

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6084635号
(P6084635)

(45) 発行日 平成29年2月22日 (2017.2.22)

(24) 登録日 平成29年2月3日 (2017.2.3)

(51) Int.Cl.

F I

C O 2 F 1/44 (2006.01)

C O 2 F 1/44 A

B O 1 D 63/06 (2006.01)

B O 1 D 63/06

B O 1 D 65/02 (2006.01)

B O 1 D 65/02 5 2 O

C O 2 F 1/44 C

請求項の数 5 (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願2014-554240 (P2014-554240)
 (86) (22) 出願日 平成25年11月19日 (2013.11.19)
 (86) 国際出願番号 PCT/JP2013/081195
 (87) 国際公開番号 W02014/103565
 (87) 国際公開日 平成26年7月3日 (2014.7.3)
 審査請求日 平成27年9月15日 (2015.9.15)
 (31) 優先権主張番号 特願2012-288093 (P2012-288093)
 (32) 優先日 平成24年12月28日 (2012.12.28)
 (33) 優先権主張国 日本国 (JP)

(73) 特許権者 000002107
 住友重機械工業株式会社
 東京都品川区大崎二丁目1番1号
 (74) 代理人 100088155
 弁理士 長谷川 芳樹
 (74) 代理人 100113435
 弁理士 黒木 義樹
 (74) 代理人 100162640
 弁理士 柳 康樹
 (72) 発明者 江川 健
 神奈川県横須賀市夏島町19番地 住友重
 機械工業株式会社 横須賀製造所内

審査官 河野 隆一朗

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 水処理システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

複数の管状膜を有し、前記管状膜の内部に原水を流して前記原水を濾過する膜モジュールと、

前記原水の水源から前記膜モジュールへ前記原水を供給する原水供給部と、

前記原水に気体を供給し、前記膜モジュールに供給される前記原水を気液混相流とする気体供給部と、

少なくとも前記膜モジュールで濾過を行っているときに、前記原水に対する圧力抵抗が高められる圧力抵抗調整部と、

少なくとも、前記膜モジュールの入口側の圧力を検出する圧力検出部と、

前記原水供給部、前記気体供給部、及び前記圧力抵抗調整部を制御する制御部と、を備え、

前記圧力抵抗調整部は、前記原水供給部の下流側、又は前記原水供給部の上流側に設けられ、

前記圧力抵抗調整部は、弁の開度の変更によって前記圧力抵抗を変更可能であり、

前記制御部は、前記圧力検出部の検出値に基づいて、前記原水供給部及び前記気体供給部を制御すると共に、前記圧力抵抗調整部で前記圧力抵抗を設定する、水処理システム。

【請求項 2】

複数の管状膜を有し、前記管状膜の内部に原水を流して前記原水を濾過する膜モジュールと、

10

20

前記原水の水源から前記膜モジュールへ前記原水を供給する原水供給部と、
前記原水に気体を供給し、前記膜モジュールに供給される前記原水を気液混相流とする
気体供給部と、

少なくとも前記膜モジュールで濾過を行っているときに、前記原水に対する圧力抵抗が
高められる圧力抵抗調整部と、

前記水源と前記膜モジュールを接続し、前記原水を流通させるラインと、を備え、

前記圧力抵抗調整部は、前記ライン上に設けられ、

前記圧力抵抗調整部は、前記ラインの構成部材に比して前記圧力抵抗が高い高圧力抵抗
部材を有する、水処理システム。

【請求項 3】

10

複数の管状膜を有し、前記管状膜の内部に原水を流して前記原水を濾過する膜モジュールと、

前記原水の水源から前記膜モジュールへ前記原水を供給する原水供給部と、

前記原水に気体を供給し、前記膜モジュールに供給される前記原水を気液混相流とする
気体供給部と、

少なくとも前記膜モジュールで濾過を行っているときに、前記原水に対する圧力抵抗が
高められる圧力抵抗調整部と、を備え、

前記圧力抵抗調整部は、前記膜モジュールの複数の前記管状膜のそれぞれに対して設け
られ、

前記圧力抵抗調整部は、前記管状膜の内径よりも小さい内径を有する、水処理システム
。

20

【請求項 4】

前記原水供給部は、少なくとも前記膜モジュールにおける前記原水の流速が $0.05 \sim 0.25 \text{ m/s}$ となるように、前記原水を供給する、請求項 1 ~ 3 の何れか一項に記載の
水処理システム。

【請求項 5】

複数の管状膜を有し、前記管状膜の内部に原水を流して前記原水を濾過する膜モジュールと、

前記原水の水源から前記膜モジュールへ前記原水を供給する原水供給部と、

前記原水に気体を供給し、前記膜モジュールに供給される前記原水を気液混相流とする
気体供給部と、

30

少なくとも前記膜モジュールで濾過を行っているときに、前記原水に対する圧力抵抗が
高められる圧力抵抗調整部と、を備え、

前記圧力抵抗調整部は、前記原水供給部の下流側、又は前記原水供給部の上流側に設け
られ、

前記原水供給部は、少なくとも前記膜モジュールにおける前記原水の流速が $0.05 \sim 0.25 \text{ m/s}$ となるように、前記原水を供給し、

前記圧力抵抗調整部は、前記膜モジュールの前記管状膜での圧力損失が 100 mmAq
以上となるように設定される、水処理システム。

【発明の詳細な説明】

40

【技術分野】

【0001】

本発明は、水処理システムに関する。

【背景技術】

【0002】

膜モジュールを用いて原水の水処理を行う水処理システムとして、様々なものが知られて
いる。例えば、膜モジュールとして複数の管状膜を有するものを用い、原水を膜モジュール
で吸引濾過して固液分離を行うものが知られている。膜モジュールの管状膜によって
濾過された処理水は貯留槽に回収され、膜モジュールで濾過されずに通過した原水は水源
に戻される。また、例えば、特許文献 1 に示すように、原水に空気を混合し、気液混相流

50

とした原水を膜モジュールに流して水処理を行っている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開2007-245058号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

ここで、上述のような水処理システムで用いられる膜モジュールは、数十本から数百本の管状膜で構成されている。そのような膜モジュールに対して、原水に空気を混合した気液混相流を流す場合、膜モジュール内の多数の管状膜に均一に原水と空気が流れず、中には管状膜に空気が詰まることにより原水が全く流れないものも発生する。このように、原水が流れない管状膜が発生すると、実質的に濾過に寄与する管状膜の本数が減ることによって濾過効率が低下することに加え、吸引圧力によって付着した固体が乾燥することにより、管状膜の寿命が縮まるという問題が発生する。

10

【0005】

このような問題は、膜洗浄効果の高い気泡投入比率を保ちながら、動力削減のために原水の流速を小さくした場合に発生し易い。従って、空気量を少なくすると共に所定速度以上の流速で運転することによって、流速の勢いで気泡が管状膜中に詰まらないようにする方法が考えられる。しかしながら、当該方法を採用したとしても、複数の管状膜に均一に流すことができない場合がある。また、当該方法では、膜洗浄効果を高めることが出来ず、高い動力が必要となるという問題がある。

20

【0006】

本発明は、このような課題を解決するためになされたものであり、高い膜洗浄効率を保ちつつ、低い動力にて、複数の管状膜に均一に気液混相流の原水を流すことのできる水処理システム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】

ここで、本発明者らは、鋭意研究の結果、次の知見を見出すに至った。すなわち、本発明者らは、原水が通過するライン上の圧力抵抗を適切に高めることによって、膜モジュールの複数の管状膜に均一に気液混相流の原水を流すことができることを見出した。また、本発明者らは、当該方法によって、原水の循環速度を高くすることなく、且つ、空気量を少なくすることなく、複数の管状膜に原水を均一に流すことができることを見出した。

30

【0008】

そこで、本発明の一形態に係る水処理システムは、複数の管状膜を有し、管状膜の内部に原水を流して原水を濾過する膜モジュールと、原水の水源から膜モジュールへ原水を供給する原水供給部と、原水に気体を供給し、膜モジュールに供給される原水を気液混相流とする気体供給部と、少なくとも膜モジュールで濾過を行っているときに、原水に対する圧力抵抗が高められる圧力抵抗調整部と、を備え、圧力抵抗調整部は、原水供給部の下流側、又は原水供給部の上流側に設けられる。

40

【0009】

本発明の一形態に係る水処理システムは、少なくとも膜モジュールで濾過を行っているときに、原水に対する圧力抵抗が高められる圧力抵抗調整部を備えている。複数の管状膜の内部を気液混相流の原水が流れる時に管状膜間で圧力変動のばらつきが生じるとしても、当該圧力変動のばらつきの影響を無視できるように圧力抵抗調整部で圧力抵抗を高めることによって、圧力変動のばらつきに起因する不安定な原水の流れを抑制することができる。従って、膜モジュールが多数の管状膜を有している場合であっても、気液混相流の原水は各管状膜を均一に流れることができる。更に、膜洗浄効率を高くするために空気量を多くし、且つ、動力削減のために流速を小さくした場合であっても、気液混相流の原水は、各管状膜を均一に流れることができる。以上によって、水処理システムは、高い膜洗浄

