

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4268500号
(P4268500)

(45) 発行日 平成21年5月27日 (2009.5.27)

(24) 登録日 平成21年2月27日 (2009.2.27)

(51) Int. Cl. F I
G06F 17/30 (2006.01)
 G06F 17/30 180A
 G06F 17/30 350C
 G06F 17/30 220Z

請求項の数 6 (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2003-367716 (P2003-367716)	(73) 特許権者	000006655 新日本製鐵株式会社 東京都千代田区大手町2丁目6番3号
(22) 出願日	平成15年10月28日 (2003.10.28)	(73) 特許権者	899000068 学校法人早稲田大学 東京都新宿区戸塚町1丁目104番地
(65) 公開番号	特開2005-135010 (P2005-135010A)	(74) 代理人	100090273 弁理士 園分 孝悦
(43) 公開日	平成17年5月26日 (2005.5.26)	(72) 発明者	大貝 晴俊 富津市新富20-1 新日本製鐵株式会社 技術開発本部内
審査請求日	平成17年10月24日 (2005.10.24)	(72) 発明者	伊藤 雅浩 富津市新富20-1 新日本製鐵株式会社 技術開発本部内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 プロセスの状態類似事例検索方法および状態予測方法並びに記憶媒体

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

コンピュータを用いて、複数のプロセス変数それぞれの計測値からなるプロセスデータが、格納時刻及び格納した順番を示す格納番号とともに一定周期の時刻ごとに格納された時系列データベースから、指定した時刻のプロセス状態と類似したプロセスの過去の状態類似事例を検索する方法において、

(イ) 前記複数のプロセス変数それぞれについて、指定した時刻 T_k から所定の点数 m だけ過去の時点までの一連のプロセスデータを、前記時系列データベースから抽出する工程と、

(ロ) 前記抽出した一連のプロセスデータに対し独立成分分析を実施し、前記指定した時刻 T_k から所定の点数 m だけ過去の時点での一連のデータ値からなる複数の独立変数の値 s と、分離行列 W とを計算する工程と、

(ハ) 前記計算した一連の複数の独立変数の値 s を入力データとするか、又は、前記計算した一連の複数の独立変数の値 s と前記複数のプロセス変数のうちの予め選んだプロセス変数の一連のプロセスデータとを入力データとして、該入力データの前記時刻 T_k 及び該時刻 T_k から過去の時刻それぞれにおける値であるデータ値 X_i を、予め与えた上下限値 $X_{i\max}$ 、 $X_{i\min}$ を用いて規格化し、次に所定の量子化数を掛けた後に整数化することにより量子化した入力値 $I \times X_i$ を計算して、検索用テーブルの時刻 T_k でのデータ値を算出する工程と、

(ニ) 前記指定した時刻 T_k と対応する時系列データベースの格納番号の少なくとも何れ

か1つと合わせて、前記検索用テーブルの時刻 T_k でのデータ値を検索用テーブルに格納する工程と、

からなる一連の工程を、前記指定した時刻 T_k を変えて繰り返して、検索用テーブルを作成する工程と、

複数のプロセス変数それぞれについて、前記時刻 T_k と別の指定した特定時刻 T_s から前記所定の点数 m だけ過去の時点までの一連のプロセスデータを入手する工程と、

前記抽出した特定時刻 T_s からの一連のプロセスデータに、前記(ロ)の工程で算出した分離行列 W を乗じて、特定時刻 T_s の独立変数値を計算する工程と、

前記計算した特定時刻 T_s の独立変数値について、前記(ハ)の工程の処理をして、特定時刻 T_s の検索用の入力データを算出する工程と、

前記特定時刻 T_s の検索用の入力データを検索のキーとして、該入力データ値と前記検索用テーブルの過去の時刻 T_k それぞれでのデータ値とを、対応するデータの値ごとに照合して、該データ値の差分である類似度を算出し、該類似度を用いて類似度の予め設定した値の近傍まで類似したデータ値を探索して類似事例とし、該過去の時刻のデータ値に紐づいた格納時刻または格納番号を求める工程と、

前記類似事例の格納時刻または格納番号に相当する、類似事例の一連のプロセスデータを前記時系列データベースから抽出する工程と、

からなることを特徴とするプロセスの状態類似事例検索方法。

【請求項2】

コンピュータを用いて、複数のプロセス変数それぞれの計測値からなるプロセスデータが、格納時刻及び格納した順番を示す格納番号とともに一定周期の時刻ごとに格納された時系列データベースから、指定した時刻のプロセス状態と類似したプロセスの過去の状態類似事例を検索してプロセスの将来状態を予測する方法において、

(イ)前記複数のプロセス変数それぞれについて、指定した時刻 T_k から所定の点数 m だけ過去の時点までの一連のプロセスデータを、前記時系列データベースから抽出する工程と、

(ロ)前記抽出した一連のプロセスデータに対し独立成分分析を実施し、前記指定した時刻 T_k から所定の点数 m だけ過去の時点での一連のデータ値からなる複数の独立変数の値 s と、分離行列 W とを計算する工程と、

(ハ)前記計算した一連の複数の独立変数の値 s を入力データとするか、又は、前記計算した一連の複数の独立変数の値 s と前記複数のプロセス変数のうちの予め選んだプロセス変数の一連のプロセスデータとを入力データとして、該入力データの前記時刻 T_k 及び該時刻 T_k から過去の時刻それぞれにおける値であるデータ値 X_i を、予め与えた上下限値 $X_{i\max}$ 、 $X_{i\min}$ を用いて規格化し、次に所定の量子化数を掛けた後に整数化することにより量子化した入力値 $I \times X_i$ を計算して、検索用テーブルの時刻 T_k でのデータ値を算出する工程と、

(ニ)前記指定した時刻 T_k と対応する時系列データベースの格納番号の少なくとも何れか1つと合わせて、前記検索用テーブルの時刻 T_k でのデータ値を検索用テーブルに格納する工程と、

からなる一連の工程を、前記指定した時刻 T_k を変えて繰り返して、検索用テーブルを作成する工程と、

複数のプロセス変数それぞれについて、前記時刻 T_k と別の指定した特定時刻 T_s から前記所定の点数 m だけ過去の時点までの一連のプロセスデータを入手する工程と、

前記抽出した特定時刻 T_s からの一連のプロセスデータに、前記(ロ)の工程で算出した分離行列 W を乗じて、特定時刻 T_s の独立変数値を計算する工程と、

前記計算した特定時刻 T_s の独立変数値について、前記(ハ)の工程の処理をして、特定時刻 T_s の検索用の入力データを算出する工程と、

前記特定時刻 T_s の検索用の入力データを検索のキーとして、該入力データ値と前記検索用テーブルの過去の時刻 T_k それぞれでのデータ値とを、対応するデータの値ごとに照合して、該データ値の差分である類似度を算出し、該類似度を用いて類似度の予め設定し

