

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6864291号
(P6864291)

(45) 発行日 令和3年4月28日(2021.4.28)

(24) 登録日 令和3年4月6日(2021.4.6)

(51) Int. Cl.		F I	
BO1D 65/10	(2006.01)	BO1D 65/10	
GO1N 24/00	(2006.01)	GO1N 24/00	Z
		GO1N 24/00	GOOP
		GO1N 24/00	SOOF

請求項の数 4 (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2017-138433 (P2017-138433)	(73) 特許権者	000006208
(22) 出願日	平成29年7月14日 (2017.7.14)		三菱重工株式会社
(65) 公開番号	特開2019-18148 (P2019-18148A)		東京都千代田区丸の内三丁目2番3号
(43) 公開日	平成31年2月7日 (2019.2.7)	(73) 特許権者	301021533
審査請求日	令和2年4月3日 (2020.4.3)		国立研究開発法人産業技術総合研究所
			東京都千代田区霞が関1-3-1
		(74) 代理人	100149548
			弁理士 松沼 泰史
		(74) 代理人	100134544
			弁理士 森 隆一郎
		(74) 代理人	100064908
			弁理士 志賀 正武
		(74) 代理人	100108578
			弁理士 高橋 詔男

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 分離膜装置の汚損度評価方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

水が通過する分離膜を有する分離膜装置の汚損度評価方法であって、
前記分離膜装置における前記水が存在する部分的な測定領域に静磁場を印加する静磁場印加工程、前記静磁場を印加させた状態で前記測定領域に前記静磁場に直交する高周波磁場パルスを印加する高周波磁場パルス印加工程、及び、前記高周波磁場パルスによる横磁化の信号強度を検出する信号強度検出工程と、を含むデータ取得工程と、
前記信号強度に基づく値により、前記分離膜装置の部分的な汚損度を評価する評価工程と、
を含む分離膜装置の汚損度評価方法。

10

【請求項2】

前記信号強度の時間変化から、緩和時間を取得する緩和時間取得工程をさらに含み、
前記評価工程は、前記緩和時間を指標として、前記分離膜の汚損度を評価する請求項1に記載の分離膜装置の汚損度評価方法。

【請求項3】

前記データ取得工程は、前記分離膜内で水の流速がない静止状態と、前記分離膜内で水が流通している流通状態とで同一の前記測定領域で実行され、
前記静止状態の前記信号強度に対する前記流通状態の前記信号強度の比である信号強度比を取得する信号強度比取得工程をさらに含み、
前記評価工程は、前記信号強度比を指標として、前記分離膜の汚損度を評価する請求項

20

1 に記載の分離膜装置の汚損度評価方法。

【請求項 4】

前記データ取得工程は、

前記静磁場を印加可能な静磁場印加部及び該静磁場印加部の外方に設けられて前記高周波磁場パルスを印加可能な高周波コイルを備えるとともに、前記測定領域が前記静磁場印加部から見て高周波コイルよりもさらに外方に設定された核磁気共鳴スキャナを用いて行われる請求項 1 から 3 のいずれか一項に記載の分離膜装置の汚損度評価方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、分離膜装置の汚損度評価方法に関する。

【背景技術】

【0002】

分離膜の一例として逆浸透膜を有する分離膜装置が知られている（例えば特許文献 1 参照）。この分離膜装置では、供給される原水が逆浸透膜を通過することで透過水と濃縮水とに分離される。

【0003】

分離膜は、原水の性状変動や分離膜の上流での前処理状況に応じて、分離膜自体が汚損される場合がある。このような場合は、分離膜の入口と出口との間の圧力損失や分離膜の出口での透過水量の計測結果から汚損状況を判断し、汚損が確認されれば、逆洗や化学洗浄によって分離膜の性能回復を図っている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献 1】特開 2014 - 159015 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、一つの分離膜装置内には複数の分離膜が取り付けられており、プラント全体としての分離膜数は多数になる。そのため、分離膜毎に圧力計や流速計を取り付けることは困難である。また、仮に取り付けることができたとしても大幅なコストの増加に繋がる。さらに、分離膜の内部の部分的な圧力損失や流速を計測することはできず、各分離膜の部分ごとの汚損を評価することはできない。

【0006】

したがって、分離膜の物理的な閉塞や、無機物、有機物の付着による流路障害といった汚損状況や原因の特定には至らず、汚損の態様に応じた適切な対策が施すことが困難であった。

本発明は上記課題に鑑みてなされたものであって、分離膜の部分的な汚損度を評価することができる分離膜装置の汚損度評価方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明は、上記課題を解決するため、以下の手段を採用している。

即ち、本発明の第一態様に係る分離膜装置の汚損度評価方法は、水が通過する分離膜を有する分離膜装置の汚損度評価方法であって、前記分離膜内の水が存在する部分的な測定領域に静磁場を印加する静磁場印加工程、前記静磁場を印加させた状態で前記測定領域に前記静磁場に直交する高周波磁場パルスを印加する高周波磁場パルス印加工程、及び、前記高周波磁場パルスによる横磁化の信号強度を検出する信号強度検出工程と、を含むデータ取得工程と、前記信号強度に基づく値により、前記分離膜の部分的な汚損度を評価する評価工程と、を含む。

【0008】

10

20

30

40

50

上記構成によれば、分離膜の特定の測定領域の横磁化の信号強度を取得し、当該信号強度により汚損度を評価することで、分離膜装置の外部から分離膜の局所的な汚損度を評価することができる。

【0009】

上記の分離膜装置の汚損度評価方法は、前記信号強度の時間変化から、緩和時間を取得する緩和時間取得工程をさらに含み、前記評価工程は、前記緩和時間を指標として、前記分離膜の汚損度を評価する工程であってもよい。

