

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2018-91640  
(P2018-91640A)

(43) 公開日 平成30年6月14日(2018.6.14)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
GO 1 M 99/00 (2011.01)	GO 1 M 99/00 A	2 GO 2 4
GO 1 M 13/04 (2006.01)	GO 1 M 13/04	

審査請求 未請求 請求項の数 10 O L (全 20 頁)

(21) 出願番号	特願2016-232774 (P2016-232774)	(71) 出願人	000004260 株式会社デンソー 愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地
(22) 出願日	平成28年11月30日(2016.11.30)	(74) 代理人	100093779 弁理士 服部 雅紀
		(72) 発明者	室崎 隆 愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会 社デンソー内
		(72) 発明者	木村 一郎 愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会 社デンソー内
		(72) 発明者	西脇 政博 愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会 社デンソー内

最終頁に続く

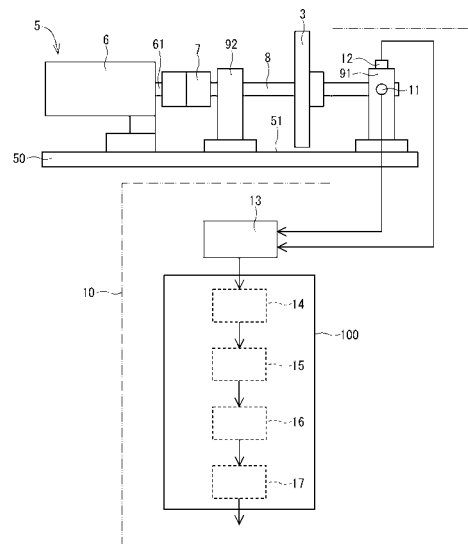
(54) 【発明の名称】 装置の検査装置、および、装置の検査方法

(57) 【要約】

【課題】 構成が異なる種々の装置の異常を検出可能な装置の検査装置を提供する。

【解決手段】 異常診断装置10は、振動センサ11, 12、相関図生成部14、深層学習部15、および、判定部16を備える。振動センサ11, 12は、稼働している回転装置5が有するベアリング91の振動の状態をベアリング91の加速度で示した加速度信号を出力可能である。相関図生成部14は、振動センサ11, 12が出力する複数の加速度信号の相関を示す相関図を生成する。深層学習部15は、相関図生成部14が生成する相関図に基づく深層学習を行う。判定部16は、深層学習部15における深層学習の結果に基づいて回転装置5の状態を判定する。

【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

稼働している装置（５）の異常を検出可能な装置の検査装置であって、  
 前記装置の状態に相関する複数の物理量を検出可能に設けられ、複数の物理量に応じた物理量信号を出力可能な複数の物理量検出部（１１，１２，２１，２２，２３）と、  
 複数の前記物理量検出部が出力する複数の物理量信号の相関を示す相関図を生成する相関図生成部（１４，２４，３４）と、  
 前記相関図生成部が生成する相関図に基づく深層学習を行う深層学習部（１５，２５，３５）と、  
 前記深層学習部における深層学習の結果に基づいて前記装置の状態を判定する判定部（１６，２６，３６）と、  
 を備える装置の検査装置。

10

## 【請求項 2】

前記深層学習部は、相関図に対する畳み込みニューラルネットワークによる深層学習を行う請求項 1 に記載の装置の検査装置。

## 【請求項 3】

前記深層学習部は、複数の物理量信号が層状に配列されている相関図に対する畳み込み処理およびプーリング処理を行うとき、当該相関図に含まれる複数の物理量信号のそれぞれに対して畳み込み処理およびプーリング処理を行う請求項 2 に記載の装置の検査装置。

20

## 【請求項 4】

前記相関図生成部は、複数の前記物理量検出部が出力する物理量信号を wavelet 変換による時間軸上の周波数解析の結果に基づいて相関図を生成する請求項 1 ~ 3 のいずれか一項に記載の装置の検査装置。

## 【請求項 5】

前記深層学習部は、複数の前記相関図生成部のそれぞれにおいて生成される複数の相関図のそれぞれに基づく深層学習を行う複数の学習部（２５１，２５２）、および、複数の前記学習部のそれぞれにおける複数の深層学習の結果に対して重み付けした後に正規化する正規化部（２５４，３５４）を有する請求項 1 ~ 4 のいずれか一項に記載の装置の検査装置。

30

## 【請求項 6】

稼働している装置（５）の異常を検出可能な装置の検査方法であって、  
 当該装置の状態に相関する複数の物理量に応じた物理量信号を取得する信号取得段階と、  
 複数の物理量信号の相関を示す相関図を生成する相関図生成段階と、  
 前記相関図生成段階において生成される相関図に基づく深層学習を行う深層学習段階と、  
 前記深層学習段階における深層学習の結果に基づいて前記装置の状態を判定する判定段階と、  
 含む装置の検査方法。

40

## 【請求項 7】

前記深層学習段階における深層学習は、相関図に対する畳み込みニューラルネットワークによるものである請求項 6 に記載の装置の検査方法。

## 【請求項 8】

相関図が層状に配列されている複数の物理量信号から形成されているとき、前記深層学習段階における深層学習は、当該相関図に含まれる複数の物理量信号のそれぞれに対して畳み込み処理およびプーリング処理を行う請求項 7 に記載の装置の検査方法。

## 【請求項 9】

前記相関図生成段階において、物理量信号を wavelet 変換による時間軸上の周波数解析の結果に基づいて相関図を生成する請求項 6 ~ 8 のいずれか一項に記載の装置の検査方法。

50

## 【請求項 10】

複数の前記深層学習段階の後であって、かつ、前記判定段階の前に、複数の前記深層学習段階における複数の深層学習の結果に対して重み付けした後に正規化する正規化段階をさらに含む請求項 6 ~ 9 のいずれか一項に記載の装置の検査方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、稼働している装置の異常を検出可能な装置の検査装置、および、装置の検査方法に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

従来、稼働している装置の異常を検出可能な装置の検査装置が知られている。例えば、特許文献 1 には、二つのセンサの検出信号に基づいてアクチュエータの両端の間を移動するピストンの移動時間を算出する検出時間演算部、移動時間に対して所定の統計演算を行う統計処理部、および、統計処理部の処理結果に基づいてアクチュエータに異常が発生しているか否かを判定する判定部を備えるアクチュエータの検査装置が記載されている。

## 【先行技術文献】

## 【特許文献】

## 【0003】

【特許文献 1】特開 2015 - 14990 号公報

## 【発明の概要】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0004】

しかしながら、特許文献 1 に記載のアクチュエータの検査装置は、ピストンの移動時間に対する所定の統計演算処理によってアクチュエータの異常を検出するため、ピストンが往復移動するアクチュエータにのみ適用される。このため、特許文献 1 に記載のアクチュエータの検査装置と同じ原理の検査装置を構成が異なる装置に適用する場合、当該構成が異なる装置に適合した統計演算処理を行う必要があり、特許文献 1 に記載のアクチュエータの検査装置は、汎用性が低い。

## 【0005】

本発明は、上述の点を鑑みてなされたものであり、構成が異なる種々の装置の異常を検出可能な装置の検査装置を提供することにある。

## 【課題を解決するための手段】

## 【0006】

本発明は、稼働している装置 (5) における異常を検出可能な装置の検査装置であって、複数の物理量検出部 (11, 12, 21, 22, 23)、相関図生成部 (14, 24, 34)、深層学習部 (15, 25, 35) および、判定部 (16, 26, 36) を備える。

複数の物理量検出部は、装置の状態に相関する複数の物理量を検出可能に設けられ、複数の物理量に応じた物理量信号を出力可能である。

相関図生成部は、複数の物理量検出部が出力する複数の物理量信号の相関を示す相関図を生成する。

深層学習部は、相関図生成部が生成する相関図に基づく深層学習を行う。

判定部は、深層学習部における深層学習の結果に基づいて装置の状態を判定する。

## 【0007】

本発明の装置の検査装置では、相関図生成部は、装置の状態に相関する複数の物理量に基づいて当該複数の物理量の相関を示す相関図を生成する。相関図には、装置の状態に相関する物理量であって一つの物理量検出部では検出可能な物理量が含まれる。深層学習部では、相関図に基づく深層学習によって検査対象とする装置の状態を判定するための情報を蓄積する。判定部は、深層学習部に蓄積された情報に基づいて装置の状態を判定する

10

20

30

40

50

。これにより、本発明の装置の検査装置は、深層学習部における相関図に基づく深層学習によって検査対象とする装置に特化した情報を蓄積することができるため、装置の種類に関わらず異常を検出することができる。

