

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4635167号  
(P4635167)

(45) 発行日 平成23年2月16日 (2011. 2. 16)

(24) 登録日 平成22年12月3日 (2010. 12. 3)

(51) Int. Cl.

F I

G 0 5 B 23/02 (2006. 01)

G 0 5 B 23/02 3 0 2 Y

G 0 5 B 23/02 T

請求項の数 21 (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2003-535005 (P2003-535005)  
 (86) (22) 出願日 平成14年9月25日 (2002. 9. 25)  
 (65) 公表番号 特表2005-505822 (P2005-505822A)  
 (43) 公表日 平成17年2月24日 (2005. 2. 24)  
 (86) 国際出願番号 PCT/US2002/030465  
 (87) 国際公開番号 W02003/032100  
 (87) 国際公開日 平成15年4月17日 (2003. 4. 17)  
 審査請求日 平成17年9月13日 (2005. 9. 13)  
 審判番号 不服2008-16593 (P2008-16593/J1)  
 審判請求日 平成20年6月30日 (2008. 6. 30)  
 (31) 優先権主張番号 09/972, 078  
 (32) 優先日 平成13年10月5日 (2001. 10. 5)  
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(73) 特許権者 594120847  
 フィッシャー・ローズマウント システムズ、 インコーポレイテッド  
 アメリカ合衆国 7 8 7 5 9 テキサス  
 オースティン リサーチ パーク プラザ  
 ビルディング 1 1 1 リサーチ ブル  
 ーバード 1 2 3 0 1  
 (74) 代理人 100084870  
 弁理士 田中 香樹  
 (74) 代理人 100079289  
 弁理士 平木 道人  
 (74) 代理人 100119688  
 弁理士 田邊 壽二

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 被制御プロセスにおける異常の根本原因診断装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

工業プロセスにおける異常の根本原因を特定するための工業プロセス診断装置において

複数のプロセス形成モデルを記憶するメモリであって、各々のプロセス形成モデルが、  
 工業プロセスの、タイプが異なる複数のプロセス制御ループの各々での基本的なプロセス  
 処理用および検出用の構成要素の物理的な接続関係、さらにプロセス処理用および検出用  
 のオブションの構成要素が追加された場合には該プロセス処理用および検出用のオブショ  
 ンの構成要素の物理的な接続関係も表すモデルと、前記基本的な検出用の各構成要素で検  
 出されるプロセス信号に基づいて異常の根本原因を決定するために使用されるルールベー  
 ス、さらに前記プロセス処理用および検出用のオブションの構成要素が追加された場合に  
 該検出用のオブションの構成要素で検出されるプロセス信号をも用いて異常の根本原因を  
 決定するために使用されるルールベースを含んでいる複数のプロセス形成モデルを記憶す  
 るメモリと、

前記基本的なプロセス処理用および検出用の構成要素の物理的な接続関係を表すモデル  
 に前記プロセス処理用および検出用のオブションの構成要素を追加するように構成され、  
 また、前記メモリに記憶された複数のプロセス形成モデルのうちの唯一のプロセス形成モ  
 デルを特定し、該プロセス形成モデルを前記メモリから読み出すように構成された選択入  
 力手段と、

前記選択入力手段により読み出されたプロセス形成モデルに含まれるモデルの、検出用

の各構成要素で検出されるプロセス信号を入力するように構成された信号入力手段と、

前記選択入力手段により読み出されたプロセス形成モデルに含まれるモデルの工業プロセスにおける異常の根本原因を示す根本原因出力を出力する根本原因分析手段であって、前記選択入力手段により読み出されたプロセス形成モデルに含まれるモデルの、検出用の各構成要素で検出されるプロセス信号に基づいて異常の根本原因を決定するルールベースと前記信号入力手段によって入力されたプロセス信号を入力として異常の根本原因を判定し、その判定結果を異常の根本原因出力として送出する根本原因分析手段とからなる工業プロセス診断装置。

【請求項 2】

PC 内に実装される請求項 1 記載の工業プロセス診断装置。

10

【請求項 3】

プロセス装置内に実装される請求項 1 記載の工業プロセス診断装置。

【請求項 4】

前記プロセス装置が送信機を含む請求項 3 記載の工業プロセス診断装置。

【請求項 5】

前記プロセス装置がコントローラを含む請求項 3 記載の工業プロセス診断装置。

【請求項 6】

前記モデルが、プロセス処理用および検出用の構成要素の物理的な接続関係を表すグラフィック表現を提供するグラフィックモデルを含む請求項 1 記載の工業プロセス診断装置。

20

【請求項 7】

前記プロセス信号が、液体レベルまたは液体流速を表すプロセス変数 (PV)、前記プロセス変数に従って構成要素を制御するための制御要求 (CD) 信号、および前記プロセス変数の所望値を示す設定ポイント (SP) を含む請求項 1 記載の工業プロセス診断装置。

【請求項 8】

前記プロセス信号が、前記制御要求 (CD) 信号に応答して提供される実際の制御値を表すプロセス信号をさらに含む請求項 7 記載の工業プロセス診断装置。

【請求項 9】

前記プロセス信号が、その他のプロセス変数をさらに含む請求項 7 記載の工業プロセス診断装置。

30

【請求項 10】

前記複数のプロセス形成モデルの少なくとも一つが、液体レベルプロセス制御ループを採用した工業プロセスのプロセス処理用および検出用の構成要素の物理的な接続関係を表すモデルを含む請求項 1 記載の工業プロセス診断装置。

【請求項 11】

前記複数のプロセス形成モデルが、プロセス流体流量制御ループを採用した工業プロセスのプロセス処理用および検出用の構成要素の物理的な接続関係を表すモデルを含む請求項 1 記載の工業プロセス診断装置。

