細化が図られる。また、気泡 B は気泡生成ノズル 112 内で再び攪拌力を受けることによっても微細化される。

10

【0039】

そして、時刻 T 8 で、弁制御装置 50 がガスタンク 30 からのガスの圧入を開始させ、時刻 T 9 で、気泡生成ノズル 112 への吸引が止まり、時刻 T 10 で、気泡生成ノズル 112 からの噴出が始まる。

【0040】

このようにして、気泡生成ノズル 112 からの噴出と、気泡生成ノズル 112 内への吸引とが交互に繰り返される。この繰り返しの過程で、微細化された気泡 B が、さらに微細化されてゆく。この結果、例えば、ファインバブルと呼ばれる直径 100 μm 以下の気泡 B を形成することができる。

20

【0041】

以上説明した気泡生成装置 100 によれば、ガス流路 10 内で気泡 B を生成することができ、生成された気泡 B に対し、液体 L の吸い込み及び噴出のそれぞれの過程で、攪拌力等を作用させることができるため、気泡 B の微細化を効率的に行うことができる。

【0042】

また、液槽 60 中には、気泡生成ノズル 112 を含むガス流路 10 の下流側端部を挿入するだけでよい。従来必要であった円盤等の剪断力を付与するための部材を液槽 60 中に配置する必要が無い。液体ポンプも不要である。このため、大がかりな構成を必要とせずに済む。

【0043】

〔第 2 の実施形態〕

次に、図 4 を参照し、本発明の第 2 の実施形態について説明する。

30

【0044】

図 4 に示すように、第 2 の実施形態に係る気泡生成装置 200 は、下流端 70 a が液体 L 中に配置されるガス流路 70 と、ガス流路 70 の上流端 70 b に接続された電磁弁 20 と、電磁弁 20 に接続されたガスタンク 30 及び真空ポンプ 40 と、電磁弁 20 を制御する弁制御装置 50 とを備える。

【0045】

さらに、本気泡生成装置 200 は、ガス流路 70 の下流端 70 a が配置される液体 L を貯留する液体貯留部 80 a を下方に有する蓄気室 80 と、液体貯留部 80 a を、蓄気室 80 の外部において液体 L を貯留する液槽 60 に連通させる液体連通路 90 とを備える。

40

【0046】

ガス流路 70 は、下流端 70 a を構成する気泡生成ノズル（以下、第 1 の気泡生成ノズルという。）112 を備える。第 1 の気泡生成ノズル 112 は、液体貯留部 80 a に挿入されている。また、ガス流路 70 は、蓄気室 80 と連通している。具体的には、ガス流路 70 の、液体貯留部 80 a との接続部分から上流端 70 b までの間の中間部分が、蓄気室 80 に接続されている。

【0047】

液体連通路 90 の液槽 60 側の端部も、気泡生成ノズル（以下、第 2 の気泡生成ノズルという。）112' で構成されている。第 2 の気泡生成ノズル 112' は、第 1 の気泡生

50

成ノズル 1 1 2 と同じく、図 2 に示す構成を有する。

【 0 0 4 8 】

本実施形態においても、弁制御装置 5 0 は、第 1 の入力ポート 2 0 a が出力ポート 2 0 c に連通された状態と、第 2 の入力ポート 2 0 b が出力ポート 2 0 c に連通された状態とが交互に切り替えられるように電磁弁 2 0 を制御する。これにより、弁制御装置 5 0 は、電磁弁 2 0、ガスタンク 3 0、及び真空ポンプ 4 0 と共に、ガス圧制御装置としての役割を果たす。

【 0 0 4 9 】

第 2 の入力ポート 2 0 b が出力ポート 2 0 c に連通された状態では、真空ポンプ 4 0 によって、ガス流路 7 0 及び蓄気室 8 0 が減圧される。この結果、液槽 6 0 内の液体 L が、液体連通路 9 0 を通じて液体貯留部 8 0 a に引き上げられ、液体貯留部 8 0 a の液面レベルが上昇すると共に、液体貯留部 8 0 a に移行した液体 L が、第 1 の気泡生成ノズル 1 1 2 内に吸い込まれる。

10

【 0 0 5 0 】

これにより、液体 L が図 2 に示す喉部 1 1 2 b から本体部 1 1 1 側に噴出し、第 1 の気泡生成ノズル 1 1 2 内で、液体 L とガスとが混ざり合う。この結果、気泡生成ノズル 1 1 2 内で、液体 L 中に気泡 B が生成される。また、いったん生成された気泡 B が第 1 の気泡生成ノズル 1 1 2 内で攪拌力を受ける。この攪拌力で気泡 B が分断されるため、気泡 B の微細化も図られる。

【 0 0 5 1 】

次に、第 1 の入力ポート 2 0 a が出力ポート 2 0 c に連通された状態では、ガスタンク 3 0 からガス流路 7 0 にガスが送り込まれる。この結果、第 1 の気泡生成ノズル 1 1 2 から気泡 B 及び液体 L が噴出する。また、ガス流路 7 0 と連通した蓄気室 8 0 が加圧されるため、液体貯留部 8 0 a に噴出された液体 L 及び気泡 B は、液体連通路 9 0 を通じて、液槽 6 0 に押し込まれる。

