

UWB 通信帯域における生体等価ファントムの特性

滝本 拓也^{†a)} 大西 輝夫^{††,†} 齊藤 一幸^{†††} 高橋 応明^{†††}
上林 真司^{††} 伊藤 公一^{†††}

Characteristics of Biological Tissue Equivalent Phantoms Applied to UWB Communications

Takuya TAKIMOTO^{†a)}, Teruo ONISHI^{††,†}, Kazuyuki SAITO^{†††},
Masaharu TAKAHASHI^{†††}, Shinji UEBAYASHI^{††}, and Koichi ITO^{†††}

あらまし 筆者らはこれまでに、単一の組成比で 3~6 GHz の帯域において人体の電気定数を模擬することが可能な生体等価ファントムの検討を行ってきた。そこで本論文では、900 MHz~3 GHz と 6~10 GHz を含む帯域に拡張した場合、上記ファントムを用いたアンテナ諸特性の検討が可能かどうか、ファントムの電気定数に着目して定量的に検討を行った。その結果、アンテナ入力インピーダンス、放射効率、放射指向性には本ファントムの電気定数が目標値からずれてもあまり影響が現れないことが明らかになった。このことより、本ファントムは UWB 帯域の全域において、アンテナ諸特性の測定に関しては高精度な評価が可能であり、有効であることが明らかになった。更に、アンテナから放射される電磁波エネルギーによるファントム内部での局所平均 SAR についても、UWB 帯域の全域 (3~10 GHz) においてファントムの電気定数が目標値からずれることによる差異は ±3%以内収まることが明らかになった。

キーワード UWB, ブロードバンド, 生体等価ファントム, 局所 SAR, FD-TD 法

1. ま え が き

現在、これまで通信・放送で使用されてきた周波数帯より高い周波数を利用した高速大容量通信に関する研究・開発が行われており、その一つとして次世代の通信方式である Ultra Wide Band (UWB) 技術[1]を用いた超広帯域無線システムが挙げられる。UWB 技術は、主に屋内における短距離大容量通信を目指したものであり、時間幅の短いパルスを用いて通信を行い、3.1~10.6 GHz の広い周波数帯域を利用するとされている。

UWB 技術を用いた通信は人体近傍で行われることが想定されるため、これに用いるアンテナの開発にお

いては、人体がアンテナ特性に与える影響を定量的に考察することが重要である [2], [3]。この影響を実験的に評価するには、人体の電気定数を模擬した“生体等価ファントム”を用いることが必要不可欠であり、既に UWB 通信用ファントムに関する検討も行われている [4]。

一方、近年 6 GHz までの無線機器が人体近傍で使用された際の人体における電磁波エネルギーの比吸収率: Specific Absorption Rate (SAR) [W/kg] 測定法の国際的な標準化が進められている [5]。

筆者らはこれまでに、単一の組成比、すなわち一つのファントムで 3~6 GHz の人体の電気定数を模擬することができる生体等価ファントムの検討を行ってきた [6]~[8]。この結果、3~6 GHz の周波数範囲であれば、ファントムを構成する材料の組成比を調整することで人体各部の電気定数を比較的自由に実現することが分かった。一方、上記の UWB 通信で使用する全帯域にわたって一つの組成比で人体の電気定数を模擬できるファントムはまだ開発されていない。しかしながら、UWB 通信用アンテナの開発において、周波

[†] 千葉大学大学院自然科学研究科, 千葉市
Graduate School of Science and Technology, Chiba University, Chiba-shi, 263-8522 Japan

^{††} (株) NTT ドコモ, 横須賀市
NTT DoCoMo, Inc., Yokosuka-shi, 269-8536 Japan

^{†††} 千葉大学フロンティアメディカル工学研究開発センター, 千葉市
Research Center for Frontier Medical Engineering, Chiba University, Chiba-shi, 263-8522 Japan

a) E-mail: takimoto@graduate.chiba-u.jp

数帯域ごとに異なった組成比のファントムを用いることは現実的ではない。

そこで、筆者らがこれまで検討を行ってきた 3~6 GHz の人体の電気定数を模擬することができる一つの生体等価ファントムを用いて、現行の携帯電話や ISM (Industrial, Scientific, and Medical) 周波数帯、更には UWB 通信の上限周波数をほぼ網羅する、900 MHz から 10 GHz までの各周波数において、アンテナ諸特性としてアンテナ入力インピーダンス、放射効率、放射指向性を評価した。その際に、各周波数におけるファントムの電気定数の目標値との差異が、これらの評価結果にどのような影響を与えるか数値計算を用いて明らかにした。更に、ファントム内部における SAR についても同時に検討を行った。

