

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2012 年 7 月 5 日(05.07.2012)



(10) 国際公開番号

WO 2012/091070 A1

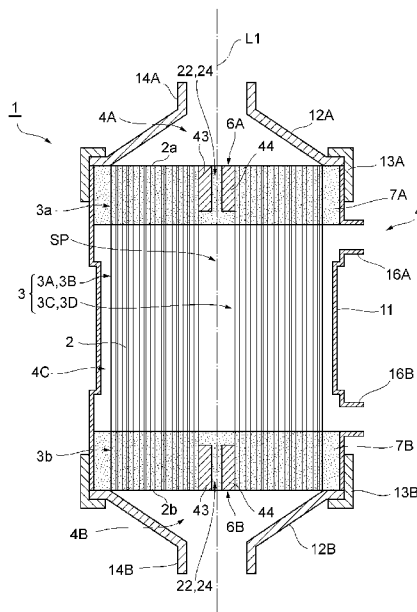
- (51) 国際特許分類:
B01D 63/02 (2006.01) B01J 20/28 (2006.01)
B01D 63/00 (2006.01) B01J 20/30 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2011/080343
- (22) 国際出願日: 2011 年 12 月 27 日(27.12.2011)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2010-290735 2010 年 12 月 27 日(27.12.2010) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 旭化成ケミカルズ株式会社(Asahi Kasei Chemicals Corporation) [JP/JP]; 〒1018101 東京都千代田区神田神保町一丁目 1 〇 5 番地 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 篠原 直志 (SHINOHARA Naoyuki) [JP/JP]; 〒1018101 東京都千代田区神田神保町一丁目 1 〇 5 番地 Tokyo (JP). 佐藤 優太(SATO Yuta) [JP/JP]; 〒1018101 東京都千代田区神田神保町一丁目 1 〇 5 番地 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 長谷川 芳樹, 外(HASEGAWA Yoshiki et al.); 〒1000005 東京都千代田区丸の内二丁目 1 番 1 号丸の内 MY PLAZA (明治安田生命ビル) 9 階 創英国際特許法律事務所 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (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), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[続葉有]

(54) Title: ADSORPTION/SEPARATION MEMBRANE MODULE, METHOD FOR PRODUCING ADSORPTION/SEPARATION MEMBRANE MODULE, AND PARTITION MEMBER

(54) 発明の名称: 吸着分離膜モジュール、吸着分離膜モジュールの製造方法、及び仕切部材

[図1]



(57) Abstract: Provided are an adsorption/separation membrane module capable of ensuring high scalability by using an adsorptive hollow fiber membrane, a method for producing the adsorption/separation membrane module, and a partition member. A hollow fiber membrane module (1) is provided with: a hollow fiber membrane bundle (3) comprising a plurality of adsorptive hollow fiber membranes (2); a housing (4) for housing the hollow fiber membrane bundle (3); and partition members (6A, 6B) for partitioning the hollow fiber membrane bundle (3) into a plurality of small bundles (3A, 3B, 3C, 3D), in the edge region of the hollow fiber membrane bundle (3). The partition members (6A, 6B) have pass-through parts (21, 22, 23, 24, 26) for passing through in the lengthwise direction of the hollow fiber membrane (2). The volume load of the hollow fiber membrane (2) is made to be greater than or equal to 30% and less than 70%. As a result, it is possible to ensure high scalability, because the adsorption capacity per volumetric membrane unit can be kept constant while ensuring processing ability of the hollow fiber membrane module (1).

(57) 要約: 吸着機能を有する中空系膜を用いて高いスケラビリティを確保することができる吸着分離膜モジュール、吸着分離膜モジュールの製造方法及び仕切部材を提供する。中空系膜モジュール(1)は、複数本の吸着機能を有する中空系膜(2)からなる中空系膜束(3)と、中空系膜束(3)を収容するハウジング(4)と、中空系膜束(3)の端部において、当該中空系膜束(3)を複数の小束(3A, 3B, 3C, 3D)に仕切る仕切部材(6A, 6B)と、を備え、仕切部材(6A, 6B)は、中空系膜2の長手方向に貫通する貫通部(21, 22, 23, 24, 26)を有する。そして、中空系膜(2)の体積充填率を30%以上70%未満とする。これにより、中空系膜モジュール(1)の処理能力を確保しつつ、単位膜体積当たりの吸着容量を一定に保つことができるため、高いスケラビリティを確保することができる。

て、中空系膜(2)の体積充填率を30%以上70%未満とする。これにより、中空系膜モジュール(1)の処理能力を確保しつつ、単位膜体積当たりの吸着容量を一定に保つことができるため、高いスケラビリティを確保することができる。

WO 2012/091070 A1



添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称：

吸着分離膜モジュール、吸着分離膜モジュールの製造方法、及び仕切部材

技術分野

[0001] 本発明は、吸着分離膜モジュール及びその製造方法、吸着分離膜モジュールに用いられる仕切部材に関するものである。

背景技術

[0002] 従来の中空糸膜モジュールとして、複数本の中空糸膜からなる中空糸膜束と、中空糸膜束を収容する筒体と、中空糸膜束の端部において、当該中空糸膜束を複数の膜束に仕切る仕切部材と、を備えるものが知られている（例えば、特許文献1、2参照）。この中空糸膜モジュールにおいては、仕切部材が、板を十字型等に組み合わせることによって構成されており、中空糸膜束を端部において例えば四つに区切っている。このような中空糸膜モジュールによって、飲食料品、化学製品及び医薬品などの各種工業分野における有価物濃縮および不純物除去や、超純水製造、河川水除濁及び排水処理などの各種水処理が行われている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2002-018244号公報

特許文献2：特開2000-185220号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 中空糸膜モジュールを用いて、各種工業分野向けおよび各種水処理向けの精製または濃縮の実プロセスを設計するに当たっては、小型サイズの中空糸膜モジュールを用いた事前評価を基に、実プロセスに必要な大型サイズの中空糸膜モジュールの数量を算出することが多い。ここで、必要とされる中空糸膜モジュールの数量を簡潔に算出するためには、中空糸膜モジュールのスケ

ーラビリティを十分に確保することが重要となる。スケーラビリティとは、中空糸膜モジュールの大きさ（具体的には、中空糸膜の長さ、内外径、中空糸膜束における中空糸膜の本数から定まる総膜量）と処理能力（例えば、単位時間当たりの処理水量、吸着対象物の吸着量など）の相関性であり、中空糸膜モジュールを所定倍の大きさにすると、処理能力もそれに伴って正確に所定倍になることが好ましい。スケーラビリティが高く安定していれば、実プロセスにおいて所望の能力を十分な精度で設計することが可能である。一方、中空糸膜モジュールのスケーラビリティが低い場合および／または中空糸膜モジュール毎にスケーラビリティにバラつきがある場合には、実プロセスにおいて所望の能力が発揮できず、実プロセスの設計を誤る可能性が高くなる。

[0005] ところで、中空糸膜は、「篩い分け機能」を有するサイズ分離膜と、「吸着機能」を有する吸着膜と、に分けられる。

[0006] 篩い分け機能とは、多孔質膜の細孔径に対する大きさにより分離する機能である。この機能を有するサイズ分離膜では、膜の細孔径よりも小さい溶質成分や溶媒成分は膜を通過するが、膜の細孔径より大きい溶質成分は膜に阻止されることで分離がされる。篩い分け機能を有するサイズ分離膜としては、いわゆる限外ろ過膜、精密ろ過膜、ナノろ過膜、透析膜、逆浸透膜等がある。このようなサイズ分離膜は、主に、上水処理、下水処理、食品の濃縮分離、超純水精製、一般工業排水の処理などの用途に用いられる。特に、上水処理及び下水処理では、上で述べたような小規模での試験的導入ではなく、最初から実プロセスサイズでの検討が行われる。

[0007] このようなサイズ分離膜を連続使用すると、目詰まりにより処理量が低下するものの、処理液の品質は篩分け機能により維持されるため、処理液の品質が悪化することはない。このため、サイズ分離膜は、主に処理量や寿命の要求が重視される。

[0008] 一方、吸着機能とは、膜の細孔表面上への相互作用力の差により分離する機能である。この機能を有する吸着膜では、膜の細孔表面に対する相互作用

力により細孔表面と親和性がある成分は多孔質膜の多孔質表面上に貯留され濃縮されるが、膜の細孔表面との相互作用がない成分や反発する成分は多孔質膜を通過することで分離がされる。吸着機能を有する吸着膜としては、イオン吸着膜や疎水性相互作用型吸着膜やアフィニティー型吸着膜等がある。このような吸着膜は、主に、蛋白質の精製、抗体精製、DNA除去、ウイルス除去などのバイオ用途や、金属イオンの回収などの用途として用いられる。特に、バイオ用途など、精製対象となる液が高価である場合には、小スケールでの実験データを元に、実プロセスの設計を行うのが一般的である。

[0009] このような吸着膜を連続使用すると、目詰まりにより処理量が低下するだけでなく、吸着膜独特の吸着破過の影響により処理液の品質も低下する。吸着破過とは、吸着しきれなくなった吸着対象物が膜の透過側に漏洩する現象を言う。このような吸着破過による吸着対象物の漏洩を回避するために、吸着膜では、サイズ分離膜に比べてスケラビリティが格段に高く、安定していることが要求される。

[0010] 特に、医薬品の精製など除去すべき不純物の量（または、回収すべき有効成分の量）などが精密に定められている用途においては、スケラビリティが極めて重要な問題となる。すなわち、例えば不純物を吸着除去する場合においては、中空糸膜モジュールの処理能力が想定よりも低いことによって、医薬品となる処理液に不純物が混入するという事態を確実に防止する必要がある。従って、精製すべき原液の量や物質の含有量に応じて、どの程度の大きさの中空糸膜モジュールを適用すればよいかが一義的に定まり、その大きさに対応した所望の処理能力が確実に発揮される必要がある。すなわち、中空糸膜モジュールが高いスケラビリティを有していることが求められる。

[0011] そこで、本発明者らが吸着機能を有する中空糸膜を用いた中空糸膜モジュール（以下、単に吸着分離膜モジュールと示すことがある）のスケラビリティに関して鋭意研究を行ったところ、中空糸膜モジュールの筒体の容積に対する中空糸膜束の占有体積である体積充填率により中空糸膜モジュールの

スケーラビリティが影響を受け、中空糸膜の体積充填率を所定範囲内とすることで、中空糸膜モジュールのスケーラビリティを高め、安定化することができるとの知見に至った。なお、従来、中空糸膜を用いた中空糸膜モジュールに関して体積充填率とスケーラビリティを関連付けて論じられたことはなく、サイズ分離膜に比べて格段に高いスケーラビリティが要求される吸着分離膜モジュールの研究を経て、体積充填率が極めて重要であることを突き止めた。

[0012] 本発明は、このような知見に基づいてなされたものであり、吸着機能を有する中空糸膜を用いて高いスケーラビリティを確保することができる吸着分離膜モジュール、吸着分離膜モジュールの製造方法及び仕切部材を提供することを目的とする。特に、吸着分離膜モジュールの製造方法及び仕切部材においては、更に、安定した体積充填率を得られる吸着分離膜モジュールを製造することができることを目的とする。

課題を解決するための手段

[0013] 本発明に係る吸着分離膜モジュールは、複数本の吸着機能を有する中空糸膜からなる中空糸膜束と、中空糸膜束を収容する筒体と、中空糸膜束の少なくとも一方の端部を固定した固定層と、を備える吸着分離膜モジュールであって、固定層が、中空糸膜束の長手方向に沿って固定層厚み全域に亘って延びる固定剤密部を有する。ここで、固定剤密部とは、固定剤と、中空糸膜と、その他の部材と、を備える固定層の各要素領域において、固定剤が主な構成成分となっている領域を指す。

[0014] 吸着分離膜モジュールを製造する際は、中空糸膜束と筒体とを備えるユニットの端部に固定剤を充填することにより固定層を形成するが、固定層に中空糸膜束の長手方向に沿って固定層厚み全体に延びる固定剤密部となる空間を確保しておけば、この空間を、固定剤充填の際の緩衝空間かつ／または流路として機能させることができる（詳細については後述する）。これにより、固定剤充填の際の中空糸膜束の端部に作用する荷重を小さくすることが可能となるため、中空糸膜束の座屈を抑制することができる。

[0015] 筒体に対する中空糸膜束の体積充填率が最適値となるように設計しても、固定剤の充填により中空糸膜束の座屈が大きくなると、筒体に対する中空糸膜束の体積充填率が設計値よりも大きくなってしまう。吸着分離膜モジュールは、この体積充填率によって吸着量（すなわち、吸着破過するまでに、吸着分離モジュールが対象物を吸着できる量）が変わるため、過剰な体積充填率となることを避ける必要がある。

[0016] ここで、体積充填率と吸着分離膜モジュールの吸着量の関係について説明する。中空膜の内表面側から液を流し、外表面側から透過液として処理液を得る場合を考える。中空糸膜は、内表面側と外表面側の圧力差（以下、膜間差圧という）によって、液が透過する。そして、単位時間当たりに透過する液の量は、膜間差圧に依存する。中空糸膜束が筒体に収容されている吸着分離膜モジュールで、中空糸膜の体積充填率を大きくしていくと、中空糸膜束の外表面側と筒体の内表面側の間の空間は小さくなる。このため、中空糸膜の外表面側の処理液は、筒体の端部側面の開口部（ここから、処理液が排出される）へ、中空糸膜の長手方向に沿って移動する際、大きな圧力損失を受ける。すなわち、体積充填率を大きくすると、中空糸膜の内表面側の圧力分布は変化せず、中空糸膜の外表面側のみ、中空糸膜の長手方向に沿って圧力分布が変化するので、膜間差圧のバラつきが大きくなる。これによって、モジュール内全ての中空糸膜が全域に亘って均等に分離処理に供されるべきものが、局所的に過剰な処理液が流れるため、各中空糸膜において、吸着破過が始まるタイミングに差が生じる。吸着分離膜は、吸着破過が始まる前に分離処理を終了させる必要があるため、このように各中空糸膜において吸着破過が始まるタイミングに差が生じると、未だ吸着可能な未破過の中空糸膜が残っていても、吸着分離膜モジュール全体としての機能が終了となる。同様なことが、中空糸の外表面側から内表面側へと液を透過させる場合も言える。

[0017] そこで、固定層の固定剤密部を、固定剤充填時の緩衝空間かつ／または流路として機能させて、中空糸膜束の座屈を抑制することで、筒体に対する中

中空糸膜束の体積充填率を設計値から大きく外れて過剰になるのを抑制して、吸着分離膜モジュールの吸着量の低下を防ぎ、高く、安定したスケラビリティを維持し、実プロセスでの吸着分離膜モジュールの機能低下、すなわち、処理液の品質の低下を防ぐ。

[0018] また、本発明は、固定剤密部の断面積が、中空糸膜束の占有断面積に対して3%以上60%未満であるものとすることができる。このように、固定剤密部の断面積を中空糸膜束の占有断面積に対して3%以上60%未満とすることで、座屈を抑制することが可能となる。ここで、中空糸膜束の占有断面積とは、中空糸膜モジュールの固定層の端面において、中空糸膜束が存在する領域の略外接円が占める断面積である。

[0019] また、本発明は、固定層において、中空糸膜束が複数の小束に分割されるとともに、各小束が間隔をあけて配置されているものとすることができる。小束同士は一部が間隔をあけて（一部が接触して）配置されていても良いし、完全に離間して配置されていても良い。中空糸膜束が複数の小束に分割されて配置されることで、吸着分離膜モジュールの製造時に、固定剤を充填する際、小束間の空間を固定剤密部となる空間、すなわち、固定剤充填時の緩衝空間かつ／または流路として機能させることができる。特に、小束同士が完全に離間して配置されることで、小束間の空間が、緩衝空間としてだけでなく、流路としても機能する。詳しくは後述するが、流路とは、中空糸膜束と筒体の間の広い空間へ固定剤を誘導する空間であり、これによって緩衝空間をより拡張させることができる。結果として、確実に固定剤の充填時に中空糸膜束の端部に作用する荷重を小さくすることができ、中空糸膜束の座屈を抑制できる。

[0020] また、本発明は、固定層において中空糸膜束を複数の小束に仕切り、中空糸膜束の長手方向に貫通する貫通部を有する仕切部材を更に備えるものとすることができる。このように、長手方向に貫通する貫通部を有する仕切部材で中空糸膜束が複数の小束に仕切られることで、吸着分離膜モジュールの製造時に、固定剤を充填する際、仕切部材の貫通部を、固定剤密部となる空間

、すなわち固定剤充填時の緩衝空間かつ／または流路として機能させて、固定層に中空糸膜束の長手方向に沿って固定層厚み全域に延びる固定剤密部を形成することができる。これにより、固定剤の充填により中空糸膜の端部に作用する荷重を小さくすることが可能となり、中空糸膜束の座屈を抑制することができる。また、この仕切部材により、固定剤の塊が小束ごとに区分される。固定層を形成する固定剤は、硬化時に発熱し、固定剤の塊が大きいほど、硬化発熱量が大きくなるため、冷却収縮も大きくなる。そこで、このように固定剤の塊を区分することで、固定剤の塊の一つ当たりの硬化発熱量が小さくなり、冷却収縮が抑制されるため、固定層の剥離や割れの発生を防止することができる。

[0021] また、本発明は、仕切部材の貫通部を、固定剤を充填する際の緩衝空間かつ／または流路として機能させて、固定層に中空糸膜束の長手方向に沿って固定層厚み全域に延びる固定剤占有部（すなわち、固定剤のみからなる固定剤密部）を形成することができる。これにより、固定剤の充填時の中空糸膜束の端部に作用する荷重を確実に小さくすることが可能となり、中空糸膜束の座屈を抑制することができる。しかも、貫通部に充填される固定剤も仕切部材により区分されるため、固定層の剥離や割れの発生を防止することができる。

[0022] また、本発明は、仕切部材は、一对の板部材が対向配置されることによって貫通部が形成されているものとすることができる。さらに、仕切部材の貫通部を、固定剤を充填する際の緩衝空間かつ流路として機能させて、固定層に中空糸膜束の長手方向に沿って固定層厚み全域に延びる固定剤密部を形成することができる。また、一对の板部材で仕切部材を形成する事で、緩衝空間かつ流路が、設計通りの確実な寸法で、簡便に構築できる。さらに、仕切部材による固定剤の塊を区分することによる、固定層の剥離や割れの発生を防止することもできる。

[0023] また、本発明は、仕切部材で仕切られた中空糸膜束を分割する分割手段を更に備えるものとすることができる。このように、中空糸膜束が分割手段で

分割されることにより、中空糸膜束を小束化することができる。

[0024] また、本発明は、仕切部材で仕切られた中空糸膜束の外周を覆う保護部材を更に備えるものとすることができる。このような保護部材によって、中空糸膜束の外周を保護することができる。また、中空糸膜束同士の間隙がより確保され、および／または、中空糸膜束における中空糸膜がばらけることを防止し、スケーラビリティを一層確保することができる。

[0025] また、本発明は、仕切部材が、一对の対向配置された板部材を十字型に組み合わせたものとすることができる。このように、仕切部材をシンプルな十字型にすることで、より容易に貫通部を形成することができ、仕切部材が単純構造な故、その分充填する中空糸膜の本数を増やすことが可能となる。また、仕切部材の貫通部を、固定剤を充填する際の緩衝空間かつ流路として機能させて、固定層に、中空糸膜束の長手方向に沿って固定層厚み全域に延びる固定剤密部を形成することができる。さらに、仕切部材により固定剤を区分することによる、固定層の剥離や割れの発生を防止することもできる。

[0026] また、本発明は、バイオ用途の分離精製に使用されるものとすることができる。これにより、所望の能力でバイオ用途の分離精製を十分な精度で行うことができる。

[0027] 本発明に係る吸着分離膜モジュールの製造方法は、複数本の吸着機能を有する中空糸膜からなる中空糸膜束と、中空糸膜束を収容する筒体と、中空糸膜束の少なくとも一方の端部を筒体に固定する固定層と、を備える吸着分離膜モジュールの製造方法であって、中空糸膜束、筒体、及び中空糸膜間に隙間を形成して中空糸膜束の長手方向に向けて延びる固定剤注入部材を備えるユニットの端部に固定剤を充填することによって、中空糸膜束を筒体に固定し、ユニットの端部を切断することによって、中空糸膜の端部を開口させる。なお、固定剤注入部材は切断されたユニットの端部と共に除去される程度の長さであっても良いし、吸着分離膜モジュールの固定層に残る長さであっても良い。

[0028] 本発明に係る吸着分離膜モジュールの製造方法では、中空糸膜間に隙間を

形成する固定剤注入部材が中空糸膜束の長手方向に向けて延びることにより、固定剤を充填する際の緩衝空間かつ／または流路として機能させて、固定層に、固定層厚み全域に延びる固定剤密部を形成することができる。従って、上述の吸着分離膜モジュールと同様の作用・効果を奏することができる。これによって、本発明に係る吸着分離膜モジュールの製造方法によれば、安定した体積充填率となり、高く、安定したスケーラビリティを有する吸着分離膜モジュールを製造することができる。

[0029] 本発明に係る吸着分離膜モジュールの製造方法は、複数本の吸着機能を有する中空糸膜からなる中空糸膜束と、中空糸膜束を収容する筒体と、中空糸膜束の少なくとも一方の端部を筒体に固定する固定層と、固定層において中空糸膜束を複数の小束に仕切り中空糸膜の長手方向に貫通する貫通部を有する仕切部材と、を備える吸着分離膜モジュールの製造方法であって、中空糸膜束、筒体、及び仕切部材を備えるユニットの端部に固定剤を充填することによって、中空糸膜束及び仕切部材を筒体に固定し、ユニットの端部を切断することによって、中空糸膜の端部を開口させる。

[0030] 本発明に係る吸着分離膜モジュールの製造方法では、仕切部材が中空糸膜の長手方向に貫通する貫通部を有している。従って、上述の吸着分離膜モジュールと同様の作用・効果を奏することができる。これによって、本発明に係る吸着分離膜モジュールの製造方法によれば、安定した体積充填率となり、高く、安定したスケーラビリティを有する吸着分離膜モジュールを製造することができる。

[0031] 本発明に係る仕切部材は、複数本の吸着機能を有する中空糸膜からなる中空糸膜束と、中空糸膜束を収容する筒体と、中空糸膜束の少なくとも一方の端部を筒体に固定する固定層と、を備える吸着分離膜モジュールに設けられ、中空糸膜束の端部で中空糸膜束を複数の膜束に仕切る仕切部材であって、軸線方向に貫通する貫通部を有する。

[0032] 本発明に係る仕切部材は、軸線方向、すなわち、吸着分離膜モジュールに組み付けたときに、中空糸膜の長手方向に沿う方向に貫通する貫通部を有し

ている。従って、本発明に係る仕切部材が適用された吸着分離膜モジュールは、上述の吸着分離膜モジュールと同様の作用・効果を奏することができ、安定した体積充填率となり、高く、安定したスケーラビリティを有する吸着分離膜モジュールを製造することができる。

