

## 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 6月14日現在

機関番号：52201

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22760256

研究課題名（和文） 超音波と微弱電界によるウェアラブルデバイス用ハイブリッド通信システムの基礎開発

研究課題名（英文） Fundamental development of the hybrid communication system for wearable devices using ultrasonic waves and electric field

研究代表者

鈴木真ノ介 (Shin-nosuke Suzuki)

小山工業高等専門学校・電気情報工学科・講師

研究者番号：10369936

研究成果の概要（和文）：

本研究は、コンピュータと通信機能を有し、生体に装着可能な超小型高機能電子機器である“ウェアラブルデバイス”における新たな通信システムの基礎開発を行うものである。その手法は、生体を伝送路とし、1つの圧電デバイスから超音波と微弱電界の両方を出力し、それらを併用したハイブリッド通信を行うものである。

本研究の成果としては、超音波・電界通信の条件把握に始まり、両通信回路の設計・製作、およびその通信品質の検証を行い、ハイブリッド通信の有効性を示した。

研究成果の概要（英文）：

This study is about the information transmission system for wearable devices which have computing and communication function and can be equipped human body. The system uses the body as a transmission path and two kinds of energies, ultrasonic waves and electric field. Those energies are output from one piezo oscillator and utilized hybridly for the communication.

The condition of the communication using both and each energies is figured out. The communication circuits are developed and the communication quality is evaluated. As a result, the availability of the hybrid communication system is proved.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2011年度	800,000	240,000	1,040,000
2012年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	2,900,000	870,000	3,770,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・電子デバイス・電子機器

キーワード：波動利用工学，ウェアラブルデバイス，人体通信，超音波，電界

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 昨今の高機能電子機器は小型軽量化が進み、無線通信機能やマイクロプロセッサの内蔵が不可欠となり、本来の利用方法以上に活用されるようになってきている。その典型とも

いえる携帯電話では、無線通信によりソフトウェアをダウンロードすることで、機能の追加・更新が可能であり、単なる電話から小型のコンピュータへと変貌している。その一部にはタッチパネルや加速度センサが搭載さ

れることで、ユーザの直感的動作にしたがった操作を可能としている。このような機器は、近い将来に身につけても違和感のないサイズ・形状となることが予想される。申請者はそのような機器を“ウェアラブルデバイス”と定義し、その通信に関する研究を続けてきた。

(2) 前述の無線通信における伝送媒体は、主に電磁波である。電磁波はその伝搬特性の優位性から広く普及し、携帯電話の他にもスマート IC カードや RFID タグなどに用いられている。その一方で、精密計器の誤動作を引き起こす可能性が示唆され、病院や航空機などではその使用が制限されている。さらに、空中での伝搬特性が優れている点が逆に無線 LAN での情報漏洩や、金融情報や個人情報などを搭載する IC カードにおいては“スキミング”と呼ばれるワイヤレスによるカード情報の搾取を招き、社会問題となっている。

## 2. 研究の目的

(1) 前述の背景を受けて申請者は、IC カードの伝送媒体として超音波を適用することに加えて、超音波 IC カードの問題点であった伝送距離の短さを、生体を超音波の伝送路として適用することでカバーし、IC カード機能を前述のウェアラブルデバイスに搭載することで、カードをポケット等から出す煩わしさを解消するなど、ユーザビリティの向上も追加することを提案し、超音波通信システムに関する研究を行ってきた。超音波は医療用診断装置に用いられていることから、生体への安全性が確認されており、同様の理由から各種電子機器への影響もほとんどない。また、空中での減衰が大きく指向性が鋭いという通信には不向きと思われる特性を逆に利用し、情報の不必要な広がりを抑えることが可能となり、重要機密情報の取り扱いやスキミング対策としても有効である。さらに、電磁波制限のある場所においても、超音波通信は有効である。なお、超音波通信は電磁波方式に取って代わるものではなく、一部の代替的使用を目的としたものである。