20

【 0 0 5 2 】

但し、第 1 の気泡生成ノズル 1 1 2 から噴出された気泡 B のうち、サイズが大きいものは、浮力が勝って上昇し、蓄気室 8 0 に消散する。このため、サイズの小さな気泡 B だけを液槽 6 0 に移動させることができる。さらに、気泡 B は液槽 6 0 に移動する過程で、第 2 の気泡生成ノズル 1 1 2 ' 内で攪拌力を受ける。このため、気泡 B のさらなる微細化が図られる。

30

【 0 0 5 3 】

次に、再び第 2 の入力ポート 2 0 b が出力ポート 2 0 c に連通された状態では、液槽 6 0 内の液体 L 及び気泡 B が、液体連通路 9 0 を通じて液体貯留部 8 0 a に引き戻され、液体貯留部 8 0 a の液面レベルが上昇すると共に、液体貯留部 8 0 a に移行した液体 L 及び気泡 B が、第 1 の気泡生成ノズル 1 1 2 内に吸い込まれる。この過程で、気泡 B は、第 2 の気泡生成ノズル 1 1 2 ' 及び第 1 の気泡生成ノズル 1 1 2 で、再び微細化されうる。

【 0 0 5 4 】

こうして、弁制御装置 5 0 によって、第 1 の入力ポート 2 0 a が出力ポート 2 0 c に連通された状態と、第 2 の入力ポート 2 0 b が出力ポート 2 0 c に連通された状態とが交互に切り替えられることにより、微細化された気泡 B が、さらに微細化されてゆく。この結果、ファインバブルと呼ばれる直径 1 0 0 μm 以下の気泡 B を形成することができる。

40

【 0 0 5 5 】

本実施形態に係る気泡生成装置 2 0 0 によれば、ガス流路 7 0 内で気泡 B を生成することができ、生成された気泡 B に対し、ガス流路 7 0 の加圧及び減圧のそれぞれの過程で、攪拌力等を作用させることができるため、気泡 B の微細化を効率的に行うことができる。

【 0 0 5 6 】

また、液体貯留部 8 0 a の液体 L 中には、第 1 の気泡生成ノズル 1 1 2 を挿入するだけでよく、液槽 6 0 の液体 L 中には、液体連通路 9 0 の下流側端部を挿入するだけでよい。従来必要であった円盤等の剪断力を付与するための部材は不要である。液体ポンプも不要

50

である。このため、大がかりな構成を必要とせずに済む。

【0057】

以下、図5を参照し、ガス流路10, 70の下流端10a, 70a、及び液体連通路90の液槽60側端部の構成の変形例について説明する。

【0058】

図5(A)に示すように、気泡生成ノズル300は、喉部301と直管部303との間にのみ拡径テーパ部302を備え、喉部301の上流側には縮径テーパ部を備えない構成としてもよい。この場合、喉部301と拡径テーパ部302とで絞り部が構成される。気泡B及び液体Lを気泡生成ノズル300内に吸引する際の吸引抵抗を、拡径テーパ部302によって緩和でき、多くの気泡B及び液体Lを気泡生成ノズル300内に吸引できる。このため、気泡Bを効率よく微細化することができる。

10

【0059】

図5(B)に示すように、気泡生成ノズル400は、テーパ部を備えずに、オリフィス401を備えてもよい。この場合、オリフィス401によって絞り部が構成される。気泡B及び液体Lは、オリフィス401を通過する際に、圧力変動を受け、攪拌される。これにより、例えばオリフィス401において気泡Bが分裂する等して、気泡Bの微細化が図られる。

【0060】

図5(C)に示すように、気泡生成ノズル500は、複数の貫通孔501aが形成されたシャワープレート501を下流端に備えてもよい。このシャワープレート501も、個々の貫通孔501aにおいて液体L及び気泡Bの流れを絞るため、絞り部を構成する。なお、シャワープレート501の配置位置は、ガス流路の途中でもよい。シャワープレート501でガスや気泡Bが細断され、微細化が図られる。

20

【0061】

図5(D)に示すように、気泡生成ノズルを用いずに、直管状の本体部111が、ガス流路10の下流端10aを構成してもよい。即ち、絞り部を有する気泡生成ノズルは必須でなく、直管状の本体部111を直接的に液体L中に配置してもよい。直管状の本体部111を用いても、液体Lがガス流路10内でガスと混ざり合うように、液体Lを吸い込ませ得ることは当業者に理解できるであろう。例えば、ガス流路10の減圧を急激に行えば、直管状の本体部111の下流端10aから液体Lが噴出し、液体Lとガスが混ざり合う結果、ガス流路10内で気泡Bが生成され得ると共に、生成された気泡Bの微細化も図られ得る。このようにして、ガス流路10内で液体Lとガスを混合させるにあたり、用いる液体Lの粘度等との関係で、直管状の本体部111の内径やガス流路10の減圧と加圧の切り替えの周波数等をどのように設定するかは、当業者の設計事項である。

30

【0062】

以下、本発明の実施例について説明する。

【0063】

〔実施例1〕

図1に示す気泡生成装置100を用いて気泡の生成を行った。但し、気泡生成ノズル112は用いず、図5(D)に示す直管状の本体部111を直接的に液槽60に浸漬させた。本体部111には、内径0.7mm、長さ40mm、断面が円形の細管を用いた。液体Lには、粘度1cPの蒸留水を用い、気泡Bを形成するガスには空気を用いた。ガスタンク30からの空気の供給量は0.5~2.0L/minとした。真空ポンプ40には到達真空度-20~-100kPaのものを用いた。

