(19)日本国特許庁(JP)

# (12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7483709号
(P7483709)

(45)発行日　令和6年5月15日(2024.5.15)

(24)登録日　令和6年5月7日(2024.5.7)

(51)国際特許分類
*G05B 23/02 (2006.01)*

FI
G05B 23/02 302S

請求項の数 13 （全15頁）

(21)出願番号　特願2021-531327(P2021-531327)
(86)(22)出願日　令和1年12月10日(2019.12.10)
(65)公表番号　特表2022-512309(P2022-512309A)
(43)公表日　令和4年2月3日(2022.2.3)
(86)国際出願番号　PCT/US2019/065327
(87)国際公開番号　WO2020/123420
(87)国際公開日　令和2年6月18日(2020.6.18)
審査請求日　令和4年12月2日(2022.12.2)
(31)優先権主張番号　16/216,197
(32)優先日　平成30年12月11日(2018.12.11)
(33)優先権主張国・地域又は機関
米国(US)

(73)特許権者　515322297
ゼネラル エレクトリック テクノロジー ゲゼルシャフト ミット ベシュレンクテル ハフツング
General Electric Technology GmbH
スイス国 5400 バーデン ブラウン ボヴェリシュトラーセ 8
Brown Boveri Strasse 8, 5400 Baden, Switzerland
(74)代理人　100105588
弁理士　小倉 博
(74)代理人　100129779
弁理士　黒川 俊久

最終頁に続く

(54)【発明の名称】　機械システムの自動化された状態ベースのメンテナンスのための方法およびシステム

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

機械システムにおける障害を検出するための障害検出システムであって、

前記機械システムの複数の構成要素の測定値を検出するように構成された１つ又は複数のセンサであって、前記１つ又は複数のセンサは、少なくとも１つのトルクメータ、キーフェーザセンサ、温度センサ、流量センサ、モータ巻線絶縁漏れ電流センサ、相対シャフト振動センサ、ケーシング温度センサ、吸引センサ、圧力センサ、又は軸方向変位センサを含む、１つ又は複数のセンサと、

コンピュータ実行可能命令を記憶する少なくとも１つのメモリと、

前記少なくとも１つのメモリに結合され、前記コンピュータ実行可能命令を実行して、

前記機械システムの第１の構成要素の性能を示す第１のデータを前記１つ又は複数のセンサから受信し、

前記第１のデータを使用して、前記第１の構成要素の第１の性能メトリックを決定し、

前記第１のデータを使用して、前記第１の構成要素の第２の性能メトリックを決定し、

前記第１の性能メトリックおよび前記第２の性能メトリックを集約し、

集約された性能メトリックを使用して、前記第１の構成要素に障害が発生した確率値を決定し、

前記集約された性能メトリックおよび前記確率値を使用して、前記第１の構成要素の故障までの予測される時間長を決定し、

予測される時間長を提示するためのデジタルユーザインターフェースを生成し、

前記集約された性能メトリックおよび前記確率の値を使用して、前記第１の構成要素が点検を必要としていることを示すアラームを生成する
ように構成される、１つまたは複数のコンピュータプロセッサと、
を備えた障害検出システム。
【請求項２】
前記機械システムは、複合サイクル発電プラント用の給水システム（１５０）を備える、請求項１に記載の障害検出システム。
【請求項３】
前記１つまたは複数のコンピュータプロセッサは、
前記第１のデータに基づいて、前記機械システムの動作効率が低下したことを判定し、動作効率の低下は異常動作を示す、
ようにさらに構成される、請求項１に記載の障害検出システム。
【請求項４】
前記１つまたは複数のコンピュータプロセッサは、数学的変換演算を使用して前記第１のデータを変換することによって、前記第１のデータを使用して第１の特徴を決定するように構成される、請求項１に記載の障害検出システム。
【請求項５】
前記１つまたは複数のコンピュータプロセッサは、
前記機械システムの第２の構成要素の性能を示す第２のデータを前記機械システムから受信し、
前記第１のデータを使用して第２の特徴を決定し、前記第１の特徴および前記第２の特徴が特徴セットを形成し、
前記特徴セットをフィルタリングして縮小された特徴セットを生成し、前記縮小された特徴セットが前記第１の特徴を含む、
ようにさらに構成される、請求項４に記載の障害検出システム。
【請求項６】
前記１つまたは複数のコンピュータプロセッサは、
前記機械システムの前記第１の構成要素の性能を示す第２のデータを前記機械システムから受信する、
ようにさらに構成され、
前記第１の性能メトリックは、前記第１のデータおよび前記第２のデータを使用して決定される、請求項１に記載の障害検出システム。
【請求項７】
前記１つまたは複数のコンピュータプロセッサは、
ベイジアンアルゴリズムを使用して、前記第１の構成要素の残存耐用寿命値を決定する、
ようにさらに構成される、請求項１に記載の障害検出システム。
【請求項８】
前記１つまたは複数のコンピュータプロセッサは、
前記第１の構成要素で障害が発生した可能性を示す前記確率値および前記予測される時間長を提示するためのデジタルユーザインターフェースを生成する、
ようにさらに構成される、請求項１に記載の障害検出システム。
【請求項９】
前記１つまたは複数のコンピュータプロセッサは、
前記第１のデータを使用して第１の特徴を決定し、
前記第１の特徴の分類を決定し、
前記分類に関連付けられた障害クラスを決定する、
ようにさらに構成される、請求項１に記載の障害検出システム。
【請求項１０】
前記１つまたは複数のコンピュータプロセッサは、
オペレータによる前記障害クラスの手動識別を要求し、

