

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2006-71069

(P2006-71069A)

(43) 公開日 平成18年3月16日(2006.3.16)

|                                |                 |             |
|--------------------------------|-----------------|-------------|
| (51) Int. Cl.                  | F I             | テーマコード (参考) |
| <b>F 1 6 C 32/04 (2006.01)</b> | F 1 6 C 32/04 A | 3 H 0 3 1   |
| <b>F 0 4 D 19/04 (2006.01)</b> | F 0 4 D 19/04 A | 3 H 1 3 1   |
|                                |                 | 3 J 1 0 2   |

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 16 頁)

|           |                              |          |   |
|-----------|------------------------------|----------|---|
| (21) 出願番号 | 特願2004-258426 (P2004-258426) | (71) 出願人 | 598021579<br>BOCエドワーズ株式会社<br>東京都千代田区有楽町一丁目9番4号 蚕糸会館 |
| (22) 出願日  | 平成16年9月6日(2004.9.6)          | (74) 代理人 | 100105201<br>弁理士 椎名 正利                              |
|           |                              | (72) 発明者 | 川島 敏明<br>千葉県習志野市屋敷4-3-1 BOCエドワーズ株式会社内               |
|           |                              | (72) 発明者 | 大立 好伸<br>千葉県習志野市屋敷4-3-1 BOCエドワーズ株式会社内               |
|           |                              | Fターム(参考) | 3H031 DA02 DA07 EA08 EA09 EA14<br>EA15 FA13         |

最終頁に続く

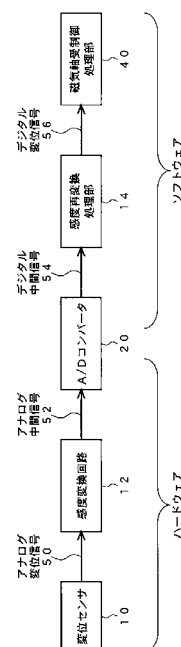
(54) 【発明の名称】 磁気軸受装置及び該磁気軸受装置が搭載されたターボ分子ポンプ

(57) 【要約】

【課題】 低コストで制御精度が高く低振動の磁気軸受装置及び該磁気軸受装置が搭載されたターボ分子ポンプを提供する。

【解決手段】 感度変換回路12及び感度再変換処理部14では、それぞれセンサの解像度が折線にて切り替わる折線近似特性を設定する。感度変換回路12は本ターボ分子ポンプの定常運転時のロータ軸の位置を基準として、ロータ軸113の変位が±50µm以内の場合には高感度アナログ-デジタル信号変換用のアナログ中間信号52を出力するようになっている。また、ロータ軸113の変位が+50µmから+250µmまたは-50µmから-250µmの場合には低感度アナログ-デジタル信号変換用のアナログ中間信号52を出力するようになっている。ロータ軸113の変位が±50µmの範囲にあるときに高感度になるように制御され、この範囲を超えた変位の場合には低感度に制御される。

【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

回転体と、

該回転体を位置調整しつつ磁気浮上させる軸受手段と、

前記回転体の状態若しくは前記軸受手段の状態を検出してセンサ信号として出力するセンサと、

該センサ信号が入力され、一定範囲内の入力に対する出力の感度が高感度に設定され、該範囲以外の感度が低感度に設定された連続した入出力特性を有する感度変換手段と、  
該感度変換手段で感度変換されたアナログ信号をデジタル化するアナログ/デジタル変換手段と、

10

該アナログ/デジタル変換手段でデジタル化された信号が入力され、前記感度変換手段での入出力特性と  $x$   $y$  座標軸上で  $y = x$  を境に対称とされた入出力特性を有する感度再変換手段とを備えたことを特徴とする磁気軸受装置。

## 【請求項 2】

前記感度変換手段の入出力特性は複数本の直線にて連続された折れ線近似直線による特性であり、前記感度再変換手段の入出力特性は前記一定範囲を超えた部分でセンサ感度が低下する方向に設定されたことを特徴とする請求項 1 記載の磁気軸受装置。

## 【請求項 3】

回転体と、

該回転体を位置調整しつつ磁気浮上させる軸受手段と、

20

前記回転体の状態若しくは前記軸受手段の状態を検出してセンサ信号として出力するセンサと、

該センサ信号が入力され、入力に対する出力の感度が高感度に設定された入出力特性を有する高感度センサ信号変換手段と、

該高感度センサ信号変換手段で感度変換されたアナログ信号をデジタル化する第 1 のアナログ/デジタル変換手段と、

該第 1 のアナログ/デジタル変換手段でデジタル化された信号が入力され、前記高感度センサ信号変換手段での入出力特性と  $x$   $y$  座標軸上で  $y = x$  を境に対称とされた入出力特性を有する低感度再変換手段と、

前記センサ信号が入力され、入力に対する出力の感度が低感度に設定された入出力特性を有する低感度センサ信号変換手段と、

30

該低感度センサ信号変換手段で感度変換されたアナログ信号をデジタル化する第 2 のアナログ/デジタル変換手段と、

該第 2 のアナログ/デジタル変換手段でデジタル化された信号が入力され、前記低感度センサ信号変換手段での入出力特性と  $x$   $y$  座標軸上で  $y = x$  を境に対称とされた入出力特性を有する高感度再変換手段と、

