

磁気共鳴を利用したワイヤレスボディエリア通信

Wireless Body Area Communication Using Magnetic Resonance Coupling

○湯山菜奈子(国士舘大) 越地福朗(国士舘大) 越地耕二(東京理科大)

Nanako YUYAMA, Kokushikan University, Fukuro KOSHIJI, Kokushikan University  
Kohji KOSHIJI, Tokyo University of Science

**Abstract:** In this paper, a new highly efficient wireless communication link around human body using magnetic resonance coupling was proposed and investigated. The communication between wearable devices located on forearm and upper arm, like a wristwatch or armband, is assumed as a model for body area communication. The transmission characteristics  $S_{21}$  between transmitting and receiving antennas put on forearm and upper arm, respectively, was investigated. As a result, the body area communication using electromagnetic resonance coupling showed very stable and excellent transmission characteristics against bending the arm, compared with those of conventional body area communication using the electrodes in contact with the body. Moreover, the SAR of the body was less than a three-hundredth compared with the safety limit of 2W/kg. It was confirmed that the wireless communication link using magnetic resonance coupling is useful for body area communication.

**Key Words:** Magnetic Resonance Coupling, Body Area Network, Wearable device, FDTD method

1. はじめに

近年、高密度実装技術や微細加工技術の進化にともない、携帯型電子機器は小型・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・ヘルスケア分野においては、これらの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>。

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通信<sup>(2)</sup>が挙げられるが、損失性媒質である人体が信号の伝送媒体となるため、たとえば、装着される腕時計型ウェアラブル機器と手のひらに配置されるデータ端末との間の通信特性  $S_{21}$  は、およそ -50 dB にとどまる<sup>(3)</sup>。

本稿では、より高効率な伝送特性を実現する新しいボディエリアネットワーク技術として、磁気共鳴を利用した人体周辺通信を提案し、人体腕部にアンテナコイルを装着したときのアンテナコイル間の伝送特性および、磁気共鳴による電磁界が生体に与える影響を Specific Absorption Rate (SAR) により評価する。

2. 提案するシステム構成

図1に、本稿で想定するボディエリアネットワークの構成を示す。図1(a)に示すように上腕部および前腕部に装着したウェアラブル機器同士の通信を想定する。また、同図(b)に示すように通信用のアンテナコイルはウェアラブル機器を腕部に固定するバンド部分にリング状に内蔵する構成とする。

3. 電磁界解析モデル

図2は、図1に示したシステムを電磁界解析用に単純化したモデルである。図2に示すように、腕部は筋肉の電気特性(導電率  $\sigma = 0.67$  S/m, 比誘電率  $\epsilon_r = 77 @ 50$  MHz)を有する媒質<sup>(4)</sup>とし、腕部長  $L = 650$  mm, 腕部半径  $R_{arm} = 45$  mm の円柱でモデル化している。また、ウェアラブル機器装着部分には、半径  $r = 50$  mm, ピッチ  $p = 10$  mm, 巻き数  $n = 5$  回のアンテナコイルを配置する。送信アンテナコイルの励振源には、内部抵抗  $50\Omega$  の信号源を用い、受信アンテナ

