

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号
特開2016-16384
(P2016-16384A)

(43) 公開日 平成28年2月1日(2016. 2. 1)

(51) Int.Cl.	F 1	テーマコード (参考)
B O 1 D 65/10 (2006.01)	B O 1 D 65/10	4 D 0 0 6
C O 2 F 1/44 (2006.01)	C O 2 F 1/44	A
B O 1 D 61/44 (2006.01)	B O 1 D 61/44	5 0 0
B O 1 D 61/46 (2006.01)	B O 1 D 61/46	
B O 1 D 61/02 (2006.01)	B O 1 D 61/02	5 0 0
審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 14 頁) 最終頁に続く		

(21) 出願番号 特願2014-141997 (P2014-141997)	(71) 出願人 304020177
(22) 出願日 平成26年7月10日 (2014. 7. 10)	国立大学法人山口大学
	山口県山口市吉田 1 6 7 7 - 1
(出願人による申告) 平成25年度、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構、最先端P G (M e g a - t o n W a t e r S y s t e m) / 1 0 0 万 m 3 / 日 規 模 大 型 プ ラ ン ト 構 成 最 適 化 / 正 浸 透 膜 の 基 礎 特 性 評 価 に お け る 委 託 研 究 、 産 業 技 術 力 強 化 法 第 1 9 条 の 適 用 を 受 け る 特 許 出 願	(74) 代理人 100107984 弁理士 廣田 雅紀
	(74) 代理人 100102255 弁理士 小澤 誠次
	(74) 代理人 100096482 弁理士 東海 裕作
	(74) 代理人 100188352 弁理士 松田 一弘
	(74) 代理人 100131093 弁理士 堀内 真
	(74) 代理人 100150902 弁理士 山内 正子
	最終頁に続く

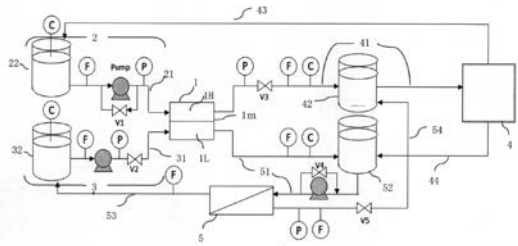
(54) 【発明の名称】 浸透膜モジュールの評価装置及び評価方法

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】一定濃度の溶液を定量的に連続して浸透膜モジュールに供給することができ、浸透膜モジュールの評価を簡易に低コストで行える浸透膜モジュールの評価装置や評価方法を提供する。

【解決手段】浸透膜モジュールの評価装置で、高濃度部への高濃度側溶液供給手段2、低濃度部への低濃度側溶液供給手段3、電気透析装置4、逆浸透膜モジュール5、高濃度部からの排出液を電気透析装置に導入する第1の導入路41、低濃度部からの排出液を逆浸透膜モジュールに導入する第2の導入路51、電気透析装置から排出される濃縮液を高濃度側溶液供給手段に還流させる第1の還流路43、逆浸透膜モジュールから排出される透過液を低濃度側溶液供給手段に還流させる第2の還流路53、電気透析装置から排出される脱塩液を逆浸透膜モジュールに導入する第3の導入路44、逆浸透膜モジュールから排出される濃縮液を電気透析装置に導入する第4の導入路54を備えた装置。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

高濃度側溶液が供給される高濃度部と低濃度側溶液が供給される低濃度部とが半透膜で仕切られた構造を有する浸透膜モジュールの評価装置であって、

前記高濃度部への高濃度側溶液供給手段、

前記低濃度部への低濃度側溶液供給手段、

電気透析装置、

逆浸透膜モジュール、

前記高濃度部からの排出液を前記電気透析装置に導入する第 1 の導入路、

前記低濃度部からの排出液を前記逆浸透膜モジュールに導入する第 2 の導入路、

前記電気透析装置から排出される濃縮液を前記高濃度側溶液供給手段に還流させる第 1 の還流路、

前記逆浸透膜モジュールから排出される透過液を前記低濃度側溶液供給手段に還流させる第 2 の還流路、

前記電気透析装置から排出される脱塩液を前記逆浸透膜モジュールに導入する第 3 の導入路、及び

前記逆浸透膜モジュールから排出される濃縮液を前記電気透析装置に導入する第 4 の導入路、

を備える浸透膜モジュールの評価装置。

【請求項 2】

高濃度側溶液供給手段が高濃度側溶液貯留容器を備え、第 1 の還流路が、電気透析装置から排出される濃縮液を、前記高濃度側溶液貯留容器に還流させるように設けられ、低濃度側溶液供給手段が低濃度側溶液貯留容器を備え、第 2 の還流路が、逆浸透膜モジュールから排出される透過液を、前記低濃度側溶液貯留容器に還流させるように設けられることを特徴とする請求項 1 記載の浸透膜モジュールの評価装置。

【請求項 3】

第 1 の導入路の途中に、高濃度部排出液貯留容器を設け、第 2 の導入路の途中に、低濃度部排出液貯留容器を設け、第 3 の導入路が、電気透析装置から排出される脱塩液を、前記低濃度部排出液貯留容器に導入するように設けられ、第 4 の導入路が、逆浸透膜モジュールから排出される濃縮液を、前記高濃度部排出液貯留容器に導入するように設けられることを特徴とする請求項 1 又は 2 記載の浸透膜モジュールの評価装置。

【請求項 4】

高濃度側溶液供給手段及び低濃度側溶液供給手段に、圧力調整手段を設けることを特徴とする請求項 1～3 のいずれかに記載の浸透膜モジュールの評価装置。

【請求項 5】

高濃度側溶液が供給される高濃度部と低濃度側溶液が供給される低濃度部とが半透膜で仕切られた構造を有する浸透膜モジュールに、高濃度側溶液及び低濃度側溶液を供給しながら評価を行う浸透膜モジュールの評価方法であって、

前記高濃度部からの排出液を電気透析装置に導入するステップ、

前記低濃度部からの排出液を逆浸透膜モジュールに導入するステップ、

前記電気透析装置から排出される脱塩液を前記逆浸透膜モジュールに導入するステップ、及び

前記逆浸透膜モジュールから排出される濃縮液を前記電気透析装置に導入するステップ、を含み、

前記電気透析装置から排出される濃縮液を高濃度側溶液として再使用し、前記逆浸透膜モジュールから排出される透過液を低濃度側溶液として再使用することを特徴とする浸透膜モジュールの評価方法。

