

定在波浮揚におけるノード間遷移手法の検討

星貴之¹, 頃安祐輔², 伏見龍樹²

1 ピクシーダストテクノロジーズ株式会社

2 筑波大学デジタルネイチャー研究室

1 はじめに

振動子と反射板によって生じた定在波を用いる音響浮揚については原理解明や性能向上、応用事例などこれまでに多くの研究報告がなされている。本稿では定在波浮揚において浮揚粒子を移動させる方法について議論する。

超音波の進行方向と直交する方向の移動については定在波断面内で強度分布を変化させる方法と、定在波ごと移動させる方法がある。前者は浮揚粒子が定在波断面内で強度が極大をとる位置に引き寄せられることを利用する。これまでに複数の振動子の強度差を制御する方法^[1]と反射板の孔を塞ぐ位置によって指定する方法^[2]が提案されている。後者は超音波ビームを移動させるものである。超音波フェーズドアレイの電子制御^[3]と手持ちのデバイス^[4]による方法が試みられている。

超音波の進行方向に平行な方向の移動については、振動子と反射板の構成では実現されていない。振動子同士を向かい合わせにした構成では位相差を制御することで音圧の節の位置を動かすことができる^[5]が、振動子と反射板の構成では反射板を開放端として節の位置が固定されてしまうためである。

我々は反射板表面に起伏形状を設けることによって超音波の進行方向に浮揚粒子を移動させる方法を提案した^[6]。本稿はその発表をもとに再構成したものである。

2 提案手法

我々は文献[4]において超音波ビームが半波長の高さを持つ段差を越えるとき音圧の節の底面からの順番は段差の前後でずれるが浮揚粒子はそのまま平行移動するため、結果として粒子が異なる節に遷移することを見出した (Fig.1 右側の段差)。文献[6]では上記に加えて段差の上端まで浮揚粒子をなめらかに上昇させる (Fig.1 左側の斜面) ことにより、浮揚粒子をひとつ上の節に遷移させる方法を提案した。なお、これは逆方向の移動 (すなわち浮揚粒子の下降) も可能である。

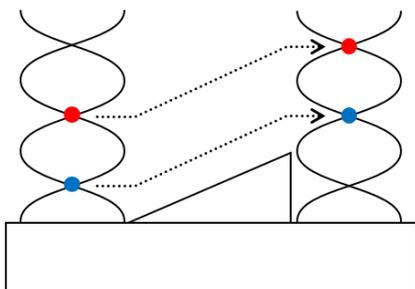


Fig. 1 半波長の高さを持つ起伏構造によるノード間遷移

3 実験結果

半波長の高さを持つ段差と角度 10 deg の斜面を組み合わせた起伏形状を 3D プリンタにより作製し、位置を固定した超音波ビームの下をリニアステージで通過するように配置した。底面からひとつ目の節に浮揚粒子を入れた状態で起伏形状を移動させると、ふたつ目の節に浮揚粒子が遷移する様子が観察された (Fig. 2)。また、起伏形状を放射状に配置した板を回転させることにより、浮揚粒子を連続的に上昇させることもできた (Fig. 3)。実験では浮揚粒子が 7 波長程度の高さまで上昇し、そこで安定性を失って落下した。

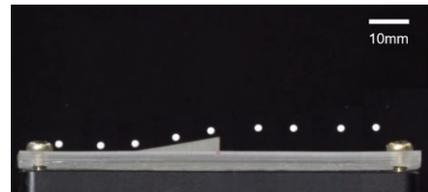


Fig. 2 浮揚粒子がノード間を遷移する様子 (400 ms 毎)

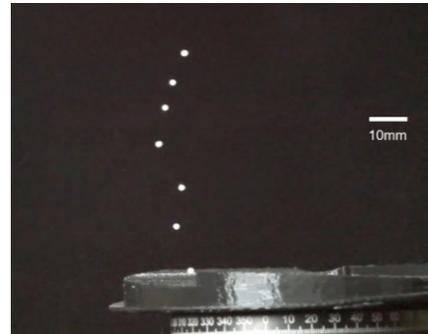


Fig. 3 浮揚粒子が連続的に上昇する様子 (400 ms 毎)

文献

- [1] D. Foresti, M. Nabavi, M. Klingauf, A. Ferrari, and D. Poulikakos: Acoustophoretic Contactless Transport and Handling of Matter in Air, Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, vol. 110, no. 31, pp. 12549-12554, 2013.
- [2] X. Lu, J. Twiefel, Z. Ma, T. Yu, J. Wallaschek, and P. Fischer: Dynamic Acoustic Levitator Based on Subwavelength Aperture Control, Advanced Science, 2100888, 2021.
- [3] 河野通就, 星貴之, 筑康明: lapillus bug: 音響浮揚操作に基づいた粒子の生物学的表現とインタラクション, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, vol. 19, no. 4, pp. 615-624, 2014.
- [4] 星貴之: 電子工作キットで自作するインタラクティブ音響浮揚装置, 情報処理学会論文誌, vol. 57, no. 12, pp. 2589-2598, 2016.
- [5] T. Kozuka, K. Yasui, T. Tuziuti, A. Towata, and Y. Iida: Noncontact Acoustic Manipulation in Air, The Japanese Journal of Applied Physics, vol. 46, no. 7B, pp. 4948-4950, 2007.
- [6] Y. Koroyasu, D. Tagami, T. Hoshi, Y. Nagatani, Y. Ochiai, and T. Fushimi: Reflective Acoustic Metamaterial for Dynamic Axial Sub-Wavelength Field Control in Acoustic Levitation, The Journal of the Acoustical Society of America, vol. 149, no. 4, p. A80, 2021.