

## 明 細 書

発明の名称： 濾過モジュール及び濾過装置

### 技術分野

[0001] 本発明は、濾過モジュール及び濾過装置に関する。

### 背景技術

[0002] 污水处理や医薬等の製造工程における固液分離処理装置として、複数本の中空糸膜を集束した濾過モジュールを有する濾過装置が用いられている。この濾過モジュールとしては、中空糸膜の外周面側を高圧にして被処理液を中空糸膜の内周面側に透過する外圧式、浸透圧又は内周面側の負圧により被処理液を内周面側に透過する浸漬式、及び中空糸膜の内周面側を高圧にして被処理液を中空糸膜の外周面側に透過する内圧式がある。

[0003] 上記濾過モジュールのうち外圧式及び浸漬式は、使用に伴い各中空糸膜の表面が被処理液に含まれる物質の付着等によって汚染されるため、そのままでは濾過能力が低下する。

そこで、濾過モジュールの下方から気泡を送り、各中空糸膜の表面を擦過し、さらに各中空糸膜を振動させて付着物を除去する洗浄方法（エアースクラビング）が従来から用いられている（特開 2 0 1 0 - 4 2 3 2 9 号公報参照）。

### 先行技術文献

#### 特許文献

[0004] 特許文献1：特開 2 0 1 0 - 4 2 3 2 9 号公報

### 発明の概要

#### 発明が解決しようとする課題

[0005] 上記中空糸膜表面洗浄用の気泡は、中空糸膜表面を清浄に保つため連続的に供給されることが一般的である。そのため、気泡による中空糸膜表面の洗浄効率が低下すると、洗浄用気泡の供給に必要なエネルギーが増大し、濾過コストの増大を招来するおそれがある。

この濾過コスト低減策として、複数の濾過モジュールを縦に連設する手段があるが、中空糸膜の保持部材（濾過モジュールの接続部）において気泡が拡散し、上部の中空糸膜表面に気泡が接触せず、結果洗浄能力が低下するおそれがある。

[0006] 本発明は、上述のような事情に基づいてなされたものであり、中空糸膜表面の洗浄効率に優れ、かつ優れた濾過能力を有する濾過モジュール及び濾過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

[0007] 上記課題を解決するためになされた発明は、

一方向に引き揃えられた状態で保持される複数本の中空糸膜と、この複数本の中空糸膜の両端部を固定する保持部材とを備える濾過モジュールであって、

上記中空糸膜が、ポリテトラフルオロエチレンを主成分とする支持層と、この支持層の表面に積層され、ポリテトラフルオロエチレンを主成分とする濾過層とを有し、

上記中空糸膜の平均外径に対する平均長さの比が500以上3000以下である濾過モジュールである。

[0008] また、上記課題を解決するためになされた別の発明は、

当該濾過モジュールと、この濾過モジュールの下方から気体を供給する気体供給器とを備える濾過装置である。

### 発明の効果

[0009] 本発明の濾過モジュール及び濾過装置は、中空糸膜表面の洗浄効率に優れ、かつ優れた濾過能力を有する。つまり、中空糸膜の1本当たりの洗浄用気泡の供給量を低減し、ランニングコストを下げることができる。

### 図面の簡単な説明

[0010] [図1]図1は、本発明の一実施形態の濾過モジュールを示す模式的断面図である。

[図2]図2は、図1の濾過モジュールが有する中空糸膜を示す模式的断面図で

ある。

[図3a]図3 aは、図1の濾過モジュールが有する下部保持部材を示す模式的平面図である。

[図3b]図3 bは、図3 aの下部保持部材のA－A線断面図である。

[図4]図4は、本発明の一実施形態の濾過装置を示す模式的説明図である。

[図5a]図5 aは、図1の濾過モジュールとは異なる実施形態の濾過モジュールを上方から見た模式的平面図である。

[図5b]図5 bは、図5 aの濾過モジュールのB－B線断面図である。

[図6]図6は、図3 bの下部保持部材とは異なる形状の下部保持部材を示す模式的断面図である。

[図7]図7は、図3 aの下部保持部材とは異なる形状の下部保持部材を示す模式的平面図である。

[図8]図8は、実施例1の運転結果を示すグラフである。

[図9]図9は、実施例2の運転結果を示すグラフである。

[図10]図10は、実施例3の運転結果を示すグラフである。

[図11]図11は、実施例4の運転結果を示すグラフである。

[図12]図12は、実施例5の運転結果を示すグラフである。

## 発明を実施するための形態

### [0011] [本願発明の実施形態の説明]

本願発明は、

一方向に引き揃えられた状態で保持される複数本の中空糸膜と、この複数本の中空糸膜の両端部を固定する保持部材とを備える濾過モジュールであって、

上記中空糸膜が、ポリテトラフルオロエチレンを主成分とする支持層と、この支持層の表面に積層され、ポリテトラフルオロエチレンを主成分とする濾過層とを有し、

上記中空糸膜の平均外径に対する平均長さの比が500以上3000以下である濾過モジュールである。

[0012] 当該濾過モジュールは、中空糸膜の平均外径に対する平均長さの比であるアスペクト比が上記下限以上であるため、1つの気泡が擦過する中空糸膜の表面積を大きくすることができ、これにより中空糸膜の洗浄コストを低減できる。つまり、濾過モジュールの中空糸膜の引き揃え方向に、中空糸膜表面に沿って流動するように気泡を供給した場合、平均長さが大きいほど気泡が擦過する中空糸膜の表面積が増加する。また、平均外径（平均外周長さ）が小さくなるほど気泡と中空糸膜との接触面積が増加し易くなる。これらのことから、アスペクト比を上記下限以上とすることで、気泡1つあたりの洗浄面積を大きくし、中空糸膜の洗浄コストを大きく低減させることができる。また、上記アスペクト比を上記上限以下とすることで、内径が小さくなり過ぎることによる濾過能力の低下、長さが大きくなり過ぎることによる撓みの発生や取扱い性低下等を防止し、濾過能力と表面洗浄効率とをバランスよく発揮することができる。