10

20

30

40

50

た値の近傍まで類似したデータ値を探索して類似事例とし、該過去の時刻のデータ値に紐ついた格納時刻または格納番号を求める工程と、

前記類似事例の格納時刻から、指定された先の時刻までのプロセスデータ、または前記類似事例の格納番号から、指定された先の格納番号までの一連のプロセスデータを前記時系列データベースから取り出す工程と、を具備し、

前記取り出した一連のプロセスデータをプロセスの将来状態とすることを特徴とするプロセスの状態予測方法。

【請求項 3】

前記時系列データベースが高炉プロセスを対象とし、前記プロセス変数値を溶銑温度、微粉炭吹き込み量、ソリューションロスカーボン、熱流比、装入ピッチ、Si量、熱風温度、炉頂温度、Qロスから少なくとも1つ以上選択することを特徴とする請求項 1 に記載のプロセスの状態類似事例検索方法。

10

【請求項 4】

前記時系列データベースが高炉プロセスを対象とし、前記プロセス変数値を溶銑温度、微粉炭吹き込み量、ソリューションロスカーボン、熱流比、装入ピッチ、Si量、熱風温度、炉頂温度、Qロスから少なくとも1つ以上選択することを特徴とする請求項 2 に記載のプロセスの状態予測方法。

【請求項 5】

請求項 2 または請求項 4 に記載のプロセスの状態予測方法において、

前記プロセスの将来状態を表示するとともに、その際予測の確からしさとして、前記取り出した一連のプロセスデータを得るのに用いた類似事例の類似度に対応した信頼度を付けて表示することを特徴とするプロセスの状態予測方法。

20

【請求項 6】

前記請求項 1 もしくは請求項 3 に記載のプロセスの状態類似事例検索方法の各工程、又は前記請求項 2、請求項 4 及び請求項 5 のうちのいずれか 1 項に記載したプロセスの状態予測方法の各工程をコンピュータに実行させるためのプログラムを記憶したことを特徴とするコンピュータ読み取り可能な記憶媒体。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、高炉等のプロセスの操業中に、その操業状態と類似の過去事例を検索する手法、プロセスの将来状態を予測する手法、並びにその処理手法をコンピュータに実行させるためのプログラムが記録してあるコンピュータ読み取り可能な記憶媒体に関する。

30

【背景技術】

【0002】

従来、高炉等のプロセスの操業において、異常状態が発生すると人手により過去の事例を探して対応する行為が行われていた。成功例、失敗例を問わず過去の知見を将来の操業改善に活用することは重要であるが、従来は蓄積されたデータを十分に生かす手段がなく、人間の記憶に頼るのが一般的であった。従って、個人の経験の違いにより、意見の異なるアクションとなり、問題であった。

40

【0003】

これに対し、事例ベース推論を用いた技術がいくつかの分野で利用されている。

特開平 3 - 1 3 2 8 2 6 号公報（特許文献 1）では、過去の問題解決事例に基づいて現在の問題解決を行う事例ベース推論を適用する技術が提案されている。

また、特開平 7 - 2 7 1 5 8 8 号公報（特許文献 2）では、事例ベース推論のための表形式のエディタを提案し、専門化の知識の体系化を支援している。

【0004】

浄水場プロセスの排水量予測システムや濁度予測システムとして、特開 2 0 0 1 - 2 8 8 7 8 2 号（特許文献 3）公報や、特開 2 0 0 2 - 1 1 9 9 5 6 号公報（特許文献 4）では、複数の事例を集約して代表事例を作成し、作成した代表事例を用いて事例ベースを構

50

築し、プロセスの予測を行っている。

【0005】

【特許文献1】特開平3 - 132826号公報

【特許文献2】特開平7 - 271588号公報

【特許文献3】特開2001 - 288782号公報

【特許文献4】特開2002 - 119956号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

ところで、本発明が対象とするプロセスは、高炉などの複雑、非線形かつ非定常なプロセスである。そのプロセスに対する数学モデルは開発されているがまだ十分ではない。そのために、過去の操業知見や過去の事例を知識ベース、事例ベースとして構築して利用している。しかしながら、知識の収集や事例ベースの構築やその更新に労力を費やしてしまうという問題があった。また、更新が十分でないで検索や予測の精度が低下するという問題もあった。

10

【0007】

さらに、特開2001 - 288782号公報や、特開2002 - 119956号公報に記載の方法では、事例を集約しているため、現時点と類似な時点の特定ができないという課題があった。

また、予測のための事例ベースを複数の事例から事前に作成する必要があることからその更新が課題である。そのため、事例の学習部も提案されているが、恒久的な性能維持には問題が残る。

20

【0008】

本発明はかかる事情に鑑みてなされたものであり、複雑、非線形、かつ非定常なプロセスの過去事例を高速、高精度に検索して、将来予測を的確に行うことができるようにするとともに、更新の不要なオンライン予測を行うことができるようにすることを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0009】

このような目的を達成するために、本発明によるプロセスの状態類似事例検索方法は、コンピュータを用いて、複数のプロセス変数それぞれの計測値からなるプロセスデータが、格納時刻及び格納した順番を示す格納番号とともに一定周期の時刻ごとに格納された時系列データベースから、指定した時刻のプロセス状態と類似したプロセスの過去の状態類似事例を検索する方法において、

30

(イ) 前記複数のプロセス変数それぞれについて、指定した時刻 T_k から所定の点数 m だけ過去の時点までの一連のプロセスデータを、前記時系列データベースから抽出する工程と、

(ロ) 前記抽出した一連のプロセスデータに対し独立成分分析を実施し、前記指定した時刻 T_k から所定の点数 m だけ過去の時点での一連のデータ値からなる複数の独立変数の値 s と、分離行列 W とを計算する工程と、

40

(ハ) 前記計算した一連の複数の独立変数の値 s を入力データとするか、又は、前記計算した一連の複数の独立変数の値 s と前記複数のプロセス変数のうちの予め選んだプロセス変数の一連のプロセスデータとを入力データとして、該入力データの前記時刻 T_k 及び該時刻 T_k から過去の時刻それぞれにおける値であるデータ値 X_i を、予め与えた上下限值 $X_{i\max}$ 、 $X_{i\min}$ を用いて規格化し、次に所定の量子化数を掛けた後に整数化することにより量子化した入力値 $I \times i$ を計算して、検索用テーブルの時刻 T_k でのデータ値を算出する工程と、

(ニ) 前記指定した時刻 T_k と対応する時系列データベースの格納番号の少なくとも何れか1つと合わせて、前記検索用テーブルの時刻 T_k でのデータ値を検索用テーブルに格納する工程と、

