

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6941083号
(P6941083)

(45) 発行日 令和3年9月29日(2021.9.29)

(24) 登録日 令和3年9月7日(2021.9.7)

(51) Int.Cl. F I
B O 1 D 21/30 (2006.01) B O 1 D 21/30 A
B O 1 D 21/01 (2006.01) B O 1 D 21/01 B

請求項の数 5 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2018-153452 (P2018-153452)	(73) 特許権者	591030651 水 i n g 株式会社 東京都港区港南一丁目7番18号
(22) 出願日	平成30年8月17日 (2018.8.17)	(74) 代理人	100118500 弁理士 廣澤 哲也
(65) 公開番号	特開2020-25943 (P2020-25943A)	(74) 代理人	100091498 弁理士 渡邊 勇
(43) 公開日	令和2年2月20日 (2020.2.20)	(72) 発明者	林 益啓 東京都港区港南一丁目7番18号 水 i n g 株式会社内
審査請求日	令和2年7月1日 (2020.7.1)	(72) 発明者	古賀 大輔 東京都港区港南一丁目7番18号 水 i n g 株式会社内
		審査官	富永 正史

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 水処理方法および水処理システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

凝集剤を原水に注入して凝集フロックを形成し、
 前記凝集フロックの画像データを画像取得装置により生成し、
前記凝集フロックの画像データと、水処理に関連する情報データを説明変数として含む学習データを用いて機械学習アルゴリズムに従って学習済みモデルを構築し、前記情報データは、原水のpH、M-アルカリ度、凝集剤注入率を含み、
前記学習済みモデルから、凝集フロックの状態を示す目的変数である凝集剤注入率の過不足を示す判定結果をリアルタイムで出力し、その判定結果に基づいて前記凝集剤の注入率を調整することを特徴とする水処理方法。

【請求項2】

請求項1に記載の水処理方法であって、
 前記凝集フロックの画像データを画像取得装置により生成する工程は、前記凝集フロックを含む水を抽出してサンプリング容器内に導入し、前記サンプリング容器内の前記凝集フロックの画像データを画像取得装置により生成する工程である、水処理方法。

【請求項3】

請求項1に記載の水処理方法であって、
 前記凝集フロックの状態とは無関係の、前記凝集剤注入率の基準値を基準値算定式により決定し、
 前記基準値の補正値を、前記凝集剤注入率の過不足を示す前記判定結果に基づいて決定

し、

前記基準値と前記補正值とから、前記凝集剤注入率を補正する工程をさらに含む、水処理方法。

【請求項 4】

請求項 1 乃至 3 のいずれか一項に記載の水処理方法であって、

前記画像データと、実際の凝集フロックの状態の良否を表す数値との組み合わせからなるデータセットを用いて、前記学習済みモデルを更新する工程をさらに含む、水処理方法。

【請求項 5】

凝集剤が注入された原水を攪拌して凝集フロックを形成する攪拌槽と、
前記凝集フロックの画像データを生成する画像取得装置と、
前記凝集フロックの画像データと、水処理に関連する情報データを説明変数として含む学習データを用いて機械学習アルゴリズムに従って構築された学習済みモデルを有するコンピュータを備え、

前記情報データは、原水の pH、M - アルカリ度、凝集剤注入率を含み、
前記コンピュータは、前記学習済みモデルが格納された記憶装置と、前記学習済みモデルから、凝集フロックの状態を示す目的変数である凝集剤注入率の過不足を示す判定結果をリアルタイムで出力し、その判定結果に基づいて前記凝集剤の注入率を調整するための演算を実行する処理装置を備えていることを特徴とする水処理システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、機械学習アルゴリズムを用いたモデルと、凝集フロックの静止画像又は連続画像から、凝集フロックの状態を判定する水処理方法および水処理システムに関するものである。

【背景技術】

【0002】

近年、コンピュータ計算能力の飛躍的向上や通信インフラ環境の整備、解析アルゴリズムの進化によって、第 3 次的人工知能ブームとなっている。通信インフラ環境の整備によって、大量のデータを容易に取得することが可能となり、これまでの人工知能ブームとは異なって、実社会での活用期待が高まっている。

【0003】

機械学習 / 人工知能は、様々な分野への適用が期待されており、水処理分野でも、その活用方法の模索がなされている。機械学習 / 人工知能の水処理分野での活用方法の一つに、未知の環境、例えば、時間的に将来における目的変数の予測が挙げられる。未知の環境における目的変数の予測方法の一つに、解析的なアプローチがある。これは物理現象を理論的に解析し、それを方程式化するものである。一方で、機械学習 / 人工知能による未知の環境における目的変数の予測は、入力と出力間の自然法則に則った理論的な関係の解析を行わないままに、入力と出力間の相関関係を統計的に分析し、関係式の例として回帰式を作成するものである。

【0004】

水処理分野では、起きている現象を理論的に解析することが難しい場合もあり、理論的な背景を解明しないままに、入力から出力を予測することができる機械学習 / 人工知能は、有効に活用できる局面が多くあることが予想される。

【0005】

人工知能ブーム自体は前記の通り、今回で 3 度目のブームを迎えている。1980 年代後半に起きた第二次人工知能ブームの主要アルゴリズムは、ニューラルネットワークだった。第一次人工知能ブームの際には、入力層と出力層のみで構成されていたパーセプトロンに隠れ層を追加することと、「誤差逆伝播法」と呼ばれる学習方法の確立によって、第二次の人工知能ブームとなった。結局、第二次人工知能ブームは廃れることとなるが、課

10

20

30

40

50

題によっては満足な予測精度を得られなかったことが要因の一つだったと言われている。今回の第三次の人工知能ブームは、ニューラルネットワークの隠れ層を多層化したディープラーニング（深層学習）が主役であり、学習アルゴリズムの進歩などによって、適用する課題によっては高い精度を発揮できるようになったことがブームの一因である。本明細書では、入力層と、二層以上の隠れ層と、出力層で構成されるニューラルネットワークを用いた機械学習をディープラーニングと称する。また、人工知能は、機械学習よりも広い概念であり、人工知能を作成するための手段の一つとして機械学習がある。

【0006】

さて、水処理分野に話を戻すと、水処理においては、原水中の濁質などの懸濁成分、およびバイオポリマー、フミン酸などの溶解性成分を効率的に除去するために、アルミニウムや鉄といった多価カチオンを含む凝集剤を用いて、懸濁成分や溶解性成分を集塊させる、凝集処理を行うことが多くある。凝集により形成される汚れの塊は凝集フロックと称される。この凝集フロックは、凝集槽の後段に設けられた沈澱槽で沈澱されるか、あるいは、沈澱させずに、直接砂ろ過や膜ろ過に供される。

