



# 表面粗さ感提示に向けた音波による平板振動生成

Generation of Flat Plate Vibration by Sound Wave  
for Surface Roughness Presentation

岡本裕大<sup>1)</sup>, 山崎陽一<sup>2)</sup>, 井村誠孝<sup>1)</sup>

Yudai OKAMOTO, Yoichi YAMAZAKI, and Masataka IMURA

1) 関西学院大学 理工学部 人間システム工学科 (〒 669-1337 兵庫県三田市学園 2-1, fel25813@kwansei.ac.jp)

2) 関西学院大学 感性価値創造研究センター (〒 669-1337 兵庫県三田市学園 2-1)

**概要:** 物体表面の粗さ感を触覚提示する手法として、接触面への振動付与がある。しかし、一般的な振動子による直接的な振動生起では、広帯域の振動提示が困難である。本研究では音波に着目し、様々な周波数と振幅の音波を接触面に対して放射することで振動を生成して触覚提示を行う手法を提案する。音響装置にパラメトリック・スピーカーを用いた実験を行い、音波の放射位置、周波数、振幅を変更することで異なる触感が得られることを確認した。

**キーワード:** 触覚ディスプレイ, 音波, パラメトリック・スピーカー

## 1. はじめに

我々は「触る」という動作を通して物体の質感や形状、重さといった様々な情報を得ている。現在、VR 技術の発展やタッチパネルの普及に伴い、触覚提示を試みる様々なデバイスが提案、開発されている。中でも、タッチパネルへの応用を視野に入れた触覚ディスプレイに関する研究は盛んに行われている。

触覚ディスプレイに用いられる触覚提示技術には、アクチュエータを用いた手法や電気を用いた手法などが挙げられる [1, 2, 3, 4]。アクチュエータを用いた手法では、アクチュエータを用いて接触面もしくは筐体を振動させ、それに触れる指の皮膚を変形させることによって触覚刺激を生成する。数種類の触感を提示するためには、アクチュエータの周波数特性が重要である。しかし、一般的なアクチュエータは特定の駆動周波数域では大きな振幅があるが、広い周波数域では十分な振幅がないという問題点がある。また、全面振動するため空間解像度が低いという欠点もある。一方、電気を用いた手法には、静電気を利用したものや電気刺激を利用したものがある。どちらも機械的機構を有さず、また空間解像度が高いという利点はあるが、発汗や皮膚の厚さ、接触状態の変化等の影響が大きく、刺激の強さの調整が困難である。本研究では、広い周波数帯域において多様な振幅がある音波に着目し、音波による振動を用いた非装着型の触覚提示デバイスの開発を目標とする。

## 2. 提案手法

本研究ではなぞり板に対して音波を放射し、なぞり板に振動を付与することで触覚提示を行う手法を提案する。放射する音波の周波数、振幅、放射位置を変更することでな

ぞり板に多様な振動を生成して触覚提示を行う。

音波は様々な周波数、振幅があるため広帯域性がある。また、なぞり板に対する放射位置を変えることで、同じ周波数、振幅条件でも異なる振動を提示することが出来る。

音波によってなぞり板を振動させるには、なぞり板に十分な音波が伝わらなければならない。しかし、低周波数帯における音波は指向性が低く、拡散してしまうため、十分な音波が伝わらない。本研究では、低周波の音波にも高い指向性を持たせることが出来るパラメトリック・スピーカーを音響装置として用いる。パラメトリック・スピーカーとは、限られた範囲にのみ音を送ることが出来る装置である。この特性は、超音波の高い指向性と自己復調により生じる空中の点音源からなるパラメトリックアレイ (エンドファイアアレイ) によって実現される [5]。超音波をキャリア波として可聴音を送出することで、本来指向性の高くない低周波の音波にも高い指向性を持たせることが可能となる。

## 3. デバイスの構成

デバイスの構成を図 1 に示す。なぞり板に向かってパラメトリック・スピーカーから音波を放射し、なぞり板に振動を付与する。振動が付与されたなぞり板を指でなぞってもらうことで触感を提示する。

## 4. 実験

提示される触感の特徴を明らかにするため、実験を行った。

### 4.1 実験装置

実験に使用した試作デバイスを図 2 に示す。音響装置にはパラメトリック・スピーカー (パラメトリック・スピーカー実験キット, Tristate) を用いた。波形発生ソフトとし

表 1: 出力した音波と回答結果

No.	音圧 (dB)	周波数 (Hz)	感想
A	-25	120	ザラザラ, つぶつぶ, 摩擦感が増した, 少しの振動・なぞり感変化なし, 電気風呂のような
B	-20	60	きめ細かい生地, ツルツルだが引っかかる, 少し弾力がある, つぶつぶ感・電気感が半分ずつ
C	-20	90	かなり粗い感じ, 大きい凸凹, 大きなつぶつぶ, 硬さが増した, さわさわ
D	-20	220	ザラザラ, 硬さ・重みが増した, 少しの振動・なぞり感変化なし, 弱い電気のような
E	-15	60	粗さ感よりも小刻みな振動, ぶるぶる, 電気風呂のような
F	-15	130	すごく細かいザラザラ, わずかな振動・なぞり感変化なし
G	-15	180	起伏の激しい凹凸, 小さな摩擦感, 微弱な振動, わずかな振動・なぞり感変化なし
H	-10	40	ザラザラ, アルミ板をやすりで擦ったような, 引っかかる, 少しの振動・なぞり感変化なし
I	-10	90	粗い, 凸凹, つぶつぶ, 引っかかる, ずっしり感, 振動感が強い
J	0	40	細かい凸凹, ぼこぼこ, 引っかかりがある

