

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6593715号  
(P6593715)

(45) 発行日 令和1年10月23日(2019.10.23)

(24) 登録日 令和1年10月4日(2019.10.4)

(51) Int. Cl. F I  
**G05B 23/02 (2006.01)** G O 5 B 23/02 T  
**H02P 29/024 (2016.01)** H O 2 P 29/024

請求項の数 10 (全 21 頁)

(21) 出願番号	特願2017-207881 (P2017-207881)	(73) 特許権者	000006622 株式会社安川電機
(22) 出願日	平成29年10月27日(2017.10.27)		福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号
(65) 公開番号	特開2019-79452 (P2019-79452A)	(74) 代理人	100104503 弁理士 益田 博文
(43) 公開日	令和1年5月23日(2019.5.23)	(74) 代理人	100191112 弁理士 益田 弘之
審査請求日	平成30年1月17日(2018.1.17)	(72) 発明者	正垣 隆章 福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号 株式会社安川電機内
		(72) 発明者	長田 武 福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号 株式会社安川電機内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 異常判定システム、モータ制御装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

モータ駆動機械の動作異常を判定する異常判定システムであって、  
 前記モータ駆動機械を駆動するモータをモータ制御指令に基づいて制御するとともに、  
 当該モータの制御に関連して取得した動作データと格納された基準データとの比較により  
 前記モータ駆動機械の動作異常を検知可能なモータ制御装置と、  
 前記モータ制御装置に対して前記モータ制御指令を送信する上位制御装置と、  
 前記モータ制御装置との間で前記基準データと前記動作データを送受信するデータ送受  
 装置と、  
 を有することを特徴とする異常判定システム。

【請求項2】

前記モータ制御装置は、  
 機械学習により生成した前記基準データを用いて前記動作データのデータ異常を判定し  
 、データ異常と判定された動作データの取得頻度、取得時刻、取得周波数、又は取得組み  
 合わせに基づいて動作異常を判定し、前記モータ駆動機械が動作異常と検知された際に取  
 得した動作データを異常動作データとして前記データ送受装置に送信することを特徴とす  
 る請求項1記載の異常判定システム。

【請求項3】

前記基準データは、前記モータ駆動機械の正常駆動時において取得された正常時動作デ  
 ータに基づいて複数の所定動作パターン別に対応して算出されることを特徴とする請求項

1又は2記載の異常判定システム。

【請求項4】

前記モータ制御装置は、

前記データ送受装置を介して前記動作データの取得指示を受信した際に、取得した動作データを前記データ送受装置に送信することを特徴とする請求項1乃至3のいずれか1項に記載の異常判定システム。

【請求項5】

前記データ送受装置を介して受信した動作データに基づいて前記基準データを生成し、当該基準データを前記データ送受装置に送信するデータ管理装置をさらに有することを特徴とする請求項1乃至4のいずれか1項に記載の異常判定システム。

10

【請求項6】

前記データ管理装置は、

前記動作データと前記基準データとの比較により前記モータ駆動機械の動作異常を検知可能であることを特徴とする請求項5記載の異常判定システム。

【請求項7】

前記データ送受装置は、前記モータ制御装置に一体に組み込まれていることを特徴とする請求項1乃至6のいずれか1項に記載の異常判定システム。

【請求項8】

前記データ送受装置は、前記データ管理装置に一体に組み込まれていることを特徴とする請求項5又は6記載の異常判定システム。

20

【請求項9】

前記データ送受装置は、前記モータ制御装置に一体に組み込まれて無線通信を介して前記データ管理装置と送受信することを特徴とする請求項5又は6記載の異常判定システム。

【請求項10】

上位制御装置から受信したモータ制御指令に基づいてモータ駆動機械を駆動するモータを制御するとともに、

前記モータ駆動機械の観測駆動時において前記モータから取得された観測時動作データと、前記モータ駆動機械の正常駆動時において前記モータから取得された正常時動作データに基づいて算出され格納した基準データとの比較により前記モータ駆動機械の動作異常を検知し、

30

データ送受装置との間で前記基準データと正常時動作データを送受することを特徴とするモータ制御装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

開示の実施形態は、異常判定システム、モータ制御装置に関する。

【背景技術】

【0002】

特許文献1には、機械設備に含まれる複数の装置からそれぞれ時系列データを取得し、それら時系列データに基づいて異常予兆の有無を診断する異常予兆診断装置が開示されている。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特許第5480440号

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

50

しかしながら上記従来技術では、1つの異常予兆診断装置が複数の機械設備のそれぞれに含まれる複数の装置から時系列データを取得し、つまり多数の装置から取得された大量の時系列データを扱って各装置に異常予兆の有無を診断していた。このため、当該異常予兆診断装置等の上位制御装置における処理負担が過大となって異常判定やデータ収集が不安定になりやすかった。

【0005】

本発明はこのような問題点に鑑みてなされたものであり、上位制御装置の処理負担を増大させることなく安定した異常判定とデータ収集が可能な異常判定システム、モータ制御装置を提供することを目的とする。

10

【課題を解決するための手段】

【0006】

上記課題を解決するため、本発明の一の観点によれば、モータ駆動機械の動作異常を判定する異常判定システムであって、前記モータ駆動機械を駆動するモータをモータ制御指令に基づいて制御するとともに、当該モータの制御に関連して取得した動作データと格納された基準データとの比較により前記モータ駆動機械の動作異常を検知可能なモータ制御装置と、前記モータ制御装置に対して前記モータ制御指令を送信する上位制御装置と、前記モータ制御装置との間で前記基準データと前記動作データを送受信するデータ送受装置と、を有する異常判定システムが適用される。

【0008】

また、本発明の別の観点によれば、上位制御装置から受信したモータ制御指令に基づいてモータ駆動機械を駆動するモータを制御するとともに、前記モータ駆動機械の観測駆動時において前記モータから取得された観測時動作データと、前記モータ駆動機械の正常駆動時において前記モータから取得された正常時動作データに基づいて算出され格納した基準データとの比較により前記モータ駆動機械の動作異常を検知し、データ送受装置との間で前記基準データと正常時動作データを送受するモータ制御装置が適用される。

20

【発明の効果】

【0010】

本発明によれば、上位制御装置の処理負担を増大させることなく安定した異常判定とデータ収集が可能となる。

30

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】異常判定システムの概略的なシステム構成を表す図である。

【図2】正常駆動時での第1準備フェーズにおいて各システム機器が実行する処理の内容と各システム機器間で送受される情報の流れを示す図である。

【図3】第2準備フェーズにおいて各システム機器が実行する処理の内容と各システム機器間で送受される情報の流れを示す図である。

【図4】観測駆動時での運用フェーズにおいて各システム機器が実行する処理の内容と各システム機器間で送受される情報の流れを示す図である。

【図5】正常時動作データと基準データの一例を示す図である。

40

【図6】トルク指令の基準データと観測時動作データの比較内容を説明する図である。

【図7】カイ2乗分布とデータ異常判定しきい値とマハラノビス距離の関係を説明する図である。

【図8】経年変化の動作異常を判定する場合の観測時動作データとデータ異常検出状態の一例を示す図である。

【図9】データ異常判定と動作異常判定を行う異常判定処理の制御手順を示すフローチャートである。

【図10】データ収集モジュールがエッジサーバに一体に組み込まれた場合のシステム構成を示す図である。

【図11】データ収集モジュールがサーボアンプに一体に組み込まれた場合のシステム構

50

成を示す図である。

【図12】データ収集モジュールがサーボアンプに一体に組み込まれ、無線通信を介してエッジサーバと送受信する場合のシステム構成を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0012】

以下、一実施の形態について図面を参照しつつ説明する。

【0013】

< 1：異常判定システムの全体構成 >

図1を参照しつつ、本実施形態に係る異常判定システムの全体構成の一例について説明する。

【0014】

図1は、異常判定システムの概略的なシステム構成図を表している。本実施形態の異常判定システムは、工場等に設置された生産機械等の機械システムの駆動制御を行うとともに、その動作データの取得と動作異常の検知を行うシステムである。図1に示すように、異常判定システム100は、モータ駆動機械1と、サーボアンプ2と、上位コントローラ3と、エッジサーバ4と、データ収集モジュール5と、上位指令装置7とを有する。

