

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6723946号  
(P6723946)

(45) 発行日 令和2年7月15日(2020.7.15)

(24) 登録日 令和2年6月26日(2020.6.26)

(51) Int.Cl. F I  
G06Q 10/04 (2012.01) G06Q 10/04

請求項の数 13 (全 27 頁)

(21) 出願番号	特願2017-52115 (P2017-52115)	(73) 特許権者	000005108
(22) 出願日	平成29年3月17日 (2017.3.17)		株式会社日立製作所
(65) 公開番号	特開2018-156346 (P2018-156346A)		東京都千代田区丸の内一丁目6番6号
(43) 公開日	平成30年10月4日 (2018.10.4)	(74) 代理人	110000176
審査請求日	令和1年5月13日 (2019.5.13)		一色国際特許業務法人
		(72) 発明者	高柳 泰介
			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	矢野 浩仁
			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	岡田 健一郎
			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】 業務改善支援装置および業務改善支援方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

所定の業務データに基づいて当該業務データの間の因果構造モデルを推定する装置であって、

前記業務データに関して非線形値を計算し、当該非線形値を前記業務データに追加する非線形項追加部と、前記業務データそれぞれに関する回帰式を線形重回帰により算出する重回帰分析部と、前記算出した回帰式において線形項の有無を判定し、当該線形項を構成する所定データと回帰式の目的変数とを同一のグループに設定するデータグループ設定部と、前記所定データを除く業務データを、線形重回帰分析の説明変数候補として選別する説明変数候補選別部と、を備えるものであることを特徴とする業務改善支援装置。

10

【請求項2】

前記推定された因果構造モデルを表示するユーザインターフェイスにおいて、前記業務データそれぞれに対し、前記同一のグループに属する業務データの情報を表示するグループ情報表示部を備えるものであることを特徴とする請求項1に記載の業務改善支援装置。

【請求項3】

前記業務データの1つ以上の組合せに関して相関係数を計算する相関係数計算部を更に備え、前記データグループ設定部は、前記計算した相関係数が予め設定した閾値を超える業務データ同士を同一のグループに設定し、前記説明変数候補選別部は、前記線形重回帰分析の説明変数候補として、前記相関係数が予め設定した閾値を超える業務データ同士を含むグループそれぞれから任意の業務データを1つずつ選別するものであり、

20

前記ユーザインターフェイスの前記グループ情報表示部は、前記業務データそれぞれに対し、前記同一のグループに属する業務データの情報を表示するものである、

ことを特徴とする請求項 2 に記載の業務改善支援装置。

【請求項 4】

前記業務データの各間について、当該業務データ間の距離を設定するデータ距離設定部を更に備え、前記説明変数候補選別部は、目的変数よりも長い距離を備える業務データを、前記線形重回帰分析の説明変数候補として選別するものである、

ことを特徴とする請求項 2 に記載の業務改善支援装置。

【請求項 5】

前記データ距離設定部は、前記業務データの各間の距離を、前記業務データのデータテーブル構造に基づいて決定するものであることを特徴とする請求項 4 に記載の業務改善支援装置。

10

【請求項 6】

前記データ距離設定部は、互いに類似または同一のグループと判断されるキーワード群を当該グループ毎に記述した類似語表と、前記業務データの名称に前記類似語表に記載のキーワードが含まれるか判定するキーワード判定部と、前記判定により前記業務データに含まれることが判明した前記キーワードの所属テーブル毎に当該業務データを分類するデータ分類部とを備え、前記分類の結果に基づいて業務データの各間の距離を決定するものである、

ことを特徴とする請求項 4 に記載の業務改善支援装置。

20

【請求項 7】

前記グループ情報表示部は、前記業務データそれぞれに対し、前記同一のグループに属する業務データの情報を表示し、前記選別した 1 つの業務データに代えて、当該グループに属する他の業務データを前記選別の対象とするユーザ指示を受け付けるものであることを特徴とする請求項 3 に記載の業務改善支援装置。

【請求項 8】

前記グループ情報表示部は、前記業務データそれぞれに対し、前記同一のグループに属する業務データの情報を表示するに際し、因果構造モデルにおける、前記選別した 1 つの業務データに対応したノードと、当該グループに属する他の業務データに対応したノードとを、合わせて表示するものであることを特徴とする請求項 7 に記載の業務改善支援装置

30

【請求項 9】

前記グループ情報表示部は、前記業務データそれぞれに対し、前記同一のグループに属する業務データの情報を表示するに際し、前記ユーザインターフェイスにおける所定の指示手段が、前記選別した 1 つの業務データに対応したノードと所定距離範囲に接近した場合に、当該グループに属する他の業務データに対応したノードを表示するものであることを特徴とする請求項 8 に記載の業務改善支援装置。

【請求項 10】

前記グループ情報表示部は、前記業務データそれぞれに対し、前記同一のグループに属する業務データの情報を表示するに際し、因果構造モデルにおける、前記選別した 1 つの業務データに対応したノードと、当該グループに属する他の業務データに対応したノードとを、合わせて表示し、前記他の業務データに対応したノードを、前記選別した 1 つの業務データに対応したノードの表示位置に移動させるユーザ指示を受け、前記 1 つの業務データに対応したノードを前記他の業務データに対応したノードから離間させるユーザ指示を受け付けた場合、前記選別した 1 つの業務データに代えて前記他の業務データを前記選別の対象とするものであることを特徴とする請求項 7 に記載の業務改善支援装置。

40

【請求項 11】

前記グループ情報表示部は、ユーザ指示を受けた所定の業務データに関して、因果構造モデルにおいてエッジで直接結ばれた他の業務データに対応したノードを所定形態で表示するものであることを特徴とする請求項 3 に記載の業務改善支援装置。

50

## 【請求項 1 2】

前記グループ情報表示部は、前記推定された因果構造モデルを表示するに際し、当該因果構造モデルにおける各業務データに対応したノードの間に、対応する業務データの間に  
関する回帰式の情報を示すノードを更に配置するものであることを特徴とする請求項 2 に  
記載の業務改善支援装置。

## 【請求項 1 3】

所定の業務データに基づいて当該業務データの間の因果構造モデルを推定する業務改善  
支援装置が、

前記業務データに関して非線形値を計算し、当該非線形値を前記業務データに追加する  
処理と、前記業務データそれぞれに関する回帰式を線形重回帰により算出する処理と、

前記算出した回帰式において線形項の有無を判定し、当該線形項を構成する所定データ  
と回帰式の目的変数とを同一のグループに設定する処理と、

前記所定データを除く業務データを、線形重回帰分析の説明変数候補として選別する処  
理と、

を実行することを特徴とする業務改善支援方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、業務改善支援装置および業務改善支援方法に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

鉄道、上下水道、都市交通といった社会インフラの業務管理システムは、複数のサブシ  
ステムで構成される。例えば、鉄道の業務管理システムは 100 以上のサブシステムで構  
成されている（非特許文献 1 参照）。

## 【0003】

こうした社会インフラには、継続的な業務改善が求められる。例えば、鉄道の保守に着  
目すると、設備の老朽化に伴って保守費用が増加傾向にある一方で、人口減少による輸送  
収入の減少が予想されている。そのため、輸送の安全性を損なうことなく保守費用を低減  
する、業務改善の施策立案が求められている。

## 【0004】

業務改善の施策立案には、各サブシステムが蓄積した業務データを統合、分析し、K P  
I（鉄道の保守を例にすれば、保守費などが該当）改善のキーとなる業務を抽出する必要  
がある。この K P I 改善のキーとなる業務の抽出には、業務データ間の因果関係を有指向  
グラフで表現した因果構造モデル（因果図）が有用である。

## 【0005】

この因果構造モデルを用いると、ある業務に対して改善施策を投じた際の、K P I の変  
化を定量的にシミュレーション可能となる（非特許文献 2 参照）。従って、K P I 改善の  
キーとなる業務の抽出や、適切な改善施策の立案が可能となる。

## 【0006】

なお、多量のデータから上述の因果構造モデルを推定する際には、線形重回帰分析が用  
いられる事が多い。線形重回帰分析では、K P I に相当するデータ Y を目的変数、その他  
のデータ X 1、X 2、・・・X n を説明変数とすることで、Y の回帰式が算出される。因果  
構造モデルの推定では、更に回帰式に含まれる説明変数を新たな目的変数とし、重回帰分  
析を逐次的に繰り返すことで、データ全体の因果構造モデルが推定される。

## 【0007】

上述の線形重回帰分析は、Y と X 1、X 2、・・・X n との相関関係を定量的に分析す  
る手法であり、本来、因果関係の自動推定は困難である。なぜなら、線形重回帰分析では  
、目的変数 Y の回帰式は説明変数の線形結合で表わされるためである。

## 【0008】

例えば、ある業務データ Y が、別のデータ X と以下の因果関係を持っていたとする。こ

10

20

30

40

50

ここで、 $a$  は定数である。

【0009】

$$Y = a \cdot X$$

上述の式において、右辺の $X$ が原因、左辺の $Y$ が結果を示す。ところが、データ $X$ を目的変数とすれば、線形重回帰分析では以下の式が同様に導出される。

【0010】

$$X = a^{-1} \cdot Y$$

従って、重回帰分析では目的変数をどう選択するかによって、因果関係が逆転しうる。目的変数の設定には、作業者の知見が求められる。

【0011】

このような課題に対し、従来技術においては、生産ラインの工程順序といった時間先行性情報を新たに利用することで、データ間の前後関係を明らかにし、線形重回帰に基づくデータ分析においても、因果関係の自動推定を可能としている（特許文献1参照）。

【0012】

また、線形重回帰分析によって導出される回帰式の精度向上に関する従来技術も開示されている（特許文献2参照）。線形重回帰分析において、 $Y$ の回帰式は $X_1$ 、 $X_2$ 、 $\dots$ 、 $X_n$ の線形結合で導出される。従って、各データが時系列情報を持ち、 $Y$ の真の回帰式が $X_1$ 、 $X_2$ 、 $\dots$ 、 $X_n$ の時間微分を含む場合には、正確な回帰式の導出は困難となる。こうした従来技術では、説明変数の時間微分をデータに基づいて計算し、新たに説明変数として加えることで、線形重回帰に基づくデータ分析においても、時間微分項を含む回帰式の導出を可能としている。

