

○保科壮希, 青柳学 (室蘭工大・院) 田村英樹, 高野剛浩 (東北工大)

要旨

円環振動子で構成されるステータと正方形放射板による近距離場音波浮揚を利用して板状物体の浮揚を実現した。また、円環振動子は内外径比の調節により、片持ち支持が容易な縮退振動モードを得られ、同一基盤上に密にアレイ状に設置できる。隣接するステータの振動振幅に差を設けることで板状物体の2次元非接触搬送を実現した。本報は2次元非接触搬送装置の動作原理と試作結果を報告する。

1 はじめに

超音波振動子の振動平面上で板状物体が浮揚する現象(近距離場音波浮揚)は、液晶ガラス基板などの薄板の非接触搬送への応用が研究されてきた^[1]。

筆者らは、平板屈曲振動子を平面内に密に配置すると、搬送方向の振動子幅より僅かに大きい板状物体が、浮揚しながら振動振幅が大きい方の振動子へ乗り継いで、ステップ状に搬送されることを見出している^[2]。

本報告では、板状物体の2次元非接触搬送を行うため、水平面内に2次元に配置されたステータを試作した結果を報告する。

2 動作原理

2.1 近距離場音波浮揚

Fig. 1 に浮揚物体に働く力を示す。振動板と浮揚物体の間に音場が形成され、浮揚物体の上下における音波のエネルギー密度差によって浮揚物体に働く音響放射圧が浮揚力となる^[3]。同時に浮揚物体と振動板の間には音響流が発生し、浮揚物体底面および周辺に水平方向に働く音響粘性力が保持力となり、浮揚物体が振動板上に保持されると考えられる^[4]。

2.2 搬送原理

Fig. 2 に示すように隣接配置されたステータの振動振幅に差を与えることにより、浮揚物体がステータを乗り継ぎ搬送される。搬送手順を以下に示す^[2]。

- 1) ステータ上に浮揚物体を保持させる。
- 2) 搬送先ステータの振動振幅を増大させ、そのステータ上に浮揚物体を搬送し保持する。
- 3) 浮揚、保持を維持できる程度まで振動振幅を減少させる。

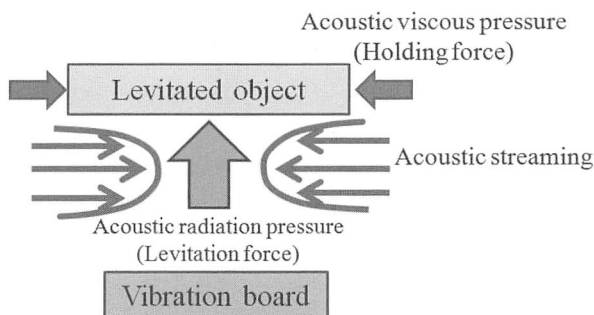


Fig. 1 Forces around levitated object.

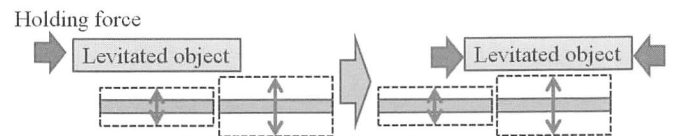


Fig. 2 Operating principle of noncontact stepping transportation.

3 装置構成

3.1 円環振動子

円環振動子の非軸対称((1,1))振動モードと径方向伸縮振動モードを内外径比 0.27 近傍で縮退すると、円環の外周付近に振動の節が生じる^{[5][6]}。実験に用いた円環振動子の形状は外径 20 mm、内径 5 mm、内外径比 0.25、厚み 3 mm であり、共振周波数は 91 kHz であった。外周上の振動の節部において振動を抑制せずに振動子の片持ち支持が可能である。また、同一基盤上に配置された際に、隣接するステータ間の振動の干渉を抑制することができる。

3.2 ステータ

Fig. 3 および Fig. 4 に試作したステータおよびステータのアドミタンス特性を示す。上部の振動板、中央の円環振動子、下部の支持部品が縦方向の接着のみで構成されるため、同様のステータを密に隣接することが可能である。共振周波数は 89 kHz であった。最終的には Fig. 5 に示すように 9 つのステータを配置し、2次元非接触搬送を行う。

振動板(アルミ合金 A2017, 19×19×0.5mm³)には正方形屈曲振動板の格子モードを利用する。励振時のクラドニの砂図を Fig. 6 上部に示す。

同図に示す振動板およびステータが隣接する地点における基盤上の振動振幅を測定した結果、振動板の振動振幅に対し、基盤の振動振幅は 1/100 程度の値となり、隣接するステータへ伝わる振動が少ないことが確認できた。

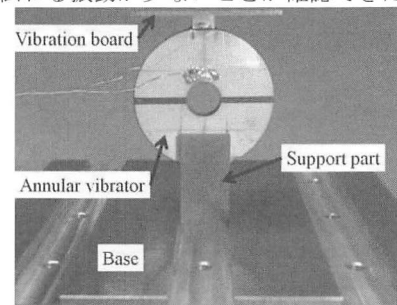


Fig. 3 Structure of stator.