適応ニューラルネットワークを使用して前記障害クラスを前記分類と関連付ける、
ようにさらに構成される、請求項９に記載の障害検出システム。
【請求項１１】
前記障害クラスは、前記分類に事前に関連付けられる、請求項９に記載の障害検出システム。
【請求項１２】
前記１つまたは複数のコンピュータプロセッサは、１つまたは複数のニューラルネットワークを使用して前記第１の特徴の前記分類を決定するように構成される、請求項９に記載の障害検出システム。
【請求項１３】
前記第１のデータは、モータ電圧データ、電流データ、振動もしくは速度データ、ポンプ流量データ、吸引データ、圧力データ、温度データ、またはポンプ振動データの高周波時間領域サンプリングのうちの１つまたは複数を含む、請求項１に記載の障害検出システム。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本出願および結果として得られる特許は、一般に機械システムに関し、より詳細には、機械システムおよび／または関連する構成要素の故障および／または障害を検出および予測することに関する。
【背景技術】
【０００２】
発電プラントは、複数の動作プロセスの影響を受ける可能性がある相互接続された構成要素を含み得る。一般的に説明すると、複合サイクル発電システムは、ガスタービンと蒸気タービンとの組み合わせを使用して電力を生成するか、そうでなければ負荷を駆動する。具体的には、ガスタービンサイクルは、熱回収蒸気発生器などによって蒸気タービンサイクルと動作可能に組み合わせることができる。熱回収蒸気発生器は、蒸気発生プロセスのための給水をガスタービン排気の高温燃焼ガスによって加熱することを可能にするマルチセクション熱交換器であってもよい。複合サイクル発電プラント構成の主な効率は、そうでなければ捨てられるガスタービン排気の「廃熱」の利用率である。したがって、発電プラントオペレータは、ガスタービン排気の熱から可能な限り最大の有用な仕事を生成することを目的とする。
【０００３】
いくつかの発電プラントは、熱回収蒸気発生器のための２つ以上の給水システムを有することができる。例えば、一次給水システムを熱回収蒸気発生器に使用することができ、二次給水システムをバックアップシステムとして使用することができる。しかしながら、二次給水システムは、費用がかかる可能性があり、熱回収蒸気発生器の性能に影響を与えない可能性がある。さらに、二次給水システムは、主に一次給水システムが利用できない場合に必要とされ得る。利用不能は、構成要素の故障、点検などに起因し得る。計画された点検などの予想される利用不能は、発電プラントがそれに応じて計画することができるため、許容可能であり得る。しかしながら、予期せぬ利用不能は許容できない可能性があり、場合によっては、二次給水システムに依存する可能性がある。
【先行技術文献】
【特許文献】
【０００４】
【文献】欧州特許出願公開第３２４６７６９号明細書
【発明の概要】
【０００５】
本出願および結果として得られる特許は、機械システムにおける障害を検出する障害検出システムを提供する。障害検出システムは、コンピュータ実行可能命令を記憶する少な

くとも１つのメモリと、少なくとも１つのメモリに結合され、コンピュータ実行可能命令を実行して、機械システムの第１の構成要素の性能を示す第１のデータを機械システムから受信し、第１のデータを使用して、第１の構成要素の第１の性能メトリックを決定し、第１の性能メトリックを使用して、第１の構成要素で障害が発生した確率値を決定し、確率値を使用して、第１の構成要素の故障までの予測される時間長を決定するように構成された１つまたは複数のコンピュータプロセッサと、を含むことができる。

【０００６】

本出願および結果として得られる特許は、機械システムにおける障害を検出する方法をさらに提供する。本方法は、サーバによって、機械システムの第１の構成要素の性能を示す第１のデータを機械システムから受信するステップと、第１のデータを使用して、第１の構成要素の第１の性能メトリックを決定するステップと、第１の性能メトリックを使用して、第１の構成要素で障害が発生した確率値を決定するステップと、確率値を使用して、第１の構成要素の故障までの予測される時間長を決定するステップと、を含むことができる。

【０００７】

本出願および結果として得られる特許は、機械システムにおける障害を検出する障害検出システムをさらに提供する。障害障検出システムは、コンピュータ実行可能命令を記憶する少なくとも１つのメモリと、少なくとも１つのメモリに結合され、コンピュータ実行可能命令を実行して、機械システムの第１の構成要素の性能を示す第１のデータおよび第２のデータを機械システムから受信し、第１のデータおよび第２のデータを使用して、第１の構成要素の第１の性能メトリックを決定し、第１の性能メトリックを使用して、所定の時間間隔内に第１の構成要素で障害が発生する可能性を決定し、第１の構成要素の故障までの予測される時間長を決定するように構成された１つまたは複数のコンピュータプロセッサと、を含むことができる。

【０００８】

本出願および結果として得られる特許のこれらの特徴および改良ならびに他の特徴および改良は、いくつかの図面および添付の特許請求の範囲と併せて、以下の詳細な説明を検討することにより当業者には明らかになるであろう。

【図面の簡単な説明】

【０００９】

【図１】ガスタービン、蒸気タービン、および熱回収蒸気発生器を有する既知の複合サイクル発電プラント、ならびに給水システムの構成要素の概略図である。

【図２】本明細書に記載され得る給水システム分析および故障検出システムの概略図である。

【図３】本明細書に記載され得る機械システムの自動化された状態ベースのメンテナンスのための例示的なプロセスフローである。

【図４】本明細書に記載され得る給水システム分析の概略図である。

【図５】本明細書に記載され得る給水システム分析の概略図である。

【図６】本明細書に記載され得る給水システム分析の概略図である。

【図７】本明細書に記載され得る給水システム分析の概略図である。

【図８】本明細書に記載され得る機械システムの自動化された状態ベースのメンテナンスのための別の例示的なプロセスフローである。

【発明を実施するための形態】

【００１０】

ここで図面を参照すると、いくつかの図を通して類似の符号は、類似の要素を指している。図１は、例示的な複合サイクルシステム１００の概略図である。複合サイクルシステム１００は、ガスタービンエンジン１１０を含む。ガスタービンエンジン１１０は、圧縮機１１２を含むことができる。圧縮機１１２は、流入する空気１１４の流れを圧縮する。圧縮機１１２は、圧縮された空気の流れを燃焼器１１６に供給する。燃焼器１１６は、圧縮された空気の流れを加圧された燃料１１８の流れと混合し、混合物を点火して燃焼ガス

１２０の流れを生成する。燃焼器１１６を１つのみ示しているが、ガスタービンエンジン１１０は、円周方向アレイなどに配置された任意の数の燃焼器１１６を含むことができる。燃焼ガス１２０の流れは、次いでタービン１２２に送達される。燃焼ガス１２０の流れは、タービン１２２を駆動して機械的仕事を発生する。タービン１２２で発生した機械的仕事は、シャフト１２４および発電機などの外部負荷１２６を介して圧縮機１１２を駆動する。

