

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 16 日現在

機関番号：16201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25420374

研究課題名(和文) バイオセンサネットワークにおける生体内電磁波伝搬モデルおよび信号伝送技術の研究

研究課題名(英文) Radio wave propagation modeling and signal transmission in bio sensor networks

研究代表者

生越 重章 (Ogose, Shigeaki)

香川大学・工学部・教授

研究者番号：00304577

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,200,000円

研究成果の概要(和文)：センサノード間の無線信号伝送技術確立のための知見を得ることを目的として、バイオセンサーネットワークの構成要素である生体内センサノードに焦点をあて、生体内電磁波の伝搬モデルと無線信号伝送について検討した。前者については、電磁波伝搬に関連する筋肉・臓器などの物理的定数を踏まえて、生体通信用無線周波数を考慮して代表的な通信経路における伝搬損失を求めた。後者については、最終的には微弱な無線信号を効率的に生体内への導入問題に帰着することから複数被験者の生体インピーダンスを測定し、想定インピーダンス範囲での整合を行う装置を実現した。研究成果については、バイオエンジニアリング関係の論文誌に投稿し採録された。

研究成果の概要(英文)：Purpose of this research is to obtain the technique of effective radio wave signal transmission among sensor nodes in body area network. We focused on the bio sensor network which consists of in vivo nodes. In vivo propagation model of radio wave and transmission method have been studied. Regarding the radio wave transmission, we have studied the typical propagation loss among in vivo nodes taking into account of the conductivity and permeability of the human muscle, bone, and organs. The latter problem attributes to the effective weak signal insertion into human body. Thus, we measured human body impedance of subjects by using network analyzer. According to the value of the measured impedance, we developed an insertion circuit which is operated by originally developed software. It is confirmed that the developed circuit operated properly. We published an article in the Neuroscience and Biomedical Engineering.

研究分野：通信工学

キーワード：センサーネットワーク

1. 研究開始当初の背景

生体内マイクロロボットのひとつであるカプセル内視鏡を含めた体内医療機器に関して電力供給、姿勢制御、走行制御、情報伝送などの検討例があるが、これらをバイオセンサネットワークのセンサノードととらえ、その位置検出とノードとの信号伝送技術は検討途上にある。この状況をかんがみ、申請者は、今後の生体医療分野への応用を見据えた、センサノードの高精度かつ移動性(モビリティ)への対応が可能な位置検出技術、小電力高速信号伝送を可能とする通信制御信号伝送技術を低コストで実現する方法について検討し、一定の方向性を見出した。

一方、人体周辺の近距離無線通信に関しては、BAN(Body Area Network)として IEEE 802.15.6 の標準化が進んでいるものの、生体内に配した複数のセンサノード間で有機的・効率的に情報授受を行う方法については十分な検討がなされておらず、バイオセンサネットワークおよび、これとバイオエンジニアリングの融合下での通信手段の実現に向けての検討が急がれている。

2. 研究の目的

センサネットワークを生体医療分野に応用したバイオセンサネットワークの実現に際して、重要課題である生体内に存在するセンサノードからの情報収集やその通信信号伝送法については検討が遅れている。このような状況をかんがみ、本研究では、バイオセンサネットワークの構成要素である生体内センサノードに焦点を当て、生体内における電磁波の伝搬モデルおよび信号伝送について原理検証し、生体内センサノード間の無線通信技術確立のための知見を得ることを目的とする。

3. 研究の方法

共同研究者の専門性を勘案し、本課題における検討項目(生体内センサノード間の電磁波伝搬モデル・生体内センサノード間通信信号伝送技術)を分担して効率的に遂行する。検討にあたっては、生体工学等関連分野の連携研究者およびその他の研究者からの技術的アドバイスを積極的に採り入れ、課題に対する検討の方向性・的確性をキープする。

伝搬モデルに関する検討では、生体組織に関する基礎データに基づいた基本検討を行う。生体を対象とするために限界があることから、アプローチとしては、主として理論的検討にウェイトをおくが、これと併せて補足的に実験的検討も行い、提案手法の有効性を探る。

