

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公表特許公報 (A)

(11) 特許出願公表番号

特表2021-521548

(P2021-521548A)

(43) 公表日 令和3年8月26日 (2021.8.26)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
G 0 6 F 11/34 (2006.01)	G O 6 F 11/34 1 4 7	3 C 2 2 3
G 0 5 B 23/02 (2006.01)	G O 5 B 23/02 Z	5 B 0 4 2

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 20 頁)

(21) 出願番号	特願2020-560395 (P2020-560395)	(71) 出願人	520412811
(86) (22) 出願日	平成31年3月28日 (2019.3.28)		エルアンドティー テクノロジー サービス
(85) 翻訳文提出日	令和2年11月20日 (2020.11.20)		シズ リミテッド
(86) 国際出願番号	PCT/IB2019/052543		インド国, チェンナイ 600089, ラ
(87) 国際公開番号	W02019/186453		ーマプラーム, マウント プーナマリー
(87) 国際公開日	令和1年10月3日 (2019.10.3)		ロード, ディーエルエフ アイティー エ
(31) 優先権主張番号	201841011615		スイーゼット パーク, ブロック 3, 2
(32) 優先日	平成30年3月28日 (2018.3.28)		番 フロア, 1 / 1 2 4
(33) 優先権主張国・地域又は機関	インド (IN)	(74) 代理人	100079108
			弁理士 稲葉 良幸
		(74) 代理人	100109346
			弁理士 大貫 敏史
		(74) 代理人	100117189
			弁理士 江口 昭彦

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 電気機械的マシンの調子を監視して故障を予測するシステム及び方法

(57) 【要約】

この開示は、電気機械的マシンの調子を監視して故障を予測する方法及びシステムに関する。実施形態において、この方法は、電気機械的マシンに関する複数の動作パラメータを受信することと、複数の動作パラメータに基づいて特徴のセット及び事象のセットを判定することを含んでもよい。方法は、複数の動作パラメータ、特徴のセット、又は事象のセットのうち少なくとも1つに基づいて、電気機械的マシンと関連している1つ又は複数の障害痕跡を検出することを更に含んでもよい。方法は、ハイブリッド機械学習モデルを使用することによって、複数の動作パラメータ、特徴のセット、事象のセット、又は1つ又は複数の障害痕跡のうち少なくとも1つに基づいて、電気機械的マシンの予想故障寿命及び残余耐用年数のうち少なくとも1つを判定することを更に含んでもよい。

【選択図】 図 1

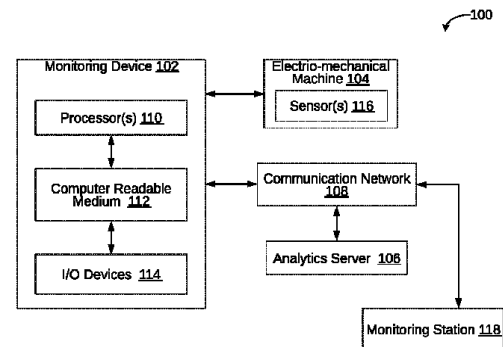


FIG. 1

【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

電気機械的マシン（１０４）の調子を監視して故障を予測する方法であって、

前記電気機械的マシン（１０４）に関する複数の動作パラメータを、監視デバイス（１０２）によって受信することと、

前記複数の動作パラメータに基づいて、前記電気機械的マシン（１０４）と関連している特徴のセット及び事象のセットを、前記監視デバイス（１０２）によって判定することと、

複数の事前定義障害痕跡を参照することによって、前記複数の動作パラメータ、特徴の前記セット、又は事象の前記セットのうち少なくとも１つに基づいて、前記電気機械的マシン（１０４）と関連している１つ又は複数の障害痕跡を、前記監視デバイス（１０２）によって検出することであって、前記１つ又は複数の障害痕跡は、予想障害を示し、前記複数の事前定義障害痕跡を、前記監視デバイス（１０２）に配置される障害痕跡ライブラリーに提供することと、

10

ハイブリッド機械学習モデルを使用することによって、前記複数の動作パラメータ、特徴の前記セット、事象の前記セット、又は前記１つ又は複数の障害痕跡のうち少なくとも１つに基づいて、前記電気機械的マシン（１０４）の予想故障寿命及び残余耐用年数のうち少なくとも１つを、前記監視デバイス（１０２）によって判定することであって、前記ハイブリッド機械学習モデルは、前記監視デバイス（１０２）に配置される事前訓練多次元多変数機械学習モデルであり、前記電気機械的マシン（１０４）に関する領域知識に基づいていることと、

20

前記電気機械的マシン（１０４）の前記予想故障寿命及び前記残余耐用年数のうち少なくとも１つを、前記監視デバイス（１０２）によって提供してレンダリングすることと、を含む方法。

【請求項 2】

前記監視デバイス（１０２）に通信可能に連結される解析サーバー（１０６）に現場データを、前記監視デバイス（１０２）によって送信することを更に含み、前記現場データは、前記複数の動作パラメータ、特徴の前記セット、事象の前記セット、前記１つ又は複数の障害痕跡、前記予想故障寿命、及び前記残余耐用年数を含む、請求項 1 に記載の方法。

30

【請求項 3】

前記解析サーバー（１０６）から定期的な間隔で更新ハイブリッド機械学習モデル及び更新障害痕跡ライブラリーを、前記監視デバイス（１０２）によって受信することを更に含み、前記更新ハイブリッド機械学習モデル及び前記更新障害痕跡ライブラリーを、複数の監視デバイスから受信される前記現場データに基づいて前記解析サーバー（１０２）によって生成し、前記電気機械的マシン（１０４）の調子を監視して故障を予測するために、前記更新ハイブリッド機械学習モデル及び前記更新障害痕跡ライブラリーを使用する、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 4】

特徴の前記セットの各特徴と関連している特徴調子指標を、前記監視デバイス（１０２）によって判定することと、

40

特徴の前記セットの各特徴と関連している前記特徴調子指標の各々に基づいて、前記電気機械的マシン（１０４）の全体調子値を、前記監視デバイス（１０２）によって計算することと、

前記電気機械的マシン（１０４）の前記特徴調子指標の各々及び前記全体調子値を、前記監視デバイス（１０２）によって提供してレンダリングすることと、を更に含み、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 5】

それぞれ前記特徴調子指標、全体調子値、前記予想故障寿命、又は前記残余耐用年数に対する複数の事前定義色ゾーンのうち１つに、ユーザインターフェースを介して、前記電

50

気機械的マシン（１０４）の前記特徴調子指標、前記全体調子値、前記予想故障寿命、又は前記残余耐用年数をレンダリングすることを更に含む、請求項４に記載の方法。

【請求項６】

ハイブリッド機械学習モデルを用いて、前記電気機械的マシン（１０４）に対する平均修理時間（ＭＴＴＲ）又は前記電気機械的マシン（１０４）に対する平均故障間隔（ＭＴＢＦ）のうち少なくとも１つを判定することを更に含み、前記ＭＴＴＲ及び前記ＭＴＢＦは、前記電気機械的マシン（１０４）の現場データの一部である、請求項１に記載の方法。

【請求項７】

前記予想故障寿命又は前記残余耐用年数を判定することは、

10

前記ハイブリッド機械学習モデルの対応する出力の値を対応する閾値と比較することを含み、請求項１に記載の方法。

【請求項８】

前記電気機械的マシン（１０４）に関する前記領域知識は、前記電気機械的マシン（１０４）の模擬モデル、前記電気機械的マシン（１０４）の既知挙動、前記電気機械的マシン（１０４）の模擬挙動、又は同様の環境で設置される前記電気機械的マシン（１０４）の履歴現場挙動のうち少なくとも１つを含む、請求項１に記載の方法。

【請求項９】

前記複数の動作パラメータは、積載重量値、温度値、振動値、圧力値、電流値、流量、及び毎分回転数（ＲＰＭ）値を含む、請求項１に記載の方法。

20

【請求項１０】

特徴の前記セットは、少なくとも過負荷回数、過熱回数、高振動回数、高圧回数、高電流回数、高回転回数、又は加重振動異常回数を含む、請求項１に記載の方法。

【請求項１１】

前記電気機械的マシン（１０４）に関する前記複数の動作パラメータを受信することは、

前記複数のパラメータを表す１つ又は複数の信号を受信することを更に含み、前記１つ又は複数の信号を前記１つ又は複数のセンサー（１１６）によって取得し、前記１つ又は複数の信号を周波数領域で取得する、請求項１に記載の方法。

