

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号

特許第7320708号
(P7320708)

(45)発行日 令和5年8月4日(2023. 8. 4)

(24)登録日 令和5年7月27日(2023. 7. 27)

(51)Int. Cl.	F I
<i>B 0 1 D 47/10 (2006. 01)</i>	B 0 1 D 47/10 Z
<i>B 0 1 D 53/14 (2006. 01)</i>	B 0 1 D 53/14 2 0 0
<i>B 0 1 D 53/18 (2006. 01)</i>	B 0 1 D 53/18 1 7 0
<i>A 6 1 L 9/16 (2006. 01)</i>	A 6 1 L 9/16 Z
<i>G 2 1 F 9/02 (2006. 01)</i>	G 2 1 F 9/02 5 2 1 A

請求項の数 3 (全 8 頁)

(21)出願番号	特願2019-162820(P2019-162820)
(22)出願日	令和1年9月6日(2019. 9. 6)
(65)公開番号	特開2021-41304(P2021-41304A)
(43)公開日	令和3年3月18日(2021. 3. 18)
審査請求日	令和4年5月23日(2022. 5. 23)

(73)特許権者	505374783 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 茨城県那珂郡東海村大字舟石川765番地 1
(74)代理人	110001922 弁理士法人日峯国際特許事務所
(72)発明者	上澤 伸一郎 茨城県那珂郡東海村大字白方2番地4 国 立研究開発法人日本原子力研究開発機構 原子力科学研究所内

審査官 松本 要

最終頁に続く

(54)【発明の名称】気体の浄化方法及びそのための浄化装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

液体の流入口と流出口を有し、前記流入口と流出口との間に内径が縮小している縮小部とその後方に内径が順次拡大している拡大部を備え、前記拡大部の任意の位置に気体を吸引する吸入口を備えている縮小拡大管を用いて、少なくともナノスケールのエアロゾル粒子を含む有害気体を、ベンチュリ効果を用いて前記吸入口から自動吸引して液体内で気泡化し、該気泡の崩壊現象を用いて前記縮小拡大管内において前記気体を前記液体中に溶存させた後、前記流出口から得られる液体を浄化処理することで、前記有害気体中のナノスケールのエアロゾル粒子を除去することを特徴とする気体の浄化方法。

【請求項2】

請求項1に記載の気体の浄化方法において、前記縮小拡大管の気体吸入口の設置位置が前記縮小拡大管の流入口から取り込まれる液体の流量に従って決定されることを特徴とする気体の浄化方法。

【請求項3】

一端に液体の流入口を、他端に該液体の流出口を持つ筒状体であって、該筒状の側面に気体を吸入する吸入口を備え、前記流入口から流入する液体の流速の変化によってベンチュリ効果を与えるため、内径の縮小部とその後方に内径の拡大部を有する縮小拡大管と、前記流入口に液体を供給するための手段と、前記流出口からの液体に必要な処理を行う処理装置を備え、前記縮小拡大管は前記吸入口から吸い込まれる少なくともナノスケールの微粒子または微生物を含むエアロゾルを自動吸引して前記流入液体と共に気泡を形成し、

10

20

形成された気泡を前記縮小拡大管内において崩壊させて、前記流入液体内に溶存させる気体の浄化装置において、

前記縮小拡大管内に気体を吸入する前記吸入口が、前記流入液体の流量に応じて設定される、前記縮小拡大管の前記拡大部の任意の位置に設けられていることを特徴とする気体の浄化装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、ベンチュリ効果と気泡崩壊・微細化現象を利用して、放射性粒子や粉塵などの微粒子、あるいは細菌やウイルス等の微生物等を含む気体を自動的に吸引して、吸引した気体を微細な気泡として液相中に移行させた後、必要に応じて微粒子や微生物を除去するための気体の浄化方法とそのための浄化装置に関する。