[0013] さらに、本発明者らは、中空糸膜のアスペクト比を上記範囲とする、つまり中空糸膜を比較的細長くすることで、中空糸膜を気泡との接触や気泡の上昇に伴う水流等によって揺動させ易くし、この中空糸膜の揺動によって濾過モジュールの圧損の上昇を格段に抑制できることを見出した。つまり、複数の中空糸膜を用いた一般的な濾過モジュールでは、水流によって中空糸膜同士が接触し、さらにこの接触した中空糸膜間に不純物が堆積することで中空糸膜の表面積が減少し、濾過モジュールの圧損が大きくなる傾向がある。これに対し、当該濾過モジュールでは、中空糸膜を効果的に揺動させることで、中空糸膜同士を離間させることができると共に、中空糸膜の表面に堆積した不純物も除去することができる。そのため、当該濾過モジュールは、従来の濾過モジュールに比して濾過能力を高いレベルで維持できる。

[0014] さらに当該濾過モジュールの中空糸膜は、ポリテトラフルオロエチレン（PTFE）を主成分とする支持層と同じくPTFEを主成分とする濾過層とを有するため、機械的強度に優れ、上述のようにアスペクト比が大きくても撓み量が小さく、また気泡の擦過による中空糸膜表面の損傷等を防止できる

。

- [0015] 上記複数本の中空糸膜が上下方向に引き揃えられているとよい。このように中空糸膜が上下方向に引き揃えられていることで、下方から気泡を供給する気体供給器と組み合わせた場合、気泡が引き揃えられた中空糸膜表面に沿って上昇するため、より効果的に当該濾過装置の表面洗浄効率を向上させることができる。
- [0016] 上記中空糸膜の平均外径としては2 mm以上6 mm以下が好ましく、平均内径としては0.5 mm以上4 mm以下が好ましい。このように中空糸膜の平均外径及び平均内径を上記範囲内とすることで、中空糸膜の機械的強度と当該濾過モジュールの処理能力とをバランスよく発揮させることができる。
- [0017] 上記中空糸膜の平均長さとしては3 m以上6 m以下が好ましい。このように中空糸膜の平均長さを上記範囲内とすることで、中空糸膜の撓みの発生等を防止しつつ、当該濾過モジュールの中空糸膜表面の洗浄効率をより効果的に向上させることができる。
- [0018] 上記中空糸膜の平均外径に対する平均内径の比としては0.3以上0.8以下が好ましい。このように中空糸膜の平均外径に対する平均内径の比を上記範囲内とすることで、上述のように大きなアスペクト比としても、中空糸膜の縦方向（軸方向）の機械的強度を保つことができ、当該濾過モジュールの洗浄効率の向上効果を確実に発現させることができ、かつ被処理液に含まれる粒子の透過をより確実に防止して当該濾過モジュールの濾過能力をさらに向上させることができる。
- [0019] 上記中空糸膜の引張強度としては50 N以上が好ましい。このように中空糸膜の引張強度を上記下限以上とすることで、上述のように大きなアスペクト比としても中空糸膜の縦方向（軸方向）の機械的強度を保つことができ、当該濾過モジュールの洗浄効率の向上効果を確実に発現させることができる。なお、引張強度とは、JIS-K7161：1994に準拠し、標線間距離100 mm、試験速度100 mm/minで引張試験を行った際の最大引張応力を意味する。

- [0020] 上記複数本の中空糸膜の存在密度としては4本／ $\text{cm}^2$ 以上15本／ $\text{cm}^2$ 以下が好ましい。中空糸膜の存在密度を上記範囲内とすることで、濾過能力を維持しつつ、気泡の供給効率を向上させて、当該濾過モジュールの中空糸膜表面の洗浄効率をさらに向上させることができる。なお、中空糸膜の存在密度とは、当該濾過モジュールが有する中空糸膜の本数 $N$ を、中空糸膜の配設領域の面積 $A$ で割った値( $N/A$ )を意味し、「中空糸膜の配設領域」とは、軸方向から見て濾過モジュールが有する全ての中空糸膜を包含する仮想多角形のうち最も面積の小さいものを意味する。
- [0021] 上記中空糸膜の気孔率としては75%以上90%以下が好ましい。このように中空糸膜の気孔率を上記範囲内とすることで、高い濾過能力を発揮しつつ、上述のように大きなアスペクト比としても中空糸膜の縦方向（軸方向）の機械的強度を保つことができ、当該濾過モジュールの洗浄効率の向上効果を確実に発現させることができる。なお、気孔率とは、中空糸膜の体積に対する空孔の総体積の割合を意味し、ASTM-D-792に準拠して中空糸膜の密度を測定することで求められる値である。
- [0022] 上記支持層及び濾過層の主成分のポリテトラフルオロエチレンの数平均分子量としては50万以上2000万以下が好ましい。このように支持層及び濾過層のPTFEの数平均分子量を上記範囲内とすることで、中空糸膜に機械的強度と透水性とをバランスよく付与することができる。なお、数平均分子量とは、ゲル濾過クロマトグラフィーで計測される値である。
- [0023] 上記濾過層が、支持層を構成する延伸ポリテトラフルオロエチレンチューブに延伸ポリテトラフルオロエチレンシートを巻き付け焼結することで形成されているとよい。このように中空糸膜を形成することで、中空糸膜の空孔の形状や大きさの調整が容易となると共に、支持層と濾過層との空孔を連通させて透水性を向上させることができる。
- [0024] 上記複数本の中空糸膜が上下方向に引き揃えられている場合、上記複数の中空糸膜の少なくとも上方を囲繞するガイドカバーをさらに備えるとよい。このように中空糸膜を囲繞するガイドカバーを備えることで、洗浄用の気泡

が上昇に伴って分散することを防止すると共に気泡の上昇速度を向上させることができる。その結果、中空糸膜の表面洗浄効率及び揺動効果をさらに向上させることができる。

[0025] 従って、当該濾過モジュールと、当該濾過モジュールの下方から気体を供給する気体供給器とを備える濾過装置は、中空糸膜の表面を効率よく洗浄することができ、低いランニングコストで高い処理能力を発揮することができる。

[0026] [本願発明の実施形態の詳細]

以下、本発明に係る濾過モジュール及び濾過装置の実施形態について図面を参照しつつ詳説する。

[0027] [第一実施形態]

