

明 細 書

発明の名称： 真空ポンプ及びコントローラ

技術分野

[0001] 本発明は、真空ポンプ及びコントローラに関する。

背景技術

[0002] C V D装置等の半導体装置に設けられた真空チャンバ内の排気処理には、一般に真空ポンプが使用されていて、特に、残留ガスが少なく保守が容易である等の点でターボ分子ポンプが多用されている。

[0003] 半導体の製造工程では、半導体の基板に様々なプロセスガスを作用させる工程があり、ターボ分子ポンプは、半導体装置のチャンバ内を真空にする際に使用されるのみならず、チャンバ内からプロセスガスを排気する際にも使用される。

[0004] ところでプロセスガスは、反応性を高めるために高温の状態でチャンバに導入されることがある。このような場合において、排気されるプロセスガスの温度が下がり、圧力を上昇させているため、気体から昇華して、固体となって生成物が析出される。すなわち、この種のプロセスガスがターボ分子ポンプ内で昇華して、固体となった生成物がターボ分子ポンプ内に付着し、次第に堆積することによってポンプ流路を狭め、ターボ分子ポンプの性能を低下させることがある。

[0005] このような問題に対し、従前より、リレーによって通電状態を切り替えるようにしたヒータ等をターボ分子ポンプに組み込むことによって、析出物が堆積しやすい部位を所定の温度に加熱することが行われている。この際、図8（従来の真空ポンプ（ターボ分子ポンプ）のシステム構成図）に示すように、TMS温度センサにつながるTMS温度計側部でターボ分子ポンプの温度を計測し、計測された値と設定温度を比較して、ヒータ等への出力を制御している。一方、ヒータ等からの熱が拡散してターボ分子ポンプの温度が上がっていくと、これに組み込まれた電子回路に影響が及ぶことになる。また

温度上昇に伴って、ポンプにおける回転体のモータに使用される永久磁石の磁力が低下したり、電磁石巻線が断線したりするおそれがあるため、これらの周辺に水冷管を配置してバルブ等によって冷却水の流れを制御するようにしている（例えば特許文献1参照）。このように従来の真空ポンプには、真空ポンプにおける所定部位を所定の温度にするための温度調整手段（ヒータやリレー、水冷管、バルブ等）が組み込まれているものがある。

先行技術文献

特許文献

[0006] 特許文献1：特開2003-148379号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] ところでこのような真空ポンプは、従来、図8に示した保護機能処理部で、TMS温度計測部により計測された計測値と、許容温度との比較により、高温過熱異常/警告、温度上昇異常、低温異常、断線/短絡異常等を通知していたものの、リレーやバルブの寿命（ON/OFF回数やON/OFF時間）について考慮されずに、これらが動作不良を起こすまで利用され続けることがあった。リレーやバルブが故障すると、真空ポンプが異常に高温に或いは低温になることがあり、その結果、何らかの不具合が生じたとして真空ポンプが突然停止してしまうおそれがある。

[0008] 運転中に真空ポンプが停止してしまうと、例えば製造中の半導体の品質に影響を及ぼす懸念があるため、このような予期せぬ真空ポンプの停止を未然に防ぐべく、動作頻度にかかわらずにリレーやバルブを定期的に交換するように運用している場合もある。しかし、実際には寿命に達していないリレーやバルブを交換することになるため、メンテナンス費用の増大を招くことになる。

[0009] このような点に鑑み、本発明は、真空ポンプにおける所定部位を所定の温度にするための温度調整手段を適切な時期に点検、交換することが可能であ

って、これにより、予期せぬ停止等の発生を防止することができ、またメンテナンス費用を抑制することができる真空ポンプ、及びこれを制御するコントローラ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

[0010] 本発明は、被排気装置のガスを排気する真空ポンプであって、前記真空ポンプの所定部位を所定の温度にするための温度調整手段と、前記温度調整手段を動作させる出力制御手段と、前記出力制御手段から得られる前記温度調整手段のON/OFFに関する情報を出力する情報出力手段と、を備えることを特徴とする。

[0011] このような真空ポンプにおいて、前記情報出力手段は、前記温度調整手段のON/OFFに関する情報として該温度調整手段のON回数又はOFF回数に関する情報を出力することが好ましい。

[0012] ここで前記情報出力手段は、前記温度調整手段のON/OFFに関する情報として該温度調整手段のON時間又はOFF時間に関する情報を出力するものでもよい。

