

# 超音波診断の事前予測の高度化に向けた、 高並列人体音響解析の基礎検討

野村 龍希<sup>†</sup> 武居 周<sup>††</sup><sup>†</sup> 宮崎大学工学部電気システム工学科<sup>††</sup> 宮崎大学工学教育研究部

## 1. はじめに

超音波とは人間の耳には聞こえない高い振動数を持つ音波のことであり、周波数は20kHz以上とされている。現在、超音波は人体の超音波(エコー)検査や工業製品の非破壊検査など我々の生活においても利用される場面があり、これからの社会の発展のためにはより高精度な解析手法が求められている。近年、急速に発展している計算機を用いた有限要素法などの数値解析に基づく音響解析は、さまざまな対象を高精度に解析することのできる有効な手段の一つとなっている。特に人体への超音波による影響は明確にわかっておらず、実際に人体を使った検証をすることはできない。よって、超音波検査、診断の事前予測をより高精度にする必要がある。そこで、本研究において有限要素解析ソルバ ADVENTURE\_Sound を用いて超音波解析を数値人体モデルに対して行うことを中心とする、超音波診断装置、治療装置の事前予測および副作用等の影響評価の高精度化に向けた、シミュレーションフレームワークを構築する。

## 2. 音響問題の基礎方程式

指定境界内部の解析領域 $\Omega$ において、音源をもつ音場内の速度ポテンシャルに関する波動方程式は次式で表される<sup>1,2)</sup>。

$$\nabla^2 \phi - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \phi = q \quad (1)$$

ただし、 $\phi$ は速度ポテンシャル、 $c$ は音速、 $q$ は音源の分布関数である。

ここで、定常状態を考えるため、 $\phi = \Phi \exp(-j\omega t)$  とすると(1)式は

$$\nabla^2 \Phi + \frac{\omega^2}{c^2} \Phi = q \quad (2)$$

となり、解くべき Helmholtz 方程式を得る。ここに、 $j$ は虚数、 $\omega$ は角周波数である。

また、音圧 $p$ は未知数である速度ポテンシャル $\phi$ を求めたのちに次式で求められる。

$$p = -j\omega\rho\phi \quad (3)$$

ここに、 $\rho$ は媒質の密度[kg/m<sup>3</sup>]である。式(2)にガラーキソ法を適用することで弱形式化し、有限要素法により近似すると次式が得られる。

$$\left( -\frac{\omega^2}{c^2} [M] + [A] - j\omega\rho[C] \right) \{\Phi\} = \{q\} \quad (4)$$

ただし、 $[\cdot]$ は行列、 $\{\cdot\}$ はベクトルである。

式(4)の要素剛性行列を $[M]_e$ 、 $[A]_e$ 、 $[C]_e$ とすると、要素の形状関数 $\{N\}$ 、その転置 $\{N\}^T$ を用いてそれぞれ以下のように与えられる。

$$[M]_e = \iiint_{\Omega_e} \{N\}\{N\}^T d\Omega_e \quad (5)$$

$$[A]_e = \iiint_{\Omega_e} \nabla\{N\}\nabla\{N\}^T d\Omega_e \quad (6)$$

$$[C]_e = -\frac{1}{Z_n} \iint_{S_e} \{N\}\{N\}^T dS_e \quad (7)$$

ただし、 $[C]_e$ は吸音境界面に対する面積分であり、 $Z_n$ は比音響インピーダンスである。これより、全体の係数行列は、複素対称行列となる。

本研究では、領域分割型並列化により部分領域計算をガウスの消去法、領域間釣合問題を共役勾配法により求解する。

## 3. 人体モデルによる性能評価

本研究では、NICT 数値人体モデル[1]を用いて解析手法を評価する。解析コードは ADVENTURE\_Sound[2]を用いる。本研究における計算環境は Core i7 クラスタ "Tomahawk" (3.4GHz, 32GBmem/node) のマルチコア CPU を用いた。図1は空気で覆われている人体モデルの計算例である。

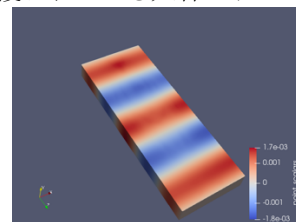


図1 空気領域で覆われている人体モデルの計算例

## 5. まとめ

電気電子機器の環境安全評価の高精度化に向け、数値人体モデルに対して波動音響解析手法を適用した。詳細な検討や議論を、講演にて行う。

## 参考文献

[1] NICT Homepage:

[https://emc.nict.go.jp/bio/model/model01\\_1.html](https://emc.nict.go.jp/bio/model/model01_1.html)

[2] 東京大学 ADVENTURE Project Homepage:

<https://adventure.sys.t.u-tokyo.ac.jp/>