(2) しかし、それまで研究を続けてきたシステムにおいて、送信信号に超音波の他に微弱な電界が混在していることが明らかになった。そこで、超音波発生に伴い付随的に生じた電界についても積極的に利用し、両者を併用するシステムに発展する可能性を見出した。以上より、本研究では生体を伝送路とし、1つのデバイスから出力される超音波と微弱電界の併用により、従来手法と比較してセキュリティ及びユーザビリティを向上させた“ウェアラブルデバイス用ハイブリッ

ド通信システム”の開発について取り組んだ。

## 3. 研究の方法

### (1) 超音波・電界送受信条件の調査

本システムの特徴は、1つの超音波振動子(PZT)において超音波と微弱電界の両者を送受信可能な点である。そこで、超音波と電界が混在した信号を選択可能なシステムに拡張するため、各種パラメータを測定・解析することで送受信条件を把握する。

### (2) 試作機的设计

本課題における具体的な項目としては、①超音波出力強化のために正弦波等の関数波駆動のためのマイコン制御可能な波形生成回路の導入、②超音波・電界ハイブリッド通信のための回路設計、③超音波通信における振幅偏移変調(ASK)から位相偏移変調(PSK)への移行、④電界通信における多重化通信機能の追加、があげられる。これらは過去の研究において開発した超音波用通信回路を再設計することで対応した。

### (3) 超音波通信により適した通信方式、プロトコルの検討

電界通信に比べ、超音波通信は通信範囲が限定されるだけでなく、残響など受信波形の乱れを生じる要素が多い。そこで、高速通信化のために超音波通信により適した変復調方法や通信プロトコルを検討する必要がある。そのために、様々なデジタル信号の組合せについて送受信を行い、長いスパンで観測する必要がある。そこで、様々な状況下における通信状況を波形レベルで長時間観測を行い、各種通信方式及びプロトコルにおける通信状況の比較を行う。

### (4) 実用化を想定した検討

実用化するにあたり、ユーザビリティを考慮した装着形態や、様々な状況下における通信状況の把握を行い、問題点の検証を行う。

## 4. 研究成果

(1) 超音波・電界送受信条件の調査については、送受信デバイスである超音波振動子への入力波形と通信経路により、超音波と電界を切り替えて出力することを明らかにした。入力波形については、振動子の共振周波数の正弦波を印加した際は超音波が出力され、それ以外の波形・周波数であれば電界信号となる。通信経路については、超音波の場合、指の爪と腹、掌の表裏、腕部上下間等、送受信間が直線で5cm以内であれば通信可能であり、電界の場合は1人、または複数人間における任意の部位間での通信が可能であった。図1はその様子を模式的に示したものであ

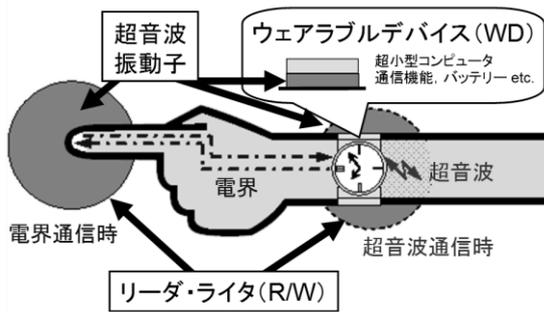
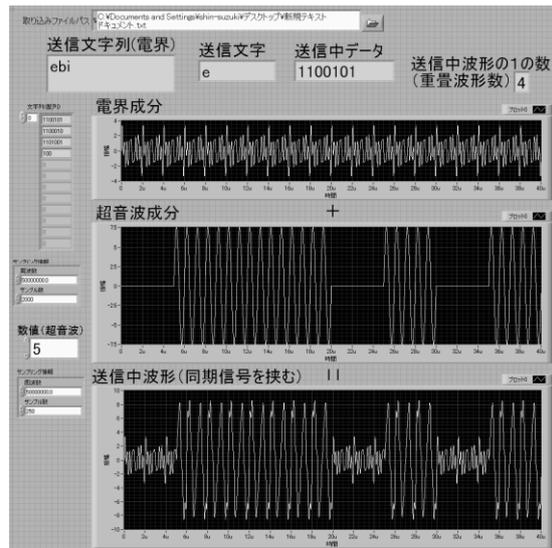


