

# 聴覚フィードバックを付与した耳掃除の検討

## Adding Auditory Feedback for Ear Picks

○高下 昌裕 (電通大) 栗原 洋輔 (電通大) 岡崎 龍太 (電通大)  
蜂須 拓 (電通大, 日本学術振興会) 梶本 裕之 (電通大, 科学技術振興機構)

Masahiro KOGE, The University of Electro-Communications, [koge@kaji-lab.jp](mailto:koge@kaji-lab.jp)  
Yosuke KURIHARA, The University of Electro-Communications, [kurihara@kaji-lab.jp](mailto:kurihara@kaji-lab.jp)  
Ryuta OKAZAKI, The University of Electro-Communications, [okazaki@kaji-lab.jp](mailto:okazaki@kaji-lab.jp)  
Taku HACHISU, The University of Electro-Communications, [hachisu@kaji-lab.jp](mailto:hachisu@kaji-lab.jp)  
Hiroyuki KAJIMOTO, The University of Electro-Communications, [kajimoto@kaji-lab.jp](mailto:kajimoto@kaji-lab.jp)

We often clean others' ears for the purpose of hygiene and communication. However, it has a risk of injuring the ears by applying too much force because it is difficult to grasp movement and position of an earpick. To solve this problem, we present novel techniques to provide cues for grasping behavior of the earpick using auditory feedback. We implemented two techniques: 1) ear-picking sound feedback and 2) audification of the force applied to the ear canal. We conducted two experiments to study whether these two techniques can help users control the force. Contrary to our expectation, the results of the first experiment showed that the ear-picking sound feedback had no effect for helping the force control. The results of the second experiment, on the other hand, showed a marginally significant effect that the audification of the force reduced the force applied to the ear canal. It indicates that the audification of the force helps users control the force.

**Key Words:** Auditory feedback, Human interface, Ear cleaning, Ear pick

### 1. 緒言

耳掃除は我々にとって親しみ深く日常的に行われている行為である[14]。主に外耳道に発生する耳垢を除去することが目的である。他者の耳掃除を行う機会も多く、例えば幼児の耳掃除は主に親が行う。また他者とのコミュニケーションツールとしても利用される場合もあり、女性店員が男性客の耳掃除を行う専門店[15]も存在することから、エンターテインメントとしての側面ももつと考えられる(図1)。

しかし他者の耳掃除は一般的に困難である。外耳道は成人のもので平均幅6[mm]、奥行30[mm]程度と小さく[8]、一般的な耳かき具を用いた際、耳内部を目視しながら行うことは難しい。また耳かき具から伝わるわずかな触覚を頼りにして耳かき具の動きを把握しなければならない。そのため耳内部に過度な力に加わり薄い皮膚で覆われた外耳道に痛みを与えたり、傷をつけたりする恐れがある。実際に耳掃除が原因で救急搬送されるという報告も多数存在する[13]。

この問題の解決手段として、他者の耳掃除を視覚的に補助する機能を搭載した耳かき具が存在する。LEDにより耳内部を照らしたり[10]、内視鏡により耳内部の様子を詳細に観察したりできる[12]耳かき具が市販されている。しかし前者は耳かき具の姿勢によっては遮蔽問題が生じ、後者もコストが高いという問題がある。

そこで我々は聴覚の手がかりを補うことによって耳掃除の安全性を向上する手法を提案する。本手法は視覚的に遮蔽された状況でもある程度有効であると考えられる。本稿では耳かき音フィードバックおよび外耳道に加わる力の可聴化による使用者の力制御の補助について検討する。

### 2. 先行研究

聴覚・聴覚的手がかりを付与することでツールの操作性を向上させる試みは、主に医療分野で行われている。Yaoらは関節内鏡検査での小さな傷の検出において、プローブに加速度センサを搭載し傷などをなぞった際に生じる微少な加速度

変化を検出、増幅して触覚・聴覚フィードバックを行った[9]。また遠隔手術においても、スレーブ側で縫い針を把持した際に生じる衝撃を加速度センサで検出し、マスタ側の使用者に聴覚・聴覚フィードバックすることが行われている[6][7]。

