

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6969689号
(P6969689)

(45) 発行日 令和3年11月24日(2021.11.24)

(24) 登録日 令和3年11月1日(2021.11.1)

(51) Int. Cl.	F I
BO1D 63/00 (2006.01)	BO1D 63/00 510
BO1D 63/10 (2006.01)	BO1D 63/10
DO4C 1/06 (2006.01)	DO4C 1/06 Z

請求項の数 10 (全 29 頁)

(21) 出願番号	特願2020-545386 (P2020-545386)	(73) 特許権者	000003159 東レ株式会社 東京都中央区日本橋室町2丁目1番1号
(86) (22) 出願日	令和2年8月26日(2020.8.26)	(74) 代理人	110002000 特許業務法人栄光特許事務所
(86) 国際出願番号	PCT/JP2020/032195	(72) 発明者	谷口 秀 滋賀県大津市園山1丁目1番1号 東レ株式会社滋賀事業場内
(87) 国際公開番号	W02021/039846	(72) 発明者	高木 健太郎 滋賀県大津市園山1丁目1番1号 東レ株式会社滋賀事業場内
(87) 国際公開日	令和3年3月4日(2021.3.4)	(72) 発明者	菅田 剛士 滋賀県大津市園山1丁目1番1号 東レ株式会社滋賀事業場内
審査請求日	令和3年6月25日(2021.6.25)		
(31) 優先権主張番号	特願2019-157773 (P2019-157773)		
(32) 優先日	令和1年8月30日(2019.8.30)		
(33) 優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		
(31) 優先権主張番号	特願2019-231577 (P2019-231577)		
(32) 優先日	令和1年12月23日(2019.12.23)		
(33) 優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 分離膜エレメント

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

少なくとも集水管と、分離膜と、供給側流路材と、透過側流路材とを備える分離膜エレメントであって、

前記供給側流路材は、前記分離膜の二つの面の間に配置されて供給側流路を形成しており、

前記供給側流路材は、一方向に並んだ、繊維状物Aから構成される複数の繊維状列X、および前記繊維状列Xとは異なる方向に並んだ、繊維状物Bから構成される複数の繊維状列Yとが互いに立体交差して交点を形成したネット形状であり、

前記繊維状物Aおよび前記繊維状物Bの少なくとも一方は、長手方向に沿って太径部と細径部とを有し、

前記繊維状物Aおよび前記繊維状物Bの少なくとも一方は、任意の繊維状列を含む、当該任意の繊維状列の長手方向に沿った縦断面において、前記繊維状列Xおよび前記繊維状列Yの交点部間における中央部が前記太径部に比べて細径の糸で構成されており、

供給側流路面積率が45~65%であり、かつ、

前記供給側流路材の平面から厚み方向に観察したとき、任意の交点と隣り合う交点間の繊維が一方から他方に向かってテーパ状に拡径しているテーパ状繊維である、分離膜エレメント。

【請求項2】

前記テーパ状繊維のテーパ率が1/20~1/3の範囲である請求項1に記載の分

離膜エレメント。

【請求項 3】

前記テーパ状繊維が、原水側から濃縮水側に向かって先細りとなった形状である請求項 1 または 2 に記載の分離膜エレメント。

【請求項 4】

前記供給側流路材の剛軟度 (m) が 0.07 m 以上 0.14 m 以下である請求項 1 ~ 3 のいずれか 1 項に記載の分離膜エレメント。

【請求項 5】

前記供給側流路材は、前記供給側流路材の厚みと面積の積で表される総体積 V に対する空隙体積 v の割合が 90 ~ 97 % の範囲である請求項 1 ~ 4 のいずれか 1 項に記載の分離膜エレメント。

10

【請求項 6】

前記供給側流路材の空隙体積 v に対する前記分離膜エレメントの供給側流路体積 F の割合が 90 % 以上である請求項 1 ~ 5 のいずれか 1 項に記載の分離膜エレメント。

【請求項 7】

前記供給側流路材の原水流れ方向に対して垂直方向の交点部の間隔が 3 ~ 5 mm の範囲である請求項 1 ~ 6 のいずれか 1 項に記載の分離膜エレメント。

【請求項 8】

前記供給側流路材の原水流れ方向に対して平行方向の交点部の間隔が 4 ~ 8 mm の範囲である請求項 1 ~ 7 のいずれか 1 項に記載の分離膜エレメント。

20

【請求項 9】

前記供給側流路材が、前記供給側流路材の任意の繊維状物の長手方向に対して垂直な方向の横断面 Z において、前記任意の繊維状物の最大径 W_1 と前記最大径 W_1 に対して垂直な方向の最大径 W_2 が、 $1.2 < W_1 / W_2 < 3.0$ の関係を満たす請求項 1 ~ 8 のいずれか 1 項に記載の分離膜エレメント。

【請求項 10】

前記透過側流路材が、丸編みトリコットである請求項 1 ~ 9 のいずれか 1 項に記載の分離膜エレメント。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

30

【0001】

本発明は、不純物を含む種々の液体から不純物を分離するため、特に海水の淡水化、かん水の脱塩、超純水の製造または排水処理などに用いるための分離膜エレメントに関するものである。

【背景技術】

【0002】

海水およびかん水などに含まれるイオン性物質を除くための技術においては、近年、省エネルギーおよび省資源のためのプロセスとして、分離膜エレメントによる分離法の利用が拡大している。分離膜エレメントによる分離法に使用される分離膜は、その孔径や分離機能の点から、精密ろ過膜、限外ろ過膜、ナノろ過膜、逆浸透膜および正浸透膜に分類される。これらの膜は、例えば海水、かん水および有害物を含んだ水などからの飲料水の製造、工業用超純水の製造、並びに排水処理および有害物の回収などに用いられており、目的とする分離成分及び分離性能によって使い分けられている。

40

【0003】

分離膜エレメントとしては様々な形態があるが、分離膜の一方の面に原水を供給し、他方の面から透過流体を得る点では共通している。分離膜エレメントは、束ねられた多数の分離膜を備えることで、1 個の分離膜エレメントあたりの膜面積が大きくなるように、つまり 1 個の分離膜エレメントあたりに得られる透過流体の量が大きくなるように形成されている。分離膜エレメントとしては、用途や目的にあわせて、スパイラル型、中空糸型、プレート・アンド・フレーム型、回転平膜型、平膜集積型などの各種の形状が提案されて

50

いる。

【0004】

例えば、逆浸透ろ過には、スパイラル型分離膜エレメントが広く用いられる。スパイラル型分離膜エレメントは、集水管と、集水管の周囲に巻き付けられた分離膜ユニットとを備える。分離膜ユニットは、供給水としての原水（つまり被処理水）を分離膜表面へ供給する供給側流路材、原水に含まれる成分を分離する分離膜、及び分離膜を透過し供給側流体から分離された透過流体を集水管へと導くための透過側流路材が積層されることで形成される。スパイラル型分離膜エレメントは、原水に圧力を付与することができるので、透過流体を多く取り出すことができる点で好ましく用いられている。

【0005】

分離膜エレメントを用いて供給水を処理する際に、供給水中の塩などの溶存物質が分離膜に垂直な方向に沿って濃度勾配を形成する濃度分極が生じることがある。このような濃度分極によるエレメント性能低下を抑制するためには、例えば供給側流路材の厚さを薄くし、供給水の膜面線速度を大きくして、膜面に生じる濃度分極層を薄くすればよい。しかし、供給側流路材の厚さを薄くすると、供給水中の不純物や微生物によるファウリング物質が供給側の流路を閉塞してエレメント性能が低下したり、また、エレメントの圧力損失が大きくなり、供給水を供給するポンプの必要動力が大きくなるため電力費が高くなったり、エレメントが破損するといった問題が生じる。そこで、供給側流路材による分離膜エレメントの性能向上が提案されている。

【0006】

具体的には、特許文献1および2では、供給側流路材中の繊維状物の配列を制御することで、流動抵抗を低減させたネットが提案されている。また、特許文献3では縦糸および横糸が非円形断面である織物状の流路材が考案されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

【特許文献1】日本国特表2015-526282号公報

【特許文献2】日本国特開2000-000437号公報

【特許文献3】日本国特開平10-118468号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

しかし、上記した分離膜エレメントは、供給側流路の流動抵抗の低減と濃度分極の抑制のバランスが十分とは言えず、また、分離膜エレメントとした際に膜変形の影響で供給水流入端面部分やエレメント内部の供給側流路が部分的に閉塞する場合があった。そこで、本発明は、供給水流入端面部分やエレメント内部の供給側流路の閉塞を抑制して、供給側流路の流動抵抗を低減しながら、濃度分極を抑制できる分離膜エレメント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】

【0009】

上記目的を達成するため、本発明によれば、少なくとも集水管と、分離膜と、供給側流路材と、透過側流路材とを備える分離膜エレメントであって、前記供給側流路材は、前記分離膜の二つの面の間に配置されて供給側流路を形成しており、前記供給側流路材は、一方向に並んだ、繊維状物Aから構成される複数の繊維状列X、および前記繊維状列Xとは異なる方向に並んだ、繊維状物Bから構成される複数の繊維状列Yとが互いに立体交差し交点を形成したネット形状であり、前記繊維状物Aおよび前記繊維状物Bの少なくとも一方は、長手方向に沿って太径部と細径部とを有し、前記繊維状物Aおよび前記繊維状物Bの少なくとも一方は、任意の繊維状列を含む、当該任意の繊維状列の長手方向に沿った縦断面において、前記繊維状列Xおよび前記繊維状列Yの交点部間における中央部が前記太径部に比べて細径の糸で構成されており、供給側流路面積率が45～65%であり、か

10

20

30

40

50

つ、前記供給側流路材の平面から厚み方向に観察したとき、任意の交点と隣り合う交点間の繊維が一方から他方に向かってテーパ状に拡径しているテーパ状繊維である分離膜エレメントが提供される。

また、本発明の好ましい形態によれば、前記テーパ状繊維のテーパ率が $1/20 \sim 1/3$ の範囲である分離膜エレメントが提供される。

また、本発明の好ましい形態によれば、前記テーパ状繊維が、原水側から濃縮水側に向かって先細りとなった形状である分離膜エレメントが提供される。

また、本発明の好ましい形態によれば、前記供給側流路材の剛軟度 (m) が 0.07 m 以上 0.14 m 以下である分離膜エレメントが提供される。

また、本発明の好ましい形態によれば、前記供給側流路材は、前記供給側流路材の厚みと面積の積で表される総体積 V に対する空隙体積 v の割合が $90 \sim 97\%$ の範囲である分離膜エレメントが提供される。

また、本発明の好ましい形態によれば、前記供給側流路材の空隙体積 v に対する前記分離膜エレメントの供給側流路体積 F の割合が 90% 以上である分離膜エレメントが提供される。

また、本発明の好ましい形態によれば、前記供給側流路材の原水流れ方向に対して垂直方向の交点部の間隔が $3 \sim 5 \text{ mm}$ の範囲である分離膜エレメントが提供される。

また、本発明の好ましい形態によれば、前記供給側流路材の原水流れ方向に対して平行方向の交点部の間隔が $4 \sim 8 \text{ mm}$ の範囲である分離膜エレメントが提供される。

また、本発明の好ましい形態によれば、前記供給側流路材が、前記供給側流路材の任意の繊維状物の長手方向に対して垂直な方向の横断面 Z において、前記任意の繊維状物の最大径 W_1 と前記最大径 W_1 に対して垂直な方向の最大径 W_2 が、 $1.2 < W_1 / W_2 < 3.0$ の関係を満たす分離膜エレメントが提供される。

