

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3930264号  
(P3930264)

(45) 発行日 平成19年6月13日(2007.6.13)

(24) 登録日 平成19年3月16日(2007.3.16)

(51) Int.Cl.

F 1 6 C 32/04 (2006.01)

F I

F 1 6 C 32/04

A

請求項の数 4 (全 9 頁)

(21) 出願番号	特願2001-138622 (P2001-138622)	(73) 特許権者	000000239
(22) 出願日	平成13年5月9日(2001.5.9)		株式会社荏原製作所
(65) 公開番号	特開2002-333019 (P2002-333019A)		東京都大田区羽田旭町 1 1 番 1 号
(43) 公開日	平成14年11月22日(2002.11.22)	(74) 代理人	100087066
審査請求日	平成15年12月22日(2003.12.22)		弁理士 熊谷 隆
		(74) 代理人	100094226
			弁理士 高木 裕
		(72) 発明者	落合 俊治
			東京都大田区羽田旭町 1 1 番 1 号 株式会
			社荏原電産内
		(72) 発明者	大須賀 透
			東京都大田区羽田旭町 1 1 番 1 号 株式会
			社荏原電産内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 磁気軸受制御装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

被浮上体を磁気浮上支持する一対或いは複数対の電磁石、及び該被浮上体の浮上位置を検出する一対或いは複数対の変位センサを具備する単数又は複数の磁気軸受ユニットと、該電磁石に一定のバイアス電流を流して被浮上体を安定浮上制御させる定電流回路と、前記変位センサの出力信号に基いて前記浮上体を所定位置に浮上支持するように前記電磁石の励磁電流を制御する制御ループを具備する磁気軸受制御装置において、

コントローラ、前記磁気軸受ユニットの一対或いは複数対の電磁石に流れるバイアス電流を検出する電流検出回路、前記定電流回路から供給されるバイアス電流を調整する定電流調整回路を設け、前記コントローラは該電流検出回路で検出したバイアス電流値が適正か否かを判断し、前記バイアス電流を予め決められた最適定電流値になるように前記定電流調整回路を介して調整する機能を具備することを特徴とする磁気軸受制御装置。

10

【請求項 2】

被浮上体を磁気浮上支持する一対或いは複数対の電磁石、及び該被浮上体の浮上位置を検出する一対或いは複数対の変位センサを具備する単数又は複数の磁気軸受ユニットと、該電磁石に一定のバイアス電流を流して被浮上体を安定浮上制御させる定電流回路と、前記変位センサの出力信号に基いて前記浮上体を所定位置に浮上支持するように前記電磁石の励磁電流を制御する制御ループを具備する磁気軸受制御装置において、

コントローラ、前記磁気軸受ユニットの一対或いは複数対の電磁石に流れるバイアス電流を検出する電流検出回路、前記定電流回路から供給されるバイアス電流を調整する定電

20

流調整回路を設け、前記コントローラは前記各電流検出回路の検出電流値を読み込み、予め記憶された各磁気軸受ユニットの被浮上体の浮上向きにおける前記磁気軸受ユニットの各電磁石に流れるバイアス電流データと比較し、前記被浮上体の浮上向きを解析し、該解析結果に基いて前記各定電流回路からのバイアス電流が前記被浮上体の浮上している向きに対して予め定めた最適値になるように前記定電流調整回路を介して調整する機能を具備することを特徴とする磁気軸受制御装置。

【請求項 3】

請求項 2 に記載の磁気軸受制御装置において、

前記制御ループを切断させるループ切断手段を設け、前記コントローラは前記磁気軸受ユニットの電磁石に流れる電流をバイアス電流のみに固定する機能を具備することを特徴とする磁気軸受制御装置。

10

【請求項 4】

請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載の磁気軸受制御装置において、

前記コントローラは前記定電流調整回路を介して調整したバイアス電流値を記憶する記憶装置を具備し、前記被浮上体の浮上制御に該記憶装置に記憶したバイアス電流値を利用することを特徴とする磁気軸受制御装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、電磁石の磁気吸引力を利用して回転軸等の被浮上体を非接触で浮上支持する磁気軸受を制御する磁気軸受制御装置に関し、特に磁気軸受を構成する一対或いは複数対の電磁石に供給するバイアス定電流を調整する磁気軸受制御装置に関するものである。