[0033] 本発明に係る吸着分離膜モジュールは、複数本の吸着機能を有する中空糸膜からなる中空糸膜束と、中空糸膜束を収容する筒体と、中空糸膜束の少なくとも一方の端部を固定した固定層と、を備える吸着分離膜モジュールであって、中空糸膜の単糸形態での動的吸着容量に対する、モジュール形態での動的吸着容量の比が90%以上100%以下である。

[0034] ここで、動的吸着容量とは、単位膜体積あたりの吸着性能を示す指標である。吸着分離膜モジュール、あるいは吸着膜そのものに、吸着破過するまで指標物質を供給し、吸着した指標物質の量を、評価に用いた吸着膜の総膜体積で割り返すことで求められる。すなわち、モジュール形態での動的吸着容量とは、この評価をモジュールで行ったときの吸着性能であり、単糸形態での動的吸着容量とは、モジュールを解体して充填されている中空糸膜を取り出して、評価したときの吸着性能である。

[0035] 本発明に係る吸着分離膜モジュールによれば、小型サイズから大型サイズのモジュールまで、全てのサイズに亘って、単糸形態での動的吸着容量とほぼ同一な動的吸着容量がモジュール形態でも得られる。結果として、異なるサイズの吸着分離膜モジュール間で、高く、安定したスケーラビリティを確保することが可能となり、実プロセスにおいて所望の能力を十分な精度で設計することが可能となる。

[0036] また、本発明に係る吸着分離膜モジュールは、筒体の容積に対する中空糸膜の占有体積である体積充填率が30%以上70%未満とする。これにより、モジュールの設置面積に対する処理能力を確保しつつ、単位膜体積あたりの吸着性能を一定に保つことができるため、高く、安定したスケーラビリティを確保することができる。更に中空糸膜の単糸形態での動的吸着容量に対する、モジュール形態での動的吸着容量の比が90%以上100%以下とす

ることができる。

発明の効果

[0037] 本発明の吸着分離膜モジュール、吸着分離膜モジュールの製造方法、及び仕切部材によれば、吸着機能を有する中空糸膜を用いて高く、安定したスケラビリティを確保することができる。特に、吸着分離膜モジュールの製造方法及び仕切部材においては、更に、安定した体積充填率を得られる吸着分離膜モジュールを製造することができる。

図面の簡単な説明

[0038] [図1]本発明の実施形態に係る中空糸膜モジュールの長手方向に沿った断面構成を示す概略構成図である。

[図2]本発明の実施形態に係る中空糸膜モジュールの固定層における横断面構成を示す概略構成図である。

[図3]本発明の実施形態に係る中空糸膜モジュールを製造するために事前に組み立てるユニットの分解斜視図である。

[図4]本発明の実施形態に係る中空糸膜モジュールの製造方法を示すフロー図である。

[図5]図3に示す組み立てユニットに固定剤を充填している様子を横断面構成で示す概略図である。

[図6]図3に示す組み立てユニットに固定剤を充填している様子を概略図である。

[図7]図3に示す組み立てユニットに固定剤を充填している様子を概略図である。

[図8]図3に示す組み立てユニットの両端部が切断された様子を概略図である。

[図9]体積充填率とモジュールの動的吸着容量との関係を示したグラフである。

[図10]中空糸膜束の座屈状態を示す概略図であり、(a)は中空糸膜束が座屈していない状態を示しており、(b)は中空糸膜束が座屈した状態を示し

ている。

[図11]変形例に係る中空糸膜モジュールの固定層における横断面構成を示す概略構成図である。

[図12]図 1 1 (b) に示す中空糸膜モジュールの製造工程を示す概略図である。

[図13]変形例に係る中空糸膜モジュールの固定層における横断面構成を示す概略構成図である。

[図14]変形例に係る中空糸膜モジュールの固定層における横断面構成を示す概略構成図である。

[図15]変形例に係る中空糸膜モジュールの固定層における横断面構成を示す概略構成図である。

[図16]仕切部材と固定剤の境界を見極めるスキームを示すフローチャートである。

[図17]実施例及び比較例における体積充填率と吸着容量性能比との関係を示すグラフである。

発明を実施するための形態

[0039] 以下、図面を参照して、本発明の好適な実施形態について説明する。

[0040] 図 1 は、本発明の実施形態に係る中空糸膜モジュール 1 の長手方向に沿った断面構成を示す概略構成図である。図 2 は、本発明の実施形態に係る中空糸膜モジュール 1 の固定層における横断面構成を示す概略構成図である。図 3 は、本発明の実施形態に係る中空糸膜モジュール 1 を製造するために事前に組み立てるユニットの分解斜視図である。図 1 及び図 2 に示すように、中空糸膜モジュール 1 は、複数本の吸着機能を有する中空糸膜 2 からなる中空糸膜束 3 と、中空糸膜束 3 を収容する筒状のハウジング（筒体） 4 と、中空糸膜束 3 の端部 3 a, 3 b に配置される仕切部材 6 A, 6 B と、中空糸膜束 3 の端部 3 a, 3 b をハウジング 4 に固定する固定層 7 A, 7 B と、を備えている。なお、この中空糸膜モジュール 1 は、吸着分離膜モジュールとも言う。

[0041] 中空糸膜束 3 は、仕切部材 6 によって複数の小束 3 A, 3 B, 3 C, 3 D に分けられている。ハウジング 4 に固定された状態では、各小束 3 A, 3 B, 3 C, 3 D は、互いに接触しないように、十分に間隔を空けて配置されている。例えば図 3 に示すように、各小束 3 A, 3 B, 3 C, 3 D は、外周をそれぞれ保護部材 8 で覆われていてもよい。この保護部材 8 は、網目を有するネット状構造物である。本実施形態では、保護部材 8 は、中空糸膜束 3 を四つに区切った小束 3 A, 3 B, 3 C, 3 D を覆うために、断面扇状の形状を有している。保護部材 8 の素材は特に限定されず公知の素材を使用することができる。例えば、ポリエステル、ナイロン、ポリエチレン、ポリプロピレン、ポリ塩化ビニル、ポリ塩化ビニリデン、ポリフッ化ビニル、ポリフッ化ビニリデン、ポリスルホン、ポリカーボネート等の高分子材料や、ステンレススチールやアルミニウム等の金属材料やグラスファイバーやカーボンファイバー等の無機材料から選定する事が可能である。特に、医薬品用途や食料品用途では溶出安全性への観点や各用途毎に必要となる加熱滅菌処理耐性や薬品洗浄耐性やから、ポリエチレン、ポリプロピレン、ポリスルホン、ポリカーボネートやポリフッ化エチレンなどの材質から選ぶのが好ましい。保護部材 8 の網目を有するネットの網目形状や網目寸法についても、中空糸膜への流体供給を阻害しない形状や寸法であれば特に制約はない。例えば格子状の編み込み品であってもよく、矩形や丸型の目が開いた射出品であっても良い。

[0042] 中空糸膜束 3 を構成する中空糸膜 2 は、いわゆる「吸着機能」を有する吸着膜であり、両側の端部 2 a, 2 b において開口している。

[0043] 吸着膜タイプの中空糸膜 2 としては、吸着機能を有するものであれば素材や吸着作用点の微細構造に関して限定されるものではなく、公知のものを使用できる。また、例えば下記公知技術（国際公開第 2009/054226 号、米国特許第 5547575 号明細書、米国特許第 6780327 号明細書、特表 2006-519273 号公報、特開 2009-53191 号公報等）を中空糸膜に応用することにより得られる吸着膜タイプの中空糸膜を使

用しても良い。

[0044] 吸着膜は、吸着機能を発現させる吸着作用点と、透過膜としての形状を保持するための基材膜とから構成される。吸着機能を発現させる吸着作用点は、吸着機能を有する官能基を基材多孔質表面に導入することで形成される。吸着機能を有する官能基としては、例えば、スルホン酸基、カルボン酸基、リン酸基等のカチオン交換基、1級アミノ基および1級アンモニウム基、2級アミノ基および2級アンモニウム基、3級アミノ基および3級アンモニウム基、4級アンモニウム基等のアニオン交換基、アルキル基や芳香族系官能基等の疎水性基、イミノ二酢酸基やエチレンジアミン四酢酸基等のキレート型官能基、プロテインAや生体関連物質からなるアフィニティー型官能基が挙げられる。これら官能基は複数種を組み合わせ用いてもよい。

[0045] 吸着作用点の微細構造は、吸着機能を有していれば特に制限されるものではなく、例えば、基材となる中空糸膜2の表面に直接化学的結合をしていてもよいし、コーティングにより中空糸膜2の多孔質体に物理的に固定していてもよい。あるいは直鎖状の微細構造を形成してもよいし、架橋構造をとってもよい。

[0046] 吸着膜を構成する基材膜には、公知の限外ろ過膜または精密ろ過膜を使用することができる。例えば、基材膜の素材として、ポリフッ化ビニリデン、ポリエチレン、ポリプロピレン、ポリスルホン、ポリエーテルスルホン、ポリフェニレンオキサイド、ポリアクリロニトリル、セルロースやセルロース誘導体、ポリビニルアルコール等の高分子材料等およびこれらの複合素材や、アルミナやジルコニア等の無機材料を用いることができる。なお、中空糸膜2に対し、化学的処理又は物理的処理を施すことにより、後から吸着サイトを加工する場合には、その加工条件による変質や分解の発生しない素材を選定する必要がある。さらに、使用用途により温度的負荷、薬品的負荷、使用圧力や振動等の物理的負荷が発生する場合には、それぞれの用途に応じて、公知の素材から適切な素材を選択することができる。基材膜のより好ましい素材として、ポリエチレン、ポリプロピレン、ポリフッ化ビニリデン、ポ

リスルホンを用いる事ができる。

[0047] 中空糸膜2の平均細孔径は、処理液に応じて適切なサイズを選択することができる。好ましくは0.001 μm 以上10 μm 以下であり、より好ましくは0.01 μm 以上10 μm 以下であり、さらに好ましくは0.1 μm 以上1 μm 以下である。

[0048] 中空糸膜2中の細孔の占める体積比率である空孔率は、実用上問題のない範囲であれば任意に選択可能である。好ましくは5%以上99%以下であり、より好ましくは10%以上95%以下であり、さらに好ましくは30以上90%以下である。

[0049] 平均細孔径及び空孔率の測定は、例えば、Marcel Mulder著「膜技術」（株式会社アイピーシー）に記載されているような、当業者にとって通常の方法により行うことができる。測定法の具体例としては、電子顕微鏡による観察、バブルポイント法、水銀圧入法、透過率法などが挙げられる。

[0050] 中空糸膜2の断面寸法としては、内径50 μm ～10 mmが好ましく、より好ましくは100 μm ～4 mmで、内／外径比が0.2～0.8の範囲の膜が好適に使用できる。

[0051] 中空糸膜2の形状としては、直線状のもの、あるいは捲縮加工したもの（クリンプ糸）を用いることができる。

[0052] ハウジング4は、筒状のハウジング本体部11と、ハウジング本体部11の両端に配置されるキャップ12A、12Bと、キャップ12A、12Bをハウジング本体部11に固定する固定具13A、13Bと、を備えている。ハウジング本体部11と、キャップ12A、12Bと、固定具13A、13Bの素材には特に限定はなく、ポリ塩化ビニル、ポリスルホン、ポリカーボネート、ABS等の高分子材料や、ステンレススチールやアルミニウム等の金属材料が適用できる。ハウジング本体部11の両端は固定層7A、7Bでそれぞれ封止されている。なお、ハウジング本体部11の両端部の内壁で、固定層7A、7Bと接着する部分には、固定剤との接着力を上げるために、内溝

加工あるいは面荒し加工などが施されてもよい。この固定層 7 A, 7 B によって、ハウジング 4 は、三つの空間に区画されている。具体的には、ハウジング 4 は、固定層 7 A とキャップ 1 2 A で構成される空間 4 A と、固定層 7 B とキャップ 1 2 B で構成される空間 4 B と、ハウジング本体部 1 1 と固定層 7 A, 7 B で構成される空間 4 C と、を有する。空間 4 A に対して、中空系膜 2 の端部 2 a が開口し、空間 4 B に対して、中空系膜 2 の端部 2 b が開口する。また、空間 4 A には、キャップ 1 2 A に形成された管部 1 4 A が連通し、空間 4 B には、キャップ 1 2 B に形成された管部 1 4 B が連通している。空間 4 C には、ハウジング本体部 1 1 に形成された管部 1 6 A, 1 6 B が連通している。

- [0053] 仕切部材 6 A, 6 B は、中空系膜束 3 の端部 3 a, 3 b において、当該中空系膜束 3 を複数の小束 3 A, 3 B, 3 C, 3 D に仕切る。仕切部材 6 A, 6 B は、所定の断面形状を有して軸線 L 1 に沿って延在する。仕切部材 6 A, 6 B の軸線 L 1 は、ハウジング 4 の軸線と一致するように配置される。仕切部材 6 A, 6 B の軸線方向（すなわち、軸線 L 1 が延びる方向）は、中空系膜 2 の長手方向と略平行になり、小束 3 A, 3 B, 3 C, 3 D を仕切る方向と直交する。この仕切部材 6 A, 6 B は、中空系膜 2 の長手方向（すなわち軸線方向）に貫通する貫通部 2 1, 2 2, 2 3, 2 4, 2 6 を有している。図 2 及び図 3 に示すように、仕切部材 6 A, 6 B は、四つの壁部 3 1, 3 2, 3 3, 3 4 を有する十字状をなしている。壁部 3 1 は、小束 3 A と小束 3 B とを仕切っている。壁部 3 2 は、小束 3 B と小束 3 C を仕切っている。壁部 3 3 は、小束 3 C と小束 3 D とを仕切っている。壁部 3 4 は、小束 3 D と小束 3 A とを仕切っている。貫通部 2 1 は、壁部 3 1 に形成されている。貫通部 2 2 は、壁部 3 2 に形成されている。貫通部 2 3 は、壁部 3 3 に形成されている。貫通部 2 4 は、壁部 3 4 に形成されている。貫通部 2 6 は、各壁部 3 1 ~ 3 4 の付根部分に該当する、仕切部材 6 A, 6 B の中央位置（軸線 L 1 が配置される位置）に形成される。仕切部材 6 A, 6 B の素材には特に限定はなく、公知の高分子材料、無機材料、金属材料を好適に用いること

が可能である。例えば、中空糸膜モジュールを構成する、固定剤、中空糸膜、ハウジング本体と同じ素材から選定するのが好ましい。例えば、エポキシ樹脂、ウレタン樹脂、シリコン樹脂、ポリフッ化ビニリデン、ポリエチレン、ポリプロピレン、ポリスルホン、ポリエーテルスルホン、ポリフェニレンオキサイド、ポリ塩化ビニル、ポリカーボネート、ABS樹脂等の高分子材料、アルミナやジルコニア等の無機材料、ステンレススチールやアルミニウム等の金属材料が適用できる。固定剤との接着性がよく、固定剤に対して剥離等の異常を生じさせないという観点から、固定剤と同じ素材とすることがより好ましい。また、仕切部材の表面は固定剤との接着力を上げるために、面荒し加工が施されても良い。

[0054] 具体的に、壁部31は、互いに対向する一对の板部材31a, 31bによって構成されている。板部材31aと板部材31bの間に、貫通部21が形成される。この貫通部21は、中空糸膜2の長手方向に貫通すると共に、外周方向（板部材31a, 31bの先端側）で開口している。壁部32は、互いに対向する一对の板部材32a, 32bによって構成されている。板部材32aと板部材32bの間に、貫通部22が形成される。この貫通部22は、中空糸膜2の長手方向に貫通すると共に、外周方向（板部材32a, 32bの先端側）で開口している。壁部33は、互いに対向する一对の板部材33a, 33bによって構成されている。板部材33aと板部材33bの間に、貫通部23が形成される。この貫通部23は、中空糸膜2の長手方向に貫通すると共に、外周方向（板部材33a, 33bの先端側）で開口している。壁部34は、互いに対向する一对の板部材34a, 34bによって構成されている。板部材34aと板部材34bの間に、貫通部24が形成される。この貫通部24は、中空糸膜2の長手方向に貫通すると共に、外周方向（板部材34a, 34bの先端側）で開口している。貫通部26は、各板部材の連結部分に形成されており、中空糸膜2の長手方向に貫通する。壁部31, 32, 33, 34は、各小束3A, 3B, 3C, 3D同士の離間距離を十分に確保する厚みを有する。従って、ハウジング4の空間4Cにおいて、各小

束 3 A, 3 B, 3 C, 3 D 同士の間には、十分な隙間 S P が形成される。

[0055] 図 2 及び図 3 に示す仕切部材 6 A, 6 B は、互いに平行に配置される平板 4 1, 4 2 と、当該平板 4 1, 4 2 と垂直をなして互いに平行に配置される平板 4 3, 4 4 とを、それぞれの中央位置で接合することによって構成されている。平板 4 1 は、板部材 3 1 a と板部材 3 3 a を構成する。平板 4 2 は、板部材 3 1 b と板部材 3 3 b を構成する。平板 4 3 は、板部材 3 2 a と板部材 3 4 a を構成する。平板 4 4 は、板部材 3 2 b と板部材 3 4 b を構成する。仕切部材 6 A, 6 B は、例えば、平板 4 1, 4 2 の中央位置にスリットを形成し、平板 4 3, 4 4 の中央位置にスリットを形成し、各々のスリットを突き合わせて連結することで、構成することができる。あるいは、このような形状に切削加工することで仕切部材 6 A, 6 B を構成してもよく、このような形状に成型することで仕切部材 6 A, 6 B を構成してもよい。

[0056] 固定層 7 A は、ハウジング 4 のハウジング本体部 1 1 の一方の端部を封止している。固定層 7 A は、中空糸膜束 3 の一方の端部 3 a と、仕切部材 6 A を内包するように形成される。固定層 7 B は、ハウジング 4 のハウジング本体部 1 1 の他方の端部を封止している。固定層 7 B は、中空糸膜束 3 の他方の端部 3 b と、仕切部材 6 B を内包するように形成される。固定層 7 A, 7 B の材質として特に制限はないが、通常、二液混合型硬化性樹脂や熱可塑性樹脂が用いられる。二液混合型硬化性樹脂としては、反応性を有する複数の化合物を混合することによって硬化する樹脂であり、一般に二液型接着剤 (two-component adhesive)、二液型注型剤 (two-component resin) とも言われているもので、主剤と硬化剤と称する二液を使用時に混合して硬化させるものである。例えば、反応性基としてイソシアネートを含む主剤と活性水素含有有機化合物を含む硬化剤とから成るウレタン樹脂、反応性基としてエポキシ基を含む主剤と活性水素含有有機化合物や有機酸無水物を含む硬化剤とから成るエポキシ樹脂、ビニル基含有ポリシロキサンとヒドロシル基含有ポリシロキサンとから成るシリコン樹脂などが好適に使用される。また、熱可塑性樹脂と

しては、該樹脂の融点が中空糸膜を構成するポリマーの融点よりも低く、かつ、ろ過対象原水に対して物理的及び化学的に安定である樹脂が望ましい。具体的には、ポリウレタンやポリエステル、ポリエチレン、ポリプロピレンなどの熱可塑性樹脂や、ワックス類等が挙げられる。固定層 7 A, 7 B は、これらの材質から少なくとも 1 種類以上からなる。固定層 7 A, 7 B を構成する固定剤は、仕切部材 6 A, 6 B の貫通部 2 1, 2 2, 2 3, 2 4, 2 6 にも充填され、固定剤密部を形成する。

[0057] ここで、固定剤密部とは、固定剤と、中空糸膜と、仕切部材と、を備える固定層において、中空糸膜の平均密度に対して、中空糸膜の密度が $1/3$ 以下である固定層の要素領域を指す。固定剤密部は、モジュール製造工程の固定剤充填の際に、緩衝空間として機能して、中空糸膜束の座屈を抑制する観点から、好ましくは $1/5$ 以下であり、より好ましくは $1/10$ 以下とする。中空糸膜束の平均密度及び固定剤の密度は、モジュール固定層の断面で確認できる。ここでいう中空糸膜束の平均密度とは、後に詳細を述べる糸束占有断面積に対する、各中空糸膜束（例えば、小束）の占有断面積の和を指す。

[0058] 固定層 7 A, 7 B の平均厚みに対する仕切部材 6 A, 6 B の平均長さは、固定剤の塊を区分することによる固定層の剥離や割れの発生防止の観点から、50%以上であることが好ましく、65%以上であることがより好ましく、80%以上であることがさらに好ましい。また、仕切部材は、固定層 7 A, 7 B の界面から突出していても良いが、固定層内に完全に収まるのが好ましい。なお、固定層 7 A, 7 B の平均厚み、および仕切部材 6 A, 6 B の平均長さは、ともにハウジング 4 の軸線方向の寸法を指す。

[0059] 以上のように構成された中空糸膜モジュール 1 では、処理すべき流体が、管部 1 4 B からハウジング 4 へ流入し、中空糸膜 2 内の中空部を經由して、中空糸膜 2 内を通過する際に、通過成分と非通過成分との分離がなされて通過成分は空間 4 C を經由して、管部 1 6 A および／または 1 6 B から取り出される。非通過成分は、管部 1 4 A から流出して、再び管部 1 4 B へ循環さ

れてもよい。なお、処理すべき流体の循環方向は逆でもよい。あるいは、処理すべき流体が、管部 1 6 A からハウジング 4 へ流入し、当該空間 4 C を經由して、中空糸膜 2 内を通過する際に、通過成分と非通過成分との分離がなされて通過成分は当該中空糸膜 2 の中空部を通過して、管部 1 4 A および／または 1 4 B から取り出される。一部の非通過成分は、管部 1 6 B から流出して、再び管部 1 6 A へ循環されてもよい。なお、処理すべき流体の循環方向は逆でもよい。

[0060] 次に、図 3～図 8 を参照して、本実施形態に係る中空糸膜モジュール 1 の製造方法について説明する。図 4 に示すように、中空糸膜モジュール 1 の製造方法においては、中空糸膜 2 を整束する工程から開始される（ステップ S 1 0）。S 1 0 の工程では、複数の中空糸膜 2 を束ねることで、中空糸膜束 3 が構成される。このとき、図 3 のように、四つの小束 3 A, 3 B, 3 C, 3 D に分けておき、それぞれの膜束に保護部材 8 を被せてもよい。

[0061] 次に、中空糸膜束 3 を構成する各中空糸膜 2 を目止めする工程が行われる（ステップ S 2 0）。S 2 0 の工程では、各中空糸膜 2 の端部に目止め材を封入する。目止め材は、例えば石膏が用いられる。なお、整束工程 S 1 0 と目止め工程 S 2 0 の順序を逆にしてもよい。

