

# 生体を伝送路とした超音波通信の 通信範囲拡大に関する研究

鈴木 真ノ介\*<sup>1</sup>, 川村 倫也\*<sup>2</sup>

Study on Expansion of the Communication Range  
using Ultrasonic Waves through the Human Body

Shin-nosuke SUZUKI, Tomoya KAWAMURA

Recently, multi-functional small electronic devices such as smart phones and wearable devices have been widely used. Our research team has proposed the novel communication method for those devices. The communication is using the human body as a transmission path, and electric field and ultrasonic waves transmitted information hybridly through the human body. We call this method hybrid communication. The system can be utilized high speed and high security communication by using two kinds of energy. In the previous study on the ultrasonic waves communication, we have succeeded in the linear path communication that distance is less than 5cm. In this time, we have particularly worked on change of the shape of the ultrasonic oscillator in order to expand the communication range. As a result, we have suggested the possibility of the communication between the ring-type wearable device and fingertip.

**KEYWORDS :** Hybrid Communication, Ultrasonic Wave, Communication Range, Ultrasonic Oscillator Shape

## 1. はじめに

近年、スマートフォンをはじめとする多機能小型電子機器が広く普及している。さらに最近では、腕時計のように装着できるウェアラブルデバイス（以下、WD）が登場し始め、注目を集めている。当研究室では、WDへの適用を目的とする新たな通信方式として、生体を伝送路とした超音波と電界を併用するハイブリッド通信を提案している<sup>1)</sup>。本方式は、2種類のエネルギーを一つのデバイスで扱うことで、電界による大容量通信と超音波に

よる高セキュリティ通信の両立が期待できる。

本研究では、ハイブリッド通信における超音波通信について取り組んでいる。これまでに、指先や手首の上下間といった5cm以下の直線経路にて超音波通信に成功している。しかし、多様なWDに本方式を適用する場合、直線経路に限らず、任意部位間での自由度の高い通信が求められる。そこで、本研究では超音波通信の通信範囲拡大を目的とし、使用する超音波振動子の形状について検討した。これまで、送受信ともに円板形の振動子を用いていたが、一方の振動子を、円環を半分にした形状（以下、トイ形）に変更し、通信範囲

\*1 電気電子創造工学科(Dept. of Innovative Electrical and Electronic Engineering), E-mail: shin-s@oyama-ct.ac.jp

\*2 専攻科複合工学専攻 (Advanced Course) ※2014年度修了

の拡大を図った。これらの振動子を用いて、水や擬似生体を用いた伝搬特性の測定と、生体を介した通信実験を行った。実験の結果、円板形とトイ形を組み合わせることで、人差し指上下間を通信経路とした超音波通信において振動子間の位置ずれが 20mm 以下のときに、数値データの送受信を行うことができ、通信範囲の拡大が確認できた。

## 2. システム構成

図 1 に生体を伝送路としたハイブリッド通信システムの概要を示す。本システムは、信号の送受信に超音波振動子であるチタン酸ジルコン酸鉛 ( $\text{Pb}(\text{Zr,Ti})\text{O}_3$ : 以下、PZT) を用い、1 対の振動子間で半二重通信を行う。PZT は、入力信号の波形によって超音波と電界を別々に、もしくは同時に出力することが可能である。

PZT を共振周波数で駆動することで、超音波を扱うことができる。本研究で使用する MHz 帯の超音波は指向性が鋭く空中での減衰が大きい。そのため、生体外部への飛散はなく、高セキュリティな通信を可能とする。また、共振周波数以外の周波数で PZT を駆動させた場合には電界を扱うことができる。電界通信では生体表面を伝送路とし、静電誘導によって通信を行う。超音波に比べて指向性や減衰は小さく、複数人の間でも通信を行うことが可能である。

本研究では、使用する PZT の形状として円板形のほか、球面波の利用による範囲拡大を図りトイ形を採用した。図 2 に今回使用したトイ形 PZT (厚さ  $t=2.4\text{mm}$ , 幅  $d=5\text{mm}$ , 凹面曲率半径  $r=10\text{mm}$ , 公称共振周波数 1MHz) と円板形 PZT (半径 10mm, 厚さ 2mm, 公称共振周波数 1MHz) の概形を示す。なお、トイ形の PZT では、凹面と

