

(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
2017年8月10日(10.08.2017)



(10) 国際公開番号

WO 2017/135235 A1

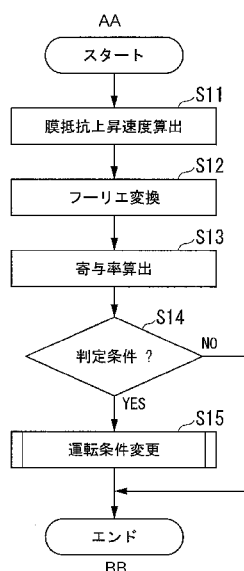
- (51) 国際特許分類:
B01D 65/10 (2006.01) G01N 15/08 (2006.01)
B01D 65/02 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2017/003363
- (22) 国際出願日: 2017年1月31日(31.01.2017)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2016-017371 2016年2月1日(01.02.2016) JP
- (71) 出願人: 三菱ケミカル株式会社(MITSUBISHI CHEMICAL CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008251 東京都千代田区丸の内一丁目1番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 石橋 龍太郎(ISHIBASHI Ryutaro); 〒1008251 東京都千代田区丸の内一丁目1番1号 三菱ケミカル株式会社内 Tokyo (JP). 溝越 祐吾(MIZOKOSHI Yugo); 〒1008251 東京都千代田区丸の内一丁目1番1号 三菱ケミカル株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 志賀 正武, 外(SHIGA Masatake et al.); 〒1006620 東京都千代田区丸の内一丁目9番2号 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, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, 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, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーロピア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ユーロッパ (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),

[続葉有]

(54) Title: SEPARATION MEMBRANE DIAGNOSIS METHOD, WATER PROCESSING METHOD, SEPARATION MEMBRANE DIAGNOSIS DEVICE, WATER PROCESSING DEVICE AND SEPARATION MEMBRANE DIAGNOSIS PROGRAM

(54) 発明の名称: 分離膜診断方法、水処理方法、分離膜診断装置、水処理装置及び分離膜診断プログラム

[図3]



S11 Membrane resistance rate of increase calculation
S12 Fourier conversion
S13 Contribution rate calculation
S14 Determination condition?
S15 Operation condition change
AA Start
BB End

(57) Abstract: Provided are a separation membrane diagnosis method, a water processing method, a separation membrane diagnosis device, a water processing device, a separation membrane diagnosis program, and a storage medium on which the program is stored, with which the cost of water processing can be reduced by accurately ascertaining the state of a separation member used in water processing. The separate membrane diagnosis method includes: an acquisition step for acquiring an indicator expressing the state of a separation membrane that performs solid-liquid separation; a change-over-time recording step for recording the change over time of the acquired indicator; an oscillation analysis step for analyzing the oscillations of the recorded change over time; and a determination step for determining the water permeability state of the separation membrane on the basis of the analyzed oscillations.

(57) 要約: 水処理に用いる分離膜の状態を正確に把握することにより水処理コストを低減することができる、分離膜診断方法、水処理方法、分離膜診断装置、水処理装置及び分離膜診断プログラムまたは当該プログラムが記録された記憶媒体を提供する。分離膜診断方法は、固液分離を行う分離膜の状態を表す指標を取得する取得ステップと、取得された指標の経時変化を記録する経時変化記録ステップと、記録された経時変化の振動を解析する振動解析ステップと、解析された振動に基づいて分離膜の透水状態を判定する判定ステップを含む。

OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG). 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：

分離膜診断方法、水処理方法、分離膜診断装置、水処理装置及び分離膜診断プログラム

技術分野

[0001] 本発明は、分離膜診断方法、水処理方法、分離膜診断装置、水処理装置及び分離膜診断プログラムに関する。

本願は、2016年2月1日に、日本に出願された特願2016-017371号に基づき優先権を主張し、その内容をここに援用する。

背景技術

[0002] 従来、下水道等の水処理において、固液分離を行う分離膜を用いた膜分離活性汚泥法（MBR：Membrane Bioreactor）が用いられている。MBRにおいては、活性汚泥から液体の透過水を分離するときに、時間の経過とともに汚泥に含まれる付着物質が分離膜の表面に累積したり分離膜の透過流路を閉塞したりして分離膜の透過性能が低下するファウリングと呼ばれる現象が発生する。ファウリングが進行して分離膜の透過性能が低下した場合には清掃によって分離膜に付着した付着物を剥離するメンテナンスが必要となる。ファウリングによる透過性能の低下は稼働時間に対して一定ではなく、所定の稼働時間を超えると透過性能が急激に低下する。したがって、透過性能が低下するまで分離膜を使用した場合には洗浄のために予定外に水処理を停止しなくてはならない場合がある。一方、ファウリングによる水処理の予定外の停止を避けるためには、早目に分離膜の洗浄を実施する。分離膜の洗浄においては、所定の薬液が用いられ、分離膜に付着した有機物や微生物を除去する。分離膜の洗浄の回数が多くなると、清掃のための停止により水処理の稼働率が低下する。また、洗浄の回数が多くなると、洗浄作業を行う作業者の労務費、洗浄用の薬品費等のコストが増える。

[0003] また、MBRにおいては、分離膜の下方から爆気（エアレーション）を行

い、分離膜の表面に付着した付着部を空気の振動で除去することにより、ファウリングの発生を遅らせることができる。

[0004] また、MBRにおいて、蛍光センサ等のセンサを用いてファウリングを検出する技術がある（例えば、特許文献1を参照）。また、MBRにおいて、遠心分離機等を用いて汚泥の成分を分析してファウリングを予測する技術がある（例えば、特許文献2を参照）。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特開2014-136210号公報

特許文献2：特開2012-200631号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] しかしながら、付着物の除去に用いる爆気量は、例えば活性汚泥に必要な生物化学的酸素要求量（BOD：Biochemical Oxygen Demand）の確保に必要な爆気量に比べて多いため、付着物を除去する効果を上げるために爆気量を増やすと、爆気のために大きなエネルギーを消費してしまう場合があった。

また、分離膜のファウリング状態を把握するためには、蛍光センサや遠心分離機等の高額な検査機器が必要であった。また、検査機器を用いた検査においては手間の掛る測定作業が必要であり、ファウリング状態を常に監視することは困難であった。

[0007] 本発明は、水処理に用いる分離膜の状態を正確に把握することにより水処理コストを低減することができる、分離膜診断方法、水処理方法、分離膜診断装置、水処理装置及び分離膜診断プログラムである。

課題を解決するための手段

[0008] 本発明の一態様は、固液分離を行う分離膜の状態を表す指標を取得する取得ステップと、取得された前記指標の経時変化を記録する経時変化記録ステ

ップと、記録された前記経時変化の振動を解析する振動解析ステップと、解析された前記振動に基づいて前記分離膜の透水状態を判定する判定ステップとを含む分離膜診断方法である。

[0009] 本発明の一態様は、前記振動解析ステップにおいて、記録された前記経時変化の振動を周波数変換し、前記判定ステップにおいて、周波数変換した前記振動の大きさに基づいて前記分離膜の透水状態を判定する。

[0010] 本発明の一態様は、前記判定ステップにおいて、周波数変換した所定の周波数帯域における前記振動の大きさに基づいて前記分離膜の透水状態を判定する。

[0011] 本発明の一態様は、前記判定ステップにおいて、第1の周波数帯域における前記振動の大きさと、第2の周波数帯域における前記振動の大きさとを比較することにより、前記分離膜の透水状態を判定する。

[0012] 本発明の一態様は、前記判定ステップにおいて、第1の周波数帯域における前記振動の大きさの寄与率と、第2の周波数帯域における前記振動の大きさの寄与率とを比較することにより、前記分離膜の透水状態を判定する。

[0013] 本発明の一態様は、前記判定において判定された固液分離を行う分離膜の透水状態に基づき、前記分離膜を用いた固液分離の運転条件を変更する運転条件変更ステップを含む、水処理方法である。

[0014] 本発明の一態様は、前記運転条件変更ステップにおいて、前記分離膜を爆気する爆気量を変更することにより前記運転条件を変更する。

[0015] 本発明の一態様は、前記運転条件変更ステップにおいて、前記分離膜の透過水量を変更することにより前記運転条件を変更する。

[0016] 本発明の一態様は、判定された前記透水状態に基づき、さらに前記分離膜のメンテナンスを促す情報を報知する報知ステップをさらに含む。

[0017] 本発明の一態様は、固液分離を行う分離膜の状態を表す指標を取得する取得部と、取得された前記指標の経時変化を記録する経時変化記録部と、記録された前記経時変化の振動を解析する振動解析部と、解析された前記振動に基づいて前記分離膜の透水状態を判定する判定部とを備える分離膜診断装置

である。

[0018] 本発明の一態様は、固液分離を行う分離膜と、前記分離膜の状態を表す指標を取得する取得部と、取得された前記指標の経時変化を記録する経時変化記録部と、記録された前記経時変化の振動を解析する振動解析部と、解析された前記振動に基づいて前記分離膜の透水状態を判定する判定部と、判定された前記透水状態に基づき、前記分離膜を用いた固液分離の運転条件を変更する運転条件変更部と、を備える水処理装置である。

[0019] 本発明の一態様は、固液分離を行う分離膜の状態を表す指標を取得する取得処理と、取得された前記指標の経時変化を記録する経時変化記録処理と、記録された前記経時変化の振動を解析する振動解析処理と、解析された前記振動に基づいて前記分離膜の透水状態を判定する判定処理とをコンピュータに実行させるための分離膜診断プログラムおよび前記プログラムが記録された記憶媒体である。

発明の効果

[0020] 本発明の一態様により、水処理に用いる分離膜の状態を正確に把握することにより水処理コストを低減することができる、分離膜診断方法、水処理方法、分離膜診断装置、水処理装置及び分離膜診断プログラムおよび前記プログラムが記録された記憶媒体を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0021] [図1]本発明の一実施形態における、水処理装置の構成の一例を示す図。

[図2]本発明の一実施形態における、水処理装置の水処理制御装置と分離膜診断装置の機能構成の一例を示す図。

[図3]本発明の一実施形態における、分離膜診断装置の動作の一例を示すフローチャート。

[図4]本発明の一実施形態における、分離膜診断装置の運転条件変更処理の第1の動作の一例を示すフローチャート。

[図5]本発明の一実施形態における、分離膜診断装置の運転条件変更処理の第2の動作の一例を示すフローチャート。

[図6]本発明の一実施形態における、分離膜診断装置を用いた分離膜の膜抵抗の測定における経時変化の一例を示すグラフ。

[図7]本発明の一実施形態における、分離膜診断装置を用いた分離膜の膜抵抗の測定における経時変化を近似した一例を示すグラフ。

[図8]本発明の一実施形態における、分離膜診断装置を用いた分離膜の膜抵抗上昇速度の測定における経時変化の一例を示すグラフ。

[図9]本発明の一実施形態における、分離膜診断装置を用いた測定における分離膜 2 1 の洗浄から第 1 の時間経過後の膜抵抗上昇速度の経時変化を周波数変換した一例を示すグラフ。

[図10]本発明の一実施形態における、分離膜診断装置を用いた測定における分離膜 2 1 の洗浄から第 2 の時間経過後の膜抵抗上昇速度の経時変化を周波数変換した一例を示すグラフ。

[図11]本発明の一実施形態における、分離膜診断装置を用いた測定における分離膜 2 1 の洗浄から第 3 の時間経過後の膜抵抗上昇速度の経時変化を周波数変換した一例を示すグラフ。

[図12]本発明の一実施形態における、分離膜診断装置を用いた測定における寄与率を算出するための周波数帯域の設定方法の一例を示すグラフ。

[図13]本発明の一実施形態における、分離膜診断装置を用いた測定におけるバンド 1 寄与率とバンド 2 寄与率の推移の一例を示すグラフ。

[図14]本発明の一実施形態における、分離膜診断装置を用いた測定における爆気量を変更したときの寄与率の推移の一例を示すグラフ。

[図15]本発明の一実施形態における、分離膜診断装置を用いた測定における分離膜の診断結果を示すグラフ。

[図16]本発明の一実施形態における、分離膜診断装置を用いた測定における分離膜の診断結果を示すグラフ。

[図17]本発明の一実施形態における、分離膜診断装置を用いた測定における分離膜の診断結果を示すグラフ。

[図18]本発明の一実施形態における、分離膜診断装置を用いた測定における

分離膜の診断結果を示すグラフ。

[図19]本発明の一実施形態における、分離膜診断装置を用いた測定における分離膜の診断結果を示すグラフ。

発明を実施するための形態

[0022] 以下、図面を参照して、本発明に係る一実施形態における分離膜診断方法、水処理方法、分離膜診断装置、水処理装置及び分離膜診断プログラムまたは当該プログラムが記憶された記憶媒体について説明する。

[0023] 先ず、図1を用いて、水処理装置の構成を説明する。図1は、本実施形態における、水処理装置の構成の一例を示す図である。図1の水処理装置は、活性汚泥を分離膜により分離するMBRを例示している。

[0024] 図1において、水処理装置100は、水槽11、原水流路12、余剰汚泥流路13、分離膜21、透過水流路22、吸引ポンプ23、排水流路24、差圧計25、散気管31、ブローア32、水処理制御装置40及び分離膜診断装置50を有する。

[0025] 水槽11は、原水流路12から流入する原水を、活性汚泥による生物反応によって処理をする生物反応槽である。水槽11は、MLSS (Mixed Liquor Suspended Solids : 活性汚泥浮遊物質) を所定範囲内にするために、余剰汚泥流路13から余剰汚泥を排出する。

[0026] 分離膜21は、水槽11の中の活性汚泥を含む処理水に浸漬される。分離膜21は、例えば、MF (精密ろ過 : Microfiltration) 膜、UF (限外ろ過 : Ultrafiltration) 膜、NF (ナノろ過 : Nanofiltration) 膜等を用いることができる。MBRにおいては、例えば、0.01~10 μ m程度の孔径のMF膜を用いてもよい。UF膜は、MF膜より小さい孔径を持つ。また、NF膜は、RO (逆浸透 : Reverse Osmosis) 膜等の逆浸透膜である。分離膜21の孔径は、分離対象の粒子の大きさによって適宜選択される。分離膜21の材質には、PSF (ポリスルホン)、PE (ポリエチレン)、CA (酢酸セルロース)、PAN (ポリアクリロニトリル)、PP (ポリプロピレン)、PV

D F（ポリフッ化ビニリデン）、P T F E（ポリテトラフロロエチレン）等を用いることができる。また、分離膜 2 1 には、セラミック等の無機物の材質を用いることができる。また、分離膜 2 1 は、上記素材の膜を複数配置して膜の支持体等の部品と一体化した分離膜エレメントであってもよい。また、分離膜 2 1 は、分離膜エレメントをシート状や管状に配置した分離膜モジュールであってもよい。シート状の分離膜モジュールとしては、例えば、平膜モジュール、スパイラル型モジュールを用いることができる。また、管状の分離膜モジュールとしては、例えば、中空糸を多数本束ねて両端を樹脂に包埋した中空糸モジュールを用いることができる。

[0027] 吸引ポンプ 2 3 は、分離膜 2 1 から透過水流路 2 2 を通じて透過水を吸引する。吸引ポンプ 2 3 により吸引される透過水の量は、分離膜 2 1 における透過流束（フラックス（「濾過流速」ともいう））に影響する。透過流束は、分離膜の表面積あたりの透過水の量である。分離膜 2 1 の表面積が一定であるとする、透過水の量が大きくなると透過流束も大きくなり、透過水の量が小さくなると透過流束も小さくなる。透過流束が大きいと、分離膜 2 1 におけるファウリングの進行が早くなるため、分離膜 2 1 の洗浄の周期が短くなり、洗浄作業時の水処理の停止により所定期間における平均処理量が低下する。一方、透過流束が小さいと、ファウリングの進行は遅くなり、分離膜 2 1 の洗浄の周期が長くなるが、透過水の量が小さくなるため、所定期間における平均処理量が低下する。本実施形態では、所定の時間吸引ポンプ 2 3 を運転して透過水を吸引した後に吸引ポンプを停止して、一定の時間爆気による分離膜 2 1 の洗浄を行うインターバル運転を行う場合を説明する。図 6 等を用いて説明するインターバル運転においては、7 分間の吸引と 1 分間の停止を繰り返す場合について説明する。一定の時間の吸引ポンプ 2 3 の停止を行うことにより、ファウリングの進行を遅らせることができる。なお、吸引ポンプ 2 3 の停止の間、例えば、分離膜 2 1 に対して吸引と逆方向の水圧を与えて分離膜 2 1 を洗浄する逆洗を行うようにしてもよい。吸引ポンプ 2 3 は、水処理制御装置 4 0 により駆動されて、吸引ポンプの吸引により透

