

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 31 日現在

機関番号：32660

研究種目：基盤研究（c）

研究期間：2009～2011

課題番号：21560151

研究課題名（和文） イオン液体を用いた高真空対応型非接触精密案内機構に関する研究

研究課題名（英文） Non-contact precision guideway systems for high vacuum chamber  
Using ionic liquid

研究代表者

吉本 成香（YOSHIMOTO SHIGEKA）

東京理科大学・工学部・教授

研究者番号：80096718

研究成果の概要（和文）：真空対応型の高精度非接触案内機構としては、これまで、静圧空気軸受と差動排気システムを組み合わせた方法が提案され、研究されてきた。しかしこの方法は、軸受面にシール部を設ける必要があるうえ、数個の真空ポンプを装備しなければならないという煩雑さがあった。本研究で提案するイオン液体を用いた非接触案内では、差動排気システムを必要としないため、機構設計がきわめて単純となるうえ、シール部を必要としないことから装置の小型化も可能である。そこで本研究では、イオン液体を用いた動圧型流体潤滑回転スピンドルおよび静圧型直動案内機構の開発を行い、その有効性を確認した。

研究成果の概要（英文）：Conventional vacuum compatible non-contact guideway systems have used aerostatic bearings with several steps of seals using vacuum pumps. Accordingly, these systems require relatively large space for seals and several vacuum pumps. Therefore, in this study, we proposed hydrostatic guideway systems using ionic liquid instead of aerostatic guideway systems. The proposed system does not need any seal systems to maintain vacuum, which makes the guideway system for a vacuum chamber simple and small. We developed a hydrostatic rotational spindle and a hydrostatic linear guideway table using ionic liquid and confirmed the usefulness of the proposed guideway system.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2010年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2011年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：機械工学

科研費の分科・細目：機素潤滑設計

キーワード：高精度非接触案内, イオン液体, 高真空

## 1. 研究開始当初の背景

次世代DRAMやMPUなどで必要となる30nm以下の最小線幅の半導体素子を製造するためには、その分解能を考えるとレーザー光に代わり、電子線(EB)あるいは極紫外線(EUV)を用いた描画装置に移行せざるを得ない。ま

た、ハイビジョン映像を2時間以上記録するための次世代光ディスクには、25GB以上の記録密度が要求されており、トラックピッチ0.23μmの精度でマスターディスクにピットを書き込める電子線描画装置が必要となっている。さらに200GBの記録密度では、

100nm以下のトラックピッチになることが予想されている。その他、次世代HDD(500GB/枚)の実現に必要なパターンドメディア(ディスクリートトラックやビットパターン)のテンプレート作成やサーボゾーン信号(線幅40nm)の書き込みにも電子線描画装置が必要となっている。このような描画装置では、レーザ光を用いた描画装置とは異なり、 $10^3\text{Pa}\sim 10^5\text{Pa}$ 程度の高真空チャンバ中での書き込みが必須となる。

よって上記用途のディスク用描画装置では、図1に示すように直動送り装置上に、差動排気システム(数 $\mu\text{m}$ の狭いすきまと真空ポンプを数段組み合わせたシステム)を備えた空気静圧スピンドルを置き、マスターディスクやHDDのサーボゾーン信号の書き込みが試みられている。ところが、この装置では回転スピンドルを静圧空気軸受で支持しているため、真空チャンバ内に圧縮空気を導入し、さらに真空度を保つために、導入した圧縮空気を数個の真空ポンプで強制的に真空チャンバ外に排気しなければならない。したがって従来のこの種の描画装置では、差動排気用シール部とシール用真空ポンプ、さらに圧縮空気用コンプレッサを装備する必要があり、大変、複雑な大掛かりな構造となっている。研究者も差動排気システムの研究を行っており、その煩雑さを経験している。