【0015】

モータ駆動機械1は、当該異常判定システム100によってその駆動に関する各種の異常が判定される対象の機械システムである。このモータ駆動機械1は、それぞれエンコーダ11を備えた複数（図示する例では4つ）のモータ12と、これらモータ12により駆動される駆動機構（特に図示せず）とを有しており、各モータ12がそれぞれ異なる動作パターンで協調制御されることでその全体が作動する複数軸の機械システムとなっている。本実施形態の例では、各モータ12は回転型の電動モータであり、エンコーダ11はモータ12の回転位置を光学的に検出し出力するセンサである。なお、各モータ12は回転型に限られず、他にも直動型のいわゆるリニアモータを用いてもよく、その場合にはリニアモータがエンコーダ11の代わりにリニアスケール等の位置検出センサを備える（特に図示せず）。また本実施形態の例では、モータ駆動機械1が、各モータ12の駆動制御に関係する各種状態量を検知可能な外部センサ13も有しており、上記の各エンコーダ11にはそれぞれ対応するモータ12やモータ駆動機械1の各種状態量（振動、機器温度、周囲温度、周囲湿度等）を検出可能な外部センサ13（図中では「センサ」と略記）がいわゆるフィールドネットワークである、例えば - LINK（登録商標）を介して情報送受可能に接続されている。なお、モータ駆動機械1は、図示する例のように複数軸で駆動制御する機械システムに限られず、単軸で駆動制御する機械システムであってもよい（特に図示せず）。

【0016】

サーボアンプ2（モータ制御装置）は、上記複数のモータ12にそれぞれ個別に対応して設けられ、後述の上位コントローラ3（上位制御装置）から入力されるモータ制御指令に基づいて生成した駆動電力を対応するモータ12に給電して駆動制御する機能を有している。本実施形態の例では、これらのサーボアンプ2は、駆動電力を給電する過程で生成されるトルク指令と、エンコーダ11から出力されたモータ12の出力位置に基づいて生成される出力速度の2つの時系列データを動作データとして逐次取得し、外部の機器へ送信する機能も有している（後述の図2、図4参照）。また本実施形態において、各サーボアンプ2は、取得した動作データと、予め格納された基準データとの比較によってモータ駆動機械1の動作異常を検知する機能も有している。この動作異常の検知機能については、後に詳述する。

【0017】

上位コントローラ3（上位制御装置）は、モータ駆動機械1に所望の経時的な駆動動作を行わせるため、例えば各モータ12の出力位置指令などといったモータ制御指令を逐次生成し出力する機能を有している。なお、このような上位コントローラ3におけるモータ制御指令の生成、出力機能については、後述の上位指令装置7から入力される上位制御指

10

20

30

40

50

令に基づいてその開始及び停止の契機や各種パラメータの設定が行われる。また本実施形態の例では、機械制御用のシステム機器間の信号通信に特化したいわゆるフィールドネットワークである、例えばMECHATROLINK（登録商標）を介して、上位コントローラ3が各サーボアンプ2と情報送受可能に接続されている。

#### 【0018】

エッジサーバ4（データ管理装置）は、例えばデスクトップ型の汎用パーソナルコンピュータで構成され、ユーザからの入力操作（アクセス）に基づいて当該異常判定システム全体を管理、制御する機能を有している。具体的には、エッジサーバ4は、図示する例のようにETHERNET（登録商標）を介して接続する後述のデータ収集モジュール5を介して各サーボアンプ2から取得した動作データを格納、管理するとともに、特に後述する正常駆動時の動作データに基づいてデータ異常の検知に用いる基準データを生成する。なお、この基準データの生成処理については、後に詳述する。またエッジサーバ4は、図示する例のようにインターネット等の広域ネットワークNWを介して外部のクラウドサーバ6と情報送受可能に接続されることで、格納した動作データや異常検知情報等をクラウドサーバ6に送信することも可能であり、またセキュリティを重視するネットワーク形態の場合にはクラウドサーバ6と接続しない場合もあり得る。

10

#### 【0019】

データ収集モジュール5（データ送受装置）は、各サーボアンプ2と上記エッジサーバ4との間における各種データや報知情報等の送受を中継する機能を有している。本実施形態の例では、データ収集モジュール5は、各サーボアンプ2と同列の一端末として上記フィールドネットワークのMECHATROLINK（登録商標）に接続しており、各サーボアンプ2との間で並列かつリアルタイムに各種データ等を送受可能となっている。また本実施形態の例では、データ収集モジュール5は、ETHERNET（登録商標）を介してエッジサーバ4と直接接続しており、各種データ等を高速に送受可能となっている。このようにデータ収集モジュール5は、サーボアンプ2とエッジサーバ4それぞれの通信規格や処理サイクルの差異を吸収してそれらの間の各種データの送受を円滑に中継する。つまりこの例では、一般的なフィールドネットワーク側（サーボアンプ2側）ではデータ伝送特性としてアクセス周期は短い但し伝送帯域が狭い一方、ETHERNET（登録商標）側（エッジサーバ4側）ではアクセス周期が長いものの帯域が広いという違いがある。これに対してデータ収集モジュール5は、それらデータ伝送特性が相違する通信規格間においても大量のデータを円滑に送受できるよう、適切にデータのバッファリングと送受の同期制御を行う。

20

30

#### 【0020】

上位指令装置7は、例えば汎用パーソナルコンピュータやPLC（Programmable Logic Controller）で構成され、モータ駆動機械1全体の作動と停止を管理する機能を有している。具体的には、上位指令装置7は、エッジサーバ4が格納した動作データや異常判定結果などを参照してモータ駆動機械1の動作状態を監視し、その動作状態に反映した上位制御指令を上位コントローラ3に送信する。この上位制御指令は、上位コントローラ3に対して、そのモータ制御指令の生成や出力の開始及び停止の指示（つまりモータ駆動機械1全体の作動、停止の指示）や、各種パラメータの設定を行わせる指令である。

40

#### 【0021】

< 2：本実施形態の特徴 >

モータ駆動機械1の駆動制御を行うシステムとして、一般的には、上位コントローラ3がモータ制御指令を生成、送信し、それを受信したサーボアンプ2が当該モータ制御指令に基づいてモータ駆動機械1を駆動するモータ12を制御する。これにより、多様なモータ制御指令を時系列に組み合わせた動作パターンでモータ駆動機械1のシーケンス制御が可能となる。そして、モータ駆動機械1が複数のモータ12で駆動される場合には、1つの上位コントローラ3が各モータ12それぞれに対応するサーボアンプ2に個別にモータ制御指令を生成して送信することにより、各モータ12を協調駆動させたモータ駆動機械

50

1 全体のシーケンス制御が可能となる。

【 0 0 2 2 】

一方、モータ駆動機械 1 を長期に渡って運用した場合には、経年劣化等に起因した動作異常が発生しやすくなる。近年では、そのような動作異常が積み重なってモータ駆動機械 1 全体が重大な故障に至る前に、早期の故障対策を行えるよう微弱な動作異常をいち早く検知可能な異常判定機能が要望されている。またそれとともに、データ駆動型技術開発の観点から、各種センサから逐次検出される大量のセンサデータを常時リアルタイムに取得し、上位のデータ管理装置（この例のエッジサーバ 4 やクラウドサーバ 6）などに送信して保存する必要性も増大している。

【 0 0 2 3 】

しかしながら上位コントローラ 3 が備える CPU の処理リソース（処理能力）は有限であり、上述したような複数のサーボアンプ 2 それぞれに対するモータ制御指令の生成、送信といった通常処理と並行して、各モータ 1 2 別での駆動動作の異常判定処理とセンサデータの逐次取得、保存を 1 つの上位コントローラ 3 が同時に処理することは困難となっていた。

【 0 0 2 4 】

これに対して本実施形態の異常判定システム 1 0 0 では、サーボアンプ 2 が、上位コントローラ 3 から受信したモータ制御指令に基づいてモータ 1 2 を制御するとともに、当該モータ 1 2 の制御に関連して取得した動作データと予め格納された基準データとの比較によりモータ駆動機械 1 の動作異常を検知する。また、サーボアンプ 2 との間で基準データと動作データを送受信するデータ収集モジュール 5 を設けている。

【 0 0 2 5 】

この異常判定システム 1 0 0 においては、各サーボアンプ 2 がそれぞれ対応するモータ 1 2 からの動作データの取得と動作異常の検知を個別かつ並列的に処理することができ、また各サーボアンプ 2 で取得した動作データをデータ収集モジュール 5 が一括受信して管理できる。このとき、各サーボアンプ 2 においては、例えばホテリングの T<sup>2</sup> 法等によって動作データと基準データの比較処理だけで簡易に動作異常を検知できるため、当該サーボアンプ 2 が通常に備える CPU の処理リソースの許容範囲内で実行できる。また、専用のデータ収集モジュール 5 が、各サーボアンプ 2 で逐次取得された動作データを受信して管理できるため、モータ駆動機械 1 が多数のモータ 1 2 で駆動される構成であっても、上位コントローラ 3 は各サーボアンプ 2 のモータ制御指令を生成、送信する通常処理だけ行えばよく処理負荷を増大させることがない。以下、この機能について順次詳しく説明する。