【0013】

また、データが多重共線性を持つ場合の、線形重回帰に関する従来技術も開示されている（特許文献3参照）。線形重回帰分析では、説明変数が多重共線性を持つ場合、当該説明変数同士を区別できず、正しく回帰式を導出できない。従来技術では、事前に説明変数間で単回帰分析を実施し、相関係数が一定以上の値となるデータ同士をグループ化する。各グループの中からデータを1つだけ選択し説明変数に加えることで、データが多重共線性を持つ場合でも線形重回帰に基づくデータ分析を可能としている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0014】

【特許文献1】特開2006-65598号公報

【特許文献2】特開2016-31714号公報

【特許文献3】特開平5-233011号公報

【非特許文献】

【0015】

【非特許文献1】Rail Safety and Standards Board, "The Railway Technical Strategy 2012", Rail Safety and Standards Board, Tech. Rep., 2012. [Online]. Available: <http://future.railway.org/RTS/>

【非特許文献2】J. W. Forrester, "Industrial Dynamics", MIT Press, (1961)

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0016】

社会インフラの業務データを分析するに際し、当該業務データの間の時間先行性、順序関係が必ずしも明確にされているとは限らない。従って、線形重回帰を用いたデータ分析では、従来技術（例：特許文献1に示す手法）を適用しても、因果関係の自動推定は困難との課題がある。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 1 7 】

また、上述の業務データの分析に際し、あるデータYを目的変数、その他のデータX<sub>1</sub>、X<sub>2</sub>、・・・X<sub>n</sub>を説明変数としたとき、Yの回帰式が説明変数に対し多様な非線形性を示す事が多い。非線形性の例としては、説明変数の時間微分に加えて、時間積分がある。また、説明変数の2乗、説明変数同士の積が代表的である。一方、説明変数の平方根に関しては、経験的にほとんど見られない。このような場合、線形重回帰を用いたデータ分析では、従来技術（例：特許文献2に示す手法）を適用しても、正確な回帰式の推定は困難と考えられる。

## 【 0 0 1 8 】

また、互いに多重共線性を示すデータ群の中から、分析に使用すべきデータを自動的に選択する事は困難である。どの変数を選択すべきかは、一般的に、作業者の知見や判断を必要とする。従って、従来技術（例：特許文献3に示す手法）を適用した場合でも、正確な因果構造モデルを自動推定することは困難との課題がある。

10

## 【 0 0 1 9 】

そこで本発明の目的は、所定データ間の因果関係に関し、当該データ間の非線形性を考慮して高精度且つ容易に推定可能とする技術を提供する事にある。

## 【課題を解決するための手段】

## 【 0 0 2 0 】

上記課題を解決する本発明の業務改善支援装置は、所定の業務データに基づいて当該業務データの間の因果構造モデルを推定する装置であって、前記業務データに関して非線形値を計算し、当該非線形値を前記業務データに追加する非線形項追加部と、前記業務データそれぞれに関する回帰式を線形重回帰により算出する重回帰分析部と、前記算出した回帰式において線形項の有無を判定し、当該線形項を構成する所定データと回帰式の目的変数とを同一のグループに設定するデータグループ設定部と、前記所定データを除く業務データを、線形重回帰分析の説明変数候補として選別する説明変数候補選別部と、を備えるものであることを特徴とする。

20

## 【 0 0 2 1 】

また、本発明の業務改善支援方法は、所定の業務データに基づいて当該業務データの間の因果構造モデルを推定する業務改善支援装置が、前記業務データに関して非線形値を計算し、当該非線形値を前記業務データに追加する処理と、前記業務データそれぞれに関する回帰式を線形重回帰により算出する処理と、前記算出した回帰式において線形項の有無を判定し、当該線形項を構成する所定データと回帰式の目的変数とを同一のグループに設定する処理と、前記所定データを除く業務データを、線形重回帰分析の説明変数候補として選別する処理と、を実行することを特徴とする。

30

## 【発明の効果】

## 【 0 0 2 2 】

本発明によれば、所定データ間の因果関係に関し、当該データ間の非線形性を考慮して高精度且つ容易に推定可能となる。

## 【図面の簡単な説明】

## 【 0 0 2 3 】

40

【図1A】第1実施例における業務改善支援装置の構成を示す図である。

【図1B】第1実施例における業務データ群の構成例を示す図である。

【図1C】第1実施例における機能部の構成例を示す図である。

【図2】第1実施例における業務改善支援方法のフロー例1を示す図である。

【図3】多重共線性を備えたデータをグループ化し、説明変数候補を自動選択する方法を示す説明図である。

【図4】第1実施例における業務改善支援方法のフロー例2を示す図である。

【図5】第1実施例における因果構造モデルの表示画面例1を示す図である。

【図6】第1実施例における因果構造モデルの表示画面例2を示す図である。

【図7】第1実施例における因果構造モデルの表示画面例3を示す図である。

50

【図 8】第 1 実施例における因果構造モデルでのユーザ操作例 1 を示す図である。  
 【図 9】第 1 実施例における因果構造モデルでのユーザ操作例 2 を示す図である。  
 【図 10】第 1 実施例における因果構造モデルでのユーザ操作例 3 を示す図である。  
 【図 11A】第 1 実施例における因果構造モデルの表示形態例 1 を示す図である。  
 【図 11B】第 1 実施例における因果構造モデルの表示形態例 2 を示す図である。  
 【図 11C】第 1 実施例における因果構造モデルの表示形態例 3 を示す図である。  
 【図 12】第 2 実施例におけるデータ距離の定義方法を示す説明図である。  
 【図 13】第 3 実施例における類似語表登録画面の表示例を示す図である。  
 【発明を実施するための形態】

【0024】

10

- - - 第 1 実施例 - - -

以下に本発明の実施形態について図面を用いて詳細に説明する。図 1 A は、本実施形態の業務改善支援装置 100 を含むネットワーク構成図である。図 1 に示す業務改善支援装置 100 は、所定データ間の因果関係に関し、当該データ間の非線形性を考慮して高精度且つ容易に推定可能とするコンピュータ装置である。

【0025】

図 1 A に例示する業務改善支援装置 100 は、所定のネットワーク 1 を介して、業務データ 5 を蓄積したデータベース（以下、業務管理システム）20 と通信可能に接続されている。この業務管理システム 20 は、複数のサブシステム 30 を備えた社会インフラシステムにおける業務データ 4 を収集し、業務データ群 5 として管理するものである。第 1 実施例における業務データ群 5 とこれを構成する業務データ 4 の例を図 1 B に示す。図示するように、業務データ群 5 は、各サブシステム 30 から得た複数種類の業務データ 4 の集合体となっている。

20

【0026】

当該業務管理システム 20 は、各サブシステム 30 と接続して、各サブシステム 30 にて保持されている業務データ 4 を収集、記録することとなる。なお、業務改善支援装置 100 が、上述の業務管理システム 20 の構成、機能も含むとしてもよい。

【0027】

なお、業務改善支援装置 100 は、SSD やハードディスクドライブや或いはメモリなどで構成される記憶デバイス 101、この記憶デバイス 101 からプログラム 102 を読み出して実行する CPU 等のプロセッサ 103、プロセッサ 103 での処理結果を表示するディスプレイ等の表示装置 104、ユーザからの指示を受け付けるキーボードやマウス等の入力インターフェイス 105、および、上述のネットワーク 1 にアクセスして通信処理を実行する通信装置 106、を含むハードウェア構成となっている。なお、これらはバス等の内部配線によって相互に接続されているものとする。

30

【0028】

また、上述の業務改善支援装置 100 は、そのプログラム 102 をプロセッサ 103 において実行することで、図 1 C に示す各機能部を実装することとなる。業務改善支援装置 100 が実装する機能部のうち、情報取得部 110 は、入力インターフェイス 105 で受けた操作者からの指示に応じて、業務データ群 5 を業務管理システム 20 から取得し、全ての業務データ 4 の一覧情報を表示装置 104 で表示させると共に、当該一覧情報に示された各業務データ 4 の中から、KPI データたる 1 つの業務データ 4 に関する操作者の選択を受けて、当該 KPI データと関連性のある業務データを、所定のアルゴリズムで自動抽出し、記憶デバイス 101 に保存するものである。

40

【0029】

また、非線形項追加部 111 は、業務管理システム 20 から得た業務データ群 5 における各業務データに関して、その非線形値を計算し、当該非線形値を、上述の業務データ群 5 に追加するものである。ここで言う業務データ群 5 は、各サブシステム 30 から得られる各種の業務データ 4 の集合体である。

【0030】

50

また、重回帰分析部 1 1 2 は、業務データ群 5 が含む業務データ 4 それぞれに関する回帰式を線形重回帰により算出するものである。この算出の具体的内容については後述する。

【 0 0 3 1 】

また、データグループ設定部 1 1 3 は、上述の重回帰分析部 1 1 2 が算出した回帰式において線形項の有無を判定し、当該線形項を構成する所定データと回帰式の目的変数とを同一のグループに設定するものである。

【 0 0 3 2 】

また、説明変数候補選別部 1 1 4 は、データグループ設定部 1 1 3 で取り扱った上述の所定データを除く業務データ 4 を、線形重回帰分析の説明変数候補として選別するものである。

10

【 0 0 3 3 】

また、相関係数計算部 1 1 5 は、上述の業務データ 4 の 1 つ以上の組合せに関して相関係数を計算するものである。この場合、データグループ設定部 1 1 3 は、相関係数計算部 1 1 5 にて計算した相関係数が予め設定した閾値を超える業務データ同士を同一のグループに設定することとなる。また、説明変数候補選別部 1 1 4 は、線形重回帰分析の説明変数候補として、上述の相関係数が予め設定した閾値を超える業務データ同士を含むグループそれぞれから任意の業務データ 4 を 1 つずつ選別することとなる。

【 0 0 3 4 】

また、データ距離設定部 1 1 6 は、業務データ 4 の各間について、当該業務データ間の距離を設定するものである。この場合、説明変数候補選別部 1 1 4 は、目的変数よりも長い距離を備える業務データ 4 を、線形重回帰分析の説明変数候補として選別することとなる。なお、データ距離設定部 1 1 6 は、業務データ 4 の各間の距離を、各種の業務データ 4 それぞれの ER 図などデータテーブルの構造に基づいて決定するとしてよい。