[0013] また本発明は、被排気装置のガスを排気する真空ポンプ本体を制御するコントローラであって、前記真空ポンプ本体は、該真空ポンプ本体の所定部位を所定の温度にするための温度調整手段を備え、前記コントローラは、前記温度調整手段を動作させる出力制御部と、前記出力制御部から得られる前記温度調整手段のON/OFFに関する情報を出力する情報出力部と、を備えることを特徴とするものでもある。

発明の効果

[0014] 本発明の真空ポンプ、及びコントローラによれば、情報出力手段から出力される温度調整手段のON/OFFに関する情報に基づいて、温度調整手段を適切な時期に点検、交換することが可能であるため、真空ポンプの予期せぬ停止を防止することができ、またメンテナンス費用を抑制することができる。

図面の簡単な説明

[0015] [図1]本発明の一実施形態に係る真空ポンプ本体を概略的に示した断面図である。

[図2]本発明の一実施形態に係る真空ポンプのシステム構成図である。

[図3]本発明の一実施形態に係る真空ポンプの動作を示すフローチャートである。

[図4]ON維持間隔時間、OFF維持間隔時間、及び周期間隔時間について示した図である。

[図5]計測される温度と、温度調整手段をON/OFFさせる時間との関係について示した図である。

[図6]図5に示したOD1とOD2のON維持間隔時間、OFF維持間隔時間、周期間隔時間（何れも平均化処理している）を示した表である。

[図7]図2に示すシステム構成図の変形例である。

[図8]従来の真空ポンプ（ターボ分子ポンプ）のシステム構成図である。

発明を実施するための形態

[0016] 以下、図面を参照しながら本発明に係る真空ポンプ及びコントローラの一実施形態について説明する。本実施形態の真空ポンプはターボ分子ポンプ100であって、図1、図2に示すようにポンプ本体100とコントローラ（制御装置）200で構成されている。本実施形態のターボ分子ポンプ100は、ポンプ本体100を半導体装置等の被排気装置（不図示）に接続し、コントローラ200による制御の下、被排気装置のチャンバ内からプロセスガスを排気するものである。

[0017] まずポンプ本体100について説明する。ポンプ本体100は円筒状の外筒127を備えていて、外筒127の上端には吸気口101が設けられている。外筒127の内方には、プロセスガスを吸引排気するためのタービンプレードによる複数の回転翼102a、102b、102c・・・を周部に放射状かつ多段に形成した回転体103が設けられている。

[0018] 回転体103の中心にはロータ軸113が取り付けられている。このロータ軸113は、例えばいわゆる5軸制御の磁気軸受によって、空中に浮上支

持かつ位置制御されている。

[0019] 上側径方向電磁石 104 は、本実施形態では 4 個の電磁石により構成されていて、これらの電磁石は、ロータ軸 113 の径方向の座標軸であって互いに直交する X 軸と Y 軸とに対をなして配置されている。またポンプ本体 100 には、これらの上側径方向電磁石 104 に近接する 4 個の電磁石からなる上側径方向センサ 107 が設けられている。上側径方向センサ 107 は、回転体 103 の径方向変位を検出してコントローラ 200 にその情報送るものである。

[0020] ここでコントローラ 200 は、上側径方向センサ 107 が検出した変位信号に基づき、PID 調節機能を有する補償回路を介して上側径方向電磁石 104 の励磁を制御し、ロータ軸 113 の上側の径方向位置を調整する。

[0021] ロータ軸 113 は、例えば高透磁率材（鉄等）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。磁力の調整は、X 軸方向と Y 軸方向とにそれぞれ独立して行われる。

[0022] 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。

[0023] 更に、軸方向電磁石 106A、106B が、ロータ軸 113 の下部に設けられ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、鉄等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 が設けられ、その軸方向変位信号がコントローラ 200 に送られるように構成されている。

[0024] そして、軸方向電磁石 106A、106B は、この軸方向変位信号に基づきコントローラ 200 の PID 調節機能を有する補償回路を介して励磁制御されるようになっている。軸方向電磁石 106A と軸方向電磁石 106B は、磁力により金属ディスク 111 をそれぞれ上方と下方とに吸引する。

[0025] このように、コントローラ 200 は、この軸方向電磁石 106A、106B 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。

