

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号

特許第6991833号

(P6991833)

(45)発行日 令和4年1月13日(2022.1.13)

(24)登録日 令和3年12月10日(2021.12.10)

(51)国際特許分類

G 0 5 B 23/02 (2006.01)

F I

G 0 5 B 23/02

G

G 0 5 B 23/02

3 0 1 Q

請求項の数 9 (全24頁)

(21)出願番号	特願2017-210964(P2017-210964)	(73)特許権者	000005108 株式会社日立製作所 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号
(22)出願日	平成29年10月31日(2017.10.31)	(74)代理人	110002066 特許業務法人筒井国際特許事務所
(65)公開番号	特開2019-82943(P2019-82943A)	(72)発明者	堀脇 一樹 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
(43)公開日	令和1年5月30日(2019.5.30)	(72)発明者	今沢 慶 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
審査請求日	令和2年3月5日(2020.3.5)	審査官	堀内 亮吾

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 因果関係モデル構築システムおよび方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

計算機システム上に構成され、制御対象の製造フローに関する因果関係モデルを構築する情報処理を行う因果関係モデル構築システムであって、

前記計算機システムは、

前記製造フローの複数の各々の工程の状態を表すモニタデータと、前記製造フローのうちの検査工程の結果の品質データとを用いて、前記因果関係モデルを構築し、

前記因果関係モデルと、前記品質データの目標値とを用いて、複数のモニタデータの間の因果関係に基づいた予測から、前記目標値を満たすように、前記モニタデータの許容範囲を特定し、

前記因果関係モデル、および前記モニタデータの許容範囲を含む情報を、画面にグラフィカルに図示して表示し、

前記モニタデータとして、前記製造フローの前記工程に関係付けられる製造装置の制御データと、前記工程に関係付けられるセンサの観測データと、を有し、

前記計算機システムは、前記モニタデータの許容範囲を特定する際、

前記観測データの許容範囲と、前記制御データの許容範囲とを特定し、

前記因果関係モデルの構造を、前記製造フロー上の下流から上流に沿って、複数の構造部に分割し、下流から上流に遡りながら構造部毎に前記許容範囲を特定する処理を行い、前記構造部内では、複数のモニタデータの因果関係に従って、着目するモニタデータを下流から上流に遡りながら前記許容範囲を特定する処理を行い、

前記構造部毎に、前記制御データの値を変化させた際の、下流側の前記観測データの値の変化が、前記目標値または特定済みの前記許容範囲を満たすように、前記制御データの許容範囲を特定し、

前記構造部毎に、下流側のモニタデータの許容範囲がなるべく広くなるように、前記制御データの許容範囲のうちの最適値を算出し、前記最適値とした場合の前記観測データの許容範囲を算出し、

前記構造部毎に、前記制御データの下流につながる第1の観測データと、前記第1の観測データの上流につながる第2の観測データとがある場合に、前記制御データの許容範囲に基づいて、前記第2の観測データの許容範囲を特定する、

因果関係モデル構築システム。

10

【請求項2】

請求項1記載の因果関係モデル構築システムにおいて、

前記計算機システムは、

前記モニタデータの許容範囲に基づいて、前記因果関係モデルのうち予測精度に関する低精度部分を特定し、

前記低精度部分を表す情報を前記画面に表示し、

前記計算機システムは、前記低精度部分を特定する際、

前記構造部毎に、前記モニタデータ毎に、前記製造フロー上で上流のモニタデータに基づいた予測値の範囲が、下流のモニタデータに基づいて得られた前記許容範囲を逸脱する場合、前記モニタデータを含む部分を、前記低精度部分として特定する、

20

因果関係モデル構築システム。

【請求項3】

請求項2記載の因果関係モデル構築システムにおいて、

前記計算機システムは、

前記因果関係モデルのうちの前記低精度部分を、用意されている別の予測モデルに変換し、前記変換後の予測モデルを含む情報を、前記画面にグラフィカルに図示して表示する、因果関係モデル構築システム。

【請求項4】

請求項3記載の因果関係モデル構築システムにおいて、

前記計算機システムは、

前記変換後の予測モデルを含む、更新後の前記因果関係モデルを用いて、前記モニタデータの許容範囲を再計算し、

前記再計算した前記モニタデータの許容範囲を含む情報を前記画面に表示する、

因果関係モデル構築システム。

30

【請求項5】

請求項2記載の因果関係モデル構築システムにおいて、

前記計算機システムは、前記低精度部分を特定する際、前記モニタデータの許容範囲が空集合となる場合、前記モニタデータを含む部分を、前記低精度部分として特定する、

因果関係モデル構築システム。

【請求項6】

40

請求項1記載の因果関係モデル構築システムにおいて、

前記計算機システムは、前記モニタデータの許容範囲を特定する際、前記目標値を満たすような前記許容範囲が特定できない場合には、前記目標値を自動的に下げるように調整し、前記許容範囲の特定を再度行う、

因果関係モデル構築システム。

【請求項7】

請求項1記載の因果関係モデル構築システムにおいて、

前記計算機システムは、前記モニタデータの許容範囲を含む情報を表示する際、前記複数のモニタデータを前記製造フローの前記工程の順序に沿って並べて、前記モニタデータ毎に、取得した前記モニタデータのデータ範囲と、規格範囲が設定されている場合の前記規

50

格範囲と、前記モニタデータの許容範囲とを表示する、
因果関係モデル構築システム。

【請求項 8】

請求項 1 記載の因果関係モデル構築システムにおいて、
前記計算機システムは、前記許容範囲を特定した前記モニタデータに関係付けられる前記製造フロー上の前記工程または前記工程に関係付けられる製造装置またはセンサの情報を前記画面に表示する、
因果関係モデル構築システム。

【請求項 9】

計算機システム上に構成され、制御対象の製造フローに関する因果関係モデルを構築する
情報処理を行う因果関係モデル構築システムにおける因果関係モデル構築方法であって、
前記計算機システムにおいて実行されるステップとして、
前記製造フローの複数の各々の工程の状態を表すモニタデータと、前記製造フローのうちの
検査工程の結果の品質データとを用いて、前記因果関係モデルを構築するステップと、
前記因果関係モデルと、前記品質データの目標値とを用いて、複数のモニタデータの間の
因果関係に基づいた予測から、前記目標値を満たすように、前記モニタデータの許容範囲
を特定するステップと、

前記因果関係モデル、および前記モニタデータの許容範囲を含む情報を、画面にグラフィ
カルに図示して表示するステップと、

を有し、

前記モニタデータとして、前記製造フローの前記工程に関係付けられる製造装置の制御デ
ータと、前記工程に関係付けられるセンサの観測データと、を有し、

前記計算機システムが前記モニタデータの許容範囲を特定するステップでは、

前記観測データの許容範囲と、前記制御データの許容範囲とを特定し、

前記因果関係モデルの構造を、前記製造フロー上の下流から上流に沿って、複数の構造部
に分割し、下流から上流に遡りながら構造部毎に前記許容範囲を特定する処理を行い、

前記構造部内では、複数のモニタデータの因果関係に従って、着目するモニタデータを下
流から上流に遡りながら前記許容範囲を特定する処理を行い、

前記構造部毎に、前記制御データの値を変化させた際の、下流側の前記観測データの値の
変化が、前記目標値または特定済みの前記許容範囲を満たすように、前記制御データの許
容範囲を特定し、

前記構造部毎に、下流側のモニタデータの許容範囲がなるべく広くなるように、前記制御
データの許容範囲のうちの最適値を算出し、前記最適値とした場合の前記観測データの許
容範囲を算出し、

前記構造部毎に、前記制御データの下流につながる第 1 の観測データと、前記第 1 の観測
データの上流につながる第 2 の観測データとがある場合に、前記制御データの許容範囲に
基づいて、前記第 2 の観測データの許容範囲を特定する、

因果関係モデル構築方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、情報処理技術に関する。また、本発明は、製造支援等のためのモデル構築技術
に関する。

【背景技術】

【0002】

製造支援等のために、計算機システム上で、因果関係モデル等のモデルを構築する技術が
ある。この技術では、製造フローの各工程から得られるモニタデータに基づいて、因果関
係モデルを構築し、製造品質（例えば検査工程で得られる検査結果品質値）を高めること
ができるように、好適な制御データ等を予測する。

【0003】

上記モデル構築に関する先行技術例としては、特開 2 0 0 7 - 4 7 2 8 号公報（特許文献 1）、特開 2 0 0 4 - 1 7 8 2 4 7 号公報（特許文献 2）が挙げられる。特許文献 1 には、物理現象が複雑で非線形性が強い製造プロセスの時系列データベースに対し、指定した操業条件と類似の過去の操業事例を検索し、検索結果から将来状態を予測して操業状態を制御する旨が記載されている。特許文献 2 には、実機の計測工数を削減する旨が記載されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0 0 0 4】

【文献】特開 2 0 0 7 - 4 7 2 8 号公報

10

特開 2 0 0 4 - 1 7 8 2 4 7 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0 0 0 5】

例えば、製造業では、製造品質向上のために、製造ラインの最終検査工程における検査結果（言い換えると製造品質）が、製品規格値範囲内に入るように、製造フローの各工程を制御する必要がある。例えば、製造フローの各工程で、製造装置の設定条件（制御データともいう）の適正範囲や、センサの検出値（観測データともいう）の適正範囲を、特定し、制御する必要がある。以下、制御データや観測データを、モニタデータと記載する場合がある。

20

【0 0 0 6】

その際、製造フローが複数の工程から成る場合、製品品質に影響する工程が複数存在する。そのため、特に、製造フローにおける投入直後の上流の工程においては、製造品質（検査結果）と、モニタデータ（製造装置の制御データや観測データ）との間の関係性を定量化することが難しい。言い換えると、上流の工程で制御データや観測データがどのような範囲や値であれば、下流の工程での検査結果で製造品質を高くできるか、因果関係等の定量化が難しい。

【0 0 0 7】

なお、特許文献 1 では、過去のモニタデータを用いて、回帰モデルを構築し、制御データ値を決定する旨が読み取れる。しかし、特許文献 1 の方法では、回帰を用いているため、予測値を算出するために、モデル構築時に用いた、全てのデータ項目を入力する必要がある。そのため、投入直後の上流の工程において予測値を算出することはできず、制御を実行することができない。特許文献 1 では、観測データの許容範囲を算出する旨は記載されていない。