図1 ハイブリッド通信の経路例

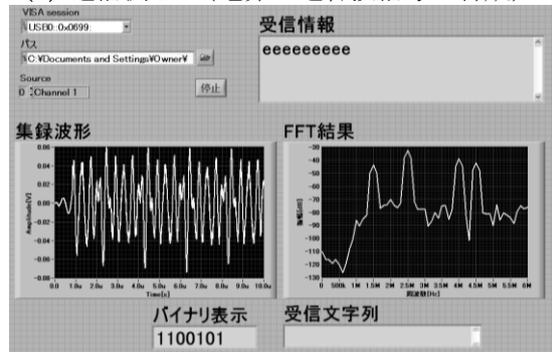
る。なお、パソコンによる発信器・計測器統合制御ソフトウェア LabVIEW (National Instruments) を用いて構成した模擬システムにおいて、超音波・電界の単体通信およびハイブリッド通信に成功した。LabVIEW を用いたハイブリッド通信の模擬実験時の送受信波形を図2に示す。本実験は、人差指の腹を送信元とし、送信側から多重電界通信にて半角文字“e”を、超音波通信ではデジタル振幅変調 (ASK) にて数値“5”を送った時に、手首にて電界信号を、送信元の人差指の爪側で超音波信号を受信した際の様子を示している。また、超音波については、身近な材料で入手が用意なシリコンボンドによる音響整合層の作成と、振動子の設置方法に傾斜を設けることで通信範囲を3倍程度拡大できる可能性を示した。

なお、両通信時に生体近傍でのスキミングが起きるか、電磁波曝露計や送受信以外の振動子や電極を用いて漏洩電磁界があるか測定したところ、復調可能なレベルの信号は検出されなかった。

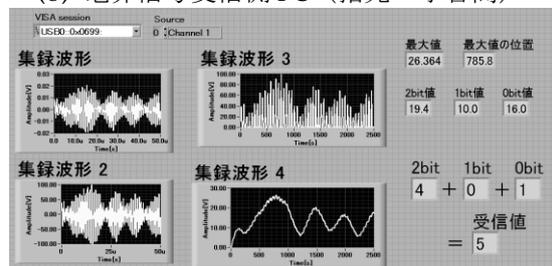
(2) 試作機における超音波出力関連の強化については、これまでの試作機に正弦波等の関数波駆動のためのマイコン制御可能な波形生成回路の導入することで対応した。また、通信エラーの低減のために、変調方式をデジタル振幅変調 (ASK) から、位相変調 (PSK) に変更することを検討し、実現の可能性について LabVIEW を用いた模擬システムにて実験的に示した。その結果を受けて超音波通信については図3に示すような PSK を導入した回路を、電界通信については、図1にて示した LabVIEW によるシステムにて成功していた周波数多重変調 (FDM) を組み込んだ通信回路 (図4) の設計・製作を行った。なお、通信回路へのハイブリッド通信の組み込みに関しては、前述の両回路はワンチップマイコンによる制御を行なっているため、プログラムの書き換えと回路素子の微調整を行うことで、単一の回路にて両通信を実行することが可能である。



(a) 送信側 PC (電界・超音波信号の合成)



(b) 電界信号受信側 PC (指先一手首間)



(c) 超音波信号受信側 PC (指先上下間)

図2 LabVIEW によるハイブリッド通信

(3) 超音波通信により適した通信方式、プロトコルの検討については、超音波通信が電界通信に比べ不安定要素が多いため、様々なデジタル信号の組合せについて送受信を行い、長いスパンで観測する必要がある。そこで、様々な状況下における通信状況を、ロングメモリオシロスコープを用いて観測を行った結果、長時間の超音波通信において超音波特有の音響特性 (残響・残振動) により信号後半に与える諸影響は通信困難になるほどではなかった。したがって、本通信システムは現状の通信方式・プロトコルを基本的に変更する必要がないことが証明された。

