

# 2 次元走査型超音波触覚ディスプレイによる 触感の提示

Producing Tactile Sensations with 2-D Ultrasound Tactile Display

岩本貴之<sup>1)</sup>, 篠田裕之<sup>1)</sup>

Takayuki IWAMOTO and Hiroyuki SHINODA

1) 東京大学大学院 情報理工学系研究科

(〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1, {iwa, shino}@alab.t.u-tokyo.ac.jp)

**Abstract:** In this paper, we discuss the feasibility of 2-D ultrasound tactile display. In our method, the focal point is steered on the skin surface at a much higher speed than human tactile perception to create the spatiotemporal patterns. We observed the waveform of the sound pressure at the focal point and also the spatial distribution of radiation pressure. These observation showed that the temporal properties of the display is suitable for the method but the efficiency of focusing should be improved.

**Key Words:** Tactile Display, Ultrasound, Radiation Pressure.

## 1. はじめに

我々は現在までに、超音波の音響放射圧を利用する触覚ディスプレイの提案を行っている[1]。音響放射圧による触覚提示法は、高い時間空間分解能が見込まれ、また、ピンなどによる皮膚変形のように、皮膚表面での提示応力がピンと皮膚との接触状態に依存する[2]こともない。

この触覚ディスプレイを用いて皮膚の 2 次元平面上の触覚刺激パターンを生成する手法の一つとして考えられるのが放射圧焦点を振動知覚閾よりも高いフレームレートで走査を行い、皮膚表面上に等価的な応力の 2 次元空間分布を生成する手法である。本稿ではこのパターン提示手法の検証を行った。放射圧焦点の走査によるパターン提示を可能にするためには、放射圧の提示時間を  $\mu\text{s}$  オーダーで制御する必要がある。また、提示面の各点における空間分解能もパターンの精度に影響を与える。時間特性に関しては超音波帯域のハイドロフォンを用いて、 $\mu\text{s}$  オーダーでの立ち上がり特性を確認した。また、空間特性に関しては、提示点を提示面座標原点からシフトした際の強度分布の測定を行った。

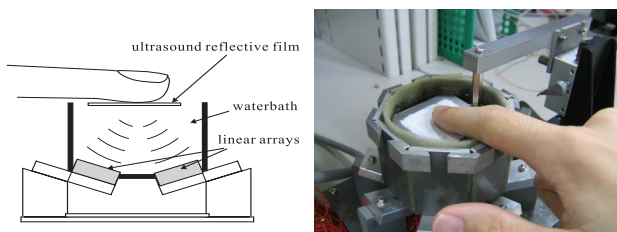


図 1 2 次元走査型超音波触覚ディスプレイ

## 2. 原理

図 1 に 2 次元走査型超音波触覚ディスプレイの提示部分を示す。触覚提示部は、8 個の超音波振動子リニアアレイ（日本電波工業製）を組み合わせ形成した同心八角形状の振動子アレイ、それらを底面に配置した水槽、超音波反射膜[1]とからなる。各振動子はその振動位相が制御され、それぞれの振動子から放射された超音波が提示面座標のある 1 点において位相が揃い、焦点を形成するように制御される。放射圧の焦点は、2 次元の提示面上を、振動知覚閾よりも高い周波数で走査される。ここで、提示面が  $N \times N$  の座標からなり、その  $i$  行  $j$  列に焦点を生成した際の提示面における放射圧の空間強度分布を  $f_{ij}(x,y)$  とすると、走査時間を  $T$  とした時の提示面上での力分布  $F(x,y)$  は、

$$F(x,y) = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N w_{ij} f_{ij}(x,y) \quad (1)$$

で与えられる。ここで、 $w_{ij}$  は放射圧による空間強度分布  $f_{ij}$  を提示面に出力している時間 (duration) である。また、仮定として、走査時間  $T$  の逆数で決まるフレームレートは振動知覚閾よりも高い周波数であり、その時間内に提示された放射圧は全て皮膚上で積分されるものとしている。 $T$  は  $1\text{ms}$  程度の値を想定している。この場合、提示面の各点においては PWM 制御によって力を制御していることと同様である。

出力の際には、PC から次回出力する焦点の提示面座標、および duration の情報が駆動ボードに与えられる。ボード上の CPLD は与えられた提示面座標に対応する、振動子の駆動位相情報を読み出し次回の出力のためレジスタに

納する. duration は  $1\mu\text{s}$  刻みで可変だが, 次回出力分の駆動位相情報を読み込む時間が必要なため, 最も短い duration は  $20\mu\text{s}$  となっている.

### 3. デバイスの評価

#### 3.1 超音波音圧波形の測定

2章のシステム構成において述べたように, 我々の試作システムによって生成される, 超音波振動子駆動用の信号は最小で  $20\mu\text{s}$  の長さの信号が生成可能である. しかしながら, 振動子の機械的特性により, 実際の超音波の音圧変化は駆動信号とは異なる可能性がある. 実際の超音波の音圧変化を確認するため, ハイドロフォンを用いて焦点での音圧変化を測定した. ハイドロフォンは ONDA 社製のニードルハイドロフォン HNZ0040 を用いた. ハイドロフォンの先端は焦点に固定された. 焦点は提示面座標の原点とした. 超音波振動子には, 駆動信号が  $20\mu\text{s}$  印加された.

