

明 細 書

発明の名称：

水処理プラントの異常診断システムおよび水処理プラントの異常診断方法 技術分野

[0001] 本開示は、水処理プラントの異常診断システムおよび水処理プラントの異常診断方法に関する。

背景技術

[0002] 水処理プラントによる水処理プロセスにおいて、予め定められた目標性能の達成と運用の省エネルギー化を両立させる必要がある。このため、目標性能に関するプロセスの状態を監視し、上記目標性能の達成を阻害するような状態変化および異常を素早く検知し、事前に対策をとることが要求される。一方、水処理プロセスにおける異常の原因は多岐に亘り、異常の発生を示し得る計測値を全て監視することは困難である。そこで、プロセスの異常度を示す指標となる統計量をMSPC (Multi-Variate Statistical Process Control: 多変量統計解析手法) の手法により算出し、この統計量と閾値との比較により、異常の有無を判断するプロセス状態監視装置がある（例えば、特許文献1 参照）。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2012-138044号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 水処理プロセスにおける異常は、水処理プラントの反応系に悪影響を与える重大なものもあれば、水処理プロセスの正常な進行を妨げるほどではない軽微なものもあり、オペレータは、重大な異常への対応を優先的に実施する。この点、特許文献1のプロセス状態監視装置によれば、オペレータは多数の計測値を監視することなく異常の発生を知る事ができるものの、発生して

いる異常の重大度まで知ることはできない。なお、特許文献1にはオペレータ自身が十分によく認識している重要変数をトリガーに異常検出を行うことにより、オペレータが知りたい異常兆候のみを検出することも開示されているが、水処理プロセスにおける異常度の指標と異常の重大度とは必ずしも比例関係のような単純なものではなく、重大度が大きい異常に対応する重要変数を正確に見出すことは容易ではない。

- [0005] 本開示は上述のような課題を解決するための技術を開示するものであり、水処理プロセスにおける異常の発生を検知するとともに、検出した異常の重大度を診断することができる水処理プラントの異常診断システムおよび水処理プラントの異常診断方法を得ることを目的とする。

課題を解決するための手段

- [0006] 本開示の水処理プラントの異常診断システムは、監視対象の水処理プラントの異常を診断する水処理プラントの異常診断システムであって、水処理プラントによる水処理プロセスにおける、複数種類の計測値を収集する計測値収集部と、計測値収集部により収集された計測値を蓄積する計測値記憶部と、計測値から算出される異常度に基づいて、水処理プラントに異常が発生しているか否かを判定する異常検知部と、異常度と異常モードとの関係を示す異常モード判別情報を記憶する異常モード判別情報記憶部と、異常が発生していると判定された場合に、異常検知部によって算出された異常度と、異常モード判別情報とを比較することにより、発生している異常の異常モードの判別をする異常モード判別部と、判別の結果を表示する診断結果表示部とを備え、異常モードは、水処理プラントに対する重大度と対応付けられているものである。
- [0007] また、本開示の水処理プラントの異常診断方法は、監視対象の水処理プラントの異常を診断する水処理プラントの異常診断方法であって、水処理プラントによる水処理プロセスにおける、複数種類の計測値を収集する計測値収集工程と、計測値収集工程において収集した計測値を蓄積する計測値蓄積工程と、計測値から算出される異常度に基づいて、水処理プラントに異常が発

生しているか否かを判定する異常検知工程と、異常が発生していると判定された場合に、異常検知工程において算出した異常度と、異常度と異常モードとの関係を示す異常モード判別情報とを比較することにより、発生している異常の異常モードの判別をする異常モード判別工程と、判別の結果を表示する診断結果表示工程とを備え、異常モードは、水処理プラントに対する重大度と対応付けられているものである。

発明の効果

[0008] 本開示の水処理プラントの異常診断システムまたは水処理プラントの異常診断方法によれば、水処理プロセスにおける異常の発生を検知するとともに、検出した異常の重大度を診断することができる。

図面の簡単な説明

[0009] [図1]実施の形態1における水処理プラントの異常診断システムの構成を示すブロック図である。

[図2]実施の形態1に係る異常検知部の構成を示すブロック図である。

[図3]実施の形態1に係る判別用クラスタリング情報の例を示す図であり、判別用クラスタリングマップを示す図である。

[図4]実施の形態1に係る異常モードと異常の重大度との関係の例を示す図である。

[図5]実施の形態1に係る異常診断装置のハードウェア構成の例を示す図である。

[図6]実施の形態1における水処理プラントの異常診断システムの動作を示すフロー図である。

[図7]実施の形態1に係る異常検知工程を示すフロー図である。

[図8]実施の形態2における水処理プラントの異常診断システムの構成を示すブロック図である。

[図9]実施の形態2に係る過去異常学習装置の構成を示すブロック図である。

[図10]実施の形態2における水処理プラントの異常診断システムの動作を示すフロー図である。

[図11]実施の形態2に係る学習工程を示すフロー図である。

[図12]実施の形態3における水処理プラントの異常診断システムの構成を示すブロック図である。

[図13]実施の形態3に係るシミュレーション装置の構成を示すブロック図である。

[図14]実施の形態3における水処理プラントの異常診断システムの動作を示すフロー図である。

[図15]実施の形態3に係るシミュレーション工程を示すフロー図である。

発明を実施するための形態

[0010] 実施の形態1.

実施の形態1を図1から図7に基づいて説明する。図1は、実施の形態1における水処理プラントの異常診断システムの構成を示すブロック図である。異常診断システム1000、すなわち水処理プラントの異常診断システムは、監視対象の水処理プラントの(図示無し)の水処理プロセスにおいて発生している異常を検知し、発生している異常の異常モードを判別する異常診断装置100と、それぞれネットワークを介して異常診断装置100と接続され、監視対象の水処理プラントの各特性値を計測する計測装置1001およびセンサ1002を備える。異常診断装置100は、計測装置1001およびセンサ1002よりそれぞれ取得された計測値を用いて上記水処理プラントの異常の検知、および発生している異常の異常モードの判別を行う。

なお、実施の形態1における水処理プラントは基本的に下水処理プラントを想定しているが、例えば淡水化プラントなど、下水処理プラント以外の水処理プラントにも適用可能である。

[0011] 計測装置1001は、各種計器(図示無し)を備える。より具体的には、計測装置1001は、下水処理プラント中の各設備および各槽の流量を示す流量計、各槽の水質を示すDO計(溶存酸素計)、MLSS(Mixed Liquor Suspended Solid)計、NH₄計(アンモニア計)、ORP計(酸素還元電位計)、TN計(全窒素計)、およびTP計

（全リン計）などの計器を備える。計測装置１００１は、各種の計測値のデータである計測値データＤを、ネットワークを介して異常診断装置１００に送信する。計測値データＤは、複数種類の計測値のデータを含む。また計測値データＤは、計測時刻を示すデータを含んでもよい。

[0012] センサ１００２は、各槽の水質を示す様々なパラメータを検知する各種センサ（図示無し）が含まれ、例えば、各槽の水のアンモニア性窒素濃度、硝酸性窒素濃度、全窒素濃度、リン酸性リン濃度、全リン濃度などを検知する各種センサが含まれる。センサ１００２は、各種センサにより取得された計測値のデータを計測値データＤとして、ネットワークを介して異常診断装置１００に送信する。なお、計測装置１００１の対象とセンサ１００２の計測対象は異なるが、それぞれの計測値のデータはどちらも計測値データＤとしている。

[0013] 異常診断装置１００は、計測値データＤを収集する計測値収集部１０１と、収集された計測値データＤを蓄積する計測値データベース１０２（以下、計測値ＤＢ１０２）、すなわち計測値記憶部と、計測値データＤに基づいて、下水処理プラント中で発生している異常を検知する異常検知部１０３と、後述する寄与度を算出する寄与因子算出部１０４と、異常モードの判別に用いられる判別用クラスタリング情報ＣＬＭ、すなわち異常モード判別情報を記憶する判別情報記憶部１０５、すなわち異常モード判別情報記憶部と、判別用クラスタリング情報ＣＬＭを用いて異常モードを判別する異常モード判別部１０６と、異常モードの判別の結果などを運転員に対して表示する診断結果表示部１０７と、判別用クラスタリング情報ＣＬＭの生成および更新を行う判別情報生成部１０８とを備える。

