

# マルチアレイ方式による二次元走査型超音波触覚ディスプレイ

## Two-Dimensional Scanning Tactile Display Using Radiation Pressure by Multiple Acoustic Linear Arrays

○岩本貴之 正 篠田裕之（東京大学）

Takayuki Iwamoto and Hiroyuki Shinoda  
The University of Tokyo

In this paper, we propose a new tactile display which produces spatio-temporal stress patterns on a 2-D plane. We fabricated the first prototype. The prototype display consists of eight ultrasound linear arrays. Each array has 40 pieces of PZT transducer. The arrays were arranged so that the PZT pieces were concentric octagons. We measured the spatial distribution of radiation pressure and confirmed that the focal point was successfully produced and the spatial resolution was about 1.5 mm.

**Key Words:** tactile display, ultrasound, acoustic radiation pressure

### 1. はじめに

我々は、触覚提示手法として、超音波の音響放射圧[1]を利用する手法を提案している。現在までに、1次元リニアアレイを用いた試作システムによる原理の検証、および触覚提示実験を行い、提示原理の有効性を確認した[2]。また、この原理を2次元に拡張した、2次元走査型放射圧触覚ディスプレイの提案を行った。音響放射圧による触覚提示手法を2次元に拡張するためには、単純には格子状の振動子アレイを用いればよい。しかしながら、格子状の振動子アレイは現状では製作が難しく、また、配線数が膨大になるなどの問題があり、現在においても研究段階である。そこで、我々は、通常のリニアアレイを複数組み合わせ、振動子を同心多角形状に配置することで2次元走査型触覚ディスプレイを実現する手法を提案している。この同心多角形状配置による手法の有効性はシミュレーションによる検証を行い確認した[3]。

我々は、この提案する原理を実装した2次元走査型放射圧触覚ディスプレイの試作システムを製作した。本稿においては、試作システムの詳細を説明し、その性能評価のひとつとして行われた、空間分解能の測定結果について述べる。

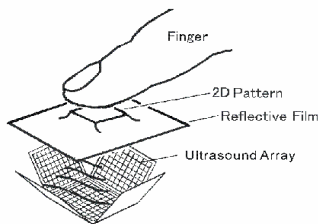


Fig. 1 Concept of the two dimensional scanning tactile display.

### 2. 試作システム

2次元走査型触覚ディスプレイの概念図を Fig. 1 に示す。振動子アレイから放射される超音波は焦点を形成し、皮膚表面において2次元的に走査される。皮膚に超音波が透過することを防ぐため、皮膚表面には超音波反射膜を装着する。

Fig.2 に試作システムを示す。試作システムは、触覚の提示部である振動子アレイ部分と駆動回路、PC からなる。振動子アレイ（日本電波工業株式会社製）は、Fig. 3 に示すように、1つのアレイは40枚のPZT素子が0.5mmピッチで

並んだ構成であり、8個のアレイを配置することで、振動子群全体が同心八角形配置となる。実際の振動子アレイは Fig. 4 左のような台形状で、最も短い素子と最も長い素子の長さは、それぞれ、3.3 mm, 19.9 mm である。PZT素子の共振周波数は3 MHz である。放熱対策として、各PZT素子は、金属ブロック上に取り付けられている。合計8個の振動子アレイは、Fig. 4 右にあるように、水槽底面に配置されている。各振動子は、指向性を考慮し、底面に対して20°の角度をなすように取り付けられている。水槽には媒質として水を用い、触覚提示の際には、皮膚に超音波反射膜を貼付する。この超音波反射膜はポリウレタンフィルムとシリコンゴムできっており、非常に薄く、柔軟である。

各駆動用ボード上には、CPLD、メモリ、40チャンネルの増幅回路が搭載されている。CPLDは、各素子駆動用の遅延信号生成を行う。遅延信号の生成は3bitのカウンタによって実装されている。駆動の際には、20 μs ごとに、提示すべき座標点をPCからCPLDに与える。CPLDは、40チャンネル分の遅延時間情報をメモリから読み出し、駆動信号を生成する。

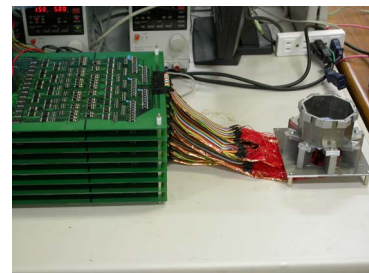


Fig. 2. A photograph of the prototype system.

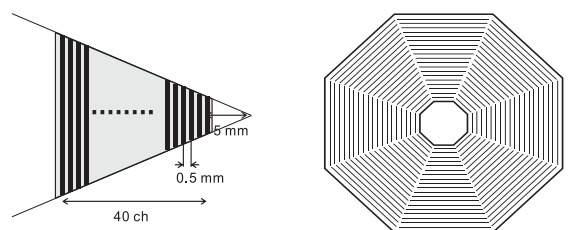


Fig. 3. Left: A schematic drawing of a single linear array. Right: An arrangement of the eight units of the linear arrays.

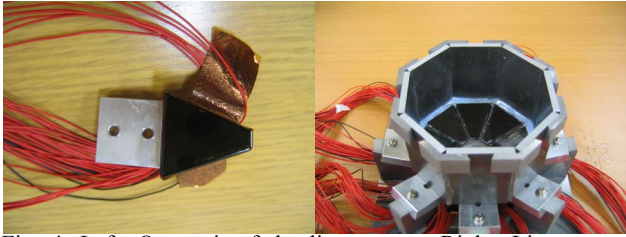


Fig. 4. Left: One unit of the linear array. Right: Linear arrays arranged at the edge of the octagon.

