

機関番号：12501

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2008～2010

課題番号：20360166

研究課題名（和文） ボディエリアネットワーク用無線通信における伝送メカニズムの解明

研究課題名（英文） Clarification of transmission mechanism of wireless communications for the body area networks

研究代表者

伊藤 公一 (ITO KOICHI)

千葉大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：90108225

研究成果の概要（和文）：本研究では、ボディエリアネットワークにおける通信チャネルの 3 MHz～3 GHz にかけての周波数特性を数値シミュレーションによって検討した。その結果、およそ 100 MHz 以下の低い周波数において、人体の姿勢に対する受信電圧の依存性が比較的小さいことが明らかになった。また、受信電圧の姿勢依存性が高くなる周波数が、100 MHz から 500 MHz 程度の周波数帯域に離散的に存在することが明らかになった。さらに、数 MHz 程度以下の周波数範囲で成り立つ通信チャネルの等価回路について検討を行った。その結果、送受信アンテナ間の静電容量が無視できず、低い周波数においても場合によっては姿勢変化を考慮する必要があることが明らかになった。

研究成果の概要（英文）：In our study, we have investigated the frequency dependence of communication channels for the body area networks in a frequency range from 3 MHz to 3 GHz by employing numerical simulations. As a result, it was clarified that the dependence of the received voltage on the posture is relatively small in a frequency range below 100 MHz. In addition, it was found that there are discrete frequency points in which the posture dependence of the received voltage is significant. Furthermore, we have investigated an equivalent circuit of the communication channels for the frequency range below several megahertz. As a result, it was clarified that the capacitances between transmitting and receiving antennas are not negligible and so the posture variation may have to be considered even in the low frequency range.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2009年度	8,700,000	2,610,000	11,310,000
2010年度	1,400,000	420,000	1,820,000
年度			
年度			
総計	11,400,000	3,420,000	14,820,000

研究分野：

科研費の分科・細目：

キーワード：ボディエリアネットワーク

1. 研究開始当初の背景

パーソナル電子機器や生体センサをはじめとしたウェアラブル機器同士が人体の周辺で形成するネットワークは、ボディエリア

ネットワークと呼ばれ、近年盛んに研究されている。また、2007年1月から米国IEEE 802標準化委員会がボディエリアネットワークの標準化作業を進めている。ボディエリアネ

ネットワークの応用範囲は、パーソナル通信、在宅医療支援、特殊業務支援など多岐にわたり、今後さらに重要になると予想される。

2. 研究の目的

ボディエリアネットワークを実現する上で、検討すべき事項の一つは、使用する周波数の選定である。IEEE 802の標準となる周波数として有力なのは ISM バンドである 915 MHz 帯や 2.45 GHz 帯である。一方、1995年にはすでに数 MHz 以下の周波数を用いる方式が提案されている。このように、使用する周波数の候補は複数あり、どの周波数が最適かという観点での研究は少なく、通信の安定性の検討を行う必要がある。

また、これまで、使用周波数を数百 MHz ~ 数 GHz をとしたアンテナの動作原理とチャネル特性の解明が広く行われているのに対し、低い周波数ではそのような検討は少ない。低い周波数を用いた方式については、1995年の考案当初に提案された容量結合の回路モデルが一般的に用いられているが、その妥当性と適用範囲は未だに不明確なままである。そこで、動作原理を明確にすることで、アンテナと通信システム的设计指針が与えられるものと考えられる。

3. 研究の方法

はじめに、ボディエリアネットワークの通信チャネルの周波数依存性を求める方法について述べる。本検討で扱う周波数は 3 MHz から 3 GHz とし、有限差分時間領域法 (FDTD 法) に基づく数値シミュレーションによって評価を行った。ここで、無線通信では、電力を効率良く送受信するためにアンテナと給電回路をインピーダンス整合させるのが一般的である。しかしながら、特定の周波数でインピーダンス整合を取ることは、アンテナの共振現象の影響が強く現れることを意味するため、チャネルの周波数特性を把握する上では不都合である。また、低い周波数を用いたボディエリアネットワークでは、インピーダンス整合を取らずに、高インピーダンスの受信素子を用いて人体周辺に励起された電界を検知するのが一般的である。これらを踏まえて、本検討では、図 1 に示す平行平板コンデンサ型のアンテナを送受信アンテナとして用いた。このアンテナの最低次の共振周波数は 4 GHz 付近であり、それ以下の周波数範囲においてはアンテナ導体上の電流あるいは電荷分布が単純な電気ダイポールを形成するため、共振特性に左右されず客観的な周波数特性の評価が可能となる。