[0026] モータ 1 2 1 は、ロータ軸 1 1 3 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 1 1 3 との間に作用する電磁力を介してロータ軸 1 1 3 を回転駆動するように、コントローラ 2 0 0 によって制御される。

[0027] 回転翼 1 0 2 a、1 0 2 b、1 0 2 c・・・とわずかの空隙を隔てて複数枚の固定翼 1 2 3 a、1 2 3 b、1 2 3 c・・・が配設されている。回転翼 1 0 2 a、1 0 2 b、1 0 2 c・・・はそれぞれ、排気されるプロセス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 1 1 3 の軸線に垂直な平面から所定の角度だけ傾斜するように形成されている。

[0028] また、固定翼 1 2 3 a、1 2 3 b、1 2 3 c・・・も、同様にロータ軸 1 1 3 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 1 2 7 の内方に向けて回転翼 1 0 2 a、1 0 2 b、1 0 2 c・・・の段と互い違いに配設されている。そして、固定翼 1 2 3 a、1 2 3 b、1 2 3 c・・・の一端は、複数の段積みされた固定翼スペーサ 1 2 5 a、1 2 5 b、1 2 5 c・・・の間に嵌挿された状態で支持されている。

[0029] 固定翼スペーサ 1 2 5 a、1 2 5 b、1 2 5 c・・・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、銅等の金属、又はこれらの金属を成分として含む合金等の金属によって形成されている。

[0030] 固定翼スペーサ 1 2 5 a、1 2 5 b、1 2 5 c・・・の外周には、わずかの空隙を隔てて外筒 1 2 7 が固定されている。外筒 1 2 7 の底部にはベース部 1 2 9 が配設され、固定翼スペーサ 1 2 5 a、1 2 5 b、1 2 5 c・・・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 が配設されている。そして、ベース部 1 2 9 中のネジ付きスペーサ 1 3 1 の下部には排気口 1 3 3 が形成され、外部に連通されている。

[0031] 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等の金属によって形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

131aの螺旋の方向は、回転体103の回転方向に排気されるプロセスガスの分子が移動したときに、この分子が排気口133の方へ移送される方向である。

[0032] 回転体103の回転翼102a、102b、102c・・・に続く最下部には回転翼102dが垂下されている。この回転翼102dの外周面は、円筒状で、かつネジ付きスペーサ131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131の内周面と所定の隙間を隔てて近接されている。

[0033] ベース部129は、ターボ分子ポンプ10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、ステンレス等の金属によって形成されている。

[0034] ベース部129は、ターボ分子ポンプ10を物理的に保持するとともに熱の伝導路の機能も兼ね備えているので、鉄やアルミニウム、銅等のように、剛性がある熱伝導率も高い金属を使用することが好ましい。

[0035] このような構成になるポンプ本体100では、回転翼102a、102b、102c・・・がモータ121により駆動されてロータ軸113とともに回転すると、回転翼102a、102b、102c・・・と固定翼123a、123b、123c・・・の作用により、吸気口101を通じて被排気装置からのプロセスガスが吸気される。

[0036] 吸気口101から吸気されたプロセスガスは、回転翼102a、102b、102c・・・と固定翼123a、123b、123c・・・の間を通り、ベース部129へ移送される。このとき、プロセスガスが回転翼102a、102b、102c・・・に接触又は衝突する際に生ずる摩擦熱や、モータ121で発生した熱の伝導や輻射等により、回転翼102a、102b、102c・・・の温度は上昇するが、この熱は、輻射又はプロセスガスの気体分子等による伝導により固定翼123a、123b、123c・・・側に伝達される。

[0037] 固定翼スペーサ125a、125b、125c・・・は、外周部で互いに

接合しており、固定翼 123 a、123 b、123 c・・・が回転翼 102 a、102 b、102 c・・・から受け取った熱やプロセスガスが固定翼 123 a、123 b、123 c・・・に接触又は衝突する際に生ずる摩擦熱等を外筒 127 やネジ付きスペーサ 131 へと伝達する。そしてネジ付きスペーサ 131 に移送されてきたプロセスガスは、ネジ溝 131 a に案内されつつ排気口 133 へと送られ、ポンプ本体 100 から排気される。

