

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号
特許第6927770号
(P6927770)

(45) 発行日 令和3年9月1日 (2021. 9. 1)

(24) 登録日 令和3年8月10日 (2021. 8. 10)

(51) Int. Cl.

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

F I

G O 5 B 23/02 3 O 1 T

請求項の数 7 (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2017-133806 (P2017-133806)	(73) 特許権者	000005108
(22) 出願日	平成29年7月7日 (2017. 7. 7)		株式会社日立製作所
(65) 公開番号	特開2019-16214 (P2019-16214A)		東京都千代田区丸の内一丁目6番6号
(43) 公開日	平成31年1月31日 (2019. 1. 31)	(74) 代理人	110001807
審査請求日	令和2年2月26日 (2020. 2. 26)		特許業務法人磯野国際特許商標事務所
		(72) 発明者	堀 嘉成
			東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株
			式会社日立製作所内
		(72) 発明者	向出 正明
			東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株
			式会社日立製作所内
		(72) 発明者	山本 浩貴
			東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株
			式会社日立製作所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 プラント操作支援装置、および、プラント操作支援方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

制御対象のプラントから計測されたデータ、および、前記プラントを制御するための入力データのうちの少なくとも1つのデータである運転データについて、その運転データの大小関係をもとにカテゴリに分類し、各カテゴリのプラント状態ごとに運転させることで得られるプラント性能を前記プラントの評価値として算出し、

n次元 (n 4) の各運転データのカテゴリを X Y 平面上にマッピングすることで、現在の運転データがマッピングされる X Y 平面上の第 1 位置から前記各運転データがマッピングされる X Y 平面上の第 2 位置までの距離を空間距離として算出し、

それぞれ算出した前記評価値および前記空間距離をもとに、目標とする運転データの候補を複数個抽出する目標抽出部と、

抽出された前記運転データの候補ごとに、前記現在の運転データから前記目標とする運転データへと至る操作内容を操作経路として、各候補の前記操作経路を通過する運転データから得られるプラント性能に応じて評価することで、採用する前記操作経路およびその操作経路の終点である前記目標とする運転データを決定する経路決定部と、

前記操作経路の始点となる前記運転データから前記目標とする運転データまでの前記操作経路を、マップデータとして表示する表示部とを有することを特徴とする

プラント操作支援装置。

【請求項 2】

前記目標抽出部は、算出した前記評価値および前記空間距離をもとに、前記目標とする

10

20

運転データの候補を複数個抽出するときに、算出した前記評価値が高い順に所定個数の前記運転データを候補第1集合として抽出し、前記候補第1集合から、前記空間距離が小さい順に所定個数の前記運転データを候補第2集合として抽出し、前記候補第2集合を抽出結果として前記経路決定部に通知することを特徴とする

請求項1に記載のプラント操作支援装置。

【請求項3】

前記プラント操作支援装置は、さらに、操作監視部を有しており、

前記操作監視部は、前記表示部に表示させる前記マップデータ上に、前記現在の運転データを示す情報を追加で表示させることを特徴とする

請求項1または請求項2に記載のプラント操作支援装置。

10

【請求項4】

前記操作監視部は、前記現在の運転データが前記操作経路から逸脱している場合と、逸脱していない場合とで、前記現在の運転データを示す情報の表示形態を変えて前記表示部に表示させることを特徴とする

請求項3に記載のプラント操作支援装置。

【請求項5】

前記操作監視部は、前記現在の運転データが前記操作経路から逸脱している場合に、前記目標抽出部に対して、逸脱している前記操作経路とは別の新たな目標とする運転データの候補を再計算させることで、前記現在の運転データを始点とする新たな操作経路に更新することを特徴とする

20

請求項4に記載のプラント操作支援装置。

【請求項6】

前記表示部は、前記各運転データの代表値をXY平面に射影し、前記各運転データごとに運転させる前記プラントの前記評価値をZ軸とした3次元グラフとして、前記マップデータを表示することを特徴とする

請求項1ないし請求項5のいずれか1項に記載のプラント操作支援装置。

【請求項7】

プラント操作支援装置は、目標抽出部と、経路決定部と、表示部とを有しており、

前記目標抽出部は、制御対象のプラントから計測されたデータ、および、前記プラントを制御するための入力データのうちの少なくとも1つのデータである運転データについて、その運転データの大小関係をもとにカテゴリに分類し、各カテゴリのプラント状態ごとに運転させることで得られるプラント性能を前記プラントの評価値として算出し、

30

n次元(n=4)の各運転データのカテゴリをXY平面上にマッピングすることで、現在の運転データがマッピングされるXY平面上の第1位置から前記各運転データがマッピングされるXY平面上の第2位置までの距離を空間距離として算出し、

それぞれ算出した前記評価値および前記空間距離をもとに、目標とする運転データの候補を複数個抽出し、

前記経路決定部は、抽出された前記運転データの候補ごとに、前記現在の運転データから前記目標とする運転データへと至る操作内容を操作経路として、各候補の前記操作経路を通過する運転データから得られるプラント性能に応じて評価することで、採用する前記操作経路およびその操作経路の終点である前記目標とする運転データを決定し、

40

前記表示部は、前記操作経路の始点となる前記運転データから前記目標とする運転データまでの前記操作経路を、マップデータとして表示することを特徴とする

プラント操作支援方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、プラント操作支援装置、および、プラント操作支援方法に関する。

【背景技術】

【0002】

50

発電プラントや化学プラント等のプラント制御装置には、目標となる製品を効率よく製造するための様々な機能が組み込まれている。最も一般的な制御機能は、プラントの状態量が目標値を満足するように制御するPID (Proportional-Integral-Differential) 制御であり、様々なプラントの制御装置に実装されている。