30

【0 0 0 8】

また、特許文献 2 では、実測データと物理的な性質を考慮した物理モデルを元に品質影響予測を行うモデルを修正する旨が読み取れる。しかし、特許文献 2 の方法では、モデルを修正する際にモデル全体を修正する必要がある。この方法では、大規模な製造工程を対象とする場合、実時間で計算が終了しない場合が考えられる。特許文献 2 では、モデルの一部分を特定してその一部分を修正する旨は記載されていない。

40

【0 0 0 9】

本発明の目的は、製造支援等のための因果関係モデル構築技術に関して、モデルの予測精度を向上でき、その結果として製造品質等を向上することができる技術を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0 0 1 0】

本発明のうち代表的な実施の形態は、因果関係モデル構築システム等であって、以下に示す構成を有することを特徴とする。

【0 0 1 1】

一実施の形態の因果関係モデル構築システムは、計算機システム上に構成され、制御対象

50

の製造フローに関する因果関係モデルを構築する情報処理を行う因果関係モデル構築システムであって、前記計算機システムは、前記製造フローの複数の各々の工程の状態を表すモニタデータと、前記製造フローのうちの検査工程の結果の品質データとを用いて、前記因果関係モデルを構築し、前記因果関係モデルと、前記品質データの目標値とを用いて、複数のモニタデータの間の因果関係に基づいた予測から、前記目標値を満たすように、前記モニタデータの許容範囲を特定し、前記因果関係モデル、および前記モニタデータの許容範囲を含む情報を、画面にグラフィカルに図示して表示する。

【発明の効果】

【0012】

本発明のうち代表的な実施の形態によれば、製造支援等のための因果関係モデル構築技術に関して、モデルの予測精度を向上でき、その結果として製造品質等を向上することができる。

【図面の簡単な説明】

【0013】

【図1】本発明の実施の形態の因果関係モデル構築システムにおける、計算機の構成を示す図である。

【図2】実施の形態で、製造フローおよび因果関係モデルの構成例を示す図である。

【図3】実施の形態で、制御部の処理フローを示す図である。

【図4】実施の形態で、表示画面例として因果関係モデル表示およびモニタデータ許容範囲表示の部分を示す図である。

【図5】実施の形態で、表示画面例として予測モデル変換表示の部分を示す図である。

【図6】実施の形態で、因果関係モデル構築の設定画面例を示す図である。

【図7】実施の形態で、モニタデータ許容範囲のデータ構成例および設定画面例を示す図である。

【図8】実施の形態で、処理詳細として、モニタデータ許容範囲特定および低精度部分特定を含む処理フローを示す図である。

【図9】実施の形態で、因果関係モデルの分割処理の例を示す図である。

【図10】実施の形態で、記憶部のモニタデータの構成例を示す図である。

【図11】実施の形態で、モニタデータにおける定義例を示す図である。

【図12】実施の形態で、品質データの構成例を示す図である。

【図13】実施の形態で、因果関係モデルデータの構成例を示す図である。

【図14】実施の形態で、モニタデータ許容範囲特定処理等の処理例を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0014】

以下、本発明の実施の形態を図面に基づいて詳細に説明する。なお、実施の形態を説明するための全図において同一部には原則として同一符号を付し、その繰り返しの説明は省略する。

【0015】

[課題等]

課題等について補足説明する。

【0016】

(1) 従来技術例では、最終的な検査結果の製造品質のみから、製造フローの各工程の制御データや観測データの好適な値や範囲を決める必要がある。検査結果の値から、各工程(特に上流の工程)の制御データや観測データの好適な範囲を定量化することが難しい。制御データや観測データの間の因果関係の定量化が難しい。各工程の制御データや観測データの好適な範囲を決定するための方法として、因果関係モデルを用いる方法が考えられる。

【0017】

(2) また、従来技術例では、ある因果関係モデルを構築した場合でも、因果関係に基づいた検査結果の予測に関する予測精度の点で改善余地がある。因果関係モデルのうち、

10

20

30

40

50

予測精度が相対的に低い部分（低精度部分等と記載する場合がある）が含まれている場合がある。従来技術例では、そのような部分の特定は行われていない。そのような部分を特定して、より高精度の予測モデルに修正、置換等することができれば、更新された因果関係モデルによってさらに予測精度を高めることができる。

【 0 0 1 8 】

（実施の形態）

図 1 ～ 図 1 4 を用いて、本発明の実施の形態の因果関係モデル構築システム等について説明する。実施の形態の因果関係モデル構築システム（以下、単にシステムと記載する場合がある）は、計算機で実現される。実施の形態の因果関係モデル構築方法は、実施の形態の因果関係モデル構築システム上で実行されるステップを有する方法である。

10

【 0 0 1 9 】

〔前提や概要〕

実施の形態の因果関係モデル構築システムでは、製造ラインにおける投入直後の上流の工程から下流の工程まで、例えば最終の品質検査工程までの一連の製造フローに沿って、モニタデータ間の因果関係モデルを構築する。モニタデータは、因果関係モデル構築のために製造フロー上でモニタするデータであり、工程の状態を表すデータである。モニタデータは、製造装置の制御データである場合や、センサの観測データである場合を含む。制御データは、製造装置の設定条件等のデータであり、言い換えると工程に対する入力値である。観測データは、言い換えると工程からの出力値である。また、モニタデータは、対応する工程が検査工程である場合には検査結果データ（品質データともいう）を含む。また、モニタデータは、製造フローから製造の実績として取得されるデータ（取得データと記載する）の場合と、未取得のデータの場合とがある。未取得のデータの場合には、取得データおよびモデルに基づいて予測されるデータ（予測データと記載する）である。

20

【 0 0 2 0 】

本システムでは、この因果関係モデルを用いて、例えば上流の工程における製造装置の設定条件（制御データ）から、製品の品質（検査結果）を予測し、製造装置の設定条件等の適正範囲（モニタデータ許容範囲）を特定する。また、本システムでは、その予測の際に、予測誤差が大きく、モニタデータ許容範囲の特定が困難だった場合には、品質目標値に対して予測誤差が大きく生じている箇所（構造部）を、低精度部分として特定する。本システムは、その低精度部分の特定の際、予測値と目標値（または許容範囲）との差に基づいて特定を行う。そして、本システムは、その低精度部分を、置換対象部分として、より高精度な予測モデルに置換（変換、修正等）する。これにより、変換後の予測モデルを含む、更新後の因果関係モデルを用いて、品質に関する予測精度を向上することができる。例えば、製造装置の設定条件の適正範囲等を、好適に設定することができる。

30

【 0 0 2 1 】

本システムは、モニタデータ（品質データを含む）に基づいて、因果関係モデルを構築し、画面に表示する。本システムは、その因果関係モデルを用いて、上流の工程のモニタデータから下流の工程の検査結果の品質を予測する。本システムは、検査結果の品質が好適な値になるように、すなわち目標値を満たすように、上流の各工程のモニタデータの許容範囲を算出、特定する。本システムは、特定したモニタデータ許容範囲を含む情報を、画面でグラフィカルに図示して表示する。

40

【 0 0 2 2 】

また、本システムは、モニタデータ許容範囲の特定に伴い、予測精度の低い部分（低精度部分と記載する）を特定し、より高精度な予測モデルへの置換対象部分とする。本システムは、特定した低精度部分（置換対象部分）の情報を、画面で表示する。本システムは、特定した低精度部分（置換対象部分）を、より高精度な予測モデルに変換し、その変換後の予測モデルの情報を、画面でグラフィカルに図示して表示する。

【 0 0 2 3 】

〔因果関係モデル構築システム - 計算機〕

図 1 は、実施の形態の因果関係モデル構築システムにおける、計算機 1 の構成として、特

50

に機能ブロックを示す。計算機 1 は、一般的な P C やサーバ等で構成できる。計算機 1 は、例えばソフトウェアプログラム実行処理によって、実施の形態での特徴的な各処理部等を実現する。計算機 1 は、通信網を介したクライアントサーバシステムやクラウドコンピューティングシステム等で構成されてもよい。

【 0 0 2 4 】

計算機 1 は、入出力部 1 1、通信部 1 2、表示部 2 0、制御部 3 0、記憶部 4 0 等を有し、それらがバス等で接続されている。入出力部 1 1 は、図示しない入力装置（例えばキーボードやマウス）、表示装置や他の出力装置（例えばプリンタ）が接続されており、ユーザの操作を受け付ける。入出力部 1 1 の表示装置の画面には、ユーザの操作に応じて本システムの各種の情報が表示される。画面は、表示部 2 0 によって構成され、本システムの G U I（グラフィカル・ユーザ・インタフェース）として機能する。画面では、因果関係モデル設定項目等の各種の項目が表示され、G U I 部品を通じてユーザが入力可能である。画面では、特定されたモニタデータ許容範囲（観測データ許容範囲や制御データ最適値等）や、特定された低精度部分および変換後の予測モデル等の情報が表示される。

10

【 0 0 2 5 】

本システムの計算機 1 は、ユーザであるシステムエンジニア（S E）等の人が操作し、利用する。ユーザは、製造ラインの製造フローから、モニタデータを取得する。取得の仕方は任意である。例えば、製造装置やセンサから出力されるファイルを利用できる。なお、計算機 1 が、製造フローの製造装置やセンサから、通信を介してモニタデータを取得してもよい。ユーザは、本システムによって得られた因果関係モデル、モニタデータ許容範囲、変換後予測モデル等を用いて、製造フローに対して好適な制御データや観測データの範囲や値を提示し、製造の制御に反映することができる。

20

【 0 0 2 6 】

通信部 1 2 は、計算機 1 の外部の通信網に対する通信インタフェース装置を含み、外部のサーバや製造装置等と通信する。通信部 1 2 は、制御部 3 0 からの制御に従って、外部のサーバや製造装置等から、モニタデータや製造工程情報等を取得、参照してもよい。

【 0 0 2 7 】

表示部 2 0 は、因果関係モデル、モニタデータ許容範囲、および低精度部分の変換後予測モデル等の情報を、ユーザに対して可視化する画面（G U I 画面）を構成し、入出力部 1 1 を通じて表示する。

30

【 0 0 2 8 】

制御部 3 0 は、例えば C P U、R O M、R A M 等の公知の要素により構成され、本システムの特徴的な機能を実現するための処理を行う部分である。例えば、C P U は、R O M からプログラムを R A M に読み出して処理を実行することにより、因果関係モデル構築部 3 1 等の処理部を実現する。制御部 3 0 は、因果関係モデル構築部 3 1、モニタデータ許容範囲特定部 3 2、予測モデル変換部 3 3 を有する。

