

明 細 書

発明の名称：

生物膜濾過装置、淡水化システム、及び、生物膜濾過装置の洗浄方法

技術分野

[0001] 本発明は、生物膜濾過装置、淡水化システム、及び、生物膜濾過装置の洗浄方法に関する。

本願は、2014年1月31日に日本に出願された特願2014-016963号について優先権を主張し、その内容をここに援用する。

背景技術

[0002] 従来の濾過装置には、砂等の濾材を充填した濾材層（砂層）に形成された生物膜により、上流側から流入された海水、廃水等の原水（対象液）に混入する混入物を除去し、対象液を濾過液として下流側から排出する生物膜濾過装置がある。

この種の生物膜濾過装置では、例えば特許文献1のように、所定の運転時間（濾過時間）が経過した後に、濾材層の下流側から上流側に洗浄水を流す逆洗工程を実施して、生物膜に付着した混入物を除去する必要がある。

[0003] 特許文献2には、濾材層（充填剤充填層）のうち上流側と下流側の中間に洗浄水の流入口を設けることで、逆洗工程において上流側の部分（表層部）に沈積する大量の浮遊物（混入物）のみを適宜洗浄して除去する生物膜濾過装置が開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開平9-215986号公報

特許文献2：特開平8-252590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、特許文献1の生物膜濾過装置では、洗浄時に濾材層に供給

される洗浄水の流速が単一（一定）であるため、洗浄によって濾材層による濾過機能が低下する、あるいは、洗浄時間が長くなる虞がある。例えば、濾材層全体が流動化しない程度に洗浄水の流速が遅いと、特に混入物が多い濾材層の上流側の範囲の洗浄時間が長くなってしまい、対象液の濾過を再開するまでの時間が長くなる。また、例えば、濾材層全体が流動化する程度に流速が速いと、濾材の表面に形成された生物膜が剥離してしまい、濾材層による濾過機能が損なわれてしまう。その結果として、対象液の濾過を再開できるまでの時間が長くなる。

特許文献2の生物膜濾過装置では、濾材層のうち上流側の範囲のみを洗浄するため、洗浄水の流速が速くても、濾材層の下流側の範囲における生物膜が剥離することはない。しかしながら、下流側の範囲の洗浄が実施されないため、濾材層による濾過機能は低下してしまう。

[0006] 本発明は、上述した事情に鑑みたものであって、濾過機能の低下を抑制しつつ、濾材層を短時間で効率よく洗浄できる生物膜濾過装置、これを備える淡水化システム、及び、生物膜濾過装置の洗浄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] （1）本発明の一態様としての生物膜濾過装置は、濾材層に形成された生物膜により、上流側から流入させた対象液に混入する混入物を除去して下流側から濾過液を排出させる生物膜濾過装置であって、前記濾材層の下流側から洗浄水を供給する洗浄水供給部と、該洗浄水供給部によって供給される洗浄水の流速を制御する制御部と、を備え、該制御部は、前記濾材層の上流側の所定範囲の層のみが流動化する第一流速で洗浄水を供給した後に、前記濾材層全体が流動化しない第二流速で洗浄水を供給する。

[0008] （2）本発明の他態様としての洗浄方法は、濾材層に形成された生物膜により、上流側から流入させた対象液に混入する混入物を除去して下流側から濾過液を排出させる生物膜濾過装置に対し、前記濾材層の下流側から洗浄水を供給して前記濾材層を洗浄する生物膜濾過装置の洗浄方法であって、前記

濾材層の上流側の所定範囲の層のみが流動化する第一流速で前記洗浄水を供給する第一洗浄工程と、該第一洗浄工程の後に、前記濾材層全体が流動化しない第二流速で前記洗浄水を供給する第二洗浄工程と、を含む。

[0009] 上記生物膜濾過装置及びその洗浄方法によれば、濾材層を洗浄する際には、はじめに、生物膜に付着した混入物が多い濾材層の上流側の範囲（上流側の所定範囲の層）を積極的に流動化させるため、濾材層の上流側の範囲における混入物を短時間で効率よく除去できる。一方、洗浄水を第一流速で濾材層に供給しても濾材層の下流側の範囲は流動化しないが、その後、第二流速で洗浄水を供給し続けることで、濾材層の下流側の範囲における混入物も十分に除去できる。

[0010] さらに、上記生物膜濾過装置及びその洗浄方法によれば、洗浄水による流動化が濾材層のうち上流側の範囲に限定されるため、洗浄に伴う生物膜の剥離は濾材層の上流側の所定範囲の層のみとなり、濾材層の下流側の範囲における生物膜は維持される。したがって、洗浄を実施しても生物膜濾過装置の濾過機能を維持でき、洗浄の直後であっても対象液の濾過を実施することが可能となる。

以上のことから、上記生物膜濾過装置及びその洗浄方法によれば、単一の流速で洗浄水を供給する場合と比較して、濾過機能の低下を抑制しつつ、濾材層の生物膜に付着した混入物を効率よく除去することが可能である。