10

20

30

40

50

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、高濃度側溶液が供給される高濃度部と低濃度側溶液が供給される低濃度部とが半透膜で仕切られた構造を有する浸透膜モジュールの評価装置及び評価方法に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、浸透膜モジュールを用いた海水濃度差発電や、海水淡水化、食品、飲料、医薬品等の脱塩、下水処理などが注目され、これらの用途に用いられる浸透膜モジュールの開発が行われている。例えば、海水濃度差発電は、海水と淡水をそれぞれ浸透膜モジュールに供給すると、淡水が海水との間を仕切る半透膜を透過して海水側へ移動する現象を利用したもので、発電量は、海水と淡水の間の浸透圧及び海水側に透過する淡水の水量によって決まる。そのため、海水濃度差発電では、海水淡水化施設から排出される塩分濃度の高い濃縮海水を使用することや、大量の海水と淡水を浸透膜モジュールに供給して半透膜を透過する水量を増加させることが検討され、塩分濃度の高い海水を使用でき、大量処理のできる浸透膜モジュールの開発が進められている。浸透膜モジュールの開発にあたっては、浸透膜モジュールの特性を評価することが必要であり、特に、実際に浸透膜モジュールに溶液を供給して評価することが非常に重要である。この場合、一定濃度の溶液を定量的に連続して浸透膜モジュールに供給することが必要となるが、浸透膜モジュール中では、低濃度側溶液の溶媒が半透膜を透過して高濃度側溶液へ移動するので、浸透膜モジュールから排出される排出液の濃度は、供給液の濃度とは異なる。そのため、排出液を再度供給液として利用することはできず、供給液を多量に準備する必要があるため、浸透膜モジュールの評価には、供給液を多量に調製するための薬品の調達や、供給液のための大容量タンク、多量に生じる排出液の処理設備等が必要であり、薬品コストや設備コストが増加し、また評価設備の設置に広い面積が必要となるなどの問題があった。しかし、従来提案されている膜の評価装置や評価方法は、ろ過等に用いる分離膜のろ過特性などについてのものであり（特許文献1）、浸透膜モジュールを、簡易に低コストで評価することはできなかった。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開2011-218246号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

本発明の課題は、上記問題点を解決し、一定濃度の溶液を定量的に連続して浸透膜モジュールに供給することができ、浸透膜モジュールの評価を簡易に低コストで行える浸透膜モジュールの評価装置や評価方法を提供することにある。さらに、高濃度の溶液を評価用溶液として使用する場合にも適用できる浸透膜モジュールの評価装置や評価方法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0005】

本発明者は、浸透膜モジュールの評価を簡易に低コストで行うための浸透膜モジュールの評価装置や評価方法の検討を開始し、従来、浸透膜モジュールを通過して排出された排出液が、利用されずに廃棄されていた点に着目した。そこで、浸透膜モジュールから排出される排出液を再生して浸透膜モジュールへの供給液として再利用することを試みた。しかし、例えば、海水濃度差発電のための評価のように、高濃度の塩水と水を用いて評価を行う場合、浸透膜モジュールから排出される排出液を再生して、当初と同じ濃度、流量の高濃度の塩水と水にすることは難しかった。本発明者は、更に検討を進めたところ、評価装置において、電気透析装置と逆浸透膜モジュールとを排出液の再生のために組み合わせ

て用いることにより、濃度の高い溶液を使用した場合でも、排出液を再生して供給液として再利用することが可能であることを見いだした。

【0006】

すなわち、本発明は以下に示す事項により特定されるものである。

(1) 高濃度側溶液が供給される高濃度部と低濃度側溶液が供給される低濃度部とが半透膜で仕切られた構造を有する浸透膜モジュールの評価装置であって、前記高濃度部への高濃度側溶液供給手段、前記低濃度部への低濃度側溶液供給手段、電気透析装置、逆浸透膜モジュール、前記高濃度部からの排出液を前記電気透析装置に導入する第1の導入路、前記低濃度部からの排出液を前記逆浸透膜モジュールに導入する第2の導入路、前記電気透析装置から排出される濃縮液を前記高濃度側溶液供給手段に還流させる第1の還流路、前記逆浸透膜モジュールから排出される透過液を前記低濃度側溶液供給手段に還流させる第2の還流路、前記電気透析装置から排出される脱塩液を前記逆浸透膜モジュールに導入する第3の導入路、及び前記逆浸透膜モジュールから排出される濃縮液を前記電気透析装置に導入する第4の導入路、を備える浸透膜モジュールの評価装置。

10

(2) 高濃度側溶液供給手段が高濃度側溶液貯留容器を備え、第1の還流路が、電気透析装置から排出される濃縮液を、前記高濃度側溶液貯留容器に還流させるように設けられ、低濃度側溶液供給手段が低濃度側溶液貯留容器を備え、第2の還流路が、逆浸透膜モジュールから排出される透過液を、前記低濃度側溶液貯留容器に還流させるように設けられることを特徴とする上記(1)記載の浸透膜モジュールの評価装置。

(3) 第1の導入路の途中に、高濃度部排出液貯留容器を設け、第2の導入路の途中に、低濃度部排出液貯留容器を設け、第3の導入路が、電気透析装置から排出される脱塩液を、前記低濃度部排出液貯留容器に導入するように設けられ、第4の導入路が、逆浸透膜モジュールから排出される濃縮液を、前記高濃度部排出液貯留容器に導入するように設けられることを特徴とする上記(1)又は(2)記載の浸透膜モジュールの評価装置。

20

(4) 高濃度側溶液供給手段及び低濃度側溶液供給手段に、圧力調整手段を設けることを特徴とする上記(1)～(3)のいずれかに記載の浸透膜モジュールの評価装置。

(5) 高濃度側溶液が供給される高濃度部と低濃度側溶液が供給される低濃度部とが半透膜で仕切られた構造を有する浸透膜モジュールに、高濃度側溶液及び低濃度側溶液を供給しながら評価を行う浸透膜モジュールの評価方法であって、前記高濃度部からの排出液を電気透析装置に導入するステップ、前記低濃度部からの排出液を逆浸透膜モジュールに導入するステップ、前記電気透析装置から排出される脱塩液を前記逆浸透膜モジュールに導入するステップ、及び前記逆浸透膜モジュールから排出される濃縮液を前記電気透析装置に導入するステップ、を含み、前記電気透析装置から排出される濃縮液を高濃度側溶液として再使用し、前記逆浸透膜モジュールから排出される透過液を低濃度側溶液として再使用することを特徴とする浸透膜モジュールの評価方法。