[0014] 計測値収集部１０１は、計測装置１００１およびセンサ１００２から計測値データＤをそれぞれ受信して計測値データＤを収集し、収集した計測値データＤを計測値ＤＢ１０２に出力する。なお、実施の形態１では計測装置１００１およびセンサ１００２により計測値のデータ（計測値データＤ）を取得し、ネットワークを介して計測値データＤを異常診断装置１００に送信す

る構成としているが、手動で実施した水質分析の結果から計測値のデータを取得し、取得した計測値のデータを運転員等が異常診断装置１００に入力する構成にしてもよい。この場合、計測値のデータの inputs は、例えば H M I (Human Machine Interface) を介して行われる。

[0015] 計測値 DB 102 は、計測値データ D を一定の形式で整理しながら記憶することにより、計測値データ D を蓄積するデータベースである。計測値 DB 102 は、計測値収集部 101 から計測値データ D を取得し、取得した計測値データ D を順次記憶していくことにより計測値データ D を蓄積していく。計測値データ D を蓄積する方法としては、同一の時刻における流量および水質を同系列として記憶していく方法がある。なお、同一の流入水に対してそれぞれ計測を行う複数のセンサがある場合、上記複数のセンサの間に計測時刻のずれが生じている可能性がある。このことを考慮し、流入水が下水処理プラント内に滞留する時間に基づいて上記複数のセンサ間の計測時刻のずれを補正し、同一の流入水に対する各槽での計測値を同系列として記憶することも考えられる。

[0016] 異常検知部 103 は、計測値 DB 102 に蓄積された計測値データ D を用い、M S P C 解析の手法により異常度を算出して、異常の発生を検知するものである。異常検知部 103 は、異常発生の有無を示す異常有無判定結果 W を寄与因子算出部 104、異常モード判別部 106、診断結果表示部 107 および判別情報生成部 108 に出力する。

[0017] 異常検知部 103 についてさらに説明する。図 2 は、実施の形態 1 に係る異常検知部の構成を示すブロック図である。異常検知部 103 は、計測値 DB 102 からデータセット D S を取得するデータセット取得部 1031 と、データセット D S に対して前処理を施し、前処理済みのデータセット D S * として出力する前処理部 1032 と、前処理済みのデータセット D S * に対して P C A 分析 (P r i n c i p a l C o m p o n e n t A n a l y s i s : 主成分分析) を実行し、主成分軸情報 P A を生成する主成分分析部 1033 と、主成分軸情報 P A および前処理済みのデータセット D S * を用い

て異常度WDを算出する異常度算出部1034と、異常判定のための閾値Thを設定する閾値設定部1035と、異常度WDと閾値Thの関係に基づいて異常の有無を判定する異常発生判定部1036とを備える。

[0018] データセット取得部1031は、計測値DB102に蓄積されている計測値データDについて、例えば、同系列の計測値データDの組み合わせ（計測時刻が同じ計測値データDの組み合わせ）を1つのデータセットDSとして取得する。データセット取得部1031が取得するデータセットDSは、後述するPCA分析の場合と異常度の算出の場合とで異なる。PCA分析のためのデータセットDSは、異常発生時のデータを含まない、一定期間以上のデータセットであることが望ましい。下水処理プラントの場合の一例として、定常運転を実施した1か月間の晴天時の計測値データDのみを計測値DB102から抽出して、PCA用のデータセットとすることが挙げられる。異常度の算出の場合、計測時刻が異常検知の対象期間に含まれる、すべてのデータセットDSを取得する。

[0019] 前処理部1032は、データセット取得部1031からデータセットDSを取得し、データセットDSに対して前処理を実施する。この前処理には、データセットDSの欠損値の補完処理、外れ値の除外処理、標準化処理、移動平均化処理などの処理が含まれる。前処理部1032は、上記のような前処理を施した前処理済みのデータセットDS*を主成分分析部1033および異常度算出部1034に出力する。

[0020] 主成分分析部1033は、データセットDS*に対してPCA分析を実施する。PCA分析は、データの特徴抽出および次元圧縮を目的とする多変量解析の手法の1つである。PCA分析においては、変数間の相関関係を捉えるために、複数の変数を線形結合することによって主成分と呼ばれる合成変数を生成する。主成分は、元の変数の線形結合であるから、元の変数のデータを考える場合、元のデータから主成分データが得られる。第1主成分は、上記主成分データの分散が最大となる方向であり、この方向に第1主成分軸が設定される。なお、第1主成分はデータの変動をもっともよく表現できて

いる方向となる。第2主成分は、第1主成分と直交する方向の中で主成分データの分散が最大となる方向であり、この方向に第2主成分軸が設定される。第3主成分以降は、既に設定されている全ての主成分軸と直交する方向の中で主成分データの分散が最大となる方向である。上記のように第1主成分、第2主成分、第3主成分・・・と順に求めていくことにより、N次元のデータに対し、N個の主成分軸（第1主成分軸から第N主成分軸）が設定される。主成分分析部1033は、元の変数からの換算式など、各主成分軸に関する情報を主成分軸情報PAとして出力する。

なお、実施の形態1ではPCA分析を用いているが、後述する異常度WDが算出可能となるようなデータ処理であれば、PCA分析以外の方法を用いてもよい。

[0021] 異常度算出部1034は、主成分軸情報PAを主成分分析部1033から取得し、異常検知の対象となるデータセットDS*を前処理部1032から取得して、主成分軸情報PAおよびデータセットDS*を用いて異常度WDの算出を行う。実施の形態1における「異常度」は、以下で説明する2種の統計量、すなわち T^2 統計量（以降、 T^2 値と記載）およびQ統計量（以降、Q値と記載）であり、異常度算出部1034は、各計測時刻における T^2 値およびQ値を算出する。異常度算出部1034は、算出した T^2 値およびQ値のデータを異常度WDとして異常発生判定部1036に出力する。

[0022] T^2 値は、（式1）によって算出される。

[数1]

$$T^2 = \sum_{r=1}^R \frac{t_r^2}{\sigma_{t_r}^2} \quad \cdots (1)$$

（式1）において、 t_r は第r成分の主成分得点を示し、 σ_{t_r} は t_r の標準

偏差である。(式1)に示す T^2 値は、主成分空間における原点からデータの距離の2乗を各主成分得点の標準偏差の2乗で正規化したものを示す。なお主成分空間とは、主成分分析によって得られた各主成分のうち、考慮する主成分の主成分軸によって構成される空間である。(式1)の場合、R個の主成分を考慮し、主成分空間は第1主成分から第R主成分までの主成分軸により構成されている。また主成分得点とは、主成分空間における主成分軸上の座標の値である。

[0023] Q値は、(式2)によって算出される。

[数2]

数2

$$Q = \sum_{p=1}^P (x_p - \hat{x}_p)^2 \quad \cdots (2)$$

(式2)において、 x_p は元データである計測値データDの第p成分を示し、ハット記号付きの $\hat{x}_p$ は、 x_p に対してPCA分析による次元圧縮とP次元上での再構築(次元圧縮後の空間からの逆写像)を実施した場合の第p成分である。なお、元データがN次元の場合、 $P=N$ となる。Q値は、次元圧縮後の空間から逆写像しても生じている元データからのずれを示し、PCA分析による次元圧縮の結果として失われた情報を残差として表した値である。これは、元データについて、PCAモデルでは表現できていない部分を表す。

[0024] MSPCでは、 T^2 値とQ値とは独立に管理され、いずれかの値が管理限界を超えた場合に異常が発生していると判断される。すなわち、 T^2 値とQ値のそれぞれが異常度となっている。 T^2 値とQ値は補完関係にあり、それぞれを独立に管理することにより、計測値データを変数とした場合の変数空間において相関性を有する部分と有さない部分の両方の管理が可能となっている。

