

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 5月31日現在

機関番号：12608
 研究種目：基盤研究（B）
 研究期間：2010～2012
 課題番号：22360150
 研究課題名（和文） 人体周辺の無線センサーネットワークにおける電波伝搬チャネルモデルに関する研究
 研究課題名（英文） Propagation Channel Modeling in Wireless Body-Area Sensor Networks
 研究代表者
 高田 潤一（TAKADA JUN-ICHI）
 東京工業大学・大学院理工学研究科・教授
 研究者番号：90222083

研究成果の概要（和文）：

人体周辺での無線通信(Body Area Network, BAN)は、医療・ヘルスケアや消防、軍事のような特定分野のみならず、エンターテインメント用途へも広がりを見せつつある。本研究では、人体の動的な特性を考慮した BAN 通信路の根本的な問題に取り組み、測定方法の改善及びより実用的なモデル構築法、さらにはその応用としての通信特性改善技術を確立することを目的としている。本研究の成果は以下の4点に集約される：(1) 多点動的通信路測定システムの構築、(2) 動的通信路シミュレーション手法の開発、(3) 体表通信路特性からのアンテナの寄与の分離方法の検討、(4) 動的通信路特性を用いた高信頼性通信方式の検討。

研究成果の概要（英文）：

Body area network (BAN) has been considered for specific applications such as medicine, healthcare, firefighter, and military, as well as entertainment applications. This project aimed at solving the fundamental problems of analysis and modeling of dynamic behavior of BAN channel due to the human body motion, by improving the channel sounding systems, simulation approach, and practical modeling, as well as at identifying the highly reliable transmission schemes under the dynamic channels. Major outcomes of the project are summarized into the following four items: (1) Establishment of dynamic multipoint channel sounders, (2) establishment of dynamic BAN channel simulators, (3) antenna de-embedding from BAN channel, and (4) highly reliable transmission schemes for multisensor BAN.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	10,000,000	3,000,000	13,000,000
2011年度	2,300,000	690,000	2,990,000
2012年度	2,500,000	750,000	3,250,000
年度			0
年度			0
総計	14,800,000	4,440,000	19,240,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・通信・ネットワーク工学

キーワード：アンテナ 人体通信, 電波伝搬

1. 研究開始当初の背景

人体周辺での無線通信への関心が高まっており、第4世代またはその以降の移動通信において、人体周辺での無線通信はウェアラ

ブルセンサを用いて様々なネットワークを構成するために重要な技術として認識されている。医療・ヘルスケアや消防、軍事のような特定分野に加えて、エンターテインメン

トとしての需要も高まりつつある。ファッション業界では、10年以内に衣類の20%に電子機器が組み込まれるという予測も出ている。このような「ウェアラブル時代」が到来すると、人体周辺の無線ネットワーク技術（以下ボディエリアネットワーク(Body Area Network: BAN)と呼ぶ）は、人体を中心とした機器同士を接続する重要な役割を果たすと予想される。

特に、高齢化社会が進む現代において、安全・安心な医療保健体制の構築はますます重要になっている。効率かつ高度な治療やヘルスケアを支えるために、先進の医療情報通信技術(MICT; Medical Information and Communications Technology)の活用が期待されているが、実際の医療現場におけるMICTの利用は必ずしも十分とは言えない。一方、各種生体信号をリアルタイムに収集する無線システムや、医療補助を行う体内植込み機器等におけるMICTへの関心が高まりつつある。米国電気電子技術者協会(以下IEEE)の標準化組織であるIEEE802.15パーソナルエリアネットワークワーキンググループのTask Group 6(以下IEEE802.15.6)では、当時、主に医療・ヘルスケアを主用途としたボディネットワークの国際標準化を進めていた(2012年3月に正式承認)。IEEE802.15.6でのBANの定義は、人体内部または人体表面近傍の短距離無線通信であり、IEEE802.15で標準化されている他のパーソナルエリアネットワーク規格より小さい領域をカバーする。機器の小型化と低消費電力を実現するには、多くの制約が存在する。医療・ヘルスケア分野では人間の命に関わる高い信頼性が要求される場合が多いが、人体の安全を保障するために、比吸収率(SAR)と電磁環境両立性(EMC)の要求も満たさなければならず、送信電力の要件が非常に厳しい。