[0011] （３）前記生物膜濾過装置は、（１）に記載の生物膜濾過装置であって、前記洗浄水供給部によって供給された洗浄水の前記濾材層の上流側からの排水の濁度を検出する検出部を備え、前記制御部が、前記検出部による濁度の検出結果に基づいて前記洗浄水の流速を切り換える。

[0012] この場合には、排水の濁度に応じて、濾材層に供給される洗浄水の流速を第一流速から第二流速に適切に切り換えることができるため、濾材層の生物膜に付着した混入物をさらに効率的に除去できる。

[0013] （４）前記生物膜濾過装置は、（１）又は（３）に記載の生物膜濾過装置であって、前記濾材層が、上流側から下流側に向かう方向に複数の層に分割

され、前記複数の層のうち最も上流側に位置する最上層の濾材の粒径及び比重の少なくとも一方が、前記最上層の下流側に位置する他の層の濾材よりも小さく設定され、前記制御部による前記第一流速が、前記最上層のみを流動化させる流速である。

[0014] この場合には、洗浄水の流れによって最上層が他の層よりも流動化しやすいため、第一流速の設定が容易となる。すなわち、最上層のみを適切かつ簡単に流動化させることができ、洗浄時間の短縮化を図ることが可能となる。

さらに、最上層が他の層よりも流動化しやすいことで、第一流速を低く抑えることができる。これにより、洗浄しても濾材層に生物膜をより維持しやすくなると共に、洗浄に使用する洗浄水の量を低減することも可能となる。

[0015] (5) 前記生物膜濾過装置は、(1)、(3) 及び (4) のいずれか一つに記載の生物膜濾過装置であって、前記濾材層が、上流側から下流側に向かう方向に複数の層に分割され、前記複数の層のうち最も上流側に位置する最上層と、該最上層の下流側に隣接する他の層との間に設けられ、前記最上層と前記他の層との混合を防ぐ混合防止材を備える。

[0016] この場合には、最上層及び他の層との混合が防止されるため、第一流速で洗浄水を供給することで確実に最上層のみを流動化させ、他の層が流動化することを確実に抑えることができる。

[0017] (6) 本発明の他態様としての淡水化システムは、(1) 及び (3) ～ (5) のいずれか一つに記載の生物膜濾過装置と、該生物膜濾過装置から排出された前記濾過液を淡水化する淡水化装置と、を備える。

発明の効果

[0018] 本発明によれば、生物膜濾過装置の濾過機能の低下を抑制しつつ、濾材層の生物膜に付着した混入物を効率よく除去することができる。

図面の簡単な説明

[0019] [図1] 本発明の第一実施形態に係る生物膜濾過装置及び生物膜濾過装置の洗浄方法を適用した淡水化システムの一例を示す図である。

[図2] 図1 に示す生物膜濾過装置において実施される濾過工程、及び、第一、

第二洗浄工程を示す図である。

[図3]図1に示す生物膜濾過装置において実施される第一、第二洗浄工程における洗浄時間と濁度との関係を示す図である。

[図4]本発明の第二実施形態に係る生物膜濾過装置を示す図である。

[図5]図4に示す生物膜濾過装置において実施される洗浄方法における濾材層周囲の流速と洗浄効果との関係を示す図である。

[図6]本発明の第三実施形態に係る生物膜濾過装置を示す図である。

発明を実施するための形態

[0020] 〔第一実施形態〕

以下、図1～3を参照して本発明の第一実施形態について説明する。

本実施形態の生物膜濾過装置は、図1に例示する淡水化システム1に適用される。淡水化システム1は、海水や廃水等の原水（対象液）を淡水化する装置である。淡水化システム1は、海水を淡水化前処理（以下、「前処理」と呼ぶ）する浄化装置10と、前処理後の海水（後述する二次前処理海水）を淡水化する淡水化装置40と、を備える。浄化装置10及び淡水化装置40は、接続配管11によって接続されている。

[0021] 以下、原水（対象液）として海水を処理することを事例に説明する。

浄化装置10は、海水を二段階で前処理するように、二つの生物膜濾過装置20、30を備える。二つの生物膜濾過装置20、30は、連結配管12によって直列に接続されている。

この浄化装置10において、海水は、はじめに、一次生物膜濾過装置20（以下、「一次濾過装置20」と呼ぶ。）に導かれ、一次濾過装置20において第一段階の前処理（一次前処理）が実施されることで一次前処理海水（濾過液）となる。一次前処理海水は、連結配管12を通して二次生物膜濾過装置30（以下、「二次濾過装置30」と呼ぶ。）に導かれる。二次濾過装置30に導かれた一次前処理海水（対象液）は、第二段階の前処理（二次前処理）がなされた二次前処理海水（濾過液）となり、この二次前処理海水が接続配管11を通して淡水化装置40に供給される。このため、海水に混入