[0062] 次に、固定剤で封止する前のユニット 5 0 の組み立てが行われる（ステップ S 3 0）。図 3 及び図 6 に示すように、S 3 0 の工程では、ハウジング本体部 1 1 内に、中空糸膜束 3 及び仕切部材 6 A, 6 B が組みつけられたユニット 5 0 が組み立てられる。ユニット 5 0 の状態では、ハウジング本体部 1 1 は、固定剤の充填後に切断される切断代 1 1 a, 1 1 b を両端部に有している。また、ユニット 5 0 は、ハウジング本体部 1 1 の両端部に被されるカップ 5 1 A, 5 1 B を備えている。カップ 5 1 A, 5 1 B は、固定剤をハウジング本体部 1 1 内に流入させるための管部 5 1 a を有している。なお、ハウジング本体部 1 1 に中空糸膜束 3 及び仕切部材 6 A, 6 B を組み付ける際、予め四つの小束 3 A, 3 B, 3 C, 3 D に分けられた状態で中空糸膜束 3 を組み付けた後、仕切部材 6 A, 6 B を組み付けてもよい。あるいは、一つ

の束の中空糸膜束 3 をハウジング本体部 1 1 内に組み付けた後、仕切部材 6 A, 6 B を組み付けることによって、中空糸膜束 3 が小束 3 A, 3 B, 3 C, 3 D に分けられてもよい。

[0063] 次に、ユニット 5 0 の両端部に対する固定剤（固定剤は最終的に硬化して固定層となる）の充填が行われる（ステップ S 4 0）。S 4 0 の工程では、図 5 ～図 7 に示すように、カップ 5 1 A, 5 1 B の管部 5 1 a より、ユニット 5 0 のハウジング本体部 1 1 内に固定剤 B D が充填される。なお、図 5 は、図 6 及び図 7 の C L 1 線における断面を示すものである。図 6 及び図 7 には、小束 3 A, 3 D 及び仕切部材 6 A における壁部 3 4 の部分のみが示されているが、固定剤 B D の流れは、他の小束 3 B, 3 C 及び他の壁部 3 1, 3 2, 3 3 においても同様であり、仕切部材 6 B 側においても同様である。なお、図 5 ～図 7 では、固定剤 B D の流れを示すための概略図であり、中空糸膜 2、カップ 5 1 A、ハウジング本体部 1 1、仕切部材 6 A などの寸法を限定するものではない。管部 5 1 a から充填された固定剤 B D は、ハウジング本体部 1 1 の壁面と中空糸膜束 3 との間、中空糸膜束 3 と仕切部材 6 A, 6 B との間、及び、中空糸膜束 3 における中空糸膜 2 同士の間へ流入する。このとき、固定剤 B D は、仕切部材 6 A, 6 B における貫通部 2 1, 2 2, 2 3, 2 4, 2 6 内にも流入する。充填された固定剤 B D は、ハウジング本体部 1 1 の端部において、硬化後に固定層 7 A, 7 B となる層を構成する。

[0064] 固定剤 B D の充填は、遠心力を利用した、いわゆる遠心注型法によって行うことができる。ユニット 5 0 は、水平に横たえた状態で遠心力セットに取り付けられ、鉛直軸を回転軸として水平面上を回転する。ユニット 5 0 は、接着対象となる端部側が、遠心方向の外側となるように配置される。遠心力セットの回転による遠心力によって流動状態にある未硬化の固定剤 B D がタンクより押し出され、管部 5 1 a よりハウジング本体部 1 1 へ流入する。ハウジング本体部 1 1 の一端側に固定層 7 A を形成した後、他端側にも同様の方法により固定層 7 B を形成する。なお、回転中心をユニット 5 0 の中央位置に設定し、ユニット 5 0 の両端側に同時に固定剤 B D を充填してもよい。

また、静置下で固定剤ＢＤを充填して硬化させる、いわゆる静置接着法を採用してもよい。固定剤ＢＤの充填が完了すると、当該固定剤ＢＤの層を静置して硬化させることによって、固定層７Ａ，７Ｂが形成される。

[0065] ところで、従来の中空糸膜モジュールでは、管部５１ａから注入された固定剤ＢＤは、カップ５１Ａの中で、中空糸膜２同士の間端面、及び、中空糸膜束３の端面とカップ５１Ａの間から充填されていく。しかしながら、これらの間は狭く、固定剤ＢＤの流入抵抗が大きいことから、充填完了までに長い時間を必要とする。その結果、管部５１ａからの注入速度と、これらの狭い空間への注入速度のバランスが合わず（管部５１ａからの注入速度の方が速く）、従来の中空糸膜モジュールは、図１０（ｂ）に示すように、固定剤ＢＤの注入圧によって中空糸膜束３が押し込まれて、中空糸膜束３が座屈する。

[0066] これに対し、本実施形態のように、中空糸膜束３の長手方向に貫通する貫通部を有する仕切部材を使用した場合には、図５及び図６に示すように、仕切部材６Ａの貫通部２１，２２，２３，２４，２６を、注入してきた固定剤ＢＤの注入圧を一時的に逃がす、いわゆる“緩衝空間”として活用可能にする（第１の緩衝空間）。さらに、本実施形態のように一对の板部材を対向配置させることによる仕切部材を使用した場合には、貫通部２１，２２，２３，２４を、ハウジング本体部１１の内壁と中空糸膜束３の外周部の間の広い空間（第２の緩衝空間）に連絡する流路としても機能させることを可能にする。すなわち、仕切部材６Ａの貫通部は、自身が緩衝空間となり、さらには別の緩衝空間までの連絡流路となる。しかも、貫通部は板部材で囲われるので、流路の確実な寸法設計が可能となる。これによって、固定剤ＢＤの注入圧を効果的に和らげることを可能にする。仕切部材６Ａによって獲得した第１及び第２の緩衝空間は、一時的に固定剤ＢＤを貯留することで管部５１ａからの固定剤ＢＤの速い注入を吸収する。そして、一時的に貯留した固定剤ＢＤを、中空糸膜束３と仕切部材との間、及び、中空糸膜束３における中空糸膜２同士の間が無理なく、長い時間を使って注入することを可能とするの

で、座屈を効果的に抑えることができる。その結果、本実施形態に係る中空糸膜モジュール 1 は、図 10 (a) に示すように、ハウジングの軸線方向に沿って中空糸膜束 3 が直線状に維持される。本実施形態のように、一对の板部材を対向配置させることによる仕切部材は、自身が緩衝空間となり、さらには別の緩衝空間までの連絡流路となることで、簡便に、緩衝空間を大きく確保でき、かつ、座屈を効果的に抑制する観点から好ましい。さらに一对の板部材を十字型に配置させることで、中空糸膜束 3 をハウジング内に収納するスペースも大きく確保することも可能となり、より好ましい。

[0067] 図 7 に示すように、過剰に充填された固定剤 B D は、ハウジング本体部 11 の側面に形成された管部 16 A, 16 B からオーバーフローされ、固定剤 B D の界面が管部 16 A, 16 B の内壁とほぼ等しくなる。

[0068] そして、固定剤 B D が硬化されて固定層 7 A, 7 B が形成されると、仕切部材 6 A, 6 B の貫通部 21, 22, 23, 24, 26 には、中空糸膜束 3 の長手方向に沿って固定層 7 A, 7 B に厚み全域に亘って固定剤密部が形成される。

[0069] 次に、ユニット 50 の両端部の切断が行われる（ステップ S 50）。ユニット 50 の端部を切断することによって、中空糸膜 2 の開口する端部 2 a, 2 b を形成する。具体的には、図 7 及び図 8 に示すように、切断後の作業性向上の観点から C L 1 で示される部分で切断が行われる。これによって、カップ 51 A, 51 B、ハウジング本体部 11 の切断代 11 a, 11 b、目止め材が封入されている中空糸膜 2 の端部（目止め材によって目止めされている部分）、仕切部材 6 A, 6 B の端部が除去される。また、モジュールの寸法安定性の観点から切断を C L 2 で示される部分で行っても良い。その場合には、カップ 51 A, 51 B、中空糸膜 2 の端部（目止め材によって目止めされている部分）、仕切部材 6 A, 6 B の端部が除去される。

[0070] 次に、カップ 12 A, 12 B 及び固定具 13 A, 13 B の取り付けが行われる（ステップ S 60）。S 60 の工程が終了すると、図 4 に示す工程が終了し、中空糸膜モジュール 1 が完成する。

[0071] このようにして製造される中空糸膜モジュール 1 は、中空糸膜の単糸形態での動的吸着容量に対する、モジュール形態での動的吸着容量の比が 90%以上 100%以下となるように製造される。

[0072] また、このようにして製造される中空糸膜モジュール 1 は、ハウジング本体部 11 の容積に対する中空糸膜束 3 の占有体積である体積充填率を、30%以上 70%未満とする。体積充填率の下限値は、好ましくは 40%以上、より好ましくは 50%以上、さらにより好ましくは 55%以上とする。また、体積充填率の上限値は、好ましくは 70%未満、より好ましくは 68%未満とする。すなわち、最も好ましくは 55%以上 68%未満とする。

[0073] 体積充填率の算出方法を詳しく説明すると、完成した中空糸膜モジュール 1 において、ハウジング本体部 11 の内容積を V_h とし、中空糸膜束 3 の体積を V_f とすると、体積充填率 R_v は式 (1) で表される。

$$R_v = V_f / V_h \quad (1)$$

[0074] 中空糸膜束 3 の体積 V_f は式 (2) で表される。

$$V_f = (D_o / 2)^2 \times \pi \times L' \times n \quad (2)$$

D_o は中空糸膜 2 の平均外径、 L' は中空糸膜 2 の平均有効長、 n はハウジング 4 に充填された中空糸膜 2 の充填本数である。

[0075] ハウジング本体部 11 の内容積 V_h は式 (3) で表される。

$$V_h = (D_h / 2)^2 \times \pi \times L \quad (3)$$

D_h はハウジング本体部 11 の平均内径、 L は中空糸膜モジュール 1 における固定層 7A, 7B の界面間距離である。

[0076] 体積充填率 R_v は、中空糸膜モジュール 1 を解体し、中空糸膜 2 の充填本数 n 、中空糸膜 2 の平均有効長 L' 、中空糸膜 2 の平均外径 D_o 、ハウジング本体部 11 の平均内径 D_h 、固定層 7A, 7B の界面間距離 L 、を実測することで算出される。中空糸膜モジュール 1 を解体し、固定層 7A, 7B の界面より中空糸膜束 3 を切り取り、充填本数 n をカウントする。充填本数 n の 10%相当本数を中空糸膜束 3 の全域から均等にサンプリングし、それぞれの長さ及び外径を測定し、平均値を算出して、平均有効長 L' および平均

外径 D_o を求め、上式(2)により、中空糸膜束3の体積 V_f を求める。一方、解体したハウジング本体部11より、ハウジングの平均内径 D_h 及び固定層7A、7Bの界面間距離 L を実測し、式(3)により、ハウジング本体部11の内容積 V_h を求める。

[0077] ここで、図9及び図10を参照して、体積充填率についてさらに詳しく説明する。図9において、横軸は、ハウジング本体部11の容積に対する中空糸膜束3の占有体積を示す体積充填率[%]であり、縦軸は、モジュール形態での、中空糸膜2の単位膜体積[mL]当たりの吸着対象物の吸着量[mg]を示す、吸着容量[mg/mL]である。

[0078] 図9に示すように、吸着膜タイプの中空糸膜2を用いた中空糸膜モジュール1は、体積充填率が小さい間は、体積充填率の増減に関わらず、モジュール形態における動的吸着容量がほぼ一定となり、高いスケーラビリティが確保される。しかしながら、体積充填率が所定の値を超えると、体積充填率が増加するに従いモジュール形態における動的吸着容量が低下していくため、高いスケーラビリティが確保されなくなる。本発明者らが体積充填率とモジュール形態における動的吸着容量との関係について研究したところ、体積充填率が70%未満では、モジュール形態における動的吸着容量がほぼ一定に保てることが分かった。一方、体積充填率が30%未満となると、ハウジングサイズに対して充填される中空糸膜の総体積が小さくなることで、設置面積に対するモジュールの吸着処理能力が低下し、処理効率が低下する。

[0079] そこで、ハウジング本体部11に対する中空糸膜2の体積充填率を30%以上70%未満とすることで、吸着処理能力を確保しつつ、モジュール形態における動的吸着容量をほぼ一定（すなわち、単糸形態における動的吸着容量とほぼ同じ）に保つことができる。小型サイズから大型サイズに至るまでモジュールのサイズに依らず、常に単糸の動的吸着容量と同じ動的吸着容量が、モジュール形態で発揮されるため、異なるサイズのモジュール間で高いスケーラビリティを確保することができる。

[0080] ところで、図10(b)に示すように、固定剤BDの注入圧によって中空

糸膜束 3 が押し込まれると、座屈する。体積充填率を 30%以上 70%未満となるように設計しても、中空糸膜束 3 の座屈が大きくなると、体積充填率が設計値よりも大きくなってしまう。

[0081] 体積充填率の設計値と製造後の値での乖離を座屈の度合い（座屈率）で評価する。詳細は後述するが、体積充填率を R_v 、理論体積充填率を R_{v0} とした場合に、座屈率 W を式（4）で定義する。

$$W = R_v / R_{v0} \quad (4)$$

理論体積充填率 R_{v0} とは、座屈が全くない（すなわち、中空糸膜モジュールに充填されたすべての中空糸膜 2 が固定層間で直線状に配置された）状態の体積充填率で、上述した中空糸膜束 3 の体積を求める式（2）において、中空糸膜 2 の平均有効長 L' に、中空糸膜モジュール 1 における固定層 7A、7B の界面間距離 L を代入したときの体積充填率である。座屈率は 100%以上の数値範囲となる。また、120%以下であることが好ましく、110%以下であることがより好ましく、105%以下であることがさらに好ましい。

[0082] 座屈によって体積充填率が理論体積充填率から大きく外れ、過剰な体積充填率となった場合、上で述べたように、中空糸膜束 3 において膜間差圧のバラつきが発生し、モジュール内全ての中空糸膜 2 が全域に亘って均等に分離処理に供されるべきものが、局所的に過剰な処理液が流れるため、各中空糸膜 2 において、吸着破過が始まるタイミングに差が生じる。

[0083] 吸着膜においては、吸着処理の進行とともに多孔質膜内に貯留し濃縮される吸着対象物の量が次第に増えていき、そのまま吸着処理を継続すると、やがて膜の透過側への吸着対象物の漏洩、すなわち吸着破過が始まる。そのため、吸着膜においては、吸着破過が発生する前に吸着処理を終了させる必要がある。

[0084] このため、吸着破過が始まるタイミングに差が生じると、未だ吸着可能な状態の部分が残っていても、中空糸膜モジュール 1 全体としての機能が終了し、処理液の品質が低下する。

[0085] これに対し、本実施形態に係る中空糸膜モジュール 1 は、中空糸膜 2 の長手方向に貫通する貫通部 2 1, 2 2, 2 3, 2 4, 2 6 を有する仕切部材 6 A, 6 B が、中空糸膜束 3 の小束 3 A, 3 B, 3 C, 3 D を仕切るように配置されている。仕切部材 6 A, 6 B により形成される貫通部 2 1, 2 2, 2 3, 2 4, 2 6 は、固定剤 B D を充填する際の緩衝空間かつ流路として機能させて、中空糸膜束 3 の端部に対して作用する荷重を小さくすることが可能となり、図 10 (a) に示すように、中空糸膜束 3 の座屈を抑制することができる。このため、体積充填率が想定以上に過大となることが抑制され、中空糸膜 2 に生じる吸着破過が始まるタイミングの差も解消されるため、高いスケラビリティを確保することができる。

[0086] また、このようにして製造される中空糸膜モジュール 1 は、中空糸膜束 3 の占有断面積（糸束占有断面積 S_f ）に対する固定剤密部の断面積（固定剤密部断面積）である固定剤密部率 R_b を、3 % 以上 60 % 未満とする。固定剤密部率 R_b は式 (5) で表される。

$$R_b = S_b / S_f \quad (5)$$

固定剤密部率 R_b の下限値は、より好ましくは 4 % 以上とし、さらにより好ましくは 7 % 以上とし、固定剤密部率 R_b の上限値は、より好ましくは 50 % 未満とし、さらにより好ましくは 30 % 未満とする。すなわち、7 % 以上 30 % 未満とするのが最も好ましい。

[0087] 糸束占有断面積とは、中空糸膜束 3 の占有断面積であって、中空糸膜束 3 を構成する全ての小束 3 A, 3 B, 3 C, 3 D の略外接円の占める断面積である。

[0088] 固定剤密部断面積 S_b とは、中空糸膜束 3 の占有断面積に含まれる部分のうち、固定剤が密に充填されている部分（固定剤密部）の断面積である。図 2 の場合を一例として説明すると、糸束占有断面積 S_f は、小束 3 A, 3 B, 3 C, 3 D と、仕切部材 6 A, 6 B の壁部 3 1, 3 2, 3 3, 3 4 と、仕切部材 6 A, 6 B の貫通部 2 1, 2 2, 2 3, 2 4, 2 6 とが合わさった断面積となり、固定剤密部断面積 S_b は、仕切部材 6 A, 6 B の貫通部 2 1,

22, 23, 24, 26の断面積となる。ここで、仕切部材を備えず、中空系膜束3を小束にして、この小束間に隙間を形成して固定剤を充填する場合には、固定剤密部断面積 S_b は、糸束占有断面積に含まれる断面積の内、小束間の隙間に固定剤が充填される全ての部分の断面積となる。

[0089] このように、固定剤密部率 R_b を3%以上60%未満とすることで、座屈の抑制制御が可能となり、体積充填率を容易に30%以上70%未満とすることができる。

[0090] 固定剤密部率 R_b の算出の際、固定層において、仕切部材と固定剤の境界を見極めることで、寸法を実測し、固定剤密部率を算出することが可能となる。仕切部材と固定剤の境界の見極めは、図16に示すスキームに従う。

[0091] 図16に示すように、仕切部材と固定剤の境界の見極めのスキームは、まず、中空系膜束が仕切られているか否かを判定する（ステップS1）。そして、中空系膜束が仕切られていないと判定すると（ステップS1：NO）、仕切部材がないと判断する（ステップS5）。一方、中空系膜束が仕切られていると判定すると（ステップS1：YES）、次に、モジュール端面において仕切部材が見えるか否かを判定する（ステップS2）。そして、モジュール端面において仕切部材が見えると判定すると（ステップS2：YES）、仕切部材があると判定する（ステップS6）。一方、モジュール端面において仕切部材が見えないと判定すると（ステップS2：NO）、次に、固定層埋設部において仕切部材が見えるか否かを判定する（ステップS3）。ステップS3は、例えば、固定層を薄くスライスしたスライス片の色の違いで判定することができる。そして、固定層埋設部において仕切部材が見えると判定すると（ステップS3：YES）、仕切部材があると判定する（ステップS6）。一方、固定層埋設部において仕切部材が見えないと判定すると（ステップS3：NO）、次に、固定層スライス片が固定剤と仕切部材との界面で割れるか否かを判定する（ステップS4）。そして、固定層スライス片が固定剤と仕切部材との界面で割れると判定すると（ステップS4：YES）、仕切部材があると判定する（ステップS6）。一方、固定層スライス片

が固定剤と仕切部材との界面で割れないと判定すると（ステップS4：NO）、仕切部材がないと判断する（ステップS5）。このようにして、仕切部材と固定剤の境界を見極める。

[0092] 維持すべき前記小束化された状態としては、小束内部の中空糸膜がいずれかの外周部から好ましくは中空糸膜の外径の12倍以内、より好ましくは10倍以内の位置に配置された状態である。例えば、中空糸膜の外径が3mmとした場合、いずれかの外周部から好ましくは36mm以内、より好ましくは30mm以内の位置に配置された状態である。このような状態であれば小束の断面形状には特に制約はなく、扇型、円形、三角形、四角形、六角形等の幾何学形状、および、これら幾何学形状の組み合わせを用いることができる。また、最近接する中空糸膜同士間の距離が、好ましくは1mm以上30mm以下、より好ましくは3mm以上20mm以下である。

[0093] 以上説明したように、本実施形態に係る中空糸膜モジュール1によれば、ハウジング本体部11に対する中空糸膜2の体積充填率を30%以上70%未満とすることで、処理能力を確保しつつ、モジュール形態における動的吸着容量をほぼ一定に保つことができるため、高く安定したスケラビリティを確保することができる。

[0094] 特に、この中空糸膜モジュール1をバイオ用途の分離精製に使用した場合にも、所望の能力で十分な精度で行うことができる。

[0095] また、中空糸膜モジュール1を製造する際は、中空糸膜2とハウジング本体部11とを備えるユニット50の端部に固定剤BDを充填することにより固定層7A、7Bを形成するが、貫通部21、22、23、24、26を形成する仕切部材6A、6Bで中空糸膜束3の小束3A、3B、3C、3Dを仕切ることで、貫通部21、22、23、24、26を、固定剤BDの流路として機能させることができる。これにより、中空糸膜束3の端部に対して作用する荷重が小さくなり、中空糸膜束3の座屈が抑制されるため、筒体に対する中空糸膜の体積充填率を設計値から大きく外れるのを抑制して、高いスケラビリティを維持できるとともに、体積充填率のムラによ

る中空糸膜モジュールの機能が低下して処理液の品質が低下するのを抑制することができる。

[0096] また、仕切部材 6 A, 6 B により、固定剤の塊が分割された小束 3 A, 3 B, 3 C, 3 D ごとに区分される。固定層 7 A, 7 B を形成する固定剤は硬化時に発熱し、固定剤の塊が大きいほど、硬化発熱量が大きくなるため、冷却収縮も大きくなる。そこで、このように固定剤の塊を区分することで、固定剤の塊の一つ当たりの硬化発熱量が小さくなり、冷却収縮が抑制されるため、固定層 7 A, 7 B の剥離や割れの発生を防止することができる。

[0097] 本発明は、上述の実施形態に限定されるものではない。例えば、上記実施形態では、小束 3 A, 3 B, 3 C, 3 D に分割された中空糸膜束 3 と、仕切部材 6 A, 6 B と、固定層 7 A, 7 B とを備える中空糸膜モジュール 1 を一例として説明したが、中空糸膜モジュールは、筒体の容積に対する中空糸膜の占有体積である体積充填率が 30% 以上 70% 未満であれば、如何なる構成であってもよい。

[0098] 例えば、図 11 (a) に示す中空糸膜モジュールのように、複数本の中空糸膜 2 で構成される中空糸膜束 3 を小束に分割しない状態でハウジング本体部に組み付け、中空糸膜束 3 の周囲に固定層 7 を形成するものとしても良い。

[0099] また、固定層は、中空糸膜の長手方向に沿って固定層厚み全域に亘って延びる固定剤密部が形成されていれば良く、必ずしも仕切部材を設けなくても良い。例えば、中空糸膜束の中心軸付近に中空糸膜の長手方向に沿って固定層厚み全域に亘って延びるパイプ部材を配置させて、このパイプ部材のパイプ内部を“緩衝空間”として、固定剤を充填して固定層を形成するものであっても良い。また、図 11 (b) に示す中空糸膜モジュールのように、複数本の中空糸膜 2 で構成される中空糸膜束 3 を複数の小束に分割し、間隔をあけて各小束を配置させ、あるいは小束の一部同士を接触させて各小束を配置させ、小束間の間隔を“緩衝空間”として、小束の間に固定層 7 を形成するものとしても良い。図 11 (b) に示す中空糸膜モジュールは、例えば、図

