

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6430596号  
(P6430596)

(45) 発行日 平成30年11月28日(2018.11.28)

(24) 登録日 平成30年11月9日(2018.11.9)

(51) Int.Cl. F1  
G05B 23/02 (2006.01) G05B 23/02 302V

請求項の数 9 (全 27 頁)

(21) 出願番号	特願2017-136255 (P2017-136255)	(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7月12日(2017.7.12)	(74) 代理人	110001689 青稜特許業務法人
(65) 公開番号	特開2018-10636 (P2018-10636A)	(72) 発明者	蛭田 智昭 アメリカ合衆国ニューヨーク州10591 -4698 タリータウン、プロスペクト ・アヴェニュー50
(43) 公開日	平成30年1月18日(2018.1.18)	(72) 発明者	チュタン グプタ アメリカ合衆国ニューヨーク州10591 -4698 タリータウン、プロスペクト ・アヴェニュー50
審査請求日	平成29年7月12日(2017.7.12)	審査官	加藤 啓
(31) 優先権主張番号	15/208662		
(32) 優先日	平成28年7月13日(2016.7.13)		
(33) 優先権主張国	米国 (US)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 故障判定に基づいた設備制御

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

故障判定に基づいた設備制御システムであって、  
 1つ又は複数のプロセッサと、  
 前記1つ又は複数のプロセッサは、  
 前記設備に含まれるブレーキの物理モデルを受信し、  
 前記物理モデルに基づいて前記ブレーキの制動回数に関する故障の程度を表す複数の確率分布を含む、シミュレーションされたデータを生成し、  
 前記シミュレーションされたデータを平滑化することで、前記故障の程度に対応する前記ブレーキの制動回数の確率密度を含む統計モデルを生成し、  
 前記ブレーキの状態を示す少なくとも1つの測定されたセンサデータ受信し、  
 前記統計モデルに基づいて、前記センサデータを前記シミュレーションされたデータの  
前記確率分布と比較して、最大確率を有する故障の程度を判定し、  
 前記判定結果に基づいて、前記ブレーキを制御するための制御信号を送信し、  
 前記1つ又は複数のプロセッサに、前記物理モデルを受信させること、前記シミュレーションされたデータを生成させること、前記センサデータを受信させること、前記統計モデルを生成すること前記センサデータを前記シミュレーションされたデータと比較させること、および、前記制御信号を送信させることを実行するようにプログラムする実行可能命令を維持する1つ又は複数の非一過性のコンピュータ可読媒体と、  
 を備える設備制御システム。

10

20

## 【請求項 2】

複数の時間の異なる前記センサデータを含む履歴データを正規化することを特徴とする請求項 1 に記載の設備制御システム。

## 【請求項 3】

前記シミュレーションされたデータと前記履歴データとの差異を決定するため、  
 正常な動作として分類される故障の程度を有する前記シミュレーションされたデータの第 1 の確率分布を決定し、  
 正常な動作として分類される状態を有する前記履歴データの第 2 の確率分布を決定し、  
 前記第 1 の確率分布と前記第 2 の確率分布の間の偏差に基づいて前記差異を決定することと、  
 を含む、請求項 2 に記載の設備制御システム。

10

## 【請求項 4】

前記ブレーキの最大確率を有する故障の程度を判定するために、前記正規化されたセンサデータの分布と前記シミュレーションされたデータの分布との間の相対エントロピーが最小となるものから判定することを特徴とする請求項 2 に記載の設備制御システム。

## 【請求項 5】

前記プログラムする実行可能命令が、  
 前記ブレーキの状態を判定するために、前記ブレーキの前記故障の程度を 1 つ又は複数の閾値と比較することと、  
 前記状態に少なくとも部分的に基づいて、計算装置に通知を送信することであって、前記通知が前記状態の表示を含む、通知を送信することと、  
 をさらに含む、請求項 1 に記載の設備制御システム。

20

## 【請求項 6】

前記ブレーキが機械の構成要素であり、前記プログラムする実行可能命令が、  
 前記ブレーキの前記故障モード及び前記故障の程度を 1 つ又は複数の閾値と比較して、前記ブレーキの磨耗が許容可能な磨耗の閾値を超えると判定することと、  
 前記ブレーキの磨耗が許容可能な磨耗の前記閾値を超えると判定することに少なくとも部分的に基づいて、前記ブレーキが構成要素である機械に、前記機械に動作を止めさせるための前記制御信号を送信することと、  
 をさらに含む、請求項 1 に記載の設備制御システム。

30

## 【請求項 7】

1 つ又は複数のプロセッサを含む故障判定に基づいた設備制御システムを用いた設備制御方法であって、

前記設備制御システムは、  
 ブレーキの物理モデルを受信し、

前記物理モデルに基づいて前記ブレーキの制動回数に関する故障の程度を表す複数の確率分布を含む、シミュレーションされたデータを生成し、前記シミュレーションされたデータを平滑化することで、前記故障の程度に対応する前記ブレーキの制動回数の確率密度を含む統計モデルを生成し、

前記ブレーキの状態を示す少なくとも 1 つの測定されたセンサデータを受信し、  
前記統計モデルに基づいて、前記センサデータを前記シミュレーションされたデータの前記確率分布と比較して、最大確率を有する故障の程度を判定し、

40

前記判定結果に基づいて、前記ブレーキを制御するための制御信号を送信することを特徴とする故障判定に基づいた設備制御方法。

## 【請求項 8】

前記ブレーキの状態を判定するために、前記ブレーキの前記故障の程度を 1 つ又は複数の閾値と比較することと、

前記状態に少なくとも部分的に基づいて、前記通知又は前記制御信号の前記少なくとも 1 つを送信することであって、前記通知が前記ブレーキの前記状態の表示を含み、前記制御信号が前記ブレーキの少なくとも 1 つの機能を制御する、前記通知又は前記制御信号の

50

前記少なくとも1つを送信することと、  
をさらに含む、請求項7に記載の設備制御方法。

【請求項9】

前記シミュレーションされたデータと前記センサデータとの差異を決定するため、  
正常な動作として分類される故障の程度を有する前記シミュレーションされたデータの  
第1の確率分布を決定し、

正常な動作として分類される状態を有する前記履歴データの第2の確率分布を決定し、  
前記第1の確率分布と前記第2の確率分布の間の偏差に基づいて前記差異を決定するこ  
とを特徴とする請求項8に記載の設備制御方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は故障判定に基づいた設備制御技術に関する。

【背景技術】

【0002】

統計モデルは、受信されたデータに基づいて、判定及び他のタイプの予測を行うために  
使用することができる。例えば、統計モデルは計算モデルの一種であって、データのより  
大きい母集団から判定される類似データに関する情報に部分的に基づいたデータに関する  
仮定の集合を含む。一例として、統計モデルに含まれる仮定の集合は、複数の確率分布を  
記述することができる。例えば、統計モデルは、1つ又は複数のランダム変数、また場合  
によっては、ランダムではない変数を関連付ける、1つ又は複数の数式で構成されてよい  
。通常、統計モデルは予測を行うために使用される前に、多量の履歴データを使用して改  
良することができる。しかしながら、十分な量の改良用データが利用できない場合、正確  
な統計モデルを生成することは困難であることがある。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

受信されたデータに基づいて、判定及び他のタイプの処理の精度を高める。

【課題を解決するための手段】

【0004】

いくつかの実施態様は、設備の状態を判定し、状態に基づいて少なくとも1つの処置を  
実行するための構成及び技法を含む。いくつかの例では、計算装置は設備の物理モデルに  
基づいてシミュレーションされたデータを生成することがある。例えば、シミュレーショ  
ンされたデータは、設備の少なくとも1つの故障モードについて、それぞれ複数の故障の  
程度の複数の確率分散を含むことがある。さらに、計算装置は、設備の測定された測定基  
準を示すセンサデータを受信することがある。計算装置は、設備の故障モード及び故障の  
程度を判定するために、受信されたセンサデータをシミュレーションされたデータと比較  
することができる。設備の判定された故障モード及び故障の程度に少なくとも部分的に基  
づいて、計算装置は通知又は制御信号の少なくとも1つを送信することができる。

【0005】

いくつかの実施態様では、計算装置は設備の物理モデルを受信することがあり、物理モ  
デルによって生成されるシミュレーションされたデータと設備の履歴データとの差異を決  
定することがある。さらに、計算装置は、シミュレーションされたデータに基づいて統計  
モデルを生成してよい。例えば、統計モデルは、設備の少なくとも1つの故障モードにつ  
いてそれぞれ複数の故障の程度の複数の確率分布を含んでよい。さらに、計算装置は設  
備の測定された測定基準を示すセンサデータを受信してよく、差異に基づいて受信され  
たセンサデータを正規化してよい。さらに、統計モデルに基づいて、計算装置は、設備  
の程度を判定するために、受信されたセンサデータをシミュレーションされたデータと  
比較してよく、判定された故障の程度に基づいて少なくとも1つの処置を実行してよい。

【0006】

10

20

30

40

50

発明を実施するための形態は、添付の図を参照して説明される。図中、参照番号の最も左側の数字は、参照番号が最初に表示される図を特定する。異なる図での同じ参照番号の使用は、類似する又は同一の項目又は特徴を示す。

【発明の効果】

【0007】

受信されたデータに基づいて、判定及び他のタイプの処理の精度を高めることができる。

【図面の簡単な説明】

【0008】

【図1】いくつかの実施態様に従って設備を制御する及び/又は通知を提供することができるシステムのアーキテクチャ例を示す図である。 10

【図2】いくつかの実施態様に従って図1のシステムによって実行される動作の例を示す図である。

【図3】いくつかの実施態様に従って履歴データを表すデータ構造例を示す図である。

【図4】いくつかの実施態様に従って物理モデルを決定するためのプロセス例を示す流

【図5】いくつかの実施態様に従ってシミュレーションされたデータを生成する例を示す図である。

【図6】いくつかの実施態様に従って統計モデルを生成する例を示す図である。

【図7】いくつかの実施態様に係る統計モデルに含まれる情報の例を示す図である。

【図8】いくつかの実施態様に従って統計モデルに基づいて受信されたセンサデータを分析するためのプロセス例を示す流れ図である。 20

【図9】いくつかの実施態様に係る事後確率を含むデータ構造例を示す図である。

【図10】いくつかの実施態様に従って決定された距離に基づいて故障モードを判定する例を示す図である。

【図11】いくつかの実施態様に従って受信されたセンサデータから判定された分析結果を表すデータ構造例を示す図である。

【図12】いくつかの実施形態に従って設備を制御する及び/又は通知を送信するためのプロセス例を示す流れ図である。

【発明を実施するための形態】

【0009】

本明細書のいくつかの実施態様は、設備の、条件に基づいた監視、保守、及び/又は制御のための技法及び構成を対象としている。開示されているシステムは、物理モデル及びシミュレータを利用して、実際の改良データが十分にない場合に統計モデルジェネレータによって改良データとして使用できるシミュレーションされたデータを生成してよい。従って、統計モデルジェネレータは、オペレータによって使用できる分析結果を生成するためのリアルタイム現場データを分析するために使用可能な統計モデルを提供してよい。例えば、オペレータは、設備を制御するための制御信号を送信してよい、及び/又は例えば設備の保守が推奨されることをユーザに知らせるためにユーザ計算装置に通知を送信してよい。結果的に、本明細書のいくつかの例は、計算装置が、保守が設備に対して実行されるべきかどうか、設備が停止される、それともそれ以外の場合制御されるべきかどうか、アラートその他の通知が送信されるべきかどうか等を判定するために設備の状態を監視する条件に基づいた保守及び/または制御を可能にする。いくつかの例は、受信されたセンサデータから設備の故障モード及び故障の程度を予測することに少なくとも部分的に基づいて条件に基づいた保守及び予測保守を可能にする。 40

