

(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2005-526306

(P2005-526306A)

(43) 公表日 平成17年9月2日(2005.9.2)

(51) Int. Cl.⁷

G05B 13/04

G06F 19/00

F I

G05B 13/04

G06F 19/00 1 1 0

テーマコード (参考)

5H004

審査請求 有 予備審査請求 有 (全 50 頁)

(21) 出願番号 特願2003-560648 (P2003-560648)
 (86) (22) 出願日 平成15年1月9日 (2003.1.9)
 (85) 翻訳文提出日 平成16年6月18日 (2004.6.18)
 (86) 国際出願番号 PCT/US2003/000575
 (87) 国際公開番号 W02003/060614
 (87) 国際公開日 平成15年7月24日 (2003.7.24)
 (31) 優先権主張番号 10/043, 473
 (32) 優先日 平成14年1月10日 (2002.1.10)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)
 (81) 指定国 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, I E, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SI, SK, TR), AE, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CZ, DE, DK, DM, EC, ES, FI, G B, GE, HU, ID, IL, IN, JP, KR, KZ, MD, MX, NO, NZ, PH, PL, PT, RO, RU, SE, SG, TJ, TM, TR, UA, VN, YU, ZA

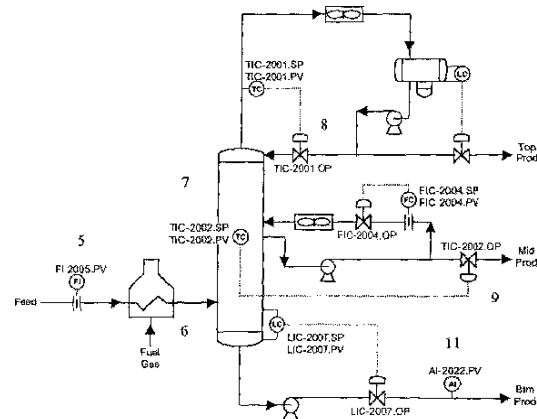
(71) 出願人 504235816
 カトラー チャールズ アール
 CUTLER, Charles, R.
 アメリカ合衆国テキサス州78216, サ
 ン・アントニオ, 70 ノース・イースト
 ・ループ 410 스위트 315
 (74) 代理人 100110434
 弁理士 佐藤 勝
 (72) 発明者 カトラー チャールズ アール
 アメリカ合衆国テキサス州77077, ヒ
 ユーストン, スターライト・ハーバー・カ
 ントリー 13619

Fターム (参考) 5H004 GA30 GB02 KB02 KB04 KB06
 KC22 KC28 KC48 KC55

(54) 【発明の名称】 MPCモデルからのPIDダイナミクスの除去方法

(57) 【要約】

プロセス (図1) の同定試験を用いて開発されたモデル
 予測コントローラからPIDコントローラ (8~10)
 のダイナミクスを除去する方法が提供される。これは、
 バルブに基づいたオフラインプロセスシミュレータの作
 成を可能とし、任意のPID制御配置 (8~10) 又は
 チューニングにおいて変化がなされた場合に複合多変量
 プロセス制御用の新たなMPCコントローラを生成する
 とともに、プロセスの新たな同定試験を導く必要をなく
 す方法を提供する。



Complex Fractionator Schematic

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

複数の独立して制御可能な操作変数、及び上記独立して制御可能な操作変数に従属した少なくとも 1 つの被制御変数を有するプロセスのコントローラモデルのダイナミクスから測定されていない外乱の影響を除去するためのモデル予測制御 (model predictive control) アプリケーションにおいて用いられる方法であって、

上記操作変数のそれぞれに個別に試験外乱を導入して上記被制御変数に対する上記外乱の影響を測定することによって上記プロセスについてのデータを収集するステップと、

上記独立して制御可能な操作変数に対して上記少なくとも 1 つの被制御変数を関連付ける第 1 の線形化されたダイナミックモデルを生成するために、当該被制御変数に対する上記外乱の影響を用いるステップと、 10

独立して制御可能な操作変数の新たなセットを有する第 2 の線形化されたダイナミックモデルを生成するために、マトリクス列消去数学を用いて、上記第 1 の線形化されたダイナミックモデルにおける対応する選択された独立して制御可能な操作 P I D コントローラ設定点変数で、選択されたバルブ位置被制御変数を交換するステップとを含み、

上記第 2 の線形化されたダイナミックモデルは、当該第 2 のダイナミックモデルから除去された上記選択された独立して制御可能な操作 P I D コントローラ設定点変数のダイナミクスを有すること

を特徴とする方法。

【請求項 2】

20

上記第 1 の線形化されたダイナミックモデルは、ステップ応答モデルであること
を特徴とする請求項 1 記載の方法。

【請求項 3】

上記第 1 の線形化されたモデルは、有限インパルスモデルであること
を特徴とする請求項 1 記載の方法。

【請求項 4】

複数の独立して制御可能な操作変数、及び上記独立して制御可能な操作変数に従属した少なくとも 1 つの被制御変数を有するプロセスを制御するための方法であって、

上記操作変数のそれぞれに個別に試験外乱を導入して上記被制御変数に対する上記外乱の影響を測定することによって上記プロセスについてのデータを収集するステップと、 30

上記独立して制御可能な操作変数に対して上記少なくとも 1 つの被制御変数を関連付ける第 1 の線形化されたダイナミックモデルを生成するために、当該被制御変数に対する上記外乱の影響を用いるステップと、

独立して制御可能な操作変数の新たなセットを有する第 2 の線形化されたダイナミックモデルを生成するために、マトリクス列消去数学を用いて、上記第 1 の線形化されたダイナミックモデルにおける対応する選択された独立して制御可能な操作 P I D コントローラ設定点変数で、選択されたバルブ位置被制御変数を交換するステップであり、上記第 2 の線形化されたダイナミックモデルは、当該第 2 のダイナミックモデルから除去された上記選択された独立して制御可能な操作 P I D コントローラ設定点変数のダイナミクスを有するステップと、 40

上記変数の現在値を測定するステップと、

上記プロセスについての上記収集されたデータ、上記測定された現在値、及び、上記操作変数についての新たな値を得るとともに、少なくとも 1 つの上記制約への上記少なくとも 1 つの従属制御可能変数を移動させるように、少なくとも上記操作変数についての現在及び将来の時間についての移動の、予め選択された操作制約のセットから個別の時間間隔を計算するステップと、

少なくとも 1 つの上記制約への上記少なくとも 1 つの従属制御可能変数を上記プロセスに移動させる現在及び将来の時間についての移動の上記セットについての上記操作変数を調整することにより、当該プロセスを変化させるステップとを含むこと

を特徴とする方法。

50

【請求項 5】

上記プロセスは、上記操作変数に従属した少なくとも 1 つの制御されない変数を含み、
現在及び将来の時間についての移動の上記セットを計算する上記ステップは、さらに、
上記制御されない変数が予め定義された制約に制限されるような移動の上記セットの計算
を含むこと

を特徴とする請求項 4 記載の方法。

【請求項 6】

現在及び将来の時間についての移動の上記セットを計算する上記ステップは、さらに、
少なくとも 1 つの上記操作変数が予め定義された制約に制限されるような移動の上記セッ
トの計算を含むこと

を特徴とする請求項 5 記載の方法。

【請求項 7】

現在及び将来の時間についての移動の上記セットを計算する上記ステップは、二次プロ
グラミング技術 (quadratic programming techniques) を用いる移動の上記セットの計算
を含むこと

を特徴とする請求項 4 記載の方法。

【請求項 8】

現在及び将来の時間についての移動の上記セットを計算する上記ステップは、さらに、
少なくとも 1 つの上記操作変数が予め定義された制約に制限されるような移動の上記セッ
トの計算を含むこと

を特徴とする請求項 7 記載の方法。

【請求項 9】

上記プロセスは、上記操作変数に従属した少なくとも 1 つの制御されない変数を含み、
現在及び将来の時間についての移動の上記セットを計算する上記ステップは、さらに、
上記制御されない変数が予め定義された制約に制限されるような移動の上記セットの計算
を含むこと

を特徴とする請求項 7 記載の方法。

【請求項 10】

現在及び将来の時間についての移動の上記セットを計算する上記ステップは、一次プロ
グラミング技術 (linear programming techniques) を用いる移動の上記セットの計算を
含むこと

を特徴とする請求項 4 記載の方法。

【請求項 11】

現在及び将来の時間についての移動の上記セットを計算する上記ステップは、さらに、
少なくとも 1 つの上記操作変数が予め定義された制約に制限されるような移動の上記セッ
トの計算を含むこと

を特徴とする請求項 10 記載の方法。

【請求項 12】

上記プロセスは、上記操作変数に従属した少なくとも 1 つの制御されない変数を含み、
現在及び将来の時間についての移動の上記セットを計算する上記ステップは、さらに、
上記制御されない変数が予め定義された制約に制限されるような移動の上記セットの計算
を含むこと

を特徴とする請求項 10 記載の方法。

【請求項 13】

現在及び将来の時間についての移動の上記セットを計算する上記ステップは、さらに、
少なくとも 1 つの上記操作変数が予め定義された制約に制限されるような移動の上記セッ
トの計算を含むこと

を特徴とする請求項 4 記載の方法。

【請求項 14】

上記プロセスは、上記操作変数に従属した少なくとも 1 つの制御されない変数を含み、

10

20

30

40

50

現在及び将来の時間についての移動の上記セットを計算する上記ステップは、さらに、上記制御されない変数が予め定義された制約に制限されるような移動の上記セットの計算を含むこと

を特徴とする請求項 13 記載の方法。

【請求項 15】

プロセスにおける少なくとも 1 つの P I D コントローラのチューニングが変化される場合に新たなプラント同定試験を実行せずに、上記プロセスの新たな線形化されたダイナミックモデルを開発するための方法であって、

新たな独立して制御可能な操作変数としての少なくとも 1 つの対応するバルブ位置を有する第 2 の線形化されたダイナミックモデルを生成するために、マトリクス列消去数学を用いて、オリジナルの線形化されたダイナミックモデルにおける上記対応するバルブ位置被制御変数で、上記オリジナルの線形化されたダイナミックモデルにおける上記少なくとも 1 つの P I D コントローラ設定変数を交換するステップと、

第 2 の線形化されたダイナミックモデルをともなった上記少なくとも 1 つの P I D コントローラ新チューニングの影響をエミュレートするように、数学的なエミュレータを介して、新たな所望の P I D チューニングを外部にエミュレートするステップと、

上記少なくとも 1 つの P I D コントローラのダイナミクスを含むであろう上記新たな線形化されたダイナミックモデルを得るように、その操作変数のそれぞれをステップすることにより、そのエミュレートされた P I D チューニングをともなって上記第 2 の線形化されたダイナミックモデルを試験するステップとを含むこと

を特徴とする方法。

【請求項 16】

複数の独立して制御可能な操作変数、及び上記独立して制御可能な操作変数に従属した少なくとも 1 つの被制御変数を有するプロセスのコントローラモデルのダイナミクスから測定されていない外乱の影響を除去することにより、プロセスシミュレーションにおける使用及び作成されたシミュレータのトレーニングのためのオフラインプロセスシミュレータを作成する方法であって、

上記操作変数のそれぞれに個別に試験外乱を導入して上記被制御変数に対する上記外乱の影響を測定することによって上記プロセスについてのデータを収集するステップと、

上記独立して制御可能な操作変数に対して上記少なくとも 1 つの被制御変数を関連付ける第 1 の線形化されたダイナミックモデルを生成するために、当該被制御変数に対する上記外乱の影響を用いるステップと、

新たな独立して制御可能な操作変数のセットとしての対応するバルブ位置を有する第 2 の線形化されたダイナミックモデルを生成するために、マトリクス列消去数学を用いて、上記第 1 の線形化されたダイナミックモデルにおける上記対応するバルブ位置被制御変数で、各独立して制御可能な操作 P I D コントローラ設定変数を交換するステップであり、上記第 2 の線形化されたダイナミックモデルは、当該第 2 のダイナミックモデルから除去された上記選択された独立して制御可能な操作 P I D コントローラ設定変数のダイナミクスを有するステップと、

手動、カスケード、又は自動モードのいずれかで P I D コントローラをエミュレートするように、数学的なエミュレータを介して、所望の規定制御体系を外部にエミュレートするステップとを含むこと

を特徴とする方法。

【請求項 17】

請求項 16 に記載の方法によって経験的なダイナミックモデルから作成されたオフラインプロセスシミュレータ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、化学製造プラント又は精製のような複合プロセスの多変量制御の技術分野に

10

20

30

40

50

関する。この方法は、プロセスの同定試験を用いて開発されたモデル予測コントローラ (Model Predictive Controller) から P I D コントローラのダイナミクスを除去するために開示される。これは、パルプに基づいたオフラインプロセスシミュレータの作成を可能とし、変化が任意の P I D 制御配置又はチューニングにおいて行われた場合に複合多変量プロセス制御用の新たな M P C コントローラを生成し、且つプロセスの新たな同定試験を導入する必要なしに行う方法を提供する。

【背景技術】

【0002】

モデル予測制御 (Model Predictive Control; M P C) は、複合多変量プロセスの将来の振る舞いを最適化するために、操作変数調整のシーケンスを計算するアルゴリズムのクラスを参照する。もともとは精油及び化学プロセスの必要性を満たすために開発されたが、今や M P C は、化学、食品加工、自動車、航空宇宙、冶金、並びにパルプ及び紙を含む広く様々なアプリケーション領域でみられ得る。化学及び精製のアプリケーションにおける M P C の有名な実装は、ダイナミックマトリクス制御 (Dynamic Matrix Control) 又は D M C である。

10

【0003】

M P C コントローラは、関心のある出力変数に対する操作変数及び測定可能な外乱の過去の変化の影響を予測するために、プロセスのソフトウェアモデルを用いる。独立変数は、予測区間 (prediction horizon) として知られている時間間隔についての将来のシステムの振る舞いを最適化するために計算される。一般の場合では、任意の所望の目的関数を最適化のために用いることができる。システムダイナミクスは、原理的には、多くの異なる数式をとることができる明示的なプロセスモデルによって記述される。プロセス入力及び出力制約は、将来の強制外乱が予想されて防止されるように、問題方程式に直接含まれる。

20

【0004】

実際には、M P C コントローラの実装において、多くの異なるアプローチが開発されて商業化されている。最も成功した実装は、プラントダイナミクスについての線形モデルの使用をなした。線形モデルは、独立変数上の外乱の試験の導入及び従属変数に対する外乱の影響の測定によってプロセス上のデータを収集することにより、第1のステップで開発されている。この初期ステップは、この同定データの同定及び斬新な使用がこの発明の本質であるとして引用される。

30

【0005】

米国特許第4, 349, 869号明細書及び米国特許第4, 616, 308号明細書は、ダイナミックマトリックス制御 (Dynamic Matrix Control; D M C) と称される M P C 制御の実装について記述している。これらの特許は、プラントの線形モデルに基づいた M P C アルゴリズムについて記述するとともに、プロセス制約が問題方程式にどのように含まれるかを記述する。プロセスデータを用いた M P C コントローラの初期の同定も記述されている。

【0006】

さらなる背景の方法により、プロセスダイナミクスのこの同定は、従属変数に対する影響を決定するために、プロセスの独立変数があるパターンの中で移動される予備試験を要求する。化学又は精製プロセスにおいて、独立変数は、選択された従属変数についての P I D (proportional-integral-derivative) コントローラ設定点、手動での P I D コントローラのパルプ位置、並びにコントローラの領域の範囲外で決定される温度、材料流量、圧力、及び構成を含む。任意の同定試験プロセスについては、独立変数は、データの解析のために固定される。さらに、M P C コントローラの領域における任意の P I D コントローラのチューニングは、固定される。同定からのダイナミックプロセスモデルを用いるために構築される M P C コントローラは、同定が実行された場合に存在した独立変数の同じ配置を正確に有していなければならない。したがって、同定中に存在する P I D コントローラ配置は、ダイナミックモデルにおける P I D コントローラダイナミクスを組み込む。

40

50

【0007】

現在の同定技術のこの特性は、この発明によって取り組まれる未解決の問題を表す。その問題は、2つの異なる領域において現れるMPC技術の使用に対する制限を作り出す。

【0008】

第1のアプリケーション領域は、MPCそのものである。PIDコントローラのダイナミクスは、MPCモデルに組み込まれていることから、PIDコントローラのチューニングにおける任意の変化、又はPIDの状態の自動から手動若しくはこれと逆の変化は、ダイナミックモデルを変化する。これを修正するために、変化した条件を備えたプロセスユニットを再試験することが要求されてきた。複合多変量プロセスに対するよく設計された同定試験は、注意深い計画及び熟練した人々を含む2～3週間の努力かもしれない。

10

【0009】

第2のアプリケーション領域は、オペレータトレーニングシミュレータの分野である。有効なトレーニングシミュレータは、化学プロセス業界にとって重要である。新たな化学プロセスにおける大型投資及び複合プロセスの安全含意は、よく訓練されたオペレータグループを要する。これは、オペレータはユニットを制御する機会がないことから、拡張された期間についてコンピュータ制御が残存するプロセスユニットにとって特に重要である。MPCモデルは、トレーニングシミュレータを作成するのに用いられるが、現在の同定技術から得られたMPCモデルは、同定中に存在するPIDコントローラの配置がダイナミックモデルにおいてPIDコントローラダイナミクスを組み込む上述した問題のために、理想を満たさない。この結果は、モデルの忠実度の低減なしでオペレータがPIDコントローラの状態（自動又は手動）を変化することができないことから、真のトレーニングは困難であるということである。化学プロセス業界における制御室の調査は、オペレータが現実的な制御変化で実験することをシミュレータが可能としないことを操作する人員が知るとともに、それらは操業開始後にはめったに使用されないことを明らかにするであろう。制約でプロセスを保持し、温度、圧力、流量及びバルブ位置を全て表示し、オペレータが手動又は自動でいかなるPIDコントローラも切り替えることを可能にするように、忠実度を有する同定モデルに基づいたトレーニングシミュレータは、トレーニング用の強力なツールになるであろう。

