

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B1)

(11) 特許番号

特許第6173649号
(P6173649)

(45) 発行日 平成29年8月2日(2017.8.2)

(24) 登録日 平成29年7月14日(2017.7.14)

(51) Int. Cl. F I
GO 1 N 29/46 (2006.01) GO 1 N 29/46
GO 1 H 17/00 (2006.01) GO 1 H 17/00 Z
B 6 6 B 5/00 (2006.01) B 6 6 B 5/00 D
GO 1 M 17/08 (2006.01) GO 1 M 17/08

請求項の数 12 (全 23 頁)

(21) 出願番号	特願2017-517134 (P2017-517134)	(73) 特許権者	000006013
(86) (22) 出願日	平成28年11月22日(2016.11.22)		三菱電機株式会社
(86) 国際出願番号	PCT/JP2016/084603		東京都千代田区丸の内二丁目7番3号
審査請求日	平成29年3月29日(2017.3.29)	(74) 代理人	100123434
早期審査対象出願			弁理士 田澤 英昭
		(74) 代理人	100101133
			弁理士 濱田 初音
		(74) 代理人	100199749
			弁理士 中島 成
		(74) 代理人	100188880
			弁理士 坂元 辰哉
		(74) 代理人	100197767
			弁理士 辻岡 将昭
		(74) 代理人	100201743
			弁理士 井上 和真

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 劣化個所推定装置、劣化個所推定システム及び劣化個所推定方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

検査対象機器に設けられた複数個のマイクロホンの各々に対応するマイク信号を取得して、前記マイク信号の各々に対応する短時間フーリエ変換係数の時系列を計算する短時間フーリエ変換部と、

前記短時間フーリエ変換係数の時系列を用いてニューラルネットワークに対する入力用の複数個の時系列配列を生成する時系列配列生成部と、

前記ニューラルネットワークにより構成されており、前記時系列配列の入力を受け付けて前記検査対象機器における検査対象個所に対応する劣化度を出力するニューラルネットワーク部と、

前記劣化度を用いて前記検査対象機器における劣化個所を判定する判定部と、
を備える劣化個所推定装置。

【請求項2】

前記時系列配列生成部は、前記短時間フーリエ変換係数の時系列を用いて、前記マイク信号内の自己相関スペクトルの時系列による前記時系列配列と、前記マイク信号間の相互相関スペクトルによる前記時系列配列とを生成することを特徴とする請求項1記載の劣化個所推定装置。

【請求項3】

前記時系列配列生成部は、前記短時間フーリエ変換係数の時系列を用いて、前記マイク信号内の自己相関スペクトルの時系列による前記時系列配列を生成することを特徴とする

請求項 1 記載の劣化個所推定装置。

【請求項 4】

前記時系列配列生成部は、前記短時間フーリエ変換係数の時系列を用いて、前記短時間フーリエ変換係数のうちの実部の時系列による前記時系列配列と、前記短時間フーリエ変換係数のうちの虚部の時系列による前記時系列配列とを生成することを特徴とする請求項 1 記載の劣化個所推定装置。

【請求項 5】

前記ニューラルネットワークは、複数個の前記時系列配列の入力を受け付ける入力層と、前記入力層に対する畳込み演算を実行する畳込み層とを有することを特徴とする請求項 1 記載の劣化個所推定装置。

10

【請求項 6】

前記入力層は、複数個のユニットによる 2 次元配列面が積層された 3 次元配列の構造を有し、前記 2 次元配列面の各々に対応する前記時系列配列が入力されるものであり、

前記畳込み層は、前記入力層内の 3 次元領域に対する前記畳込み演算を実行するものである

ことを特徴とする請求項 5 記載の劣化個所推定装置。

【請求項 7】

前記マイクロホンは、正多角形の各頂点に対応する位置に配置されていることを特徴とする請求項 1 記載の劣化個所推定装置。

【請求項 8】

前記検査対象機器は移動体を含むものであり、前記マイクロホンは前記移動体に設けられていることを特徴とする請求項 1 記載の劣化個所推定装置。

20

【請求項 9】

前記検査対象機器はエレベータにより構成されており、前記移動体は前記エレベータのカゴにより構成されており、前記マイクロホンは前記カゴの天井部又は床部に設けられていることを特徴とする請求項 8 記載の劣化個所推定装置。

【請求項 10】

前記判定部は、前記劣化個所の有無を判定して、前記劣化個所が存在すると判定した場合、前記劣化個所と前記劣化個所に対応する前記劣化度とを示す判定結果を出力することを特徴とする請求項 1 記載の劣化個所推定装置。

30

【請求項 11】

検査対象機器に設けられた複数個のマイクロホンと、

前記マイクロホンの各々に対応するマイク信号を取得して、前記マイク信号の各々に対応する短時間フーリエ変換係数の時系列を計算する短時間フーリエ変換部と、前記短時間フーリエ変換係数の時系列を用いてニューラルネットワークに対する入力用の複数個の時系列配列を生成する時系列配列生成部と、前記ニューラルネットワークにより構成されており、前記時系列配列の入力を受け付けて前記検査対象機器における検査対象個所に対応する劣化度を出力するニューラルネットワーク部と、前記劣化度を用いて前記検査対象機器における劣化個所を判定する判定部と、を有する劣化個所推定装置と、

を備える劣化個所推定システム。

40

【請求項 12】

短時間フーリエ変換部が、検査対象機器に設けられた複数個のマイクロホンの各々に対応するマイク信号を取得して、前記マイク信号の各々に対応する短時間フーリエ変換係数の時系列を計算するステップと、

時系列配列生成部が、前記短時間フーリエ変換係数の時系列を用いてニューラルネットワークに対する入力用の複数個の時系列配列を生成するステップと、

前記ニューラルネットワークにより構成されたニューラルネットワーク部が、前記時系列配列の入力を受け付けて前記検査対象機器における検査対象個所に対応する劣化度を出力するステップと、

判定部が、前記劣化度を用いて前記検査対象機器における劣化個所を判定するステップ

50

と、

を備える劣化個所推定方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、検査対象となる機器における劣化した個所を推定する劣化個所推定装置、劣化個所推定システム及び劣化個所推定方法に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、検査対象となる機器（以下「検査対象機器」という。）から発生した音に基づいて、検査対象機器における故障した個所（以下「故障個所」という。）を推定する故障個所推定装置が開発されている。同様に、検査対象機器から発生した音に基づいて、検査対象機器における劣化した個所（以下「劣化個所」という。）を推定する劣化個所推定装置が開発されている。

【0003】

例えば、特許文献1の故障個所推定装置は、移動体に設けられ、移動体及び移動体の移動範囲周辺に位置する機器から発生する作動音を収集する集音器（1）と、収集された正常な作動音を分析し、基準標本系列（104）を求める基準標本系列分析手段（2, 3, 4）と、収集された診断対象の作動音を分析し、対象標本系列（105）を求める対象標本系列分析手段（2, 3, 4）と、基準標本系列（104）及び対象標本系列（105）間の変異系列を求め、変異曲線（106）を生成する変異曲線生成部（6）と、変異曲線（106）の形状特徴（107）を抽出する形状特徴抽出部（7）と、形状特徴（107）をテンプレートと照合し、移動体及び移動体の移動範囲周辺に位置する機器に起こる故障個所を判定する照合判定部（9）とを備えるものである（特許文献1の要約及び図1参照）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2014-105075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の故障個所推定装置は、移動体に設けられた1個のマイクロホン（集音器1）を用いて、検査対象機器における各個所にて発生した音を取得するものである。これにより、複数個の個所が移動体の移動方向に沿って互いに離間して配置されている場合は、取得した音がいずれの個所にて発生したのかを識別することができる。しかしながら、複数個の個所が移動体の移動方向に対して垂直な面に沿って互いに離間して配置されている場合は、取得した音がいずれの個所にて発生したのかを識別することができない。すなわち、特許文献1の故障個所推定装置は、音の到来方向に対する分解能が低く、故障個所の推定精度が低い問題があった。

【0006】

また、劣化個所推定装置においても同様の問題があった。

【0007】

本発明は、上記のような課題を解決するためになされたものであり、検査対象機器における劣化個所を高精度に推定することができる劣化個所推定装置、劣化個所推定システム及び劣化個所推定方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明の劣化個所推定装置は、検査対象機器に設けられた複数個のマイクロホンの各々に対応するマイク信号を取得して、マイク信号の各々に対応する短時間フーリエ変換係数

10

20

30

40

50

の時系列を計算する短時間フーリエ変換部と、短時間フーリエ変換係数の時系列を用いてニューラルネットワークに対する入力用の複数個の時系列配列を生成する時系列配列生成部と、ニューラルネットワークにより構成されており、時系列配列の入力を受け付けて検査対象機器における検査対象個所に対応する劣化度を出力するニューラルネットワーク部と、劣化度を用いて検査対象機器における劣化個所を判定する判定部とを備えるものである。

【発明の効果】

【0009】

本発明によれば、上記のように構成したので、検査対象機器における劣化個所を高精度に推定することができる。

10

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1A】本発明の実施の形態1に係る検査対象機器の要部を示す説明図である。

【図1B】本発明の実施の形態1に係る劣化個所推定システムの要部を示す説明図である。

。

【図1C】本発明の実施の形態1に係る劣化個所推定装置の要部を示すハードウェア構成図である。

【図2】本発明の実施の形態1に係る劣化個所推定装置の要部を示す機能ブロック図である。

【図3】図3Aは、本発明の実施の形態1に係る相互相関演算部により生成された相互相関スペクトログラムを示す説明図である。図3Bは、本発明の実施の形態1に係る自己相関演算部により生成された自己相関スペクトログラムを示す説明図である。