【 0 0 2 9 】

因果関係モデル構築部 3 1 は、モニタデータ記憶部 4 1 に記憶されているモニタデータ（制御データや観測データ）と、品質データ記憶部 4 2 に記憶されている品質データ（モニタデータの種類である検査結果データ）とを用いて、因果関係モデルを構築する処理を行う。

40

【 0 0 3 0 】

モニタデータ許容範囲特定部 3 2 は、因果関係モデル構築部 3 1 で得られた因果関係モデルの構造と、モニタデータ記憶部 4 1 のモニタデータ（制御データや観測データ）と、品質データ記憶部 4 2 の品質データとを用いて、工程毎のモニタデータ許容範囲を算出、特定する処理を行う。モニタデータ許容範囲特定部 3 2 は、品質（検査結果）の向上のための目標値に対応するモニタデータ許容範囲を算出、特定する。モニタデータ許容範囲は、観測データ許容範囲の場合と、制御データ許容範囲の場合とを含む。制御データ許容範囲は、最適値（推奨制御値）を含む場合がある。モニタデータ許容範囲特定部 3 2 は、下流の工程に対応するモデル構造部（ノード等）から上流の工程に対応するモデル構造部（ノ

50

ード等)へと因果関係を遡りながら、モニタデータ許容範囲を算出する。

【0031】

予測モデル変換部33は、モニタデータ許容範囲特定部32で得られたモニタデータ許容範囲と、因果関係モデル構築部31で得られた因果関係モデルとに、モニタデータ記憶部41のモニタデータと品質データ記憶部42の品質データとを入力して予測した結果を比較する。予測モデル変換部33は、モニタデータの予測値の範囲が、モニタデータ許容範囲を逸脱する場合、低精度部分(置換対象部分)として特定し、その低精度部分を、より高精度な予測モデルに変換する処理を行う。

【0032】

記憶部40は、モニタデータ記憶部41、品質データ記憶部42、因果関係モデル記憶部43、モニタデータ許容範囲記憶部44、予測モデル変換記憶部45を有する。モニタデータ記憶部41にはモニタデータが格納されている。品質データ記憶部42には品質データが格納されている。因果関係モデル記憶部43には、因果関係モデルデータが格納されている。モニタデータ許容範囲記憶部44には、モニタデータ許容範囲を含む情報が格納されている。予測モデル変換記憶部45には、低精度部分情報、変換後の予測モデルのデータおよび情報が格納されている。

10

【0033】

[製造フローおよび因果関係モデル]

図2は、製造フローおよび因果関係モデルの構成例を示す。図2では、前提となる製造フローとの関係に基づいて、基本的な因果関係モデルがどのように生成されるかについて示している。図2の上側には、製造フローを示し、下側には、その製造フローに対応して生成された因果関係モデルを示す。

20

【0034】

図2の上側で、製造フローは、上流から下流への複数の工程から構成される。本例では、工程#1, 工程#2, 工程#3, 工程#L(= #4)を有する。本例では、最後の工程#Lは、品質検査工程である。各工程には、1つ以上の製造装置(設備)や1つ以上のセンサが、関係付けて設けられている。工程#Lの品質検査工程には、検査装置およびセンサが設けられており、検査結果データ(品質データ)を出力する。例えば、工程#1では、製造装置#1、製造装置#2を有する。製造装置#1は、工程#1での製造を、設定されている制御データ(制御条件等)に従って制御する。製造装置#1は、例えばセンサA、センサBといった2つのセンサを備える。センサAは、工程#1での製造から、所定の検出を行い、観測データとして出力する。同様に、各工程に、製造装置やセンサが設けられており、工程の順序等に従って接続されている。

30

【0035】

なお、説明上、製造フローの最後の工程(工程#L)として品質検査工程を有する方式とする。また、そのため、モニタデータの一部、一種として、品質検査工程で得られる検査結果データ(品質データ)を含む。これらに限るものではなく、製造フローとは独立に、続いて品質検査フローおよびその品質検査工程が存在する方式でもよく、同様に成立する。

【0036】

実施の形態の因果関係モデル構築システムは、上記のような製造フローから、モニタデータとして、制御データ、観測データ、品質データを取得する。例えば、ユーザが、因果関係モデル構築の設定の際に、モニタデータを入力、設定する。実施の形態の因果関係モデル構築システムは、モニタデータおよび製造工程情報に基づいて、因果関係モデルを構築する。なお、製造工程情報は、各モニタデータが製造フローのどの工程のどの製造装置やセンサに関係付けられているか等を把握可能とする情報である。

40

【0037】

図2の下側で、本発明で扱うモデルは因果関係モデルである。因果関係モデルは、構造としては、ネットワーク構造、すなわちノードとエッジ(矢印)との接続によって表現できる。各モニタデータは、モデル構造上では、ノードとして表現される。エッジは、因果関係の向きを表す。本例では、モニタデータとして上側のセンサA~Rの観測データを用い

50

た場合の因果関係モデルを示す。例えば、工程 # 1 に対応するモデル構造部では、センサ A の観測データに対応するノード（ノード A とする）から、ノード B、ノード C に接続されている。ノード B はノード C に接続されている。ノード C は、ノード D、ノード G に接続されている。

【 0 0 3 8 】

[処理フロー]

図 3 は、制御部 3 0 の主な処理のフローを示す。図 3 は、ステップ S 1 ~ S 6 を有する。以下、ステップの順に説明する。

【 0 0 3 9 】

（ S 1 ） まず、制御部 3 0 の因果関係モデル構築部 3 1 は、製造フローの工程の設備やセンサから、モニタデータとして制御データや観測データを取得し、また、品質検査工程の設備やセンサから品質データを取得する。この際、ユーザが、後述のように設定画面でモニタデータを指定してもよい。なお、モニタデータ（制御データや観測データ）と品質データとを分けて説明する場合がある。因果関係モデル構築部 3 1 は、取得したモニタデータを、モニタデータ記憶部 4 1 に記憶し、取得した品質データを、品質データ記憶部 4 2 に記憶する。制御部 3 0 の因果関係モデル構築部 3 1 は、入力したモニタデータを用いて、因果関係モデルを構築する。因果関係モデル構築部 3 1 は、構築した因果関係モデルのデータを、因果関係モデル記憶部 4 3 に記憶する。

10

【 0 0 4 0 】

（ S 2 ） 次に、制御部 3 0 は、品質目標値を設定する。例えば、ユーザが、画面で、品質目標値を設定する。または、制御部 3 0 が、品質目標値等の設定ファイルを読み出して参照してもよい。

20

【 0 0 4 1 】

（ S 3 ） 続いて、制御部 3 0 は、S 1 で構築した因果関係モデルにおける構造を、n 個の構造部（ブロックともいう）に分割する処理を行う。上流のブロックから下流のブロックへ順に、ブロックの識別子を、1 ~ n とする。そして、制御部 3 0 は、制御処理用の変数 i を用いて、 $i = n$ と設定する。これは、製造フローの下流から上流へ遡って処理するために、最初に最後のブロック n が設定されるものである。分割処理の詳細については後述する（図 9）。

【 0 0 4 2 】

（ S 4 ） 制御部 3 0 は、i 番目のブロック（構造部）について、モニタデータ許容範囲を特定する処理、および予測モデル変換処理の判定を行って、変数 i の値を更新する。なお、S 4 の処理詳細例については後述する（図 8）。

30

【 0 0 4 3 】

モニタデータ許容範囲特定処理は、概略的には以下のような処理である。モニタデータ許容範囲特定部 3 2 は、モニタデータ毎に、下流のノードのモニタデータの算出済みの許容範囲または品質データの目標値を満たすように、そのモニタデータの許容範囲を特定する。制御部 3 0 は、因果関係モデルにおけるあるノードと、因果関係に基づいた前後のノードとをみる。制御部 3 0 は、あるノードの後ろ（下流側）のノードのモニタデータの目標値または算出済みの許容範囲を参照する。制御部 3 0 は、あるノードのモニタデータの値を変化させた場合に、後ろのノードのモニタデータの目標値または許容範囲を満たすかどうかをみる。制御部 3 0 は、そのような条件を満たすような値の範囲を、そのノードのモニタデータ許容範囲として特定する。同様に、制御部 3 0 は、処理上注目するノードを、モニタデータ許容範囲を算出済みのノードから、上流側のノードに移して、そのノードと下流のノードとの関係で、同様に許容範囲を特定する。

40

【 0 0 4 4 】

予測モデル変換処理における低精度部分特定処理は、概略的には以下のような処理である。予測モデル変換部 3 3 は、モニタデータ許容範囲特定処理の結果として得られる各モニタデータの許容範囲を用いる。予測モデル変換部 3 3 は、上記処理の結果として、あるノードについて下流のノードから特定されるモニタデータ許容範囲を得る。また、予測モデ

50

ル変換部 33 は、そのノードについて、上流のノードから予測される予測値の範囲を得る。予測モデル変換部 33 は、その予測値の範囲とそのモニタデータ許容範囲とを比較して、その予測値の範囲がそのモニタデータ許容範囲を逸脱する場合（例えば空集合となる場合）、そのノードのモニタデータを、低精度部分として特定する。なお、ノード単位での特定に限らず、複数のノードを含むモデル構造部として概略的に特定してもよい。

【0045】

(S5) 制御部 30 は、続いて、変数 i の値が 1 かどうかを確認する。この確認結果によって次の処理が変更される。 $i = 1$ の場合 (Y)、すなわち一番前のブロックになっている場合には、因果関係モデルの全てのブロックについてモニタデータ許容範囲等を特定したと判定し、S6 へ移る。 $i = 1$ ではない場合 (N) には、S4 へ戻って同様に繰り返す。

10

【0046】

(S6) 制御部 30 は、表示部 20 を制御して、画面表示内容を更新させる。すなわち、画面には、特定されたモニタデータ許容範囲、あるいは特定された低精度部分とその変換後の予測モデルの情報が表示される。ユーザの操作に応じて処理を終了する。

【0047】

[画面]

図 4、図 5 は、因果関係モデル構築システムにおける表示部 20 によって表示される主な表示画面例を示す。この画面では、因果関係モデル表示 210、モニタデータ許容範囲表示 220、および予測モデル変換表示 230 といった主に 3 つの表示部分を含む。

