

## 明 細 書

発明の名称：真空ポンプおよび制御装置

### 技術分野

[0001] 本発明は、真空ポンプおよび制御装置に関するものである。

### 背景技術

[0002] ある真空ポンプの監視装置は、（a）真空ポンプのモータ電流値および回転数の時間変化に基づいて、真空ポンプがガス流入状態であるか否かを判定し、（b）真空ポンプがガス流入状態である期間において、所定周期で収集されたベース温度データセットを記憶部に記憶している（例えば特許文献1参照）。

### 先行技術文献

#### 特許文献

[0003] 特許文献1：特開2017-194040号公報

### 発明の概要

#### 発明が解決しようとする課題

[0004] 上述のように収集された真空ポンプの状態情報は、真空ポンプの不具合発生時に、その原因分析などに使用されることがある。

[0005] 一般的に、状態情報は、不揮発性メモリにおける特定の記憶領域に記憶されるが、定期的に得られる状態情報データのうち、所定数の最新の状態情報データのみが、不揮発性メモリにおいて保持されるため、保持されている状態情報データから、特定長（収集周期と上述の所定数との積）の期間の真空ポンプの状態しか把握できず、適切な原因分析などが行われな可能性が有る。つまり、ある原因による事象が発生する期間に対して収集周期が短すぎる場合には、その事象の一部しか把握できない可能性がある。また、ある原因による事象が発生する期間に対して収集周期が長すぎる場合には、その事象の発生自体を把握できなかつたり、その事象の断片しか把握できない可能性がある。

[0006] このように、真空ポンプの状態情報が適切なタイミングで収集されない可能性がある。

[0007] 本発明は、上記の問題に鑑みてなされたものであり、真空ポンプの状態情報が適切なタイミングで収集される真空ポンプおよび制御装置を得ることを目的とする。

### 課題を解決するための手段

[0008] 本発明に係る真空ポンプは、真空ポンプ本体に配置された内部デバイスと、内部デバイスの動作状態を制御する制御部と、真空ポンプ本体の状態情報を収集する情報収集部と、情報収集部により収集された状態情報を不揮発性メモリに記録する記録処理部とを備える。そして、情報収集部は、制御部によって内部デバイスの動作状態が切り換えられたタイミングで真空ポンプ本体の状態情報を収集する。

[0009] 本発明に係る制御装置は、真空ポンプ本体に配置された内部デバイスの動作状態を制御する制御部と、真空ポンプ本体の状態情報を収集する情報収集部と、情報収集部により収集された状態情報を不揮発性メモリに記録する記録処理部とを備える。そして、情報収集部は、制御部によって内部デバイスの動作状態が切り換えられたタイミングで真空ポンプ本体の状態情報を収集する。

### 発明の効果

[0010] 本発明によれば、真空ポンプの状態情報が適切なタイミングで収集される真空ポンプおよび制御装置が得られる。

[0011] 本発明の上記又は他の目的、特徴および優位性は、添付の図面とともに以下の詳細な説明から更に明らかになる。

### 図面の簡単な説明

[0012] [図1]図1は、本発明の実施の形態に係るターボ分子ポンプの縦断面図である。

[図2]図2は、アンプ回路の回路図である。

[図3]図3は、電流指令値が検出値より大きい場合の制御を示すタイムチャート

トである。

[図4]図4は、電流指令値が検出値より小さい場合の制御を示すタイムチャートである。

[図5]図5は、図1に示すターボ分子ポンプ（真空ポンプ）を制御する制御装置の構成を示すブロック図である。

[図6]図6は、図1に示すターボ分子ポンプ（真空ポンプ）の状態遷移の一例を説明する図である。

[図7]図7は、図5に示す制御装置の情報収集タイミングを説明する図である（1／2）。

[図8]図8は、図5に示す制御装置の情報収集タイミングを説明する図である（2／2）。

### 発明を実施するための形態

[0013] 以下、図に基づいて本発明の実施の形態を説明する。

[0014] このターボ分子ポンプ100の縦断面図を図1に示す。図1において、ターボ分子ポンプ100は、円筒状の外筒127の上端に吸気口101が形成されている。そして、外筒127の内方には、ガスを吸引排気するためのタービンプレードである複数の回転翼102（102a、102b、102c・・・）を周部に放射状かつ多段に形成した回転体103が備えられている。この回転体103の中心にはロータ軸113が取り付けられており、このロータ軸113は、例えば5軸制御の磁気軸受により空中に浮上支持かつ位置制御されている。