また、本発明の好ましい形態によれば、前記透過側流路材が、丸編みトリコットである分離膜エレメントが提供される。

【発明の効果】

【0010】

本発明によって、供給側流路が閉塞することによる差圧上昇を抑制しながら、濃度分極を低減できるため、運転安定性に優れた分離膜エレメントを得ることができる。また、本発明の分離膜エレメントは、供給側流路材の厚さを薄くすることができるので、1個のエレメントあたりの充填膜面積つまりエレメント造水量を増加させることができる。さらに、本発明の分離膜エレメントは、供給側流路材を平面から厚み方向に観察したとき、繊維状物がテーパ部を有するので、急激な流路拡大・縮小を減らし、流動抵抗を低減することができ、また繊維の交点部の立体形状がなだらかであるため分離膜の膜面への傷つきを抑制できる。

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】図1は、分離膜エレメントの一例を示す一部展開斜視図である。

【図2】図2は、本発明の供給側流路材の一例を示す平面図である。

【図3】図3は、本発明の供給側流路材の一例を示す断面図である。

【図4】図4(a)～図4(c)は、本発明の供給側流路材の例を示す平面図である。

【図5】図5(a)および図5(b)は、本発明以外に適用される供給側流路材の一例を示す平面図である。

【図6】図6は、本発明の供給側流路材の一例を示す平面図である。

【図7】図7(a)および図7(b)は、本発明の供給側流路材の例を示す断面図である。

【図8】図8は、本発明以外に適用される供給側流路材の例を示す断面図である。

【図9】図9(a)～図9(d)は、本発明の供給側流路材を構成する繊維状物を切断した断面の例を示す図である。

【図10】図10は、本発明の供給側流路材を構成する繊維状物を切断した断面の例を示

10

20

30

40

50

す図である。

【発明を実施するための形態】

【0012】

以下、本発明の実施の形態について、詳細に説明する。

尚、本明細書において、「質量」は「重量」と同義である。また、本明細書において、「～」は、その前後に記載された数値を下限値および上限値として含むことを意味する。

【0013】

<分離膜エレメント>

本発明の分離膜エレメントは、少なくとも集水管と、分離膜と、供給側流路材と、透過側流路材とを備える。

10

【0014】

図1に示すスパイラル型分離膜エレメント1では、供給側の流路を形成する供給側流路材2としては、高分子製のネットが使用されている。また、透過側流路材4としては、分離膜3の落ち込みを防ぎ、かつ透過側の流路を形成させる目的で、供給側流路材2よりも間隔が細かいトリコットが使用されている。透過側流路材4と該透過側流路材4の両面に重ね合わせて封筒状に接着された分離膜3とにより、封筒状膜5が形成される。封筒状膜5の内側が透過側流路を構成している。供給側流路材2と交互に積層された封筒状膜5は、開口部側の所定部分を集水管6の外周面に接着しスパイラル状に巻回される。図1に示すx軸の方向が集水管6の長手方向である。またy軸の方向が集水管6の長手方向と垂直な方向である。

20

【0015】

スパイラル型分離膜エレメント1では、通常一方の側面から、供給水7が供給され、供給水7は、集水管6と平行に流れながら、透過水8と濃縮水9とに徐々に分離される。透過水8は、供給水7が供給される反対の側面からスパイラル型分離膜エレメント1の外部へと出ていく。

【0016】

この方式においては、供給水7がスパイラル型分離膜エレメント1の一方の側面から他方の側面へ流れるため必然的に膜に接している距離が十分にあり、それにより供給水7が、透過水8と濃縮水9とに十分に分離されるという特徴がある。分離膜エレメントとしては様々な形態があるが、分離膜の一方の面に供給水を供給し、他方の面から透過水を得る点では共通している。本発明の分離膜エレメントとしては、用途や目的に合わせて、スパイラル型以外にも、プレート・アンド・フレーム型や平膜集積型等の平膜を使用する各種形状の分離膜エレメントに採用することができる。

30

【0017】

<供給側流路>

(供給側流路材)

本実施形態の供給側流路材は、図2に示すように、一方向に並んだ、繊維状物A(21)から構成される複数の繊維状列X、および繊維状列Xとは異なる方向に並んだ、繊維状物B(22)から構成される複数の繊維状列Yから構成され、繊維状列Xと繊維状列Yとが互いに立体交差して複数の地点で交点を形成したネット形状をしている。

40

【0018】

分離膜エレメントにおいて、分離膜表面に生じる濃度分極を抑制するには、供給水の滞留箇所すなわち供給側流路の閉塞箇所を低減し、繊維状物周辺の乱流の程度を増すことが重要である。乱流により分離膜表面にまだ膜に接触していない供給水が供給されるからである。

【0019】

供給水は供給側流路材の繊維状物の間に沿って広がりながら流れるため、供給水の流れ方向と平行でない繊維状物は、供給水の流れの障害となり、乱流の程度を増す役割を果たす。一方で、供給水の流れ方向と平行でない繊維状物は流路を塞ぎ、供給水の流れを妨げることになるため流動抵抗が高くなる傾向にある。そこで、繊維状物Aおよび繊維状物B

50

のいずれかは、任意の繊維状列を含む、当該繊維状列の長手方向に沿った縦断面において、繊維状列 X および繊維状列 Y の交点部間における中央部を交点部に比べて細径の糸で構成する。これにより、乱流強度と流動抵抗のバランスが改善される。

【0020】

分離膜エレメントにおいて、透過の駆動力は膜間差圧であるため、造水量を向上させるためには膜間差圧を増加させることが有効である。膜間差圧は、分離膜エレメントへの印加圧力から流動抵抗と浸透圧を差し引いたもので表される。よって、膜間差圧を増加させるには、印加圧力を大きくする、流動抵抗を下げる又は膜面浸透圧を下げる必要がある。印加圧力が同じ場合を考えると、造水量向上のためには流動抵抗か膜面浸透圧を下げればよい。

10

【0021】

流動抵抗は、供給側流路材の空隙率が大きく影響する。空隙率が上がると流体の障害となる箇所が減るため、流動抵抗は低下し、空隙率が下がると流体の障害となる箇所が増えるため、流動抵抗は増加する。しかし、流動抵抗を下げようとして空隙率を上げると、供給側流路材を構成する樹脂などの量が減少することに繋がるため、供給側流路材の剛性が低下する。例えば、交点部間の糸が細くなっており、ネッキング（高分子材料を伸長した際に、該高分子材料が均一に伸びず、降伏後に局部的なくびれが生じる現象を指す）が存在するネットであると、空隙率が向上し、流動抵抗の面で有利である。しかし、このようなネットは剛性が低下してしまい、ネットが伸び縮みしてしまうため、ネットの定長寸法カットが困難になったり、ネットの装置通過性が悪化するといった巻困時のトラブルを引き起こすことがある。また、ネットの剛性が低下してしまうことで、エレメント運転時のネットのズレといったトラブルを引き起こすことがある。

20

【0022】

本実施形態では、繊維状物 A および繊維状物 B の少なくとも一方が、その長手方向に沿って太径部と細径部とを有し、テーパ形状をした部分を有する繊維で構成されることが好ましい。なお、テーパについては、以下の「（繊維形状）」にて説明する。

繊維状物 A、B の少なくとも一方がテーパ形状の繊維で構成されることで、供給側流路材の剛性を保ちつつ、流動抵抗上昇の原因となる流体の急縮流・急拡流を抑制することができ、流動抵抗を低減できる。繊維状物 A、B は片方がテーパ形状の繊維でもよいし、両方がテーパ形状の繊維でもよい。

30

【0023】

浸透圧は、分離膜表面に生じる濃度分極が大きくなると上昇する。分離膜エレメントにおいて、供給水の流速が遅い場合であったり、膜面から流体が剥離したり、繊維の前後に流体が流れにくい状態であると、濃度分極の上昇に繋がる。すなわち、濃度分極を抑制するには、膜面流速を上げる、もしくは膜面に接する繊維を減らすことが効果的である。そこで、繊維状物 A および繊維状物 B は、任意の繊維状列を含む縦断面において、繊維状列 X および繊維状列 Y の交点部間における中央部が太径部に比べて細径の糸で構成されたり、交点部間においていずれか一方から他方にかけてテーパ形状になっていることで、分離膜の膜面に接する繊維が少なくなり、濃度分極の上昇を抑制できる。さらに、このような構成により、供給側流路材の空隙率が向上するため、流動抵抗の低減にも効果がある。

40

【0024】

本実施形態において、繊維状列 X および繊維状列 Y の交点部間における中央部とは、図 3 に符号 R_2 として示すように、繊維状物 A および繊維状物 B のいずれかの、任意の繊維状列を含む、当該繊維状列の長手方向に沿った縦断面において、隣接する 2 つの交点部 P 間の距離 R_1 を 10 等分した際の、片側の交点部 P からもう一方の交点部 P に向かって 30% 以上 70% 以下までの範囲、つまり交点部 P 間の中心点 P_0 からそれぞれ隣接する交点に向かって 20% までの範囲を言う。

【0025】

（繊維形状）

50

本実施形態におけるテーパ形状とは、繊維状物Aと繊維状物Bが形成する交点と、隣り合う交点の間の繊維が一方から他方に向かって拡径している、具体的に、先細り形状または先太り形状になっていることを指す。ここでは、便宜上、テーパ形状の繊維をテーパ、繊維が先細り形状になっておらず糸径が均一であるものを寸胴、交点間の繊維が細くなっており、ネックングが存在する繊維をネックングと呼称する。例えば、図4(a)~図4(c)に示すような供給側流路材2a~2cにおける繊維状列の交点間の形状がテーパ、図5(a)に示すような供給側流路材2dにおける繊維状列の交点間の形状が寸胴、図5(b)に示すような供給側流路材2eにおける繊維状列の交点間の形状がネックングに当たる。

図4(a)に示したように、供給側流路材2aの平面に対して垂直な方向から観察したとき、繊維が一方から他方に先細り形状になっていればよい。先細り形状になっていることで、糸からの流体剥離を抑制し、流動抵抗を低くすることが出来る。好ましくは、図4(b)及び図4(c)に示したように、テーパ形状の繊維が、一定の方向、具体的に供給水(原水)側から濃縮水側に向かって先細りとなった形状である。このような形状であれば、糸からの流体の剥離を抑制し、流体の急拡流および急縮流を防ぎ、流動抵抗を低減することが出来る。

【0026】

また、供給側流路材の平面を観察したとき、繊維が重なり合う部分には、図4(b)及び図4(c)に示したように水かき部wが形成されることが好ましい。なお、「水かき部」とは、テーパ形状繊維の太径部が重なり合ったときに形成される、平面視で繊維の中央部よりも幅広の部分を用いる。供給側流路材に水かき部wが形成されると、それぞれの交点の強度が向上し、ネット全体の剛性が上がるため、定長寸法カットや装置通過性といった巻回時のハンドリング性が上がったり、長期運転時にネットがズレにくくなる。

【0027】

また、繊維が寸胴形状やネックングである場合に比べ、テーパ形状であると、交点部の樹脂量が増え、交点部の形状が中央部に比べて幅広になりなだらかになるため、膜が傷つきにくく、除去率が低下しにくい。

また、ネックングであると、糸径が細かい割合が多いため、供給側流路面積率を上げやすく、供給側流路材の空隙率が大きくなり、流動抵抗を低くすることが出来る。しかし、テーパ形状と同一流路面積率で比較した場合、ネックング形状であるとネックング箇所

【0028】

(交点部および中央部の糸径測定)

いずれかの繊維状列の長手方向に沿った当該繊維状列の縦断面において、図3における2本の糸が重なった交点部Pの厚み L_4 が交点部の糸径となり、また交点部間における中央部 R_2 の平均厚み L_5 が中央部の糸径となる。

