

1. 担当 PM

稲見 昌彦（東京大学 先端科学技術研究センター 教授）

2. クリエータ氏名

北道 広大（名古屋工業大学大学院工学研究科 工学専攻電気・機械工学系プログラム）

村山 大騎（名古屋工業大学大学院工学研究科 工学専攻電気・機械工学系プログラム）

鶴岡 萌捺（名古屋工業大学 工学部創造工学教育課程）

中村 優真（名古屋工業大学大学院工学研究科 工学専攻電気・機械工学系プログラム）

3. 委託金支払額

2,736,000 円

4. テーマ名

疲労を推定する体重計型デバイスの開発

5. 関連 Web サイト

なし

6. テーマ概要

デスクワークなどによる「精神面での疲労」は気づきにくく慢性化しやすい。しかし実際は、目がぼやけたり集中力が下がったりといった生理的な変化が起きている。

本プロジェクトでは、体重計型のデバイスを作成し、足裏に振動を提示することで人の感度を認知的に計測する。この計測結果を時系列に収集し、深層学習を用いて未来の感度を予測することで、ユーザの内部状態を推定することを目指す。

現代の体重計は、身体に微弱の電気を流すことで体脂肪率や筋肉量を推定することができる。本プロジェクトによる体重計型デバイスでは、遠隔操作可能な振動提示モジュールを組み込む。身体年齢はもちろん、疲労やストレスなどメンタルの状態を推定可能な次世代の体重計の実現を目指す。疲労の予測が可能になれば、身体のメンテナンスをするきっかけになり、疲労を解消・緩和す

る行動に繋げることができる。疲労を溜めないことは、私たちの身体を若々しく保つことにつながる。

7. 採択理由

本プロジェクトは体重計型のデバイスを新たに開発し、様々な刺激への応答を計測することで、ユーザの疲労を推定することを目指したシステムの開発を目的としている。提案された計測手法はチャレンジングであるものの、その原理検証は現時点では不十分であり、プロジェクト期間中に様々な試行錯誤が必要となろう。

しかし、メンバーの技術的な潜在能力および開発への意気込みを評価し、採択とした。

8. 開発目標

情報化が進んだ現代社会では、特に触覚情報が人々の生活において十分に活用されていない。触覚は我々の感覚の一つであり、日常生活の様々な場面で無意識的に役立っている。触覚をより身近な存在にするためには、人がどのように感じるかを取得することが必要であるが、その取得には現場レベルでいくつかの課題が存在している。

本プロジェクトでは、振動を用いて人の振動覚感度に関連するアプリケーションとデバイスの提案・開発を行った。触覚情報を人々の生活に役立たせるためには、振動覚感度測定ハードルを下げる必要がある。現状では、振動覚感度は心理物理実験によって測定されるが、通常 15 分以上の時間がかかってしまう。よって長時間かかる情報取得では、触覚情報が日常生活に浸透していくことは難しい。そこで振動覚感度の活用先を広く模索しつつ、1 分以内に自分の触覚状態を取得できるようにすることで、人々が自分の振動覚感度を知りたいと思うようにすることを目標とした。

プロジェクト開始当初は、振動覚感度から疲労度を推定できるのではないかという仮説が立てられていた。その可能性と手法を探りながら、足裏の感度から疲労度がチェックできる体重計型デバイスの開発を目指していた。しかし、プロジェクトの進行中に、振動覚感度と疲労度の間に明確な相関がないことが発見された。そのため、本プロジェクトは振動覚感度の活用先を、疲労度の推定とは異なるアプリケーションとして実装することに決定した。

9. 進捗概要

プロジェクトのコンセプトは、「身体の感度チェックを 1 人で行い、自身の感覚状態を可視化すること」である。ユーザの運動動作から振動覚感度を推定するアプリケーション“以振”と、全身に振動提示可能な振動提示機構“伝振”を開発した。さらに可視化された感覚状態を活用する例として、疲労との関連調査と