【0010】

ここで、水分子は水素原子核が磁気モーメントを持つことで水分子全体が磁化される。この水分子の磁化は当該水分子が固体に取り囲まれている程、緩和し易い。

10

即ち、固体の内方に位置する水（結合水）は、水分子の動きが制限されているため、水素の自由度が小さい。そのため、高周波磁場パルスにより与えられたエネルギーが消失し易い。

したがって、緩和時間の長短は、水分子が汚損物質としての固体に取り囲まれているか否かを判断する材料となる。たとえば多孔質な膜の場合、汚損が進行すると空隙が固定で充填されるため該空隙のサイズが小さくなる。そのため、空隙中の水分子は、周囲を固体に取り囲まれた状態となり、水分子の動きが低下する。その結果、水分子の水素原子核の横緩和時間が短くなる。即ち、緩和時間が長い程、汚損度は低く、横緩和時間が短い程、汚損度は高い。よって、緩和時間を指標とすることで汚損度を評価することができる。

緩和時間としては、信号強度の時系列から得られる緩和曲線の時定数である横緩和時間や、緩和曲線が定常状態に落ち着くまでの時間を採用することができる。

20

【0011】

上記の分離膜装置の汚損度評価方法では、前記データ取得工程は、水の流速がない静止状態と、前記分離膜内で水が流通している流通状態とで同一の前記測定領域で実行され、前記静止状態及び前記流通状態における前記信号強度から、前記静止状態の前記信号強度に対する流通状態の前記信号強度の比である信号強度比を取得する信号強度比取得工程をさらに含み、前記評価工程は、前記信号強度比を指標として、前記分離膜の汚損度を評価する工程であってもよい。

【0012】

流速のない静止状態では、時間が経過しても測定領域の水はその場に留まる一方、流速のある流通状態では、高周波磁場パルスによって横磁化された水は測定領域から徐々に出ていくことになる。よって、信号強度は、横磁化された水が出ていく分だけ小さくなる。

30

ここで、流通状態で分離膜の汚損度が低い場合には、分離膜を円滑に水が透過するため、測定領域から横磁化された水が出て行き易い。そのため、信号強度比は比較的小さな値を示す。一方、分離膜の汚損度が高い場合には、分離膜を水が透過し難いため、横磁化された水は出て行きにくい。よって信号強度比は比較的大きな値を示す。したがって、よって、信号強度比を指標とすることで汚損度を評価することができる。

【0013】

上記の分離膜装置の汚損度評価方法では、前記データ取得工程は、前記静磁場を印加可能な静磁場印加部及び該静磁場印加部の外方に設けられて前記高周波磁場パルスを印加可能な高周波コイルを備えるとともに、前記測定領域が前記静磁場印加部から見て高周波コイルよりもさらに外方に設定された核磁気共鳴スキャナを用いて行われてもよい。

40

【0014】

測定領域が、静磁場印加部から見て高周波コイルの外方に設定されているため、例えば膜分離装置の外部に核磁気共鳴スキャナを設置した場合に、膜分離装置の内部に測定領域を設定できる。これによって、膜分離装置の内部のデータを容易に取得することができる。

【発明の効果】

【0015】

本発明によれば、分離膜の部分的な汚損度を評価することができる。

50

【図面の簡単な説明】

【0016】

【図1】第一実施形態に係る逆浸透膜装置（分離膜装置）の縦断面図である。

【図2】図1のII-II断面図である。

【図3】第一実施形態に係る核磁気共鳴スキャナの縦断面図である。

【図4】第一実施形態に係る核磁気共鳴スキャナの平面図である。

【図5】第一実施形態に係る逆浸透膜装置（分離膜装置）の汚損度評価方法の手順を示すフローチャートである。

【図6】第一実施形態のデータ取得工程で取得した横磁化の信号強度の自由誘導減衰（FID）及び横磁化の緩和曲線を示すグラフである。

10

【図7】横磁化の緩和曲線を示すグラフである。

【図8】逆浸透膜の異なる測定領域における緩和時間の度数分布を示すグラフである。

【図9】第二実施形態に係る逆浸透膜装置（分離膜装置）装置の汚損度評価方法の手順を示すフローチャートである。

【図10】異なる汚損度における流速と信号強度比との関係を示すグラフである。

【図11】信号強度比と汚損度との関係を示すグラフである。

【図12】変形例に係る核磁気共鳴スキャナの斜視図である。

【発明を実施するための形態】

【0017】

以下、本発明の第一実施形態に係る逆浸透膜装置1（分離膜装置）の汚損度評価方法について、図1～8を参照して詳細に説明する。

20

本実施形態の汚損度評価方法の対象となる逆浸透膜装置1は、分離膜装置の一種であって、供給される原水W1を透過水W2と濃縮水W3とに分離させて排出する装置である。逆浸透膜装置1は、図1及び図2に示すように、ハウジング2、中管6、膜モジュール7を備えている。

【0018】

ハウジング2は、外筒3、第一蓋部4及び第二蓋部5を有している。

外筒3は、水平方向に沿う軸線Oを中心として延びる円筒状をなす部材である。

第一蓋部4は、外筒3の軸線O方向一方側（図1における左側）を閉塞する円盤状をなしている。第一蓋部4の中央には軸線Oを中心して第一蓋部4を軸線O方向に貫通する原水導入孔4aが形成されている。第一蓋部4の原水導入孔4aよりも径方向外側の部分（本実施形態では原水導入孔4aの下方の部分）には、該第一蓋部4を軸線O方向に貫通する透過水排出孔4bが形成されている。