【0003】

また、近年では、プラントの運転状態や環境変化への対応のため、プラントの運転状態の将来値を予測し、現在から将来にわたる運転状態が制御目標値に対して最適となるように操作変数を決めるモデル予測制御が適用されている。ただし、操作変数が増加すると、操作変数間の相互作用の影響のため、所望の制御効果を得られない場合がある。そこで、特許文献1には、プラントのプロセスの時間因子に起因する操作変数間の相互作用を考慮したプラント制御装置が記載されている。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2013-37436号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、経年変化したプラントや比較的新しいプロセスのプラントでは、なんらかの外乱により、プラントの状態が変化し、プラント効率や製品の収率が低下することがあるが、この場合、目標値までの制御特性の改善よりも、目標とするプラントの状態をいかに適切に設定するかが課題となる。

20

なお、特許文献1などの従来技術では、現在のプラントの運転状態を起点として、どのような運転状態を目標とすればよいかを決定する手段は、提供されていない。

【0006】

そこで、本発明は、現在のプラントの運転状態を起点として、プラントを適切に運転させるための運転状態の目標を提示することを、主な課題とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

前記課題を解決するために、本発明のプラント操作支援装置は、以下の特徴を有する。

30

本発明は、制御対象のプラントから計測されたデータ、および、前記プラントを制御するための入力データのうちの少なくとも1つのデータである運転データについて、その運転データの大小関係をもとにカテゴリに分類し、各カテゴリのプラント状態ごとに運転させることで得られるプラント性能を前記プラントの評価値として算出し、

n次元(n=4)の各運転データのカテゴリをXY平面上にマッピングすることで、現在の運転データがマッピングされるXY平面上の第1位置から前記各運転データがマッピングされるXY平面上の第2位置までの距離を空間距離として算出し、

それぞれ算出した前記評価値および前記空間距離をもとに、目標とする運転データの候補を複数個抽出する目標抽出部と、

抽出された前記運転データの候補ごとに、前記現在の運転データから前記目標とする運転データへと至る操作内容を操作経路として、各候補の前記操作経路を通過する運転データから得られるプラント性能に応じて評価することで、採用する前記操作経路およびその操作経路の終点である前記目標とする運転データを決定する経路決定部と、

40

前記操作経路の始点となる前記運転データから前記目標とする運転データまでの前記操作経路を、マップデータとして表示する表示部とを有することを特徴とする。

その他の手段は、後記する。

【発明の効果】

【0008】

本発明によれば、現在のプラントの運転状態を起点として、プラントを適切に運転させるための運転状態の目標を提示することができる。

50

【図面の簡単な説明】**【 0 0 0 9 】**

【図 1】本発明の一実施形態に関するプラントシステムの構成図である。

【図 2】本発明の一実施形態に関する表示操作部の画面に表示される化学プラントの系統図の一例である。

【図 3】本発明の一実施形態に関する運転データデータベースに格納されている運転データの例を示すテーブルである。

【図 4】本発明の一実施形態に関する分類器により運転データをカテゴリに分類する一例を示す説明図である。

【図 5】本発明の一実施形態に関する 15 個のカテゴリを 2 次元平面 (X Y 平面) にマッピングしたカテゴリマップデータを示す説明図である。

10

【図 6】本発明の一実施形態に関するカテゴリマップデータ上に設定される操作経路の説明図である。

【図 7】本発明の一実施形態に関する目標状態候補抽出部の処理を示すフローチャートである。

【図 8】本発明の一実施形態に関するプラント性能の計算結果を示すテーブルである。

【図 9】本発明の一実施形態に関する図 8 のプラント性能のテーブルから、プラント性能が高い順に $N = 5$ 個のカテゴリを抽出した結果を示すテーブルである。

【図 10】本発明の一実施形態に関する初期カテゴリからの距離が近い順に、図 9 のテーブルのエントリをソートした結果のテーブルである。

20

【図 11】本発明の一実施形態に関する初期カテゴリを出発地として、目標カテゴリの各候補に向かうまでの操作経路の組み合わせを示すテーブルである。

【図 12】本発明の一実施形態に関するプラントシミュレータの模擬結果において 2 つのカテゴリ間の過渡状態を示すグラフである。

【図 13】本発明の一実施形態に関する操作経路を決定した結果を示すテーブルである。

【図 14】本発明の一実施形態に関する図 1 のプラントシステムに操作監視部を追加した場合の構成図である。

【図 15】本発明の一実施形態に関するカテゴリマップデータの空間座標 (X Y Z 軸) への拡張例を示す表示画面図である。

【図 16】本発明の一実施形態に関する図 15 のカテゴリマップデータに対して、操作経路を追加した場合の表示画面図である。

30

【図 17】本発明の一実施形態に関する図 16 のカテゴリマップデータに対して、操作経路から逸脱していない現在カテゴリのガイダンスを追加した場合の表示画面図である。

【図 18】本発明の一実施形態に関する図 16 のカテゴリマップデータに対して、操作経路から逸脱してしまった現在カテゴリのガイダンスを追加した場合の表示画面図である。

【発明を実施するための形態】**【 0 0 1 0 】**

以下、本発明の一実施形態を、図面を参照して詳細に説明する。

【 0 0 1 1 】

図 1 は、プラントシステムの構成図である。プラントシステムは、図 2 などのプラント 21、プラント制御装置 22、操作部 23、プラント操作支援装置 1、および表示操作部 24 からなる。

40

プラント 21 は、操作部 23 から入力される設定値データなどをもとに、プラント制御装置 22 により制御されている。プラント操作支援装置 1 は、操作部 23 を扱う運転員に対して、プラント 21 の操作内容の把握を支援させるための各種操作のガイダンスを表示操作部 24 に表示する。表示操作部 24 は、さらに、運転員からプラント操作支援装置 1 へのデータ入力を受け付ける。

【 0 0 1 2 】

プラント操作支援装置 1 は、CPU (Central Processing Unit) と、メモリと、ハードディスクなどの記憶手段 (記憶部) と、ネットワークインタフェースとを有するコンピ

50

ュータとして構成される。

このコンピュータは、CPUが、メモリ上に読み込んだプログラム（アプリケーションや、その略のアプリとも呼ばれる）を実行することにより、各処理部により構成される制御部（制御手段）を動作させる。

