This article is a technical report without peer review, and its polished and/or extended version may be published elsewhere.

ハプティクス研究委員会　第 36 回研究会 (2026 年 3 月)

ASMR 耳かき動画のための音と触覚の同時提示システムにおけるパラメトリックスピーカーの配置検討

Study on Placement of Parametric Speakers in a Simultaneous Audio-Tactile Presentation System for ASMR Ear-Cleaning Videos

清水怜良 [1)]，湯村翼 [2)]
Rei SHIMIZU, Tsubasa YUMURA

1) 北海道情報大学 経営情報学研究科（〒069-8585 北海道江別市西野幌 59-2, s2581104@s.do-johodai.ac.jp）
2) 北海道情報大学 情報メディア学部（〒069-8585 北海道江別市西野幌 59-2, yumu@yumulab.org）

概要: ASMR 耳かき動画での使用を目的とし，聴覚と触覚を同時に提示するシステム ASSADEP の開発を進めている．ASSADEP は，すり鉢状に配置したパラメトリックスピーカーにより耳孔付近で音響放射圧を発生させ，空気を介してユーザの耳に触覚を提示する．本研究では，ASSADEP の形状が音波の経路に与える影響を計算する ASSADEP Simulator を開発し，音波の焦点形成について検討した．
キーワード： ASMR，耳かき，触覚，パラメトリックスピーカー

1. はじめに

動画配信プラットフォームで配信される動画には，Autonomous Sensory Meridian Response（ASMR）というジャンルがある．ASMR 動画は，ささやき声やマッサージ音などの音で聴覚を刺激し，視聴者に心地よさやリラックス効果を与える．ASMR 動画の主要なコンテンツの 1 つに耳かき動画がある．視聴者は，バイノーラルマイクで録音した音声を聞き，耳かきされる感覚を得る．しかし既存の ASMR 耳かき動画は，触覚を得ることができない．我々は過去の研究 [1] において，ASMR 動画に合わせて熱を利用した疑似触覚を付与し，撫でる感覚を提示するシステムを提案した．このシステムにより，ASMR 動画の没入感が向上する可能性を確認した．ASMR 耳かき動画への触覚の提示は，視聴者の没入感をさらに高められると考えられる．

そこで本研究では，ASMR 動画に合わせて触覚を付与し，耳かきされる感覚を提示するシステム ASSADEP（Autonomous Sensory Sharing Augmented Device for Ear Pick: アサダップ）を提案する．ASSADEP は，耳への触覚提示に超音波スピーカーを利用する．超音波スピーカーは触覚提示装置として広く用いられ [2][3]，同時に可聴音を発生させる．ASSADEP は ASMR 動画の音声と触覚を同時に提示する．我々の既報 [4] では，ASSADEP を設計し，プロトタイプを実装して触覚提示方法を考察した．本研究では ASSADEP の実装を進めた．ASSADEP の形状が音波の経路に与える影響を計算し，音波の焦点形成について検討した．



図 1　音と触覚の同時提示システム ASSADEP．

超音波を用いた触覚提示の先行研究は複数存在する．平山らは超音波を用い，視覚，聴覚，触覚を同時に提示する MATD:Multimodal Acoustic Trapping Display を開発した [5]．また，Shen らは唇や口腔内に触覚を付与する VR 体験システムを開発した [6]．しかし，先行研究において，耳かきの感覚を触覚で提示する試みは存在しない．本研究は，耳かきを再現する聴覚および触覚のマルチモーダルな感覚提示を，音波という単一メディアで実現することを目指す．

2. ASSADEP

2.1 概要

ASSADEP は，ASMR 耳かき動画に合わせて耳かきされる感覚を提示するシステムである（図 1）．ASSADEP において音を発生させるデバイスを ASSADEP Speaker と呼ぶ．

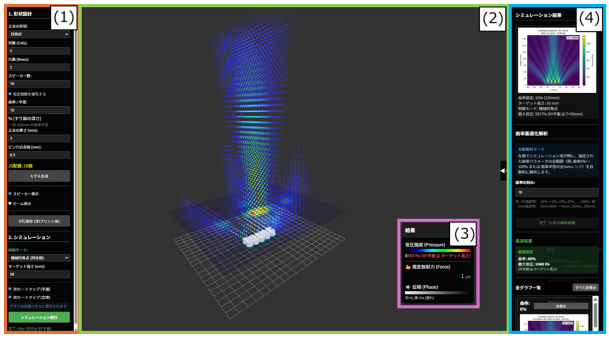


図 2　ASSADEP Simulator.（(1)：操作パネル．(2)：モデル表示部分．(3)：凡例パネル．(4)：解析パネル ．）

ASSADEP Speaker はユーザーの左右に位置し，両耳へ感覚を提示する．また，ASSADEP の形状が音波の経路に与える影響を計算するシステムを ASSADEP Simulator と呼ぶ．