[0038] ところでプロセスガスは、上述したように温度が下がったり、圧力を上昇させたりした結果、昇華して固体となって生成物が析出されることがある。ポンプ本体 100 においては、排気口 133 の周辺は温度が低くなることがある。特に、回転翼 102 d やネジ付きスペーサ 131 付近は隙間が狭いために、析出されたプロセスガスの生成物によって流路が狭まりやすい状況にある。このため本実施形態のポンプ本体 100 では、例えばベース部 129 の外周等にヒータや環状の水冷管、温度センサ（例えばサーミスタ）等を配設し、この温度センサの信号に基づき、ベース部 129 の温度が、生成物が析出しない温度（設定温度）で保たれるように、ヒータによる加熱や水冷管による冷却の制御（以下、「TMS 制御」と称する。TMS ; Temperature Management System）を行っている。ここで、TMS 制御での設定温度が高くなると生成物は堆積し難くなるため、設定温度は可能な限り高くすることが望ましい。

[0039] 一方、ベース部 129 の温度が高くなると、ベース部に取り付けられている電子回路の温度も上昇する。そして、例えば排気負荷の変動などによって想定以上に温度が高くなると、電子回路に設けられている半導体メモリの許容温度を超えてしまい、このメモリに記録されていた制御パラメータや、ポンプ起動時間、エラー履歴等のメンテナンス情報データが消えてしまうことが懸念される。メンテナンス情報データが消えた場合には、保守点検の時期等の判断ができなくなってしまい大きな支障となる。

[0040] また、ベース部 129 の温度が想定以上に高くなることによって、モータ 121 の磁極を構成する電磁石巻線に流れる電流が増大して、巻線の許容温

度を超えることも想定される。このような場合には、電磁石巻線が断線してモータが停止するおそれがある。

- [0041] このためポンプ本体１００では、ヒータや水冷管を、温度を高くすべき部位（例えば回転翼１０２ｄやネジ付きスペーサ１３１付近）と温度を抑えるべき部位（例えば電子回路やモータ１２１の近傍）に応じて適正な位置に配設するとともに、コントローラ２００によって、ヒータの通電状態を切り替えるリレーや水冷管に接続されたバルブ等のＯＮ／ＯＦＦを適切なタイミングで切り替えて、ポンプ本体１００における所定部位を所定の温度にしている。なお、本明細書等における「温度調整手段」とは、本実施形態では上述したヒータやリレー、冷水管、バルブ等がこれに相当する。
- [0042] ここで、コントローラ２００について、図２を参照しながら詳細に説明する。コントローラ２００は、各種の電子部品やそれらを実装する基板等を使用し、以下に説明する機能を実現させるよう構成されている。
- [0043] 磁気軸受制御部２０１は、ポンプ本体１００における磁気軸受の制御（図１における軸方向電磁石１０６Ａ、１０６Ｂの制御）を行うものであり、モータ駆動制御部２０２は、モータの制御（図１におけるモータ１２１の制御）を行うものである。またＴＭＳ温度計測部２０３は、ＴＭＳ制御を実行するための温度センサ（以下、「ＴＭＳ温度センサ」と称する）からの出力信号に基づいて、ポンプ本体１００における所定部位の温度を計測するものである。
- [0044] 上述した磁気軸受制御部２０１、モータ駆動制御部２０２、ＴＭＳ温度計測部２０３は、保護機能処理部２０４に接続されている。保護機能処理部２０４は、磁気軸受制御部２０１から得られる磁気軸受けに関する情報、モータ駆動制御部２０２から得られるモータに関する情報、ＴＭＳ温度計測部２０３から得られる所定部位の温度情報に基づいてポンプ本体１００に異常が生じていないか監視するとともに、異常な状態である場合には、ポンプ本体１００を保護する処理（例えばポンプ本体１００を自動で停止させる等）を実行するものである。また保護機能処理部２０４は、ポンプ本体１００に異

常が生じている場合は、その情報を後述するユーザーインターフェイス処理部209で処理可能なデータに変換して、ユーザーインターフェイス処理部209へ出力する機能も有する。

[0045] そしてTMS出力制御部205は、TMS温度計測部203から得られる所定部位の温度情報に基づいて、TMS制御を実行するための出力デバイス（以下、「TMS出力デバイス」と称する。本実施形態ではヒータの通電状態を切り替えるリレー、及び水冷管に接続されたバルブがこれに相当する。）に対して指令を送り、TMS出力デバイスのON/OFFを制御するものである。なおTMS出力制御部205は、本明細書等における「出力制御手段」、「出力制御部」に相当するものである。