50

効率を保ちつつ、低い動力にて、複数の管状膜に均一に気液混相流の原水を流すことができる。

【 0 0 1 0 】

圧力抵抗調整部は、膜モジュールの複数の管状膜のそれぞれに対して設けられてよい。これによって、気液混相流の原水は、より確実に各管状膜を均一に流れることができる。

【 0 0 1 1 】

原水供給部は、少なくとも膜モジュールにおける原水の流速が $0.05 \sim 0.25 \text{ m/s}$ となるように、原水を供給してよい。このように流速を小さくすることによって動力を削減することができる。

【 0 0 1 2 】

水処理システムは、少なくとも、膜モジュールの入口側の圧力を検出する圧力検出部と、原水供給部、気体供給部、及び圧力抵抗調整部を制御する制御部と、を更に備え、圧力抵抗調整部は、弁の開閉によって圧力抵抗を変更可能であり、制御部は、圧力検出部の検出値に基づいて、原水供給部及び気体供給部を制御すると共に、圧力抵抗調整部で圧力抵抗を設定してよい。これによって、制御部は、圧力検出部の検出値を取得することで、膜モジュールの入口側の圧力に基づいて、圧力抵抗調整部の圧力抵抗を設定することができる。従って、制御部は、気液混相流の原水が複数の管状膜を均一に流れ易い条件となるように、圧力抵抗を設定することが可能となる。

【 0 0 1 3 】

本発明の一形態に係る水処理システムは、複数の管状膜を有し、管状膜の内部に原水を流して原水を濾過する膜モジュールと、原水の水源から膜モジュールへ原水を供給する原水供給部と、原水に気体を供給し、膜モジュールに供給される原水を気液混相流とする気体供給部と、少なくとも膜モジュールで濾過を行っているときに、原水に対する圧力抵抗が高められる圧力抵抗調整部と、を備え、圧力抵抗調整部は、原水供給部の下流側、又は原水供給部の上流側に設けられ、原水供給部は、少なくとも膜モジュールにおける原水の流速が $0.05 \sim 0.25 \text{ m/s}$ となるように、原水を供給し、圧力抵抗調整部は、膜モジュールでの圧力損失が 100 mmAq 以上となるように設定される。

【 0 0 1 4 】

本発明の一形態に係る水処理システムは、少なくとも膜モジュールで濾過を行っているときに、原水に対する圧力抵抗が高められる圧力抵抗調整部を備えている。複数の管状膜の内部を気液混相流の原水が流れる時に管状膜間で圧力変動のばらつきが生じるとしても、当該圧力変動のばらつきの影響を無視できるように圧力抵抗調整部が、膜モジュールでの圧力損失が 100 mmAq 以上となるように設定されることによって、圧力変動のばらつきに起因する不安定な原水の流れを抑制することができる。従って、膜モジュールが多数の管状膜を有している場合であっても、気液混相流の原水は各管状膜を均一に流れることができる。更に、膜洗浄効率を高くするために空気量を多くし、且つ、動力削減のために流速を小さくした場合（少なくとも膜モジュールにおける原水の流速が $0.05 \sim 0.25 \text{ m/s}$ ）であっても、気液混相流の原水は、各管状膜を均一に流れることができる。以上によって、水処理システムは、高い膜洗浄効率を保ちつつ、低い動力にて、複数の管状膜に均一に気液混相流の原水を流すことができる。

【発明の効果】

【 0 0 1 5 】

本発明によれば、高い膜洗浄効率を保ちつつ、低い動力にて、複数の管状膜に均一に気液混相流を流すことができる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 6 】

【図 1】図 1 は、本発明の第 1 実施形態に係る水処理システムを示す概略構成図である。

【図 2】図 2 は、図 1 に示す圧力抵抗調整部の構造の一例を示す図である。

【図 3】図 3 は、図 2 に示す高圧力抵抗部材の構造の一例を示す図である。

【図 4】図 4 は、膜モジュールの複数のチューブラー膜に原水が流れる様子を示す概略図

10

20

30

40

50

である。

【図 5】図 5 (a) は、試験に用いた膜モジュール周辺の構成を示す概略図であって、原水がチューブラー膜の出口に達する前の状態を示す図であり、図 5 (b) は、原水がチューブラー膜の出口に達した状態を示す図である。

【図 6】図 6 は、第 2 実施形態に係る水処理システムの膜モジュール周辺の構成を示す概略図である。

【図 7】図 7 は、変形例に係る水処理システムの膜モジュール周辺の構成を示す概略図である。

【図 8】図 8 は、第 3 実施形態に係る水処理システムの膜モジュール周辺の構成を示す概略図である。

10

【図 9】図 9 は、絞り比と ζ_0 との関係を示すグラフである。

【図 10】図 10 は、実施例及び比較例の圧力損失とスラグ流分散率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】

【 0 0 1 7 】

以下、添付図面を参照しながら本発明による水処理システムの一実施形態を詳細に説明する。なお、図面の説明において同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

【 0 0 1 8 】

[第 1 実施形態]

20

図 1 は、第 1 実施形態に係る水処理システム 1 を示す概略構成図である。図 1 に示すように、水処理システム 1 は、膜モジュール 2 と、原水槽（原水の水源）3 と、原水ポンプ（原水供給部）4 と、流量計 6 と、空気ブロワ（気体供給部）7 と、圧力計（圧力検出部）8、9 と、濾過水槽 11 と、濾過ポンプ 12 と、逆洗ポンプ 13 と、圧力抵抗調整部 14 と、制御部 16 と、を備えている。膜モジュール 2 よりも上流側では、原水槽 3 と膜モジュール 2 とは、ライン L 1 で接続されている。膜モジュール 2 よりも下流側では、原水槽 3 と膜モジュール 2 とは、ライン L 2 で接続されている。

【 0 0 1 9 】

膜モジュール 2 は、原水を濾過して固液分離するためのモジュールである。膜モジュール 2 は、複数のチューブラー膜（管状膜）5 を有している。膜モジュール 2 は、複数のチューブラー膜 5 を束ねた状態で円筒状のケース 10 に収容することによって構成されている。膜モジュール 2 は、チューブラー膜 5 の内部に原水を流して当該原水を濾過する。チューブラー膜 5 は、内径が 3 ~ 20 mm 程度で、長さが 50 ~ 300 cm 程度のストロー状の膜であり、材質として、例えば、P V D F、P E などが挙げられる。一つ当りの膜モジュール 2 は、50 ~ 1000 本のチューブラー膜 5 を有している。ただし、これらの内径、長さ、本数は一例であって、この数値に限定されるものではなく、当該範囲より小さくてもよく、大きくてもよい。また、材質も一例であって、限定されない。

30

【 0 0 2 0 】

原水槽 3 は、水処理システム 1 で処理される原水を貯留する槽である。なお、原水の水源は、原水槽 3 に代えて、河川などであってもよい。この場合、ライン L 1 は、河川から直接原水を吸い上げ、ライン L 2 は、膜モジュール 2 を通過した原水を河川へ排出する。原水ポンプ 4 は、ライン L 1 に設けられており、原水槽 3 から原水を吸引し、膜モジュール 2 に供給する。なお、原水ポンプ 4 の配置は特に限定されず、ライン L 1、L 2 の何れかの位置に設けられている。流量計 6 は、ライン L 1 上に設けられ、原水ポンプ 4 で圧送される原水の流量を測定する。

40

【 0 0 2 1 】

空気ブロワ 7 は、原水に空気を供給し、膜モジュール 2 に供給される原水を気液混相流とする。空気ブロワ 7 は、ライン L 1 上であって、原水ポンプ 4 と膜モジュール 2 との間に設けられているが、膜モジュール 2 より上流側であれば、特に位置は限定されない。圧力計 8 は、膜モジュール 2 の上流側の圧力、具体的には、膜モジュール 2 の入口の直前の

50

圧力を検出する。圧力計 9 は、膜モジュール 2 の下流側の圧力、具体的には、膜モジュール 2 の出口の直後の圧力を検出する。例えば、原水の流れがスラグ流である場合の空気の供給量は、 $0.05 \sim 0.5 \text{ m/s}$ とすることができる。ただし、当該範囲で運転すれば、本システムのメリットが特に大きくなるものであるため、当該範囲に限定されるものではなく、例えば、 1.0 m/s や 2.0 m/s やそれ以上の供給量で運転してもよい。なお、ボイド率が $0.1 \sim 0.7$ 程度(後述の試験においては 0.4)でスラグ流になるため、空気の供給量を算出するためには、「ボイド率 $\times$ 空気流速 / (空気流速 + 水流速)」という式を用い、その領域になるように空気流速(空気の供給量)を設定してよい。例えば、水流速を動力削減のために、 0.1 m/s とする場合、ボイド率を 0.4 にするには空気の供給量を約 0.065 m/s とする。