【００１１】

ガスタービンエンジン１１０は、天然ガス、様々なタイプの合成ガス、液体燃料、および／または他のタイプの燃料ならびにそれらのブレンドを使用することができる。ガスタービンエンジン１１０は、種々の構成を有してもよく、他のタイプの構成要素を使用していてもよい。本明細書では、他のタイプのガスタービンエンジンもまた使用されてもよい。複数のガスタービンエンジン、他のタイプのタービン、および他のタイプの発電機器もまた、共に本明細書で使用されてもよい。

【００１２】

複合サイクルシステム１００はまた、少なくとも１つの熱回収蒸気発生器１３０および蒸気タービン１３６を含むことができる。熱回収蒸気発生器１３０は、ガスタービンエンジン１１０を出る燃焼ガス１２０から熱を回収して、蒸気タービン１３６内で膨張するための蒸気１３２の流れを生成することができる。蒸気タービン１３６は、発電機などのさらなる負荷１３８を駆動することができる。熱回収蒸気発生器１３０は、高圧セクション、中圧セクション、および低圧セクションなどの１つまたは複数の圧力セクションを有することができる。各圧力セクションは、蒸発器、過熱器および／またはエコノマイザの任意の組み合わせを含むことができる。これらの構成要素の各々は、典型的には、燃焼ガス１２０が流れる管の束を含み、燃焼ガス１２０から、管を通って流れる水などの熱交換流体に熱を伝達する。例えば、蒸発器は、管を通って流れる給水を含むことができ、燃焼ガス１２０は、給水を蒸気に変えることができる。過熱器は、管を通って流れる蒸気を含むことができ、燃焼ガス１２０は、蒸気を加熱して過熱蒸気を生成することができる。エコノマイザは、管を通って流れる給水を含むことができ、高温燃焼ガス１２０は、蒸発器で使用するために給水を予熱することができる。燃焼ガス１２０は、冷却された排気ガス１３４として熱回収蒸気発生器１３０から出ることができる。蒸気１３２は、蒸気タービン１３６から抽出され、加熱・冷却用途１４０に供給されてもよい。同様に、蒸気１３２は、熱回収蒸気発生器１３０から抽出され、加熱・冷却用途１４０に供給されてもよい。

【００１３】

給水システム１５０も図１に示されている。給水システム１５０は、蒸気生成プロセスのための給水を提供するために使用することができる。給水システム１５０は、いくつかの構成要素を含むことができる。例えば、給水システム１５０は、シャフトを使用して互いに結合された電気モータ１５２、可変速継手１５６、およびポンプ１５８を含むことができる。他の構成および構成要素が使用されてもよい。

【００１４】

給水システム１５０は、給水システム１５０の特定の測定値および／または構成要素性能を検出するために使用することができる１つまたは複数のセンサを含むことができる。例えば、給水システム１５０は、シャフトの様々な点に沿ったトルクおよび／または相対シャフト振動を測定するように構成されたトルクメータ１５４、１５６、キーフェーザ／速度センサ、温度センサ、流量センサ、モータ巻線絶縁漏れ電流センサ、相対シャフト振動センサ、ケーシング温度センサ、吸引センサ、圧力センサ、軸方向変位センサ、および／または他のセンサを含むことができる。センサのうちの１つまたは複数は、電気モータ１５２、可変速継手１５６、および／またはポンプ１５８の周りに配置されてもよい。１つまたは複数のセンサからの測定値または読み取り値などの出力は、障害が発生したかどうか、および／または構成要素の故障の可能性、ならびに本明細書に記載の他の機能を判定するために障害検出システムによって使用され得る。センサの異なるタイプおよび／または位置決めを有する給水システムの他の構成が使用されてもよい。

【００１５】
図２は、本明細書に記載され得る給水システム分析および障害検出システムの概略図である。他の実施形態は、図２に示されている例に関して説明されたものよりも、追加の、少数の、および／または異なる構成要素または構成を有してもよい。
【００１６】
給水システム分析および障害検出システムは、給水システム２００を含むことができる。給水システム２００の１つまたは複数のセンサまたはコンピュータシステムによって捕捉された分析および／またはデータは、状況および時間を使用して装置からフリートに配信することができる。例えば、給水システム２００の概略図は、モータとポンプとを結合するシャフトに沿って配置された温度センサ２１０のセットを含む。いくつかの実施形態では、複数の温度センサが温度センサ２１０のセットに含まれてもよい。温度センサは、給水システム２００に沿った異なる点で温度データを収集することができる。給水システム２００は、モータとポンプとを結合するシャフトに沿って配置された振動センサ２２０のセットを含むことができる。いくつかの実施形態では、複数の振動センサが振動センサ２２０のセットに含まれてもよい。振動センサは、給水システム２００に沿った異なる点で、相対シャフト振動データなどの振動データを収集することができる。給水システム２００は、給水システム２００の様々な位置に配置された流量計および／または圧力センサ２３０などの追加のセンサを含むことができる。センサは、給水システム２００の特定の構成要素の性能を決定するために、ならびに個々の構成要素および／または給水システム全体の寿命の予測値を決定するために使用することができる経時的なデータを捕捉するために使用することができる。
【００１７】
ローカルまたはリモートのコンピュータシステムまたはコントローラであってもよいコンピュータシステム２４０は、給水システム２００と通信することができる。コンピュータシステム２４０は、給水システム２００の１つまたは複数のセンサによって出力されたデータまたは測定値を受信することができる。コンピュータシステム２４０は、例えば、ヒューマン・マシンインターフェースおよびデータストレージ２５０と、プラント制御システム２６０と、分析システム２７０と、オプションの振動ラック２８０とを含むことができる。ヒューマン・マシンインターフェースおよびデータストレージ２５０、プラント制御システム２６０、分析システム２７０、および振動ラック２８０のうちの１つまたは複数は、有線または無線通信であってもよい。例えば、構成要素は、データネットワークを介して通信することができる。ヒューマン・マシンインターフェースおよびデータストレージ２５０は、経時的に捕捉されたデータ値、アラーム、オペレータマニュアル、ユーザインターフェースソフトウェア、および／または他のデータを含むことができる。プラント制御システム２６０は、給水システム２００のセンサを含む給水システム２００と通信することができ、給水システム２００の動作を制御することができる。プラント制御システム２６０は、システムの仕様データを取得するために使用することができる。分析システム２７０は、給水システム２００などの発電プラントの様々な構成要素または機械の健全性状態を判定するように構成された健全性分析システムであってもよい。分析システム２７０は、動作推奨を生成することができる。振動ラック２８０は、メンテナンスポートを含むことができ、振動センサ２２０のセットから出力された振動データを捕捉することができる。振動データは、ヒューマン・マシンインターフェースおよびデータストレージ２５０、プラント制御システム２６０、および／または分析システム２７０のうちの１つまたは複数に渡されてもよい。捕捉されるデータの振動数は、場合によっては、約１ｋＨｚ～約１Ｈｚであってもよい。
【００１８】
障害検出サーバ２９０は、１つまたは複数のリモートサーバまたはコンピュータシステムを含むことができ、コンピュータシステム２４０と通信することができる。障害検出サーバ２９０は、クラウドベースのサーバであってもよく、コンピュータシステム２４０からデータを受信してもよい。例えば、障害検出サーバ２９０は、ポンプデータのデータベー