【0029】

本実施形態において、中央部 R_2 の糸径(平均厚み L_5)は、好ましくは0.10mm以上0.75mm以下、より好ましくは0.15mm以上0.50mm以下、さらに好ましくは0.20mm以上0.40mm以下である。中央部 R_2 の糸径がこの範囲であれば、供給側流路材の厚さを薄くする場合でも供給側流路の流動抵抗を低減しながら、濃度分極を抑制することができ、分離膜エレメントの脱塩率および造水性の向上が可能となる。

【0030】

なお、交点部および中央部の糸径(厚み)の測定には市販のマイクロスコープやX線CT測定装置で繊維状列に平行な縦断面を観察し、その距離を測定することで求めることができ、測定モードを用いて交点部または中央部の任意の30カ所の径を測定して、その平均値とすることができる。

【0031】

10

20

30

40

50

(供給側流路材の厚み)

供給側流路材の厚みとは、実質的に繊維状物 A (21) および繊維状物 B (22) の交点部の厚み L_4 に相当する。すなわち、繊維状物 A (21) と繊維状物 B (22) の厚みの合計である。図 3 に示すように繊維状列 X および繊維状列 Y は交点部分において部分的に融合する。

【0032】

本実施形態において、供給側流路材の平均厚さは、好ましくは 0.20 mm 以上 1.5 mm 以下、より好ましくは 0.30 mm 以上 0.85 mm 以下、さらに好ましくは 0.50 mm 以上 0.80 mm 以下である。供給側流路材の平均厚さがこの範囲であれば、供給水の膜面線速度が大きくなり膜面の流れが乱れるので、膜面に生じる濃度分極層が薄くなり、よってエレメントの分離性能を向上できる。さらに供給水中の不純物や、微生物などのファウラントによる供給側流路の閉塞を抑制し、ポンプの必要動力を大きくすることなく、長期にわたり安定的に分離膜エレメントの運転を行うことが可能となる。

10

【0033】

また、本実施形態において、交点部の厚み L_4 に対する中央部の平均厚み L_5 の比率「 L_5 / L_4 」は、0.2 以上 0.55 以下であることが好ましく、さらに好ましくは 0.25 以上 0.50 以下である。交点部と中央部の径の比率がこの範囲であれば、供給側流路面積率を高め、分離膜エレメント内部の供給側流路を十分に確保することが可能となる。

【0034】

20

供給側流路材の平均厚さは、無作為に選択した 10 カ所以上の繊維状物 A および繊維状物 B の交点部の厚み、すなわち繊維状物 A および繊維状物 B の厚みの合計について、マイクロスコープや X 線 CT 測定装置、精密厚みゲージ等で測定した値の平均値であり、測定値の合計 / 測定箇所数で算出することができる。

【0035】

また、供給側流路材の厚さのばらつきは、供給側流路材の平均厚さの 0.9 倍以上 1.1 倍以下であることが好ましい。供給側流路材の厚さのばらつきがこの範囲であれば、分離膜エレメントに均一に供給水を供給できるため、分離膜の性能を均一に発揮させることができる。

【0036】

30

(供給側流路面積率)

本実施形態では、いずれかの繊維状列の長手方向に沿った当該繊維状列の縦断面における供給側流路面積率が 45 ~ 65 % の範囲である。ここで供給側流路面積率 (%) は、図 3 に示したように、繊維状列に平行な縦断面において、交点部の厚みに基づいて、繊維状列を含む、当該繊維状列の長手方向に沿った縦断面における空間の平均面積を A_1 、繊維状列の縦断面における隣接する 2 つの交点部間の平均面積を A_2 としたとき、 $A_1 / A_2 \times 100$ で表すことができる。供給側流路面積率が 45 % 以上であると、流動抵抗が小さくなり圧力損失が減少する傾向がある。また供給側流路の面積率を 65 % より高くすると、ネット素材や交点部間隔にもよるが、ネットの剛性低下により、装置通過性が悪化したり定長寸法カットが困難になるといった取り扱い性が悪化したり、供給水の流速が低下して、膜面の濃度分極が増大し、分離膜エレメントの脱塩率や造水量が低下したりする原因となる場合がある。

40

【0037】

供給側流路面積率は、任意の 30 カ所の供給側流路面積率を測定して、その平均値とすることができる。

【0038】

(供給側流路材の空隙体積 v)

本実施形態の供給側流路材の空隙体積とは、供給側流路材中の供給側流路となり得る部分の体積のことである。供給側流路材の空隙体積 v は、供給側流路材の厚みと該供給側流路材の切り出し面積の積で表される総体積 V に対して、切り出し面積 (例えば 30 cm x

50

30 cm) 当たりの供給側流路材の重量を供給側流路材素材の比重で除することにより供給側流路材本体の体積を算出し、総体積から供給側流路材本体の体積を減ずることにより求めることができる。

【0039】

本実施形態において、供給側流路材の空隙体積 v の割合は 90 ~ 97 % の範囲であることが好ましい。供給側流路材の空隙体積 v がこの範囲であれば、供給側流路材の取り扱い性を悪化させることなく供給水の乱流強度と流動抵抗のバランスが改善された分離膜エレメントとすることができる。

【0040】

(分離膜エレメントの供給側流路体積 F)

本実施形態の分離膜エレメントの供給側流路体積とは、供給側流路材を使用して作製した分離膜エレメント、つまり分離膜の二つの面の間に配置された供給側流路材の供給側流路となり得る部分の体積のことである。供給側流路材の空隙体積 v に対する分離膜エレメントの供給側流路体積 F の割合が 90 % 以上であることが好ましい。供給側流路材の空隙体積 v に対する分離膜エレメントの供給側流路体積 F の割合が 90 % 以上であれば、分離膜エレメント内部の供給側流路が十分に確保され、供給水流れによる圧力損失を低減できる。

【0041】

供給側流路材の空隙体積 v の測定は、X線CT測定装置により分離膜エレメントを非破壊の状態、つまり分離膜エレメント作製時の膜変形の影響を反映した状態で撮影することが好ましい。ただし、分離膜エレメントのサイズが大きく非破壊での撮影が困難な場合は、分離膜エレメントを測定可能なサイズに適宜切断して複数のパーツとした後、切断の影響がない部分を同様に撮影する方法も採用可能である。X線CT測定により供給側流路材が分離膜の二つの面の間に配置された状態での断面像が得られ、それを画像解析することで実際に分離膜エレメント内部に形成されている供給側流路体積 F を算出する。また画像解析時の切り出し面積は、供給側流路材の空隙体積 v を測定する際と同様とする。

【0042】

(交点部間隔)

本実施形態では、図2に示す、供給側流路材2の供給水流れ方向(原水流れ方向)に対して垂直方向の交点部間隔(交点部周期) c が 3 ~ 5 mm の範囲であることが好ましく、さらに好ましくは 3.5 ~ 4.5 mm の範囲である。供給側流路材の供給水流れ方向に対して垂直方向の交点部間隔 c がこの範囲であれば、分離膜エレメントの作製時に分離膜が供給側流路材の空隙部分に落ち込む現象を抑制でき、特に供給水流入端面部分の流路を安定に形成することが可能となる。

【0043】

また、供給側流路材の供給水流れ方向に対して平行方向の交点部間隔 d は 4 ~ 8 mm の範囲であることが好ましく、更に好ましくは 4.5 ~ 6.0 mm の範囲である。供給側流路材の供給水流れ方向に対して平行方向の交点部間隔 d がこの範囲であれば、供給水の乱流強度と流動抵抗のバランスを両立できるため、分離膜エレメントの脱塩率および造水性の向上が可能となる。

【0044】

交点部間隔の測定方法としては、供給側流路材を厚み方向の上部(すなわち、供給側流路材の平面)から観察し、例えばマイクロスコープにより距離を測定することができる。

【0045】

(供給水流れ方向と繊維状物との角度)

供給側流路材を平面から観察したとき、供給水流れ方向(すなわち集水管の長手方向)と繊維状物との角度が大きくなるにつれて乱流強度が増すものの、流動抵抗が増す傾向にある。よって、前記角度は 15 ° 以上 50 ° 以下が好ましく、30 ° 以上 45 ° 以下が更に好ましい。

【0046】

10

20

30

40

50

(供給側流路材の分離膜への接触面積割合)

本実施形態では、供給側流路材の分離膜への接触面積割合が0.05～0.2の範囲であることが好ましく、さらに好ましくは0.1～0.15の範囲である。供給側流路材の分離膜への接触面積割合がこの範囲であれば、分離膜表面の供給水滞留部位を少なくでき、分離膜表面に効率的に供給水を供給できる。よって、運転時の排濁性を高め、特に高回収率で運転を行った場合においても、スケール発生等のトラブルを抑制することができる。

【0047】

供給側流路材の分離膜への接触面積割合を0.05～0.2の範囲にする方法としては、後述する供給側流路材の延伸成形により、交点部の厚みが保たれたまま、交点部間の繊維状物において糸径が異なる領域が存在する供給側流路材の分離膜への接触面積割合が小さいネットを使用する方法や、供給側流路材が挟み込まれた分離膜リーフを透過側流路材とともに集水管に巻回する際の圧力を上記接触面積割合の範囲に入るように調整して分離膜エレメントを作製する方法等、いずれの方法も採用することができる。

10

【0048】

供給側流路材の分離膜への接触面積割合の測定方法としては、分離膜エレメントを解体して分離膜を5cm×5cmで切り出し、分離膜を厚み方向の上部からマイクロ스코プにより観察し、分離膜エレメント作製時に供給側流路材が分離膜に押しつけられてできた痕の膜面を、切り出し面積で割って算出する方法や、供給側流路材と分離膜との間に感圧紙を挟み込んで分離膜エレメント作製し、その後分離膜を解体して感圧紙を回収後、感圧紙の発色した部分を供給側流路材の分離膜への接触部分とし、画像解析により供給側流路材の分離膜への接触面積割合を算出する方法等が挙げられる。

20

【0049】

(繊維状列の交点)

図6に示すように、供給側流路材2の平面を観察したとき、繊維状列Xと繊維状列Yが形成する多角形Sの対角同士を直線で結び、二つの直線が交じり合いかつ繊維がある箇所を繊維状列Xと繊維状列Yの系の交点と定義する。交点に曲率がある場合も対角とみなす。

【0050】

(テーパー率)

図6に示すように、任意の繊維の交点 P_1 を決定する直線の延長線上かつ交点 P_1 に最も近い4つの交点を $B_1 \sim B_4$ とする。線分 $P_1 B_1 \sim P_1 B_4$ のうち、線と繊維の輪郭が交わる点のうち、 P_1 との距離が最も大きくなる点 Q_1 を選び、線分 $P_1 Q_1$ の長さを L_1 とする。交点 P_1 と隣り合う任意の交点 P_2 に対して、交点 P_1 と同様の作業を行い、点 Q_2 を決定し、線分 $P_2 Q_2$ の長さを L_2 とする。 L_1 及び L_2 を半径とする円 C_1 、 C_2 を作成し、交点 P_1 と交点 P_2 を結ぶ直線の長さから L_1 と L_2 を引いた直線の長さを L_3 とする。線分 $P_1 P_2$ に垂直かつ線分 $P_1 P_2$ を通る円 C_1 の接線と円 C_2 の接線を作成し、それぞれの接線が形成する糸径を D_1 及び D_2 とする。テーパー率 T は、以下のように定義する。

30

【0051】

【数1】

$$\text{テーパー率 } T = \left| \frac{D_1 - D_2}{L_3} \right|$$

40

【0052】

テーパー率は、 $1/20 \sim 1/3$ が好ましく、さらに好ましくは、 $1/15 \sim 1/4$ の範囲である。テーパー率がこの範囲であることで、糸からの流体剥離を抑制し、流体の急拡流および急縮流を防ぎ、流動抵抗を低減することが出来る。テーパー率が $1/3$ を超えると、テーパー率が高すぎるため、交点部が大きくなり、流動抵抗が大きくなるほか、膜