図1の濾過モジュール1は、上下方向に引き揃えられた複数本の中空糸膜2と、この複数本の中空糸膜2の両端部を固定する上部保持部材3及び下部保持部材4とを備える。

[0028] (中空糸膜)

中空糸膜2は、内側の中空部に水を透過させる一方、被処理液に含まれる粒子の透過を阻止する多孔質状の中空糸膜である。

[0029] 中空糸膜2は、図2に示すように、円筒状の支持層2aと、この支持層2aの表面に積層される濾過層2bとを有している。このように中空糸膜2を多層構造とすることで、透水性及び機械的強度を両立させ、さらに気泡による表面洗浄効果を効果的にすることができる。

[0030] 上記支持層2a及び濾過層2bの形成材料はポリテトラフルオロエチレン(P T F E)を主成分とする。この支持層2a及び濾過層2bの形成材料には、他のポリマー、潤滑剤などの添加剤等が適宜配合されていてもよい。

[0031] 支持層2a及び濾過層2bのP T F Eの数平均分子量の下限としては、50万が好ましく、200万がより好ましい。P T F Eの数平均分子量が上記下限未満の場合、気泡の擦過によって中空糸膜2の表面が損傷するおそれや、中空糸膜2の機械的強度が低下するおそれがある。一方、支持層2a及び

濾過層 2 b の P T F E の数平均分子量の上限としては、2 0 0 0 万が好ましい。P T F E の数平均分子量が上記上限を超える場合、中空糸膜 2 の空孔の成形が困難になるおそれがある。

[0032] 上記支持層 2 a は、例えば P T F E を押出成形して得られるチューブを用いることができる。このように支持層 2 a として押出成形チューブを用いることで、支持層 2 a に機械的強度を持たせることができると共に、空孔も容易に形成することができる。なお、このチューブは軸方向に 5 0 % 以上 7 0 % 以下、周方向に 5 % 以上 1 0 0 % 以下の延伸率で延伸することが好ましい。

[0033] 上記延伸における温度は、チューブ素材の融点以下、例えば 0 ~ 3 0 0 °C 程度とすることが好ましい。比較的空孔の径が大きい多孔質体を得るには低温での延伸がよく、比較的空孔の径が小さい多孔質体を得るには高温での延伸がよい。延伸した多孔質体は、両端を固定し延伸した状態を保って 2 0 0 ~ 3 0 0 °C の温度で 1 ~ 3 0 分程度熱処理することで高い寸法安定性が得られる。また、延伸温度や延伸率等の条件を組み合わせることにより、多孔質体の空孔のサイズを調整することができる。

[0034] 支持層 2 a を形成するチューブは、例えば P T F E ファインパウダーにナフサ等の液状潤滑剤をブレンドし、押出成形等によりチューブ状とした後に延伸することで得ることができる。また、チューブを P T F E ファインパウダーの融点以上の温度、例えば 3 5 0 ~ 5 5 0 °C 程度に保った加熱炉中で、数 1 0 秒から数分程度保持し焼結することにより、寸法安定性を高めることができる。

[0035] 支持層 2 a の平均厚さとしては、0. 1 mm 以上 3 mm 以下が好ましい。支持層 2 a の平均厚さを上記範囲内とすることで、中空糸膜 2 に機械的強度及び透水性をバランスよく付与することができる。

[0036] 上記濾過層 2 b は、例えば P T F E 製のシートを上記支持層 2 a に巻き付けて焼結することで形成することができる。このように濾過層 2 b の形成材料としてシートを用いることで、延伸を容易に行うことができ、空孔の形状

や大きさの調整が容易となると共に、濾過層 2 b の厚さを小さくすることができる。また、シートを巻き付けて焼結することで、支持層 2 a と濾過層 2 b とが一体化され、両者の空孔を連通させて透水性を向上させることができる。この焼結温度としては、支持層 2 a を形成するチューブと濾過層 2 b を形成するシートの融点以上が好ましい。

[0037] 上記濾過層 2 b を形成するシートは、例えば（１）樹脂の押出により得られる未焼結成形体を融点以下の温度で延伸しその後焼結する方法、（２）焼結された樹脂成形体を徐冷し結晶化度を高めた後に延伸する方法等を用いることができる。なお、このシートは長手方向に 50%以上 1000%以下、短手方向に 50%以上 2500%以下の延伸率で延伸することが好ましい。特に短手方向の延伸率を上記範囲とすることで、シートを巻き付けた際に周方向の機械的強度を向上させることができ、気泡による表面洗浄に対する耐久性を向上させることができる。

[0038] また、支持層 2 a を形成するチューブにシートを巻き付けることで濾過層 2 b を形成する場合、チューブの外周面に微細な凹凸を設けるとよい。このようにチューブの外周面に凹凸を設けることで、シートとの位置ずれを防止できると共に、チューブとシートとの密着性を向上させ、気泡による洗浄で支持層 2 a から濾過層 2 b が剥離することを防止できる。なお、シートの巻き付け回数はシートの厚さによって調整することができ、１回又は複数回とすることができる。また、チューブに複数のシートを巻き付けてもよい。シートの巻き付け方法としては特に限定されず、チューブの円周方向に巻き付ける方法のほか、らせん状に巻き付ける方法を用いてもよい。

[0039] 上記微細な凹凸の大きさ（高低差）としては 20  $\mu\text{m}$  以上 200  $\mu\text{m}$  以下が好ましい。

上記微細な凹凸はチューブ外周面全体に形成されることが好ましいが、部分的又は断続的に形成されていてもよい。また、上記微細な凹凸をチューブ外周面に形成する方法としては、例えば火炎による表面処理、レーザー照射、プラズマ照射、フッ素系樹脂等のディスパージョン塗布等を挙げることがで