【0008】

また、本発明は、稼働している装置の異常を検出可能な装置の検査方法であって、信号取得段階、相関図生成段階、深層学習段階、および、判定段階を含む。

信号取得段階では、当該装置の状態に相関する複数の物理量に応じた物理量信号を取得する。

相関図生成段階では、複数の物理量信号の相関を示す相関図を生成する。

深層学習段階では、相関図生成段階において生成される相関図に基づく深層学習を行う

10

。判定段階では、深層学習段階における深層学習の結果に基づいて装置の状態を判定する

【0009】

本発明の装置の検査方法では、信号取得段階において取得された複数の物理量信号の相関を示す相関図を相関図生成段階において生成する。深層学習段階では、相関図に基づく深層学習によって検査対象とする装置に状態を判定するための情報を蓄積する。判定段階では、深層学習段階に蓄積された情報に基づいて装置の状態を判定する。これにより、本発明の装置の検査方法は、深層学習段階における相関図に基づく深層学習によって検査対象とする装置に特化した情報を蓄積することができるため、装置の種類に関わらず異常を検出することができる。

20

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1】本発明の第一実施形態による異常診断装置が適用される装置の模式図である。

【図2】本発明の第一実施形態による異常診断プロセスのフローチャートである。

【図3】本発明の第一実施形態による異常診断プロセスにおける相関図生成段階の内容を説明する模式図である。

【図4】本発明の第一実施形態による異常診断プロセスにおける深層学習段階の内容を説明する模式図である。

【図5】本発明の第二実施形態による異常診断装置が適用される装置の模式図である。

30

【図6】本発明の第二実施形態による異常診断プロセスのフローチャートである。

【図7】本発明の第二実施形態による異常診断プロセスにおける相関図生成段階の内容を説明する模式図である。

【図8】本発明の第二実施形態による異常診断プロセスにおける深層学習段階の内容を説明する模式図である。

【図9】本発明の第三実施形態による異常診断装置が適用される装置の模式図である。

【図10】本発明の第三実施形態による異常診断プロセスのフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0011】

以下、本発明の複数の実施形態について図面に基づいて説明する。

40

【0012】

(第一実施形態)

本発明の第一実施形態による「装置の検査装置」としての異常診断装置10、および、「装置の検査方法」としての異常診断プロセスを図1～4に基づいて説明する。異常診断装置10は、回転体3を回転可能に支持する回転装置5の状態を診断可能な装置である。

【0013】

最初に、異常診断装置10が適用される回転装置5の構成を説明する。回転装置5は、モータ6、カップリング7、回転軸8、ベアリング91, 92、および、回転体3を有する。回転装置5は、図示しない制御部からの指令に基づいて回転体3を回転する装置であって、回転体3の回転によって回転装置5の外部に仕事を行う装置である。

50

## 【 0 0 1 4 】

モータ 6 は、回転装置 5 のベース 5 0 上に固定されている。モータ 6 は、制御部からの指令に基づいて回転体 3 の回転駆動を制御可能である。

カップリング 7 は、モータ 6 の出力軸 6 1 と回転軸 8 とを連結可能に設けられている。カップリング 7 は、出力軸 6 1 と回転軸 8 との芯ずれを許容するよう設けられている。

回転軸 8 は、二つのベアリング 9 1 , 9 2 によって回転可能に支持されている。ベアリング 9 1 とベアリング 9 2 との間の回転軸 8 に回転体 3 が設けられている。

## 【 0 0 1 5 】

回転体 3 は、回転軸 8 と一体に回転可能に設けられている。回転体 3 は、図示しないベルトなどの連結部材を介して自身の回転トルクを回転装置 5 の外部の装置に伝達可能である。

10

## 【 0 0 1 6 】

次に、異常診断装置 1 0 の構成について説明する。異常診断装置 1 0 は、「物理量検出部」としての振動センサ 1 1 , 1 2 、 A D 変換部 1 3 、および、診断部 1 0 0 を備える。

## 【 0 0 1 7 】

振動センサ 1 1 は、加速度を検出可能なセンサであって、ベアリング 9 1 の側壁に設けられている。振動センサ 1 1 は、ベアリング 9 1 における回転体 3 の回転に伴う振動の状態を検出可能である。振動センサ 1 1 は、ベアリング 9 1 の振動の状態をベース 5 0 の上面 5 1 に略平行な方向の「物理量」としての加速度で示した「物理量信号」としての加速度信号を電氣的に接続している A D 変換部 1 3 に出力する。

20

## 【 0 0 1 8 】

振動センサ 1 2 は、加速度を検出可能なセンサであって、ベアリング 9 1 の中心から見て振動センサ 1 1 と略 9 0 度の角度をなすベアリング 9 1 の側壁に設けられている。振動センサ 1 2 は、ベアリング 9 1 における回転体 3 の回転に伴う振動の状態を検出可能である。振動センサ 1 2 は、ベアリング 9 1 の振動の状態をベース 5 0 の上面 5 1 に対して略垂直な方向の「物理量」としての加速度で示した「物理量信号」としての加速度信号を電氣的に接続している A D 変換部 1 3 に出力する。

## 【 0 0 1 9 】

A D 変換部 1 3 は、振動センサ 1 1 , 1 2 が出力する加速度信号をアナログ信号からデジタル信号に変換する。A D 変換部 1 3 は、デジタル信号に変換された振動センサ 1 1 , 1 2 が出力する加速度信号を診断部 1 0 0 に出力する。

30

## 【 0 0 2 0 】

診断部 1 0 0 は、内部に C P U 、 R O M 、 R A M 、 I / O 、および、これらの構成を接続するバスラインなどを備える。診断部 1 0 0 における後述する処理は、予め記憶されたプログラムを C P U で実行することによるソフトウェア処理であってもよいし、専用の電子回路によるハードウェア処理であってもよい。診断部 1 0 0 は、相関図生成部 1 4 、深層学習部 1 5 、判定部 1 6 、および、出力部 1 7 を有する。

## 【 0 0 2 1 】

相関図生成部 1 4 は、A D 変換部 1 3 と電氣的に接続している。相関図生成部 1 4 は、A D 変換部 1 3 が出力するデジタル信号に変換された加速度信号に基づいて相関図を生成する。相関図生成部 1 4 において生成される相関図の詳細は、後述する。

40

## 【 0 0 2 2 】

深層学習部 1 5 は、相関図生成部 1 4 と電氣的に接続している。深層学習部 1 5 には、相関図生成部 1 4 で生成される相関図が有する特徴と回転装置 5 の状態を示すクラスとの組み合わせが事前に入力されている。深層学習部 1 5 は、当該組み合わせおよび相関図の画像解析の結果に基づく深層学習によって回転装置 5 に特化した情報を深層学習の結果として蓄積する。深層学習部 1 5 における深層学習の詳細は、後述する。

## 【 0 0 2 3 】

判定部 1 6 は、深層学習部 1 5 と電氣的に接続している。判定部 1 6 は、深層学習部 1 5 が蓄積している情報および相関図の画像解析の結果に基づいて回転装置 5 の状態を判定

50

する。判定部 16 は、判定結果を出力部 17 に出力する。

【0024】

出力部 17 は、判定部 16 と電氣的に接続している。出力部 17 は、判定部 16 が判定した回転装置 5 の状態についての判定結果を外部に出力する。

【0025】

次に、異常診断装置 10 による回転装置 5 の診断プロセスについて図 2 ~ 4 に基づいて説明する。図 2 に回転装置 5 の診断プロセスのフローチャートを示す。図 2 に示すフローチャートは、回転装置 5 が稼働している間、常時実行される。

【0026】

最初に、ステップ（以下、単に「S」という）101において、診断部 100 を初期化する。S101では、診断部 100 は、自身のROM、RAMなどに残っている前回の情報を消去し初期化する。

10

【0027】

次に、「信号取得段階」としてのS102において、診断部 100 に加速度信号を入力する。S102では、相関図生成部 14 にAD変換部 13 が出力するデジタル信号に変換された加速度信号を入力する。

【0028】

次に、「相関図生成段階」としてのS103において、入力されたデジタル信号に変換された加速度信号に基づいて相関図を生成する。S103では、相関図生成部 14 に入力された二つの加速度信号に基づいて相関図を生成する。このとき生成される相関図について図 3 に基づいて説明する。

20

【0029】

図 3 に、振動センサ 11 の加速度信号の時間変化を示す信号情報 S11、および、振動センサ 12 の加速度信号の時間変化を示す信号情報 S12 を示す。信号情報 S11、S12 では、横軸に時間が示され、縦軸に加速度信号の大きさが示されている。