20

【 0 0 3 5 】

また、データ距離設定部 1 1 6 は、互いに類似または同一のグループと判断されるキーワード群を当該グループ毎に記述した類似語表 1 1 6 1 を備えるとしてもよい。この場合のデータ距離設定部 1 1 6 は、業務データ 4 の名称に類似語表 1 1 6 1 に記載のキーワードが含まれるか判定するキーワード判定部 1 1 6 2 と、この判定により業務データ 4 に含まれることが判明したキーワードの所属テーブル毎に当該業務データ 4 を分類するデータ

30

【 0 0 3 6 】

また、グループ情報表示部 1 1 7 は、推定した因果構造モデルを表示装置 1 0 4 にて表示するユーザインターフェイスにおいて、業務データ 4 それぞれに対し、上述のデータグループ設定部 1 1 3 により設定された同一のグループに属する業務データ 4 の情報を表示するものである。

【 0 0 3 7 】

なお、上述のグループ情報表示部 1 1 7 は、業務データ 4 それぞれに対し、上述の同一のグループに属する業務データ 4 の情報を表示し、選別した 1 つの業務データ 4 に代えて、当該グループに属する他の業務データ 4 を、選別対象とするユーザ指示を受け付けるものとすれば好適である。

40

【 0 0 3 8 】

また、上述のグループ情報表示部 1 1 7 は、業務データ 4 それぞれに対し、上述の同一のグループに属する業務データ 4 の情報を表示するに際し、因果構造モデルにおける、選別した 1 つの業務データ 4 に対応したノードと、当該グループに属する他の業務データ 4 に対応したノードとを、合わせて表示するとしても好適である。

【 0 0 3 9 】

また、上述のグループ情報表示部 1 1 7 は、業務データ 4 それぞれに対し、上述の同一のグループに属する業務データ 4 の情報を表示するに際し、表示装置 1 0 4 で出力したユ

50

ーザインターフェイスにおける所定の指示手段（例：カーソル等）が、上述の選別した1つの業務データ4に対応したノードと所定距離範囲に接近した場合に、当該グループに属する他の業務データ4に対応したノードを表示するとしても好適である。

【0040】

また、上述のグループ情報表示部117は、業務データ4それぞれに対し、上述の同一のグループに属する業務データ4の情報を表示するに際し、因果構造モデルにおける、上述の選別した1つの業務データ4に対応したノードと、当該グループに属する他の業務データ4に対応したノードとを、合わせて表示し、上述の他の業務データ4に対応したノードを、上述の選別した1つの業務データ4に対応したノードの表示位置に移動させるユーザ指示を受け、上述の1つの業務データ4に対応したノードを上述の他の業務データ4に対応したノードから離間させるユーザ指示を受け付けた場合、上述の選別した1つの業務データに代えて上述の他の業務データ4を選別対象とするとしても好適である。

10

【0041】

また、上述のグループ情報表示部117は、ユーザ指示を受けた所定の業務データ4に関して、因果構造モデルにおいてエッジで直接結ばれた他の業務データ4に対応したノードを所定形態で表示するとしても好適である。

【0042】

また、上述のグループ情報表示部117は、推定された因果構造モデルを表示するに際し、当該因果構造モデルにおける各業務データ4に対応したノードの間に、対応する業務データ4の間に関する回帰式の情報を示すノードを更に配置するとしても好適である。

20

【0043】

以下、第1実施例における業務改善支援方法の実際手順について図に基づき説明する。以下で説明する業務改善支援方法に対応する各種動作は、上述の業務改善支援装置100が実行するプログラム102によって実現される。そして、このプログラム102は、以下に説明される各種の動作を行うためのコードから構成されている。

【0044】

図2は、本実施形態における業務改善支援方法のフロー例1を示す図である。ここでは、因果構造モデルの自動推定に関する一連のフローについて示し、本発明の第1実施例における業務改善支援装置100の処理を説明するものとする。

【0045】

30

この場合、業務改善支援装置100の操作者は、業務改善支援装置100における所定プログラムを起動し、業務データ群5における各業務データ4の間の因果関係を分析し、所定KPIの改善に資するキー業務の抽出と、適切な業務改善施策の立案を図ろうとしている。この時、業務改善支援装置100の情報取得部110は、所定画面を表示装置104に表示させているものとする。

【0046】

一方、当該操作者は、上述の画面を表示装置104で閲覧し、入力インターフェイス105を操作して当該画面上の所定ボタンを押下し、全ての業務データ4の一覧を表示させたとする。業務改善支援装置100の情報取得部110は、上述の押下に応じて、業務データ群5を業務管理システム20から取得し、全ての業務データ4の一覧情報を表示装置104で表示させる（ステップ201）。

40

【0047】

上述の操作者は、表示装置104にて業務データ4の一覧情報を閲覧し、入力インターフェイス105を操作して、当該一覧情報に示された各業務データ4の中から、KPI（鉄道保守を例にすれば、保守費など）となるもの（以下、KPIデータ）を1つ選択する。

【0048】

この時、業務改善支援装置100の情報取得部110は、上述の操作者によるKPIデータの選択内容を受け付ける（ステップ202）。

【0049】

50

上述のように、操作者によるKPIデータの選択を受け付けた業務改善支援装置100の情報取得部110は、ステップ201で得ている全ての業務データ4から、KPIデータと関連性のある業務データ(以下、関連データ)を、所定のアルゴリズムで自動抽出し、記憶デバイス101に保存する(ステップ203)。なお、情報取得部110は、上述で自動抽出した関連データを、後述の分析に適したデータ形式に修正、加工するとしてもよい。

【0050】

ここで、関連性のある業務データすなわち関連データとは、例えば、同一のテーブル(例:保線費用の業務データを格納したテーブル)に記録された業務データ4を想定できる。また、異なるテーブル(例:保線費用の業務データを格納したテーブルと、作業員数の業務データを格納したテーブル)であっても、共通キー(例えば、データ取得日時など)を含むテーブルに記録された業務データ4も想定できる。また、複数のサブシステム30を備えた社会インフラシステムにおいては、同一のサブシステム30で得られた業務データ4も想定できる。

10

【0051】

この第1実施例では、 $n$ 個の関連データ( $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_3$ 、 $\dots$ 、 $X_n$ )が業務管理システム20から抽出されたと仮定する。こうした関連データが記憶デバイス101に保存されると、業務改善支援装置100の非線形項追加部111は、当該関連データに関して非線形値 $X'$ を計算する(ステップ204)。ここでは、非線形値の一例として以下に示すデータの二乗を考える。

20

$$X' = X_i \times X_i \quad (1 \leq i \leq n)$$

- - - - - (式1)

【0052】

非線形項追加部111は、計算した非線形値 $X'$ を、新たな関連データ( $X_{n+1}$ 、 $\dots$ 、 $X_m$ )として記憶デバイス101に保存する。第1実施例において、 $n+1 \leq i \leq m$ のとき、関連データ $X_i$ は、業務管理システム20から抽出されたオリジナルデータの非線形値を示す。

【0053】

なお、第1実施例では、上述の非線形値としてデータの二乗(式1)を例に上げたが、着目する社会インフラに応じて任意の非線形値を計算し、関連データに追加するとしてもよい。例えば、非線形値の他例として、以下に示す2つのデータの積が考えられる。

30

$$X' = X_i \times X_j \quad (1 \leq i < j \leq n)$$

- - - - - (式2)

【0054】

また、データが時刻 $t_1$ から時刻 $t_2$ までの時系列情報を持っている場合には、

$$X' = \int_{t_1}^{t_2} X_i dt \quad (1 \leq i \leq n)$$

40

- - - - - (式3)

といったデータの時間積分が考えられる。

【0055】

その後、上述の操作者が入力インターフェイス105を用いて、表示装置104の画面上に表示された所定ボタン(例:因果構造モデル推定の開始ボタン)を押下したとする。これに応じ、業務改善支援装置100は、上述のKPIデータに関する因果構造モデルの推定を開始する。

【0056】

そこで業務改善支援装置100は、上述のKPIデータを目的変数 $Y$ 、関連データ( $X$

50

1、X2、X3、・・・Xn、・・・Xm)の所定数を説明変数候補として、例えば記憶デバイス101に設定する。(ステップ205)

図3には、上述のステップ205における説明変数候補の詳細な選択方法を示している。この場合の業務改善支援装置100の相関係数計算部115は、関連データ(X1、X2、X3、・・・Xm)の間の単回帰分析を、全ての関連データの組合せで実施する(ステップ301)。

【0057】

また、データグループ設定部113は、上述の単回帰分析で得た相関係数が一定以上となる関連データ群を、同一の共線性グループとしてグループ化する(ステップ302)。

さらに、説明変数候補選別部114は、上述のステップ302で得たグループ毎に1つの関連データを任意に選択し、説明変数候補として記憶デバイス101に情報を格納する。また、説明変数候補選別部114は、ここで選択されなかった関連データの情報を、各説明変数候補に紐づいた共線性グループとして記憶デバイス101に記録する(ステップ303)。図3を例にすれば、「X1」の共線性グループには「Xm」と「Xi+1」が含まれる、との情報が記憶デバイス101に記録されることとなる。

10

【0058】

次に、業務改善支援装置100の重回帰分析部112は、上述の関連データそれぞれに関する重回帰分析を実行し(ステップ206)、目的変数Yの回帰式を算出する(ステップ207)。この線形重回帰分析の結果、説明変数として「XA」、「XB」、「XC」が抽出されたと仮定すると、目的変数Yの回帰式は以下の式4で示される。ここで、aA、aB、aCは、各説明変数の係数、Cは定数を示す。なお、第1実施例の表記では、右辺を原因、左辺を結果と定義する。

20

$$Y = a_A X_A + a_B X_B + a_C X_C + C$$

----- (式4)

【0059】

次に、業務改善支援装置100は、上述のステップ207で算出した回帰式が予め設定した完了条件を満たしているかを判定する(ステップ208)。

【0060】

この判定の結果、該当回帰式が完了条件(例：操作者が予め設定した関連データが説明変数として抽出される、等)を満たしていない場合(ステップ208：No)、業務改善支援装置100は、説明変数XA、XB、XCを新たな目的変数Yとし、関連データ(X1、X2、X3、・・・Xn、・・・Xm、ただし、目的変数自身を除く)を、説明変数候補として、線形重回帰分析により各々の回帰式を推定する(ステップ205)。このように重回帰分析を逐次的に繰り返すことで、KPIデータに関する因果構造モデルの全体が自動推定される。