10

【0022】

膜モジュール 2 のチューブラー膜 5 を流れる原水の流れは、小さな気泡が上昇していくバブル流であってもよく、潰れたような状態の縦長で弾丸状の気泡が形成されるスラグ流であってもよく、スラグ流から大小様々な気泡が混在するチャーン流であってもよい。

【0023】

濾過水槽 11 は、膜モジュール 2 のチューブラー膜 5 によって固液分離された処理水を貯留する槽である。濾過ポンプ 12 は、ケース 10 に接続されており、チューブラー膜 5 の外側から原水を吸引するためのポンプである。これによって、濾過ポンプ 12 は、チューブラー膜 5 で固液分離されてケース 10 内に流出する処理水を濾過水槽 11 へ供給する。逆洗ポンプ 13 は、ケース 10 に接続されており、濾過水槽 11 に貯留された濾過水を膜モジュール 2 へ逆流させることによって、チューブラー膜 5 の内部の洗浄を行う。濾過によって、膜モジュール 2 のチューブラー膜 5 の内部には原水中の汚泥が蓄積していくため、一定時間濾過した後、逆洗ポンプを駆動させることによって、チューブラー膜 5 の洗浄を行うことができる。

20

【0024】

圧力抵抗調整部 14 は、少なくとも膜モジュール 2 で濾過を行うときに、原水に対する圧力抵抗が高められる部分である。第 1 実施形態では、圧力抵抗調整部 14 は、圧力抵抗を高めることにより、膜モジュール 2 の入口部 2A での気液混相流である原水の圧力を高めることができる。これによって、圧力抵抗調整部 14 は、膜モジュール 2 の入口部 2A の圧力を大きくすることができる。

30

【0025】

圧力抵抗調整部 14 は、少なくともチューブラー膜 5 の入口 5a から、ライン L2 の下流側の端部(原水が大気開放される位置)までの合計の圧力損失を大きくする。すなわち、圧力抵抗調整部 14 は、例えば、チューブラー膜 5 の入口 5a と出口 5b との間の圧力損失、ライン L2 の屈曲や継手等による圧力損失、及び圧力抵抗調整部 14 での圧力損失の合計が、所定値以上となるように設定される。この合計の圧力損失は、各チューブラー膜 5 での圧力変動のばらつきを無視できる程度(圧力変動のばらつきの詳細については後述する)の値に設定される。具体的に、チューブラー膜 5 の入口 5a から圧力抵抗調整部 14 へ至る合計の圧力損失が 100 mmAq となるように、圧力抵抗調整部 14 を設定してよい。

40

【0026】

図 1 に示す実施形態では、圧力抵抗調整部 14 は、膜モジュール 2 の下流側のライン L2 に設けられている。ただし、圧力抵抗調整部 14 は、膜モジュール 2 の入口部 2A の圧力を高めることができる位置であれば特に限定はされず、ライン L2 のどの位置であってもよい。また、図 1 の例では、圧力抵抗調整部 14 は、一箇所のみに設けられているが、ライン上の複数力所に設けてもよい。

【0027】

第 1 実施形態においては、圧力抵抗調整部 14 は、少なくとも膜モジュール 2 で濾過を行っているときに、水処理システム 1 の原水のライン中で、最も圧力抵抗が高くなるように調整された部分である。例えば、ライン L1, L2 中で配管が屈曲する部分や、管の径

50

が細くなる部分や、膜モジュール 2 の入口部 2 A や出口部 2 B や、継手部分では、真っ直ぐな配管部分に比して圧力抵抗が高くなるが、圧力抵抗調整部 1 4 は、それらの部分に比して圧力抵抗が高い。

【 0 0 2 8 】

圧力抵抗調整部 1 4 は、圧力抵抗を変更可能に構成されていてもよく、製造時に圧力抵抗を調整されたら、その後は変更不可能に構成されていてもよい。すなわち、圧力抵抗調整部 1 4 は、少なくとも膜モジュール 2 で濾過を行っているとき、圧力抵抗が高められている状態に調整がなされていればよい。従って、圧力抵抗調整部 1 4 は、圧力抵抗を変更可能な場合は、膜モジュール 2 で濾過を行っていないとき、圧力抵抗を下げた状態としておいてもよい。

10

【 0 0 2 9 】

圧力抵抗調整部 1 4 は、圧力抵抗を高めることができる構造であればどのような構造を採用してもよく、例えば、図 2 に示すような構造を採用してよい。具体的には、図 2 (a) に示すように、電磁弁などの開閉弁 1 9 で構成される圧力抵抗調整部 1 4 A を採用してよい。圧力抵抗調整部 1 4 A は、開閉弁 1 9 の開度を変更することによって、圧力抵抗を変更可能である。すなわち、圧力抵抗調整部 1 4 A は、圧力抵抗を高めるときは開閉弁 1 9 の開度を下げ、圧力抵抗を戻す場合は開閉弁 1 9 の開度を上げる。

【 0 0 3 0 】

あるいは、図 2 (b) , (c) に示すように、圧力抵抗を変更不可能な高圧力抵抗部材 1 8 を用いた圧力抵抗調整部 1 4 B , 1 4 C を採用してもよい。圧力抵抗調整部 1 4 B では、ライン上に高圧力抵抗部材 1 8 が設けられており、製造時に圧力抵抗を調整されたら、当該圧力抵抗で固定される。圧力抵抗調整部 1 4 C は、高圧力抵抗部材 1 8 が設けられる一以上のラインと、高圧力抵抗部材 1 8 が設けられないラインとを、並列に有している。並列に設けられた高圧力抵抗部材 1 8 は各々異なる圧力抵抗に設定されており、圧力抵抗調整部 1 4 C では、弁の切り替えなどによって、最適な圧力抵抗に設定できるように、高圧力抵抗部材 1 8 を選択することができる。あるいは、圧力抵抗調整部 1 4 C では、膜モジュール 2 で濾過を行っていないときは、高圧力抵抗部材 1 8 が設けられていないラインを選択してよい。

20

【 0 0 3 1 】

高圧力抵抗部材 1 8 は、ライン中の通常の配管に比して圧力抵抗を高められるものであればどのような構造を採用してもよく、例えば、図 3 に示すような部材を採用してよい。図 3 (a) に示す高圧力抵抗部材 1 8 A は、配管を複数回屈曲させることによって圧力抵抗が高められている。あるいは、配管を螺旋状に巻くことによって圧力抵抗を高めてもよい。図 3 (b) に示す高圧力抵抗部材 1 8 B は、配管径を局部的に細くすることによって圧力抵抗が高められている。図 3 (c) に示す高圧力抵抗部材 1 8 C は、オリフィス構造となっており、配管中に一つもしくは複数の貫通孔を設けることによって圧力抵抗が高められている。

30

【 0 0 3 2 】

制御部 1 6 は、水処理システム 1 全体の運転制御を行う。制御部 1 6 は、原水ポンプ 4 、流量計 6 、空気ブロワ 7 、圧力計 8 , 9 、濾過ポンプ 1 2 、逆洗ポンプ 1 3 、及び圧力抵抗調整部 1 4 と電氣的に接続されている。ただし、圧力抵抗調整部 1 4 が圧力抵抗を変更不可能な場合は、電氣的に接続されていなくともよい。制御部 1 6 は、膜モジュール 2 で濾過を行うときは、圧力計 8 , 9 の検出値に基づいて、原水ポンプ 4 、空気ブロワ 7 、濾過ポンプ 1 2 を制御すると共に、圧力抵抗調整部 1 4 で圧力抵抗を設定する。制御部 1 6 は、膜モジュールの逆洗を行うときは、逆洗ポンプ 1 3 を制御する。