本論文では、まず、対象とする生体等価ファントムの電気定数の測定を行い、各周波数においてその測定値と目標値との差異を明らかにする。

次に、ファントムの電気定数の差異がアンテナ諸特性に与える影響を明らかにするために、各周波数において FD-TD (Finite Difference Time Domain) 法を用いて、直方体ファントムの近傍に配置した半波長ダイポールアンテナの解析を行う。その際、ファントムの電気定数を目標値及び測定値に設定し、アンテナ諸特性の比較を行う。

更に同様の手法で、ファントム内部の SAR に関しても比較を行う。

2. 生体等価ファントムの電気定数

2.1 検討を行う周波数と目標とする電気定数

本論文では、人体の筋肉組織を模擬した電気定数 (Gabriel らの実験値 [9]) に 2/3 を乗じた生体等価ファントムの電気定数を目標値として検討を行う。(以降、本ファントムを 2/3 筋肉等価ファントムと記述する。)

検討を行う周波数は、まず、UWB 通信に用いられる周波数帯域である 3~10 GHz において、1 GHz 刻み (3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 GHz) とした。なお、UWB 通信は広帯域無線伝送方式であり、UWB 帯域でアンテナ諸特性や SAR を評価する際にはこの広帯域特性を考慮する必要がある。しかしながら、3~10 GHz までの周波数帯域でファントム電気定数の目標値と測定値の差がアンテナ諸特性や SAR にどのくらい影響するかまだ明らかになっていない。したがって、本検討では周波数を離散的 (1 GHz 刻み) に設定して検討を行った。次に、現行の携帯電話システムにおいて一般

表 1 2/3 筋肉等価ファントムの組成

Table 1 Composition of the 2/3-muscle equivalent model (A batch is approximately 4,500 g).

Material	Amount [g]
Deionized water	3,375.0
Agar	104.6
Polyethylene powder	1,012.6
Sodium chloride	7.0
TX-151	30.1
Dehydroacetic acid sodium salt	2.0

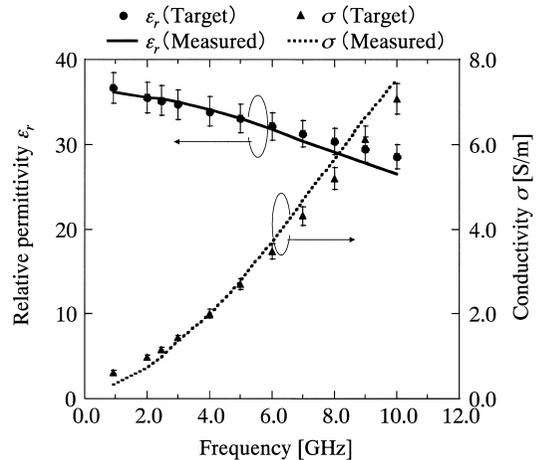


図 1 2/3 筋肉等価ファントムの電気定数の周波数特性
Fig.1 Frequency characteristics of the electrical constants in the case of a 2/3 muscle-equivalent phantom.

に広く普及している 900 MHz、及び、第 3 世代移動通信システム (IMT-2000) の使用周波数 2 GHz を選択した。更に、我が国で認可されており、現行の無線 LAN や工業用などに使用されている ISM 周波数の一つである 2.45 GHz についても検討を行う。

2.2 生体等価ファントムの電気定数

表 1 に、本論文の検討に用いた 2/3 筋肉等価ファントムの組成を示す。また、図 1 に、2/3 筋肉等価ファントムの電気定数測定結果を示す。ここで及びは、それぞれ 2.1 にて説明した周波数における比誘電率と導電率の目標値であり、実線及び点線はそれぞれの電気定数の測定結果である。ファントム電気定数の測定には、アジレントテクノロジー社製の HP85070E 誘電率プローブキットを用いた。図 1 中のエラーバーは、各々の周波数における目標とする電気定数からの $\pm 5\%$ の範囲を示している。なお、この電気定数の範囲は、電波産業会 (ARIB) の標準規格 ARIB STD-T56 [10] を参考とした。図 2 は、各々の

