

# 座位姿勢矯正へ向けた インタラクティブ・ソニフィケーションのサウンドデザイン

岡田 滉太郎<sup>1,a)</sup> 平井 重行<sup>1,b)</sup>

**概要:** 人は座位の時、無意識に猫背など身体負荷が高い、もしくは作業効率が悪い姿勢を取ることがある。これらは集中状態で起こるため、自身で気付くことが難しい。この課題に対して、インタラクティブ・ソニフィケーション (Interactive Sonification) を適用して姿勢情報をアンビエント音楽を含むサウンドとしてリアルタイムに表現することで、あまり作業を妨げずに姿勢について気付かせることを提案する。本報告では、座位情報と矯正へ向けたサウンド表現のデザインについて検討し、試作システムの概要と共に説明する。

## 1. はじめに

安定した座位の保持に必要な要因の一つとして、柴田は”作業活動における注意の持続力”を挙げている [1]。人は、安定した座位バランス能力や感覚フィードバックなど、身体的な要因によって不良姿勢を検知し、適正な姿勢で座位を保持することができる。しかし、作業活動中における理想的な座位姿勢を維持するには、作業活動に専念する能力と不良姿勢を検知・修正する二重課題を処理する能力を求められる。平井敏幸ら [2] の研究では、健康者を対象に座位姿勢を保ちながら他の活動を同時に遂行する課題を課したところ、わずか 20~30 分程度で初期の座位姿勢を維持することが困難となり、体幹が屈み頭部が前方へ突き出した不良姿勢になったと報告されている。姿勢の悪化は椎間板への負荷増加や骨盤の歪み、肩や首のこりを引き起こす可能性があるが、前述の利用により作業を行いながら自身で姿勢を矯正することは難しい。

一方、ここ数十年で Interactive Sonification [3] と呼ばれる非言語音を用いてインタラクティブに情報提示する手法の認知度が高まっている。これは情報可聴化や聴覚ディスプレイ研究 [4] の一分野であり、音の高さや大きさ、音色や種類などの情報だけでなく、音楽的な表現なども含めた手法も含め、人の音響心理や音楽認知などの知見も含めたサウンドデザインを行うものである。音を使うという点で、情報の時間変化やタイミングなどの時間軸に沿った表

現も多種多様に可能である。視覚情報と違い、基本的に音は頭の向きに依存せず聞こえることもあり、視覚的な情報提示では不向きな場面で活用することも多い。例えばデスクワークなどで視覚を占有されていたとしても、音で聴覚を介して情報提示することが可能、という特徴がある。この手法を応用することで、ユーザの作業を妨げることなく姿勢の悪化を通知することが可能だと考えられるが、日常的にシステムを利用して姿勢矯正することを考慮すると、可聴化されたその音は作業への集中と姿勢悪化の通知を両立するようなサウンドデザインにする必要がある。

本研究は、姿勢に関する情報をインタラクティブに可聴化し、ユーザの作業を妨げない姿勢矯正システムのサウンドデザインについて検討することを目的とする。本稿では、そのための提案として試作したシステムの概要と姿勢検出、及び可聴化方法について述べる。

## 2. 関連研究

### 2.1 Interactive Sonification

Interactive Sonification の応用に関する研究として、松原らの研究 [5] や平井らの Bathonify [6]、野村らの研究 [7] が挙げられる。松原らの研究では、リハビリの場において足首の微妙な角度変化を、連続的なサイン波音源の周波数的な音高に反映するシステムを比較・評価することで、聴覚的なフィードバックが視覚的なフィードバックに劣らないことを示した。平井らの Bathonify は、浴槽に入浴した人の動きや生体情報を効果音や音楽に変換することで、入浴者自身の UX 向上や健康状態の管理、浴室外部からの安全管理を行う。野村らの研究では、人の毛髪の表面状態を音楽に変換することで、UX の向上と髪の健康状態の把握、