過水量が調整される。吸引ポンプ 23 は、吸引した透過水を排水流路 24 から排水する。

[0028] 差圧計 25 は、吸引ポンプ 23 によって生じる、分離膜 21 の 1 次側と 2 次側の差圧を測定して、測定した差圧データを水処理制御装置 40 に出力する。差圧計 25 は、測定した差圧データを、例えば 4 ~ 20 mA の電流値として水処理制御装置 40 に出力する。図 1 に図示する分離膜 21 は、大気開放された水槽 11 に所定の水深で浸漬されるため、分離膜 21 の 1 次側は一定圧力となる。差圧計 25 は、大気圧と分離膜 21 の 2 次側（吸引ポンプ 23 の吸引側）の圧力の差圧を分離膜 21 の 1 次側と 2 次側の差圧として測定することができる。

[0029] 散気管 31 は、水槽 11 の水中において分離膜 21 の下部に設置されて、散気管 31 に設けられた空気孔から空気を爆気する。散気管 31 から爆気された空気は、分離膜 21 を物理的に振動させて、分離膜 21 の表面に付着した付着物を剥離させる洗浄を行う。爆気による付着物の剥離を空気洗浄という。散気管 31 から爆気される空気は、ブロア 32 によって供給される。散気管 31 から爆気される気泡の大きさ及び気泡の速度は、散気管 31 の空気孔の大きさとブロアから供給される空気の空気圧によって異なる。空気洗浄による洗浄力の大きさは、ブロアから供給される空気圧を制御することにより調整することができる。なお、散気管 31 の配置位置及び分離膜 21 の形状は、空気洗浄の洗浄力が向上するように決定することができる。例えば、爆気された気泡は水槽 11 の水中を上方に向かって移動するため、分離膜 21 を水槽 11 の上下方向に長くなるように配置することにより、分離膜 21 が気泡に接する時間を長くすることができるので空気洗浄の洗浄力を向上させることができる。

[0030] ブロア 32 は、水処理制御装置 40 によって駆動される。ブロア 32 は、水処理制御装置 40 によってモータの回転速度によって散気管 31 に供給する空気の空気圧を変更することができる。

[0031] 水処理制御装置 40 は、吸引ポンプ 23 及びブロア 32 を駆動するととも

に、差圧計 25 から差圧データを取得する。水処理制御装置 40 は、取得した差圧データを分離膜診断装置 50 に出力するとともに、分離膜診断装置 50 から吸引ポンプ 23 又はブローア 32 の運転条件を変更するための情報を取得する。なお、水処理制御装置 40 の詳細は、図 2 を用いて後述する。

[0032] 分離膜診断装置 50 は、分離膜 21 の透水状態を診断する。以下の説明において、分離膜診断装置 50 は、分離膜 21 の透水状態として、MBR における分離膜 21 におけるファウリングの状態を診断する場合を説明する。

[0033] なお、図 1 では、分離膜 21 を水槽 11 の処理水に直接浸漬する一体型の MBR を例示したが、本実施形態における MBR は、一体型の MBR に限定されるものではない。本実施形態は、例えば、分離膜を浸漬させる分離膜水槽を水槽 11 とは別個に設け、分離膜水槽と水槽 11 とで処理水を循環させる水槽別置型の MBR において実施されてもよい。また、本実施形態は、分離膜を浸漬させる分離膜のケーシングを水槽 11 の外に設け、ケーシングに処理水を送水する槽外型の MBR において実施されてもよい。また、図 1 においては、分離膜 21 の 2 次側を吸引ポンプ 23 で吸引して透過水を透過する場合を例示したが、例えば、分離膜 21 を水槽 11 より低い位置に設置して、水槽 11 と分離膜 21 の落差により分離膜 21 の 1 次側に水圧をかけて透過水を透過させてもよい。

以上で、図 1 を用いた、水処理装置 100 の構成の説明を終了する。

[0034] 次に、図 2 を用いて、水処理装置 100 の水処理制御装置 40 と分離膜診断装置 50 の機能を説明する。図 2 は、本実施形態における、水処理装置 100 の水処理制御装置 40 と分離膜診断装置 50 の機能構成の一例を示す図である。

[0035] 図 2 において、水処理制御装置 40 は、制御部 41、ポンプ駆動部 42、ブローア駆動部 43、差圧取得部 44、操作部 45、表示部 46 及び通信部 47 の各機能を有する。分離膜診断装置 50 は、制御部 51、膜抵抗算出部 52、周波数解析部 53、判定部 54、操作部 55、表示部 56、通信部 57 の各機能を有する。

[0036] 図2に示す、水処理制御装置40の上記各機能は、コンピュータで実行されるプログラム（ソフトウェア）において実現することができる。また、分離膜診断装置50の上記各機能は、コンピュータで実行されるプログラム（ソフトウェア）において実現することができる。但し、水処理制御装置40の上記各機能のいずれか1以上の機能はハードウェアにおいて実現されてもよい。また、分離膜診断装置50の上記各機能のいずれか1以上の機能はハードウェアにおいて実現されてもよい。また、図2において水処理制御装置40又は分離膜診断装置50の上記各機能は、それぞれ枠線で図示する1つの機能ブロックとして説明するが、複数の機能を1の機能ブロックで実現するようにしてもよい。同様に、水処理制御装置40又は分離膜診断装置50の上記各機能は、複数の機能ブロックで実現するようにしてもよい。

[0037] 制御部41は、水処理制御装置40の動作を制御する。制御部41は、例えばCPU（Central Processing Unit）等の演算処理装置を含み、ポンプ駆動部42、ブロー駆動部43、差圧取得部44、操作部45、表示部46及び通信部47の各機能を制御するものであってもよい。

[0038] ポンプ駆動部42は、吸引ポンプ23を駆動する。ポンプ駆動部42は、例えば、図示しないインバータ駆動回路を制御して、吸引ポンプ23を駆動するモータの回転数を制御する。モータの回転数の制御には、モータをON／OFFするON／OFF制御も含まれる。

[0039] ブロー駆動部43は、ブロー32を駆動する。ブロー駆動部43は、例えば、図示しないインバータ駆動回路を制御して、ブロー32を駆動するモータの回転数を制御する。モータの回転数の制御には、モータをON／OFFするON／OFF制御も含まれる。

[0040] 差圧取得部44は、差圧計25で測定された差圧データを取得する。差圧取得部44が取得した差圧データは、例えば、制御部41が監視して、予め設定された閾値以上となったときに清掃を促す警告を行う。差圧取得部44が取得した差圧データは、分離膜診断装置50に出力される。

[0041] 操作部45は、水処理制御装置40の操作者によって操作される。操作部45は、例えば、キーボードである。表示部46は、水処理制御装置40の操作者に対して、水処理制御装置40の状態等を表示する。表示部46は、例えば、上述の清掃を促す警告を表示する。表示部46は、例えば、ディスプレイ、ランプ等である。なお、操作部45と表示部46は、例えばタッチパネルのように操作入力と表示とを行う機器を用いてもよい。通信部47は、分離膜診断装置50の通信部57と通信する。通信部47と通信部57の通信は、有線通信又は無線通信において行うことができる。

[0042] 制御部51は、分離膜診断装置50の動作を制御する。制御部51は、例えばCPU等の演算処理装置を含み、膜抵抗算出部52、周波数解析部53、判定部54、操舵部55、表示部56、通信部57の各機能を制御するものであってもよい。

[0043] 膜抵抗算出部52は、分離膜21の膜抵抗を算出する。膜抵抗Rは式(1)より算出される。

$$R = P / F \text{ (KPa} / \text{(m}^3 / \text{day))} \cdots (1)$$

但し、P=分離膜21の差圧(KPa)

$$F = \text{透過流速 (m}^3 / \text{(m}^2 \cdot \text{day))} = \text{m} / \text{day}$$

[0044] 上記式(1)において、分離膜21の差圧は、差圧計25から差圧データとして取得することができる。また、透過流速は、分離膜21の表面積は一定であるので、分離膜21の透過水量(m³/day)を、図示しない流量計で測定することによって取得することができる。例えば、ポンプ駆動部42において分離膜21の透過水量を一定に保つ制御が行われた場合、透過流速Fは一定値となる。

[0045] 膜抵抗算出部52は、算出した膜抵抗Rに基づき、膜抵抗Rの上昇速度(「膜抵抗上昇速度」という。)を算出する。膜抵抗上昇速度とは、所定の時間あたりの膜抵抗Rの変化である。本実施形態では、膜抵抗Rの上昇速度を1分あたりの変化として算出する場合を示す。すなわち、膜抵抗上昇速度は式(2)で表される。

$$\text{膜抵抗上昇速度} = \Delta R / \text{min} \left(\text{KPa} / \left(\left(\text{m} / \text{day} \right) \cdot \text{min} \right) \right) \dots (2)$$

但し、 ΔR = 膜抵抗 R の変化 $(\text{KPa} / (\text{m} / \text{day}))$

[0046] 膜抵抗算出部 52 は、例えば、膜抵抗 R を 1 秒に 1 回の割合で算出し、算出した膜抵抗 R の値の変化を 7 分間の値で近似値とすることにより膜抵抗上昇速度を算出することができる。ここで、7 分間における膜抵抗上昇速度を近似するのは、吸引ポンプ 23 による 7 分間の吸引と 1 分間の停止を繰り返すインターバル運転における 1 回の吸引時間（7 分間）の膜抵抗上昇速度を算出するためである。膜抵抗算出部 52 は、算出した膜抵抗上昇速度を記録する。膜抵抗上昇速度の記録は、例えば図示しないメモリ等の記憶装置に記憶することができる。

[0047] ところで、分離膜 21 の膜抵抗 R が一定である場合、膜抵抗上昇速度は 0 $(\text{KPa} / ((\text{m} / \text{day}) \cdot \text{min}))$ となる。しかし、処理水の水質、活性汚泥の状態等は経時的に変化するために、分離膜 21 への付着部の付着も経時的に変化する。また、分離膜 21 に付着した付着物は爆気による振動で物理的に剥離されるため、付着物の剥離量も経時的に変化する。したがって、分離膜 21 の状態は経時的に変化している。膜抵抗算出部 52 は、分離膜 21 の状態を膜抵抗上昇速度の変化として記録する。

[0048] なお、膜抵抗上昇速度は分離膜の状態を表す指標の一態様である。本実施形態においては、膜抵抗上昇速度を分離膜の状態を表す指標として説明するが、分離膜の状態を表す指標は膜抵抗上昇速度に限定されるものではない。膜抵抗上昇速度は上述の通り、分離膜 21 の差圧と透過水の流量に基づき算出することができる。したがって、分離膜の状態を表す指標として、例えば、分離膜 21 の差圧、分離膜 21 の透過水の流量、分離膜 21 の透過流速等を用いてもよい。すなわち、分離膜 21 の状態を表す指標とは、ファウリング等により分離膜 21 の透過性能が、時間の経過とともに変化（「経時変化」という。）することを表す指標であればよい。

[0049] 周波数解析部 53 は、算出された膜抵抗上昇速度の振動を周波数変換して

、膜抵抗上昇速度の振動を解析する。膜抵抗上昇速度の振動とは、所定の時間間隔で記録された膜抵抗上昇速度の変動をいう。膜抵抗上昇速度を7分毎に算出した場合、膜抵抗上昇速度の振動は、7分毎の膜抵抗上昇速度の変動となる。周波数解析部53は、例えば、高速フーリエ変換（FFT：Fast Fourier Transform）を用いて周波数変換を行う。周波数解析部53は、図示しない分離膜診断装置50の外部のFFTアナライザに膜抵抗上昇速度の振動のデータを送信し、周波数変換されたデータを取得するものであってもよい。周波数解析部53は、周波数変換した膜抵抗上昇速度の振動のデータを以下、「周波数変換データ」という。周波数変換データは、周波数と、膜抵抗上昇速度の振動の大きさ（以下、「パワー」という。）を含む。周波数解析部53は、周波数変換データを判定部54に出力する。

[0050] 判定部54は、周波数変換データに基づき、分離膜21の透水状態を判定する。本実施形態では、分離膜21の透水状態として、分離膜21のファウリング状態を判定する場合を説明する。判定部54は、周波数変換データにおける所定の周波数帯域に着目して、その周波数帯域におけるパワーに基づき分離膜21の透水状態を判定する。所定の周波数帯域に着目した判定部54の判定アルゴリズムは任意である。

[0051] 例えば、判定部54は、所定の周波数帯域におけるパワーに基づき透水状態を判定する。所定の周波数帯域とは、例えば、所定の周波数以下の周波数帯域、所定の周波数以上の周波数帯域、第1の周波数以上かつ第2の周波数以下の周波数帯域等である。判定部54は、所定の周波数帯域におけるパワーと閾値を比較して、パワーが予め定められた閾値（上限値又は下限値）を超えたか否かを判断することができる。ここで、閾値と比較するパワーとは、パワーの最大値、パワーの平均値、パワーの寄与率等である。パワーの寄与率は式（3）に基づき算出することができる。

$$\text{寄与率} = P O A / O A \cdots (3)$$

但し、OA＝全周波数帯域におけるパワーの合計値（Over All

)

POA = 所定の周波数帯域におけるパワーの合計値 (Partial OA)

判定部54は、寄与率と閾値とを比較することにより透水状態を判定する。

[0052] また、判定部54は、周波数変換データを複数の周波数帯域に分離して、周波数帯域毎のパワーの比較によって透水状態を判定してもよい。例えば、判定部54は、第1の周波帯域と第2の周波帯域に分離して、第1の周波帯域と第2周波帯域のパワーを比較することにより透水状態を判定することができる。第1の周波帯域は、例えば低周波領域である。第2の周波帯域は、例えば高周波帯域である。周波数帯域毎のパワーの比較は、例えば、パワーの最大値の比較、パワーの平均値の比較、パワーの寄与率の比較等である。

[0053] 判定部54は、分離膜21の透水状態の判定を複数段階の評価として判定することができる。例えば、判定部54は、ファウリングの発生が無いと判定する第1段階、軽度のファウリングと判定する第2段階、中度のファウリングと判定する第3段階、重度のファウリングと判定する第4段階として分離膜21を評価する判定を行う。判定部54は、判定の結果を水処理制御装置40に出力する。

[0054] 操作部55は、分離膜診断装置50の操作者によって操作される。操作部55は、例えば、キーボードである。表示部56は、分離膜診断装置50の操作者に対して、分離膜診断装置50の状態等を表示する。表示部56は、例えば、判定部54における判定結果を表示する。表示部56は、例えば、ディスプレイ、ランプ等である。なお、操作部55と表示部56は、例えばタッチパネルのように操作入力と表示とを行う機器を用いてもよい。通信部57は、水処理制御装置40の通信部47と通信する。

以上で、図2を用いた、水処理制御装置40と分離膜診断装置50の機能の説明を終了する。

[0055] 次に、図3を用いて、分離膜診断装置50の動作を説明する。図3は、本

実施形態における、分離膜診断装置の動作の一例を示すフローチャートである。図3に示すフローチャートは、図2で示した制御部51等の機能において実行されるものとする。

[0056] 図3において、分離膜診断装置50は、膜抵抗上昇速度を算出する（ステップS11）。本実施形態において膜抵抗上昇速度の算出は、7分間の吸引ポンプ23による吸引時間において近似される。

[0057] ステップS11の処理を実行した後、分離膜診断装置50は、膜抵抗上昇速度の変動（振動）についてFFTアナライザによってフーリエ変換して、膜抵抗上昇速度のパワーについて周波数分析を行う（ステップS12）。