【請求項１２】

30

前記１つ又は複数の信号を前記周波数領域で取得することは、

１つ又は複数の信号を時間領域で取得することと、

スペクトル解析を用いて、前記時間領域で取得される前記１つ又は複数の信号に対応する、前記周波数領域における１つ又は複数の信号を生成することと、を更に含む、請求項１１に記載の方法。

【請求項１３】

電気機械的マシン（１０４）の調子を監視して故障を予測するシステム（１００）であって、

少なくとも１つのプロセッサ（１１０）と命令を記憶するコンピュータ可読媒体（１１２）とを含む監視デバイス（１０２）を含み、

40

前記少なくとも１つのプロセッサ（１１０）によって実行される場合、前記命令は、

前記電気機械的マシン（１０４）に関する複数の動作パラメータを受信することと、

前記複数の動作パラメータに基づいて、前記電気機械的マシン（１０４）と関連している特徴のセット及び事象のセットを判定することと、

複数の事前定義障害痕跡を参照することによって、前記複数の動作パラメータ、特徴の前記セット、又は事象の前記セットのうち少なくとも１つに基づいて、前記電気機械的マシン（１０４）と関連している１つ又は複数の障害痕跡を検出することであって、前記１つ又は複数の障害痕跡は、予想障害を示し、前記複数の事前定義障害痕跡を、前記監視デバイス（１０２）に配置される障害痕跡ライブラリーに提供することと、

ハイブリッド機械学習モデルを使用することによって、前記複数の動作パラメータ、

50

特徴の前記セット、事象の前記セット、又は前記１つ又は複数の障害痕跡のうち少なくとも１つに基づいて、前記電気機械的マシン（１０４）の予想故障寿命及び残余耐用年数のうち少なくとも１つを判定することであって、前記ハイブリッド機械学習モデルは、前記監視デバイスに配置される事前訓練多次元多変数機械学習モデルであり、前記電気機械的マシン（１０４）に関する領域知識に基づいていることと、

ユーザインターフェース（１１４）を介して前記電気機械的マシン（１０４）の前記予想故障寿命及び前記残余耐用年数のうち少なくとも１つをユーザにレンダリングすることと、を含む動作を前記少なくとも１つのプロセッサ（１１０）に実行させる、方法。

【請求項１４】

前記監視デバイス（１０２）に通信可能に連結されている１つ又は複数のセンサー（１１６）を更に含み、前記１つ又は複数のセンサー（１１６）は、前記電気機械的マシン（１０４）に関する前記複数の動作パラメータを取得するように構成されている、請求項１３に記載のシステム（１００）。 10

【請求項１５】

前記監視デバイス（１０２）に通信可能に連結されている解析サーバー（１０６）を更に含み、前記解析サーバー（１０６）は、

前記監視デバイス（１０２）及び複数の他の監視デバイスから現場データを受信し、前記現場データは、前記複数の動作パラメータ、特徴の前記セット、事象の前記セット、前記１つ又は複数の障害痕跡、前記予想故障寿命、及び前記残余耐用年数を含み、

前記監視デバイス（１０２）及び前記複数の他の監視デバイスから受信されている現場データに基づいて、更新ハイブリッド機械学習モデル及び更新障害痕跡ライブラリーを生成し、 20

前記監視デバイス（１０２）及び前記複数の他の監視デバイスに前記更新ハイブリッド機械学習モデル及び前記更新障害痕跡ライブラリーを送信するように構成されている、請求項１３に記載のシステム（１００）。

【請求項１６】

前記監視デバイスに通信可能に連結されている監視局（１１８）を更に含み、前記監視局（１１８）は、それぞれ前記調子指標又は前記予想故障寿命に対する複数の事前定義色ゾーンのうち１つに、ユーザインターフェースを介して、前記予想故障寿命又は前記残余耐用年数をレンダリングするように構成されている、請求項１３に記載のシステム。 30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【０００１】

[001] この開示は一般的に、電気機械的マシンの監視に関し、詳細には、電気機械的マシンの調子を監視して故障を予測するシステム及び方法に関する。

【背景技術】

【０００２】

[002] 電気機械的マシン（例えば、誘導電動機）の監視は、電気機械的マシンの予測故障、従って電気機械的マシンの保守に重要な役割を果たす。予測故障は、物体の保守要件を予測するために物体の状態を判定する技法であるものとする。予測故障に基づいて、電気機械的マシンのための是正措置（保守）を計画してもよく、その結果、これらの電気機械的マシンの予期せぬ故障を防止するのに役立つことがある。 40

【０００３】

[003] 電気機械的マシンを監視する従来の技法は、電気機械的マシンの手動検査及び試験を必要とする。手動検査は、電気機械的マシンの多くの動作パラメータ（例えば、巻線抵抗、直流（ＤＣ）ステップ応答、サージなど）の手動監視を含むことがある。更に、従来の技法は、監視動作を実行するために電気機械的マシンから負荷を切断又は除去する必要がある。更に、突然の破壊を防止するために、監視動作を定期的に行う必要がある。その結果、これらの従来の技法は、これらの電気機械的マシンが良好な状態で動作している場合でも、電気機械的マシンの連続動作の頻繁な妨害を引き起こす。この頻繁な妨害 50

のために、これらの電気機械的マシンの生産性及び効率が損なわれる。更に、従来の技法は、監視動作を実行するために手動操作を当てにするので、エラーの可能性及び総コストは、高いままである。

【 0 0 0 4 】

[004] 多数の入力を電気機械的マシンから定期的に自動受信する幾つかの技法が知られている。次に、これらの多数の入力を使用して、電気機械的マシンのどの劣化段階が判定されるか（例えば、電気機械的マシンが、初期劣化段階又は末期劣化段階であるかどうか）に基づいて、電気機械的マシンの状態を検出する。更に、状態を検出する際に、更なる劣化を防止するために、保守ステップを実行するようにユーザに警告してもよい。

【 0 0 0 5 】

[005] しかし、このような技法において、電気機械的マシンの劣化は検出状態と同期しないことが分かっている。これは、電気機械的マシンの現在の劣化と検出状態との間の遅れに起因していることがある。従って、このような遅れは、監視動作を無駄にし、電気機械的マシンの破壊を防止することができない。その結果、これらの電気機械的マシンの効率が低下する。更に、監視動作の失敗のために、電気機械的マシンの動作における不確実性が残る。

【 発明の概要 】

【 0 0 0 6 】

[006] 一実施形態において、電気機械的マシンの調子を監視して故障を予測する方法を開示する。実施形態において、この方法は、電気機械的マシンに関する複数の動作パラメータを受信することと、複数の動作パラメータに基づいて電気機械的マシンと関連している特徴のセット及び事象のセットを判定することを含んでもよい。方法は、複数の事前定義障害痕跡を参照することによって、複数の動作パラメータ、特徴のセット、又は事象のセットのうち少なくとも1つに基づいて、電気機械的マシンと関連している1つ又は複数の障害痕跡を検出することであって、1つ又は複数の障害痕跡は、予想障害を示し、複数の事前定義障害痕跡を、監視デバイスに配置される障害痕跡ライブラリーに提供することを更に含んでもよい。方法は、ハイブリッド機械学習モデルを使用することによって、複数の動作パラメータ、特徴のセット、事象のセット、又は1つ又は複数の障害痕跡のうち少なくとも1つに基づいて、電気機械的マシンの予想故障寿命及び残余耐用年数のうち少なくとも1つを判定することであって、ハイブリッド機械学習モデルは、監視デバイスに配置される事前訓練多次元多変数機械学習モデルであり、電気機械的マシンに関する領域知識に基づいていることを更に含んでもよい。方法は、電気機械的マシンの予想故障寿命及び残余耐用年数のうち少なくとも1つを提供してレンダリングすることを更に含んでもよい。

【 0 0 0 7 】

[007] 別の実施形態において、電気機械的マシンの調子を監視して故障を予測するシステムを開示する。このシステムは、少なくとも1つのプロセッサと命令を記憶するコンピュータ可読媒体とを含む監視デバイスを含んでもよい。少なくとも1つのプロセッサによって実行される場合、これらの命令は、電気機械的マシンに関する複数の動作パラメータを受信すること、及び複数の動作パラメータに基づいて電気機械的マシンと関連している特徴のセット及び事象のセットを判定することを、少なくとも1つのプロセッサに実行させてもよい。実行時の命令は、複数の事前定義障害痕跡を参照することによって、複数の動作パラメータ、特徴のセット、又は事象のセットのうち少なくとも1つに基づいて、電気機械的マシンと関連している1つ又は複数の障害痕跡を検出することであって、1つ又は複数の障害痕跡は、予想障害を示し、複数の事前定義障害痕跡を、監視デバイスに配置される障害痕跡ライブラリーに提供することを、少なくとも1つのプロセッサに更に検出させてもよい。実行時の命令は、ハイブリッド機械学習モデルを使用することによって、複数の動作パラメータ、特徴のセット、事象のセット、又は1つ又は複数の障害痕跡のうち少なくとも1つに基づいて、電気機械的マシンの予想故障寿命及び残余耐用年数のうち少なくとも1つを判定することであって、ハイブリッド機械学習モデルは、監視デバイス