10

【背景技術】

【0002】

従来、雰囲気内の空気の大気中への放出規制が厳しい多くの産業分野において、雰囲気内の空気をクリーンな状態で大気中に放出するため、空気中の有害微粒子や微生物を除去できる高機能のHEPAフィルタ(High Efficiency Particulate Air Filter)が用いられている(特許文献1)。

【0003】

また、一部の産業分野では、管のスロート部(縮流部)に加圧した水を供給し、高速に流れてきたガス(60~120m/sec)で水を微粒化させて雰囲気中の粒子を捕集する、ベンチュリスクラバ(Venturi scrubber)などの液滴噴霧による飛散微粒子の捕集方法も用いられている(特許文献2)。

20

【0004】

さらにまた、原子力発電プラントや病院の隔離病棟における感染症患者の隔離室においては、特別な独立空調換気設備を設け、極めて高度な換気を行っている(特許文献3)。

【0005】

なお、本発明とは観点が異なるが、本発明に密接に関連した技術として、ベンチュリ効果を利用して気体を自動吸引し、マイクロ気泡化した後液相に溶解させる方法も、すでに一般に公開されている(特許文献4、非特許文献1、2)。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】特開2014-185892号公報

【特許文献2】特開2018-95948号公報

【特許文献3】特開2019-779号公報

【特許文献4】特開2012-176335号公報(特許第5257819号)

【非特許文献】

【0007】

【非特許文献1】混相流26巻5号(2013)「ベンチュリ管内気泡微細化現象における気泡挙動と流動特性」上澤伸一郎ほか

40

【非特許文献2】混相流27巻5号(2014)「ベンチュリ管式マイクロ気泡生成装置のガス処理技術への応用」中林洋輔ほか

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

例えば、雰囲気中の空気の大気中への放出が最も厳しい原子力プラントでの原子炉の廃炉工程においては、放射性飛散微粒子の発生が指摘されており、その閉じ込め管理が課題になっている。現段階では、廃炉工程においても、飛散微粒子の捕集には従来のHEPAフィルタなどの繊維フィルタの使用が有力視されている。しかし、高機能HEPAフィルタは高濃

50

度環境下では目詰まりしやすく、従来の原子力施設での使用時以上に交換頻度が増加することが予想される。そのため、フィルタ等の放射性廃棄物が増加するとともに、作業員の作業量も増加することが懸念される。同様に、隔離病棟などにおいても、交換頻度が比較的高い高機能HEPAフィルタの場合、使用後のフィルタ処理が問題である。

【0009】

また、上述した従来技術の1つであるベンチュリスクラバは、1 μ m程度の微粒子は捕集できるが、廃炉工程で発生すると予想される数十nmから数百nmのナノスケールの微粒子の捕集は困難である。さらに、ベンチュリスクラバの場合、大幅な設備改造が必要となること、汎用性がないこと、かつ設備自体が非常に高価であることなどの課題がある。

【0010】

したがって、本発明の目的は、簡単な構造で操作や保守点検が容易で、かつ汎用性に優れた、マイクロクラスからナノクラスまでのサイズの微粒子や微生物等を高精度に捕集できる気体の浄化方法を提供することにある。

また、本発明の他の目的は、上述の捕集方法を用いて、基本的にメンテナンスフリーであらゆる環境下で使用できる気体の浄化装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0011】

上述の目的を達成するため、本発明では基本構成としてベンチュリ効果をもたらす縮小拡大管を使用する。

【0012】

本発明の一つの観点に係る気体の浄化方法は、液体の流れによって引き起こされるベンチュリ効果を利用して、少なくともナノスケールのエアロゾル粒子を含む気体を縮小拡大管内に自動吸引することによって、前記気体を気泡として前記液体中に閉じ込め、前記縮小拡大管内で前記気泡を崩壊させることにより、前記気体内に含まれる微粒子または微生物を前記液体中に移行させ、前記縮小拡大管外において前記液体から前記微粒子または前記微生物を除去することを特徴とする。