50

からなる一連の工程を、前記指定した時刻 T_k を変えて繰り返して、検索用テーブルを作成する工程と、複数のプロセス変数それぞれについて、前記時刻 T_k と別の指定した特定時刻 T_s から前記所定の点数 m だけ過去の時点までの一連のプロセスデータを入手する工程と、前記抽出した特定時刻 T_s からの一連のプロセスデータに、前記(ロ)の工程で算出した分離行列 W を乗じて、特定時刻 T_s の独立変数値を計算する工程と、前記計算した特定時刻 T_s の独立変数値について、前記(ハ)の工程の処理をして、特定時刻 T_s の検索用の入力データを算出する工程と、前記特定時刻 T_s の検索用の入力データを検索のキーとして、該入力データ値と前記検索用テーブルの過去の時刻 T_k それぞれでのデータ値とを、対応するデータの値ごとに照合して、該データ値の差分である類似度を算出し、該類似度を用いて類似度の予め設定した値の近傍まで類似したデータ値を探索して類似事例とし、該過去の時刻のデータ値に紐ついた格納時刻または格納番号を求める工程と、前記類似事例の格納時刻または格納番号に相当する、類似事例の一連のプロセスデータを前記時系列データベースから抽出する工程と、からなることを特徴とする。

10

【0010】

本発明によるプロセスの状態予測方法は、コンピュータを用いて、複数のプロセス変数それぞれの計測値からなるプロセスデータが、格納時刻及び格納した順番を示す格納番号とともに一定周期の時刻ごとに格納された時系列データベースから、指定した時刻のプロセス状態と類似したプロセスの過去の状態類似事例を検索してプロセスの将来状態を予測する方法において、

(イ) 前記複数のプロセス変数それぞれについて、指定した時刻 T_k から所定の点数 m だけ過去の時点までの一連のプロセスデータを、前記時系列データベースから抽出する工程と、

20

(ロ) 前記抽出した一連のプロセスデータに対し独立成分分析を実施し、前記指定した時刻 T_k から所定の点数 m だけ過去の時点での一連のデータ値からなる複数の独立変数の値 s と、分離行列 W とを計算する工程と、

(ハ) 前記計算した一連の複数の独立変数の値 s を入力データとするか、又は、前記計算した一連の複数の独立変数の値 s と前記複数のプロセス変数のうちの予め選んだプロセス変数の一連のプロセスデータとを入力データとして、該入力データの前記時刻 T_k 及び該時刻 T_k から過去の時刻それぞれにおける値であるデータ値 X_i を、予め与えた上下限値 $X_{i\max}$ 、 $X_{i\min}$ を用いて規格化し、次に所定の量子化数を掛けた後に整数化することにより量子化した入力値 $I \times X_i$ を計算して、検索用テーブルの時刻 T_k でのデータ値を算出する工程と、

30

(ニ) 前記指定した時刻 T_k と対応する時系列データベースの格納番号の少なくとも何れか1つと合わせて、前記検索用テーブルの時刻 T_k でのデータ値を検索用テーブルに格納する工程と、

からなる一連の工程を、前記指定した時刻 T_k を変えて繰り返して、検索用テーブルを作成する工程と、複数のプロセス変数それぞれについて、前記時刻 T_k と別の指定した特定時刻 T_s から前記所定の点数 m だけ過去の時点までの一連のプロセスデータを入手する工程と、前記抽出した特定時刻 T_s からの一連のプロセスデータに、前記(ロ)の工程で算出した分離行列 W を乗じて、特定時刻 T_s の独立変数値を計算する工程と、前記計算した特定時刻 T_s の独立変数値について、前記(ハ)の工程の処理をして、特定時刻 T_s の検索用の入力データを算出する工程と、前記特定時刻 T_s の検索用の入力データを検索のキーとして、該入力データ値と前記検索用テーブルの過去の時刻 T_k それぞれでのデータ値とを、対応するデータの値ごとに照合して、該データ値の差分である類似度を算出し、該類似度を用いて類似度の予め設定した値の近傍まで類似したデータ値を探索して類似事例とし、該過去の時刻のデータ値に紐ついた格納時刻または格納番号を求める工程と、前記類似事例の格納時刻から、指定された先の時刻までのプロセスデータ、または前記類似事例の格納番号から、指定された先の格納番号までの一連のプロセスデータを前記時系列データベースから取り出す工程と、を具備し、前記取り出した一連のプロセスデータをプロセスの将来状態とすることを特徴とする。

40

50

【 0 0 1 1 】

また、本発明によるプロセスの状態類似事例検索方法は、時系列データベースが高炉プロセスを対象とし、前記プロセス変数値を溶銑温度、微粉炭吹き込み量、ソリューションロスカーボン、熱流比、装入ピッチ、Si量、熱風温度、炉頂温度、Qロスから少なくとも1つ以上選択するものである。

また、本発明によるプロセスの状態予測方法は、プロセスの将来状態を表示するとともに、その際予測の確からしさとして、前記取り出した一連のプロセスデータを得るのに用いた類似事例の類似度に対応した信頼度を付けて表示するものである。

【 0 0 1 2 】

また、本発明によるコンピュータ読み取り可能な記憶媒体は、前記何れかの発明に記載の各工程をコンピュータに実行させるためのプログラムを記憶したものである。

【発明の効果】

【 0 0 1 3 】

本発明によれば、複雑、非線形かつ非定常なプロセスの類似事例を高速に検索することができる。また、時系列データベースがあれば本発明の手法によりシステムチックに類似検索装置の更新を行うことができる。

さらに、複数のプロセス変数値を独立成分変数値に変換したので、変数の数を減少することができる。したがって、検索用テーブルが小さくなり、検索速度を向上することができる。

また、このことによって、本発明の方法を実現する装置の性能を常に高い精度に維持することができる。

また、このことによって、プロセスの状態予測の性能を常に高い精度に維持することができる。

さらに、プロセスの将来状態予測を精度よく行うことは、今後の操業アクションを決定のための重要なガイダンスとなり、操業の安定化に大きく寄与する。

【発明を実施するための最良の形態】

【 0 0 1 4 】

以下、本発明のプロセスの類似事例検索方法、および装置の一実施形態について説明する。

図1は、本発明のプロセスの類似事例検索方法の実施に使用する装置の構成を示すブロック図である。

図1において、高炉プロセス10には、温度、圧力、成分、位置等を計測する各種のセンサが複数設置されている。

図1の20は、高炉プロセス10の計測・制御装置であり、高炉プロセス10から計測した各種のプロセス情報の時系列データをプロセスの操業オペレータに提示し、必要に応じてオペレータの介在のもとにプロセスの制御操作を行っている。なお、以下の説明では、プロセス情報の時系列データを、必要に応じて、プロセス変数、プロセスデータ、または時系列データと称する。