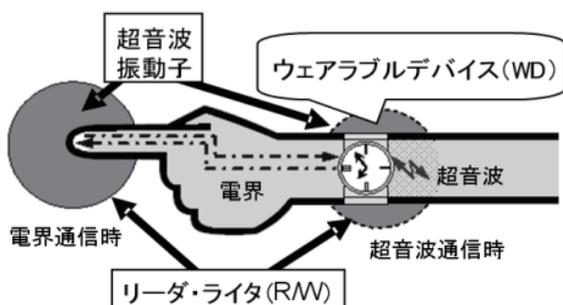


図1 ハイブリッド通信システムの概要

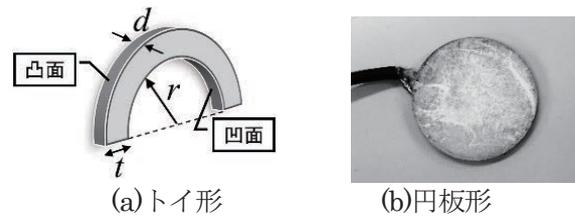


図2 PZTの概形

凸面の両面から超音波を発生させることができるため、凹面を使用する場合（以下、トイ凹）と凸面を使用する場合（以下、トイ凸）の比較についても検証を行った。

## 3. 水中における超音波伝搬の測定

生体の主成分は水であり、水中では、超音波の伝搬が可能であることが既知である。そこで、水中における実験によって、各種 PZT から出力される超音波の伝搬の様子を測定した。

実験では、発振器 (AFG3022B, Tektronix, Inc.) から出力された共振周波数の正弦波が高周波増幅器 (HSA4101, (株)エヌエフ回路設計ブロック) を介して水中に設置された PZT に印加される。そして PZT から出力される超音波の音圧を音圧計 (HUS-5, (株)本多電子) にて測定した。本音圧計はプローブで感知した超音波を電圧に変換し、相対実効値で表示する。使用するプローブは、測定時の電界の混入を防ぐ目的で石英製のものとした。PZT への印加電圧を  $20\text{Vp-p}$  とし、測定の基準位置を、円板形は電極表面の中心、トイ凹は凹面曲率中心、トイ凸は凸面の頂点とした。水平方向  $x$  と垂直方向  $y$  にそれぞれ 2cm 間隔で点を取り測定を行った。

測定結果を図3に示す。測定の結果、測定範囲内では全体的に超音波の伝搬が確認できた。最大値は、三者ともほぼ等しい値となったが、伝搬範囲に差異がみられた。円板形が PZT の直径以下の  $x$  で大きな値を示しているのに対し、トイ形は両者とも、広い範囲で比較的大きな値が得られた。このことから、トイ形 PZT を用いることで、超音波の伝搬範囲が広がり、通信範囲拡大への可能性があるといえる。