40

【 0 0 3 3 】

次に、水処理システム 1 が原水の水処理を行うときの動作手順の一例について説明する。

【 0 0 3 4 】

まず、制御部 1 6 は、原水ポンプ 4 及び空気ブロワ 7 を起動させる。原水ポンプ 4 は、

50

原水槽 3 から原水を吸引すると共にライン L 1 を介して膜モジュール 2 へ原水を供給する。空気ブロワ 7 は、原水に空気を供給することで原水を気液混相流とする。このとき、原水循環速度は、低い速度に設定することができる。具体的には、原水ポンプ 4 は、少なくともチューブラー膜 5 における原水の流速が 0.05 m/s 以上となるように原水を供給してよく、 0.1 m/s 以上となるように原水を供給してよい。また、原水ポンプ 4 は、少なくともチューブラー膜 5 における原水の流速が 0.25 m/s 以下となるように原水を供給してよく、 0.3 m/s 以下、 0.5 m/s 以下となるように原水を供給してよい。また、空気ブロワ 7 による気泡投入比率(ボイド率)を高くすることができ、 $0.1 \sim 0.7$ 程度、より好ましくは $0.3 \sim 0.5$ 程度に設定することができる。また、制御部 16 は、濾過ポンプ 12 を起動させる。濾過ポンプ 12 のフラックスは、 $0.5 \sim 3.0 \text{ m/d}$ 程度に設定される。ただし、原水循環速度、気泡投入比率、フラックスは上述の数値範囲に限定されるものではなく、当該数値範囲より小さくともよく、大きくともよい。

10

【0035】

制御部 16 は、膜モジュール 2 の入口側の圧力計 8 による検出値及び出口側の圧力計 9 の検出値を取得する。制御部 16 は、これらの検出結果に基づいて、圧力抵抗調整部 14 の圧力抵抗を設定する。すなわち、制御部 16 は、入口側の圧力と出口側の圧力の圧力差が所定の目標値に達していないときは、圧力抵抗調整部 14 の圧力抵抗を高める。あるいは、制御部 16 は、運転開始の時点で圧力抵抗調整部 14 を所定の圧力抵抗となるように設定しておき、運転中に圧力計 8, 9 の検出値を監視しながら、圧力抵抗の微調整を行ってもよい。

20

【0036】

膜モジュール 2 の各チューブラー膜 5 に均一に原水を流すことができるときの入口側及び出口側の好適な圧力は、水処理システム 1 のライン中の配管の径や屈曲具合や継手の数などによって異なるが、膜モジュール 2 の入口部 2A 付近の圧力は、第 1 実施形態においては、 $10 \sim 20 \text{ kPa}$ 程度であることが好ましく、出口部 2B 付近の圧力は、 $0 \sim 10 \text{ kPa}$ 程度であることが好ましい。ただし、これらの数値はシステムの各種条件によって変動するものであるため、当該数値範囲に限定されるものではない。なお、膜モジュール 2 の入口側と出口側の圧力差に基づいて圧力抵抗調整部 14 を制御することがより好ましいが、入口側の圧力、すなわち圧力計 8 の検出値のみに基づいて制御してもよい。

【0037】

次に、本実施形態に係る水処理システム 1 の作用・効果について説明する。

30

【0038】

まず、従来の水処理システムについて説明する。従来の水処理システムは、図 1 に示す水処理システム 1 から圧力抵抗調整部 14 を除いた構成を有する。

【0039】

上述のように、膜モジュール 2 は、数十本から数百本の管状膜で構成されている。従来の水処理システムにおいて、そのような膜モジュール 2 に対して、原水に空気を混合した気液混相流を流す場合、図 4(a) に示すように、膜モジュール 2 内の多数のチューブラー膜 5 に均一に原水と空気が流れず、中にはチューブラー膜 5 に空気が詰まることにより原水が全く流れないものも発生する。このように、原水が流れないチューブラー膜 5 が発生すると、実質的に濾過に寄与するチューブラー膜 5 の本数が減ることによって濾過効率が低下することに加え、吸引圧力によって付着した固体が乾燥することにより、チューブラー膜 5 の寿命が縮まるという問題が発生する。

40

【0040】

このような問題は、膜洗浄効果の高い気泡投入比率を保ちながら、動力削減のために原水の流速を小さくした場合に発生し易い。従って、空気量を少なくすると共に所定速度以上の流速で運転することによって、流速の勢いで気泡が管状膜中に詰まらないようにする方法が考えられる。しかしながら、当該方法を採用したとしても、複数のチューブラー膜 5 に均一に流すことができない場合がある。また、当該方法では、空気量が少ないために膜洗浄効果を高めることが出来ず、高い動力が必要となるため、原水ポンプ 4 を大きくし

50

なければならないという問題がある。

【 0 0 4 1 】

ここで、気液混相流の原水を複数のチューブラー膜 5 に均一に流すことができないことを確認するための試験について、図 5 を参照して説明する。図 5 (a) 及び図 5 (b) に示すように、複数のチューブラー膜 5 は、入口 5 a 側で上流側の接続部 2 1 に接続され、出口 5 b 側で下流側の接続部 2 2 に接続されている。接続部 2 1 に流れ込んだ原水は、分岐されて各チューブラー膜 5 の入口 5 a から内部へ流れる。また、各チューブラー膜 5 の内部を流れた原水は、出口 5 b から排出されて接続部 2 2 で合流する。なお、図 5 に示す例では、チューブラー膜 5 は、入口 5 a が下側に配置され、出口 5 b が上側に配置されるように上下方向に延びている。

10

【 0 0 4 2 】

まず、第 1 の試験では、図 5 (a) に示すように、原水が流れていない状態のチューブラー膜 5 に対して、気液混相流の原水を供給した。このとき、チューブラー膜 5 での流速が 0.1 m/s となるように原水を供給した。このとき、原水は各チューブラー膜 5 に均一な気液混相流として流れ、原水の水面は各チューブラー膜 5 の内部を上昇した。図 5 (b) に示すように、原水の水面がチューブラー膜 5 の出口 5 b に達すると、一部のチューブラー膜 5 (図ではチューブラー膜 5 B) において、エアリフト効果により気泡の急激な加速が発生した。また、一部のチューブラー膜 5 で気泡の急激な加速が発生することにより、圧力のバランスが崩れ、他のチューブラー膜 5 では上下振動や逆流が発生した。

【 0 0 4 3 】

20

また、第 2 の試験では、図 5 (a) , (b) に示す膜モジュール 2 から、上流側の接続部 2 2 を除き、各チューブラー膜 5 の出口 5 b を開放させたものを準備した。このような膜モジュール 2 について、原水が流れていない状態のチューブラー膜 5 に対して、気液混相流の原水を供給した。このとき、原水は各チューブラー膜 5 に入り込み、原水の水面は各チューブラー膜 5 の内部を上昇した。第 2 の試験においても、エアリフト効果により一部のチューブラー膜 5 で気泡の急激な加速が発生することにより、圧力のバランスが崩れ、他のチューブラー膜 5 では上下振動や逆流が発生した。

【 0 0 4 4 】

また、第 3 の試験では、図 5 (a) , (b) に示す膜モジュール 2 を用いた。原水が流れていない状態のチューブラー膜 5 に対して、微小な流速またはほぼ流速 0 m/s にて気液混相流の原水を供給した。このとき、原水は各チューブラー膜 5 に均一な気液混相流として流れた。第 3 の試験においても、エアリフト効果により一部のチューブラー膜 5 で気泡の急激な加速が発生することにより、圧力のバランスが崩れ、他のチューブラー膜 5 では上下振動や逆流が発生した。

30

【 0 0 4 5 】

また、第 4 の試験では、図 5 (a) , (b) に示す膜モジュール 2 を用いた。少なくともチューブラー膜 5 での流速を 0.1 m/s にして原水を膜モジュール 2 に供給した。膜モジュール 2 に原水が満たされた状態で、空気ブロー 7 で空気を供給した。気泡は各チューブラー膜 5 へ入りこんだ。しかしながら、第 4 の試験においても、気泡がチューブラー膜 5 の出口 5 b に達すると、エアリフト効果により一部のチューブラー膜 5 で気泡の急激な加速が発生することにより、圧力のバランスが崩れ、他のチューブラー膜 5 では上下振動や逆流が発生した。

40

【 0 0 4 6 】

また、第 5 の試験では、図 5 (a) , (b) に示す膜モジュール 2 を用いた。少なくともチューブラー膜 5 での流速を 0.5 m/s にして十分な流速で原水を膜モジュール 2 に供給した。膜モジュール 2 に原水が満たされた状態で、空気ブロー 7 で空気を供給した。気泡は各チューブラー膜 5 へ入りこみ、気泡がチューブラー膜 5 の出口 5 b に達しても、一部のチューブラー膜 5 で上下振動や逆流が発生することなく、各チューブラー膜 5 に気液混相流が均一に流れた。

【 0 0 4 7 】

50

なお、上述の試験では、マノメータを用いて各チューブラー膜 5 での圧力を観察した。例えば、図 5 (a) 及び図 5 (b) に示すように、複数のチューブラー膜 5 のうち一部のチューブラー膜 5 A の入口 5 a 側にマノメータ M L 1 を取り付けると共に、出口 5 b 側にマノメータ M L 2 を取り付けた。マノメータ M L 1 , M L 2 の水面高さは、当該マノメータ M L 1 , M L 2 が取り付けられた位置での圧力を示している。例えば、気液混相流がチューブラー膜 5 A の出口 5 b に達してエアリフトが発生して圧力のバランスが崩れると、チューブラー膜 5 B のマノメータ M L 1 , M L 2 の水面が上下に大きく振動する。

