

令和元年6月21日現在

機関番号：32708

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2018

課題番号：17K13101

研究課題名(和文)次世代の医療・福祉・ヘルスケアのための生体内外ボディエリア通信に関する研究

研究課題名(英文) Study on inside and outside body area communication for medical care, health care and welfare in the next generation

研究代表者

越地 福朗 (KOSHIJI, Fukuro)

東京工芸大学・工学部・准教授

研究者番号：00610445

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、磁界励振型の送受信アンテナコイルを用いることで生体周囲のみならず生体内外を通信エリアとする新しい医療・ヘルスケアのためのボディエリア通信を提案・検討を行った。

その結果、生体内外に配置された送受信アンテナ間の伝送特性、および生体内外の電磁界分布を明らかとなった。また、電源不要の中継コイルによる伝送特性改善手法を提案し、その有効性も示した。本研究によって得られた知見は、アンテナコイル設計やアンテナと人体(生体)を含めた生体内外ボディエリア通信システムの設計に重要かつ有効なものである。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で提案・検討した磁界励振型アンテナを利用するボディエリアネットワークは、従来の電界励振型アンテナを利用するものに比べて、生体の影響を受けにくい。そのため、従来は人体(生体)周囲のみであった通信エリアを生体内部へと拡張することが可能であり、生体内外の通信を両立する次世代のボディエリアネットワークを実現できる。また、電源不要の中継コイルの導入により、通信エリアのさらなる拡大が可能であるなど、従来のボディエリアネットワークの伝送品質や伝送特性などの技術課題を根本的に解決するものである。本研究の成果により、今後は、実用化を視野に入れた研究・開発へとシフトすることが可能となると考える。

研究成果の概要(英文)：In this research, we proposed and investigated a new body area communication which uses magnetic field excitation type of antenna coils.

As a result, the transmission characteristics between transmitting and receiving antennas placed inside and outside the living body, respectively, and the electromagnetic field distribution inside and outside the living body were clarified. We also proposed a method improving transmission characteristics by inserting a parasitic relay coil which does not require power supply, and showed its effectiveness. In conclusion, the knowledge obtained from this study are important and effective for design of antenna and body area communication system considering living body.

研究分野：電磁波工学，アンテナ工学，人工環境学

キーワード：ボディエリアネットワーク ウェアラブル機器 共振結合 磁界 コイル アンテナ 人体 生体電磁波 エネルギー吸収率

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

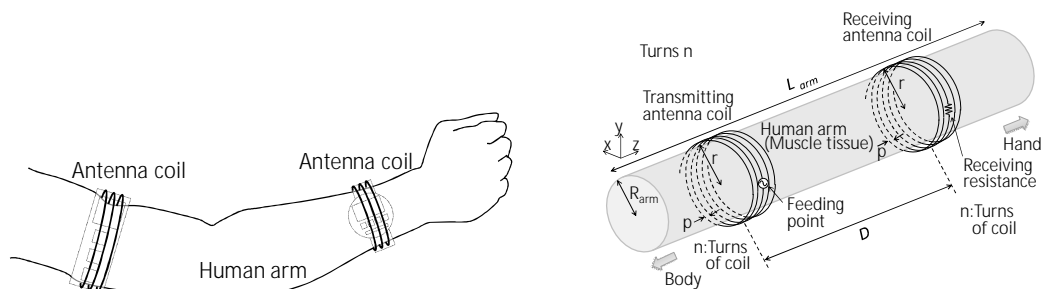
近年、世界の先進国を中心に、社会の高齢化が急速に進んでいる。それに伴って、高齢者のみならず成人や若年層においても、健康意識が高まっている。また、健康社会を支える生体情報センシング機器や医療・生活支援機器などは、小型・軽量化が進み、Mobile (持ち運べる) から Wearable (着用できる) へと進化し、近い将来には Implantable (埋め込みできる) へと発展していくものと考えられる。

特に、医療・ヘルスケア分野においては、各種センサを搭載したウェアラブル機器を生体近傍に分散配置し、体温、血流、心拍などの生体情報をリアルタイムにモニタリングし健康維持・管理に役立てるシステムが提案されている。さらに、位置情報や行動パターンなどを含めて、Body Area Network (BAN) と呼ばれる通信ネットワークを介して、情報のやりとりを行い、健康・医療に関する総合的なデータをビッグデータとして積極的に活用するシステムなども提案されている。