2.2　ASSADEP Speaker

ASSADEP Speaker はパラメトリックスピーカーを利用し，空中に圧力を発生させてユーザーの耳に触覚を提示する．パラメトリックスピーカーとは，複数の超音波スピーカーを配列した装置である．超音波スピーカーは音波を利用し，特定の方向へ音を届けることができる．

ASSADEP Speaker では，各超音波スピーカーから出射する音波の焦点をユーザーの耳孔付近に合わせるため，超音波スピーカーをすり鉢状に配置する．この配置により重なった音波が音響放射圧を発生させ，空気を介してユーザーの耳に触覚を提示する．

2.3　ASSADEP Simulator

ASSADEP Simulator は物理計算を実施し，音圧分布および音響放射圧の強度を予測する．ASSADEP Simulator は，ユーザーが指定した超音波スピーカーの個数や曲率半径に基づき，最適な ASSADEP Speaker の形状を探索する．物理計算には，Python ライブラリである Levitate を採用した [7]．Levitate は，音響浮遊や空中触覚フィードバックの研究向けにアルゴリズムと設計パターンを提供するライブラリである．さらに，Python 環境で動作する Flask フレームワークを利用し，Web アプリケーションとして実装した．

ASSADEP Simulator は，操作パネル，モデル表示部分，凡例パネル，解析パネルの 4 要素から構成される（図 2）．ユーザーは操作パネルを使用し，ASSADEP Speaker の設計に必要なパラメーターを設定する．操作パネルは，形状設計とシミュレーションの 2 つのセクションから構成される．形状設計セクションは，以下の項目を含む．

- 形状入力：超音波スピーカーをのせる土台の形状を選択する．
- スピーカー数：必要な超音波スピーカーの数を入力する．
- グリッド設定：縦横の超音波スピーカー数を指定する．土台の形状が四角形の時にのみこの項目を指定する．
- スピーカー表示設定：超音波スピーカーの表示の有無を選択する．

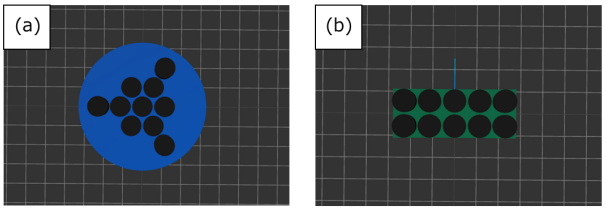


図 3　2 つの超音波スピーカー配置パターン（(a)：円形．(b)：矩形．）

ASSADEP Simulator は，円形および六角形の土台における超音波スピーカーの配置において，星の配列を参考にした [8]．また，四角形の土台における超音波スピーカーの配置においては，トライステート社製のパラメトリックスピーカー実験キットの配列を参考にした [9]．具体的には，円形および六角形の土台には同心円状の配置を採用し，四角形の土台には指定した行列数に基づくグリッド配置を採用した．シミュレーションセクションは，以下の項目を含む．

- 制御モード：位相の合わせ方を選択する．
- ターゲット高さ：超音波スピーカー配置面の最下点を基準に、位相を合わせる高さを指定する．
- 2D/3D ヒートマップ表示設定：モデル表示部分に音圧の数値をもとに生成する 2D および 3D ヒートマップの表示の有無を選択する．

モデル表示部分は，操作パネルで設定したパラメーターに基づき，ASSADEP Speaker のモデルを 3D で描画する．凡例パネルは，音圧や放射力，位相といった各指標のスケールを提示する．解析パネルは，シミュレーション結果のグラフ群と最適な結果を統合して表示し，ユーザーの解析作業を支援する．ASSADEP Simulator は，設計したモデルを 3D プリンターで印刷可能な STL 形式で出力する機能を持つ．

3.　事前検証

3.1　設計

触覚提示の効率を最大化する形状を特定するため，ASSADEP Simulator を用いて 2 つの超音波スピーカー配置パターンを設計した（図 3）．条件を揃えるため，超音波スピー