【 0 0 2 6 】

< 3 : 各フェーズにおける情報送受内容について >

まず本実施形態の異常判定システム 1 0 0 は、モータ駆動機械 1 の動作異常を判定可能な状態とするまでに 2 つの準備フェーズを経る必要がある。具体的には、各サーボアンプ 2 で後述の正常時動作データを取得する第 1 準備フェーズと、取得した正常時動作データに基づいて基準データを生成し各サーボアンプ 2 に格納する第 2 準備フェーズとを経て、その後初めてモータ駆動機械 1 を通常に駆動制御しつつ異常判定を行う運用フェーズを実行できる。以下、各フェーズにおける各システム機器の処理と情報の流れについて図面を参照しつつ説明する。なお、図示の煩雑を避けるために、以下に示す図 2 ~ 図 4 においては、上記図 1 に示した外部センサ 1 3 等の図示を省略している。

【 0 0 2 7 】

< 3 - 1 : 第 1 準備フェーズ >

まずこの第 1 準備フェーズは、モータ駆動機械 1 の正常駆動時に行われる。この正常駆動としては、例えばモータ駆動機械 1 が組立製造後に十分な調整が行われた状態でほぼ動作異常が生じることなく設計通りに動作すると確信できる状態（初期運用又は試験運用）での駆動が考えられる。

【 0 0 2 8 】

10

20

30

40

50

図2は、そのような正常駆動時での第1準備フェーズにおいて各システム機器が実行する処理の内容と各システム機器間で送受される情報の流れを示している。この図2において、まず最初に上位指令装置7が上位コントローラ3に対してモータ駆動機械1全体の作動を開始するよう指示する上位制御指令を送信する。この上位制御指令の受信を契機として、上位コントローラ3は各サーボアンプ2（図示の簡略化のため図中では1つのみ図示；以下同様）に対して個別にモータ制御指令を送信する。

【0029】

各サーボアンプ2は、それぞれ対応するエンコーダ11の検知情報を参照しつつ、受信したモータ制御指令に基づいて駆動電力を生成し、対応するモータ12に給電する。また一方、この第1準備フェーズ中において各サーボアンプ2は、例えば、駆動電力を給電する過程で生成されるトルク指令と、エンコーダ11の検知情報に基づいて算出されたモータ12の出力速度の2つの時系列データを1組の正常時動作データとして逐次取得し、データ収集モジュール5から動作データの取得指示を受信した際にそれら全ての正常時動作データをデータ収集モジュール5へ送信する。データ収集モジュール5は、受信した正常時動作データをサーボアンプ2別に区別してエッジサーバ4に送信する。エッジサーバ4は、受信した正常時動作データを各サーボアンプ2別に対応して格納する。なお本実施形態の例では、特にモータ駆動機械1が所定の判定動作パターン（所定の動作パターン）で作動する所定期間内で取得された正常時動作データを判定基準用の正常時動作データとして区別されて取得、送信、格納されるものとする。なおこの例では、この判定動作パターンは複数種類設定される。また、判定動作パターンは、モータ駆動機械1の通常運用時で動作させる動作パターンであってもよいし、又は当該第1準備フェーズだけでしか動作し得ないような動作パターン（つまり後述する基準データの作成専用の動作パターン）であってもよい。

【0030】

以上により当該第1準備フェーズでは、正常駆動時においてモータ駆動機械1の各サーボアンプ2でそれぞれ取得された全ての正常時動作データが各サーボアンプ2別に区別されてエッジサーバ4に格納される。またそれら格納された正常時動作データのうち、上記の判定動作パターンでの駆動制御中に取得されたものは特に判定基準用の正常時動作データとして区別される。

【0031】

< 3 - 2 : 第2準備フェーズ >

この第2準備フェーズは、上記第1準備フェーズでエッジサーバ4に各サーボアンプ2の正常時動作データが十分蓄積されたと判断された後に行われる。この第2準備フェーズでは、上位コントローラ3がモータ制御指令を送信せず、モータ駆動機械1が作動を停止した状態で行われる。

【0032】

図3は、そのような第2準備フェーズにおいて各システム機器が実行する処理の内容と各システム機器間で送受される情報の流れを示している。この図3において、エッジサーバ4は、各サーボアンプ2別に格納された判定基準用の正常時動作データに基づいて対応するサーボアンプ2ごとに基準データを生成し、データ収集モジュール5へ送信する。データ収集モジュール5は、受信した基準データに対応するサーボアンプ2に送信する。各サーボアンプ2は、受信した基準データを格納する。

【0033】

以上により当該第2準備フェーズでは、各サーボアンプ2ごとに取得された判定基準用の正常時動作データに基づいてそれぞれの基準データが生成され、それら基準データが対応するサーボアンプ2に格納される。

【0034】

< 3 - 3 : 運用フェーズ >

この運用フェーズは、上記第2準備フェーズで全てのサーボアンプ2にそれぞれ対応する基準データが格納された後の観測駆動時に行われる。この観測駆動時としては、例えば

10

20

30

40

50

モータ駆動機械 1 が十分長い期間で運用されて動作異常が発生し得る状態（実務運用）での駆動が考えられる。

【 0 0 3 5 】

図 4 は、そのような運用フェーズにおいて各システム機器が実行する処理の内容と各システム機器間で送受される情報の流れを示している。この図 4 において、まず最初に上位指令装置 7 が上位コントローラ 3 に対してモータ駆動機械 1 全体の作動を開始するよう指示する上位制御指令を送信する。この上位制御指令の受信を契機として、上位コントローラ 3 は各サーボアンプ 2 に対して個別にモータ制御指令を送信する。各サーボアンプ 2 は、エンコーダ 1 1 の検知情報を参照しつつモータ制御指令に基づいて駆動電力を生成しモータ 1 2 に給電する。これによりモータ駆動機械 1 の通常の駆動制御が行われる。

10

【 0 0 3 6 】

また一方、この運用フェーズ中において各サーボアンプ 2 は、例えば、上記のトルク指令とモータ 1 2 の出力速度の 2 つの動作データを 1 組の観測時動作データとして逐次取得し、それら全ての観測時動作データをデータ収集モジュール 5 へ送信する。データ収集モジュール 5 は、受信した観測時動作データを各サーボアンプ 2 別に区別してエッジサーバ 4 に送信する。エッジサーバ 4 は、受信した正常時動作データを各サーボアンプ 2 別に対応して格納する。

【 0 0 3 7 】

そして本実施形態の例で各サーボアンプ 2 は、特にモータ駆動機械 1 が上記の判定動作パターンで作動する所定期間内で取得された観測時動作データに対して、すでに格納済みの基準データと比較することでモータ駆動機械 1 に動作異常が発生したか否かを判定する。つまりこの動作異常の判定について詳細には、モータ駆動機械 1 が備える機械構成のうち、当該サーボアンプ 2 に対応したモータ 1 2 が駆動する可動部分及びその周辺部分における動作異常について判定する。

20

【 0 0 3 8 】

また本実施形態の例において具体的にこの動作異常の判定は、データ異常の判定と動作異常の判定の 2 段階で行われる。つまり、判定動作パターンの駆動制御中に取得した観測時動作データと基準データとの直接的な比較によって当該観測時動作データにデータ異常が発生しているか否かを判定する。そして、データ異常と判定された観測時動作データの取得態様に基づいて最終的に動作異常が発生しているか否かを判定する。これらデータ異常の判定と動作異常の判定の詳細については後述する。そして動作異常が発生したと判定された場合には、サーボアンプ 2 は所定の報知処理を行うとともに、動作異常と判定された観測時動作データを特に異常動作データとして区別してデータ収集モジュール 5 に送信し、エッジサーバ 4 に格納されるものとする。なお、上述したように、異常動作データ以外の正常な観測時動作データもまた常にデータ収集モジュール 5 に送信され、エッジサーバ 4 に格納される。

