

低周波治療の高度化に向けた 高精度人体内電流密度解析手法の基礎的検討

岩城 拓[†] 武居 周^{††}

[†] 宮崎大学工学部電気システム工学科

^{††} 宮崎大学工学教育研究部

1. はじめに

低周波治療器は、人体に微弱な電流を流し、痛みの軽減や、疲労回復、怪我の予防などに使用されている医療器具である。昨今、医療業界のみならず、スポーツ業界でも注目が集まっており、多くの大学やスポーツチームが低周波治療器の効果に着目し、選手の疲労回復や、怪我の予防のために、低周波治療器を導入している。

人体に直接電流を流す低周波治療器は、適切な治療実施のための事前予測が重要となるが、実際に人体に電流を流した際の副作用等について、電気電子工学的視点からの研究事例が確認できなかった。

そこで本研究では、低周波治療器により人体に電圧を印加した際の治療効果や副作用等の悪影響があるか評価するために、(国研)情報通信研究機構において公開されている数値人体モデル[1]を用いて、電流密度解析を行うことで、低周波治療器による治療予測や人体への影響評価の高精度化を目指す。

2. 支配方程式

オームの法則、キルヒホッフの電流則、電位と電界の方程式より以下の3式を考える。

$$J = \sigma E \quad (1)$$

$$\text{div} J = 0 \quad (2)$$

$$E = -\text{grad} V \quad (3)$$

J は電流密度[A/m²], σ は導電率[S/m], E は電界[V/m], V は電位[V]である。

以上の式(1)-(3)より、解くべき支配方程式

$$-\text{div}(\sigma \text{grad} V) = 0 \quad (4)$$

を得る[2].

3. 数値解析手法

本研究において適用する線形代数ソルバは、並列幾何マルチグリッド法である。非構造格子にも対応するため、従来の手法であるオリジナルの格子に対して粗い格子を作成しマルチグリッドを構成するのではなく、オリジナルの格子を細分化することでこれを実現している。よって、本手法は、オリジナルの格子を最も疎なグリッドとして、入れ子構造を持ち、疎(親)と密(子)が一貫するマルチグリッドを構成する。本細分化処理により作

成された、マルチグリッドを用い、幾何マルチグリッド法について、基本的なアルゴリズムは従来手法[3][4]と同様である。本幾何マルチグリッド法における、メッシュの移動は図1のようになり、得られる数値解は、オリジナルの格子に基づくものではなく、細分化された格子に基づく。

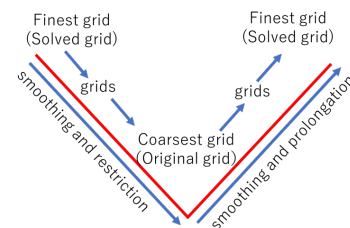


図1 幾何マルチグリッド法のメッシュ移動(V サイクル)

4. 数値実験

低周波治療の治療状況を再現するために、電圧(0V5 V)を両膝に印加する。計算は共有メモリマシン(Intel Xeon Gold 6254 @ 3.10GHz, 72cores, 3TB(DDR4-2933 64GB×48), CentOS 7.6, MPI)を用いて、共役勾配法の相対残差ノルムの収束判定値を $\epsilon=10^{-6}$ [2]とし、計算時間は6分0秒で計算が完了した。図2は、電界強度である。膝より上には、強い電界が確認できたのに対して、膝から下や、上半身には影響が少ないことが分かる。

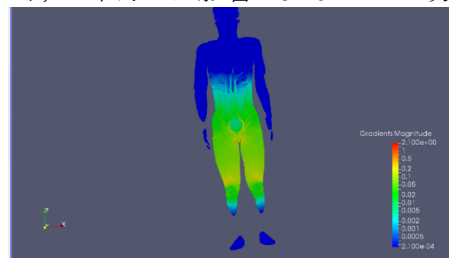


図2 電界の可視化結果

5. まとめ

低周波治療器を用いた治療予測の高度化に向け、人体モデルに対して静電界解析手法を適用し、数値例を示した。より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

[2] M. Nomura et al., *IEEE TMAG*, vol. 55, no. 6, 2019.

[3] A. Hirata et al., *PRD*, vol.138, no.3, pp.237-244, 2010.

[4] I. Laakso et al., *Phys. Med. Biol.*, vol. 57, no. 27, pp. 7753-7765, 2012.