該高感度再変換手段と前記低感度再変換手段のいずれかの出力信号を選択する選択手段とを備えたことを特徴とする磁気軸受装置。

## 【請求項 4】

回転体と、

40

該回転体を位置調整しつつ磁気浮上させる軸受手段と、

前記回転体の状態若しくは前記軸受手段の状態を検出してセンサ信号として出力するセンサと、

該センサ信号が入力され、入力に対する出力の感度が高感度に設定された入出力特性を有する高感度センサ信号変換手段と、

前記センサ信号が入力され、入力に対する出力の感度が低感度に設定された入出力特性を有する低感度センサ信号変換手段と、

該低感度センサ信号変換手段と前記高感度センサ信号変換手段のいずれかの出力信号を選択する選択手段と、

該選択手段で信号選択されたアナログ信号をデジタル化する第 1 のアナログ/デジタル

50

ル変換手段とを備えたことを特徴とする磁気軸受装置。

【請求項 5】

前記選択手段における選択は、前記第 1 のアナログ/デジタル変換手段での変換データが所定の値以内若しくは桁あふれしていないとき前記高感度センサ信号変換手段側の出力信号が選択され、かつ前記第 1 のアナログ/デジタル変換手段での変換データが所定の値を超えた若しくは桁あふれしたときに前記高感度センサ信号変換手段側から前記低感度センサ信号変換手段側に自動切換されることを特徴とする請求項 3 又は請求項 4 記載の磁気軸受装置。

【請求項 6】

前記選択手段における選択の自動切換にはヒステリシス特性が設定されたことを特徴とする請求項 5 記載の磁気軸受装置。 10

【請求項 7】

前記センサ信号に対する前記選択手段での一方の入力信号と前記選択手段での他方の入力信号間の偏差及び/又はオフセット電圧を基に双方の入力信号間の感度を補正する係数が算出若しくは予め設定される偏差補正手段と、前記選択手段における選択が自動切換されたとき該偏差補正手段で算出若しくは設定された係数を基に切換後に選択された信号の感度を調整する感度調整手段とを備えたことを特徴とする請求項 3、4、5 又は 6 記載の磁気軸受装置。

【請求項 8】

前記係数は記憶回路に保存され、停電時であってもデータ消滅しないことを特徴とする請求項 7 記載の磁気軸受装置。 20

【請求項 9】

請求項 1 ~ 8 のいずれか 1 項に記載の磁気軸受装置が搭載され、前記高感度に設定された入出力特性範囲には定格運転状態が含まれることを特徴とするターボ分子ポンプ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は磁気軸受装置及び該磁気軸受装置が搭載されたターボ分子ポンプに係わり、特に低コストで制御精度が高く低振動の磁気軸受装置及び該磁気軸受装置が搭載されたターボ分子ポンプに関する。 30

【背景技術】

【0002】

近年のエレクトロニクスの発展に伴い、メモリや集積回路といった半導体の需要が急激に増大している。

これらの半導体は、極めて純度の高い半導体基板に不純物をドーピングして電気的性質を与えたり、エッチングにより半導体基板上に微細な回路を形成したりなどして製造される。

【0003】

そして、これらの作業は空気中の塵等による影響を避けるため高真空状態のチャンバ内で行われる必要がある。このチャンバの排気には、一般に真空ポンプが用いられているが、特に残留ガスが少なく、保守が容易等の点から真空ポンプの中の一つであるターボ分子ポンプが多用されている。 40

また、半導体の製造工程では、様々なプロセスガスを半導体の基板に作用させる工程が数多くあり、ターボ分子ポンプはチャンバ内を真空にするのみならず、これらのプロセスガスをチャンバ内から排気するのにも使用される。

【0004】

このターボ分子ポンプは、プロセスガスを吸引排気するターボ分子ポンプ本体と、このターボ分子ポンプ本体を制御する制御装置とから構成されている。

このターボ分子ポンプ本体の縦断面図を図 6 に示す。

【0005】

図 6 において、ターボ分子ポンプ本体 100 は、円筒状の外筒 127 の上端に吸気口 1 50

01が形成されている。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を備える。

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、いわゆる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。

#### 【0006】

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に近接かつ対応されて4個の電磁石からなる上側径方向センサ107が備えられている。この上側径方向センサ107は回転体103の径方向変位を検出し、その信号を図示せぬ制御装置に送るように構成されている。 10

#### 【0007】

制御装置においては、上側径方向センサ107が検出した変位信号に基づき、PID調節機能を有する磁気軸受制御回路を介したアンプの出力により、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。ここで、磁気軸受制御回路は、上側径方向センサ107が検出したロータ軸113の変位のアナログセンサ信号をA/Dコンバータでデジタル信号に変換し、その信号を処理し、上側径方向電磁石104に流す電流を調整し、ロータ軸113を浮上させている。また、上側径方向電磁石104に流す電流を微調整するため、上側径方向電磁石104に流した電流を測定し、その値をA/Dコンバータでデジタル変換して磁気軸受制御回路にフィードバックしている。 20

ロータ軸113は、高透磁率材(鉄など)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。

#### 【0008】

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が、上側の径方向位置と同様に、制御装置において調整されている。

#### 【0009】

さらに、軸方向電磁石106A、106B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、その軸方向変位信号が制御装置に送られるように構成されている。 30

#### 【0010】

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制御装置のPID調節機能を有する磁気軸受制御回路を介したアンプの出力により、励磁制御されるようになっている。軸方向電磁石106Aは、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106Bは、金属ディスク111を下方に吸引する。

このように、制御装置では、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。 40

#### 【0011】

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。これら各磁極は、制御装置のPWM制御機能を有するモータ制御回路を介した駆動回路から出力された動力信号により、モータ121を回転駆動するよう制御されている。

また、モータ121には、図示しない回転数センサ及びモータ温度センサが取り付けられており、これらの回転数センサ及びモータ温度センサの検出信号を受けて、制御装置においてロータ軸113の回転が制御されている。

#### 【0012】

回転翼102a、102b、102c・・・とわずかの空隙を隔てて複数枚の固定翼1 50

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、それぞれ排気ガスの分子を衝突により下方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して形成されている。

【0 0 1 3】

また、固定翼 1 2 3 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 の段と互い違いに配設されている。

そして、固定翼 1 2 3 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。

【0 0 1 4】

固定翼スペーサ 1 2 5 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 1 2 5 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 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。