振動で遊ぶ触覚ゲームのプロトタイプングを行った（図 1）。



図 1：“以振伝振”とボードゲーム

“以振伝振”システムは感度チェックを行うための振動生成機構のアプリケーションである“以振”とユーザに振動を提示するハードウェアの“伝振”の2つから構成される。“以振”アプリケーションでは、ユーザが刺激を知覚したことを、ユーザの運動動作から推定するような計測形式を模索した。アプリケーションは図 2 に示すような2つのウィンドウから構成され、ユーザはこのUI上の橙色円の上を数回なぞるような動作が求められる。推定された振動覚感度はいつでも画面下方にあるボタン“Tap here”をタップすることで、橙円の統計値と比較して青色曲線として認識できる。

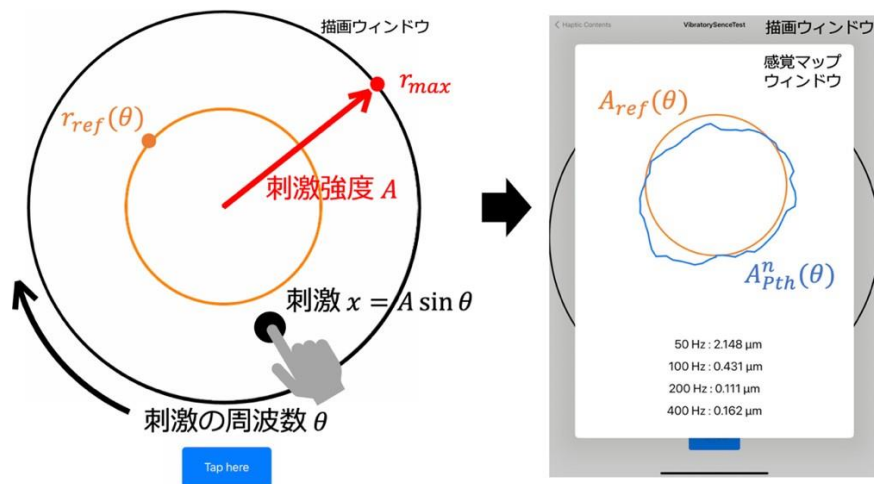


図 2：“以振”のユーザ画面

ユーザがタッチした座標に対応して刺激 $x = A \sin \theta$ が生成され、後に詳しく述べる“伝振”デバイスを通じてユーザに提示される。この際にユーザにとって、刺激が強いと感じた場合は円の中心方向に向かうようにして円を歪ませて描く。逆に弱いと感じた場合には円の外側に向かうようにして円を歪ませて描く。何回か繰り返すうちに、後に詳しく述べる収束アルゴリズムによってユーザは橙色円とほとんど同じ円が描けるようになる。画面下方にあるボタン“Tap here”

から自身の振動覚感度を統計的な値と比較して確認することができる。

収束アルゴリズムについて説明する。ユーザが n 回目タッチした極座標の振幅を $r^n(\theta)$ 、角度を φ とする。ユーザに提示される n 回目の刺激強度を A^n 、刺激の周波数を θ とする。 n 回目に表示される暫定の振動覚感度を $A_{pth}^n(\theta)$ とし、この暫定の振動覚感度は試行回数を重ねて逐次更新される。以下に式を示す。ただし、暫定の振動覚感度の初期値 $A_{pth}^0(\theta) = A_{ref}(\theta)$ は指先の母指球における統計的な振動覚感度、 $r_{ref}(\theta) = \text{一定}$ とする。

$$A_{pth}^n(\theta) = A_{pth}^{n-1}(\theta) * \frac{r^n(\theta)}{r_{ref}(\theta)}, \varphi = \theta.$$