30

【発明の効果】

【0007】

本発明の浸透膜モジュールの評価装置及び評価方法は、浸透膜モジュールの評価に用いる溶液を再生することができ、再生された溶液を用いて、評価に必要な一定の濃度と流量の溶液を連続的に浸透膜モジュールに供給することができる。そのため、評価用溶液を多量に準備することなく、長時間の浸透膜モジュールの評価を行うことができ、多量の評価用溶液の調製、評価用溶液のための大容量タンクの設置、排出液の処理設備の設置等が不要となる。また、本発明の浸透膜モジュールの評価装置及び評価方法は、高濃度の溶液を評価用溶液として使用する場合にも適用できる。

40

【図面の簡単な説明】

【0008】

【図1】図1は、本発明の実施形態の浸透膜モジュールの評価装置を表わす概略図である。

【図2】図2は、実施例に用いた本発明の浸透膜モジュールの評価装置を表わす概略図である。

50

【図 3】図 3 は、浸透膜モジュールの概略図である。

【図 4】図 4 は、実施例 1 における、浸透膜モジュールへの供給液の供給量、及び浸透膜モジュールからの排出液の排出量の経時変化を表わす図である。

【図 5】図 5 は、実施例 1 における浸透膜モジュールへの供給液の NaCl 濃度の経時変化を表わす図である。

【図 6】図 6 (a) は、実施例 2 における、水透過水量 (J_w) と印加圧力 (ΔP) との関係を示す図である。図 6 (b) は、実施例 2 における、出力密度 (P_D) と印加圧力 (ΔP) との関係を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0009】

10

本発明の浸透膜モジュールの評価装置としては、高濃度側溶液が供給される高濃度部と低濃度側溶液が供給される低濃度部とが半透膜で仕切られた構造を有する浸透膜モジュールの評価装置であって、前記高濃度部への高濃度側溶液供給手段、前記低濃度部への低濃度側溶液供給手段、電気透析装置、逆浸透膜モジュール、前記高濃度部からの排出液を前記電気透析装置に導入する第 1 の導入路、前記低濃度部からの排出液を前記逆浸透膜モジュールに導入する第 2 の導入路、前記電気透析装置から排出される濃縮液を前記高濃度側溶液供給手段に還流させる第 1 の還流路、前記逆浸透膜モジュールから排出される透過液を前記低濃度側溶液供給手段に還流させる第 2 の還流路、前記電気透析装置から排出される脱塩液を前記逆浸透膜モジュールに導入する第 3 の導入路、及び前記逆浸透膜モジュールから排出される濃縮液を前記電気透析装置に導入する第 4 の導入路、を備える評価装置であれば特に制限されず、また、本発明の浸透膜モジュールの評価方法としては、高濃度側溶液が供給される高濃度部と低濃度側溶液が供給される低濃度部とが半透膜で仕切られた構造を有する浸透膜モジュールに、高濃度側溶液及び低濃度側溶液を供給しながら評価を行う浸透膜モジュールの評価方法であって、前記高濃度部からの排出液を電気透析装置に導入するステップ、前記低濃度部からの排出液を逆浸透膜モジュールに導入するステップ、前記電気透析装置から排出される脱塩液を前記逆浸透膜モジュールに導入するステップ、及び前記逆浸透膜モジュールから排出される濃縮液を前記電気透析装置に導入するステップ、を含み、前記電気透析装置から排出される濃縮液を高濃度側溶液として再使用し、前記逆浸透膜モジュールから排出される透過液を低濃度側溶液として再使用することを特徴とする評価方法であれば特に制限されず、本発明において、高濃度側溶液、低濃度側溶液とは、溶液中の溶質濃度が他方に対して相対的に高い溶液、低い溶液との意味であり、低濃度側溶液は溶質を含有しない場合も含み、高濃度側溶液と低濃度側溶液との濃度差は、少なくとも浸透膜モジュールに供給されて浸透圧を生じる程度の差であればよい。本発明の評価装置及び評価方法における、評価される浸透膜モジュールは、高濃度側溶液が供給される高濃度部と低濃度側溶液が供給される低濃度部とが半透膜で仕切られた構造を有していれば、半透膜の材質や形態、モジュールの構造等は特に制限されず、例えば、半透膜を筐体内に備えた構造を有する、平膜型（シート型）モジュール、スパイラル型モジュール、チューブラー型モジュール、中空糸型モジュール等の評価を行うことができる。

20

30

【0010】

本発明の浸透膜モジュールの評価装置を、図 1 の概略図を用いて説明する。本発明の評価装置は、評価対象である浸透膜モジュール 1 の高濃度部 1H へ高濃度側溶液を供給する高濃度側溶液供給手段 2 と、低濃度部 1L へ低濃度側溶液を供給する低濃度側溶液供給手段 3 を備える。高濃度側溶液供給手段 2 は、高濃度部 1H へ高濃度側溶液を供給する供給路 21 を備え、必要に応じて、高濃度側溶液を貯留するための高濃度側溶液貯留容器 22、高濃度側溶液を高濃度部 1H へ送るためのポンプ、高濃度部 1H へ供給する高濃度側溶液の流量や圧力を調整するためのバルブ等の調整手段、高濃度側溶液の流量、圧力、濃度等を測定するための流量計、圧力計、濃度計等の計測機器などを備えてもよい。低濃度側溶液供給手段 3 は、低濃度部 1L へ低濃度側溶液を供給する供給路 31 を備え、必要に応じて、低濃度側溶液を貯留するための低濃度側溶液貯留容器 32、低濃度側溶液を低濃度部 1L へ送るためのポンプ、低濃度部 1L へ供給する低濃度側溶液の流量や圧力を調整す