【請求項 12】

40

工業プロセスにおける異常の根本原因を特定するための工業プロセス診断方法において、

各々のプロセス形成モデルが、工業プロセスの、タイプが異なる複数のプロセス制御ループでの基本的なプロセス処理用および検出用の構成要素の物理的な接続関係、さらに選択入力手段によりプロセス処理用および検出用のオプションの構成要素が追加された場合には該プロセス処理用および検出用のオプションの構成要素の物理的な接続関係も表すモデルと、前記基本的な検出用の各構成要素で検出されるプロセス信号に基づいて異常の根本原因を決定するために使用されるルールベース、さらに前記選択入力手段により前記プロセス処理用および検出用のオプションの構成要素が追加された場合に該検出用のオプションの構成要素で検出されるプロセス信号をも用いて異常の根本原因を決定するために使

50

用される複数のルールベースを含んでいる複数のプロセス形成モデルを記憶しているメモリから、前記基本的なプロセス処理用および検出用の構成要素の物理的な接続関係を表すモデルあるいは前記選択入力手段により前記プロセス処理用および検出用のオプションの構成要素が追加された場合には該プロセス処理用および検出用のオプションの構成要素の物理的な接続関係も表すモデルを含む唯一のプロセス形成モデルを、前記選択入力手段によりから送出されるモデル選択入力によって特定して読み出し、

該プロセス形成モデルに含まれるモデルの検出用の各構成要素で検出されるプロセス信号を受信し、

前記メモリから読み出されたプロセス形成モデルに含まれるモデルの、検出用の各構成要素で検出されるプロセス信号に基づいて異常の根本原因を決定するルールベースと受信されたプロセス信号を入力として異常の根本原因を判定し、その判定結果を異常の根本原因出力として送出する工業プロセス診断方法。

10

【請求項 1 3】

請求項 1 2 記載の工業プロセス診断方法を設備した P C。

【請求項 1 4】

請求項 1 2 記載の工業プロセス診断方法を設備した処理装置。

【請求項 1 5】

前記モデルが、プロセス処理用および検出用の構成要素の物理的な接続関係を表すグラフィック表現を提供するグラフィックモデルを含む請求項 1 2 記載の工業プロセス診断方法。

20

【請求項 1 6】

前記プロセス信号が、液体レベルまたは液体流速を表すプロセス変数 ( P V )、前記プロセス変数に従って構成要素を制御するための制御要求 ( C D ) 信号、および前記プロセス変数の所望値を示す設定ポイント ( S P ) を含む請求項 1 2 記載の工業プロセス診断方法。

【請求項 1 7】

前記プロセス信号が、前記制御要求 ( C D ) 信号に応答して提供される実際の制御値を表すプロセス信号をさらに含む請求項 1 6 記載の工業プロセス診断方法。

【請求項 1 8】

前記プロセス信号が、その他のプロセス変数をさらに含む請求項 1 6 記載の工業プロセス診断方法。

30

【請求項 1 9】

前記複数のプロセス形成モデルの少なくとも一つが、液体レベルプロセス制御ループを採用した工業プロセスのプロセス処理用および検出用の構成要素の物理的な接続関係を表すモデルを含む請求項 1 2 記載の工業プロセス診断方法。

【請求項 2 0】

前記複数のプロセス形成モデルが、プロセス流体流量制御ループを採用した工業プロセスのプロセス処理用および検出用の構成要素の物理的な接続関係を表すモデルを含む請求項 1 2 記載の工業プロセス診断方法。

【請求項 2 1】

請求項 1 2 記載の工業プロセス診断方法を実施するために形成されたコンピュータ命令を記憶する記憶媒体。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【 0 0 0 1】

本発明は、工業用プロセス制御装置およびプロセス制御ループに関する。特に、本発明は、そのようなループの診断装置に関する。

【背景技術】

【 0 0 0 2】

プロセス制御ループは、プロセス工業で使用され、石油精製等のプロセスの運転を制御

50

する。ループの代表的部分である送信機は、現場に設置されて、圧力、流量、または温度等のプロセス変数を測定し、例えば、制御室設備に送信する。バルブ制御装置のようなコントローラもまたプロセス制御ループの一部であり、制御ループを通して受信されたり内部で発生されたりした制御信号に基づいてバルブの位置を制御する。その他のコントローラは、例えば電動モータやソレノイドを制御する。制御室設備もまたプロセス制御ループの一部であり、制御室内のオペレータまたはコンピュータは、現場の送信機から受信したプロセス変数に基づいてプロセスを監視し、かつこれに応答して制御信号を適当な制御装置に送出することによってプロセスを制御できる。制御ループの一部となりえる他のプロセス装置は、プロセス制御ループ上のプロセス信号を監視して送信可能な携帯通信機である。一般的には、これらはループを形成する装置を構成するために使用される。

10

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

プロセス制御ループの動作を監視してループ内の故障を診断し、かつ特定するために種々の手法が使用されている。しかし、例えば、プロセス運転での異常原因であるシステム中の個々の装置または構成要素を特定することによって、故障源つまり“根本原因”を特定することが、さらに望まれている。この根本原因は、プロセスのどの装置が修理もしくは交換を必要とするかについての付加的な情報をオペレータに提供する。

【課題を解決するための手段】

【0004】

20

種々の観点において、工業用プロセスにおける異常源つまり“根本原因”を特定することができる工業用プロセス診断装置が提供される。一つの観点では、診断装置は複数のプロセス形成モデルを含み、各モデルは工業用プロセスの物理的（つまり実際の）実装（implementation）に関連する。複数のモデルのうちの一つが選択され、選択されたモデルおよびプロセスに関する少なくとも一つのプロセス信号が使用されて診断が実行される。この診断に基づいて異常の根本原因が決定される。