相関図生成部 14 では、信号情報 S11 と信号情報 S12 とを組み合わせた相関図 DC10 を生成する。相関図 DC10 は、いわゆる、リサーチ曲線といわれるものであって、横軸の値が振動センサ 11 の加速度信号の大きさを示し、縦軸の値が振動センサ 12 の加速度信号の大きさを示す。相関図 DC10 では、同時刻における振動センサ 11 の加速度信号の大きさと振動センサ 12 の加速度信号の大きさを示す点（例えば、相関図 DC10 に示す点 P10）の時間の経過に伴う軌跡が示される。

30

【0030】

次に、「深層学習段階」としてのS104において、相関図に基づく深層学習を行う。S104では、深層学習部 15 は、S103において生成された相関図 DC10 に対して畳み込みニューラルネットワーク（CNN；Convolutional Neural Network）を利用した深層学習を行う。深層学習部 15 における深層学習の内容について図 4 に基づいて説明する。

【0031】

最初に、深層学習部 15 は、相関図 DC10 に対して畳み込み処理を行う。具体的には、S103において生成された相関図 DC10 の全面をマトリックス状に分割し、相関図 DC11（図 4 参照）を生成する。例えば、第一実施形態では、相関図 DC10 が 40 × 40 ピクセルの画像となるよう分割する。

40

【0032】

次に、深層学習部 15 は、相関図 DC11 上に所定のサイズの設定窓 W11 を設定する。例えば、第一実施形態では、深層学習部 15 は、設定窓 W11 を 4 × 4 ピクセルに設定する。深層学習部 15 は、設定窓 W11 を図 4 の相関図 DC11 上に示されている一点鎖線矢印 A111、A112 に示すように、相関図 DC11 上を移動することによって、相関図 DC11 の局所における画像データに対して所定のフィルタ処理を施す。これにより、相関図 DC11 の局所における特徴、具体的には、相関図 DC10 の局所の形状が強調された複数の画像（以下、「特徴マップ」という）DC12(n)（nは、2以上の整数

50

）が生成される。第一実施形態では、フィルタ係数が異なる複数の設定窓  $W11$  を設定し、それぞれの設定窓  $W11$  によって相関図  $DC11$  にフィルタ処理を施す。これにより、複数の特徴マップ  $DC12(n)$  の組み合わせは、設定窓  $W11$  の数と同じ数だけ生成される。図4の二点鎖線の枠  $Im11$  には、一つの設定窓  $W11$  によってフィルタ処理された複数の特徴マップ  $DC12(n)$  の集合を示す。

#### 【0033】

次に、深層学習部15は、活性化関数を利用して複数の特徴マップ  $DC12(n)$  のそれぞれのコントラストを強調し、複数の特徴マップ  $DC12(n)$  のそれぞれが有する特徴をさらに強調する。

#### 【0034】

次に、深層学習部15は、活性化関数によってコントラストが強調された特徴マップ  $DC12(n)$  に対してプーリング処理を行う。具体的には、活性化関数によってコントラストが強調された複数の特徴マップ  $DC12(n)$  のそれぞれに所定のサイズの設定窓  $W12$  を設定する。例えば、第一実施形態では、設定窓  $W12$  は、 $2 \times 2$  ピクセルに設定する。深層学習部15は、設定窓  $W12$  を複数の特徴マップ  $DC12(n)$  のそれぞれ、例えば、図4では、特徴マップ  $DC12(m)$  ( $m$  は、1以上  $n$  以下の整数) において、一点鎖線矢印  $A121$ 、 $A122$  に示すように、特徴マップ  $DC12(m)$  上を移動することによって、特徴マップ  $DC12(m)$  上の設定窓  $W12$  内の最大値を抽出する。なお、特徴マップ  $DC12(m)$  の曲線は、相関図  $DC10$  上のリサージュ曲線の一部を示している。

#### 【0035】

次に、深層学習部15は、プーリング処理された複数の特徴マップ  $DC12(n)$  を結合した画像(以下、「生成結合画像」という)を生成する。このとき、生成結合画像は、畳み込み処理において設定された設定窓  $W11$  の数と同じ数だけ生成される。

深層学習部15は、事前に入力されている装置の状態に関する情報と生成結合画像とを比較し、回転装置5の状態に関する情報を蓄積する。ここで、装置の状態に関する情報とは、回転装置5の状態を示すクラスと回転装置5の状態が当該クラスであるときの生成結合画像に相当する画像との組み合わせの情報であって、当該画像からクラスを導くことが可能となっている。例えば、クラスの名称として、ベアリングについては、内輪損傷、外輪損傷、保持器損傷などであったり、シャフトについては、芯ずれ、アンバランスなどであったりする。

深層学習部15では、このような回転装置5の状態に関する情報と相関図  $DC10$  とに基づいて、回転装置5の状態を判定するための情報、例えば、畳み込み処理におけるフィルタの値など相関図  $DC10$  の解析の方法や生成結合画像とクラスとの組み合わせの関係などを学習し、蓄積する。

#### 【0036】

次に、「判定段階」としての  $S105$  において、回転装置5の状態を判定する。 $S105$  では、判定部16は、深層学習部15における深層学習、具体的には、相関図  $DC10$  の画像解析の結果および深層学習部15が蓄積している情報に基づいて、回転装置5の状態を判定する。具体的には、深層学習部15が蓄積している情報におけるクラスに対応する相関図が有する特徴と、相関図  $DC10$  の画像解析の結果とが一致するとき、判定部16は、回転装置5は、当該クラスの故障を抱えていると判定する。また、深層学習部15が蓄積している情報におけるクラスに対応する相関図が有する特徴と、相関図  $DC10$  の画像解析の結果とが一致しないとき、判定部16は、回転装置5は、異常を抱えておらず正常であると判定する。

#### 【0037】

次に、 $S106$  において、判定結果を出力する。 $S106$  では、出力部17は、判定部16における回転装置5の状態についての判定結果を外部に出力する。

異常診断装置10は、このようにして、回転装置5の状態を判定し、外部に通知する。

#### 【0038】

10

20

30

40

50

(a) 第一実施形態による異常診断装置 10 では、相関図生成部 14 は、S 103 において、二つの振動センサ 11, 12 が検出した回転装置 5 の状態に相関する複数の加速度信号に基づいて当該複数の加速度信号の相関を示す相関図を生成する。相関図には、回転装置 5 の状態に相関する物理量であって、振動センサ 11, 12 のそれぞれでは検出不可能な物理量が含まれている。深層学習部 15 では、S 104 において、事前に入力されているクラスと回転装置 5 の状態が当該クラスであるときの生成結合画像に相当する画像との組み合わせの情報、および、相関図 DC 10 に基づく深層学習によって、回転装置 5 の状態を判定するための情報を蓄積する。すなわち、相関図 DC 10 を一つの画像として認識し、相関図 DC 10 に含まれる一画素を一つのニューロンとする深層学習によって回転装置 5 に特化した画像解析の手法などを学習する。判定部 16 は、S 105 において、深層学習部 15 に蓄積されている回転装置 5 の状態を判定するための情報および相関図 DC 10 に基づいて回転装置 5 の状態を判定する。これにより、第一実施形態は、装置の種類に関わらず異常を検出することができる。

10

## 【0039】

(b) また、第一実施形態による異常診断装置 10 では、畳み込みニューラルネットワークを利用した深層学習によって回転装置 5 の状態を判定する。これにより、相関図 DC 10 の特徴を人的に抽出することが不要となるため、回転装置 5 を検査する検査者の作業負担を軽減することができる。また、畳み込み処理およびプーリング処理による相関図 DC 10 の解析において、相関図 DC 10 の解像度は比較的低くても畳み込み処理およびプーリング処理によって相関図 DC 10 の特徴を抽出することができるため、実用性に優れ、かつ、高精度の判定を行うことができる。

20

## 【0040】

## (第二実施形態)

次に、本発明の第二実施形態による装置の検査装置、および、装置の検査方法を図 5 ~ 8 に基づいて説明する。第二実施形態は、装置の検査装置の構成が第一実施形態と異なる。また、第二実施形態は、装置の検査方法のプロセスの一部が第一実施形態と異なる。なお、第一実施形態と実質的に同一の部位には同一の符号を付し、説明を省略する。

## 【0041】

第二実施形態による異常診断装置 20 は、振動センサ 11, 12, 21, 22、モータセンサ 23、AD変換部 13、および、診断部 200 を備える。振動センサ 21, 22、および、モータセンサ 23 は、特許請求の範囲に記載の「物理量検出部」に相当する。