40

50

るためのバルブ等の調整手段、低濃度側溶液の流量、圧力、濃度等を測定するための流量計、圧力計、濃度計等の計測機器などを備えてもよい。

【0011】

本発明の評価装置は、電気透析装置4及び逆浸透膜モジュール5を更に備える。電気透析法とは、イオン交換膜と電気を利用する膜分離法で、これらを組み合わせて溶液中のイオン成分の除去や濃縮を行う方法であり、本発明における電気透析装置4は、電気透析法を行う装置であれば、特に制限されず、通常用いられる電気透析装置を用いることができる。また、逆浸透とは、半透膜で濃度の異なる溶液を仕切ると、通常は低濃度側の溶媒が高濃度側の溶液へ浸透して浸透圧を生じるところ、高濃度側へ浸透圧以上の圧力をかけると、高濃度側の溶液の溶媒が低濃度側の溶液へと移動する現象であり、本発明における逆浸透膜モジュール5は、逆浸透を利用して濾過を行うモジュールであれば、特に制限されず、通常用いられる逆浸透膜モジュールを用いることができる。本発明の評価装置は、高濃度部1Hからの排出液を、電気透析装置4に導入する第1の導入路41、及び低濃度部1Lからの排出液を、逆浸透膜モジュール5に導入する第2の導入路51を備える。第1の導入路41は、高濃度部1Hの溶液排出口と電気透析装置4の溶液導入口との間を連通し、高濃度部1Hからの排出液は、第1の導入路41を通じて電気透析装置4に導入される。第2の導入路51は、低濃度部1Lの溶液排出口と逆浸透膜モジュール5の溶液導入口との間を連通し、低濃度部1Lからの排出液は、第2の導入路51を通じて逆浸透膜モジュール5に導入される。第1の導入路41には、導入路の途中に、高濃度部1Hからの排出液を貯留する高濃度部排出液貯留容器42を設けてもよく、第2の導入路51には、導入路の途中に、低濃度部1Lからの排出液を貯留する低濃度部排出液貯留容器52を設けてもよい。また、第1の導入路41及び第2の導入路51は、必要に応じて、排出液を送るためのポンプ、排出液の流量や圧力を調整するためのバルブ等の調整手段、排出液の流量、圧力、濃度等を測定するための流量計、圧力計、濃度計等の計測機器などを備えてもよい。

【0012】

本発明の評価装置では、浸透膜モジュール1における高濃度部1Hの溶液供給口へ高濃度側溶液供給手段2の供給路21を接続して高濃度側溶液を供給し、低濃度部1Lの溶液供給口へ低濃度側溶液供給手段3の供給路31を接続して低濃度側溶液を供給する。浸透膜モジュール1中では、低濃度部1Lに供給された低濃度側溶液の溶媒の一部が、両溶液間の浸透圧によって、半透膜1mを透過して高濃度部1Hに流入し、高濃度部1Hからは、供給された高濃度側溶液と、半透膜1mを透過して流入した溶媒とが混合された溶液が排出され、低濃度部1Lからは、供給された低濃度側溶液の溶媒の一部が流出した溶液が排出される。そのため、高濃度部1Hからの排出液は、供給された高濃度側溶液よりも濃度が低く、流量が多くなり、低濃度部1Lからの排出液は、供給された低濃度側溶液よりも濃度が高く、あるいは低濃度側溶液が溶質を含まない場合は濃度の変化はなく、流量が少なくなる。浸透膜モジュール1における高濃度部1Hの溶液排出口へ第1の導入路41を接続し、低濃度部1Lの溶液排出口へ第2の導入路51を接続して、高濃度部1Hからの排出液を電気透析装置4に導入し、低濃度部1Lからの排出液を逆浸透膜モジュール5に導入する。電気透析装置4では、高濃度部1Hからの排出液を電気透析処理することにより、イオン成分が濃縮されイオン含有割合が増加した濃縮液と、イオン含有割合が減少した脱塩液とが生成され排出される。また、逆浸透膜モジュール5では、低濃度部1Lからの排出液を逆浸透膜でろ過し、逆浸透膜を透過した透過液と、逆浸透膜を透過せずに濃縮された濃縮液とが生成され排出される。

【0013】

本発明の評価装置は、電気透析装置4から排出される濃縮液を、高濃度側溶液供給手段2に還流させる第1の還流路43、及び逆浸透膜モジュール5から排出される透過液を、低濃度側溶液供給手段3に還流させる第2の還流路53を備える。第1の還流路43は、電気透析装置4の濃縮液排出口と高濃度側溶液供給手段2との間を連通し、前記濃縮液を、高濃度側溶液供給手段2に還流させることにより、再度高濃度部1Hに供給することが

できる。第2の還流路53は、逆浸透膜モジュール5の透過液排出口と低濃度側溶液供給手段3との間を連通し、前記透過液を、低濃度側溶液供給手段3に還流させることにより、再度低濃度部1Lに供給することができる。高濃度部1Hに供給される溶液の流量や圧力を調整し一定にする観点や溶液の濃度を平均化させる観点から、第1の還流路43は、電気透析装置4の濃縮液排出口と高濃度側溶液供給手段2の高濃度側溶液貯留容器22との間に設けることが好ましく、低濃度部1Lに供給される溶液の流量や圧力を調整し一定にする観点や溶液の濃度を平均化させる観点から、第2の還流路53は、逆浸透膜モジュール5の透過液排出口と低濃度側溶液供給手段3の低濃度側溶液貯留容器32との間に設けることが好ましい。第1の還流路43及び第2の還流路53は、必要に応じて、濃縮液や透過液を送るためのポンプ、濃縮液や透過液の流量や圧力を調整するためのバルブ等の調整手段、濃縮液や透過液の流量、圧力、濃度等を測定するための流量計、圧力計、濃度計等の計測機器などを備えてもよい。

10

【0014】

また、本発明の評価装置は、電気透析装置4から排出される脱塩液を、逆浸透膜モジュール5に導入する第3の導入路44、及び逆浸透膜モジュール5から排出される濃縮液を、電気透析装置4に導入する第4の導入路54を備える。第3の導入路44は、電気透析装置4の脱塩液排出口と逆浸透膜モジュール5との間を連通し、前記脱塩液を、逆浸透膜モジュール5に導入する。第3の導入路44は、電気透析装置4の脱塩液排出口と第2の導入路51や低濃度部排出液貯留容器52との間に設けられ、第2の導入路51を介して、前記脱塩液を逆浸透膜モジュール5に導入するようにしてもよい。逆浸透膜モジュール5に導入される溶液の流量や圧力を調整する観点や溶液の濃度を平均化させる観点から、第3の導入路44は、前記脱塩液を低濃度部排出液貯留容器52に導入するように設けられ、前記脱塩液と浸透膜モジュール1の低濃度部1Lからの排出液とが混合されて逆浸透膜モジュール5に導入されるようにすることが好ましい。第4の導入路54は、逆浸透膜モジュール5の濃縮液排出口と電気透析装置4との間を連通し、前記濃縮液を電気透析装置4に導入する。第4の導入路54は、逆浸透膜モジュール5の濃縮液排出口と第1の導入路41や高濃度部排出液貯留容器42との間に設けられ、第1の導入路41を介して、前記濃縮液を電気透析装置4に導入するようにしてもよい。電気透析装置4に導入される溶液の流量や圧力を調整する観点や溶液の濃度を平均化させる観点から、第4の導入路54は、前記濃縮液を高濃度部排出液貯留容器42に導入するように設けられ、前記濃縮液と浸透膜モジュール1の高濃度部1Hからの排出液とが混合されて電気透析装置4に導入されるようにすることが好ましい。第3の導入路44及び第4の導入路54は、必要に応じて、脱塩液や濃縮液を送るためのポンプ、脱塩液や濃縮液の流量や圧力を調整するためのバルブ等の調整手段、脱塩液や濃縮液の流量、圧力、濃度等を測定するための流量計、圧力計、濃度計等の計測機器などを備えてもよい。