20

【図4】本発明の実施の形態1に係るニューラルネットワーク部におけるニューラルネットワークの構造を示す説明図である。

【図5】図4に示すニューラルネットワーク内の入力層における3次元配列を示す説明図である。

【図6】図4に示すニューラルネットワーク内の畳込み層における3次元配列を示す説明図である。

【図7】本発明の実施の形態1に係る劣化個所推定装置の動作を示すフローチャートである。

30

【図8】本発明の実施の形態1に係る短時間フーリエ変換部の詳細な動作を示すフローチャートである。

【図9】本発明の実施の形態1に係る相互相関演算部の詳細な動作を示すフローチャートである。

【図10】本発明の実施の形態1に係る自己相関演算部の詳細な動作を示すフローチャートである。

【図11】本発明の実施の形態1に係るニューラルネットワーク部の詳細な動作を示すフローチャートである。

【図12】本発明の実施の形態1に係る判定部の詳細な動作を示すフローチャートである。

40

【発明を実施するための形態】

【0011】

以下、この発明をより詳細に説明するために、この発明を実施するための形態について、添付の図面に従って説明する。

【0012】

実施の形態1。

図1Aは、本発明の実施の形態1に係る検査対象機器の要部を示す説明図である。図1Bは、本発明の実施の形態1に係る劣化個所推定システムの要部を示す説明図である。図1Cは、本発明の実施の形態1に係る劣化個所推定装置の要部を示すハードウェア構成図である。図1を参照して、実施の形態1の劣化個所推定システム100について説明する

50

。

【0013】

図中、1はエレベータである。エレベータ1は昇降路2を有している。昇降路2内には、カゴ3及び図示しない複数個の可動部品などが設けられている。エレベータ1は図示しない建築物に設けられており、カゴ3は昇降路2に沿って当該建築物の最上階と最下階との間を昇降自在である。エレベータ1により、検査対象機器が構成されている。

【0014】

カゴ3の天井部には、マイクロホンアレイ装置4と、オーディオインタフェース装置5と、劣化個所推定装置6とが設けられている。マイクロホンアレイ装置4、オーディオインタフェース装置5及び劣化個所推定装置6により、劣化個所推定システム100の要部が構成されている。

10

【0015】

マイクロホンアレイ装置4は、略円柱状の台座11と、台座11が有する略円形の載置面12に載置された3個のマイクロホン13₁～13₃とを有している。マイクロホン13₁～13₃の各々は、エレベータ1にて発生した音を取得するものである。マイクロホン13₁～13₃は、取得した音の波形に対応するアナログ信号AS1, AS2, AS3をそれぞれ出力するものである。

【0016】

ここで、マイクロホン13₁～13₃は、載置面12の円周部に沿って略等間隔に配置されている。すなわち、マイクロホン13₁～13₃は、カゴ3の昇降方向に対して略垂直な載置面12において、図示しない正三角形の各頂点に対応する位置に配置されている。これにより、マイクロホン13₁～13₃間の間隔は、載置面12内における最大値に設定されている。

20

【0017】

オーディオインタフェース装置5は、例えば、マルチチャンネル入力に対応したアナログデジタル変換回路を用いたものである。オーディオインタフェース装置5は、マイクロホン13₁～13₃が出力したアナログ信号AS1, AS2, AS3を取得して、アナログ信号AS1, AS2, AS3をデジタル信号DS1, DS2, DS3にそれぞれ変換するものである。オーディオインタフェース装置5は、デジタル信号DS1, DS2, DS3の各々を劣化個所推定装置6に出力するものである。

30

【0018】

具体的には、例えば、オーディオインタフェース装置5は、リニアPCM(Pulse Code Modulation)方式によりアナログ信号AS1, AS2, AS3をデジタル信号DS1, DS2, DS3に変換する。このとき、サンプリング周波数は例えば48キロヘルツ(kHz)に設定され、量子化ビット数は例えば16ビットに設定される。当該変換の結果、デジタル信号DS1, DS2, DS3の各々は複数個のフレームにより構成された信号となる。

【0019】

劣化個所推定装置6は、パーソナルコンピュータ(Personal Computer, PC)などのコンピュータにより構成されている。当該コンピュータは、入出力インタフェース21と、プロセッサ22と、メモリ23とを有している。

40

【0020】

入出力インタフェース21は、例えば、USB(Universal Serial Bus)端子及びLAN(Local Area Network)端子などにより構成されている。USB端子は、オーディオインタフェース装置5と通信自在に接続されている。LAN端子は、図示しないLANケーブルにより、エレベータ1用の図示しない制御装置と通信自在に接続されている。この制御装置は、当該コンピュータが出力した信号をエレベータ1の動作制御に用いるようになっている。

【0021】

メモリ23は、オーディオインタフェース装置5が出力したデジタル信号DS1, DS

50

2, DS3を一時的に記憶するものである。また、メモリ23には、当該コンピュータを図2に示す短時間フーリエ変換部31、時系列配列生成部32、ニューラルネットワーク部35及び判定部36として機能させるためのプログラムが記憶されている。メモリ23に記憶されたプログラムをプロセッサ22が読み出して実行することにより、図2に示す短時間フーリエ変換部31、時系列配列生成部32、ニューラルネットワーク部35及び判定部36の機能が実現される。そのほか、メモリ23は、当該プログラムにより計算された各種値などのデータを適宜記憶するようになっている。

【0022】

プロセッサ22は、例えば、CPU(Central Processing Unit)、マイクロプロセッサ、マイクロコントローラ又はDSP(Digital Signal Processor)などにより構成されている。メモリ23は、例えば、RAM(Random Access Memory)、ROM(Read Only Memory)、フラッシュメモリ、EPROM(Erasable Programmable Read Only Memory)若しくはEEPROM(Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory)などの半導体メモリ、磁気ディスク、光ディスク又は光磁気ディスクなどにより構成されている。

【0023】

図2は、本発明の実施の形態1に係る劣化個所推定装置の要部を示す機能ブロック図である。図3Aは、本発明の実施の形態1に係る相互相関演算部により生成された相互相関スペクトログラムを示す説明図である。図3Bは、本発明の実施の形態1に係る自己相関演算部により生成された自己相関スペクトログラムを示す説明図である。図2及び図3を参照して、劣化個所推定装置6について説明する。

【0024】

短時間フーリエ変換部31は、オーディオインタフェース装置5が出力したデジタル信号(以下「マイク信号」という。)DS1, DS2, DS3を取得するものである。短時間フーリエ変換部31は、マイク信号DS1, DS2, DS3の各々に対する短時間フーリエ変換(Short-time Fourier Transform, STFT)を実行することにより、マイク信号DS1, DS2, DS3の各々に対応する短時間フーリエ変換係数の時系列を計算するものである。すなわち、各時系列は複数個の短時間フーリエ変換係数により構成されており、個々の短時間フーリエ変換係数は複素周波数スペクトルを示すものである。

【0025】

時系列配列生成部32は、短時間フーリエ変換部31が計算した短時間フーリエ変換係数の時系列を用いて、ニューラルネットワーク部35に対する入力用の時系列配列(以下、単に「時系列配列」ということがある。)を生成するものである。図2に示す例において、時系列配列生成部32は、相互相関演算部33及び自己相関演算部34により構成されている。

【0026】

相互相関演算部33は、マイク信号DS1に対応する短時間フーリエ変換係数の時系列とマイク信号DS2に対応する短時間フーリエ変換係数の時系列とを用いて、マイク信号DS1, DS2間の相互相関スペクトルの時系列による時系列配列を生成するものである。また、相互相関演算部33は、マイク信号DS2に対応する短時間フーリエ変換係数の時系列とマイク信号DS3に対応する短時間フーリエ変換係数の時系列とを用いて、マイク信号DS2, DS3間の相互相関スペクトルの時系列による時系列配列を生成するものである。さらに、相互相関演算部33は、マイク信号DS3に対応する短時間フーリエ変換係数の時系列とマイク信号DS1に対応する短時間フーリエ変換係数の時系列とを用いて、マイク信号DS3, DS1間の相互相関スペクトルの時系列による時系列配列を生成するものである。

【0027】

以下、相互相関スペクトルの時系列による時系列配列を「相互相関スペクトログラム」という。個々の相互相関スペクトログラムは、第1次元を周波数に対応する方向（以下「周波数方向」という。）とし、かつ、第2次元をフレームに対応する方向（以下「フレーム方向」という。）とした2次元配列により表される。図3Aに、相互相関スペクトログラムの一例を示す。図3Aに示す相互相関スペクトログラムは、 $(W/2 + 1)$ 行T列の2次元配列により表されている。ここで、Tはマイク信号DS1, DS2, DS3の各々を構成するフレーム数であり、Wは各フレームのフレーム長である。

【0028】

自己相関演算部34は、マイク信号DS1に対応する短時間フーリエ変換係数の時系列を用いて、マイク信号DS1内の自己相関スペクトルの時系列による時系列配列を生成するものである。また、自己相関演算部34は、マイク信号DS2に対応する短時間フーリエ変換係数の時系列を用いて、マイク信号DS2内の自己相関スペクトルの時系列による時系列配列を生成するものである。さらに、自己相関演算部34は、マイク信号DS3に対応する短時間フーリエ変換係数の時系列を用いて、マイク信号DS3内の自己相関スペクトルの時系列による時系列配列を生成するものである。

10

【0029】

以下、自己相関スペクトルの時系列による時系列配列を「自己相関スペクトログラム」という。個々の自己相関スペクトログラムは、第1次元を周波数方向とし、かつ、第2次元をフレーム方向とした2次元配列により表される。図3Bに、自己相関スペクトログラムの一例を示す。図3Bに示す自己相関スペクトログラムは、 $(W/2 + 1)$ 行T列の2次元配列により表されている。