いずれの手法でも聴覚的手がかりの付与によるタスクのパフォーマンス向上ないしツールの操作性向上が報告されている。以上の先行研究より、耳掃除においても耳かき具に生じる振動を聴覚的に増幅・呈示することにより耳かき具の操作性が向上、および掃除者の力制御を補助する効果が期待できると考えられる。

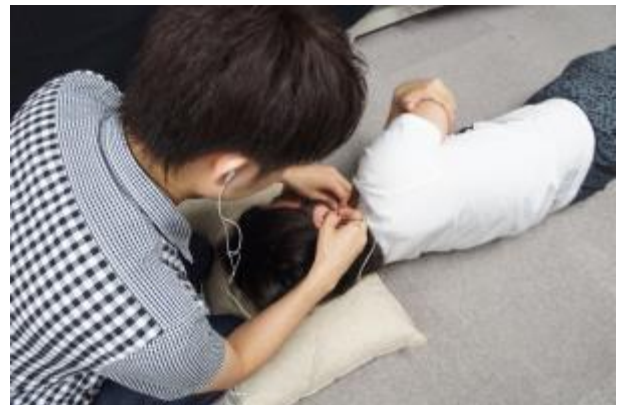


Fig. 1 Cleaning others' ears

### 3. 手法1: 耳かき音フィードバック

#### 3.1 システム構成

我々はこれまでに耳かき音を検出・増幅して使用者に呈示する耳かき音フィードバックシステムを実装した[11]。図2にシステム構成図を示す。本システムは小型シリコンマイクロホン(Knowles Electronics製, SPU0409HD5H)が固定された竹製耳かき具、増幅回路、イヤホンで構成される。耳かき

具に伝わる振動をマイクロホンで取得し、増幅回路を介してイヤホンで使用者に呈示する。増幅回路には回転式ボリュームが取り付けられており、使用者は自由に音量の調整が可能である。

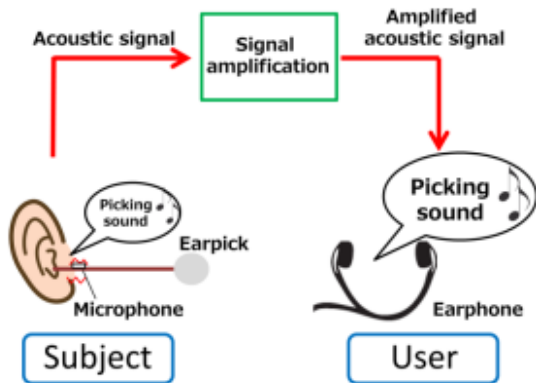


Fig. 2 System configuration for ear-picking sound feedback

### 3.2 実験1: 耳かき音フィードバックによる外耳道に加えられ力への影響

耳かき音フィードバックの付与によって使用者が耳かき具の接触状態をより鮮明に把握でき、その結果、耳内部に加える力の制御が容易になると予想される。本実験では本システムが使用者の力制御の補助となるかを検証した。

#### 3.2.1 被験者

被験者は10名(男性7名・女性3名、年齢22~29歳)であった。被験者は全員健康な聴力をもち、右利きであった。

#### 3.2.2 実験環境

図3に示すように医療手技練習用耳(京都科学製、異物除去練習用ユニット)およびひずみゲージ式6軸力センサ(ニッタ製、TFS12-10)をアクリル板で机に固定した。練習用耳内部には疑似耳垢(京都科学製、除去練習用異物)を塗布することで耳掃除用の擬似耳を製作した。6軸力センサは耳の直下50[mm]に固定し、外耳道に加わるトルクを測定した。実験の際にはアクリル板に皮膚を模したテープを張り、6軸力センサを外側から見えなくすることで実験の意図を被験者に悟られないようにした。6軸力センサの出力はADボード(Interface社製、PCI-3523A、電圧変換レンジ±10V、解像度12bit)を介してPCに記録した。

