

医用超音波トランスデューサ

梅村晋一郎

抄 録

電気機械結合係数が1に近い高結合係数圧電単結晶を用いる圧電トランスデューサを題材に、その挙動を、従来のPZT系セラミックを用いる場合と比較すべく、直観的モデル、1次元モデルを用いた解析解、有限要素法に基づく数値計算シミュレーションの3段階にて分析する。その結果、高い結合係数は、トランスデューサの高感度化は無論のこととして、広帯域化に生かされるべきであることが確かめられる。まず、圧電トランスデューサが電極を短絡すると柔らかく振る舞うことを直観的に説明する。この振る舞いは、トランスデューサの電気的インピーダンスの極小値を与える周波数（狭義の共振周波数）が、極大値を与える周波数（反共振周波数）に比べ、圧電効果により低下することと等価であるが、これが、1に近い高い電気機械結合係数が圧電トランスデューサの広帯域化を導く主因であることを説明する。

Transducer for Medical Ultrasound

Shin-ichiro UMEMURA

Abstract

The behavior of a piezoelectric transducer with a very high electromechanical coupling coefficient close to 1 was analyzed in three steps: intuitive modeling, analytic solution using a 1D model, and numerical simulation using a finite element code. The results were then compared with those from a conventional transducer using PZT, which confirmed that a high coupling coefficient should be utilized to enlarge the bandwidth of the transducer rather than only to increase the sensitivity. The intuitive modeling showed that a piezoelectric transducer with shunt electrodes behaved in a softer manner than with open electrodes. This is equivalent to the fact that the frequency minimizing the electrical impedance of the transducer (resonant frequency) is reduced from the frequency maximizing the electrical impedance (anti-resonant frequency) by the piezoelectricity, and explains why the very high coupling coefficient close to 1 can lead to the wide bandwidth of the transducer.

Keywords

piezoelectric transducer, electromechanical coupling coefficient, intuitive modeling, analytic solution, numerical simulation, finite element code

1. はじめに

超音波信号と電気信号を相互に変換する超音波トランスデューサは、超音波信号を画像に変換して医療診断に供する超音波診断装置のキーコンポーネントである。医用超音波診断装置が臨床現場に普及し始めた1970年代、超音波トランスデューサの設計は、物理的洞察と試作・実験に基づく経験に依存していた。

それから数十年が経過した現代、その設計手法は大きく変貌している。その間の計算機技術・数値計算技術の相乗的な飛躍的進歩により、数値計算シミュレーションが大いに活用されるようになった。

とは言え、依然として、試作・実験に基づく検証が、最終的に最も重要であることには変わりがない。しかし、実際の試作の前に、数値計算シミュレーションに基づく計算機上のバーチャルな試作を多数回行ない、設計案を1桁以上絞り込むことができるようになった。

では、かつて試作・実験と同様に重要であった物理的洞察の重要性は、どう変化したのだろうか。数値計算シミュレーションにより、答えが簡単に得られるようになったので、必要がなくなったのではと思う読者もいるかも知れない。しかし、現実はその逆である。その理由に、以下の2つがある。計算機上のバーチャルな試作は、実際の試作ほど製作工程