【 0 0 4 8 】

以上の試験より、各チューブラー膜 5 の圧力にばらつきが生じていることが理解された。これらのばらつきは、各チューブラー膜 5 の製品規格 (厚さ、長さ、たわみなど) の誤差によるものではなく、気泡が各チューブラー膜 5 にランダムに入り込むことによって生じる各チューブラー膜 5 の圧力変動のばらつきと考えられ得る。

【 0 0 4 9 】

ここで、本発明者らは、鋭意研究の結果、次の知見を見出すに至った。すなわち、本発明者らは、原水が通過するライン上の圧力抵抗を適切に高めることによって、膜モジュール 2 の複数のチューブラー膜に均一に気液混相流の原水を流すことができることを見出した。また、本発明者らは、当該方法によって、原水の循環速度を高くすることなく、且つ、空気量を少なくすることなく、複数のチューブラー膜 5 に原水を均一に流すことができることを見出した。すなわち、各チューブラー膜 5 での圧力変動のばらつきを無視できる程度にまで圧力抵抗を高めることで、圧力変動のばらつきに起因する不安定な原水の流れを抑制し、気液混相流の原水を各チューブラー膜 5 に対して均一に流すことが出来る点を見出した。

【 0 0 5 0 】

そこで、本実施形態に係る水処理システム 1 は、少なくとも膜モジュール 2 で濾過を行っているときに、原水に対する圧力抵抗が高められる圧力抵抗調整部 1 4 を備えている。複数のチューブラー膜 5 の内部を気液混相流の原水が流れる時にチューブラー膜 5 間で圧力変動のばらつきが生じるとしても、当該圧力変動のばらつきの影響を無視できるように圧力抵抗調整部 1 4 で圧力抵抗を高めることによって、圧力変動のばらつきに起因する不安定な原水の流れを抑制することができる。例えば、圧力抵抗調整部 1 4 で圧力抵抗が高められていることで、膜モジュール 2 内にある個々のチューブラー膜 5 の圧力変動のばらつきが無視され、エアリフトの発生が抑えられ、気泡が膜モジュール 2 内を均一に流れる。従って、膜モジュール 2 が多数のチューブラー膜 5 を有している場合であっても、気液混相流の原水は各チューブラー膜 5 を均一に流れることができる。更に、膜洗浄効率を高くするために空気量を多くし、且つ、動力削減のために流速を小さくした場合 (例えば、少なくとも膜モジュールにおける原水の流速が $0.05 \sim 0.25 \text{ m/s}$) であっても、気液混相流の原水は、各チューブラー膜 5 を均一に流れることができる。以上によって、水処理システム 1 は、高い膜洗浄効率を保ちつつ、低い動力にて、複数のチューブラー膜 5 に均一に気液混相流の原水を流すことができる。

【 0 0 5 1 】

また、本実施形態に係る水処理システムに 1 おいて、少なくとも、膜モジュール 2 の入口側及び出口側の圧力を検出する圧力計 8 , 9 と、原水ポンプ 4、空気ブロウ 7、及び圧力抵抗調整部 1 4 を制御する制御部 1 6 と、を備えている。また、圧力抵抗調整部 1 4 は、弁の開閉によって圧力抵抗を変更可能であり、制御部 1 6 は、圧力計 8 , 9 の検出値に基づいて、原水ポンプ 4 及び空気ブロウ 7 を制御すると共に、圧力抵抗調整部 1 4 で圧力抵抗を設定してよい。これによって、制御部 1 6 は、圧力計 8 , 9 の検出値を取得することで、膜モジュール 2 の入口側の圧力に基づいて、圧力抵抗調整部 1 4 の圧力抵抗を設定することができる。従って、制御部 1 6 は、気液混相流の原水が複数の管状膜を均一に流れ易い条件となるように、圧力抵抗を設定することが可能となる。

【 0 0 5 2 】

[第 2 実施形態]

図 6 を参照して、第 2 実施形態に係る水処理システム 100 について説明する。第 2 実施形態に係る水処理システム 100 は、圧力抵抗調整部 50 が複数のチューブラー膜 5 のそれぞれに対して設けられる点で、第 1 実施形態に係る水処理システム 1 と主に相違する。圧力抵抗調整部 50 は、少なくともチューブラー膜 5 の入口 5 a から、ライン L 2 の下流側の端部（原水が大気開放される位置）までの合計の圧力損失を大きくする。第 1 実施形態に係る水処理システム 1 では、各チューブラー膜 5 へ分岐した原水が再び合流するライン L 2 での圧力損失を大きくするものあったが、第 2 実施形態に係る水処理システム 100 の圧力抵抗調整部 50 は、複数のチューブラー膜 5 の一つ一つでの圧力損失を大きくしている。なお、水処理システム 100 は、第 1 実施形態の圧力抵抗調整部 14 がライン L 2 に設けられておらず、チューブラー膜 5 に圧力抵抗調整部 50 が設けられている点以外は、図 1 に示す第 1 実施形態の水処理システム 1 と同様な構成を有している。

【0053】

図 6 に示すように、複数のチューブラー膜 5 は、入口 5 a 側で上流側の接続部 21 に接続され、出口 5 b 側で下流側の接続部 22 に接続されている。接続部 21 に流れ込んだ原水は、分岐されて各チューブラー膜 5 の入口 5 a から内部へ流れる。また、各チューブラー膜 5 の内部を流れた原水は、出口 5 b から排出されて接続部 22 で合流する。このような膜モジュール 2 の各チューブラー膜 5 に対して、圧力抵抗調整部 50 としてオリフィス 51 が設けられる。オリフィス 51 は、チューブラー膜 5 の下流側の端部、すなわち出口 5 b に設けられている。ただし、オリフィス 51 は、1 本当たりのチューブラー膜 5 の合計の圧力損失を大きくすることができればどの位置に設けられていてもよく、出口 5 b と入口 5 a との間の領域のいずれの位置に設けられてもよい。また、一本当たりのチューブラー膜 5 に対して設けられるオリフィス 51 の数も限定されず、複数設けてもよい。なお、原水ポンプ 4 がライン L 1 に設けられる場合は、圧力抵抗調整部 50 は原水ポンプ 4 の下流側に設けられることとなり、原水ポンプ 4 がライン L 2 に設けられる場合は、圧力抵抗調整部 50 は原水ポンプ 4 の上流側に設けられることとなる。

【0054】

オリフィス 51 は、チューブラー膜 5 の内径よりも小さい内径を有しており、このように部分的に内径を小さくすることによって圧力損失を大きくする。チューブラー膜 5 での圧力損失は、本研究条件では、流速 0.1 m/s のときに約 20 mmAq である。ただし、このような数値に限定されるものではない。

【0055】

圧力抵抗調整部 50 は、膜モジュール 2 のチューブラー膜 5 での圧力損失が 100 mmAq 以上となるように設定されてよい。このような数値範囲とすることによって、気液混相流の原水を各チューブラー膜 5 に均一に流すことができる。ただし、このような数値に限定されるものではない。また、膜モジュール 2 のチューブラー膜 5 での圧力損失の上限値は、使用する装置の条件によって変化するものであるが、例えば 4000 mmAq 以下となるように圧力抵抗調整部 50 が設定されてよい。ただし、このような数値に限定されるものではない。このような数値範囲とすることによって、原水ポンプ 4 の動力を必要以上に高めることなく所望の流速で原水を供給することができる。