30

【 0 0 3 9 】

以上により当該運用フェーズでは、モータ駆動機械 1 の通常の駆動制御と並行して全ての観測時動作データが各サーボアンプ 2 別に区別されてエッジサーバ 4 に格納される。また各モータ 1 2 が駆動する可動部分及び周辺部分に動作異常が発生した際には対応するサーボアンプ 2 がそれを判定し、適宜の報知を行うとともに対応する判定動作パターン中の観測時動作データが異常動作データとしてエッジサーバ 4 に格納される。

40

【 0 0 4 0 】

< 4 : 異常判定の手法について >

以下に、各サーボアンプ 2 とエッジサーバ 4 が連携して行うモータ駆動機械 1 の異常判定（異常検知）の手法について詳細に説明する。

【 0 0 4 1 】

サーボアンプ 2 で検出可能な状態量は、モータ 1 2 に入力するトルク、モータ 1 2 が出力する速度や位置、及び外部センサ 1 3 の検知情報である。特にトルクは、位置 / 速度制御の場合、モータ駆動機械 1 側の反力の影響も反映されるため、継続して観測することで

50

経年変化などの動作異常を捉えることが可能と考えられる。本実施形態の例では、観測した波形から変化を検出する手法として、統計学的手法に基づく機械学習を利用する。

【 0 0 4 2 】

しかし、以上のような機械学習で検出できる異常は、あくまで瞬時的に取得されたデータから直接的に判定できる異常状態ではない。これに対し、モータ駆動機械 1 のような機械システムでは、非常に短い時間で機構の位置が変化し、条件によっては連続的な微小変位において機構が異常になっている箇所と正常な箇所が発生するため、すべての場所によって経年変化などの動作異常を判定する必要がある。また、機械システム全体を考慮した場合は、単純に統計学的手法のみで機械システム全体の異常を判定することは適切ではない。

10

【 0 0 4 3 】

そこで本実施形態の異常判定システム 1 0 0 では、機械学習によってデータから直接的に判定した異常状態をデータ異常とし、また別にモータ駆動機械 1 における経年劣化や発振の状態に相当する異常状態を動作異常として、これらデータ異常と動作異常を区別して扱う。そして、異常判定システム 1 0 0 は、モータ駆動機械 1 の駆動中においてモータ 1 2 の入出力に関する時系列データを動作データとして取得し、この動作データからデータ異常を判定する。その上で、データ異常と判定された動作データの取得態様（取得時刻、取得周波数、取得頻度、取得組み合わせ、等）に基づいて、モータ駆動機械 1 の動作異常を判定する。このデータ異常と動作異常のそれぞれの判定手法について、以下に順を追って説明する。

20

【 0 0 4 4 】

< 5 : データ異常判定について >

< 5 - 1 : 機械学習によるデータ異常判定 >

一般に人間が波形を観測して正常 / 異常の判断を行うのは、主として経験によるところが大きい。この経験を数式として表現し、計算機上で行う手法が機械学習である。機械学習による変化検出手法の基本的な考え方は、基準とするデータ群（上記の正常時動作データ）の正規分布を作成してこれを基準データとし、運用段階で取得したデータ（上記の観測時動作データ）が基準データの正規分布から外れているか否かを確認するというものである。

【 0 0 4 5 】

データ異常判定を行う上で、基準データは、データの的に全て正常であることを前提とする場合と、データの的に正常と異常にラベル付けされた基準データが混在している場合が考えられる。しかし、機構部品の経年変化に適用する場合は、事前に異常な基準データを準備することは難しいため、基準データは全て正常であるという前提をとることが現実的と考えられる。このため本実施形態の例では、図 5 に示すように、上述したようにデータの的に全て正常であると確信できる正常時動作データに基づいて基準データが作成される。なお、図 5 中に示す基準データのグラフは、後述する標本平均  $\mu$ 、標本共分散行列、及びデータ異常判定しきい値  $a_{t_h}$  を正常時動作データと同等の時系列グラフで示したものである。

30

【 0 0 4 6 】

正規分布から外れていることを判断するためには、図 6 に示すように、正規分布の端にデータ異常判定用のしきい値を設定し、観測時動作データが正規分布中心（平均値、期待値）に対してデータ異常判定しきい値よりも離れていることを確認すればよい。本実施形態の例では、上述したように動作データをトルク指令とモータ出力速度の 2 種類の時系列データで取得し、それら複数種類の動作データそれぞれに対応してデータ異常を判定する（図 6 ではトルク指令の場合のみ図示しており、基準データは図示の理解を優先して上記図 5 に示した基準データと相違する簡易なものを示している）。

40

【 0 0 4 7 】

< 5 - 2 : ホテリングの  $T^2$  法について >

本実施形態では、機械学習による変化検出手法としてホテリングの  $T^2$  法を適用する。

50

ホテリングの $T^2$ 法は、複数種類のデータの変化波形を並列に観測する多変数解析の一手法であり、その処理は以下の(工程1)～(工程6)で行う。

【0048】

(工程1) 誤報率を決定する。

データには正常データと異常データが存在するが、正規分布からどれくらい大きく外れた場合を異常データとするかの指標が誤報率となる。例えば、誤報率1%と考えるなら $\alpha = 0.01$ となる。なお、確率統計論の考え方では、誤報率を0とした場合には全てのデータが正常となってしまうため、原理的に誤報率 $\alpha$ を0にはしない。

【0049】

(工程2) カイ2乗分布を算出する。

自由度 $M$ 、スケール因子 $s = 1$ として、カイ2乗分布を次式から計算する。なお、自由度 $M$ は、独立した基準データの種類の数(上述した多変数解析における変数の種類の数、本実施形態の例ではトルク指令とモータ出力速度の2種類を適用するため $M = 2$ )を指定するパラメータである。

$$\chi^2(x|M,1) = \frac{1}{2\Gamma\left(\frac{M}{2}\right)} \left(\frac{x}{2}\right)^{\frac{M}{2}-1} e^{-\frac{x}{2}}$$

ただし、 $\Gamma\left(\frac{M}{2}\right)$  はガンマ関数を表し、次式で定義される。

$$\Gamma\left(\frac{M}{2}\right) = \int_0^{\infty} dt t^{\frac{M}{2}-1} e^{-t}$$

【0050】

(工程3) データ異常判定しきい値を算出する。

上記(工程1)で決定した誤報率 $\alpha$ と、上記(工程2)で算出したカイ2乗分布から、

$$1 - \alpha = \int_0^{a_{th}} dx \chi^2(x|M,1)$$

を満たすデータ異常判定しきい値 $a_{th}$ を算出する。

【0051】

(工程4) 標本平均と標本共分散行列を算出する。

正常データである基準データから標本平均 $\mu$ (文中の表記ではハットを省略、以下同様)と標本共分散行列 $\Sigma$ (文中の表記ではハットを省略、以下同様)を次式から算出する。

$$\hat{\mu} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x^{(n)}$$

$$\hat{\Sigma} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (x^{(n)} - \hat{\mu})(x^{(n)} - \hat{\mu})^T$$

ただし、 $x^{(n)}$  は $n$ 番目の種類の基準データである。

【0052】

(工程5) マハラノビス距離を算出する。

上記(工程4)で算出した標本平均 $\mu$ と標本共分散行列 $\Sigma$ 、及び検出した観測データに基づいて、マハラノビス距離 $a(x')$ を次式から算出する。

$$a(x') = (x' - \hat{\mu})^T \hat{\Sigma}^{-1} (x' - \hat{\mu})$$

## 【 0 0 5 3 】

(工程 6) データ異常判定しきい値とマハラノビス距離を比較する。

上記(工程 3) で算出したデータ異常判定しきい値  $a_{t_h}$  と、上記(工程 5) で算出したマハラノビス距離  $a(x')$  とを比較する。マハラノビス距離  $a(x')$  がデータ異常判定しきい値  $a_{t_h}$  を越えている場合 ( $a(x') > a_{t_h}$ ) には、上記(工程 5) で用いた観測データがデータ異常の状態にあると判定する。

## 【 0 0 5 4 】

図 7 に示すように、カイ 2 乗分布は自由度  $M$  別に分布が変化する確率分布であり、いわゆる再生性を有している特性から多変数解析での適用に好適である。例えば本実施形態の例のように変数の種類(トルク指令、モータ出力速度)の数が 2 つの動作データを取得する場合、自由度  $M = 2$  となって図 7 中の実線で示されるカイ 2 乗分布が利用される。このカイ 2 乗分布で誤報率に相当するデータ異常判定しきい値  $a_{t_h}$  よりもマハラノビス距離  $a(x')$  が大きい場合、当該マハラノビス距離  $a(x')$  の算出に用いた観測時動作データにデータ異常が発生しているとみなせる。つまり変数の種類数が 2 つである多変数解析において、それら 2 つのデータの組み合わせによる多元的な異常の度合い(どれだけ正常からかけ離れているかの度合い)を、データ異常判定しきい値  $a_{t_h}$  とマハラノビス距離  $a(x')$  の一元的な比較により判定できる。なお、マハラノビス距離  $a(x')$  の算出時に標本平均  $\mu$  と標本共分散行列 を用いていることで、2 種類の動作データそれぞれの正規分布間の相関による影響を相殺している。なお、動作データの種別でそれぞれ自由度  $M = 1$  としたホテリング  $T^2$  法のデータ異常判定を個別に適用することもできる。