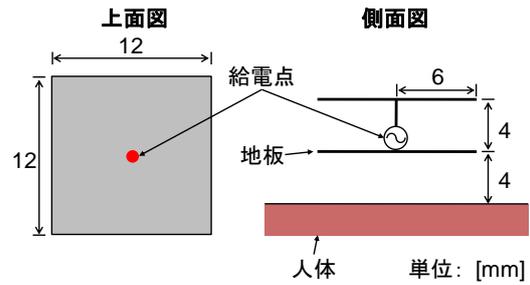


図 1 アンテナの構造

図 2 に、本検討で用いた数値人体モデルを示す。歩行時の動作は 15 フレームで構成されているが、ここには直立時および歩行時の静的な姿勢のみ示している。本モデルの組成は、均質な筋肉とし、Debye 分散式によって電気定数の周波数特性を近似した。送信アンテナ (Tx) の配置位置は腹部、受信アンテナ (Rx) の配置位置は耳、胸部、手首、足首とした。また、人体モデルは大地を想定した無限に広がる完全導体上に存在し、足裏と完全導体板の間には靴底の厚みを考慮して 20 mm の隙間を設けた。

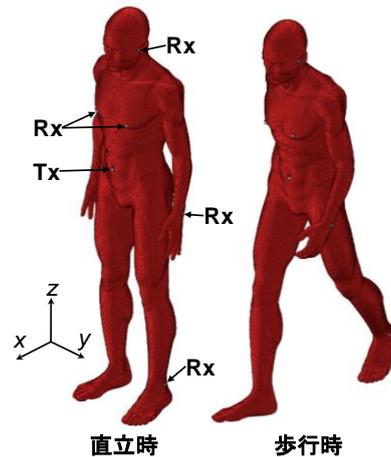


図 2 人体モデル

次に、数 MHz 以下におけるアンテナの動作原理とチャネル特性を検討する手法について述べる。人体の大きさが波長に比べて非常に小さい場合、人体周辺の電磁界は静電界に近い振る舞い (準静電界) となる。この場合、アンテナ導体と人体の電位に関する境界値問題を解くことで、各導体を節点とみなした等価回路の節点解析方程式、すなわちアドミタンス行列が求まる。このアドミタンス行列は全てキャパシタで構成されており、等価回路パラメータの値を逆算することは容易である。このようにして得られた等価回路により、従来提案されてきた等価回路モデルの妥当性と適用範囲が明らかになる。

図 3 に、検討モデルを示す。議論の普遍性のため、人体は導体球で模擬した。送受信アンテナは同一の構造とし、辺長 30 mm の方形

電極 2 枚が間隔 5 mm で近接しているものとした。送受信アンテナは、ともに導体球との間隔 5 mm で配置し、導体球の中心から見た角度 θ を、 $20^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$ の範囲で変化させた。導体電位に関する境界値問題は、境界要素法によって数値的に解いた。

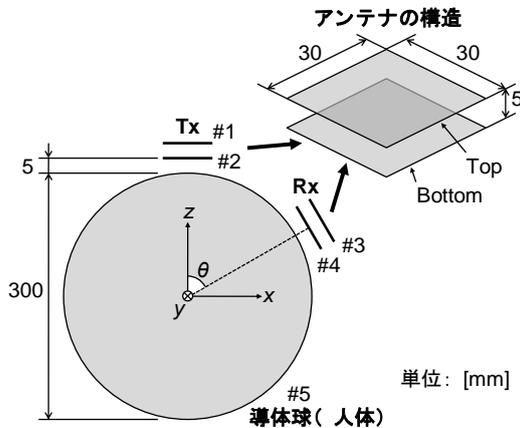


図 3 検討モデル

4. 研究成果

まず、チャンネルの周波数特性に関する結果について述べる。図 4 から図 7 に、各受信アンテナの受信開放電圧を示す。ここに示すのは、歩行動作の各フレームにおける受信開放電圧の平均値と標準偏差である。これらの結果に共通しているのは、低域では平均値が一定で、100~300 MHz を境として受信電圧が上昇する点である。前者は送受信アンテナ間の距離が近傍界の範囲で電磁界が準静的であることを意味し、後者はアンテナのインピーダンスの虚部が周波数と共に小さくなり、アンテナ上に流れる電流の振幅が大きくなるためである。後者に関しては、インピーダンス整合を考慮していないための結果であり、必ずしも周波数が高いほど良いというわけではない。