<sup>1</sup> 京都産業大学大学院 先端情報学研究科

<sup>1)</sup> 現在、京都産業大学 情報理工学部

<sup>a)</sup> i1888024@cc.kyoto-su.ac.jp

<sup>b)</sup> hirai@cse.kyoto-su.ac.jp

特徴の分析を行う。

## 2.2 可聴化による姿勢矯正

姿勢の可聴化に関する研究として、榎堀らの姿勢改善補助システム [8] や伊丹らのシステム [9] が挙げられる。榎堀らのシステムは、小型のウェアラブル加速度センサを身につけることで姿勢の悪化の種類とその悪化度合いを検出し、姿勢の悪化状態を警告音の種類や音高の高低、発音テンポに反映してユーザに通知する。伊丹らのシステムは、傾斜角センサで背部の傾きを測定し、傾斜が2段階の閾値を越えるとそれぞれ異なる周波数の警告音でユーザに通知する。これらの関連研究では、本研究と同じく音によってユーザに姿勢情報を通知しているが、サウンドデザインの観点から見た作業への集中度に関しては考慮されていない。

## 2.3 可聴化以外による姿勢矯正

また、可聴化以外の手法を用いた姿勢矯正に関する研究として、菊川ら [10] や石松ら [11]、桑畑ら [12] のシステムが挙げられる。菊川らのシステムは、Kinect でユーザの頭部とディスプレイの距離を測定することで前傾姿勢を検出し、その度合いを画面をぼやけ具合に反映させることで通知する。石松らのシステムでは、Kinect と圧力センサによってユーザの前傾具合と脚組みを検出し、ディスプレイにポップアップウィンドウを表示させることで通知する。桑畑らのシステムは、重心計測とニューラルネットワークによる姿勢検出と、HollowFaceIllusion による他者の視線提示の機能を有するプロトタイプシステムによって他者の存在感を錯覚させることで、個人でデスクワークを行う作業者の集中力維持を支援する。これらの関連研究では、視覚情報による姿勢矯正の有効性が評価されている。

## 3. システム概要

本稿のシステムは、椅子に座って PC を用いたデスクワークを行なっている状態での利用を想定している。座位で作業を行なっているユーザの、上半身を RGBD カメラで撮影、また座面下に設置したひずみゲージで座位時の座面の荷重バランスを計測することでユーザの姿勢情報を取得する。これを音響情報へと変換し、ユーザが装着しているヘッドフォンから音を出力することで姿勢情報をフィードバックし姿勢矯正を促す (図 1 参照)。この時のシステムの処理概要としては、RGBD カメラの深度画像をコンピュータで処理することで座位中のユーザの各関節部位の空間座標と関節部位の角度を、またひずみゲージの信号値を前処理して計算することで座面の荷重重心を、それぞれ取得し、現在の姿勢の種類と姿勢の悪化度合いを計算する。これらの情報を、サウンドデザインされた内容に基づいてインタラクティブに可聴化する (図 2 参照)。ここで検出する姿勢悪化の種類は、体幹に対して頭部が前屈する首垂