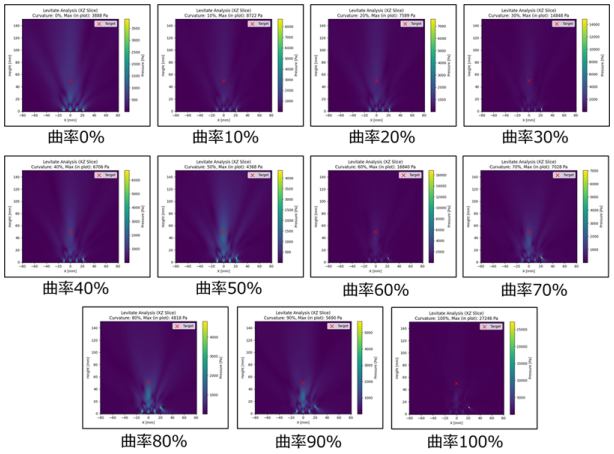


図 4　円形配置の音圧分布のヒートマップ．

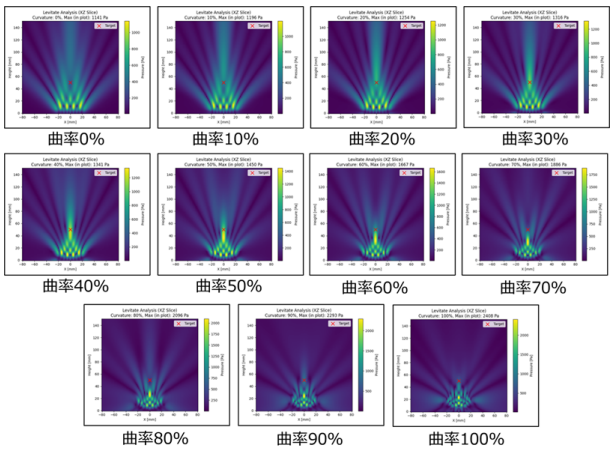


図 5　矩形配置の音圧分布のヒートマップ．

カー数を 10 個，ターゲット高さを 50mm に統一し，配置は円形配置と矩形配置の 2 パターンとした．次に ASSADEP Simulator を使用し，各パターンの音圧分布を解析した．解析においては，曲率 0% から 100% の範囲を 10% 間隔で変化させながら音圧分布のヒートマップを出力し，両者を比較検討した．ヒートマップは XZ 軸方向から見た断面を描画し，設定したターゲット高さの地点に赤いバツ印を表示する．

ヒートマップに示された音圧の高い領域を指標として用い，音波の収束度合いを検証した．そして円形配置と矩形配置を比較し，触覚を強く提示できる土台形状とスピーカー配置を決定した．

3.2　分析

シミュレーション結果をもとに，円形配置と矩形配置がもたらす音圧分布の差異を分析した．円形配置は音波を一点に鋭く収束させる傾向を示した（図 4）．一方で，矩形配置は音波を分散させる傾向を示した（図 5）．

この比較から，触覚提示には音波を効率的に集中できる円形配置が適すると判断した．また，円形配置において土台の

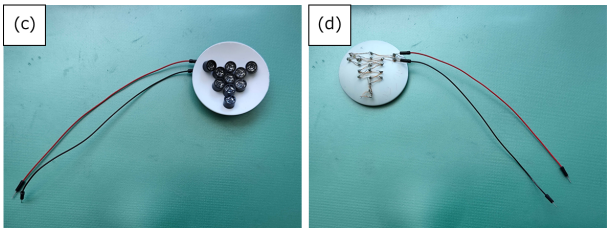


図 6　ASSADEP Speaker のプロトタイプ．((c)：超音波スピーカーを並べた表面．(d)：配線を行った裏面．)

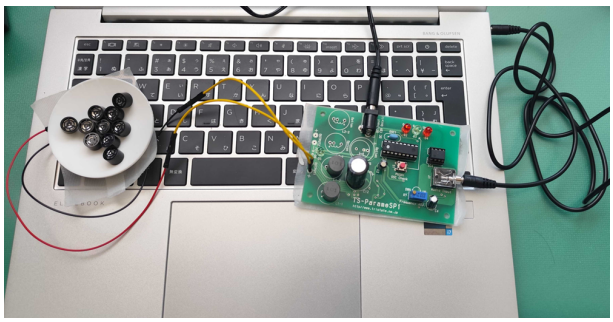


図 7　ASSADEP Speaker と PC の接続．

曲率を増加させると，曲率 0% の平面配置に比べて各超音波スピーカーの向きが焦点と一致しやすくなり，音圧が上昇した．さらに，特定の中間曲率において音波が効率的に重なり，最大の音響放射圧を発生させた．これらの解析結果に基づき，本研究における触覚提示に最適な形状として円形配置を採用した．