【発明を実施するための最良の形態】

【0005】

本発明は、プロセスで発生する異常の“根本原因”を特定するために工業プロセスで 사용할ことができる。図1は、プロセス流体システム2の流量を制御するのに使用される工業プロセス制御システム2の一例を示す図であり、プロセス流体を搬送するプロセスパイプ4およびループ電流Iを流す2線プロセス制御ループ6を含む。送信機8と、アクチュエータ、バルブ、ポンプ、モータまたはソレノイドのようなループ内の最終的な制御要素に接続されるコントローラ10と、通信機12と、制御室14は、全てプロセス制御システム2の一部である。プロセスの運転中に異常が発生すると、本発明は、観測された異常の原因を特定するために使用される。

30

【0006】

ループ6は、図示目的のために一形態で示されているが、4 - 20 mA ループ、2, 3 または4線ループ、マルチドロップループ、ハート（HART：登録商標）またはフィールドバス（FieldBus）またはその他のデジタルまたはアナログ通信プロトコルに従って動作するループのような、いかなる適当なプロセス制御ループでも使用することができる。運転中、送信機8は、流量などのプロセス変数をセンサ16で感知し、感知されたプロセス変数をループ6を介して送信する。プロセス変数は、コントローラ/バルブアクチュエータ10、通信機12および/または制御室設備14で受信される。コントローラ10は、バルブ18に結合されて図示されており、バルブ18を調節してプロセスを制御し、それによってパイプ4内の流量を変化させることができる。コントローラ10は、ループ6を介して、例えば、制御室14、送信機8または通信機12から制御入力を受信し、これに応答してバルブ18を調節する。別の実施例では、コントローラ10は、ループ6を介して受信したプロセス信号に基づいて制御信号を内部的に発生する。通信機12は、図1に示されている携帯通信機であってもよいし、プロセスを監視して計算を実行する、固定

40

50

的に設置されたプロセスユニットであってもよい。プロセス装置は、例えば、図 1 に示す、送信機 8 {ローズマウント インコーポレイテッド (Rosemount Inc.) から入手できる 3095 型送信機等}、コントローラ 10、通信機 12、および制御室 14 を含む。別のタイプのプロセス装置は、PC、プログラム可能論理ユニット (PLC)、または、ループ上の監視、管理、および / または送信を可能にするための適当な I/O 回路を使ってループに結合される、その他のコンピュータである。

#### 【0007】

図 2 は、タンク 52 内の液体のレベルを制御するためのプロセス制御ループ 50 のグラフィックモデルの簡略図である。後述するように、このようなモデルは、プロセス運転中の異常の根本原因を診断するために選択して使用されることができる。レベル送信機 54 は、タンク 52 内の液体の高さを測定し、基本プロセス変数 (PV) をコントローラ 56 に提供する。コントローラ 56 は、PID コントローラが図示されているが、いかなるタイプのコントローラであってもよい。コントローラ 56 は、またタンク 52 内の液体の所望レベルに関連する設定ポイント (SP) を受信する。コントローラ 56 は、公知の制御アルゴリズムを使って、制御要求 (CD) 出力をバルブ 58 に提供する。オプションであるバルブ位置センサ 60 を使用してバルブ 58 の弁棒の実際位置を測定することができる。この具体例のモデルでは、その他のオプション構成要素として、タンク 52 から液体を引き出すように構成されたポンプ 62、入口流速を測定するように構成された送信機 64、および出口流速を測定するように構成された送信機 66 を含む。後述するように、モデルおよびモデルのためのオプション構成要素は、メモリ内に記憶され、オペレータまたはその他の選択手法によって選択することができる。異なる観点において、メモリは、プロセスに結合されるかプロセス信号へのアクセスを持つどのような装置に対しても配置でき、アクセス可能とすることができる。

#### 【0008】

プロセス制御システム上での本発明の診断は、プロセスの運転が安定して定常モードになった後に実行されるのが好ましい。定常モードは、プロセス信号の平均および標準偏差を観察することによって確認される。各々のプロセス信号 (プロセス変数および制御信号等) の平均 ( $\mu$ ) および標準偏差 ( $\sigma$ ) は、N 組の測定値に関して計算され、平均および標準偏差は次のように計算される。

#### 【0009】

##### 【数 1】

$$\mu = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (\text{数式 1})$$

#### 【0010】

##### 【数 2】

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2} \quad (\text{数式 2})$$

#### 【0011】

ポイント数 N は、信号のサンプル期間およびサンプリング速度に依存する。数式 1 および 2 において、 $x_i$  はサンプル番号  $i$  で採取されたプロセス信号の値である。最初に、毎秒 1 サンプルのサンプル速度でもって 10 分間のサンプル期間が使用される。一例では、プロセス平均が  $2540 \text{ mmH}_2\text{O} (= 100 \text{ inH}_2\text{O})$  ( $25.4 \text{ mmH}_2\text{O} (= 1 \text{ inH}_2\text{O})$  標準偏差をもつて) であり、その後のプロセス平均が  $2463.8 \text{ mmH}_2\text{O} (= 97 \text{ inH}_2\text{O})$  と  $2616.2 \text{ mmH}_2\text{O} (= 103 \text{ inH}_2\text{O})$  の間であるならば、そのループは定常モードで運転されていると決定される。診断の開始に先立つプロセス安定の判断に関連する特許が米国特許第 6,119,047 号として 2000 年 9 月 12 日に発行されており、その全体が参照によりここに合体される。

#### 【0012】

一旦定常運転に到達したならば、他の部分の平均的なデータから一時的に大きく変化するパルス状のデータつまりスパイクは廃棄するのが望ましい。そのようなデータを特定するための一つの手法は、信号標準偏差をもって信号平均を連続的に比較することである。それぞれN組の測定値を提供する二つの連続する各信号ブロック(以下の「ブロック」も同様の内容を持つ)の測定値の平均 ( $\mu_1$ および $\mu_2$ ) の差は、サンプル数Nの平方根で除算された標準偏差より小さくなければならない。これは、次のように表される。

