

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2010-506261
(P2010-506261A)

(43) 公表日 平成22年2月25日(2010.2.25)

(51) Int.Cl. F I テーマコード (参考)
G 0 5 B 23/02 (2006.01) G 0 5 B 23/02 3 0 2 Y 5 H 2 2 3
 G 0 5 B 23/02 R

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 63 頁)

(21) 出願番号 特願2009-530638 (P2009-530638)
 (86) (22) 出願日 平成19年9月28日 (2007. 9. 28)
 (85) 翻訳文提出日 平成21年5月25日 (2009. 5. 25)
 (86) 国際出願番号 PCT/US2007/079919
 (87) 国際公開番号 W02008/042786
 (87) 国際公開日 平成20年4月10日 (2008. 4. 10)
 (31) 優先権主張番号 60/827, 631
 (32) 優先日 平成18年9月29日 (2006. 9. 29)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 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 78759 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 111 リサーチ ブル
 ーバード 12301
 (74) 代理人 110000556
 特許業務法人 有古特許事務所
 (72) 発明者 サマーズジャ, ニコラ
 アメリカ合衆国 55305 ミネソタ
 マイントンカ パーク リッジ ドライブ
 ダブリュ. 11533

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 プロセス制御システムにおける過渡的状態の多変量検出

(57) 【要約】

異常状態から過渡的動作を検出し、およびコークス化ヒーターにおける異常動作を検出する方法およびシステムであって、収集されたオンラインプロセスデータを含んでいる。収集されたオンラインプロセスデータは、プロセスの複数のプロセス変数又はコークス化ヒーターから生成される。プロセス又はコークス化ヒーター動作の第1の表現は、プロセス変数の第1のセットから生成される収集されたオンラインプロセスデータの第1のセットに基づいて生成される。この第1の表現は実行されて第1の結果を生成する。プロセスの又はコークス化ヒーターの動作の第2の表現は、第1の結果に基づいて、そしてプロセス変数の第2のセットが生成された収集されたオンラインプロセスデータの第2のセットに基づいて生成される。この第2の表現は、実行されてプロセス変数の第2のセットから生成されたデータの予測を生成する。この予測は、異常動作を検出し、又は一つ又はそれ以上の異常動作がプロセスの過渡的状態を含むかどうかを検出するために分析される。

【選択図】 なし

【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

プロセスプラントにおけるプロセスの異常動作からの過渡状態の検出および識別を容易に行うためのシステムであって、

前記プロセスプラント内のプロセス制御システムからオンラインプロセスデータを収集するように構成されたデータ収集ツールであって、前記収集されたオンラインプロセスデータは、前記プロセスがオンラインのときにプロセスの動作を表すデータを有し、前記収集されたオンラインプロセスデータは前記プロセスの複数のプロセス変数から生成される、データ収集ツールと、

前記プロセスのプロセス変数の第 1 のセットから生成される収集されたオンラインプロセスデータの第 1 のセットに基づいて前記プロセスの動作の第 1 の表現を生成するように構成された第 1 の多変量統計解析エンジンを有する第 1 の解析ツールであって、該プロセスの動作の第 1 の表現は実行されて第 1 の結果を生成するように構成された、第 1 の解析ツールと、

前記第 1 の結果に基づいて、および前記プロセスのプロセス変数の第 2 のセットから生成される収集されたオンラインプロセスデータの第 2 のセットに基づいて、前記プロセスの動作の第 2 の表現を生成するように構成された第 2 の多変量統計解析エンジンを有する第 2 の解析ツールであって、該プロセスの動作の第 2 の表現は実行されて前記プロセス変数の第 2 のセットから生成されるデータの予測を生成するように構成された、第 2 の解析ツールと、

前記予測を分析して、前記プロセスの動作の第 1 の表現に基づいて検出された一つ又はそれ以上の異常動作が前記プロセスの過渡動作を含んでいるかどうかを検出する監視ツールと

を備えたシステム。

【請求項 2】

請求項 1 記載のシステムであって、前記第 1 の解析ツールは、前記プロセスの動作の第 1 の表現への入力として前記プロセスがオンラインのときに前記プロセスの動作の測度を有する監視されたオンラインプロセスデータを使用して、前記プロセスのオンライン動作を表すように構成されている

【請求項 3】

請求項 1 記載のシステムであって、前記第 1 の多変量統計解析エンジンは、前記プロセスの動作の前記第 1 の表現への監視されたオンラインプロセスデータの入力に基づいて前記プロセスの動作の前記第 1 の表現から出力を生成するように構成され、前記監視ツールは、前記プロセスの正常動作の第 1 の表現からの出力に基づいて異常プロセス状態の存在を決定するように構成されている、システム。

【請求項 4】

請求項 1 記載のシステムであって、前記第 1 の多変量統計解析エンジンは、前記収集されたオンラインプロセスデータの第 1 のセットについて主成分分析を実行して、前記プロセスの動作の第 1 の表現を生成するように構成され、前記第 2 の多変量統計解析エンジンは、前記収集されたオンラインプロセスデータの第 2 のセットについて主成分回帰分析又は部分最小二乗法分析の少なくとも一つを実行して、前記第 1 の結果の関数として前記プロセスの第 2 のセットから生成されたデータの予測を生成するように構成されている、システム。

【請求項 5】

請求項 4 記載のシステムであって、前記第 1 の結果は、前記収集されたオンラインプロセスデータの第 1 のセット内の最大の変動を示す一つ又はそれ以上の成分を有し、前記第 2 の多変量統計解析エンジンは、前記一つ又はそれ以上の成分の関数として前記プロセスデータの第 2 のセットから生成されるデータの予測を生成するように構成されている、システム。

【請求項 6】

請求項 1 記載のシステムであって、前記収集されたオンラインプロセスデータの第 1 のセットは、前記プロセスの複数の独立プロセス変数から生成された前記オンラインプロセスデータのセットを有し、前記収集されたオンラインプロセスデータの第 2 のセットは、前記プロセスの従属プロセス変数から生成された前記オンラインプロセスデータのセットを有している、システム。

【請求項 7】

請求項 1 記載のシステムであって、前記監視ツールは、もし、検出された異常動作がプロセスの過渡動作を含んでいるなら、異常状態警報を生成するのを防ぐように構成されている、システム。

【請求項 8】

請求項 1 記載のシステムであって、前記監視ツールは、過渡状態に関連する過渡の特定数を推量するように構成されている、システム。

【請求項 9】

請求項 1 記載のシステムであって、前記プロセスの動作の第 1 の表現によって生成される結果の第 1 のプロットと、前記プロセスの動作の第 2 の表現によって生成される結果の第 2 のプロットとを有する視覚化を生成するように構成されている、システム。

【請求項 10】

プロセスプラントにおけるプロセスの異常動作からの過渡状態の検出および識別するための方法であって、

前記プロセスプラント内のプロセス制御システムからオンラインプロセスデータを収集するステップであって、前記データは前記プロセスがオンラインのときにプロセスの動作を表現し、前記収集されたオンラインプロセスデータは複数の次元を有する第 1 のデータ空間を有するプロセスの複数のプロセス変数から生成される、プロセスデータ収集ステップと、

前記プロセスのプロセス変数の第 1 のセットから生成される前記収集されたオンラインプロセスデータの第 1 のセットを使用して前記プロセスの動作の第 1 のモデルを生成するステップであって、前記第 1 のモデルは、前記プロセスがオンラインのときに前記第 1 のデータ空間より少ない次元を有する第 2 のデータ空間内におけるプロセスの動作の測度を有している、第 1 モデル生成ステップと、

前記第 2 のデータ空間の成分を使用しおよび前記プロセスの前記プロセス変数の第 2 のセットから生成される収集されたオンラインプロセスデータの第 2 のセットを使用して、前記プロセスの動作の第 2 のモデルを生成するステップと、

前記第 1 のモデルからの出力に基づいて異常動作の存在を決定するステップであって、前記モデルは、監視されたオンラインプロセスデータの前記プロセスの動作の前記第 1 のモデルへの入力に基づいて実行される、決定ステップと、

前記第 2 のモデルを使用して前記第 2 のデータ空間の成分の関数として、前記プロセス変数の前記第 2 のセットから生成されるデータの予測を生成するステップと、

前記異常動作の出現に対応する過渡状態の出現を表す前記プロセス変数の第 2 のセットから生成される前記データの前記予測に基づいて、前記異常動作が過渡状態を含むかどうかを決定するステップと

を包含する方法。

【請求項 11】

請求項 10 記載の方法であって、前記第 1 モデル生成ステップは、多変量統計解析を行って、前記プロセスの前記プロセス変数の前記第 1 のセットから生成される前記収集されたオンラインプロセスデータの第 1 のセットに基づいて前記プロセスの動作を表すことをさらに含む、方法。

【請求項 12】

請求項 11 記載の方法であって、前記多変量統計解析を行うことには、前記収集されたオンラインプロセスデータの第 1 のセットについて主成分分析を行って、前記プロセスの動作を空間を定義する負荷行列に表現することが包含されている、方法。

10

20

30

40

50

【請求項 13】

請求項 12 記載の方法であって、異常動作の存在を決定することには、前記プロセスの前記プロセス変数の第 1 のセットから生成された監視されたオンラインプロセスデータを前記負荷行列によって定義された空間に射影することが含まれている、方法。

【請求項 14】

請求項 10 記載の方法であって、前記第 2 のモデルを生成するステップは、多変量統計解析を行って、前記プロセスの前記プロセス変数の第 2 のセットに基づいて前記プロセスの動作を表すことを包含している、方法。

【請求項 15】

請求項 14 記載の方法であって、前記多変量統計解析を行うことには、主成分回帰分析又は部分最小二乗法分析の少なくとも一つを行って、前記第 2 のデータ空間の成分の関数として前記プロセス変数の第 2 のセットを予測するところが含まれている、方法。

10

【請求項 16】

コークス化ヒーターの異常動作を検出するための方法であって、

コークス化ヒーターについてのオンラインプロセスデータを収集するステップであって、収集されたオンラインプロセスデータは、コークス化ヒーターがオンラインのときにコークス化ヒーターの動作を表し、前記収集されたオンラインプロセスデータは前記コークス化ヒーターの複数のプロセスデータから生成される、収集ステップと、

多変量データ構造を有するコークス化ヒーターのプロセス変数の第 1 のセットから生成された前記収集されたオンラインプロセスデータの第 1 のセットに基づいて既知の状態での前記コークス化ヒーターの正常な動作を表現するために第 1 の多変量統計解析を行うステップであって、前記表現は前記多変量データ構造より少ない次元を有するデータ空間におけるコークス化ヒーターの動作の測度を有する、第 1 の多変量統計解析を行うステップと、

20

前記多変量データ構造より少ない次元を有するデータ空間からの成分の関数として前記コークス化ヒーターのプロセス変数の第 2 のセットから生成された収集されたオンラインプロセスデータ第 2 のセットに基づいて前記コークス化ヒーターの動作を表現して、前記コークス化ヒーターの前記プロセス変数の第 2 のセットから生成されるデータの予測を出力する第 2 の多変量統計解析を行うステップと、

前記コークス化ヒーター内の異常状態を検出するために、前記コークス化ヒーターの前記プロセス変数の第 2 のセットから生成される対応する信号が、前記コークス化ヒーターの前記プロセス変数の第 2 のセットから生成されるデータの予測から外れているかどうかを決定するステップと

30

を包含する方法。

【請求項 17】

請求項 16 記載の方法であって、前記第 1 の多変量統計解析を行うステップが、部分空間を定義する負荷行列における前記プロセスの動作を表現するために、前記収集されたオンラインプロセスデータの第 1 のセットについて主成分分析を行うことを含んでいる、方法。

【請求項 18】

請求項 16 記載の方法であって、前記第 2 の多変量統計解析を行うステップが、主成分回帰分析又は部分最小二乗法分析の少なくとも一つを行って、前記多変量データ構造より少ない次元を有するデータ空間からの成分の関数として前記プロセス変数の第 2 のセットを予測することを含んでいる、方法。

40

【請求項 19】

請求項 16 記載の方法であって、前記異常状態がコークス化ヒーターの管状通路におけるコークス化を含んでいる、方法。

【請求項 20】

請求項 16 記載の方法であって、前記収集されたオンラインプロセスデータは、前記コークス化ヒーターがオンラインであり正常に動作しているときに前記コークス化ヒーター

50

の正常動作を表している、方法。

【請求項 2 1】

請求項 1 6 記載の方法であって、前記コークス化ヒーターの前記プロセス変数の第 1 のセットは、前記コークス化ヒーターの導管の加熱要素の前の位置における通過物質の温度、前記コークス化ヒーター内の各通路の流量、通過物質のトータルの流量、前記コークス化ヒーターの導管の加熱要素の後の位置における通過物質の温度、前記コークス化ヒーターからの製品材料の流量、および前記コークス化ヒーターからの製品材料の最終温度からなる群から選択される一つ又はそれ以上の独立変数を有し、

前記コークス化ヒーターの前記プロセス変数の第 2 のセットは、前記コークス化ヒーター内の通路の出口温度を含む一つ又はそれ以上の従属変数を有している、方法。

10

【請求項 2 2】

プロセスプラント内のコークス化ヒーターの異常動作を検出するためのシステムであって、

コークス化ヒーターがオンラインで正常に動作しているときに前記コークス化ヒーターの正常動作の測度を有する収集されたオンラインプロセスデータのセットに基づく前記コークス化ヒーターの正常動作のモデルであって、該モデルは複数の次元を有する第 1 のデータ空間を有する前記コークス化ヒーターの独立プロセス変数のセットから生成される収集されたオンラインプロセスデータの第 1 のセットに基づく第 1 の多変量統計モデルを含み、前記第 1 の多変量統計モデルは部分空間を定義する負荷行列におけるコークス化ヒーターの動作を表現し、前記モデルは、前記コークス化ヒーターの従属変数のセットから生成される収集されたオンラインプロセスデータの第 2 のセットに基づく、および前記負荷行列からの一つ又はそれ以上の成分に基づく第 2 の多変量統計モデルを含む、前記モデルと、

20

前記モデルに結合し、前記従属変数のセットからの従属変数値が、従属変数値と予測された従属変数値との間の差の比較によって前記第 2 の多変量統計モデルから生成された予測された従属変数値から大きくずれているかどうかを決定する偏差検出器と

を備えたシステム。

【請求項 2 3】

請求項 2 2 記載のシステムであって、

前記第 1 の多変量統計モデルは、前記収集されたオンラインプロセスデータの第 1 のセットについての主成分分析から生成されたモデルを含み、前記第 2 の多変量統計モデルは、前記収集されたオンラインプロセスデータについての主成分回帰分析又は最小二乗法分析の少なくとも一つから生成されたモデルを有している、システム。

30

【請求項 2 4】

請求項 2 2 記載のシステムであって、前記予測された従属変数値からの前記従属変数値の大きくなずれば、コークス化ヒーターの管状通路におけるコークス化を含んでいる、システム。

【請求項 2 5】

請求項 2 2 記載のシステムであって、前記第 1 の多変量統計モデルからの前記コークス化ヒーターの第 1 のプロットと前記第 2 の多変量統計モデルからのコークス化ヒーターの動作の表現によって生成される結果の第 2 のプロットとを含む視覚化を生成するように構成されたディスプレイツールを更に備えたシステム。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本願は、2006年9月29日に出願された、「分散制御システムにおけるオンライン主成分分析」と題された米国仮出願第60/827631号に基づく優先権を主張している。上記仮出願の内容は、参照によってここに取り入れられる。

【0002】

本開示は、概略的にはプロセスプラントの診断に関し、より詳細には、多変量統計技術

50

を含む監視及び診断システムに関する。

【背景技術】

【0003】

化学、石油又は他のプロセスなどのプロセス制御システムは、典型的には、少なくとも一つのホスト又はオペレータワークステーションと、例えばフィールドデバイス等の一つ又はそれ以上のプロセス制御および計装機器に、アナログ、デジタル又はアナログ/デジタル結合バスを介して通信可能に接続された一つ又はそれ以上の集中型又は非集中型のプロセスコントローラを有している。例えば、バルブ、バルブポジショナ、スイッチ、トランスミッタおよびセンサ（即ち、温度、圧力、流速センサ）等のフィールドデバイスは、プロセスプラント環境に配置され、バルブの開閉、プロセスパラメータの測定、流量の増減などのプロセス内の機能を実行する。周知のFUNDATION（登録商標）Fieldbus（以下「Fieldbus」と称する。）プロトコル又はHART（登録商標）プロトコルに従うスマートフィールドデバイスは、制御計算、警告機能やプロセスコントローラ内で共通的に実現されるための制御機能も果たし得る。

10

【0004】

典型的には、プロセスプラント環境内に位置するプロセスコントローラは、フィールドデバイス及び/又はフィールドデバイスに関連する多の情報によって生成され又はこれに関連するプロセス測定値又はプロセス変数を表す信号を受信する。コントローラアプリケーションは、例えば、プロセス制御の決定、受信した情報に基づく制御信号の生成、およびHARTおよびFieldbusフィールドデバイス等のフィールドデバイスにおいて行われている制御モジュール又はブロックの調整を行う異なる制御モジュールを実現する。プロセスコントローラ内の制御モジュールは、通信ライン又は信号バス上にフィールドデバイスに向けて制御信号を送出する。

20

【0005】

フィールドデバイスおよびプロセスコントローラからの情報は、典型的には、オペレータワークステーション、保守ワークステーション、パーソナルコンピュータ、ハンドヘルドデバイス、データヒストリアン、レポート生成、集中型データベースなどの一つ又はそれ以上の他のハードウェアデバイスに利用可能にし、オペレータ又は保守要員が、例えばプロセス制御ルーチンの設定を変更し、プロセスコントローラ又はスマートフィールドデバイス内の制御モジュールの動作を変更し、プロセス又はプロセスプラント内の特定のデバイスの状態を閲覧し、人の訓練又はプロセス制御ソフトウェアのテストの目的でプロセスの動作をシミュレートし、およびプロセスプラント内の問題又はハードウェア欠陥を診断するのを可能にする。

30

【0006】

知られているように、プロセスプラント環境、特に多数のフィールドデバイスおよび支援装置を有するプロセスプラント内では、頻繁に問題が生ずる。これらの問題は、壊れた又は欠陥のあるデバイス、不正なモードでの存在、不適切に調整されたプロセス制御ループ、プロセスプラント内のデバイス間の通信における一つ又はそれ以上の欠陥などの形態を採る。これらおよび他の問題は、実際は非常に多く、一般的には、異常な状態でのプロセスの運転という結果（即ち、異常な状態にあるプロセスプラント）をもたらし、通常これは、プロセスプラントの準最適性能に関連している。

40

【0007】

多くの診断ツールおよびアプリケーションは、プロセスプラント内の問題の原因を検出し決定し、一旦問題が発生しおよび検出されたならオペレータ又は保守要員がその問題を診断し修正するように開発されている。例えば、直接又はワイヤレスバス、イーサネット（R）、モデム、電話回線などの通信接続を介してプロセスコントローラに典型的に接続されるオペレータワークステーションは、エマーソンプロセスマネジメント社によって販売されているDeltaV（登録商標）およびOvation（登録商標）などのソフトウェアを実行するようにされたプロセッサおよびメモリを有している。これらの制御システムは、多くの制御モジュールおよび制御ループ診断ツールを有している。同様に、コン

50

トローラアプリケーションと同様の通信接続を介して又はプロセス制御（OPC）のためのオブジェクトリンクングアンドエンベディング（OLE）やハンドヘルド接続のような異なる通信接続を介して、フィールドデバイスなどのプロセス制御デバイスに接続され得る保守ワークステーションは、典型的には、プロセスプラント内のフィールドデバイスによって生成される保守アラーム又は警報を閲覧し、プロセスプラント内のデバイスをテストし、プロセスプラント内のフィールドデバイスおよび他のデバイス上で保守アクティビティを実行するように設計されている。同様の診断アプリケーションが、プロセスプラント内のサポート装置内の診断の問題に向けて開発されている。

【0008】

このように、AMS（登録商標）一式の商業的に入手が可能なソフトウェア：Intelligent Device Manager from Emerson Process Managementは、フィールドデバイスの動作状態を究明し追跡するために、フィールドデバイスと通信しこれに関連するデータを格納する。「フィールドデバイス管理システムにおいて使用する統合された通信ネットワーク」と題された米国特許第5,960,214号も参照されたい。いくつかの例では、AMSソフトウェアは、フィールドデバイス内のパラメータを変更し、例えば自己較正ルーチン又は自己診断ルーチンなどのアプリケーションをフィールドデバイスにそれ自身上で実行させ、フィールドデバイスの状態又は健全性についての情報を得るために使用される。この情報は、例えば、状態情報（例えば、アラーム又は他の同様なイベントが起こったかどうか）、デバイス構成情報（例えば、フィールドデバイスが現在又は後に構成される方式およびフィールドデバイスによって使用される測定ユニットのタイプ）、デバイスパラメータ（例えば、フィールドデバイスの範囲値及び他のパラメータ）などを含み得る。もちろん、この情報は、保守要員によってフィールドデバイスの問題を監視し、保守し及び/又は診断するのに使用され得る。

【0009】

同様に、多くのプロセスプラントは、例えば、種々の回転する装置の動作状態のモニター、診断および最適化するためのCSEシステムズによって供給されているMachinery Healthアプリケーションのようなソフトウェアアプリケーションを有している。保守要員は、通常、プラント内で回転する装置の性能を保守および監視し、その回転装置の修理又は交換の時期および必要性を決定するためにこれらのアプリケーションを使用する。同様に、多くのプロセスプラントは、発電および配電の制御と維持とを行うために、Liebert and ASCO社によって提供されるような電源制御および診断アプリケーションを含み得る。例えば、リアルタイムオプティマイザ（RTO+）のような制御オプティマイザのような制御最適化アプリケーションを、プロセスプラントの制御アクティビティを最適化するために実行することもよく知られている。このような最適化アプリケーションは、例えば利益のないいくつかの所望の最適化変数に関連してプロセスプラントの運転を最適化するために入力があるように変更され得るかを予測するために、典型的には、プロセスプラントの複雑なアルゴリズム及び/又はモデルを使用する。

【0010】

これらおよび他の診断および最適化アプリケーションは、一つ又はそれ以上のオペレータ又はワークステーションにおけるシステムワイドな基準で典型的に実現され、プロセスプラントの動作状態に関してオペレータ又は保守要員に予め構成されたディスプレイ又はプロセスプラント内のデバイス若しくは装置を提供する。典型的な表示には、プロセスプラントなどの内部のプロセスコントローラ又は他のデバイスによって生成されたアラームを受け取る警告表示、プロセスプラント内のプロセスコントローラ又は他のデバイスの動作状態を示す制御表示、プロセスプラント内のデバイスの動作状態を示す保守表示などが含まれる。同様に、これらおよび他の診断アプリケーションは、オペレータ又は保守要員が制御ループを再調整し又は他の制御パラメータをリセットするのを可能とし、それらのフィールドデバイスの現在の状態を決定するために一つ又はそれ以上のフィールドデバイス上でテストするのを可能とし、又はフィールドデバイス又は他の装置を較正するのを可能とする。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 1 】

