

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2010-42329号公報参照）。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開2010-42329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課題とする。

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本発明の一態様に係る濾過モジュールは、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一对の保持部材とを備える濾過モジュールであって、上記保持部材での引き揃え方向と垂直方向における上記複数本の中空糸膜の存在領域が長形状であり、上記複数本の中空糸膜が上記存在領域の長辺方向及び短辺方向に行列状に配置され、上記存在領域における中空糸膜の短辺方向の平均ピッチに対する長辺方向の平均ピッチの比が1.2以上2.5以下である。

発明の効果

[0008] 本発明の一態様に係る濾過モジュールは、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。

図面の簡単な説明

[0009] [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斜視図である。

[図2]図2は、図1の濾過モジュールの保持部材の模式的端面図である。

[図3]図3は、図1の濾過モジュールの中空糸膜の模式的断面図である。

[図4]図4は、図1の濾過モジュールの模式的部分断面図である。

[図5]図5は、本発明の一実施形態の濾過装置の構成を示す模式図である。

符号の説明

[0010] 1 濾過モジュール

2 中空糸膜

- 2 a 支持層
- 2 b 濾過層
- 3 上部保持部材
- 3 a 中空ケーシング
- 3 b 樹脂組成物
- 4 下部保持部材
- 1 1 濾過槽
- 1 2 気泡供給器
- 1 3 排出管
- 1 4 吸引ポンプ
- A 存在領域
- B 気泡
- L a 長辺方向の平均長さ
- L b 短辺方向の平均長さ
- L t 平均有効長さ
- P a 長辺方向の平均ピッチ
- P b 短辺方向の平均ピッチ

発明を実施するための形態

[0011] [本発明の実施形態の説明]

本発明の一態様に係る濾過モジュールは、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一対の保持部材とを備える濾過モジュールであって、上記保持部材での引き揃え方向と垂直方向における上記複数本の中空糸膜の存在領域が長方形状であり、上記複数本の中空糸膜が上記存在領域の長辺方向及び短辺方向に行列状に配置され、上記存在領域における中空糸膜の短辺方向の平均ピッチに対する長辺方向の平均ピッチの比としては1.2以上2.5以下である。

[0012] 当該濾過モジュールは、複数本の中空糸膜が長方形状の存在領域に行列状に配置されることによって、設置面積あたりの中空糸膜の表面積、つまり濾

過面積が大きく、比較的優れた濾過能力を有する。さらに、当該濾過モジュールは、存在領域における中空糸膜の短辺方向の平均ピッチに対する長辺方向の平均ピッチの比が上記範囲内であることによって、上記短辺方向、つまり中空糸膜の束の厚さの小さい方向に向かって、気泡が中空糸膜の束の内部に比較的容易に進入できる。これにより当該濾過モジュールは、中空糸膜の束の中心部まで気泡を供給し、エアースクラビングにより中空糸膜の表面を効率よく洗浄することができ、濾過能力を維持することができる。

[0013] 上記中空糸膜の短辺方向の配列数としては、8本以上50本以下が好ましい。このように、上記中空糸膜の短辺方向の配列数が上記範囲内であることによって、中空糸膜の表面積を確保しつつ、中空糸膜の束の中心部への気泡の進入をより確実にできる。

[0014] 上記存在領域における中空糸膜の充填面積率としては、20%以上60%以下が好ましい。このように、上記存在領域における中空糸膜の充填面積率が上記範囲内であることによって、存在領域内側の洗浄効果を確保しつつ、設置面積当たりの濾過流量を大きくすることができる。

[0015] 上記中空糸膜の平均外径に対する短辺方向の平均ピッチの比としては、1以上1.5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短辺方向の平均ピッチの比が上記範囲内であることによって、短辺方向に気泡が進入できる隙間の形成効率を保ったまま、中空糸膜の短辺方向の密度を高くすることで濾過面積を大きくできるので、設置面積当たりの濾過流量を大きくすることができる。

[0016] 上記中空糸膜の平均外径としては、1mm以上6mm以下が好ましい。このように、上記中空糸膜の平均外径が上記範囲内であることによって、中空糸膜の強度を確保しつつ、気泡の進入を促進する中空糸膜の振動及び揺動が容易となる。

[0017] 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するとよい。このように、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及び濾過層を有することによって、十分な機械的強度を有する。

[0018] 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て焼結することによって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。

