

(19) 日本国特許庁(JP)

再公表特許(A1)

(11) 国際公開番号

W02018/021182

発行日 令和1年5月16日(2019.5.16)

(43) 国際公開日 平成30年2月1日(2018.2.1)

(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

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 17 頁)

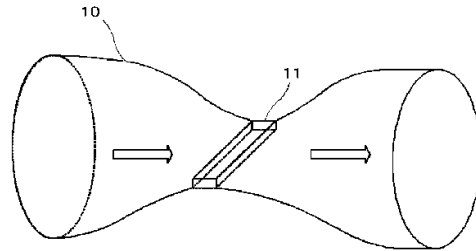
出願番号	特願2018-529846 (P2018-529846)	(71) 出願人	504258527 国立大学法人 鹿児島大学 鹿児島県鹿児島市郡元一丁目21番24号
(21) 国際出願番号	PCT/JP2017/026463	(74) 代理人	100095407 弁理士 木村 満
(22) 国際出願日	平成29年7月21日 (2017.7.21)	(74) 代理人	100162259 弁理士 末富 孝典
(31) 優先権主張番号	特願2016-145936 (P2016-145936)	(74) 代理人	100133592 弁理士 山口 浩一
(32) 優先日	平成28年7月26日 (2016.7.26)	(74) 代理人	100168114 弁理士 山中 生太
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)	(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

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 気泡生成装置、管状部材、気泡生成方法及び気泡生成装置の製造方法

(57) 【要約】

気泡生成装置は、水を通す金属細管(10)と、金属細管(10)内に気体成分を含む水を圧送するポンプと、を備える。金属細管(10)の内側には、水の流れ方向の前後よりも水の通り道が狭くなっている絞り部(11)が設けられている。絞り部(11)は流れ方向に直交する断面形状が、矩形形状である。絞り部(11)への水の圧送により水に含まれる気体成分を水中に溶解させ、絞り部(11)での圧力の低下により気泡を析出させ、絞り部(11)で水に乱流を発生させ、そのせん断力で水中の気泡を粉砕し、絞り部(11)から出た水に生じる遷音速流による衝撃波により、気泡を粉砕する。



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

内部を液体が通る管状部材と、
前記管状部材内に気体成分を含む前記液体を圧送するポンプと、
を備え、
前記管状部材の内側に、前記液体の流れ方向の前後よりも前記液体の通り道が狭くなっている絞り部が設けられ、
前記絞り部は前記流れ方向に直交する断面形状が、矩形状であり、
前記絞り部への前記液体の圧送により前記液体に含まれる気体成分を前記液体中に溶解させた後、前記絞り部での圧力の低下により気泡を析出させ、
前記絞り部において大気圧よりも低い負圧を発生させて気泡核を生成し、
前記絞り部で前記液体に乱流を発生させ、そのせん断力で前記液体中の気泡を粉砕し、
前記絞り部から出た前記液体に生じる遷音速流による衝撃波で、気泡を粉砕する、
気泡生成装置。

10

【請求項 2】

前記管状部材では、
前記絞り部における前記液体の流れ方向の長さが、
1.0MPaに満たないポンプ圧で前記液体が前記絞り部を通過して、圧力の低下による気泡の析出と、乱流のせん断力による気泡の粉砕とが発生する長さである、
請求項 1 に記載の気泡生成装置。

20

【請求項 3】

前記管状部材では、
前記絞り部における前記流れ方向に直交する断面形状が、扁平な形状である、
請求項 1 又は 2 に記載の気泡生成装置。

【請求項 4】

前記管状部材では、
前記絞り部を含む前記流れ方向前後の内壁の形状が流線形である、
請求項 1 から 3 のいずれか一項に記載の気泡生成装置。

【請求項 5】

前記管状部材では、
前記絞り部が、間隔を置いて、直列に複数設けられている、
請求項 1 から 4 のいずれか一項に記載の気泡生成装置。

30

【請求項 6】

前記管状部材における前記絞り部の間隔は、
前記絞り部を出た前記液体の流速が、前記管状部材に入力されたときの前記液体の流速に復帰する間隔である、
請求項 1 から 5 のいずれか一項に記載の気泡生成装置。

【請求項 7】

前記管状部材が、
前記液体の流路中に並列に複数設けられている、
請求項 1 から 6 のいずれか一項に記載の気泡生成装置。

40

【請求項 8】

前記管状部材同士の間にはバインダー部材が封入されている、
請求項 7 に記載の気泡生成装置。

【請求項 9】

前記管状部材が、金属製である、
請求項 1 から 8 のいずれか一項に記載の気泡生成装置。

【請求項 10】

内部を液体が通る管状部材であって、
前記液体の流れ方向の前後よりも前記液体の通り道が狭くなっている絞り部が設けられ

50

前記絞り部は前記流れ方向に直交する断面形状が、矩形状であり、
前記絞り部への前記液体の圧送により前記液体に含まれる気体成分を前記液体中に溶解させた後、前記絞り部での圧力の低下により気泡を析出させ、
前記絞り部において大気圧よりも低い負圧を発生させて気泡核を生成し、
前記絞り部で前記液体に乱流を発生させ、そのせん断力で前記液体中の気泡を粉砕し、
前記絞り部から出た前記液体に生じる遷音速流による衝撃波で、気泡を粉砕する、
管状部材。

【請求項 1 1】

ポンプにより圧送された気体成分を含む液体を、前記液体の流れ方向の前後よりも前記液体の通り道が狭くなっており前記流れ方向に直交する断面形状が矩形状である絞り部が設けられた管状部材内に通し、