20

【0010】

多数の失敗の試みは、この同定問題に取り組む分野における従業者によって行われてきた。1つのアプローチは、手動における規定の制御体系をともなった同定試験を実行することであろう。これは、プロセスが任意のタイプの定常状態に到達しないことから、勿論失敗する。他の試みとしては、規定の体系をともなった標準の同定試験を適所に導入して独立変数としてのバルブ位置を備えたモデルをセットアップすることがなされてきた。これらのアプローチは、常に不安定な結果をともなう失敗に結び付く。バルブ位置が、現実の同定試験の世界に常に存在し、したがって独立していない、測定された及び測定されていない外乱を介してPIDダイナミクスを通じて関連させられることから、このアプローチは失敗することが認識されるようになってきた。

30

【0011】

この事実の認識、並びにデータセットからノイズ及び測定されていない外乱を除去する方法は、本発明の本質である。

40

【発明の開示】

【0012】

本発明の目的は、多変量制御プロセスにおいて用いられるMPコントローラからPIDコントローラのダイナミクスを除去する方法を提供することである。これは、バルブに基づいたオフラインプロセスシミュレータの作成を可能とする。

【0013】

MPCコントローラの様々な実装において用いることができるような方法を提供することは、本発明のさらなる目的である。

【0014】

50

変化が任意のPID制御配置又はチューニングにおいて行われた場合に複合多変量プロセス制御用の新たなMPCコントローラを生成し、且つプロセスの新たな同定試験を導入する必要なしに行う方法を提供することは、本発明のさらなる目的である。

【0015】

高い忠実度のプロセスシミュレータがプロセスシミュレーション及びトレーニングに利用可能であるように、測定されていない外乱の影響が除去されたバルブ位置に基づいたプロセスシミュレータを作成することは、本発明のさらなる目的である。個々のコントローラ上で、任意のコントローラ配置において、及び様々なチューニング配置をとまなうシミュレーションのためにそのようなシミュレータを用いることができるかもしれない。

【0016】

本発明によれば、複数の独立して制御可能な操作変数、及び上記独立して制御可能な操作変数に従属した少なくとも1つの被制御変数を有するプロセスのコントローラモデルからPIDコントローラダイナミクスを除去するためのモデル予測制御アプリケーションにおいて用いられる方法であって、少なくとも、上記操作変数のそれぞれに個別に試験外乱を導入して上記被制御変数に対する上記外乱の影響を測定することによって上記プロセスについてのデータを収集するステップと、上記独立して制御可能な操作変数に対して上記少なくとも1つの被制御変数を関連付ける第1の線形化されたマトリクスモデルを生成するために、当該被制御変数に対する上記外乱の影響を用いるステップと、独立して制御可能な操作変数の新たなセットを有する第2の線形化されたモデルを生成するために、マトリクス列消去数学を用いて、線形化されたモデルにおける対応する選択された独立して制
御可能な操作PIDコントローラ設定点変数で、選択されたバルブ位置被制御変数を交換するステップとを含み、上記第2のモデルは、当該モデルから除去された選択された独立して制御可能な操作PIDコントローラ設定点変数のダイナミクスを有することを特徴とする方法が提供される。

【0017】

制御状況においてこのモデルを使用するために、複数の独立して制御可能な操作変数、及び上記独立して制御可能な操作変数に従属した少なくとも1つの被制御変数を有するプロセスを制御するための方法は、以下のステップを含む：上記操作変数のそれぞれに個別に試験外乱を導入して上記被制御変数に対する上記外乱の影響を測定することによって上記プロセスについてのデータを収集するステップと、上記独立して制御可能な操作変数に
対して上記少なくとも1つの被制御変数を関連付ける第1の線形化されたダイナミックモデルを生成するために、当該被制御変数に対する上記外乱の影響を用いるステップと、独立して制御可能な操作変数の新たなセットを有する第2の線形化されたダイナミックモデルを生成するために、マトリクス列消去数学を用いて、上記第1の線形化されたダイナミックモデルにおける対応する選択された独立して制御可能な操作PIDコントローラ設定
点変数で、選択されたバルブ位置被制御変数を交換するステップであり、上記第2の線形化されたダイナミックモデルは、当該第2のダイナミックモデルから除去された上記選択された独立して制御可能な操作PIDコントローラ設定点変数のダイナミクスを有するステップと、上記変数の現在値を測定するステップと、上記プロセスについての上記収集されたデータ、上記測定された現在値、及び、上記操作変数について
の新たな値を得るとともに、少なくとも1つの上記制約への上記少なくとも1つの従属制御可能変数を移動させるように、少なくとも上記操作変数についての現在及び将来の時間についての移動の、予め選択された操作制約のセットから個別の時間間隔を計算するステップと、少なくとも1つの上記制約への上記少なくとも1つの従属制御可能変数を上記プロセスに移動させる現在及び将来の時間についての移動の上記セットについての上記操作変数を調整することにより、当該プロセスを変化させるステップ。

【0018】

変化が任意のPID制御配置又はチューニングにおいて行われた場合に複合多変量プロセス制御用の新たなMPCコントローラを生成し、且つプロセスの新たな同定試験を導入する必要なしに行う本発明を用いるために、以下のプロセスが用いられ得る：新たな独立

10

20

30

40

50

して制御可能な操作変数としての少なくとも1つの対応するバルブ位置を有する第2の線形化されたダイナミックモデルを生成するために、マトリクス列消去数学を用いて、オリジナルの線形化されたダイナミックモデルにおける上記対応するバルブ位置被制御変数で、上記オリジナルの線形化されたダイナミックモデルにおける上記少なくとも1つのPIDコントローラ設定変数を交換し、そして、第2の線形化されたダイナミックモデルをとらえた上記少なくとも1つのPIDコントローラ新チューニングの影響をエミュレートするように、数学的なエミュレータを介して、新たな所望のPIDチューニングを外部にエミュレートし、そして、上記少なくとも1つのPIDコントローラのダイナミクスを含むであろう上記新たな線形化されたダイナミックモデルを得るように、その操作変数のそれぞれをステップすることにより、そのエミュレートされたPIDチューニングをとらえて上記第2の線形化されたダイナミックモデルを試験する。 10

【0019】

規定の制御体系が現代のコントロールパッケージにおいて利用可能なDCSコンソール又はコンソールエミュレータを介してプロセスモデルに対して容易に外部にエミュレートすることができることが着目されるべきである。これは、オペレータが、PIDコントローラを手動モードにすること、カスケードを壊すこと、PIDコントローラを再度調整すること、又は規定の制御体系を再形成することさえも可能とする。

【0020】

高い忠実度のプロセスシミュレータがプロセスシミュレーション及びトレーニングに利用可能であるように、除去された測定されていない外乱の影響をとらえうバルブ位置に基づいたプロセスシミュレータを生成する本発明を用いるために、以下の方法が用いられる：まず、操作変数のそれぞれに個別に試験外乱を導入して上記被制御変数に対する上記外乱の影響を測定することによって上記プロセスについてのデータを収集し、そして、上記独立して制御可能な操作変数に対して上記少なくとも1つの被制御変数を関連付ける第1の線形化されたダイナミックモデルを生成するために、当該被制御変数に対する上記外乱の影響を用い、新たな独立して制御可能な操作変数のセットとしての対応するバルブ位置を有する第2の線形化されたダイナミックモデルを生成するために、マトリクス列消去数学を用いて、上記第1の線形化されたダイナミックモデルにおける上記対応するバルブ位置被制御変数で、各独立して制御可能な操作PIDコントローラ設定変数を交換し、ここで、上記第2の線形化されたダイナミックモデルは、当該第2のダイナミックモデルから除去された上記選択された独立して制御可能な操作PIDコントローラ設定変数のダイナミクスを有し、そして、手動、カスケード、又は自動モードのいずれかでPIDコントローラをエミュレートするように、数学的なエミュレータを介して、所望の規定制御体系を外部にエミュレートする。前と同様に、規定の制御体系が現代のコントロールパッケージにおいて利用可能なDCSコンソール又はコンソールエミュレータを介してプロセスモデルに対して容易に外部にエミュレートすることができることが着目されるべきである。これは、オペレータが、PIDコントローラを手動モードにすること、カスケードを壊すこと、PIDコントローラを再度調整すること、又は規定の制御体系を再形成することさえも可能とする。 20 30 40

【0021】

精油及び化学プロセスにおいて現在用いられる同定の最も一般的な方法は、ダイナミックマトリクス同定 (Dynamic Matrix Identification; DMI) である。DMIは、本発明の方法論を示すために用いられるであろう。しかし、本発明が特定の同定技術に制限されないことは理解されるべきである。

【発明を実施するための最良の形態】

【0022】

本発明は、MPCコントローラからPIDコントローラのダイナミクスを除去するためのモデル予測制御とともに用いられる方法である。

【0023】

独立及び従属変数間に存在する関係が提供される従属変数といかなる独立変数も交換す 50

ることが数学的に可能であるべきであることから、MPCプロセスモデルは、一次方程式のセットである。その変換の候補セットは、PIDコントローラについての設定点（独立）、及びそのPIDコントローラについての関連するバルブ位置（従属）である。

【0024】

MPCコントローラは、しばしば、プロセスシステムの線形モデルに基づく。ここに記述される本発明は、多くの分野にアプリケーションを有するが、用いられる例は、化学及び精製プロセスアプリケーションからであろう。

【0025】

任意のシステムには、独立変数及び従属変数の2つのタイプの変数がある。独立変数は、システムに対する入力である。独立変数は、操作変数と外乱（フィード・フォワード）変数にさらに分割される。操作変数は、バルブ位置又はPIDコントローラ設定点のような人間のオペレータによって変化され得るものである。外乱変数は、システムに効果があるものの人間のオペレータによって変化され得ない独立変数である。材料構成、材料温度、及び周囲温度のような変数は、外乱変数の例である。

【0026】

従属変数は、システムからの出力である。従属変数は、独立変数の変化によって影響される。人間のオペレータは、直接それらを変化させることができない。しかしながら、従属変数の値は、操作変数の値を正確に変化させることにより制御され得る。さらに、外乱がシステムに入力されるときには、操作変数は、外乱を打ち消すために正確に調整されなければならない。

【0027】

線形モデルの使用は、複合及び多変量制御について記述する際に、マトリクス数学の使用を可能とする。MPCモデルのいくつかの一般的な方程式がある。制御についての一般的なモデルは、ステップ応答モデル（step response model）である。

【数1】

$$\begin{aligned} \delta \bar{O}_1 &= A_{1,1} \Delta \bar{I}_1 + \cdots + A_{1,j} \Delta \bar{I}_j + \cdots + A_{1,nind} \Delta \bar{I}_{nind} \\ &\vdots \quad \quad \quad \vdots \quad \quad \quad \vdots \quad \quad \quad \vdots \quad \quad \quad \vdots \\ \delta \bar{O}_i &= A_{i,1} \Delta \bar{I}_1 + \cdots + A_{i,j} \Delta \bar{I}_j + \cdots + A_{i,nind} \Delta \bar{I}_{nind} \\ &\vdots \quad \quad \quad \vdots \quad \quad \quad \vdots \quad \quad \quad \vdots \quad \quad \quad \vdots \\ \delta \bar{O}_{ndep} &= A_{ndep,1} \Delta \bar{I}_1 + \cdots + A_{ndep,j} \Delta \bar{I}_j + \cdots + A_{ndep,nind} \Delta \bar{I}_{nind} \end{aligned}$$

式1：ステップレスポンスダイナミックマトリクス、ブロックマトリクス形式

ここで、

【数2】

$$\delta \bar{O}_i = \begin{bmatrix} O_{i,1} - O_{i,0} \\ O_{i,2} - O_{i,0} \\ O_{i,3} - O_{i,0} \\ \vdots \\ O_{i,ncoef} - O_{i,0} \end{bmatrix}$$

は、各時間ステップでの第 i 番目の従属変数における累積変化であり、

10

20

30

40

【数 3】

$$\bar{A}\bar{I}_j = \begin{bmatrix} \Delta I_{j,1} \\ \Delta I_{j,2} \\ \Delta I_{j,3} \\ \vdots \\ \Delta I_{j,ncoef} \end{bmatrix}$$

10

は、各時間ステップでの第 j 番目の独立変数のステップ変化であり、

【数 4】

$$A_{i,j} = \begin{bmatrix} a_{i,j,1} & & & & \\ a_{i,j,2} & a_{i,j,1} & & & \\ a_{i,j,3} & a_{i,j,2} & a_{i,j,1} & & \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \\ a_{i,j,ncoef} & a_{i,j,(ncoef-1)} & a_{i,j,(ncoef-2)} & \cdots & a_{i,j,1} \end{bmatrix}$$

20

は、ダイナミックマトリクスである。

【0028】

このステップ応答方程式の代替の形式は、有限インパルス応答 (Finite Impulse Response; FIR) 形式である。それは、以下に記述されるようなステップ応答形式から得ることができる。

【0029】

【数 5】

$$\begin{aligned} b_{i,j,k} &= a_{i,j,k} && \text{for } k=1, \\ b_{i,j,k} &= a_{i,j,k} - a_{i,j,(k-1)} && \text{for } k:2 \rightarrow ncoef \\ &\text{and that} \\ \Delta O_{i,k} &= O_{i,k} - O_{i,(k-1)} && \text{for } k:1 \rightarrow ncoef \end{aligned}$$

30

の定義から再度呼び出す。我々は、与えるべき方程式についての上述のシステムを区別することができる。

【数 6】

$$\begin{aligned} \bar{A}\bar{O}_1 &= B_{1,1}\bar{A}\bar{I}_1 \cdots + B_{1,j}\bar{A}\bar{I}_j \cdots + B_{1,nind}\bar{A}\bar{I}_{nind} \\ \vdots &\vdots \quad \vdots \quad \quad \quad \vdots \quad \quad \quad \vdots \\ \bar{A}\bar{O}_i &= B_{i,1}\bar{A}\bar{I}_1 \cdots + B_{i,j}\bar{A}\bar{I}_j \cdots + B_{i,nind}\bar{A}\bar{I}_{nind} \\ \vdots &\vdots \quad \vdots \quad \quad \quad \vdots \quad \quad \quad \vdots \\ \bar{A}\bar{O}_{ndep} &= B_{ndep,1}\bar{A}\bar{I}_1 \cdots + B_{ndep,j}\bar{A}\bar{I}_j \cdots + B_{ndep,nind}\bar{A}\bar{I}_{nind} \end{aligned}$$

40

式 2：有限インパルス応答方程式—ブロックマトリックス形式

50

ここで、

【数 7】

$$\bar{A}\bar{O}_i = \begin{bmatrix} O_{i,1} - O_{i,0} \\ O_{i,2} - O_{i,1} \\ O_{i,3} - O_{i,2} \\ \vdots \\ O_{i,ncoef} - O_{i,(ncoef-1)} \end{bmatrix}$$

10

は、各時間間隔を横切る第 i 番目の従属変数の変化であり、

【数 8】

$$\bar{A}\bar{I}_j = \begin{bmatrix} \Delta I_{j,1} \\ \Delta I_{j,2} \\ \Delta I_{j,3} \\ \vdots \\ \Delta I_{j,ncoef} \end{bmatrix}$$

20

は、上述のとおりであり、

【数 9】

$$B_{i,j} = \begin{bmatrix} b_{i,j,1} & & & \\ b_{i,j,2} & b_{i,j,1} & & \\ b_{i,j,3} & b_{i,j,2} & b_{i,j,1} & \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots \\ b_{i,j,ncoef} & b_{i,j,(ncoef-1)} & b_{i,j,(ncoef-2)} & \cdots b_{i,j,1} \end{bmatrix}$$

30

は、インパルス係数のモデルマトリクスである。

【0 0 3 0】

これら方程式の 5 つの形式がある。また、我々は、最初の 2 つのみを示した。これらの形式が数学的に等価であり、全ての形式が同定予測及び制御のために用いられるかもしれない一方で、それらは、非常に異なる特性を有している。

【数 10】

$$\delta \bar{O} = A \Delta \bar{I}$$

40

— 制御計算に最もよく用いられる。

【数 11】

$$\Delta \bar{O} = B \Delta \bar{I}$$

— 一定常状態変数の同定に用いられる。

【数 12】

$$\Delta \Delta \bar{O} = B \Delta \Delta \bar{I}$$

50

ーランプ変数 (ramp variables) の同定に用いられる。

【数 1 3】

$$\delta \bar{O} = B \delta \bar{I}$$

ー一般に用いられない。古い I D C O M 制御方程式。

【数 1 4】

$$\Delta \bar{O} = A \Delta \bar{I}$$

ー一般に用いられない。

【0 0 3 1】

C. R. カトラー及び C. R. ジョンストンは、論文 "Analysis of the Forms of the Dynamic Matrix, in the Proceedings of the Instrument Society of America ISA 85 Advances in Instrumentation Volume 40, Number 1 - October 1985" において、マトリクス of これら形式の特性について議論している。

【0 0 3 2】

モデルの同定を含むこれら線形モデリング技術の使用、制御用モデルの使用、及び制約をとまなう制御における使用は、2つの米国特許第 4, 349, 869 号明細書及び米国特許第 4, 616, 308 号明細書に記述されている。これらの特許は、参照することによってここに組み込まれる。

