

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局

(43) 国際公開日  
2024年12月5日(05.12.2024)



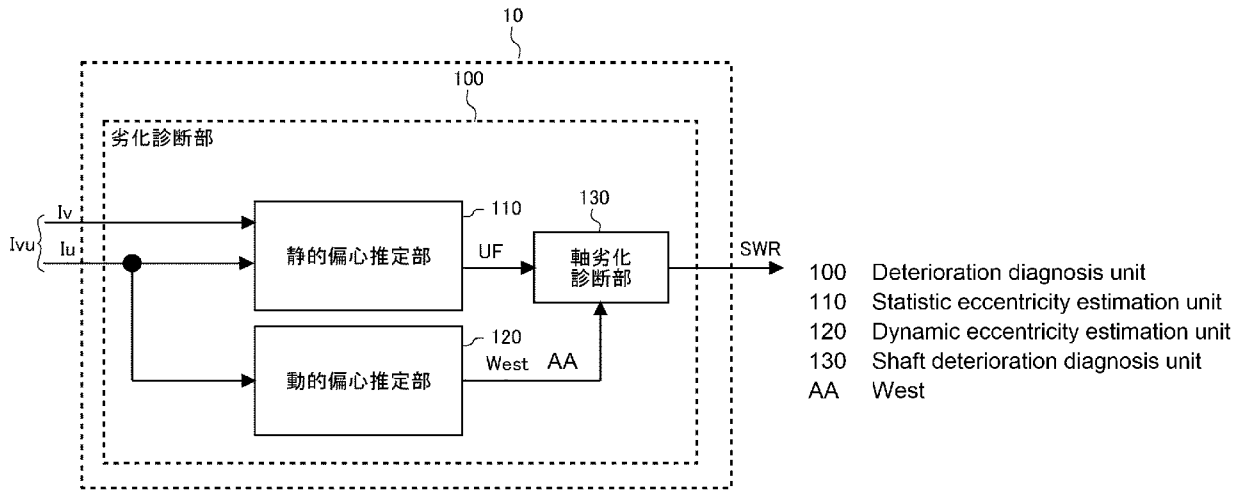
(10) 国際公開番号

WO 2024/247114 A1

- (51) 国際特許分類:  
*G01R 31/34* (2020.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2023/020114
- (22) 国際出願日: 2023年5月30日(30.05.2023)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人: 三菱電機株式会社(MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 和田 康彦(WADA Yasuhiko); 〒1008310 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 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 弁理士法人きさ特許商標事務所 (KISA PATENT & TRADEMARK FIRM); 〒1050001 東京都港区虎ノ門二丁目10番1号 虎ノ門ツインビルディング東棟8階 Tokyo (JP).
- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS,

(54) Title: DETERIORATION DIAGNOSIS DEVICE, DETERIORATION DIAGNOSIS SYSTEM, DETERIORATION ESTIMATION TRAINING DEVICE, AND DETERIORATION DIAGNOSIS METHOD

(54) 発明の名称: 劣化診断装置、劣化診断システム、劣化推定学習装置および劣化診断方法



(57) Abstract: This deterioration diagnosis device for diagnosing the progress of deterioration in an apparatus equipped with an electric motor comprises: a dynamic eccentricity estimation unit that estimates, on the basis of a current flowing through the electric motor, the degree of dynamic eccentricity of a rotation shaft forming the apparatus; and a deterioration diagnosis unit that diagnoses a shaft deterioration degree pertaining to the rotation shaft on the basis of the estimation result.

(57) 要約: 電動機が搭載された機器における劣化の進行を診断する劣化診断装置であって、電動機に流れる電流に基づいて、機器を構成する回転軸の動的偏心の度合いを推定する動的偏心推定部と、推定結果に基づいて、回転軸に係る軸劣化度を診断する劣化診断部とを備えるものである。

WO 2024/247114 A1

MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類：

- 一 国際調査報告 (条約第21条(3))

## 明 細 書

発明の名称：

劣化診断装置、劣化診断システム、劣化推定学習装置および劣化診断方法

### 技術分野

[0001] この技術は、機器の劣化を診断する劣化診断装置、劣化診断システム、劣化推定学習装置および劣化診断方法に関するものである。特に、機器が有する回転軸に関する劣化の診断に係るものである。

### 背景技術

[0002] 冷凍サイクル装置などを構成する機器である圧縮機などのように、電動機を搭載する機器は、電動機からの動力を伝える回転軸（以下、軸という）および軸を支える軸受を有する。たとえば、圧縮機を稼働させる場合、圧縮機の故障原因は、軸受の劣化または軸受の破損に起因することが多い。軸受が摩耗して劣化が進行した状態で機器を稼働させると、電動機が停止して、圧縮機の稼働に大きなダウンタイム（停止時間）が生じ、圧縮機の稼働率を低下させる。

[0003] このため、電動機の軸受などの状態から故障発生を予測することが望まれる。そして、電動機の軸受などが摩耗し、故障などが発生するまで劣化が進行する前に、たとえば、電動機の軸受を修理するなどの適切な措置を行うことが好ましい。これにより、圧縮機のダウンタイムを削減または短縮することができ、圧縮機の稼働率を向上させ、信頼性を向上させることができる。そこで、電流計測部で得られた二種類の電流データを複数周期重ねてリサージュ図形の分布図を作成し、分布図の評価結果より、回転機システムの状態を診断する劣化診断装置が提案されている（たとえば、特許文献1参照）。

### 先行技術文献

#### 特許文献

[0004] 特許文献1：国際公開第2018/158910号

### 発明の概要

## 発明が解決しようとする課題

- [0005] 特許文献1の劣化診断装置は、複数の相電流からリサージュ図形を指標として劣化を推定する。しかしながら、特許文献1の劣化診断装置は、機器を構成する軸受などの損傷による回転軸における偏心発生の詳細に関する事象までは想定されていない。このため、特許文献1の劣化診断装置では、リサージュ図形から、回転軸に係る劣化に関して、より高精度な診断を行うことが困難であった。
- [0006] そこで、上記のような課題を解決するため、回転軸に係る劣化診断を、より高精度に行うことができる劣化診断装置、劣化診断システム、劣化推定学習装置および劣化診断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

- [0007] 開示に係る劣化診断装置は、電動機が搭載された機器における劣化の進行を診断する劣化診断装置であって、電動機に流れる電流に基づいて、機器を構成する回転軸の動的偏心の度合いを推定する動的偏心推定部と、推定結果に基づいて、回転軸に係る軸劣化度を診断する劣化診断部とを備えるものである。
- [0008] また、開示に係る劣化診断システムは、電気通信回線を介して送られる信号に含まれる、電動機が搭載された機器に係るデータを記録する記録装置と、記録装置が記録する機器に流れる電流に関するデータに基づいて、機器を構成する回転軸に係る軸劣化度を診断する上記の劣化診断装置とを備えるものである。
- [0009] さらに、開示に係る劣化推定学習装置は、電動機が搭載された機器における劣化の推定に関する学習を行う劣化推定学習装置であって、電動機の駆動周波数に応じて電動機に流れる電流のデータと、対応する劣化量のデータとに基づいて、機械学習による学習処理を行い、機器を構成する回転軸の動的偏心の度合いを推定する学習済みモデルを生成する学習部と、生成した学習済みモデルを保存する記憶部とを備えるものである。
- [0010] そして、開示に係る劣化診断方法は、電動機が搭載された機器における劣

化の進行を診断する劣化診断方法であって、電動機に流れる電流に基づいて、機器を構成する回転軸の動的偏心の度合いを推定する動的偏心推定工程と、推定結果に基づいて、回転軸に係る軸劣化度を診断する劣化診断工程とを有するものである。

## 発明の効果

[0011] 開示に係る劣化診断装置などによれば、電動機に流れる電流に基づいて動的偏心の度合いを推定し、推定結果に基づく診断を行うことで、回転軸に係る軸劣化度の診断を高精度に行うことができる。このため、機器の信頼性向上をはかることができる。

## 図面の簡単な説明

[0012] [図1]実施の形態1に係る劣化診断システムSYS1の構成例を説明する図である。

[図2]実施の形態1に係る圧縮機5の一例の内部構成を説明する図である。

[図3]実施の形態1に係る圧縮機5を駆動した場合の主軸52と主軸受57との状態を説明する図である。

[図4]実施の形態1に係る制御装置10における劣化診断部100の構成を示すブロック図である。

[図5]実施の形態1に係る劣化診断部100における静的偏心推定部110の構成を示すブロック図である。

[図6]実施の形態1に係る劣化診断部100における動的偏心推定部120の構成を示すブロック図である。

[図7]U相電流 $I_u$ とU相電流 $I_u$ の包絡線 $E_{nv}$ を示す図である。

[図8]実施の形態1に係る動的偏心推定部120に動的偏心推定処理の軸劣化度を周波数特性にて表現した一例のイメージを示す図である。

[図9]実施の形態1に係る劣化診断部100の劣化診断処理の流れを説明する図である。

[図10]実施の形態1に係る軸劣化診断部130が行う軸劣化判定処理の流れを説明する図である。

[図11]実施の形態1に係る軸劣化診断部130が行う軸劣化判定処理における閾値について説明する図である。

[図12]実施の形態2に係る制御装置10における劣化診断部100および劣化推定学習部200の構成を示すブロック図である。

[図13]実施の形態2に係る劣化推定学習部200の処理の流れを説明する図である。

[図14]実施の形態2に係る動的偏心推定部120の推論部125における処理の流れを示す図である。

[図15]実施の形態3に係る軸劣化診断部130の構成を示すブロック図である。

[図16]実施の形態3に係る軸劣化診断部130が行う軸劣化判定処理における閾値について説明する図である。

[図17]実施の形態4に係る劣化診断システムSYS2の構成例を説明するブロック図である。

### 発明を実施するための形態

[0013] 以下、実施の形態に係る劣化診断装置、劣化診断システム、学習装置および劣化診断方法について、図面を参照しながら説明する。ここで、各図面において、同一の符号を付した構成は、同一またはこれに相当する構成であり、以下に記載するすべての実施の形態において共通の構成であるとする。また、以下に記載するすべての実施の形態に表わされている構成要素の形態は、あくまでも例示であって、以下に記載された形態に限定するものではない。特に、構成要素の組み合わせは、各実施の形態における組み合わせのみに限定するものではなく、他の実施の形態に記載した構成要素を、別の実施の形態に適用することができる。さらに、圧力、温度などのパラメータの高低については、特に絶対的な値との関係で高低が定まるものではなく、装置などの状態、動作において相対的に定まるものとする。

[0014] 実施の形態1.

