

## 円板形圧電振動子の振動分布平坦化の一検討\*

◎長谷川健, 西平守正, 福田誠 (秋田大学)

## 1 はじめに

圧電振動子は超音波の発生と検出に利用できることから、超音波非破壊検査の分野で広く用いられている。平板状の圧電振動子を厚み方向に駆動して使用する場合は、音響放射面が平坦なピストン音源としての動作を期待するが、特に円板形圧電振動子の場合は半径方向の振動モードも励振されるため、音響放射面の振幅と位相に分布が生じることが知られている<sup>[1,2]</sup>。

圧電振動子の音響放射面の振動分布を平坦化し、一様に振動させる方法として、振動子の側面に音響的な負荷を与える「サイディング」が提案されている<sup>[3]</sup>。その一方法として、エネルギー閉じ込め型振動子の利用が検討されている<sup>[4]</sup>。これは、圧電セラミック板の中央部に電極を配置した部分電極振動子を用いるものであり、電極部が圧電振動子として動作し、無電極部がサイディングとして機能するものである。サイディングした圧電振動子を用いることで厚み振動が支配的な振動となり、音響放射面の振動速度分布が平坦化され、不要輻射の少ない平面波を水中へ送波できることが示されている<sup>[5]</sup>。一方、薄い板状試料を圧電振動子の音響放射面に接着し、レーザー光で得られた振動分布から試料のイメージングを行う方法が検討されている<sup>[6]</sup>が、このイメージング法においても振動分布の平坦化が重要な課題となっている。

本研究では、厚み縦振動モードで駆動する円板形圧電振動子の音響放射面の振動分布を平坦化することを目的として、有限要素解析を用いて検討する。振動子を厚み振動の共振周波数で駆動した際の直径上の振動分布を算出し、その振幅の実効値を求めることで平坦化の程度を評価する。半径方向の振動モードが平坦化の阻害要因と考え、この実効値の半径依存特性を解析した結果を報告する。

## 2 解析方法

## 2.1 解析モデル

解析モデルの概略を図1に示す。円板形の圧電振動子を解析対象とするため、軸対称を仮定して2次元解析モデルとした。サイディングなしの振動子は半径10~25mmとし、サイディングありの振動子は圧電板の半径を25mm一定とし、中央の電極部分の半径を10~25mmとした。分極軸の向きは厚さ方向であり、厚さは圧電材料のメーカーカタログ値から厚み縦振動の共振周波数が1MHzとなるように設定した。半径方向の振動モードが平坦化の阻害要因と考え、円板の広がり方向の電気機械結合係数 $k_p$ が小さな材料として $\text{PbTiO}_3$ 系の圧電振動子(富士セラミックス, M-6)とした。解析には汎用の有限要素解析ソフトウェアのAnsys 2020R2を用いた。

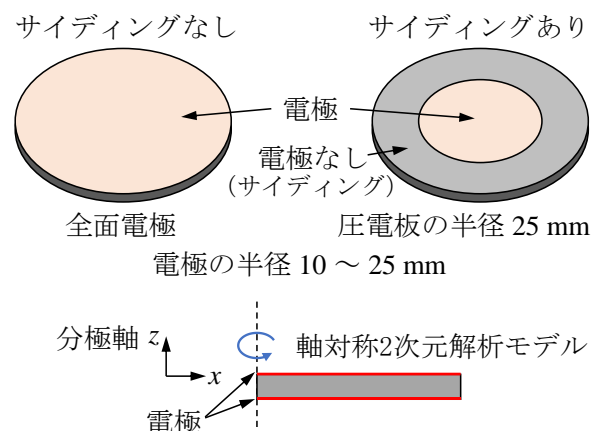


図1 解析モデル

## 2.2 平坦化の評価方法

解析結果の一例として、圧電振動子表面の直径上の振動変位を図2に示す。同図から音響放射面の振動変位は波打つような分布になることがわかる。この振動変位分布には、同位相で振動する成分と、それ以外の成分があることが読み取れる。そこで、この振動変位

\*An analysis of equalizing the vibration on the acoustic radiation surface of the disk-type piezoelectric transducer, by Ken Hasegawa, Morimasa Nishihira and Makoto Fukuda (Akita University).