30

【0019】

第二蓋部5は、外筒3の軸線O方向他方側（図1における右側）を閉塞する円盤状をなしている。第二蓋部5の中央には軸線Oを中心して第二蓋部5を軸線O方向に貫通する濃縮水排出孔5aが形成されている。第二蓋部5の濃縮水排出孔5aよりも径方向外側の部分（本実施形態では濃縮水排出孔5aよりも下方の部分）には、該第二蓋部5を軸線O方向に貫通する透過水排出孔5bが形成されている。

【0020】

中管6は、軸線Oを中心として延びる管状の部材である。中管6は、第一蓋部4の原水導入孔4aから第二蓋部5の濃縮水排出孔5aに至るように外筒3の内部に設けられている。中管6には内外を径方向に貫通する孔部6aが、軸線O方向に間隔をあけて複数設けられている。

40

【0021】

膜モジュール7は、ハウジング2の内部で中管6の外周面に固定されている。膜モジュール7は逆浸透膜7a（分離膜）から構成されている。本実施形態では、膜モジュール7は、逆浸透膜7aを中管6の外周面に順次積層させながら巻き付けたいわゆるスパイラル型のモジュールとされている。

【0022】

50

上記構成の逆浸透膜装置 1 では、図示しないポンプによって圧送されることで中管 6 の軸線 O 方向一方側の原水導入孔 4 a に導入された原水 W 1 は、中管 6 の内部を軸線 O 方向に流通する。中管 6 の孔部 6 a を介して膜モジュール 7 に接触する原水 W 1 は、膜モジュール 7 を透過する過程で不純物が取り除かれる。このように膜モジュール 7 を透過した水は透過水 W 2 として、透過水排出孔 4 b , 5 b から逆浸透膜装置 1 の外部に排出される。一方、原水 W 1 から透過水 W 2 が除かれることで不純物の濃度が増加した濃縮水 W 3 は、中管 6 の軸線 O 方向他方側の濃縮水排出孔 5 a から逆浸透膜装置 1 の外部に排出される。

【 0 0 2 3 】

このような逆浸透膜装置 1 では、稼働時間に伴って不純物が膜モジュール 7 の逆浸透膜 7 a に付着していく。特に、原水 W 1 の性状変動や上流側での原水 W 1 の前処理状況によ

10

【 0 0 2 4 】

本実施形態の汚損評価方法は、図 3 に示すように、データ取得工程 S 1、緩和時間取得工程 S 2 及び評価工程 S 3 を含む。

データ取得工程 S 1 は、図 1 及び図 2 に示す核磁気共鳴スキャナ 1 0 を用いて逆浸透膜装置 1 の外部から評価に必要なデータを取得する工程である。ここで、核磁気共鳴スキャナ 1 0 の構成について、図 4 及び図 5 を用いて詳細に説明する。

【 0 0 2 5 】

図 4 及び図 5 に示すように、核磁気共鳴スキャナ 1 0 は、いわゆる片側開放型 N M R スキャナであって、静磁場印加部 2 0 及び高周波磁場パルス印加部 3 0 を備えている。

20

静磁場印加部 2 0 は、円筒型永久磁石 2 1 と円柱型永久磁石 2 2 を有している。

円筒型永久磁石 2 1 は、円筒状をなす永久磁石であって、該円筒状の一方の端面である円筒第一端面 2 1 a が N 極、他方の端面である円筒第二端面 2 1 b が S 極となるように磁化している。以下では、円筒型永久磁石 2 1 の中心軸線に平行な方向であって該円筒型永久磁石 2 1 の N 極側を +、S 極側を - とする軸を Z 軸方向とする。また、Z 軸方向に直交し、かつ互いに直交する一対の軸をそれぞれ X 軸方向と、Y 軸方向とする。

【 0 0 2 6 】

円柱型永久磁石 2 2 は、Z 軸方向に延びる円柱状をなしている。円柱型永久磁石 2 2 は、円筒型永久磁石 2 1 の内側で該円筒型永久磁石 2 1 と同軸に配置されている。円柱型永久磁石 2 2 は、円筒型永久磁石 2 1 の径方向内側に間隔をあけて配置されている。即ち、円柱型永久磁石 2 2 の直径は円筒型永久磁石 2 1 の内径よりも小さく、円柱型永久磁石 2 2 の外周面は、円筒型永久磁石 2 1 の外周面と互いに径方向に間隔をあけて配置されている。

30

【 0 0 2 7 】

円柱型永久磁石 2 2 の Z 軸の + 側の端面である円柱第一端面 2 2 a は、円筒第一端面 2 1 a よりも Z 軸の - 方向に後退して配置されている。円柱型永久磁石 2 2 の Z 軸の - 側の端面である円柱第二端面 2 2 b は、円筒第二端面 2 1 b よりも Z 軸の - 方向に後退して配置されている。即ち、円柱第一端面 2 2 a は、円筒第一端面 2 1 a から Z 軸の - 側にオフ

40

【 0 0 2 8 】

このような静磁場印加部 2 0 によれば、円筒型永久磁石 2 1 の N 極から S 極に向かう磁場、円柱型永久磁石 2 2 の N 極から S 極に向かう磁場の合成磁場が形成される。この合成磁場のうち、円筒型永久磁石 2 1 よりも Z 軸の + 側に離間した箇所には、磁場の X 軸方向成分、Y 軸方向成分が小さく、Z 軸方向成分が大きい領域が形成される。このような領域が核磁気共鳴スキャナ 1 0 による測定領域 S とされている。換言すれば、静磁場印加部 2 0 から生じる静磁場における Z 軸方向成分が大きく、X 軸方向成分、Y 軸方向成分が小さい領域が測定領域 S として選定されている。なお、上述のように円柱型永久磁石 2 2 は円

50

筒型永久磁石 2 1 に対してオフセットされているため、これら磁石から離間した位置に、比較的大きな Z 軸方向の磁場を所定の幅 (Z 軸方向に直交する方向の寸法) の範囲で均一にすることができる。