20

【0030】

ニューラルネットワーク部35は、いわゆる「ニューラルネットワーク」を用いたものである。ニューラルネットワーク部35におけるニューラルネットワーク（以下、単に「ニューラルネットワーク」ということがある。）は階層型であり、入力層と、中間層と、出力層とを有している。ニューラルネットワーク内の各層は、複数個のユニットにより構成されている。

【0031】

入力層は、時系列配列生成部32により生成された複数個の時系列配列の入力を受け付けるものである。具体的には、例えば、入力層は、相互相関演算部33により生成された3個の相互相関スペクトログラムと、自己相関演算部34により生成された3個の自己相関スペクトログラムとの入力を受け付けるものである。

30

【0032】

出力層に含まれる複数個のユニット（以下「出力ユニット」という。）は、エレベータ1における複数個の個所のうちの少なくとも一部の個所（以下「検査対象個所」という。）と一対一に対応している。個々の検査対象個所は、例えば、昇降路2内に設けられたカゴ3、可動部品、その他の各種機器のうちのいずれかに対応している。

【0033】

ニューラルネットワークは、入力層に対して時系列配列が入力されたとき、個々の出力ユニットの出力値（いわゆる「活性度」）が、対応する検査対象個所における劣化の度合い（以下「劣化度」という。）を示すものとなるように、専用の訓練データを用いて予め訓練されたものである。すなわち、ニューラルネットワーク部35は、時系列配列生成部32により生成された時系列配列の入力に対して、検査対象個所の各々に対応する劣化度を出力するものである。

40

【0034】

判定部36は、ニューラルネットワーク部35が出力した劣化度を用いて、複数個の検査対象個所の中に劣化個所が含まれているか否か、すなわちエレベータ1における劣化個所の有無を判定するものである。判定部36は、劣化個所が存在すると判定した場合、当該劣化個所と、当該劣化個所に対応する劣化度とを示す判定結果を出力するものである。他方、劣化個所が存在しないと判定した場合、判定部36は、その旨を示す判定結果を出

50

力するものである。判定部 36 が出力した判定結果は、例えば、エレベータ 1 用の図示しない制御装置に入力される。

【0035】

短時間フーリエ変換部 31、時系列配列生成部 32、ニューラルネットワーク部 35 及び判定部 36 により、劣化個所推定装置 6 の要部が構成されている。

【0036】

図 4 は、本発明の実施の形態 1 に係るニューラルネットワーク部におけるニューラルネットワークの構造を示す説明図である。図 5 は、図 4 に示すニューラルネットワーク内の入力層における 3 次元配列を示す説明図である。図 6 は、図 4 に示すニューラルネットワーク内の畳込み層における 3 次元配列を示す説明図である。図 4 ~ 図 6 を参照して、ニューラルネットワーク部 35 におけるニューラルネットワークについて説明する。

10

【0037】

図 4 に示す如く、ニューラルネットワークは、入力層と、中間層と、出力層とを有している。図 4 に示す例において、中間層は 1 個の畳込み層と 2 個の非線形層とにより構成されている。ニューラルネットワーク内の層数は $L + 1$ であり、各層には 0 から L までの通し番号 l が割り当てられている。すなわち、図 4 に示す例においては $L = 4$ である。

【0038】

ニューラルネットワーク内の各層は、複数個のユニットにより構成されている。図中、白丸は個々のユニットを示している。各層に含まれる個々のユニットは、当該層に対する前層に含まれる複数個のユニットのうち少なくとも一部である複数個のユニットとそれぞれ結合している。なお、各層の層内におけるユニット間の結合はない。ユニット間の結合の度合いは荷重係数 W により表される。また、各ユニットは結合に係るバイアス B を有している。

20

【0039】

以下、本明細書において、いわゆる「添字表記法」に倣い、原則、1 文字のアルファベット大文字により任意のオブジェクトを表し、かつ、当該アルファベット大文字に続く 1 文字以上のアルファベット小文字（すなわち添え字）により当該オブジェクトに係る任意の要素を表すものとする。例えば、ニューラルネットワーク内の各層において、当該層に含まれるユニットを示すインデックスを k とし、当該層に対する前層に含まれるユニットを示すインデックスを i とする。層 l に含まれるユニット k と層 l に対する前層に含まれるユニット i との結合の度合いを示す荷重係数 W は、「 $W_{l i k}$ 」と表記される。層 l に含まれるユニット k が有するバイアス B は、「 $B_{l k}$ 」と表記される。

30

【0040】

ただし、添え字に対して対応する要素の値を代入した結果、添え字にアルファベット大文字、数字又は記号が含まれる場合もある。例えば、図 4 において、出力層 l ($l = L$) に含まれるユニット k と非線形層 l ($l = L - 1$) に含まれるユニット i との結合の度合いを示す荷重係数 $W_{l i k}$ は、「 $W_{L i k}$ 」と表記されている。非線形層 l ($l = L - 1$) に含まれるユニット k と非線形層 l ($l = 2$) に含まれるユニット i との間の結合の度合いを示す荷重係数 $W_{l i k}$ は、「 $W_{L-1 i k}$ 」と表記されている。

【0041】

40

入力層は、互いに直交する第 1 次元及び第 2 次元に沿って複数個のユニットを配列してなる面（以下「2 次元配列面」という。）が複数面積層された構造、すなわち 2 次元配列面の積層方向を第 3 次元とする 3 次元配列の構造を有している。入力層に含まれる 2 次元配列面は、ニューラルネットワーク部 35 に入力される複数個の時系列配列と一対一に対応するものである。すなわち、入力層に含まれる個々の 2 次元配列面には、対応する時系列配列が入力されるようになっている。

【0042】

図 5 に、入力層における 3 次元配列の一例を示す。図 5 に示す例において、入力層は、 $(W/2 + 1)$ 行 T 列の 2 次元配列面が $(M + COMBINATIONS(M, 2))$ 面積層された 3 次元配列の構造を有している。ここで、 M はマイクロホンアレイ装置 4 が有

50

するマイクロホン $13_1 \sim 13_3$ の個数であり、COMBINATIONS (M, 2) は M 個の中から 2 個を選択する組合せの数を求める関数である。実施の形態 1 においては、M = 3 であり、COMBINATIONS (M, 2) による組合せの数は 3 である。個々の 2 次元配列面には、相互相関演算部 33 により生成された 3 個の相互相関スペクトログラムのうちの一つ、又は自己相関演算部 34 により生成された 3 個の自己相関スペクトログラムのうちの一つが入力される。

【0043】

畳込み層は、入力層内の 3 次元領域 $g t f$ に対する畳込み演算を実行するものである。図 4 に示す如く、3 次元領域 $g t f$ には複数個のユニットが含まれている。ここで、添え字 g は 3 次元領域内の各ユニットが配置された 2 次元配列面を示すインデックス、添え字 t は 3 次元領域内の各ユニットに対応するフレームを示すインデックス、添え字 f は 3 次元領域内の各ユニットに対応する周波数を示すインデックスである。

10

【0044】

図 6 に、畳込み層における 3 次元配列の一例を示す。図 6 に示す例において、畳込み層は、 $((W/2 + 1) / DF)$ 行 (T / DT) 列の 2 次元配列面が D 面積層された 3 次元配列の構造を有している。すなわち、畳込み層に含まれる個々の 2 次元配列面は、入力層に含まれる個々の 2 次元配列面をフレーム方向及び周波数方向に対してダウンサンプリングしてなる形状を有している。ここで、DT はフレーム方向に対する間引き間隔であり、DF は周波数方向に対する間引き間隔である。DT の値が 1 であれば、フレーム方向の間引きはなく、DT の値が D (D は 2 以上の整数) であれば、D - 1 間隔にてダウンサンプリングされることを示している。同様に、DF の値が 1 であれば、周波数方向の間引きはなく、DF の値が D (D は 2 以上の整数) であれば、D - 1 間隔にてダウンサンプリングされることを示している。畳込み層に含まれる 2 次元配列面は、畳込み演算により得られる特徴 d ($d = 1, \dots, D$) と一対一に対応している。

20

【0045】

ニューラルネットワーク部 35 による処理の途中において、畳込み層におけるユニットの配列形状は、3 次元配列から 1 次元配列 (すなわちベクトル) に変換される。畳込み層よりも後の各層 ($l = 2, \dots, L$) は、複数個のユニットによる 1 次元配列の構造を有している。

【0046】

2 個の非線形層の各々は、複数個のユニットによる 1 次元配列の構造を有している。非線形層に含まれる個々のユニットは、非線形な出力関数を有している。この出力関数には、例えば、シグモイド (SIGMOID) 関数又は TANH 関数などが用いられる。

30

【0047】

出力層は、複数個の出力ユニットによる 1 次元配列の構造を有している。上記のとおり、出力ユニットはエレベータ 1 における検査対象個所と一対一に対応している。ニューラルネットワークは、個々の出力ユニットの活性度が、対応する検査対象個所における劣化度を示すものとなるように予め訓練されたものである。

【0048】

次に、図 7 のフローチャートを参照して、劣化個所推定装置 6 の動作について説明する。

40

【0049】

エレベータ 1 の運転中、オーディオインタフェース装置 5 は、マイクロホン $13_1 \sim 13_3$ が出力したアナログ信号 AS_1, AS_2, AS_3 を取得し、アナログ信号 AS_1, AS_2, AS_3 をデジタル信号 DS_1, DS_2, DS_3 に変換し、デジタル信号 DS_1, DS_2, DS_3 を劣化個所推定装置 6 に出力する処理を継続して実行する。オーディオインタフェース装置 5 が出力したデジタル信号 DS_1, DS_2, DS_3 は、メモリ 23 に一時的に記憶される。劣化個所推定装置 6 は、メモリ 23 に記憶されたデジタル信号 DS_1, DS_2, DS_3 、すなわちマイク信号 DS_1, DS_2, DS_3 に対して、以下のステップ $ST_1 \sim ST_4$ の処理を実行する。