[0019] 上記一对の保持部材の少なくとも一方が、上記複数本の中空糸膜の端部が挿入される中空ケーシングを有し、この中空ケーシングの側壁内面と中空糸膜の外周面との間に、エポキシ樹脂又はウレタン樹脂を主成分とする樹脂組成物が充填されているとよい。このように、中空ケーシングの側壁内面と中空糸膜の外周面との間に、エポキシ樹脂又はウレタン樹脂を主成分とする樹脂組成物が充填されていることによって、中空ケーシングと中空糸膜との間の隙間を封止して、中空糸膜の外側と内側とを確実に分離することができると共に、気泡の接触による振動が大きくても中空糸膜を脱落させずに保持することができる。

[0020] 本発明の一態様に係る濾過装置は、当該濾過モジュールと、この濾過モジュールを収容する濾過層と、上記濾過モジュールの下方に気泡を供給する気泡供給器とを備える。

[0021] 当該濾過装置は、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当該濾過モジュールを備え、気泡供給器によりエアースクラビングして中空糸膜を洗浄できるため、濾過能力が大きく、稼働率を高くすることができる。

[0022] ここで、「存在領域」とは、中空糸膜の引き揃え方向から見て全ての中空糸膜を包含する仮想凸多角形（全ての内角が 180° 未満である多角形）のうち最も面積の小さいものを意味する。「長方形」とは、縦と横とで長さが

異なる方形であり、正方形を含まない。また、「充填面積率」とは、中空糸膜の外周面の内側の面積割合を意味し、中空糸膜の内腔の面積を含む占有率をいう。

[0023] [本発明の実施形態の詳細]

以下、本発明の各実施形態について図面を参照しつつ詳説する。

[0024] [濾過モジュール]

図1の濾過モジュール1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2と、この複数本の中空糸膜2の両端部を固定する一对の保持部材、つまり上部保持部材3及び下部保持部材4とを備える。

[0025] <中空糸膜>

中空糸膜2は、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性の膜を管状に成形したものである。

[0026] 中空糸膜2としては、熱可塑性樹脂を主成分とするものを用いることができる。この熱可塑性樹脂としては、例えばポリエチレン、ポリプロピレン、ポリフッ化ビニリデン、エチレンービニルアルコール共重合体、ポリアミド、ポリイミド、ポリエーテルイミド、ポリスチレン、ポリサルホン、ポリビニルアルコール、ポリフェニレンエーテル、ポリフェニレンサルファイド、酢酸セルロース、ポリアクリロニトリル、ポリテトラフルオロエチレン（PTFE）等を挙げることができる。これらの中でも耐薬品性、耐熱性、耐候性、不燃性等に優れ、多孔質性であるPTFEが好ましく、1軸又は2軸延伸したPTFEがより好ましい。なお、中空糸膜2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。

[0027] 中空糸膜2は、図2に示すように上部保持部材3（及び下部保持部材4）での引き揃え方向と垂直方向における存在領域Aが長方形形状である。中空糸膜2は、この存在領域Aの長辺方向及び短辺方向に行列状に配列される。

[0028] この存在領域Aの長辺方向の平均長さ L_a の短辺方向の平均長さ L_b に対する比（ L_a/L_b ）の下限としては、1.0が好ましく、1.5がより好ましく、2.0がさらに好ましい。一方、存在領域Aの長辺方向の平均長さ L_a の

短辺方向の平均長さ L_b に対する比の上限としては、50が好ましく、45がより好ましく、40がさらに好ましい。長辺方向の平均長さ L_a の短辺方向の平均長さ L_b に対する比が上記下限に満たない場合、短辺方向の長さが大きくなり過ぎて中空糸膜2の束の中心部まで気泡を供給できないおそれや、存在領域Aの面積が小さくなり十分な濾過面積を得られない場合がある。逆に、存在領域Aの長辺方向の平均長さ L_a の短辺方向の平均長さ L_b に対する比が上記上限を超える場合、当該濾過モジュール1が上記長辺方向に過度に長くなり、取り扱いが容易でなくなるおそれがある。