(4) 実用アプリケーションにより近づけたシステムへの拡張として、ユーザビリティを考慮した装着形態を検討した。その際、電界通信に多重通信機能を追加する場合、現状のシステムでは素子の処理速度やサイズを考慮した結果、装着できるサイズに収めることは困難であることが判明した。また、多重通信よりも、シリアル通信のほうが高速に情報伝送可能なことが実験により判明したため、電界通信はシリアル通信変更を採用することにした。シリアル通信によるアプリケーションのひとつとして、図5に示すような回路構成の生体を伝送路に活用した無線ヘッドホンシステムを構築した。

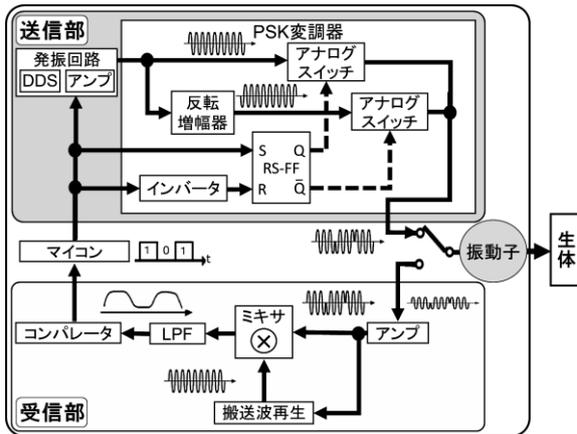


図3 PSK通信回路の概要

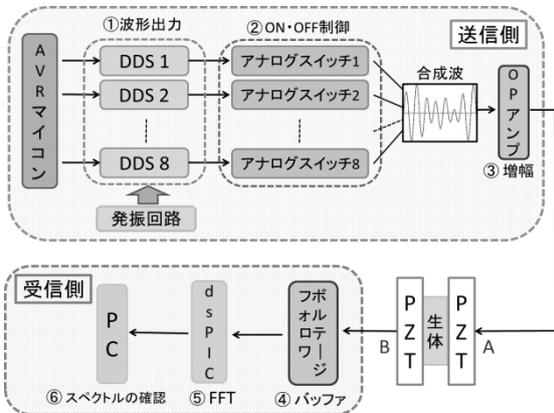


図4 多重電界通信回路の概要

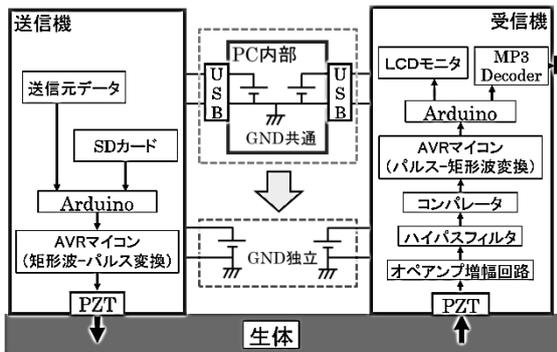


図5 シリアル電界通信による応用例

また、様々な状況における通信の1つとして、ウェアラブルデバイスへの給電中の通信状況について検証した。給電手法としては磁気共鳴を用いたワイヤレスによる電力供給法で、ハイブリッド通信と相互影響を確認したところ、電界通信では給電による磁界でエラーレートの増加がみられたが、超音波通信ではほぼ影響がないことが確認された。

以上の結果より、本研究にて提案された超音波と微弱電界を用いたハイブリッド通信はウェアラブルデバイス等の生体に装着される機器の通信システムとして有効であることが示された。

### 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 8 件)

- ① Shin-nosuke Suzuki, Takuya Ogawa, Manabu Ishihara, Yukio Kobayashi, Nagaya Okada and Kazuto Kobayashi, Comparison of the Transmission Accuracy by the Modulation Method on the Ultrasonic Waves Communication through a Human Body, Proceedings of USE2012 The 33rd Symposium on ULTRASONIC ELECTRONICS, 査読無, Vol. 33, 2012, pp. 449-450
- ② Shin-nosuke Suzuki, Makoto Ogiwara, Manabu Ishihara and Yukio Kobayashi, Wireless Power Supply System for a Wearable Device using Magnetic Resonance Coupling using Ultrasonic Waves and Electric Field for a Wearable Device, Proceedings of ICEE2012 18th The International Conference on Electrical Engineering, 査読無, Vol. 18, 2012, pp. 1566-1569
- ③ Shin-nosuke Suzuki, Manabu Ishihara, Yukio Kobayashi, Nagaya Okada and Kazuto Kobayashi, Improvement of the Communication Accuracy on Hybrid Communication System using Ultrasonic Waves and Electric Field, Proceedings of Symposium on ULTRASONIC ELECTRONICS, 査読無, Vol. 32, 2011, pp. 207-208
- ④ Shin-nosuke Suzuki, Manabu Ishihara, Yukio Kobayashi, Nagaya Okada and Kazuto Kobayashi, Applying PSK Modulation to Hybrid Communication System using Ultrasonic Waves and