【 0 0 1 3 】

【数 3】

$$\mu_1 - \frac{\sigma_1}{\sqrt{N}} \leq \mu_2 \leq \mu_1 + \frac{\sigma_1}{\sqrt{N}} \quad (\text{数式 3})$$

10

【 0 0 1 4 】

ここで、 $\mu_1$ は前ブロックの平均であり、 $\mu_2$ は現ブロックの平均であり、Nはブロック内のポイント数であり、 $\sigma_1$ は前ブロックの標準偏差である。

【 0 0 1 5 】

診断を実行するために入手可能であってモデルで使用されるプロセス信号に依存し、異なる根本原因が特定される。例えば、図2に示すプロセスモデルの場合、三つの異なったケースが存在する。

【 0 0 1 6 】

【表 1】

20

ケース	入手可能な信号	観察された故障
1	SP PV CD	レベルセンサのドリフト バルブのトラブル
2	SP PV CD VP	レベルセンサのドリフト バルブのトラブル
3	SP PV CD VP IF OF	レベルセンサのドリフト バルブのトラブル 液漏れ

30

【 0 0 1 7 】

初期トレーニングフェーズの間、全てのプロセス信号は、例えば20分間収集される。この時間は、ユーザが選択可能である。これらの信号の平均および標準偏差が計算される。このトレーニングフェーズは、プロセスが安定状態に入るまで繰り返される。一旦プロセスが安定状態になれば、各々のプロセス信号の平均 ( $\mu_i$ ) および標準偏差 ( $\sigma_i$ ) の照準値 (つまり公称値) が記憶される。

40

【 0 0 1 8 】

さらに、故障の根本原因の特定に先立ち、プロセスが適切に運転されていることを確認するため、個々のプロセス信号が評価される。例えば、基本プロセス変数 (PV) が評価される。図2に図示された液体レベルの場合は、次のように評価される。

【 0 0 1 9 】

【表 2】

状態	故障
$PV > 0.95 * PV\_RANGE$	高レベル (タンク オーバーフロー)
$PV < 0.05 * PV\_RANGE$	低レベル (タンク 空)

## 【0020】

ここで、 $PV\_RANGE$  は、液体レベルのレンジ（最大値および最小値の範囲）である。この値は、プロセス制御システムが形成された時にプロセス制御システムによってアクセス可能なメモリ内に記憶されるか、ユーザによって入力される。同様に、制御信号（ $CD$ ）では次の故障が特定される。

10

## 【0021】

【表 3】

状態	故障
$CD < 5\%$	制御ワウンドダウン (WOUND DOWN)
$CD > 95\%$	制御ワウンドアップ (WOUND UP)

20

## 【0022】

表 3 の例において、制御要求は 0 % と 100 % の間にあると想定される。できることならば、同様のテストがバルブ位置（ $VP$ ）プロセス信号について実行される。

## 【0023】

監視フェーズの間、種々のプロセス信号が監視され、これらが変化なし（ $NC$ ）、上方変化（ $U$ ）（平均信号がトレーニングフェーズで得られた平均より大）、もしくは下方変化（ $D$ ）（平均信号がトレーニングフェーズで得られた平均より小）であるかが判断される。 $NC$  の状態は数式 4 で判断される。

## 【0024】

【数 4】

30

$$\mu_t - \frac{\sigma_t}{\sqrt{N}} \leq \mu \leq \mu_t + \frac{\sigma_t}{\sqrt{N}} \quad (\text{数式 4})$$

## 【0025】

数式 4 において、 $\mu_t$  はトレーニングフェーズで得られた平均、 $\mu$  は現ブロックの平均、 $N$  はブロック内のポイント数であり、 $\sigma_t$  はトレーニングフェーズで得られた標準偏差、 $\mu_t$  および  $\sigma_t$  はそれぞれ、トレーニングフェーズで記憶された平均および標準偏差である。 $N$  はサンプル数、 $\mu$  は現在のプロセス信号の平均である。

## 【0026】

上方変化（ $U$ ）の状態は数式 5 で特定される。

40

## 【0027】

【数 5】

$$\mu > \mu_t + \frac{\sigma_t}{\sqrt{N}} \quad (\text{数式 5})$$

## 【0028】

ここで、 $\mu_t$  はトレーニングフェーズで得られた平均、 $\mu$  は現ブロックの平均、 $N$  はブロックのポイント数であり、 $\sigma_t$  はトレーニングフェーズで得られた標準偏差である。

## 【0029】

最後に、下方変化（ $D$ ）の状態は数式 6 で特定される。

50

【 0 0 3 0 】

【 数 6 】

$$\mu < \mu_t - \frac{\sigma_t}{\sqrt{N}} \quad (\text{数式6})$$

【 0 0 3 1 】

ここで、 $\mu_t$ はトレーニングフェーズで得られた平均、 $\mu$ は現ブロックの平均、 $N$ はブロック内のポイント数であり、 $\sigma_t$ はトレーニングフェーズで得られた標準偏差である。

【 0 0 3 2 】

入手可能なプロセス信号の数によって、プロセス内の異常源として異なる根本原因を特定することができる。例えば、設定ポイント、基本変数および制御要求プロセス信号を入手できるならば、レベルセンサのドリフトまたはバルブに関連する問題を特定することができる。ルールベースの一例を表4に示す。