これらの種々のアプリケーションおよびツールは、プロセスプラント内の問題を同定しおよび修正するのに非常に役に立つが、これらの診断アプリケーションは一般的にプロセスプラント内に問題が既に出現した後にのみ、従って、異常な状態がプロセスプラント内に既に存在した後に使用されるように構成されている。不運にも、異常な状態はそれが発見され同定されこれらのツールを使用して修正される前のしばらくの間存在し、結果的に問題が発見され同定され修正される間、プロセスプラントの準最適性能がもたらされる。多くの場合、制御オペレータは、アラーム、警報又はプロセスプラントの低い性能に基づいていくつかの問題が存在することを最初に検出するであろう。オペレータは、次に、可能性のある問題を保守要員に通知するであろう。保守要員は、実際の問題を検出し又は検出せず、運転試験又は他の診断アプリケーションをさらに促し、又は実際の問題を同定するのに必要な他のアクティビティを実行することが必要である。一旦問題が同定されると、保守要員は部品を注文し修理のスケジュールを立て、これらの全ては、問題の出現とその問題の修正との間の時間の重大な期間をもたらし、その間、プロセスプラントは一般的にプラントの準最適動作に関連する異常な状態で動作する。

10

【 0 0 1 2 】

加えて、多くのプロセスプラントは、比較的短い時間でプロセスプラント内に多大なコスト又はダメージを結果としてもたらす異常な状態を経験することができる。例えば、いくつかの異常状態は、これらの異常状態がたとえ短時間であっても、装置への重大なダメージ、原料の損失、又はプロセスプラント内の予期しない休止時間を生じる。従って、問題が出現した後のプラント内の問題の単なる検出は、どんなに素早く問題修正が行われても、重大なロス又はダメージをプロセスプラント内に結果としてもたらす。結果的に、異常状態が初めの段階で発生するのを妨げようとするのは、それに対して単に反応し異常状態が生じた後にプロセスプラント内の問題を修正しようと試みることに代えて好ましいことである。

20

【 0 0 1 3 】

プロセスプラント内の何れかの重大なロスが発生する前に予想された異常状態を妨げるためのステップを採るという目的で、これらの異常状態が実際に生じる前にユーザがプロセスプラント内の或る異常状態の出現を予想するのを可能とするデータを収集するのに使用され得る一つの技術がある。この手法は、「Root Cause Diagnostics」と題された米国特許出願第 0 9 / 9 7 2 , 0 7 8 号、米国特許出願第 7 , 0 8 5 , 6 1 0 号 (米国特許出願第 0 8 / 6 2 3 , 5 6 9 号、米国特許出願第 6 , 0 1 7 , 1 4 3 号を基礎とする) に開示されている。これらの出願の両方の全体が参照によってここに組み込まれる。一般的に言って、この技術は、プロセスプラント内のフィールドデバイスのような多くのデバイスのそれぞれに、統計的データ収集および処理ブロック又は統計的処理モニタリング (S P M) ブロックを置いている。統計的データ収集および処理ブロックは、プロセス変数データを収集し、平均、メジアン、標準偏差などのその収集されたデータに関連する或る統計的な測度を決定する。これらの統計的な測度は、次にユーザに送られ、既知の異常状態の将来的な出現を提示するパターンを認識するように分析される。特定の疑わしい将来の異常状態が検出されると、内在する問題を修正するステップが採られ、それによって初期の段階で異常状態が避けられる。

30

40

【 0 0 1 4 】

主成分分析 (P C A) は、プロセス制御産業で多次元データセットの解析について使用されている多変量解析技術である。P C A 技術は、一般には、高次元空間から低次元空間へのデータの減少を含み、これはオリジナルのデータにおける重要な変動の殆どを説明する。例えば、P C A は、多変量データ空間の次元 (即ち、多次元データ) を小さい次元 (即ち、2 又は 3 次元) に減少させて、多次元データが低次元の主要成分空間に射影される (スコアされる) ように使用され得る。産業プロセスにおける欠陥検出のための P C A 技術の典型的な実現に関する更なる詳細は、L . H . C h i a n g 他「産業システムにおける欠陥の検出と診断」 (Springer-Verlag London Limited, pp. 35-54 (2001)) と、E .

50

L. R u s s e l l 他「化学プロセスにおける欠陥検出および診断のためのデータ駆動技術」(pringer-Verlag London Limited, (2000))とにおいて見ることができる。

【0015】

多くのソフトウェアパッケージがPCA機能を提供しているが、しかし、これらのパッケージの殆どはデータベースからのオフラインプロセスデータを使用している。換言すれば、PCAはオフライン多変量統計解析ツールを有していた。このことは、履歴データ又は格納された多次元データのようなプロセスデータにおける異常状態の事後分析には有用であるが、それはリアルタイム(例えば、オンライン、アットライン又はインラインのデータ分析)の異常状態の検出に使用することはできない。いくつかの現存するPCAソフトウェアパッケージは、データのリアルタイム分析が可能であるかも知れないが、しかし、そのソフトウェアがしばしばOPCサーバーなどのインターフェイスを介して制御システムからのプロセスデータにアクセスするであろう場合に限られる。その結果、プラントの人員は、ソフトウェアパッケージの制御システムへの及び制御システムとのインターフェイスを含めて、制御システムとは別のソフトウェアパッケージの保守の負担を不幸にも負うであろう。更に、異常状態の検出は、異常状態阻止ツールが種々の異常状態に対して油断がなく正確であることを示すためには、全ての時間と種々の異常状態(例えば、連続プロセス対一回だけの解)にとって有用であるべきである。

10

【0016】

また、従来のPCA技術は、プロセスの動力学を表す情報を容易に搬送できない。PCA分析の結果、即ち、スコアは、内在するプロセスデータの統計的表現である散乱したプロットによりしばしば表示される。スコアデータが散乱したプロットに記録され又は説明されるような方法にも拘わらず、不正確に特徴化されたデータに関する小さな不確実性が一般的に存在する。以下に記述するように、更なる情報無しに、プロセスオペレータは、与えられたスコアが正常か異常かをしばしば確信することができない。例えば、PCA分析の最初の2つの主成分が多次元データにおける最大の変動を捕らえ、それらはプロセスにおける最大の変動を含む多次元データの挙動についての最も重大な情報を表しているので、PCA分析からのその最初の2つのスコアがプロットされ得る。

20

【0017】

これらの理由から、従来のPCA技術は、異常状態の検出においては頼りにならない性能しか示さない。PCAスコアは、人が存在しないとき(即ち、誤認警報)に異常状態を提示することができ、反対に、プロセスが異常に振る舞う(即ち、誤った診断)ときに正常運転を提示し得る。更に、PCAを実現するために、PCAモデルがトレーニングデータ(例えば、「正常な」プロセスの動作からのデータ)を使用して開発され、結果として生まれるモデルは異常なプロセス状態を検出するために適用される。トレーニングデータは、主成分に関してモデルを引き出すのに使用される。そのようなものとして、PCAスコアは実際のプロセス変数に直接関係しているものではなく、PCAを使用して監視されている実際のプロセス変数の物理的プロセスの制限は分析において失われ、それによって統計的解釈(例えば、「データの良好性」の定量化)を要求する。

30

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

40

【0018】

本開示の特定の特徴によれば、プロセスとその要素の異常動作からの過渡動作の検出および識別を容易にする多くの技術が開示されている。過渡的(例えば、動的)動作は、プロセスが一つの動作領域からもう一つの領域への負荷変数の変化によるプロセスの移動として出現し得る。異常動作から過渡動作を区別するために、主成分分析(PCA)又は多変量データ空間のデータ空間を減少させる他の多変量統計解析技術が、主成分回帰(PCR)又は従属変数を独立成分の関数として予測する部分最小二乗法(PLS)のような他の多変量統計解析技術と統合され得る。このような異常動作からの過渡動作の検出と識別には、PCA解析からPCR解析における独立成分として生成した減少したデータ空間からの成分を使用し得る。PCR解析から生成したモデルは、プロセスの監視時に従属変数

50

の値を予測するために従属変数からのデータに基づいて訓練され得る。PCA解析は、PCA解析が異常動作を検出するのに使用されたとき、PCR解析からの予測がPCA解析の異常動作が実際に異常動作か又は過渡動作かどうかを検証するのに使用されて、プロセスにおける過渡動作の出現を予測することができる。多変量解析を視覚化プロットとともに実装することにより、人員は、多変量解析を異常動作から過渡動作を区別するオンライン監視のために多変量解析を使用し得る。

【0019】

本開示の他の特徴に従えば、コークス化ヒーターにおける異常状態の検出を容易にする多くの技術が開示されている。特に、複数の変数のデータ空間をより小さい次元を有するより小さいデータ空間に減少させることによりコークス化ヒーターをモデル化するPCAのような第1の多変量ベースの監視および検出技術がオンラインで実装される。より小さいデータ空間の成分は、コークス化ヒーターの従属変数をより小さいデータ空間の成分の関数としてモデル化するPCRのような第2の多変量ベース監視および検出技術に使用され得る。第2の多変量解析から結果として生じるモデルは、従属変数の監視された値と比較される従属変数から生成される値を予測するのに使用される。もし、予測された値が予測された値から大きく外れた場合にはコークス化のような異常状態が検出される。

10

【図面の簡単な説明】

【0020】

【図1】図1は、分散型プロセス制御システムと、一つ又はそれ以上のオペレータ及び保守ワークステーション、コントローラフィールドデバイス及び支援装置を含むネットワークとを有するプロセスプラントの典型的なブロックダイアグラムである。

20

【0021】

【図2】図2は、図1のプロセスプラントの部分の典型的なブロックダイアグラムであり、プロセスプラントの異なる要素内に位置する異常状態防止システムの種々の構成要素間の通信相互接続を例示している。

【0022】

【図3】図3は、プロセスプラントの監視動作に対する動作上の要求又は制御境界に伴うプロセス変数の図式プロットである。

【0023】

【図4】図4は、動作上の要求又は制御境界に比較して多くのプロセス変数の図式の多変量視覚化又はプロットであり、視覚化又はプロットは、特定の実施形態及びオンラインプロセス監視についての開示の特徴に従って生成されるユーザインターフェイスに組み込むのに適している。

30

【0024】

【図5】図5は、プロセス変数の一つが動作上の要求又は制御境界を超えた後の図4の視覚化プロットの他の図示であり、異常状態は故障状態を示している。

【0025】

【図6】図6は、主成分分析(PCA)を実現するように構成され、本開示の一つの特徴に従ったトレーニング及び運転のためのプロセス制御システム内にインスタンスが作成された典型的な機能ブロックを表している。

40

【0026】

【図7】図7は、本開示の他の特徴に従ったPCA技術の実現の間を表すもう一つの典型的なPCA機能ブロックの表現である。

【0027】

【図8】図8は、本開示のもう一つの特徴に従う多変量監視及び診断モジュール(MDM)のブロックダイアグラムであり、いくつかの実施形態におけるその成分は、図6及び図7の機能ブロックにおいて実現され得る。

【0028】

【図9】図9-12は、本開示のもう一つの特徴に従って生成された例示のユーザインターフェイスディスプレイであり、これは、いくつかの実施形態において、多変量監視及び

50

故障検出のために、図 6 及び図 7 の機能ブロックによって、又は図 8 の M M D M ツールによって生成又は支援され得る。

【図 1 0】図 9 - 1 2 は、本開示のもう一つの特徴に従って生成された例示のユーザインターフェイスディスプレイであり、これは、いくつかの実施形態において、多変量監視及び故障検出のために、図 6 及び図 7 の機能ブロックによって、又は図 8 の M M D M ツールによって生成又は支援され得る。

【図 1 1】図 9 - 1 2 は、本開示のもう一つの特徴に従って生成された例示のユーザインターフェイスディスプレイであり、これは、いくつかの実施形態において、多変量監視及び故障検出のために、図 6 及び図 7 の機能ブロックによって、又は図 8 の M M D M ツールによって生成又は支援され得る。

【図 1 2】図 9 - 1 2 は、本開示のもう一つの特徴に従って生成された例示のユーザインターフェイスディスプレイであり、これは、いくつかの実施形態において、多変量監視及び故障検出のために、図 6 及び図 7 の機能ブロックによって、又は図 8 の M M D M ツールによって生成又は支援され得る。

【 0 0 2 9 】

【図 1 3】図 1 3 - 1 4 は、本開示のもう一つの特徴に従って生成され、多変量監視及び故障検出のために図 9 - 1 2 のユーザインターフェイスディスプレイと同様の方法で生成され又は支援される更なる例示のユーザインターフェイスディスプレイである。

【図 1 4】図 1 3 - 1 4 は、本開示のもう一つの特徴に従って生成され、多変量監視及び故障検出のために図 9 - 1 2 のユーザインターフェイスディスプレイと同様の方法で生成され又は支援される更なる例示のユーザインターフェイスディスプレイである。

【 0 0 3 0 】

【図 1 5】図 1 5 - 1 9 は、更にもう一つの実施形態に従って生成され、多変量監視及び故障検出のために図 9 - 1 2 のユーザインターフェイスディスプレイと同様の方法で生成され又は支援される更なる例示のユーザインターフェイスディスプレイである。

【図 1 6】図 1 5 - 1 9 は、更にもう一つの実施形態に従って生成され、多変量監視及び故障検出のために図 9 - 1 2 のユーザインターフェイスディスプレイと同様の方法で生成され又は支援される更なる例示のユーザインターフェイスディスプレイである。

【図 1 7】図 1 5 - 1 9 は、更にもう一つの実施形態に従って生成され、多変量監視及び故障検出のために図 9 - 1 2 のユーザインターフェイスディスプレイと同様の方法で生成され又は支援される更なる例示のユーザインターフェイスディスプレイである。

【図 1 8】図 1 5 - 1 9 は、更にもう一つの実施形態に従って生成され、多変量監視及び故障検出のために図 9 - 1 2 のユーザインターフェイスディスプレイと同様の方法で生成され又は支援される更なる例示のユーザインターフェイスディスプレイである。

【図 1 9】図 1 5 - 1 9 は、更にもう一つの実施形態に従って生成され、多変量監視及び故障検出のために図 9 - 1 2 のユーザインターフェイスディスプレイと同様の方法で生成され又は支援される更なる例示のユーザインターフェイスディスプレイである。

【 0 0 3 1 】

【図 2 0】図 2 0 - 2 1 は、更にもう一つの実施形態に従って生成され、多変量監視及び故障検出のために図 9 - 1 2 のユーザインターフェイスディスプレイと同様の方法で生成され又は支援される更なる例示のユーザインターフェイスディスプレイである。

【図 2 1】図 2 0 - 2 1 は、更にもう一つの実施形態に従って生成され、多変量監視及び故障検出のために図 9 - 1 2 のユーザインターフェイスディスプレイと同様の方法で生成され又は支援される更なる例示のユーザインターフェイスディスプレイである。

【 0 0 3 2 】

【図 2 2】図 2 2 - 2 3 は、図 6 及び 7 の機能ブロックで使用される、本開示のもう一つの特徴に従う P C A ベースの定常状態検出システム及び技術のブロックダイアグラムである。

【図 2 3】図 2 2 - 2 3 は、図 6 及び 7 の機能ブロックで使用される、本開示のもう一つの特徴に従う P C A ベースの定常状態検出システム及び技術のブロックダイアグラムであ

10

20

30

40

50

る。

【0033】

【図24】図24は、加熱炉の図式ダイアグラムであり、本開示の技術及びMMDMツールが監視、診断及び故障検出のために適用される例示のプロセスである。

【0034】

【図25】図25は、主成分 t_1 及び t_2 に基づいて2次元空間にマッピングされたトレーニングデータスコアのグラフ表示であり、トレーニングデータは、図24の加熱炉に関連してPCAベースの監視、診断及び故障検出に使用されている。

【0035】

【図26】図26-27は、図24の加熱炉についてCAベースの監視、診断及び故障検出に関連してMMDMツールによって生成される例示のユーザインターフェイスディスプレイである。

10

【図27】図26-27は、図24の加熱炉についてCAベースの監視、診断及び故障検出に関連してMMDMツールによって生成される例示のユーザインターフェイスディスプレイである。

【0036】

【図28】図28は、本開示のもう一つの実施形態に従う動態的作用の検出及び決定のための多変量統計に関連するデータ妥当性検証に使用される原油流量データの図式プロットである。

【0037】

20

【図29】図29は、図28に表される流量に関連する実際の出力温度データを、動態的作用の検出又は決定のための多変量統計技術のPCRモデルによって予想される出力温度と比較した図式プロットである。

【0038】

【図30】図30-36は、動態的作用の検出又は決定のための多変量統計技術の実現に関連して生成される例示のユーザインターフェイスディスプレイである。

【図31】図30-36は、動態的作用の検出又は決定のための多変量統計技術の実現に関連して生成される例示のユーザインターフェイスディスプレイである。

【図32】図30-36は、動態的作用の検出又は決定のための多変量統計技術の実現に関連して生成される例示のユーザインターフェイスディスプレイである。

30

【図33】図30-36は、動態的作用の検出又は決定のための多変量統計技術の実現に関連して生成される例示のユーザインターフェイスディスプレイである。

【図34】図30-36は、動態的作用の検出又は決定のための多変量統計技術の実現に関連して生成される例示のユーザインターフェイスディスプレイである。

【図35】図30-36は、動態的作用の検出又は決定のための多変量統計技術の実現に関連して生成される例示のユーザインターフェイスディスプレイである。

【図36】図30-36は、動態的作用の検出又は決定のための多変量統計技術の実現に関連して生成される例示のユーザインターフェイスディスプレイである。

【0039】

【図37】図37は、一実施形態に従う動態的作用の検出又は決定のための多変量統計技術のフローダイアグラムである。

40

【0040】

【図38】図38-39は、例示の加熱炉についての実際の出力温度を、本開示のもう一つの特徴に従う多変量統計モデルによって予想されるデータと比較した図式プロットである。

【図39】図38-39は、例示の加熱炉についての実際の出力温度を、本開示のもう一つの特徴に従う多変量統計モデルによって予想されるデータと比較した図式プロットである。

【0041】

【図40】図40-41は、多変量統計モデルに基づくコークス化検出の一実施形態に従

50

う実際と予想との出力温度データを比較する図式プロットである。

【図 4 1】図 4 0 - 4 1 は、多変量統計モデルに基づくコークス化検出の一実施形態に従う実際と予想との出力温度データを比較する図式プロットである。

【0042】

【図 4 2】図 4 2 は、本開示のもう一つの特徴に従うコークス化についてのもう一つの非回帰ベースの技術を実証する加熱炉の出力温度についての P C A モデルパラメータの図式プロットである。

【0043】

【図 4 3】図 4 3 は、図 4 2 の図式プロットに表される非回帰ベースのコークス化検出技術の一実施形態のフローダイアグラムである。

【発明を実施するための形態】

【0044】

図 1 を参照すれば、異常得状態防止システムが実現されている例示のプロセスプラント 1 0 は、一つ又はそれ以上の通信ネットワークを介して指示装置に互いに接続された多くの制御および保守システムを含んでいる。特に、図 1 のプロセスプラント 1 0 は、一つ又はそれ以上のプロセス制御システム 1 2 および 1 4 を含んでいる。プロセス制御システム 1 2 は、P R O V O X 若しくは R S 3 システムのような従来のプロセス制御システム又は他のどのような制御システムでもあり得、コントローラ 1 2 B と入力 / 出力 (I / O) カード 1 2 C とに接続されたオペレータインターフェイス 1 2 A を含み、入力 / 出力カード 1 2 C は次にアナログおよび Highway Addressable Remote Transmitter (H A R T) フィールドデバイス 1 5 のような種々のフィールドデバイスに接続されている。プロセス制御システム 1 4 は、分散型プロセス制御システムであり得、イーサネット (R) のようなバスを解して一つ又はそれ以上の分散コントローラ 1 4 B に接続された一つ又はそれ以上のオペレータインターフェイス 1 4 A を含んでいる。分散コントローラ 1 4 B は、例えば、Emerson Process Management of Austin、テキサス、によって販売されている D e l t a V (登録商標) コントローラ又は他の所望のタイプのコントローラであり得る。分散コントローラ 1 4 B は、I / O デバイスを介して、一つ又はそれ以上の、例えば H A R T 又は F i e l d b u s フィールドデバイス又は他のスマート若しくは非スマートタイプのフィールドデバイスのようなフィールドデバイス 1 6 に接続され、これには、例えば、P R O F I B U S 、 W O R L D F I P 、 D e v i c e - N e t 、 A S - I n t e r f a c e a n d C A N p r o t o c o l s の何れかを使用するものが含まれる。既知であるが、フィールドデバイス 1 6 は、アナログ又はデジタル情報を他のデバイス情報と同様にプロセス変数に関連するコントローラ 1 4 B に提供する。オペレータインターフェイス 1 4 A は、例えば制御最適化、診断エキスパート、ニューラルネットワーク、チューナー等を含む、プロセスの制御のためにプロセス制御オペレータにとって利用可能なツール 1 7 , 1 9 を格納し及び実行する。

【0045】

また更に、A M S T M アプリケーション及び / 又は以下に記述される監視、診断及び通信アプリケーションを実行するコンピュータのような保守ツールは、保守、監視及び診断アクティビティを実行するために、プロセス制御システム 1 2 および 1 4 に、又はその中の個々のデバイスに接続され得る。例えば、保守コンピュータ 1 8 は、コントローラ 1 2 B 及び / 又はデバイス 1 5 に所望の通信ライン又はネットワーク (ワイヤレス、ハンドヘルドデバイスネットワークを含む) を介して接続され得、デバイス 1 5 上の他の保守アクティビティと通信し、いくつかの例では、再構築し又はそれを実行する。同様に、A M S (登録商標) アプリケーションのような保守アプリケーションは、分散型のプロセス制御システム 1 4 に関連する一つ又はそれ以上のユーザインターフェイス 1 4 A にインストールされ、それによって実行されて、デバイス 1 6 の運転状態に関するデータ収集を含む保守及び監視機能を果たす。

【0046】

また、プロセスプラント 1 0 は、タービン、モーター等の種々の回転 (及び他の) 装置

10

20

30

40

50

を有し、これらは、保守コンピュータ 22 に常設又は一時的な通信リンク（読み取り次に取り外される装置 20 に接続されたバス、ワイヤレス通信システム又はハンドヘルドデバイス）を介して接続されている。以下のアプリケーション、モジュール及びツールと同様に、回転装置 20 及びプラント内の他の装置の動作状態を診断し、監視し及び最適化するために、保守コンピュータ 22 は、C S I（Emerson Process Management Company）によって提供されているような商業的に入手可能なアプリケーションを含む多くの監視及び診断アプリケーションを格納し実行し得る。保守要員は、プラント 10 内の回転装置 20 の保守及び性能を監視し、回転装置 20 に関する問題を決定し、及び回転装置 20 を修理し又は取り替えるかどうか及びその時期を決定するために、アプリケーション 23 を通常使用する。いくつかのケースでは、外部コンサルタント又はサービス組織が、装置 20 に関連するデータを一時的に入手し又は測定し得、回転装置 20 の分析を行って、このデータを、問題、低い性能又は回転装置 20 に影響を与える他の問題を検出するのに使用する。これらのケースでは、分析を行っているコンピュータは、通信ラインを介してシステム 10 の他の部分に接続されているとは限らず、一時的にのみ接続されているかも知れない。