【0 0 3 3】

ここで、我々は、コントローラからの P I D ダイナミクスの除去を実証するために本発明のアルゴリズムを導出するであろう。導出は、式 2 の F I R モデルからである。アルゴリズムを導出するために、我々は、 j 番目の独立変数が P I D コントローラの設定点であり、 i 番目の従属は、その設定点の変化に対する P I D バルブ反応であるものと仮定する。バルブがプロセスモデルにおける独立変数であるように、我々は、モデルを再構成したい。すなわち、我々は、全ての影響を受けたモデル応答からこの P I D コントローラのダイナミクスを除去したい。これは、以下のように、 j 番目の従属変数で i 番目の従属変数を交換することによって遂行することができる。

【数 1 5】

$$\begin{bmatrix} B_{1,1} & \cdots & B_{1,(j-1)} & B_{1,j} & B_{1,(j+1)} & \cdots & B_{1,nind} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ B_{(i-1),1} & \cdots & B_{(i-1),(j-1)} & B_{(i-1),j} & B_{(i-1),(j+1)} & \cdots & B_{(i-1),nind} \\ B_{i,1} & \cdots & B_{i,(j-1)} & B_{i,j} & B_{i,(j+1)} & \cdots & B_{i,nind} \\ B_{(i+1),1} & \cdots & B_{(i+1),(j-1)} & B_{(i+1),j} & B_{(i+1),(j+1)} & \cdots & B_{(i+1),nind} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ B_{ndep,1} & \cdots & B_{ndep,(j-1)} & B_{ndep,j} & B_{ndep,(j+1)} & \cdots & B_{ndep,nind} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \bar{\Delta}_1 \\ \vdots \\ \bar{\Delta}_{(j-1)} \\ \bar{\Delta}_j \\ \bar{\Delta}_{(j+1)} \\ \vdots \\ \bar{\Delta}_{nind} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I & \cdots & 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \ddots & I & 0 & 0 & \ddots & 0 \\ 0 & \ddots & 0 & I & 0 & \ddots & 0 \\ 0 & \ddots & 0 & 0 & I & \ddots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & 0 & 0 & 0 & \cdots & I \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \bar{\Delta O}_1 \\ \vdots \\ \bar{\Delta O}_{(i-1)} \\ \bar{\Delta O}_i \\ \bar{\Delta O}_{(i+1)} \\ \vdots \\ \bar{\Delta O}_{ndep} \end{bmatrix}$$

ここで、

10

20

30

40

【数 1 6】

$$I = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ 0 & 1 & \cdots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \cdots & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

は、単位行列である。これは ΔO 's を乗じた単位行列をとまなうまさに上式 2 であることに着目すべきである。 10

【0 0 3 4】

列消去操作（回転（pivoting））の実行により、我々は、

【数 1 7】

$$\begin{bmatrix} \hat{B}_{1,1} & \cdots & \hat{B}_{1,(j-1)} & 0 & \hat{B}_{1,(j+1)} & \cdots & \hat{B}_{1,nind} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \hat{B}_{(i-1),1} & \cdots & \hat{B}_{(i-1),(j-1)} & 0 & \hat{B}_{(i-1),(j+1)} & \cdots & \hat{B}_{(i-1),nind} \\ \hat{B}_{i,1} & \cdots & \hat{B}_{i,(j-1)} & -I & \hat{B}_{i,(j+1)} & \cdots & \hat{B}_{i,nind} \\ \hat{B}_{(i+1),1} & \cdots & \hat{B}_{(i+1),(j-1)} & 0 & \hat{B}_{(i+1),(j+1)} & \cdots & \hat{B}_{(i+1),nind} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \hat{B}_{ndep,1} & \cdots & \hat{B}_{ndep,(j-1)} & 0 & \hat{B}_{ndep,(j+1)} & \cdots & \hat{B}_{ndep,nind} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \bar{\Delta}_1 \\ \vdots \\ \bar{\Delta}_{(j-1)} \\ \bar{\Delta}_j \\ \bar{\Delta}_{(j+1)} \\ \vdots \\ \bar{\Delta}_{nind} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I & \cdots & 0 & -\hat{B}_{1,j} & 0 & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & I & -\hat{B}_{(i-1),j} & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \cdots & 0 & -\hat{B}_{i,j} & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \cdots & 0 & -\hat{B}_{(i+1),j} & I & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & 0 & -\hat{B}_{ndep,j} & 0 & \cdots & I \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \bar{\Delta}_1 \\ \vdots \\ \bar{\Delta}_{(i-1)} \\ \bar{\Delta}_i \\ \bar{\Delta}_{(i+1)} \\ \vdots \\ \bar{\Delta}_{ndep} \end{bmatrix}$$

20

を得る。これは、

【数 18】

$$\begin{bmatrix} \hat{B}_{1,1} \\ \vdots \\ \hat{B}_{(i-1),1} \\ \hat{B}_{i,1} \\ \hat{B}_{(i+1),1} \\ \vdots \\ \hat{B}_{ndep,1} \end{bmatrix} \times \Delta \bar{L}_1 + \cdots + \begin{bmatrix} \hat{B}_{1,(j-1)} \\ \vdots \\ \hat{B}_{(i-1),(j-1)} \\ \hat{B}_{i,(j-1)} \\ \hat{B}_{(i+1),(j-1)} \\ \vdots \\ \hat{B}_{ndep,(j-1)} \end{bmatrix} \times \Delta \bar{L}_{(j-1)} + \begin{bmatrix} 0 \\ \vdots \\ 0 \\ -I \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \times \Delta \bar{L}_j + \begin{bmatrix} \hat{B}_{1,(j+1)} \\ \vdots \\ \hat{B}_{(i-1),(j+1)} \\ \hat{B}_{i,(j+1)} \\ \hat{B}_{(i+1),(j+1)} \\ \vdots \\ \hat{B}_{ndep,(j+1)} \end{bmatrix} \times \Delta \bar{L}_{(j+1)} + \cdots + \begin{bmatrix} \hat{B}_{1,ndep} \\ \vdots \\ \hat{B}_{(i-1),ndep} \\ \hat{B}_{i,ndep} \\ \hat{B}_{(i+1),ndep} \\ \vdots \\ \hat{B}_{ndep,ndep} \end{bmatrix} \times \Delta \bar{L}_{ndep}$$

10

$$= \begin{bmatrix} I \\ \vdots \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \times \Delta \bar{O}_1 + \cdots + \begin{bmatrix} 0 \\ \vdots \\ I \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \times \Delta \bar{O}_{(i-1)} + \begin{bmatrix} -\hat{B}_{1,j} \\ \vdots \\ -\hat{B}_{(i-1),j} \\ -\hat{B}_{i,j} \\ -\hat{B}_{(i+1),j} \\ \vdots \\ -\hat{B}_{ndep,j} \end{bmatrix} \times \Delta \bar{O}_i + \begin{bmatrix} 0 \\ \vdots \\ 0 \\ I \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \times \Delta \bar{O}_{(i+1)} + \cdots + \begin{bmatrix} 0 \\ \vdots \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ I \end{bmatrix} \times \Delta \bar{O}_{ndep}$$

20

のように書き直すことができる。これは、

【数 19】

$$\begin{bmatrix} \hat{B}_{1,1} \\ \vdots \\ \hat{B}_{(i-1),1} \\ \hat{B}_{i,1} \\ \hat{B}_{(i+1),1} \\ \vdots \\ \hat{B}_{ndep,1} \end{bmatrix} \times \Delta \bar{L}_1 + \cdots + \begin{bmatrix} \hat{B}_{1,(j-1)} \\ \vdots \\ \hat{B}_{(i-1),(j-1)} \\ \hat{B}_{i,(j-1)} \\ \hat{B}_{(i+1),(j-1)} \\ \vdots \\ \hat{B}_{ndep,(j-1)} \end{bmatrix} \times \Delta \bar{L}_{(j-1)} + \begin{bmatrix} \hat{B}_{1,j} \\ \vdots \\ \hat{B}_{(i-1),j} \\ \hat{B}_{i,j} \\ \hat{B}_{(i+1),j} \\ \vdots \\ \hat{B}_{ndep,j} \end{bmatrix} \times \Delta \bar{O}_i + \begin{bmatrix} \hat{B}_{1,(j+1)} \\ \vdots \\ \hat{B}_{(i-1),(j+1)} \\ \hat{B}_{i,(j+1)} \\ \hat{B}_{(i+1),(j+1)} \\ \vdots \\ \hat{B}_{ndep,(j+1)} \end{bmatrix} \times \Delta \bar{L}_{(j+1)} + \cdots + \begin{bmatrix} \hat{B}_{1,ndep} \\ \vdots \\ \hat{B}_{(i-1),ndep} \\ \hat{B}_{i,ndep} \\ \hat{B}_{(i+1),ndep} \\ \vdots \\ \hat{B}_{ndep,ndep} \end{bmatrix} \times \Delta \bar{L}_{ndep}$$

$$= \begin{bmatrix} I \\ \vdots \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \times \Delta \bar{O}_1 + \cdots + \begin{bmatrix} 0 \\ \vdots \\ I \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \times \Delta \bar{O}_{(i-1)} + \begin{bmatrix} 0 \\ \vdots \\ 0 \\ I \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \times \Delta \bar{L}_j + \begin{bmatrix} 0 \\ \vdots \\ 0 \\ 0 \\ I \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \times \Delta \bar{O}_{(i+1)} + \cdots + \begin{bmatrix} 0 \\ \vdots \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ I \end{bmatrix} \times \Delta \bar{O}_{ndep}$$

30

40

に再度アレンジすることができるか、又は我々が得るマトリクス方程式に再度組み立てることができる。

【数 2 0】

$$\begin{bmatrix} \hat{B}_{1,1} & \cdots & \hat{B}_{1,\hat{j}-1} & \hat{B}_{1,\hat{j}} & \hat{B}_{1,\hat{j}+1} & \cdots & \hat{B}_{1,nind} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \hat{B}_{\hat{i}-1,1} & \cdots & \hat{B}_{\hat{i}-1,\hat{j}-1} & \hat{B}_{\hat{i}-1,\hat{j}} & \hat{B}_{\hat{i}-1,\hat{j}+1} & \cdots & \hat{B}_{\hat{i}-1,nind} \\ \hat{B}_{i,1} & \cdots & \hat{B}_{i,\hat{j}-1} & \hat{B}_{i,\hat{j}} & \hat{B}_{i,\hat{j}+1} & \cdots & \hat{B}_{i,nind} \\ \hat{B}_{\hat{i}+1,1} & \cdots & \hat{B}_{\hat{i}+1,\hat{j}-1} & \hat{B}_{\hat{i}+1,\hat{j}} & \hat{B}_{\hat{i}+1,\hat{j}+1} & \cdots & \hat{B}_{\hat{i}+1,nind} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \hat{B}_{ndep,1} & \cdots & \hat{B}_{ndep,\hat{j}-1} & \hat{B}_{ndep,\hat{j}} & \hat{B}_{ndep,\hat{j}+1} & \cdots & \hat{B}_{ndep,nind} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \bar{\Delta}_1 \\ \vdots \\ \bar{\Delta}_{\hat{j}-1} \\ \bar{\Delta}_i \\ \bar{\Delta}_{\hat{j}+1} \\ \vdots \\ \bar{\Delta}_{nind} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I & \cdots & 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \ddots & I & 0 & 0 & \ddots & 0 \\ 0 & \ddots & 0 & I & 0 & \ddots & 0 \\ 0 & \ddots & 0 & 0 & I & \ddots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & 0 & 0 & 0 & \cdots & I \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \bar{\Delta Q}_1 \\ \vdots \\ \bar{\Delta Q}_{\hat{i}-1} \\ \bar{\Delta Q}_j \\ \bar{\Delta Q}_{\hat{i}+1} \\ \vdots \\ \bar{\Delta Q}_{ndep} \end{bmatrix}$$

10

【0035】

ここで、バルブ位置が独立変数であり、PID設定点が従属変数であるように、 ΔO_i 及び Δi_j が交換されたことに着目すべきである。これは、単に1つのPIDコントローラからPIDダイナミクスを除去することを示すが、アルゴリズムは、複合した独立／従属変数の対が多数のコントローラについてのダイナミクスを除去するために交換することができることにおいて明らかに一般的である。

20

【0036】

さらなる例示の方法により、ここで、特定のPIDコントローラのダイナミクスを除去するために、このアプローチがどのようにモデル予測コントローラに適用されるかを示すために、数例問題が示されるであろう。

【0037】

第2の独立変数がPIDコントローラの設定点であり、第2の従属変数がPIDコントローラのバルブ位置である場合に、2つの独立変数、2つの従属変数、及び4つのモデル係数を備えたFIRモデルを与えられると、我々は、PID設定点の代わりに独立変数としてのPIDバルブ位置を備えたモデルを再構成したい。これは、以前に議論されたアルゴリズムにしたがう全てのシステム応答からPIDコントローラのダイナミクスが除去されることを必要とする。この例はまた、方程式の $\Delta O = B \Delta I_i$ 、 $\delta O = B \delta I$ 、及び $\Delta O = B \Delta \Delta I$ 形式に有効である。

30

【表 1】

<u>従属変数 - 1</u>	
<u>独立変数 - 1</u>	<u>独立変数 - 2</u>
$b_{1,1,1} = 1.5$	$b_{1,2,1} = 0.5$
$b_{1,1,2} = 0.6$	$b_{1,2,2} = 0.4$
$b_{1,1,3} = 0.2$	$b_{1,2,3} = 0.2$
$b_{1,1,4} = 0.1$	$b_{1,2,4} = 0.1$

10

20

【表 2】

<u>従属変数 - 2</u>	
<u>独立変数 - 1</u>	<u>独立変数 - 2</u>
$b_{2,1,1} = -0.3$	$b_{2,2,1} = 0.75$
$b_{2,1,2} = -0.4$	$b_{2,2,2} = 0.25$
$b_{2,1,3} = -0.1$	$b_{2,2,3} = 0.15$
$b_{2,1,4} = -0.05$	$b_{2,2,4} = 0.05$

30

40

【0038】

その問題は、以下のマトリクスにおいて指定される。

【数 2 1】

回転要素を示す

1.5	0	0	0	0.5	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
0.6	1.5	0	0	0.4	0.5	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
0.2	0.6	1.5	0	0.2	0.4	0.5	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
0.1	0.2	0.6	1.5	0.1	0.2	0.4	0.5	0	0	0	1	0	0	0	0	0
-0.3	0	0	0	0.75	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
-0.4	-0.3	0	0	0.25	0.75	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
-0.1	-0.4	-0.3	0	0.15	0.25	0.75	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
-0.05	-0.1	-0.4	-0.3	0.05	0.15	0.25	0.75	0	0	0	0	0	0	0	0	1

10

式 5 に $(-1 / 0.75)$ を乗じる。

【数 2 2】

1.5	0	0	0	0.5	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
0.6	1.5	0	0	0.4	0.5	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
0.2	0.6	1.5	0	0.2	0.4	0.5	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
0.1	0.2	0.6	1.5	0.1	0.2	0.4	0.5	0	0	0	1	0	0	0	0	0
0.4	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	-1.333	0	0	0	0
-0.4	-0.3	0	0	0.25	0.75	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
-0.1	-0.4	-0.3	0	0.15	0.25	0.75	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
-0.05	-0.1	-0.4	-0.3	0.05	0.15	0.25	0.75	0	0	0	0	0	0	0	0	1

20

式 5 に 0.5 を乗じ、それを式 1 に加えて式 1 を置換する。

式 5 に 0.4 を乗じ、それを式 2 に加えて式 2 を置換する。

式 5 に 0.2 を乗じ、それを式 3 に加えて式 3 を置換する。

式 5 に 0.1 を乗じ、それを式 4 に加えて式 4 を置換する。

30

式 5 に 0.25 を乗じ、それを式 6 に加えて式 6 を置換する。

式 5 に 0.15 を乗じ、それを式 7 に加えて式 7 を置換する。

式 5 に 0.05 を乗じ、それを式 8 に加えて式 8 を置換する。

【数 2 3】

1.7	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	-0.667	0	0	0	0
0.76	1.5	0	0	0	0.5	0	0	0	1	0	0	-0.533	0	0	0	0
0.28	0.6	1.5	0	0	0.4	0.5	0	0	0	1	0	-0.267	0	0	0	0
0.14	0.2	0.6	1.5	0	0.2	0.4	0.5	0	0	0	1	-0.133	0	0	0	0
0.4	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	-1.333	0	0	0	0
-0.3	-0.3	0	0	0	0.75	0	0	0	0	0	0	-0.333	1	0	0	0
-0.04	-0.4	-0.3	0	0	0.25	0.75	0	0	0	0	0	-0.2	0	1	0	0
-0.03	-0.1	-0.4	-0.3	0	0.15	0.25	0.75	0	0	0	0	-0.067	0	0	0	1

40

式 6 に $(-1 / 0.75)$ を乗じる。

【数 2 4】

1.7	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	-0.667	0	0	0
0.76	1.5	0	0	0	0.5	0	0	0	1	0	0	-0.533	0	0	0
0.28	0.6	1.5	0	0	0.4	0.5	0	0	0	1	0	-0.267	0	0	0
0.14	0.2	0.6	1.5	0	0.2	0.4	0.5	0	0	0	1	-0.133	0	0	0
0.4	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	-1.333	0	0	0
0.4	0.4	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0.444	-1.333	0	0
-0.04	-0.4	-0.3	0	0	0.25	0.75	0	0	0	0	0	-0.2	0	1	0
-0.03	-0.1	-0.4	-0.3	0	0.15	0.25	0.75	0	0	0	0	-0.067	0	0	1

