

(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2018-202376

(P2018-202376A)

(43) 公開日 平成30年12月27日(2018.12.27)

(51) Int.Cl.			F I			テーマコード(参考)		
<b>B01F</b>	<b>11/00</b>	<b>(2006.01)</b>	B01F	11/00	C	4G035		
<b>B01F</b>	<b>1/00</b>	<b>(2006.01)</b>	B01F	1/00	A	4G036		
<b>B01F</b>	<b>3/04</b>	<b>(2006.01)</b>	B01F	3/04	Z			
<b>B01F</b>	<b>5/06</b>	<b>(2006.01)</b>	B01F	5/06				
<b>B01F</b>	<b>5/00</b>	<b>(2006.01)</b>	B01F	5/00	D			

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願2017-114511 (P2017-114511)  
 (22) 出願日 平成29年6月9日(2017.6.9)

(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 末富 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 AA01 AB27 AC12 AC26  
 4G036 AB12

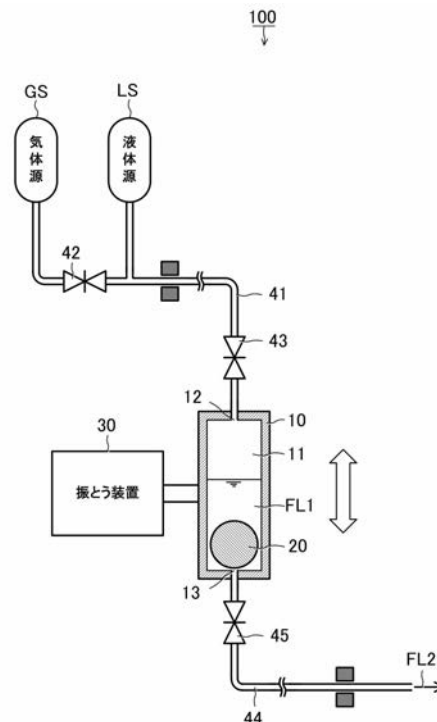
(54) 【発明の名称】 気泡形成装置及び気泡形成方法

(57) 【要約】

【課題】 気体と液体とを保持する圧力容器の内部の圧力を必要以上に高圧化せずとも、圧力容器の内部において気体を液体に十分に溶解させ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。

【解決手段】 圧力容器10は、内部11が気密かつ液密に保たれる閉状態と、内部11が外部と連通した開状態とに切り替え可能であり、閉状態において、内部11の圧力が大気圧より高い加圧条件下で、内部11に液体と気体とを保持する。圧力容器10の内部11には、攪拌子20が収容されている。振とう装置30は、液体と気体とを加圧条件下で保持している閉状態の圧力容器10を、振とうさせることにより、圧力容器10の内部11において、攪拌子20によって、液体と気体とを攪拌させる。

【選択図】 図1



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

内部が気密かつ液密に保たれる閉状態と、前記内部が外部と連通した開状態とに切り替え可能であり、前記閉状態において、前記内部の圧力が大気圧より高い加圧条件下で、前記内部に液体と気体とを保持する圧力容器と、  
前記圧力容器の前記内部に収容された攪拌子と、  
前記液体と前記気体とを前記加圧条件下で保持している前記閉状態の前記圧力容器を、振とうさせることにより、前記圧力容器の前記内部において、前記攪拌子によって、前記液体と前記気体とを攪拌させる振とう装置と、  
を備える、気泡形成装置。

10

**【請求項 2】**

前記攪拌子によって攪拌された前記液体及び前記気体よりなる 1 次流体を排出するための開口が、前記圧力容器に形成されており、  
前記 1 次流体を排出するために前記圧力容器を前記閉状態から前記開状態に切り替えたときに、前記圧力容器における前記開口の縁と前記攪拌子との隙間によって、前記圧力容器から排出される前記 1 次流体の流れを絞る絞り部が構成される、  
請求項 1 に記載の気泡形成装置。

**【請求項 3】**

前記 1 次流体においては、前記気体の少なくとも一部が前記液体に溶解しており、  
前記 1 次流体が前記隙間を通過するときに減圧されることにより、前記液体に溶解していた前記気体が前記液体中に気泡として出現し、前記液体と前記液体中に分散している前記気泡とを含む 2 次流体が形成される、  
請求項 2 に記載の気泡形成装置。

20

**【請求項 4】**

前記圧力容器と、該圧力容器に収容された前記攪拌子との組を、複数備え、  
前記振とう装置が、それら複数の前記圧力容器を振とうさせることにより、それら複数の前記圧力容器において、前記 1 次流体が並行して形成される、  
請求項 1 から 3 のいずれか 1 項に記載の気泡形成装置。

**【請求項 5】**

内部に攪拌子が収容された圧力容器の前記内部に液体と気体とを導入し、前記内部の圧力が大気圧より高い加圧条件が満たされたときに、前記圧力容器を、前記内部が気密かつ液密に保たれる閉状態とする気液封入工程と、  
前記液体と前記気体とを前記加圧条件下で保持している前記閉状態の前記圧力容器を、振とうさせることにより、前記圧力容器の前記内部において、前記攪拌子によって、前記液体と前記気体とを攪拌させる振とう工程と、  
を含む、気泡形成方法。

30

**【請求項 6】**

前記振とう工程では、前記攪拌子によって、前記液体と前記気体とを攪拌させることにより、前記気体の少なくとも一部が前記液体に溶解している 1 次流体を形成し、  
前記振とう工程の後に、前記 1 次流体を減圧させることにより、前記液体に溶解していた前記気体が前記液体中に気泡として出現した 2 次流体となす減圧工程、  
をさらに含む、請求項 5 に記載の気泡形成方法。