ス２９２を含むことができる。ポンプデータのデータベース２９２は、分析システム２７０から受信することができる現在および過去のポンプ健全性分析データを含むことができる。異なる構成要素および／または異なる発電プラントについて、障害検出サーバ２９０によって追加のデータを格納またはアクセスすることができる。障害検出サーバ２９０は、装置および／またはフリートまたはプラントにわたってデータを集約することができる。障害検出サーバ２９０は、１つまたは複数の第三者とインターフェースするように構成することができる。例えば、障害検出サーバ２９０は、ポンプ供給業者へのインターフェース、および他のプラントへのインターフェースを含むことができる。したがって、特定のデータは、１つまたは複数の第三者に送信されるか、または１つまたは複数の第三者によってアクセス可能であり得る。

【００１９】

コンピュータシステム２４０および／または障害検出サーバ２９０のうちの１つまたは複数は、データモデリング技術を最適に選択して、複合サイクル発電プラント用の給水システムなどの資産の最も正確な障害分類を取得することによって、発電プラント設備の自動障害検出、ならびに分離および故障予測を実行するように構成することができる。

【００２０】

発電プラント設備の自動障害検出、ならびに分離および故障予測を決定するために、コンピュータシステム２４０および／または障害検出サーバ２９０は、正常動作の仕様を決定することができる。例えば、給水システムは、油圧継手（例えば、トルクコンバータ）を介して遠心ポンプを駆動する誘導モータを含むことができる。コンピュータシステム２４０および／または障害検出サーバ２９０は、モータおよびポンプの特性曲線を決定することができ、正常動作は、所与の動作設定点に対する曲線の軌跡として定義することができる。異常動作は、曲線からの逸脱として定義することができる。正常動作からの逸脱は、システムの動作効率を監視することによって到達することができる。動作効率が低下した場合、コンピュータシステム２４０および／または障害検出サーバ２９０は、動作効率の低下を引き起こすためにシステムで何が変化したかを判定することができる。遠心ポンプなどのいくつかの例では、１つまたは複数の親和性規則または法則を使用して、一定の効率のための動作点変化のシフトを決定することができる。一実施形態では、コンピュータシステム２４０および／または障害検出サーバ２９０は、データに基づいて、機械システムの動作効率が低下したと判定することができ、動作効率の低下は異常動作を示す。

【００２１】

図３は、本明細書に記載され得る機械システムの自動化された状態ベースのメンテナンスのための例示的なプロセスフロー３００である。図３で説明されている動作の１つまたは複数は、異なる順序で、および／または分散コンピューティング環境全体の同じコンピュータシステムまたは異なるコンピュータシステムによって実行され得る。一例では、図３の動作は、図２の障害検出サーバ２９０によって実行されてもよい。

【００２２】

ブロック３１０において、機械システムにおける障害を検出する障害検出システムは、機械システムの第１の構成要素の性能を示す第１のデータを機械システムから受信することができる。例えば、障害検出システムは、コンピュータ実行可能命令を記憶する少なくとも１つのメモリと、少なくとも１つのメモリに結合され、コンピュータ実行可能命令を実行するように構成された１つまたは複数のコンピュータプロセッサと、を含むことができる。障害検出システムは、給水システムおよび／または関連するコンピュータシステムなどの機械システムから、機械システムの第１の構成要素の性能を示す第１のデータを受信することができる。機械システムは、複合サイクル発電プラント用の給水システムを含むことができる。第１の構成要素は、例えば、ポンプまたはモータであってもよい。第１のデータは、１つまたは複数のセンサによって捕捉されたデータを含むことができる。例えば、第１のデータは、機械システムに配置されたセンサによって測定されたセンサデータであってもよい。第１のデータは、モータ電圧データ、電流データ、振動もしくは速度データ、ポンプ流量データ、吸引データ、圧力データ、温度データ、ポンプ振動データ、

および／または機械システムのセンサによって出力され得る他のデータの高周波時間領域サンプリングのうちの１つまたは複数を含むことができる。

【００２３】

いくつかの実施形態では、モータ電圧、電流（および／または導出された電力および瞬間トルク）、振動（速度を含み得る）の高周波時間領域サンプリング（例えば、数百～数千Ｈｚ）が、ポンプ流量、吸引およびＩＰ／ＨＰ圧力および温度、ならびにポンプ振動（速度を含み得る）と共に実行され得る。

【００２４】

ブロック３２０において、障害検出システムは、第１のデータを使用して、第１の構成要素の第１の性能メトリックを決定することができる。例えば、障害検出システムは、データベースを使用して、第１の構成要素の正常動作値を決定することができる。正常動作値は、履歴データまたは事前にプログラムされ得る値などの期待値データに基づいてもよい。第１の性能メトリックは、スコアであってもよい。例えば、良好に、または期待に沿って機能しているポンプのスコアは、１００のうちの９２であり得る。他のスコアリングシステムおよび方法論を使用してもよい。

【００２５】

任意選択のブロック３３０において、障害検出システムは、第１のデータを使用して第１の特徴を決定してもよい。特徴は、データセットから抽出されてもよく、またはデータセットを使用して決定されてもよい。特徴は、経時的な特定のデータへの変化を含むことができ、これは性能の問題を示すことができる。いくつかの実施形態では、数学的変換演算を使用して第１のデータを変換することによって特徴を決定することができる。例えば、高速信号の１秒区間が、高速フーリエ変換、ウェーブレット関数、軌道演算、ボード演算、および／または他のアルゴリズムを使用して変換され、特徴を作成することができる。他の数学的変換演算が使用されてもよい。