前記絞り部への前記液体の圧送により前記液体に含まれる気体成分を前記液体中に溶解させた後、前記絞り部での圧力の低下により気泡を析出させ、

前記絞り部において大気圧よりも低い負圧を発生させて気泡核を生成し、

前記絞り部で前記液体に乱流を発生させ、そのせん断力で前記液体中の気泡を粉砕し、

前記絞り部から出た前記液体に生じる遷音速流による衝撃波で、気泡を粉砕する気泡生成方法。

【請求項 1 2】

複数の前記絞り部が直列に形成された前記管状部材内に、前記液体を流す、

請求項 1 1 に記載の気泡生成方法。

【請求項 1 3】

両端が開放された状態で並列に束ねてバインダー部材で固定された複数の前記管状部材内に前記液体を流す、

請求項 1 1 又は 1 2 に記載の気泡生成方法。

【請求項 1 4】

内径が均一な金属細管の一部をプレスして、前記金属細管の内側に、液体の流れ方向の前後よりも前記液体の通り道が狭くなっており前記流れ方向に直交する断面形状が矩形状である絞り部を形成するステップを含み、

前記ステップでは、

前記絞り部の形状が、前記絞り部への前記液体の圧送により前記液体に含まれる気体成分を前記液体中に溶解させた後、前記絞り部での圧力の低下により気泡を析出させ、

前記絞り部において大気圧よりも低い負圧を発生させて気泡核を生成し、

前記絞り部で前記液体に乱流を発生させ、そのせん断力で前記液体中の気泡を粉砕し、

前記絞り部から出た前記液体に生じる遷音速流による衝撃波で、気泡を粉砕する形状となるように、前記金属細管をプレスする、

気泡生成装置の製造方法。

【請求項 1 5】

前記ステップでは、

前記金属細管の複数の位置に前記絞り部を形成する、

請求項 1 4 に記載の気泡生成装置の製造方法。

【請求項 1 6】

前記絞り部が形成された前記金属細管を、両端を開放した状態で並列に束ねてバインダー部材で固定するステップをさらに含む、

請求項 1 4 又は 1 5 に記載の気泡生成装置の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、気泡生成装置、管状部材、気泡生成方法及び気泡生成装置の製造方法に関する。

10

20

30

40

50

【背景技術】

【0002】

近年、ファインバブルと呼ばれる直径100 μ m以下の微細な気泡の工業的な利用が広がっている。ファインバブルは、液中において、同じ体積を持つ単一の大気泡に比べ、非常に大きな表面積を持つうえに浮遊する時間が長い。また、ファインバブルは、大気泡と比較した場合に、気泡の表面を介した液中への物質移動により気体が液体に溶解し易く、液中に存在する不純物が吸着し易い。このような様々な有用な特徴を有していることから、これらの特徴を水処理や化学反応装置などにファインバブルを活用する研究がますます盛んになっており、そのような水処理及び化学反応装置などの今後の急速な市場拡大が期待されている。このような背景の下、オリフィスやノズルなどの生成装置を用いて液中に気泡を生成させる方法を提案し、気泡生成挙動を解析することで、生成気泡の大きさに及ぼす様々な因子の影響を実験的かつ理論的に明らかにする取り組みが行われている。

10

【0003】

ファインバブルを生成する方法は、静的な方法と動的な方法とに大別される。静的な方法には、多孔質膜を用いたもの（例えば、特許文献1参照）や、超音波を用いたもの（例えば、非特許文献1参照）がある。しかしながら、多孔質膜を含む多孔体を用いた場合には、多孔体の材質（濡れ性）、液体の粘度および液体の表面張力が気泡径に影響し、濡れの悪い材質、高粘度液体および表面張力の高い液体を用いると、部材表面にて成長する気泡が浮力の作用により上昇して多孔体から離脱することが抑制されるため、ファインバブルとともに100 μ m以上の気泡も生成されてしまう。また、多孔体の中には、耐熱性、耐薬品性や強度が低い材質が用いられており、工業的利用には不向きなものもある。また、超音波を用いた場合には、高周波振動による液温の上昇や機器の破損が問題になり、ラジカルの生成による液成分の分解も懸念される。さらに、ファインバブルの生成に超音波を発生させるだけの大きなエネルギーが必要になる。

20

【0004】

このような静的な方法に対して、さらに液中でのファインバブルの数を増やしたい場合には、一般に、生成装置内に気体と液体を同時に導入する動的な方法が用いられる。この動的な方法には、せん断流を用いたもの（例えば、特許文献2参照）や、加圧溶解を行うもの（例えば、特許文献3参照）がある。特許文献2に開示された装置では、液体ポンプを用いた液体のエネルギーを駆動力として、気泡状ガスをせん断流により物理的に破壊して、気泡の大きさを小さくする。また、特許文献3に開示された装置では、液中に加圧して溶解させたガスを低圧下において気泡として析出させる。しかしながら、これらの装置では、液体ポンプを介した液体の循環によるファインバブルの生成に大きなエネルギーが必要となり、高粘度液体での利用が困難になる。

30

【0005】

生成するファインバブルのうち、1~100 μ mのものをマイクロバブルと呼び、1 μ m未満のものをウルトラファインバブルと呼ぶ。これまでは、マイクロバブルを中心にファインバブル生成装置の開発が進められてきた。しかし、ここ数年、ウルトラファインバブルの気泡径や気泡密度を測定できる技術が開発されており、ウルトラファインバブルに関する研究開発が急速に進んでいる。

40

【0006】

ウルトラファインバブルの研究開発において重要なのがその気泡密度である。ウルトラファインバブルの平均気泡径は、生成装置によらずおおよそ100~200nm程度であるものの、発生する気泡の気泡密度は生成装置により大きく異なる。上述したような既存のマイクロバブル生成装置を用いると、生成されるウルトラファインバブルの気泡密度は1千万個/mL程度が限界である。これまで、気泡密度を高めるための装置や製法が提案されており、気泡密度は1億個/mLから100億個/mL程度までが報告されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