40

【0064】

図6(A)に、蓄気室12の気圧変動のグラフを示す。弁制御装置50によって、蓄気室12の気圧変動の周波数が5Hzとなるよう電磁弁20を制御した。蓄気室12の気圧の平均値は約1kPaであり、振幅は、10~15kPaであった。

【0065】

図6(B)に、得られた気泡Bの直径別頻度分布であるヒストグラムを示す。このヒス

50

トグラムは、得られた気泡 B を含む液体 L のサンプルを光学顕微鏡で観察し、サンプル中の気泡を直径の階級別に分類することで得た。また、このヒストグラムから、気泡 B のゾータ (Sauter) 平均径 D_{32} を求めた。ゾータ平均径 D_{32} は、階級 i の中央値を d_i 、気泡数 (度数) を n_i としたとき、値 $(n_i \times d_i^3) / (n_i \times d_i^2)$ の、階級 i に関する和で与えられる。ゾータ平均径 D_{32} は $68.0 \mu\text{m}$ であった。即ち、直径 $100 \mu\text{m}$ 以下のファインバブルを生成できたことを確認した。

【0066】

〔実施例 2〕

液体 L として、蒸留水の添加により粘度を 21.6 cP に調整した液体デキストリンを用いた。ガスタンク 30 からの空気の供給量は $1.5 \sim 2.0 \text{ L/min}$ とした。これ以外は、実施例 1 と同じ条件で気泡を生成した。

10

【0067】

図 7 (A) に、蓄気室 12 の気圧変動のグラフを示す。実施例 1 と同じく、弁制御装置 50 によって、蓄気室 12 の気圧変動の周波数が 5 Hz となるよう電磁弁 20 を制御した。蓄気室 12 の気圧の平均値は約 3 kPa であり、振幅は、 $10 \sim 15 \text{ kPa}$ であった。

【0068】

図 7 (B) に、得られた気泡 B のヒストグラムを示す。得られた気泡 B のゾータ平均径 D_{32} は $52.1 \mu\text{m}$ であった。以上のように、粘度が蒸留水の約 20 倍程度の粘性液体に対しても、ファインバブルを生成できたことを確認した。

20

【0069】

〔実施例 3〕

図 4 に示す気泡生成装置 200 を用いて気泡の生成を行った。但し、気泡生成ノズル 112 は用いず、図 5 (D) の例と同様、ガス流路 70 を構成する直管状部材を直接的に液体貯留部 80a に挿入した。その直管状部材には内径 0.5 mm の細管を用いた。液体貯留部 80a は筒状をなし、その内径は 10 mm である。液体連通路 90 には、内径 0.7 mm 、長さ 40 mm の細管を用いた。液体 L には、粘度 1 cP の蒸留水を用い、気泡 B を形成するガスには空気を用いた。ガスタンク 30 からの空気の供給量は $1.0 \sim 2.0 \text{ L/min}$ とした。真空ポンプ 40 には到達真空度 $-20 \sim -100 \text{ kPa}$ のものを用いた。

【0070】

図 8 (A) に、蓄気室 12 の気圧変動のグラフを示す。弁制御装置 50 によって、蓄気室 80 の気圧変動の周波数が 0.2 Hz となるように電磁弁 20 を制御した。蓄気室 80 内の気圧の平均値は約 8 kPa であり、振幅は、約 30 kPa であった。

30

【0071】

図 8 (B) に、得られた気泡 B のヒストグラムを示す。得られた気泡 B のゾータ平均径 D_{32} は $51.1 \mu\text{m}$ であった。液体貯留部 80a と液体連通路 90 とを備えた構成により、実施例 1 に比べて小さなファインバブルを生成できたことを確認した。

【0072】

次に、液体 L 中に生成される気泡 B のサイズの、蓄気室 12 の気圧変動の周波数に対する依存性を調べるために、蓄気室 12 の気圧変動の周波数を種々変更した実施例 4 ~ 7 及び比較例について説明する。

40

【0073】

図 9 (A) に、実施例 4 ~ 7 で共通して用いた気泡生成ノズル 600 の斜視図を示す。気泡生成ノズル 600 は、直管状の本体部 111 の複数箇所に形成された絞り部 601 ~ 603 を有する。絞り部 601 ~ 603 の各々の流路断面積は、本体部 111 の流路断面積よりも小さい。絞り部 601 は、ガス流路 10 の下流端を構成しており、絞り部 602 は、絞り部 601 よりも上流に配置されており、絞り部 603 は、絞り部 602 よりも上流に配置されている。

【0074】

本体部 111 の流路断面は円形であり、絞り部 601 ~ 603 の各々の流路断面は、一

50

方向を長手方向とする長方形である。このように、本体部 1 1 1 と絞り部 6 0 1 ~ 6 0 3 とで流路断面の形状を異ならせている。これにより、絞り部 6 0 1 ~ 6 0 3 の流路断面を本体部 1 1 1 の流路断面と相似形とする場合に比べて、気泡 B を破碎する効果を高めることができ、かつ圧力損失を抑制できる。圧力損失を抑制することで、気泡生成ノズル 6 0 0 内での液体 L の上下運動を円滑に行わせることができる。

【 0 0 7 5 】

以下、絞り部 6 0 1 ~ 6 0 3 の各々の流路断面の長手方向を Y 軸方向、同流路断面の短手方向を X 軸方向、気泡生成ノズル 6 0 0 の流路に沿う長さ方向を Z 軸方向とする X Y Z 直交座標系を定義して説明を続ける。

