

研究の課題名

薄型非接触超音波浮上ステージの開発

東京工業大学 精密工学研究所 助教

報告者 小山 大介

報告日 2009 年（平成 21 年）4 月 7 日

1. 本研究の意義・特色

本研究では厚さ 3mm 程度の 2 次元平面を移動可能な薄型非接触超音波浮上式 2 次元ステージの開発を行った。まず 1 軸方向に往復運動可能な厚さ 2mm 以下の自走式超音波浮上スライダ単体の超音波浮揚、並びに浮揚状態での移動の実現を目指す。本スライダをステージ上板に複数個固定、もしくは一体構造化することで、平板基盤上であれば環境・場所を選ばずホバリング可能な 2 次元ステージを実現する。各スライダの駆動条件を制御することにより任意方向への直進・回転運動が可能となる。従来の他の 2 次元ステージに比べガイドレス化による大幅な小型化・低背化が期待できることから、広い産業分野への応用が期待できる。また、本ステージは非接触型故に磨耗による粉塵発生がほとんどなく、超クリーン環境下で運転可能であり、運転中の振動がほとんどなく、空気圧式に見られるエアコンプレッサ、エアパイプによる装置の煩雑化、大型化、コスト面の問題の解決し、磁気式と比べて超低漏洩磁場要求環境や強磁場環境化でも運転可能であると考えられる。また機械的駆動部を持たないことから長寿命である。

2. 実施した研究の具体的内容、結果

提案する 2 次元ステージは 1 軸方向に移動可能な 4 つのスライダと矩形板とで構成される。まず 1 軸方向に往復運動可能な厚み 11.8mm の口の字型超音波浮上式自走式スライダを設計した(図 1)。両端に 2 つの圧電 PZT 素子で構成されるバイモルフ型振動子を接着し超音波領域

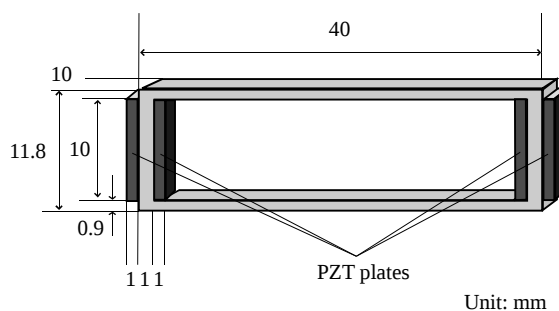


図 1 口の字型超音波浮上自走式スライダ

の周波数 (20kHz 以上) の電圧を印加すると、スライダ振動板の長手方向にたわみ振動が

励振される。その振動からの音響放射圧によって、スライダの自重と放射圧とが釣り合う位置にスライダ自身を浮揚させることができる。駆動周波数 20 ~ 100kHz において浮揚距離はおおよそ数 ~ 数 10 μ m である。また近距離場超音波浮揚の理論通り、スライダ浮揚距離は振動板の振動振幅に比例した。浮揚時に左右両端のバイモルフ型振動子の駆動電圧位相差を制御し、振動板にたわみ

進行波を励振すると、スライダと平面基盤間の微小空気層中に音響流が発生し、空気粘性を介してスライダを非接触移動させることに成功した。

さらに構造を簡素化した厚さ2mmの非接触往復直線運動機能を有する薄型スライダを開発した(図2)。本スライダは長さ方向に非対称なたわみ定在波を励振することにより、平面基盤上のスライダ自身を浮揚させ、スライダ・平面基盤間の微小空気層中に発生する音響流を利用することによって非接触移動することができる。駆動周波数によってスライダのたわみ振動モードを変化させると、発生する音響流の方向を制御でき、スライダの進行方向および推力を制御できる。単相駆動でスライダの推力を制御可能で、駆動系回路が比較的簡単であり、上記の口の字型構造と比較して運動の再現性が向上した。

