

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4887492号  
(P4887492)

(45) 発行日 平成24年2月29日 (2012. 2. 29)

(24) 登録日 平成23年12月22日 (2011. 12. 22)

| (51) Int. Cl.  |              |                   | F I     |       |   |
|----------------|--------------|-------------------|---------|-------|---|
| <b>F 1 6 C</b> | <b>32/06</b> | <b>(2006. 01)</b> | F 1 6 C | 32/06 | A |
| <b>F 1 6 C</b> | <b>29/02</b> | <b>(2006. 01)</b> | F 1 6 C | 32/06 | Z |
| <b>F 1 6 C</b> | <b>11/08</b> | <b>(2006. 01)</b> | F 1 6 C | 29/02 |   |
|                |              |                   | F 1 6 C | 11/08 | Z |

請求項の数 12 (全 22 頁)

|           |                               |           |                                   |
|-----------|-------------------------------|-----------|-----------------------------------|
| (21) 出願番号 | 特願2006-150211 (P2006-150211)  | (73) 特許権者 | 304023318                         |
| (22) 出願日  | 平成18年5月30日 (2006. 5. 30)      |           | 国立大学法人静岡大学                        |
| (65) 公開番号 | 特開2007-321811 (P2007-321811A) |           | 静岡県静岡市駿河区大谷836                    |
| (43) 公開日  | 平成19年12月13日 (2007. 12. 13)    | (74) 代理人  | 100079049                         |
| 審査請求日     | 平成20年12月22日 (2008. 12. 22)    |           | 弁理士 中島 淳                          |
|           |                               | (74) 代理人  | 100084995                         |
|           |                               |           | 弁理士 加藤 和詳                         |
|           |                               | (74) 代理人  | 100085279                         |
|           |                               |           | 弁理士 西元 勝一                         |
|           |                               | (74) 代理人  | 100099025                         |
|           |                               |           | 弁理士 福田 浩志                         |
|           |                               | (72) 発明者  | 大岩 孝彰                             |
|           |                               |           | 静岡県浜松市城北3丁目5-1 国立大学<br>法人静岡大学工学部内 |

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 非接触支持装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

駆動されて超音波振動を生じる起振体と、

軸方向の一端面と第 1 部材との間に前記起振体を同軸的に挟み込んで保持し、前記起振体に加振されることで、外周部に形成された支持面と第 2 部材との間に該第 2 部材との非接触状態を維持するための空気膜を生成させる第 3 部材と、

機台との固定の用に供される、前記第 1 部材の前記起振体と接触する端面に沿って延設されるフランジと、

を備えた非接触支持装置。

【請求項 2】

前記起振体は、圧電効果によって超音波振動を生じ得る圧電素子であり、

前記第 3 部材は、前記第 1 部材との間に前記起振体を圧縮状態で挟み込んでいる請求項 1 記載の非接触支持装置。

【請求項 3】

前記第 3 部材は、前記起振体に加振された場合に、前記支持面及び軸方向の他端面と第 2 部材との間に生成される空気膜を介して該第 2 部材との非接触状態が維持される請求項 1 又は請求項 2 記載の非接触支持装置。

【請求項 4】

前記第 3 部材の支持面は、該第 3 部材と同軸の円筒面とされている請求項 1 乃至請求項 3 記載の何れか 1 項記載の非接触支持装置。

## 【請求項 5】

前記第 3 部材は、軸方向の長さが、前記起振体に加振されて該第 3 部材を伝わる超音波の波長の 1 / 4 の自然数倍となるように設計されている請求項 1 乃至請求項 4 記載の何れか 1 項記載の非接触支持装置。

## 【請求項 6】

前記第 3 部材は、軸線との直交方向に張り出すと共に外周部に前記支持面が形成された張出部を有する請求項 1 乃至請求項 5 記載の何れか 1 項記載の非接触支持装置。

## 【請求項 7】

前記張出部は、前記第 3 部材における前記起振体に加振されて該第 3 部材を軸方向に伝わる超音波の節位置から、該第 3 部材の軸線との直交方向に張り出している請求項 6 記載の非接触支持装置。

10

## 【請求項 8】

前記第 3 部材は、軸心から前記張出部の支持面までの距離が、前記起振体に加振されて該第 3 部材を伝わる超音波の波長の 1 / 4 となるように設計されている請求項 7 記載の非接触支持装置。

## 【請求項 9】

前記張出部の支持面は、前記起振体に加振されて該第 3 部材を軸方向に伝わる超音波の節位置に対する軸方向の両側に形成されている請求項 6 乃至請求項 8 の何れか 1 項記載の非接触支持装置。

## 【請求項 10】

20

前記支持面は、前記第 3 部材の径方向外側及び軸方向の一端側を共に向くテーパ面を含む請求項 1 乃至請求項 9 の何れか 1 項記載の非接触支持装置。

## 【請求項 11】

前記第 3 部材は、機台に支持されて前記第 2 部材を被支持体として非接触で支持する支持体である請求項 1 乃至請求項 10 の何れか 1 項記載の非接触支持装置。

## 【請求項 12】

前記第 3 部材は、前記第 1 部材を介して前記機台に支持されている請求項 11 記載の非接触支持装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

30

## 【0001】

本発明は、被支持体を非接触で支持するための非接触支持装置に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

機械の回転案内要素として、超音波振動を利用したスクイズ空気軸受が知られている（例えば、非特許文献 1 参照）。このスクイズ空気軸受は、圧電素子を挟み込んだ一対の金属ブロックをボルトにて連結したボルト締めランジュバン型超音波振動子と、軸方向の一端面が上記超音波振動子（一方の金属ブロックの端面）に接合されたホーンとを備えて構成されている。ホーンは、超音波振動子の作動によって、その他端面と回転浮上体との間に形成した空気膜で該回転浮上体をスラスト方向に支持すると共に、径拡大部の外周面と回転浮上体の内周面との間に形成した空気膜で該回転浮上体をラジアル方向に支持するようになっている。

40

【非特許文献 1】大岩、加藤、「超音波振動を用いたアクティブエアベアリング（第 5 報） - 振動方向変換体を用いた空気軸受の試作 - 」第 15 回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム、平成 15 年 5 月 30 日

【特許文献 1】特開 2006 - 84018 号公報

## 【発明の開示】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0003】

しかしながら、上記の如き従来の技術では、装置の小型化について改善の余地がある。

50

## 【0004】

本発明は、上記事実を考慮して、小型化を図ることができる非接触支持装置を得ることが目的である。

## 【課題を解決するための手段】

## 【0005】

上記目的を達成するために請求項1記載の発明に係る非接触支持装置は、駆動されて超音波振動を生じる起振体と、軸方向の一端面と第1部材との間に前記起振体を同軸的に挟み込んで保持し、前記起振体に加振されることで、外周部に形成された支持面と第2部材との間に該第2部材との非接触状態を維持するための空気膜を生成させる第3部材と、機台との固定の用に供される、前記第1部材の前記起振体と接触する端面に沿って延設されるフランジと、を備えている。

10

## 【0006】

請求項1記載の非接触支持装置では、起振体が駆動されて超音波振動が生じると、この超音波振動が第3部材に伝達され、第3部材のポアソン効果に基づく径方向への振動方向変換作用によって、該第3部材の外周部に形成された支持面が超音波振動し、該支持面と第2部材との間に空気膜（スクイズ空気膜）が生成される。この空気膜によって、第2部材が第3部材に対して、又は第3部材が第2部材に対して、非接触状態で支持される。ここで、本非接触支持装置では、第2部材との間に空気膜が生成される第3部材が第1部材との間に起振体を挟み込んでいるため、換言すれば、第3部材が起振体に直接的に接触しているため、例えば一對の金属ブロック間に圧電素子（起振体）を挟み込んだ超音波振動子を備えた構成と比較して、軸方向の寸法を小型化することができる。

20

## 【0007】

このように、請求項1記載の非接触支持装置では、小型化を図ることができる。

## 【0008】

請求項2記載の発明に係る非接触支持装置は、請求項1記載の非接触支持装置において、前記起振体は、圧電効果によって超音波振動を生じ得る圧電素子であり、前記第3部材は、前記第1部材との間に前記起振体を圧縮状態で挟み込んでいる。

## 【0009】

請求項2記載の非接触支持装置では、圧電素子である起振体が予圧を受けつつ第3部材と第1部材との間に挟み込まれている。このように、簡単な構造で非接触支持装置が構成される。第1部材と第3部材とは、例えば、締結具による締結によって起振体を圧縮状態で挟み込んだ状態を維持することができる。

30

## 【0010】

請求項3記載の発明に係る非接触支持装置は、請求項1又は請求項2記載の非接触支持装置において、前記第3部材は、前記起振体に加振された場合に、前記支持面及び軸方向の他端面と第2部材との間に生成される空気膜を介して該第2部材との非接触状態が維持される。

## 【0011】

請求項3記載の非接触支持装置では、第3部材の他端面と第2部材との間に空気膜が生成されることで、第3部材と第2部材との軸方向一方側への相対変位が非接触状態を維持したまま規制される。

40

## 【0012】

請求項4記載の発明に係る非接触支持装置は、請求項1乃至請求項3の何れか1項記載の非接触支持装置において、前記第3部材の支持面は、該第3部材と同軸の円筒面とされている。

