

(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2008-82425  
(P2008-82425A)

(43) 公開日 平成20年4月10日(2008.4.10)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
<b>F16C 32/04 (2006.01)</b>	F 1 6 C 32/04 A	3H130
<b>F16C 32/00 (2006.01)</b>	F 1 6 C 32/00 C	3J102
<b>F04D 25/04 (2006.01)</b>	F O 4 D 25/04	
<b>F04D 25/06 (2006.01)</b>	F O 4 D 25/06	
<b>F04D 29/058 (2006.01)</b>	F O 4 D 29/058	

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 14 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2006-262499 (P2006-262499)  
(22) 出願日 平成18年9月27日 (2006. 9. 27)

(71) 出願人 000102692  
NTN株式会社  
大阪府大阪市西区京町堀1丁目3番17号  
(74) 代理人 100086793  
弁理士 野田 雅士  
(74) 代理人 100087941  
弁理士 杉本 修司  
(72) 発明者 山田 裕之  
静岡県磐田市東貝塚1578番地 NTN  
株式会社内  
(72) 発明者 鈴木 健一  
静岡県磐田市東貝塚1578番地 NTN  
株式会社内

最終頁に続く

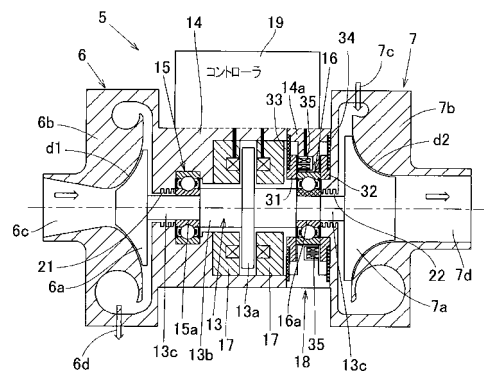
(54) 【発明の名称】 磁気軸受装置

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】スラスト荷重の負荷に対する転がり軸受の長期耐久性を向上させることができ、かつ磁気軸受を正確に制御できる磁気軸受装置を提供する。

【解決手段】この磁気軸受装置は、転がり軸受15, 16と磁気軸受を併用し、転がり軸受15, 16がラジアル負荷を支持し、磁気軸受がアキシャル負荷と軸受予圧のどちらか一方または両方を支持する。磁気軸受を構成する電磁石17は、主軸13のアキシャル方向の力を検出する力検出センサユニット18の出力に応じて、コントローラ19で制御される。前記力検出センサユニット18は、転がり軸受16の外輪16bの両端面を挟み込んだ一対のリング状のセンサターゲット31, 32と、これら各センサターゲット31, 32を支持する一対の板ばね33, 34と、前記センサターゲット31, 32に対するギャップを検出するギャップセンサ35とで構成される。

【選択図】 図1



- |                |                  |
|----------------|------------------|
| 5: タービンユニット    | 14a: 軸受ハウジング     |
| 6: コンプレッサ      | 15, 16: 転がり軸受    |
| 6a: コンプレッサ翼車   | 17: 電磁石          |
| 7: 膨張タービン      | 18: 力検出センサユニット   |
| 7a: タービン翼車     | 19: 磁気軸受用コントローラ  |
| 13: 主軸         | 31, 32: センサターゲット |
| 13a: スラスト板     | 33, 34: 板ばね      |
| 14: スピンドルハウジング | 35: ギャップセンサ      |

## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

転がり軸受と磁気軸受を併用し、転がり軸受がラジアル負荷を支持し、磁気軸受がアキシアル負荷と軸受予圧のどちらか一方または両方を支持し、電磁石は主軸に垂直かつ同軸に設けられた強磁性体からなるフランジ状のスラスト板に非接触で対向するように、スピンドルハウジングに取付けられており、主軸のアキシアル方向の力を検出する力検出センサユニットの出力に応じて、電磁石を制御するコントローラを有する磁気軸受装置であって、

前記力検出センサユニットは、前記転がり軸受の外輪の両端面を挟み込んだ一对のリング状のセンサターゲットと、これら各センサターゲットを支持する一对の板ばねと、前記センサターゲットに対するギャップを検出するギャップセンサとから構成され、前記板ばねは主軸径方向の外径側部分でスピンドルハウジングに取付けられかつ内径側部分に前記センサターゲットを取付けたことを特徴とする磁気軸受装置。

10

## 【請求項 2】

請求項 1 において、前記板ばねがリング状である請求項 1 記載の磁気軸受装置

## 【請求項 3】

請求項 1 または請求項 2 において、前記ギャップセンサは磁気式である磁気軸受装置。

## 【請求項 4】

請求項 1 または請求項 2 において、前記ギャップセンサは圧力センサからなり、圧縮エア供給源からの圧縮エアを前記スピンドルハウジングに設けたエア導入経路に導入し、センサターゲットとスピンドルハウジングのとの間のギャップ変動から特定位置の圧力変化を検出しスラスト力を推定するものとした磁気軸受装置。

20

## 【請求項 5】

請求項 1 ないし請求項 4 のいずれか 1 項において、前記主軸にコンプレッサ側翼車およびタービン側翼車が取付けられ、前記タービン翼車で発生した動力により前記コンプレッサ翼車を駆動させる、圧縮膨張タービンシステムに適用されるものとした磁気軸受装置。

## 【請求項 6】

請求項 1 ないし請求項 4 のいずれか 1 項において、前記主軸に前記スラスト板とモータロータとを設けたモーター体形の磁気軸受装置とし、かつ前記主軸にコンプレッサ側翼車およびタービン側翼車が取付けられ、モータ動力とタービン側翼車で発生した動力のどちらか一方または両方により、コンプレッサ側翼車を駆動させる、圧縮膨張タービンシステムに適用されるものとした磁気軸受装置。

30

## 【請求項 7】

請求項 5 または請求項 6 において、前記磁気軸受装置を適用した圧縮膨張タービンシステムが、流入空気に対して、予圧縮手段による圧縮、熱交換器による冷却、タービンユニットのコンプレッサによる圧縮、他の熱交換器による冷却、前記タービンユニットの膨張タービンによる断熱膨張、を順次行う空気サイクル冷凍冷却システムに適用されるものである磁気軸受装置。