【0 0 1 5】

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。

【0 0 1 6】

回転体 1 0 3 の回転翼 1 0 2 a、1 0 2 b、1 0 2 c・・・に続く最下部には回転翼 1 0 2 d が垂下されている。この回転翼 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。

【0 0 1 7】

ベース部 1 2 9 は、ターボ分子ポンプ本体 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本体 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。

また、ベース部 1 2 9 には、コネクタ 1 6 0 が配設されており、このコネクタ 1 6 0 は、ターボ分子ポンプ本体 1 0 0 と制御装置との間の信号線の出口になっている。

【0 0 1 8】

かかる構成において、回転翼 1 0 2 がモータ 1 2 1 により駆動されてロータ軸 1 1 3 と共に回転すると、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の排気ガスが吸気される。

【0 0 1 9】

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。そして、ベース部 1 2 9 に移送されてきた排気ガスは、ネジ付きスペーサ 1 3 1 のネジ溝 1 3 1 a に案内されつつ排気口 1 3 3 へと送られる。

【0 0 2 0】

このとき、排気ガスは、場合により高温の状態ではチャンバに導入される。そして、この排気ガスは、ターボ分子ポンプ本体 1 0 0 内で低温となると固体状になる場合があり、ターボ分子ポンプ本体 1 0 0 内部に付着して堆積し、その性能を低下させるおそれがあった。そこで、近年のターボ分子ポンプにおいては、Temperature Management System制御（

10

20

30

40

50

以下、TMS制御という。)を行っている場合が多い。

【0021】

TMS制御とは、ベース部129等に、図示しないヒータや環状の水冷管149、及び図示しないTMS温度センサ等を配設し、このTMS温度センサの検知信号を制御装置で処理することで、ベース部129の温度を一定に保ち、ターボ分子ポンプ本体100内に堆積物が付着しないようにするものである。

【0022】

また、ターボ分子ポンプ本体100は、個々に調整された固有のパラメータ(例えば、機種の特長、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、ターボ分子ポンプ本体100は、その本体内に電子回路部141を備えている。

10

【0023】

電子回路部141は、ターボ分子ポンプ本体100の機種を特定するためのID抵抗や、その機種に対応する諸特性を保存するEEP-ROM等の不揮発性の半導体メモリや、それらのアクセスのための半導体素子等の電子部品、それら実装用の基板143等から構成されている。

【0024】

電子回路部141内のEEP-ROMやID抵抗が持つ各パラメータは、制御装置において処理されるとともに、その処理データは、個々のターボ分子ポンプ本体100の動作を制御するために、再び電子回路部141に戻される。

20

この電子回路部141は、ターボ分子ポンプ本体100の下部を構成するベース部129の中央付近の軸方向センサ109の下部に収容され、機密性の底蓋145によって閉じられている。

【0025】

ところで、前述のA/Dコンバータは、運転開始時や外乱の入力時のロータ軸の113の変位をも検出可能とするために、従来アナログセンサからのロータ軸113の可動範囲全域の変位信号に全量子化ビットが均等に割り当てられていた。このため、可動範囲全域においてデジタルセンサの感度が一定であり、磁気軸受制御の精度もロータ軸113の可動範囲全域において一定であった。

【0026】

このようなターボ分子ポンプにおいて、磁気軸受の制御精度を向上させ振動を低減させるには、ロータの変位や電磁石電流などのアナログセンサ信号の分解能を高くする必要がある。かかる信号の分解能を高くするには、分解能の高い多ビットのA/Dコンバータを使用する必要がある。しかしながら、このようにロータの可動範囲全域を高い分解能でデジタル信号に変換するには、分解能の高い多ビットの高価なA/Dコンバータを使用する必要がある、コストが上昇してしまう(特に、16ビットを超える高速A/Dコンバータは高価である)。また、分解能を高めても、回路内のノイズレベルに対して、信号のレベルが小さいと分解能は実質的に高くない。

30

【0027】

なお、この課題を解決するために、あらかじめ設定したアルゴリズムでA/Dコンバータにオフセットを与えたり(特許文献1参照)、ダイナミックレンジを切り替えたりする方法(特許文献2参照)が、提案されている。しかしながら、アルゴリズムが煩雑であったり、設定切替時に振動発生の可能性がある等の問題点がある。

40

【特許文献1】特開平8-330962号公報

【特許文献2】特開2000-740641号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0028】

本発明はこのような従来の課題に鑑みてなされたもので、低コストで制御精度が高く低振動の磁気軸受装置及び該磁気軸受装置が搭載されたターボ分子ポンプを提供することを

50

目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0029】

このため本発明（請求項1）は、回転体と、該回転体を位置調整しつつ磁気浮上させる軸受手段と、前記回転体の状態若しくは前記軸受手段の状態を検出してセンサ信号として出力するセンサと、該センサ信号が入力され、一定範囲内の入力に対する出力の感度が高感度に設定され、該範囲以外の感度が低感度に設定された連続した入出力特性を有する感度変換手段と、該感度変換手段で感度変換されたアナログ信号をデジタル化するアナログ/デジタル変換手段と、該アナログ/デジタル変換手段でデジタル化された信号が入力され、前記感度変換手段での入出力特性と $x$   $y$ 座標軸上で $y = x$ を境に対称とされた入出力特性を有する感度再変換手段とを備えて構成した。

10

【0030】

感度再変換手段では、センサ信号の感度を線形に復元する。一定範囲内の入力に対する出力の感度を高感度に設定し、この範囲以外の感度を低感度に設定した入出力特性とすることで、運転開始時や外乱の入力時等には低感度の入出力特性部分が選択され、一方、定格運転時には高感度の入出力特性部分が選択されるようになる。このため、運転の状態に応じた最適な制御が行え、定格運転時には高感度特性を利用した高精度な制御を行うことができる。アナログ/デジタル変換手段は高感度特性部分と低感度特性部分とに共通に使用されるため、安価に構成できる。