標準偏差に着目すると、胸部での値は全周波数範囲において 2 dB 程度と安定している。これは、腹部と胸部の相対位置が大きく変化しないことに起因している。耳においても、同様である。足首での値は、100~500 MHz の間、特に 300 MHz 付近において、標準偏差が高い周波数帯が存在する。この原因を考察するのは比較的難しいが、高い標準偏差の周波数帯が離散的に存在することから、人体の共振現象が原因であると推測される。したがって、ボディエリアネットワークでは、このような周波数帯を避けるべきである。手首においては、全般的に標準偏差は高くなっている。これは、腕の動きによって送受信アンテナ間の相対位置が大きく変化するためである。また、人体の表面に沿って伝搬してきた複数の到来波によって形成される短期間

フェージングの影響で、標準偏差が大きく変動している。

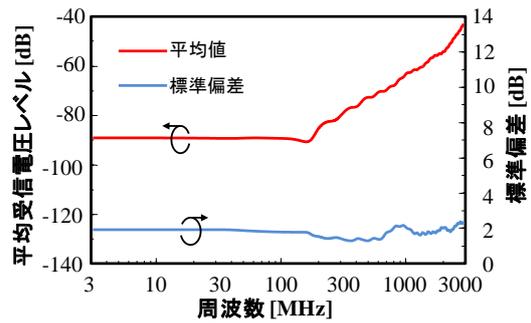


図 4 胸部における受信開放電圧

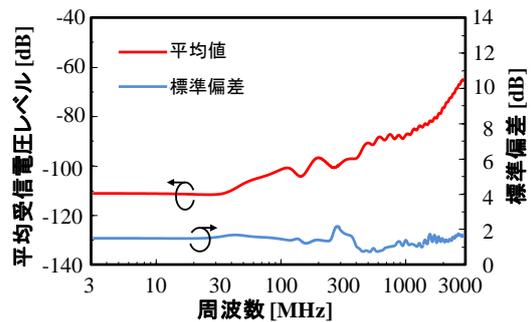


図 5 耳における受信開放電圧

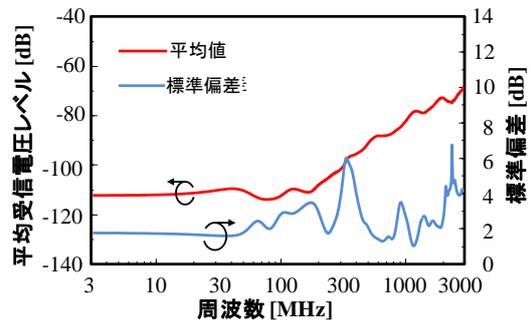


図 6 足首における受信開放電圧

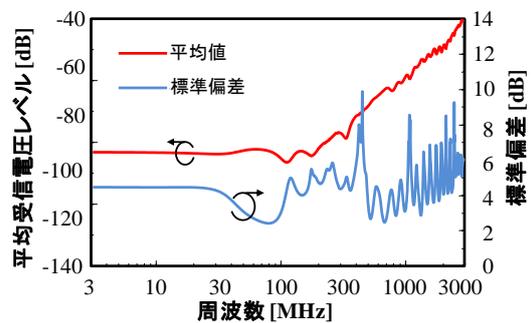


図 7 手首における受信開放電圧

次に、導体球を用いた検討の結果について述べる。図 8 に、等価回路パラメータの計算結果を示す。ここで、Body は人体、Top と Bot. は上下の電極、Inf. は基準電位の無限遠、

プライム (') は受信アンテナの電極であることを示している。“Tx-Rx couplings”と囲っているのは、送受信間の直接結合であり、これらは受信アンテナの位置 θ とともに低下し、かつ他のパラメータよりも非常に小さい値となっている。