20

【0048】

図 4 で、画面内には、因果関係モデル表示 210、モニタデータ許容範囲表示 220、予測モデル変換表示 230 を有する。

【0049】

[画面 - 因果関係モデル表示]

因果関係モデル表示 210 は、因果関係モデル構築部 31 によって得られた因果関係モデルを、ネットワーク構造で表示する部分である。因果関係モデル表示部 21 は、領域 213 に、その因果関係モデルを表示する。因果関係モデル表示 210 は、領域 213、設定 (Setting) ボタン 211、構築 (Build) ボタン 212 等を含む。

【0050】

30

まず、ユーザが設定 (Setting) ボタン 211 を押下した場合、因果関係モデルを構築する際の条件等を入力するための設定画面 (図 6) が、ポップアップ等で表示される。

【0051】

[設定画面 - 因果関係モデル構築]

図 6 で、因果関係モデル構築の設定画面の例を示す。この画面では、使用するデータ (モニタデータ) の設定欄 601 や、因果関係モデル構築条件の設定欄 602 を有する。設定欄 601 では、因果関係モデルを構築する際に使用するモニタデータを、例えばファイルを参照する方式等で設定可能である。設定欄 602 では、条件の設定ファイルを参照する方式や、Viewer (別の設定画面) 上で確認しながら設定する方式を用いることができる。後者の場合、因果関係モデルを構築する方式の場合に一般的に用いられる、離散化手法、構造学習アルゴリズム、制約条件の使用の有無等を、ユーザが選択枝から選択して設定できる。これらの方式は公知技術を用いることができる。ユーザは、条件を設定した後、OK ボタン 603 を押下する。これにより、制御部 30 の処理によって、その条件が反映される。Cancel ボタン 604 を押下した場合、その条件は反映されず、設定画面を開く前の状態に戻る。

40

【0052】

上記設定画面で条件が設定された場合、制御部 30 の処理によって、その条件で因果関係モデルが構築される。その結果、その因果関係モデルが、表示部 20 の因果関係モデル表示部 21 の処理によって、因果関係モデル表示 210 の領域 213 に表示される。なお、領域 213 において因果関係モデルが表示しきれない場合には、スライドバーや拡大縮小

50

等の公知手段を用いて、ユーザが所望の全体や個別部分を表示可能である。

【 0 0 5 3 】

領域 2 1 3 では、因果関係モデルが、ノードとエッジで表現されている。各ノードには、モニタデータの ID (モニタデータ ID) が表示されている。本例では複数のモニタデータとして、ID = X 1 ~ X 3 0 5 のデータがある場合を示す。なお、最後のモニタデータ X 3 0 5 は品質データ Y 1 である。ノード毎に、モニタデータの種別がわかるように、所定の図像で区別して表示される。例えば、制御データと観測データとが、異なる種類のノードとして表現される。また、ノード毎に、取得データであるか未取得データ (すなわち予測データ) であるかがわかるように、例えば取得フラグを付けて表示される。取得フラグが付いたノードは取得データを表し、取得フラグが付いていないノードは予測データを表す。また、情報表示の仕方の他の例としては、ユーザが所望のノードの部分、選択操作 (クリック等) することで、その選択したノード部分に関する情報 (後述の記憶部 4 0 のモニタデータに基づいて表示可能である) を、ポップアップ等で表示するようにしてもよい。

10

【 0 0 5 4 】

[画面 - モニタデータ許容範囲表示]

モニタデータ許容範囲表示 2 2 0 では、モニタデータ許容範囲特定部 3 2 によって得られたモニタデータ許容範囲を含む情報が表示される。モニタデータ許容範囲表示部 2 2 は、領域 2 2 3 に、そのモニタデータ許容範囲を含む情報を、所定の形式のグラフで表示する。本例では、そのグラフとして、横方向に工程順序に沿った ID 順にモニタデータを取り、モニタデータ毎に、棒 (矩形領域) で、値や範囲を表現する形式としている。各モニタデータの棒は、見やすいように高さ (上下端) を同じに揃えて表示しているが、このような表示形式に限らず可能である。

20

【 0 0 5 5 】

モニタデータ許容範囲表示 2 2 0 は、領域 2 2 3、設定 (Setting) ボタン 2 2 1、計算 (Calc.) ボタン 2 2 2 等を含む。ユーザが設定ボタン 2 2 1 を押下した場合、モニタデータ許容範囲を計算する際に使用する条件や、計算後 (計算済み) のモニタデータ許容範囲等を表示する画面 (図 7) が、ポップアップ等で表示される。

【 0 0 5 6 】

モニタデータ許容範囲表示 2 2 0 の領域 2 2 3 のグラフでは、以下のようなことが表現されている。品質データ Y 1 の棒の品質目標値を満たすために、その前のモニタデータ X 3 0 4 の棒の許容範囲や、モニタデータ X 3 0 3 の棒の許容範囲となっている。また、例えばモニタデータ X 3 0 3 の許容範囲となるためには、その前のモニタデータ X 3 0 1 やモニタデータ X 3 0 2 の許容範囲となっている。このように、モニタデータ間の因果関係に基づいて下流から上流へ遡る形でモニタデータ許容範囲が特定されている。モニタデータ許容範囲が広いほど、製造時の制御がしやすい。ユーザは、モニタデータ間の許容範囲等の関係性を画面で見えて確認できる。ユーザまたは製造業者は、モニタデータ許容範囲内となるように、製造時の制御データや観測データを制御することができる。

30

【 0 0 5 7 】

[設定画面 - モニタデータ許容範囲]

図 7 は、モニタデータ許容範囲のデータ構成例、および設定画面例を示す。モニタデータ許容範囲記憶部 4 4 には、図 7 中の表 7 0 0 のようなデータが記憶されている。モニタデータ許容範囲表示部 2 2 は、モニタデータ許容範囲記憶部 4 4 からこのようなモニタデータ許容範囲のデータを読み出して、本設定画面内に表 7 0 0 として表示する。ユーザは、本設定画面で、モニタデータ許容範囲に関する各情報を設定および確認が可能である。

40

【 0 0 5 8 】

図 7 の表 7 0 0 は、列 (項目) として、モニタデータ ID (名)、データ範囲、規格範囲、モニタデータ許容範囲、推奨制御値、目標値 (品質目標値) を有する。「モニタデータ ID (名)」列は、モニタデータ ID およびパラメータ名等を表示する。「データ範囲」列は、取得データ (実績値) の範囲を表示する項目であり、上限値列、下限値列を含む。

50

「データ範囲」列では、取得した各モニタデータの分布から算出された上限値および下限値が格納、表示されている。なお、複数回の製造実行に応じて、同じパラメータ名のモニタデータについても、複数回の値が、実績、統計として得られる。得られた分布における上限値、下限値から、このデータ範囲として算出できる。

【 0 0 5 9 】

「規格範囲」列は、モニタデータに対して規格範囲または規格値がある場合に設定可能な項目である。「規格範囲」列は、規格上限値列、規格下限値列を含む。この規格範囲は、製造者または S E 等によって任意に設定できる。

【 0 0 6 0 】

「モニタデータ許容範囲」列は、制御部 3 0 によって算出されたモニタデータ許容範囲がある場合に、格納、表示される。「モニタデータ許容範囲」列は、許容上限値列、許容下限値列を含む。モニタデータ許容範囲記憶部 4 4 に保存されているモニタデータ許容範囲データがある場合に、この列に反映して表示される。

10

【 0 0 6 1 】

「推奨制御値」列は、後述するが、そのモニタデータについての推奨制御値（最適値）が算出された場合に、格納、表示される。

【 0 0 6 2 】

「目標値」列は、検査結果の品質データ（製造品質）に関して、目標値がある場合に、品質目標値として設定可能である。本例では、品質データ Y 1 に関する目標値として 0 . 9 0 が設定されている。この目標値は、製造者または S E 等によって任意に設定できる。また、この目標値は、制御部 3 0 がモニタデータ許容範囲特定処理の際に自動的に調整する場合がある。

20

【 0 0 6 3 】

上記設定画面で、ユーザが所望の項目（例えば目標値）を設定した後、OK ボタン 7 0 1 を押下した場合、その設定項目が反映される。Cancel ボタン 7 0 2 を押下した場合、その設定項目は反映されず、設定画面を開く前の状態に戻る。

【 0 0 6 4 】

OK ボタン 7 0 1 を押下した場合、その設定項目の情報をを用いて、制御部 3 0 のモニタデータ許容範囲特定部 3 2 および予測モデル変換部 3 3 による処理が開始される。その処理の結果におけるモニタデータ許容範囲を含む情報が、モニタデータ許容範囲記憶部 4 4 に反映、保存される。また、その処理の結果におけるモニタデータ許容範囲を含む情報が、モニタデータ許容範囲表示部 2 2 によって、モニタデータ許容範囲表示 2 2 0 の領域 2 2 3 に表示される。

30

【 0 0 6 5 】

領域 2 2 3 では、表 7 0 0 の情報が、所定の形式のグラフで表現されている。本例では、領域 2 2 3 の情報は、表 7 0 0 の項目に対応した、品質目標値、データ範囲、モニタデータ許容範囲、規格範囲、推奨制御値を有する。それぞれの情報が、所定の図像で表現されている。領域 2 2 3 では、モニタデータ毎に、許容範囲だけでなく、データ範囲や規格範囲を含め、棒で重ねて、値の包含関係等がわかるように表示される。例えば、データ範囲は黒領域、モニタデータ許容範囲はグレー（点々の塗り潰しパターン）の領域、規格範囲は白領域、目標値は斜線の塗り潰しパターンの領域、等で区別して表示されている。また、モニタデータのうち、モニタデータ許容範囲特定部 3 2 によって、推奨制御値（最適値）が算出されているものについては、例えば三角の図像によって、棒の途中に、許容範囲内の推奨制御値として表示されている。

40

【 0 0 6 6 】

ユーザは、モニタデータ許容範囲表示 2 2 0 の領域 2 2 3 に表示されたモニタデータ許容範囲情報を見ることで、モニタデータ間の許容範囲等の関係を確認することができる。また、ユーザは、設定ボタン 2 2 1 の押下で表示される図 7 の画面（表 7 0 0 ）を見ることで、モニタデータ許容範囲の上限値や下限値等の詳細情報を確認することができる。すなわち、ユーザは、モニタデータ毎に因果関係モデルに基づいて算出、特定された好適な許