また、回路内のノイズレベルに対して、特定の範囲のセンサ信号の感度を高くしている

20

【0031】

また、本発明（請求項2）は、前記感度変換手段の入出力特性は複数本の直線にて連続された折れ線近似直線による特性であり、前記感度再変換手段の入出力特性は前記一定範囲を超えた部分でセンサ感度が低下する方向に設定されたことを特徴とする。

【0032】

折れ線近似直線を有する入出力特性は簡易な構成で得られる。感度再変換手段の入出力特性は、一定範囲を超えた部分でセンサ感度が低下する方向に設定することで、系全体としての急激な感度の増大が抑えられ、磁気軸受を発振し難くすることができる。

30

【0033】

更に、本発明（請求項3）は、回転体と、該回転体を位置調整しつつ磁気浮上させる軸受手段と、前記回転体の状態若しくは前記軸受手段の状態を検出してセンサ信号として出力するセンサと、該センサ信号が入力され、入力に対する出力の感度が高感度に設定された入出力特性を有する高感度センサ信号変換手段と、該高感度センサ信号変換手段で感度変換されたアナログ信号をデジタル化する第1のアナログ/デジタル変換手段と、該第1のアナログ/デジタル変換手段でデジタル化された信号が入力され、前記高感度センサ信号変換手段での入出力特性と $x$   $y$ 座標軸上で $y = x$ を境に対称とされた入出力特性を有する低感度再変換手段と、前記センサ信号が入力され、入力に対する出力の感度が低感度に設定された入出力特性を有する低感度センサ信号変換手段と、該低感度センサ信号変換手段で感度変換されたアナログ信号をデジタル化する第2のアナログ/デジタル変換手段と、該第2のアナログ/デジタル変換手段でデジタル化された信号が入力され、前記低感度センサ信号変換手段での入出力特性と $x$   $y$ 座標軸上で $y = x$ を境に対称とされた入出力特性を有する高感度再変換手段と、該高感度再変換手段と前記低感度再変換手段のいずれかの出力信号を選択する選択手段とを備えて構成した。

40

【0034】

特定の範囲のセンサ信号については、専用の回路により増幅することで、高感度な増幅が行える。このため、特定の範囲について高精度な制御を行うことができる。一方、この特定の範囲以外についてはそれほど高精度な制御を行う必要がないので、低感度な増幅で足りる。このため、アナログ信号をデジタル化するのに必要な第1、第2のアナログ/

50

デジタル変換手段の分解能は共に低くてすむ。

【0035】

更に、本発明（請求項4）は、回転体と、該回転体を位置調整しつつ磁気浮上させる軸受手段と、前記回転体の状態若しくは前記軸受手段の状態を検出してセンサ信号として出力するセンサと、該センサ信号が入力され、入力に対する出力の感度が高感度に設定された入出力特性を有する高感度センサ信号変換手段と、前記センサ信号が入力され、入力に対する出力の感度が低感度に設定された入出力特性を有する低感度センサ信号変換手段と、該低感度センサ信号変換手段と前記高感度センサ信号変換手段のいずれかの出力信号を選択する選択手段と、該選択手段で信号選択されたアナログ信号をデジタル化する第1のアナログ/デジタル変換手段とを備えて構成した。

10

【0036】

特定の範囲のセンサ信号とこの特定の範囲以外のセンサ信号について、第1のアナログ/デジタル変換手段が共用されているため安価に構成できる。また、特定の範囲のセンサ信号については、専用の回路により増幅することで、高感度な増幅が行える。このため、特定の範囲について高精度な制御を行うことができる。

【0037】

更に、本発明（請求項5）は、前記選択手段における選択は、前記第1のアナログ/デジタル変換手段での変換データが所定の値以内若しくは桁あふれしていないとき前記高感度センサ信号変換手段側の出力信号が選択され、かつ前記第1のアナログ/デジタル変換手段での変換データが所定の値を超えた若しくは桁あふれしたときに前記高感度センサ信号変換手段側から前記低感度センサ信号変換手段側に自動切換されることを特徴とする。

20

【0038】

磁気軸受装置の回転体が安定した運転をしている状態では、高感度センサ信号変換手段側の出力信号が選択される。このため、高精度な制御を行うことができ、回転体は安定状態を維持できる。一方、回転体が運転開始状態のときや外乱の加わった状態等では、低感度センサ信号変換手段側に自動切換され可動範囲全体に渡る制御が行われる。

【0039】

更に、本発明（請求項6）は、前記選択手段における選択の自動切換にはヒステリシス特性が設定されたことを特徴とする。

30

【0040】

ヒステリシス特性を設定したことで、自動切換時に安定した切換が行える。

【0041】

更に、本発明（請求項7）は、前記センサ信号に対する前記選択手段での一方の入力信号と前記選択手段での他方の入力信号間の偏差及び/又はオフセット電圧を基に双方の入力信号間の感度を補正する係数が算出若しくは予め設定される偏差補正手段と、前記選択手段における選択が自動切換されたとき該偏差補正手段で算出若しくは設定された係数を基に切換後に選択された信号の感度を調整する感度調整手段とを備えて構成した。

【0042】

選択の自動切換の際に、急激な感度の相違が生ずることを避けることができる。このため、安定した制御が行える。

40

【0043】

更に、本発明（請求項8）は、前記係数は記憶回路に保存され、停電時であってもデータ消滅しないことを特徴とする。

【0044】

係数を記憶回路に保存することで、常に参照可能となり、逐次演算によりこの係数を算出する必要はなくなる。このため、選択の自動切換のタイミングに左右されることはなくなり、安定した制御が行えるようになる。