[0029] 中空糸膜2の上記長辺方向の平均ピッチ P_a の上記短辺方向の平均ピッチ P_b に対する比(P_a/P_b)の下限としては、1.2であり、1.5が好ましい。一方、中空糸膜2の上記長辺方向の平均ピッチ P_a の上記短辺方向の平均ピッチ P_b に対する比の上限としては、2.5であり、2が好ましい。中空糸膜2の上記長辺方向の平均ピッチ P_a の上記短辺方向の平均ピッチ P_b に対する比が上記下限に満たない場合、中空糸膜2間の隙間に、存在領域Aの短辺方向へ十分な気泡を導入できないおそれがある。逆に、中空糸膜2の上記長辺方向の平均ピッチ P_a の上記短辺方向の平均ピッチ P_b に対する比が上記上限を超える場合、上記長辺方向の中空糸膜2の密度が小さくなり、濾過能力が不十分となるおそれがある。

[0030] 存在領域Aの短辺方向の平均長さ L_b に対する中空糸膜2の平均有効長さ L_t の比(L_t/L_b)の下限としては、40が好ましく、50がより好ましく、60がさらに好ましい。一方、存在領域Aの短辺方向の平均長さ L_b に対する中空糸膜2の平均有効長さ L_t の比の上限としては、200が好ましく、150がより好ましく、120がさらに好ましい。存在領域Aの短辺方向の平均長さ L_b に対する中空糸膜2の平均有効長さ L_t の比が上記下限に満たない場合、中空糸膜2のたわみが過度に小さくなり、気泡の擦過による中空糸膜2の揺動が不足して、存在領域Aの中央に位置する中空糸膜2まで気泡を供給できないおそれがある。逆に、存在領域Aの短辺方向の平均長さ L_b に対する中空糸膜2の平均有効長さ L_t の比が上記上限を超える場合

、中空糸膜 2 のたわみが過度に大きくなり中空糸膜 2 同士の絡み合い等により、濾過効率及び洗浄効率が低下するおそれがある。なお、中空糸膜 2 の平均有効長さ L_t とは、中空糸膜 2 の上部保持部材 3，下部保持部材 4 間で露出する部分の長さの平均値を意味する。

[0031] 存在領域 A における中空糸膜 2 の充填面積率の下限としては、20%が好ましく、30%がより好ましい。一方、存在領域 A における中空糸膜 2 の充填面積率の上限としては、60%が好ましく、55%がより好ましい。中空糸膜 2 の充填面積率が上記下限に満たない場合、単位面積あたりの中空糸膜 2 の本数が少なくなり、十分な濾過効率が得られないおそれがある。逆に、中空糸膜 2 の充填面積率が上記上限を超える場合、中空糸膜 2 間の隙間が過度に小さくなり、存在領域 A の内側の中空糸膜 2 に気泡を供給できないおそれがある。

[0032] 存在領域 A において短辺方向に配列される中空糸膜 2 の本数（配列数）の下限としては、8本が好ましく、12本がより好ましい。一方、短辺方向に配列される中空糸膜 2 の本数の上限としては、50本が好ましく、40本がより好ましい。短辺方向に配列される中空糸膜 2 の本数が上記下限に満たない場合、配設面積当たりの濾過面積を十分確保できないおそれがある。逆に、短辺方向に配列される中空糸膜 2 の本数が上記上限を超える場合、中空糸膜 2 の束の短辺方向中央部まで気泡を供給することが困難となり、十分な洗浄効果が得られないおそれがある。

[0033] 中空糸膜 2 の平均外径に対する上記短辺方向の平均ピッチ P_b の比の下限としては、1が好ましい。一方、中空糸膜 2 の平均外径に対する上記短辺方向の平均ピッチ P_b の比の上限としては、1.5が好ましく、1.4がより好ましい。中空糸膜 2 の平均外径に対する上記短辺方向の平均ピッチ P_b の比が上記下限に満たない場合、中空糸膜 2 が径方向に押し潰された状態で配置されることになるので製造が困難となるおそれがある。逆に、中空糸膜 2 の平均外径に対する上記短辺方向の平均ピッチ P_b の比が上記上限を超える場合、上記長辺方向の中空糸膜 2 の密度が小さくなることによって濾過能力

が不十分となるおそれがある。

[0034] 中空糸膜 2 の平均外径の下限としては、1 mm が好ましく、1.5 mm がより好ましく、2 mm がさらに好ましい。一方、中空糸膜 2 の平均外径の上限としては、6 mm が好ましく、5 mm がより好ましく、4 mm がさらに好ましい。中空糸膜 2 の平均外径が上記下限に満たない場合、中空糸膜 2 の機械的強度が不十分となるおそれがある。逆に、中空糸膜 2 の平均外径が上記上限を超える場合、中空糸膜 2 の可撓性が不足することにより気泡の接触による中空糸膜 2 の振動乃至揺動が不十分となる。また中空糸膜 2 間の隙間を拡げて気泡を存在領域 A の内部に位置する中空糸膜 2 まで案内することができないおそれや、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。