れと猫背、重心の偏り、の 3 種である。以下に、本システムのハードウェア構成と、姿勢検出、および可聴化処理の内容について述べる。

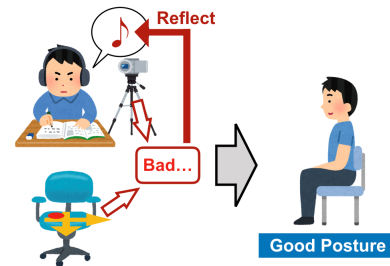


図 1 システム利用イメージ

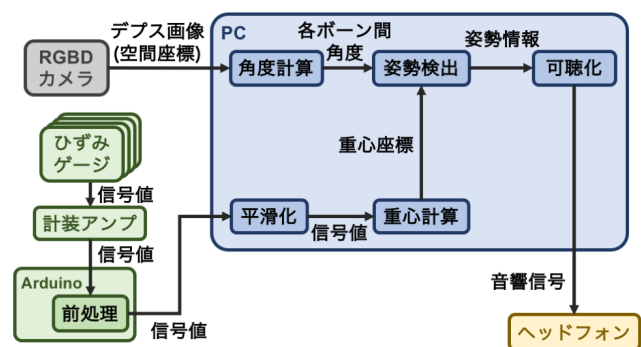


図 2 システム処理概要

### 3.1 ハードウェア構成

本システムは、現時点では RGBD カメラとして Microsoft 社の Kinect v2, ひずみゲージ, 計装アンプとして LT1167, Arduino, コンピュータで構成されている。ひずみゲージは 2 枚の鉄板で挟まれており、四隅にネジで固定されている。これを座面下、あるいは座面に設置することで荷重状態のセンシングを行なっている。

### 3.2 姿勢検出

姿勢検出処理は、姿勢の種類と、その悪化度合い (以降、乖離度と記述) の計算部分、座面の重心計測部分の 2 つから構成されている。(図 3)

各関節部位のうち、本システムでは頭部、胸部、右肩、左肩、腰の 5 点を使用する。右肩、左肩、腰の 3 点からなる面の法線ベクトルを計算し、腰と胸部からなるベクトルと法線ベクトルの成す角、胸部と頭部からなるベクトルと法線ベクトルの成す角をそれぞれ求める。この 2 つの角度について、理想姿勢の時と現在の角度変化の組み合わせで姿勢の種類を、各角度の変化量に係数を掛けてから足し合わせることで乖離度を、それぞれ求める。法線ベクトルは、胸部と頭部からなるベクトルと成す角の変化について計算する際はリアルタイムの値を、腰と胸部からなるベクトル

と成す角の変化について計算する際は理想姿勢の時の値を用いて計算する。

重心計測に関しては、座面のひずみゲージから得られる信号に、座標の原点を合わせるための前処理と、移動平均でフィルタをかけた後、係数を掛け足し合わせることで計算している。その後、理想姿勢の時と現在の座標の差分を取ることで重心の偏りを求める。本システムでは、ユーザの正面に対して横方向の重心の偏りのみ使用している。重心の偏りは別の音表現の制御に利用して可聴化するため、上記の乖離度などとは別で処理を行う。

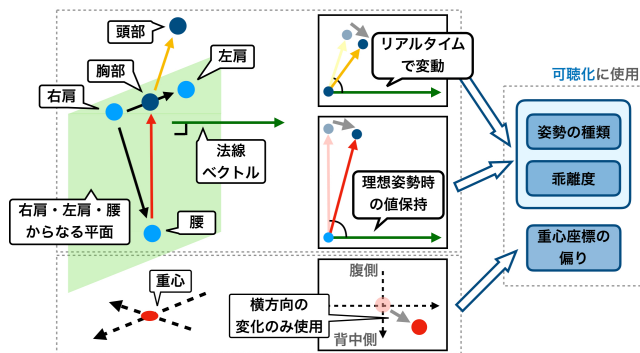


図 3 姿勢検出

### 3.3 可聴化

取得した姿勢情報を基に、音情報へと変換、音表現の制御を行う。本稿では、考案したサウンドデザインの例についていくつか紹介する。

## 4. サウンドデザイン

各サウンドデザインはそれぞれ異なる音表現となるよう設計しているが、共通する部分も存在する。本報告で紹介するデザイン例では、環境音楽を土台として設計している。また、可聴化で利用する姿勢情報のうち横方向の重心の偏りについては、音源の左右の定位によって表現されるよう設計した。ユーザが右手方向に体重をかけた場合は左手方向から音が、逆方向であれば音源も逆から聞こえてくるようになっている。重心の変化と定位の変化を直線的に対応させると、定位の変化が感じづらかったため、シグモイド関数を利用して重心の変化をより強調するようにした。

### 4.1 環境音を利用したサウンドデザイン

本デザインでは、ユーザが理想姿勢を取っている時は環境音楽のみが聞こえており、姿勢が悪化すると風や雨が降る音など、環境音が追加で聞こえてくるように設計した。姿勢検出によって推定した、姿勢の種類や乖離度といった姿勢情報は、環境音の各種音表現の制御に利用することで可聴化される。