【 0 0 7 6 】

図 9 (B) は、気泡生成ノズル 6 0 0 の X Z 平面に平行な断面図である。絞り部 6 0 2 の Z 軸方向中間位置の下流端からの距離 D 1 は、1 0 mm である。絞り部 6 0 3 の Z 軸方向中間位置の下流端からの距離 D 2 は、3 0 mm である。本体部 1 1 1 の内径 D 3 は 1 . 5 5 mm であり、本体部 1 1 1 の Z 軸方向の全長は 1 2 0 mm である。絞り部 6 0 1 ~ 6 0 3 の流路断面の X 軸方向の幅 D 4 は、4 0 0 μ m 以下である。なお、絞り部 6 0 1 ~ 6 0 3 の流路断面の Y 軸方向の幅は、本体部 1 1 1 の内径 D 3 と略等しい。

【 0 0 7 7 】

〔 実施例 4 〕

図 1 に示す気泡生成装置 1 0 0 において、気泡生成ノズル 1 1 2 に代えて、上述した気泡生成ノズル 6 0 0 を用い、気泡 B を生成した。液体 L には、粘度 1 c P の蒸留水を用い、気泡 B を形成するガスには空気を用いた。ガスタンク 3 0 からの空気の供給量は 0 . 5 ~ 2 . 0 L / m i n とした。真空ポンプ 4 0 には到達真空度 - 2 0 ~ - 1 0 0 k P a のものを用いた。

【 0 0 7 8 】

図 1 0 (A) に、蓄気室 1 2 の気圧変動のグラフを示す。弁制御装置 5 0 によって、蓄気室 1 2 の気圧変動の周波数が 4 . 5 H z となるよう電磁弁 2 0 を制御した。蓄気室 1 2 の気圧の平均値は約 1 0 k P a であり、振幅は、1 5 ~ 2 0 k P a であった。

【 0 0 7 9 】

図 1 0 (B) に、得られた気泡 B のヒストグラムを示す。気泡 B のゾータ平均径 $D_{3,2}$ は 3 5 7 . 1 μ m であった。

【 0 0 8 0 】

〔 実施例 5 〕

蓄気室 1 2 の気圧変動の周波数を実施例 4 の条件とは異ならせ、周波数以外は実施例 4 と同じ条件で気泡 B を生成した。

【 0 0 8 1 】

図 1 1 (A) に、蓄気室 1 2 の気圧変動のグラフを示す。弁制御装置 5 0 によって、蓄気室 1 2 の気圧変動の周波数が 5 . 3 H z となるよう電磁弁 2 0 を制御した。蓄気室 1 2 の気圧の平均値は約 7 . 5 k P a であり、振幅は、1 0 ~ 1 5 k P a であった。

【 0 0 8 2 】

図 1 1 (B) に、得られた気泡 B のヒストグラムを示す。気泡 B のゾータ平均径 $D_{3,2}$ は 1 3 5 . 4 μ m であった。

【 0 0 8 3 】

〔 実施例 6 〕

蓄気室 1 2 の気圧変動の周波数を実施例 4 及び 5 の条件とは異ならせ、周波数以外は実施例 4 及び 5 と同じ条件で気泡 B を生成した。

【 0 0 8 4 】

図 1 2 (A) に、蓄気室 1 2 の気圧変動のグラフを示す。弁制御装置 5 0 によって、蓄気室 1 2 の気圧変動の周波数が 8 . 3 H z となるよう電磁弁 2 0 を制御した。蓄気室 1 2 の気圧の平均値は約 1 0 . 5 k P a であり、振幅は、1 5 ~ 2 0 k P a であった。

【 0 0 8 5 】

10

20

30

40

50

図12(B)に、得られた気泡Bのヒストグラムを示す。気泡Bのゾータ平均径 $D_{3,2}$ は78.6 μm であった。

【0086】

〔実施例7〕

蓄気室12の気圧変動の周波数を実施例4~6の条件とは異ならせ、周波数以外は実施例4~6と同じ条件で気泡Bを生成した。

【0087】

図13(A)に、蓄気室12の気圧変動のグラフを示す。弁制御装置50によって、蓄気室12の気圧変動の周波数が14.3Hzとなるよう電磁弁20を制御した。蓄気室12の気圧の平均値は約2.3kPaであり、振幅は、5~10kPaであった。

10

【0088】

図13(B)に、得られた気泡Bのヒストグラムを示す。気泡Bのゾータ平均径 $D_{3,2}$ は45.2 μm であった。

【0089】

〔比較例〕

実施例4~7で用いた気泡生成ノズル600を用い、蓄気室12の気圧変動の周波数をゼロとして、気泡Bを生成した。具体的には、蓄気室12の気圧を、気泡生成ノズル600への液体Lの吸い込みは生じず、気泡生成ノズル600の下流端から徐々に気泡Bが離脱するような一定値に保った。この場合、液体L中に生成された気泡Bのゾータ平均径 $D_{3,2}$ は3360 μm であった。