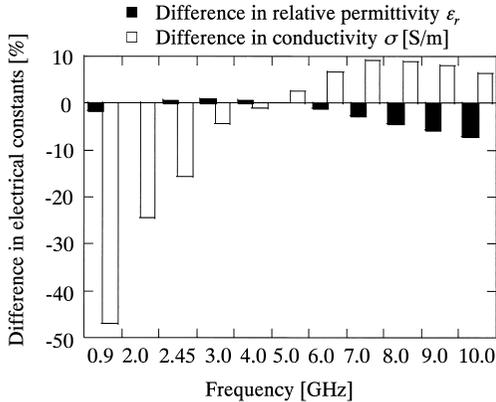


図2 2/3 筋肉等価ファントムの電気定数の差異

Fig. 2 Difference in the electrical constants of the 2/3 muscle-equivalent phantom.

周波数における目標値と測定値の差異を示したものである。

図1, 図2より明らかなように, 単一の組成比で作製した2/3 筋肉等価ファントムの電気定数は, 3~6 GHzの各周波数においては目標値の $\pm 5\%$ の範囲にほぼ収まっていることが分かる。一方で, ファントムの比誘電率は, 9 GHz以上で測定値が目標値の $\pm 5\%$ を超えており, 導電率については900 MHz~2.45 GHz及び6~10 GHzの範囲で測定値が目標値の $\pm 5\%$ の範囲外にあることが分かる。ただし, 比誘電率ではすべての帯域で $\pm 10\%$ 以内であり, 導電率も3 GHz以上は $\pm 10\%$ に収まっている。これは, 今回作製したファントムは3~6 GHzにおける人体組織の電気定数を想定しているためであり, ファントムの組成比を調整することで他の周波数帯(例えば, 800 MHz~2.5 GHz)においても同様に電気定数を目標値に合わせることが可能である[11], [12]。なお, いずれの場合においても, ある周波数帯で電気定数を目標値に合わせると他の周波数帯では誤差が生じるために注意が必要である。

3. 数値解析モデル

本論文では, 900 MHz~10 GHzの各周波数において, 人体を模擬した2/3 筋肉等価ファントムの近傍に配置した半波長ダイポールアンテナの諸特性をFD-TD法[13]により算出した。UWB通信において半波長ダイポールアンテナは, 必ずしも代表的なアンテナとはいえないものの, 基本的な検討には有効であると考えられる。また, 各周波数に対応する半波長ダイポールアンテナを使用して離散的に検討を行うことで, UWB

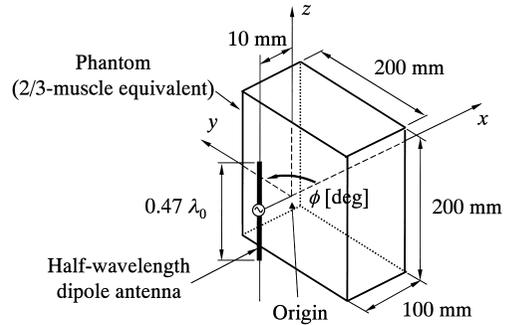


図3 計算モデル

Fig. 3 Calculation model.

以外のシステムで検討を行う際にも本論文の検討結果を適用することが可能である。更に本論文では, ファントム電気定数(目標値と測定値)の差異がアンテナ諸特性などを与える影響について基礎的なデータを収集するために, 構造が簡単な直方体ファントムモデルで検討を行った。図3に計算に用いたモデルを示す。FD-TD解析において, 半波長ダイポールアンテナのエレメントは細線近似にてモデル化し, 完全導体とした。ここで, アンテナと対向しているファントム表面の中心を座標原点とし, アンテナ給電点の位置を $x = -10$ mmとした。

計算には, 不均一格子を採用し, アンテナ近傍のみ格子サイズを小さく設定した。ただし, 計算精度を確保するために最大格子サイズが媒質内波長の $1/10$ 以下の大きさになるように注意した。なお, 吸収境界条件には8層のPML[14]を用いた。

ファントム形状は, COST244で規定されている立方体ファントム(1辺200 mm)[15]を参考に, 計算コスト削減の観点から奥行を100 mmに設定した。ファントムの電気定数は, 検討を行う各周波数において, 2.1に示した2/3 筋肉等価ファントムの電気定数(目標値, 測定値)を用いた。