[0046] 累積カウント間隔計測部206は、TMS出力制御部205から得られるTMS出力デバイスのON/OFFに関する情報（TMS出力デバイスをONにした、又はOFFにしたとの情報）に基づいて、例えばTMS出力デバイスのON回数やOFF回数をカウントしたり、TMS出力デバイスのON時間やOFF時間を計測したりするものである。

[0047] 記録処理部207は、累積カウント間隔計測部206から得られるTMS出力デバイスのON/OFFに関する計測値（例えばTMS出力デバイスの累積でのON回数（OFF回数）や、TMS出力デバイスのON時間（OFF時間）、及びその平均値等）を、不揮発メモリ208で記録可能なデータや、ユーザーインターフェイス処理部209で処理可能なデータに変換してこれらに出力するものである。記録処理部207は、不揮発メモリ208で記録されているデータを呼び出して、累積カウント間隔計測部206やユーザーインターフェイス処理部209に出力する機能も有する。

[0048] 不揮発メモリ208は、記録処理部207から得られるデータを定期的に記録するものである。不揮発メモリ208の具体例としては、例えばEEPROMやFeRAMが挙げられる。なお、本実施形態では不揮発メモリ208を使用しているが、揮発性メモリ（SRAMやDRAM）をはじめとするその他の記録手段を使用してもよい。

- [0049] ユーザーインターフェイス処理部209は、後述する情報出力部210に接続されていて、記録処理部207や保護機能処理部204から得られるデータを、情報出力部210で出力可能な信号等に変換するものである。
- [0050] 情報出力部210は、ユーザーインターフェイス処理部209から得られる信号等に基づいて、TMS出力デバイスのON/OFFに関する情報やポンプ本体100の異常に関する情報を出力するものである。情報出力部210は、例えばLCDのように文字や画像等を表示することによって情報を出力するものでもよいし、LEDのように光を点灯（点滅）させるものでもよい。またLCDやLEDのように視覚によってユーザーに知覚させるものに限られず、他の五感で知覚できる（例えば音を出力してユーザーの聴覚で知覚できる）ものでもよい。また情報出力部210は、ターボ分子ポンプ10とは別に設けられる他の機器を介してユーザーに情報を提供するべく、例えばI/O信号による通信やシリアル通信が行える外部端子でもよい。
- [0051] 上述した情報出力部210は、本明細書等における「情報出力手段」に相当するものである。
- [0052] このようなコントローラ200によって、ポンプ本体100の通常動作が行えたとともに、異常があった際は情報出力部210からユーザーに通知することができ、また温度調整手段を適切な時期に点検、交換するように促すことができる。
- [0053] ここで、温度調整手段を適切な時期に点検、交換するために行われる「累積カウント間隔計測」について、図3を参照しながら説明する。累積カウント間隔計測は、主に累積カウント間隔計測部206によって実行される。まず累積カウント間隔計測部206は、ステップ1として、TMS出力制御部205から得られるTMS出力デバイスをONにした又はOFFにしたとの情報に基づいて、現在のTMS出力デバイスがON状態かOFF状態かを判断するとともに、前回ステップ1を実行した際のTMS出力デバイスの状態と同じか異なっているかを判断する（図3のS1）。
- [0054] ステップ1の結果、現在のTMS出力デバイスの状態が前回ステップ1を

実行した際の状態と同じであった場合（図3におけるS1でNOの場合）は、今回の累積カウント間隔計測は終了する。なお、累積カウント間隔計測は、短い期間（例えば30ms）で繰り返し行われていて、次の累積カウント間隔計測はすぐに実行される。

[0055] ステップ1の結果、現在のTMS出力デバイスの状態が前回ステップ1を実行した際の状態と異なっていた場合（図3におけるS1でYESの場合）、累積カウント間隔計測部206は、ステップ2として、現時刻から前回のステップ1におけるYESであった時刻を差し引いて、TMS出力デバイスがその状態を保っていた維持間隔時間を算出する（図3のS2）。