30

【0061】

他方、上述の判定の結果、該当回帰式が完了条件を満たしている場合(ステップ208：Yes)、業務改善支援装置100は、業務データの重回帰分析を終了し、推定した因果構造モデル(つまり、各データの回帰式)を記憶デバイス101に保存し(ステップ209)、処理を終了する。

40

【0062】

上述のように、従来の線形重回帰分析では、目的変数Yの回帰式は説明変数の線形結合で表わされる。従って、仮に真の因果関係が以下の式5で示される(即ち、右辺のYが原因で、左辺のXAが結果である)としても、データYを目的変数として計算すれば、式4が導出される。言い換えると、相関関係の評価は可能だが、因果関係の自動推定は困難である。

$$X_A = a_A^{-1} Y - a_A^{-1} a_B X_B - a_A^{-1} a_C X_C + a_A^{-1} C$$

----- (式5)

50

## 【 0 0 6 3 】

一方、第1実施例では、 $X_A$ 、 $X_B$ 、 $X_C$ が、業務管理システム20から抽出したオリジナルデータ $X_a$ 、 $X_b$ 、 $X_c$  ( $X_1$ 、 $\dots$ 、 $X_a$ 、 $\dots$ 、 $X_b$ 、 $\dots$ 、 $X_c$ 、 $\dots$ 、 $X_n$ )の非線形値である場合、式4は以下の式6で示される。

$$Y = a_A X_a^2 + a_B X_b^2 + a_C X_c^2 + C$$

- - - - - (式6)

## 【 0 0 6 4 】

ここで、式6を $X_a$ について解くと、以下に示す式7が得られる。

$$X_a = \sqrt{a_A^{-1}Y - a_A^{-1}a_B X_b^2 - a_A^{-1}a_C X_c^2 + a_A^{-1}C}$$

- - - - - (式7)

## 【 0 0 6 5 】

式7の右辺は平方根を含み、社会インフラの業務管理において経験的に見られない形をとる。また、業務改善支援装置100を用いたとしても、線形重回帰分析によって式7を導く事はできない(業務改善支援装置100では式6のみを線形重回帰分析で導出可能である)。つまり、業務改善支援装置100は、目的変数 $Y$ と説明変数 $X_a$ 、 $X_b$ 、 $X_c$ との因果関係を一意に特定可能である。従って、第1実施例においては、データ間の因果関係を正確に自動推定することができる。また、第1実施例においては、このように非線形の回帰式を線形重回帰分析に基づいて計算できるため、業務データ間の因果構造モデルを高精度且つ容易に推定可能となる。

## 【 0 0 6 6 】

また、第1実施例においても、回帰式に線形項が含まれる場合には、因果関係の自動推定は困難となる。例えば、式8と式9に関して、どちらの因果関係が正しいか(即ち、 $Y$ と $X_a$ のどちらが原因、結果であるか)を自動推定することは困難であり、操作者の業務知識に基づいた判断が必須となる。

$$Y = a_A X_a + a_B X_b^2 + a_C X_c^2 + C$$

- - - - - (式8)

$$X_a = a_A^{-1}Y - a_A^{-1}a_B X_b^2 - a_A^{-1}a_C X_c^2 + a_A^{-1}C$$

- - - - - (式9)

## 【 0 0 6 7 】

そこで第1実施例では、このようなケースに対し、業務改善支援装置100が自動推定した因果構造グラフを、操作者の業務知識に基づき容易に修正、更新可能な機能を提供する。図2のフローにおけるステップ206の詳細について、図4のフローを用いて以下に説明する。

## 【 0 0 6 8 】

この場合、業務改善支援装置100の重回帰分析部112は、ステップ205で設定された説明変数候補を用いて、重回帰分析を実施し(ステップ401)、目的変数 $Y$ の仮の回帰式を算出する(ステップ402)。第1実施例では、重回帰分析のアルゴリズムとして変数増減法を採用するが、同アルゴリズムだけに依るものではない。

## 【 0 0 6 9 】

次に、業務改善支援装置100のデータグループ設定部113は、仮の回帰式に線形項が含まれるか否かを判定する(ステップ403)。

## 【 0 0 7 0 】

この判定の結果、仮の回帰式に線形項が含まれることが判明した場合(ステップ403: Yes)、データグループ設定部113は、目的変数 $Y$ と当該線形項を構成する説明変数(式8を例に挙げれば、 $X_a$ )とを同一の因果グループと定義し、説明変数候補から $X$

10

20

30

40

50

$x_i$  を取り除き（ステップ 404）、処理をステップ 401 に遷移させる。

【0071】

また、データグループ設定部 113 は、ステップ 404 で取り除かれたデータの履歴を、目的変数  $Y$  の因果グループとして記憶デバイス 101 に保存する（ステップ 405）。式 8 を例にすれば、 $Y$  の因果グループには  $X_a$  が含まれる、との情報が記憶デバイス 101 に記録される。

【0072】

式 8 を例に挙げれば、線形重回帰によって目的変数  $Y$  の回帰式として式 10 が最終的に導出される。

$$Y = a_B X_b^2 + a_C X_c^2 + a_A a_D X_d^2 + a_A a_E X_e^2 + C + a_A C'$$

10

- - - - - (式 10)

【0073】

ここで、 $X_a$  の真の回帰式を以下に示す式 11 で仮定している。

$$X_a = a_D X_d^2 + a_E X_e^2 + C'$$

- - - - - (式 11)

【0074】

$X_d$ 、 $X_e$  は、業務管理システム 20 から抽出したオリジナルデータ ( $X_1$ 、 $\dots$ 、 $X_d$ 、 $\dots$ 、 $X_e$ 、 $\dots$ 、 $X_n$ ) である。式 6 と同様に、式 10 の逆関数は、いずれの説明変数に関しても右辺（原因）に平方根を含み、社会インフラの業務管理において経験的に見られない形をとる。また、業務改善支援装置 100 を用いたとしても、線形重回帰分析によって式 10 の逆関数を導く事はできない。業務改善支援装置 100 では、式 10 のみを線形重回帰分析で導出可能である。従って、導出した回帰式（式 10）にはデータ  $X_i$  の情報が含まれないものの、業務改善支援装置 100 においては、データ間の因果関係を正しく自動推定することができる。

20

【0075】

このように業務改善支援装置 100 は、線形重回帰分析で得た回帰式について線形項の有無を判定する。線形項が含まれる場合は、目的変数  $Y$  と、線形項を構成する説明変数（式 8 を例に挙げれば、 $X_a$ ）とを同一の因果グループと定義し、説明変数候補から同説明変数を取り除く。説明変数候補の再選択と重回帰分析を逐次的に繰り返すことで、線形項を含まない目的変数  $Y$  の回帰式を導出する。目的変数  $Y$  と同一の因果グループに属するデータ（式 8 を例に挙げれば、 $X_a$ ）の情報は回帰式には含まれないものの、業務改善支援装置 100 においては、データ間の因果関係を正しく自動推定することができる。

30

【0076】

上述の各手順に基づいて因果構造モデルの自動推定が完了すると、業務改善支援装置 100 は、記憶デバイス 101 に保存された情報に基づいて、推定した因果構造モデルを表示装置 104 に表示することとなる。

【0077】

業務改善支援装置 100 の記憶デバイス 101 においては、各業務データ 4 に紐づいて因果式と説明変数が記録されている。そこで業務改善支援装置 100 は、KPI データを開始地点として因果関係を逆にたどることで、当該因果構造モデル全体を、表示装置 104 で表示する。

40

【0078】

図 5 に、因果構造モデル 601 の表示例を示す。因果構造モデル 601 において、各頂点 602（ノード）は、上述の重回帰分析に用いた業務データ 4 を表わしている。また、各業務データ 4 と因果関係にあるデータ（つまり、目的変数と説明変数の関係）が矢印等の記号 603（エッジ）によって接続されている。この矢印 603 の向きは、説明変数（原因）から目的変数（結果）の方向を示す。

【0079】

50

業務改善支援装置 100 は、こうした因果構造モデル 601 に対する操作者の理解を助けるため、各業務データ 4 に紐づいて記憶デバイス 101 に保存された情報に基づき、各頂点 602 には該当する業務データ 4 の名称を表示可能である。また、業務改善支援装置 100 は、各矢印 603 の近傍に、該当する回帰式の係数 604 を表示することができる。

#### 【0080】

因果構造モデル 601 を閲覧している操作者が、入力インターフェイス 105 を用いて任意の頂点 602、即ち業務データ 4 を選択したとする。すると、業務改善支援装置 100 のグループ情報表示部 117 は、操作者に選択された業務データ 4 に紐づいて記憶デバイス 101 に保存された情報に基づき、当該業務データ 4 の詳細 605 を、因果構造モデル 601 の表示欄と合わせて表示する。

10

#### 【0081】

このデータの詳細 605 には、操作者に選択された業務データ 4 を示す業務データ名称 606 と、その回帰式の表示 607 が含まれる。さらに、回帰式の表示 607 には、係数の表示 608 と、説明変数の表示 609 とが含まれる。

#### 【0082】

上述の操作者は、表示された因果構造モデル 601 と業務データ毎の回帰式 607 を確認することで、KPI の決定に最も支配的なキー業務を抽出することができる（例えば、係数 604 の値が大きな説明変数は、KPI に大きな影響を与えるものと判断出来るため、その説明変数すなわち業務データに対応した業務をキー業務と判断可能）。

20

#### 【0083】

なお、業務改善支援装置 100 は、上述のデータの詳細 605 において、操作者に選択された業務データ 4 に紐づいて記憶デバイス 101 に保存された情報に基づき、同一の因果グループに属する業務データの一覧 610 を表示する。また、業務改善支援装置 100 は、データの詳細 605 において、同一の共線性グループに属する業務データの一覧 611 を表示する。

#### 【0084】

なお、データの詳細 605 の表示形態については、図 5 に示した例に限定せず、各頂点 602 の近傍に併記する形態や、タブ等を用いて別画面に一覧表示する形態を採用しても良い。以下、こうした別の表示形態の例について図面を用いて示す。