【0010】

いくつかの例では、計算装置は、例えばネットワーク接続又は直接的な接続を通して現場の設備からデータを受信することにより、条件に基づいた制御及び又は保守を可能にすることがある。計算装置は統計モデルを使用し、受信された現場データを記憶し、分析してよい。分析結果が、故障の程度とともに設備の特定の故障モードの発生等の、設備の閾値条件を示したら、計算装置は、示された条件に基づいて少なくとも1つの処置を実行し 50

てよい。システムは、受信されたセンサデータとシミュレーションされたデータとの比較によって故障モード及び故障の程度を予測できる。システムは、センサモードを受信する前に、シミュレーションされたデータを作成してよい。従って、システムは、限られたセンサを有する及び/又はサンプリングレートが低い設備の故障モード及び故障の程度を予測できる。

**【 0 0 1 1 】**

条件に基づいた制御及び保守監視を実行するために、計算装置は統計モデルを作成してよいが、設備の様々な異なるタイプの故障の十分な履歴データを有していないことがある。例えば、典型的な統計プロセスでは、統計モデルは、ターゲット設備の故障に関して正確に予測できるようにターゲット設備に関する多量の故障データを活用してよい。ただし、疎データ、低サンプリングレートの場合等の多くのタイプの設備の場合、統計モデルを改良する上では大量の故障データしか利用できないことがある。従って、この問題に対処するために、本明細書のいくつかの例は、メイン知識及び実験データを活用して、統計モデルとともに物理モデルを生成することがある。物理モデルは、設備の物理特性を記述する1つ又は複数の方程式を含んでよい。従って、物理モデルは多種様々の故障モード及び故障の程度をシミュレーションできることがある。例えば、物理モデルはシミュレーションされた故障データを生成するために使用されてよく、シミュレーションされた故障データは統計モデルを改良するために使用されてよい。統計モデルが改良された後、計算装置は統計モデルを使用して、ターゲット設備について受信されたセンサデータに基づいてターゲットデータの故障モード及び故障の程度を予測してよい。

**【 0 0 1 2 】**

物理モデルは、ターゲット設備に関する実験データ及びドメイン知識を使用し、作成されてよい。物理モデルは、正常な動作モード、予想される故障モード、及び予想される故障の程度に関してシミュレーションされたデータを生成するためにシミュレータによって使用されてよい。次に、統計モデルジェネレータは、履歴データとシミュレーションされたデータの両方を使用し、統計モデルを生成してよい。分析を実行するための統計モデルの使用、統計モデルの使用には、分析中の受信センサデータの正規化プロセス及び予測プロセスを含んでよい。予測器は、受信センサデータに基づいて故障モード及び故障の程度を予測するために統計モデルを使用してよい。いくつかの例では、センサデータは、ターゲット設備と関連付けられた1つ又は複数のセンサから例えば直接的な接続を通して又はネットワーク上で受信され、ほぼリアルタイムで分析されることがある。予測器は、例えばターゲット設備を制御する、及び/又は設備人員に通知を送信する等の、分析結果に基づいた少なくとも1つの動作を実行可能なオペレータに分析結果を提供してよい。

**【 0 0 1 3 】**

本明細書のいくつかの実施態様は、統計モデルに履歴データ及びシミュレーションされたデータを統合することがある。例えば、シミュレータは、予想されるあらゆる故障モード及び予想されるあらゆる故障の程度を含んでよい、正常な動作モード及び異常な動作モードの履歴データに対応するシミュレーションされたデータを生成してよい。さらに、物理モデルから生成されるシミュレーションされたデータは、ターゲット設備と関連付けられたセンサで測定されるセンサデータと同じ量に従って、測定、定量化、及び/又は正規化可能である。

**【 0 0 1 4 】**

説明のために、いくつかの実施態様例は、シミュレーションされたデータに基づいて統計モデルを改良し、ターゲット設備からセンサデータを受信し、例えば通知及び/又はブレーキその他の設備を制御するための制御信号を送信するため等、設備の状態を判定するために統計モデルを使用する計算装置の環境で説明される。しかしながら、本明細書の実施態様は提供される特定の例に制限されず、本明細書の開示を鑑みて当業者に明らかになるように、他のタイプの設備、他のタイプの環境、他のシステムアーキテクチャ、他のタイプの計算モデル等に拡張されてよい。

**【 0 0 1 5 】**

図1は、いくつかの実施態様に従って設備を制御、及び/又は通知を提供することができるシステム100のアーキテクチャ例を示す。システム100は、1つ又は複数のネットワーク106を通して等、1つ又は複数のセンサ104と直接的に又は間接的に通信できる少なくとも1つの計算装置102を含む。例えば、センサ104は、設備108の1つ又は複数の測定基準を測定するために設備108と関連付けられてよい。さらに、計算装置102は、1つ又は複数のネットワーク106を通して1つ又は複数のユーザ計算装置110と通信可能でもよい。

#### 【0016】

いくつかの例では、計算装置102は、1つ又は複数のサーバ、パーソナルコンピュータ、組み込みプロセッサ、または任意のいくつかの方法で組み込まれてよい他のタイプの計算装置を含んでよい。例えば、他のコンピュータアーキテクチャが追加的に又は代わりに使用されてよいが、サーバの場合、モジュール、他の機能構成要素、及びデータストレージの少なくとも一部分が、例えばサーバのクラスタ、データセンタのサーバファーム、クラウドでホストされる計算サービス等の中で少なくとも1つのサーバに実装されてよい。代わりに、例えば埋め込みシステム、電子制御装置(ECU)等の場合のように、計算装置102は1つまたは複数の車両ECU、他のタイプの組み込みプロセッサ、その他のプログラム可能計算装置を含んでよい。

#### 【0017】

示されている例では、計算装置102は1つ又は複数のプロセッサ112、1つ又は複数の通信インタフェース114、及び1つ又は複数のコンピュータ可読媒体116を含むか、計算装置102と関連付けさせてよい。各プロセッサ112は単一の処理ユニット又はいくつかの処理ユニットであってよく、単一の若しくは複数の計算ユニット又は複数の処理コアを含んでよい。プロセッサ112は、1つ又は複数の中央演算処理装置、マイクロプロセッサ、マイクロコンピュータ、マイクロコントローラ、デジタルシグナルプロセッサ、状態機械、論理回路網、及び/又は操作命令に基づいて信号を操作する任意の装置として実装できる。例えば、プロセッサ112は、本明細書に説明されるアルゴリズム及びプロセスを実行するように特にプログラムされた又は構成された1つ又は複数のハードウェアプロセッサ及び/又は任意の適切なタイプの論理回路であってよい。プロセッサ112は、本明細書に説明される機能を実行するようにプロセッサ112をプログラムできる、コンピュータ可読媒体116に記憶されるコンピュータ可読命令を取り込み、実行するように構成されてよい。

#### 【0018】

コンピュータ可読媒体116は、コンピュータ可読命令、データ構造、プログラムモジュール、その他のデータ等の情報の記憶のための任意のタイプの技術で実装される揮発性メモリ及び不揮発性メモリ並びに/又は取外し可能媒体及び取外し不能媒体を含んでよい。例えば、コンピュータ可読媒体116は、RAM、ROM、EEPROM、フラッシュメモリ、その他のメモリ技術、光学記憶装置、ソリッドステートストレージ、磁気テープ、磁気ディスクストレージ、RAIDストレージシステム、ストレージアレイ、ネットワーク接続ストレージ、ストレージエリアネットワーク、クラウドストレージ、又は所望の情報を記憶するために使用でき、計算装置によってアクセスできる任意の他の媒体を含んでよいが、これに限定されるものではない。計算装置102の構成に応じて、コンピュータ可読媒体116は、言及される場合には、非一過性のコンピュータ可読媒体が、エネルギー、搬送波信号、電磁波、及び/又は信号自体等の媒体を除外する限り有形の非一過性媒体であってよい。いくつかの場合、コンピュータ可読媒体116は計算装置102と同じ場所にあってもよく、他の例では、コンピュータ可読媒体116は計算装置102から部分的に離れていてもよい。

#### 【0019】

コンピュータ可読媒体116は、プロセッサ112によって実行可能である任意の数の機能構成要素を記憶するために使用されてよい。多くの実施態様では、これらの機能構成要素は、プロセッサ112によって実行可能であり、実行時、本明細書では計算装置10

10

20

30

40

50

2に帰する処置を実行するようにプロセッサ112を特にプログラムする命令又はプログラムを含む。コンピュータ可読媒体116に記憶される機能構成要素は、管理アプリケーション118を含んでよい。管理アプリケーション118は、1つ又は複数のコンピュータプログラム、コンピュータ可読命令、実行可能コード、又はプロセッサ112に、ターゲット設備108を監視・制御し、保守人員、設備オペレータ、その他の設備人員に通知を送信する等の様々なタスクを実行させるために実行可能である部分を含んでよい。示されている例では、管理アプリケーション118は、シミュレーションされたデータを生成するためのシミュレータ120、少なくとも部分的にシミュレーションされたデータから統計モデルを生成するための統計モデルジェネレータ122、予測を行うために統計モデルを使用するための予測器124、及び予測に基づいて少なくとも1つの動作を実行するためのオペレータ126を含む。これらの構成要素のそれぞれは管理アプリケーション118の実行可能モジュール、又はその一部分であってよい。又他の例では、これらの構成要素のいくつか又はすべてが、個別に実行可能なコンピュータプログラムであってよい。

10

**【0020】**

さらに、機能構成要素は、計算装置102の様々な機能を制御・管理可能なオペレーティングシステム128を含んでよい。いくつかの場合、機能構成要素は、コンピュータ可読媒体116のローカルメモリ部分の中にロードされるコンピュータ可読媒体116のストレージ部分に記憶され、1つ又は複数のプロセッサ112によって実行されることがある。他の多くのソフトウェア構成及び/又はハードウェア構成は、本明細書の開示の利点を有する当業者に明らかになるだろう。