## 【0013】

請求項4記載の非接触支持装置では、支持面が円筒面であるため、第3部材と第2部材との相対回転が許容され、回転案内装置として機能することができる。

## 【0014】

請求項5記載の発明に係る非接触支持装置は、請求項1乃至請求項4の何れか1項記載

50

の非接触支持装置において、前記第3部材は、軸方向の長さが、前記起振体に加振されて該第3部材を伝わる超音波の波長の1/4の自然数倍となるように設計されている。

【0015】

請求項5記載の非接触支持装置では、上記長さを有する第3部材における起振体の接触面（加振面）が振動の節となる。これにより、第3部材は、支持面（他端面等）の振幅を確保しつつ最短に構成することができる。また、第3部材の長さを上記波長の1/4とすれば、装置全長を短く構成することができる。

【0016】

請求項6記載の発明に係る非接触支持装置は、請求項1乃至請求項5の何れか1項記載の非接触支持装置において、前記第3部材は、軸線との直交方向に張り出すと共に外周部に前記支持面が形成された張出部を有する。

10

【0017】

請求項6記載の非接触支持装置では、第3部材に径方向超音波振動の放射（出力）面となる支持面を有する張出部を設けたので、換言すれば、該張出部の軸方向の両側にポアソン効果を阻害する部分がないため、軸方向に入力された超音波振動を、効果的に径方向の振動に変換することができる。

【0018】

請求項7記載の発明に係る非接触支持装置は、請求項6記載の非接触支持装置において、前記張出部は、前記第3部材における前記起振体に加振されて該第3部材を軸方向に伝わる超音波の節位置から、該第3部材の軸線との直交方向に張り出している。

20

【0019】

請求項7記載の非接触支持装置では、第3部材における超音波振動の節位置から張出部が張り出すので、ポアソン効果による支持面の径方向振動の振幅が大きくなる。特に、第3部材の軸方向長さを波長の1/4として起振体による加振面を振動の節とした構成では、加振面の直近に張出部が配置されるので、小型でありながらポアソン効果による支持面の径方向振動の振幅が大きくなる。

【0020】

請求項8記載の発明に係る非接触支持装置は、請求項7記載の非接触支持装置において、前記第3部材は、軸心から前記張出部の支持面までの距離が、前記起振体に加振されて該第3部材を伝わる超音波の波長の1/4となるように設計されている。

30

【0021】

請求項8記載の非接触支持装置では、支持面が軸方向振動の節位置から上記波長の1/4の位置に位置するので、ポアソン効果による支持面の径方向振動の振幅を最大にすることができる。また、支持面を上記波長の1/4の整数倍の位置に配置する構成と比較して、張出部が小型化される。

【0022】

請求項9記載の発明に係る非接触支持装置は、請求項6乃至請求項8の何れか1項記載の非接触支持装置において、前記張出部の支持面は、前記起振体に加振されて該第3部材を軸方向に伝わる超音波の節位置に対する軸方向の両側に形成されている。

【0023】

40

請求項9記載の非接触支持装置では、超音波振動の節位置に対する軸方向両側に支持面が形成されているので、支持面が節位置に対し軸方向一方側にのみ形成される構成と比較して、支持面の振幅が大きい範囲を広く設定することができる。これにより、支持剛性の向上に寄与する。なお、例えば、第3部材における起振体が接触する軸方向一端面が振動に節になる構成においては、張出部における軸方向の一部は、起振体の軸方向の少なくとも一部を外周側から覆うように構成すれば良い。

【0024】

請求項10記載の発明に係る非接触支持装置は、請求項1乃至請求項9の何れか1項記載の非接触支持装置において、前記支持面は、前記第3部材の径方向外側及び軸方向の一端側を共に向くテーパ面を含む。

50

## 【 0 0 2 5 】

請求項 1 0 記載の非接触支持装置では、テーパ面において、第 2 部材と第 3 部材との軸方向他方側への相対変位を非接触で規制（自由度を拘束）することができる。

## 【 0 0 2 6 】

請求項 1 1 記載の発明に係る非接触支持装置は、請求項 1 乃至請求項 1 0 の何れか 1 項記載の非接触支持装置において、前記第 3 部材は、機台に支持されて前記第 2 部材を被支持体として非接触で支持する支持体である。

## 【 0 0 2 7 】

請求項 1 1 記載の非接触支持装置では、起振体から超音波振動が直接的に入力される第 3 部材が、支持体として第 2 部材を支持するため、被支持体である第 2 部材の残留振動を抑制することができる。

10

## 【 0 0 2 8 】

請求項 1 2 記載の発明に係る非接触支持装置は、請求項 1 1 記載の非接触支持装置において、前記第 3 部材は、前記第 1 部材を介して前記機台に支持されている。

## 【 0 0 2 9 】

請求項 1 2 記載の非接触支持装置では、起振体によって加振される第 3 部材が機台に対して直接的に拘束されないので、第 3 部材の支持面の超音波振動が減衰されることが防止される。

## 【 0 0 3 1 】

請求項 1 記載の非接触支持装置について付言すると、第 1 部材における振動の節に近い部分から延設されたフランジにおいて機台に固定されるので、第 3 部材の支持面の超音波振動が減衰されることが効果的に防止される。すなわち、第 1 部材と第 3 部材と起振体とで構成する（と把握することができる）振動子の振動が減衰されることが防止される。

20

## 【 発明の効果 】

## 【 0 0 3 2 】

以上説明したように本発明に係る非接触支持装置は、小型化を図ることができるという優れた効果を有する。

## 【 発明を実施するための最良の形態 】

## 【 0 0 3 3 】

本発明の第 1 の実施形態に係る非接触支持装置としてのスクイズ空気軸受 1 0 について、図 1 乃至図 3 に基づいて説明する。なお、図中に適宜示す矢印 U は、重力方向の上側を表している。

30

## 【 0 0 3 4 】

図 1 には、スクイズ空気軸受 1 0 の概略全体構成が断面図にて示されている。この図に示される如く、スクイズ空気軸受 1 0 は、第 2 部材又は被支持部材としての回転浮上体 1 2 を、機台 1 4 に対して非接触で、軸線周りに回転自在に支持する装置すなわち非接触回転ガイド手段として把握される。以下、具体的に説明する。

## 【 0 0 3 5 】

スクイズ空気軸受 1 0 は、起振体又は圧電素子としての piezo 素子 1 6 と、第 1 部材としての金属ブロック 1 8 と、金属ブロック 1 8 との間 piezo 素子 1 6 を挟み込んだ第 3 部材としてのホーン 2 0 と、金属ブロック 1 8 とホーン 2 0 とを締結するためのボルト 2 2 とを、機械部分の主要構成要素としている。

40

## 【 0 0 3 6 】

piezo 素子 1 6 は、圧電効果によって変位を生じるセラミック等より成り、交流電圧の印加を受けて超音波振動を発生し得る構成とされている。この実施形態では、piezo 素子 1 6 は、2 枚設けられており、それぞれボルト 2 2 を貫通可能なワッシャ状に形成されている。2 つの piezo 素子 1 6 間、及び下側の piezo 素子 1 6 と金属ブロック 1 8 との間には、それぞれ図示を省略した電極が挟み込まれており、これらの電極に交番（交流）電圧を印加することで、各 piezo 素子 1 6 が印加電圧の周波数に応じた周波数の超音波振動を生じる構成とされている。この実施形態では、発信器 2 6 で生成した交番信号を増幅器 2

50

8にて増幅し、さらに変換器30にて電圧に変換して電極すなわち piezo素子16に印加する構成とされている。

【0037】

金属ブロック18は、略円柱状に形成されたブロック本体32の軸心部を貫通した貫通孔34にめねじ部35が形成されてナットの如く構成されている。ブロック本体32の外径は、piezo素子16の外径と同等又はわずかに大とされている。このブロック本体32の軸方向の一端側である上端面32Aからは、フランジ36が径方向外向きに張り出している。フランジ36は、ブロック本体32の全周に亘るリング状に形成されても良く、周方向に部分的に張り出しても良い。金属ブロック18は、フランジ36において、複数の支柱38を介して機台14に固定的に支持されている。すなわち、各支柱38は、それぞれの上端38Aがフランジ36に固定されると共に、それぞれの下端38Bが機台14に固定されている。

10

【0038】

ホーン20は、略円柱状に形成された縦振動伝達部40と、縦振動伝達部40の下端側から径方向外向きに張り出して設けられた張出部としての横振動伝達部42とを含んで構成されている。縦振動伝達部40は、その外径がpiezo素子16の外径と同等又はわずかに大とされており、その軸心部に下向きに開口するねじ孔44にめねじ45が形成されて袋ナット状に形成されている。ホーン20は、一端側が金属ブロック18のめねじ35に螺合したボルト22の他端側をめねじ45に螺合させることで、その縦振動伝達部40の下端面40Aと、金属ブロック18を構成するブロック本体32の上端面32Aとの間に各piezo素子16及び電極を同軸的に挟み込んでいる。すなわち、piezo素子16、金属ブロック18、ホーン20、電極が、ボルト22を用いた締結によって互いに固定されている。この締結状態で、piezo素子16には、所定の予圧力(圧縮変位)が付与されている。

20

【0039】

したがって、この実施形態に係るスクイズ空気軸受10では、piezo素子16、金属ブロック18、ホーン20、ボルト22、及び電極が、一方の金属ブロックをホーン20に置き換えた、又は一方の金属ブロックにホーン20が一体化された如き、所謂ボルト締めランジュバン型超音波振動子を構成していると把握することができる。