このように、BAN は、健康社会を実現する根幹の通信技術として重要な位置づけにある。今後、より高度でタイムリーなサービスをユーザーが享受するためには、生体周囲のみならず、生体内のマイクロロボットや人工臓器等との通信や、ビッグデータにアクセスするための外部ネットワークとの通信を両立することが重要となり、特に、ウェアラブル機器は、生体周囲と生体内の通信を両立するコーディネータの役割を果たす重要な機器として進化していくと考えられる。しかしながら、BAN の伝送特性は、機器周囲の環境や生体の姿勢変化、行動などに依存するため、高誘電率、かつ損失性の媒質である生体組織の電気特性の考慮が必要不可欠であるなど、現時点では、BAN は人体周囲の通信に限定したものがほとんどであり、生体内外を通信エリアとするシームレスな BAN の実現には解決すべき課題が多い。

2. 研究の目的

本研究は、医療・ヘルスケアのためのボディエリア通信において、申請者が提案する磁界励振型の送受信アンテナコイルによる生体周辺通信 (Fig.1) を、生体周囲のみならず生体内へと拡張し、生体内外を通信エリアとするボディエリア通信へと発展させた際の信号伝送特性を電磁気学および電気回路理論の見地から、定性的、定量的に明らかにするとともに、生体内外に配置されるウェアラブル・インプラントブル機器同士のシームレスなボディエリア通信技術の実用化を視野に、設計論的立場から、アンテナコイルの構造に対する入力インピーダンス特性や人体の姿勢変動などに対する送受信アンテナコイル間の伝送特性など、ボディエリア通信システムの性能に関わるパラメータ検討を行う。さらには電磁環境両立性(イミュニティ評価や SAR による生体安全性評価)の検討を行うことで、従来のボディエリア通信の伝送品質や伝送特性などの技術課題を根本的に解決し、生体内外間のみならず、人体周辺、さらには、外部ネットワークの通信を両立する技術へと発展させることが目的である。



(a) Antenna coils worn on arm (b) A model for electromagnetic field analysis

Fig. 1 Magnetically-coupled body area network proposed in this study

3. 研究の方法

本研究では、磁界励振型アンテナコイルを利用する生体内外ボディエリア通信において、数値電磁界解析によって、送受信アンテナ間の伝送特性、および生体内外における電磁界分布、SAR 評価による電磁波に対する生体安全性や電磁ノイズに対するイミュニティを検討するとともに、生体等価ファントムを用いた実測による実験的検討を並行して行う。これにより、生体内外の信号伝送特性の詳細を定性的、定量的に明らかにすることができる。さらに、これらの知見を得た上で、伝送特性の改善手法の検討もあわせて行う。

具体的には、腕部や胴体部分などの局所的なエリアにおける通信から、人体全身および周辺エリアを含めた通信の検討へと段階的に進めていき、最終的には、生体を考慮したアンテナ構造パラメータに対するアンテナ入力インピーダンス特性、送受信アンテナ間の伝送周波数特性、電磁界分布について、電磁気学および電気回路理論の見地からまとめ、アンテナコイルの設計手法、および、アンテナおよび生体を含めた電磁界共振結合通信システムの設計手法などを示す。

4. 研究成果

本研究で想定するボディアリア通信は、生体内外に配置される小型電子機器同士を相互接続する通信技術であるため、対象となる電子機器は、内蔵バッテリーで動作するものがほとんどであり、省電力化・高効率化が必要不可欠である。特に、電気信号の出入り口となるアンテナは、システムのキーデバイスであり、アンテナの性能自体がシステム全体の伝送効率を大きく左右する。また、インプラント機器やウェアラブル機器などの小型電子機器にアンテナを内蔵することを考えると、形状や構造などの物理的な制約があり、アンテナの半径やピッチ、巻き数などの構造パラメータに対するアンテナ特性、すなわち、入力インピーダンス特性や動作周波数などの関係を明らかにすることが重要となる。

(1) 平成 29 年度は、生体内外に近接配置されるコイル型アンテナの構造や形状に対する特性、具体的には、コイル型アンテナの形状に対する最適動作周波数（共振周波数）や、生体内外における伝送特性、また、アンテナが生体内外に形成する電磁界分布などの検討を行った (Fig. 2)。その結果、数値解析によって得られる電磁界分布から、コイル型アンテナを用いることで、非磁性である人体からの影響を受けにくく、生体周囲のみならず、生体内においても効果的通信エリアを形成することが可能であることが明らかとなった (Fig. 3)。さらに、上記結果をふまえて、コイル型アンテナを試作し、生体等価ファントムを用いて伝送特性の確認実験を行ったところ、電磁界解析結果と同様の傾向を示すことが確認され、本研究の有効性が示された。