4. 電気定数の差異によるアンテナ諸特性への影響

4.1 アンテナ入力特性

図4に, ファントムの電気定数(目標値と測定値)をパラメータとしたアンテナ入力インピーダンス, 及び図5に同条件での S_{11} の計算結果を示す。ここで, Targetとはファントムの電気定数を目標値としたときの計算結果であり, Empiricalとはファントムの電

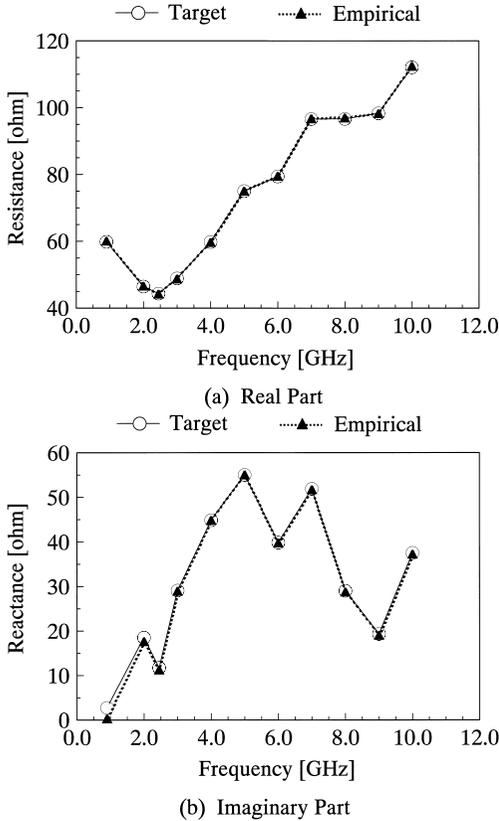


図 4 ファントム電気定数（目標値と測定値）によるアンテナ入力インピーダンスの計算結果
 Fig. 4 Calculated antenna input impedance based on measured and target electrical constants of the phantom.

電気定数を測定値としたときの計算結果である（以後同様）。

図 4 より、900 MHz ~ 10 GHz までの周波数帯において、ファントムの電気定数が目標値と測定値で差があるにもかかわらず、アンテナ入力特性にはほとんど違いが見られなかった。図 5 においては、図 4 でアンテナ入力インピーダンスの虚部に一部影響が見られるものの、 S_{11} の変動量は非常に小さく、 S_{11} (Target) と S_{11} (Empirical) の最大差は 2 GHz のとき 0.40 dB である。すなわち、電気定数の差（目標値と測定値）が図 2 の範囲程度であれば、アンテナ入力特性に影響を及ぼさないことが明らかになった。したがって、筆者らが開発した単一の組成比で 3 ~ 6 GHz までの人体の電気定数を模擬することができる生体等価ファントムを用いて、このファントムの近傍にダイポールアン

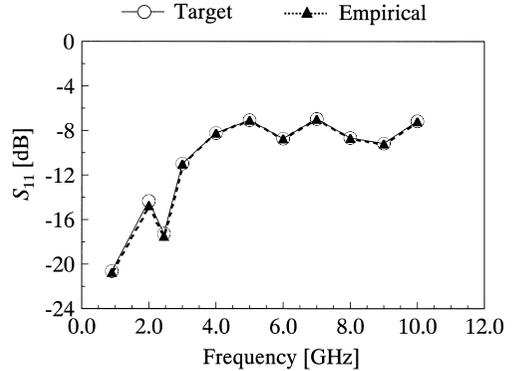


図 5 ファントム電気定数（目標値と測定値）による反射特性 S_{11} の計算結果
 Fig. 5 Calculated S_{11} of the antenna based on measured and target electrical constants of the phantom.

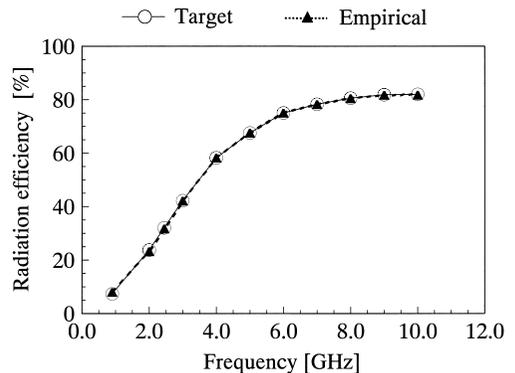


図 6 ファントム電気定数（目標値と測定値）による放射効率の計算結果
 Fig. 6 Calculated radiation efficiency of the antenna based on measured and target electrical constants of the phantom.

