

1.5 GHz 携帯電話機内蔵アンテナと人体頭部との相互作用

王 建青†(正員) 藤原 修†(正員)

Electromagnetic Interaction between Built-in Antennas and a Human Head for 1.5 GHz Portable Telephones

Jianqing WANG† and Osamu FUJIWARA†, Members

†名古屋工業大学工学部, 名古屋市

Faculty of Engineering, Nagoya Institute of Technology, Nagoya-shi, 466-8555 Japan

あらまし 逆 F アンテナに代表される携帯電話機内蔵アンテナと人体頭部との相互作用を, 筆者らの製作による頭部リアルモデルを用いて FDTD (Finite Difference Time Domain) 法で解析し, 頭部ドシメトリとアンテナ特性を通話時における電話機傾き角度との関係において明らかにした.

キーワード 内蔵アンテナ, 人体頭部, 相互作用, FDTD

1. まえがき

携帯電話機用アンテナには, ホイップ状外部取付型と平板逆 F 状内蔵型のアンテナが主流である. 後者の逆 F アンテナに代表される携帯電話機内蔵アンテナと人体頭部との相互作用については, 詳細な人体頭部モデルを用いた解析例 [1] が少なく, それゆえに頭部のドシメトリやアンテナ特性の定量評価には不明な点が多い. 特に, 通話時における携帯電話機の傾き角度が使用者により異なるために, 携帯機用アンテナの偏波は使用形態により一定しない特徴を有し, その影響を知ることはアンテナ設計に際して重要である.

本論文では, 1.5 GHz 携帯電話機内蔵アンテナとして, 筐体きょうたいの上部又は背部に設置した 2 種類の逆 F アンテナを取り上げ, 筆者らの製作による人体頭部リアルモデルを用いて, 頭部ドシメトリ及びアンテナ特性と通話時における電話機の傾き角度との定量関係を示す.

2. 解析モデルと方法

図 1 は携帯電話機の解析モデルを示す. 携帯電話機は外部の誘電体ケースと内部の金属筐体とからなり, 逆 F アンテナは金属筐体に取り付けられているものとする. ここでは, 逆 F アンテナを筐体上部に設置した携帯電話機を T-PIFA (Top-mounted Planar Inverted F Antenna), 筐体背部に設置したそれを B-PIFA (Back-mounted Planar Inverted F Antenna) と名付け, それぞれの放射部のサイズは 1.5 GHz で共

振するように設定している. また, 誘電体ケースは一般には 1 mm 程度の厚さで, 誘電率 4 をもつとされているが, ここでは文献 [2] の手法にならって, 2.5 mm の厚さ, 1.43 の誘電率に置き換えた. 頭部モデルとしては, 解剖図を参考に製作した筆者らの数値モデル [3] を用いる. このモデルは, 2.5 mm の立方体セル約 27 万個からなり, 皮膚, 脂肪, 骨, 脳, 筋肉, 眼球とレンズの 7 種類の生体組織で人体頭部を詳細に模擬している. なお, 各組織の電気定数は文献 [4] から引用した. また, 携帯電話機を握る手は, 電話機筐体の下半部の 3 方を囲む格好とし, 幅 8 cm, 厚さ 2 cm の 2/3 筋肉等価媒質で置き換えた. 携帯電話機は頭部に密着するが, ここでは電話機筐体を頭部軸方向に平行に配置した場合を 0° とし, それから 15° ずつ 90° まで傾け, 通話時における各種の傾き角度を模擬した<sup>(注 1)</sup>.

上述の解析モデルを 220 × 220 × 220 セルの空間領域に配置し, 頭部ドシメトリ及びアンテナ特性を Mur の 2 次吸収境界条件を適用して FDTD 法で解析した. なお, アンテナ給電方法は δ ギャップ給電を用い, 給電部セルにもサブセル法を適用した [5].