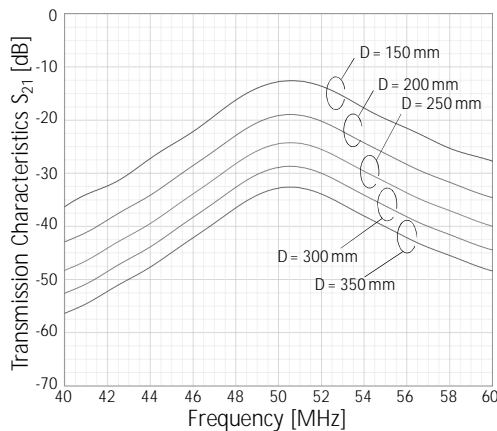


Fig. 2 Transmission characteristics between transmitting and receiving coils

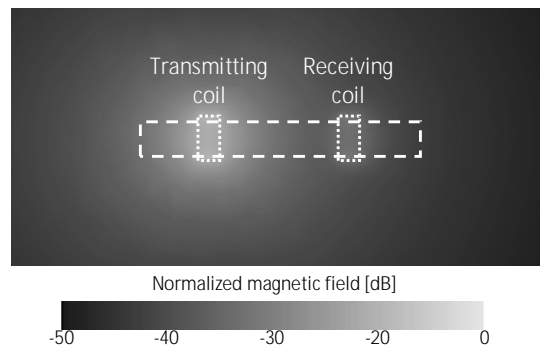
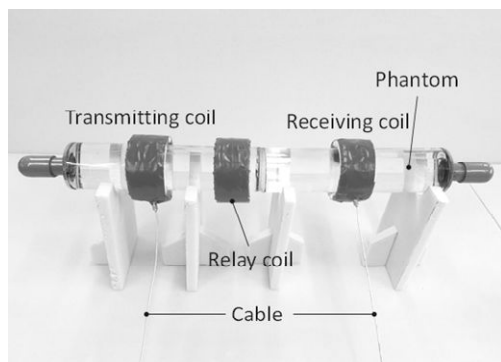


Fig. 3 Magnetic field distribution

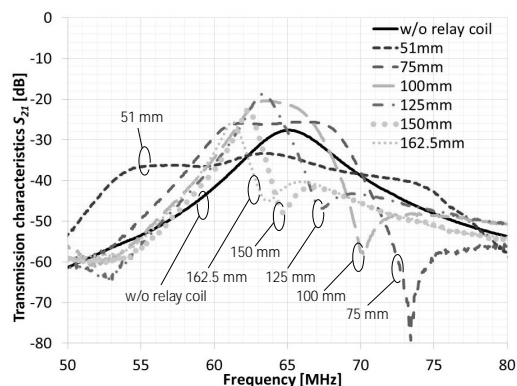
(2) 平成 30 年度は、平成 29 年度に得られた成果をもとに、実用化を視野に入れたより具体的な検討へと研究を進めた。インプラント機器やウェアラブル機器を身につけて生活することを考えると、たとえば、手足は様々な角度に折り曲げられるなど、日常生活の中で、人体の様々な姿勢変動が想定される。こうした人体の姿勢変動などに対する送受信アンテナ間の伝送特性変動や電磁界分布などを検討した。また、これらの姿勢変動などに起因する伝送特性の劣化が生じるような場合において、電源を必要としない無給電の中継アンテナコイルを導入することを提案し、伝送特性を向上させる検討を行った (Fig. 4(a))。

その結果、無給電中継アンテナコイルが送受信コイル間に挿入された場合、中継アンテナコイルが送受信アンテナコイルに近接する場合を除き、伝送特性は中継コイルなしの場合と比べて、最大 8.9 dB 改善することを確認した (Fig. 4(b))。また、送受信アンテナコイル、および中継アンテナコイルの周囲に分布する磁界強度分布から、送信アンテナコイルにおいて励振された磁界が、中継アンテナコイル誘導され、受信アンテナコイルへと効果的に伝送される様子が確認され、中継コイルの導入による伝送特性の改善の効果が確認された (Fig. 4(c))。