次にハードウェア“伝振”を解体した様子を図 3 に表す。筐体は 3 つ分類されており、図 3 の左から順に、筐体下部、振動子、プリント基板、Bluetooth アンテナ、LiPo バッテリー、スライド式スイッチ、アクリルスペーサ、ジョイント部、マグネット給電構造に分けられる。このデバイスの特徴は、全身に身につけられるようにジョイントとバングルと、十分な振動強度が提示できる無線通信の基板を開発したことである。

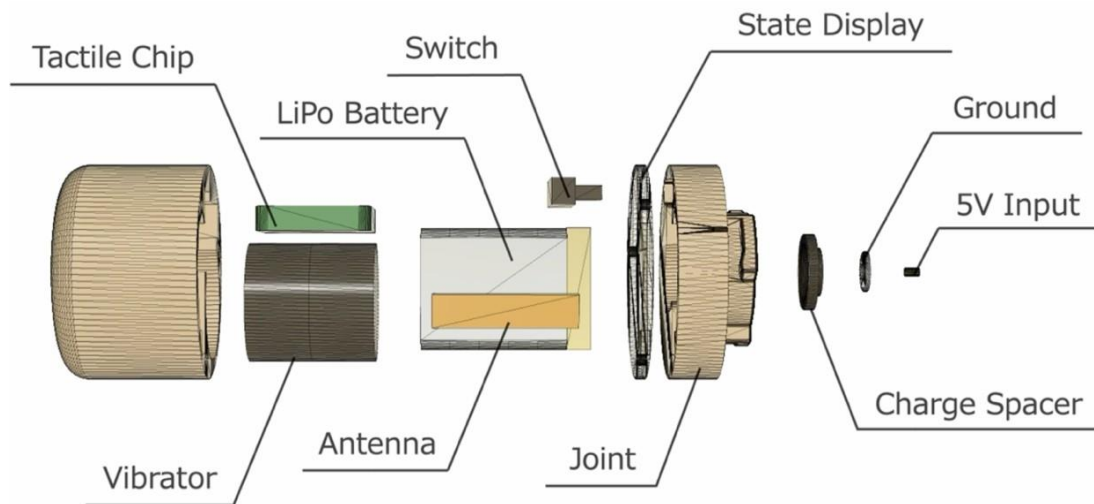


図 3：“伝振”の内部構造

“伝振”デバイスを身体に装着する際、振動の質感を下げないために、各パーツの密着性が重要である。これを可能にするため、図 4 (上段) に示すように、ジョイントとバングルとの固定では爪構造を採用した。図 4 (中段) では、凹凸の部分を拡大した図であり、“伝振”デバイスとバングルが回転によって固定されていく様子を示しており、“カチッ”という触感が得られるよう工夫されている。この工夫によって、ユーザがバングルと固定するために、どこまで“伝振”デバイスを回すのかがわかり、不完全な状態で取り付けられることを防ぐ。また、振動によって固定された状態から緩んでしまうことを防ぐ。バングルでは空気層とベルト層を有しており、バングルの下部を任意の大きさに膨らませることができる。これによって、くるぶしや手首など肌表面に骨が出っ張るような複雑