10

式 5 に 0.5 を乗じ、それを式 2 に加えて式 2 を置換する。

式 5 に 0.4 を乗じ、それを式 3 に加えて式 3 を置換する。

式 5 に 0.2 を乗じ、それを式 4 に加えて式 4 を置換する。

式 5 に 0.25 を乗じ、それを式 7 に加えて式 7 を置換する。

式 5 に 0.15 を乗じ、それを式 8 に加えて式 8 を置換する。

【数 2 5】

1.7	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	-0.667	0	0	0
0.96	1.7	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	-0.311	-0.667	0	0
0.44	0.76	1.5	0	0	0	0.5	0	0	0	1	0	-0.089	-0.533	0	0
0.22	0.28	0.6	1.5	0	0	0.4	0.5	0	0	0	1	-0.044	-0.267	0	0
0.4	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	-1.333	0	0	0
0.4	0.4	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0.444	-1.333	0	0
0.06	-0.3	-0.3	0	0	0	0.75	0	0	0	0	0	-0.089	-0.333	1	0
0.03	-0.04	-0.4	-0.3	0	0	0.25	0.75	0	0	0	0	0	-0.2	0	1

20

式 7 に $(-1 / 0.75)$ を乗じる。

30

【数 2 6】

1.7	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	-0.667	0	0	0
0.96	1.7	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	-0.311	-0.667	0	0
0.44	0.76	1.5	0	0	0	0.5	0	0	0	1	0	-0.089	-0.533	0	0
0.22	0.28	0.6	1.5	0	0	0.4	0.5	0	0	0	1	-0.044	-0.267	0	0
0.4	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	-1.333	0	0	0
0.4	0.4	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0.444	-1.333	0	0
-0.08	0.4	0.4	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0.119	0.4444	-1.333	0
0.03	-0.04	-0.4	-0.3	0	0	0.25	0.75	0	0	0	0	0	-0.2	0	1

40

式 5 に 0.5 を乗じ、それを式 3 に加えて式 3 を置換する。

式 5 に 0.4 を乗じ、それを式 4 に加えて式 4 を置換する。

式 5 に 0.25 を乗じ、それを式 8 に加えて式 8 を置換する。

【数 2 7】

1.7	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	-0.667	0	0	0
0.96	1.7	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	-0.311	-0.667	0	0
0.4	0.96	1.7	0	0	0	0	0	0	0	1	0	-0.030	-0.311	-0.667	0
0.188	0.44	0.76	1.5	0	0	0	0.5	0	0	0	1	0.003	-0.089	-0.533	0
0.4	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	-1.333	0	0	0
0.4	0.4	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0.444	-1.333	0	0
-0.08	0.4	0.4	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0.119	0.444	-1.333	0
0.01	0.06	-0.3	-0.3	0	0	0	0.75	0	0	0	0	0.030	-0.089	-0.333	1

10

式 8 に $(-1 / 0.75)$ を乗じる。

【数 2 8】

1.7	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	-0.667	0	0	0
0.96	1.7	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	-0.311	-0.667	0	0
0.4	0.96	1.7	0	0	0	0	0	0	0	1	0	-0.030	-0.311	-0.667	0
0.188	0.44	0.76	1.5	0	0	0	0.5	0	0	0	1	0.003	-0.089	-0.533	0
0.4	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	-1.333	0	0	0
0.4	0.4	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0.444	-1.333	0	0
-0.08	0.4	0.4	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0.119	0.444	-1.333	0
-0.013	-0.08	0.4	0.4	0	0	0	-1	0	0	0	0	-0.040	0.119	0.444	-1.333

20

式 5 に 0.5 を乗じ、それを式 4 に加えて式 4 を置換する。

【数 2 9】

1.7	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	-0.667	0	0	0
0.96	1.7	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	-0.311	-0.667	0	0
0.4	0.96	1.7	0	0	0	0	0	0	0	1	0	-0.030	-0.311	-0.667	0
0.181	0.4	0.96	1.7	0	0	0	0	0	0	0	1	-0.017	-0.030	-0.311	-0.667
0.4	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	-1.333	0	0	0
0.4	0.4	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0.444	-1.333	0	0
-0.08	0.4	0.4	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0.119	0.444	-1.333	0
-0.013	-0.08	0.4	0.4	0	0	0	-1	0	0	0	0	-0.040	0.119	0.444	-1.333

30

式を再度アレンジすると、

【数 3 0】

1.7	0	0	0	0.667	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
0.96	1.7	0	0	0.311	0.667	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
0.4	0.96	1.7	0	0.030	0.311	0.667	0	0	0	1	0	0	0	0	0
0.181	0.4	0.96	1.7	0.017	0.030	0.311	0.667	0	0	0	1	0	0	0	0
0.4	0	0	0	1.333	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
0.4	0.4	0	0	-0.444	1.333	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
-0.08	0.4	0.4	0	-0.119	-0.444	1.333	0	0	0	0	0	0	0	1	0

40

50

となる。

【 0 0 3 9 】

除去された P I D ダイナミクスを備えた新たなモデル係数は、以下のとおりである。

【 表 3 】

<u>従属変数 - 1</u>	
<u>独立変数 - 1</u>	<u>独立変数 - 2</u>
$\hat{b}_{1,1,1} = 1.7$	$\hat{b}_{1,2,1} = 0.667$
$\hat{b}_{1,1,2} = 0.96$	$\hat{b}_{1,2,2} = 0.311$
$\hat{b}_{1,1,3} = 0.4$	$\hat{b}_{1,2,3} = 0.030$
$\hat{b}_{1,1,4} = 0.181$	$\hat{b}_{1,2,4} = 0.017$

10

20

【 表 4 】

<u>従属変数 - 2</u>	
<u>独立変数 - 1</u>	<u>独立変数 - 2</u>
$\hat{b}_{2,1,1} = 0.4$	$\hat{b}_{2,2,1} = 1.333$
$\hat{b}_{2,1,2} = 0.4$	$\hat{b}_{2,2,2} = -0.444$
$\hat{b}_{2,1,3} = -0.08$	$\hat{b}_{2,2,3} = -0.119$
$\hat{b}_{2,1,4} = -0.0133$	$\hat{b}_{2,2,4} = 0.040$

30

40

【 0 0 4 0 】

50

全ての係数値が変化したことに着目すべきである。ここで、この新たなコントローラは、第2の独立変数（PID設定点）の除去されたダイナミクスを有する。このコントローラは、プロセスを制御するために用いることができ、このコントローラの開発は、プロセスの高価な同定試験を消費する付加的な時間を行う必要なしにオフラインで行われる。

【0041】

PIDダイナミクスを除去するアルゴリズム、開ループステップ応答形式

導出及び例において、我々は、方程式のインパルス又は導出形式に基づいたFIRモデルからPIDダイナミクスを除去するアルゴリズムについて議論した。モデル $\delta O = A \Delta I$ のステップ係数形式のために同様のアルゴリズムを導出することができる。ここで同様に、我々は、2つの独立及び2つの従属変数の例問題で示すであろう。この例の目的のために、我々は、第2の独立及び第2の従属が交換されることになっているものと仮定するであろう。その問題は、以下のマトリクス記法において書くことができる。

10

【数31】

$$\begin{bmatrix} A_{1,1} & A_{1,2} \\ A_{2,1} & A_{2,2} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \Delta \bar{I}_1 \\ \Delta \bar{I}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} IO \\ 0I \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \delta \bar{O}_1 \\ \delta \bar{O}_2 \end{bmatrix}$$

【0042】

我々は、次式を得るために、消去操作（回転（pivoting））を実行する。

【数32】

20

$$\begin{bmatrix} \hat{A}_{1,1} & 0 \\ \hat{B}_{2,1} - I \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \Delta \bar{I}_1 \\ \Delta \bar{I}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I - \hat{B}_{1,2} \\ 0 - \hat{C}_{2,2} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \delta \bar{O}_1 \\ \delta \bar{O}_2 \end{bmatrix}$$

【0043】

再度アレンジすると、我々は、

【数33】

$$\begin{bmatrix} \hat{A}_{1,1} & \hat{B}_{1,2} \\ \hat{B}_{2,1} & \hat{C}_{2,2} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \Delta \bar{I}_1 \\ \delta \bar{O}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} IO \\ 0I \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \delta \bar{O}_1 \\ \Delta \bar{I}_2 \end{bmatrix}$$

30

を得る。

【0044】

これは、

【数34】

$$\begin{aligned} \hat{A}_{1,1} \Delta \bar{I}_1 + \hat{B}_{1,2} \delta \bar{O}_2 &= \delta \bar{O}_1 \\ \hat{B}_{2,1} \Delta \bar{I}_1 + \hat{C}_{2,2} \delta \bar{O}_2 &= \Delta \bar{I}_2 \end{aligned}$$

40

のように書くことができる。

【0045】

インパルス係数が次式として定義されることを再度思い出す。

【数 3 5】

$$b_{i,j,k} = a_{i,j,k} \quad \text{for } k = 1$$

$$b_{i,j,k} = a_{i,j,k} - a_{i,j,(k-1)} = \Delta a_{i,j,k} \quad \text{for } k : 2 \rightarrow ncoef$$

【0 0 4 6】

同様に、我々は、第 2 の差係数を次式として定義する。

【数 3 6】

$$c_{i,j,k} = b_{i,j,k} \quad \text{for } k = 1$$

$$c_{i,j,k} = b_{i,j,k} - b_{i,j,(k-1)} = \Delta b_{i,j,k} \quad \text{for } k : 2 \rightarrow ncoef$$

【0 0 4 7】

ここで、次式であることに着目すべきである。

【数 3 7】

$$b_{i,j,m} = \sum_{l=1}^l (c_{i,j,l})$$

$$a_{i,j,k} = \sum_{l=1}^k (b_{i,j,l}) = \sum_l \left(\sum_{m=1}^l (c_{i,j,m}) \right)$$

【0 0 4 8】

ここで、マトリクスがステップ応答係数 (A)、インパルス係数 (B)、及び第 2 の差係数 (C) の混合であることに着目すべきである。これは、我々の新たな独立変数が"デルタ"形式の代わりに"累積"形式であり、新たな従属変数が"累積"形式の代わりに"デルタ"形式であるという事実による。方程式のこのシステムをステップ形式に変換し、これにより、ステップ係数を回復するために、2つのステップを実行しなければならない。

【0 0 4 9】

ステップー 1 : "累積"形式から"デルタ"形式への新たな独立変数の変換

【数 3 8】

$$\delta \bar{O}_2 \Rightarrow \Delta \bar{O}_2$$

【0 0 5 0】

ステップー 2 : "デルタ"形式から"累積"形式への新たな従属変数の変換

【数 3 9】

$$\Delta \bar{I}_2 \Rightarrow \delta \bar{I}_2$$

【0 0 5 1】

ステップー 1 : "累積"形式から"デルタ"形式への新たな独立変数の変換

【0 0 5 2】

このステップは、式中の用語の再アレンジのみを必要とする。以下のマトリクスの 2 つのセクションに δO_2^- が現れることに着目すべきである。

10

20

30

40

【数 4 0】

$$\begin{bmatrix} \hat{B}_{1,2} \delta \bar{O}_2 \\ \hat{C}_{2,2} \delta \bar{O}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{b}_{1,2,1}(O_{2,1} - O_{2,0}) \\ \hat{b}_{1,2,2}(O_{2,1} - O_{2,0}) + \hat{b}_{1,2,1}(O_{2,2} - O_{2,0}) \\ \hat{b}_{1,2,3}(O_{2,1} - O_{2,0}) + \hat{b}_{1,2,2}(O_{2,2} - O_{2,0}) + \hat{b}_{1,2,1}(O_{2,3} - O_{2,0}) \\ \vdots \\ \hat{c}_{2,2,1}(O_{2,1} - O_{2,0}) \\ \hat{c}_{2,2,2}(O_{2,1} - O_{2,0}) + \hat{c}_{2,2,1}(O_{2,2} - O_{2,0}) \\ \hat{c}_{2,2,3}(O_{2,1} - O_{2,0}) + \hat{c}_{2,2,2}(O_{2,2} - O_{2,0}) + \hat{c}_{2,2,1}(O_{2,3} - O_{2,0}) \\ \vdots \end{bmatrix}$$

10

【0 0 5 3】

【数 4 1】

$$\begin{aligned} b_{i,j,k} &= a_{i,j,k} && \text{for } k = 1 \\ b_{i,j,k} &= a_{i,j,k} - a_{i,j,(k-1)} = \Delta a_{i,j,k} && \text{for } k : 2 \rightarrow ncoef \end{aligned}$$

20

及び

【数 4 2】

$$\begin{aligned} c_{i,j,k} &= b_{i,j,k} && \text{for } k = 1 \\ c_{i,j,k} &= b_{i,j,k} - b_{i,j,(k-1)} = \Delta b_{i,j,k} && \text{for } k : 2 \rightarrow ncoef \end{aligned}$$

30

であることから、我々は、次式のように書くことができる。

【数 4 3】

$$\begin{bmatrix} \hat{B}_{1,2} \delta \bar{O}_2 \\ \hat{C}_{2,2} \delta \bar{O}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{a}_{1,2,1}(O_{2,1} - O_{2,0}) \\ (\hat{a}_{1,2,2} - \hat{a}_{1,2,1})(O_{2,1} - O_{2,0}) + \hat{a}_{1,2,1}(O_{2,2} - O_{2,0}) \\ (\hat{a}_{1,2,3} - \hat{a}_{1,2,2})(O_{2,1} - O_{2,0}) + (\hat{a}_{1,2,2} - \hat{a}_{1,2,1})(O_{2,2} - O_{2,0}) + \hat{a}_{1,2,1}(O_{2,3} - O_{2,0}) \\ \vdots \quad \quad \quad \vdots \quad \quad \quad \vdots \quad \quad \quad \ddots \\ \hat{b}_{2,2,1}(O_{2,1} - O_{2,0}) \\ (\hat{b}_{2,2,2} - \hat{b}_{2,2,1})(O_{2,1} - O_{2,0}) + \hat{b}_{2,2,1}(O_{2,2} - O_{2,0}) \\ (\hat{b}_{2,2,3} - \hat{b}_{2,2,2})(O_{2,1} - O_{2,0}) + (\hat{b}_{2,2,2} - \hat{b}_{2,2,1})(O_{2,2} - O_{2,0}) + \hat{b}_{2,2,1}(O_{2,3} - O_{2,0}) \\ \vdots \quad \quad \quad \vdots \quad \quad \quad \vdots \quad \quad \quad \ddots \end{bmatrix} \quad 10$$

$$= \begin{bmatrix} \hat{a}_{1,2,1}(O_{2,1} - O_{2,0}) \\ \hat{a}_{1,2,2}O_{2,1} - \hat{a}_{1,2,2}O_{2,0} - \hat{a}_{1,2,1}O_{2,1} + \hat{a}_{1,2,1}O_{2,0} + \hat{a}_{1,2,1}O_{2,2} - \hat{a}_{1,2,1}O_{2,0} \\ \hat{a}_{1,2,3}O_{2,1} - \hat{a}_{1,2,3}O_{2,0} - \hat{a}_{1,2,2}O_{2,1} + \hat{a}_{1,2,2}O_{2,0} + \hat{a}_{1,2,2}O_{2,2} - \hat{a}_{1,2,2}O_{2,0} - \hat{a}_{1,2,1}O_{2,2} + \hat{a}_{1,2,1}O_{2,0} + \hat{a}_{1,2,1}O_{2,3} - \hat{a}_{1,2,1}O_{2,0} \\ \vdots \\ \hat{b}_{2,2,1}(O_{2,1} - O_{2,0}) \\ \hat{b}_{2,2,2}O_{2,1} - \hat{b}_{2,2,2}O_{2,0} - \hat{b}_{2,2,1}O_{2,1} + \hat{b}_{2,2,1}O_{2,0} + \hat{b}_{2,2,1}O_{2,2} - \hat{b}_{2,2,1}O_{2,0} \\ \hat{b}_{2,2,3}O_{2,1} - \hat{b}_{2,2,3}O_{2,0} - \hat{b}_{2,2,2}O_{2,1} + \hat{b}_{2,2,2}O_{2,0} + \hat{b}_{2,2,2}O_{2,2} - \hat{b}_{2,2,2}O_{2,0} - \hat{b}_{2,2,1}O_{2,2} + \hat{b}_{2,2,1}O_{2,0} + \hat{b}_{2,2,1}O_{2,3} - \hat{b}_{2,2,1}O_{2,0} \\ \vdots \end{bmatrix} \quad 20$$

$$= \begin{bmatrix} \hat{a}_{1,2,1}(O_{2,1} - O_{2,0}) \\ \hat{a}_{1,2,2}(O_{2,1} - O_{2,0}) + \hat{a}_{1,2,1}(O_{2,2} - O_{2,1} + O_{2,0} - O_{2,0}) \\ \hat{a}_{1,2,3}(O_{2,1} - O_{2,0}) + \hat{a}_{1,2,2}(O_{2,2} - O_{2,1} + O_{2,0} - O_{2,0}) + \hat{a}_{1,2,1}(O_{2,3} - O_{2,2} + O_{2,0} - O_{2,0}) \\ \vdots \\ \hat{b}_{2,2,1}(O_{2,1} - O_{2,0}) \\ \hat{b}_{2,2,2}(O_{2,1} - O_{2,0}) + \hat{b}_{2,2,1}(O_{2,2} - O_{2,1} + O_{2,0} - O_{2,0}) \\ \hat{b}_{2,2,3}(O_{2,1} - O_{2,0}) + \hat{b}_{2,2,2}(O_{2,2} - O_{2,1} + O_{2,0} - O_{2,0}) + \hat{b}_{2,2,1}(O_{2,3} - O_{2,2} + O_{2,0} - O_{2,0}) \\ \vdots \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} \hat{a}_{1,2,1}(O_{2,1} - O_{2,0}) \\ \hat{a}_{1,2,2}(O_{2,1} - O_{2,0}) + \hat{a}_{1,2,1}(O_{2,2} - O_{2,1}) \\ \hat{a}_{1,2,3}(O_{2,1} - O_{2,0}) + \hat{a}_{1,2,2}(O_{2,2} - O_{2,1}) + \hat{a}_{1,2,1}(O_{2,3} - O_{2,2}) \\ \vdots \quad \quad \quad \vdots \quad \quad \quad \vdots \quad \quad \quad \ddots \\ \hat{b}_{2,2,1}(O_{2,1} - O_{2,0}) \\ \hat{b}_{2,2,2}(O_{2,1} - O_{2,0}) + \hat{b}_{2,2,1}(O_{2,2} - O_{2,1}) \\ \hat{b}_{2,2,3}(O_{2,1} - O_{2,0}) + \hat{b}_{2,2,2}(O_{2,2} - O_{2,1}) + \hat{b}_{2,2,1}(O_{2,3} - O_{2,2}) \\ \vdots \quad \quad \quad \vdots \quad \quad \quad \vdots \quad \quad \quad \ddots \end{bmatrix} \quad 30$$

$$= \begin{bmatrix} \hat{a}_{1,2,1}\Delta O_{2,1} \\ \hat{a}_{1,2,2}\Delta O_{2,1} + \hat{a}_{1,2,1}\Delta O_{2,2} \\ \hat{a}_{1,2,3}\Delta O_{2,1} + \hat{a}_{1,2,2}\Delta O_{2,2} + \hat{a}_{1,2,1}\Delta O_{2,3} \\ \vdots \quad \quad \quad \vdots \quad \quad \quad \vdots \quad \quad \quad \ddots \\ \hat{b}_{2,2,1}\Delta O_{2,1} \\ \hat{b}_{2,2,2}\Delta O_{2,1} + \hat{b}_{2,2,1}\Delta O_{2,2} \\ \hat{b}_{2,2,3}\Delta O_{2,1} + \hat{b}_{2,2,2}\Delta O_{2,2} + \hat{b}_{2,2,1}\Delta O_{2,3} \\ \vdots \quad \quad \quad \vdots \quad \quad \quad \vdots \quad \quad \quad \ddots \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{A}_{1,2} \Delta \bar{O}_2 \\ \hat{B}_{2,2} \Delta \bar{O}_2 \end{bmatrix} \quad 40$$

