

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7594599号
(P7594599)

(45)発行日 令和6年12月4日(2024.12.4)

(24)登録日 令和6年11月26日(2024.11.26)

(51)国際特許分類 F I
 G 0 1 H 17/00 (2006.01) G 0 1 H 17/00 Z
 G 0 1 M 99/00 (2011.01) G 0 1 M 99/00 Z

請求項の数 9 (全20頁)

(21)出願番号	特願2022-551891(P2022-551891)	(73)特許権者	000229564 株式会社バルカー 東京都品川区大崎二丁目1番1号
(86)(22)出願日	令和3年9月13日(2021.9.13)	(74)代理人	110001195 弁理士法人深見特許事務所
(86)国際出願番号	PCT/JP2021/033498	(72)発明者	佐藤 央隆 奈良県五條市住川町テクノパーク・なら 工業団地5-2 株式会社バルカー内
(87)国際公開番号	WO2022/065103	(72)発明者	米田 哲也 奈良県五條市住川町テクノパーク・なら 工業団地5-2 株式会社バルカー内
(87)国際公開日	令和4年3月31日(2022.3.31)	(72)発明者	山下 裕也 東京都町田市小山ヶ丘2-2-2 株式 会社バルカー内
審査請求日	令和6年3月21日(2024.3.21)	審査官	山口 剛
(31)優先権主張番号	特願2020-160910(P2020-160910)		
(32)優先日	令和2年9月25日(2020.9.25)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 振動解析システム、および振動解析方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

動作中の対象物に取り付けられたセンサにより検出される振動信号の入力を受け付ける信号入力部と、

前記対象物に対応する振動信号を分析することにより、複数の周波数帯域にそれぞれ対応する複数の信号強度を算出する強度算出部と、

予め設定された第1単位空間に対する、前記複数の信号強度で構成される第1信号空間の第1マハラノビス距離を算出する第1距離算出部と、

前記強度算出部により算出された前記複数の信号強度の重心位置を示す2次元の重心データを算出する重心算出部と、

予め設定された第2単位空間に対する、前記2次元の重心データで構成される第2信号空間の第2マハラノビス距離を算出する第2距離算出部と、

前記第1マハラノビス距離と前記第2マハラノビス距離とに基づいて、前記対象物に異常が発生する異常発生時期を予測する異常予測部とを備える、振動解析システム。

【請求項2】

前記第1単位空間は、正常時の前記対象物に対応する振動信号を分析することにより算出される、前記複数の周波数帯域にそれぞれ対応する複数の信号強度で構成され、

前記第2単位空間は、前記第1単位空間を構成する当該複数の信号強度の重心位置を示す2次元の重心データで構成される、請求項1に記載の振動解析システム。

【請求項3】

第 1 閾値以上の前記第 1 マハラノビス距離が算出された場合における前記異常発生時期は、前記第 1 閾値以上の前記第 1 マハラノビス距離が算出されていない場合における前記異常発生時期よりも近い将来であると予測される、請求項 1 または 2 に記載の振動解析システム。

【請求項 4】

前記異常予測部は、前記第 1 閾値以上の前記第 1 マハラノビス距離が算出されてから数日経過後に前記対象物に異常が発生すると予測する、請求項 3 に記載の振動解析システム。

【請求項 5】

前記第 1 閾値以上の前記第 1 マハラノビス距離が算出され、かつ第 2 閾値以上の前記第 2 マハラノビス距離が算出された場合における前記異常発生時期は、前記第 1 閾値以上の前記第 1 マハラノビス距離が算出され、かつ前記第 2 閾値以上の前記第 2 マハラノビス距離が算出されていない場合における前記異常発生時期よりも近い将来であると予測される、請求項 3 または 4 に記載の振動解析システム。

10

【請求項 6】

前記異常予測部は、前記第 2 閾値以上の前記第 2 マハラノビス距離が算出されてから数時間経過後に前記対象物に異常が発生すると予測する、請求項 5 に記載の振動解析システム。

【請求項 7】

前記第 1 閾値以上の前記第 1 マハラノビス距離が算出された場合、第 1 警告情報を出力し、前記第 2 閾値以上の前記第 2 マハラノビス距離が算出された場合、前記第 1 警告情報よりも警告レベルの大きい第 2 警告情報を出力する出力制御部をさらに備える、請求項 5 または 6 に記載の振動解析システム。

20

【請求項 8】

前記出力制御部は、前記第 1 マハラノビス距離の時系列データと、前記第 2 マハラノビス距離の時系列データとをディスプレイに表示させる、請求項 7 に記載の振動解析システム。

【請求項 9】

動作中の対象物に取り付けられたセンサにより検出される振動信号の入力を受け付けるステップと、

前記対象物に対応する振動信号を分析することにより、複数の周波数帯域にそれぞれ対応する複数の信号強度を算出するステップと、

30

予め設定された第 1 単位空間に対する、前記複数の信号強度で構成される第 1 信号空間の第 1 マハラノビス距離を算出するステップと、

算出された前記複数の信号強度の重心位置を示す 2 次元の重心データを算出するステップと、

予め設定された第 2 単位空間に対する、前記 2 次元の重心データで構成される第 2 信号空間の第 2 マハラノビス距離を算出するステップと、

前記第 1 マハラノビス距離と前記第 2 マハラノビス距離とに基づいて、前記対象物に異常が発生する異常発生時期を予測するステップとを含む、振動解析方法。

【発明の詳細な説明】

40

【技術分野】

【0001】

本開示は、振動解析システム、および振動解析方法に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、機械の異常を検査するための手法として、機器の動作中の異常振動に起因する信号を検出することにより、その機器の異常の有無を判定する手法が知られている。

【0003】

例えば、特開 2019 - 35585 号公報（特許文献 1）では、データ間距離に基づく異常か否かの程度を表す指標値を算出して異常か否かを判定する所定の近傍法に基づく異

50

常判定処理を、既存の分析結果データ群を代表する既存の代表データ群に対する、新たな分析結果データ群の各データについて適用する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【文献】特開2019-35585号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

特許文献1では、対象機器の状態監視結果である多数のデータの中から、異常検知に用いる代表データを適切に選択することを検討している。しかし、機器の予知保全等のために異常の時期を予測する構成については何ら開示も示唆もされていない。

10

【0006】

本開示のある局面における目的は、対象物の振動状態を解析することにより、対象物の異常発生時期を予測することが可能な振動解析システム、および振動解析方法を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0007】

ある実施の形態に従う振動解析システムは、動作中の対象物に取り付けられたセンサにより検出される振動信号の入力を受け付ける信号入力部と、対象物に対応する振動信号を分析することにより、複数の周波数帯域にそれぞれ対応する複数の信号強度を算出する強度算出部と、予め設定された第1単位空間に対する、複数の信号強度で構成される第1信号空間の第1マハラノビス距離を算出する第1距離算出部と、強度算出部により算出された複数の信号強度の重心位置を示す2次元の重心データを算出する重心算出部と、予め設定された第2単位空間に対する、2次元の重心データで構成される第2信号空間の第2マハラノビス距離を算出する第2距離算出部と、第1マハラノビス距離と第2マハラノビス距離とに基づいて、対象物に異常が発生する異常発生時期を予測する異常予測部とを備える。

20

【0008】

好ましくは、第1単位空間は、正常時の対象物に対応する振動信号を分析することにより算出される、複数の周波数帯域にそれぞれ対応する複数の信号強度で構成される。第2単位空間は、第1単位空間を構成する当該複数の信号強度の重心位置を示す2次元の重心データで構成される。

30

【0009】

好ましくは、第1閾値以上の第1マハラノビス距離が算出された場合における異常発生時期は、第1閾値以上の第1マハラノビス距離が算出されていない場合における異常発生時期よりも近い将来であると予測される。

【0010】

好ましくは、異常予測部は、第1閾値以上の第1マハラノビス距離が算出されてから数日経過後に対象物に異常が発生すると予測する。

40

【0011】

好ましくは、第1閾値以上の第1マハラノビス距離が算出され、かつ第2閾値以上の第2マハラノビス距離が算出された場合における異常発生時期は、第1閾値以上の第1マハラノビス距離が算出され、かつ第2閾値以上の第2マハラノビス距離が算出されていない場合における異常発生時期よりも近い将来であると予測される。