50

面との接触面積が大きくなりすぎてスケールの付着量が増える傾向にある。

【 0 0 5 3 】

(繊維の側面形状)

供給側流路材 2 の平面に対して平行かつ、任意の繊維状物 A または繊維状物 B に垂直な方向から観察したとき、図 7 (b) に示すように繊維状物 A 及び繊維状物 B が片方の交点部 P からもう一方の交点部 P に向かってテーパ状になっていても、図 7 (a) に示すように交点部 P 間の中央部の糸径が細くなっているてもよい。便宜上、図 7 (a) の形状を異径、図 7 (b) の形状をテーパと呼称する。また、図 8 のように、交点間で糸径が細くならない形状を寸胴と呼称する。

【 0 0 5 4 】

本発明における太径部とは、図 3 において、繊維状物 A (2 1) もしくは繊維状物 B (2 2) のうち例えば繊維状物 A (2 1) の側面を観察するとき、供給側流路材の平面に垂直な方向に繊維状物 B と隣接する繊維状物 B の断面の接線 2 本が繊維状物 A を通る線分であり、それぞれ太径部 D_3 、太径部 D_4 とし、これらのいずれか一方に比べて中央部 R_2 が細径の繊維で構成されていればよい。中央部の糸径 / 太径部の糸径は $0.9 \sim 0.2$ の範囲が好ましく、より好ましくは $0.8 \sim 0.3$ である。中央部の糸径 / 太径部の糸径がこの範囲であれば側面形状は問わず、図 7 (a) 及び図 7 (b) といった形状が例として挙げられる。供給側流路材の空隙率を上げ、圧力損失を低減させつつ、汚れ物質やスケールの膜面への付着を抑制することが出来る。

【 0 0 5 5 】

(供給側流路材の繊維の断面形状)

供給側流路材の繊維の断面形状としては、図 9 (a) ~ 図 9 (d) に示すように扁平形状や流線形形状であることが好ましい。これらの図形の一部が欠けている形状でもよい。

【 0 0 5 6 】

この扁平形状は、供給側流路材の任意の繊維状物の長手方向に対して垂直な方向の横断面 Z において、任意の繊維状物の最大径 W_1 と前記最大径 W_1 に対して垂直な方向の最大径 W_2 が、 $1.2 < W_1 / W_2 < 3.0$ の関係を満たすことが好ましく、比 W_1 / W_2 が $1.5 \sim 2.5$ の範囲であることがより好ましい。比 W_1 / W_2 が前記範囲であれば、交点部がなだらかになるため、長期運転を行ったときの膜面への傷つきを抑制でき、また、この範囲であれば供給側流路材と膜の間に形成される流路がなだらかに拡大もしくは縮小するため、膜面からの流体剥離を抑制し、溶存塩の濃度分極の上昇を抑えることが出来る。

【 0 0 5 7 】

糸径の最大径 W_1 と該最大径 W_1 に垂直な糸径の最大径 W_2 は、任意の繊維状物の長手方向に対して垂直な方向の、無作為に選択した 10 カ所以上の横断面をマイクロスコプや X 線 CT 測定装置等で測定した値の平均値であり、測定値の合計 / 測定箇所数で算出することが出来る。

【 0 0 5 8 】

(供給側流路材の繊維の傾斜角)

供給側流路材の繊維の断面の傾斜角は、以下に定義するものである。図 10 に示したように、原水 (供給水) 側から濃縮水側に向かって供給側流路材の横断面を観察したとき、供給側流路材の横断面に対して平行かつ供給側流路材に対して垂直な方向に垂線を引き、任意の繊維状物の最大径 W_1 と前記垂線の時計回りになす角を傾斜角と定義する。例えば、垂線から直角に傾斜している場合、傾斜角は 90° となる。この傾斜角は、 $10^\circ \sim 170^\circ$ の範囲が好ましく、さらに好ましくは $30^\circ \sim 150^\circ$ の範囲である。この範囲であれば、圧力損失を抑制しつつ、膜面からの流体剥離を抑制することができる。繊維の傾斜角は、差圧や膜面の流体剥離のバランスから、最適な角度を設けることができる。

【 0 0 5 9 】

傾斜角は、任意の繊維状物の長手方向に対して垂直な方向の、無作為に選択した 10 カ所以上の横断面をマイクロスコプや X 線 CT 測定装置等で測定した値の平均値であり、

10

20

30

40

50

測定値の合計 / 測定箇所数で算出することが出来る。

【 0 0 6 0 】

(供給側流路材の目付量)

供給側流路材の目付量は、 $15 \sim 120 \text{ g/m}^2$ の範囲であることが好ましい。目付量がこの範囲であることで、流動抵抗とエレメント長期運転時のネットの飛び出しやズレのバランスが良く、エレメント性能を向上させることが出来る。

【 0 0 6 1 】

供給側流路材の目付量は、 $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ のサイズにカットした供給側流路材を最低 5 個の重量を測定し、測定値の合計 / 測定個数で算出することができる。

【 0 0 6 2 】

また、供給側流路材の目付量のばらつきは、供給側流路材の平均目付量の 0.9 倍以上 1.1 倍以下であることが好ましい。供給側流路材の目付量のばらつきがこの範囲であれば、分離膜エレメントに均一に供給水を供給できるため、分離膜の性能を均一に発揮させることができる。

【 0 0 6 3 】

(供給側流路材の剛軟度)

供給側流路材の剛軟度は、 $0.07 \text{ m} \sim 0.14 \text{ m}$ の範囲であることが好ましい。供給側流路材の剛軟度が 0.07 m 以上であると、供給側流路材の装置通過性や定長寸法カットといった取り扱い性が良くなる傾向がある。供給側流路材の剛軟度が 0.14 m を超えると、スパイラル型分離膜エレメントにおいて、分離膜ユニットを巻回する際、集水管に近い曲率が大きいところで供給側流路材の端部が分離膜に擦れ、分離膜に傷が入りやすくなる。剛軟度は、供給側流路材の厚みやピッチ、供給側流路材の素材によって変化する。これらを適切に組み合わせることで、ハンドリング性の良い供給側流路材の作製が可能である。供給側流路材の厚みが薄すぎたり、ピッチが広すぎたりすると、剛軟度が 0.07 m を下回り、供給側流路材の厚みが分厚すぎたり、ピッチが狭すぎたりすると剛軟度が 0.14 m を上回る。

【 0 0 6 4 】

供給側流路材の剛軟度は、JIS規格 L1096 (2010) 8.21 (45°カンチレバー法) を基に測定する。具体的には、供給側流路材にカールの無い平らなところを選び、供給側流路材の長手方向に垂直な方向および平行な方向に $20 \times 150 \text{ mm}$ のサイズにカットした試験片をそれぞれ 5 個ずつ用意する。これらの試験片を水平台上から滑らせ、45°の斜面坂に試験片の先端が接したときの移動距離を定規等で測定した値の平均値であり、測定値の合計 / 測定箇所数で算出することができる。試験片にカールしている場合は、試験片を 3 時間以上、試験片自体が変形しない程度の力で軽く押さえて、カール癖を取ることが好ましい。

【 0 0 6 5 】

(素材)

供給側流路材の素材は特に限定されないが、成形性の観点から熱可塑性樹脂が好ましく、特にポリエチレンおよびポリプロピレンは分離膜の表面を傷つけにくく、また安価であるので好適である。また、供給側流路材は、繊維状物 A と繊維状物 B が同じ素材で形成されても構わないし、異なる素材で形成されていても構わない。

【 0 0 6 6 】

(製造方法)

ネット状の供給側流路材の成形は、一般的に内側と外側の 2 つの円周上に多数の孔を配置した内側と外側の 2 つの口金を逆方向に回転させながら、押出機から熔融させた樹脂を供給して、樹脂が口金から出る時または出た直後に内側と外側の口金から出る糸を熔融状態で交差させて熔融し網状構造を形成する。この段階ではネットは筒状の形状を取る。その後筒状のネットは冷却固化により厚みや糸径、交点部間隔を決定後、切開されてシート状ネットとして引き取られる。

【 0 0 6 7 】

10

20

30

40

50

本実施形態のように、交点厚みが保たれたまま、交点部間の繊維状物において糸径が異なる領域が存在し、平面から見たときに繊維形状がテーパである供給側流路材を製造するには、小さい口金孔から高い樹脂吐出圧で樹脂を供給し、筒状のネットの樹脂が完全に冷却固化する前に筒状ネットの内側に、筒状ネットの内径より径の大きい治具を通過させて、幅方向および長手方向に同時に引っ張りを加えながら冷却固化させる方法を採用することができる。筒状のネットの樹脂が完全に冷却固化する前に筒状ネットの内側に、筒状ネットの内径より径の大きい治具を通過させて作製したネットは、交点部から中央部にかけてなだらかに繊維状物の糸径が細くなることが特徴である。交点部間の繊維状物において糸径が均一である寸胴形状の供給側流路材を製造するには、口金孔から低い樹脂吐出圧で樹脂を供給し、筒状のネットの樹脂が完全に冷却固化する前に筒状ネットの内側に、筒状ネットの内径より径の大きい治具を通過させて、テーパ形状の供給側流路材よりも低い比率で幅方向および長手方向に同時に引っ張りを加えながら冷却固化させる方法を採用することができる。

10

【0068】

一方、一旦筒状のネットの冷却固化を行った後に再度、加熱炉内で縦延伸および横延伸を行う方法により製造されたネットは、交点部に対し中央部の繊維状物の糸径がネックングした形状のネットを製造することが可能であり、ネットの糸形状を観察することで、両者の製造方法の違いを判別することができる。

【0069】

なお、繊維状列の交点部間における中央部が交点部に比べて細径の糸で構成されたネットを製造する方法はこれらに限定されず、エンボス加工やインプリント加工、プレス法などにより交点部間の繊維状物を圧縮変形させる方法、金型に溶融樹脂を流延し取り出す方法、3Dプリンターを用いて製造しても構わない。

20

【0070】

<透過側流路>

(透過側流路材)

封筒状膜5において、分離膜3は透過側の面を対向させて重ね合わされており、分離膜3同士の間には透過側流路材4が配置され、透過側流路材4によって透過側流路が形成される。透過側流路材の材料としては限定されず、トリコットや不織布、突起物を固着させた多孔性シート、凹凸成形し、穿孔加工を施したフィルム、凹凸不織布を用いることができる。また、透過側流路材として機能する突起物を分離膜の透過側に固着させてもよい。

30

中でも、丸編機により製造された丸編みトリコットを用いると、ニードルループの幅とシンカーループの幅とをほぼ同一にし、どちらのループをも流路として使用できるだけでなく、分離膜エレメントの運転時の膜落ち込みを考慮した最適な流路幅を均一に製造でき、さらに、薄くても十分な耐圧性と流動特性を併せ持つ透過側流路材を製造できるためエレメント造水量を向上させる点で好ましい。

【0071】

<分離膜リーフの形成>

分離膜リーフは、供給側の面が内側を向くように分離膜を折りたたむことで形成されてもよいし、別々の2枚の分離膜を、供給側の面が向かい合うようにして重ね合わせ、分離膜の周囲を封止することで形成されてもよい。

40

【0072】

なお、「封止」する方法としては、接着剤またはホットメルトなどによる接着、加熱またはレーザなどによる融着、およびゴム製シートを挟みこむ方法が挙げられる。接着による封止は、最も簡便で効果が高いために特に好ましい。

【0073】

<分離膜エレメントの利用>

分離膜エレメントは、直列または並列に接続して圧力容器に収納されることで、分離膜モジュールとして使用されてもよい。

【0074】

50

また、上記の分離膜エレメント、分離膜モジュールは、それらに流体を供給するポンプや、その流体を前処理する装置などと組み合わせて、流体分離装置を構成することができる。この分離装置を用いることにより、例えば供給水を飲料水などの透過水と膜を透過しなかった濃縮水とに分離して、目的にあった水を得ることができる。