[0058] ステップS12の処理を実行した後、分離膜診断装置50は、寄与率を算出する。寄与率の算出は、第1の周波数帯域としての低周波帯域における寄与率と、第2の周波数帯域としての高周波帯域における寄与率とを算出する場合の例を、図14を用いて後述する。

[0059] ステップS13の処理を実行した後、分離膜診断装置50は、分離膜21の透水状態を判定するか否かを判断する（ステップS14）。分離膜21の透水状態を判定するか否かの判断は、例えば、水処理装置100が稼働中であるか否か、所定の判定時刻であるか否か等である。分離膜21の透水状態を判定しないと判断した場合（ステップS14：NO）、分離膜診断装置50は、図3のフローチャートに示す処理を終了する。なお、図3のフローチャートは終了後に繰り返して実行されるものとする。

[0060] 一方、分離膜21の透水状態を判定すると判断した場合（ステップS14：YES）、分離膜診断装置50は、運転条件変更処理を実行する（ステップS15）。ステップS15における運転条件変更処理の詳細は図4及び図5を用いて後述する。ステップS15の処理を実行した後、分離膜診断装置50は、図3のフローチャートに示す処理を終了する。

以上で、図3を用いた、分離膜診断装置50の動作の説明を終了する。

[0061] 次に、図4を用いて、図3のステップS15の運転条件変更処理の第1の動作を説明する。図4は、本実施形態における、分離膜診断装置50の運転

条件変更処理の第１の動作の一例を示すフローチャートである。運転条件変更処理の第１の動作は、分離膜２１の透水状態の判定結果に基づき、爆気量を変更することにより、水処理装置１００の運転条件を変更する動作である。

[0062] 図４において、分離膜診断装置５０は、判定条件がＡ１であるか否かを判断する（ステップＳ１５１１）。判定条件がＡ１であるとは、例えば、分離膜２１の透水状態が良好であることを示す。分離膜診断装置５０は、例えば、低周波帯域の寄与率が６０％以上である場合、判定条件がＡ１であると判断する。判定条件がＡ１であるか否かは、例えば、所定の時間における寄与率、又は寄与率の最大値、又は平均値が６０％以上であるときに判定条件がＡ１であると判断してもよい。所定の時間とは例えば２日である。差圧データにノイズが多い場合は時間を長くすることでノイズの影響を小さくすることが可能である。一方、ノイズが少ない場合は時間を短くすることが可能である。以上は、以下の判定条件Ａ２及びＡ３についても同様である。判定条件がＡ１であると判断した場合（ステップＳ１５１１：ＹＥＳ）、分離膜診断装置５０は、ブロア３２を用いた爆気量が第１爆気量になるように、水処理制御装置４０に対して指示を出力する（ステップＳ１５１２）。第１爆気量は、後述する第２爆気量より少ない爆気量である。水処理制御装置４０は分離膜診断装置５０から取得した指示に従い、ブロア駆動部４３においてブロア３２を駆動するものとする。ステップＳ１５１２の処理を実行した後、分離膜診断装置５０は、図４に示すステップＳ１５の処理を終了する。

[0063] 一方、判定条件がＡ１でないと判断した場合（ステップＳ１５１１：ＮＯ）、分離膜診断装置５０は、判定条件がＡ２であるか否かを判断する（ステップＳ１５１３）。判定条件がＡ２であるとは、例えば、分離膜２１において軽度のファウリングが発生していることを示す。分離膜診断装置５０は、例えば、低周波帯域の寄与率が５０％以上６０％未満である場合、判定条件がＡ２であると判断する。判定条件がＡ２であると判断した場合（ステップＳ１５１３：ＹＥＳ）、分離膜診断装置５０は、ブロア３２を用いた爆気量

が第2爆気量になるように、水処理制御装置40に対して指示を出力する（ステップS1514）。第2爆気量は第1爆気量より多く、後述する第3爆気量より少ない爆気量である。ステップS1514の処理を実行した後、分離膜診断装置50は、図4に示すステップS15の処理を終了する。

[0064] 一方、判定条件がA2でないと判断した場合（ステップS1513：NO）、分離膜診断装置50は、判定条件がA3であるか否かを判断する（ステップS1515）。判定条件がA3であるとは、例えば、分離膜21において中度のファウリングが発生していることを示す。分離膜診断装置50は、例えば、低周波帯域の寄与率が40%以上50%未満である場合、判定条件がA3であると判断する。判定条件がA3であると判断した場合（ステップS1515：YES）、分離膜診断装置50は、ブロー32を用いた爆気量が第3爆気量になるように、水処理制御装置40に対して指示を出力する（ステップS1516）。第3爆気量は第2爆気量より多い爆気量である。ステップS1516の処理を実行した後、分離膜診断装置50は、図4に示すステップS15の処理を終了する。

[0065] 一方、判定条件がA3でないと判断した場合（ステップS1513：NO）、分離膜診断装置50は、分離膜21の清掃作業の実施を促すフィルタ清掃報知をする（ステップS1517）。判定条件がA3でないとは、例えば、分離膜21において重度のファウリングが発生していることを示す。分離膜診断装置50は、例えば、低周波帯域の寄与率が40%未満である場合、判定条件がA3であると判断する。フィルタ清掃報知は、例えば、表示部46又は表示部56に分離膜21の清掃作業の実施を促す表示をしたり、スピーカ等から所定の警報を発したりする動作である。

ステップS1517の処理を実行した後、分離膜診断装置50は、図4に示すステップS15の処理を終了する。

以上で、図4を用いた、運転条件変更処理の第1の動作の説明を終了する。

[0066] 次に、図5を用いて、図3のステップS15の運転条件変更処理の第2の

動作を説明する。図5は、本実施形態における、分離膜診断装置50の運転条件変更処理の第2の動作の一例を示すフローチャートである。運転条件変更処理の第2の動作は、分離膜21の透水状態の判定結果に基づき、爆気量とフラックスを変更することにより、水処理装置100の運転条件を変更する動作である。図4を用いて説明した運転条件変更処理の第1の動作と図5を用いて説明する運転条件変更処理の第2の動作とは、いずれか一方を実施するものとする。

[0067] 図5において、分離膜診断装置50は、判定条件がB1であるか否かを判断する（ステップS1521）。判定条件がB1であるとは、例えば、分離膜21の透水状態が良好であることを示す。分離膜診断装置50は、例えば、低周波帯域の寄与率が60%以上である場合、判定条件がB1であると判断する。判定条件がB1であるか否かは、例えば、所定の時間における寄与率、又は寄与率の最大値、又は平均値が60%以上であるときに判定条件がB1であると判断してもよい。所定の時間とは例えば2日である。差圧データにノイズが多い場合は時間を長くすることでノイズの影響を小さくすることが可能である。一方、ノイズが少ない場合は時間を短くすることが可能である。以上は、以下の判定条件B2及びB3についても同様である。判定条件がB1であると判断した場合（ステップS1521：YES）、分離膜診断装置50は、水処理装置100の運転条件の変更を行わず、図5に示すステップS15の処理を終了する。

[0068] 一方、判定条件がB1でないと判断した場合（ステップS1521：NO）、分離膜診断装置50は、プロア32を用いた爆気量の制御を開始する（ステップS1522）。爆気量の制御とは、例えば、判定条件がB1になるまで爆気量を増加させる制御である。分離膜診断装置50は、水処理制御装置40に対して爆気量を増加させる指示を出力する。

[0069] ステップS1522の処理を実行した後、分離膜診断装置50は、判定条件がB2であるか否かを判断する（ステップS1523）。判定条件がB2であるとは、例えば、分離膜21において軽度のファウリングが発生してい

ることを示す。分離膜診断装置 50 は、例えば、低周波帯域の寄与率が 50 % 以上 60 % 未満である場合、判定条件が B2 であると判断する。判定条件が B2 であると判断した場合（ステップ S1523：YES）、分離膜診断装置 50 は、図 5 に示すステップ S15 の処理を終了する。すなわち、軽度のファウリングが発生して判定条件が B2 であると判断した場合は、分離膜診断装置 50 は、フラックス制御は行わず、爆気量制御のみを行う。

[0070] 一方、判定条件が B2 でないと判断した場合（ステップ S1523：NO）、分離膜診断装置 50 は、吸引ポンプ 23 を用いたフラックス制御を開始する（ステップ S1524）。フラックス制御とは、例えば、判定条件が B2 になるまでフラックスを低下させる制御である。分離膜診断装置 50 は、水処理制御装置 40 に対してフラックスを低下させる指示を出力する。

[0071] ステップ S1524 の処理を実行した後、分離膜診断装置 50 は、判定条件が B3 であるか否かを判断する（ステップ S1525）。判定条件が B3 であるとは、例えば、分離膜 21 において中度のファウリングが発生していることを示す。分離膜診断装置 50 は、例えば、低周波帯域の寄与率が 40 % 以上 50 % 未満である場合、判定条件が BB であると判断する。判定条件が BB であると判断した場合（ステップ S1525：YES）、分離膜診断装置 50 は、図 5 に示すステップ S15 の処理を終了する。すなわち、中度のファウリングが発生して判定条件が B3 であると判断した場合は、分離膜診断装置 50 は、フラックス制御と爆気量制御を行う。

[0072] 一方、判定条件が B3 でないと判断した場合（ステップ S1525：NO）、分離膜診断装置 50 は、分離膜 21 の清掃作業の実施を促すフィルタ清掃報知をする（ステップ S1526）。判定条件が B3 でないは、例えば、分離膜 21 において重度のファウリングが発生していることを示す。分離膜診断装置 50 は、例えば、低周波帯域の寄与率が 40 % 未満である場合、判定条件が B3 であると判断する。フィルタ清掃報知は、例えば、表示部 46 又は表示部 56 に分離膜 21 の清掃作業の実施を促す表示をしたり、スピーカ等から所定の警報を発したりする動作である。

ステップS 1 5 2 6 の処理を実行した後、分離膜診断装置 5 0 は、図 5 に示すステップS 1 5 の処理を終了する。

以上で、図 5 を用いた、運転条件変更処理の第 2 の動作の説明を終了する。

[0073] なお、図 4 及び図 5 は、分離膜 2 1 の透水状態の判定結果に基づく運転条件の変更の動作を例示したが、分離膜 2 1 の透水状態の判定結果に基づく運転条件の変更の動作はこれに限定されるものではない。例えば、図 4 及び図 5 においては、分離膜 2 1 の透水状態を 4 段階で判定する場合を示したが、3 段階以下又は 5 段階以上の判定を行うものであってもよい。また、運転条件の変更として、爆気量を変更する方法、爆気量とフラックスを変更する方法を示したが、フラックスのみを変更する方法、原水の流量を変更する方法、MLSS を変更する方法等、他の運転条件を変更するようにしてもよい。

[0074] 次に、図 6 から図 1 4 を用いて、分離膜診断装置 5 0 を用いた測定結果を説明する。

[0075] 先ず図 6 を用いて、吸引ポンプ 2 3 のインターバル運転における分離膜 2 1 の差圧の経時変化の測定結果を説明する。図 6 は、本実施形態における、分離膜 2 1 の膜抵抗の経時変化の一例を示すグラフである。

[0076] 図 6 において、横軸は時間軸であり、縦軸は差圧計 2 5 において測定された差圧である。図 6 は、吸引ポンプ 2 3 による 7 分間の吸引時間と 1 分間の停止時間を繰り返すインターバル運転をした場合の差圧の経時変化を示している。図 6 に図示する 1 つの点は 1 分毎の差圧の測定値である。t 1、t 2、t 3 等の時間において差圧が小さくなっているのは、吸引ポンプ 2 3 が停止しているときの測定値である。図 6 においては、7 分間の吸引時間において差圧が上昇する場合がある一方、7 分間の吸引時間においても差圧が下降する場合があることを示している。

[0077] 次に、図 7 を用いて、図 6 の測定結果の近似を説明する。図 7 は、本実施形態における、分離膜 2 1 の膜抵抗の経時変化を近似した一例を示すグラフである。

[0078] 図7において、図示する直線は、7分間の吸引時間における差圧の変化を直線で近似したものである。近似の方法は任意である。直線近似は、例えば最小二乗法によって行うことができる。また、直線近似を行う代わりに曲線近似を行なってもよい。図7においては、近似直線を見やすいように、直線の背景を白抜きで表示している。図7に示す近似直線は、正の傾きである場合と負の傾きである場合とがあることを示している。図7に示す近似直線の傾きは膜抵抗上昇速度を示している。

[0079] 次に、図8を用いて、図7の膜抵抗上昇速度の経時変化を説明する。図8は、本実施形態における、分離膜21の膜抵抗上昇速度の経時変化の一例を示すグラフである。

[0080] 図8において、横軸は分離膜21の清掃作業を実施した日（1日目）からの経過日数を示している。縦軸は、膜抵抗上昇速度を示している。

[0081] 膜抵抗上昇速度は、清掃作業を実施してから11日目あたりまでは、膜抵抗上昇速度0（ $\text{KPa} / ((\text{m} / \text{day}) \cdot \text{min})$ ）付近で推移している。しかし、12日目あたりから急上昇して、膜抵抗Rが加速度的に増加していることを示している。図8は、ファウリングによる分離膜21の透過性能が、所定の日数を経過した後急激に劣化することを示している。経時変化を測定した分離膜21は、13日目にファウリングによる緊急停止がされている。したがって、例えば差圧計の測定値のみを記録していても、ファウリングによる分離膜21の透過性能の急激な劣化を予想することは困難である。

[0082] 次に、図9～図11を用いて、図8の膜抵抗上昇速度の経時変化を周波数変換した結果を説明する。図9は、本実施形態における、分離膜21の洗浄から第1の時間経過後の膜抵抗上昇速度の経時変化を周波数変換した一例を示すグラフである。第1の時間経過は、図8における洗浄作業実施日である。第1の時間経過時において、分離膜21は洗浄によって清浄な状態であるものとする。

[0083] 図9において、横軸は周波数を示している。図9において、 $0 \sim 1.05 \times 10^{-3}$ （Hz）付近を全周波数帯域としている。縦軸は膜抵抗上昇速度の

大きさ（パワー）を示している。図9に示すグラフは、FFTにおいて、窓関数としてハニング窓を用いた。FFTは80分に1回実施して、前後8時間の変換結果を平均化することによりノイズを除去している。図9に示す結果は、 0.1×10^{-3} (Hz) 付近にピークを持ち、全周波数帯域を $0 \sim 0.6 \times 10^{-3}$ (Hz) の周波数帯域を低周波帯域、 0.6×10^{-3} (Hz) 以上の周波数帯域を高周波帯域と分類したときに、低周波帯域のパワーが高くなっている。

[0084] 図10は、本実施形態における、分離膜21の洗浄から第2の時間経過後の膜抵抗上昇速度の経時変化を周波数変換した一例を示すグラフである。第2の時間経過は、図8における7日目である。7日目はファウリングにより分離膜21の透過性能が急激に劣化する13日目に対して大凡中間の経過時間となる。

[0085] 図10におけるFFTの条件は図9と同じである。図10に示す結果は、図9と同様に全周波数帯域を $0 \sim 0.6 \times 10^{-3}$ (Hz) の周波数帯域を低周波帯域、 0.6×10^{-3} (Hz) 以上の周波数帯域を高周波帯域と分類したときに、低周波帯域のパワーが高くなっている。しかし、 0.25×10^{-3} (Hz) 付近と 0.9×10^{-3} (Hz) 付近にもピークが現れ全周波数帯域におけるパワーの分布は図9に比べて高周波帯域にシフトしている。

[0086] 図11は、本実施形態における、分離膜21の洗浄から第3の時間経過後の膜抵抗上昇速度の経時変化を周波数変換した一例を示すグラフである。第3の時間経過は、図8における11日目である。11日目はファウリングにより分離膜21の透過性能が急激に劣化する2日前であり、図8に示す膜抵抗上昇速度の大きさにおいては、第1の時間経過後と第2の時間経過後と差異が認められない。