[0056] この点につき図4を参照しながら具体的に説明すると、例えば現時刻が図4におけるT2である場合、TMS出力デバイスはON状態からOFF状態に変わっている（ステップ1でYESである）ため、ステップ2が実行される。なお、前回のステップ1におけるYESであった時刻（本説明においてはT1）は、不揮発メモリ208に記録されているものとする。累積カウント間隔計測部206は、前回のステップ1でYESであった時刻T1を、記録処理部207を介して不揮発メモリ208から呼び出し、時刻T2から時刻T1を差し引いてこの間の時間を算出する。

[0057] ステップ2を実行した後、累積カウント間隔計測部206は、現在のTMS出力デバイスがON状態であるか否かを判断するステップ3を実行する（図3のS3）。

[0058] 例えば現時点が図4における時刻T2である場合、TMS出力デバイスはOFF状態であるため、ステップ3での判断は、図3におけるS3でのNOとなり、ステップ4（図3のS4）に進む。なお、時刻T1から時刻T2までの間はTMS出力デバイスがON状態で保たれている。累積カウント間隔計測部206は、この間の時間（ステップ2で算出したT2-T1の時間）を「ON維持間隔時間」と設定する。

[0059] ステップ4において、累積カウント間隔計測部206は、算出したT2-T1のON維持間隔時間について平均化処理を実行する。ここで平均化処理

とは、現在算出した $T_2 - T_1$ のON維持間隔時間を、過去のON維持間隔時間を使って平均化することである。平均化の手法は特に限定されるものではないが、一例として挙げると、 $T_2 - T_1$ のON維持間隔時間に対して直近での過去($n - 1$)個分のON維持間隔時間を加算し、ON維持間隔時間の合計を n で除算すればよい。なお、過去のON維持間隔時間は不揮発メモリ208に記録されていて、ステップ4を実行するにあたって累積カウント間隔計測部206は、記録処理部207を介して不揮発メモリ208からの呼び出しを実行する。

[0060] ステップ4を実行した後、累積カウント間隔計測部206は、不揮発メモリ208に記録されている前回の情報（前回のステップ1でYESであったときの情報）を更新するステップ5を実行する（図3のS5）。現時刻が図4に示す T_2 であって、前回のステップ1でYESであった時刻が T_1 である場合、累積カウント間隔計測部206は、記録処理部207を介して、不揮発メモリ208に記録される前回の情報として時刻 T_1 を時刻 T_2 に更新し、また時刻 T_1 でのTMS出力デバイスの状態（ON状態）を時刻 T_2 でのTMS出力デバイスの状態（OFF状態）に更新する。また累積カウント間隔計測部206は、平均化処理を行う前と後での $T_2 - T_1$ のON維持間隔時間を、記録処理部207を介して不揮発メモリ208に記録させる。ステップ5を実行した後は、今回の累積カウント間隔計測は終了する。

[0061] 一方、ステップ1でYESと判断した現時刻が図4における T_3 である場合、累積カウント間隔計測部206は、上述したステップ4には進まず、以下に説明するステップ6～9を実行する。

[0062] 現時刻が図4における T_3 である場合、TMS出力デバイスはOFF状態からON状態に変わっている（ステップ1でYESである）ため、ステップ2が実行される。またステップ2では、前回のステップ1でYESであった時刻 T_2 を、記録処理部207を介して不揮発メモリ208から呼び出し、時刻 T_3 から時刻 T_2 を差引いてこの間の時間を算出する。そして時刻 T_3 においてTMS出力デバイスはON状態であるため、ステップ3でYESと

判断してステップ6に進む。なお、時刻T2から時刻T3までの間はTMS出力デバイスがOFF状態で保たれている。累積カウント間隔計測部206は、この間の時間（ステップ2で算出したT3-T2の時間）を「OFF維持間隔時間」と設定する。