[0015] 上側径方向電磁石104は、4個の電磁石がX軸とY軸とに対をなして配置されている。この上側径方向電磁石104の近接に、かつ上側径方向電磁石104のそれぞれに対応されて4個の上側径方向センサ107が備えられている。上側径方向センサ107は、例えば伝導巻線を有するインダクタンスセンサや渦電流センサなどが用いられ、ロータ軸113の位置に応じて変化するこの伝導巻線のインダクタンスの変化に基づいてロータ軸113の位置を検出する。この上側径方向センサ107はロータ軸113、すなわちそ

れに固定された回転体 103 の径方向変位を検出し、図示せぬ制御装置に送るように構成されている。

[0016] この制御装置においては、例えば P I D 調節機能を有する補償回路が、上側径方向センサ 107 によって検出された位置信号に基づいて、上側径方向電磁石 104 の励磁制御指令信号を生成し、アンプ回路 150（後述する）が、この励磁制御指令信号に基づいて、上側径方向電磁石 104 を励磁制御することで、ロータ軸 113 の上側の径方向位置が調整される。

[0017] そして、このロータ軸 113 は、高透磁率材（鉄、ステンレスなど）などにより形成され、上側径方向電磁石 104 の磁力により吸引されるようになっている。かかる調整は、X 軸方向と Y 軸方向とにそれぞれ独立して行われる。また、下側径方向電磁石 105 及び下側径方向センサ 108 が、上側径方向電磁石 104 及び上側径方向センサ 107 と同様に配置され、ロータ軸 113 の下側の径方向位置を上側の径方向位置と同様に調整している。

[0018] さらに、軸方向電磁石 106 A、106 B が、ロータ軸 113 の下部に備えた円板状の金属ディスク 111 を上下に挟んで配置されている。金属ディスク 111 は、鉄などの高透磁率材で構成されている。ロータ軸 113 の軸方向変位を検出するために軸方向センサ 109 が備えられ、その軸方向位置信号が制御装置に送られるように構成されている。

[0019] そして、制御装置において、例えば P I D 調節機能を有する補償回路が、軸方向センサ 109 によって検出された軸方向位置信号に基づいて、軸方向電磁石 106 A と軸方向電磁石 106 B のそれぞれの励磁制御指令信号を生成し、アンプ回路 150 が、これらの励磁制御指令信号に基づいて、軸方向電磁石 106 A と軸方向電磁石 106 B をそれぞれ励磁制御することで、軸方向電磁石 106 A が磁力により金属ディスク 111 を上方に吸引し、軸方向電磁石 106 B が金属ディスク 111 を下方に吸引し、ロータ軸 113 の軸方向位置が調整される。

[0020] このように、制御装置は、この軸方向電磁石 106 A、106 B が金属ディスク 111 に及ぼす磁力を適当に調節し、ロータ軸 113 を軸方向に磁気

浮上させ、空間に非接触で保持するようになっている。なお、これら上側径方向電磁石 104、下側径方向電磁石 105 及び軸方向電磁石 106A、106B を励磁制御するアンプ回路 150 については、後述する。

[0021] 一方、モータ 121 は、ロータ軸 113 を取り囲むように周状に配置された複数の磁極を備えている。各磁極は、ロータ軸 113 との間に作用する電磁力を介してロータ軸 113 を回転駆動するように、制御装置によって制御されている。また、モータ 121 には図示しない例えばホール素子、レゾルバ、エンコーダなどの回転速度センサが組み込まれており、この回転速度センサの検出信号によりロータ軸 113 の回転速度が検出されるようになっている。

[0022] さらに、例えば下側径方向センサ 108 近傍に、図示しない位相センサが取り付けられており、ロータ軸 113 の回転の位相を検出するようになっている。制御装置では、この位相センサと回転速度センサの検出信号を共に用いて磁極の位置を検出するようになっている。

[0023] 回転翼 102 (102a、102b、102c・・・) とわずかの空隙を隔てて複数枚の固定翼 123a、123b、123c・・・が配設されている。回転翼 102 (102a、102b、102c・・・) は、それぞれ排気ガスの分子を衝突により下方向に移送するため、ロータ軸 113 の軸線に垂直な平面から所定の角度だけ傾斜して形成されている。

[0024] また、固定翼 123 も、同様にロータ軸 113 の軸線に垂直な平面から所定の角度だけ傾斜して形成され、かつ外筒 127 の内方に向けて回転翼 102 の段と互い違いに配設されている。そして、固定翼 123 の外周端は、複数の段積みされた固定翼スペーサ 125 (125a、125b、125c・・・) の間に挿入された状態で支持されている。