10

20

30

40

50

に配置される事前訓練多次元多変数機械学習モデルであり、電気機械的マシンに関する領域知識に基づいていることを、少なくとも１つのプロセッサに更に判定させてもよい。実行時の命令は、ユーザインターフェースを介して電気機械的マシンの予想故障寿命及び残余耐用年数のうち少なくとも１つをユーザにレンダリングすることを、少なくとも１つのプロセッサに更に実行させてもよい。

【 0 0 0 8 】

[008] 上述の概要及び下記の詳細な説明の両方は、例示及び説明に過ぎず、特許請求の範囲に記載されたような本発明を限定しないものとする。

【 0 0 0 9 】

[009] この開示の一部に組み込まれ、この開示の一部を構成する添付図面は、説明と一緒に、例示的な実施形態を例示し、開示の原理を説明するのに役立つ。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 1 0 】

【 図 1 】 本開示の幾つかの実施形態によって電気機械的マシンの調子を監視して故障を予測する例示的なシステムのブロック図である。

【 図 2 】 本開示の幾つかの実施形態によって電気機械的マシンの調子を監視して故障を予測する例示的な工程のフロー図である。

【 図 3 】 本開示の幾つかの実施形態によって電気機械的マシンの調子を監視して故障を予測する例示的なシステムの別のブロック図である。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 1 1 】

[013] 例示的な実施形態について、添付図面を参照して説明する。都合が良ければ、同じ又は同様の部品を参照するために、同じ参照符号を図面全体にわたって使用する。開示の原理の例及び特徴をここで説明するけれども、開示の実施形態の精神及び範囲から逸脱することなく、修正、改造及び他の実装形態が可能である。下記の詳細な説明は、単に例示であると考えられ、真の範囲及び精神を下記の特許請求の範囲によって示すように意図されている。

【 0 0 1 2 】

[014] さて、図 1 について説明する。図 1 は、本開示の幾つかの実施形態によって電気機械的マシンの調子を監視して故障を予測する例示的なシステム 1 0 0 を例示する。このシステムは、電気機械的マシン 1 0 4 に連結された監視デバイス 1 0 2 であって、電気機械的マシン 1 0 4 の調子を監視して故障を予測する監視デバイス 1 0 2 を含んでもよい。幾つかの実施形態において、電気機械的マシン 1 0 4 は、物体の回転の軸又は中心の周りに円運動で回転する回転物体（但し、これに限定されない）を含んでもよい。一例として、電気機械的マシン 1 0 4 は、ディーゼル発電機、冷却装置、ポンプ、特に冷却塔の冷却装置、ローブ送風機、圧縮機、空気処理ユニット（A H U）、ベクトルファン、配電変圧器、高圧（H T）パネル、ディーゼル回転無停電電源（D R U P S）、コンピュータ室内空調設備（C R A C S）、落下式リフト、誘導電動機、コンベヤ、シャトル、並列直線位置決め装置（P L P）、開閉装置（接点寿命）、カーボネート研削機、混合器、待避台車（状態ベースの監視）、排気ファン、研削機、エレベーター、エスカレーター、圧力容器、ボイラー、専用機械、包装機、変速機、コンピュータ数値制御（C N C）機械、ボイラー、タービン、X 線発生装置、換気装置、化学分析器、医用冷蔵庫、トレッドミル、頭上クレーン、クレーンなどであってもよい。

【 0 0 1 3 】

[015] 幾つかの実施形態において、電気機械的マシン 1 0 4 は、１つ又は複数のセンサー 1 1 6 を含んでもよい。１つ又は複数のセンサー 1 1 6 は、電気機械的マシン 1 0 4 に関する１つ又は複数のパラメータを取得してもよい。幾つかの実施形態において、１つ又は複数のセンサー 1 1 6 を、電気機械的マシン 1 0 4 の１つ又は複数の重要な位置で電気機械的マシン 1 0 4 に通信可能に連結してもよい。この１つ又は複数の重要な位置は、最高精度で１つ又は複数のセンサー 1 1 6 によって１つ又は複数のパラメータを取得するこ

10

20

30

40

50

とができる電気機械的マシン 104 の上の 1 つ又は複数の位置を含むことができるものとする。1 つ又は複数のセンサー 116 は、1 つ又は複数の動作パラメータを表す 1 つ又は複数の信号を更に生成してもよい。

【0014】

[016] 図 2 及び図 3 と併せてより詳細に説明されるように、監視デバイス 102 は、電気機械的マシン 104 に関する複数の動作パラメータを受信してもよい。監視デバイス 102 は、複数の動作パラメータに基づいて、電気機械的マシン 104 と関連している特徴のセット及び事象のセットを更に判定してもよい。監視デバイス 102 は、複数の事前定義障害痕跡を参照することによって、複数の動作パラメータ、特徴のセット、又は事象のセットのうち少なくとも 1 つに基づいて、電気機械的マシン 104 と関連している 1 つ又は複数の障害痕跡を更に検出してもよい。監視デバイス 102 は、ハイブリッド機械学習モデルを使用することによって、複数の動作パラメータ、特徴のセット、事象のセット、又は 1 つ又は複数の障害痕跡のうち少なくとも 1 つに基づいて、電気機械的マシン 104 の予想故障寿命及び残余耐用年数のうち少なくとも 1 つを更に判定してもよい。監視デバイス 102 は、電気機械的マシン 104 の予想故障寿命及び残余耐用年数のうち少なくとも 1 つを更に提供してレンダリングしてもよい。幾つかの実施形態において、監視デバイス 102 を、電気機械的マシン 104 上のエッジデバイスとして実施してもよい。当業者によって分かるように、エッジデバイスは、企業又はサービスプロバイダー基幹ネットワークへの入口点を与えてもよい。

【0015】

[017] 監視デバイス 102 は、サーバー、デスクトップ、ラップトップ、ノートブック、ネットブック、スマートフォン、及び携帯電話（但し、これに限定されない）を含んでもよい。特に、監視デバイス 102 は、1 つ又は複数のプロセッサ 110、コンピュータ可読媒体（例えば、メモリ）112、及び入出力デバイス 114 を含んでもよい。コンピュータ可読記憶媒体 112 は、プロセッサ 110 によって実行される場合、本開示の態様によって電気機械的マシン 104 の調子を監視して故障を予測するために様々な機能を 1 つ又は複数のプロセッサ 110 に実行させる命令を記憶してもよい。コンピュータ可読記憶媒体 112 は、監視デバイス 102 によって収集、処理、及び / 又は要求可能な様々なデータ（例えば、動作パラメータデータ、特徴データのセット、事象データのセット、障害痕跡データ、障害痕跡ライブラリーデータ、ハイブリッド機械学習モデルデータ、領域知識データ、特徴調子指標データ、全体調子値データ、予想故障寿命データ、残余耐用年数データ、平均修理時間（MTTR）データ、平均故障間隔（MTBF）データなど）を更に記憶してもよい。監視デバイス 102 は、入出力デバイス 114 を介してユーザ（図示せず）と対話してもよい。

【0016】

[018] システム 100 は、通信ネットワーク 108 を介して監視デバイス 102 に通信可能に連結された解析サーバー 106 を更に含んでもよい。幾つかの実施形態において、通信ネットワーク 108 は、有線通信ネットワーク（例えば、イーサネット又はローカルエリアネットワーク（LAN））であってもよい。代わりに、通信ネットワーク 108 は、無線通信ネットワーク（例えば、ワイヤレスフィデリティ（Wi-Fi）ネットワーク、Bluetooth ネットワーク、Bluetooth 低エネルギー（BLE）ネットワークなど）であってもよい。解析サーバー 106 は、サーバー、デスクトップ、ラップトップ、ノートブック、ネットブック、スマートフォン、及び携帯電話（但し、これに限定されない）を含んでもよい。特に、解析サーバー 106 は、1 つ又は複数のプロセッサ、コンピュータ可読媒体（例えば、メモリ）、及び入出力デバイスを含んでもよい。コンピュータ可読記憶媒体は、1 つ又は複数のプロセッサによって実行される場合、本開示の態様によって電気機械的マシン 104 の調子を監視して故障を予測するために様々な機能を 1 つ又は複数のプロセッサに実行させる命令を記憶してもよい。コンピュータ可読記憶媒体は、解析サーバー 106 によって収集、処理、及び / 又は要求可能な様々なデータ（例えば、ハイブリッド機械学習モデルデータ、特徴データのセット、事象データのセット、障害痕跡データ、障害

