

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 8 月 28 日現在

機関番号：32689

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420374

研究課題名(和文)超音波を用いた通信に関する多角的な研究

研究課題名(英文)Studies on Communication employing Ultra Sonic Signal

研究代表者

嶋本 薫 (Shimamoto, Shigeru)

早稲田大学・理工学術院・教授

研究者番号：80235639

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：WHOより電磁波の人体への影響が発がんの観点で3bという十分に関連性があるものとの評価が2011年に正式に出された。研究では超音波を用いた安全な無線通信方式を確立し、無線LAN等の身近な通信に用いるための研究を行った。低速度のものは存在するが空間伝送において高速なものは殆ど存在しない。研究では特に空間伝送に着目し高速な通信を行う手法の確立や、空間に超音波伝送する際の伝送可能速度の指標を実験式の観点で構築した。30cm, 60cm, 120cm, 240cmの距離に於いて200k-1000ksp/sの伝送実験を行い、実用的には60cmでは1000ksp/sが可能であることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：WHO define affect of electricmagnetic fields to human body as 3b(out of 5) in 2011. So we must find out more safety media for near field communication. In this study, we have shown the possibilities of usage of ultrasonic communication for indoor applications and shown experimental equations for propagations and transmission rate. We conducted experiments changing symbol rates. The media is air and steel. The experimental distances are 30cm, 60cm, 120cm and 240cm. When symbol rate range is 200k-1000ksp/s in air, the change of EVM can be seen clearly by experimental distance and symbol rate. And then because the change of EVM in the experimental distance of 30cm and 60cm is not large in symbol rate range of 200k-1000ksp/s, the formula is found in the experimental distance of 120cm and 240cm.

研究分野：無線通信

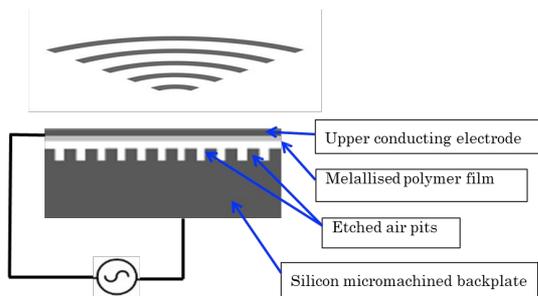
キーワード：超音波通信 無線LAN 無線通信

### 1. 研究開始当初の背景

2011年 WHO (World Health Organization: 世界健康機構) より電磁波の人体への影響に関して、発がんの観点で5段階中3bという十分に関連性があるものとの評価が正式に出された。これを受けヨーロッパ各国では学校内での無線 LAN や携帯電話の禁止措置が取られるところが多数で始めた。光無線通信はまだ発がん性の指摘はないが、EYE SAFETY の観点で目に対する健康面での問題が指摘されるなど、高速伝送での強い光に基づく通信はシャドウイングに弱いという欠点もあり、広く一般に普及するまでにはいたっていない。一方電磁波や光と比較して人体への親和性も高く安全な超音波は医療機器でも多数使用され長年の使用実績からも安全性は高いものと思われる。しかしながら現状では搬送波周波数十キロヘルツの低速度のものは存在するが空間伝送において高速なものは殆ど存在せず、動画等的大量なデータの転送には実用レベルになかった。

### 2. 研究の目的

研究では特に空間伝送に着目し高速な通信を行う手法の確立や、空間に超音波伝送する際の伝送可能速度の指標を実験式の観点で構築することを目標に行った。

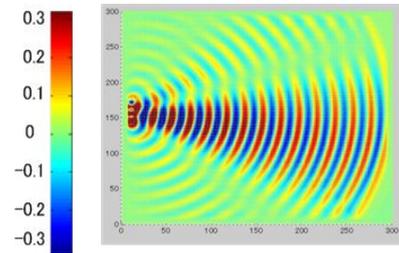


一般的な超音波素子の構成 (Transducer)

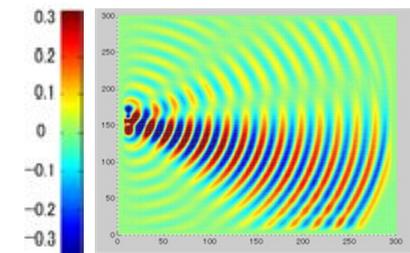
上記のような一般的な超音波素子は、非破壊検査や測距など限られた用途に限定されていた。そこに変調を掛け、更にアレイ化などを施して長距離を目指した研究を行う。更に、指向性制御や伝搬特性を実験式として表現させるなど、多角的な検討を行う。