プラント操作支援装置1は、運転データデータベース11、目標状態候補抽出部12、プラントシミュレータ13、操作経路評価部14、操作経路決定部15、操作経路表示部16からなる。これらのプラント操作支援装置1の各構成要素の詳細は、図3以降で明らかにする。

【0013】

図2は、表示操作部24の画面に表示されるプラント21としての化学プラントの系統図の一例である。なお、以下では化学プラントを例示するが、発電プラントや医薬プラントなどでもよい。

系統図は、例えば系統図作成用CADソフトで作成された電子ファイルであり、系統図には、機器、接続配管、主要な計測機器が記載されている。系統図は、配管計装線図または、P&ID（Piping & Instrument Flow Diagram）とも呼ばれる。系統図には、機器としての反応器R1～R4、機器間を接続する配管、計測器などの情報が記載されている。なお、図2で例示された28個の計測器にはF1，P1，T1などのタグがついており、Fが流量計、Pが圧力計、Tが温度計を示している。

【0014】

図3は、運転データデータベース11に格納されている運転データの例を示す。プラント制御装置22は、プラント21の運転データを収集し、運転データデータベース11に格納する。

「運転データ」は、プラント21に関する時系列データ（日時ごとのデータ）のパラメータ集合であり、例えば以下に例示するパラメータのうちの少なくとも1つのパラメータから構成される。

【0015】

運転データの一例として、プラント21のセンサなどの計測データは、例えば、プラントの構成機器の温度データ、圧力データ、流量データなどの状態データである。図3の例では、第1反応器入口流量、第1反応器入口圧力などのようにプラント21の各計測器で計測された計測データが、例えば1分間隔で保存されている。

なお、計測データは、プラント21の運転員が明示的に制御した場合だけでなく、なんらかの外乱により変化したプラント21の状態を示すデータとも言える。つまり、運転員が意図せずに、プラント性能が劣化した運転データに移行してしまうこともある。

【0016】

運転データの別の一例として、プラント21の構成機器に対して入力されるデータは、例えば、バルブ開度などの操作量データ、制御信号の設定値データ、運転条件、操作条件、設定条件などの各種条件データである。これらの入力されるデータは、操作部23からプラント制御装置22を介してプラント21の構成機器に遠隔入力してもよいし、プラント21の運転員が現場で直接入力してもよい。

さらに、運転データデータベース11の各運転データは、個別のカテゴリ番号が与えられ、分類（カテゴライズ）されている。つまり、「カテゴリ」は、ある時点でのプラント21が取り得る運転データとも言える。

【0017】

図4は、分類器により運転データをカテゴリ（カテゴリ番号、冒頭の「C」は図示省略）に分類する一例を示す説明図である。ここでは、分類器として、データクラスタリング技術の1つである適応共鳴理論（ART：Adaptive Resonance Theory）を用いた。分類器に入力する運転データは、通常4次元以上のデータであり、図3では28項目（次元）のデータを示した。一方、図4では説明用に単純化し、データ1，データ2という2次元の時系列データを分類する場合を例示する。

分類器は、データ1とデータ2とのデータ値の関係により、例えば以下のように運転デ

10

20

30

40

50

ータをカテゴリに分類する（カテゴリライズする）。

カテゴリ C 1：データ 1 の値：大、データ 2 の値：小

カテゴリ C 2：データ 1 の値：中、データ 2 の値：小

カテゴリ C 3：データ 1 の値：中、データ 2 の値：大

カテゴリ C 4：データ 1 の値：小、データ 2 の値：大

【 0 0 1 8 】

図 5 は、15 個のカテゴリを 2 次元平面（XY 平面）にマッピングした一例を示す。カテゴリ間の位置関係を把握しやすくする 2 次元平面へのマッピング結果を、以下では「カテゴリマップデータ（マップデータ）」と呼ぶ。カテゴリマップデータは、ナビゲーションシステムにおける地図のように用いられる。

ここでは、マッピングに多次元尺度法（MDS：Multi Dimensional Scaling）を利用した。MDS は、p 次元の複数データについて、データ間の距離が与えられた場合に、その距離情報を q 次元の空間上に再現するように座標を決定する方法である。p > q の場合、距離情報を必ずしも正確に再現できないが、およその位置関係を把握するには有効である。特に、q = 2 とすると、多次元空間上のデータの平面上にマッピングすることができるため、多次元データの可視化に利用できる。

【 0 0 1 9 】

図 6 は、カテゴリマップデータ上に設定される「操作経路」の説明図である。図 5 の破線四角部の拡大図に対して、カテゴリ 4 → 3 → 1 の順に通過する操作経路が矢印で示されている。操作経路は、ナビゲーションシステムにおける案内ルートに相当する。

以下、操作経路に着目したカテゴリの呼び方を定義する。

・「初期カテゴリ」は、操作経路を決定した時点の（出発地の）運転データの状態を示す。図 6 では初期カテゴリ = 4 である。

・「現在カテゴリ」は、初期カテゴリより後である現在地の運転データの状態を示す。図 6 では現在カテゴリ = 3 である。

・「目標カテゴリ」は、決定した操作経路における目標とする（目的地の）運転データの状態を示す。図 6 では目標カテゴリ = 1 である。

【 0 0 2 0 】

次に、現在カテゴリと操作経路との位置関係により、操作経路に対して現在カテゴリの移行度合いと、逸脱状態とを定義する。

現在カテゴリが操作経路に対して「逸脱状態」にあるとは、図 6 で現在カテゴリがカテゴリ = 2 に位置するなど、操作経路の矢印の線上から外れた状態を指す。一方、逸脱していない状態とは、操作経路の矢印の線上に現在カテゴリが位置する（カテゴリ = 3 など）状態である。