50

【特許文献1】特開2003-102325号公報
 【特許文献2】国際公開第2000/346638号
 【特許文献3】特開2006-346638号公報

【非特許文献】

【0008】

【非特許文献1】幕田寿典ら、"超音波場における均一微細気泡生成過程(第1報)"日本機械学会論文集B, 70, 2758(2003)

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

しかしながら、例えば8億個/mL程度の気泡密度を実現できる高気泡密度型ウルトラファインバブル生成装置の仕様を見ると、生成装置内部の構造は複雑であり、その複雑な内部に液体を通すために1.0MPaという高いポンプ吐出圧が必要となる。また、このような高いポンプ吐出圧にも関わらず、処理液流量は4.7L/minと非常に小さくっており、ウルトラファインバブルを大量に生成するのに時間を要してしまう。

【0010】

本発明は、上記実情に鑑みてなされたものであり、高いポンプ吐出圧を必要とせずに、径の一層小さな例えば1μm未満の高密度の気泡を短時間に大量に生成することができる気泡生成装置、管状部材、気泡生成方法及び気泡生成装置の製造方法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】

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、内部を液体が通る管状部材と、前記管状部材内に気体成分を含む前記液体を圧送するポンプと、を備え、前記管状部材の内側に、前記液体の流れ方向の前後よりも前記液体の通り道が狭くなっている絞り部が設けられ、前記絞り部は前記流れ方向に直交する断面形状が、矩形形状であり、前記絞り部への前記液体の圧送により前記液体に含まれる気体成分を前記液体中に溶解させた後、前記絞り部での圧力の低下により気泡を析出させ、前記絞り部において大気圧よりも低い負圧を発生させて気泡核を生成し、前記絞り部で前記液体に乱流を発生させ、そのせん断力で前記液体中の気泡を粉砕し、前記絞り部から出た前記液体に生じる遷音速流による衝撃波で、気泡を粉砕する。

【0012】

この場合、前記管状部材では、前記絞り部における前記液体の流れ方向の長さが、1.0MPaに満たないポンプ圧で前記液体が前記絞り部を通過して、圧力の低下による気泡の析出と、乱流のせん断力による気泡の粉砕とが発生する長さである、こととしても良い。

【0013】

前記管状部材では、前記絞り部における前記流れ方向に直交する断面形状が、扁平な形状である、こととしても良い。

【0014】

前記管状部材では、前記絞り部を含む前記流れ方向前後の内壁の形状が流線形である、こととしても良い。

【0015】

前記管状部材では、

10

20

30

40

50

前記絞り部が、間隔を置いて、直列に複数設けられている、
こととしても良い。

【0016】

前記管状部材における前記絞り部の間隔は、
前記絞り部を出た前記液体の流速が、前記管状部材に入力されたときの前記液体の流速
に復帰する間隔である、
こととしても良い。

【0017】

前記管状部材が、
前記液体の流路中に並列に複数設けられている、
こととしても良い。

10

【0018】

前記管状部材同士の間にはバインダー部材が封入されている、
こととしても良い。

【0019】

前記管状部材が、金属製である、
こととしても良い。

【0020】

本発明の第2の観点に係る管状部材は、
内部を液体が通る管状部材であって、
前記液体の流れ方向の前後よりも前記液体の通り道が狭くなっている絞り部が設けられ

20

、
前記絞り部は前記流れ方向に直交する断面形状が、矩形状であり、
前記絞り部への前記液体の圧送により前記液体に含まれる気体成分を前記液体中に溶解
させた後、前記絞り部での圧力の低下により気泡を析出させ、
前記絞り部において大気圧よりも低い負圧を発生させて気泡核を生成し、
前記絞り部で前記液体に乱流を発生させ、そのせん断力で前記液体中の気泡を粉砕し、
前記絞り部から出た前記液体に生じる遷音速流による衝撃波で、気泡を粉砕する。

【0021】

また、本発明の第3の観点に係る気泡生成方法は、
ポンプにより圧送された気体成分を含む液体を、前記液体の流れ方向の前後よりも前記
液体の通り道が狭くなっており前記流れ方向に直交する断面形状が矩形状である絞り部が
設けられた管状部材内に通し、

30

前記絞り部への前記液体の圧送により前記液体に含まれる気体成分を前記液体中に溶解
させた後、前記絞り部での圧力の低下により気泡を析出させ、
前記絞り部において大気圧よりも低い負圧を発生させて気泡核を生成し、
前記絞り部で前記液体に乱流を発生させ、そのせん断力で前記液体中の気泡を粉砕し、
前記絞り部から出た前記液体に生じる遷音速流による衝撃波で、気泡を粉砕する。

【0022】

この場合、複数の前記絞り部が直列に形成された前記管状部材内に、前記液体を流す、
こととしても良い。

40

【0023】

また、両端が開放された状態で並列に束ねてバインダー部材で固定された複数の前記管
状部材内に前記液体を流す、
こととしても良い。

【0024】

また、本発明の第4の観点に係る気泡生成装置の製造方法は、
内径が均一な金属細管の一部をプレスして、前記金属細管の内側に、液体の流れ方向の
前後よりも前記液体の通り道が狭くなっており前記流れ方向に直交する断面形状が矩形状
である絞り部を形成するステップを含み、

50

前記ステップでは、

前記絞り部の形状が、前記絞り部への前記液体の圧送により前記液体に含まれる気体成分を前記液体中に溶解させた後、前記絞り部での圧力の低下により気泡を析出させ、前記絞り部において大気圧よりも低い負圧を発生させて気泡核を生成し、前記絞り部で前記液体に乱流を発生させ、そのせん断力で前記液体中の気泡を粉砕し、前記絞り部から出た前記液体に生じる遷音速流による衝撃波で、気泡を粉砕する形状となるように、前記金属細管をプレスする。