【 0 0 2 9 】

高周波磁場パルス印加部 3 0 は、上記測定領域 S に Y 軸方向の高周波磁場パルスを与えるとともに、測定領域 S から生じる核磁気共鳴信号を検出する役割を有している。高周波磁場パルス印加部 3 0 は、第一高周波コイル 3 1 と第二高周波コイル 3 2 とを有している。

第一高周波コイル 3 1 及び第二高周波コイル 3 2 は、静磁場印加部 2 0 の円筒型永久磁石 2 1 から Z 軸の + 側に離間した箇所に互いに隣接するように配置されている。第一高周波コイル 3 1 及び第二高周波コイル 3 2 は、Z 軸方向から見て X 軸方向を長手方向とし、Y 軸方向を短手方向とした互いに同様の矩形状をなすように巻回されたコイルである。第一高周波コイル 3 1 は、Z 軸から Y 軸の - 側にずれた第一コイル軸線 O 1 回りに巻回されている。第二高周波コイル 3 2 は、Z 軸から Y 軸の + 側にずれた第二コイル軸線 O 2 回りに巻回されている。第一高周波コイル 3 1 及び第二高周波コイル 3 2 は、Z 軸方向から見て互いに Y 軸方向に隣り合うように配置されており、長手方向に沿う部分が Y 軸方向に互いに対向している。

【 0 0 3 0 】

これら第一高周波コイル 3 1 及び第二高周波コイル 3 2 には、図示しない電源供給装置によって、パルス状の交流電源が流される。これによって第一高周波コイル 3 1 及び第二高周波コイル 3 2 には、互いに Y 軸方向に隣接する部分で同一の方向 (X 軸方向) に流れる交流電流が生じ、当該交流電流によって高周波磁場パルスが生成される。高周波磁場パルスは、測定領域 S では Y 軸方向の磁場パルス成分が支配的となる。即ち、高周波磁場パルス印加部 3 0 によって、測定領域 S には静磁場印加部 2 0 による静磁場に直交する高周波磁場パルスが印加される。

また、第一高周波コイル 3 1 及び第二高周波コイル 3 2 には、電源供給装置による交流電流が非供給の際には、外部磁場の変化 (緩和しつつある水素原子核磁化ベクトルの回転運動) により交流電圧が誘起され、これにより生成される交流電流を出力する。

【 0 0 3 1 】

以上のように、核磁気共鳴スキャナ 1 0 は、静磁場を印加可能な静磁場印加部 2 0 と、該静磁場印加部 2 0 の外方 (Z 軸方向) に設けられて高周波磁場パルスを印加可能な第一高周波コイル 3 1 及び第二高周波コイル 3 2 を備えている。さらに、測定領域 S が静磁場印加部から見て第一高周波コイル 3 1 及び第二高周波コイル 3 2 よりもさらに外方に設定されている。

なお、静磁場印加部 2 0 及び高周波磁場パルス印加部 3 0 は、図 1 及び 2 に示すように、例えば非磁性体からなるケース 4 0 内に收容されている。核磁気共鳴スキャナ 1 0 は、当該ケース 4 0 における Z 軸の + 側を向く面が、測定面とされている。

【 0 0 3 2 】

次に上記核磁気共鳴スキャナ 1 0 を用いて行われるデータ取得工程 S 1 の詳細を説明する。データ取得工程 S 1 は、静磁場印加工程 S 1 1、高周波磁場パルス印加工程 S 1 2、信号強度検出工程 S 1 3 の 3 つのステップを含む。

【 0 0 3 3 】

まず静磁場印加工程 S 1 1 を実行する。静磁場印加工程 S 1 1 では、核磁気共鳴スキャナ 1 0 の測定面を図 1 に示すように逆浸透膜装置 1 の外筒 3 の外周面に押し当てる。これによって、図 2 に示すように、逆浸透膜装置 1 の内部における膜モジュール 7 内の一部に、測定領域 S が設定される。

【 0 0 3 4 】

次に高周波磁場パルス印加工程 S 1 2 を実行する。高周波磁場パルス印加工程 S 1 2 では、測定領域 S に静磁場印加工程 S 1 1 による静磁場を印加させた状態で、該静磁場に直交する高周波磁場パルスを測定領域 S に印加する。

10

20

30

40

50

具体的には、核磁気共鳴スキャナ10における高周波磁場パルス印加部30の第一高周波コイル31及び第二高周波コイル32にパルス状の交流電流が供給する。これにより、第一高周波コイル31及び第二高周波コイル32から、測定領域Sに対してY軸方向の高周波磁場パルスが印加される。なお、高周波磁場パルスとしては、ラジオ波磁場パルス(RFパルス)が印加される。また、高周波磁場パルスの周波数、即ち、交流電流の周波数は、水素原子(プロトン)の歳差運動周波数(ラーモア周波数)と一致する値とする。

なお、高周波磁場パルスの印加手法としては、例えば例えば、Solid Echo法、CPMG(Curr Purcel Meiboom Gill)法及びHahn Echo法等の既知の手法を用いることができる。

【0035】

続いて、信号強度検出工程S13を実行する。信号強度検出工程S13では、高周波磁場パルスによる測定領域Sの横磁化の信号強度を検出する。

即ち、高周波磁場パルスを測定領域Sに印加すると、測定領域Sの水に基づくプロトンのZ軸方向の磁化がY軸方向に例えば90°フリップ角をなして倒れる。そして、高周波磁場パルスの印加が停止されると、プロトンの磁化は元の状態、即ち、Z軸方向の静磁場にみよって磁化された状態に戻っていく。信号強度検出工程S13では、この際に放出されるエネルギーを検出する。具体的には、プロトンの回転磁界により第一高周波コイル31、第二高周波コイル32に誘起された交流電圧に基づく交流電流を、横磁化(Z軸方向に直交するY軸方向の磁化)の信号強度として検出する。即ち、第一高周波コイル31及び第二高周波コイル32は、高周波磁場パルスを印加する役割に加えて、当該高周波磁場パルスによって生じる核磁気共鳴信号の信号強度を検出する役割といった、励起及び検出の二つの役割を有する。

