

W15 リエントラント型空洞共振器による 生体器官を考慮したモデルの高周波加温現象の3次元解析

塚本 敏男^{1)*} 柴山 威¹⁾ 金井 靖²⁾ 柏 達也³⁾ 齊藤 義明¹⁾ 宮川 道夫¹⁾
 1) 新潟大学 2) 新潟工科大学 3) 北海道大学

1 はじめに

我々はこれまでに癌温熱療法用リエントラント型空洞共振器アプリケーション [1] の高周波加温現象を解明するために、人体に近い寸法を持つ均質ファントム (疑似生体) を用いて解析計算を行ってきた [2]。しかし、実用化のためには人体に近い条件を備えたモデルを用いて本アプリケーションの有効性を示す必要があった。

ここでは、生体器官および血流を考慮した人体モデルを用いて加温後の温度分布を求めたので報告する。

2 数値解析手法と数値解析モデル

生体器官を考慮し、3次元非定常熱伝導方程式

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = k \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + \dot{Q} \quad (1)$$

$$\dot{Q} = -W_c + W_h \quad (2)$$

$$q_c = \alpha_c (T - T_c) \quad (3)$$

を解いた。数値解析モデルを図1に示すが、加温対象に筒状導体を装着して電磁エネルギーの集中を図った。また、人体モデルの各組織には表1の値 [3] を適用した。さらに、脂肪層を考慮した人体モデルでは、筋肉層の一部を同図のように厚さ25mmの脂肪層に置き換えた。

3 解析例と考察

ここでは血流と脂肪層の存在による影響を検討する。まず、脂肪層を考慮しない人体モデルに対する解析結果を図2に示す。ここで、解析結果の図は上側が人体腹部、下側が背部に対応している。血流を考慮しない場合には血流による冷却効果が無いため、電磁エネルギーが集中している箇所に高温域を生じている。また、モデル全体が高温になっていることが分かる。しかし、血流を考慮した場合には血流による冷却効果のため、モデル中央部にのみ高温域を生じている。これらの図から血流を考慮した場合としない場合では大きな温度差が生じており、人体の熱伝導解析では血流による恒温化作用を考慮することは不可欠であると考えられる。また、脂肪層を考慮しない人体モデルでは腫瘍部の温

度は通常組織よりも高く、腫瘍部に対して良好な局所加温がなされている。

次に、脂肪層を考慮した人体モデルに対する解析結果を図3に示す。脂肪層は筋肉組織の一部を脂肪に置き換えることによってモデル化を行なったが、これらの図からモデル腹部と背部の脂肪層に電磁エネルギーが集中し、高温域が生じている。これは、脂肪の「比熱が低い」、「血流量が少ない」、「熱伝導率が低い」等の加温され易く、冷め難い性質によるものと考えられる。従って、この場合には深部局所加温はなされない。

以上から、脂肪層を考慮しない人体モデルでは、腫瘍部に対して局所加温を実現できた。しかし、脂肪層を考慮した人体モデルでは、熱伝導率の低い脂肪部分に高温域が生じ、腫瘍部に対しての局所加温は困難であることが明らかとなった。即ち、脂肪層を考慮した人体モデルでは、脂肪の厚さにより加わる電磁エネルギー分布が大きく変化することが予想される。ここでは、計算時間の点から筋肉の一部を厚さ25mmの脂肪に置き換えているが、実際には筋肉を取り巻くように脂肪をモデル化する必要がある。今後はこの点を考え、脂肪の厚さを変えながら計算を行なう予定である。

4 まとめ

生体器官および血流を考慮した人体モデルを用いて加温後の温度分布を求めた。さらに、人体モデルに対する解析では、血流による恒温化作用が解析結果に非常に大きな影響を与えることを示した。

今後は、脂肪層に高温域が生じないアプリケーションの設計を行なうことが課題であるが、そのためには人体の各組織の媒質定数および血流量の温度および周波数依存性を正確に計測することが重要である。

参考文献

- [1] 齋藤義明, 平成5年度科学研究費補助金研究成果報告書 (課題番号04557048) (平成6年3月)
- [2] Y. Kanai, et al., *COMPUMAG-Berlin*, PI3-12, July 1995.
- [3] Peter M. van den Berg, et al., *IEEE Trans. BME*, 30, 797, Dec. 1983.