20

30

【0015】

本発明の評価装置は、浸透膜モジュール1へ供給する溶液の流量や圧力を調整するための流量調整手段や圧力調整手段を備えることが好ましく、浸透膜モジュール1の高濃度部1Hへ高濃度側溶液を供給する供給路21や、低濃度部1Lへ低濃度側溶液を供給する供給路31に、ポンプ、バルブ等の流量調整手段や圧力調整手段を設けることが好ましい。高濃度部1Hへ供給する溶液の流量や圧力を更に調整するためには、高濃度部1Hの排出側、すなわち第1の導入路41にポンプ、バルブ等の流量調整手段や圧力調整手段を設けることが好ましい。また、本発明の評価装置は、逆浸透膜モジュール5へ導入する溶液の流量や圧力を調整するための流量調整手段や圧力調整手段を備えることが好ましく、低濃度部1Lからの排出液を逆浸透膜モジュール5に導入する第2の導入路51にポンプ、バルブ等の流量調整手段や圧力調整手段を設けることが好ましい。逆浸透膜モジュール5へ導入する溶液の流量や圧力を更に調整するためには、逆浸透膜モジュール5の濃縮液排出側、すなわち第4の導入路54にポンプ、バルブ等の流量調整手段や圧力調整手段を設けることが好ましい。本発明の評価装置は、浸透膜モジュール1の供給側や排出側に、濃度計、流量計、圧力計等の計測機器を設置し、供給液や排出液の濃度、流量、圧力等を測定

40

50

することにより、浸透膜モジュール1を通過する前後の溶液の濃度差、流量差、圧力差等を測定し、浸透膜モジュール1の浸透特性を評価することができる。

【0016】

本発明の評価装置では、電気透析装置4から排出される濃縮液が、高濃度側溶液供給手段2に還流し、浸透膜モジュール1の高濃度部1Hに供給され、逆浸透膜モジュール5から排出される透過液が、低濃度側溶液供給手段3に還流し、浸透膜モジュール1の低濃度部1Lに供給されることにより、評価用溶液を再生し循環して使用することができる。さらに、電気透析装置4から排出される濃縮液は、高濃度部1Hからの排出液と逆浸透膜モジュール5から排出される濃縮液とを濃縮したものとなり、逆浸透膜モジュール5から排出される透過液は、低濃度部1Lからの排出液と電気透析装置4から排出される脱塩液とを透過したものとなる。本発明の評価装置は、電気透析装置4と逆浸透膜モジュール5を上記のとおり組み合わせて備えることにより、浸透膜モジュール1からの排出液を、評価に必要な一定濃度と流量の評価用溶液として再生して使用することができる。さらに高濃度側溶液として、高濃度の溶液を使用する場合でも適用することができる。例えば、塩水と淡水を用いて評価を行う場合、浸透膜モジュールからの排出液を逆浸透膜モジュールのみで再生しようとする、逆浸透膜モジュールの特性や耐圧限界により、0.9 mol/L程度の濃度までしか十分な流量の再生ができず、0.9 mol/L程度の塩水濃度までしか連続評価試験を行うことができない。また、電気透析装置は、電気を駆動力とするため、加えた電流量に比例して溶液中のイオンを分離し濃縮、脱塩を行うことができるが、電気透析装置のみで浸透膜モジュールからの排出液の再生を行っても、評価に必要な流量の高濃度側溶液を再生することができず、また、必要な濃度の低濃度側溶液を再生することはできない。本発明の評価装置は、高濃度の塩水等の溶液を電氣的に再生可能な電気透析装置と、高効率・高流量で淡水等の溶液を再生可能な逆浸透膜モジュールとを組み合わせて、浸透膜モジュールからの排出液を再生することにより、高濃度の評価用溶液を使用しても評価に十分な流量で排出液の再生を行うことができ、例えば、1.8 mol/Lの塩水、さらには3.0 mol/Lの塩水を再生することも可能となる。海水濃度差発電では、海水淡水化施設から排出される塩分濃度の高い濃縮海水を使用することが検討されており、中東などの塩濃度が高い地域の海水を使用する場合（日本近海の海水の塩濃度は3.5%程度、中東での海水の塩濃度は4~4.5%程度）、淡水の回収率を40%から60%に上げると、濃縮海水の塩濃度は10%近くなるため、1.8 mol/L（10%濃縮海水）での評価が必要となる。そのため、塩濃度が1.8 mol/Lの溶液を用いて浸透膜モジュールの評価を行うことは非常に重要であり、本発明の評価装置では、このような高濃度の溶液であっても再生して使用することができる。また、複雑な操作を必要とせず、浸透膜モジュール1、電気透析装置4及び逆浸透膜モジュール5の間の流量や圧力を調整することにより、流量のバランスをとりながら、供給した溶液と同じ濃度の溶液を再生することができる。本発明の評価装置は、正浸透条件での評価だけではなく、高濃度部1Hへ両液間の浸透圧を超えない範囲の圧力を加えれば、PRO（Pressure Retarded Osmosis）条件での評価を行うことができ、高濃度部1Hへ両液間の浸透圧を超える圧力を加えれば逆浸透条件での評価を行うことができる。本発明の評価装置は、3.0 mol/Lの塩水を再生することが可能であり、100 L程度の高濃度塩水と淡水の貯留容器を準備すれば、長時間の連続的な評価試験を行うことができるため、PRO条件での海水濃度差発電に使用する浸透膜モジュールの評価に特に適する。また、海水淡水化、食品、飲料、医薬品等の脱塩、下水処理などの正浸透条件での浸透膜モジュールの評価に適する。本発明の評価装置では、使用する溶媒及び溶質の種類や濃度は、特に制限されず、評価する目的や対象により適宜決めることができ、例えば、溶媒として水等、溶質として塩化ナトリウム、塩化カリウム等のアルカリ金属塩、塩化マグネシウム、塩化カルシウム等のアルカリ土類金属塩などを使用することができる。本発明の評価装置は、評価用溶液を再生し循環して使用することができるが、必要に応じて評価用溶液を補充してもよい。