【0025】

この場合、前記ステップでは、

前記金属細管の複数の位置に前記絞り部を形成する、
こととしても良い。

10

【0026】

また、前記絞り部が形成された前記金属細管を、両端を開放した状態で並列に束ねてバインダー部材で固定するステップをさらに含む、
こととしても良い。

【発明の効果】

【0027】

本発明によれば、管状部材の内側に、液体の流れ方向の前後よりも液体の通り道が狭くなっており流れ方向に直交する断面形状が、矩形状である絞り部が設けられている。このため、ポンプにより管状部材内に気体成分を含む液体を流すと、絞り部への液体の圧送により液体と混合する気体成分を液体中に溶解させた後、絞り部での圧力の低下により気泡を析出させ、絞り部において大気圧よりも低い負圧の発生により気泡を生成する。また、絞り部において大気圧よりも低い負圧の発生により気泡を生成する。また、絞り部で液体に乱流を発生させ、そのせん断力で液体中の気泡を粉砕する。さらに、絞り部から出た液体に生じる遷音速流による衝撃波で、気泡を粉砕する。これらの複合的な作用により、例えば1 μm未満の超微細な気泡を高密度に生成することができる。すなわち、本発明によれば、絞り部を有する管状部材という簡単な構成を有するものに液体を通すだけで上述した様々な原理の複合的な作用で1 μm未満の超微細な気泡を生成することができるので、高いポンプ吐出圧を必要とせず、径の一層小さな例えば1 μm未満の高密度の気泡を短時間に大量に生成することができる。

20

30

【図面の簡単な説明】

【0028】

【図1】本発明の実施の形態に係る気泡生成装置の構成を示す模式図である。

【図2】図1の気泡生成装置を構成するバブル発生部の構造を示す斜視図である。

【図3A】バブル発生部を構成する管状部材としての金属細管の構造(その1)を示す側面図である。

【図3B】バブル発生部を構成する管状部材としての金属細管の構造(その2)を示す側面図である。

【図4】絞り部及びその前後の模式図である。

【図5】圧送による加圧溶解を示す断面図である。

40

【図6】負圧による気泡核生成を示す断面図である。

【図7】せん断流による気泡粉砕を示す断面図である。

【図8】衝撃波による気泡粉砕を示す断面図である。

【図9】絞り部が直列に複数形成され、その内部で気泡が生成される様子を示す図である。

【図10】バブル発生部から排出されるウルトラファインバブルの様子を示す図である。

【図11】生成されたバブルの半径と気泡数密度との関係を示すグラフである。

【図12】バブル発生部の製造方法のフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0029】

50

以下、本発明の実施の形態について図面を参照して詳細に説明する。

【0030】

図1に示すように、気泡生成装置1は、半径1 μ m未満のウルトラファインバブル6を発生させる装置であり、液体としての水が入れられた水槽2内に設置されている。気泡生成装置1は、配管3と、ポンプ4と、バブル発生部5と、を備える。

【0031】

配管3の一端は、水槽2の水中に配置されている。配管3は、水槽2の内部から外部に延びて、再び水槽2内に戻る循環構造となっている。水槽2の外部において、配管3には、ポンプ4が挿入されている。ポンプ4は液体ポンプである。ポンプ4の駆動により、水槽2内の水は、配管3内部に吸引され、ポンプ4を経て再び水槽2内に戻りようになっている。ポンプ4としてはポンプ圧が1.0MPaに満たない市販のものを用いることができる。配管3におけるポンプ4の1次側には、配管3内に空気を取り込むためのガス導入口7が設けられている。

10

【0032】

なお、ポンプ4に水が吸引される際に、その吸引力(ポンプ4の1次側に生じる負圧)により、外部から気体(例えば空気)がガス導入口7から入り込んで水と混合するようになる。したがって、ポンプ4から配管3に流れる水(ポンプ4の2次側の水)には気体成分が含まれるようになる。

【0033】

バブル発生部5は、配管3の他端、すなわち水の排出部に取り付けられており、水槽2中にウルトラファインバブル6を含む水を吐出する。図2に示すように、バブル発生部5は、複数の金属細管10が並列に束ねられた構造を有している。金属細管10同士の間は、各金属細管10の両端を開放した状態で、バインダー部材12により封止されている。バインダー部材12としては例えば樹脂を用いることができる。

20

【0034】

配管3の他端を出た水は、このバブル発生部5の金属細管10のいずれかの内部を通過して水槽2に吐出される。金属細管10が、ウルトラファインバブル6を吐出するノズルであるとする、バブル発生部5は、多孔ノズルであるということになる。なお、金属製の管状部材である金属細管10を採用したのは、濡れ性が良く、強度も高いためである。このような金属としては、例えばステンレスなどがある。

30

【0035】

図3A及び図3Bに示すように、金属細管10には、複数の場所に、プレスにより扁平となった部分が設けられている。本実施の形態では、この部分を絞り部11と呼ぶ。ウルトラファインバブル6は、この絞り部11で形成される。

【0036】

図4に示すように、絞り部11は、その内部の断面が扁平な形状(矩形状)となっている。絞り部11では、以下に示す4つの作用により、ウルトラファインバブル6を生成する。

【0037】

(1) 圧送による加圧溶解

図5に示すように、ポンプ圧による圧送により絞り部11の上流を流れる水圧が、金属細管10の流れ方向の断面積の減少によって高くなり、水に含まれる空気成分を水中に溶解させる。この時点で、水中の大きな気泡(1 μ m以上の気泡)は消滅する。気泡が消滅した水が絞り部11に入ると、水の流速が上がって、その圧力が低下する。この圧力の低下により小さな気泡が析出する。

