# パラメトリックスピーカを用いた砂の造形物に対する音像生成

太田 圭祐[1,a)]　井村 誠孝[1,b)]

**概要**：砂遊びで様々な物体を造形することによって，創造性の発達などの効果があることが広く知られている．通常, 砂遊びは触覚と視覚情報を介して印象を得るが, 聴覚情報を付加することで得られる印象の方向性を拡大することができる．本研究では，高い指向性を持つパラメトリックスピーカを用いて，砂の造形物に対して指向性のある音を照射することで，あたかも砂の造形物が音を発しているかのように感じさせるシステムを構築する．

## 1. はじめに

今日の幼児教育の場において，砂場遊びの時間が増加している．砂遊びには様々な物体を造形することによって，ストレス軽減や創造性の発達などの心理的効果があることが広く知られている．砂の造形物は主に視覚と触覚を介して多様な印象を与えうるが．聴覚情報を付加することにより一般的な砂遊びでは得られない感覚を刺激し，与えうる印象の方向性を拡大することができる．

本研究では，高い指向性を持つパラメトリックスピーカを用いることで，砂の造形物に対する音像の生成を実現する．パラメトリックスピーカを用い物体に向けて音を発信すると，音は物体の表面で反射し空気中に拡散する．これにより，物体に物理的なスピーカーが内蔵されていなくても反射音を利用して物体が音を発しているように感じさせることができる．本研究では，砂の造形物に反射音を用いた音像を生成するシステムを開発し，聴覚情報を付加することで砂遊びの表現の幅を拡張し，心理的効果の更なる向上を目指す．

## 2. 関連研究

パラメトリックスピーカを用いた音像の生成に関して，中垣らは「SonalShooter」というシステムを開発している [1]．これはカメラ付きのパラメトリックスピーカを手動で実物体に向け，カメラで AR マーカを読み取り，マーカに対応する任意の音を発することにより， 実物体から音が出ているように聞こえさせる空間拡張デバイスである．このシステムは観測者が小型サイズのデバイスを常に携帯し，任意の方向へ向ける必要があるため自発的に物体から音が鳴っているとは言えない．また，池田らは人影を Kinect を用いて認識し，自動でパラメトリックスピーカを人物の方向に向け，人影を追尾しながら任意の音を発することにより，特定の人物に可聴音を伝達するシステムを開発している [2]．

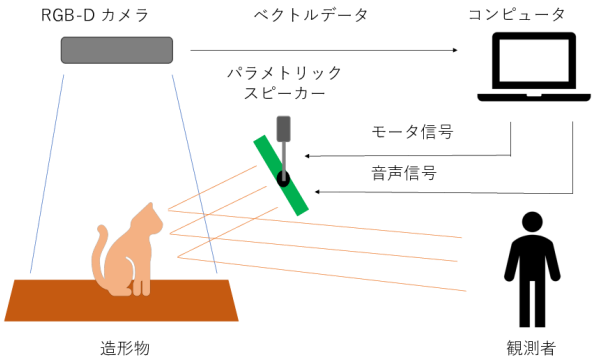


**図 1**　システムの概要

## 3. 提案手法

本研究で提案するシステムの概要を図 1 に示す．提案システムは，造形物の位置と形状をカメラ画像から推定し，パラメトリックスピーカを砂場上の造形物の方向へ向けるモータ機構をコンピュータで制御することにより音像を生成する．

造形物の位置の特定には 3 次元距離計測が可能な RGB-D カメラを用いる．RGB-D カメラを砂場の真上に設置し，得られる距離画像から造形物の位置や凹凸などの概形を捉え，造形物の座標と反射面を推定する．

1　関西学院大学
a)　elm20116@kwansei.ac.jp
b)　m.imura@kwansei.ac.jp

© 2019 Information Processing Society of Japan

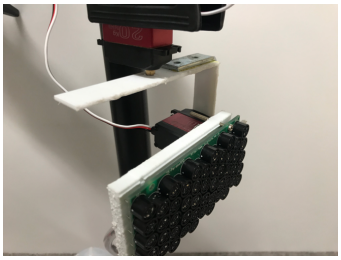

図 2　パラメトリックスピーカの方向制御

図 3　intel RealSense D435i

パラメトリックスピーカの向きを 2 軸のサーボモータで制御することにより，砂場上の任意の位置へ向けて音を発信することが可能である．造形物の反射面の方向へ向け，製作者の意図にあった任意の音声をスピーカから自動で出力することにより，出力された音声が造形物で反射し，観測者は造形物から音が聞こえているように感じる．