する濁質成分（砂や泥等の汚れ分）等の混入物は、二次濾過装置 30 よりも一次濾過装置 20 において多く除去される。

本実施形態の生物膜濾過装置 20、30 における海水の濾過処理方向は、図 1 のように鉛直方向下向きとなっているが、これに限ることはなく、例えば鉛直方向に対して斜め下向きや、水平方向となってもよい。

[0022] 一次濾過装置 20 及び二次濾過装置 30 において浄化された海水は、接続配管 11 によって浄化装置 10 から淡水化装置 40 へ供給される。淡水化装置 40 は、浄化された海水（二次前処理海水）を導入するポンプ 41 と、海水を真水と濃縮海水とに分離する逆浸透膜 42 と、を備える。

[0023] 一次濾過装置 20 は、本体容器 21（濾過塔）の内部に砂等の粒状濾材を充填してなる濾材層 22 を形成し、濾材層 22 をなす濾材の表面に生物膜を形成して無薬注の前処理を行う装置である。本実施形態の濾材層 22 は、その上流側及び下流側に適当な空間部を残して本体容器 21 の中間部分に設置されている。本実施形態の濾材層 22 をなす濾材の粒径や比重は、例えば略均一に設定されている。

本体容器 21 の上部（上流側部分）には、原水配管 13 が接続されている。海水は、原水配管 13 から本体容器 21 の上部に導入される。原水配管 13 には、これを開閉する開閉弁（第一開閉弁）23 が設けられる。また、原水配管 13 のうち本体容器 21 の近傍には、原水配管 13 を流れる海水の圧力を検出する上流側圧力検出部 24 が設けられる。

さらに、本体容器 21 の下部（下流側部分）には、前述した連結配管 12 が接続されている。連結配管 12 のうち本体容器 21 の近傍には、連結配管 12 を開閉する開閉弁（第二開閉弁）25 が設けられる。また、連結配管 12 のうち本体容器 21 の近傍には、本体容器 21 から排出されて連結配管 12 を流れる一次前処理海水の圧力を検出する下流側圧力検出部 26、及び、一次前処理海水の濁度を検出する処理水濁度検出部 27 が設けられる。

[0024] そして、一次濾過装置 20 は、濾材層 22 の生物膜に付着した混入物を除去するための逆洗機構 50 を備える。逆洗機構 50 は、濾材層 22 の下流側

から洗浄水を供給する洗浄水供給部 5 1 と、洗浄水供給部 5 1 によって供給される洗浄水の流速を制御する流速制御部（制御部） 5 2 と、を備える。また、逆洗機構 5 0 は、濾材層 2 2 を通過した洗浄水（排水）を上流側から排出する洗浄水排出部 5 3 を備える。

洗浄水供給部 5 1 は、洗浄水の供給源やポンプ等を含む供給部本体 5 4 と、供給部本体 5 4 と本体容器 2 1 の下部とを接続する洗浄水供給管 5 5 と、を備える。洗浄供給管のうち本体容器 2 1 の下部近傍には、洗浄供給管を開閉する開閉弁（第三開閉弁） 5 6 が設けられる。

洗浄水排出部 5 3 は、濾材層 2 2 よりも上方（上流側）に位置する本体容器 2 1 の上部に接続された洗浄水排出管 5 7 を備える。洗浄水排出管 5 7 には、これを開閉する開閉弁（第四開閉弁） 5 8 が設けられる。また、洗浄水排出管 5 7 のうち本体容器 2 1 の近傍には、本体容器 2 1 から排出された洗浄水（排水）の濁度を検出する洗浄水濁度検出部（検出部） 5 9 が設けられる。なお、洗浄水濁度検出部 5 9 は、図示例のように処理水濁度検出部 2 7 と個別に設置されてもよいし、例えば、処理水濁度検出部 2 7 の機能を兼用するように、連結配管 1 2、洗浄排水管 5 7 の両方に配管されると共に、切換弁によって本体容器 2 1 から排出された一次前処理海水の濁度と、本体容器 2 1 から排出された洗浄水（排水）の濁度と、を選択的に検出するように運用してもよい。

[0025] 流速制御部 5 2 は、図 1、2 に示すように、濾材層 2 2 の上流側の所定範囲の層のみが流動化する第一流速 V_1 で洗浄水を供給した後に、濾材層 2 2 全体が流動化しない第二流速 V_2 で洗浄水を供給する。ここで、上流側の所定範囲とは、生物膜に付着した濁質成分である混入物が多く付着する範囲（例えば、濾材層 2 2 の上面（上流側の端面）から下流側に向けて濾材層 2 2 全体の高さ寸法（濾材層 2 2 の上面から下面（下流側の端面）に至る寸法）の数%～数十%進んだ位置までの範囲）であり、原水の濁度、温度、塩分濃度等の状況や濾材層 2 2 の濾過性能等により選定するものである。第一流速 V_1 及び第二流速 V_2 は、いずれも所定の有効な洗浄効果が得られる（混入