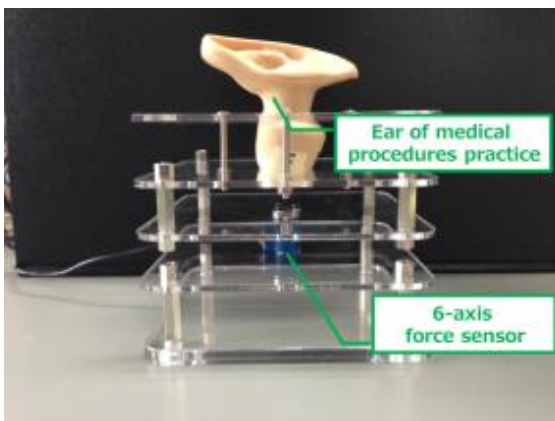


Fig. 3 An artificial ear and a 6-axis force sensor for Experiment 1

#### 3.2.3 実験手続き

図4に示すように被験者は机の前に着席し、右耳にイヤホンを装着した。実験前に被験者に本システムを使用させ、音量を不快ではないが十分に耳かき音が聞こえる程度に調節させ、本システムの挙動に慣れさせた。また被験者には疑似耳を実際の耳と同様に扱うようにアクリル板上部に触れないように指示した。

まず被験者に疑似耳に疑似耳垢が満遍なく付着していることを教示した。次に図4に示すように左側、上側、右側、下側の領域ごとに順に耳掃除を行わせた。耳掃除を被験者が綺麗になったと感じるまでに行わせ、一つの領域の耳掃除が完了するごとに20秒間休憩させた。下側の耳掃除終了後に実験者は疑似耳垢が完全に除去されていることを確認した。

被験者は本試行を耳かき音フィードバック有りおよび無しとの2条件で行った。本実験では10名の被験者を耳かき音フィードバック有り、無しの条件の順で実験を行うグループ(被験者ABCDE)と逆順で実験を行うグループ(被験者FGHIJ)の2グループに分けた。本実験では、力制御が容易になれば耳に加える力が減少するとの考えのもと、各条件の評価値として各領域に加えられたトルクの最大ノルムを記録した。また実験終了後に本システムの使用感に関するアンケート調査を行った。



Fig. 4 Overview of Experiment 1

#### 3.2.4 実験結果

図5に本実験結果を示す。横軸は被験者を示し、縦軸は外耳道の各領域に加えられたトルクの最大ノルムの平均を示す。エラーバーは標準偏差を示す。本実験結果に対して耳かき音フィードバック呈示順序、耳かき音フィードバック条件、領域の3要因(2×2×4)分散分析を行ったが、いずれの主効果および相互効果に有意差は認められなかった。

#### 3.2.5 考察

我々の予想に反し、本実験結果からは耳かき音フィードバックが使用者の力制御を容易にすると結論づけることはできなかった。先行研究より耳かき音フィードバックは接触状態やテクスチャを把握するには有効であると考えられるが[6][9]、今回評価値と設定した力の状態を把握するには有効ではなかったと考えられる。つまり耳かき音から力の状態を想起、把握することが困難であったと考えられる。

実験終了後のアンケートから、耳かき音フィードバックにくすぐったさを感じるといった報告や少数ながら自身の耳内部に触覚や心地よさを感じるといった報告があった。またいしかわ夢・未来博および情報処理学会エンタテイメントコン

ピューティング 2013 にてデモ展示を行ったところ、多数の体験者よりくすぐったさを感じるという報告があった。人は耳近傍で発せられる音を聞くときくすぐったさを感じるということが知られており [4]、本フィードバック音でも同様の現象が生じたと考えられる。さらには疑似耳の掃除を行っているにもかかわらず、自身の耳を掃除するような感覚自体に面白さを感じたという報告も多数あった。

また耳かき音を直接呈示するのではなく、蜂須らの歯磨き音の変調 [2] や小泉らの食物の咀嚼音変調 [5] にと同様に、変調して呈示することによって耳掃除の印象を修飾できると考えられる。これは耳かき具の操作性向上に直接寄与するとは考えがたいが、耳かき具のエンタテインメントデバイス化等の新たな応用としても考えることが出来る。