図1は、実施の形態1に係る劣化診断システムSYS1の構成例を説明す

る図である。実施の形態 1 に係る劣化診断システム S Y S 1 について、図 1 などを参照して説明する。ここで、実施の形態 1 の劣化診断システム S Y S 1 においては、後述するように、制御装置 1 0 が、劣化診断装置となって診断対象機器の劣化診断処理を行う。ここでは、電動機 5 3 を有し、冷凍サイクル装置などで用いられる圧縮機 5 が、診断対象機器となる。圧縮機 5 の構成については、後述する。

[0015] 圧縮機 5 は、交流電源 1、整流回路 2、電解コンデンサ 3 およびインバータ回路 4 を含む構成機器などにより、所定の駆動周波数で駆動される。整流回路 2 は、交流電源 1 からの三相（U 相、V 相および W 相）交流電力を直流電力に変換する。電解コンデンサ 3 は、整流回路 2 からの直流電力を平滑化する。インバータ回路 4 は、制御装置 1 0 からの指示となるゲートパルス G P に基づいて、整流回路 2 からの直流電力を駆動周波数に基づく三相交流電力に変換し、三相交流電力を圧縮機 5 に供給する。

[0016] 電流センサ 6 は、インバータ回路 4 から圧縮機 5 に至る配線 7 の途中に設けられる。電流センサ 6 は、所定の駆動周波数に基づいて、インバータ回路 4 から圧縮機 5 に流れる三相交流電流のうち、二相の相電流を検出する。ここで、電流センサ 6 は、たとえば、U 相電流  $I_u$  および V 相電流  $I_v$  を検出し、電流検出信号  $I_{uv}$  として制御装置 1 0 に送る。電圧センサ 8 は、母線電圧を検出する。電圧センサ 8 が検出した電圧は、電圧検出信号  $V_{dc}$  として制御装置 1 0 に送る。

[0017] さらに、制御装置 1 0 は、圧縮機 5 を駆動する構成機器となる。制御装置 1 0 は、電流センサ 6 の検出に係る電流検出信号  $I_{uv}$  および電圧センサ 8 の検出に係る電圧検出信号  $V_{dc}$  などに基づいて、インバータ回路 4 にゲートパルス G P を出力して、圧縮機 5 の駆動を制御する。

[0018] ここで、制御装置 1 0 は、各種のプログラムを実行するコンピュータなどのハードウェアを有し、制御処理および劣化診断処理などの各種の処理を実現するものとする。各種の処理を実行する際の、ハードウェアにおける演算主体は、たとえば、CPU（Central Processing Un

it)、FPGA(Field-Programmable Gate Array)などの処理装置11となる。制御装置10が行う処理は、処理装置11が記憶装置12に記憶されたプログラムのデータに基づいて処理を実行して実現する。記憶装置12は、データを一時的に記憶できるランダムアクセスメモリ(RAM)などの揮発性記憶装置(図示せず)およびデータを長期的に記憶できるフラッシュメモリなどの不揮発性の補助記憶装置(図示せず)を有する。そして、前述したように、記憶装置12は、処理装置11が、処理を行うプログラムを記憶する。以下においては、処理装置11および記憶装置12が行う処理および記憶については、制御装置10が行うものとして説明する。

[0019] ここで、特に、実施の形態1における制御装置10は、劣化診断部100を有する。したがって、実施の形態1における制御装置10は、劣化診断装置として機能する。劣化診断部100は、電流センサ6の検出に係る電流検出信号Iuvに基づいて、主軸受57の損傷など、後述する圧縮機5における主軸52および主軸受57の関係に係る劣化について診断処理を行い、軸劣化診断結果SWRを含む診断結果信号を出力する。劣化診断部100の処理機能に係る構成および処理内容などについては、後述する。そして、主軸52および主軸受57の関係に係る劣化は、以下、軸劣化と称して説明する。

[0020] 通知装置20は、制御装置10からの信号に基づいて、通知を行う装置である。ここでは、通知装置20は、表示装置を有し、劣化診断部100が出力した軸劣化診断結果SWRを含む診断結果信号に基づいて表示を行い、ユーザーまたは保守部隊などに軸劣化の度合いを通知する。

[0021] 図2は、実施の形態1に係る圧縮機5の一例の内部構成を説明する図である。図2に示すように、圧縮機5は、吸入管51、主軸52、電動機53、潤滑油54、オイルポンプ55、副軸受56、主軸受57、圧縮機構58および吐出管59を有する。圧縮機5は、空気調和装置などの冷凍サイクル装置における冷媒回路の一部を構成する機器である。また、圧縮機5において

冷媒は、圧縮機 5 の吸入管 5 1 から吸入され、吐出管 5 9 から吐出される。

[0022] 吸入管 5 1 は、低温かつ低圧の冷媒を圧縮機 5 の内部に吸入するための管である。吸入管 5 1 には、たとえば、圧力センサ、温度センサ、湿度センサなどを取り付け、管内を流れる冷媒の圧力、温度、湿度などを測定してもよい。また、冷媒回路内の配管に、これらのセンサ類を取り付けて、吸入管 5 1 内を流れる冷媒の圧力、温度、湿度などを推定してもよい。

[0023] 電動機 5 3 は、三相交流の電力線（図示せず）と接続され、インバータ回路 4 から印加される電圧に応じて駆動する。回転軸である主軸 5 2 は、電動機 5 3 と接続され、電動機 5 3 の駆動により回転し、動力となる回転エネルギーを圧縮機構 5 8 に伝える。潤滑油 5 4 は、圧縮機 5 の底部に溜まっており、オイルポンプ 5 5 で、副軸受 5 6 および主軸 5 2 に供給され、副軸受 5 6 および主軸 5 2 を潤滑する。ここで、潤滑油 5 4 の量を確認する手段として、潤滑油 5 4 の油面の高さを検知することができる液面センサを圧縮機 5 に取り付けて、潤滑油 5 4 の量を測定してもよい。副軸受 5 6 および主軸受 5 7 は、主軸 5 2 を支持する。

[0024] 吐出管 5 9 は、圧縮機構 5 8 で圧縮された高温かつ高圧の冷媒を圧縮機 5 の外部に吐出するための管である。吐出管 5 9 には、圧力センサ、温度センサ、湿度センサなどを取り付け、管内を流れる冷媒の圧力、温度、湿度などを検出してもよい。また、空調機器内の配管にこれらセンサ類を取り付け、吐出管 5 9 内を流れる冷媒の圧力、温度、湿度などを推定してもよい。

[0025] 図 3 は、実施の形態 1 に係る圧縮機 5 を駆動した場合の主軸 5 2 と主軸受 5 7 との状態を説明する図である。ここで、図 3 (a) は、主軸 5 2 と主軸受 5 7 とが潤滑状態の関係にあって、圧縮機 5 が正常に駆動しているときの断面を示す図である。また、図 3 (b) および図 3 (c) は、主軸 5 2 と主軸受 5 7 とが潤滑状態でない関係にあって、軸劣化しているときの断面を示す図である。

[0026] 図 3 (a) のように、圧縮機 5 が正常に駆動しているときには、主軸 5 2 と主軸受 5 7 との間には、十分な潤滑油 5 4 が満たされている。そして、主

軸 5 2 が、主軸受 5 7 に対して一定の隙間を確保して円滑に回転している。

[0027] 一方で、図 3 (b) および図 3 (c) のように、圧縮機 5 が劣化すると、温度、経年などの影響により、潤滑油 5 4 の粘度が低くなり、主軸 5 2 と主軸受 5 7 との間の油膜を確保できなくなる。そのため、主軸 5 2 と主軸受 5 7 とが一部で接触し、接触した部分で主軸受 5 7 の摩耗が発生する。主軸受 5 7 が摩耗した状態で、さらに主軸 5 2 を回転し続けると、主軸受 5 7 の摩耗がさらに悪化し、軸劣化が進行する。すると、制御装置 1 0 は、最終的に圧縮機 5 を停止 (ダウンタイム) させざるを得なくなり、圧縮機 5 の稼働率が低下するおそれがある。

[0028] ここで、図 3 (b) のように、主軸受 5 7 内のある一部の位置において、主軸 5 2 が偏心した状態で回転し続ける状態を、静的偏心が発生しているという。一方で、図 3 (c) のように、主軸 5 2 が主軸受 5 7 内を機械角周期ごとに触れ回りながら回転し続ける状態を、動的偏心が発生しているという。図 3 (b) で示す静的偏心と図 3 (c) で示す動的偏心とは、圧縮機 5 の設置環境および負荷状態の影響を受け、一方もしくは同時に偏心が発生し、軸劣化を促進させ、圧縮機 5 の稼働率が低下するおそれがある。

[0029] 以上のことから、図 3 (b) で示す静的偏心または図 3 (c) で示す動的偏心の少なくとも一方を得て、偏心度合いに基づく対処を行うことで、圧縮機 5 および圧縮機 5 を搭載する冷凍サイクル装置などの信頼性を向上させることができる。そして、ユーザーに対して、よりよいサービスを提供することができる。

[0030] 図 4 は、実施の形態 1 に係る制御装置 1 0 における劣化診断部 1 0 0 の構成を示すブロック図である。前述したように、制御装置 1 0 は、劣化診断部 1 0 0 を有することで、劣化診断装置となる。劣化診断部 1 0 0 は、劣化診断処理を行い、軸劣化診断結果 SWR を含む診断結果信号を出力する。実施の形態 1 における劣化診断部 1 0 0 は、静的偏心推定部 1 1 0、動的偏心推定部 1 2 0 および軸劣化診断部 1 3 0 を有する。

[0031] 静的偏心推定部 1 1 0 は、U 相電流  $I_u$  と V 相電流  $I_v$  とから静的偏心の

度合いを演算する静的偏心推定工程を行い、推定結果となる静的偏心率UFを出力する。静的偏心推定部110については、後に詳しく説明する。また、動的偏心推定部120は、U相電流I<sub>u</sub>から動的偏心の度合いを演算する動的偏心推定工程を行い、推定結果となる動的偏心率W<sub>e s t</sub>を出力する。動的偏心推定部120についても、後に詳しく説明する。そして、軸劣化診断部130は、静的偏心率UFと動的偏心率W<sub>e s t</sub>とから、主軸52に係る軸劣化度を診断する劣化診断工程を行い、軸劣化診断結果SWRを含む診断結果信号を通知装置20に出力する。

[0032] 図5は、実施の形態1に係る劣化診断部100における静的偏心推定部110の構成を示すブロック図である。図5は、静的偏心推定部110が行う静的偏心推定工程における処理内容を、部として分けたものである。静的偏心推定部110は、三相演算部111、実効値演算部112、正相電流演算部113、逆相電流演算部114および静的偏心率演算部115を有する。

[0033] 三相演算部111は、三相交流電流のうち、二相の電流（ここでは、U相電流I<sub>u</sub>およびV相電流I<sub>v</sub>）から、(1)式に基づいて、W相電流I<sub>w</sub>を算出する。

[0034] [数1]

$$I_w = -I_u - I_v \quad \dots (1)$$

[0035] 実効値演算部112は、三相演算部111からの三相電流（U相電流I<sub>u</sub>、V相電流I<sub>v</sub>およびW相電流I<sub>w</sub>）から、それぞれの実効値（U相実行値I<sub>u r m s</sub>、V相実行値I<sub>v r m s</sub>およびW相実行値I<sub>w r m s</sub>）を演算する。また、正相電流演算部113は、(2)式および(3)式に基づいて、正相電流I<sub>1</sub>を演算する。

[0036] [数2]

$$I = \frac{(I_{u r m s} + I_{v r m s} + I_{w r m s})}{2} \quad \dots (2)$$

[0037]

[数3]

$$I_1 = \sqrt{\frac{(I_{urms}^2 + I_{vrms}^2 + I_{wrms}^2)}{6} + \frac{2}{\sqrt{3}} \sqrt{I(I - I_{urms})(I - I_{vrms})(I - I_{wrms})}} \quad \dots (3)$$

[0038] 逆相電流演算部 114 は、(2) 式と (4) 式とに基づいて、逆相電流  $I_2$  を演算する。

[0039] [数4]

$$I_2 = \sqrt{\frac{(I_{urms}^2 + I_{vrms}^2 + I_{wrms}^2)}{6} - \frac{2}{\sqrt{3}} \sqrt{I(I - I_{urms})(I - I_{vrms})(I - I_{wrms})}} \quad \dots (4)$$

[0040] 静的偏心率演算部 115 は、(5) 式に基づいて、正相電流  $I_1$  と逆相電流  $I_2$  とから静的偏心率  $UF$  を演算する。

[0041] [数5]

$$UF = 100 \frac{I_2}{I_1} \quad \dots (5)$$

[0042] ここで、(3) 式、(4) 式および (5) 式から、それぞれの実行値 ( $U$  相実行値  $I_{urms}$ 、 $V$  相実行値  $I_{vrms}$  および  $W$  相実行値  $I_{wrms}$ ) に差異があるほど、静的偏心率  $UF$  は高い値を示すことが分かる。

[0043] 以上のように、静的偏心推定部 110 は、正相電流  $I_1$  と逆相電流  $I_2$  との比率から静的偏心率  $UF$  を算出する。したがって、静的偏心推定部 110 は、様々な機種に対して、軸劣化の度合いを推定することができる。静的偏心率  $UF$  により軸劣化の度合いを推定することにより、圧縮機 5 および圧縮機 5 を搭載する冷凍サイクル装置などの信頼性を向上させることができる。そして、ユーザーに対して、よりよいサービスを提供することができる。

[0044] 図 6 は、実施の形態 1 に係る劣化診断部 100 における動的偏心推定部 120 の構成を示すブロック図である。図 6 は、動的偏心推定部 120 が行う動的偏心推定工程における処理内容を、部として分けたものである。動的偏