図 9 に、様々な条件における受信アンテナの開放電圧を示す。全ての導体が非接地の場合 (No grounding: ウェアラブル機器同士の通信に相当) では、受信電圧は θ とともに低下している。このことより、送受信デバイス間の直接結合は、その大きさが非常に小さいにも関わらず、無視できなくなる。しかしながら、 θ が大きくなると受信電圧はほぼ一定値に収束していることから、送受信間距離が十分に離れれば、直接の結合が相対的に小さくなる。一方、人体が接地された場合 (Grounding body: 裸足で地面に立った状態に相当) では、 θ が大きくなって受信電圧は収束しない。これは、人体と無限遠が同電位となり、無限遠を介した結合が不可能になった結果である。また、送信もしくは受信側デバイスの、人体に近接しない方 (Top) の電極が接地された場合 (Grounding Tx, Grounding Rx: 外部デバイスに相当)、受信電圧とその安定性が大幅に向上している。これは、接地することで無限遠を介した結合が支配的となるためである。さらに、両方のデバイスが接地された場合、特性はさらに向上している。なお、シンボルで示しているのは FDTD 法による計算結果であり、境界要素法によるものとよく一致している。したがって、本検討の数値計算は妥当なものであると判断される。

これらの結果を踏まえ、送受信機が接地されていない場合と接地されている場合における等価回路は、図 10 のようになる。送受信機が接地されていない場合の等価回路は、先行研究のものよりも複雑な構成である。

以上本研究において、ボディエリアネットワークでは、300MHz 以下の周波数帯を用いることにより、姿勢の影響が少ない安定した通信を実現できることが判明した。また、動作原理を解析した結果、従来より現実に即した等価回路モデルの提案を行った。

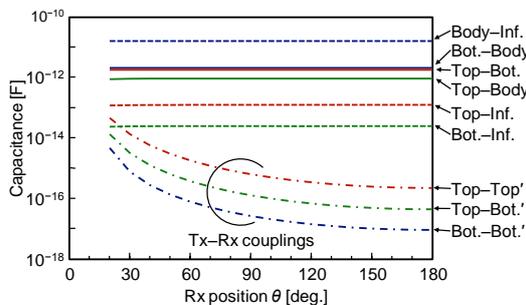


図 8 等価回路パラメータ

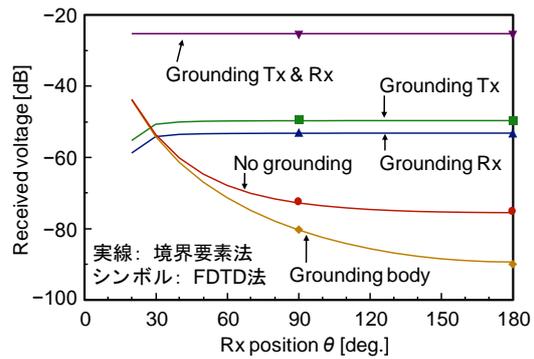


図 9 様々な条件における受信開放電圧

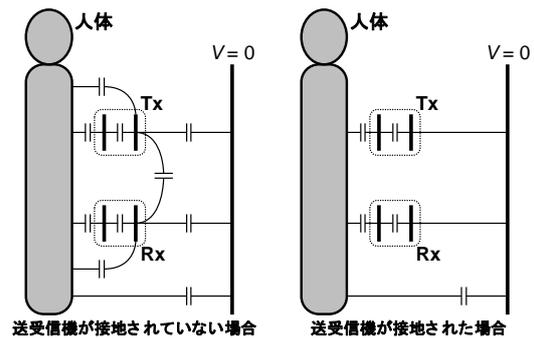


図 10 近似回路モデルの構成

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 3 件)