30

#### 【0085】

図 6 の因果構造モデル 601 においては、操作者が入力インターフェイス 105 を用いて因果構造モデル 601 中の任意の頂点 602 を選択した際に、因果グループ表示 610 及び共線性グループ表示 611 がポップアップ 612 で明示される表示形態となっている。

#### 【0086】

この場合、操作者が各グループ表示 610、611 内に記載されたデータ名称 613 をさらに選択することで、この選択操作を受けた業務改善支援装置 100 は、頂点 602 とのデータの入れ替えや因果構造モデル 601 へのデータの追加を実行する。

#### 【0087】

40

なお、図 6 の因果構造モデル 601 では、因果グループ表示 610 と共線性グループ表示 611 のみがポップアップ 612 中に表示されているが、選択された業務データ 4 に紐づいて記憶デバイス 101 に保存された情報に基づき、図 5 で示したデータの詳細表示 605 を全てポップアップ 612 上に表示させるとしてもよい。これにより、操作者が頂点 602 を選択していないときは詳細な情報が表示されないため、因果構造モデル 601 を同一の画面上に大きく表示することができ、因果構造モデル 601 を容易に理解することができる。

#### 【0088】

また、図 7 の因果構造モデル 601 では、各頂点 602 の周辺に同一の因果グループ及び共線性グループに属する業務データ（以下、グループデータ）701 を併記した表示形

50

態となっている。

【0089】

図7の因果構造モデル601においては、グループデータ701と各頂点602とを色と大きさで区別しているが、必ずしもこれに限定されるものではない。ある頂点602が多くのグループデータ701を内包する場合、その頂点602周辺の因果構造は手作業での修正を必要とする可能性が高い。従って、図7で示す表示形態においては、業務改善支援装置100が頂点602の周辺に全て、又は一部のグループデータ701を併記することで、これを閲覧する操作者は、修正が必要と推測される箇所を一目で確認する事ができる。操作者が入力インターフェイス105を用いて各グループデータ701を選択した場合、業務改善支援装置100は、データの名称等の詳細情報をポップアップ702で表示させる。また、当該操作者は、頂点602とのデータの入れ替えや、因果構造モデル601へのデータの追加を、当該ポップアップ702にて選択することができる。

10

【0090】

また、図8は、図7で示した表示形態の類似例に関する動作例を示すものである。この場合、図7の場合と同様に、業務改善支援装置100が、各頂点602の周辺にグループデータ701を併記する処理を示す。

【0091】

この場合、業務改善支援装置100のグループ情報表示部117は、各頂点602のいずれかの周辺に、操作者が入力インターフェイス105を介して操作するカーソル804が、予め設定された所定距離の範囲805にあるか所定時間毎に判定する。通常時、すなわち、操作者が入力インターフェイス105を介して操作するカーソル804が、ある頂点602から離れている状態である場合(ステップ801)、業務改善支援装置100のグループ情報表示部117は、表示形態を変更せず、各頂点602を通常通り表示し、各頂点602の周辺には何も併記しない。

20

【0092】

一方、カーソル804が或る頂点602に近づき、予め設定された所定距離の範囲805に侵入した場合、業務改善支援装置100のグループ情報表示部117は、該当頂点602の周辺に、グループデータ701を表示させる(ステップ802)。

【0093】

さらに、操作者がカーソル804を用いてグループデータ701を選択した場合、業務改善支援装置100のグループ情報表示部117は、図7と同様に、データの名称等の詳細情報をポップアップ702で表示させる。

30

【0094】

業務改善支援装置100がこうした表示形態と表示制御を行う場合、操作者は、頂点602と該当グループの他の業務データの頂点との入れ替えや、因果構造モデル601へのデータの追加を選択することができる。業務データ4が多量であり、業務改善支援装置100が複雑な因果構造モデル601を生成する場合、図7に示すように各頂点602の周辺に常にグループデータ701を表示すると、表示が煩雑となる。この場合、操作者による因果構造モデル601の理解を妨げる可能性がある。

【0095】

図8の例では、通常時はグループデータ701を画面上に表示しない事で、複雑な因果構造モデル601に関しても操作者の理解を容易なものとする。且つ、修正が必要と考えられる箇所を操作者が容易に確認することができる。なお、図8に示す例では、因果グループと共線性グループの何れのグループに属するかに基づいてグループデータ701の色を変更し、操作者の理解をサポートしているが、必ずしもこれに限定するものではない。

40

【0096】

図9は、図7及び図8に示すグループデータ701の表示例において、頂点602とグループデータ701とのデータの入れ替え、及び因果構造モデル601へのグループデータ701の追加に関して、直感的な操作を可能とするステップの一例を示す。

【0097】

50

ここでまず、頂点602とグループデータ701とのデータの入れ替えのステップを説明する。操作者が入力インターフェイス105介してカーソル804を操作し、頂点602の近傍に併記されたグループデータ701を選択、ドラッグし、頂点602上にドロップしたとする。

#### 【0098】

業務改善支援装置100のグループ情報表示部117は、この操作事象を検知し(ステップ901)、操作者が選択したグループデータ701と頂点602とを交換する(ステップ902)。データを交換すると、因果構造モデル601には、交換した頂点602の周辺の因果構造の調整が必要となる。つまり操作者は、交換した頂点602を目的変数とする回帰式と、頂点602を説明変数とする回帰式の係数と、を調整する必要がある。この調整の方法としては、操作者が係数を決定し、入力インターフェイス105を介して入力する方法や、業務改善支援装置100の重回帰分析機能(ステップ401)を用いて係数を更新する方法がある。

10

#### 【0099】

さらに、因果構造モデル601へのグループデータ701の追加のステップを説明する。操作者が入力インターフェイス105介してカーソル804を操作し、頂点602の近傍に併記されたグループデータ701を選択、ドラッグし、頂点602から引き離すように移動させたとする。業務改善支援装置100は、これを感知し(ステップ903)、操作者が選択したグループデータ701と頂点602との距離が予め設定した値に達したか判定し、当該距離が予め設定した値に達すると、頂点602とグループデータ701とを視覚的に接続している線905を切断し、選択したグループデータ701を因果構造モデル601に追加する。

20

#### 【0100】

上述のように、グループデータ701を新たに因果構造モデル601に追加すると、因果構造モデル601には、追加した頂点602の周辺の因果構造の調整が必要となる。つまり、操作者は、追加した頂点602の説明変数と、頂点602を説明変数とする目的変数と、を設定する。さらに操作者は、追加した頂点602を目的変数とする回帰式と、頂点602を説明変数とする回帰式の係数とを調整する。この調整の方法としては、操作者が係数を決定し、入力インターフェイス105を介して入力する方法や、業務改善支援装置100の重回帰分析機能(ステップ401)を用いて係数を更新する方法がある。

30

#### 【0101】

このように、図9によれば、より直感的な操作により、因果構造モデル601の容易な修正が可能となる。

#### 【0102】

また、図10に示す因果構造モデル601のごとく、操作者の操作によるカーソル1004の接近対象となった頂点602に関して、業務改善支援装置100のグループ情報表示部117が、当該頂点602とエッジ604で直接結ばれた他の頂点602、すなわち目的変数および説明変数の少なくともいずれかに関してのみ情報を明示する表示制御を行うとしてもよい。図10の例では、頂点602およびエッジ604のうち、明示するもののみ実線表示とし、他のものについては破線での表示としている。

40

#### 【0103】

こうした表示制御を行うことで、操作者が選択した頂点602(ノード)における前後関係、すなわち当該頂点602に対する説明変数や目的変数のみを因果構造モデル601にて強調する効果を奏することとなり、操作者においては、複雑な因果構造モデル601の視認性が向上することになる。

#### 【0104】

また、グループ情報表示部117は、図11A~図11Cに示すごとく、各頂点602の間の関係性、すなわち該当データの間を規定する回帰式の情報、新たな頂点650として該当頂点602の間に配置する表示制御を行うとしてもよい。

#### 【0105】

50

グループ情報表示部 117 がこうした表示制御を行うことで、操作者においては、因果構造モデル 601 における非線形の構成について容易に理解可能となる。もし、こうした頂点 650 を表示する形態としない場合、操作者は、例えば、頂点 602 に対応した業務データ「X1」が、エッジ 604 で結ばれた業務データの「X2」、「X3」とどのような関係にあるか視覚的に理解することは出来ない。例えば、「 $X1 = dX2 / dt + dX3 / dt$ 」の関係にあるのか、または、「 $X1 = X2 \times X3$ 」の関係にあるのか、或いは、「 $X1 = X2^2 + X3^2$ 、・・・」の関係にあるのか、区別できない。

【0106】

以上示した第1実施例によれば、業務データ間の非線形な関係を利用することで、業務データ間の時間先行性情報が明確ではない場合においても、線形重回帰分析により因果構造モデルを自動推定可能となる。

10

【0107】

また、回帰式に線形項を含むために線形重回帰分析による因果関係の推定が困難な業務データに対しても、当該業務データと、線形項を構成する他業務データ(説明変数)とを同一の因果グループと定義し、当該説明変数を説明変数候補から取り除くことで、線形重回帰分析による正確な因果構造モデルの自動推定が可能となる。また、当該業務データと同一の因果グループに属する他業務データを操作者に明示することで、一部の限定されたデータにのみ注目し、自動推定された因果構造モデルを容易且つより正確に修正、更新することができる。

【0108】

20

また、業務データ間に多重共線性があるために、線形重回帰分析による因果構造モデルの推定が困難なケースに対しても、業務データ間の単回帰分析を全ての組合せで実施し、相関係数が一定以上となるデータ群を同一の共線性グループと定義し、グループ毎に1つのデータを任意に選択して説明変数候補に加えることで、線形重回帰分析による因果構造モデルの自動推定が可能となる。

【0109】

また、選択された各データと同一の共線性グループに属する他業務データを操作者に明示することで、真に選択すべきデータが別に存在していた場合に容易に気づく事ができ、自動推定された因果構造モデルをより正確に修正・更新することができる。

【0110】

30

上述した各効果により、社会インフラにおいて、業務データ間の因果構造モデルを高精度且つ容易に推定することが可能となり、的確かつ容易な業務の改善施策立案が可能となる。