30

## 【0042】

振動センサ 21 は、加速度を検出可能なセンサであって、ベアリング 92 の側壁に設けられている。振動センサ 21 は、ベアリング 92 における回転体 3 の回転に伴う振動の状態を検出可能である。振動センサ 21 は、ベアリング 92 の振動の状態をベース 50 の上面 51 に略平行な方向の「物理量」としての加速度で示した「物理量信号」としての加速度信号を電氣的に接続している AD変換部 13 に出力する。

## 【0043】

振動センサ 22 は、加速度を検出可能なセンサであって、ベアリング 92 の中心から見て振動センサ 21 と略 90 度の角度をなすベアリング 92 の側壁に設けられている。振動センサ 22 は、ベアリング 92 における回転体 3 の回転に伴う振動の状態を検出可能である。振動センサ 22 は、ベアリング 92 の振動の状態をベース 50 の上面 51 に対して略垂直な方向の「物理量」としての加速度で示した「物理量信号」としての加速度信号を電氣的に接続している AD変換部 13 に出力する。

40

## 【0044】

モータセンサ 23 は、モータ 6 に設けられている。モータセンサ 23 は、モータ 6 における出力軸 61 の「物理量」としての回転速度や回転トルクなどに応じた「物理量信号」としてのモータ信号を電氣的に接続している AD変換部 13 に出力する。

## 【0045】

AD変換部 13 は、振動センサ 11, 12, 21, 22 が出力する加速度信号およびモ

50

ータセンサ 2 3 が出力するモータ信号をアナログ信号からデジタル信号に変換する。A D 変換部 1 3 は、デジタル信号に変換された加速度信号およびモータ信号を診断部 2 0 0 に出力する。

【 0 0 4 6 】

診断部 2 0 0 は、内部に C P U、R O M、R A M、I / O、および、これらの構成を接続するバスラインなどを備える。診断部 2 0 0 における後述する処理は、予め記憶されたプログラムを C P U で実行することによるソフトウェア処理であってもよいし、専用の電子回路によるハードウェア処理であってもよい。診断部 2 0 0 は、相関図生成部 2 4、深層学習部 2 5、判定部 2 6、および、出力部 1 7 を有する。

【 0 0 4 7 】

相関図生成部 2 4 は、A D 変換部 1 3 と電気的に接続している。相関図生成部 2 4 は、第一生成部 2 4 1 および第二生成部 2 4 2 を有する。

第一生成部 2 4 1 は、A D 変換部 1 3 を介して振動センサ 1 1、1 2、2 1、2 2 と電気的に接続している。第一生成部 2 4 1 は、振動センサ 1 1、1 2 が出力する加速信号に基づく第一相関図、および、振動センサ 2 1、2 2 が出力する加速信号に基づく第二相関図を生成する。第一相関図および第二相関図は、いわゆる、二つの加速度信号の相関を示すリサージュ曲線であって、第一実施形態の S 1 0 3 において生成される相関図と同じ方法によって生成される。

【 0 0 4 8 】

第二生成部 2 4 2 は、A D 変換部 1 3 を介して振動センサ 1 1、1 2、2 1、2 2 およびモータセンサ 2 3 と電気的に接続している。第二生成部 2 4 2 は、振動センサ 1 1、1 2、2 1、2 2 が出力する加速度信号およびモータセンサ 2 3 が出力する回転速度および回転トルクに応じたモータ信号に基づく第三相関図を生成する。第二生成部 2 4 2 において生成される第三相関図の詳細は、後述する。

【 0 0 4 9 】

深層学習部 2 5 は、相関図生成部 1 4 と電気的に接続している。深層学習部 2 5 は、第一学習部 2 5 1、第二学習部 2 5 2、および、正規化部 2 5 4 を有する。

第一学習部 2 5 1 は、第一生成部 2 4 1 と電気的に接続している。第一学習部 2 5 1 には、第一生成部 2 4 1 で生成される第一相関図および第二相関図が有する特徴と回転装置 5 のクラスとの組み合わせが事前に入力されている。第一学習部 2 5 1 は、当該組み合わせおよび第一相関図および第二相関図の画像解析の結果に基づく深層学習によって回転装置 5 に特化した情報を深層学習の結果として蓄積する。

【 0 0 5 0 】

第二学習部 2 5 2 は、第二生成部 2 4 2 と電気的に接続している。第二学習部 2 5 2 には、第二生成部 2 4 2 で生成される第三相関図が有する特徴と回転装置 5 のクラスとの組み合わせが事前に入力されている。第二学習部 2 5 2 は、当該組み合わせおよび相関図の画像解析の結果に基づく深層学習によって回転装置 5 に特化した情報を深層学習の結果として蓄積する。深層学習部 2 5 における深層学習の詳細は、後述する。

【 0 0 5 1 】

正規化部 2 5 4 は、第一学習部 2 5 1 および第二学習部 2 5 2 と電気的に接続している。正規化部 2 5 4 は、第一学習部 2 5 1 における深層学習の結果と第二学習部 2 5 2 における深層学習の結果に対して重み付けをした後に正規化する。

【 0 0 5 2 】

判定部 2 6 は、正規化部 2 5 4 と電気的に接続されている。判定部 2 6 は、深層学習部 2 5 が蓄積している情報、正規化部 2 5 4 において正規化された深層学習の結果および相関図の画像解析の結果に基づいて回転装置 5 の状態を判定する。判定部 2 6 は、判定結果を出力部 1 7 に出力する。

【 0 0 5 3 】

次に、異常診断装置 2 0 による回転装置 5 の診断プロセスについて図 6 ~ 8 に基づいて説明する。図 6 に回転装置 5 の診断プロセスのフローチャートを示す。図 6 に示すフロー

10

20

30

40

50

チャートは、回転装置 5 が稼働している間、常時実行される。

【0054】

最初に、S201において、第一実施形態のS101と同様に、診断部200を初期化する。

次に、「信号取得段階」としてのS202において、診断部200に加速度信号およびモータ信号を入力する。S202では、第一生成部241にデジタル信号に変換された加速度信号を入力する。また、第二生成部242にデジタル信号に変換された加速度信号およびモータ信号を入力する。

【0055】

次に、「相関図生成段階」としてのS203において、デジタル信号に変換された加速度信号に基づいて第一相関図および第二相関図を生成する。

10

【0056】

次に、「深層学習段階」としてのS204において、第一相関図および第二相関図に基づく深層学習を行う。S204では、第一学習部251は、第一相関図および第二相関図に対して、第一実施形態のS104における深層学習と同じ畳み込みニューラルネットワークを利用した深層学習を行う。これにより、第一学習部251は、第一相関図および第二相関図に基づいて生成される生成結合画像と回転装置5の状態に関する情報とに基づいて回転装置5の状態を判定するための情報を学習し、蓄積する。

【0057】

また、S202の次に、「相関図生成段階」としてのS205において、デジタル信号に変換された加速度信号およびモータ信号に基づいて第三相関図を生成する。S205では、第二生成部242に入力された四つの加速度信号およびモータ信号に基づいて第三相関図を生成する。このとき生成される第三相関図について図7に基づいて説明する。

20

【0058】

図7に、振動センサ11の加速度信号の時間変化を示す信号情報S11、振動センサ21の加速度信号の時間変化を示す信号情報S21、および、モータ信号に含まれる回転トルクの時間変化を示す信号情報S23を示す。信号情報S11、S21では、横軸に時間が示され、縦軸に加速度の大きさが示されている。信号情報S23では、横軸に時間が示され、縦軸に回転トルクの差分が示されている。

【0059】

30

S205では、最初に、第二生成部242は、信号情報S11、S21をwavelet変換による時間軸上の周波数解析を行う。その解析結果を画像D11、D21とする。図示していないが、このとき、振動センサ12、22の加速度信号の時間変化を示す信号情報も、信号情報S11、S21と同様にwavelet変換による時間軸上の周波数解析を行う。

【0060】

次に、第二生成部242は、画像DC11、D21、信号情報S23などを一つに結合した第三相関図DC20を生成する。第三相関図DC20では、図7に示すように、画像D11、D21、信号情報S23などが層状に配列される。このとき、振動センサ12、22の加速度信号のwavelet変換による時間軸上の周波数解析の結果や、モータ信号に含まれる回転速度の時間変化を示す信号情報も含まれるよう第三相関図DC20を生成する。

40

【0061】

次に、「深層学習段階」としてのS206において、第三相関図DC20に基づく深層学習を行う。S206では、第二学習部252は、S205において生成された第三相関図DC20に対して畳み込みニューラルネットワークを利用した深層学習を行う。