【0013】

本発明の他の観点に係る気体の浄化装置は、一端に液体の流入口を、他端に該液体の流出口を持つ筒状体であって、該筒状体の側面に気体を吸入する吸入口を備え、前記流入口から流入する液体の流速の変化によって前記吸入口から気体を自動吸引するベンチュリ効果を与える縮小拡大管と、前記流入口に液体を供給するための手段と、前記流出口からの液体に必要な処理を行う処理装置を備え、前記縮小拡大管は前記吸入口から吸い込まれる少なくともナノスケールの微粒子または微生物を含むエアロゾルを自動吸引して前記流入液体内に気泡を形成させ、形成された気泡を前記縮小拡大管内において崩壊させ、前記微粒子または微生物を前記流入液体内に溶存させ、前記縮小拡大管の前記流出口に接続された前記処理装置によって、前記液体に必要な処理を行うことを特徴とする。

【発明の効果】

【0014】

本発明の方法および装置は、縮小拡大管に液体を流すだけの非常に単純なやり方で有害な微粒子等を処理できること、縮小拡大管は、HEPAフィルタなどの繊維フィルタとは異なり目詰まりがないためメンテナンスフリーであること、また、繊維フィルタでは捕集できなかったナノスケールの飛散微粒子や浮遊微生物の捕集が可能であるなどの利点を有する。

【0015】

また、原子力施設での使用においては、制御に電装系が不要なため、高放射線環境下でも使用できる。さらに汚染ガスの処理設備での使用においては、ガスを自動で吸引するため汚染ガスを吸引する装置が不要であるし、汚染ガス中の有害微粒子は水中に取り込まれるため、既存の水処理設備をそのまま利用することができる。

【図面の簡単な説明】

【0016】

10

20

30

40

50

【図 1】本発明の効果を説明するための図であって、試験装置の概略構成図。

【図 2】縮小拡大管による除去性能評価試験結果を示す棒グラフ。

【図 3】本発明を実施するため縮小拡大管の概略構造とその機能の説明図。

【図 4】縮小拡大管内での気泡崩壊位置を示すグラフ。

【図 5】微細気泡観察窓から撮影した気泡の観察写真。

【図 6】縮小拡大管で生成された気泡の消滅過程を示す写真。

【図 7】本発明を廃炉処理に適用した場合の実施例を示す概略構成図。

【発明を実施するための形態】

【0017】

図 1 に、本発明の効果を実証するために構成した試験装置の概略構成を示す。この試験装置では、縮小拡大管 10 の入口部から投入する液相として、タンク 1 内に貯留させた蒸留水を用いた。また、縮小拡大管 10 の気相としては、エアロゾル発生装置 4 で発生させた NaCl を含むガスをを用いた。なお、ガスの吸入口 15 は、縮小拡大管の縮小部 13 ではなく、拡大部 14 の壁面に設けた（図 3 参照）。

10

【0018】

タンク 1 内の液相をポンプ 2 によって吸引し、液相流量計 3 によって投入液体の流量を測定しながら流量 20 L/min で縮小拡大管 10 内に投入した。縮小拡大管 10 の詳細構造は図 3 を参照して後述する通りであるが、液体の投入により縮小拡大管 10 の本体内に生ずる圧力変化によって、微粒子を含むエアロゾルが吸入口（図 3 参照）から自動的に吸引される。このときの自動吸引量は 4 L/min であった。

20

【0019】

吸引されたエアロゾルは縮小拡大管 10 内でマイクロ気泡化され、下流へと運ばれる。気泡内に閉じ込められた NaCl エアロゾルは、後述するように下流側において気泡崩壊を起こし、液相に溶け込んだ状態でタンク 1 内に循環される。タンク 1 内では気泡崩壊によって生成されたガスがパーティクルカウンタ 6 に供給され、縮小拡大管 10 を通過した後の微粒子数が計測された。