- [0025] 閾値設定部 1035 は、異常判定のための閾値 T_h を設定し、閾値 T_h を異常発生判定部 1036 に出力する。閾値 T_h は、一般には、 T^2 値および Q 値のそれぞれについて、「 $m + 3\sigma$ 」の値で与えられる。ここで m および σ は、全時刻を通じて異常度（ T^2 値および Q 値）を算出した場合の、異常度の平均値および標準偏差を示し、異常発生時のデータを含まない、正常時のデータの集合に対して異常度を算出した場合に得られる平均値および標準偏差である。閾値 T_h には、 T^2 値用の閾値 $T_h_T^2$ と Q 値用の閾値 T_h_Q があるが、両者をまとめて閾値 T_h とする。なお、閾値 T_h は上記のように定められる値に限らず、目的に応じて独自に算出した他の値であってもよい。
- [0026] 異常発生判定部 1036 は、現時刻のデータセット DS^* （計測時刻が現時刻の計測値データ D によって構成されるデータセット DS^* ）から算出された、現時刻の異常度 WD と閾値 T_h との関係に基づいて異常発生の有無を判定する。具体的には、現時刻の T^2 値および Q 値のいずれかが閾値 T_h を超えていた場合、すなわち、 $(\text{現時刻の } T^2 \text{ 値}) > (T^2 \text{ 値用の閾値 } T_h_T^2)$ および $(\text{現時刻の } Q \text{ 値}) > (Q \text{ 値用の閾値 } T_h_Q)$ のいずれかが満たされる場合に、異常発生判定部 1036 は異常が発生していると判定する。すなわち、異常発生判定部 1036 は、異常度 WD と閾値 T_h を比較することにより異常発生の有無を判定する。異常発生判定部 1036 は、主成分分析の結果である主成分軸情報 PA 、算出した異常度 WD 、および異常発生判定の結果を、異常有無判定結果 W としてまとめて出力する。すなわち、異常有無判定結果 W には主成分軸情報 PA および異常度 WD も含まれる。
- [0027] なお、現時刻の異常度 WD のみを判定に用いる方法に限らず、上記のような閾値 T_h による判定を直近の一定の時間（例えば直近の 5 分間）の異常度 WD に対して実施することも考えられる。この場合、異常度 WD が閾値 T_h を超えた時間（ T^2 値および Q 値のいずれかがその閾値を超えた時間）の方が長い場合に、現時刻で異常が発生していると判定する。また、異常度 WD が一定時間連続して閾値 T_h を超えた場合に異常が発生していると判定することも考えられる。

[0028] 寄与因子算出部 104 は、発生している異常について、各計測値の寄与度を算出する。「寄与度」は、各計測値が異常度WDの変動に与える影響の度合いを示すものであり、であり、 T^2 値への寄与度 $C_p T$ とQ値への寄与度 $C_p Q$ がある。寄与因子算出部 104 は、計測値DB102からデータセットDSを取得し、異常検知部 103 から異常有無判定結果Wを取得して、異常有無判定結果Wが異常発生を示している場合に、データセットDSに含まれる現時刻の計測値データDを用いて寄与度を算出する。

[0029] T^2 値への寄与度 $C_p T$ は、以下の(式3)によって算出される。

[数3]

数3

$$C_p^{[T^2]} = t \Sigma_T^{-1} x_p v_p \cdots (3)$$

(式3)の左辺において、カッコ付きの T^2 を付した C_p が T^2 値への寄与度 $C_p T$ の値を示す。(式3)の右辺において、 t は主成分ベクトルを示す。 Σ は分散共分散行列を示し、右上に付した「 -1 」は逆行列であることを示す。 x_p は因子 p のデータ、すなわち、元データである計測値データDの第 p 成分である。 v_p は、負荷量行列の第 p 行の行ベクトルの転置ベクトルである。 T^2 値への寄与度 $C_p T$ が大きいほど、 T^2 値が閾値 $T_{h_T^2}$ を超えた際に、その計測値、(第 p 成分の計測値)が異常の原因となっている可能性が大きい。

[0030] Q値への寄与度 $C_p Q$ は、以下の(式4)によって算出される。

[数4]

数4

$$C_p^{[Q]} = (x_p - \hat{x}_p)^2 \cdots (4)$$

(式4)の左辺において、カッコ付きのQを付した C_p がQ値への寄与度

$C_p Q$ の値を示す。(式4)の右辺において、 x_p は元データである計測値データDの第p成分を示し、ハット記号付きの $\hat{x}_p$ は、 x_p に対してPCA分析による次元圧縮とP次元上での再構築(次元圧縮後の空間からの逆写像)を実施した場合の第p成分である。Q値への寄与度 $C_p Q$ が大きいほど、Q値が閾値 Th_Q を超えた際に、その計測値、(第p成分の計測値)が異常の原因となっている可能性が大きい。

- [0031] 寄与因子算出部104は、それぞれの因子pについて算出した寄与度 $C_p T$ および寄与度 $C_p Q$ のそれぞれについて、値の大きさの序列で上位となった因子pを特定し、原因可能性因子 p^* とする。原因可能性因子 p^* として特定する因子pの数は任意である。寄与因子算出部104は、寄与度 $C_p T$ および寄与度 $C_p Q$ のデータ、および原因可能性因子 p^* のデータを寄与度データ C_p として出力する。
- [0032] 判別情報記憶部105は、判別用クラスタリング情報CLMを記憶する。判別用クラスタリング情報CLMは、 T^2 値およびQ値のような異常度の値と、実際に発生している異常の異常モードを関連付ける情報であり。図3に示す判別用クラスタリングマップのように、 T^2 値を横軸、Q値を縦軸とする T^2-Q 空間上のクラスタリングマップで示される。図3に示す3種のプロット、すなわち、四角形、菱形、三角形のプロットは、種々の異常モードの異常が発生したときの T^2 値およびQ値をプロットしたものである。判別用クラスタリング情報CLMの生成および更新は、後述する判別情報生成部108により行われる。
- [0033] 図3において、星印のプロットは、現時刻の T^2 値およびQ値をプロットしたものである。図3に示す例では、四角プロットの領域をクラスタCL1、菱形プロットの領域をクラスタCL2、三角プロットの領域をクラスタCL3としている。各プロットからのクラスタの生成は、例えばk-means法などのクラスタリングの手法が用いられる。点線で示した境界BD1は、クラスタCL1とクラスタCL2の境界を示す。同様に、境界BD2はクラスタCL2とクラスタCL3の境界を示し、境界BD3はクラスタCL3と

クラスタC L 1の境界を示す。

[0034] 図4は、実施の形態1に係る異常モードと、異常の重大度との関係の例を示す図である。図4に示す例において、 T^2 値が大きくQ値が小さい、クラスタC L 1が示す異常モードをモード1とすると、クラスタC L 1の異常モード（モード1）は、下水処理プラントに及ぼす悪影響の度合い（重大度）が大きい異常モードとなる。 T^2 値が中程度でQ値が大きい、クラスタC L 2が示す異常モードをモード2とすると、クラスタC L 2の異常モード（モード2）は、重大度が小さい異常モードとなる。また、 T^2 値およびQ値が小さい、クラスタC L 3が示す異常モードをモード3とすると、クラスタC L 3の異常モード（モード3）は、重大度が中程度である異常モードとなる。なお、上述したような各クラスタと重大度との関係は一例である。例えば、Q値が予め定められた閾値を超えた場合のみ重大度が大きい異常モードとすることも考えられる。また、異常モードの設定も一例である。異常モードは、重大度と対応するものであれば任意に設定可能であり、重大度を何段階に設定するか（クラスタの数をいくつにするか）も任意に設定可能である。

[0035] 下水処理プラントにおいて、重大度が大きい異常モードの異常としては、例えば流入水の流量または含有成分の異常、生物反応槽における微生物活性異常、ポンプおよび攪拌機などの運転設備の異常、処理水の法規制対象の水質計器の異常など、重度のプロセス異常が挙げられる。重大度が小さい異常としては、例えば法規制対象以外の水質計器の異常、手分析などで代替可能な水質計器の異常、センサの汚れによる計測値のずれなどが挙げられる。なお、実施の形態1では図3で示したようなクラスタリングマップを生成して判別用クラスタリング情報C L Mとしているが、判別用クラスタリング情報C L Mは、運転員へのヒアリングまたは運転操作情報からのノウハウ抽出により生成する方法もある。

[0036] 異常モード判別部106は、異常有無判定結果Wおよび判別用クラスタリング情報C L Mに基づいて、異常が発生している場合の該異常の異常モードを判別する。図3の例では、上述したとおり星印のプロットが現時刻の T^2 値

およびQ値を示し、星印のプロットはクラスタCL2の領域に含まれているので、現時刻の異常の異常モードはクラスタCL2の異常モード（重大度が小さい異常モード）であると判別する。このように、算出された現時刻の異常度と判別用クラスタリング情報CLMとを比較することにより、新規に検出された現時刻の異常の異常モードを判別することができる。異常モード判別部106は、異常モードの判別の結果を異常モード判別結果Mとして出力する。