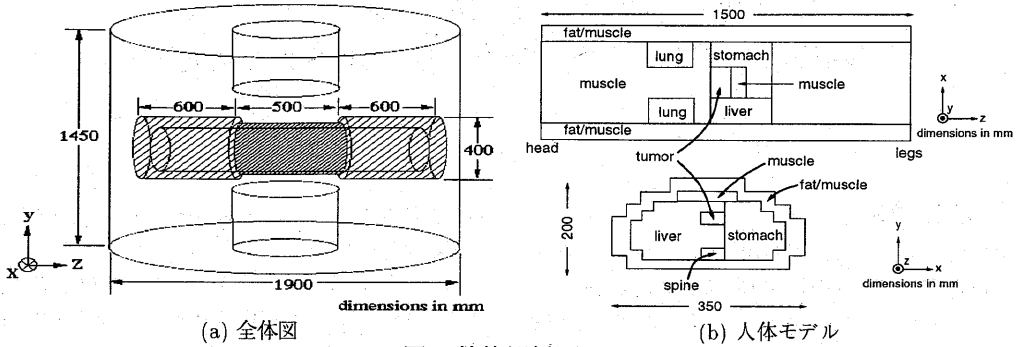


図1 数値解析モデル

表1 熱伝導計算に用いた生体組織の値^[3]

| organ | ϵ_r | σ [S/m] | λ [W/m·°C] | ρ [kg/m ³] | c [J/kg·°C] | F_s [m ³ /kg·s](37°C) | B_r |
|---------|--------------|-------------------|-----------------------|--------------------------------|------------------|---------------------------------------|-------|
| fat | 8.5 | 0.06 | 0.220 | 900 | 2300 | 5.00×10^{-7} | 0.6 |
| muscle | 72 | 0.8 | 0.600 | 1020 | 3500 | 8.30×10^{-6} | 1.00 |
| spine | 10 | 0.2 | 0.436 | 1790 | 1300 | 4.20×10^{-7} | 0.3 |
| tumor | 78 | 0.89 | 0.570 | 1040 | 3900 | 5.00×10^{-7} | 0.0 |
| liver | 78 | 0.6 | 0.560 | 1020 | 3500 | 1.44×10^{-5} | 0.8 |
| stomach | 77 | 0.51 | 0.560 | 1020 | 3500 | 5.00×10^{-6} | 0.6 |

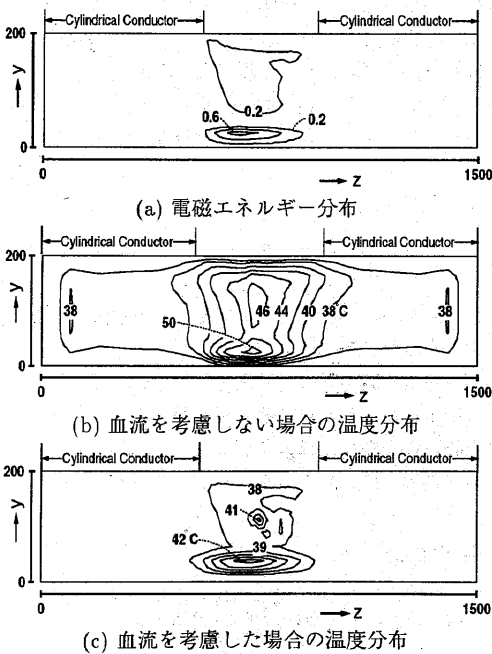


図2 脂肪層を考慮しない人体モデルに対する解析結果

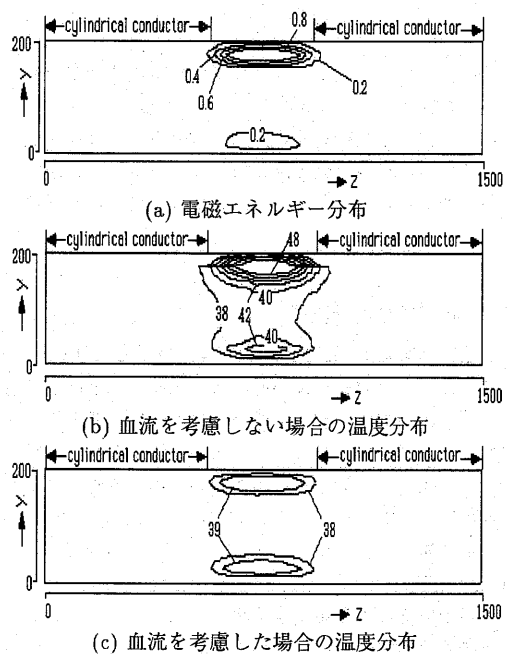


図3 脂肪層を考慮した人体モデルに対する解析結果