【0 0 5 4】

50

【数 4 4】

$$\begin{bmatrix} \hat{B}_{1,2} \delta \bar{O}_2 \\ \hat{C}_{2,2} \delta \bar{O}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{A}_{1,2} \Delta \bar{O}_2 \\ \hat{B}_{2,2} \Delta \bar{O}_2 \end{bmatrix}$$

であることから、我々は、方程式のシステムを次式のように書き直すことができる。

【数 4 5】

$$\begin{aligned} \hat{A}_{1,1} \Delta \bar{I}_1 + \hat{A}_{1,2} \Delta \bar{O}_2 &= \delta \bar{O}_1 \\ \hat{B}_{2,1} \Delta \bar{I}_1 + \hat{B}_{2,2} \Delta \bar{O}_2 &= \Delta \bar{I}_2 \end{aligned}$$

10

【0 0 5 5】

これでステップー1は終了する。

【0 0 5 6】

ステップー2："デルタ"形式から"累積"形式への新たな従属変数の変換

【0 0 5 7】

新たな第2の従属変数のための方程式は、以下に書かれている。"デルタ"形式から"累積"形式へと変換するために、これらの式を累積することは必要である。

20

【数 4 6】

$$\begin{array}{llll} \hat{b}_{2,11} \Delta I_{11} & + \hat{b}_{2,21} \Delta O_{21} & = I_{21} - I_{20} = \Delta I_{21} \\ \hat{b}_{2,12} \Delta I_{11} + \hat{b}_{2,11} \Delta I_{12} & + \hat{b}_{2,22} \Delta O_{21} + \hat{b}_{2,21} \Delta O_{22} & = I_{22} - I_{21} = \Delta I_{22} \\ \hat{b}_{2,13} \Delta I_{11} + \hat{b}_{2,12} \Delta I_{12} + \hat{b}_{2,11} \Delta I_{13} & + \hat{b}_{2,23} \Delta O_{21} + \hat{b}_{2,22} \Delta O_{22} + \hat{b}_{2,21} \Delta O_{23} & = I_{23} - I_{22} = \Delta I_{23} \\ \hat{b}_{2,14} \Delta I_{11} + \hat{b}_{2,13} \Delta I_{12} + \hat{b}_{2,12} \Delta I_{13} + \hat{b}_{2,11} \Delta I_{14} & + \hat{b}_{2,24} \Delta O_{21} + \hat{b}_{2,23} \Delta O_{22} + \hat{b}_{2,22} \Delta O_{23} + \hat{b}_{2,21} \Delta O_{24} & = I_{24} - I_{23} = \Delta I_{24} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \end{array}$$

定義 $b_{i,j,1} = a_{i,j,1}$ 及び $I_{j,1} - I_{j,0} = \Delta I_{j,1} = \delta I_{j,1}$ によることから、第1の方程式は、

【数 4 7】

$$\hat{a}_{2,1,1} \Delta I_{1,1} + \hat{a}_{2,2,1} \Delta O_{2,1} = \delta I_{2,1}$$

30

となる。

【0 0 5 8】

第2のステップ係数方程式を得るために、最初の2つのインパルス係数方程式

【数 4 8】

$$(\hat{b}_{2,1,1} + \hat{b}_{2,1,2}) \Delta I_{1,1} + \hat{b}_{2,1,1} \Delta I_{1,2} + (\hat{b}_{2,2,1} + \hat{b}_{2,2,2}) \Delta O_{2,1} + \hat{b}_{2,2,1} \Delta O_{2,2} = I_{2,2} - I_{2,1} + I_{2,1} - I_{2,0} = I_{2,2} - I_{2,0}$$

40

又は

【数 4 9】

$$\hat{a}_{2,1,2} \Delta I_{1,1} + \hat{a}_{2,1,1} \Delta I_{1,2} + \hat{a}_{2,2,2} \Delta O_{2,1} + \hat{a}_{2,2,1} \Delta O_{2,2} = \delta I_{2,2}$$

をともに加える。

【0 0 5 9】

50

第3のステップ係数方程式を得るために、最初の3つのインパルス係数方程式
【数50】

$$\begin{aligned} & (\hat{b}_{2,1,1} + \hat{b}_{2,1,2} + \hat{b}_{2,1,3}) \Delta I_{1,1} + (\hat{b}_{2,1,1} + \hat{b}_{2,1,2}) \Delta I_{1,2} + \hat{b}_{2,1,1} \Delta I_{1,3} \\ & + (\hat{b}_{2,2,1} + \hat{b}_{2,2,2} + \hat{b}_{2,2,3}) \Delta O_{2,1} + (\hat{b}_{2,2,1} + \hat{b}_{2,2,2}) \Delta O_{2,2} + \hat{b}_{2,2,1} \Delta O_{2,3} \\ & = I_{2,3} - I_{2,2} + I_{2,2} - I_{2,1} + I_{2,1} - I_{2,0} = I_{2,3} - I_{2,0} \end{aligned}$$

又は

【数51】

$$\hat{a}_{2,1,3} \Delta I_{1,1} + \hat{a}_{2,1,2} \Delta I_{1,2} + \hat{a}_{2,1,1} \Delta I_{1,3} + \hat{a}_{2,2,3} \Delta O_{2,1} + \hat{a}_{2,2,2} \Delta O_{2,2} + \hat{a}_{2,2,1} \Delta O_{2,3} = \delta I_{2,3}$$

をともに加える。

【0060】

第4のステップ係数方程式を得るために、最初の4つのインパルス係数方程式
【数52】

$$\begin{aligned} & (\hat{b}_{2,1,1} + \hat{b}_{2,1,2} + \hat{b}_{2,1,3} + \hat{b}_{2,1,4}) \Delta I_{1,1} + (\hat{b}_{2,1,1} + \hat{b}_{2,1,2} + \hat{b}_{2,1,3}) \Delta I_{1,2} + (\hat{b}_{2,1,1} + \hat{b}_{2,1,2}) \Delta I_{1,3} + \hat{b}_{2,1,1} \Delta I_{1,4} \\ & + (\hat{b}_{2,2,1} + \hat{b}_{2,2,2} + \hat{b}_{2,2,3} + \hat{b}_{2,2,4}) \Delta O_{2,1} + (\hat{b}_{2,2,1} + \hat{b}_{2,2,2} + \hat{b}_{2,2,3}) \Delta O_{2,2} + (\hat{b}_{2,2,1} + \hat{b}_{2,2,2}) \Delta O_{2,3} + \hat{b}_{2,2,1} \Delta O_{2,4} \\ & = I_{2,4} - I_{2,3} + I_{2,3} - I_{2,2} + I_{2,2} - I_{2,1} + I_{2,1} - I_{2,0} = I_{2,4} - I_{2,0} \end{aligned}$$

又は

【数53】

$$\hat{a}_{2,1,4} \Delta I_{1,1} + \hat{a}_{2,1,3} \Delta I_{1,2} + \hat{a}_{2,1,2} \Delta I_{1,3} + \hat{a}_{2,1,1} \Delta I_{1,4} + \hat{a}_{2,2,4} \Delta O_{2,1} + \hat{a}_{2,2,3} \Delta O_{2,2} + \hat{a}_{2,2,2} \Delta O_{2,3} + \hat{a}_{2,2,1} \Delta O_{2,4} = \delta I_{2,4}$$

をともに加える。

【0061】

したがって、新たな第2の従属変数のための方程式のシステムは、

【数54】

$$\begin{array}{lll} \hat{a}_{2,1,1} \Delta I_{1,1} & + \hat{a}_{2,2,1} \Delta O_{2,1} & = I_{2,1} - I_{2,0} = \delta I_{2,1} \\ \hat{a}_{2,1,2} \Delta I_{1,1} + \hat{a}_{2,1,1} \Delta I_{1,2} & + \hat{a}_{2,2,2} \Delta O_{2,1} + \hat{a}_{2,2,1} \Delta O_{2,2} & = I_{2,2} - I_{2,0} = \delta I_{2,2} \\ \hat{a}_{2,1,3} \Delta I_{1,1} + \hat{a}_{2,1,2} \Delta I_{1,2} + \hat{a}_{2,1,1} \Delta I_{1,3} & + \hat{a}_{2,2,3} \Delta O_{2,1} + \hat{a}_{2,2,2} \Delta O_{2,2} + \hat{a}_{2,2,1} \Delta O_{2,3} & = I_{2,3} - I_{2,0} = \delta I_{2,3} \\ \hat{a}_{2,1,4} \Delta I_{1,1} + \hat{a}_{2,1,3} \Delta I_{1,2} + \hat{a}_{2,1,2} \Delta I_{1,3} + \hat{a}_{2,1,1} \Delta I_{1,4} & + \hat{a}_{2,2,4} \Delta O_{2,1} + \hat{a}_{2,2,3} \Delta O_{2,2} + \hat{a}_{2,2,2} \Delta O_{2,3} + \hat{a}_{2,2,1} \Delta O_{2,4} & = I_{2,4} - I_{2,0} = \delta I_{2,4} \\ \vdots & \vdots & \vdots \end{array}$$

となる。

【0062】

また、方程式の全面的なシステムは、

10

20

30

40

10

$\hat{a}_{111}N_{11}$				$+\hat{a}_{121}N_{21}$				$=\delta Q_{11}$
$\hat{a}_{112}N_{11}$	$+\hat{a}_{111}N_{12}$			$+\hat{a}_{122}N_{21}$	$+\hat{a}_{121}N_{22}$			$=\delta Q_{12}$
$\hat{a}_{113}N_{11}$	$+\hat{a}_{112}N_{12}$	$+\hat{a}_{111}N_{13}$		$+\hat{a}_{123}N_{21}$	$+\hat{a}_{122}N_{22}$	$+\hat{a}_{121}N_{23}$		$=\delta Q_{13}$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\ddots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\ddots$	$\vdots$
$\hat{a}_{11ncoef}N_{11}$	$\dots$	$\dots$	$\dots+\hat{a}_{111}N_{1ncoef}$	$+\hat{a}_{12ncoef}N_{21}$	$\dots$	$\dots$	$\dots+\hat{a}_{121}N_{2ncoef}$	$=\delta Q_{1ncoef}$
$\hat{a}_{211}N_{11}$				$+\hat{a}_{221}N_{21}$				$=\delta I_{21}$
$\hat{a}_{212}N_{11}$	$+\hat{a}_{211}N_{12}$			$+\hat{a}_{222}N_{21}$	$+\hat{a}_{221}N_{22}$			$=\delta I_{22}$
$\hat{a}_{213}N_{11}$	$+\hat{a}_{212}N_{12}$	$+\hat{a}_{211}N_{13}$		$+\hat{a}_{223}N_{21}$	$+\hat{a}_{222}N_{22}$	$+\hat{a}_{221}N_{23}$		$=\delta I_{23}$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\ddots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\ddots$	$\vdots$
$\hat{a}_{21ncoef}N_{11}$	$\dots$	$\dots$	$\dots+\hat{a}_{211}N_{1ncoef}$	$+\hat{a}_{22ncoef}N_{21}$	$\dots$	$\dots$	$\dots+\hat{a}_{221}N_{2ncoef}$	$=\delta I_{2ncoef}$

20

【数 5 6】

$$\begin{aligned}\hat{A}_{1,1}\Delta\bar{I}_1 + \hat{A}_{1,2}\Delta\bar{O}_2 &= \delta\bar{O}_1 \\ \hat{A}_{2,1}\Delta\bar{I}_1 + \hat{A}_{2,2}\Delta\bar{O}_2 &= \delta\bar{I}_2\end{aligned}$$

のように書き直すことができる。

【 0 0 6 3 】

さらに本発明のアプリケーションを示すために、開ループステップ応答モデルについてのアルゴリズムの使用がちょうど導出されることを実証する他の数例が与えられる。このアルゴリズムは、

【数 5 7】

$$\delta O = A \Delta I$$

30

の形式の方程式に適用される。第2の独立変数がPIDコントローラの設定点であり、第2の従属変数がPIDコントローラのパルプ位置である場合に、2つの独立変数、2つの従属変数、及び4つのモデル係数を備えたモデルを与えられると、我々は、PID設定点の代わりに独立変数としてのPIDパルプ位置を備えたモデルを再構成したい。これは、以前に議論されたアルゴリズムにしたがう全てのシステム応答からPIDコントローラのダイナミクスが除去されることを必要とする。この例における根本的なモデルは、付録2において用いられるものと同じである。

【表 5】

<u>従属変数 - 1</u>		
<u>独立変数 - 1</u>	<u>独立変数 - 2</u>	
$a_{1,1,1} = 1.5$	$a_{1,2,1} = 0.5$	10
$a_{1,1,2} = 2.1$	$a_{1,2,2} = 0.9$	
$a_{1,1,3} = 2.3$	$a_{1,2,3} = 1.1$	
$a_{1,1,4} = 2.4$	$a_{1,2,4} = 1.2$	20

【表 6】

<u>従属変数 - 2</u>		
<u>独立変数 - 1</u>	<u>独立変数 - 2</u>	
$a_{2,1,1} = -0.3$	$a_{2,2,1} = 0.75$	30
$a_{2,1,2} = -0.7$	$a_{2,2,2} = 1.0$	
$a_{2,1,3} = -0.8$	$a_{2,2,3} = 1.15$	
$a_{2,1,4} = -0.85$	$a_{2,2,4} = 1.2$	40

【0064】

その問題は、以下のマトリクスにおいて指定される。

【数 5 8】

回転要素を示す

1.5	0	0	0	0.5	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
2.1	1.5	0	0	0.9	0.5	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
2.3	2.1	1.5	0	1.1	0.9	0.5	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
2.4	2.3	2.1	1.5	1.2	1.1	0.9	0.5	0	0	0	1	0	0	0	0	0
-0.3	0	0	0	0.75	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
-0.7	-0.3	0	0	1	0.75	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
-0.8	-0.7	-0.3	0	1.15	1	0.75	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
-0.85	-0.8	-0.7	-0.3	1.2	1.15	1	0.75	0	0	0	0	0	0	0	0	1

10

式 5 に $(-1 / 0.75)$ を乗じる。

【数 5 9】

1.5	0	0	0	0.5	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
2.1	1.5	0	0	0.9	0.5	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
2.3	2.1	1.5	0	1.1	0.9	0.5	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
2.4	2.3	2.1	1.5	1.2	1.1	0.9	0.5	0	0	0	1	0	0	0	0	0
0.4	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	-1.333	0	0	0	0
-0.7	-0.3	0	0	1	0.75	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
-0.8	-0.7	-0.3	0	1.15	1	0.75	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
-0.85	-0.8	-0.7	-0.3	1.2	1.15	1	0.75	0	0	0	0	0	0	0	0	1