【0111】

- - - 第2実施例 - - -

以下に示す第2実施例は、業務管理システム 20 が蓄積した業務データ 4 の各間の因果関係を、当該業務データ 4 を格納している各データテーブルの構造に基づき、高精度且つ容易に推定可能とするものである。ただし、業務改善支援装置 100 の装置構成は、第1実施例と同様であり、その説明は省略する。

【0112】

40

以下、第1実施例と同様に、業務改善支援装置 100 における因果構造モデルの自動推定フロー(図2)を用いて、第2実施例について説明する。

【0113】

この場合の操作者は、業務管理システム 20 が蓄積した各業務データ 4 の間の因果関係を分析し、KPI改善に資するキー業務の抽出と、適切な業務の改善施策立案を図ろうとしている。

【0114】

こうした操作者が、表示装置 104 の画面上の所定ボタン(例:業務データの一覧表示用のボタン)を、入力インターフェイス 105 を操作して押下したとする。この場合、業務改善支援装置 100 の情報取得部 110 は、業務管理システム 20 に保存された全ての

50

業務データ4を取得し、その一覧情報を表示装置104で表示させる(ステップ201)。一方、上述の操作者は、表示された業務データ4の一覧から、KPI(鉄道保守を例にすれば、保守費など)となるデータ(以下、KPIデータ)を1つ選択する。この時、業務改善支援装置100の情報取得部110は、KPIデータの選択を受け付ける(ステップ202)。

#### 【0115】

上述のようにKPIデータが操作者により選択されると、業務改善支援装置100の情報取得部110は、業務管理システム20に保存された全ての業務データ4から、KPIデータと関連性のある業務データ(以下、関連データ)を所定アルゴリズムで自動抽出し、記憶デバイス101に保存する(ステップ203)。第2実施例では、 $n$ 個の関連データ( $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_3$ 、 $\dots$ 、 $X_n$ )が業務管理システム20から抽出されたと仮定する。

10

#### 【0116】

また、第2実施例における業務改善支援装置100のデータ距離設定部116は、ステップ203において、各関連データに対しKPIデータからの距離(データ距離)を算出し、記憶デバイス101に保存する。

#### 【0117】

図12を用いて、第2実施例におけるデータ距離の定義方法を説明する。図12は、業務管理システム20が蓄積した業務データ4のER図を示す。一般的に業務データ4は、複数のデータテーブルに格納されている。第2実施例における業務改善支援装置100は、KPIデータと同一のデータテーブル(テーブル1)に含まれる関連データを距離「1」、テーブル1と共通のキー(例えば、日時など)を含むテーブル(テーブル2)に含まれる関連データを距離「2」、テーブル2と共通のキーを含むテーブル(テーブル3)に含まれる関連データを距離「3」、などと定義する。

20

#### 【0118】

ステップ204は第1実施例と同様であるため、説明は省略する。続いて、業務改善支援装置100は、第1実施例と同様に、KPIデータを目的変数 $Y$ 、関連データ( $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_3$ 、 $\dots$ 、 $X_n$ 、 $\dots$ 、 $X_m$ )を説明変数候補として設定する(ステップ205)。

#### 【0119】

図3に示すように、このステップ205における業務改善支援装置100は、関連データ( $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_3$ 、 $\dots$ 、 $X_m$ )の間の単回帰分析を、全ての関連データの組合せで実行し(ステップ301)、相関係数が一定以上となるデータ群は同一の共線性グループとしてグループ化する(ステップ302)。さらに、業務改善支援装置100は、グループ毎に1つのデータを任意に選択し、説明変数候補に加える。また、業務改善支援装置100は、上述で選択されなかったデータについて、各説明変数候補に紐づいた共線性グループとして記憶デバイス101に記録する(ステップ303)。

30

#### 【0120】

また、業務改善支援装置100の説明変数候補選別部114は、記憶デバイス101に保存された各データの距離情報に基づき、目的変数 $Y$ の持つ距離よりも短い距離を持ったデータを、説明変数候補から取り除く。つまり、目的変数 $Y$ の原因(距離が長く、KPIデータとの関連性が低いと推定)には成り得るが、結果(距離が短く、KPIデータとの関連性が高いと推定)とは成らない、と推定されるデータを取り除く。

40

#### 【0121】

このように、第2実施例の業務改善支援装置100は、目的変数 $Y$ の原因となりうる業務データのみを説明変数候補として線形重回帰分析に使用する。従って、図4に示すステップ403、404及び405が不要となり、より短い時間で因果構造グラフを自動抽出することができる。また、操作者による因果構造グラフの修正・更新の手間を低減することができる。

#### 【0122】

50

## - - - 第3実施例 - - -

第3実施例においては、業務管理システム20が蓄積した業務データ4の各間の因果関係を、当該業務データ4の名称に基づき、高精度且つ容易に推定可能とする技術について示す。なお、第3実施例における業務改善支援装置100の装置構成等は、第1実施例のものと同様であり、その説明は省略する。

## 【0123】

第2実施例と同様、第3実施例における業務改善支援装置100の説明変数候補選別部114は、記憶デバイス101に保存された各データの距離情報に基づき、図2のフローに示すステップ205において、目的変数Yの持つ距離よりも短い距離を持ったデータを説明変数候補から取り除く。

10

## 【0124】

つまり、目的変数Yの原因（距離が長く、KPIデータとの関連性が低いと推定）には成り得るが、結果（距離が短く、KPIデータとの関連性が高いと推定）とは成らない、と推定されるデータを取り除く。なお、第2実施例では、業務管理システム20が持つデータテーブルの構造に基づき、KPIデータからの関連データの距離を定義したが、第3実施例では、データの名称に基づいてデータの距離を定義する。

## 【0125】

なお、操作者が、業務改善支援装置100に対し、類似語表1161の登録を事前に行う必要がある。図13に、類似語表1161の登録画面1100の例を示す。

## 【0126】

操作者は、この登録画面1100において、入力インターフェイス105を用いて類似語表1161を作成し、登録ボタン1110を押下することで、業務改善支援装置100に対する登録操作を行う。これを受けた業務改善支援装置100は、類似語表1161を記憶デバイス101に保存する。

20

## 【0127】

操作者は、各キーワードグループ1102に対し、類似または同質と判断したキーワード1103を追加する操作を行うこととなる。また操作者は、新規グループ作成ボタン1111を押下することで、新たなグループの追加、作成も可能である。

## 【0128】

さらに操作者は、その判断に基づき、各グループの間の距離を、例えば、プルダウンメニュー1115、1116等の適宜なインターフェイスの選択操作にて設定する。図13を例にすれば、操作者は、グループ1とグループ2、グループ1とグループ3の距離を、それぞれ「2」、「3」と設定している。

30

## 【0129】

以下、上述の第1、第2の各実施例と同様、業務改善支援装置100による、因果構造モデルの自動推定フローについて図2を用いて説明する。

## 【0130】

この場合の操作者は、業務管理システム20が蓄積した業務データ4の各間の因果関係を分析し、KPI改善のキー業務の抽出と、適切な業務の改善施策立案を図ろうとしている。

40

## 【0131】

そこで上述の操作者が入力インターフェイス105を用いて、表示装置104の画面上の所定ボタン（例：業務データの閲覧用のボタン）を押下したとする。これを受けた業務改善支援装置100の情報取得部110は、業務管理システム20に保存された全ての業務データ4の情報を取得し、その一覧情報を表示装置104に表示する（ステップ201）。一方、上述の操作者は、表示装置104にて業務データの一覧情報を閲覧し、その一覧中から、KPI（鉄道保守を例にすれば、保守費など）となるデータ（以下、KPIデータ）を1つ選択する。業務改善支援装置100の情報取得部110は、この選択を受け付ける（ステップ202）。

## 【0132】

50

業務改善支援装置100の情報取得部110は、上述のように操作者によってKPIデータが選択されると、業務管理システム20に保存された全ての業務データ4から、KPIデータと関連性のある業務データ(以下、関連データ)を、所定アルゴリズムにて自動抽出し、記憶デバイス101に保存する(ステップ203)。第3実施例では、 $n$ 個の関連データ( $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_3$ 、 $\dots$ 、 $X_n$ )が業務管理システム20から抽出されたと仮定する。

#### 【0133】

第2実施例と同様に、ステップ203において、業務改善支援装置100のデータ距離設定部116は、各関連データ4に対しKPIデータからの距離(データ距離)を算出し、この値を記憶デバイス101に保存する。

10

#### 【0134】

以下、第3実施例におけるデータ距離の算出方法を説明する。業務改善支援装置100のキーワード判定部1162は、自然言語処理等を用いてKPIデータ及び各関連データの名称(カラム名)に、類似語表1161の何れのキーワード1103が含まれているかを判定する。

#### 【0135】

さらに、業務改善支援装置100のデータ分類部1163は、該当キーワード1103が属するグループ1102毎に、関連データを分類する。業務改善支援装置100のデータ分類部1163は、KPIデータと同一のキーワードグループ1102に属する関連データを距離「1」、距離「2」のキーワードグループ1102に属する関連データを距離「2」、距離「3」のキーワードグループ1102に属する関連データを距離「3」、とする。なお、ステップ204は第1実施例と同様であり、その説明は省略する。

20

#### 【0136】

続いて、第1実施例と同様に、業務改善支援装置100の説明変数候補選別部114は、KPIデータを目的変数 $Y$ 、関連データ( $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_3$ 、 $\dots$ 、 $X_n$ 、 $\dots$ 、 $X_m$ )を説明変数候補として設定する。(ステップ205)

図3に示したように、上述のステップ205において、業務改善支援装置100の説明変数候補選別部114は、関連データ( $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_3$ 、 $\dots$ 、 $X_m$ )の各間の単回帰分析を、全ての関連データの組合せで実行し(ステップ301)、相関係数が一定以上となるデータ群を同一の共線性グループとしてグループ化する(ステップ302)。

30

#### 【0137】

さらに説明変数候補選別部114は、グループ毎に1つのデータを任意に選択し、残りを説明変数候補から取り除く。また、説明変数候補選別部114は、選択されなかったデータを、各説明変数候補に紐づいた共線性グループとして記憶デバイス101に記録する(ステップ303)。

