

人体の非接地条件を満たさない場合の電界強度の実効値（平均時間 6 分間）は、30MHz から 100MHz までは 9V/m、100MHz から 300MHz までは 0.09f[MHz]V/m (9~27 V/m) 以下でなければならない。

上記の接地条件に対する電磁界強度指針は人体における電力吸収が最大（最悪）となる場合を想定しており、実際の曝露環境では過剰に厳しすぎる指針値となることが多い。一方で、足首を通過する誘導電流を測定することで以下の式より足首 SAR を推定することが可能である。

$$\text{足首 SAR} = J^2 / (\sigma \rho) \quad (1)$$

ここで、 $\sigma$  は導電率、 $\rho$  は密度、 $J$  は電流密度であり、以下の式より与えられる。

$$J = I/A \quad (2)$$

ここで、 $I$  は足首誘導電流、 $A$  は足首の等価断面積である。そこで、防護指針では、接地条件に対する電磁界強度指針値を超えている場合でも、足首誘導電流に関する補助指針値を満たしていれば、防護指針を満足していると判断できるとしている。

近年の電波の健康影響に対する関心の高まりを受けて、平成 9 年より電波防護指針は強制規格として運用されている [3]。しかし、接地条件に対する電磁界強度指針と足首誘導電流に関する補助指針については強制規格に含まれていない。これは、接地条件の定義が明確でないことと足首誘導電流の測定法が確立されていないことによる。しかしながら、今後予定されている地上波デジタル放送サービス開始に伴う放送塔建設等に伴い、VHF 帯を含む放送用電波に対する電波防護について一般公衆の関心が高まることが予想される。したがって、接地条件に対する電波防護指針の強制規格化のための課題を解決し、適切な電波防護環境を構築することが急務とされている。

これまでの接地条件下での人体 SAR に関する研究では、主に欧米人成人男性の直立モデルに対する検討が報告されている。Gandhi らは 1 辺が 1.31-2.62cm の立方体セルから構成された欧米人成人男性人体モデルを用いた数値シミュレーションにより、接地条件における足首 SAR に関する検討を報告している [4], [5]。Dimbylow は膝下についてはより小さなセル (4x4x10-mm) で詳細なモデル化を行った成人男性モデルと、これを縮小した 10 歳、5 歳児モデルを用いた検討を行なっている [6]。最近、Dimbylow は MRI 画像データに基づいた詳細な解剖学的構造を有する人体モデルを用いた検討も行なっている [7]。しかし、これらのモデルはいずれも直立姿勢の欧米人男性のモデルであること、Dimbylow による子どもを想定した人体モデルも成人男性モデルをスケールしたものであり、各部位の形状は必ずしも子どもの寸法とは一致していないことから、様々な体型を考慮した場合の SAR 特性は必ずしも明らかでない。

そこで、本研究では、新たに日本人体型のデータベース [8] を元に日本人平均体型を有する人体モデルを作成し、接地条件下での人体 SAR 特性について検討を行った。これらのモデルは

表 1 成人直立モデルの地面からの高さ

モデル	欧米人男性	日本人男性	日本人女性
高さ [cm]	180	169	157

表 2 男児モデルの地面からの高さ

モデル	14 歳	12 歳	10 歳	7 歳
高さ [cm]	161	147	136	119

表 3 変形姿勢モデルの地面からの高さ

モデル	歩行	座位	片足上げ
高さ [cm]	168	138	169

日本人成人男女と 7、10、12、14 歳の子どもの平均体型を有している。さらに、直立姿勢だけでなく、様々な姿勢（歩行、座位、片足上げ）を有するモデルも作成した。本研究では、これらのモデルと欧米人成人男性の人体モデルを用いて、接地、非接地条件下において、VHF 帯の平面波を曝露した時に、人種・性別・年齢・身長・姿勢が全身共振時の SAR 特性に与える影響を検討した。さらに、これらの様々な条件下において、接地条件に対する防護指針の妥当性についても考察を行った。

## 2. 方法とモデル

### 2.1 数値シミュレーション方法

本研究では FDTD 法 [9] を用いた数値シミュレーションにより、様々な条件下における人体 SAR の計算を行った。大地面以外の計算領域の境界は自由空間中への無反射吸収条件を近似する Liao の 2 次吸収境界条件を用いた [10]。大地面と想定されている計算領域の境界面については、完全電気導体壁を想定した。周波数に応じて 6~10 周期にわたり FDTD 計算を行った。

### 2.2 人体モデル

本研究で用いた人体モデルを図 1~3 に示す。図 1(a), (b) は Visible Human Project のデータベースに基づいて米国空軍研究所により開発された欧米人成人男性人体モデルである。このモデルは不均一組織構造を有しており、それぞれの組織に固有の電気定数を与えた不均一組織モデルと全ての組織に同じ電気定数を与えた均一組織モデルについて、検討を行った。図 1(c), (d) に、著者らが新たに開発した日本人成人男女の平均体型を有する人体モデルを示す。また、図 2 に、14、12、10、7 歳の日本人の子どもの平均体型を有する人体モデルを示す。さらに、図 3 に、日本人成人男性の平均体型で、かつ歩行、片足上げ、座位の各姿勢の人体モデルを示す。これらの日本人モデルは人体寸法データベースと連動した CAD ソフトウェア（オージス総研 quiete）を利用して、作成した。なお、これらの日本人モデルは均一組織である。

各モデルの地面からの高さを表 1~3 に示す。これらのモデルは一辺が  $\Delta = 5\text{mm}$  の立方体セルで構成されている。各組織の電気定数は Gabriel ら [11] により報告されている値を用いた。均一組織としては、従来より全身を代表する均一組織として用いられている 2/3 筋肉を想定した。2/3 筋肉の電気定数は筋肉 (Ave. Muscle) の電気定数を 2/3 倍した値を用いた。