10

【0007】

この時、凝集フロックの状態が各処理の処理性能に大きな影響を与える。例えば、沈澱処理においては、凝集フロックの大きさと密度が凝集フロックの沈降速度に影響を与える。また、ろ過処理においては、凝集フロックの形成が不十分で凝集フロックに取り込まれなかった微小な成分、例えばピコプランクトンや溶解性色度成分などは、ろ過水中にリークする。また、不完全な凝集フロックは、ろ過砂や膜細孔を閉塞させ、ろ過抵抗の上昇速度の増加や、深刻な膜ファウリングの発生を招くこともある。従って、凝集フロックの状態を監視することは、水処理においては極めて重要である。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0008】

【特許文献1】特開平3-175339号公報

【特許文献2】特開2015-192960号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

この凝集フロックの状態を、水質からリアルタイムに判断することは困難である。すなわち、凝集剤を注入してから凝集フロックが形成され、沈澱やろ過を経て最終的に処理水が得られ、処理水の水質を測定するまで、凝集操作が適切であったか、つまり凝集フロック形成が良好であったかを判定することは困難である。

30

【0010】

時に原水性状は台風やゲリラ豪雨の発生により、短期間に著しく変動することがある。例えば10分の間に濁度が5度から1,000度にまで急上昇する場合なども近年間々ある。このような状況では、前述のように処理水の水質の確認を行ってから、凝集剤の注入率の見直しを実施しても、凝集剤を注入してから処理水を得るまでに通常数十分～数時間を要するため、時間的に間に合わない。

40

【0011】

そこで、実際に原水変動が浄水場などで起こった場合は、原水水質に基づき、過去の知見などからベテランの運転員が凝集剤注入率を決定し、凝集槽のフロックの状態を目視で確認しながら、さらに決定した注入率が適性であったか否かを見極めて、必要があれば再度凝集剤注入率の見直しを行っている。あるいは、実際に原水を採取し、複数のピーカーに等量ずつ分取し、数種類の凝集剤注入率を設定して凝集試験、所謂ジャーテストを行い、現状の原水に対する適切な凝集剤注入率を決めている。

【0012】

しかし、前者の場合は運転員の経験と技量に依るところが大きく、技術継承の課題を抱える水処理業界において、賢明な方法とは言い難い。また、後者の場合は、運転員による

50

ムラは少なくなるが、手間がかかり、かつ、ジャーテストの結果が出るまでに15分程度はかかるため、前述の原水の著しい変動には対応できない。

【0013】

そこで、凝集フロックの状態をリアルタイムに把握し、凝集処理をより適切に行うための技術が求められている。

特許文献1には、水面下でフロックを撮像し、画像処理を行って、各フロックの粒径を数値化し、粒径分布を求めるフロック監視装置に関する記述がある。また、同装置を用いて運転制御を行うことに関する記述がある。

【0014】

特許文献2には、フロック形成槽内、あるいは、混和槽およびフロック形成槽内でフロック粒径測定装置により、フロック形成過程における複数個所でフロック粒径を測定し、得られたフロック粒径の差または比から、フロック形成異常を検知する水処理システムに関する記述がある。

【0015】

いずれの場合も、凝集フロックの粒径を基に、凝集状態の判断を行なっているが、現実には凝集フロックの良否はフロック粒径のみで判断することは難しい。例えば、凝集剤の最適注入率が40mg/Lと判断される原水に対して、凝集剤注入率を10、20、30、40、50、60mg/Lとし、それぞれのフロック粒径を測定した場合、凝集剤注入率が40mg/Lを超えると凝集剤過多となり、荷電中和が起こらず、フロック形成不良が起こりフロック粒径は小さくなる。そうすると、凝集剤注入率60mg/Lのときのフロック粒径と凝集剤注入率30mg/Lのときのフロック粒径がほぼ同じとなることがある。このような場合に、フロック粒径を基準とした制御を行なうと、凝集剤の注入率の見直しを誤る可能性がある。

【0016】

本発明は上記の点に鑑みてなされたものであり、その目的は、ディープラーニング等の機械学習アルゴリズムにより、凝集フロックの状態を、粒径を含む多様な要素を含めて学習し、ベテランの運転員と同等、あるいは同等以上の凝集フロック判定が可能なモデルを構築することで、水処理における凝集フロック状態の判定を、水処理中でリアルタイムに行うことが可能な水処理方法を提供することにある。また、本発明の目的は、そのような水処理方法を実行できる水処理システムを提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0017】

一態様では、凝集剤を原水に注入して凝集フロックを形成し、前記凝集フロックの画像データを画像取得装置により生成し、少なくとも前記凝集フロックの画像データを、機械学習アルゴリズムにより構築されたモデルに入力し、前記凝集フロックの状態を示す判定結果を前記モデルから出力する、水処理方法が提供される。

【0018】

機械学習アルゴリズムとしては、ディープラーニング法(深層学習法)が好適である。ディープラーニング法は、隠れ層が多層化されたニューラルネットワークをベースとする学習法である。本明細書では、入力層と、二層以上の隠れ層と、出力層で構成されるニューラルネットワークを用いた機械学習をディープラーニングと称する。ディープラーニング法を用いることで、これまで人の目と経験を基に良否を判定していた凝集フロックの状態を、凝集フロックの画像データに基づいてコンピュータにより判定が可能となる。

【0019】

例えば、凝集剤注入率60mg/Lのときのフロック粒径と凝集剤注入率30mg/Lのときのフロック粒径がほぼ同じとなることがある。しかしながら、実際の30mg/Lと60mg/Lのときのフロックの状態を比較すると、フロックの密度、所謂締まり具合や、色合い、形状などに細かな差がある。機械学習/ディープラーニングによれば、画像データとその画像データに対応する正解データの組み合わせを大量に繰り返しコンピュータに学習させることで、時に人間以上の精度で画像の判別を行うことが可能となる。

【 0 0 2 0 】

本明細書において、水処理とは、浄水処理、用水処理、排水処理を指し、特に、水に対してポリ塩化アルミニウム（P A C 1）、硫酸ばんど、塩化第二鉄、ポリ鉄、ポリシリカ鉄（P S I）、有機凝結剤、ポリマーなどの無機凝集剤または有機凝集剤を注入する凝集操作を伴う水処理を対象としている。

【 0 0 2 1 】

水処理システム内における現在の凝集フロックは、水処理中に画像取得装置により撮影される。凝集フロックの画像は、静止画像または連続画像のいずれであってもよい。

【 0 0 2 2 】

一態様では、前記凝集フロックの画像データを画像取得装置により生成する工程は、前記凝集フロックを含む水を抽出してサンプリング容器内に導入し、前記サンプリング容器内の前記凝集フロックの画像データを画像取得装置により生成する工程である。