50

【 0 0 5 0 】

まず、ステップ S T 1 にて、短時間フーリエ変換部 3 1 は、メモリ 2 3 に記憶されたマイク信号 D S 1 , D S 2 , D S 3 を取得する。短時間フーリエ変換部 3 1 は、マイク信号 D S 1 , D S 2 , D S 3 の各々に対する短時間フーリエ変換を実行することにより、マイク信号 D S 1 , D S 2 , D S 3 の各々に対応する短時間フーリエ変換係数の時系列を計算する。各時系列は複数個の短時間フーリエ変換係数により構成されており、個々の短時間フーリエ変換係数は複素周波数スペクトルを示している。

【 0 0 5 1 】

次いで、ステップ S T 2 にて、時系列配列生成部 3 2 は、短時間フーリエ変換部 3 1 がステップ S T 1 で計算した短時間フーリエ変換係数の時系列を用いて、複数個の時系列配列を生成する。具体的には、例えば、時系列配列生成部 3 2 は、マイク信号 D S 1 , D S 2 間の相互相関スペクトログラムと、マイク信号 D S 2 , D S 3 間の相互相関スペクトログラムと、マイク信号 D S 3 , D S 1 間の相互相関スペクトログラムと、マイク信号 D S 1 内の自己相関スペクトログラムと、マイク信号 D S 2 内の自己相関スペクトログラムと、マイク信号 D S 3 内の自己相関スペクトログラムとを生成する。

10

【 0 0 5 2 】

次いで、ステップ S T 3 にて、ニューラルネットワーク部 3 5 は、時系列配列生成部 3 2 がステップ S T 2 で生成した複数個の時系列配列の入力を受け付ける。ニューラルネットワーク部 3 5 は、時系列配列の入力に対して、検査対象個所の各々に対応する劣化度を出力する。

20

【 0 0 5 3 】

次いで、ステップ S T 4 にて、判定部 3 6 は、ニューラルネットワーク部 3 5 がステップ S T 3 で出力した劣化度を用いて、エレベータ 1 における劣化個所の有無を判定する。判定部 3 6 は、劣化個所が存在すると判定した場合、当該劣化個所と、当該劣化個所に対応する劣化度とを示す判定結果を出力する。他方、劣化個所が存在しないと判定した場合、判定部 3 6 は、その旨を示す判定結果を出力する。

【 0 0 5 4 】

次に、図 8 のフローチャートを参照して、図 7 に示すステップ S T 1 の処理、すなわち短時間フーリエ変換部 3 1 による処理の詳細について説明する。

【 0 0 5 5 】

まず、短時間フーリエ変換部 3 1 は、メモリ 2 3 に記憶されたマイク信号 D S 1 , D S 2 , D S 3 を取得する (ステップ S T 1 1)。

30

【 0 0 5 6 】

次いで、短時間フーリエ変換部 3 1 は、マイクロホン 1 3 ₁ ~ 1 3 ₃ のうちのいずれか 1 個のマイクロホンを選択する (ステップ S T 1 2)。以下、選択されたマイクロホンを示す番号を m (m は 0 < m < M を満たす整数) とする。短時間フーリエ変換部 3 1 は、選択したマイクロホン m に対応するマイク信号について、以下のステップ S T 1 3 ~ S T 1 8 の処理を実行する。ここでは、一例として m = 0 に対応するマイクロホン 1 3 ₁ が選択されたものとする。

【 0 0 5 7 】

なお、マイクロホン m に対応するマイク信号は T 個のフレームにより構成されており、各フレームを示す番号を t とする。また、当該マイク信号における信号列を g (m , i) と表記する。ここで、 i は信号列 g における離散時刻インデックスを示しており、 0 < i < N S (N S は集音サンプル数) を満たす整数である。短時間フーリエ変換部 3 1 は、フレーム t の各々について (ステップ S T 1 3)、以下のステップ S T 1 4 ~ T 1 8 の処理を実行する。

40

【 0 0 5 8 】

まず、短時間フーリエ変換部 3 1 は、選択したマイクロホン 1 3 ₁ に対応するマイク信号 D S 1 に対して、フレーム番号 t が 1 増加するごとに、フレーム位置を L F 点ずつ移動し (ステップ S T 1 4)、フレーム番号 t に対応するフレーム位置にてフレームを切り出

50

す(ステップST15)。ステップST14, ST15の処理は、例えば、以下の式(1)により実現される。

【0059】

$$\begin{aligned} & \text{frame}(i) \\ = & g(m, t \times LF + i) \quad (i = 0, 1, 2, \dots, W - 1) \quad (1) \end{aligned}$$

【0060】

ここで、Wは各フレームのフレーム長であり、LFはフレームの移動量である。実施の形態1においては、W = 1024、LF = 512に設定されている。

【0061】

次いで、短時間フーリエ変換部31は、切り出されたフレームを示す信号に対して時間窓を乗算する(ステップST16)。ステップST16の処理は、例えば、以下の式(2)により実現される。

【0062】

$$\begin{aligned} & x(i) \\ = & \text{frame}(i) \times \text{window}(i) \quad (i = 0, 1, 2, \dots, W - 1) \\ & \text{window}(i) \\ = & 0.54 - 0.46 \cos(2\pi i / (W - 1)) \quad (2) \end{aligned}$$

【0063】

ここで、window(i)は時間窓関数である。上記式(2)の例においては、ハミング窓関数を用いている。

【0064】

次いで、短時間フーリエ変換部31は、窓関数の乗算により得られた数列x(i)に対して高速フーリエ変換(Fast Fourier Transform, FFT)を実行する(ステップST17)。ステップST17の処理は、例えば、以下の式(3)により実現される。

【0065】

$$Zf = \text{FFT}(x[0:W]) \quad (f = 0, 1, 2, \dots, W - 1) \quad (3)$$

【0066】

ここで、Zfは複素周波数スペクトルを表し、x[0:W]は数列[x(0), x(1), ..., x(W-1)]を表している。また、FFT(x)は、数列xに対して高速フーリエ変換を実行するFFT演算関数を表している。

【0067】

次いで、短時間フーリエ変換部31は、複素周波数スペクトルZfの実部と虚部とを分離して、メモリ23に記憶させる(ステップST18)。ステップST18の処理は、例えば、以下の式(4)により実現される。

【0068】

$$\begin{aligned} X_{mtf} &= \text{Re}(Zf) \quad (0 \leq f < W/2) \\ Y_{mtf} &= \text{Im}(Zf) \quad (0 \leq f < W/2) \quad (4) \end{aligned}$$

【0069】

ここで、X_{mtf}はマイクロホンm、フレームt、周波数fにおける複素周波数スペクトルZfの実部を表し、Y_{mtf}はマイクロホンm、フレームt、周波数fにおける複素周波数スペクトルZfの虚部を表している。また、Re(c)は複素数c = a + bjの実部aを抽出する関数であり、Im(c)は複素数c = a + bjの虚部bを抽出する関数である。また、jは虚数単位であり、-1の平方根(すなわちj² = -1。ただし*はべき乗演算子)である。

【0070】

なお、上記式(3)に示す如くFFT演算の入力が実数の数列であるため、Zfの実部はfに関して偶対称性X_{mtf} = X_{mt(W-f)}を有し、Zfの虚部はfに関して奇対称性Y_{mtf} = -Y_{mt(W-f)}を有する。そこで、短時間フーリエ変換部31は、冗長なf > W/2の部分を切り捨て、0 ≤ f < W/2の部分のみをメモリ23に記憶させる。

10

20

30

40

50

【 0 0 7 1 】

短時間フーリエ変換部 3 1 は、残余のマイクロホン 1 3₂ , 1 3₃ に対応するマイク信号 D S 2 , D S 3 の各々について (ステップ S T 1 2)、上記と同様のステップ S T 1 3 ~ S T 1 8 の処理を実行する。この結果、メモリ 2 3 には、マイク信号 D S 1 , D S 2 , D S 3 の各々に対応する複素周波数スペクトル Z f の時系列、すなわち短時間フーリエ変換係数の時系列が記憶された状態となる。

【 0 0 7 2 】

次に、図 9 のフローチャートを参照して、図 7 に示すステップ S T 2 の処理のうち、相互相関演算部 3 3 による処理の詳細について説明する。

【 0 0 7 3 】

まず、相互相関演算部 3 3 は、マイクロホン 1 3₁ ~ 1 3₃ のうちのいずれか 2 個のマイクロホンの組合せを選択する (ステップ S T 2 1)。以下、選択された 2 個のマイクロホンのうちの一方のマイクロホンを示す番号を m とし、他方のマイクロホンを示す番号を n とする。m , n の各々は、0 < m < n < M を満たす整数である。

【 0 0 7 4 】

相互相関演算部 3 3 は、選択したマイクロホン m , n の各々に対応する複素周波数スペクトルの時系列について、以下のステップ S T 2 2 ~ S T 2 5 の処理を実行する。すなわち、相互相関演算部 3 3 は、フレーム t の各々について (ステップ S T 2 2)、以下のステップ S T 2 3 ~ S T 2 5 の処理を実行する。