物を濾材層 22 から効果的に除去できる）程度の流速であり、下記の〔数 1〕に示す数式によって求められる。第二流速 V_2 は、第一流速 V_1 よりも遅い流速である。濾材層 22 の上流側部分のみが流動化する第一流速 V_1 は、例えば、濾材層 22 の下流側部分にかかる荷重が上流側部分にかかる荷重よりも大きいことを考慮して設定される。

[0026] [数1]

$$V = 0.139 ds^{3/2} (1 + 0.06 es) (9t + 310) cs^{3/2}$$

V = 逆洗速度 (cm/min)

t = 水温 (°C)

ds = 砂有効径 (mm)

es = 砂膨張率 (%)

cs = 砂均等係数

[0027] なお、この数式は、「水処理技術 Vol. 5, No. 9, 1964 篠原 紀 著」より引用したものである。

[0028] 上記第一流速 V_1 において、濾材層 22 の上流側の所定範囲の層のみが流動化していることを確認するために、一次生物膜濾過装置 20 を試作し、逆洗試験を行う。また、逆洗試験の結果、流動化範囲に過不足が生じた場合には、上流側の所定範囲の層のみが流動化するように、流速の調整を行ってもよい。

[0029] 流速制御部 52 は、前述した洗浄水濁度検出部 59 において検出された濁度の検出結果に基づいて洗浄水の流速を第一流速 V_1 から第二流速 V_2 に切り換える。本実施形態では、第一流速 V_1 で洗浄水を濾材層 22 に供給している状態において、図 3 に示すように、洗浄水濁度検出部 59 において検出された濁度が最大値 T_p となった後、最大値 T_p から所定レベル（第一所定レベル）だけ低下した時点で、流速制御部 52 が洗浄水の流速を第一流速 V_1

1 から第二流速 V_2 に切り換える。上記した流速制御部 52 による洗浄水の流速変化は、例えば、供給部本体 54 のポンプの出力調整によって行われてもよいし、例えば第四開閉弁 58（流量調整弁）の開度調整によって行われてもよい。

[0030] さらに、一次濾過装置 20 は、海水を本体容器 21 に供給する状態と洗浄水を本体容器 21 に供給する状態とに切り換える切換制御部（不図示）も備える。本実施形態の切換制御部は、上流側圧力検出部 24 及び下流側圧力検出部 26 の検出結果や、処理水濁度検出部 27 の検出結果に基づいて、海水を本体容器に供給する状態から洗浄水を本体容器に供給する状態に切り換える。

[0031] 例えば、海水を本体容器 21 に供給する状態において、上流側圧力検出部 24 による圧力の検出結果が下流側圧力検出部 26 による圧力の検出結果よりも所定値以上大きくなった場合（差圧が所定値以上となった場合）、切換制御部は濾材層 22 が目詰まりを起こしていると判断し、第一、第二開閉弁 23, 25 を閉じて本体容器 21 への海水の供給を停止すると共に、第三、第四開閉弁 56, 58 を開いて本体容器 21 への洗浄水の供給を開始する。また、例えば、海水を本体容器 21 に供給する状態において、処理水濁度検出部 27 による濁度の検出結果が所定レベル以上となった場合、切換制御部は、濾材層 22 による濾過機能が低下していると判断し、上記と同様に、本体容器 21 への海水の供給を停止すると共に、本体容器 21 への洗浄水の供給を開始する。

[0032] 一方、洗浄水を本体容器 21 に供給する状態において、洗浄水濁度検出部 59 による濁度の検出結果が所定レベル（図 3 において第二所定レベル）以下となった場合、切換制御部は濾材層 22 の濾過機能が回復したと判断し、第三、第四開閉弁 56, 58 を閉じて本体容器 21 への洗浄水の供給を停止すると共に、第一、第二開閉弁 23, 25 を開いて本体容器 21 への海水の供給を開始する。

[0033] 二次濾過装置 30 は、一次濾過装置 20 と同様に、本体容器 31 の内部に

砂等の濾材を充填してなる濾材層 3 2 を形成し、濾材層 3 2 の濾材の表面に生物膜を形成して無薬注の前処理を行う装置である。

すなわち、本体容器 3 1 の上部（上流側部分）には、連結配管 1 2 が接続されている。

連結配管 1 2 のうち本体容器 3 1 の近傍には、連結配管 1 2 を開閉する開閉弁（第五開閉弁）3 3 が設けられている。さらに、連結配管 1 2 のうち本体容器 3 1 の近傍には、例えば一次濾過装置 2 0 の上流側圧力検出部 2 4 と同様に、連結配管 1 2 を流れる一次前処理海水の圧力を検出する圧力検出部（不図示）が設けられてもよい。また、本体容器 3 1 の下部（下流側部分）には、前述した接続配管 1 1 が接続されている。接続配管 1 1 のうち本体容器 3 1 の近傍には、接続配管 1 1 を開閉する開閉弁（第六開閉弁）3 5 が設けられている。さらに、接続配管 1 1 のうち本体容器 3 1 の近傍には、例えば一次濾過装置 2 0 の下流側圧力検出部 2 6 や処理水濁度検出部 2 7 と同様の圧力検出部（不図示）や濁度検出部（不図示）が設けられてもよい。