### 3. 研究の方法

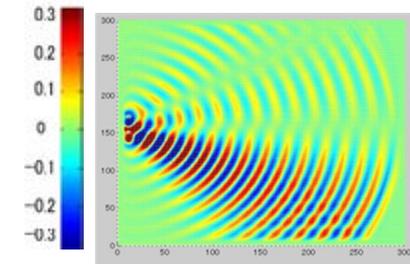
超音波素子の基礎特性と合わせて複数の素子を組み合わせたアレイ構成を実現させた。各素子の移送を変化させ指向性を変えるアダプティブビームホーミング方式を構築した。具体的には2つの素子を用いて移送を変化させ、その際に指向性の変化を計測した。



$$\beta = \frac{\pi}{6}$$



$$\beta = \frac{\pi}{3}$$

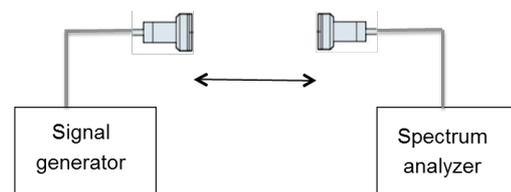


$$\beta = \frac{\pi}{2}$$

超音波のビームフォーミング

超音波でのビームフォーミングの成功は世界的にもまだ、殆ど例のない成果と思われる。また、トランスデューサーに金属のプレートを取り付け、距離の延伸を目指した。得られた数値結果から実験式として超音波の空間伝送の実験式の構築を目指した。

また、通信実験として以下の構成で様々な変調方式距離での通信を行い、その特性を取得した。

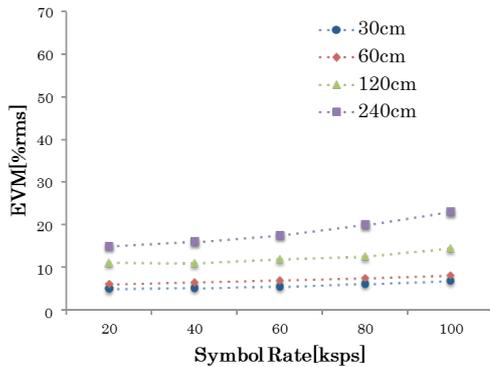


通信実験概要

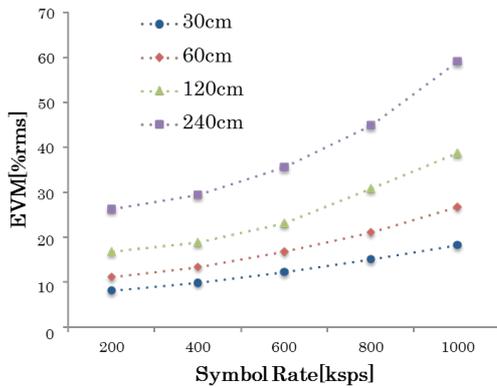
通信実験では指標として EVM (Error Vector Magnitude) を用い、その評価とした。

#### 4. 研究成果

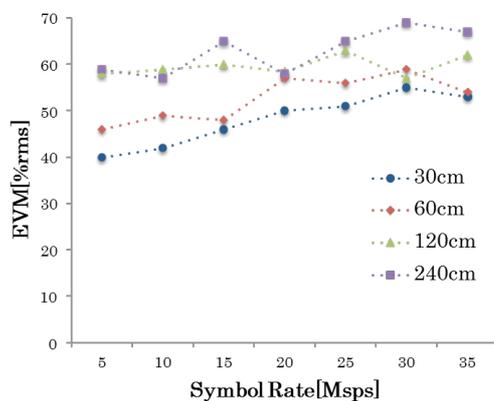
30cm, 60cm, 120cm, 240cm の距離に於いて 200k-1000ksp/s の伝送実験を行い、実用的には 60cm では 1000ksp/s が可能であることなどを明らかにした。4 m の距離では EVM(エラーベクトル度)が大きく繰り返し伝送など、伝送方式の工夫がないと実現は困難であることを示した。また、実験式を構築しシンボルレートと EVM の関係を禁じさせることに成功した。