【 0 0 7 5 】

まず、相互相関演算部 3 3 は、マイクロホン m に対応する複素周波数スペクトルの実部 X m t f 及び虚部 Y m t f と、マイクロホン n に対応する複素周波数スペクトルの実部 X n t f 及び虚部 Y n t f とをメモリ 2 3 から取得する。相互相関演算部 3 3 は、マイクロホン m に対応する複素周波数スペクトルとマイクロホン n に対応する複素周波数スペクトルとの乗算により、複素相互相関スペクトル C f を計算する (ステップ S T 2 3)。ステップ S T 2 3 の処理は、例えば、以下の式 (5) により実現される。

【 0 0 7 6 】

$$C f = (X m t f * X n t f + Y m t f * Y n t f) + (X m t f * Y n t f - Y m t f * X n t f) j \quad (5)$$

【 0 0 7 7 】

次いで、相互相関演算部 3 3 は、複素相互相関スペクトル C f の絶対値を取り、当該絶対値を対数に変換することによりデシベル値 (d B 値) を取る。これにより、複素相互相関スペクトル C f が強度に変換されて (ステップ S T 2 4)、ダイナミックレンジが圧縮される。ステップ S T 2 4 の処理は、例えば、以下の式 (6) により実現される。

【 0 0 7 8 】

$$H f = 1 0 * L O G 1 0 (A B S (C f)) \quad (0 \leq f < W / 2) \quad (6)$$

【 0 0 7 9 】

ここで、H f は相互相関スペクトルの強度、L O G 1 0 (x) は常用対数関数、A B S (c) は絶対値関数である。絶対値関数は、複素数 c = a + b j (a , b は実数、j は虚数単位) に対して、絶対値を S Q R T (a * * 2 + b * * 2) (S Q R T は平方根関数) により計算する関数である。

【 0 0 8 0 】

メモリ 2 3 には、組合せ (m , n) に対応する相互相関スペクトル H f の時系列による時系列配列、すなわち相互相関スペクトログラム H m n t f を記憶するための領域が用意されている。相互相関演算部 3 3 は、計算した H f を当該領域のうちのフレーム t に対応するアドレスに記憶させる (ステップ S T 2 5)。ステップ S T 2 5 の処理は、例えば、以下の式 (7) により実現される。

【 0 0 8 1 】

$$H m n t f = H f \quad (0 \leq f < W / 2) \quad (7)$$

【 0 0 8 2 】

10

20

30

40

50

相互相関演算部 33 は、すべてのフレーム t について上記ステップ ST 23 ~ ST 25 の処理が終了すると、次の組合せ (m, n) について上記ステップ ST 22 ~ ST 25 の処理を実行する (ステップ ST 21)。最終的に、相互相関演算部 33 は、すべての組合せ (m, n) について上記ステップ ST 22 ~ ST 25 の処理を実行する。

【0083】

以上の処理の結果、メモリ 23 には、マイク信号 DS1, DS2 間の相互相関スペクトルの時系列、マイク信号 DS2, DS3 間の相互相関スペクトルの時系列、及びマイク信号 DS3, DS1 間の相互相関スペクトルの時系列が記憶された状態、すなわち各時系列による相互相関スペクトログラム $H_{m,n,t,f}$ が記憶された状態となる。個々の相互相関スペクトログラム $H_{m,n,t,f}$ は、以下の式 (8) を満たすものである。

【0084】

$$H_{m,n,t,f} \quad (0 \leq m < n < M, 0 \leq t < T, 0 \leq f < W/2) \quad (8)$$

【0085】

次に、図 10 のフローチャートを参照して、図 7 に示すステップ ST 2 の処理のうち、自己相関演算部 34 による処理の詳細について説明する。

【0086】

まず、自己相関演算部 34 は、マイクロホン 13₁ ~ 13₃ のうちのいずれか 1 個のマイクロホンを選択する (ステップ ST 31)。以下、選択されたマイクロホンを示す番号を m (m は $0 \leq m < M$ を満たす整数) とする。

【0087】

自己相関演算部 34 は、選択したマイクロホン m に対応する複素周波数スペクトルの時系列について、以下のステップ ST 32 ~ ST 35 の処理を実行する。すなわち、自己相関演算部 34 は、フレーム t の各々について (ステップ ST 32)、以下のステップ ST 33 ~ ST 35 の処理を実行する。

【0088】

まず、自己相関演算部 34 は、マイクロホン m に対応する複素周波数スペクトルの実部 $X_{m,t,f}$ 及び虚部 $Y_{m,t,f}$ をメモリ 23 から取得する。自己相関演算部 34 は、マイクロホン m に対応する複素周波数スペクトルと、この複素周波数スペクトルの複素共役との乗算により、自己相関スペクトル A_f を計算する (ステップ ST 33)。ステップ ST 33 の処理は、例えば、以下の式 (9) により実現される。なお、フーリエ変換の理論により自己相関スペクトル A_f の虚数部は 0 となるため、式 (9) において当該虚数部の計算は省略している。

【0089】

$$A_f = X_{m,t,f} * X_{m,t,f} + Y_{m,t,f} * Y_{m,t,f} \quad (0 \leq f < W/2) \quad (9)$$

【0090】

次いで、自己相関演算部 34 は、自己相関スペクトル A_f の絶対値を取り、当該絶対値を対数に変換することによりデシベル値 (dB 値) を取る。これにより、自己相関スペクトル A_f が強度 G_f に変換されて (ステップ ST 34)、ダイナミックレンジが圧縮される。ステップ ST 34 の処理は、例えば、以下の式 (10) により実現される。

【0091】

$$G_f = 10 * \text{LOG}_{10} (\text{ABS} (A_f)) \quad (0 \leq f < W/2) \quad (10)$$

【0092】

メモリ 23 には、マイクロホン m に対応する自己相関スペクトルの時系列による時系列配列、すなわち自己相関スペクトログラム $G_{m,t,f}$ を記憶するための領域が用意されている。自己相関演算部 34 は、計算した G_f を当該領域のうちのフレーム t に対応するアドレスに記憶させる (ステップ ST 35)。ステップ ST 35 の処理は、例えば、以下の式 (11) により実現される。

【0093】

10

20

30

40

50

$$G m t f = G f \quad (0 \quad f \quad W / 2) \quad (1 1)$$

【 0 0 9 4 】

自己相関演算部 3 4 は、すべてのフレーム t について上記ステップ $S T 3 3 \sim S T 3 5$ の処理が終了すると、次のマイクロホン m について上記ステップ $S T 3 2 \sim S T 3 5$ の処理を実行する（ステップ $S T 3 1$ ）。最終的に、自己相関演算部 3 4 は、すべてのマイクロホン m について上記ステップ $S T 3 2 \sim S T 3 5$ の処理を実行する。

【 0 0 9 5 】

以上の処理の結果、メモリ 2 3 には、マイク信号 $D S 1$ 内の自己相関スペクトルの時系列、マイク信号 $D S 2$ 内の自己相関スペクトルの時系列、及びマイク信号 $D S 3$ 内の自己相関スペクトルの時系列が記憶された状態、すなわち各時系列による自己相関スペクトログラム $G m t f$ が記憶された状態となる。個々の自己相関スペクトログラム $G m t f$ は、以下の式 (1 2) を満たすものである。

【 0 0 9 6 】

$$G m t f \quad (0 \quad m < M , 0 \quad t < T , 0 \quad f \quad W / 2) \quad (1 2)$$

【 0 0 9 7 】

次に、図 4 ~ 図 6 と図 1 1 のフローチャートとを参照して、図 7 に示すステップ $S T 3$ の処理、すなわちニューラルネットワーク部 3 5 による処理の詳細について説明する。

【 0 0 9 8 】

まず、ニューラルネットワーク部 3 5 は、複数個（実施の形態 1 においては 3 個）の相互相関スペクトログラム $H m n t f$ 及び複数個（実施の形態 1 においては 3 個）の自己相関スペクトログラム $G m t f$ をメモリ 2 3 から取得する。ニューラルネットワーク部 3 5 は、相互相関スペクトログラム $H m n t f$ の各々に対応する 2 次元配列面と自己相関スペクトログラム $G m t f$ の各々に対応する 2 次元配列面とが積層された 3 次元配列、すなわち図 5 に示す 3 次元配列を生成する（ステップ $S T 4 1$ ）。ステップ $S T 4 1$ の処理は、例えば、以下の式 (1 3) に従いメモリ 2 3 に値を書き込むことで実現される。

【 0 0 9 9 】

$$\begin{aligned} &g \quad 0 \\ &for \quad m \quad such \quad that \quad 0 \quad m < M : \\ &\quad E g t f = G m t f \quad (0 \quad f \quad W / 2) \\ &\quad g \quad g + 1 \\ &for \quad m \quad such \quad that \quad 0 \quad m < M - 1 : \\ &\quad for \quad m \quad such \quad that \quad m < n < M : \\ &\quad \quad E g t f = H m n t f \quad (0 \quad f \quad W / 2) \\ &\quad \quad g \quad g + 1 \end{aligned} \quad (1 3)$$

【 0 1 0 0 】

ここで、 $E g t f$ は、周波数 f 、フレーム t 、及び 2 次元配列面 g に対応する 3 次元配列の値である。ニューラルネットワーク部 3 5 は、生成した 3 次元配列をニューラルネットワークの入力層に入力する。

【 0 1 0 1 】

次いで、ニューラルネットワーク部 3 5 は、入力層内の各ユニットの活性度から、畳込み層内の対応するユニットの活性度をそれぞれ計算する（ステップ $S T 4 2$ ）。このとき、畳込み層は、入力層内の 3 次元領域 $g t f$ に対して畳込み演算を実行する。ステップ $S T 4 2$ の処理は、例えば、以下の式 (1 4) により実現される。