きるが、チューブ形状に影響を与えず容易に凹凸を形成できる火炎による表面処理が好ましい。

[0040] また、チューブ及びシートとして未焼成のものを用い、シートを巻付けた後に焼結することとこれらの密着性を高めてもよい。

[0041] 濾過層 2 b の平均厚さとしては、 $5\mu\text{m}$  以上  $100\mu\text{m}$  以下が好ましい。

濾過層 2 b の平均厚さを上記範囲内とすることで、中空糸膜 2 に容易かつ確実に高い濾過性能を付与することができる。

[0042] 中空糸膜 2 の平均外径の上限としては、 $6\text{mm}$  が好ましく、 $4\text{mm}$  がより

好ましい。中空糸膜 2 の平均外径が上記上限を超えると、中空糸膜 2 の断面積に対する表面積の比が小さくなって濾過効率が低下するおそれがある。ま

た、1 つの気泡が擦過できる表面積が小さくなるおそれがある。一方、中空糸膜 2 の平均外径の下限としては、 $2\text{mm}$  が好ましく、 $2.1\text{mm}$  がより好

ましい。中空糸膜 2 の平均外径が上記下限未満の場合、中空糸膜 2 の機械的強度が不十分となるおそれがある。

[0043] 中空糸膜 2 の平均内径の上限としては、 $4\text{mm}$  が好ましく、 $3\text{mm}$  がより

好ましい。中空糸膜 2 の平均内径が上記上限を超えると、中空糸膜 2 の厚さが小さくなって機械的強度及び不純物の透過阻止効果となるおそれ

がある。一方、中空糸膜 2 の平均内径の下限としては、 $0.5\text{mm}$  が好ましく、 $0.9\text{mm}$  がより好ましい。中空糸膜 2 の平均内径が上記下限未満の場

合、中空糸膜 2 内の濾過溶液を排出する時の圧損が大きくなるおそれがある。

[0044] 中空糸膜 2 の平均外径に対する平均内径の比の上限としては、 $0.8$  が好

ましく、 $0.6$  がより好ましい。中空糸膜 2 の平均外径に対する平均内径の比が上記上限を超えると、中空糸膜 2 の厚さが小さくなって機械的強度及び

不純物の透過阻止効果が不十分となるおそれがある。一方、中空糸膜 2 の平均外径に対する平均内径の比の下限としては、 $0.3$  が好ましく、 $0.4$  が

より好ましい。中空糸膜 2 の平均外径に対する平均内径の比が上記下限未満の場合、中空糸膜 2 の厚さが必要以上に大きくなって中空糸膜 2 の透水性が

低下するおそれがある。

[0045] 中空糸膜 2 の平均長さの下限としては、3 m が好ましく、3.5 m がより好ましい。中空糸膜 2 の平均長さが上記下限未満の場合、1 つの気泡が当該濾過モジュール 1 の下方から供給され水面まで上昇する間に擦過する中空糸膜 2 の表面積が減少し、中空糸膜 2 の洗浄効率が低下するおそれがある。また、中空糸膜 2 の揺動が十分発生しないおそれがある。一方、中空糸膜 2 の平均長さの上限としては、6 m が好ましく、5.5 m がより好ましい。中空糸膜 2 の平均長さが上記上限を超える場合、中空糸膜 2 の自重によって中空糸膜 2 の撓みが大きくなり過ぎるおそれや、当該濾過モジュール 1 の設置時等における取扱い性が低下するおそれがある。なお、中空糸膜 2 の平均長さとは、上部保持部材 3 に固定された上端部から下部保持部材 4 に固定された下端部までの平均距離を意味し、後述するように 1 本の中空糸膜 2 を U 字状に湾曲させ、この湾曲部を下端部として下部保持部材 4 で固定した場合は、この下端部から上端部（開口部）までの平均距離を意味する。

[0046] 中空糸膜 2 の平均外径に対する平均長さの比（アスペクト比）の下限としては、500 であり、1000 がより好ましい。中空糸膜 2 のアスペクト比が上記下限未満の場合、1 つの気泡が擦過可能な中空糸膜 2 の表面積が減少することで、中空糸膜 2 の洗浄効率が低下するおそれがある。また、中空糸膜 2 の揺動が十分発生しないおそれがある。一方、中空糸膜 2 のアスペクト比の上限としては、3000 であり、2500 がより好ましい。中空糸膜 2 のアスペクト比が上記上限を超える場合、中空糸膜 2 が極度に細長となるため上下に張った際の機械的強度が低下するおそれがある。

[0047] 中空糸膜 2 の気孔率の上限としては、90% が好ましく、85% がさらに好ましい。中空糸膜 2 の気孔率が上記上限を超える場合、中空糸膜 2 の機械的強度及び耐擦過性が不十分となるおそれがある。一方、中空糸膜 2 の気孔率の下限としては、75% が好ましく、78% がより好ましい。中空糸膜 2 の気孔率が上記下限未満の場合、透水性が低下し、当該濾過モジュール 1 の濾過能力が低下するおそれがある。

[0048] 中空糸膜 2 の空孔の面積占有率の上限としては、60%が好ましい。空孔の面積占有率が上記上限を超える場合、中空糸膜 2 の表面強度が不十分となり、気泡の擦過によって中空糸膜 2 の破損等が生じるおそれがある。一方、中空糸膜 2 の空孔の面積占有率の下限としては、40%が好ましい。空孔の面積占有率が上記下限未満の場合、透水性が低下し、当該濾過モジュール 1 の濾過能力が低下するおそれがある。なお、空孔の面積占有率とは、中空糸膜 2 の表面積に対する中空糸膜 2 の外周面（濾過層表面）における空孔の総面積の割合を意味し、中空糸膜 2 の外周面の電子顕微鏡写真を解析することで求めることができる。

[0049] 中空糸膜 2 の空孔の平均径の上限としては、 $0.45\ \mu\text{m}$ が好ましく、 $0.1\ \mu\text{m}$ がより好ましい。中空糸膜 2 の空孔の平均径が上記上限を超える場合、被処理液に含まれる不純物の中空糸膜 2 内部への透過を阻止できないおそれがある。一方、中空糸膜 2 の空孔の平均径の下限としては、 $0.01\ \mu\text{m}$ が好ましい。中空糸膜 2 の空孔の平均径が上記下限未満の場合、透水性が低下するおそれがある。なお、空孔の平均径とは、中空糸膜 2 の外周面（濾過層表面）の空孔の平均径を意味し、細孔直径分布測定装置（例えば P o r u s M a t e r i a l s 社製 多孔質材料自動細孔径分布測定システム）により測定することができる。