【0045】

更に、本発明（請求項9）は、請求項1～8のいずれか1項に記載の磁気軸受装置が搭

50

載されたターボ分子ポンプであって、前記高感度に設定された入出力特性範囲には定格運転状態が含まれることを特徴とする。

【0046】

ターボ分子ポンプの定格運転付近における制御が高精度に行える。

【発明の効果】

【0047】

以上説明したように本発明によれば、一定範囲内の入力に対する出力の感度を高感度に設定し、この範囲以外の感度を低感度に設定したので、運転開始時や外乱の入力時等には低感度の入出力特性部分が選択され、一方、通常運転時には高感度の入出力特性部分が選択されるようになる。このため、運転の状態に応じた最適な制御が行え、定格運転時には高感度特性を利用した高精度な制御を行うことができる。アナログ/デジタル変換手段は高感度特性部分と低感度特性部分とに共通に使用されるため、安価に構成できる。

10

また、回路内のノイズレベルに対して、特定の範囲のセンサ信号の感度を高くしているので、その部分のS/N比が向上し、ノイズの少ない高感度のデジタルセンサ信号を得られる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0048】

以下、本発明の第1実施形態について説明する。図1は本発明の第1実施形態であるターボ分子ポンプの磁気軸受制御装置のブロック図を示す。図1において、変位センサ10は、ロータ軸113の変位を検出するために配設されている。ここで変位センサ10は、例えば、上側径方向センサ107、下側径方向センサ108、軸方向センサ109などである。この変位センサ10はロータ軸113の変位を検出してアナログ変位信号50を出力するようになっている。

20

【0049】

そして、このアナログ変位信号50は感度変換回路12に入力されるようになっている。ここで感度変換回路12は本ターボ分子ポンプの定常運転時のロータ軸の位置を基準として、ロータ軸113の変位が $\pm 50 \mu\text{m}$ 以内の場合には高感度アナログ-デジタル信号変換用のアナログ中間信号52を出力するようになっている。また、ロータ軸113の変位が $+50 \mu\text{m}$ から $+250 \mu\text{m}$ または $-50 \mu\text{m}$ から $-250 \mu\text{m}$ の場合は低感度アナログ-デジタル信号変換用のアナログ中間信号52を出力するようになっている。

30

【0050】

なお、本実施形態では変位センサ10の測定範囲は $\pm 250 \mu\text{m}$ であったが、これは実際に使用されるロータ軸の可動範囲によって適宜変更されてもよいものとする。

アナログ中間信号52は分解能12bitのA/Dコンバータ20に入力されるようになっている。ここでアナログ中間信号52はデジタル中間信号54に変換され、出力されるようになっている。このデジタル中間信号54はDigital Signal Processor(以下、DSPという)に入力され、ソフトウェアの感度再変換処理部14に入力され、上述した感度変換回路12でアナログ変位信号50が変換される際に高感度モードであるか低感度モードであるかの態様に応じて、A/Dコンバータ20によって量子化されていたデジタル中間信号54を線形に復元し、デジタル変位信号56を出力するようになっている。

40

【0051】

なお、本実施形態の感度変換回路12及び感度再変換処理部14では、それぞれ例えば図2及び図3に示すようにセンサの解像度が折線にて切り替わる折線近似特性を設定する。図2と図3の関係は、センサ信号の感度を線形に復元させるため、xy座標軸上で $y=x$ の直線を境に対称とされた関係を有する。折れ点の場所はロータ軸113の変位に換算してそれぞれ $-50 \mu\text{m}$ と $+50 \mu\text{m}$ に相当する。そして、折れ点近傍ではデジタル中間信号54が滑らかに繋がるようにDSPのソフトウェアで補間されるのが望ましい。

【0052】

また、この折れ点近傍では例えば回路のバラツキ等により図2中に点線、で示すように特性が移動することがあるが、点線のように特性が移動した場合には、感度再変換

50

処理部 14 でそのまま再変換されると磁気軸受が発振するおそれがある。そこで、かかる発振を防ぐため、再変換の特性を図 3 の点線で示したように、理想特性よりゲインが劣化する方向に予め移動させておく。劣化させる大きさは、考えられる図 2 の特性のバラツキの最大値を考慮して決められるのが望ましい。なお、再変換の特性を図 3 の点線で示したように設定した状態で、かつ図 2 の特性のバラツキが点線の方向に存在した場合には、軸受制御はふらつきを有するようになるが、発振することはない。

【0053】

なお、本実施形態では、簡単のため変位センサの感度を変換する特性として折れ線近似を例として説明したが、この方法以外に変換時に  $Y_a = (X_a)$  (添え字 a はアナログを意味する。以下同様)、それに対し再変換時に  $X_d = Y_d^2$  (添え字 d はデジタルを意味する。以下同様) となる関数を用いたりされてもよい。また、変換時に  $Y_a = \text{Log}(X_a)$ 、そして再変換時に  $X_d = 10^{Y_d}$  のような特性が設定されてもよい。更に、変換時に  $Y_a = 1 / (X_a + A)$ 、そして再変換時に  $X_d = 1 / Y_d - A$  のような特性が設定されてもよい。更に、変換する際の入出力特性と XY 座標軸上で  $y = x$  を境に対称とされた入出力特性を有するように再変換可能な任意の関数を設定してもよいものとする。

10

【0054】

デジタル変位信号 56 は磁気軸受制御処理部 40 に入力される。そして、磁気軸受制御処理部 40 では、このデジタル変位信号 56 に基づいてロータ軸 113 の変位を調節する電磁石を PID 制御するようになっている。

以上により、ロータ軸 113 の変位が  $\pm 50 \mu\text{m}$  の範囲にあるときに高感度になるように制御され、この範囲を超えた変位の場合には低感度に制御される。従って、A/D コンバータ 20 で必要とされる分解能は低くて済み安価に構成できる。

20

【0055】

次に、本発明の第 2 実施形態について説明する。本発明の第 2 実施形態であるターボ分子ポンプの磁気軸受制御装置のブロック図を図 4 に示す。なお、図 1 と同一要素のものについては同一符号を付して説明は省略する。