[0087] 図11におけるFFTの条件は図9及び図10と同じである。図11に示す結果は、図9と同様に全周波数帯域を $0 \sim 0.6 \times 10^{-3}$ (Hz) としたときに、パワーのピークが全周波数帯域に分散している。すなわち、図8において差異の認められなかった膜抵抗上昇速度の大きさは、周波数変換後に

においては大きな差異として表されている。

以上で、図 9～図 11 を用いた、膜抵抗上昇速度の経時変化を周波数変換した結果の説明を終了する。

[0088] 次に、図 12 を用いて、寄与率を算出するための周波数帯域の設定方法について説明する。図 12 は、本実施形態における、寄与率を算出するための周波数帯域の設定方法の一例を示すグラフである。なお、図 12 に示すグラフは図 9 で示したグラフを利用している。

[0089] 図 12 において、全周波数帯域（全バンド）を $0 \sim 1.05 \times 10^{-3}$ (Hz) とする。第 1 の周波数帯域（バンド 1）を $0 \sim 0.6 \times 10^{-3}$ (Hz) とする。第 2 の周波数帯域（バンド 2）を $0.6 \times 10^{-3} \sim 1.05 \times 10^{-3}$ (Hz) とする。第 1 の周波数帯域における寄与率をバンド 1 寄与率、第 2 の周波数帯域における寄与率をバンド 2 寄与率とする。バンド 1 寄与率とバンド 2 寄与率の算出方法は、式 (3) によって算出される。

[0090] なお、図 12 においては、全周波数帯域を 2 つの周波数帯域に分割して第 1 の周波数帯域と第 2 の周波数帯域を判定対象の周波数帯域として設定する場合を示したが、判定対象の周波数帯域の設定方法はこれに限定されるものではない。例えば、第 1 の周波数帯域と第 2 の周波数帯域は連続している場合を示したが、第 1 の周波数帯域と第 2 の周波数帯域は不連続な周波数帯域であってもよい。また、全周波数帯域の所定の一部の周波数帯域を判定対象としてもよい。また、全周波数帯域を 3 以上の周波数帯域に分割して判定対象としてもよい。

以上で、図 12 を用いた、寄与率を算出するための周波数帯域の設定方法についての説明を終了する。

[0091] 次に、図 13 を用いて、図 12 において説明した、バンド 1 寄与率とバンド 2 寄与率の推移を説明する。図 13 は、本実施形態における、バンド 1 寄与率とバンド 2 寄与率の推移の一例を示すグラフである。

[0092] 図 13 において、1 日目から 9 日目までは、バンド 1 寄与率がバンド 2 寄与率に比べて高くなっている。しかし、9 日目以降は、バンド 1 寄与率が低

下するとともにバンド2 寄与率が上昇して、バンド1 寄与率のグラフとバンド2 寄与率のグラフが交錯している。9 日目は分離膜2 1 の透過性能が急激に劣化する4 日前である。すなわち、図1 3 は、寄与率の推移によってファウリングの兆候を判定可能であることを示している。予めファウリングの兆候を判定することができるので、事前の洗浄作業によりファウリングによる水処理の緊急停止を防止できるとともに、定期的な洗浄作業の実施に伴う洗浄コストを削減することが可能となる。

以上で、図1 3 を用いた、バンド1 寄与率とバンド2 寄与率の推移の説明を終了する。

[0093] 次に、図1 4 を用いて、爆気量を変更したときの寄与率の推移を説明する。図1 4 は、本実施形態における、爆気量を変更したときの寄与率の推移の一例を示すグラフである。

[0094] 図1 4 において、4 日目以降において、バンド1 寄与率のグラフとバンド2 寄与率のグラフが交錯し、ファウリングの兆候を示している。矢印で図示する1 2 日目において、爆気量を1. 5 倍に変更すると、バンド1 寄与率は上昇し、バンド2 寄与率は下降してファウリングの兆候が消えたことを示している。すなわち、寄与率に基づいて、爆気等によって分離膜2 1 の透過性能が回復したことを判定できることを示している。本実施形態においては、寄与率に基づき、図3 ～図5 で説明した運転条件の変更を実施する。図1 4 は、本実施形態において、寄与率に基づき適切な運転条件の変更が可能であることを示している。

以上で、図1 4 を用いた、爆気量を変更したときの寄与率の推移の説明を終了する。

[0095] なお、本実施形態における分離膜診断装置5 0 は、MBRにおける分離膜2 1 の透水状態を診断するものとして説明したが、分離膜診断装置5 0 は、例えば、純水製造システム、上水処理システム、海水淡水化システム等における分離膜の透水状態等の診断にも適用することができる。

[0096] 以上説明した少なくともひとつの実施形態によれば、分離膜診断方法は、

取得ステップと、経時変化記録ステップと、振動解析ステップと、判定ステップとを含むことにより、水処理に用いる分離膜の状態を正確に把握することにより水処理コストを低減することができる、分離膜診断方法、水処理方法、分離膜診断装置、水処理装置及び分離膜診断プログラムまたは当該プログラムが記録された記憶媒体を提供することができる。

[0097] なお、上述した装置は、コンピュータで実現するようにしてもよい。その場合、各機能ブロックの機能を実現するためのプログラムをコンピュータ読み取り可能な記録媒体に記録する。この記録媒体に記録されたプログラムをコンピュータシステムに読み込ませ、CPUが実行することで実現してもよい。ここでいう「コンピュータシステム」とは、OS (Operating System) や周辺機器等のハードウェアを含むものとする。また、「コンピュータ読み取り可能な記録媒体」とは、フレキシブルディスク、光磁気ディスク、ROM、CD-ROM等の可搬媒体のことをいう。また、「コンピュータ読み取り可能な記録媒体」は、コンピュータシステムに内蔵されるハードディスク等の記憶装置を含む。さらに「コンピュータ読み取り可能な記録媒体」とは、短時間の間、動的にプログラムを保持するものを含んでもよい。短時間の間、動的にプログラムを保持するものは、例えば、インターネット等のネットワークや電話回線等の通信回線を介してプログラムを送信する場合の通信線である。また、「コンピュータ読み取り可能な記録媒体」には、サーバやクライアントとなるコンピュータシステム内部の揮発性メモリのように、一定時間プログラムを保持しているものも含んでもよい。また上記プログラムは、前述した機能の一部を実現するためのものであってもよい。また、上記プログラムは、前述した機能をコンピュータシステムにすでに記録されているプログラムとの組み合わせで実現できるものであってもよい。また、上記プログラムは、プログラマブルロジックデバイスを用いて実現されるものであってもよい。プログラマブルロジックデバイスは、例えば、FPGA (Field Programmable Gate Array) である。

また、図を用いて説明した装置の各機能部は、ソフトウェア機能部であるものとしたが、機能の一部又は全部は、LSI等のハードウェア機能部であってもよい。

- [0098] 本発明のいくつかの実施形態を説明したが、これらの実施形態は、例として提示したものであり、発明の範囲を限定することは意図していない。これら実施形態は、その他の様々な形態で実施されることが可能であり、発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々の省略、置き換え、変更を行うことができる。これら実施形態やその変形は、発明の範囲や要旨に含まれると同様に、特許請求の範囲に記載された発明とその均等の範囲に含まれるものである。

実施例

- [0099] (実施例1) 図15にMBRの膜ファウリングを予測した例を提示する。図15は本実施形態における分離膜21の膜抵抗Rとバンド1寄与率、バンド2寄与率の推移を表したものである。2月13日から膜抵抗が急上昇し、2月14日に運転を止めている。この急上昇をバンド1寄与率の推移を用いて予測する方法を説明する。なお、ここでは2日間のバンド1寄与率の値をもってファウリングの兆候と判断する。バンド1寄与率の算出方法は前述のとおりである。
- [0100] 運転開始から2月9日までバンド1寄与率の値が2日間60%以下を維持することがなく、分離膜の透水状態は良好と判断できる。2月9日からバンド1寄与率が2日間50%以下を維持し分離膜の状態が悪いと判断できる。これにより数日前にファウリングを予測することが可能であった。
- [0101] (実施例2) 図16に例1と同様にMBRの膜ファウリングを予測した例を提示する。図16は6月1日から7月4日までの運転例であり、7月4日に急激に膜抵抗が上昇し運転をやめている。運転初期の6月1日から6月17日まではバンド1寄与率が2日間60%以下を維持することがなく、分離膜の透水状態は良好と判断できる。6月17日からバンド1寄与率が60%以下を維持し分離膜の状態が悪いと判断できる。これにより約2週間前からファウリングを予測することが可能であった。

[0102] (実施例3) 図17に例1と同様の条件でMBRの膜ファウリングを予測した例を提示する。図17は3月1日から3月10日までの運転例であり、3月6日から膜抵抗が上昇し3月10日に運転をやめている。運転開始日の3月1日からバンド1寄与率が2日間60%以下を維持し分離膜の状態が悪いと判断できる。これにより数日前からファウリングを予測することが可能であった。

[0103] (実施例4) 図18に例1と同様の条件でMBRの膜ファウリングを予測した例を提示する。図18は4月1日から4月30日までの運転例であり、1ヵ月の運転で膜抵抗が上昇することはなかった。運転開始日の4月1日からバンド1寄与率が2日間60%以下を維持することがなく、分離膜の透水状態が良くファウリングが発生しないと判断できる。

[0104] (実施例5) 図19に例1と同様の条件でMBRの膜ファウリングを予測した例を提示する。図19は3月4日から3月19日までの運転例である。3月10日からバンド1寄与率が2日間60%以下を維持し分離膜の状態が悪いと判断できる。この結果に従って3月16日に爆気風量を1.5倍に変更した。その後差圧の急上昇は起きず、バンド1寄与率は60%以下を維持しなくなり、分離膜の透水状態が良好になったと判断できる。

符号の説明

- [0105]
- | | |
|-----|--------|
| 1 1 | 水槽 |
| 1 2 | 原水流路 |
| 1 3 | 余剰汚泥流路 |
| 2 1 | 分離膜 |
| 2 2 | 透過水流路 |
| 2 3 | 吸引ポンプ |
| 2 4 | 排水流路 |
| 2 5 | 差圧計 |
| 3 1 | 散気管 |
| 3 2 | ブローア |

- 4 0 水処理制御装置
- 5 0 分離膜診断装置
- 1 0 0 水処理装置
- 4 1 制御部
- 4 2 ポンプ駆動部
- 4 3 ブロア駆動部
- 4 4 差圧取得部
- 4 5 操作部
- 4 6 表示部
- 4 7 通信部
- 5 1 制御部
- 5 2 膜抵抗算出部
- 5 3 周波数解析部
- 5 4 判定部
- 5 5 操舵部
- 5 6 表示部
- 5 7 通信部

請求の範囲

- [請求項1] 固液分離を行う分離膜の状態を表す指標を取得する取得ステップと、
取得された前記指標の経時変化を記録する経時変化記録ステップと、
記録された前記経時変化の振動を周波数変換する振動解析ステップと、
周波数変換した前記振動の大きさに基づいて前記分離膜の透水状態を判定する判定ステップと
を含む分離膜診断方法。
- [請求項2] 前記指標が、差圧またはろ過流量の少なくとも一方である、請求項1に記載の分離膜診断方法。
- [請求項3] 前記判定ステップにおいて、周波数変換した所定の周波数帯域における前記振動の大きさに基づいて前記分離膜の透水状態を判定する、請求項1または2に記載の分離膜診断方法。
- [請求項4] 前記判定ステップにおいて、第1の周波数帯域における前記振動の大きさと、第2の周波数帯域における前記振動の大きさとを比較することにより、前記分離膜の透水状態を判定する、請求項3に記載の分離膜診断方法。
- [請求項5] 前記判定ステップにおいて、第1の周波数帯域における前記振動の大きさの寄与率と、第2の周波数帯域における前記振動の大きさの寄与率とを比較することにより、前記分離膜の透水状態を判定する、請求項4に記載の分離膜診断方法。
- [請求項6] 前記判定ステップにおいて判定された固液分離を行う分離膜の透水状態に基づき、さらに前記分離膜を用いた固液分離の運転条件を変更する運転条件変更ステップを含む、請求項1から5のいずれか一項に記載の分離膜診断方法を用いた水処理方法。
- [請求項7] 前記運転条件変更ステップにおいて、前記分離膜を爆気する爆気量

を変更することにより前記運転条件を変更する、請求項 6 に記載の水処理方法。

[請求項 8] 前記運転条件変更ステップにおいて、前記分離膜の透過水量を変更することにより前記運転条件を変更する、請求項 6 又は 7 に記載の水処理方法。

[請求項 9] 診断された前記透水状態に基づき、さらに前記分離膜のメンテナンスを促す情報を報知する報知ステップをさらに含む、請求項 6 から 8 のいずれか一項に記載の水処理方法。

[請求項 10] 前記判定ステップにおいて第 1 の周波数帯域における前記振動の大きさの寄与率が 60%以下となった時、前記分離膜を用いた固液分離の運転条件を変更する、請求項 6 から 9 のいずれか一項に記載の水処理方法。

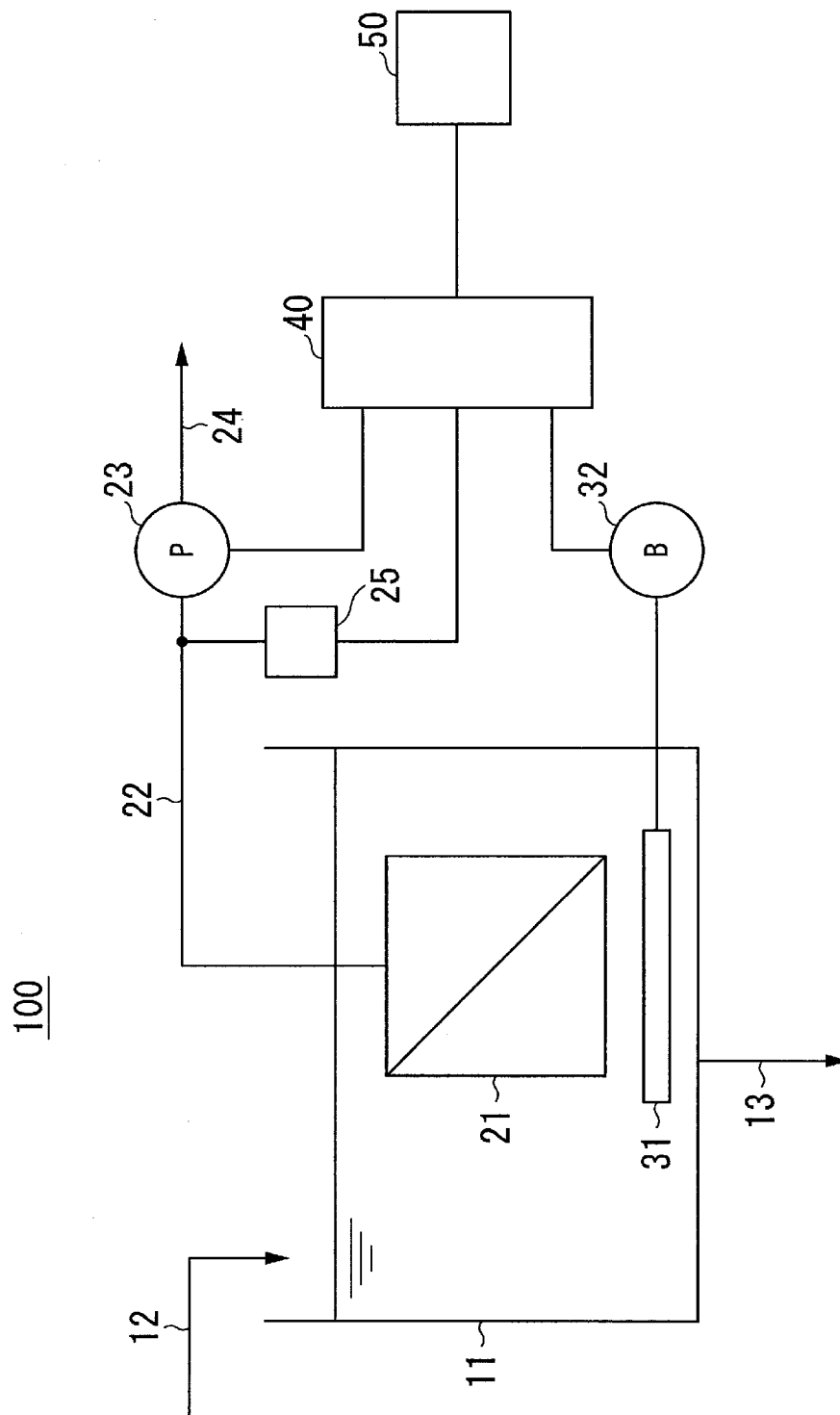
[請求項 11] 固液分離を行う分離膜の状態を表す指標を取得する取得部と、
取得された前記指標の経時変化を記録する経時変化記録部と、
記録された前記経時変化の振動を周波数変換する振動解析部と、
周波数変換した前記振動の大きさに基づいて前記分離膜の透水状態を判定する判定部と
を備える分離膜診断装置。