[0050] 中空糸膜 2 の引張強度の下限としては、50Nが好ましく、60Nがより好ましい。中空糸膜 2 の引張強度が上記下限未満の場合、気泡による表面洗浄に対する耐久性が低下するおそれがある。なお、中空糸膜 2 の引張強度の上限は一般に150Nである。

[0051] （上部保持部材及び下部保持部材）

上部保持部材 3 は、複数本の中空糸膜 2 の上端部を保持する部材であり、複数本の中空糸膜 2 の上部開口と連通し、濾過済液を収集する排出部（集水ヘッダ）を有する。この排出部には排出管が接続され、複数本の中空糸膜 2 の内部に浸透した濾過済液を排出する。

上部保持部材 3 の外形は特に限定されず、断面形状は多角形状、円形状等と

することができる。

[0052] 下部保持部材 4 は、複数本の中空糸膜 2 の下端部を保持する部材である。上記下部保持部材 4 は、図 3 a 及び図 3 b に示すように外枠 4 a と、中空糸膜 2 の下端部を固定する複数の固定部位 4 b とを有する。この固定部位 4 b は、例えば棒状に形成されており、一定の間隔を持って複数略平行に配設され、上方側にそれぞれ複数本の中空糸膜 2 が配設されている。

[0053] なお、中空糸膜 2 は、1 本の両端を上部保持部材 3 及び下部保持部材 4 でそれぞれ固定してもよいが、1 本の中空糸膜 2 を U 字状に湾曲させ、2 つの開口部を上部保持部材 3 で固定し、下端折返（湾曲）部を下部保持部材 4 で固定してもよい。

[0054] 外枠 4 a は、固定部位 4 b を支持するための部材である。外枠 4 a の一辺の長さとしては、例えば 50 mm 以上 200 mm 以下とすることができる。また、外枠 4 a の断面形状は特に限定されず、図 3 a に示した四角形状以外に、その他の多角形状や円形状としてもよい。

[0055] 後述する気体供給器 5 から供給される気泡は、固定部位 4 b 間の隙間を通過し、中空糸膜 2 の表面を擦過しながら上方へと移動する。

[0056] 固定部位 4 b の幅（短手方向長さ）及びその間隔は、十分な数の中空糸膜 2 を固定でき、かつ気体供給器 5 から供給される気泡を通過させることができれば特に限定されない。

固定部位 4 b の幅としては、例えば 3 mm 以上 10 mm 以下とすることができる。固定部位 4 b の間隔としては、例えば 1 mm 以上 10 mm 以下とすることができる。

[0057] 下部保持部材 4 が保持する中空糸膜 2 の本数  $N$  を、中空糸膜 2 の配設領域面積  $A$  で割った中空糸膜 2 の存在密度（ $N/A$ ）の上限としては、15 本/ $\text{cm}^2$  が好ましく、12 本/ $\text{cm}^2$  がより好ましい。中空糸膜 2 の存在密度が上記上限を超える場合、中空糸膜 2 の間隔が小さくなって表面の洗浄が十分行えないおそれや、中空糸膜 2 の揺動が十分発生しないおそれがある。一方、中空糸膜 2 の存在密度の下限としては、4 本/ $\text{cm}^2$  が好ましく、6 本/ $\text{cm}^2$  が好ましい。

$\text{m}^2$ がより好ましい。中空糸膜2の存在密度が上記下限未満の場合、当該濾過モジュール1の単位体積当たりの濾過効率が低下するおそれがある。

[0058] また、中空糸膜2を中実と仮定した場合の下部保持部材4が保持する中空糸膜2の断面積の総和 $S$ を、中空糸膜2の配設領域面積 $A$ で割った中空糸膜2の面積割合( $S/A$ )の上限としては、60%が好ましく、55%がより好ましい。中空糸膜2の面積割合が上記上限を超える場合、中空糸膜2の間隔が小さくなって表面の洗浄が十分行えないおそれがある。一方、中空糸膜2の面積割合の下限としては、20%が好ましく、25%がより好ましい。中空糸膜2の面積割合が上記下限未満の場合、当該濾過モジュール1の単位体積当たりの濾過効率が低下するおそれがある。

[0059] 上部保持部材3及び下部保持部材4の材質としては特に限定されず、例えばエポキシ樹脂、ABS樹脂、シリコン樹脂等を用いることができる。

[0060] 中空糸膜2の上部保持部材3及び下部保持部材4への固定方法は特に限定されず、例えば接着剤を用いて固定する方法を用いることができる。

[0061] また、当該濾過モジュール1の取り扱い（運搬、設置、交換等）を容易にするために、上部保持部材3と下部保持部材4とは連結部材で連結することが好ましい。この連結部材としては、例えば金属製の支持棒や、樹脂製のケーシング（外筒）等を用いることができる。

[0062] <利点>

当該濾過モジュール1は、中空糸膜2の平均外径に対する平均長さの比であるアスペクト比が一定値以上であるため、1つの気泡が擦過する中空糸膜2の表面積を大きくすることができ、結果として洗浄コストを低減できる。つまり、濾過モジュール1の下方から供給される気泡は中空糸膜2表面に沿って上昇していくため、平均長さが大きいほど気泡が擦過する中空糸膜2の表面積が増加する。また、平均外径（平均外周長さ）が小さくなるほど中空糸膜2の表面の曲率が大きくなって気泡と中空糸膜2との接触面積が増加し易くなる。これらのことから、アスペクト比を一定値以上とすることで、気泡1つあたりの洗浄可能面積を大きくし、中空糸膜2の洗浄コストを大きく

低減させることができる。

[0063] さらに、当該濾過モジュール 1 は、中空糸膜 2 のアスペクト比を一定範囲とすることで中空糸膜を気泡の上昇圧によって揺動させ易い。当該濾過モジュール 1 は、このように中空糸膜 2 を効果的に揺動させることで、中空糸膜 2 同士を離間させることができると共に、中空糸膜 2 の表面に堆積した不純物も除去することができる。