【0056】

第 2 実施形態では第 1 実施形態とは異なり、特定の範囲のみを検出可能な高感度回路と可動範囲全体を検出可能な低感度回路とにそれぞれ予め回路を用意し、ロータ軸 113 の変位が特定の範囲内にあるときは高感度回路の方を選択するというものである。

30

【0057】

図 4 において、変位センサ 10 から出力されたアナログ変位信号 50 は、高ゲインセンサ復調回路 12A と低ゲインセンサ復調回路 12B に入力されるようになっている。高ゲインセンサ復調回路 12A の特性は、例えば、図 2 のロータ軸 113 の変位が  $\pm 50 \mu\text{m}$  以内の場合における感度が  $\pm 50 \mu\text{m}$  以外においても延長設定されている。一方、低ゲインセンサ復調回路 12B の特性は、例えば、図 2 のロータ軸 113 の変位が  $\pm 50 \mu\text{m}$  を超えた場合における感度が適用されており、 $\pm 50 \mu\text{m}$  の領域以内においてもこの感度が同様に設定されている。

【0058】

高ゲインセンサ復調回路 12A から出力された高感度アナログ中間信号 52a は 12bit の A/D コンバータ 20A に、低ゲインセンサ復調回路 12B から出力された低感度アナログ中間信号 52b は 12bit の A/D コンバータ 20B にそれぞれ入力されるようになっている。

40

【0059】

入力された高感度アナログ中間信号 52a に応じて A/D コンバータ 20A から、高感度デジタル中間信号 54a が出力されるようになっている。一方、A/D コンバータ 20B からは入力された低感度アナログ中間信号 52b に応じて、低感度デジタル中間信号 54b が出力されるようになっている。

【0060】

その後、高感度デジタル中間信号 54a には低ゲイン 14A が乗算され、高感度デジタ

50

ル信号 55 a を出力するようになっている。一方、低感度デジタル中間信号 54 b には高ゲイン 14 B が乗算され、低感度デジタル信号 55 b を出力するようになっている。そして、高感度デジタル信号 55 a と低感度デジタル信号 55 b は共にセレクタ 60 に入力されるようになっている。

【0061】

そして、セレクタ 60 で抽出されたデジタル変位信号 56 は磁気軸受制御処理部 40 に入力されるようになっている。磁気軸受制御処理部 40 では、このデジタル変位信号 56 に基づいてロータ軸 113 の変位を調節する電磁石をたとえば PID 制御などの方法で制御するようになっている。

【0062】

ここで、磁気軸受制御処理部 40 は A/D コンバータ 20 A がオーバーフローしているかどうかを A/D コンバータ 20 A がアウトオブレンジ信号をだしているかどうかで判別する。A/D コンバータ 20 A がオーバーフローしているということはロータ軸 113 の変位が  $\pm 50 \mu\text{m}$  の範囲外にあるということを示しているので、磁気軸受制御処理部 40 は低感度デジタル信号 55 b に基づいたデジタル変位信号 56 を出力するようにセレクタ 60 に指令を出す。また、A/D コンバータ 20 A がオーバーフローしていないときは、ロータ軸 113 の変位が  $\pm 50 \mu\text{m}$  の範囲内にあるということを示しているので、DSP はセレクタ 60 に高感度デジタル信号 55 a に基づいたデジタル変位信号 56 を出力するようにセレクタ 60 に指令を出す。

【0063】

このように、A/D コンバータ 20 A がオーバーフローしているか否かにより適宜セレクタ 60 での切替が行われるが、この切替がノイズ等により頻繁に切替られないようにするため、センサの感度切替の際にはヒステリシス特性を設けるのが望ましい。

【0064】

なお、セレクタ 60 によりセンサの感度を切り替えた際には、高ゲインセンサ復調回路 12 A と低ゲインセンサ復調回路 12 B のそれぞれの特性のずれや回路特有のオフセット電圧等の影響から切り換えられた信号の間に誤差を生じる可能性がある。以下に、この誤差の影響を低減し、この誤差がもとで磁気軸受が発振するのを防止する方法について説明する。

【0065】

高ゲインセンサ復調回路 12 A と低ゲインセンサ復調回路 12 B のそれぞれの特性のずれや回路特有のオフセット電圧等の影響については、磁気軸受の起動時及び運転時にまず一度、DSP がその回路特性を検出し記憶する。そして、それぞれの特性のずれ等を基にセンサ感度切り替わり時のゲイン補正係数とオフセット補正係数を求める。そして、このゲイン補正係数とオフセット補正係数をメモリに保持しておき、二度目以降のターボ分子ポンプ作動時からはこれらのゲイン補正係数とオフセット補正係数を使用して、切り替えに際しては補正換算された後のデータを利用する。

【0066】

補正換算は、一応、高ゲインセンサ復調回路 12 A 側のデータが真値であると仮定して、低ゲインセンサ復調回路 12 B 側のデータを補正する。なお、かかる補正を行う補正調節部は、例えばセレクタ 60 の後段に配設する。以上により、高ゲインセンサ復調回路 12 A 側のデータに揃えられた、より精度の高い制御を行うことができる。現地調整を随時行うことで、随時補正換算を更新できるので、特性の経年変化に対しても対処可能である。

【0067】

但し、それぞれの特性のずれ等は予め工場にて実験的に算出して補正係数を求めておき、この補正係数がメモリに保持されるようにしてもよい。メモリは ROM や無停電対策されたものであることが望ましい。

【0068】

次に、本発明の第 3 実施形態について説明する。本発明の第 3 実施形態であるターボ分

10

20

30

40

50

子ポンプの磁気軸受制御装置のブロック図を図5に示す。なお、図1、図4と同一要素のものについては同一符号を付して説明は省略する。第3実施形態では第2実施形態とは異なり、高感度用と低感度用のアナログ信号を切り換え可能とすると共にA/Dコンバータを共用するというものである。