20

【0002】

【従来の技術】

磁気軸受は、回転軸等の被浮上体を非接触で支持できる軸受であることから、例えばターボ分子ポンプ等に用いて高速回転運動が可能となり、軸受の摩耗という問題が生ぜず、又潤滑油等を必要としないのでメンテナンスフリーである等の種々の特徴を有している。係る磁気軸受には、回転軸を半径方向に浮上位置制御するラジアル能動磁気軸受、回転軸を軸方向に浮上位置制御するアキシャル能動磁気軸受がある。これら従来の磁気軸受を用いた磁気軸受制御装置の一部分の構成例を図 1 に示す。

30

【0003】

図 1 において、1 は回転軸等の被浮上体であり、該被浮上体 1 の浮上位置は、該被浮上体 1 に対向して配置された変位センサ 4、4 により検出され、センサ回路 5 により変位電気信号に変換され、位相補正回路 6 により PID (比例・積分・微分) 処理された後、定電流回路 7 a、7 b に入力され、被浮上体 1 に対向して配置された一対の電磁石 2、2 の磁極コイル 3 P、3 N にその変位量のずれを修正する磁気吸引力  $P_P$ 、 $P_N$  に相当する励磁電流となって供給され、被浮上体 1 は電磁石 2 と電磁石 2 の間に磁気浮上支持される。

【0004】

磁気軸受の電磁石 2 においては、一般的に磁気吸引力が磁極コイルに流れる電流の 2 乗に比例することが知られているので対向する電磁石 2、2 の磁極コイル 3 P、3 N にある一定のバイアス電流  $I_{BP}$ 、 $I_{BN}$  を供給し、センサ回路 5 からの変位電気信号に対して電磁石 2、2 の磁気吸引力  $P_P$ 、 $P_N$  が直線的に比例関係になるようにしている。

40

【0005】

図 2 に示すように、変位量が中心点 0 より + 方向、或いは - 方向に変位した場合、対向する電磁石 2、2 の磁極コイル 3 P、3 N のそれぞれのバイアス電流  $I_{BP}$ 、 $I_{BN}$  は増減し、結果として磁気吸引力  $P_P$ 、 $P_N$  の合成の磁気吸引力はセンサ回路 5 からの変位電気信号に直線的に比例するようになる。また、変位量が 0 の場合のバイアス定電流  $I_{B0}$  は、各回路構成における電氣的な部品のばらつきや、被浮上体 1 の重量又は形状或いは電磁石 2 の構造の違いや、被浮上体 1 の浮上向きによって磁気軸受にその重力が加わる場合等において、良好な直線性が得られるようにバイアス電流調整器 8、8 等によってバイアス定電流  $I$

50

$B_0$ が調整されていた。

【0006】

上記のようなバイアス電流調整器8によるバイアス定電流調整方法は、磁気軸受の制御装置や被浮上体や磁気軸受構成が変わる異機種毎に手動で調整を行う必要があり、特に電磁石2の数が多い多軸制御の磁気軸受装置においてはその調整に多大な労力を要していた。更に、磁気軸受を用いたターボ分子ポンプ等の場合は、ポンプの取り付け姿勢に自由度が求められ、全ての取付姿勢において磁気軸受を構成する電磁石に良好なバイアス定電流を流すためには全ての電磁石に被浮上体の重量を考慮したバイアス定電流を供給する必要がある、結果として必要以上の電流が流れ、磁気軸受部の発熱やコントローラの大型化を招くという問題がある。

10

【0007】

【発明が解決しようとする課題】

本発明は上述の点に鑑みてなされたもので、同一のコントローラで異機種の磁気軸受装置及び磁気軸受装置の設置姿勢に対応して容易に磁気軸受を構成する電磁石のバイアス電流の調整ができ、且つ該バイアス電流値を必要最小の最適な状態に調整できる小型で、磁気軸受部の発熱量が少なくできる磁気軸受制御装置を提供することを目的とする。

