

空中超音波発振子の二次元配列とその応用

(東大) ○星 貴之

Two-dimensional Array of Airborne Ultrasonic Transducers and Its Applications / T. Hoshi (The Univ. Tokyo) / Ultrasonic phased arrays are used in living body for noninvasive treatment, for example. In this paper, a phased array of airborne ultrasound is introduced and its application researches are introduced. After that, the relationship between the characteristics of ultrasonic transducers and phased array is reviewed, and desirable characteristics of transducer are discussed.
問合せ先 : E-mail: takayuki_hoshi@ipc.i.u-tokyo.ac.jp

はじめに

超音波振動子を一次元あるいは二次元的に配列し、それぞれの振動子の駆動信号の位相をずらすことのできるようにしたものは「フェーズドアレイ」と呼ばれ、ビームの向きを変えたり焦点を結んだりすることができる。建造物の非破壊検査や、生体内の非侵襲治療 (HIFU, High Intensity Focused Ultrasound) に用いられている。筆者は空中を伝搬する超音波のフェーズドアレイを開発し、焦点に生じる強力な超音波が引き起こす非線形作用の応用研究を行っている [1]。例えば音響放射圧を利用した非接触触覚提示や人工授粉 (図 1)、位相制御により物体を浮揚させたまま移動させることのできる三次元音響浮遊 (図 2) などである。

超音波フェーズドアレイ

開発したフェーズドアレイは、 $170 \times 170 \text{ mm}^2$ の正方形領域内に超音波振動子 (T4010B4、直径 10 mm、共振周波数 40 kHz、日本セラミック社製) を 285 個配列したものである。アレイ基板と制御基板をピンコネクタで接続して一体化したコンパクトな設計となっている。PC から USB 経由で焦点座標、出力強度などを含む指令を送り、制御基板に搭載された FPGA がそれに基づいて各振動子に適切な駆動波形を生成する。駆動波形はドライバ IC (L293DD) によって FPGA の電源電圧 3.3V から 24 V へ増幅される。ハイパスフィルタによって直流成分が除去されたのち、振動子へ送られる。

電子フォーカス

正方形のフェーズドアレイを用いて単一焦点を結ぶ場合、焦点面内の音圧分布はほぼ sinc 関数に従うことが理論的に示され、実験的にも確認されている。超音波の波長 λ [m]、アレイサイズ D [m]、焦点距離 R [m] のとき (図 3)、そのメインローブの直径 (焦点径) w [m] は次式で表される。

$$w = 2\lambda R / D$$

これはアレイサイズと焦点径はトレードオフの関係にあることを示している。また一方で、振動子サイズ d [m] には (理論計算で施した近似の範囲内では) 依存しないことも分かる。それではどこに効いてくるかというと、グレーティングローブ (離散化によるエイリアシングのため周期的に生じるピーク) が距離 L [m] だけ焦点の上下に離れた位置に生じる。

$$L = \lambda R / d$$

すなわち、この不要な方向に放射される超音波ビームを除去するため、振動子は小さいことが望まれる。

[1] 星: 非接触作用力を発生する小型超音波集束装置の開発, 計測自動制御学会論文集, vol. 50, no. 7, pp. 543-552, 2014.

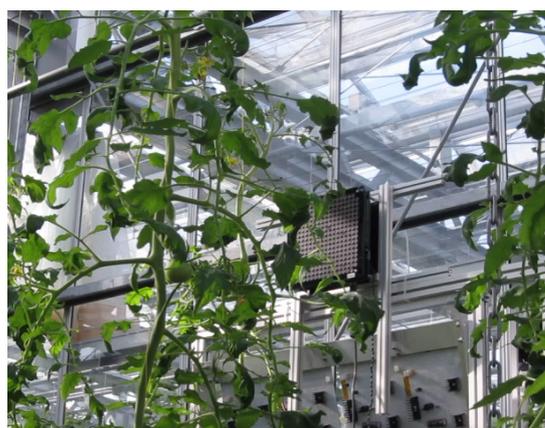


図 1 植物工場における人工授粉

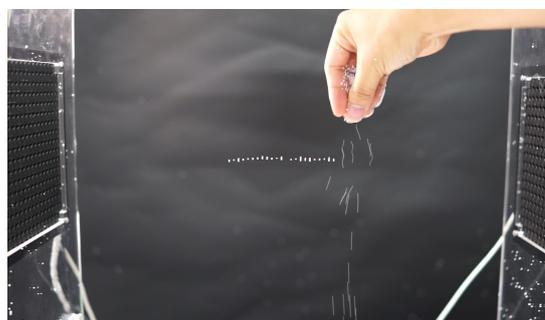


図 2 自在に移動できる音響浮揚

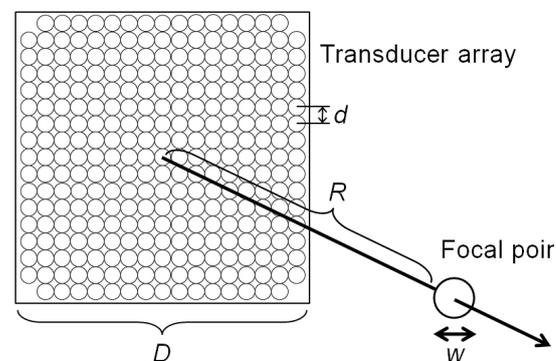


図 3 アレイサイズと焦点径