【 0 0 1 5 】

計測した各種のプロセスデータは、一定時刻毎にプロセス時系列データベース30に格納される。実際にはプロセスデータの種類によって、格納周期が異なるが、ここでは一定周期で格納されているものとする。一定周期でない場合には、短周期のデータにあわせて、長周期のデータの値をホールドすることにより、長周期のデータは短周期のデータに変換することができる。

【 0 0 1 6 】

図2にプロセス時系列データベース30の格納形式を示す。

プロセス時系列データベース30に格納されているプロセス変数は、溶銑温度、微粉炭吹き込み量(PCR)、ソリューションロスカーボン(SLC)、熱流比、装入ピッチ、Si量、熱風温度(Tf)、炉頂ガス温度、熱負荷(Qロス)等である。格納番号は、時系列データを格納した順番を示す番号である。格納時刻(格納DATE)は、時系列データを格納した時

10

20

30

40

50

刻であり、年月日時分秒で表現したものである。

【 0 0 1 7 】

図 1 の 3 5 は、プロセス変数の独立変数を分析し、独立変数値を求める独立成分分析部である。独立成分分析により多数のプロセス変数を少数の独立成分に集約できる。独立成分分析は、 s を独立信号ベクトル（独立変数）、 x を混合信号ベクトル、 A を混合行列、独立信号ベクトル s の次元を n 、混合信号ベクトル x の次元を m 、混合行列 A の次元を ($m * n$) とした時に、次の (1 式) で構成される混合信号ベクトル x から、独立信号ベクトル s および独立信号ベクトル s を求める分離行列 W を計算する手法である。

$$x = A s \cdots \cdots (1 式)$$

【 0 0 1 8 】

分離行列 W が求めると、独立信号ベクトル s は次の (2 式) により計算される。

$$s = W x \cdots \cdots (2 式)$$

【 0 0 1 9 】

独立成分分析の手法は、多数提案されているが、ここでは高速ICAという手法を用いる。例えば、Aapo Hyvarianらの論文「Fast and Robust Fixed-Point Algorithms for Independent Component Analysis」(Aapo Hyvarian, IEEE Transactions on Neural Networks .Vol.10, No.3, May 1999, P.626/634) で提案されている。混合信号ベクトル x は、前処理として中心化、すなわち平均値が零になるように変換されているとする。図 3 に独立成分分析の概要フローを示す。

【 0 0 2 0 】

高速ICAの基本アルゴリズムは、最初に混合信号ベクトル x の白色化を行う (図 3 のステップ 3 6)。

白色化は混合信号ベクトル x の共分散行列 ($[xx^T] = EDE^T$) の固有値分解を使用する。ここで E は固有ベクトルの直交行列、 D はその固有値の対角行列である。固有値の対角行列 D は、次の (3 式) で表される。

$$D = \text{diag}(d_1, \dots, d_n) \cdots \cdots (3 式)$$

【 0 0 2 1 】

白色化された信号ベクトル z は、次の (4 式) により求めることができる。

$$z = E D^{-1/2} E^T x \cdots \cdots (4 式)$$

ここで、 $D^{-1/2}$ は、次の (5 式) で計算される行列である。

$$D^{-1/2} = \text{diag}(d_1^{-1/2}, \dots, d_n^{-1/2}) \cdots \cdots (5 式)$$

【 0 0 2 2 】

次に、白色化された信号ベクトル z から、分離行列 W を求める (図 3 のステップ 3 7)

。

分離行列 W の 1 行を w^T (荷重ベクトルと呼ぶ) とし、以下のようにして分離行列 W を求める。

【 0 0 2 3 】

1) 荷重ベクトル w の初期値を設定する (例えば乱数) 。

2) 次の (6 式) の計算を行う。

【 0 0 2 4 】

【 数 1 】

$$w_i^+ = w_i - \mu \frac{E\{z_{(t)} g(w_i^T z_{(t)})\} - \beta w_i}{E\{g'(w_i^T z_{(t)})\} - \beta} \cdots \cdots (6 式)$$

$$\text{ただし、 } \beta = E\{w_i^T z_{(t)} g(w_i^T z_{(t)})\}$$

【 0 0 2 5 】

10

20

30

40

50

ここで g は、例えば以下の(7式)や(8式)などの関数に設定する。

$$g(u) = \tanh(u) \cdots (7式)$$

$$g(u) = u \exp(-u^2/2) \cdots (8式)$$

また、(6式)において μ は学習係数であり、1と設定するが($\mu=1$)、収束性に問題がある場合には、例えば、0.1又は0.01といった1より小さい値に設定する。

3) 次の(9式)の計算を行う。

【0026】

【数2】

$$\tilde{\mathbf{w}}_i = \frac{\mathbf{w}_i^+}{\|\mathbf{w}_i^+\|}$$

・・・(9式)

ただし、 $\|\cdot\|$ はノルムを表わす。

10

【0027】

4) 荷重ベクトル w が収束していない場合は、前記2)へもどり、2)と3)とを繰り返す。

【0028】

次に、異なった荷重ベクトル w が同じ方向に収束するのを防ぐために、各繰り返し後の出力値 $w_1^T z, w_2^T z, \dots, w_n^T z$ が非相関になるように第 i 独立成分の荷重ベクトル w の直交化を以下の処理で行う。

5) 次の(10式)の計算を行う。

【0029】

【数3】

$$\mathbf{w}_i \leftarrow \mathbf{w}_i - \sum_{j=1}^{i-1} (\mathbf{w}_i^T \mathbf{w}_j) \mathbf{w}_j \cdots (10式)$$

30

【0030】

前記の高速ICAアルゴリズムにより分離行列 W を求め、これから独立成分変数値は、以下の(11式)により計算される。

$$s = Wz = WED^{-1/2}E^T x \cdots (11式)$$

【0031】

混合信号ベクトル x は、プロセス変数値を次の(12式)のようにして与えることにより計算できる。

$$x = \{ \text{プロセス変数1の値, プロセス変数2の値, } \cdots \}^T \cdots (12式)$$

この分離行列 W は、後に説明する事例検索時の独立成分変数値計算にもそのまま用いられる。

【0032】

図1の40は、検索用テーブル作成部であり、類似事例検索に用いる検索用テーブル50をプロセス時系列データベース30からのプロセス変数に対して行われる独立成分分析により作成する。

検索用テーブル50は、入力変数として、いくつかのプロセス変数の計測値や、計測値から計算するプロセス状態値の独立成分のある時点の値とそこから過去数時点の値を、量子化したものを用いる。入力変数の量子化は、入力変数値(独立成分値)を1から N の値