【0036】

以上のようにデータ取得工程S1では、静磁場印加工程S11、高周波磁場パルス印加工程S12、信号強度検出工程S13を経ることで、測定領域Sにおける横磁化の信号強度を得ることができる。本実施形態では、このデータ取得工程S1の後に、緩和時間取得工程S2を実行する。

【0037】

本実施形態の緩和時間取得工程S2では、信号強度の時間変化から横緩和時間T2を取得する。即ち、信号強度検出工程S13で、第一高周波コイル31及び第二高周波コイル32により検出される信号強度を時間とともに記録すると、図6に示すように、時間とともに減衰する波形(自由誘導減衰:FID)を得られる。このような波形に基づいて、例えば波形のピークを通るカーブを横磁化の緩和曲線として取得することができる。そして、この緩和曲線の時定数を横緩和時間(スピン スピン緩和時間)T2として取得する。

【0038】

なお、高周波磁場パルス印加工程S12、信号強度検出工程S13及び緩和時間取得工程S2をSolid Echo法に基づいて行う場合には、以下の手順で実行する。まず、高周波磁場パルスとしてプロトンのフリップ角が90°となる90°パルスを一定間隔で2回、測定領域Sに与えた後の信号強度を取得する。そして、当該信号強度から自由誘導減衰の波形を取得し、緩和曲線及び横緩和時間T2を取得する。

一方、CPMG法で行う場合には、90°パルスを与えた後に、プロトンのフリップ角が180°になる180°パルスを与える。その後、180°パルスを繰り返し与え、その度に横磁化の信号強度の最大値を記録する。これによって得られた信号強度の減衰から緩和曲線を取得し、続いて横緩和時間T2を取得する。

【0039】

続いて評価工程S3を行う。評価工程S3では、本実施形態では、横緩和時間T2を汚染度を評価する指標である緩和時間として、逆浸透膜7aの汚損度を評価する。

ここで、逆浸透膜7aの水が汚損している程、測定領域Sの横緩和時間T2は小さくなる傾向がある。水分子は水素原子(プロトン)が磁気モーメントを持つことで水分子全体が磁化される。この水分子の磁化は当該水分子が固体に取り囲まれている程、緩和し易い

10

20

30

40

50

よって、固体の内方に位置する水（結合水）は、水分子の動きが制限されているため、水素の自由度が小さい。そのため、高周波磁場パルスにより与えられたエネルギーが消失し易い。一方で、固体の外部に位置する自由水は、水分子の動きが制限されないため、水素の自由度が大きく、エネルギーが消失し難い。

【 0 0 4 0 】

したがって、横緩和時間 T_2 の長短は、水分子が汚損物質としての固体に取り囲まれているか否かを判断する指標となる。即ち、横緩和時間 T_2 が長い程、汚損度は低く、横緩和時間 T_2 が短い程、汚損度は高い。よって、横緩和時間 T_2 を指標とすることで汚損度を評価することができる。例えば、図 7 に示すように、汚損度が低い測定領域 S の緩和曲線は、実線に示すように初期の信号強度は比較的大きく、緩やかに緩和していく（時定数が大きい）。一方、汚損度が高い測定領域 S の緩和曲線は、破線に示すように初期の信号強度が比較的小さく、急激に緩和していく（時定数が小さい）。

10

即ち、汚損度が高いと測定領域 S の中にゴミが溜まり、体積含水率が低下する。そのため、信号強度も低下する。そして、空隙サイズが小さくなるので、横緩和時間 T_2 も短くなる。

【 0 0 4 1 】

なお、具体的な評価手法としては、例えば予め取得した汚損度と横緩和時間 T_2 と相関関係に、上記工程により取得した横緩和時間 T_2 を照らし合わせることで、測定領域 S での汚損度を評価することができる。したがって、逆浸透膜装置 1 の膜モジュール 7 の部分的な汚損度を評価することができる。

20

【 0 0 4 2 】

また、例えば、膜モジュール 7 における中管 6 の上流側の部分（入口部）と下流側の部分（出口部）とで横緩和時間 T_2 を取得し、図 8 に示すように横軸を横緩和時間 T_2 、縦軸を度数とした度数分布で表すことで、膜モジュール 7 の異なる箇所での汚損度を相対評価してもよい。

【 0 0 4 3 】

ここで第一実施形態の変形例について説明する。当該変形例では、核磁気共鳴スキャナ 10 の測定領域 S の横幅（水の流通方向に直交する方向の寸法、本実施形態では Z 軸に直交する方向）は、任意の値に設定されている。一方、当該測定領域 S の縦幅 X （水の流通方向の寸法、本実施形態では Z 軸方向）は、以下の（1）式のように設定されている。

30

測定領域 S の縦幅 X 透過水 W_2 の流速 V × 高周波磁場パルス印加後に測定領域からの信号強度が定常状態になるまでの時間 T ... (1)

【 0 0 4 4 】

「透過水 W_2 の流速 V 」とは、膜モジュール 7 の逆浸透膜装置 1 に汚損がないと仮定し、予め定めた稼働条件で原水 W_1 を導入した場合における設計値である。また、「高周波磁場パルス印加後に測定領域からの信号強度が定常状態になるまでの時間 T 」とは、膜モジュール 7 の逆浸透膜装置 1 に汚損がなく、流速 V で透過水 W_2 が流通している際に、高周波磁場パルスを測定領域 S に印加してから後述する信号強度が定常状態になるまでの時間（緩和時間）である。ここで、上記信号強度は、時間の経過とともに小さくなるが、ノイズの影響のため 0 にはならず、最終的にはある定常的な値に落ち着くことになる。即ち、信号強度が定常状態になるとは、測定領域内で横磁化された水が、全て測定領域から出ていることを意味している。