10

20

30

40

50

痕跡ライブラリーデータ、予想故障寿命データ、残余耐用年数データ、MTTRデータ、MTBFデータなど)を更に記憶してもよい。解析サーバー106を、クラウドネットワーク、ローカルサーバー、又はデータベース(例えば、MySQL、Oracleなどの場合)のうち1つで実施してもよい。

【0017】

[019] 動作中に、監視デバイス102は、電気機械的マシン104に関する複数の動作パラメータを1つ又は複数のセンサー116から受信してもよい。1つ又は複数のセンサー116は、電気機械的マシン104に関する複数の動作パラメータを取得することができるものとする。1つ又は複数のパラメータは、電気機械的マシン104に関する電流、電圧、速度(例えば、毎分回転数(RPM))、振動(周波数及び振幅)、温度、圧力、積載重量などを含んでもよい。そのようなものとして、1つ又は複数のセンサー116は、電流センサー(例えば、3軸振動センサーの場合)、電圧センサー、速度センサー(例えば、回転速度計)、振動センサー、温度などを含んでもよい。

10

【0018】

[020] 幾つかの実施形態において、1つ又は複数のセンサー116は、周波数領域で1つ又は複数の信号を取得してもよい。周波数領域で1つ又は複数の信号を取得することは、数学関数又は周波数に対する1つ又は複数の信号を解析することを意味してもよいことに留意しよう。代替の実施形態において、1つ又は複数のセンサー116は、時間領域で1つ又は複数の信号を取得してもよい。このような実施形態において、時間領域で1つ又は複数の信号を取得する際に、スペクトル解析を用いて、時間領域で取得された1つ又は複数の信号に対応する、周波数領域で1つ又は複数の信号を生成してもよい。例えば、1つ又は複数の振動スペクトル量を取得するために、電気機械的マシン104における振動を表す少なくとも2つの信号に、このスペクトル解析を適用してもよい。振動スペクトル量は、電気機械的マシン104の加速度、速度、及び変位の高調波を含んでもよい。

20

【0019】

[021] 幾つかの実施形態において、監視デバイス102は、複数の動作パラメータに基づいて、電気機械的マシン104と関連している特徴のセット及び事象のセットを更に判定してもよい。特徴のセットは、少なくとも過負荷回数、過熱回数、高振動回数、高圧回数、高電流回数、高回転回数、加重振動異常回数などを含んでもよい。特徴のセットの各特徴は、電気機械的マシン104の状態を示すことができるものとする。例えば、過負荷回数は、電気機械的マシン104の事前定義負荷値を超える負荷値を示してもよい。同様に、過熱回数は、温度値が事前定義温度値を超える場合、電気機械的マシン104の温度値(発熱のため)を示してもよい。高振動回数は、電気機械的マシン104の振動値が事前定義振動値を超える場合、振動値を示してもよい。例えば、高振動回数は、欠陥軸受、緩んだプーリー又はフライホイール又はベルト、クランク室内の油不足などに起因することがある。高圧回数は、圧力値が事前定義圧力値を超える場合、電気機械的マシン104によって加えられる圧力の値を示してもよい。高電流回数は、回数が事前定義回数を超える場合、電気機械的マシン104を流れる電流の値を示してもよい。高回転回数は、RPMが事前定義RPMを超える場合、電気機械的マシン104(例えば、誘導電動機のような回転電気機械的マシン)のRPMを示してもよい。加重振動異常回数は、電気機械的マシン104の総周波数及び全体調子の組み合わせの回数が事前定義回数を超える場合、電気機械的マシン104の総周波数及び全体調子の組み合わせの回数を示してもよい。

30

40

【0020】

[022] 幾つかの実施形態において、監視デバイス102は、複数のパラメータを相関させることによって特徴のセットを判定してもよい。代わりに又は更に、監視デバイス102は、電気機械的マシン104に関する特徴を直接測定することによって、又は複数の動作パラメータに基づいて特徴を計算することによって、特徴のセットを判定してもよい。特徴のセットは実際に多次元であってもよいことに留意しよう。一例として、分かるように、振動は、三次元(「x」、「y」及び「z」座標に存在する)パラメータである。動作パラメータの倍数の相関の際に、監視デバイス102は、多次元で動作パラメータを有

50

する特徴セットを判定してもよい（例えば、９次元を有する動作パラメータを用いて、監視デバイス１０２は、２０次元を有する特徴セットを判定してもよい）。

【００２１】

[023] 幾つかの実施形態において、監視デバイス１０２は、複数の動作パラメータのうち少なくとも２つに基づいて、特徴のセット及び事象のセットを判定してもよい。換言すれば、少なくとも２つの動作パラメータ（例えば、電流及び温度、又は温度及び振動、又は振動及び圧力、又は積載重量及び毎分回転数など）の組み合わせに基づいて、特徴のセット及び事象のセットを判定してもよい。換言すれば、特徴のセット及び事象のセットを、判定された複数の動作パラメータから得てもよい。

【００２２】

[024] 幾つかの実施形態において、監視デバイス１０２は、ハイブリッド機械学習モデルを用いて、（複数の動作パラメータに基づいて）特徴のセット及び事象のセットを判定してもよい。当業者によって分かるように、機械学習モデルは、ユーザによって明示的にプログラミングされることなくデータを用いて徐々に学習する能力を計算システムに与える人工知能のアプリケーションである。ハイブリッド機械学習モデルは、監視デバイス１０２に配置される事前訓練多次元多変数機械学習モデルであってもよいことに留意しよう。更に、ハイブリッド機械学習モデルを解析サーバー１０６上で訓練してもよいことに留意しよう。ハイブリッド機械学習モデルは、電気機械的マシン１０４のタイプ及び電気機械的マシン１０４に関する領域知識に基づいていてもよい。

【００２３】

[025] 幾つかの実施形態において、ハイブリッド機械学習モデルは、様々な重みを複数の動作パラメータに割り当て、特徴のセット及び事象のセットを判定してもよい。更に、加速寿命試験（ＡＬＴ）をハイブリッド機械学習モデルで実行してもよく、重みをユーザによって割り当て、シミュレーションツールを用いて生成されるデータに対して、重みを試験する。

【００２４】

[026] 幾つかの実施形態において、監視デバイス１０２は、複数の事前定義障害痕跡を参照することによって、複数の動作パラメータ、特徴のセット、又は事象のセットのうち少なくとも１つに基づいて、電気機械的マシン１０４と関連している１つ又は複数の障害痕跡を検出してもよい。１つ又は複数の障害痕跡は、予想障害を示してもよい。一例として、障害は、電気機械的マシン１０４の停止又は妨害動作、過剰騒音、過剰振動などを含んでもよい。幾つかの実施形態において、複数の事前定義障害痕跡を、監視デバイス１０２に配置される障害痕跡ライブラリーに提供してもよい。更に、ハイブリッド機械学習モデルを訓練するために、１つ又は複数の検出障害痕跡をハイブリッド機械学習モデルに付加してもよい。

【００２５】

[027] 幾つかの実施形態において、監視デバイス１０２は、電気機械的マシン１０４に存在する障害に関してユーザに兆候を提供してもよい。一例として、監視デバイス１０２は、監視デバイス１０２に連結された複数の発光ダイオード（ＬＥＤ）を介して兆候を提供するようにしてもよい。電気機械的マシン１０４で検出された障害のレベルに基づいて事前定義周波数で点滅するように、ＬＥＤを構成してもよい。従って、ユーザは、ＬＥＤの点滅の周波数に基づいて、障害及び障害のレベルを把握することができる。幾つかの実施形態において、監視デバイス１０２は、動作パラメータ及び障害痕跡に基づいて、障害が将来発生することになるか否かを予測してもよい。

【００２６】

[028] 幾つかの実施形態において、監視デバイス１０２は、解析サーバー１０６から定期的な間隔で更新障害痕跡ライブラリーを受信してもよい。更に、解析サーバー１０６を複数の監視デバイスに通信可能に連結することができることに留意しよう。複数の監視デバイスの各々は、解析サーバー１０６に現場データを定期的に送信してもよい。現場データは、複数の動作パラメータ、特徴のセット、事象のセット、１つ又は複数の障害痕跡、