[0037] さらに、実施の形態1の異常モード判別部106は、上記の寄与度による異常モードの絞り込みを行い、可能性が高い異常モードを絞り込んだ後に、判別用クラスタリング情報CLMを用いた判別を行うことも可能である。より具体的には、原因可能性因子 p^* と、原因可能性因子 p^* の寄与度 C_{pT} および寄与度 C_{pQ} の大きさから、重大度をおおよそ予測する。例えば、因子1（ $p=1$ ）が大きく寄与するような異常は重大度が大きいと分かっており、かつ、原因可能性因子 p^* に $p=1$ も含まれている場合、重大度が大きいか中程度の異常モードである可能性が高いことが分かる。このようにして異常モードの絞り込みを行った後、現時刻の T^2 値およびQ値と判別用クラスタリング情報CLMとの比較により異常モードを判別する。なお、上記は原因可能性因子 p^* とその寄与度の組み合わせにより異常モードの絞り込みを行っているが、寄与度の値のみで絞り込みを行ってもよい。また、異常モードの絞り込みは必須ではない。絞り込みを行わない場合、寄与因子算出部104は省略してもよい。

[0038] 上記のように寄与度による絞り込みを行う場合、判別用クラスタリング情報CLMとの比較による異常モードの判別と組み合わせることにより、異常モードの判別の精度を向上させることができる。判別用クラスタリング情報CLMとの比較のみの場合、現時刻の異常度の値によっては属するクラスタの判別が困難になる可能性がある。例えば図3の例で星印が境界BD1上あるいは境界BD1の近傍にある場合、クラスタCL1またクラスタCL2のいずれに属するとすべきが判別が困難な場合もある。このような問題は、異常

モードをより細かく分類した場合はさらに生じやすい。ここで、寄与度による絞り込みを組み合わせれば、判別用クラスタリング情報CLMとの比較のみでは異常モードの判別が困難な場合でも正確に異常モードを判別でき、異常モードの判別の精度を向上させることができる。

[0039] 診断結果表示部107は、例えば液晶ディスプレイなどの表示装置により構成され、異常有無判定結果および異常モード判別結果Mなどの内容に応じて、異常発生の有無についての判定結果、発生している異常の異常モードおよびその重大度を表示する。また診断結果表示部107は、異常についてのアラート、異常度、寄与度、原因可能性因子など、異常発生の有無の判定および異常モードの判別などの過程で算出した値などを表示してもよい。また、異常モードの判別により、発生している異常が重度のプロセス異常と判定されている場合は、当該異常に優先的に対応するよう運転員に要請する表示をしてもよい。なお、実施の形態1では異常診断装置100が診断結果表示部107を備える構成としているが、診断結果表示部107は異常診断装置100とは別の装置が備える構成としてもよい。この場合、異常診断装置100は例えばネットワークを介して異常モード判別結果Mを上記別の装置に送信する送信部を備える。

[0040] 判別情報生成部108は、判別用クラスタリング情報CLMを生成するとともに、必要に応じて判別用クラスタリング情報CLMを更新する。判別用クラスタリング情報CLMの生成および更新は、実運用において発生した異常の異常モードと、異常発生時の異常度WDとの関係に基づいて行われる。判別情報生成部108は、異常検知部103から異常有無判定結果Wを取得し、異常有無判定結果Wに含まれる異常度WDと、発生している異常の異常モードとの関係に基づいて判別用クラスタリング情報CLMを生成する。ここで、異常モードは異常の重大度と対応するので、判別情報生成部108は、実運用において取得した異常度WDと、この異常度WDを持つ異常の重大度との関係に基づいて、判別用クラスタリング情報CLMの生成を行っていることとなる。

- [0041] 実運用開始直後など、実運用におけるデータ数が少ない場合は判別用クラスタリング情報CLMの精度が十分ではない。このような場合は、異常モードの判定を別の方法で行うか、仮の判別用クラスタリングマップを用いて異常モード判別結果のデータを蓄積していき、ある程度の数の結果が取得された時点で判別用クラスタリング情報CLMが生成されたとする。判別用クラスタリング情報CLMが生成されたら、判別情報生成部108は、生成した判別用クラスタリング情報CLMを判別情報記憶部105に記憶させる。以降は、判別情報記憶部105に記憶された判別用クラスタリング情報CLMを用いて異常モードの判別を行う。ただし、判別情報生成部108は、異常モード判別結果Mを都度取得し、異常モード判別結果Mの正確性に問題が認められる場合など、更新の必要がある場合は、それに応じて判別用クラスタリング情報CLMを更新する。なお、判別情報生成部108への異常モード判別結果Mの入力は、図1では記載を省略している。
- [0042] 判別用クラスタリング情報CLMの更新について説明する。一般的に、クラスタリング情報を用いた判別を行う場合、各クラスタを生成するデータ数が多いほど判別の精度が高い。逆に言うと、収集したデータ数が少ない段階では判別の精度が相対的に低い。実施の形態1においては、上述したように T^2 値およびQ値と判別用クラスタリング情報CLMとの比較により異常モードを判別しているが、判別用クラスタリング情報CLMを用いた判別の結果が、運転員へのヒアリングまたは運転操作情報からのノウハウ抽出に基づく異常モード判別結果と異なり、運転員へのヒアリング等に基づく異常モード判別結果の方が正しいと評価される場合もある。このような場合は、異常モード判別結果Mの正確性に問題があり、判別用クラスタリング情報CLMの精度にも問題があると評価される。このため、運転員へのヒアリング等に基づく異常モード判別結果に合わせるように、判別用クラスタリング情報CLMを更新する。判別用クラスタリング情報CLMの更新は、上記した判別用クラスタリング情報CLMの生成の場合と同様に、実運用において取得した異常度WDと、この異常度WDを持つ異常の重大度との関係に基づいて行う

。

[0043] 次に、異常診断装置１００の各機能部を実現するハードウェア構成について説明する。図５は、実施の形態１に係る異常診断装置のハードウェア構成の例を示す図である。異常診断装置１００は、主に、プロセッサ９１と、主記憶装置としてもメモリ９２および補助記憶装置９３から構成される。プロセッサ９１は、例えばCPU (Central Processing Unit)、ASIC (Application Specific Integrated Circuit)、DSP (Digital Signal Processor)、FPGA (Field Programmable Gate Array) などで構成される。メモリ９２はランダムアクセスメモリ等の揮発性記憶装置で構成され、補助記憶装置９３はフラッシュメモリ等の不揮発性記憶装置またはハードディスクなどで構成される。補助記憶装置９３には、プロセッサ９１が実行する所定のプログラムが記憶されており、プロセッサ９１は、このプログラムを適宜読み出して実行し、各種演算処理を行う。この際、補助記憶装置９３からメモリ９２に上記所定のプログラムが一時的に保存され、プロセッサ９１はメモリ９２からプログラムを読み出す。図１および図２に示した各機能部による演算処理は、上記のようにプロセッサ９１が所定のプログラムを実行することで実現される。プロセッサ９１による演算処理の結果はメモリ９２に一旦記憶され、実行された演算処理の目的に応じて補助記憶装置９３に記憶される。

[0044] また、異常診断装置１００は、計測装置１００１およびセンサ１００２から計測値データＤをそれぞれ受信する受信回路９４、および異常モードの判別結果などを表示する表示装置９５を備える。プロセッサ９１、メモリ９２、補助記憶装置９３、受信回路９４、および表示装置９５は、システムバス９６を介して接続されている。なお、異常モードの判別結果などの表示を別の装置に行わせる場合、受信回路９４を送受信回路に置き換えるか、別途送信回路を追加し、上記送受信回路または上記送信回路により、異常モード判別結果Ｍなどを送信する構成とすればよい。