20

式 5 に 0.5 を乗じ、それを式 1 に加えて式 1 を置換する。

式 5 に 0.9 を乗じ、それを式 2 に加えて式 2 を置換する。

式 5 に 1.1 を乗じ、それを式 3 に加えて式 3 を置換する。

式 5 に 1.2 を乗じ、それを式 4 に加えて式 4 を置換する。

式 5 に 1.0 を乗じ、それを式 6 に加えて式 6 を置換する。

式 5 に 1.15 を乗じ、それを式 7 に加えて式 7 を置換する。

式 5 に 1.2 を乗じ、それを式 8 に加えて式 8 を置換する。

30

【数 6 0】

1.7	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	-0.667	0	0	0	0
2.46	1.5	0	0	0	0.5	0	0	0	1	0	0	-1.200	0	0	0	0
2.74	2.1	1.5	0	0	0.9	0.5	0	0	0	1	0	-1.467	0	0	0	0
2.88	2.3	2.1	1.5	0	1.1	0.9	0.5	0	0	0	1	-1.600	0	0	0	0
0.4	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	-1.333	0	0	0	0
-0.3	-0.3	0	0	0	0.75	0	0	0	0	0	0	-1.333	1	0	0	0
-0.34	-0.7	-0.3	0	0	1	0.75	0	0	0	0	0	-1.5	0	1	0	0
-0.37	-0.8	-0.7	-0.3	0	1.15	1	0.75	0	0	0	0	-1.600	0	0	0	1

40

式 6 に $(-1 / 0.75)$ を乗じる。

【数 6 1】

1.7	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	-0.667	0	0	0
2.46	1.5	0	0	0	0.5	0	0	0	1	0	0	-1.200	0	0	0
2.74	2.1	1.5	0	0	0.9	0.5	0	0	0	1	0	-1.467	0	0	0
2.88	2.3	2.1	1.5	0	1.1	0.9	0.5	0	0	0	1	-1.600	0	0	0
0.4	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	-1.333	0	0	0
0.4	0.4	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	1.778	-1.333	0	0
-0.34	-0.7	-0.3	0	0	1	0.75	0	0	0	0	0	-1.533	0	1	0
-0.37	-0.8	-0.7	-0.3	0	1.15	1	0.75	0	0	0	0	-1.600	0	0	1

10

式 5 に 0.5 を乗じ、それを式 2 に加えて式 2 を置換する。

式 5 に 0.9 を乗じ、それを式 3 に加えて式 3 を置換する。

式 5 に 1.1 を乗じ、それを式 4 に加えて式 4 を置換する。

式 5 に 1.0 を乗じ、それを式 7 に加えて式 7 を置換する。

式 5 に 1.15 を乗じ、それを式 8 に加えて式 8 を置換する。

【数 6 2】

1.7	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	-0.667	0	0	0
2.66	1.7	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	-0.311	-0.667	0	0
3.1	2.46	1.5	0	0	0	0.5	0	0	0	1	0	0.133	-1.200	0	0
3.32	2.74	2.1	1.5	0	0	0.9	0.5	0	0	0	1	0.356	-1.467	0	0
0.4	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	-1.333	0	0	0
0.4	0.4	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	1.778	-1.333	0	0
0.06	-0.3	-0.3	0	0	0	0.75	0	0	0	0	0	0.244	-1.333	1	0
0.09	-0.34	-0.7	-0.3	0	0	1	0.75	0	0	0	0	0.444	-1.533	0	1

20

式 7 に $(-1 / 0.75)$ を乗じる。

30

【数 6 3】

1.7	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	-0.667	0	0	0
2.66	1.7	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	-0.311	-0.667	0	0
3.1	2.46	1.5	0	0	0	0.5	0	0	0	1	0	0.133	-1.200	0	0
3.32	2.74	2.1	1.5	0	0	0.9	0.5	0	0	0	1	0.356	-1.467	0	0
0.4	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	-1.333	0	0	0
0.4	0.4	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	1.778	-1.333	0	0
-0.08	0.4	0.4	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	-0.326	1.778	-1.333	0
0.09	-0.34	-0.7	-0.3	0	0	1	0.75	0	0	0	0	0.444	-1.533	0	1

40

式 5 に 0.5 を乗じ、それを式 3 に加えて式 3 を置換する。

式 5 に 0.9 を乗じ、それを式 4 に加えて式 4 を置換する。

式 5 に 1.0 を乗じ、それを式 8 に加えて式 8 を置換する。

【数 6 4】

1.7	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	-0.667	0	0	0
2.66	1.7	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	-0.311	-0.667	0	0
3.06	2.66	1.7	0	0	0	0	0	0	0	1	0	-0.030	-0.311	-0.667	0
3.248	3.1	2.46	1.5	0	0	0	0.5	0	0	0	1	0.062	0.133	-1.200	0
0.4	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	-1.333	0	0	0
0.4	0.4	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	1.778	-1.333	0	0
-0.08	0.4	0.4	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	-0.326	1.778	-1.333	0
0.01	0.06	-0.3	-0.3	0	0	0	0.75	0	0	0	0	0.119	0.244	-1.333	1

10

式 8 に $(-1 / 0.75)$ を乗じる。

【数 6 5】

1.7	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	-0.667	0	0	0
2.66	1.7	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	-0.311	-0.667	0	0
3.06	2.66	1.7	0	0	0	0	0	0	0	1	0	-0.030	-0.311	-0.667	0
3.248	3.1	2.46	1.5	0	0	0	0.5	0	0	0	1	0.062	0.133	-1.200	0
0.4	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	-1.333	0	0	0
0.4	0.4	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	1.778	-1.333	0	0
-0.08	0.4	0.4	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	-0.326	1.778	-1.333	0
-0.013	-0.08	0.4	0.4	0	0	0	-1	0	0	0	0	-0.158	-0.326	1.778	-1.333

20

式 5 に 0.5 を乗じ、それを式 4 に加えて式 4 を置換する。

【数 6 6】

1.7	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	-0.667	0	0	0
2.66	1.7	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	-0.311	-0.667	0	0
3.06	2.66	1.7	0	0	0	0	0	0	0	1	0	-0.030	-0.311	-0.667	0
3.241	3.06	2.66	1.7	0	0	0	0	0	0	0	1	-0.017	-0.030	-0.311	-0.667
0.4	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	-1.333	0	0	0
0.4	0.4	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	1.778	-1.333	0	0
-0.08	0.4	0.4	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	-0.326	1.778	-1.333	0
-0.013	-0.08	0.4	0.4	0	0	0	-1	0	0	0	0	-0.158	-0.326	1.778	-1.333

30

式を再度アレンジすると、

40

【数 6 7】

1.7	0	0	0	0.667	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
2.66	1.7	0	0	0.311	0.667	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
3.06	2.66	1.7	0	0.030	0.311	0.667	0	0	0	1	0	0	0	0	0
3.241	3.06	2.66	1.7	0.017	0.030	0.311	0.667	0	0	0	1	0	0	0	0
0.4	0	0	0	1.333	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
0.4	0.4	0	0	-1.778	1.333	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
-0.08	0.4	0.4	0	0.326	-1.778	1.333	0	0	0	0	0	0	0	1	0
-0.013	-0.08	0.4	0.4	0.158	0.326	-1.778	1.333	0	0	0	0	0	0	0	1

10

となる。

新たな第 2 の独立変数についての係数を累積する。

【数 6 8】

1.700	0.000	0.000	0.000	0.667	0.000	0.000	0.000
2.660	1.700	0.000	0.000	0.978	0.667	0.000	0.000
3.060	2.660	1.700	0.000	1.007	0.978	0.667	0.000
3.241	3.060	2.660	1.700	1.024	1.007	0.978	0.667
0.400	0.000	0.000	0.000	1.333	0.000	0.000	0.000
0.400	0.400	0.000	0.000	-0.444	1.333	0.000	0.000
-0.080	0.400	0.400	0.000	-0.119	-0.444	1.333	0.000
-0.013	-0.080	0.400	0.400	0.040	-0.119	-0.444	1.333

20

新たな第 2 の独立変数についての係数を累積する。

【数 6 9】

1.700	0.000	0.000	0.000	0.667	0.000	0.000	0.000
2.660	1.700	0.000	0.000	0.978	0.667	0.000	0.000
3.060	2.660	1.700	0.000	1.007	0.978	0.667	0.000
3.241	3.060	2.660	1.700	1.024	1.007	0.978	0.667
0.400	0.000	0.000	0.000	1.333	0.000	0.000	0.000
0.800	0.400	0.000	0.000	0.889	1.333	0.000	0.000
0.720	0.800	0.400	0.000	0.770	0.889	1.333	0.000
0.707	0.720	0.800	0.400	0.810	0.770	0.889	1.333

30

40

【0 0 6 5】

除去された P I D ダイナミクスを備えた新たなモデル係数は、以下のとおりである。

【表 7】

<u>従属変数 - 1</u>	
<u>独立変数 - 1</u>	<u>独立変数 - 2</u>
$a_{1,1,1} = 1.700$	$a_{1,2,1} = 0.667$
$a_{1,1,2} = 2.660$	$a_{1,2,2} = 0.978$
$a_{1,1,3} = 3.060$	$a_{1,2,3} = 1.007$
$a_{1,1,4} = 3.241$	$a_{1,2,4} = 1.024$

10

20

【表 8】

<u>従属変数 - 2</u>	
<u>独立変数 - 1</u>	<u>独立変数 - 2</u>
$a_{2,1,1} = 0.400$	$a_{2,2,1} = 1.333$
$a_{2,1,2} = 0.800$	$a_{2,2,2} = 0.889$
$a_{2,1,3} = 0.720$	$a_{2,2,3} = 0.770$
$a_{2,1,4} = 0.707$	$a_{2,2,4} = 0.810$

30

40

【0066】

全ての係数値が変化したことに着目すべきである。対応するインパルス係数が F I R 例と同一視されたものと一致することをチェックすべきである。

【表 9】

<u>従属変数 - 1</u>		
<u>独立変数 - 1</u>	<u>独立変数 - 2</u>	
$b_{1,1,1} = 1.700$	$b_{1,2,1} = 0.667$	10
$b_{1,1,2} = 0.960$	$b_{1,2,2} = 0.311$	
$b_{1,1,3} = 0.400$	$b_{1,2,3} = 0.030$	
$b_{1,1,4} = 0.181$	$b_{1,2,4} = 0.017$	20

【表 10】

<u>従属変数 - 2</u>		
<u>独立変数 - 1</u>	<u>独立変数 - 2</u>	
$b_{2,1,1} = 0.400$	$b_{12,2,1} = 1.333$	30
$b_{2,1,2} = 0.400$	$b_{2,2,2} = -0.444$	
$b_{2,1,3} = -0.080$	$b_{2,2,3} = -0.119$	
$b_{12,1,4} = -0.013$	$b_{2,2,4} = 0.040$	40

【0067】

列シミュレーション例

アルゴリズムの使用の他の具体例が以下の例においてなお示される。この例は、以下を示すであろう。

【0068】

プロセスシミュレータとしてのバルブに基づいた有限インパルス応答（FIR）モデルの使用

【0069】

特定の規定する制御配置に基づいたFIRモデルのプラントステップ試験及び同定

【0070】

PIDコントローラダイナミクスを除去し、且つ根本的なバルブに基づいたモデルを回復するために提案されたアルゴリズムの使用

【0071】

この例において、複合分留装置の振る舞いをシミュレートするために、バルブ位置に基づいたFIRモデルは、プロセスモデルとして用いられる。分留装置についての規定の制御は、3つのPI（proportional/integral）フィードバックコントローラからなる。プラントステップ試験は、規定のコントローラ設定点を用いて、シミュレーション上で実行される。そして、FIRモデルは、PIコントローラの設定点に基づいて、分留装置について得られる。その後、規定の制御体系に基づいたこのモデルは、PIコントローラダイナミクスを除去し、且つオリジナルのFIRプロセスモデルを回復するために、アルゴリズムに対して入力される。

【0072】

ステップ形式がインパルス係数から直接計算され得ることから、有限インパルス応答（Finite Impulse Response；FIR）モデルの用語は、モデルの開ループステップ応答形式を参照するために用いられることが着目されるべきである。

【0073】

複合分留装置の概略の記述

複合分留装置の概略は、図1に示される。供給流量5は、上流のユニットによって制御され、炉6において予熱される。分留装置7は、トップ、ミドル、及びボトム製品を有する。分留装置オーバーヘッド温度は、トップの還流を移動させるPIコントローラ8で制御される。ミドル製品引き出し温度（draw temperature）は、ミドル製品引き出し量を移動させるPIコントローラ9で制御される。第3のPIコントローラ10は、分留装置ボトムレベルを制御するためにボトム製品量を移動させる。ボトム構成（軽成分）は、アナライザ11で比較される。

【0074】

有限インパルス応答（Finite Impulse Response；FIR）モデルの記述

この例において用いられるプロセスモデルは、バルブ位置に基づいた開ループステップ応答モデルであり、以下のように要約される。

モデル独立変数

TIC-2001. OP — トップ還流フローバルブ

TIC-2002. OP — ミドル製品フローバルブ

LIC-2007. OP — ボトム製品フローバルブ

FIC-2004. SP — ミドル還流流量

FI-2005. PV — 分留装置供給量

モデル従属変数

TIC-2001. PV — 分留装置オーバーヘッド温度

TIC-2002. PV — ミドル製品引き出し温度

LIC-2007. PV — 分留装置ボトムレベル

AI-2022. PV — 分留装置ボトム成分（軽成分）

【0075】

開ループステップ応答モデルは、以下のように生成されているような理想化された感覚においてみることができる。定常状態のシステムで、第1の独立変数は、他の全ての独立変数を一定に保持する一方で、時間=0で1つのエンジニアリングユニットずつ増加させられる。そして、再度システムが定常状態に到達するまで、全ての従属変数についての値

は、均等割付時間間隔で測定される。その後、第1の独立変数に関する各従属変数のモデル応答曲線は、その従属変数についての個々の将来の時間間隔で測定された値のそれぞれから時間=0で従属変数の値を引くことによって計算される。本質的に、ステップ応答曲線は、独立変数の変化の従属変数に対する影響を表す。その後、このプロセスは、十分なモデルを生成するために、全ての独立変数について連続的に繰り返される。モデルについての定常状態時間は、システムにおける最も遅い応答曲線の定常状態時間によって定義される。

【0076】

明らかに実際の世界においては、多くの場合プロセスが定常状態にないことから、モデルをこの方法において生成することができない。さらに、測定された及び測定されていない外乱が独立変数ステップの間にシステムに影響することを防ぐことは不可能である。モデルの生成は、各独立変数（プラントステップ試験）において多数のステップがなされることを必要とする。したがって、収集されたデータは、その後、開ループステップ応答モデルを計算するアスペンテック（AspenTech）社のDMCplusモデルプログラムのようなパッケージソフトウェアで解析される。

10

【0077】

一旦そのようなモデルが同定されると、それは、独立変数の過去の変化に基づいた将来のシステム応答を予測するために用いられ得る。すなわち、我々が過去に1つの定常状態時間について全ての独立変数がどのように変化したのかを知っているのであれば、我々は、それ以上の独立変数の変化を仮定せずに、将来に1つの定常状態時間について従属変数がどのように変化するかを予測するためにモデルを用いることができる。これは、予測のためのモデルの使用を示す。（これは、プロセスシミュレータとしてFIRモデルを用いる根拠である。）

20

【0078】

それ以上の独立変数の変化がないことに基づいて予測された将来のシステム応答が与えられるとともに、全ての独立及び従属変数上の制約が与えられると、モデルは、制約内の全ての独立及び従属変数を維持するように動く独立変数のストラテジーを計画するために用いられ得る。これは、制御のためのモデルの使用を示す。

【0079】

プロセスシミュレータとして有限インパルス応答（Finite Impulse Response；FIR）モデルを使用すること

30

この例についてのモデルは、90分の定常状態時間を有する。3分の時間間隔が用いられる。結果として生じる応答曲線は、それぞれ、他の全ての独立変数を一定に保持する一方で、時間=0で独立変数のステップ変化に関して時間を横切る従属変数の累積変化を表す30個のベクトルによって定義される。

【0080】

モデル係数は、表1において示され、モデルプロットは、図2において示される。バルブ位置に基づいたこのモデルは、モデル独立変数の過去及び現在の変化に基づいたモデル従属変数における将来のシステム振る舞いを予測するために用いられる。

【表 1 1】

表 1 : バルブに基づいたモデル係数の分留装置シミュレーション

従属変数-1 : TIC-2001.PV DEG F についてのステップレスポンス係数

分	TIC-2001.OP +1 % Move 時間= 0	TIC-2002.OP +1 % Move 時間= 0	LIC-2007.OP +1 % Move 時間= 0	FIC-2004.SP +1 MBBL/D Move 時間= 0	FI-2005.PV +1 MBBL/D Move 時間= 0
0	0.000	0.000	0.0	0.00	0.0
3	-0.101	-0.048	0.0	-2.05	2.9
6	-0.175	-0.076	0.0	-3.58	6.1
9	-0.206	-0.088	0.0	-4.43	7.5
12	-0.227	-0.068	0.0	-5.03	7.8
15	-0.245	-0.040	0.0	-5.58	8.2
18	-0.262	-0.015	0.0	-6.16	8.5
21	-0.277	0.010	0.0	-6.65	8.6
24	-0.292	0.033	0.0	-7.04	8.9
27	-0.306	0.054	0.0	-7.37	9.0
30	-0.323	0.069	0.0	-7.67	9.3
33	-0.340	0.084	0.0	-7.95	9.5
36	-0.356	0.096	0.0	-8.18	9.6
39	-0.372	0.105	0.0	-8.37	9.8
42	-0.386	0.113	0.0	-8.52	9.8
45	-0.399	0.121	0.0	-8.65	9.8
48	-0.410	0.128	0.0	-8.75	9.9
51	-0.420	0.135	0.0	-8.84	10.0
54	-0.428	0.140	0.0	-8.92	10.1
57	-0.435	0.145	0.0	-8.98	10.3
60	-0.440	0.149	0.0	-9.04	10.4
63	-0.445	0.153	0.0	-9.09	10.5
66	-0.450	0.156	0.0	-9.13	10.5
69	-0.453	0.159	0.0	-9.17	10.5
72	-0.457	0.161	0.0	-9.21	10.5
75	-0.460	0.163	0.0	-9.24	10.4
78	-0.462	0.165	0.0	-9.26	10.4
81	-0.464	0.166	0.0	-9.28	10.4
84	-0.465	0.167	0.0	-9.29	10.4
87	-0.466	0.167	0.0	-9.29	10.4
90	-0.466	0.167	0.0	-9.29	10.5