20

【0090】

図14に、以上説明した実施例4~7及び比較例で得られた気泡Bのゾータ平均径 $D_{3,2}$ をプロットしたグラフを示す。横軸は、蓄気室12の気圧変動の周波数を示す。共通の気泡生成ノズル600を用いる場合、蓄気室12の気圧変動の周波数が高い程、ゾータ平均径 $D_{3,2}$ の小さな気泡Bが得られることが分かる。蓄気室12の気圧変動の周波数を調整することにより、ゾータ平均径 $D_{3,2}$ 45.2 μm 以上、3360 μm 未満の気泡Bを生成することができた。

【0091】

以上、本発明の実施形態及び実施例について説明した。本発明はこれに限られず、例えば、以下に述べる変形が可能である。

30

【0092】

上記実施形態及び実施例では、1つのガス流路10又は70を備えた気泡生成装置を示したが、気泡生成装置は、複数のガス流路を備えてもよい。例えば、図1で、下流側ガス管11を蓄気室12に複数本接続してもよい。また、図4で、液体貯留部80aに複数本のガス流路70を挿入してもよい。複数のガス流路を備えることにより、気泡の生成効率を高めることができる。

【0093】

上記実施形態及び実施例では、1つの孤立した液槽60内で気泡Bの生成を行ったが、液体Lを案内する液体循環路中で、気泡を生成することもできる。例えば、その液体循環路に、図1の下流側ガス管11又は図4の液体連通路90を挿入することで、その液体循環路中に気泡を生成することもできる。図1及び図4に示す液槽60は、液体の循環経路の一部を構成するものであってもよい。

40

【0094】

上記実施形態及び実施例では、断面が円形のガス流路を用いたが、ガス流路の断面形状は限定されない。気泡生成ノズル112や本体部111の断面形状は、例えば、矩形、多角形、又は楕円形であってもよい。ガスとしては、空気その他、例えば、酸素、オゾン、二酸化炭素、窒素等を用いることができる。

【0095】

本発明は、本発明の広義の精神と範囲を逸脱することなく、様々な実施の形態及び変形が可能とされるものである。また、上述した実施形態及び実施例は、本発明を説明するた

50

めのものであり、本発明の範囲を限定するものではない。即ち、本発明の範囲は、実施形態及び実施例ではなく、請求の範囲によって示される。そして、請求の範囲内及びそれと同等の発明の意義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。

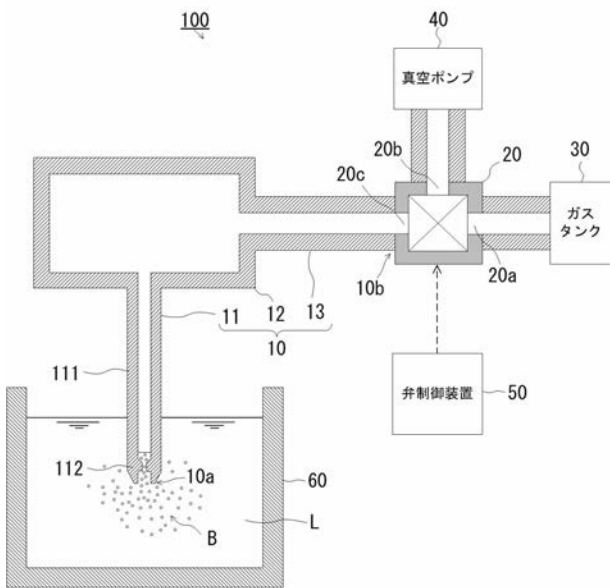
【符号の説明】

【0096】

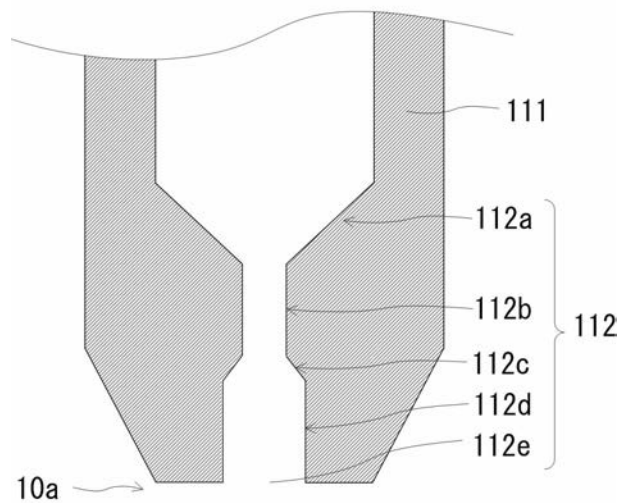
10, 70 ... ガス流路、10a, 70a ... 下流端、10b, 70b ... 上流端、11 ... 下流側ガス管、111 ... 本体部、112, 112', 300, 400, 500, 600 ... 気泡生成ノズル、112a ... 縮径テーパ部、112b, 301 ... 喉部、112c, 302 ... 拡径テーパ部、112d, 303 ... 直管部、112e ... 端部開口、12, 80 ... 蓄気室、13 ... 上流側ガス管、20 ... 電磁弁、20a ... 第1の入力ポート、20b ... 第2の入力ポート、20c ... 出力ポート、30 ... ガスタンク、40 ... 真空ポンプ、50 ... 弁制御装置、60 ... 液槽、80a ... 液体貯留部、90 ... 液体連通路、100, 200 ... 気泡生成装置、401 ... オリフィス、501 ... シャワープレート、501a ... 貫通孔、601 ~ 603 ... 絞り部、L ... 液体、B ... 気泡。