心推定部 120 は、包絡線演算部 121、周波数領域変換部 122、正規化変換部 123 および機械角成分抽出部 124 を有する。

[0045] 図 7 は、U 相電流  $I_u$  と U 相電流  $I_u$  の包絡線  $E_{nv}$  を示す図である。図 7 では、横軸を経過時間とし、縦軸を電流としている。また、図 7 では、実線が包絡線  $E_{nv}$  を表し、点線が相電流を表す。図 7 に基づいて、包絡線演算部 121 における処理を説明する。包絡線演算部 121 は、U 相電流  $I_u$  の包絡線  $E_{nv}$  を演算する包絡線処理を行う。包絡線演算部 121 が包絡線処理を施して演算することで、相電流の正のピーク値に追従する包絡線  $E_{nv}$  を得ることができる。相電流のような交流波形から、微小な動的偏心に起因する機械角成分を検出するのは困難である。そこで、包絡線演算部 121 が包絡線処理を施して得られる包絡線  $E_{nv}$  により、大きな脈動が得られるようにして、機械角成分を抽出しやすくする。

[0046] 周波数領域変換部 122 は、包絡線  $E_{nv}$  に対して周波数領域変換処理を実行し、周波数に応じたスペクトル  $S_{pe}$  を生成する。また、正規化変換部 123 は、周波数領域変換部 122 が生成したスペクトル  $S_{pe}$  に対して正規化処理を実行し、正規化した正規化スペクトル  $S_{peN}$  を生成する。機械角成分抽出部 124 は、正規化スペクトル  $S_{peN}$  に対して圧縮機 5 の機械角成分を抽出し、動的偏心の度合いを表す動的偏心率  $W_{est}$  を出力する。

[0047] 図 8 は、実施の形態 1 に係る動的偏心推定部 120 に動的偏心推定処理の軸劣化度を周波数特性にて表現した一例のイメージを示す図である。図 8 は、横軸を周波数とし、縦軸を正規化スペクトル  $S_{peN}$  として表している。また、図 8 における実線は、軸劣化が発生していない正常な圧縮機 5 の正規化スペクトル  $S_{peN}$  を表し、点線は、軸劣化が進行している圧縮機 5 の正規化スペクトル  $S_{peN}$  を表す。

[0048] 包絡線演算部 121 が包絡線処理を行って得られる図 7 における包絡線  $E_{nv}$  の波形には、直流成分に対して軸劣化に起因する機械角の脈動が重畳する。このため、周波数領域変換部 122 が周波数領域変換を実行すると、周波数の 0 次成分（直流成分）にスペクトル  $S_{pe}$  のピークが発生する。正規

化変換部123がスペクトル $S_{pe}$ のピーク値で、各周波数におけるスペクトル $S_{pe}$ を除算すると、図8のように、0次成分が100となり、正規化スペクトル $S_{peN}$ を得ることができる。図8のように、正常に駆動する圧縮機5の正規化スペクトル $S_{peN}$ と軸劣化が進行している圧縮機5の正規化スペクトル $S_{peN}$ とを比較すると、機械角における機械角周波数に対してスペクトル値に違いがある。機械角成分抽出部124は、機械角周波数に着目することで、動的偏心率 $W_{est}$ を出力する。たとえば、機械角周波数の機械角 $1f$ 成分に着目すれば、動的偏心の度合いを検出することができる。ここで、機械角成分抽出部124は、一例として、機械角 $1f$ 成分に着目して動的偏心率 $W_{est}$ を出力したが、これに限定するものではない。たとえば、機械角成分抽出部124は、機械角 $2f$ 成分など、その他の機械角成分に着目して動的偏心率 $W_{est}$ を出力してもよい。

[0049] 以上のように、動的偏心推定部120は、機械角周波数から動的偏心率 $W_{est}$ を算出する。動的偏心率 $W_{est}$ により軸劣化の度合いを推定することにより、圧縮機5および圧縮機5を搭載する冷凍サイクル装置などの信頼性を向上させることができる。そして、ユーザーに対して、よりよいサービスを提供することができる。

[0050] 図9は、実施の形態1に係る劣化診断部100の劣化診断処理の流れを説明する図である。劣化診断部100は、劣化診断処理を一定間隔で繰り返す。劣化診断部100は、圧縮機5が一定速度で駆動しているか判定する（ステップS1）。劣化診断部100は、圧縮機5が一定速度で駆動していないと判定すると、処理を繰り返す。ここで、一定速度で駆動とは、電動機53が同一の回転数で駆動していることを意味する。圧縮機5が一定速度で駆動しているか否かについては、たとえば、劣化診断部100は、U相電流 $I_u$ の電流位相を周期ごとに演算し、周期ごとの位相を比較して変化がほぼなければ、一定速度で駆動していると判定する。また、たとえば、制御装置10が電動機53の回転数を推定している場合には、劣化診断部100は、制御装置10が推定した回転数に基づいて、一定速度で駆動しているかどうか

かを判定してもよい。圧縮機 5 が一定速度で駆動しているときは、加減速駆動しているときと比較して、静的偏心率  $UF$  および動的偏心率  $West$  の推定精度がよくなる。このため、システムの信頼性を向上させることができ、ユーザーによりよいサービスを提供することができる。

[0051] 一方、劣化診断部 100 は、圧縮機 5 が一定駆動していると判定すると、静的偏心推定部 110 は、前述したように静的偏心推定工程を行って、静的偏心率  $UF$  を演算する（ステップ S2）。さらに、動的偏心推定部 120 が、前述したように動的偏心推定工程を行って動的偏心率  $West$  を演算する（ステップ S3）。そして、軸劣化診断部 130 が、静的偏心推定部 110 が演算した静的偏心率  $UF$  と動的偏心推定部 120 が演算した動的偏心率  $West$  とに基づいて、軸劣化の診断を実行する（ステップ S4）。

[0052] 図 10 は、実施の形態 1 に係る軸劣化診断部 130 が行う軸劣化判定処理の流れを説明する図である。軸劣化診断部 130 は、軸劣化の診断において（ステップ S4）、静的偏心率  $UF$  が 0 以上および  $Y1$  未満、かつ、動的偏心率  $West$  が 0 以上および  $X1$  未満（以下、条件 1 と称する）であるかどうかを判定する（ステップ S11）。軸劣化診断部 130 は、条件 1 を満たしていると判定すると、「正常」とする（ステップ S12）。そして、「正常」の旨の軸劣化診断結果  $SWR$  を含む診断結果信号を通知装置 20 に出力する（ステップ S20）。通知装置 20 は、診断結果信号に基づいて、正常の旨の表示を行う。

[0053] 一方で、軸劣化診断部 130 は、条件 1 を満たしていないと判定すると、さらに、静的偏心率  $UF$  が  $Y1$  以上および  $Y2$  未満、かつ、動的偏心率  $West$  が  $X1$  以上および  $X2$  未満（以下、条件 2 と称する）であるかどうかを判定する（ステップ S13）。軸劣化診断部 130 は、条件 2 を満たしていると判定すると、「小劣化」とする（ステップ S14）。そして、「小劣化」の旨の軸劣化診断結果  $SWR$  を含む診断結果信号を通知装置 20 に出力する（ステップ S20）。通知装置 20 は、診断結果信号に基づいて、小劣化の旨の表示を行う。

- [0054] 軸劣化診断部130は、条件2を満たしていないと判定すると、さらに、静的偏心率UFがY2以上およびY3未満、かつ、動的偏心率WestがX2以上およびX3未満（以下、条件3と称する）であるかどうかを判定する（ステップS15）。軸劣化診断部130は、条件3を満たしていると判定すると、「中劣化」とする（ステップS16）。そして、「中劣化」の旨の軸劣化診断結果SWRを含む診断結果信号を通知装置20に出力する（ステップS20）。通知装置20は、診断結果信号に基づいて、中劣化の旨の表示を行う。
- [0055] 軸劣化診断部130は、条件3を満たしていないと判定すると、さらに、静的偏心率UFがY3以上、かつ、動的偏心率WestがX3以上（以下、条件4と称する）であるかどうかを判定する（ステップS17）。軸劣化診断部130は、条件4を満たしていると判定すると、「大劣化」とする（ステップS18）。そして、「大劣化」の旨の軸劣化診断結果SWRを含む診断結果信号を通知装置20に出力する（ステップS20）。通知装置20は、診断結果信号に基づいて、大劣化の旨の表示を行う。
- [0056] 軸劣化診断部130は、条件3を満たしていないと判定すると、前回の診断結果と同じと判定する（ステップS19）。そして、前回と同じ軸劣化診断結果SWRを含む診断結果信号を通知装置20に出力する（ステップS20）。通知装置20は、診断結果信号に基づいて、前回の診断結果と同様の表示を行う。ここで、軸劣化は徐々に進行するものである。このため、軸劣化診断部130は、前回の診断結果と今回の診断結果とを比較して、今回の診断結果の方が、軸劣化度が悪化していると判定すると、悪化の旨の軸劣化診断結果SWRに基づく診断結果信号を通知装置20に出力してもよい。
- [0057] 図11は、実施の形態1に係る軸劣化診断部130が行う軸劣化判定処理における閾値について説明する図である。図11に示すように、軸劣化判定処理においては、静的偏心率UFに対して、3つの閾値（ $0 < Y1 < Y2 < Y3$ ）が設定されている。また、動的偏心率Westに対しても、3つの閾値（ $0 < X1 < X2 < X3$ ）がされている。軸劣化診断部130は、これら

の閾値に基づいて、静的偏心率UFおよび動的偏心率Westの軸劣化度を判定し、判定に基づいて軸劣化の診断を行って軸劣化診断結果SWRに基づく診断結果信号を通知装置20に出力する。

[0058] ここで、図11は、各閾値を等間隔で設定したものであるが、これに限定しない。たとえば、ユーザーの設置環境に応じて、あらかじめ等間隔以外の間隔で閾値を設定してもよい。また、実施の形態1では、静的偏心率UFおよび動的偏心率Westに対して、それぞれ3つの閾値を設定して4つの区分に分け、「正常」、「少劣化」、「中劣化」および「大劣化」の4つの劣化パターンとする軸劣化診断結果SWRとした。ただし、これに限定するものではない。たとえば、「正常」および「劣化」の2つの劣化パターンとしてもよい。このように、静的偏心率UFおよび動的偏心率Westにおけるそれぞれの閾値数を3つおよび区分数を4つに限定しなくてもよい。また、特に限定するものではないが、静的偏心率UFまたは動的偏心率Westが演算できず、どちらかの推定結果が得られなかった場合には、前回と同じ軸劣化診断結果SWRを含む診断結果信号を通知装置20に出力してもよい。

[0059] 以上のように、実施の形態1に係る劣化診断システムSYS1では、劣化診断装置となる制御装置10の劣化診断部100は、電流検出信号Iuvに含まれるU相電流IuおよびV相電流Ivに基づいて静的偏心率UFおよび動的偏心率Westを算出する。そして、劣化診断部100は、静的偏心率UFおよび動的偏心率Westに基づいて、軸劣化診断を行い、軸劣化診断結果SWRを含む診断結果信号を通知装置20に出力する。劣化診断部100は、主軸52による静的偏心および動的偏心の2つの偏心の度合いに基づいて、軸劣化の診断を行うことで、機器の信頼性向上をはかることができる。このため、ユーザーによりよいサービスを提供することができる。

[0060] また、実施の形態1に係る劣化診断部100は、静的偏心推定部110を有する。静的偏心推定部110は、正相電流演算部113が演算した正相電流I1と逆相電流演算部114が演算した逆相電流I2との比率を、静的偏心の度合いを表す静的偏心率UFとして算出する静的偏心率演算部115を

有する。このため、より精度の高い静的偏心率  $U F$  を推定することができる。

[0061] さらに、実施の形態 1 に係る劣化診断部 100 は、相電流に対する包絡線  $E_{n v}$  を算出する包絡線演算部 121 を有する動的偏心推定部 120 を備える。包絡線  $E_{n v}$  を算出することにより、相電流による交流波形よりも、強調された交流波形を得ることができる。そして、動的偏心推定部 120 は、さらに、機械角成分に基づいて、動的偏心の度合いを表す動的偏心率  $W e s t$  を推定演算する機械角成分抽出部 124 を有する。このため、強調された交流波形から得られる機械角に基づいて、より精度の高い動的偏心率  $W e s t$  を推定することができる。

[0062] また、実施の形態 1 に係る劣化診断部 100 では、圧縮機 5 が一定速度で駆動していると判定し、駆動が安定した状態の電流検出信号  $I_{u v}$  に含まれる U 相電流  $I_u$  および V 相電流  $I_v$  に基づいて診断処理を行うようにする。このため、より正確に軸劣化の診断を行うことができる。

[0063] 実施の形態 2.