[0064] また、当該濾過モジュール 1 の中空糸膜 2 は、ポリテトラフルオロエチレン（PTFE）を主成分とする支持層 2 a と、同じく PTFE を主成分とする濾過層 2 b とを有するため機械的強度に優れ、上述のようにアスペクト比が大きくても撓み量が小さく、また気泡の擦過による中空糸膜 2 表面の損傷等を防止できる。さらに、上記アスペクト比を一定値以下とすることで、内径が小さくなり過ぎることによる濾過能力の低下、長さが大きくなり過ぎることによる撓みの発生や取扱い性低下等を防止し、濾過能力と表面洗浄効率とをバランスよく発揮することができる。

[0065] さらに当該濾過モジュール 1 は、下部保持部材 4 が複数の固定部位 4 b を有するため、気泡がこの固定部位 4 b の隙間を通過し中空糸膜 2 に近接しながら上昇する。そのため、気泡が擦過する中空糸膜 2 の表面積を大きくすることができ、結果として上記アスペクト比が一定値以上であることと相乗して洗浄効率を効果的に向上させることができる。

[0066] <濾過装置>

図 4 に示す濾過装置 10 は、当該濾過モジュール 1 と、この濾過モジュール 1 の下方から気体を供給する気体供給器 5 とを備え、被処理液を貯留した濾過槽 X に浸漬されて使用される。濾過モジュール 1 の上部保持部材 3 の排出部には排出管 6 が接続され、濾過済液が排出される。

[0067] 気体供給器 5 は、上記濾過モジュール 1 の下方から、中空糸膜 2 の表面を洗浄する気泡 B を供給する。この気泡 B は上記固定部位 4 b 間を通過し中空糸膜 2 の表面を擦過しながら上昇することで中空糸膜 2 の表面を洗浄する。

[0068] 気体供給器 5 は上記濾過モジュール 1 と共に被処理液を貯留した濾過槽 X

に浸漬されており、圧縮機等から給気管（図示せず）を通して供給される気体を連続又は間欠的に吐出することで気泡Bを供給する。このような気体供給器5としては特に限定されず、公知の散気装置を用いることができる。このような散気装置としては、例えば樹脂又はセラミックス製の板又は管に多数の空孔を形成した多孔板又は多孔管を用いた散気装置、ディフューザやスパージャなどから気体を噴射する噴射流式散気装置、間欠的に気泡を噴射する間欠気泡噴射式散気装置等を挙げることができる。このような間欠気泡噴射式散気装置としては、圧縮機等から給気管（図示せず）を通して連続的に供給される気体を内部に貯留し、一定体積になった気体を間欠的に吐出することで気泡を供給するポンプが挙げられる。

このようなポンプにより間欠的に大きな気泡を中空糸膜2に向かって噴射することで、気泡が下部保持部材4によって分割され中空糸膜2表面に接触しながら上昇する。この分割された気泡は、中空糸膜2の間隔に近い平均径を有し中空糸膜2間に均質に拡がり易い。

そのため、複数の中空糸膜2を効果的に揺動させ、中空糸膜2の洗浄効率をより高めることができる。

[0069] なお、気体供給器5から供給する気体としては不活性のものであれば特に限定されないが、ランニングコストの観点から空気を用いることが好ましい。

[0070] また当該濾過装置10は、複数の濾過モジュール1を備えていてもよい。当該濾過装置10が複数の濾過モジュール1を備える場合、それぞれの濾過モジュール1の下方に対応する気体供給器5を1つずつ配設してもよいし、複数の濾過モジュール1に気泡を供給可能な気体供給器5を配設してもよい。

[0071] <使用方法>

当該濾過装置10は、濾過を行う被処理液を貯留した濾過槽内に浸漬して用いることができる。当該濾過装置10の具体的な用途としては、例えば下排水処理、産業排水処理、工業用水道水濾過、機械等の洗浄水処理、プール

水濾過、河川水濾過、海水濾過、醗酵プロセスの除菌又は除濁（酵素又はアミノ酸精製）、食品、酒、ビール、ワインなどの濾過（特に生製品）、製薬等におけるファーマンターからの菌体分離、染色工業における用水及び溶解染料の濾過、動物細胞の培養濾過、RO膜における純水製造プロセス（海水の淡水化を含む）における前処理濾過、イオン交換膜を用いたプロセスにおける前処理濾過、イオン交換樹脂を用いた純水製造プロセスにおける前処理濾過等が挙げられる。

[0072] 浄水処理では、当該濾過装置 10 を粉末活性炭と組み合わせて用いることができる。まず粉末活性炭により非常に微小な溶存有機物を吸着し、この溶存有機物を吸着した後の粉末活性炭を含有する水を当該濾過装置 10 で濾過することで効率的に浄水処理を行うことができる。

[0073] 下水処理では、菌体を繁殖させたタンクと組み合わせて用いることができる。このタンクに下水を導入し、菌体が下水中の汚染成分を分解してクリーンにした後、この菌体を含む下水を当該濾過装置 10 で濾過することで効率的に下水処理を行うことができる。

[0074] [第二実施形態]

図 5 a、5 b の濾過モジュール 11 は、上下方向に引き揃えられた複数本の中空糸膜 2 と、この複数本の中空糸膜 2 の両端部を固定する上部保持部材 3 及び下部保持部材 4 と、上記複数の中空糸膜 2 を囲繞するガイドカバー 7 とを備える。中空糸膜 2、上部保持部材 3 及び下部保持部材 4 は、上記第一実施形態の濾過モジュール 1 と同様であるため、同一符号を付して説明を省略する。

[0075] (ガイドカバー)

ガイドカバー 7 は、複数の中空糸膜 2 の周囲を囲繞する筒状体である。ガイドカバー 7 は、当該濾過モジュール 11 の上方において洗浄用の気泡が分散しないよう少なくとも中空糸膜 2 の上方部分を囲繞する。

[0076] このガイドカバー 7 は上部保持部材 3 と上下方向に離間して設置することが好ましい。

つまり、ガイドカバー 7 が上部保持部材 3 を囲繞せずに、両者の間に空間が形成されるようにすることが好ましい。このようにガイドカバー 7 と上部保持部材 3 とを離間することで、気泡によって中空糸膜 2 から分離した不純物（し渣）をガイドカバー 7 と上部保持部材 3 間の空間から当該濾過モジュール 11 外部へ排出することができ、洗浄効果を向上することができる。一方で、ガイドカバー 7 は下部保持部材 4 の一部を囲繞することが好ましい。