2. 研究の目的

本来、無線通信方式や機器、ネットワーク回線設計を行うためには送受信アンテナと伝搬路を含んだ通信路特性を把握し適切にモデル化を行う必要がある。しかし、BANでは人体そのものが通信路の一部をなしており、人体の影響が通信路特性の支配的要素となるため、既存の無線システムで適用されていた伝搬路測定や解析手法だけでは、その現象を適切に捉えることが難しい。このようにBANの特徴や様々な制約から有用な通信路モデルの開発は非常に重要な研究課題となっている。

人体表面での無線BANチャンネルの場合、人体とアンテナとの間で相互作用が常に存在する。例えば、人体表面に取り付けた場合のアンテナの指向性は自由空間のそれとは大きく異なり、偶然に形成されたヌル(零点)

により、通信が途切れてしまう可能性もある。また人体の一部による見通し経路の遮蔽から発生するシャドウフェージング、人体の吸収による大きな伝搬損失、アンテナのインピーダンス不整合、体の動きによるアンテナ間距離・到来角度の変化、偏波面の不一致などが考えられる。このようにBANチャンネルでは、測定された通信路応答からアンテナの特性を分離することは容易ではない。これより生じる問題は大きく二つが挙げられる。まず、一つ目は通信路特性が使用するアンテナに依存してしまうことである。伝搬測定時に使用したものと異なるアンテナを使用する場合に通信路モデルをそのまま適用することはそもそも無理である。二つ目は、アンテナと人体の相互作用による影響が厳密に評価できず従来の回線設計方法(例えば、伝搬損失距離特性)が有効ではないことである。このことから実用化に向けてBAN特有の特徴を適切に捉えた新たな概念の伝搬モデルの必要性が高まっている。

本研究では、人体の動的な特性を考慮したBAN通信路の根本的な問題に取り組み、測定方法の改善及びより実用的なモデル構築法、さらにはその応用としての通信特性改善技術を確立することを目的としている。

3. 研究の方法

本研究では、多点動的通信路測定システムの構築、動的通信路シミュレーション手法の開発、体表通信路特性からのアンテナの寄与の分離方法の検討、動的通信路特性を用いた高信頼性通信方式の検討を行った。

(1) 多点動的通信路測定システムの構築

従来から、汎用のベクトルネットワークアナライザ(VNA)を用いて様々な静的通信路の測定が行われているが、通信路特性は人体の動きにより変化するため、その動的な変動を捉えるためにはVNAよりはるかに高速の測定性能が必要である。また、センサネットワークのトポロジや通信方式を検討するために、センサノード間の相関関係の取得が必要であり、複数のセンサノード間の通信路変動を同時に測定可能な構成とする。具体的には、超広帯域システムのためにはパルス発生器とオシロスコープを用いた測定系を、狭帯域システムのためにはZigBeeセンサネットワーク用デバイスの信号強度表示器(RSSI)を使用した測定系を構築した。さらに、測定器とアンテナ間を繋ぐケーブルが通信路変動に及ぼす影響が無視できないため、ケーブルの取り付け方法及びケーブルを使用しない装置構成を含めた実験手法を確立する。具体的には、同軸ケーブルを使用せず光ファイバにより無線信号を伝送する方法(ROF)、ZigBeeデバイスを用いて無線機とアンテナ

を直結する方法を開発した。さらに、人体の動作と通信路特性の変動との間の関係をシミュレーション（次項）により明らかにするために、モーションキャプチャシステムを用いて人体動作を通信路特性と同時測定するためのシステムを構築した。