【0012】

上記課題を解決するため請求項1に記載の発明は、被浮上体を磁気浮上支持する一対或いは複数対の電磁石、及び該被浮上体の浮上位置を検出する一対或いは複数対の変位センサを具備する単数又は複数の磁気軸受ユニットと、該電磁石に一定のバイアス電流を流して被浮上体を安定浮上制御させる定電流回路と、変位センサの出力信号に基いて浮上体を所定位置に浮上支持するように電磁石の励磁電流を制御する制御ループを具備する磁気軸受制御装置において、コントローラ、磁気軸受ユニットの一対或いは複数対の電磁石に流れるバイアス電流を検出する電流検出回路、定電流回路から供給されるバイアス電流を調整する定電流調整回路を設け、コントローラは該電流検出回路で検出したバイアス電流値が適正か否かを判断し、バイアス電流を予め決められた最適定電流値になるように定電流調整回路を介して調整する機能を具備することを特徴とする。

20

【0013】

上記のようにコントローラにより、電流検出回路で検出したバイアス電流値が適正か否かを判断し、バイアス電流を予め決められた最適電流値になるように定電流調整回路を介して調整するので、磁気軸受ユニットの電磁石のバイアス電流を最適定電流値に容易に調整することができる。また、バイアス電流値を磁気軸受ユニットの電磁石に流れるバイアス電流をフィードバックすることでバイアス電流値が目標値に達しているか否かを判断し自動調整するので、コントローラと磁気軸受装置の系に固体差があってもバイアス電流値を自動的に補正できるのである。

30

【0014】

請求項2に記載の発明は、被浮上体を磁気浮上支持する一対或いは複数対の電磁石、及び該被浮上体の浮上位置を検出する一対或いは複数対の変位センサを具備する単数又は複数の磁気軸受ユニットと、該電磁石に一定のバイアス電流を流して被浮上体を安定浮上制御させる定電流回路と、変位センサの出力信号に基いて浮上体を所定位置に浮上支持するように電磁石の励磁電流を制御する制御ループを具備する磁気軸受制御装置において、コントローラ、磁気軸受ユニットの一対或いは複数対の電磁石に流れるバイアス電流を検出する電流検出回路、定電流回路から供給されるバイアス電流を調整する定電流調整回路を設け、コントローラは各電流検出回路の検出電流値を読み込み、予め記憶された各磁気軸受ユニットの被浮上体の浮上向きにおける磁気軸受ユニットの各電磁石に流れるバイアス電流データと比較し、被浮上体の浮上向きを解析し、該解析結果に基いて各定電流回路からのバイアス電流が被浮上体の浮上している向きに対して予め定めた最適値になるように定電流調整回路を介して調整する機能を具備することを特徴とする。

40

【0015】

上記のようにコントローラにより、磁気軸受ユニットの被浮上体の浮上向きを解析し、

50

該解析結果に基いて各定電流回路からのバイアス電流が被浮上体の浮上している向きに対して予め定めた最適値になるようにバイアス定電流を調整するので、例えば複数の磁気軸受ユニットを具備するターボ分子ポンプ等においてどのような取付姿勢であっても、電磁石に最適なバイアス電流を流すことができ、必要以上のバイアス電流による磁気軸受の発熱を防止できる。また、必要最小限のバイアス電流で制御可能なため、磁気軸受ユニットの電磁石の励磁に必要な電源容量も小さくできる。また、バイアス電流値を磁気軸受ユニットの電磁石に流れるバイアス電流をフィードバックし、予め記憶された各磁気軸受ユニットの被浮上体の浮上向きにおける電磁石に流れるバイアス電流データと比較し、被浮上体の浮上向きを解析し、該解析結果に基いて各定電流回路からのバイアス電流が被浮上体の浮上している向きに対して予め定めた最適値になるように調整するので、コントローラと磁気軸受装置の系に固体差があってもバイアス電流値を自動的に補正できる。

10

**【0016】**

請求項3に記載の発明は、請求項2に記載の磁気軸受制御装置において、制御ループを切断させるループ切断手段を設け、コントローラは磁気軸受ユニットの電磁石に流れる電流をバイアス電流のみに固定する機能を具備することを特徴とする。

**【0017】**

上記のようにコントローラが磁気軸受ユニットの電磁石に流れる電流をバイアス電流のみに固定する機能を具備するので、バイアス電流の調整が他の制御電流等に影響されることがないので、バイアス電流の調整が容易で且つ精度良くできる。