【0062】

第二学習部252における深層学習の内容について図8に基づいて説明する。

最初に、第二学習部252は、第三相関図DC20に対して畳み込み処理を行う。具体的には、第三相関図DC20をマトリックス状に分割し、相関図DC21(図8参照)を

50

生成する。例えば、第二学習部 252 では、第三相関図 DC20 が  $40 \times 8 \times p$  ピクセルの画像となるよう分割する。ここで、 $p$  は、複数であって第三相関図 DC20 に含まれる信号情報単位の数を表す。すなわち、第三相関図 DC20 および第三相関図 DC20 をマトリックス状に分割した相関図 DC21 は、 $p$  個の信号情報を含んだ相関図となっている。

#### 【0063】

次に、第二学習部 252 は、相関図 DC21 上に所定のサイズの設定窓 W21 を設定する。例えば、第二実施形態では、第二学習部 252 は、設定窓 W21 を  $4 \times 4$  ピクセルに設定する。第二学習部 252 は、設定窓 W21 を図 8 の相関図 DC21 上に示されている一点鎖線矢印 A211、A212 に示すように、相関図 DC21 上を移動することによって、相関図 DC21 の局所における画像データに対して所定のフィルタ処理を施す。このとき、第二学習部 252 は、設定窓 W21 を画像 D11、D21、信号情報 S23 などのそれぞれの信号情報単位ごと移動し、それぞれの信号情報単位ごとに畳み込み処理を行う。

10

#### 【0064】

ここで、第二学習部 252 における畳み込み処理を、相関図 DC21 を画像 D11、D21、信号情報 S23 などのそれぞれの信号情報単位に沿って分割して示した二点鎖線の枠 Im21 内の模式図を使って説明する。枠 Im21 内には、信号情報 S11 に対応する画像 DC21(1)、信号情報 S21 に対応する画像 DC21(2)、信号情報 S23 に対応する画像 DC21(p)などを示す。

20

#### 【0065】

第二学習部 252 における相関図 DC21 の畳み込み処理は、設定窓 W21 が、一点鎖線矢印 A211、A212 に示すように、画像 DC21(1)上のみを移動することによって画像 DC21(1)のみに対して行われると、次に、設定窓 W21 が、一点鎖線矢印 A221、A222 に示すように、画像 DC21(2)上のみを移動することによって画像 DC21(2)のみに対して行われる。その後、相関図 DC21 を構成する信号情報単位ごとに畳み込み処理が行われ、最後に、設定窓 W21 が画像 DC21(p)上のみを移動することによって画像 DC21(p)のみに対して行われ、第二学習部 252 における畳み込み処理が終了する。このように、第二学習部 252 における相関図 DC21 の畳み込み処理では、隣り合う信号情報の境界における畳み込み処理は行われないか、または、行われても該当する情報は排除される。これにより、相関図 DC21 は、 $p$  個の信号情報単位のそれぞれにおいて  $q$  個の特徴マップ DC222 が生成される。すなわち、 $q$  個の特徴マップ DC222 を有するグループが  $p$  個ある集合体  $G_{p222}$  が生成される。なお、図 8 では、一つの信号情報単位における複数の特徴マップ DC222 のグループを  $G_s$  ( $s$  は、 $p$  以下の整数)として示している。すなわち、グループ  $G_1$  からグループ  $G_p$  の集合体  $G_{p222}$  が、相関図 DC21 を一つの設定窓 W21 によって畳み込み処理のためのフィルタ処理が施された処理結果となる。

30

#### 【0066】

第二実施形態では、フィルタ係数が異なる複数の設定窓 W21 を設定し、それぞれの設定窓 W21 によってフィルタ処理を施す。これにより、グループ  $G_{p222}$  は、畳み込み処理において設定された設定窓 W21 の数と同じ数だけ生成される。

40

#### 【0067】

次に、第二学習部 252 は、第一実施形態と同様に、活性化関数を利用して特徴マップ DC222 のそれぞれが有する特徴をさらに強調した後、活性化関数によってコントラストが強調された特徴マップ DC222 のそれぞれに対してプーリング処理を行う。具体的には、例えば、図 8 に示す特徴マップ DC222(2:r)上において、一点鎖線矢印 A221、A222 に沿って、例えば、 $2 \times 2$  ピクセルの設定窓 W22 を移動し、特徴マップ DC222(2:r)上の設定窓 W22 内の最大値を抽出する。なお、 $r$  は、1 以上  $q$  以下の整数である。

#### 【0068】

50

次に、第二学習部 252 は、プーリング処理された複数の特徴マップ DC 222 を結合した生成結合画像を生成する。このとき、生成結合画像は、畳み込み処理において設定された設定窓 W 21 の数と同じ数だけ生成される。

例えば、第二実施形態では、第三相関図 DC 20 における一つの信号情報単位は  $40 \times 8$  ピクセルの画像となるよう形成されていることから、一つの信号情報単位は、設定窓 W 21 が 1 ピクセルごとに移動する場合、畳み込み処理によって  $37 \times 5$  ピクセルの画像となる。さらに、設定窓 W 22 が 1 ピクセルごとに移動する場合、プーリング処理によって、一つの信号情報単位に基づく生成結合画像は、 $19 \times 3$  ピクセルの画像となる。

【0069】

第二学習部 252 は、事前に入力されている装置の状態に関する情報と生成結合画像とを比較し、回転装置 5 の状態に関する情報を蓄積する。ここで、S 206 での深層学習における装置の状態に関する情報を、ベアリングに関する既知の故障判別周波数の計算式に基づく情報とする。具体的には、第二学習部 252 は、第三相関図から導出された生成結合画像とベアリングに関して理論的に導出されている故障判別周波数の計算式に基づく画像情報とを比較し、回転装置 5 の状態を判定するための情報としてベアリング単独の状態を判定する情報を学習し、蓄積する。

10

【0070】

次に、「正規化段階」として、S 207 において、深層学習部 25 の深層学習の結果を正規化する。S 207 では、正規化部 254 は、第一学習部 251 における深層学習の結果と第二学習部 252 における深層学習の結果とに対して重み付けをする。正規化部 254 は、重み付けにしたがって深層学習の結果の合算が 1 となるよう処理する。第二実施形態では、第二学習部 252 における深層学習の結果を第一学習部 251 における深層学習の結果に比べ重くする。

20

【0071】

次に、「判定段階」としての S 208 において、第一実施形態の S 105 と同様に、回転装置 5 の状態を判定する。S 208 では、判定部 26 は、正規化部 254 における深層学習部 25 の複数の深層学習の結果に対する正規化の結果および相関図の画像解析の結果に基づいて、回転装置 5 の状態を判定する。

【0072】

次に、S 209 において、第一実施形態の S 106 と同様に、判定結果を出力する。S 209 では、出力部 17 は、判定部 26 における回転装置 5 の状態についての判定結果を外部に出力する。

30

異常診断装置 20 は、このようにして、回転装置 5 の状態を判定し、外部に通知する。

【0073】

(c) 第二実施形態による異常診断装置 20 では、第二学習部 252 には、ベアリングに関して理論的に導出されている故障判別周波数の計算式が事前に入力されている。また、第二生成部 242 は、S 205 において、振動センサ 11, 12, 21, 22 の加速度信号の周波数解析の結果などから第三相関図 DC 20 を生成する。これにより、第二学習部 252 は、S 206 において、ベアリングに関して理論的に導出されている故障判別周波数の計算式を当てはめることができるため、ベアリング 91, 92 のそれぞれの状態を高精度に判定を行うことができる。したがって、第二実施形態では、第一実施形態の効果 (a)、(b) を奏するとともに、ベアリング 91, 92 の異常を高精度に検出することができる。

40

【0074】

(d) また、第二実施形態では、正規化部 254 は、S 207 において、第一学習部 251 における深層学習の結果および第二学習部 252 における深層学習の結果に対して正規化する。このとき、正規化部 254 は、ベアリングに関する故障判別周波数の計算式による判定が比較的重くなるよう重み付けした後、正規化する。これにより、回転装置 5 の状態を判定する際、事前に入力されている装置の状態に関する情報と実データに基づいて生成された生成結合画像との比較に比べ、ベアリング 91, 92 の状態を理論的に判定可

50

能な故障判別周波数の計算式に重点を置くこととなり、より理論的な診断を行うことができる。したがって、回転装置 5 の異常を高精度に検出することができる。

【0075】

(e) また、第二実施形態では、第二生成部 242 は、S205において、加速度を検出可能な振動センサ 11, 12, 21, 22 が出力する加速度信号を wavelet 変換による時間軸上の周波数解析を行う。これにより、第三実施形態は、ベアリング 91, 92 の加速度信号の周波数解析の結果と故障モードとに因果関係がある回転装置 5 について特に高精度に検出することができる。

【0076】

(第三実施形態)