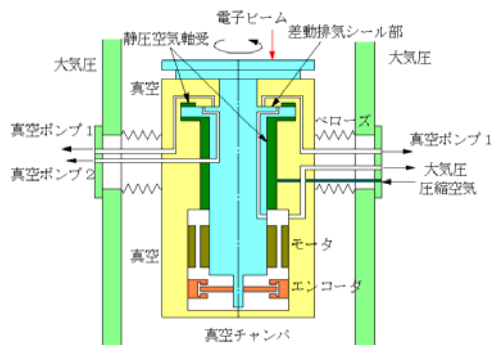


図1 従来の差動排気システムを用いた高真空対応型静圧空気スピンドル

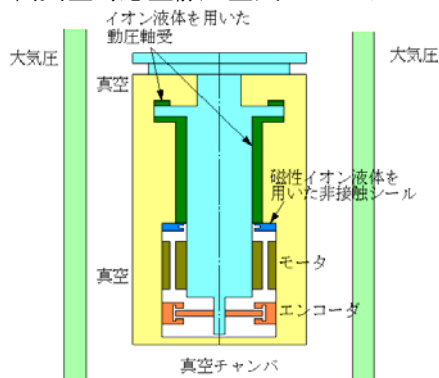


図2 提案するイオン液体を用いた高真空対応型流体潤滑スピンドル (EB用)

図1に示した差動排気システム装備の煩雑さを解消するために、蒸気圧がほとんど零(不揮発性)であるイオン液体を高真空対応型非接触案内に適用することを考えた。図2は、回転スピンドルにイオン液体を用いた動圧型軸受を適用した例を示すが、イオン液体を用いることにより、差動排気システムが必要なくなり、きわめて単純な高真空対応型のスピンドル設計ができるようになることがわかる。

## 2. 研究の目的

真空対応型の高精度非接触案内機構としては、これまで、静圧空気軸受と差動排気システムを組み合わせた方法が提案され、研究されてきた。しかしこの方法は、軸受面にシール部を設ける必要があるうえ、数個の真空ポンプを装備しなければならないという煩雑さがあった。本研究で提案するイオン液体を用いた非接触案内では、差動排気システムを必要としないため、機構設計がきわめて単純となるうえ、シール部を必要としないことから装置の小型化も可能である。

本研究では、イオン液体を用いた動圧型流体潤滑回転スピンドルおよび静圧型直動案内機構の開発を行うが、研究期間内に下記のような事項について明らかにする。

- 真空チャンバ内で駆動可能なイオン液体を用いた動圧型の回転スピンドル構造および静圧型の非接触直動案内構造を提案し、その設計および製作を行い、 $10^{-5}\text{Pa}$ オーダの真空度に対応可能な新たな非接触型精密案内の設計法を確立する。またイオン液体の真空中における流体潤滑軸受潤滑剤としての特性を実験的に明らかにすることで、イオン液体を用いた流体潤滑軸受の特性を数値的に予測する手法を確立する。
- 真空チャンバ内に真空度を低下させることなく、加圧したイオン液体を送ることのできる液体ポンプを開発する。

## 3. 研究の方法

### (1). イオン液体を用いた静圧回転スピンドルおよび直動案内システムの設計

従来の静圧空気案内では、加圧空気をチャンバ外に排出するために、数個の真空ポンプを用いた差動排気システムを必要としていた。本研究で提案するイオン液体を用いた静圧回転スピンドルおよび直動案内システムの場合、液体を加圧するポンプおよびイオン液体を回収する溝等は必要であるが、真空ポンプおよびシール部が必要なくなり、きわめて単純な機構となる。回転スピンドルでは、イオン液体の漏れを防ぐために非接触シールが必要となるため、磁性イオン液体の開発を行う。直動の静圧軸受としては、テーブル

への配管を省略できる表面絞り型を採用する。以上のような構成で、高真空対応型の静圧スピンドルおよび直動案内を製作し、運動精度や剛性等の測定を行う。

#### (2). ダイアフラムポンプの開発

本研究では、イオン液体を真空チャンバ内に送った後、それを回収する必要がある。したがって加圧ポンプ自体の密封性が必要となってくる。よって液送システムの密封ができ、真空度の低下を防ぐことができるダイアフラム型ポンプを本研究では用いることとした。また精密な送り機構を構成するためには、加圧ポンプには、脈動をできる限り小さい値に抑制することが要求される。よって本研究では、磁ワイ素子を用いたダイアフラムポンプを2台並列に接続するポンプ機構を提案し、そのポンプ特性について実験的な検討を行った。