[請求項 12] 固液分離を行う分離膜と、
前記分離膜の状態を表す指標を取得する取得部と、
取得された前記指標の経時変化を記録する経時変化記録部と、
記録された前記経時変化の振動を周波数変換する振動解析部と、
周波数変換した前記振動の大きさに基づいて前記分離膜の透水状態を判定する判定部と、
判定された前記透水状態に基づき、前記分離膜を用いた固液分離の運転条件を変更する運転条件変更部と、
を備える水処理装置。

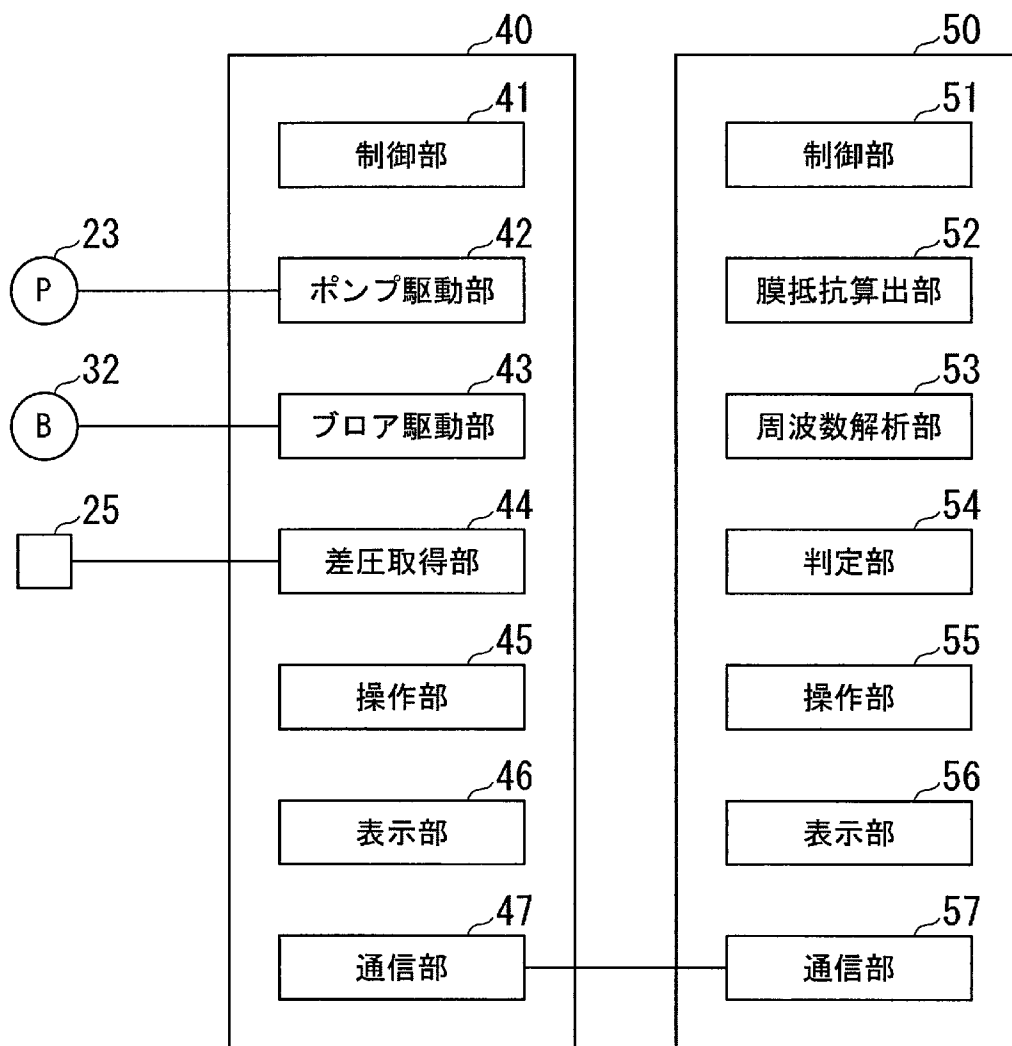
[請求項 13] 固液分離を行う分離膜の状態を表す指標を取得する取得部と、

取得された前記指標の経時変化を記録する経時変化記録処理と、
記録された前記経時変化の振動を周波数変換する振動解析処理と、
周波数変換した前記振動の大きさに基づいて前記分離膜の透水状態
を判定する判定処理と
をコンピュータに実行させるための分離膜診断プログラム。

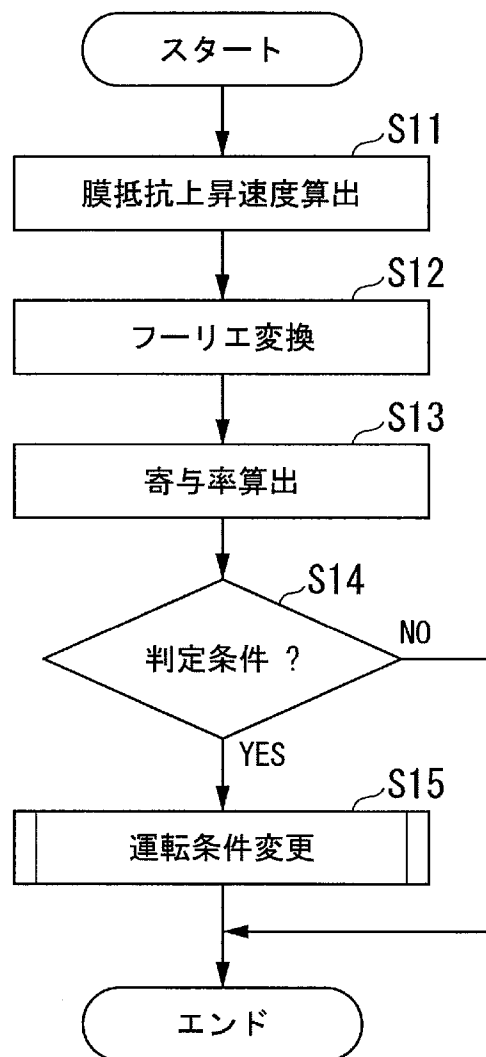
[図1]



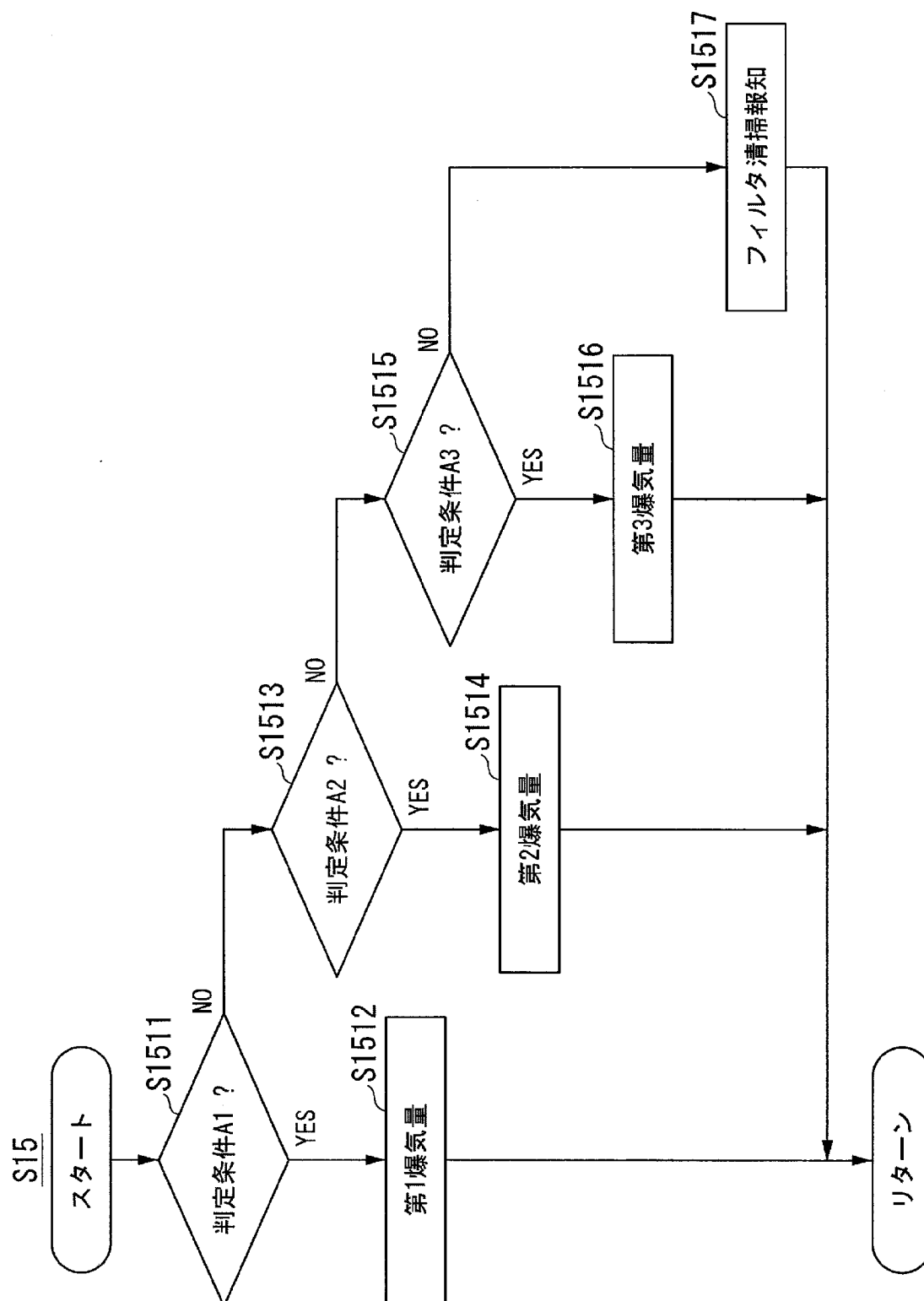
[図2]



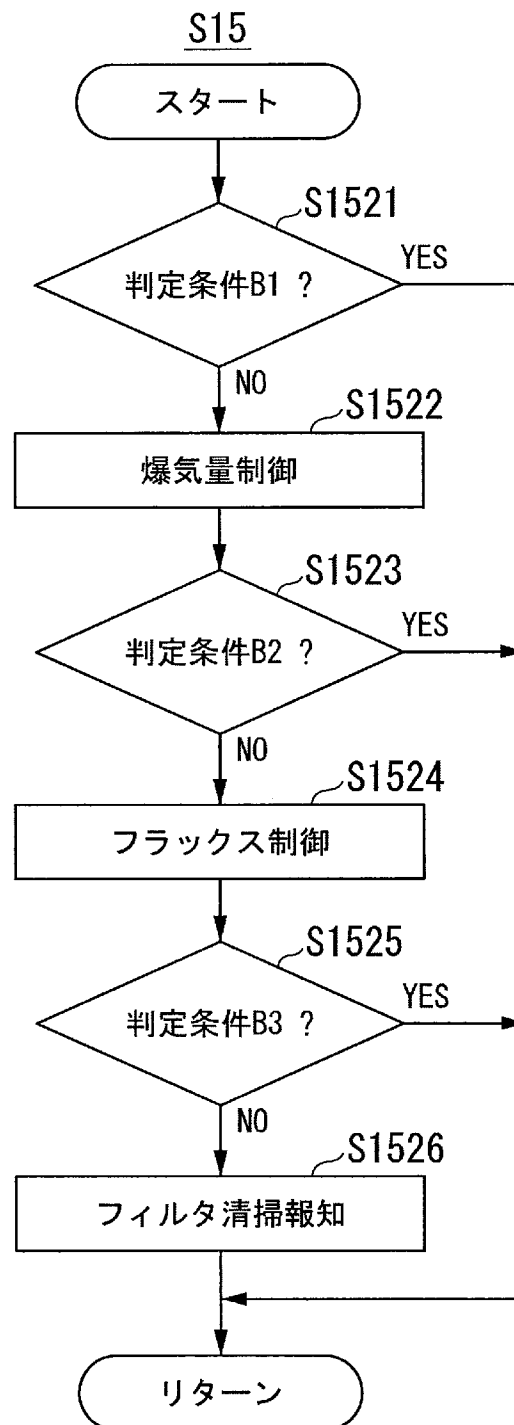
[図3]



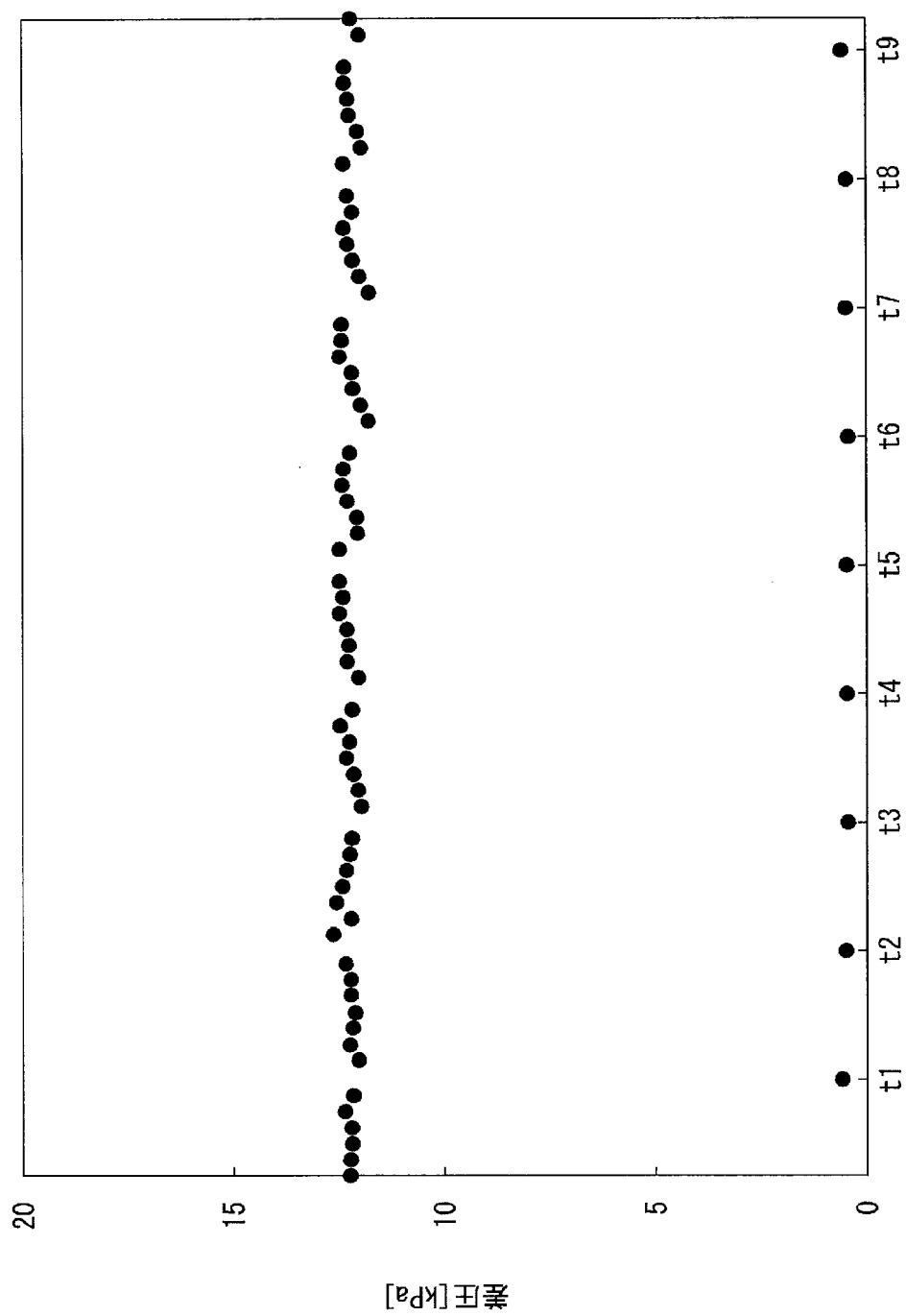
[図4]