現在カテゴリの「移行度合い」は、例えば、操作経路の道のりに対する現在カテゴリの位置関係により定義される。例えば、現在カテゴリがカテゴリ 3、4 間の矢印上で、カテゴリ 4 から 70 % カテゴリ 3 に向かって進行中であるとき、カテゴリ 4 からカテゴリ 3 へ 70 % 移行中である。このとき、初期カテゴリ（カテゴリ 4）から現在カテゴリ（カテゴリ 3 へ 70 % 移行中）までにかかった移行時間をもとに、今後現在カテゴリがカテゴリ 3 に 100 % 移行完了する予定時刻を求めることができる。

【 0 0 2 1 】

また、「現在カテゴリを次のカテゴリに移行させる」とは、現在カテゴリが示す運転データの状態を、次のカテゴリが示す運転データの状態へと変化させるための、プラント 2 1 に対する各種操作である。

例えば、運転データがバルブ開度であるときは、現在カテゴリ（開度：40 %）から次のカテゴリ（開度：60 %）へと変化させるために、プラント 2 1 の運転員がバルブ開度を変更する。このバルブの開度変更作業が完了したとき、次のカテゴリへの移行が完了する。

一方、運転データが温度データであるときは、現在カテゴリ（温度 120）から次のカテゴリ（温度 150）へと変化させるために、操作部 2 3 から温度の設定値を 150

10

20

30

40

50

に変更し、制御信号がプラント21に送信される。その結果、加熱用蒸気量が増加し温度データが実際に150 になったときに、次のカテゴリへの移行が完了する。

【0022】

図1に戻り、目標状態候補抽出部12は、カテゴリごとのプラント性能値と、初期カテゴリを起点とした各カテゴリまでの距離とをもとに、目標カテゴリを抽出する。ここで、目標状態候補抽出部12は、抽出された目標カテゴリの候補が複数存在するときには、それらの候補から採用するものを1つ決定する。

【0023】

図7は、目標状態候補抽出部12の処理を示すフローチャートである。

S10(S11~S14)は、目標状態候補抽出部12が図5のようなカテゴリマップデータを事前に用意する処理であり、運転データのカテゴリが更新される度に、実行される。

10

S11において、目標状態候補抽出部12は、図4で説明したように、図3の運転データを類似度に応じて、カテゴリに分類する。

S12において、目標状態候補抽出部12は、カテゴリごとの運転データの代表値を算出する。ここでは、各運転データの平均値を代表値とした。本実施例で用いた運転データは、図3に示す28項目である。例えば、カテゴリC1に含まれるデータが100点あったとすると、反応器1入口流量、反応器1入口圧力などの各項目毎に100点のデータの平均値を計算する。なお、本実施例では、代表値として平均値を採用したが、中央値など他の代表値を採用してもよい。

20

S13において、目標状態候補抽出部12は、図5で説明したように、S12の運転データの代表値を2次元平面(カテゴリマップデータ)にマッピングする。

【0024】

S14において、目標状態候補抽出部12は、各カテゴリに分類された運転データについて、プラント性能の平均値を算出する。本実施例では、プラント性能は、製品収率として、計算式「製品収率 = $K \times F_{12} / F_1$ 」で求めた。ここで、 F_{12} は、製品の流量である反応器4出口流量であり、 F_1 は、反応器1入口流量である。また、 K は、理論式から求めた係数であり、理想的な運転データでは、製品収率が100%となる。

図8は、S14でのプラント性能の計算結果を示すテーブルである。15個のカテゴリC1~C15に分類された各運転データについて、プラント性能である製品収率が各カテゴリの評価値として計算された。

30

そして、目標状態候補抽出部12は、カテゴリマップデータ内に点在する各カテゴリに対して、図8のような評価値を対応付ける。

【0025】

図7に戻り、S20(S21~S23)は、目標状態候補抽出部12がS10で作成されたカテゴリマップデータ上に、新たに操作経路の目標カテゴリを設定する処理を示す。つまり、新たな操作経路の目標カテゴリは、現在の運転データの状態を基準(初期カテゴリ)として設定されるので、ユーザが目標カテゴリを設定したいときに、S20の処理が実行される。

S21において、目標状態候補抽出部12は、図4で説明した分類器を用いて、現在の運転データを分類する。その結果、初期カテゴリ(=カテゴリC4)が決定する。

40

S22において、目標状態候補抽出部12は、プラント性能が高いカテゴリをN個抽出する。

図9は、図8のプラント性能のテーブルから、プラント性能が高い順にN=5個のカテゴリを抽出した結果を示すテーブルである。

【0026】

S23において、目標状態候補抽出部12は、S22で抽出した5個のカテゴリのうち、カテゴリマップデータ内の各カテゴリの配置を参照して、S21で設定した初期カテゴリとの間の距離(カテゴリの代表値間の距離)に近いM個のカテゴリを選択する。

ここでの「距離」とは、カテゴリAの運転データがマッピングされる多次元空間上の第

50

1 位置とカテゴリ B の運転データがマッピングされる多次元空間上の第 2 位置との間の空間距離である。図 5 に示したカテゴリマップデータにおける各カテゴリ地点間の直線距離を、カテゴリ間の距離として用いると、多次元空間上の距離と若干の誤差が生じることもある。しかし、近似値でも大まかな傾向は一致するため、目標カテゴリの選択結果への影響は少ない（カテゴリの順位が入れ替わることは少ない）。

【 0 0 2 7 】

図 1 0 は、初期カテゴリ（＝カテゴリ C 4）からの距離が近い順に、図 9 のテーブルのエントリをソートした結果である。M = 3 とすると、S 2 3 において、目標状態候補抽出部 1 2 は、カテゴリ C 1 4，C 1 1，C 1 5 を目標カテゴリの候補として選択する。

以上説明したように、目標状態候補抽出部 1 2 は、S 2 2 でプラント性能が高いカテゴリを選択し、さらに、S 2 3 でカテゴリ間の距離が近いカテゴリを選択する。これにより、プラント 2 1 を高性能に運転させるとともに、運転状態変更に必要な時間も短縮されるような、バランスのよい目標カテゴリを適切に選択することができる。