**【0018】**

20

請求項4に記載の発明は、請求項1乃至3のいずれか1項に記載の磁気軸受装置において、コントローラは前記定電流調整回路を介して調整したバイアス電流値を記憶する記憶装置を具備し、被浮上体の浮上制御に該記憶装置に記憶したバイアス電流値を利用することを特徴とする。

**【0019】**

上記のようにコントローラは記憶装置に記憶している定電流調整回路を介して調整したバイアス電流値を利用して被浮上体の浮上制御を行うので、一度バイアス電流の調整を行うと以後のバイアス電流の調整が不要或いは短縮できる。

**【0020】****【発明の実施の形態】**

30

以下、本発明の実施の形態例を図面に基いて説明する。図3は本発明に係る磁気軸受制御装置の構成例を示す図であり、本磁気軸受制御装置は、1軸方向の磁気軸受を制御する磁気軸受制御装置の構成例を示す。図3において、図1と同一符号を付した部分は同一又は相当部分を示す。図3において、9a、9bは定電流調整回路、10a、10bは電流検出回路、11は制御回路、12は不揮発性記憶装置（EEPROM）、13はアナログスイッチである。ここで、電磁石2、2と、変位センサ4、4で被浮上体1を磁気浮上させる磁気軸受ユニットを構成する。また、制御回路11と、不揮発性記憶装置12で制御コントローラを構成する。

**【0021】**

上記構成の磁気軸受制御装置において初期状態では、アナログスイッチ13は制御回路11により開き、制御ループを開放しており、制御回路11は不揮発性記憶装置12に記憶されている初期状態のバイアス定電流値を読み込み定電流調整回路9a、9bにその値を出力する。その後定電流調整回路9a、9bは定電流回路7a、7bを介して、電磁石2、2の磁極コイル3P、3Nに設定されたバイアス電流を供給する。この時アナログスイッチ13が制御ループを開放しているため、磁極コイル3P、3Nには定電流調整回路9a、9bにて設定されたバイアス電流のみが流れる。

40

**【0022】**

このバイアス電流を電流検出回路10a、10bにて検出し、その電流検出値を制御回路11に入力すると共に、制御回路11は不揮発性記憶装置12に予め設定記憶されている目標電流値との差を計算し、該目標電流値が磁極コイル3P、3Nに流れるように、定電

50

流調整回路 9 a、9 b に新たな指示値を出力する。電流検出回路 10 a、10 b で検出した検出電流値が上記目標電流値と等しくなると、制御回路 11 はアナログスイッチ 13 を閉じ、制御ループを閉じる。これにより、電磁石 2、2 による被浮上体 1 の磁気浮上を開始する。

#### 【0023】

変位センサ 4 及びセンサ回路 5 からの変位電気信号は位相補正回路 6 により P I D 制御され、定電流回路 7 a、7 b に入力され、被浮上体 1 の変位量に相当する励磁電流が磁極コイル 3 P、3 N に加減され被浮上体 1 を磁気浮上させるように制御が開始される。被浮上体 1 の磁気浮上後、該被浮上体 1 に軸重量が図のように加わった場合は、重量 M の力を相殺するために磁極コイル 3 P に流れる励磁電流が増加し磁極コイル 3 N に流れる励磁電流が減少する様に制御が行われる。その結果、電流検出回路 10 a と電流検出回路 10 b にて検出される電流値が異なり、この値を制御回路 11 が読み込むことで現在の被浮上体 1 の浮上方向、即ち磁気軸受ユニットの設置方向が判定できる。

10

#### 【0024】

不揮発性記憶装置 12 には、上記初期状態のバイアス定電流値及び目標電流値の他に、被浮上体 1 の浮上方向（磁気軸受の設置方向）に対応する電磁石 2 へのバイアス定電流が記憶されており、制御回路 11 は不揮発性記憶装置 12 に記憶されている各浮上向きでのバイアス定電流値を参照し、電流検出回路 10 a、10 b の電流検出値に合致する現在の浮上方向を探し出し、その浮上状態での最適のバイアス定電流値を不揮発性記憶装置 12 により再度読み込んで定電流調整回路 9 a、9 b に新たな目標電流値となるバイアス定電流値を出力する。これにより磁極コイル 3 P、3 N に流れるバイアス電流は増減し、結果として電磁石 2 はセンサ変位電気信号に直線的に比例した磁気吸引力を発生することが可能となる。