【0056】

オリフィス 51 のように内径を小さくすることによる圧力損失 (Δh) は、例えば、以下の式 (1) 及び式 (2) から導き出される式 (3) によって演算することができる。なお、式において、 v_0 はオリフィス 51 での原水の流速、 d_0 はオリフィス 51 の内径、 v はチューブラー膜 5 での原水の流速、 d はチューブラー膜 5 の内径である。

$$\Delta h = \zeta_0 \cdot v_0^2 / 2g = \zeta \cdot v^2 / 2g \quad \dots (1)$$

$$\zeta = \zeta_0 (d / d_0)^4 \quad \dots (2)$$

$$\Delta h = \zeta_0 \cdot (d / d_0)^4 \cdot v^2 / 2g \quad \dots (3)$$

【 0 0 5 7 】

以上のように、本実施形態に係る水処理システム 1 0 0 は、膜モジュール 2 において原水に対する圧力抵抗が高められる圧力抵抗調整部 5 0 を備えている。複数のチューブラー膜 5 の内部を気液混相流の原水が流れる時にチューブラー膜 5 間で圧力変動のばらつきが生じるとしても、当該圧力変動のばらつきの影響を無視できるように圧力抵抗調整部 5 0 で圧力抵抗を高めることによって、圧力変動のばらつきに起因する不安定な原水の流れを抑制することができる。具体的には、圧力抵抗調整部 5 0 が、膜モジュール 2 での圧力損失が 1 0 0 m m A q 以上となるように設定されることによって、圧力変動のばらつきに起因する不安定な原水の流れを抑制することができる。従って、膜モジュール 2 が多数のチューブラー膜 5 を有している場合であっても、気液混相流の原水は各チューブラー膜 5 を均一に流れることができる。更に、膜洗浄効率を高くするために空気量を多くし、且つ、動力削減のために流速を小さくした場合（例えば、少なくとも膜モジュール 2 における原水の流速が 0 . 0 5 ~ 0 . 2 5 m / s ）であっても、気液混相流の原水は、各チューブラー膜 5 を均一に流れることができる。以上によって、水処理システム 1 は、高い膜洗浄効率を保ちつつ、低い動力にて、複数のチューブラー膜 5 に均一に気液混相流の原水を流すことができる。

10

【 0 0 5 8 】

また、圧力抵抗調整部 5 0 は、膜モジュール 2 の複数のチューブラー膜 5 のそれぞれに対して設けられている。これによって、気液混相流の原水は、より確実に各チューブラー膜 5 を均一に流れることができる。

20

【 0 0 5 9 】

なお、内径を小さくすることによって圧力損失を大きくするための圧力抵抗調整部 5 0 としてオリフィス 5 1 を例示した。しかし、圧力抵抗調整部 5 0 は、オリフィス 5 1 に限定されず、図 7 に示す水処理システム 2 0 0 のように、チューブラー膜 5 自体の内径を部分的に小さくした小径部 5 4 であってもよい。小径部 5 4 の内径は、チューブラー膜 5 の基本部 5 3（図 6 の形態でのチューブラー膜 5 に相当する圧力損失を有する部分であり、小径部 5 4 と区別するために便宜的に「基本部」と称する）の内径よりも小さい。図 7 では、小径部 5 4 はチューブラー膜 5 の出口 5 b に設けられている。ただし、小径部 5 4 は、1 本当たりのチューブラー膜 5 の合計の圧力損失を大きくすることができればどの位置に設けられていてもよく、出口 5 b と入口 5 a との間の領域のいずれの位置に設けられてもよい。また、一本当たりのチューブラー膜 5 に対して設けられる小径部 5 4 の数も限定されず、複数設けてもよい。また、小径部 5 4 の長さは特に限定されない。例えば、チューブラー膜 5 全体を小径部 5 4 としてもよい。また、オリフィス 5 1 と小径部 5 4 を組み合わせてもよい。

30

【 0 0 6 0 】

〔 第 3 実施形態 〕

図 8 を参照して、第 3 実施形態に係る水処理システム 3 0 0 について説明する。第 3 実施形態に係る水処理システム 3 0 0 は、圧力抵抗調整部 5 0 としてチューブラー膜 5 を長くした延長部 5 6 を採用した点で、第 2 実施形態に係る水処理システム 1 0 0 と相違する。延長部 5 6 は、基本部 5 3 のみによって構成されるチューブラー膜に比して、チューブラー膜 5 全体を長くすることによって設けられる。なお、基本部 5 3 とは、図 6 の形態でのチューブラー膜 5 に相当する長さ（圧力損失）を有する部分である。基本部 5 3 での圧力損失は、本研究条件では、流速 0 . 1 m / s のときに約 2 0 m m A q である。延長部 5 6 は、摩擦によって圧力損失を大きくするものである。本実施形態の圧力抵抗調整部 5 0 の圧力損失の数値範囲は、第 2 実施形態に係る圧力抵抗調整部 5 0 による圧力損失の数値範囲と同様である。

40

【 0 0 6 1 】

具体的に、延長部 5 6 を有するチューブラー膜 5 のように摩擦によって得られる圧力損失（ Δh ）は、以下の式（4）によって演算することができる。なお、式において、 f は

50

チューブラー膜 5 の摩擦係数であり、 l はチューブラー膜 5 の長さである。

$$\Delta h = f \cdot (l / d) \cdot v^2 / 2g \quad \dots (4)$$

【0062】

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、図 1 は水処理システムのシステム構成の一例に過ぎず、異なるシステム構成を採用してもよい。また、圧力抵抗調整部 14 の圧力抵抗は、圧力計 8, 9 の検出値に基づいて設定しなくともよく、運転開始時に所定の圧力抵抗に設定した後に濾過を開始してもよい。

【0063】

また、圧力抵抗調整部は、第 2 実施形態で例示したように径を小さくすることで圧力損失を大きくする方法と、第 3 実施形態で例示したように摩擦によって圧力抵抗を大きくする方法とを組み合わせてもよい。

【0064】

[実施例]

以下、実施例により本発明を詳細に説明するが、本発明はこれらの実施例に限定されるものではない。

【0065】

まず、圧力損失の演算の具体的な例について説明する。まず、チューブラー膜の内径 (d) を 4 mm とし、チューブラー膜の長さを 1 m とし、圧力抵抗調整部として絞り比 (d_0 / d) を 0.35 としたオリフィスを用いる。この場合、図 9 のグラフを用いて $\zeta_0 = 2.3$ という値が得られる。これらの値を式 (3) へ代入することで、圧力抵抗調整部の圧力損失が、 $\Delta h = 78 \text{ mm Aq}$ (約 80 mm Aq) と算出される。

【0066】

次に、摩擦による圧力損失が上述のオリフィスの 78 mm Aq (約 80 mm Aq) に等しくなるような延長部の長さを算出する。本研究での運転条件においては、式 (4) に対して、摩擦係数 $f = (Re / 84) = 0.16$ 、チューブラー膜 5 の内径 $d = 4 \text{ mm}$ 、圧力損失 $\Delta h = 78 \times 10^{-3} \text{ m Aq}$ (78 mm Aq) を代入することで、 $l = 3.8$ (約 4 m) という値が得られる。すなわち、約 4 m の延長部によって約 80 mm Aq の圧力損失を得られるため、チューブラー膜は 1 m 当り約 20 mm Aq の圧力損失に対応する。このとき、チューブラー膜のうち基本部に対応する部分の長さは 1 m であるため、基本部での圧力損失は約 20 mm Aq となる。従って、オリフィスを設けた 1 m のチューブラー膜と、1 m の基本部に 4 m の延長部を設けたチューブラー膜 (合計 5 m のチューブラー膜) は、いずれも圧力損失が 100 mm Aq となる。以下の実施例及び比較例では、それぞれ延長部の条件またはオリフィスの条件が異なっているが、式 (3) または式 (4) を用いることで圧力損失を算出することができる。

【0067】

[実施例 1]

基本部の内径 (d) を 4 mm とし、基本部の長さを 1 m とし、摩擦係数 (f) を 0.16 とし、延長部の長さを 4 m (内径は 4 mm) とし、出口に内径が 4 mm (すなわち絞り比 = 1) のオリフィスを設けたチューブラー膜を準備した。このときの、摩擦による圧力損失 (延長部と基本部の合計の圧力損失) は 100 mm Aq であり、オリフィスによる圧力損失は 0 mm Aq であった。従って、チューブラー膜の合計の圧力損失、すなわち基本部及び圧力抵抗調整部の合計の圧力損失は 100 mm Aq であった。また、膜モジュールのチューブラー膜の本数を 29 とした。また、空気を約 0.065 m/s で供給してスラグ流とし、チューブラー膜での流速が 0.1 m/s となるように設定した。このような条件下で運転を行った結果、29 本のチューブラー膜のうち、28 本のチューブラー膜にスラグ流が流れていることを確認した。全体のチューブラー膜の本数に対する、スラグ流が流れているチューブラー膜の本数の割合を「スラグ流分散率」として算出し、図 10 に示すグラフにプロットした。なお、このときのスラグ流分散率は 96.6% と算出された。

10

20

30

40

50

【 0 0 6 8 】

[実施例 2]

基本部の内径 (d) を 4 mm とし、基本部の長さを 1 m とし、摩擦係数 (f) を 0 . 1 6 とし、延長部の長さを 0 m とし、出口に内径が 1 mm (すなわち絞り比 = 0 . 2 5) のオリフィスを設けたチューブラー膜を準備した。このときの、摩擦による圧力損失 (基本部の圧力損失) は 2 0 mm A q となり、オリフィスによる圧力損失は 3 2 7 mm A q となった。従って、チューブラー膜の合計の圧力損失、すなわち基本部及び圧力抵抗調整部の合計の圧力損失は 3 4 7 mm A q であった。また、膜モジュールのチューブラー膜の本数を 3 0 とし、当該膜モジュールを 4 個準備した。空気を約 0 . 0 6 5 m / s で供給してスラグ流とし、チューブラー膜での流速が 0 . 1 m / s となるように設定した。4 個の膜モジュールについての結果を図 1 0 に示すグラフ上にプロットして示す。