1 2 に示す方法により製造することができる。

[0100] まず、図 1 2 (a) に示すように、端部が目止めされた複数の中空糸膜 2 が整束された小束の中空糸膜束 3 を複数本用意する。そして、ハウジング本体部内に、各中空糸膜束 3 が間隔をあけて配置されるように各中空糸膜束 3 の間に細長いストロー状の固定剤注入部材 8 1 を配置して、ユニットを組み立てる。すると、固定剤注入部材 8 1 により、固定層 7 が形成される中空糸膜 2 の端部が中空糸膜束 3 の長手方向に貫通する。

[0101] 次に、図 1 2 (b) に示すように、ユニットの両端部から固定剤を充填する。すると、固定剤注入部材 8 1 の貫通部が固定剤の流路として機能するため、充填された固定剤は固定剤注入部材 8 1 の貫通部からハウジング本体部内に流入する。そして、固定剤が硬化されることで、中空糸膜束 3 をハウジング本体部に固定する固定層 7 が形成される。これにより、各小束が間隔をあけて配置され、この小束の間に形成される固定層 7 に、中空糸膜 2 の長手方向全域に亘って延びる固定剤密部が形成される。

[0102] 次に、図 1 2 (c) に示すように、ユニットの両端部を切断することで、中空糸膜 2 の目止めを除去して中空糸膜 2 の端部を開口させる。図 1 2 (c) では、ユニットの両端部の切断時に、切断片と共に固定剤注入部材 8 1 が除去されるため、切断面には固定剤注入部材 8 1 が残らないが、長い固定剤注入部材 8 1 を用いた場合は、固定剤注入部材 8 1 が切断面に残る場合もある。そして、このユニットにキャップを取り付けることで、図 1 1 (b) に示す中空糸膜モジュールの製造が終了する。

[0103] また、仕切部材として、板部材で構成されたもののみならず、中空糸膜 2 の長手方向に貫通する貫通部を有するものであれば、どのような構成を採用してもよい。例えば、図 1 3 (a) に示す中空糸膜モジュールの仕切部材 7 1 のように、中空糸膜束 3 の長手方向に貫通する貫通部が形成された円筒部材を複数連結し、全体として十字型にしたものであっても良い。また、図 1 3 (b) に示す中空糸膜モジュールの仕切部材 7 2 のように、複数のネットを一定間隔で離間させて対向配置し、この複数のネットを交差させて十字型

にしたものであっても良い。また、図 1 3 (c) に示す中空糸膜モジュールの仕切部材 7 3 のように、ダンボールの断面構成のようにネット（又は板部材）で囲まれた内部領域に波打った平板を配置したものを交差させて十字型にしたものであっても良い。

[0104] また、仕切部材は十字型に限定されるものではなく、様々な形状を採用することができる。例えば、図 1 4 (a) に示す中空糸膜モジュールの仕切部材 7 4 のように、一对の対向配置された板部材を、横に三組、縦に一組配置することで、中空糸膜束 3 の小束を八つに仕切っても良い。

[0105] また、中空糸膜束 3 を仕切る手段は仕切部材に限定されるものではなく、例えば、図 1 4 (b) に示すように、分割ネット 7 6 で中空糸膜束 3 を分割させてもよい。このように、分割ネット 7 6 により中空糸膜束 3 を分割することで、中空糸膜束 3 を更に小束化することができる。

[0106] また、図 1 5 (a) に示すように、仕切部材 7 8 を、1 枚の平板を十字型に交差させたものとして、貫通部を設けないものとしてもよい。また、図 1 5 (b) に示すように、仕切部材に代えて小束化された中空糸膜束 3 同士の間ブロック状のスペーサー 7 7 を配置させることで、中空糸膜束 3 を完全に仕切らなくても、中空糸膜束 3 同士の間固定剤を流入させて固定層 7 を形成することができる。

[0107] また、仕切部材は、固定剤充填時に、固定剤の注入圧を逃がすことができる緩衝空間を有していれば如何なる構造であってもよい。

[0108] この場合、仕切部材は、さらに、中空糸膜束 3 の外周部と、ハウジング本体部 1 1 の内壁側の間の空間（第二の緩衝空間）まで固定剤を誘導する流路を有する構造であれば、より好ましい。

[0109] 例えば、長手方向に貫通する貫通部を有する仕切部材において、貫通部の仕切部材軸方向の片側端部、および貫通部の側面部（ユニットを組み立てたときに、ハウジング本体部と対向する部分）は、少なくとも空気が抜ける程度の大きさの穴が、少なくとも一つあれば、塞がれていてもよい。

[0110] 例えば、仕切部材 6 A, 6 B の貫通部の片側端部が、小さな穴が開いた蓋

により塞がれ、仕切部材 6 A, 6 B の貫通部の側面部が、穴の無い蓋により完全に塞がれた構造とすることができる。この場合、蓋が被せられた一方の端部は、固定層の界面側に配置される。蓋が被せられずに開放されている他方の端部は、固定剤が流入する開口部となり、固定剤密部を形成する空間、すなわち緩衝空間として機能する。これにより、座屈が抑制可能となる。このとき、蓋に設けられた小さな穴から空気が逃げることができるので、固定剤の貫通部への充填が可能となる。

[0111] また、仕切部材 6 A, 6 B の貫通部の片側端部が、穴の無い蓋により完全に塞がれ、仕切部材 6 A, 6 B の貫通部の側面部が、小さな穴が開いた蓋により塞がれた構造とすることができる。この場合、小さな穴が、蓋が被せられた一方の端部付近に形成され、この蓋が被せられた一方の端部が、固定層の界面側に配置される。そして、上記と同様に、固定剤の充填が可能となるので、座屈が抑制可能となる。

[0112] また、一对の板部材が対向配置された仕切部材において、対となる板部材同士が、軸方向及び／または軸と垂直方向に対して平行配置でなくてもよい。この場合、糸の充填本数が多くできることから、一对お板部材を平行に配置するのが好ましい。

[0113] また、例えば、特許文献 2 のような、中空糸膜束の片端のみが開放し逆端が閉塞した形態等の公知の中空糸膜モジュール技術に応用することが可能である。

実施例

[0114] 次に、本発明の実施例及び比較例について説明する。本発明は、以下の実施例に限定されるものではない。

[0115] [評価方法 1] モジュール解体による中空糸膜とハウジングの寸法確認方法
次の手順で中空糸膜モジュール 1 を解体し、本数と寸法とを実測することで、「中空糸膜の充填本数 n 」と、「中空糸膜の平均有効長 L' 」と、「中空糸膜の平均内径 D_i 」および「中空糸膜の平均外径 D_o 」と、「ハウジングの平均内径 D_h 」と、「固定層の界面間距離 L 」とを得た。

[0116] 第一に、「中空糸膜の充填本数 n 」を確認した。まず中空糸膜モジュールを注意深く解体し、次に固定層の界面より中空糸膜束を切り取り、そして中空糸膜束を採取した。最後にこの中空糸膜束を構成する中空糸膜の本数を数えることで、「中空糸膜の充填本数 n 」を得た。

[0117] 第二に、採取した中空糸膜から、「中空糸膜の平均有効長 L' 」と、「中空糸膜の平均内径 D_i 」および「中空糸膜の平均外径 D_o 」とを確認した。まず、採取した中空糸膜束の全体から万遍なく 10% 相当の本数の中空糸膜を代表サンプルとして確保した。次に、確保した代表サンプルの 1 本 1 本の中空糸膜の長さ、内径、外径を測定した。そして測定した長さ、内径、外径からそれぞれの平均値を求めることで、「中空糸膜の平均有効長 L' 」と、「中空糸膜の平均内径 D_i 」および「中空糸膜の平均外径 D_o 」を得た。なお、中空糸膜の内径及び外径の測定には、N i k o n 社製 MEASURING MICROSCOPE MM-40 を用いた。

[0118] 第三に、解体したハウジング本体部より、「ハウジングの平均内径 D_h 」と「固定層の界面間距離 L 」とを確認した。中空糸膜束を切り取った後のモジュールより数箇所の寸法を測定しその平均値から、「ハウジングの平均内径 D_h 」と「固定層の界面間距離 L 」とを得た。

[0119] [評価方法 2] 中空糸膜束の体積充填率の算出

「中空糸膜束の体積充填率 R_v 」は、「中空糸膜束の体積 V_f 」および「ハウジング内容積 V_h 」から求めた。

[0120] 「中空糸膜束の体積 V_f 」は、評価方法 1 より得た n 、 D_o 、 L' を、式 (6) に代入することから求めた。「ハウジング内容積 V_h 」は、評価方法 1 より得た D_h 、 L を式 (7) に代入することから求めた。

$$V_f = (D_o / 2)^2 \times \pi \times L' \times n \quad (6)$$

$$V_h = (D_h / 2)^2 \times \pi \times L \quad (7)$$

「中空糸膜の体積充填率 R_v 」は、式 (6) および式 (7) より求められる「中空糸膜束の体積 V_f 」および「ハウジング内容積 V_h 」を、式 (8) に代入することより求めた。

$$R_v = V_f / V_h \quad (8)$$

[0121] [評価方法3] 中空糸膜の座屈率の算出

中空糸膜の座屈の程度を示す「座屈率W」は、体積充填率 R_v と理論体積充填率 R_{v0} とを用いて、式(9)から求めた。

$$W = R_v / R_{v0} \quad (9)$$

[0122] 理論体積充填率 R_{v0} とは、座屈が全くない（すなわち、中空糸膜モジュールに充填されたすべての中空糸膜が固定層間で直線状に配置された）状態の充填率である。この理論体積充填率にある時の中空糸膜束の体積 V_{f0} とすると、 V_{f0} は固定層の評価方法1より得た界面間距離 L を用いて、式(10)で表すことができる。

$$V_{f0} = (D_o / 2)^2 \times \pi \times L \times n \quad (10)$$

「座屈率W」は、式(8)および式(10)を、式(9)に代入することにより求めた。また、式(9)を展開すると、座屈率Wは式(11)のように簡素化できる。

$$W = L' / L \quad (11)$$

[0123] [評価方法4] 吸着膜モジュールに充填された中空糸膜体積の算出

「中空糸膜モジュールに充填された中空糸膜体積 V_{mm} 」は、評価方法1より得た n 、 D_i 、 D_o 、 L' を、式(12)に代入することから求めた。なお、中空糸膜の場合には、吸着に寄与する部分の膜体積として、中空糸膜の円環体積を用いるのが適当である。中空糸膜体積 V_{mm} は、円環断面積 $\times$ 平均有効長 $\times$ 充填本数となり、式(12)で表される。

$$V_{mm} = \{ (D_o / 2)^2 - (D_i / 2)^2 \} \times \pi \times L' \times n \quad (12)$$

[0124] [評価方法5] 固定層の固定剤密部率の算出

固定層の固定剤密部率 R_b とは、中空糸膜束の占有断面積（糸束占有断面積 S_{mb} ）に対する固定剤密部の断面積（固定剤密部断面積 S_b ）として、式(13)で定義する。

$$R_b = S_b / S_{mb} \quad (13)$$

「糸束占有断面積 S_{mb} 」とは、中空糸膜束全体で囲われた領域の断面積を

指す。例えば中空糸膜が複数の小束に分割されている場合には、全ての小束を含む最小の略外接円の占める断面積を指す。「固定剤密部断面積 S_b 」とは、中空糸膜束の占有断面積に含まれる部分のうち、固定剤が充填される部分の断面積である。

[0125] 例えば、図2の場合で「糸束占有断面積 S_{mb} 」と「固定剤密部断面積 S_b 」を説明する。「糸束占有断面積 S_{mb} 」は、小束3A, 3B, 3C, 3Dと、仕切部材6A, 6Bの壁部31, 32, 33, 34と、仕切部材6A, 6Bの貫通部21, 22, 23, 24, 26とが合わさった断面積である。「固定剤密部断面積 S_b 」は、仕切部材6A, 6Bの貫通部21, 22, 23, 24, 26の断面積である。

[0126] また図2とは別の例として、仕切部材を備えず、中空糸膜束3を小束にして、この小束間に隙間を形成して固定剤を充填する場合で「糸束占有断面積 S_{mb} 」と「固定剤密部断面積 S_b 」を説明する。固定剤密部断面積は、糸束占有断面積に含まれる断面積の内、小束間の隙間に固定剤が充填される全ての部分の断面積となる。

[0127] 固定剤密部の算出の際、固定層において、仕切部材と固定剤の境界を見極めることで、寸法を実測し、固定剤密部を算出することが可能となる。仕切部材と固定剤の境界の見極めは、上述した通り、図16に示すスキームに従う。

[0128] [評価方法6] 吸着性能測定用の溶液の調整方法

被吸着物質としては、指標タンパク質を用いた。精製装置の性能を示すために最も適したタンパク質を用いることが好ましく、一般に用いられるタンパク質としては、BSA（牛血清アルブミン）やリゾチームがある。アニオン交換膜の評価ではBSAを、カチオン交換膜の評価ではリゾチームを使用することが多いが、評価条件（pH、緩衝液など）によって適当なものを選ぶことが可能である。本実施例では、指標タンパク質としてSIGMA社製のBSAを用いた。被吸着物質として精製されたタンパク質の市販品を用いて吸着性能を計測することは、バイオテクノロジーの精製装置の性能表示を

行う際に一般に用いられている。

[0129] 以下に、評価に用いた溶液の調整方法を示す。

[0130] <トリス塩酸塩緩衝液（緩衝液）>

トリス（ヒドロキシメチル）アミノメタン（ナカライテスク）を超純水に溶解し、塩酸を加えpH 8に調整後、濃度20 mmol/L（pH 8）とした。その後、孔径0.45 μmのフィルターを通したものをを用いた。

[0131] <BSA溶液>

20 mmol/L（pH 8）トリス塩酸緩衝液に対しBSAを溶解させ、1[g（BSA）/L（緩衝液）]とした。孔径0.45 μmのフィルターを通したものをを用いた。

[0132] <塩緩衝液>

上記トリス塩酸緩衝液にNaCl（和光試薬特級）を溶解し、濃度1 mol/Lの塩化ナトリウムを含む緩衝液を調製した。その後、孔径0.45 μmのフィルターを通したものをを用いた。

[0133] [評価方法7] 吸着膜モジュールの指標タンパク質吸着性能の評価方法

吸着膜モジュールの指標タンパク質吸着性能の評価には、高速液体クロマトグラフィー（HPLC）システムを用いた。HPLCとしては、送液ポンプ、流量計、圧力計、可視紫外吸光度計から構成される、株式会社ワイエムシィの中圧クロマト装置「BP-5000S-L」を使用した。

[0134] 吸着性能の測定前の準備は次の手順で行った。まず、中空糸膜モジュールを立てた状態で固定し、HPLCからの供給配管を、中空糸膜モジュールの下方のキャップに接続した。次に、液をモジュールに供給しながら、モジュール内の空気を排出した。引き続き、中空糸膜モジュールの側面下のノズルとHPLCの引込配管と接続し、上方のキャップ及び側面上のノズルは閉鎖をした。すなわち、中空糸膜モジュールを、内圧ろ過方式の全ろ過ができる状態に設定した。

[0135] 吸着性能の測定は次の順で各溶液のろ過操作を行うことで実施した。すなわち、第一に緩衝液を用いて吸着膜モジュールの平衡化操作を行い、第二に

指標タンパク質溶液を用いてタンパク質の吸着操作を行い、第三に再び緩衝液を用いて吸着膜に吸着されていない遊離タンパク質の洗浄操作を行い、第四に塩緩衝液をもちいて吸着膜に吸着されている吸着タンパク質の溶出操作を行い、第五に再度緩衝液を用いて吸着膜モジュールの塩分濃度を低下する再生操作を行った。なお、各溶液は、中空糸膜モジュールに対して一定流速にて内圧式の全ろ過操作を続けた。また、タンパク質の吸着挙動および溶出挙動の追跡は、可視紫外吸光度計を用いて行い、ろ過液側へのタンパク質の漏洩動向を波長 280 nm の吸光度変化で確認した。

[0136] [評価方法 8] 吸着中空糸膜の指標タンパク質吸着性能の評価方法

吸着中空糸膜の指標タンパク質吸着性能の評価には、チューブポンプを用いた。予め送液量調整したチューブポンプに、圧力計と、有効膜長 7 cm の吸着中空糸膜を接続し、中空部の空気を排除することで、内圧ろ過方式の全ろ過ができる状態に設定した。

[0137] 吸着性能の測定は、評価方法 7 記載と同様の手順で行った。ただし、タンパク質の吸着挙動および溶出挙動は、フラコレータでろ液を一定時間間隔で分別採取した後に、ろ液の各フラクションを可視紫外吸光度計を用いて 280 nm の吸光度変化を追跡することで確認した。

[0138] [評価方法 9] 吸着膜モジュールの動的吸着容量の算出

評価方法 7 において、指標タンパク質吸着操作時のろ過液側へのタンパク質の漏洩動向から、ろ液後の吸光度が、ろ過前の指標タンパク質溶液（原液）の吸光度の 10% になる時点のろ液量 [mL] を確認した。そして、このろ液量を 1 g/L の関係からタンパク質の重量に換算することで、吸光度の 10% になる時点のタンパク質吸着量 [mg] を算出した。さらに、このタンパク質吸着量 [mg] を、評価方法 4 で求めた吸着膜モジュールに充填された中空糸膜体積 V_{mm} [mL] で割ることによって、モジュール形態での単位膜体積当たりのタンパク質吸着量 [mg/mL] を算出した。

[0139] ろ過液が 10% の吸光度になる時点での単位膜体積当たりのタンパク質吸着量を、「動的吸着容量」と呼ぶ。この方法で算出した動的吸着容量を、モ

ジュール形態での動的吸着容量、あるいは、単に「モジュールの吸着容量」と呼ぶ。なお、バイオテクノロジーの精製の分野等では、「動的吸着容量」は一般的に用いられる用語である。

[0140] [評価方法 10] 吸着中空糸膜の動的吸着容量の算出

評価方法 8 において得られた値を基に、評価方法 9 と同様の手順により、吸着中空糸膜形態での単位膜体積当たりのタンパク質吸着量 $[mg/mL]$ を算出した。ただし、評価方法 8 での中空糸膜の体積 $V_{mm} [mL]$ は、円環断面積 $\times$ 有効膜長で表されるため、式 (14) に、評価方法 1 で求めた D_i 、 D_o と、評価に用いた中空糸膜の有効膜長 L_s を代入することで求めた。

$$V_{ms} = \{ (D_o/2)^2 - (D_i/2)^2 \} \times \pi \times L_s \quad (14)$$

[0141] 以後、この方法で算出した吸着中空糸膜形態での動的吸着容量を、単糸形態での動的吸着容量、あるいは、単に「単糸の吸着容量」と呼び、[評価方法 9] に示す「モジュールの吸着容量」との比較に用いる。

[0142] [評価方法 11] 吸着性能のスケラビリティの算出

「吸着膜モジュールのスケラビリティ」を、評価方法 10 で得た「中空糸膜単糸形態の動的吸着容量」と、評価方法 9 で得た「吸着膜モジュールの動的吸着容量」を用いて、式 (15) で定義する。

$$\text{吸着膜モジュールのスケラビリティ} = (\text{モジュールの動的吸着容量}) / (\text{単糸の動的吸着容量}) \times 100 \quad (15)$$

[0143] [評価方法 12] 固定層の耐久性評価方法

固定層の耐久性評価として、中空糸膜モジュールの繰り返し使用を最大 10 回行ない、固定層に不良が発生するまでの回数をカウントした。すなわち、固定層の耐久性評価は、固定層の不良が発生せずに使用できた繰り返し回数を耐久性の回数として評価する。例えば、初回の吸着及び溶出を 1 としてカウントを始め、2 回目の使用中に固定層の不良が発生した場合は、耐久性 1 回分とする。吸着膜の中空糸膜は、例えば評価方法 7 に記載の一連の操作手順をなど、供給する液の条件 (pH、伝導度など) を変えることで、被吸

着タンパク質を溶出させることが可能である。

[0144] 次に、表 1～表 3 を参照しながら、実施例 1～11 及び比較例 1, 2 について具体的に説明する。上記の実施形態で説明した製造方法（図 4 参照）に従って、各実施例について同じ製法で 3 本モジュールを作成した（A, B, C）。

[0145] モジュール A は、まず、評価方法 6、7 に従いモジュールの吸着量を評価した。次に、評価方法 1、2、3、4 に従ってモジュールを解体し、体積充填率 R_v 、座屈率 W 、膜体積 V_{mm} を算出した。その後、評価方法 9 からモジュール形態での単位膜体積あたりの吸着容量を算出した。さらに評価方法 5 に従って固定剤密部率 R_b を求めた。

[0146] モジュール B は、まず、評価方法 1、2、3、4 に従ってモジュールを解体し、体積充填率 R_v 、座屈率 W を算出した。次に、解体してサンプリングした吸着膜から、評価方法 10 に従って単糸形態での単位膜体積あたりの吸着容量を算出した。さらに評価方法 5 に従って固定剤密部率 R_b を求めた。

[0147] ここで、モジュール A のモジュールの吸着容量と、モジュール B の単糸の吸着容量から、評価方法 11 に従って吸着膜モジュールのスケーラビリティを算出した。

[0148] さらに、評価方法 3 により求めたモジュール A とモジュール B の座屈率の比較により、その差分の絶対値を座屈率差として、座屈率のバラつきを比較した。

[0149] モジュール C は、評価方法 12 に従って固定層の耐久性を評価した。

[表1]