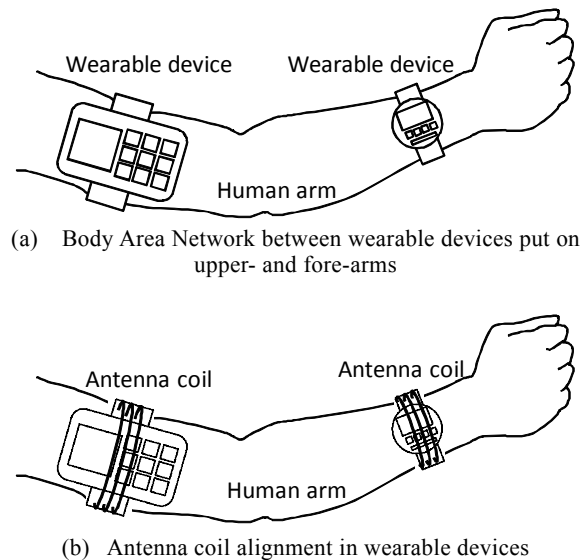


Fig. 1 Body Area Network using magnetic resonance coupling

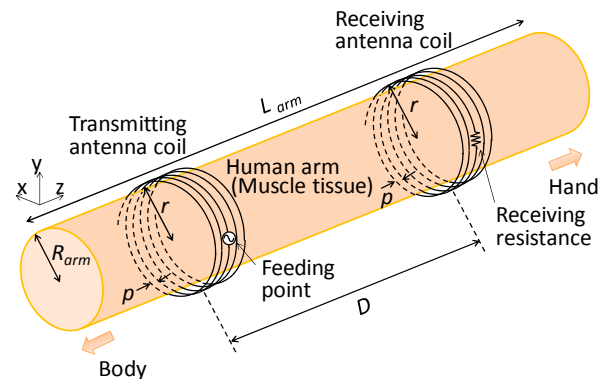


Fig. 2 Model for electromagnetic field analyses

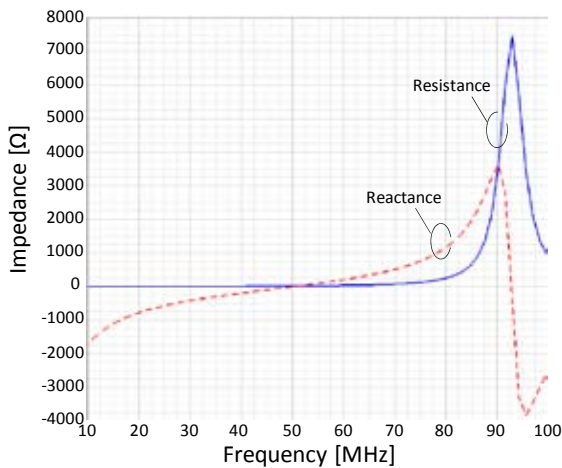


Fig. 3 Input impedance characteristics of antenna coil

ナコイルの受信抵抗は  $50\Omega$  とする。電磁界解析には、Finite Difference Time Domain (FDTD) 法を用いる。

#### 4. アンテナコイルの特性

図3は、図2において、送受信アンテナコイル間隔  $D = 500$  mm としたときの人体に装着された送信アンテナコイルの入力インピーダンス特性を示す。図3からわかるとおり、送信アンテナコイルの入力インピーダンス特性は、 $50.8$  MHzにおいてリアクタンス成分がゼロとなり、この周波数において、直列共振状態となることがわかる。]

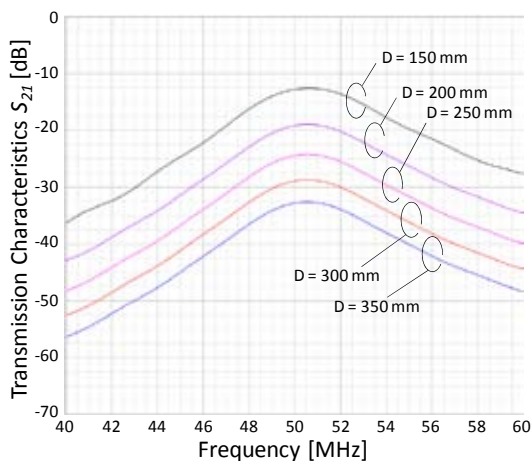
#### 5. 送受信アンテナコイル間の伝送特性

##### 5-1 送受信コイル間の距離に対する伝送特性

図4は、図2において、送受信アンテナコイル間隔  $D$  を  $150 \sim 350$  mm としたときの送受信アンテナコイル間の伝送特性  $S_{21}$  を示したものである。図4から、伝送特性  $S_{21}$  は、アンテナコイルが共振する  $50.8$  MHz で最大値をとることがわかる。

また、手首と手のひら間の距離を想定する伝送距離  $D = 150$  mm では、 $S_{21} = -12$  dB、手首と上腕間の距離を想定する  $D = 350$  mm では、 $S_{21} = -32$  dB の良好な特性がそれぞれ得られていることが確認できる。