10

20

30

40

50

【0047】

同様に、システム 10 に関連する電力発生分配装置 25 を有する電力発生分配システム 24 は、例えばバスを介して実行されシステム 10 内の電力発生分配装置 25 の動作を監視するもう一つのコンピュータ 26 に接続されている。コンピュータ 26 は、例えば Liebert and ASCO 又は他の会社によって提供されているような公知の電力制御及び診断アプリケーション 27 を、電力発生分配装置 25 を制御し及び保守するために実行し得る。ここでも、多くのケースでは、外部コンサルタント又はサービス組織が、電力発生分配装置 25 に関連するデータを一時的に入手し又は測定し得、装置 25 の分析を行って、このデータを、問題、低い性能又は装置 25 に影響を与える他の問題を検出するのに使用する。これらのケースでは、分析を行っている（コンピュータ 26 のような）コンピュータは通信ラインを介してシステム 10 の他の部分には接続されているとは限らず、一時的にのみ接続されているかも知れない。

【0048】

図 1 に図示したように、コンピュータシステム 30 は、異常状態防止システム 35 の少なくとも一部を実現し、特に、コンピュータシステム 30 は構成アプリケーション 38 及び任意には異常動作検出システム 42 を格納し実現し、その多くの実施形態が以下でより詳細に説明されるであろう。加えて、コンピュータシステム 30 は、警報 / 警告システム 43 を実現し得る。

【0049】

一般的に言えば、異常状態防止システム 35 は、異常動作検出システム、フィールドデバイス 15、16 に任意に配置されているモジュール又はツール（図 1 には示されていない）、コントローラ 12B、14B、回転装置 20 又はその支援コンピュータ 22、電力発生装置 25 又はその支援コンピュータ 26、及びプロセスプラント 10 内の他の所望のデバイス及び装置、並びに / 又はコンピュータシステム 30 内の異常動作検出システム 42 と通信し得、これらの異常動作検出システムのそれぞれを構成し、デバイス又はそれらが監視を行っているサブシステムの動作に関する情報を受け取る。異常状態防止システム 35 は、有線接続バス 45 を介してプラント 10 内の少なくともいくつかのコンピュータ又はデバイスに接続され、あるいは、例えばワイヤレス接続、OPC（プロセス制御のためのOLE）を使用する専用接続、データを集めるためのハンドヘルドデバイスに依存するような間欠的な接続などを含む他の所望の通信接続を介して接続され得る。同様に、異常状態防止システム 35 は、プロセスプラント 10 内のフィールドデバイス及び装置に関するデータをLAN又はインターネット、電話接続など（図 1 ではインターネット接続 46 として示されている）の公衆接続を介して取得し得、このようなデータは、例えば第三者のサービスプロバイダによって収集される。更に、異常状態防止システム 35 は、プラント 10 内のコンピュータ / デバイスに、例えばイーサネット（R）、Modbus, HTML, XML, 専有技術等の種々の技術及び / 又はプロトコルを介して通信可能に接

続される。従って、OPCを使用する異常状態防止システム35をプラント10内のコンピュータ/デバイスに接続する特定の例がここに記載されているけれども、当業者は異常状態防止システム35をプラント10内のコンピュータ/デバイスに接続する種々の他の方法を同様に使用し得ることを認識するであろう。何れの場合にも、異常状態防止システム35は、コンピュータ、デバイス又は他のプラント10の他の特徴と通信し及びこれらからプロセス変数データを受け取り、これらには、プロセス制御システム(例えば、Delta V(登録商標)、Ovation又は他の分散制御システムシステム)、デバイス、種々の標準プロトコル(例えば、FOUNDATION(登録商標) Fieldbus, HART, OPC, Modbus, ワイヤレス)に従うコンピュータ、及び種々のトランスミッタ、センサ、デバイスと共に実装され又はプロセスプラント10内に分散しているアクチュエータなどが含まれるが、これらに限定されるものではない。更に以下に論ずるように、異常状態防止システム35によって受信され使用されたデータは、データヒストリアンからのデータのような履歴データであるが、オンラインデータ(例えば、プロセスがオンラインのときに収集されるデータ)であり、これは、必ずしもこれに限定されないが、リアルタイムで収集されたデータと同様に、プロセスが動作しているときにオンライン、アットライン又はインラインで収集されたデータを含んでいる。

10

【0050】

バックグラウンドとして、OPCは、プラント又はプロセス制御システムからプロセスデータにアクセスするメカニズムを確立する標準である。典型的には、OPCサーバは、例えばフィールドデバイスからのプロセス情報を顕在化させ又は提供するプロセス制御システムにおいて実現される。OPCクライアントは、OPCサーバへの接続を生成し、フィールドデバイスへのプロセス情報の書き込み又はフィールドデバイスからのプロセス情報の読み出しを生成する。OPCサーバは、OLE技術(即ち、コンポーネントオブジェクトモデル又はCOM)を使用して、クライアントによって実装されたソフトウェアアプリケーションがフィールドデバイス又は他のプラント装置からデータにアクセスし得るように、このようなクライアントと通信を行う。

20

【0051】

図2は、図1の例示のプロセスプラント10の部分50を表し、異常状態防止システム35及び/又は警報/警告システム43が例示のプロセスプラント10の部分50における種々デバイスと通信し得る一つの方法を記述している。一方、図2は、異常状態防止システム35と、HARTおよびFieldbusフィールドデバイス内の一つ又はそれ以上の異常動作検出システムとの間の接続を例示し、同様の通信が、異常状態防止システム35と、図1に示されている他のデバイスおよび装置の何れかを含むプロセスプラント10内の他のデバイス若しくは装置との間に出現し得ることが理解されるであろう。

30

【0052】

図2に図示されているプロセスプラント10の部分50は、所望のどのような通信若しくはコントローラプロトコルにも適合する所望のどのようなタイプのI/Oデバイスであってもよい一つ又はそれ以上のフィールドデバイス64および66に入力/出力(I/O)カード又はデバイス68および70を介して接続される一つ又はそれ以上のプロセスコントローラ60を有する分散型のプロセス制御システム54を含んでいる。プロセス制御システム54およびフィールドデバイス66は、所望の他のどのような通信プロトコルも使用することができるが、HARTフィールドデバイスとして図示され、フィールドデバイス66はFieldbusフィールドデバイスとして図示されている。加えて、フィールドデバイス64および66のそれぞれは、例えば、センサ、バルブ、トランスミッタ、ポジショナ等のようなタイプであってもよく、所望のどのような解放された、占有された、又は他の通信若しくはプログラミングプロトコルであってもよく、I/Oデバイス66および70は、フィールドデバイス64および66によって使用されている所望のプロトコルと互換性を有していなければならないことが理解される。

40

【0053】

何れにしても、構成エンジニア、プロセス制御オペレータ、保守要員、プラントマネー

50

ジャー、スーパーバイザなどのプラントの人間によってアクセス可能な一つ又はそれ以上のユーザインターフェイス又はコンピュータ 7 2 および 7 4 (これは、どのようなタイプのパーソナルコンピュータ、ワークステーションなどであり得る)が、所望のどのようなハードウェア又はワイヤレス通信構造を使用しても、および例えばイーサネット(R)プロトコルのような所望のどのような若しくは適切な通信プロトコルを使用しても、通信ライン又はバス 7 6 を介して、プロセスコントローラ 6 0 に接続され得る。加えて、データベース 7 8 が通信バス 7 6 に接続されて、オンラインプロセス変数データ、パラメータデータ、状態データおよびプロセスプラント 1 0 内のプロセスコントローラ 6 0 およびフィールドデバイス 6 4 および 6 6 に関連する他のデータと同様に、構成情報を収集しおよび格納するデータヒストリアンとして動作する。このように、データベース 7 8 は、プロセスコントローラ 6 0 およびフィールドデバイス 6 4 および 6 6 内にダウンロードされ格納されたときに、プロセス制御システム 5 4 に対する制御構成情報と同様にプロセス構成モジュールを含む現在の構成を格納する構成データベースとして動作する。同様に、データベース 7 8 は、プロセスプラント 1 0 内のフィールドデバイス 6 4 および 6 6 によって収集された統計データ、フィールドデバイス 6 4 および 6 6 によって収集されたプロセス変数から決定された統計データ、および以下に記述する他のタイプのデータを含む、履歴異常状態防止データを格納する。

【0054】

プロセスコントローラ 6 0、I/O デバイス 6 8 および 7 0、並びにフィールドデバイス 6 4 および 6 6 は、典型的には、過酷なプラント環境内におよびこれに分散して配置されるが、ワークステーション 7 2 および 7 4 は、通常、オペレータ、保守要員等が容易にアクセスし得る制御室、保守室又は他のあまり過酷でない環境に位置している。

【0055】

一般的に言えば、プロセスコントローラ 6 0 は、多くの異なる独立して実行される制御モジュール又はブロックを使用して、制御戦略を実現する一つ又はそれ以上のコントローラアプリケーションを格納しおよび実行する。制御モジュールのそれぞれは、一般に機能ブロックと称されるものによって構成され、各機能ブロックは、全体に亘る制御ルーチンの一部又はサブルーチンであり、他の機能ブロックと(リンクと称される通信を介して)結合して動作してプロセスプラント 1 0 内のプロセス制御ループを実現する。よく知られているように、オブジェクト指向プログラミングプロトコルにおけるオブジェクトである機能ブロックは、トランスミッタ、センサ又は他のプロセスパラメータ測定デバイスに関連する入力機能、PID、ファジー論理などを実行する制御ルーチンに関連する制御機能、バルブのようないくつかのデバイスの動作を制御してプロセスプラント 1 0 内のいくつかの物理的機能を実行する制御若しくは出力機能のうちの一つを典型的に実行する。もちろん、モデル予測制御(MPCs)、最適化などのハイブリッドおよび他のタイプの複雑な機能ブロックも存在する。Fieldbus プロトコルおよび Delta V (登録商標) システムプロトコルは、オブジェクト指向プログラミングプロトコルにおいて設計され実現された制御モジュールおよび機能ブロックを使用するが、制御モジュールは、例えば、連続機能ブロック、ラダーロジックなどを含む所望の制御プログラミングスキームを使用して設計され得、機能ブロック又は他の何れか特定のプログラミング技術を使用して設計されるように限定されることはないことを理解すべきである。

【0056】

図 2 に示すように、保守ワークステーション 7 4 は、プロセッサ 7 4 A、メモリ 7 4 B およびディスプレイデバイス 7 4 C を有している。メモリ 7 4 B は、図 1 に関連して説明した異常状態防止アプリケーション 3 5 および警報/警告システム 4 3 を格納して、これらのアプリケーションがプロセッサ 7 4 A 上で実行され得てディスプレイデバイス 7 4 C (又はプリンタのような他の何れかの表示デバイス)を介して情報がユーザに提供されるようにする。

【0057】

一つ又はそれ以上のフィールドデバイス 6 4 および 6 6 のそれぞれは、以下に述べるよ

うに、異常動作検出のための検知デバイス又はルーチンによって送られる一つ又はそれ以上のプロセス変数に関連する統計的データの集合を実装するためのルーチンのような格納ルーチンのためのメモリ（図示せず）を含んでいる。また、一つ又はそれ以上のフィールドデバイス 64 および 66 のそれぞれは、統計的データの集合を実装するためのルーチン及び / 又は異常動作検出のためのルーチンのようなルーチンを実行するプロセッサ（図示せず）を有している。統計的データの集合及び / 又は異常動作検出は、必ずしもソフトウェアによって実現され得るとは限らない。むしろ、当業者は、このようなシステムは、一つ又はそれ以上のフィールドデバイス及び / 又は他のデバイス内のソフトウェア、ファームウェア及び / 又はハードウェアによって実現され得ると認識するであろう。

【0058】

図 2 に示すように、フィールドデバイス 64 および 66 のいくつか（潜在的には全て）は、異常動作検出（即ち、異常状態防止）ブロック 80 および 82 を有し、これは以下により詳細に記述されるであろう。図 2 のブロック 80 および 82 は、デバイス 64 の一つおよびデバイス 66 の一つに位置しているものとして示されているが、これら又は同様のブロックは、フィールドデバイス 64 および 66 のいくつかにおいて配置され得、コントローラ 60、I/O デバイス 68, 70 又は図 1 に示されているデバイスの何れかのような他のデバイスに配置され得る。加えて、ブロック 80 および 82 は、デバイス 64 および 66 の何れかのサブセットであり得る。

【0059】

一般的に言って、ブロック 80 および 82 又はこれらのブロックのサブエレメントは、プロセス変数データのようなデータを、それらが配されているデバイス及び / 又は他のデバイスから集める。加えて、ブロック 80 および 82 又はこれらのブロックのサブエレメントは、変数データを処理し得、いくつかの理由のためにそのデータの分析を行う。例えば、バルブに関連しているとして示されているブロック 80 は、バルブが固着状態にあるかどうかを決定するためにバルブプロセス変数データを分析する固着バルブ検出ルーチンを有し得る。加えて、ブロック 80 は、バルブ内のプロセス変数又は他のデータを集めるブロック SPM1 - SPM4 などの一つ又はそれ以上の統計的プロセス監視（SPM）ブロック又はユニットのセットを含み得、例えば、収集されたデータの平均、メジアン、標準偏差、二乗平均平方根（RMS）、変化率、範囲、最小値、最大値などを決定するために、及び / 又は収集されたデータにおけるドリフト、バイアス、ノイズ、スパイク（急上昇）などを検出するために、集められたデータ上で一つ又はそれ以上の統計的計算を実行する。生成される特定の統計データも、それが生成される方法も、重要ではない。従って、異なるタイプの統計データが、上記の特定のタイプに加えて又はその代わりに生成され得る。加えて、公知の技術を含む種々の技術がこのようなデータを生成するために使用され得る。統計的プロセス監視（SPM）ブロックという用語は、少なくとも一つのプロセス変数又は他のプロセスパラメータ上の統計的プロセス監視を実行し、そしてデバイス又はそのためにデータが収集される外部のデバイス内の所望のソフトウェア、ファームウェア又はハードウェアによって実行され得る機能性を表すために、ここでは使用される。SPM は一般的にデバイスデータが収集されるデバイスに配置されるので、SPM はより正確なプロセス変数データを量的および定性的に取得することができることを理解すべきである。結果として、SPM ブロックは、一般的に、プロセス変数データが収集されるデバイスの外部に位置するブロックより収集されたプロセス変数データに関してより良い統計的計算を行うことができる。

【0060】

図 2 ではブロック 80 および 82 は SPM を含むように示されているけれども、SPM ブロックは、その代わりにブロック 80 および 82 から分離した独立型のブロックであり得、対応するブロック 80 および 82 と同じデバイスに又は異なるデバイスに配置され得ることを理解すべきである。ここで論じた SPM ブロックは、公知の FOUNDATION（登録商標）Fieldbus の SPM ブロック、又は公知の FOUNDATION（登録商標）Fieldbus の SPM ブロックと比較して異なる若しくは追加の能力を有

10

20

30

40

50

するSPMブロックを含み得る。統計的プロセス監視（SPM）ブロックという用語は、プロセス変数のようなデータを収集し、そして平均、標準偏差などの統計的な測度を決定するためにこのデータ上でいくつかの統計的処理を実行するどのようなタイプのブロック又は要素にも言及するようにここでは使用される。結果として、この用語は、これらの要素が機能ブロックであろうとが他のタイプのブロック、プログラム、ルーチン若しくは要素であろうが、FOUNDATION（登録商標）Fieldbusプロトコル若しくはProfibus、HART、CAN等のプロトコルに準拠するか否かに関係なく、この機能を果たすソフトウェア、ファームウェア又はハードウェア及び/又は他の要素をカバーすることを意図している。所望なら、ブロック80および82の基本的な動作は、参照によってここに取り入れられる米国特許第6017143号に記載されているように少なくとも部分的に実行され又は実現され得る。

【0061】

ブロック80および82は、図2ではSPMブロックを含むように示されているけれども、SPMブロックはブロック80および82に必須ではないことを理解すべきである。例えば、ブロック80および82の異常動作検出ルーチンはSPMブロックによって処理されていないプロセス変数を使用して動作することができる。もう一つの例として、ブロック80および82のそれぞれは、他のデバイスに位置する一つ又はそれ以上のSPMブロックによって提供されるデータを受け取り、それに基づいて動作することができる。さらにもう一つの例として、プロセス変数データは、多くの典型的なSPMブロックによって提供されていない方法で処理され得る。丁度その一つの例として、プロセス変数データは、バンドパスフィルタやいくつかの他のタイプのフィルタのような有限インパルス応答（FIR）又は無限インパルス応答（IIR）によってフィルタされ得る。もう一つの例として、プロセス変数データは、それが特定の範囲に止まるように切り揃えられることができる。もちろん、公知のSPMブロックは、このような異なる又は追加の処理の可能性を提供する量に改変されることができる。

【0062】

トランスミッタに関連しているとして示されている図2のブロック82は、トランスミッタによって収集されたプロセス変数データを分析してプラント内のラインが詰まっているか否かを決定する詰まりライン検出ユニットを有し得る。加えて、ブロック82は、トランスミッタ内のプロセス変数又は他のデータを収集し、例えば収集されたデータの平均、メジアン、標準偏差などを決定するために一つ又はそれ以上の統計的計算をその収集されたデータについて行うブロックSPM1 - SPM4のような一つ又はそれ以上のSPMブロック又はユニットを含み得る。ブロック80および82は、それぞれ4つのSPMブロックを含むように示されているが、ブロック80および82は統計的データを収集しおよび決定するための他の数のSPMブロックをその中に有し得る。

【0063】

異常状態防止システムの実装および構成とその構成要素に関する詳細は、米国特許公開公報第2005/0197803号、現在は米国特許第7079984号（「プロセスプラントにおける異常状態防止」）、米国特許公開公報第2005/0197806号（「プロセスプラントにおける異常状態防止のための構成システムおよび方法」）および米国特許公開公報第2005/0197805号（「プロセスプラントにおける異常状態防止のためのデータ表示システム」）に見られ、これらのそれぞれは、全ての目的のために参照によってここに取り入れられる。

【0064】

上記および参照文献に記載されている異常状態防止システムおよび技術においては、SPM（又は異常状態防止）ブロック80、82は、一つ又はそれ以上の異常状態防止モジュールに関連し又はその構成要素と考え得る。異常状態防止ブロックは、フィールドデバイス内にあり、そこではより早いサンプルデータが利用可能であり、異常状態防止モジュールはホストシステム又はコントローラ内に存在し得る。異常状態防止モジュールは、一つ又はそれ以上の異常状態防止ブロックからデータを取得し、このデータをより大きなシ

システムについての決定を行うのに使用される。より一般的には、異常状態防止モジュールは、フィールドデバイス、設備又は他の装置（例えばバルブ、ポンプなど）のタイプそれぞれについての診断をサポートするために、一つ又はそれ以上の機能ブロック（例えば異常状態防止ブロック）からデータを受け取るように改良されおよび構成され得る。とはいえ、異常状態防止モジュールに関連する機能ブロックは、そのために改良される特定の装置以外のデバイスに備えられ実装され得る。このような場合、異常状態防止モジュールは、分散特性を有している。他の異常状態防止モジュールは、特定のフィールドデバイスの診断専用であるにも拘わらず、プロセスコントローラ60のような一つのデバイス内に全体が実装され得る。何れにしても、診断ルーチン又は技術は、装置（又はプロセス）の異常状態又は動作の検出、予測および防止のために各タイプの装置に対して開発され得る。記述を容易にする目的のみのために、「異常状態防止モジュール」という用語は、ここではこのようなルーチン又は技術に言及して使用されるであろう。従って、異常状態防止モジュールは、診断を行うのに必要な測定の設定に応答し、さらに、(i)そのモジュールによって検出されるべき異常状態の設定、および(ii)規則の設定、を含み、測定値における変化を対応する異常状態に結びつける。更に、以下に開示されている技術の記述における異常状態防止モジュールへの参照は、その技術が同様に異常状態防止ブロックと関連して利用され得ることの理解とともに説明される。

【0065】

いくつかの場合には、構成アプリケーション38又は異常状態防止システム35の他の構成要素は、各異常状態防止モジュールについてのテンプレートの改良又は生成をサポートし得る。例えば、Delta V（登録商標）制御システムによって提供される構成および開発プラットフォームは、対応する混合テンプレートブロックからの異常状態防止モジュールの特定のインスタンス、又はインスタンス化を生成するのに使用され得る。

【0066】

異常状態防止機能として図2に関連して示しおよび記述したけれども、上記モジュールおよびブロックは、以下に記述するプロセス監視、診断および故障検出のために構成された多変量統計解析技術の実装をより一般的に指向している。いくつかの場合には、以下の技術は、異常状態防止モジュール又はブロックを含み又はこれらに統合され得る。何れの場合にも、システムおよび技術（および何れのモジュール、機能ブロック、アプリケーション、ソフトウェア又は他の構成要素若しくはその特徴）への以下の参照は、上述のワークステーションツール17、19、オペレータインターフェイス12A、14A、アプリケーション23、異常状態防止システム25およびインターフェイス72、74で使用され、含まれ、統合されさもなければ関連づけられ得る。

【0067】

ここに記述する監視及び診断技術は、既に発生し又は発生しつつある異常状態又は異常条件としても言及される異常動作を検出するために使用され得る。加えて、監視及び診断技術は、例えば異常状態防止システム35に関連する動作によりプロセス又はプロセスプラント内で重大なロスが発生する前に予想される異常動作を回避するステップを採る目的で、異常動作の発生をこれらの異常動作が実際に発生する前に検出するのに使用される。

【0068】

図3に移行して、ここに記述されている多くの多変量監視及び診断技術が、視覚化および多変量および単変量の診断ツールの特徴とともに構築され組み込まれている。例えば、プロセス変数(PV)がその対応するプロセス要求とともに、図3におけるしばしばシューハートチャートとして言及されるチャートに示されている。各プロセス変数は、上部制御境界(UC L)100、下部制御境界(LC L)102、および目標値104をプロットしたシューハートチャートの観点から記述されている。UC L100およびLC L102は真の物理的境界であり、統計的な境界ではない。動作中、各プロセス変数はそのUC LおよびLC Lの間に束縛され、プロセス変数が目標値である理想的な値であることが好ましい。これらの境界内では、プロセス変数は制御されていると言え、そうでない場合は制御不能と言われる。上記のように、UC LおよびLC Lは物理的境界を表し、プロセス

動作の要件によって提供され得る。この視覚化の方法は、プロセス変数データの多面的見解に基づいているけれども、プロセス変数のこの記述は、以下に記述するプロセス変数の正規化に基づくさらなる視覚化技術との結合において有用であり得る。

【0069】

しかしながら、PCAの基本のアルゴリズムの要約は、以下にさらに記述される種々の特徴への参照に提供される。PCAはここでは、この開示の種々の特徴とともに使用される多変量統計解析として開示されているけれども、主成分回帰(PCR)、部分最小二乗法(PLS)、Fisher判別分析(FDA)および正準変量分析(CVA)等を含みしかしこれらに限定されない他の多変量統計解析が、PCAに代えて使用され得ることが理解されるべきである。

10

【0070】

与えられたプロセス、プロセスユニット、プロセスデバイスなどに対して、多くの測定されたプロセス変数が存在する。これらのそれぞれは、PCAアルゴリズムへの入力変数として使用することができる。プロセス変数のそれぞれからのデータは、ある時間の長さについて、あるいはある数のポイントについて収集され、ここではプロセス変数の観測結果として言及される。一般的には、PCAにおいて使用されるプロセス変数の全ては、同時にサンプリングされる。