[0034] また、二次濾過装置 3 0 は、一次濾過装置 2 0 と同様に、濾材層 3 2 の生物膜に付着した混入物を除去するための逆洗機構 6 0 を備える。二次濾過装置 3 0 の逆洗機構 6 0 は、一次濾過装置 2 0 と同様の洗浄水供給部 6 1 及び洗浄水排出部 6 3 を備える。

洗浄水供給部 6 1 は、洗浄水の供給源やポンプ等を含む供給部本体 6 4 と、供給部本体 6 4 と本体容器 3 1 の下部とを接続する洗浄水供給管 6 5 と、を備える。供給部本体 6 4 から濾材層 3 2 に供給される洗浄水の流速は、一定であり、濾材層 3 2 全体が流動化しない流速に設定される。洗浄水供給管 6 5 には、これを開閉する開閉弁（第七開閉弁）6 6 が設けられる。

[0035] 洗浄水排出部 6 3 は、一次濾過装置 2 0 と同様に、濾材層 3 2 よりも上方（上流側）に位置する本体容器 3 1 の上部に接続された洗浄水排出管 6 7 を備える。洗浄水排出管 6 7 には、これを開閉する開閉弁（第八開閉弁）6 8 が設けられる。また、洗浄水排出管 6 7 のうち本体容器 2 1 の近傍には、例えば一次濾過装置 2 0 の洗浄水濁度検出部 5 9 と同様の濁度検出部（不図示

）が設けられてもよい。

また、二次濾過装置 30 は、一次濾過装置 20 と同様の切換制御部（不図示）も備える。

[0036] 次に、上記のように構成される本実施形態の淡水化システム 1 のうち浄化装置 10 の動作、特に、第一濾過装置 20 の洗浄方法について説明する。

浄化装置 10 では、海水を一次濾過装置 20、二次濾過装置 30 に順番に通過させることで、海水に含まれる濁質成分等の混入物を除去する（濾過工程 S1、図 2 参照）。濾過工程 S1 では、混入物が各濾過装置 20、30 の濾材層 22、32 に形成された生物膜に付着することで海水から除去される。海水中の混入物は濾材層 22、32 の下流側の範囲よりも上流側の範囲（上流側の所定範囲の層）において多く除去される。また、濾過工程 S1 では、各濾過装置 20、30 の切換制御部（不図示）が上流側圧力検出部 24 及び下流側圧力検出部 26 の検出結果や、処理水濁度検出部 27 の検出結果を監視している。

[0037] 上記した濾過工程 S1 中に、例えば一次濾過装置において、上流側圧力検出部 24 による圧力の検出結果が下流側圧力検出部 26 による圧力の検出結果よりも所定値以上大きくなった場合、あるいは、処理水濁度検出部 27 による濁度の検出結果が所定レベル以上となった場合には、切換制御部が、第一、第二開閉弁 23、25 を閉じて本体容器 21 への海水の供給を停止すると共に、第三、第四開閉弁 56、58 を開いて本体容器 21 への洗浄水の供給を開始する。これにより、濾材層 22 の下流側から洗浄液を供給して、濾材層 22 を洗浄する洗浄工程 S2（図 2 参照）が開始される。洗浄工程 S2（洗浄方法）では、第一洗浄工程 S21 及び第二洗浄工程 S22（図 2 参照）を順番に実施して、濾材層 22 の生物膜に付着した混入物を濾材層 22 から除去する。

[0038] 第一洗浄工程 S21 では、濾材層 22 の上流側の所定範囲の層のみが流動化する第一流速 V1 で洗浄水を供給する。本実施形態では、流速制御部 52 が洗浄水の流速を第一流速 V1 に制御する。第一洗浄工程 S21 では、生物

膜に付着した混入物が多い濾材層 2 2 の上流側の範囲を積極的に流動化させるため、濾材層 2 2 の上流側の範囲における混入物が短時間で効率よく除去される。また、第一洗浄工程 S 2 1 では、生物膜に付着した混入物が少ない濾材層 2 2 の下流側の範囲は流動化しないものの、濾材層 2 2 の下流側の範囲における混入物も少しずつ除去される。

そして、第一流速 V_1 で濾材層 2 2 を通過した洗浄水（排出水）は、除去された混入物を含んだ状態で濾材層 2 2 の上流側から洗浄水排出管 5 7 に排出される。このため、第一洗浄工程 S 2 1 では、図 3 に示すように、時間が経過するにつれて排出水に含まれる混入物が多くなり、排出水の濁度が上昇する。そして、排出水の濁度は最大値 T_p に到達し、その後低下しはじめる。

[0039] 本実施形態の洗浄方法では、排出水の濁度を検出している（検出工程）。本実施形態の検出工程は、洗浄水濁度検出部 5 9 により実施される。また、本実施形態の洗浄方法では、検出工程における濁度の検出結果に基づいて、上記した第一洗浄工程 S 2 1 から、後述する第二洗浄工程 S 2 2 に切り換える（切換工程）。本実施形態の切換工程は、流速制御部 5 2 により実施される。