次に、本発明の第三実施形態による回転診断装置を図 9, 10 に基づいて説明する。第三実施形態は、診断プロセスの一部が第二実施形態と異なる。なお、第二実施形態と実質的に同一の部位には同一の符号を付し、説明を省略する。

【0077】

第三実施形態による異常診断装置 30 は、振動センサ 11, 12, 21, 22、モータセンサ 23、AD変換部 13、および、診断部 300 を備える。

【0078】

診断部 300 は、内部に CPU、ROM、RAM、I/O、および、これらの構成を接続するバスラインなどを備える。診断部 300 における後述する処理は、予め記憶されたプログラムを CPU で実行することによるソフトウェア処理であってもよいし、専用の電子回路によるハードウェア処理であってもよい。診断部 300 は、相関図生成部 34、深層学習部 35、判定部 36、および、出力部 17 を有する。

【0079】

相関図生成部 34 は、AD変換部 13 と電気的に接続している。相関図生成部 34 は、第一生成部 241、第二生成部 242、および、第三生成部 343 を有する。

第三生成部 343 は、AD変換部 13 を介して振動センサ 11, 12, 21, 22 およびモータセンサ 23 と電気的に接続している。第三生成部 343 は、振動センサ 11, 12, 21, 22 が出力する加速度信号の時間変化を示す図、および、モータセンサ 23 が出力する回転速度および回転トルクに応じたモータ信号の時間変化を示す図を生成する。

【0080】

深層学習部 35 は、相関図生成部 14 と電気的に接続している。深層学習部 35 は、第一学習部 251、第二学習部 252、第三学習部 353、および、正規化部 354 を有する。

第三学習部 353 は、第三生成部 343 と電気的に接続している。第三学習部 353 には、第三生成部 343 で生成される加速度信号の時間変化を示す図およびモータ信号の時間変化を示す図が有する特徴と回転装置 5 のクラスとの組み合わせが事前に入力されている。第三学習部 353 は、当該組み合わせおよび加速度信号およびモータ信号の時間変化を示す図の画像解析の結果に基づく深層学習によって回転装置 5 に特化した情報を深層学習の結果として蓄積する。

【0081】

正規化部 354 は、第一学習部 251、第二学習部 252 および第三学習部 353 と電気的に接続している。正規化部 354 は、第一学習部 251 における深層学習の結果、第二学習部 252 における深層学習の結果および第三学習部 353 における深層学習の結果に対して重み付けをした後に正規化する。

【0082】

判定部 36 は、正規化部 354 と電気的に接続されている。判定部 36 は、深層学習部 35 が蓄積している情報、正規化部 354 において正規化された深層学習の結果および相関図の画像解析の結果に基づいて回転装置 5 の状態を判定する。判定部 36 は、判定結果を出力部 17 に出力する。

【0083】

10

20

30

40

50

次に、異常診断装置 30 による回転装置 5 の診断プロセスについて図 10 に基づいて説明する。図 10 に回転装置 5 の診断プロセスのフローチャートを示す。図 10 に示すフローチャートは、回転装置 5 が稼働している間、常時実行される。

【0084】

最初に、S301 において、第二実施形態の S201 と同様に、診断部 300 を初期化する。

次に、「信号取得段階」としての S302 において、第二実施形態の S202 と同様に、診断部 300 に加速度信号およびモータ信号を入力する。

【0085】

次に、「相関図生成段階」としての S303 において、第二実施形態の S203 と同様に、デジタル信号に変換された加速度信号に基づいて第一相関図および第二相関図を生成する。

次に、「深層学習段階」としての S304 において、第二実施形態の S204 と同様に、第一相関図および第二相関図に基づく深層学習を行う。S304 では、第一学習部 251 は、第一相関図および第二相関図に対して、第二実施形態の S204 における深層学習と同じ畳み込みニューラルネットワークを利用した深層学習を行う。

【0086】

また、S302 の次に、「相関図生成段階」としての S305 において、第二実施形態の S205 と同様に、デジタル信号に変換された加速度信号およびモータ信号に基づいて第三相関図を生成する。

次に、「深層学習段階」としての S306 において、S304 と同様に、第三相関図に基づく深層学習を行う。

【0087】

また、S302 の次の S307 において、入力信号の時間変化を示す図を生成する。S307 では、第三生成部 343 は、振動センサ 11, 12, 21, 22 の加速度信号の時間変化を示す図、および、モータ信号の時間変化を示す図を生成する。

【0088】

次に、S308 において、加速度信号の時間変化を示す図およびモータ信号の時間変化を示す図に基づく深層学習を行う。S308 では、第三学習部 353 は、S304 および S306 と同様に、加速度信号の時間変化を示す図およびモータ信号の時間変化を示す図に対して畳み込みニューラルネットワークを利用した深層学習を行う。

【0089】

S308 では、第三学習部 353 は、加速度信号の時間変化を示す図およびモータ信号の時間変化を示す図をマトリックス状に分割した図において畳み込み処理を行い、それぞれの図の特徴マップを生成する。第三学習部 353 は、活性化関数の利用およびプーリング処理した複数の特徴マップを結合した生成結合画像を事前に入力されている装置の状態に関する情報と比較し、回転装置 5 の状態に関する情報を蓄積する。

【0090】

S308 での深層学習における装置の状態に関する情報は、これまでの回転装置 5 の使用において発生した想定外の異常に基づく情報（以下、「想定外情報」という）とする。この想定外情報とは、回転装置 5 を利用する上で想定外の要因によって起きる異常に基づく情報であって、回転装置 5 の長時間の使用や使用されている回転装置 5 の台数の増加などによって蓄積される情報である。具体的には、回転装置 5 を利用した加工装置における加工条件の変更や被加工部材の材料の変化、ロット違いなど、回転装置 5 を一定の条件下で使用している限りは発生しない異常であるものの、回転装置 5 の実使用に即して発生する異常に関する情報である。第三実施形態では、この想定外情報を回転装置 5 の状態に関する情報として、第三学習部 353 に事前に入力しておく。第三学習部 353 は、想定外情報と生成結合画像とを比較し、回転装置 5 の状態を判定するための情報を学習し、蓄積する。

【0091】

10

20

30

40

50

次に、「正規化段階」として、S309において、深層学習部35の深層学習の結果を正規化する。S309では、正規化部354は、第一学習部251における深層学習の結果、第二学習部252における深層学習の結果および第三学習部353における深層学習の結果に対して重み付けをする。正規化部354は、重み付けにしたがって深層学習の結果の合算が1となるよう処理する。第三実施形態では、第三学習部353における深層学習の結果を第二学習部252における深層学習の結果に比べ重くする。

【0092】

次に、「判定段階」としてのS310において、第二実施形態のS208と同様に、回転装置5の状態を判定する。S310では、判定部36は、正規化部354における深層学習部35の複数の深層学習の結果に対する正規化の結果および相関図の画像解析の結果に基づいて、回転装置5の状態を判定する。

10

【0093】

次に、S311において、第二実施形態のS209と同様に、判定結果を出力する。S311では、出力部17は、判定部36における回転装置5の状態についての判定結果を外部に出力する。

異常診断装置30は、このようにして、回転装置5の状態を判定し、外部に通知する。

【0094】

第三実施形態による異常診断装置30では、S308において、第三学習部353には、想定外情報が事前に入力されている。想定外情報は、実際に発生した異常に基づく情報であるが、一回の実データに基づく深層学習を行う第一学習部251、および、理論的に導出されている故障判別周波数の計算式に基づく深層学習を行う第二学習部252においては、情報が蓄積されない。そこで、第三実施形態では、第三学習部353は、S308において、事前に入力した想定外情報と生成結合画像とを比較し、回転装置5の状態を判定するための情報を蓄積するとともに、回転装置5の状態の判定に利用する。これにより、第三実施形態は、第一実施形態の効果(a)、(b)、および、第二実施形態の効果(c)、(e)を奏するとともに、回転装置5の異常をさらに高精度に検出することができる。

20

【0095】

また、第三実施形態では、正規化部354は、S309において、第一学習部251における深層学習の結果、第二学習部252における深層学習の結果および第三学習部353における深層学習の結果を正規化する。このとき、正規化部354は、想定外情報に基づく判定が比較的重くなるよう重み付けした後、正規化する。これにより、事前に入力されている装置の状態に関する情報と実データに基づいて生成された生成結合画像との比較やペアリング91、92の状態を理論的に判定可能な故障判別周波数の計算式に比べ、回転装置5のこれまでの使用によって現場で取得された情報に重点を置くこととなる。したがって、回転装置5の異常をさらに高精度に検出することができる。

30

【0096】

(他の実施形態)