10

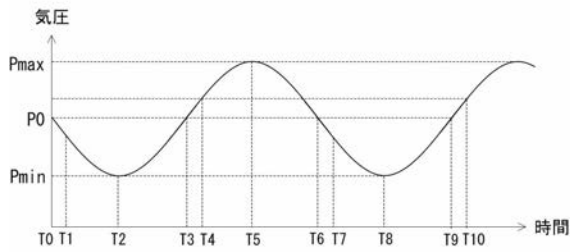
【図1】



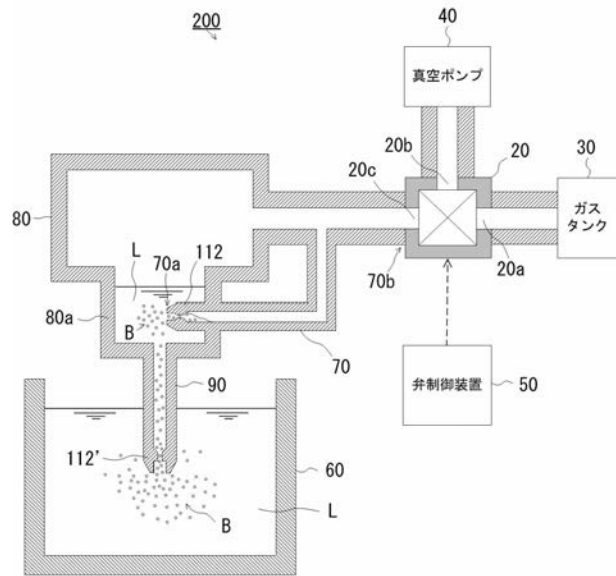
【図2】



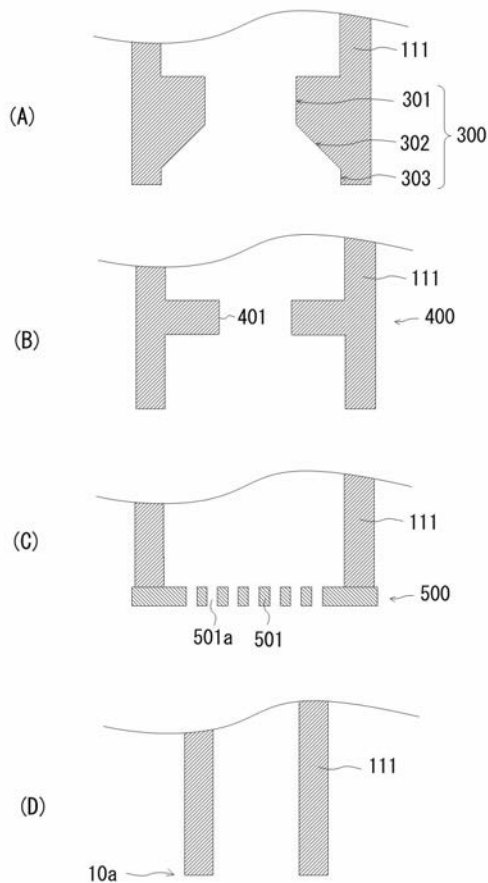
【 図 3 】



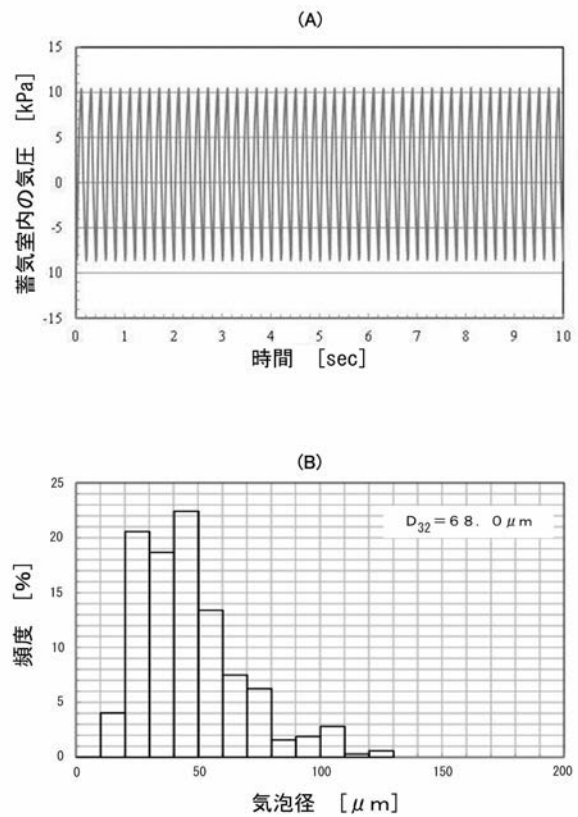
【 図 4 】