【0075】

流体分離装置の操作圧力は高い方が除去率は向上するが、運転に必要なエネルギーも増加すること、また、分離膜エレメントの供給流路、透過流路の保持性を考慮すると、分離膜モジュールに供給水を透過する際の操作圧力は、0.2MPa以上5MPa以下が好ましい。

【0076】

供給水温度は、高くなると塩除去率が低下するが、低くなるにしたがい膜透過流束も減少するので、5以上45以下が好ましい。

【0077】

また、原水のpHが中性領域にある場合、原水が海水などの高塩濃度の液体であっても、マグネシウムなどのスケールの発生が抑制され、また、膜の劣化も抑制される。

【0078】

(供給水)

本実施形態の分離膜エレメントへの供給水は特に限定されず、予め処理された水道水でもよく、海水やかん水のように溶液中の不純物が多いものでもよい。例えば、水処理に使用する場合、原水(供給水)としては、海水、かん水、排水等の500mg/L以上1000g/L以下のTDS(Total Dissolved Solids:総溶解固形分)を含有する液状混合物が挙げられる。一般に、TDSは総溶解固形分量を指し、「質量÷体積」で表されるが、1Lを1kgと見なして「重量比」で表されることもある。定義によれば、0.45μmのフィルターで濾過した溶液を39.5~40.5の温度で蒸発させ残留物の重さから算出できるが、より簡便には実用塩分(S)から換算する。

【0079】

分離膜エレメントにおける、分離膜面クロスフロー流速が10cm/sec以下の低い領域で運転する場合、一般的には繊維状物の前後に淀み箇所が発生し、膜面濃度分極が増大することによる造水量・脱塩率の低下やスケーリング・ファウリングの原因となる。供給側流路面積率が45~65%の範囲である供給側流路材を備える分離膜エレメントは、繊維状物の前後に形成される淀み箇所が少ないため、造水量や脱塩率が低下しにくく、スケーリングやファウリングが発生しにくいという特徴がある。例えば、複数本のエレメントを装填するベッセルの後段では、前段で透過水が引き抜かれるため、分離膜面クロスフロー流速が低くなる場合があり、ベッセルの後段に本発明の分離膜エレメントを使用することが好適である。

【0080】

本発明の供給側流路材が薄くなるほど、クロスフロー流速を高めることができるため、スケーリングやファウリングリスクを低減することができる。

【実施例】

【0081】

以下に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よってなんら限定されるものではない。

【0082】

(交点部および中央部の糸径測定)

キーエンス社製高精度形状測定システムKS-1100を用い、ネット状サンプルの繊維状列に平行な縦断面を倍率20倍で観察し、交点部および中央部の糸径をそれぞれ確認した。具体的には、交点部については任意の交点部の中心部の糸径を30カ所、中央部については隣接する2つの交点部間の中心点からそれぞれ隣接する交点に向かって20%までの範囲の任意の30カ所の糸径を計測して、その平均値を算出した。

【0083】

10

20

30

40

50

(供給側流路材の厚み)

キーエンス社製高精度形状測定システムKS-1100を用い、ネット状サンプルの繊維状列に平行な縦断面を倍率20倍で観察し、任意の交点部分の厚みを30カ所測定し、その平均値を算出した。

【0084】

(供給側流路面積率)

キーエンス社製高精度形状測定システムKS-1100を用い、供給側流路材の繊維状列に平行な縦断面を倍率20倍で観察し、隣接する2つの交点部間距離と交点厚み(供給側流路材厚み)をそれぞれ30カ所測定しその平均値を算出した。隣接する2つの交点部間距離に交点厚みを乗じて縦断面における隣接する2つの交点部間の面積を算出した。

10

【0085】

次いで縦断面像の画像解析を行い隣接する2つの交点部間に形成される空間の面積を算出した。画像解析は任意の30カ所で行い、その平均値を算出した。(縦断面における空間の平均面積)/(縦断面における隣接する2つの交点部間の平均面積) \times 100で、供給側流路面積率を算出した。

【0086】

(供給側流路材の空隙体積 v)

ネット状サンプルを30cm \times 30cmに切り取りその重量を計測した。供給側流路材の厚みに切り出し面積を乗じて総体積を算出した。次いで、切り出したネット状サンプルの重量を供給側流路材素材の比重で除してネット状サンプル本体の体積を算出し、総体積からネット状サンプル本体の体積を減ずることにより、供給側流路材の空隙体積を算出した。

20

【0087】

(分離膜エレメントの供給側流路体積 F)

スパイラル型分離膜エレメントを長さが30cmの筒状になるように切断した後、ヤマト科学株式会社製三次元計測X線CT装置(TDM3000H-FP)でスパイラル型分離膜エレメントをX線強度100kVで撮影し、分離膜の二つの面の間に配置された切り出し面積30cm \times 30cmあたりのネット状サンプルの供給側流路となり得る部分の体積(内部体積)を画像解析により算出した。

【0088】

(交点部間隔)

キーエンス社製高精度形状測定システムKS-1100を用い、ネット状サンプルを厚み方向上部から倍率20倍で観察し、供給側流路材の供給水流れ方向に対して垂直方向の交点部間隔と供給側流路材の供給水流れ方向に対して平行方向の交点部間隔について、任意の交点部間隔を30カ所測定し、その平均値を算出した。

30

【0089】

(テーパ率の測定)

キーエンス社製高精度形状測定システムKS-1100を用い、ネット状サンプルを平面方向から撮影し、パワーポイントを用いて画像上に作図を行った。任意の多角形 S の対角同士を直線で結び、交点 P_1 を決定した。交点 P_1 を決定する直線の延長線かつ交点 P_1 に最も近い4つの交点を $B_1 \sim B_4$ とし、線分 $P_1B_1 \sim P_1B_4$ のうち、線と繊維の輪郭が交わる点のうち、 P_1 との距離が最も大きくなる点 Q_1 を選び、線分 P_1Q_1 の長さを L_1 とした。交点 P_1 と隣り合う任意の交点 P_2 に対して、交点 P_1 と同様の作業を行い、点 Q_2 を決定し、線分 P_2Q_2 の長さを L_2 とした。 L_1 及び L_2 を半径とする円 C_1 、 C_2 を作成し、交点 P_1 と交点 P_2 を結ぶ直線の長さから L_1 と L_2 を引いた直線の長さを L_3 とした。線分 P_1P_2 に垂直かつ線分 P_1P_2 を通る円 C_1 の接線と円 C_2 の接線を作成し、それぞれの接線が形成する糸径を D_1 及び D_2 とした。キーエンス社製高精度形状測定システムKS-1100によって得られた画像のスケールバーを基に、 $L_1 \sim L_3$ 、 D_1 、 D_2 の長さを計測し、下記式に基づきテーパ率 T を算出した。この操作を、供給側流路材の表裏の面にそれぞれ15カ所、合計30カ所測定し、その平均値

40

50

を算出した。

【 0 0 9 0 】

【 数 2 】

$$\text{テーパー率 } T = \left| \frac{D_1 - D_2}{L_3} \right|$$

【 0 0 9 1 】

(太径部の測定)

繊維状物 A もしくは繊維状物 B の細径の繊維で構成されている方を選び、例えば、繊維状物 A を選んだとき、ネット状サンプルを液体窒素で凍結させ、繊維状物 A と平行な方向かつ繊維状物 A 近傍で繊維状物 B をカットした。キーエンス社製高精度形状測定システム KS - 1 1 0 0 を用い、ネット状サンプルの平面に対して平行かつ、任意の繊維状物 A または繊維状物 B に垂直な方向から倍率 2 0 倍で観察し、太径部 D_3 、 D_4 の糸径を確認した。具体的には、太径部は任意の太径部 D_3 、 D_4 の糸径を測定し、大きい方を太径部とした。この操作を合計 3 0 カ所について行い、それらの平均値を算出した。

10

【 0 0 9 2 】

(供給側流路材の繊維の断面形状)

ネット状サンプルを液体窒素で凍結させ、任意の繊維状物の長手方向に対して垂直な方向にカットし、キーエンス社製高精度形状測定システム KS - 1 1 0 0 を用い、横断面を垂直な方向から観察し、横断面の最大径 W_1 及び当該最大径 W_1 に垂直な方向の最大径 W_2 を測定した。任意の繊維状物 A 及びの繊維状物 B のそれぞれ 1 5 カ所について同様の操作を繰り返し、その平均値を算出した。

20

【 0 0 9 3 】

(供給側流路材の繊維の傾斜角)

ネット状サンプルを液体窒素で凍結させ、任意の繊維状物の長手方向に対して垂直な方向にカットし、キーエンス社製高精度形状測定システム KS - 1 1 0 0 を用い、横断面を垂直な方向から観察し、垂線と横断面の最大径 W_1 との時計回りになす角を測定した。任意の繊維状物 A 及びの繊維状物 B のそれぞれ 1 5 カ所について同様の操作を繰り返し、その平均値を算出した。

30

【 0 0 9 4 】

(供給側流路材の目付量)

ネット状サンプルを 1 . 0 m × 1 . 0 m の大きさにカットし、電子天秤を用いて 1 0 枚の重量を測定し、平均値を算出した。

【 0 0 9 5 】

(供給側流路材の剛軟度)

供給側流路材の剛軟度は、JIS規格 L 1 0 9 6 (2 0 1 0) 8 . 2 1 (4 5 ° カンチレバー法) を基に測定した。ネット状サンプルを、長手方向に垂直な方向及び平行な方向に 2 0 × 1 5 0 m m のサイズにカットし、試験片とした。試験片にカーブがある場合は、試験片と同じ大きさのプラスチック片を用意し、試験片の上に乗せ、その上に 2 0 0 g の重りを置いて、3 時間静置した。その後、それぞれ 5 片ずつを水平面上から一定速度で滑らせ、4 5 ° の斜面坂に試験片の先端が接したときの移動距離を定規で測定した値の平均値を算出した。

40

【 0 0 9 6 】

(供給側流路材の分離膜への接触面積割合)

供給側流路材としてのポリプロピレン製ネットと分離膜との間に感圧紙 (富士フィルム株式会社製 ツーシートタイプ 型式 P S C - L L L W プレスケール極超低下用) を挟み込んで分離膜エレメント作製し、その後分離膜を解体して感圧紙を回収した。感圧紙の発色した部分を供給側流路材の分離膜への接触部分とし、画像解析により切り出し面積 5 c m × 5 c m あたり供給側流路材の分離膜への接触面積割合を算出した。

50

【 0 0 9 7 】

< 実施例 >

(供給側流路材 P の作製)

ポリプロピレンを材料として、多数の小さい孔を配置した内側と外側の2つの口金を逆方向に回転させながら、押出機から溶融させた樹脂を高い吐出圧で供給して、網状構造を有する筒状ネットを成形した。さらに筒状のネットの樹脂が完全に冷却固化する前に筒状ネットの内側に、筒状ネットの内径より径の大きい治具を通過させて、幅方向および長手方向に同時に引っ張りを加えながら冷却固化させる方法により、交点部から中央部にかけてなだらかに繊維状物の糸径が細くなる形状の、表1～表5に示す供給側流路材を作製した。なお、押出機からの溶融樹脂吐出圧、筒状ネットを通過させる治具の寸法、引き取り速度を変更し、最終的に表1～表5の供給側流路材形状となるよう構造制御を行った。

10

【 0 0 9 8 】

(スパイラル型分離膜エレメントの作製)

ポリエチレンテレフタレート繊維からなる不織布(繊維度:1デシテックス、厚み:約90 μm 、通気度:1 $\text{cc}/\text{cm}^2/\text{sec}$ 、密度0.80 g/cm^3)上にポリスルホンの16.0質量%のDMF溶液を180 μm の厚みで室温(25 $^{\circ}\text{C}$)にてキャストし、ただちに純水中に浸漬して5分間放置し、80 $^{\circ}\text{C}$ の温水で1分間浸漬することによって繊維補強ポリスルホン支持膜からなる、多孔性支持層(厚さ130 μm)ロールを作製した。