図 12 は、実施の形態 2 に係る制御装置 10 における劣化診断部 100 および劣化推定学習部 200 の構成を示すブロック図である。実施の形態 2 における制御装置 10 は、劣化診断部 100 に加え、劣化推定学習部 200 を有する。劣化推定学習部 200 は、圧縮機 5 の U 相電流  $I_u$  を用いて機械学習を行い、動的偏心推定部 120 が推定結果を得るための学習済みモデルを作成する。したがって、実施の形態 2 においては、制御装置 10 が劣化推定学習装置となって、学習に係る処理を行う。

[0064] 劣化推定学習部 200 は、学習部 210 およびデータベース記憶部 220 を有する。学習部 210 は、機械学習による学習処理を行って、構築した学習済みモデルに係るデータをパターン生成関数  $P G F$  として生成する。そして、データベース記憶部 220 は、パターン生成関数  $P G F$  を記憶する。

[0065] また、実施の形態 2 における劣化診断部 100 は、動的偏心推定部 120 の構成が異なる。実施の形態 2 における動的偏心推定部 120 は、推論部 1

25を有する。実施の形態2における推論部125は、データベース記憶部220が記憶するパターン生成関数PGFを用いて、動的偏心率Westを取得する。ここで、実施の形態2における動的偏心推定部120は、U相電流I<sub>u</sub>を入力データとし、動的偏心率Westを出力データとする。

[0066] 図13は、実施の形態2に係る劣化推定学習部200の処理の流れを説明する図である。ここで、以下で説明する処理手順は、学習方法の一例である。そのため、劣化推定学習部200が行う各処理の順序などは、可能な限り変更することができる。また、処理の内容に応じて、適宜、処理の省略、置換または追加を行うことができる。

[0067] 劣化推定学習部200は、圧縮機5のU相電流I<sub>u</sub>を、入力データとして取得する（ステップS21）。学習部210が学習処理を行うときには、制御装置10は、あらかじめ主軸52が劣化した状態にある電動機53を駆動させたときの、U相電流I<sub>u</sub>を取得する。このことで、主軸52の劣化量に対するU相電流I<sub>u</sub>を取得することができる。ここでは、入力データは、U相電流I<sub>u</sub>とするが、V相電流I<sub>v</sub>を入力データとしてもよい。

[0068] また、学習部210は、既知の劣化量をラベルとして取得する（ステップS22）。ここで、既知の劣化量とは、たとえば、圧縮機5の主軸52が、正常な状態から劣化摩耗させた量（たとえば、50μm、100μmまたは150μmなど）のことである。

[0069] 学習部210は、ステップS21で取得した入力データとステップS22で取得したラベルとからなる1組のデータ（以下、教師データ組と称する）として取得する（ステップS23）。そして、学習部210は、機械学習を実行する。学習部210は、教師データ組に基づく機械学習を実行して、学習済みモデルを構築する。これにより、学習部210は、劣化量に基づく圧縮機5の動的偏心における劣化度合いと相電流との関係を紐付けることができる。

[0070] ここで、実施の形態2において、学習部210が行う圧縮機5を対象とした機械学習は、パーセプトロンを組み合わせ構成したニューラルネットワ

ークによる教師データ付き学習である。具体的には、学習部210は、相電流の状態を示す入力データと圧縮機5の劣化状態に応じたラベルとからなる教師データ組をニューラルネットワークに与えられる。そして、学習部210は、ニューラルネットワークの出力がラベルと同じとなるように、各パーセプトロンについて重み付けの値を変更しながら、学習を繰り返す処理を行う。学習部210が学習を行う過程では、バックプロパゲーション（Back-propagation：誤差逆伝搬法）という処理を繰り返し行うことにより、各パーセプトロンの出力の誤差が小さくなるように重み付けの値を調整する。

[0071] このようにして、学習部210は、教師データ組の特徴を学習する処理を行い、入力データから、結果を推定するための学習済みモデルを帰納的に獲得する。これにより、学習部210は、教師データ付き学習によって、上述したように、重み付けの値を調整しながら、ラベルと出力データとの誤差がなくなるようにする。

[0072] このように、学習部210は、教師データ付き学習により、学習結果として、相電流から動的偏心の度合いを決定するための学習済みモデルを得る。そして、学習部210は、学習部210が教師データ付き学習により構築した学習済みモデルに係るデータを、パターン生成関数PGFとして、データベース記憶部220に保存し、記憶させる（ステップS24）。データベース記憶部220に保存されたパターン生成関数PGFは、後述するように、推論部125が推論処理を実行する際に用いられる。

[0073] ここで、学習部210は、ステップS21からステップS24の処理を定期的に行うことで、パターン生成関数PGFを更新してもよい。また、学習部210は、圧縮機5の劣化状態が変化する度に、ステップS21からステップS24の処理を実行することで、パターン生成関数PGFを更新してもよい。また、学習部210は、U相電流 $I_u$ を入力データとするパターン生成関数PGFを保存したが、他の電流に関するデータに基づいて劣化度を生成すればよい。たとえば、学習部210は、電流の尤度、歪度、高調波

などの電流に関するデータに基づいて、少なくともいずれかの種類のデータから学習済みモデルを構築し、パターン生成関数 P G F として保存してもよい。そして、特に限定するものではないが、学習部 2 1 0 は、多層構成のニューラルネットワークを有し、いわゆるディープラーニング（深層学習）による機械学習を行ってもよい。

[0074] 図 1 4 は、実施の形態 2 に係る動的偏心推定部 1 2 0 の推論部 1 2 5 における処理の流れを示す図である。推論部 1 2 5 は、入力された U 相電流  $I_u$  から、動的偏心率  $W_{e s t}$  を推定する。推論部 1 2 5 は、データベース記憶部 2 2 0 に保存されたパターン生成関数 P G F を取得する（ステップ S 3 1）。また、推論部 1 2 5 は、電流センサ 6 から送られた U 相電流  $I_u$  を入力データとして取得する（ステップ S 3 2）。そして、推論部 1 2 5 は、U 相電流  $I_u$  のデータをパターン生成関数 P G F に入力し、圧縮機 5 の主軸 5 2 における動的偏心率  $W_{e s t}$  を算出する。

[0075] 以上のように、実施の形態 2 においては、制御装置 1 0 が劣化推定学習部 2 0 0 を有する。劣化推定学習部 2 0 0 は、学習部 2 1 0 が相電流に基づいて機械学習を行って得られる学習済みモデルを、パターン生成関数 P G F として、データベース記憶部 2 2 0 に保存する。このため、実際の相電流に基づく動的偏心率  $W_{e s t}$  を推定することができる。そして、動的偏心推定部 1 2 0 の推論部 1 2 5 が、相電流とパターン生成関数 P G F とに基づいて、動的偏心率  $W_{e s t}$  を推定する。このため、より高精度に動的偏心率  $W_{e s t}$  を推定演算することができる。したがって、より正確に軸劣化の診断を行うことができ、機器の信頼性向上をはかることができる。

[0076] 実施の形態 3.

図 1 5 は、実施の形態 3 に係る軸劣化診断部 1 3 0 の構成を示すブロック図である。実施の形態 3 における劣化診断部 1 0 0 は、軸劣化診断部 1 3 0 が行う処理が実施の形態 1 とは異なる。図 1 5 は、軸劣化診断部 1 3 0 が行う処理内容を各部に分けたものである。実施の形態 3 の軸劣化診断部 1 3 0 は、静的劣化判定部 1 3 1、動的劣化判定部 1 3 2 および比較判定部 1 3 3

を有する。

- [0077] 静的劣化判定部131は、静的偏心推定部110が算出した静的偏心率 $U_F$ に基づいて、静的劣化度 $MUF$ を判定する。たとえば、静的劣化判定部131は、あらかじめ設定した閾値 $Y_1$ 、閾値 $Y_2$ および閾値 $Y_3$ と静的偏心率 $U_F$ とを比較し、「正常」、「小劣化」、「中劣化」または「大劣化」のいずれかを、静的劣化度 $MUF$ として判定する。
- [0078] ここで、静的偏心率 $U_F$ に対する閾値の大小関係は、 $0 < Y_1 < Y_2 < Y_3$ で設定されている。静的劣化判定部131は、静的偏心率 $U_F$ が0以上、 $Y_1$ 未満である場合は、「正常」と判定する。また、静的劣化判定部131は、静的偏心率 $U_F$ が $Y_1$ 以上、 $Y_2$ 未満である場合は、「小劣化」と判定する。さらに、静的劣化判定部131は、静的偏心率 $U_F$ が $Y_2$ 以上、 $Y_3$ 未満である場合は、「中劣化」と判定する。そして、静的劣化判定部131は、静的偏心率 $U_F$ が $Y_3$ 以上である場合は、「大劣化」と判定する。
- [0079] 動的劣化判定部132は、動的偏心推定部120が算出した動的偏心率 $W_{est}$ に基づいて、動的劣化度 $MW_{est}$ を判定する。たとえば、動的劣化判定部132は、あらかじめ設定した閾値 $X_1$ 、閾値 $X_2$ および閾値 $X_3$ と動的偏心率 $W_{est}$ とを比較し、「正常」、「小劣化」、「中劣化」または「大劣化」のいずれかを、動的劣化度 $MW_{est}$ として判定する。
- [0080] ここで、動的偏心率 $W_{est}$ に対する閾値の大小関係は、 $0 < X_1 < X_2 < X_3$ で設定されている。動的劣化判定部132は、動的偏心率 $W_{est}$ が0以上、 $X_1$ 未満である場合は、「正常」と判定する。また、動的劣化判定部132は、動的偏心率 $W_{est}$ が $X_1$ 以上、 $X_2$ 未満である場合は、「小劣化」と判定する。さらに、動的劣化判定部132は、動的偏心率 $W_{est}$ が $X_2$ 以上、 $X_3$ 未満である場合は、「中劣化」と判定する。そして、動的劣化判定部132は、動的偏心率 $W_{est}$ が $X_3$ 以上である場合は、「大劣化」と判定する。
- [0081] 比較判定部133は、静的劣化判定部131が判定した静的劣化度 $MUF$ と動的劣化判定部132が判定した動的劣化度 $MW_{est}$ に基づいて、軸劣

化診断結果SWRを出力する。比較判定部133は、静的劣化度MUFと動的劣化度MWestとを比較し、劣化度の大きい方を、軸劣化診断結果SWRとして出力する。ここで、比較判定部133が静的劣化度MUFと動的劣化度MWestとを比較したときの劣化度が同じであれば、その劣化度を軸劣化診断結果SWRとして出力する。たとえば、静的劣化度MUFが「正常」で、動的劣化度MWestが「小劣化」である場合は、比較判定部133は、「小劣化」を軸劣化診断結果SWRとして出力する。

[0082] 図16は、実施の形態3に係る軸劣化診断部130が行う軸劣化判定処理における閾値について説明する図である。図16に示すように、静的偏心率UFに対して、3つの閾値( $0 < Y_1 < Y_2 < Y_3$ )が設定されている。また、動的偏心率Westに対しても、3つの閾値( $0 < X_1 < X_2 < X_3$ )が設定されている。比較判定部133は、これらの閾値に基づいて、静的偏心率UFおよび動的偏心率Westにおけるそれぞれの軸劣化度を判定する。そして、比較判定部133は、軸劣化度の大きい方による軸劣化の診断を行って軸劣化診断結果SWRに基づく診断結果信号を通知装置20に出力する。

[0083] ここで、図16では、各閾値を等間隔で設定しているが、これに限定しない。たとえば、ユーザーの設置環境に応じて、あらかじめ等間隔以外の間隔で閾値を設定してもよい。また、実施の形態3では、静的偏心率UFおよび動的偏心率Westに対して、それぞれ3つの閾値を設定して4つの区分に分け、「正常」、「少劣化」、「中劣化」および「大劣化」の4つの劣化パターンとする軸劣化診断結果SWRとした。ただし、これに限定するものではない。たとえば、「正常」および「劣化」の2つの劣化パターンとしてもよい。また、静的偏心率UFまたは動的偏心率Westが演算できず、どちらかの推定結果が得られなかった場合には、推定結果が得られた方の偏心率に基づいて軸劣化診断部130が診断を行い、軸劣化診断結果SWRに基づく診断結果信号を通知装置20に出力してもよい。

[0084] 以上のように、実施の形態3では、劣化診断部100の軸劣化診断部130において、比較判定部133が、静的劣化判定部131が判定した静的劣

化度MUFと動的劣化判定部132が判定した動的劣化度MWestとを比較する。そして、軸劣化診断部130は、静的劣化度MUFおよび動的劣化度MWestのうち、劣化度合いの大きい方を軸劣化診断結果SWRとして、結果信号を通知装置20に出力する。したがって、静的偏心または動的偏心の一方の度合いが偏った場合でも、高精度の軸劣化の診断を行うことができ、機器の信頼性向上をはかることができる。このため、ユーザーによりよいサービスを提供することができる。

[0085] 実施の形態4.

