

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 4 月 9 日現在

機関番号：13903

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2015～2017

課題番号：15H04006

研究課題名（和文）微弱電波帯ウェアラブル/インプラント統合BAN及びEMC試験法の研究

研究課題名（英文）Study of Wearable/Implant Integrated BAN at Extermely Weak Radio Band and Its EMC Test Method

研究代表者

王 建青 (WANG, JIANQING)

名古屋工業大学・工学（系）研究科（研究院）・教授

研究者番号：70250694

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 10,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、医療・ヘルスケア応用を目的とするウェアラブル/インプラント統合通信機を10～50MHz微弱電波帯広帯域通信方式で実現した。開発した統合通信機では、広帯域人体通信方式の利用により高品質な心電・筋電信号のウェアラブル伝送が実現でき、ブタを用いたインプラント通信では、体内26cmまで世界最高の10Mbpsの伝送速度を達成した。さらに、その安全・安心な利用を確保するためのEMC（電磁両立性）イミュニティ試験法を提案・構築し、その有効性を国際電気標準会議（IEC）規定の静電気放電試験を通じて実証でき、IECにおけるEMC標準化を先導した。

研究成果の概要（英文）：In this study, we developed a wearable/implant integrated wideband transceiver aiming for medical/healthcare applications at 10-50 MHz extremely weak radio band. The developed integrated transceiver is not only able to realize high quality wearable transmission such as electrocardiogram and myoelectric signals by using the wideband human body communication technology, but also achieved the world's highest transmission rate of 10 Mbps up to 26 cm depth in an implant transmission with living pig. Furthermore, we also proposed and constructed an EMC (electromagnetic compatibility) immunity test system to ensure its safe and secure use. The effectiveness of immunity test system has been verified through electrostatic discharge test prescribed by the International Electrotechnical Commission (IEC), and is leading the EMC standardization in IEC.

研究分野：通信・ネットワーク工学

キーワード：通信・ネットワーク工学 BAN 医療ICT 電磁両立性（EMC）インプラント通信 ウェアラブルデバイス

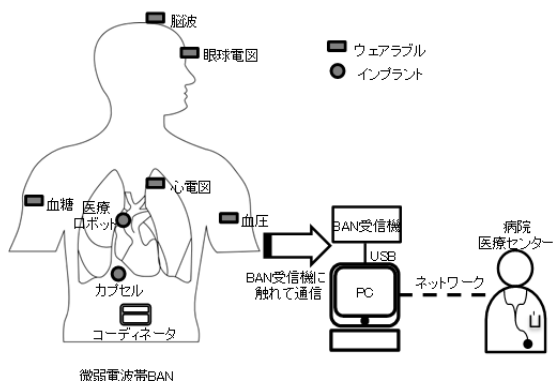
1. 研究開始当初の背景

高齢化社会の波は世界規模の社会問題となっており、ヘルスケア・医療への情報通信技術の応用に対する期待が大きい。このために、生体センシングやアクチュエータ駆動技術の向上に加え、ワイヤレス通信の高速・高信頼化やワイヤレス制御の確立が不可欠である。ウェアラブル BAN (Body Area Network) とインプラント BAN では、送受信信号が人の命に係わる生体情報であり、高速、高信頼性、高秘匿性が不可欠である。しかし、現在のウェアラブル通信では主に 2.4GHz 帯が多用され、インプラント通信では 400MHz 帯が主流である。2.4GHz 帯はワイヤレス LAN や電子レンジなどでも使用され、電磁干渉など EMC (電磁両立性) 問題の多い周波数帯であり、400MHz 帯も人体組織での伝送損失が決して小さいとは言えず、高信頼性の観点から最適な選択肢とは言えない。