【0071】

もし、 m が入力変数の数であり、 n が各入力変数の観測結果の数であるなら、行列 X は、全ての入力変数に対する観測値の全てを含む $n \times m$ の行列である。典型的なプロセスにおいては、いくつかの変数が他より著しく大きな重要性を有している。全てのプロセス変数はPCAモデル上で等しい影響を有していることを保証するために、 X データは自動スケール化(各入力変数に対して、平均を差し引き、そして標準偏差で除算する)され得る。入力変数が自動スケール化された後、標本共分散行列が、 $S = X^T \cdot X / (n - 1)$ によって計算され、ここで T は行列 X の転置演算である。

20

【0072】

固有値 - 固有ベクトル分解が標本共分散行列： $S = V \cdot D \cdot V^T$ の上で行われ、ここで D は、 m 個の固有値を含む対角行列であり、最大から最小まで分類されている。 V の列は固有ベクトルに対応し、 T は行列 V の転置演算である。最大の固有値およびそれに対応する固有ベクトルは、オリジナルのプロセスデータにおける変動の最大量を含むオリジナルの入力空間における方向に相当している。これは第1の主成分であると考えられる。2番目に大きい固有値およびそれに対応する固有ベクトルは、変動の次の最大値を含み、第1の主成分に直交する方向に相当している。このことが、全てのオリジナルのデータを表す新たな直交ベクトル空間が生成されるまで続けられる。

30

【0073】

固有値および固有ベクトルが計算された後、PCAは、固有値および固有ベクトルの何れの一つが、通常プロセス内での重要な変動に対応する重要な主成分であるか、何れが通常はノイズに相当する重要でないものであるかを決定する。Kaiserの規則(即ち、1より大きい固有値を有する主成分を選択する)、パーセント分散テスト(即ち、データ中の全変動の所定のパーセント(例えば80%又は90%)を説明する主成分の数を選択する)、平行分析、相互検証などを含む、重要な主成分の数を選択するための多くの異なる方法が提案されている。

40

【0074】

何れの方法が使用されるにせよ、最終的な結果は、重要な主成分の数、 a 、を決定し、これはPCAモデルに対して保持されるであろう。次に、負荷行列 $P \in R^{m \times a}$ が、 V から最初の a 列をとることにより生成される。オリジナルの観測値の負荷行列によって定義される部分空間への射影はスコア行列と呼ばれ、 $T = X \cdot P$ によって表記される。 T の列はPCAモデルのスコアと呼ばれ、 t_1, t_2, \dots, t_a として言及される。負荷行列 P は、自動スケール化で使用される平均および標準偏差に沿って、まとめてPCAモデルであると考えられている。このPCAモデルは、次に、今後のデータセットに適用される。

50

【 0 0 7 5 】

P C Aモデルが生成された後、統計に基づいた境界が、オリジナルのプロセスデータに基づいて、オリジナルのデータによって定義されるプロセスの正常な動作を定義するために生成される。使用される一つの方法は、H o t e l l i n gの T^2 テストであるが、統計に基づいた境界を誘導するための他の方法も使用し得ることが理解されるべきである。スコアが境界を超えたとき、何かがプロセス内で異常であることを示し得る。また、変動の量を制限する2 - および3 - の境界も、代わりに適用可能である。

【 0 0 7 6 】

P C Aモデルからのスコアデータに基づいて、いくつかのプロットを行うことができる。最も単純なプロットは、スコア対時間のプロットである。このプロットでは、上限および下限の境界が統計に基づいて生成され、何れかの境界が超えられたときに、アラームが誘起される。第2の共通のプロットは、スコアの2つのプロットである。最もしばしば最初の2つのスコア t_1 、 t_2 がプロットされ、その理由は、これらはプロセスにおける変動の最大量を記述するからである。多くの例示の2 - スコア散布図が以下に記述されるユーザーインターフェイスに示されている。これらおよび他の場合において、この統計に基づいた境界は、正常なプロセスデータの周囲の円又は楕円を含み又は伴っている。再び、これらの境界が超えられると、アラームが誘起される。

【 0 0 7 7 】

図4および図5に移行して、一般的に多変量実時間プロセスデータのオンライン監視及び分析のサポートを指向する開示の特徴に従って、プロセス視覚化技術は、上記シュートチャートに関連する制御境界のような、プロセス変数データの多次元（又は多変量）のセット内の境界の制御に使用されている。多変量データセットにもかかわらず、境界は以下に記述するような変換を使用して、単変量の形式で表現され得る。一般的に言えば、この変換は、多変量データの監視のための単変量技術に基づいている。この技術を使用すれば、プロセス変数のいかなる数のプロセスデータおよび制御境界も、単一の射影パラメータを使用することにより、正規化されて同じ基準をもたらすことができる。

【 0 0 7 8 】

これに対して、オフラインアプリケーションに対する異なる統計的ツールが存在し、それらのいくつかはオンライン監視に使用することができる。例えば、上記のように、主成分分析（P C A）は多変量データ空間の次元を数次元（しばしば2 - 3次元）に減少させるのにしばしば使用される技術である。しかしながら、P C Aを実装するために、P C Aモデルは訓練データ又は「正常な」プロセス動作からのデータを使用して改良され、次に、そのモデルはプロセスのさらなる監視に適用される。上記で論じたように、誘導されたモデルは主成分に関するものであり、これは本質的に訓練データによって決定された共分散行列の支配的な固有ベクトルである。そのようなP C Aの結果も、スコアとして言及され、真のプロセス変数に直接関連づけられておらず、そのため、監視されている変数の物理的プロセス境界は解析において失われている。この理由により、P C Aツールを使用するときは、いくつかの統計的解釈が、「データの良好性」を定量化するためにしばしば使用される（即ち、95%又は99%の信頼区間がH o t e l l i n gの T^2 統計を使用し

【 0 0 7 9 】

単変量解析を使用して、決定論的な方法が、多変量プロセスデータの監視のために、単一監視変数とともに提案されている。この方法は、オフラインおよびオンラインデータ監視および分析アプリケーションの両方に容易に適用され得る。この方法およびモデルの展開は、以下に記述される。

【 0 0 8 0 】

はじめに、 X_1 、 X_2 . . . X_n はプロセス変数を表しているとする。各変数 X_i 、 $i = 1$ 、. . .、 n は、時間に依存するデータ $x_{i,j}$ を含むベクトルであり、 j は X_i の j 番目のサンプル又は成分である。例えば、 $X_i = [x_{i,1}, x_{i,2}, \dots, x_{i,m}]^T$ で、 T は X_i 上の転置演算を表し、 m は、データサンプリング速度およびデータ収集のトータル時間に

10

20

30

40

50

よって決定されるベクトルの次元である。このような用語により、各プロセス変数は変換、 $p_i = [(y - \mu_i)^2 + k_i x_{i,j}^2]$ に従って記述され、 $i = 1, \dots, n$ であり、 $j = 1, \dots, m$ であり、 y は多変量プロセス変数を束ねるように指定された変数であり、 μ_i は X_i に割り当てられた一意的な位置であり、 k_i はスケーリングパラメータであり、 $x_{i,j}$ は X_i の j 番目の成分である。変換 p_i は各変数 X_i 、 $i = 1, \dots, n$ に対して一意的に定義され得るので、多変量変換は、 $P(y) = p_1(y) * p_2(y) \dots * p_n(y)$ のように定義され得る。

【0081】

次の P が、射影モデル $M_v(y) = K_p / P(y)$ を誘導するのに使用され、ここで、 K_p はスケーリングファクターであり、 $M_v(y)$ は多変量射影を指定する。これらの帰属を使用して、多変量データが単一の変数 y によって射影される。

10

【0082】

図4および図5は、各変数に対するそれぞれの物理的動作境界に関連する単一プロット上の多重プロセス変数（PV1、PV2等）の視覚化の結果を示している。図4は、各プロセス変数が動作境界内に留まっているデータポイントに対するプロット106を表している。図5は、プロセス変数の一つがその制御境界を超えた場合のもう一つのデータポイントに対するプロット108を表している。

【0083】

この方法（制御境界が超えられたことを視覚化がどのようにして表示するかを含めて）をさらに示すために、6つのプロセス変数 X_1, X_2, X_3, X_4, X_5 および X_6 を使用して例が提供されている。正常な動作条件の下では、これらの変数のそれぞれは、 $|X_{iL}|$ （データポイントは中心に置かれていると想定する）によって定義された動作境界を有している。この情報の下に、各変換 p_i は、係数 k_i と同じレベルに調整され、図4および図5の視覚化が得られる。これは、多変量監視の設定のグループを効率的に定義する。以上のように、6つのプロセス変数のそれぞれは、変数 y （水平軸）に関連して、 μ_i の $-10, -5, 0, 5, 10, 15$ によって与えられる一意的な位置を有している。更に、全てのプロセス変数は、 k_i によって調整されて、 X_{iL} によって与えられる最大動作範囲に対する等しい最大応答又は境界を達成する。

20

【0084】

さて、もし監視ステージの間に6つのピークの何れかがプロセス変数インディケータを貫いたら、特定の変数が範囲イベントから外れることに遭遇するであろう。これは図5に示してある。これから分かるように、プロセス変数#2が許容範囲の境界に近く、プロセス変数#4は明らかに境界を超えている。それでもなお、図5に示す状態は、6つのプロセス変数に対して正常な動作を明確に示している。

30

【0085】

監視ステージの間、図4および図5のイベントは孤立していない又は単独ではないイベントである。それらは実際には、連続して変化する変数の視覚の断片又はフレームである。このことは、新たなプロセスデータがモデルに（与えられたサンプリング速度で）入力されるに伴って、応答は即座に変化する。従って、監視イメージは、0.1~1秒又はそれより長いサンプリング速度に従ってリフレッシュされる。

40

【0086】

この監視アプローチでは、全てのプロセス変数に対する境界が知られており、開示されている方法は訓練データを必要としない。例えば、多変量監視を生成するために、ある人は上記設計手法を適用し、そして単変量モデルが完成し、これは他のアプローチでは不可能である。他の場合には、もしプロセス変数の境界の全てが分かっているわけではないなら、予め決められた境界のないプロセス変数の訓練データが、正常なプロセス動作状態の下でプロセス変数の境界を決定するために使用され得、そのモデルが次に計算され得る。境界が既知又は未知の何れかの場合において、プロセス変数のそれぞれは、共通のプロセス変数の境界を決めるために、単変量の解析を使用して正規化され得（例えば、図4参照）、そして、プロセス変数のそれぞれが共通のプロセス変数の境界に対して監視され得る

50

。正規化のさらなる例は、既知および未知の両方のプロセス変数の境界を使用して、以下にさらに論ずるように、単変量解析法により実装され得る。

【0087】

開示されている単変量解析法は、プロセス変数の特定のセット又はタイプに限定されるものではない。それは、プロセス変数のどのような混合（例えば、プロセス入力、プロセス出力、および外部変数）にも適用することができる。加えて、単変量法は、プロセスデータのパターンを生成しおよび解析するユニークな方法を提供する。これらのパターンは、さらに異常状態防止アプリケーションを含むプロセス診断に使用され得る。例えば、ほとんどの時間、2又はそれ以上のピークが同期して上昇又は下降する傾向を有しているなら、その場合は対応するプロセス変数が関連づけられる。そうでなければ、これらの変数は無関係である。同様に、単変量技術は、プロセス変数が不良であるかどうかを評価するのに使用され得る。手短言え、開示されている単変量データモデリングおよび可視化方法は、単一の変数を使用してオンラインおよびオフラインの状況の両方に対して、多変量監視の実装技術を提供する。全てのプロセス変数の境界が既知であるなら、この方法は、訓練データを要求せず、プロセスオペレータによって容易に理解される監視結果を提供する。

10

【0088】

図4および図5に示されている方法で表示するためのプロセス変数を正規化するのに使用され得る3つの代替の方法に関連するさらなる情報が提供される。それらを記述するために、図3に示されている典型的なプロセス変数の記述（シューハートチャート）が考慮される。この図では、プロセス変数は、UCL100とLCL102との間に束縛され、プロセス変数に対する理想的な値は、目標値である。これらの境界内で、プロセス変数は制御されていると言え、そうでなければ制御不能であると言える。上記で論じたように、UCLとLCLは、プロセス動作の要求により提供される物理的な境界を表している。これに基づいて、以下のデータ正規化方法が使用され得る。

20

【0089】

第1の方法は、プロセス変数の制御境界が各プロセス変数について既知であるときに使用され得る。特に、プロセス変数PVは、制御境界および目標値の関数として正規化され得る。

【数1】

30

$$PV^* = 100\% \times n \times \sqrt{\frac{(PV - T)^2}{CL^2}}, \text{ with } 0 < n < 1$$

ここで、目標値 = T, CL = |UCL - T| = |LCL - T| である。

40

【0090】

第2の方法は、プロセス変数の制御境界が全てのプロセス変数については知られていないときに使用され得る。特に、プロセス変数PVは、プロセスが正常に動作しているときのプロセス変数について収集された訓練データのセットの関数として正規化され、訓練データのセット内のプロセス変数の観測値を含んでいる。

【数 2】

$$PV^* = 100\% \times n \times \sqrt{\frac{(PV - M_{PV})^2}{CL^2}}, \text{ with } 0 < n < 1$$

10

ここで、正常なプロセスの動作は訓練データのセット $T\{PV\}$ によって表され、 M_{PV} は $T\{PV\}$ の平均であり、 $T\{PV\}$ において $CL = |PV - M_{PV}|_{\max}$ である。

【0091】

第3の方法は、統計的自動スケールリングアプローチを使用し、これも、プロセス変数制御境界が全てのプロセス変数について未知であるときに使用される。特に、プロセス変数 PV は、プロセスが正常に動作しているときのプロセス変数について収集された訓練データのセットの関数として正規化され、訓練データのセット内のプロセス変数の観測値を含んでいる。

【数 3】

20

$$PV^* = 100\% \times n \times \sqrt{\frac{(PV - M_{PV})^2}{k^2 \sigma^2}}, \text{ with } 0 < n < 1$$

30

ここで、正常なプロセスの動作は訓練データのセット $T\{PV\}$ によって表され、 σ^2 は $T\{PV\}$ の分散であり、 M_{PV} は $T\{PV\}$ の平均であり、 k 、 $k = 1, 2, \dots$ 、 n は統計的な境界（例えば、3）を決定する。

【0092】

これらの方法の変形と他のユーザ定義制御境界（およびそれらの決定方法）は、要望に応じて記載されている技術に関連して利用され得る。

【0093】

上述のデータ監視及び分析技術は、高速のオンライン視覚化及びプロセスデータの挙動の理解にとって理想的である。それは、プロセス診断および異常状態防止アプリケーションで使用され得る。例えば、Fieldbus上を拡散する多数のインテリジェントデバイスからのデータは、素早く分析され監視されることができる。同様のことがセンサアレイおよびバイオマイクロアレイからのデータについても言える。監視結果は、プロセス最適化および質の制御にも使用され得る。更に、この方法は、データ分析を高めるために統計的データモデリング方法とともに使用され得る。例えば、スピードアップとスコアデータの釈明を高めるために、それはPCA法と並行して使用され得る。

40

【0094】

本開示の特定の特徴に従って、上記視覚化技術は、以下に記述するように、他の多変量統計技術を介する後の処理のような他の方法でプロセスデータを表示するオペレータインターフェイスに統合され得る。例えば、それらの物理的な境界に関連するプロセス変数の視覚化は、プロセスの現在の状態についてのより正確な決定を可能とするために、PCA

50

スコアプロットに関連して使用され得る。

【0095】

上記単変量技術は、多変量実時間プロセスデータを監視する方法を提示する確定的な多変量データ解析ツール（その例は以下に記述される）に組み込まれ得る。このように、単変数監視モデルは、多変量データの挙動の視覚化に使用され得る。

【0096】

より一般的には、このアプローチの利点は、全てのプロセス変数が単一の監視変数に束ねられることである。開示されている単変量の方法は、オンラインおよびオフラインアプリケーションの両方に適している。上述のように、開示されている方法は、全てのプロセス変数の動作境界が既知であるとき、訓練データを必要としない。プロセス変数に関連する動作境界は、単変量監視モデルを展開するのに使用される。いくつかのケースでは、訓練データは、その動作境界が既知でないときのプロセス変数に対して使用される。このモデルは、例えば、Delta V（登録商標）を含む多くのソフトウェアプラットフォームで実装され得る。

10

【0097】

図6および図7を参照して、本開示の他の特徴は、主成分分析（PCA）および他の多変量統計技術によって提供される機能を指向している。以下に記述されるPCAおよび他の多変量統計技術は、分散型制御システムのDelta V（登録商標）およびOvationなどのプロセス制御システムの統合された構成要素であり得る。このような統合は、オンライン監視アプリケーションに対するPCA技術のプラント要員の利用をサポートする。上述のように、PCAおよび他の技術によってサポートされる視覚化及びアラームは、図4および図5に関連する上記記載のもののように、他の視覚化スキームに沿って制御システムに完全に統合され得る。これらのおよび他の理由により、プラント要員は、別個のアプリケーションを監視し、保守し、サポートする必要性無しに、簡素化され又は単一のユーザインターフェイスを利用し得る。また、プロセス制御システムの一部としてPCAを実装することは、以下に記述するように、オンラインプロセスデータを使用する監視及び診断を実装することをより実用的にする。

20

【0098】

図6および図7は、PCAベースの技術を、以下で論ずるように、プロセス制御システムに実装するための例示の機能ブロック110、112を示している。一般的に言えば、各PCA機能ブロック110、112は、訓練期間にデータを収集することができ、訓練機関の終わりにPCAモデルを発展させ、次にそのPCAモデルを全ての将来のデータに適用する。機能ブロック110、112の左側には、未処理のプロセス変数であるPCAへの入力がある。機能ブロックの出力は、最重要の固有値に関連するスコアである。

30

【0099】

例えば、機能ブロック110、112は、テキサス州オースチンのEmerson Process Managementによって販売されているDelta V（登録商標）のControl Studioを介して利用可能にされた特別注文の機能ブロックであり得る。この例では、20個までのプロセス変数がPCAへの入力として提供され得る。もちろん、一般的に入力がいくつであってもPCAに使用することができる。PCA機能ブロック110、112への入力は、DCSで標準的に利用可能なプロセス変数である。従属のプロセス変数（YIN）に対する入力も、主成分回帰（PCR）を行うのに使用することができ、これはここに記載されている開示された一つ又はそれ以上の方法において利用可能な統計的技術である。開示されている例は、単一の変数であるけれども、一般的には、多数従属変数でもあり得ることが理解されるべきである。

40

【0100】

PCA機能ブロック110、112は、PCAモデルの構成およびアプリケーションの両方に対する多くの動作モードを含んでいる。説明している例示の実施形態では、PCA機能ブロック110、112は、（LEARN機能ブロック上の真/偽によって決定されるように）学習と監視の2つの異なるモードで実行される。学習モードの間、この機能ブ

50

ロックは入力変数のそれぞれからデータを収集する。例えば、ユーザが学習コマンドを与えると、機能ブロック 110, 112 は、全ての入力変数についてのプロセスデータの収集を開始する。プロセスデータは、コンピュータメモリに格納され、データの収集は、ユーザが監視コマンドを与えるまで独立して継続する。

【0101】

十分な量のデータが収集された後、ユーザは PCA ブロックに監視コマンドを与える。このコマンドが与えられた後、機能ブロック 110, 112 は、収集されたデータに基づいて PCA を展開するために PCA アルゴリズムを実行する。モデルの展開は、以下のステップを含んでいる：入力データを自動スケールリングする（各入力変数について、その平均を減算する、その標準偏差で除算する）、スケールリングされたデータから共分散行列を計算する、固有値および固有ベクトルを計算する、PCA 負荷行列を保持するために重要な固有ベクトルの数を決定する、および PCA に対して T^2 の Hotelling の統計を使用して統計的境界を計算する（例えば、95% 又は 99%）。

10

【0102】

この計算が完了したとき、PCA 機能ブロック 110, 112 は、監視モードに移行し、そこでそのブロックに入力された新たなプロセスデータに基づいてスコアを計算する。特に、新たなプロセスデータは、リアルタイムで生成されたオンラインプロセスデータである。もし何れかのスコアが境界を超えたなら、これは異常状態を示し、および機能ブロック 110, 112 上のアラームパラメータがセットされる。アラームパラメータは、プロセス制御システム又はネットワークの他の部分の何れかと連携し得る。

20

【0103】

PCA の結果の視覚化プロットのそれぞれは、制御システムのオペレータインターフェイスの一部として提供され又は生成され得る。例えば、インターフェイスは、時間と共にスコアをプロットする Delta V Process History View に PCA スコアプロットを生成するのに使用され得る。これに代えて又はこれに加えて、2つの PCA スコアに対するデータが、上記および以下で示しおよび言及するように、2次元のグラフにプロットされ得る。計算された統計的境界は、オペレータインターフェイスを介して提供される円形又は楕円の何れかの形状を結果として生じる。このスコアが境界を超えると、アラームが誘起される。

【0104】

いくつかのケースでは、ここに記載した多変量監視及び診断技術は、異常状態防止を指向するシステムのモジュール（又は他の要素若しくはシステム構成要素）に実装され得る。従って、他の異常状態防止アルゴリズムと同様に、この技術は異常なプロセスの状態をそれが発生する前に検出することを指向している。これらのアルゴリズムは、多くの異常状態に対して「油断が無く」、正確で連続的であることを一般的に誇示している。従って、異常状態防止モードは、一時的ではなく、非リアルタイムの解決策ではなく、連続プロセスであり得る。

30

【0105】

ここに記載されている多変量監視及び診断技術は、バッチ処理においても使用することができ、そこでは、機能ブロック 110, 112 は入力変数に対するプロセスデータの異なるセットを収集し、各セットは、プロセスの異なるオンライン状態に対応している。例えば、プロセスが種々の能力で開始されたときに、ユーザは、PCA 機能ブロックがプロセスが正常に動作しているときに特定の能力レベル（例えば、特定のオンライン状態）に対する入力変数についてのプロセスデータを収集するように学習コマンドを与える。その後、ユーザは、PCA アルゴリズムを実行して特定のオンライン状態（例えば、能力レベル）について収集されたデータに基づいて PCA モデルを展開するように、PCA 機能ブロック 110, 112 に対して監視コマンドを与える。その結果、プロセスが正常に動作しているときのそのプロセスに対するそれぞれ異なるオンライン状態に対応する種々の PCA モデルが展開され得る。その後、プロセスが特定のオンライン状態（例えば、50% の能力）で実行されているとき、PCA 機能ブロック 110, 112 は、対応する PCA

40

50

モードを使用して監視モードに移行し、そこでそれはスコアをブロックに入力された新たなプロセスデータに基づいて計算する。従って、ユーザは、オンライン、プロセスを監視するプロセスのリアルタイム動作、異常状態の検出などを分析するために、プロセスのオンライン状態に最も近い一つを選択するように複数の多変量統計モデルから選択し得る。一実施例では、ユーザは、特定の訓練セッションを選択し、プロセスの特定のオンライン状態にカスタマイズされた新たなモデルを構築するように選択し得る。