## 5. 試作システムの評価

試作システムの評価のひとつとして、生成される放射圧焦点付近の放射圧強度を測定し、空間分解能の評価を行った。放射圧の測定には、開口 0.5mm の圧力センサを用いた。八角形に配置された各アレイの中央部から提示面までの距離は 40mm とした。八角形の中心軸と提示面との交点を原点とした。放射圧の測定範囲は、x, y とともに -2.5mm から 2.5mm とし、測定点の間隔は 0.5mm とした。

Fig. 5 および Fig. 6 に、結果を示す。Fig. 5 は、放射圧焦点を原点にとった場合の放射圧強度の分布である。また、Fig. 6 はその等強度線プロットであり、各線は、それぞれ、最も強度が高い点の 75%, 50%, 25% の強度となる境界を示す。これらの結果より、同心八角形配置のリニアアレイでも焦点が形成できていることが確認できる。強度が最大値の 50% となる範囲を焦点の径とすると、その径は 1.5mm である。また、焦点を  $x=-2.5\text{mm}$ ,  $y=0\text{mm}$  に生成した場合の測定結果を Fig. 7, および Fig. 8 に示す。これらの図からは、強度が高い点が全体にシフトしている様子が見られるものの、 $x=-2.5\text{mm}$ ,  $y=0\text{mm}$  に焦点があることは確認できない。図には表示していないが、強度が最大となる点が存在したのは、 $x = -3.5\text{mm}$  近傍であった。

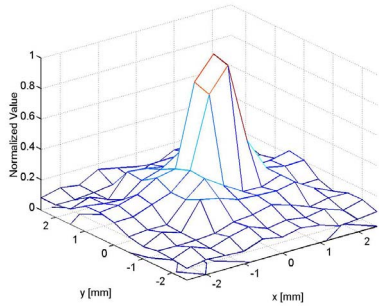


Fig. 5 Spatial distribution of acoustic radiation pressure for a single focal point (3D plot).

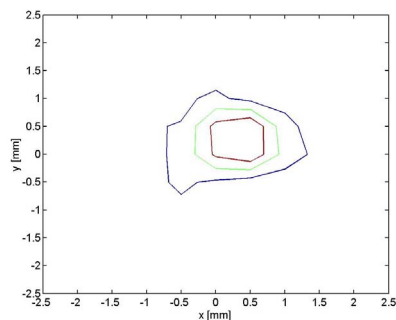


Fig. 6 Spatial distribution of acoustic radiation pressure for a single focal point (contour plot)

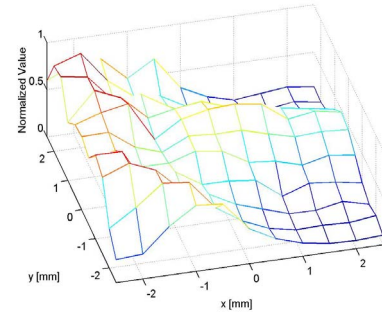


Fig. 7 Spatial distribution of acoustic radiation pressure for a single focal point (3D plot).

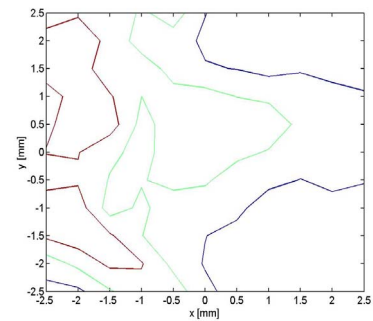


Fig. 8 Spatial distribution of acoustic radiation pressure for a single focal point (contour plot)

## 4. 考察

本稿では、複数の 1 次元リニアアレイを用いた 2 次元走査型放射圧触覚ディスプレイの試作システムの詳細を説明し、その定量的評価のひとつとして放射圧の空間分布の測定結果を示した。放射圧の空間分布の測定により明らかとなった問題は、計算上の焦点と実際に観測された放射圧強度が最大となる位置とが異なっていたことである。

これは各アレイの位置の誤差に起因する。各アレイユニットの外形と、そのアレイ上にある振動子群との相対的な位置に関しては製作の精度が十分ではなく、8 個のアレイではばらつきがある。現在、超音波帯域のニードルハイドロフォンを用いて各振動子群から放射される超音波の測定をし、この補正を試みている。今後は、上述のキャリブレーションを行うとともに、出力などの性能評価、および 2 次元時空間パターンを有する触覚刺激の提示実験を行う予定である。

謝辞 本研究の一部は文部省科研費補助金(特別研究員奨励費 15-11561) によっている。

## 参考文献

- [1] D. Dalecki, S.Z. Child, C.H.Raeman and E. Carlstensen, "Tactile Perception of Ultrasound," *Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 97 (5), Pt.1, pp. 3165-3170, May 1995.
- [2] T. Iwamoto and H. Shinoda, "Ultrasound Tactile Display for Stress Field Reproduction -Examination of Non-vibratory Apparent Movement-," *Proc. of World Haptics Conference 2005*, pp. 220-228, 2005.
- [3] Takayuki Iwamoto and Hiroyuki Shinoda, "Two Dimensional Radiation Pressure Tactile Display," *Proc. SICE Annual Conference 2005*, pp.1298-1301, 2005.