研究代表者は、これまでに、体表における心拍、脈拍、血圧などの伝送は、数百 kbps 以下の低速伝送で十分というヘルスケア・医療のためのワイヤレス BAN の特徴を捉え、人体を伝送路とした人体通信により、生体信号のリアルタイム伝送を 1Mbps で実現させた。また、インプラント通信では、UWB(Ultra Wide Band)ローバンドまた 400MHz 帯を用い、人体通信によるウェアラブル BAN とデュアルモードで統合するシステムを提案し、実人体でのウェアラブル心電図伝送及びブタ体内での 1Mbps、5cm までのインプラント伝送が実証できた。しかし、インプラント BAN への UWB また 400MHz 帯の適用は、人体組織での損失が大きく、10cm 以上の身体深部までの高速伝送が容易でない。そこで、研究代表者は、10~50MHz 微弱電波帯において、従来困難とされるインプラントアンテナの超小型化を磁性材料の導入により実現可能と見出し、ウェアラブル BAN とインプラント BAN を人体での損失が小さく、電磁環境にも優しい 10~50MHz 帯に統合することに着想した。

2. 研究の目的

本研究では、ウェアラブル BAN とインプラント BAN を 10~50MHz 微弱電波帯で統合させて実現することを目的としている。下図にその基本構成の一例を示す。



ウェアラブルセンサは人間が BAN 受信機に触ることで PC 等に通信し、インプラントセンサは一旦体表に設置されるコーディネータにデータを蓄積した後、BAN 受信機に触って通信する。また、スマートフォンにコーディネータの機能を埋め込み、収集したウェアラブルとインプラントデータは PC を経由せず直接に病院などに送ることも可能である。そして、ウェアラブル BAN とインプラント BAN の両方を同じく 10~50MHz の微弱電波帯で実現することにより、通信機能付き生体センサのライセンスが不要となり、BAN としての拡張性や利便さが著しく増大する。また、10~50MHz 帯は、体表において人体が伝送路となり、低伝送損、高秘匿性の利点を有し、体内においては 400MHz 帯に比べ人体組織への侵入が 5 倍も深くなり、通信性能と信頼性の著しい向上が期待できる。

3. 研究の方法

本研究では、①ウェアラブル BAN とインプラント BAN を 10~50MHz 微弱電波帯で実現させることと、②BAN 機器の EMC イミューニティ試験法を確立させることを目的とし、次のように遂行した。

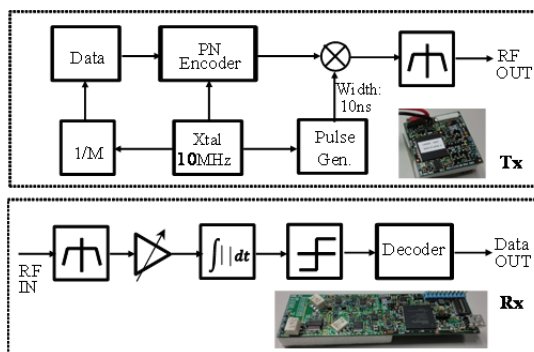
- ウェアラブル BAN とインプラント BAN を 10~50MHz 微弱電波帯で統合実現させるために、両方を 10Mbps 以上の高速伝送の実現を目指し、広帯域 IR (Impulse Radio) 伝送方式の比較検討を行った。
- インプラント通信用 10~50MHz 帯広帯域送受信アンテナの超小型化を実現させるために、アンテナを磁性材シートに形成する技術の開発を行った。また、通信機の小型化を目指し、ウェアラブル生体信号センシング電極と人体通信送信電極を共用する技術の開発を行った。
- 微弱電波帯で、ウェアラブル/インプラント両方において、実用に十分耐える心電図、筋電図、及び体内深部における生体情報のリアルタイム伝送を実人体またブタを用いた検証実験を行った。
- 微弱電波帯 BAN 機器に対し、EMC イミューニティ試験法の確立を目指し、擬似生体信号発生器の開発を行った。また、それを利用した人体に等価なイミューニティ試験系の構築、検証、及び国際電気標準会議 (IEC) への国際標準化提案を行った。

4. 研究成果

平成 27 年度では、まず、微弱電波帯におけるウェアラブル BAN とインプラント BAN の統合実現を目指し、人体組織による伝送損の大幅な低減と人体深部への容易な侵入が可能となる 10~50MHz 帯の選定を行い、その人体伝送路特性を電磁界解析、生体等価液体ファントム及びブタを用いた実測により解明した。次に、各種代表的狭帯域変調方式に対し、搬送波不要な広帯域 IR 通信方式の優位