## 【発明の詳細な説明】

40

## 【技術分野】

## 【0001】

この発明は、空気サイクル冷凍冷却用タービンユニット等に用いられる磁気軸受装置に関し、特に、転がり軸受と磁気軸受を併用し、磁気軸受がアキシアル負荷と軸受予圧のどちらか一方または両方を支持するようにした磁気軸受装置に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

冷凍冷却システムの冷媒として空気を用いることは、フロンやアンモニアガス等を用いる場合に比べて、環境保護や安全性の面では好ましいが、エネルギー効率としての特性面では不足する。しかし、冷凍倉庫等のように、冷媒となる空気を直接に吹き込むことがで

50

きる施設で用いる場合、庫内ファンやデフロストを省略する等の工夫を講じることにより、トータルコストを既存システム並みに引下げられる可能性がある。現在では既に、環境面から冷媒としてフロンを用いることが規制され、また他の冷媒用ガスを用いることも、できるだけ避けることが望まれる。そのため、上記のような用途で、空気を冷媒として用いる空気サイクル冷凍冷却システムが提案されている（例えば特許文献1，非特許文献1）。

#### 【0003】

また、-30 ~ -60 のディープ・コール領域では、空気冷却の理論効率は、フロンやアンモニアガスと同等以上になることが述べられている（非特許文献1）。ただし、上記空気冷却の理論効率を得ることは、最適に設計された周辺装置があって、始めて成り立つとも述べられている。周辺装置は、圧縮機や膨張タービン等である。

圧縮機，膨張タービンとしては、コンプレッサ翼車および膨張タービン翼車を共通の主軸に取付けたタービンユニットが用いられている（特許文献1，非特許文献1）。

#### 【0004】

なお、プロセスガスを処理するタービン・コンプレッサとしては、主軸の一端にタービン翼車、他端にコンプレッサ翼車を取付け、前記主軸を電磁石の電流で制御するジャーナルおよびスラスト軸受で支持した磁気軸受式タービン・コンプレッサが提案されている（特許文献2）。

また、ガスタービンエンジンにおける提案ではあるが、主軸支持用の転がり軸受に作用するスラスト荷重が軸受寿命の短縮を招くことを回避するため、転がり軸受に作用するスラスト荷重をスラスト磁気軸受により低減することが提案されている（特許文献3）。

【特許文献1】特許第2623202号公報

【特許文献2】特開平7-91760号公報

【特許文献3】特開平8-261237号公報

【非特許文献1】雑誌，ニッケイメカニカル，「空気で空気を冷やす」，1995年11月13日発行，no467，第46～52頁

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

#### 【0005】

上記のように、空気サイクル冷凍冷却システムとして、ディープ・コール領域で高効率となる空気冷却の理論効率を得るためには、最適に設計された圧縮機や膨張タービンが必要となる。

圧縮機，膨張タービンとしては、上記のようにコンプレッサ翼車および膨張タービン翼車を共通の主軸に取付けたタービンユニットが用いられている。このタービンユニットは、膨張タービンの生じる動力によりコンプレッサ翼車を駆動できることで空気サイクル冷凍機の効率を向上させている。

#### 【0006】

しかし、実用的な効率を得るためには、各翼車とハウジングとの隙間を微小に保つ必要がある。この隙間の変動は、安定した高速回転の妨げとなり効率の低下を招く。

また、コンプレッサ翼車やタービン翼車に作用する空気により、主軸にスラスト力が作用し、主軸を支持する軸受にスラスト荷重が荷される。空気サイクル冷凍冷却システムにおけるタービンユニットの主軸の回転速度は、1分間に8万～10万回転であり、一般的な用途の軸受に比べて非常に高速となる。そのため、上記のようなスラスト荷重は、主軸を支持する軸受の長期耐久性の低下、寿命低下を招き、空気サイクル冷凍冷却用タービンユニットの信頼性を低下させる。このような軸受の長期耐久性の課題を解消しなくては、空気サイクル冷凍冷却用タービンユニットの実用化が難しい。しかし、上記特許文献1，非特許文献2に開示の技術は、この高速回転下におけるスラスト荷重の負荷に対する軸受の長期耐久性の低下については解決されるに至っていない。

#### 【0007】

特許文献2の磁気軸受式タービン・コンプレッサのように、主軸を磁気軸受からなるジ

ジャーナル軸受およびスラスト軸受で支持したものでは、ジャーナル軸受にアキシアル方向の規制機能がない。そのため、スラスト軸受の制御の不安定要因等があると、上記翼車とディフューザ間の微小隙間を保って安定した高速回転を行うことが難しい。磁気軸受の場合は、電源停止時における接触の問題もある。

#### 【 0 0 0 8 】

そこで、この発明の発明者等は、上記課題を解決するものとして、図 8 に示すような磁気軸受装置を開発した。この磁気軸受装置は、主軸 5 3 の両端にコンプレッサ 4 6 のコンプレッサ翼車 4 6 a および膨張タービン 4 7 のタービン翼車 4 7 a を取付けた空気サイクル冷凍冷却用タービンユニットにおいて、主軸 5 3 のラジアル負荷を転がり軸受 5 5 , 5 6 で、アキシアル負荷と軸受予圧のどちらか一方または両方を電磁石 5 7 でそれぞれ支持し、タービン翼車 4 7 a の駆動力でコンプレッサ翼車 4 6 a を回転駆動するようにしたものである。電磁石 5 7 は、主軸 5 3 に垂直かつ同軸に設けられたスラスト板 5 3 a に非接触で対向するように配置され、アキシアル方向の力を検出する力検出センサユニット 5 8 の出力に応じて磁気軸受用コントローラ 5 9 で制御される。力検出センサユニット 5 8 は、転がり軸受 5 6 の外輪 5 6 a に固定状態に嵌合すると共に、スピンドルハウジング 5 4 の内径面 5 4 a にアキシアル方向に移動自在に嵌合する軸受ハウジング 6 3 と、この軸受ハウジング 6 3 の内鑄と固定部材である電磁石 5 7 との間に介在させた力検出素子 6 0 と、スピンドルハウジング 6 4 に設けられた収容凹所内に収容されて軸受 5 6 の外輪 5 6 a をアキシアル方向に付勢するセンサ予圧ばね（図示せず）とで構成され、軸受ハウジング 6 3 の軸方向変位を前記力検出素子 6 0 で力に変換して検出する。