50

容範囲を把握することができる。このように、本システムでは、モニタデータ許容範囲の算出および表示によって、品質目標値を満たすようなモニタデータ許容範囲をユーザが把握することができる。このモニタデータ許容範囲等の情報を、実際の製造の制御に活用することで、製造品質を高めることができる。

【 0 0 6 7 】

なお、モニタデータ許容範囲表示 2 2 0 における他の情報表示の仕方としては、領域 2 2 3 内でユーザが所望のモニタデータ部分を選択操作（例えばクリック等）することで、その選択された部分に対応する詳細情報を、表 7 0 0 に基づいてポップアップ等で表示するようにしてもよい。また、領域 2 2 3 内で、モニタデータの種別や取得フラグ等がわかるように図像や情報で表示してもよい。

10

【 0 0 6 8 】

[画面 - 予測モデル変換表示]

図 5 で、画面内には、予測モデル変換表示 2 3 0 を有する。予測モデル変換表示 2 3 0 は、領域 2 3 1、領域 2 3 2 等を含む。領域 2 3 1 は、特定された低精度部分（置換対象部分）の情報を表示する領域である。この領域 2 3 1 の表示は省略してもよいし、前述の領域 2 1 3 内や領域 2 2 3 内で、対応する枠等を表示する方式としてもよい。

【 0 0 6 9 】

領域 2 3 2 では、予測モデル変換部 3 3 での処理の結果得られた変換後の予測モデルの情報を、予測モデル変換表示部 2 3 の処理によって表示する。変換後の予測モデルの情報は、グラフィカルに図示される構造と、詳細情報（パラメータ 2 3 4、評価値 2 3 5）の表等の情報とを含む。なお、構造のみを表示し、詳細情報については、別途、設定ボタン 2 3 3 の押下等に応じて表示するようにしてもよい。

20

【 0 0 7 0 】

本例では、変換後の予測モデルとして、高精度な予測モデルの 1 つである、深層学習モデルを用いる例を示す。なお、高精度な予測モデルとは、一般的に因果関係モデルよりも高精度が期待できる任意の方式のモデルのことである。本システムでは、予め、変換するための予測モデルとして候補となる少なくとも 1 つの方式のモデルが用意されている。変換のために必要なデータが予め設定されている。予測モデル変換部 3 3 は、因果関係モデルのうち、特定された低精度部分であるモデル構造部を、その用意されている予測モデル（深層学習モデル）に自動的に変換する。

30

【 0 0 7 1 】

なお、変形例として、自動的な変換の方式に限らず可能である。例えば、いくつかの候補となる予測モデルを用意しておき、それらからユーザが方式を選択し確認操作してから、変換を行うようにしてもよい。

【 0 0 7 2 】

領域 2 3 2 内には、深層学習モデルを用いて変換した結果の予測モデルの構造（例えばノードとエッジとで表現されている）が表示されている。また、領域 2 3 2 内には、その予測モデルを構築する際に使用したパラメータ 2 3 4、および構築後の評価値 2 3 5 が、表の形式で表示されている。

【 0 0 7 3 】

予測モデル変換記憶部 4 5 には、置換対象部分の情報、変換後の予測モデルの構造の情報、予測モデルのパラメータ 2 3 4 および評価値 2 3 5 の情報が格納されている。予測モデルのパラメータ 2 3 4 は、予測モデル構築時に必要なパラメータの情報である。評価値 2 3 5 は、予測モデル構築後に得られたデータである。

40

【 0 0 7 4 】

[処理詳細フロー]

図 8 は、図 3 の処理フローのうち、ステップ S 4 の処理詳細例として、モニタデータ許容範囲特定および低精度部分特定を含む処理フローを示す。図 8 は、ステップ S 1 1 ~ S 2 1 を有する。以下、ステップの順に説明する。

【 0 0 7 5 】

50

(S 1 1) まず、制御部 3 0 は、 i 番目のブロック (図 8) のモニタデータの許容範囲を算出、特定する。変数 i は、注目するブロック (構造部) を表す。ここでは、この処理の際、モニタデータとして、観測データと制御データとを扱う。モニタデータ許容範囲特定部 3 2 は、この処理の際、例えば工程での制御データ (あるモニタデータのノード) の値を変化させた際の、下流のノードの観測データの値の変化をみる。モニタデータ許容範囲特定部 3 2 は、その変化と、品質目標値とから、その制御データの値が観測データの許容範囲を満たすように、その制御データの許容範囲を特定し、品質目標値に対応させて最適値 (推奨制御値) を特定する。

【0076】

また、モニタデータ許容範囲特定部 3 2 は、ブロック内で、上記制御データの許容範囲 (最適値) に基づいて、上記観測データの上流側につながっている他の観測データについての許容範囲も特定する。その際、モニタデータ許容範囲特定部 3 2 は、記憶部 4 0 のモニタデータ (表) の参照に基づいて、他の観測データの実績値 (取得データ値) の組み合わせを、他の観測データの許容範囲として特定する。

【0077】

図 1 4 は、上記モニタデータ許容範囲特定処理等の処理例を示す。ここでは、図 4 の因果関係モデルの具体例を用い、モニタデータ X 1 3 付近のブロックの例を用いる。図 1 4 の例では、注目するブロック i として、モニタデータ X 1 3, X 1 2, X 1 1 の 3 つのノードを含む。モニタデータ X 1 1 は制御データであり、モニタデータ X 1 2, X 1 3 は観測データである。ブロック i 内で最初に注目するノードであるモニタデータ X 1 3 には、上流側に、エッジを介して、モニタデータ X 1 1, X 1 2 の 2 つのノードがつながっている。また、ブロック i に対し、下流側の $i + 1$ 番目のブロックの例として、モニタデータ X 1 5, X 1 4, X 1 3 を含むブロック $i + 1$ がある。ブロック i に対し、上流側の $i - 1$ 番目のブロックの例として、モニタデータ X 1 2 を含むブロック $i - 1$ がある。

【0078】

ブロック i の各モニタデータ X 1 3, X 1 2, X 1 1 のモニタデータ許容範囲を特定する処理例は以下である。(1) 制御部 3 0 は、最初に注目するモニタデータ X 1 3 のノードについて、下流側のブロック $i + 1$ でつながっているノード (モニタデータ X 1 4, X 1 5) の算出済みの許容範囲を参照する。ここでは、2 つのノードがつながっており、モニタデータ X 1 4, X 1 5 の両方の許容範囲 (許容範囲 H 1 4, H 1 5 とする) を参照するが、少なくとも 1 つのノードの許容範囲を参照すればよい。制御部 3 0 は、モニタデータ X 1 4, X 1 5 の許容範囲 H 1 4, H 1 5 を満たすように、モニタデータ X 1 3 の許容範囲 H 1 3 を特定する。(2) 次に、制御部 3 0 は、観測データ (第 1 の観測データ) であるモニタデータ X 1 3 から、1 つ前の一方のノードで制御データであるモニタデータ X 1 1 に注目する。制御部 3 0 は、モニタデータ X 1 3 の許容範囲 H 1 3 に基づいて、モニタデータ X 1 1 の許容範囲 H 1 1 を特定する。(3) 次に、制御部 3 0 は、観測データであるモニタデータ X 1 3 から、1 つ前の他方のノードで観測データ (第 2 の観測データ) であるモニタデータ X 1 2 に注目する。モニタデータ X 1 2 は、モニタデータ X 1 1 とはつながっていないが、モニタデータ X 1 3 とはつながっている。ブロック i 内のモニタデータ X 1 1, X 1 2, X 1 3 の関係性は、記憶部 4 0 のモニタデータ (取得データ) の表から把握可能である。制御部 3 0 は、このような関係性の場合、制御データであるモニタデータ X 1 1 の算出済みの許容範囲 H 1 1 に基づいて、観測データであるモニタデータ X 1 2 の許容範囲 H 1 2 を特定する。

【0079】

(S 1 2) 次に、制御部 3 0 は、S 1 1 で i 番目のブロックから特定したモニタデータ許容範囲が、空集合であるかどうか、すなわち許容範囲の値が存在するかどうかを判定する。空集合である場合 (Y) には S 1 3 へ進み、空集合ではない場合 (N) には S 2 1 へ進む。

【0080】

(S 2 1) S 2 1 へ進んだ場合、制御部 3 0 は、変数 i を、 $i - 1$ に設定する。すなわ

10

20

30

40

50

ち、注目するブロックが、1つ上流側のブロックにされる。S 2 1の後、本処理フローを終了し、図3のステップS 5に進む。S 5で $i = 1$ （最も上流のブロック）になるまで、本処理フローが同様に繰り返される。

【0081】

(S 1 3) 一方、S 1 3へ進んだ場合、制御部30は、因果関係モデルの予測誤差が0であると仮定した場合に、再度、 i 番目のブロックのモニタデータの許容範囲が、空集合であるかどうか（値が存在するかどうか）を判定する。空集合ではない場合（N）にはS 1 6へ進み、空集合である場合（Y）にはS 1 4へ進む。

【0082】

なお、ここでいう予測誤差とは、あるノードのモニタデータ（例えばX 1 1, X 1 2）から、因果関係（エッジ）を持つ他のノードのモニタデータ（例えばX 1 3）の値を予測する際の、一般的に生じ得る誤差のことである。

【0083】

(S 1 6) S 1 3からS 1 6へ進んだ場合、因果関係モデル（対応するブロック）の予測精度の低さによってモニタデータ許容範囲が存在しない場合（見つからない場合）であると考え。それに基づいて、S 1 6では、予測モデル変換部33は、その i 番目のブロック（構造部）に対応するモニタデータ等の部分を、低精度部分（置換対象部分）として特定し、その情報を、予測モデル変換記憶部45に記憶する。

【0084】

(S 1 7) そして、予測モデル変換部33は、因果関係モデルのうちの、その低精度部分（置換対象部分）を、用意されている高精度な予測モデル（例えば深層学習モデル）に自動的に置換する変換処理を行う。予測モデル変換部33は、変換後に得られた予測モデルのデータおよび情報を、予測モデル変換記憶部45に記憶する。

【0085】

(S 1 8) S 1 7での予測モデル変換後、制御部30のモニタデータ許容範囲特定部32は、その変換後予測モデルを用いて、そのブロックの部分に関して、再度、モニタデータ許容範囲を算出、特定する。