【 0 0 9 9 】

その後、多孔性支持膜のポリスルホンからなる層の表面をm-PDAの1.5質量%および γ -カプロラクタム1.0重量%を含む水溶液中に2分間浸漬してから、垂直方向にゆっくりと引き上げた。さらに、エアノズルから窒素を吹き付けることで、支持膜表面から余分な水溶液を取り除いた。

20

【 0 1 0 0 】

その後、トリメチン酸クロリド0.08質量%を含むn-デカン溶液を、膜の表面が完全に濡れるように塗布してから、1分間静置した。その後、膜から余分な溶液をエアブローで除去し、80 $^{\circ}\text{C}$ の熱水で1分間洗浄して、複合分離膜ロールを得た。

【 0 1 0 1 】

このように得られた分離膜を、分離膜エレメントでの有効面積が2.6 m^2 となるように折り畳み断裁加工し、表1に示すポリプロピレン製ネット(厚み:0.6 mm)を供給水側流路材として挟み込んで分離膜リーフを作製した。

30

【 0 1 0 2 】

得られた分離膜リーフの透過側面に透過側流路材として表1に示すトリコット(厚み:0.26 mm)を積層し、リーフ接着剤を塗布して、PVC(ポリ塩化ビニル)製集水管(幅:1016 mm 、径:19 mm 、孔数23個 \times 直線状1列)にスパイラル状に巻き付け、巻囲体の外周面をテープで固定後、両端のエッジカットと端板取り付けを行い、一方の側面から供給水が供給され濃縮水が排出される、直径が2.5インチの分離膜エレメントを作製した。

【 0 1 0 3 】

(造水量)

分離膜エレメントを圧力容器に入れて、供給水として、濃度200 ppm の食塩水、pH6.5のNaCl水溶液を用い、運転圧力0.5 MPa 、温度25 $^{\circ}\text{C}$ の条件下で30分間運転した後に1分間のサンプリングを行い、1日あたりの透水量(ガロン)を造水量(GPD(ガロン/日))として表した。なお、回収率は8%とした。

40

【 0 1 0 4 】

(除去率(TDS除去率))

造水量の測定における1分間の運転で用いた供給水およびサンプリングした透過水について、TDS濃度を伝導率測定により求め、下記式からTDS除去率を算出した。

TDS除去率(%) = 100 \times { 1 - (透過水中のTDS濃度 / 供給水中のTDS濃度) }

50

【 0 1 0 5 】

(エレメント差圧)

分離膜エレメントを装填する円筒状圧力容器の上流側（供給水側）と下流側（濃縮水側）を長野計器製差圧計（型式DG16）を介して配管で接続し、運転中のエレメント差圧を計測した。運転条件は、供給水流量は9 L / 分、運転圧力は1.0 MPaとし、供給水には逆浸透膜処理水を用いた。また、エレメント内部の気泡が抜けた後は透過水配管のcockを閉じ、実質的に膜ろ過が行えない状態、つまり供給水が全量濃縮水として排出される状態で運転を行いエレメント差圧（kPa）の測定を行った。

【 0 1 0 6 】

(分離膜表面へのスケール付着割合)

分離膜エレメントを圧力容器に入れて、供給水として、1150 ppmのCaCl₂・2H₂O、660 ppmのNaHCO₃、pH7の水溶液を用い、運転圧力0.5 MPa、温度25 の条件下で24時間運転した。なお、回収率は50%とした。その後、分離膜エレメントを解体して分離膜エレメントの長手方向の下流側（濃縮水側）の有効膜部分を5 cm × 5 cmで切り出し、切り出した分離膜を乾燥後、分離膜の厚み方向上部からマイクロスコプにより観察し、膜面に析出したスケールの分離膜表面への付着面積割合を算出した。

10

【 0 1 0 7 】

(発停運転)

作製した分離膜エレメントについて、供給水として、濃度200 ppmの食塩水、pH6.5のNaCl水溶液を用い、運転圧力0.5 MPa、温度25 の条件下で1分間×100回通水した。その後、1分間のサンプリングを行い、1分間の運転で用いた供給水およびサンプリングした透過水について、TDS濃度を伝導率測定により求め、下記式からTDS除去率を算出した。

20

$$\text{TDS 除去率 (\%)} = 100 \times \{ 1 - (\text{透過水中の TDS 濃度} / \text{供給水中の TDS 濃度}) \}$$

このときの除去率を発停後除去率とした。

【 0 1 0 8 】

(実施例1)

作製した供給側流路材について評価セルを用い、また分離膜エレメントを圧力容器に入れて、上述の条件で評価したところ、結果は表1の通りであった。

30

【 0 1 0 9 】

(実施例2～5、7～27)

供給側流路材を表1～4の通りにした以外は全て実施例1と同様にして、分離膜エレメントを作製した。

分離膜エレメントを圧力容器に入れて、実施例1と同条件で各性能を評価したところ、結果は表1～4の通りであった。

【 0 1 1 0 】

(実施例6)

透過側流路材を表1の通りにした以外は全て実施例1と同様にして、分離膜エレメントを作製した。

40

分離膜エレメントを圧力容器に入れて、実施例1と同条件で各性能を評価したところ、結果は表1の通りであった。

【 0 1 1 1 】

< 比較例 >

(供給側流路材Qの作製)

ポリプロピレンを材料として、多数の孔を配置した内側と外側の2つの口金を逆方向に回転させながら、押出機から熔融させた樹脂を供給して、網状構造を有する筒状ネットを成形し、繊維形状が寸胴であるネットを製造した。なお、押出機からの熔融樹脂吐出圧、引き取り速度を変更し、最終的に表4、5の供給側流路材形状となるよう構造制御を行っ

50

た。

【 0 1 1 2 】

(供給側流路材 R の作製)

ポリプロピレンを材料とし、供給側流路材 Q と同様の手順で作製した筒状のネットを一旦冷却固化させ、その後、加熱炉内で縦延伸次いで横延伸を逐次で行い、交点部に対し中央部の繊維状物の糸径がネッキングした形状のネットを製造した。なお、押出機からの熔融樹脂吐出圧、縦および横の延伸倍率、引き取り速度を変更し、最終的に表 5 の供給側流路材形状となるよう構造制御を行った。

【 0 1 1 3 】

(比較例 1 ~ 8)

供給側流路材を表 4 ~ 5 の通りにした以外は全て実施例 1 と同様にして、分離膜エレメントを作製した。

分離膜エレメントを圧力容器に入れて、上述の条件で各性能を評価したところ、結果は表 4、5 の通りであった。

【 0 1 1 4 】

【 冊 1 】

表 1

種類	実施例 1		実施例 2		実施例 3		実施例 4		実施例 5		実施例 6		実施例 7	
	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
交点部の糸径 (mm)	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
中央部の糸径 (mm)	0.29	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.31	0.31	0.30	0.30	0.29	0.29	0.29	0.29
中央部の糸径の最大値 (mm)	0.34	0.39	0.39	0.39	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.34	0.35	0.35	0.35
中央部の糸径の最小値 (mm)	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.25	0.25	0.24	0.24	0.26	0.27	0.27	0.27
中央部の糸径/太径部の糸径	0.75	0.74	0.74	0.74	0.71	0.71	0.74	0.74	0.70	0.70	0.75	0.75	0.75	0.75
厚み (mm)	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
供給側流路面積率 (%)	51	52	52	53	53	53	52	52	54	54	51	51	51	51
供給側流路材の空隙体積 ($\times 10^{-5} \text{m}^3$)	4.9	5.0	5.0	5.0	4.4	4.4	5.1	5.1	5.2	5.2	4.9	4.9	4.9	4.9
分隔壁エレメントの供給側流路材の空隙体積 ($\times 10^{-5} \text{m}^3$)	4.7	4.6	4.6	4.6	4.4	4.4	4.3	4.3	4.2	4.2	4.7	4.7	4.7	4.7
供給側流路材総体積に対する供給側流路材の空隙体積の割合 (%)	90	91	91	91	93	93	94	94	94	94	90	90	90	90
供給側流路材の空隙体積に対する分隔壁エレメントの供給側流路材の割合 (%)	96	92	92	92	88	88	84	84	81	81	96	96	96	96
供給側流路材の空隙体積に対する分隔壁エレメントの供給側流路材の割合 (%)	2.9	3.6	3.6	3.6	3.9	3.9	4.3	4.3	5.1	5.1	2.9	2.9	2.9	2.9
繊維状列に並行な縦断面における交点部間隔 (mm)	3.5	4.5	4.5	4.5	4.8	4.8	5.0	5.0	6.1	6.1	3.5	3.5	3.5	3.5
供給側流路材の供給水流れ方向に対して垂直方向の交点部間隔 (mm)	4.5	5.5	5.5	5.5	6.2	6.2	7.1	7.1	8.2	8.2	4.5	4.5	4.5	4.5
供給側流路材の供給水流れ方向に対して平行方向の交点部間隔 (mm)	0.14	0.12	0.12	0.12	0.13	0.13	0.13	0.13	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
供給側流路材の分隔壁への接触面積割合	テーパー													
供給側流路材	原水→濃縮水													
側面形状	異径													
D ₁ (mm)	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
D ₂ (mm)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
L ₁ (mm)	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65
L ₂ (mm)	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65
L ₃ (mm)	1.6	1.96	1.96	1.96	2.2	2.2	2.43	2.43	2.85	2.85	1.6	1.6	1.6	1.6
テーパー率T	1/6	1/8	1/8	1/8	1/9	1/9	1/9	1/9	5/57	5/57	1/6	1/6	1/6	1/6
剛軟度(m)	0.1	0.09	0.09	0.09	0.085	0.085	0.08	0.08	0.075	0.075	0.08	0.08	0.08	0.08
目付量(g/m ²)	50	47	47	44	44	44	40	40	37	37	50	50	50	50
W ₁ (mm)	0.35	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.38	0.38	0.36	0.36	0.35	0.35	0.35	0.35
W ₂ (mm)	0.22	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.24	0.24	0.23	0.23	0.22	0.22	0.22	0.22
W ₁ /W ₂	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60
繊維の傾斜角(°)	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
透過側流路材	ガラス繊維													
厚み (mm)	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
造水量(GPD)	910	900	900	905	905	905	895	895	880	880	925	890	890	890
除去率(%)	99.30	99.20	99.20	99.10	99.10	99.10	99.00	99.00	99.00	99.00	99.30	99.02	99.02	99.02
エレメント差圧 (kPa)	22	24	24	25	25	25	28	28	30	30	22	29	29	29
分隔壁表面へのスケール付着割合	0.13	0.14	0.14	0.12	0.12	0.12	0.15	0.15	0.16	0.16	0.12	0.15	0.15	0.15
発停後除去率(%)	99.00	98.90	98.90	98.80	98.80	98.80	98.70	98.70	98.60	98.60	99.00	98.90	98.90	98.90
エレメント性能	丸編み													