[0025] 固定翼スペーサ 125 はリング状の部材であり、例えばアルミニウム、鉄、ステンレス、銅などの金属、又はこれらの金属を成分として含む合金などの金属によって構成されている。固定翼スペーサ 125 の外周には、わずかの空隙を隔てて外筒 127 が固定されている。外筒 127 の底部にはベース

部 1 2 9 が配設されている。ベース部 1 2 9 には排気口 1 3 3 が形成され、外部に連通されている。ベース部 1 2 9 に移送されてきた排気ガスは、排気口 1 3 3 へと送られる。

[0026] さらに、ターボ分子ポンプ 1 0 0 の用途によって、固定翼スペーサ 1 2 5 の下部とベース部 1 2 9 の間には、ネジ付きスペーサ 1 3 1 が配設される。ネジ付きスペーサ 1 3 1 は、アルミニウム、銅、ステンレス、鉄、又はこれらの金属を成分とする合金などの金属によって構成された円筒状の部材であり、その内周面に螺旋状のネジ溝 1 3 1 a が複数条刻設されている。ネジ溝 1 3 1 a の螺旋の方向は、回転体 1 0 3 の回転方向に排気ガスの分子が移動したときに、この分子が排気口 1 3 3 の方へ移送される方向である。回転体 1 0 3 の回転翼 1 0 2 ( 1 0 2 a、1 0 2 b、1 0 2 c . . . ) に続く最下部には円筒部 1 0 2 d が垂下されている。この円筒部 1 0 2 d の外周面は、円筒状で、かつネジ付きスペーサ 1 3 1 の内周面に向かって張り出されており、このネジ付きスペーサ 1 3 1 の内周面と所定の隙間を隔てて近接されている。回転翼 1 0 2 および固定翼 1 2 3 によってネジ溝 1 3 1 a に移送されてきた排気ガスは、ネジ溝 1 3 1 a に案内されつつベース部 1 2 9 へと送られる。

[0027] ベース部 1 2 9 は、ターボ分子ポンプ 1 0 0 の基底部を構成する円盤状の部材であり、一般には鉄、アルミニウム、ステンレスなどの金属によって構成されている。ベース部 1 2 9 はターボ分子ポンプ 1 0 0 を物理的に保持すると共に、熱の伝導路の機能も兼ね備えているので、鉄、アルミニウムや銅などの剛性があり、熱伝導率も高い金属が使用されるのが望ましい。

[0028] かかる構成において、回転翼 1 0 2 がロータ軸 1 1 3 と共にモータ 1 2 1 により回転駆動されると、回転翼 1 0 2 と固定翼 1 2 3 の作用により、吸気口 1 0 1 を通じてチャンバから排気ガスが吸気される。吸気口 1 0 1 から吸気された排気ガスは、回転翼 1 0 2 と固定翼 1 2 3 の間を通り、ベース部 1 2 9 へ移送される。このとき、排気ガスが回転翼 1 0 2 に接触する際に生ずる摩擦熱や、モータ 1 2 1 で発生した熱の伝導などにより、回転翼 1 0 2 の

温度は上昇するが、この熱は、輻射又は排気ガスの気体分子などによる伝導により固定翼１２３側に伝達される。

[0029] 固定翼スペーサ１２５は、外周部で互いに接合しており、固定翼１２３が回転翼１０２から受け取った熱や排気ガスが固定翼１２３に接触する際に生ずる摩擦熱などを外部へと伝達する。

[0030] なお、上記では、ネジ付きスペーサ１３１は回転体１０３の円筒部１０２ｄの外周に配設し、ネジ付きスペーサ１３１の内周面にネジ溝１３１ａが刻設されているとして説明した。しかしながら、これとは逆に円筒部１０２ｄの外周面にネジ溝が刻設され、その周囲に円筒状の内周面を有するスペーサが配置される場合もある。

[0031] また、ターボ分子ポンプ１００の用途によっては、吸気口１０１から吸引されたガスが上側径方向電磁石１０４、上側径方向センサ１０７、モータ１２１、下側径方向電磁石１０５、下側径方向センサ１０８、軸方向電磁石１０６Ａ、１０６Ｂ、軸方向センサ１０９などで構成される電装部に侵入することのないよう、電装部は周囲をステータコラム１２２で覆われ、このステータコラム１２２内はパージガスにて所定圧に保たれる場合もある。