【００２６】

特徴が決定された後、障害検出システムは、最も有意または重要なデータを示すことができる特徴などの特徴の縮小されたセットを生成することができる。いくつかの実施形態では、障害検出システムは、重要な特徴を選択することによって特徴を低減することができる。例えば、特定の数値閾値を満たす特徴が、特徴の縮小セットに含まれ得る。別の例では、特徴の縮小セットは、数学的方法によって特徴を組み合わせるように特徴空間を変換することによって決定され得る。例示的な数学的方法は、性能基準に基づいて使用するために選択することができるフィルタリング方法、ｔ検定、逐次選択などを含むことができる。特徴は、ｋ平均法、主成分分析、線形判別分析、および／またはニューラルネットワークに基づく積層オートエンコーダなどの様々なエンコーダなどのアルゴリズム方法を使用して低減することもできる。

【００２７】

一例では、障害検出サーバは、機械システムの第２の構成要素の性能を示す第２のデータを機械システムから受信することができる。障害検出サーバは、第１のデータを使用して第２の特徴を決定することができ、第１の特徴および第２の特徴は特徴セットを形成する。障害検出サーバは、縮小された特徴セットを生成するために特徴セットをフィルタリングすることができ、縮小された特徴セットは、第１の特徴を含み第２の特徴を含まない。

【００２８】

任意選択のブロック３４０において、障害検出システムは、第１の特徴の分類を決定することができる。例えば、障害検出システムは、縮小された特徴セットをクラスタリングおよび／または分類することができる。例示的な分類は、一実施形態では、構成要素寿命分類の段階を含むことができる。クラスタリングおよび／または分類は、サポートベクタマシン、ニューラルネットワーク、ｋ近傍法、または他のアルゴリズムを使用して決定することができる。軌道またはボードプロットが特徴を生成するために使用される場合、軌道またはボードプロットからの特徴は、１つまたは複数の画像分類またはパターン認識アルゴリズムを使用して訓練することができる。いくつかの実施形態では、深層ニューラル

ネットワーク（例えば、畳み込みニューラルネットワーク、ディープビリーフネットワークなど）を特徴の分類に使用することができる。一例では、障害検出サーバは、１つまたは複数のニューラルネットワークを使用して第１の特徴の分類を決定するように構成することができる。

【００２９】

任意選択のブロック３５０において、障害検出システムは、分類に関連する障害クラスを決定することができる。例えば、障害検出システムは、構成要素の寿命終了段階の分類に関連付けられた障害クラスが構成要素故障障害クラスであると判定することができる。いくつかの実施形態では、既知の障害クラスは、すべてのクラスタまたはクラスに事前に関連付けられてもよい。他の障害クラスは、クラスタまたはクラスが障害検出システムによって自動的に識別された後、オペレータによって対話的に識別されてもよい。例えば、障害検出システムは、オペレータによる障害クラスの手動識別を要求することができ、適応ニューラルネットワークを使用して障害クラスを分類に関連付けることができる。いくつかの実施形態では、適応ニューラルネットワークに基づく漸進的学習技術を使用して、ストリーミングデータを使用してモデルまたは分類器アルゴリズムを構築することができる。

【００３０】

ブロック３６０において、障害検出システムは、第１の性能メトリックを使用して、第１の構成要素で障害が発生した確率値を決定することができる。例えば、機械システムの様々な構成要素の分析が、第１のデータを使用して実行されてもよい。障害検出システムは、連続的または定期的に分析され得る性能メトリック間の相関を決定することができる。性能メトリック（これは同じ構成要素に対するものであってもよい）は、第１の構成要素の単一の性能メトリックに集約されてもよい（例えば、ポンプの駆動端振動スペクトルおよび非駆動端振動スペクトルに基づいて構築された軸受温度分析および分類モデルは、軸受障害発生の別個の確率を提供することができ、次いで、軸受障害の有無をより高い信頼度などで示すために組み合わせることができる）。例えば、一実施形態では、性能メトリックを使用して、第１の構成要素で障害が発生した確率値を決定することができる。

【００３１】

ブロック３７０において、障害検出システムは、確率値を使用して、第１の構成要素の故障までの予測される時間長を決定することができる。例えば、異なる構成要素の分析によって決定された同じ性能メトリックを経時的に捕捉して、第１の構成要素の故障につながる障害の進行を予想または予測することができる。いくつかの実施形態では、ベイズ法を、構成要素の残存耐用寿命などのレアイベント予測に使用することができる。

【００３２】

いくつかの実施形態では、障害検出サーバは、確率値、予測される時間長、推奨される動作などを提示するために、図４～図７に示すような１つまたは複数のデジタルユーザインターフェースを生成することができる。オペレータは、ユーザインターフェースを見て、任意の構成変更が実行されるべきかどうかを決定することができる。

【００３３】

図４～図７は、本明細書に記載され得る給水システム分析の概略図である。図２～図３の障害検出サーバは、図４～図７に示すような１つまたは複数のユーザインターフェースを生成するように構成することができる。他の実施形態は、異なるユーザインターフェースを有してもよい。

【００３４】

障害検出サーバは、限定はしないが、ポンプ吸引および吐出流、温度および圧力、シャフト速度、振動（例えば、駆動端、非駆動端など）などのうちの１つまたは複数を含むいくつかの測定値に基づいて分析を実行することができる。障害検出サーバは、複数の分析から生じる性能メトリック間の相関を生成することができる。性能メトリックは、特定の構成要素の１つまたは複数の性能メトリックを生成するために使用することができる。いくつかの実施形態では、障害検出サーバは、ベイジアンアルゴリズムを使用して、機械シス