40

【 0 0 4 5 】

実施形態では汚損度の指標となる緩和時間として、時定数である横緩和時間 T_2 を用いた例について説明した。一方、当該変形例では、緩和曲線の信号強度が定常状態になるまでの時間を緩和時間として用いて汚損度を評価する。

本変形例では測定領域 S の縦幅が上記（1）式の関係で設定されている。汚損度が 0 の場合には、特定の時間経過後には測定領域 S の全ての横磁化された水が出ていく。一方、汚損後が高い場合には、水が逆浸透膜 7 a を透過し難くなる結果、特定の時間経過後であ

50

っても横磁化された水が存在する。したがって、この場合、信号強度が定常状態になるまでの時間は大きくなる。この関係を利用することで、信号強度が定常状態になるまでの時間を横緩和時間 T_2 として、上記同様、汚損度を評価することができる。即ち、当該緩和時間を指標とすることで、横磁化の緩和と測定領域 S からの流出との双方を加味した評価を行うことができる。

【0046】

なお、核磁気共鳴スキャナ10によるデータ取得工程 S_1 は、図1に示すように、当該核磁気共鳴スキャナ10を逆浸透膜装置1の外筒3の外面を連続的にスライドさせることによって行われる。これによって、測定領域 S を膜モジュール7内で任意に設定することができ、膜モジュール7内の部分的な汚損度を評価することができる。

10

【0047】

即ち、本実施形態では上記核磁気共鳴スキャナ10を用いることで、逆浸透膜7aの部位や設置場所を選ばないデータ取得を行うことが可能となる。これによって、汚損されている逆浸透膜7aの特定や汚損部位の判別が可能となり、全面的な汚損や物理閉塞の際の膜交換作業や部分汚損時に洗浄作業の選定を容易に行うことができる。

【0048】

さらに、水の挙動を把握することによって、逆浸透膜7a内での汚損状況（物理的な閉塞や無機物、有機物の付着による流路障害）やその原因の特定が可能となり、汚損、劣化モードに応じた適切な対策を実施することができる。また、対策後の逆浸透膜7aを再計測することで、性能回復の度合いを定量的に評価することもできる。

20

【0049】

次に本発明の第二実施形態について、図9～図11を参照して説明する。第二実施形態では第一実施形態と同一の構成要素には同一の符号を付して詳細な説明を省略する。

第二実施形態の逆浸透膜装置1の評価方法は、図9に示すように、異なる状態でのデータ取得工程 S_1A 、 S_1B 、信号強度比取得工程 S_20 及び評価工程 S_30 を含む。

【0050】

本実施形態のデータ取得工程 S_1A 、 S_1B は、同一の測定領域 S で、水が流通していない静止状態、水が流通している流通状態の2つの状態で行われる。静止状態とは、ポンプによる逆浸透膜装置1への原水 W_1 のストップを停止した状態であって、逆浸透膜7aには圧力がかかっていないため、水が透過することはない。そのため、水の流通量は0となる。一方、流通状態とは、ポンプによる逆浸透膜装置1への原水 W_1 の供給を行っている状態である。当該ポンプでの原水 W_1 の供給は、逆浸透膜7aが汚染されていない状態で、膜モジュール7内で水が当初設定した平均流速で流通するように行われる。

30

そして、データ取得工程 S_1A 、 S_1B では、第一実施形態同様の静磁場印加工程 S_11 、高周波磁場パルス印加工程 S_12 及び信号強度検出工程 S_13 を行うことで、各状態における横磁化の信号強度を取得する。

【0051】

次に信号強度比取得工程 S_20 を実行する。静止状態の信号強度に対する流通状態の信号強度の比である信号強度比を取得する信号強度比（＝流通状態の信号強度／静止状態の信号強度）を取得する。

40

静止状態の信号強度、流通状態の信号強度は、図6に示す波形と同様に減衰する。よって緩和曲線は時間とともに徐々に減衰するカーブとなる。信号強度比を取得する際に用いる静止状態及び流通状態の信号強度は、それぞれ高周波磁場パルスを印加後、同一の時間が経過した時点における信号強度を採用することが好ましい。

【0052】

続いて、評価工程 S_30 を行う。この評価工程 S_30 では、信号強度比を指標として、分離膜の汚損度を評価する。

ここで、図10に異なる汚損度における流速と信号強度比との関係のグラフを示す。当該グラフからわかるように、汚損度が小さい場合には、流速が大きくなるにしたがって信号強度比は大きく低下するのに対して、汚損度が大きい場合には、流速の増加による信号

50

強度比の低下は小さい。

【 0 0 5 3 】

即ち、汚損度が小さい場合には、高周波磁場パルスを与えた後に円滑に水が透過するため、測定領域 S 内の横磁化された水分量が大きく減少する。そのため、信号強度比は小さくなる。一方、汚損度が大きい場合には、原水 W 1 に起因するファウリングによって水の透過性が低下している。そのため、測定領域 S には特定の時間経過後も、高周波磁場パルスによって横磁化された水分が存在する。そのため、信号強度比の低下は小さい。