40

【0038】

(2) 負圧による気泡核生成

また、図6に示すように、絞り部11では、水の流速が早くなるので、大気圧よりも低い負圧が発生する。これにより、上述した加圧溶解した気体の気泡が析出する現象に加え、水流中に微細な気泡核が生成される。この気泡核が生成される現象をキャビテーション

50

という。

【0039】

(3) せん断流による気泡の粉碎

金属細管10(絞り部11以外の部分)内では、レイノルズ数が例えば 4.6×10^3 程度であるのに対して、絞り部11内では、レイノルズ数が例えば 1.6×10^4 程度となり、非常に高くなる。これにより、図7に示すように、絞り部11内が完全発達乱流域となる。この乱流により、気泡がせん断力を受け、破壊される。

【0040】

(4) 衝撃波による気泡の粉碎

金属細管10(絞り部11以外の部分)内では、水の流れのマッハ数は例えば0.007の亜音速になっている。これに対して、絞り部11内では、図8に示すように、マッハ数は例えば0.7以上で遷音速流となる。遷音速流の一部の流域では、音速を超えて衝撃波を発生させる。この衝撃波が気泡をさらに微細化する。

10

【0041】

金属細管10では、絞り部11における水の流れ方向の長さを、(2)の圧力の低下による気泡の析出と、(3)乱流のせん断力による気泡の粉碎とが発生する最小の長さとしている。絞り部11の流れ方向の長さが長ければ長いほど、絞り部11におけるポンプ圧の圧力損失が大きくなるので、ポンプ4のポンプ圧を大きくする必要があるので、(2)及び(3)の現象が生じる最小の長さとしているのである。

【0042】

本実施の形態では、絞り部11の水の流れ方向に直交する断面形状は扁平な形状(矩形状)となっている。このようにすれば、絞り部11の断面形状を同じ断面積を有する円形にしたときと比べて、気泡の破碎効果を向上することができる。また、絞り部11の圧力損失をできるだけ低減することができる。この結果、ポンプ4のポンプ圧を小さくすることができる。

20

【0043】

また、金属細管10では、図4に示すように、絞り部11を含む前後のその内壁の形状が表面に段差のない連続な流線形となっている。このようにすれば、金属細管10内部でのポンプ圧の圧力損失を低減することができるので、ポンプ4のポンプ圧を小さくすることができる。

30

【0044】

金属細管10では、このような絞り部11が間隔を置いて直列に複数設けられており、図9に示すように、各絞り部11では、上記(1)~(4)の現象が発生し、これにより微細な気泡を繰り返し発生させる。発生する気泡の径は、絞り部11を経るにつれて段々小さくなり、最終的には $1 \mu\text{m}$ 未満の径を有するウルトラファインバブル6となる。

【0045】

金属細管10において、隣接する絞り部11の間隔はD1となっている。間隔D1は、絞り部11を出た水の流速が、金属細管10に入力された水の流速に復帰するのに十分に長い間隔となっている。このようにすれば、各絞り部11において、上記(1)~(4)までの現象を確実に発生させることができる。

40

【0046】

また、バブル発生部5では、金属細管10が、水の流路中に並列に複数設けられている。このようにすれば、各金属細管10で同時にウルトラファインバブル6を生成することができるので、ウルトラファインバブル6の生成量を容易に増やすことができる。金属細管10の数を増やせば増やすほど、ウルトラファインバブル6の生成量は増加する。金属細管10の本数を調整するだけで、ウルトラファインバブル6の生成量を調整することができる。

【0047】

また、バブル発生部5において、金属細管10同士の間には、図10に示すように、バインダー部材12が封入されている。このようにすれば、各金属細管10から排出された

50

ウルトラファインバブル6が互いに干渉することなく、バブル同士が付着して一体化するのを防止することができる。

【0048】

実際に、気泡生成装置1において、ウルトラファインバブル6をどの程度生成することができるかを試みた。生成条件は以下の通りである。まず、液体を蒸留水とし、気体を空気とした。そして、バブル発生部5における金属細管10の本数を34本とし、1本の金属細管10における絞り部11の個数を7個とし、絞り部11の間隔を5mmとした。また、絞り部11の断面形状及び大きさを0.2mm×1.09mmの矩形状とし、絞り部11の長さを0.2mmとした。また、ポンプのポンプ圧を0.3MPaとし、液流量を8.8L/minとし、水温が30以下となるような制御を行った。

10

【0049】

この気泡生成装置1を用いて実際に気泡を発生させた。そのときの生成されたバブルの気泡径と、その気泡径の気泡数密度とをグラフ化すると図11に示すようになる。図11に示すように、この気泡生成装置1により、径が1μm未満のウルトラファインバブル6が数多く生成され、大部分の気泡の気泡径は、100nm以上200nm以下となったことが確認された。生成された気泡の気泡密度は、9.81億個/mLであった。

【0050】

なお、バブル発生部5は簡単に製造することができる。図12に示すように、まず、内径が均一な金属細管10の一部をプレスして、金属細管10の内側に、水の流れ方向の前後よりも水の通り道が狭くなっている絞り部11を形成する(ステップS1)。このステップでは、絞り部11の形状が、絞り部11への水の圧送により水に含まれる気体成分を水中に溶解させ、絞り部11での圧力の低下により気泡を析出させ、絞り部11で水に乱流を発生させ、そのせん断力で水中の気泡を粉砕し、絞り部11から出た水に生じる遷音速流による衝撃波により、気泡を粉砕するような形状となるように、金属細管10がプレスされる。