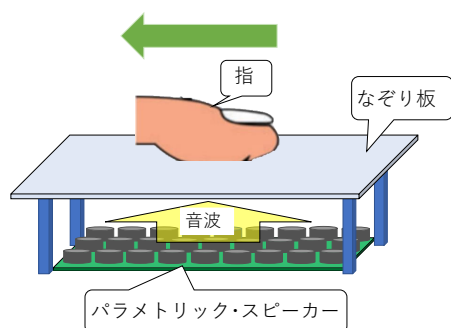


図 1: デバイスの構成

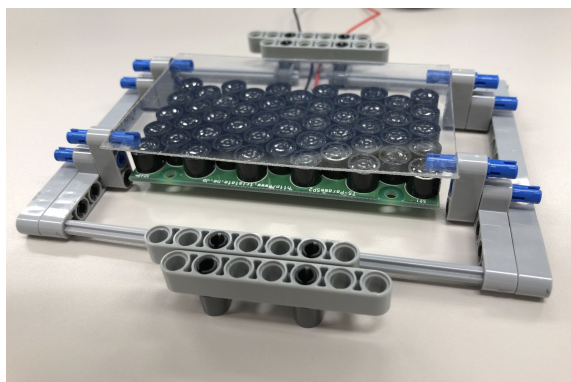


図 2: 試作デバイス

て WaveGene を使用した。デバイスのフレームは LEGO を用いて製作した。なぞり板には横 110mm, 縦 80mm, 厚さ 0.5mm のアルミ板を使用し, パラメトリック・スピーカーとなぞり板との距離は 8mm とした。PC の音量を最大にしてパラメトリック・スピーカーと接続し, WaveGene により正弦波を出力した。WaveGene により生成する波形の周波数と音圧を変化させてなぞり板に放射することで, なぞり板に振動を提示した。

#### 4.2 実験内容

実験参加者は 21 歳から 22 歳までの男性 6 名である。周波数は 40Hz から 220Hz, 音圧は -25dB から 0dB の範囲で 10 種類の音波を順に出力し, なぞり板に放射した。出力した音波は, 板に触れた際何らかの変化があると感じる条件を主観評価により選定した後, 3 人の実験協力者に対比較法を行い, 妥当性を調べた結果決定されたものである。出力した音波の音圧と周波数を表 1 に示す。参加者には, 除菌ティッシュで人差し指をよく拭いてもらった後, なぞり板を人差し指でなぞってもらった。まず, 音波を放射していない状態でなぞってもらった。その後, 音波を放射した状態で 30 秒間なぞってもらい, アンケートに回答してもらった。これを A から順に J まで行った。参加者には, 音波を放射していない状態と比べてなぞり感に違いがあるか, またどのような感触であるか, どのように感じたかについてそれぞれの条件で述べてもらった。また, なぞる際の指の押し荷重, なぞり速度に関しては任意に変えてもらい, 感じ方の違いについても述べてもらった。なお今回の実験では音波の放射位置の変更は行っていない。

#### 4.3 実験結果と考察

A から J それぞれの条件で音波を放射して振動を提示し, なぞってもらった結果, 表 1 のような回答が得られた。

全体として, 触感に変化はあるが言葉で表現するのは難しい, なぞり板の素材であるアルミ板のツルツルさと刺激による粗さ感の両方を感じるため不思議な感じがする, チクチク感の無い電気風呂やジェットバスに入っているような感覚がする, といった言葉が多く見受けられた。加えて押し荷重に関しては, あまり押し込まず表面を軽くなぞる方が良い, なぞり速度に関しては, 速くなぞった方が触感の変化が分かりやすく, ゆっくりなぞると振動感が強くなる, という声が多かった。また今回の実験では, 参加者の聴覚を遮断していなかったため, 音による影響もあったと考えられる。

## 5. おわりに

本稿では、板に音波を放射することによって板に振動を付与し、板をなぞった指に触覚刺激を与えることで触感提示を行う方法について提案した。また、デバイスの試作および実験を行った。実験の結果、数種類の触感を提示出来ることが確認された。今後は実験のアンケート結果をもとに提示した触感の評価尺度を作製するとともに、なぞり板の材質や振動特性、なぞる際の押し荷重やなぞり速度、爪の長さや皮膚の硬さ等のなぞる指の状態による触感への影響を調査し、送出する音波の周波数や振幅、放射位置の調整を行う。

謝辞 本研究は、JST, COI, JPMJCE1314 の支援を受けたものである。

### 参考文献

- [1] Asano, S., Okamoto, S., Matsuura, Y., Nagano, H., and Yamada, H. : Toward Quality Texture Display: Vibrotactile Stimuli to Modify Material Roughness Sensations, *Journal of Advanced Robotics*, Vol. 28, No. 16, pp. 1079–1089, 2014.
- [2] Asano, S., Okamoto, S., and Yamada, Y. : Vibrotactile Stimulation to Increase and Decrease Texture Roughness, *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, Vol. 45, No. 3, pp. 393–398, 2015.
- [3] Bau, O., Poupyrev, I., Israr, A., and Harrison, C. : TeslaTouch: Electro-vibration for Touch Surfaces, *Proceedings of User Interface Software and Technology Symposium*, pp. 283–292, 2010.
- [4] Pyo, D., Ryu, S., Kim, S.C., and Kwon, D.S. : A New Surface Display for 3D Haptic Rendering, *Proceedings of EuroHaptics*, pp. 487–495, 2014.
- [5] 鎌倉友男, 酒井新一: パラメトリックスピーカの原理と応用, *電子情報通信学会技術研究報告*, Vol. 105, No. 556, pp. 25–30, 2006.