## 【 0 0 5 5 】

< 5 - 3 : 具体的なデータ異常判定 >

ここで例えば、機械学習を利用せずにデータ異常を判定する場合には、時刻ごとに正規分布とデータ異常判定しきい値を作成する必要があり、さらに観測時動作データでも正規分布を計算する必要がある。正規分布の計算には平均値と標準偏差の計算が必要であるが、標準偏差の計算は煩雑なため、動作データの取得中にリアルタイムに計算を実施するのは現実的ではない。また、データ異常判定しきい値も動作データ取得中において正規分布に対し逐次設定するため時刻ごとに異なった値となる。

## 【 0 0 5 6 】

そこで上記問題を解決するために、本実施形態の例では機械学習を利用することで処理は以下ようになる。

(事前準備: エッジサーバ)

- 1 : 正常時動作データを複数取得する。
- 2 : 正常時動作データ群から標本平均  $\mu$  と標本共分散行列 を計算する。
- 3 : 誤報率 とカイ 2 乗分布からデータ異常判定しきい値  $a_{t_h}$  を計算する。

(データ異常判定: サーボンプ)

- 1 : 観測時動作データを取得する。
- 2 : 観測時動作データに対してマハラノビス距離  $a(x')$  を計算する。
- 3 : マハラノビス距離  $a(x')$  がデータ異常判定しきい値  $a_{t_h}$  を超えていたらデータ異常と判定する。

## 【 0 0 5 7 】

このように機械学習を利用した方法では、正規分布の計算の代わりに標本平均  $\mu$ 、標本共分散行列、及びマハラノビス距離  $a(x')$  の計算を行う。これらの計算は単純な四則演算であるため、長期間に渡るモータ駆動機械 1 の実運用時間中において短い周期で逐次計算しても大きな負荷処理にはならない。また、データ異常判定しきい値  $a_{t_h}$  は計算式こそ複雑だが、時刻に依存しない定数となるため事前に一度計算しておくだけで済む。

## 【 0 0 5 8 】

以上から本実施形態の例では、基準データである標本平均、標本共分散行列、及びデータ異常判定しきい値を正常時動作データに基づいて算出するといった負荷の高い処理については、汎用性が高くCPUの処理リソースが高いエッジサーバ4に実行させる。一方、標本平均と標本共分散行列と観測時動作データに基づいてマハラノビス距離を算出し、データ異常判定しきい値とマハラノビス距離との比較（つまり基準データと観測時動作データの比較）により当該時刻の観測時動作データにデータ異常が発生しているか否かを判定するといった負荷の低い処理については、CPUの余剰処理リソースが低いサーボアンプ2でそれぞれ実行させる。本実施形態ではこのように処理を分担させることで、複数軸で駆動するモータ駆動機械1の運用フェーズにおいても、各軸でのデータ異常の判定を機能的かつリアルタイムに実行できる。

10

## 【0059】

## &lt; 6：動作異常判定について &gt;

上記のデータ異常判定によれば、観測時動作データを取得した時点におけるデータ上で見た異常状態の有/無（つまり異常/正常）を2値的に判定することができる。しかし、上述したように1度でもデータ異常が判定されたからといって機械システム全体に動作異常が発生したと判定すべきではない。なお、データ異常が複数回発生した際にその発生態様に基づいて動作異常の内容を一次的に推定することが可能である。本実施形態の例では、経年劣化が進行するに従ってデータ異常の発生頻度が徐々に増加するとの考察に基づき、データ異常の発生頻度が所定値を越えた場合には、モータ駆動機械1に経年劣化の種類の動作異常が発生していると判定する。

20

## 【0060】

具体的には、図8に示すように、判定動作パターンの駆動期間中における観測時動作データの取得数を1024点とした場合、そのうちのデータ異常の検出数が低い（図示する例の16点）場合には動作正常であると判定し、データ異常の検出数が高い（図示する例の235点）場合には動作異常であると判定する。そして動作異常が発生した判定された場合には、当該判定動作パターンの駆動期間中に取得された観測時動作データが全て異常動作データとしてデータ収集モジュール5に送信される。

## 【0061】

また、動作異常の特性とデータ異常の判定態様の因果関係が理解されていれば、動作異常の種類として上記の経年劣化以外の種類の機械異常を判定することも可能である。例えば、トルク指令とモータ出力速度の両方の観測時動作データでそれぞれデータ異常が判定された場合には、動作異常の種類としてモータ駆動機構1の発振を判定してもよい。これにより、ユーザは機械異常を改善するにあたって発振の対処を行えばよいことが明確となり、利便性が向上する。他にもトルク指令でデータ異常が判定され、モータ出力速度でデータ異常が判定されない場合には、動作異常の種類としてモータ駆動機械1における外乱抑圧（摩擦大）を判定してもよい。また、トルク指令でデータ異常が判定されず、モータ出力速度でデータ異常が判定された場合には、動作異常の種類としてモータ駆動機械1における機械揺れを判定してもよい。

30

## 【0062】

## &lt; 7：具体的な制御フロー &gt;

上述した経年劣化による動作異常を判定するための具体的な制御フローの一例を、以下に詳細に説明する。図9は、データ異常判定と動作異常判定を行う異常判定処理の制御手順を示すフローチャートである。このフローチャートは、データ異常が生じ得るモータ駆動機械1の観測駆動時（運用フェーズ）に、サーボアンプ2のCPU（特に図示せず）が実行する。なお、このフローチャートで示す異常判定処理は、サーボアンプ2が上位コントローラ3から受信したモータ制御指令に基づいて駆動電力を給電する通常処理（特に図示せず）と並行して実行され、特に判定動作パターンに対応したモータ制御指令を受信している間だけ実行されるものである。

40

## 【0063】

まずステップS105で、サーボアンプ2のCPUは、上位コントローラ3から判定動

50

作パターン（通常運用時の動作パターン、又は基準データ作成専用の動作パターン）に対応したモータ制御指令を受信して、通常処理によりその駆動を開始したか否かを判定する。そして判定動作パターンでの駆動を開始するまでループ待機する。

【0064】

次にステップS110へ移り、サーボアンプ2のCPUは、実行中の判定動作パターンの全体を通してシステムサイクルなどの所定時間毎に各変数（トルク指令及びモータ出力速度）の観測時動作データを全て取得し、RAM（特に図示せず）などの記憶装置に格納する。

【0065】

次にステップS115へ移り、サーボアンプ2のCPUは、上記第2準備フェーズであらかじめ格納した標本平均 $\mu$ と標本共分散行列、及び上記ステップS110で取得した観測時動作データ群から各時点のマハラノビス距離 $a(x')$ を算出する。

【0066】

次にステップS120へ移り、サーボアンプ2のCPUは、上記ステップS115で算出した各時点のマハラノビス距離 $a(x')$ が、それぞれ上記第2準備フェーズであらかじめ格納したデータ異常判定しきい値 $a_{th}$ （図中では「しきい値」と略記）を越えているか否かを比較し判定する。言い換えると、上記ステップS110で取得した各時点の観測時動作データがそれぞれデータ異常の状態であるか否かを判定する。

【0067】

ステップS125では、サーボアンプ2のCPUは、上記ステップS110で取得した判定動作パターン1回分の観測時動作データ群において、上記ステップS120でデータ異常であるとした判定頻度（異常と判定された観測時動作データの取得頻度）が所定値（所定しきい値）より大きいか否かを判定する。言い換えると、経年劣化の動作異常が発生したか否かを判定する。データ異常判定頻度が所定値より小さい場合、判定は満たされず、ステップS130へ移る。言い換えると、経年劣化の動作異常が発生していないとみなされる。

【0068】

ステップS130では、サーボアンプ2のCPUは、判定動作パターン中に取得された全ての観測時動作データを正常な動作データとしてデータ収集モジュール5に送信し、ステップS140へ移る。