【0012】

好ましくは、異常予測部は、第2閾値以上の第2マハラノビス距離が算出されてから数時間経過後に対象物に異常が発生すると予測する。

【0013】

好ましくは、第1閾値以上の第1マハラノビス距離が算出された場合、第1警告情報を

50

出力し、第2閾値以上の第2マハラノビス距離が算出された場合、第1警告情報よりも警告レベルの大きい第2警告情報を出力する出力制御部をさらに備える。

【0014】

好ましくは、出力制御部は、第1マハラノビス距離の時系列データと、第2マハラノビス距離の時系列データとをディスプレイに表示させる。

【0015】

他の実施の形態に従う振動解析方法は、動作中の対象物に取り付けられたセンサにより検出される振動信号の入力を受け付けるステップと、対象物に対応する振動信号を分析することにより、複数の周波数帯域にそれぞれ対応する複数の信号強度を算出するステップと、予め設定された第1単位空間に対する、複数の信号強度で構成される第1信号空間の第1マハラノビス距離を算出するステップと、算出された複数の信号強度の重心位置を示す2次元の重心データを算出するステップと、予め設定された第2単位空間に対する、2次元の重心データで構成される第2信号空間の第2マハラノビス距離を算出するステップと、第1マハラノビス距離と第2マハラノビス距離とに基づいて、対象物に異常が発生する異常発生時期を予測するステップとを含む。

10

【発明の効果】

【0016】

本開示によると、対象物の振動状態を解析することにより、対象物の異常発生時期を予測することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

20

【0017】

【図1】システムの概要を説明するための図である。

【図2】振動解析システムの全体構成の一例を示すブロック図である。

【図3】解析装置のハードウェア構成の一例を示すブロック図である。

【図4】準備工程の一例を示すフローチャートである。

【図5】各周波数帯域の信号強度のデータセットの一例を示す図である。

【図6】重心位置のデータセットの一例を示す図である。

【図7】解析工程の一例を示すフローチャートである。

【図8】第1異常予測工程の一例を示すフローチャートである。

【図9】多次元データに基づくマハラノビス距離の時系列データを示す図である。

30

【図10】第2異常予測工程の一例を示すフローチャートである。

【図11】2次元データに基づくマハラノビス距離の時系列データを示す図である。

【図12】トレンド解析工程の一例を示すフローチャートである。

【図13】ユーザインターフェイス画面のレイアウト例を示す図である。

【図14】解析装置の機能ブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【0018】

以下、図面を参照しつつ、本発明の実施の形態について説明する。以下の説明では、同一の部品には同一の符号を付してある。それらの名称および機能も同じである。したがって、それらについての詳細な説明は繰り返さない。

40

【0019】

<システム構成>

図1は、システム1000の概要を説明するための図である。図1を参照して、システム1000は、ポンプ等の保全対象物（以下、単に「対象物」とも称する。）の動作中に発生する振動の信号を解析することにより、対象物の異常発生を予測するためのシステムである。以下では、対象物がポンプであるとして説明するが、これに限られず、動作中に振動（あるいは音）を発生する任意の対象物についてシステム1000を適用することができる。例えば、モータ、振動体からの振動を受けて振動している部位などの異常予測にもシステム1000を適用することができる。

【0020】

50

システム 1000 は、振動解析システム 100 と、複数のセンサ 30 と、端末装置 40 と、ネットワーク 50 と、複数のポンプ 70 とを含む。振動解析システム 100 は、ポンプ 70 の振動解析を実行する。振動解析システム 100 は、解析装置 10 と、センサユニット 20 とを含む。センサユニット 20 は、複数のセンサ 30 と電氣的に接続されている。システム 1000 では、2つのセンサユニット 20 が解析装置 10 に接続されているが、3つ以上のセンサユニット 20、または1つのセンサユニット 20 が解析装置 10 に接続される構成であってもよい。各センサユニット 20 は、1つのセンサ 30 と電氣的に接続されていてもよい。各センサユニット 20 は、複数のポンプ 70 にそれぞれ取り付けられた複数のセンサ 30 と電氣的に接続されていてもよい。

【0021】

センサ 30 は、ポンプ 70 に取り付けられており、ポンプの振動や音に起因して検出される検出信号（振動信号）を取得する。解析装置 10 は、センサユニット 20 を介してセンサ 30 から入力された振動信号に基づいて、ポンプ 70 の振動解析を実行する。解析装置 10 は、ネットワーク 50 を介して、端末装置 40 と通信可能に構成される。解析装置 10 は、振動解析結果等を端末装置 40 に送信する。

【0022】

解析装置 10 は、典型的には、汎用的なコンピュータアーキテクチャに従う構造を有しており、予めインストールされたプログラムをプロセッサが実行することで、後述する各種の処理を実現する。解析装置 10 は、例えば、ラップトップ PC (Personal Computer) である。ただし、解析装置 10 は、以下に説明する機能および処理を実行可能な装置であればよく、他の装置（例えば、デスクトップ PC、タブレット端末装置）であってもよい。

【0023】

ネットワーク 50 は、インターネット等の各種ネットワークを含む。ネットワーク 50 は、有線通信方式を採用してもよいし、無線 LAN (local area network) 等のその他の無線通信方式を採用してもよい。

【0024】

端末装置 40 は、例えば、携帯可能なタブレット端末装置である。ただし、端末装置 40 は、これに限られず、スマートフォン、デスクトップ PC (Personal Computer) などを実現されてもよい。なお、本実施の形態に従う振動解析システム 100 は、解析装置 10 と、センサユニット 20 とが分離した分離型の装置で構成されているが、解析装置 10 およびセンサユニット 20 の一体型の装置で構成されていてもよい。

【0025】

図 2 は、振動解析システム 100 の全体構成の一例を示すブロック図である。図 2 を参照して、振動解析システム 100 は、解析装置 10 と、センサユニット 20 とを含む。

【0026】

センサユニット 20 に接続されるセンサ 30 は、振動や音の信号を検出可能なセンサであり、例えば、有機圧電素子を用いた加速度センサによって構成される。なお、センサ 30 は、振動や音の信号を検出可能なセンサであればよく、他の方式（例えば、サーボ型）の加速度センサで構成されていてもよいし、各種の他のセンサで構成されていてもよい。

【0027】

センサ 30 により得られる信号が電荷信号である場合、チャージコンバータが、センサ 30 と振動解析システム 100 との間に設けられる。この場合、チャージコンバータは、センサ 30 からの電荷信号を電圧信号に変換して、振動解析システム 100 に出力する。なお、センサ 30 が、電荷信号を電圧信号に変換する機能を有する場合には、チャージコンバータは不要である。

【0028】

センサユニット 20 は、センサ 30（あるいは、チャージコンバータ）から取得した振動信号を、解析装置 10 で処理できる信号に変換する。具体的には、センサユニット 20 は、フィルタ 21 と、増幅器 22 と、A/Dコンバータ 23 とを含む。

10

20

30

40

50

【 0 0 2 9 】

フィルタ 2 1 は、アナログフィルタであり、センサ 3 0 から出力される振動信号からノイズ成分を除去する。フィルタ 2 1 は、ローパスフィルタ、ハイパスフィルタ等により構成される。

【 0 0 3 0 】

増幅器 2 2 は、フィルタ 2 1 から出力されるアナログ信号を所定倍に増幅し、増幅した信号を A / D コンバータ 2 3 に出力する。

【 0 0 3 1 】

A / D コンバータ 2 3 は、所定のサンプリング周波数にて、増幅器 2 2 から入力される信号をアナログ信号からデジタル信号に変換する。A / D コンバータ 2 3 は、デジタル変換した信号を解析装置 1 0 へ出力する。

10

【 0 0 3 2 】

図 3 は、解析装置 1 0 のハードウェア構成の一例を示すブロック図である。図 3 を参照して、解析装置 1 0 は、プロセッサ 1 0 1 と、メモリ 1 0 3 と、ディスプレイ 1 0 5 と、入力装置 1 0 7 と、信号入力インターフェイス (I / F) 1 0 9 と、通信インターフェイス (I / F) 1 1 1 とを含む。これらの各部は、互いにデータ通信可能に接続される。

【 0 0 3 3 】

プロセッサ 1 0 1 は、典型的には、CPU (Central Processing Unit)、MPU (Multi Processing Unit) 等といった演算処理部である。プロセッサ 1 0 1 は、メモリ 1 0 3 に記憶されたプログラムを読み出して実行することで、解析装置 1 0 の各部の動作を制御する。より詳細にはプロセッサ 1 0 1 は、当該プログラムを実行することによって、解析装置 1 0 の各機能を実現する。

20

【 0 0 3 4 】

メモリ 1 0 3 は、RAM (Random Access Memory)、ROM (Read-Only Memory)、フラッシュメモリ、ハードディスクなどによって実現される。メモリ 1 0 3 は、プロセッサ 1 0 1 によって実行されるプログラム等を記憶する。