環境音楽 + 環境音  
(姿勢悪化時のみ)

図 4 環境音を利用したサウンドデザイン

#### 4.1.1 環境音の種類

本デザインでは、検出された姿勢の種類によって、再生される環境音の種類が変化している。ユーザが首垂れの姿勢を取っているときは風が吹きつけるような音、猫背の姿勢のときは雨が降る音が環境音より選択される。

#### 4.1.2 天候の激しさ

本デザインでは、乖離度の大小によって再生される環境音の激しさの度合いが変化している。例として、ユーザが同じ猫背の姿勢を取っているときでも、乖離度が小さい時は小雨の音が聞こえ、乖離度が大きくなると降雨量が増える。激しさの変化は、環境音の種類ごとに激しさの度合いが異なる3つの音源を用意し、乖離度の推移に合わせてそれぞれの音量比率を制御して同時に再生することで実装している(図5参照)。

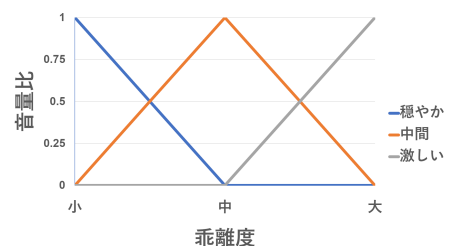


図 5 各音源の音量制御

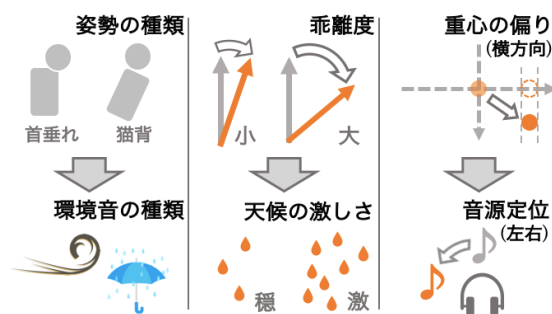


図 6 姿勢情報と環境音の制御の対応

#### 4.1.3 デザインの意図

環境音を利用したのは、ユーザへの姿勢状態を通知しつつ、同時に聞こえる環境音楽との調和を図るためである。それらを調和感が少ない組合せで表現すれば、ユーザに違和感を与えシステムの利用停止に繋がる可能性が高い。環境音として、強風や雨の音などを選んだ理由は、悪天候と姿勢の悪化を関連付ける狙いがあった。また、これらは時間あたりの発音密度や音量の変化が顕著なため、変化に対して気づきやすくなるよう意図して設計した。

#### 4.2 警告音の音高変化を利用したサウンドデザイン

本デザインでは、音楽的な調整を施した警告音で姿勢情報を通知する。理想姿勢の時はバックグラウンドの伴奏のみが再生されており、姿勢が悪化すると二分音符間隔で警告音が発音される。

##### 4.2.1 音色

本デザインでは、姿勢の種類によって警告音の音色が変化する。ユーザが猫背の時はサイン波、首垂れの時はノコギリ波の音色で警告音が聞こえる。

##### 4.2.2 音高

本デザインでは、乖離度によって警告音の音高制御を行う。(図7) 乖離度が小さい時は警告音の音高が低く、乖離度が大きいと音高が高くなるよう設計されている。この時、音高は周波数軸で連続的に変化するのはではなく、不協和音にならないよう伴奏の調性を考慮して離散的かつ音楽的にマッピングする。

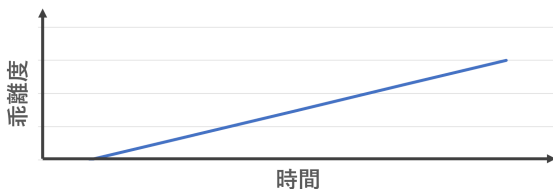


図7 乖離度による音高制御  
(上はDエオリアンスケール)

