

研究速報

形状変化可能な電磁用手ファントム

平岡 拓海^{†a)}(学生員) 齊藤 一幸^{††}(正員)高橋 応明^{††}(正員:シニア会員)伊藤 公一[†](正員:フェロー)

Development on Flexible Electromagnetic Hand Phantom

Takumi HIRAOKA^{†a)}, Student Member,Kazuyuki SAITO^{††}, Member,Masaharu TAKAHASHI^{††}, Senior Member,and Koichi ITO[†], Fellow[†] 千葉大学大学院工学研究科, 千葉市

Graduate School of Science and Technology, Chiba University, Chiba-shi, 263-8522 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: kahunniyouchui@graduate.chiba-u.jp

あらまし 携帯端末のアンテナ特性は、実使用状況において使用者の手や胴体の影響を受けることが知られている。そこで、携帯端末用アンテナを設計する際には、手がアンテナ特性に与える影響を考慮する必要がある。携帯端末を使用する際には、手のなし得る形状は、当然のことながら一定ではない。本研究では、任意に形状を変化させることができる手ファントムを作製した。作製した手ファントムの有用性を示すために、手ファントムと実際の手にアンテナを握らせた際のアンテナの入力特性の測定結果を比較し、数値計算により測定結果の妥当性を確認した。その結果、実際の手によるアンテナ特性への影響を評価する際に、作製した手ファントムを用いることの有用性を示した。

キーワード ファントム, 携帯電話, 板状逆 F アンテナ, 手部

1. ま え が き

近年、携帯端末の多様化により、携帯端末の小型化、薄型化、アンテナの内蔵化が進んでいる。そのため、携帯端末の実使用状態では、人体によりアンテナ特性が劣化することが懸念される[1]~[3]。そこで、手によるアンテナへの電磁的影響を評価する必要がある[4]。これまでに、手の電気定数を有し、形状を詳細に模擬した手ファントムを用いて、実際の手がアンテナ特性に与える影響を調査した研究報告はいくつかある[5], [6]。しかしながら、携帯端末の使用時を考えると、手の位置や形状が一定ではない。そのため、手がアンテナ特性に与える影響を評価する際には、携帯端末の形状や大きさに合わせた手ファントムが必要になるだけでなく、アンテナに対する手の位置や形状を

変化させた検討をする必要がある。ここで、従来の固体ファントムを用いる場合には、検討対象の携帯端末や、想定する手の形状を変えるたびにファントムを替えなければならない。そのため、手の形状を変化させた検討を行うには、手ファントムは様々に変形できることが望ましい。そこで本研究では、任意に形状を変化させることができる手ファントムを作製した。更に、作製した手ファントムの有用性を示すために、手ファントムにアンテナを握らせた際のアンテナの入力特性を測定した。この測定結果を、実際の手にアンテナを握らせた際のアンテナの入力特性の測定結果と比較した。また、数値計算により測定結果の妥当性を確認した。この結果、作製した手ファントムと実際の手とでアンテナの入力特性がほぼ等しくなったため、作製した手ファントムの有用性が確認できた。

2. 形状変化可能な手ファントム

2.1 ファントムの組成

本節では、まず、手の電気定数及び作製したファントムの材料について述べる。人体の各組織の電気定数は、FCC (Federal Communications Commission) [7] や IFAC (Institute of Applied Physics) [8] が提示している。しかしながら、手や指の電気定数は明確化されていない。手や指は、主に皮膚、筋肉、脂肪、骨等で構成されている。本論文では、手表面の皮膚の影響が大きいと考えて、皮膚の電気定数を用いて検討することとした。ここで、FCC が提示している皮膚の電気定数は Dry skin と Wet skin が挙げられる。そこで、目標とする皮膚の電気定数を Dry skin と Wet skin の平均値として、ファントムを作製した。表 1 に、皮膚の電気定数と目標値及び測定値、表 2 に、作製したファントムの組成を示す [9]。表 1 より、2.0 GHz における電気定数の目標値である $\epsilon_r = 41.0$, $\sigma = 1.30 \text{ S/m}$ と作製したファントムの電気定数の測定値である $\epsilon_r = 40.2$, $\sigma = 1.41 \text{ S/m}$ とがおおむね一致していることが確認できる。

表 1 皮膚の電気定数と目標値及び測定値 @2.0 GHz
Table 1 Electrical properties of the skin @2.0 GHz.