第一実施形態では、異常診断装置および異常診断プロセスは、回転体を回転可能に支持する回転装置に適用されるとした。しかしながら、異常診断装置および異常診断プロセスが適用される装置は、これに限定されない。稼働しているときに複数の「物理量検出部」によって自身の状態に相関する複数の物理量が検出可能な装置であればよい。

40

【0097】

上述の実施形態では、深層学習部は、畳み込みニューラルネットワークを利用した深層学習を行うとした。しかしながら、深層学習の内容は、これに限定されない。

また、畳み込みニューラルネットワークを利用した深層学習において、特徴マップのコントラストを強調するため、活性化関数を利用するとした。しかしながら、活性化関数は利用しなくてもよい。

また、畳み込みニューラルネットワークを利用した深層学習において、畳み込み処理およびプーリング処理は、それぞれ一回ずつ行うとしたが、それぞれ複数回行ってよいし

50

、畳み込み処理の回数とプーリング処理の回数とが異なってもよい。

【0098】

上述の実施形態では、プーリング処理は、特徴マップ上の設定窓内の最大値を抽出するとした。しかしながら、プーリング処理は、これに限定されない。特徴マップ上の設定窓内の平均値を演算してもよい。

【0099】

上述の実施形態では、畳み込み処理における設定窓は、複数設定されるとした。しかしながら、設定窓は、一つであってもよい。複数設定することによって深層学習の精度は向上するが、一つの設定窓であっても、フィルタ処理が的確な処理内容であれば深層学習は可能である。

【0100】

第一実施形態では、診断部には加速度信号が入力されるとした。しかしながら、診断部に入力される信号の種類はこれに限定されない。

【0101】

第一実施形態では、「相関図」として二つの加速度信号によるリサージュ曲線を生成するとした。第二、三実施形態では、「相関図」として加速度信号の周波数解析の結果とモータ信号の時間変化を示す図とからなる相関図を生成するとした。しかしながら、「相関図」は、これに限定されない。「相関図」は、回転装置の状態に相関する複数の物理量信号の相関を示すよう形成されていけばよい。例えば、加速度信号の周波数解析の結果を「相関図」としてもよい。

【0102】

第二実施形態では、ベアリングに関する故障判別周波数の計算式の重み付けを比較的高くするとした。また、第三実施形態では、想定外情報の重み付けを比較的高くするとした。しかしながら、重み付けは、任意に設定することが可能である。

【0103】

以上、本発明はこのような実施形態に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲で種々の形態で実施可能である。

【符号の説明】

【0104】

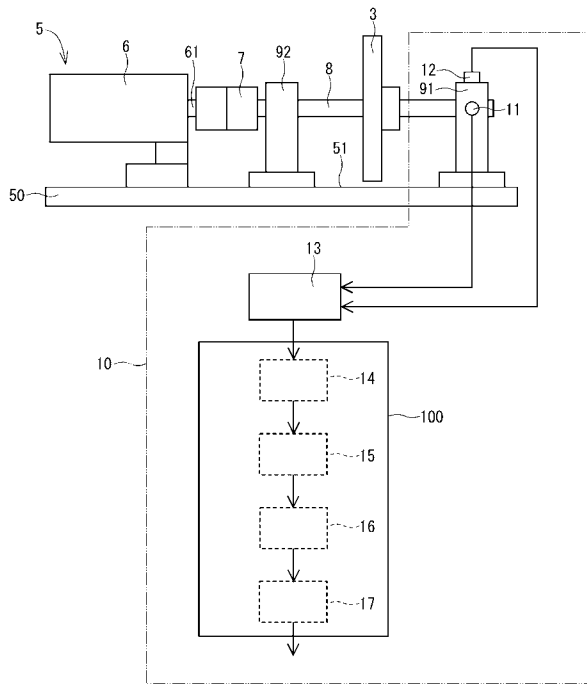
- 5・・・回転装置（装置）
- 10, 20, 30・・・異常診断装置（装置の検査装置）
- 11, 12, 21, 22・・・振動センサ（物理量検出部）
- 23・・・モータセンサ（物理量検出部）
- 14, 24, 34・・・相関図生成部
- 15, 25, 35・・・深層学習部
- 16, 26, 36・・・判定部