【0069】

図5において、変位センサ10から出力されたアナログ変位信号50は、高ゲインセンサ復調回路12Aと低ゲインセンサ復調回路12Bに入力されるようになっている。更に、高ゲインセンサ復調回路12Aから出力された高感度アナログ中間信号52aと低ゲインセンサ復調回路12Bから出力された低感度アナログ中間信号52bがセレクタ60に入力されるようになっている。入力された高感度アナログ中間信号52aと低感度アナログ中間信号52bはDSPからの指令によりセレクタ60で適当な方を選択され、アナログ中間信号53として出力されるようになっている。

10

【0070】

アナログ中間信号53はA/Dコンバータ20に入力され、アナログ、デジタル変換された後にデジタル中間信号54として出力されるようになっている。出力されたデジタル中間信号54は感度再変換処理部14に入力され、線形変換された後、デジタル変位信号56として出力され、磁気軸受制御処理部40に入力されるようになっている。

【0071】

感度再変換処理部14では、図4の低ゲイン14A、高ゲイン14Bと同様のゲインを乗算するようになっており、DSPからの指令により適宜切り換えられるようになっている。DSPは、このデジタル変位信号56に基づいてロータ軸113の変位を調節する電磁石をPID制御するようになっている。

20

【0072】

ここで、DSPはA/Dコンバータ20がオーバーフローしているかどうかをA/Dコンバータ20がアウトオブレンジ信号をだしているかどうかで判別する。セレクタ60が高ゲインセンサ復調回路12A側で、かつA/Dコンバータ20がオーバーフローしているということはロータ軸113の変位が $\pm 50 \mu\text{m}$ の範囲外に変わったことを示しているので、DSPは低ゲインセンサ復調回路12Bから出力された低感度アナログ中間信号52b側に切り替わるようにセレクタ60に指令を出す。

【0073】

一方、セレクタ60が高ゲインセンサ復調回路12A側で、かつA/Dコンバータ20がオーバーフローしていないときは、ロータ軸113の変位が $\pm 50 \mu\text{m}$ の範囲内にあることを示しているので、磁気軸受制御処理部40は高ゲインセンサ復調回路12A側が維持されるようにセレクタ60に維持指令を出す。

30

【0074】

このように、A/Dコンバータ20がオーバーフローしているか否かにより適宜セレクタ60での切換が行われるが、この切換がノイズ等により頻繁に切換られないようにするため、センサの感度切換の際にはヒステリシス特性を設けるのが望ましい。

【0075】

なお、前述した補正換算を精度よく本実施形態で行う場合には、数10kHzのタイミングでセレクタ60を切り換えてこの補正換算を各タイミング毎に行う必要がある。この際には、切換の際にノイズが乗るおそれがある。しかしながら、算出した補正係数をメモリに保持し、常にこのメモリの値を参照するようにすれば、セレクタ60を頻繁に切り換える必要がなくなり、かかるノイズを防止することができる。

40

【0076】

以上の各実施形態ではロータ軸113の変位を測定するセンサを例に説明したが、この他にもターボ分子ポンプのモータ121の電圧や電流、電磁石電流、電磁石磁束、装置温度、振動などのアナログ量として検出可能なものに対して本発明を適用することができる。

【図面の簡単な説明】

50

## 【 0 0 7 7 】

【 図 1 】 本発明の第 1 実施形態であるターボ分子ポンプの磁気軸受制御装置のブロック図

【 図 2 】 感度変換回路の特性例

【 図 3 】 感度再変換回路の特性例

【 図 4 】 本発明の第 2 実施形態であるターボ分子ポンプの磁気軸受制御装置のブロック図

【 図 5 】 本発明の第 3 実施形態であるターボ分子ポンプの磁気軸受制御装置のブロック図

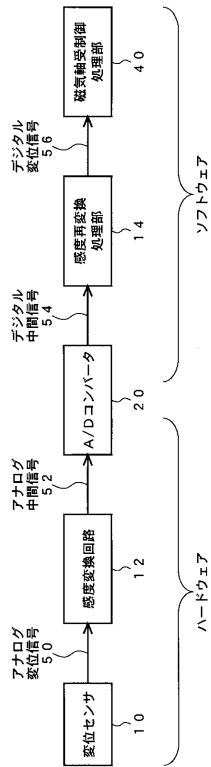
【 図 6 】 ターボ分子ポンプ本体の縦断面図

【 符号の説明 】

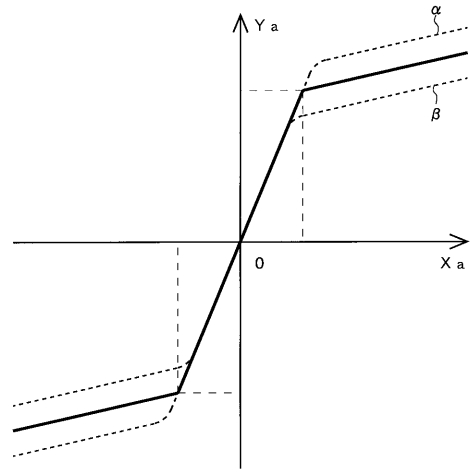
## 【 0 0 7 8 】

|                 |             |    |
|-----------------|-------------|----|
| 1 0             | 変位センサ       | 10 |
| 1 2             | 感度変換回路      |    |
| 1 2 A           | 高ゲインセンサ復調回路 |    |
| 1 2 B           | 低ゲインセンサ復調回路 |    |
| 1 4             | 感度再変換処理部    |    |
| 1 4 A           | 低ゲイン        |    |
| 1 4 B           | 高ゲイン        |    |
| 2 0、2 0 A、2 0 B | A / D コンバータ |    |
| 5 0             | アナログ変位信号    |    |
| 5 2             | アナログ中間信号    |    |
| 5 2 a           | 高感度アナログ中間信号 | 20 |
| 5 2 b           | 低感度アナログ中間信号 |    |
| 5 3             | アナログ中間信号    |    |
| 5 4             | デジタル中間信号    |    |
| 5 4 a           | 高感度デジタル中間信号 |    |
| 5 4 b           | 低感度デジタル中間信号 |    |
| 5 5 a           | 高感度デジタル信号   |    |
| 5 5 b           | 低感度デジタル信号   |    |
| 5 6             | デジタル変位信号    |    |
| 6 0             | セレクタ        |    |
| 1 0 7           | 上側径方向センサ    | 30 |
| 1 0 8           | 下側径方向センサ    |    |
| 1 0 9           | 軸方向センサ      |    |
| 1 1 3           | ロータ軸        |    |
| 1 2 1           | モータ         |    |