40

**【請求項 7】**

前記 1 次流体においては、一部が前記液体に溶解した前記気体の残部の少なくとも一部が、気泡として前記液体中に分散しており、  
前記減圧工程では、前記 1 次流体を、前記 1 次流体の流れを絞りがつ前記気泡を微細化させる絞り部を通過させることにより前記 2 次流体となす、  
請求項 6 に記載の気泡形成方法。

**【発明の詳細な説明】****【技術分野】**

50

## 【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に開示されるように、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た後、タンクを大気解放することにより、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、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知られている。

## 【先行技術文献】

## 【特許文献】

10

## 【0003】

【特許文献1】特開平11-207162号公報

## 【発明の概要】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0004】

上記気泡形成装置においては、タンク内の圧力が或る程度高くないと気体が液体に十分に溶解しない。気体が十分に液体に溶解していなければ、大気解放時に、気泡の数密度が十分に高い気液混合流体を得ることができない。

## 【0005】

なお、タンク内を高圧化すると、気体の液体への溶解を促進させることができ、大気解放時に得られる気泡の数密度を高めうるが、タンクが高圧に耐えねばならないため、タンクひいては気泡形成装置全体の重厚化を招いてしまう。

20

## 【0006】

本発明の目的は、気体と液体とを保持する圧力容器の内部の圧力を必要以上に高圧化せずとも、圧力容器の内部において気体を液体に十分に溶解させ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】

## 【0007】

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、

内部が気密かつ液密に保たれる閉状態と、前記内部が外部と連通した開状態とに切り替え可能であり、前記閉状態において、前記内部の圧力が大気圧より高い加圧条件下で、前記内部に液体と気体とを保持する圧力容器と、

30

前記圧力容器の前記内部に収容された攪拌子と、

前記液体と前記気体とを前記加圧条件下で保持している前記閉状態の前記圧力容器を、振とうさせることにより、前記圧力容器の前記内部において、前記攪拌子によって、前記液体と前記気体とを攪拌させる振とう装置と、

を備える。

## 【0008】

前記攪拌子によって攪拌された前記液体及び前記気体よりなる1次流体を排出するための開口が、前記圧力容器に形成されており、

40

前記1次流体を排出するために前記圧力容器を前記閉状態から前記開状態に切り替えたときに、前記圧力容器における前記開口の縁と前記攪拌子との隙間によって、前記圧力容器から排出される前記1次流体の流れを絞る絞り部が構成されてもよい。

## 【0009】

前記1次流体においては、前記気体の少なくとも一部が前記液体に溶解しており、

前記1次流体が前記隙間を通過するときに減圧されることにより、前記液体に溶解していた前記気体が前記液体中に気泡として出現し、前記液体と前記液体中に分散している前記気泡とを含む2次流体が形成されてもよい。

## 【0010】

前記圧力容器と、該圧力容器に収容された前記攪拌子との組を、複数備え、

50

前記振とう装置が、それら複数の前記圧力容器を振とうさせることにより、それら複数の前記圧力容器において、前記１次流体が並行して形成されてもよい。

【００１１】

本発明に係る気泡形成方法は、

内部に攪拌子が収容された圧力容器の前記内部に液体と気体とを導入し、前記内部の圧力が大気圧より高い加圧条件が満たされたときに、前記圧力容器を、前記内部が気密かつ液密に保たれる閉状態とする気液封入工程と、

前記液体と前記気体とを前記加圧条件下で保持している前記閉状態の前記圧力容器を、振とうさせることにより、前記圧力容器の前記内部において、前記攪拌子によって、前記液体と前記気体とを攪拌させる振とう工程と、

を含む。

10

【００１２】

前記振とう工程では、前記攪拌子によって、前記液体と前記気体とを攪拌させることにより、前記気体の少なくとも一部が前記液体に溶解している１次流体を形成し、

前記振とう工程の後に、前記１次流体を減圧させることにより、前記液体に溶解していた前記気体が前記液体中に気泡として出現した２次流体となす減圧工程、

をさらに含んでもよい。

【００１３】

前記１次流体においては、一部が前記液体に溶解した前記気体の残部の少なくとも一部が、気泡として前記液体中に分散しており、

20

前記減圧工程では、前記１次流体を、前記１次流体の流れを絞りかつ前記気泡を微細化させる絞り部を通過させることにより前記２次流体となしてもよい。

【発明の効果】

【００１４】

本発明によれば、圧力容器の内部で気体と液体とが攪拌子によって攪拌されることにより、気体の液体への溶解が促進される。このため、圧力容器の内部の圧力を必要以上に高圧化せずとも、圧力容器の内部において気体を液体に十分に溶解させることができる。

【図面の簡単な説明】

【００１５】

【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。

30

【図２】実施形態１に係る気泡形成方法の手順を示すフローチャート。

【図３】実施形態１に係る圧力容器を示す拡大断面図。

【図４】実施形態２に係る圧力容器を示す拡大断面図。

【図５】実施形態３に係る圧力容器を示す拡大断面図。

【図６】実施形態４に係る気泡形成装置の構成を示す概念図。

【図７】実施形態５に係る気泡形成装置の要部の構成を示す概念図。

【図８】実施例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】

【００１６】

以下、図面を参照し、本発明の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。

40

【００１７】

[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１００は、内部１１に液体と気体とを保持する圧力容器１０と、圧力容器１０の内部１１に収容された攪拌子２０と、圧力容器１０を振とうさせる振とう装置３０とを備える。

【００１８】

この気泡形成装置１００は、振とう装置３０によって圧力容器１０を振とうさせることにより、圧力容器１０の内部１１において、液体と気体とを攪拌子２０によって攪拌するものである。以下、各部材について詳細に説明する。

50

## 【 0 0 1 9 】

圧力容器 1 0 は、上下方向に高さを有する中空の円柱状をなしている。圧力容器 1 0 の上面には、圧力容器 1 0 の内部 1 1 に通じる導入用開口 1 2 が形成されており、圧力容器 1 0 の下面には、内部 1 1 に通じる排出用開口 1 3 が形成されている。

## 【 0 0 2 0 】

圧力容器 1 0 の導入用開口 1 2 には、内部 1 1 に液体と気体とを導入するための導入用配管 4 1 が、気密かつ液密に接続されている。導入用配管 4 1 は、圧力容器 1 0 の内部 1 1 を、気体源 G S と液体源 L S とに連通させている。

## 【 0 0 2 1 】

気体源 G S は、導入用配管 4 1 を通して、圧力容器 1 0 の内部 1 1 に気体を供給する。気体源 G S は、気体が加入された気体ポンベによって構成されている。気体ポンベの内圧によって、気体を、導入用配管 4 1 を通して圧力容器 1 0 の内部 1 1 に圧送することができ、かつ内部 1 1 の圧力を、大気圧を超える値に設定することができる。

10

## 【 0 0 2 2 】

液体源 L S は、導入用配管 4 1 を通して、圧力容器 1 0 の内部 1 1 に液体を供給する。液体源 L S は、シリンジに貯められた液体をピストンによって押し出す構成を有する液体充填器によって構成されている。なお、導入用配管 4 1 には、液体源 L S から供給される液体の、気体源 G S への流入を阻止する逆止弁 4 2 が設けられている。

## 【 0 0 2 3 】

また、導入用配管 4 1 における、気体源 G S 及び液体源 L S と、導入用開口 1 2 との間の経路には、導入用弁 4 3 が設けられている。ユーザは、導入用弁 4 3 を開いた状態で、液体源 L S から圧力容器 1 0 に液体を供給することができ、気体源 G S から圧力容器 1 0 に気体を供給することができる。

20

## 【 0 0 2 4 】

また、ユーザは、導入用弁 4 3 の開き度合いによって、圧力容器 1 0 の内部 1 1 への液体と気体の流入量を調整することができ、かつ導入用弁 4 3 を閉じることで、気体源 G S 及び液体源 L S と、圧力容器 1 0 の内部 1 1 との連通を断つこともできる。

## 【 0 0 2 5 】

一方、圧力容器 1 0 の排出用開口 1 3 には、攪拌子 2 0 によって攪拌された気体及び液体よりなる 1 次流体 F L 1 を、内部 1 1 から外部に排出するための排出用配管 4 4 が、気密かつ液密に接続されている。

30

## 【 0 0 2 6 】

排出用配管 4 4 には、排出用弁 4 5 が設けられている。ユーザは、排出用弁 4 5 を開くことで、圧力容器 1 0 の内部 1 1 を外部と連通させることができ、かつ排出用弁 4 5 を閉じることで、内部 1 1 と外部との連通を断つことができる。

## 【 0 0 2 7 】

攪拌子 2 0 は、液体源 L S から供給される液体よりも比重が大きい素材、具体的には、金属よりなる。攪拌子 2 0 の体積は、攪拌子 2 0 が圧力容器 1 0 の内部 1 1 で往復運動可能なように、圧力容器 1 0 の内部 1 1 の容積の 1 / 2 未満である。

## 【 0 0 2 8 】

具体的には、圧力容器 1 0 が内部 1 1 に画定している空洞は、高さが直径の 2 倍を超える円柱状をなす。そして、攪拌子 2 0 は、内部 1 1 に画定された円柱状の空洞の直径、即ち圧力容器 1 0 の内径よりも、やや小さい直径を有する球状をなす。

40

## 【 0 0 2 9 】

振とう装置 3 0 は、圧力容器 1 0 を上下に振とうさせる。これにより、圧力容器 1 0 の内部 1 1 において、攪拌子 2 0 が、導入用開口 1 2 が形成された上側の内面と、排出用開口 1 3 が形成された下側の内面とに交互に当たるように往復運動する。

## 【 0 0 3 0 】

そして、この攪拌子 2 0 の往復運動によって、圧力容器 1 0 の内部 1 1 において、液体と気体とが攪拌される。これにより、圧力容器 1 0 の内部 1 1 において、攪拌された気体

50

及び液体よりなる 1 次流体 F L 1 が形成される。

【 0 0 3 1 】

また、後述するように、1 次流体 F L 1 は、圧力容器 1 0 から排出される過程で、含有する気泡の数密度が高められた 2 次流体 F L 2 となる。そして、その 2 次流体 F L 2 が、排出用配管 4 4 を通して外部に放出される。

【 0 0 3 2 】

なお、導入用配管 4 1 と排出用配管 4 4 はフレキシビリティを有すると共に、導入用配管 4 1 と排出用配管 4 4 の各々の長さ引き回しは、振とう装置 3 0 による圧力容器 1 0 の振とうに伴って各々に生じる応力が、各々の弾性限界より十分に小さい値に抑えられるように設計されている。

10

【 0 0 3 3 】

以下、図 2 を参照し、気泡形成装置 1 0 0 を用いた気泡形成方法について説明する。以下の説明において、必要に応じて図 1 が参照される。

【 0 0 3 4 】

なお、本気泡形成方法では、図 2 のステップ S 1 ~ S 6 の遂行を 1 バッチ処理とし、この 1 バッチ処理を繰り返す。1 バッチ処理毎に、ステップ S 6 で圧力容器 1 0 が、内部 1 1 に大気圧程度の圧力で気体が満たされた初期状態に戻る。以下、圧力容器 1 0 がその初期状態に設定されていることを前提として、1 バッチ処理の内容を具体的に説明する。

【 0 0 3 5 】

図 2 に示すように、まず、ユーザは、排出用弁 4 5 が閉じられた状態で、導入用弁 4 3 を開く。これにより、圧力容器 1 0 が、内部 1 1 が気体源 G S と液体源 L S とに連通した導入時開状態となる（ステップ S 1 ）。

20

【 0 0 3 6 】

次に、ユーザは、圧力容器 1 0 に液体と気体を導入する（ステップ S 2 ）。具体的には、ユーザは、まず、液体源 L S から圧力容器 1 0 の内部 1 1 に向けて、液体を供給する。次に、ユーザは、気体源 G S から圧力容器 1 0 の内部 1 1 に、気体を圧送する。

【 0 0 3 7 】

なお、導入用配管 4 1 に液体が滞留していても、気体の送圧で液体が圧力容器 1 0 の内部 1 1 に押し込まれる。但し、圧力容器 1 0 に液体と気体を導入する順番は任意であり、両者を並行して導入してもよい。

30

【 0 0 3 8 】

圧力容器 1 0 への気体の導入を開始すると、圧力容器 1 0 の内部 1 1 の圧力が大気圧より高くなる。ユーザは、圧力容器 1 0 の内部 1 1 が、大気圧よりも高く、気体が液体に溶解しうる程度の圧力へと高められた加圧条件が満たされるように、導入用弁 4 3 の開き具合を調整することができる。

【 0 0 3 9 】

そして、ユーザは、上記加圧条件が満たされたときに、導入用弁 4 3 を閉じる（ステップ S 3 ）。これにより、圧力容器 1 0 が、内部 1 1 が気密かつ液密に保たれた閉状態へと切り替えられる。このとき、圧力容器 1 0 は、上記加圧条件下で、攪拌子 2 0 と共に液体と気体とを、内部 1 1 に保持している。

40

【 0 0 4 0 】

なお、上述したステップ S 2 と S 3 は、圧力容器 1 0 の内部 1 1 に液体と気体とを導入し、内部 1 1 の圧力が大気圧より高く、気体が液体に溶解しうる程度の圧力へと高められた加圧条件が満たされたときに、圧力容器 1 0 を閉状態とする気液封入工程、に相当する。

【 0 0 4 1 】

次に、ユーザは、振とう装置 3 0 を作動させる。これにより、振とう装置 3 0 によって圧力容器 1 0 を振とうさせる振とう工程が開始する（ステップ S 4 ）。振とう装置 3 0 を作動させると、圧力容器 1 0 の内部 1 1 で攪拌子 2 0 が上下に往復運動し、この往復運動によって、圧力容器 1 0 の内部 1 1 において、液体と気体とが攪拌される。

50

## 【 0 0 4 2 】

これにより、圧力容器 1 0 の内部 1 1 において、気体と液体とが混ざり合い、両者の接触面積が増大することで、気体の液体への溶解が促進される。また、気体と液体とが混ざり合う際、気体が気泡化される。その形成された気泡は、攪拌子 2 0 と、圧力容器 1 0 の内面との隙間において与えられるせん断力によって、微細化される。

## 【 0 0 4 3 】

このようにして、圧力容器 1 0 の内部 1 1 において、気体の溶解と、気泡の微細化とが並行して進行する。この結果、気体源 G S から供給された気体の一部が液体に溶解し、かつその気体の残部の少なくとも一部が気泡として液体中に分散してなる 1 次流体 F L 1 が、圧力容器 1 0 の内部 1 1 において形成される。

10

## 【 0 0 4 4 】

ユーザは、ステップ S 4 で振とう装置 3 0 を作動させた後、1 次流体 F L 1 の形成に要する期間、即ち気体の溶解と気泡の微細化とに要する期間として予め定められた期間が経過した後、振とう装置 3 0 を停止させる。

## 【 0 0 4 5 】

そして、ユーザは、導入用弁 4 3 が閉じられた状態のまま、排出用弁 4 5 を開く。これにより、圧力容器 1 0 が、内部 1 1 が外部と連通した排出時開状態に切り替えられる（ステップ S 5）。すると、圧力容器 1 0 の内部 1 1 の圧力によって、1 次流体 F L 1 が、自ずと圧力容器 1 0 から排出される。

## 【 0 0 4 6 】

1 次流体 F L 1 は、圧力容器 1 0 から排出される過程で、含有する気泡の数密度が高められた 2 次流体 F L 2 となる。以下、図 3 を参照し、2 次流体 F L 2 が形成されるメカニズムについて説明する。

20

## 【 0 0 4 7 】

図 3 に示すように、排出用弁 4 5 を開いたとき、内部 1 1 から外部に向かう 1 次流体 F L 1 の流れの動圧によって、攪拌子 2 0 が浮上される。このため、圧力容器 1 0 における排出用開口 1 3 の縁と、攪拌子 2 0 との間に、隙間 G P が形成される。

## 【 0 0 4 8 】

この隙間 G P が、圧力容器 1 0 から排出される 1 次流体 F L の流れを絞り、かつ 1 次流体 F L に含まれる気泡を微細化させる絞り部として機能する。この絞り部において、1 次流体 F L に、減圧プロセスを含むキャビテーションが生じる。

30

## 【 0 0 4 9 】

具体的には、1 次流体 F L が隙間 G P を通過するとき、液体に溶解していた気体が減圧によって気泡として出現する。出現した気泡は、さらに加圧やせん断によって微細化されうる。また、1 次流体 F L 1 中に元々存在していた気泡も、加圧やせん断によって微細化される。

## 【 0 0 5 0 】

この結果、1 次流体 F L 1 よりも、含有する気泡の数密度が高く、かつ含有する気泡の平均直径が小さい 2 次流体 F L 2 が形成される。以上のように、図 2 に示すステップ S 5 は、1 次流体 F L 1 を、隙間 G P で構成される絞り部を通過させることにより減圧させて 2 次流体 F L 2 とせず減圧工程、に相当する。

40

## 【 0 0 5 1 】

図 2 に戻り、ステップ S 5 において、圧力容器 1 0 から 1 次流体 F L 1 が排出され、内部 1 1 の圧力が大気圧程度にまで下がると、ユーザは、排出用弁 4 5 を閉じる（ステップ S 6）。これにより、圧力容器 1 0 が、内部 1 1 が気密かつ液密に保たれる閉状態へと切り替えられる。

## 【 0 0 5 2 】

このとき、圧力容器 1 0 の内部 1 1 は、大気圧程度の圧力で気体が満たされた既述の初期状態となっている。そして、再びステップ S 1 に戻り、ステップ S 1 ~ S 6 よりなる 1 バッチ処理を繰り返す（RETURN）。

50

## 【0053】

以上説明した本実施形態に係る気泡形成装置100によれば、次の効果が得られる。

## 【0054】

圧力容器10の内部11で気体と液体とが攪拌子20によって攪拌されるため、気体の液体への溶解が促進される。このため、圧力容器10の内部11の圧力を必要以上に高圧化せずとも、圧力容器10の内部11において気体を液体に十分に溶解させることができる。圧力容器10の内部11の圧力を必要以上に高圧化する必要がないため、圧力容器10ひいては気泡形成装置100の重厚化が抑えられる。また、気体を液体に十分に溶解させることができるため、気泡の数密度が十分に高い2次流体FL2を得ることができる。

## 【0055】

一具体例として、圧力容器10の内部11が1[MPa]未満、好ましくは0.8[MPa]未満、より好ましくは0.7[MPa]以下といった比較的低下でも、平均直径が200[nm]以下で数密度が11[億個/mL]以上の気泡を含む2次流体FL2を得ることができる。

## 【0056】

特許文献1に係る従来気泡形成装置では、液体中に気泡が分散した気液混合流体を形成するために、気体と液体とを加圧するタンク内で、液体の旋回流を形成する必要があった。この場合、タンクの容積が小さいと、タンク内で旋回流を形成することが困難であるため、少量の液体を気液混合流体となすことが難しかった。これに対し、本実施形態によれば、たとえ圧力容器10の容積が小さくても、攪拌子20によって液体と気体とを攪拌させるので、液体と気体とを十分に攪拌させることができる。このため、少量の液体を、気液混合流体である2次流体FL2となすことができる。

## 【0057】

本実施形態では、圧力容器10を用いた1バッチ処理毎に、気液混合流体である2次流体FL2を形成する。このため、閉じた経路内で液体混合流体を循環させつつ気泡を微細化させてゆく従来気泡形成装置と異なって、液体を循環させる液体ポンプを備える必要がない。このため、液体ポンプで発生する摩耗金属よりなるコンタミネーションで気液混合流体が汚染される従来問題を回避することができる。

## 【0058】

本実施形態では、図3に示したように、攪拌子20と、圧力容器10における排出用開口13の縁との隙間GPによって、1次流体FL1にキャビテーションを生じさせる。このため、1次流体FL1にキャビテーションを生じさせるための専用の噴射ノズルを備える必要がない。従って、噴射ノズルの目詰りの問題を回避でき、気泡形成装置100のメンテナンスの容易化が図られる。

## 【0059】

## [実施形態2]

上記実施形態1では、図3に示したように、排出用弁45を開いたときに、1次流体FL1の流れによって攪拌子20が浮上されたが、1次流体FL1の流れの勢いが小さい場合や、攪拌子20の自重が大きい場合でも、圧力容器10から外部への1次流体FL1の排出の確実性を高める構成を、気泡形成装置100が備えてもよい。以下、その具体例について説明する。

## 【0060】

図4に示すように、本実施形態に係る気泡形成装置200の圧力容器10には、排出用開口13が形成された内面(以下、底内面という。)に、排出用開口13に至る溝14が複数本形成されている。各々の溝14は、排出用開口13に近づくに従って深くなるように底面が傾斜している。図示しないが、複数本の溝14は、排出用開口13を上方からみた平面視において、円形の排出用開口13から径方向外方に放射状に延びている。

## 【0061】

本実施形態によれば、排出用弁45を開いたときに、たとえ攪拌子20が、圧力容器10の上記底内面に接しても、攪拌子20と、各々の溝14の底面との間には、隙間GPが

10

20

30

40

50



確保される。そして、その隙間 G P によって、1 次流体 F L 1 にキャビテーションを生じさせる絞り部が構成される。また、溝 1 4 の深さによって、1 次流体 F L 1 の流れを絞る度合いを調整することもできる。

【 0 0 6 2 】

[ 実施形態 3 ]

上記実施形態 2 では、溝 1 4 によって隙間 G P を構成したが、隙間 G P を構成する手段は溝 1 4 に限られない。以下、溝 1 4 以外の手段によって隙間 G P を構成する具体例について説明する。

【 0 0 6 3 】

図 5 に示すように、本実施形態に係る気泡形成装置 3 0 0 の圧力容器 1 0 は、底内面における排出用開口 1 3 の周囲に設けられた複数の突起 1 5 を備える。図示しないが、複数の突起 1 5 は、排出用開口 1 3 を上方からみた平面視において、円形の排出用開口 1 3 の周囲に、排出用開口 1 3 の周方向に間隔をあけて配置されている。

10

【 0 0 6 4 】

本実施形態によれば、排出用弁 4 5 を開いたときに、たとえ攪拌子 2 0 が突起 1 5 に接した状態となっても、隣り合う突起 1 5 の間において、ほぼ突起 1 5 の高さに相当する隙間 G P が確保される。そして、その隙間 G P によって、1 次流体 F L 1 にキャビテーションを生じさせる絞り部が構成される。また、突起 1 5 の高さによって、1 次流体 F L 1 の流れを絞る度合いを調整することもできる。

【 0 0 6 5 】

20

[ 実施形態 4 ]

上記実施形態 1 ~ 3 では、圧力容器 1 0 の内部 1 1 で構成される隙間 G P によって、1 次流体 F L 1 にキャビテーションを生じさせたが、隙間 G P の構成は必須ではない。専用の噴射ノズルを用いて、1 次流体 F L 1 にキャビテーションを生じさせてもよい。以下、その具体例について説明する。

【 0 0 6 6 】

図 6 に示すように、本実施形態に係る気泡形成装置 4 0 0 では、攪拌子 2 0 ' が円筒状をなしている。攪拌子 2 0 ' の外径は、圧力容器 1 0 の内径よりもやや小さく、攪拌子 2 0 ' の内径は、排出用開口 1 3 の口径より大きい。排出用弁 4 5 を開いたときには、1 次流体 F L 1 が、攪拌子 2 0 ' の内部空洞を通して圧力容器 1 0 の外に排出され、図 3 ~ 図 5 に示した隙間 G P は構成されない。

30

【 0 0 6 7 】

そこで、排出用配管 4 4 が、1 次流体 F L 1 にキャビテーションを生じさせる噴射ノズル 5 0 を有する。噴射ノズル 5 0 は、1 次流体 F L 1 の流れを絞る絞り部 5 1 を有する。絞り部 5 1 は、1 次流体 F L 1 が流れる方向に間隔をあけて複数設けられている。各々の絞り部 5 1 において、1 次流体 F L 1 にキャビテーションが付与される。

【 0 0 6 8 】

本実施形態では、1 次流体 F L 1 が、噴射ノズル 5 0 を通過する際に減圧され、気泡の数密度が高められ、かつ気泡の平均直径が微細化された 2 次流体 F L 2 となる。

【 0 0 6 9 】

40

[ 実施形態 5 ]

上記実施形態 1 ~ 4 では、圧力容器 1 0 を 1 つのみ用いたが、複数の圧力容器 1 0 を用いて、2 次流体 F L 2 を形成してもよい。以下、その具体例について説明する。

【 0 0 7 0 】

図 7 に示すように、本実施形態に係る気泡形成装置 5 0 0 は、圧力容器 1 0 と、その圧力容器 1 0 に収容された攪拌子 2 0 との組を、3 組備える。振とう装置 3 0 は、それら 3 つの圧力容器 1 0 を同時に振とうさせる。

【 0 0 7 1 】

本実施形態によれば、3 つの圧力容器 1 0 において、1 次流体 F L 1 を並行して形成することができるので、1 次流体 F L 1 については 2 次流体 F L 2 を形成する効率を高めるこ

50

とができる。

【0072】

なお、圧力容器10に導入する気体と液体の少なくとも一方を、3つの圧力容器10の間で互いに異ならせてもよい。この場合は、図7に示すように、各々の圧力容器10から排出される1次流体を1本の排出用配管44に集合させてもよいし、各々の圧力容器10から排出される1次流体を個別に外部に放出させてもよい。

【0073】

[実施例]

図1に示した気泡形成装置100を用い、液体と液体中に分散した気泡とを含む気液混合流体である2次流体FL2を形成した。2次流体FL2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。

10

【0074】

圧力容器10には、内径が18[m m]、高さが100[m m]、排出用開口13の口径が4[m m]のステンレス製の部材を用いた。攪拌子20には、直径が15[m m]のステンレス製の球を用いた。

【0075】

かかる圧力容器10に蒸留水を10[m L]導入し、かつ圧力容器10の内部11の圧力が0.6[M P a]となる加圧条件が満たされるように、空気を圧力容器10に封入した。この状態で圧力容器10を、230[回/分]程度の繰り返し周波数で、60[分]にわたって、振とう装置30により振とうさせ、1次流体FL1を形成した。

20

【0076】

しかる後、排出用弁45を開き、1次流体FL1を、攪拌子20と排出用開口13の縁との隙間G Pを通過させることにより、2次流体FL2となした。2次流体FL2は、排出用配管44の端部から放出される。

【0077】

図8に、排出用配管44から放出された2次流体FL2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。得られた2次流体FL2に含まれる気泡の平均直径は150[n m]以下、具体的には100[n m]程度であり、2次流体FL2に含まれる気泡の数密度は、11.4[億個/m L]程度であることが確認された。

30

【0078】

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。

【0079】

上記実施形態1~5では、攪拌子20が、液体と気体とを攪拌する役割だけでなく、攪拌子20の自重を利用して1次流体FL1の流れを絞る役割も果たしたが、後者の役割は必須ではない。攪拌子20が、液体と気体とを攪拌する役割だけを果たしてもよい。この場合は、圧力容器10を振とうさせる方向は、特に上下方向に限られない。圧力容器10を左右方向に振とうさせる構成としてもよいし、攪拌子20が圧力容器10の内部11でランダムに移動するような構成としてもよい。

40

【0080】

上記実施形態1~5では、圧力容器10に2つの開口、即ち導入用開口12と排出用開口13とを形成したが、圧力容器10に形成された1つの開口が、気体及び液体の導入用としての役割と、1次流体FL1の排出用としての役割とを兼ねる構成としてもよい。

【0081】

上記実施形態1~5では、気体源G Sを気体ポンベによって構成したが、気体を吐出する気体ポンベによって気体源G Sを構成してもよい。また、液体源L Sを、液体を吐出する液体ポンベによって構成してもよい。

【0082】

上記実施形態1~5では、ユーザが、導入用弁43及び排出用弁45の開閉と、振とう

50

装置 30 の動作とを手動で制御したが、これらを制御装置によって自動制御する構成としてもよい。

【0083】

上記実施形態 1 ~ 5 では、攪拌子 20 を 1 つの球体によって構成したが、攪拌子 20 を複数の部材によって構成してもよい。

【0084】

上記実施形態 1 ~ 5 では、圧力容器 10 が空中円筒状をなし、攪拌子 20 が球状をなしていたが、圧力容器 10 と攪拌子 20 の形状は、特に限定されない。

【0085】

図 7 には、3 つの圧力容器 10 を示したが、気泡形成装置 500 が備える圧力容器 10 の数は、2 つであってもよいし、4 つ以上であってもよい。

10

【0086】

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。

【符号の説明】

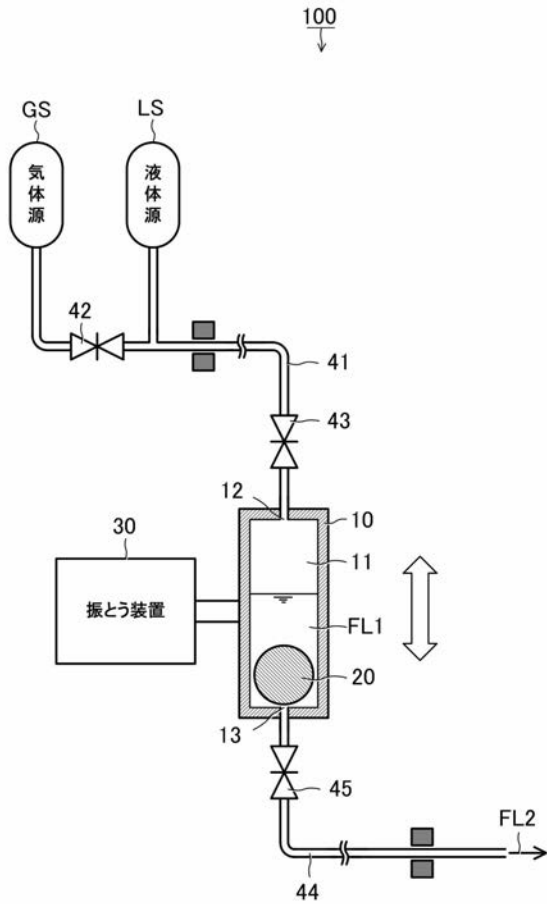
【0087】

- 10 ... 圧力容器、
- 11 ... 圧力容器の内部、
- 12 ... 導入用開口、
- 13 ... 排出用開口（開口）、
- 14 ... 溝、
- 15 ... 突起、
- 20, 20' ... 攪拌子、
- 30 ... 振とう装置、
- 41 ... 導入用配管、
- 42 ... 逆止弁、
- 43 ... 導入用弁、
- 44 ... 排出用配管、
- 45 ... 排出用弁、
- 50 ... 噴射ノズル、
- 51 ... 絞り部、
- 100, 200, 300, 400, 500 ... 気泡形成装置、
- G S ... 気体源、
- L S ... 液体源、
- F L 1 ... 1 次流体、
- F L 2 ... 2 次流体、
- G P ... 隙間。

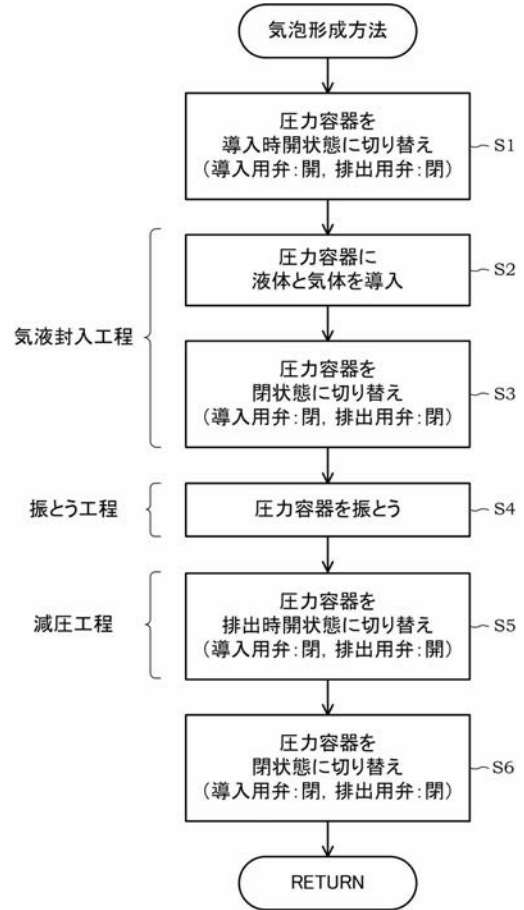
20

30

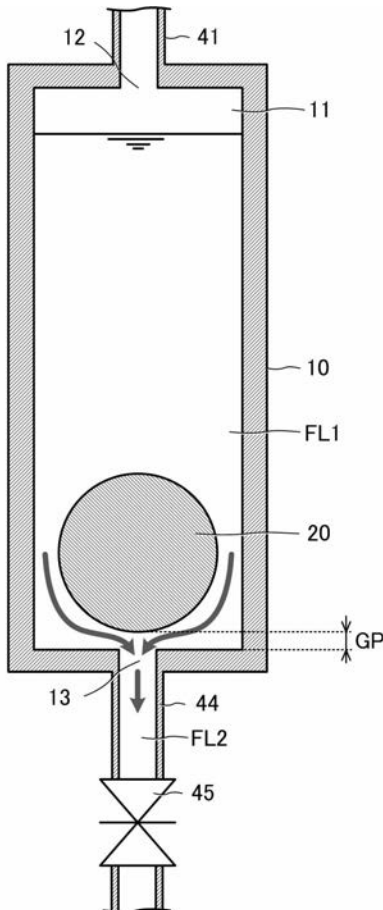
【 図 1 】



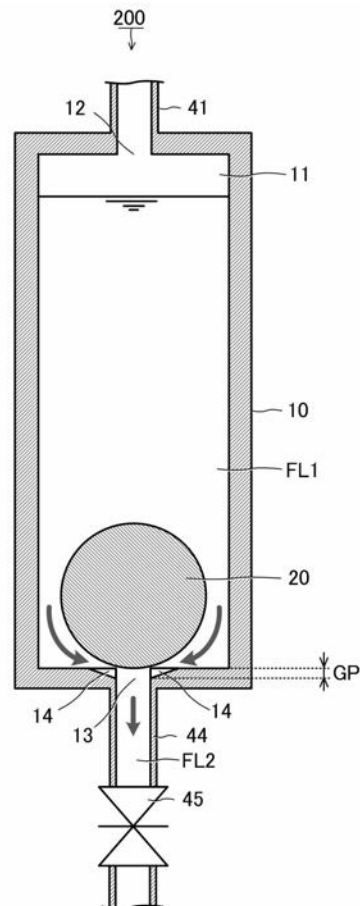
【 図 2 】



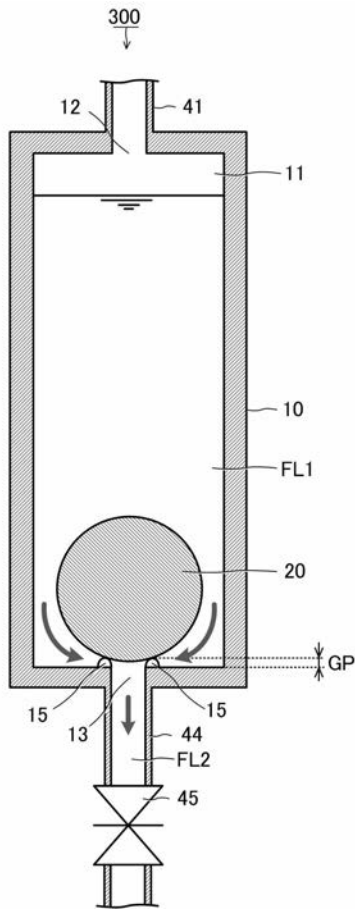
【 図 3 】



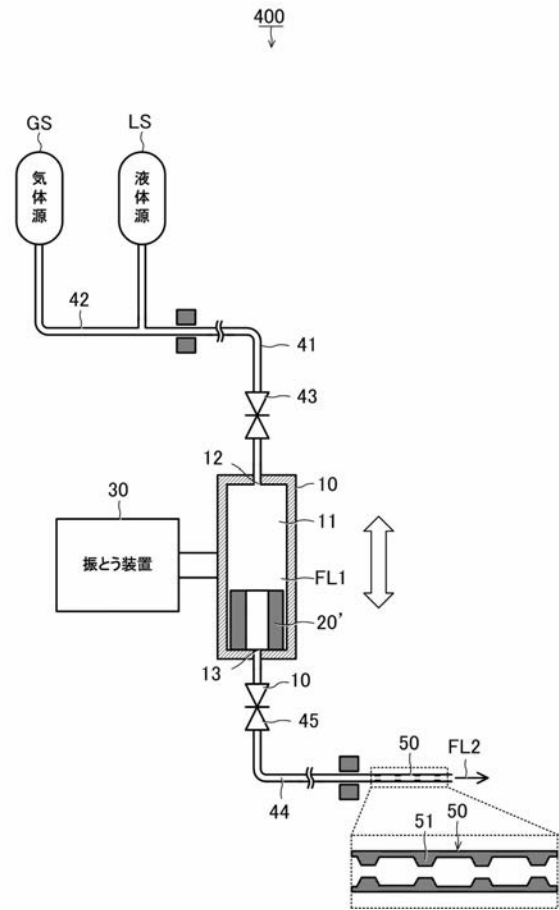
【 図 4 】



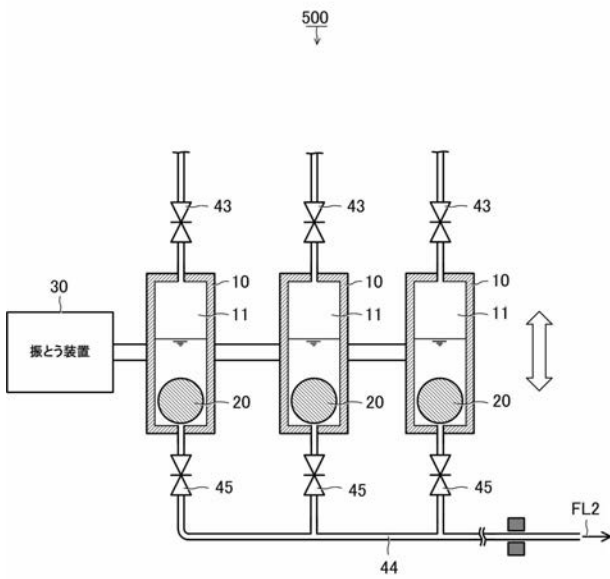
【 図 5 】



【 図 6 】



【 図 7 】



【 図 8 】