【 0 0 2 8 】

図 1 に戻って、操作経路評価部 1 4 は、初期カテゴリを起点とし、目標状態候補抽出部 1 2 が抽出した目標カテゴリまでの操作経路について、予め定めた評価指標に基づき評価する。なお、評価指標は、運転コストや製品収率など計算可能なものであれば、任意に設定可能である。また、複数の評価指標を計算してもよい。操作経路の評価計算には、運転データデータベース 1 1 のデータを用いてもよいし、プラントシミュレータ 1 3 を用いてもよい。

【 0 0 2 9 】

以下、S 2 3 で目標カテゴリの候補がカテゴリ C 1、C 1 2、C 1 5 の 3 つに絞られている状態から、操作経路評価部 1 4 がプラントシミュレータ 1 3 を用いて各操作経路の製品収率を評価することで、操作経路決定部 1 5 が図 6 の操作経路（C 4 → C 3 → C 1）を決定する一例を説明する。

図 1 1 は、初期カテゴリ（＝カテゴリ C 4）を出発地として、目標カテゴリの各候補（C 1、C 1 2、C 1 5）に向かうまでの操作経路の組み合わせを示すテーブルである。例えば、カテゴリ C 4 からカテゴリ C 1 への経路は、直接カテゴリ C 1 に行くケース（R 1）と、カテゴリ C 3 を経由してカテゴリ C 2 に行くケース（R 2）の 2 通りがある。同様にカテゴリ C 1 2 に行くケースも 2 通りあり（R 3，R 4）、組み合わせの合計は、6 通りとなる。

【 0 0 3 0 】

プラントシミュレータ 1 3 は、プラント 2 1 の運転データをもとに、各操作経路の製品収率などのプラント性能値をプラント 2 1 の特性として模擬する動特性シミュレータである。プラントシミュレータ 1 3 では、まず、初期カテゴリであるカテゴリ C 4 の状態で運転データを安定化させる。次に各操作経路のカテゴリ C 4 から、矢印で接続される次のカテゴリまで、運転データを移行させる。プラントシミュレータ 1 3 は、現在カテゴリの運転データが各操作経路の終点である目標カテゴリで安定したところでシミュレーションを終了する。

【 0 0 3 1 】

なお、プラントシミュレータ 1 3 には、実プラントの制御ロジックが実装されているため、カテゴリ間の過渡状態も実プラントの挙動を模擬することができる。

例えば、操作経路 R 1 では、初期カテゴリであるカテゴリ C 4 から、次のカテゴリであるカテゴリ C 1 への運転データの移行が安定すれば、模擬終了となる。一方、操作経路 R 2 では、初期カテゴリであるカテゴリ C 4 から、カテゴリ C 3 の状態で安定化させ、次にカテゴリ C 1 の状態に変更するというように 2 段階で運転データを変更する。

【 0 0 3 2 】

図 1 2 は、プラントシミュレータ 1 3 の模擬結果において 2 つのカテゴリ間の過渡状態を示すグラフである。運転データを変化させた場合、変更前のカテゴリから変更後のカテゴリまで、必ずしも線形に製品収率が変化するわけではない。一時的に製品の収率が低下

10

20

30

40

50

するケース（実線グラフ）や、逆に比較的早い段階から製品の収率が上昇するケース（破線グラフ）がある。

プラントシミュレータ 13 では、このように各経路の製品収率を計算することができる。なお、評価指標として製品収率を計算したが、運転コストを計算してもよい。また、製品収率と運転コストという 2 つの評価指標を別々に計算し、それらの評価指標の重み付け平均などの複合的に考慮した複合指標を評価指標としてもよい。

【 0 0 3 3 】

操作経路評価部 14 は、プラントシミュレータ 13 を用いる代わりに、運転データデータベース 11 に格納された過去の運転データを利用して、操作経路を評価してもよい。例えば、操作経路 R1（C4→C1）を評価する場合、次のように計算する。

（手順 1）運転データデータベース 11 の運転データのうちの所定期間内（例えば過去 6 ヶ月間）の運転データの中から、カテゴリ C4→C1 に遷移したデータを全て抽出する。運転データデータベース 11 は図 3 に示したように予めカテゴリ分けされているため、カテゴリ C4→C1 に遷移した 4 件の事例を高速に抽出できた。

（手順 2）抽出した 4 件のデータに対し、評価指標を計算し、その平均値を求める。本実施例では、実際の運転データから製品収率を計算し、平均値を求めた。

このように過去の実際の運転データを利用して評価値を計算することで、プラントシミュレータ 13 よりも高い精度で評価値を求めることができる。ただし、操作経路の候補が常に過去の実績データに含まれるとは限らない。その場合は、プラントシミュレータ 13 を併用してもよい。

【 0 0 3 4 】

図 13 は、操作経路決定部 15 が、操作経路評価部 14 で計算した評価指標（図 11）に基づき操作経路を決定した結果を示すテーブルである。操作経路決定部 15 が決定する経路は最適な経路 1 つに限らず、評価値が高い順に複数の操作経路を決定してもよい。さらに、評価値が高い順に複数の操作経路の候補を表示し、運転員が 1 つの操作経路を選択してもよい。

ここでは、評価指標が製品収率のみであり、操作経路決定部 15 は、基本的には最も製品収率が高い候補を選べばよい。一方で、製品収率に大きな違いがなかった場合、例えば、最近の運転履歴や部品のメンテナンス情報を考慮して、操作経路決定部 15 は、経路を探索してもよい。また、評価指標が製品収率と運転コストのように複数ある場合、それらの複合指標のみで判断するのではなく、例えば運転コストを重視するなどの判断で、操作経路決定部 15 は、操作経路を選択してもよい。

【 0 0 3 5 】

操作経路表示部 16 は、操作経路決定部 15 で決定された操作経路を、表示操作部 24 にガイダンスとして表示する。操作経路の表示画面は、例えば、図 6 に示したように、カテゴリマップデータの一部に、選択した経路を矢印などで表示する画面である。そして、プラント 21 の運転員は、操作経路の表示画面に従い、現在カテゴリから目標カテゴリへと向かう操作経路に沿った運転データを操作部 23 に入力する。