[0032] この場合には、ベース部１２９には図示しない配管が配設され、この配管を通じてパージガスが導入される。導入されたパージガスは、保護ベアリング１２０とロータ軸１１３間、モータ１２１のロータとステータ間、ステータコラム１２２と回転翼１０２の内周側円筒部の間の隙間を通じて排気口１３３へ送出される。

[0033] ここに、ターボ分子ポンプ１００は、機種の特定制と、個々に調整された固有のパラメータ（例えば、機種に対応する諸特性）に基づいた制御を要する。この制御パラメータを格納するために、上記ターボ分子ポンプ１００は、その本体内に電子回路部１４１を備えている。電子回路部１４１は、ＥＥＰＲＯＭ等の半導体メモリ及びそのアクセスのための半導体素子等の電子部品、それらの実装用の基板１４３等から構成される。この電子回路部１４１は、ターボ分子ポンプ１００の下部を構成するベース部１２９の例えば中央

付近の図示しない回転速度センサの下部に収容され、気密性の底蓋 145 によって閉じられている。

[0034] ところで、半導体の製造工程では、チャンバに導入されるプロセスガスの中には、その圧力が所定値よりも高くなり、或いは、その温度が所定値よりも低くなると、固体となる性質を有するものがある。ターボ分子ポンプ 100 内部では、排気ガスの圧力は、吸気口 101 で最も低く排気口 133 で最も高い。プロセスガスが吸気口 101 から排気口 133 へ移送される途中で、その圧力が所定値よりも高くなったり、その温度が所定値よりも低くなったりすると、プロセスガスは、固体状となり、ターボ分子ポンプ 100 内部に付着して堆積する。

[0035] 例えば、Al エッチング装置にプロセスガスとして  $\text{SiCl}_4$  が使用された場合、低真空 ( $760 [\text{torr}] \sim 10^{-2} [\text{torr}]$ ) かつ、低温 (約  $20 [^\circ\text{C}]$ ) のとき、固体生成物 (例えば  $\text{AlCl}_3$ ) が析出し、ターボ分子ポンプ 100 内部に付着堆積することが蒸気圧曲線からわかる。これにより、ターボ分子ポンプ 100 内部にプロセスガスの析出物が堆積すると、この堆積物がポンプ流路を狭め、ターボ分子ポンプ 100 の性能を低下させる原因となる。そして、前述した生成物は、排気口付近やネジ付きスペーサ 131 付近の圧力が高い部分で凝固、付着し易い状況にあった。

[0036] そのため、この問題を解決するために、従来はベース部 129 等の外周に図示しないヒータや環状の水冷管 149 を巻着させ、かつ例えばベース部 129 に図示しない温度センサ (例えばサーミスタ) を埋め込み、この温度センサの信号に基づいてベース部 129 の温度を一定の高い温度 (設定温度) に保つようにヒータの加熱や水冷管 149 による冷却の制御 (以下 TMS という。TMS ; Temperature Management System) が行われている。

[0037] 次に、このように構成されるターボ分子ポンプ 100 に関して、その上側径方向電磁石 104、下側径方向電磁石 105 及び軸方向電磁石 106A、106B を励磁制御するアンプ回路 150 について説明する。このアンプ回

路の回路図を図2に示す。

[0038] 図2において、上側径方向電磁石104等を構成する電磁石巻線151は、その一端がトランジスタ161を介して電源171の正極171aに接続されており、また、その他端が電流検出回路181及びトランジスタ162を介して電源171の負極171bに接続されている。そして、トランジスタ161、162は、いわゆるパワーMOSFETとなっており、そのソースドレイン間にダイオードが接続された構造を有している。

[0039] このとき、トランジスタ161は、そのダイオードのカソード端子161aが正極171aに接続されるとともに、アノード端子161bが電磁石巻線151の一端と接続されるようになっている。また、トランジスタ162は、そのダイオードのカソード端子162aが電流検出回路181に接続されるとともに、アノード端子162bが負極171bと接続されるようになっている。

[0040] 一方、電流回生用のダイオード165は、そのカソード端子165aが電磁石巻線151の一端に接続されるとともに、そのアノード端子165bが負極171bに接続されるようになっている。また、これと同様に、電流回生用のダイオード166は、そのカソード端子166aが正極171aに接続されるとともに、そのアノード端子166bが電流検出回路181を介して電磁石巻線151の他端に接続されるようになっている。そして、電流検出回路181は、例えばホールセンサ式電流センサや電気抵抗素子で構成されている。