【 0 1 1 5 】

【 表 2 】

表 2

種類	実施例 8		実施例 9		実施例 10		実施例 11		実施例 12		実施例 13		実施例 14	
	P	原水→原水	P	原水→濃縮水										
交点部の糸径 (mm)	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
中央部の糸径 (mm)	0.30	0.29	0.29	0.28	0.28	0.27	0.27	0.27	0.27	0.26	0.26	0.26	0.24	0.24
中央部の糸径の最大値 (mm)	0.33	0.34	0.34	0.33	0.33	0.32	0.32	0.31	0.31	0.28	0.28	0.26	0.26	0.26
中央部の糸径の最小値 (mm)	0.25	0.26	0.26	0.26	0.26	0.25	0.25	0.25	0.25	0.24	0.24	0.24	0.22	0.22
中央部の糸径/太径部の糸径	0.75	0.77	0.77	0.73	0.73	0.72	0.72	0.71	0.71	0.69	0.69	0.67	0.67	0.67
厚み (mm)	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
供給側流路面積率 (%)	51	49	49	52	52	53	53	54	54	56	56	62	62	62
供給側流路材の空隙体積 ($\times 10^{-5}m^3$)	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.1	5.1	5.1
分離開エレメントの供給側流路材の空隙体積 ($\times 10^{-5}m^3$)	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7
供給側流路材総体積に対する供給側流路材の空隙体積の割合 (%)	90	91	91	91	91	92	92	92	92	93	93	95	95	95
供給側流路材の空隙体積に対する分離開エレメントの供給側流路材の割合 (%)	96	96	96	96	96	95	95	95	95	94	94	92	92	92
供給側流路材の空隙体積に対する分離開エレメントの供給側流路材の割合 (%)	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9
供給側流路材の供給水流れ方向に対して垂直方向の交点部間隔 (mm)	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
供給側流路材の供給水流れ方向に対して平行方向の交点部間隔 (mm)	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
供給側流路材の分離開への接面面積割合	0.15	0.13	0.13	0.13	0.13	0.12	0.12	0.12	0.12	0.11	0.11	0.1	0.1	0.1
繊維形状	テーパー													
テーパー方向	濃縮水→原水	原水→濃縮水												
側面形状	異径													
D ₁ (mm)	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
D ₂ (mm)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
L ₁ (mm)	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65
L ₂ (mm)	0.65	2/3	2/3	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65
L ₃ (mm)	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
テーパー率 T	1/6	1/6	1/6	1/6	1/6	1/6	1/6	1/6	1/6	1/6	1/6	1/6	1/6	1/6
剛軟度 (m)	0.1	0.105	0.105	0.095	0.095	0.09	0.09	0.085	0.085	0.08	0.08	0.072	0.072	0.072
目付量 (g/m ²)	50	55	55	51	51	50	50	49	49	45	45	40	40	40
W ₁ (mm)	0.36	0.35	0.35	0.34	0.34	0.32	0.32	0.32	0.32	0.31	0.31	0.28	0.28	0.28
W ₂ (mm)	0.23	0.22	0.22	0.21	0.21	0.20	0.20	0.20	0.20	0.19	0.19	0.17	0.17	0.17
W ₁ /W ₂	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60
繊維の傾斜角 (°)	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
種類	テーパー													
厚み (mm)	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
造水量 (GPD)	885	915	915	900	900	905	905	915	915	920	920	910	910	910
除去率 (%)	98.90	99.40	99.40	99.30	99.30	99.32	99.32	99.31	99.31	99.28	99.28	99.25	99.25	99.25
エレメント差圧 (kPa)	30	21	21	24	24	23	23	21	21	19	19	22	22	22
分離開表面へのスケール付着割合	0.16	0.13	0.13	0.13	0.13	0.12	0.12	0.13	0.13	0.11	0.11	0.10	0.10	0.10
発停後除去率 (%)	98.60	99.10	99.10	99.00	99.00	99.04	99.04	98.99	98.99	98.96	98.96	98.91	98.91	98.91

【 0 1 1 6 】

【 冊 3 】

表 3

種類	実施例 1 5	実施例 1 6	実施例 1 7	実施例 1 8	実施例 1 9	実施例 2 0	実施例 2 1
	P	P	P	P	P	P	P
供給側 流路材	交点部の糸径 (mm)	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
	中央部の糸径 (mm)	0.3	0.29	0.28	0.29	0.29	0.29
	中央部の糸径の最大値 (mm)	0.33	0.34	0.32	0.33	0.32	0.32
	中央部の糸径の最小値 (mm)	0.27	0.26	0.26	0.26	0.26	0.27
	中央部の糸径/太径部の糸径 厚み (mm)	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
	厚み (mm)	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
	供給側流路材の空隙体積率 (%)	51	51	51	51	51	50
	供給側流路材の空隙体積 ($\times 10^{-5} \text{m}^3$)	4.89	4.94	4.86	4.97	4.81	5.02
	分隔壁エレメントの供給側流路材の空隙体積の割合 (%)	4.64	4.74	4.57	4.77	4.47	4.87
	供給側流路材総体積に対する分隔壁エレメントの供給側流路材の割合 (%)	90.5	91.5	90	92	89	93
	供給側流路材の空隙体積に対する分隔壁エレメントの供給側流路材の割合 (%)	95	96	94	96	93	97
	繊維状列に並行な縦断面における交点部間隔 (mm)	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9
	供給側流路材の供給水流れ方向に対して垂直方向の交点部間隔 (mm)	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
	供給側流路材の供給水流れ方向に対して平行方向の交点部間隔 (mm)	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
	供給側流路材の分隔壁への接触面積割合	0.13	0.14	0.13	0.15	0.16	0.2
	繊維形状	テーパー	テーパー	テーパー	テーパー	テーパー	テーパー
	テーパー方向	原水→濃縮水	原水→濃縮水	原水→濃縮水	原水→濃縮水	原水→濃縮水	原水→濃縮水
	側面形状	異径	異径	異径	異径	異径	異径
	D ₁ (mm)	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
	D ₂ (mm)	0.37	0.65	0.334	0.78	0.3	1.05
L ₁ (mm)	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	
L ₂ (mm)	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	
L ₃ (mm)	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	
テーパー率 T	1/14	1/4	1/19	1/3	1/32	1/2	
剛軟度(m)	0.085	0.075	0.083	0.089	0.12	0.14	
目付量(g/m ²)	49	55	45	80	30	100	
W ₁ (mm)	0.36	0.35	0.34	0.35	0.35	0.36	
W ₂ (mm)	0.23	0.22	0.21	0.22	0.22	0.23	
W ₁ /W ₂	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	
繊維の傾斜角(°)	45	45	45	45	45	45	
種類	ダブルテーパー	ダブルテーパー	ダブルテーパー	ダブルテーパー	ダブルテーパー	ダブルテーパー	
透過側 流路材	厚み (mm)	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
	造水量(GPD)	920	910	922	900	880	910
	除去率(%)	99.30	99.34	99.29	99.38	99.3	99.42
	エレメント差圧 (kPa)	20	22	20	23	29	32
	分隔壁表面へのスケール付着割合 発停後除去率(%)	0.12	0.13	0.12	0.14	0.18	0.21
	98.90	99.05	98.90	99.12	98.95	98.70	

【 0 1 1 7 】

【 表 5 】

種類	比較例3	比較例4	比較例5	比較例6	比較例7	比較例8
	Q	R	R	R	P	P
交点部の糸径 (mm)	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
中央部の糸径 (mm)	0.34	0.15	0.14	0.2	0.36	0.35
中央部の糸径の最大値 (mm)	0.40	0.16	0.16	0.22	0.38	0.37
中央部の糸径の最小値 (mm)	0.27	0.14	0.12	0.18	0.34	0.33
中央部の糸径/太径部の糸径	0.98	0.38	0.36	0.42	0.9	0.88
厚み (mm)	0.60	0.60	0.60	0.6	0.60	0.60
供給側流路面積率 (%)	46	66	69	56	37	42
供給側流路材の空隙体積(×10 ⁻⁵ m ³)	4.9	5.0	5.1	4.9	4.5	4.6
分離膜エレメントの供給側流路材の空隙体積(×10 ⁻⁵ m ³)	4.0	4.5	4.5	4.7	4.4	4.5
供給側流路材総体積に対する供給側流路材の空隙体積の割合 (%)	93	93	95	91	84	85
供給側流路材の空隙体積に対する分離膜エレメントの供給側流路材の空隙体積の割合 (%)	82	90	87	95	98	97
繊維状列に並行な縦断面における交点部間隔 (mm)	5.1	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9
供給側流路材の供給水流れ方向に対して垂直方向の交点部間隔 (mm)	6.1	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
供給側流路材の供給水流れ方向に対して平行方向の交点部間隔 (mm)	8.2	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
供給側流路材の供給水流れ方向の接触面積割合	0.21	0.14	0.13	0.15	0.22	0.21
繊維形状	寸胴	ネックング	ネックング	ネックング	テーバー	テーバー
テーバー方向	—	—	—	—	原水→濃縮水	原水→濃縮水
側面形状	寸胴	異径	異径	異径	異径	異径
D ₁ (mm)	0.35	0.42	0.42	0.42	0.25	0.25
D ₂ (mm)	0.35	0.42	0.42	0.42	0.5	0.5
L ₁ (mm)	0.35	0.50	0.50	0.50	0.65	0.65
L ₂ (mm)	0.35	0.50	0.50	0.50	0.65	0.65
L ₃ (mm)	4.41	1.85	1.85	1.85	1.6	1.6
テーバー率T	—	—	—	—	1/6	1/6
剛軟度(m)	0.12	0.045	0.04	0.05	0.13	0.12
目付量(g/m ²)	120	18	16	20	100	95
W ₁ (mm)	0.32	0.21	0.20	0.28	0.32	0.32
W ₂ (mm)	0.2	0.13	0.12	0.18	0.2	0.2
W ₁ /W ₂	1.60	1.60	1.60	1.60	1.6	1.6
繊維の傾斜角(°)	45	45	45	45	45	45
種類	テーバー	テーバー	テーバー	テーバー	テーバー	テーバー
厚み (mm)	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
造水量(GPD)	855	885	875	908	855	860
除去率(%)	98.6	99.05	99.01	99.15	99.15	99.2
エレメント差圧 (kPa)	38	28	30	22	35	32
分離膜表面へのスケール付着割合	0.25	0.18	0.17	0.19	0.24	0.23
発停後除去率(%)	96.80	94.40	94.10	95.20	99.05	99.10

表 5

【 0 1 1 9 】

表 1 ~ 4 に示す結果から明らかなように、実施例 1 ~ 27 の分離膜エレメントは、供給水の流動を阻害せずに優れた分離性能を安定して備えているといえる。

【 0 1 2 0 】

一方、比較例 1、2 では供給側流路材の供給水流れ方向に対して垂直方向および平行方向の交点部間隔は実施例 1、2 と同様であるが、中央部の糸径が太いため供給側流路面積率が低く、エレメント差圧が高くなり、エレメント造水量と除去率の低下が生じた。

10

20

30

40

50

【 0 1 2 1 】

比較例 3 では中央部の糸径が太く、供給側流路材の供給水流れ方向に対して垂直方向および平行方向の交点部間隔が広いことから、エレメント作製時に分離膜本体がネット空隙部分に落ち込み、供給水流入端面部分の流路の安定形成が不十分であったため、エレメント差圧が高くなり、エレメント造水量と除去率の低下が生じた。

【 0 1 2 2 】

さらに、比較例 1 ~ 3 では、繊維形状・側面形状が寸胴であり、膜面と繊維との接触面積が多く、供給側流路面積率が低いため、流動抵抗が大きく、エレメント差圧が高くなり、エレメント造水量と除去率の低下が生じた。

また、比較例 1 ~ 3 の供給側流路材は分離膜への接触面積割合が高く、分離膜表面の供給水滞留部位が多いことから運転時の排濁性が低く、分離膜表面にスケールが多く付着した。

10

【 0 1 2 3 】

比較例 4、5 では、繊維形状がネッキングであり、剛軟度が小さいため、発停運転を行うとネットのズレが生じやすく、発停後除去率の低下が生じた。

また、比較例 4、5 は供給側流路面積率が高すぎるため、供給側流路材の交点間で膜落ち込みが生じ、エレメント差圧が高くなり、エレメント造水量と除去率の低下が生じた。