【0040】

そして、図2に示される如く、ホーン20の縦振動伝達部40は、その下端面40Aから上端面40Bまでの軸方向に沿った長さLが、piezo素子16にて加振されたホーン20を伝播する超音波振動の波長 $\lambda$ の略1/4とされている。ここで、この実施形態のpiezo素子16の加振によりホーン20を軸方向に伝播する超音波振動を縦波(以下、超音波縦振動V1(図2参照)という)と考えると、波長 $\lambda$ (m)は、ホーン20を伝播する超音波の周波数f(Hz)と、ホーン20内を伝播する縦波の音速C(m/s)とによって決まる。これにより、縦振動伝達部40では、その上端面40Bが超音波縦振動V1の腹位置(軸方向の振幅が最大となる位置)となる一方、下端面40Aが上記した超音波縦振動V1の節位置となる構成である。

30

【0041】

横振動伝達部42は、略円環状(縦振動伝達部40を含めて短円柱状)に形成されており、上記の通り縦振動伝達部40の下端側から全周に亘って径方向外向きに張り出している。横振動伝達部42は、一体に形成されている縦振動伝達部40に伝播する縦振動によって軸方向に伸縮するのに伴って、その体積を一定に保とうとするポアソン効果によって、振動方向を径方向に(軸方向に対する直交面に沿って)変換するようになっている。この横振動伝達部42は、その円筒面として形成された外周面が支持面42Aとされており、径方向に伝播する超音波横振動Vr(図2参照)を空気に伝える放射面を成している。

40

【0042】

そして、ホーン20では、その軸心から支持面42Aまでの距離(横振動伝達部42の半径)が上記した超音波縦振動V1の波長 $\lambda$ の略1/4とされている。この横振動伝達部

50

42は、縦振動伝達部40における超音波縦振動V1の節位置から張り出しているため、支持面42Aは、超音波横振動Vr（超音波縦振動V1と波長が略一致する径方向振動）の腹位置（径方向の振幅が最大となる位置）となる構成である。

【0043】

また、横振動伝達部42の下端面42Bは、縦振動伝達部40の下端面40Aよりも下側に位置している。すなわち、横振動伝達部42の支持面42Aは、縦振動伝達部40の軸方向において、縦振動伝達部40における超音波縦振動V1の節位置である下端面40Aに対する上下両側に位置し、所定の上下幅Wを有している。この形状によって横振動伝達部42は、その下部42Cの径方向内側にピエゾ素子16（の軸方向の少なくとも一部）を入り込ませている。

10

【0044】

以上説明したホーン20は、この実施形態では、一方のピエゾ素子16に直接的に接触し電極としても機能するため、ボルト22を介して金属ブロック18（に接触する電極）に導通するように、導電性の金属材料（例えば、JIS A2017P等のアルミニウム合金）にて構成されている。なお、ホーン20の構成材料として、金属材料以外のものを用いる場合、軽くて剛性のあり超音波振動を減衰しない材料が望ましく、導電性のない材料を用いる場合にはホーン20とピエゾ素子16との間にも電極を挟み込む。そして、この電極のピエゾ素子16との接触端面から上端面40Bまでの長さを $L/4$ として設計する。すなわち、この構成においては、電極を含めたホーン20を第3部材として把握することになる。

20

【0045】

一方、被支持体である回転浮上体12は、下向きに開口する有底円筒状に形成されている。具体的には、回転浮上体12は、横振動伝達部42の外径よりもわずかに大きな内径を有する円筒部46と、円筒部46の上部を閉止するテーブル部48とを主要部として構成されている。この回転浮上体12は、その内部にホーン20を収容するように該ホーン20に被せられている。そして、スクイズ空気軸受10では、ピエゾ素子16に超音波振動を発生させることで、テーブル部48の下面48Aと縦振動伝達部40の上端面40Bとの間、及び円筒部46の内周面46Aと横振動伝達部42の支持面42Aとの間にスクイズ空気膜が生成され、回転浮上体12がホーン20すなわち機台14に対し非接触で支持される構成とされている。

30

【0046】

これにより、スクイズ空気軸受10では、テーブル部48の下面48Aと縦振動伝達部40の上端面40Bとの間に生成されるスクイズ空気膜の圧力に基づく支持力と、回転浮上体12に作用する重力とのバランスとによって、回転浮上体12が機台14に対してスラスト方向に支持されている。さらに、スクイズ空気軸受10では、円筒部46の内周面46Aと横振動伝達部42の支持面42Aとの間に生成されたスクイズ空気膜の圧力バランスによって、回転浮上体12が機台14に対してラジアル方向に支持されている。したがって、スクイズ空気軸受10は、回転浮上体12の機台14に対する6自由度のうち、5自由度を拘束して自軸廻りの回転のみを許容する構成である。

40

【0047】

回転浮上体12には、スクイズ空気軸受10が適用された装置を構成する回転駆動手段が接続され、自軸廻りに回転駆動されて、例えばテーブル部48上に載置したワークや試料を高精度で回転させるようになっている。

【0048】

なお、発信器26、増幅器28、変換器30で構成される電源回路の発信周波数は多少とも調整できるようにしてあるのが普通であるから、加振波長も当然に幅を持った値となり、また、雰囲気温度や長時間駆動によりピエゾ素子16、金属ブロック18、ホーン20が発熱、熱膨張などもするので、縦振動伝達部40の軸方向長さ、横振動伝達部42の径等の各寸法は厳密に1ポイント的に定まるものではなく、最頻稼働予定の周波数などから設計し、その後試行してみて、真に最大振幅等が得られる寸法を確認してから、最終

50

製作するのが望ましい。その意味で、波長 を基準にした場合の寸法は、目標寸法になるように「設計されて」いるものとし、又は、ある程度の幅をもった寸法であることを示す「略」を付して表している。

【0049】

次に、第1の実施形態の作用を説明する。

【0050】

上記構成のスライズ空気軸受10では、 piezo素子16に交番電圧を印加すると、 piezo素子16は印加電圧の周波数に応じた周波数の超音波振動を生じる。この超音波振動は、縦振動伝達部40の下端面40Aからホーン20に入力され、縦振動伝達部40を軸方向に伝播し、また横振動伝達部42のポアソン効果によって振動方向が90°変換されて該横振動伝達部42を径方向に伝播する。縦振動伝達部40を伝播した超音波縦振動V1は、縦振動伝達部40の上端面40Bに超音波振動を生じさせて回転浮上体12のテーブル部48との間にスライズ空気膜を生成し、横振動伝達部42を伝播したVrは、支持面42Aに超音波振動を生じさせて回転浮上体12の円筒部46との間にスライズ空気膜を生成する。

【0051】

これにより、回転浮上体12は、スラスト方向及びラジアル方向共にホーン20すなわち機台14に対し非接触で（浮上して）、自軸廻りに回転自在に支持されると共に残余の5自由度が拘束される。このスライズ空気軸受10は、スライズ空気膜の形成面として単純な形状である円筒面、平坦面としているので、構成部品の加工精度を高めてスライズ空気膜の膜厚すなわちホーン20と回転浮上体12との隙間を小さく設定することができる。このため、スライズ空気軸受10では、高い支持剛性を得ることができる。また、スライズ空気軸受10では、縦振動伝達部40の一端面である下端面40Aにのみ超音波振動を入力する構成にて各部（上端面40B及び支持面42Aの全周）にスライズ空気膜を生成する構成を実現している。また、回転浮上体12に対する機台14側に piezo素子16、ホーン20が設けられているため、回転浮上体12側に piezo素子16、ホーン20等を設けた構成と比較して、被支持側に残留振動が生じることが抑制される。

【0052】

ここで、スライズ空気軸受10では、ホーン20の縦振動伝達部40の下端面40Aに piezo素子16が生じた超音波振動が直接的に入力されるため、軸方向の寸法が大幅に短縮された。そして、スライズ空気軸受10では、縦振動伝達部40の下端面40Aから上端面40Bまでの軸方向に沿った長さが、該縦振動伝達部40を軸方向に伝播する超音波振動の波長の略1/4であるため、上端面40Bを超音波振動の腹位置に略一致させると共に、下端面40Aを超音波振動の節位置に略一致させることができた。これにより、上端面40Bの超音波振動の振幅を最大化するための軸方向に最も短い構成が実現された。しかも、 piezo素子16からの超音波振動が直接的に入力されるホーン20は、超音波振動の損失（減衰等）が少なく、該超音波振動を効率的に上端面40B、支持面42Aまで伝播することができる。

【0053】

さらに、スライズ空気軸受10では、ホーン20の径方向の超音波放射面である支持面42Aが径方向に張り出した横振動伝達部42の外周面とされているため、ポアソン効果により径方向に伝播する超音波振動が他の部分との干渉等を受けることがなく、支持面42Aでの振幅を大きくすることができる。特に、縦振動伝達部40における上記した節位置である下端面40Aから径方向外側延設された横振動伝達部42は、該節位置から超音波振動が伝わるので、支持面42Aの径方向の振幅が大きくなりやすく、しかも、縦振動伝達部40の軸心から支持面42Aまでの長さすなわち横振動伝達部42の半径が /4に設定されているので、該支持面42Aにおける径方向の振幅を最大化した（理論上の最大値に近づけた）構成が実現された。また、支持面42Aは、その上下（軸方向に沿った）幅の範囲に縦振動伝達部40における上記した節位置である下端面40Aが含まれる構成であるため、換言すれば、縦振動伝達部40の下端面40Aに対する軸方向両側に支持面