	比誘電率	導電率 [S/m]
Dry skin	38.5	1.27
Wet skin	43.5	1.33
Target	41.0	1.30
Measured	40.2	1.41

2.2 形状変化可能な手ファントムの作製

2.1 で示したファントムの組成は、皮膚の半固体ファントムのものである。作製された半固体ファントムは、軟らかいが自立形状可能な硬さである。これは、凝固材として寒天を用いているためである。本研究では、半固体ファントムを加工することによって、形状変化可能な手ファントムを作製した。

作製手順は、まず、半固体ファントムを粒子が 1 mm^3 程度になるまで細かくつぶすことによって任意形状に対応できるようにする。次に、この細かくつぶしたファントムをラテックス製の手袋に入れることによって手の形状を模擬する。使用したラテックス製の手袋の寸

表 2 皮膚ファントムの組成@2.0 GHz
Table 2 Composition of the skin model @2.0 GHz.

材料	質量 [g]
水	1,000.0
寒天	30.0
ポリエチレンパウダー	200.0
塩化ナトリウム	10.0
TX-151	9
デヒドロ酢酸ナトリウム	0.6

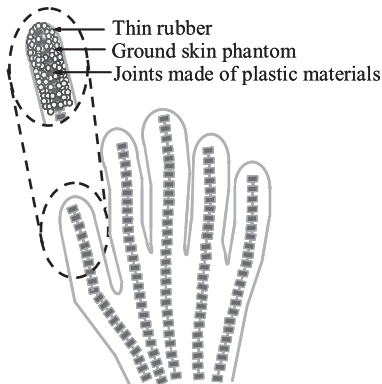


図 1 形状変化可能な手ファントムの構造
Fig.1 Structure of flexible hand phantom.

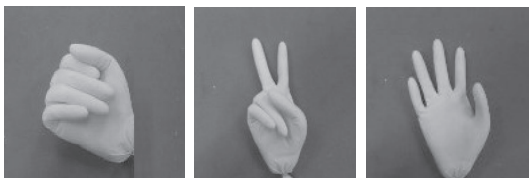


図 2 一つのファントムで異なる形状を実現する手ファントム

Fig.2 Developed hand phantom with different shapes.

法は、指の長さが、親指から順に、50.0, 70.0, 85.0, 75.0, 55.0 mm, 厚さは 0.06 mm である。また、これらの値は実測によるものである。ここで、作製した手ファントムは、形状を変化させることは可能であるものの、その形状を保持することが困難であった。そのため、プラスチック製の支持具をファントム内に入れることによって、形状を保持できるようにした。プラスチック製の支持具は、大きさ $3\text{ mm} \times 3\text{ mm}$ のボールジョイントをつなぎ合わせて作製した。作製したプラスチック製の支持具は、図 1 に示すように配置されている。この支持具は、手ファントムの指の部分では、各々の指がなす形状を保持する役割を担っており、手のひらや手首部分では、形状保持に加えて、強度を保つ役割も担っている。図 1, 図 2 に、形状変化可能な手ファントムの構造、及び作製した手ファントムの写真を示す。図 2 より、作製した手ファントムが任意な形状に対応できることが確認できる。

3. 形状変化可能な手ファントムの有用性評価

作製した手ファントムの有用性を確認するため、作製した手ファントムと実際の手に無線端末モデルを握らせた検討を行った。また、測定結果の妥当性を確認するために、数値計算を行った。