(2) 動的通信路シミュレーション手法の開発

通常の無線通信路特性の研究においては、伝搬距離が波長に比べて膨大な大きさとなるため、マクスウェル方程式を厳密に電磁界解析により解くことが困難なであり、幾何光学近似手法による大まかな予測技術はあるものの、主には実験による検討が行われてきた。これに対して BAN 通信路は近距離であり人体近傍の小さな領域に限定されることから、マクスウェルの方程式を離散化する各種のシミュレーション手法が適用可能となる。本研究では、人体の影響を考慮することが容易な手法である時間領域差分(FDTD)法および一般化多極化法(GMT)を用いたシミュレータを構築するとともに、商用のシミュレータも使用した。もう一つ人体周辺の電磁界シミュレーションを行うにあたって必要不可欠なのが人体の形状モデルである。モーションキャプチャを用いてスケルトンから円筒群を用いて人体モデルを作成する方法、3D アニメーションソフトウェアから人体モデルを抽出する方法を確立した。

(3) 体表通信路特性からのアンテナの寄与の分離方法の検討

前述の通り、BAN 通信路特性には人体とアンテナとの間で相互作用が常に存在する。特に、異なるアンテナを用いた場合には通信路特性が大きく変わることは容易に想像できるが、標準化に用いられた通信路モデルでは、研究機関毎に偏波も指向性も異なる様々なアンテナが含まれたままの形で統計モデルが構築されており、特に機器設計の観点からは十分に信頼に足るモデルとは言えない。移動通信など通常の無線通信路においては、近年の MIMO 技術の発達により、角度通信路モデルと呼ばれる伝搬路の角度特性を考慮したモデル化が行われている。BAN 通信路特性においても、人体近傍のアンテナのモデルと、アンテナを含まない伝搬路のモデルに切り分けることが必要不可欠となるが、アンテナと人体が接近しているため、自由空間を仮定した既存のモデルがそのまま適用できない。本研究では、球面調和関数を用いたアンテナの等価表現を使用して、アンテナ及び伝搬路のモデル化を行った。また、実験で使用しているアンテナ自体の電磁界モデル化も必要となるが、市販されている商用のアンテナは一般に内部構造が公開されておらず、モデル化が不可能である。本研究

で特に小型チップアンテナに関して、メーカーから非公開の設計データを取得し、シミュレーションを行なって特性を明らかにし、通信路全体のモデル化に供した。

(4) 動的通信路特性を用いた高信頼性通信方式の検討

(1)、(2)のようにして取得した動的通信路特性を用いて、人体の動きに対して頑強な伝送方式を考慮する必要がある。特に人体そのものによる遮蔽により、通信路の利得が大きく下がり回線が遮断されることを防ぐために、ダイバーシチ受信、マルチホップ中継など、複数のアンテナ及び通信路を使用する方法が考えられている。これまで確率的な通信路モデルを用いてこれらの方式の特性が検討されてきたが、BAN 通信路は変動幅が大きく、しかも人体の動きに対して決定論的な変化をするため、実測した通信路特性(stored channel)を用いて有効な通信方式の検討を行った。

4. 研究成果

(1) 多点動的通信路測定システムの構築

超広帯域(UWB)無線 (3.4-4.8GHz)を用いた際の、複数センサノードにおける通信路特性と人体の動作との相互相関関係の解明を行うために、パルス発生器と高速サンプリングオシロスコープを用いて、複数センサにおける通信路変動が同時測定可能な測定システムを構築した。パルス発生器とオシロスコープの間のトリガ同期、オシロスコープのメモリ消費量を増大させない間欠動作、ダイナミックレンジ確保のための平均化処理などの機能を実装している。

また、これまで計測器を用いた測定で問題となっていた同軸ケーブルからの放射の影響を低減するため、光無線リンクを用いた測定法について検討を行った。使用した市販の光モジュールの大きさや駆動に必要な電源系にまだ課題があることを確認したが、原理的に同軸ケーブルの影響を大きく抑えることができることを確認した。