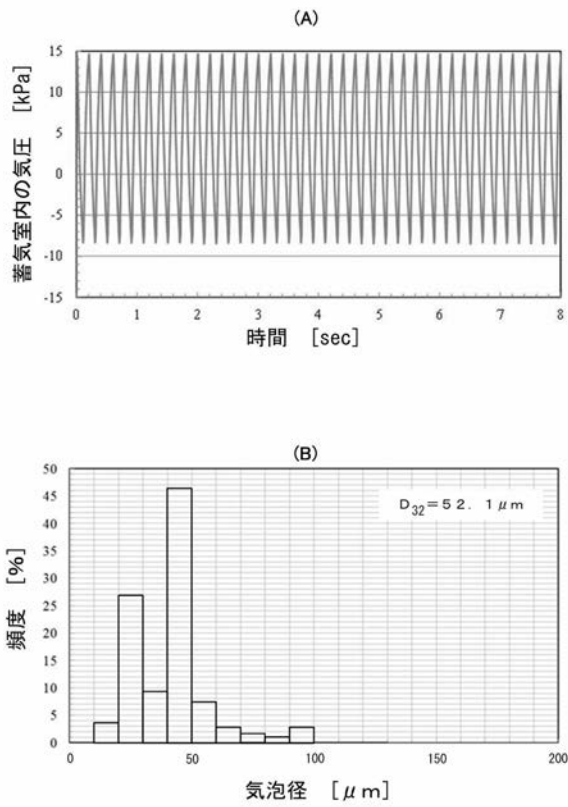
【 図 5 】



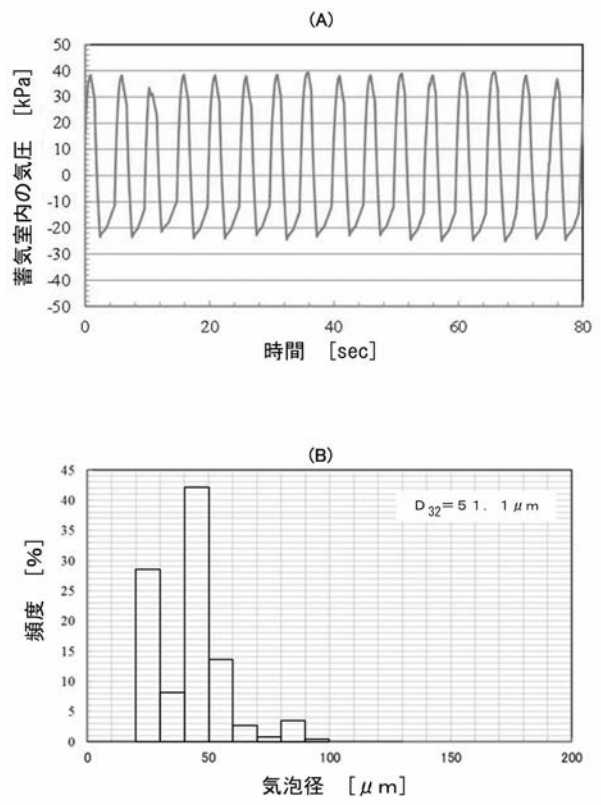
【 図 6 】



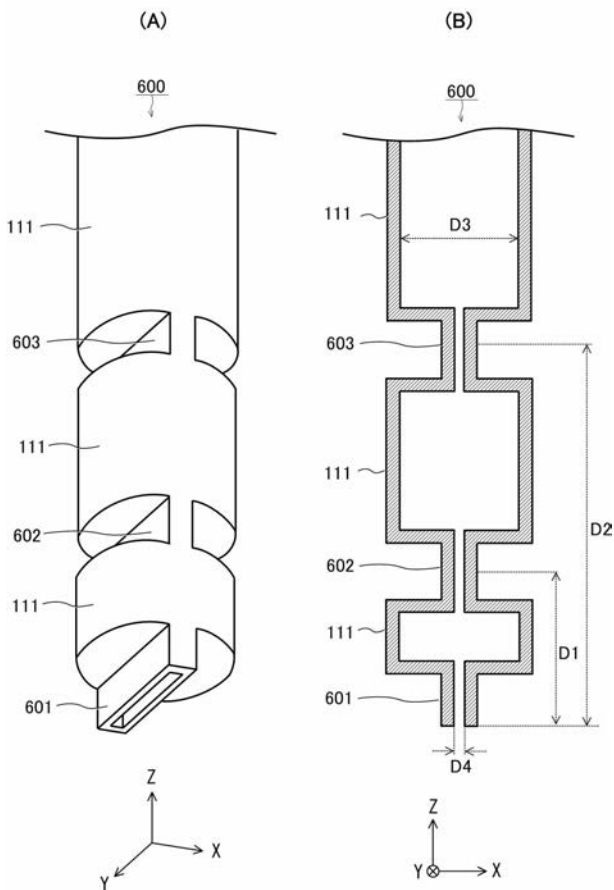
【 図 7 】



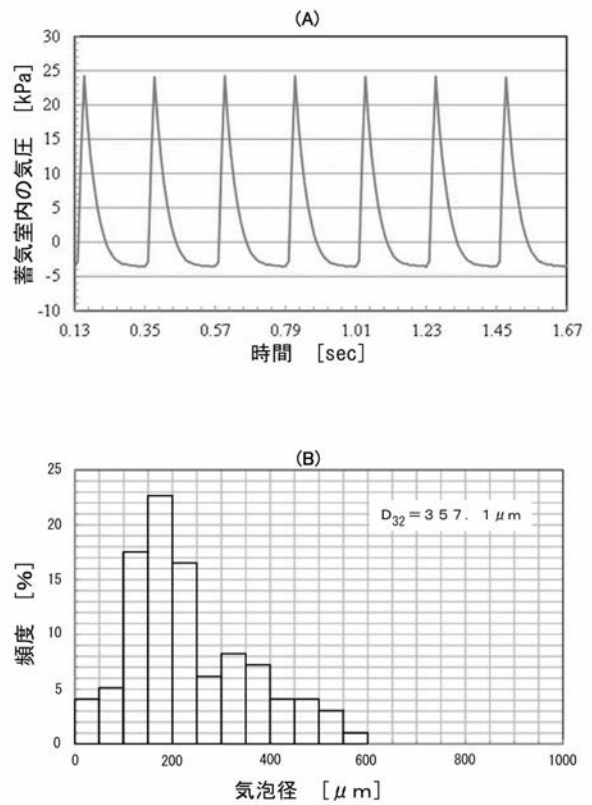
