



## 癌の温熱療法効果の評価を可能とする 大規模電磁界解析とその可視化

研究・開発機関 : 八戸工業大学、名古屋大学、宮崎大学  
 利用施設 : 東京大学情報基盤センター Oakleaf-FX (電磁界解析)  
 名古屋大学情報基盤センター 大規模可視化システムUV2000 (可視化)  
 計算規模 : Oakleaf-FX全4,800ノード、約10分(電磁界解析)  
 利用ソフトウェア : ADVENTURE\_Magnetic (電磁界解析)  
 AVS/Express、3D AVS Player (可視化)

### Before

- 解像度2 mm、2億自由度の数値人体モデルを用いた電磁界解析では、直径数mm程度の癌も治療対象とする温熱療法の効果を定量的に評価するには解像度の面で不十分でした。
- 1億自由度を超える規模の現象の可視化は難しく、スパコンを用いた解析の結果を医療機関で活用するのはまだ難しい状況でした。

### After

- 解像度0.5 mm、160億自由度の数値人体モデルの電磁界解析を約10分で行うことに成功しました。今後も解像度0.1 mm、1兆自由度の電磁界解析を目指して研究を継続します。
- 可視化の目的を絞り、必要な情報とファイル形式の選別を適切に行うことで、100億自由度を超える規模の可視化に成功しました。

### 背景と目的

高周波誘電加温による癌の温熱療法効果を定量的に評価することを目指し、情報通信研究機構が公開している数値人体モデルを用いた高周波電磁界解析に取り組んでいます。この数値人体モデルはボクセル(小さな体積の立方体、図1を参照)からなるため、有限要素法ではボクセル由来の階段形状が電界の反射や回折を起こして精度が低下してしまいます。また、治療の対象となる癌の直径は数mm程度のものもあるため、2 mm幅のボクセルでは解像度が足りません。

これらの問題の解決にはボクセルを分割した四面体をベースにスムージングする技術の導入や要素の細分割が有効ですが、これらは解析対象の自由度を飛躍的に増やし計算量も増大します。

そこで、大規模問題を効率よく数値計算することのできる手法としてよく知られている階層型領域分割法の本問題への適用に取り組み、解像度0.1 mm、1兆自由度の電磁界解析を目指して研究を進めています。

これまでに解像度0.5 mm、160億自由度の電磁界解析に成功しています。また、医療現場で大規模解析の結果を活用するため、診察室にもあるパソコンで視覚的に確認できるよう、160億自由度の大規模可視化にも取り組みました。

### 利用成果

私たちが用いている数値人体モデルはMRI画像をもとに構築された2 mm幅のボクセルで構成されています。そこで解像度0.5 mmのメッシュを得るため、ADVENTUREプロジェクトのメッシュ細分割ツールADVENTURE\_Metis Ver.2を用いて1辺2 mmのボクセルを64個の小さいボクセルに細分割しました。またボクセルの階段形状による解析精度の低下を防ぐためにはスムージング技術の適用が必要になります。

私たちは、これまでに四面体をベースとしたスムージング技術を提案し、解析精度の向上に成功しています。そこで細分割したボクセルを5つの四面体に分割した160億自由度のメッシュを作成し、電磁界解析に使用しました(図1)。

複素数を扱う電磁界解析では、一般に共役直交共役勾配(Conjugate Orthogonal Conjugate Gradient:COCG)法が用いられています。しかしCOCG法は大規模解析では反復回数が非常に多くなり、計算時間がとても長くなってしまいうケースがあることがわかってきました。そこで、新たに共役直交共役残差(Conjugate Orthogonal Conjugate Residual:COCR)法を階層型領域分割法に適用し、反復回数、計算時間の大幅な削減に成功しました。その結果、東京大学情報基盤センター Oakleaf-FX スーパーコンピュータの全ノードを用いて、160億自由度の解析を約10分で行うことができました。

160億自由度の電磁界解析では入出力ファイルの数が約2万、その容量は約4 TBにもなり、これらのファイルをそのまま使った可視化は大変難しくなります。そこで名古屋大学情報基盤センターの大規模可視化システムUV2000上でAVS/Expressを用いて、可視化の目的を治療効果の検討に絞り、入出力ファイルから必要最小限の情報を選別し、臓器単位の可視化用ファイルを作成しました。その結果、一般的なパソコン上で3D AVS Playerを用いて臓器単位で可視化することに成功しました(図2上)。またこの治療によって癌以外の組織が不必要に加熱されていないかを確認するために、全体の可視化にも取り組み、その結果、図2下のように全体を俯瞰して解析結果を確認できるようになりました。