20

【0051】

また、このステップS1では、金属細管10の複数の位置に絞り部11を形成する。これにより、絞り部11を有する金属細管10が形成される。このステップS1では、絞り部11を複数形成する。

【0052】

本実施の形態では、プレスにより絞り部11を形成すれば、絞り部11及びその周辺の内壁の形状を流線形にすることができ、内部に水を流すポンプ圧の圧力損失を少なくすることができる。

30

【0053】

続いて、絞り部11が形成された複数の金属細管10を並列に束ねて両端を塞がない状態で、バインダー部材12で固定する(ステップS2)。これにより、バブル発生部5が形成される。このように、金属細管10の間にバインダー部材12を充填すれば、各金属細管10から排出されるウルトラファインバブル6が互いに干渉せず、くっついて一体化するのを防止することができる。

【0054】

後は、このバブル発生部5を配管3の端部に取り付け、配管3にポンプ4を取り付けて、図1に示すように水槽2に設置することにより、気泡生成装置1の設置が完了する。

40

【0055】

以上詳細に説明したように、本実施の形態によれば、金属細管10の内側に、水の流れ方向の前後よりも水の通り道が狭くなっている絞り部11が設けられている。このため、ポンプ4により金属細管10内に気体成分(空気)を含む水を流すと、絞り部11への水の圧送により水と混合した気体成分を水中に溶解させた後、絞り部11での圧力の低下により気泡を析出させる。また、絞り部11において大気圧よりも低い負圧の発生により気泡を生成する。また、絞り部11において大気圧よりも低い負圧の発生により気泡を生成する。さらに、絞り部11で水に乱流を発生させ、そのせん断力で水中の気泡を粉砕し、

50

絞り部 11 から出た水に生じる遷音速流による衝撃波で、気泡を粉砕する。これらの複合的な作用により、例えば 1 μ m 未満の微細な気泡を生成することができる。

【0056】

すなわち、絞り部 11 を有する金属細管 10 という簡単な構成を有するものに水を通すだけで上述した様々な原理での複合的な作用で 1 μ m 未満の気泡を生成することができるので、高いポンプ吐出圧 (1.0 MPa) を必要とせずに、例えば 0.3 MPa 程度で、径の一層小さな例えば 1 μ m 未満の気泡を短時間かつ高密度 (例えば気泡密度 9.81 億 / mL) に大量に生成することができる。

【0057】

また、本実施の形態では、絞り部 11 の流れ方向における長さを、1.0 MPa に満たないポンプ圧で液体が通過し、気泡の析出と、乱流によるせん断力により気泡の粉砕とが可能で最小の長さであるとした。このように絞り部 11 の流れ方向の長さを短くすれば、絞り部 11 によるポンプ圧の圧力損失をできるだけ小さくすることができる。

10

【0058】

また、本実施の形態では、絞り部 11 の流れ方向に直交する断面形状は、扁平な形状となっている。これは、断面形状を扁平にした方が、金属細管 10 の内壁の影響を少なくして、流れる液体の乱れを大きくして、より多くの気泡の粉砕を期待できるからである。しかしながら、絞り部 11 の断面形状は、円形、楕円形、星形、三角形他の多角形状であっても良い。また、金属細管 10 内に並列に設けられた複数の孔又はスリットを絞り部 11 としても良い。

20

【0059】

また、本実施の形態では、絞り部 11 前後の内壁の形状が、流線形となっている。これにより、金属細管 10 によるポンプ圧の圧力損失をより小さくすることができる。しかしながら、本発明はこれには限られない。例えば、絞り部 11 に通じるテーパ状の部分はなく、絞り部 11 と他の部分との間が段差になっていても良い。また、上記 (1) ~ (4) の効果が発生するのであれば、テーパ状の部分の傾き等、金属細管 10 の内管の形状に制限はない。

【0060】

また、本実施の形態では、金属細管 10 には、絞り部 11 が、所定の間隔 D1 を置いて、直列に複数設けられている。これにより、1本の金属細管 10 により、ウルトラファインバブル 6 を複数回発生させることができるので、ウルトラファインバブル 6 の発生密度をより高くすることができる。なお、上記実施の形態では、絞り部 11 の間隔は一定であったが、一定でなくても良い。また、各金属細管 10 の絞り部 11 の数は任意である。

30

【0061】

なお、金属細管 10 に形成された絞り部 11 の断面形状及び大きさは、全て同じである必要はない。例えば、液体の流れ方向に従って断面の大きさが小さくなるようにしても良い。また、絞り部 11 の断面形状が全て扁平な形状であっても、扁平な方向の向きが同じである必要はない。

【0062】

また、本実施の形態では、隣接する絞り部 11 の間隔 D1 は、絞り部 11 を出た水の流速が、絞り部 11 に入力される前の水の流速に復帰する間隔となっている。このようにすれば、各絞り部 11 で上記 (1) ~ (4) の過程によるウルトラファインバブル 6 の生成を確実なものとすることができる。

40

【0063】

また、本実施の形態では、金属細管 10 が、水の流路中に並列に複数設けられている。これにより、一度に大量のウルトラファインバブル 6 を生成することができる。金属細管 10 の本数及び配置に制限はなく、任意である。金属細管 10 の本数は、求められるウルトラファインバブル 6 の生成量に応じて調整することができる。

【0064】

また、本実施の形態では、並列に接続された金属細管 10 の間にはバインダー部材 12

50

が充填され、金属細管10間に間隔が開けられている。このようにすれば、各金属細管10から出力されたウルトラファインバブル6が干渉して一体化するのを抑制することができる。

【0065】

また、本実施の形態では、内径が均一な金属細管をプレスするだけで絞り部11を有する金属細管10を容易に製造することができる。したがって、金属切削やエッチングなどの比較的高価な微細加工技術を用いる必要がなく、安価に装置を製造することができる。