#### 【0138】

さらに、業務改善支援装置100の説明変数候補選別部114は、記憶デバイス101に保存した各関連データに関する距離情報に基づき、目的変数 $Y$ の持つ距離よりも短い距離を持った関連データを、説明変数候補から取り除く。つまり、目的変数 $Y$ の原因(距離が長く、KPIデータとの関連性が低いと推定)には成り得るが、結果(距離が短く、KPIデータとの関連性が高いと推定)とは成らない、と推定される関連データを取り除く。

40

#### 【0139】

このように、第3実施例における業務改善支援装置100は、目的変数 $Y$ の原因となりうる業務データのみを説明変数候補として線形重回帰分析に使用する。従って、図4に示すステップ403、404及び405が不要となり、より短い時間で因果構造グラフを自動抽出することができる。また、操作者による因果構造グラフの修正・更新の手間を低減することができる。

#### 【0140】

また、第3実施例によれば、業務管理システム20が業務データ4を1テーブルで管理

50

していた場合でも、図4に示すステップ403、404及び405が不要となり、より短い時間で因果構造グラフを自動抽出することができる。また、操作者による因果構造グラフの修正、更新の手間を低減することができる。

【0141】

以上、本発明を実施するための最良の形態などについて具体的に説明したが、本発明はこれに限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲で種々変更可能である。

【0142】

こうした本実施形態によれば、所定データ間の因果関係に関し、当該データ間の非線形性を考慮して高精度且つ容易に推定可能となる。

【0143】

本明細書の記載により、少なくとも次のことが明らかにされる。すなわち、本実施形態の業務改善支援装置において、前記推定された因果構造モデルを表示するユーザインターフェイスにおいて、前記業務データそれぞれに対し、前記同一のグループに属する業務データの情報を表示するグループ情報表示部を備えるものとしてもよい。

【0144】

これによれば、業務改善の担当者等のユーザが、上述のようにグループ化されたデータをユーザインターフェイス上で確認し、説明変数の選定など所定作業を適宜な精度とすることが可能となる。

【0145】

また、本実施形態の業務改善支援装置において、前記業務データの1つ以上の組合せに関して相関係数を計算する相関係数計算部を更に備え、前記データグループ設定部は、前記計算した相関係数が予め設定した閾値を超える業務データ同士を同一グループに設定し、前記説明変数候補選別部は、前記線形重回帰分析の説明変数候補として、前記相関係数が予め設定した閾値を超える業務データ同士を含むグループそれぞれから任意の業務データを1つずつ選別するものであり、前記ユーザインターフェイスの前記グループ情報表示部は、前記業務データそれぞれに対し、前記同一のグループに属する業務データの情報を表示するものである、としてもよい。

【0146】

これによれば、いわゆる多重共線性を踏まえて排除したデータに関しても、その情報を当該グループに含めてユーザに提示し、そのユーザの判断対象とすることが出来る。

【0147】

また、本実施形態の業務改善支援装置において、前記業務データの各間について、当該業務データ間の距離を設定するデータ距離設定部を更に備え、前記説明変数候補選別部は、目的変数よりも長い距離を備える業務データを、前記線形重回帰分析の説明変数候補として選別するものである、としてもよい。

【0148】

これによれば、目的変数の原因となりうる業務データのみを説明変数候補として線形重回帰分析に使用することとなり、効率良く因果構造グラフを自動抽出することができる。また、ユーザによる因果構造グラフの修正、更新の手間を低減することができる。

【0149】

また、本実施形態の業務改善支援装置において、前記データ距離設定部は、前記業務データの各間の距離を、前記業務データのデータテーブル構造に基づいて決定するものとしてもよい。

【0150】

これによれば、目的変数の原因となりうる業務データのみを説明変数候補として線形重回帰分析に使用することとなり、効率良く因果構造グラフを自動抽出することができる。

【0151】

また、本実施形態の業務改善支援装置において、前記データ距離設定部は、互いに類似または同一のグループと判断されるキーワード群を当該グループ毎に記述した類似語表と、前記業務データの名称に前記類似語表に記載のキーワードが含まれるか判定するキーワ

10

20

30

40

50

ード判定部と、前記判定により前記業務データに含まれることが判明した前記キーワードの所属テーブル毎に当該業務データを分類するデータ分類部とを備え、前記分類の結果に基づいて業務データの各間の距離を決定するものである、としてもよい。

【0152】

これによれば、目的変数の原因となりうる業務データのみを説明変数候補として線形重回帰分析に使用することとなり、効率良く因果構造グラフを自動抽出することができる。

【0153】

また、本実施形態の業務改善支援装置において、前記グループ情報表示部は、前記業務データそれぞれに対し、前記同一のグループに属する業務データの情報を表示し、前記選別した1つの業務データに代えて、当該グループに属する他の業務データを前記選別の対象とするユーザ指示を受け付けるものであるとしてもよい。

10

【0154】

これによれば、知見を有するユーザ等の判断によって、説明変数として適切な業務データを業務改善支援装置側で選定したものと容易に入れ替え可能となる。

【0155】

また、本実施形態の業務改善支援装置において、前記グループ情報表示部は、前記業務データそれぞれに対し、前記同一のグループに属する業務データの情報を表示するに際し、因果構造モデルにおける、前記選別した1つの業務データに対応したノードと、当該グループに属する他の業務データに対応したノードとを、合わせて表示するものであるとしてもよい。

20

【0156】

これによれば、因果構造モデルにおける各ノードのうち、同じグループに属するものについて、特段のユーザ操作なく視覚的に確認可能となる。

【0157】

また、本実施形態の業務改善支援装置において、前記グループ情報表示部は、前記業務データそれぞれに対し、前記同一のグループに属する業務データの情報を表示するに際し、前記ユーザインターフェイスにおける所定の指示手段が、前記選別した1つの業務データに対応したノードと所定距離範囲に接近した場合に、当該グループに属する他の業務データに対応したノードを表示するものであるとしてもよい。

【0158】

これによれば、ノード数が多いなど構成が複雑な因果構造モデルにおいて、通常時はグループ所属の各業務データの情報を表示させず、ユーザ所望の時にのみ該当情報を表示させるといった制御が可能となり、因果構造モデルの視覚的な認識容易性を良好に維持出来る。

30

【0159】

また、本実施形態の業務改善支援装置において、前記グループ情報表示部は、前記業務データそれぞれに対し、前記同一のグループに属する業務データの情報を表示するに際し、因果構造モデルにおける、前記選別した1つの業務データに対応したノードと、当該グループに属する他の業務データに対応したノードとを、合わせて表示し、前記他の業務データに対応したノードを、前記選別した1つの業務データに対応したノードの表示位置に移動させるユーザ指示を受け、前記1つの業務データに対応したノードを前記他の業務データに対応したノードから離間させるユーザ指示を受け付けた場合、前記選別した1つの業務データに代えて前記他の業務データを前記選別の対象とするものであるとしてもよい。

40

【0160】

これによれば、ユーザによる、説明変数たる業務データの選択/非選択を、ユーザインターフェイスのGUI上の操作で簡便に行うことが可能となる。

【0161】

また、本実施形態の業務改善支援装置において、前記グループ情報表示部は、ユーザ指示を受けた所定の業務データに関して、因果構造モデルにおいてエッジで直接結ばれた他

50

の業務データに対応したノードを所定形態で表示するものであるとしてもよい。

【0162】

これによれば、ノード数が多いなど構成が複雑な因果構造モデルにおいて、ユーザ所望のノードに関してのみ、所定の因果関係を有する他ノードすなわち業務データに関する情報を表示させる制御が可能となり、因果構造モデルの視覚的な認識容易性を良好に維持出来る。

【0163】

また、本実施形態の業務改善支援装置において、前記グループ情報表示部は、前記推定された因果構造モデルを表示するに際し、当該因果構造モデルにおける各業務データに対応したノードの間に、対応する業務データの間に回帰式の情報を示すノードを更に配置するものであるとしてもよい。

10

【0164】

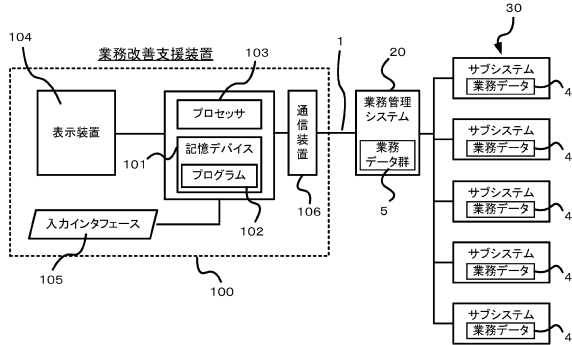
これによれば、各ノードすなわち業務データの間に特定できた回帰式の情報、ユーザに対して明示することが可能となる。ユーザとしては、各ノードの間の関係について当該回帰式を参照して検討を行うことが出来る。

【符号の説明】

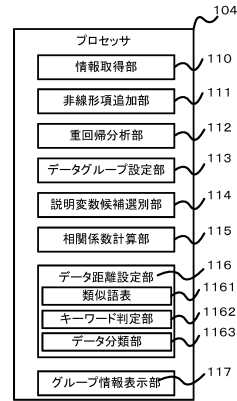
【0165】

1	ネットワーク	
4	業務データ	
5	業務データ群	20
20	業務管理システム	
30	サブシステム	
100	業務改善支援装置	
101	記憶デバイス	
102	プログラム	
103	プロセッサ	
104	表示装置	
105	入力インターフェイス	
106	通信装置	
110	情報取得部	30
111	非線形項追加部	
112	重回帰分析部	
113	データグループ設定部	
114	説明変数候補選別部	
115	相関係数計算部	
116	データ距離設定部	
1161	類似語表	
1162	キーワード判定部	
1163	データ分類部	
117	グループ情報表示部	40