10

【 0 0 2 3 】

後述する機械学習アルゴリズムのうちディープラーニング法を用いたモデルの構築においては、画像の特徴付けを人ではなくコンピュータが行うため、凝集フロック以外の情報、例えば背景や画像の明るさなども、モデルの構築に影響を与える可能性がある。それ故に、画像取得装置、例えばカメラを水槽の中に設置した場合、水槽の構造物の画像への映り込みや、天候による明るさの違いが発生することがある。そこで、上記の通り、凝集フロックを含む水を水処理領域から抽出し、背景および明るさが一定に保たれたサンプリング容器に導入し、サンプリング容器内の凝集フロックを撮影することにより、ディープラーニングに適した画像データを取得することが可能となる。

20

【 0 0 2 4 】

上記の手段で得られた凝集フロックの画像データを、機械学習アルゴリズムによって構築されたモデルに入力し、現在の凝集フロックの状態の良否、すなわち、水処理が適切に行われているか否かを凝集フロックの状態からリアルタイムに判定する。機械学習アルゴリズムは、凝集フロックの粒径を含む多様な要素を学習する。したがって、機械学習アルゴリズムによって構築されたモデル（すなわち学習済みモデル）は、従来の粒径を基にした凝集判定技術よりも、更に精度の高い凝集フロック状態の良否判定が可能である。

【 0 0 2 5 】

モデルの構築において、学習データの説明変数を凝集フロックの画像データ、学習データの目的変数を凝集フロックの状態の良否を表す数値、例えば、1：非常に悪い、2：悪い、3：やや良い、4：良い、5：非常に良いという5段階評価として与えることができる。一実施形態では、凝集フロックの状態の良否を表す数値を、凝集剤注入率の過不足を表す数値として与えることもできる。例えば、1：少ない、2：やや少ない、3：最適、4：やや多い、5：多いという5段階評価を、凝集剤注入率の過不足を表す数値に用いることができる。ただし、本発明は、5段階評価に限らず、例えば3段階評価、または10段階評価であってもよい。

30

【 0 0 2 6 】

実際の凝集剤注入率が上記5段階評価のうちのどれに該当するかは、凝集処理の後段の沈澱処理での処理水の濁度や色度、ベテラン運転員の凝集フロックの見た目による判定、さらに後段の砂ろ過水の水質、砂ろ過等のろ過抵抗上昇速度、等から判定することが可能である。実際の凝集剤注入率の過不足を表す数値（上記例では1～5）と、対応する凝集フロックの画像データとの組み合わせからなるデータセットは、モデルの構築および更新に使用される。実際の凝集剤注入率の過不足を表す数値は正解データであり、ディープラーニングなどの機械学習に使用される。一実施形態では、正解データは、実際の凝集フロックの状態の良否を示す数値（上記例では1～5）であってもよい。

40

【 0 0 2 7 】

図1は、凝集フロックの状態を判定するモデルの一実施形態を示す模式図である。モデルは、入力層301と、複数の隠れ層（中間層ともいう）302と、出力層303を有したニューラルネットワークである。図1に示すモデルは、4つの隠れ層302を有してい

50

るが、モデルの構成は図1に示す実施形態に限られない。モデルの入力層301には凝集フロックの画像データが入力される。より具体的には、凝集フロックの画像データを構成する各ピクセルの数値が入力層301に入力される。一例では、凝集フロックの画像データがグレースケール画像データである場合は、各ピクセルのグレースケールレベル（通常は0～255内の数値）がモデルの入力層301の各ノード（ニューロン）に入力される。凝集フロックの画像データがカラー画像データである場合は、各ピクセルの赤色、緑色、青色を表す数値がモデルの入力層301の対応するノード（ニューロン）に入力される。

【0028】

図1に示す例では、モデルの出力層303は、凝集フロックの状態の良否の判定結果を表す数値を出力する。例えば、凝集フロックの状態の良否が、1：非常に悪い、2：悪い、3：やや良い、4：良い、5：非常に良いという5段階評価で表される場合は、モデルの出力層303は、1から5までのいずれかの数値を出力する。ただし、図1に示すモデルの構成は一例であって、本発明は、図1に示す例に限定されない。

10

【0029】

上記のように構築されたモデルに、現在の凝集フロックの画像データを入力すると、コンピュータは、ニューラルネットワークを構成する多層パーセプトロンのアルゴリズムに従って演算を実行し、出力層303は、凝集フロックの状態の良否の判定結果を示す数値、または凝集剤注入率の過不足の判定結果を表す数値を出力する。運転員は判定結果に基づいて、水処理システムの運転の最適化を目指すことが可能となる。

【0030】

一態様では、前記凝集フロックの画像データに加えて、水処理に関連する情報データを前記モデルに入力する。

20

【0031】

図2は、凝集フロックの状態を判定するモデルの他の実施形態を示す模式図である。この実施形態では、学習データの説明変数は、凝集フロックの画像データに加えて、水処理に関連する情報データを含む。モデルの入力層301は、凝集フロックの画像データが入力されるノード（ニューロン）と、情報データが入力されるノード（ニューロン）を有する。本実施形態によれば、凝集フロックの画像データのみを説明変数としたモデルに比べて、判定精度を向上させることが可能である。

【0032】

情報データは、水処理システムの運転条件を表すデータである。より具体的には、情報データは、原水の濁度、色度、pH、M-アルカリ度、全有機炭素（TOC）、化学的酸素要求量（COD）、紫外線吸光度、水温、原水流量、天候、降雨量、凝集剤注入率のうち少なくとも1つを含む。モデルを利用した水処理システムの自動制御を行うことに鑑みると、情報データに含まれる項目は、手分析で得られる項目よりも、自動的にセンサで取得できる項目であることが望ましい。

30

【0033】

特に、凝集操作においては、pHとM-アルカリ度が凝集の良否にとって重要である。例えば、凝集剤注入率が同等でも、pHおよび/またはM-アルカリ度が異なると、凝集フロックの状態は異なる。そこで、上記の通り、凝集フロックの画像データのみではなく、原水のpH、M-アルカリ度、凝集剤注入率なども含めた情報データを用いて、機械学習アルゴリズムに従ってモデルが構築される。実際の水処理中は、凝集フロックの画像データ、原水のpH、M-アルカリ度、凝集剤注入率などの情報データは、学習済みのモデルに入力される。

40

【0034】

一態様では、凝集フロックの状態を示す判定結果は、凝集剤注入率の過不足を示す判定結果である。

一態様では、前記判定結果は凝集剤注入率の制御に用いられる。

【0035】

凝集剤注入率の過不足の判定結果から、水処理システムの運転を自動的に最適化するこ

50

とが可能となる。例えば、判定結果を所定の周期で、例えば1分毎に出力する。ある時刻Tにおいて、判定結果が1：「少ない」であれば、現在の凝集剤注入率を0.5分間で+50%だけ増加させ、2：「やや少ない」であれば、現在の凝集剤注入率を0.5分間で+25%だけ増加させ、3：「最適」であれば、現在の凝集剤注入率を不変とし、4：「やや多い」であれば、現在の凝集剤注入率を0.5分間で-25%だけ低下させ、5：「多い」であれば、現在の凝集剤注入率を0.5分間で-50%だけ低下させる。続いて、時刻T+1において再度判定結果を出力し、凝集剤注入率を同様に調整する。このステップを最適の判定結果が出力されるまで繰り返し行う。