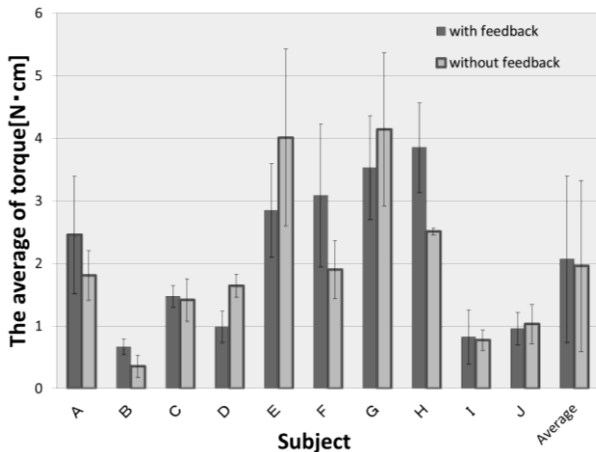


Fig. 5 The results of Experiment 1

#### 4. 手法 2 : 外耳道に加わる力の可聴化

前章の結果では、予想した効果が得られなかったが、これは耳かき音のフィードバックが力制御の手がかりとしては複雑であったためであると考えられる。そこで我々は耳かき具に加わる力を直接可聴化することを考えた。これまでも身体への力の加わり方や加え方を可聴化することで身体バランスを改善したり、技能向上を補助したりする試みが行われている [1][3]。

我々は他者の耳掃除に関しても、耳内部に加わる力を取得し、その値を可聴化して使用者に呈示することで使用者の力制御が向上すると考えた。本章では取得した力の大きさを音の大小に変換することで力の可聴化を試みる。

##### 4.1 システム構成

本稿では簡単のため 3.2.2 項で述べた疑似耳を用いてシステムを構成した。ただし 6 軸力センサは疑似耳の直下 65[mm] に固定した。図 6 に本システムの構成図を示す。本システムは 6 軸力センサから疑似耳に加わるトルクを取得し、その値を AD ボードを介して PC で取得する。PC はトルクのノルムを計算し、その値を 1500[Hz] の正弦波音源に乗算しイヤホンより使用者に呈示する。本システムではトルクのノルムが 0 の時に音量を 0 とし、ノルムが大きくなるにつれ線形に音量が大きくなり、3.0[N·cm] になると音量が最大の 97[dB(A)] となるようにした。音量は 256 段階で制御された。

#### 4.2 実験 2 : 力の可聴化による外耳道に加えられる力への影響

##### 4.2.1 被験者

被験者は 6 名 (男性 3 名・女性 3 名、年齢は 22~29 歳) であった。被験者は全員健康な聴力をもち、右利きであった。

##### 4.2.2 実験環境

実験 1 と同様に、疑似耳垢の疑似耳外耳道への塗布を行い、6 軸力センサにより外耳道に加わるトルクを取得した。

##### 4.2.3 実験手続き

図 7 に示す机の前に被験者は着席し、両耳にヘッドホン装着した。実験前に被験者に疑似耳を実際の耳と同様に扱うようにアクリル板上部に触れないように指示した。

被験者に疑似耳の上側のみ疑似耳垢が付着していることを教示し、図 7 に示すように上側のみ耳掃除を行わせた。本実験では 1 試行で耳を擦る回数を 3 回とし、可能な限り綺麗になるように耳掃除を行わせた。1 試行終了後に実験者が疑似耳上側の疑似耳垢が取り除かれていることを確認後、再び疑似耳垢を同箇所塗布した。

被験者は本試行を力の可聴化フィードバック有りおよび無しで 2 条件で行った。本実験では 6 名の被験者を力の可聴化フィードバック有り、無しの条件の順で実験を行うグループ (被験者 ABC) と逆順で実験を行うグループ (被験者 DEF) の 2 グループに分けた。被験者は各条件で 5 試行、計 10 試行を行った。ただし各 1 試行目は練習とし評価には含めなかった。本実験では各条件の評価値として加えられたトルクの最大ノルムを記録した。また実験終了後に本システムの使用感に関するアンケート調査を行った。

