1GHz 超遠方界ばく露の人体に対する 2 乗平均誘導電流を用いた全身平均 SAR の推定

鈴木　登季夫　（指導教員：藤原　修）
名古屋工業大学　工学部

1．まえがき

ユビキタス社会の到来により，GHz 帯での携帯端末や無線 LAN の急激な増加で GHz 帯電波の人体影響の関心が高まっている．電波の人体影響は，一般に人体深部組織の温度上昇によるものとされ，SAR（Specific Absorption Rate:比吸収率[W/kg]）の全身平均値で評価される．近年の計算機環境の飛躍的な発達と相まって解剖学的に精巧な人体数値モデルに対して FDTD(Finite Difference Time Domain)法による大規模計算[1]が盛んに行われてはいるが，生身の人体を用いた GHz 帯での測定による全身平均 SAR の検証例はない．本研究では，人体を用いた GHz 帯における全身平均 SAR の実験検証を目的として，グラウンド上の直立人体を対象とした全身平均 SAR と身長方向の層平均誘導電流を FDTD 解析し，2 乗平均誘導電流を用いた全身平均 SAR の推定可能性を検討した．

2．人体モデルと計算方法

図 1 に情報通信研究機構(NICT)開発になる 22 歳日本人男性成人モデル，同モデルを日本人の体型寸法の年齢別統計データに基づく縮減率で開発された 3 歳児，5 歳児，7 歳児の解剖学的人体数値モデル[2]を示す．各モデルの身長と体重は，22 歳モデル： 172.8cm/65kg， 3 歳児：90cm/13kg，5 歳児：105cm/17kg，7 歳児：120cm/23kg であり，これらのモデルは 2mm(1 セル)の空間分解能で構築され，51 種類の組織から構成されている．図 2 に FDTD 法の解析条件を示す．本研究では，グラウンド上に直立した人体モデルを想定し，電波照射は人体の正面方向より垂直偏波を照射，入射電力密度は 1.0mW/cm^2 とした．吸収境界条件は 12 層の UPML(Uniaxial Perfect Matched Layer)とし，人体表面から吸収境界までの距離を 30 セルとした．各組織の電気定数は文献[3]から引用した．

3．結果と考察

図 1 の人体数値モデルに対して，1GHz における全身平均 SAR と身長方向の層平均誘導電流 2 乗値$|I|^2$ のプロファイルを FDTD 法により求めた．図 3 に 22 歳モデルと 3 歳児モデルにおける解析結果を示す．図中の点線は 2 乗平均誘導電流値$<|I|^2>$である．図から，22 歳と 3 歳児のモデルに対する層平均誘導電流 2 乗値はいずれも複雑なプロファイルであり，足底部の層平均誘導電流 2 乗値も両者で相違はあまりないのに対して，2 乗平均誘導電流値は成人よりも幼児のほうが半分近く小さくなっていることがわかる．つぎに，2 乗平均誘導電流と人体吸収電力(全身平均 SAR<SAR>と体重 W の積)の相関関係を 3 歳児，5 歳児，7 歳児，22 歳モデルに対して求めた．結果を図 4 に示す．横軸は 2 乗平均誘導電流$<|I|^2>$，縦軸は全吸収電力<SAR>･W である．図中の実線は計算結果に当てはめた回帰直線である．図から，人体吸収電力と 2 乗平均誘導電流は年齢と共に増大していること，両者の間には強い相関関係（決定係数：R^2=0.98）があること，などがわかる．この結果は，遠方界曝露の人体に対する 2 乗平均誘導電流を知れば全身平均 SAR が推定できることを示す．ただし，2 乗平均誘導電流は，直接には実測できないため，*in-vivo* 測定が可能な物理量から推定せざるを得ないが，本研究では測定の容易な足裏を介したグラウンドへの接触電流 2 乗値$|I_{ground}|^2$ に注目し，これとの相関関係を求めた．結果を図 5 に示す．図中の実線は計算結果に当てはめた回帰直線である．図から，$|I_{ground}|^2$ が年齢に対して一定の傾向を示さず，$<|I|^2>$との相関（決定係数：R^2=0.03）も弱く，それ故に$|I_{ground}|^2$ による 2 乗平均誘導電流の推定は困難であることがわかる．

4．まとめ

GHz 帯での人体全身平均 SAR の実験検証を目指して，グラウンド上の直立人体数値モデルの 1GHz 全身平均 SAR と身長方向の層平均誘導電流を FDTD 解析，人体吸収電力と 2 乗平均誘導電流との強い相関関係を見出し，全身平均 SAR の 2 乗平均誘導電流による推定可能性を示した．2 乗平均誘導電流は直接測定ができないため，同電流の実測可能量からの推定法が今後の課題となる．

参考文献

(1) P.J. Dimbylow, “Fine resolution calculations of SAR in the human body for frequencies up to 3GHz”, Phys. Med. Biol., vol.47, pp2835-2846, 2002.
(2)長岡 智明, 広瀬 尚三, 福田 和生, 国枝 悦男, 王 建青, 藤 原 修, 渡辺 聡一, “成人数値人体モデルの変形による小児数値人体モデルの開発,” 信学技報, EMCJ2005-26(2005-06).
(3)C. Gabriel, “Compilation of the dielectric properties of body tissues at RF and microwave frequencies”, Brooks Air Force Technical Report AL/OE-TR-1996-0037, 1996.

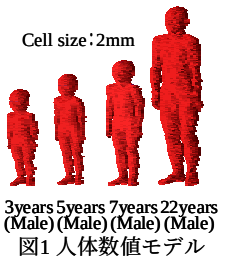

図1 人体数値モデル

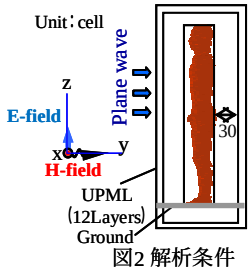

図2 解析条件

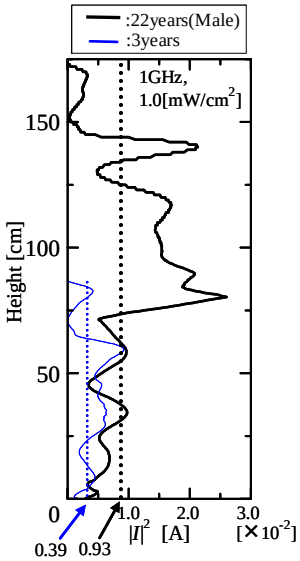

図3 身長方向の層平均誘導電流2乗値のプロファイル

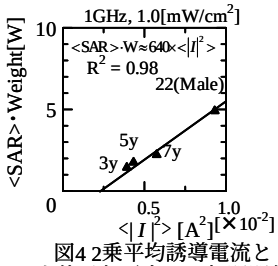

図4 2乗平均誘導電流と人体吸収電力との相関関係

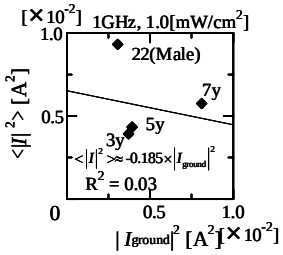

図5 足裏を介したグラウンドへの接触電流2乗値と2乗平均誘導電流との相関関係