【0036】

上記例では、凝集剤注入率の過不足の判定結果を表す数値は、1から5のいずれかであるが、本発明は上記例に限定されない。一実施形態では、凝集剤注入率の過不足の判定結果を表す数値は、+50%（「少ない」に対応）、+25%（「やや少ない」に対応）、0%（「最適」に対応）、-25%（「やや多い」に対応）、-50%（「多い」に対応）のいずれかであってもよい。

【0037】

ここで、時刻0、つまり水処理システムにおける既往の制御から上記モデルに基づく制御に切り替えるとき、あるいは水処理システムの運転を新たに開始するときは、制御を開始する時刻における凝集剤注入率は、その水処理システムの過去の知見、熟練者の判断、ジャーテストなどの回分試験、などから決定される値とすればよい。ここで決定された凝集剤注入率により、水処理システムの制御は開始される。その後は、凝集剤が注入されてから、画像取得装置で撮影するポイントまでの水の流達時間を考慮した上で、上記モデルを用いた凝集剤注入率の最適化のための制御を開始すると良い。

【0038】

一態様では、前記水処理方法は、前記凝集フロックの状態とは無関係の、前記凝集剤注入率の基準値を基準値算定式により決定し、前記基準値の補正値を、前記凝集剤注入率の過不足を示す前記判定結果に基づいて決定し、前記基準値と前記補正値とから、前記凝集剤注入率を補正する工程をさらに含む。

【0039】

ゲリラ豪雨の発生時など、水処理システムに流入する原水水質が短時間で急激に変化した場合、制御に遅れが生じ、処理水の水質悪化を招く場合がある。そこで、コンピュータは、凝集剤注入率の基準値を凝集フロックの状態とは無関係に決定するための基準値算定式を有しており、この基準値算定式を用いて凝集剤注入率の基準値を決定する。さらに、コンピュータは、前記基準値の補正値を、凝集剤注入率の過不足を示す判定結果から決定する。

【0040】

基準値算定式は、例えば、原水水質計にて常時監視している原水水質（濁度、色度、pH、M-アルカリ度など）の値から、凝集剤注入率の基準値（ D_0 ）を決定するための式である。この基準値算定式は、例えば、水処理システムにおける過去の運用実績のデータセット、つまり原水水質の値と、対応する凝集剤注入率から、統計学的な解析手法により、原水水質の値から、対応する凝集剤注入率を算出する回帰式とすることが可能である。このように得られた凝集剤注入率の基準値に基づいて凝集剤は注入され、凝集フロックが形成される。

【0041】

この凝集フロックを前述の方法で撮像し、凝集フロックの画像データを前述のモデルに入力することにより、凝集剤注入率の過不足を判定する。ここで、 D_0 を凝集剤注入率の基準値（ mg/L ）、 d を凝集剤注入率の過不足の判定結果を表す正または負のパーセンテージ（%）で表される補正値とすると、補正された凝集剤注入率（ D 、 mg/L ）は、次の補正式（1）で表される。

$$D = D_0 \times (1 + d / 100) \quad (1)$$

【0042】

10

20

30

40

50

補正值 d は、凝集剤注入率の過不足の判定結果を表す、+ 50% (「少ない」場合)、+ 25% (「やや少ない」場合)、0% (「最適」の場合)、- 25% (「やや多い」場合)、- 50% (「多い」場合) のうちのいずれかである。例えば、 $D_0 = 20 \text{ mg/L}$ 、 $d = -25\%$ の場合、補正された凝集剤注入率 D は 15 mg/L となる。以上に示す実施形態により、凝集フロクの画像データに基づいた凝集剤注入率の制御を、より迅速に行うことが可能である。

【0043】

一態様では、前記水処理方法は、前記画像データと、実際の凝集フロクの状態の良否を表す数値との組み合わせからなるデータセットを用いて、前記モデルを更新する工程をさらに含む。

10

【0044】

機械学習アルゴリズムを用いた上記モデルは、そのモデルを用いた運転を実施している水処理システムにおいて、新たに得られるデータを基に継続的に更新される。これによって、最初にモデルを構築した際から、水処理システムにおける原水の性状が大きく変化した場合や、あるいは運転方法を変更した場合であっても、実情に合わせて更新されていくモデルは、適切な判定結果を継続的に出力することが可能となる。

【0045】

一態様では、凝集剤が注入された原水を攪拌して凝集フロクを形成する攪拌槽と、前記凝集フロクの画像データを生成する画像取得装置と、機械学習アルゴリズムにより構築されたモデルを有するコンピュータを備え、前記コンピュータは、前記モデルが格納された記憶装置と、少なくとも前記画像データを前記モデルに入力し、前記凝集フロクの状態を示す判定結果を前記モデルから出力するための演算を実行する処理装置を備えている、水処理システムが提供される。

20

【0046】

一態様では、入力層と、複数の隠れ層と、出力層とを有するニューラルネットワークからなるモデルの前記入力層に、少なくとも凝集フロクの画像データをを入力するステップと、前記ニューラルネットワークを構成する多層パーセプトロンのアルゴリズムに従って演算を実行することによって、前記出力層から、凝集フロクの状態の良否を表す数値を出力するステップをコンピュータに実行させるプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体が提供される。

30

【発明の効果】

【0047】

本発明に係る水処理方法によれば、機械学習アルゴリズムにより構築されたモデルと、小型カメラなどの画像取得装置によって得られた凝集フロクの画像データから、従来、人の目で判定していた凝集フロクの状態を、自動的に高精度でリアルタイムに判定することができ、より最適な水処理システムの運転が可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0048】

【図1】凝集フロクの状態を判定するモデルの一実施形態を示す模式図である。

【図2】凝集フロクの状態を判定するモデルの他の実施形態を示す模式図である。

40

【図3】水処理システムの一実施形態を示す図である。

【図4】水処理システムの他の実施形態を示す図である。

【図5】サンプリング容器および画像取得装置を模式的に示す正面図である。

【図6】サンプリング容器および画像取得装置を模式的に示す側面図である。

【図7】図3および図4に示す演算システムの少なくとも一部を構成するコンピュータの一実施形態を示す模式図である。

【発明を実施するための形態】

【0049】

図3は水処理システムの一実施形態を示す図である。この水処理システムでは、急速ろ過法を用いている水処理システムにおいて学習済みモデルを用いて、凝集フロクの状態

50

(凝集剤注入率の過不足)を判定し、凝集剤注入率の制御を行う。「課題を解決するための手段」に記載したモデルの構築、モデルの構成などを含む全ての説明は、以下に説明する水処理システムの各実施形態に適用される。