	モジュール	中空系膜モジュールの諸元									
		ハウジングの平均内径 Dh	界面間距離 L	充填本数 n	中空系膜の平均有効長 L'	中空系膜の平均内径 Di	中空系膜の平均外形 Do	膜体積 (外径基準) Vf	円環膜体積 (円環部) Vmm	理論体積充填率 Rv0	体積充填率 Rv
		[mm]	[mm]	[本]	[mm]	[mm]	[mm]	[mL]	[mL]	[%]	[%]
実施例1	1A	104.7	190.0	460	206	2.26	3.69	1013	633	57.1	61.9
	1B	104.7	190.0	460	212	2.26	3.69	1043	652	57.1	63.8
	1C	104.7	190.0	460	—	2.26	3.69	—	—	—	—
実施例2	2A	104.7	190.0	510	206	2.26	3.69	1124	702	63.3	68.7
	2B	104.7	190.0	510	213	2.26	3.69	1162	726	63.3	71.0
	2C	104.7	190.0	510	—	2.26	3.69	—	—	—	—
実施例3	3A	104.7	190.0	480	197	2.26	3.69	1011	632	59.6	61.8
	3B	104.7	190.0	480	198	2.26	3.69	1016	635	59.6	62.1
	3C	104.7	190.0	480	—	2.26	3.69	—	—	—	—
実施例4	4A	104.7	190.0	480	190	2.26	3.69	975	609	59.6	59.6
	4B	104.7	190.0	480	190	2.26	3.69	975	609	59.6	59.6
	4C	104.7	190.0	480	—	2.26	3.69	—	—	—	—
実施例5	5A	104.7	190.0	540	190	2.26	3.69	1097	686	67.1	67.1
	5B	104.7	190.0	540	190	2.26	3.69	1097	686	67.1	67.1
	5C	104.7	190.0	540	—	2.26	3.69	—	—	—	—
実施例6	6A	104.7	190.0	512	205	2.26	3.69	1122	701	63.6	68.6
	6B	104.7	190.0	512	211	2.26	3.69	1155	722	63.6	70.6
	6C	104.7	190.0	512	—	2.26	3.69	—	—	—	—
実施例7	7A	104.7	190.0	460	193	2.26	3.69	949	593	57.1	58.0
	7B	104.7	190.0	460	193.5	2.26	3.69	952	595	57.1	58.2
	7C	104.7	190.0	460	—	2.26	3.69	—	—	—	—
実施例8	8A	104.7	190.0	340	190	2.26	3.69	691	432	42.2	42.2
	8B	104.7	190.0	340	190	2.26	3.69	691	432	42.2	42.2
	8C	104.7	190.0	340	—	2.26	3.69	—	—	—	—
実施例9	9A	104.7	190.0	460	190	2.26	3.69	935	584	57.1	57.1
	9B	104.7	190.0	460	190	2.26	3.69	935	584	57.1	57.1
	9C	104.7	190.0	460	—	2.26	3.69	—	—	—	—
実施例10	10A	104.7	190.0	460	190	2.26	3.69	935	584	57.1	57.1
	10B	104.7	190.0	460	190	2.26	3.69	935	584	57.1	57.1
	10C	104.7	190.0	460	—	2.26	3.69	—	—	—	—
実施例11	11A	104.7	190.0	332	190	2.26	3.69	675	422	41.2	41.2
	11B	104.7	190.0	332	190	2.26	3.69	675	422	41.2	41.2
	11C	104.7	190.0	332	—	2.26	3.69	—	—	—	—
比較例1	1'A	104.7	190.0	560	204	2.26	3.69	1222	763	69.6	74.7
	1'B	104.7	190.0	560	209	2.26	3.69	1252	782	69.6	76.5
	1'C	104.7	190.0	560	—	2.26	3.69	—	—	—	—
比較例2	2'A	130.0	936.0	880	1016	2.26	3.69	9561	5975	70.9	77.0
	2'B	130.0	936.0	880	996	2.26	3.69	9373	5857	70.9	75.4
	2'C	130.0	936.0	880	—	2.26	3.69	—	—	—	—

[表2]

	モジュール	仕切部材の諸元		
		糸束占有断面積	固定剤密部断面積	固定剤密部率
		Smb [cm ²]	Sb [cm ²]	Rb [%]
実施例1	1A	63.6	0.0	0.0
	1B	63.6	0.0	0.0
	1C	63.6	0.0	0.0
実施例2	2A	70.5	0.0	0.0
	2B	70.5	0.0	0.0
	2C	70.5	0.0	0.0
実施例3	3A	71.1	3.0	4.2
	3B	71.1	3.0	4.2
	3C	71.1	3.0	4.2
実施例4	4A	78.5	25.7	32.7
	4B	78.5	25.7	32.7
	4C	78.5	25.7	32.7
実施例5	5A	84.4	10.6	12.6
	5B	84.4	10.6	12.6
	5C	84.4	10.6	12.6
実施例6	6A	81.8	0.0	0.0
	6B	81.8	0.0	0.0
	6C	81.8	0.0	0.0
実施例7	7A	80.1	11.3	14.1
	7B	80.1	11.3	14.1
	7C	80.1	11.3	14.1
実施例8	8A	82.8	11.9	14.3
	8B	82.8	11.9	14.3
	8C	82.8	11.9	14.3
実施例9	9A	82.8	7.4	8.9
	9B	82.8	7.4	8.9
	9C	82.8	7.4	8.9
実施例10	10A	81.1	17.4	21.5
	10B	81.1	17.4	21.5
	10C	81.1	17.4	21.5
実施例11	11A	81.6	32.0	39.2
	11B	81.6	32.0	39.2
	11C	81.6	32.0	39.2
比較例1	1' A	77.4	0.0	0.0
	1' B	77.4	0.0	0.0
	1' C	77.4	0.0	0.0
比較例2	2' A	127.2	0.0	0.0
	2' B	127.2	0.0	0.0
	2' C	127.2	0.0	0.0

[表3]

	モジュール	吸着性能			座屈の変動		固定層不良
		単系の動的 吸着容量	モジュールの 動的吸着容	スケーラ ビリティ	座屈率 W	座屈率差	耐久性
		[mg/mL]	[mg/mL]	[%]	[%]	[%]	[回]
実施例1	1A	—	43.3	97.7	108.4	3.2	—
	1B	44.3	—	—	111.6		—
	1C	—	—	—	—		2
実施例2	2A	—	42.5	95.1	108.4	3.7	—
	2B	44.7	—	—	112.1		—
	2C	—	—	—	—		1
実施例3	3A	—	45.3	97.6	103.7	0.5	—
	3B	46.4	—	—	104.2		—
	3C	—	—	—	—		3
実施例4	4A	—	43.1	98.7	100	0	—
	4B	43.7	—	—	100		—
	4C	—	—	—	—		1
実施例5	5A	—	42.5	94.4	100	0	—
	5B	45	—	—	100		—
	5C	—	—	—	—		1
実施例6	6A	—	44.8	94.8	107.9	3.2	—
	6B	47.3	—	—	111.1		—
	6C	—	—	—	—		>10
実施例7	7A	—	45.1	99.1	101.6	0.3	—
	7B	45.5	—	—	101.8		—
	7C	—	—	—	—		>10
実施例8	8A	—	43.6	99.4	100	0	—
	8B	43.9	—	—	100		—
	8C	—	—	—	—		>10
実施例9	9A	—	44.3	99.8	100	0	—
	9B	44.4	—	—	100		—
	9C	—	—	—	—		>10
実施例10	10A	—	45.9	99.8	100	0	—
	10B	46	—	—	100		—
	10C	—	—	—	—		>10
実施例11	11A	—	44.9	99.5	100	0	—
	11B	45.1	—	—	100		—
	11C	—	—	—	—		>10
比較例1	1'A	—	37.8	87.6	107.4	2.6	—
	1'B	43.2	—	—	110		—
	1'C	—	—	—	—		2
比較例2	2'A	—	40.1	87.5	108.5	2.1	—
	2'B	45.8	—	—	106.4		—
	2'C	—	—	—	—		1

[0150] [実施例1]

図11(a)に示す中空糸膜モジュールを3本(1A、1B、1C)作成した。なお、実施例1では、仕切部材を用いなかった。

[0151] モジュール1Aについて、モジュールの吸着容量評価を実施したところ、モジュールあたりに27.4gのBSAが吸着した。その後、解体調査を行ったところ、モジュール1Aに充填されている中空糸膜の本数nは460本

、中空糸膜の平均内径 D_i ／平均外径 D_o は2.26 mm／3.69 mm、中空糸膜の平均有効長 L' は206 mmであった。また、固定層の界面間距離 L は190.0 mm、ハウジング内径 D_h は104.7 mmであった。これより、体積充填率 R_v は61.9%、座屈率 W は108.4%、膜体積（円環部） V_m は633 mLであった。ここから、モジュールの吸着容量は43.3 mg／mLと算出された。なお、固定剤密部率 R_b は0%であった。

[0152] モジュール1 Bについて、解体調査を行ったところ、モジュール1 Bに充填されていた中空糸膜の本数 n は460本、中空糸膜の平均内径 D_i ／平均外径 D_o は2.26 mm／3.69 mm、中空糸膜の平均有効長 L' は212 mmであった。また、固定層の界面間距離 L は190.0 mm、ハウジング内径 D_h は104.7 mmであった。これより、体積充填率 R_v は63.8%、座屈率 W は111.6%、膜体積（円環部） V_m は652 mLであった。抜き取った中空糸膜の単糸の動的吸着容量は44.3 mg／mLであり、スケラビリティは97.7%であった。

[0153] なお、モジュール1 Aと1 Bの座屈率差は3.2%であった。また、モジュール1 Cの耐久回数は2回であった。

[0154] このような評価結果から、実施例1では、スケラビリティが成立する中空糸膜モジュールが製造可能であることが示された。

[0155] [実施例2]

図11(a)に示す中空糸膜モジュールを3本(2 A、2 B、2 C)作成した。なお、実施例2では、仕切部材を用いなかった。

[0156] モジュール2 Aについて、モジュールの吸着容量評価を実施したところ、モジュールあたりに29.8 gのBSAが吸着した。その後、解体調査を行ったところ、モジュール2 Aに充填されている中空糸膜の本数 n は510本、中空糸膜の平均内径 D_i ／平均外径 D_o は2.26 mm／3.69 mm、中空糸膜の平均有効長 L' は206 mmであった。また、固定層の界面間距離 L は190.0 mm、ハウジング内径 D_h は104.7 mmであった。こ

れより、体積充填率 R_v は68.7%、座屈率 W は108.4%、膜体積（円環部） V_{mm} は702 mLであった。ここから、モジュールの吸着容量は42.5 mg/mLと算出された。なお、固定剤密部率 R_b は0%であった。

[0157] モジュール2 Bについて、解体調査を行ったところ、モジュール2 Bに充填されていた中空糸膜の本数 n は510本、中空糸膜の平均内径 D_i ／平均外径 D_o は2.26 mm／3.69 mm、中空糸膜の平均有効長 L' は213 mmであった。また、固定層の界面間距離 L は190.0 mm、ハウジング内径 D_h は104.7 mmであった。これより、体積充填率 R_v は71.0%、座屈率 W は112.1%、膜体積（円環部） V_{mm} は726 mLであった。抜き取った中空糸膜の動的吸着容量は44.7 mg/mLであり、スケラビリティは95.1%であった。

[0158] なお、モジュール2 Aと2 Bの座屈率差は3.7%であった。また、モジュール2 Cの耐久回数は1回であった。

[0159] このような評価結果から、実施例2では、スケラビリティが成立する中空糸膜モジュールが製造可能であることが示された。

[0160] [実施例3]

図4に示す整束工程において、一束の中空糸膜束の間に、外径が10 mm、内径が8 mmのストロー状の固定剤注入部材を6本配置することにより、中空糸膜モジュールを3本（3 A、3 B、3 C）作成した。なお、実施例3では、仕切部材を用いなかった。

[0161] モジュール3 Aについて、モジュールの吸着容量評価を実施したところ、モジュールあたりに28.6 gのBSAが吸着した。その後、解体調査を行ったところ、モジュール3 Aに充填されている中空糸膜の本数 n は480本、中空糸膜の平均内径 D_i ／平均外径 D_o は2.26 mm／3.69 mm、中空糸膜の平均有効長 L' は197 mmであった。また、固定層の界面間距離 L は190.0 mm、ハウジング内径 D_h は104.7 mmであった。これより、体積充填率 R_v は61.8%、座屈率 W は103.7%、膜体積（

円環部) V_{mm} は632 mLであった。ここから、モジュールの吸着容量は45.3 mg/mLと算出された。なお、固定剤密部率 R_b は4.2%であった。

[0162] モジュール3 Bについて、解体調査を行ったところ、モジュール3 Bに充填されていた中空糸膜の本数 n は480本、中空糸膜の平均内径 D_i / 平均外径 D_o は2.26 mm / 3.69 mm、中空糸膜の平均有効長 L' は198 mmであった。また、固定層の界面間距離 L は190.0 mm、ハウジング内径 D_h は104.7 mmであった。これより、体積充填率 R_v は62.1%、座屈率 W は104.2%、膜体積(円環部) V_{mm} は635 mLであった。抜き取った中空糸膜の動的吸着容量は46.4 mg/mLであり、スケラビリティは97.6%であった。

[0163] なお、モジュール3 Aと3 Bの座屈率差は0.5%であった。また、モジュール3 Cの耐久回数は3回であった。

[0164] このような評価結果から、実施例3では、スケラビリティが成立する中空糸膜モジュールが製造可能であることが示された。また、固定剤注入部材を使用して、中空糸膜の長手方向に沿って固定層厚み全域に亘って延びる固定剤密部を形成し、さらに、座屈を抑制して、座屈のバラつきも小さくすることで、想定した体積充填率から外れることを防ぐ効果があることが示された。

[0165] [実施例4]

図4に示す整束工程において、7本の小束に分割された中空糸膜束の間に、外径が10 mm、内径が8 mmのストロー状の固定剤注入部材を配置することにより、図11(b)に示す中空糸膜モジュールを3本(4 A、4 B、4 C)作成した。なお、実施例4では、仕切部材を用いなかった。

[0166] モジュール4 Aについて、モジュールの吸着容量評価を実施したところ、モジュールあたりに26.3 gのBSAが吸着した。その後、解体調査を行ったところ、モジュール4 Aに充填されている中空糸膜の本数 n は480本、中空糸膜の平均内径 D_i / 平均外径 D_o は2.26 mm / 3.69 mm、

中空糸膜の平均有効長 L' は190mmであった。また、固定層の界面間距離 L は190.0mm、ハウジング内径 D_h は104.7mmであった。これより、体積充填率 R_v は59.6%、座屈率 W は100%、膜体積（円環部） V_m は609mLであった。ここから、モジュールの吸着容量は43.1mg/mLと算出された。なお、固定剤密部率 R_b は32.7%であった。

[0167] モジュール4Bについて、解体調査を行ったところ、モジュール4Bに充填されていた中空糸膜の本数 n は480本、中空糸膜の平均内径 D_i ／平均外径 D_o は2.26mm／3.69mm、中空糸膜の平均有効長 L' は190mmであった。また、固定層の界面間距離 L は190.0mm、ハウジング内径 D_h は104.7mmであった。これより、体積充填率 R_v は59.6%、座屈率 W は100%、膜体積（円環部） V_m は609mLであった。抜き取った中空糸膜の動的吸着容量は43.7mg/mLであり、スケラビリティは98.7%であった。

[0168] なお、モジュール4Aと4Bの座屈率差は0.0%であった。また、モジュール4Cの耐久回数は1回であった。

[0169] このような評価結果から、実施例4では、スケラビリティが成立する中空糸膜モジュールが製造可能であることが示された。また、小束間の間隔をあけて、中空糸膜の長手方向に沿って固定層厚み全域に亘って延びる固定剤密部を形成し、さらに、座屈を抑制して、座屈のバラつきも小さくすることで、想定した体積充填率から外れることを防ぐ効果があることが示された。

[0170] [実施例5]

図4に示す整束工程において、仕切部材に代えて小束化された中空糸膜束3同士の上に、断面が6mm×6mmのブロック状のスペーサー77を配置することで、図15(b)に示す中空糸膜モジュールを3本（5A、5B、5C）作成した。なお、実施例5では、仕切部材を用いなかった。

[0171] モジュール5Aについて、モジュールの吸着容量評価を実施したところ、モジュールあたりに29.1gのBSAが吸着した。その後、解体調査を行

ったところ、モジュール5 Aに充填されている中空糸膜の本数 n は540本、中空糸膜の平均内径 D_i ／平均外径 D_o は2.26 mm／3.69 mm、中空糸膜の平均有効長 L' は190 mmであった。また、固定層の界面間距離 L は190.0 mm、ハウジング内径 D_h は104.7 mmであった。これより、体積充填率 R_v は67.1%、座屈率 W は100%、膜体積（円環部） V_{mm} は686 mLであった。ここから、モジュールの吸着容量は42.5 mg/mLと算出された。なお、固定剤密部率 R_b は12.6%であった。

[0172] モジュール5 Bについて、解体調査を行ったところ、モジュール5 Bに充填されていた中空糸膜の本数 n は540本、中空糸膜の平均内径 D_i ／平均外径 D_o は2.26 mm／3.69 mm、中空糸膜の平均有効長 L' は190 mmであった。また、固定層の界面間距離 L は190.0 mm、ハウジング内径 D_h は104.7 mmであった。これより、体積充填率 R_v は67.1%、座屈率 W は100%、膜体積（円環部） V_{mm} は686 mLであった。抜き取った中空糸膜の動的吸着容量は45.0 mg/mLであり、スケラビリティは94.4%であった。

[0173] なお、モジュール5 Aと5 Bの座屈率差は0.0%であった。また、モジュール5 Cの耐久回数は1回であった。

[0174] このような評価結果から、実施例5では、スケラビリティが成立する中空糸膜モジュールが製造可能であることが示された。また、中空糸膜の長手方向に沿って固定層厚み全域に亘って延びる固定剤密部を形成し、さらに、座屈を抑制して、座屈のバラつきも小さくすることで、想定した体積充填率から外れることを防ぐ効果があることが示された。

[0175] [実施例6]

図4に示す整束工程において、中空糸膜束を4本の小束に分割し、各小束を仕切部材で区切ることで、図15(a)に示す中空糸膜モジュールを3本（6 A、6 B、6 C）作成した。仕切部材は、板厚が4 mm、幅が102 mmのものを用了。

[0176] モジュール 6 A について、モジュールの吸着容量評価を実施したところ、モジュールあたりに 31.5 g の BSA が吸着した。その後、解体調査を行ったところ、モジュール 6 A に充填されている中空糸膜の本数 n は 512 本、中空糸膜の平均内径 D_i / 平均外径 D_o は 2.26 mm / 3.69 mm、中空糸膜の平均有効長 L' は 205 mm であった。また、固定層の界面間距離 L は 190.0 mm、ハウジング内径 D_h は 104.7 mm であった。これより、体積充填率 R_v は 68.6%、座屈率 W は 107.9%、膜体積（円環部） V_m は 701 mL であった。ここから、モジュールの吸着容量は 44.8 mg / mL と算出された。なお、固定剤密部率 R_b は 0.0% であった。

[0177] モジュール 6 B について、解体調査を行ったところ、モジュール 6 B に充填されていた中空糸膜の本数 n は 512 本、中空糸膜の平均内径 D_i / 平均外径 D_o は 2.26 mm / 3.69 mm、中空糸膜の平均有効長 L' は 211 mm であった。また、固定層の界面間距離 L は 190.0 mm、ハウジング内径 D_h は 104.7 mm であった。これより、体積充填率 R_v は 70.6%、座屈率 W は 111.1%、膜体積（円環部） V_m は 722 mL であった。抜き取った中空糸膜の動的吸着容量は 47.3 mg / mL であり、スケラビリティは 94.8% であった。

[0178] なお、モジュール 6 A と 6 B の座屈率差は 3.2% であった。また、モジュール 6 C の耐久回数は 10 回以上であった。

[0179] このような評価結果から、実施例 6 では、スケラビリティが成立する中空糸膜モジュールが製造可能であることが示された。また、固定層において割れが発生せず、繰り返し耐久性が向上することが示された。

[0180] [実施例 7]

図 4 に示す整束工程において、中空糸膜束を 4 本の小束に分割し、各小束を十字型に連結された複数の円筒部材で仕切ることにより、図 13 (a) に示す中空糸膜モジュールを 3 本（7 A、7 B、7 C）作成した。十字型を構成する各円筒部材は、外径が 14.5 mm、内径が 12 mm のものを 10 本

用いた。

[0181] モジュール7 Aについて、モジュールの吸着容量評価を実施したところ、モジュール当たり26.8 gのBSAが吸着した。その後、解体調査を行ったところ、モジュール7 Aに充填されている中空糸膜の本数 n は460本、中空糸膜の平均内径 D_i ／平均外径 D_o は2.26 mm／3.69 mm、中空糸膜の平均有効長 L' は193 mmであった。また、固定層の界面間距離 L は190.0 mm、ハウジング内径 D_h は104.7 mmであった。これより、体積充填率 R_v は58.0%、座屈率 W は101.6%、膜体積（円環部） V_{mm} は593 mLであった。ここから、モジュールの吸着容量は45.1 mg/mLと算出された。なお、固定剤密部率 R_b は14.1%であった。

[0182] モジュール7 Bについて、解体調査を行ったところ、モジュール7 Bに充填されていた中空糸膜の本数 n は460本、中空糸膜の平均内径 D_i ／平均外径 D_o は2.26 mm／3.69 mm、中空糸膜の平均有効長 L' は193.5 mmであった。また、固定層の界面間距離 L は190.0 mm、ハウジング内径 D_h は104.7 mmであった。これより、体積充填率 R_v は58.2%、座屈率 W は101.8%、膜体積（円環部） V_{mm} は595 mLであった。抜き取った中空糸膜の動的吸着容量は45.5 mg/mLであり、スケーラビリティは99.1%であった。

[0183] なお、モジュール7 Aと7 Bの座屈率差は0.3%であった。また、モジュール7 Cの耐久回数は10回以上であった。

[0184] このような評価結果から、実施例7では、スケーラビリティが成立する中空糸膜モジュールが製造可能であることが示された。また、中空糸膜の長手方向に沿って固定層厚み全域に亘って延びる固定剤密部を形成し、さらに、座屈を抑制して、座屈のバラつきも小さくすることで、想定した体積充填率から外れることを防ぐ効果があることが示された。

[0185] [実施例8]

図4に示す整束工程において、中空糸膜束を8本の小束に分割し、一對の

対向配置された板部材が横に三組かつ縦に一組配置された仕切部材で各小束を仕切ること、図14(a)に示す中空糸膜モジュールを3本(8A、8B、8C)作成した。仕切部材は、各板部材の板厚が4mm、一对の板部材の離間距離が4mmのものを用了。

[0186] モジュール8Aについて、モジュールの吸着容量評価を実施したところ、モジュール当たり18.8gのBSAが吸着した。その後、解体調査を行ったところ、モジュール8Aに充填されている中空糸膜の本数 n は340本、中空糸膜の平均内径 D_i ／平均外径 D_o は2.26mm／3.69mm、中空糸膜の平均有効長 L' は190mmであった。また、固定層の界面間距離 L は190.0mm、ハウジング内径 D_h は104.7mmであった。これより、体積充填率 R_v は42.2%、座屈率 W は100.0%、膜体積(円環部) V_m は432mLであった。ここから、モジュールの吸着容量は43.6mg/mLと算出された。なお、固定剤密部率 R_b は14.3%であった。

[0187] モジュール8Bについて、解体調査を行ったところ、モジュール8Bに充填されていた中空糸膜の本数 n は340本、中空糸膜の平均内径 D_i ／平均外径 D_o は2.26mm／3.69mm、中空糸膜の平均有効長 L' は190mmであった。また、固定層の界面間距離 L は190.0mm、ハウジング内径 D_h は104.7mmであった。これより、体積充填率 R_v は42.2%、座屈率 W は100.0%、膜体積(円環部) V_m は432mLであった。抜き取った中空糸膜の動的吸着容量は43.9mg/mLであり、スケラビリティは99.4%であった。

[0188] なお、モジュール8Aと8Bの座屈率差は0.0%であった。また、モジュール8Cの耐久回数は10回以上であった。

[0189] このような評価結果から、実施例8では、スケラビリティが成立する中空糸膜モジュールが製造可能であることが示された。また、固定層において割れが発生せず、繰り返し耐久性が向上することが示された。また、中空糸膜の長手方向に沿って固定層厚み全域に亘って延びる固定剤密部を形成し、