Electric Field for a Wearable Device, ICEE2011 17th The International Conference on Electrical Engineering Proceedings, 査読無, 2011, ICEE-A144 (4ページ, CD形式のためページ番号なし)

⑤ Shin-nosuke Suzuki, Manabu Ishihara, Yukio Kobayashi, Nagaya Okada and Kazuto Kobayashi, Hybrid Communication System using Ultrasonic Waves and Electric Field thorough the Human Body, Proceedings of Symposium on ULTRASONIC ELECTRONICS, 査読無, Vol. 31, 2010, pp. 197-198

⑥ Shin-nosuke Suzuki, Manabu Ishihara, Yukio Kobayashi, Nagaya Okada and Kazuto Kobayashi, Hybrid Communication System for a Wearable Device using Electric Field and Ultrasonic Wave, ICEE2010 16th The International Conference on Electrical Engineering Proceedings, 査読無, 2010, PS-ORA-23 (6ページ, CD形式のためページ番号なし)

⑦ 鈴木真ノ介, 石原学, 小林幸夫, 岡田長也, 小林和人, ウェアラブルデバイスにおける超音波通信の再検討, 超音波テクノ(日刊工業出版), 査読無(執筆依頼), Vol. 22, No. 6, pp. 67-71

⑧ 鈴木真ノ介, 海老澤真士, 生体を伝送路とした通信に関する研究, 小山工業高等専門学校研究紀要, 査読無, Vol. 43, 2010, pp. 81-85

[学会発表] (計 7件)

① 鈴木真ノ介, 高野一輝, 石原学, 生体を伝送路とした超音波通信へのPSKの導入, 2013年電子情報通信学会総合大会, 2013年03月22日, 岐阜大学

② 石田隼斗, 石原学, 小林幸夫, 鈴木真ノ介, 電界通信を利用したボディ・エリア・ネットワーク・システムの改良, 第3回電気学会東京支部栃木・群馬支所合同研究発表会, 2013年03月01日, 宇都宮大学

③ 河井健輔, 石原学, 小林幸夫, 鈴木真ノ介, ハイブリッド生体通信における多重電界通信回路の製作, 第3回電気学会東京支部栃木・群馬支所合同研究発表会, 2013年03月01日, 宇都宮大学

④ 小川拓也, 鈴木真ノ介, 生体を伝送路とした超音波通信の通信方式に関する研究, 第18回高専シンポジウム in 仙台, 2013年01月26日, 仙台工業高等専門学校名取キャンパス

⑤ 佐藤建太, 鈴木真ノ介, ウェアラブルデバイス用超音波生体通信システムの通信範囲拡張, 第1回電気学会東京支部栃木・群馬支所合同研究発表会, 2011年3月3日, 足利工業大学

⑥ 岩本卓也, 鈴木真ノ介, 電界と超音波を用いたハイブリッド生体通信に関する研究, 第1回電気学会東京支部栃木・群馬支所合同研究発表会, 2011年3月3日, 足利工業大学

⑦ 鈴木真ノ介, 石原学, 小林幸夫, 岡田長也, 小林和人, 電界と超音波を用いたハイブリッド生体通信システムの基礎開発, 第12回DSPS教育者会議, 2010年9月10日, 東京工業大学大岡山キャンパス

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

[その他]

ホームページ等  
なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

鈴木真ノ介 (Shin-nosuke Suzuki)  
小山工業高等専門学校・電気情報工学科・講師  
研究者番号: 10369936

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし