

(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2014-231046

(P2014-231046A)

(43) 公開日 平成26年12月11日(2014.12.11)

(51) Int. Cl.		F I			テーマコード (参考)	
B 0 1 F	3/04	(2006.01)	B 0 1 F	3/04	Z	4 G 0 3 5
B 0 1 F	5/02	(2006.01)	B 0 1 F	5/02	A	
B 0 1 F	5/00	(2006.01)	B 0 1 F	5/00	G	

審査請求 有 請求項の数 23 O L (全 21 頁)

(21) 出願番号	特願2013-113481 (P2013-113481)	(71) 出願人	510160487
(22) 出願日	平成25年5月29日 (2013. 5. 29)		株式会社アースリンク
			神奈川県中郡二宮町富士見が丘2-5-4 2
		(71) 出願人	301021533
			独立行政法人産業技術総合研究所
			東京都千代田区霞が関1-3-1
		(74) 代理人	100071526
			弁理士 平田 忠雄
		(74) 代理人	100119208
			弁理士 岩永 勇二
		(72) 発明者	久米 隆廣
			神奈川県中郡二宮町富士見が丘2-5-4 2 株式会社アースリンク本社内

最終頁に続く

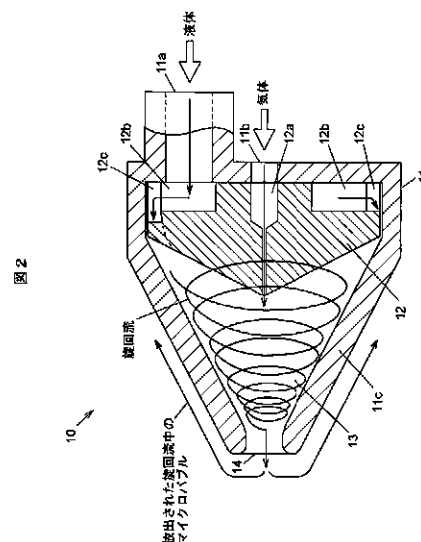
(54) 【発明の名称】 マイクロナノバブルの生成方法、マイクロナノバブル生成器及びマイクロナノバブル生成装置

(57) 【要約】

【課題】 小型のポンプで、かつ少量の気体供給量でありながら、安定してマイクロバブルを発生すると同時に、発生したマイクロバブルの一部を同一動作の中で効率的にナノバブル化するマイクロナノバブルの生成方法、マイクロナノバブル生成器及びマイクロナノバブル生成装置を提供する。

【解決手段】 二相流旋回方式のマイクロナノバブル生成器内で気液二相旋回流を発生させる工程と、前記マイクロナノバブル生成器の放出孔より前記気液二相旋回流を外部の液体中に放出させる工程と、放出された前記気液二相旋回流中のマイクロバブルを前記マイクロナノバブル生成器の外壁面に沿って移動させる工程とを含むマイクロナノバブルの生成方法。

【選択図】 図2



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

二相流旋回方式のマイクロナノバブル生成器内で気液二相旋回流を発生させる工程と、
前記マイクロナノバブル生成器の放出孔より前記気液二相旋回流を外部の液体中に放出させる工程と、

放出された前記気液二相旋回流中のマイクロバブルを前記マイクロナノバブル生成器の外壁面に沿って移動させる工程とを含むマイクロナノバブルの生成方法。

【請求項 2】

前記気液二相旋回流を発生させる工程は、前記マイクロナノバブル生成器に外部から供給された液体の進行方向を前記マイクロナノバブル生成器に形成された液体流路に沿って変更させることで旋回流を生じさせる工程を含むことを特徴とする請求項 1 に記載のマイクロナノバブルの生成方法。

10

【請求項 3】

前記液体の進行方向を変更させることで旋回流を生じさせる工程は、2 本以上の前記液体流路に沿って変更させる工程であることを特徴とする請求項 2 に記載のマイクロナノバブルの生成方法。

【請求項 4】

外部から供給された前記液体は、前記マイクロナノバブル生成器に形成された液体貯留槽に貯留された後に、前記液体流路に流されることを特徴とする請求項 2 又は請求項 3 に記載のマイクロナノバブルの生成方法。

20

【請求項 5】

前記液体の進行方向を変更させることで旋回流を生じさせる工程は、前記放出孔の中心軸に対し、前記放出孔の方向を 0° として、 $0^\circ \sim 5^\circ$ の方向に前記液体が供給され、 $10^\circ \sim 90^\circ$ の方向へ進行方向が変更される工程であることを特徴とする請求項 2 ～ 4 のいずれか 1 項に記載のマイクロナノバブルの生成方法。

【請求項 6】

前記マイクロナノバブル生成器内で発生させた前記気液二相旋回流の速度を前記放出孔に近づくほど高める工程を含むことを特徴とする請求項 1 ～ 5 のいずれか 1 項に記載のマイクロナノバブルの生成方法。

【請求項 7】

液中パーティクルカウンターを利用した計測において粒径 $10 \sim 18 \mu\text{m}$ の範囲に気泡個数の大きな低下が認められる非ガウス分布を示すマイクロバブルを生成することを特徴とする請求項 1 ～ 6 のいずれか 1 項に記載のマイクロナノバブルの生成方法。

30

【請求項 8】

粒径 500 nm 未満のナノバブルを生成することを特徴とする請求項 1 ～ 7 のいずれか 1 項に記載のマイクロナノバブルの生成方法。

【請求項 9】

マイクロナノバブルを生成する二相流旋回方式のマイクロナノバブル生成器であって、
液体を供給する液体供給口及び気体を供給する気体供給口と、
供給された前記液体の進行方向を変更させる液体流路と、
供給された前記液体及び前記気体を衝突させて気液二相旋回流を発生させる旋回流発生部と、

40

外壁に設けられ、前記気液二相旋回流を外部の液体中に放出させる放出孔とを備えたマイクロナノバブル生成器。

【請求項 10】

供給された前記液体が前記液体流路に流される前に貯留される液体貯留槽を備えることを特徴とする請求項 9 に記載のマイクロナノバブル生成器。

【請求項 11】

前記旋回流発生部は、円錐形状の前記外壁で形成されており、内部に円錐形状の空洞を有することを特徴とする請求項 9 又は請求項 10 に記載のマイクロナノバブル生成器。

50

【請求項 1 2】

前記放出孔は、円錐形状の前記外壁の頂上部に設けられていることを特徴とする請求項 1 1 に記載のマイクロナノバブル生成器。

【請求項 1 3】

前記放出孔を形成する前記外壁の端部が面取りされていることを特徴とする請求項 9 ～ 1 2 のいずれか 1 項に記載のマイクロナノバブル生成器。

【請求項 1 4】

前記液体流路は、流入口よりも流出口が狭いことを特徴とする請求項 9 ～ 1 3 のいずれか 1 項に記載のマイクロナノバブル生成器。

【請求項 1 5】

前記液体流路は、曲線状に形成され、流出口に近づくほど細くなり、流出口が尖った形状となっていることを特徴とする請求項 9 ～ 1 4 のいずれか 1 項に記載のマイクロナノバブル生成器。

【請求項 1 6】

前記液体供給口は、前記放出孔の中心軸に対し、前記放出孔の方向を 0° として、 $0^{\circ} \sim 5^{\circ}$ の方向に前記液体を供給できる位置に形成され、前記液体流路は、前記液体を $10^{\circ} \sim 90^{\circ}$ の方向へ進行方向を変更できるように形成されていることを特徴とする請求項 9 ～ 1 5 のいずれか 1 項に記載のマイクロナノバブル生成器。

【請求項 1 7】

前記液体流路は、マイクロナノバブル生成器本体の外壁内面に沿って設けられていることを特徴とする請求項 9 ～ 1 6 のいずれか 1 項に記載のマイクロナノバブル生成器。

【請求項 1 8】

前記液体流路は、2 本以上設けられていることを特徴とする請求項 9 ～ 1 7 のいずれか 1 項に記載のマイクロナノバブル生成器。

【請求項 1 9】

前記気体流路は、流入口よりも流出口が狭いことを特徴とする請求項 9 ～ 1 8 のいずれか 1 項に記載のマイクロナノバブル生成器。

【請求項 2 0】

前記液体流路の流出口は、前記気体流路の流出口よりも前記放出孔から遠い位置に設けられていることを特徴とする請求項 9 ～ 1 9 のいずれか 1 項に記載のマイクロナノバブル生成器。

【請求項 2 1】

前記液体貯留槽は、円環状に形成されていることを特徴とする請求項 9 ～ 2 0 のいずれか 1 項に記載のマイクロナノバブル生成器。

【請求項 2 2】

前記放出孔と対向する位置に端部が円錐形状の流路形成部が設けられており、その頂上部に前記気体流路の流出口が設けられていることを特徴とする請求項 9 ～ 2 1 のいずれか 1 項に記載のマイクロナノバブル生成器。

【請求項 2 3】

前記流路形成部は、前記円錐形状の底面に円柱形状の部位を有し、当該円柱形状の部位の側面にスリットが形成され、当該スリットは前記外壁の内面と共に前記液体流路を形成していることを特徴とする請求項 2 2 に記載のマイクロナノバブル生成器。

【請求項 2 4】

前記液体流路は、前記流路形成部の前記円錐形状の部位にまで延びていることを特徴とする請求項 2 3 に記載のマイクロナノバブル生成器。

【請求項 2 5】

請求項 9 ～ 2 4 のいずれか 1 項に記載のマイクロナノバブル生成器を 1 つ以上、備えたことを特徴とするマイクロナノバブル生成装置。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】**

10

20

30

40

50

【0001】

本発明は、マイクロナノバブルの生成方法、マイクロナノバブル生成器及びマイクロナノバブル生成装置に関するものである。

【背景技術】

【0002】

マイクロバブルやナノバブルは近年、その応用の可能性が次々と明らかになっており、それに応じて多くのマイクロナノバブル発生装置や方法も開発されている。

【0003】

排水処理や水環境改善用としては二相流旋回方式が主流であり、水道水中では直径が30 μm 程度を中心としたガウス分布に近い形のマイクロバブルを発生させる。気泡の個数は直径50 μm 以下のマイクロバブルとして数十から数百個レベルである。

【0004】

一方、半導体などの洗浄用としても開発が進められており、非常に高濃度のマイクロバブルを発生できる加圧溶解方式がその中心である。気泡粒径分布は二相流旋回方式とは大きく異なり、直径10 μm 近傍に鋭くて高いピークがあり、気泡を含まない領域を経て、直径40 μm 付近を中心とするブロードな第2ピークを形成する。気泡の個数は直径50 μm 以下のマイクロバブルとして数千個レベルに達する。

【0005】

マイクロバブルは、基本的な性質として、水中で縮小していき、ついには消滅してしまう気泡である。雑ばくな目安としては水道水などの通常の水溶液中において直径が50 μm 以下の気泡が対象となる。

【0006】

これに対してナノバブルは残存性の微小気泡を対象とすることが多い。気泡の大きさは1 μm よりも小さく、数十nm～数百nmの大きさであろうと考えられている。このナノバブルに関しては、ナノバブル発生装置の名称で特許出願されている装置や市販されている装置があるが、基本的にはこれらはマイクロバブル発生装置であり、ナノバブルとして残存させるためには発生後のマイクロバブルに圧壊などの刺激を与えて製造する方法が一般的である。ナノバブルの利用としては、医療や食品、衛生、農水産業などであり、内部に含まれる気体種などによって応用目的も異なってくる。

【0007】

ナノバブル発生装置としては、例えば、特許文献1記載の装置がある。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0008】

【特許文献1】特開2012-250138号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

この様な状況であるが、マイクロバブル発生装置に関しては小動力のポンプで安定して発生が望める装置が少なく、また発生するマイクロバブルの容積量に比べて著しく多量の気体供給が必要な場合が大部分である。また、ナノバブルに関しては一つの装置で発生したマイクロバブルを簡単にナノバブル化できる装置は少なく、少なくとも効率の面で大きな問題がある。

【0010】

そこで、本発明は、小型のポンプで、かつ少量の気体供給量でありながら、安定してマイクロバブルを発生すると同時に、発生したマイクロバブルの一部を同一動作の中で効率的にナノバブル化するマイクロナノバブルの生成方法、マイクロナノバブル生成器及びマイクロナノバブル生成装置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】

【0011】

本発明は、上記目的を達成するために、下記の〔１〕～〔２５〕を提供する。

〔１〕二相流旋回方式のマイクロナノバブル生成器内で気液二相旋回流を発生させる工程と、前記マイクロナノバブル生成器の放出孔より前記気液二相旋回流を外部の液体中に放出させる工程と、放出された前記気液二相旋回流中のマイクロバブルを前記マイクロナノバブル生成器の外壁面に沿って移動させる工程とを含むマイクロナノバブルの生成方法。

〔２〕前記気液二相旋回流を発生させる工程は、前記マイクロナノバブル生成器に外部から供給された液体の進行方向を前記マイクロナノバブル生成器に形成された液体流路に沿って変更させることで旋回流を生じさせる工程を含むことを特徴とする前記〔１〕に記載のマイクロナノバブルの生成方法。

〔３〕前記液体の進行方向を変更させることで旋回流を生じさせる工程は、２本以上の前記液体流路に沿って変更させる工程であることを特徴とする前記〔２〕に記載のマイクロナノバブルの生成方法。

〔４〕外部から供給された前記液体は、前記マイクロナノバブル生成器に形成された液体貯留槽に貯留された後に、前記液体流路に流されることを特徴とする前記〔２〕又は前記〔３〕に記載のマイクロナノバブルの生成方法。

〔５〕前記液体の進行方向を変更させることで旋回流を生じさせる工程は、前記放出孔の中心軸に対し、前記放出孔の方向を 0° として、 $0^{\circ} \sim 5^{\circ}$ の方向に前記液体が供給され、 $10^{\circ} \sim 90^{\circ}$ の方向へ進行方向が変更される工程であることを特徴とする前記〔２〕～〔４〕のいずれか１つに記載のマイクロナノバブルの生成方法。

〔６〕前記マイクロナノバブル生成器内で発生させた前記気液二相旋回流の速度を前記放出孔に近づくほど高める工程を含むことを特徴とする前記〔１〕～〔５〕のいずれか１つに記載のマイクロナノバブルの生成方法。

〔７〕液中パーティクルカウンターを利用した計測において粒径 $10 \sim 18 \mu\text{m}$ の範囲に気泡個数の大きな低下が認められる非ガウス分布を示すマイクロバブルを生成することを特徴とする前記〔１〕～〔６〕のいずれか１つに記載のマイクロナノバブルの生成方法。

〔８〕粒径 500 nm 未満のナノバブルを生成することを特徴とする前記〔１〕～〔７〕のいずれか１つに記載のマイクロナノバブルの生成方法。

〔９〕マイクロナノバブルを生成する二相流旋回方式のマイクロナノバブル生成器であって、液体を供給する液体供給口及び気体を供給する気体供給口と、供給された前記液体の進行方向を変更させる液体流路と、供給された前記液体及び前記気体を衝突させて気液二相旋回流を発生させる旋回流発生部と、外壁に設けられ、前記気液二相旋回流を外部の液体中に放出させる放出孔とを備えたマイクロナノバブル生成器。

〔１０〕供給された前記液体が前記液体流路に流される前に貯留される液体貯留槽を備えることを特徴とする前記〔９〕に記載のマイクロナノバブル生成器。

〔１１〕前記旋回流発生部は、円錐形状の前記外壁で形成されており、内部に円錐形状の空洞を有することを特徴とする前記〔９〕又は前記〔１０〕に記載のマイクロナノバブル生成器。

〔１２〕前記放出孔は、円錐形状の前記外壁の頂上部に設けられていることを特徴とする前記〔１１〕に記載のマイクロナノバブル生成器。

〔１３〕前記放出孔を形成する前記外壁の端部が面取りされていることを特徴とする前記〔９〕～〔１２〕のいずれか１つに記載のマイクロナノバブル生成器。

〔１４〕前記液体流路は、流入口よりも流出口が狭いことを特徴とする前記〔９〕～〔１３〕のいずれか１つに記載のマイクロナノバブル生成器。

〔１５〕前記液体流路は、曲線状に形成され、流出口に近づくほど細くなり、流出口が尖った形状となっていることを特徴とする前記〔９〕～〔１４〕のいずれか１つに記載のマイクロナノバブル生成器。

〔１６〕前記液体供給口は、前記放出孔の中心軸に対し、前記放出孔の方向を 0° として、 $0^{\circ} \sim 5^{\circ}$ の方向に前記液体を供給できる位置に形成され、前記液体流路は、前記液体を $10^{\circ} \sim 90^{\circ}$ の方向へ進行方向を変更できるように形成されていることを特徴とする前記〔９〕～〔１５〕のいずれか１つに記載のマイクロナノバブル生成器。

10

20

30

40

50

〔１７〕前記液体流路は、マイクロナノバブル生成器本体の外壁内面に沿って設けられていることを特徴とする前記〔９〕～〔１６〕のいずれか１つに記載のマイクロナノバブル生成器。

〔１８〕前記液体流路は、２本以上設けられていることを特徴とする前記〔９〕～〔１７〕のいずれか１つに記載のマイクロナノバブル生成器。

〔１９〕前記気体流路は、流入口よりも流出口が狭いことを特徴とする前記〔９〕～〔１８〕のいずれか１つに記載のマイクロナノバブル生成器。

〔２０〕前記液体流路の流出口は、前記気体流路の流出口よりも前記放出孔から遠い位置に設けられていることを特徴とする前記〔９〕～〔１９〕のいずれか１つに記載のマイクロナノバブル生成器。

10

〔２１〕前記液体貯留槽は、円環状に形成されていることを特徴とする前記〔９〕～〔２０〕のいずれか１つに記載のマイクロナノバブル生成器。

〔２２〕前記放出孔と対向する位置に端部が円錐形状の流路形成部が設けられており、その頂上部に前記気体流路の流出口が設けられていることを特徴とする前記〔９〕～〔２１〕のいずれか１つに記載のマイクロナノバブル生成器。

〔２３〕前記流路形成部は、前記円錐形状の底面に円柱形状の部位を有し、当該円柱形状の部位の側面にスリットが形成され、当該スリットは前記外壁の内面と共に前記液体流路を形成していることを特徴とする前記〔２２〕に記載のマイクロナノバブル生成器。

〔２４〕前記液体流路は、前記流路形成部の前記円錐形状の部位にまで延びていることを特徴とする前記〔２３〕に記載のマイクロナノバブル生成器。

20

〔２５〕前記〔９〕～〔２４〕のいずれか１つに記載のマイクロナノバブル生成器を１つ以上、備えたことを特徴とするマイクロナノバブル生成装置。

【発明の効果】

【００１２】

本発明によると、小型のポンプで、かつ少量の気体供給量でありながら、安定してマイクロバブルを発生すると同時に、発生したマイクロバブルの一部を同一動作の中で効率的にナノバブル化するマイクロナノバブルの生成方法、マイクロナノバブル生成器及びマイクロナノバブル生成装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【００１３】

30

【図１】本発明の実施の形態に係るマイクロナノバブル生成器の断面図である。

【図２】本発明の実施の形態に係るマイクロナノバブル生成器における気体、液体、及び旋回流の動きを示した断面図である。

【図３】本発明の実施の形態に係るマイクロナノバブル生成器を構成する気液流路形成部の上方斜視図である。

【図４】本発明の実施の形態に係るマイクロナノバブル生成器を構成する気液流路形成部の下方斜視図である。

【図５】本発明の実施の形態に係るマイクロナノバブル生成器を構成する気液流路形成部を示す図であり、（ａ）は上面図、（ｂ）は側面図である。

【図６】実施例１における、放出孔から気液二相旋回流を放出した状態のマイクロナノバブル生成器を側面から撮影した写真である。

40

【図７】実施例１において液中パーティクルカウンターにより測定したマイクロバブルの粒径分布である。

【図８】実施例２における電子スピン共鳴装置による測定結果であり、 DMPO-OH のスペクトルを示す。

【発明を実施するための形態】

【００１４】

〔マイクロナノバブルの生成方法〕

本発明の実施の形態に係るマイクロナノバブルの生成方法は、二相流旋回方式のマイクロナノバブル生成器内で気液二相旋回流を発生させる工程と、前記マイクロナノバブル生

50

成器の放出孔より前記気液二相旋回流を外部の液体中に放出させる工程と、放出された前記気液二相旋回流中のマイクロバブルを前記マイクロナノバブル生成器の外壁面に沿って移動させる工程とを含む。以下、各工程を詳細に説明する。

【0015】

本発明の実施の形態における「二相流旋回方式のマイクロナノバブル生成器内で気液二相旋回流を発生させる工程」では、外部から生成器内に供給された液体による旋回流を生成器内で発生させ、この旋回流に外部から生成器に供給された気体を混合し、気液二相旋回流を発生させる。後述する本発明の実施の形態に係る二相流旋回方式のマイクロナノバブル生成器を使用することが好ましい。

【0016】

外部から供給する液体としては、水道水、蒸留水、地下水、川や湖の水、雨水等を使用することができ、特に限定されるものではないが、水道水又は地下水を使用することが好ましい。また、これらにミネラルなどの添加物を加えたものでも良い。マイクロナノバブル生成器から放出された液体を循環させて供給しても良いし、循環させずに新たな液体を供給しても良い。また、液体の供給量は、各用途に適した使用ポンプの性能に応じて適宜、適当量に調整できる。

【0017】

外部から供給する気体としては、空気、酸素、窒素等を用いることができ、特に限定されるものではないが、空気を用いることが好ましい。気体の供給量は、少量で良く、1～30 mL/分であることが好ましく、3～20 mL/分であることがより好ましい。

【0018】

本発明の実施の形態における気液二相旋回流を発生させる工程は、マイクロナノバブル生成器に外部から供給された液体の進行方向をマイクロナノバブル生成器に形成された液体流路に沿って変更させることで旋回流を生じさせる工程を含むことが好ましい。また、当該旋回流を生じさせる工程は、2本以上の液体流路に沿って変更させる工程であることがより好ましい。2本以上の液体流路は、マイクロナノバブル生成器に均等間隔で形成されたものであることが好ましく、その好ましい形状については後述する。

【0019】

液体の進行方向を変更させることで旋回流を生じさせる上記の工程は、旋回流を生じさせることができるように進行方向が変更されれば、特に限定されるものではないが、マイクロナノバブル生成器に設けられた気液二相旋回流の放出孔の中心軸に対し、放出孔の方向を0°として、当該中心軸と平行線上の位置に設けられた液体供給口より、180°ないし180°±5°の方向から放出孔の方向(0°)ないし少し角度を持たせた方向(～5°)に液体が供給され、さらに角度をつけた方向へ進行方向が変更されることが好ましい。具体的には10°～90°の方向が好ましく、30°～90°がより好ましく、加工のし易さ等も考慮すると40°～85°がさらに好ましく、50°～80°が最も好ましい。なお、本実施の形態における液体の進路を示す角度は、図5(b)のようにマイクロナノバブル生成器の側面から見た場合の値を表す。より詳細には図を参照して後述する。

【0020】

上記工程において、外部から供給された液体は、マイクロナノバブル生成器に形成された液体貯留槽に貯留された後に、液体流路に流される工程を含むことが好ましい。これにより、2本以上の液体流路にほぼ均等圧で液体を流すことができるため、安定した旋回流を生じさせることができる。

【0021】

また、気液二相旋回流を発生させる工程は、マイクロナノバブル生成器内で発生させた気液二相旋回流の速度を放出孔に近づくほど高める工程を含むことが好ましい。気液二相旋回流が放出孔より放出されるときに旋回流が高速であるほど好ましく、具体的には、3000 rpm/分以上であることが好ましく、4000 rpm/分以上であることがより好ましく、5000 rpm/分以上であることがさらに好ましい。小型の一般的なポンプ(吐出量:10～20 L/分程度、圧力:0.1～0.2 MPa程度)を使用した場合に

10

20

30

40

50

は、4500～6500rpm/分であることが好ましく、5000～6000rpm/分であることがより好ましい。

【0022】

本発明の実施の形態における「マイクロナノバブル生成器の放出孔より気液二相旋回流を外部の液体中に放出させる工程」では、放出孔より気液二相旋回流を外部の液体中に放出させる。後述する本発明の実施の形態に係る二相流旋回方式のマイクロナノバブル生成器を使用することが好ましい。

【0023】

放出孔の直径は、例えば、小型の一般的なポンプ（吐出量：10～20L/分程度、圧力：0.1～0.2MPa程度）を使用した場合には、3～10mmであることが好ましく、5～8mmであることがより好ましい。マイクロナノバブル生成器の大きさにしたがって適当な径に調整する。放出孔は、孔を形成するマイクロナノバブル生成器の外壁の端部が面取りされ、丸められていることが好ましい。

【0024】

外部の液体としては、前述の外部から供給する液体と同様の液体を使用することが好ましい。

【0025】

本発明の実施の形態における「放出された気液二相旋回流中のマイクロバブルをマイクロナノバブル生成器の外壁面に沿って移動させる工程」では、放出された気液二相旋回流中のマイクロバブルをマイクロナノバブル生成器の外壁面に沿って移動させる。従来、このような工程を経る生成方法は存在しなかった。放出された気液二相旋回流中のマイクロバブルの70%以上をマイクロナノバブル生成器の外壁面に沿って移動させることが好ましく、80%以上がより好ましく、90%以上がさらに好ましく、95%以上が最も好ましい。後述する本発明の実施の形態に係る二相流旋回方式のマイクロナノバブル生成器を使用することが好ましい。

【0026】

本工程は、特別に何か別の操作をすることなく、前述の「二相流旋回方式のマイクロナノバブル生成器内で気液二相旋回流を発生させる工程」及び「マイクロナノバブル生成器の放出孔より気液二相旋回流を外部の液体中に放出させる工程」を経た結果として生じる工程である。

【0027】

図2は、後述する本発明の実施の形態に係るマイクロナノバブル生成器における気体、液体、及び旋回流の動きを示した断面図である。放出孔より放出された気液二相旋回流中のマイクロバブルは、従来の気液二相旋回流方式の装置のように前面に広がって前方向に移動するのではなく、横方向ないし後ろ方向に広がりを見せながら移動し、マイクロナノバブル生成器の外壁面に沿って移動する。

【0028】

本発明の実施の形態に係るマイクロナノバブルの生成方法は、従来の方法とは異なるため、発生する気泡の特徴も従来とは異なった粒径分布となる。通常、このような二相流旋回方式と言われる型式のマイクロバブル発生装置の場合、水道水や地下水などの水溶液中であれば粒径が30μm程度を中心としたほぼガウス分布に近い粒径分布を示すが、本実施の形態は、液中パーティクルカウンターを利用した計測において粒径10～18μmの範囲に気泡個数の大きな低下が認められる「非ガウス分布」を示すマイクロバブルを生成する点に特徴がある。また、粒径500nm未満のナノバブルを生成することができる。本実施の形態におけるナノバブルの生成機構は、以下の通りと考えられる。

【0029】

放出孔14から放出された水の中には直径が50μm以下の微小な気泡、所謂マイクロバブルを含んでいるが、マイクロバブルの生成後0.1秒以内においてマイクロバブルを含む水がマイクロナノバブル生成器10の外壁11cの壁面を回転と共になぞりつつ流動するため、粒径10から18μmのマイクロバブルを粒径500nm以下のナノバブルと

10

20

30

40

50

して安定化させることができると考えられる。壁面に対する移動速度は、壁面から垂直軸方向に5mm以内での移動領域においては平均速度として20cm/秒以上であるが、壁面接触部から垂直軸方向に異なる流速分布を生じさせる。これは壁面が流動の抵抗になるために生じる効果であるが、これにより流動域の内部に含まれるマイクロバブルは回転させられて丸め込まれる様な作用をうける。垂直軸方向に異なる流速分布のために、発生したマイクロバブルの中でも特に粒径の小さな粒径20 μ m以下のマイクロバブルはより壁面に近い側に移動する。これにより気液界面には新鮮な水溶液が周囲より急速に供給されるため、気泡内部の気体は溶解が促進されると共に電荷の形成が不十分な段階であったマイクロバブルの気液界面には急速に電荷の供給が進む。これにより、極端に発生時の粒径が小さい粒径10 μ m以下のマイクロバブルでは初発の界面面積が小さ過ぎるため困難が生じるが、粒径10から18 μ mの領域のマイクロバブルは気液界面における電荷の促進的な濃縮が実現して粒径500nm以下のナノバブルとして安定化する。この様に、本発明の実施形態においては、特に粒径10から18 μ mの範囲のマイクロバブルに対して急速な丸め込み効果を発揮するため、結果的に発生装置から外部に放出された段階では、マイクロバブル自体の粒径分布において、この領域の個数が低下して、他の発生装置に見られるようなガウス分布的な粒径分布とは異なる分布となる。

通常、マイクロバブルは電荷を帯びていることが知られているが、この電荷はマイクロバブルの気液界面における水の構造的な要因で形成されたものであり、気泡発生直後においては気液界面付近における水の構造形成が間に合わないため、気泡は電荷を帯びてはいない。このためマイクロバブルは内部の気体を急速に周囲の水に溶解させながら縮小していき、ついには消滅してしまう。特に粒径10から18 μ mのマイクロバブルの場合には内部の気体が0.1気圧以上に加圧されているため、縮小から消滅に向かう傾向が強い。ところが、本発明のごとく、固体壁面をなぞるように発生直後のマイクロバブルを含む水が移動すると、壁面が抵抗体となるため水自体が強い乱流条件下に置かれることになる。そして内部に含まれる球形をした気泡は高速で回転する状況になり、乱流条件であるにも係わらず球形を維持しながら内部の気体を周囲の水に溶解させる。この時、気液界面には常に新しい水が供給されるため、気泡の縮小速度は他の条件よりも著しく加速される。さらに、水の動きが著しいために周囲の水から気液界面近傍へのイオン類の供給も著しく、気泡縮小に伴うゼータ電位の立ち上がりは著しく促進される。その結果、粒径が500nm未満の状態になった時に、気泡は高濃度のイオンに取り囲まれた状況になる。このような状況になると、気泡の縮小が大きく制限されてしまう。すなわち高濃度のイオンの殻に取り囲まれた状態となり、内部の気体の溶解が著しく制限されてしまうので、気泡は安定化する。その結果、マイクロバブルとしての発生後にさほどの時間を要していないにも係わらず、また気泡の縮小を促すような特別な操作を別途に施していないにも係わらず、大量のナノバブルとして残存させることが可能となるものと考えられる。従来のマイクロバブル発生装置は、マイクロバブルは発生するものの発生したマイクロバブルはそのまま水の中で消滅するため、この一部をナノバブルとして残存させるためには他の工夫を施す必要があった。これに対して、本発明によれば、そのような操作を必要とすること無く、特に粒径10から18 μ mのマイクロバブルが直径500nm未満の持続性を持ったナノバブルとして残存する割合が非常に高くなる。

【0030】

〔マイクロナノバブルの生成器〕

図1は、本発明の実施の形態に係るマイクロナノバブル生成器の断面図である。

【0031】

本発明の実施の形態に係るマイクロナノバブルの生成器10は、マイクロナノバブルを生成する二相流旋回方式のマイクロナノバブル生成器であって、生成器本体11に設けられた液体を供給する液体供給口11a及び気体を供給する気体供給口11bと、供給された液体の進行方向を変更させる液体流路12cと、供給された液体及び気体を衝突させて気液二相旋回流を発生させる旋回流発生部13と、生成器本体11の外壁11cに設けられ、気液二相旋回流を外部の液体中に放出させる放出孔14とを備える。本実施の形態に

においては、好ましい形態として、供給された液体が液体流路 1 2 c に流される前に貯留される液体貯留槽 1 2 b を備える。液体流路 1 2 c 及び液体貯留槽 1 2 b は、放出孔 1 4 と対向する位置に設けられた気液流路形成部 1 2 に気体流路 1 2 a とともに形成されている。液体流路 1 2 c は、マイクロナノバブル生成器本体 1 1 の外壁 1 1 c の内面に沿って設けられていることが好ましい。

【0032】

生成器本体 1 1 は、外壁 1 1 c で形成されており、円錐形状の部位と円錐形状部位の底面に連なる円柱形状の部位を有する。いずれの部位も内部が空洞となっており、円柱形状部位の空洞には気液流路形成部 1 2 が動かないように収容され、円錐形状部位の空洞は、旋回流発生部 1 3 を構成する。円錐の頂部の角度は、中心軸に対して $20^{\circ} \sim 45^{\circ}$ が好ましく、 $25^{\circ} \sim 40^{\circ}$ がより好ましく、 $25^{\circ} \sim 35^{\circ}$ がさらに好ましい。なお、生成器本体 1 1 の形状はこれに限定されるものではなく、角錐形状と角柱形状の組み合わせや、円錐形状のみ、円柱形状のみ等の形状を採用できる。生成器本体 1 1 の大きさは、縦 $1 \sim 10 \text{ cm}$ \times 横 $1 \sim 10 \text{ cm}$ \times 長さ $1 \sim 10 \text{ cm}$ 程度の小型にすることができる。用途に合わせて種々の大きさに製造できる。

10

【0033】

液体供給口 1 1 a は、生成器本体 1 1 の円柱形状部位の底面に位置する外壁 1 1 c (放出孔 1 4 と対向する外壁) に形成されており、かつ、液体貯留槽 1 2 b に液体を供給できる位置に形成されている。液体貯留槽 1 2 b を設けない場合には、液体流路 1 2 c に液体を供給できるように形成される。液体供給口 1 1 a には、チューブ等が連結される。

20

【0034】

気体供給口 1 1 b は、生成器本体 1 1 の円柱形状部位の底面に位置する外壁 1 1 c (放出孔 1 4 と対向する外壁) に形成されており、かつ、気体流路 1 2 a に気体を供給できる位置に形成されている。本実施の形態においては、放出孔 1 4 の中心軸上に気体供給口 1 1 b 及び気体流路 1 2 a が形成されている。気体供給口 1 1 b には、チューブ等が連結される。

【0035】

生成器本体 1 1 や気液流路形成部 1 2 の材質としては、ステンレス等の金属、硬質プラスチック、硬質ガラス等が好適であるが、特に限定されるものではない。

【0036】

気液流路形成部 1 2 は、円錐形状の底面に円柱形状の部位を有し、当該円柱形状の部位の側面にスリットが形成され、当該スリットは生成器本体 1 1 の外壁 1 1 c の内面と共に液体流路 1 2 c を形成している。液体流路 1 2 c は、流路形成部 1 2 の円錐形状の部位にまで延びていることが好ましい (その長さは $3 \sim 20 \text{ mm}$ 程度が好ましく、 $5 \sim 15 \text{ mm}$ 程度がより好ましい)。円錐の頂部の角度は、中心軸に対して $35^{\circ} \sim 70^{\circ}$ が好ましく、 $40^{\circ} \sim 65^{\circ}$ がより好ましく、 $45^{\circ} \sim 65^{\circ}$ がさらに好ましい。

30

【0037】

気液流路形成部 1 2 は、円錐形状部位の頂上部が放出孔 1 4 と対向するように配置され、その頂上部に気体流路 1 2 a の流出口が設けられている。液体流路 1 2 c の流出口は、図 1 に示すように、気体流路 1 2 a の流出口よりも放出孔 1 4 から遠い位置に設けられていることが好ましい。これにより、気体の供給直後から旋回流の中心に気体が存在しているため、非常に安定したマイクロナノバブルの発生が可能となる。

40

【0038】

気体流路 1 2 a は、図 1 に示すように、流入口よりも流出口を狭くすることが好ましい。気体流路 1 2 a の流入口の面積は、例えば、 $8 \sim 16 \text{ mm}^2$ であることが好ましく、 $10 \sim 14 \text{ mm}^2$ であることがより好ましい。また、気体流路 1 2 a の流出口の面積は、例えば、 $1 \sim 7 \text{ mm}^2$ であることが好ましく、 $3 \sim 5 \text{ mm}^2$ であることがより好ましい。マイクロナノバブル生成器の大きさにしたがって適当な径に調整する。

【0039】

旋回流発生部 1 3 の空洞は、放出孔 1 4 に近づくほど狭くなっている (円周の半径が縮

50

小している)。これにより、旋回流は放出孔 1 4 に近づくほど旋回速度を上昇させる。

【0040】

放出孔 1 4 は、外壁 1 1 c で形成された円錐形状部位の頂上部に設けられている。また、放出孔 1 4 を形成する外壁 1 1 c の端部が面取りされている。

【0041】

次に、本発明の実施の形態に係るマイクロナノバブルの生成器 1 0 における気体、液体、及び旋回流の動きを説明する。図 2 は、後述する本発明の実施の形態に係るマイクロナノバブル生成器における気体、液体、及び旋回流の動きを示した断面図である。

【0042】

液体供給口 1 1 a から供給された液体は、液体貯留槽 1 2 b を通過した後、液体流路 1 2 c を流れ、液体流路 1 2 c の流出口から旋回流発生部 1 3 の空洞内に流出され、旋回流を生じる。一方、気体供給口 1 1 b から供給された気体は、気体流路 1 2 a を流れ、気体流路 1 2 a の流出口から旋回流発生部 1 3 の空洞内に放出され、液体旋回流と衝突し、気液二相旋回流を発生する。気液二相旋回流は、放出孔 1 4 に近づくほど速度を上げ、放出孔 1 4 から放出される。放出孔より放出された気液二相旋回流中のマイクロバブルは、前述の通り、横方向ないし後ろ方向に広がりを見せながら移動し、マイクロナノバブル生成器 1 0 の外壁 1 1 c の壁面に沿って移動する。

【0043】

図 3 は、本発明の実施の形態に係るマイクロナノバブル生成器を構成する気液流路形成部の上方斜視図であり、図 4 は、下方斜視図である。また、図 5 (a) は上面図、(b) は側面図である。

【0044】

液体貯留槽 1 2 b は、図 3 及び図 5 (a) に示すように、気液流路形成部 1 2 に円環状に形成されている。液体供給口 1 1 a から供給された液体は、液体貯留槽 1 2 b に貯留された後に、液体流路に流される。これにより、液体流路 1 2 c を 2 本以上設けた場合に各液体流路にほぼ均等圧で液体を流すことができるため、安定した旋回流を生じさせることができる。最適な液体流路の本数は、マイクロナノバブル生成器のサイズにより異なる。例えば、マイクロナノバブル生成器の直径(生成器本体の最大部)が 20 ~ 40 mm の場合、液体流路 1 2 c を 2 ~ 5 本設けることが好ましく、2 ~ 4 本設けることがより好ましく、3 本設けることがさらに好ましい。マイクロナノバブル生成器の直径が 40 ~ 60 mm の場合、液体流路 1 2 c を 2 ~ 6 本設けることが好ましく、3 ~ 5 本設けることがより好ましく、4 本設けることがさらに好ましい。生成器の直径が 60 ~ 80 mm であれば、液体流路 1 2 c を 2 ~ 7 本設けることが好ましく、3 ~ 6 本設けることがより好ましく、4 ~ 5 本設けることがさらに好ましい。生成器の直径が 80 ~ 100 mm であれば、液体流路 1 2 c を 2 ~ 8 本設けることが好ましく、3 ~ 7 本設けることがより好ましく、4 ~ 6 本設けることがさらに好ましい。複数本の液体流路 1 2 c は、液体貯留槽 1 2 b の円環の外側に等間隔に設けられることが好ましい。

【0045】

液体流路 1 2 c は、流入口よりも流出口が狭くすることが好ましく、図 3 ~ 5 に示すように、曲線状に形成され、流出口に近づくほど細くなり、流出口が尖った形状となっていることがより好ましい。

【0046】

液体供給口 1 1 a は、放出孔 1 4 の中心軸に対し、放出孔 1 4 の方向を 0° として、当該中心軸と平行線上の位置に設けられ、かつ、略 180° の方向から放出孔の方向(0°)ないし少し角度を持たせた方向(~5°)に液体を供給できる位置に形成され、液体流路 1 2 c は、液体をさらに角度をつけた方向へ進行方向を変更できるように形成されることが好ましい。具体的には 10° ~ 90° の方向が好ましく、30° ~ 90° がより好ましく、加工のし易さ等も考慮すると 40° ~ 85° がさらに好ましく、50° ~ 80° が最も好ましい。例えば、図 5 (b) においては、放出孔 1 4 の中心軸と気体流路 1 2 a の流出口(流出孔)の中心軸とが一致しており、0° の方向に供給された液体は進路変

更されて液体流路 1 2 c の流出口では約 70°～80° の方向へ流出している。また、図 5 (a)、(b) に示されるように、液体流路 1 2 c の流出口が、液体流路 1 2 c の流入口と気体流路 1 2 a の流出口とを結ぶライン上に来ないようにすることが好ましく、液体流路 1 2 c の流入口の端部から当該流出口の直径の $3/4 \sim 1/4$ の長さ程度分、時計回り方向、ないし反時計回り方向にずれていることがより好ましく、当該流出口の直径の $1/2$ の長さ程度分ずれていることがさらに好ましい。ずらす方向は複数の液体流路 1 2 c すべてにおいて、時計回り方向、ないし反時計回り方向のどちらかに統一する。

【0047】

【マイクロナノバブルの生成装置】

本発明の実施の形態に係るマイクロナノバブルの生成装置は、上述の本発明の実施の形態に係るマイクロナノバブル生成器 10 を 1 つ以上、備える。マイクロナノバブル生成器 10 を複数個備えることで、大量のマイクロナノバブル生成にも対応可能である。

【0048】

マイクロナノバブルの生成装置は、マイクロナノバブル生成器 10 の液体供給口 11 a から液体を供給するための液体供給用ポンプを備える。本実施の形態においては、通常の二相流旋回方式のマイクロナノバブル生成装置に使用されるポンプよりも小型のポンプを使用できる。マイクロナノバブル生成器 10 も小型にできるため、装置全体を小型化することが可能である。

【0049】

以下、本発明を実施例によって説明するが、本発明は以下の記載に限定して解釈されるものではない。

【実施例】

【0050】

<実施例 1>

図 1～5 に記載の本発明の実施の形態に係るマイクロナノバブル生成器 10 (生成器本体 11 の最大直径: 45 mm) を使用してマイクロナノバブルを生成した。

まず、マイクロナノバブル生成器 10 を入れた角形容器に茨城県つくば市内の水道水を約 10 L 入れた後、130 W の井戸用ポンプ (圧力 0.16 MPa、吐出量 14 L/分) を利用してマイクロナノバブル生成器 10 の液体供給口 11 a から水道水を供給 (角形容器中の水を循環させて供給) した。放出孔 14 からの放水量は約 10 L/分であった。運転開始後、チューブを介して気体供給口 11 b から空気が供給される (生成器内部に旋回流が発生し気体流路 1 2 a の流出口付近の圧力が下がるため、空気は自然吸引され自給される)。

図 6 は、実施例 1 における、放出孔から気液二相旋回流を放出した状態のマイクロナノバブル生成器を側面から撮影した写真である。放出された気液二相旋回流中のマイクロバブルの殆ど (90% 以上) が前方ではなく、後方へ向かい、マイクロナノバブル生成器 10 の外壁 11 c の壁面に沿って移動している様子が分かる。

空気の供給量を約 5 mL/分としたときの角形容器内のマイクロバブルの粒径分布を液中パーティクルカウンターにより測定した。利用した液中パーティクルカウンターは PMS 社製 LiQuilaz-E20 である。

図 7 は、実施例 1 において液中パーティクルカウンターにより測定したマイクロバブルの粒径分布であり、マイクロナノバブル生成装置を作動させて 5 分経過した時の角形容器内におけるマイクロバブルの粒径分布を示す。

【0051】

図 7 より、通常の二相流旋回方式の場合 (気体の供給量は数百 mL/分) に対して、極めて少量の気体の供給量であるにもかかわらず、マイクロバブル発生量が大変に多いことが分かる。また、粒径分布が非ガウス分布となり、10～18 μm 当たり気泡数の大きな落ち込みが認められる。

【0052】

<実施例 2>

10

20

30

40

50

水道水を1昼夜の放置をして残留塩素を95%以上抜けさせた水を使用した以外は実施例1と同様にしてマイクロナノバブルを生成した。

マイクロナノバブル生成装置を10分間作動させ、停止30分後の角形容器内の水をサンプリングした。サンプリングした水にスピントラップ剤である5, 5-ジメチルーN-ピロリン-オキシド(DMPO)と塩酸を添加した後に、電子スピン共鳴装置(株式会社キーコム社製、商品名: esr33)により測定を行った。

図8は、実施例2における電子スピン共鳴装置による測定結果であり、DMPO-OHのスペクトルを示す。

【0053】

図8において、特徴的なDMPO-OHのスペクトルを認めることが出来た。すなわち、マンガンの指標を示す図の左右外側の大きなピークの間に4つのピークが等間隔で認められる。その大きさは1:2:2:1の比率であり、DMPO-OHの特徴的なスペクトルを示している。このことから系内において水酸基ラジカル($\cdot\text{OH}$)が発生したことを認めることが出来る。なお、マイクロナノバブルを発生させる前の水からはこのようなスペクトルは認められない。

【0054】

また、上記サンプル水を孔径500nmのメンブレンフィルターに通過させた後に同様の測定を行った場合、フィルター処理を行っていないサンプル水とほぼ同じ大きさのDMPO-OHのスペクトルを確認できた。これらのことからサンプル水中には500nm未満のナノバブルが残存していることが分かった。

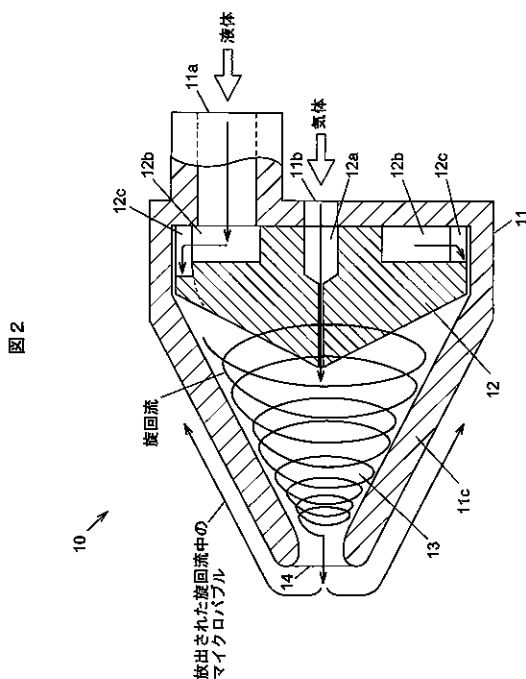
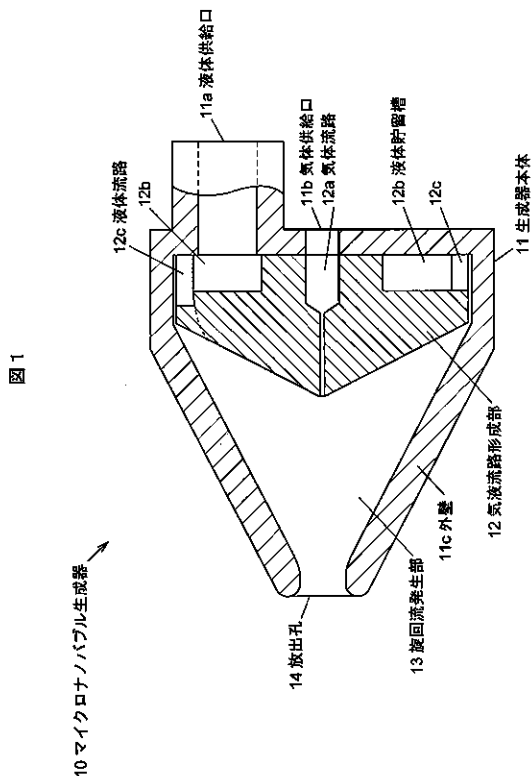
【符号の説明】

【0055】

10: マイクロナノバブル生成器、11: マイクロナノバブル生成器本体、11a: 液体供給口、11b: 気体供給口、11c: 外壁、12: 気液流路形成部、12a: 気体流路、12b: 液体貯留槽、12c: 液体流路、13: 旋回流発生部、14: 放出孔

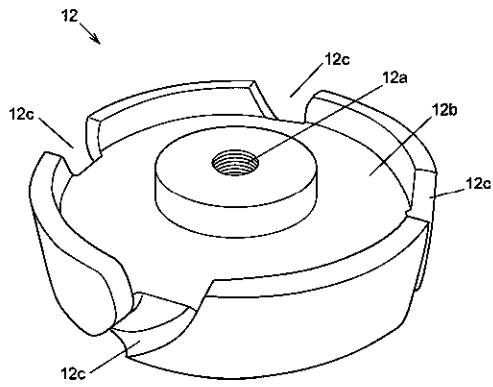
【図1】

【図2】



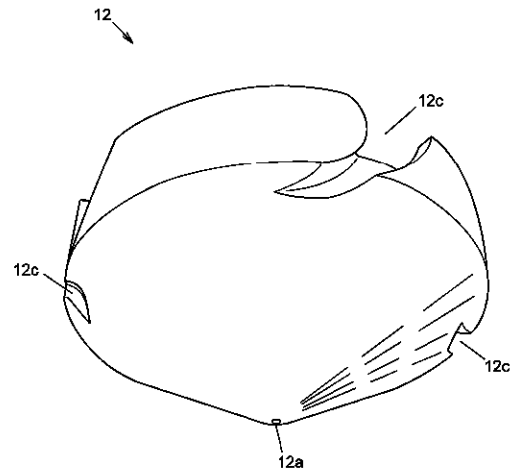
【図 3】

図 3



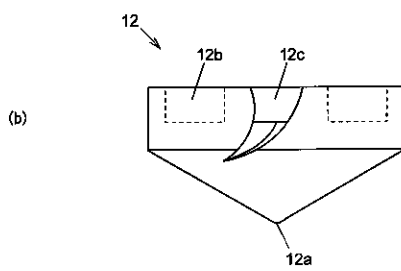
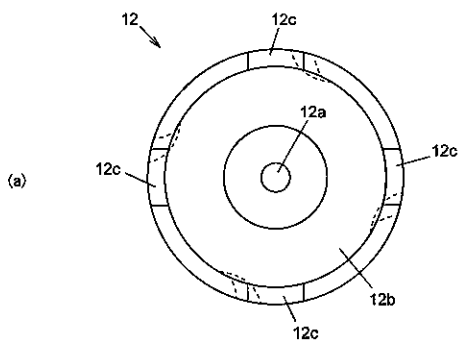
【図 4】

図 4



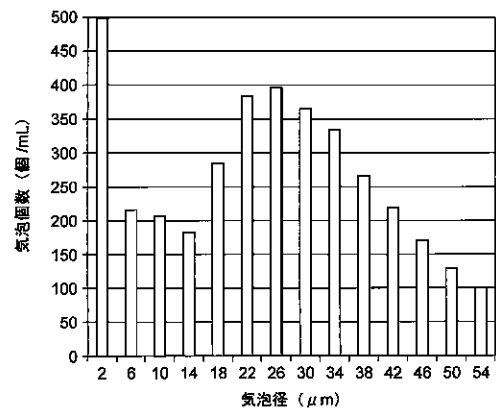
【図 5】

図 5



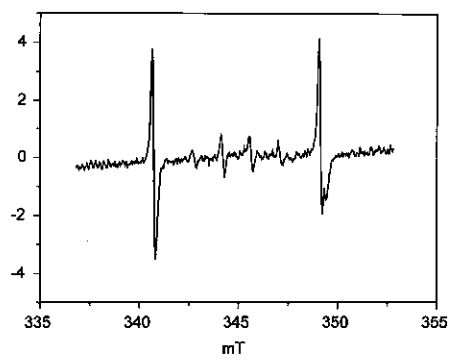
【図 7】

図 7



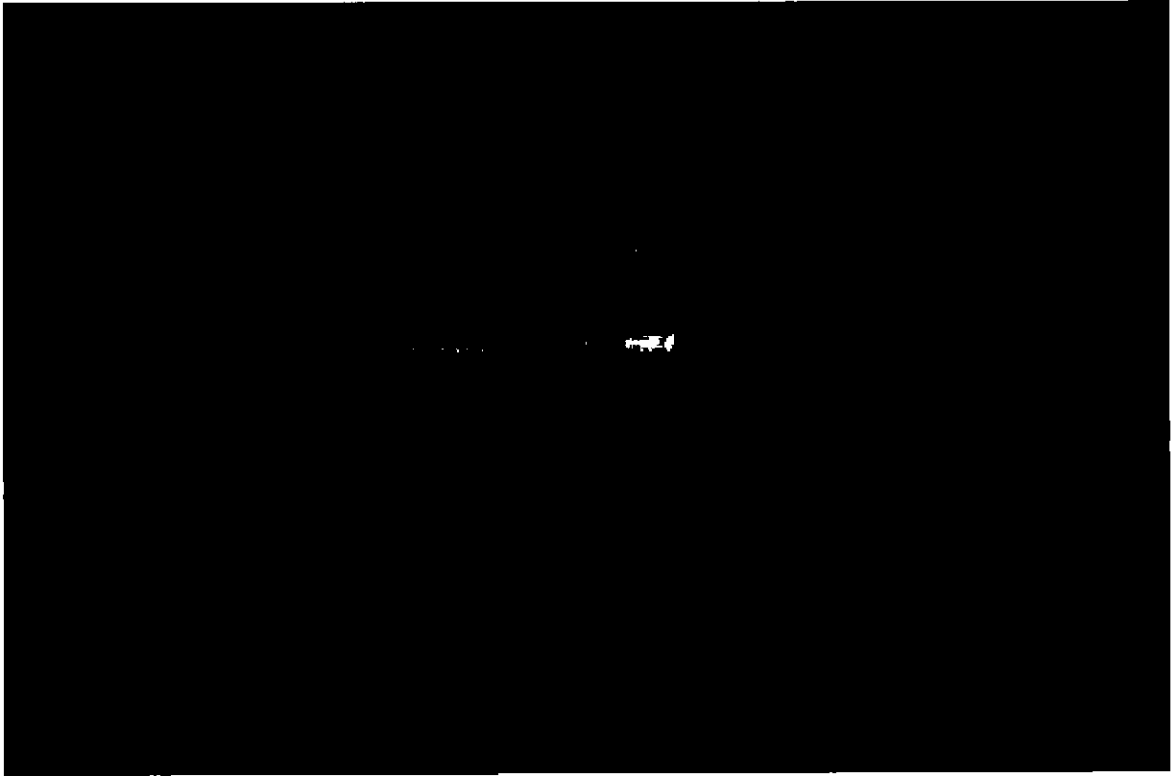
【図 8】

図 8



【図 6】

図 6



【手続補正書】

【提出日】平成26年10月7日(2014.10.7)

【手続補正1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】

二相流旋回方式のマイクロナノバブル生成器内で気液二相旋回流を発生させる工程と、
前記マイクロナノバブル生成器の放出孔より前記気液二相旋回流を外部の液体中に放出させる工程と、

放出された前記気液二相旋回流中のマイクロバブルを前記放出孔の前方向に対し横方向ないし後ろ方向に移動させ、前記マイクロバブルを含む水を前記マイクロナノバブル生成器の外壁面に沿って回転と共になぞりつつ流動させる工程とを含むマイクロナノバブルの生成方法。

【請求項2】

前記気液二相旋回流を発生させる工程は、前記マイクロナノバブル生成器に外部から供給された液体の進行方向を前記マイクロナノバブル生成器に形成された液体流路に沿って変更させることで旋回流を生じさせる工程を含むことを特徴とする請求項1に記載のマイクロナノバブルの生成方法。

【請求項3】

前記液体の進行方向を変更させることで旋回流を生じさせる工程は、2本以上の前記液

体流路に沿って変更させる工程であることを特徴とする請求項 2 に記載のマイクロナノバブルの生成方法。

【請求項 4】

外部から供給された前記液体は、前記マイクロナノバブル生成器に形成された液体貯留槽に貯留された後に、前記液体流路に流されることを特徴とする請求項 2 又は請求項 3 に記載のマイクロナノバブルの生成方法。

【請求項 5】

前記液体の進行方向を変更させることで旋回流を生じさせる工程は、前記放出孔の中心軸に対し、前記放出孔の方向を 0° として、 $0^\circ \sim 5^\circ$ の方向に前記液体が供給され、 $10^\circ \sim 90^\circ$ の方向へ進行方向が変更される工程であることを特徴とする請求項 2 ～ 4 のいずれか 1 項に記載のマイクロナノバブルの生成方法。

【請求項 6】

前記マイクロナノバブル生成器内で発生させた前記気液二相旋回流の速度を前記放出孔に近づくほど高める工程を含むことを特徴とする請求項 1 ～ 5 のいずれか 1 項に記載のマイクロナノバブルの生成方法。

【請求項 7】

液中パーティクルカウンターを利用した計測において粒径 $10 \sim 18 \mu\text{m}$ の範囲に気泡個数の大きな低下が認められる非ガウス分布を示すマイクロバブルを生成することを特徴とする請求項 1 ～ 6 のいずれか 1 項に記載のマイクロナノバブルの生成方法。

【請求項 8】

粒径 500 nm 未満のナノバブルを生成することを特徴とする請求項 1 ～ 7 のいずれか 1 項に記載のマイクロナノバブルの生成方法。

【請求項 9】

請求項 1 ～ 8 のいずれか 1 項に記載のマイクロナノバブルの生成方法に使用するための、
マイクロナノバブルを生成する二相流旋回方式のマイクロナノバブル生成器であって、
液体を供給する液体供給口及び気体を供給する気体供給口と、
供給された前記液体の進行方向を変更させる液体流路と、
供給された前記気体の流路となる気体流路と、
供給された前記液体及び前記気体を衝突させて気液二相旋回流を発生させる旋回流発生部と、
外壁に設けられ、前記気液二相旋回流を外部の液体中に放出させる放出孔とを備え、
前記旋回流発生部は、円錐形状の前記外壁で形成されており、内部に円錐形状の空洞を有し、
前記放出孔は、円錐形状の前記外壁の頂上部に設けられているマイクロナノバブル生成器。

【請求項 10】

供給された前記液体が前記液体流路に流される前に貯留される液体貯留槽を備えることを特徴とする請求項 9 に記載のマイクロナノバブル生成器。

【請求項 11】

前記放出孔を形成する前記外壁の端部が面取りされていることを特徴とする請求項 9 又は請求項 10 に記載のマイクロナノバブル生成器。

【請求項 12】

前記液体流路は、流入口よりも流出口が狭いことを特徴とする請求項 9 ～ 11 のいずれか 1 項に記載のマイクロナノバブル生成器。

【請求項 13】

前記液体流路は、曲線状に形成され、流出口に近づくほど細くなり、流出口が尖った形状となっていることを特徴とする請求項 9 ～ 12 のいずれか 1 項に記載のマイクロナノバブル生成器。

【請求項 14】

前記液体供給口は、前記放出孔の中心軸に対し、前記放出孔の方向を 0° として、 0°

～5°の方向に前記液体を供給できる位置に形成され、前記液体流路は、前記液体を10°～90°の方向へ進行方向を変更できるように形成されていることを特徴とする請求項9～13のいずれか1項に記載のマイクロナノバブル生成器。