##### 4.2.3 デザインの意図

警告音は、本来ユーザが誤った操作を行ったなどの時に注意を促すために鳴らされる音である。そのため、ユーザへの通知という観点では有効な手段だと考えられるが、デスクワークでのリラックスや作業への集中といった観点で考えると、そのままではこれらの目的を阻害する可能性が高い。これを環境音楽と調和させるように調整することで緩和しつつ、姿勢状態の通知を図った。伴奏の調性を考慮した音高制御も、環境音楽との調和を狙った調整である。

#### 4.3 主旋律の密度変化を利用したサウンドデザイン

本デザインでは、環境音楽自体に変化を与えることで姿勢情報を通知する。

本デザインの主旋律は、基本部分と装飾部分から構成されている。(図8) 基本部分は、2小節に1音程度の疎なピアノの旋律で、乖離度に関係なく固定である。装飾部分は動的に生成され、姿勢状態によって音色や発音密度が変化する。

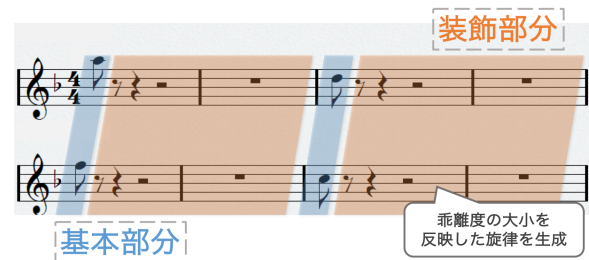


図8 主旋律の構成

##### 4.3.1 音色

本デザインでは、姿勢の種類によって装飾部分の旋律の音色が変化する。ユーザが猫背の時はサイン波、首垂れの時はノコギリ波の音色で旋律が聞こえる。

##### 4.3.2 発音密度

本デザインでは、乖離度の大小によって主旋律の発音密度の制御を行なう。装飾部分の旋律は、八分音符間隔でリアルタイムに0から100の乱数を生成し、これが乖離度の大小によって変化する発音確率を下回ったとき発音するよう設計されている。この時生成された旋律は、不協和音にならないよう伴奏の調性を考慮した、ランダムな音高となっている。これにより、乖離度が小さい時は主旋律が低密度に、乖離度が大きい時は高密度になるよう設計されている。

##### 4.3.3 デザインの意図

本来、環境音楽は集中して聞かれることを目的としておらず、必要以上に聴者の気を引かないよう主旋律の密度が時間的に疎であることが多い。この特徴を利用して、姿勢が悪化した時のみ旋律の密度を高めて強調することで、ユーザへの姿勢状態の通知を狙った。4.2節と同様に、環境音楽との調和を図るため、伴奏の調性を考慮した音高制御を行なっている。

### 5. 議論

本章では、座位姿勢矯正において可聴化を行う上での議論、考察を行う。

#### 5.1 将来的なシステムの実利用

本報告のシステムの概要について3章にて述べたが、これはあくまで現状の話であり、将来的な実利用のイメージ

はまた変わってくると考えられる。

例えば RGBD カメラに関しては、現在 Kinect でユーザの上半身を映す必要があるため、机の上に設置して使用することができない。しかし、将来的には机の上に RealSense のような小型カメラ一つ設置することで、機械学習による詳細な姿勢情報の取得が可能となる可能性が考えられる。また、歪みゲージによるセンシングは、クッション型の柔らかい圧力分布センサや椅子自体が IoT 化する可能性も考えられる。耳を塞ぐことに抵抗を感じる人がいるため、ヘッドフォンは首かけスピーカーなどの耳を塞がないデバイスに変化する可能性がある。このようなデバイスや取得する姿勢情報の変化に対して、適したサウンドデザインを考える必要がある。

## 5.2 サウンドデザイン

3 章冒頭でも述べた通り、本システムはデスクワークでの利用を想定している。作業効率と姿勢矯正の両立を目的としているため、本システムのサウンドデザインではいくつかの点に注意した。