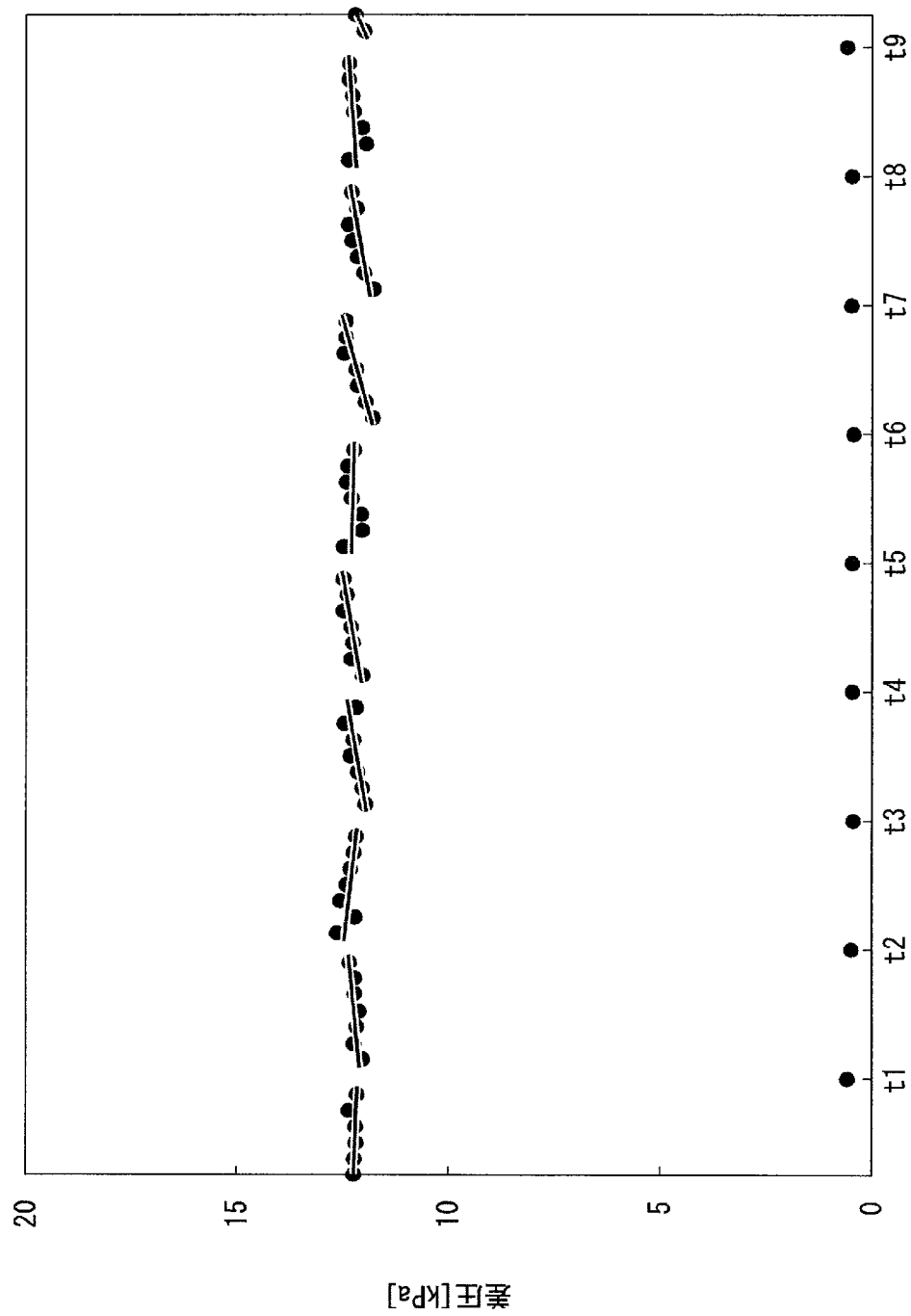
[図5]



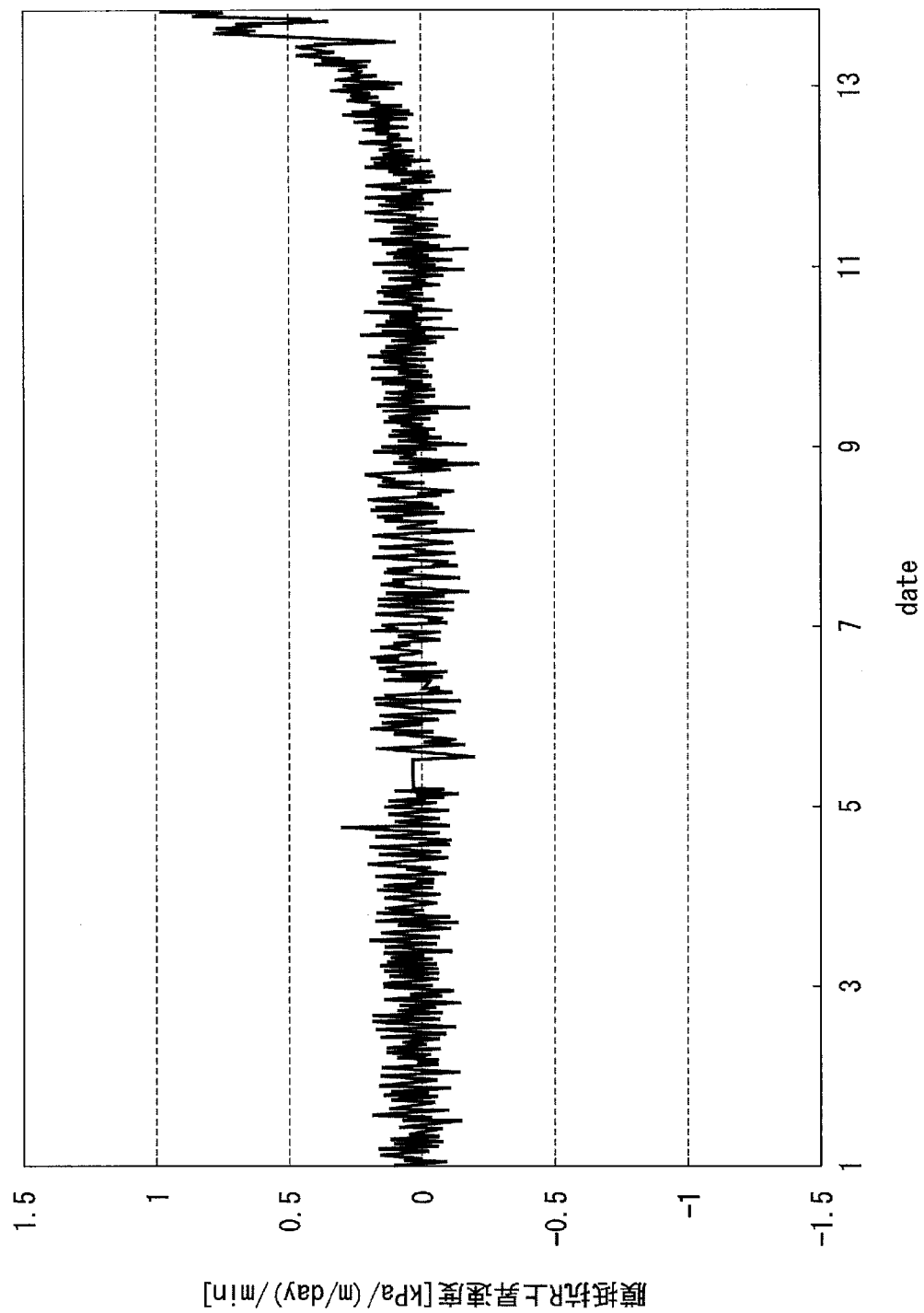
[図6]



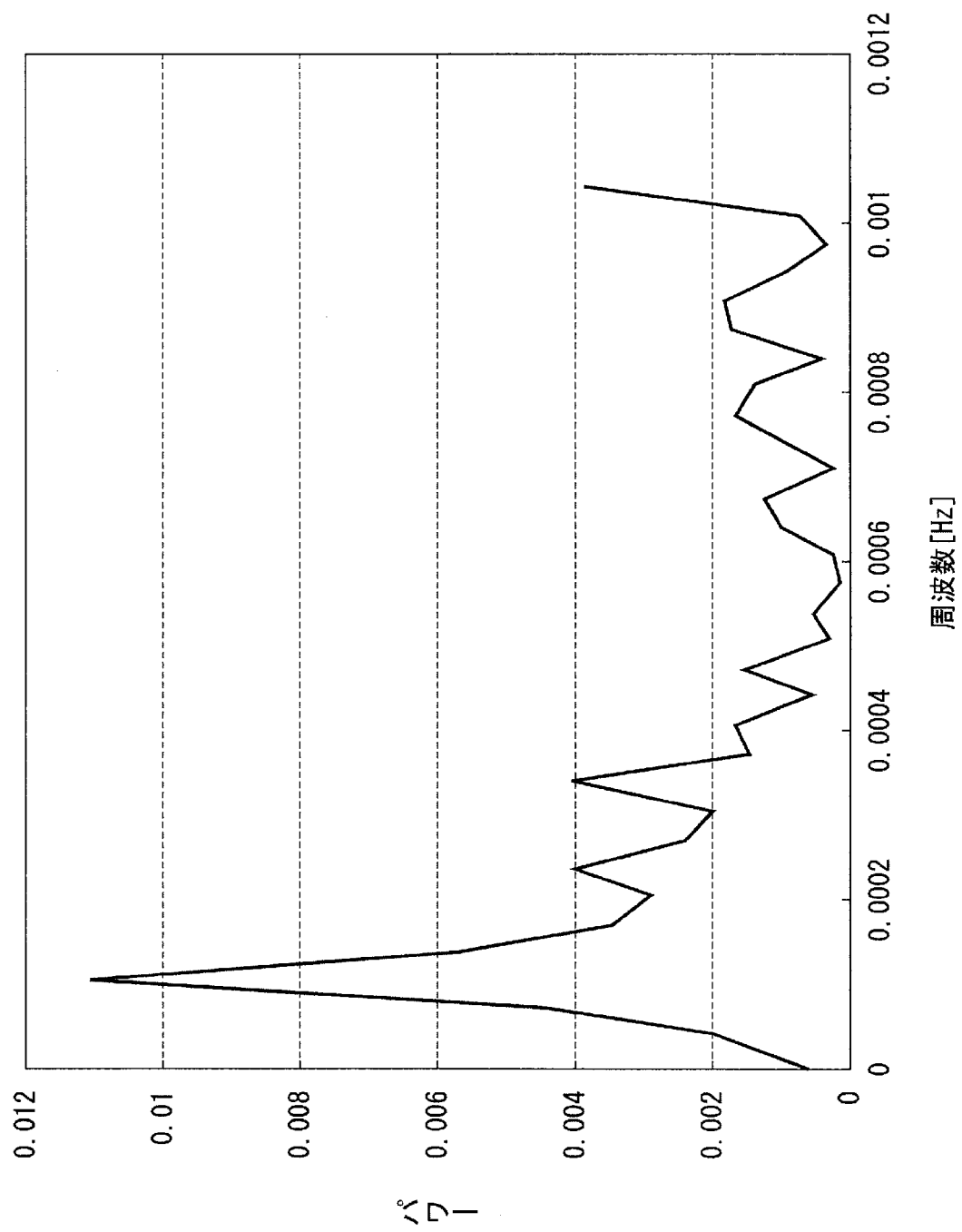
[図7]



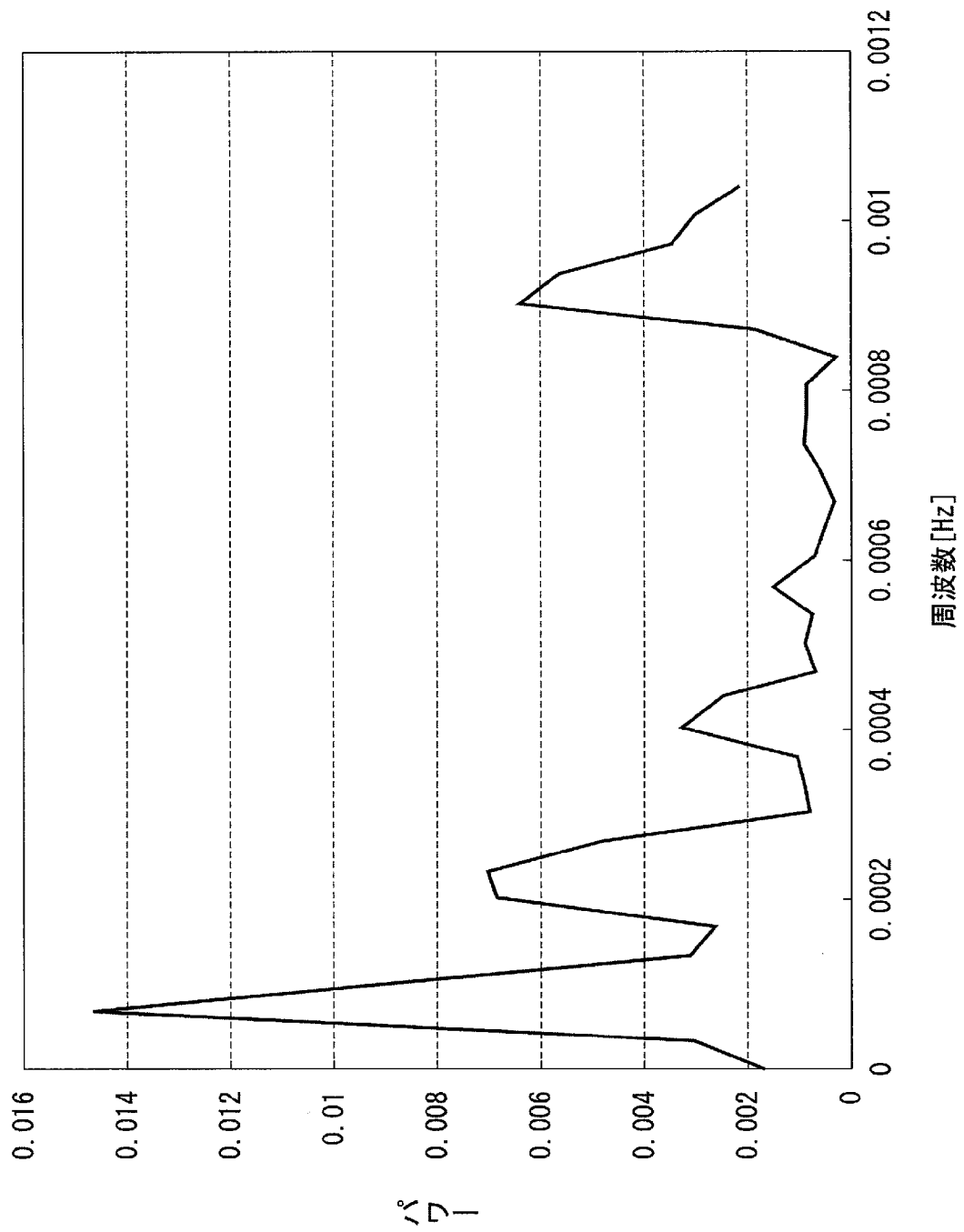
[図8]