[0041] 以上のように構成されるアンプ回路150は、一つの電磁石に対応されるものである。そのため、磁気軸受が5軸制御で、電磁石104、105、106A、106Bが合計10個ある場合には、電磁石のそれぞれについて同様のアンプ回路150が構成され、電源171に対して10個のアンプ回路150が並列に接続されるようになっている。

[0042] さらに、アンプ制御回路191は、例えば、制御装置の図示しないディジ

タル・シグナル・プロセッサ部（以下、DSP部という）によって構成され、このアンプ制御回路191は、トランジスタ161、162のon/offを切り替えるようになっている。

[0043] アンプ制御回路191は、電流検出回路181が検出した電流値（この電流値を反映した信号を電流検出信号191cという）と所定の電流指令値とを比較するようになっている。そして、この比較結果に基づき、PWM制御による1周期である制御サイクル $T_s$ 内に発生させるパルス幅の大きさ（パルス幅時間 $T_{p1}$ 、 $T_{p2}$ ）を決めるようになっている。その結果、このパルス幅を有するゲート駆動信号191a、191bを、アンプ制御回路191からトランジスタ161、162のゲート端子に出力するようになっている。

[0044] なお、回転体103の回転速度の加速運転中に共振点を通過する際や定速運転中に外乱が発生した際等に、高速かつ強い力での回転体103の位置制御をする必要がある。そのため、電磁石巻線151に流れる電流の急激な増加（あるいは減少）ができるように、電源171としては、例えば50V程度の高電圧が使用されるようになっている。また、電源171の正極171aと負極171bとの間には、電源171の安定化のために、通常コンデンサが接続されている（図示略）。

[0045] かかる構成において、トランジスタ161、162の両方をonにすると、電磁石巻線151に流れる電流（以下、電磁石電流 $i_L$ という）が増加し、両方をoffにすると、電磁石電流 $i_L$ が減少する。

[0046] また、トランジスタ161、162の一方をonにし他方をoffにすると、いわゆるフライホイール電流が保持される。そして、このようにアンプ回路150にフライホイール電流を流すことで、アンプ回路150におけるヒステリシス損を減少させ、回路全体としての消費電力を低く抑えることができる。また、このようにトランジスタ161、162を制御することにより、ターボ分子ポンプ100に生じる高調波等の高周波ノイズを低減することができる。さらに、このフライホイール電流を電流検出回路181で測定

することで電磁石巻線 151 を流れる電磁石電流  $i_L$  が検出可能となる。

[0047] すなわち、検出した電流値が電流指令値より小さい場合には、図 3 に示すように制御サイクル  $T_s$ （例えば  $100\mu s$ ）中で 1 回だけ、パルス幅時間  $T_{p1}$  に相当する時間分だけトランジスタ 161、162 の両方を on にする。そのため、この期間中の電磁石電流  $i_L$  は、正極 171a から負極 171b へ、トランジスタ 161、162 を介して流し得る電流値  $i_{Lmax}$ （図示せず）に向かって増加する。

[0048] 一方、検出した電流値が電流指令値より大きい場合には、図 4 に示すように制御サイクル  $T_s$  中で 1 回だけパルス幅時間  $T_{p2}$  に相当する時間分だけトランジスタ 161、162 の両方を off にする。そのため、この期間中の電磁石電流  $i_L$  は、負極 171b から正極 171a へ、ダイオード 165、166 を介して回生し得る電流値  $i_{Lmin}$ （図示せず）に向かって減少する。

[0049] そして、いずれの場合にも、パルス幅時間  $T_{p1}$ 、 $T_{p2}$  の経過後は、トランジスタ 161、162 のどちらか 1 個を on にする。そのため、この期間中は、アンプ回路 150 にフライホイール電流が保持される。

[0050] 上述のターボ分子ポンプ 100 は、真空ポンプの一例である。また、上述の制御装置は、後述する機能を有する。図 5 は、図 1 に示すターボ分子ポンプ（真空ポンプ）を制御する制御装置 200 の構成を示すブロック図である。

[0051] 図 5 に示す制御装置 200 は、磁気軸受制御部 201、モータ駆動制御部 202、温度計測部 203、出力制御部 204、カウンタ部 205、保護機能処理部 206、情報収集部 207、記録処理部 208、不揮発性メモリ 209、インターフェイス処理部 210、表示装置 211、およびインターフェイス 212 を備える。

