

高分子圧電材料を用いた超音波探触子の高性能化に関する研究

梅本 勇貴 1) 村田 頼信 2)

1) 和歌山大学大学院システム工学研究科

2) 和歌山大学システム工学部

研究背景及び目的

高分子圧電材料は柔軟で形状の加工が容易であり、水や生体、高分子製品との音響整合性が良いなど、超音波探触子の圧電材料として有用な特長を持つ。しかし、高分子圧電材料を用いて製作した探触子の性能は、他の構成材料(バックング材や電極、接着剤)の特性に左右され、設計通りの製作が困難である。そこで本研究では、Masonの等価回路に他の構成材料の音響特性を考慮に入れた探触子のモデル化、シミュレーション解析を行うことで、より高性能な探触子を実設計・製作すること目的とした。

超音波探触子のモデル化

本研究では探触子の圧電膜の部分をMasonの等価回路で、電極や接着層を分布定数回路で表現し、Masonの等価回路の音響端子にそれぞれ接続することにより探触子をモデル化した。バックング材及び試料の水は負荷インピーダンスで表現している。ここで、試料とは超音波を入射させる媒質である。本研究では探触子の性能評価に水浸法を採用しているため、水が試料となる。

この等価回路における送信時及び受信時の伝達関数は以下のようになる。

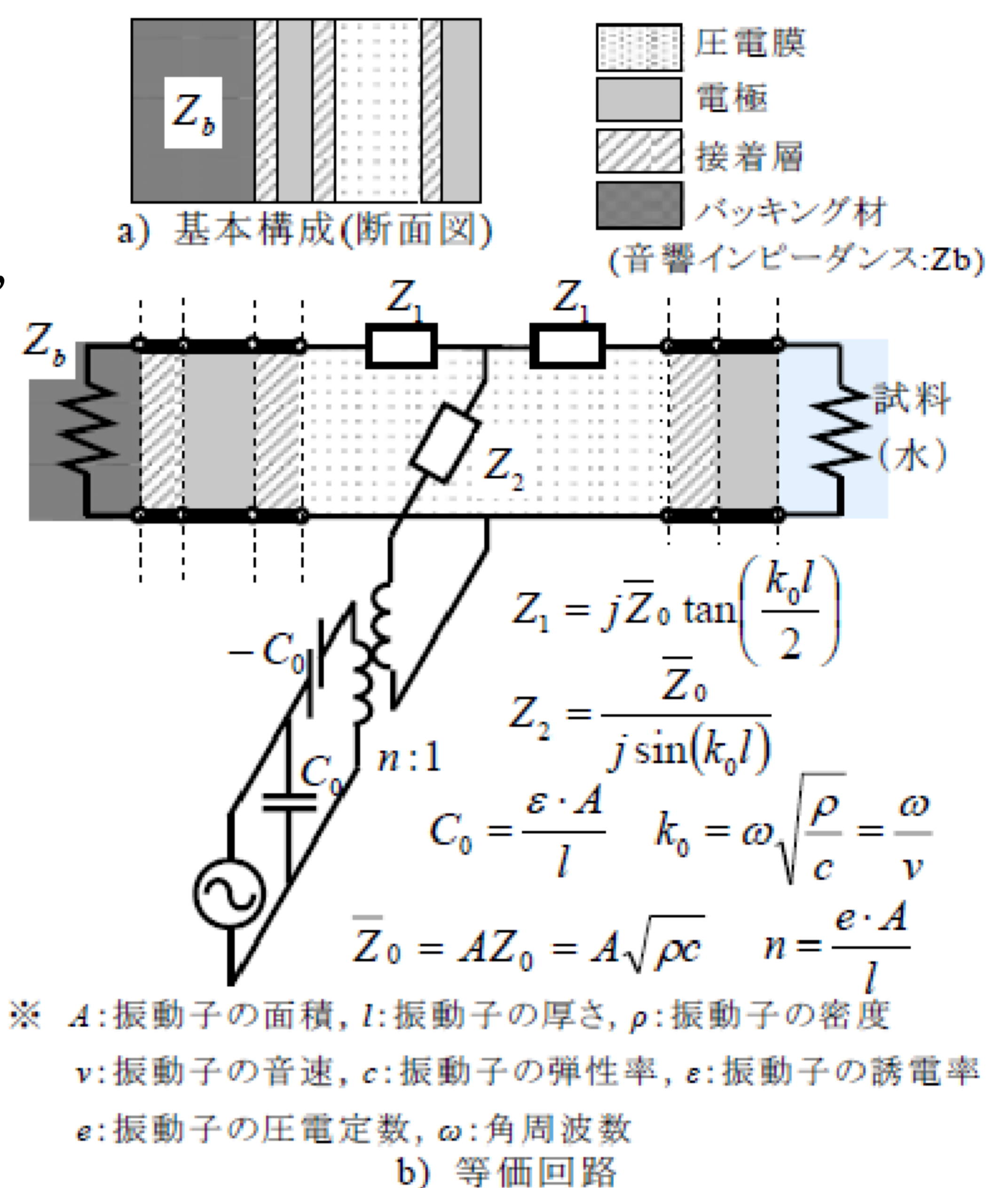
$$\text{送信時: } H_t(\omega) = \bar{Z}_F \cdot \left[\frac{(1 + j\omega C_0 R_S) \{ \alpha_t (Z_{B1} + Z_2) + \beta_t Z \}}{n Z_{B1}} - \frac{n}{j\omega C_0} \cdot \frac{\alpha_t + \beta_t (Z_1 + Z_{B1})}{Z_{B1}} \right]^{-1}$$