従来の人体に電極を接触させて通信を行う人体通信の伝送特性が  $-50$  dB であること<sup>(2)</sup>を考えると、磁気共鳴を利用

Fig. 4 Transmission characteristics  $S_{21}$  between antenna coils

したボディエリア通信では、人体通信に比べて  $100$  倍以上良好な伝送特性が実現できることを意味しており、ボディエリアネットワークを形成する有力な通信技術として利用可能であることがわかる。

##### 5-2 腕部の折り曲げに対する伝送特性

ウェアラブル機器を身につけて生活することを考えると、日常生活の動作において、ウェアラブル機器が装着された腕部が様々な角度に折り曲げることが想定される。

図5は、図2に示した電磁界解析モデルを、Z軸上において、腕部の半分とする位置( $325$  mm)で折り曲げたものであり、(a)  $0^\circ$ 、(b)  $30^\circ$ 、(c)  $45^\circ$  (d)  $90^\circ$  の場合を示している。送受信コイルは、それぞれ腕部の端部から  $162.5$  mm、すなわち、腕部の全長の  $1/4$  の位置に配置している。したがって、アンテナコイル間の距離は、折り曲げ角度  $0^\circ$  の

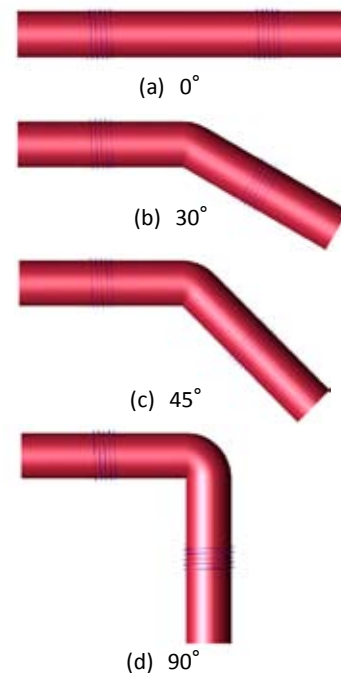


Fig. 5 Bent arm models with antenna coils for electromagnetic field analyses

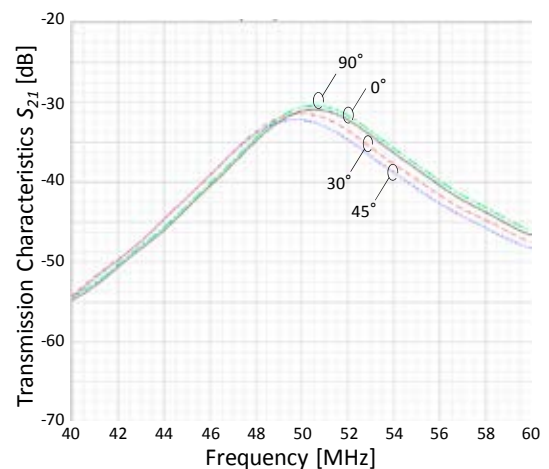


Fig. 6 Transmission characteristics for several angles