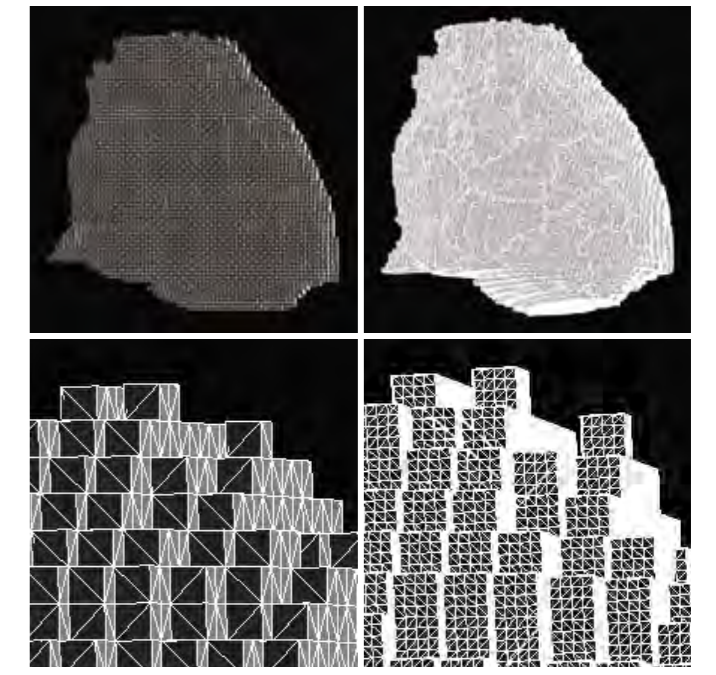


図1 心臓のメッシュ  
(左上:解像度2 mm 全景, 右上:解像度0.5 mm 全景, 左下:解像度2 mm 左心房周辺, 右下:解像度0.5 mm 左心房周辺)

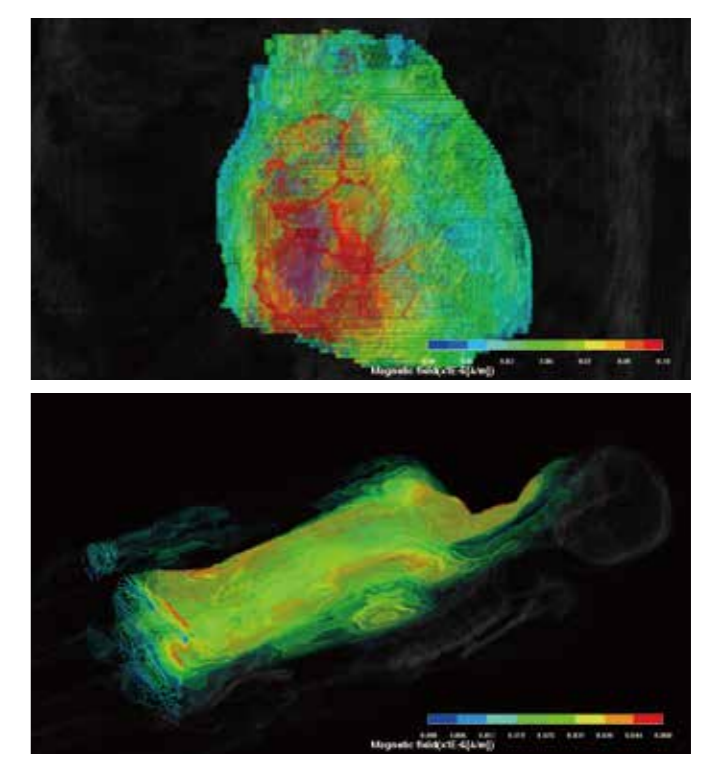


図2 磁場 (上:心臓表面、下:右上半身内部の等値面)

\*: ADVENTURE プロジェクト (<https://adventure.sys.t.u-tokyo.ac.jp/>)