10

20

30

40

50



4 2 A が跨って位置するため、径方向の振幅が大きい部分の面積が確保されている。

【 0 0 5 4 】

またここで、スクイズ空気軸受 1 0 では、金属ブロック 1 8 に設けたフランジ 3 6 が複数の支柱 3 8 を介して機台 1 4 に支持されているため、換言すれば、ホーン 2 0 は機台 1 4 に対する非拘束状態でピエゾ素子 1 6 から加振を受けるため、ピエゾ素子 1 6 からの超音波振動が上端面 4 0 B、支持面 4 2 A (この実施形態では、特に支持面 4 2 A) に効率的に伝播される。特に、金属ブロック 1 8 は、ブロック本体 3 2 の上端面 3 2 A に沿って延設されたフランジ 3 6 において機台 1 4 に固定されているので、換言すれば、ピエゾ素子 1 6 との接触面すなわち超音波縦振動 V 1 の節位置 (図 2 参照) のごく近傍で機台 1 4 に対し支持されるので超音波振動が機台 1 4 を介して機外に伝達されることが防止される。

10

【 0 0 5 5 】

以上により、スクイズ空気軸受 1 0 では、装置の小型化が図られ、超音波振動の減衰等による損失が少ないのでエネルギー効率が高く、支持剛性が高いといった効果が得られる。これらの点につき、図 1 1 に示す比較例に係るスクイズ空気軸受 2 0 0 と比較しつつ補足する。

【 0 0 5 6 】

先ず、図 1 1 に示すスクイズ空気軸受 2 0 0 について説明すると、スクイズ空気軸受 2 0 0 は、上下一対の金属ブロック 2 0 2 間にピエゾ素子 1 6 及び電極を挟み込んで構成された所謂ボルト締めランジュバン型の超音波振動子 2 0 4 と、一方の金属ブロック 2 0 2 の端面に接合されたホーン 2 0 6 とを含む。ホーン 2 0 6 は、縦振動伝達部 2 0 8 の長さが該縦振動伝達部 2 0 8 を軸方向に伝播する超音波振動の波長  $\lambda$  の略  $1/2$  とされており、縦振動伝達部 2 0 8 は、下上の端面 2 0 8 A、2 0 8 B で超音波縦振動 V 1 の腹を生じ、上下方向中央部で超音波縦振動 V 1 の節を生じる。縦振動伝達部 2 0 8 の上端面 2 0 8 B は、超音波振動することでテーブル部 4 8 との間にスクイズ空気膜を生成するようになっている。この縦振動伝達部 2 0 8 の上下方向中央部 (超音波縦振動 V 1 の節位置) からは、横振動伝達部 2 1 0 が径方向外向きに延設されており、横振動伝達部 2 1 0 の円筒面である外周面は、超音波振動することで円筒部 4 6 との間にスクイズ空気膜を生成する支持面 2 1 0 A とされている。横振動伝達部 2 1 0 の直径は、上記波長  $\lambda$  の略  $1/2$  とされている。横振動伝達部 2 1 0 における内周側部分は、複数の支柱 3 8 を介して機台 1 4 に

20

30

【 0 0 5 7 】

ところで、このスクイズ空気軸受 2 0 0 では、一対の金属ブロック 2 0 2 を有する超音波振動子 2 0 4 と、縦振動伝達部 2 0 8 の軸方向長さが略  $\lambda/2$  であるホーン 2 0 6 とを軸方向に直列して接合することで構成されているので、その全長が縦振動伝達部 2 0 8 を軸方向に伝播する超音波振動の略  $1$  波長分となる。これに対してスクイズ空気軸受 1 0 では、ピエゾ素子 1 6 をホーン 2 0 と金属ブロック 1 8 とで挟み込むため、縦振動伝達部 4 0 の軸方向長さを略  $\lambda/4$  としてホーン 2 0 を短縮し、また上側の金属ブロック 2 0 2 に

40

【 0 0 5 8 】

また、スクイズ空気軸受 2 0 0 では、金属ブロック 2 0 2 とホーン 2 0 6 との接合部が

50

超音波振動の伝達を阻害することが懸念される。さらに、スクイズ空気軸受 200 では、横振動伝達部 210 が複数の支柱 38 を介して機台 14 に固定されているため、換言すれば、超音波振動の節位置（径方向では縦振動伝達部 208 の軸心部）から離間した振動を生じる部位が機台 14 に対する支持部位となっているため、径方向の振動伝播が阻害されることが懸念される。そして、図 3（B）には、上記したスクイズ空気軸受 200 の試作機を用いた実験結果が示されている。この図は、加振周波数に対するホーン 206 における上端面 208 B、支持面 210 A の振幅応答が示されている。なお、各部の振幅測定には、ギャップセンサ（Philtec 社製 光ファイバ式変位計 D63H、周波数特性：DC ~ 50 kHz）を用いた。この図 3（B）から、スクイズ空気軸受 200 の試作品における軸方向、径方向の各共振周波数は、略 43.3 Hz であり、上端面 208 B における軸方向の最大振幅（両振幅、以下同じ）が 1.91  $\mu\text{m}$ 、支持面 210 A における径方向の最大振幅が略 1.22  $\mu\text{m}$  であったことがわかる。

10

#### 【0059】

一方、図 3（A）には、スクイズ空気軸受 10 の試作品についての同条件での実験結果を示している。この図 3（A）からは、スクイズ空気軸受 10 の試作品における軸方向、径方向の各共振周波数は、略 45.3 Hz であり、上端面 40 B の最大振幅（両振幅、以下同じ）が 1.97  $\mu\text{m}$ 、支持面 42 A の最大振幅が略 1.83  $\mu\text{m}$  であったことがわかる。

#### 【0060】

スクイズ空気軸受 10 において、軸方向の最大振幅がスクイズ空気軸受 200 に対し向上（略 3% 増加）しているのは、 piezo 素子 16 をホーン 20 と金属ブロック 18 とで挟み込んだことにより、超音波振動子 204 とホーン 206 との接合部による振動伝達の損失がなくなったことに主に起因する。また、スクイズ空気軸受 10 において、軸方向の最大振幅に対する径方向の最大振幅の比（略 93%）が、スクイズ空気軸受 200 における軸方向の最大振幅に対する径方向の最大振幅の比（略 64%）に対し大幅に向上しているのは、ホーン 20 を機台 14 に対し直接的に拘束せず、金属ブロック 18 を介して機台 14 に固定することで、横振動伝達部 210 を機台 14 に固定したことにより生じていた径方向の振動伝達の阻害要因が排除されたことに主に起因する。

20

#### 【0061】

そして、スクイズ空気軸受 10 では、スクイズ空気軸受 200 と比較して径方向の最大振幅が増加（略 150%）したことにより、回転浮上体 12 のラジアル方向の支持剛性を向上することが実現された。具体的には、スクイズ空気軸受 200 の試作機で 1.18 N/ $\mu\text{m}$  であったラジアル方向の支持剛性が、スクイズ空気軸受 10 の試作機では、2.11 N/ $\mu\text{m}$  となり、スクイズ空気軸受 200 に対し略 79% の剛性向上が図られた。

30

#### 【0062】

以上説明したように、本発明の第 1 の実施形態に係るスクイズ空気軸受 10 では、比較例に係るスクイズ空気軸受 200 と比較して、性能を向上しながら小型化を図ることが実現された。また、スクイズ空気軸受 10 では、加振周波数を高めて波長を短くすることで、さらなる小型化が可能となる。

#### 【0063】

次に、本発明の他の実施形態について説明する。なお、上記第 1 の実施形態又は前出の構成と基本的に同一の部品・部分については、上記第 1 の実施形態又は前出の構成と同一の符号を付して説明を省略し、また図示を省略する場合がある。

40

#### 【0064】

（第 2 の実施形態）

図 4 には、第 2 の実施形態に係るスクイズ空気軸受 50 が断面図にて示されている。この図に示される如く、スクイズ空気軸受 50 は、ホーン 52 が、円筒面である支持面 42 A を有する横振動伝達部 42 に代えて、テーパ状の支持面 54 A、54 B を有する横振動伝達部 54 を有する点で、第 1 の実施形態に係るスクイズ空気軸受 10 とは異なる。以下、具体的に説明する。

50

## 【 0 0 6 5 】

横振動伝達部 5 4 は、縦振動伝達部 4 0 の下端部から径方向外向きに全周に亘って延設されており、縦振動伝達部 4 0 の下端面 4 0 A よりも上側に位置する上部 5 4 C の外周面が、径方向外側及び上側を共に向く上向き支持面 5 4 A とされると共に、縦振動伝達部 4 0 の下端面 4 0 A の下端面 4 0 A よりも下側に位置する下部 5 4 D の外周面が、径方向外側及び下側を共に向く下向き支持面 5 4 B とされている。この実施形態では、上向き支持面 5 4 A、下向き支持面 5 4 B は、それぞれ縦振動伝達部 4 0 の軸心からの平均距離（半径）が  $r/4$  とされている。

## 【 0 0 6 6 】

一方、回転浮上体 1 2 は、円筒部 4 6 に代えて円筒部 5 6 を有している。円筒部 5 6 の下向き開口端は、面取り形状とされており、上向き支持面 5 4 A と対向して該上向き支持面 5 4 A との間にスクイズ空気膜を生成し得るテーパ面 5 6 A とされている。また、円筒部 5 6 の開口端には、リング部材 5 8 が同軸的に接合されている。リング部材 5 8 の内縁形状は、下向き支持面 5 4 B と対向して該下向き支持面 5 4 B との間にスクイズ空気膜を生成し得るテーパ面 5 8 A とされている。