よって、信号強度比と汚損度には、図 1 1 に示すように互いに相関関係がある。そのため、信号強度比を指標として膜モジュール 7 の汚損度を評価することができる。

以上から、第二実施形態の評価方法も第一実施形態同様、膜モジュール 7 の部分的な汚損度を評価することが可能となる。

10

【 0 0 5 4 】

以上、本発明の実施の形態について説明したが、本発明はこれに限定されることなく、その発明の技術的思想を逸脱しない範囲で適宜変更可能である。

例えば図 1 2 に示すように、変形例の核磁気共鳴スキャナ 1 0 A として、長尺状をなすファイバの先端 1 1 に、実施形態と同様の静磁場印加部 2 0 及び高周波磁場パルス印加部 3 0 を設けたものを採用してもよい。この場合、ファイバの先端 1 1 を狭い場所に挿入することで、逆浸透膜 7 a のより部分的なデータを取得することができる。

【 0 0 5 5 】

また、例えば医療用の NMR 装置のように、ドーム状又はアーチ状の核磁気共鳴スキャナ 1 0 を採用してもよい。ドーム状の場合には、円形の平膜を測定することが可能となり、アーチ状の場合には、円筒形の逆浸透膜 7 a の測定を行うことができる。また、測定対象物のサイズに応じて、磁場の大きさ、コイルの要領、サイズを最適化することで、対象物内部の詳細な水挙動データを取得することができる。さらに、膜モジュール 7 の輪切り断面計測が可能となり、汚損状況の三次元マッピングを作成することもできる。

20

【 0 0 5 6 】

なお、実施形態では、分離膜として逆浸透膜 7 a を例に説明したが、これに限定されることはなく、他の分離膜を本発明に係る評価方法の評価対象としてもよい。例えば、分離膜として、ろ過膜やイオン交換膜等を採用してもよい。

【 0 0 5 7 】

実施形態では、測定領域 S を軸線 O に直交する断面で矩形形状に設定したが、例えば、軸線を含む断面で矩形形状にしてもよい。この場合、水の流通方向を測定領域 S の縦幅 X とすることが好ましい。

30

また、実施形態では、測定領域 S を膜モジュール 7 内に設定したが、例えば、該膜モジュール 7 を通過した水が流れる領域、即ち、外筒 3 の内周面と膜モジュール 7 の外周面との間の領域に設定してもよい。この場合、測定領域 S は逆浸透膜装置 1 の外部から比較的近接した位置となる。そのために測定領域 S を形成する静磁場印加部 2 0 の磁力を小さくすることができる。よって、例えば静磁場印加部 2 0 を構成する永久磁石の小型化を図れるといったメリットがある。

【 0 0 5 8 】

また、実施形態では静磁場印加部 2 0 として永久磁石を用いた例を説明したが、静磁場を発生させる電磁石を用いてもよい。実施形態では、第一高周波コイル 3 1 及び第二高周波コイル 3 2 の二つのコイルを用いた例を説明したが、Y 軸方向から磁場を印加可能であれば、単一の高周波コイルのみを用いてもよい。

40

また、膜モジュール 7 はいわゆるスパイラル状に限られず、他の形態のものであってもよい。

【 符号の説明 】

【 0 0 5 9 】

- 1 逆浸透膜装置（分離膜装置）
- 2 ハウジング

50

3	外筒	
4	第一蓋部	
4 a	原水導入孔	
4 b	透過水排出孔	
5	第二蓋部	
5 a	濃縮水排出孔	
5 b	透過水排出孔	
6	中管	
6 a	孔部	
7	膜モジュール	10
7 a	逆浸透膜（分離膜）	
1 0	核磁気共鳴スキャナ	
1 0 A	核磁気共鳴スキャナ	
1 1	ファイバの先端	
2 0	静磁場印加部	
2 1	円筒型永久磁石	
2 1 a	円筒第一端面	
2 1 b	円筒第二端面	
2 2	円柱型永久磁石	
2 2 a	円柱第一端面	20
2 2 b	円柱第二端面	
3 0	高周波磁場パルス印加部	
3 1	第一高周波コイル	
3 2	第二高周波コイル	
4 0	ケース	
S 1	データ取得工程	
S 1 A	データ取得工程	
S 1 B	データ取得工程	
S 1 1	静磁場印加工工程	
S 1 2	高周波磁場パルス印加工工程	30
S 1 3	信号強度検出工程	
S 2	緩和時間取得工程	
S 2 0	信号強度比取得工程	
S 3	評価工程	
S 3 0	評価工程	
W 1	原水	
W 2	透過水	
W 3	濃縮水	
S	測定領域	
O	軸線	40
O 1	第一コイル軸線	
O 2	第二コイル軸線	
T 2	横緩和時間	