- [0045] 次に、動作について説明する。図6は、実施の形態1における水処理プラントの異常診断システムの動作を示すフロー図である。なお、判別用クラスタリング情報CLMは既に生成されているものとする。まず、監視対象の水処理プラントの状態を示す各種計測値のデータである計測値データDを、計測装置1001およびセンサ1002により取得することにより、計測値データDを収集する（ステップST101：計測値収集工程）。
- [0046] 次に、収集した計測値データDを一定の形式で整理しながら記憶することにより、計測値データDを蓄積する（ステップST102：計測値蓄積工程）。計測値データDの蓄積は、収集した計測値データDを順次記憶していくことにより行われる。計測値データDを蓄積する方法は上述したとおりである。
- [0047] 次に、蓄積した計測値データDから異常度を算出して、異常の発生を検知する（ステップST103：異常検知工程）。異常検知工程においては、MSPC解析の手法により異常の発生を検知する。図7は、実施の形態1に係る異常検知工程を示すフロー図であり、実施の形態1に係るMSPC解析フローを示している。まず、同系列の計測値データDの組み合わせなどを1つのデータセットDSとして取得し（ステップST1031：データセット取得工程、データセットDSに対して前処理を実施して前処理済みのデータセットDS*を得る（ステップST1032：前処理工程）。データセットDSの前処理については上述したとおりである。
- [0048] 次に、データセットDS*に対してPCA分析を実施する（ステップST1033：主成分分析工程）。PCA分析については上述したとおりであり、各主成分軸に関する情報としての主成分軸情報PAを得る。
- [0049] 次に、異常検知の対象となるデータセットDS*と主成分軸情報PAを用いて異常度の算出を行う（ステップST1034：異常度算出工程）。異常度については上述したとおりである。実施の形態1では T^2 値とQ値を算出し、算出した T^2 値およびQ値のデータを異常度WDとする。
- [0050] 次に、異常判定のための閾値Thを設定する（ステップST1035：閾

値設定工程)。閾値 T_h の具体的な設定方法については上述したとおりである。

[0051] 次に、現時刻の異常度 WD と閾値 T_h との関係に基づいて異常発生の有無を判定し、異常有無判定結果 W を得る（ステップ $ST1036$ ：異常発生判定工程）。上述したように、判定においては現時刻の T^2 値および Q 値のいずれかが閾値 T_h を超えていた場合に異常が発生していると判定する。また、直近の一定の時間において異常度 WD が閾値 T_h を超えた時間と超えなかった時間のいずれが長かったか、異常度 WD が一定時間連続して閾値 T_h を超えたかなどによって異常発生の有無を判定してもよいのは上述したとおりである。

[0052] なお、運転中の下水処理プラントでリアルタイムに異常発生の有無を判定する場合、主成分分析工程および閾値設定工程とその他の工程（データセット取得工程、前処理工程、異常度算出工程および異常発生判定工程）とで実行周期を異なるものとするとも考えられる。例えば、前者の工程は第1の実行周期（例えば24時間）で実施し、後者の工程は、第1の実行周期よりも短い第2の実行周期（例えば1分）で実施する。この場合、主成分分析による主成分の算出と閾値の設定を一度実施すれば、次の実施タイミング（第1の実行周期の24時間の後）までは、各時刻（第2の実行周期である1分毎）において異常度の算出および異常発生の有無の判定が実施される。このように、処理の内容に応じて実行周期を異ならせることにより、異常検知工程における計算量の削減がなされ、MSPCによる解析の高速化を図ることができる。

[0053] 上述した異常検知工程の結果、「異常あり」と判定した場合はステップ $ST105$ に進み、「異常無し」と判定した場合はステップ $ST107$ に進む（ステップ $ST104$ ）。

[0054] 異常検知工程において「異常あり」と判定した場合、発生している異常について、各計測値の寄与度を算出し、寄与度データ C_p を得る（ステップ $ST105$ ：寄与因子算出工程）。「寄与度」については上述したとおりである。

り、各計測値が異常度WDの変動に与える影響の度合いを示すものである。寄与因子算出工程においては、寄与度が大きい因子pである原因可能性因子p*の特定も行う。原因可能性因子p*の特定方法については上述したとおりであり T^2 値およびQ値のそれぞれについて、各因子pの寄与度を算出した後、寄与度の値の大きさの序列で上位となった因子pを原因可能性因子p*とする。

[0055] 次に、異常有無判定結果Wおよび判別用クラスタリング情報CLMに基づいて、異常が発生している場合の該異常の異常モードを判別し、異常モード判別結果Mを得る（ステップST106：異常モード判別工程）。上述したように、実施の形態1では図3に示した判別用クラスタリングマップを用いて異常モードの判別を行う。具体的な判別方法は上述したとおりである。また、異常モード判別工程による判別の前に、寄与度による異常モードの絞り込みを行ってよいことも上述したとおりである。寄与度による絞り込みを行う場合は、ステップST105とステップST106の間に行う。

[0056] 次に、異常有無判定結果Wおよび異常モード判別結果Mなどの内容に応じて、異常発生の有無、発生している異常の異常モードおよびその重大度を表示する（ステップST107：診断結果表示工程）。診断結果表示工程において、異常についてのアラートおよび異常度、寄与度、原因可能性因子などを表示してもよいことは上述したとおりである。

[0057] 次に、必要に応じて判別用クラスタリング情報CLMを更新する（ステップST108：判別情報更新工程）。判別用クラスタリング情報CLMの更新については上述したとおりである。なお、図6では診断結果表示工程の後に判別情報更新工程を行うとしているが、2つの工程の順序は逆でもよいし、同時並行してもよい。

[0058] 実施の形態1によれば、水処理プロセスにおける異常の発生を検知するとともに、検出した異常の重大度を診断することができる。より具体的には、水処理プラントによる水処理プロセスにおける、複数種類の計測値を収集する計測値収集部と、計測値収集部により収集された計測値を蓄積する計測値

記憶部と、計測値から算出される異常度に基づいて、水処理プラントに異常が発生しているか否かを判定する異常検知部と、異常度と異常モードとの関係を示す判別用クラスタリング情報を記憶する判別情報記憶部と、異常が発生していると判定された場合に、異常検知部によって算出された異常度と、判別用クラスタリング情報とを比較することにより、発生している異常の異常モードの判別をする異常モード判別部と、異常モードの判別の結果を表示する診断結果表示部とを備え、異常モードは、水処理プラントに対する重大度と対応付けられている。

[0059] 異常が発生していると判定された場合に、異常検知部によって算出された異常度と、判別用クラスタリング情報とを比較することにより、発生している異常の異常モードの判別し、異常モードは、水処理プラントに対する重大度と対応付けられている。異常モードの判別により、発生している異常が水処理プラントに及ぼす悪影響の大きさである重大度も診断される。

[0060] また、診断結果表示部による診断結果の表示を介して異常検知を伝達されるユーザは、発生している異常の重大度も把握でき、該異常に優先的に対応すべきか否かを迅速に判断できる。これにより、水処理プラントの保守管理の効率化がなされる。

[0061] 実施の形態 2.

次に、実施の形態 2 を図 8 から図 11 に基づいて説明する。なお、図 1 から図 7 に示したものと同一または相当する構成については同一の符号を付し、その説明を省略する。実施の形態 2 は、実運用の開始前に機械学習により判別用クラスタリング情報を生成しておく点が実施の形態 1 と異なる。図 8 は、実施の形態 2 における水処理プラントの異常診断システムの構成を示すブロック図である。異常診断システム 2000 は、実施の形態 1 と同様の異常診断装置 100 に加え、ネットワークを介して異常診断装置 200 と接続された過去異常学習装置 900 を備える。過去異常学習装置 900 は過去の異常の情報から判別用クラスタリング情報 CLM_P を生成し、生成した判別用クラスタリング情報 CLM_P を異常診断装置 200 の判別情報記憶部

105に送信する。判別情報記憶部105は、過去異常学習装置900から取得した判別用クラスタリング情報CLM__Pを記憶する。判別用クラスタリング情報CLM__Pは、実運用時において、判別用クラスタリング情報CLMとして、異常モードの判別に用いられる。

[0062] 異常診断装置200は、実施の形態1の異常診断装置100と基本的に同様の構成を有するが、判別情報生成部108を有しない点が異常診断装置100と異なる。すなわち、実施の形態2においては、実運用時における判別用クラスタリング情報CLMの生成および更新を行う必要がない。また、判別用クラスタリング情報CLMが異常検知部103にも送られる点も実施の形態1と異なる。なお、厳密には、判別用クラスタリング情報CLMが送られるのは異常検知部103の閾値設定部1035である。実施の形態2の判別用クラスタリング情報CLMは、過去のデータに基づく判別用クラスタリング情報CLM__Pであり、過去に発生した様々な異常に対応するクラスタの情報を含む。このため、それぞれのクラスタに対応して閾値Thを設定することが可能である。換言すれば、それぞれの異常に対応して閾値Thを設定することが可能である。これにより、より正確な異常検知が可能である。また、既に生成されている判別用クラスタリング情報CLMに基づいて閾値Thを設定可能であるため、実施の形態1のように、 T^2 値およびQ値のそれぞれについて、「 $m+3\sigma$ 」の値を計算する必要もない。これにより、異常検知時の計算負荷を低減することができる。