20

**【0021】**

さらに、コンピュータ可読媒体116は、本明細書に説明される機能及びサービスを実行するために使用されるデータ及びデータ構造を記憶してよい。例えば、コンピュータ可読媒体116は、1つ又は複数の物理モデル130、物理モデル130を決定するために使用可能な実験データ132、履歴センサデータ136及び保守データ138を含むことがある履歴データ134、シミュレータ120によって生成可能なシミュレーションされたデータ140、統計モデルジェネレータ122によって生成可能な統計モデル142、センサ104及び/又は設備108から受信可能なセンサデータ144、並びに統計モデル142及びセンサデータ144に基づいて生成されてよい1つ又は複数の分析結果146を記憶してよい。例えば、管理アプリケーション118は、設備108に関するセンサデータ144を受信してよく、設備108の現在の状態を示す少なくとも1つの分析結果146を決定するために統計モデル142及びセンサデータ144を使用してよい。

30

**【0022】**

さらに以下に説明されるように、管理アプリケーション118は、設備108を制御すること、故障がないか設備108を監視すること、ユーザ計算装置110等の設備人員にアラートその他の通知を送信すること等の機能を実行するために統計モデル142から下される判定を使用してよい。また、計算装置102は、プログラム、ドライバ等を含んでよい他の機能構成要素及びデータ、並びに機能構成要素によって使用又は生成される他のデータを含むか維持してよい。さらに、計算装置102は、他の論理構成要素、プログラム可能構成要素、及び物理構成要素を多数含んでよく、その内、上述されたものは、本明細書の説明に係る例にすぎない。

40

**【0023】**

通信インタフェース114は、例えば1つ又は複数のネットワーク106上で、他の様々な装置との通信を可能にするための1つ又は複数のインタフェース及びハードウェア構成要素を含んでよい。従って、通信インタフェース114は、センサ104、設備108、及び/又はユーザ計算装置110と通信するためにネットワーク106への接続を提供する1つ又は複数のポートを含むか1つ又は複数のポートに結合されてよい。例えば、通信インタフェース114は、以下にさらに列挙されるように、BLUETOOTH（登録商標）等の近距離通信だけではなく、LAN（ローカルエリアネットワーク）、WAN（広域ネットワーク）、インターネット、ケーブルネットワーク、セルラーネットワーク、

50

無線ネットワーク（例えば、W i - F i）、及び有線ネットワーク（例えば、光ファイバ、イーサネット（登録商標）、ファイバチャネル）、直接的な接続の内の1つ又は複数も通して通信を可能にしてよい。

【 0 0 2 4 】

1つ又は複数のネットワーク106は、イントラネット等のLAN、インターネット等のWAN、セルラーネットワーク等の無線ネットワーク、W i - F i等のローカル無線ネットワーク、BLUETOOTH（登録商標）等の短距離無線通信、光ファイバ、イーサネット、ファイバチャネルを含む有線ネットワークを含む任意のタイプのネットワーク、又は任意の他の係るネットワーク、直接有線接続、又はその任意の組合せを含んでよい。従って、1つまたは複数のネットワーク106は、有線通信技術及び/又は無線通信技術の両方を含んでよい。係る通信に使用される構成要素は、ネットワークのタイプ、選択された環境、又はその両方に少なくとも部分的に依存することができる。係るネットワーク上で通信するためのプロトコルは周知であり、本明細書では詳細に説明されない。従って、計算装置102、センサ104、及び/又は設備108、並びにユーザ計算装置110は、有線接続又は無線接続、及びその組合せを使用し、1つ又は複数のネットワーク106上で通信できる。

10

【 0 0 2 5 】

いくつかの例では、計算装置102は、設備108の1つ若しくは複数の特徴その他の測定基準を測定するために設備108と関連付けられる1つ又は複数のセンサ104からセンサデータ144を受信してよい。例えば、管理アプリケーション118は、設備108の状態を分析するために設備108についての受信されたセンサデータ144を使用してよい。設備108の判定された状態に基づいて、管理アプリケーション118は、設備108を制御するための制御信号150を送信する、及び/又は設備108の状態に関して、設備人員等のユーザ154に通知するためにユーザ計算装置110に通知152を送信してよい。従って、いくつかの例では、少なくとも1つのユーザ計算装置110は設備108を監視するための監視システム148の一部であってよい。

20

【 0 0 2 6 】

センサ104は、単一のターゲット設備108、又は複数の設備108を監視してよい。センサ104は、例えば計算装置102にセンサデータ144を送信するために、計算装置102とネットワーク106上で通信する能力を含んでよい。いくつかの場合、センサ104又はそれと関連付けられた装置は、計算装置102について説明されたハードウェア構成に類似するが、センサ104が本明細書に説明される様々な測定機能及び通信機能を実行できるようにするために異なる機能構成要素及びデータを有するハードウェア構成を含んでよい。

30

【 0 0 2 7 】

他の例では、センサ104は、設備108の中に統合されてよく、設備108は計算装置102と直接的に通信してよく、計算装置102は設備108と直接通信してよい。この場合、管理アプリケーション118は設備108からセンサデータ144を受信してよく、設備108から受信されたセンサデータ144に基づいて制御信号150を使用し、設備108を直接制御してよい。

40

【 0 0 2 8 】

ユーザ計算装置110は、デスクトップ、ワークステーション、サーバ、ラップトップ、タブレット計算装置、モバイル機器、スマートフォン、ウェアラブルデバイス等の適切なタイプの計算装置、又はネットワーク上でデータを送受信できる他のタイプの計算装置であってよい。いくつかの場合、ユーザ計算装置110は、計算装置102について説明されたハードウェア構成に類似するが、ユーザ計算装置110が本明細書に説明される様々な機能を実行できるようにするために異なるデータ構成要素及び機能構成要素を有するハードウェア構成を含んでよい。いくつかの例では、ユーザ計算装置110は、例えば管理アプリケーション118から受信される通知152を提示するためのディスプレイ156を含んでよい。例えば、通知152はユーザ154に設備108の状態を示してよい。

50

さらに、ユーザ154が保守作業員その他の設備人員である場合、ユーザ154はユーザ計算装置110を使用して、例えば計算装置102に管理データを送信するために、設備108に関する保守データ138を入力してよい。又他の例では、設備108を計算装置102に保守データ138を送信するために使用することもできる。例えば、保守データ138は保守作業員又は設備人員の身分、設備108の識別子(設備ID)、設備108の保守点検その他の点検が実行された時刻、設備108の状態等の保守の結果、及び設備108になされる任意の保守を含んでよい。

#### 【0029】

図2は、いくつかの実施態様に係るシステム100の動作の例を示す。この例では、設備108が、機械204の構成要素であるブレーキ202を含むと仮定する。一例として、機械204はエレベータであってよく、エレベータは、例えばエレベータの停止中のエレベータの動きを制御する、乗客の乗降中にエレベータを適所に保持する等のためにブレーキ202を使用する。他の例では、機械204は列車、トラック、バス、自動車、飛行機等の車両であってよく、ブレーキ202は車両を遅くするか停止するために使用されてよい。さらに別の例では、機械204はその動作中にブレーキを使用する任意の他のタイプの機械であってよい。

#### 【0030】

いくつかの場合、破線206で示されるように、計算装置102は機械204の中に少なくとも部分的に含まれてもよい、及び/又は機械204と同一場所に配置されてもよく、他の場合には、計算装置102は、例えば上述された1つ又は複数のネットワーク106上で機械204と通信中等に、機械204から離れて位置してもよい。さらにこの例はブレーキ202を有する設備108の実装を通してシステム100の動作を説明しているが、別の例では、システム100は他のタイプの設備108及び機械204を監視・制御するために使用されてよい。

#### 【0031】

示されている例では、センサ104はセンサ104からセンサデータ144を受信してよく、計算装置102にセンサデータ144を送信してよい。いくつかの例では、センサ104は、例えば一日単位、時間単位等の規則正しい間隔で、又は他の所望の間隔でセンサデータ144を送信してよい。例えば、センサ104は、センサ104から制動回数の測定値を周期的に受信してよく、間隔に亘る平均制動回数を決定してよい。一例として、制動回数は、ブレーキ202自体又は機械204が、ブレーキ202がかけられた後に完全停止するまでにかかる時間の長さであってよい。従って、センサ104は、制動回数を測定するための少なくとも1つのタイマを含んでよい。さらに、センサ104は機械204及び/又はブレーキ202の減速を測定するための加速センサ、ブレーキによってかけられる制動力を測定するための力センサ、ブレーキをかけるためのモータによって使用される電流の量を測定するための電流センサ、ブレーキをかけるために使用される流体圧力の量を測定するための油圧センサ等の設備108の他の測定基準を測定するための他の様々なタイプのセンサを含んでよい。

#### 【0032】

計算装置102は、リアルタイム現場データとしてセンサデータ144を受信すると、例えば設備108の状態のほぼリアルタイムの判定を可能にするために、予測器124にセンサデータ144を提供してよい。例えば、ほぼリアルタイムの判定は、センサデータ144がセンサ104から受信される時間間隔に少なくとも部分的に基づいて「ほぼリアルタイム」であってよい。

#### 【0033】

さらに、計算装置102は履歴データ134とともにセンサデータ144を記憶してよい。例えば、計算装置102は、履歴データ134を記憶する記憶装置その他のコンピュータ可読媒体にリアルタイムセンサデータ144を蓄積してよい。また、履歴データ134は、例えば保守作業員によってアップロードされる保守レポートから抽出可能な、保守作業員その他の設備人員から受信される保守データ138も含んでよい。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 3 4 】

物理モデル 1 3 0 は、1 つ又は複数の方程式として物理現象を説明する。この例では、物理モデル 1 3 0 は、ブレーキ 2 0 2 の静的表現及び / 又は動的表現、並びに機械 2 0 4 のドメイン等の例えばニュートン物理学の観点から、ブレーキ 2 0 2 の動作及び特性を説明する 1 つ又は複数の公式を含んでよい。従って、物理モデル 1 3 0 は、ブレーキ 2 0 2 及び機械 2 0 4 の実際の物理的な構成に応じて、機械質量、ブレーキ摩擦係数、印加される制動力、並びにブレーキ 2 0 2 及び機械 2 0 4 の他の様々な物理特性及び特徴の間の相互作用を説明する公式を含んでよい。物理モデルの生成は、多数の物理学及び工学の教科書の主題であり、従って物理モデル 1 3 0 の初期の生成の追加の説明は本明細書には示されない。

10

## 【 0 0 3 5 】

さらに、物理モデル 1 3 0 は、予想されるあらゆる故障モード及び故障の程度を含む、設備 1 0 8 の正常モード及び異常モードを説明する能力を含んでよい。ブレーキ故障モードの例には、ブレーキ摩耗、ブレーキ粘着、ブレーキ障害、及び / 又はブレーキをかけるために使用される電気モータ若しくは油圧システムの故障等の制動原動力の故障を含んでよい。さらに、他の例で 0 % ~ 1 0 0 % 等の他の範囲が使用されることもあるが、本明細書のいくつかの例に従って、故障の程度は 0 から 1 の範囲としてもよい。故障の程度が 0 であるとき、ブレーキ構成要素は通常の状態にあると分類されてよい。ブレーキ 2 0 2 が摩耗するにつれ、又はブレーキ 2 0 2 の動作がそれ以外の場合悪化するにつれ、故障の程度は 1 に近づき、ブレーキは故障モードにあると分類されてよい。