[0077] ガイドカバー 7 の中空糸膜 2 に対する上下方向の囲繞領域の長さ  $L_1$  の下限としては、上部保持部材 3 及び下部保持部材 4 間の平均距離  $L_2$  の 30% が好ましく、50% がより好ましく、80% がさらに好ましい。一方、上記囲繞領域の長さ  $L_1$  の上限としては、上部保持部材 3 及び下部保持部材 4 間の平均距離  $L_2$  の 100% が好ましく、98% がより好ましく、95% がさらに好ましい。上記囲繞領域の長さ  $L_1$  が上記下限未満の場合、気泡 B' の分散防止効果や上昇速度向上効果が不十分となるおそれがある。逆に、上記囲繞領域の長さ  $L_1$  が上記上限を超える場合、中空糸膜 2 から分離した不純物が当該濾過モジュール 11 外部へ排出され難く、洗浄効果が十分に向上しないおそれがある。

[0078] ガイドカバー 7 の内面とガイドカバー 7 に近接する中空糸膜 2 との平均距離  $D_1$  の下限としては、20 mm が好ましく、30 mm がより好ましく、40 mm がさらに好ましい。

一方、上記平均距離  $D_1$  の上限としては、400 mm が好ましく、250 mm がより好ましく、100 mm がさらに好ましい。上記平均距離  $D_1$  が上記上限を超える場合、気泡の分散防止効果が不十分となるおそれがある。逆に、上記平均距離  $D_1$  が上記下限未満の場合、中空糸膜 2 とガイドカバー 7 とが接触し、中空糸膜 2 の洗浄及び揺動が不十分となるおそれや、中空糸膜 2 の表面が損耗するおそれがある。

[0079] ガイドカバー 7 と上部保持部材 3 との上下方向の離間距離  $D_2$  は、例えば 50 mm 以上 200 mm 以下とすることができる。

[0080] ガイドカバー 7 の底面形状は図 5 a に示した矩形に限定されず、上部保持

部材 3 及び下部保持部材 4 の外形、複数の中空糸膜 2 の配列形状等に合わせ  
て適宜設計することができ、円形や、矩形以外の多角形とすることができる  
。

[0081] ガイドカバー 7 の材質としては、例えば上部保持部材 3 及び下部保持部材  
4 と同様の樹脂の他、塩化ビニル樹脂、ステンレス等を用いることができる  
。

[0082] <利点>

当該濾過モジュール 1 1 は、中空糸膜 2 を囲繞するガイドカバー 7 を備え  
ることで、洗浄用の気泡が上昇に伴って分散することを防止すると共に気泡  
の上昇速度を向上させることができる。そのため、当該濾過モジュール 1 1  
は、中空糸膜 2 の表面洗浄効率及び揺動効果に特に優れる。

[0083] [その他の実施形態]

今回開示された実施の形態はすべての点で例示であって制限的なものでは  
ないと考えられるべきである。本発明の範囲は、上記実施形態の構成に限定  
されるものではなく、特許請求の範囲によって示され、特許請求の範囲と均  
等の意味及び範囲内での全ての変更が含まれることが意図される。

[0084] 上記実施形態においては、下部保持部材が複数の中空糸膜を保持する棒状  
の固定部位を有する形態としたが、本発明の範囲はこれに限定されるもの  
ではない。つまり、例えば一の固定部位が一の中空糸膜を保持し、この固定部  
位同士が隙間をもって複数配設されたものとすることも可能である。

[0085] また、図 6 に示すように隣接する固定部位 4 b を上下方向に異なる位置に  
配設してもよい。このように隣接する固定部位 4 b を段違いに配設すること  
で、各中空糸膜 2 に対する気泡の分散性を向上させることができる。

[0086] さらに、上記実施形態においては、固定部位が他の固定部位と隙間をもっ  
て配設されたものについて説明したが、本発明の範囲はこれに限定されない  
。例えば固定部位が隙間を有さない板状体の場合、当該濾過モジュールの製  
造コストを低減することができる。ただし、中空糸膜表面の洗浄能力を向上  
させるためには、固定部位間、もしくは固定部位と外枠との間に間隔を設け

ることが好ましい。また、上記実施形態のように隙間をもって固定部位を配設する場合にあっても、上記実施形態の構成に限定されない。つまり、例えば図 7 に示す下部保持部材 14 のように、板状の固定部位 14 b に複数の貫通孔を設けた形状であってもよい。

[0087] また、当該濾過モジュールは、1 つのガイドカバー内に複数の上部保持部材及び下部保持部材、並びにこれらに保持される中空糸膜を有してもよい。

[0088] また、当該濾過モジュールは、複数の中空糸膜の両端を上部保持部材及び下部保持部材でそれぞれ固定し、上部保持部材及び下部保持部材の両方に排出管を接続することで中空糸膜の両端から集水する構成とすることもできる。このように中空糸膜の両端から集水することで、一端から集水する場合に比べ、中空糸膜における配管抵抗を  $1/8$  にすることができ、集水効率を改善できる。なお、両端集水を行う場合、下部保持部材を図 3 a に示す平面形状のものとし、複数の固定部位 4 b の内部にそれぞれ集水路を設け、下部保持部材 4 の側面から排出管で集水を行うとよい。これにより、下部保持部材の下面に気泡が通過可能な空間を設けることができ、上記実施形態と同様に気体供給器から供給される気泡を効率よく中空糸膜に送ることができる。

[0089] さらに、当該濾過モジュールの中空糸膜の引き揃え方向は、上下方向に限られず、水平方向でもよく、斜めであってもよい。中空糸膜の引き揃え方向が上下方向でない場合は、例えば気泡を中空糸膜の引き揃え方向に噴射する、引き揃え方向と略同一方向の水流を形成して気泡を供給する等により、中空糸膜表面を気泡に擦過させることができる。

[0090] また、当該濾過モジュールは外圧式の濾過装置に適用することも可能であり、外圧式に用いた場合でも本願発明の効果を発揮することができる。

## 実施例

[0091] 以下、実施例によって本発明をさらに詳細に説明するが、本発明はこれらの実施例に限定されるものではない。

[0092] [実施例 1]