[0063] 過去異常学習装置900は、過去の異常発生時のデータにMSPCの手法を適用して異常度（ T^2 値およびQ値）を算出し、算出した異常度に機械学習の手法を適用して判別用クラスタリング情報CLMを生成するものである。図9は、実施の形態2に係る過去異常学習装置の構成を示すブロック図である。過去異常学習装置900は、過去の異常発生時のデータを蓄積する過去異常DB901、すなわち過去異常記憶部と、過去異常DB901からデータセットDS__Pを取得するデータセット取得部902と、データセットDS__Pに対して前処理を施し、前処理済みのデータセットDS__P*として

出力する前処理部 903 と、前処理済みのデータセット DS_P^* に対して PCA 分析を実施し、主成分軸情報 PA_P を生成する主成分分析部 904 と、主成分軸情報 PA_P および前処理済みのデータセット DS_P^* を用いて過去異常度 WD_P を算出する過去異常度算出部 905 と、過去異常度 WD_P に機械学習によるクラスタリングを実施することにより、過去異常度 WD_P と異常モードとを対応付けて判別用クラスタリング情報 CLM_P を生成する過去異常クラスタリング部 906 とを備える。

[0064] 過去異常 DB 901 は、過去の異常発生時における種々の計測値データ D_P (図示省略) を蓄積している。また、過去異常 DB 901 は、蓄積しているそれぞれの計測値データ D_P について、発生した異常の異常モードと対応付けている。換言すると、過去異常 DB 901 が蓄積している計測値データ D_P は、それぞれ異常モードがラベル付けされている。

[0065] データセット取得部 902 は、過去異常 DB 901 に蓄積されている計測値データ D_P について、例えば、同系列の計測値データ D_P の組み合わせ (計測時刻が同じ計測値データ D_P の組み合わせ) を 1 つのデータセット DS_P として取得する。データセット DS_P を構成する計測値データ D_P は異常モードがラベル付けされているため、データセット DS_P も同様に異常モードがラベル付けされている。

[0066] 前処理部 903 は、データセット取得部 902 からデータセット DS_P を取得し、データセット DS_P に対して前処理を実施する。前処理の内容は実施の形態 1 と同様である。前処理部 903 は、前処理を施した前処理済みのデータセット DS_P^* を主成分分析部 904 および過去異常度算出部 905 に出力する。

[0067] 主成分分析部 904 は、データセット DS_P^* に対して PCA 分析を実施する。PCA 分析については実施の形態 1 と同様であり、データセット DS_P^* を構成する複数の計測値データ D_P より第 1 主成分軸および第 2 主成分軸を決定する。主成分分析部 904 は、各主成分軸に関する情報を主成分軸情報 PA_P として出力する。

- [0068] 過去異常度算出部 905 は、主成分軸情報 PA_P を主成分分析部 904 から取得し、異常検知の対象となるデータセット DS_P^* を前処理部 903 から取得して、主成分軸情報 PA_P およびデータセット DS_P^* を用いて過去異常度 WD_P の算出を行う。実施の形態 2 における「過去異常度」の算出は、計測値データ D_P 、すなわち、過去の異常発生時の測定値データについて、実施の形態 1 の「異常度」の算出と同様の手法で T^2 値および Q 値を求めるものである。過去異常度算出部 905 は、算出した過去異常度 (T^2 値および Q 値) のデータを過去異常度 WD_P として過去異常クラスタリング部 906 に出力する。なお、過去異常度 WD_P は計測値データ D_P から算出される (過去異常度 WD_P の元データは計測値データ D_P である) ことから分かるように、過去異常度 WD_P も異常モードと対応付けられている。
- [0069] 過去異常クラスタリング部 906 は、過去異常度算出部 905 から過去異常度 WD_P を取得し、過去異常度 WD_P を入力として、 $k-means$ 法に代表される教師なし学習または決定木分析に代表される教師あり学習などの機械学習を実施することにより、過去の異常発生時における T^2 値および Q 値、すなわち過去異常度 WD_P と異常モードとの関係をクラスタリングし、判別用クラスタリング情報 CLM_P を生成する。過去異常クラスタリング部 906 は、生成した判別用クラスタリング情報 CLM_P を異常診断装置 200 の判別情報記憶部 105 に送信する。なお、判別用クラスタリング情報 CLM_P の生成において過去異常度 WD_P と対応づけられる異常モードは、過去に発生した異常の異常モードであり、その重大度も既知である。すなわち、判別用クラスタリング情報 CLM_P の生成においては、既知である過去の異常 (その重大度も既知である) に対して、過去異常度 WD_P を対応付けていくこととなる。
- [0070] なお、実施の形態 1 で示した手法と同様の手法により、過去の異常発生時のデータについての寄与度を算出し、算出した寄与度と異常モードを対応させてもよい。過去の異常発生時のデータについての寄与度と異常モードの対

応に関する情報は、判別用クラスタリング情報CLM__Pに付加される。

[0071] なお、過去異常学習装置900のハードウェア構成については、異常診断装置100と同様である。

[0072] 水処理プラントにおける各種の測定値は、日ごとまたは季節ごとの周期性を有することが多い。このため、過去の異常発生時のデータを用いて判別用クラスタリング情報CLM__Pを生成する場合、一日の中での同じ時間帯または一年における同じ季節におけるデータを用いて判別用クラスタリング情報CLM__Pを生成することで、実運用における異常検知および異常モードの判別の精度が向上する。例えば、実運用における異常検知および異常モードの判別を春に実施する場合、1年前などの春における異常発生時のデータを用いて判別用クラスタリング情報CLM__Pを生成することが望ましい。

[0073] 次に、動作について説明する。図10は、実施の形態2における水処理プラントの異常診断システムの動作を示すフロー図である。まず、過去の異常発生時のデータを用いた機械学習により、判別用クラスタリング情報CLM__Pを生成する（ステップST201：学習工程）次に、学習工程で生成した判別用クラスタリング情報CLM__Pを用いて、監視対象の水処理プラントで発生している異常を検知し、発生している異常の異常モードを判別する（ステップST202：実運用工程）。実運用工程では、学習工程で生成した判別用クラスタリング情報CLM__Pを判別用クラスタリング情報CLMとして扱い、異常モードの判定を実行する。また、実運用工程中は、判別用クラスタリング情報CLMを更新する必要はない。このため、実運用工程は、ステップST108の判別情報更新工程が無い点が異なるのみで、その他については実施の形態1（図6）で示したフローと同様である。

[0074] 学習工程について説明する。図11は、実施の形態2に係る学習工程を示すフロー図である。学習工程では、実施の形態1で説明したMSPCの手法と機械学習を用いて判別用クラスタリング情報CLM__Pを生成する。まず、過去の異常発生時のデータを蓄積する（ステップST2011：過去異常データ蓄積工程）。次に、過去の異常発生時のデータについて、同系列の計

測値データ D_P の組み合わせなどを1つのデータセット DS_P として取得し（ステップ $ST2012$ ：データセット取得工程、データセット DS_P に対して前処理を実施して前処理済みのデータセット DS_P^* を得る（ステップ $ST2013$ ：前処理工程）。データセット DS_P の前処理については上述したとおりである。

[0075] 次に、データセット DS_P^* に対して PCA 分析を実施する（ステップ $ST2014$ ：主成分分析工程）。 PCA 分析については上述したとおりであり、過去の異常発生時のデータについて、各主成分軸に関する情報としての主成分軸情報 PA_P を得る。

[0076] 次に、過去異常度の算出の元データとなるデータセット DS_P^* と、主成分軸情報 PA_P とを用いて過去異常度の算出を行う（ステップ $ST2015$ ：過去異常度算出工程）。過去異常度については上述したとおりである。実施の形態2では、過去の異常発生時のデータについて T^2 値と Q 値を算出し、算出した T^2 値および Q 値のデータを過去異常度 WD_P とする。