さらに、座屈を抑制して、座屈のバラつきも小さくすることで、想定した体積充填率から外れることを防ぐ効果があることが示された。

[0190] [実施例 9]

図 4 に示す整束工程において、中空糸膜束を 4 本の小束に分割し、一对の対向配置された板部材が十字型に配置された仕切部材で各小束を仕切ること、図 2 に示す中空糸膜モジュールを 3 本（9 A、9 B、9 C）作成した。仕切部材は、各板部材の板厚が 4 mm、一对の板部材の離間距離が 4 mm のものを用いた。

[0191] モジュール 9 A について、モジュールの吸着容量評価を実施したところ、モジュールあたりに 25.9 g の BSA が吸着した。その後、解体調査を行ったところ、モジュール 9 A に充填されている中空糸膜の本数 n は 460 本、中空糸膜の平均内径 D_i / 平均外径 D_o は 2.26 mm / 3.69 mm、中空糸膜の平均有効長 L' は 190 mm であった。また、固定層の界面間距離 L は 190.0 mm、ハウジング内径 D_h は 104.7 mm であった。これより、体積充填率 R_v は 57.1%、座屈率 W は 100.0%、膜体積（円環部） V_{mm} は 584 mL であった。ここから、モジュールの吸着容量は 44.3 mg / mL と算出された。なお、固定剤密部率 R_b は 8.9% であった。

[0192] モジュール 9 B について、解体調査を行ったところ、モジュール 9 B に充填されていた中空糸膜の本数 n は 460 本、中空糸膜の平均内径 D_i / 平均外径 D_o は 2.26 mm / 3.69 mm、中空糸膜の平均有効長 L' は 190 mm であった。また、固定層の界面間距離 L は 190.0 mm、ハウジング内径 D_h は 104.7 mm であった。これより、体積充填率 R_v は 57.1%、座屈率 W は 100.0%、膜体積（円環部） V_{mm} は 584 mL であった。抜き取った中空糸膜の動的吸着容量は 44.4 mg / mL であり、スケラビリティは 99.8% であった。

[0193] なお、モジュール 9 A と 9 B の座屈率差は 0.0% であった。また、モジュール 9 C の耐久回数は 10 回以上であった。

[0194] このような評価結果から、実施例 9 では、スケーラビリティが成立する中空糸膜モジュールが製造可能であることが示された。また、固定層において割れが発生せず、繰り返し耐久性が向上することが示された。また、中空糸膜の長手方向に沿って固定層厚み全域に亘って延びる固定剤密部を形成し、さらに、座屈を抑制して、座屈のバラつきも小さくすることで、想定した体積充填率から外れることを防ぐ効果があることが示された。

[0195] [実施例 10]

図 4 に示す整束工程において、中空糸膜束を 8 本の小束に分割し、一対の対向配置された板部材が十字型に配置された仕切部材で小束を二束ずつに仕切り、仕切部材で仕切られた二束の小束を分割ネットで仕切ることで、図 14 (b) に示す中空糸膜モジュールを 3 本 (10A、10B、10C) 作成した。仕切部材は、各板部材の板厚が 4 mm、一対の板部材の離間距離が 4 mm のものを用いた。分割ネットは、網目を有する薄いネットを用いた。

[0196] モジュール 10A について、モジュールの吸着容量評価を実施したところ、モジュールあたりに 26.8 g の BSA が吸着した。その後、解体調査を行ったところ、モジュール 10A に充填されている中空糸膜の本数 n は 460 本、中空糸膜の平均内径 D_i / 平均外径 D_o は 2.26 mm / 3.69 mm、中空糸膜の平均有効長 L' は 190 mm であった。また、固定層の界面間距離 L は 190.0 mm、ハウジング内径 D_h は 104.7 mm であった。これより、体積充填率 R_v は 57.1%、座屈率 W は 100.0%、膜体積 (円環部) V_{mm} は 587 mL であった。ここから、モジュールの吸着容量は 45.9 mg / mL と算出された。なお、固定剤密部率 R_b は 21.5% であった。

[0197] モジュール 10B について、解体調査を行ったところ、モジュール 10B に充填されていた中空糸膜の本数 n は 460 本、中空糸膜の平均内径 D_i / 平均外径 D_o は 2.26 mm / 3.69 mm、中空糸膜の平均有効長 L' は 190 mm であった。また、固定層の界面間距離 L は 190.0 mm、ハウジング内径 D_h は 104.7 mm であった。これより、体積充填率 R_v は 5

7. 1%、座屈率 W は100.0%、膜体積（円環部） V_{mm} は584 mLであった。抜き取った中空糸膜の動的吸着容量は46.0 mg/mLであり、スケーラビリティは99.8%であった。

[0198] なお、モジュール10Aと10Bの座屈率差は0.0%であった。また、モジュール10Cの耐久回数は10回以上であった。

[0199] このような評価結果から、実施例10では、スケーラビリティが成立する中空糸膜モジュールが製造可能であることが示された。また、固定層において割れが発生せず、繰り返し耐久性が向上することが示された。また、中空糸膜の長手方向に沿って固定層厚み全域に亘って延びる固定剤密部を形成し、さらに、座屈を抑制して、座屈のバラつきも小さくすることで、想定した体積充填率から外れることを防ぐ効果があることが示された。

[0200] [実施例11]

図4に示す整束工程において、中空糸膜束を4本の小束に分割し、分割した小束の外周をそれぞれ保護部材で覆い、一对の対向配置された板部材が十字型に配置された仕切部材で、保護部材で覆われた各小束を仕切ること、図2及び図3に示す中空糸膜モジュールを3本（11A、11B、11C）作成した。仕切部材は、各板部材の板厚が4 mm、一对の板部材の離間距離が4 mmのものをを用いた。分割ネットは、網目を有する薄いネットを用いた。

[0201] モジュール11Aについて、モジュールの吸着容量評価を実施したところ、モジュールあたりに18.9 gのBSAが吸着した。その後、解体調査を行ったところ、モジュール11Aに充填されている中空糸膜の本数 n は332本、中空糸膜の平均内径 D_i ／平均外径 D_o は2.26 mm／3.69 mm、中空糸膜の平均有効長 L' は190 mmであった。また、固定層の界面間距離 L は190.0 mm、ハウジング内径 D_h は104.7 mmであった。これより、体積充填率 R_v は41.2%、座屈率 W は100.0%、膜体積（円環部） V_{mm} は422 mLであった。ここから、モジュールの吸着容量は44.9 mg/mLと算出された。なお、固定剤密部率 R_b は39.2

%であった。

[0202] モジュール11Bについて、解体調査を行ったところ、モジュール11Bに充填されていた中空糸膜の本数 n は332本、中空糸膜の平均内径 D_i ／平均外径 D_o は2.26mm／3.69mm、中空糸膜の平均有効長 L' は190mmであった。また、固定層の界面間距離 L は190.0mm、ハウジング内径 D_h は104.7mmであった。これより、体積充填率 R_v は41.2%、座屈率 W は100.0%、膜体積（円環部） V_m は422mLであった。抜き取った中空糸膜の動的吸着容量は45.1mg/mLであり、スケーラビリティは99.5%であった。

[0203] なお、モジュール11Aと11Bの座屈率差は0.0%であった。また、モジュール11Cの耐久回数は10回以上であった。

[0204] このような評価結果から、実施例11では、スケーラビリティが成立する中空糸膜モジュールが製造可能であることが示された。また、固定層において割れが発生せず、繰り返し耐久性が向上することが示された。また、中空糸膜の長手方向に沿って固定層厚み全域に亘って延びる固定剤密部を形成し、さらに、座屈を抑制して、座屈のバラつきも小さくすることで、想定した体積充填率から外れることを防ぐ効果があることが示された。

[0205] [比較例1]

図4に示す整束工程において、中空糸膜のみを一束に整束することで、図11(a)に示す中空糸膜モジュールを3本(1'A、1'B、1'C)作成した。なお、比較例1では、仕切部材を用いなかった。

[0206] モジュール1'Aについて、モジュールの吸着容量評価を実施したところ、モジュールあたりに28.9gのBSAが吸着した。その後、解体調査を行ったところ、モジュール1'Aに充填されている中空糸膜の本数 n は560本、中空糸膜の平均内径 D_i ／平均外径 D_o は2.26mm／3.69mm、中空糸膜の平均有効長 L' は204mmであった。また、固定層の界面間距離 L は190.0mm、ハウジング内径 D_h は104.7mmであった。これより、体積充填率 R_v は74.7%、座屈率 W は107.4%、膜体

積（円環部） V_{mm} は763 mLであった。ここから、モジュールの吸着容量は37.8 mg/mLと算出された。なお、固定剤密部率 R_b は0.0%であった。

[0207] モジュール1' Bについて、解体調査を行ったところ、モジュール1' Bに充填されていた中空糸膜の本数 n は560本、中空糸膜の平均内径 D_i ／平均外径 D_o は2.26 mm／3.69 mm、中空糸膜の平均有効長 L' は209 mmであった。また、固定層の界面間距離 L は190.0 mm、ハウジング内径 D_h は104.7 mmであった。これより、体積充填率 R_v は76.5%、座屈率 W は110.0%、膜体積（円環部） V_{mm} は782 mLであった。抜き取った中空糸膜の動的吸着容量は43.2 mg/mLであり、スケーラビリティは87.6%であった。

[0208] なお、モジュール1' Aと1' Bの座屈率差は2.6%であった。また、モジュール1' Cの耐久回数は2回であった。

[0209] このような結果から、比較例1では、単糸の吸着容量に対するモジュールの吸着容量の性能比が87.6%と低く、中空糸膜モジュールの形態において単糸の性能を保持することが困難であることが確認できた。

[0210] [比較例2]

図4に示す整束工程において、中空糸膜のみを一束に整束することで、図11(a)に示す中空糸膜モジュールを3本（2' A、2' B、2' C）作成した。なお、比較例2では、仕切部材を用いなかった。

[0211] モジュール2' Aについて、モジュールの吸着容量評価を実施したところ、モジュールあたりに239.4 gのBSAが吸着した。その後、解体調査を行ったところ、モジュール2' Aに充填されている中空糸膜の本数 n は880本、中空糸膜の平均内径 D_i ／平均外径 D_o は2.26 mm／3.69 mm、中空糸膜の平均有効長 L' は1016 mmであった。また、固定層の界面間距離 L は936.0 mm、ハウジング内径 D_h は130.0 mmであった。これより、体積充填率 R_v は77.0%、座屈率 W は108.5%、膜体積（円環部） V_{mm} は5975 mLであった。ここから、モジュールの

吸着容量は40.1 mg/mLと算出された。なお、固定剤密部率R_bは0.0%であった。

[0212] モジュール2' Bについて、解体調査を行ったところ、モジュール2' Bに充填されていた中空糸膜の本数nは880本、中空糸膜の平均内径D_i/平均外径D_oは2.26 mm/3.69 mm、中空糸膜の平均有効長L'は996 mmであった。また、固定層の界面間距離Lは936.0 mm、ハウジング内径D_hは130.0 mmであった。これより、体積充填率R_vは75.4%、座屈率Wは106.4%、膜体積（円環部）V_{mm}は5857 mLであった。抜き取った中空糸膜の動的吸着容量は45.8 mg/mLであり、スケラビリティは87.6%であった。

[0213] なお、モジュール2' Aと2' Bの座屈率差は2.1%であった。また、モジュール1' Cの耐久回数は1回であった。

[0214] このような評価結果から、比較例2では、単糸の吸着容量に対するモジュールの吸着容量の性能比が87.6%と低く、中空糸膜モジュールの形態において単糸の性能を保持することが困難であることが確認できた。

[0215] 実施例1～11及び比較例1, 2における体積充填率と吸着容量性能比との関係を図17に示す。図17に示すように、体積充填率が70%以上となる比較例1, 2では、単糸の吸着容量に対するモジュールの吸着容量が90%未満の低い値を示し、スケラビリティを確保することが難しいのに対し、体積充填率が30%以上70%未満の範囲となる実施例1～11では、単糸の吸着容量に対するモジュールの吸着容量が90%以上の高い値を示し、高いスケラビリティを確保することが可能であることが分かった。

[0216] なお、比較例2は、特開2011-016116号公報や特開2011-016119号公報に記載された中空糸膜モジュールをモデルとしたものである。そして、この比較例2について実際に実験を行ったところ、固定剤の充填により中空糸膜が大きく座屈して体積充填率が77.0%まで上昇した。その結果、単位膜体積当たりの吸着容量が低くなり、単糸の吸着容量に対するモジュールの吸着容量が87.5%と低くなった。

[0217] なお、例えば、実施例 2、1、9、11において、モジュール 2 A、1 A、9 A、11 Aの体積充填率とスケラビリティとの関係は、体積充填率 68.7%、61.9%、57.1%、41.2%に対して、性能比 95.1%、97.7%、99.8%、99.5%と全て 90%以上となることが確認できた。

[0218] さらに、例えば、実施例 6、3、9、5、4、において、固定剤密部率と座屈率差とを比較すると、固定剤密部率が 0.0%、4.2%、8.9%、12.6%、32.7%に対して、座屈率差が 3.2%、0.5%、0.0%、0.0%、0.0%となり、固定剤密部率が 3%以上になることで、座屈による体積充填率のバラつきが抑えられることが確認できた。

[0219] また、実施例 1～5 は固定層に仕切部材を備えない実施例であり、実施例 6～11 は固定層に仕切部材を備える実施例である。仕切部材を備えることで、固定層の繰り返し耐久性が向上することが確認できた。

符号の説明

[0220] 1…中空糸膜モジュール（吸着分離膜モジュール）、2…中空糸膜、2 a、2 b…端部、3…中空糸膜束、3 A、3 B、3 C、3 D…小束、3 a、3 b…中空糸膜束の端部、4…ハウジング（筒体）、4 A…空間、4 B…空間、4 C…空間、6、6 A、6 B…仕切部材、7、7 A、7 B…固定層、8…保護部材、11…ハウジング本体部（筒体）、11 a、11 b…切断代、12 A、12 B…キャップ、13 A、13 B…固定具、14 A、14 B…管部、16 A、16 B…管部、21、22、23、24、26…貫通部、31、32、33、34…壁部、31 a、31 b…板部材、32…壁部、32 a、32 b…板部材、33…壁部、33 a、33 b…板部材、34…壁部、34 a、34 b…板部材、41、42…平板、43、44…平板、50…ユニット、51 A、51 B…カップ、51 a…管部、71…仕切部材、72…仕切部材、73…仕切部材、74…仕切部材、76…分割ネット（分割手段）、77…スペーサー、78…仕切部材、81…固定剤注入部材、B D…固定剤。

請求の範囲

- [請求項1] 複数本の吸着機能を有する中空糸膜からなる中空糸膜束と、
前記中空糸膜束を収容する筒体と、
前記中空糸膜束の少なくとも一方の端部を前記筒体に固定する固定層と、
を備える吸着分離膜モジュールであって、
前記固定層は、前記中空糸膜の長手方向に沿って、前記固定層厚み全域に亘って延びる固定剤密部を有する、
吸着分離膜モジュール。
- [請求項2] 前記固定剤密部の断面積が、前記中空糸膜束の占有断面積に対して3%以上60%未満である、
請求項1に記載の吸着分離膜モジュール。
- [請求項3] 前記固定層において、前記中空糸膜束が複数の小束に分割されるとともに、各小束が間隔をあけて配置されている、
請求項1又は2に記載の吸着分離膜モジュール。
- [請求項4] 前記固定層において前記中空糸膜束を複数の小束に仕切り、前記中空糸膜束の長手方向に貫通する貫通部を有する仕切部材を更に備える、
請求項1～3の何れか一項に記載の吸着分離膜モジュール。
- [請求項5] 前記貫通部に前記固定層を構成する固定剤が充填されている、
請求項4に記載の吸着分離膜モジュール。
- [請求項6] 前記仕切部材は、一对の板部材が対向配置されることによって前記貫通部が形成されている、
請求項4又は5に記載の吸着分離膜モジュール。
- [請求項7] 前記仕切部材で仕切られた前記中空糸膜束を分割する分割手段を更に備える、
請求項4～6の何れか一項に記載の吸着分離膜モジュール。
- [請求項8] 前記仕切部材で仕切られた前記中空糸膜束の外周を覆う保護部材を

更に備える、

請求項 4 ～ 7 の何れか一項に記載の吸着分離膜モジュール。

[請求項9] 前記仕切部材は、一对の対向配置された板部材が十字型に組み合わされている、

請求項 4 ～ 8 の何れか一項に記載の吸着分離膜モジュール。

[請求項10] バイオ用途の分離精製に使用される、

請求項 1 ～ 9 の何れか一項に記載の吸着分離膜モジュール。

[請求項11] 複数本の吸着機能を有する中空糸膜からなる中空糸膜束と、前記中空糸膜束を収容する筒体と、前記中空糸膜束の少なくとも一方の端部を前記筒体に固定する固定層と、を備える吸着分離膜モジュールの製造方法であって、

前記中空糸膜束、前記筒体、及び前記中空糸膜間に隙間を形成して前記中空糸膜束の長手方向に向けて延びる固定剤注入部材を備えるユニットの端部に固定剤を充填することによって、前記中空糸膜束を前記筒体に固定し、

前記ユニットの前記端部を切断することによって、前記中空糸膜の端部を開口させる、

吸着分離膜モジュールの製造方法。

[請求項12] 複数本の吸着機能を有する中空糸膜からなる中空糸膜束と、前記中空糸膜束を収容する筒体と、前記中空糸膜束の少なくとも一方の端部を前記筒体に固定する固定層と、前記固定層において前記中空糸膜束を複数の小束に仕切り前記中空糸膜の長手方向に貫通する貫通部を有する仕切部材と、を備える吸着分離膜モジュールの製造方法であって、

前記中空糸膜束、前記筒体、及び前記仕切部材を備えるユニットの端部に固定剤を充填することによって、前記中空糸膜束及び前記仕切部材を前記筒体に固定し、

前記ユニットの前記端部を切断することによって、前記中空糸膜の

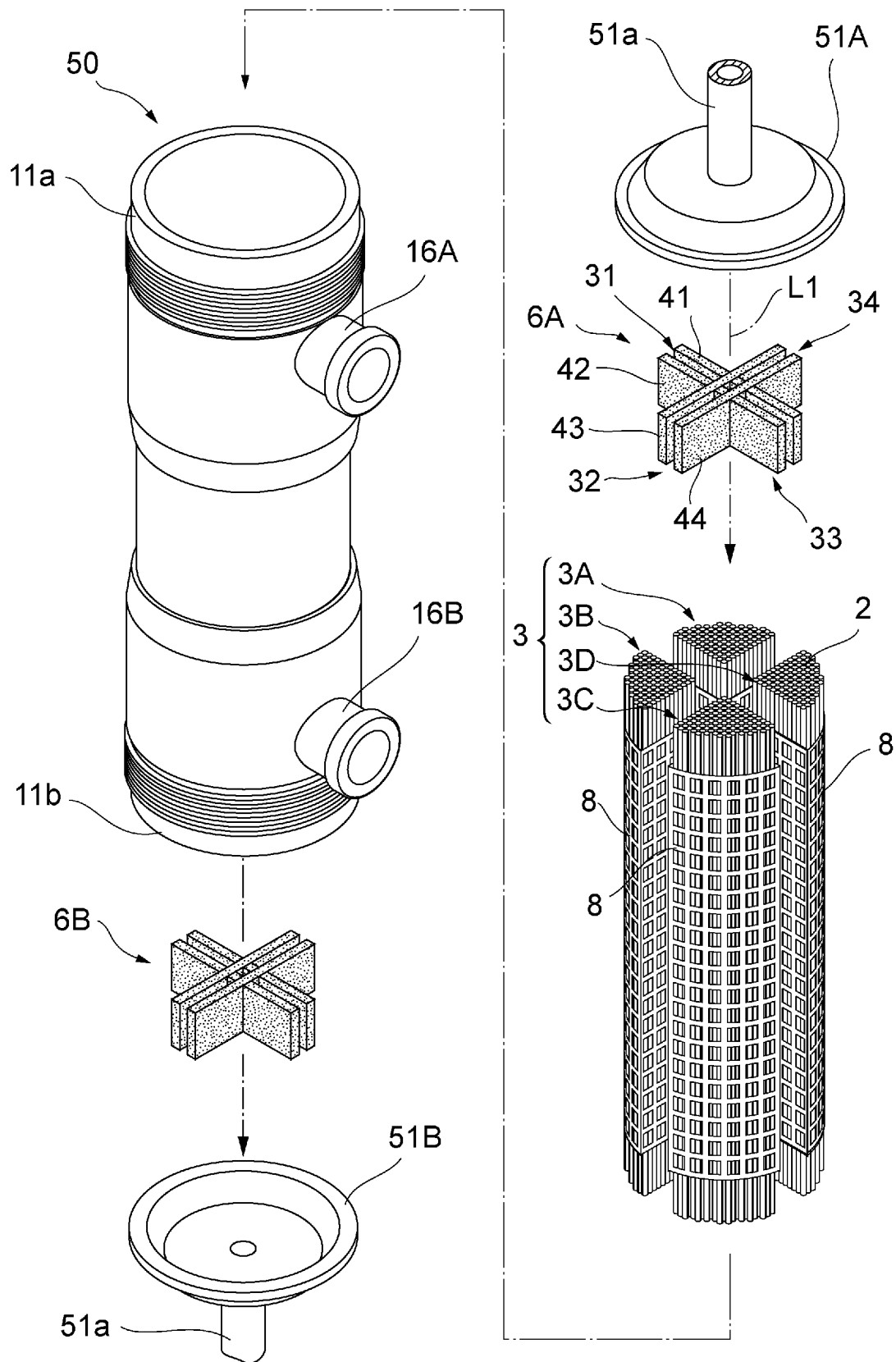
端部を開口させる、
吸着分離膜モジュールの製造方法。

[請求項13] 複数本の吸着機能を有する中空糸膜からなる中空糸膜束と、前記中空糸膜束を収容する筒体と、前記中空糸膜束の少なくとも一方の端部を前記筒体に固定する固定層と、を備える吸着分離膜モジュールに設けられ、前記中空糸膜束の端部で前記中空糸膜束を複数の膜束に仕切る仕切部材であって、
軸線方向に貫通する貫通部を有する、
仕切部材。