【0050】

水処理システムは、原水を受ける着水井1と、着水井1に連結された攪拌槽としての急速攪拌槽2および緩速攪拌槽3と、原水に凝集剤を注入する凝集剤注入ポンプ5を備えている。本実施形態では、凝集剤注入ポンプ5は、急速攪拌槽2に接続されており、凝集剤を急速攪拌槽2内の原水に注入するように配置されている。一実施形態では、凝集剤注入ポンプ5は、着水井1と急速攪拌槽2とを連結する配管に接続されてもよい。

【0051】

急速攪拌槽2は着水井1に連結され、緩速攪拌槽3は急速攪拌槽2に連結されている。急速攪拌槽2は、凝集剤が注入された原水を攪拌し、原水中の懸濁物質を凝集させて凝集フロックを形成する攪拌槽である。緩速攪拌槽3は、凝集フロックを含む水を攪拌し、凝集フロックを粗大化させる攪拌槽である。

【0052】

緩速攪拌槽3には沈澱槽7が連結されている。緩速攪拌槽3で成長した凝集フロックを含む水は、沈澱槽7に送られ、凝集フロックは沈澱槽7内で沈澱される。沈澱槽7の構造は特に限定されないが、その内部に、傾斜板又は傾斜管が設けられており、凝集フロックを傾斜板又は傾斜管上に沈降させて凝集フロックを除去するように構成される場合もある。沈澱槽7にはろ過槽8が連結されており、沈澱槽7の上澄水はろ過槽8に送られる。ろ過槽8では、凝集剤の残渣や微小フロック等の不純物が上澄水から除去され、浄水となる。ろ過槽8の構成は特に限定されないが、一般に、砂ろ過または膜ろ過によって不純物を除去するように構成される。浄水は、沈澱槽7から浄水槽9に送られる。一実施形態では、沈澱槽7を省略してもよく、さらに緩速攪拌槽3も省略してもよい。この場合は、凝集フロックを含む水はろ過槽8に送られ、ろ過槽8で凝集フロックなどの不純物が除去される。

【0053】

水処理システムは、急速攪拌槽2で形成された凝集フロックの画像データを生成する画像取得装置12と、少なくとも前記画像データを、機械学習アルゴリズムによって構築されたモデルに入力し、凝集フロックの状態の良否の判定結果をモデルから出力する演算システム100をさらに備えている。演算システム100は、モデルを構築および更新するためのプログラム、および上記モデルが格納された記憶装置110と、プログラムに従って演算を実行する処理装置120(GPUまたはCPUなど)を備えている。処理装置120は、少なくとも前記画像データをモデルに入力し、凝集フロックの状態の良否の判定結果をモデルから出力するための演算を実行する。

【0054】

演算システム100は、少なくとも1台のコンピュータから構成されている。前記少なくとも1台のコンピュータは、1台のサーバまたは複数台のサーバであってもよい。少なくとも凝集フロックの画像データに基づいて凝集剤注入率の過不足(すなわち、凝集フロックの状態の良否)を判定する上記モデルは、演算システム100の記憶装置110内に格納されている。さらに、上述した基準値算定式も、演算システム100の記憶装置110内に格納されている。

【0055】

演算システム100は、画像取得装置12に通信線で接続されたエッジサーバであってもよいし、インターネットなどのネットワークによって画像取得装置12に接続されたクラウドサーバであってもよい、あるいは画像取得装置12に接続されたネットワーク内に設置されたフォグコンピューティングデバイス(ゲートウェイ、フォグサーバ、ルーターなど)であってもよい。演算システム100は、インターネットなどのネットワークにより接続された複数のサーバであってもよい。例えば、演算システム100は、エッジサーバとクラウドサーバとの組み合わせであってもよい。

10

20

30

40

50

【 0 0 5 6 】

本実施形態においては、凝集剤注入後の急速攪拌槽 2 内の凝集フロックを画像取得装置 1 2 にて撮影する。画像取得装置 1 2 は、凝集フロックの画像データを生成し、この画像データを演算システム 1 0 0 に送る。演算システム 1 0 0 は、画像データを画像取得装置 1 2 から取得し、記憶装置 1 1 0 に記憶する。画像取得装置 1 2 は急速攪拌槽 2 の上部（水面より上）に設置されている。LED ライトなどの照明器で急速攪拌槽 2 内の凝集フロックを照らし、画像取得装置 1 2 が凝集フロックを明瞭に撮像できるようにする。なお、画像取得装置 1 2 の設置位置は凝集フロックが明瞭に撮像できるのであれば、急速攪拌槽 2 の内部（水面下）、または急速攪拌槽 2 と緩速攪拌槽 3 を繋ぐ配管内などでも構わない。

10

【 0 0 5 7 】

画像取得装置 1 2 は、静止画像または連続画像を生成することができるイメージセンサ（例えば CCD イメージセンサまたは CMOS イメージセンサ）を備えたデジタルカメラである。デジタルカメラの仕様としては、常に焦点距離を一定とさせるため、マニュアルフォーカス機能を備えたものが望ましく、画素数は 5 0 0 万画素以上、望ましくは 1, 0 0 0 万画素以上のものが好適である。

【 0 0 5 8 】

本実施形態では、撮像の対象とする凝集フロックは、急速攪拌内の凝集フロックである。これは、制御遅れを短くすることができ、凝集剤注入率の制御の観点から好ましいからである。原水変動が乏しい浄水場などであれば、緩速攪拌槽 3 内の粗大化した凝集フロックを撮像の対象としてもよい。

20

【 0 0 5 9 】

演算システム 1 0 0 は、モデルから出力された凝集剤注入率の過不足の判定結果に基づいて、凝集剤注入ポンプ 5 に指令を発して凝集剤の注入率を調整する。具体的には、現在の凝集剤注入率が低いことを判定結果が示している場合は、演算システム 1 0 0 は凝集剤注入ポンプ 5 に指令を発して凝集剤注入率を増加させる。現在の凝集剤注入率が高いことを判定結果が示している場合は、演算システム 1 0 0 は凝集剤注入ポンプ 5 に指令を発して凝集剤注入率を低下させる。このように、演算システム 1 0 0 は、モデルから出力された判定結果に基づいて凝集剤注入ポンプ 5 の動作を制御することにより、凝集剤の注入率を最適化することができる。モデルを用いた凝集剤注入率の最適化の開始時点における、凝集剤の注入率は、水処理システムの過去の運転に基づく知見やジャーテスト結果から決定される。