10

20

#### 【 0 0 0 9 】

上記構成の磁気軸受装置によると、主軸 5 3 にかかるスラスト力を電磁石 5 7 で支持するため、非接触でトルクの増大を抑えながら、転がり軸受 5 5 , 5 6 に作用するスラスト力を軽減することができる。その結果、各翼車 4 6 a , 4 7 a とハウジング 4 6 b , 4 7 b との微小隙間を一定に保つことができ、スラスト荷重の負荷に対する転がり軸受 5 5 , 5 6 の長期耐久性を向上させることができる。

#### 【 0 0 1 0 】

しかし、上記構成の磁気軸受装置において、力検出センサユニット 5 8 を構成する力検出素子 6 0 として、磁歪材や超磁歪材、歪ゲージまたは感圧抵抗素子等を使用した場合、スピンドルハウジング 5 4 の不均一な温度分布による熱膨張のアンバランスを検出してしまふ等、温度変化がある環境において、正確な力検出が難しいという問題がある。また、力検出素子 6 0 の温度ドリフトを補償するために、別に温度センサを設けたり、温度補償を行うための制御ループを組む必要が生じ、磁気軸受用コントローラ 5 9 が複雑になるという問題もある。

30

#### 【 0 0 1 1 】

この発明の目的は、スラスト荷重の負荷に対する転がり軸受の長期耐久性を向上させることができ、かつ熱膨張のアンバランスの影響を受けることなく磁気軸受を正確に制御できる磁気軸受装置を提供することである。

#### 【 課題を解決するための手段 】

#### 【 0 0 1 2 】

この発明の磁気軸受装置は、転がり軸受と磁気軸受を併用し、転がり軸受がラジアル負荷を支持し、磁気軸受がアキシアル負荷と軸受予圧のどちらか一方または両方を支持し、電磁石は主軸に垂直かつ同軸に設けられた強磁性体からなるフランジ状のスラスト板に非接触で対向するように、スピンドルハウジングに取付けられており、主軸のアキシアル方向の力を検出する力検出センサユニットの出力に応じて、電磁石を制御するコントローラを有する磁気軸受装置であって、前記力検出センサユニットが、前記転がり軸受の外輪の両端面を挟み込んだ一対のリング状のセンサターゲットと、これら各センサターゲットを支持する一対の板ばねと、前記センサターゲットに対するギャップを検出するギャップセンサとから構成され、前記板ばねは主軸径方向の外径側部分でスピンドルハウジングに取付けられかつ内径側部分に前記センサターゲットを取付けたことを特徴とする。

40

50

この構成によると、転がり軸受と磁気軸受を併用し、転がり軸受がラジアル負荷を支持し、磁気軸受がアキシャル負荷の軸受予圧のどちらか一方または両方を支持するものであるため、アキシャル方向の精度の良い支持が行え、また転がり軸受の長期耐久性が確保でき、磁気軸受のみの支持の場合における電源停止時の損傷も回避される。

また、この磁気軸受装置では、主軸のアキシャル方向の力を検出する力検出センサユニットの出力に応じて、コントローラで電磁石を制御することとし、前記力検出センサユニットを、転がり軸受の外輪の両端面を挟み込んだ一対のリング状のセンサターゲットと、これら各センサターゲットを支持する一対の板ばねと、前記センサターゲットに対するギャップを検出するギャップセンサとで構成し、前記板ばねは主軸径方向の外径側部分でスピンドルハウジングに取付け内径側部分に前記センサターゲットを取付けているため、熱膨張のアンバランスの影響を受けることなく磁気軸受を正確に制御することができる。

10

【0013】

この発明において、前記板ばねがリング状であっても良い。リング状の板ばねを用いると、円周方向に複数枚の板ばねを並べてセンサターゲットを支持する場合に比べて簡素な構造で済む。

【0014】

この発明において、前記ギャップセンサは磁気式であってもよい。

【0015】

この発明において、前記ギャップセンサは圧力センサからなり、圧縮エア供給源からの圧縮エアを前記スピンドルハウジングに設けたエア導入経路に導入し、センサターゲットとスピンドルハウジングのとの間のギャップ変動から特定位置の圧力変化を検出しスラスト力を推定するものとしてもよい。

20

【0016】

この発明において、前記主軸にコンプレッサ側翼車およびタービン側翼車が取付けられ、前記タービン翼車で発生した動力により前記コンプレッサ翼車を駆動させる、圧縮膨張タービンシステムに適用されるものとしてもよい。

この構成の場合、各翼車の適切な隙間を保って主軸の安定した高速回転が得られ、かつ軸受の長期耐久性、寿命の向上が得られる。

【0017】

この発明において、前記主軸に前記スラスト板とモータロータとを設けたモーター一体型の磁気軸受装置とし、かつ前記主軸にコンプレッサ側翼車およびタービン側翼車が取付けられ、モータ動力とタービン側翼車で発生した動力のどちらか一方または両方により、コンプレッサ側翼車を駆動させる、圧縮膨張タービンシステムに適用されるものとしてもよい。

30

この構成の場合、各翼車の適切な隙間を保って主軸の安定した高速回転が得られ、かつ軸受の長期耐久性、寿命の向上が得られる。また、モータを設けて主軸を駆動するので、コンプレッサよりも前段にプロア等の予圧縮手段を設ける必要がなくなる。

【0018】

この発明において、前記モーター一体型の磁気軸受装置を適用した圧縮膨張タービンシステムが、流入空気に対して、予圧縮手段による圧縮、熱交換器による冷却、タービンユニットのコンプレッサによる圧縮、他の熱交換器による冷却、前記タービンユニットの膨張タービンによる断熱膨張、を順次行う空気サイクル冷凍冷却システムに適用されるものとしてもよい。

40

この磁気軸受装置を適用した圧縮膨張タービンシステムを、このような空気サイクル冷凍冷却システムに適用した場合、圧縮膨張タービンシステムにおいて、各翼車の適切な隙間を保って主軸の安定した高速回転が得られ、かつ軸受の長期耐久性の向上、寿命の向上が得られることから、圧縮膨張タービンシステムの全体として、しいては空気サイクル冷凍冷却システムのネックとなっている圧縮膨張タービンシステムの主軸軸受の安定した高速回転、長期耐久性、信頼性が向上することから、空気サイクル冷凍冷却システムの実用化が可能となる。