【0069】

一方、上記ステップS125の判定において、データ異常判定頻度が所定値より大きい場合、判定が満たされ、ステップS135へ移る。言い換えると、経年劣化の動作異常が発生したとみなされる。

【0070】

ステップS135では、サーボアンプ2のCPUは、モータ駆動機械1に動作異常が発生したとする判定結果をデータ収集モジュール5を介してエッジサーバ4に送信し報知するとともに、判定動作パターン中に取得された全ての観測時動作データを異常動作データとしてデータ収集モジュール5に送信し、ステップS140へ移る。

【0071】

ステップS140では、サーボアンプ2のCPUは、予定されていた所定回数分だけ判定動作パターンを繰り返し実行し終えたか否かを判定する。所定回数分の実行がまだ終了していない場合、判定は満たされず、上記ステップS110に戻って同様の手順を繰り返す。

【0072】

一方、所定回数分の実行が終了した場合、判定が満たされ、このフローを終了する。

【0073】

以上の異常判定処理のフローにより、計算処理の負荷が比較的小さいデータ異常判定処理（工程5、6）を、比較的CPUパワーの低いサーボアンプ2でも行うことができ、異常判定システム100全体におけるリソース負担を軽減できる。なお、上記制御フローの

10

20

30

40

50

例では、判定動作パターン1回分の観測時動作データを全て取得した後、まとめて各時点のデータ異常を判定する、いわゆるバッチ処理を行ったがこれに限られない。他にも、各時点で観測時動作データを取得する度にそのデータ異常を逐次判定するいわゆるリアルタイム処理を行ってもよい(特に図示せず)。

#### 【0074】

< 8 : 本実施形態による効果 >

以上説明したように、本実施形態の異常判定システム100によれば、サーボアンプ2が、上位コントローラ3から受信したモータ制御指令に基づいてモータ12を制御するとともに、当該モータ12の制御に関連して取得した動作データと予め格納された基準データとの比較によりモータ駆動機械1の動作異常を検知する。また、サーボアンプ2との間で基準データと動作データを送受信するデータ収集モジュール5を設けている。

10

#### 【0075】

この異常判定システム100においては、各サーボアンプ2がそれぞれ対応するモータ12の制御に関連した動作データの取得と動作異常の検知を分散して並列的に処理することができ、また各サーボアンプ2で取得した動作データをデータ収集モジュール5が一括受信して管理できる。このとき、各サーボアンプ2においては、例えばホテリングのT<sup>2</sup>法等によって動作データと基準データの比較処理だけで簡易に動作異常を検知できるため、当該サーボアンプ2のCPUにおける処理リソースの許容範囲内で実行できる。また、専用のデータ収集モジュール5が、各サーボアンプ2で逐次取得された動作データを受信して管理できるため、モータ駆動機械1が多数のモータ12で駆動される構成であっても、上位コントローラ3は各サーボアンプ2のモータ制御指令を生成、送信する通常処理だけ行えばよく処理負荷を増大させることがない。この結果、上位コントローラ3の処理負担を増大させることなく安定した異常判定とデータ収集が可能となる。

20

#### 【0076】

また、本実施形態では特に、上位コントローラ3に対して上位制御指令を送信し、かつ、データ収集モジュール5との間で基準データと動作データを送受信するとともに、動作データと基準データとの比較によりモータ駆動機械1の動作異常を検知可能なエッジサーバ4をさらに有している。このようなエッジサーバ4を設けることにより、ユーザがエッジサーバ4にアクセスして、各モータ12の制御に関連する動作データの閲覧や動作異常の監視が可能となる。また、動作異常検知の事前準備として処理負担の大きい基準データの生成処理を処理リソースの大きいエッジサーバ4で分担することができ、システム全体の処理負荷を分散させることができる。またこのエッジサーバ4が、動作異常の検知状態や格納した動作データをクラウドサーバ6に送信することで、多数のモータ駆動機械1についての動作異常検知及び動作データ収集をクラウドサーバ6側で一元管理することができる。

30

#### 【0077】

また、本実施形態では特に、サーボアンプ2は、機械学習により生成した基準データを用いて動作データのデータ異常を判定し、データ異常と判定された動作データの取得態様に基づいて動作異常を判定し、モータ駆動機械1が動作異常と検知された際に取得した動作データを異常動作データとしてデータ収集モジュール5に送信する。これにより、余剰処理リソースの少ないサーボアンプ2のCPUにおいても、取得した動作データと基準データの比較処理だけで簡易に動作異常の判定が可能となる。また、データ収集モジュール5及びエッジサーバ4が他の正常な動作データと区別された異常動作データを受信することで、当該異常動作データの取得元のサーボアンプ2が動作異常を検知したことを認識でき、その異常動作データを他の動作データと区別して閲覧監視することができる。

40

#### 【0078】

また、本実施形態では特に、基準データは、モータ駆動機械1の正常駆動時において取得された正常時動作データに基づいて複数の判定動作パターン別に対応して算出される。これにより、判定動作パターン(通常運用時の動作パターン、又は基準データ作成専用の動作パターン)に対応した基準データだけを格納して用いればよいため、サーボアンプ2

50

におけるCPUの処理負担やメモリの容量負担を大きく軽減できる。

【0079】

なお、上記実施形態では、例えば、特に図示しないが、サーボアンプ2は、データ収集モジュール5を介して動作データの取得指示を受信した際に、取得した動作データをデータ収集モジュール5に送信してもよい。この場合には、サーボアンプ2は、例えば外部のエッジサーバ4等で管理された適宜のタイムスケジュールでデータ収集モジュール5を介して取得指示を受信し、動作データを送信できる。

【0080】

また、本実施形態では特に、データ収集モジュール5は、エッジサーバ4から受信した基準データをサーボアンプ2に送信するとともに、サーボアンプ2が取得した動作データを当該サーボアンプ2から受信してエッジサーバ4に送信する。これにより、専用のデータ収集モジュール5が各サーボアンプ2で逐次取得された動作データを受信して管理できる。したがって、モータ駆動機械1が多数のモータ12で駆動される複数軸構成であっても、上位コントローラ3は各サーボアンプ2のモータ制御指令を生成、送信する通常処理だけ行えばよく処理負荷を増大させることがない。

【0081】

また、本実施形態では特に、サーボアンプ2は、モータ駆動機械1を駆動するモータ12を制御するとともに、モータ駆動機械1の観測駆動時においてモータ12（エンコーダ11）から取得された観測時動作データと、モータ駆動機械1の正常駆動時においてモータ12から取得された正常時動作データに基づいて算出された基準データとの比較によりモータ駆動機械1の動作異常を検知する。これにより、通常のもータ制御処理の実行によって余剰処理リソースの少ないサーボアンプ2のCPUにおいても、取得した動作データと基準データの比較処理だけで簡易に動作異常の判定が可能となる。また、格納した省容量の基準データだけを用いればよいため、サーボアンプ2におけるCPUの処理負担やメモリの容量負担を大きく軽減できる。

【0082】

また、本実施形態では特に、モータ駆動機械1の動作異常を判定する方法として、モータ駆動機械1の観測駆動時におけるモータ12の観測時動作データを取得することと、機械学習により生成した基準データを用いて観測時動作データのデータ異常を判定することと、データ異常と判定された観測時動作データの取得態様に基づいてモータ駆動機械1の動作異常を判定することと、を実行する。これにより、モータ駆動機械1のモーション系機械制御に対して動作異常の予兆診断を実行するに当たり、データ異常と動作異常を区別し、データ異常の発生態様（データ異常とされた異常動作データの取得態様）に基づいて動作異常を判定する。この結果、微小なデータ異常の変化にとらわれず、モータ駆動機械1全体の動作異常についてより有効で詳細かつ明確な判定が行える。そして、機械学習により生成した基準データと観測時動作データの比較処理だけで簡易に動作異常を検知できるため、当該異常判定方法を実行するサーボアンプ2のCPUにおける処理負荷を軽減できる。

【0083】

なお、動作異常を判定する際に参照するデータ異常の動作データの取得態様は、上述した取得頻度に限られない。他にも、判定する対象の動作異常に応じて、取得時刻、取得周波数、異常動作データの取得組み合わせなど多様な取得態様（判定態様）が適用可能である。

【0084】

また、本実施形態では特に、基準データは、予め決定したデータ異常判定しきい値と、モータ駆動機械1の正常駆動時において取得した正常時動作データに基づいて算出された標本平均、標本共分散行列であり、データ異常を判定する際には、標本平均と標本共分散行列と観測時動作データに基づいてマハラノビス距離を算出することと、データ異常判定しきい値とマハラノビス距離の比較により観測動作時データのデータ異常を判定することと、を実行する。これにより、いわゆる「教師あり学習」でホテリング $T^2$ 法の機械学習