【0106】

本開示のこの特徴は、オンライン状態（即ち、リアルタイム）の多変量監視および診断アプリケーションに対する一般的な（オープンソースの）データ駆動アプローチを提示している。更には、このアプローチは、オンラインモデルの展開のためのデータの生成および操作と、診断、故障検出などで使用されるモデルパラメータの比較とを一般的に提示している。開示されているアプローチは、プロセスの監視および診断の統合プラットフォームの定義を含んでおり、究極的には、テキサス州オースチンの Emerson Process Management によって販売されている Plant Web 構造のようなプラントワイド又はネットワーク化された構造を使用することにより実装され得る。提示されている統合プラットフォームは、多変量アプローチに基づいており、そして、以下に記述する検出技術で使用されているものを含む種々のコンピュータアルゴリズムに適合することができる。データ駆動プラットフォームのオープンソースの性質に鑑みれば、開示されている方法およびシステムは、異なる入力領域（例えば、FOUNDATION（登録商標） Fieldbus、HART（登録商標）、Modbus、OPC、無線等）からのデータを受け取ることができる。受け取ったデータは、何れかの数の異なるトランスミッタ、センサおよびアクチュエータから収集されたオンラインプロセスデータであり得、多変量プロセス領域を定義するのに使用される。同様のデータが、プロセス制御システムによって使用され、データ履歴に格納され得る。

10

20

【0107】

開示されているシステムおよびモジュールを介するデータの流れは、図8に示されている。プロセスからのデータが一度開示されているモジュールに移行すると、そのデータは、同じ時間期間の間、オンライン訓練、オンライン監視又はその両方に使用される。2つのスイッチSW1およびSW2は、要望に応じて異なるデータパスをサポートする方法で実装される。もし訓練が望まれるなら、データは、ユーザ/オペレータが蓄積プロセスを停止するまで、蓄積される。このプロセスは、SW1をオンライン訓練状態にすることにより遂行される。ファイル120に格納されている蓄積データの何れは、次にモデルビルダー又はジェネレータ122において使用される。生成されたそれぞれのモデルは、示されているように格納され、監視モードに関係している構成要素によって、例えばSW2を介して利用可能にされる。モデル構築の動作が終了すると、訓練データとともにモデルは、典型的にはtextファイルとして、データベース又はメモリ（ドライブC:/）にあるモデルホルダに格納される。

30

【0108】

このデータによって構築されたモデルは、これらに限定されるものではないが、主成分分析（PCA）、人工神経ネットワーク（ANN）、ファジー論理およびベイズ意思決定木などを含む。アルゴリズムのそれぞれのためのツールは、例えば異常状態防止モジュールにより、ドロップダウンウィンドウの様式で提供され得る。これらのモジュールは、以下に記述するように、予測の展開に使用され得る。同様のモデルが、オンライン監視にも使用され得る。モデルがオンライン監視モードにあるとき、異常状態防止モジュールはモデル出力（O/P）を使用してツリータイプの出力：統計的に正規化されたプロセス変数（PV）およびプロセス変数（PV）の評価を生成する。図8に示すように、出力のそれぞれ（PVの評価、正規化されたPV & 物理的境界、およびスコア & 統計的境界）は、アラーム状態（アラーム診断）及び/又はモードの検証を生成するためにさらに使用される。

40

【0109】

50

統計的出力は、多変量データポイントの低次元の表現であるスコアにより構成されている。低次元空間が、多変量領域における最大のデータ変動を有する方向に基づいて得られる。PCAモデリングは、上記で論じたように、スコアを展開するのに使用されるが、他のモデリング技術も同様にスコアを生成する。また、統計的出力は、95% (99%) の信頼境界又は - ベースの境界を含み得る。

【0110】

正規化されたプロセス変数の概念は、既知および未知の両方のプロセス変数の境界に関連して記載された。この概念に基づき、バーチャート (又は他の二次元プロット又はグラフ) が正規化されたデータを表すのに使用され得る。これらのチャートは、また、アラームの特定に有用な物理的又はプロセスの境界を含んでいる。本開示の更なる特徴に関連して以下に記述するように、単一のユーザインターフェイスにおける統計的境界と物理的境界の組合せは、異常状態防止アラーム状態を正確に特定する有用な方法を提供し、異常状態防止構想の支えとなる技術を提示する。

10

【0111】

プロセス変数の評価は、基本的にプロセス変数の可変性に対して与えられる評価であるので、異常状態防止に関して有用である。プロセス変数がより大きい変動を示せば、その評価は高くなる。これは、同じプロセス状態の異なる時点での監視に対して得られる評価が容易に交叉して確認され得るという点で有用である。例えば、もし、全てのプロセス変数が2つ又はそれ以上のモニタリングモデルについて同じ評価であるなら、モニタリングモデルの信頼性は増大する。プロセス変数の評価を得るために、以下の計算が使用され得る：

20

【数4】

$$PV_{j\text{rating}} = \frac{1}{\text{tr}S} \sqrt{\sum_{i=1}^k \sigma_i^2 p_{i,j}^2}$$

30

ここで、 $PV_{j\text{rating}}$ は j 番目のプロセス変数の評価であり、 S は $n \times n$ の自動スケールされた共分散行列であり、 n は多変量データ空間の次元であり、 $\text{tr}S$ は S のトレースであり、 $k < n$ は主成分空間であり、 $i = 1, \dots, n$ に対する σ_i および p_i はそれぞれ主固有値および S の固有ベクトルであり、 $p_{i,j}$ は固有ベクトル p_i の j 番目の成分であり、 $p_{i,j}$ は負荷として言及される。評価は展開されたPCAのそれぞれについて計算され、他のモデルパラメータとともにモデルファイルに格納され得る。

40

【0112】

上記の式は、モデルパラメータからなり、このようにして得られたプロセス変数評価は、そのモデルに密接に関連している。従って、2つのモデルが正確に同じプロセスイベントを記述しているなら、それらは同じオーダーであるとしてプロセス変数を評価する。その場合、モデルは、それぞれの評価に基づいて検証され得る。このことはまた、モデルが異なる場合にも一般的に当てはまる。例えば、一方のモデルがPCAベースであり、他方がANNベースであり、それらのプロセス変数評価が大体同じオーダーである。プロセスデータが非線型である (即ち、正規分布から大きく外れている) 場合は、例外が含まれ得る。

【0113】

50

他のモデルパラメータもモデルの検証に使用され得ることがさらに注目される。固有ベクトルの負荷 $p_{i,j}$ および固有値 λ_i のような PCA パラメータ、又は隠れ層の数および出力の数のような ANN パラメータもまた、有用なパラメータである。全てのモデルは、検証タスクに使用され得るパラメータの特定のセットを示す。

【0114】

本開示のもう一つの特徴に従えば、モデル出力データがアラーム状態、より一般的には、混合の、オペレータに対する多変量グラフィカルインターフェイスを生成するのに使用され得る。図9 - 図13は、正規化されたプロセス変数、プロセス変数評価（図13参照）、スコア、およびアラーム状態を表示する例示のグラフィカルインターフェイスを表している。グラフィカルインターフェイスはまた、他のモデル情報およびグラフがアクセスされるタブを含んでいる。図13に示すように、プロセス変数評価は、図13の上側左の変数の記述に隣接して、丸括弧内に与えられる（例えば(2)）。この特定の例では、10のプロセス変数があり、1から10の評価範囲である。プロセス変数 S 2 1 5 3 1 は評価1を有し、最大の変動を有する変数であることをほのめかしている。

10

【0115】

図14を参照すれば、BiPlotタブ130へのアクセスにより、オペレータに、スコアプロットパネル132に表示されているような2つのスコアの提示を見る機会が与えられる。プロセス変数とともに同時にスコアを表示するのにバイプロットが使用され、これはそれらの負荷 $p_{i,j}$ によって定義されるグラフである。ラインは、どれだけ多くの主成分がプロセス変数内に存在するかを示している。例えば、評価1のプロセス変数 S 2 1 5 3 1 は、最大の第1の主成分 t_1 （水平軸）を有している。これに対して、評価8のプロセス変数 S 2 1 0 0 8 は、最大の第3の主成分 t_3 （垂直軸）を有している。これは、 t_1 はデータ空間における最大の変動の方向を定義するので完全に筋が通っているが、 t_3 は著しく低い。プロセス変数の他の主成分との関係を、グラフの上側右の部分におけるウィンドウにおける表示を単に変更することにより、調査することができる（例えば、 $t_1 - t_2$ に対するスコアが得られる）。

20

【0116】

このバイプロットは、オンラインスコア（黒い点）をプロセス変数に関連づける容易な方法を提供する。そのスコアに最も近いラインは、そのスコアに対する主要なプロセス変数を決定する。ラインは常に同じ位置にあり、スコアはグラフ上で一意的な動的成分なので、オペレータは、どのプロセス変数又はプロセス変数グループが、与えられた時間に射影されたスコアに最も影響があるかを素早く理解することができる。従って、オペレータは、単一のディスプレイを介して全てのプロセス変数に素早く精通できるようになることができる。

30

【0117】

実装のオプションに関して、開示されているユーザインターフェイスディスプレイ（およびそれらの生成の原因であるシステム又はモジュール）は、Delta V（登録商標）、Ovation、又は他の制御システムプラットフォームに実装され得る。例えば、PCAベースの機能ブロックはこの目的で使用される。あるいは、.NET技術を有するビジュアルベーシック（VB）も、実装プラットフォームとして使用され得る。一つのケースでは、例示の実装方策はVB.NET、Delta V（登録商標）、Ovationのいくつかの組み合わせを含み得る。上記にも拘わらず、実装は、異なるソフトウェアプラットフォーム（即ち、Java（R）、Delphi、C++）上でも達成され得る。図9 - 13のオペレータディスプレイインターフェイスに関する更なる詳細は、以下に提供される。

40

【0118】

PCAの有用性にも拘わらず、PCA技術は、プロセスの動的特性についての情報を容易に伝達しないということが注目される。これは、一般的に、PCA分析の結果（スコア）を表示するために、散布図を使用したことに起因する。散布図は有用ではあるが、一般的には、プロセスデータの静的表現である。上記で論じたように、多次元の訓練又は監視

50

データセットは、より低い次元の主成分空間上に射影される（スコアされる）。典型的に、最初の2つの主成分はデータの中の最大の変動を捕らえ、そして結果として、それらはデータの挙動に関して最も重要な情報により散布図を生成する。Hotellingの T^2 分布は、95%又は99%の信頼域を計算し、又は $-$ ベースの境界を適用するのにも使用され得る。この領域の知識は、異常状態の検出にとって重要であり得る。何故なら、もし訓練データが正常なプロセスの性能を表しているなら、その領域内のどのような新たなスコアポイントに対しても、データポイントが正常であることは95%（99%）確かであり得るからである。これに対して、境界領域の外側のスコアポイントについては、データポイントが正常ではない（異常）ことは95%（99%）確かであり得るからである。

10

【0119】

上記から明らかなように、散布図からのスコアの記録と解釈は、データが不正確に解釈されることに関連する不正確さの程度を結果として生ずる。不幸にも、上記で論じたように、経験は、このアプローチがしばしば誤ったアラームに導くことを示している。この主な理由は、統計的に計算された境界は、プロセス変数の実際の物理的境界を考慮していないからである。各スコアは平均を中心とした入力変数の線型結合である。例えば、信頼限界領域の内側と外側で、与えられたスコアが正常又は異常であるという100%の確実さは存在せず、従来PCAは異常状態の検出において必ずしも信頼できないという、5%（1%）の曖昧さが存在する。例えば、何も存在しないとき（誤ったアラーム）にPCAスコアが異常状態を誘起し、そして反対にプロセスが実際に異常に振る舞っているときにPCAスコアが正常な振る舞いを示し得る。異常状態であると決定し、異常アラームを発行するとき、これは一般的に許容できないことは明らかである。疑問なのは、物理的境界の同じ線型結合をとるときに何が起こるのかである。プロセス変数は異なるスケールを有しているため、これらの境界がどのようにPCAスコアプロットに変換されるかは、必ずしも明らかではない。

20

【0120】

図9-13のインターフェイスディスプレイは、オペレータインターフェイスが、先行する懸念に対処している間に、現在のプロセスデータに適用されるPCAモデルを視覚化するのに使用されている、例示の方法を表している。手短かに言えば、PCA又は他の多変量解析から生成されたPCAスコアプロット146と、単変量解析から生成されたPCAスコアプロット148の両方が含まれる。これらの2つのプロットの組み合わせは、プロセスの現在の状態の指標を与える。図9の例では、PCAスコアは物理的境界内にあり、全てのプロセス変数がそれらの物理的境界内にあるので、このことは、プロセスが正常な動作状態にあることを示し、インディケータブロック150はその旨を強調している。

30

【0121】

図10は、PCAスコアプロット146に従って、どのようにして全てが正常であるように見えるかの例を表している。しかしながら、物理的境界プロット148に示すように、プロセス変数の一つがその動作境界を超えている。従って、インディケータブロック152はアラーム見逃しを強調している。

40

【0122】

反対に、プロセス変数の全てがまだそれらの物理的境界内にある間、PCAスコアプロットが問題のないことを示すことも可能である。図11はこのケースを表しており、インディケータブロック154によって示されているように、我々は偽アラームと呼んでいる。従って、真のアラーム状態は、PCAプロット上の統計的境界と物理的境界の両方が超えられたときに検出される。このことは、図12においてインディケータブロック156で表されている。

【0123】

図13を参照すれば、図示表現が、スライドバーとして示されている収集されたデータの先のセットに対するユーザ選択可能な図と、ドロップダウンメニューとして示されている主成分のユーザ選択可能な図とを伴っている。スライドバー又は他の図示表現は、ユー

50

ザが先に収集されたデータを先のプロセスの動作に基づいて選択し、先に収集されたデータに基づいてPCAスコアを生成することを可能とする。この図示表現は、次に、ユーザが異常挙動に対する先のどのようなプロセス動作にもアクセスし解析することを容易に行えるように、PCAスコアで更新される。またさらに、プロセス変数は上記で論じたそれらの共通のプロセス境界を含むプロセスの境界の関数として表現され得ることは注目される。同様に、異なる主成分の選択は、ユーザが、プロセス上で異なる重要性を有する異なるプロセス変数の動作と、従って更新された図示表現とを見ることを可能とする。

【0124】

図15-19は、図9-14の実施形態に関連して示したのと同様の方法で、制御境界のPCAスコアとともに動的プロセスデータ視覚化を表す例示のユーザインターフェイスの異なる状態を示している。上述のように、7つのプロセス変数の制御境界は固有の値に正規化され、そしてこの場合に対するPCAスコアが95%信頼域の外側にあるなら、警告が発行される。これらの2つの図示は、入ってくるデータに対して同時にオンラインで実行される。加えて、PCAスコアプロットは、プロセス変数におけるピークはデータ入力に従う変化を監視している間、動的な一つのポイントを含んでいる。全てのピークが制御境界160の下にあるとき、プロセスは制御下にあり動作は正常である。対応する統計的スコアも、境界円162の内側にあるはずである。その状態は図16に示されている。同様に、一つ又はそれ以上のピークが境界160を横切ったとき、制御不能又は異常状態が出現し、図17に示すように、PCAスコアは境界円162の外側にあるはずである。

10

【0125】

偽の診断呼出もまた、経験され得る。図18では、スコアは境界円162の外側にあり(異常)、一方、全てのプロセス変数は境界160(正常)の下にある。このケースは明らかに無視されるべき偽の警報である。しかしながら、その反対も起こり得る。図19に示されているケースは、スコアが境界円162の内側にあり(正常)、一方、プロセス変数のインディケータはプロセス変数#2が境界を破っている(異常)を示している。このケースは、検出の見逃し又は警報の見逃しである。

20

【0126】

2つのオンライン図示表現は、データポイントが正常又は異常のプロセス状態に相当しているかどうかを正確に診断することができる。更に、異常状態が発生したなら、正常状態を破っているプロセス変数がすぐに特定される。プロセスの動作に対するこれらの変数の重要性は、同じではない。特定の監視の要求に対するプロセス変数の重要性は、負荷行列PにおけるPCA負荷値から決定される。もし、警報を伝達しているプロセス変数が小さなPCA負荷値に関係しているなら、それはプロセス動作に対する非常に小さな重要性しか有しておらず、その警報は、単なる警告に分類され得る。これに対して、もし、負荷値が高ければ、プロセスの動作にとって変数は重要であり得、高い警報が忠告される。

30

【0127】

先の視覚化技術および添付のオペレータインターフェイスは、プロセス制御システムアーキテクチャ又はプラットフォーム内で実現され得、何れの場合にも、上述のPCAプロットによって機能的に実装されることによってサポートされ得る。

【0128】

図20および21は、開示技術に従って生成されたさらにもう一つのオペレータインターフェイスを表しており、両方とも、上述のようにオンライン監視、診断および偽アラーム検出機能を有している。特に、図20は、プロセス変数の境界のパーセンテージとして、バーグラフ内のプロセス変数を表し、上述のように共通のプロセス変数境界を含んでいる。

40

【0129】

多変量統計技術を用いた定常状態の動作の検出

【0130】

図22および図23は、PCAベースの統計的定数を使用した定常状態動作の認識と検出に関連する開示のもう一つの特徴を指向している。多くの異常状態防止アルゴリズムは

50

、一つ又はそれ以上のプロセス変数の初期状態を学習し、次にプロセス変数がある様式で変化したときにアラームを誘起することによる検出に依存している。しかしながら、これらの異常状態防止アルゴリズムの多くは、初期条件のための訓練前および検出前の両方においてプロセスが定常状態にあることをも要求する。オペレータが多くの一つ又はそれ以上のプロセス変数を見、それらが定常状態であるかどうかを言うことは一般的には容易であるが、同様の決定を容易に行い得るアルゴリズムを生成することは一般的にはより困難である。プロセスにおける定常状態を検出することを指向する技術がここで開示されている。この技術は、複数のプロセス変数の監視に基づいて決定を行うことができる。

【 0 1 3 1 】

プロセス変数 x が与えられると、平均と標準偏差は、与えられた長さ（例えば、5分）の非重複サンプリングウィンドウ上で計算され得る。一例では、平均（ \bar{x} ）は以下の式により計算され：

【 数 5 】

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

標準偏差は以下の式により計算される：

【 数 6 】

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

ここで、 n はサンプル数であり、 x_1, x_2, \dots, x_n はサンプリングウィンドウ上でとったプロセス変数 x のサンプルである。

【 0 1 3 2 】

この例では、一つのサンプリングウィンドウで計算されるバー x_1 および s_1 はそれぞれ平均および標準偏差であり、バー x_2 および s_2 は、次のサンプリングウィンドウ上で計算されるそれぞれ平均および標準偏差である。次に、もし、 $| \text{バー}x_1 - \text{バー}x_2 | \leq 3 \cdot s$ なら、プロセスは定常状態にあると記述される。反対に、もし、 $| \text{バー}x_1 - \text{バー}x_2 | > 3 \cdot s$ なら、プロセスは定常状態にはない。

【0133】

次に、計算に使用されたパラメータ s が決定される。もし、プロセスが定常状態にあり、サンプリングウィンドウが正しく選択されているなら、 $s_1 = s_2$ である。この場合には、 $s = s_1$ 又は $s = s_2$ かどうかは問題ではない。しかしながら、定常状態検出のためのより小さい境界を結果的に生ずるより堅固なアルゴリズム（これは、異常状態防止モジュールが実行を開始したときに実際にプロセスが定常状態にあるというより大きい確実性を提供する）は、 s_1 および s_2 の最小値又は $s = \min(s_1, s_2)$ を使用する。このような場合では、定常状態を宣言する基準は、 $| \text{バー}x_1 - \text{バー}x_2 | > 3 \cdot \min(s_1, s_2)$ である。「3」という複数は、特に多くのプロセス変数が存在する場合に異常状態防止システムの構成を複雑にすると理解されるけれども、ユーザが設定可能なパラメータである。プロセス変数の平均と標準偏差を計算し、定常状態を決定する機能は、他の機能と同様に、上述のように統計的プロセス監視（SPM）ブロックにカプセル化される。

10

【0134】

本開示のもう一つの特徴に従えば、定常状態検出技術は、PCAモデルによって生成されたスコア（プロセス変数データから直接というよりむしろ）を使用して、複数のプロセス変数を有するプロセスが定常状態にあるかどうかを決定する。図22は、PCAブロック172に結合したSPMブロック170を表しており、複数のプロセス変数（ IN_1, IN_2, IN_3, \dots ）を有するシステムが現在定常状態にあるかどうかを決定するのに使用される。PCAブロック172は、上述の機能ブロックに対応している。

20

【0135】

図22に示されている例は、PCAモデルの第1のスコアを使用して定常状態の検出を実装する。PCAモデルに関して上記したように、最大の固有値の値に対応し第1の負荷ベクトルから計算される第1のスコアは、プロセスにおける変動の最大量を表している。例えば、いくつかのプロセスでは、これは、他のプロセス変数の多くを介して増殖する負荷の変化に対応している。このような場合には、ただ、第1の主成分が定常状態の基準に合致しさえすればよく、その場合はシステム全体が定常状態にあると決定され得る。

30

【0136】

第1の成分が最も統計的に重要である一方、別の実施例は、図23に示すように、PCAモデルの複数のスコアを使用し得る。この場合には、PCA機能ブロック172がSPMブロック170に結合され、各SPMブロック170はPCAモデルのスコアの一つを監視する。この場合では、選択方法（例えば、Kaiserの規則、パーセント分散、平行分析など）に従って重要であると決定された各主要成分に対する一つのSPMブロック170が存在するであろう。論理ブロック174は、システム全体についての定常状態の検出を行うのに使用され得る。もし、全てのSPMブロック170が定常状態を示したら、定常状態はシステム全体について決定され得る。もし、ブロック170の何れも非定常プロセスを示したら、システム全体が定常状態にはないと決定され得る。

40

【0137】

この技術を実装する方法は、プロセスのPCAモデルを生成し、第1のPCAスコアを統計的プロセス監視（SPM）ブロックに結合し、およびもしSPMブロックが第1のPCAスコアが定常状態にあることを宣言してシステムが定常状態であることを宣言する全てのプロセス変数からのプロセスデータを収集することを含み得る。SPMブロックが連続する非重複サンプリングウィンドウ上で入力変数の平均（バー x_1 およびバー x_2 ）並びに標準偏差（ s_1 および s_2 ）を計算し、もし、 $| \text{バー}x_1 - \text{バー}x_2 | \leq n \cdot \min(s_1, s_2)$ であるなら、ここで n は実数であるが、入力変数は定常状態であることを宣言する。いくつかのケースでは、定常状態は、 $| \text{バー}x_1 - \text{バー}x_2 | \leq n \cdot s_1$ によって決定

50

される。あるいは、これに代えて、定常状態は、 $| \bar{x}_1 - \bar{x}_2 | \leq n \cdot s_2$ によって決定される。例示の実施形態では、 $n = 3$ である。

【0138】

上述の技術および方法は、第2およびより多くのPCAスコアに結合した一つ又はそれ以上の追加のSPMブロックと、SPMブロックのそれぞれの定常状態の検出を入力としてとり、もし全てのSPMブロックが定常状態を示すならシステム全体が定常状態であることを示す出力信号を生成する論理モジュールとにより実装され得る。論理モジュールは、もしSPMブロックの何れかが非定常プロセスであると決定したなら、システム全体が非定常プロセスであると追加的に決定し得る。これに代えて又はこれに加えて、他の多変量技術が定常状態の検出のためのSPMブロックに使用され得る。このような技術には、PLS, PCR, FDA、CVAなどが含まれる。