【 図 1 】

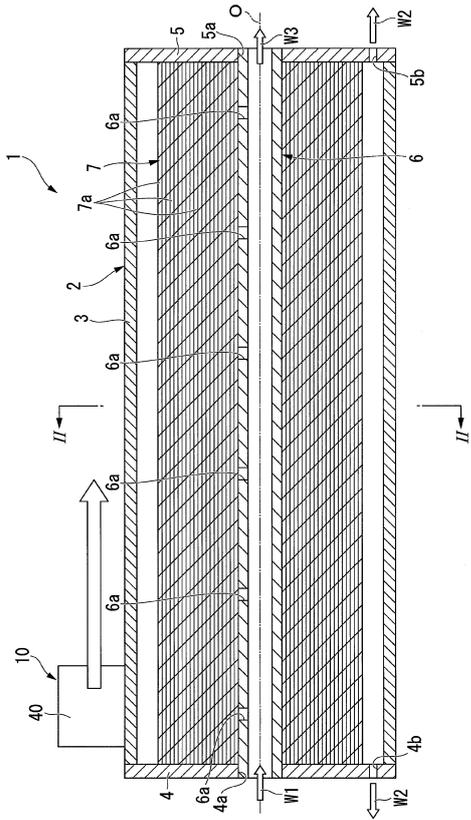


図1

【 図 2 】

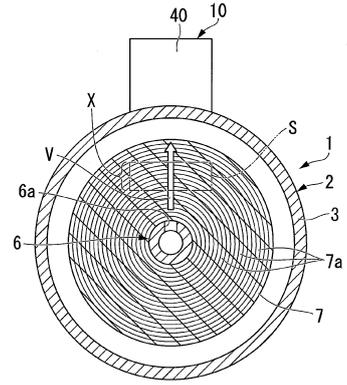


図2

【 図 3 】

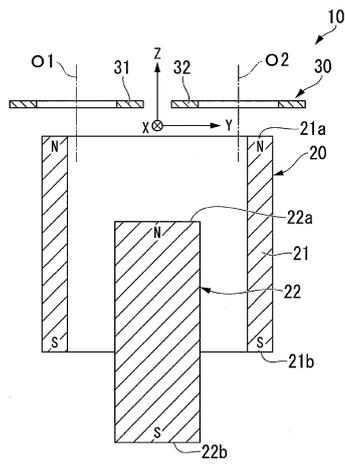


図3

【 図 4 】

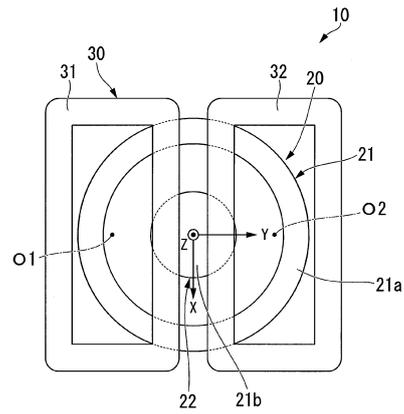


図4

【図5】

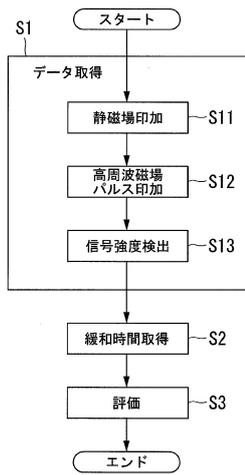


図5

【図6】

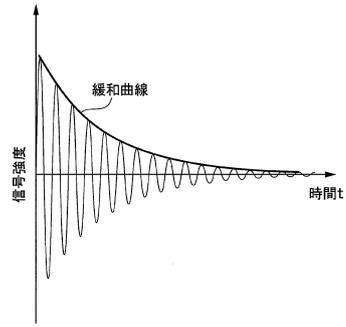


図6

【図7】

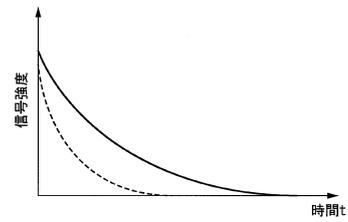


図7

【図8】

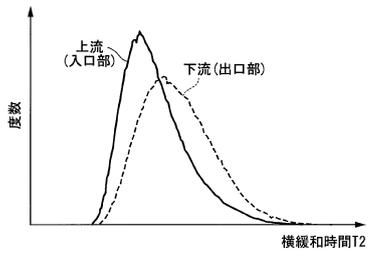


図8

【図9】

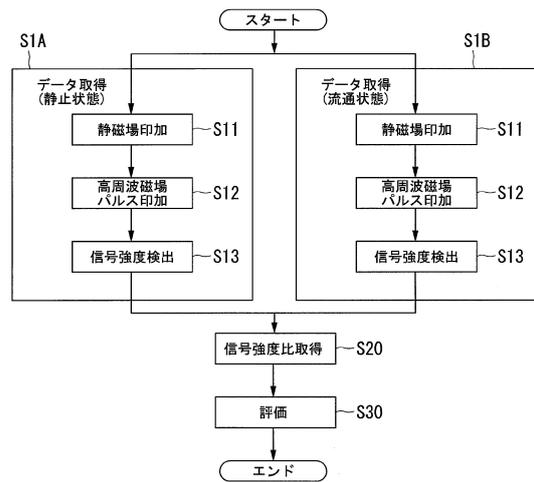


図9

【图 10】

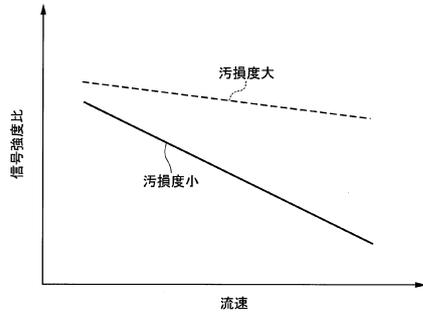


图10

【图 12】

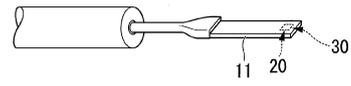


图12

【图 11】

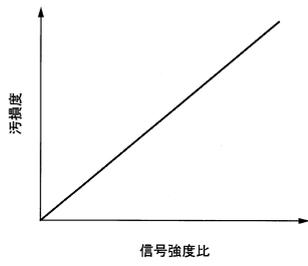


图11

フロントページの続き

- (74)代理人 100126893
弁理士 山崎 哲男
- (72)発明者 澤津橋 徹哉
東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内
- (72)発明者 藤井 秀治
東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内
- (72)発明者 伊藤 嘉晃
東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内
- (72)発明者 中島 善人
茨城県つくば市東1-1-1 国立研究開発法人産業技術総合研究所つくばセンター内

審査官 川崎 良平

- (56)参考文献 特開2007-014878(JP,A)
特表2009-506345(JP,A)
特開2006-153520(JP,A)
特開2007-121037(JP,A)
国際公開第2008/041361(WO,A1)
特開2000-342938(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B01D 61/00-71/82
G01N 24/08
G01R 33/32