FDTD コードを検証するために, 図 1 の T-PIFA モデルについて, 誘電体ケースと人体 (頭部・手) が存在しない場合のアンテナ入力インピーダンスの周波数特性を求め, この結果が文献 [5] の実験モデルと同じサイズに対する測定値に一致することを確認した (図 2 参照). また, 誘電体ケースと人体が存在すると

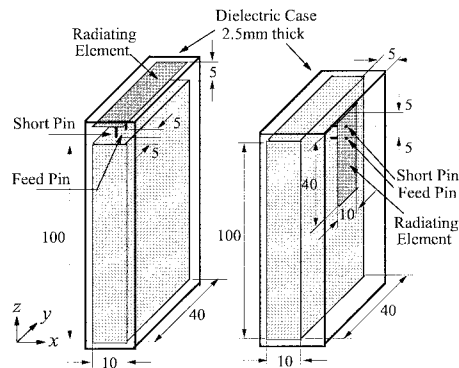


図 1 逆 F アンテナの寸法 (左: T-PIFA; 右: B-PIFA)

Fig. 1 Sizes of planar inverted F antennas (left: T-PIFA; right: B-PIFA).

(注 1): 実際の FDTD 計算においては, アンテナモデル化の便宜さから電話機を固定して頭部を傾けている.

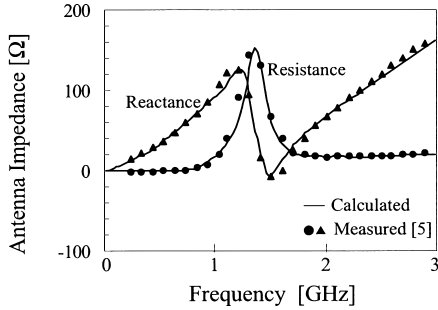


図2 T-PIFA アンテナの入力インピーダンス周波数特性 (人体頭部, 手及び誘電体ケースなし)  
Fig. 2 T-PIFA antenna input impedance (without human head, hand and dielectric case).

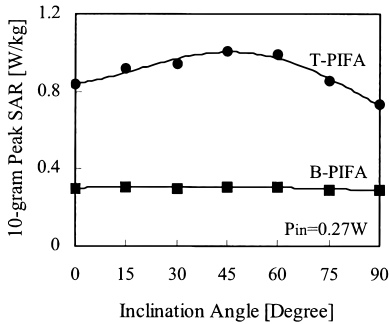
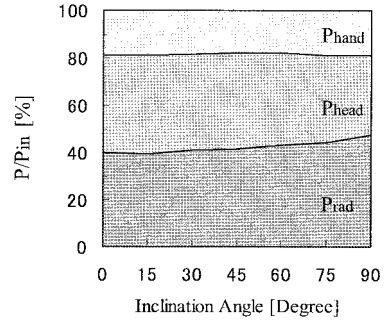


図3 携帯電話機傾き角度と頭部内10グラム平均局所ピーク SAR との関係  
Fig. 3 Inclination angle of portable telephone versus the ten-gram averaged spatial peak SAR.

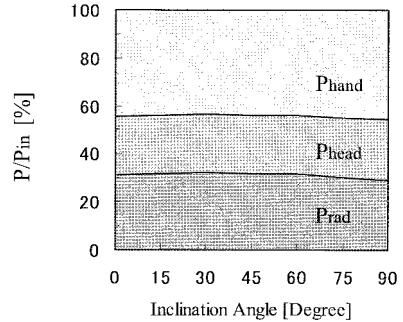
きは, T-PIFA と B-PIFA のいずれも 1.5 GHz 付近で共振していることを確認した。

3. 結果と考察

図3にアンテナ入力電力を0.27Wとしたときの携帯電話機傾き角度と人体頭部内10グラム平均局所ピーク SAR との関係を示す。図から, 携帯電話機を頭部軸方向から傾けると, B-PIFA による頭部内10グラム平均局所ピーク SAR はほとんど変化しないのに対し, T-PIFA によるピーク SAR は45~50° 付近で最大となり, B-PIFA の約3倍にも達していることがわかる。この値は1/4波長モノポールアンテナのそれ[6]よりも1.7倍も高い。その理由は T-PIFA の構造では金属筐体に電流がより流れやすいことに起因するものと考えられる。携帯電話機の通話時における傾き角度の調査結果[7]によると, 使用者の90%が45~70° 傾いた状態で通話しており, それゆえに T-PIFA はこの傾き角度範囲においてより高い頭部内局所ピーク SAR を



(a)T-PIFA



(b)B-PIFA

図4 携帯電話機傾き角度と放射電力, 吸収電力との関係  
Fig. 4 Inclination angle of portable telephone versus radiated power and absorbed power.