4.　プロトタイプ実装

4.1　設計

ASSADEP Simulator を使用し，最も高い音圧を形成する曲率を特定するためのシミュレーションを実施した．シミュレーションの設定は，土台形状を円形，超音波スピーカー数を 10 個，ターゲット高さを 50mm とした．解析の結果，曲率 50% の条件が最も高い音圧を示した．

シミュレーション結果に基づき，曲率 50% の円形土台を 3D プリンターで出力し，ASSADEP Speaker のプロトタイプを実装した（図 6）．プロトタイプの実装には，トライステート社製のパラメトリックスピーカー実験キットを用いた．このキットを利用することで，超音波スピーカーを容易に構築する．出力した円形土台に超音波スピーカーを 10 個配置し，銅線とジャンパワイヤを用いて配線を行った．最後に，完成した ASSADEP Speaker を 3.5mm ステレオミニプラグで PC と接続した（図 7）．

4.2 実装

ASSADEP Simulator によるシミュレーション結果の正確性を確認するため，ASSADEP Speaker のプロトタイプを用いて触覚提示の改善度合いを検証した．触覚提示に適した音源として低周波音源を使用し，音源生成には Max8 を用いた [10]. Max8 上で音源の波形を三角波に設定し，ASSADEP Speaker で再生した．そして，体験者が手のひらで感じる触覚を比較した．

検証の結果，三角波の 170Hz から 190Hz の帯域において触覚が発生した．また，ASSADEP Simulator 上で指定した焦点位置と，体験者が実際に触覚を感じる位置が一致することを確認した．

5. むすび

本研究では，ASSADEP Simulator を実装した．ASSADEP Simulator は，ASSADEP の形状が音波の経路に与える影響を計算する．ASSADEP Simulator を用いた解析により，触覚の提示には超音波スピーカーの円形配置が適していることを確認した．さらに，ASSADEP Simulator で設計した焦点位置と，実際に触覚が生じる位置が一致することを確認した．

今後の展望として，超音波スピーカーの個数を増やし，耳への触覚提示を可能にする．また，耳かき ASMR 動画の音声を利用して触覚を提示し，同時に音声を聞ける手法を検討する．[11]

参考文献

[1] 清水怜良, 湯村翼. ASSADS：ASMR 動画に合わせて撫でられる感覚を提示するシステムの開発と評価. 研究報告エンタテインメントコンピューティング（EC）, Vol. Vol.2025-EC-75, No. Issue.19, pp. 1–4, 2025.

[2] Takayuki Iwamoto, Mari Tatezono, and Hiroyuki Shinoda. Non-contact method for producing tactile sensation using airborne ultrasound. In *International Conference on Human Haptic Sensing and Touch Enabled Computer Applications*, pp. 504–513. Springer, 2008.

[3] 篠田裕之. 超音波を用いた空中触覚提示. 日本音響学会誌, Vol. 76, No. 1, pp. 38–45, 2019.

[4] 清水怜良, 湯村翼. ASMR 耳かき動画のための音と触覚の同時提示システムの提案. 第 33 回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ（WISS2025）論文集, 2025.

[5] Ryuji Hirayama, Diego Martinez Plasencia, Nobuyuki Masuda, and Sriram Subramanian. A volumetric display for visual, tactile and audio presentation using acoustic trapping. *Nature*, Vol. 575, No. 7782, pp. 320–323, 2019.

[6] Vivian Shen, Craig Shultz, and Chris Harrison. Mouth haptics in vr using a headset ultrasound phased array. In *Proceedings of the 2022 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '22, New York, NY, USA, 2022. Association for Computing Machinery.

[7] Carl Andersson. Levitate python toolbox 3.0.0 documentation. Web.

[8] 星貴之. Diy 音響浮揚装置を作ってみた (第 2 報). 第 2015 巻, pp. 100–106. 情報処理学会, Sep 2015.

[9] 秋月電子通商. パラメトリック・スピーカー実験キット: キット一般 秋月電子通商-電子部品・ネット通販. Web.

[10] Cycling'74. Max. Web.

[11] 星貴之. 超音波曝露に関する再考. 日本音響学会誌, Vol. 78, No. 9, pp. 508–513, 2022.