40

50

(N は設定値で、例えば 25) に変換して行う。

【 0033 】

高炉プロセスの場合は、溶銑温度、微粉炭吹き込み量、ソリューションロスカーボン、熱流比、装入ピッチ、Si量、熱風温度、炉頂温度、Qロス等の9変数について独立成分分析して得られた5個の独立変数の、各時点とその過去2時刻のデータを入力変数としており、各々の変数値を、例えば1から25の値に量子化して検索用テーブル50のindex部を作成している。検索用テーブル50の検索される変数として、その時点の日付時刻、または対応するデータベースの格納番号を記録している。

【 0034 】

図4に検索用テーブル50の例を示す。ここでは、入力変数は15変数(5個の独立プロセス変数、3時刻分)、量子化数25の場合を示す。検索変数は、データベース(DB)30における格納番号または格納時刻(DB格納DATE)である。図4のinput_1からinput_15は入力変数で、夫々溶銑温度、PCR、SLC等の独立変数に関するその時点(t)、1時刻前(t-1)、2時刻前(t-2)の量子化されたものである。

10

【 0035 】

図5に検索用テーブル50の作成手順を示す。ステップ41では、プロセス時系列データベース30を時系列順にアクセスして、所定の入力変数のデータ値、格納時刻、または格納番号をプロセス時系列データベース30から収集する。ステップ42では、入力変数の独立成分分析を行い、独立成分変数をもとめ、ステップ43では、独立変数のデータ値の量子化を行っている。

20

【 0036 】

入力データ(独立変数)を X_i とし、予め与えたその上下限の値を夫々 X_{imax} 、 X_{imin} 、量子化数を n とすれば、入力データ X_i の量子化値 I_{xi} は次の(13)式によって計算される。

【 0037 】

$$I_{xi} = \text{整数化} (N * (X_i - X_{imin}) / (X_{imax} - X_{imin}) + 1) \cdot \cdot \cdot (13 \text{ 式})$$

ただし、 i は1から15($i=1\sim 15$)である。また、整数化とは、小数点以下切り捨ての意味である。

【 0038 】

ステップ44では、検索用テーブル50に15個の量子化された独立変数データ値と格納時刻、あるいは格納番号を設定する。

30

プロセス時系列データベース30の所定の格納番号または格納時刻まで図5の処理を繰り返す。

【 0039 】

次に、図1の60は、類似事例検索部であり、検索用テーブル50を用いて類似事例の検索を行う。現在時刻のプロセス状態と類似時点を検索するために、現在時刻のプロセスデータを、プロセスの計測・制御装置20から取り込み、図6に示す手順で類似事例を検索する。

【 0040 】

図6のステップ61では、計測・制御装置20から類似事例を検索したい現在時点のプロセスデータを入手し、先に求めた分離行列 W により独立成分変数値を計算する。

40

【 0041 】

ステップ62では、入手したプロセスデータ(独立成分変数)から検索用テーブル50の入力データを選択し、先に説明した量子化を行い、検索用テーブル50の15個の入力値を作成する。

【 0042 】

ステップ63では、検索用テーブル50と選択した入力データの照合を行う。単純な照合の方法の一例としては、検索用テーブル50を上から順番に下まで照合する方法がある。照合するものがあれば、その格納されているDB格納番号またはDB格納時刻(格納DATE)を照合した数だけ記録する。この場合は、事例の類似度を0に設定する。

50

【 0 0 4 3 】

一方、検索用テーブル50に入力データとマッチするものがなければ、入力データの近傍1を再度探索する。近傍データは、まず各入力データの量子化データ値の前後(+1、-1)まで探索する。

【 0 0 4 4 】

例えば、溶銑温度の量子化データが13であれば、12~14の範囲のデータが照合範囲となる。各入力変数について範囲を前後に拡大して探索し、すべてを満足するものを探し、あればそのDB格納番号あるいはDB格納時刻(格納DATE)を類似時点として記録する。この場合は、類似度は1となる。同様に探索するものがなければ次の近傍2を探索し、照合するものがあれば、同様に類似時点を記録し、類似度を2とする。設定された近傍kまで探索し、照合するものがなければ類似事例なしとする。

10

【 0 0 4 5 】

ステップ64では、検索テーブルから検索された複数の類似時点のDB格納番号またはDB格納時刻(格納DATE)を順番にプロセス時系列データベース30から類似のプロセスデータを抽出して、画面やファイルに出力する。

なお、図1の70は、その検索結果を表示する類似事例表示部である。

【 0 0 4 6 】

図7と図8に、高炉の類似事例検索結果を示す。溶銑温度、装入ピッチ、微粉炭吹き込み量、ソリューションロスカーボンの現在時点と類似時点の対応を示す。

【 0 0 4 7 】

図7(a)、(b)と図8(a)、(b)において、上段が現在事例、下段が類似事例である。これらの結果から現在の事例の前後と類似検索された事例の前後はかなり似た傾向を示しており類似事例検索が良好に機能していることを示している。

20

【 0 0 4 8 】

本実施形態による方法では、検索用テーブル50の更新が大変容易である。オンラインで逐次実施することも可能であるが、更新用のデータがプロセス時系列データベース30に一定量蓄積された時点で、そのデータを使って、図5の手順で検索用テーブル50に値を追記することが可能である。また、操業変化により利用が出来なくなったある時点以前のデータを検索用テーブル50から削除することも、その年月日と時刻、あるいはその時点に対応する格納番号のデータを削除することにより容易に行うことができる。

30

【 0 0 4 9 】

本実施形態による方法では、プロセスの現在状態に類似な事象を検索するだけでなく、プロセス時系列データベース30の特定時点に類似した事象を検索することも可能である。

また、検索用テーブル50にない入力状態に対応する検索は、検索用テーブル50の近傍検索により、精度は多少低下するものの実施することが可能である。

【 0 0 5 0 】

図9は、本発明のプロセスの将来状態予測方法の実施に使用する装置の構成を示すブロック図である。図1と同じ方法にて、プロセスにおける将来の状態の予測をしたい時点と類似の過去事例を、検索用テーブル50を検索して、類似時刻を検索し、その将来事例を用いて将来状態を予測する。その手順を図10で説明する。

40

【 0 0 5 1 】

図10のステップ71では、計測・制御装置20から現在時点のプロセスデータを入手する。ステップ72では、その独立成分変数を求める。ステップ73では、入手したプロセスデータから検索用テーブル50の入力データを選択し、その量子化を行い、検索用テーブル50の入力データを作成する。なお、これらステップ71~73は、図6のステップ61、62に対応する。