10

20

30

40

50

予想故障寿命、及び残余耐用年数を含んでもよい。複数の監視デバイスから受信される現場データに基づいて、解析サーバー 106 は、更新障害痕跡ライブラリーを生成してもよい。一旦更新障害痕跡ライブラリーが生成されると、監視デバイス 102 は、解析サーバー 106 から更新障害痕跡ライブラリーを受信してもよく、更新障害痕跡ライブラリーを用いて障害痕跡ライブラリーを更新してもよい。解析サーバーを現場データで定期的に調整することができるものとする。

【0027】

[029] 監視デバイス 102 は、電気機械的マシン 104 の予想故障寿命 (T T P F) 及び残余耐用年数 (R U L) のうち少なくとも 1 つを更に判定してもよい。T T P F は、電気機械的マシン 104 が完全に故障又は劣化したと予想される平均時間を示してもよい。R U L は、電気機械的マシン 104 が完全に故障又は劣化する前の平均時間を示してもよい。監視デバイス 102 は、ハイブリッド機械学習モデルを使用することによって、複数の動作パラメータ、特徴のセット、事象のセット、又は 1 つ又は複数の障害痕跡のうち少なくとも 1 つに基づいて、T T P F 及び R U L を判定してもよい。幾つかの実施形態において、ハイブリッド機械学習モデルの対応する出力の値を対応する閾値と比較することによって、T T P F 及び R U L を判定してもよい。

10

【0028】

[030] 幾つかの実施形態において、監視デバイス 102 は、解析サーバー 106 から定期的な間隔で更新ハイブリッド機械学習モデルを受信してもよい。解析サーバー 106 は、複数の監視デバイスから受信される現場データに基づいて、更新ハイブリッド機械学習モデルを生成する。更新ハイブリッド機械学習モデルを受信する際に、監視デバイス 102 は、更新ハイブリッド機械学習モデルを用いてハイブリッド機械学習モデルを更新してもよい。

20

【0029】

[031] 電気機械的マシン 104 に関する領域知識は、電気機械的マシン 104 の模擬モデル (電気機械的マシン 104 の 1 つ又は複数の副構成要素モデルを含む)、電気機械的マシン 104 の既知挙動、電気機械的マシン 104 の模擬挙動、又は同様の環境で設置される電気機械的マシン 104 の履歴現場挙動のうち少なくとも 1 つを含んでもよい。電気機械的マシン 104 の既知挙動を、電気機械的マシン 104 の固有知識 (即ち、電気機械的マシン 104 の物理的性質に基づく知識) から得てもよい。更に、既知挙動は、既知動作パラメータ、既知特徴、既知事象、既知障害などを含んでもよい。模擬挙動を、模擬モデルから得られる知識から得てもよく、模擬挙動は、模擬動作パラメータ、模擬特徴などを含んでもよい。履歴現場挙動を、同様の環境で設置される同様の電気機械的マシン 104 から得てもよく、履歴現場挙動は、実際の現場動作パラメータを含んでもよい。領域知識は、電気機械的マシン 104 で起こり得る障害及び事象の様々な組み合わせの可能性をマッピングに更に提供してもよい。

30

【0030】

[032] 幾つかの実施形態において、監視デバイス 102 は、特徴のセットの各特徴と関連している特徴調子指標を判定してもよい。特徴と関連している特徴調子指標は、その関連特徴に関する電気機械的マシン 104 の調子 (即ち、状態) を示してもよいことに留意しよう。一例として、温度と関連している特徴調子指標は、電気機械的マシン 104 の温度が正常範囲内であるか否かを示してもよい。一例として、特徴調子指標を、下記に提示の数学的関係に従って計算してもよい。

40

調子指標値 = $1 - \{ (過負荷回数 + 過熱回数 + 高振動回数 + 高圧回数 + 高電流回数 + 高回転回数 + 加重振動異常回数) / (全電流観測 + 全温度観測 + 全振動観測 + 全圧観測 + 全積載重量観測 + 全毎分回転数観測) \}$

但し、

【数 1】

$$\text{加重振動回数} = \sum_{i=0}^3 (w_{\text{zone},i} * n_{\text{vib},i})$$

$w_{\text{zone},i}$ = 事前定義ゾーン = i と関連している重み

$n_{\text{vib},i}$ = 事前定義ゾーン = i に属するあらゆる周波数の観測数

【0031】

[033] 監視デバイス 102 は、電気機械的マシン 104 の全体調子値を更に計算してもよい。監視デバイス 102 は、特徴のセットの各特徴と関連している特徴調子指標の各々に基づいて、全体調子値を計算してもよい。全体調子値は、電気機械的マシン 104 の調子（即ち、状態）を示してもよいことに留意しよう。一例として、全体調子値は、所望の方法で動作する電気機械的マシン 104 の機能又は効率のレベル、即ち、電気機械的マシン 104 が要望通り動作しているか否かを示してもよい。全体調子値は、電気機械的マシン 104 の性能低下又は状態劣化を示す、電気機械的マシン 104 の劣化状態に対応するものとする。幾つかの実施形態において、全体調子値を判定する際に、監視デバイス 102 は、電気機械的マシン 104 の計算全体調子値に基づいて、電気機械的マシン 104 の予想故障の兆候を更に判定してもよい。一例として、予想故障の兆候は、将来ある期間以内に電気機械的マシン 104 の故障の確率又はリスクを含んでもよい。

【0032】

[034] 監視デバイス 102 は、電気機械的マシンの予想故障寿命及び残余耐用年数を提供してレンダリングしてもよい。幾つかの実施形態において、監視デバイス 102 は、ユーザインターフェースを介してユーザに特徴調子指標及び予想故障の兆候の各々を更に提供してもよい。例えば、監視デバイス 102 は、表示デバイスの画面上に特徴調子指標及び予想故障の兆候の各々をレンダリングしてもよい。

【0033】

[035] 幾つかの実施形態において、監視デバイス 102 は、それぞれ特徴調子指標、全体調子値、予想故障寿命、又は残余耐用年数に対する複数の事前定義色ゾーンのうち 1 つに、電気機械的マシンの特徴調子指標、全体調子値、予想故障寿命（TTPF）、又は残余耐用年数（RUL）をレンダリングしてもよい。一例として、緑色ゾーンにレンダリングされた温度と関連している特徴調子指標は、電気機械的マシン 104 が安全温度範囲で動作していることを示してもよい一方、赤色ゾーンにレンダリングされた特徴調子指標は、電気機械的マシン 104 が危険高温範囲で動作していることを示してもよい。本発明の範囲から逸脱することなく、複数の事前定義色ゾーン以外の任意の方法で、電気機械的マシンの特徴調子指標、全体調子値、予想故障寿命、又は残余耐用年数をレンダリングすることができるものとする。更に、複数の事前定義色ゾーンを、電気機械的マシン 104 の劣化の昇順で配置してもよい。幾つかの実施形態において、監視デバイス 102 は、1 つ又は複数のグラフ又は 1 つ又は複数の洞察の形で、計算全体調子及び TTPF をレンダリングしてもよい。

【0034】

[036] 幾つかの実施形態において、監視デバイス 102 は、複数の事前定義色ゾーンのうち 1 つに、電気機械的マシン 104 の計算全体調子をレンダリングしてもよい。例えば、複数の事前定義色ゾーンは、劣化状態の昇順で電気機械的マシン 104 の劣化状態を表す緑色ゾーン、黄色ゾーン、橙色ゾーン及び赤色ゾーンを含んでもよい。緑色ゾーンは、最小劣化状態、即ち、電気機械的マシン 104 が良好な動作状態であることを表してもよい。赤色ゾーンは、最大劣化状態、即ち、電気機械的マシン 104 が悪い動作状態であることを表してもよい。このような実施形態において、保守活動を電気機械的マシン 104 で実行するまで、電気機械的マシン 104 の劣化状態は、赤色ゾーンから緑色ゾーンに降下しない。

【 0 0 3 5 】

[037] 幾つかの実施形態において、システム 1 0 0 は、監視デバイス 1 0 2 に通信可能に連結された監視局 1 1 8 を更に含んでもよい。監視局 1 1 8 は、表示モジュール（図 1 に図示せず）を含んでもよい。監視局 1 1 8 は、電気機械的マシン 1 0 4 に関する特徴調子指標、予想故障の兆候、T T P F、R U L、計算全体調子、及び 1 つ又は複数の障害をレンダリングしてもよい。監視局 1 1 8 は、電気機械的マシン 1 0 4 の障害の検出に応じて様々な警報又は通知を更に生成してもよい。