50

## 【発明の効果】

## 【0019】

この発明の磁気軸受装置は、転がり軸受と磁気軸受を併用し、転がり軸受がラジアル負荷を支持し、磁気軸受がアキシアル負荷と軸受予圧のどちらか一方または両方を支持し、電磁石は主軸に垂直かつ同軸に設けられた強磁性体からなるフランジ状のスラスト板に非接触で対向するように、スピンドルハウジングに取付けられており、主軸のアキシアル方向の力を検出する力検出センサユニットの出力に応じて、電磁石を制御するコントローラを有する磁気軸受装置であって、前記力検出センサユニットが、前記転がり軸受の外輪の両端面を挟み込んだ一対のリング状のセンサターゲットと、これら各センサターゲットを支持する一対の板ばねと、前記センサターゲットに対するギャップを検出するギャップセンサとから構成され、前記板ばねは主軸径方向の外径側部分でスピンドルハウジングに取付けられかつ内径側部分に前記センサターゲットを取付けたため、スラスト荷重の負荷に対する転がり軸受の長期耐久性を向上させることができ、かつ熱膨張のアンバランスの影響を受けることなく磁気軸受を正確に制御できる。

10

## 【発明を実施するための最良の形態】

## 【0020】

この発明の一実施形態を図1ないし図4と共に説明する。図1は、この実施形態の磁気軸受装置を組み込んだタービンユニット5の断面図を示す。このタービンユニット5は圧縮膨張タービンシステムを構成するものであり、コンプレッサ6および膨張タービン7を有し、コンプレッサ6のコンプレッサ翼車6aおよび膨張タービン7のタービン翼車7aが主軸13の両端にそれぞれ取付けられている。また、タービン翼車7aで発生した動力によりコンプレッサ翼車6aが駆動されるものであり、別の駆動源は設けられていない。

20

## 【0021】

図1において、コンプレッサ6は、コンプレッサ翼車6aと微小の隙間d1を介して対向するコンプレッサハウジング6bを有し、中心部の吸込口6cから軸方向に吸入した空気を、コンプレッサ翼車6aで圧縮し、外周部の出口(図示せず)から矢印6dで示すように排出する。

膨張タービン7は、タービン翼車7aと微小の隙間d2を介して対向するタービンハウジング7bを有し、外周部から矢印7cで示すように吸い込んだ空気を、タービン翼車7aで断熱膨張させ、中心部の排出口7dから軸方向に排出する。

30

## 【0022】

このタービンユニット5における磁気軸受装置は、主軸13をラジアル方向に対し複数の軸受15, 16で支持し、主軸13にかかるアキシアル負荷と軸受予圧のどちらか一方または両方を磁気軸受である電磁石17により支持するものとされる。このタービンユニット5は、コンプレッサ6および膨張タービン7内の空気により主軸13に作用するスラスト力を検出する力検出センサユニット18と、この力検出センサユニット18の出力に応じて前記電磁石17による支持力を制御する磁気軸受用コントローラ19とを有している。

電磁石17は、主軸13の軸方向中央に設けられた強磁性体からなるフランジ状のスラスト板13aの両面に非接触で対向するように、一対のものがスピンドルハウジング14に設置されている。

40

## 【0023】

主軸13を支持する軸受15, 16は、転がり軸受であって、アキシアル方向位置の規制機能を有するものであり、例えば深溝玉軸受やアンギュラ玉軸受が用いられる。深溝玉軸受の場合、両方向のスラスト支持機能を有し、内外輪のアキシアル方向位置を中立位置に戻す作用を持つ。これら2個の軸受15, 16は、それぞれスピンドルハウジング14におけるコンプレッサ翼車6aおよびタービン翼車7aの近傍に配置されている。

## 【0024】

主軸13は、中央部の大径部13bと、両端部の小径部13cとを有する段付き軸とさ

50

れている。両側の軸受 15, 16 は、その内輪 15 a, 16 a が小径部 13 c に圧入状態に嵌合し、片方の幅面が大径部 13 b と小径部 13 c 間の段差面に係合する。

スピンドルハウジング 14 における両側の軸受 15, 16 よりも各翼車 6 a, 7 a 側の部分は、内径面が主軸 13 に近接する径に形成され、この内径面に非接触シール 21, 22 が形成されている。非接触シール 21, 22 は、スピンドルハウジング 14 の内径面に複数の円周溝を軸方向に並べて形成したラビリンズシールとされている。

#### 【0025】

前記力検出センサユニット 18 は、タービン翼車 7 a 側の転がり軸受 16 における静止側に設けられている。この力検出センサユニット 18 は、図 2 に詳細な構造を示すように、転がり軸受 16 の外輪 16 b の両端面を挟み込んだ一対のリング状のセンサターゲット 31, 32 と、これら各センサターゲット 31, 32 を支持する一対のリング状の板ばね 33, 34 と、センサターゲット 31, 32 における軸受対面側の各片面に対向するようにスピンドルハウジング 14 における軸受ハウジング 14 a に設けられたギャップセンサ 35 とからなる。ギャップセンサ 35 は、センサターゲット 31, 32 に対するギャップを検出するセンサである。転がり軸受 16 の外輪 16 b は、軸受ハウジング 14 a の内径面に軸方向に移動自在に支持される。

前記一対の板ばね 33, 34 は、主軸 13 の径方向の外径側部分でスピンドルハウジング 14 (軸受ハウジング 14 a) に取付けられ、これら板ばね 33, 34 の内径側部分に前記各センサターゲット 31, 32 が取付けられている。これにより、転がり軸受 16 の外輪 16 b に対して、軸方向へのある程度の移動ストロークが与えられる。そこで、主軸 13 に作用するスラスト力で転がり軸受 16 の外輪 16 b が軸方向に変位すると、軸受ハウジング 14 a の各片面と、これら片面に対面するセンサターゲット 31, 32 の各片面との間のギャップが変動する。なお、一対の板ばね 33, 34 が、転がり軸受 16 を軸方向に挟み込むように配置されることで、耐モーメント外乱特性の向上が図られる。

#### 【0026】

このように構成された力検出センサユニット 18 では、主軸 13 に作用するスラスト力に応じて変化するギャップセンサ 35 とセンサターゲット 31, 32 とのギャップを、ギャップセンサ 35 で検出し、その検出値を磁気軸受用コントローラ 19 でスラスト力に換算する。この場合、一方向のスラスト力に対して、転がり軸受 16 を挟んで軸方向の左右で検出される各ギャップは、増減関係が互いに逆となるので、磁気軸受用コントローラ 19 では、左右のギャップセンサ 35, 35 の各出力を差動演算してスラスト力に換算する。このように、差動演算することにより、検出結果に生じるギャップセンサ 35, 35 の温度ドリフトの影響が低減される。