## 4. 擬似生体を用いた伝搬可能範囲測定

超音波医療機器の開発や医用超音波の研究等、超音波を用いた試験を行う際、その度に人体を用いることは、物理的にも経済的にも困難である。

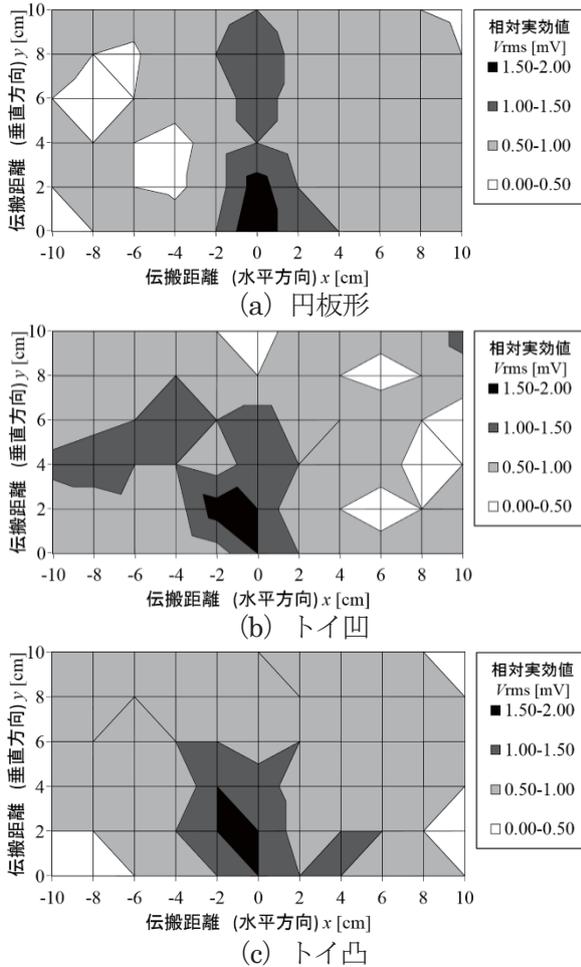


図3 水中における超音波伝搬

そのため一般的には、人体の音響特性に近似した擬似生体を使用されている。本研究においても、実際に生体を介した通信実験を行う前段階として、擬似生体を用いた実験を行い、より有効的なPZTの組み合わせを検証した。

従来使用される擬似生体には、主材料を寒天としたものがある。しかし、安価である反面、腐敗などによる経時劣化が激しく、長期間にわたって使用できないという問題があった。そこで今回は、水に比較的近い音響インピーダンスをもち、安価で加工性も良いシリコンボンドを材料とした。シリコンボンドを直方体に固形化し、長さ78mm、幅31mm、厚さ32mmの簡易的な擬似生体とした。

実験の際には、トイ形PZTの周囲にシリコンボンドを付加した。図4にシリコンボンドを付加したトイ形PZTの概形を示す。トイ凸については、擬似生体との接点が凸面頂点のみであるため、PZTの周囲にシリコンボンドを付加し、伝搬範囲

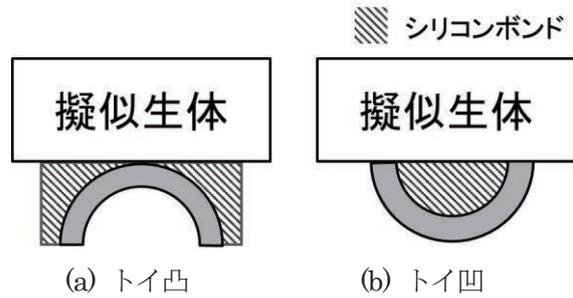


図4 トイ形PZTへのシリコンボンド付加

への影響を検証する。また、トイ凹を用いた場合、PZTと擬似生体の間に空隙が発生し、その空隙において超音波が減衰することで出力が減少すると考えられる。そのためPZTと擬似生体間の空隙にシリコンボンドを充填して測定を行うこととする。以上より、使用するPZTは、同一の円板形PZTを2つ(以下、円板①と円板②)、トイ凸、及びシリコンボンドを付加したトイ凸(以下、トイ凸Si)とトイ凹(以下、トイ凹Si)とした。

製作した擬似生体を用いて、円板形同士の場合と、円板形とトイ形を組み合わせた場合の伝搬範囲の比較を行った。実験では、一对のPZTで擬似生体を挟み、PZTの共振周波数をもつ10Vp-pの正弦波電圧を送信側PZTに与え、擬似生体を介して受信側PZTからの出力電圧を測定した。その際、振動子同士が対向している状態を位置ずれ0mmとし、5mm間隔で25mmまで変化させていき特性を測定した。実験では、円板①を送信側PZTとし、受信側に他のPZTを用いた4つの組み合わせ、および送受信PZTを入れ替えた組み合わせについて、振動子間の位置ずれに対する出力特性をそれぞれ5回測定し、出力電圧の平均値を算出した。

図5に送信側を円板①としたときの実験結果を示す。実験の結果、送信側がトイ形の場合と比べて、円板形のほうが大きな出力が得られた。本研究では、トイ形PZTから発せられる球面波を利用することで通信範囲の拡大を図ったが、測定結果から、円板形のほうがトイ形よりも大きな超音波を出力することができ、受信側PZTの形状を変更することも、通信範囲の改善につながると考えられる。ただし、トイ形-円板形の場合は、出力がおおよそ半分になったものの、グラフの傾向は同じであった。後述する超音波通信回路においては、0.1Vp-p程度の振幅で受信すれば復調ができるはずなので、逆方向でも通信できる可能性はあると