【 0 0 3 5 】

ディスプレイ 1 0 5 は、例えば、液晶ディスプレイ、有機 EL (Electro Luminescence) ディスプレイ等である。ディスプレイ 1 0 5 は、解析装置 1 0 と一体的に構成されてもよいし、解析装置 1 0 とは別個に構成されてもよい。

30

【 0 0 3 6 】

入力装置 1 0 7 は、解析装置 1 0 に対する操作入力を受け付ける。入力装置 1 0 7 は、例えば、キーボード、ボタン、マウスなどによって実現される。また、入力装置 1 0 7 は、タッチパネルとして実現されていてもよい。

【 0 0 3 7 】

信号入力インターフェイス 1 0 9 は、プロセッサ 1 0 1 とセンサユニット 2 0 との間のデータ伝送を仲介する。信号入力インターフェイス (I / F) 1 0 9 は、センサユニット 2 0 を介して、センサ 3 0 からの振動信号の入力を受け付ける。具体的には、信号入力インターフェイス 1 0 9 は、A / D コンバータ 2 3 からのデジタル信号の入力を受け付ける。

40

【 0 0 3 8 】

通信インターフェイス 1 1 1 は、プロセッサ 1 0 1 と端末装置 4 0 等との間のデータ伝送を仲介する。通信方式としては、例えば、Bluetooth (登録商標)、無線 LAN (Local Area Network) 等による無線通信方式が用いられる。なお、通信方式として、USB (Universal Serial Bus) 等の有線通信方式を用いてもよい。

【 0 0 3 9 】

< 異常予測方式 >

本実施の形態に従う異常予測方式の概要について説明する。異常予測方式は、リファレンスデータを準備する準備工程と、ポンプ 7 0 の異常状態を解析する解析工程とを含む。

【 0 0 4 0 】

50

(準備工程)

本実施の形態に係る準備工程においては、例えば、動作開始初期のポンプ70の振動状態が計測される。動作開始初期のポンプ70は新品の状態であることから、正常時のポンプ70の振動状態がリファレンスとして計測される。ただし、ポンプ70の代わりに、ポンプ70と同一種類の正常状態のポンプを別途用意して、当該ポンプの振動状態がリファレンスとして計測されてもよい。

【0041】

図4は、準備工程の一例を示すフローチャートである。典型的には、以下の各ステップは、解析装置10のプロセッサ101がメモリ103に格納されたプログラムを実行することによって実現される。

【0042】

図4を参照して、プロセッサ101は、センサユニット20を介して、センサ30から出力される振動信号を取得する(ステップS10)。具体的には、プロセッサ101は、センサ30から正常時のポンプ70に対応する振動信号(ポンプ70の振動状態を示す振動信号)を取得する。

【0043】

プロセッサ101は、所定時間(例えば、数十～数百m秒)蓄積された振動信号を、オクターブ分析する(ステップS12)。本実施の形態では、1/3オクターブ分析が利用される。そのため、各振動信号は、1/3バンドパスフィルタによって、例えば0.4Hzから20kHzまでの48バンドに分離され、バンド(すなわち、周波数帯域)ごとに信号強度(振動強度)が平均化される。以下の説明では、周波数帯域において平均化された信号強度を、単に「周波数帯域の信号強度」とも称する。

【0044】

プロセッサ101は、各周波数帯域について、正常時のポンプ70に対応する当該周波数帯域の信号強度をリファレンスデータRとしてメモリ103に記憶する(ステップS14)。

【0045】

図5は、各周波数帯域の信号強度のデータセットの一例を示す図である。図5を参照して、データセット310は、各時間 $T_1 \sim T_m$ (ただし、 m は自然数)について、各周波数帯域 $f_1 \sim f_n$ (ただし、 n は自然数、 $n < m$)の信号強度 L を含む。各振動信号が48バンドに分離される場合、 $n = 48$ である。例えば、データセット310は、時間 T_1 においては、各周波数帯域 $f_1 \sim f_n$ の信号強度 $L_{1_1} \sim L_{1_n}$ を含み、時間 T_m においては、各周波数帯域 $f_1 \sim f_n$ の信号強度 $L_{m_1} \sim L_{m_n}$ を含む。リファレンスデータRは、例えば、各時間 $T_1 \sim T_n$ の各周波数帯域 $f_1 \sim f_n$ の信号強度 L を含む。この場合、時間 $T_1 \sim T_n$ の期間が動作開始初期期間に対応する。

【0046】

再び、図4を参照して、プロセッサ101は、リファレンスデータRを用いてマハラノビス・タグチ法(MT法)における単位空間 U_1 を設定する(ステップS16)。具体的には、プロセッサ101は、各時間 $T_1 \sim T_n$ における各周波数帯域 $f_1 \sim f_n$ の信号強度 L のデータを、単位空間 U_1 として設定する。単位空間 U_1 は、後述する第1異常予測工程において用いられる。

【0047】

プロセッサ101は、各周波数帯域の信号強度の重心位置を示す2次元の重心データを算出する(ステップS18)。具体的には、プロセッサ101は、データセット310から図6に示すデータセットを生成する。

【0048】

図6は、重心位置のデータセットの一例を示す図である。図6を参照して、データセット320は、時間 $T_1 \sim T_m$ について、周波数帯域の重心位置 G_x と、信号強度の重心位置 G_y とを含む。各時間 $T_1 \sim T_m$ について、2次元の重心データ(重心位置 G_x, G_y)が生成される。重心位置 G_x は以下の式(1)で表され、重心位置 G_y は以下の式(2

10

20

30

40

50

)で表される。

【 0 0 4 9 】

【 数 1 】

$$G_x = \sum_{i=1}^n f_i L_i / S \quad \dots(1)$$

【 0 0 5 0 】

【 数 2 】

$$G_y = \sum_{i=1}^n \frac{1}{2} L_i^2 / S \quad \dots(2)$$

10

【 0 0 5 1 】

f_i は i 番目の周波数帯域を表わし、 L_i は i 番目の周波数帯域の信号強度を表わし、 S は全周波数帯域の信号強度の総和を表わしている。上記 (1) および (2) により、 n 次元 (多次元) のデータ (各周波数帯域 $f_1 \sim f_n$ の信号強度 L) で構成されるデータセット 3 1 0 から、2次元のデータ (重心位置 G_x, G_y) で構成されるデータセット 3 2 0 が生成される。データセット 3 2 0 では、例えば、時間 T_1 の重心位置 G_x, G_y がそれぞれ重心位置 G_{f_1}, G_{L_1} で表され、時間 T_m の重心位置 G_x, G_y がそれぞれ重心位置 G_{f_m}, G_{L_m} で表される。

20

【 0 0 5 2 】

再び、図 4 を参照して、プロセッサ 1 0 1 は、動作開始初期期間 (例えば、時間 $T_1 \sim T_n$) における重心データを用いて、MT法における単位空間 U_2 を設定する (ステップ S 2 0)。具体的には、プロセッサ 1 0 1 は、各時間 $T_1 \sim T_n$ の2次元の重心データ (重心位置 G_x, G_y) を、単位空間 U_2 として設定する。単位空間 U_2 は、後述する第 2 異常予測工程において用いられる。

【 0 0 5 3 】

(解析工程)

解析工程は、ポンプ 7 0 の振動状態の異常発生時期を予測する第 1 および第 2 異常予測工程と、ポンプ 7 0 の振動状態の今後の傾向を解析するトレンド解析工程とを含む。

30

【 0 0 5 4 】

図 7 は、解析工程の一例を示すフローチャートである。図 7 を参照して、プロセッサ 1 0 1 は、センサユニット 2 0 を介して、センサ 3 0 から出力される振動信号を取得する (ステップ S 3 0)。具体的には、プロセッサ 1 0 1 は、通常期間 (例えば、動作開始初期期間終了後の期間) 中のポンプ 7 0 に対応する振動信号をセンサ 3 0 から取得する。

【 0 0 5 5 】

プロセッサ 1 0 1 は、所定時間蓄積された振動信号を、オクターブ分析する (ステップ S 3 2)。プロセッサ 1 0 1 は、各周波数帯域について、ポンプ 7 0 に対応する当該周波数帯域の信号強度をメモリ 1 0 3 に記憶する (ステップ S 3 4)。具体的には、ある時間 T_s でのポンプ 7 0 における各周波数帯域の信号強度が、データセット 3 1 0 の形式で記憶される。ここで、時間 T_s でのポンプ 7 0 における周波数帯域 $f_1 \sim f_n$ の一連の信号強度 $L_{s_1} \sim L_{s_n}$ を、信号強度データ P_s とも称する。なお、時間 $T_1 \sim T_n$ の期間が動作開始初期期間に対応するため、通常期間は時間 $T_{n+1} \sim$ 時間 T_m の期間に対応する。そのため、時間 T_s は、時間 $T_{n+1} \sim$ 時間 T_m のいずれかである。