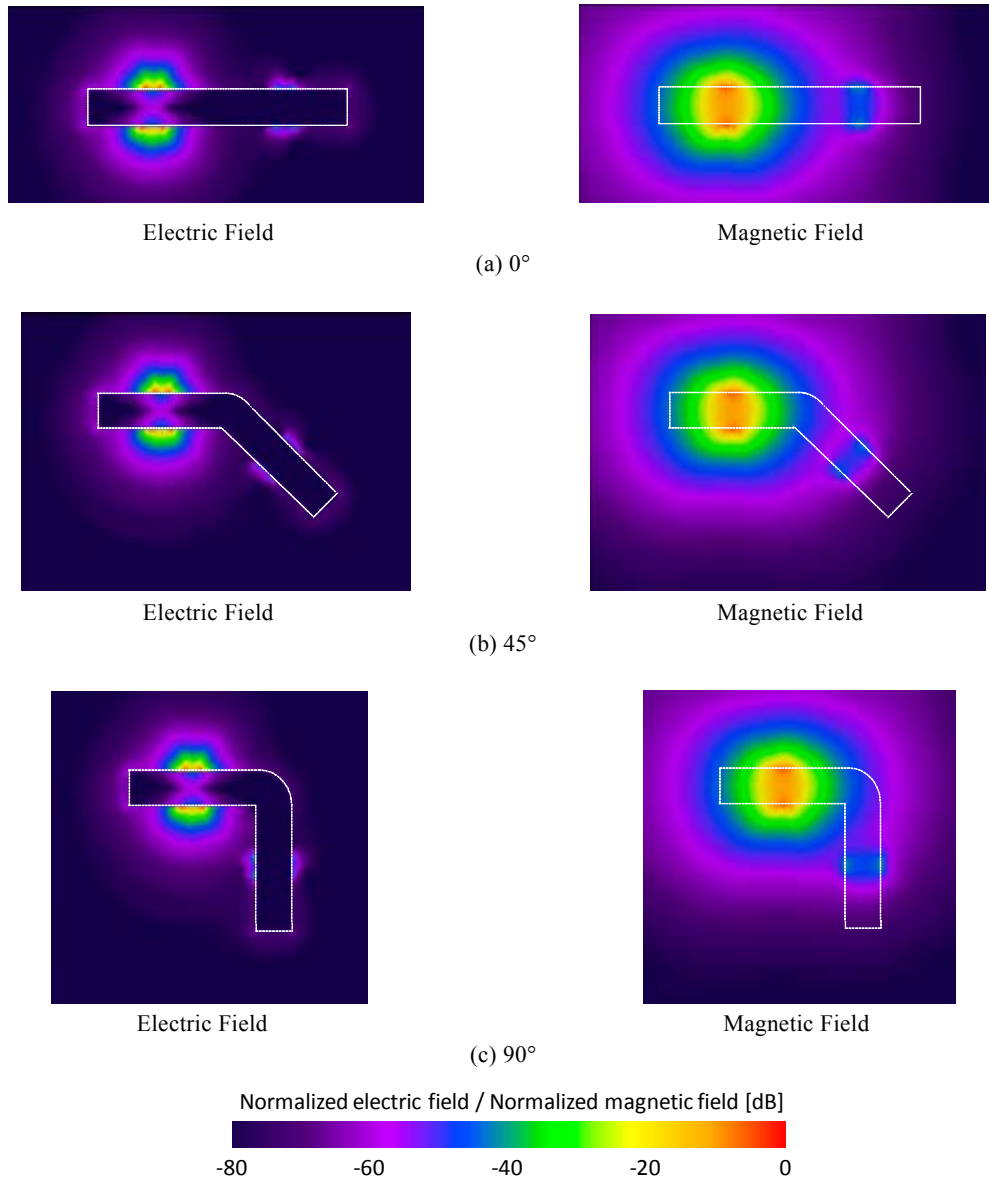


Fig. 7 Electromagnetic field distributions

ときに、 $D = 325 \text{ mm}$ である。

図6は、図5に示すそれぞれの腕部の折り曲げ角度に対する送受信アンテナコイル間の伝送特性  $S_{21}$  を示したものである。図6からわかるとおり、検討したすべての折り曲げ角度において、 $S_{21} = -30 \sim -33 \text{ dB}$ を示しており、腕部の折り曲げに対する特性変動は小さく、腕部の折り曲げがあっても安定した通信が可能であることがわかる。

ここで、最大伝送特性が得られる周波数に着目すると、折り曲げ角度が $0^\circ$ および $90^\circ$ のときは、 $50.8 \text{ MHz}$ であり、 $30^\circ$ および $45^\circ$ では、 $49.8 \text{ MHz}$ と若干異なるが、これはFDTD法において、電磁界解析モデルが立方体のセル構造によって離散化されることに起因している。アンテナコイルモデルは、 $0^\circ$ および $90^\circ$ に配置された場合、立方体セルに対して並行に配置されるが、 $30^\circ$ および $45^\circ$ では、セルに対して斜めに配置されるため、 $0^\circ$ および $90^\circ$ の場合に比べて、コイル長が若干長くなっている。

## 6. 電磁界分布

図7は、図5, 6で検討したモデルにおいて、腕部の折り曲げ角度が(a) $0^\circ$ 、(b) $45^\circ$ 、(c) $90^\circ$ のときの電界分布および磁界分布を示したものである。電界分布および磁界分布は、それぞれ、電界および磁界の最大強度を $0 \text{ dB}$ として規格化して表示している。