【 図 8 】



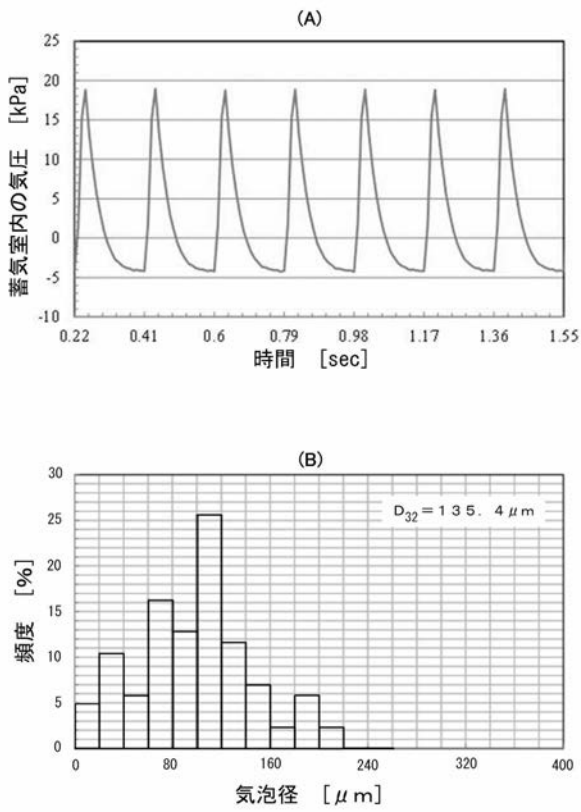
【 図 9 】



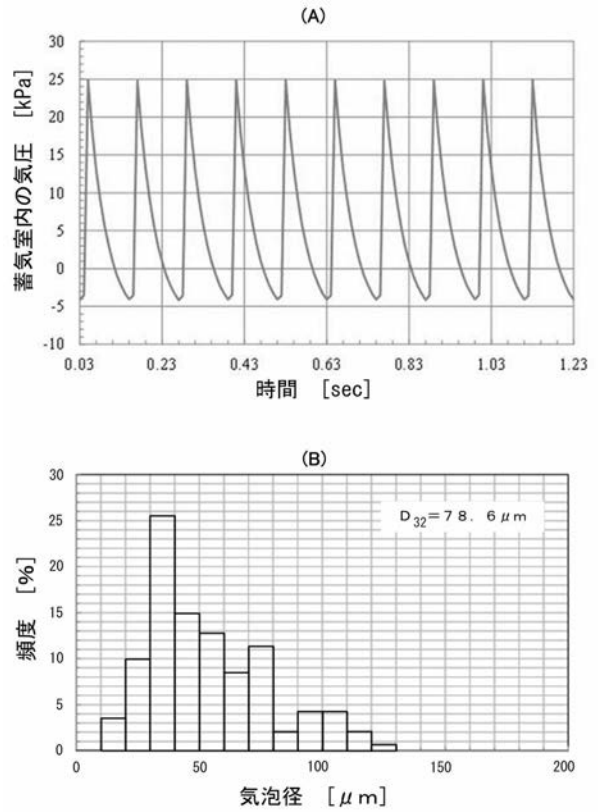
【 図 10 】



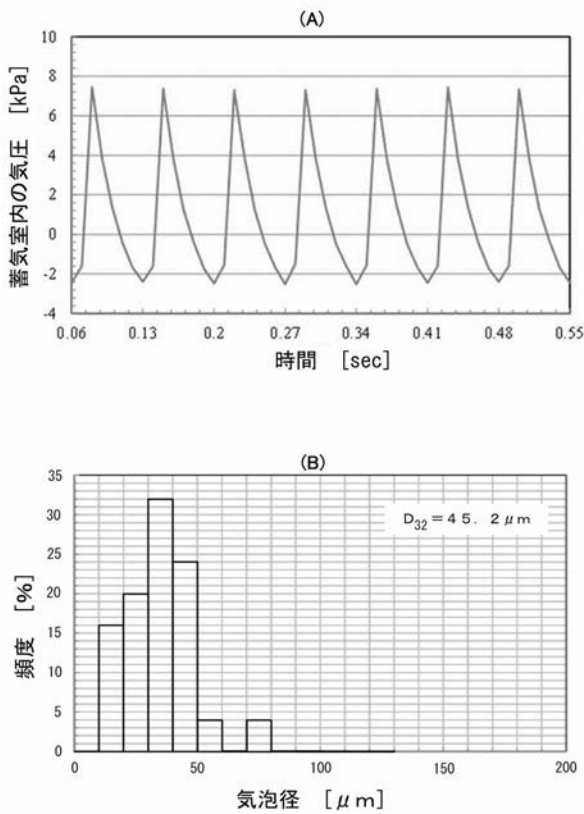
【 図 1 1 】



【 図 1 2 】



【 図 1 3 】



【 図 1 4 】