図3に測定結果を示す. グラフの縦軸は音圧 [MPa], 横軸は時間 [ $\mu\text{s}$ ] である. グラフより, 観測された音圧波形は周波数 3MHz, 継続時間  $20\mu\text{s}$  のバースト波になっていることがわかる. また, バースト波の立ち上がりは  $2\mu\text{s}$  以下であることがわかる. 観測したのは音圧波形であるが, 音響放射圧は音圧の自乗に比例する[3]. そのため, このディスプレイによって生成される音響放射圧の時間的な特性は図3のグラフとほぼ同等であり,  $20\mu\text{s}$  のパルス状の圧力変化が生成可能であると考えられる.

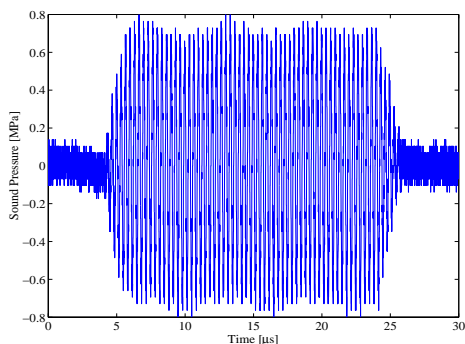


図3 3MHz 超音波の  $20\mu\text{s}$  バースト波

#### 3.2 サイドローブの影響

図4および5に, 焦点を含む断面における放射圧の強度分布の測定結果を示す. 図4は焦点の  $x$  座標  $x_f$  を提示面原点 ( $x_f = 0\text{ mm}$ ) に生成した際の強度分布, 図5は  $x_f = 3\text{ mm}$  に生成した際の強度分布である. なお, グラフのピークが提示座標に一致していないのは測定用圧力センサの原点がずれていたことによる.

図4においては, 焦点径は半値幅で約  $1.5\text{ mm}$  であり, サイドローブによる目立ったピークはない. 一方で, 図5においては, 焦点付近に別のピークが存在している. また, サイドローブのレベルも図4に比べて全体的に高い. このため,  $f_{ij}(x,y)$  として図5のような分布を考えると, 原点付

近に焦点がある場合に比べて, 空間分解能が低く, また, サイドローブにより焦点以外での力分布に影響を与えることが問題となる. 実際に2次元触覚刺激パターンを被験者に提示した際に, コントラストの低さや, 原点付近での圧力が所望パターンと異なることなどが報告された.

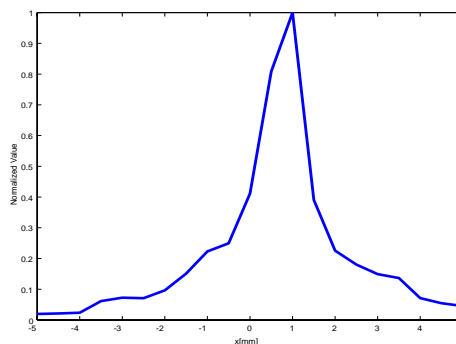


図4 焦点を含む断面の放射圧強度分布 ( $x_f = 0\text{ mm}$ )

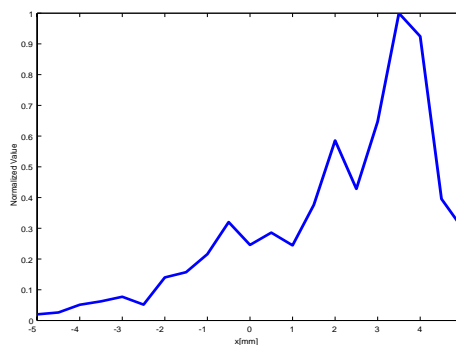


図5 焦点を含む断面の放射圧強度分布 ( $x_f = 3\text{ mm}$ )

### 4. まとめ

今後の課題としては, サイドローブの改善が挙げられる. サイドローブの存在により, 提示領域の周辺部においてのコントラストの低下や, 提示パターンの不正確さを招いた. 現状のデバイスでは, 各振動子の振動は位相のみの制御であり, 振幅に関しては制御を行っていない. 各振動子の振幅に対しても提示パターンに対応した適切な重み付けを付加することで, サイドローブの低減が見込まれ, 提示圧力分布のコントラストの改善が図られると考えている.

#### 参考文献

- [1] T. Iwamoto and H. Shinoda: Two-dimensional Scanning Tactile Display using Ultrasound Radiation Pressure, Proc. Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems, pp. 57-61, 2006.
- [2] J. C. Cohen, J. C. Makous, and S. J. Bolanowski: Under which conditions do the slain and probe decouple during sinusoidal vibrations?, Experimental Brain Research, Vol. 129, No.2, pp. 211-217, 1999.
- [3] 実吉純一, 菊池喜充, 熊本乙彦: 超音波技術便覧 改訂新版, 日刊工業新聞社, 1966.