図7からわかるとおり、同図(a)~(c)のどの角度において、電界分布は、腕部の影響を受け、腕部内部には電界がほとんど入り込まない。一方、磁界分布では腕部の影響を受けずに送信アンテナコイルから受信アンテナコイルへと効果的に伝送している様子が確認できる。また、電界分布と磁界分布を比較すると、磁界が電界に比べて強い分布を示しており、磁界が主として伝送に寄与していることが確認できる。

従来の人体に電極を接触させて通信を行う人体通信に比べて良好な特性が得られるのは、従来の人体通信が電界を励振する電極アンテナを利用する構成であるのに対して、

本稿で提案・検討した磁気共鳴を利用した通信においては、磁界を励振するコイル型のアンテナを利用するため、生体の影響を受けにくい磁界を積極的に利用して通信を行うことが可能なためと考えられる。

## 7. 生体安全性評価

磁気共鳴を利用した通信ボディアリア通信は、新しい通信方式であるため、生体への安全性についても検討する必要がある。ここでは、生体安全性について、局所 Specific Absorption Rate (SAR) 値によって評価する。

日本では、局所 SAR の制限値として、任意の 10 g 当たりの生体組織に 6 分間に吸収されるエネルギー量の平均値が 2.0 W/kg 以下とするように定められている<sup>(5)</sup>。

図 8 は、送信アンテナコイルの出力電力を 1 mW として、局所 SAR の制限値である 2 W/kg を基準(0 dB)として表示したものである。ここで、アンテナの出力電力 1 mW は、Bluetooth の標準的なデバイスが出力する電力<sup>(6)</sup>と等しいものであり、ここではこれをアンテナコイルの送信出力とした。

図 8 からわかるとおり、送信コイル装着部分であっても、SAR 値は -25 dB 以下の値となっており、制限値である 2 W/kg の 1/300 以下と、生体への安全性も高いことがわかる。

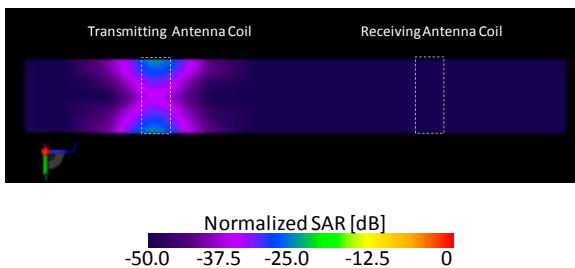


Fig. 8 SAR distribution

## 8. まとめ

本稿では、高効率な伝送特性を実現する新しいボディアリア通信技術として、磁気共鳴を利用した人体周辺通信を提案し、人体腕部にアンテナコイルを装着したときのアンテナコイル間の伝送特性、および、電磁界分布、磁気共鳴による電磁界が生体を与える影響を SAR から評価した。

その結果、腕部に装着したアンテナコイル間の伝送特性は、検討した腕部の 0°、30°、45°、90° の折り曲げ角度において、 $S_{21} = -30 \sim -32$  dB を示し、腕部の折り曲げに対する特性変動は小さいことを確認した。また、腕の折り曲げにかかわらず、従来の人体に電極を接触させて通信を行う人体通信に比べて、100 倍以上良好な伝送特性が実現できることを確認した。電磁界分布については、磁界が電界に比べて強い分布を示しており、磁界が主として伝送に寄与していることが確認された。また、送信アンテナコイルの出力電力を 1 mW とした時の、局所 SAR 値は、制限値 2 W/kg の 1/300 以下と、生体への安全性も十分確保されていることを確認し、ボディアリア通信技術として有望であることを確認した。

## 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) 越地福朗, 佐々木健, “人体内通信におけるウェアラブル送信機の電極構造によるインピーダンス整合と電極設計”, エレクトロニクス実装学会誌, Vol.12, No.3, pp.221-232, May 2009.
- (4) International Federation of Automatic Control (IFAC) website (<http://niremf.ifac.cnr.it/tissprop/>).
- (5) 総務省電波防護指針 (<http://www.tele.soumu.go.jp/j/sys/ele/index.htm>)
- (6) 宮津和弘, “Bluetoothのしくみとハードウェア構成”, Design Wave Magazine, No.29, pp.65-73, April. 2000.