#### 【0027】

前記ギャップセンサ 35 は、前記軸受ハウジング 14 a における各センサターゲット 31, 32 に対向する各片面に、図 3 (A) のように複数個を配置しても、図 3 (B) のように 1 個ずつ配置しても良い。図 3 (A) のように複数個を配置する場合は、周方向の等配位置に配置して各片面での検出出力を求めることで検出精度の向上が図られる。図 3 (B) のように各片面に 1 個を配置する場合は、片面のギャップセンサ 35 と、もう片面のギャップセンサ 35 とを、互いに周方向に 180 度位相をずらして配置することにより、主軸 13 に対して軸受ハウジング 14 a に傾きがある場合でも、検出結果に生じる傾きの影響をキャンセルすることができる。

#### 【0028】

力検出センサユニット 18 におけるセンサターゲット 31, 32 の支持系の構成では、固有振動数の問題から軸長をなるべく短くする必要があり、このため支持系を偏平構造とする必要がある。この実施形態では、センサターゲット 31, 32 を板ばね 33, 34 で支持しているので、偏平構造を容易に実現できるが、例えば板ばね 33, 34 の代わりにコイルばねを使用した場合、偏平構造を実現することは困難である。また、板ばね 33, 34 を使用した場合には、板の厚さや、内外径を調整することで様々な剛性を実現することができる。板ばね 33, 34 の代わりに、ウェイブワッシャやベルビルスプリングを使

10

20

30

40

50

用することもできるが、この場合、ばね部材の構造上、バネ剛性を低くすることが難しくなる。

#### 【0029】

前記ギャップセンサ35としては、非接触式のものではリラクタンス式センサや渦電流式センサ、静電式センサ、光学式センサなど分解能の高いセンサの使用が考えられるが、ここではリラクタンス式センサを使用している。光学式センサや静電式センサは、センサの軸方向長さが長く、力検出センサユニット18を偏平構造とすることが難しくなる。渦電流式センサは高感度ではあるが、センサターゲット31, 32の表面の傷までも検出してしまいう等、取り扱いが難しい。これに対して、リラクタンス式センサは、ギャップ変化による透磁率変化を検出するため、正確にギャップ検出することが可能である。

10

また、ギャップセンサ35としてリラクタンス式センサを使用するにあたり、コイルのインダクタンス変化の検出に位相検波回路を用い、温度変化によるコイル抵抗変化をキャンセル可能としている。これにより、正確なギャップ検出が可能となる。

#### 【0030】

スピンドルハウジング14のうち、少なくとも前記ギャップセンサ35が設けられて力検出センサユニット18の検出部となる軸受ハウジング14aには高透磁率材が使用され、これにより検出感度の向上が図られている。この場合、板ばね33, 34および軸受16も軸受ハウジング14aと同系の材料とするのが好ましく、これにより熱膨張によるギャップ変動を最小に抑えることができる。

20

#### 【0031】

図4は、力検出センサユニット18の他の構成例を示す。この構成例では、図2におけるリラクタンス式センサからなるギャップセンサ35を、圧力センサ36を用いたギャップセンサ35Aに置き換えている。この場合のギャップセンサ35Aは、軸受ハウジング14a内に設けられたエア導入経路37およびエア導出経路38と、エア導出経路38に連通する圧力センサ36と、エア導入経路37に圧縮エアを導入する圧縮エア供給源39とでなる。エア導入経路37は、そのエア導入孔37aを軸受ハウジング14aの外径面に開口させ、エア導出孔37bを軸受ハウジング14aのセンサターゲット31, 32と対面する各片面に開口させたものである。エア導出経路38は、そのエア導入孔38aを軸受ハウジング14aの片面に開口させ、エア導出孔38bを軸受ハウジング14aの外径面に開口させたものであり、そのエア導出孔38bに圧力センサ36を連通させている。

30

#### 【0032】

この構成例の力検出センサユニット18では、圧縮エア供給源39からエア導入経路37に導入される圧縮エアによって、軸受ハウジング14aの各片面とこれに対面する一対のセンサターゲット31, 32との間に数~数十 $\mu\text{m}$ のギャップが確保され、このギャップ量は主軸13に作用するスラスト力に応じて変化し、この変化によりギャップに圧力変化が生じる。圧力センサ36は、エア導出経路38を介して、ギャップの特定位置での圧力を検出する。このようにして検出された圧力は、磁気軸受用コントローラ19でギャップの変化量 スラスト力へと換算される。このように、圧力センサ36を用いることで、検出精度の向上、耐ノイズ性の向上、検出回路の簡素化を図ることができる。

40

#### 【0033】

図5は、力検出センサユニット18のさらに他の構成例を示す。この構成例では、図2における力検出センサユニット18の構成において、転がり軸受16の外輪16bと軸受ハウジング14aとの間に軸受スリーブ40を介在させたものである。この場合、転がり軸受16の外輪16bは軸受スリーブ40の内径部に固定状態で支持され、軸受スリーブ40は軸受ハウジング14aの内径面に軸方向に移動自在に支持される。その他の構成は図2の構成の場合と同様である。

#### 【0034】

この構成例の力検出センサユニット18では、転がり軸受16の外輪16bを、軸受スリーブ40を介して軸受ハウジング14aに支持させた構造としているので、力検出セン

50

サユニット 18 を主軸 13 から外径側に離れた位置に配置できる。これにより、主軸 13 を含む回転部と力検出センサユニット 18 との干渉を回避して、主軸 13 の長さを短くすることができる。高速回転体では、主軸固有振動数の問題から軸長はなるべく短くする必要があるが、この構成例の力検出センサユニット 18 では、このような要請に十分応えることができる。

#### 【0035】

この構成のタービンユニット 5 は、例えば空気サイクル冷凍冷却システムに適用されて、冷却媒体となる空気を後段の熱交換器（ここでは図示せず）により効率良く熱交換できるように、コンプレッサ 6 で圧縮して温度上昇させ、さらに後段の前記熱交換器で冷却された空気を、膨張タービン 7 により、目標温度、例えば -30 ~ 60 程度の極低温まで断熱膨張により冷却して排出するように使用される。