図17は、実施の形態4に係る劣化診断システムSYS2の構成例を説明するブロック図である。実施の形態4における劣化診断システムSYS2は、劣化診断部100の設置場所が実施の形態1における劣化診断システムSYS1とは異なる。具体的には、実施の形態4の劣化診断システムSYS2において、劣化診断部100は、クラウドサーバー30が有する。したがって、実施の形態4において、クラウドサーバー30は、劣化診断装置として機能する。クラウドサーバー30は、たとえば、クラウドサービスにおいて、クラウドストレージ処理などを行う装置である。クラウドサーバー30は、劣化診断部100および記録部310を有する。

[0086] 記録部310は、データを長期的に記憶できるフラッシュメモリなどの不揮発性の補助記憶装置などを記録装置として有し、圧縮機5の状態量に関するデータを記録する。ここで、圧縮機5の状態量に関するデータとは、圧縮機5に取り付けた各種センサからの信号に基づいて得られる、圧縮機5の温度、内部圧力、湿度および冷媒に関するデータである。また、他にも、圧縮機5に供給される相電流のデータも、圧縮機5の状態量に関するデータに含む。圧縮機5の状態量に関するデータは、制御装置10から電気通信回線40を介して送られる信号に含まれる。

[0087] 劣化診断部100は、記録部310が記録する圧縮機5の状態量に関するデータに基づき、実施の形態1～実施の形態3で説明したように、軸劣化の診断処理を行い、軸劣化診断結果SWRを含む信号を通知装置20に出力す

る。

[0088] 以上のように、実施の形態4に係る劣化診断システムSYS2では、クラウドサーバー30が、劣化診断装置となる劣化診断部100を有する。劣化診断対象機器である圧縮機5を制御する制御装置10から、電気通信回線40を介して、クラウドサーバー30に圧縮機5の状態量に関するデータを含む信号がクラウドサーバー30に送られる。そして、クラウドサーバー30の劣化診断部100が、送られた信号に含まれる相電流に基づいて、軸劣化の診断を行い、軸劣化診断結果SWRを含む信号を、通知装置20に出力する。このため、圧縮機5および圧縮機5を搭載する冷凍サイクル装置などの信頼性を向上させることができる。ユーザーの使用環境も考慮して、軸劣化の診断を行うことができ、ユーザーに対して、よりよいサービスを提供することができる。

[0089] ここでは、クラウドサーバー30が、劣化診断部100を有するものとして説明したが、これに限定するものではない。たとえば、クラウドサーバー30は、実施の形態2において説明した劣化推定学習部200を有するものであってもよい。この場合、クラウドサーバー30が劣化推定学習装置となる。

[0090] また、ここでは、クラウドサーバー30が、劣化診断部100と記録部310とを有するものとして説明したが、これに限定するものではない。劣化診断装置と記録装置とを独立した装置とし、電気通信回線40で通信可能に接続して、システムを構成してもよい。

[0091] 実施の形態5.

上述した実施の形態1～実施の形態4においては、回転軸を有する機器となる圧縮機5を、劣化診断を行う対象機器として説明したが、これに限定するものではない。電流により回転軸を回す電動機53を有する機器について適用することができる。また、発電機などについても適用することができる。

[0092] 上述した実施の形態1～実施の形態4は、例示であって制限的なものでは

ない。また、開示の内容については、請求の範囲によって示された範囲と均等の意味および範囲内での全ての変更が含まれることが意図される。また、実施の形態において説明されたものは、可能な限り、単独または組み合わせて実施することが意図される。

### 符号の説明

[0093] 1 交流電源、2 整流回路、3 電解コンデンサ、4 インバータ回路、5 圧縮機、6 電流センサ、7 配線、8 電圧センサ、10 制御装置、11 処理装置、12 記憶装置、20 通知装置、30 クラウドサーバー、40 電気通信回線、51 吸入管、52 主軸、53 電動機、54 潤滑油、55 オイルポンプ、56 副軸受、57 主軸受、58 圧縮機構、59 吐出管、100 劣化診断部、110 静的偏心推定部、111 三相演算部、112 実効値演算部、113 正相電流演算部、114 逆相電流演算部、115 静的偏心率演算部、120 動的偏心推定部、121 包絡線演算部、122 周波数領域変換部、123 正規化変換部、124 機械角成分抽出部、125 推論部、130 軸劣化診断部、131 静的劣化判定部、132 動的劣化判定部、133 比較判定部、200 劣化推定学習部、210 学習部、220 データベース記憶部、310 記録部、SYS1、SYS2 劣化診断システム。

## 請求の範囲

- [請求項1] 電動機が搭載された機器における劣化の進行を診断する劣化診断装置であって、
- 前記電動機に流れる電流に基づいて、前記機器を構成する回転軸の動的偏心の度合いを推定する動的偏心推定部と、
- 推定結果に基づいて、前記回転軸に係る軸劣化度を診断する劣化診断部と
- を備える劣化診断装置。
- [請求項2] 前記電動機に流れる前記電流に基づいて、前記回転軸の静的偏心の度合いを推定する静的偏心推定部を備え、
- 前記劣化診断部は、前記静的偏心の度合いと前記動的偏心の度合いとのいずれか一方または両方の前記推定結果に基づいて、前記回転軸に係る前記軸劣化度を診断する請求項1に記載の劣化診断装置。
- [請求項3] 前記静的偏心推定部は、正相電流と逆相電流との比率である静的偏心率に基づいて、前記静的偏心の度合いを推定する請求項2に記載の劣化診断装置。
- [請求項4] 前記動的偏心推定部は、包絡線処理を行って演算した前記電流に対する包絡線に基づいて、前記動的偏心の度合いを推定する請求項1～請求項3のいずれか一項に記載の劣化診断装置。
- [請求項5] 前記動的偏心推定部は、前記電流を周波数変換して得られる前記電動機の機械角周波数に基づいて前記動的偏心の度合いを推定する請求項1～請求項4のいずれか一項に記載の劣化診断装置。
- [請求項6] 前記電動機が一定速度で駆動しているときの前記電動機に流れる前記電流に基づいて、前記回転軸に係る前記軸劣化度を診断する請求項2に記載の劣化診断装置。
- [請求項7] 前記劣化診断部は、前記推定結果とあらかじめ設定した閾値とを比較して、前記軸劣化度を診断する請求項2に記載の劣化診断装置。
- [請求項8] 電気通信回線を介して送られる信号に含まれる、電動機が搭載され

た機器に係るデータを記録する記録装置と、

前記記録装置が記録する前記機器に流れる電流に関するデータに基づいて、前記機器を構成する回転軸に係る軸劣化度を診断する請求項1～請求項7のいずれか一項に記載の劣化診断装置とを備える劣化診断システム。

[請求項9]

電動機が搭載された機器における劣化の推定に関する学習を行う劣化推定学習装置であって、

前記電動機の駆動周波数に応じて前記電動機に流れる電流のデータと、対応する劣化量のデータとに基づいて、機械学習による学習処理を行い、前記機器を構成する回転軸の動的偏心の度合いを推定する学習済みモデルを生成する学習部と、

生成した前記学習済みモデルを保存する記憶部とを備える劣化推定学習装置。

[請求項10]

電動機が搭載された機器における劣化の進行を診断する劣化診断方法であって、

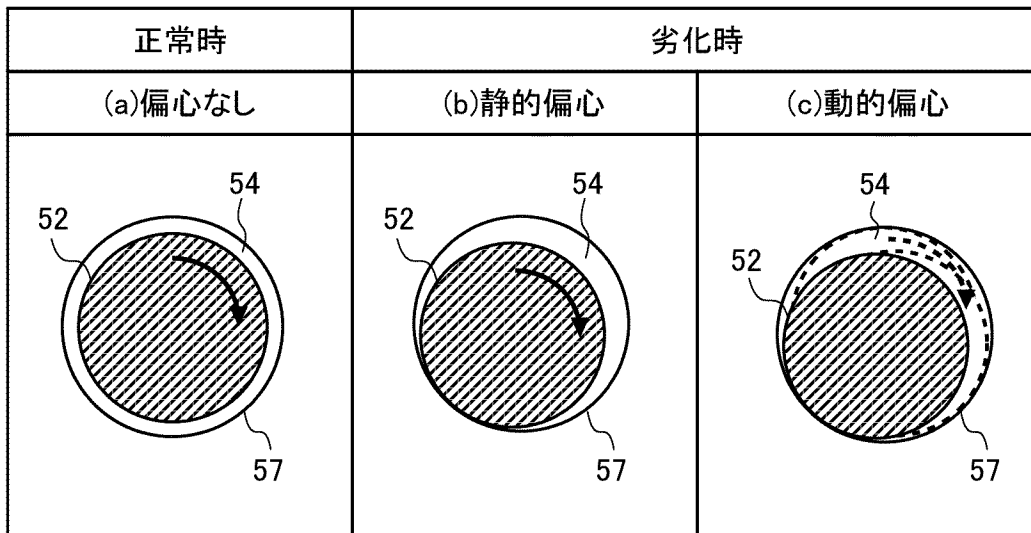
前記電動機に流れる電流に基づいて、前記機器を構成する回転軸の動的偏心の度合いを推定する動的偏心推定工程と、