2.4GHz 帯で動作する ZigBee モジュールのソフトウェアを改造し、コーディネータノードから一定間隔毎にポーリングにより各センサノードに RSSI 情報を問い合わせる方式のウェアラブルチャネルサウンダを開発した。センサノードの RSSI の表示値は、事前にスペクトラムアナライザにより校正されている。また、長時間の測定データを保存するために、コーディネータノードには SD カードのインタフェースを取り付けた。

(2) 動的通信路シミュレーション手法の開発 人体及びアンテナを含む BAN 通信路を、

電磁界の基本方程式であるマクスウェルの方程式に則って数値シミュレーションする方法として、FDTD法及びGMTについて検討を行った。

FDTD法の計算は並列性が高い一方、領域分割を行うと分割境界におけるデータのやり取りが多く計算性能が劣化する。現在のスーパーコンピュータが多数の汎用画像処理ユニット(GPU)の並列化により実現していることを鑑み、人体の動きに対応するフレーム毎に独立したGPUの中で収まるようにFDTD法を実行するように実装を行った。また、FDTD法では電流源と電界により送信アンテナと受信アンテナを表現しているが、これが無線通信路の伝達関数表現と一致するような補正式を導出した。なお、FDTD法固有の問題として、電流や電界が立方格子に沿った方法の成分で表示されるため、送信3成分・受信3成分のシミュレーションを常にセットで行う必要がある。

GMTは境界で発生する散乱波を境界近傍に置かれた多数の多重極波源の重ね合わせで表現し、多重極波源の励振係数を未知係数として境界条件を満足するように係数を決定する方法であり、後述するようにアンテナのモデル化に同じ多重極波源を用いるため、整合性がよいので、GMTを用いたシミュレータも実装した。FDTD法とGMTはほぼ同一のシミュレーション結果を出力することを確認し、用途に応じて使い分けることとしている。

市販の3DアニメーションソフトウェアであるPoserを使用し、動いている人体のモデル化を行った。Poserの人体形状データを表面パッチ及びボクセルデータに変換するためのプログラムを構築した。その後、ボクセルデータに関しては高性能のオープンソースツールが既に存在していることを発見し、そのツールを使用している。

合わせて、モーションキャプチャを使用した人体の動きと通信路特性の同時取得を行う実験系の構築も行った。本研究開始以前からモーションキャプチャ室における実験系を構築していたが、安価かつ高性能なTVゲーム用モーションキャプチャシステムであるKinectを導入し、場所の制約がない実験系の構築を行った。モーションキャプチャの結果をスケルトンデータで表現し、これに対応する誘電体円筒の組み合わせとしてモデル化する方法を検討した。FDTD法によるシミュレーションの結果、実験結果、あるいはPoserによるより緻密なモデルとの誤差はあるものの、実用上有意な結果を得ることができた。

(3) 体表通信路特性からのアンテナの寄与の分離方法の検討

通信路特性からのアンテナの寄与を分離するために、アンテナと伝搬路の間に閉曲面の境界を設け、等価定理により領域を切り分ける方法について検討を行った。自由空間の場合には、通常伝搬路を複数の平面波の和として表現しているが、人体近傍における電磁界を平面波の和で表現することが困難であるため、アンテナの放射特性を球面調和関数展開し、これに対応する多重極波源を用いて伝搬路特性を解析することで、通信路特性を送信アンテナと受信アンテナの固有モード間の伝達関数により等価回路表現する手法を確立した。特にFDTD法を用いる場合には、球面境界ではなく立方体境界を仮定し、境界上に置かれた微小ダイポールアレーを特定の単一モードで励振する方法を提案した。提案手法の有効性は、ダイポールアンテナなどの具体的なアンテナを考慮し、自由空間において直接シミュレーションした結果が等価回路表現と一致することにより確認しているが、人体近傍における検証については現在も引き続き行なっている。