20

## 【 0 0 3 6 】

物理モデル 1 3 0 は、例えばユーザ計算装置 1 1 0 の 1 つから計算装置 1 0 2 によって受信可能な実験データ 1 3 2 に少なくとも部分的に基づいて生成・検証されてよい。例えば、設備人員その他のユーザは、設備 1 0 8 の様々な故障モード及び故障の程度を判定するために設備 1 0 8 を用いて 1 つ又は複数の実験を実行してよい。従って、実験データ 1 3 2 は設備 1 0 8 に関するドメイン知識を提供してよい。さらに以下に説明されるように、物理モデル 1 3 0 はシミュレーションされたデータ 1 4 0 を生じさせるためにシミュレータ 1 2 0 によって使用されてよい。シミュレーションされたデータ 1 4 0 は、実験データ 1 3 2 に基づいて評価されてよい。いくつかの例では、物理モデル 1 3 0 は、評価結果に基づいて調整その他変更されることがある。(例えば実験データ 1 3 2 の閾値偏差の中で) 十分正確なシミュレーションされたデータ 1 4 0 を生じさせるために物理モデルが示されると、シミュレーションされたデータ 1 4 0 は、履歴データ 1 3 4 とともに、統計モデルジェネレータ 1 2 2 に提供されてよい。統計モデルジェネレータ 1 2 2 は、シミュレーションされたデータ 1 4 0 を使用し、統計モデル 1 4 2 を改良するように構成されてよい。いくつかの例では、予測器 1 2 4 に提供される前に、改良された統計モデル 1 4 2 が正確さに関して評価されてよい。さらに、統計モデルジェネレータ 1 2 2 は、統計モデルの使用中にセンサデータ 1 4 4 を正規化するために使用されてよいシミュレーションされたデータと履歴データ 1 3 4 との差異「 」を決定してよい。

30

## 【 0 0 3 7 】

統計モデル 1 4 2 の生成が完了すると、統計モデル 1 4 2 が予測器 1 2 4 に提供される。予測器 1 2 4 は、ブレーキ 2 0 2 の電流状態を示す分析結果 1 4 6 を決定するために統計モデル 1 4 2 及び受信されたセンサデータ 1 4 4 を使用してよい。オペレータ 1 2 6 は、予測器 1 2 4 によって決定された分析結果 1 4 6 を受信してよく、分析結果 1 4 6 に基づいて少なくとも 1 つの動作を実行してよい。分析結果 1 4 6 は、例えばデータベースその他の記憶アーキテクチャ等の、コンピュータ可読媒体 1 1 6 に、予測器 1 2 4 によってさらに記憶されてよい。

40

## 【 0 0 3 8 】

オペレータ 1 2 6 が分析結果 1 4 6 に基づいて実行してよい動作の例は、ユーザ計算装置 1 1 0 にアラートその他の通知 1 5 2 を送信することを含んでよい。さらに又は代わりに、管理アプリケーション 1 1 8 のオペレータ 1 2 6 は設定値を自動的に調整するか、そ

50

の他設備 108 を制御してよい。このようにして、分析結果 146 は、設備 108 を制御するためのフィードバックとして使用されてよく、それによって設備 108 の動作を改善する。例えば、機械 204 がエレベータであり、分析結果が、ブレーキ 202 が故障した又は故障に近い（例えば、故障の程度は指定閾値を超える）ことを示すと仮定する。オペレータ 126 は、ブレーキ 202 が修理できるまでエレベータの使用を防ぐために、例えばエレベータを停止するための制御信号 150 をエレベータに送信してよい。別の例として、分析結果 146 が、不十分な制動力がかけられていることを示す場合、オペレータ 126 はブレーキ 202 にかかる原動力を増加させるための制御信号 150 を機械 204 に送信してよい。機械が例えば列車、トラック、バス、自動車、飛行機等の車両である場合等の別の例として、オペレータ 126 は、ブレーキ 202 の磨耗が故障の閾値程度を超え

10

#### 【0039】

本明細書でいくつかの実施態様で使用可能な適切な統計モデル 142 の例は、予測モデル、決定木、分類子、線形回帰モデル等の回帰モデル、サポートベクトルマシン、及びマルコフモデル及び隠れマルコフモデル等の確率論的モデル、再帰型ニューラルネット等の人工神経ネットワークを含んでよい。従って、本明細書の実施態様は受信されたセンサデータ 144 に従って予測を提供できる。分析結果 146 は設備 108 の状態を表示してよく、設備 108 のより正確な制御、設備の緊急停止等を可能にすることによって設備 108 の動作を改善してよい。

20

#### 【0040】

さらに、いくつかの例では、本明細書に説明される動作の一部分は、機械 204 から遠隔である計算装置 102 の第 1 の計算装置によって実行され、動作の別の部分は、機械 204 と同一場所に配置される又は機械 204 に含まれる計算装置 102 の第 2 の計算装置によって実行されることがある。一例として、第 1 の計算装置 102 は、物理モデル 130、シミュレータ 120、及びシミュレーションされたデータ 140 及び統計モデル 142 を生成するため等の動作を実行するための統計モデルジェネレータ 122 を含んでよい。以後、統計モデル 142 は、予測器 124 及びオペレータ 126 を含む第 2 の計算装置

30

#### 【0041】

図 3 は、いくつかの実施態様に係る履歴データを表すデータ構造例 300 を示す。この例では、データ構造 300 は、監視される設備の識別子等の設備 ID 302、時刻 304、制動回数 306、及び状態 308 を含む表である。各行は、異なるセンサ報告間隔のための測定された制動回数 306 に対応する。例えば、センサが日々、計算装置 102 にターゲット設備の感知された制動回数を送信すると仮定する。いくつかの場合、感知された制動回数 306 は、時間間隔に亘って測定される複数の測定された制動回数の平均であることがある。代わりに、制動回数 306 は間隔の間に採取される単一の制動回数測定値であってよいが、これは精度の落ちる測定値を生じさせることがある。他の例では、履歴データは、制動力、ブレーキをかけるために消費されるエネルギー等の、センサによって測定される他のパラメータ又は追加パラメータを含んでよい。

40

#### 【0042】

時刻 304 は、センサデータが計算装置 102 によって受信された（又はセンサ 104 によって記録若しくは送信された）日付及び時刻を示してよい。さらに、状態 308 は、

50

保守作業員その他の設備人員によって示される設備の状態 308 を示してよい。例えば、保守作業員は設備の状態を周期的にチェックしてよく、判定された状態に基づいて保守レポートを提出してよい。保守レポートには、保守作業員によって観察される設備の状態を含んでよい。報告された状態は、保守データとともに含まれる日付に基づいた特定の日付及び時刻に相互に関連付けられてよい。

【0043】

多くのタイプの設備にとって、保守点検は通常、1カ月に1度、2週間に1度等、たまにしか実行されないことがある。保守レポートが特定の間隔受信されなかった、又は保守レポートが設備の報告される状態を含まなかった場合、状態は「データなし」を示してよい。統計モデルジェネレータは、さらに以下に説明されるように、正規化プロセスを実行するための状態情報を使用してよい。このプロセスで、統計モデルジェネレータは通常状態に関する履歴データを利用してよい。図3の例で示されるように、設備108の様々な故障モードに関する非常に疎のデータがあってよい。従って、履歴データ単独では正確な統計モデルを改良するには不十分であることがある。

【0044】

図4、図5、図6、図8、及び図12は、いくつかの実施態様に係るプロセス例を示す流れ図である。プロセスは、いくつか又はすべてがハードウェア、ソフトウェア、またはその組合せで実装されてよい一連の動作を表す論理流れ図のブロックの集合として示される。ソフトウェアの状況から見ると、ブロックは、1つ又は複数のプロセッサによって実行されるときに、列挙される動作を実行するようにプロセッサをプログラムする1つ又は複数のコンピュータ可読媒体に記憶されるコンピュータ実行可能命令を表してよい。概して、コンピュータ実行可能命令は特定の機能を実行する又は特定のデータ型を実装するルーチン、プログラム、オブジェクト、構成要素、データ構造等を含む。ブロックが説明される順序は、制限として解釈されるべきではない。任意の数の説明されるブロックは、プロセス又は代替プロセスを実装するために任意の順序で及び/又は並行して結合でき、ブロックのすべてが実行される必要はない。プロセスは多種様々の他の環境、フレームワーク、及びシステムで実装されてよいが、説明のために、プロセスは、本明細書の例に説明される環境、フレームワーク、及びシステムを参照して説明される。

【0045】

図4は、いくつかの実装に係る物理モデルを生成するためのプロセス例400を示す流れ図である。いくつかの例では、プロセス400は計算装置102その他の適切な計算装置によって少なくとも部分的に実行されてよい。

【0046】

402で、計算装置は実験データを受信してよい。例えば、設備108の知識を有する人等のユーザは設備108を試験することによって実験データを収集してよい。一例として、実験データは、設備の様々な異なる故障モードのために及び故障の様々な程度のために相対的に高いサンプリングレートで収集されてよい。例えば、設備がブレーキである場合、実験は、様々な異なる負荷下で等、様々な異なるレベルの磨耗でのブレーキの停止時間を決定することを含んでよい。いくつかの場合、追加のセンサは、例えば減速情報、負荷情報、制動力、及び他の測定基準を決定するために使用されることがある。

【0047】

404で、計算装置は、ドメイン知識及び実験データに基づいて作成される候補物理モデルを受信してよい。例えば、ユーザは設備構成及び使用目的の知識(つまりドメイン知識)に基づいて、及びさらに実験データに基づいて候補物理モデルを決定してよい。

【0048】

406で、計算装置は試験シミュレーションデータを生成するために候補物理モデル及びシミュレータを使用し、シミュレーションを実行してよい。さらに以下に説明されるように、シミュレータは、様々な異なる故障モード及び様々な故障モードの様々な故障の程度の結果を判定するための物理モデルに複数の異なるパラメータを提供するように構成されるアルゴリズム、コンピュータプログラム等であってよい。いくつかの場合、シミュレ

10

20

30

40

50

ータの出力は、さらに以下に説明されるように、複数の確率分布の形をとるシミュレーションされたデータであることがある。シミュレーションを実行する一例は、図5に関して以下に説明される。

【0049】

408で、計算装置は、試験シミュレーションされたデータと実験データとの差異Dを決定することでシミュレーションの結果を評価してよい。例えば、試験シミュレーションされたデータは、シミュレーションされたデータと実験データとの差異Dを決定するために実験データと比較されてよい。