【 0 0 5 2 】

ステップ74では、検索用テーブル50に入力データを独立成分計算して設定して、格納されている類似時点を複数点得る。このときの類似度をIRとする。なお、このステップ

50

74は、図6のステップ63に対応する。

【0053】

ステップ75では、類似時点から設定された将来予測時刻、例えば8時間先までのDB格納時刻をキーとして、プロセス時系列データベース30からそのプロセスデータを逐次入手する。また、複数の類似点において同じ操作を繰り返し複数組の将来の状態予測値を得ることができる。複数の類似点における個々の将来予測グラフ、およびそれらの平均化したグラフ、また変動範囲を画面に表示させる。また、表示にあたって、事例の類似度に対応した信頼度も一緒に表示する。

【0054】

例えば、類似度が0の場合、信頼度は高い(H)とし、類似度が1の場合は、信頼度はやや高い(SH)とし、類似度が2の場合、信頼度は普通(M)とし、類似度が3の場合、信頼度は注意(L)として表示する。なお、図9において、90は、それらの将来状態の予測結果を表示する将来状態予測表示部である。

10

【0055】

図11に、高炉の将来予測結果を示す。2時間先の溶銑温度の実績値と予測値がよく対応しており、本手法の有効性を示している。

また、本実施形態による手法は、温度分布、圧力分布等の空間位置に対応させて画像化できるプロセス変数についても応用することができる。この場合、独立成分分析によりその特徴量をもとめ、その変数を入力変数として用いることにより、類似事例検索や将来状態予測が可能となる。

20

【0056】

図12に、高炉の炉周方向、高さ方向の炉内分布画像に対して類似事例検索を行った事例を示す。元画像(図12(a))に類似の画像(図12(b)~(d))が複数時点で精度よく検索できていることが分かる。

【0057】

(本発明の他の実施形態)

前述した各実施の形態における装置による制御動作は、図13に示すようなコンピュータシステムを用いることにより実現することができる。

図13は、前述した実施形態における装置に配設されたコンピュータシステムの構成の一例を示したブロック図である。

30

図13において、コンピュータシステム100は、CPU101と、ROM102と、RAM103と、キーボード(KB)104のキーボードコントローラ(KBC)105と、表示部としてのCRTディスプレイ(CRT)106のCRTコントローラ(CRTC)107と、ハードディスク(HD)108及びフレキシブルディスク(FD)109のディスクコントローラ(DKC)110と、ネットワーク111との接続のためのネットワークインターフェースコントローラ(NIC)112とが、システムバス113を介して互いに通信可能に接続された構成としている。

【0058】

CPU101は、ROM102或いはHD108に記憶されたソフトウェア、或いはFD109より供給されるソフトウェアを実行することで、システムバス103に接続された各構成部を総括的に制御する。

40

すなわち、CPU101は、所定の処理シーケンスに従った処理プログラムを、ROM102、或いはHD108、或いはFD109から読み出して実行することで、後述する動作を実現するための制御を行う。

【0059】

RAM103は、CPU101の主メモリ或いはワークエリア等として機能する。

KBC105は、KB104や図示していないポインティングデバイス等からの指示入力を制御する。

【0060】

CRTC107は、CRT106の表示を制御する。

50

D K C 1 1 0 は、ブートプログラム、種々のアプリケーション、編集ファイル、ユーザファイル、ネットワーク管理プログラム、及び本実施の形態における所定の処理プログラム等を記憶するH D 1 0 8 及びF D 1 0 9 とのアクセスを制御する。

N I C 1 1 2 は、ネットワーク1 1 1 上の装置或いはシステムと双方向にデータをやりとりする。

【0 0 6 1】

また、前述した実施形態の機能を実現するべく各種のデバイスを動作させるように、該各種デバイスと接続された装置あるいはシステム内のコンピュータに対し、前記実施形態の機能を実現するためのソフトウェアのプログラムコードを供給し、そのシステムあるいは装置のコンピュータ（C P U あるいはM P U ）に格納されたプログラムに従って前記各種デバイスを動作させることによって実施したものも、本発明の範疇に含まれる。

10

【0 0 6 2】

また、この場合、前記ソフトウェアのプログラムコード自体が前述した実施形態の機能を実現することになり、そのプログラムコード自体、およびそのプログラムコードをコンピュータに供給するための手段、例えば、かかるプログラムコードを格納した記憶媒体は本発明を構成する。かかるプログラムコードを記憶する記憶媒体としては、例えばフレキシブルディスク、ハードディスク、光ディスク、光磁気ディスク、C D - R O M、磁気テープ、不揮発性のメモリカード、R O M 等を用いることができる。

【0 0 6 3】

また、コンピュータが供給されたプログラムコードを実行することにより、前述の実施形態の機能が実現されるだけでなく、そのプログラムコードがコンピュータにおいて稼働しているO S （オペレーティングシステム）あるいは他のアプリケーションソフト等と共同して前述の実施形態の機能が実現される場合にもかかるプログラムコードは本発明の実施形態に含まれることは言うまでもない。

20

【0 0 6 4】

さらに、供給されたプログラムコードがコンピュータの機能拡張ボードやコンピュータに接続された機能拡張ユニットに備わるメモリに格納された後、そのプログラムコードの指示に基づいてその機能拡張ボードや機能拡張ユニットに備わるC P U 等が実際の処理の一部または全部を行い、その処理によって前述した実施形態の機能が実現される場合にも本発明に含まれることは言うまでもない。

30

【図面の簡単な説明】

【0 0 6 5】

【図1】本発明の実施形態を示し、プロセスの類似検索方法の実施に使用する装置の構成を示すブロック図である。

【図2】本発明の実施形態を示し、プロセスの実績値を格納したプロセス時系列データベースのデータ格納形式を示す図である。

【図3】本発明の実施形態を示し、プロセス変数の独立成分計算を行う際の手順を説明するフローチャートである。

【図4】本発明の実施形態を示し、検索用テーブルを説明する図である。

【図5】本発明の実施形態を示し、検索用テーブルの作成手順を説明するフローチャートである。

40

【図6】本発明の実施形態を示し、類似検索部における類似事例の検索手順を説明するフローチャートである。

【図7】本発明の実施形態を示し、類似事例を検索した結果の一例を示す図である。

【図8】本発明の実施形態を示し、類似事例を検索した結果の他の例を示す図である。

【図9】本発明の実施形態を示し、プロセスの将来状態予測方法の実施に使用する装置の構成を示すブロック図である。

【図10】本発明の実施形態を示し、将来状態を予測する際の手順を説明するフローチャートである。

【図11】本発明の実施形態を示し、将来状態を予測した結果を示す図である。

50

【図12】本発明の実施形態を示し、プロセス画像の独立成分変数による類似検索を行った事例を示した図である。

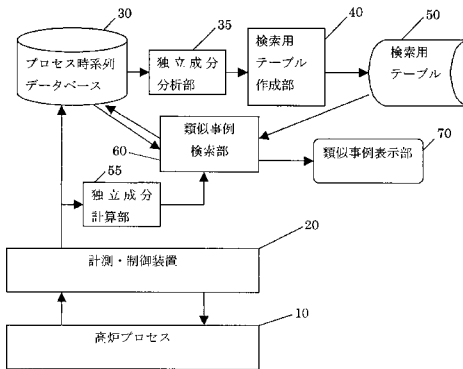
【図13】本発明の他の実施形態を示し、装置に配設されたコンピュータシステムの構成の一例を示したブロック図である。