実験で人体近傍に設置しているチップアンテナ付き基板の特性について、製造メーカーよりチップアンテナの技術データを入手し、実装基板を含めた特性の解析を商用の電磁界解析ソフトウェアにより行い、実験結果と非常によい一致をみた。

(4) 動的通信路特性を用いた高信頼性通信方式の検討

BAN通信路における劣化の大きな要因は人体自体による見越し伝搬路の遮蔽(シャドウイング)であり、移動通信路におけるマルチパスフェージングとは本質的に異なり、電力そのものが到達していない点に困難さがある。このため、遮蔽特性が異なる複数ノードとの通信による信頼性の確保が必要不可欠である。

UWB無線においては、インパルス応答の解析結果から直接波・床反射波・その他の散乱波の3成分が検出できレイク受信機が使用できる可能性を明らかにするとともに、腹回りに設置した複数アンテナ間で受信信号変動の相関が低いことを確認した。コーディネータノードにおけるアンテナダイバーシチおよびレイク受信機の特性格改善効果を、実測された通信路特性を用いて定量的に評価し、10dBを超える高いダイバーシチ効果が得られることを明らかにした。

ZigBeeにおいては、複数のセンサを被験者の体に取り付け、日常生活を模擬したシナリオで通信路測定を行い、人間の動作により生じる通信路の同時変動分布を取得した。取得した通信路特性を使用し、センサノード・コーディネータノード間の直接通信路と、2ホップ再生中継通信路を合成する協力伝送方

式における、中継ノードの選択方法を明らかにした。10%時間率において送信電力換算で17dBの利得を得た。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計2件、いずれも査読あり)

- [1] Minseok Kim, Jun-ichi Takada, "Characterization of Wireless On-Body Channel Under Specific Action Scenarios at Sub-GHz Bands," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol.60, No.11, pp. 5364-5372, Nov. 2012.
- [2] Takahiro Aoyagi, Minseok Kim, Jun-ichi Takada, Kiyoshi Hamaguchi, Ryuji Kohno, "Numerical Simulations for Wearable BAN Propagation Channel during Various Human Movements," IEICE Transactions on Communications, vol. E94-B, no. 9, pp. 2496-2500, Sept. 2011.

[学会発表] (計26件)

- [1] Takahiro Aoyagi, Minseok Kim, and Jun-ichi Takada, "Characterization for an Electrically Small Antenna in Proximity to Human Body -- Towards Antenna De-embedding in Body Area Network Channel Modeling," 7th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP 2013), 11 Apr. 2013 (Gothenburg, Sweden).
- [2] 長縄潤一, 羽田勝之, 青柳貴洋, 金ミンソク, 高田潤一, "FDTD法による電波伝搬シミュレーションに向けた球波動関数の励振," 2013年電子情報通信学会総合大会, B-1-52, 20 Mar. 2013 (岐阜)
- [3] 小林翔, 金ミンソク, 高田潤一, "歩行動作におけるUWB BANチャネルの動特性の実験的な検討," 2013年電子情報通信学会総合大会, BS-8-9, 19 Mar. 2013 (岐阜)
- [4] Akinori Fujie, Jun-ichi Naganawa, Minseok Kim, Takahiro Aoyagi, and Jun-ichi Takada, "Voxel Model Construction by Kinect for Propagation Channel Simulation," ISMICT 2013, 8 Mar. 2013 (Tokyo, Japan).
- [5] Karma Wangchuk, Minseok Kim, and Jun-ichi Takada, "Cooperator Selection in 2.4GHz On-body Wireless Body Area Network," 7th International Symposium on Medical ICT (ISMICT 2013), 7 Mar. 2013 (Tokyo, Japan).
- [6] Takahiro Aoyagi, Minseok Kim, and Jun-ichi Takada, "Analyses of propagation and antennas for wireless body area network

channel modeling in Tokyo Tech," 2012 International Conference on Engineering, Applied Sciences, and Technology (ICEAST 2012), 23 Nov. 2012 (Bangkok, Thailand).