本実施形態の切換工程では、図 2, 3 に示すように、濁度が最大値 T_p から第一所定レベルだけ低下した時点で、流速制御部 5 2 が洗浄水の流速を第一流速 V_1 から第二流速 V_2 に切り換える。これにより、濾材層 2 2 全体が流動化しない第二流速 V_2 で洗浄水を供給する第二洗浄工程 S 2 2 が実施される。

[0040] 第二洗浄工程 S 2 2 では、濾材層 2 2 を通過する洗浄水の流速が第一洗浄工程 S 2 1 よりも小さいため、濾材層 2 2 から混入物を除去する効率は第一洗浄工程 S 2 1 よりも低くなるが、洗浄水は濾材層 2 2 全体を流れるため、混入物は濾材層 2 2 から少しずつ除去される。これにより、第二洗浄工程 S 2 2 では、図 3 に示すように、時間が経過するにつれて排出水の濁度が緩やかに低下していく。

そして、排出水の濁度が第二所定レベル以下となった際には、図 2 に示すように、第二洗浄工程 S 2 2 が停止され、前述した濾過工程 S 1 が再開される。本実施形態では、第二洗浄工程 S 2 2 から濾過工程 S 1 への切換が、切換制御部によって実施される。これら濾過工程 S 1、第一洗浄工程 S 2 1、第二洗浄工程 S 2 2 は、繰り返し順番に実施される。

[0041] 二次濾過装置 3 0 の洗浄方法は、前述した第一洗浄工程 S 2 1、切換工程を除いて、一次濾過装置の洗浄方法と同様に実施可能であるため、説明を省略する。

[0042] 以上説明したように、本実施形態によれば、一次濾過装置 2 0 の濾材層 2 2 を洗浄する際には、はじめに、生物膜に付着した混入物が多い濾材層 2 2 の上流側の範囲を積極的に流動化させるため、濾材層 2 2 の上流側の範囲における混入物を短時間で効率よく除去できる。一方、洗浄水を第一流速 V 1 で濾材層に供給しても濾材層 2 2 の下流側の範囲は流動化しないが、その後、第二流速 V 2 で洗浄水を供給し続けるため、濾材層 2 2 の下流側の範囲における混入物も十分に除去できる。したがって、一次濾過装置 2 0 から排出された一次前処理海水を処理する処理設備（第二濾過装置 3 0、淡水化装置 4 0）における濾過液（二次前処理海水や真水）の水質悪化を防ぐことが可能となる。

[0043] また、本実施形態によれば、洗浄水による流動化が濾材層 2 2 のうち上流側の範囲に限定されるため、洗浄に伴う生物膜の剥離は濾材層 2 2 の上流側の所定範囲の層のみとなり、濾材層 2 2 の下流側の範囲における生物膜は維持される。さらに、濾材層 2 2 の上流側の範囲は海水が流入する入口側に位置するため、濾過工程 S 1 を再開することにより短時間で濾材層 2 2 の上流側の範囲における生物膜を再生することが可能である。したがって、洗浄を実施しても一次濾過装置 2 0 の濾過機能を維持でき、洗浄の直後であっても海水の濾過を実施することが可能となる。

[0044] 以上のことから、本実施形態によれば、単一の流速で洗浄水を供給する場合と比較して、一次濾過装置 2 0 の濾過機能の低下を抑制しつつ、濾材層 2

2の生物膜に付着した混入物を効率よく除去できる。

また、本実施形態によれば、第二洗浄工程S22における洗浄水の第二流速V2は、第一洗浄工程S21における洗浄水の第一流速V1よりも低いため、単一の流速で洗浄水を供給する場合と比較して、洗浄水の使用量を低減することも可能となる。

さらに、本実施形態によれば、濾材層22の上流側から排出される排出水の濁度に応じて、濾材層22に供給される洗浄水の流速を第一流速V1から第二流速V2に適切に切り換えることができるため、濾材層22の生物膜に付着した混入物をさらに効率的に除去できる。

[0045] 〔第二実施形態〕

次に、本発明の第二実施形態について、図4、5を参照して、第一実施形態との相違点を中心に説明する。なお、第一実施形態と共通する構成については、同一符号を付し、その説明を省略する。

[0046] 図4に示すように、本実施形態の一次濾過装置20Aは、第一実施形態の一次濾過装置20の代わりに淡水化システム1（図1参照）に設けられるものである。

本実施形態の一次濾過装置20Aは、第一実施形態と同様の本体容器21、濾材層22、逆洗機構50を備える。ただし、本実施形態の濾材層22は、上流側から下流側に向かう方向に複数の層22A1～22Anに分割されている。図示例の濾材層22は、n個（ $n=2, 3, 4, \dots$ ）の層22A1～22Anに分割されている。複数の層22A1～22Anのうち最も上流側に位置する最上層22A1をなす濾材の粒径及び比重の少なくとも一方は、最上層22A1の下流側に位置する他の層22A2～22Anよりも小さく設定されている。他の層22A2～22Anをなす濾材の粒径や比重は、互いに異なってもよいし、同等であってもよい。他の層22A2～22Anにおける濾材の粒径や比重は、例えば濾材層22の下流側に向かうにしたがって同等もしくは大きくなるように設定されてもよい。