テムの１つまたは複数の構成要素の残存耐用寿命値を決定することができる。
【００３５】
図４は、給水システムの分析を示す例示的な分析出力４００を示す。図５は、モータ４７０および給水システムの関連する構成要素の性能を分離する例示的な分析出力を示す。図６は、給水システムのカプラ４８０および関連する構成要素の性能を分離する例示的な分析出力を示す。図７は、ポンプ４９０および給水システムの関連する構成要素の性能を分離する例示的な分析出力を示す。
【００３６】
図４では、分析出力４００は、ヒューマン・マシンインターフェースを有するダッシュボードを含むことができる。ダッシュボードは、点検および／または注意が必要とされ得る構成要素を示すことができるアラーム４１０を含むことができる。例えば、モータおよび巻線は、図４の図ではアラーム状態にあってもよい。ダッシュボードは、障害検出サーバによって計算された、給水システムの様々な構成要素の残存耐用寿命のインジケータを含むことができる。例えば、モータ軸受は１２０時間の予測残存耐用寿命を有することができ、巻線は１６８時間の予測残存耐用寿命を有することができ、トルクコンバータは４５００時間の予測残存耐用寿命を有することができ、カプラ軸受は３６５２時間の予測残存耐用寿命を有することができ、インペラは２６００１時間の予測残存耐用寿命を有することができ、ポンプ軸受は３６９５２時間の予測残存耐用寿命を有することができるなどである。ダッシュボードは、教師あり学習障害ラベル４３０を含むことができ、これは、承認されたユーザのためのヒューマン・マシンインターフェース、クラスタ／クラスのラベリング、アラーム消去などを含むことができる。したがって、オペレータは、給水システムの様々な構成要素および／または給水システム全体の状態を判定するためにダッシュボードを使用することができる。
【００３７】
分析出力４００は、障害検出分析４４０、診断４５０、および／または予測４６０を含むことができる。それぞれの障害検出分析４４０、診断４５０、および／または予測４６０は、モータ４７０、カプラ４８０、およびポンプ４９０などの給水システムの様々な構成要素のデータを含むことができる。障害検出分析４４０、診断４５０、および／または予測４６０は、高速データサンプリング、モデリング、クラスタリング、分類、アラーム、および／または寿命予測を使用して決定することができる。
【００３８】
図５は、モータ４７０および給水システムの関連する構成要素の性能を分離する例示的な分析出力を示す。例えば、モータ構成要素の残存耐用寿命４２０は、モータ軸受および巻線を含むことができる。モータ構成要素の障害検出分析４４０は、モータ曲線データを含むことができる。モータ構成要素の診断４５０は、電流／電圧分析、駆動端および非駆動端振動分析、巻線温度分析、ならびに駆動端および非駆動端軸受温度分析を含むことができる。モータ構成要素の予測４６０は、軸受および巻線を含むことができる。
【００３９】
図６は、給水システムのカプラ４８０および関連する構成要素の性能を分離する例示的な分析出力を示す。例えば、カプラ構成要素の残存耐用寿命４２０は、トルクコンバータおよびカプラ軸受を含むことができる。カプラ構成要素の障害検出分析４４０は、カプラ特性データを含むことができる。モータ構成要素の診断４５０は、モータ／ポンプトルクおよび速度分析、油圧、温度、および流量分析、ならびにフィルタ圧力降下分析を含むことができる。カプラ構成要素の予測４６０は、軸受およびカプラ／トルクコンバータを含むことができる。
【００４０】
図７は、ポンプ４９０および給水システムの関連する構成要素の性能を分離する例示的な分析出力を示す。例えば、ポンプ構成要素の残存耐用寿命４２０は、ポンプ軸受およびインペラを含むことができる。ポンプ構成要素の障害検出分析４４０は、ポンプ曲線データおよび親和性規則または法則を含むことができる。ポンプ構成要素の診断４５０は、機

械シール漏れおよび総流量分析、駆動端および非駆動端軸受温度分析、ＮＰＳＨ（キャビテーション）分析、駆動端および非駆動端振動分析、ならびに平衡線流量分析分析を含むことができる。ポンプ構成要素の予測４６０は、軸受およびインペラを含むことができる。

【００４１】

したがって、オペレータは、予測された残存耐用寿命および構成要素状態を決定するために分析を使用することができ、それによって、発電プラントにおける回避可能および回避不可能の問題に起因する高度なスケジューリングおよびダウンタイムの低減を可能にする。

【００４２】

障害検出システムの例示的な動作中に、障害検出システムは、機械システムの第１の構成要素の性能を示す第１のデータを機械システムから受信し、第１のデータを使用して、第１の構成要素の第１の性能メトリックを決定し、第１の性能メトリックを使用して、第１の構成要素で障害が発生した確率値を決定し、確率値を使用して、第１の構成要素の故障までの予測される時間長を決定することができる。

【００４３】

図８は、本明細書に記載され得る機械システムの自動化された状態ベースのメンテナンスのための別の例示的なプロセスフロー５００である。図８で説明されている動作の１つまたは複数は、異なる順序で、および／または分散コンピューティング環境全体の同じコンピュータシステムまたは異なるコンピュータシステムによって実行され得る。一例では、図８の動作は、図２の障害検出サーバ２９０によって実行されてもよい。

【００４４】

ブロック５１０において、機械システムにおける障害を検出する障害検出システムは、機械システムの第１の構成要素の性能を示す第１のデータおよび第２のデータを機械システムから受信することができる。例えば、障害検出システムは、コンピュータ実行可能命令を記憶する少なくとも１つのメモリと、少なくとも１つのメモリに結合され、コンピュータ実行可能命令を実行するように構成された１つまたは複数のコンピュータプロセッサと、を含むことができる。障害検出システムは、機械システムの第１の構成要素の性能を示す第１のデータおよび第２のデータを機械システムから受信することができる。第１のデータおよび第２のデータは、同じコンポーネントに対する別々のデータポイントであってもよい。例えば、ポンプの駆動端振動スペクトルおよび非駆動端振動スペクトルに基づいて構築された軸受温度分析および分類モデルは、軸受障害発生の別個の確率を提供することができ、次いで、軸受障害の有無をより高い信頼性で示すために組み合わせることができる。ブロック５２０において、障害検出システムは、第１のデータおよび第２のデータを使用して、第１の構成要素の第１の性能メトリックを決定することができる。ブロック５３０において、障害検出システムは、第１の性能メトリックを使用して、所定の時間間隔内に第１の構成要素で障害が発生する可能性を判定することができる。ブロック５４０において、障害検出システムは、第１の構成要素の故障までの予測される時間長を決定することができる。任意選択のブロック５５０において、障害検出システムは、予測される時間長を提示するためのデジタルユーザインターフェースを生成することができる。