### 4. 研究成果

#### (1). 磁性イオン液体の開発

図3にイオン液体を用いた静圧回転テーブルの概略図を示す。

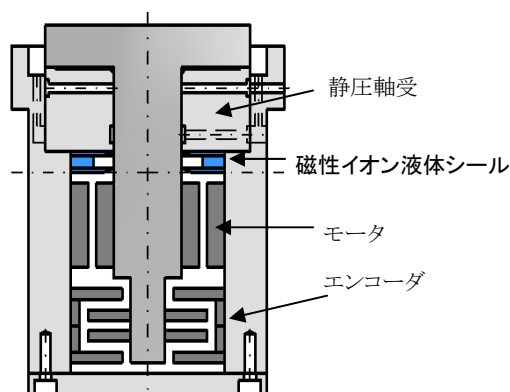


図3 イオン液体を用いた静圧回転テーブル

図に示すように静圧ジャーナル軸受に供給されたイオン液体が、モータ側に漏れることはモータの故障を引き起こす可能性があるため、もれることなく回収される必要がある。したがって静圧軸受の下部に、非接触シールを、機構上、設けることが必要となる。そのため、本研究では新たに磁性を持つイオン液体の開発を行い、磁性流体シールを製作することとした。種々のイオン液体と磁粉とを混ぜ合わせた結果、磁粉がイオン液体内に均一に分散する組み合わせを見つけることができた。写真1に、開発した磁性イオン液体に磁石を近づけたときの状態を示す。写真から明らかなように、イオン液体と磁粉が分離することなくかつ磁性を示し、磁石側に吸い付いていることが分かる。

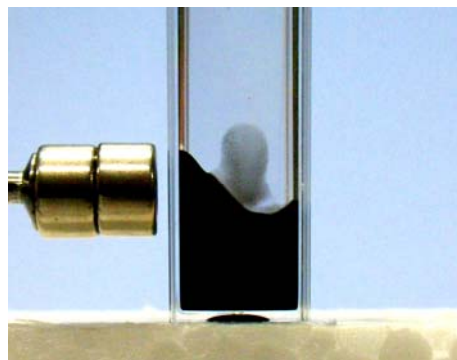


写真1 開発した磁性イオン液体の特性

また四重極質量分析器を用いて真空チャンバ内において提案する磁性イオン液体の成分分析を行なった結果、検出されたスペクトルの分圧は $10^{-7}$ Pa以下の小さな値であり、磁性イオン液体は真空度を劣化させないことが確認された。

#### (2). 超磁歪素子を用いた真空用流体ポンプ機構の開発

図4に提案するポンプ機構を構成する、超磁歪素子をピストン駆動アクチュエータとして用いるポンプの概略図を示す。超磁歪素子を用いたポンプの駆動部は、ピストン、皿ばね、円柱型超磁歪素子、永久磁石および円筒型コイルにより構成されている。この構造は回転部を持たず、ピストンに直接Oリングシールを設置することを可能にしているためポンプ室の高い密閉性を持つ。また超磁歪素子両端にはサマリウムコバルト永久磁石を設置し、バイアス用磁場を与えている。この構造は交流波形をコイルに入力することで磁束密度変化を磁歪素子が置かれているコイル中心部の空洞内に生じさせ、それに従って超磁歪素子の変形することでピストンを変位させる。したがって、入力する交流波形の振幅や周波数を操作することで潤滑流体の吐出圧力や流量も任意に操作することが可能である。

図5に提案する機構の概略図を示す。提案する機構は図4に示したポンプ二台を用いて構成される。二台の超磁歪素子ポンプで構成することにより、アキュムレータを用いずに脈動の低い加圧流体を静圧軸受に供給することが可能である。二台のポンプは非圧縮性流体の流路中に並列接続され、アキュムレータや絞りを介さずに直接軸受に接続される。二台のポンプに接続された静圧軸受には静電容量式非接触変位計が取り付けられ、軸受すきまを測定することが可能である。この変位計より得られた軸受すきまの信号を、機構を構成する二台のポンプに対してフィードバックすることで、軸受への負荷に対して軸受すきまを一定に保つことが可能である。また提案する機構はアクチュエータの変位を