[0047] そして、本実施形態では、流速制御部52による第一流速V1（図2参照

）が、最上層 22 A 1 のみを流動化させるように設定されるが、最上層 22 A 1 における濾材の粒径や比重が上記のように設定されることで、適正な第一流速 V_1 を容易に設定することが可能となる。以下、図 5 を参照して具体的に説明する。

[0048] 図 5 のグラフにおいて、横軸は洗浄水の流速を示し、縦軸は洗浄水の流速に対応する洗浄効果（逆洗浄効果）を示している。洗浄効果は、その数値が高いほど濾材層 22 の洗浄が効率よく行われていることを示す。また、「洗浄効果の下限」は、一次濾過装置 20 A において有効な洗浄効果が得られているか否かの境界を示している。

洗浄効果の特性は、濾材層 22 を構成する濾材の粒径や比重に応じて一義的に決まる。

すなわち、最上層 22 A 1 の場合の洗浄水の流速と洗浄効果との関係は、図 5 のグラフの実線のように決まる。また、他の層 22 A 2 ~ 22 A n の場合の洗浄水の流速と洗浄効果との関係は、同グラフの破線のように決まる。

[0049] また、図 5 のグラフが得られることで、最上層 22 A 1 の流動／非流動の境界に対応する洗浄水の流速（最上層 22 A 1 の境界流速 V_{m2} ）、他の層の流動／非流動の境界に対応する洗浄水の流速（他の層 22 A 2 ~ 22 A n の境界流速 V_{m1} ）、及び、「洗浄効果の下限」に対応する洗浄水の流速（下限流速 V_s ）を簡単に得ることができる。他の層 22 A 2 ~ 22 A n の粒径や比重は最上層 22 A 1 よりも大きいため、他の層 22 A 2 ~ 22 A n の境界流速 V_{m1} は最上層 22 A 1 の境界流速 V_{m2} よりも大きくなる。

したがって、適正な洗浄水の第一流速 V_1 は、最上層 22 A 1 の境界流速 V_{m2} 以上、かつ、他の層 22 A 2 ~ 22 A n の境界流速 V_{m1} 以下の範囲で設定されればよい。また、適正な洗浄水の第二流速 V_2 （図 2 参照）は、下限流速 V_s 以上、かつ、最上層 22 A 1 の境界流速 V_{m2} 未満の範囲で設定されればよい。

[0050] 本実施形態の一次濾過装置 20 A によれば、第一実施形態と同様の効果を奏する。

また、洗浄水の流れによって最上層 22A1 が他の層 22A2 ~ 22An よりも流動化しやすいため、第一流速 V1 の設定が容易となる。すなわち、最上層 22A1 のみを適切かつ簡単に流動化させることができ、洗浄時間の短縮化を図ることが可能となる。また、最上層 22A1 が他の層 22A2 ~ 22An よりも流動化しやすいことで、第一流速 V1 を低く抑えることができる。これにより、濾材層 22 を洗浄しても、濾材層 22 に生物膜をより維持しやすくなると共に、洗浄に使用する洗浄水の量を低減することも可能となる。

[0051] 〔第三実施形態〕

次に、本発明の第三実施形態について、図 6 を参照して、第一実施形態との相違点を中心に説明する。なお、第一実施形態と共通する構成については、同一符号を付し、その説明を省略する。

[0052] 図 6 に示すように、本実施形態の一次濾過装置 20B は、第一実施形態の一次濾過装置 20 の代わりに淡水化システム 1（図 1 参照）に設けられるものである。本実施形態の一次濾過装置 20B は、第一実施形態と同様の本体容器 21、濾材層 22、逆洗機構 50 を備える。ただし、本実施形態の濾材層 22 は、上流側から下流側に向かう方向に複数（図示例では二つ）の層 22B1, 22B2 に分割されている。

複数の層 22B1, 22B2 のうち最も上流側に位置する最上層 22B1 をなす濾材の粒径や比重は、例えば第二実施形態の場合と同様に、他の層 22B2 よりも小さく設定されてもよいし、例えば他の層 22B2 をなす濾材の粒径や比重と同等であってもよい。

また、本実施形態の一次濾過装置 20B は、最上層 22B1 と下流側に隣接する他の層 22B2 との間に設けられる混合防止材 28 を備える。混合防止材 28 は、最上層 22B1 と他の層 22B2 との混合を防ぐものであり、例えば海水や濾過水を通す網状部材である。

[0053] 本実施形態の一次濾過装置 20B によれば、第一実施形態と同様の効果を奏する。

また、最上層 2 2 B 1 及び他の層 2 2 B 2 との混合が防止されるため、第一流速 V 1（図 2 参照）で洗浄水を供給することで確実に最上層 2 2 B 1 のみを流動化させ、他の層 2 2 B 2 が流動化することを確実に抑えることができる。

