

# 体型の異なる人体腕部モデルを用いた人体通信送信機の電極入力インピーダンス特性の検討

## Investigation of Input Impedance Characteristics of Transmitter Electrodes for Intra-Body Communication Using Different Somatotype Arm Models

○藤澤貴明(国士舘大) 越地福朗(国士舘大) 越地耕二(東京理科大)

Takaaki FUJISAWA, Kokushikan University, Fukuro KOSHIJI, Kokushikan University  
Kohji KOSHIJI, Tokyo University of Science

**Abstract:** Intra-body communication draws attention as a promising wireless technology in order to materialize wireless body-centric networks. An electrode in intra-body communication system is a key device since the electrodes are analogous to antennas in airborne wireless communication system. However, the broadband input impedance characteristics through the body surface may be changed with somatotypes. In this paper, the input impedance characteristics of the wearable transmitter electrodes in the frequency range of 500 kHz to 1 GHz, and the electromagnetic field distributions around and inside the human arm at the frequency of 10 MHz were investigated by using two different physique arm models. As a result, in the two models, both magnitudes of the resistive and reactive components of the input impedance increased as frequency decreased below 200 MHz. Further, the input impedance difference between two models was less than 20 ohm in the frequency range above 10 MHz. Moreover, the electric field distributions at 10 MHz were almost the same between two models. Therefore, stable input impedance characteristics can be obtained at the frequency more than 10 MHz in both somatotype arm models.

**Key Words:** Intra-body communication, Body area network, Input impedance, Wearable device, FDTD method

### 1. はじめに

近年、情報通信分野において、電子機器は小型軽量化が進み、モバイルからウェアラブルへと進化しつつある。特に、医療やヘルスケアの分野においては、生体情報センサを内蔵したウェアラブル機器を人体周囲に分散配置し、ボディエリアネットワークと呼ばれる通信ネットワークを形成して、ワイヤレスで生体情報を収集、解析、管理する健康管理サービスなども提案されている<sup>(1)</sup>。

ここで、ボディエリアネットワークの有力な通信方式のひとつに、人体に電極を接触させ、人体を電気信号の伝送媒体として利用する、いわゆる人体通信が挙げられる<sup>(2)</sup>。

人体通信における電極は、一般的なワイヤレス通信システムにおけるアンテナに相当し、システムの性能を決める重要なデバイスであるが、電極の入力インピーダンス特性は、送信機を装着する人体の体型の違いによって変動することが予想される。しかしながら、これまでに、体型の違いによる伝送特性や電極の入力インピーダンス特性の変動がどの程度あるのかは明らかにされていない。本稿では、公開されている体型の異なる2種類の詳細人体モデルの腕部を用いて、人体通信送信機の電極入力インピーダンス特性および電界分布に着目して検討を行う。

### 2. 人体通信システムの構成

図1に、本稿で想定する人体通信システムの構成を示す。本稿では、図1に示すように前腕部に腕時計型のウェアラブル送信機を装着し、手のひらにスマートフォンサイズの携帯型受信機を配置する構成となっている。

### 3. 電磁界解析モデル

図2に、本稿で検討する電磁界解析モデルを示す。同図(a)は、独立行政法人情報通信研究機構(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<sup>(3)</sup>から腕部を切り出し、同図(c)に示すウェアラブル送信機を装着したモデルである。同図(b)は、U.S. National Library of Medicine(NLM)より提供された西洋人男性の平均的な体型を有する

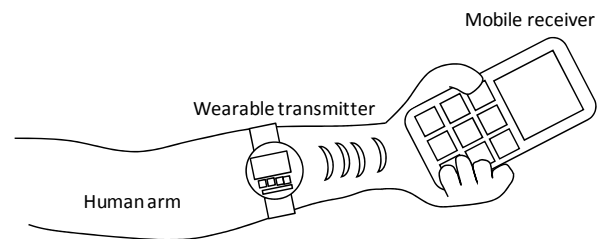


Fig. 1 Configuration of the intra-body communication system

全身モデル<sup>(4)</sup>を姿勢変形ソフトウェア(VariPose, Remcom, Inc.)により姿勢変形し、腕部のみを切り出し、同図(c)に示すウェアラブル送信機を装着したモデルである。同図(a)のNICT腕モデルは、皮膚、脂肪、筋肉、血液、腱、皮質骨、海綿骨の7つの生体組織で構成され、同図(b)のNLM腕モデルは、皮膚、脂肪、筋肉、血液、血を含む体液、血管、リンパ液、爪、靭帯、脊髄神経、骨髄、皮質骨、海綿骨の14つの生体組織で構成されている。両モデルともに2mm角のボクセルで構成されている。