[0052] 磁気軸受制御部 201 は、ロータ軸 113 の磁気軸受（上側径方向電磁石 104、下側径方向電磁石 105、軸方向電磁石 106A、106B、上側径方向センサ 107、下側径方向センサ 108、および軸方向センサ 109

）の動作状態を電氣的に制御し、上述のようにロータ軸 1 1 3 の径方向位置および軸方向位置を調整する。

- [0053] モータ駆動制御部 2 0 2 は、モータ 1 2 1 の動作状態を電氣的に制御し、所定回転速度でモータ 1 2 1 を回転させる。
- [0054] 温度計測部 2 0 3 は、上述の TMS 用の温度センサで、温度センサの配置された位置の温度を計測する。具体的には、温度計測部 2 0 3 は、温度センサの出力信号に基づいて、その位置の温度を特定する。
- [0055] 出力制御部 2 0 4 は、上述のヒータ、水冷管 1 4 9 のバルブ（冷却バルブ）などといった、TMS 用の出力デバイスの動作状態を電氣的に制御する。上述の温度センサ配置位置の温度が所定温度になるように、ヒータのオン／オフおよび冷却バルブの開閉を行う。
- [0056] カウンタ部 2 0 5 は、例えば当該真空ポンプの起動からの時間や実時間をカウントする。カウンタ部 2 0 5 は、経過時間をカウントアップするタイマー、リアルタイムクロックなどである。
- [0057] 保護機能処理部 2 0 6 は、上述の磁気軸受制御部 2 0 1、モータ駆動制御部 2 0 2、温度計測部 2 0 3 などから当該真空ポンプの状態情報を取得し、その状態情報に基づいて、当該真空ポンプに異常が発生した場合にはその異状を検知する。
- [0058] この状態情報は、ヒータ温度、冷却温度、ロータ翼の温度などといった各部の温度、モータ 1 2 1 の回転速度（回転数）、ヒータのオン／オフ状態、冷却バルブの開／閉状態などを含む。
- [0059] 情報収集部 2 0 7 は、保護機能処理部 2 0 6 により取得された真空ポンプ本体の状態情報のうち、特定タイミングの状態情報を保護機能処理部 2 0 6 から収集する。
- [0060] 具体的には、情報収集部 2 0 7 は、真空ポンプ本体に配置された内部デバイス（TMS 出力デバイス、モータ 1 2 1 など）の動作状態を制御する制御部（出力制御部 2 0 4、モータ駆動制御部 2 0 2 など）によってその内部デバイスの動作状態が切り換えられたタイミングで真空ポンプ本体の状態情報

を収集する。

- [0061] つまり、この実施の形態では、この内部デバイスは、温度管理用デバイス（つまり、上述のTMS出力デバイス）を含み、その温度管理用デバイスは、ヒータおよび冷却バルブのうちの少なくとも1つを含む。また、この実施の形態では、この内部デバイスは、動力系デバイスを含み、その動力系デバイスは、モータ121および磁気軸受のうちの少なくとも1つを含む。
- [0062] 特に、この実施の形態では、情報収集部207は、当該真空ポンプの起動時の真空ポンプ本体の状態情報を状態情報の初期値として収集する。具体的には、当該真空ポンプが起動するとただちに自己診断処理が実行され、情報収集部207は、その自己診断処理時の真空ポンプ本体の状態情報を状態情報の初期値として収集する。これにより、不揮発性メモリ209に記録された状態情報から、電源投入回数（つまり、起動回数）を特定することが可能となる。
- [0063] また、この実施の形態では、情報収集部207は、当該真空ポンプの起動時から、上述の制御部によって上述の内部デバイスの動作状態が切り換えられたか否かを監視し、定期的に真空ポンプ本体の状態情報を収集せずに、その制御部によって内部デバイスの動作状態が切り換えられたタイミングで真空ポンプ本体の状態情報を収集する。
- [0064] 記録処理部208は、情報収集部207により収集された状態情報を内蔵の不揮発性メモリ209に記録する。その際、状態情報とともに、その状態情報の収集タイミングを示す時刻情報が記録される。その時刻情報はカウンタ部205によって得られる。不揮発性メモリ209は、フラッシュメモリなどの不揮発性のメモリである。具体的には、記録処理部208は、（a）不揮発性メモリ209における所定サイズの記憶領域に状態情報を記録し、（b）その記憶領域をリングバッファとして使用して、状態情報を記録していく。つまり、1つのタイミングの状態情報が、1つのデータセットとして、リングバッファにおける所定数のバッファ領域のうちの1つのバッファ領域に記憶され、所定数のバッファ領域のすべてに状態情報のデータセットが