10

【 0 0 3 3 】

【 表 4 】

信号	故障	
	レベルセンサのドリフト又はバルブのトラブル	
SP	NC	
PV	NC	
CD	U or D	

20

【 0 0 3 4 】

付加的なプロセス信号を入手できるならば、表5に示すように、実際のバルブ位置（VP）、そして根本原因をより具体的に特定することができる。

【 0 0 3 5 】

【 表 5 】

信号	故障	
	レベルセンサのドリフト	バルブのトラブル
SP	NC	NC
PV	NC	NC
CD	U or D	U or D
VP	U or D	NC

30

【 0 0 3 6 】

最後に、流入速度（IF）および流出速度（OF）プロセス信号を入手できるならば、図6のルールベースで示されるようにタンク52内に漏れが存在するかどうかを判断することも可能である。

40

【 0 0 3 7 】



【表 6】

信号	故障		
	レベルセンサのドリフト	バルブのトラブル	液漏れ
SP	NC	NC	NC
PV	NC	NC	NC
CD	U or D	U or D	D
VP	U or D	NC	D
IF	NC	NC	NC
OF	NC	NC	D

10

## 【 0 0 3 8 】

プロセス信号の変化が前記表 4 , 5 および 6 のいずれのルールにも一致しない場合、未知異常出力を出力することができる。また、これらのルールは、プロセス 5 0 がポンプ 6 2 を含むかタンク 5 2 の排水に使用される圧力差に基づいて動作する場合に適合する。

## 【 0 0 3 9 】

図 3 は、流速を制御するプロセス制御ループのグラフィックモデル 1 0 0 の簡略図である。これは、プロセス制御ループの別の例を図示している。図 3 において、タンク 1 0 2 (またはポンプ 1 0 3 もしくはその他の差圧源)は、処理流体の流れを提供することができる。送信機 1 0 4 は、流速を感知して基本プロセス変数(流速)をコントローラ 1 0 6 に提供する。コントローラ 1 0 6 はまた設定ポイント(S P)を受信し、制御要求(C D)信号をバルブ 1 0 8 に提供する。バルブ 1 0 8 は、その弁棒の実際位置(V P)をオプションに従って任意に返送することができる。追加のオプションは、プロセス圧力(P T)を感知するように構成された圧力送信機 1 1 0 および冗長流速(F T 2)を感知するように構成された冗長流量送信機 1 1 2 を含む。

20

## 【 0 0 4 0 】

動作中、図 2 に関して記述されたのと同様の方法で、また、数式 1 および 2 で説明されたように、トレーニングフェーズの間、平均および標準偏差が決定される。しかし、一般的に流速制御は比較的速く応答するので、より短いトレーニングフェーズの期間、例えば 2 分が使用される。

30

## 【 0 0 4 1 】

表 7 に示されるように、入手できる異なるプロセス信号の数に応じて、異なる根本原因の数が特定される。

## 【 0 0 4 2 】

【表 7】

ケース	入手可能な信号	観察された故障
1	SP PV CD	流量センサのドリフト バルブのトラブル
2	SP PV CD VP	流量センサのドリフト バルブのトラブル
3	SP PV CD VP FT2	流量センサのドリフト バルブのトラブル 液漏れ

10

## 【 0 0 4 3 】

根本原因の特定に先立ち、例えば、表 8 のルールベースを使って基本的な故障がチェックされる。

## 【 0 0 4 4 】

【表 8】

20

状態	故障
PTはD	圧力損失

## 【 0 0 4 5 】

また、バルブの状態は次のように判断される。

## 【 0 0 4 6 】

【表 9】

状態	故障
CD<5%	制御ワウンドダウン (WOUND DOWN)
CD>95%	制御ワウンドアップ (WOUND UP)

30

## 【 0 0 4 7 】

追加的なプロセス変数を使用することによって、プロセス内の異常の“根本原因”が特定される。設定ポイント、基本プロセス変数および制御要求信号を入手できる場合、プロセス異常の根本原因として、流量センサのドリフトまたはバルブのトラブルを次のように特定できる。

## 【 0 0 4 8 】

【表 10】

40

信号	故障
	流量センサのドリフト又はバルブのトラブル
SP	NC
PV	NC
CD	U or D

## 【 0 0 4 9 】

追加的なプロセス信号が入手できるならば、実際のバルブ位置 (VP) と同時に、流量

50

センサのドリフトもしくはバルブのトラブルを根本原因として次のように特定できる。

【 0 0 5 0 】

【表 1 1】

信号	故障	
	流量センサのドリフト	バルブのトラブル
SP	NC	NC
PV	NC	NC
CD	U or D	U or D
VP	U or D	NC

10

【 0 0 5 1 】

最後に、第 2 の流速変数 ( F T 2 ) を測定するため、冗長送信機が使用されるならば、プロセス内の漏れを特定することもできる。

【 0 0 5 2 】

【表 1 2】

信号	故障		
	レベルセンサのドリフト	バルブのトラブル	液漏れ
SP	NC	NC	NC
PV	NC	NC	NC
CD	U or D	U or D	D
VP	U or D	NC	D
FT2信号	U or D	NC	D

20

【 0 0 5 3 】

図 4 は、本発明の一実施形態を実装したプロセス装置 1 0 0 を示すブロック図である。プロセス装置 1 0 0 は、制御信号入力 1 0 4 を通して制御信号 C D を受信し、プロセス変数入力 1 0 6 を通してプロセス変数 P V を受信し、設定ポイント入力 1 0 8 を通して設定ポイント S P を受信する根本原因分析ブロック 1 0 2 を含む。追加的なプロセス信号 ( P S<sub>1</sub> , P S<sub>2</sub> ... ) は、プロセス信号入力 1 1 0 , 1 1 1 のような、入手できる追加的なプロセス信号の数に応じたその他の入力を通じて受信される。