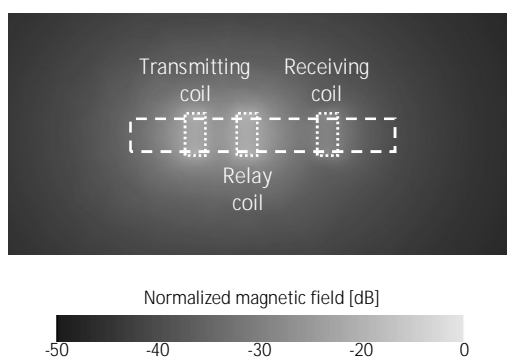
さらに、人体の電磁波防護の観点から、人体近傍に配置される磁界励振型アンテナから放射される電磁波に対する生体安全性についても、国際非電離放射線防護委員会 (ICNIRP) によって定められた国際ガイドラインや総務省の定める SAR 制限値と照らし合わせて評価を実施し、電磁的生体安全性が確保されていることを確認した。



(a) Measurement system configuration



(b) Transmission characteristics obtained from measurement



(c) Magnetic field distribution

Fig. 4 Improvement in transmission characteristics by using a parasitic wearable coil

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計4件)

Fukuro KOSHIJI, Ryoya YAMAGUCHI, Yusuke FUJITA, Kohji KOSHIJI, “Improvement in Transmission Characteristics for Magnetically Coupled Body Area Network by Using a Parasitic Wearable Coil”, Journal of the Japan Society of Applied Electromagnetics and Mechanics, 査読有, 2019. (印刷中)

Yoshifumi NISHIDA, Kentaro YAMAMOTO, Ken SASAKI, Dairoku MURAMATSU, Fukuro KOSHIJI, “Equivalent Circuit Model Viewed from Receiver Side in Human Body Communication”, IEEE Transaction on Biomedical Circuits and Systems, 査読有, 2019. (印刷中)

Kentaro YAMAMOTO, Yoshifumi NISHIDA, Ken SASAKI, Dairoku MURAMATSU, Fukuro KOSHIJI, “Electromagnetic Field Analysis of Signal Transmission Path and Electrode Contact Conditions in Human Body Communication”, Applied Sciences, 査読有, Vol. 8, No. 9. pp.1539 (1-12), September 2018.

越地福朗, “磁界共振結合を利用する近距離ワイヤレス通信”, エレクトロニクス実装学会学会誌, 査読無, Vol.21, No.5, pp.245-247, August 2018. 招待解説論文

〔学会発表〕(計20件)

佐藤潤弥, 越地福朗, 越地耕二, “磁磁性体を用いた経皮エネルギー伝送用コイルの検討 - 位置ずれに対する伝送特性と磁束密度分布の検討 -”, 第33回エレクトロニクス実装学会春季講演大会講演論文集, 11D3-3, pp.1-3, Tokyo, Japan, March 2019.

Fukuro KOSHIJI, Ryogo URUSHIDAE, Kojiro TANAKA, “Transmission of Color Information Using Human Body Communication”, The 1st International Symposium for Color Science and Art 2019, Toyko, March 2019.

山口諒也, 越地福朗, 越地耕二, “スパイラルコイルの磁界共振結合を利用する近距離ワイヤレス通信 - 315MHz帯における電磁界分布の検討 -”, エレクトロニクス実装学会超高速高周波エレクトロニクス実装研究会公開研究会論文集, Vol.18, No.4, February 2019. 依頼講演

Fukuro KOSHIJI, Ryoya YAMAGUCHI, Yusuke FUJITA, Kohji KOSHIJI, “Improvement in

Transmission Characteristics for Magnetically Coupled Body Area Network by Using a Parasitic Wearable Coil”, MAGDA Conference 2018, October 2018.

西田欣史, 佐々木健, 山本健太郎, 村松大陸, 越地福朗, “人体通信における送信機電極面積と受信機側から見た等価回路”, 電子情報通信学会 2018 年ソサイエティ大会講演論文集, B-20-21, Kanazawa, Japan, September 2018.

山口諒也, 越地福朗, 越地耕二, “スパイラルコイルの磁界結合を利用する近距離ワイヤレス通信 - 315MHz 帯における伝送特性の検討 - ”, 生活生命支援医療福祉工学系学会連合大会 2018 (LIFE2018), pp.305-307, September 2018.

越地福朗, “AI・IoT・ビッグデータ時代のワイヤレスシステム設計”, エレクトロニクス実装学会システム設計研究会平成 30 年度第 1 回公開研究会, Tokyo, Japan, June 2018. 依頼講演

相澤鷹比古, 越地福朗, 越地耕二, “人体通信の体内埋込型心臓ペースメーカーへ及ぼす電磁的影響の検討”, 第 27 回ライフサポート学会フロンティア講演会論文集, pp.48, Tokyo, Japan, March 2018.