【0086】

(S 1 9) 制御部30は、S 1 8の結果で、モニタデータ許容範囲が空集合であるかどうか（値が存在するかどうか）を判定する。空集合である場合（Y）にはS 2 0へ進み、空集合ではない場合（N）にはS 2 1へ進む。

【0087】

(S 2 0) S 2 0へ進んだ場合、制御部30は、自動的に、設定されていた品質目標値を下げるように調整、再設定する。S 2 0の後、S 1 1へ戻り、同様に繰り返す。S 2 0へ進む場合では、設定されている品質目標値の制約が大きいためにモニタデータ許容範囲が見つからない場合であると考え、品質目標値を下げるように調整して、再度許容範囲を探すようにするものである。

【0088】

(S 1 4) 一方、S 1 3で空集合である場合（値が存在しない場合）によってS 1 4へ進んだ場合、制御部30は、注目するブロックを表す変数 i の値が $i = n$ （ n ：最後のブロック）であるかどうかを確認して処理を分岐させる。 $i = n$ である場合（Y）にはS 2 0へ進み、 $i \neq n$ である場合（N）にはS 1 5へ進む。 $i = n$ である場合（Y）は、つまり処理上で最初のブロック（製造フロー上で最後のブロック）ではモニタデータ許容範囲が見つからない場合である。

【0089】

(S 1 5) 制御部30は、変数 i を、 $i + 1$ に設定する。すなわち、注目するブロックを、1つ下流側のブロックに戻す。S 1 5の後、S 1 6へ進む。S 1 5へ進む場合では、 i 番目のブロックよりも後の $i + 1$ 番目のブロックの部分を、より高精度な予測モデルに変換することで、モニタデータ許容範囲を見つけることができる可能性があると考えられるものである。

10

20

30

40

50

【 0 0 9 0 】

なお、S 2 0 の処理に関して、変形例として、ユーザ設定等に応じて、品質目標値の自動的な変更をしないように制御してもよい。例えば、ユーザが設定した品質目標値ではモニタデータ許容範囲が決定できない場合に、その旨を処理結果として画面に表示する。ユーザは、その旨を確認し、例えば品質目標値を調整、再設定して、再度処理を指示する。

【 0 0 9 1 】

上記のように、図 8 の処理例では、制御部 3 0 は、因果関係モデルのブロック（構造部）の単位で、注目するブロックを適宜上流や下流に移しながら、モニタデータ許容範囲および低精度部分を算出、特定する。

【 0 0 9 2 】

また、制御部 3 0 は、ある制御データの許容範囲のうちの、最適値（推奨制御値）を算出する場合には、例えば下流のモニタデータ（例えば観測データ）の許容範囲がなるべく広くなる値を、推奨制御値とする。

【 0 0 9 3 】

また、制御部 3 0 は、ブロック内のあるノードのモニタデータの予測値の範囲が、下流から算出されたモニタデータ許容範囲を逸脱する場合、特に図 8 の処理例では空集合となる場合、そのモニタデータの部分を、低精度部分（置換対象部分）として特定する。

【 0 0 9 4 】

図 1 4 の下側には、低精度部分特定処理の例として、ブロック i における低精度部分のモニタデータを特定する例を示す。注目ノードがモニタデータ X 1 3 である場合を示す。制御部 3 0 は、モニタデータ X 1 3 のノードについて、上記のように下流のノード（例：X 1 4 , X 1 5 ）の許容範囲を満たすように、許容範囲 H 1 3 を得る。制御部 3 0 は、ブロック i 内のモニタデータ X 1 3 の上流のノード（X 1 1 , X 1 2 ）の値から予測されるモニタデータ X 1 3 の予測値の範囲を得る。制御部 3 0 は、そのモニタデータ X 1 3 の予測値の範囲と、許容範囲 H 1 3 とを比較し、予測値の範囲が許容範囲 H 1 3 を逸脱する場合、特に空集合となる場合（重なる値が存在しない場合）、そのモニタデータ X 1 3 の部分を、低精度部分として特定する。特に、モニタデータ X 1 3 を含むブロック i について、置換対象部分として特定される。なお、逸脱に関する他の処理例としては、範囲同士が一部で重なっていて一部が重ならない場合に、その重なり（逸脱）の度合いを判定するようにしてもよい。

【 0 0 9 5 】

[分割処理]

図 9 は、前述の図 3 の処理フローのうちのステップ S 3 の、因果関係モデルの n 個の構造部への分割処理の例を示す。図 9 では、制御部 3 0 は、分割処理を、因果関係モデルの後ろの部分（下流の工程に関係付けられる部分）から順に、前の部分（上流の工程に関係付けられる部分）へ遡る形で行う。なお、この分割処理は、特に限定せず、他の分割処理を適用してもよい。

【 0 0 9 6 】

（ 1 ）まず、制御部 3 0 は、因果関係モデルの後ろから順に、1 つのノードに注目する。ここでは、注目ノードを変数 j で表す。ノード数を m （例えば m = 1 0 ）で表す。最初、j = m として設定される。

【 0 0 9 7 】

（ 2 ）制御部 3 0 は、注目ノード（ j = m ）からエッジを介して上流側につながっているノードを順に参照してゆく。制御部 3 0 は、注目ノードと、その注目ノードに上流側でつながっている他ノードおよびエッジとを、1 つのブロック（構造部）として定義する。

【 0 0 9 8 】

ブロック（構造部）毎に順に識別子を付ける。ここでは、ブロックとして下流の最後のブロック（処理上最初のブロック）を n とし、最も上流のブロックを 1 とする。最初、ブロック n が得られる。本例では、ブロック n は、注目ノード X m と、それよりも 1 つ前の他ノード X m - 2 , X m - 1 とを含む部分である。

10

20

30

40

50

【 0 0 9 9 】

(3) 制御部 3 0 は、因果関係モデルの後ろから前へと順に注目ノードを変更しながら、このようにブロックを定義する処理を、上流の最初のノードおよびブロックに到達するまで同様に行う。なお、注目ノードを決める際に、ブロック内に、上流側につながる他ノードが複数ある場合には、製造フローの工程順序情報等を参照、考慮して、後の工程に対応するノードの方を先に注目ノードとしてとるようにする。すなわち、ノードおよびブロックは、なるべく工程順序に沿った順序となるように設定される。

【 0 1 0 0 】

上記分割処理で得られた n 個の構造部は、製造フローの工程順序を考慮した順序を持っている。なお、上記分割処理の際、制御部 3 0 は、工程順序情報を参照する。例えば、各モニタデータのパラメータには、図 2 のように製造フロー上で関係付けられる工程や装置の情報が存在する。そのため、その情報を参照すれば、工程順序の判断が可能である。

10

【 0 1 0 1 】

[モニタデータ]

図 1 0 は、記憶部 4 0 のモニタデータ記憶部 4 1 に記憶されるモニタデータ (特に取得データ) の構成例を示す。図 1 0 のモニタデータの表は、列 (ヘッダ情報) として、製品 ID、取得時刻、温度 1、温度 2、圧力 1、圧力 2 を有する。製品 ID は、製造フローで製造される製品毎の識別子である。取得時刻は、そのモニタデータを取得した時刻である。「温度 1」～「圧力 2」は、モニタデータのパラメータ名の例である。

【 0 1 0 2 】

図 1 1 は、上記モニタデータにおけるデータ定義例を示す。図 1 1 の表では、列 (ヘッダ情報) として、モニタデータパラメータ、モニタデータ ID、種別 (第 1 フラグ)、取得フラグ (第 2 フラグ) を有する。モニタデータパラメータは、図 1 0 のパラメータ名に相当する。モニタデータ ID は、本システムの処理上で付与される一意の識別子である。「種別 (第 1 フラグ)」は、そのモニタデータに関する観測データと制御データとの種別を表す。本例では、種別の値「1」が観測データ、値「2」が制御データを表す。取得フラグ (第 2 フラグ) は、そのモニタデータに関する取得済みの取得データであるか、未取得の予測データであるかを表す。例えば、取得フラグの値「1」が取得データ、値「2」が予測データを表す。

20

【 0 1 0 3 】

図 1 2 は、上記モニタデータのうちの一種として、品質データ (検査結果データ) である場合の構成例を示す。図 1 2 の表では、列 (ヘッダ情報) として、製品 ID、モニタデータ ID、品質値、品質検査結果を有する。モニタデータ ID は、その品質データの識別子を表す。なお、例えば値「Y1」は、製造フローの最後の工程が品質検査工程である場合で、最後のモニタデータ ID (例えば X 3 0 5) と同じである場合を示す。品質値は、品質検査工程で得られた製品の製造品質を表す値である。品質検査結果は、品質検査工程で品質値に基づいて所定の判定 (例えば閾値との比較判定) で得られた値である。例えば、品質値が目標値 (例えば 0 . 9 0) 以上の場合には品質検査結果の値が「良」、未満の場合には「不良」とされる場合を示す。品質値の一例としては、歩留まり値が挙げられる。

30

【 0 1 0 4 】

[因果関係モデルデータ]

図 1 3 は、因果関係モデル記憶部 4 3 に記憶される因果関係モデルデータの構成例を示す。図 1 3 の上側に示すように、因果関係モデルは、表の形式で表すことができる。表の行および列には、各ノードに対応する各モニタデータのパラメータ (本例では「温度 1」～「圧力 2」、および品質データの品質値) が並べられている。行列の交差するセル部分には、行のノードと列のノードとの因果関係 (エッジによる接続関係) を表す値が格納されている。この値は、2 値であり、ノード間が非接続 (すなわち因果関係が無い) の場合には値「0」、ノード間が接続 (すなわち因果関係が有る、エッジ有り) の場合には値「1」が設定される。図 1 3 の下側には、わかりやすいように、上側の表の例をネットワーク構造として表した場合を示す。因果関係モデル記憶部 4 3 には上側の表が格納されており

40

50

、画面表示の際には、表からの変換によって下側のようなネットワーク構造が表示可能である。

【 0 1 0 5 】

[効果等]

上記のように、実施の形態の因果関係モデル構築システムによれば、製造支援に係わる因果関係モデルの予測精度を向上でき、その結果として製造品質等を向上することができる。本システムによれば、複数の工程から成る製造フローの場合でも、モニタデータ許容範囲を用いて、工程毎に好適に制御し、検査結果の製造品質を向上することができる。また、本システムによれば、因果関係モデルの特定の一部分をより高精度のモデルに変換し、更新後のモデルを用いて、より好適な制御が可能である。