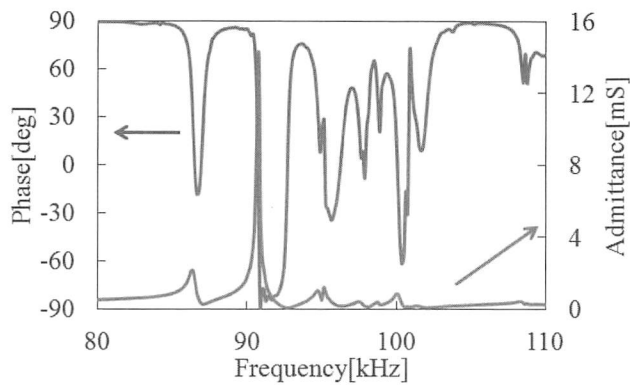


Fig. 4 Admittance characteristics of stator.

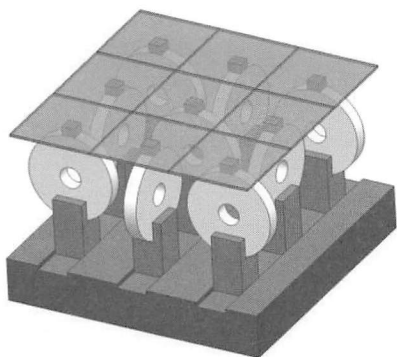


Fig. 5 Apparatus of 2-D noncontact transportation.

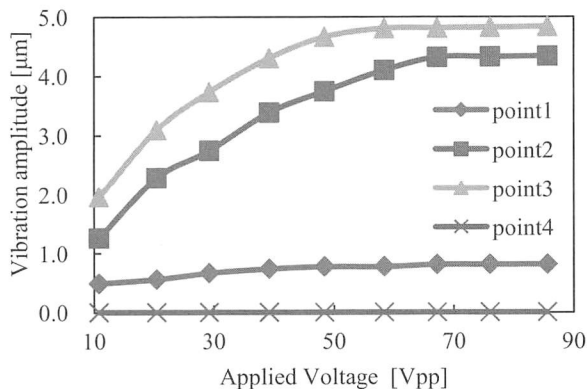
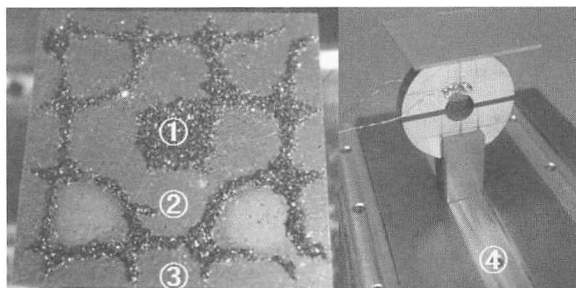


Fig. 6 Vibration amplitude at some points, ①point1, ②point2, ③point3, ④point4 on vibration board and base shown in upper pictures.

3.3 非接触搬送

Fig. 7 に示すように縦横方向にステータを 2 行 2 列に配置し、物体の 2 次元非接触搬送を試みた。

浮揚物体には OHP シート(21×21mm², 80mg)を使用した。同図の右上に配置されたステータを基点として、縦横方向への往復搬送を行った。振動振幅 2.4μm で浮揚した物体がステータ間を乗り継ぐためには搬送先のステータの振動振幅が 1.3 倍程度必要であった。また、ステータを乗り継ぐ途中で浮揚物体が回転する事例が多く見られた。浮揚物体およびステータの形状が正方形であることが姿勢保持を不安定にさせている一要因と考えられる。

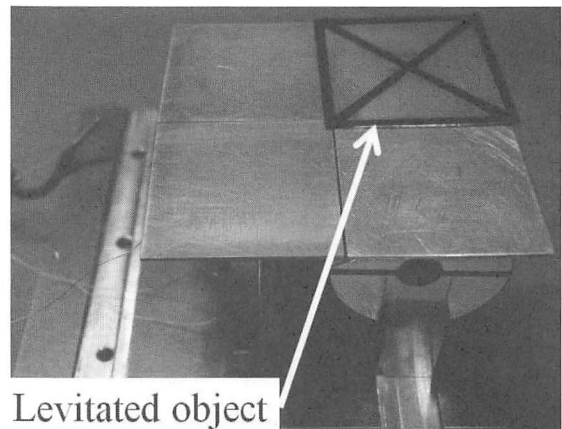


Fig. 7 Apparatus of two-dimensional noncontact transportation.

4 まとめ

2 次元に密に配置されたステータによって、物体の浮揚および 2 次元非接触搬送を実現した。今後、安定して迅速な搬送を行うため、搬送原理を解明する必要がある。また、搬送中にステータ間において浮揚物体が回転する原因を特定し、対策を検討する。

参考文献

- [1] 橋本 他, 音波浮揚を利用した非接触物質搬送, 信学技報, US93-67, 745-746, 1993.
- [2] R.Yano *et al.*, Novel Transfer Method Using Near-Field Acoustic Levitation and Its Application, Jpn. J. Appl. Phys., 50, 07HE29, 2011.
- [3] 橋本 他, 近距離場音波浮揚現象による非接触物体搬送, 音響学会誌, 53(10), 817-821, 1997.
- [4] 山崎 他, 近距離場音波浮揚における位置保持力に関する検討, 信学技報, US2002-12, 35-40, 2002.
- [5] T.Masuda *et al.*, Piezoelectric Linear Motor (R,1)-(1,1) Mode Disk Equipped with T-Type Support Jigs for Realizing its Fine Performance, Jpn. J. Appl. Phys., 43(5B), 2879-2883, 2004.
- [6] 保科他, 円環振動子の片持ち支持可能な振動モードの検討, 音講論(春), 1355-1356, 2012.