これにより、プラント制御装置 22 がプラント 21 を最適に制御し、プラント性能を高く引き出すような運転データでプラント 21 を運用することができる。

【 0 0 3 6 】

図 14 は、図 1 のプラントシステムに操作監視部 17 を追加した場合の構成図である。

操作監視部 17 は、操作経路決定部 15 で決定した操作経路に沿って現在カテゴリから目標カテゴリに移行しているか否かを監視する。操作監視部 17 は、現在カテゴリに対するガイダンス情報として、現在カテゴリが操作経路から逸脱せずに順調に移行しているときには、その移行度合いを表示操作部 24 に表示させる。または、操作監視部 17 は、現在カテゴリが目標カテゴリに向かう操作経路から逸脱してしまったときには、その旨を表示操作部 24 に表示させる。

【 0 0 3 7 】

図 15 は、カテゴリマップデータの空間座標（X Y Z 軸）への拡張例を示す。目標状態

10

20

30

40

50

候補抽出部 12 は、カテゴリマップデータの X Y 平面に対して、S 14 で計算した評価値を Z 軸（高さ方向）に対応付ける。具体的には、カテゴリ j に関し、X Y 平面上にマッピングされた平均値の座標が (X_j, Y_j) 、プラント性能の平均値を K_j とすると、カテゴリと KPI の関係を、座標 (X_j, Y_j, K_j) で表す。

このように可視化することで、カテゴリ間の位置関係だけでなく、各カテゴリのプラント性能を直観的に把握することができる。

【0038】

図 16 は、図 15 のカテゴリマップデータに対して、図 6 と同様に操作経路 R 2（カテゴリ C 4 → C 3 → C 1）を矢印で追加した場合の表示画面図である。図 16 のカテゴリマップデータでは Z 軸の位置が高くなるほどプラント性能値が向上するため、現在カテゴリ

10

【0039】

図 17 は、図 16 のカテゴリマップデータに対して、操作経路から逸脱していない現在カテゴリの位置情報 C P 1 と、今後の操作に関するガイダンス G 1 とを追加した場合の表示画面図である。

本例は、一旦カテゴリ C 3 になるように操作してから、さらに操作をしてカテゴリ C 1 に変更する場合である。そのため、現在カテゴリがカテゴリ C 3 に近づいた段階で、次にカテゴリ C 1 に操作することを運転員にガイダンス G 1 で知らせる。前記したように、操作経路上の現在カテゴリの移行度合いから、現在カテゴリが次カテゴリ C 3 に到着するまでの予想時間（X 分）がわかる。よって、操作監視部 17 は、カテゴリ C 3 → C 1 に移行させるように、X 分後に操作を変更する旨を、ガイダンス G 1 として表示操作部 24 に表示させる。

20

このようにガイダンスを表示することで、運転員の操作ミスを防ぐことができる。なお、位置情報 C P 1 を示すアイコンは、目立つように、各カテゴリのノードや、ノード間の線とは異なる表示形態にて（色を変えるなど強調して）、表示することが望ましい。

【0040】

図 18 は、図 16 のカテゴリマップデータに対して、操作経路から逸脱してしまった現在カテゴリの位置情報 C P 2 と、今後の操作に関するガイダンス G 2 とを追加した場合の表示画面図である。まず、操作監視部 17 は、逸脱していない位置情報 C P 1 のアイコン

30

を緑色の円マークで表示し、逸脱してしまった位置情報 C P 2 のアイコンを赤色の星マークで表示するなど、逸脱の有無で表示形態を変えることで、運転員に逸脱した旨を知らせる。

さらに、操作監視部 17 は、「予定の経路から逸脱しています。確認してください」という警報のガイダンス G 2 を表示操作部 24 に表示させる。なお、図 17、図 18 では、表示画面上にガイダンスを表示したが、音声ガイダンスまたは、音声と画面の両方のガイダンスを利用してもよい。

【0041】

ここで、操作監視部 17 は、逸脱してしまった現在カテゴリについて、現在カテゴリを操作経路に復帰させるように運転員に指示してもよいし、現在カテゴリを起点（初期カテゴリ）として、新たな目標カテゴリと操作経路とを目標状態候補抽出部 12 に再計算（ナビゲーションシステムにおけるリルート）させてもよい（S 20 からの再計算）。これにより、逸脱してしまった古い操作経路にこだわらず、現時点を基準に、より適したプラント 21 の運用が可能となる。

40

【0042】

以上説明した本実施形態では、プラントの性能が低下した場合などで、目的となる運転データ为目标カテゴリとして設定し、そこに至る最適な操作経路を決定することができるため、プラントを高効率に運用することができる。また、図 17 などのカテゴリマップデータの表示画面では、目標カテゴリに至る操作経路のうち、現在カテゴリがどの位置まで移行中なのかが可視化されている。これにより、運転員が現在の運転データをどのように

50

更新すればよいかを把握することができる。

【 0 0 4 3 】

なお、本発明は前記した実施例に限定されるものではなく、様々な変形例が含まれる。例えば、前記した実施例は本発明を分かりやすく説明するために詳細に説明したものであり、必ずしも説明した全ての構成を備えるものに限定されるものではない。

また、ある実施例の構成の一部を他の実施例の構成に置き換えることが可能であり、また、ある実施例の構成に他の実施例の構成を加えることも可能である。

また、各実施例の構成の一部について、他の構成の追加・削除・置換をすることが可能である。また、上記の各構成、機能、処理部、処理手段などは、それらの一部または全部を、例えば集積回路で設計するなどによりハードウェアで実現してもよい。

10

また、前記の各構成、機能などは、プロセッサがそれぞれの機能を実現するプログラムを解釈し、実行することによりソフトウェアで実現してもよい。

【 0 0 4 4 】

各機能を実現するプログラム、テーブル、ファイルなどの情報は、メモリや、ハードディスク、SSD (Solid State Drive) などの記録装置、または、IC (Integrated Circuit) カード、SDカード、DVD (Digital Versatile Disc) などの記録媒体に置くことができる。