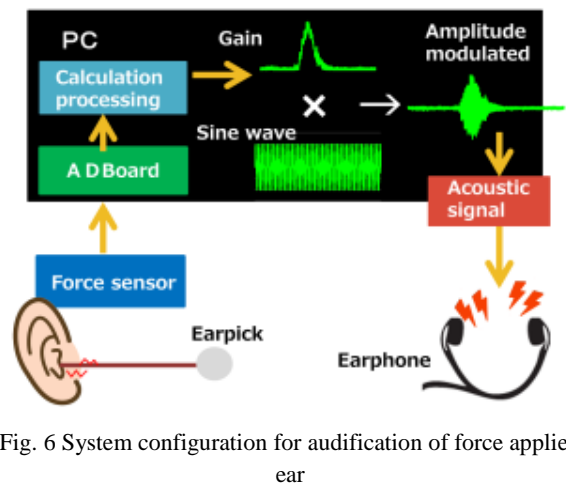


Fig. 6 System configuration for audification of force applied to ear

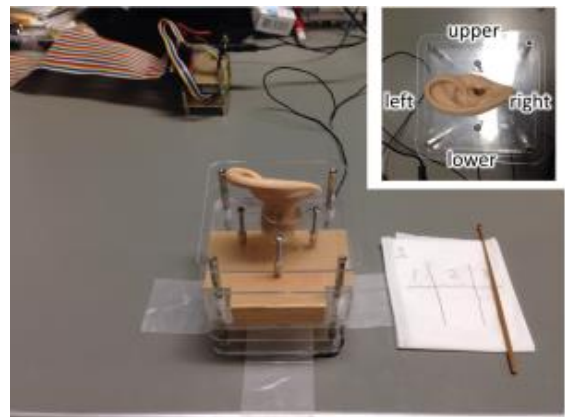


Fig. 7 Overview of Experiment 2

#### 4.2.4 実験結果

本実験では1試行が3回の擦り動作から構成されたが、動作が不安定であった1回目および3回目を除外して2回目のみの結果を以下の評価に用いた。図8に本実験結果を示す。横軸は被験者を示し、縦軸は外耳道に加えられたトルクの最大ノルムの平均を示す。エラーバーは標準偏差を示す。実験結果に対して、力の可聴化フィードバックの呈示順序、力の可聴化フィードバック条件の2要因(2×2)で分散分析を行った。その結果、力の可聴化フィードバック条件の主効果( $f(1, 4)=4.91, P<0.1$ )に有意傾向が認められた。

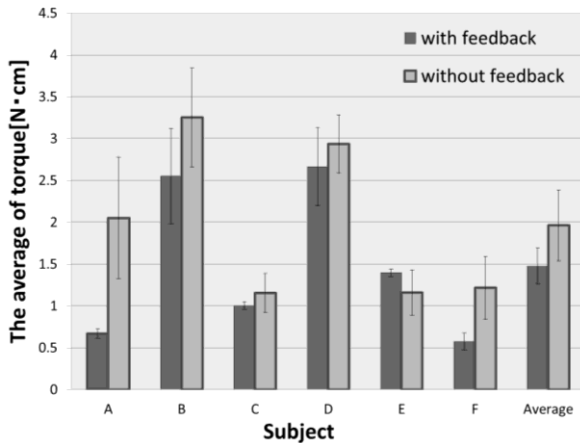


Fig. 8 The results of Experiment2

#### 4.2.5 考察

本実験結果より外耳道に加わる力の可聴化フィードバックが、使用者が外耳道に加える力の抑制に寄与する傾向が見られた。また図8より被験者ABEFにおいて力の可聴化フィードバックによってトルクの最大ノルムの標準偏差値が小さくなっていることがわかる。このことから、力の可聴化フィードバックは力のばらつきを抑制、言い換えると力制御の安定化を補助していることが示唆される。

### 5. 結言

本稿では他者の耳掃除を行う際の力制御の補助を目的として、2つの聴覚の手がかりを付与する手法を提案し、その効果について検証した。

第一の提案手法では、耳掃除をする際に発生する耳かき音を取得し、その音を使用者に呈示する耳かき音フィードバックシステムを提案した。実験結果から、耳かき音フィードバックによる外耳道に加わる力への影響はなく使用者の力制御を容易にすると結論づけることはできなかった。しかし、フィードバック音に面白さを感じるといった報告が多く、エンタテインメントデバイスとしての応用を考えることが出来る。