構造を簡素化したスライダ4つと矩形板を一体化した薄型2次元ステージの設計を行い、超音波浮揚、並びに浮揚状態での移動の実現を目指した。有限要素解析より、アルミニウム製、共振周波数が60~80kHz、41mm四方、厚さ2mmの2次元ステージを設計した(図3)。外周の4つのスライダ振動のカップリングを防ぐため、それぞれの長さを1mmずつ変化させ、各共振周波数が異なる様に設計した。設計に基づいた試作機を作成し、2次元ステージの浮揚・移動特性について実験的に検討した。設計段階で期待された駆動周波数60~80kHzにおいて、いくつかの共振周波数でステージが完全に浮上することを確認出来た。4つのスライダの各共振周波数において、ステージはx、y方向に往復直線運動することができた。単相駆動周波数を制御することにより、当初の目標であった平面基盤上で移動可能なステージの2次元非接触移動を実現でき、最大6.3mNの推力を得た。

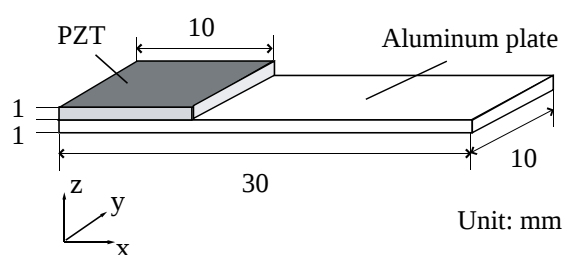


図2 薄型定在波型超音波浮上自走式スライダ

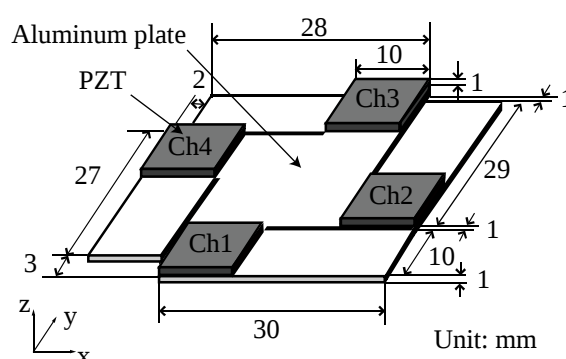


図3 薄型超音波浮上2次元ステージ

3. 本研究を実施したグループに属するおもな研究者の氏名・役職名

小山大介・東京工業大学精密工学研究所・助教

中村健太郎・東京工業大学精密工学研究所・准助教

4. 研究実施時期

2007年(平成19年) 4月 1日から

2009年(平成21年) 3月 31日

5 . 本研究に関連して発表した主な論文等

- [1] D. Koyama and K. Nakamura, A non-contact self-running ultrasonically levitated 2D stage using flexural standing waves, Jpn. J. Appl. Phys., in press.
- [2] D. Koyama and K. Nakamura, A self-running ultrasonically levitated 2D stage using flexural vibrating plates, Proc. 2009 International Congress on Ultrasonics p.264, Chile (2009.1)
- [3] D. Koyama and K. Nakamura, A self-running ultrasonically levitated 2D stage, 第 29 回超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム pp.505-506 (2008.11)
- [4] 小山大介, 中村健太郎, 上羽貞行, 自走式 2 次元超音波浮上ステージ, 日本音響学会 2008 秋季研究発表会講演論文集 pp.1395-1396 (2008.9)

6 . 内外における関連研究の状況

現在超音波浮揚に関する研究は、申請者らを含め国内外でいくつかグループにより行われている。また本技術はスライダ振動の少ない 1 軸ステージとして既に一部実用化されている。超音波浮揚の理論については既にいくつかの報告があり実験と理論がほぼ一致することが確かめられているものの、これらの技術を利用した実用化を視野に入れたアプリケーションの開発はほとんど行われていないのが現状である。

7 . 今後の発展に対する希望

今後はステージとして必要な技術である位置決めについて検討する予定である。