10

【0139】

図22および23では、複数の別々のユニットを含むとして示されているけれども、開示されている技術および方法は、単一の、統合された機能ブロック（例えば、Fieldbus機能ブロック）、フィールドデバイスインターフェイスモジュール、制御システム、単体のソフトウェア、アプリケーションなどにおいて実装され得る。

【0140】

過渡的ダイナミクスの検出

【0141】

図27-37は、他の多変量技術を使用した過渡的ダイナミクスの検出に関連する本開示のもう一つの特徴を指向している。動的挙動は一般的にはプロセスの動作中に遭遇するものである。例えば、プロセスは、流速のような入力又は負荷変数の変化による過渡的な挙動を示す。これは加熱炉では一般的なことであり、なぜならそれらは通常、様々な原油の流量の下に動作しているからである。

20

【0142】

故障又は異常状態検出が実装されているとき、正常動作状態と過渡的動作状態とを見分けることは重要である。特に、プロセスは過渡的な領域では正常な方法で振る舞うことはなく、誤った診断（例えば、異常動作）が過渡的動作から容易に引き出される。例えば、加熱炉では、原油の流量が増加したとき、原油の出力温度が上昇し、正常なレベルに下げるのに時間を要する。これは、流量における変化が操作された変数（燃料流量）における変化より早いからである。換言すれば、一次動的システムにおいて、新たな定常点に移行するには、最終温度は、時定数プラス時間のズレに等しくなるような時間を必要とする。それ故に、動的過渡的領域と定常状態又は設定点、故障若しくは異常状態が検出されたときの動作領域との間の見分けは、有用である。

30

【0143】

本開示のもう一つの特徴に従えば、過渡的動作が、例えば主成分分析（PCA）に基づく多変量統計技術を使用して検出される。開示されている技術は、加熱炉における動的過渡に関連して記述されているが、開示の技術は、他の制御事情に関連して実装するのにも適している。また、この検出方法は、加熱炉などのプロセスにおける異常状態と動的過渡との間の違いを識別するために、PCAベースの技術を主成分回帰（PCR）に統合することもできる。加熱管路内のコークス化（又は閉塞）の検出の例は、提案されている方法の頑健さを表すのに使用されるであろう。検出アルゴリズムにおける誤ったアラームを回避するために、プロセスの過渡的挙動を識別することは重要である。過渡的動作は誤った結果および誤ったアラームに導く。開示されている過渡検出技術は、例えば、蒸留カラム、熱交換などの他のプロセス又はユニットの動作における過渡モードに使用することができることも注目される。

40

【0144】

図24に移って、加熱炉はしばしば精油所および石油化学プラントで、原油又は重質炭化水素の温度をある程度の高温に上げるのに使用される。180で概略的に示されている加熱炉は、一つ又はそれ以上の管状通路182を含んでいる。この例では、供給路は等分

50

されて管状通路 182 に別れている。各管状通路 182 は、管状通路 182 の内部を流れる供給物が燃焼する燃料によって加熱される熱交換器として機能している。燃料の流量は、原油（供給の流れ）が所望の目標最終温度を達成するまでしばしば操作される。

【0145】

これもまた加熱炉と称される、コークス化ヒーターにおける共通の異常状態は、コークス化である。特に、加熱炉における高温により、原油は分解してコークスと呼ばれる残留炭素を形成する。コークスは時間と共に管の内部表面に堆積し、これはパスと称され、一般的に管又は加熱炉の性能を低下させる。このプロセスは閉塞と呼ばれている。時間が経過すると、コークス化ヒーターの性能は低くなり、コークス化ヒーターをきれいにするために、突然のシャットダウンが起こる。いくつかの例では、いくつかの管が重大な閉塞状態となる。従って、コークス化ヒーターの管の内部のコークスの形成は、ユニットクリーニングをスケジュールするために監視される。

10

【0146】

コークス化ヒーターは、多変量監視および診断技術を使用する分析に適した他の多変量データ構造、および時折 MMDM（即ち、多変量監視及び診断モジュール）ツールと称されるここに記載のツールを提供する。例えば、表 1 に説明するプロセス変数（PVs）は、ここに記載の技術に従って MMDM により監視され処理され得る。これらのプロセス変数は、図 24 にも示されている。しかしながら、プロセス変数は、上述のように、プロセス制御システム又はネットワークを介して所望の様式で、そして Plant Web デジタルプラントアーキテクチャのような種々の異なるアーキテクチャおよびプラットフォームに従って、例えば Emerson の FOUNDATION（登録商標）Fieldbus デバイス（例えば、Micro Motion のコリオリフローメーター、Rosemount 温度デバイスなど）を使用することにより、供給されることが注目される。

20

【表 1】

加熱炉について監視されている変数

監視されているプロセス変数	略記
原油の入口温度	T_{in}
各パスへの流量	F_i
オイルの全流量	F
目標パスの出口温度	T_{out}
原油の最終温度（制御された変数）	T_F
燃料流量	FIF
燃料の最終温度	FIT

30

40

【0147】

図 25 は、主成分 t_1 および t_2 によって定義される空間における PCA から展開される

50

訓練データスコアを表している。この例では、潜在する訓練データが種々の流量について、制御された変数の単一の設定点で集められる。約30,000のリアルタイムプロセスデータポイントが収集された。訓練データは、MMDMツールのモデルを展開するのに使用され、MMDMツールによって生成された散布図の一つが、図25に示されているプロットと一致している。散布図の8つの集団は、訓練データにおける8つの異なる流量領域と一致している。

【0148】

図25のプロットに示されている破線190の内側の領域は、図26および27の楕円に一致しており、これは、同様に、99%信頼性楕円を表す。つまり、楕円の内側の領域は、楕円の境界内のどのようなスコアも、加熱炉ユニットの正常動作に帰属する99%の確率を与える。

10

【0149】

図26および27に移行して、管状通路(T_{out})の出口温度は、本開示のこの特徴の従属変数として使用され、他の6つの変数は独立変数として取り扱われる。独立変数は、監視のために選択され、スコアプロットを有するPCAモデルと同様に、正規化されたプロセス変数データモデルを生成するために使用される。プロセス変数データは、モデルの展開のための訓練データを提供する。このモデルは、次に、図26に示すように、オンライン監視のためのオペレータユーザインターフェイスを定義するのに使用される。上述のように、このインターフェイスは、プロセスアラーム情報インディケータと同様に、独立プロセス変数を正規化およびスコアプロットの両方の様式で表示する。一般的に言えば、このインターフェイスは、図8に関連して上記したようにして生成され得、図9-21に関連して記述した例示のインターフェイスの一つ又はそれ以上の何れかの特徴を包含し得る。

20

【0150】

従属プロセス変数(T_{out})に関しては、訓練データが回帰タイプのPCRモデルを生成するのに使用される。これは、モデル構築セッションの間にMMDMによって達成される。即ち、PCAモデルによって生成されたデータ空間からの成分が、独立プロセス変数の関数として、従属プロセス変数に倣うPCRモデルの生成における独立成分として使用される。インターフェイスとの関係で、PCRモデルは、オペレータインターフェイスウインドウの「PCR」タブを押し、これによって図27に示すディスプレイウインドウが現れることによりアクセスされ得る。ディスプレイウインドウは、スコア成分 T_1, T_2, \dots, T_n について計算された回帰係数を示している。

30

【0151】

展開されたPCRモデルを使用することによる過渡的な挙動の検出を有効にするために、検証データセット(4300データポイント)が様々な原油流量について生成された。図28は、検証データのための、原油流量に対する7つの異なる領域を示している。この例では、6つの異なる過渡(動的)領域が検証データに存在し、PCRモデルは検証データからこれらの領域を予測するのに使用される。図29は、予測された $T_{out}(Y)$ と実際の T_{out} を表している。図29に示される重複するプロットは、従属変数(Y)の定常状態および過渡的領域の両方における予測におけるPCRモデルの成功を表している。過渡的領域における予測は、僅かに遅れており、期待とは一致していない。それにも拘わらず、検証データセットに存在する6つの過渡的領域は、図29において明らかに特定可能である。

40

【0152】

図30-34は、Hotelling(T_2)計算の使用と、過渡的領域検出に対するオペレータインターフェイスの対応する部分とを表している。特に、図30は、過渡的領域が開始したときの T_2 プロットを示している。特に、 T_2 は、原油の流量が変化し始めるに伴って急上昇している。加えて、図30は、動作のポイントがスコアプロット t_2-t_3 の楕円の外にあることを示している。図31は、たとえ独立変数の何れもが境界の外になくても、動的(過渡的)領域はPCAによって検出されていることを示している。動的過

50

渡的な進展と共に、 T_2 は許容し得る境界の外に留まり、スコアプロットは楕円の外にある(図32)。一度プロセスが定常状態の領域に落ち着くと、 T_2 応答は境界の下にあり、スコアプロットは楕円領域の内側にある。以上のように、PCAスコアプロットと T_2 表現は、過渡の時定数を見積もると同様に、プロセス変数における過渡を検出するのに使用される。図34は、全体の検証データについて T_2 により検出される6つの過渡的領域を示している。各過渡的領域の幅は、過渡の持続期間を表している。

【0153】

図35および36は、PCR分析において制御された変数を使用しないアプローチの結果を表している。その際、制御された変数の組み込みの有用性と、それが提案されている方法が検出の頑健性にどのように影響するかが記述される。この研究におけるコークス化ヒーターの例では、原油の最終温度(TF)は制御された変数である。この例では、原油を所望の設定値、最終温度まで加熱することが望まれている。既に述べたように、PCAモデルは、同じ訓練データについての6つの独立変数のうちの5つを使用して展開され、原油の最終温度(TF)はリストから除かれる。6つの変数分析に使用したのと同様に、同じ検証データを使用することにより、新たなモデルが検証された。図35は、新たなモデルはプロセスの動的挙動を検出することができないことを示している。 T_2 も新たなモデルを使用して検証データについて得られた。図36は、6つの変数モデルで得られた急上昇はもはや存在しないことを示している。先の記述に基づいて、この方法における制御された変数を含めることは、過渡的又は動的挙動を検出するのに有用であり、制御された変数が負荷又は入力変数の変化にしばしば直接影響されるという事実が期待される。

10

20

【0154】

図37は、コークス化の検出のための手法に向けられている。上記で論じたように、過渡的期間の間、プロセスは動的に振る舞い、予測されるYは実際のYとは異なっていることは明らかである。従って、過渡的状态の間、異常状態検出は中止され、これは T_2 の挙動を使用して達成され得る。例えば、 T_2 が境界の外にあるなら、異常状態検出は動作しないようにされる。もし、 T_2 が許容される境界内に戻ってきたら、異常状態検出は再開される。例えば、図37を参照すれば、ブロック202でプロセスからのオンラインプロセス制御データが訓練データとして収集され、それらから独立および従属変数がブロック204で決定される。ブロック206では、PCA又は他の多変量解析技術が、多変量データ空間の次元を減少させるために独立変数上で利用される。ブロック208では、Hotelling(T_2)の境界がブロック206で実行されたPCAから決定される。PCAモデルは、ブロック210でPCAモデルからの成分を独立変数として使用することにより、そしてブロック204から決定された従属変数を使用することにより展開されて、従属変数のモデルが独立変数の関数として展開される。ブロック212では、PCAとPCRの両方が、監視されているプロセス制御変数にもとづいてプロセスを管理し、異常状態を検出するのに使用される。例えば、もし、PCAを使用して異常状態が検出されると、PCRが異常状態は過渡的状态か実際の(予測された)異常状態かを決定するのに使用される。特に、PCRは、過渡的状态がいつ出現するかに関する予測を展開し、異常状態の出現に対して比較され得る。ブロック214では、 T_2 の値が監視されているデータに基づいて生成され、そして、もし、 T_2 値が許容される境界内にあるなら、異常状態検出が継続され(ブロック218)、その出現は異常状態として取り扱われる得。そうでないときは、この手法はその出現を過渡的状态と決定する。 T_2 が許容される境界内に戻ったとき、異常状態検出は再開される。開示されている検出方法および技術は、例えば、蒸留カラム、熱交換、タービン等の、また、化学、製油、電力、ライフサイエンスなどの産業の他のプロセスおよびユニット動作にも適用され得る。

30

40

【0155】

本開示の先の特徴に従って、PCAベースの監視技術がプロセス動作における過渡的挙動のオンライン検出に対して実装された。PCR回帰技術も、プロセス動作における過渡的挙動のオンライン検出に対して実装され得る。PCAおよびPCR技術の両方の組合せは、プロセスの警報の特徴付けをサポートし、開示されている技術は、異常状態防止タイプ

50

の警報とプロセス過渡によって引き起こされるものとを区別することができる。代替の設計が、多変量回帰、人工神経ネットワーク、およびベイズ意思決定木などの技術を使用することにより可能である。

【0156】

例示のアプリケーション：コークス化ヒーターにおけるPCAおよびPCRを用いたコークス検出

【0157】

図31-41に移行して、本開示の他の特徴が、コークス化ヒーター管状通路におけるコークス化（又は閉塞）を検出するPCAおよびPCR技術に向けられている。以下に記述される実施形態では、PCAおよびPCR技術が、オンラインデータを収集しおよび分析し、並びにオンラインでコークス化を検出するためにプロセスを監視するのに使用される。開示されている方法および技術は、どのようなコントローラ、フィールドデバイス、およびここに記述されている他のプロセス制御システムの構成要素とも統合され得る。

10

【0158】

以下に記述するように、開示されているコークス化検出方法は、一般的に3つのステップを含んでおり、即ち：訓練データを集めること、PCAおよびPCR技術を使用してモデルを展開すること、および目標となるプロセス変数の実際および予測された値を使用してコークス化障害を検出すること、である。収集された訓練データは、一般的にはリアルタイムのデータであり、これは故障のない、そして負荷変数の期待される動作範囲を表している。例えば、訓練データは、動作している加熱炉で遭遇されると期待される原油流量の最小および最大を含み得る。展開されるモデルは、最小および最大流量の間の幾らかの流量を有していることから恩恵を受け得る。いくつかのケースでは、訓練データは、負荷変数の各範囲をカバーするように収集され、変化する負荷変数に対する過渡的（動的）データをも含み得る。一般的には、制御された変数に対するサンプリング時間および設定点は、訓練データのセットを通じて定数のままであり得る。先の特性を有するデータが与えられると、訓練データは種々の方法で収集され得る。例えば、データはオンラインで又はプロセスデータヒストリアンから抽出され得る。何れの場合にも、開示されている方法の実践は、訓練データが収集される方法に限定されない。

20

【0159】

複数のプロセス変数が、管状通路における頑健なコークス化検出をサポートするのに使用される。この例のケースでは、開示されている方法は、表1に述べられ図24に示されているプロセス変数のセットを使用する。これらのうち、管状通路の出口温度（ T_{out} ）が監視された従属プロセス変数であり、管状通路内でコークス形成に伴って減少する。加熱炉については、管の内側にコークス（故障）が付着し始めるにつれて、高温側から低温側へ管を横切る全体の熱移動が低下する。正常動作（故障のない）に比較して、管状通路の出口温度（ T_{out} ）もまた減少する。表1の他の6つの変数は、独立変数であると考えられる。

30

【0160】

コークス化ヒーターは、上述の多変量監視及び診断モジュール（MMDM）を使用して、その分析を説明するのに適した多変量データ構造を提供する。監視のために一度独立変数が選択されると、選択された変数は、スコアプロットを有するPCAモデルと同様に、正規化されたプロセス変数データモデルを生成するのに使用される。収集されたプロセス変数データは、モデルの展開のための訓練データを提供する。展開されたモデルは、次に、上述のように、オンライン監視のためのオペレータインターフェイスを生成するのに使用される。例えば、図25に示すように、6つの独立変数が、4つの異常アラーム状態インディケータに関連して、正規化およびスコアプロットの両方の様式で表示される。このモデルおよびオペレータインターフェイスの詳細は、上記で述べられている。

40

【0161】

従属プロセス変数（ T_{out} ）に関しては、訓練データは回帰タイプのPCRモデルを生成するのに用いられる。上述のように、PCRモデルの生成は、モデル構築手法の実装

50

の間に、MMDMツールによって自動的に達成される。インターフェイスとの関係で、PCRモデルは、オペレーターインターフェイスにおける「PCR」タブを選択することによってアクセスされ、図27に示す例示の表示ウィンドウが生成される。上述のように、このディスプレイウィンドウは、スコア成分 T_1, T_2, \dots, T_n について計算された回帰係数を示している。

【0162】

開示されているコークス検出に適した加熱炉監視システムおよび方法の実施形態が、記述される。 $T_{out}(Y)$ の実際の値が予測される値ハット T_{out} (ハット Y_{out})より一貫して低ければ、コークスの形成が示唆される。例えば、このことは、実際の管出口の温度が一貫して予測された温度より低いことを意味している。このケースでは、故障アラーム又は警報の何れも生成されない。 Y の絶対値又は平均値は、この目的のために使用され得る。以下にさらに示すように、予測されたハット Y からの実際の Y の偏差は、コークス化の重大さの正確な示唆を与える。このツールは、実際のユニット性能に基づいてユニット洗浄又はシャットダウンを計画するために、プラント技術者又はオペレータによって使用され得る。一実施形態では、プラント技術者又はオペレータがユニットの性能を継続的に監視しおよびユニットの低下又はコークス化を検出するために、比 $Y/\text{ハット}Y$ が時間の関数としてプロットされ得る。これに代えて、2つの値の差が時間の関数として監視され得る。ハット Y に対する Y の比に基づいて、プラント要員はどのような行動を採るべきかを決定することができる。コークス化は遅いプロセスであるため、プラント要員はアラーム又は警報を実行するように選択しないかも知れない。しかしながら、警報又はアラームは、閾値の境界に基づいて活性化され得る。例えば、その比がある境界()まで下がったら、警報が発行される。例えば、もし、

10

20

【数7】

$$\text{if } \left(\frac{Y}{\hat{Y}} \right) \leq \lambda,$$

30

なら、警報が発行される。種々の警報が、コークス化の重大さを示すために発行される。例えば、 λ_1 は低度のコークス化を表し、 λ_2 は中程度のコークス化を示すなどである。

【0163】

より一般的には、開示されているコークス検出方法は、以下のステップを含む。即ち：十分な訓練データを得ること、統計的モデルを展開すること、およびユニット性能を監視するためのモデルを使用すること、である。一実施形態のシュミレーションでは、加熱炉に対する訓練および検証データは、GSE Systemsから商業的に入手可能な高忠実性シュミレータSSPROにより、又はこれから得られた。サンプリングレートは1秒である。燃料の流量は、原油の目標最終温度が達成されるように操作された。シュミレーションは、種々の重大さのレベルのコークス化を導入し得るように柔軟性を有していた。シュミレーションは、訓練データおよびシュミレーションデータを得るために使用された。7つのプロセス変数が記録され、MMDMツールによって提供される多変量解析において使用された。

40

【0164】

訓練は、種々の流量で実施された。原油の流量と入口温度により、現実のプラントの動作を開始するのに関して、一律のノイズを有することが可能となった。約30,000の

50

リアルタイムのプロセスデータポイントが収集された。訓練データはMMDMモデルを展開するのに使用され、MMDMツールによって生成された散布図は、図25に示されており、8つの流れが訓練データに留まっていることに相当する8つの群を表している。図25は、99%信頼性の楕円を表示している。楕円の内部の領域は、楕円の境界内の何れのスコアも、加熱炉の正常動作に帰属するという99%の信頼性を与える。

【0165】

提案されている異常状態検出の頑健さをテストするために、いくつかのリアルタイムシミュレーションデータファイルが種々のコークス化レベルで収集された。シミュレーションデータポイントは、良いデータと誤ったデータとの両方を含んでいる。コークス化を管状通路に導入するために、全体の熱伝導係数(U)が故意に下げられた。いくつかのデータセットが以下のように収集された。セット1では、係数Uは1000から995に、次に990に、980に、950に下げられた。セット2では、係数Uは1000から500まで下げられた。

10

【0166】

この例示の適用では、この特定の場合に対する展開されたPCRモデルは、 $Y = B_0 + B_1 * T_1 + B_2 * T_2 + B_3 * T_3$ 、ここで、 $B_0 = 316.9227895$ 、 $B_1 = -0.215154485$ 、 $B_2 = 0.274120980$ 、および $B_3 = -0.276083039$ である。 T_1 、 T_2 、 T_3 は、変数の寄与に基づくオンライン(検証データ)で決定されたスコア成分である。

【0167】

異常状態(例えばコークス化)の検出のために新たな監視にこのモデルを適用する前に、この方法の頑健さを確実にするために検証データの新たなセットを使用することにより、このモデルがテストされた。図38は、 $Y(T_{out})$ の予測においてこのPCRモデルがどれくらい正確かを示している。このモデルは、99.9%より高い正確さを有しており、データが種々の動作条件の中で散乱している(図25)という優れた正確性である。もし、動作条件の範囲が狭ければ、正確さはさらに高くなるであろう。

20

【0168】

また、このモデルは、訓練データで使用されているより12%高い流量についても、 $Y(T_{out})$ の予測に使用された。換言すれば、このモデルは、訓練データで使用された流量の範囲の外の流量に対しても、プロセスの挙動を予測するのに使用された。図39は、予測は高い正確性を以てここでも動作した。モデルは訓練データ内(例えば、訓練が行われた範囲)に留まるデータに使用されることが注記される。

30

【0169】

上述のモデルは、検証データにおけるコークス化の検出に使用された。このモデルは、全てのシミュレーションされた検証データについてコークス化を検出することができる。図40は、実際のYが予測されたY(ハットY)よりどれくらい低いかを示している。ハットYに対する実際のYの比は、コークス化が増大する(全体の熱伝導が低下する)に伴って低くなる。予測されたYは、正常な状態(故障/コークス化のない)でのYの値である。予測されたYに関する実際のYの挙動から、プラント要員は管状通路内のコークス化の重大性を決定することができる。

40

【0170】

データの他のセットが提案されている検出の方法論を検証するために使用される。このセットは、高い値の突然の大きな異常状態(コークス化)が導入されたデータ又は正常なプロセスを含んでいる。図41は、予測されたYに対する実際のYの比がどのように変化するかを示している。図41の最初の部分は、良好なモデルが正常の挙動をどのように予測するかを示している。

【0171】

要約すれば、上述の技術(および内在するモデル)は、PCAおよびPCRを使用してコークス化ヒーター管状通路におけるコークス、閉塞および他の異常状態を検出することを指向している。そのためには、原油の入口温度、管状通路の原油流量、トータル原油流

50

量、管状通路出口温度、最終温度、燃料流量、および燃料出口温度が監視され、管状通路出口温度がコークス化ヒーターの性能インディケータとして使用され得る。いくつかの例では、性能インディケータは、PCAを用いてモデル化され、そのモデルについての訓練データの範囲内で動作条件に対するPCRを使用することによって予測される。それにもかかわらず、PCRは、訓練データの範囲外での動作条件に対するコークス化ヒーターのキーとなる性能インディケータの予測に使用され得る。