## 4.　実装

### 4.1　モータの制御

スピーカの向きを制御するシステムを図 2 に示す．2 つのサーボモータを組み合わせ，それぞれを Arduino で制御することにより，スピーカをそれぞれ縦，横に向けることが可能である．RGB-D カメラで得た距離画像から砂場の幅や砂面からの高さを計測し，キャリブレーションを行うことで任意の角度にそれぞれのモータを回転させ，対象物の方向へスピーカを向ける．

### 4.2　RGB-D カメラによる形状計測

本研究では，軽量な RGB-D カメラとして「intel RealSense D435i（図 3）」（以下「RealSense」）を用いる．対象となる砂場の真上から RealSense で撮影し砂面の形状を計測した結果を図 4 に示す．実際の砂場の幅や砂面からの高さを元に座標系を構築し，対象物の位置を座標値で表すことで上記のモータとの連動が可能である．

## 5.　砂面に対する反射特性の予備実験

田中らの研究により，パラメトリックスピーカにより平らな壁面に入射角 $\theta$ で発信された音波は，鏡像原理によって-$\theta$ の角度を持って反射することが分かっている [3]．砂面に音波を発信した場合, 砂の粒子によって若干の乱反射が起こると予想される．また生成される砂の造形物や製作者の位置の多様性，モータ構造から，どのような場合でも反射位置を推定し製作者に届けることは困難である．従って，砂面に任意の音像を生成するには砂による反射特性を確認する必要がある．そこで，予備実験として粒子の大きさによって反射特性がどのように変化するかを調査した．

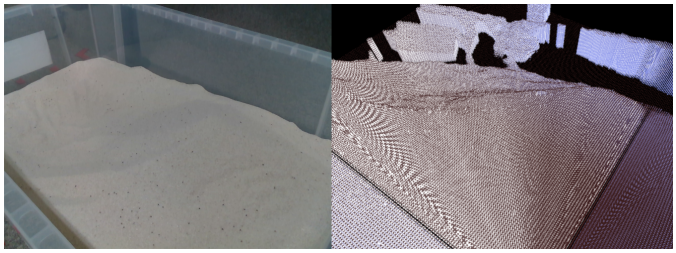

図 4　砂面 (左) と計測された点群データ (右)

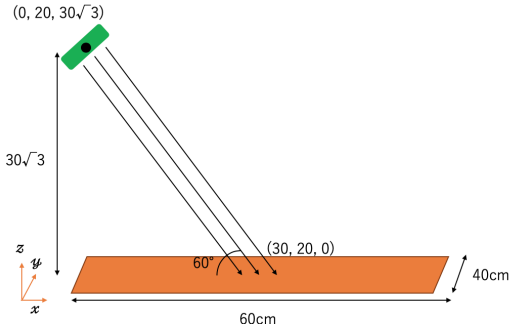


図 5　実験の配置

実験の概要を図 5 に表す．幅 60cm，奥行き 40cm の平らに均した砂面に (0cm, 20cm ,$30\sqrt{3}$cm) の位置に設置したパラメトリックスピーカで (30cm, 20cm, 0cm) 地点へ向け入射角が 60°となるように　440Hz の正弦波を 100dB の音圧で照射し, 高さ $30\sqrt{3}$cm 地点の音圧分布を調べる．粒子の大きさがそれぞれ 0〜1mm，0〜2mm，0〜3mm，0〜5mm の 4 種類の砂を用意し実験に用いた．

それぞれの音圧分布を図 6 に示す．実験結果により砂面では鏡像原理のような反射特性を持たず，乱反射することが分かった．これにより平らな状態であれば，製作者の位置に関係なく砂から音が鳴っているように聞こえることが分かった．今後は砂で作りうる様々な形に対してどのような音圧分布となるかを調査する必要がある．また砂は壁面と比べ密度が低いため，吸音されていることも明らかになった．水分を含ませて固めるなどして密度を上げる工夫が必要がある．

## 6.　おわりに

本稿ではパラメトリックスピーカを用いた砂の造形物に対する音像の生成方法を提案した．今後は観測者の位置や砂に対する反射特性を考慮したスピーカとモータの制御，造形物のイメージにあった出力音声の決定方法，聴覚情報