10

【 0 1 0 6 】

本システムは、計算したモニタデータ許容範囲を含む情報を出力することができる。この情報の製造現場での利用の仕方としては、各種可能であるが、例えば以下が挙げられる。

(1) 本システムは、S E 等の人に、許容範囲等の情報を出力する。S E 等の人は、その許容範囲等を見て、その許容範囲から選択した制御値等を、製造時に使用する。(2) 本システムは、推奨制御値を計算し、許容範囲および推奨制御値等の情報を、S E 等の人に出力する。S E 等の人は、その情報を見て、例えばその推奨制御値をそのまま製造時に使用する。(3) 本システムは、推奨制御値を計算し、許容範囲および推奨制御値等の情報を、S E 等の人に出力する。それと共に、本システムは、通信を介して、その推奨制御値等を、製造時に使用するように、自動的に工程の製造装置等に設定する。

20

【 0 1 0 7 】

(変形例)

実施の形態の因果関係モデル構築システムの変形例として、以下が挙げられる。まず、前述の実施の形態では、モニタデータ許容範囲の特定に基づいて低精度部分の予測モデル変換まで自動的に行う機能を備える形態としたが、これに限らず可能である。変形例として、モニタデータ許容範囲の特定および画面表示までを行う機能を備える形態としてもよい。また、モデルの低精度部分の特定および画面表示までを行う機能を備える形態としてもよい。

【 0 1 0 8 】

前述の実施の形態のシステムは、主に、因果関係モデルについて知識があるS E 等の人向けに提供されている。S E 等のユーザは、上記システムの画面で得られた、モニタデータ許容範囲(制御データの推奨制御値や観測データ許容範囲)、あるいは低精度部分の変換後予測モデルを用いて得られたモニタデータ許容範囲を用いて、製造現場への反映が可能である。モニタデータには、製造フローの工程や装置の情報が関係付けられている。よって、その製造フローの情報を参照することで、どの工程や製造装置の制御データ等を制御すれば製造品質を高くできるかがわかる。これに限らず、変形例のシステムでは、製造業者向けに、モニタデータ許容範囲や変換後予測モデルに関する情報を提供してもよい。例えば、変形例のシステムでは、得られたモニタデータ許容範囲や低精度部分(モデル構造部)の情報から、前提の製造フロー情報に基づいて、関係付けられる工程、製造装置やセンサの情報に変換する。製造フロー情報についても、記憶部40内に格納、管理してもよい。これにより、製造現場の人も、どの工程や製造装置の制御データ等をどのような範囲や値に制御すれば製造品質を高くできるかがわかりやすい。

30

40

【 0 1 0 9 】

また、最初に因果関係モデルを構築するにあたり、どのようなモニタデータ(パラメータ)を用いるかについては、ユーザ(S E 等の人)が最初に設定する。その設定に基づいて、製造実行に応じて取得されるモニタデータを用いて、制御部30が自動的に因果関係モデルを構築する。しかしながら、仮に、ユーザによるそのモニタデータ(パラメータ)の選定の仕方が良くなかった場合には、因果関係モデルから算出されるモニタデータ許容範囲等についても、精度が低くなる可能性がある。そこで、変形例のシステムとしては、後でモニタデータの選定を改善できるように、上記のように、モニタデータに関係付けられ

50

る工程や装置の情報を画面に表示する。ユーザは、画面で、工程や装置のパラメータの選定を変更し、その状態で名前を付けて設定を保存し、その設定で因果関係モデル構築等を指示する。その設定の結果得られたデータを、名前を付けて保存する。これにより、ユーザは、パラメータの選定に応じた結果が確認でき、なるべく精度を高めるように、パラメータ選定に応じた複数の結果を比較検討することもできる。

【 0 1 1 0 】

以上、本発明を実施の形態に基づいて具体的に説明したが、本発明は前述の実施の形態に限定されず、その要旨を逸脱しない範囲で種々変更可能である。本発明におけるモデル構築は、製造分野に限らず、他の分野（例えば販売、マーケティング）にも同様に適用可能である。

【符号の説明】

【 0 1 1 1 】

1 ... 計算機、 1 1 ... 入出力部、 1 2 ... 通信部、 2 0 ... 表示部、 3 0 ... 制御部、 4 0 ... 記憶部、 2 1 0 ... 因果関係モデル表示、 2 2 0 ... モニタデータ許容範囲表示、 2 3 0 ... 予測モデル変換表示。