【0172】

図42および43において取り組まれている開示の特徴に移行すれば、加熱炉におけるコークス化の多変量監視及び診断に対するPCAパラメータベースの技術が開示されている。このアプローチは、複数の主成分分析(PCA)モデルの展開と、異なるプロセス動作条件に対するパラメータの比較とを基礎としている。コークス化の検出はさておき、開示されている技術、方法は、種々の異なるプロセス装置(例えば、加熱炉におけるススの堆積、反応装置、コンプレッサ、熱交換器、蒸留カラム、膜などの閉塞および他の故障、)を巻き込んだ種々のプロセスの遅い変化の決定又は検出に対して有効である。

10

【0173】

上述のように、PCAベースの技術は、オンライン監視及び診断に関連して実装するための分散型プロセス制御システム(DCS)に統合され得る。また、開示されている技術は、オンラインモデルの展開およびモデルパラメータの比較のためのデータの生成と操作を可能とする。また、PCAベースの技術は、主成分回帰(PCR)分析を使用してコークス化ヒーターにおけるコークス化レベルを決定するという挑戦によって表される具体的な詳細に適用される。

20

【0174】

本開示のこの特徴は、コークス化のような遅い種々のプロセス変化を、回帰ベースのアプローチを使用することなく検出するための方法を提供している。開示されている方法は、その代わりに、プロセス動作の間に連続して繰り返し又はさもなければ絶えずPCAモデルを展開することと、および展開されたモデルの正常なプロセス動作状態の下で展開されたベースラインモデルに対して比較することとに基づいている。開示されている技術は、以下に述べる理由により回帰を使用する他のものに比較して、特定のアプリケーション(例えば、異常状態防止アプリケーション)におけるより頑健な解を提供し得る。例えば、回帰ベースの技術は、データポイントがフィールドデバイス通信リンク(例えば、Fieldbus、Modbus、無線など)から読み取られる毎に予測を生成する。結果として、回帰ベースの技術は、プロセス状態の現在の予測であり、これは次に、診断状態を決定するためにロジックを介して処理され又は評価される。このプロセスは、データ列における異常ノイズと同様に、設定点および定常状態変化のような動的プロセスによる誤った警報/アラームをしばしば生成する。このタイプの警報は、オペレータにとって面倒であり、従って、もし全く除去されないなら最小化されなければならない。

30

【0175】

これに対して、開示されているアプローチは、連続又はオンデマンドの何れかで、プロセス動作のバックグラウンドにおいて予め決められた次元のデータファイルを生成する。これらのデータファイルは、次に、プロセスの性能を評価するために使用されるPCAモデル最新情報を生成するのに使用される。結果として、開示されている方法は、現在のプロセスデータの値には全く依存しないので、より頑健である。むしろ、開示されている方法は、例えば、データファイルのサイズによって決められる長期のデータ挙動に基づくプロセス性能診断に基づいて警報レポートを生成し得る。開示されている方法の更なる詳細は、以下に記述される。

40

【0176】

最初に、PCAを展開するために訓練データファイルが確立される。訓練データは、正常なプロセス動作条件の間に収集されたデータを表している。上記のように、データファイルはデータの行(観測値)と列とを含み、それぞれの列は配置されたプロセス変数(PV)に対応している。プロセス変数は、行データ又は行データから得られる統計的な符号

50

定数（例えば、異常状態防止ブロックデータ）の何れかである。従って、データファイルは、 $m \gg n$ という一般的な仮定を伴う n 列 \times m 行を含んでいる。このような配置で、このモデルは、 m 個の観測値を伴う n プロセス変数に対処し、 $m \times n$ のデータ行列 X を含み、これは上述のように自動スケールされている。実際のモデルは、次に $n \times n$ の共分散行列 S のスペクトル成分を計算することにより構築され、ここで $S = X^T \cdot X / (m - 1)$ であり、これは S を $S = V \cdot D \cdot V^T$ と書き換え、ここで、

【数 8】

$$D = \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \sigma_2^2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \sigma_n^2 \end{bmatrix}$$

10

20

であり、 σ_i^2 , $i = 1, \dots, n$ は、最大から最小に並び替えられた固有値（分散）であり、 V の列は対応する固有ベクトルである。最大の固有値およびその対応する固有ベクトルは、オリジナルのプロセスデータにおける最大の変動の量を含むオリジナルの入力空間における方向に相当している。これは、第 1 の主成分であると考えられる。第 2 番目に大きい固有値とその対応する固有ベクトルは、第 1 の主成分に直角の方向に相当し、次に大きい変動の量を含んでいる。これが、全てのオリジナルのプロセスデータを説明する新たな直交ベクトル空間が生成するまで続けられる。

30

【0177】

固有値および固有ベクトルが計算された後、何れが重要な主成分であるかを決定することが必要であり、それは、通常、プロセスにおける重要な変動に対応し、重要でないものはノイズに対応している。重要および重要でない主要成分を決定するために、その例は上記で提供したが、多くの方法が使用され得ることを理解すべきである。

【0178】

どの方法が選択されるにしても、最終の結果は、重要な主要成分 a の数の決定であり、それは PCA モデルについて保持されるであろう。次に、負荷行列 $P \in R^{n \times a}$ が V から最初の a 列（固有ベクトル）をとることにより生成される。オリジナルの観測値の負荷行列による部分空間への射影は、スコア行列と称され、 $T = X \cdot P$ と表記される。 T の列は PCA モデルのスコアと称され、そして t_1, t_2, \dots, t_n として言及され、 $n \times a$ 行列 P は PCA モデルとして言及される。

40

【0179】

訓練データファイル X 。本開示のこの特徴の目的のために、プロセスの挙動を記述する独立プロセス変数を選択しそれらを訓練データファイル X のうちの最後の $n - k > 0$ によって表されるようにすることと同様に、プロセスの挙動が決定されるのに影響を与える独立変数を選択しそれらが訓練データファイル X のうちの最初の $k < n$ を表すようにすることにより、訓練データファイル X が選択される。もし、回帰技術が実装されると、 X の中の最初の k 個のプロセス変数が、最後の $n - k$ 個のプロセス変数の予測に使用される。しかしながら、PCA モデルを展開するとき、 X は k 個の独立プロセス変数だけを有し $n =$

50

kである。それらは、次に従属変数を予測するのに採用されるスコア t_1, t_2, \dots, t_a を生成するのに使用される主成分ベクトル（負荷ベクトル）を有する負荷行列 P を生成するのに使用される。開示されているアプローチでは、独立および従属変数は組み合わせられて訓練データファイル X を生成する。

【0180】

一度 PCA モデルが特定されると、負荷行列 $P = [p_1, p_2, \dots, p_a]$ が定義されるようになり、ここで $p_i = [p_{i,1}, \dots, p_{i,k}, p_{i,k+1}, \dots, p_{i,n}]^T$ は $i = 1, \dots, a$ に対する負荷ベクトルである。 p_i の最初の $p_{i,1}, \dots, p_{i,k}$ 成分は、X における最初の k 個の独立変数に対応する負荷値である。同様に、 $p_{i,k+1}, \dots, p_{i,n}$ 成分は、X における最後の $n - k$ 個の従属変数に相当する負荷値である。結果として、P はオリジナルのプロセス変数に直接関連づけられた相関のある負荷値の空間を定義する。X における各従属変数、それらの $n - k$ 個は、以下の式によって与えられるこの空間における負荷値距離 (metric) を有し：

10

$$z_j = \sqrt{\sum_{i=1}^a \frac{p_{i,j}^2}{\sigma_i^2}}$$

20

30

ここで、 $j = k + 1, \dots, n$ であり、 σ_i は D における i 番目の固有値である。

【0181】

負荷値距離 (metric) z_j は以下の性質を有する j 番目の従属プロセス変数のモデルの結果 (outcome) である。ここで、X および Y は、同じプロセス動作から異なる時間に集められたデータファイルであり、 z_j および v_j は同じ従属プロセス変数の X および Y にそれぞれ対応するモデルの結果 (outcome) であり、もし、 $z_j \approx v_j$ なら j 番目のプロセス変数によって記述されるプロセスの挙動は、X および Y に対して同様である。これとは逆に、もし、 $z_j \neq v_j$ なら、j 番目のプロセス変数によって記述されるプロセスの挙動は、X および Y に対して異なる。

40

【0182】

この性質はプロセスの診断には有用であり、特に変化の遅いプロセス挙動の診断には有用である。その理由は、負荷値距離 (metric) z_j はオペレータによって特定される時間期間に亘るプロセスの挙動を反映しており、従って、回帰アプローチによって与えられる最も最近のアップデートよりも完全な診断を提供するからである。

【0183】

50

コークス化ヒーターアプリケーション。先の技術は、コークス化ヒーターにおけるコークス化のレベルを決定するのに使用され得る。上述のように、データファイルXは表1および図24によって定義されるプロセス変数により構成されている。その実施例では、 T_{out} は一意的な従属変数であり、一方、他の全ての変数は独立である。しかしながら、本開示のこの特徴に従う技術では、全ての変数がPCAモデルの生成に使用され、PCRは使用されない。

【0184】

このような割り当てで、ベースラインモデルが正常動作の条件（即ち、0%コークス化）の下で生成され、負荷値距離（metric）Zが T_{out} について計算された。続いて、同様のことが、加熱炉におけるコークス化の異なる%に対して行われ、図42は得られた結果を示している。図42から明らかのように、コークス化の%が上昇するに伴うZにおける単調な減少が存在し、これは、コークス化の%が変化することにより、負荷空間における構造的な変化が存在することを示唆している。変化は合作的であり、その時に一つの変数を監視することにより容易に決定し得ない。

10

【0185】

上記に基づいて、Z上の異なる境界を置くことにより、診断/故障検出方法又はシステムにおいて使用され得る。各モデルはZの挙動をモデルデータを集めるのに使用される時間の長さに基づいて表現するので、この技術を使用して発行される警報およびアラームは、より信頼できる。さらに、実行の間、この検出方法は、オペレータに対して完全にトランスペアレントである。これは、この検出方法が監視コンソールのバックグラウンドで実行され、設定された境界が超えられ又は違反されたときにのみ異常状態のオペレータに警報を出すように構成され得るからである。図43のフローチャートは、この方法およびシステムが一実施形態に従ってどのようにして実装されるかを示している。このアプローチで、誤ったアラームおよび警報が避けられ、にもかかわらずプロセスパラメータの性能が経時的に厳格に監視され得る。

20

【0186】

図43に移行して、ブロック302でこの手法はデータファイルXのサイズを特定し、監視されているプロセスのプロセス変数から生成される訓練データに基づいてデータファイルXを生成する。上記で論じたように、訓練データはプロセスの正常なオンライン動作に対応している。ブロック304で、PCAモデルのような多変量モデルがデータファイルXから展開され、負荷行列Pおよび対角行列Dを決定するために値が求められる。Z変数はブロック306で、上記で論じたように、データファイルXの従属変数に対して値が求められる。ブロック308では、ブロック306でデータファイルXについて値が求められたZ値に境界Lが設定される。

30

【0187】

境界Lが設定されると、ブロック302 - 306の手順は、異常動作を検出するために新たなデータファイルYについて繰り返される。特に、このシステムのプロセス変数から生成されたデータが受信され、そのデータは、プロセスの異常動作の監視が行われている監視状態に対応する、プロセスがオンラインで動作している間に生成されたデータに対応している。上記で論じたように、データファイルYの従って、一般的には同じプロセスから異なる時間に収集される。ブロック310では、新たなデータファイルYのサイズが特定され、データファイルYはプロセスのオンライン動作をモデル化するために生成される。PCAモデルのような多変量モデルは、データファイルYに対する負荷行列Pおよび対角行列Dを決定するためにブロック312で展開され値が求められる。Z値はブロック314でデータファイルYの従属変数に対して値が求められ、そしてデータファイルYに対するZ値は、ブロック316で境界Lと比較される。もし、データファイルYに対するZ値がその境界を超えているなら、異常動作であることを示すために、ブロック318で警報が生成され得る。そうでない場合は、プロセスは、同じプロセスから生成され新たなデータファイルを用いて、データファイルXおよびYとは異なる他の時間でまた続行する。このように、この手続はプロセスの異なる動作時間に対応する様々なデータファイル

40

50

について繰り返されて、長期間に亘るデータの挙動に基づいて異常状態を検出し、ここでは異常状態はプロセスにおける様々な遅い変化に関連している。ブロック 3 1 6 は警報が生成されるのは Z 値が境界 L より大きい場合であることを示しているが、警報は Z 値が境界 L より小さい場合にも生成され得ることを認識すべきである。

【 0 1 8 8 】

本開示のこの特徴により、PCA モデルパラメータは、オンライン診断について定義されおよび適用され、コークス化ヒーターにおけるコークス化および種々のプロセス装置の故障および異常状態に有用である。このモデルパラメータは、PCA 負荷および分散情報を使用して導かれ得、負荷値距離 (metric) は従属又は独立のプロセス変数について定義され得る。いくつかのケースでは、開示されている方法は、瞬時の又は最新の変化よりもむしろ長期間のコークス化ヒーターの観察に使用され得る。例えば開示されている方法は、オンラインの長期に亘る協調的な診断に使用され得る。これに代えて又はこれに加えて、開示されている方法は、回帰分析へのアプローチの代替を提供し得る。開示されている方法は、例えば、Delta V (登録商標)、Ovation などを含む多くの制御システムプラットフォームに関連して、そして Rosemount 3420 FF インターフェイスモジュールのような種々のプロセス装置およびデバイスとともに実装され得る。あるいは、開示されている方法およびシステムは、単独型の異常状態検出アプリケーションとして実装され得る。何れの場合も、開示されている方法およびシステムは、警報を生成するように構成され得、さもなければ加熱炉におけるコークス化のレベルの基準をサポートし得る。

【 0 1 8 9 】

当業者は、上記の例示のシステムおよび方法が種々の方法で改変され得ることを認識するであろう。例えば、ブロックは省略し又は並び替えられ、追加のブロックが加えられ得る。例えば、図 7 に関しては、ブロック 1 4 6 はフローの異なる点に実装され得る。同様に、ブロック 1 4 8 は、別のルーチンの一部として実装され得、従って、それは、適切なコマンドが受信されて別のルーチンの実装を開始するときに依存して、図 7 のフローの種々のポイントに実際に出現し得る。

【 0 1 9 0 】

異常状態防止モジュールおよび異常状態防止ブロックを含む上記の例は、開示されているシステム、方法、および技術の実践がこのような状況に限定されないということの理解と共に開示されている。むしろ、開示されているシステム、方法、および技術は、異なる構成の構造、コンポーネント配置、又は他の別々の部品、ユニット、構成要素、若しくはは監視、データ集合の選択が可能な事項の集合など、どのような診断システム、アプリケーション、ルーチン、技術又は手法とも使用するのに適している。診断において使用されているプロセスパラメータを特定する他の診断システム、アプリケーションなどは、ここに記載されているシステム、方法および技術から開発されさもなければ恩恵を受け得る。パラメータの特定の仕様は、ここに関連するプロセスデータを配置し、監視しおよび格納するに使用され得る。更に、開示されているシステム、方法および技術は、プロセス制御システムの診断の特徴に関連して単独で使用される必要はなく、特に、このような特徴が開発段階又は開発の早期の段階にあるときは、単独で使用される必要はない。むしろ、開示されているシステム、方法、および技術は、プロセス制御システム、プロセスプラント又はプロセス制御ネットワークなどとの使用に適している。

【 0 1 9 1 】

ここに開示されている方法、プロセス、手法および技術は、ハードウェア、ファームウェア、およびソフトウェアのどのような組合せをも使用して実装され得る。従って、ここに記載されているシステムおよび技術は、標準の多目的プロセッサにおいて又は記載したように特別に設計されたハードウェア又はファームウェアを使用して実装され得る。ソフトウェアに実装されたとき、そのソフトウェアは、磁気ディスク、レーザディスク、若しくは他の媒体、コンピュータ、プロセッサ、I/O デバイス、フィールドデバイス、インターフェイスデバイスなどのラム若しくはロム若しくはフラッシュメモリなどに格納され

得る。同様に、そのソフトウェアは、例えば、コンピュータ読み取り可能なディスク又は他の可搬性のコンピュータ記憶メカニズム又は通信媒体を含む既知の又は所望の配送方法を介してユーザ又はプロセス制御システムに配送される。通信媒体は、コンピュータ読み取り可能な命令、データ構造、プログラムモジュール、又は搬送波若しくは他の搬送メカニズムのような変調されたデータ信号における他のデータを具体化する。「変調されたデータ信号」とは、一つ又はそれ以上のその特性のセットを有する信号又はその信号のエンコード情報に変更された信号をいう。限定されない一例として、通信媒体は、有線ネットワーク又は直接有線接続のような有線媒体、音響、ラジオ周波数、赤外のようなワイヤレス線媒体および他の無線媒体を含む。従って、そのソフトウェアは、電話回線、インターネットなど（これらは、可搬性の記憶媒体を介してこのようなソフトウェアを提供するものと同じ又は互いに交換可能であるように見える）の通信チャンネルを介してユーザ又はプロセス制御システムに配送され得る。

10

【0192】

本発明は、特定の実施形態を参照して記述されているけれども、これらは例示のみを意図し本発明を限定するものではなく、当業者には、開示されている実施例に、本発明の精神および範囲から逸脱することなく、変更、付加、削除が為され得ることが明らかである。

【符号の説明】

【0193】

- 10 プロセスプラント
- 12 プロセス制御システム
- 12A オペレータインターフェイス
- 12B コントローラ
- 12C 入力/出力カード
- 14 プロセス制御システム
- 14A オペレータインターフェイス
- 14B 分散コントローラ
- 15 フィールドデバイス
- 16 フィールドデバイス
- 18 保守コンピュータ
- 19 ワークステーションツール
- 20 回転装置
- 22 保守コンピュータ
- 23 アプリケーション
- 24 電力発生分配システム
- 25 電力発生分配装置
- 26 支援コンピュータ
- 27 診断アプリケーション
- 30 コンピュータシステム
- 35 異常状態防止システム
- 38 構成アプリケーション
- 42 異常動作検出システム
- 43 警報/警告システム
- 45 有線接続バス
- 46 インターネット接続
- 54 プロセス制御システム
- 60 プロセスコントローラ
- 64 フィールドデバイス
- 66 フィールドデバイス
- 68 I/Oデバイス

20

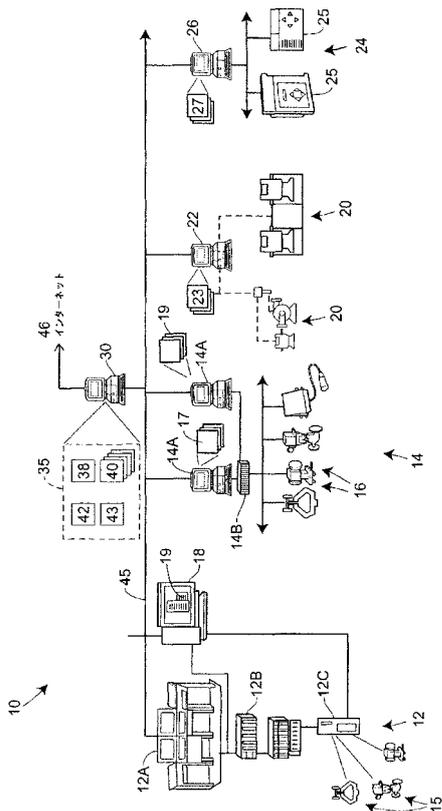
30

40

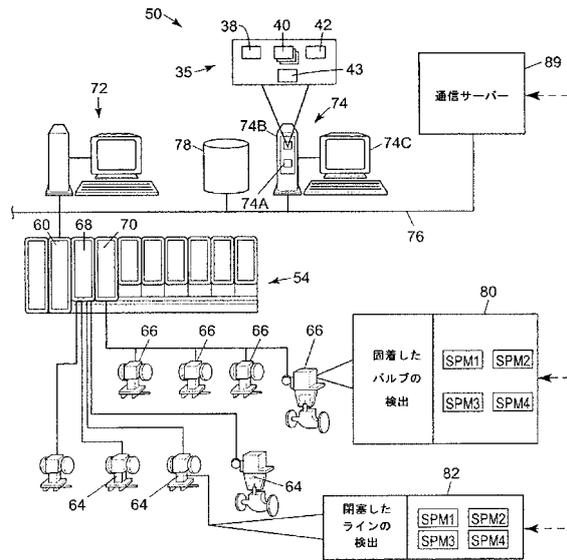
50

- 70 I/Oデバイス
- 72 ワークステーション
- 74 保守ワークステーション
- 74A プロセッサ
- 74B メモリ
- 74C ディスプレイデバイス
- 76 通信バス
- 78 データベース