## 【 0 0 6 7 】

スクイズ空気軸受 5 0 における他の構成は、図示しない部分を含め、スクイズ空気軸受 1 0 の対応する構成と同じである。したがって、スクイズ空気軸受 5 0 では、小型化、支持剛性の向上（上向き支持面 5 4 A、下向き支持面 5 4 B での振幅増加）に係る作用効果は、第 1 の実施形態に係るスクイズ空気軸受 1 0 と同じである。

## 【 0 0 6 8 】

上記構成のスクイズ空気軸受 5 0 では、ピエゾ素子 1 6 に交番電圧を印加すると、ピエゾ素子 1 6 は印加電圧の周波数に応じた周波数の超音波振動を生じる。この超音波振動は、縦振動伝達部 4 0 の下端面 4 0 A からホーン 2 0 に入力され、縦振動伝達部 4 0 を軸方向に伝播し、また横振動伝達部 5 4 のポアソン効果によって振動方向が  $90^\circ$  変換されて該横振動伝達部 5 4 を径方向に伝播する。縦振動伝達部 4 0 を伝播した超音波縦振動  $V_l$  は、縦振動伝達部 4 0 の上端面 4 0 B に超音波振動を生じさせて回転浮上体 1 2 のテーブル部 4 8 との間にスクイズ空気膜を生成し、横振動伝達部 5 4 を伝播した超音波横振動  $V_r$  は、上向き支持面 5 4 A、下向き支持面 5 4 B に超音波振動を生じさせて回転浮上体 1 2 のテーパ面 5 6 A、5 8 A との間にそれぞれスクイズ空気膜を生成する。

## 【 0 0 6 9 】

これにより、回転浮上体 1 2 は、スラスト方向及びラジアル方向共にホーン 2 0 すなわち機台 1 4 に対し非接触で（浮上して）、自軸廻りに回転自在に支持されると共に残余の 5 自由度が拘束される。特に、スクイズ空気軸受 5 0 では、回転浮上体 1 2 は、その下向きの変位が（自由度）が上端面 4 0 B との間に生成されるスクイズ空気膜、及び上向き支持面 5 4 A とテーパ面 5 6 A との間に生成されるスクイズ空気膜によって拘束され、その上向きの変位が下向き支持面 5 4 B とテーパ面 5 8 A との間に生成されるスクイズ空気膜によって拘束される。すなわち、スクイズ空気軸受 5 0 では、回転浮上体 1 2 のスラスト方向（上側）の拘束もスクイズ空気膜によって成される。

## 【 0 0 7 0 】

（第 3 の実施形態）

図 5 には、第 3 の実施形態に係るスクイズ空気軸受 6 0 が断面図にて示されている。この図に示される如く、スクイズ空気軸受 6 0 は、ホーン 6 2 が、円筒面のみで構成された支持面 4 2 A を有する横振動伝達部 4 2 に代えて、円筒面である支持面 6 4 A の下側にテーパ状の支持面 6 4 B を有する横振動伝達部 6 4 を有する点で、第 1 の実施形態に係るスクイズ空気軸受 1 0 とは異なる。以下、具体的に説明する。

## 【 0 0 7 1 】

横振動伝達部 6 4 は、縦振動伝達部 4 0 の下端部から径方向外向きに全周に亘って延設されており、その外周面における下部を除く部分が、縦振動伝達部 4 0 の軸心からの距離（半径）が  $r/4$  とされた支持面 6 4 A である。横振動伝達部 6 4 の外周面における支持

10

20

30

40

50

面 6 4 A の下側部分は、径方向外側及び下側を共に向くテーパ状のテーパ支持面 6 4 B とされている。

【 0 0 7 2 】

一方、回転浮上体 1 2 は、円筒部 4 6 の下端近傍の内周面 4 6 A が支持面 6 4 A との間にスクイズ空気膜を生成するようになっており、この横振動伝達部 6 4 の開口端には、リング部材 6 6 が同軸的に接合されている。リング部材 6 6 の内縁形状は、テーパ支持面 6 4 B と対向して該テーパ支持面 6 4 B との間にスクイズ空気膜を生成し得るテーパ面 6 6 A とされている。

【 0 0 7 3 】

スクイズ空気軸受 6 0 における他の構成は、図示しない部分を含め、スクイズ空気軸受 1 0 の対応する構成と同じである。したがって、スクイズ空気軸受 6 0 では、小型化、支持剛性の向上（支持面 6 4 A、テーパ状の支持面 6 4 B での振幅増加）に係る作用効果は、第 1 の実施形態に係るスクイズ空気軸受 1 0 と同じである。

【 0 0 7 4 】

上記構成のスクイズ空気軸受 6 0 では、 piezo 素子 1 6 に交番電圧を印加すると、 piezo 素子 1 6 は印加電圧の周波数に応じた周波数の超音波振動を生じる。この超音波振動は、縦振動伝達部 4 0 の下端面 4 0 A からホーン 2 0 に入力され、縦振動伝達部 4 0 を軸方向に伝播し、また横振動伝達部 6 4 のポアソン効果によって振動方向が 9 0 ° 変換されて該横振動伝達部 6 4 を径方向に伝播する。縦振動伝達部 4 0 を伝播した超音波縦振動 V<sub>l</sub> は、縦振動伝達部 4 0 の上端面 4 0 B に超音波振動を生じさせて回転浮上体 1 2 のテーブル部 4 8 との間にスクイズ空気膜を生成し、横振動伝達部 6 4 を伝播した超音波横振動 V<sub>r</sub> は、支持面 6 4 A、6 4 B に超音波振動を生じさせて回転浮上体 1 2 の円筒部 4 6 の内周面 4 6 A、リング部材 6 6 のテーパ面 6 6 A との間にそれぞれスクイズ空気膜を生成する。

【 0 0 7 5 】

これにより、回転浮上体 1 2 は、スラスト方向及びラジアル方向共にホーン 2 0 すなわち機台 1 4 に対し非接触で（浮上して）、自軸廻りに回転自在に支持されると共に残余の 5 自由度が拘束される。特に、スクイズ空気軸受 6 0 では、回転浮上体 1 2 は、その下向きの変位が（自由度）が上端面 4 0 B との間に生成されるスクイズ空気膜によって拘束され、その上向きの変位がテーパ支持面 6 4 B とテーパ面 6 6 A との間に生成されるスクイズ空気膜によって拘束される。すなわち、スクイズ空気軸受 6 0 では、回転浮上体 1 2 のスラスト方向（上側）の拘束もスクイズ空気膜によって成される。

【 0 0 7 6 】

（第 4 の実施形態）

図 6（A）には、第 4 の実施形態に係る非接触支持としてのスクイズ空気リニアガイド 7 0 が横断面図にて示されており、図 6（B）には、スクイズ空気リニアガイド 7 0 が縦断面図にて示されている。これらの図に示される如く、スクイズ空気リニアガイド 7 0 は、第 2 部材又は被支持体としてのスライダ 7 2 を機台 1 4 に対し軸方向に変位可能に非接触で支持するものである点で、回転浮上体 1 2 を機台 1 4 に対し回転自在に支持するスクイズ空気軸受 1 0、5 0、6 0 とは異なる。

【 0 0 7 7 】

スクイズ空気リニアガイド 7 0 は、ホーン 7 4 を備えている。ホーン 7 4 は、軸方向を水平方向に略一致させて配置された縦振動伝達部 7 6 を備えている。縦振動伝達部 7 6 は、その軸方向両端面 7 6 A と金属ブロック 1 8 との間に piezo 素子 1 6 及び電極を挟み込んでいる。縦振動伝達部 7 6 の軸方向長さは、該縦振動伝達部 7 6 を伝播する超音波振動の波長  $\lambda$  の略  $1/2$ （ $\lambda/4$  の 2 倍）とされている。これにより、縦振動伝達部 7 6 では、軸方向中央部が超音波振動の腹位置となり、軸方向の各端面 7 6 A がそれぞれ超音波振動の節位置となる構成である（図 6（A）の超音波縦振動 V<sub>l</sub> 参照）。

【 0 0 7 8 】

そして、ホーン 7 4 は、縦振動伝達部 7 6 における上記超音波振動の節となる位置すな

10

20

30

40

50

わち軸方向両端部から、径方向に張り出した張出部としての横振動伝達部 78 を有する。横振動伝達部 78 は、図 6 ( B ) 及び図 7 に示される如く、軸方向視で略正方形に形成されている。横振動伝達部 78 の外周面は、支持面 78 A とされている。この実施形態では、縦振動伝達部 40 の軸心から横振動伝達部 78 の外周面までの平均距離が略  $\lambda/4$  とされている。ホーン 74 の横振動伝達部 78 は、第 1 の実施形態における横振動伝達部 42 と同様に、軸方向両端面 76 A に対し軸方向の両側に位置する幅を有する。

【 0079 】

また、スクイズ空気リニアガイド 70 では、それぞれ水平に配置された各金属ブロック 18 のフランジ 36 は、支持梁 80 を介してブラケット 82 に支持されており、ブラケット 82 が機台に固定されている。

10

【 0080 】

スライダ 72 は、矩形筒状に形成されており、支持面 78 A の各面と所定間隔をもって対向し得るように形成されている。この実施形態では、図 6 ( B ) に示される如く、スライダ 72 は、一对の側壁部材 84 の上端間を天板部材 86 にて架け渡すと共に、一对の側壁部材 84 の下端間を底板部材 88 にて架け渡して構成されている。