3.1 アンテナ構造

図 3 に、本検討で用いる PIFA の構造を示す。ストレート型携帯電話を想定し、地板の大きさは $115\text{ mm} \times 45\text{ mm}$ とする。また、放射板の大きさは $25\text{ mm} \times 14\text{ mm}$ とし、放射素子の短辺方向をすべて短絡した構造であり、目標とする動作周波数は 2.0 GHz である。また、アンテナ内部は、アンテナの小型化及び、機械的強度確保のために、厚さ 3.2 mm の誘電体 ($\epsilon_r = 2.17$) を挿入した。給電点は放射板の短辺方向から 4 mm 、長辺方向から 7 mm の位置に設けた。本検討では、手が携帯端末を握った状態を想定した検討

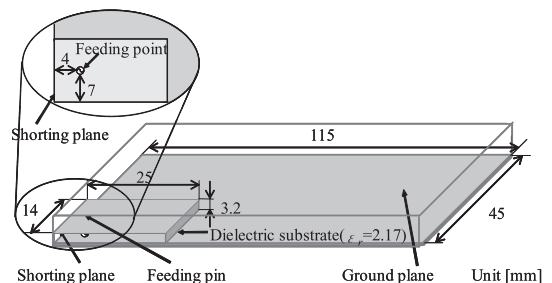


図 3 ストレート型携帯電話モデル
Fig.3 Model of mobile radio terminal.

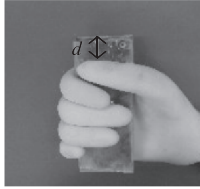


図 4 手ファントムにアンテナを握らせた際の測定モデル
Fig. 4 Measurement model of antenna with acrylic case gripped by developed hand phantom.

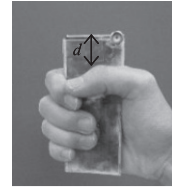


図 6 実際の手にアンテナを握らせた際の測定モデル
Fig. 6 Measurement model of antenna with acrylic case gripped by human hand.

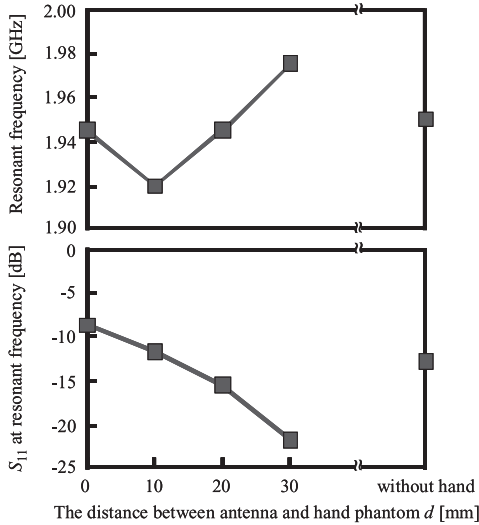


図 5 アンテナに対する手ファントムの位置変化によるアンテナの入力特性変化。(a) 共振周波数 (b) S_{11}
Fig. 5 Antenna characteristics changing the distance between antenna and developed hand phantom. (a) resonant frequency (b) S_{11} .

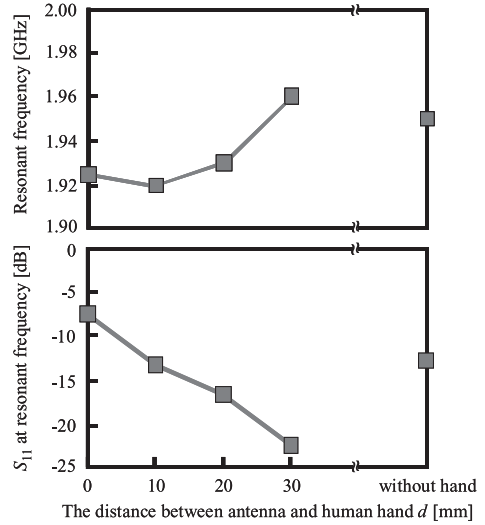


図 7 アンテナに対する実際の手の位置変化によるアンテナの入力特性変化。(a) 共振周波数 (b) S_{11}
Fig. 7 Antenna characteristics changing the distance between antenna and human hand. (a) resonant frequency (b) S_{11} .