【 0 0 3 6 】

[038] 監視デバイス 1 0 2 は、他の要因を更に判定してもよい。一例として、監視デバイス 1 0 2 は、ハイブリッド機械学習モデルを用いて、電気機械的マシン 1 0 4 に対する平均修理時間（M T T R）又は電気機械的マシン 1 0 4 に対する平均故障間隔（M T B F）を判定してもよい。M T T R 及び M T B F は、電気機械的マシン 1 0 4 の現場データの一部であってもよいことに留意しよう。M T T R は、電気機械的マシン 1 0 4 又は電気機械的マシン 1 0 4 の構成要素が修理の必要があることを示すものとする。M T T R は、電気機械的マシン 1 0 4 の故障構成要素又は一般的に電気機械的マシン 1 0 4 の修理を行うのに必要な平均時間を更に示してもよい。例えば、M T T R は、電気機械的マシン 1 0 4 の軸受が交換を必要とすることを示してもよく、軸受を交換するのに必要な平均時間を更に示してもよい。M T B F は、電気機械的マシン 1 0 4 の次の故障とその後の故障との間の平均時間を示してもよい。保守の必要性は、定期保守の前に次の保守活動を必要とすることを示してもよい。

【 0 0 3 7 】

[039] さて、図 2 について説明する。図 2 は、本開示の幾つかの実施形態によって、電気機械的マシン 1 0 4 の調子を監視して故障を予測する例示的な概略工程 2 0 0 をフローチャートによって示す。幾つかの実施形態において、電気機械的マシン 1 0 4 の調子を監視して故障を予測する電気機械的マシン 1 0 4 に通信可能に連結された（システム 1 0 0 の）監視デバイス 1 0 2 によって、工程 2 0 0 を実行してもよい。

【 0 0 3 8 】

[040] ステップ 2 0 2 で、電気機械的マシン 1 0 4 に関する複数の動作パラメータを受信してもよい。ステップ 2 0 4 で、複数の動作パラメータに基づいて、電気機械的マシン 1 0 4 と関連している特徴のセット及び事象のセットを判定してもよい。ステップ 2 0 6 で、複数の事前定義障害痕跡を参照することによって、複数の動作パラメータ、特徴のセット、又は事象のセットのうち少なくとも 1 つに基づいて、電気機械的マシン 1 0 4 と関連している 1 つ又は複数の障害痕跡を検出してもよい。ステップ 2 0 8 で、ハイブリッド機械学習モデルを使用することによって、複数の動作パラメータ、特徴のセット、事象のセット、又は 1 つ又は複数の障害痕跡のうち少なくとも 1 つに基づいて、電気機械的マシン 1 0 4 の予想故障寿命及び残余耐用年数のうち少なくとも 1 つを判定してもよい。ステップ 2 1 0 で、電気機械的マシン 1 0 4 の予想故障寿命及び残余耐用年数のうち少なくとも 1 つを提供してレンダリングしてもよい。更に、ステップ 2 1 2 で、監視デバイスに通信可能に連結される解析サーバーに現場データを送信してもよい。ステップ 2 1 4 で、解析サーバーから定期的な間隔で更新ハイブリッド機械学習モデル及び更新障害痕跡ライブラリーを受信してもよい。ステップ 2 1 6 で、特徴のセットの各特徴と関連している特徴調子指標を判定してもよい。ステップ 2 1 8 で、特徴のセットの各特徴と関連している特徴調子指標の各々に基づいて、電気機械的マシン 1 0 4 の全体調子値を計算してもよい。ステップ 2 2 0 で、ハイブリッド機械学習モデルを用いて、電気機械的マシン 1 0 4 に対する平均修理時間（M T T R）又は平均故障間隔（M T B F）のうち少なくとも 1 つを判定してもよい。ステップ 2 2 2 で、電気機械的マシン 1 0 4 の特徴調子指標の各々及び全体調子値を提供してレンダリング 2 2 2 してもよい。

【 0 0 3 9 】

[041] ステップ 2 0 2 で、電気機械的マシン 1 0 4 に関する複数の動作パラメータを受信してもよい。複数の動作パラメータは、積載重量値、温度値、振動値、圧力値、電流値

、流量、及び毎分回転数（RPM）値を含んでもよい。幾つかの実施形態において、1つ又は複数の動作パラメータの受信は、1つ又は複数のパラメータを表す1つ又は複数の信号を受信することを含んでもよい。1つ又は複数の信号を、1つ又は複数のセンサー116によって取得してもよい。例えば、1つ又は複数のセンサー116は、積載重量センサー、温度センサー、振動センサー、圧力センサー、電流センサー、流量センサー、速度センサーなどを含んでもよい。1つ又は複数のセンサー116を電気機械的マシン104に通信可能に連結することができることに留意しよう。

【0040】

[042] 幾つかの実施形態において、1つ又は複数の動作パラメータを周波数領域で受信してもよい。そのようなものとして、1つ又は複数の信号を、周波数領域で1つ又は複数のセンサー116によって取得してもよい。代替の実施形態において、1つ又は複数の信号を、時間領域で取得してもよい。このような実施形態において、スペクトル解析を用いて、時間領域における1つ又は複数の信号に対応する、周波数領域における1つ又は複数の信号を生成してもよい。

10

【0041】

[043] ステップ204で、複数の動作パラメータに基づいて、電気機械的マシン104と関連している特徴のセット及び事象のセットを判定してもよい。特徴のセットは、少なくとも過負荷回数、過熱回数、高振動回数、高圧回数、高電流回数、高回転回数、又は加重振動異常回数を含んでもよい。ステップ206で、複数の事前定義障害痕跡を参照することによって、複数の動作パラメータ、特徴のセット、又は事象のセットのうち少なくとも1つに基づいて、電気機械的マシン104と関連している1つ又は複数の障害痕跡を検出してもよい。1つ又は複数の障害痕跡は予想障害を示してもよいことに留意しよう。更に、障害痕跡は、過去の同様の観測に基づいて、将来の障害シナリオを互いに関連して示す事象、特徴、パラメータのグループであってもよいことに留意しよう。複数の事前定義障害痕跡を、監視デバイスに配置される障害痕跡ライブラリーに提供してもよい。

20

【0042】

[044] ステップ208で、ハイブリッド機械学習モデルを使用することによって、複数の動作パラメータ、特徴のセット、事象のセット、又は1つ又は複数の障害痕跡のうち少なくとも1つに基づいて、電気機械的マシン104の予想故障寿命及び残余耐用年数のうち少なくとも1つを判定してもよい。幾つかの実施形態において、ハイブリッド機械学習モデルの対応する出力の値を対応する閾値と比較することによって、予想故障寿命又は残余耐用年数を判定してもよい。ハイブリッド機械学習モデルは、監視デバイス102に配置される事前訓練多次元多変数機械学習モデルであってもよい。

30

【0043】

[045] ハイブリッド機械学習モデルは、電気機械的マシン104に関する領域知識に基づいていてもよい。電気機械的マシン104に関する領域知識は、電気機械的マシンの模擬モデル、電気機械的マシン104の既知挙動、電気機械的マシン104の模擬挙動、又は同様の環境で設置される電気機械的マシン104の履歴現場挙動のうち少なくとも1つを含んでもよいことに留意しよう。電気機械的マシン104の既知挙動を、電気機械的マシン104の固有知識（即ち、電気機械的マシン104の物理的性質に基づく知識）から得てもよい。更に、既知挙動は、既知動作パラメータ、既知特徴、既知事象、既知障害などを含んでもよい。模擬挙動を、模擬モデルから得られる知識から得てもよく、模擬挙動は、模擬動作パラメータ、模擬特徴などを含んでもよい。履歴現場挙動を、同様の環境で設置される同様の電気機械的マシン104から得てもよく、履歴現場挙動は、実際の現場動作パラメータを含んでもよい。1つ又は複数のシミュレーションツール（例えば、MATLAB及びANSYS）を用いて、模擬モデルを生成してもよい。模擬モデルは、様々な事象及び障害に対する遷移又は境界線条件を定義してもよい。

40

【0044】

[046] ステップ212で、監視デバイス102に通信可能に連結される解析サーバー106に現場データを送信してもよい。現場データは、複数の動作パラメータ、特徴のセッ

50

ト、事象のセット、１つ又は複数の障害痕跡、予想故障寿命、及び残余耐用年数を含んでもよい。ステップ２１４で、解析サーバー１０６から定期的な間隔で更新ハイブリッド機械学習モデル及び更新障害痕跡ライブラリーを受信してもよい。更新ハイブリッド機械学習モデル及び更新障害痕跡ライブラリーを、複数の監視デバイスから受信される現場データに基づいて解析サーバー１０６によって生成してもよい。電気機械的マシン１０４の調子を監視して故障を予測するために、更新ハイブリッド機械学習モデル及び更新障害痕跡ライブラリーを使用することができるものとする。