【 0081 】

上記構成のスクイズ空気リニアガイド 70 では、軸方向両側のピエゾ素子 16 を同期して駆動すると、ホーン 74 の縦振動伝達部 76 には軸方向に超音波振動が伝播し、各軸方向両端面 76 A はこの超音波引導の節位置となる。ホーン 74 の各横振動伝達部 78 は、この超音波振動による変形に伴いポアソン効果によって該超音波振動の伝播方向を  $90^\circ$  変換し、支持面 78 A に超音波振動を生じさせる。すると、支持面 78 A とスライダ 72 ( 一对の側壁部材 84 、天板部材 86 、底板部材 88 ) の内面との間にはスクイズ空気膜が生成され、スライダ 72 は、非接触で、機台 14 に対する軸方向の移動が許容されると共に残余の 5 自由度が拘束される。

20

【 0082 】

ここで、スクイズ空気リニアガイド 70 では、ホーン 74 の軸方向両端面 76 A にピエゾ素子 16 が生じた超音波振動が直接的に入力されるため、軸方向の寸法が大幅に短縮された。そして、スクイズ空気リニアガイド 70 では、縦振動伝達部 76 の軸方向に沿った長さが、該縦振動伝達部 76 を軸方向に伝播する超音波振動の波長  $\lambda$  の略  $1/2$  であるため、超音波振動の節を 2 つ有しながら、略 1 波長程度 (  $\lambda/2$  と同等 ) に短くした構成が実現された。これにより、軸方向に離間した 2 箇所に支持面 78 A ( 横振動伝達部 78 ) を設け、スライダ 72 を安定して軸方向に移動可能に支持することができる。しかも、ピエゾ素子 16 からの超音波振動が直接的に入力されるホーン 20 は、超音波振動の損失 ( 減衰等 ) が少なく、該超音波振動を効率的に上端面 40 B 、支持面 42 A まで伝播することができる。

30

【 0083 】

さらに、スクイズ空気リニアガイド 70 では、ホーン 74 の径方向の超音波放射面である支持面 78 A が径方向に張り出した横振動伝達部 78 の外周面とされているため、ポアソン効果により径方向に伝播する超音波振動が他の部分 ( 2 つの横振動伝達部 78 間の部分 ) との干渉等を受けることがなく、支持面 78 A での振幅を大きくすることができる。特に、縦振動伝達部 76 における上記した節位置である軸方向の各端面 76 A から径方向外側延設された各横振動伝達部 78 は、該節位置から超音波振動が伝わるので、支持面 78 A の径方向の振幅が大きくなりやすく、しかも、縦振動伝達部 76 の軸心から 78 A までの平均長さが略  $\lambda/4$  に設定されているので、該支持面 78 A における径方向の振幅をほぼ最大化した ( 理論上の最大値に近づけた ) 構成が実現された。また、支持面 78 A は、その軸方向に沿った幅の範囲に縦振動伝達部 78 における上記した節位置である端面 76 A が含まれる構成であるため、径方向の振幅が大きい部分の面積が確保されている。

40

【 0084 】

またここで、スクイズ空気リニアガイド 70 では、金属ブロック 18 に設けたフランジ 36 が複数の支持梁 80 及びブラケット 82 を介して機台 14 に支持されているため、換

50

言すれば、ホーン74が機台14に対する非拘束状態で16から加振を受けるため、ピエゾ素子16からの超音波振動が支持面78Aに効率的に伝播される。特に、金属ブロック18は、ブロック本体32の上端面32Aに沿って延設されたフランジ36において機台14に固定されているので、超音波振動が機台14を介して機外に伝達されることが防止される。

#### 【0085】

以上により、スクイズ空気リニアガイド70では、装置の小型化が図られ、超音波振動の減衰等による損失が少ないのでエネルギー効率がよく、支持剛性が高いといった効果が得られる。これらの点につき、図12(A)及び図12(B)に示す比較例に係るスクイズ空気リニアガイド300と比較しつつ補足する。

10

#### 【0086】

先ず、図12に示すスクイズ空気リニアガイド300について説明すると、スクイズ空気リニアガイド300は、2つのボルト締めランジュバン型の超音波振動子204が軸方向の両端にそれぞれに接合されたホーン302を備える。ホーン302は、縦振動伝達部304の長さが該縦振動伝達部304を軸方向に伝播する超音波振動の波長と同等とされており、縦振動伝達部304は、軸方向の両端面304A及び中央部で超音波振動の腹を生じ、軸方向の両端面304Aからの軸方向の距離が略 $\frac{1}{4}$ の位置で超音波振動の節を生じる。縦振動伝達部304における上記した振動の節が生じる軸方向位置部からは、軸方向で略正方形に形成された横振動伝達部306が径方向外向きに延設されており、横振動伝達部306外周面は、超音波振動することでスライダ72との間にスクイズ空気膜を生成する支持面306Aとされている。縦振動伝達部304の軸心から支持面306Aまでの平均距離は、上記波長の略 $\frac{1}{4}$ とされている。また、横振動伝達部210は、複数の支持梁80及びブラケット82を介して機台14に固定的に支持されている。複数の支持梁80は、それぞれ一部が306に設けられた孔306Bに挿入され、自由端80Aが例えばビス止めによって孔底壁306Cに固着されている。したがって、比較例に係るスクイズ空気リニアガイド300においても、非接触でスライダ72を機台14に対し軸方向の変位(スライド)可能にかつ残余の5自由度を拘束するように支持することができる。

20

#### 【0087】

ところで、このスクイズ空気リニアガイド300では、一対の超音波振動子204と、縦振動伝達部304の軸方向長さがであるホーン302とを軸方向に直列して接合することで構成されているので、その全長が縦振動伝達部304を軸方向に伝播する超音波振動の略2波長分となる。これに対してスクイズ空気リニアガイド70では、ピエゾ素子16をホーン74と金属ブロック18とで挟み込むため、縦振動伝達部76の軸方向長さを $\frac{1}{2}$ としてホーン74を短縮し、また縦振動伝達部304との接合側の金属ブロック202に相当する部品が不要となり、さらに金属ブロック18の軸方向長さは $\frac{1}{4}$ 以下にすることができるので、スクイズ空気リニアガイド300と比較して軸方向長さを大幅に短縮することができた。

30

#### 【0088】

また、スクイズ空気リニアガイド70では、超音波振動子204と縦振動伝達部304との接合部に相当する振動伝達障害部が存在しないので、ピエゾ素子16からホーン74に効率よく超音波振動が伝達される。そして、金属ブロック18において機台14に支持されるスクイズ空気リニアガイド70では、横振動伝達部78すなわちホーン74が機台14に対する非拘束状態でピエゾ素子16から加振を受けるので、横振動伝達部306において機台14に支持されるスクイズ空気リニアガイド300のように径方向振動の伝播が阻害されることがなく、支持面78Aの径方向振幅を支持面306Aの径方向振幅と比較して大幅に増加することができる。これにより、スクイズ空気リニアガイド70では、スクイズ空気リニアガイド300と比較してスライダ72の支持剛性が向上する。

40

#### 【0089】

以上説明したように、本発明の第4の実施形態に係るスクイズ空気リニアガイド70で

50

は、比較例に係るスクイズ空気リニアガイド 300 と比較して、性能を向上しながら小型化を図ることが実現された。また、スクイズ空気リニアガイド 70 では、加振周波数を高めて波長を短くすることで、更なる小型化が可能となる。

【0090】

(第5の実施形態)

図8には、第5の実施形態に係るスクイズ空気リニアガイド90が断面図にて示されている。この図に示される如く、スクイズ空気リニアガイド90は、被支持体としてのスライダ92がスライダ72に対し軸方向に短く、ホーン94が1つの横振動伝達部78を有する点で、第4の実施形態に係るスクイズ空気リニアガイド70とは異なる。以下、具体的に説明する。

10

【0091】

スライダ92の軸方向長さは、スライダ72の軸方向長さに対し略半分とされている。ホーン94は、軸方向を水平方向に一致させた縦振動伝達部40の一端面40Aから横振動伝達部78が径方向に延設されて構成されている。ホーン94では、軸方向において横振動伝達部78の幅の範囲内に一端面40Aが位置するように、横振動伝達部78の軸方向一端側の一部がピエゾ素子16を外周側から覆っている。スクイズ空気リニアガイド90の他の構成は、スクイズ空気リニアガイド70の対応する構成と同じである。

【0092】

したがって、スクイズ空気リニアガイド90では、基本的にスクイズ空気リニアガイド70と同様の作用によって同様の効果を得ることができる。スクイズ空気リニアガイド90について補足すると、スクイズ空気リニアガイド90では、ホーン94の縦振動伝達部40の軸方向長さが略  $1/4$  であり、軸方向の一端面40Aのみがピエゾ素子16から加振される構造であるため、金属ブロック18、ピエゾ素子16、及びホーン94を軸方向に直列下部分の全長が略  $1/2$  とすることができた。スクイズ空気リニアガイド90は、スクイズ空気リニアガイド70と比較して小型のワークや試料を取り扱う用途に適する。

20

【0093】

(第6の実施形態)

図9には、第6の実施形態に係るスクイズ空気ガイド100が断面図にて示されている。この図に示される如く、スクイズ空気ガイド100は、被支持体としての浮上体102を自軸廻りの回転及び軸方向の変位(スライド)可能に支持し、残余の4自由度を拘束する点で、第1の実施形態に係るスクイズ空気軸受10、第5の実施形態に係るスクイズ空気リニアガイド90とは異なる。