【0050】

410で、シミュレーションされたデータと実験データとの差異Dが閾値偏差を超える場合、プロセスは412に移動する。他方、シミュレーションされたデータと実験データとの差異Dが閾値偏差未満である場合、プロセスは414に移動する。いくつかの例では、閾値偏差は統計モデルでの誤差の許容レベルに基づいて決定されることがある。

【0051】

412で、シミュレーションされたデータと実験データとの差異Dが閾値偏差を超える場合、計算装置は候補物理モデルの1つ又は複数のパラメータを更新その他変更してよく、プロセスは変更されたパラメータを使って再びシミュレーションを実行するために406に戻ってよい。406～410のプロセスは、差異Dが閾値偏差よりも小さくなるまで繰り返されてよい。

【0052】

414で、シミュレーションされたデータと実験データとの差異Dが閾値偏差未満である場合、物理モデルは十分に正確であると見なされてよく、計算装置は、図5に関して以下に説明されるように、統計モデルを生成する上で使用するためのシミュレーションされたデータを生成するために物理モデル及びシミュレータを使用してよい。

【0053】

図5は、いくつかの実施態様に従ってシミュレーションデータを生成するためのプロセス例500を示す流れ図である。いくつかの例では、プロセス500は、計算装置102その他の適切な計算装置によって実行されることがある。物理モデルが作成された後、シミュレータは、正常モードや、あらゆる故障モードや、あらゆる故障モードの故障のあらゆる程度に備えてシミュレーションされたデータを生成してよい。いくつかの例では、シミュレーションされたデータは確率分布の形をとることがある。あらゆる故障モード及び故障の程度の分布を生成するために、システムに対する負荷はポワソン分布又はガウス分布等の分布としてモデル化されてよい。例えば、エレベータの場合、荷重はエレベータの乗客の体重及びエレベータ自体の重量に少なくとも部分的に基づいてモデル化されてよい。車両の場合、荷重は、乗員、燃料、車両重量等に基づいてモデル化されてよい。シミュレータは確率分布に基づいて無作為にデータをサンプリングしてよく、所与の故障モード及び所与の故障の程度の制動回数の分布を作成してよい。図5は、複数の故障モード及び故障モードあたりの複数の故障の程度の分布を作成するためのプロセス例を含む。

【0054】

502で、計算装置は処理のためのモード $F M_i$ （例えば、正常、摩耗、粘着、障害、運動の故障）を選択してよい。例えば、プロセスはそれぞれの選択されたモードの故障の程度ごとに確率分布を決定してよい。

【0055】

504で、計算装置は選択されたモードの第1の故障の程度、例えば $D o F_j = 0.0$ で起動してよい。本明細書の例では、0.0は故障なしを表し、1.0は完全な故障を表してよいが、他の例では他の範囲が使用されてよい。

【0056】

506で、計算装置はランダム負荷 $N_k$ を選択してよい。例えば、上述されたようにシステムに対する負荷は、ポワソン分布又はガウス分布等の分布としてモデル化されてよい。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 5 7 】

5 0 8で、計算装置は、 $x_{i j k} = (F M_i, D o F_j, N_k)$  のシミュレートに基づくなどして確率分布を決定してよい。 $F M_i$  は  $i$  番目の故障モードであり、 $D o F_j$  は  $j$  番目の故障の程度であり、 $N_k$  は、例えば負荷力のポワソン分布から無作為に選択される、 $k$  番目の無作為にサンプリングされた負荷力であり、 $T$  は、例えば  $k = 1$  から  $k = T$  までシミュレーションされるサンプルの数であり、 $x_{i j k}$  は  $F M_i$ 、 $D o F_j$ 、及び  $N_k$  でシミュレーションされる制動回数である。シミュレーションされたデータは、さらに以下に説明されるように、あらゆる故障モードのあらゆる故障の程度の制動回数のヒストグラムとして表されてよい。さらに、他の例では、 $x_{i j k}$  は制動力等の他のパラメータであってよい。さらに別の例として、 $x_{i j k}$  は1つの変数ではなく、複数の変数であってよい。例えば、 $x_{i j k}$  は制動回数及び制動力、その他のシミュレーションされたパラメータを含むベクトルであってよい。

10

## 【 0 0 5 8 】

5 1 0で、計算装置は無作為サンプリングされた負荷力  $N_k$  の  $k$  が所定の数  $T$  未満であるかどうかを判定してよい。例えば、1つの負荷力  $N_k$ 、つまり  $k$  番目の無作為にサンプリングされた負荷力が入力される時、シミュレータは1つの制動回数を計算する。結果的に、制動回数の(例えば、ヒストグラムとしての)確率分布を得るために、シミュレータは1000回等の制動回数を計算することがある。数  $T$  は、適切な数のサンプルが各故障モードで故障の程度ごとに十分な分布を得るために決定されることが確実になるように事前に定義されてよい。従って、サンプリングの数  $k$  が  $T$  に達すると、 $D o F_j$  が更新されるように、プロセスは5 1 2に進む。 $N_k$  の場合、 $k$  が  $T$  未満であると、プロセスは5 0 6に戻って別のランダム負荷力  $N_k$  を選択し、電流確率分布のために別の制動回数を計算する。

20

## 【 0 0 5 9 】

5 1 2で、計算装置は、故障の程度  $D o F_j$  が1.0に達したかどうかを判定してよい。達していない場合、プロセスは5 1 4に移動し、これにより  $D o F_j$  は増分され、プロセスは次の故障の程度について繰り返される。

## 【 0 0 6 0 】

5 1 4で、故障の程度 ( $D o F_j$ ) が1.0未満である場合、計算装置は、例えば  $j = j + 0.1$  等、 $D o F_j$  を増分してよく、プロセスは次の故障の程度のために繰り返される。本明細書の例では、故障の程度は0.0から1.0に10分の1の単位で増分されてよいが、他の例では他の範囲及び/又は増分が使用されてよい。

30

## 【 0 0 6 1 】

5 1 6で、故障の程度  $D o F_j$  が1.0に達すると、計算装置は、まだ処理されていない任意の他の故障モード  $F M_i$  があるかどうかを判定してよい。ある場合、プロセスは、次の故障モード  $F M_i$  のシミュレーションされたデータを生じさせる次の故障モードを選択するためにブロック5 0 2に戻ってよい。

## 【 0 0 6 2 】

5 1 8では、他方、シミュレーションデータがモード  $F M$  のすべてについて生成された場合、計算装置はシミュレーションされたデータを統計モデルジェネレータに提供してよい。

40

## 【 0 0 6 3 】

図6は、いくつかの実施態様に係る確率密度関数を決定するプロセス例6 0 0を示す。シミュレーションされたデータ1 4 0は、あらゆる故障モードのあらゆる故障の程度に関する制動回数の複数のヒストグラムとして表されてよい。図5に関して上述されたように、シミュレータ1 2 0に提供されるパラメータ6 0 2は、故障モード  $F M_i$ 、故障の程度  $D o F_j$ 、及び負荷力  $N_k$  を含む。図5に関して上述されたように、及び6 0 4で示されるように、シミュレータ1 2 0は、制動回数の複数のヒストグラム6 0 6を含んでよいシミュレーションされたデータ1 4 0を生成するために物理モデル1 3 0及びパラメータ6 0 2を使用する。各ヒストグラム6 0 6は、各故障モード  $F M_i$  及び故障の程度  $D o F_j$

50

について制動回数対その制動回数のサンプルの数（頻度）を表してよい。

【 0 0 6 4 】

シミュレーションされたデータ 1 4 0 は、統計モデルジェネレータ 1 2 2 に提供されてよい。統計モデルを生成するためにシミュレーションされたデータ 1 4 0 を使用する前に、統計モデルジェネレータ 1 2 2 はシミュレーションされたデータに対してデータ平滑化を実行してよい。示されている例では、データ平滑化のために、統計モデルジェネレータ 1 2 2 は制動回数の各ヒストグラム 6 0 6 にカーネル密度推定（K D E）を適用してよい。K D E はランダム変数の確率密度関数を推定するためのノンパラメトリック手法である。K D E は、母集団についての推論が有限データサンプルに基づいて行われる根本的なデータ平滑化問題である。代わりに、他の例では他のデータ平滑化技法が使用されてよい。

10

【 0 0 6 5 】

6 0 8 に示されるように、確率密度  $P_{ij}(x)$  は、 $F M_i$  及び  $D o F_j$  ごとに以下の方程式（1）を使用し、計算されてよい。

【 0 0 6 6 】

【 数 1 】

## 方程式(1)

20

$$P_{ij}(x) = \text{kde}(\{x_{ijk}\}_{k=1 \cdots N})$$

【 0 0 6 7 】

上式では  $x_{ijk}$  は図 5 で決定されたシミュレーションされた制動回数である。従って、各ヒストグラム 6 0 6 に K D E を適用することによって 6 1 0 に示されるように、統計モデルジェネレータ 1 2 2 は、あらゆる故障モード及びあらゆる故障の程度に対応する制動回数の確率密度 6 1 2 を生成してよい。その結果、統計モデルジェネレータ 1 2 2 はあらゆる故障モード及びあらゆる故障の程度に対応する制動回数の確率密度を有する。統計モデルジェネレータ 1 2 2 は、シミュレーションされたデータの確率密度を有する統計モデル 1 4 2 を作成してよい。

30

【 0 0 6 8 】

図 7 は、いくつかの実施態様に係る統計モデル 1 4 2 に含まれることのある情報の例を示す。例えば、統計モデル 1 4 2 は、故障モード 7 0 4（例えば、正常、摩耗、粘着等）の表示、故障の程度 7 0 6、及び関連付けられた確率データセット 7 1 0 のデータ I D 7 0 8 等を含んでよい、故障モードデータ構造 7 0 2 を含むことができる。確率データセット 7 1 0 は、故障モードデータ構造 7 0 2 の対応する故障モードについて、故障の程度の確率分布を表す制動回数 7 1 2 及び関連付けられた確率 7 1 4 を含んでよい。例えば、各確率データセット 7 1 0 は、特定の故障モードの特定の故障の程度の確率分布 7 1 6 に対応して、異なる制動回数の複数の確率 7 1 4 を含む。さらに、それぞれの故障の程度の確率データセット 7 1 0 は、他の故障の程度及び故障モードの他の確率データセット 7 1 0 に関して正規化されてよい。この例では、確率データは 0 ~ 1 0 0 0 の目盛りに正規化されるが、他の例では任意の他の所望される目盛りが使用されることがある。

40

【 0 0 6 9 】

さらに、統計モデル 1 4 2 と関連付けられた情報は、各設備と関連付けられた デルタ表 7 2 0 を含んでよい。従って、デルタ表 7 2 0 は、設備を識別する設備 I D 7 2 2、及び設備について決定されてよい差異 7 2 4 を含んでよい。例えば、シミュレーションされたデータと履歴センサデータとの間に偏差がないように、完全な物理モデルを作成することが可能でない場合がある。従って、物理モデルが図 4 のプロセスでどのくらい