【 0 1 0 2 】

$$l \quad 1 \\ A l k = O F U N (\quad g t f \quad g t f (k) \quad W l g t f k * E g t f + B l t k) \quad (1 4)$$

【 0 1 0 3 】

ここで、 l はニューラルネットワーク内の各層を示すインデックス（ここでは畳込み層を示す $l = 1$ ）、 k は畳込み層内の各ユニットを示すインデックス、 $A l k$ はユニット k

10

20

30

40

50

の活性度、 $OFUN$ は出力関数、 \sum は総和演算である。また、 $gtf(k)$ は、ユニット k と結合する入力層内の各ユニットを示すインデックス (g, t, f) の集合である。この集合内の各 (g, t, f) は、入力層において当該ユニットが配置された2次元配列面、入力層において当該ユニットが対応するフレーム、入力層において当該ユニットが対応する周波数をそれぞれ示すインデックスである。 $Wlgtfk$ は $Egtf$ に対するユニット k の荷重係数を表しており、 Blk はユニット k が有するバイアスを表している。なお、畳込み層におけるインデックス k は、畳込み層に含まれる全ユニットをなめるように畳込み演算を実行する。

【0104】

次いで、ニューラルネットワーク部35は、畳込み層におけるユニットの配列形状を3次元配列から1次元配列に変換する(ステップST43)。この処理は、上記 Alk を k をインデックスとして1次元配列に格納することにより実現される。

10

【0105】

次いで、ニューラルネットワーク部35は、非線形層 l ($l = 2, \dots, L - 1$)の各々について(ステップST44)、順次、以下のステップST45の処理を実行する。すなわち、ニューラルネットワーク部35は、層 p ($p = l - 1$)内の各ユニットの活性度から、層 l 内の対応するユニットの活性度をそれぞれ計算する(ステップST45)。より具体的には、ニューラルネットワーク部35は、層 p 内の各ユニットの活性度に荷重係数を乗算し、複数個のユニットに係る乗算値の総和を求め、当該総和の値にバイアスを加算し、さらに、出力関数を通すことにより、層 l 内の対応するユニットの活性度をそれぞれ計算する。ステップST45の処理は、例えば、以下の式(15)により実現される。

20

【0106】

$$p \quad l - 1$$

$$Alk = OFUN \left(\sum_i Wlik * Api + Blk \right) \quad (15)$$

【0107】

ここで、 Alk は層 l 内のユニット k の活性度、 $OFUN$ は出力関数、 \sum はユニット k と結合する層 p 内のユニット i に関する総和演算、 Api は層 p 内のユニット i の活性度、 Blk はバイアスである。出力関数 $OFUN$ には、非線形な関数であるシグモイド(SIGMOID)関数又はTANH関数を用いることができる。

【0108】

30

次いで、ニューラルネットワーク部35は、出力層 L に対する前層である非線形層 $L - 1$ 内の各ユニットの活性度から、出力層 L 内の対応するユニットの活性度をそれぞれ計算する(ステップST46)。ステップST46の処理は、例えば、以下の式(16)により実現される。

【0109】

$$p \quad L - 1$$

$$ALk = \sum_i WLi k * Api + BLk \quad (0 \leq k < K) \quad (16)$$

【0110】

ここで、 ALk は層 L 内のユニット k の活性度、 \sum はユニット k と結合する層 p ($p = L - 1$)内のユニット i に関する総和演算、 Api は層 p ($p = L - 1$)内のユニット i の活性度、 BLk はバイアス、 K はエレベータ1における検査対象個所の個数である。なお、実施の形態1において、ニューラルネットワーク部35は線形な劣化度を計算するものであるため、出力層には出力関数が設けられておらず、当該出力関数による非線形処理は実行されない。

40

【0111】

以下、添え字 k は、出力層 L 内の各ユニットを示すとともに、当該ユニットに対応する検査対象個所を示すものとする。メモリ23には、検査対象個所 k の各々に対応する劣化度 Rk を記憶するための領域が用意されている。ニューラルネットワーク部35は、上記式(16)により計算した活性度 ALk を劣化度 Rk としてメモリ23の当該領域に記憶させる(ステップST47)。ステップST47の処理は、例えば、以下の式(17)に

50

より実現される。

【0112】

$$R_k = A L_k \quad (0 \leq k < K) \quad (17)$$

【0113】

次に、図12のフローチャートとを参照して、図7に示すステップST4の処理、すなわち判定部36による処理の詳細について説明する。

【0114】

まず、判定部36は、検査対象個所kの各々に対応する劣化度R_kをメモリ23から取得する(ステップST51)。

【0115】

次いで、判定部36は、取得した劣化度R_kのうちの最大の劣化度R*と、最大の劣化度R*に対応する検査対象個所kを示すインデックスk*とを求める(ステップST52)。ステップST52の処理は、例えば、以下の式(18)により実現される。

【0116】

$$\begin{aligned} k^* &= \text{ARGMAX}_k R_k \\ R^* &= R_{k^*} \end{aligned} \quad (18)$$

【0117】

ここで、ARGMAX_k R_kは、添え字kに関し最大値をとるR_kのインデックス(これをk*とすると、k*は、R_{k*} = R_kを満足する)を返す関数である。

【0118】

次いで、判定部36は、最大の劣化度R*を所定の閾値とと比較する(ステップST53)。

【0119】

最大の劣化度R*が閾値以下である場合(ステップST53“NO”)、判定部36は劣化個所が存在しないと判定する(ステップST54)。判定部36は、劣化個所を示すインデックスが-1であり、かつ、当該劣化個所に対応する劣化度が0である判定結果を出力する(ステップST55)。すなわち、この場合の判定結果は、エレベータ1に劣化個所が存在しないことを示すものである。

【0120】

他方、最大の劣化度R*が閾値を超えている場合(ステップST53“YES”)、判定部36は劣化個所が存在すると判定する(ステップST56)。判定部36は、劣化個所を示すインデックスがk*であり、かつ、当該劣化個所に対応する劣化度がR*である判定結果を出力する(ステップST57)。すなわち、この場合の判定結果は、エレベータ1における劣化個所と、当該劣化個所に対応する劣化度とを示すものである。

【0121】

なお、時系列配列生成部32が生成する時系列配列は、相互相関スペクトログラムH_{m n t f}及び自己相関スペクトログラムG_{m t f}に限定されるものではない。例えば、時系列配列生成部32は、相互相関スペクトログラムH_{m n t f}を生成せずに自己相関スペクトログラムG_{m t f}のみを生成するものであっても良い。これにより、自己相関スペクトログラムG_{m t f}のみがニューラルネットワークに入力されるため、ニューラルネットワークにおけるパラメータ数を削減することができる。

【0122】

または、例えば、時系列配列生成部32は、相互相関スペクトログラムH_{m n t f}及び自己相関スペクトログラムG_{m t f}に代えて、マイク信号D_{S1}、D_{S2}、D_{S3}の各々に対応する自己相関スペクトルA_fの実部の時系列による時系列配列と、マイク信号D_{S1}、D_{S2}、D_{S3}の各々に対応する自己相関スペクトルA_fの虚部の時系列による時系列配列とを生成するものであっても良い。これらの時系列配列は、相互相関スペクトログラムH_{m n t f}及び自己相関スペクトログラムG_{m t f}と同様に、第1次元を周波数方向として第2次元をフレーム方向とした2次元配列により表すことができる。この場合、強度変換及び相互相関演算などに相当する処理をニューラルネットワーク内にて実行するこ

10

20

30

40

50

とが求められる。このため、ニューラルネットワークによる出力の精度を維持する観点から、ニューラルネットワーク内の層数を増やすのが好適である。

【0123】

または、例えば、時系列配列生成部32は、相互相関スペクトログラム $H_{m,n}(t,f)$ 及び自己相関スペクトログラム $G_m(t,f)$ に代えて、マイク信号 D_{S1} 、 D_{S2} 、 D_{S3} の各々に対応する複素周波数スペクトル Z_f の実部の時系列による時系列配列と、マイク信号 D_{S1} 、 D_{S2} 、 D_{S3} の各々に対応する複素周波数スペクトル Z_f の虚部の時系列による時系列配列とを生成するものであっても良い。これらの時系列配列は、相互相関スペクトログラム $H_{m,n}(t,f)$ 及び自己相関スペクトログラム $G_m(t,f)$ と同様に、第1次元を周波数方向として第2次元をフレーム方向とした2次元配列により表すことができる。この場合、強度変換、自己相関演算及び相互相関演算などに相当する処理をニューラルネットワーク内にて実行することが求められる。このため、ニューラルネットワークによる出力の精度を維持する観点から、ニューラルネットワーク内の層数を増やすのが好適である。

10

【0124】

また、劣化個所が存在すると判定した場合に判定部36が出力する判定結果は、少なくとも劣化個所を示すものであれば良く、当該劣化個所に対応する劣化度を示さないものであっても良い。

【0125】

また、判定部36は、ニューラルネットワーク部35が出力した劣化度 R_k を用いて劣化個所に関する何らかの判定を実行するものであれば良く、当該判定は劣化個所の有無の判定に限定されるものではない。

20

【0126】

また、マイクロホンアレイ装置4は複数個のマイクロホンを有するものであれば良く、当該マイクロホンの個数は3個に限定されるものではない。例えば、マイクロホンアレイ装置4は4個のマイクロホンを有するものであっても良い。この場合、これらのマイクロホンは、載置面12の円周部に沿って、正四角形の各頂点に対応する位置に配置されたものであっても良い。マイクロホンの個数を増やすことにより、音の到来方向に対する分解能が向上するため、互いにより近接して配置された検査対象個所を識別することが可能となる。なお、マイクロホンの個数が増えるにつれて、ニューラルネットワークにおけるパラメータ数を増やすことが求められる。

