

○奥寺暁大, 青柳学 (室蘭工大・院) 田村英樹, 高野剛浩 (東北工大)

要旨

近距離場音波浮揚によって浮揚した物体は超音波振動子上に留まるような保持力を受けている。この保持力の発生原理を応用することで浮揚物体の移送, 保持をする位置制御が実現できる。しかし, ダンピングが小さく浮揚物体が目標位置に安定保持するまでに長く揺動する問題がある。本報では浮揚物体の検出位置に合わせてカウンター保持力を印加して揺動を低減する方法について提案する。

1. はじめに

超音波振動子の放射面近傍で板状物体が極僅かな距離で浮揚する現象 (近距離場音波浮揚現象) が知られている。Fig.1 に浮揚している板状物体の周囲に働く力の関係を示す。振動板の鉛直方向に音響放射圧が発生し物体を浮揚させる浮揚力として働く。また音響流の粘性により水平方向には音響粘性力が保持力として働く。この保持力は振動板の端, 定在波振動している振動板の振動節で発生し, その大きさは振動板の振動振幅に比例する。[1-3]

本研究の目的はリニア型, 直動型の非接触型超音波ステッピングモータの実現であり, 本報では浮揚物体の位置および運動を保持力により制御することについて述べる。

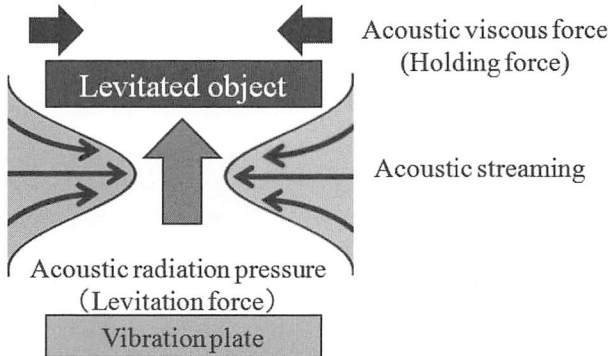


Fig.1 Forces around levitated object.

2. 位置制御

浮揚物体の移送, 保持の原理を Fig.2 に示す。個別に駆動できる振動板 (ステータ) を同一面内に一列に複数枚並べ, 隣接するステータに振動振幅差を与えることで変化する保持力により浮揚物体の位置制御を行う。[4]

- a) ステータ上に浮揚物体を浮揚させる。
- b) 浮揚物体の移送方向のステータの振動振幅を上げ保持力を変化させる。
- c) 保持力が釣り合う場所で浮揚物体が保持される。

この原理に基づいて, 異なる振動モードのステータを用いて製作した2つの装置図を Fig.3 に示す。どちらも3枚づつのステータを土台上に固定し, それぞれ個別に駆動させることで浮揚物体の移送および位置制御を行う。ステータに金剛砂を撒き, 共振駆動させた時のクラドニの砂図を Fig.4(a), (b)に示す。砂が集まっている部分が振動変位の小さい部分である。同図(a)と(b)ではステータに発生する振動節線数が異なっている。ステータの振動を抑制しないように振動節部から延びた足で支持するように設計されている。

どちらの装置でも浮揚物体の長さや振動振幅差を約 1.5 倍以上にすると原理通りに浮揚物体の移送, 保持が可能であったが浮揚物体の保持位置に違いが見られた。同図 (a) の装置で保持される位置は各ステータ中央および振動節と浮揚物体の端部が揃う位置であった。また隣接するステータ間の振動振幅が同程度の場合, 浮揚物体はステータ間に均等にまたがった状態で安定保持されることがあった。一方, 同図(b)の装置では浮揚物体は各ステータの中央でのみで保持されることが確認できた。この結果から振動節数が増えるにつれ浮揚物体に働く保持力が釣り合う位置が増えるために保持可能な位置が変化すると考えられる。