【0020】

このようにして計測した微粒子除去試験結果を図 2 に示す。縦軸は各粒径に対する計測粒子数（2.83 L 当たり）である。試験装置に供給される汚染ガスと本試験装置の排気で比較したところ、本試験装置の排気の計測粒子数の方がかなり少なく、気泡崩壊現象によって微粒子を除去できることを確認した。

30

【0021】

前に戻って、この試験で使用した縮小拡大管 10 の構造について図 3 を参照して説明する。図 3 は、本発明を実施するため縮小拡大管 10 の概略構造とその機能の説明図である。試験に用いた縮小拡大管は気泡挙動の可視化計測を行うため透明なアクリル製とした。実機においては、取り扱う液相や気相との関係で、ステンレスや黄銅など適宜選択可能である。ここでは縮小拡大管の入口直径と出口直径 16 mm、スロート部直径 6 mm、開き角 6 度のものを採用した。

【0022】

符号 101 から 104 は、観察から得られた気泡の状態を示している。101 の位置において気泡縮小・崩壊による気液界面の変形が起こり（後述の図 6 を参照）、102 の位置において気泡微細化による単位体積当たりの気液接触面積の増加が起こり、103 の位置において微細気泡による流れの攪拌が起こる。

40

【0023】

参考として、縮小拡大管の長さ方向のどの位置において気泡崩壊が起こるかを調べた結果を図 4 に示す。図 4 は、縮小拡大管の流入口から空気（気体）と水（液体）を流入させた場合の気泡崩壊位置を、流量 25 L/min、28 L/min、30 L/min、35 L/min、40 L/min 毎に測定した結果を示している。気泡崩壊の位置は、縮小拡大管の縮小部の開始位置（喉部）からの距離（mm）で示されている。また、このときの空気流量は体積流量比（気体流量 / (気体流量 + 液体流量)）で 4 % に取った。一般論として、ベンチュリ管では

50

喉部から水の圧力が下がり始めて気泡崩壊する位置で圧力が回復するので、喉部から気泡崩壊する位置までが気体を自吸できる距離であることになる。したがって、拡大縮小管内で気泡崩壊を起こさせると共に、気体を液体に溶存させるためには、必要な流量が大きいほど管長を長く取る必要があることがわかる。また、流量が大きい場合には、気体吸入口の位置は喉部からかなり離れた位置であっても、気泡崩壊による気体の液体への溶存効果が得られることがわかる。このことは、換言すれば、気体の吸入口は、適用する流量を考慮しさえすれば、縮小拡大管の拡大部の任意の位置に配置できることがわかる。

【 0 0 2 4 】

本発明で使用する縮小拡大管 1 0 の機能についてさらに詳細に説明する。通常、この手の縮小拡大管は、そこで生成された気泡を崩壊させずに、気泡としての機能を利用するように構成されている。例えば、気泡の崩壊時のエネルギーを利用して壁面の汚れを洗浄する装置などがすでに実用化されている。しかし、本発明で使用する縮小拡大管 1 0 は、管の拡大部において気泡を崩壊させるように構成されており、吸い込まれた気体が管の拡大部内で崩壊して、流入口 1 1 から供給される液体中に溶存させられるようになっている。

10

【 0 0 2 5 】

本発明の縮小拡大管 1 0 の機能を確認するため、微細気泡観察窓 5 (図 1 参照) を介して縮小拡大管 1 0 内での気泡挙動を測定した。気泡挙動を可視化計測した結果を図 5 と図 6 に示す。図 5 は、微細気泡観察窓から撮影した気泡の観察写真であり、図 6 は、縮小拡大管 1 0 で生成された気泡の崩壊過程を示す写真である。