テナを配置したモデル（図 3）においてアンテナ入力特性の評価を行った場合に、携帯電話システムの周波数帯域から UWB の周波数帯域までの広範囲にわたって、アンテナ反射特性を高精度に評価することが可能であるといえる。

4.2 放射効率

図 6 に、ファントムの電気定数（目標値と測定値）をパラメータとしたアンテナ放射効率の計算結果を示す。なお、放射効率 η は以下の式により算出した。

$$\eta = \left(1 - \frac{P_L}{P_A}\right) \times 100 \quad [\%] \quad (1)$$

ここで、 P_A : アンテナへの正味入力電力 [W]、 P_L : ファントム内で消費される電力 [W] である。

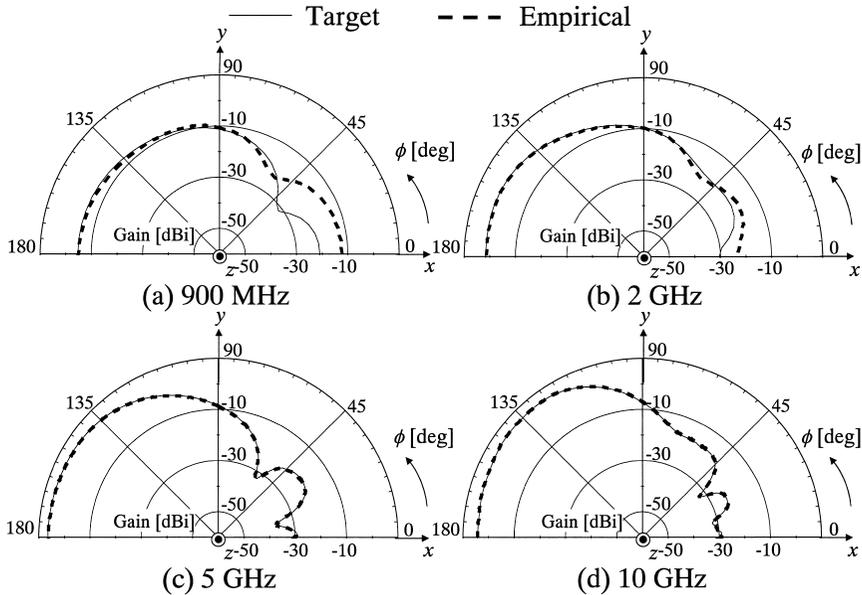


図 7 ファントム電気定数 (目標値と測定値) によるアンテナ放射指向性の計算結果
 Fig. 7 Calculated radiation patterns of the antenna based on measured and target electrical constants of the phantom.

今回の検討では、アンテナは完全導体と仮定したため、アンテナの導体損は考慮していない。

図 6 より、放射効率も同様に、900 MHz ~ 10 GHz の周波数帯域において、本計算モデル (図 3) では電気定数の差 (目標値と測定値) の影響がほとんどなく、高精度な評価が可能であることが明らかになった (最大差は 900 MHz において 0.6% (Target 7.4% に対して Empirical 8.0%) である)。また、周波数が高くなるにつれて放射効率は向上することが分かる。これは、アンテナ—ファントム間距離 10 mm を各周波数での波長に換算すると、電気的な距離がそれぞれ異なり、周波数が低いほどアンテナはファントムに近く、ファントムに吸収される電力が大きくなることが原因であると考えられる。

4.3 放射指向性

図 7 に、900 MHz, 2 GHz, 5 GHz, 10 GHz における、ファントムの電気定数 (目標値と測定値) をパラメータとした、水平面内 (xy 面) における垂直偏波成分のアンテナ放射指向性を示す。また、図 8 に同条件での最大利得の計算結果を示す。なお、図 7 の放射指向性は 0° 方向がファントム背面を示し、構造の対称性より $0^\circ \sim 180^\circ$ の結果のみを示した。図 7 より、放射指向性は、5 GHz (図 7 (c)) や、10 GHz (図 7 (d))

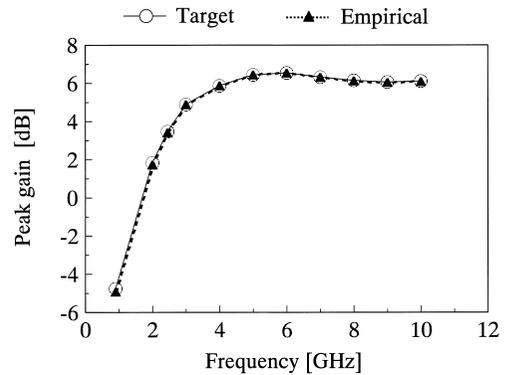


図 8 ファントム電気定数 (目標値と測定値) によるアンテナ最大利得の計算結果
 Fig. 8 Calculated peak gain of the antenna based on measured and target electrical constants of the phantom.

