

# 人体電磁曝露の FDTD 並列計算

## Parallel FDTD Analysis of Human Exposure to Electromagnetic Fields

田口 健治 打矢 匡 柏 達也  
 Kenji TAGUCHI Masashi UCHIYA Tatsuya KASHIWA

北見工大  
 Kitami Institute of Technology

### 1. はじめに

近年、携帯電話をはじめとした移動体通信の爆発的普及に伴い、電磁界の人体への影響についての関心が高まっている。これに伴い SAR(Specific Absorption Rate)や吸収電力を発熱源とした体内温度上昇が FDTD 法等を用いて数多く計算されている[1]。電磁波源近傍のみではなく、人体全身を数ミリピッチで FDTD 計算を行う場合、大量の計算機メモリや計算時間を必要とする。この問題を解決するために分散メモリ型並列計算機を用いた FDTD 並列計算は非常に有効な方法である。本報告では実際に FDTD 並列計算を用いて人体電磁曝露量を計算する。

### 2. FDTD アルゴリズムの並列化

FDTD 法はリープフロッグアルゴリズムであるため、電界節点と磁界節点が交互に配置されている。そのため 2 つの異なる面、E 面と H 面を定義することができる。計算領域を y 方向で分割した場合、境界面の節点配置は図 1 のようになる。境界面の  $H_y$  は  $E_x$  と  $E_z$  から計算可能なので転送が必要な成分は  $E_x$  と  $E_z$  成分のみとなる。

### 3. 人体モデル

FDTD 並列計算を用いて図 2 に示される携帯電話使用中の人体に対して SAR 及び電界分布を計算した。SAR は FDTD 計算で得られた電界強度を E として次式で求めることができる。

$$SAR = \frac{\sigma}{2\rho} E^2$$

ここで、 $\sigma$  は人体組織の導電率[S/m]、 $\rho$  は人体組織の組織密度 [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ] である。空間離散間隔は  $\Delta x = \Delta y = \Delta z = 5[\text{mm}]$ 、解析領域は  $0.675[\text{m}] \times 2.115[\text{m}] \times 0.875[\text{m}]$ 、携帯電話の入力周波数は  $900[\text{MHz}]$ 、携帯電話のアンテナ部は  $1/4$  モノポールアンテナ、筐体は完全導体とした。更に、アンテナ部にはワイヤー近似[2]を適用しており、ワイヤー半径は  $R_0 = 0.5[\text{mm}]$  である。吸収境界条件は PML[3]を用いた。人体組織の比誘電率、導電率、組織密度は[4]より頭部についてはそれぞれの頭部平均値、それ以外の部位は  $2/3$  筋肉等価媒質とした。

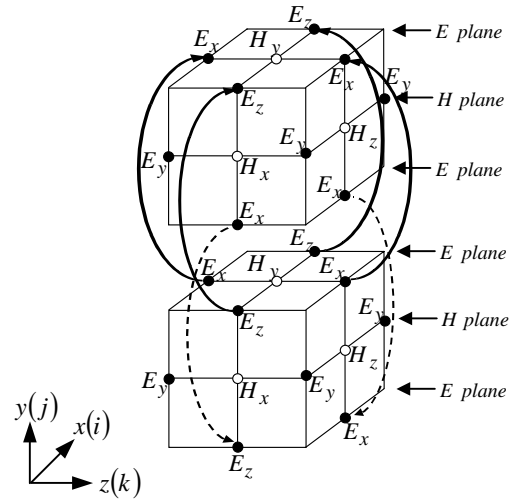


図 1 FDTD 境界面におけるデータ転送

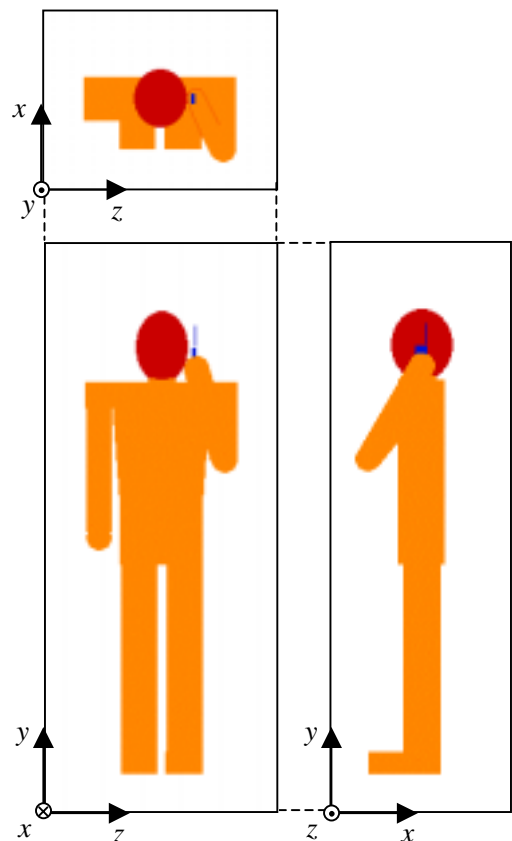


図 2 人体形状

#### 4. FDTD 並列計算

FDTD 並列計算は解析領域を y 方向に N(1,2,4,8) 分割することによって行った。計算は電界分布及び SAR 値が定常状態に達するように 11 周期行い, 10~11 周期間の電界強度及び SAR の最大値を計算した。