30

【0094】

スクイズ空気ガイド100は、回転浮上体12に代えて浮上体102を備える以外はスクイズ空気軸受10と同様に構成されており、浮上体102は、回転浮上体12の円筒部46と同様に、すなわち、上端面40Bとの間にスラスト方向の支持用のスクイズ空気膜を生成させるためのテーブル部48を備えずに構成されている。これにより、浮上体102は、自軸廻りの回転及び軸方向の変位が許容される。

【0095】

このスクイズ空気ガイド100では、小型化、支持剛性の向上(支持面42Aでの振幅増加)に係る作用効果は、第1の実施形態に係るスクイズ空気軸受10と同じである。なお、スクイズ空気ガイド100は、金属ブロック18を支持梁80、ブラケット82を介して機台14に対し固定することで、ホーン20の軸方向を水平方向に一致させて配置しても良い。

40

【0096】

(第7の実施形態)

図10には、第7の実施形態に係るスクイズ空気球面ジョイント110が断面図にて示されている。この図に示される如く、スクイズ空気球面ジョイント110は、被支持体としての浮上体112を自軸廻りの球面運動(3自由度の回転)可能に支持し、残余の3自由度を拘束するためのホーン114を備える点で、第1の実施形態に係るスクイズ空気軸

50

受10とは異なる。

【0097】

浮上体112は、少なくとも内面が球面とされており、この実施形態では、略半球殻状に形成されている。ホーン114は、縦振動伝達部116が、下端面116Aと金属ブロック18との間に piezo素子16及び電極を挟み込んでいる。縦振動伝達部116の上端面は、浮上体112の内面に対応する球面に形成された支持面116Bとされている。また、ホーン114は、縦振動伝達部116の下端から径方向に延設された横振動伝達部118を備えている。横振動伝達部118の外周面は、浮上体112の内面に対応する球面とされた支持面118Aとされている。この実施形態では、支持面116B、118Aは、縦振動伝達部40の下端面40Aにおける軸心を中心とする互いに同心の球面とされている。また、ホーン114では、縦振動伝達部116の下端面116Aから支持面116Bまでの平均距離が  $r/4$  とされ、横振動伝達部118の平均直径が  $r/2$  とされている。

10

【0098】

スクイズ空気球面ジョイント110の他の構成は、スクイズ空気軸受10の対応する構成と同じである。したがって、このスクイズ空気球面ジョイント110では、小型化、支持剛性の向上（支持面118Aでの振幅増加）に係る作用効果は、第1の実施形態に係るスクイズ空気軸受10と同じである。

【0099】

上記構成のスクイズ空気球面ジョイント110では、piezo素子16に交番電圧を印加すると、piezo素子16は印加電圧の周波数に応じた周波数の超音波振動を生じる。この超音波振動は、縦振動伝達部116の下端面116Aからホーン20に入力され、縦振動伝達部116を軸方向に伝播し、また横振動伝達部118のポアソン効果によって振動方向が90°変換されて該横振動伝達部118を径方向に伝播する。縦振動伝達部116を伝播した超音波振動は、縦振動伝達部116の支持面116Bに超音波振動を生じさせて浮上体112の内面との間にスクイズ空気膜を生成し、横振動伝達部54を伝播した超音波振動は、支持面118Aに超音波振動を生じさせて浮上体112の内面との間にそれぞれスクイズ空気膜を生成する。これにより、浮上体112は、ホーン114すなわち機台14に対し非接触で（浮上して）、3自由度の回転すなわち球面運動自在に支持されると共に残余の3自由度が拘束される。

20

30

【0100】

なお、上記した各実施形態では、スクイズ空気軸受10、50、60、スクイズ空気リニアガイド70、90、スクイズ空気ガイド100、スクイズ空気球面ジョイント110を構成するホーンが縦振動伝達部40から径方向に張り出した横振動伝達部を有する例を示したが、本発明はこれに限定されず、例えば、縦振動伝達部の外周面を径方向に超音波振動する支持面としても良い。したがって、縦振動伝達部の断面形状は、円形に限定されることはなく、用途（運動を許容する自由度）に応じた形状を採ることができる。

【0101】

また、上記した各実施形態では、軸方向において横振動伝達部42の幅方向の範囲内にpiezo素子16の加振面（縦振動伝達部40の下端面40A等）が位置する好ましい例を示したが、本発明はこれに限定されず、例えば、横振動伝達部42の下面42B等をpiezo素子16による加振面（縦振動伝達部40の下端面40A）と面一に形成しても良い。

40

【0102】

さらに、上記した各実施形態では、起振体としてpiezo素子を備えた例を示したが、本発明はこれに限定されず、超音波振動を生じ得る（ホーンを加振し得る）各種起振体を採用することができる。

【0103】

さらにまた、上記した各実施形態では、被支持部材を非接触で支持する機台14側にpiezo素子16及びホーンを設けた例を示したが、本発明はこれに限定されず、例えば、被支持体側に超音波振動の発生源（起振体等）を設けても良い。

50



## 【図面の簡単な説明】

【0104】

【図1】本発明の第1の実施形態に係るスクイズ空気軸受の全体構成を示す断面図である。

【図2】本発明の第1の実施形態に係るスクイズ空気軸受の寸法を示す断面図である。

【図3】(A)は、本発明の第1の実施形態に係るスクイズ空気軸受の駆動周波数に対する出力振幅の実験結果を示す線図、(B)は、比較例に係るスクイズ空気軸受の駆動周波数に対する出力振幅の実験結果を示す線図である。

【図4】本発明の第2の実施形態に係るスクイズ空気軸受を示す断面図である。

【図5】本発明の第3の実施形態に係るスクイズ空気軸受を示す断面図である。

10

【図6】本発明の第4の実施形態に係るスクイズ空気リニアガイドを示す断面図である。

【図7】本発明の第4の実施形態に係るスクイズ空気リニアガイドを構成するホーンの斜視図である。

【図8】本発明の第5の実施形態に係るスクイズ空気リニアガイドを示す断面図である。

【図9】本発明の第6の実施形態に係るスクイズ空気ガイド100を示す断面図である。

【図10】本発明の第4の実施形態に係るスクイズ空気球面ジョイント110を示す断面図である。

【図11】本発明の第1の実施形態との比較例に係るスクイズ空気軸受を示す断面図である。

【図12】本発明の第4の実施形態との比較例に係るスクイズ空気リニアガイドを示す断面図である。

20

## 【符号の説明】

【0105】

10 スクイズ空気軸受（非接触支持装置）

12 回転浮上体（第2部材）

14 機台

16 ピエゾ素子（起振体、圧電素子）

18 金属ブロック（第1部材）

20 ホーン（第3部材）

36 フランジ

30

40 縦振動伝達部（第3部材）

40A 下端面（第3部材の一端面）

40B 上端面（第3部材の他端面）

42 横振動伝達部（張出部）

42A 支持面

50 スクイズ空気軸受（非接触支持装置）

52 ホーン（第3部材）

54 横振動伝達部（張出部）

54A 上向き支持面（支持面）

54B 下向き支持面（支持面）

40

60 スクイズ空気軸受（非接触支持装置）

62 ホーン（第3部材）

64 横振動伝達部（張出部）

64A 支持面

64B 支持面

70 スクイズ空気リニアガイド（非接触支持装置）

72 スライダ（第2部材）

74 ホーン（第3部材）

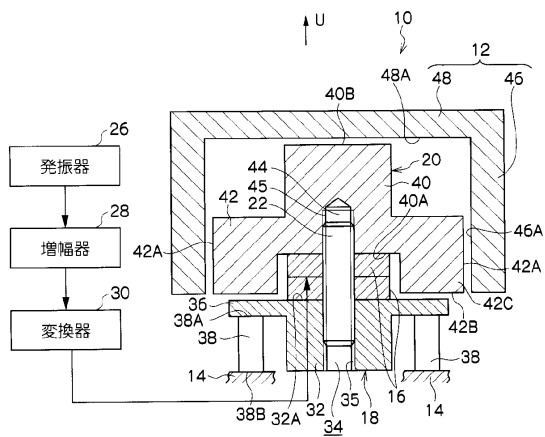
76 縦振動伝達部（第3部材）

76A 端面（第3部材の一端面）

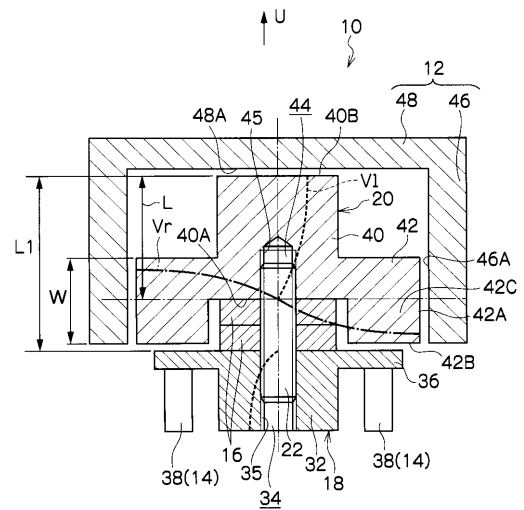
50

- 7 8 横振動伝達部（張出部）
- 7 8 A 支持面
- 9 0 スクイズ空気リニアガイド（非接触支持装置）
- 9 2 スライダ（第 2 部材）
- 9 4 ホーン（第 3 部材）
- 1 0 0 スクイズ空気ガイド（非接触支持装置）
- 1 0 2 浮上体（第 2 部材）
- 1 1 0 スクイズ空気球面ジョイント（非接触支持装置）
- 1 1 2 浮上体（第 2 部材）
- 1 1 4 ホーン（第 3 部材）
- 1 1 6 縦振動伝達部（第 3 部材）
- 1 1 6 A 下端面（第 3 部材の一端面）
- 1 1 6 B 支持面（第 3 部材の他端面）
- 1 1 8 横振動伝達部（張出部）
- 1 1 8 A 支持面