におけるファントムの電気定数の差異による影響はほとんど認められなかった。一方、900 MHz (図 7 (a)) や、2 GHz (図 7 (b)) の結果は、ファントム背面方向で若干放射パターンに違いが見られた。しかしながら、最大放射方向 ($\phi = 180^\circ$ 近辺) における放射パターンについては、すべての周波数において差異が小さいことを確認した。

図 8 より、最大利得は前節までと同様に、900 MHz ~

10 GHz (特に 3 GHz 以上の UWB 帯域) において本ファントムを用いて評価した場合も、ほとんど変化しないことが明らかになった。

以上より、ファントム近傍に配置したダイポールアンテナの放射指向性はファントムの電気定数の差 (目標値と測定値) によって、低い周波数でファントム背面方向のパターンに差異が認められたものの、メインローブ側の最大利得にはほとんど差異がないことが明らかになった (Target と Empirical の差異は 900 MHz で最大 0.16 dB である)。

5. SAR 評価におけるファントム電気定数の差異による影響

SAR は、生体組織の電磁波エネルギー吸収量を表す指標であり、以下の式で定義される。

$$SAR = \frac{\sigma}{\rho} E^2 \quad [W/kg] \quad (2)$$

ここで、 σ : 生体組織の導電率 [S/m], ρ : 生体組織の密度 [kg/m³], E : 電界強度 (実効値) [V/m] である。

SAR には、式 (2) のみによって定義される“局所 SAR”と、1g 分の生体組織中の空間平均値である“局所 1g 平均 SAR”, 及び同様に 10g 分の生体組織中の空間平均値である“局所 10g 平均 SAR”の三つが用いられている。特に、1g 及び 10g 平均 SAR は、人体近傍で使用される携帯通信機の評価指標として各国で広く用いられている。本論文では、これら 3 種類の SAR の最大値に関して、ファントム電気定数の差による影響について考察を行った。

図 9 に、ファントムの電気定数 (目標値と測定値) をパラメータとした局所ピーク SAR (局所 SAR の最大値), 局所 1g 平均 SAR, 局所 10g 平均 SAR の差異 [%] について計算結果を示す。なお、SAR の差異は Target (目標の電気定数より得られた SAR) の SAR を基準値として算出した。図 9 より、局所ピーク SAR は、2.45 GHz 以下や 8 GHz 以上の周波数において、Target と Empirical (測定した電気定数より得られた SAR) との差異は、-49 ~ 10% と大きく変動している。ただし、UWB 帯域 (3 ~ 10 GHz) においては、その差異は ±10% 以内に収まっている。

また、これまでの検討で、 σ の変動が SAR に及ぼす影響は、 ϵ_r の変動が SAR に及ぼす影響の約 2 倍に相当するということが明らかになっており [16]、これは図 9 の SAR 差異の結果によく反映されており、 σ の目標値と測定値の差が大きい低周波帯ほど、局

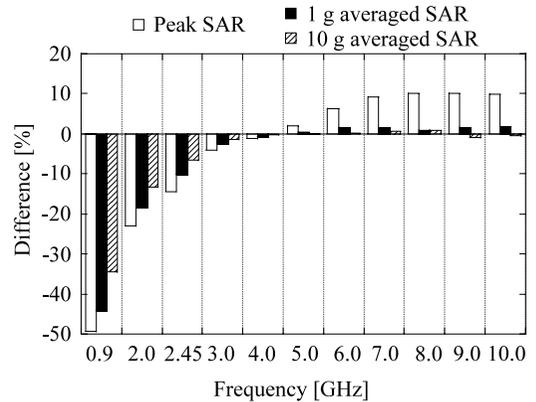


図 9 ファントム電気定数 (目標値と測定値) による局所 SAR の差異

Fig. 9 Difference in local SARs of the antenna based on measured and target electrical constants of the phantom.