Fukuro KOSHIJI, Ryogo URUSHIDATE, Dairoku MURAMATSU, Takahiko YAMAMOTO, Kohji KOSHIJI, “Real-Time Heartbeat Signal Sensing and Transmission Using Human Body Communication”, 40th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC 2018), FrPoS-32.49, Honolulu, Hawaii, USA, July 2018.

Kohji KOSHIJI, Fukuro KOSHIJI, Yusuke FUJITA, Dairoku MURAMATSU, Takahiko YAMAMOTO, “Transmission Characteristics Enhancement of Magnetically-Coupled Body Area Network by Using a Parasitic Wearable Coil”, 40th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC 2018), FrPoS-28.43, Honolulu, Hawaii, USA, July 2018.

Yoshifumi NISHIDA, Ken SASAKI, Kentaro YAMAMOTO, Dairoku MURAMATSU, Fukuro KOSHIJI, “Transmitter-Receiver Distance and Equivalent Output Impedance in Human Body Communication”, 2018 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), Barcelona, Spain, April 2018.

漆館竜吾, 越地福朗, 越地耕二, “人体通信を用いた生体信号伝送の検討”, 生活生命支援医療福祉工学系学会連合大会 2017 (LIFE2017), 1B-1-5, pp.1-2, Tokyo, Japan, September 2017.

山口諒也, 越地福朗, 越地耕二, “スパイラルコイルを利用する近距離ワイヤレス通信における SAR の検討”, 生活生命支援医療福祉工学系学会連合大会 2017 (LIFE2017), 1B-1-3, pp.1-4, Tokyo, Japan, September 2017.

越地福朗, 藤田佑輔, 越地耕二, “人体通信用ウェアラブル電極の周波数特性と生体安全性”, 電子情報通信学会 2017 年ソサイエティ大会講演論文集, BI-2-6, Tokyo, Japan, September 2017. 招待講演

島崎勇登, 越地福朗, 越地耕二, “半円台形不平衡ダイポールアンテナの折り曲げによる小形化の検討”, JPCA Show 2017 アカデミックプラザ講演論文集, 13, pp.1-4, Tokyo, Japan, June 2017. JPCASHOW2017 アカデミックプラザ賞受賞

山口諒也, 越地福朗, 越地耕二, “スパイラルコイルを利用する近距離ワイヤレス通信 - 人体手部のコイル近接時の伝送特性への影響 - ”, JPCA Show 2017 アカデミックプラザ講演論文集, 12, pp.1-4, Tokyo, Japan, June 2017.

Fukuro KOSHIJI, Ryogo URUSHIDATE, Kohji KOSHIJI, “Biomedical signal transmission using human body communication”, The IEEE 36th International Performance Computing and Communications Conference (IPCCC 2017), pp.1-2, San Diego, California, USA, December 2017.

Yoshifumi NISHIDA, Ken SASAKI, Dairoku MURAMATSU, Fukuro KOSHIJI, “Influences of User's Posture and Contact Conditions of Electrodes on the Transmission Characteristics of Human Body Communication”, The 6th IEEE Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2017), Nagoya, Japan, October 2017.

Ryogo URUSHIDATE, Yusuke FUJITA, Fukuro KOSHIJI, Kohji KOSHIJI, “Transmission characteristics around Human Body Standing on the Electrode Located on the Floor Surface for Human Body Communication”, International Conference on Electronics Packaging 2017 (ICEP 2017), P19, Tendo, Japan, April 2017.

Yuto SHIMAZAKI, Yudai NAGATSU, Fukuro KOSHIJI, Kohji KOSHIJI, “A Tapered Loop Antenna with Broadband Characteristics for Ultra-Wideband Radio”, International Conference on Electronics Packaging 2017 (ICEP 2017), P18, Tendo, Japan, April 2017.

〔図書〕(計 2 件)

三林浩二 (監修), 越地福朗, 他, “ウェアラブル機器の開発とマーケット・アプリケーション・法規制動向”, R&D 支援センター出版, 278(pp.83-91), 2017

三林浩二, 越地福朗, 他, “生体情報センシングとヘルスケアへの最新応用～ウェアラ

ブル、非侵襲・非接触計測、連続モニタリング～”，技術情報協会出版，558(pp473-480)，2017.

〔その他〕
ホームページ等

東京工芸大学 越地研究室
<http://www.gen.t-kougei.ac.jp/koshijilab/>

6．研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号（8桁）：

(2)研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。