性を計算機シミュレーションにより明らかにし、微弱電波法を満たす送信電力でウェアラブル/インプラント両方の通信において 10Mbps の伝送速度、 10^{-3} 以下の（物理層）ビット誤り率が達成できることを示した。また、シミュレーション結果を基に、10~50MHz 微弱電波帯ウェアラブル/インプラント通信機的设计とパラメータ決定を行った。さらに、インプラント送信機用超小型アンテナの開発において、磁性材の高透磁率と誘電率の両方の波長短縮効果を生かし、アンテナを円筒型磁性材上に形成することにより、長さ 2cm、直径 1cm 程度の円筒寸法でインプラントアンテナを実現した。

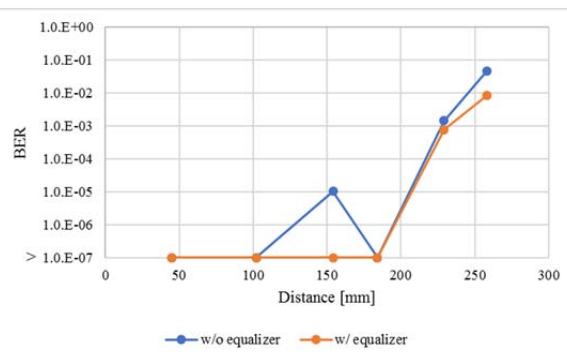
平成 28 年度では、まずウェアラブル生体信号センシング電極と人体通信送信電極を共用する技術を開発した。本来、心電・筋電などの生体信号のセンシング電極と人体通信の送信電極はそれぞれ別のものが用いられるが、統合 BAN 通信機の小型化を念頭に、センシング電極と送信電極の共用化技術を考案した。ウェアラブル通信を最速 10Mbps で実現させることにより、生体信号センシングの合間にデータ伝送を行うことができ、生体信号のセンシングとウェアラブル通信を時分割で行うことにより電極の共用を実現した。次に、前年度実施したウェアラブル/インプラント通信を統合した通信機的设计結果に基づき、FPGA(Field Programmable Gate Array)を用いて試作を行った。(下図参照。)



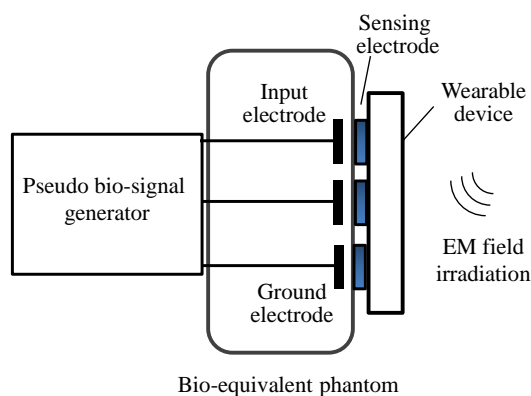
検証実験の結果、ウェアラブル通信については、実際の心電・筋電信号を例として、人体が人体通信受信機装着 PC に触ることでウェアラブル伝送が実施され、市販医療機器と同等な信号品質を有することが確認された。また、インプラント通信については、液体ファントムでは 10Mbps の高速通信がファントム内 15cm まで 10^{-3} のビット誤り率(BER)で達成でき、実画像のリアルタイム伝送も確認された。

平成 29 年度では、まず、前年度に開発した微弱電波帯ウェアラブル/インプラント通信機に対し、研究協力者所属の大学病院にてブタを用いたインプラント伝送実験を実施した。送信機がブタ体内、受信機がブタ体表に設置され、送受信距離を変更させたときの誤り率の測定結果を次図に示す。図より、

ブタ体内 26cm まで 10^{-2} の（物理層）ビット誤り率が確保でき、世界最高の 10Mbps の伝送速度を達成した。この成果は本提案方式の優位性を実証したものであり、国際共著論文としてまとめられ、現在投稿中である。