[0077] 次に、過去異常度 WD_P に基づいて過去の異常発生時のデータをクラスタリングの手法で分類することにより、判別用クラスタリング情報 CLM_P を生成する（ステップ $ST2016$ ：過去異常クラスタリング工程）。：過去異常クラスタリング工程におけるクラスタリングについては上述したとおりであり、 $k-means$ 法に代表される教師なし学習または決定木分析に代表される教師あり学習などの機械学習を実施することにより、過去異常度 WD_P （ T^2 値および Q 値）と異常モードとの関係をクラスタリングし、判別用クラスタリング情報 CLM_P を生成する。

[0078] 実施の形態2によれば、実施の形態1と同様の効果を得ることができる。

また、実運用時の計算負荷を軽減し、異常検知および異常モードの判別をより迅速に実施することができる。より具体的には、過去の異常発生時の計測値のデータを蓄積する過去異常 DB を備え、実運用工程の前の学習工程において、過去の異常発生時の計測値のデータを用いて判別用クラスタリング情報を生成する。実運用時には、既に生成された判別用クラスタリング情報

を用いて異常モードの判別をすればよい。すなわち、実施の形態１のように、判別用クラスタリング情報の生成および更新をするための計算を行わなくてもよい。このため、実運用時の異常モードの判別において計算量の削減がなされる。判別用クラスタリング情報の生成および更新には高度な演算機能を持つ構成が必要となるが、実施の形態２においては、そのような構成を異常診断装置から省略可能である。また、異常検知のための閾値を、既に生成された判別用クラスタリング情報から設定することにより、より正確な異常検知を実現するとともに、実運用時の異常検知における計算負荷を低減することができる。

[0079] また、自己相関の高い過去のデータを用いて判別用クラスタリング情報を生成すれば、の異常モードの判別の精度を向上させることができる。

[0080] 実施の形態３．

次に、実施の形態２を図１２から図１５に基づいて説明する。なお、図１から図１１に示したものと同一または相当する構成については同一の符号を付し、その説明を省略する。実施の形態３は、実施の形態２における判別用クラスタリング情報ＣＬＭ＿Ｐの生成において、過去の異常発生時のデータだけでなく、水質シミュレータによるシミュレーション結果も用いるものである。図１２は、実施の形態３における水処理プラントの異常診断システムの構成を示すブロック図である。異常診断システム３００は、実施の形態２と同様の異常診断装置２００および過去異常学習装置９００に加え、ネットワークを介して過去異常学習装置９００と接続されたシミュレーション装置８００を備える。シミュレーション装置８００は、仮想的に異常を再現する水質シミュレータによるシミュレーション結果ＲＥＳを過去異常学習装置９００の過去異常ＤＢ９０１に送信する。過去異常ＤＢ９０１は、過去の異常発生時のデータである計測値データＤ＿Ｐと同様にシミュレーション結果ＲＥＳを蓄積する。過去異常学習装置９００においては、シミュレーション結果ＲＥＳは計測値データＤ＿Ｐと同様に扱われる。

[0081] 図１３は、実施の形態３に係るシミュレーション装置の構成を示すブロッ

ク図である。シミュレーション装置800は、水質シミュレーションにおける計算条件CONDの入力を受け付ける計算条件受付部801と、計算条件CONDに基づいて、仮想的に異常を再現するための異常条件COND*を生成する異常条件生成部802と、異常条件COND*を入力として水質シミュレーションを実施し、シミュレーション結果RESを出力する水質シミュレータ部803とを備える。

[0082] 計算条件受付部801は、ユーザが入力する計算条件CONDを受け付けるインターフェースであり、受け付けた計算条件CONDを異常条件生成部802に出力する。計算条件CONDには、再現したい異常におけるプロセスの運転条件および流入水水質などの条件が含まれる。

[0083] 異常条件生成部802は、ユーザの入力である計算条件CONDに基づき、水質シミュレーションにおいて仮想的に異常を再現するための異常条件COND*を生成する。異常条件生成部802は、異常条件COND*を水質シミュレータ部803の演算部803aに出力する。

[0084] 水質シミュレータ部803は、シミュレーションに伴う演算を実行する演算部803aと、水質シミュレータに必要な各種のシミュレーションモデルMDLを格納するモデル格納部803bを備える。水質シミュレータ部803によって実施される水質シミュレーションでは、水質シミュレーションに用いるシミュレーションモデルMDLがモデル格納部803bから演算部803aに読み出され、読み出されたシミュレーションモデルMDLと、異常条件COND*に基づき、例えば初期条件からの時間発展を計算することなどによりシミュレーションが実行され、シミュレーション結果RESが生成される。水質シミュレータ部803は、シミュレーション結果RESを過去異常学習装置900の過去異常DB901に送信する。シミュレーションモデルMDLとしては、例えば微生物反応活性モデルに代表される各種物理反応モデルが考えられる。モデル格納部803bが複数のシミュレーションモデルMDLを格納している場合、計算条件CONDにより、水質シミュレーションに用いるシミュレーションモデルMDLを指定すればよい。

[0085] なお、水質シミュレータ部803によって再現される異常は、計算条件CONDで指定された条件によって発生し得る異常である。計算条件CONDはユーザによって任意に指定可能であるので、水質シミュレータ部803は、実際には過去に発生していない異常も再現可能である。すなわち、水質シミュレータ部803は、実際に発生した異常または発生する可能性がある異常を仮想的に再現するものである。

[0086] シミュレーション装置800により異常を再現し、再現した異常のデータも過去異常学習装置900における機械学習に用いることより、過去に実際に発生した時のデータが乏しいなど、過去異常学習装置900における機械学習に用いるデータが不足している場合でも、機械学習に必要なデータサイズを確保することができ、判別用クラスタリング情報CLM__Pを精度よく生成することができる。また、実際には過去に発生していない異常を再現することにより、実際に発生した異常か否かという制限が無くなるため、実際には未発生だが発生し得る異常についても判別用クラスタリング情報CLM__Pに反映させることができ、判別可能な異常モードの範囲を拡大することができる。これにより、異常診断システムとしての適用範囲の拡大を図ることができる。

[0087] 次に、動作について説明する。図14は、実施の形態3における水処理プラントの異常診断システムの動作を示すフロー図である。まず、水質シミュレータによる水質シミュレーションを実施し、シミュレーション結果RESを得る（ステップST301：シミュレーション工程）。次に、過去の異常発生時のデータおよびシミュレーション結果RESを用いた機械学習により、判別用クラスタリング情報CLM__Pを生成する（ステップST302：学習工程）次に、学習工程で生成した判別用クラスタリング情報CLM__Pを用いて、監視対象の水処理プラントで発生している異常を検知し、発生している異常の異常モードを判別する（ステップST303：実運用工程）。学習工程および実運用工程の詳細は実施の形態2と同様である。学習工程において、シミュレーション工程で取得したシミュレーション結果RESは、

過去の異常発生時のデータと同様に機械学習に用いる。

[0088] シミュレーション工程について説明する。図15は、実施の形態3に係るシミュレーション工程を示すフロー図である。まず、ユーザが入力する計算条件CONDを受け付ける（ステップST3011：計算条件受付工程）。上述したように、計算条件CONDには再現したい異常におけるプロセスの運転条件および流入水水質などの条件が含まれる。

[0089] 次に、計算条件CONDに基づき、水質シミュレーションにおいて仮想的に異常を再現するための異常条件COND*を生成する（ステップST3012：異常条件生成工程）。

[0090] 次に、異常条件COND*およびシミュレーションモデルMDLに基づく水質シミュレーションを実行し、シミュレーション結果RESを取得する（ステップST3013：水質シミュレーション工程）。シミュレーションモデルMDLについては上述したとおりである。シミュレーション結果RESは、過去異常DB901に記憶させる。

[0091] なお、実施の形態3においては、シミュレーション装置800にて生成したシミュレーション結果RESを過去異常DB901に一旦蓄積する構成としているが、判別用クラスタリング情報CLM_Pの生成に水質シミュレータ部803による水質シミュレーションの結果が反映されればよいので、シミュレーション結果RESの過去異常DB901への蓄積は必須ではなく、少なくとも、過去異常度WD_Pの算出にシミュレーション結果RESが反映されればよい。例えば、シミュレーション結果RESをシミュレーション装置800からデータセット取得部902に直接送ることも考えられる。