また、制御線や情報線は説明上必要と考えられるものを示しており、製品上必ずしも全ての制御線や情報線を示しているとは限らない。実際にはほとんど全ての構成が相互に接続されていると考えてもよい。

20

さらに、各装置を繋ぐ通信手段は、無線LANに限定せず、有線LANやその他の通信手段に変更してもよい。

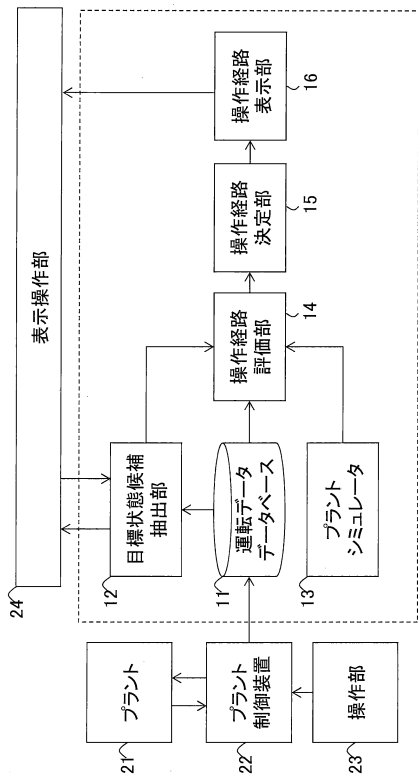
【 符号の説明 】

【 0 0 4 5 】

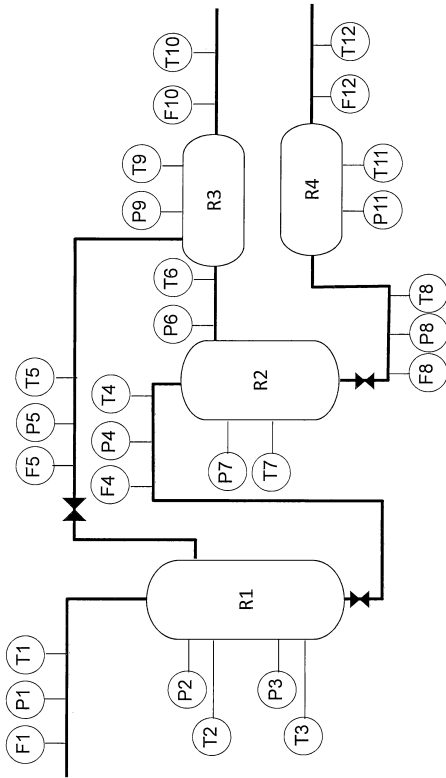
- 1 プラント操作支援装置
- 1 1 運転データデータベース
- 1 2 目標状態候補抽出部 (目標抽出部)
- 1 3 プラントシミュレータ
- 1 4 操作経路評価部 (経路決定部)
- 1 5 操作経路決定部 (経路決定部)
- 1 6 操作経路表示部
- 1 7 操作監視部
- 2 1 プラント
- 2 2 プラント制御装置
- 2 3 操作部
- 2 4 表示操作部 (表示部)

30

【図 1】



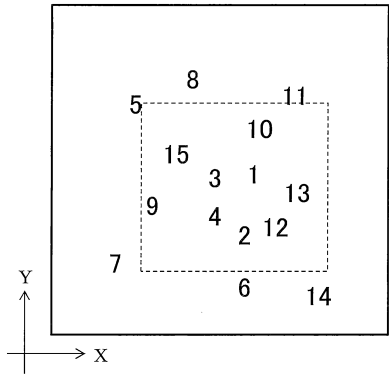
【図 2】



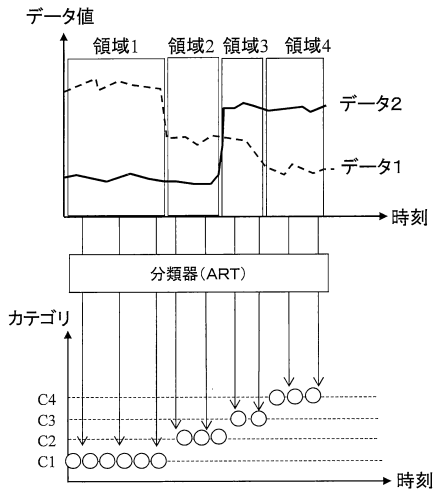
【図 3】

カテゴリ番号	日時	反応器1 入口流量 (F1)	反応器1 入口圧力 (P1)	反応器1 入口温度 (T1)	...	反応器4 出口流量 (F12)	...
C1	2016/3/3 10:01	3.2	0.35	158.1	...	1.53	...
C2	2016/3/3 10:02	3.21	0.34	156.2	...	1.54	...
C3	2016/3/3 10:03	3.18	0.35	156.8	...	1.52	...
:	:	:	:	:	:	:	:

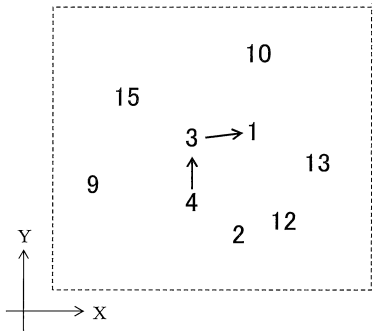
【図 5】



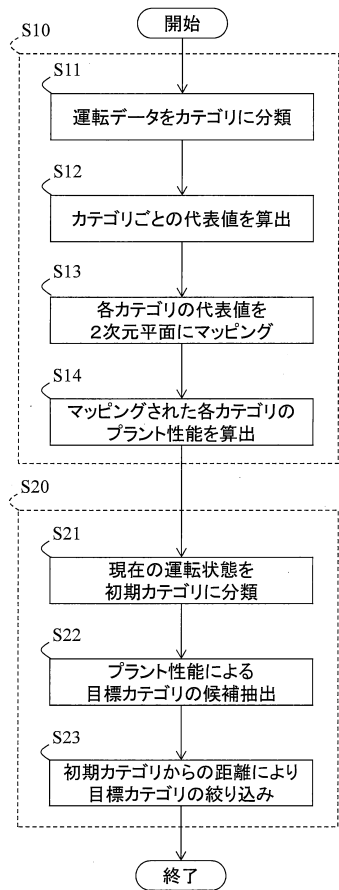
【図 4】



【図 6】



【図 7】



【図 8】

カテゴリ番号	プラント性能 (製品収率)
C1	0.95
C2	0.92
C3	0.91
C4	0.9
⋮	⋮
C14	0.97
C15	0.96

【図 9】

カテゴリ番号	プラント性能 (製品収率)
C14	0.97
C11	0.97
C15	0.96
C12	0.95
C1	0.95

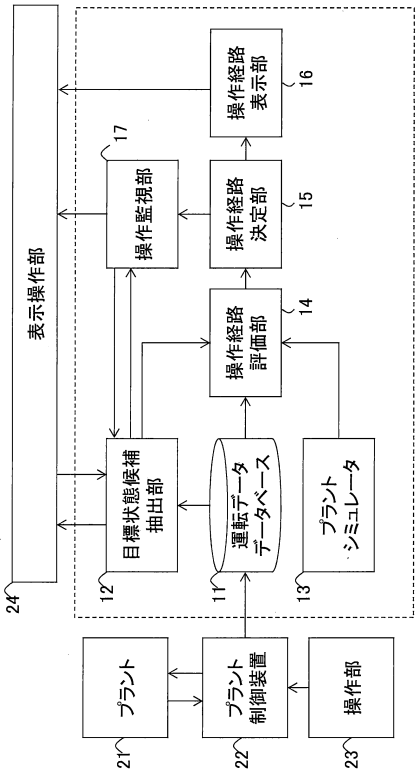
【図 10】

カテゴリ番号	初期カテゴリからの距離
C14	0.52
C11	0.49
C15	0.32
C12	0.31
C1	0.28

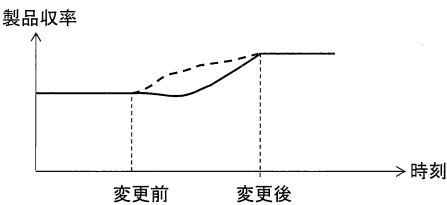
【図 11】

経路番号	経路
R1	C4→C1
R2	C4→C3→C1
R3	C4→C12
R4	C4→C2→C12
R5	C4→C15
R6	C4→C3→C15

【図 14】



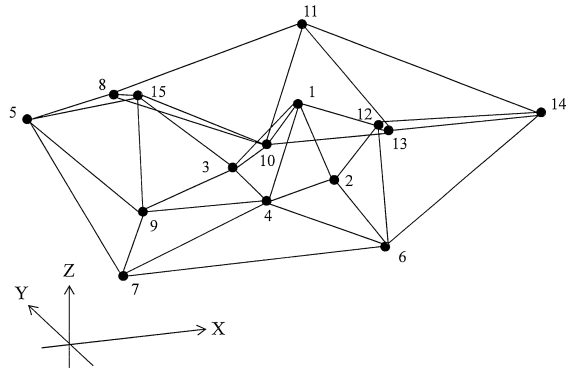
【図 12】



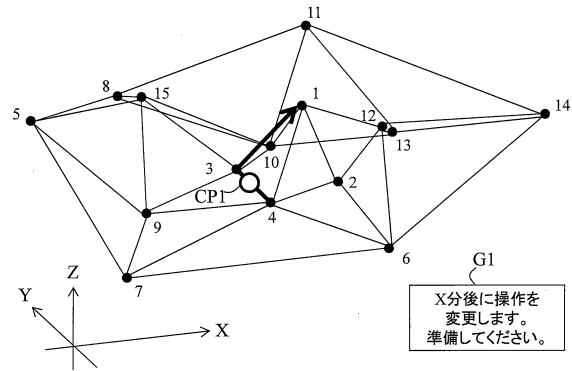
【図 13】

経路評価値	経路順位	経路番号	経路
0.935	1	R2	C4→C3→C1
0.93	2	R1	C4→C1
0.92	3	R5	C4→C15

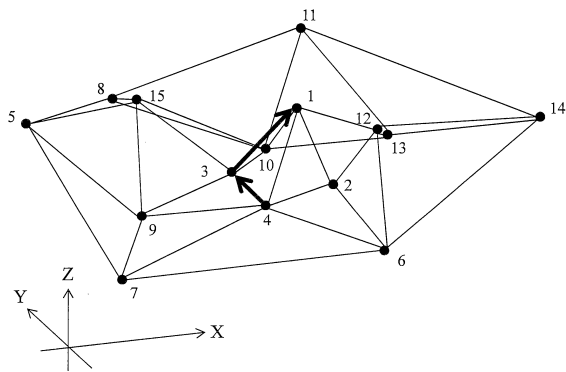
【図15】



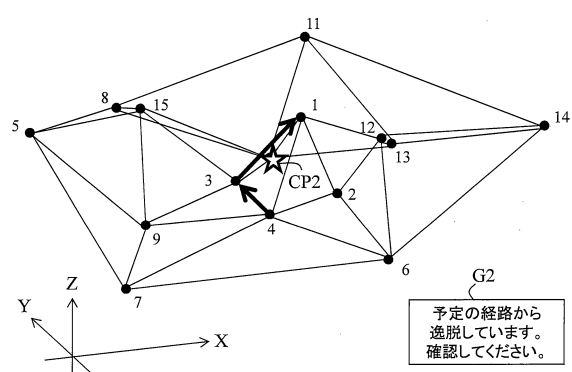
【図17】



【図16】



【図18】



フロントページの続き

審査官 杉山 悟史

(56)参考文献 特開昭59-127105(JP,A)
特開2006-235890(JP,A)
特開2013-037436(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G05B 23/02