図 1 の濾過モジュールを用いて、処理速度  $0.7 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{day}$  で被処

理液（汚泥水）を濾過処理した際の中空糸膜の内外の差圧の変化を計測した。なお、中空糸膜の平均長さは3.2m、平均外径は2.3mm、平均内径は1.1mm、本数は740本とした。また、濾過処理は、多孔管を用いた散気装置で洗浄気泡を50L/minで連続供給し、9分間の運転と1分間の休止とを繰り返して行った。この結果を図8に示す。

[0093] [実施例2]

実施例1の濾過モジュールにガイドカバーを設けたもの（図5a、5bの濾過モジュール）を用いて、実施例1と同様の条件で濾過処理した際の中空糸膜の内外の差圧の変化を計測した。なお、ガイドカバーの長さは3.7mとし、中空糸膜、上部保持部材及び下部保持部材の上下方向全体を囲繞する大きさとした。この結果を図9に示す。

[0094] [実施例3]

実施例2の濾過モジュールを用いて、間欠気泡噴射式散気装置（間欠ポンプ）で気泡を実施例1と同じ供給量で間欠供給し、下部保持部材で気泡が分割されるようにした以外は実施例1と同様の条件で濾過処理を行い、中空糸膜の内外の差圧の変化を計測した。この結果を図10に示す。

[0095] [実施例4]

複数の中空糸膜の両端を上部保持部材及び下部保持部材でそれぞれ固定し、上部保持部材及び下部保持部材の両方に排出管を接続することで中空糸膜の両端から集水する構成とした以外は実施例2と同様としたガイドカバー付の濾過モジュールを用いて、多孔管を用いた散気装置で気泡を実施例1と同じ供給量で連続供給し、中空糸膜の内外の差圧の変化を計測した。この結果を図11に示す。

[0096] [実施例5]

実施例4の両端集水型の濾過モジュールを用いて、間欠気泡噴射式散気装置（間欠ポンプ）で気泡を実施例1と同じ供給量で間欠供給した以外は実施例1と同様の条件で濾過処理を行い、中空糸膜の内外の差圧の変化を計測した。なお、間欠ポンプは下部保持部材の側面の重心対称位置に下部保持部材

を挟持するよう１対（２個）配設し、気泡が下部保持部材ではなく複数の中空糸膜で分割されるようにした。この結果を図１２に示す。

[0097] 図８に示されるように実施例１の濾過モジュールは、運転時間が１００時間程度になるまで差圧を５０ｋＰａ以内に抑えることができ、濾過能力の維持性に優れる。また、図９に示すようにガイドカバーを備える実施例２の濾過モジュールは、さらに差圧の上昇を抑えることができ、差圧を３５ｋＰａ内に維持することができる。さらに、図１０に示すように間欠ポンプで大きな気泡を間欠的に供給する実施例３の濾過モジュールは、より顕著に差圧の上昇を低減することができる。また、図１１及び図１２に示すように濾過モジュールを両端集水型とすることでも顕著に差圧の上昇を低減することができる。

### 産業上の利用可能性

[0098] 以上のように、本発明の濾過モジュール及び濾過装置は、中空糸膜表面の洗浄能力に優れ、高い濾過能力を維持することができる。従って、当該濾過モジュール及び濾過装置は、固液分離処理装置として種々の分野で好適に用いることができる。

### 符号の説明

[0099] １、１１ 濾過モジュール

２ 中空糸膜

２ａ 支持層

２ｂ 濾過層

３ 上部保持部材

４、１４ 下部保持部材

４ａ 外枠

４ｂ、１４ｂ 固定部位

５ 気体供給器

６ 排出管

７ ガイドカバー

10 濾過装置

## 請求の範囲

- [請求項1] 一方向に引き揃えられた状態で保持される複数本の中空糸膜と、この複数本の中空糸膜の両端部を固定する保持部材とを備える濾過モジュールであって、
- 上記中空糸膜が、ポリテトラフルオロエチレンを主成分とする支持層と、この支持層の表面に積層され、ポリテトラフルオロエチレンを主成分とする濾過層とを有し、
- 上記中空糸膜の平均外径に対する平均長さの比が500以上3000以下である濾過モジュール。
- [請求項2] 上記複数本の中空糸膜が上下方向に引き揃えられている請求項1に記載の濾過モジュール。
- [請求項3] 上記中空糸膜の平均外径が2 mm以上6 mm以下、平均内径が0.5 mm以上4 mm以下である請求項1又は請求項2に記載の濾過モジュール。
- [請求項4] 上記中空糸膜の平均長さが3 m以上6 m以下である請求項1、請求項2又は請求項3に記載の濾過モジュール。
- [請求項5] 上記中空糸膜の平均外径に対する平均内径の比が0.3以上0.8以下である請求項1から請求項4のいずれか1項に記載の濾過モジュール。
- [請求項6] 上記中空糸膜の引張強度が50 N以上である請求項1から請求項5のいずれか1項に記載の濾過モジュール。
- [請求項7] 上記複数本の中空糸膜の存在密度が4本/cm<sup>2</sup>以上15本/cm<sup>2</sup>以下である請求項1から請求項6のいずれか1項に記載の濾過モジュール。
- [請求項8] 上記中空糸膜の気孔率が75%以上90%以下である請求項1から請求項7のいずれか1項に記載の濾過モジュール。
- [請求項9] 上記支持層及び濾過層の主成分のポリテトラフルオロエチレンの数平均分子量が50万以上2000万以下である請求項1から請求項8

のいずれか 1 項に記載の濾過モジュール。

[請求項10]       上記濾過層が、支持層を構成する延伸ポリテトラフルオロエチレンチューブに延伸ポリテトラフルオロエチレンシートを巻き付け、焼結することで形成されている請求項 1 から請求項 9 のいずれか 1 項に記載の濾過モジュール。

[請求項11]       上記複数の中空糸膜の少なくとも上方を囲繞するガイドカバーをさらに備える請求項 2 に記載の濾過モジュール。

[請求項12]       請求項 2 に記載の濾過モジュールと、この濾過モジュールの下方から気体を供給する気体供給器とを備える濾過装置。