【００４５】

構成要素の状態の改善された検出および故障の予測の結果として、バックアップ給水システムはもはや必要とされない可能性がある。いくつかの実施形態は、給水システムなどの機械システムの可用性を改善することができ、その結果、給水システムによって必要とされる点検を、予定されたプラント停止時に提供することができる。資産可用性を最大化することにより、冗長システムを削減または排除するコスト削減を達成することができる。

【００４６】

上記は、本出願および結果として得られる特許の特定の実施形態のみに関するものであることは明らかである。当業者であれば、以下の特許請求の範囲およびその均等物によって定義される本発明の一般的な趣旨および範囲から逸脱することなく、本明細書において数多くの変更および修正を行うことができる。

【符号の説明】
【００４７】
１００　複合サイクルシステム
１１０　ガスタービンエンジン
１１２　圧縮機
１１４　空気
１１６　燃焼器
１１８　燃料
１２０　高温燃焼ガス
１２２　タービン
１２４　シャフト
１２６　外部負荷
１３０　熱回収蒸気発生器
１３２　蒸気
１３４　排気ガス
１３６　蒸気タービン
１３８　負荷
１４０　加熱・冷却用途
１５０　給水システム
１５２　電気モータ
１５６　可変速継手
１５６　トルクメータ
１５８　ポンプ
２００　給水システム
２１０　温度センサ
２２０　振動センサ
２３０　圧力センサ
２４０　コンピュータシステム
２５０　ヒューマン・マシンインターフェースおよびデータストレージ
２６０　プラント制御システム
２７０　分析システム
２８０　振動ラック
２９０　故障検出サーバ
２９２　ポンプデータのデータベース
３００　プロセスフロー
４００　分析出力
４１０　アラーム
４２０　残存耐用寿命
４３０　教師あり学習故障ラベル
４４０　故障検出分析
４５０　診断
４６０　予測
４７０　モータ
４８０　カプラ
４９０　ポンプ
５００　プロセスフロー