システムのサウンドは、理想姿勢の時は気にならず作業に集中でき、姿勢が悪化した際は変化に気づくことができるような音である必要がある。しかし、激しい音による通知は、変化への気づきを強調する点では良いかもしれないが、精神の安定や作業を妨げる可能性があるため、控えるべきと考えている。音量の大小を制御して情報を通知する手法は、時間あたりの発音密度が低い音源に適用するとユーザが変化に気づかない可能性が高いため、適用する音源を検討する必要がある。音の変化する要素が多いと、ユーザがその変化を把握するために注意して聞くことに繋がり、本ソニフィケーションの主旨に沿わない可能性がある。それゆえ、音の変化要素はできるだけ少なくした。これらを踏まえて、本システムのサウンドデザインを行なった。

サウンドデザインの主体として環境音楽を据えた理由は、曲への過剰な集中を防ぎつつ、リラックスや作業への集中を保つためである。重心の偏りと音源の左右の定位を逆に設計しているのは、姿勢を正す時に音が聞こえてくる方向へ荷重バランスを戻すことで、正しい姿勢へ誘導する狙いがある。

しかし、本報告で考案したサウンドデザインが実際に有効であるかどうか、確認するためには被験者を募って実際に使用してもらい、ユーザ評価を行うことが必須である。

## 6. おわりに

本研究は、可聴化によって座位姿勢矯正を促すシステムを構築し、そのサウンドデザインについて検討を行なった。本稿では、試作したシステムについて、概要と処理の流れ、姿勢検出、可聴化処理とそのサウンドデザインについて述べた。今後は、サウンドデザインのさらなる考案・実装と、

被験者実験による各サウンドデザインのユーザ評価、及びシステムの有用性の検討を行う予定である。

## 参考文献

- [1] 浅井 仁, 奈良 勲 (2016): 姿勢制御と理学療法の実際, 文光堂発行.
- [2] 平井敏幸ほか: "「二重課題法」による各動作の精神的負荷に関する研究." 日体大紀 22: 25-30, 1992
- [3] Thomas Hermann, Andy Hunt: Interactive Sonification Webpage, 入手先 (<http://interactive-sonification.org>) (2018.12.17).
- [4] Thomas Hemann, Andy Hunt, John G. Nueffoff(2011): Sonification Handbook, Logos Publishing House.
- [5] Matsubara, Masaki, et al. "The effectiveness of auditory biofeedback on a tracking task for ankle joint movements in rehabilitation." Proceedings of the ISON 2013 Interactive Sonification workshop. 2013.
- [6] 平井重行, et al. "新たなアメニティ空間を目指した浴室: 入浴状態を音で表現する風呂システム." ヒューマンインタフェース学会論文誌 6.3 (2004): 287-294.
- [7] Nomura, Mariko, et al. "Translating the human hair surface state into sound." (2017).
- [8] 榎堀優, 森祐馬, and 間瀬健二. "音声通知型姿勢維持補助システムの日常利用を想定した長時間・繰り返し利用における性能評価." 研究報告ユビキタスコンピューティングシステム (UBI) 2015.11 (2015): 1-6.
- [9] 伊丹 君和, 久留島 美紀子. "看護動作姿勢改善をめざした危険角度での「音」発生機能を搭載したボディメカニクス学習システム開発とその評価." 日本看護研究学会雑誌 Vol.33 No.2, 日本看護研究学会雑誌 2010.
- [10] 菊川真理子, and 金井秀明. "行動の長期的結果提示による癖の矯正効果の検討." Interaction 2012 (2012): 696-700.
- [11] Ishimatsu, Haruna, and Ryoko Ueoka. "BITAIKA: development of self posture adjustment system." Proceedings of the 5th Augmented Human International Conference. ACM, 2014.
- [12] 桑畑健吾, 伊藤雄一, and 上岡玲子. "ポッチ作業時の集中力維持を支援するシステムの構築." 第 23 回 日本バーチャルリアリティ学会大会論文集 (2018 年 9 月).