を行うため、アンテナをアクリル製のケースに入れた。なお、ケースの大きさは $117\text{ mm} \times 47\text{ mm} \times 12\text{ mm}$ 、アクリルの厚さは 1.0 mm である。

3.2 手ファントムによる入力特性測定

図 4 に、手ファントムにアンテナを握らせた際の測定モデルを示す。放射素子を設けた面に手ファントムの手のひらを配置した。また、アンテナ上面から手ファントムの上面までの距離を d とし、距離 d を 10 mm 間隔で $0 \sim 30\text{ mm}$ まで変化させ、アンテナに対する手ファントムの位置変化によるアンテナの入力特性を評価した。図 5 に、アンテナに対する手ファントムの位置変化によるアンテナの入力特性変化を示す。図 5 より、アンテナ上面と手ファントム上面の距離 d を 30 mm から 10 mm まで小さくすると、共振周波数が低下することが確認できる。ここで、 $d = 30\text{ mm}$ の

ときは、手ファントムがアンテナの放射板に重なっていないため、 $d = 0\text{ mm}$ 、 10 mm 、 20 mm のときと比較すると、共振周波数の変化が小さいことが確認できる。また、距離 d が小さくなると、共振周波数での反射係数の値が大きくなっていることが確認できる。これは、距離 d が小さくなると、手ファントムがアンテナを覆う面積が増えるためだと考えられる。以上の結果の妥当性を確認するために、実際の手にて同様の検討を行った。

3.3 実際の手による入力特性測定

図 6 に、実際の手にアンテナを握らせた際の測定モデルを示す。本測定は、手ファントムを用いた検討と同様に行った。

図 7 に、アンテナに対する実際の手の位置変化に対するアンテナの入力特性変化を示す。図 7 より、アンテ

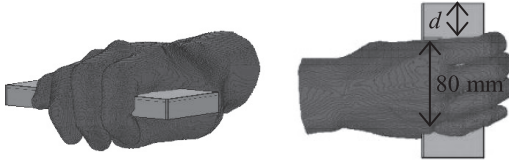


図8 手部モデルにアンテナを握らせた際の計算モデル
Fig. 8 Calculation model of antenna with acrylic case gripped by hand model.

ナ上面と実際の手上面の距離 d を 30 mm から 10 mm まで小さくすると、共振周波数が低下していることが確認できる。また、距離 d が小さくなると、共振周波数での反射係数の値が大きくなっていることが確認できる。

図5、図7より、手ファントムと実際の手を用いたときを比較すると、手部上面とアンテナ上面の距離 d を変化させた際の共振周波数における反射係数の値は、おおむね一致している。距離 d での共振周波数を比較すると、値に差異が生じているものの傾向はおおむね一致している。値に差異が生じた原因としては、アンテナに対する指の位置や形状が違ったためであると考えられる。しかしながら、アンテナの特性評価において、作製した手ファントムが実際の手で代用可能であることが確認できる。

3.4 計算モデルによる入力特性算出

図8に、手部モデルにアンテナを握らせた際の計算モデルを示す。解析に用いた手部モデルは、3DCGソフトである Poser[®] を用いて作成した。この手部モデルは、Poser[®] に付属している右手のモデルを使用した。この手部モデルの形状は、実験時の手ファントム及び実際の手にケースを握らせた際の形状と等しくなるように調整した。数値計算では、測定と同様に、アンテナ上面と手部モデル上面の距離を d とし、距離 d を 10 mm 間隔で 0 ~ 30 mm まで変化させ、アンテナに対する手部モデルの位置変化によるアンテナの入力特性を算出した。計算方法は、電磁界解析手法で広く用いられている FDTD (Finite Difference Time Domain) 法を用いた。なお、本検討で用いた FDTD 法による計算条件は、解析領域を $323 \times 380 \times 277$ mm とし、セルサイズは、アンテナのケース付近で最小 0.25 mm、アンテナから離れるにつれ、最大 5.0 mm の不均一セルを用いた。また、吸収境界条件は、8層の PML を用いた。