10

【 0 0 6 9 】

[実施例 3]

基本部の長さを 0 . 6 m とした点以外、実施例 2 と同様の条件とした。このときの、摩擦による圧力損失 (基本部の圧力損失) は 1 2 mm A q となり、オリフィスによる圧力損失は 3 2 7 mm A q となった。従って、チューブラー膜の合計の圧力損失、すなわち基本部及び圧力抵抗調整部の合計の圧力損失は 3 3 9 mm A q であった。このような 4 個の膜モジュールについての結果を図 1 0 に示すグラフ上にプロットして示す。

【 0 0 7 0 】

[実施例 4]

基本部の内径を 8 mm とし、オリフィスの内径を 2 mm (すなわち絞り比 = 0 . 2 5) とした点以外、実施例 2 と同様の条件とした。このときの、摩擦による圧力損失 (基本部の圧力損失) は 1 0 mm A q となり、オリフィスによる圧力損失は 3 2 7 mm A q となった。従って、チューブラー膜の合計の圧力損失、すなわち基本部及び圧力抵抗調整部の合計の圧力損失は 3 3 7 mm A q であった。このような 4 個の膜モジュールについての結果を図 1 0 に示すグラフ上にプロットして示す。

20

【 0 0 7 1 】

[実施例 5]

オリフィスの内径を 2 mm (すなわち絞り比 = 0 . 5) とした点以外、実施例 2 と同様の条件とした。このときの、摩擦による圧力損失 (基本部の圧力損失) は 2 0 mm A q となり、オリフィスによる圧力損失は 1 5 mm A q となった。従って、チューブラー膜の合計の圧力損失、すなわち基本部及び圧力抵抗調整部の合計の圧力損失は 3 5 mm A q であった。このような 4 個の膜モジュールについての結果を図 1 0 に示すグラフ上にプロットして示す。

30

【 0 0 7 2 】

[実施例 6]

基本部の長さを 0 . 6 m とし、オリフィスの内径を 2 mm (すなわち絞り比 = 0 . 5) とした点以外、実施例 2 と同様の条件とした。このときの、摩擦による圧力損失 (基本部の圧力損失) は 1 2 mm A q となり、オリフィスによる圧力損失は 1 5 mm A q となった。従って、チューブラー膜の合計の圧力損失、すなわち基本部及び圧力抵抗調整部の合計の圧力損失は 2 7 mm A q であった。このような 4 個の膜モジュールについての結果を図 1 0 に示すグラフ上にプロットして示す。

40

【 0 0 7 3 】

[実施例 7]

基本部の内径を 8 mm とし、オリフィスの内径を 4 mm (すなわち絞り比 = 0 . 5) とした点以外、実施例 2 と同様の条件とした。このときの、摩擦による圧力損失 (延長部と基本部の合計の圧力損失) は 1 0 mm A q となり、オリフィスによる圧力損失は 1 5 mm A q となった。従って、チューブラー膜の合計の圧力損失、すなわち基本部及び圧力抵抗調整部の合計の圧力損失は 2 5 mm A q であった。このような 4 個の膜モジュールについての結果を図 1 0 に示すグラフ上にプロットして示す。

50

【 0 0 7 4 】

〔 比較例 〕

オリフィスの内径を 4 mm、すなわち絞り比 = 1 であり実質的に圧力抵抗の調整を行っていない構成とした点以外、実施例 2 と同様の条件とした。このときの、摩擦による圧力損失（基本部の圧力損失）は 2 0 mm A q となり、オリフィスによる圧力損失は 0 mm A q となった。従って、チューブラー膜の合計の圧力損失、すなわち基本部の圧力損失は 2 0 mm A q であった。このような 4 個の膜モジュールについての結果を図 1 0 に示すグラフ上にプロットして示す。

【 0 0 7 5 】

（ 評価 ）

10

図 1 0 のグラフに示すように、比較例に比して、チューブラー膜において圧力抵抗調整部で圧力損失を大きくした各実施例の方が、スラグ流分散率が高い。従って、実施例では、比較例に比してスラグ流を各チューブラー膜に均一に流すことができる点が理解される。また、実施例 1 ～ 実施例 4 の結果より、チューブラー膜での圧力損失が 1 0 0 mm A q 以上となるように圧力抵抗調整部を設定した場合、スラグ流分散率を 9 0 % 以上とすることができ、スラグ流を各チューブラー膜に均一に流すことができる点が理解される。

【 産業上の利用可能性 】

【 0 0 7 6 】

本発明は、複数の管状膜を有する膜モジュールを用いた水処理システムに利用可能である。

20

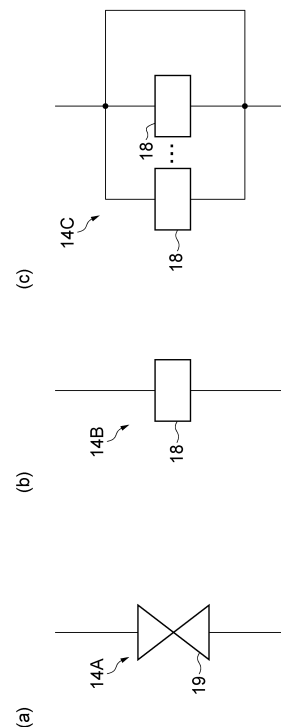
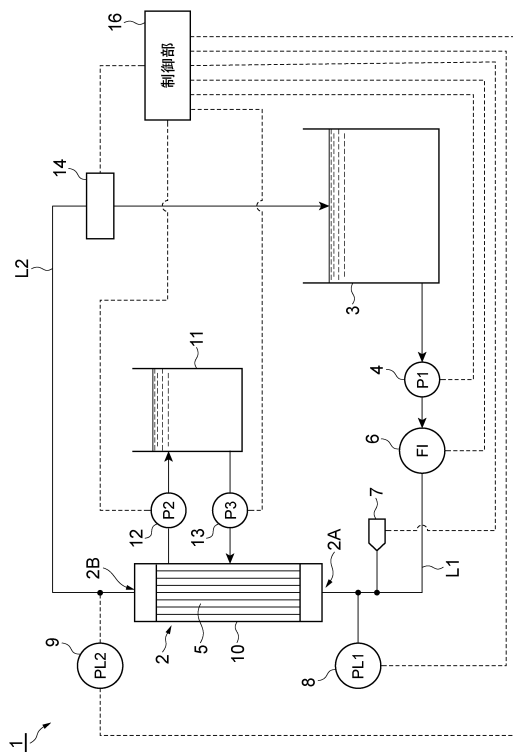
【 符号の説明 】

【 0 0 7 7 】

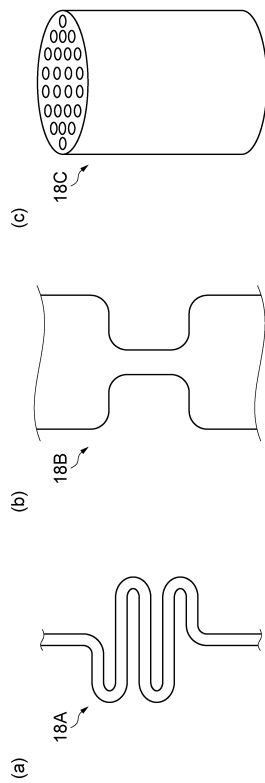
1 , 1 0 0 , 2 0 0 , 3 0 0 ... 水処理システム、 2 ... 膜モジュール、 4 ... 原水ポンプ（原水供給部）、 5 ... チューブラー膜（管状膜）、 7 ... 空気ブロワ（空気供給部）、 8 , 9 ... 圧力計（圧力検出部）、 1 4 , 5 0 ... 圧力抵抗調整部、 1 6 ... 制御部。