推定結果に基づいて、前記回転軸に係る軸劣化度を診断する劣化診断工程と

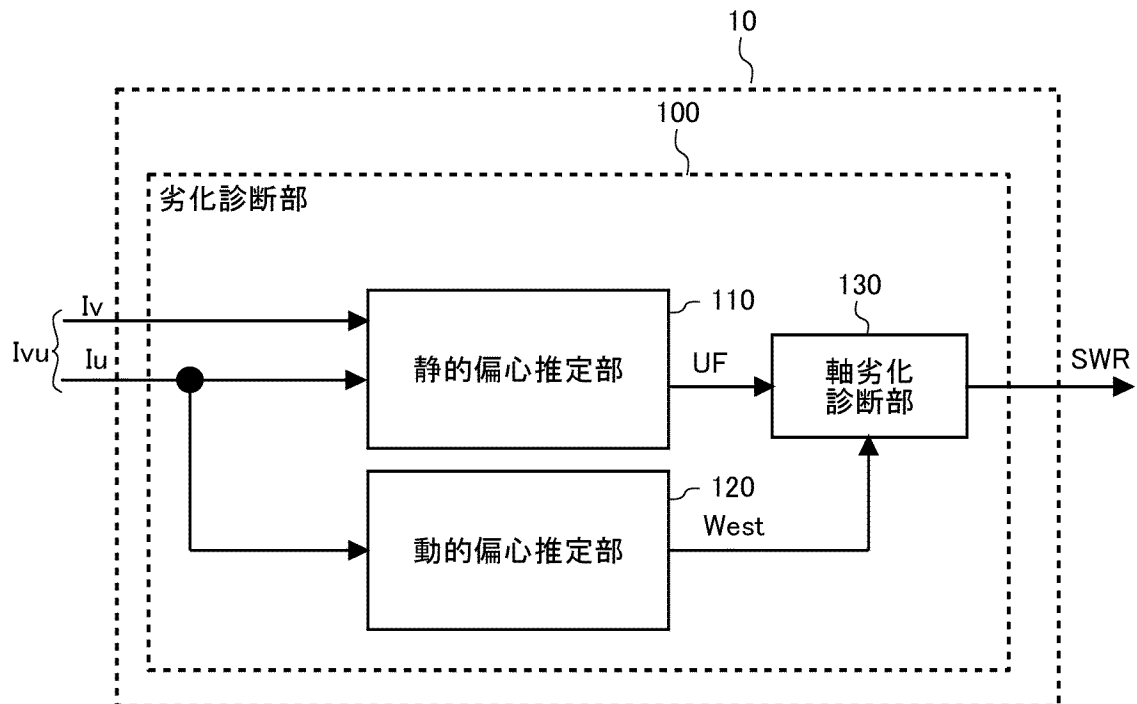
を有する劣化診断方法。



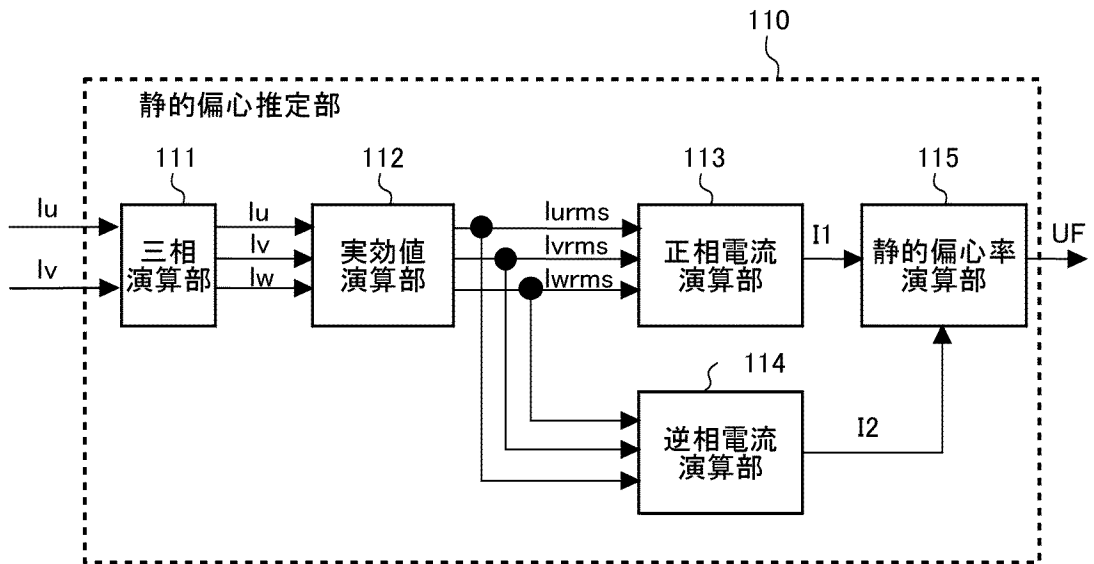
[図3]



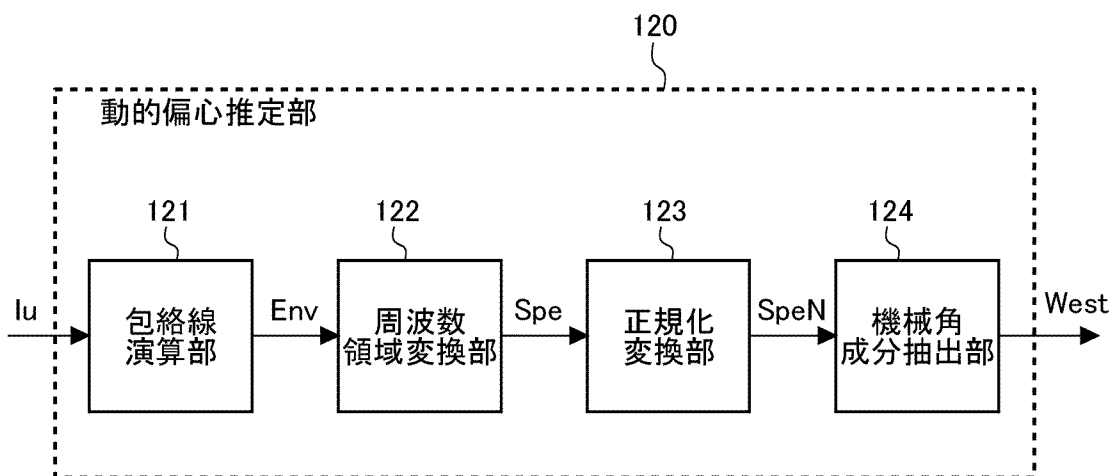
[図4]



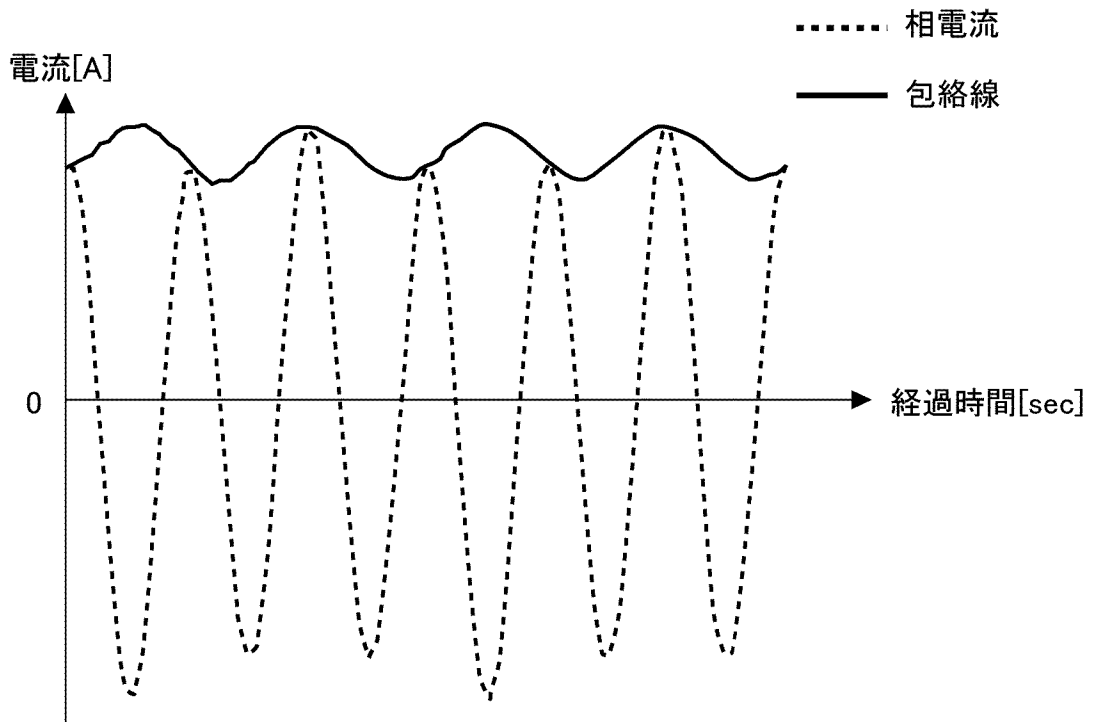
[図5]



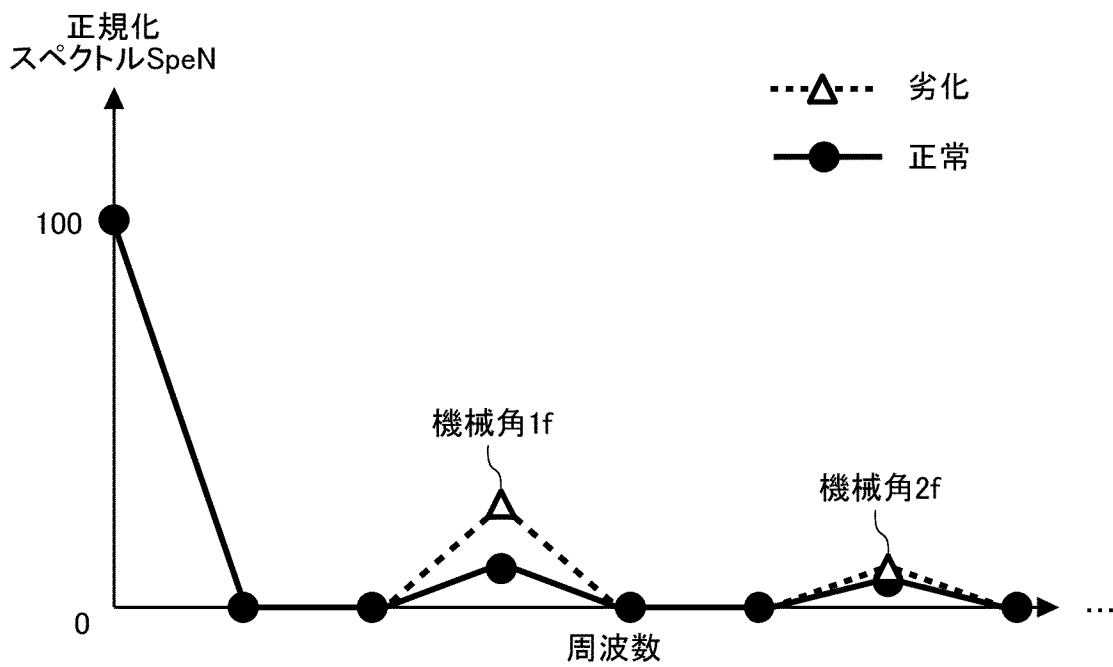
[図6]



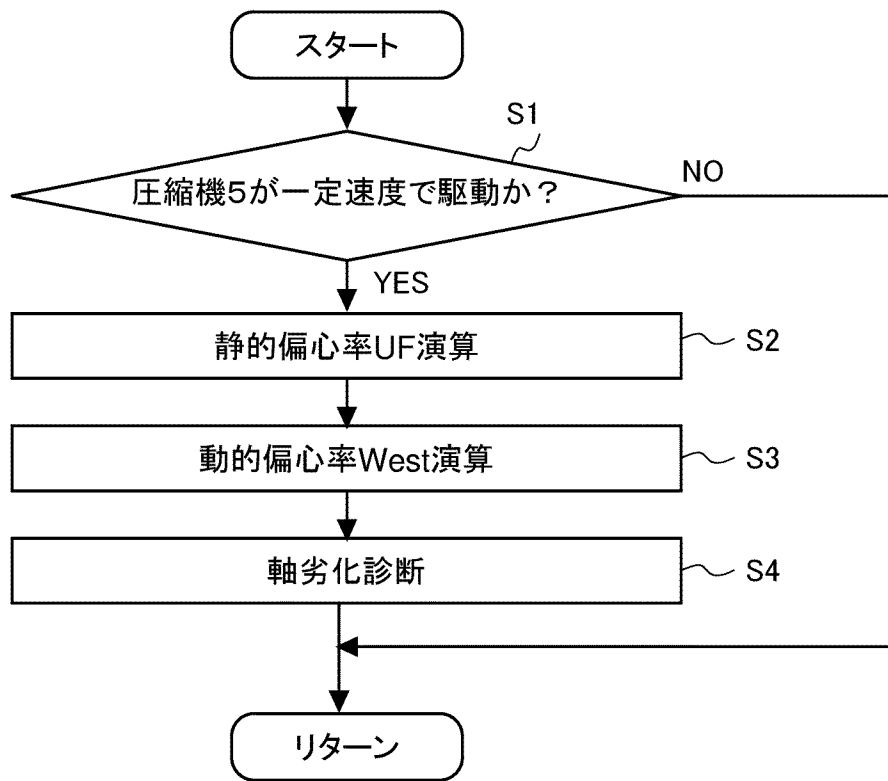
[図7]