【符号の説明】

【0066】

- 10 高炉プロセス
- 20 計測・制御装置
- 30 プロセス時系列データベース
- 35 独立成分分析部
- 40 検索用テーブル作成部
- 50 検索用テーブル
- 55 独立成分計算部
- 60 類似事例検索部
- 70 類似結果表示部
- 90 将来状態予測表示部

【図1】

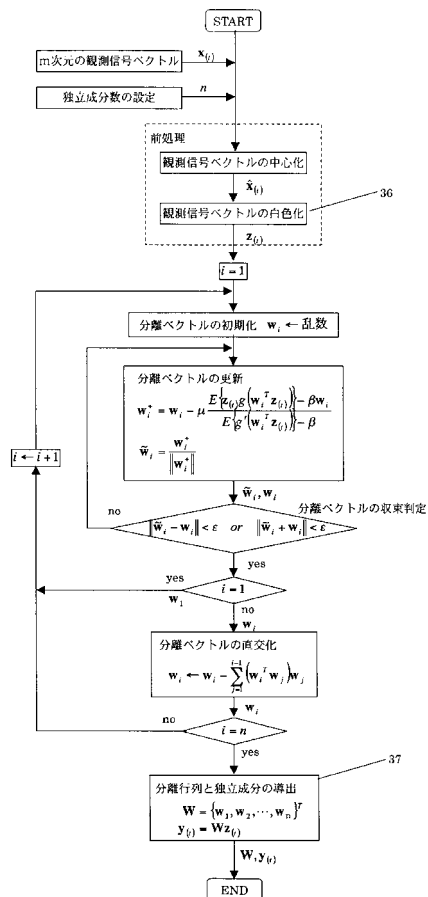


【図2】

30

格納番号	格納DATE	溶鉄温度 ℃	FCR kg/t-p	SLC kg/t-p	熱流比	装入びり 割合%	[Si] %	Tf ℃	炉頂温度 K/JH	Gloss
....
1425	2001/3/1 12:00	1534.67	115.4	56	0.757	45.5	0.5375	2233	163	120250000
1426	2001/3/1 13:00	1551.5	104.7	54	0.862	45.4	0.805	2247	174	116670000
1427	2001/3/1 14:00	1547	98.2	52	0.874	45.7	0.62	2240	165	113590000
1428	2001/3/1 15:00	1545.67	105.9	54	0.858	46.3	0.8525	2236	171	109490000
1429	2001/3/1 16:00	1541.5	99.9	57	0.861	48.9	0.575	2235	152	103860000
1430	2001/3/1 17:00	1545	104	55	0.892	47.4	0.4925	2238	146	96760000
1431	2001/3/1 18:00	1535.75	104.9	57	0.908	48.2	0.4925	2232	154	94060000
1432	2001/3/1 19:00	1545	103.4	58	0.901	48.7	0.48	2246	155	90760000
1433	2001/3/1 20:00	1538.5	101	59	0.931	49.6	0.465	2239	139	87820000
1434	2001/3/1 21:00	1534	104.8	63	0.893	50.1	0.3675	2249	144	85010000
1425	2001/3/1 22:00	1529	105.2	65	0.909	50.3	0.3033	2238	144	87600000
1436	2001/3/1 23:00	1492	109.7	68	0.658	50.8	0.13	2233	141	85340000
1437	2001/3/2 0:00	1501.667	109.2	67	0.922	50.6	0.1675	2236	139	92240000
....
10296	2002/3/6 3:00	1565	163.8	82	0.742	47.7	0.58	2187	161	86140000
10297	2002/3/6 4:00	1562	148.7	76	0.603	47.1	0.2200	2200	182	85280000
10298	2002/3/6 5:00	1562.33	151.7	76	0.771	46.6	0.6875	2192	163	86990000
10299	2002/3/6 6:00	1561	55.7	77	1.262	45.9	0.795	2314	145	87830000

【図3】



【図4】

50

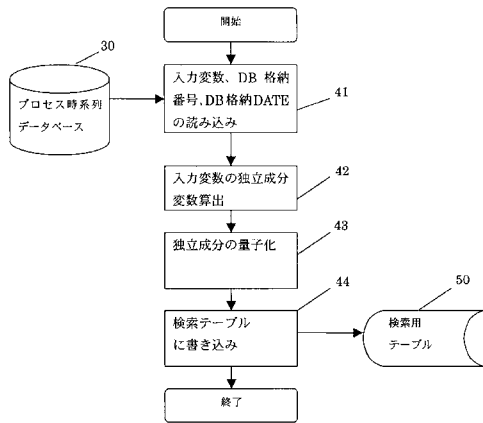
No	input_1	input_2	input_3	input_15	DB格納番号	DB格納DATE
1	3	18	8	8	1000	2001.1.1.13.0.0
2	4	16	6	9	1010	2001.1.1.14.0.0
3	6	15	5	10	1020	2001.1.1.15.0.0
4	5	16	7	10	1030	2001.1.1.16.0.0
5	4	14	6	11	1040	2001.1.1.17.0.0
6	5	12	5	11	1050	2001.1.1.18.0.0
....						
10000	8	15	8	12	253000	2001.3.5.22.0.0

input_1:独立成分1 (t)
 input_2:独立成分2 (t)