記憶された後は、最も古い状態情報のデータセットが、最新の状態情報のデータセットで上書きされていく。

[0065] インターフェイス処理部210は、保護機能処理部206で取得された真空ポンプ本体の状態情報を表示装置211で表示し、また、不揮発性メモリ209に記憶された状態情報を読み出し、インターフェイス212で外部へ出力する。

[0066] 表示装置211は、LEDなどのインジケータ、液晶ディスプレイなどを備え、ユーザーに対して各種情報を表示する。インターフェイス212は、所定通信規格のシリアル通信などで外部の端末装置とデータ通信を行う。

[0067] 次に、上記真空ポンプの動作について説明する。

[0068] 図6は、図1に示すターボ分子ポンプ（真空ポンプ）の状態遷移の一例を説明する図である。例えば図6に示すように、電源が投入されると、制御装置200は、所定の自己診断処理を実行し、自己診断処理が完了すると、磁気軸受制御部201は、磁気軸受を制御して、当該真空ポンプを静止浮上状態とする。その後、当該真空ポンプの運転が開始されると、モータ駆動制御部202は、モータ121の制御を開始してモータ121を加速し、当該真空ポンプを加速運転状態とする。当該真空ポンプの回転速度が許容範囲内に入ると、モータ駆動制御部202は、当該真空ポンプを定格運転状態とする。その後、当該真空ポンプの回転速度が許容範囲内に入るように（つまり、定格運転状態を維持するように）、モータ駆動制御部202は、当該真空ポンプを適宜加速運転状態または減速運転状態とする。運転終了時には、モータ駆動制御部202は、当該真空ポンプを減速運転状態とし、モータ121の回転が検出されなくなると、当該真空ポンプは、静止浮上状態に移行する。また、非運転時にモータの回転が検出された場合も、モータ駆動制御部202は、当該真空ポンプを減速運転状態とし、モータ121の回転が検出されなくなると、当該真空ポンプは、静止浮上状態に移行する。

[0069] このように、当該真空ポンプの運転時には、定格運転状態を維持するようにモータ121の動作状態が切り替えられて制御される。また、モータ12

1の負荷やガス流量などによってモータ121の発熱量が変化するとともに、環境温度も変化するため、上述のようにTMSでガス流路の温度管理が動的に行われる。

[0070] 保護機能処理部206は、磁気軸受制御部201、モータ駆動制御部202、温度計測部203などから状態情報を定期的に取得して、当該真空ポンプの異状発生の有無を監視する。

[0071] また、情報収集部207は、磁気軸受制御部201、モータ駆動制御部202、出力制御部204などの制御の切り替えタイミングを検出し、その切り替えタイミングを検出すると、特定の項目の状態情報を、この切り替えタイミングを示す時間情報とともに、保護機能処理部206から収集し、記録処理部208を使用して、不揮発性メモリ209に記憶する。なお、この時間情報は、カウンタ部205によって提供されるものである。

[0072] 図7および図8は、図5に示す制御装置の情報収集タイミングを説明する図である。図7は、真空ポンプ起動時の情報収集タイミングを説明する図である。図8は、真空ポンプ運転時の情報収集タイミングを説明する図である。

[0073] 例えば図7に示すように、当該真空ポンプの起動後、出力制御部204は、ヒータをオン状態とし冷却バルブを閉状態とする。これにより、ヒータ温度（ヒータに対応する温度センサの検出値）および冷却温度（冷却バルブに対応する温度センサの検出値）が上昇していく。

[0074] 出力制御部204は、ヒータ温度が所定目標温度を超えると、ヒータをオフ状態とし、その後、ヒータ温度が所定目標温度を下回ると、ヒータをオン状態とし、ヒータ温度が所定目標温度となるようにヒータを制御する。図7では、タイミングt11、t13、t15、t17、t19、t21、t23、t25において、ヒータの動作状態がオン状態からオフ状態へ切り替えられ、タイミングt12、t14、t16、t18、t20、t22、t24、t26において、ヒータの動作状態がオフ状態からオン状態へ切り替えられている。

