

超音波振動を用いたアクティブエアベアリング 振幅変調を用いた位置決めと回転型軸受の試作

静岡大学 大岩 孝彰, 市村 誠, 野原 賢治

1. 緒 言 近年, 案内要素の高精度化の要求はますます高くなっている。そこで, 機械式軸受や静圧軸受の軸の振れ回りを能動的に制御し, 回転精度と剛性を向上させるアクティブベアリングの研究が行われている^{1)~3)}。一方従来より, 軸受面を高周波振動させた際に生じるスクイズ効果を応用した空気軸受が研究され⁴⁾, 積層型圧電素子を用いた案内面も提案されている^{5)~7)}。しかし振動周波数は数百 Hz ~ 数 kHz と低く, 軸に残留振動が発生する問題があった。そこで, 本研究では軸受面を超音波領域の周波数で振動させることにより残留振動を低減させ, 同時に回転中の軸の心振れ・姿勢の制御を能動的に行う新しい軸受の基礎的研究を行う。既報^{8)~10)}では, 残留振動がほぼ消滅すること, 浮上と位置の制御が行えることがわかった。本報では浮上物体の精密位置決めを行った結果と回転型の軸受の試作結果を報告する。

2. 原 理 原理図を図 1 に示す。超音波振動子に浮上用高周波信号 (正弦波) を印加し, スクイズ空気膜を発生させ, 物体を浮上させる。このとき浮上物体には加振周波数と同じ振動数を持つ微小な残留振動が生ずるが, 加振周波数を超音波領域とすることで, 加振振幅の数百分の 1 のレベルに減少させることが可能である⁽⁴⁾⁽⁸⁾。そして, 浮上物体の平均浮上量は振動面の振幅の大きさにほぼ比例するので, 位置決め制御用信号を用いて加振信号の振幅を変調すれば, 浮上物体の位置決めを行うことができる。

3. 1 自由度位置決め実験 実験装置の概要を図 2 に示す。アルミ製ホーンの端面を, ボルト締めランジュバン型超音波振動子で上下方向に振動させる。浮上物体は SS 材の平板を平面研削したものであり, ポリエステルフィルムで水平方向から支えた。浮上物体の変位は光ファイバ型変位計で記録する。同時にもう一本の変位計を位置決め用フィードバックセンサとして用いた。まず, 4 μm のインディシャル応答実験の結果測定時間は 0.2 s 程度であり, 定常状態での位置偏差も小さく, 安定して浮上していた。次にステップ位置決めを行った結果を図 3 に示す。これらの図から分解能が変位計のノイズレベル (30 nmp-p) と同等となっていることがわかる。

4. 円すい面を持つ空気軸受 実験装置の概要を図 4 に示す。円盤状のセラミックス製圧電素子の外周を算盤珠のような形状に研削加工した。共振周波数は 23.80 kHz であり, 振動面の振動振幅は最大 3.7 μm 程度である。回転体は SUS 材を用いて二つ割り構造とし, 円すい内面は研削加工した。上部には基準球を取り付け, 光ファイバ変位計により半径・軸方向の振れを測定した。回転部全体の質量は, 320 g 程度となった。

まず回転体を浮上させ, 静かに回転させて軸方向の振れを 5 回転にわたって測定した結果を図 5 に示す。回転誤差は 0.50 $\mu\text{m-p}$ であり, 振動子や回転体の円すい面の真円度と比較して良好な結果となり, 空気膜による精度平均化効果が現れている。この回転誤差の平均値を測定値から減じたものを非繰返し回転誤差 (NRRO) とすると, 0.33 $\mu\text{m-p}$ (0.05 μm) であり, ニアレンジ ($\pm 15 \mu\text{m}$) で用いた変位計のノイズレベル 0.16 $\mu\text{m-p}$ (0.027 μm) の倍程度であった。しかし半径方向の回転誤差は 72 $\mu\text{m-p}$ と大きく, これは基準球が回転体よりも 30 mm 上方にあるため, 回転体の姿勢変動によって変位が拡大されたものと推察される。同様に NRRO は 8.9 $\mu\text{m-p}$ (1.2 μm) となった。このときの変位計のノイズレベル (ファレンジ) は 3 $\mu\text{m-p}$ と大きい, 繰返し回転誤差に対して NRRO は比較的小さいといえる。