10

20

30

40

50

を実行できることから、データ異常判定の信頼性を向上できる。そしてこのホテリングT<sup>2</sup>法でのデータ異常判定手法において、特にサーボアンプ2が処理する基準データと観測時動作データとの逐次比較処理（マハラノビス距離の算出と、このマハラノビス距離とデータ異常判定しきい値との比較）については、例えば深層学習などの他の機械学習と比較しても演算処理の負荷が格段に低い。このため、余剰処理リソースの少ないサーボアンプ2のCPUにおいても、モータに駆動電力を給電する通常処理と並行して信頼性の高い動作異常の判定が現実的に可能となる。

#### 【0085】

<9：変形例>

なお、開示の実施形態は、上記に限られるものではなく、その趣旨及び技術的思想を逸脱しない範囲内で種々の変形が可能である。例えば、上記図1に対応する図10～図12のシステム構成図で示すように、データ収集モジュール5の機器態様を変更しても上記実施形態と同等の効果を発揮できる。なお、図示の煩雑を避けるために、図10～図12においては、上記図1に示した外部センサ13等の図示を省略している。

#### 【0086】

図10は、データ収集モジュール5Aがエッジサーバ4に一体に組み込まれた場合のシステム構成を示している。この場合には、データ収集モジュール5Aが拡張ボードや周辺機器の形態でエッジサーバ4に組み込まれる。ここでエッジサーバ4のような汎用PCでは、一般的にMECHATROLINK（登録商標）などのフィールドネットワークを直接接続するための端子や処理機能を備えていない。このため本変形例では、データ収集モジュール5Aがそのインターフェースとして機能し、内部バスやメモリ共有を介してエッジサーバ4とデータの送受が可能となる。これにより、エッジサーバ4とデータ収集モジュール5Aとの間で上記のETHERNET（登録商標）などのネットワーク経路を省略でき、システム全体における配線の簡略化と内部バスやメモリ共有等によるデータ送受の高速化が可能となる。

#### 【0087】

また図11は、データ収集モジュール5Bがサーボアンプ2に一体に組み込まれた場合のシステム構成を示している。この場合には、データ収集モジュール5Bが拡張ボードや周辺機器の形態でサーボアンプ2に組み込まれる。これにより、サーボアンプ2とデータ収集モジュール5Bとの間のネットワーク経路を省略できることでシステム全体における配線の簡略化と、内部バスやメモリ共有等によるデータ送受の高速化が可能となる。なお、機械システムが複数のサーボアンプ2を備えている場合には、いずれか1つのサーボアンプ2にデータ収集モジュール5Bを一体に組み込めばよい。この場合、当該サーボアンプ2にフィールドネットワークを介して接続する他のサーボアンプ2は、それぞれ取得した動作データをフィールドネットワークとサーボアンプ2を介してデータ収集モジュール5Bに送信すればよい。

#### 【0088】

そしてこのようにデータ収集モジュール5がサーボアンプ2に組み込まれる形態として、特に図12に示すようにデータ収集モジュール5Cが無線通信を介してエッジサーバ4と送受信する形態が有効である。図示する例で詳しくは、データ収集モジュール5CがいわゆるUSB Dongleの構成でサーボアンプ2に備えられたUSB端子に接続されており、このデータ収集モジュール5Cとエッジサーバ4とがWi-Fi（登録商標）、Bluetooth（登録商標）等の無線LAN通信でデータを送受する。これにより、エッジサーバ4との間で配線が困難な位置に設置されたサーボアンプ2であっても、データ収集モジュール5Cの無線通信を介してエッジサーバ4とデータを送受信することができる。

#### 【0089】

なお、上記の実施形態及び各変形例では、エッジサーバ4が基準データを算出していたがこれに限られず、例えばデータ収集モジュール5が基準データを算出してもよい。また、サーボアンプ2とモータ12はそれぞれ独立した構成のものに限られず、これらが一体化したいわゆるアンプ内蔵モータ（サーボアンプ、モータ、エンコーダが一体化したもの

10

20

30

40

50

；特に図示せず)を用いた場合でも、上記の実施形態及び各変形例でのデータ送受形態や異常判定手法が適用できる。なお、この場合におけるアンプ内蔵モータが、各請求項記載のモータ及びモータ制御装置に相当する。また、上記の実施形態及び各変形例では、トルク指令及びモータ出力速度の2種類のデータを動作データとして取得し異常検知に用いていたが、これら以外にもモータ12の制御に関連する他のデータ(各種指令や状態値、又は外部センサ13等で検知した状態量データ等)や、それらを多様に組み合わせたものを動作データとして取得し、利用してもよい。

【0090】

なお、以上の説明において、「垂直」「平行」「平面」等の記載がある場合には、当該記載は厳密な意味ではない。すなわち、それら「垂直」「平行」「平面」とは、設計上、製造上の公差、誤差が許容され、「実質的に垂直」「実質的に平行」「実質的に平面」という意味である。

10

【0091】

また、以上の説明において、外観上の寸法や大きさ、形状、位置等が「同一」「同じ」「等しい」「異なる」等の記載がある場合は、当該記載は厳密な意味ではない。すなわち、それら「同一」「等しい」「異なる」とは、設計上、製造上の公差、誤差が許容され、「実質的に同一」「実質的に同じ」「実質的に等しい」「実質的に異なる」という意味である。

【0092】

また、以上既に述べた以外にも、上記実施形態や各変形例による手法を適宜組み合わせ利用しても良い。その他、一々例示はしないが、上記実施形態や各変形例は、その趣旨を逸脱しない範囲内において、種々の変更が加えられて実施されるものである。

20

【符号の説明】

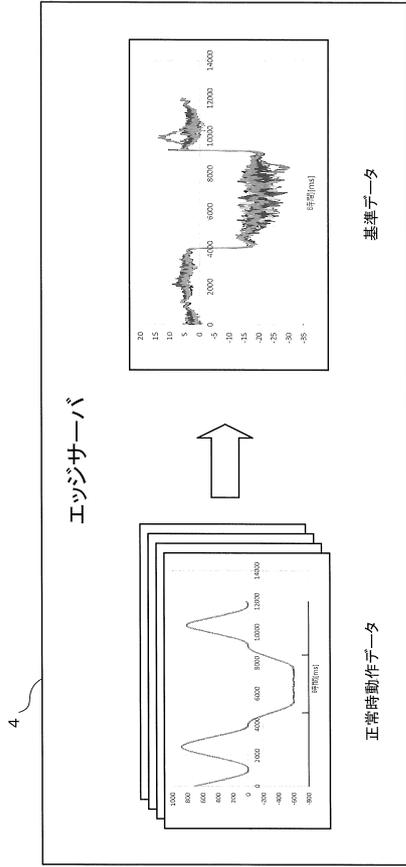
【0093】

1	モータ駆動機械
2	サーボアンプ(モータ制御装置)
3	上位コントローラ(上位制御装置)
4	エッジサーバ(データ管理装置)
5, 5A,	データ収集モジュール(データ送受装置)
5B, 5C	
7	上位指令装置
11	エンコーダ
12	モータ
100	異常判定システム