20

#### 【0025】

また、上記により最適に調整された時の定電流調整回路に対する補正值は、不揮発性記憶装置 12 に保存し、次回浮上時にこのデータを利用して前記の調整手順を短縮するようにしてもよい。

#### 【0026】

図 3 に示す構成の磁気軸受制御装置は、1 軸方向の磁気軸受を制御する場合であるが、1 軸以上の複数の制御軸を備える磁気軸受装置に関しても同様に構成できる。図 4 は複数（図では 3 つ）の磁気軸受制御装置 15 の磁気軸受ユニット 14 のバイアス電流を 1 つの制御コントローラ 16 で調整する場合である。

30

#### 【0027】

図 4 において、制御コントローラ 16 は制御回路 11 と不揮発性記憶装置（EEPROM）12 で構成される。また、各磁気軸受制御装置 15 は定電流回路 7 a、7 b、定電流調整回路 9 a、9 b、電流検出回路 10 a、10 b、アナログスイッチ 13 で構成される。また、各磁気軸受制御装置 15 にはそれぞれ磁気軸受ユニット 14 が接続されている。磁気軸受ユニット 14 は図示は省略するが図 3 に示すように、被浮上体 1 に対向して配置された一対の電磁石 2、2、変位センサ 4、4 で構成される。

#### 【0028】

そして電磁石 2、2 の磁極コイル 3 P、3 N は電流検出回路 10 a、10 b を介して定電流回路 7 a、7 b に接続され、変位センサ 4、4 の出力は図 3 に示すようにセンサ回路 5 に入力され、センサ回路 5 の出力は位相補正回路 6 に入力され、位相補正回路 6 の出力はアナログスイッチ 13 を介して定電流回路 7 a、7 b に入力されるようになっている。バイアス定電流の調整方法は、図 3 の場合と同様であるからその説明は省略する。

40

#### 【0029】

#### 【発明の効果】

以上、説明したように各請求項の発明によれば、下記のような優れた効果が得られる。

#### 【0032】

請求項 1 に記載の発明によれば、コントローラにより、電流検出回路で検出したバイアス

50

ス電流値が適正か否かを判断し、バイアス電流を予め決められた最適電流値になるように定電流調整回路を介して調整するので、磁気軸受ユニットの電磁石のバイアス電流を最適電流値に容易に調整することができる。また、バイアス電流値を磁気軸受ユニットの電磁石に流れるバイアス電流をフィードバックすることでバイアス電流値が目標値に達しているか否かを判断し自動調整するので、コントローラと磁気軸受装置の系に固体差があってもバイアス電流値を自動的に補正できるのである。

#### 【 0 0 3 3 】

請求項 2 に記載の発明によれば、コントローラにより、磁気軸受ユニットの被浮上体の浮上向きを解析し、該解析結果に基づいて各定電流回路からのバイアス電流が被浮上体の浮上している向きに対して予め定めた最適値になるようにバイアス定電流を調整するので、例えば複数の磁気軸受ユニットを具備するターボ分子ポンプ等においてどのような取付姿勢であっても、電磁石に最適なバイアス電流を流すことができ、必要以上のバイアス電流による磁気軸受の発熱を防止できる。また、必要最小限のバイアス電流で制御可能なため、磁気軸受ユニットの電磁石の励磁に必要な電源容量も小さくできる。また、バイアス電流値を磁気軸受ユニットの電磁石に流れるバイアス電流をフィードバックし、予め記憶された各磁気軸受ユニットの被浮上体の浮上向きにおける電磁石に流れるバイアス電流データと比較し、被浮上体の浮上向きを解析し、該解析結果に基づいて各定電流回路からのバイアス電流が被浮上体の浮上している向きに対して予め定めた最適値になるように調整するので、コントローラと磁気軸受装置の系に固体差があってもバイアス電流値を自動的に補正できる。

#### 【 0 0 3 4 】

請求項 3 に記載の発明によれば、コントローラが磁気軸受ユニットの電磁石に流れる電流をバイアス電流のみに固定する機能を具備するので、バイアス電流の調整が他の制御電流等に影響されることなくできるので、バイアス電流の調整が容易で且つ精度良くできる。