10

20

30

40

【表 1 2】

表 1 : バルブに基づいたモデル係数の分留装置シミュレーション

従属変数 - 2 : TIC-2002.PV DEG F についてのステップレスポンス係数

分	TIC-2001.OP +1 % Move 時間 = 0	TIC-2002.OP +1 % Move 時間 = 0	LIC-2007.OP +1 % Move 時間 = 0	FIC-2004.SP +1 MBBL/D Move 時間 = 0	FI-2005.PV +1 MBBL/D Move 時間 = 0
0	0.000	0.000	0.0	0.00	0.00
3	-0.002	0.020	0.0	-0.28	0.46
6	-0.008	0.052	0.0	-0.73	1.06
9	-0.012	0.081	0.0	-1.26	1.62
12	-0.021	0.118	0.0	-1.77	2.63
15	-0.032	0.157	0.0	-2.23	3.12
18	-0.046	0.201	0.0	-2.64	3.34
21	-0.061	0.242	0.0	-3.06	3.50
24	-0.077	0.277	0.0	-3.40	3.69
27	-0.097	0.308	0.0	-3.67	4.05
30	-0.117	0.335	0.0	-3.93	4.18
33	-0.136	0.360	0.0	-4.19	4.22
36	-0.153	0.380	0.0	-4.42	4.26
39	-0.170	0.396	0.0	-4.62	4.33
42	-0.186	0.407	0.0	-4.78	4.46
45	-0.201	0.416	0.0	-4.90	4.55
48	-0.214	0.423	0.0	-4.99	4.61
51	-0.225	0.430	0.0	-5.07	4.64
54	-0.236	0.436	0.0	-5.13	4.70
57	-0.245	0.440	0.0	-5.19	4.77
60	-0.253	0.445	0.0	-5.23	4.85
63	-0.260	0.449	0.0	-5.27	4.90
66	-0.266	0.452	0.0	-5.30	4.94
69	-0.272	0.455	0.0	-5.33	4.96
72	-0.276	0.458	0.0	-5.36	4.98
75	-0.279	0.460	0.0	-5.38	4.98
78	-0.282	0.462	0.0	-5.40	4.99
81	-0.284	0.463	0.0	-5.42	5.00
84	-0.285	0.464	0.0	-5.44	5.01
87	-0.285	0.465	0.0	-5.45	5.02
90	-0.285	0.465	0.0	-5.46	5.04

10

20

30

40

【表 1 3】

表 1 : バルブに基づいたモデル係数の分留装置シミュレーション

従属変数-3 : LIC-2001.PV %についてのステップレスポンス係数

分	TIC-2001.OP +1 % Move 時間= 0	TIC-2002.OP +1 % Move 時間= 0	LIC-2007.OP +1 % Move 時間= 0	FIC-2004.SP +1 MBBL/D Move 時間= 0	FI-2005.PV +1 MBBL/D Move 時間= 0
0	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0
3	0.00	0.00	-0.8	0.0	2.3
6	0.00	0.00	-1.5	0.0	4.5
9	0.11	-0.23	-2.3	1.1	6.8
12	0.23	-0.45	-3.0	2.3	9.0
15	0.34	-0.68	-3.8	3.4	11.3
18	0.45	-0.90	-4.5	4.5	13.5
21	0.56	-1.13	-5.3	5.6	15.8
24	0.68	-1.35	-6.0	6.8	18.0
27	0.79	-1.58	-6.8	7.9	20.3
30	0.90	-1.80	-7.5	9.0	22.5
33	1.01	-2.03	-8.3	10.1	24.8
36	1.13	-2.25	-9.0	11.3	27.0
39	1.24	-2.48	-9.8	12.4	29.3
42	1.35	-2.70	-10.5	13.5	31.5
45	1.46	-2.93	-11.3	14.6	33.8
48	1.58	-3.15	-12.0	15.8	36.0
51	1.69	-3.38	-12.8	16.9	38.3
54	1.80	-3.60	-13.5	18.0	40.5
57	1.91	-3.83	-14.3	19.1	42.8
60	2.03	-4.05	-15.0	20.3	45.0
63	2.14	-4.28	-15.8	21.4	47.3
66	2.25	-4.50	-16.5	22.5	49.5
69	2.36	-4.73	-17.3	23.6	51.8
72	2.48	-4.95	-18.0	24.8	54.0
75	2.59	-5.18	-18.8	25.9	56.3
78	2.70	-5.40	-19.5	27.0	58.5
81	2.81	-5.63	-20.3	28.1	60.8
84	2.93	-5.85	-21.0	29.3	63.0
87	3.04	-6.08	-21.8	30.4	65.3
90	3.15	-6.30	-22.5	31.5	67.5

10

20

30

40

【表 1 4】

表 1 : バルブに基づいたモデル係数の分留装置シミュレーション

従属変数-4 : AI-2002.PV モル%についてのステップレスポンス係数

分	TIC-2001.OP +1 % Move 時間= 0	TIC-2002.OP +1 % Move 時間= 0	LIC-2007.OP +1 % Move 時間= 0	FIC-2004.SP +1 MBBL/D Move 時間= 0	FI-2005.PV +1 MBBL/D Move 時間= 0
0	0.00000	0.0000	0.0	0.000	0.000
3	0.00004	0.0004	0.0	0.004	-0.010
6	0.00010	0.0005	0.0	0.008	-0.073
9	-0.00014	0.0008	0.0	0.017	-0.076
12	-0.00006	-0.0007	0.0	0.037	-0.105
15	-0.00003	-0.0034	0.0	0.060	-0.112
18	0.00013	-0.0062	0.0	0.090	-0.104
21	0.00033	-0.0087	0.0	0.114	-0.113
24	0.00075	-0.0109	0.0	0.134	-0.126
27	0.00125	-0.0125	0.0	0.152	-0.124
30	0.00193	-0.0137	0.0	0.165	-0.130
33	0.00277	-0.0145	0.0	0.175	-0.134
36	0.00368	-0.0151	0.0	0.183	-0.137
39	0.00459	-0.0157	0.0	0.189	-0.144
42	0.00542	-0.0161	0.0	0.194	-0.154
45	0.00615	-0.0164	0.0	0.199	-0.161
48	0.00679	-0.0167	0.0	0.203	-0.162
51	0.00733	-0.0170	0.0	0.206	-0.162
54	0.00778	-0.0172	0.0	0.208	-0.163
57	0.00815	-0.0174	0.0	0.211	-0.165
60	0.00846	-0.0175	0.0	0.213	-0.168
63	0.00872	-0.0177	0.0	0.214	-0.171
66	0.00893	-0.0178	0.0	0.216	-0.173
69	0.00911	-0.0179	0.0	0.217	-0.175
72	0.00926	-0.0180	0.0	0.218	-0.176
75	0.00938	-0.0181	0.0	0.219	-0.176
78	0.00948	-0.0182	0.0	0.220	-0.175
81	0.00956	-0.0182	0.0	0.221	-0.175
84	0.00962	-0.0183	0.0	0.222	-0.175
87	0.00966	-0.0184	0.0	0.222	-0.175
90	0.00967	-0.0185	0.0	0.223	-0.175

10

20

30

40

【0081】

上述したように、システムには、3つのPI (Proportional/Integral) コントローラ

50

がある。これらの P I コントローラは、以下のように形成される。

【表 1 5】

表 2：分留装置 P I D コントローラ

PID ループ名 (PID Loop Name)	設定点	プロセス変数	出力	K _p	K _i
トップ温度 (Top Temperature)	TIC-2001.SP	TIC-2001.PV	TIC-2001.OP	-2.0	3.0
ミドル製品引き出し温度 (Middle Product Draw Temperature)	TIC-2002.SP	TIC-2002.PV	TIC-2002.OP	3.0	8.0
ボトムレベル (Bottoms Level)	LIC-2001.SP	LIC-2001.PV	LIC-2007.OP	-1.0	4.0

10

20

【 0 0 8 2 】

プラント試験は、これらの P I コントローラでプロセスを規制して実行された（図 3 におけるデータプロット）。システムについての独立及び従属変数は、以下のとおりであった。

モデル独立変数

T I C - 2 0 0 1 . S P - トップ還流フローバルブ S P

T I C - 2 0 0 2 . S P - ミドル製品フローバルブ S P

L I C - 2 0 0 7 . S P - ボトム製品フローバルブ S P

F I C - 2 0 0 4 . S P - ミドル還流流量

F I - 2 0 0 5 . P V - 分留装置供給量

モデル従属変数

T I C - 2 0 0 1 . P V - 分留装置オーバーヘッド温度

T I C - 2 0 0 2 . P V - ミドル製品引き出し温度

L I C - 2 0 0 7 . P V - 分留装置ボトムレベル

T I C - 2 0 0 1 . O P - トップ還流フローバルブ

T I C - 2 0 0 2 . O P - ミドル製品フローバルブ

L I C - 2 0 0 7 . O P - ボトム製品フローバルブ

A I - 2 0 2 2 . P V - 分留装置ボトム成分（軽成分）

30

40

【 0 0 8 3 】

これは、プロセスシミュレータとしてバルブに基づいた F I R モデルの使用を示す。上述したように、P I D 制御計算は、プロセスシミュレーションに対して外部で実行された。

【 0 0 8 4 】

図 4 において示されるように、結果として生じるデータが解析され、この P I D 配置に基づいたモデルが同定された。

【 0 0 8 5 】

P I D ダイナミクスを除去する新たなアルゴリズムは、図 4 において示されるモデルに適用された。また、除去れた P I D ダイナミクスをとまなうこのモデルは、オリジナルの

50

シミュレーションモデルと比較される。図 5 にみられるように、アルゴリズムは、成功裡に、オリジナルのバルブに基づいたモデルを回復する。回復されたモデルの定常状態時間は、オリジナルのモデルの定常状態時間よりも長いことに着目すべきである。これは、P I D コントローラを備えたモデルについてのより長い定常状態時間の結果である。オリジナルのバルブに基づいたシミュレーションモデルは、90 分の定常状態時間を有していた。P I D コントローラが形成され、プラントステップ試験が実行された場合には、P I D フィードバック制御が安定 (settle out) するのを待機しなければならないことに起因して、プロセスが定常状態に到達するのに 180 分要した。回復されたバルブに基づいたモデルの定常状態時間は、生成された P I D ダイナミクスを含むモデルと同じ定常状態時間を有する。しかしながら、回復されたモデルが 90 分で定常状態に到達したことは理解されることができ、また、その時点で切られた場合には、正確にオリジナルのバルブに基づいたモデルと一致するであろう。

10

【0086】

産業上利用可能性

過去に、P I D コントローラが再調整された場合又は規定する制御体系が再構成された場合には、新たなプラントが実行され、新たなモデルが構築された。この文書に記述された発明は、他のプラント試験を実行する必要なしに P I D コントローラダイナミクスを除去する。

【0087】

P I D ダイナミクスを除去するこの能力は、P I D 設定点の代わりにバルブ位置にのみ基づいたオフラインプロセスシミュレータの作成を可能とする。プラント試験は、任意の安定した規定の配置及び P I D チューニングとともに実行することができ、対応するモデルを得ることができる。そして、P I D ダイナミクスを除去するアルゴリズムは、全ての P I D コントローラのダイナミクスを除去し、且つモデル入力を設定点からバルブへと変換するために、結果として生じるモデルに適用される。その後、規定の制御体系は、D C S コンソール又はコンソールエミュレータを介してプロセスモデルに対して外部にエミュレートすることができる。これは、オペレータが、P I D コントローラを手動モードにすること、カスケードを壊すこと、P I D コントローラを再度調整すること、又は規定の制御体系を再形成することを可能とする。

20

【0088】

モデルに基づいた制御アプリケーションに関して、システムにおける P I D コントローラの P I D チューニングを修正することが必要な場合がある。P I D ダイナミクスを除去する能力で、この P I D コントローラのバルブに基づくモデルを生成することができる。そして、オフラインシミュレーション計算は、新たな P I D チューニングを含む新たなプロセスモデルを生成するために実行することができ、この最新のモデルは、モデルに基づいたコントローラに組み込むことができ、これにより、プラントステップ試験を防止する。規定の制御体系が再構成されることになっている場合には、この技術はまた、適用することができる。我々がモデルに対する入力として温度コントローラ設定点を有しているものと仮定する。その場合、バルブは、ユニットのシャットダウンなしでは、動かずに修理することができず、温度コントローラのダイナミクスを除去するためにアルゴリズムを適用することができ、温度コントローラなしで制御アプリケーションを用い続けることができる。

30

40

【0089】

本発明の他の利点は、1 つの規定する配置においてプロセスを試験することができることであり、また、モデルに基づいたコントローラが異なる配置で作動することができることである。湿性ガスコンプレッサの速度を移動させる P I D コントローラでシステム圧力が制御される場合には、例は、流動式接触分解ユニット (Fluidized Bed Catalytic Cracking Unit; F C C U) である。多くの場合、ユニットを実行する最も経済的な場所は、最高速度でコンプレッサをとまうが、この場合には、圧力は、直接制御されない。圧力のオフ制御でのユニットの試験は、困難である。その解決策は、コンプレッサ速度を移動

50

させ、速度を制御して維持する P I D コントローラを備えてプラントを試験することである。モデルが得られる場合には、圧力コントローラ P I D ダイナミクスは、除去され、モデルに基づいた制御アプリケーションは、それらにコンプレッサ速度を直接移動させるであろう。この例において、モデルに基づいた制御アプリケーションは、コンプレッサ速度が最高である場合には、他の入力进行操作することにより、出力としてシステム圧力を制御する。

【0090】

ユニットを試験する場合にはよく、ある P I D コントローラのバルブは、プラント試験の間、オフ制御で駆動される。現在、このデータは、プロセスモデルを構築するのに用いることができない。新たなアルゴリズムでは、P I D コントローラがオフ制御である場合 10
でさえも、全てのデータを用いることが可能である。これは、P I D コントローラがオン制御である場合にのみデータを用いる前のように、モデルを最初に同定することによって行われる。そして、このモデルは、P I D ダイナミクスを除去するように修正され、新たなデータは、モデルに"フィルタされる"。

【0091】

したがって、この新たな発明は、高い忠実度でオフラインプロセスシミュレータを使用可能とする構築を可能とし、モデルに基づいた制御アプリケーションを実行して維持する能力を増強するであろう。

【0092】

本発明の望ましい形式が開示されて図面に記述された一方で、望ましい形式のバリエーションは、当該技術の熟練者にとって明らかであることから、本発明は、示されて記述された特定の形式に制限されるように解釈されるべきではないが、その代わりに、特許請求 20
の範囲に述べられ、先の開示に照らして解釈される。

【図面の簡単な説明】

【0093】

【図1】図1は、分留装置のフロー概略図である。

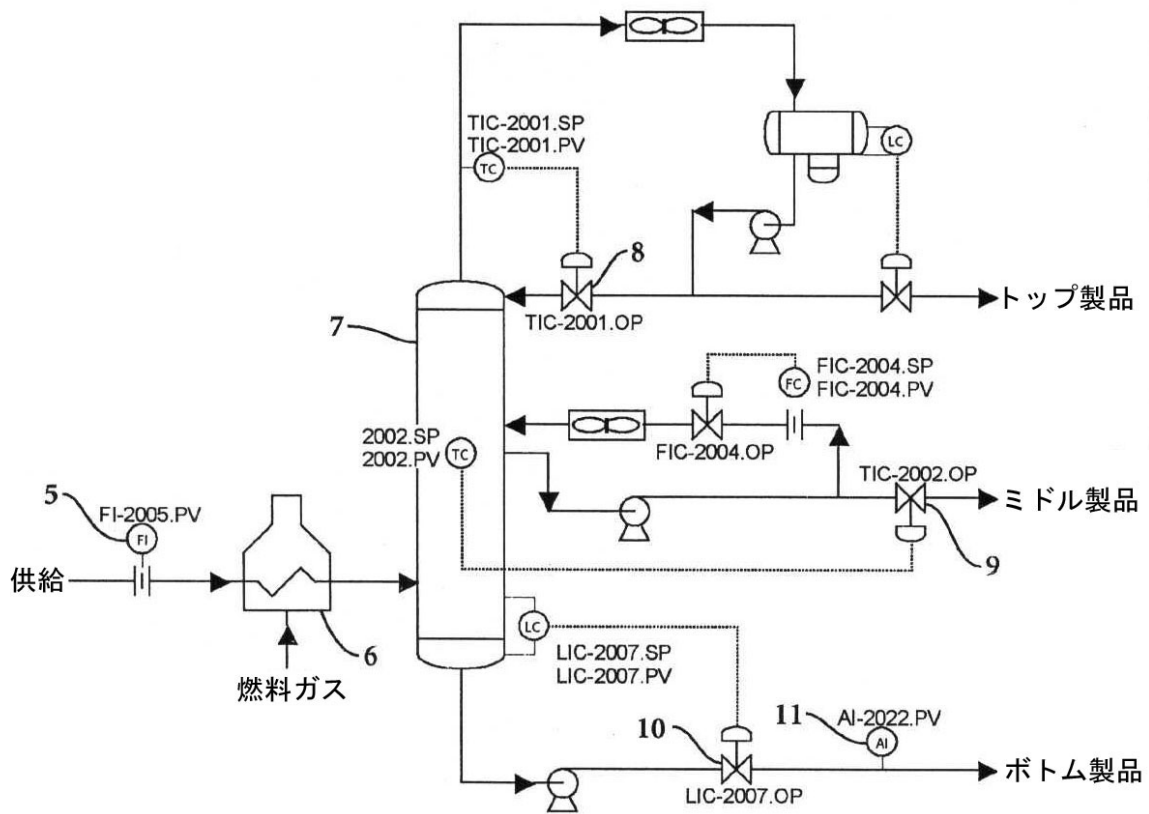
【図2】図2は、バルブ位置に基づいた分留装置モデルのシミュレーションの図である。