【図面】

【図１】

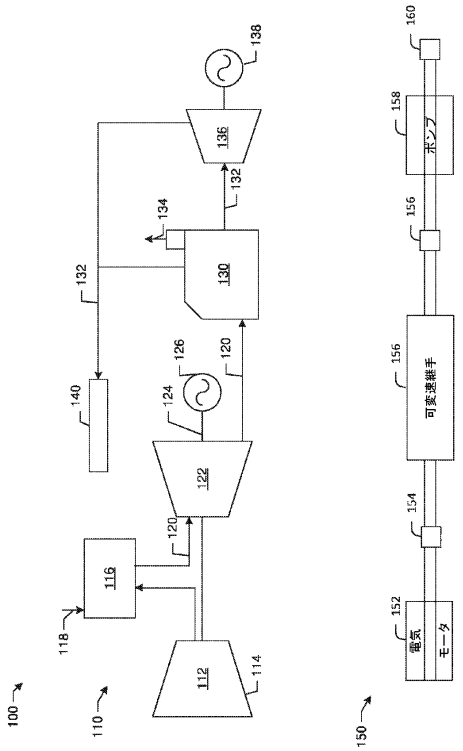


FIG 1

【図２】

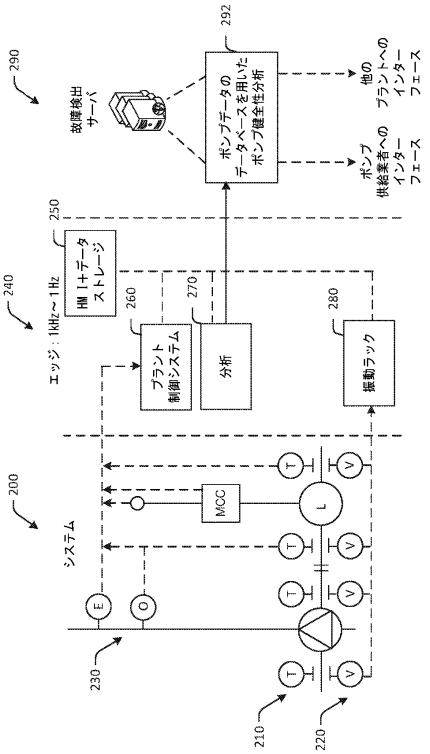


FIG 2

【図３】

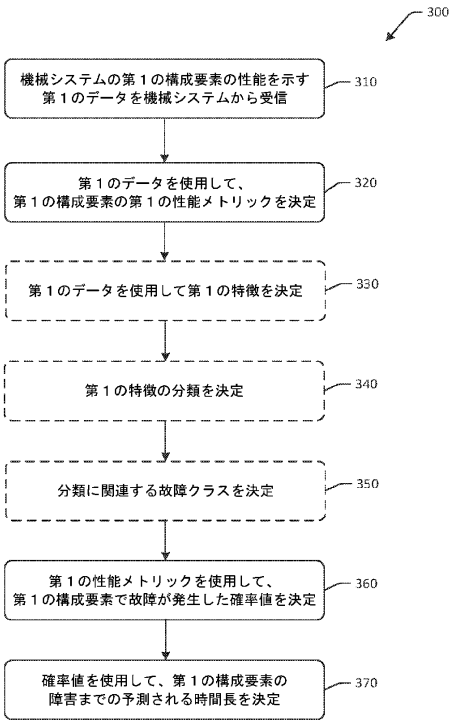


FIG 3

【図４】

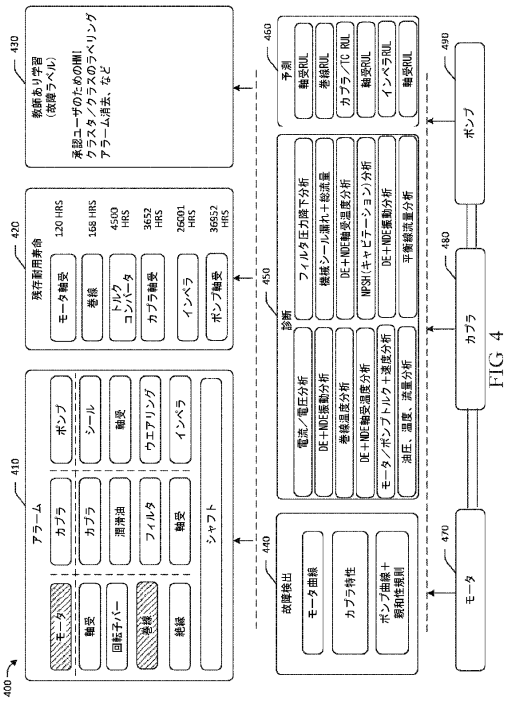


FIG 4

【図５】

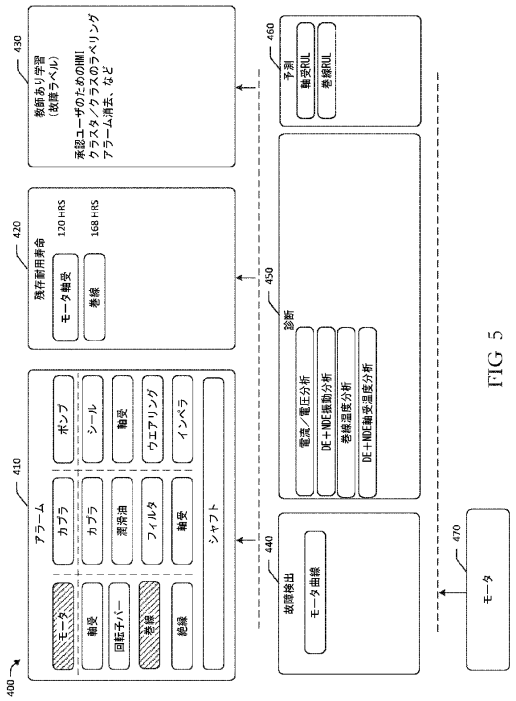


FIG 5

【図６】

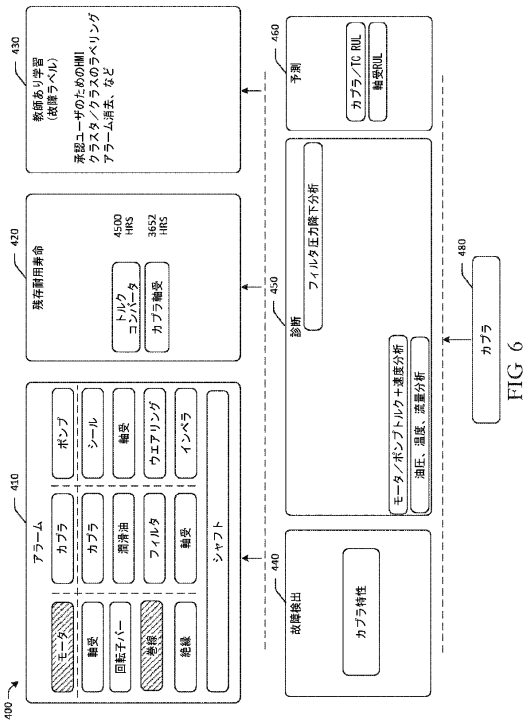


FIG 6

【図７】

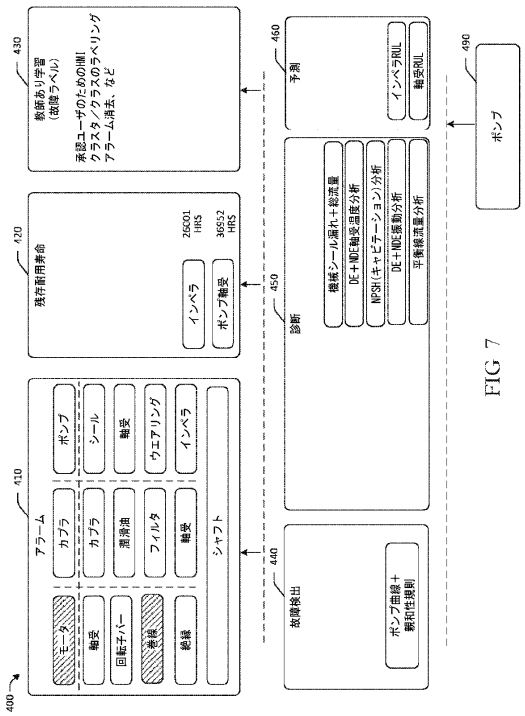


FIG 7

【図８】

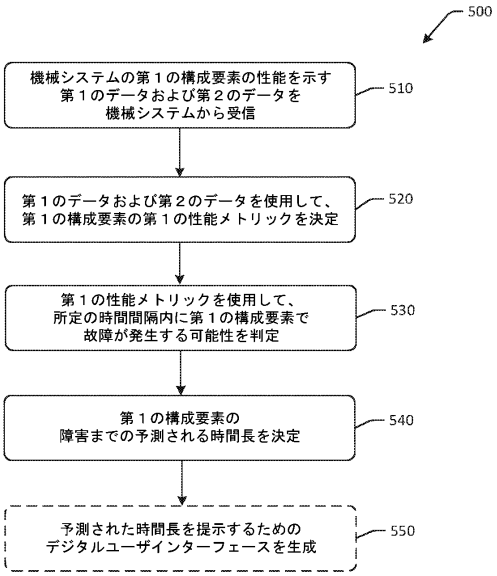


FIG. 8

フロントページの続き

(74)代理人　100151286
弁理士　澤木 亮一
(72)発明者　サラ、アン
インド カルナータカ バンガロール，ジョン エフ．ウェルシー テクノロジー， ホワイトフィールド ロード， エクスポートプロモーション インダストリアル パーク １２２
(72)発明者　ハーレー ジュニア、ロバート
アメリカ合衆国 サウスカロライナ州 ２９６１５ グリーンビル，ガーリントン ロード ３００
(72)発明者　アブロール、シドハース
インド カルナータカ バンガロール，イーピーアイピー， プロット１２２， ジェイエフダブリューティーシー センター， プライベート リミテッド
審査官　田中 友章
(56)参考文献　特表２０１５－５３０６５２（ＪＰ，Ａ）
特開２０１７－０１６５０９（ＪＰ，Ａ）
特開２０１８－１３９１０１（ＪＰ，Ａ）
(58)調査した分野　(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｇ０５Ｂ　２３／０２