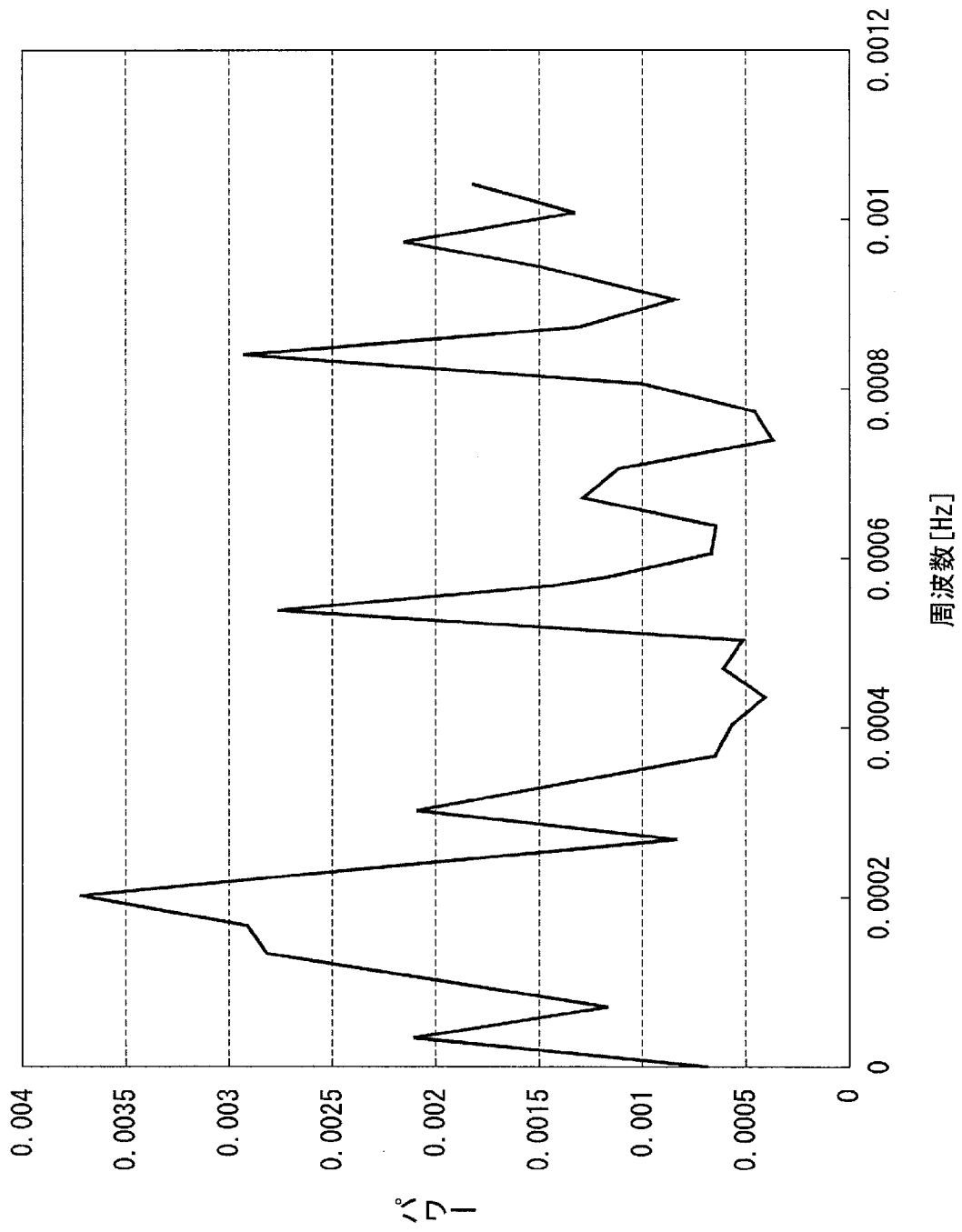
[図9]



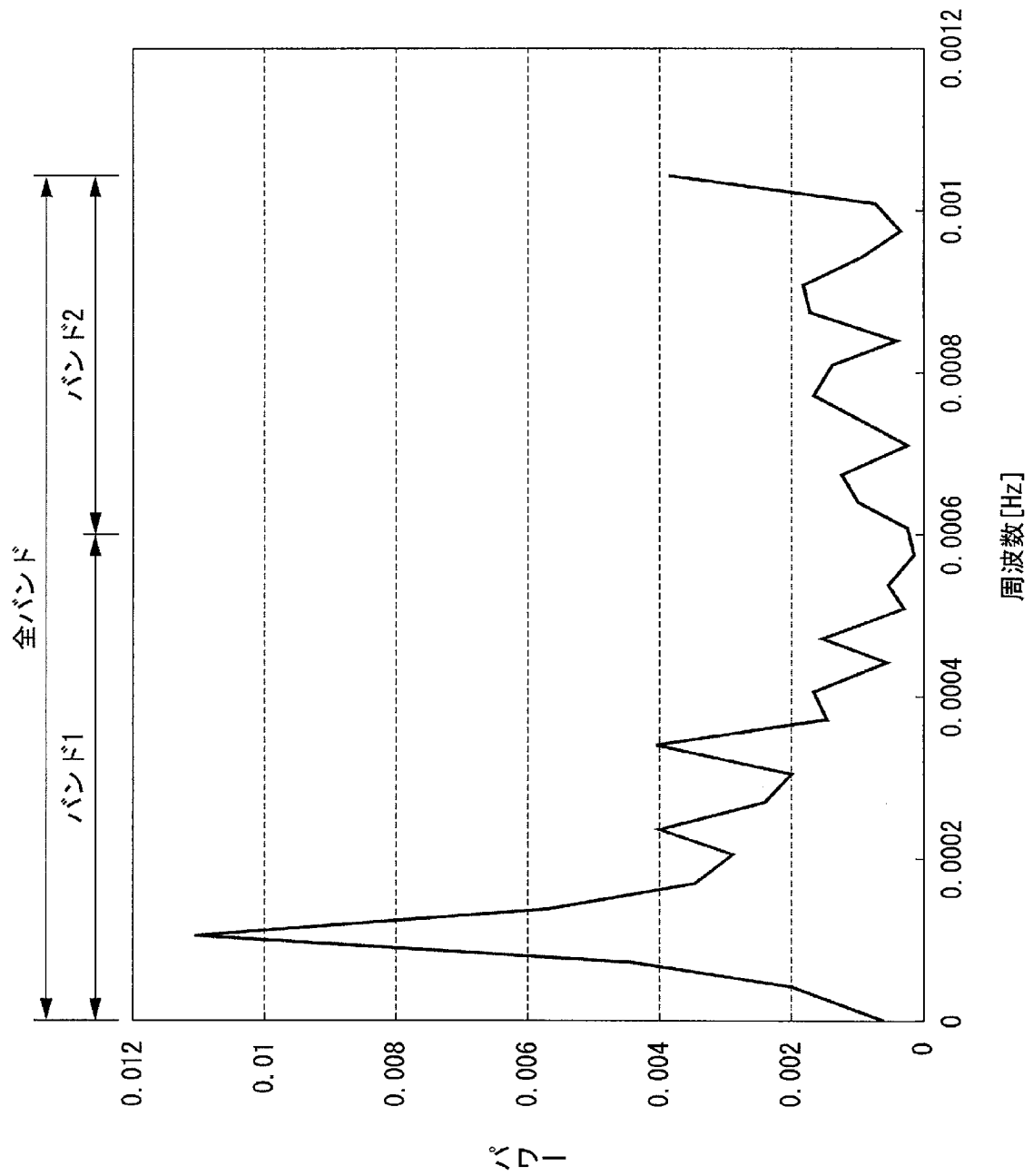
[図10]



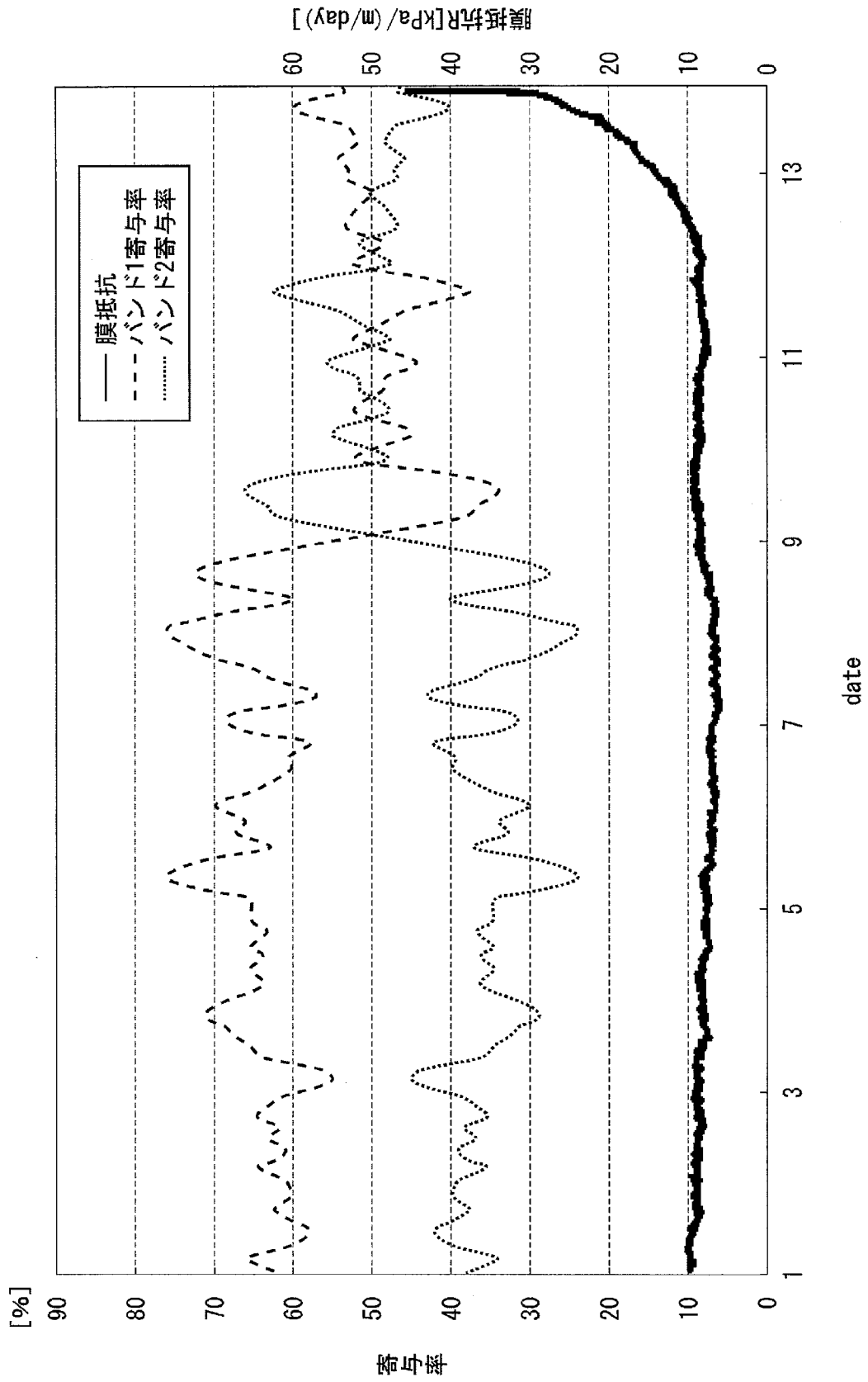
[図11]



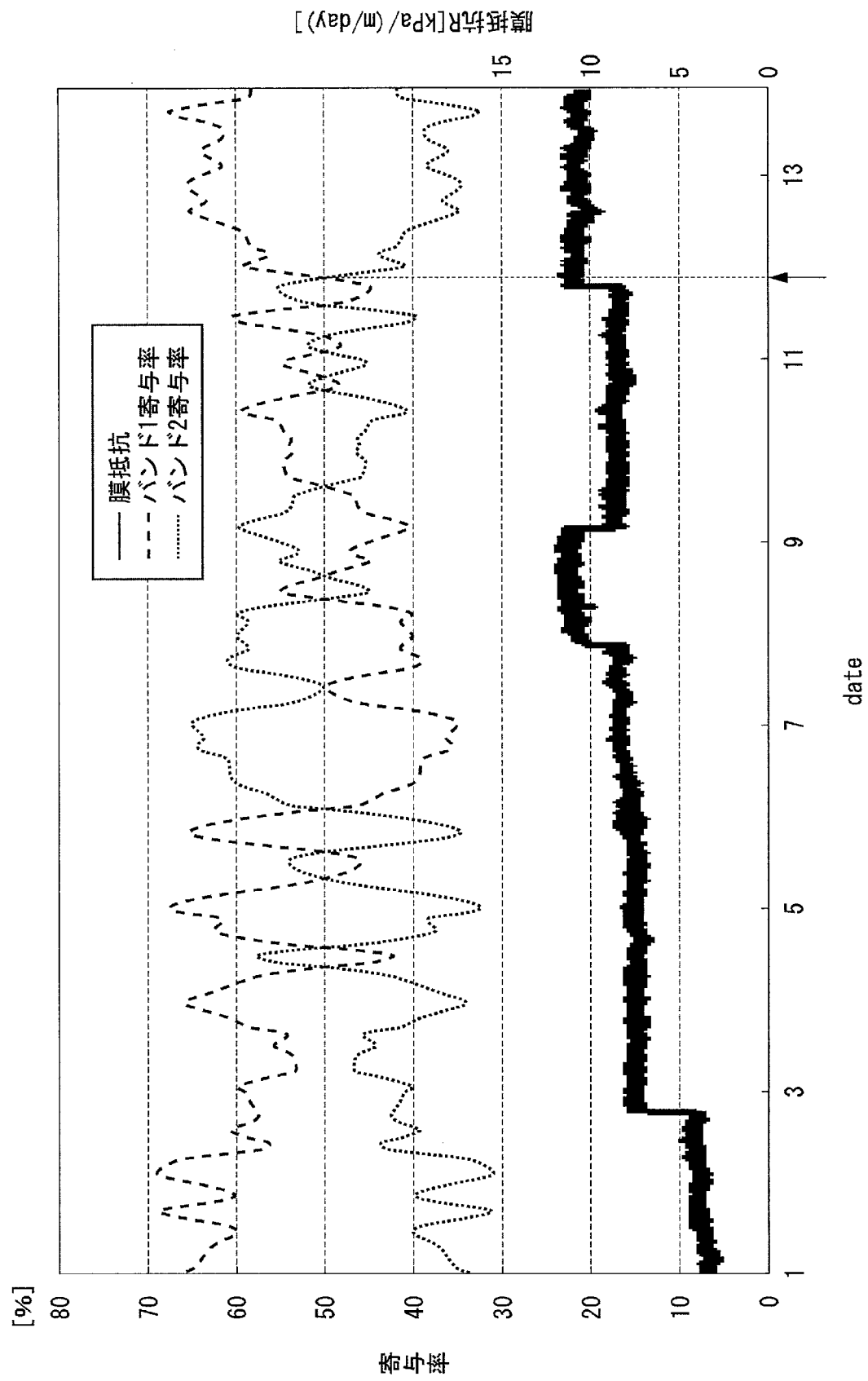
[図12]