直接ピストンへ伝達する構造のため、負荷や軸受すきま目標値の変化に即座に対応可能であるという特徴がある。

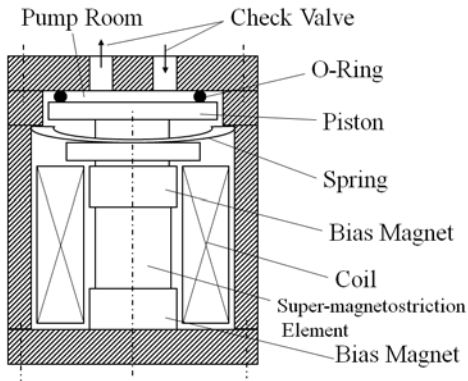


図4 磁歪素子を用いたピストンポンプの構造

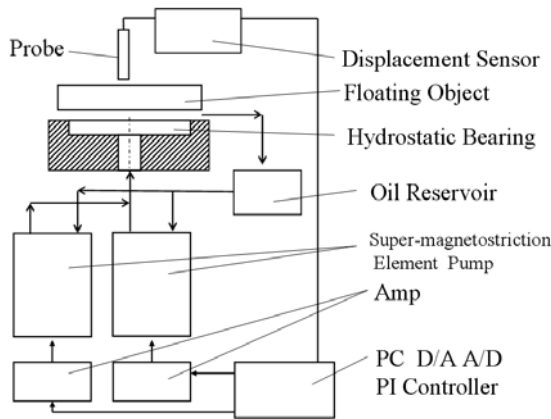


図5 静圧軸受のための磁歪素子を用いたピストンポンプ機構

(3). ポンプ特性の実験結果

図6に、図5示す静圧軸受に荷重を付加した場合の軸受すきまと荷重との関係を示す。超磁歪素子を用いたポンプでは、超磁歪素子に入力する電圧を制御することにより、容易に吐出量を制御することができる。したがって図6に示すように、軸受への負荷荷重が変化しても軸受すきまを一定に維持することが可能となる。

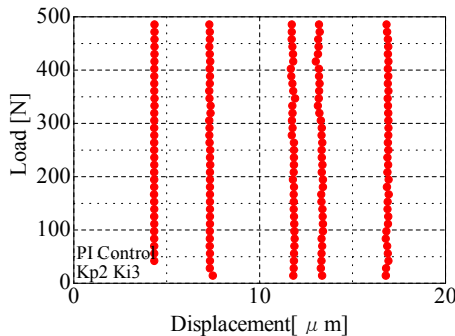


図6 軸受すきまと負荷荷重との関係

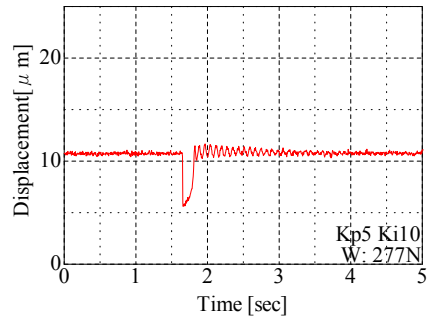


図7 ステップ荷重に対する応答特性

図7には、荷重がステップ的に変化した場合の軸受すきまの応答特性を示す。荷重のステップ的な変化に対しても約0.2 s程度で安定し、設定した軸受すきまに戻っていることが分かる。また脈動による軸受の変動量は20nm以下であることが観察された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計0件)

〔学会発表〕(計3件)

- ① 岡部貴雄 柚谷啓 吉本成香, 超磁歪素子を用いた無脈動ポンプに関する研究, 2011年度精密工学会春季大会, 審査無
- ② 倉茂一樹 吉本成香 柚谷啓, 磁性イオン液体を用いた高真空対応小型静圧回転スピンドルの開発, 2011年度精密工学会秋季大会学術講演会, 審査無
- ③ 岡部貴雄 吉本成香 柚谷啓, 超磁歪素子を用いた流体潤滑軸受用ピストンポンプの開発, 2012年度精密工学会春季大会, 審査無

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

吉本成香 (YOSHIMOTO SHIGEKA )

研究者番号 : 80096719