通信信号伝送については、生体内への電磁波を効率的に注入することを第一義に検討を進め、生体インピーダンスの実測値に基づいて自動整合を行う方法について検討し、装置としての実現を目指す。

4. 研究成果

(1) 伝搬モデル

要求条件の整理として、筋肉・臓器など生体各部位の誘電率・導電率など電磁波伝搬に関わる物理定数や生体インピーダンスの調査および重要度などについて整理したのち、生体の形状と組織分布に基づき、各生体組織をまたぐ通信路の計算機シミュレーションを行い、3次元における伝搬モデル化のための基礎方針を検討した。また、生体通信用無線周波数を考慮して代表的な通信経路における伝搬損失を求めた。これに基づいて、生体内に置かれたアクセスポイントを介した無線通信成立のためのアクセスポイント最良設置点について検討した。

図1(a)は、筋肉と各組織が境界面(y=5cm)を境に接しているときの最大受信電力となる点(最小減衰量となる点)、図1(b)は、脂肪と各組織が接しているときの最大受信電力となる点を示す。前者では組織によって特性差が大きい。一方、脂肪と各組織間では骨を除き、ほぼ同様の傾向を示すことが示された。(送信点:(x=0cm,y=0cm),受信点:(x=10cm,y=10cm)と仮定した)これらの検討結果については、別途論文投稿する予定である。

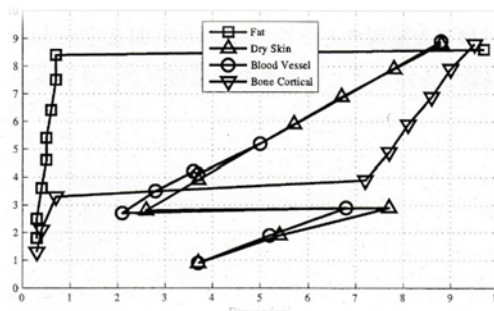


図1(a) 筋肉と各組織間の減衰量最小点

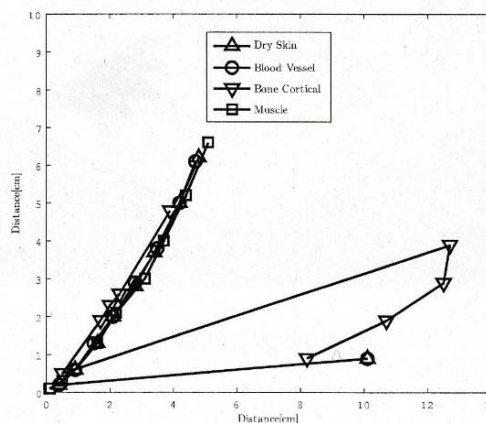


図1(b) 脂肪と各組織間の減衰量最小点

(2) 生体内信号伝送

本検討項目は、最終的には微弱無線信号を用いて通信を行うことから、効率的な信号注入技術が大きな鍵となる。そのため、生体内

を伝搬する電磁波の損失低減もさることながら、それ以上の問題として、生体と通信装置との電氣的整合の必要性が挙げられる。(図2)そのため、被験者(20歳台~60歳台の健康な男女)を対象として、ネットワークアナライザを用いて、着目周波数帯での注入点からみた生体のインピーダンスを測定した、その結果を表1に示す。本表からわかるように、インピーダンス値のバラつきは少ない。また、注入点の違いや測定姿勢の違いによる測定値の変化は微小であることも確認されており、人体の運動に伴う影響は殆ど考慮する必要がないといえる。