【0017】

本発明の浸透膜モジュールの評価方法は、上記のとおり、浸透膜モジュール1の高濃度

部 1 H からの排出液を電気透析装置 4 に導入するステップ、低濃度部 1 L からの排出液を逆浸透膜モジュール 5 に導入するステップ、電気透析装置 4 から排出される脱塩液を逆浸透膜モジュール 5 に導入するステップ、及び逆浸透膜モジュール 5 から排出される濃縮液を電気透析装置 4 に導入するステップを含み、前記ステップを繰り返して、電気透析装置 4 から排出される濃縮液を評価用の高濃度側溶液として再使用し、前記逆浸透膜モジュールから排出される透過液を評価用の低濃度側溶液として再使用することにより、評価用溶液を再生し循環させて、浸透膜モジュールに評価用溶液を供給しながら、浸透膜モジュールの評価を行うことができる。

【実施例 1】

【0018】

評価する浸透膜モジュールとして、以下の仕様の 5 インチサイズの正浸透法用に開発された中空糸膜モジュール (HR 5 2 3 0 B O E : 東洋紡績株式会社製) を用いた。

(浸透膜モジュール仕様)

モジュール直径 : 1 7 6 mm、モジュール長さ : 8 2 5 mm、膜表面積 : 6 7 m²、中空糸の内径 : 9 0 μm、中空糸の外径 : 1 7 0 μm、中空糸の数 : 1 8 7 0 0 0 本、塩除去率 : 9 8 ~ 9 8 . 5 %

高濃度側溶液として 0 . 5 M 濃度の NaCl 水溶液を用い、低濃度側溶液として水道水を用いて、図 2 の本発明の評価装置を用いて、中空糸膜モジュールの評価を行った。0 . 5 M 濃度の NaCl 水溶液を DS タンク (高濃度側溶液貯留容器 2 2) に投入し、水道水を FS タンク (低濃度側溶液貯留容器 3 2) に投入した。DS タンクから、中空糸膜モジュールの高濃度部へ高濃度側溶液を供給するパイプ (供給路 2 1) に、高圧ポンプ (N-2 8 C B-2 0 6 K 1, CAPITAL INDUSTRY Co., Ltd, Japan) を設置し、高圧ポンプを用いて、DS タンク中の NaCl 水溶液を中空糸膜モジュールの高濃度部へ供給した。前記パイプは中空糸膜モジュールの高濃度部に 0 . 0 ~ 6 . 0 MPa 程度の静水圧を加圧するために、中空糸繊維の外側に、NaCl 水溶液を供給できるように接続した。また、FS タンクから、中空糸膜モジュールの低濃度部へ低濃度側溶液を供給するパイプ (供給路 3 1) に、低圧ポンプ (TYP-2 8 0 0, Deng Yuan industrial co., Ltd.) を設置し、低圧ポンプを用いて、FS タンク中の水道水を中空糸膜モジュールの低濃度部へ供給した。

【0019】

中空糸膜モジュールの高濃度部入口での溶液の濃度 ($C_{DS, in}$)、低濃度部入口での溶液の濃度 ($C_{FS, in}$)、高濃度部出口での溶液の濃度 ($C_{DS, out}$)、低濃度部出口での溶液の濃度 ($C_{FS, out}$) を、伝導度計 (EC 4 3 0, SUNTEX, Japan) を用いて測定し、中空糸膜モジュールの高濃度部入口での溶液の流量 ($Q_{DS, in}$)、低濃度部入口での溶液の流量 ($Q_{FS, in}$)、高濃度部出口での溶液の流量 ($Q_{DS, out}$)、低濃度部出口での溶液の流量 ($Q_{FS, out}$) を、流量計 (FDM-5 A Y, Keyence corporation, Japan) を用いて測定し、中空糸膜モジュールの高濃度部入口での溶液の圧力 ($P_{DS, in}$)、低濃度部入口での溶液の圧力 ($P_{FS, in}$)、高濃度部出口での溶液の圧力 ($P_{DS, out}$)、低濃度部出口での溶液の圧力 ($P_{FS, out}$) を、圧力計 (KH 1 5-8 8 3, NAGANO KEIKI co., Ltd., Japan) を用いて測定し、各値はロガー (GL 8 2 0-UM-8 0 1, GRAFHTEC Co., Ltd., Japan) を用いてコンピューター内に 1 0 秒間隔で記録した。図 3 は、評価する浸透膜モジュールにおける高濃度側溶液及び低濃度側溶液の流れを示す概略図である。そして、DS タンクから、中空糸膜モジュールの高濃度部へ NaCl 水溶液を供給するパイプに、すなわち中空糸膜モジュールの高濃度部の供給口側にバルブ (V-1) を設置し、中空糸膜モジュールの高濃度部からの排出液が排出されるパイプに、すなわち中空糸膜モジュール高濃度部の排出口側にバルブ (V-3) を設置し、FS タンクから、中空糸膜モジュールの低濃度部へ水道水を供給するパイプに、すなわち中空糸膜モジュール低濃度部の供給口側にバルブ (V-2) を設置して、これらのバルブを調整することにより、中空糸膜モジュールの高濃度部入口での溶液の流量 ($Q_{DS, in}$)、低濃度部入口での溶液の流量 ($Q_{FS, in}$)、高濃度部入口での溶液の圧力 ($P_{DS, in}$) 及び低濃度部入口での溶液の圧力 ($P_{FS, in}$)

10

20

30

40

50

、 i_n)を調整した。

【0020】

中空糸膜モジュールの高濃度部から排出された排出液を、ドレインタンクII（高濃度部排出液貯留容器42）に導入し、低濃度部から排出された排出液を、ドレインタンクI（低濃度部排出液貯留容器52）に導入した。ドレインタンクIIに導入された排出液を、ポンプ（MD-30RZ, IWAKI. Co. Ltd, Japan）を用いて電気透析装置（アシライザーAC10-200型, Astom corporation, Japan）に導入し、ドレインタンクIに導入された排出液を高圧ポンプ（N-28CB-206K1, CAPITAL INDUSTRY Co.,Ltd, Japan）を用いて、逆浸透膜モジュール（ROモジュール：SWC1-4040, Hydronautics）に導入した。電気透析装置から排出される濃縮液は濃縮側ポンプを用いて、DSタンクに還流させ、電気透析装置から排出される脱塩水は脱塩側ポンプを用いて、ドレインタンクIに導入した。ドレインタンクIから逆浸透膜モジュールへのパイプの途中に、すなわち逆浸透膜モジュールの導入側にバルブ（V-4）を設置し、逆浸透膜モジュールからドレインタンクIIへのパイプの途中に、すなわち逆浸透膜モジュールの排出側にバルブ（V-5）を設置し、バルブ（V-4）とバルブ（V-5）を用いて、逆浸透膜モジュールへの導入圧力と導入流量の調整を行った。逆浸透膜モジュールから排出される透過液は、FSタンクに還流させ、逆浸透膜モジュールから排出される濃縮液は、ドレインタンクIIに導入した。