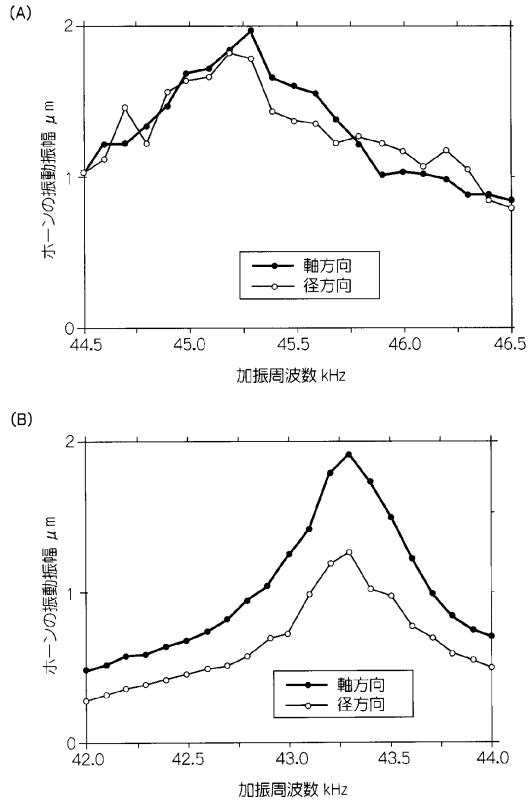
【 図 1 】



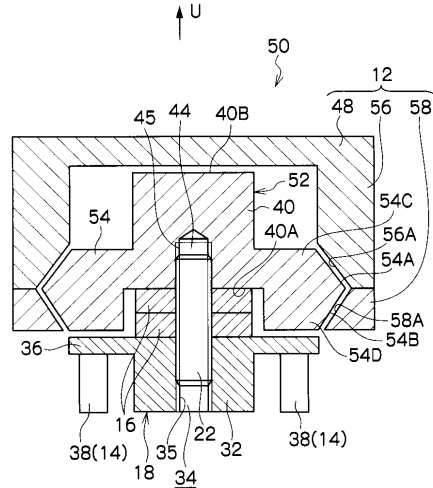
【 図 2 】



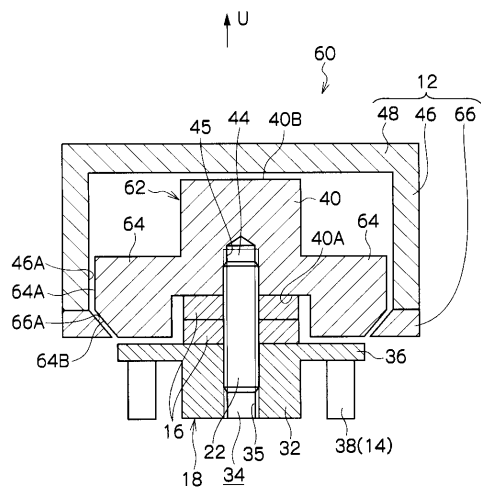
【図3】



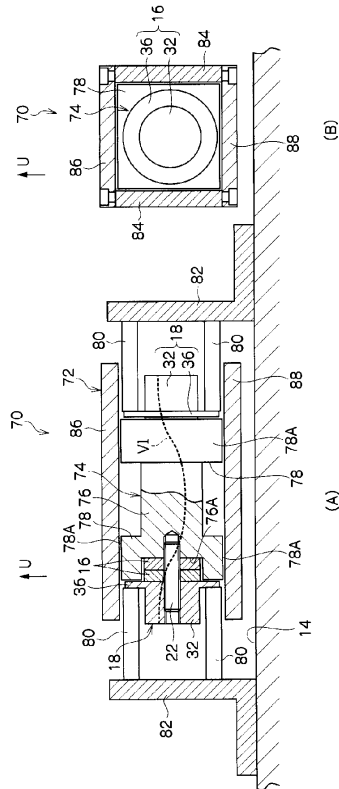
【図4】



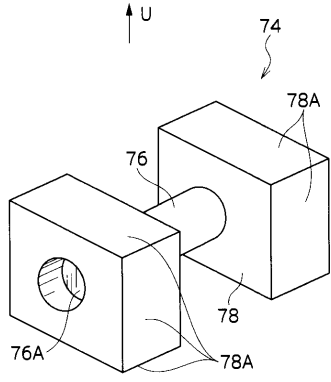
【図5】



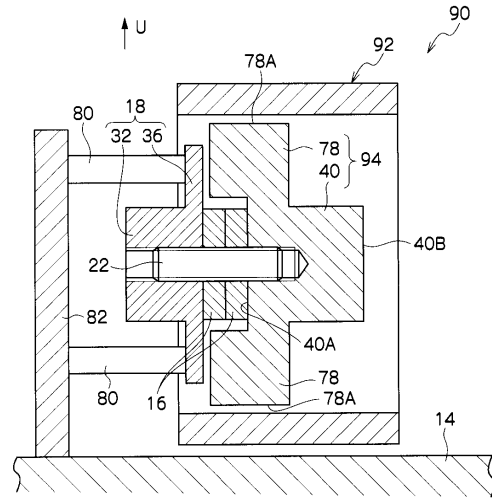
【図6】



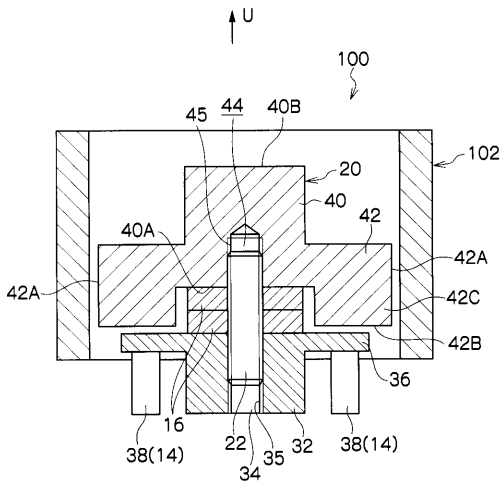
【図7】



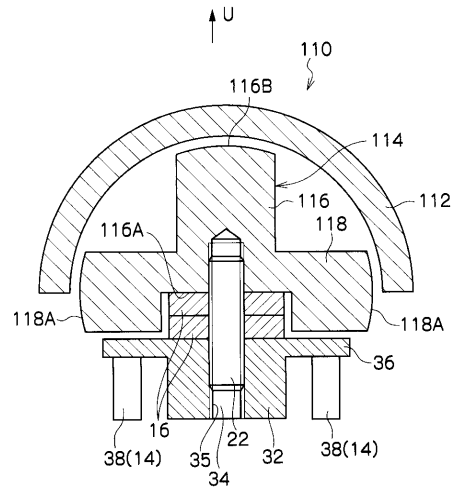
【図8】



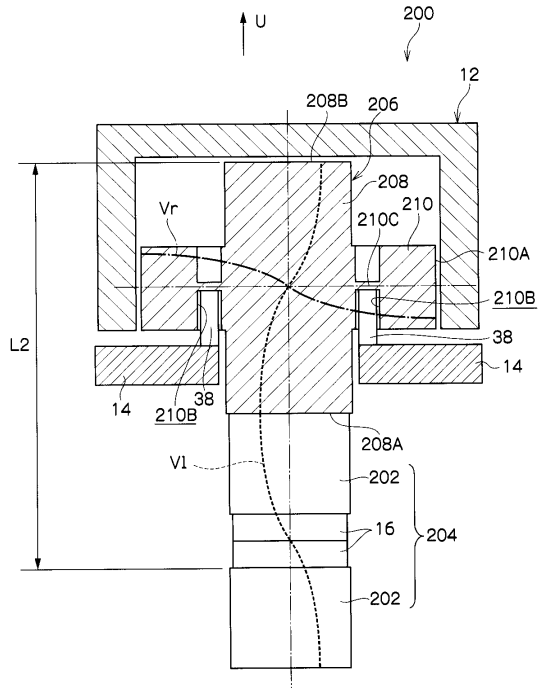
【図9】



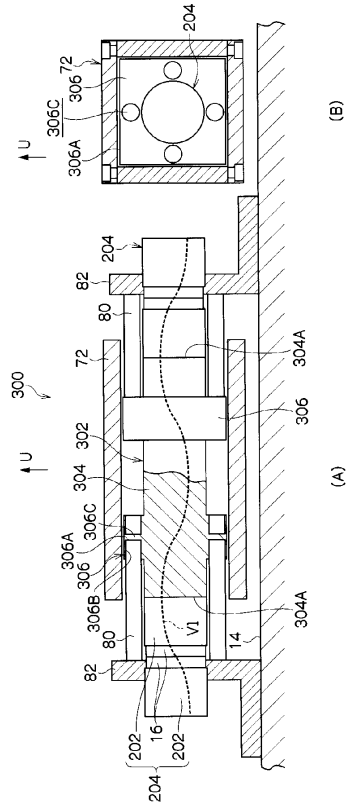
【図10】



【図 1 1】



【図 1 2】



---

フロントページの続き

審査官 久保 克彦

(56)参考文献 特開2006-084018(JP,A)  
特開平02-292517(JP,A)  
特開昭62-255613(JP,A)  
特開昭61-059018(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
F16C 32/06  
F16C 11/08  
F16C 29/02