【0066】

しかしながら、絞り部11は、金属細管10の1箇所に形成されているだけでも良い。1本の金属細管10における絞り部11の大きさ、長さ、数及び間隔等は、ポンプ4のポンプ圧等によって決まり、それら絞り部11の設計情報は、流体解析シミュレーションソフトウェアによって容易に決定することができる。

10

【0067】

また、上記実施の形態では、液体を水(蒸留水)としたが、本発明はこれには限られない。もっと粘性の高い液体であってもかまわない。

【0068】

また、上記実施の形態では、金属細管10を用いたが、濡れ性が良いものであれば、セラミック等の他の材質の部材を用いることも可能である。濡れ性が悪い材質のものは、気泡が内壁に付着しやすいので気泡の生成には不向きである。

【0069】

また、上記実施の形態では、バインダー部材12として樹脂を用いたが、耐熱性、耐薬品性や強度が高い金属等の他の材質の部材を用いてもかまわない。

20

【0070】

また、上記実施の形態では、プレス加工により絞り部11を形成したが、他の方法で絞り部11を形成してもかまわない。

【0071】

この発明は、この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、上述した実施の形態は、この発明を説明するためのものであり、この発明の範囲を限定するものではない。すなわち、この発明の範囲は、実施の形態ではなく、特許請求の範囲によって示される。そして、特許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、この発明の範囲内とみなされる。

30

【0072】

なお、本願については、2016年7月26日に出願された日本国特許出願2016-145936号を基礎とする優先権を主張し、本明細書中に日本国特許出願2016-145936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】

【0073】

本発明は、径が1 μ m未満(例えば100nm~200nm)の気泡であるウルトラファインバブルを生成するのに利用することができる。本発明は、例えば化粧品や医薬品のみならず、環境、畜産等の種々の産業分野等付加価値の高い分野への応用展開が期待できる。

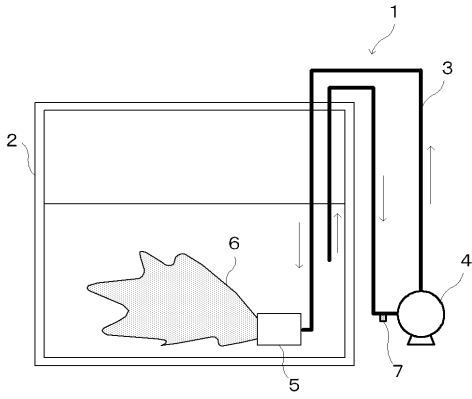
40

【符号の説明】

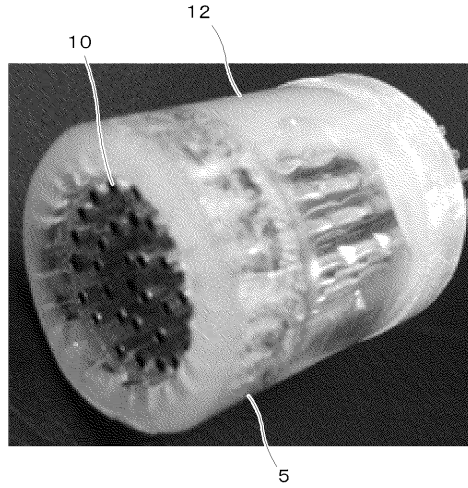
【0074】

1 気泡生成装置、2 水槽、3 配管、4 ポンプ、5 バブル発生部、6 ウルトラファインバブル、7 ガス導入口、10 金属細管、11 絞り部、12 バインダー部材