30

【 0 0 6 0 】

図 3 に示すように、着水井 1 には、水処理に関連する情報データを取得するための濁度センサ 2 1、pH センサ 2 2、M - アルカリ度測定器 2 3 が設置されている。濁度センサ 2 1、pH センサ 2 2、M - アルカリ度測定器 2 3 は演算システム 1 0 0 に接続されており、濁度の測定値、pH の測定値、M - アルカリ度の測定値は演算システム 1 0 0 に送られるようになっている。さらに、情報データとして、全有機炭素（TOC）、化学的酸素要求量（COD）、紫外線吸光度、水温、原水流量、天候、降雨量、凝集剤注入率のうちの少なくとも 1 つが演算システム 1 0 0 に入力されてもよい。情報データとして演算システム 1 0 0 に入力される数値は、センサから送信された測定値、または作業員により演算システム 1 0 0 に入力された値であってもよい。

40

【 0 0 6 1 】

一実施形態では、上述した情報データは、凝集フロックの画像データとともに、説明変数として前述の学習済みのモデルの入力層に入力される。モデルは、目的変数である凝集剤注入率の過不足の判定結果を出力する。凝集フロック撮影時に画像取得装置 1 2 に流達している原水の水質と、その時点での着水井 1 での原水の水質は異なる可能性があるため、取得した凝集フロックの画像データに対応する原水水質は、着水井 1 から画像取得装置 1 2 までの流達時間を考慮した値を採用することが望ましい。

【 0 0 6 2 】

50

前記モデルの構築は、ディープラーニング法などを用いて、モデルを用いた運用前に図3に示す水処理システムにて各種データを取得し行う。ここで、機械学習アルゴリズムを用いたモデルにおいては、基本的に経験したことのない入力データに対する予測精度は低くなるため、モデルの構築におけるデータは、季節変動による原水水質の変化を含んだものが望ましい。従って、好ましくは1年以上に亘って取得されたデータを用いてモデルを構築することが望ましい。但し、原水水質が安定している場合はデータ取得期間を短縮することも可能である。また、原水を同一にする近隣の水処理システム、あるいは類似した原水を処理する水処理システムにおいてすでにモデルが構築されている場合、そのモデルを流用することも可能である。

【0063】

モデルから出力される凝集フロック情報は、凝集フロックの状態の良否、すなわち凝集剤注入率の過不足に関するものである。本情報を参考に、水処理システムの運転員が凝集剤注入率の見直しを行ってもよいが、図3の通り、本情報を凝集剤の制御に組み込めば、連続的に凝集剤注入率の最適化を図ることが可能である。このようにして、本水処理システムは、継続的に安定運転が可能となる。

【0064】

しかしながら、水処理システムの運転が長期化すると、原水水質が変化したり、運転フローの一部が変更したりして、モデルは適切な判定結果を出力できなくなることがある。そこで、モデルの更新を適宜行う必要がある。凝集剤注入率の過不足の判定結果が正しかったか否かは、沈澱槽7の出口部での上澄水の濁度（沈澱水濁度）の値に基づいて判断することができる。凝集処理が適切に行われなかった場合、凝集フロックの沈降性が悪くなったり、凝集せずに上澄水に残存した懸濁物質が多くなったりして、沈澱水濁度は高くなる。

【0065】

そこで、本実施形態では、モデルの運用中、沈澱水濁度の値を、濁度センサ30で継続的に取得し、流達時間を考慮した上で、前述の説明変数と目的変数のデータセットに補足情報として加える。この補足情報と、モデルの出力結果を比較し、モデルの精度を定期的に検証する。モデルの精度が運用当初よりも下がった場合においては、前記データセットの目的変数に、正解データを、補足情報を基に与え直し、ディープラーニング法などにより、モデルの更新を行う。

【0066】

演算システム100が、水処理システムのエッジ（現場）においているエッジサーバと、ネットワーク（例えばインターネット）によってエッジサーバに連結されたクラウドサーバとを備えている場合には、モデルの更新作業はクラウドサーバで行い、その後、更新されたモデル（すなわち学習済みのモデル）をエッジサーバに送信し、エッジサーバ内に格納することが望ましい。

【0067】

図4は水処理システムの他の実施形態を示す図である。特に説明しない本実施形態の構成は、図3に示す実施形態と同じであるので、その重複する説明を省略する。本実施形態は、上述の実施形態と同様に、急速ろ過法を用いている処理システムにおいて学習済みのモデルを用いて、凝集剤注入率の過不足を判定し、凝集剤注入率の制御を行う方法の一例である。

【0068】

本実施形態では、凝集フロックの撮影を水処理システムの水処理領域内で行うのではなく、遮光ハウジング40内に配置されたサンプリング容器41内で行う。すなわち、凝集フロックを含む水は、水処理領域から抽出され、水処理領域から分岐する抽出管43を通じてサンプリング容器41に導入される。そして、画像取得装置12は、サンプリング容器41内の凝集フロックを撮像する。本実施形態では、抽出管43の一端は、急速攪拌槽2と緩速攪拌槽3とを繋ぐ配管に接続されている。一実施形態では、抽出管43の一端は、急速攪拌槽2、または緩速攪拌槽3、または緩速攪拌槽3と沈澱槽7とを繋ぐ配管に接

10

20

30

40

50

続されてもよい。

【0069】

図5は、サンプリング容器41および画像取得装置12を模式的に示す正面図であり、図6はサンプリング容器41および画像取得装置12を模式的に示す側面図である。サンプリング容器41および画像取得装置12は、遮光ハウジング40内に配置されている。遮光ハウジング40の内部には暗室が形成されている。サンプリング容器41は、透明な側壁41aを有している。透明な側壁41aの材料としては、石英、透明なアクリル樹脂、または透明塩化ビニルなどを使用することができる。このようなサンプリング容器41としてはフローセルを用いることができる。

【0070】

遮光ハウジング40内には、LEDライトなどの照明器46が配置されている。この照明器46は、サンプリング容器41内の凝集フロックを照明し、画像取得装置12が凝集フロックを明瞭に撮影できるようにする。照明器46は、サンプリング容器41の上方に配置されており、サンプリング容器41を上から照明する。画像取得装置12は、サンプリング容器41の透明な側壁41aを向いて配置され、サンプリング容器41内の凝集フロックを撮像する。

【0071】

水処理領域からサンプリング容器41に、凝集フロックを含む水を導入する動力としては、水位差を用いる方法が最も穏やかでフロックを破損することがないため望ましいが、凝集フロックを破損しないものであれば、モノポンプ、容積式ポンプ、ペリスタルティックポンプなどを用いてもよい。

【0072】

凝集フロックを含む水は、サンプリング容器41の下部から流入し、越流堰41bを越えてサンプリング容器41から流出する。また、サンプリング容器41に送られる水の流量はサンプリング容器41内で凝集フロックが沈降しない程度とすればよい。サンプリング容器41から流出した、凝集フロックを含む水は、急速攪拌槽2または緩速攪拌槽3に戻してもよいし、または廃棄してもよい。