[0035] 中空糸膜 2 の平均内径の下限としては、0.3 mm が好ましく、0.5 mm がより好ましく、0.9 mm がさらに好ましい。一方、中空糸膜 2 の平均内径の上限としては、4 mm が好ましく、3 mm がより好ましい。中空糸膜 2 の平均内径が上記下限に満たない場合、中空糸膜 2 内の濾過済液を排出する時の圧損が大きくなるおそれがある。逆に、中空糸膜 2 の平均内径が上記上限を超える場合、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。

[0036] 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。一方、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下限に満たない場合、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。逆に、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場合、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。

[0037] 中空糸膜 2 の平均有効長さ L_t の下限としては、1 m が好ましく、2 m がより好ましい。一方、中空糸膜 2 の平均有効長さ L_t の上限としては、6 m

が好ましく、5 mがより好ましい。中空糸膜2の平均有効長さ L_t が上記下限に満たない場合、気泡の擦過による中空糸膜2の揺動が不十分となり、中空糸膜2間の隙間を拡げて存在領域Aの内側に位置する中空糸膜2まで気泡を導入できないおそれがある。逆に、中空糸膜2の平均有効長さ L_t 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のたわ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り扱い性が低下するおそれがある。

[0038] 中空糸膜2の平均外径に対する平均有効長さ L_t の比（アスペクト比）の下限としては、150が好ましく、1000がより好ましい。一方、中空糸膜2のアスペクト比の上限としては、6000が好ましく、5000がより好ましい。中空糸膜2のアスペクト比が上記下限に満たない場合、中空糸膜2の束の短辺方向の厚さが大きくなり、中空糸膜2が揺動することにより中空糸膜2の束の内部に短辺方向に気泡を導入する効果が不十分となるおそれがある。逆に、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。

[0039] 中空糸膜2の気孔率の下限としては、70%が好ましく、75%がより好ましい。一方、中空糸膜2の気孔率の上限としては、90%が好ましく、85%がより好ましい。中空糸膜2の気孔率が上記下限に満たない場合、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。逆に、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。なお、気孔率とは、中空糸膜2の体積に対する空孔の総体積の割合をいい、ASTM-D-792に準拠して中空糸膜2の密度を測定することで求めることができる。

[0040] 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。一方、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下限に満たない場合、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。逆に、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。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。

[0041] 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。一方、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下限に満たない場合、透水性が低下するおそれがある。逆に、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。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 Porous Materials 社の「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。

[0042] 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に満たない場合、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。一方、中空糸膜 2 の引張強度の上限は一般に 150N である。なお、引張強度とは、JIS-K7161（1994）に準拠し、標線間距離 100mm 、試験速度 $100\text{mm}/\text{min}$ で引張試験を行った際の最大引張応力を意味する。

[0043] また、中空糸膜 2 は、多層構造とすることが好ましい。例えば、中空糸膜 2 は、図 3 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 とを有するものとされる。このように、中空糸膜 2 を多層構造とすることによって、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。

[0044] 上記支持層 2a 及び濾過層 2b を形成する材料はポリテトラフルオロエチレン（PTFE）を主成分とするとよい。このように上記支持層 2a 及び濾過層 2b の形成材料の主成分を PTFE とすることで、中空糸膜 2 は、機械

的強度に優れ、気泡の擦過による中空糸膜表面の損傷等を受け難いものとなる。

[0045] 支持層 2 a 及び濾過層 2 b 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。一方、支持層 2 a 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、2000 万が好ましい。P T F E の数平均分子量が上記下限に満たない場合、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。逆に、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。

[0046] 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 50 % 以上 700 % 以下、周方向に 5 % 以上 100 % 以下の延伸率で延伸することが好ましい。

[0047] 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 °C 以上 300 °C 以下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 200 °C 以上 300 °C 以下の温度で例えば 1 分以上 30 分以下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。

[0048] 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 350 °C 以上 550 °C 以下に保った加熱炉中で、数 10 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。