10

#### 【0036】

このタービンユニット 5 は、コンプレッサ翼車 6 a およびタービン翼車 7 a を共通の主軸 13 に取付け、タービン翼車 7 a で発生した動力によりコンプレッサ翼車 6 a を駆動するものであるため、動力源が不要であり、コンパクトな構成で効率良く冷却できる。

このタービンユニット 5 の圧縮、膨張の効率を確保するためには、各翼車 6 a, 7 a とハウジング 6 b, 7 b との隙間  $d_1$ ,  $d_2$  を微小に保つ必要がある。空気サイクル冷凍冷却システムでは、この効率確保が重要となる。これに対して、主軸 13 を転がり形式の軸受 15, 16 により支持するため、転がり軸受の持つアキシャル方向位置の規制機能により、主軸 13 のアキシャル方向位置がある程度規制され、各翼車 6 a, 7 a とハウジング 6 b, 7 b 間の微小隙間  $d_1$ ,  $d_2$  を一定に保つことができる。

20

#### 【0037】

しかし、タービンユニット 5 の主軸 13 には、各翼車 6 a, 7 a に作用する空気の圧力等でスラスト力がかかる。また、空気冷却システムで使用するタービンユニット 5 では、1 分間に例えば 8 万 ~ 10 万回転程度の非常に高速の回転となる。そのため、主軸 13 を回転支持する転がり軸受 15, 16 に上記スラスト力が作用すると、軸受 15, 16 の長期耐久性が低下する。

この実施形態は、上記スラスト力を電磁石 17 で支持するため、非接触でトルクの増大を抑えながら、主軸 13 の支持用の転がり軸受 15, 16 に作用するスラスト力を軽減することができる。この場合に、コンプレッサ 6 および膨張タービン 7 内の空気により主軸 13 に作用するスラスト力を検出する力検出センサユニット 18 と、この力検出センサユニット 18 の出力に応じて前記電磁石 17 による支持力を制御する磁気軸受用コントローラ 19 とを設けたため、転がり軸受 15, 16 を、その軸受仕様に依りてスラスト力に対し最適な状態で使用することができる。

30

特に、力検出センサユニット 18 を、転がり軸受 16 の外輪 16 b の両端面を挟み込んだ一対のリング状のセンサターゲット 31, 32 と、これら各センサターゲット 31, 32 を支持する一対の板ばね 33, 34 と、前記センサターゲット 31, 32 に対するギャップを検出するギャップセンサ 35 とで構成したため、熱膨張のアンバランスの影響を受けることなく磁気軸受を正確に制御できる。

#### 【0038】

40

そのため、各翼車 6 a, 7 a の適切な隙間  $d_1$ ,  $d_2$  を保って主軸 13 の安定した高速回転が得られ、かつ軸受 15, 16 の長期耐久性の向上、寿命の向上が得られる。軸受 15, 16 の長期耐久性が向上するため、空気サイクル冷凍冷却用タービンユニット 5 の全体として、しいては空気サイクル冷凍冷却システムの全体としての信頼性が向上する。このように、空気サイクル冷凍冷却システムのネックとなっているタービンユニット 5 の主軸軸受 15, 16 の安定した高速回転、長期耐久性、信頼性が向上するため、空気サイクル冷凍冷却システムの実用化が可能となる。

#### 【0039】

各軸受 15, 16 は、コンプレッサ翼車 6 a の近傍とタービン翼車 7 a の近傍とに配置され、主軸 13 が両端支持となるため、より一層安定した高速回転が可能になる。

50

## 【0040】

各軸受15, 16よりも端部側の主軸13とスピンドルハウジング14との間には、非接触シール21, 22が設けられているため、軸受15, 16内などを通して空気がコンプレッサ6と膨張タービン7の間に漏れることが防止される。コンプレッサ6の内部と膨張タービン7の内部とでは気圧差が大きいため、各軸受15, 16の内部や、各軸受15, 16の内外輪15a, 16aが主軸13やスピンドルハウジング14に嵌合する面を取って空気の漏れが生じようとする。このような空気の漏れは、コンプレッサ6や膨張タービン7の効率の低下を招き、また軸受15, 16内を通過する空気は、塵埃があると軸受15, 16内を汚したり、軸受内の潤滑材を乾燥させたりして、耐久性を低下させる恐れがある。このような効率低下、および軸受15, 16の汚損が、上記非接触シール21, 22によって防止される。

10

## 【0041】

図6はタービンユニット5の他の実施形態を示す。このタービンユニット5は、図1に示す実施形態において、主軸13を回転駆動するモータ25を設けたものである。モータ25は、電磁石17と並んで設けられており、スピンドルハウジング14に設けられたステータ26と主軸13に設けられたロータ27とで構成される。ステータ26はステータコイル26aを有し、ロータ27は磁石等からなる。モータ25の制御は、モータコントローラ28で行われる。

## 【0042】

このタービンユニット5は、膨張タービン7で生じるタービン翼車7aの駆動力と、モータ25による駆動力とでコンプレッサ翼車6aが回転駆動される。そのため予圧縮段がなくてもコンプレッサ6の駆動が可能となり、システムのコンパクト化が図れる。

20

## 【0043】

図7は、図6のタービンユニット5を用いた空気サイクル冷凍冷却システムの全体の構成を示す。この空気サイクル冷凍冷却システムは、冷凍庫等の被冷却空間10の空気を直接に冷媒として冷却するシステムであり、被冷却空間10にそれぞれ開口した空気の取入口1aから排出口1bに至る空気循環経路1を有している。この空気循環経路1に、予圧縮手段2、第1の熱交換器3、除湿器4、空気サイクル冷凍冷却用タービンユニット5のコンプレッサ6、第2の熱交換器8、中間熱交換器9、および前記タービンユニット5の膨張タービン7が順に設けられている。中間熱交換器9は、同じ空気循環経路1内で取入口1aの付近の流入空気と、後段の圧縮で昇温し、冷却された空気との間で熱交換を行うものであり、取入口1aの付近の空気は熱交換器9a内を通る。