[0092] 実施の形態3によれば、実施の形態2と同様の効果を得ることができる。

また、実際に発生した異常または発生する可能性がある異常を仮想的に再現する水質シミュレータ部をさらに備え、判別用クラスタリング情報の生成において、過去の異常発生時のデータと、水質シミュレータ部によって仮想的に再現された異常発生時のデータを用いてることとした。このため、過去の異常発生時のデータが不足している場合でも判別用クラスタリング情報を

精度よく生成することができる。また、実際には発生していない異常を再現することも可能なため、判別可能な異常モードの範囲を拡大することができる、異常診断システムとしての適用範囲の拡大を図ることができる。

[0093] 本開示は、様々な例示的な実施の形態及び実施例が記載されているが、1つ、または複数の実施の形態に記載された様々な特徴、態様、及び機能は特定の実施の形態の適用に限られるのではなく、単独で、または様々な組み合わせで実施の形態に適用可能である。

従って、例示されていない無数の変形例が、この明細書に開示される技術の範囲内において想定される。例えば、少なくとも1つの構成要素を変形する場合、追加する場合または省略する場合、さらには、少なくとも1つの構成要素を抽出し、他の実施の形態の構成要素と組み合わせる場合が含まれるものとする。

符号の説明

[0094] 100、200 異常診断装置、101 計測値収集部、102 計測値DB、103 異常検知部、1034 異常度算出部、104 寄与因子算出部、105 判別情報記憶部、106 異常モード判別部、107 診断結果表示部、108 判別情報生成部、800 シミュレーション装置、803 水質シミュレータ部、900 過去異常学習装置、901 過去異常DB、905 過去異常度算出部、906 過去異常クラスタリング部、1000、2000、3000 異常診断システム、CLM、CLM__P 判別用クラスタリング情報、Cp 寄与度データ、D、D__P 計測値データ、M 異常モード判別結果、W 異常有無判定結果、WD 異常度、WD__P 過去異常度

請求の範囲

- [請求項1] 監視対象の水処理プラントの異常を診断する水処理プラントの異常診断システムであって、
- 前記水処理プラントによる水処理プロセスにおける、複数種類の計測値を収集する計測値収集部と、
- 前記計測値収集部により収集された前記計測値を蓄積する計測値記憶部と、
- 前記計測値から算出される異常度に基づいて、前記水処理プラントに異常が発生しているか否かを判定する異常検知部と、
- 前記異常度と異常モードとの関係を示す異常モード判別情報を記憶する異常モード判別情報記憶部と、
- 前記異常が発生していると判定された場合に、前記異常検知部によって算出された前記異常度と、前記異常モード判別情報とを比較することにより、発生している前記異常の異常モードの判別をする異常モード判別部と、
- 前記判別の結果を表示する診断結果表示部とを備え、
- 前記異常モードは、前記水処理プラントに対する重大度と対応付けられていることを特徴とする水処理プラントの異常診断システム。
- [請求項2] それぞれの前記計測値について、前記異常度の変動に与える影響の度合いを示す寄与度を算出する寄与因子算出部をさらに備え、
- 前記異常モード判別部は、前記異常度と前記異常モード判別情報との比較による前記判別の前に、前記寄与度に基づいて前記異常モードの絞り込みを行う請求項1に記載の水処理プラントの異常診断システム。
- [請求項3] 前記寄与因子算出部は、前記寄与度の大きさの序列で上位になる前記計測値を原因可能性因子として特定し、
- 前記異常モード判別部は、前記寄与度および前記原因可能性因子に基づいて前記異常モードの絞り込みを行う請求項2に記載の水処理プ

ラントの異常診断システム。

[請求項4] 実運用において取得した前記異常度と、該異常度を持つ前記異常の前記重大度との関係に基づいて、前記異常モード判別情報の生成および更新を行う判別情報生成部をさらに備える請求項1から3のいずれか1項に記載の水処理プラントの異常診断システム。

[請求項5] 過去の異常発生時の前記計測値のデータを蓄積する過去異常記憶部と、

前記過去異常記憶部に蓄積された前記計測値から前記異常度を過去異常度として算出する過去異常度算出部と、

前記過去異常度について機械学習によるクラスタリングを実施し、前記過去異常度と前記異常モードとを対応付けて、判別用クラスタリング情報を生成する過去異常クラスタリング部とをさらに備え、

前記異常モード判別部は、予め生成された前記判別用クラスタリング情報を前記異常モード判別情報として用い、現在発生している前記異常の異常モードの判別をする請求項1から3のいずれか1項に記載の水処理プラントの異常診断システム。

[請求項6] 実際に発生した異常または発生する可能性がある異常を仮想的に再現する水質シミュレータ部をさらに備え、

前記過去異常度算出部は、前記過去異常記憶部に蓄積された前記計測値および前記水質シミュレータ部によって仮想的に再現された異常のデータを用いて前記過去異常度を算出する請求項5に記載の水処理プラントの異常診断システム。

[請求項7] 前記判別用クラスタリング情報の生成について、1日における時刻または1年における季節が、現在の時刻または季節と同じである前記過去の異常発生時の前記計測値を用いる請求項5または6に記載の水処理プラントの異常診断システム。

[請求項8] 監視対象の水処理プラントの異常を診断する水処理プラントの異常診断方法であって、

前記水処理プラントによる水処理プロセスにおける、複数種類の計測値を収集する計測値収集工程と、

前記計測値収集工程において収集した前記計測値を蓄積する計測値蓄積工程と、

前記計測値から算出される異常度に基づいて、前記水処理プラントに異常が発生しているか否かを判定する異常検知工程と、

前記異常が発生していると判定された場合に、前記異常検知工程において算出した前記異常度と、前記異常度と異常モードとの関係を示す異常モード判別情報とを比較することにより、発生している前記異常の異常モードの判別をする異常モード判別工程と、

前記判別の結果を表示する診断結果表示工程とを備え、

前記異常モードは、前記水処理プラントに対する重大度と対応付けられていることを特徴とする水処理プラントの異常診断方法。

[請求項9] それぞれの前記計測値について、前記異常度の変動に与える影響の度合いを示す寄与度を算出する寄与因子算出工程をさらに備え、

前記異常モード判別工程において、前記異常度と前記異常モード判別情報との比較による前記判別の前に、前記寄与度に基づいて前記異常モードの絞り込みを行う請求項8に記載の水処理プラントの異常診断方法。

[請求項10] 前記寄与因子算出工程においては、前記寄与度の大きさの序列で上位になる前記計測値を原因可能性因子として特定し、

前記異常モード判別工程において、前記寄与度および前記原因可能性因子に基づいて前記異常モードの絞り込みを行う請求項9に記載の水処理プラントの異常診断方法。

[請求項11] 実運用において取得した前記異常度と、該異常度を持つ前記異常の前記重大度との関係に基づいて、前記異常モード判別情報の生成および更新を行う請求項8から10のいずれか1項に記載の水処理プラントの異常診断方法。

- [請求項12] 過去の異常発生時の前記計測値のデータを蓄積する過去異常データ蓄積工程と、
- 前記過去異常データ蓄積工程においてに蓄積した前記計測値から前記異常度を過去異常度として算出する過去異常度算出工程と、
- 前記過去異常度について機械学習によるクラスタリングを実施し、前記過去異常度と前記異常モードとを対応付けて、判別用クラスタリング情報を生成する過去異常クラスタリング工程とをさらに備え、
- 前記異常モード判別工程において、予め生成した前記判別用クラスタリング情報を前記異常モード判別情報として用い、現在発生している前記異常の異常モードの判別をする請求項8から10のいずれか1項に記載の水処理プラントの異常診断方法。
- [請求項13] 実際に発生した異常または発生する可能性がある異常を仮想的に再現する水質シミュレーション工程をさらに備え、
- 前記過去異常度算出工程において、前記過去異常データ蓄積工程において蓄積した前記計測値および前記水質シミュレーション工程のシミュレーション結果を用いて前記過去異常度を算出する請求項12に記載の水処理プラントの異常診断方法。
- [請求項14] 前記判別用クラスタリング情報の生成について、1日における時刻または1年における季節が、現在の時刻または季節と同じである前記過去の異常発生時の前記計測値を用いる請求項12または13に記載の水処理プラントの異常診断方法。