【0021】

図4に、中空糸膜モジュールの高濃度部へ供給されるNaCl水溶液の流量（DS inlet）、高濃度部から排出される排出液の流量（DS outlet）、低濃度部へ供給される水道水の流量（FS inlet）、低濃度部から排出される排出液の流量（FS outlet）、中空糸膜を透過する流量（Permeate）の経時変化を示す。また、図5には、供給されるNaCl水溶液のNaCl濃度の経時変化を示す。中空糸膜モジュール（浸透膜モジュール）では、水が低濃度部から高濃度部に移動するため、高濃度部からの排出量は供給量を上回り、低濃度部からの排出量は供給量を下回るものの、図4に示されたように、各供給量と排出量、透過量は、時間が経過しても一定量を維持し変化がない。さらに、図5に示されたように、中空糸膜モジュールの高濃度部へ供給されるNaCl水溶液の濃度は時間が経過しても一定量を維持し変化がない。図4及び図5に示された結果から、本発明の評価装置においては、電気透析装置で、当初供給したNaCl水溶液と同濃度で、同量の溶液が再生され、逆浸透膜モジュールで、当初供給した水道水と同濃度で、同量の溶液が再生されており、時間が経過しても、評価用溶液を再生し循環しながら、一定の濃度と流量の評価用溶液を中空糸膜モジュールに供給できることがわかる。

【実施例2】

【0022】

実施例1と同じ評価装置を用いて、中空糸膜モジュールの高濃度部へ供給されるNaCl水溶液の流量を 8.0 L/min 、低濃度部へ供給される水道水の流量を 4.0 L/min とし、NaCl水溶液の濃度を、 0.1 M ～ 1.8 M に変化させた。図6（a）に、その場合の水透過水量（Jw）と高濃度部への印加圧力（ ΔP ）との関係を示す。また、図6（b）に、その場合の出力密度（PD）と高濃度部への印加圧力（ ΔP ）との関係を示す。ここで、一般に、水透過水量（Jw）は、 $Jw = A(\Delta \Pi - \Delta P)$ （Aは水透過係数、 $\Delta \Pi$ は浸透圧差、 ΔP は印加圧力を表わす）で表され、出力密度（PD）は、 $PD = Jw \times \Delta P$ で表される。図6（a）に示されたように、実施例1の評価装置を用いると、浸透膜モジュールの高濃度部へ供給する高濃度側溶液の濃度が 1.8 mol/L といった高い濃度の場合であっても評価することができ、 1.8 mol/L の溶液を高濃度部へ供給し、低濃度部へ供給される水道水との間の浸透圧差を大きくして 4 MPa 近い印加圧力をかけた評価を行うことができる。そして、図6（b）に示されたように、高い出力密度に対応する浸透膜モジュールの評価を行うことができる。上記のとおり、本発明の評価装置によると、NaCl濃度が 1.8 M といった高濃度の塩水を用いても連続的に長時間の評価を行うことができる。

【符号の説明】

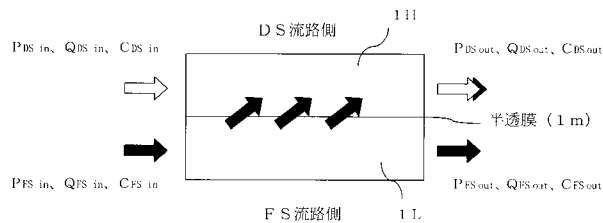
【0023】

- 1 : 浸透膜モジュール
- 1 H : 高濃度部
- 1 L : 低濃度部
- 1 m : 半透膜
- 2 : 高濃度側溶液供給手段
- 2 1 : 供給路
- 2 2 : 高濃度側溶液貯留容器
- 3 : 低濃度側溶液供給手段
- 3 1 : 供給路
- 3 2 : 低濃度側溶液貯留容器
- 4 : 電気透析装置
- 4 1 : 第1の導入路
- 4 2 : 高濃度部排出液貯留容器
- 4 3 : 第1の還流路
- 4 4 : 第3の導入路
- 5 : 逆浸透膜モジュール
- 5 1 : 第2の導入路
- 5 2 : 低濃度部排出液貯留容器
- 5 3 : 第2の還流路
- 5 4 : 第4の導入路
- C : 電導度計
- F : 流量計
- P : 圧力計