30

## 【0044】

予圧縮手段2はプロア等からなり、モータ2aにより駆動される。第1の熱交換器3および第2の熱交換器8は、冷却媒体を循環させる熱交換器3a, 8aをそれぞれ有し、熱交換器3a, 8a内の水等の冷却媒体と空気循環経路1の空気との間で熱交換を行う。各熱交換器3a, 8aは、冷却塔11に配管接続されており、熱交換で昇温した冷却媒体が冷却塔11で冷却される。

## 【0045】

この空気サイクル冷凍冷却システムは、被冷却空間10を0 ~ -60 程度に保つシステムであり、被冷却空間10から空気循環経路1の取入口1aに0 ~ -60 程度で1気圧の空気が流入する。なお、以下に示す温度および気圧の数値は、一応の目安となる一例である。取入口1aに流入した空気は、中間熱交換器9により、空気循環経路1中の後段の空気の冷却に使用され、30 まで昇温する。この昇温した空気は1気圧のままであるが、予圧縮手段2により1.4気圧に圧縮させられ、その圧縮により、70 まで昇温する。第1の熱交換器3は、昇温した70 の空気を冷却すれば良いため、常温程度の冷水であっても効率良く冷却することができ、40 に冷却する。除湿器4は、空気循環経路1内の空気の水分が、後段における氷点下への冷却により凍りついて空気循環経路1の詰まりや膨張タービン7のかじり等を生じることを防止するために、経路内の空気を除湿する。

40

50

## 【 0 0 4 6 】

除湿後の40℃、1.4気圧の空気が、タービンユニット5のコンプレッサ6により、1.8気圧まで圧縮され、この圧縮により70℃程度に昇温した状態で、第2の熱交換器8により40℃に冷却される。この40℃の空気は、中間熱交換器9で-30℃の空気により-20℃まで冷却される。気圧はコンプレッサ6から排出された1.8気圧が維持される。

中間熱交換器9で-20℃まで冷却された空気は、タービンユニット5の膨張タービン7により断熱膨張され、-55℃まで冷却されて排出口1bから被冷却空間10に排出される。この空気サイクル冷凍冷却システムは、このような冷凍サイクルを行う。

## 【 図面の簡単な説明 】

## 【 0 0 4 7 】

【 図 1 】 この発明の一実施形態にかかる磁気軸受装置が組み込まれたタービンユニットの断面図である。

【 図 2 】 同タービンユニットにおける力検出センサユニットの一構成例を示す断面図である。

【 図 3 】 ( A ) は同力検出センサユニットにおけるギャップセンサの配置例を示す正面図、( B ) はギャップセンサの他の配置例を示す正面図である。

【 図 4 】 力検出センサユニットの他の構成例を示す断面図である。

【 図 5 】 力検出センサユニットのさらに他の構成例を示す断面図である。

【 図 6 】 他の実施形態にかかるタービンユニットの断面図である。

【 図 7 】 図 6 のタービンユニットを適用した空気サイクル冷凍冷却システムの系統図である。

【 図 8 】 提案例の断面図である。

## 【 符号の説明 】

## 【 0 0 4 8 】

- 2 ... 予圧縮手段
- 3 ... 第1の熱交換器
- 5 ... タービンユニット
- 6 ... コンプレッサ
- 6 a ... コンプレッサ翼車
- 7 ... 膨張タービン
- 7 a ... タービン翼車
- 8 ... 第2の熱交換器
- 1 3 ... 主軸
- 1 3 a ... スラスト板
- 1 4 ... スピンドルハウジング
- 1 4 a ... 軸受ハウジング
- 1 5 , 1 6 ... 転がり軸受
- 1 7 ... 電磁石
- 1 8 ... 力検出センサユニット
- 1 9 ... 磁気軸受用コントローラ
- 2 5 ... モータ
- 2 6 ... モータステータ
- 2 7 ... モータロータ
- 3 1 , 3 2 ... センサターゲット
- 3 3 , 3 4 ... 板ばね
- 3 5 , 3 5 A ... ギャップセンサ
- 9 0 ... モータ
- 9 2 ... モータロータ

10

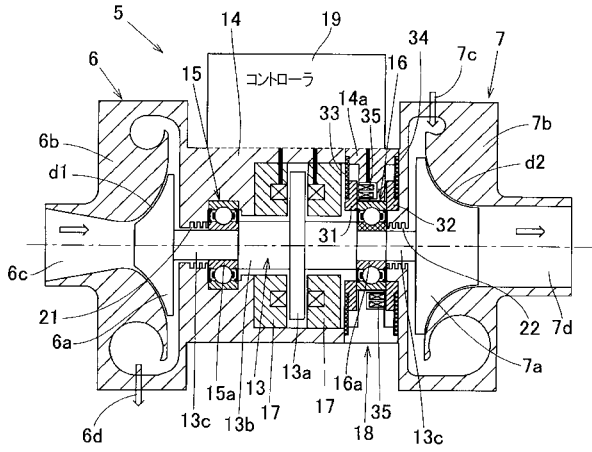
20

30

40

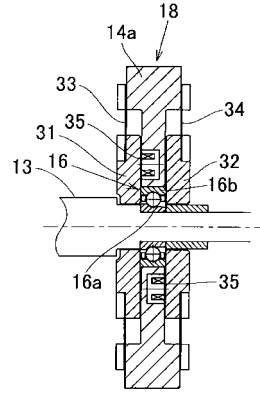
50

【 図 1 】



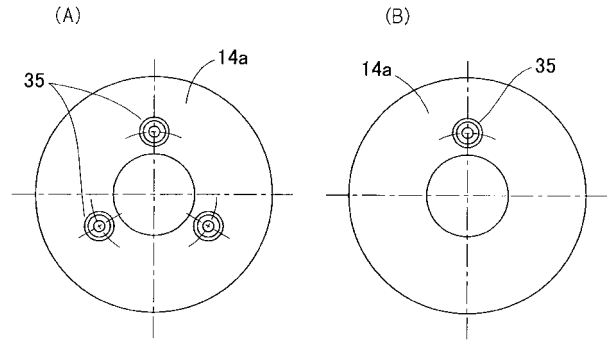
- |               |                |
|---------------|----------------|
| 5:タービンユニット    | 14a:軸受ハウジング    |
| 6:コンプレッサ      | 15,16:転がり軸受    |
| 6a:コンプレッサ翼車   | 17:電磁石         |
| 7:膨張タービン      | 18:力検出センサユニット  |
| 7a:タービン翼車     | 19:磁気軸受用コントローラ |
| 13:主軸         | 31,32:センサターゲット |
| 13a:スラスト板     | 33,34:板ばね      |
| 14:スピンドルハウジング | 35:ギャップセンサ     |