【0073】

本実施形態によれば、太陽光の影響や、攪拌槽などの構造物の映り込みをなくすることができる。また、照明器46により暗室内の明るさを一定に保つことで、常に同じ条件下で凝集フロックを撮像することができる。さらに、画像取得装置12のレンズクリーニングなどのメンテナンスを容易に実施することができる。

【0074】

原水性状に依存するが、1日～数日のうちにサンプリング容器41の透明な側壁41aに汚れが付着し、凝集フロック画像撮影の障害となる。これを防止するため、1日に1回、人の手により清掃あるいはサンプリング容器41の交換を行う。あるいは、自動的に硫酸溶液や次亜塩素酸ナトリウム溶液などの、汚れを取り除くための薬剤をサンプリング容器41に、汚れに応じた頻度(例えば3時間に1回)で流し、透明な側壁41aの汚れを除去してもよい。また、透明な側壁41aをスポンジやワイパーなどの物理的手段で自動的に洗浄する機構を設けてもよい。

【0075】

図7は、図3および図4に示す演算システム100の少なくとも一部を構成するコンピュータの一実施形態を示す模式図である。コンピュータは、プログラムやデータなどが格納される記憶装置110と、記憶装置110に格納されているプログラムに従って演算を行うCPU(中央処理装置)またはGPU(グラフィックプロセッシングユニット)などの処理装置120と、データ、プログラム、および各種情報を記憶装置110に入力するための入力装置130と、処理結果や処理されたデータを出力するための出力装置140と、インターネットなどのネットワークに接続するための通信装置150を備えている。

【0076】

記憶装置110は、処理装置120がアクセス可能な主記憶装置111と、データおよ

10

20

30

40

50

びプログラムを格納する補助記憶装置 1 1 2 を備えている。主記憶装置 1 1 1 は、例えばランダムアクセスメモリ (R A M) であり、補助記憶装置 1 1 2 は、ハードディスクドライブ (H D D) またはソリッドステートドライブ (S S D) などのストレージ装置である。

【 0 0 7 7 】

入力装置 1 3 0 は、キーボード、マウスを備えており、さらに、記録媒体からデータを読み込むための記録媒体読み込み装置 1 3 2 と、記録媒体が接続される記録媒体ポート 1 3 4 を備えている。記録媒体は、非一時的な有形物であるコンピュータ読み取り可能な記録媒体であり、例えば、光ディスク (例えば、 C D - R O M 、 D V D - R O M) や、半導体メモリ (例えば、 U S B フラッシュドライブ、メモリーカード) である。記録媒体読み込み装置 1 3 2 の例としては、 C D - R O M ドライブ、 D V D - R O M ドライブなどの光学ドライブや、カードリーダーが挙げられる。記録媒体ポート 1 3 4 の例としては、 U S B ポートが挙げられる。記録媒体に記憶されているプログラムおよび / またはデータは、入力装置 1 3 0 を介してコンピュータに導入され、記憶装置 1 1 0 の補助記憶装置 1 1 2 に格納される。出力装置 1 4 0 は、ディスプレイ装置 1 4 1 、印刷装置 1 4 2 を備えている。

10

【 0 0 7 8 】

機械学習アルゴリズムにより構築された学習済みモデルは記憶装置 1 1 0 に格納されている。この学習済みモデルは、図 1 または図 2 に示すように、入力層 3 0 1 と、複数の隠れ層 (中間層ともいう) 3 0 2 と、出力層 3 0 3 を有したニューラルネットワークである。コンピュータは、記憶装置 1 1 0 に電氣的に格納されたプログラムに従って動作する。すなわち、コンピュータは、凝集フロックの画像データを画像取得装置 1 2 から取得するステップと、少なくとも画像データを、機械学習アルゴリズムにより構築された学習済みモデルに入力するステップと、ニューラルネットワークを構成する多層パーセプトロンのアルゴリズムに従って演算を実行することによって、出力層 3 0 3 から、凝集フロックの状態の良否の判断結果または凝集剤の過不足の判断結果を表す数値を出力するステップを実行する。さらに、コンピュータは、上記モデルを構築するステップ、および上記モデルを更新するステップを実行する。これらステップをコンピュータに実行させるためのプログラムは、非一時的な有形物であるコンピュータ読み取り可能な記録媒体に記録され、記録媒体を介してコンピュータに提供される。または、プログラムおよび上記モデルは、インターネットなどの通信ネットワークを介して通信装置 1 5 0 からコンピュータに入力されてもよい。

20

30

【 0 0 7 9 】

上述した実施形態は、本発明が属する技術分野における通常の知識を有する者が本発明を実施できることを目的として記載されたものである。上記実施形態の種々の変形例は、当業者であれば当然になしうることであり、本発明の技術的思想は他の実施形態にも適用しうる。したがって、本発明は、記載された実施形態に限定されることはなく、特許請求の範囲によって定義される技術的思想に従った最も広い範囲に解釈されるものである。

【 符号の説明 】

【 0 0 8 0 】

- 1 着水井
- 2 急速攪拌槽
- 3 緩速攪拌槽
- 5 凝集剤注入ポンプ
- 7 沈澱槽
- 8 ろ過槽
- 9 浄水槽
- 1 2 画像取得装置
- 2 1 濁度センサ
- 2 2 p H センサ

40

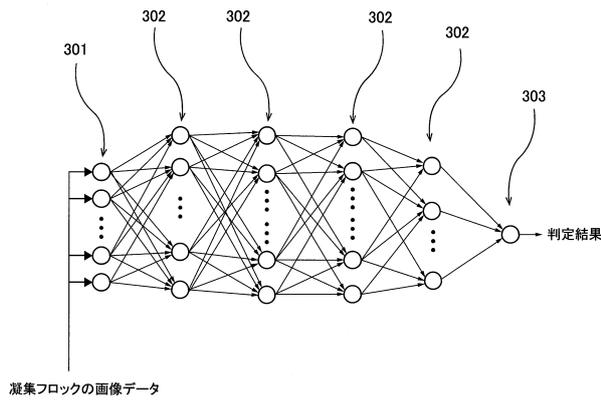
50

- 2 3 M - アルカリ度測定器
- 3 0 濁度センサ
- 4 0 遮光ハウジング
- 4 1 サンプルング容器
- 4 3 抽出管
- 4 6 照明器
- 1 0 0 演算システム
- 1 1 0 記憶装置
- 1 1 1 主記憶装置
- 1 1 2 補助記憶装置
- 1 2 0 処理装置
- 1 3 0 入力装置
- 1 3 2 記録媒体読み込み装置
- 1 3 4 記録媒体ポート
- 1 4 0 出力装置
- 1 4 1 ディスプレイ装置
- 1 4 2 印刷装置
- 1 5 0 通信装置
- 3 0 1 入力層
- 3 0 2 隠れ層
- 3 0 3 出力層