- [7] Jun-ichi Naganawa, Minseok Kim, and Jun-ichi Takada, "On Point Source and Observation Modeling for Path Loss Calculation Using FDTD Method," 2012 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP 2012), pp. 983-986, 1 Nov. 2012 (Nagoya, Japan).
- [8] Karma Wangchuk, Minseok Kim, and Jun-ichi Takada, "On-body Multilink Radio Channel Measurement for Cooperative Transmission," IEICE MICT Workshop, MICT2012-12, 11 Oct. 2012 (Nagoya).
- [9] 長縄潤一, 金ミンソク, 高田潤一, "ボディエリアネットワークにおけるFDTDを用いたパスロスシミュレーション," 電子情報通信学会技術研究報告, MW2012-110, 19 Oct. 2012 (宇都宮)
- [10] 小林翔, 金ミンソク, 高田潤一, "UWBによるボディエリアネットワーク測定装置の開発," 電子情報通信学会技術研究報告, MW2012-111, 19 Oct. 2012 (宇都宮)
- [11] 長縄潤一, 金ミンソク, 高田潤一, "マルチGPUを用いたFDTD法によるBANチャネルシミュレーション環境の構築," 電子情報通信学会医療情報通信研究会, MICT2012-5, 13 Jun. 2012 (東京)
- [12] Takahiro Aoyagi, "Designing channel models for wireless body area networks," The 1st BAN Workshop on International Standards between China and Japan Expertise, 11 Jun. 2012 (Beijing, China).
- [13] Takahiro Aoyagi, Jun-ichi Takada, Kenichi Takizawa, Kamyia Y. Yazdandoost, Huan-Bang Li, Marco Hernandez, Kiyoshi Hamaguchi, Ryu Miura, Takehiko Kobayashi, and Ryuji Kohno, "Propagation Characteristics for 2.45 GHz Dynamic Wearable WBAN using Multiport VNA," 6th International Symposium on Medical Information and Communication Technology (ISMICT 2012), 29 Mar. 2012 (La Jolla, CA, USA).
- [14] Iswandi, Takahiro Aoyagi, Minseok Kim, and Jun-ichi Takada, "The Utilization of Body Skeleton Model for Modeling the Dynamic BAN Channels," 6th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP 2012), 27 Mar. 2012 (Prague, Czech Republic).
- [15] Takahiro Aoyagi, and Jun-ichi Takada, "Simulation for Wearable Body Area