$$\text{受信時: } H_r(\omega) = Z_L \cdot \left[\frac{(1 + j\omega C_0 \bar{Z}_F) \{ \alpha_r Z + \beta_r (Z_{B1} + Z_2) \}}{n Z_{B1}} - \frac{n}{j\omega C_0} \cdot \frac{\alpha_r (Z_1 + Z_{B1}) + \beta_r}{Z_{B1}} \right]^{-1}$$

受信信号の周波数成分は

$$G(\omega) = H_t(\omega) \cdot H_r(\omega) \cdot F(\omega) \quad [F(\omega) : \text{入力信号の周波数成分}]$$

となり、これを逆フーリエ変換することで受信波形を得ることができる。

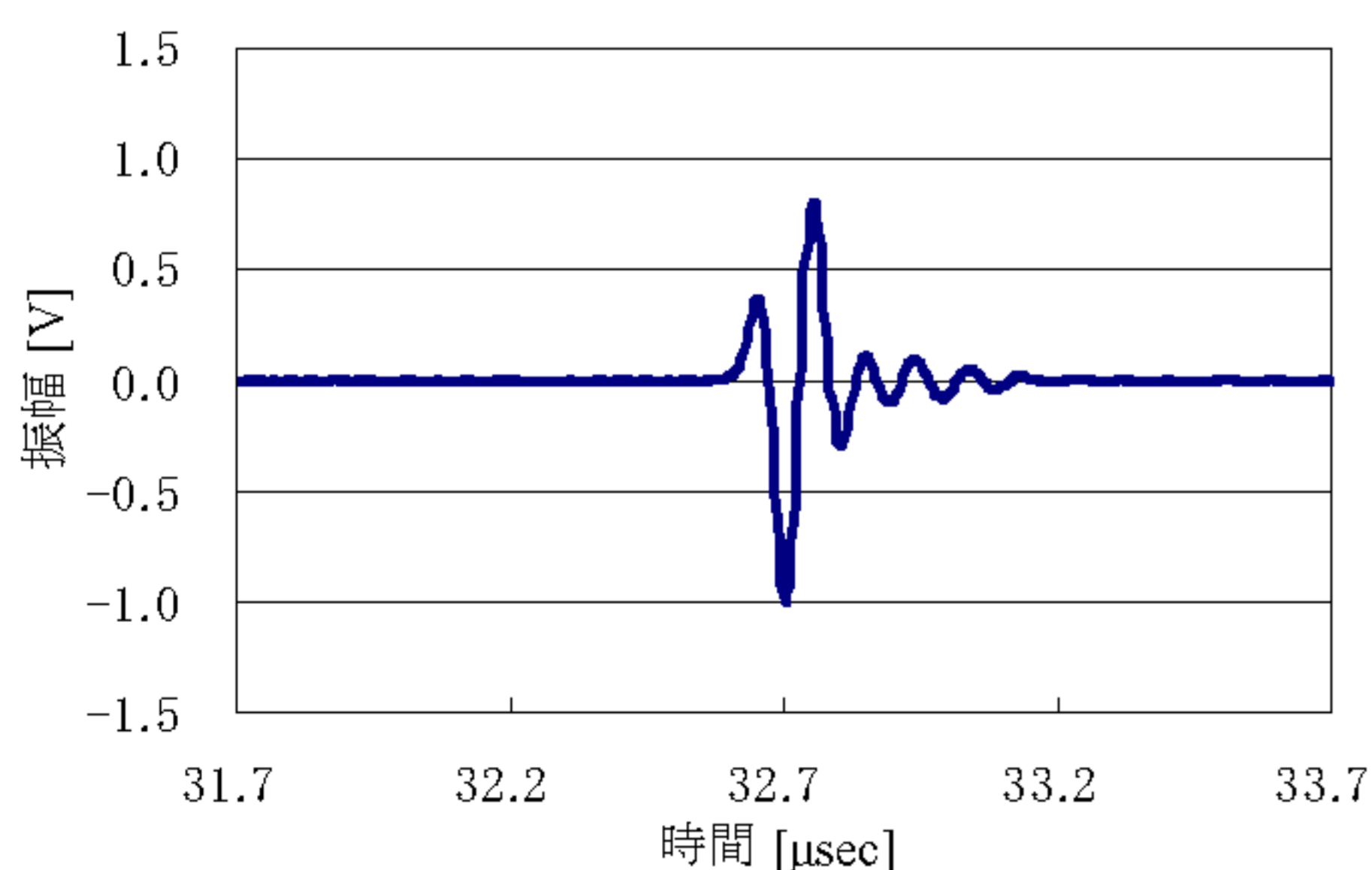


超音波探触子の設計・製作

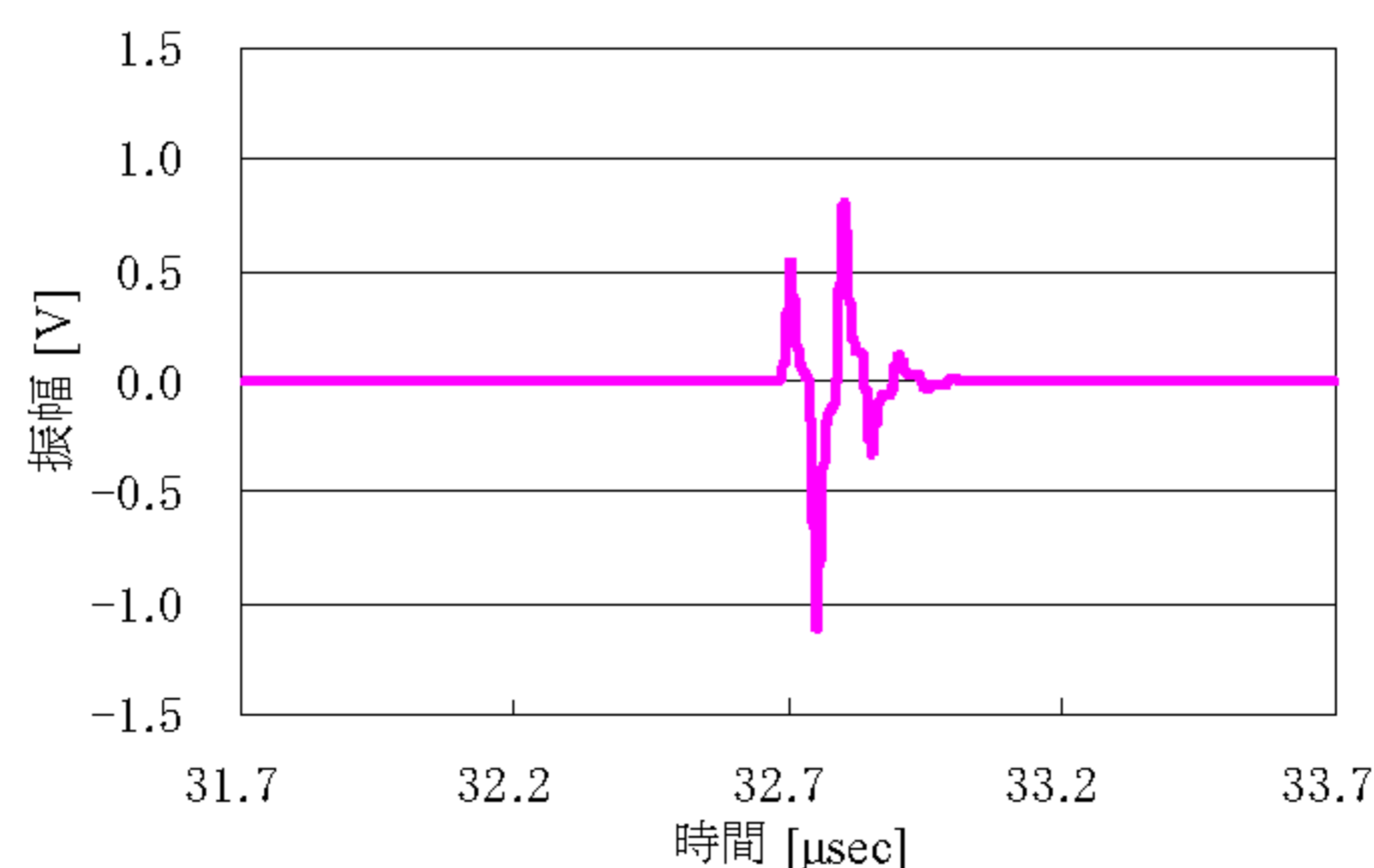
高分子圧電材料PVDFを用いて、超音波探触子の設計・製作を行った。表に示した製作条件に基づいてシミュレーションを行い、同様の条件で探触子を製作した。製作した探触子の性能評価を行い、シミュレーション結果との比較を行った。その結果、製作した探触子の性能はシミュレーション結果に近い値となった。