【請求項15】

前記液体流路は、マイクロナノバブル生成器本体の外壁内面に沿って設けられていることを特徴とする請求項9～14のいずれか1項に記載のマイクロナノバブル生成器。

【請求項16】

前記液体流路は、2本以上設けられていることを特徴とする請求項9～15のいずれか1項に記載のマイクロナノバブル生成器。

【請求項17】

前記気体流路は、流入口よりも流出口が狭いことを特徴とする請求項9～16のいずれか1項に記載のマイクロナノバブル生成器。

【請求項18】

前記液体流路の流出口は、前記気体流路の流出口よりも前記放出孔から遠い位置に設けられていることを特徴とする請求項9～17のいずれか1項に記載のマイクロナノバブル生成器。

【請求項19】

前記液体貯留槽は、円環状に形成されていることを特徴とする請求項9～18のいずれか1項に記載のマイクロナノバブル生成器。

【請求項20】

前記放出孔と対向する位置に端部が円錐形状の気液流路形成部が設けられており、その頂上部に前記気体流路の流出口が設けられていることを特徴とする請求項9～19のいずれか1項に記載のマイクロナノバブル生成器。

【請求項21】

前記気液流路形成部は、前記円錐形状の底面に円柱形状の部位を有し、当該円柱形状の部位の側面にスリットが形成され、当該スリットは前記外壁の内面と共に前記液体流路を形成していることを特徴とする請求項20に記載のマイクロナノバブル生成器。

【請求項22】

前記液体流路は、前記気液流路形成部の前記円錐形状の部位にまで延びていることを特徴とする請求項21に記載のマイクロナノバブル生成器。

【請求項23】

請求項9～22のいずれか1項に記載のマイクロナノバブル生成器を1つ以上、備えたことを特徴とするマイクロナノバブル生成装置。

【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0011

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0011】

本発明は、上記目的を達成するために、下記の〔1〕～〔23〕を提供する。

〔1〕二相流旋回方式のマイクロナノバブル生成器内で気液二相旋回流を発生させる工程と、前記マイクロナノバブル生成器の放出孔より前記気液二相旋回流を外部の液体中に放出させる工程と、放出された前記気液二相旋回流中のマイクロバブルを前記放出孔の前方向に対し横方向ないし後ろ方向に移動させ、前記マイクロバブルを含む水を前記マイクロナノバブル生成器の外壁面に沿って回転と共になぞりつつ流動させる工程を含むマイクロナノバブルの生成方法。

〔2〕前記気液二相旋回流を発生させる工程は、前記マイクロナノバブル生成器に外部から供給された液体の進行方向を前記マイクロナノバブル生成器に形成された液体流路に沿って変更させることで旋回流を生じさせる工程を含むことを特徴とする前記〔1〕に記載

のマイクロナノバブルの生成方法。

〔3〕前記液体の進行方向を変更させることで旋回流を生じさせる工程は、2本以上の前記液体流路に沿って変更させる工程であることを特徴とする前記〔2〕に記載のマイクロナノバブルの生成方法。

〔4〕外部から供給された前記液体は、前記マイクロナノバブル生成器に形成された液体貯留槽に貯留された後に、前記液体流路に流されることを特徴とする前記〔2〕又は前記〔3〕に記載のマイクロナノバブルの生成方法。

〔5〕前記液体の進行方向を変更させることで旋回流を生じさせる工程は、前記放出孔の中心軸に対し、前記放出孔の方向を 0° として、 $0^\circ \sim 5^\circ$ の方向に前記液体が供給され、 $10^\circ \sim 90^\circ$ の方向へ進行方向が変更される工程であることを特徴とする前記〔2〕～〔4〕のいずれか1つに記載のマイクロナノバブルの生成方法。

〔6〕前記マイクロナノバブル生成器内で発生させた前記気液二相旋回流の速度を前記放出孔に近づくほど高める工程を含むことを特徴とする前記〔1〕～〔5〕のいずれか1つに記載のマイクロナノバブルの生成方法。

〔7〕液中パーティクルカウンターを利用した計測において粒径 $10 \sim 18 \mu\text{m}$ の範囲に気泡個数の大きな低下が認められる非ガウス分布を示すマイクロバブルを生成することを特徴とする前記〔1〕～〔6〕のいずれか1つに記載のマイクロナノバブルの生成方法。

〔8〕粒径 500 nm 未満のナノバブルを生成することを特徴とする前記〔1〕～〔7〕のいずれか1つに記載のマイクロナノバブルの生成方法。

〔9〕前記〔1〕～〔8〕のいずれか1つに記載のマイクロナノバブルの生成方法に使用するための、マイクロナノバブルを生成する二相流旋回方式のマイクロナノバブル生成器であって、液体を供給する液体供給口及び気体を供給する気体供給口と、供給された前記液体の進行方向を変更させる液体流路と、供給された前記気体の流路となる気体流路と、供給された前記液体及び前記気体を衝突させて気液二相旋回流を発生させる旋回流発生部と、外壁に設けられ、前記気液二相旋回流を外部の液体中に放出させる放出孔とを備え、前記旋回流発生部は、円錐形状の前記外壁で形成されており、内部に円錐形状の空洞を有し、前記放出孔は、円錐形状の前記外壁の頂上部に設けられているマイクロナノバブル生成器。

〔10〕供給された前記液体が前記液体流路に流される前に貯留される液体貯留槽を備えることを特徴とする前記〔9〕に記載のマイクロナノバブル生成器。

〔11〕前記放出孔を形成する前記外壁の端部が面取りされていることを特徴とする前記〔9〕又は前記〔10〕に記載のマイクロナノバブル生成器。

〔12〕前記液体流路は、流入口よりも流出口が狭いことを特徴とする前記〔9〕～〔11〕のいずれか1つに記載のマイクロナノバブル生成器。

〔13〕前記液体流路は、曲線状に形成され、流出口に近づくほど細くなり、流出口が尖った形状となっていることを特徴とする前記〔9〕～〔12〕のいずれか1つに記載のマイクロナノバブル生成器。

〔14〕前記液体供給口は、前記放出孔の中心軸に対し、前記放出孔の方向を 0° として、 $0^\circ \sim 5^\circ$ の方向に前記液体を供給できる位置に形成され、前記液体流路は、前記液体を $10^\circ \sim 90^\circ$ の方向へ進行方向を変更できるように形成されていることを特徴とする前記〔9〕～〔13〕のいずれか1つに記載のマイクロナノバブル生成器。

〔15〕前記液体流路は、マイクロナノバブル生成器本体の外壁内面に沿って設けられていることを特徴とする前記〔9〕～〔14〕のいずれか1つに記載のマイクロナノバブル生成器。

〔16〕前記液体流路は、2本以上設けられていることを特徴とする前記〔9〕～〔15〕のいずれか1つに記載のマイクロナノバブル生成器。

〔17〕前記気体流路は、流入口よりも流出口が狭いことを特徴とする前記〔9〕～〔16〕のいずれか1つに記載のマイクロナノバブル生成器。

〔18〕前記液体流路の流出口は、前記気体流路の流出口よりも前記放出孔から遠い位置に設けられていることを特徴とする前記〔9〕～〔17〕のいずれか1つに記載のマイク

ロナノバブル生成器。

〔1 9〕前記液体貯留槽は、円環状に形成されていることを特徴とする前記〔9〕～〔1 8〕のいずれか1つに記載のマイクロナノバブル生成器。

〔2 0〕前記放出孔と対向する位置に端部が円錐形状の気液流路形成部が設けられており、その頂上部に前記気体流路の流出口が設けられていることを特徴とする前記〔9〕～〔1 9〕のいずれか1つに記載のマイクロナノバブル生成器。

〔2 1〕前記気液流路形成部は、前記円錐形状の底面に円柱形状の部位を有し、当該円柱形状の部位の側面にスリットが形成され、当該スリットは前記外壁の内面と共に前記液体流路を形成していることを特徴とする前記〔2 0〕に記載のマイクロナノバブル生成器。

〔2 2〕前記液体流路は、前記気液流路形成部の前記円錐形状の部位にまで延びていることを特徴とする前記〔2 1〕に記載のマイクロナノバブル生成器。

〔2 3〕前記〔9〕～〔2 2〕のいずれか1つに記載のマイクロナノバブル生成器を1つ以上、備えたことを特徴とするマイクロナノバブル生成装置。

フロントページの続き

(72)発明者 大松 真朋

神奈川県中郡二宮町富士見が丘 2-5-42 株式会社アースリンク本社内

(72)発明者 花牟礼 研一

神奈川県中郡二宮町富士見が丘 2-5-42 株式会社アースリンク本社内

(72)発明者 高橋 正好

茨城県つくば市東 1-1-1 独立行政法人産業技術総合研究所つくばセンター内

Fターム(参考) 4G035 AB16 AC15 AC44 AE13