【 0 1 2 4 】

また、比較例 6 は、テーパーと供給側流路面積率が同等であるが、ネッキング形状であるため、流路の急拡大・急縮小により、エネルギー損失が生じ、エレメント差圧が高くなり、エレメント造水量と除去率の低下が生じた。

20

【 0 1 2 5 】

また、比較例 7、8 は繊維形状がテーパーであるが、供給側流路面積率が低すぎるため、エレメント差圧が高くなり、エレメント造水量と除去率の低下が生じた。

【 産業上の利用可能性 】

【 0 1 2 6 】

本発明の膜エレメントは、特に、RO浄水器としての利用や、かん水や海水の脱塩に好適に用いることができる。

【 0 1 2 7 】

本発明を特定の態様を用いて詳細に説明したが、本発明の意図と範囲を離れることなく様々な変更および変形が可能であることは、当業者にとって明らかである。なお、本出願は2019年8月30日付で出願された日本特許出願(特願2019-157773)、2019年12月23日付で出願された日本特許出願(特願2019-231577)及び2020年5月29日付で出願された日本特許出願(特願2020-094335)に基づいており、その全体が引用により援用される。

30

【 符号の説明 】

【 0 1 2 8 】

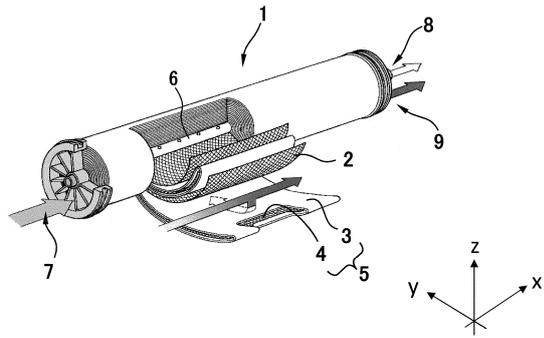
- 1 スパイラル型分離膜エレメント
- 2 供給側流路材
- 2 a ~ 2 e 供給側流路材
- 2 1 繊維状物 A
- 2 2 繊維状物 B
- 3 分離膜
- 4 透過側流路材
- 5 封筒状膜
- 6 集水管
- 7 供給水
- 8 透過水
- 9 濃縮水
- c 供給側流路材の供給水流れ方向に対して垂直方向の交点部間隔

40

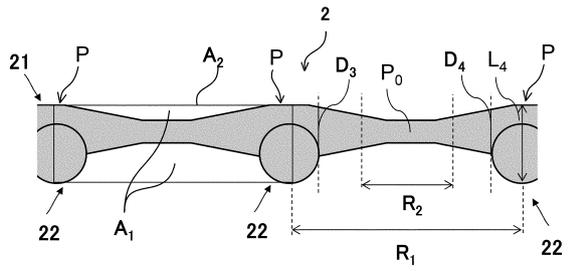
50

d	供給側流路材の供給水流れ方向に対して平行方向の交点部間隔	
w	水かき部	
A ₁	繊維状列に平行な縦断面における空間の面積	
A ₂	繊維状列に平行な縦断面における隣接する2つの交点部間の面積	
P	交点部	
P ₀	交点部間の中心点	
P ₁	任意の繊維の交点	
P ₂	P ₁ と隣り合う交点	
B ₁	交点P ₁ を決定する直線の延長線上かつ交点P ₁ に最も近い交点の一つ	
B ₂	交点P ₁ を決定する直線の延長線上かつ交点P ₁ に最も近い交点の一つ	10
B ₃	交点P ₁ を決定する直線の延長線上かつ交点P ₁ に最も近い交点の一つ	
B ₄	交点P ₁ を決定する直線の延長線上かつ交点P ₁ に最も近い交点の一つ	
Q ₁	P ₁ と隣接する4つの対角を結び、対角線と樹脂の輪郭が交わる点とP ₁ の距離が最も大きくなる点	
Q ₂	P ₂ と隣接する4つの対角を結び、対角線と樹脂の輪郭が交わる点とP ₂ の距離が最も大きくなる点	
L ₁	隣接する2つの交点部間距離(線分P ₁ Q ₁ の長さ)	
L ₂	隣接する2つの交点部間距離(線分P ₂ Q ₂ の長さ)	
L ₃	線分P ₁ P ₂ からL ₁ とL ₂ を引いた長さ	
L ₄	交点部の厚み	20
L ₅	中央部の平均厚み	
R ₁	側面から観察したときの交点部間距離	
R ₂	交点部間における中央部	
C ₁	L ₁ を半径とする円	
C ₂	L ₂ を半径とする円	
D ₁	P ₁ P ₂ に垂直かつC ₁ の接線を通る繊維径	
D ₂	P ₁ P ₂ に垂直かつC ₂ の接線を通る繊維径	
D ₃	太径部(繊維状物Bの断面の接線が繊維状物Aを通る線分)	
D ₄	太径部(繊維状物Bの断面の接線が繊維状物Aを通る線分)	
W ₁	繊維の横断面の最大径	30
W ₂	W ₁ に垂直な方向の最大径	

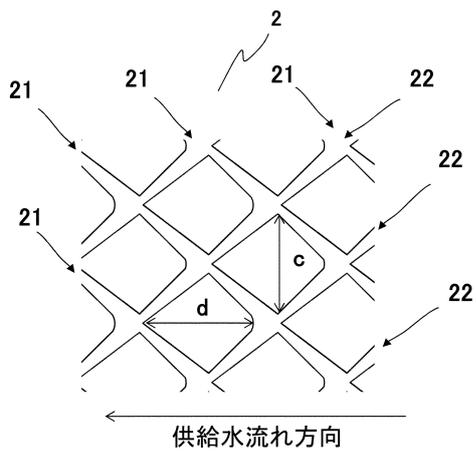
【図1】



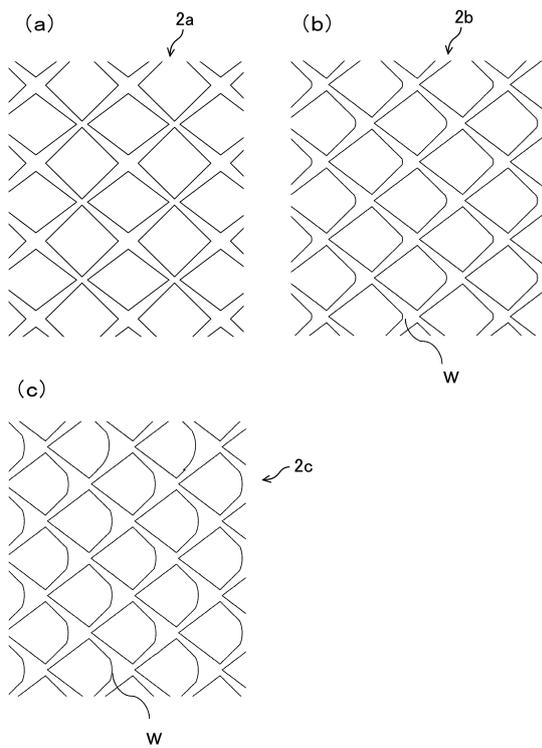
【図3】



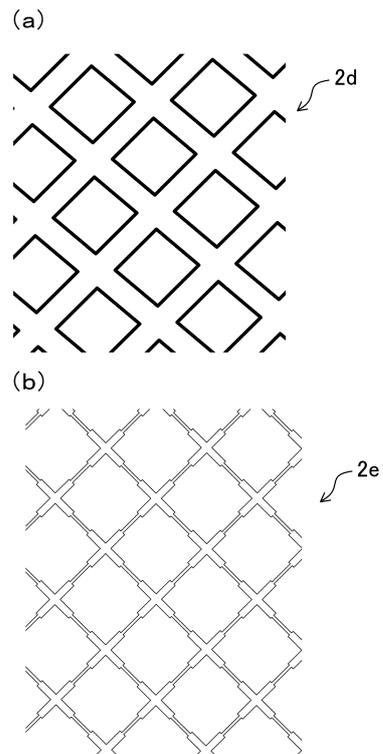
【図2】



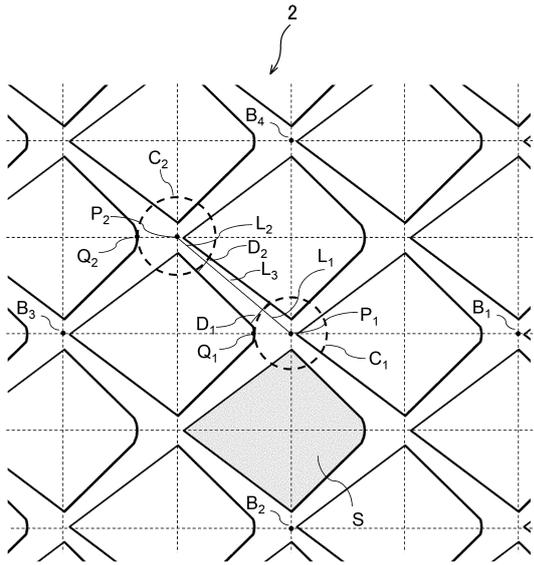
【図4】



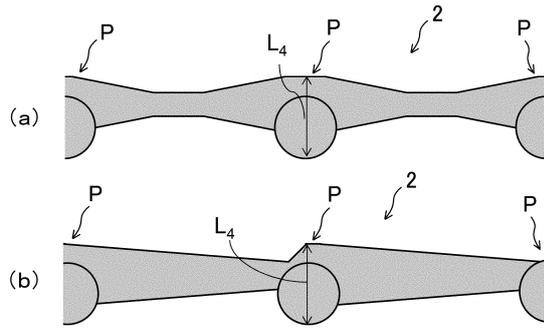
【図5】



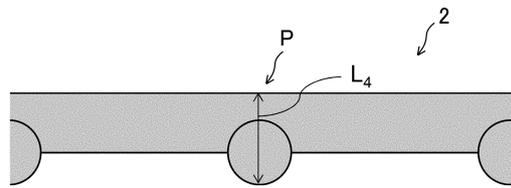
【図6】



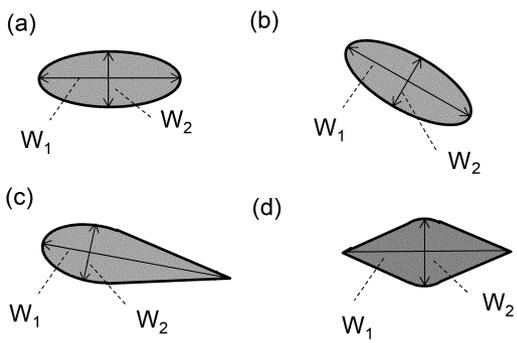
【図7】



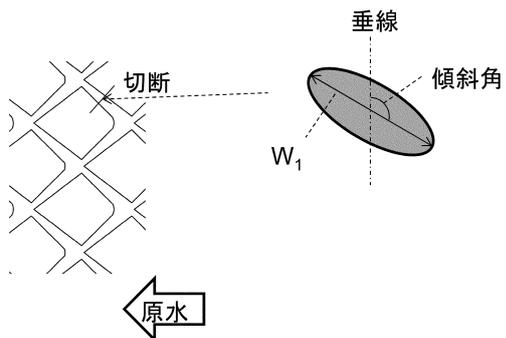
【図8】



【図9】



【図10】



フロントページの続き

- (31)優先権主張番号 特願2020-94335(P2020-94335)
(32)優先日 令和2年5月29日(2020.5.29)
(33)優先権主張国・地域又は機関
日本国(JP)

早期審査対象出願

審査官 関根 崇

- (56)参考文献 特開2007-117949(JP,A)
特開2015-205269(JP,A)
特表2015-526282(JP,A)
特表2006-507919(JP,A)
国際公開第2018/221103(WO,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B01D 63/10
B01D 63/00
D04B 1/00
D04C 1/06