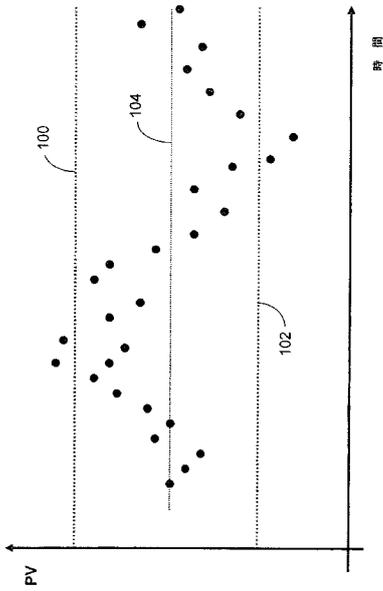
【図1】



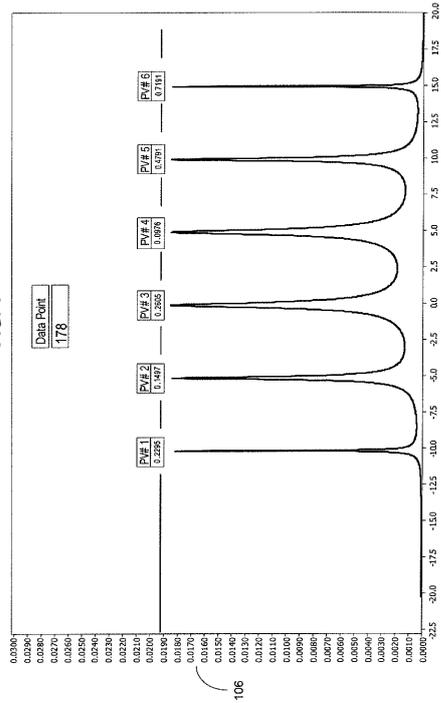
【図2】



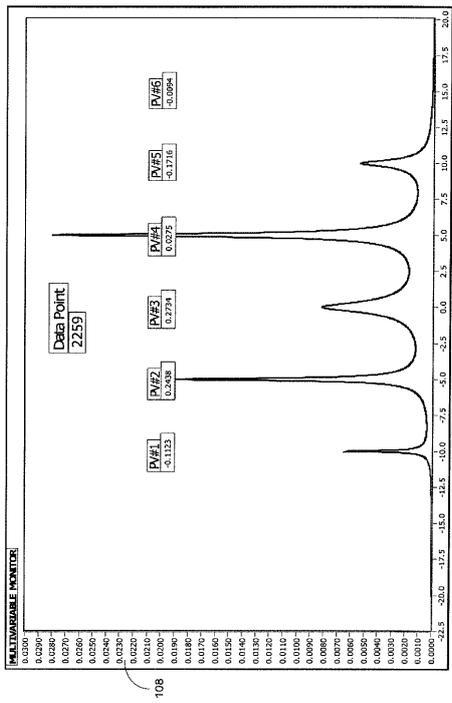
【 図 3 】



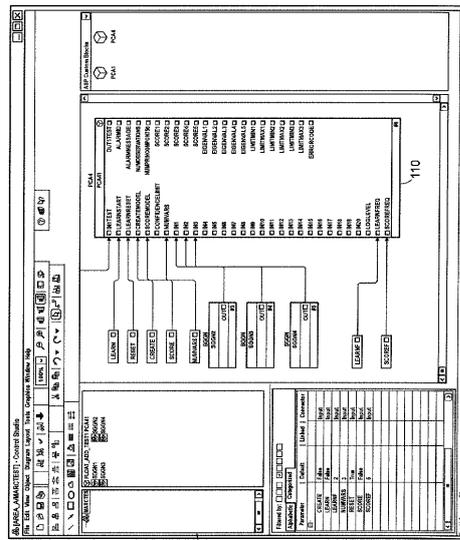
【 図 4 】



【 図 5 】

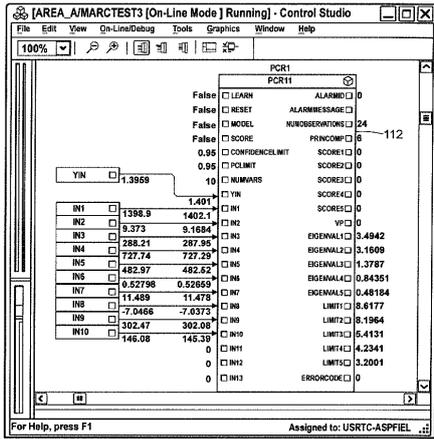


【 図 6 】

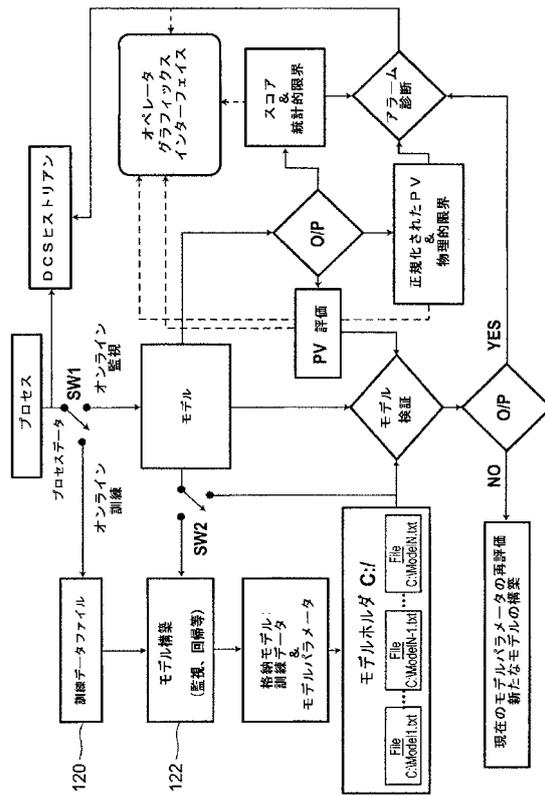


【 図 7 】

FIG. 7

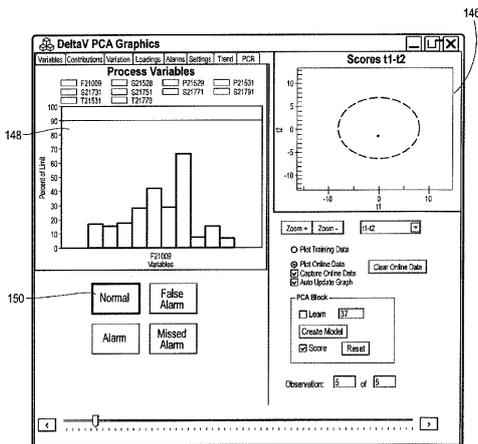


【 図 8 】

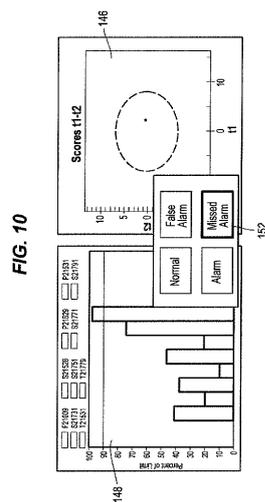


【 図 9 】

FIG. 9

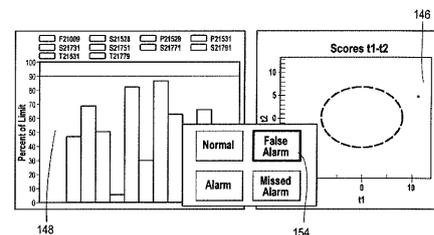


【 図 10 】

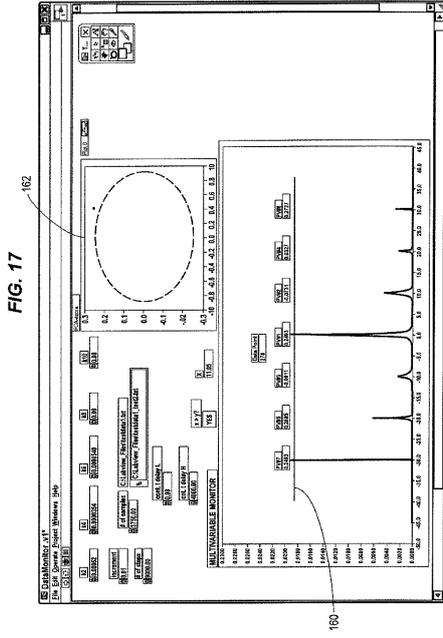


【 図 11 】

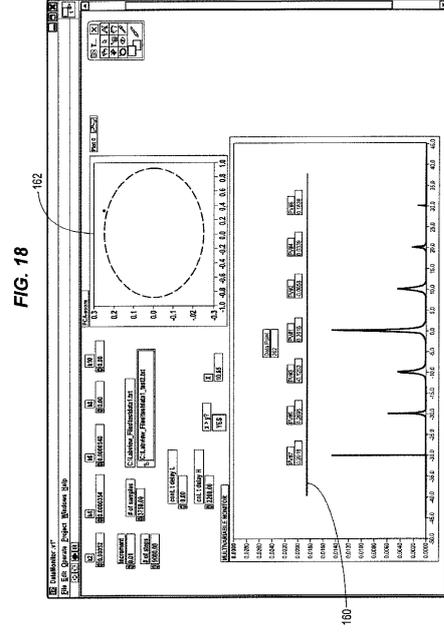
FIG. 11



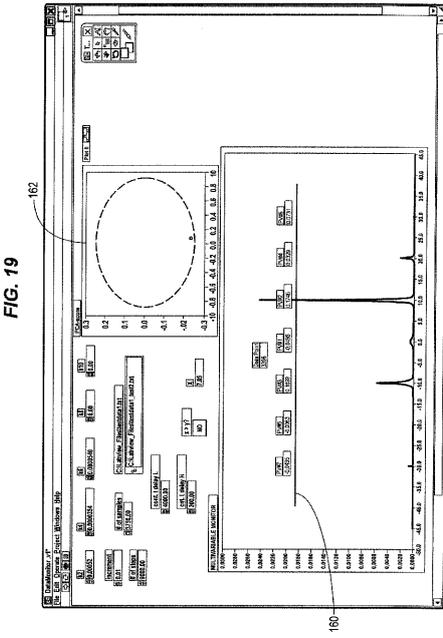
【 17 】



【 18 】

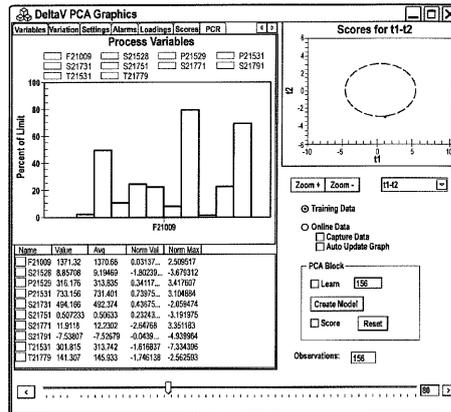


【 19 】



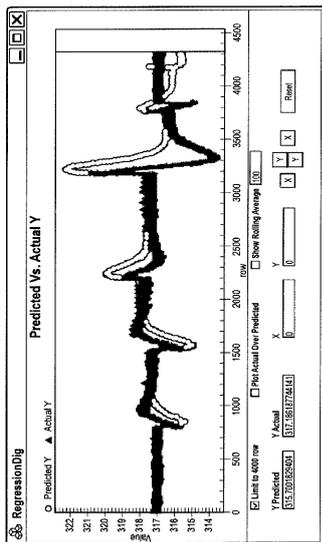
【 20 】

FIG. 20



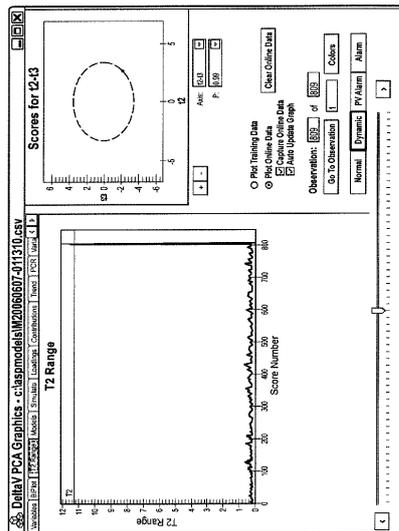
【 2 9 】

FIG. 29



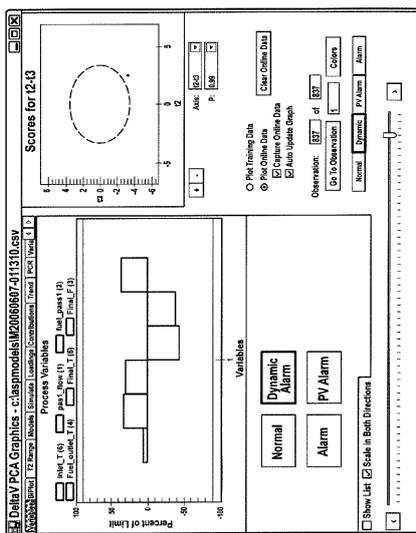
【 3 0 】

FIG. 30



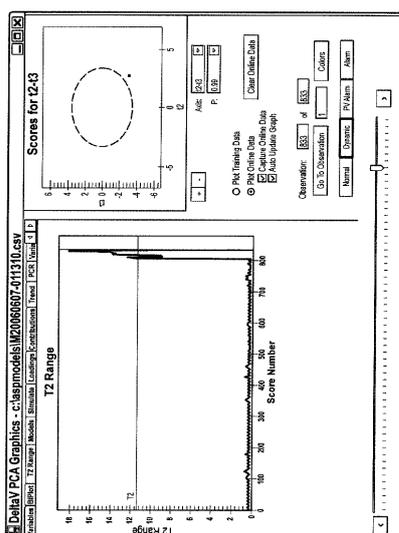
【 3 1 】

FIG. 31



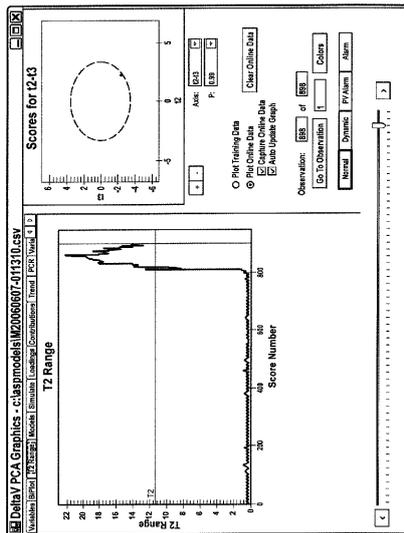
【 3 2 】

FIG. 32



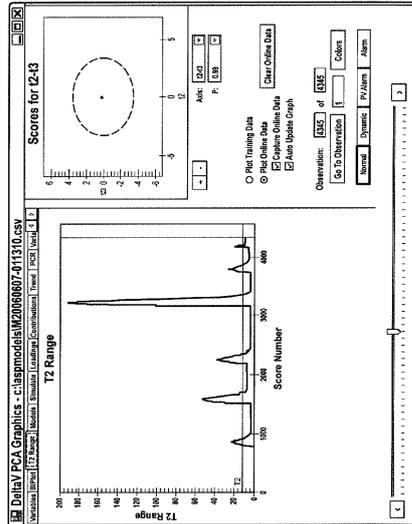
【 3 3 】

FIG. 33



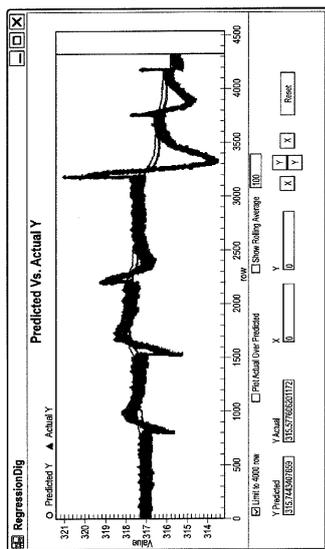
【 3 4 】

FIG. 34



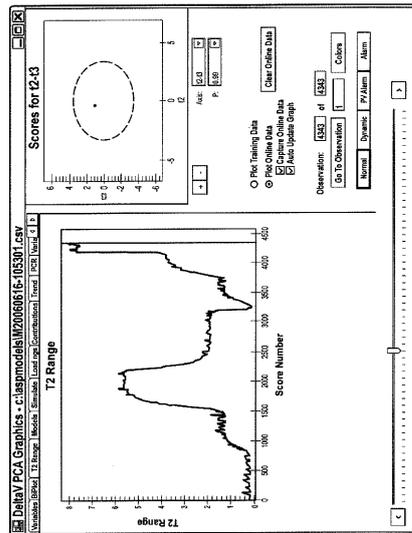
【 3 5 】

FIG. 35

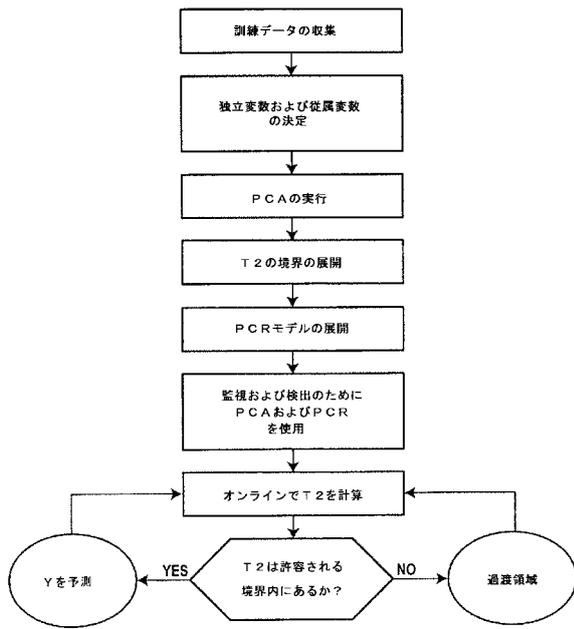


【 3 6 】

FIG. 36



【 図 3 7 】



【 図 3 8 】

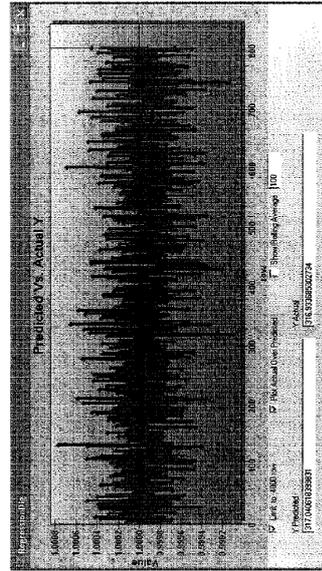


FIG. 38

【 図 3 9 】

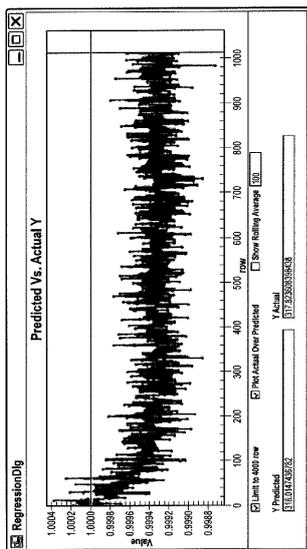


FIG. 39

【 図 4 0 】

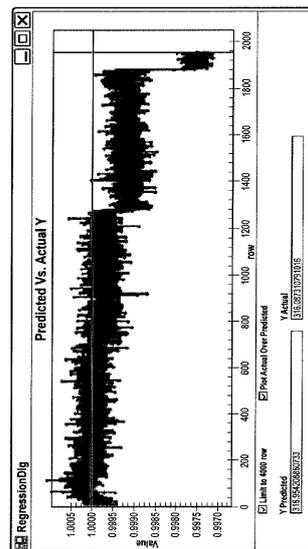
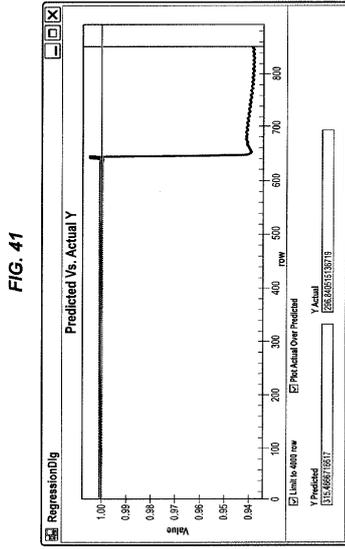
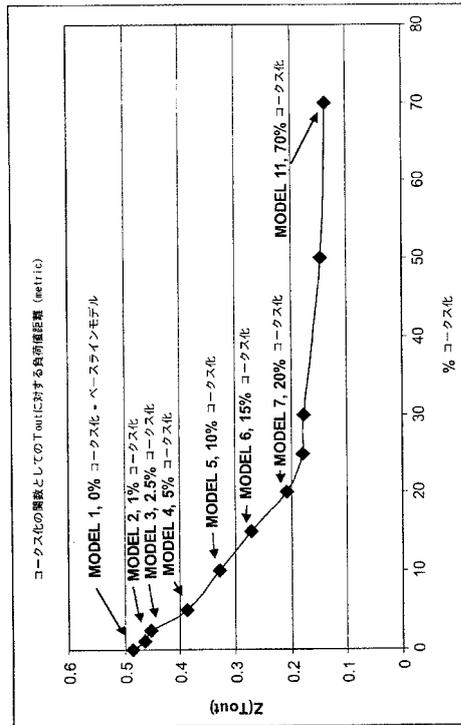


FIG. 40

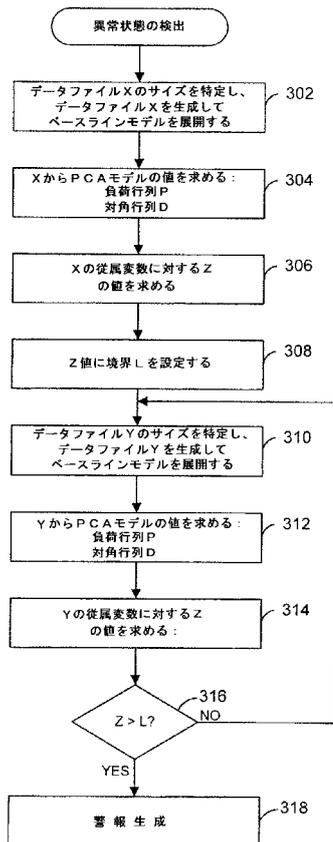
【 図 4 1 】



【 図 4 2 】



【 図 4 3 】



【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

		International application No PCT/US2007/079919
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER INV. G05B23/02		
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) G05B		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the International search (name of data base and, where practical, search terms used)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 6 885 907 B1 (ZHANG YALE [CA] ET AL) 26 April 2005 (2005-04-26) column 7, line 5 - line 40 column 10, line 47 - line 59 column 15, line 25 - column 16, line 40	1, 3, 4, 7, 10, 11, 14, 15
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> 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 document 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 6 May 2008		Date of mailing of the International search report 17/07/2008
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-8016		Authorized officer Kelperis, K

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/US2007/079919**Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of Item 2 of first sheet)**

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(e) for the following reasons:

1. Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched, by this Authority, namely:
2. Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:
3. Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

see additional sheet

1. As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.
3. As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
4. No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

1-15

Remark on Protest

- The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.
- The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
- No protest accompanied the payment of additional search fees.

International Application No. PCT/US2007 /079919

FURTHER INFORMATION CONTINUED FROM PCT/ISA/ 210

This International Searching Authority found multiple (groups of) inventions in this international application, as follows:

1. claims: 1-15

A system for facilitating detection and identification of a transient operation from an abnormal operation of a process in a process plant, the system comprising:
a data collection tool adapted to collect on-line process data from a process control system within the process plant, wherein the collected on-line process data comprises data representative of an operation of the process when the process is on-line and wherein the collected on-line process data is generated from a plurality of process variables of the process;

a first analysis tool comprising a first multivariate statistical analysis engine adapted to generate a first representation of the operation of the process based on a first set of the collected on-line process data generated from a first set of the process variables of the process, wherein the first representation of the operation of the process is adapted to be executed to generate a first result;

a second analysis tool comprising a second multivariate statistical analysis engine adapted to generate a second representation of the operation of the process based on the first result and based on a second set of the collected on-line process data generated from a second set of the process variables of the process, wherein the second representation of the operation of the process is adapted to be executed to generate a prediction of data generated from the second set of the process variables; and

a monitoring tool adapted to analyze the prediction to detect whether one or more abnormal operations detected based on the first representation of the operation of the process comprises a transient operation of the process.

2. claims: 16-25

International Application No. PCT/US2007/079919

FURTHER INFORMATION CONTINUED FROM PCT/ISA/ 210

A method of detecting an abnormal operation of a coker heater, comprising:
collecting on-line process data for the coker heater, wherein the collected on-line process data is representative of an operation of the coker heater when the coker heater is on-line, and wherein the collected on-line process data is generated from a plurality of process variables of the coker heater;
performing a first multivariate statistical analysis to represent the normal operation of the coker heater in a known state based on a first set of the collected on-line process data generated from a first set of the process variables of the coker heater comprising a multivariate data structure, the representation comprising a measure of the operation of the coker heater in a data space having fewer dimensions than the multivariate data structure;
performing a second multivariate statistical analysis to represent the operation of the coker heater based on a second set of the collected on-line process data generated from a second set of the process variables of the coker heater as a function of components from the data space having fewer dimension than the multivariate data structure to output a prediction of data generated from the second set of the process variables of the coker heater; and
determining if a corresponding signal generated from the second set of the process variables of the coker heater deviates from the prediction of the data generated from the second set of the process variables of the coker heater to detect an abnormal situation within the coker heater.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/US2007/079919

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date	
US 6885907	B1	26-04-2005	AT 500365 A2	15-12-2005
			CA 2497489 A1	27-11-2005
			DE 102005022922 A1	29-12-2005
			FR 2870762 A1	02-12-2005

フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), EP(AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW

(72)発明者 ハマド , アーマッド アリ
アメリカ合衆国 5 5 3 3 4 ミネソタ エデン プレイリー アpartment シー バレー
ビュー ロード 1 4 3 1 9

Fターム(参考) 5H223 AA01 BB01 DD03 DD09 FF05