- [0063] ステップ6では、累積回数カウンタのカウンタアップを行う処理を実行する（図3のS6）。ここで「累積回数カウンタ」とは、TMS出力デバイスがOFF状態からON状態に切り替わった累積回数に関する情報であって、不揮発メモリ208に記録されている。累積カウント間隔計測部206は、記録処理部207を介して不揮発メモリ208に記録されている前回までの累積回数カウンタのカウンタアップ（記録されている累積回数カウンタに1を加える）を行う。
- [0064] ステップ6を実行した後、累積カウント間隔計測部206は、算出したT3-T2のOFF維持間隔時間について平均化処理を行うステップ7を実行する（図3のS7）。OFF維持間隔時間の平均化処理も、先に説明したON維持間隔時間と同様に行われる。
- [0065] ステップ7を実行した後、累積カウント間隔計測部206は、算出したT3-T2のOFF維持間隔時間と、このOFF維持間隔時間の直前のON維持間隔時間（今回はT2-T1のON維持間隔時間）とを加算して、図4に示す「周期間隔時間」（今回はT3-T1）を算出するステップ8を実行する（図3のS8）。
- [0066] ステップ8を実行した後、累積カウント間隔計測部206は、算出したT3-T1の周期間隔時間について平均化処理を行うステップ9を実行する（図3のS9）。周期間隔時間の平均化処理も、先に説明したON維持間隔時間等と同様に行われる。
- [0067] そしてステップ8を実行した後に行われるステップ5において、累積カウント間隔計測部206は、不揮発メモリ208に記録されている前回の情報を更新する（図3のS5）。現時刻がT3であって前回のステップ1でYESであった時刻がT2である場合、累積カウント間隔計測部206は、不揮

発メモリ 208 に記録される前回の情報として時刻 T2 を時刻 T3 に更新し、また時刻 T2 での TMS 出力デバイスの状態 (OFF 状態) を時刻 T3 での TMS 出力デバイスの状態 (ON 状態) に更新する。また累積カウント間隔計測部 206 は、平均化処理を行う前と後での T3 - T2 の OFF 維持間隔時間及び T3 - T1 の周期間隔時間を、記録処理部 207 を介して不揮発メモリ 208 に記録させる。ステップ 5 を実行した後は、今回の累積カウント間隔計測は終了する。

[0068] このような累積カウント間隔計測を実行することにより、不揮発メモリ 208 には、TMS 出力デバイスの累積 ON 回数である累積回数カウンタの他、平均化処理を行う前の ON 維持間隔時間、OFF 維持間隔時間、周期間隔時間、及び平均化処理を行った後の ON 維持間隔時間、OFF 維持間隔時間、周期間隔時間が記録されている。そして情報出力部 210 に対し、ユーザーインターフェイス処理部 209 を介してこれらの情報を出力することによって、ユーザーは、TMS 出力デバイスの累積 ON 回数等を知ることができる。従ってユーザーは、例えば TMS 出力デバイスの累積 ON 回数が許容されている ON 回数を超えているか否かを判断することができるため、TMS 出力デバイス (例えばリレーやバルブ) を適切な時期に交換することができる。このように、ON 回数への切り替え頻度が多くて故障につながる可能性のある TMS 出力デバイスを事前に交換することができるため、真空ポンプの予期せぬ停止を防止することができる。

[0069] なお、本実施形態では TMS 出力デバイスの累積 ON 回数を計測したが、累積 OFF 回数を計測し、この情報を出力することによっても、TMS 出力デバイスを適切な時期に交換することができる。

[0070] また、TMS 出力デバイスにおける平均化処理を行った ON 維持間隔時間、OFF 維持間隔時間、周期間隔時間は、多少のばらつきはあるものの、ポンプ本体 100 が接続されている被排気装置が安定的に動作していれば、ある一定の範囲に収束する傾向にある。すなわち、平均化処理を行った ON 維持間隔時間、OFF 維持間隔時間、周期間隔時間等が急峻な変化を示した際

、ユーザーは、TMS出力デバイスを含む温度調整手段に障害が生じている可能性がある（例えば水冷管につながるバルブの周期間隔時間が大きく変化した場合は、バルブ自体の故障の他、冷却水の急激な温度変化や、異物等による水冷管の詰まりなどが生じている可能性がある）ことを知ることができる。すなわち、ポンプ本体100の所定部位の近傍に配設した温度センサで計測される温度は所定の範囲に収まっていて、実際に加熱異常や冷却異常が生じていなくても、今後異常が生じる可能性があることが把握できるため、適宜点検を行うことによって、このような加熱異常や冷却異常を予防することができる。

[0071] なお、このような加熱異常や冷却異常の予防は、平均化処理を行う前のON維持間隔時間、OFF維持間隔時間、周期間隔時間に基づいて行うことも可能である。また、ON維持間隔時間、OFF維持間隔時間、周期間隔時間の最小値や最大値に基づいて行ってもよい。