40

【 0 0 5 6 】

プロセッサ 1 0 1 は、信号強度データ P_s と準備工程で得られたデータとを用いて、第 1 異常予測工程 (ステップ S 4 0)、第 2 異常予測工程 (ステップ S 6 0) およびトレンド解析工程 (ステップ S 7 0) を実行する。これらの各工程は、並行して実行されてもよいし、順次実行されてもよい。

50

【 0 0 5 7 】

[第 1 異常予測工程]

図 8 は、第 1 異常予測工程の一例を示すフローチャートである。第 1 異常予測工程では、多次元データで構成されるデータセット 3 1 0 が用いられる。図 8 を参照して、プロセッサ 1 0 1 は、図 4 のステップ S 1 6 で設定した単位空間 U 1 に対する、複数の信号強度で構成される信号空間 X 1 s のマハラノビス距離 MD 1 (以下、単に「距離 MD 1」とも称する。)を算出する(ステップ S 4 1)。信号空間 X 1 s は、時間 T s での複数の信号強度 $L s _ 1 \sim L s _ n$ (すなわち、信号強度データ P s) で構成される。

【 0 0 5 8 】

プロセッサ 1 0 1 は、距離 MD 1 が閾値 $T h 1$ (例えば、5)以上であるか否かを判断する(ステップ S 4 3)。距離 MD 1 が閾値 $T h 1$ 未満である場合(ステップ S 4 3 において NO)、プロセッサ 1 0 1 は第 1 異常予測工程を終了する。距離 MD 1 が閾値 $T h 1$ 以上である場合(ステップ S 4 3 において YES)、プロセッサ 1 0 1 は、近い将来にポンプ 7 0 に異常が発生すると予測して、異常アラートを出力して(ステップ S 4 5)、第 1 異常予測工程を終了する。典型的には、異常アラートは、ディスプレイ 1 0 5 に表示される。なお、異常アラートは、スピーカを介して音声出力される構成であってもよい。

10

【 0 0 5 9 】

ここで、図 9 を参照しながら、プロセッサ 1 0 1 が上記のように予測する理由について説明する。図 9 は、多次元データに基づくマハラノビス距離の時系列データを示す図である。グラフ 4 1 0 は、ポンプ 7 0 と同一種類の参照ポンプにおけるマハラノビス距離 MD x 1 の時系列データを示している。そのため、グラフ 4 1 0 のマハラノビス距離 MD x 1 は、ポンプ 7 0 におけるマハラノビス距離 MD 1 と同一の傾向を示すといえる。

20

【 0 0 6 0 】

グラフ 4 1 0 によると、単位空間に対する信号空間のマハラノビス距離 MD x 1 は、時間 $T a 1$ のときに初めて閾値 $T h 1$ (= 5) を超えている。その後、時間 $T a 2$, $T a 3$, $T a 4$ において、マハラノビス距離 MD x 1 は閾値 $T h 1$ を超え、最終的には時間 $T a 5$ において参照ポンプに異常が発生している。時間 $T a 1$ から時間 $T a 5$ までの期間は、4.5 日であり、時間 $T a 2$ から時間 $T a 5$ までの期間は 3 日であり、時間 $T a 3$ から時間 $T a 5$ までの期間は 1.5 日であり、時間 $T a 4$ から時間 $T a 5$ までの期間は 8.5 時間であった。このことから、マハラノビス距離 MD x 1 が閾値 $T h 1$ を初めて超えてから数日後に異常が発生していることが理解される。

30

【 0 0 6 1 】

したがって、閾値 $T h 1$ 以上のマハラノビス距離 MD 1 が算出された場合には、プロセッサ 1 0 1 は、近い将来にポンプ 7 0 に異常が発生すると予測する。特に、プロセッサ 1 0 1 は、閾値 $T h 1$ 以上のマハラノビス距離 MD 1 が初めて算出されたときから数日後にポンプ 7 0 に異常が発生すると予測してもよい。この場合、プロセッサ 1 0 1 は、数日後にポンプ 7 0 に異常が発生する可能性があることを通知する、比較的警告レベルの高い異常アラートを出力してもよい。

【 0 0 6 2 】

[第 2 異常予測工程]

図 1 0 は、第 2 異常予測工程の一例を示すフローチャートである。図 1 0 を参照して、プロセッサ 1 0 1 は、各周波数帯域の信号強度の重心位置を示す 2 次元の重心データを算出する(ステップ S 6 1)。具体的には、プロセッサ 1 0 1 は、ステップ S 3 4 で記憶された信号強度データ P s から式 (1) および (2) を用いて 2 次元の重心データ(すなわち、重心位置 $G x$, $G y$) を算出する。

40

【 0 0 6 3 】

プロセッサ 1 0 1 は、図 4 のステップ S 2 0 で設定した単位空間 U 2 に対する、2 次元の重心データで構成される信号空間 X 2 s のマハラノビス距離 MD 2 (以下、単に「距離 MD 2」とも称する。)を算出する(ステップ S 6 3)。信号空間 X 2 s は、時間 T s での重心位置 $G x$, $G y$ (すなわち、 $G f _ s$, $G L _ s$) で構成される。

50

【 0 0 6 4 】

プロセッサ 1 0 1 は、距離 $M D 2$ が閾値 $T h 2$ (例えば、5) 以上であるか否かを判断する(ステップ $S 6 5$)。距離 $M D 2$ が閾値 $T h 2$ 未満である場合(ステップ $S 6 5$ において $N O$)、プロセッサ 1 0 1 は第 2 異常予測工程を終了する。距離 $M D 2$ が閾値 $T h 2$ 以上である場合(ステップ $S 6 5$ において $Y E S$)、プロセッサ 1 0 1 は、極めて近い将来にポンプ 7 0 に異常が発生すると予測して、異常アラートを出力して(ステップ $S 6 7$)、第 2 異常予測工程を終了する。

【 0 0 6 5 】

ここで、図 1 1 を参照しながら、プロセッサ 1 0 1 が上記のように予測する理由について説明する。図 1 1 は、2 次元データに基づくマハラノビス距離の時系列データを示す図である。グラフ 4 2 0 は、ポンプ 7 0 と同一種類の参照ポンプにおけるマハラノビス距離 $M D \times 2$ の時系列データを示している。そのため、グラフ 4 2 0 のマハラノビス距離 $M D \times 2$ は、ポンプ 7 0 におけるマハラノビス距離 $M D 2$ と同一の傾向を示すといえる。

10

【 0 0 6 6 】

グラフ 4 2 0 によると、マハラノビス距離 $M D \times 2$ は、時間 $T b 1$ のときに初めて閾値 $T h 2$ (= 5) を超えている。その後、時間 $T b 2$ において参照ポンプに異常が発生している。時間 $T b 1$ から時間 $T b 2$ までの期間は、5.5 時間であった。このことから、マハラノビス距離 $M D \times 2$ が閾値 $T h 2$ を最初に超えてから数時間後に異常が発生しているといえる。

【 0 0 6 7 】

したがって、閾値 $T h 2$ 以上のマハラノビス距離 $M D 2$ が算出された場合には、プロセッサ 1 0 1 は、極めて近い将来にポンプ 7 0 に異常が発生すると予測する。特に、プロセッサ 1 0 1 は、閾値 $T h 2$ 以上のマハラノビス距離 $M D 2$ が初めて算出されたときから数時間後にポンプ 7 0 に異常が発生すると予測してもよい。この場合、プロセッサ 1 0 1 は、数時間後に異常が発生する可能性があることを通知する、警告レベルの高い異常アラートを出力してもよい。

20

【 0 0 6 8 】

〔トレンド解析工程〕

図 1 2 は、トレンド解析工程の一例を示すフローチャートである。図 1 2 を参照して、プロセッサ 1 0 1 は、信号強度データ $P s$ から、リファレンスデータ R の代表データを減算した差分 H を算出する(ステップ $S 7 1$)。