所 SAR の差異が大きいことが確認できる。一方、高周波帯 (3 GHz 以上) ではファントムの電気定数 (目標値と測定値) をパラメータとしたときの、局所平均 SAR の差異は ±3% 以内と小さくなることが明らかになった。これは、周波数が高くなるにつれて表皮深さが小さくなり (例えば、10 GHz では約 4mm であり、2 GHz の約 1/8 倍である)、導体表面に電磁界が集中して存在することに起因すると考えられる。ここで、局所 1g 平均 SAR は約 10mm、局所 10g 平均 SAR は約 23mm の深さの領域にわたって空間平均を行う。一方、高周波になるほど電界の減衰が急激であり、文献 [16] で説明されているようにファントム表面付近での SAR の差異による影響が小さくなったと考えられる。ここで、ファントム電気定数の差 (目標値と測定値) による局所平均 SAR の差異は UWB 帯域の全域 (3 ~ 10 GHz) において、±3% 以内に収まることが明らかになった。

6. む す び

本論文では、一つの組成で 3 ~ 6 GHz の人体の電気定数を模擬することができる生体等価ファントムを用いて、900 MHz ~ 3 GHz と 6 ~ 10 GHz を含む帯域に拡張した場合に、ファントム電気定数の目標値と測定値の差が、ファントム近傍 (表面から 10mm 離れた位置) に配置された半波長ダイポールアンテナの諸特性に与える影響を FD-TD 法を用いた計算により明らかにした。

その結果、このファントム（直方体モデル）とダイポールアンテナを用いたモデル（図 3）において、アンテナ入力インピーダンス、放射効率、放射指向性にはファントムの電気定数（目標値と測定値）の差は大きく影響しないことが明らかになった。一方、アンテナから放射される電磁波エネルギーによるファントム内部での SAR の変動については、電気定数（目標値と測定値）の差に比例して局所ピーク SAR は $-49\% \sim 10\%$ と大きく変動することが明らかになった（ここで、局所ピーク SAR の差異が比較的大きい（ $\pm 10\%$ を超える）のは UWB 帯域以外の周波数帯である）。また、ファントムの電気定数の差（目標値と測定値）による局所平均 SAR の差異は UWB 帯域（3~10 GHz）において $\pm 3\%$ 以内に収まることが明らかになった。

以上より、3~6 GHz で人体の電気定数を $\pm 5\%$ 以内で模擬していれば、本ファントムは、UWB 帯域の全域においてファントム近傍に配置したダイポールアンテナの特性評価に用いることができるということが明らかになった。

謝辞 本研究を進めるにあたり、生体等価ファントムの電気定数測定に際し便宜を図って頂いた独立行政法人情報通信研究機構の渡辺聡一氏、和氣加奈子氏、花澤理宏氏に感謝いたします。