また、ウェアラブル/インプラント通信機に対するイミュニティ試験法を確立するために、心電や筋電などの生体信号を擬似的に発生する模擬生体信号発生器を開発した。そして、実人体の代わりに人体の電気特性を模擬する寒天型等価ファントムと組み合わせ、ウェアラブル/インプラントデバイスに対するイミュニティ試験系を提案・構築した。(下図参照。)



上述イミュニティ試験系を用いて、開発した微弱電波帯ウェアラブル/インプラント BAN 通信機に対し、IEC 規定の静電気放電(ESD)試験法に則った ESD イミュニティ試験を実施した。提案した試験系を用いた場合と実人体の場合の試験データの相関性・類似性を検証し、本提案イミュニティ試験系の有効性を実証した。この成果は国際学術誌に論文として掲載されただけでなく、IEC 標準化会議にも付議し、審議の結果、医療電子機器担当の TC SC62D 委員会の主導で国際標準化に向けた活動が開始した。また、試験結果からウェアラブルデバイスへの電磁干渉の発生機構が解明でき、電磁干渉ノイズのキャンセル手法を考案し、特許出願した。

よって、本研究の実施を通じて、微弱電波帯ウェアラブル/インプラント統合 BAN の高い優位性と信頼性が立証され、当初の研究目的は達成されただけでなく、それに関連する多

数の成果 (学術論文 9 篇, 特許出願 2 件) も生み出された. 今後, その普及を見込んだ通信 LSI・モジュールやそれを用いた診断・治療用体内ロボットなどの研究開発, 及び微弱電波帯 BAN を利用した様々なヘルスケアビジネスに大きく波及すると予想される. また, 本研究では, EMC 試験法の国際標準化及び欧州の大学病院との連携研究も推進してきて, それを通じて本研究成果の世界的普及を牽引することも期待できる.

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)

[解説論文] (計 2 件)

- (1) 王 建青, “生体等価ファントムを用いたウェアラブルデバイスに対するイミューニティ試験系の構築”, 静電気学会誌, vol.41, no.4, pp.184-187, 2017.
- (2) 王 建青, “ウェアラブル生体センサの EMC”, エレクトロニクス実装学会誌, vol.18, no.5, pp.361-363, Aug. 2015.

[雑誌論文] (計 9 件)

- (1) J. Wang, R. Nakaya, K. Sato, D. Anzai, O. Fujiwara and F. Amemiya, “Development of an immunity test system with a pseudo biosignal generator for wearable devices and application to the ESD test of an artificial hand”, **IEEE Trans. Electromagnet. Compat.**, DOI: 10.1109/TEMC.2017.2785353, 2018. (審査有)
- (2) S. Nagai, D. Anzai and J. Wang, “Motion artefact removals for wearable ECG using stationary Wavelet transform”, **Healthcare Technology Letters**, vol.4, no.4, pp.138-141, Aug. 2017. (審査有)
- (3) M. Noro, D. Anzai, and J. Wang, “Common-mode noise cancellation circuit for wearable ECG”, **Healthcare Technology Letters**, vol.4, no.2, pp.64-67, April 2017. (審査有)
- (4) W. Liao, J. Shi, and J. Wang, “Electro-magnetic interference of wireless power transfer system on wearable electrocardiogram”, **IET Microwaves, Antennas & Propagation**, vol.11, no.3, pp.330-335, April 2017. (審査有)
- (5) J. Wang, T. Fujiwara, T. Kato, and D. Anzai, “Wearable ECG based on impulse radio type human body communication”, **IEEE Trans. Biomed. Eng.**, vol.63, no.9, pp.1887-1894, Sept. 2016. (審査有)
- (6) J. Sakuma, D. Anzai and J. Wang, “Performance of human body communication-based wearable ECG with capacitive coupling electrodes”, **Healthcare Technology Letters**, vol.3, no.3, pp.222-225, Sept. 2016. (審査有)
- (7) 佐藤啓介, 安在大祐, 王 建青, 藤原 修, “ウェアラブルデバイスのイミューニティ試験時に用いる疑似生体信号発生器の構築”, **電**