50

の回数上記で精緻化されるのかに関わりなく、履歴センサデータとシミュレーションされたデータの間には依然としてなんらかの差異がある場合がある。いくつかの例では、説明されない場合、この は統計モデルによって作り出されている誤判定又は検出漏れにつながる可能性がある。

【 0 0 7 0 】

の影響を削減するために、いくつかの実施態様は、 に基づいて追加の正規化を適用することがある。例えば、統計モデルジェネレータ 1 2 2 は、受信されたセンサデータに統計モデルを適用するために受信されたセンサデータを正規化してよい。例えば、受信されたセンサデータは、正常（故障なし）モードに対応するシミュレーションされたデータと、正常（故障なし）モード、つまり、故障の程度が 0 . 0 と見なされるときに正常な動作状態に対応する履歴センサデータとの差異として概算されてよい に基づいて正規化されてよい。この正規化例は、以下の方程式（ 2 ）によって定義されてよい。

10

【 0 0 7 1 】

【数 2】

## 方程式(2)

$$x'_t = x_t - \Delta$$

20

【 0 0 7 2 】

上式では、  $x_{\text{sensorData\_normal}}$  は時間  $t$  での受信されたセンサデータからの制動回数であり、  $x_t$  は時間  $t$  での受信されたセンサデータの正規化された制動回数であり、  $x_{\text{sensorData\_normal}}$  は正常な状態、つまり故障の程度が 0 . 0 と見なされるとき、対応する履歴センサデータからの制動回数であり、  $x_{\text{simulation\_normal}}$  は、故障の程度が 0 . 0 と見なされるときに正常な状態に対応するシミュレーションされたデータからの制動回数である。従って、 7 2 4 は、特定の設備 7 2 2 について、及び対応する統計モデルに使用されるシミュレーションデータについて事前に決定されてよい。  $x_t'$  の値は、センサデータ  $x_t$  が の値に基づいて受信された後に決定されてよい。一例として、計算装置は、正常な動作として分類された故障の程度を有するシミュレーションされたデータの第 1 の確率分布を決定し、正常な動作として分類された状態を有する履歴センサデータの第 2 の確率分布を決定することによって、及び第 1 の確率分布と第 2 の確率分布の間の偏差に基づいて差異 を決定することによって を決定してよい。代替策として、受信されたセンサデータとシミュレーションされたデータの差異を正規化するための別の技法は、正常な状態に対する差異値の比率等、相対的な特徴を適用することを含んでよい。この例では、制動回数自体等の絶対値は使用されないが、代わりに相対値は以下の方程式（ 3 ）によって定められてよい。

30

40

【 0 0 7 3 】

【数 3】

## 方程式(3)

$$x_t' = x_t - x_0$$

【0074】

10

上式では、 $x_t$  は時間  $t$  での制動回数であり、 $x_0$  は正常な状態での制動回数である。方程式(3)は、シミュレーションされたデータと受信されたセンサデータの両方に使用されてよい。例えば、シミュレーションされたデータの正常な状態の制動回数  $x_0$  は、履歴センサデータの正常な状態の制動回数  $x_0$  とは異なることがあるので、シミュレーションされたデータの  $x_t$  の値及びセンサデータの  $x_t$  の値はこの差異に従って正規化される。さらに、他の例では、 $x$  は制動力その他の制動パラメータであってよい。さらに他の例では、 $x$  は1つの変数ではなく、複数の変数を含んでよい。例えば、 $x$  は制動回数及び制動力を含むベクトルであってよい。

【0075】

20

図8は、いくつかの実施態様に従って故障モード及び故障の程度を予測器が予測できるプロセス例800を示す流れ図である。いくつかの例では、プロセス800は、計算装置102その他の適切な計算装置によって実行されることがある。

【0076】

802で、計算装置は分析のためにセンサデータを受信してよい。例えば、センサ又は設備の1つ又は複数に計算装置にセンサデータを送信してよい。センサデータは、本明細書のいくつかの例では制動回数である、設備の少なくとも1つの測定された測定基準を示してよい。ただし他の例では、他の測定基準が使用されてよい。例えば、センサデータは制動力その他の測定されたパラメータを含んでよい。さらにいくつかの場合、制動回数及び制動力の組合せ等の複数のパラメータが、故障モード及び故障の程度を判定するために使用されることがある。

30

【0077】

804で、計算装置は、上述された方程式(2)又は方程式(3)を使用し、統計モデルによりうまく適合するために受信されたセンサデータを正規化してよい。

【0078】

806で、計算装置は、所与の故障モード及び所与の故障の程度について制動回数の確率を決定してよい。例えば、図6及び図7に関して上述されたように、統計モデルジェネレータは統計モデルを提供するためにあらゆる故障モード及びあらゆる故障の程度に対応する確率を計算してよい。

【0079】

808で、計算装置は故障モード及び故障の程度の高確率を決定してよい。例えば、予測器はすべての事後確率  $P(DoF, FM | x_t')$  を計算してよい。図9は、これらの計算の結果に基づいて決定されてよいデータ構造例を示す。これらの計算は以下の方程式(4)に基づいて実行されてよい。

40

【0080】

【数4】

## 方程式(4)

$$P(x'_t | FM_i, DoF_j) = \int_{x'_t - \epsilon}^{x'_t + \epsilon} p(x'_t | FM_i, DoF_j) dx$$

$$P(FM_i, DoF_j | x'_t) = \frac{P(x'_t | FM_i, DoF_j) P(FM_i, DoF_j)}{P(x'_t)}$$

10

【0081】

810で、計算装置は最大の確率を有する故障モード及び故障の程度を選択してよい。例えば、計算装置は、正規化されたセンサデータを808で計算された事後確率と比較してよく、以下の方程式(5)に従って等、最大の事後確率に対応する故障の程度を選択してよい。

【0082】

20

【数5】

## 方程式(5)

$$i\_max, j\_max = \operatorname{argmax} (P(FM_i, DoF_j | x'_t))$$

30

【0083】

方程式5に基づいた最大確率で故障モードFM及び故障の程度DoFを判定する例は、図9に関してさらに以下に説明される。従って、図9のデータ構造における確率に基づいて、 $x'_t$ が単一の値(例えば制動回数)であるとき、最大確率は、受信されたセンサデータに対応する故障モード及び故障の程度を判定するために図9のデータ構造から決定されてよい。

【0084】

代わりに、受信されたセンサデータが測定された測定基準の分布である場合、以下に説明される方程式6及び方程式7が故障モード及び故障の程度を判定するために使用されてよい。例えば、計算装置が制動回数 $x'_t$ の分布を受信すると、計算装置は、以下の方程式(6)に基づいて、正規化されたセンサデータ $q(x'_t)$ の分布と、あらゆる故障モード及びあらゆる故障の程度に対応する複数の分布との間の相対的なエントロピーとして距離を計算してよい。

40

【0085】

【数 6】

## 方程式(6)

$$KL(p(x'_i | FM_i, DoF_i) \| q(x'_i)) = - \int p(x'_i | FM_i, DoF_i) \ln \left\{ \frac{q(x'_i)}{p(x'_i | FM_i, DoF_i)} \right\} dx'_i$$

【0086】

次いで計算装置は、以下の方程式(7)に基づいて最小相対エントロピーを有する故障モード及び故障の程度を選択してよい。

【0087】

【数 7】

## 方程式(7)

$$i\_min, j\_min = \operatorname{argmin} (KL(p(x'_i | FM_i, DoF_i) \| q(x'_i)))$$

【0088】

この技法の例は、図10に関して以下にさらに説明される。さらに、いくつかの場合 $x$ は、制動力のような異なるパラメータ、又は制動回数及び制動力を結合するベクトル等のパラメータの組合せであることがある。

【0089】

812で、最大確率を有すると判定された故障モード及び故障の程度に少なくとも部分的に基づいて、計算装置はターゲット設備を制御するための信号を送信してよい、及び/又は設備を監視する監視システムと関連付けられたユーザ計算装置等のユーザ計算装置に通知を送信してよい。一例として、計算装置は、設備自体又は設備に関連付けられた機械を制御するため等、設備を制御するために信号を送信してよい。例えば、設備がエレベータ用のブレーキである場合、計算装置は制動力を増加させるため等、ブレーキを制御するための制御信号を送信してよい。計算装置が、ブレーキの状態が劣化し、従ってエレベータの運転がもはや安全ではないと判定する場合等の他の例では、計算装置はブレーキが修理されるまでエレベータの運転を止めるための信号を送信することがある。さらに又は代わりに、別の例として、計算装置は、例えばユーザ計算装置等の監視システムに通知を送信してよい。さらに、いくつかの例では、制御信号は特定の状況でターゲット設備に送信されるに過ぎないことがある。例えば、緊急性の閾値レベルが判定される場合、計算装置は設備を停止するための制御信号を送信してよく、ユーザ計算装置に通知を送信してもよい。例えば計算装置は、設備人員に補正処置を講じるように警告するためにユーザ計算装置110のディスプレイ156にアラートを提示させる通知を送信してよい。

【0090】

別の例として、設備が、列車、トラック、バス、自動車、飛行機等の車両のブレーキであり、ブレーキ202が車両を遅くする又は停止するために使用されてよいと仮定する。計算装置は、例えばブレーキの故障の程度を判定することに基づいてブレーキがかけられるときに制動力を増加させるため等、ブレーキを制御するために制御信号を送信してよい。計算装置がブレーキの状態が劣化し、従って車両の運転がもはや安全でないと判定する場合等の他の例では、計算装置は、ブレーキが修理されるまで車両の運転が安全ではない旨の通知を提供するために車両のオペレータに緊急アラートその他の通知を送信してよい

10

20

30

40

50

## 【 0 0 9 1 】

図 9 はいくつかの実施態様に係る事後確率を含むデータ構造例 9 0 0 を示す。この例では、データ構造 9 0 0 は、図 7 の故障モードデータ構造 7 0 2 に少なくとも部分的に対応し、故障モード 7 0 4 及び故障の程度 7 0 6 を含む。この例では、各故障モード及び各故障の程度の事後確率 9 0 2 は、例えば図 8 に関して上述された方程式 4 を使用し、受信されたセンサデータについて決定されている。この例では、データ構造 9 0 0 の情報に基づいて、9 0 4 に示されるように最大の事後確率 9 0 2 が 0 . 4 0 であると仮定する。従って、9 0 4 での最大の確率の決定に基づいて、故障モードは、ブレーキが「摩耗している」と判定されることがあり、故障の程度は 0 . 2 であると判定される。オペレータは、例えば、図 1 1 に関してさらに以下に説明されるように、分析結果としてこの情報を使用してよい。

10

## 【 0 0 9 2 】

図 1 0 は、受信されたセンサデータに基づいて、いくつかの実施態様に係る最大確率を有する故障モード及び故障の程度を判定する例 1 0 0 0 を示す。例えば、いくつかの場合、計算装置は検出された値の分布としてセンサデータを受信してよく、上述された方程式 ( 2 ) 又は ( 3 ) の 1 つを適用することに基づいて正規化されたセンサデータ 1 0 0 2 を生成してよい。図 8 に関して上述されたように、計算装置が制動回数  $x_t'$  の分布を受信するとき、計算装置は、正規化されたセンサデータの分布  $q(x_t')$  と、上述された方程式 6 に基づいたあらゆる故障モード及びあらゆる故障の程度に対応するシミュレーションされたデータ 1 0 0 4 の複数の分布との間の相対エントロピーとして距離を決定してよい。このようにして、計算装置は、決定されるだろう多くの中からのいくつかの例として 1 0 0 6、1 0 0 8、及び 1 0 1 0 等の複数の相対エントロピーを決定してよい。

20

## 【 0 0 9 3 】

計算装置は、正規化されたセンサデータ 1 0 0 2 に関して最小の相対エントロピーを有する故障モード及び故障の程度を判定するために、上述された方程式 7 を適用してよい。従って、この例ではシミュレーションされたデータ 1 0 0 6 が正規化されたセンサデータ 1 0 0 2 に対して 5 . 0 の相対エントロピーを有し、シミュレーションされたデータ 1 0 0 8 が正規化されたセンサデータ 1 0 0 2 に対して 1 . 2 の相対エントロピーを有し、シミュレーションされたデータ 1 0 1 0 が正規化されたセンサデータ 1 0 0 2 に対して 3 . 1 の相対エントロピーを有すると仮定する。

30

## 【 0 0 9 4 】

さらに、計算装置が、シミュレーションされたデータ 1 0 0 8 がすべてのシミュレーションされたデータ 1 0 0 4 の中から正規化されたセンサデータ 1 0 0 2 に対して最小の相対エントロピーを有すると判定すると仮定する。従って、計算装置は、設備の現在の状態が、故障モード  $x$  及び故障の程度 0 . 2 であってよいシミュレーションされたデータ 1 0 0 8 によって指定される状態に最も近いと判定してよい。予測器は、図 1 1 に関して以下にさらに説明されるように、示された故障モード及び故障の程度に基づいて設備の状態を判定してよいオペレータにこの情報を提供してよい。

40

## 【 0 0 9 5 】

図 1 1 は、いくつかの実施態様に係る受信されたセンサデータ及び統計モデルからの予測器によって生成される分析結果を含むデータ構造例 1 1 0 0 を示す。データ構造 1 1 0 0 は、設備 ID 1 1 0 2、時間 1 1 0 4、制動回数 1 1 0 6、機械状態 1 1 0 8、故障モード 1 1 1 0、及び故障の程度 1 1 1 2 を含む。一例として、図 1 及び図 2 に関して上述された管理アプリケーションのオペレータはデータ構造 1 1 0 0 を生成してよく、データ構造 1 1 0 0 のコンテンツに基づいた追加の動作を実行してよい。例えば、1 1 1 4 に示されるように、故障モードは相応して 0 . 0 の故障程度を有し、正常であると判定され、オペレータは機械状態 1 1 0 8 を正常であると指定した。係る場合、オペレータは処置を講じないか、代わりに計算装置若しくは他の監視システムに、設備の状態が正常であることを示す通知を送信してよい。

50

## 【 0 0 9 6 】

別の例として、1116に示されるように、分析結果が、故障モードが、ブレーキが摩耗し、故障の程度が0.5であることを示すと仮定する。この例では、オペレータは、機械状態が「警告」であり、結果としてオペレータはユーザ計算装置110その他の監視システムに、設備が摩耗していること、及び保守が実行されるべきであることを示す通知を送信してよい。

## 【 0 0 9 7 】

別の例として、1118で示されるように、分析結果が、故障モードが、ブレーキが摩耗し、故障の程度が0.8であることを示すと仮定する。この例では、オペレータは、ユーザ計算装置110その他の監視システムに、設備が摩耗していること、及びアラートが  
10  
発せられたことを示す通知を送信してよい。さらに、発令中のアラートに基づいて、オペレータは、設備に保守が実行されるまで設備及び/又は設備に関連付けられた機械を安全ではないとして停止してよい。一例として、閾値は、例えば「正常」は $D \circ F < 0.4$ である、「警告」は $0.4 < D \circ F < 0.7$ である、及び「アラート」は $D \circ F > 0.7$ である、又は設備人員によって決定されてよい他の適切な閾値等、機械状態1108を判定するために確立されてよい。さらに、本明細書のいくつかの例には、3つを超えるまたは3つ未満の機械状態1108があることがある。

## 【 0 0 9 8 】

さらに、1120で、故障モードは、ブレーキが粘着しており、故障の程度が0.3であると仮定する。いくつかの例では、「正常」、「警告」、及び「アラート」の故障の程  
20  
度の閾値は異なる故障モードで異なっていることがある。一方、他の例では、閾値は同じであってよい。例えば、粘着しているブレーキは、摩耗しているブレーキよりも危険であることがあり、従って警告及び/又はアラートがより低い閾値等で発せられてよいと仮定する。この例では、「警告」は粘着故障モードについて $0.3 D \circ F$ 及び摩耗故障モードについて $0.4 D \circ F$ で発生してよいと仮定する。

## 【 0 0 9 9 】

図12は、いくつかの実施態様に従って設備を制御する及び/又は通知を送信するためのプロセス例1200を示す流れ図である。いくつかの例では、プロセス1200は計算装置102その他の適切な計算装置によって実行されることがある。

## 【 0 1 0 0 】

1202で、計算装置は、設備の複数の故障モードの複数の故障の程度のためにシミュレーションされたデータを生成するために物理モデルを使用してよい。例えば、シミュレーションされたデータは、設備の複数の故障モードについて、それぞれ複数の故障の程度の複数の確率分布を含んでよい。

## 【 0 1 0 1 】

1204で、計算装置は、物理モデルを使用し、生成されるシミュレーションされたデータと、設備の履歴センサデータとの差異を決定してよい。例えば、計算装置は正常モード（故障なしモード）での設備の動作に対応する履歴センサデータを受信してよい。さらに、計算装置は、正常な動作として分類される故障の程度を有するシミュレーションされたデータの確率分布を決定してよく、正常な動作として分類された状態を有する履歴センサデータの第2の確率分布を決定してよい。計算装置は、第1の確率分布と第2の確率分布の間の偏差に基づいて差異を決定してよい。  
40

## 【 0 1 0 2 】

1206で、計算装置はシミュレーションされたデータに基づいて統計モデルを生成してよく、統計モデルは設備の複数の故障モードについて、それぞれ複数の故障の程度の複数の確率分布を含む。例えば、計算装置は、設備の複数の故障モードについて、それぞれ複数の故障の程度の複数の確率分布の確率密度を決定してよい。さらに、計算装置は、複数の故障モードについて、それぞれ複数の故障の程度の複数の確率分布の確率密度の事後確率を決定してよい。

## 【 0 1 0 3 】

10

20

30

40

50

1208で、計算装置は設備の測定された測定基準を示すセンサデータを受信してよい。例えば、計算装置は設備と関連付けられた1つ又は複数のセンサからセンサデータを受信してよい。いくつかの例では、測定された測定基準は、測定された制動回数、制動力、及び/その他のパラメータであってよい。

【0104】

1210で、計算装置は差異に基づいて受信されたセンサデータを正規化してよい。受信されたセンサデータを正規化する例は、方程式(2)及び(3)に関して上述される。

【0105】

1212で、統計モデルに基づいて、計算装置は、受信されたセンサデータをシミュレーションされたデータと比較して、設備の故障の程度を判定してよい。例えば、受信されたセンサデータが個々の測定である場合、計算装置は方程式4及び方程式5を使用して計算された事後確率に基づく最大確率の決定から設備の故障モード及び故障の程度を判定してよい。代わりに、受信されたセンサデータがセンサ測定値の分布である場合、計算装置は、受信されたセンサデータと、シミュレーションされたデータの複数の分布との間で方程式6及び方程式7を使用し、最小相対エントロピーを決定することによって設備の故障モード及び故障の程度を判定してよい。

【0106】

1214で、計算装置は、故障の程度及び故障のモードの1つ又は複数の閾値との判定に基づいて、設備の状態を判定してよい。例えば、計算装置は、設備の故障モード及び故障の程度を1つ又は複数の閾値と比較して、設備の状態を判定してよい。一例として、設備がブレーキである場合、計算装置は、ブレーキの故障モード及び故障の程度を1つ又は複数の閾値と比較して、例えばブレーキの磨耗が許容できる磨耗を超えると判定してよい。

【0107】

1216で、判定された状態に少なくとも部分的に基づいて、計算装置は、設備を制御するための制御信号又は設備の状態の表示を提供する通知の少なくとも1つを送信してよい。設備がブレーキである上述された場合では、ブレーキの磨耗が許容可能な磨耗の閾値を超えると判定することに少なくとも部分的に基づいて、計算装置は、例えば機械に少なくとも1つの動作を止めさせるため等、機械を制御するため、及び/又は例えば制動力を増加させるため等、構成要素を制御するために、ブレーキが構成要素である機械に制御信号を送信してよい。例えば、上述されたように、機械がエレベータである場合、計算装置は、ブレーキを修理できるまでエレベータに運転を止めさせる信号を送信してよく、機械が車両である場合、かけられる制動力が増加されてよい。

【0108】

本明細書に説明されるプロセス例は、説明のために提供されるプロセスの例にすぎない。本明細書の本開示に鑑みて、他の多くの変形形態が当業者に明らかになるであろう。さらに、本明細書の本開示は、プロセスを実行するための適切なシステム、アーキテクチャ、及び環境のいくつかの例を説明しているが、本明細書の実施態様は示され、説明されている特定の例に制限されていない。さらに、本開示は、図面に説明され、示されるように、様々な実施態様例を提供する。しかしながら、本開示は本明細書に説明され示される実施態様に制限されることはなく、当業者に既知であるように、又は当業者に既知となるように、他の実施態様に及ぶことがある。

【0109】

本明細書に説明される様々な命令、プロセス、及び技法は、コンピュータ可読媒体に記憶され、本明細書でプロセッサによって実行されるプログラムモジュール等、コンピュータ実行可能命令の一般的な文脈で検討してよい。概して、プログラムモジュールは、特定のタスクを実行する又は特定の抽象データ型を実装するためのルーチン、プログラム、オブジェクト、構成要素、データ構造、実行可能コード等を含む。これらのプログラムモジュール等はネイティブコードとして実行してよい、又は例えばバーチャルマシンその他の

10

20

30

40

50



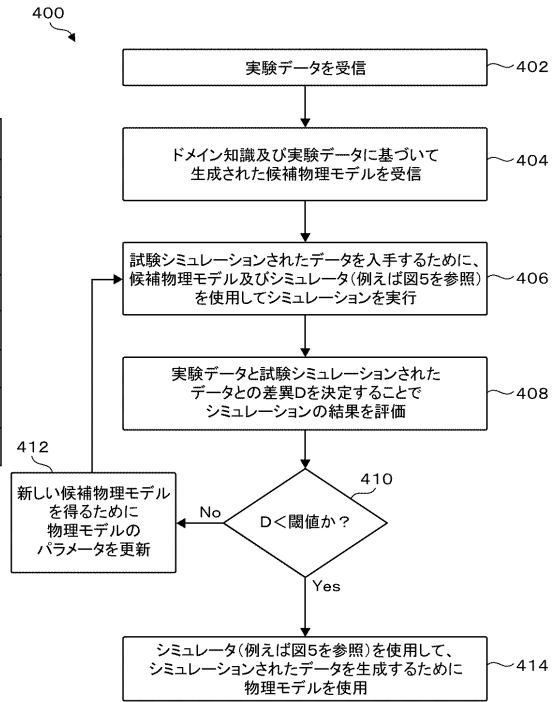
【図3】

図3

設備ID	時刻	制動回数	状態
A001	2016-03-22 12:00	100	正常
A001	2016-03-23 12:00	100	データなし
A001	2016-03-24 12:00	120	不良
A001	2016-03-25 12:00	130	データなし
A001	2016-03-26 12:00	130	データなし
A001	2016-03-27 12:00	200	不良
A002	2016-03-22 13:30	80	データなし
⋮	⋮	⋮	⋮

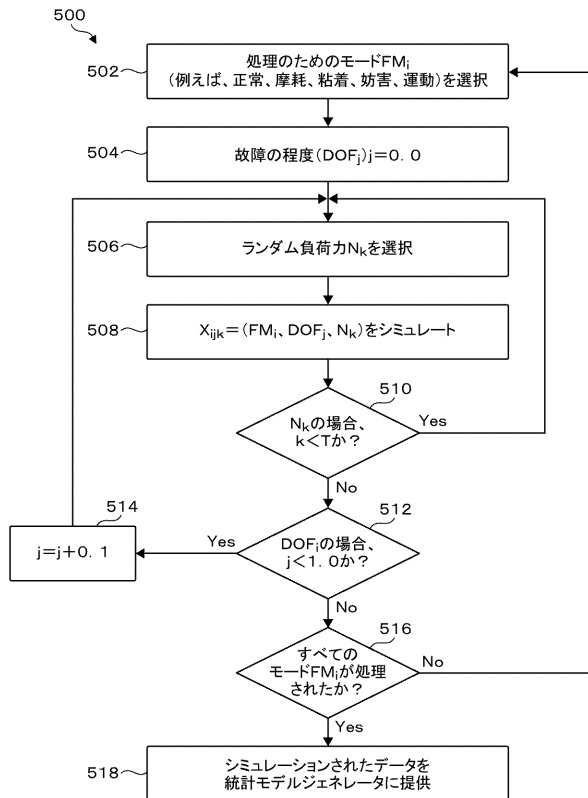
【図4】

図4

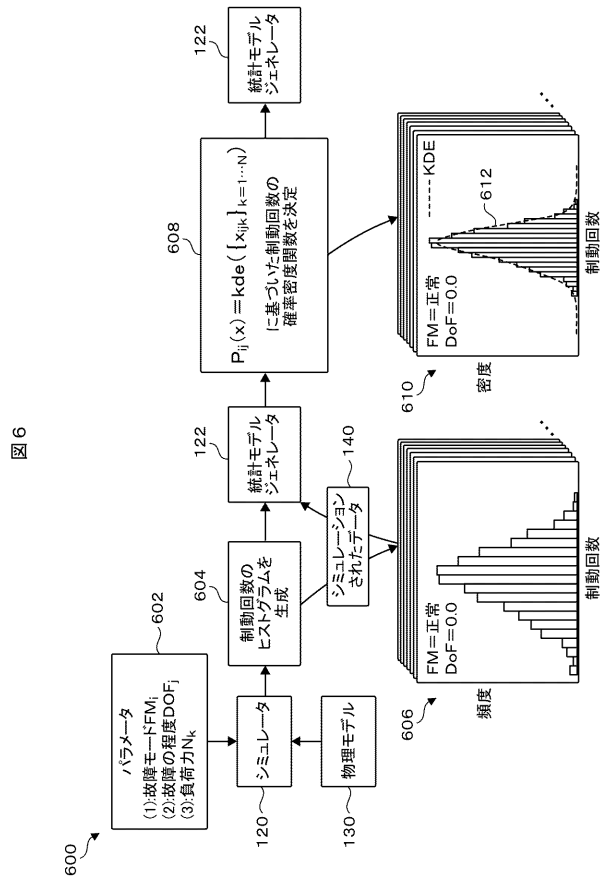


【図5】

図5

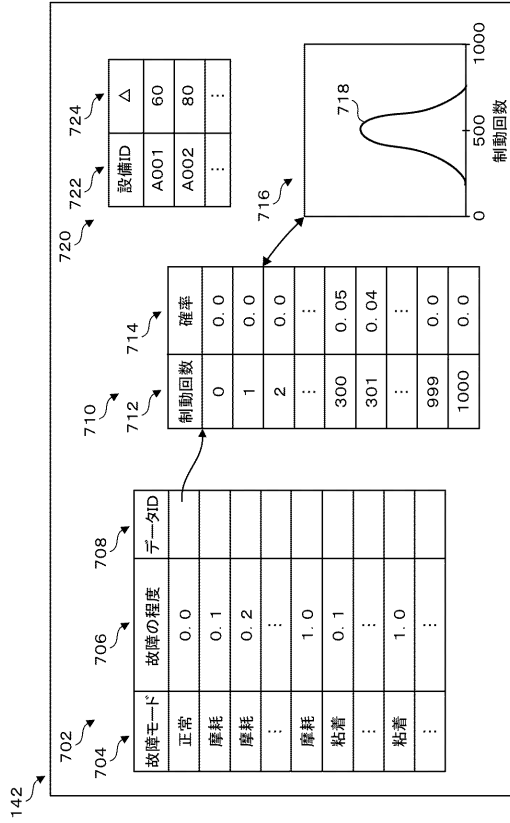


【図6】



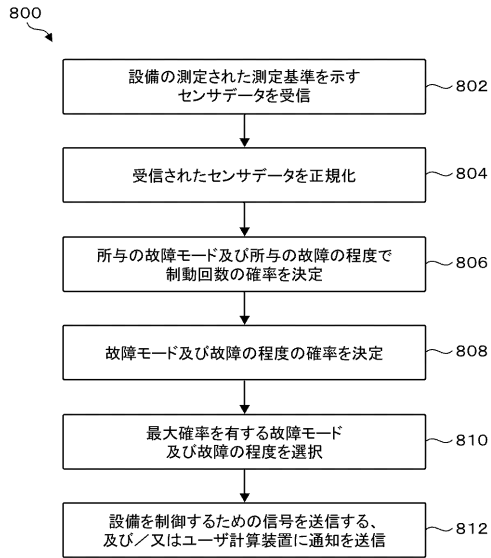
【図7】

図7



【図8】

図8



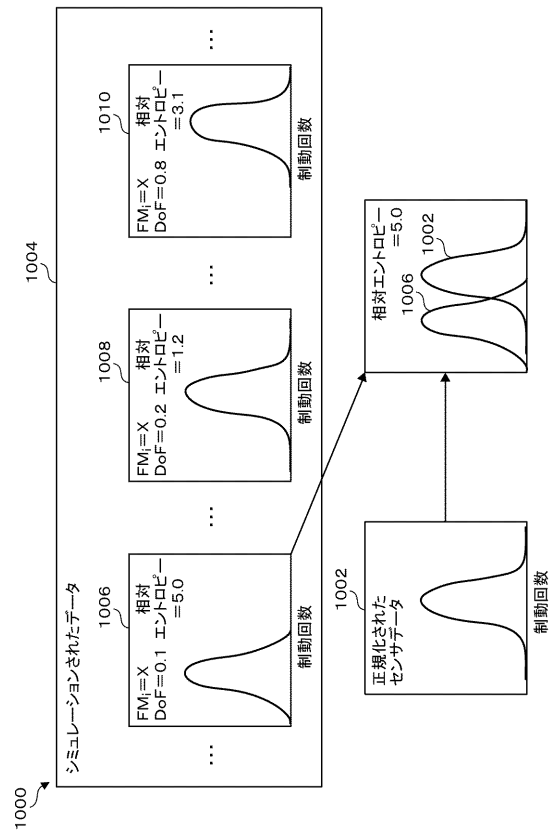
【図9】

図9

故障モード	故障の程度	事後確率
正常	0.0	0.05
摩耗	0.1	0.10
摩耗	0.2	0.40
...	...	...
摩耗	1.0	0.01
粘着	0.1	0.01
...	...	...
粘着	1.0	0.01
...	...	...

【図10】

図10



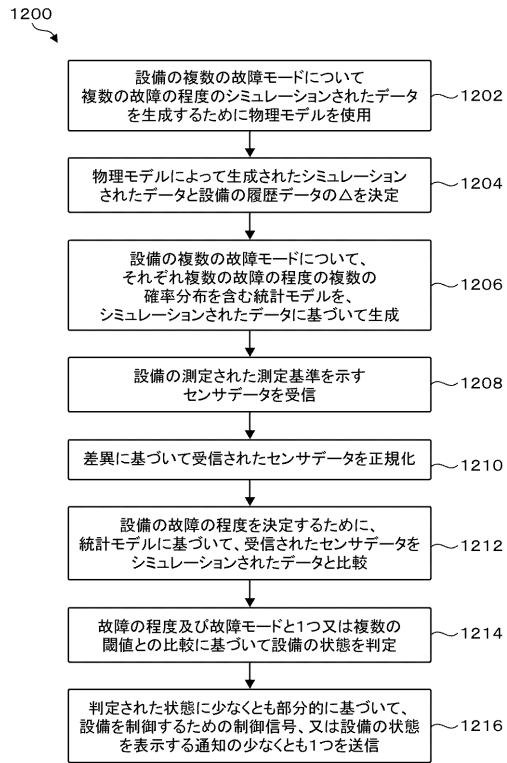
【 図 1 1 】

図 1 1

1102	設備ID	1104	時刻	1106	制動回数	1108	機械状態	1110	故障モード	1112	故障の程度
1114	A001	2016-06-19 12:00	101	正常	0.0						
1116	A001	2016-06-20 12:00	150	警告	0.5						
1118	A001	2016-06-21 12:00	200	アラート	0.8						
1120	A002	2016-06-21 15:15	150	警告	0.3						
	...	...	...	...	...						...

【 図 1 2 】

図 1 2



---

フロントページの続き

(56)参考文献 特開2010-074988(JP,A)  
特開2015-158421(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
G05B 23/02