尚, 並列化ライブラリには MPI(Message Passing Interface)[5], 分散メモリ型並列計算機には SR8000 を使用した。

#### 5. 計算結果

図 3, 図 4 にそれぞれ頭部中心座標における zx 断面の SAR の最大値分布, yz 断面の電界強度分布を示す。SAR は携帯電話近傍が最も高い値となった。図 5 より Node 数が増加するにつれて 1Node 当たりの性能が劣化しているが, これは 1Node 当たりに割り付けられる配列数が減少し Node 内の並列計算の効率が低下したためである。文献[5]からも分かるように空間離散間隔を小さくし, 1Node 当たりに割り付けられる配列数を増やすことでより線形に近い速度向上比が得られるはずである。さらに, 図 6 より 1Node 当たりの最大使用メモリが良好に減少している。これにより更なる大規模な解析が可能となる。

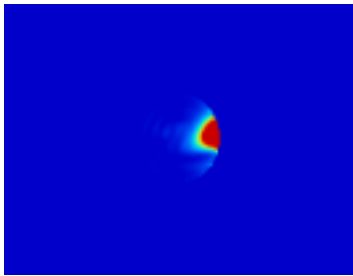


図 3 zx 断面の SAR 分布

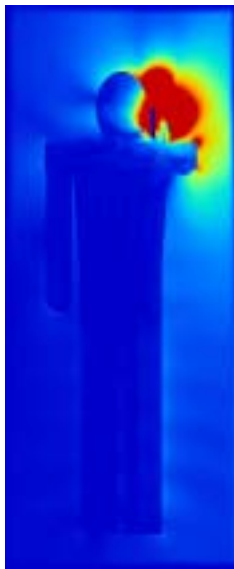


図 4 yz 断面の電界分布

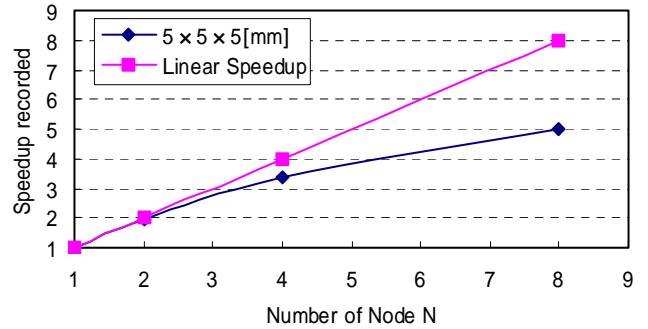


図 5 速度向上比

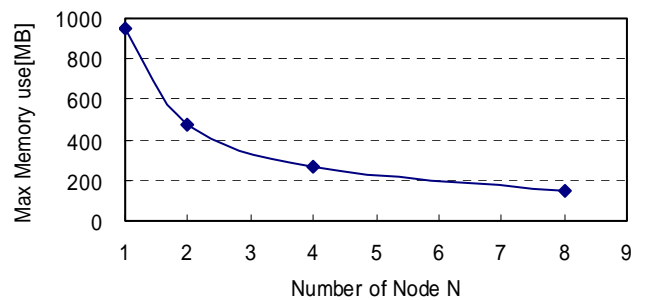


図 6 1Node 当たりの使用メモリ

#### 6. むすび

本報告では分散メモリ型並列計算機と MPI を用いて人体電磁曝露の FDTD 並列計算を行った。今後は, より実際の人体に近い不均質媒質の適用, FDTD 並列計算を用いた任意の人体姿勢においての解析, 熱伝導方程式を組み込んだ体内温度上昇解析を予定している。

#### 参考文献

- [1] 王, 藤原, “携帯電話に対する頭部のドシメトリ評価,” 信学論, vol.J-84-B, no.1, pp.1-10, Jan. 2001.
- [2] A.Taflove, Computational Electrodynamics : The Finite Difference Time Domain Method, Artech House, Norwood, MA, 1995.
- [3] J.P.Berenger, “A perfectly matched layer for the absorption of electromagnetic waves,” J. Comput. Phys., vol.114, no.2, pp.185-200, Oct. 1994.
- [4] Federal Communications Commission Tissue Dielectric Properties Url: <http://www.fcc.gov/fcc-bin/dielec.sh>
- [5] 打矢, 柏, “並列型スーパーコンピュータを用いた FDTD 並列計算,” 信学論, vol.J84-C, no.11, pp.1122-1125, Nov. 2001.
- [6] 田口, 打矢, 柏 “人体曝露の FDTD 並列計算,” 2002 信学総大, C-1-8, March 2002.