30

【 0 0 5 4 】

根本原因分析ブロック 1 0 2 は、また複数のプロセス形成モデル 1 1 2 を記憶するメモリに接続される。プロセス形成モデル 1 1 2 は、例えばシステムメモリ内に記憶される。図示された実施形態において、可能なプロセス制御ループに対応した全部で X 個の異なるプロセス形成モデルが存在する。この例では、各プロセス形成モデルは、プロセスのグラフィック表現を提供するグラフィックモデル G M<sub>1</sub>... G M<sub>x</sub>を含む。これは、オペレータによる構成データの入力を容易にするグラフィック・ユーザ・インタフェースを提供するために使用される。例えば、グラフィックモデルは、図 2 および図 3 に図示したものと同様のものでよい。

40

【 0 0 5 5 】

各々のプロセス形成モデルは、どのような数のプロセス信号 ( P S<sub>1A</sub> , P S<sub>1B</sub> , ... 等 ) でも受信することができる。図 2 , 3 に示された具体例においては、プロセス内における異常の根本原因を特定するために必要とされる最少三つのプロセス信号、つまり制御要求 C D、主要なプロセス変数 P V および設定ポイント S P が存在する。ある実施形態におい

50

て、プロセス形成モデルに関連するプロセス信号の数は、要求されるように、根本原因分析を実施するのに必要とされるプロセス信号の最少数であるか、それより多い数である。

【 0 0 5 6 】

次に、各プロセス形成モデルは、オプションのプロセス信号（ O P 1 A , O P 1 B , ... ）をいくつでも含むことができる。各オプションのプロセス信号は、入力 1 1 0 , 1 1 1等を通して受信されるプロセス信号（ P S 1 , P S 2 , ... ）に相当する。図 2 の例において、バルブ位置 V P 、流入速度 I F および流出速度 O F は、オプションのプロセス信号の例である。いくつかのプロセス形成モデルは、オプションのプロセス信号を持たないように構成することができる。

【 0 0 5 7 】

次に、各プロセス形成モデルは、受信したプロセス信号（必要とされる最少のプロセス信号 P S 1 A , P S 1 B ... ならびにいくつかのオプションのプロセス信号 O P 1 A , O P 1 B , ... ）に基づいて根本原因を決定するために使用されるルールベースをいくつでも含むことができる。図 4 では、ルールベースは、R B 1 A , R B P 1 B , ... で示されている。ルールベースの例は、上述の表 4 , 5 , 6 , 1 0 , 1 1 および 1 2 に示されている。本発明は、根本原因の分析を実施するために上記ルールベースを特別に使用することに限定されないことに注意すべきである。一つの観点では、ニューラルネットワーク、その他のルールベース、回帰学習、ファジー論理およびその他の公知の診断手法またはまだ発見されていない手法を含むいかなる分析手法をも使用することができる。ここに示した例では、受信される最少三つのプロセス信号として、制御要求 C D 信号、主要なプロセス変数 P V および設定ポイント S P 信号が存在する。しかし、その他の信号、より少ない信号または異なる信号の組み合わせを根本原因分析の実行のために使用することができる。

【 0 0 5 8 】

根本原因分析ブロック 1 0 2 は、モデル選択入力 1 1 6 を受信し、複数のプロセス形成モデル 1 1 2 の内の一つを選択する。モデル選択入力は、オペレータまたは別のソースからのものでよい。モデル選択入力 1 1 6 は、根本原因分析ブロック 1 0 2 で連続的に使用される唯一のプロセス形成モデルを特定する。また、一つの例では、選択されたプロセス形成モデルに含まれる追加的なオプションのプロセス（ O P ）信号が根本原因分析ブロック 1 0 2 で使用される。なお、O P 信号は、入力 1 1 0 , 1 1 1 等を通して実際に受信されるプロセス信号（ P S 1 , P S 2 , ... ）に相当する。グラフィック・ユーザ・インタフェースが使用される場合、グラフィックモデルが表示出力 1 1 8 上に表示される。例えば、モデル選択入力 1 1 6 により選択されたプロセス形成モデルに関連するプロセス信号（ P S 1 A , P S 1 B , ... ）またはオプションのプロセス信号（ O P 1 A , O P 1 B , ... ）が該プロセス形成モデルにおけるプロセス信号に割り当てられる。この割り当てをグラフィック形式で表示してもよい。

【 0 0 5 9 】

一旦、プロセス形成モデルが選択されると、プロセス形成モデルのルールベースによって使用されるプロセス信号は、プロセスから受信される実際のプロセス信号に割り当てられる。根本原因分析ブロック 1 0 2 は、上述したような、要求される手法のいずれかを使って根本原因分析を実行する。根本原因分析に基づいて、プロセス内で発生したイベントの異常の根本原因を示す根本原因出力 1 2 0 が提供される。

【 0 0 6 0 】

本発明の一実施形態に従った図 5 は、プロセス装置 1 0 0 の一物理的実装を示す簡略ブロック図である。図 5 の例では、装置 1 0 0 は、入出力部 1 3 4 を通してプロセス制御ループ 1 3 2 に接続される。ループ 1 3 2 は、例えば、図 1 に示される 2 線ループもしくはその他のプロセス制御ループである。また、接続は、直接接続である必要はなく、ループからの変数が論理入力出力ブロック 1 3 4 を通して受信される論理接続だけでもよい。マイクロプロセッサ 1 3 6 は、メモリ 1 3 8 およびグラフィック・ユーザ・インタフェース 1 4 0 に接続される。メモリ 1 3 8 は、図 4 に示されるプロセス形成モデル 1 1 2だけでなく、変数およびプログラム命令を記憶するために使用される。