【 図 2 】



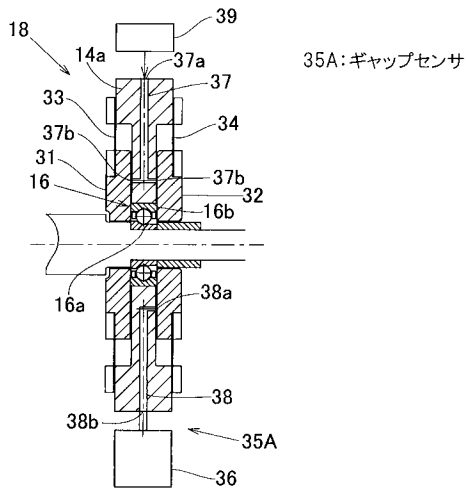
- |                |
|----------------|
| 13:主軸          |
| 16:転がり軸受       |
| 18:力検出センサユニット  |
| 31,32:センサターゲット |
| 33,34:板ばね      |
| 35:ギャップセンサ     |

【 図 3 】



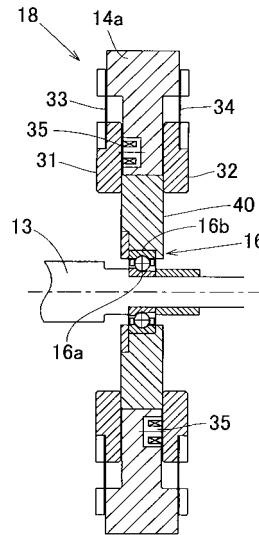
35:ギャップセンサ

【 図 4 】

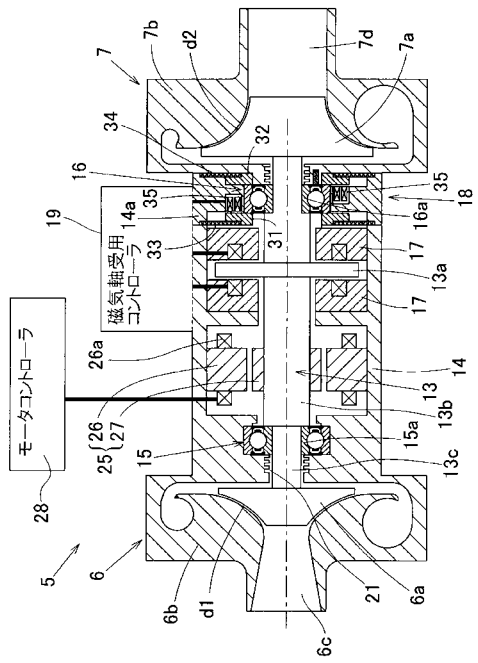


35A:ギャップセンサ

【 図 5 】

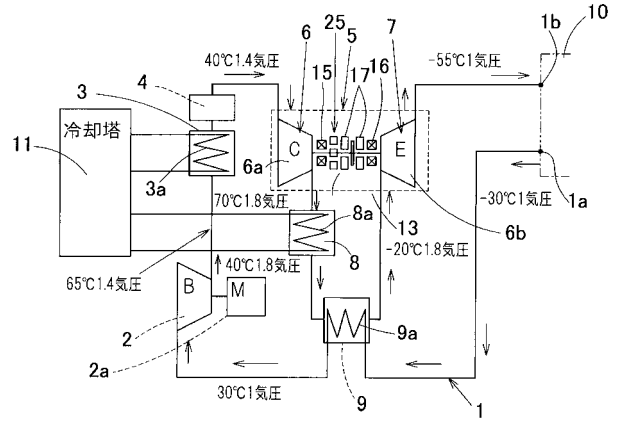


【 図 6 】



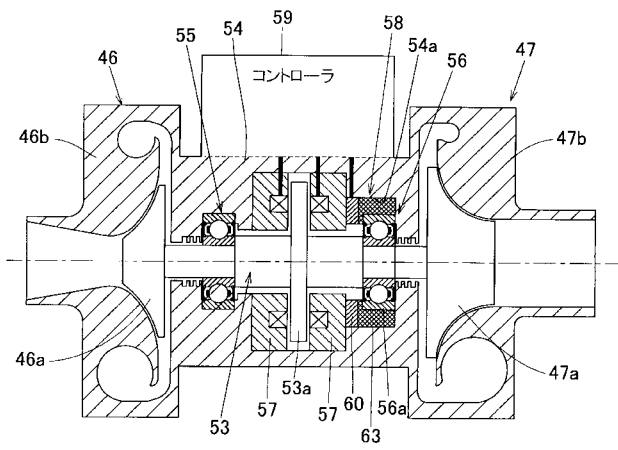
25: モーター  
 26: モータースターター  
 27: モータータータ

【 図 7 】



2: 予圧縮手段  
 3: 第1の熱交換器  
 5: タービンユニット  
 6: コンプレッサ  
 7: 膨張タービン  
 8: 第2の熱交換器

【 図 8 】



## フロントページの続き

(51)Int.Cl.	F I	テーマコード(参考)
<i>F 0 4 D 29/059 (2006.01)</i>	F 0 4 D 29/059	
<i>F 0 4 D 29/051 (2006.01)</i>	F 0 4 D 29/051	
<i>F 0 1 D 25/16 (2006.01)</i>	F 0 1 D 25/16	A
<i>F 0 1 D 15/08 (2006.01)</i>	F 0 1 D 25/16	G
<i>F 2 5 B 9/00 (2006.01)</i>	F 0 1 D 25/16	K
<i>F 0 2 C 7/06 (2006.01)</i>	F 0 1 D 15/08	C
	F 2 5 B 9/00	3 0 1
	F 0 2 C 7/06	A
	F 0 2 C 7/06	B
	F 0 2 C 7/06	C

Fターム(参考) 3H130 AA13 AB27 AB42 AC01 AC11 AC17 BA24E BA74C DA02Z DB01X  
 DB02X DB08X DB10X DD01X DD09X  
 3J102 AA01 AA09 BA03 BA17 BA18 CA04 CA10 DA02 DA09 DA12  
 DA16 DB05 DB11 GA10