- [1] ChangYong Seo, Kazuyuki Saito, Masaharu Takahashi, and Koichi Ito, “Quantitative estimation of scattering waves in cylinder-body model for body area networks: comparison of analyses with uniform cylinder- and slab-body models,” Progress In Electromagnetics Research B, vol. 22, pp. 145–170, 2010. (査読有り)
- [2] ChangYong Seo, Kazuyuki Saito, Masaharu Takahashi, and Koichi Ito, “Theoretical estimation of scattering waves in transverse section of upper body for on-body wireless communications,” IEICE Transactions on Communications, vol. E93-B, no. 10, pp. 2601–2610, 2010. (査読有り)
- [3] Nozomi Haga, Kazuyuki Saito, Masaharu Takahashi, and Koichi Ito, “Characteristics of cavity slot antenna for body-area networks,” IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 57, no. 4, pp. 837–843, 2009. (査読有り)

[学会発表] (計 14 件)

- [1] 吉田元, 羽賀望, 齊藤一幸, 高橋応明, 伊藤公一, “HF から UHF 帯における人体通信チャネルの姿勢依存性解析,” 2011 年電子情報通信学会総合大会, 東京, Mar. 15, 2011.
- [2] 羽賀望, 齊藤一幸, 高橋応明, 伊藤公一, “人体通信用電極の基本特性解析,” 2010 年電子情報通信学会ソサイエティ大会, 大阪, Sep. 14, 2010.
- [3] Zhengyi Li, Kazuyuki Saito, Masaharu Takahashi, Koichi Ito, and Yi Huang, “A small planar inverted-F antenna for body-centric wireless communications,” 2010 International Symposium on Antennas and Propagation, Macao, China, Nov. 25, 2010.
- [4] Nozomi Haga, Kazuyuki Saito, Masaharu Takahashi, and Koichi Ito, “Analysis of electrodes for body-centric communications,” 2010 International Symposium on Antennas and Propagation, Macao, China, Nov. 24, 2010.
- [5] Koichi Ito, “Small antennas for body-centric communications,” 2010 International Symposium on Antennas and Propagation, Macao, China, Nov. 24, 2010.
- [6] Koichi Ito, “Basic characteristics of wearable antennas for body-centric wireless communications,” Loughborough Antennas & Propagation Conference 2010, Loughborough, UK, Nov. 9, 2010.
- [7] Koichi Ito, “Wearable antennas for body-centric wireless communications,” The 4th Indonesia Japan Joint Scientific Symposium 2010, Bali, Indonesia, Sep. 29, 2010.
- [8] Koichi Ito, “Antennas for body-centric wireless communications,” International Conference on Electromagnetics in Advanced Applications 2010, Sydney, Australia, Sep. 23, 2010.
- [9] Koichi Ito and Nozomi Haga, “Wearable antennas for body-centric wireless communications,” International Conference on Applications of Electromagnetism and Student Innovation Competition Awards, Taipei, Taiwan, Aug. 12, 2010.
- [10] Koichi Ito, Nozomi Haga, Masaharu Takahashi, and Kazuyuki Saito, “Electric field distributions around the human body with a small antenna in the frequency range of 2.5 MHz to 2.5 GHz,” International Workshop on Antenna Technology 2009, Santa Monica, USA, Mar. 3, 2009.
- [11] 羽賀望, 菅良太郎, 齊藤一幸, 高橋応明, 伊藤公一, “人体近接時におけるパッチアンテナの諸特性,” 2009 年電子情報通信学会総合大会, 松山, Mar. 4, 2009.
- [12] 伊藤公一, 羽賀望, “低姿勢モノポールアンテナによる人体近傍電界の周波数特性,” 2009 年電子情報通信学会総合大会, 松山, Mar. 4, 2009.
- [13] Takuya Seki, Kazuyuki Saito, Masaharu Takahashi, and Koichi Ito, “Wristwatch-type UWB antenna for wireless body area network,” 2008 International Symposium on Antennas and Propagation, Taipei, Taiwan, Oct. 27, 2008
- [14] ChangYong Seo, Kazuyuki Saito, Masaharu Takahashi, and Koichi Ito, “Propagation characteristics in body area networks by use of asymptotic analysis,” XXIX General Assembly of the International Union of Radio Science, BCK-p. 5, Chicago, USA, Aug. 12, 2008.

6. 研究組織

(1)研究代表者

伊藤 公一 (ITO KOICHI)
千葉大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号：90108225

(2)研究分担者

高橋 応明 (TAKAHASHI MASAHARU)
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・准教授
研究者番号：70267342

齊藤 一幸 (SAITO KAZUYUKI)
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・准教授
研究者番号：80334168