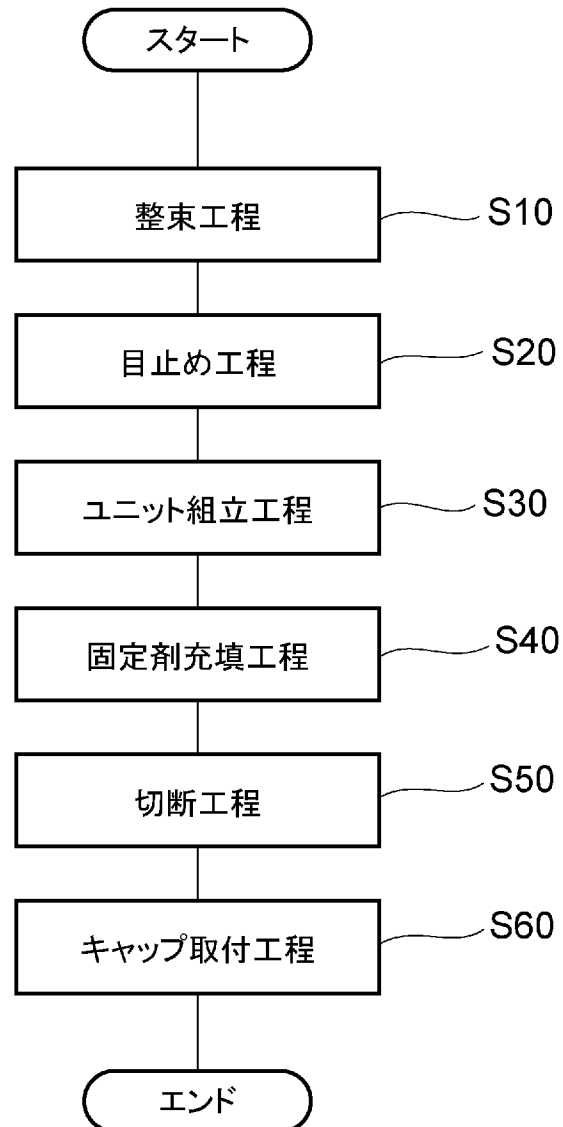
[請求項14] 複数本の吸着機能を有する中空糸膜からなる中空糸膜束と、
前記中空糸膜束を収容する筒体と、
前記中空糸膜束の少なくとも一方の端部を前記筒体に固定する固定層と、
を備える吸着分離膜モジュールであって、
前記中空糸膜の動的吸着容量に対する前記吸着分離膜モジュールの動的吸着容量の比が90%以上100%以下である、
吸着分離膜モジュール。

[請求項15] 前記筒体の容積に対する前記中空糸膜の占有体積である体積充填率が30%以上70%未満である、
請求項14に記載の吸着分離膜モジュール。

[図3]

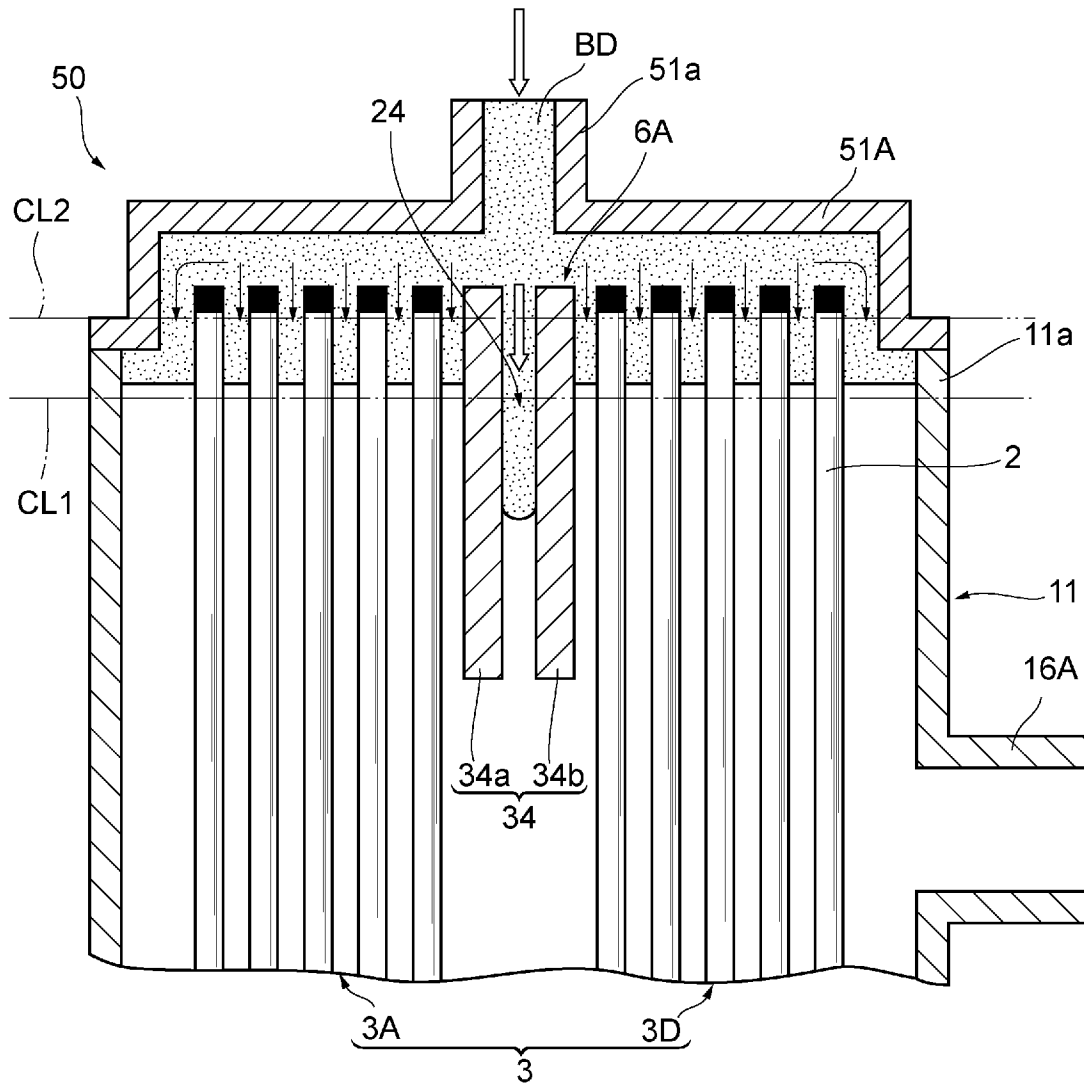


[図4]

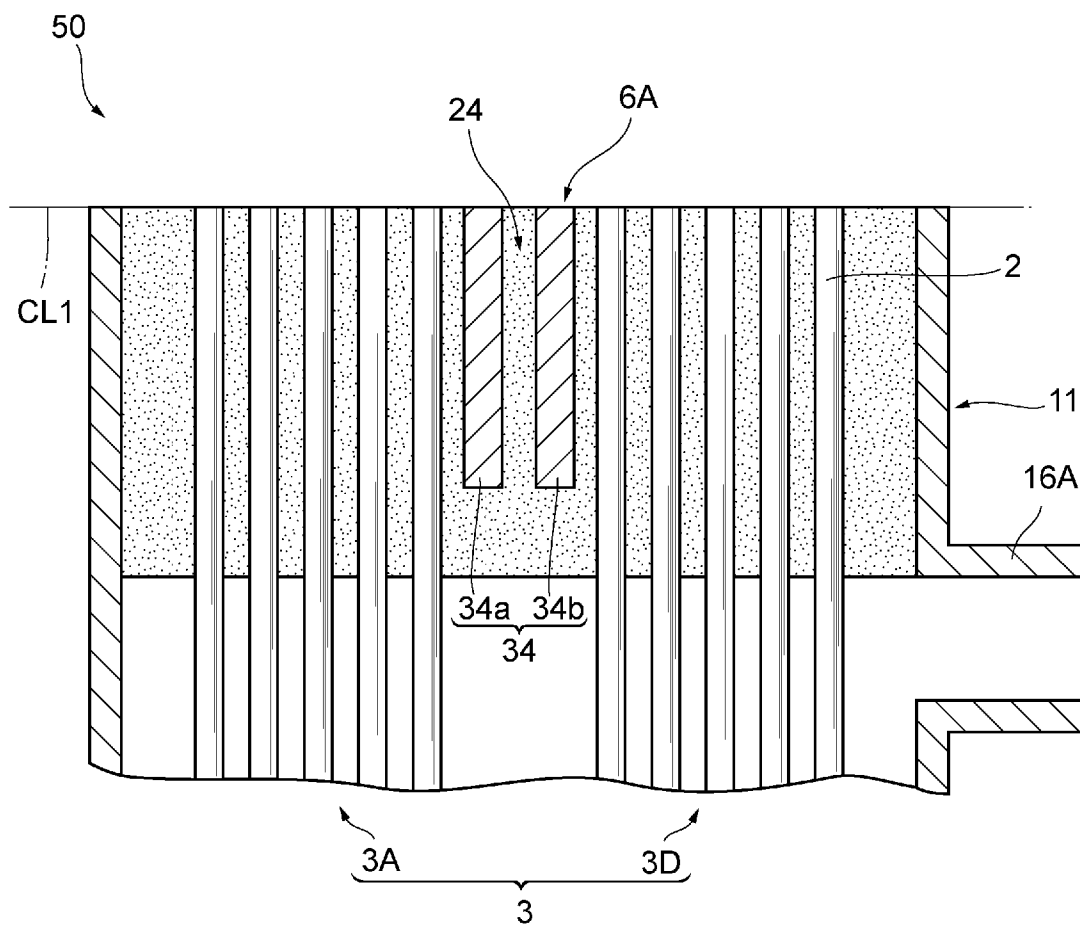


[illegible]

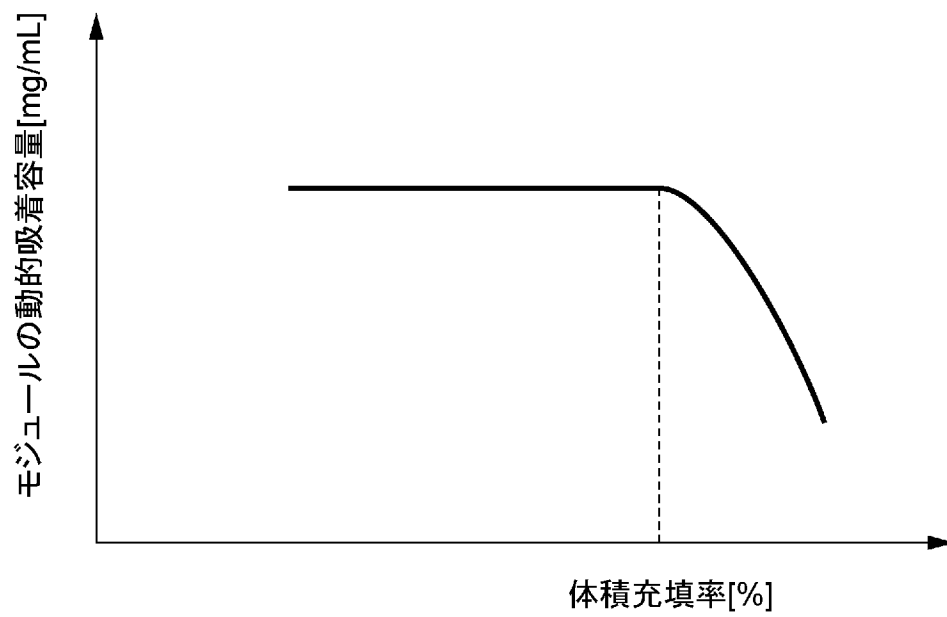
[図6]



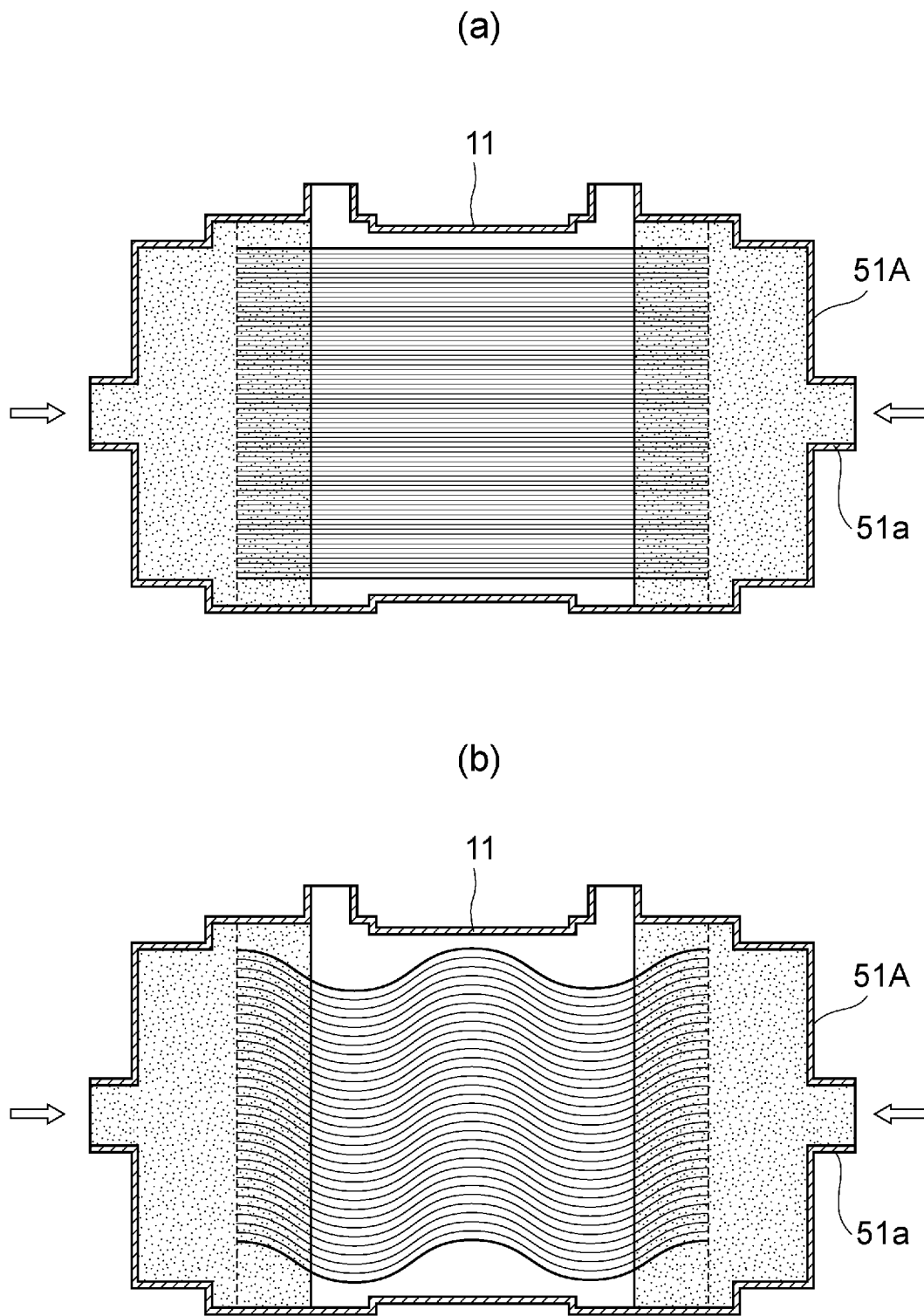
[図8]



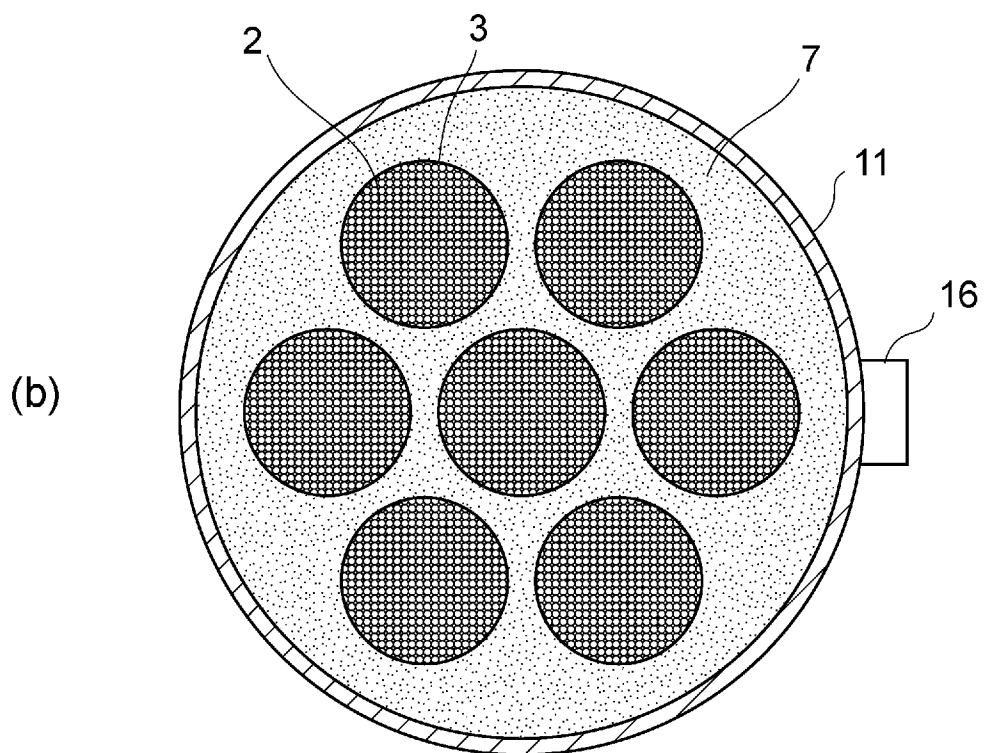
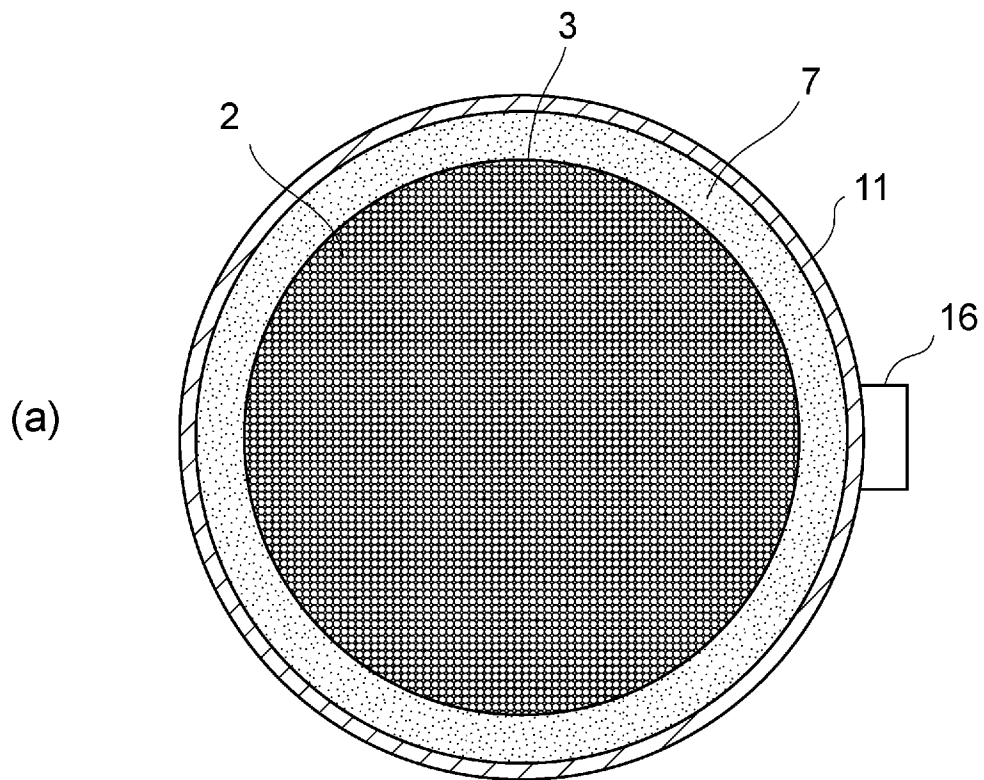
[図9]



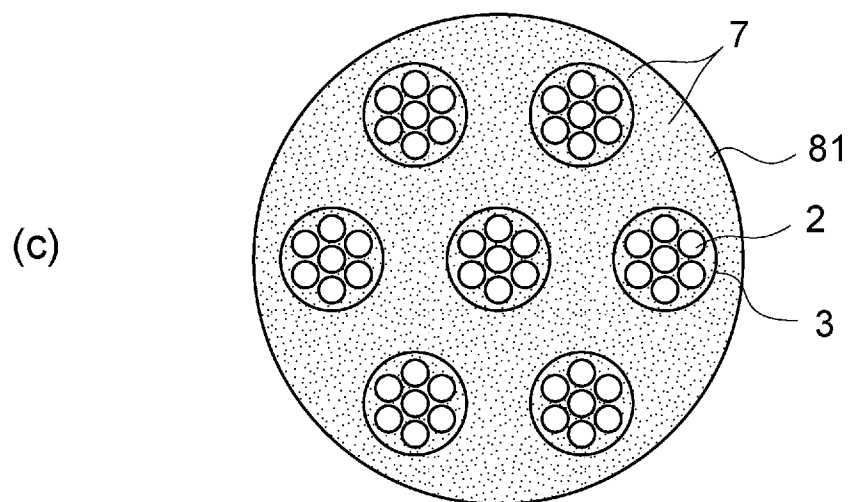
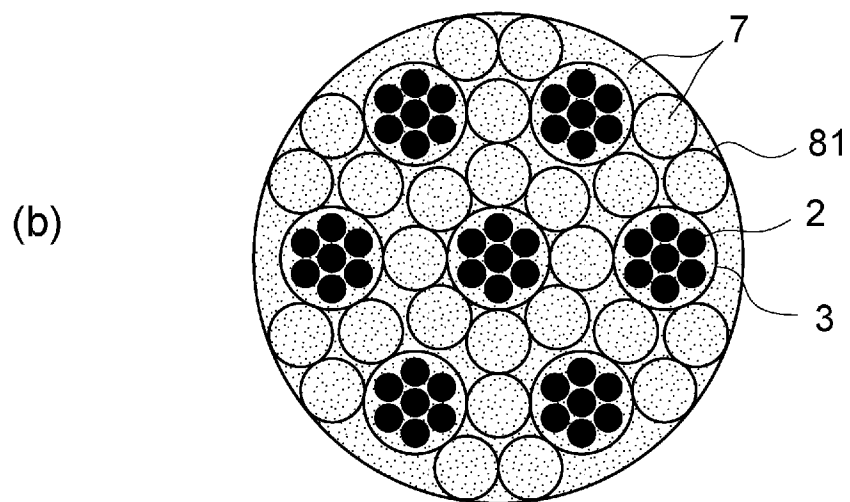
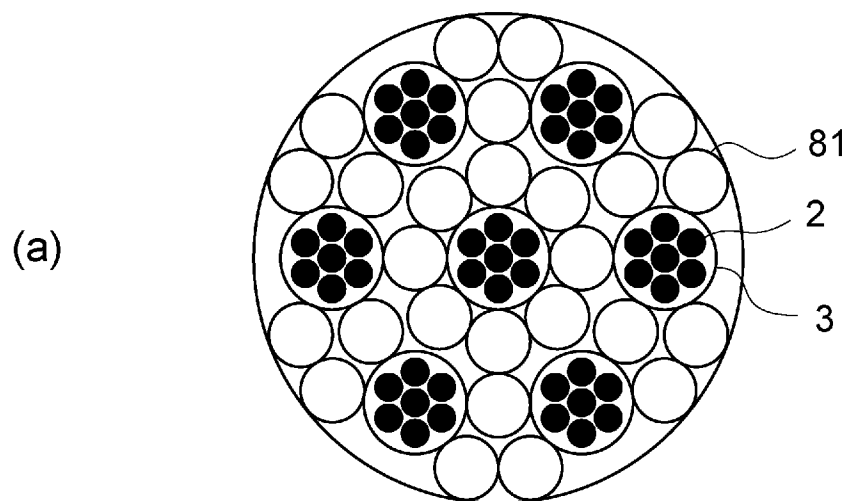
[図10]