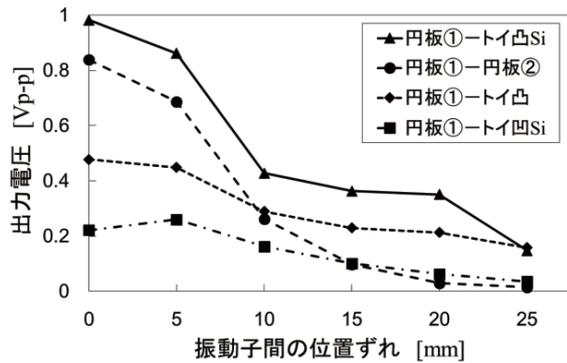


図5 擬似生体を用いた伝搬範囲測定

いえる。今回の実験では、円板①-トイ凸 Si の組み合わせが全体的に大きな出力を得ることができ、シリコンボンドを付加した効果が現れたといえる。以後の実験では、この組み合わせを用いることとする。

## 5. 生体を用いた通信実験

これまでに製作された超音波通信回路<sup>2)</sup>を用いて、送受信 PZT 間に位置ずれがある状態での通信実験を行った。通信部位は人差し指上下間とし、送信側 PZT に円板①、受信側 PZT にトイ凸 Si を用いて実験を行った。実験の際には、生体と PZT の密着性を高めるために、シリコンボンド製のシート（厚さ約 1mm）を生体と PZT の間に挿入した。

通信経路を人差し指上下間、送受信 PZT 間の位置ずれを約 20mm としたときの通信結果を図 6 に示す。同図では、一例として「 $(101)_{10} = (01100101)_2$ 」を送受信し、オシロスコープ（TDS2014B, Tektronix, Inc.）にて各部波形を観測した結果を示している。

実験の結果、振動子間の位置ずれが 20mm 以下で、数値データの送受信が確認できた。ただし、図からもわかるように、ビットの切り替わりにノイズが多いことから、通信精度の評価が必要といえる。従来の通信では、振動子同士が対向した状態での通信であったのに対し、トイ形を用いることで位置ずれに許容できるようになり、通信可能な範囲は PZT 面積の 2 倍に拡大できた。今回の結果から、球面波の使用が有効であることが実証できたので、球面形の PZT を使用することで、さらに通信範囲が拡大でき自由度が高まると予想できる。今回の実験での通信経路より、トイ形をリーダー・ライターに搭載し、円板形を指輪型 WD に搭載する使用形態へ適用できる可能性があるとい

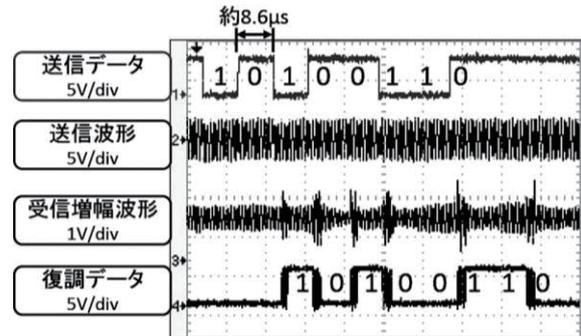


図6 生体を介した通信結果

える。

## 6. まとめと今後の課題

生体を伝送路とした超音波通信の通信範囲拡大のため、使用する PZT 形状を変更することで通信範囲の拡大を図った。水中や擬似生体での特性測定および生体を介した通信実験を行った。その結果、人差し指上下間を経路とする通信において、送受信 PZT 間に位置ずれがある状態での数値データの送受信を行うことができた。以上より、円板形とトイ形の PZT を組み合わせることで、超音波通信の範囲拡大が確認できた。

今後は、振動子形状を再検討して更なる通信範囲拡大を行うとともに、WD に適した形状の検討や双方向通信機能の実装をして、実用的なシステムの構築を目指す。

### 参考文献

- 1) S. Suzuki, et al., Proc. of USE2010, Vol.31, pp.197-198 (2010)
- 2) S. Suzuki, et al., Proc. of USE2013, Vol.34, pp.169-170 (2013)

【受理年月日 2015年 9月7日】