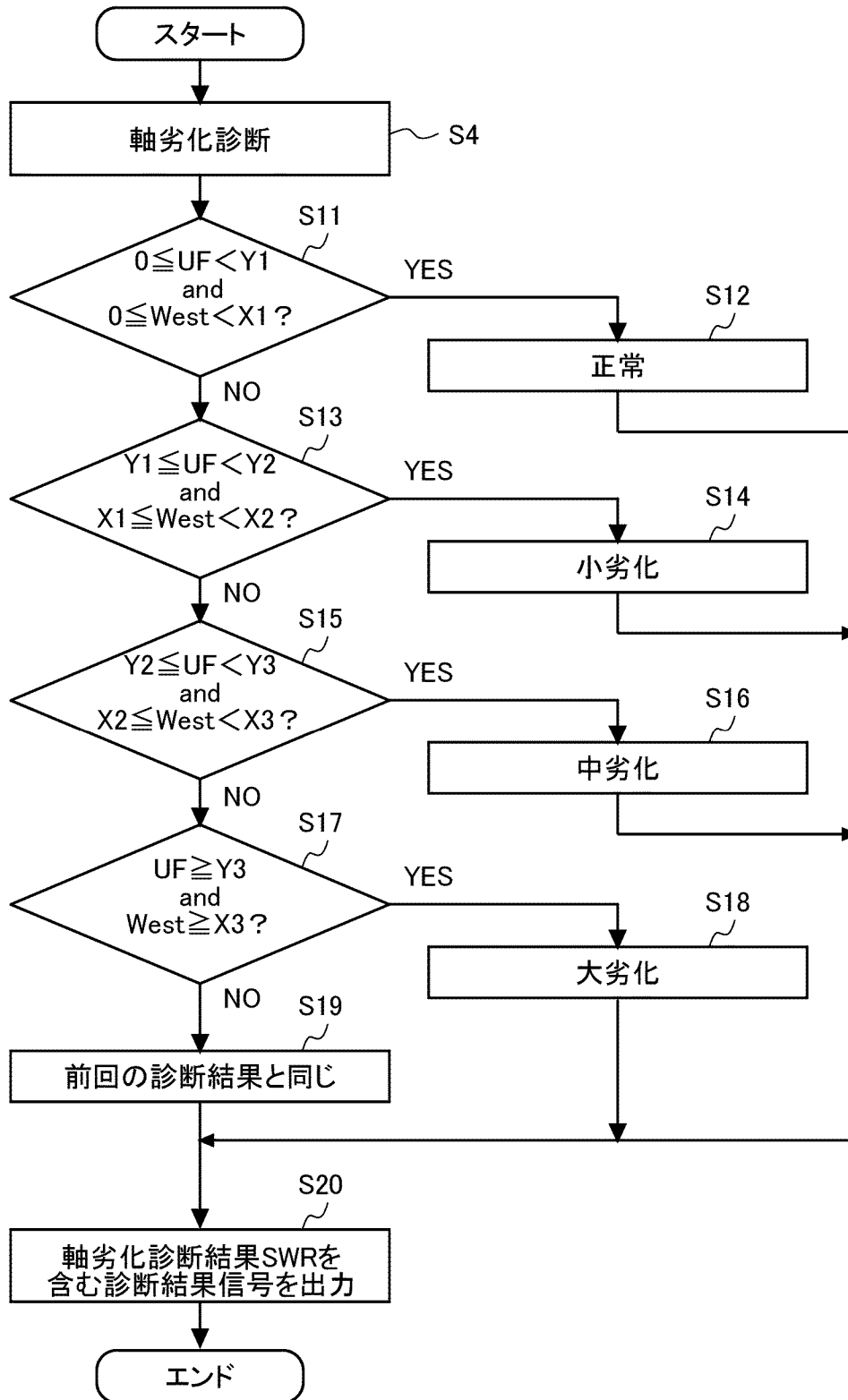
[図8]



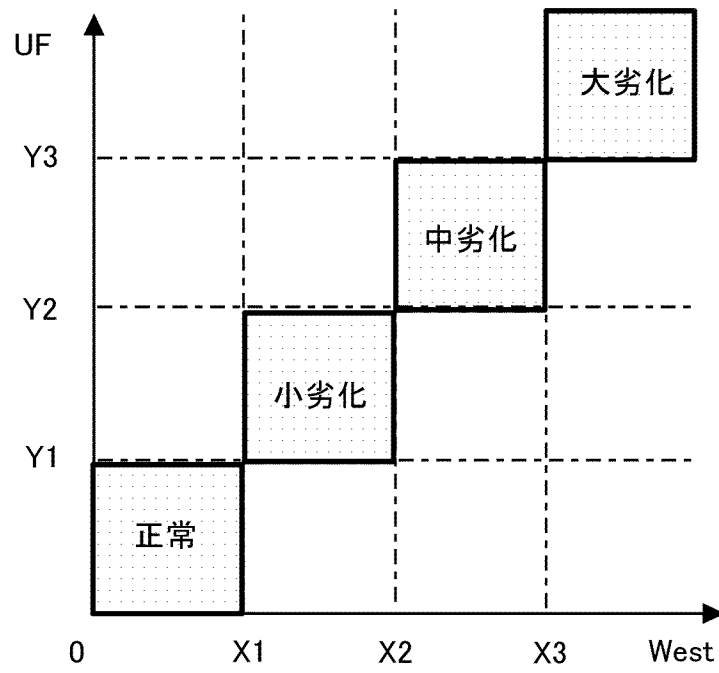
[図9]



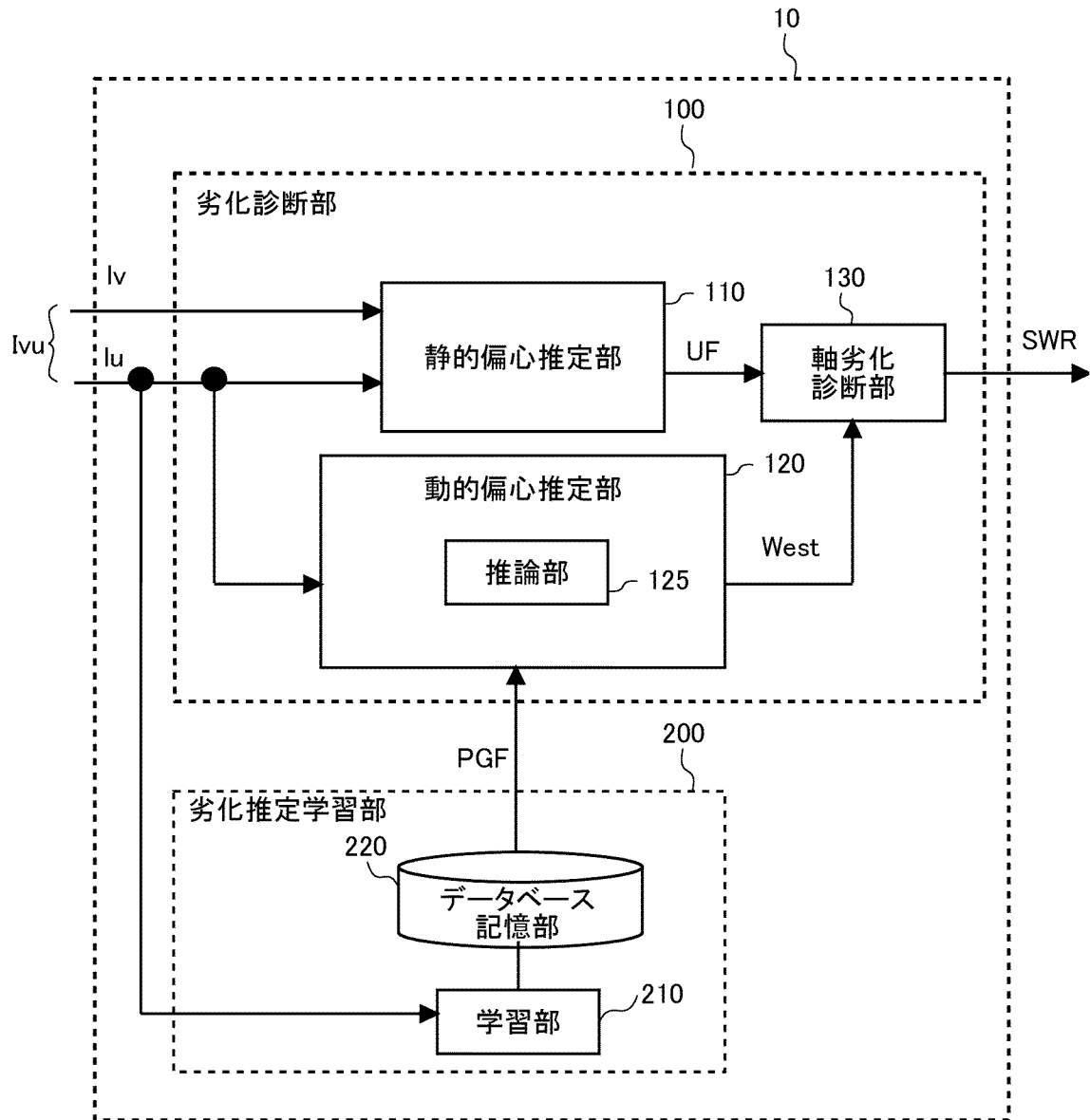
[図10]



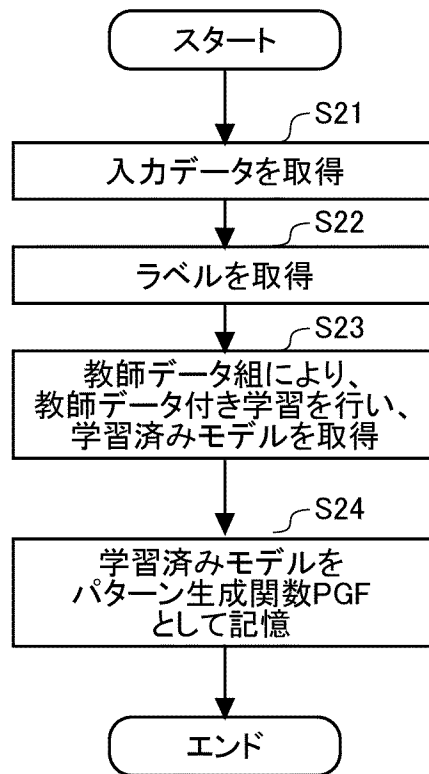
[図11]



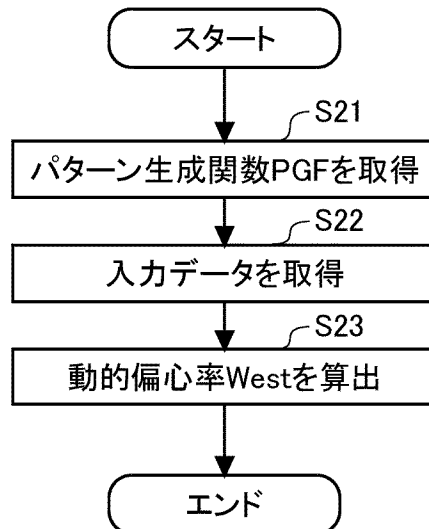
[図12]