な肌表面でも痛くなく、かつ振動の伝達が良くなるよう工夫した。

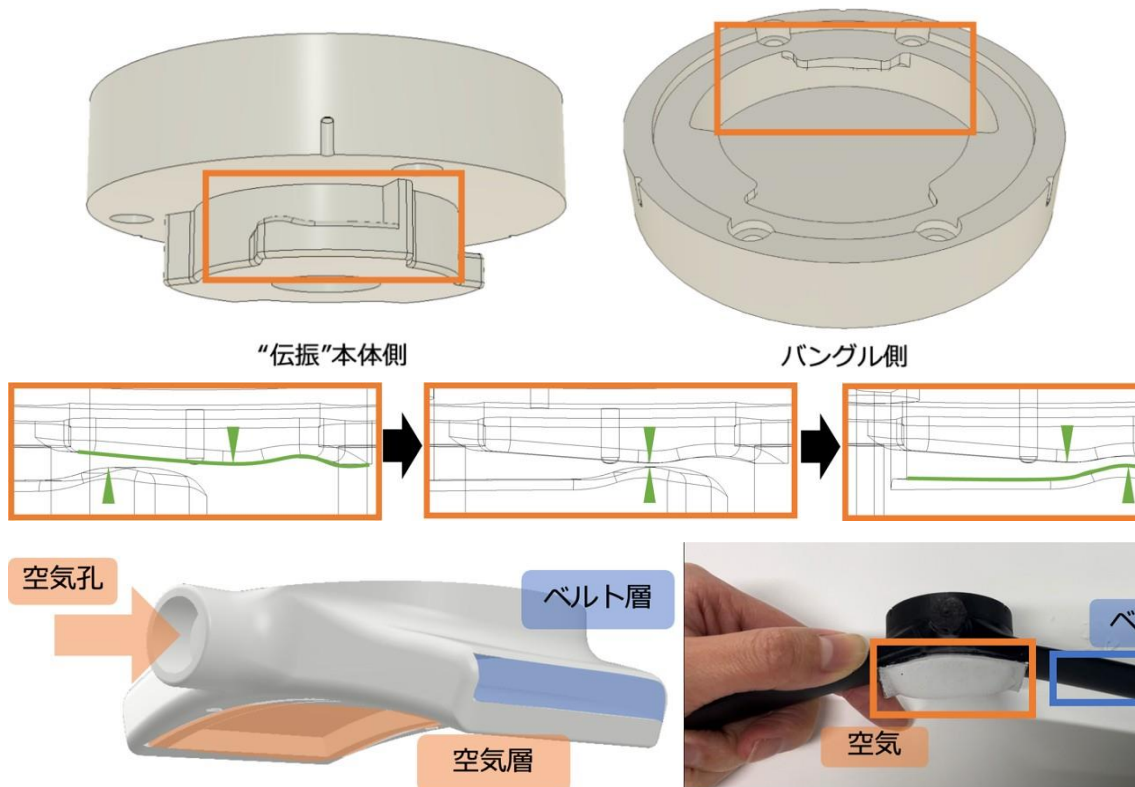


図 4：“伝振”のジョイント部と専用バングル

10. プロジェクト評価

本システムの有用性は以下の 4 点である。

1. ユーザに負担をかける長い測定時間
⇒ 1 試行あたり必要な時間は 30 秒程度で、50～400Hz の刺激に対する感度が計測可能
2. 実験的で退屈な測定ユーザ体験
⇒ 円を描いて橙色円と重なることを目指す体験で計測感を緩和
3. 感度の個人差が大きく、刺激のダイナミックレンジ調整が困難
⇒ 伝振デバイスで提示できる刺激の最大値は、50～400Hz の刺激で手の母指球の感度の 40 倍の大きさまで可能
4. ユーザが刺激を知覚していても認識できず、適切なトレーニングが必要
⇒ 刺激がわからなければ黒色円上をタッチすることで十分大きな刺激が得られ、刺激がわからないことを防ぐ

これらの特徴により、人の触覚感度を定量的に取得し、閉じた感覚を他者と共有することが将来的には期待できる。また、デジタル化した触覚を誰でも同じように解釈できるよう変換が可能となるだろう。さらに、触覚をデジタル化するこ

とで、既存のゲームデバイスなどで触覚を用いたユーザインタラクションの幅が広がることが期待される。

11. 今後の課題

残念ながら当初期待していた振動覚感度と疲労の関係は認められなかった。しかしながら、本システムにより触覚感度の可視化が容易になった。振動の感じ方は個人差があり、振動の種類によっても感じる大きさに差がある。感じた触覚を言語化することが難しいため、振動を使ったテーブルトークゲームには可能性があると考えられる。他者の独特な過去の経験や感じ方の違いを通じて会話を楽しむ時間をユーザに提供したいと考えられている。