【図3】図3は、分留装置のプラント試験結果の実証図である。

【図4】図4は、P I D コントローラをともなう分留装置のシミュレーションの図である 30
。

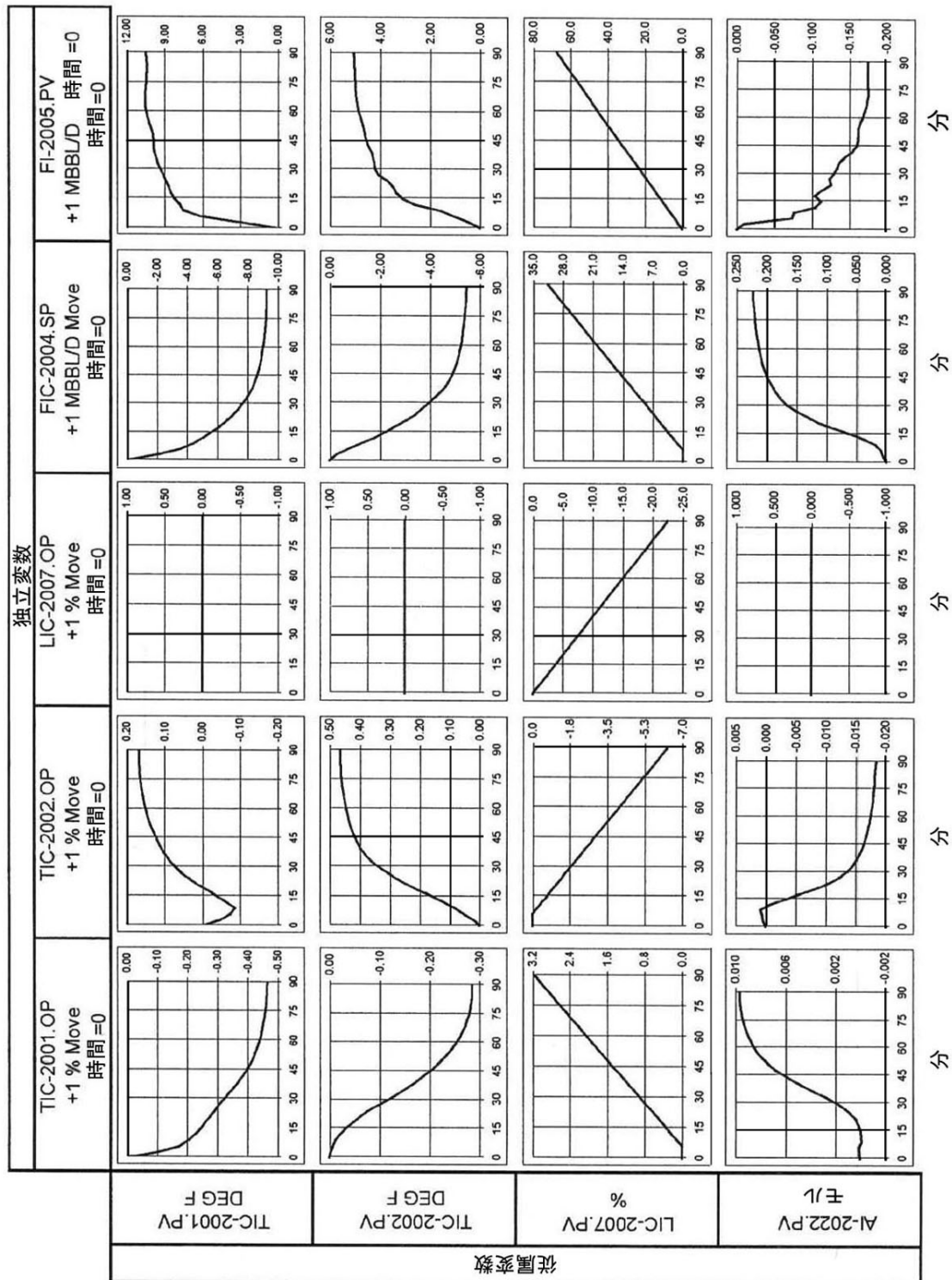
【図5】図5は、オリジナル及び回復された値をともなう分留装置の実証図である。

【図 1】



複合分留装置の概略

【図 2】



バルブ位置に基づく分留装置シミュレーションモデル

分

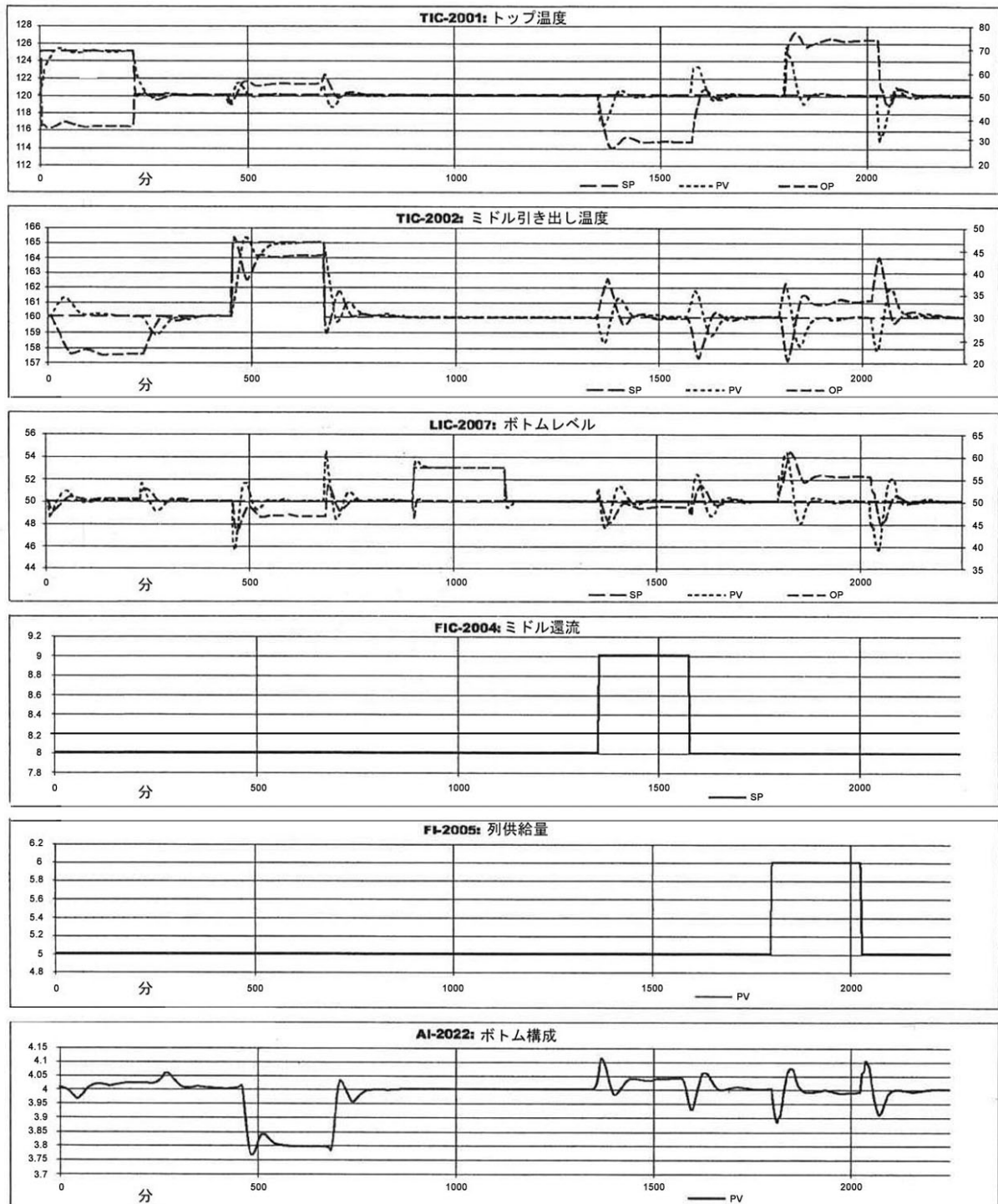
分

分

分

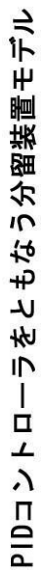
分

【図 3】

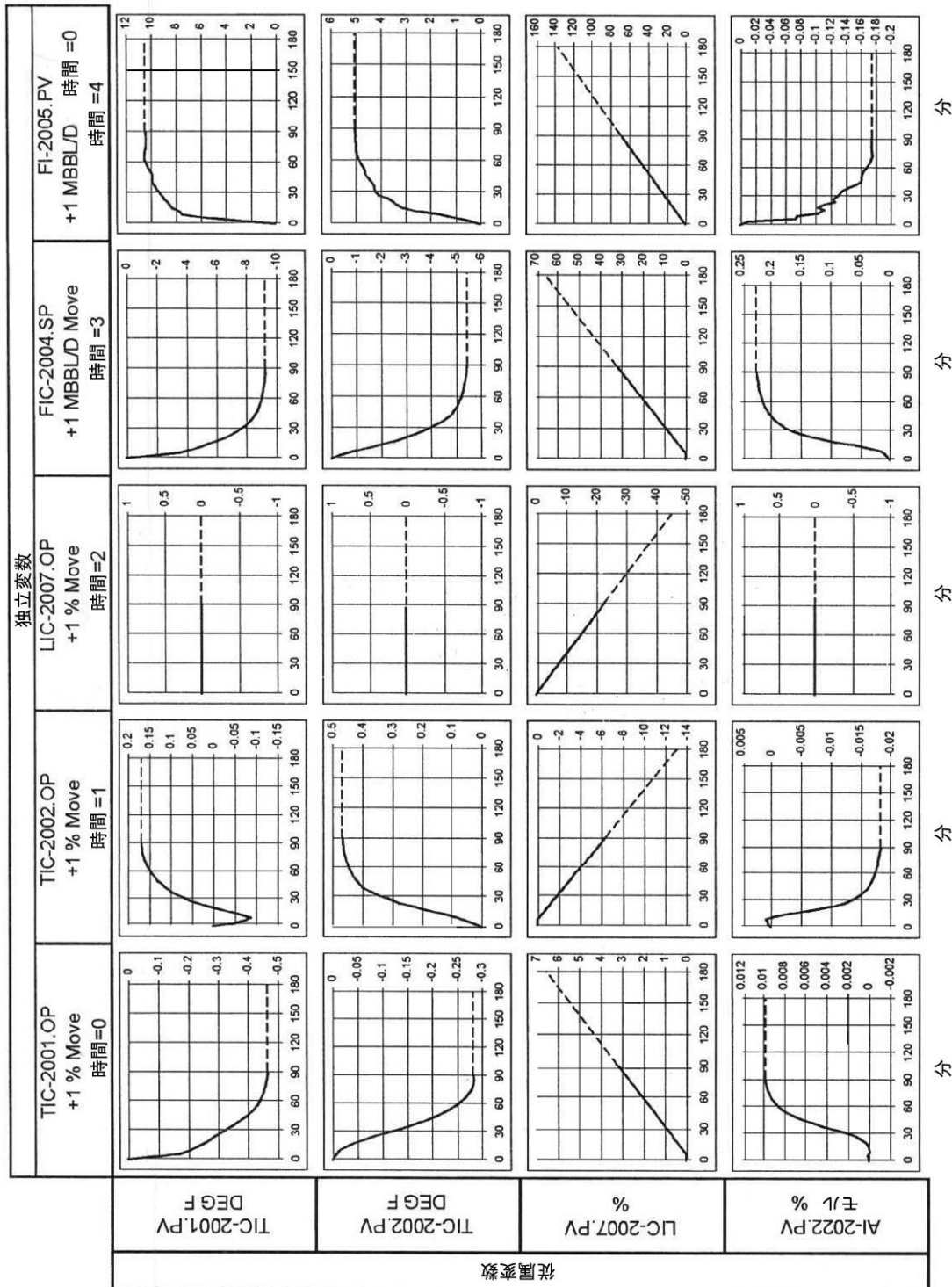


列シミュレーションプラント試験

独立変数

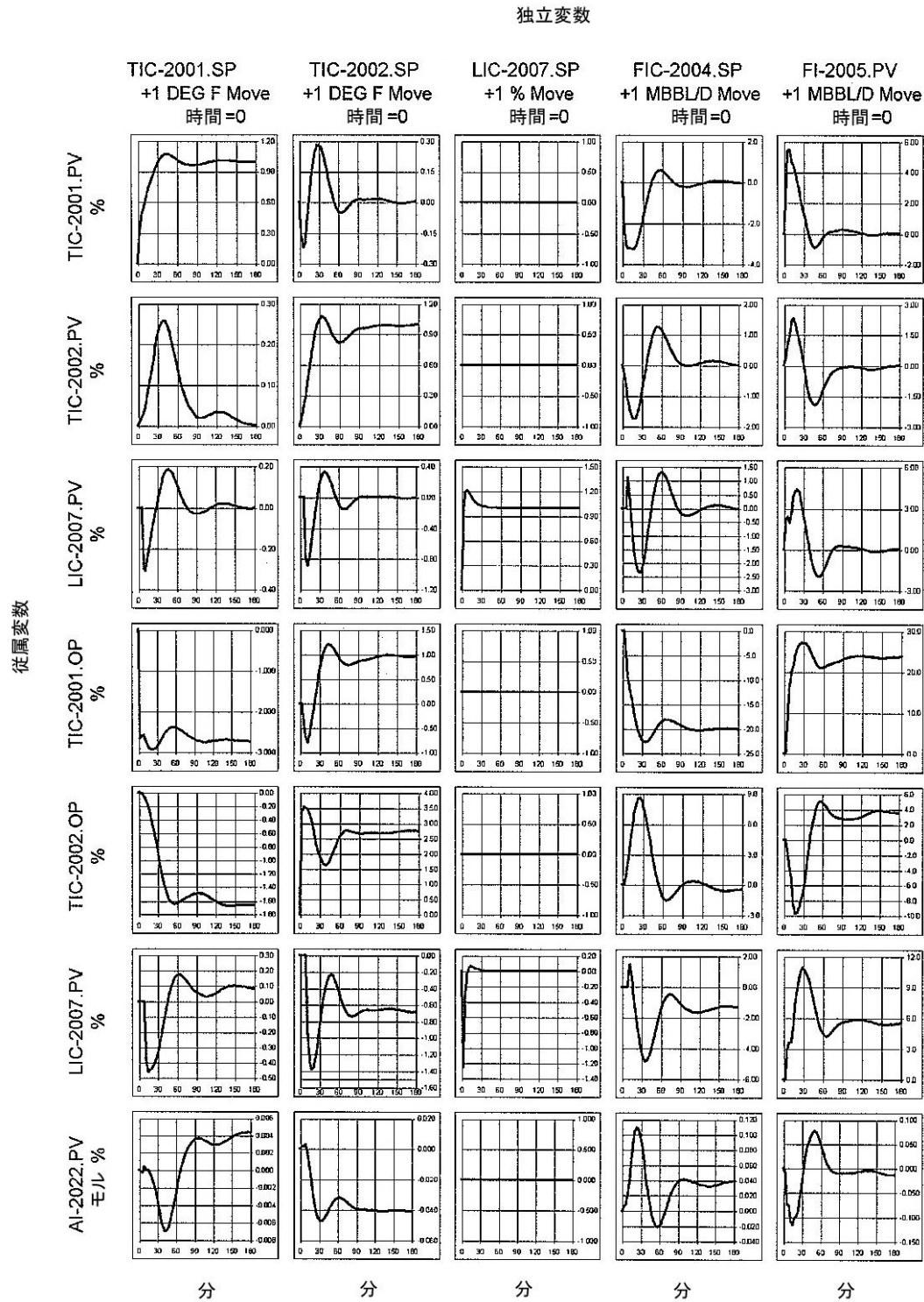


【図 5】



オリジナル及び回復された分留装置用のバルブに基づくモジュール

【手続補正1】
 【補正対象書類名】図面
 【補正対象項目名】図4
 【補正方法】変更
 【補正の内容】
 【図4】



PID コントローラをともなう分留装置モデル

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/US03/00575

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC(7) : G06F 17/10; G06G 7/48, 7/58; G05B 13/02 US CL : 703/2, 12; 700/28-30 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) U.S. : 703/2, 12; 700/28-30 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 practicable, search terms used) EAST, IEEE		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	PATRY et al. Model Predictive Controller Design with Process Constraints and Implicit Economic Criteria. IEEE Instr. & Meas. Tech. Conf. May 1997. pages 559-563.	1-17
X	US 6,056,781 (WASSICK et al.) 2 May 2000, figures 1-6, 9-10 and corresponding text.	1-17
X	US 5,347,446 (IINO et al.) 13 September 1994, figures 1, 5-8, 16, 19, 23, 26, 29 and corresponding text.	1-17
X	US 6,088,630 (CAWLFIELD et al.) 11 July 2000, figures 1-5, 11 and corresponding text.	1-17
☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document 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 "Z" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 23 MARCH 2003		Date of mailing of the international search report 05 AUG 2003
Name and mailing address of the ISA/US Commissioner of Patents and Trademarks Box PCT Washington, D.C. 20231 Facsimile No. (703) 305-8230		Authorized officer HUGH JONES <i>Peggy Hancock</i> Telephone No. (703) 305-9704