10

20

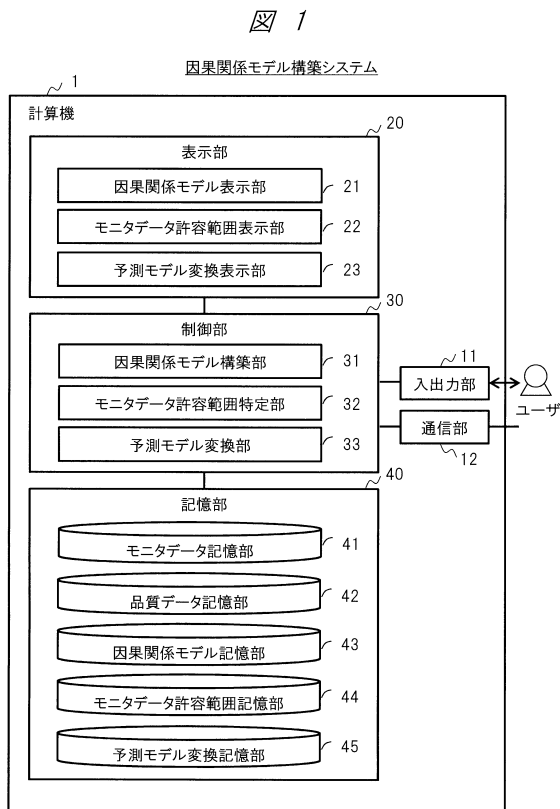
30

40

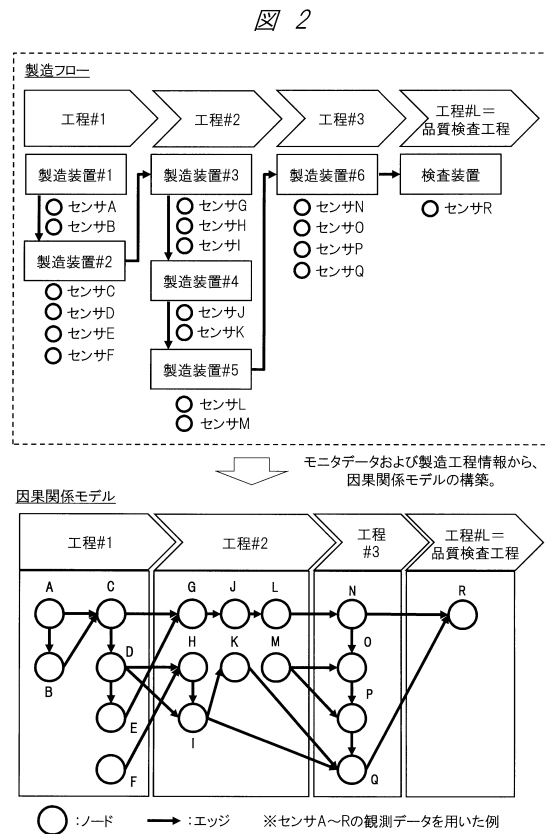
50

【図面】

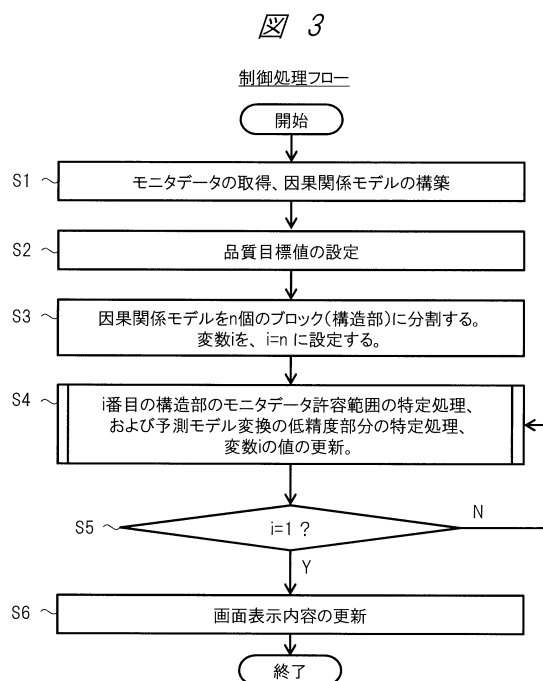
【図 1】



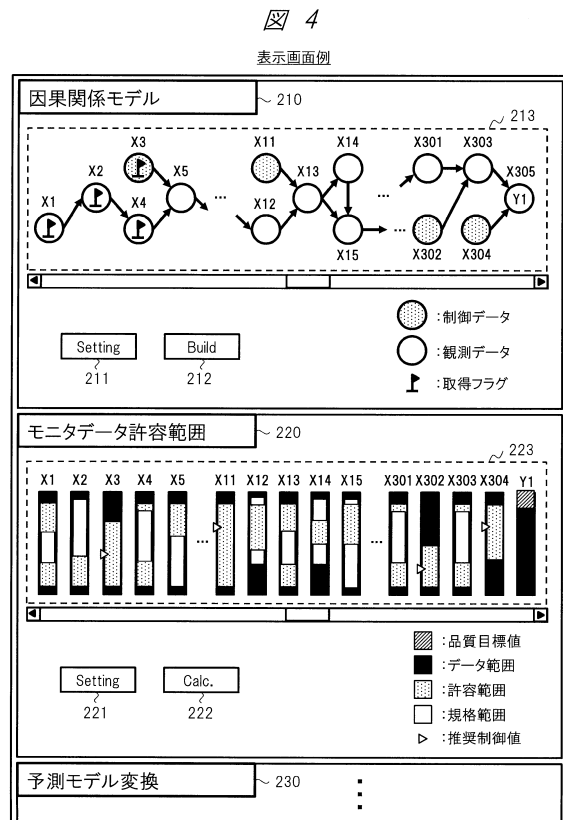
【図 2】



【図 3】



【図 4】



10

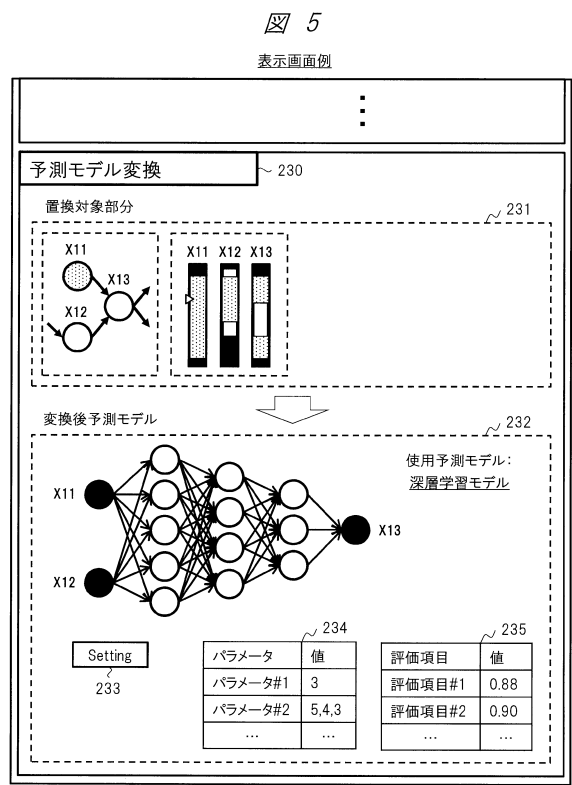
20

30

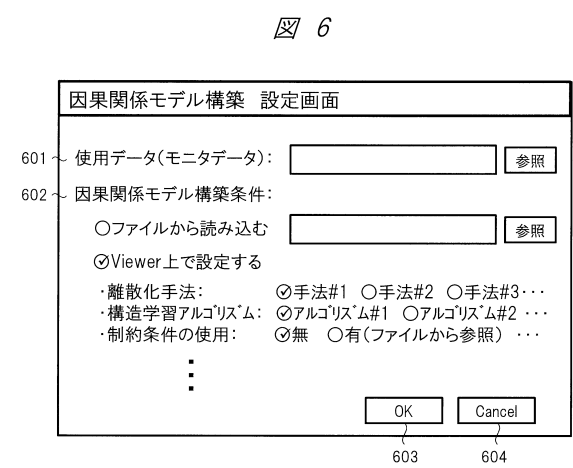
40

50

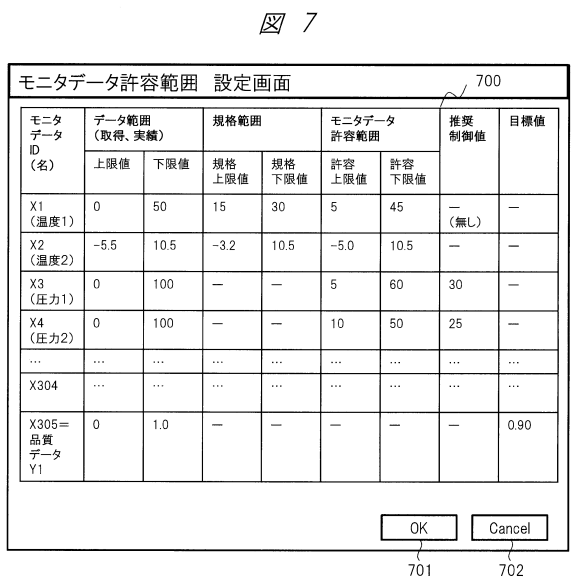
【図 5】



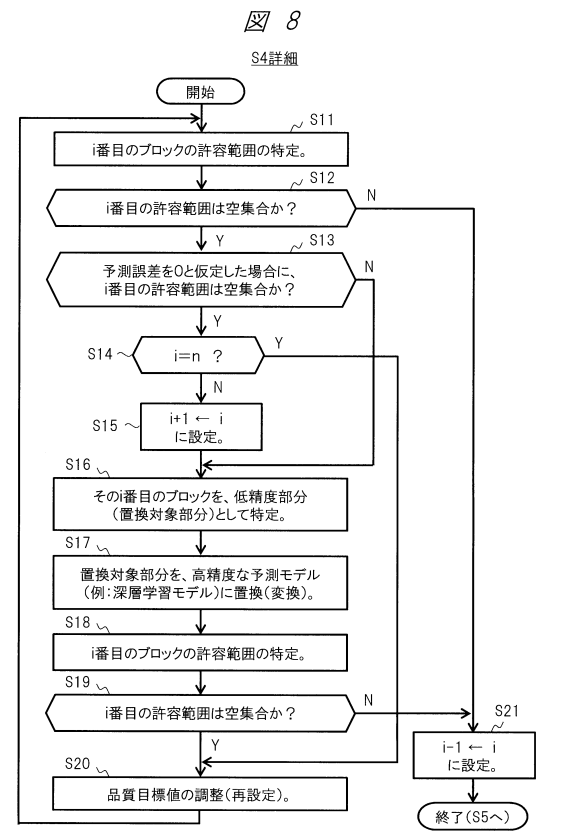
【図 6】



【図 7】



【図 8】



10

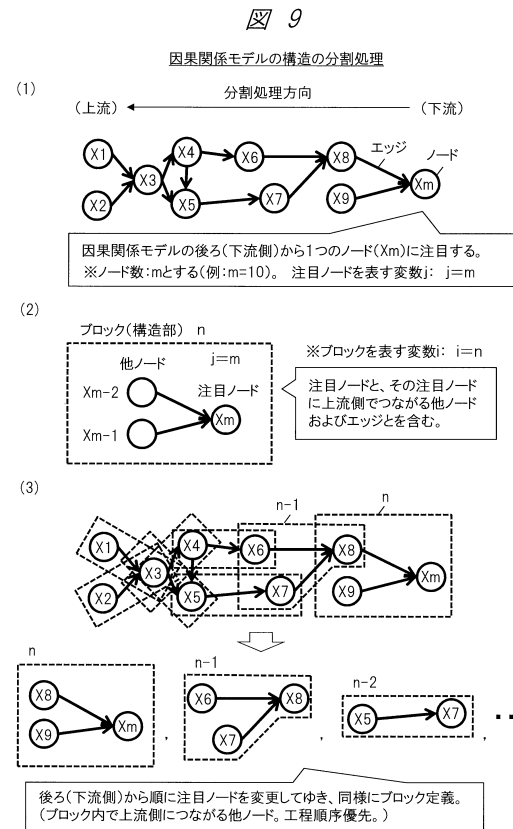
20

30

40

50

【図 9】



【図 10】

図 10

モニタデータ (取得データ)

製品ID	取得時刻	温度1	温度2	圧力1	圧力2
A201000	2016/12/12/14:03	80.3	85.3	1.43	1.54
A201000	2016/12/12/14:04	80.6	85.1	1.45	1.63
A201001	2016/12/12/14:21	79.3	80.3	1.66	1.66
A201001	2016/12/12/14:22	70.3	73.3	1.56	1.57
A201002	2016/12/12/14:53	74.4	76.6	1.62	1.69
A201002	2016/12/12/14:55	80.4	82.2	1.55	1.60
...

10

20

【図 11】

図 11

モニタデータ 定義例

モニタデータ パラメータ	モニタデータID	種別(第1フラグ) ・観測データ:1 ・制御データ:2	取得フラグ(第2フラグ) ・取得データ:1 ・予測データ:2
温度1	X1	2	1
温度2	X2	2	1
圧力1	X3	1	1
圧力2	X4	1	1
...

【図 12】

図 12

モニタデータ 検査結果データ(品質データ)

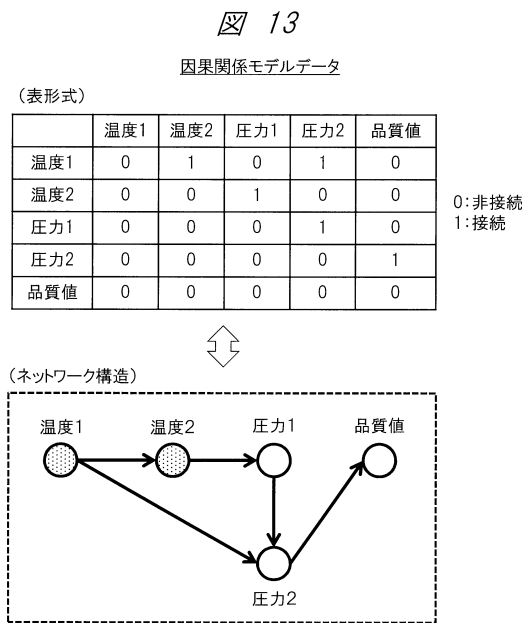
製品ID	モニタデータID	品質値	品質検査結果
A201000	Y1(=X305)	0.90	良
A201001	Y2	0.95	良
A201002	Y3	0.50	不良
...

30

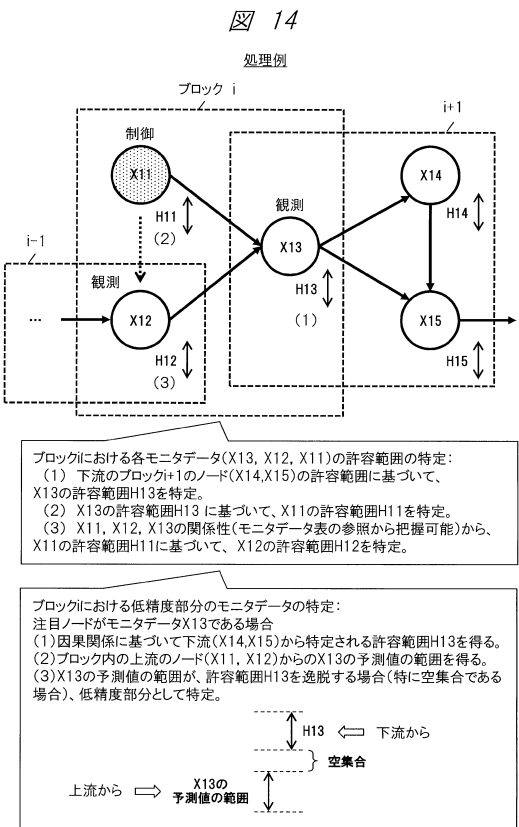
40

50

【図 13】



【図 14】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

(56)参考文献 特開 2 0 0 4 - 1 8 6 4 4 5 (J P , A)
(58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)
G 0 5 B 2 3 / 0 2