生じさせることになる。ただし, そのレベルは日本の局所吸収指針[8]の2W/kgを超えるものではない。

アンテナ入力電力を  $P_{in}$  とすると,

$$P_{in} = P_{rad} + P_{head} + P_{hand} \tag{1}$$

である。ここで,  $P_{rad}$  はアンテナから空間への放射電力,  $P_{head}$  と  $P_{hand}$  はそれぞれ頭部と手による吸収電力である。図4は携帯電話機傾き角度と各電力の  $P_{in}$  に対する割合との関係を示す。図から, T-PIFA の放射電力  $P_{rad}$  は60° 付近から増加するが, B-PIFA の場合には60° 付近から逆に減少し始めることがわかる。なお, T-PIFA の放射電力が増加する理由は, 電話機を傾げるにつれて, アンテナが頭部から遠ざかる結果として頭部内吸収量が減少することによるものと考えられる。また, 頭部や手に吸収される電力の総和は T-PIFA のほうが少なく, この結果, アンテナの遠方への放射電力は T-PIFA のほうが B-PIFA よりも多くなり, 通話時における電話機の頻用傾き角度(60°)付近では11%も高いことが知られる。

一方, 携帯電話機は一般には多重波伝搬環境におい

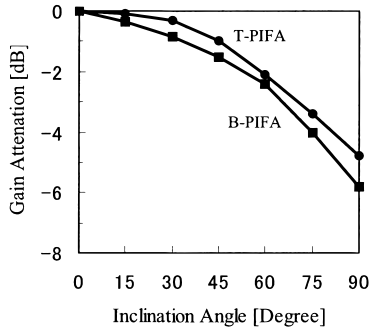


図5 携帯電話機傾き角度による垂直偏波の水平面における最大利得劣化量

Fig. 5 Inclination angle of portable telephone versus gain attenuation of vertical polarization.

て使用され、大地に対しては水平方向に主到来波が集中することが知られている。更に、基地局アンテナは垂直偏波で送受信しているため、最も効率の良い偏波は垂直偏波となる。図5は、T-PIFAとB-PIFAに対して、電話機傾き角度と水平面（頭部軸方向を横切る面）内における垂直偏波の最大利得劣化量との関係を示す。図から、垂直偏波の最大利得劣化量は、最大で6 dBであるが、一般に使われる傾き角度では2 dB程度であることがわかる。

#### 4. む す び

1.5 GHz 携帯電話機内蔵アンテナとして、筐体の上部（T-PIFA）と背部（B-PIFA）に設置した逆Fアンテナを取り上げ、頭部ドシメトリ及びアンテナ特性と通話時における電話機の傾き角度との関係をFDTD法で解析した。その結果、T-PIFAはB-PIFAに比して遠方へのアンテナ放射電力は11%程度高いが、頭

部内10グラム平均局所ピークSARは45~50°付近で最大となり、B-PIFAの約3倍にも達することがわかった。ただし、その値は日本の局所吸収指針を超えるものではない。

今後の課題としては、携帯電話機用ダイバーシチアンテナと人体頭部との相互作用の解析があげられる。

#### 文 献

- [1] 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.
- [2] O.P. Gandhi, G. Lazzi, and C.M. Furse, "Electromagnetic absorption in the human head and neck for mobile telephones at 835 and 1900 MHz," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol.44, no.10, pp.1884-1896, Oct. 1996.
- [3] O. Fujiwara and A. Kato, "Computation of SAR inside eyeball for 1.5-GHz microwave exposure using finite-difference time-domain technique," IEICE Trans. Commun., vol.E77-B, no.6, pp.732-737, June 1994.
- [4] <http://www.fcc.gov/oet/info/documents/bulletins/#65>
- [5] 宇野 亨, FDTD法による電磁界およびアンテナ解析, pp.151-174, コロナ社, 1998.
- [6] J. Wang and O. Fujiwara, "FDTD computation of temperature-rise in the human head for portable telephones," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol.47, no.8, 1999 (to appear).
- [7] 恵比根佳雄, "アンテナ技術—移動端末用アンテナ," NTT DoCoMo テクニカルジャーナル, vol.6, no.2, pp.65-72, 1998.
- [8] 電波利用における人体防護の在り方, 郵政省電気通信技術審議会答申, 諮問第89号, 1997.

(平成11年2月4日受付)