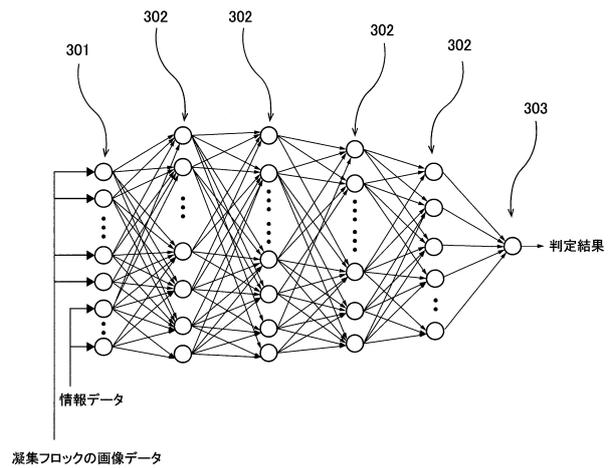
10

20

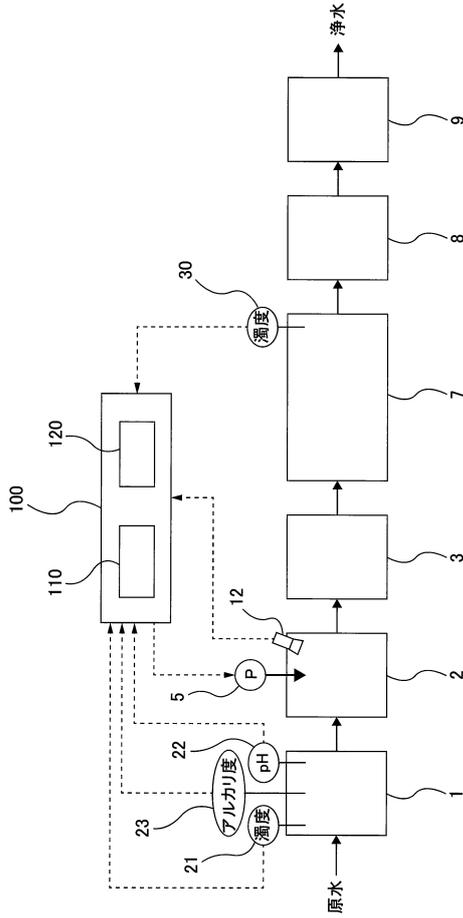
【図1】



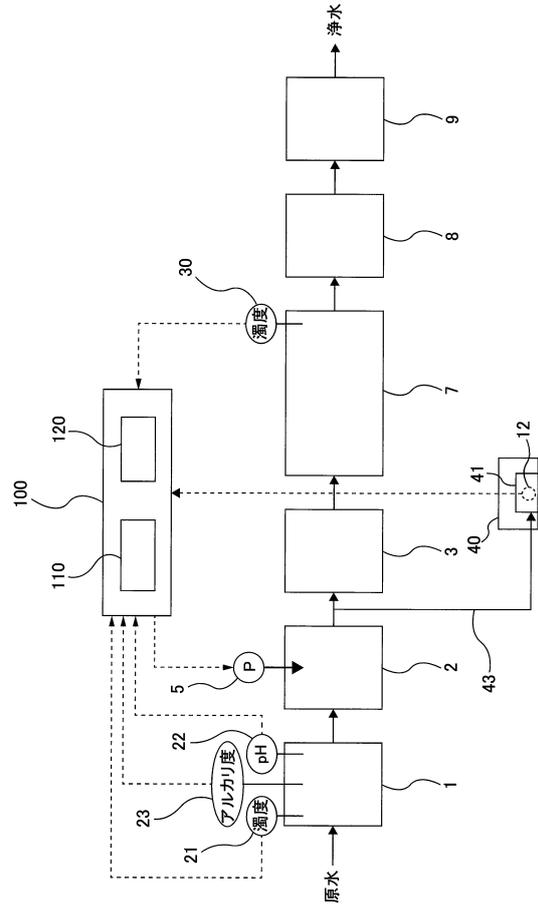
【図2】



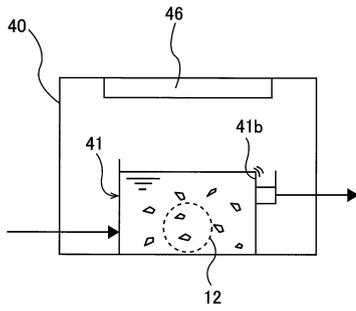
【図3】



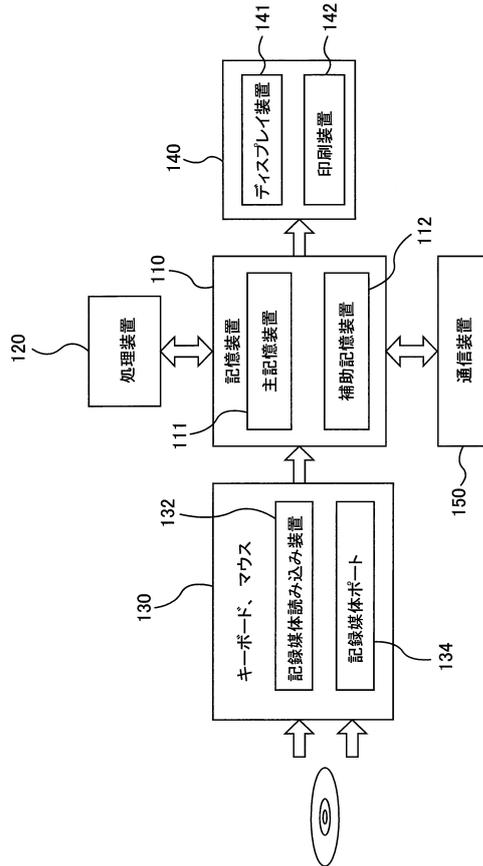
【図4】



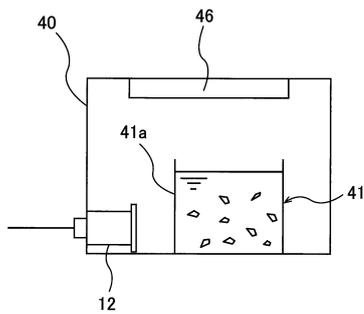
【図5】



【図7】



【図6】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開平04 - 083504 (JP, A)
特開平07 - 160661 (JP, A)
特開平10 - 091208 (JP, A)
特開平03 - 015902 (JP, A)
特開2003 - 324610 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B01D 21/00 - 21/34
C02F 1/52 - 1/56
G16Z 99/00