- Network by Multipole Technique at 403 MHz," EuCAP 2012, 27 Mar. 2012 (Prague, Czech Republic).
- [16] Minseok Kim, Karma Wangchuk and Jun-ichi Takada, "Link Correlation Property in WBAN At 2.4 GHz by Multi-link Channel Measurement," EuCAP 2012, 27 Mar. 2012 (Prague, Czech Republic).
- [17] Tetsuo Nukita, Takahiro Aoyagi, Minseok Kim, Jun-ichi Takada, Marco Hernandez, and Ryu Miura, "Study on Effects of Body Shape on Propagation Characteristics in 2.45GHz Dynamic Wearable WBAN using Multi-Port VNA," IEICE MICT Workshop, 25 Jan. 2012 (Tokyo).
- [18] Jun-ichi Takada, "De-embedding of antennas from propagation channel in wireless communications," EuCAP 2011, 12 Apr. 2011 (Rome, Italy).
- [19] Takahiro Aoyagi, Iswandi, Minseok Kim, Jun-ichi Takada, Kiyoshi Hamaguchi, and Ryuji Kohno, "Body Motion and Channel Response of Dynamic Body Area Channel," 5th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP 2011), 12 Apr. 2011 (Rome, Italy).
- [20] Minseok Kim, Mary Ann Ingram, Gahadza Mutsawashe, and Jun-ichi Takada, "Investigation of Cooperative Transmit Diversity in Narrowband Wearable Wireless Body Area Network at 400-MHz WMTS Band," 2011 IEICE General Conference, ABS-1-5, 14 Mar. 2011 (published but not presented due to earthquake).
- [21] Takahiro Aoyagi, Minseok Kim, Jun-ichi Takada, Kiyoshi Hamaguchi, and Ryuji Kohno, "Numerical Simulations for Dynamic WBAN Propagation Channel During Various Human Movements," 5th International Symposium on Medical Information & Communication Technology (ISMICT 2011), 28 Mar. 2011 (Montreux, Switzerland).
- [22] 青柳貴洋, 金ミンソク, 高田潤一, 浜口清, 河野隆二, "様々な人体動作時の電波伝搬シミュレーションとダイバーシティ効果の検討," 電子情報通信学会医療情報通信技術時限研究会, 25 Jan. 2011 (横浜).
- [23] Iswandi, Minseok Kim, Jun-ichi Takada, and Takahiro Aoyagi, "Simulation of Dynamic BAN Channel for Navel to Arm Links Based on Antenna Motion," IEICE MICT Workshop, 25 Jan. 2011 (Yokohama).
- [24] Iswandi, Minseok Kim, and Jun-ichi Takada, "Effect of On-Body Antenna Motions to the BAN Channel Fluctuations," 2010 Asia-Pacific Radio Science Conference, 24 Sept. 2010 (Toyama, Japan).
- [25] 青柳貴洋, 金ミンソク, 高田潤一, 浜口清, 河野隆二, "様々な人体動作時における動的ウェアラブル WBAN 伝搬チャンネルのシミュレーション計算," 2010 年電子情報通信学会ソサイエティ大会, BS-10-10, 14 Sept. 2010 (大阪).
- [26] Iswandi, Minseok Kim, Jun-ichi Takada, and Takahiro Aoyagi, "Investigation of the Effect of Antenna Movement for Off-Body Channel in UWB-BAN System," 2010 International Workshop on Information Communication Technology (ICT 2010), 24 Aug. 2010 (Bangkok, Thailand).
- [その他：学会以外の研究集会での発表]
- [1] Takahiro Aoyagi, Jun-ichi Takada, and Minseok Kim, "Characterization of an Electrically Small Antenna in Proximity to Human Body by Multipole Technique," COST IC1004 6th MCSM, TD(13)06040, 7 Feb. 2013 (Malaga, Spain).
- [2] Takahiro Aoyagi, Minseok Kim, and Jun-ichi Takada, "Characterization of electrically small antenna in proximity to human body towards antenna deembedding in body area network channel modeling," COST IC1004 5th MCSM, TD(12)05014, 25 Sept. 2012 (Bristol, UK).
- [3] Takahiro Aoyagi, and Jun-ichi Takada, "Propagation simulation for Body Area Networks by GMT," COST IC1004 1st SM, TD(11)01061, 20 June 2011, (Lund, Sweden).
- [4] Takahiro Aoyagi, Iswandi, Minseok Kim, Jun-ichi Takada, Kiyoshi Hamaguchi, Ryuji Kohno, "Study of Relation between Body Motion and Channel Response of Dynamic Body Area Channel," COST 2100 11th MCM, TD(10)11060, 2 June 2010 (Aalborg, Denmark).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高田 潤一 (TAKADA JUN-ICHI)
東京工業大学・大学院理工学研究科・教授
研究者番号：90222083

(2) 研究分担者

青柳 貴洋 (AOYAGI TAKAHIRO)
東京工業大学・社会理工学研究科・准教授
研究者番号：10302944

金 ミンソク (KIM MINSEOK)
東京工業大学・理工学研究科・助教
研究者番号：40467030