【 0 0 2 6 】

次に、本発明を廃炉処理に使用する場合の装置構成とその作用効果について説明する。図 7 にそのための装置構成の概要を示す。原子炉建屋外に注水タンク 2 0 、注水ポンプ 2 1 、縮小拡大管 1 0 及び気液分離タンク 2 2 を設置して、順に配管で接続する。また、縮小拡大管 1 0 の吸気口から炉心下方の燃料デブリ 2 0 0 近くまでフレキシブルホースが延長設置されている。

20

【 0 0 2 7 】

廃炉に際し燃料デブリを外部に取り出すためには、大きな塊となっている燃料デブリを小さく切削する必要があるが、切削時にナノスケールの放射性微粒子が周囲に拡散する。デブリ切削作業時に注水ポンプ 2 1 を稼働させ、縮小拡大管 1 0 に注水タンク 2 0 の水を供給することで、切削時の放射性微粒子を含む放射性エアロゾルを縮小拡大管 1 0 に自動吸引する。自動吸引された放射性エアロゾルは供給水中で気泡を形成し、縮小拡大管 1 0 の下流に流れる。

30

【 0 0 2 8 】

下流に流れた気泡は、その後管内での圧力変化を受けて崩壊し、ナノサイズの微粒子を含めて気体中の微粒子が供給水中に溶存させられる。縮小拡大管 1 0 から排出される気液水は気液分離タンク 2 2 で清浄ガスと放射性廃液に分離され、放射性廃液は従来からある放射性廃液処理装置 (図示せず) によって処理される。処理後の水は再び注水タンク 2 0 に戻される。

【 0 0 2 9 】

以上の説明では、液相として蒸留水を使用しているが、縮小拡大管によって液相中にマイクロナノバブルを形成可能な液体であって、後段の処理に支障を来さないものであれば、どのような液体であっても良い。例えば、特定の機能を有する消毒液、海水、油などの液体を使用することができる。さらにまた、高価な液体を使用する場合には、処理目的によっては、後段の処理装置の後に液体浄化装置と再循環ポンプを設置して、使用済み液体を浄化して再循環させるようにしても良い。さらにまた、図面では吸入口が 1 個しか示されていないが、複数個設けても良いし、縮小拡大管の周囲を取り囲むような形状にしても良い。

40

【 0 0 3 0 】

また、本発明は既存の液配管に本装置を取り付け、エアロゾル粒子・有害ガス発生箇所と本装置のガス自吸用配管に接続するのみで使用できるので、設置費用も安価であり、汎

50

用性も高い。

【産業上の利用可能性】

【0031】

本発明は、構成が極めて単純であり、装置自体が安価であると共に、既存のプラント等に外付けの形で設置できることから、設置費用も安く、多くの既存の排ガス処理設備での運用が期待できる。また、微粒子を液に移行させることができる点から、粉体と液のインラインミキサーとしての使用も期待できる。

【符号の説明】

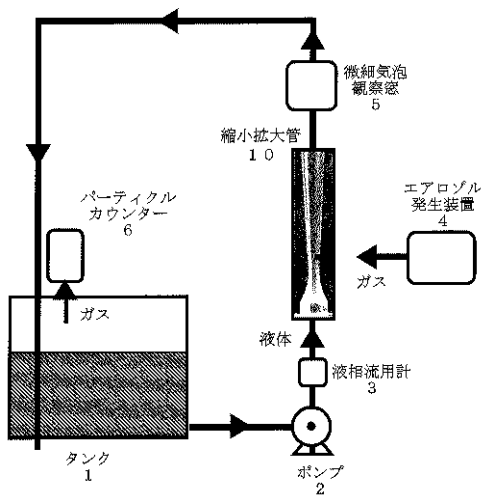
【0032】

- 1：タンク
- 2：ポンプ
- 3：液相流量計
- 4：エアロゾル発生装置
- 5：微細気泡観察装置
- 6：パーティクルカウンタ
- 10：縮小拡大管
- 11：縮小拡大管への液体流入口
- 12：縮小拡大管からの液体流出口
- 13：縮小拡大管の径の縮小部
- 14：縮小拡大管の径の拡大部
- 15：気体の吸入口
- 20：注水タンク
- 21：注水ポンプ
- 22：気液分離タンク
- 23：フレキシブルホース