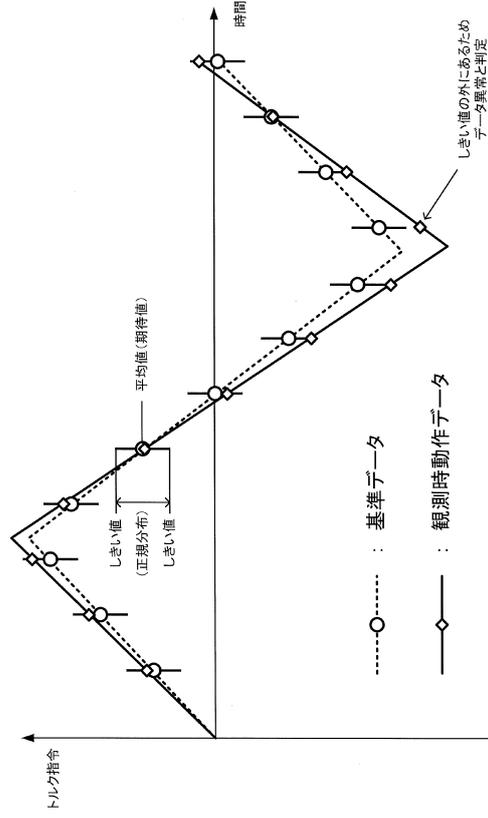
30



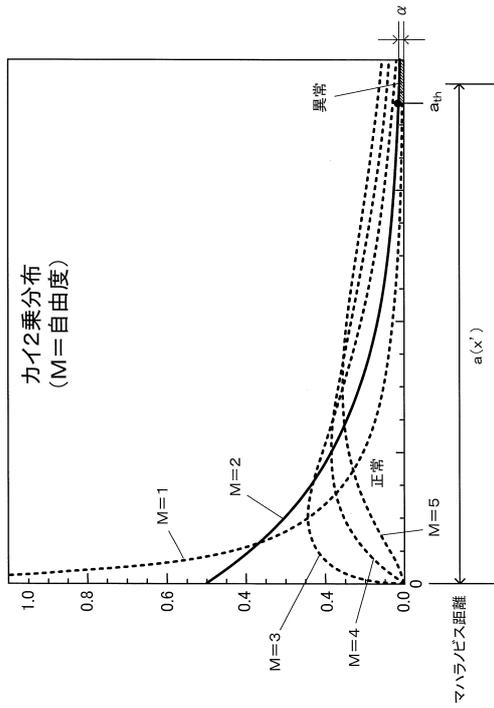
【図5】



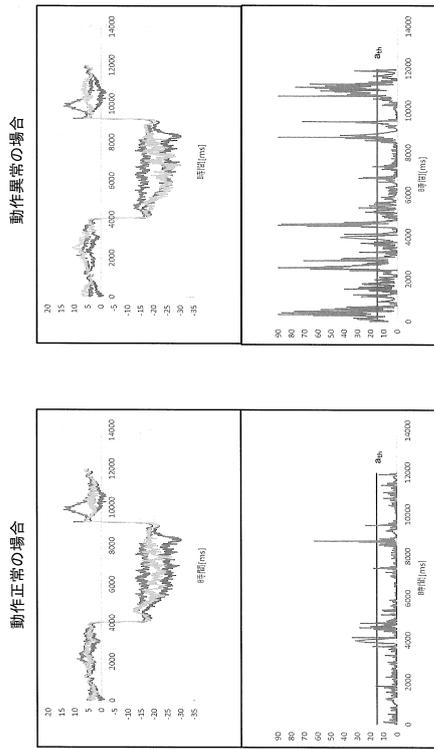
【図6】



【図7】



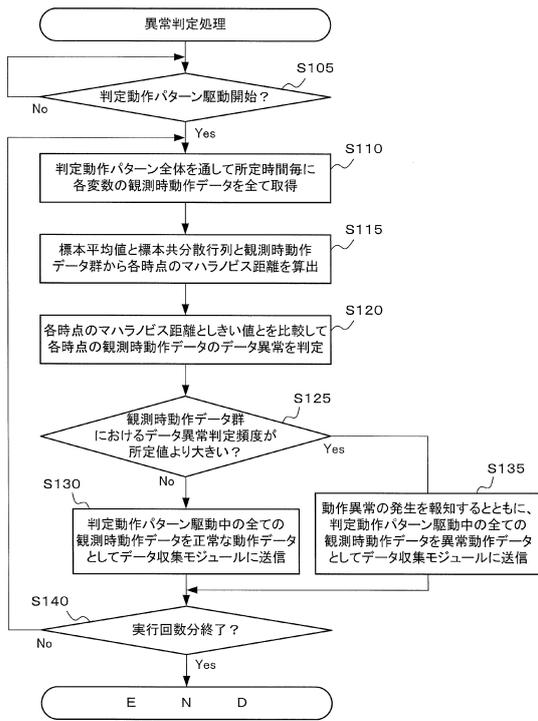
【図8】



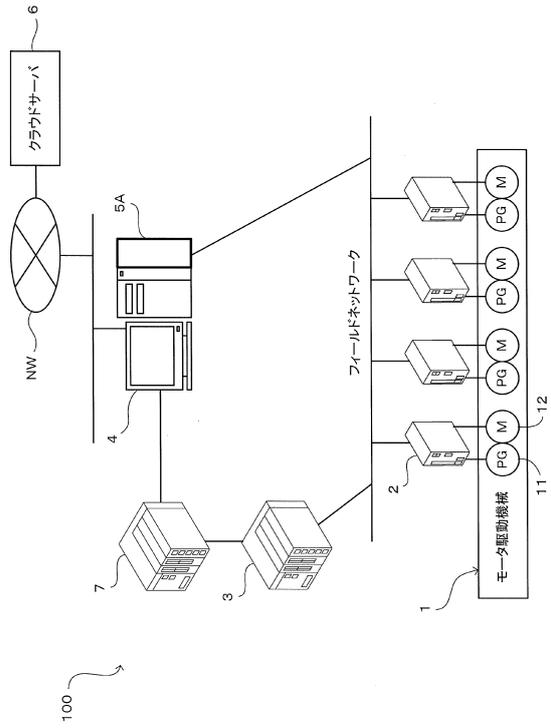
データ異常検出: 235点/1024点  
 → 動作異常として判定  
 (異常動作データの取得態様から  
 動作異常の種類まで判定可能)

データ異常検出: 16点/1024点  
 → 動作正常として判定

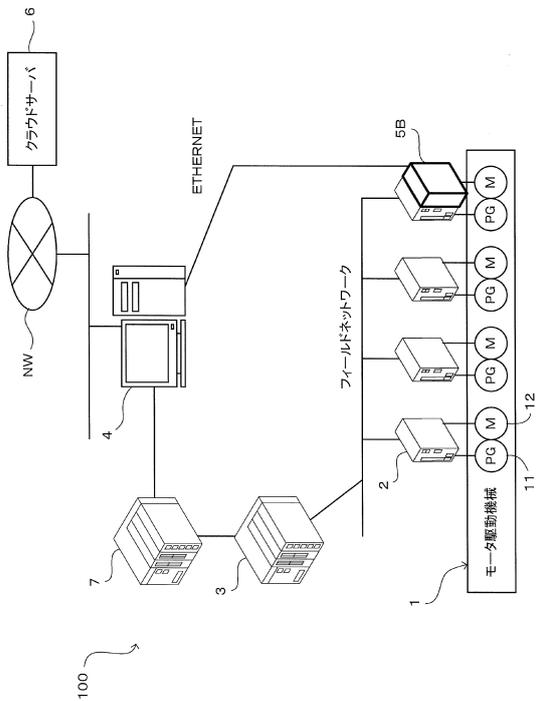
【図9】



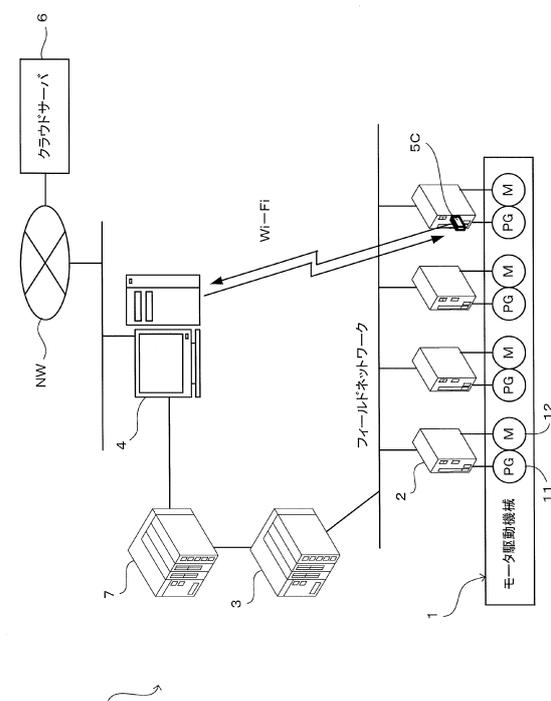
【図10】



【図11】



【図12】



---

フロントページの続き

- (72)発明者 大久保 整  
福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号 株式会社安川電機内
- (72)発明者 水野 直樹  
福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号 株式会社安川電機内
- (72)発明者 坂田 篤宣  
福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号 株式会社安川電機内

審査官 大古 健一

- (56)参考文献 特開2017-151598(JP,A)  
特開2017-163806(JP,A)  
特開2016-101643(JP,A)  
特開2015-139347(JP,A)  
特開2011-192015(JP,A)  
特開2001-75637(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G05B 23/00 - 23/02  
H02P 29/024