- [0075] また、出力制御部204は、冷却温度が所定目標温度を超えると、冷却バルブを開状態とし、その後、冷却温度が所定目標温度を下回ると、冷却バルブを閉状態とし、冷却温度が所定目標温度となるように冷却バルブを制御する。図7では、タイミングt41, t43, t45, t47, t49, t51, t53, t55, t57, t59において、冷却バルブの動作状態が閉状態から開状態へ切り替えられ、タイミングt42, t44, t46, t48, t50, t52, t54, t56, t58, t60において、冷却バルブの動作状態が開状態から閉状態へ切り替えられている。
- [0076] 情報収集部207は、当該真空ポンプの起動時から、TMS出力デバイスや、モータ121などといった動力系デバイスの動作状態が切り換えられたか否かを監視し、定期的に真空ポンプ本体の状態情報を収集せずに、内部デバイスの動作状態が切り換えられたタイミングで真空ポンプ本体の状態情報を収集し、記録処理部208を使用して、不揮発性メモリ209に記憶する。
- [0077] したがって、例えば図7に示す場合では、情報収集部207は、タイミングt11～t26, t41～t60で、真空ポンプ本体の状態情報を収集し、記録処理部208で、不揮発性メモリ209に記憶する。なお、例えば図7に示すように、起動後、ヒータ温度または冷却温度が目標温度に到達する前は、状態情報は、不揮発性メモリ209に記憶されない。
- [0078] また、モータ121の制御開始後、モータの運転状態が加速運転、定格運転、および減速運転の間で変化すると、その状態変化のタイミングでも、真空ポンプ本体の状態情報が収集され、記録処理部208で、不揮発性メモリ209に記憶される。
- [0079] したがって、例えば図8に示す場合では、情報収集部207は、ヒータの動作状態の切り替えタイミングt71～t76、および冷却バルブの動作状態の切り替えタイミングt81～t92の他、モータの運転状態の状態変化のタイミングでも、真空ポンプ本体の状態情報を収集し、記録処理部208で、不揮発性メモリ209に記憶する。なお、磁気軸受の動作状態が、静止

浮上状態およびタッチダウン状態の間で変化した場合も、同様に状態情報が収集され記録される。

[0080] このようにして、不揮発性メモリ209に記憶された状態情報は、インターフェイス212およびインターフェイス処理部210を介して外部装置に読み出され、例えば、真空ポンプの不具合の原因分析などに使用される。

[0081] 以上のように、上記実施の形態によれば、制御部201、202、204は、真空ポンプ本体に配置された内部デバイス（モータ121、ヒータ、冷却バルブなど）の動作状態を制御する。情報収集部207は、真空ポンプ本体の状態情報を収集し、記録処理部208は、情報収集部207により収集された状態情報を不揮発性メモリ209に記録する。そして、情報収集部207は、制御部201、202、204によって内部デバイスの動作状態が切り換えられたタイミングで真空ポンプ本体の状態情報を収集する。

[0082] これにより、真空ポンプの状態情報が適切なタイミングで収集される。したがって、不揮発性メモリ209における状態情報の記憶領域が大きくなっても、真空ポンプの不具合の原因分析が円滑に行われやすくなる。

[0083] なお、上述の実施の形態に対する様々な変更および修正については、当業者には明らかである。そのような変更および修正は、その主題の趣旨および範囲から離れることなく、かつ、意図された利点を弱めることなく行われてもよい。つまり、そのような変更および修正が請求の範囲に含まれることを意図している。

[0084] 例えば、上記実施の形態では、情報収集部207は、複数の内部デバイスのいずれかの動作状態の切り替えに対応して、特定の複数の項目の状態情報のすべてを収集しているが、その代わりに、複数の内部デバイスのいずれかの動作状態の切り替えに対応して、特定の複数の項目のうち、動作状態が切り替えられた内部デバイスに対応する一部の項目の状態情報のみを収集するようにしてもよい。

[0085] また、上記実施の形態において、状態情報を不揮発性メモリ209に記憶した時点から所定時間内に情報収集タイミング（内部デバイスの動作状態の

切り替え)が検出されても、不揮発性メモリ209への状態情報の記憶を行わないようにしてもよい。

### 産業上の利用可能性

[0086] 本発明は、例えば、真空ポンプに適用可能である。

### 符号の説明

- [0087]
- 100 ターボ分子ポンプ（真空ポンプの一例）
  - 121 モータ（内部デバイスの一例）
  - 200 制御装置
  - 201 磁気軸受制御部（制御部の一例）
  - 202 モータ駆動制御部（制御部の一例）
  - 204 出力制御部（制御部の一例）
  - 207 情報収集部
  - 208 記録処理部
  - 209 不揮発性メモリ