同図(a)と(b)ではステータに発生する振動節線数が異なっている。ステータの振動を抑制しないように振動節部から延びた足で支持するように設計されている。

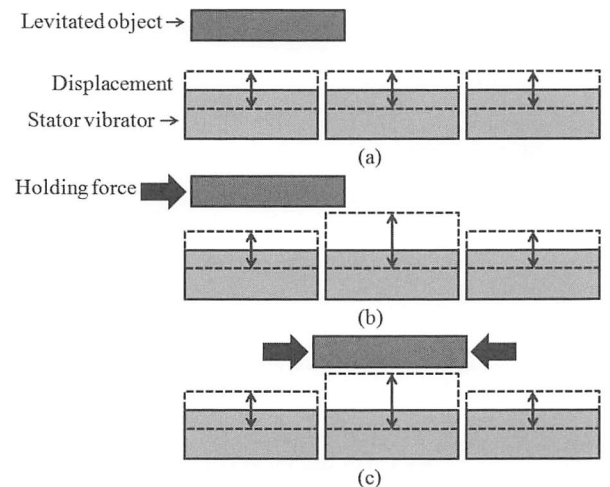


Fig.2 An operating principle of noncontact stepping transportation.

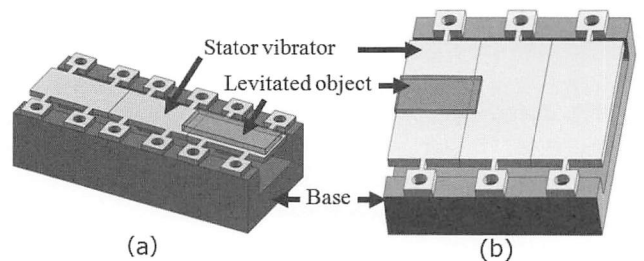


Fig.3 Two types of experimental equipments.

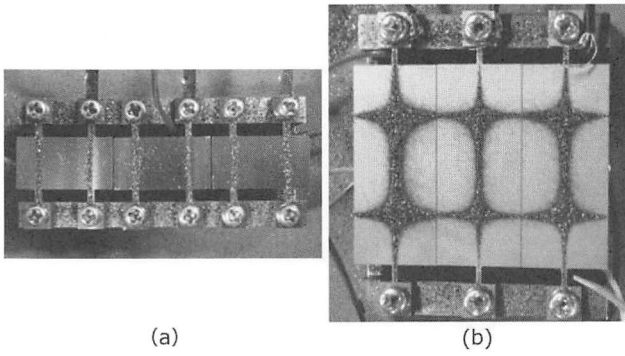


Fig.4 Chladni's sand figures of stator vibrators.

### 3. ダンピング特性

移送した浮揚物体は最終的に目標位置に静止保持されるが、ダンピングが小さいために目標位置で静止するまでに揺動を長い時間繰り返した。この現象は浮揚物体の搬送、ステッピングモータへの応用を考慮する上で改善すべき問題となる。解決策として、Fig.5に示すように目標保持位置となるステータに隣接するステータの振動振幅を操作し、浮揚物体の揺動の方向、大きさに合わせてカウンター保持力を発生させダンピングを高める方法を検討している。

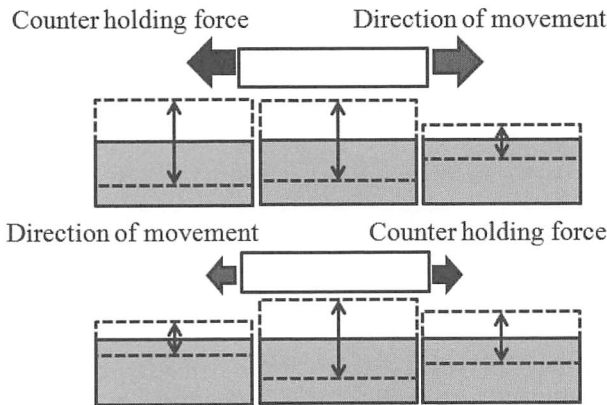


Fig.5 Damping improvement of a levitated object.