© 2019 Information Processing Society of Japan

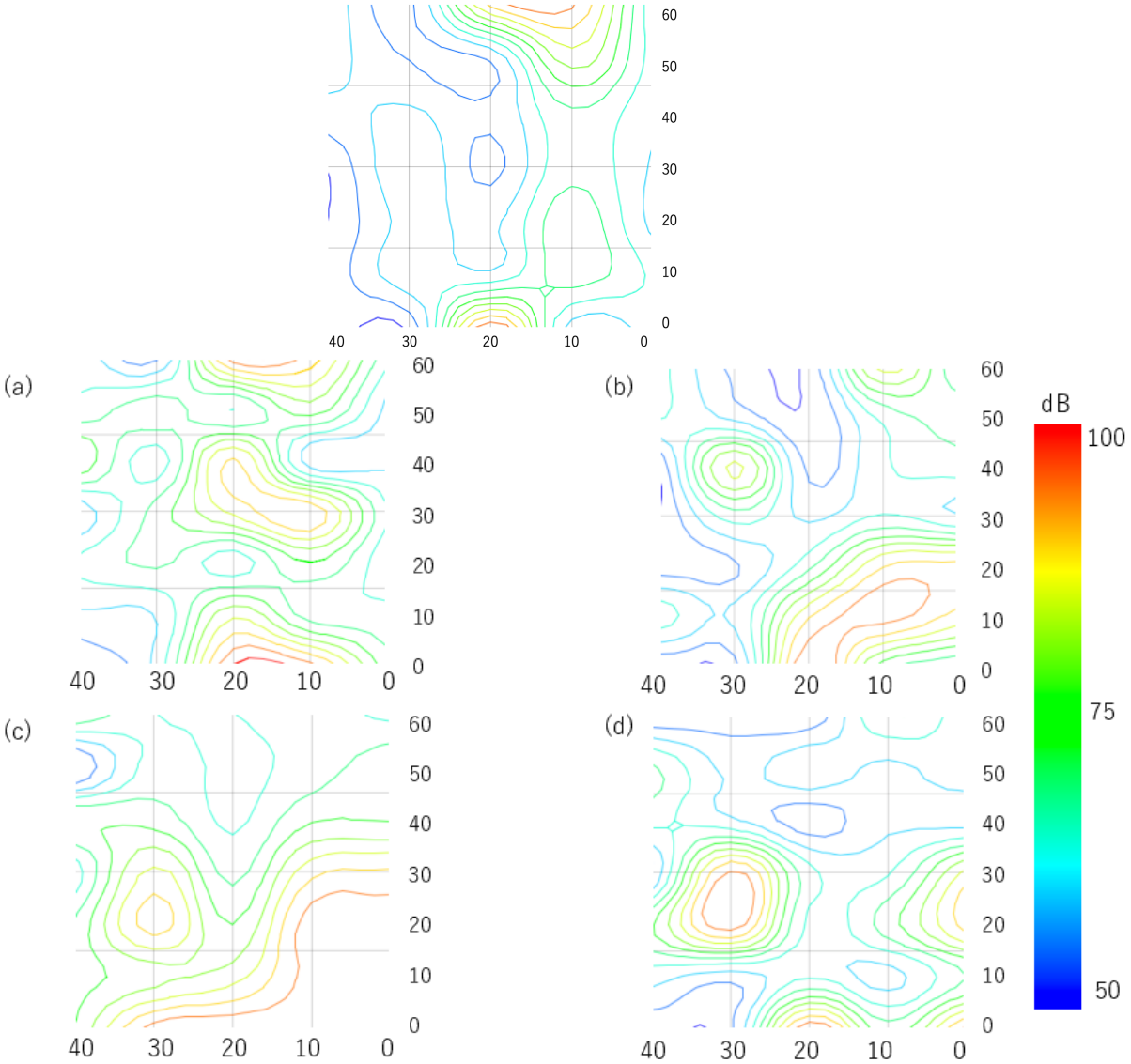


**図 6** 高さ $30\sqrt{3}$cm 点の音圧分布図 平らな床に照射した場合 (上) と (a) 0〜1mm の砂 (b) 0〜2mm の砂 (c) 0〜3mm の砂 (d) 0〜5mm の砂

の有無による心理的効果の評価方法について検討していく.

## 参考文献

[1] 中垣他: 指向性スピーカを用いた空間拡張デバイス Sonal-Shooter の基礎検討, インタラクション 2011 論文集, pp. 371-374, (2011).

[2] 池田他: パラメトリックスピーカを用いた対象を追尾する広告システム, インタラクション 2017 論文集, pp. 141-142, (2017).

[3] 田中他: パラメトリックスピーカの反射を用いたアクティブノイズコントロール, 日本機械学会論文集, Vol. 77, No. 775, pp. 764-773, (2011).

© 2019 Information Processing Society of Japan