

電磁界共振結合を利用したボディアエリア通信における 生体等価ファントムを用いた伝送特性の実験的検討

○湯山 菜奈子[†]

越地 福朗^{†,*}

越地 耕二^{‡,*}

[†]国士舘大学大学院 工学研究科 [‡]東京理科大学 理工学部 *東京理科大学 総合研究機構

〒154-8515 東京都世田谷区世田谷 4-28-1

E-mail: s4me105x@kokushikan.ac.jp

1. はじめに

近年、ボディアエリアネットワークとよばれる人体周辺通信技術に注目が集まっている。著者らは、電磁界共振結合を利用したボディアエリア通信を提案し、人体に接触する電極を利用する人体通信と比べて、100 倍以上の良好な伝送特性を実現することを確認している^[1]。本稿では、独立行政法人情報通信研究機構 (NICT) から提供された Magnetic Resonance Imaging (MRI) 撮影データに基づく、生体組織を詳細に再現したモデル^[2]を用いて、腕部に装着したアンテナ間の電気信号伝送特性 S_{21} の検討を行い、従来から検討してきた円柱状筋肉均一媒質モデル、および、生体等価ファントムを用いた実測による伝送特性の比較検討を行う。

2. 電磁界解析モデルおよび生体等価ファントム

図 1 は、2 種類の電磁界解析モデルを示したものである。同図(a) は、NICT から提供された日本人男性の平均体型を有する全身モデル^[2]から腕部を切り出し、送受信アンテナを装着したモデルである。本モデルを構成する生体組織は、皮膚、脂肪、筋肉、血液、腱、皮質骨、海綿骨の 7 つであり、ボクセルサイズは、2 mm 角である。腕部長は、 $L_{arm} = 732$ mm である。同図(b) は、腕部を円柱状に単純化し、筋肉の電気特性を有する均一媒質でモデル化したものに、送受信アンテナを装着した、従来から検討を行ってきたモデルである。各寸法は、腕部長 $L = 650$ mm、腕部半径 $R = 40$ mm である^[3]。同図(a), (b)のモデルともに、各生体組織の電気特性は、文献^[4, 5]に基づいている。ここで、送受信アンテナの構造

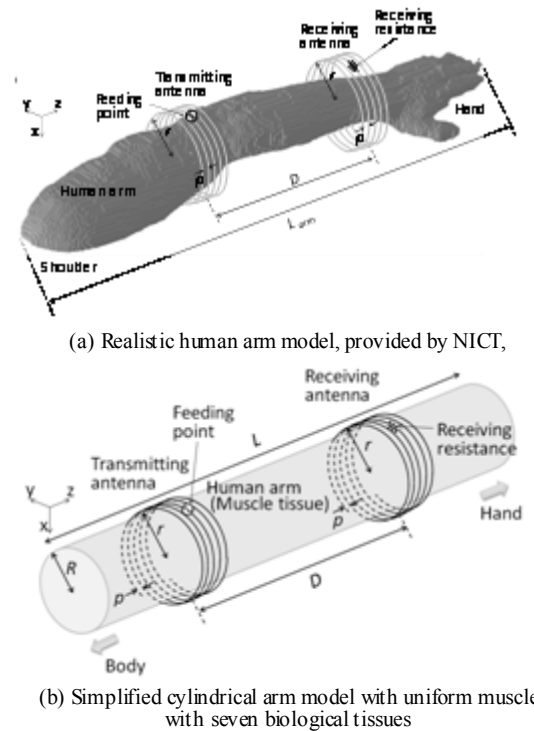


Fig. 1 Human arm models for electromagnetic field analyses

は、半径 $r = 65$ mm、ピッチ $p = 10$ mm、巻数 $n = 5$ 回とし、送信アンテナの励振源には、内部抵抗 50Ω の信号源を用い、受信アンテナの受信抵抗は 50Ω としている。送受信アンテナ間隔は、前腕部と上腕部に装着された場合を想定する $D = 250$ mm としている。電磁界解析には、Finite Difference Time Domain (FDTD) 法を用いる。測定においては、携帯電話や Radio Frequency Identification (RFID) などの電子機器の発する電磁波の体内埋め込み型医用機器へ及ぼす影響調査などに利用されている濃度 0.18% の食塩水をポリ塩化ビニルの円筒容器に入れて構成した生体等価ファントムを用いる^[6, 7]。図 2 は、測定に用いた生体等価ファントムの写真である。円筒容

器の内側半径は解析モデルと同様の $R = 40 \text{ mm}$ としている。そして、円筒容器の外壁に発泡スチロールをスペーサとして挿入し、円筒容器の中心から半径 $r = 65 \text{ mm}$ の位置に、ピッチ $p = 10 \text{ mm}$ 、巻数 $n = 5$ 回の送受信アンテナを配置する。測定はネットワークアナライザによって行う。

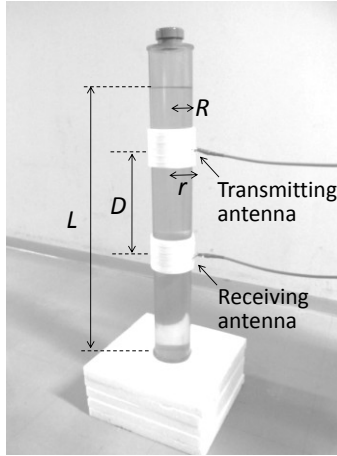


Fig. 2 Phantom arm model for measurements

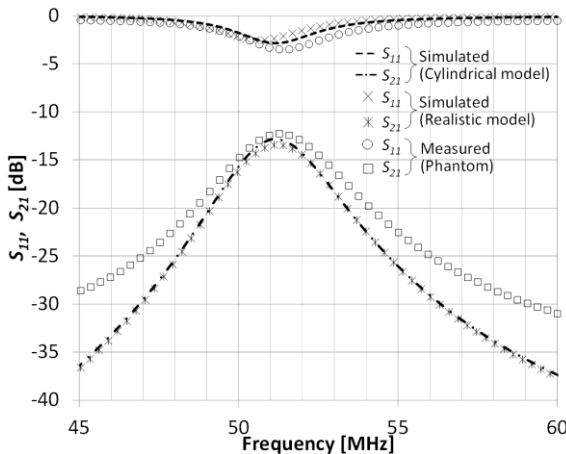


Fig 3 Reflection characteristics S_{11} and transmission characteristics S_{21} between transmitting and receiving antennas

3. 反射特性および伝送特性結果

図 3 は、図 1 に示す 2 種類の電磁界解析モデルおよび生体等価ファントムを用いた場合の送受信アンテナ間の反射特性 S_{11} および伝送特性 S_{21} を示したものである。図 3 からわかるとおり、図 1(a) NICT 腕部モデルを用いた場合では、送受信アンテナが 51.10 MHz で結合し、最大値 $S_{21} = -13.5 \text{ dB}$ が得られ、図 1(b) 円柱状筋肉均一媒質モデルを用いた場合では、 51.13 MHz で共振結合し、最大値 $S_{21} = -12.9 \text{ dB}$ が得られる。両者を比較すると、差異は、共振周波数において 0.03 MHz 、伝送特性 S_{21} において 0.6 dB であり、両者は良く一致していることがわかる。

さらに、図 2 に示す、生体等価ファントムを用いた測定では、送受信アンテナが 51.27 MHz で共振結合し、最大値 $S_{21} = -12.3 \text{ dB}$ が得られ、電磁界解析結果と良く一致した結果が得られた。

5. まとめ

本稿では、生体組織を詳細に再現したモデルを用いて、腕部に装着したアンテナ間の電気信号伝送特性 S_{21} および電磁界分布の検討を行い、あわせて、従来から検討してきた円柱状筋肉均一媒質モデル、および、生体等価ファントムを用いた実測による伝送特性の比較検討を行った。

その結果、伝送特性の検討において、生体組織を詳細に再現した電磁界解析モデルや腕部ファントムを用いることなく、円柱状筋肉均一媒質の腕部モデル、および、円柱状の生体等価ファントムを用いることで、実使用状態に極めて近い、十分な評価が可能なが確認された。

さらに、NICT 腕部モデル、および、円柱状筋肉均一媒質腕部モデルを用いた電磁界分布の検討も行った。

その結果、電磁界分布の検討においても、円柱状筋肉均一媒質の腕部モデルによって、実使用状態に極めて近い、十分な評価が可能なが明らかとなった。

参考文献

- [1] F. Koshiji, et al., "Wireless Body Area Communication using Electromagnetic Resonance Coupling", IEEE CPMT Symposium Japan 2012 (ICSJ 2012), December 2012
- [2] T. Nagaoka, et al., Development of Realistic High-Resolution Whole-Body Voxel Models of Japanese Adult Male and Female of Average Height and Weight, and Application of Models to Radio-Frequency Electromagnetic-Field Dosimetry, Physics in Medicine and Biology, Vol.49, pp.1-15, 2004.
- [3] 生命工学工業技術研究所, 設計のための人体寸法データ集, 人間生活工学研究センター, 日本出版サービス, ISBN-10: 987-4889220933, 1996.
- [4] S. Gabriel, et al., The dielectric properties of biological tissues: II. Measurements in the frequency range 10 Hz to 20 GHz, Phys Med. Biol. 41, pp.2251-2269, 1996.
- [5] International Federation of Automatic Control (IFAC) website (<http://hiremf.ifac.cnr.it/tissprop/>).
- [6] 総務省, 携帯電話端末の電波が植込み型心臓ペースメーカ等へ及ぼす影響の検討, 総務省 電波の医用機器等への影響に関する調査研究報告書, pp.1-34, 2005.
- [7] 総務省, RFID 機器の電波が植込み型心臓ペースメーカ等へ及ぼす影響の検討, 総務省 電波の医用機器等への影響に関する調査研究報告書, pp.35-pp.69, 2005.