製作条件

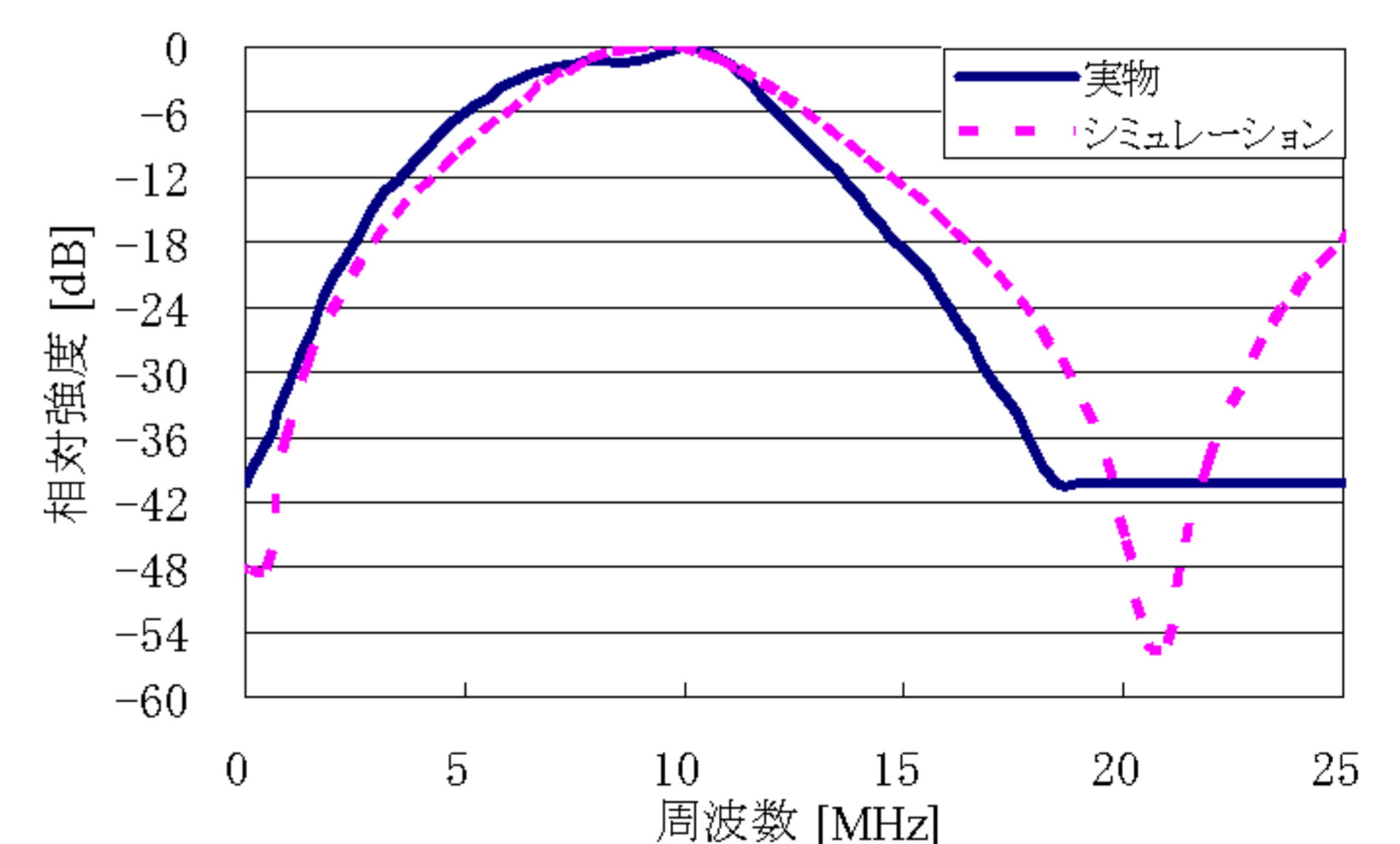
PVDF膜の厚み	電極の厚み	接着層の厚み	バックング材の音響インピーダンス	振動子の面積
109 [μm]	1 [μm]×2 (Al, CuNi)	5 [μm] (エポキシ系)	3.1 [×10 ⁶ kg/m ² s] (エポキシ)	25π [mm ²]



波形(実物)



波形(シミュレーション)



周波数スペクトル

まとめ

Masonの等価回路を利用したシミュレーションを用いて探触子の設計を行うことで、ほぼ設計通りの製作が可能であることが確認できた。今後、探触子の構成や用いる材料、製作条件を適宜選定することで、使用目的に応じた高性能な探触子の設計・製作を行っていく予定である。