- [0049] 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。
- [0050] 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。
- [0051] 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内とすることで、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。
- [0052] 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他、らせん状に巻き付ける方法を用いてもよい。

[0053] 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、チューブ性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。

[0054] また、チューブ及びシートとして未焼成のものを用い、シートを巻き付けた後に焼結することでこれらの密着性を高めてもよい。

[0055] 濾過層2b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2b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。

[0056] <上部保持部材>

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の内腔と連通し、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、断面形状は例えば多角形状、円形状等とすることができる。

[0057] 上部保持部材3は、図4に示すように、下方が開放され、下側から複数本の中空糸膜2の上端部分が挿入される中空ケーシング3aを有する。そして、上部保持部材3は、中空ケーシング3aの側壁内面と中空糸膜2の外周面との間に、上記排出部を形成する内部空間を残すように樹脂組成物3bが充填されている。より詳しくは、複数本の中空糸膜2の上端部分を予め樹脂組成物3bによって接着した束が中空ケーシング3aに挿入され、樹脂組成物3bの間及び樹脂組成物3bと中空ケーシング3aの内壁との間へのさらなる樹脂組成物3bの充填により、中空糸膜2が中空ケーシング3aに対して固定されている。上記中空糸膜2の束は、複数に分けて形成されてもよい。

[0058] 中空ケーシング3aの材質としては、例えばPTFE、塩化ビニル、ポリ

エチレン、ABS樹脂等を主成分とする樹脂組成物が挙げられる。

[0059] 樹脂組成物3bとしては、中空糸膜2及び中空ケーシング3aに対して高い接着性を有し、中空ケーシング3a内で硬化できるものであればよい。特に中空糸膜2としてPTFE製のものを使用する場合、樹脂組成物3bの主成分としては、PTFEに対して高い接着性を有し、中空糸膜2の脱落を確実に防止できるエポキシ樹脂及びウレタン樹脂が好ましい。中空ケーシング3aに樹脂組成物3bを充填することにより、中空糸膜2と中空ケーシング3aの側壁との間の空間を気密に封止することができる。その結果、上部保持部材3内の排出部と中空糸膜2の外側とを確実に区分することができ、濾過された濾過済液に濾過されていない被処理液が混入することを防止できる。

[0060] 樹脂組成物3bの中空糸膜2の引き揃え方向の平均充填厚さの下限としては、20mmが好ましく、30mmがより好ましい。一方、樹脂組成物3bの平均充填厚さの上限としては、60mmが好ましく、50mmがより好ましい。上記樹脂組成物3bの平均充填厚さが上記下限未満の場合、中空糸膜2と中空ケーシング3aの側壁との間を十分に封止できないおそれや、樹脂組成物3bの層から中空糸膜2が抜け落ちるおそれがある。逆に、上記樹脂組成物3bの平均充填厚さが上記上限を超える場合、上部保持部材3が不必要に大型化及び重量化するおそれがある。

[0061] 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。下部保持部材4は、上部保持部材3と同様の構成としてもよく、中空糸膜2の下端部を封止する排出部を有しない構成としてもよい。この下部保持部材4の材質としては、上部保持部材3と同様とすることができる。

[0062] また、下部保持部材4は、1本の中空糸膜2をU字状に湾曲させて折り返す構成としてもよい。この場合、上部保持部材3は、中空糸膜2の両端を保持する。

[0063] 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してもよ

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。

[0064] [利点]

当該濾過モジュール 1 は、複数本の中空糸膜 2 が長方形状の存在領域 A に行列状に配置され、中空糸膜 2 の短辺方向の平均ピッチ P_b に対する長辺方向の平均ピッチ P_a の比が 1.2 以上 1.5 以下であることによって、設置面積あたりの濾過面積が大きく、濾過能力に優れる。また、当該濾過モジュール 1 は、気泡が中空糸膜 2 の束の内部に比較的容易に進入でき、エアースクラビングにより中空糸膜 2 の表面を効率よく洗浄することができる。これによって、当該濾過モジュール 1 は、中空糸膜 2 の表面の洗浄効率に優れ、かつ優れた濾過能力を有する。

[0065] [濾過装置]