を直径上の位置  $x$  の多項式として近似することで、図3に示すように3つの成分に分けることができる。同図(a)は同位相で振動する成分であり、これを最大化することが望ましい。一方、同図(c)は振動子電極の外周から中心に向かって伝搬する波で形成される定在波で、これを最小化する半径を求めたい。この定在波の実効値  $u_{n-rms}$  を同図(d)のように1周期にわたって求め、その最大値を  $u_0$  の最大値で除した値を平坦化指標と定義し、この値の半径依存特性を算出する。

### 3 解析結果

電極の半径に対する平坦化指標を算出した結果を図4に示す。振動分布が平坦化する半径が周期的に表れる様子が見られ、サイディングが平坦化に有効であることがわかる。ただし、半径によってはサイディングが平坦化を損ねる場合がある。最も平坦化される条件がサイディングありの半径 14.2 mm であり、このときの振動変位分布は図5のようになり、図2と比較すると平坦化の効果があることがわかる。ただし、図3(b)のような長い波長成分の変位分布は残るため、今後検討が必要である。

### 4 おわりに

円板形圧電振動子の音響放射面の振動分布を平坦化する振動子半径を有限要素解析で求めた。その結果、振動分布を改善し、平坦化する半径が求められ、サイディングの効果があることがわかった。今後の課題として、イメージングへの利用可能性の検討がある。

#### 参考文献

- [1] 佐久間貞臣, 他, 日本音響学会誌, 39(1), 45-51, 1983.
- [2] 上羽貞行, 他, 日本音響学会誌, 40(9), 629-632, 1984.
- [3] 今野和彦, 大石剛大, 電子情報通信学会論文誌 A, J101-A(2), 20-21, 2018.
- [4] K. Imano, IEICE Electronics Express, 16(20), Pages 20190478, 2019.
- [5] 保坂一貴, 今野和彦, 日本画像学会誌, 59(1), 28-32, 2020.
- [6] 今野耀士, 今野和彦, 日本画像学会誌, 60(2), 127-132, 2021.

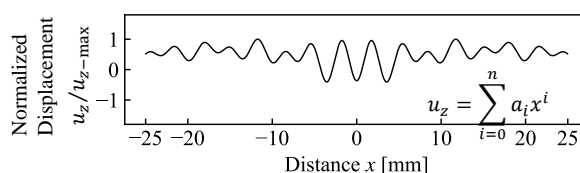


図2 振幅最大時の振動変位分布  
( $f = 1$  MHz, 連続波, 全面電極)

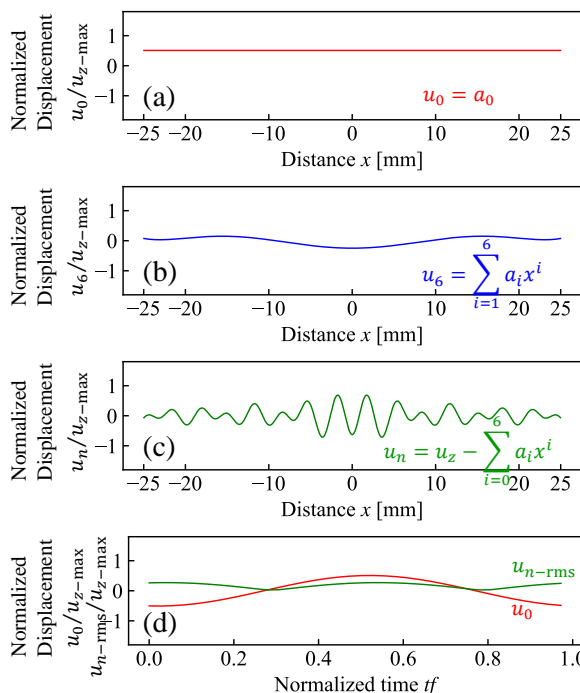


図3 振動変位分布の成分分解と時間変化  
(a)+(b)+(c)が図2の分布となる)

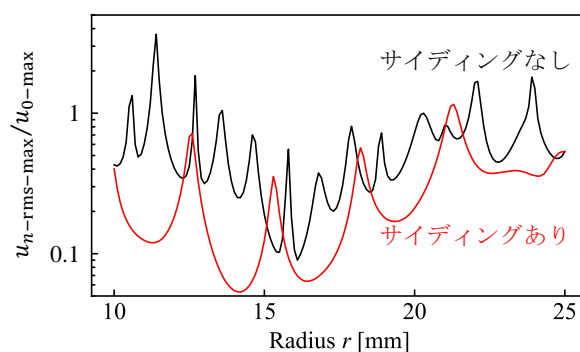


図4 平坦化指標の半径依存特性

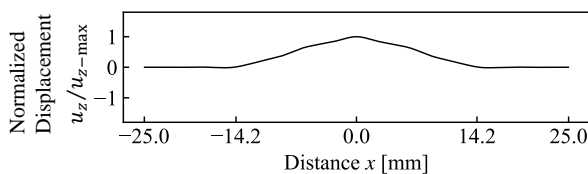


図5 振幅最大時の振動変位分布  
(サイディングあり, 電極半径 14.2 mm)