【００４５】

[047] ステップ２１６で、特徴のセットの各特徴と関連している特徴調子指標を判定してもよい。ステップ２１８で、特徴のセットの各特徴と関連している特徴調子指標の各々に基づいて、電気機械的マシン１０４の全体調子値を計算してもよい。ステップ２２０で、ハイブリッド機械学習モデルを用いて、電気機械的マシン１０４に対する平均修理時間（ＭＴＴＲ）又は平均故障間隔（ＭＴＢＦ）のうち少なくとも１つを判定してもよい。ハイブリッド機械学習モデルについて、図３と併せて更に詳述する。

10

【００４６】

[048] ステップ２２２で、電気機械的マシン１０４の特徴調子指標の各々及び全体調子値を提供してレンダリング２２２してもよい。ステップ２１０で、電気機械的マシン１０４の予想故障寿命（ＴＴＰＦ）及び残余耐用年数（ＲＵＬ）のうち少なくとも１つを提供してレンダリングしてもよい。幾つかの実施形態において、それぞれ特徴調子指標、全体調子値、予想故障寿命、又は残余耐用年数に対する複数の事前定義色ゾーンのうち１つに、ユーザインターフェースを介して、電気機械的マシン１０４の特徴調子指標、全体調子値、予想故障寿命、又は残余耐用年数をレンダリングしてもよい。幾つかの実施形態において、ユーザインターフェースは、電気機械的マシン１０４に設けられた表示画面を含んでもよい。代替の実施形態において、ユーザインターフェースを、電気機械的マシン１０４に通信可能な監視局１１８に設けてもよい。

20

【００４７】

[049] さて、図３について説明する。図３は、本開示の幾つかの実施形態によって、電気機械的マシン１０４の調子を監視して故障を予測する例示的な工程３００を工程図によって示す。幾つかの実施形態において、工程３００を、（図１のシステム１００に対応する）システムによって実行してもよい。このシステムは、（図１の電気機械的マシン１０４に対応する）複数の電気機械的マシンを含んでもよい。システムは、（図１の監視デバイス１０２に対応する）複数の監視デバイス、及び（図１の解析サーバー１０６に対応する）解析サーバーを更に含んでもよい。複数の監視デバイスの各々を、複数の電気機械的マシンの電気機械的マシンに連結してもよい。

30

【００４８】

[050] 動作中に、複数の電気機械的マシンに関する動作データ３０２（１）、３０２（２）... ３０２（Ｎ）（総称して動作データ３０２と呼ばれる）を、複数の監視デバイスから解析サーバーによって受信してもよい。一例として、例えば、動作データ３０２（１）は、第１の電気機械的マシンに対応してもよく、動作データ３０２（２）は、第２の電気機械的マシンに対応してもよい。動作データ３０２は、１つ又は複数の動作パラメータ（例えば、積載重量値、温度値、振動値、圧力値、電流値、流量、及び毎分回転数（ＲＰＭ）値）を含んでもよい。動作データ３０２は、関連電気機械的マシンの状態又は全体調子を更に含んでもよい。

40

【００４９】

[051] 動作データ３０２を受信する際に、解析サーバーは、複数の監視デバイスの各々から、１つ又は複数の特徴及び１つ又は複数の障害痕跡３０４（１）、３０４（２）... ３０４（Ｎ）（総称して特徴及び障害痕跡３０４と呼ばれる）を抽出してもよい。解析サーバーは、動作データ３０２に基づいて、特徴及び障害痕跡を抽出してもよい。上述のように、解析サーバーは、特徴及び障害痕跡３０４を有する解析サーバーで訓練されるハイブリッド機械学習モデルを含んでもよい。抽出する際に、解析サーバーのハイブリッド機械

50

学習モデルは、特徴及び障害痕跡に基づいて、漸次的学習又は教師あり学習を有してもよい。例えば、ハイブリッド機械学習モデルは、第1の電気機械的マシンと関連している1つ又は複数の特徴及び1つ又は複数の障害痕跡304(1)に基づいて、第1の学習306(1)を有してもよい。第1の学習306(1)の後に、例えば、ハイブリッド機械学習モデルは、第2の電気機械的マシンと関連している1つ又は複数の特徴及び1つ又は複数の障害痕跡304(2)に基づいて、第2の学習306(2)を有してもよい。

【0050】

[052] 一旦ハイブリッド機械学習モデルの学習が完了すると、ハイブリッド機械学習モデルは、予測を開始してもよい。特に、一旦予測が生データに基づいて限界精度に達すると、ハイブリッド機械学習モデルは、予測を開始してもよい。幾つかの実施形態において、予測は、可視化及び洞察308、ゾーン分類310、及び平均修理時間(MTTR)312のうち1つ又は複数を含んでもよい。可視化及び洞察308及びMTTR312は、図1に関連して既に説明されている。ゾーン分類310は、1つ又は複数の出力(例えば、電気機械的マシンの予想故障寿命及び残余耐用年数)を含むことができるものとする。

10

【0051】

[053] 更に分かるように、上述の技法は、コンピュータ又は制御器実現処理、及びこれらの処理を実行する装置の形をとってもよい。開示を、有形媒体(例えば、フロッピーディスク、ソリッドステートドライブ、CD-ROM、ハードドライブ、又は任意の他のコンピュータ可読記憶媒体)に具体化された命令を含むコンピュータプログラムコードの形に具体化することもできる。このコンピュータプログラムコードを、コンピュータ又は制御器にロードし、コンピュータ又は制御器によって実行する場合、このコンピュータは、本発明を実行する装置になる。例えば、コンピュータプログラムコード又は信号を、記憶媒体に記憶しようと、コンピュータ又は制御器にロードしようと、及び/又はコンピュータ又は制御器によって実行しようと、光ファイバー又は電磁放射線を介してある伝送媒体(例えば、電気配線又はケーブル布線)の上で伝送しようと、開示を、コンピュータプログラムコード又は信号の形に具体化してもよい。このコンピュータプログラムコードを、コンピュータにロードし、コンピュータによって実行する場合、このコンピュータは、本発明を実行する装置になる。汎用マイクロプロセッサで実施される場合、コンピュータプログラムコードセグメントは、特定の論理回路を生成するようにこのマイクロプロセッサを構成する。

20

30

【0052】

[055] 更に、本開示と一致する実施形態を実施する際に、1つ又は複数のコンピュータ可読記憶媒体を利用してもよい。コンピュータ可読記憶媒体は、プロセッサによって読み取り可能な情報又はデータを記憶することができる任意のタイプの物理メモリを意味する。従って、コンピュータ可読記憶媒体は、ここに記載の実施形態と一致するステップ又は段階をプロセッサに実行させる命令を含む、1つ又は複数のプロセッサによる実行用の命令を記憶してもよい。用語「コンピュータ可読媒体」は、有形品目を含み、搬送波及び過渡信号を除く、即ち、持続的であるものとする。例は、ランダムアクセスメモリ(RAM)、読み出し専用メモリ(ROM)、揮発性メモリ、不揮発性メモリ、ハードドライブ、CD-ROM、DVD、フラッシュドライブ、ディスク、及び任意の他の既知の物理記憶媒体を含む。

40

【0053】

[056] 当業者によって分かるように、上述の様々な実装形態に記載の技法は、電気機械的マシンの調子を監視して故障を予測することを提供する。特に、技法は、複数の動作パラメータを受信すること、特徴のセット及び事象のセットを判定すること、1つ又は複数の障害痕跡を検出すること、及び予想故障寿命及び耐用残余年数を判定することを提供する。技法は、電気機械的マシンの予想故障寿命及び耐用残余年数を判定する、電気機械的マシンに関する領域知識に基づくハイブリッド機械学習モデルを使用する。