10

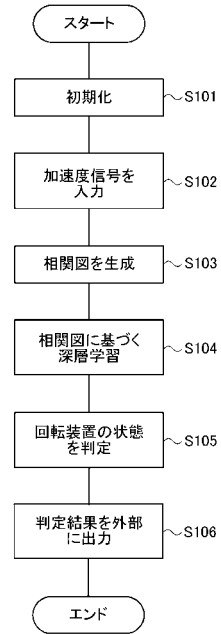
20

30

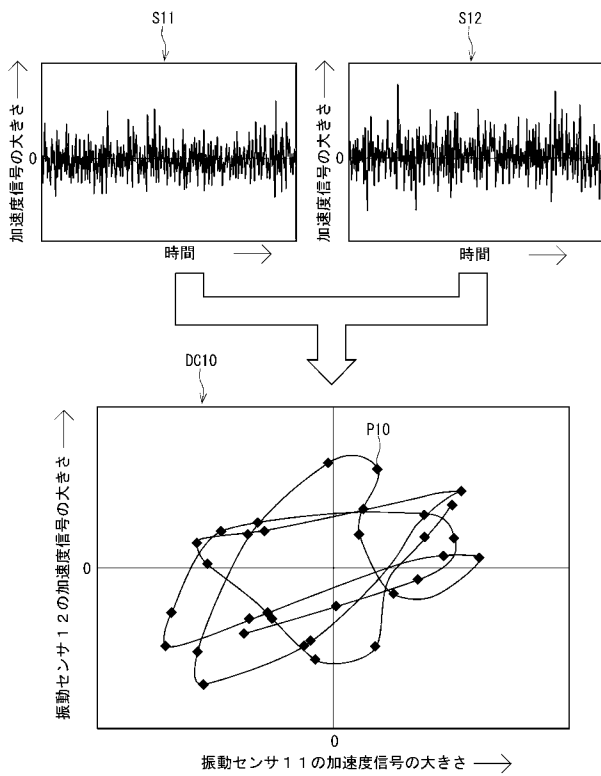
【図1】



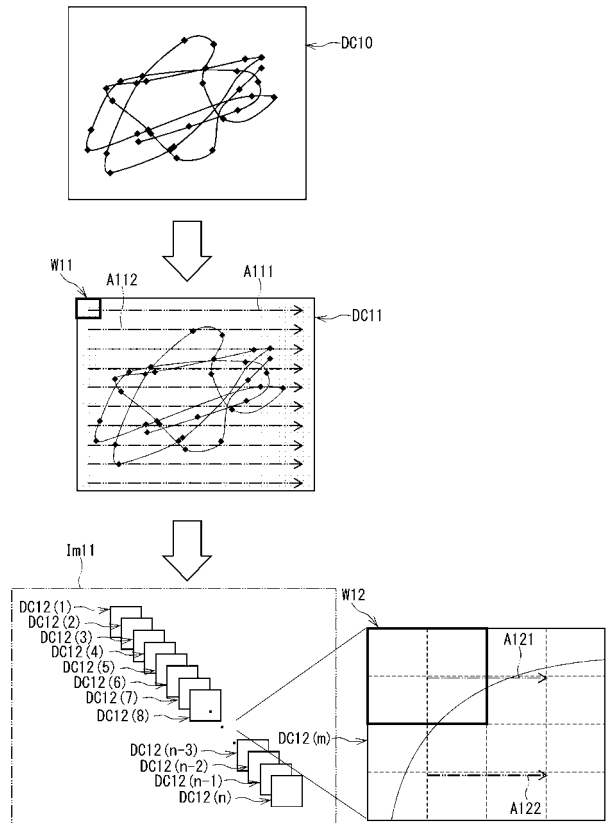
【図2】



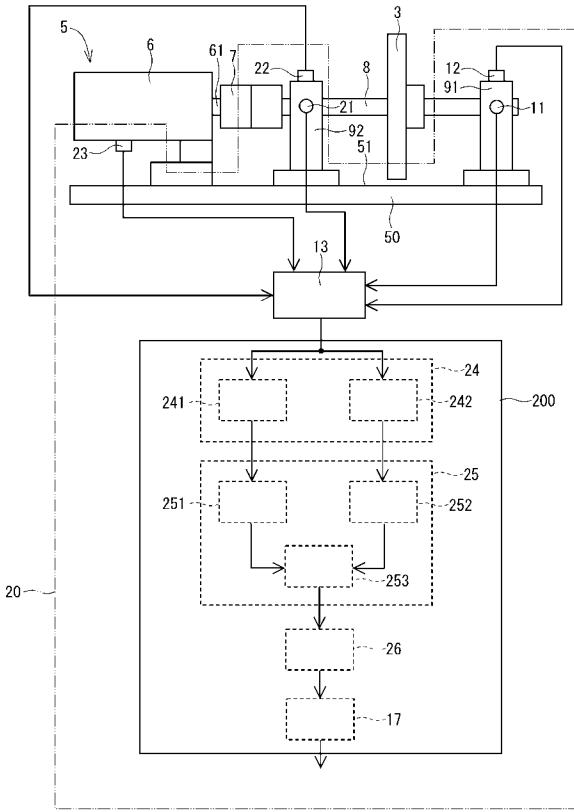
【図3】



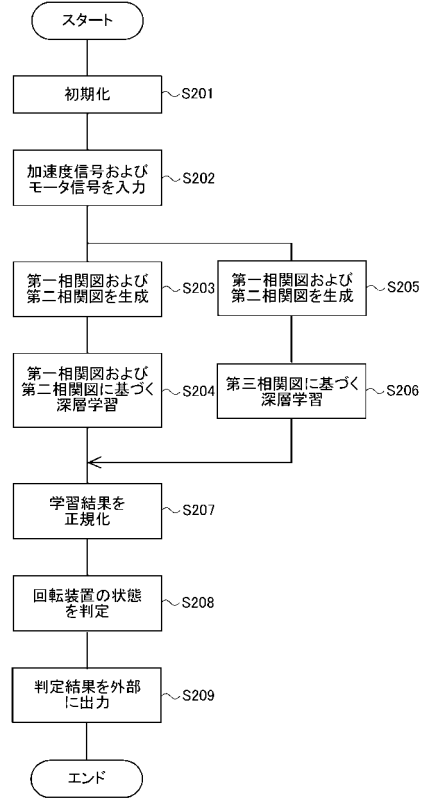
【図4】



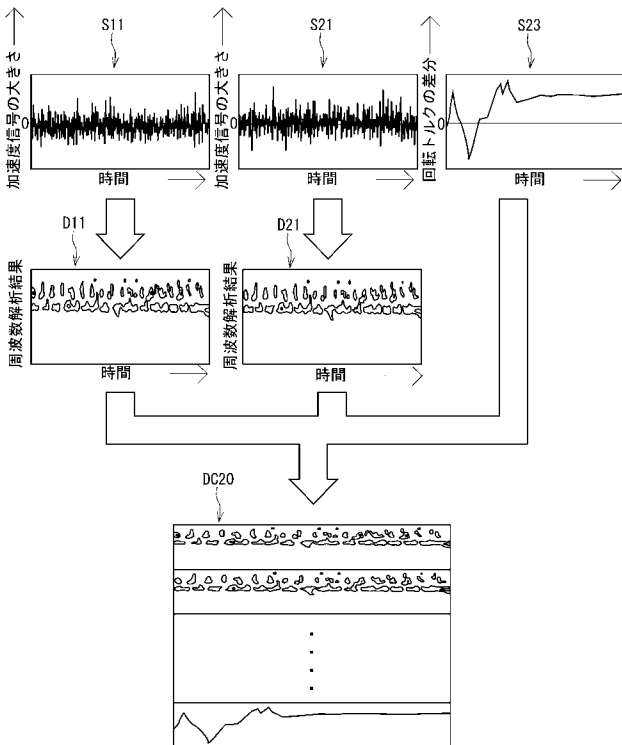
【図5】



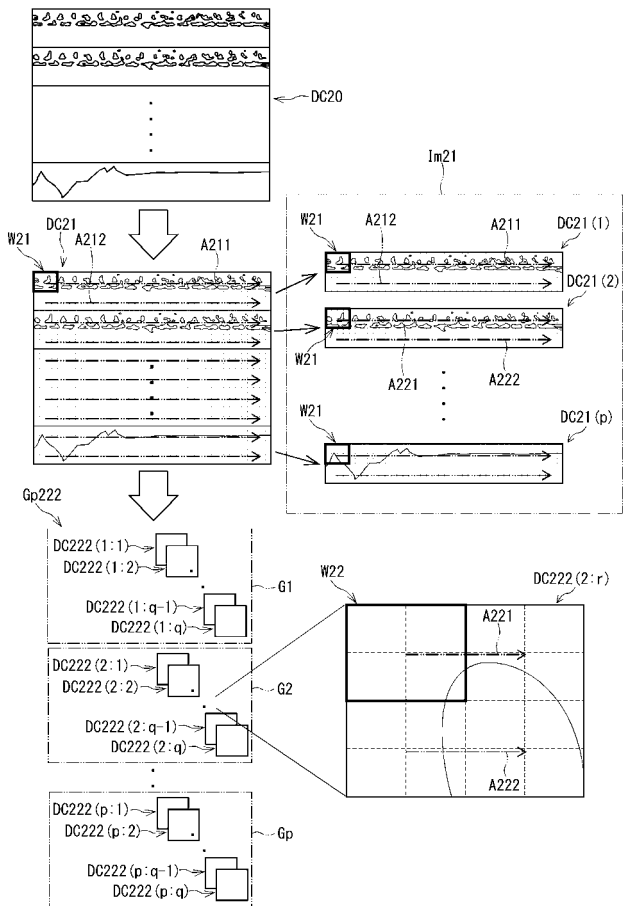
【図6】



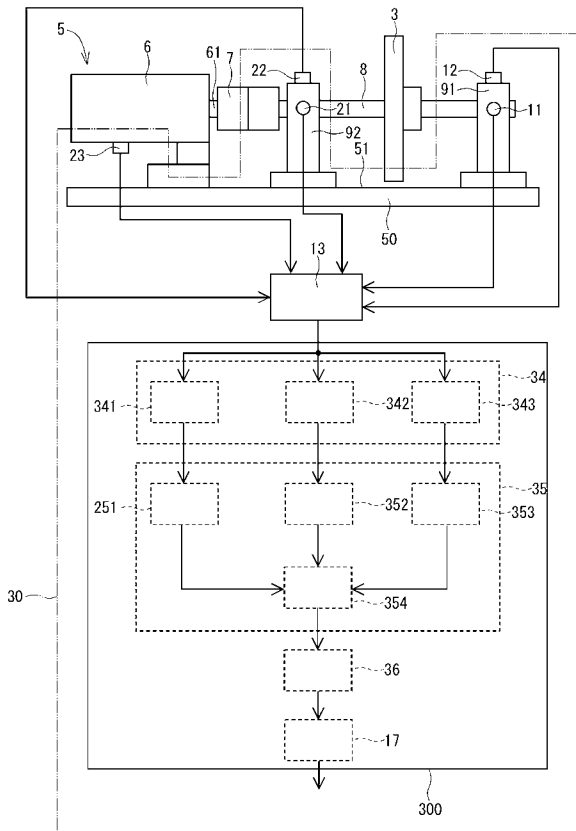
【図7】



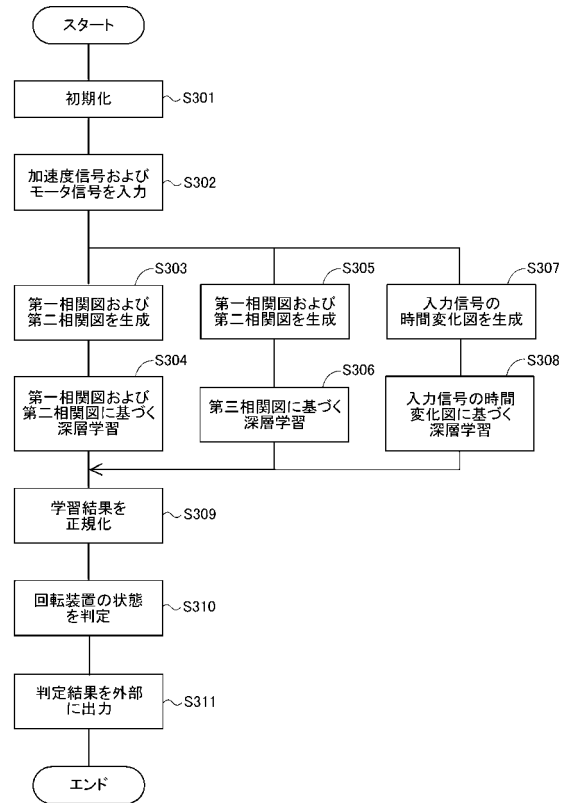
【図8】



【図9】



【図10】



フロントページの続き

(72)発明者 大東 昭弘

愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会社デンソー内

Fターム(参考) 2G024 AC01 AD01 BA27 CA13 DA09 FA01