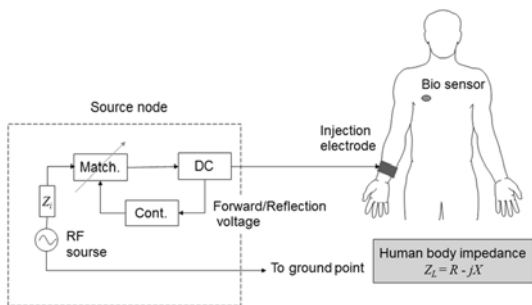


図2 生体信号注入装置概念

※引用 Neuroscience and Biomedical Engineering, 4, 2016

表1. 注入点におけるインピーダンス

被験者	年齢・性別	身長(m) / 体重(kg)	インピーダンス 2 MHz (Ω)	インピーダンス 21 MHz (Ω)
1	22/M	1.72/42	475 - j330	75 - j58
2	22/M	1.60/80	492 - j384	70 - j62
3	22/M	1.70/58	477 - j384	75 - j59
4	22/M	1.73/71	488 - j394	72 - j61
5	21/F	1.58/47	586 - j380	88 - j104
6	64/M	1.75/67	453 - j395	76 - j59
7	63/F	1.65/50	446 - j350	79 - j58

※ 引用 Neuroscience and Biomedical Engineering, 4, 2016

上述の測定された注入点インピーダンス値に基づいて、整合をとるべき値の範囲を割り出した。これに基づいて、自動整合を行う信号注入装置を製作した。当該装置は、PIC (Peripheral Interface Controller: マイクロコントローラの種類)と新規に開発した専用ソフトウェアによって制御されるものであり、定在波成分に基づき反復的に制御を行い、短時間での自動整合が可能であることを実験的に確認した。本手法および装置についての詳細は論文として掲載済である。(論文①)

これらの検討結果と併せて、空間変調、MIMO伝送における信号伝送特性に関する理論検討結果を国際会議において口頭発表した。(発表⑥)

実際のデジタル信号伝送特性については把握できていないが、測定環境を整えて引き続き取り組むこととしている。現時点での予測と

しては、測定において特段の問題は生じないものと思われる。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計1件)

- ① S. Ogose, K. Nakamoto, S. Mori, T. Sekii, K. Ishii, PIC microcontroller based automatic impedance matching circuit and its operation, Neuroscience and Biomedical Engineering, 査読有, Vol. 4, 2016, 215-221  
DOI:10.2174/2213385204666160831105801

[学会発表] (計6件)

- ① K. Nakamoto, T. Sekii, S. Ogose, PIC microcontroller based automatic impedance matching circuit and its operation, Proc. CME2016, GS6-3, 査読有, Aug. 2016, Tochigi Japan
- ② 中本, 生越, 無線生体通信におけるインピーダンス自動整合の検討, 2015 電気関係学会四国支部連合大会, 12-7, Sep. 2016.
- ③ S. Mori, S. Ogose, Theoretical analysis for implantable device localization based on magnetic field detection in body area sensor network, Proc. NCSP2015, 査読有, Feb. 2015, 37-40, Kuala Lumpur, Malaysia.
- ④ K. Nakamoto, T. Sekii, S. Ogose, Signal injection with automatic impedance matching for in-vivo communications, Proc. CME2015, OS5-6, 査読有, Aug. 2015, Okayama Japan.
- ⑤ 大久保, 中本, 生越, 生体通信における自動インピーダンス整合信号注入回路, 2014 電気関係学会四国支部連合大会, 12-13, Sep. 2014
- ⑥ R. Masui, K. Ishii, S. Ogose, Signal transmission for in-vivo communication system in wireless bio-sensor network, Proc. NCSP2014, 査読有, Mar. 2014, Hawaii USA.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

生越 重章 (OGOSE, Shigeaki)  
香川大学・工学部・教授  
研究者番号: 00304577

### (2) 研究分担者

石井 光治 (ISHII, Koji)  
香川大学・工学部・准教授  
研究者番号: 50403770

### (3) 研究分担者

森 慎太郎 (MORI, Shintaro)  
福岡大学・工学部・助教

研究者番号： 90734913

(4) 連携研究者

郭 書祥 (KAKU, Shosho)  
香川大学・工学部・教授  
研究者番号： 40273346

(5) 連携研究者

浅野裕俊 (ASANO, Hirotoishi)  
香川大学・工学部・准教授  
研究者番号： 70453488

(6) 研究協力者

増井亮太 (MASUI, Ryota)  
香川大学・大学院生