30

【 0 0 6 9 】

リファレンスデータ R は、各時間 $T 1 \sim T n$ の各周波数帯域 $f 1 \sim f n$ の信号強度 L を含むデータ群で構成される。例えば、プロセッサ 1 0 1 は、このデータ群のうち、ある時間 $T n$ の各周波数帯域 $f 1 \sim f n$ の信号強度 $L n _ 1 \sim L n _ n$ を代表データとして抽出する。そして、プロセッサ 1 0 1 は、信号強度データ $P s$ から代表データを減算した差分 H を算出する。これにより、各周波数帯域の差分 H が算出される。

【 0 0 7 0 】

なお、代表データは、時間 $T 1 \sim T n$ の各周波数帯域 $f 1 \sim f n$ の信号強度 L の平均値で構成されていてもよい。この場合、例えば、代表データに含まれる周波数帯域 $f 1$ の信号強度 $L 1$ は、信号強度 $L 1 _ 1 \sim L n _ 1$ の平均値で構成され、代表データに含まれる周波数帯域 $f n$ の信号強度 $L n$ は、信号強度 $L 1 _ n \sim L n _ n$ の平均値で構成される。

40

【 0 0 7 1 】

続いて、プロセッサ 1 0 1 は、周波数帯域ごとに差分 H と複数の基準値 $Z 1, Z 2, Z 3$ とを比較することにより、各周波数帯域におけるポンプ 7 0 の振動状態の異常レベルを判定する(ステップ $S 7 3$)。例えば、差分 H が 0 以上かつ基準値 $Z 1$ (例えば、3 dB) 未満である場合には、異常レベルは「0」であり、振動状態は「正常」となる。差分 H が基準値 $Z 1$ 以上かつ基準値 $Z 2$ (例えば、6 dB) 未満である場合には、異常レベルは「1」であり、ポンプ 7 0 の状態確認が推奨される。差分 H が基準値 $Z 2$ 以上かつ基準値 $Z 3$ (例えば、10 dB) 未満である場合には、異常レベルは「2」であり、ポンプ 7 0

50

のメンテナンスが推奨される。差分Hが基準値Z3以上である場合には、異常レベルは「3」であり、ポンプ70の交換等が必要な危険な状態である。

【0072】

プロセッサ101は、ポンプ70における振動状態の異常レベルの判定結果に基づいて、異常アラートを出力する(ステップS75)。具体的には、プロセッサ101は、異常レベルが「3」である場合(すなわち、 $H \geq Z3$ の場合)には、警告レベルが高い異常アラート(例えば、「危険」)を出力し、異常レベルが「2」である場合(すなわち、 $Z2 < H < Z3$ の場合)には、警告レベルが比較的高い異常アラート(例えば、「メンテナンス推奨」)を出力し、異常レベルが「1」である場合(すなわち、 $Z1 < H < Z2$ の場合)には、警告レベルが低い異常アラート(例えば、「注意」)を出力する。なお、プロセッサ101は、異常レベルが「0」である場合(すなわち、 $H < Z1$ の場合)には、ポンプ70の振動状態が「正常」であることを出力してもよい。続いて、プロセッサ101は、異常レベルの判定結果を記憶する(ステップS77)。

10

【0073】

プロセッサ101は、各周波数帯域におけるポンプ70の振動状態のうち、基準時点(例えば、現時点)において異常レベルが高い上位所定数(例えば、5つ)の振動状態を特定し、当該特定した振動状態に対応する周波数帯域を抽出する(ステップS79)。基準時点は、ユーザにより任意に選択可能に構成される。

【0074】

プロセッサ101は、抽出された周波数帯域(以下、「抽出周波数帯域」とも称する。)の振動状態について、トレンド予測処理を実行する(ステップS81)。具体的には、プロセッサ101は、抽出周波数帯域における既存(過去)の差分Hの時系列データに基づいて、未来の差分Hの傾向を予測する。例えば、プロセッサ101は、基準時点よりも過去の差分Hの時系列データを近似曲線(例えば、線形近似、指数近似等)により近似して、基準時点よりも未来の差分Hを予測する。また、プロセッサ101は、過去の差分Hの時系列データを回帰分析することによって回帰直線を取得し、当該回帰直線の傾きおよび切片に基づいて未来の差分Hを予測してもよい。

20

【0075】

プロセッサ101は、トレンド予測処理の結果をトレンドグラフとしてディスプレイ105に表示する(ステップS83)。プロセッサ101は、トレンドグラフに関するデータをメモリ103に記憶して(ステップS85)、トレンド解析工程を終了する。例えば、プロセッサ101は、抽出周波数帯域、トレンドグラフ等の各種データをメモリ103に記憶する。

30

【0076】

<画面例>

図13は、ユーザインターフェイス画面500のレイアウト例を示す図である。ただし、ユーザインターフェイス画面500は、後述する機能を実現できるレイアウトであればよく、図13以外のレイアウトであってもよい。

【0077】

図13を参照して、ユーザインターフェイス画面500は、表示領域502~512と、計測条件および設定値の表示領域514と、各種ボタン516と、表示領域520~540と、グラフ550~570を含む。

40

【0078】

表示領域502には、センサユニット20の識別番号(ユニット番号)、センサ30の識別番号(センサ番号)、計測対象名(例えば、ポンプ)等が表示される。表示領域504には、多次元データを用いたMT法により算出された距離MD1に基づくステータスが表示される。このステータスは、算出された距離MD1の値に応じて変化する。例えば、閾値Th1(例えば、5)以上の距離MD1が算出されている場合にはステータス「危険」が表示され、閾値Th1未満かつ閾値Th1a(例えば、4)以上の距離MD1が算出されている場合にはステータス「メンテナンス推奨」が表示され、閾値Th1a未満かつ

50

閾値 $T h 1 b$ (例えば、3) 以上の距離 $M D 1$ が算出されている場合にはステータス「注意」が表示され、閾値 $T h 1 b$ 未満の距離 $M D 1$ が算出されている場合にはステータス「正常」が表示される。このように、距離 $M D 1$ が大きいほどステータスの警告レベルは高くなる。

【0079】

表示領域 506 には、2次元データを用いた $M T$ 法により算出された距離 $M D 2$ に基づくステータスが表示される。このステータスは、距離 $M D 2$ の値に応じて変化する。例えば、閾値 $T h 2$ (例えば、5) 以上の距離 $M D 2$ が算出されている場合にはステータス「危険」が表示され、閾値 $T h 2$ 未満かつ閾値 $T h 2 a$ (例えば、4) 以上の距離 $M D 2$ が算出されている場合にはステータス「メンテナンス推奨」が表示され、閾値 $T h 2 a$ 未満かつ閾値 $T h 2 b$ (例えば、3) 以上の距離 $M D 2$ が算出されている場合にはステータス「注意」が表示され、閾値 $T h 2 b$ 未満の距離 $M D 2$ が算出されている場合にはステータス「正常」が表示される。このように、距離 $M D 2$ が大きいほどステータスの警告レベルは高くなる。

10

【0080】

表示領域 508 には、トレンド解析に基づくステータスが表示される。このステータスは、基準時点における差分 H に応じて変化する。例えば、基準時点の差分 H が基準値 $Z 3$ (例えば、10 dB) 以上の場合にはステータス「危険」が表示され、差分 H が基準値 $Z 3$ 未満かつ基準値 $Z 2$ (例えば、6 dB) 以上の場合にはステータス「メンテナンス推奨」が表示され、差分 H が基準値 $Z 2$ 未満かつ基準値 $Z 1$ (例えば、3 dB) 以上の場合にはステータス「注意」が表示され、差分 H が基準値 $Z 1$ 未満の場合にはステータス「正常」が表示される。このように、差分 H が大きいほどステータスの警告レベルは高くなる。

20

【0081】

表示領域 520 には、センサ 30 により検出された時系列のセンサデータ(生データ)が示される。表示領域 530 には、時系列のセンサデータを $F F T$ (fast Fourier transform) 解析した解析結果(周波数スペクトル)が表示される。表示領域 540 には、時系列のセンサデータを $1/3$ オクターブ分析することによって得られる信号強度データが棒グラフで表示される。

【0082】

グラフ 550 は、距離 $M D 1$ の時系列データを示している。グラフ 560 は、距離 $M D 2$ の時系列データを示している。グラフ 570 は、図 12 のステップ $S 8 3$ の処理によって得られるトレンドグラフである。

30

【0083】

上述したように、閾値 $T h 1$ 以上の距離 $M D 1$ が最初に算出されたときから数日後にポンプ 70 に異常が発生すると予測され、閾値 $T h 2$ 以上の距離 $M D 2$ が最初に算出されたときから数時間後にポンプ 70 に異常が発生すると予測される。そのため、ユーザは、グラフ 550 および 560 を確認することにより、ポンプ 70 の異常の発生時期を推測することができる。

【0084】

例えば、ユーザは、グラフ 550 において閾値 $T h 1$ 以上の距離 $M D 1$ が確認された場合、状態変化を確認しながら保全の準備を進めておき、グラフ 560 において閾値 $T h 2$ 以上の距離 $M D 2$ が確認された場合、すぐに保全に着手することができる。これにより、ポンプ 70 の点検、メンテナンス、修理等の機器保全の時期を精度よく予測できるため、機器保全を計画的に実施することができる。

40

【0085】

<機能構成>

図 14 は、解析装置 10 の機能ブロック図である。図 14 を参照して、解析装置 10 は、主たる機能構成として、信号入力部 202 と、強度算出部 204 と、第 1 距離算出部 206 と、重心算出部 208 と、第 2 距離算出部 210 と、異常予測部 212 と、トレンド解析部 214 と、出力制御部 216 とを含む。これらの各機能は、例えば、解析装置 10

50

のプロセッサ 101 がメモリ 103 に格納されたプログラムを実行することによって実現される。なお、これらの機能の一部または全部はハードウェアで実現されるように構成されていてもよい。

【0086】

信号入力部 202 は、動作中のポンプ 70 に取り付けられたセンサ 30 により検出される振動信号の入力を受け付ける。具体的には、信号入力部 202 は、センサユニット 20 を介して、センサ 30 により検出された振動信号（デジタル信号）を受信する。

【0087】

強度算出部 204 は、信号入力部 202 により受け付けられた振動信号を分析することにより、複数の周波数帯域にそれぞれ対応する複数の信号強度を算出する。具体的には、強度算出部 204 は、ポンプ 70 に対応する振動信号をオクターブ分析（例えば、1/3 オクターブ分析）することにより、各周波数帯域の信号強度（例えば、各周波数帯域 $f_1 \sim f_m$ の信号強度 L ）を算出する。なお、強度算出部 204 は、高速フーリエ変換（FFT: Fast Fourier Transform）により、各周波数帯域の信号強度を算出する構成であってもよい。

10

【0088】

第 1 距離算出部 206 は、MT 法を用いて、予め設定された単位空間（例えば、単位空間 U_1 ）に対する、複数の信号強度で構成される信号空間（例えば、信号空間 X_1 ）のマハラノビス距離（例えば、距離 MD_1 ）を算出する。典型的には、単位空間 U_1 は、正常時のポンプ 70 に対応する振動信号を分析することにより算出される、複数の周波数帯域 $f_1 \sim f_n$ にそれぞれ対応する複数の信号強度 L で構成される。正常時のポンプ 70 に対応する振動信号は、例えば、各時間 $T_1 \sim T_n$ （すなわち、動作開始初期期間）におけるポンプ 70 の振動状態を示す振動信号であってもよいし、ポンプ 70 と同一種類の正常状態のポンプの振動状態を示す振動信号であってもよい。各時間（例えば、時間 $T_{n+1} \sim T_m$ ）についての距離 MD_1 が算出されることで、距離 MD_1 の時系列データが生成される。

20

【0089】

重心算出部 208 は、強度算出部 204 により算出された複数の信号強度の重心位置を示す 2 次元の重心データ（例えば、重心位置 G_x, G_y ）を算出する。

【0090】

第 2 距離算出部 210 は、MT 法を用いて、予め設定された単位空間（例えば、単位空間 U_2 ）に対する、2 次元の重心データで構成される信号空間（例えば、信号空間 X_2 ）のマハラノビス距離（例えば、距離 MD_2 ）を算出する。典型的には、単位空間 U_2 は、単位空間 U_1 を構成する複数の信号強度 L の重心位置を示す 2 次元の重心データで構成される。各時間（例えば、時間 $T_{n+1} \sim T_m$ ）についての距離 MD_2 が算出されることで、距離 MD_2 の時系列データが生成される。

30

【0091】

異常予測部 212 は、距離 MD_1 と距離 MD_2 とに基づいて、ポンプ 70 に異常が発生する異常発生時期を予測する。ある局面では、閾値 Th_1 以上の距離 MD_1 が算出された場合における異常発生時期は、閾値 Th_1 以上の距離 MD_1 が算出されていない場合における異常発生時期よりも近い将来であると予測される。具体的には、異常予測部 212 は、閾値 Th_1 以上の距離 MD_1 が算出されてから数日経過後にポンプ 70 に異常が発生すると予測する。なお、異常予測部 212 は、現時点において閾値 Th_1 以上の距離 MD_1 が算出されていない場合には、現時点から数日以内にポンプ 70 に異常が発生する可能性は低いと予測してもよい。

40

【0092】

他の局面では、閾値 Th_1 以上の距離 MD_1 が算出され、かつ閾値 Th_2 以上の距離 MD_2 が算出された場合における異常発生時期は、閾値 Th_1 以上の距離 MD_1 が算出され、かつ閾値 Th_2 以上の距離 MD_2 が算出されていない場合における異常発生時期よりも近い将来であると予測される。具体的には、異常予測部 212 は、閾値 Th_2 以上の距離

50

MD2が算出されてから数時間経過後にポンプ70に異常が発生すると予測する。なお、現時点において閾値Th1以上の距離MD1が算出されているが、閾値Th2以上の距離MD2が算出されていない場合には、異常予測部212は、現時点から数時間以内にポンプ70に異常が発生する可能性は低いと予測してもよい。

【0093】

トレンド解析部214は、複数の周波数帯域の各々について、ポンプ70に対応する当該周波数帯域の信号強度と、参照ポンプに対応する当該周波数帯域の信号強度との差分Hを算出する。トレンド解析部214は、ポンプ70に対応する各周波数帯域の信号強度と、所定の基準値とに基づいて、各周波数帯域におけるポンプ70の振動状態の異常レベルを判定する。具体的には、トレンド解析部214は、複数の周波数帯域の各々について、当該周波数帯域における差分Hと複数の基準値Z1～Z3とを比較することにより、当該周波数帯域におけるポンプ70の振動状態の異常レベルを判定する。

10

【0094】

また、トレンド解析部214は、各周波数帯域におけるポンプ70の振動状態の中から、異常レベルが高い方から上位所定数（例えば、5つ）の振動状態を特定し、当該特定された振動状態に対応する周波数帯域を抽出する。トレンド解析部214は、メモリ103に記憶された各周波数帯域の差分Hの時系列データに基づいて、各周波数帯域の未来の差分Hを予測する。具体的には、トレンド解析部214は、基準時点よりも過去の差分Hの時系列データを回帰分析することにより未来の差分Hを予測する。あるいは、トレンド解析部214は、過去の差分Hの時系列データを近似曲線により近似することにより未来の差分Hを予測する。

20

【0095】

出力制御部216は、異常予測部212の予測結果等の各種情報を出力する。ある局面では、出力制御部216は、閾値Th1以上の距離MD1が算出された場合、第1警告情報（例えば、近い将来におけるポンプ70の異常発生を警告する情報）を出力し、閾値Th2以上の距離MD2が算出された場合、第1警告情報よりも警告レベルの大きい（ユーザに対して警戒を強く促す）第2警告情報（例えば、極めて近い将来におけるポンプ70の異常発生を警告する情報）を出力する。

【0096】

例えば、第1警告情報が、中程度の緊急度を示す警告レベルである場合、第2警告情報は、高程度の緊急度を示す警告レベルである。すなわち、第2警告情報は、第1警告情報よりも緊急度の高い情報となる。この場合、出力制御部216は、第1警告情報の表示態様よりも第2警告情報の表示態様を強調して（すなわち、第1警告情報よりも第2警告情報の方が目立つように）ディスプレイ105に表示してもよい。

30

【0097】

他の局面では、出力制御部216は、ユーザインターフェイス画面500に示す各種情報をディスプレイ105に表示させる。具体的には、出力制御部216は、距離MD1の時系列データ（例えば、図13中のグラフ550）と、距離MD2の時系列データ（例えば、図13中のグラフ560）とをディスプレイ105に表示させる。さらに他の局面では、出力制御部216は、予測された各周波数帯域の未来の差分H（例えば、グラフ570に示すトレンドグラフ）をディスプレイ105に表示させる。また、出力制御部216は、トレンド解析部214により判定された異常レベルの判定結果に基づく異常アラートを出力（例えば、ディスプレイ105に表示）する。

40

【0098】

<利点>

本実施の形態によると、MT法による距離MD1および距離MD2を確認することにより、ポンプ70の異常発生時期が近い将来（例えば、数日後）なのか、極めて近い将来なのか（例えば、数時間後）を予測できる。さらに、トレンドグラフによる傾向も併せて参照することにより様々な角度からポンプ70の異常を事前に予測することができる。そのため、機器保全を計画的に実施することができる。

50

【 0 0 9 9 】

< その他の実施の形態 >

(1) 上述した実施の形態では、解析装置 1 0 は、閾値 T_{h1} 以上となるマハラノビス距離 $M D_1$ が初めて算出されてから数日後に異常発生すると予測する構成について説明した。これに関して、図 9 に示されるように、時間 $T a_1$ のときに初めて閾値 T_{h1} 以上となってから、時間 $T a_2$, $T a_3$, $T a_4$ において、マハラノビス距離 $M D_x$ は閾値 T_{h1} 以上となり、時間 $T a_5$ において参照ポンプに異常が発生している。そのため、マハラノビス距離 $M D_x$ が閾値 T_{h1} 以上となる回数が増えるほど、異常発生時期が近づいているといえる。そのため、解析装置 1 0 (異常予測部 2 1 2) は、閾値 T_{h1} 以上となる距離 $M D_1$ が算出される回数が多いほど、より近い将来にポンプ 7 0 の異常が発生すると予測してもよい。

10

【 0 1 0 0 】

(2) 上述した実施の形態において、コンピュータを機能させて、上述のフローチャートで説明したような制御を実行させるプログラムを提供することもできる。このようなプログラムは、コンピュータに付属するフレキシブルディスク、CD-ROM (Compact Disk Read Only Memory)、二次記憶装置、主記憶装置およびメモリカードなどの一時的でないコンピュータ読取り可能な記録媒体にて記録させて、プログラム製品として提供することもできる。あるいは、コンピュータに内蔵するハードディスクなどの記録媒体にて記録させて、プログラムを提供することもできる。また、ネットワークを介したダウンロードによって、プログラムを提供することもできる。

20

【 0 1 0 1 】

プログラムは、コンピュータのオペレーティングシステム (OS) の一部として提供されるプログラムモジュールのうち、必要なモジュールを所定の配列で所定のタイミングで呼出して処理を実行させるものであってもよい。その場合、プログラム自体には上記モジュールが含まれず OS と協働して処理が実行される。このようなモジュールを含まないプログラムも、本実施の形態にかかるプログラムに含まれる。また、本実施の形態にかかるプログラムは他のプログラムの一部に組込まれて提供されるものであってもよい。その場合にも、プログラム自体には上記他のプログラムに含まれるモジュールが含まれず、他のプログラムと協働して処理が実行される。このような他のプログラムに組込まれたプログラムも、本実施の形態にかかるプログラムに含まれる。

30

【 0 1 0 2 】

(3) 上述の実施の形態として例示した構成は、本発明の構成の一例であり、別の公知の技術と組み合わせることも可能であるし、本発明の要旨を逸脱しない範囲で、一部を省略する等、変更して構成することも可能である。また、上述した実施の形態において、その他の実施の形態で説明した処理や構成を適宜採用して実施する場合であってもよい。

【 0 1 0 3 】

今回開示された実施の形態はすべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は、上記した説明ではなく、請求の範囲によって示され、請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

【 符号の説明 】

40

【 0 1 0 4 】

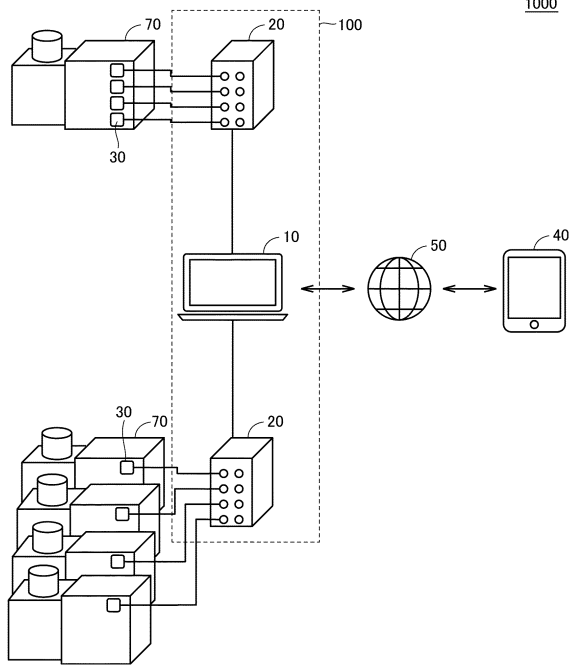
1 0 解析装置、2 0 センサユニット、2 1 フィルタ、2 2 増幅器、2 3 コンバータ、3 0 センサ、4 0 端末装置、5 0 ネットワーク、7 0 ポンプ、1 0 0 振動解析システム、1 0 1 プロセッサ、1 0 3 メモリ、1 0 5 ディスプレイ、1 0 7 入力装置、1 0 9 信号入力インターフェイス、1 1 1 通信インターフェイス、2 0 2 信号入力部、2 0 4 強度算出部、2 0 6 第 1 距離算出部、2 0 8 重心算出部、2 1 0 第 2 距離算出部、2 1 2 異常予測部、2 1 4 トレンド解析部、2 1 6 出力制御部、3 1 0 , 3 2 0 データセット、5 0 0 ユーザインターフェイス画面、1 0 0 0 システム。

50

【図面】

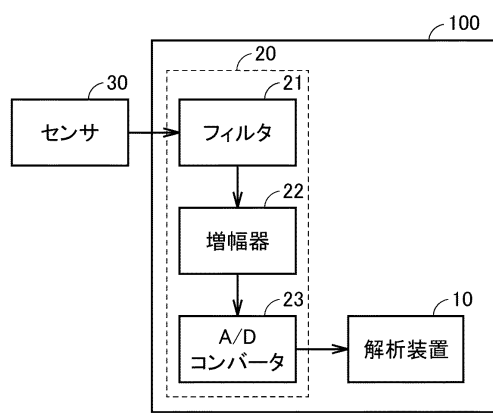
【図 1】

FIG.1



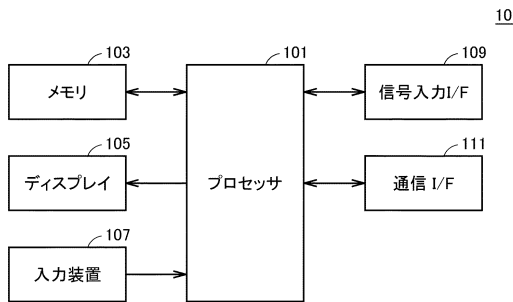
【図 2】

FIG.2



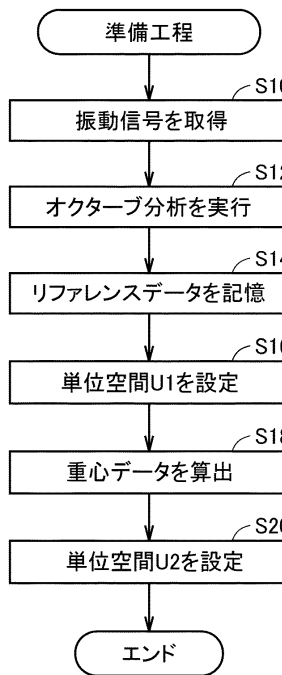
【図 3】

FIG.3



【図 4】

FIG.4



10

20

30

40

50

【図5】

	f_n	f_{n-1}	f_{n-2}	...	f_3	f_2	f_1	T_1
	$L_{1,n}$	$L_{1,n-1}$	$L_{1,n-2}$	...	$L_{1,3}$	$L_{1,2}$	$L_{1,1}$	T_2
	$L_{2,n}$	$L_{2,n-1}$	$L_{2,n-2}$	...	$L_{2,3}$	$L_{2,2}$	$L_{2,1}$	T_3
	$L_{3,n}$	$L_{3,n-1}$	$L_{3,n-2}$	...	$L_{3,3}$	$L_{3,2}$	$L_{3,1}$	...
	...	...	...	...	...	...	...	T_n
	$L_{n,n}$	$L_{n,n-1}$	$L_{n,n-2}$	...	$L_{n,3}$	$L_{n,2}$	$L_{n,1}$	...
	...	...	...	...	...	...	...	(T_s)
	$L_{s,n}$	$L_{s,n-1}$	$L_{s,n-2}$	...	$L_{s,3}$	$L_{s,2}$	$L_{s,1}$	...
	...	...	...	...	...	...	...	T_{m-2}
	$L_{m-2,n}$	$L_{m-2,n-1}$	$L_{m-2,n-2}$	...	$L_{m-2,3}$	$L_{m-2,2}$	$L_{m-2,1}$	T_{m-1}
	$L_{m-1,n}$	$L_{m-1,n-1}$	$L_{m-1,n-2}$	...	$L_{m-1,3}$	$L_{m-1,2}$	$L_{m-1,1}$	T_m
	$L_{m,n}$	$L_{m,n-1}$	$L_{m,n-2}$	...	$L_{m,3}$	$L_{m,2}$	$L_{m,1}$	