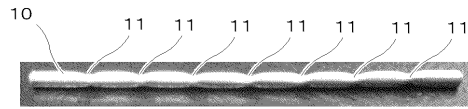
【図 1】



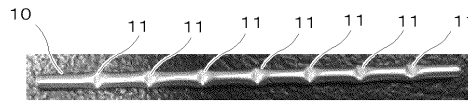
【図 2】



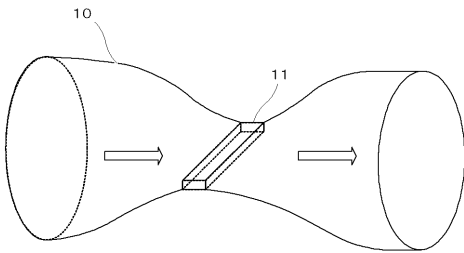
【図 3 A】



【図 3 B】

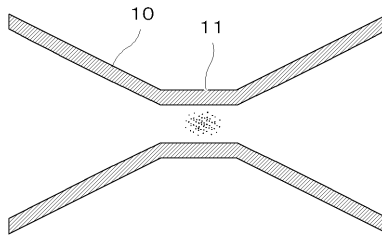


【図 4】



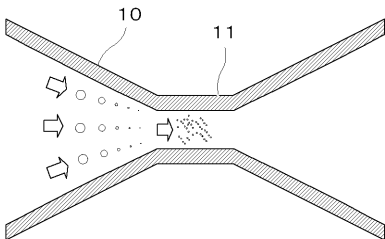
【図 6】

負圧による気泡核生成



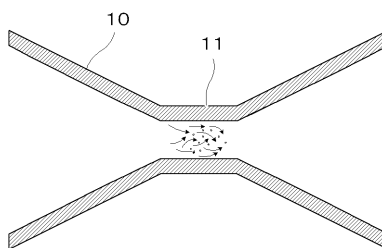
【図 5】

圧送による加圧溶解

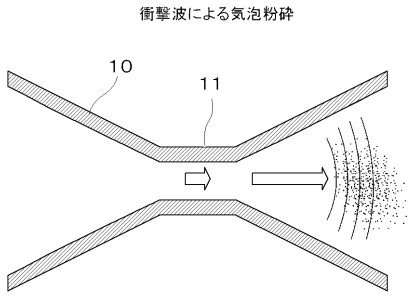


【図 7】

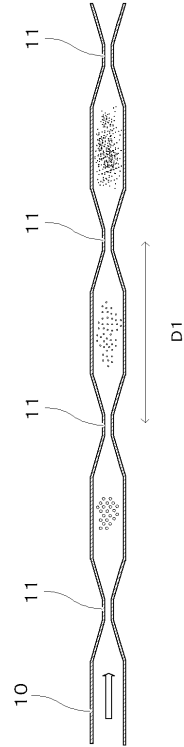
せん断流による気泡粉砕



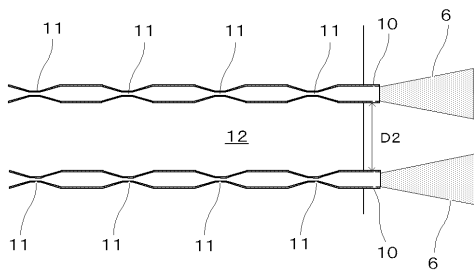
【図8】



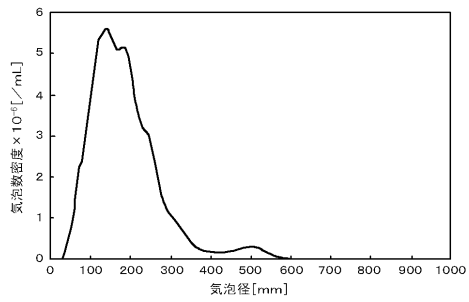
【図9】



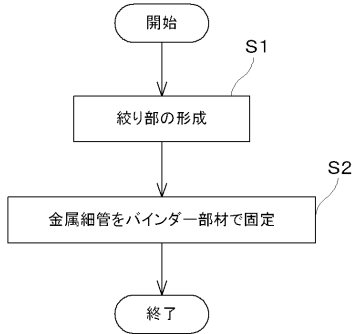
【図10】



【図11】



【図12】



【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/JP2017/026463
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER B01F3/04(2006.01)i, B01F5/00(2006.01)i, B01F5/06(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) B01F3/04, B01F5/00, B01F5/06 Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2017 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2017 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2017 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.
A	JP 2011-115745 A (Toyohiko NAKANISHI), 16 June 2011 (16.06.2011), claims; paragraphs [0012] to [0020]; fig. 1 to 3 (Family: none)	1-16
A	JP 2007-000843 A (Matsushita Electric Works, Ltd.), 11 January 2007 (11.01.2007), claims; paragraph [0005]; fig. 1 (Family: none)	1-16
A	JP 2007-216149 A (The University of Tokyo), 30 August 2007 (30.08.2007), claims; paragraph [0018]; fig. 1 (Family: none)	1-16
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> 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 16 August 2017 (16.08.17)		Date of mailing of the international search report 29 August 2017 (29.08.17)
Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan		Authorized officer Telephone No.

国際調査報告		国際出願番号 PCT/J P 2 0 1 7 / 0 2 6 4 6 3													
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, B01F5/00(2006.01)i, B01F5/06(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. B01F3/04, B01F5/00, B01F5/06															
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 <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922-1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971-2017年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2017年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2017年</td> </tr> </table>				日本国実用新案公報	1922-1996年	日本国公開実用新案公報	1971-2017年	日本国実用新案登録公報	1996-2017年	日本国登録実用新案公報	1994-2017年				
日本国実用新案公報	1922-1996年														
日本国公開実用新案公報	1971-2017年														
日本国実用新案登録公報	1996-2017年														
日本国登録実用新案公報	1994-2017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													
A	JP 2011-115745 A (中西 豊彦) 2011.06.16, [特許請求の範囲]、段落 [0012] - [0020]、[図1] - [図3] (ファミリーなし)	1-16													
A	JP 2007-000843 A (松下電工株式会社) 2007.01.11, [特許請求の範囲]、段落 [0005]、[図1] (ファミリーなし)	1-16													
A	JP 2007-216149 A (国立大学法人 東京大学) 2007.08.30, [特許請求の範囲]、段落 [0018]、[図1] (ファミリーなし)	1-16													
<input type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。		<input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。													
<table border="0"> <tr> <td>* 引用文献のカテゴリー</td> <td>の日の後に公表された文献</td> </tr> <tr> <td>「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</td> <td>「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</td> </tr> <tr> <td>「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</td> <td>「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</td> </tr> <tr> <td>「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)</td> <td>「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</td> </tr> <tr> <td>「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献</td> <td>「&」同一パテントファミリー文献</td> </tr> <tr> <td>「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願</td> <td></td> </tr> </table>				* 引用文献のカテゴリー	の日の後に公表された文献	「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	「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	「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	「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	「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)	「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	「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」同一パテントファミリー文献	「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願	
* 引用文献のカテゴリー	の日の後に公表された文献														
「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	「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														
「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	「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														
「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)	「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														
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」同一パテントファミリー文献														
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願															
国際調査を完了した日 16.08.2017		国際調査報告の発送日 29.08.2017													
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) 神田 和輝	4Q 7881												
		電話番号 03-3581-1101 内線 3468													

フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), EP(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), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG), 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

Fターム(参考) 4G035 AB15 AC15 AC26 AE01 AE13 AE17

(注) この公表は、国際事務局(WIPO)により国際公開された公報を基に作成したものである。なおこの公表に係る日本語特許出願(日本語実用新案登録出願)の国際公開の効果は、特許法第184条の10第1項(実用新案法第48条の13第2項)により生ずるものであり、本掲載とは関係ありません。