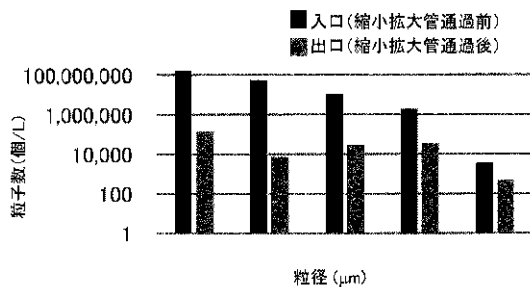
10

20

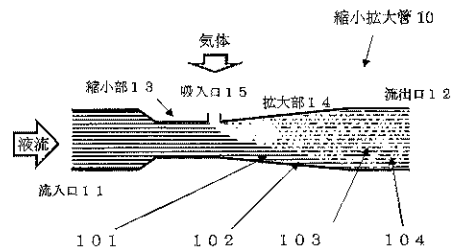
【図1】



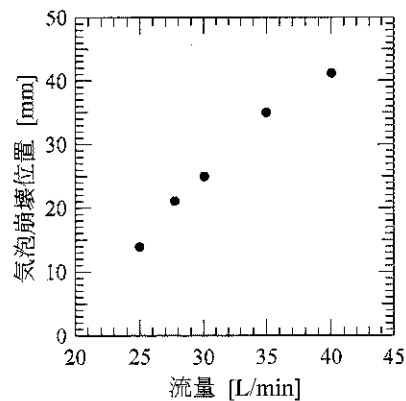
【図2】



【図3】

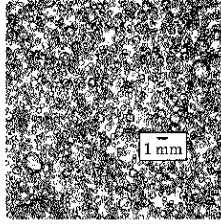


【図4】

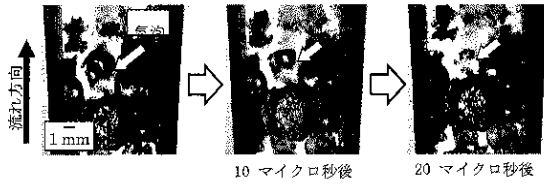


40

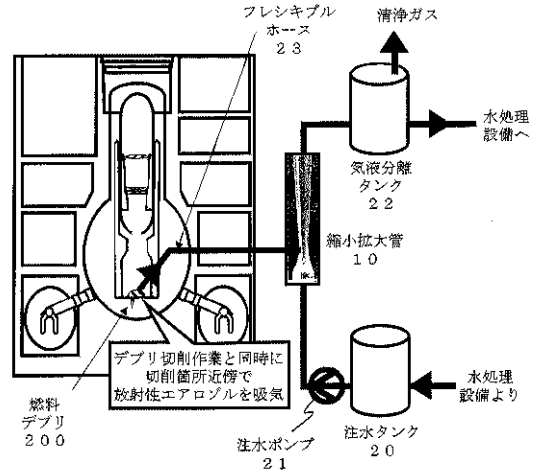
【図5】



【図6】



【図7】



フロントページの続き

(56)参考文献 米国特許第08241410 (US, B1)

特開平07-124432 (JP, A)

特表平01-503766 (JP, A)

特開2017-221908 (JP, A)

特開平11-277085 (JP, A)

特開2014-057960 (JP, A)

特開平03-158615 (JP, A)

特開2017-154053 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B01D 47/00 - 47/18

B01D 53/14 - 53/18

A61L 9/00 - 9/22

B01F 21/00 - 25/90

G21F 9/00 - 9/36

F24F 8/00 - 8/99

G21D 1/00 - 9/00