30

【0127】

また、マイクロホンアレイ装置4は、カゴ3の天井部に代えてカゴ3の床部に設けられたものであっても良い。そのほか、マイクロホンアレイ装置4は、昇降路2内の如何なる個所に設けられたものであっても良い。ただし、音の到来方向に対する分解能を向上しつつマイクロホンの個数を低減する観点から、マイクロホンアレイ装置4はカゴ3などの移動体に設けるのが好適である。

【0128】

また、検査対象機器は、エレベータ1に限定されるものではない。検査対象機器は、例えば鉄道車両であっても良い。この場合、マイクロホンアレイ装置4、オーディオインタフェース装置5及び劣化個所推定装置6は、当該鉄道車両に設けられたものであっても良い。そのほか、検査対象機器は、移動体を含む機器又は移動体により構成された機器であれば、如何なる機器であっても良い。

40

【0129】

以上のように、実施の形態1の劣化個所推定装置6は、検査対象機器に設けられた複数個のマイクロホン $13_1 \sim 13_3$ の各々に対応するマイク信号 D_{S1} 、 D_{S2} 、 D_{S3} を取得して、マイク信号 D_{S1} 、 D_{S2} 、 D_{S3} の各々に対応する短時間フーリエ変換係数の時系列を計算する短時間フーリエ変換部31と、短時間フーリエ変換係数の時系列を用いてニューラルネットワークに対する入力用の時系列配列を生成する時系列配列生成部32と、ニューラルネットワークにより構成されており、時系列配列の入力を受け付けて検査対象機器における検査対象個所に対応する劣化度を出力するニューラルネットワーク部

50

35と、劣化度を用いて検査対象機器における劣化個所を判定する判定部36とを備える。これにより、音の到来方向を考慮することが可能となり、劣化個所の推定精度を向上することができる。

【0130】

また、検査対象機器は移動体を含むものであり、マイクロホン13₁～13₃は移動体に設けられている。これにより、音の到来方向を考慮することを可能としつつ、マイクロホンの個数を低減することができる。

【0131】

また、実施の形態1の劣化個所推定システム100は、検査対象機器に設けられた複数個のマイクロホン13₁～13₃を備える。劣化個所推定システム100は、マイクロホン13₁～13₃の各々に対応するマイク信号DS1, DS2, DS3を取得して、マイク信号DS1, DS2, DS3の各々に対応する短時間フーリエ変換係数の時系列を計算する短時間フーリエ変換部31と、短時間フーリエ変換係数の時系列を用いてニューラルネットワークに対する入力用の時系列配列を生成する時系列配列生成部32と、ニューラルネットワークにより構成されており、時系列配列の入力を受け付けて検査対象機器における検査対象個所に対応する劣化度を出力するニューラルネットワーク部35と、劣化度を用いて検査対象機器における劣化個所を判定する判定部36とを有する劣化個所推定装置6を備える。これにより、音の到来方向を考慮することが可能となり、劣化個所の推定精度を向上することができる。

【0132】

また、実施の形態1の故障箇所推定方法は、短時間フーリエ変換部31が、検査対象機器に設けられた複数個のマイクロホン13₁～13₃の各々に対応するマイク信号DS1, DS2, DS3を取得して、マイク信号DS1, DS2, DS3の各々に対応する短時間フーリエ変換係数の時系列を計算するステップ(ステップST1)と、時系列配列生成部32が、短時間フーリエ変換係数の時系列を用いてニューラルネットワークに対する入力用の時系列配列を生成するステップ(ステップST2)と、ニューラルネットワークにより構成されたニューラルネットワーク部35が、時系列配列の入力を受け付けて検査対象機器における検査対象個所に対応する劣化度を出力するステップ(ステップST3)と、判定部36が、劣化度を用いて検査対象機器における劣化個所を判定するステップ(ステップST4)とを備える。これにより、音の到来方向を考慮することが可能となり、劣化個所の推定精度を向上することができる。

【0133】

なお、本願発明はその発明の範囲内において、実施の形態の任意の構成要素の変形、もしくは実施の形態の任意の構成要素の省略が可能である。

【産業上の利用可能性】

【0134】

本発明の劣化個所推定装置は、例えば、エレベータ又は鉄道車両などの検査対象機器における劣化個所の推定に用いることができる。

【符号の説明】

【0135】

1 エレベータ、2 昇降路、3 カゴ、4 マイクロホンアレイ装置、5 オーディオインタフェース装置、6 劣化個所推定装置、11 台座、12 載置面、13₁, 13₂, 13₃ マイクロホン、21 入出力インタフェース、22 プロセッサ、23 メモリ、31 短時間フーリエ変換部、32 時系列配列生成部、33 相互相関演算部、34 自己相関演算部、35 ニューラルネットワーク部、36 判定部、100 劣化個所推定システム。

【要約】

劣化個所推定装置(6)は、検査対象機器に設けられた複数個のマイクロホン(13₁～13₃)の各々に対応するマイク信号(DS1, DS2, DS3)を取得して、マイク信号(DS1, DS2, DS3)の各々に対応する短時間フーリエ変換係数の時系列を計

10

20

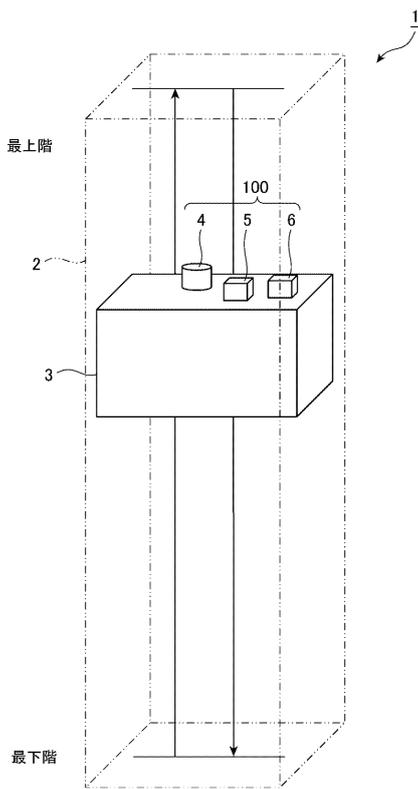
30

40

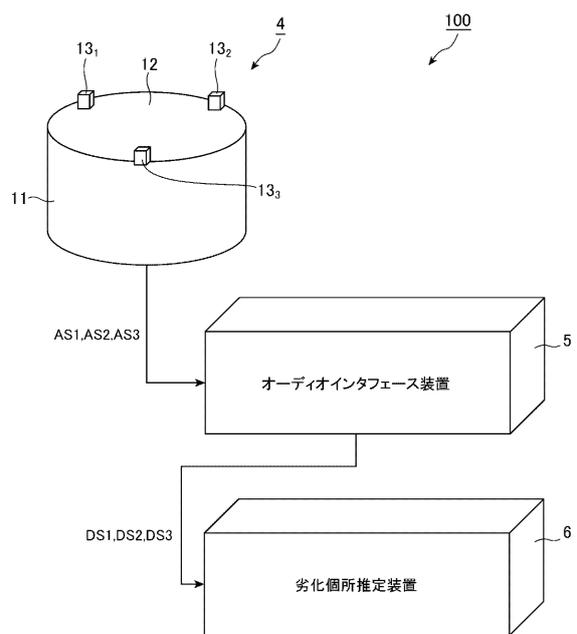
50

算する短時間フーリエ変換部(31)と、短時間フーリエ変換係数の時系列を用いてニューラルネットワークに対する入力用の時系列配列を生成する時系列配列生成部(32)と、ニューラルネットワークにより構成されており、時系列配列の入力を受け付けて検査対象機器における検査対象個所に対応する劣化度を出力するニューラルネットワーク部(35)と、劣化度を用いて検査対象機器における劣化個所を判定する判定部(36)とを備える。