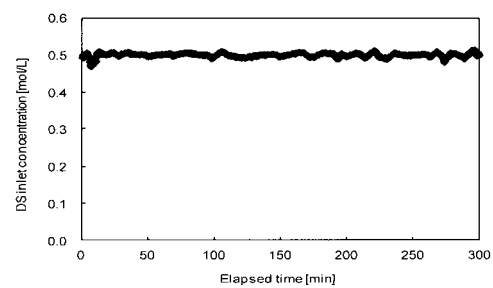
10

20

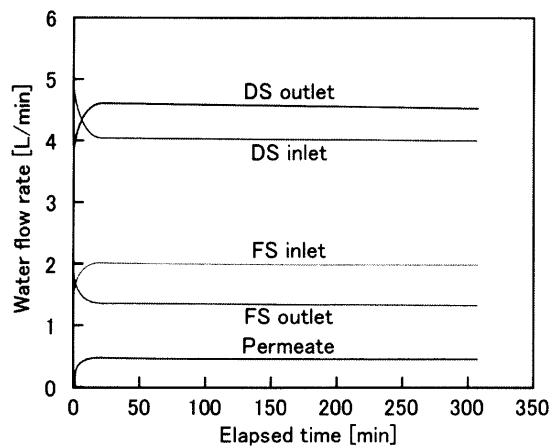
【図3】



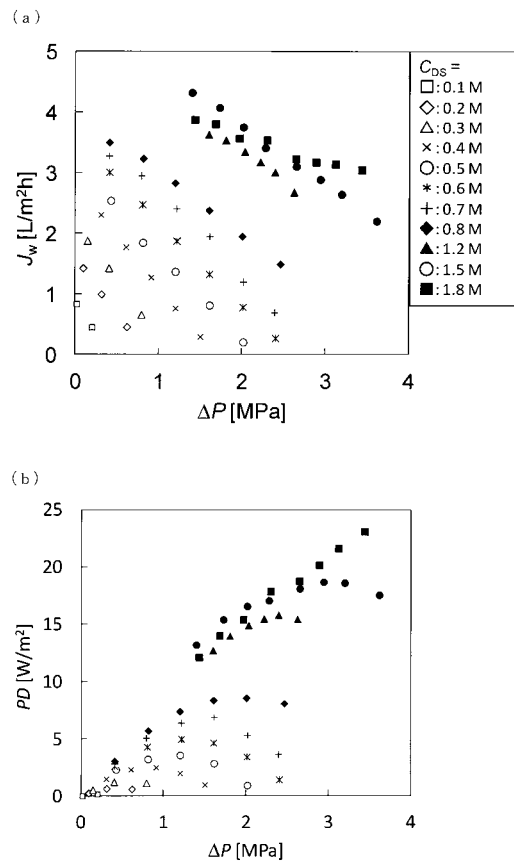
【図5】



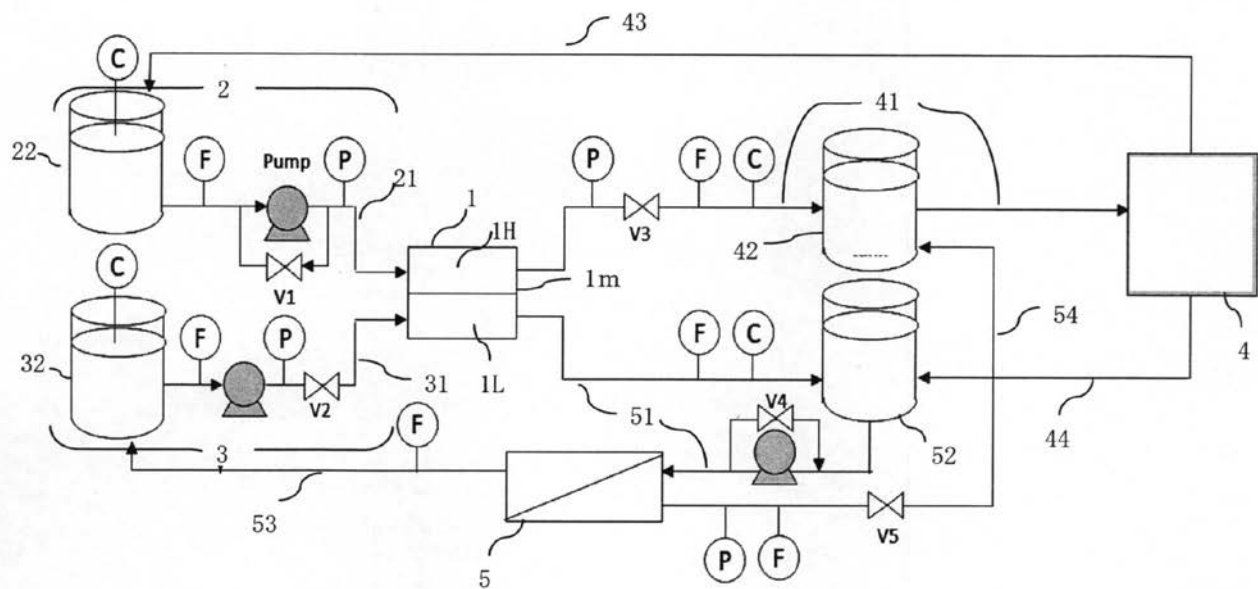
【図4】



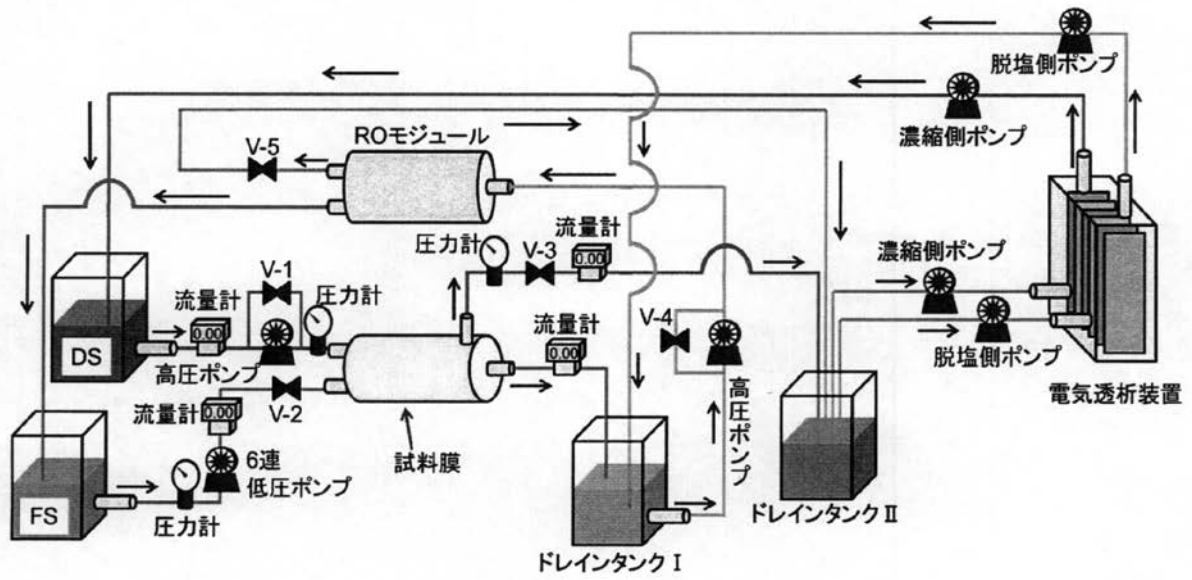
【図 6】



【図 1】



【図 2】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I テーマコード (参考)
B 0 1 D 61/08 (2006.01) B 0 1 D 61/08

(74)代理人 100177714
弁理士 藤本 昌平

(74)代理人 100141391
弁理士 園元 修一

(74)代理人 100198074
弁理士 山村 昭裕

(72)発明者 比嘉 充
山口県宇部市常盤台 2 丁目 1 6 - 1 国立大学法人山口大学工学部内

F ターム(参考) 4D006 GA03 GA14 GA17 HA01 HA21 HA41 HA61 JA71 KE02Q KE03P
KE04P KE06P KE07Q KE13P KE14P LA06 MA01 MA02 MA03 PA01
PC11 PC42