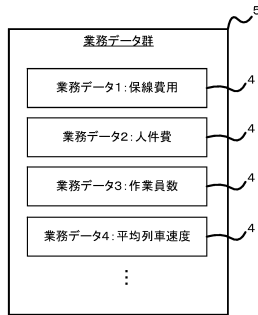
【図1A】



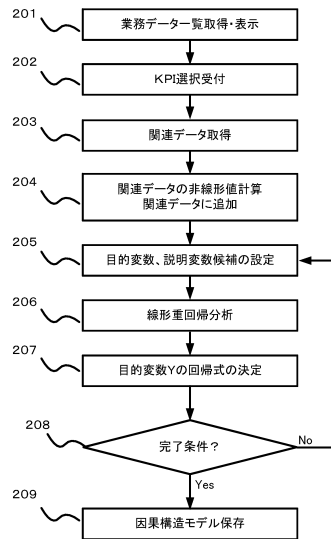
【図1C】



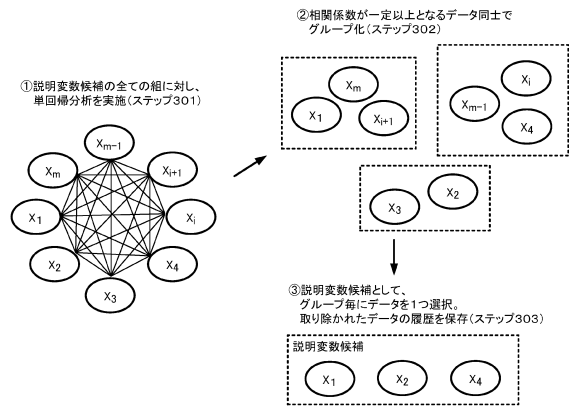
【図1B】



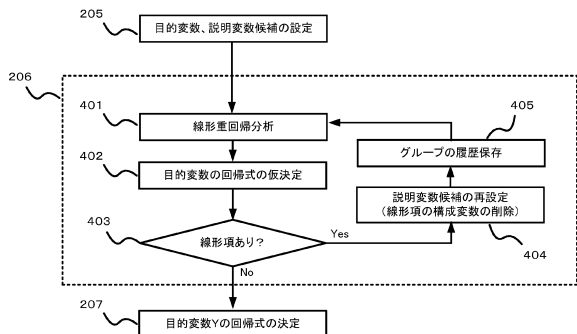
【図2】



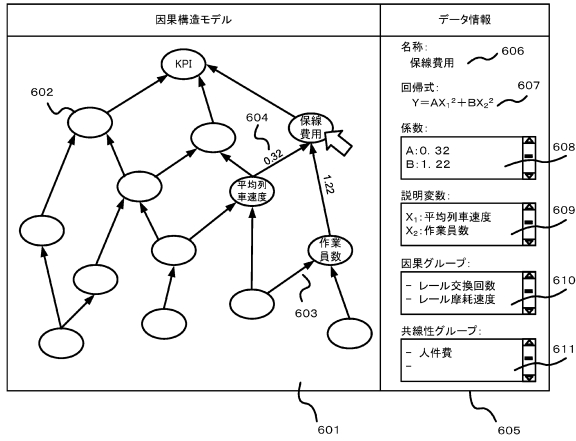
【図3】



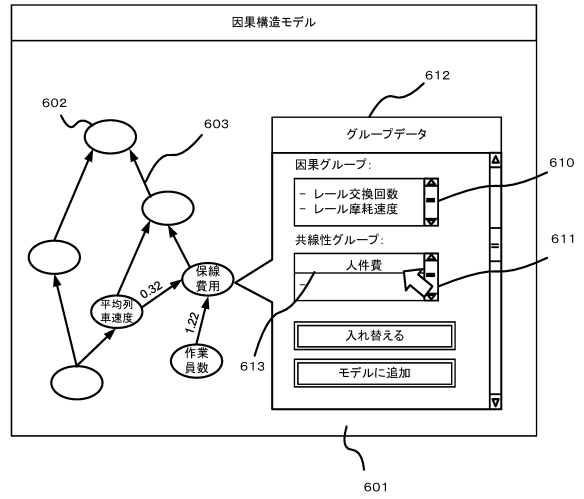
【図4】



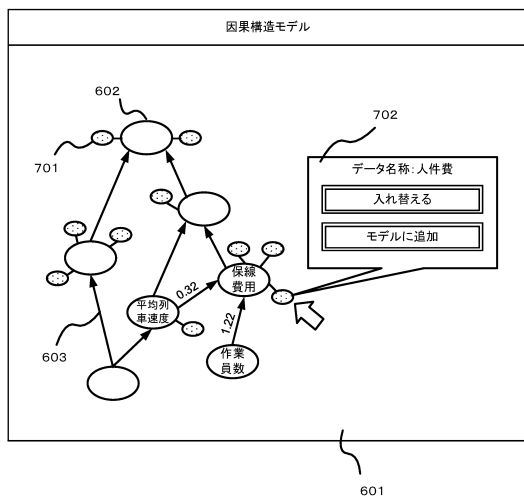
【図5】



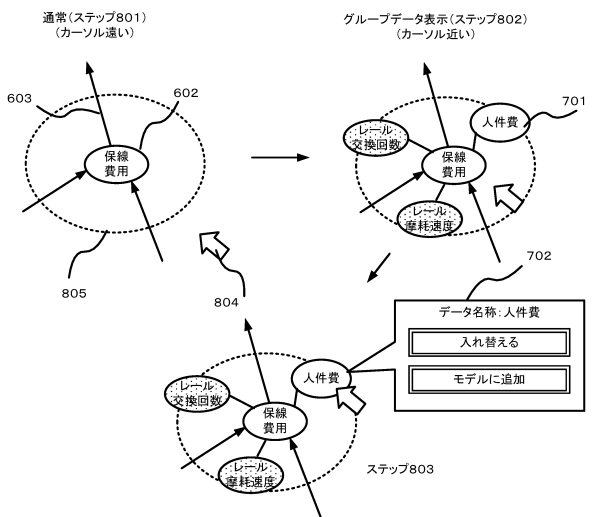
【図6】



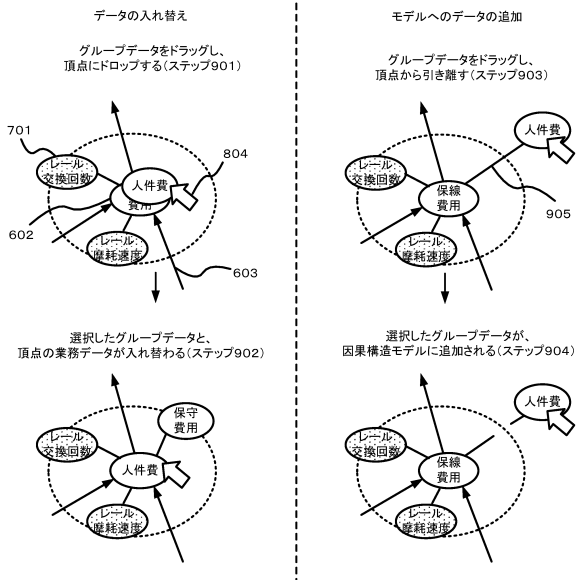
【図7】



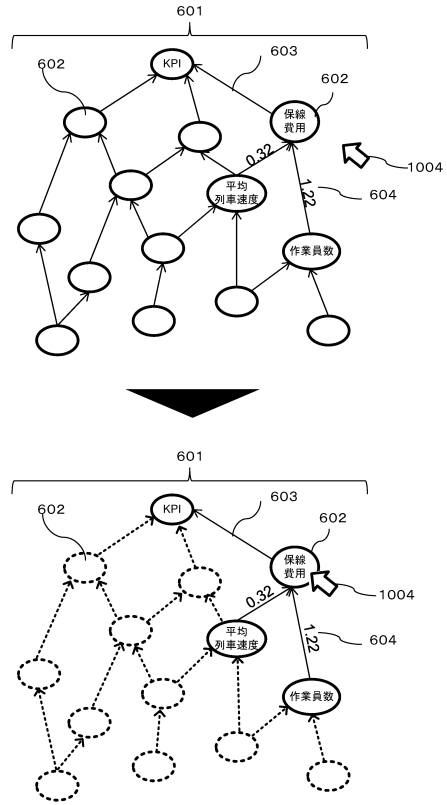
【図8】



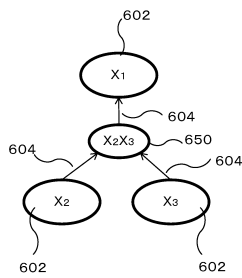
【図9】



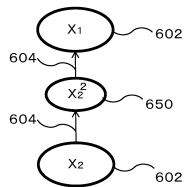
【図10】



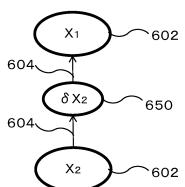
【図11A】



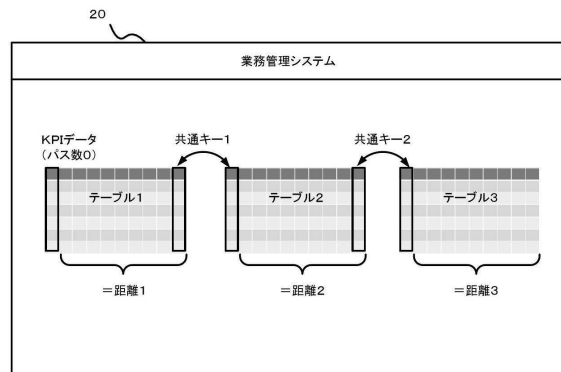
【図11B】



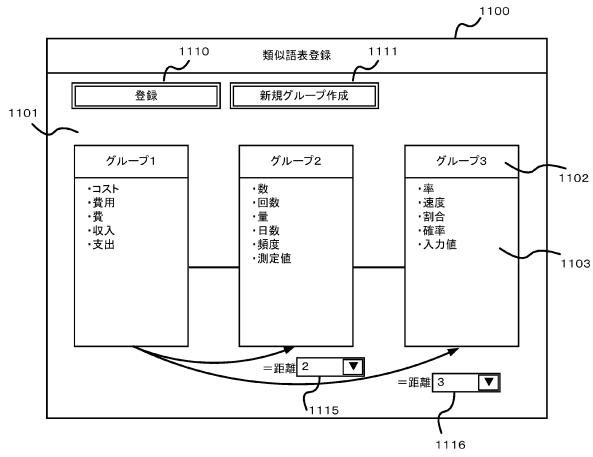
【図11C】



【図12】



【図13】



---

フロントページの続き

審査官 久慈 渉

- (56)参考文献 特開2006-65598(JP,A)  
特開2016-31714(JP,A)  
特開平5-233011(JP,A)  
特開2015-52862(JP,A)  
国際公開第2016/079972(WO,A1)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
G06Q 10/00 - 99/00