図9より、距離 d を 0 mm から 10 mm にすると、

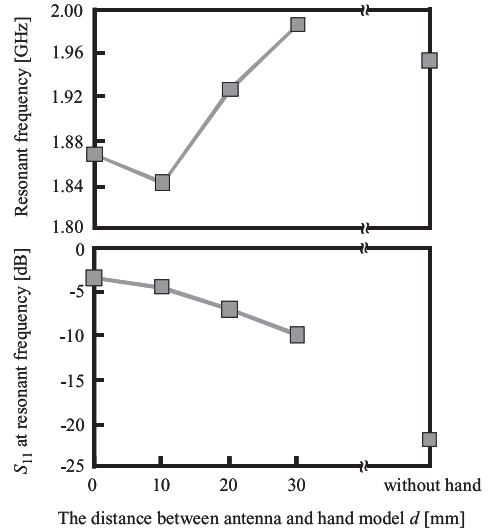


図9 アンテナに対する手部モデルの位置変化によるアンテナの入力特性変化。(a) 共振周波数 (b) S_{11}

Fig. 9 Antenna characteristics changed the distance between antenna and hand model. (a) resonant frequency (b) S_{11} .

共振周波数が低下し、距離 d を 10 mm から 30 mm にすると共振周波数が高くなっていることが確認できる。また、距離 d を 0 mm から 30 mm にと大きくするにつれて、共振点での反射係数の値が小さくなっていることが確認できる。このことから、数値計算において測定結果と同様の傾向が得られていると判断でき、測定結果の妥当性が示唆された。

4. むすび

携帯端末使用時の様々な手の形状を再現できる形状変化可能な手ファントムを提案した。

この作製した手ファントムで携帯端末用アンテナの入力特性に与える影響を評価した。その結果、手ファントムによるアンテナの入力特性の変化と、実際の手を用いた検討において、同様の測定結果が得られた。また、数値計算においても、測定結果の妥当性が確認されたことから、作製した手ファントムを用いて、携帯端末用アンテナの入力特性への影響を評価することの有用性が確認された。

文 献

- [1] 天利 悟, 岩井 浩, 小川晃一, 岡野好伸, “指接触状態を忠実に再現した半固体ファントム,” 信学技報, A-P2004-209, Jan. 2005.
- [2] P. Futter, N. Chavannes, R. Tay, M. Meili, A. Klingenboeck, K. Pokovic, and N. Kuster, “Reliable prediction of mobile phone performance for realistic

- in use conditions using the FDTD method,” *IEEE Antennas Propag. Mag.*, vol.50, no.1, pp.87–96, Feb. 2008.
- [3] J. Krogerus, J. Toivanen, C. Icheln, and P. Vainikainen, “Effect of the human body on total radiated power and the 3-D radiation pattern of mobile handsets,” *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol.56, no.6, pp.2375–2385, Dec. 2007.
- [4] J. Graffin, N. Rots, and G.F. Pederson, “Radiations phantom for hand-held phones,” *Proc. Vehicular Technology Conf. 2000*, vol.2, pp.853–866, *IEEE VTS-Fall VTC 2000*. 52nd, vol.2, 2000.
- [5] C.H. Li, E. Offi, N. Chavaness, E. Cherubini, H.U. Gerber, and N. Kuster, “Effects of hand phantom and difference use patterns on mobile phone antenna radiation performance,” *Proc. 2008 IEEE AP-S International Symposium*, San Diego, CA, USA. July 2008.
- [6] I. Chatterjee, Y.G. Gu, and O.P. Gandhi, “Quantification of electromagnetic absorption in humans from body-mounted communication transceivers,” *IEEE Trans. Vehicular Technol.*, vol.VT-34, no.2, pp.55–62, May 1985.
- [7] FCC Home Page:
<http://www.fcc.gov/fcc-bin/dielec.sh>
- [8] IFAC Home Page: <http://niremf.ifac.cnr.it/tissprop/>
- [9] K. Furuya, L. Hamada, K. Ito, and H. Kasai, “A new muscle-equivalent phantom for SAR estimation,” *IEEE Trans. Commun.*, vol.E78-B, no.6, pp.871–873, June 1995.
- (平成 22 年 5 月 26 日受付, 9 月 16 日再受付)