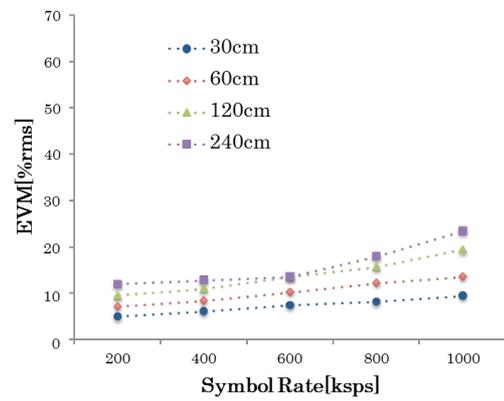
超音波空間伝送の距離別特性 1



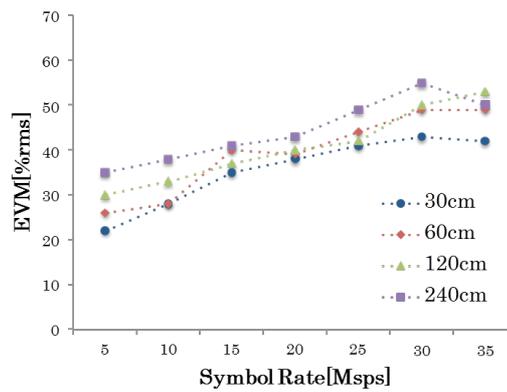
超音波空間伝送の距離別特性 2



超音波空間伝送の距離別特性 3



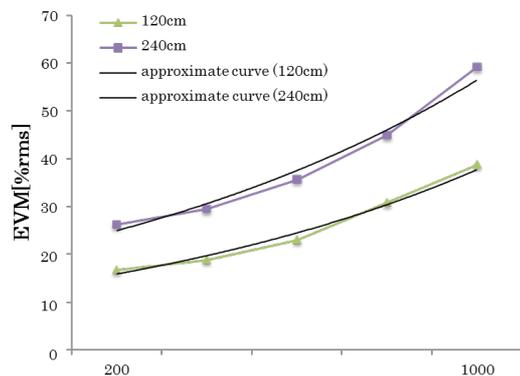
超音波金属伝送の距離別特性 1



超音波金属伝送の距離別特性 2

これらの基礎特性の結果からは金属内であれば高い伝送レートの通信が可能であるが、空間伝送は高い伝送レートで長距離は困難であることがわかる。1 MBPS では約 1 m の距離が単独の送信機でのリミットであり、それ以上はアレイ構成が必要であることがわかる。高出力のものも考えられるが密度の観点から単独での高出力よりは低出力のものを複数合わせた方が良いと思われる。

これらの実験結果から元に近似式を構築した。その結果を合わせて行くと



近似式による EVM の推定

上記のように構築した近似式は非常に実験結果と合うことがわかる。

これらの結果からは 空間での超音波は 1 MBPS を実現することは可能ではあるが、距離が限定されるため、距離を延伸するには誤り訂正などの補完技術を拡充させるほかにアレイ構成にしてその距離を延ばす必要がある。指向性制御は超音波においても可能であり、今後はその技術を用いた長距離化も可能性はある。

#### 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 )

[ 雑誌論文 ] ( 計 1 件 )

[1]Amplitude and Phase Modulation for Ultrasonic Wireless Communication  
Nan Gao and Shigeru Shimamoto,  
International Journal of Wireless & Mobile Networks (IJWMN) Vol. 6, No. 2, April 2014  
12 pages 査読あり

[ 学会発表 ] ( 計 3 件 )

[1]Experimental Research on High Speed Ultrasonic Communication employing Array Configuration, Liu Chenlu, Rong Ye, Shigeru SHIMAMOTO, IEICE General Conf., Tokyo City University. Tokyo, Sep, 2017

[2]Body Area Healthcare Network Employing Ultrasound Signal, Satsuki Inagaki, Shigeru SHIMAMOTO, Gpnping JIA, IEICE, Technical Report SIS2015-44, MatasuyaSensen, Awara city, Fukui, Japan Jan, Dec., 2015

[3]Evaluations of Short-Range Wireless Communications Employing Ultrasound Wave, Gao Nan, Shigeru Shimamoto, PHY02, IEEE WCNC2014, Istanbul, Turkey, April, 2014  
査読あり

[ その他 ]

ホームページ等

[www.sl.comm.waseda.ac.jp](http://www.sl.comm.waseda.ac.jp)

#### 6 . 研究組織

(1)研究代表者 嶋本 薫

(Shigeru SHIMAMOTO)

( 早稲田大学理工学術院・教授 )

研究者番号 : 80235639