本稿では、電磁界解析として、Finite Difference Time Domain(FDTD)法(XFDTD, Remcom Inc.)を用いる。また、電磁界解析においては、各生体組織を周波数依存性の電気特性を有する組織として定義して解析を行う<sup>(5)</sup>。送信機は、図2に示すように、前腕部に装着している。

### 4. 入力インピーダンス特性

図3は、図2のモデルにおけるウェアラブル送信機の電極の入力インピーダンス特性を示したものである。図3に示すように、NICT腕モデルおよびNLM腕モデルの両モデルにおいて、200MHz以下の周波数帯では、周波数が下がるとともに、入力インピーダンスの抵抗成分およびリアクタンス成分の絶対値が高くなることわかる。また、NICT腕モデルとNLM腕モデルにおける送信機電極の入力インピーダンス特性の差は、10MHz以上では最大20Ω程度で

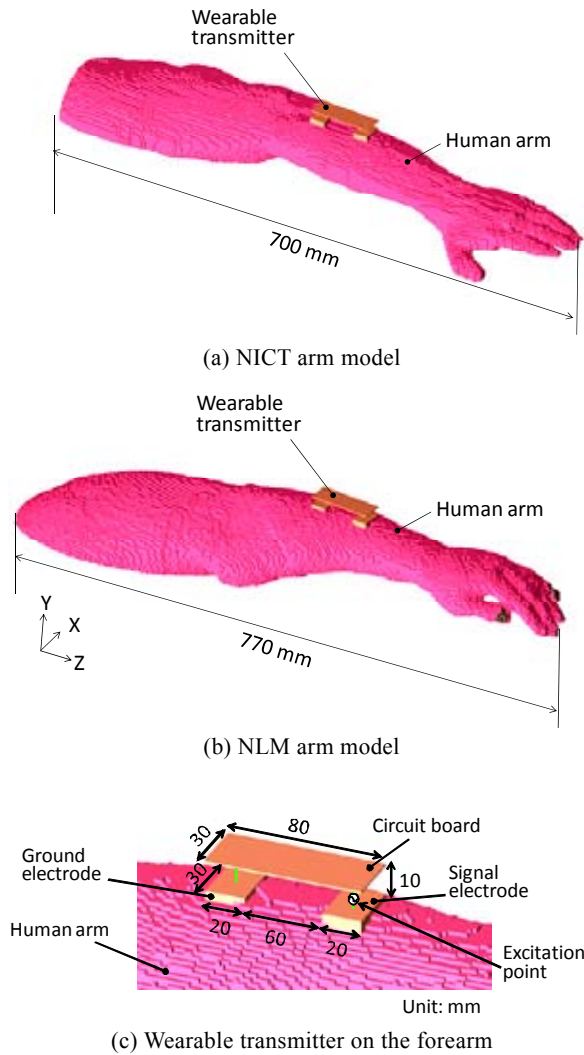


Fig. 2 Models for electromagnetic field analyses

あり、体型の違いによる差は小さいことが確認できる。

## 5. 電界分布

ここでは、10 MHz に着目して電界分布の検討を行う。これは、人体通信で利用可能な周波数帯のひとつに、13.56 MHz の Industry-Science-Medical (ISM) 帯が挙げられ、これを利用周波数帯のターゲットにしているためである。

図 4(a), (b)は、それぞれ図 2(a), (b)のモデルにおいて、ウェアラブル送信機の中央を通る YZ 面における 10 MHz の電界分布を示したものである。

図 4 からわかるとおり、同図(a), (b)ともに同様の電界分布となっており、NICT 腕モデルと NLM 腕モデルにおける電界分布の差はほとんどないことがわかる。このことから、電極の入力インピーダンスだけでなく、送信機が腕部内部および周囲につくる電界分布についても、体型の違いによる影響は小さいことが確認できる。

## 6. まとめ

本稿では、人体を電気信号の伝送媒体として利用する、いわゆる人体通信において、公開されている体型の異なる 2 種類の詳細人体モデルの腕部を用いて、人体通信送信機の電極入力インピーダンス特性および電界分布に着目して

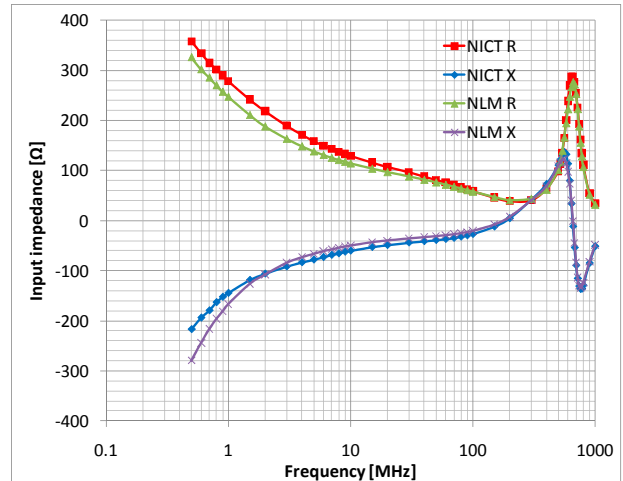
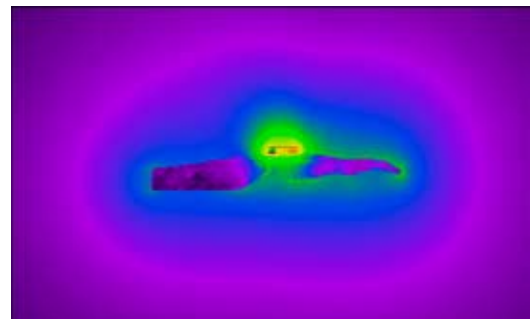
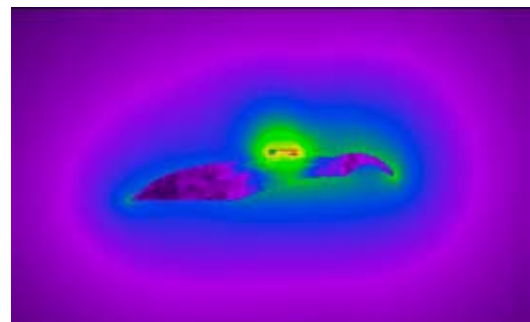


Fig. 3 Input impedance characteristics



(a) NICT arm model



(b) NLM arm model

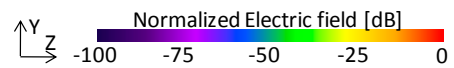


Fig. 4 Electric field distributions around and inside the human arm

検討を行った。その結果、NICT 腕モデルと NLM 腕モデルに装着したウェアラブル送信機の電極入力インピーダンス特性の差は、10 MHz 以上では最大  $20\Omega$  程度であり、10MHz 以上の周波数帯であれば、体型の違いによる差は小さいことを確認した。また、同様に、NICT 腕モデルと NLM 腕モデルを用いて 10 MHz の電界分布を比較したところ、どちらのモデルにおいても、ほぼ同様の電界分布となり、体型の違いによる電界分布への影響も小さいことを確認した。

## 参考文献

- (1) 尾崎徹, 小見正幸, 杉本千佳, 柴建次, 苗村潔, 保坂寛, 板生清, 佐々木健, “ヘルスケア用ウェアラブルセンシングユニットの開発研究”, マイクロメカトロニクス, Vol.47, No.3, pp.12-19, September 2003.
- (2) Ken SASAKI, Fukuro KOSHIJI, Shudo TAKENAKA, “Healthcare Sensor Networks - Challenges toward Practical Application”, CRC Press, Taylor and Francis, Chapter 3, Intrabody Communication Using Contact Electrodes in Low-Frequency Bands, pp.51-73, September 2011.
- (3) 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.
- (4) M.J. Ackerman, “The Visible Human Project”, Proceedings of the IEEE, Vol.86 No.3, pp.504-511, Mar 1998.
- (5) 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.