【0054】

[057] 上述によって、技法は、電気機械的マシンを監視する自動及びインテリジェント

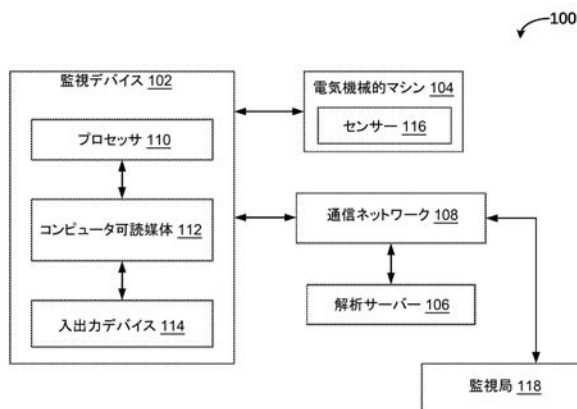
50

方法を提供する。技法は、監視への手動操作の必要をなくし、これによって、手動エラーの可能性を無くす。更に、技法は、手動実行監視に比べて、時間効率及びコスト効率の良い監視処理を提供する。更に、技法は、監視を実行するために電気機械的マシンから負荷を切断又は除去する必要はなく、従って、動作を停止する必要を無くす。これは、電気機械的マシンの効率及び生産性を向上させるのに役立つ。その上、電気機械的マシンの現在の劣化と検出状態との間の遅れの可能性はない又は殆どないので、上述の技法は、正確な監視を提供する。その結果、監視は、より信頼できる。ハイブリッド機械学習モデルは、時間と共に様々な故障を学習し続ける漸次的学習を行うことができる。これは、故障を予測し、総合設備効率（OEE）を向上させ、利害関係者に通知し、必要な是正措置を取るのに更に役立つ。監視デバイスをエッジデバイスとして実施することによって、記憶要件及びデータ伝送帯域幅、並びに関連コストが削減される。監視局は、電気機械的マシンにおける危機的な状況（例えば、障害）の場合、ユーザに警告する警報及び通知を与える総合的なユーザインターフェースを提供する。

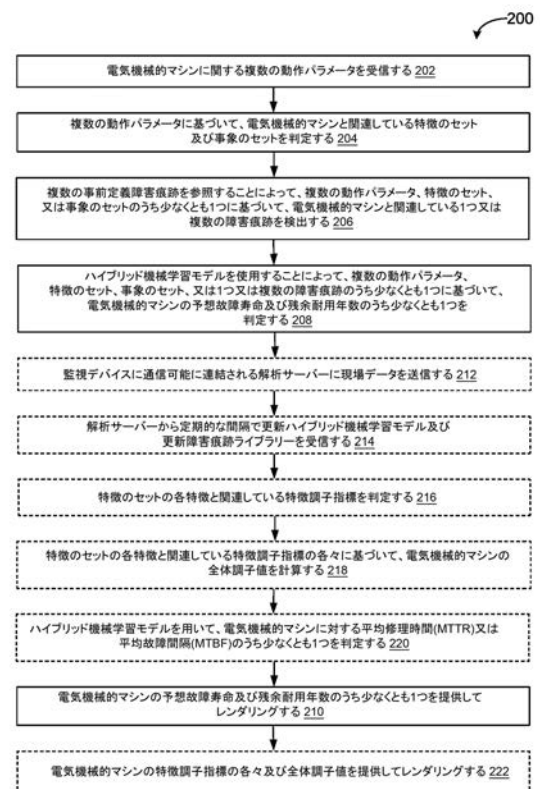
【0055】

[058] 開示及び例は、単に例示であると考えられ、開示の実施形態の真の範囲及び精神を下記の特許請求の範囲によって示すように意図されている。

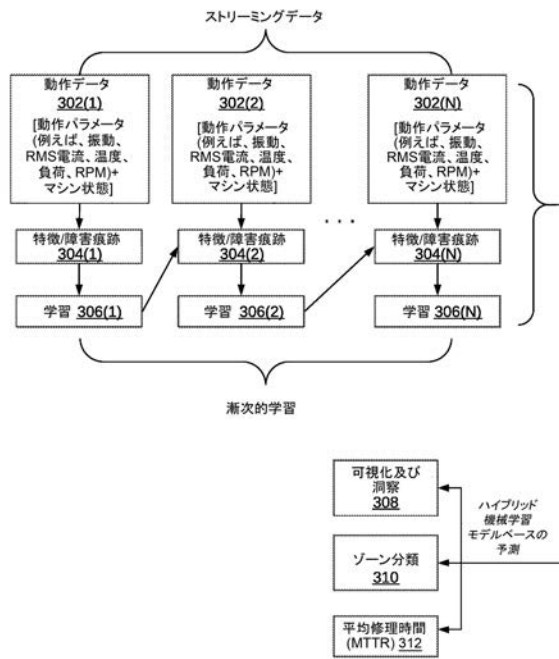
【図1】



【図2】



【図 3】



【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/IB2019/052543

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER G06F11/34, G05B23/02 Version=2019.01 According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G06F, G05B Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) Databases accessed: TotalPatent One, IPO Internal Database Keywords: machine, health, monitor, fault, predict, deep learn, neural		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 20050096873 A1 (RSL ELECTRONICS LTD) 05 May 2005 (05/05/2005) (abstract, figures 6-8, paragraphs 0010-0014, 0044, 0087, 0100-0112, claims 4, 12-13, 34-35)	1-10
X	US 6240343 B1 (CATERPILLAR INC) 29 May 2001 (29/05/2001) (whole document)	1-10
☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "D" document cited by the applicant in the international application "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 18-07-2019		Date of mailing of the international search report 18-07-2019
Name and mailing address of the ISA/ Indian Patent Office Plot No. 32, Sector 14, Dwarka, New Delhi-110075 Facsimile No.		Authorized officer Rahul Gahlan Telephone No. +91-1125300200

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family membersInternational application No.
PCT/IB2019/052543

Citation	Pub.Date	Family	Pub.Date
US 20050096873 A1	05-05-2005	EP 1581839 A2	05-10-2005
		EP 1581839 A4	31-05-2006
		US 7027953 B2	11-04-2006
		WO 2004059399 A2	15-07-2004
		WO 2004059399 A3	02-09-2004

フロントページの続き

(81)指定国・地域 AP(BW,GH,GM,KE,LR,LS,MW,MZ,NA,RW,SD,SL,ST,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,RU,TJ,TM),EP(AL,AT,BE,BG,CH,CY,CZ,DE,DK,EE,ES,FI,FR,GB,GR,HR,HU,IE,IS,IT,LT,LU,LV,MC,MK,MT,NL,NO,PL,PT,RO,RS,SE,SI,SK,SM,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,KM,ML,MR,NE,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AO,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BH,BN,BR,BW,BY,BZ,CA,CH,CL,CN,CO,CR,CU,CZ,DE,DJ,DK,DM,DO,DZ,EC,EE,EG,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,GT,HN,HR,HU,ID,IL,IN,IR,IS,JO,JP,KE,KG,KH,KN,KP,KR,KW,KZ,LA,LC,LK,LR,LS,LU,LY,MA,MD,ME,MG,MK,MN,MW,MX,MY,MZ,NA,NG,NI,NO,NZ,OM,PA,PE,PG,PH,PL,PT,QA,RO,RS,RU,RW,SA,SC,SD,SE,SG,SK,SL,SM,ST,SV,SY,TH,TJ,TM,TN,TR,TT

(特許庁注：以下のものは登録商標)

1 . B L U E T O O T H

2 . M A T L A B

3 . M y S Q L

(74)代理人 100134120

弁理士 内藤 和彦

(72)発明者 シュクラ, シャイレンドラ

インド国, ナヴィ ムンバイ 4 0 0 7 0 8 , エアオリ, セクター - 8 , テジャシュリー コープ
ハウジング ソサエティー, 2 0 2

(72)発明者 ダーメリヤ, マユール ジェイ

インド国, ヴァドーダラー 3 9 0 0 1 1 , マンジャルプール, ダーバー チョクディ, サンダラ
ム ソサエティー イー 1 3

(72)発明者 チャトゥルヴェディ, ラシーン

インド国, ムンバイ 4 0 0 0 8 6 , ガトコパル ウェスト, カマ レーン, アンバー マハヴィ
ーラ レジデンス, エー 6 0 3

(72)発明者 ジャドハヴ, サントシュ

インド国, サットプール 4 2 2 0 1 2 , シバジナガー, ニアー ダガディ ビルディング, セヴ
ェラル. ナンバー 1 2 5 / 2 , プロット ナンバー 1 9

(72)発明者 ポール, アディパン

インド国, バナーハット 7 3 5 2 0 2 , バナーハット バザール, ポール ブラザーズ エム/
エス

(72)発明者 マルホートラ, シダーント

インド国, ニュー デリー 1 1 0 0 6 4 , ヴァティカ アパートメンツ, シー - 7 イー

F ターム(参考) 3C223 AA23 BA01 CC01 DD01 FF08 FF13 FF16 FF46 GG01

5B042 JJ02 MA08 MA09 MA11 MA14 MC30 MC38