## 【 0 0 6 1 】

グラフィック・ユーザ・インタフェース 1 4 0 は、プロセス形成モデルの選択および形成の期間に使用される図 4 の表示出力 1 1 8 だけでなくモデル選択入力 1 1 6 を受信するための入力を提供する。マイクロプロセッサ 1 3 6 は、また監視されるプロセスの形態および動作に関連する情報を含むオプションのデータベース 1 4 2 に接続することができる。例えば、多くのプロセス制御または監視システムはこのようなデータベースを有する。一例は、ミネソタ州エデンプレーリのローズマウント・インコーポレーションから入手できる AMS システムである。

## 【 0 0 6 2 】

根本原因プロセス装置 1 0 0 は、送信機、コントローラ、携帯通信機、または図 1 に示したような制御室のようなあらゆるプロセス装置において実施することができる。一実施形態において、プロセス装置 1 0 0 は、制御室または他の遠隔場所に配置されたコンピュータシステムつまり PC 上で動作する。プロセス制御ループ 1 3 2 は、一般的にはいくつかのタイプのフィールドバスを基礎にしたループ、または複合制御ループからなる。このような形態では、プロセス装置 1 0 0 は、選択されたプロセス形成モデルに対する制御ループに接続された種々の装置に所望のプロセス信号を投ずることができる。グラフィック・ユーザ・インタフェース 1 4 0 が示されているが、プロセス形成モデルは、どのような選択手法で選択されてもよく、人の操作によって選択および形成される必要はない。例えば、別の場所に格納された構成情報が他の手法によって与えられることに基づいて、適当なルールベースおよびモデルオプションが装置 1 0 0 によって受信されてもよい。その代わりに、根本原因プロセス装置 1 0 0 は、例えば現場に設備され、送信機内に配置されてもよい。

## 【 0 0 6 3 】

ここで使用されたプロセス変数は、一般的にプロセス内で制御されている基本変数である。ここで使用されたプロセス変数は、例えば、圧力、流量、温度、製品レベル、pH、混濁、振動、位置、モータ電流、およびその他のプロセスの特性等の、プロセスの状態を表すあらゆる変数を意味する。制御信号は、プロセスを制御するために使用されるあらゆる信号（プロセス変数以外のもの）を意味する。例えば、制御信号は、所望の温度、圧力、流量、製品レベル、pH、または混濁等の、コントローラによって調節されるか、プロセスを制御するために使用される所望のプロセス変数値（すなわち設定ポイント）を意味する。また、制御信号は、較正值、警報、警報状態、バルブアクチュエータに供給されるバルブ位置信号や加熱要素に供給されるエネルギーレベルやソレノイドのオン・オフ信号等のように制御要素へ供給される信号、またはプロセスの制御に関連する他のあらゆる信号を意味する。ここで使用された診断信号は、プロセス制御ループ内の装置および要素の動作に関連する情報を含む。しかし、プロセス変数や制御信号は含まない。例えば、診断信号は、弁棒の位置、印加されたトルクつまり力、アクチュエータの圧力、バルブを駆動させるために使用される圧縮ガスの圧力、電圧、電流、電力、抵抗、容量、インダクタンス、装置温度、スティクション、摩擦、フルオンおよびフルオフ位置、行程、周波数、振幅、スペクトルおよびスペクトル成分、剛性、電界もしくは磁界の強さ、期間、強度、動作、電動モータの逆起電力、モータ電流、ループ関連パラメータ（制御ループ抵抗、電圧、または電流等）、またはシステム内で検出あるいは測定される他のあらゆるパラメータを含む。さらに、プロセス信号は、例えば、プロセス変数、制御信号または診断信号のようなプロセス内のプロセスまたは要素に関連するあらゆる信号を意味する。プロセス装置は、プロセスループの一部を形成するかプロセスループに接続されてプロセスの制御または監視に使用されるあらゆる装置を含む。

## 【 0 0 6 4 】

本発明は、好ましい実施形態を参照して説明されたが、当業者は形態および細部において本発明の精神および範囲から逸脱しないで変更できることを認識できるであろう。この明細書中では、二つの具体的処理例および具体的モデル例が示されたが、本発明は、公知の手法または将来発見される手法を使って生成されるその他の形態およびモデルに適合で

10

20

30

40

50

きる。また、他のタイプのルールベースまたはモデル形態が本発明で使用されてもよい。本発明は、独立した装置として設備でき、また、工業プロセスの制御または監視に使用されるソフトウェアに追加されるソフトウェアモジュールであってもよい。一つの観点では、本発明は、本発明を実施するために使用されるコンピュータ命令および/または記憶媒体を含む。ここで使用された“プロセスモデル”は、あらゆるプロセスの論理表現であり、上述の具体例に限定されない。“根本原因”はプロセス運転中の変化もしくは異常の初期原因（または複数原因）である。モデル化される他のタイプのプロセス制御ループは、ガス、液体、固体または他の形態のプロセス材料の調整制御およびカスケード制御を含む流量制御、レベル制御、温度制御などを含むが、これに限定されない。ループの特別な具体例は、例えば、差圧によって駆動されるバルブを備えた流量制御ループ、差圧によって駆動されるバルブを備えたレベル制御ループ、流量調整制御のための温度調整制御、バルブポンプ駆動のためのレベル調整制御、ポンプによって駆動されるバルブを備えた流量制御、バルブ冷却凝縮器のためのレベル調整制御、流量調整制御カスケード供給のためのレベル調整制御、バルブのための液体温度調整制御、流量調整制御のための液体温度調整制御、差圧によって駆動されるバルブを備えたガス流量制御、バルブのためのガス温度調整制御、バルブのためのガス圧調整制御、流量調整制御のためのガス圧調整制御、流力調整制御カスケードリボイラのためのレベル調整制御、バルブリボイラのバルブおよびレベル調整制御のための液体圧力調整制御を含む。制御される種々のタイプのプロセス要素は、例えば、巻胴およびタンク、熱交換器、塔、蒸気系、凝縮器、ボイラ、反応器、加熱器、圧縮機、燃料系、タービン、およびフレア系を含む。