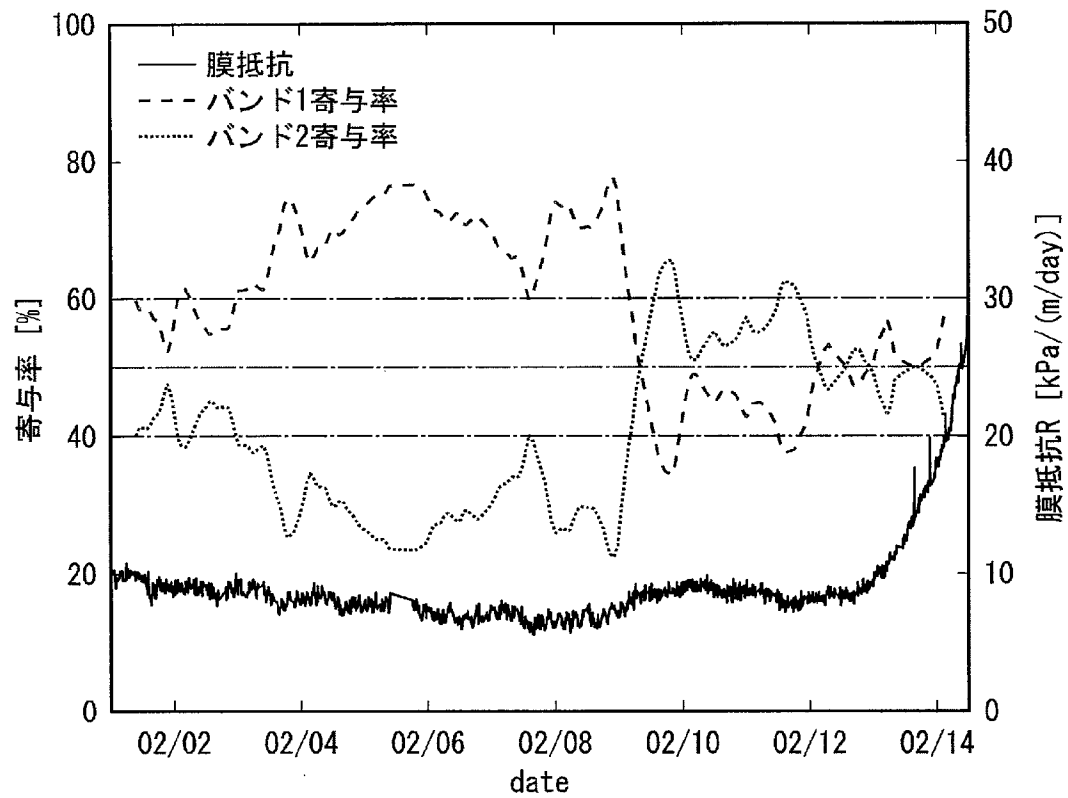
[図13]



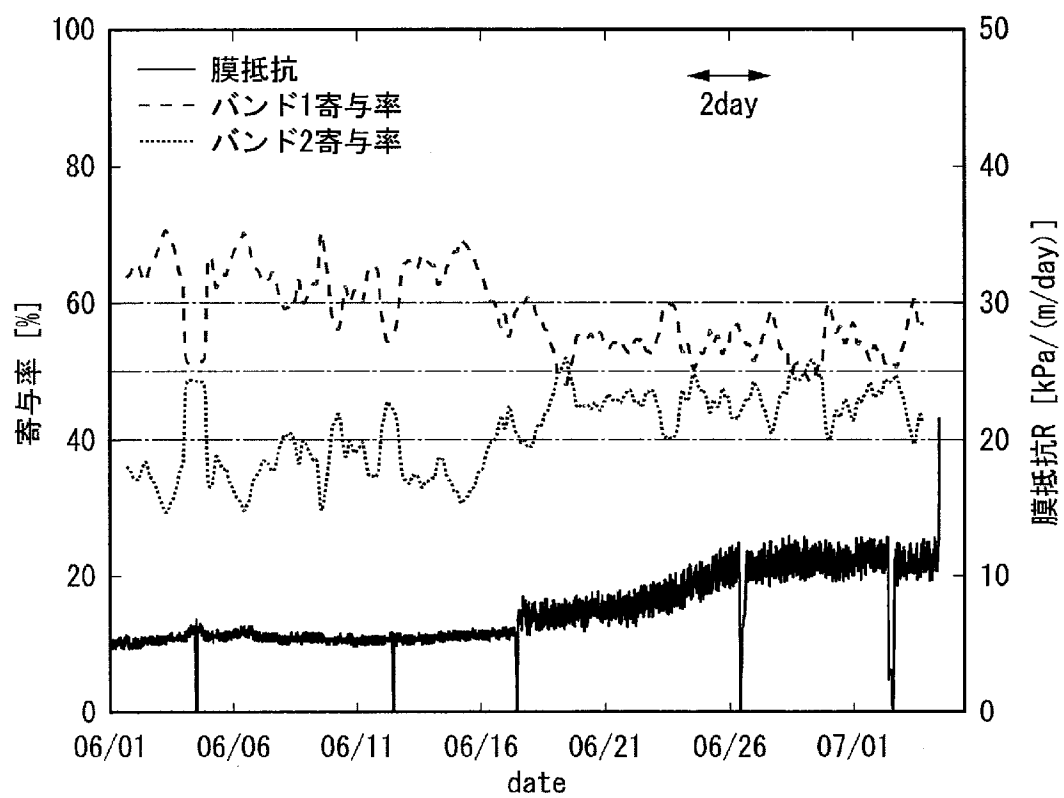
[図14]



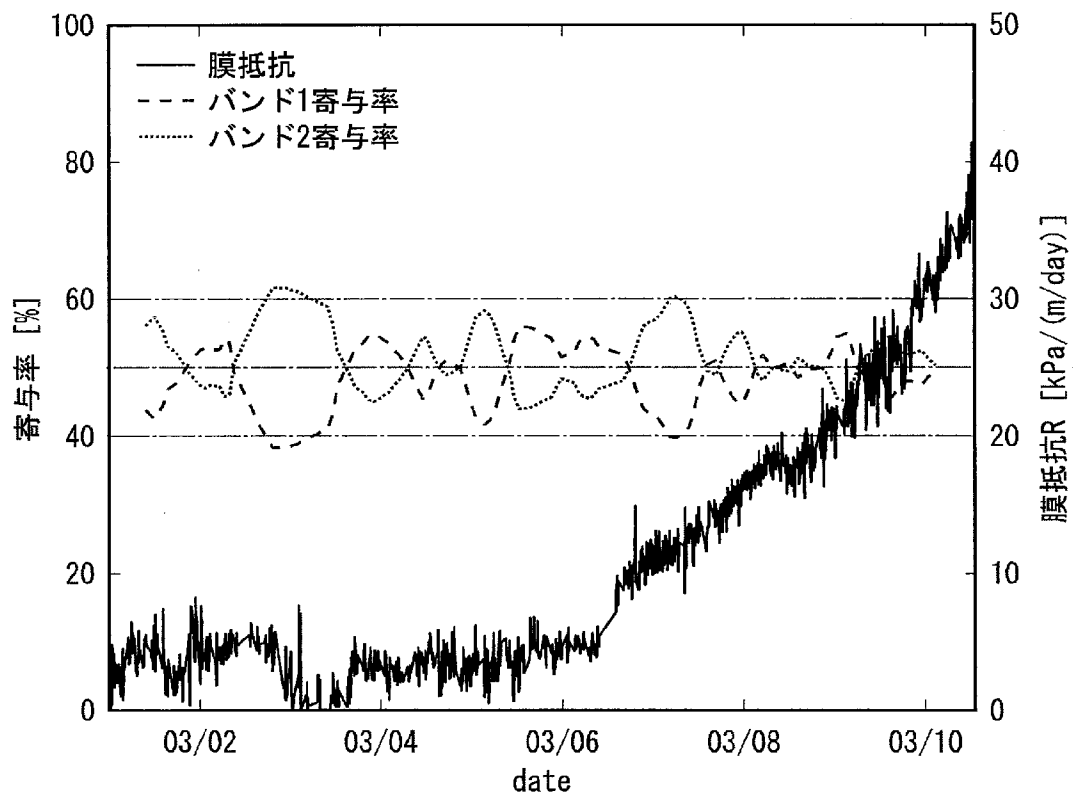
[図15]



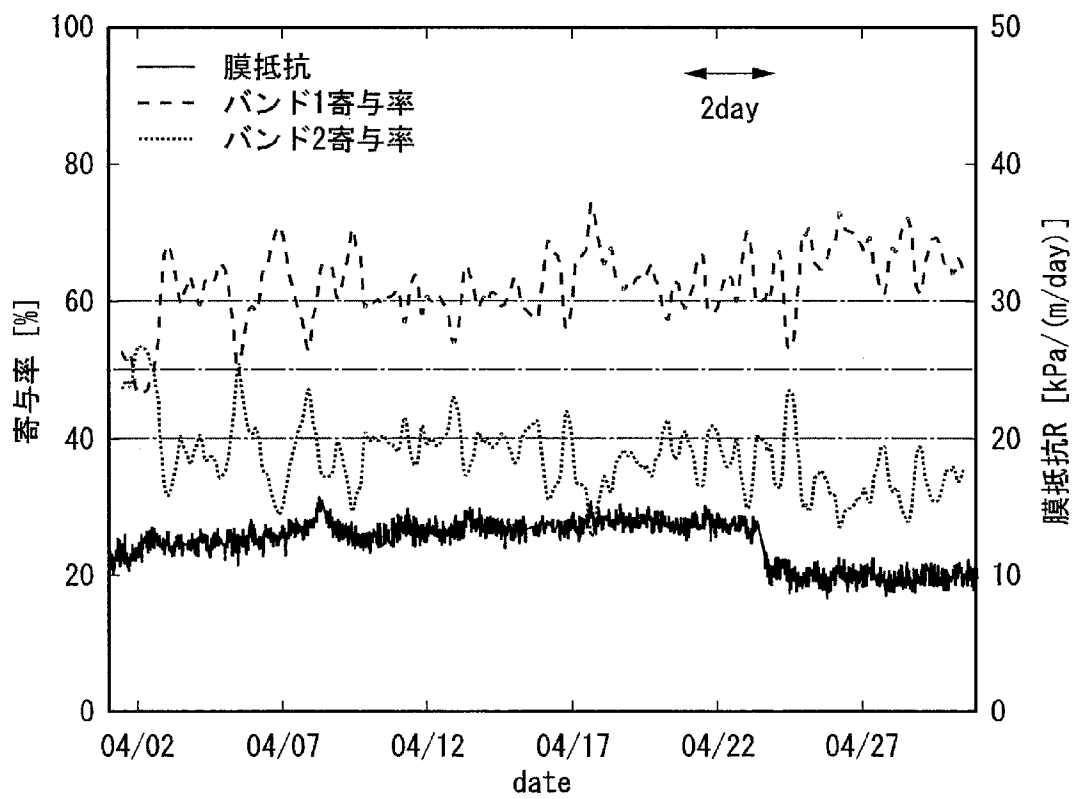
[図16]



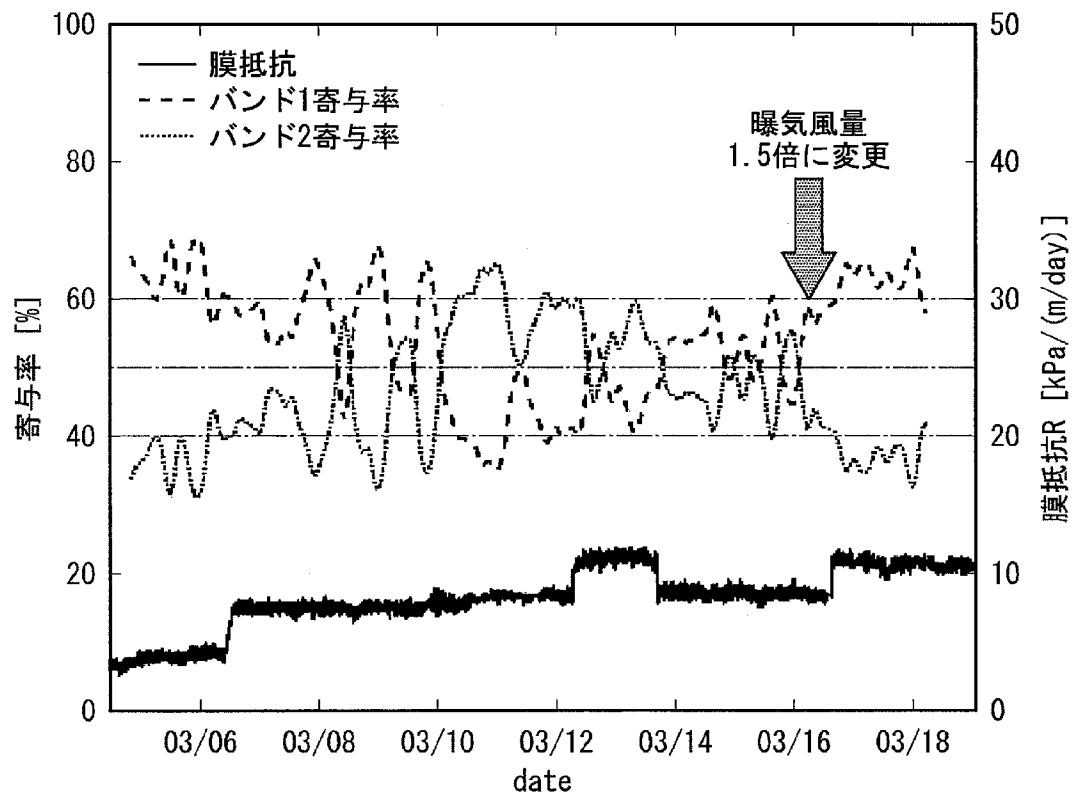
[図17]



[図18]



[図19]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/003363

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

B01D65/10(2006.01)i, B01D65/02(2006.01)i, G01N15/08(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)

B01D65/10, B01D65/02, G01N15/08, A61M1/14

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	1996-2017
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2017	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2017

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

JSTPlus/JMEDPlus/JST7580(JDreamIII)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	JP 2007-240373 A (Toshiba IT & Control Systems Corp.), 20 September 2007 (20.09.2007), claims; paragraphs [0039] to [0041], [0044] (Family: none)	1-3, 6-13 1-13
Y	JP 2013-104849 A (Mitsubishi Electric Corp.), 30 May 2013 (30.05.2013), paragraphs [0040] to [0042] (Family: none)	4-10, 12
Y	JP 2006-281092 A (Toshiba Corp.), 19 October 2006 (19.10.2006), (Family: none)	1-13

☒ 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
20 February 2017 (20.02.17)

Date of mailing of the international search report
28 February 2017 (28.02.17)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/003363

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2014-519898 A (Fresenius Medical Care Deutschland GmbH), 21 August 2014 (21.08.2014), paragraphs [0031] to [0037]; fig. 1 & US 2012/0298581 A1 paragraphs [0048] to [0054]; fig. 1 & WO 2012/159734 A1 & EP 2714128 B1 & DE 102011102962 A & DE 102011102962 A1 & CN 103547301 A	1-13
A	JP 2005-296908 A (Maezawa Industries, Inc.), 27 October 2005 (27.10.2005), (Family: none)	1-13

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. B01D65/10(2006.01)i, B01D65/02(2006.01)i, G01N15/08(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（IPC））

Int.Cl. B01D65/10, B01D65/02, G01N15/08, A61M1/14

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	1971-2017年
日本国実用新案登録公報	1996-2017年
日本国登録実用新案公報	1994-2017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）

JSTPlus/JMEDPlus/JST7580 (JDreamIII)

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 Y	JP 2007-240373 A（東芝ITコントロールシステム株式会社） 2007.09.20, 特許請求の範囲, 段落 0039-0041, 0044 （ファミリーなし）	1-3, 6-13 1-13
Y	JP 2013-104849 A（三菱電機株式会社）2013.05.30, 段落 0040-0042（ファミリーなし）	4-10, 12
Y	JP 2006-281092 A（株式会社東芝）2006.10.19,（ファミリーなし）	1-13

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

の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

20.02.2017

国際調査報告の発送日

28.02.2017

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/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）

宮部 裕一

電話番号 03-3581-1101 内線 3468

4Q

3840

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
Y	JP 2014-519898 A (フレゼニウス メディカル ケア ドイツ ランド ゲゼルシャフト ミット ベシュレンクテル ハフツ ング) 2014.08.21, 段落 0031-0037, 図 1 & US 2012/0298581 A1 , [0048]-[0054], Fig. 1 & WO 2012/159734 A1 & EP 2714128 B1 & DE 102011102962 A & DE 102011102962 A1 & CN 103547301 A	1-13
A	JP 2005-296908 A (前澤工業株式会社) 2005.10.27, (ファミリーなし)	1-13