文 献

- [1] FCC Part15, "Radio frequency devices," FCC, USA, 2003.
- [2] M.A. Jensen and Y. Rahmat-Samii, "EM interaction of handset antennas and a human in personal communications," Proc. IEEE, vol.83, no.1, pp.7-17, Jan. 1995.
- [3] 渡辺聡一, 多氣昌生, 野島俊雄, "携帯無線機のアンテナ入力インピーダンスに対する人体頭部との相互作用による影響," 信学論 (B-II), vol.J79-B-II, no.9, pp.557-565, Sept. 1996.
- [4] 西田洋一, 原大五郎, 小林岳彦, "UWB 人体電磁ファントムの開発," 信学技報, A-P2003-298, March 2004.
- [5] IEC TC106 PT62209 Part2 (draft).
- [6] R. Ishido, T. Onishi, K. Saito, S. Uebayashi, and K. Ito, "A study in the solid phantom for 3-6 GHz and evaluation of SAR distribution based on the thermographic method," EMC'04, 3B3-2, Sendai, Japan, June 2004.
- [7] 石戸 良, 大西輝夫, 齊藤一幸, 上林真司, 伊藤公一, "3-6 GHz における生体等価ファントムと SAR 測定に関する検討," 信学技報, A-P2003-299, March 2004.
- [8] 滝本拓也, 大西輝夫, 齊藤一幸, 高橋応明, 上林真司, 伊藤公一, "5.2 GHz 帯におけるサーモグラフィ法を用いた SAR 測定の熱解析手法に関する検討," 2004 信学ソ大, B-4-44, p.314, Sept. 2004.
- [9] S. Gabriel, R.W. Lau, and C. Gabriel, "The dielectric properties of biological tissues: II. Measurements in the frequency range 10 Hz to 20 GHz," Phys. Med. Biol., vol.41, pp.2251-2269, April 1996.
- [10] 電波産業会標準規格, "携帯型無線機端末の比吸収率測定法," ARIB STD-T56 2.0 版, Jan. 2002.
- [11] 伊藤公一, 古屋克己, 岡野好伸, 浜田リラ, "マイクロ波帯における生体等価ファントムの開発とその特性," 信学論 (B-II), vol.J81-B-II, no.12, pp.1126-1135, Dec. 1998.
- [12] 伊藤公一, 河井寛記, 齊藤一幸, "生体等価ファントムの現状と今後の展望," 信学論 (B), vol.J85-B, no.5, pp.582-596, May 2002.
- [13] K.S. Yee, "Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell's equation in isotropic media," IEEE Trans. Antennas Propag., vol.14, no.3, pp.302-307, March 1966.
- [14] J.-P. Berenger, "A perfect matched layer for the absorption of electromagnetic waves," J. Comput. Phys., vol.114, no.1, pp.185-200, Oct. 1994.
- [15] COST244 WG3, "Proposal for numerical canonical models in mobile communications," Proc. COST244, pp.1-7, Roma, Nov. 1994.
- [16] 河井寛記, 吉村博幸, 伊藤公一, "生体等価ファントムの電気定数の誤差が局所 SAR 及び SAR 分布に及ぼす影響," 信学論 (B), vol.J85-B, no.5, pp.619-630, May 2002.
(平成 17 年 1 月 7 日受付, 4 月 7 日再受付)

滝本 拓也 (学生員)



平 16 千葉大・工卒。現在、同大大学院博士前期課程在学中。人体と電磁波の相互作用評価に関する研究に従事。

大西 輝夫 (正員)



昭 62 東京理科大・理工・物理卒。同年東洋通信機(株)入社。日本エリクソン(株)を経て、現在(株)NTT ドコモ・ワイヤレス研究所 EMC 研究室主任研究員及び千葉大・大学院・博士後期課程在学中。主に、SAR 測定法、人体と電磁波の相互影響に関する研究に従事。IEEE 会員。



齊藤 一幸 (正員)

平 13 千葉大大学院・博士後期課程了。博士(工学)。現在、千葉大・フロンティアメディカル工学研究開発センター・助手。マイクロ波の医療応用及び人体と電磁波との相互作用評価に関する研究に従事。平 12 IEEE AP-S Japan Chapter Young Engineer Award, 平 16 本会学術奨励賞等受賞。平 12 日本学術振興会特別研究員。IEEE, 映像情報メディア学会, 日本ハイパーサーミア学会各会員。



高橋 応明 (正員)

平元東北大・工・電気卒。平 6 東工大大学院博士課程了。同年武蔵工大・工・電気・助手。同大講師を経て、平 12 東京農工大・工・電気電子・助教授。平 16 千葉大・フロンティアメディカル工学研究開発センター・助教授。衛星放送受信アンテナ, 平面アンテナ, 小型アンテナ, RLSA, 環境電磁工学, 人体と電磁波の研究に従事。工博。IEEE シニア会員。



上林 真司 (正員)

昭 56 名大・工・電気卒。昭 58 同大大学院修士課程了。昭 61 同博士課程了。同年 NTT 入社。以来、音声符号化, 無線データ伝送技術, EMC の研究, CDMA 移动通信方式の開発に従事。現在(株)NTT ドコモ・ワイヤレス研究所 EMC 研究室室長。電気学会, IEEE, BEMS, 日本エム・イー学会各会員。



伊藤 公一 (正員)

昭 49 千葉大・工・電子卒, 昭 51 同大大学院修士課程了。同年東工大・工・助手。昭 54 千葉大・工・助手, 平元同助教授, 平 9 同教授, 平 15 同大・フロンティアメディカル工学研究開発センター・教授となり現在に至る。主に, プリントアンテナ, 小形アンテナ, ハイパーミア用アプリケーション等アンテナの医療応用, 人体と電磁波との相互影響の研究に従事。工博。IEEE フェロー, AAAS, 映像情報メディア学会, 日本ハイパーサーミア学会各会員。