#### 【 0 0 3 5 】

請求項 4 に記載の発明によれば、コントローラは記憶装置に記憶している定電流調整回路を介して調整したバイアス電流値を利用して被浮上体の浮上制御を行うので、一度バイアス電流の調整を行うと以後のバイアス電流の調整が不要或いは短縮できる。

#### 【 図面の簡単な説明 】

【 図 1 】 従来の磁気軸受制御装置の構成例を示す図である。

【 図 2 】 磁気軸受の磁極コイルに流れる励磁電流と被浮上体の変位量及び被浮上体に及ぼす磁気吸引力の関係を示す図である。

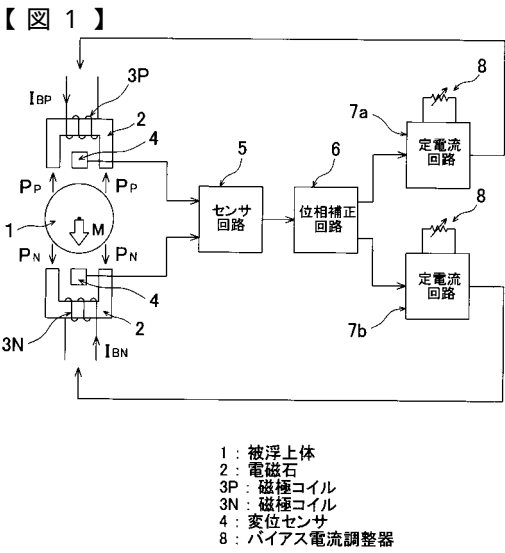
【 図 3 】 本発明に係る磁気軸受制御装置の構成例を示す図である。

【 図 4 】 本発明に係る磁気軸受制御装置の構成例を示す図である。

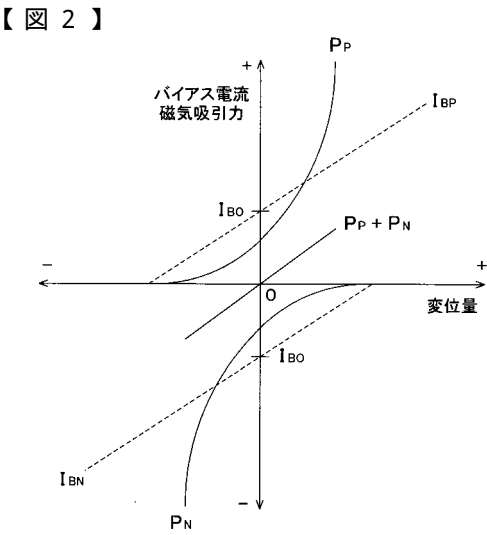
#### 【 符号の説明 】

1	被浮上体
2	電磁石
3 P、3 N	磁極コイル
4	変位センサ
5	センサ回路
6	位相補正回路
7 a、7 b	定電流回路
8	バイアス電流調整器
9 a、9 b	定電流調整回路
10 a、10 b	電流検出回路
11	制御回路
12	不揮発性記憶装置
13	アナログスイッチ
14	磁気軸受ユニット

1 5 磁気軸受制御装置  
1 6 制御コントローラ



従来の磁気軸受制御装置の構成例



励磁電流と被浮上体の変位量及び被浮上体に及ぼす磁気吸引力の関係

本発明に係る磁気軸受制御装置の構成例



本発明に係る磁気軸受制御装置の構成例





---

フロントページの続き

- (72)発明者 桑山 宏  
東京都大田区羽田旭町 1 1 番 1 号 株式会社荏原電産内
- (72)発明者 遠藤 慎介  
東京都大田区羽田旭町 1 1 番 1 号 株式会社荏原電産内

審査官 瀬川 裕

- (56)参考文献 特開平 1 1 - 2 0 1 1 6 4 ( J P , A )  
特開平 0 5 - 2 4 0 2 4 5 ( J P , A )  
特開昭 6 1 - 0 6 6 5 4 1 ( J P , A )  
特開 2 0 0 1 - 0 2 7 2 3 6 ( J P , A )  
実開平 0 7 - 0 4 1 0 6 3 ( J P , U )  
特開平 0 9 - 1 6 6 1 3 9 ( J P , A )  
特開平 0 8 - 0 8 6 3 1 4 ( J P , A )

- (58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)  
F16C 32/00-32/06