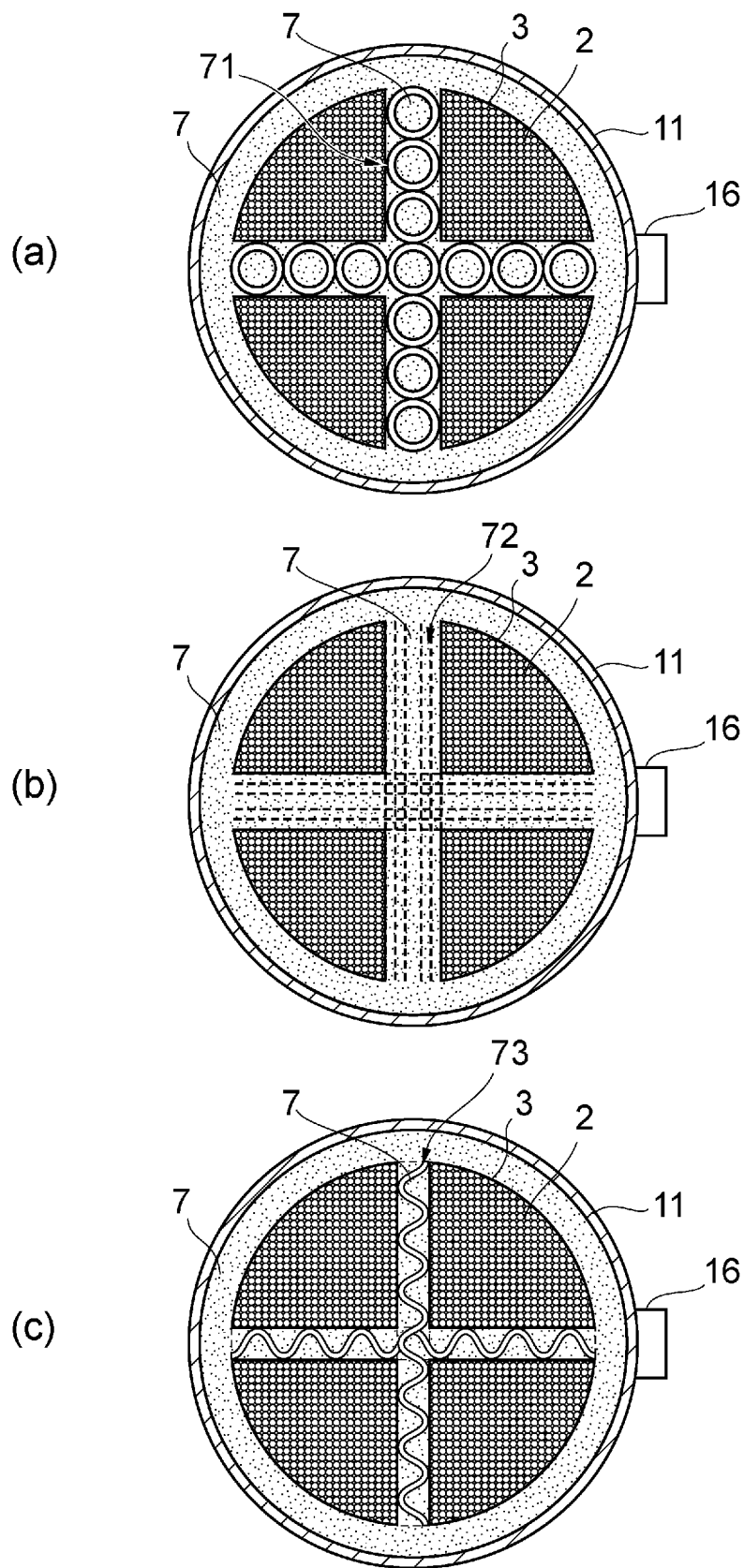
[図11]



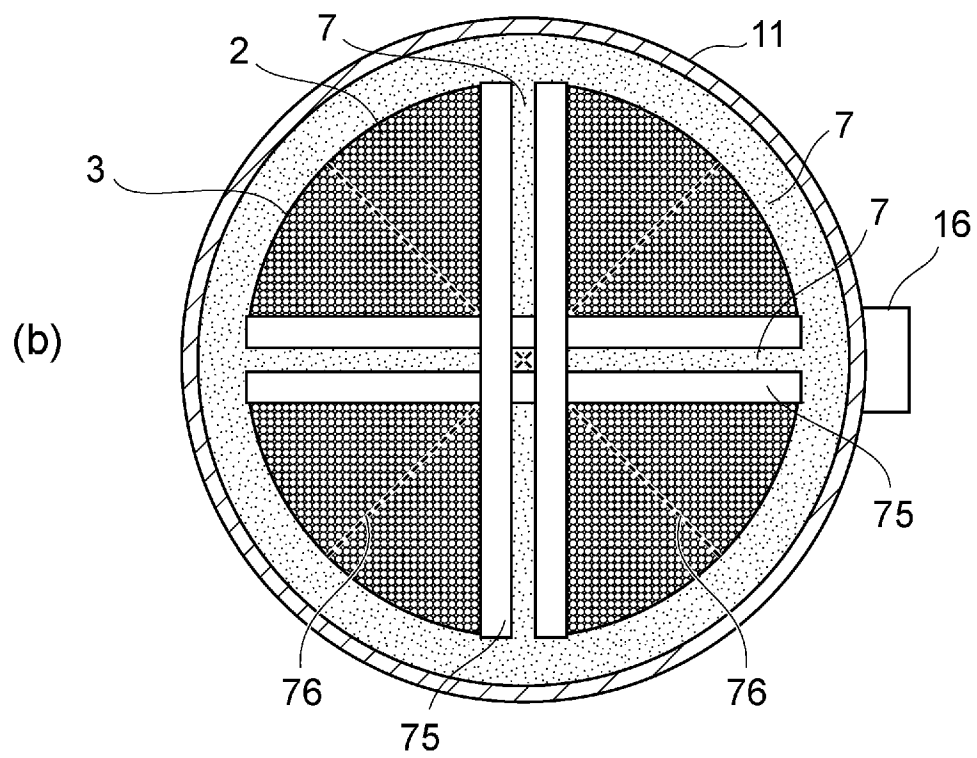
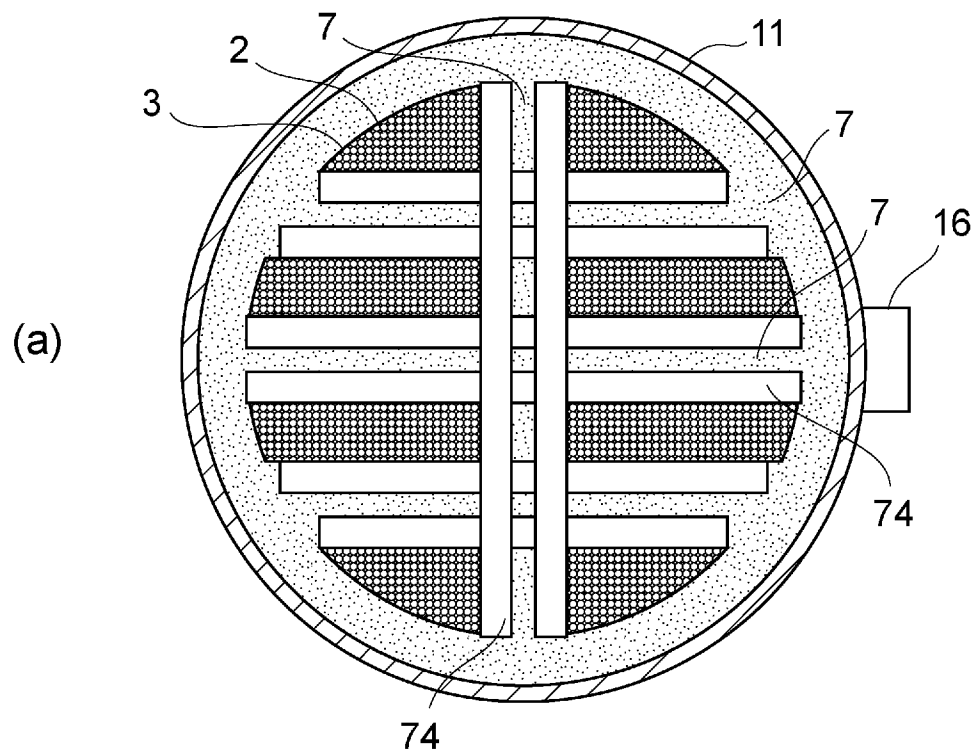
[図12]



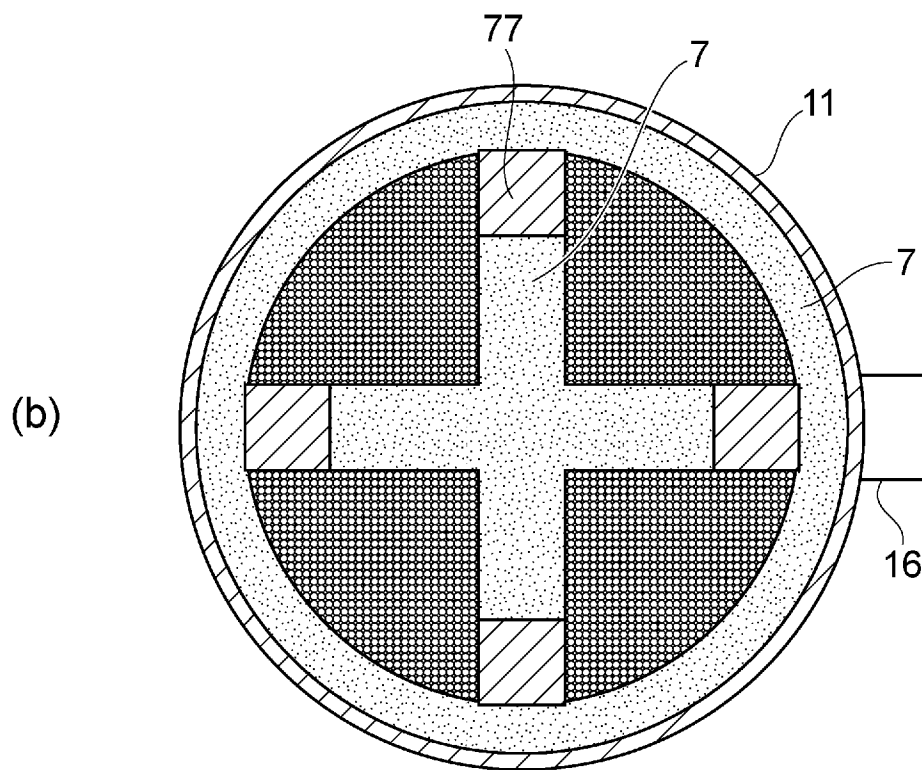
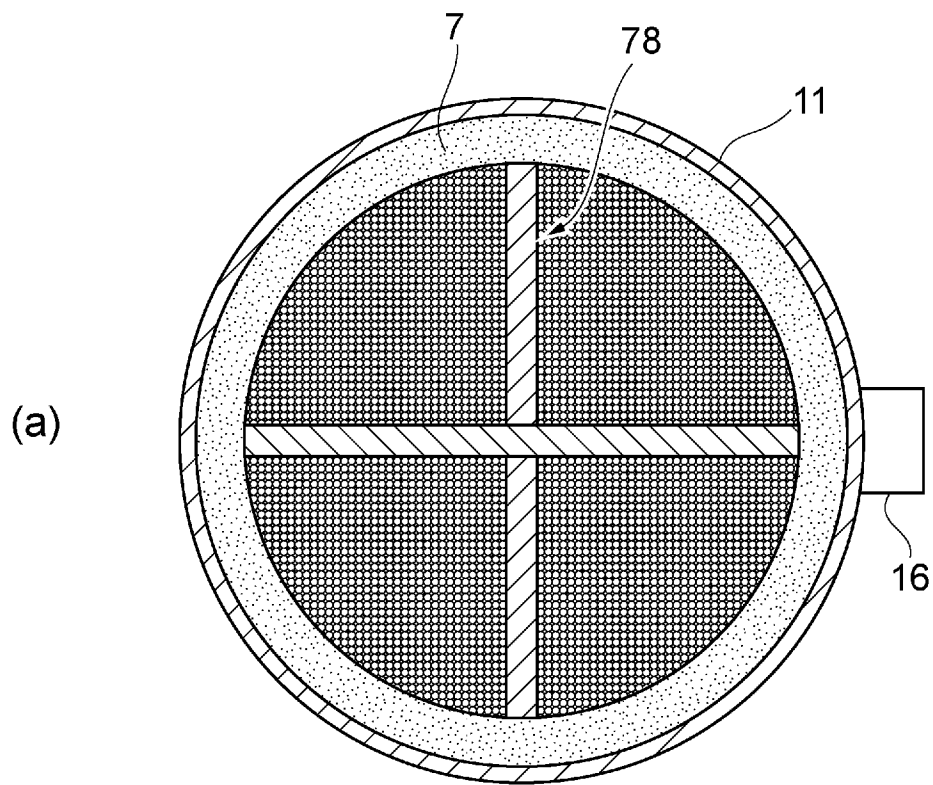
[図13]



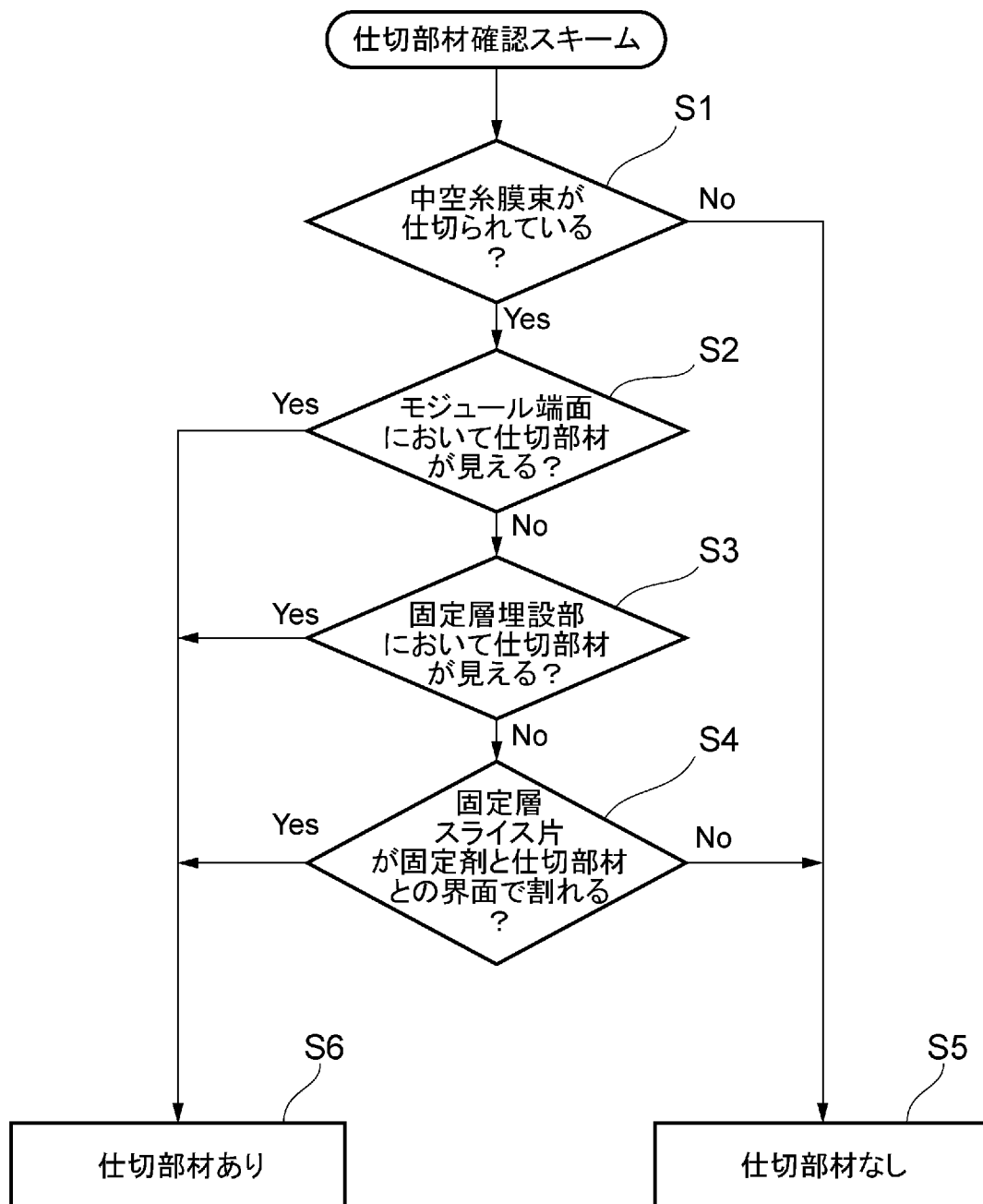
[図14]



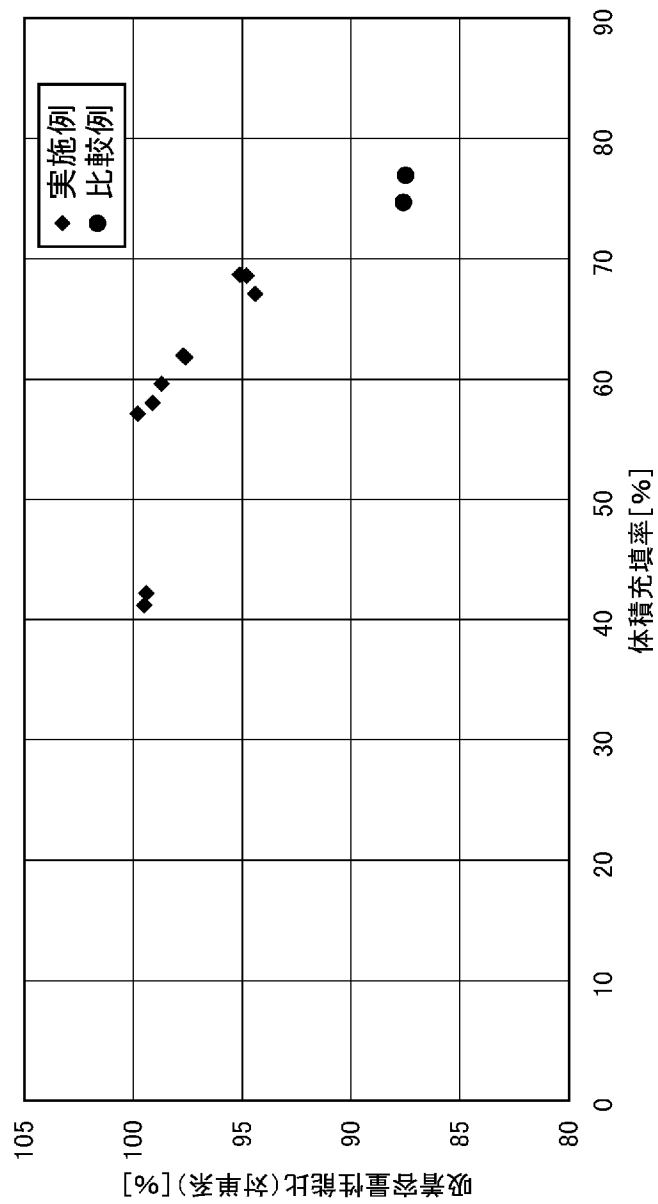
[図15]



[図16]



[図17]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/080343

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

B01D63/02(2006.01)i, B01D63/00(2006.01)i, B01J20/28(2006.01)i, B01J20/30(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)

B01D63/02, B01D63/00, B01J20/28, B01J20/30

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 1996-2012

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2012 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2012

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.
X	JP 2009-240900 A (Toray Industries, Inc.), 22 October 2009 (22.10.2009), paragraphs [0011] to [0025]; fig. 1 to 12 (Family: none)	1, 2, 10, 11
X	JP 1-4205 A (Fresenius AG.), 09 January 1989 (09.01.1989), page 6, upper right column, line 17 to page 7, upper left column, line 19; fig. 1 to 3 & US 4784768 A & EP 283826 A2 & DE 3709432 A	1-3, 10



Further documents are listed in the continuation of Box C.



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

27 March, 2012 (27.03.12)

Date of mailing of the international search report

10 April, 2012 (10.04.12)

Name and mailing address of the ISA/

Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/080343

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 2003/039720 A1 (Asahi Kasei Corp.), 15 May 2003 (15.05.2003), page 5, line 13 to page 15, line 1; fig. 1 to 32 & US 2004/0178136 A1 & EP 1442782 A1 & CN 1482940 A	4-9, 12, 13
X	JP 2005-52362 A (Toyobo Co., Ltd.), 03 March 2005 (03.03.2005), claims; paragraph [0028] (Family: none)	14, 15

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C）） Int.Cl. B01D63/02(2006.01)i, B01D63/00(2006.01)i, B01J20/28(2006.01)i, B01J20/30(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（I P C）） Int.Cl. B01D63/02, B01D63/00, B01J20/28, B01J20/30		
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 日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2012年 日本国実用新案登録公報 1996-2012年 日本国登録実用新案公報 1994-2012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
X	JP 2009-240900 A（東レ株式会社）2009.10.22, 【0011】-【0025】，第1-12図 （ファミリーなし）	1, 2, 10, 11
X	JP 1-4205 A（フレセニウス アクチエンゲゼルシャフト） 1989.01.09, 第6頁右上欄第17行-第7頁左上欄第19行，第1-3図 & US 4784768 A & EP 283826 A2 & DE 3709432 A	1-3, 10
☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。 ☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。		
* 引用文献のカテゴリー 「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 「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 「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） 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願日の後に公表された文献 「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 「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 「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 「&」 同一パテントファミリー文献		
国際調査を完了した日 27.03.2012	国際調査報告の発送日 10.04.2012	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁（I S A / 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） 北村 龍平 電話番号 03-3581-1101 内線 3468	4Q 3323

C (続き) . 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
X	WO 2003/039720 A1 (旭化成株式会社) 2003.05.15, 第5頁第13行-第15頁第1行, 第1-32図 & US 2004/0178136 A1 & EP 1442782 A1 & CN 1482940 A	4-9, 12, 13
X	JP 2005-52362 A (東洋紡績株式会社) 2005.03.03, 特許請求の範囲, 【0028】 (ファミリーなし)	14, 15