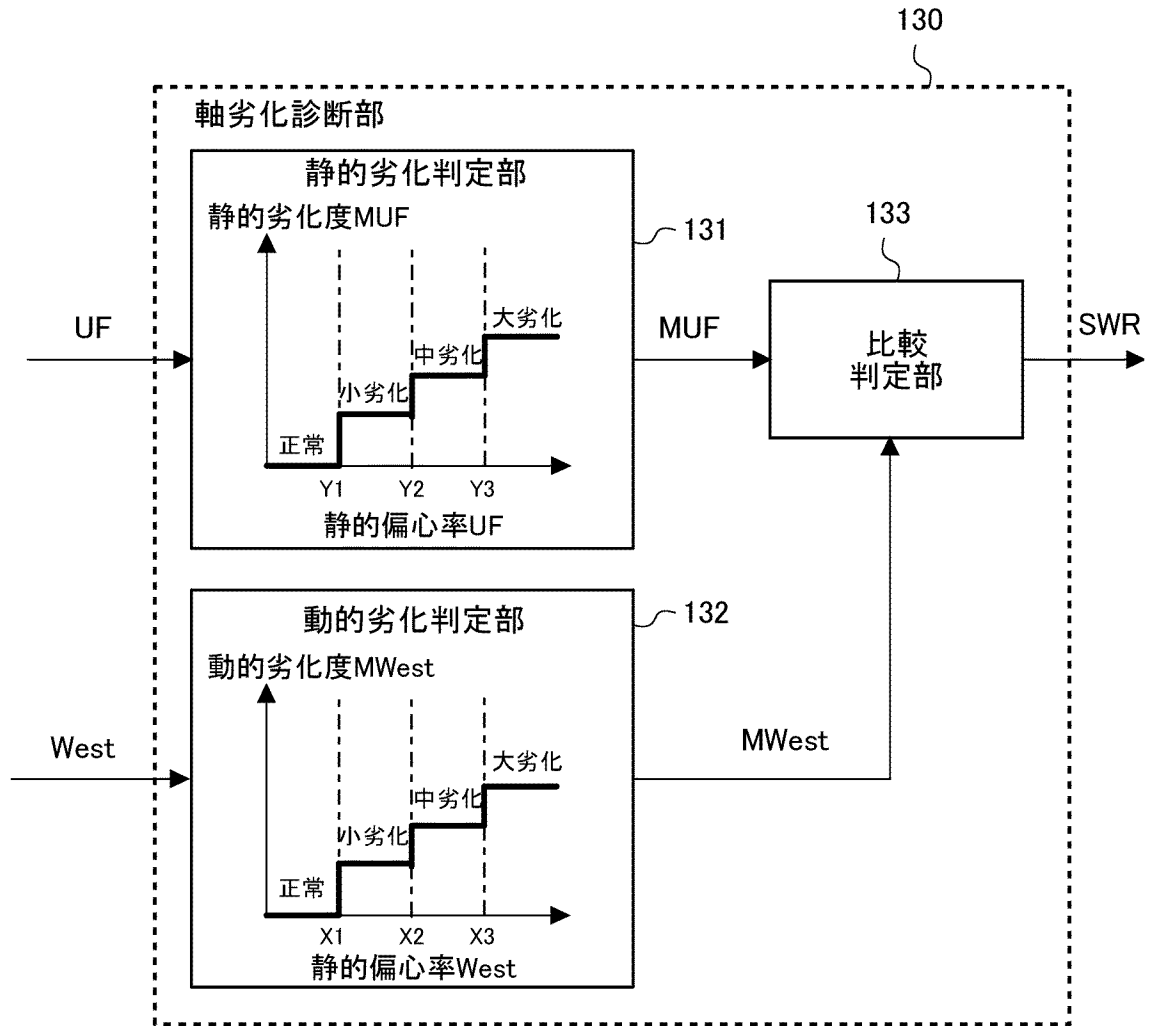
[図13]



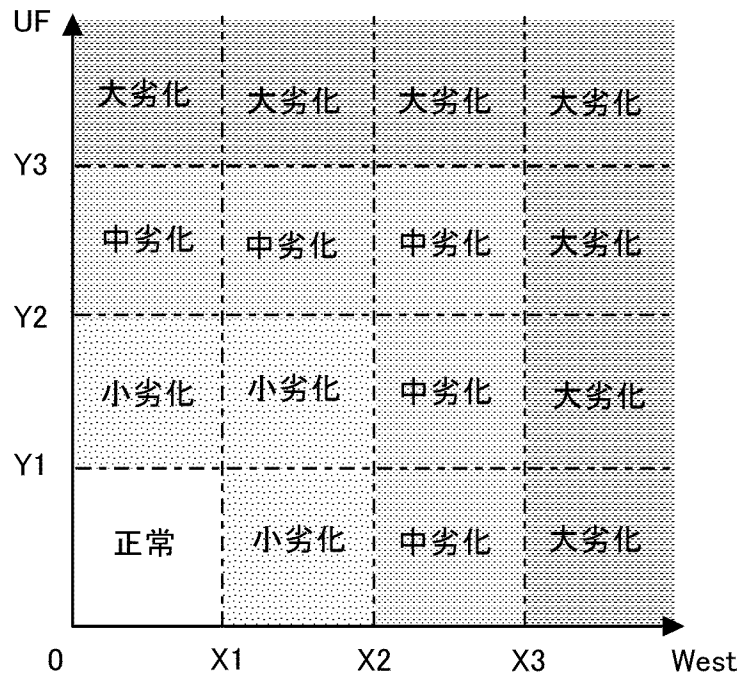
[図14]



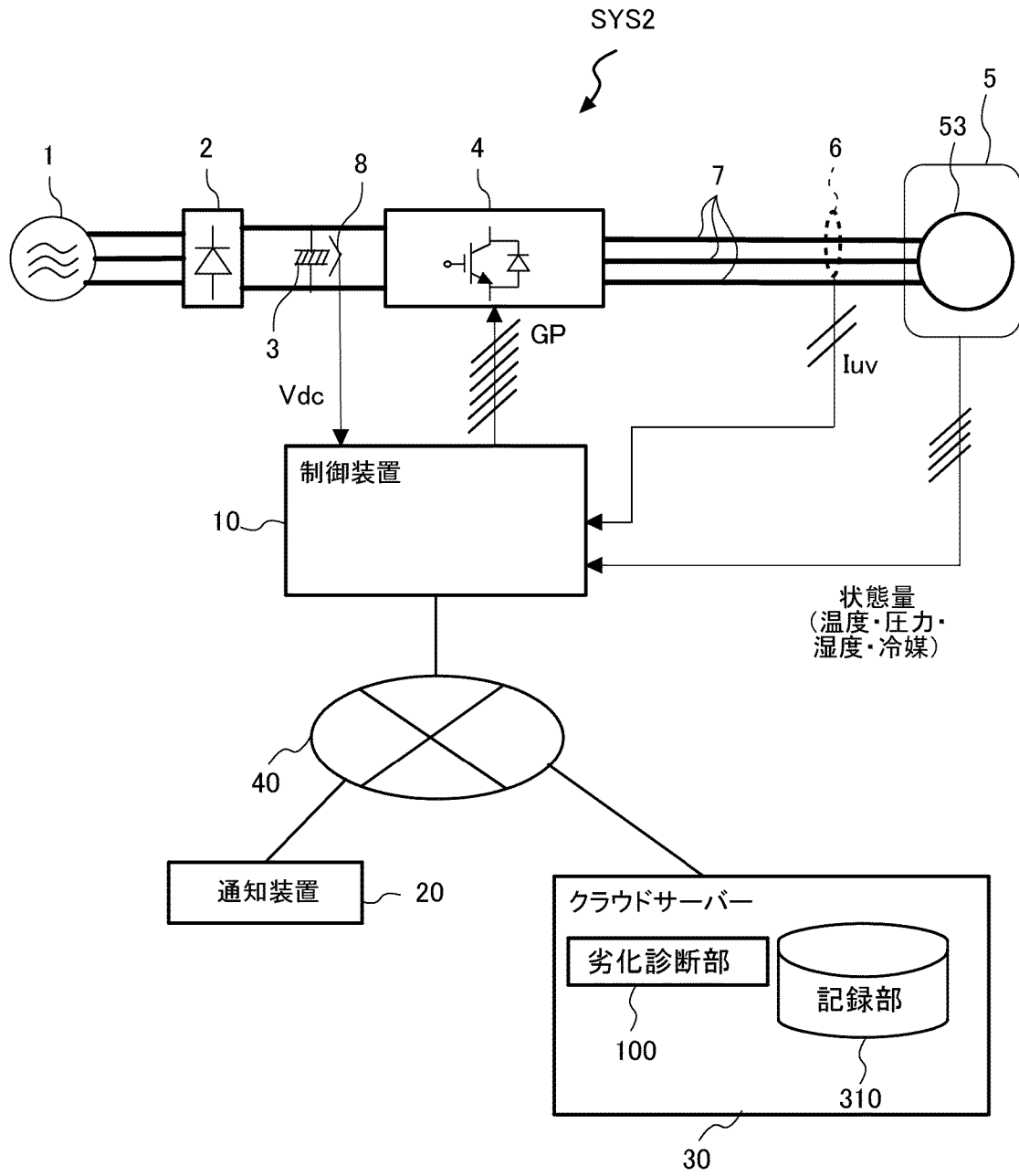
[図15]



[図16]



[図17]



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2023/020114

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b>		
<i>G01R 31/34</i> (2020.01) FI: G01R31/34 A		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b>		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G01R31/34; G01M99/00; H02K11/20; H02P29/024		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Published examined utility model applications of Japan 1922-1996 Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2023 Registered utility model specifications of Japan 1996-2023 Published registered utility model applications of Japan 1994-2023		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 2021/166042 A1 (MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION) 26 August 2021 (2021-08-26) paragraphs [0001], [0005], [0011]-[0052], fig. 1-12	1, 10
Y		8-9
A		2-7
Y	WO 2022/079796 A1 (MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION) 21 April 2022 (2022-04-21) paragraphs [0001], [0008], [0012]-[0049], [0064]-[0098], fig. 1-9, 13-18	8-9
A	WO 2019/167086 A1 (ROUTRAY, Aurobinda) 06 September 2019 (2019-09-06) entire text, all drawings	1-10
A	US 2016/0033580 A1 (BOARD OF REGENTS OF THE UNIVERSITY OF NEBRASKA) 04 February 2016 (2016-02-04) entire text, all drawings	1-10
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search <b>05 July 2023</b>		Date of mailing of the international search report <b>25 July 2023</b>
Name and mailing address of the ISA/JP <b>Japan Patent Office (ISA/JP) 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915 Japan</b>		Authorized officer  Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

**PCT/JP2023/020114**

<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2013/0033215 A1 (ILLINOIS INSTITUTE OF TECHNOLOGY) 07 February 2013 (2013-02-07) entire text, all drawings	1-10
A	CN 115114848 A (CHENGDU XINGYUN SMART & CONNECTION TECHNOLOGY CO., LTD.) 27 September 2022 (2022-09-27) entire text, all drawings	1-10

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
**Information on patent family members**

International application No.

**PCT/JP2023/020114**

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
WO	2021/166042	A1	26 August 2021	US 2023/0003798 A1 fig. 1-12, paragraphs [0001], [0005], [0026]-[0072] EP 4109721 A1 CN 115066826 A	
WO	2022/079796	A1	21 April 2022	(Family: none)	
WO	2019/167086	A1	06 September 2019	(Family: none)	
US	2016/0033580	A1	04 February 2016	US 2013/0325373 A1 entire text, all drawings	
US	2013/0033215	A1	07 February 2013	(Family: none)	
CN	115114848	A	27 September 2022	(Family: none)	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） G01R 31/34(2020.01)i FI: G01R31/34 A		
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC）） G01R31/34; G01M99/00; H02K11/20; H02P29/024 最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2023年 日本国実用新案登録公報 1996-2023年 日本国登録実用新案公報 1994-2023年		
国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）		
C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X Y A	WO 2021/166042 A1 (三菱電機株式会社) 26.08.2021 (2021-08-26) 段落[0001], [0005], [0011]-[0052], [図1]-[図12]	1,10 8-9 2-7
Y	WO 2022/079796 A1 (三菱電機株式会社) 21.04.2022 (2022-04-21) 段落[0001], [0008], [0012]-[0049], [0064]-[0098], [図1]-[図9], [図13]-[図18]	8-9
A	WO 2019/167086 A1 (ROUTRAY, Aurobinda) 06.09.2019 (2019-09-06) 全文, 全図	1-10
A	US 2016/0033580 A1 (BOARD OF REGENTS OF THE UNIVERSITY OF NEBRASKA) 04.02.2016 (2016-02-04) 全文, 全図	1-10
A	US 2013/0033215 A1 (ILLINOIS INSTITUTE OF TECHNOLOGY) 07.02.2013 (2013-02-07) 全文, 全図	1-10
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input checked="" type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。		
* 引用文献のカテゴリー “A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの “E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの “L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す） “O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 “P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献 “T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの “X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの “Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの “&” 同一パテントファミリー文献		
国際調査を完了した日 05.07.2023	国際調査報告の発送日 25.07.2023	
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	権限のある職員（特許庁審査官） 永井 皓喜 2S 5701 電話番号 03-3581-1101 内線 3216	



国際調査報告  
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号  
 PCT/JP2023/020114

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
WO	2021/166042	A1	26.08.2021	US 2023/0003798 A1 FIG.1-FIG.12, 段落 [0001], [0005], [0026]- [0072] EP 4109721 A1 CN 115066826 A	
WO	2022/079796	A1	21.04.2022	(ファミリーなし)	
WO	2019/167086	A1	06.09.2019	(ファミリーなし)	
US	2016/0033580	A1	04.02.2016	US 2013/0325373 A1 全文、全図	
US	2013/0033215	A1	07.02.2013	(ファミリーなし)	
CN	115114848	A	27.09.2022	(ファミリーなし)	