- 子通信情報学会論文誌, vol.J99-B, no.3, pp.190-192, March 2016. (審査有)
- (8) W. Liao, J. Shi and J. Wang, “An approach to evaluate electromagnetic interference with wearable ECG at frequencies below 1 MHz”, **IEICE Trans. Commun.**, vol.E98-B, no.8, pp.1606-1613, Aug. 2015. (審査有)
 - (9) J. Wang, J. Liu, K. Suguri and D. Anzai, “An in-body impulse radio transceiver with implant antenna miniaturization at 30 MHz”, **IEEE Microwave and Wireless Components Letters**, vol.25, no.7, pp.484-486, July 2015. (審査有)

[国際学会発表] (計 8 件, 内基調講演 1 件)

- (1) J. Wang, “EMI evaluation and immunity testing methods for wearable devices” (Keynote), presented at 2016 International Symposium on Electromagnetic Compatibility in Europe (EMC Europe 2016), Wroclaw, Poland, Sept. 5-9, 2016. (基調講演)
- (2) K. Nomura, D. Anzai, and J. Wang, “Experimental evaluation of 30 MHz band implant communication using automatic equalization technique”, Proc. 39th Annual Int. Conf. of IEEE Eng. in Medicine & Biology Society, Jeju, Korea, July 11-15, 2017. (審査有)
- (3) J. Wang, R. Nakaya, K. Sato, D. Anzai and O. Fujiwara, “An approach to immunity testing of wearable devices such as myoelectric artificial arm”, 32nd URSI GASS, Montreal, Aug. 19-26, 2017. (審査有)
- (4) J. Shi, W. Liao and J. Wang, “EMC evaluation of wearable ECG/EMG for a 6.8 MHz wireless power transfer system”, 32nd URSI GASS, Montreal, Aug. 19-26, 2017. (審査有)
- (5) J. Wang, R. Nakaya and O. Fujiwara, “Indirect ESD testing for a myoelectric artificial hand”, Proc. 5th Int. Sym. on EMC (EMC’Beijing), pp.53-54, Oct. 28 – 31, 2017. (審査有)
- (6) H. Ando, D. Anzai, and J. Wang, “Design of wireless transmitter of myoelectric signal for myoelectric hand control”, Proc. 2016 URSI Asia-Pacific Radio Science Conf., pp.1258-1261, Seoul, Korea, Aug. 21-25, 2016. (審査有)
- (7) K. Nomura, D. Anzai, and J. Wang, “BER performance improvement for 30 MHz band implant communication using equalization technique”, Proc. 2016 URSI Asia-Pacific Radio Science Conf., pp.1254-1257, Seoul, Korea, Aug. 21-25, 2016. (審査有)
- (8) J. Shi, W. Liao, and J. Wang, “Evaluation of EM interference on wearable ECG for wireless power transfer system”, Proc. 7th Asia-Pacific Int. Symp. on EMC (AP-EMC), Shenzhen, China, May 18-21, 2016. (審査有)

[図書] (計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況（計 2 件）

名称：ウェアラブル生体センサ及びノイズキ
ャンセル回路

発明者：王 建青，野呂六海

権利者：名古屋工業大学

種類：特許

番号：特願 2017-236280

出願年月日：2017 年 12 月 8 日

国内外の別： 国内

名称：ウェアラブル生体センサ

発明者：王 建青，野呂六海

権利者：名古屋工業大学

種類：特許

番号：特願 2016-243802

出願年月日：2014 年 12 月 14 日

国内外の別： 国内

○取得状況（計 0 件）

〔国際標準化寄与文書〕（計 1 件）

J. Wang, D. Anzai, O. Fujiwara, Y. Kami, T. Ishida, and F. Amemiya, “A report of ESD immunity testing relating to body worn equipment using robotic technology including electro-technology,” CISPR/I/WG4 Contribution 17-01, Feb. 2017.

〔その他〕

ホームページ等

<http://wlab.web.nitech.ac.jp/top.htm>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

王 建青 (Jianqing Wang)

名古屋工業大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：70250694

(2) 研究分担者

安在大祐 (Daisuke Anzai)

名古屋工業大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：40611116

(3) 連携研究者

石上 忍 (Shinobu Ishigami)

情報通信研究機構・電磁環境研究室・研究
マネージャ

研究者番号：80242345