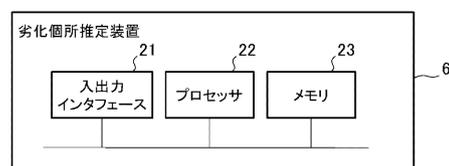
【図1A】



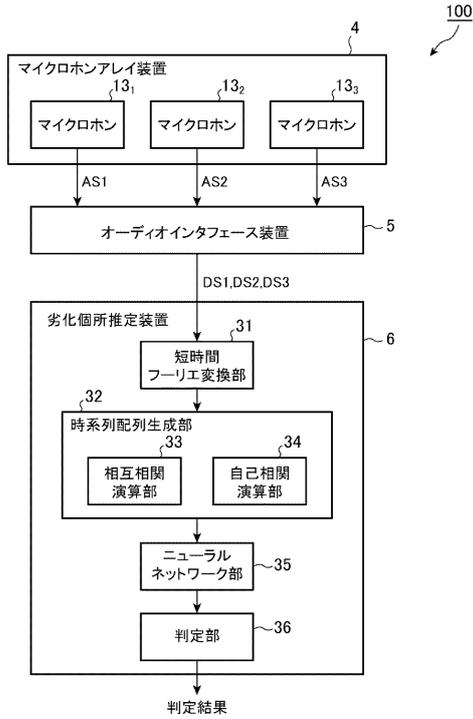
【図1B】



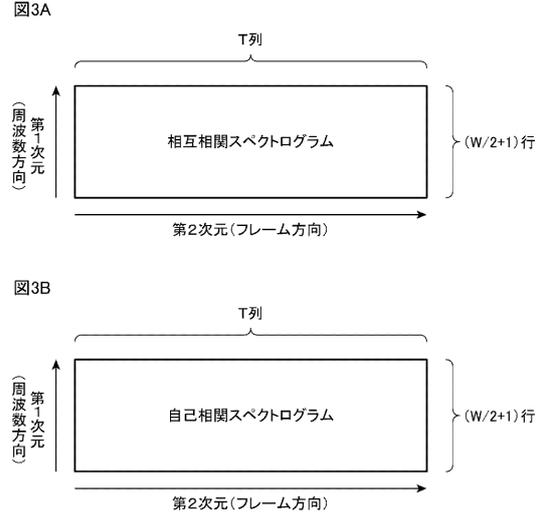
【図1C】



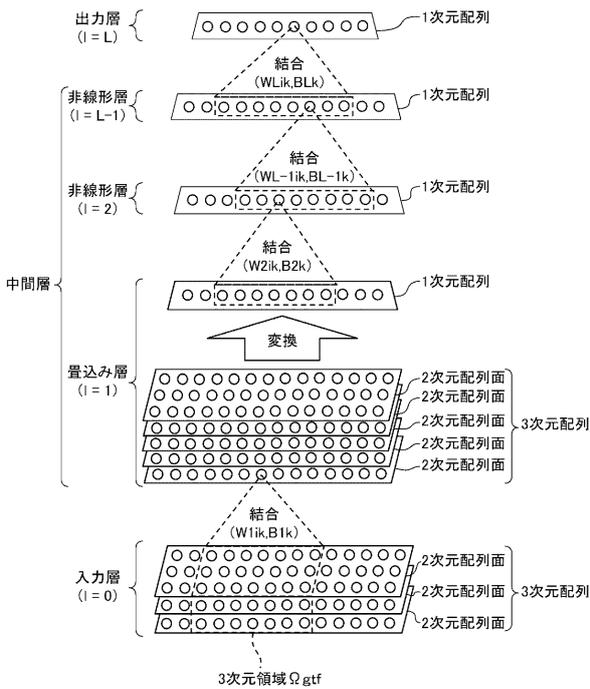
【図2】



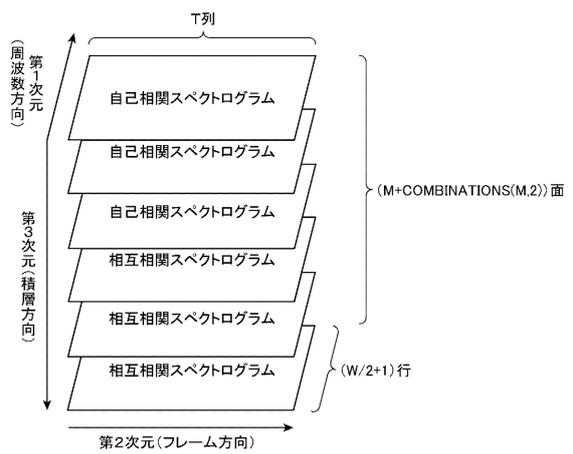
【図3】



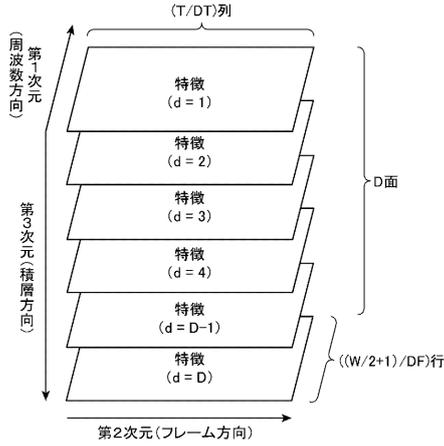
【図4】



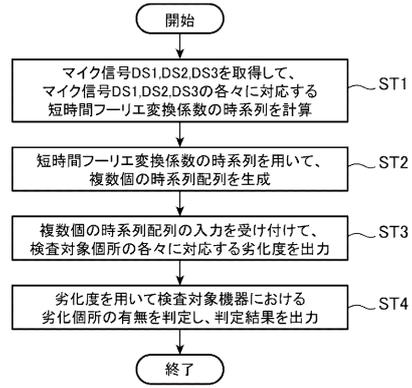
【図5】



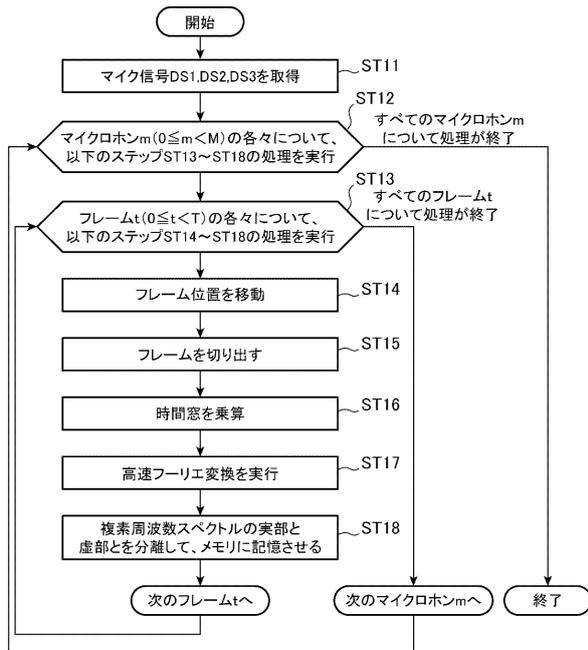
【図6】



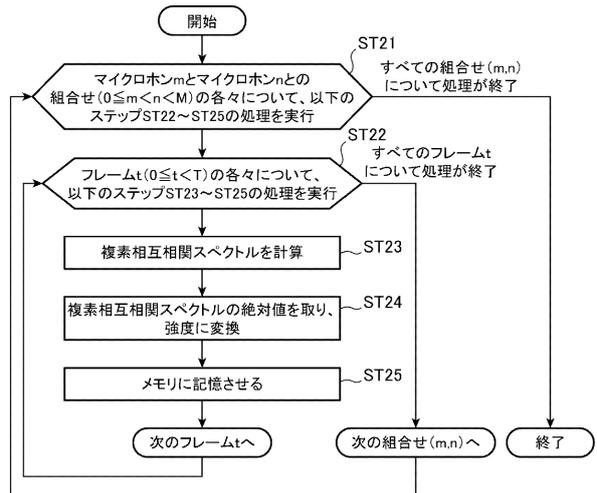
【図7】



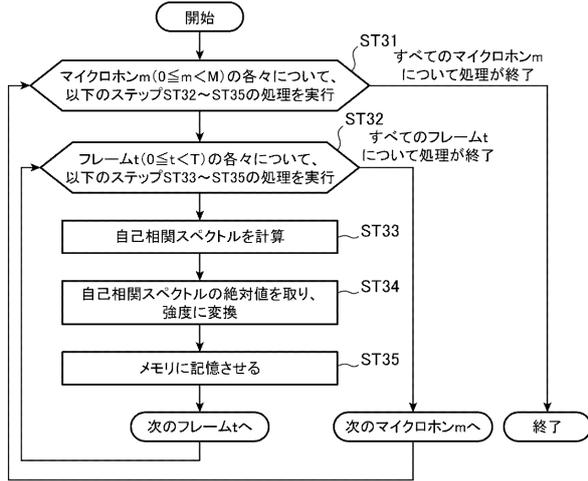
【図8】



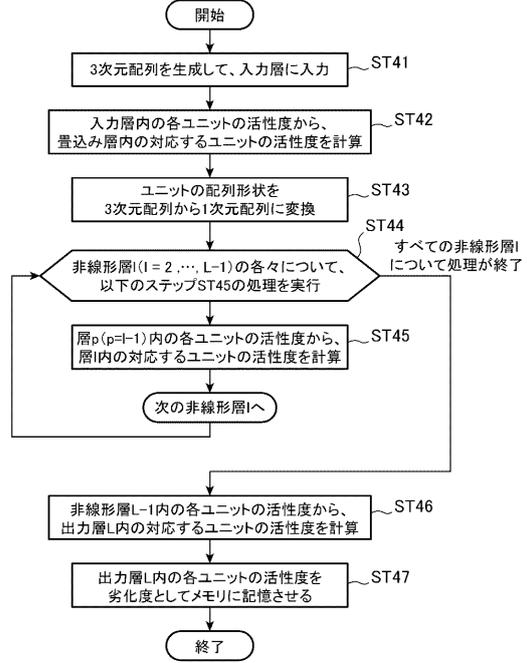
【図9】



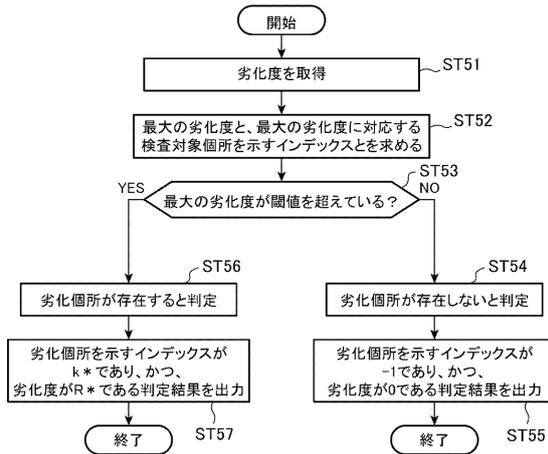
【図10】



【図11】



【図12】



フロントページの続き

(72)発明者 阿部 芳春
東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内

審査官 田中 秀直

(56)参考文献 特開2014-105075(JP,A)
特許第5996153(JP,B1)
特開2009-270843(JP,A)
米国特許出願公開第2013/0263667(US,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01N 29/00 - 29/52

G01H 1/00 - 17/00

B66B 5/00

G01M 17/08