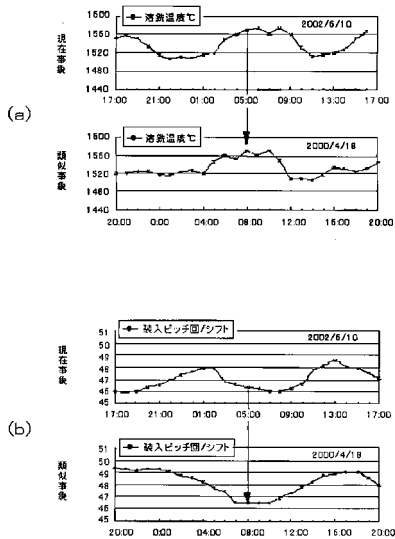
 input_5:独立成分5 (t)
 input_1:独立成分1 (t-1):1時刻前の独立成分1 3 6

 input_15:独立成分5 (t-2):2時刻前の独立成分5

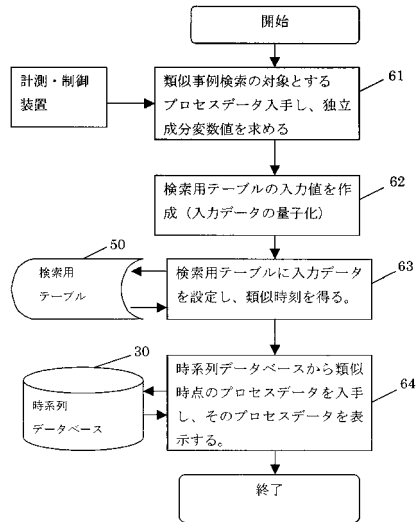
【図5】



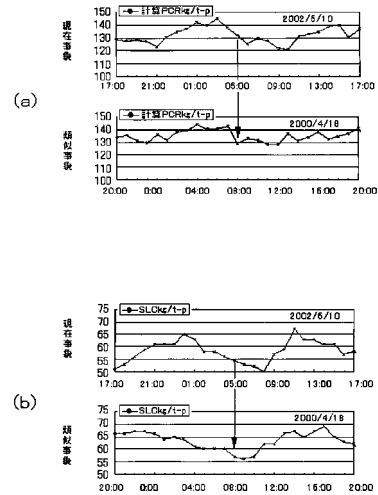
【図7】



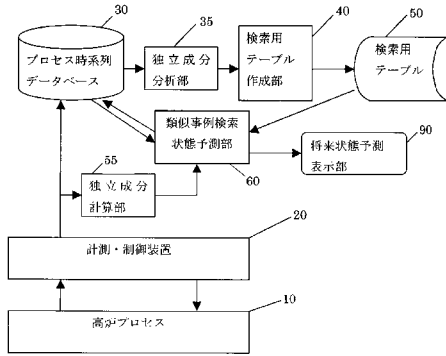
【図6】



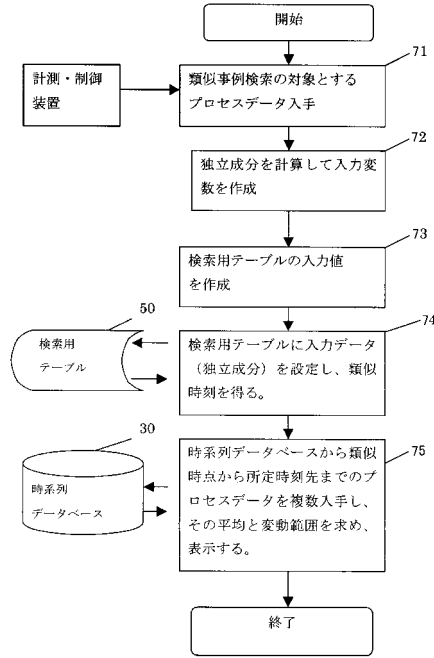
【図8】



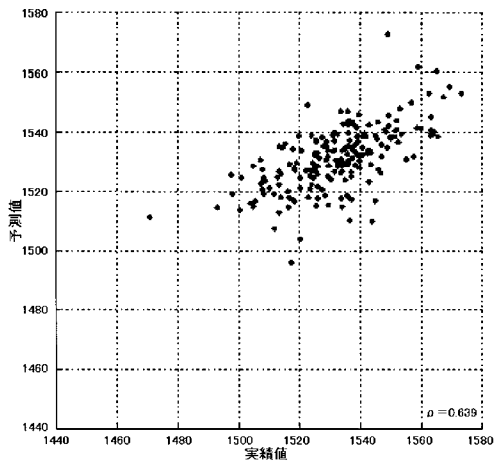
【図9】



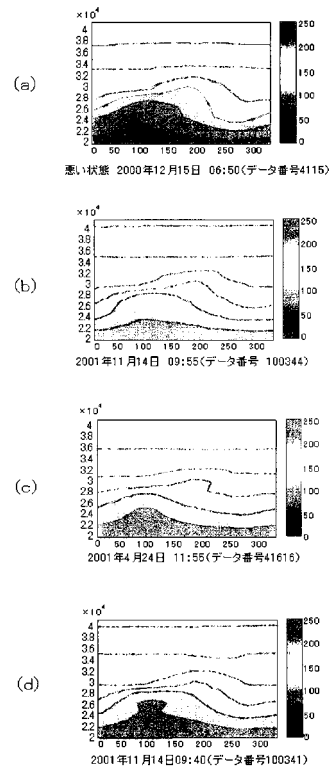
【図10】



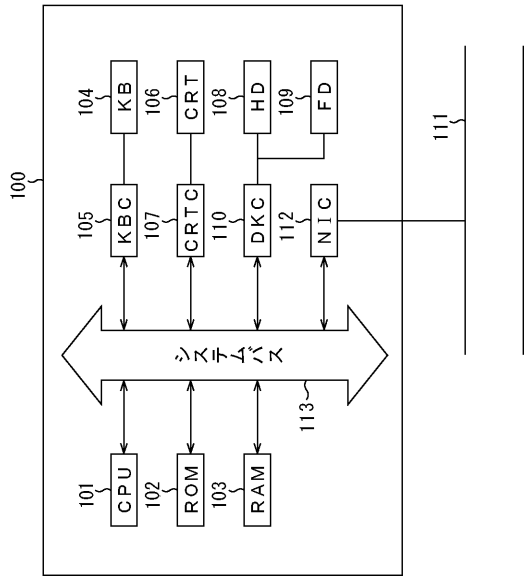
【図11】



【図12】



【 図 13 】



フロントページの続き

- (72)発明者 松崎 眞六
富津市新富20-1 新日本製鐵株式会社 技術開発本部内
- (72)発明者 内田 健康
東京都新宿区大久保3-4-1 早稲田大学 理工学部内
- (72)発明者 犬島 浩
福岡県北九州市若松区ひびきの2-7 早稲田大学 大学院 情報生産システム研究科内
- (72)発明者 松下 直樹
東京都新宿区大久保3-4-1 早稲田大学 理工学部内

審査官 梅本 達雄

- (56)参考文献 特開2002-015000(JP,A)
特開2003-141102(JP,A)
篠原靖志, 独立話題分析 - 独立性最大化による特徴的話題の抽出 -, 情報処理学会研究報告, 日本, 社団法人情報処理学会, 1999年 7月23日, 第99巻、第63号, pp.31~38

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G06F 17/30