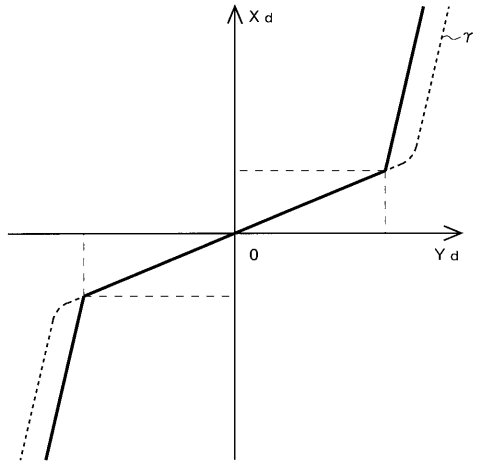
【 図 1 】



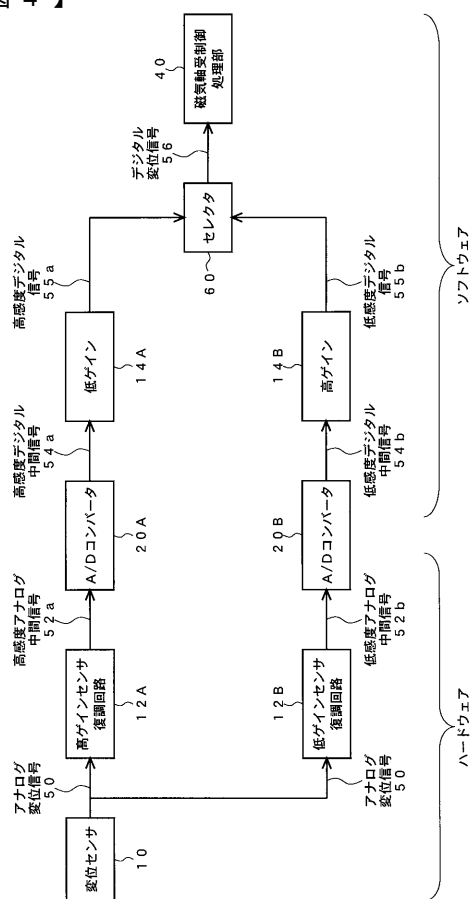
【 図 2 】



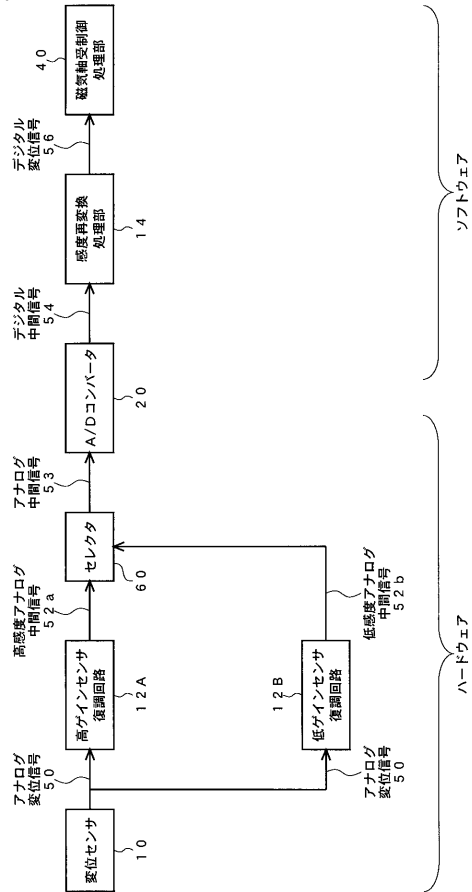
【 図 3 】



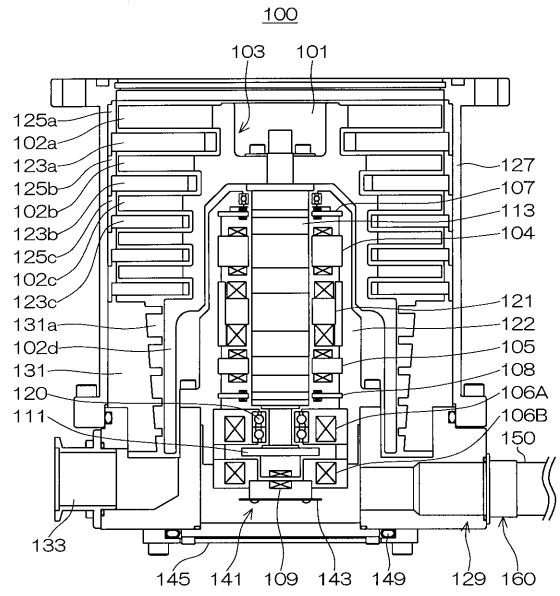
【 図 4 】



【 図 5 】



【 図 6 】



---

フロントページの続き

Fターム(参考) 3H131 AA02 AA07 BA08 BA09 BA14 BA15 CA13  
3J102 AA01 BA03 CA03 CA16 CA27 DA03 DA09 DB05 DB22 DB32  
GA06