続いて、図 1 の当該濾過モジュール 1 を備える濾過装置について説明する。

[0066] 図 5 の濾過装置は、複数の当該濾過モジュール 1 と、この複数の濾過モジュール 1 を収容する濾過槽 11 と、濾過モジュール 1 の下方に気泡を供給する気泡供給器 12 とを備える。また、当該濾過装置は、各濾過モジュール 1 の排出部に接続される排出管 13 を介して中空糸膜 2 によって濾過された処理済液を吸引する吸引ポンプ 14 を備える。

[0067] 濾過装置において、複数の濾過モジュール 1 は、短辺方向に間隔を空けて並べて配置される。つまり、図 5 は、濾過装置を濾過モジュール 1 の長辺方向から見た図である。

[0068] <濾過槽>

濾過槽 11 は、濾過モジュール 1 が浸漬されるよう、被処理液を貯留する。

[0069] この濾過槽 11 内には、濾過モジュール 1 及び気泡供給器 12 を支持するために、金属等で形成されるフレームが配置されてもよい。濾過槽 11 の材質としては、例えば樹脂、金属、コンクリート等を用いることができる。

[0070] <気泡供給器>

気泡供給器 1 2 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、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。

[0071] 気泡供給器 1 2 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 1 1 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。

[0072] このような気泡供給器 1 2 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。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、ディフューザーやスパージャー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、水流に気泡を混合して噴射するバブリングジェットノズル等を挙げることができる。

[0073] 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装置と、供給される気泡を細分化するメッシュ等の部材との組み合わせが挙げられる。

[0074] なお、気泡供給器 1 2 から供給する気泡を形成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。

[0075] [利点]

当該濾過装置は、当該濾過モジュール 1 と、この濾過モジュール 1 を収容する濾過槽 1 1 と、当該濾過モジュール 1 の下方に気泡を供給する気泡供給器 1 2 とを備えるので、濾過槽 1 1 に貯留した被処理液を濾過モジュール 1 により濾過することができる。また、気泡供給器 1 2 によって濾過モジュール 1 に気泡が供給されるので、当該濾過モジュール 1 の中空糸膜 2 がエアースクラビングされて濾過能力を維持する。特に、当該濾過モジュール 1 は、上述のように気泡による洗浄効果が高いため、濾過能力が大きく、稼働率を

高くすることもできる。

[0076] [その他の実施形態]

今回開示された実施の形態は全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。

[0077] 当該濾過モジュールは、上述の浸漬吸引方式の濾過装置だけでなく、例えば加圧クロスフロー方式の濾過装置等の多様な濾過装置に適用できる。

[0078] 当該濾過モジュールにおいて、上部保持部材が中空糸膜を封止し、下部保持部材が排出部を有してもよい。

[0079] 当該濾過装置において、濾過モジュールの数は1以上の任意の数とすることができる。当該濾過装置が複数の濾過モジュールを備える場合、それぞれの濾過モジュールの下方に対応する気泡供給器を1つずつ配設してもよいし、複数の濾過モジュールに気泡を供給可能な気泡供給器を配設してもよい。

産業上の利用可能性

[0080] 当該濾過モジュール及び当該濾過装置は、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。

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一对の保持部材とを備える濾過モジュールであって、
- 上記保持部材での引き揃え方向と垂直方向における上記複数本の中空糸膜の存在領域が長方形状であり、
- 上記複数本の中空糸膜が上記存在領域の長辺方向及び短辺方向に行列状に配置され、
- 上記存在領域における中空糸膜の短辺方向の平均ピッチに対する長辺方向の平均ピッチの比が1.2以上2.5以下である濾過モジュール。
- [請求項2] 上記中空糸膜の短辺方向の配列数が8本以上50本以下である請求項1に記載の濾過モジュール。
- [請求項3] 上記存在領域における中空糸膜の充填面積率が20%以上60%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外径に対する短辺方向の平均ピッチの比が1以上1.5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が1mm以上6mm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する請求項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6に記載の濾過モジュール。
- [請求項8] 上記一对の保持部材の少なくとも一方が、上記複数本の中空糸膜の

端部が挿入される中空ケーシングを有し、この中空ケーシングの側壁内面と中空糸膜の外周面との間に、エポキシ樹脂又はウレタン樹脂を主成分とする樹脂組成物が充填されている請求項 6 又は請求項 7 に記載の濾過モジュール。

[請求項 9] 請求項 1 に記載の濾過モジュールと、この濾過モジュールを収容する濾過槽と、上記濾過モジュールの下方に気泡を供給する気泡供給器とを備える濾過装置。