【図面の簡単な説明】

【0065】

【図1】送信機、コントローラ、携帯通信機および制御室を含むプロセス制御ループの簡略図である。

【図2】液体レベルループ用のプロセス制御ループモデルの概要図である。

【図3】流速制御ループ用のプロセス制御ループモデルの概要図である。

【図4】本発明の一実施形態の装置のブロック図である。

【図5】図4のハードウェアの一例を示すブロック図である。

【符号の説明】

【0066】

2 ..... 工業プロセス制御システム

4 ..... プロセスパイプ

6 ..... 2線プロセス制御ループ

8 ..... 送信機

10 ..... コントローラ

12 ..... 通信機

14 ..... 制御室

16 ..... センサ

18 ..... バルブ

100 ..... プロセス装置

102 ..... 根本原因分析ブロック

104 ..... 制御信号入力

106 ..... プロセス変数入力

108 ..... 設定ポイント入力

110, 111 ..... プロセス信号入力

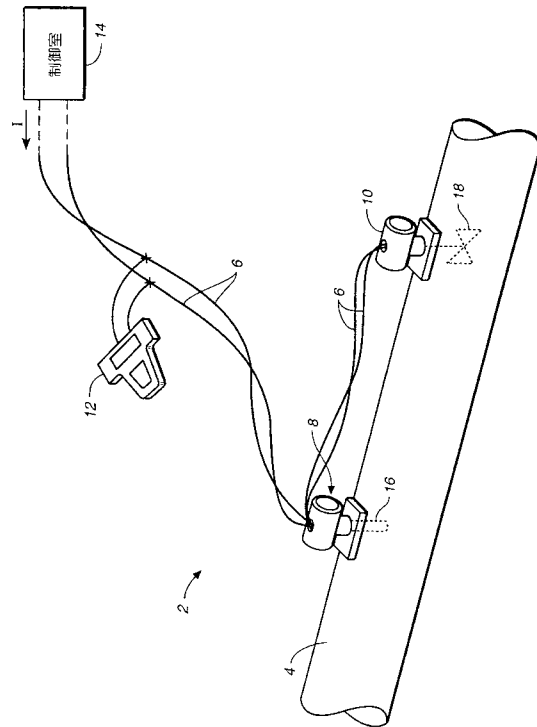
112 ..... プロセス形成モデル

116 ..... モデル選択入力

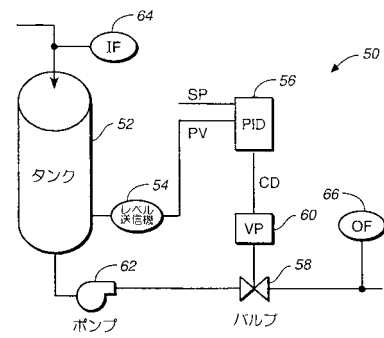
118 ..... 表示出力

120 ..... 根本原因出力

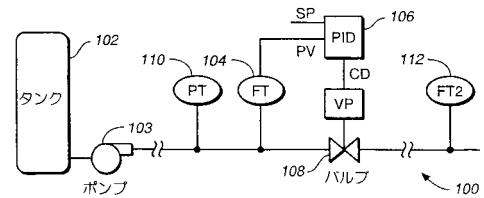
【 図 1 】



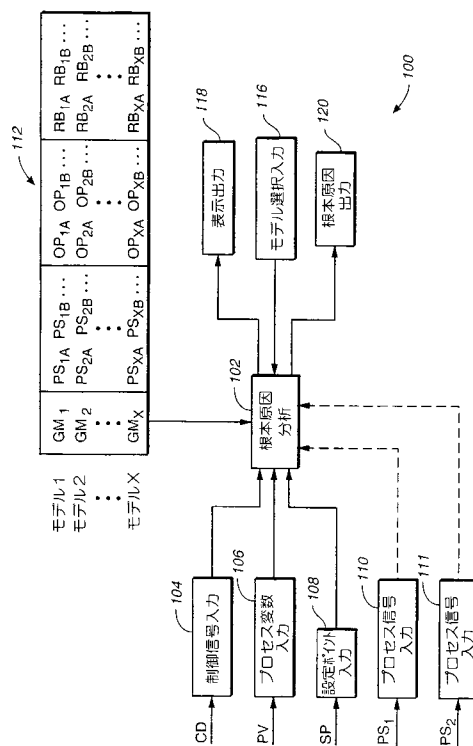
【 図 2 】



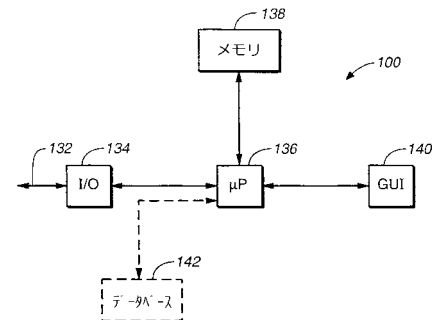
【 図 3 】



【 図 4 】



【 図 5 】



---

フロントページの続き

(72)発明者 エリューレク, エブレン

アメリカ合衆国 5 5 4 1 0 ミネソタ州、ミネアポリス、ヨーク アベニュー サウス 4 9 5  
2

(72)発明者 カヴァクリオグル, カディール

アメリカ合衆国 5 5 4 2 4 ミネソタ州、エディナ、フェアファックス アベニュー 5 8 3 7

合議体

審判長 千葉 成就

審判官 菅澤 洋二

審判官 佐々木 一浩

(56)参考文献 特開昭 6 4 - 8 2 2 0 5 ( J P , A )

特表 2 0 0 3 - 5 0 4 7 0 4 ( J P , A )

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

G05B23/02