第二の提案手法では、外耳道に加わる力を取得しその値を可聴化して呈示する力の可聴化フィードバックシステムを提案した。実験結果から、力の可聴化フィードバックによる外耳道に加わる力の最大値の減少に有意傾向が認められた。さらに力制御を安定化させる効果も観察することができた。これらの結果より、力の可聴化フィードバックは耳掃除の力制御を補助するのに有効であることが示唆された。しかし今回実装したシステムは実験環境を想定したものであった。今後は耳かき具に小型歪みゲージを搭載することで実際の環境下でも使用可能な耳かき具の実装を行う。また本稿では力を音

の大小によって可聴化したが、音の高低等、可聴化手法についても検討していく予定である。

### 文献

- [1] Chiari,L., Dozza,M., Cappello,A., Horak,F.B., Macellari,V., and Giansanti,D., "Audio-Biofeedback for Balance Improvement: An Accelerometry-Based System", IEEE TRANSACTIONS ON BIOMEDICAL ENGINEERING, VOL. 52, NO. 12, DECEMBER 2005
- [2] Hachisu,T Kajimoto,H: Augmentation of Toothbrush by Modulating Sounds Resulting from Brushing, in Proceedings of the Advances on Computer Entertainment Tecnology (ACE) 2012, pp.31-43, Kathmandu, Nepal.
- [3] Hasegawa,S., Ishijima,S., Kato,F., Mitake,H., and Sato,M., "Realtime sonification of the center of gravity for skiing", AH '12 Proceedings of the 3rd Augmented Human International Conference , 2012.
- [4] Kitagawa,N., Igarashi,Y., "Tickle sensation induced by hearing a sound", The Japanese Journal of Psychonomic Science 2005, Vol.24, No.1, pp.121-122.
- [5] Koizumi, N., Tanaka, H., Uema, Y., and Inami M., "Chewing jockey: augmented food texture by using sound based on the cross-modal effect", ACM 8th international conference on Advanced on 449 Entertainment technology, pp.21:1-21:4, 2011.
- [6] McMahan,W., Gewirtz,J., Standish,D., Martin,P., Kunkel,J.A., Lilavois,M., and Wedmid,A., Lee,A.I., and Kuchenbecker,K.J., "Tool Contact Acceleration Feedback for Telerobotic Surgery", IEEE TRANSACTIONS ON HAPTICS, VOL. 4, NO. 3, JULY-SEPTEMBER 2011
- [7] Okamura , A.M. "Methods for haptic feedback in teleoperated robot-assisted surgery", Industrial Robot : An International Journal 2004, Vol.31, No. 6, pp. 499-508
- [8] Schuenke,M., Schulte,E., Schumacher,U., Ross,L.M., Lamperti ,E.D., and Voll,M., "THIEME Atlas of Anatomy Image Collection--Head and Neuroanatomy", p.143, Thieme, 2007.
- [9] Yao, H.-Y., Hayward, V., and Ellis, R.E., "A Tactile Enhancement Instrument for Minimally Invasive Surgery", Computer Aided Surgery, Vol. 10, No. 4, pp. 233-239.
- [10] 旭電化成株式会社, あかりちゃん耳かき : <http://www.smile-asahi.co.jp/amk-101.html>
- [11] 高下昌裕, 栗原洋輔, 岡崎龍太, 蜂須拓, 梶本裕之: 聴覚フィードバックを付与した耳掃除の提案,エンタテインメントコンピューティング,2013.10. サンポートホール高松・かがわ国際会議場.
- [12] コデン株式会社, 内視鏡つき耳かきイヤスコープ 13000 画素 : [http://www.coden.co.jp/pd\\_es13000.html](http://www.coden.co.jp/pd_es13000.html)
- [13] 東京都消防庁, 日常生活における事故情報, 耳かき中の事故に注意 : <http://www.tfd.metro.tokyo.jp/lfe/topics/201302/mimikaki.html>
- [14] ミミカキストに関する意識調査 ( r-type ) : <http://release.center.jp/2009/07/2302.html>
- [15] 耳かき処夢ごちち : <http://www.yumegokochi.jp/>