【 図 1 】

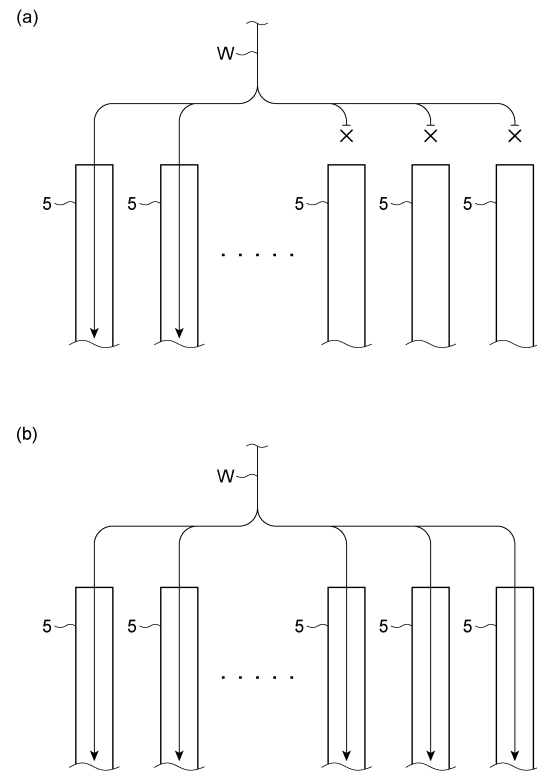
【 図 2 】



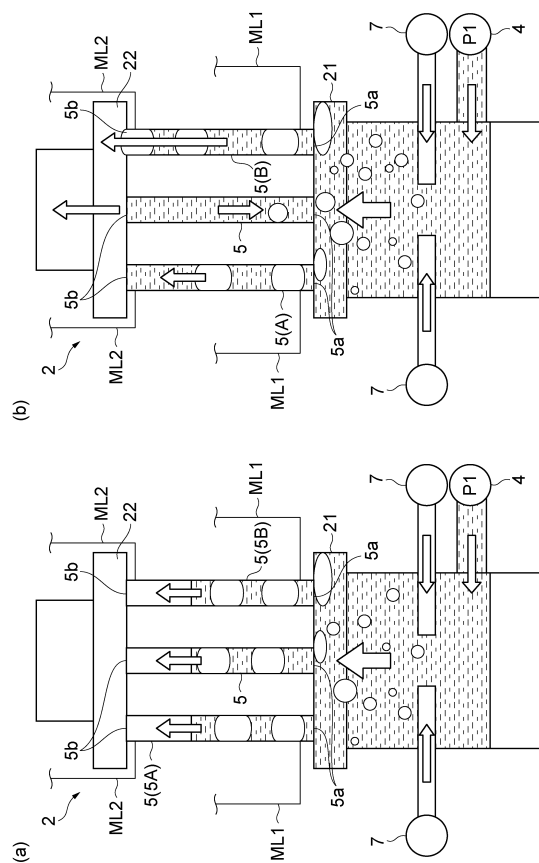
【図 3】



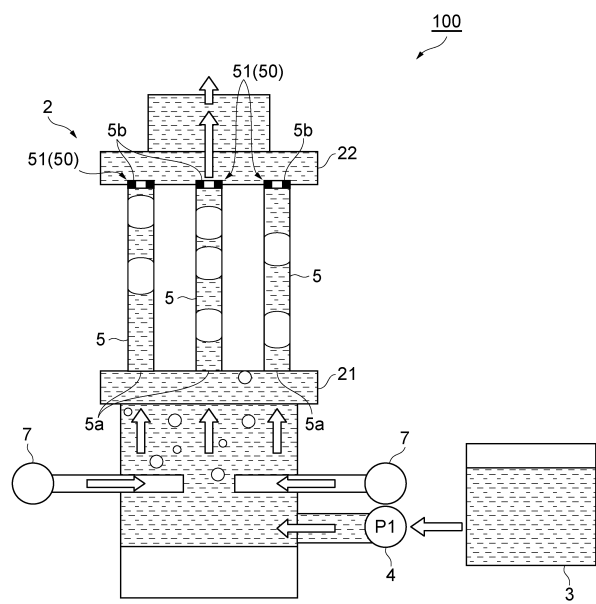
【図 4】



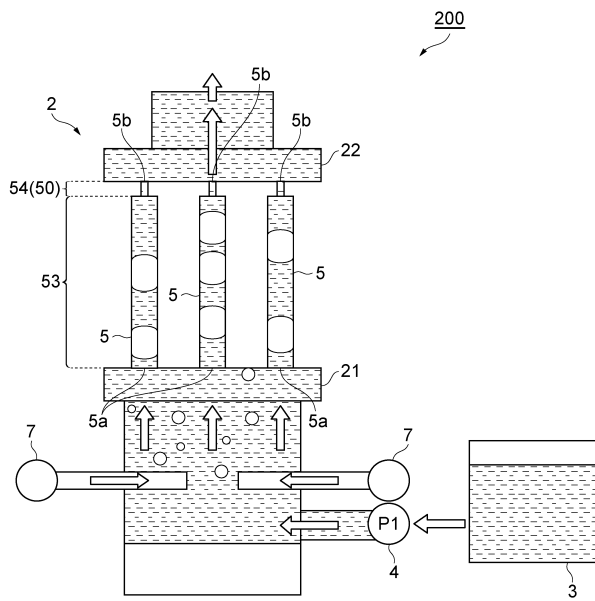
【図 5】



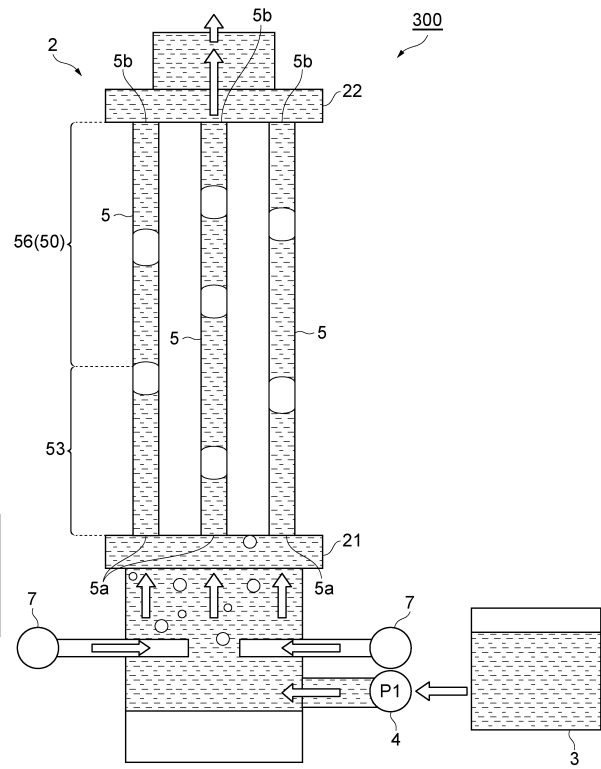
【図 6】



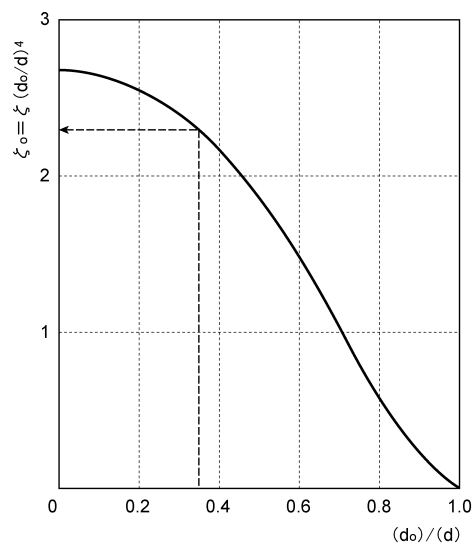
【図 7】



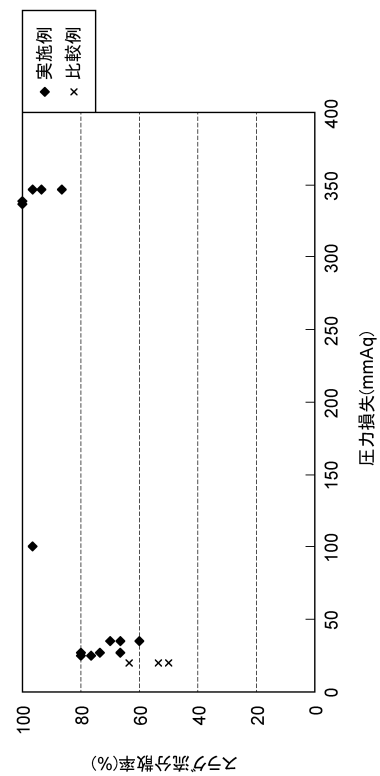
【図 8】



【図 9】



【図 10】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2007-245058(JP,A)
特開平11-309349(JP,A)
特開平09-099223(JP,A)
特開2011-104488(JP,A)
有限会社 ブッカーズ 編集,膜の劣化とファウリング対策 膜汚損防止・洗浄法からトラブルシューティングまで,株式会社 エヌ・ティー・エス 発行,2008年 9月 5日,初版第一刷,P.69-71,263-267

(58)調査した分野(Int.Cl.,DB名)

B01D 61/00 - 71/82

C02F 1/44

JSTPlus/JMEDPlus/JST7580(JDreamIII)