5. 結 言 超音波振動によるスクイズ空気膜を用いて物体の浮上と位置決めを行った。さらに回転型の軸受を試作した。

参考文献

- 1) T. G. Bifano and T. A. Dow, Optical Engineering, 24, 5 (1985) 888.
- 2) 野村武彦他 2 名, 精密工学会誌, 53, 7 (1987) 1104.
- 3) 渡辺一郎他 2 名, 精密工学会誌, 54, 2 (1988) 329.
- 4) 例えば, 小野京右, 潤滑, 21, 9 (1976) 589.
- 5) 吉本成香他 1 名, トライボロジスト, 36, 7 (1991) 543.
- 6) 吉本成香他 1 名, 精密工学会誌, 58, 3 (1992) 527.
- 7) 磯部浩他 2 名, 精密工学会誌, 65, 3 (1999) 438.
- 8) 大岩他 2 名, 日本機械学会第 75 期通常総会講演会講演論文集 (), (1998) 250.
- 9) 大岩他 1 名, 日本機械学会電磁力関連のグ'イミクスシ'ン'グ'ム講演論文集 (2001)

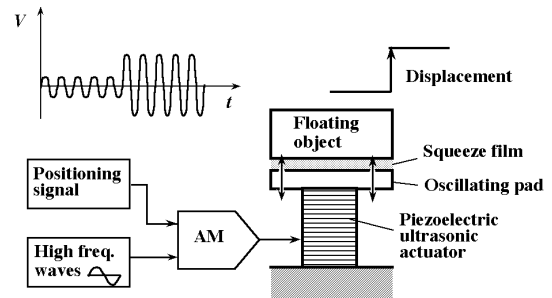


Fig. 1 Principle of active air bearing based on squeeze film generated by ultrasonic actuator

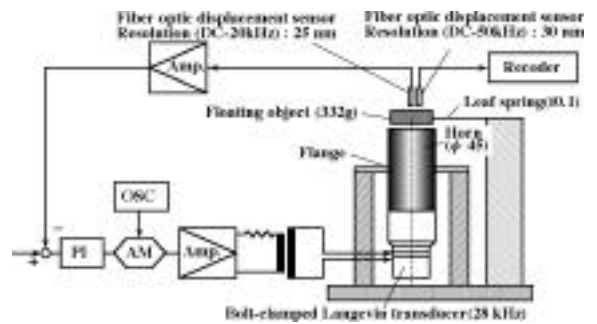


Fig. 2 Experimental setup with Langevin ultrasonic transducer for fine positioning

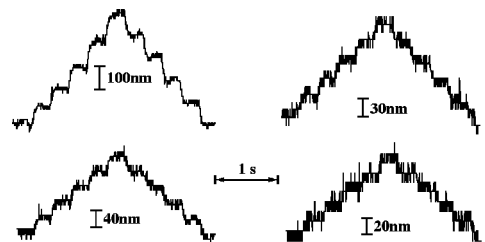


Fig. 7 100 nm, 40 nm, 30 nm and 20 nm step responses

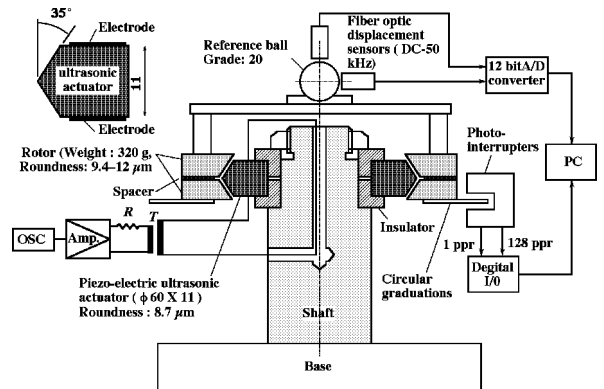


Fig. 4 Experimental setup of rotational air bearing using ultrasonic actuator

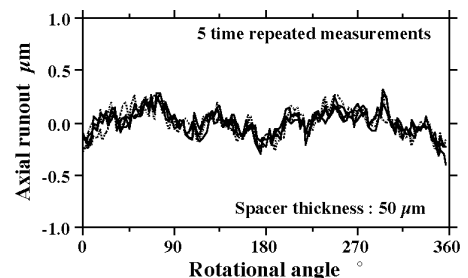


Fig. 5 Axial runout during rotation