[0054] 以上、本発明の詳細について説明したが、本発明は上述した実施形態に限定されるものではなく、本発明の趣旨を逸脱しない範囲において種々の変更を加えることができる。

例えば、上記実施形態の流速制御部 5 2 は、洗浄水濁度検出部 5 9 による濁度の検出結果に基づいて、洗浄水の流速を切り換えるが、例えば濾過工程 S 1 から洗浄工程 S 2 に切り換えられた後、所定時間経過した後に自動的に洗浄水の流速を切り換えてもよい。

また、流速制御部 5 2 による洗浄水の流速制御は、第一濾過装置 2 0 のみに適用されることに限らず、例えば第二濾過装置 3 0 に適用されてもよい。

[0055] さらに、上記実施形態では、二つの濾過装置 2 0，3 0 を用いた二段階の原水濾過を行っているが、浄化装置 1 0 を構成する生物膜濾過装置の数については、特に限定されることはなく、一段階または三段階以上としてもよい。この場合、本発明の生物膜濾過装置及びその洗浄方法は、第一段階または第一段階に近いものに適用することが望ましいが、特に限定されることはない。

また、本発明の生物膜濾過装置及びその洗浄方法は、淡水化システム 1 に適用されることに限らず、原水（対象液）に混入する混入物を除去する必要がある各種システムに適用することが可能である。

産業上の利用可能性

[0056] 本発明によれば、生物膜濾過装置の濾過機能の低下を抑制しつつ、濾材層の生物膜に付着した混入物を効率よく除去することができる。

符号の説明

[0057] 1 …淡水化システム、
2 0，2 0 A，2 0 B …一次生物膜濾過装置、

2 2 …濾材層、
2 2 A 1 , 2 2 B 1 …最上層、
2 2 A 2 ~ 2 2 A n , 2 2 B 2 …他の層、
2 8 …混合防止材、
3 0 …二次生物膜濾過装置、
4 0 …淡水化装置、
5 1 …洗浄水供給部、
5 2 …流速制御部（制御部）、
5 9 …洗浄水濁度検出部（検出部）、
S 1 1 …第一洗浄工程、
S 2 2 …第二洗浄工程、
V 1 …第一流速、
V 2 …第二流速

請求の範囲

- [請求項1] 濾材層に形成された生物膜により、上流側から流入させた対象液に混入する混入物を除去して下流側から濾過液を排出させる生物膜濾過装置であって、
- 前記濾材層の下流側から洗浄水を供給する洗浄水供給部と、
- 該洗浄水供給部によって供給される洗浄水の流速を制御する制御部と、を備え、
- 該制御部は、前記濾材層の上流側の所定範囲の層のみが流動化する第一流速で洗浄水を供給した後に、前記濾材層全体が流動化しない第二流速で洗浄水を供給することを特徴とする生物膜濾過装置。
- [請求項2] 前記洗浄水供給部によって供給された洗浄水の前記濾材層の上流側からの排出水の濁度を検出する検出部を備え、
- 前記制御部が、前記検出部による濁度の検出結果に基づいて前記洗浄水の流速を切り換えることを特徴とする請求項1に記載の生物膜濾過装置。
- [請求項3] 前記濾材層が、上流側から下流側に向かう方向に複数の層に分割され、
- 前記複数の層のうち最も上流側に位置する最上層の濾材の粒径及び比重の少なくとも一方が、前記最上層の下流側に位置する他の層の濾材よりも小さく設定され、
- 前記制御部による前記第一流速が、前記最上層のみを流動化させる流速であることを特徴とする請求項1又は請求項2に記載の生物膜濾過装置。
- [請求項4] 前記濾材層が、上流側から下流側に向かう方向に複数の層に分割され、
- 前記複数の層のうち最も上流側に位置する最上層と、該最上層の下流側に隣接する他の層との間に設けられ、前記最上層と前記他の層との混合を防ぐ混合防止材を備えることを特徴とする請求項1から請求

項3のいずれか一項に記載の生物膜濾過装置。

[請求項5] 請求項1から請求項4のいずれか一項に記載の生物膜濾過装置と、
 該生物膜濾過装置から排出された前記濾過液を淡水化する淡水化装置と、を備えることを特徴とする淡水化システム。

[請求項6] 濾材層に形成された生物膜により、上流側から流入させた対象液に混入する混入物を除去して下流側から濾過液を排出させる生物膜濾過装置に対し、前記濾材層の下流側から洗浄水を供給して前記濾材層を洗浄する生物膜濾過装置の洗浄方法であって、

 前記濾材層の上流側の所定範囲の層のみが流動化する第一流速で前記洗浄水を供給する第一洗浄工程と、

 該第一洗浄工程の後に、前記濾材層全体が流動化しない第二流速で前記洗浄水を供給する第二洗浄工程と、

 を含むことを特徴とする生物膜濾過装置の洗浄方法。