FIG.5

【図6】

FIG.6

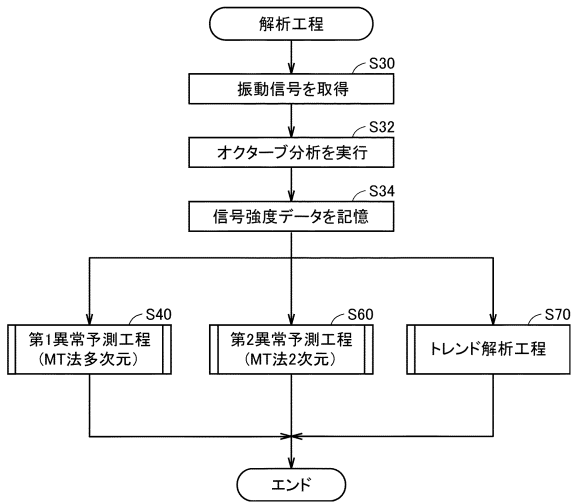
	G_x	G_y
T_1	G_{f_1}	GL_1
T_2	G_{f_2}	GL_2
T_3	G_{f_3}	GL_3
...
T_n	G_{f_n}	GL_n
...
(T_s)	G_{f_s}	GL_s
...
T_{m-2}	$G_{f_{m-2}}$	GL_{m-2}
T_{m-1}	$G_{f_{m-1}}$	GL_{m-1}
T_m	G_{f_m}	GL_m

10

20

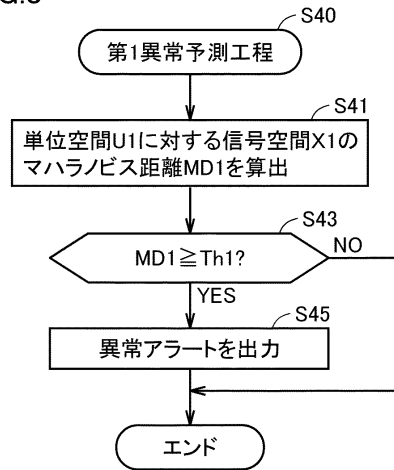
【図7】

FIG.7



【図8】

FIG.8

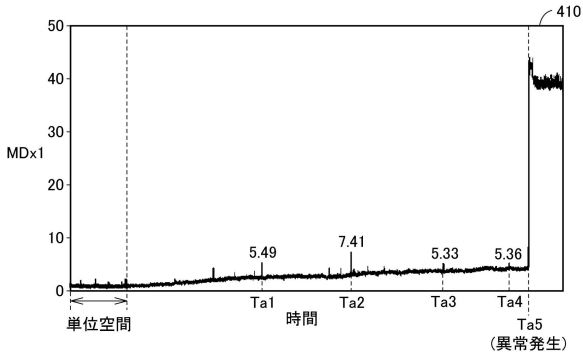


30

40

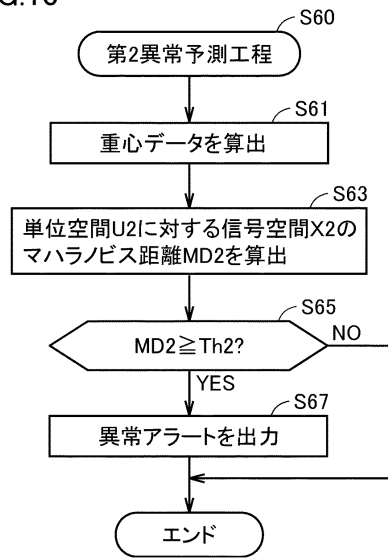
【図9】

FIG.9



【図10】

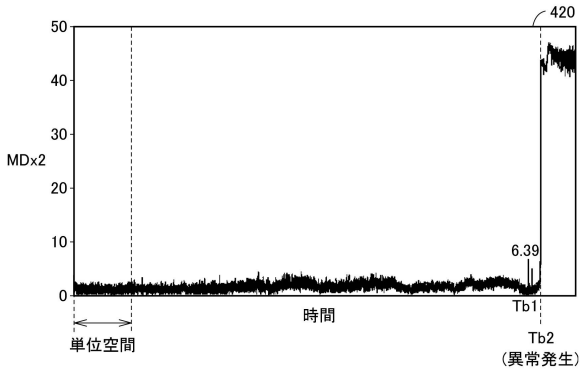
FIG.10



10

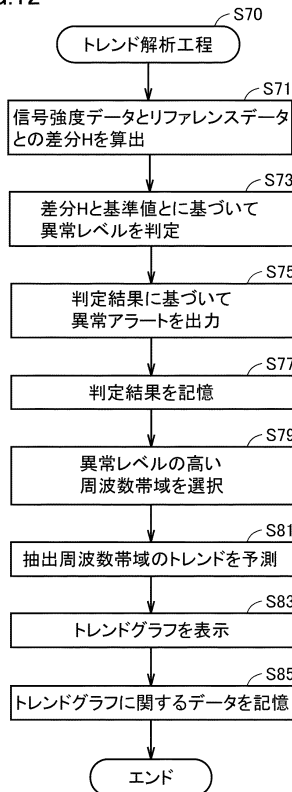
【図11】

FIG.11



【図12】

FIG.12



20

30

40

50

【 図 1 3 】

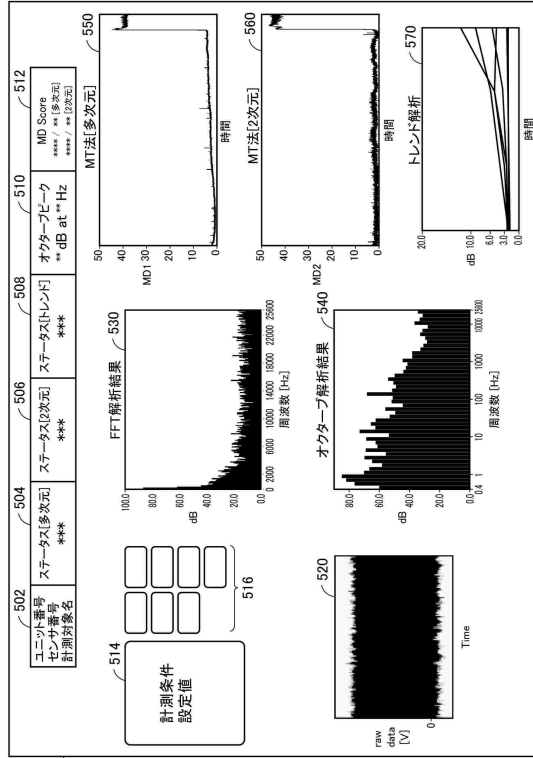
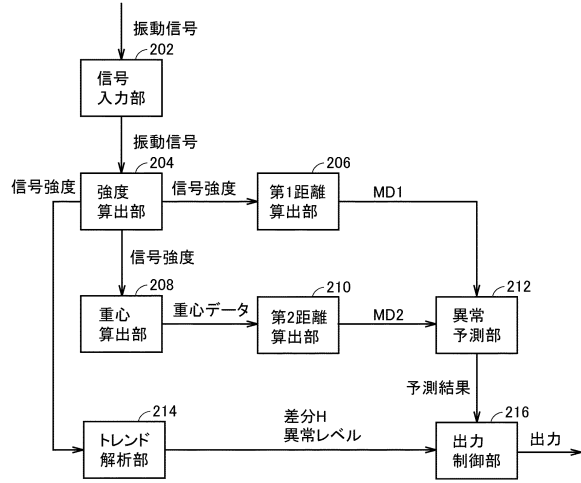


FIG.13

【 図 1 4 】

FIG.14



10

20

30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2005-207644(JP,A)
特開2004-117253(JP,A)
特開2017-142153(JP,A)
特開2020-134479(JP,A)
中国特許出願公開第105300692(CN,A)
国際公開第2021/090765(WO,A1)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
G01H 1/00 - 17/00
G01M 13/00 - 13/045
G01M 99/00