[0072] またこのようなON維持間隔時間等から将来の不具合を予測する手法は、TMS出力デバイスのみに限定されるものではなく、ポンプ本体100に使用されるそれ以外のデバイスについても適用可能である。すなわち、ポンプ本体100を連続的に動作させる場合や、ポンプ本体100を定期的にスタート、ストップさせる場合においても、デバイスのON維持間隔時間等はある一定の範囲に収束する傾向にあるため、この範囲を超える場合に適宜点検を行うことによって、ポンプ本体100における将来の不具合を予防することができる。

[0073] ここで、TMS出力デバイスのON維持間隔時間、OFF維持間隔時間、周期間隔時間の具体例について、図5を参照しながら説明する。図5におけるID1は、TMS制御によって加熱される部位の近傍に取り付けた温度センサから得られる温度と時間との関係を示している。またID2は、TMS制御によって冷却される部位の近傍に取り付けた温度センサから得られる温度と時間との関係を示している。そしてOD1は、TMS制御によって加熱を行うヒータに接続されたりレーに対し、TMS出力制御部205から出力

されるON/OFF信号と時間との関係を示している。OD2は、TMS制御によって冷却を行う冷却管に接続されたバルブに対し、TMS出力制御部205から出力されるON/OFF信号と時間との関係を示している。

[0074] そして図6は、図5に示したTMS制御に対して上述した累積カウント間隔計測を実行した結果を示している。なお図6に示した時間は、何れも平均化処理を行った時間である。

[0075] 図5、図6に示した通り、OD1（リレー）及びOD2（バルブ）のON維持間隔時間、OFF維持間隔時間、周期間隔時間は、多少のばらつきはあるものの略一定の範囲にある。このため、ポンプ本体100の所定部位における加熱異常や冷却異常が生じる蓋然性は低いと判断される。一方、例えばOD1（リレー）における平均化処理を行ったON維持間隔時間が所定の範囲（図5、図6に示した例では1分45秒±20秒の範囲）から外れることがあると、ユーザーは、今後異常が生じる可能性があることが予想できるため、適宜点検を行うことによって、加熱異常や冷却異常を予防することができる。

[0076] 上述したコントローラ200は、不揮発メモリ208に記録されたTMS出力デバイスの累積回数カウンタや、ON維持間隔時間等を情報出力部210に出力してユーザーに伝えるものであったが、図7のように構成することによって、累積回数カウンタやON維持間隔時間等が所定の値を超えたときには情報出力部210から警告を出力することも可能である。

[0077] 図7に示す構成において記録処理部207は、累積カウント間隔計測部206から得られるTMS出力デバイスのON/OFFに関する計測値を、保護機能処理部204で処理可能なデータに変換する機能を有している。

[0078] そして保護機能処理部204は、各種の閾値211を記録する機能を有するとともに、記録処理部207からのデータに基づくTMS出力デバイスのON/OFFに関する計測値と閾値211とを比較し、比較結果を示すデータを、ユーザーインターフェイス処理部209へ出力するものである。

[0079] すなわち、閾値211として例えばTMS出力デバイスにおける許容でき

る累積ON回数を記録させておき、記録処理部207から得られるTMS出力デバイスの累積ON回数が許容できる累積ON回数を超えていると、情報出力部210からTMS出力デバイスの交換を促す警告を発する（例えばLCDに、TMS出力デバイスを交換すべき旨を表示する）ことができるため、TMS出力デバイスの交換をより確実に促すことができる。また閾値211として、例えば許容できるON維持間隔時間を記憶させておき、記録処理部207から得られるTMS出力デバイスのON維持間隔時間が閾値211から外れていると、情報出力部210から温度調整手段の点検を促す警告を発することができるため、ポンプ本体100における加熱異常や冷却異常を予防することができる。

[0080] 以上、本発明の一実施形態について説明したが、本発明はかかる特定の実施形態に限定されるものではなく、上記の説明で特に限定しない限り、特許請求の範囲に記載された本発明の趣旨の範囲内において、種々の変形・変更が可能である。また、上記の実施形態における効果は、本発明から生じる効果を例示したに過ぎず、本発明による効果が上記の効果に限定されることを意味するものではない。

符号の説明

- [0081] 10：ターボ分子ポンプ（真空ポンプ）
100：ポンプ本体
200：コントローラ
205：TMS出力制御部（出力制御手段、出力制御部）
206：累積カウント間隔計測部
207：記録処理部
208：不揮発メモリ
209：ユーザーインターフェイス処理部
210：情報出力部（情報出力手段）