### 4. 浮揚物体のダンピング制御システム

前の方法でダンピング特性を改善するためには、浮揚物体の位置情報によって各ステータを制御する必要がある。CCDカメラによって浮揚物体の位置情報を取り込み、制御する方法を検討した。Fig.6にCCDカメラを用いた画像処理と制御を行うシステム構成図を示す。装置全体をCCDカメラで真上から撮影し、得られた画像はPCの画像処理ボードにNTSC信号で送られ、画像処理により浮揚物体の位置情報を検出する。得られた位置データと目標値を比較しPID制御によってステータ毎の制御信号を生成する。制御信号に従い各ステータの駆動回路を通して各ステータを駆動させる。

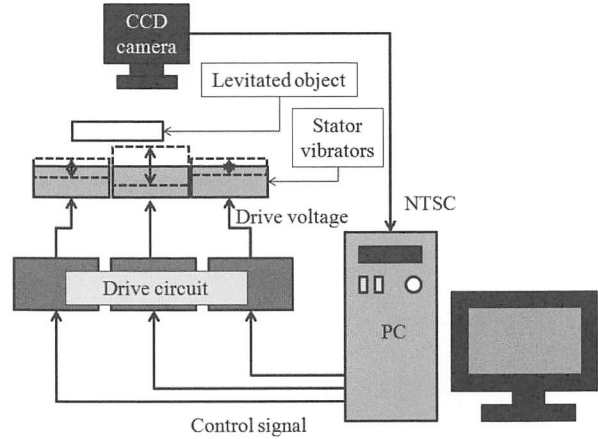


Fig.6 Position detection and control system of a levitated object.

### 5. ステータの駆動方法

リニア型の場合、多くのステータを用いると搬送距離は伸びるが、浮揚物体の移送には多くても浮揚物体周辺の3つのステータの駆動で良い。したがって、Fig.7に示すように浮揚物体の位置に応じて駆動対象を切り換えていけば、少ない駆動回路で長距離搬送できる。回転型の場合はVRステッピングモータと同様に相駆動を行う。

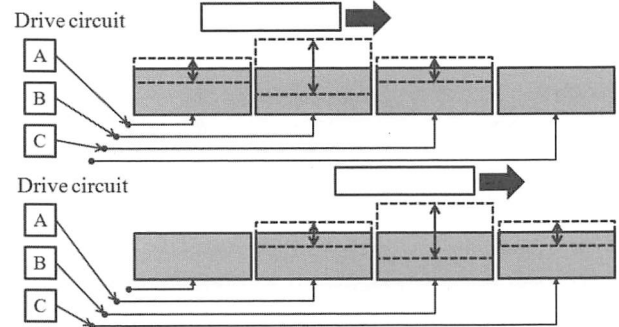


Fig.7 Relay of stator vibrators.

### 6. まとめ

保持力を利用して浮揚物体の移送が可能であり、振動子に発生させる振動モード、振動振幅の変化によって浮揚物体の保持位置が変わることが確認できた。また、浮揚物体の位置および運動の制御方法を検討した。今後は画像計測による浮揚物体の運動制御装置により、ダンピング特性の是正、モータの推力特性の評価を実験的に行う。さらに、移送される浮揚物体の周囲に生じる音場の理論解析を行い設計法を検討する。

### 参考文献

- [1] 橋本,小池,上羽: "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] 橋本,小池,上羽: "近距離場音波浮揚現象による非接触物体搬送" 日本音響学会誌, 53(10), 817-821, 1997.
- [3] 山崎,羽田,中村,上羽: 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.
- [4] R. Yano, M. Aoyagi, H. Tamura and T. Takano: Jpn. J. Appl. Phys. 50, 07HE29 (2011).