

Jadwelry : フィンガーブレスレット型疲労通知デバイスの開発

藤谷 梨生^{†1} 湯村 翼^{†1}

概要 : ウェアラブルデバイスは身につけるだけでヘルスケアがおこなえる。しかし、ウェアラブルデバイスの見た目についてはデザインが固定化され、衣服によっては浮いてしまうという問題がある。本研究では、ヘルスケア機能を搭載したアクセサリとして、フィンガーブレスレット型疲労通知デバイスを開発する。プロトタイプでは、脈拍数を心拍数に変換し、心拍数が基準値を下回ったときに LED を点灯させ、疲労を通知することができた。また、Jadwelry がアクセサリとして身につけられるデバイスであるか、デザインの種類を増やせるものであるか明らかにするため、評価実験をおこなった。その結果、Jadwelry は一部見た目が悪い箇所があり装着しにくいという課題があるが、日常生活で使用できるデバイスであり、デザインの種類を増やせるアクセサリであるという評価を得ることが出来た。

1. はじめに

現在スマートウォッチをはじめとしたウェアラブルデバイスの機能の進化により、身につけるだけで簡単にヘルスケアをおこなえるようになった。しかし、ウェアラブルデバイスの見た目については搭載する機器によって形状やデザインが固定化され、衣服の種類によってはウェアラブルデバイスの見た目が浮いてしまうという問題がある。デザイン性のある電子工作としては、電子工作とアクセサリを組み合わせるアクセサリの外観を阻害せずにインタラクティブに動作するアクセサリの開発 [1]がおこなわれているが、これはアクセサリパーツをセンサにする研究であり、デバイス単体で動くもので、アクセサリにヘルスケア機能を搭載したものはなかった。

そのため本研究では、ヘルスケアをおこないながらアクセサリとして身につけられるものとして、ヘルスケア機能を搭載したデザインの種類があるアクセサリを開発する。また、そのひとつの例として、フィンガーブレスレット型疲労通知デバイス Jadwelry (ジェドウェリー)を提案する。

2. 関連研究

Jadwelry に類似する既存の商品として、ヘルスケア機能を搭載したスマートウォッチやウェアラブルメガネ、スマートリングなどがあげられる。ヘルスケア機能を搭載したスマートウォッチには心拍数やストレスに対する体の反応を管理できる fitbit[2]があり、ウェアラブルメガネには体の傾きや心の状態をアプリに記録し、長時間悪い状態が続くとアラートで知らせる JINS MEME[3]がある。スマートリングとしてはスマートフォンやタブレット端末に Bluetooth 接続し、遠隔から操作できる Smart Ring SO+[4]や、専用アプリでチャージをするとタッチ決済がおこなえる EVERING[5]がある。他にも、ヘルスケア機能を持つスマートリングとしてはアプリと連携することで睡眠の質や心身

の疲労回復度合いを確認できる Oura Ring[6]や、アプリと連携することで歩数やカロリーを確認できる RINGLY[7]がある。しかし、これらはスマートフォンと連携しなければ機能を完全に使用できないものである。また、スマートリングはリングそのものがセンサであるため、指の太さが変わると身につけられないものである。

機能を持つアクセサリの研究としては、電子工作とアクセサリを組み合わせるアクセサリの外観を阻害せずにインタラクティブに動作するアクセサリの開発[1]や、遠隔制御可能な LED を用いたアクセサリの開発[8]、心拍数を可視化するイヤリング型デバイスの開発[9]がおこなわれているが、これらはヘルスケア機能を搭載したものではなかった。

3. Jadwelry

3.1 概要

Jadwelry のコンセプトは、ヘルスケア機能を持ちながらアクセサリとして身につけることができる自然な見た目のアクセサリである(図 1)。スマートウォッチのヘルスケア機能には身体データ計測、睡眠データ計測、バイタルデータ計測などがあるが、Jadwelry ではアクセサリの外観を保つためにヘルスケア機能は疲労通知機能の 1 つに絞って実装する。



図 1 Jadwelry の概要

動作は次のような流れとなる。

1. **脈拍数の計測と送信**：手首の裏側に取り付けられた脈波センサを用いて脈拍数を計測し、マイクロコンピュータ (ATOM Lite) に脈拍数を送信する。
2. **脈拍数からストレス指標を計算**：脈拍数からストレス指標を算出する研究[2]を参考にし、ATOM Lite のプログラムで疲労度の計算をおこなう。
- 3-A. **(ストレス指標が高い場合)LED を点灯**：ストレス指標の平均から基準となる範囲を決定する。ストレス指標が基準となる範囲外である場合に疲労度が高いと ATOM Lite が判定し、LED を点灯する。
- 3-B. **(ストレス指標が高くない場合)LED を消灯**：ストレス指標が基準となる範囲内である場合、ATOM Lite が疲労度は高くないと判定し、LED を消灯する。

実装したアクセサリの種類はフィンガーブレスレットとした。フィンガーブレスレットはリングとブレスレットを繋げたアクセサリである。アクセサリのパーツとして使用できる素材が多く、異なる素材の組み合わせにより、簡単にデザインの種類を増やすことができる。また、脈波センサで脈拍数を計測できる主な場所が指先と手首であり、より直観的に疲労度通知を受け取るには指先に通知を送るのが良いと考えたためフィンガーブレスレット型を採用した。

3.2 プログラム構成

Jadwelry では、LF/HF(1)を用いてストレス指標を計算し、LED 点灯の判定をおこなう。LF は副交感神経と交感神経の両方の活性度を表す低周波成分 (0.04~0.15[Hz]) のパワースペクトルであり、HF は交感神経の活性度を表す高周波成分 (0.15 ~ 0.4[Hz]) のパワースペクトルである。

ストレス指標

$$\frac{LF}{HF} \quad (1)$$

心拍間隔 RRI から LF/HF を求める計算式[10]を参考に、脈拍数を線形補完の式(2)でサンプリングし、離散フーリエ変換の式(3)でパワースペクトルに変換することで LF と HF を算出する。

線形補完

$$y = \frac{(y_1 - y_0)(x - x_0)}{(x_1 - x_0)} + y_0 \quad (2)$$

離散フーリエ変換

$$f(t) = \sum_{x=0}^{N-1} f(x)e^{-i\frac{2\pi tx}{N}} \quad (3)$$

心拍間隔 RRI から LF/HF を求める計算式[10]によると、離散フーリエ変換の式(3)ではプログラム上で計算ができなため、オイラーの公式(4)を用いて離散フーリエ変換を実部 (Re) と虚部 (Im) に分離する(5)。

オイラーの公式

$$e^{i\theta} = \cos \theta + i \sin \theta \quad (4)$$

離散フーリエ変換を実部 (Re) と虚部 (Im) に分離

$$f(t) = \sum_{x=0}^{N-1} f(x) \cos \frac{2\pi tx}{N} + i \sum_{x=0}^{N-1} f(x) \sin \frac{-2\pi tx}{N} \quad (5)$$

その後、周波数(6)と各周波数の振幅(7)を、式を利用して求めることで、パワースペクトルを得られる。

周波数

$$f[t] = \frac{f_s}{N} t \quad (6)$$

各周波数の振幅

$$A[t] = \sqrt{\text{Re}[t]^2 + \text{Im}[t]^2} \quad (7)$$

3.3 使用機器

Jadwelry に使用する機器は脈波センサ、ATOM Lite、ATOM TailBAT、LED、スターリングシルバー合金の甲丸チェーンである。ATOM TailBAT は ATOM Lite 用バッテリーである。先行研究 [1]よりスターリングシルバー合金の甲丸チェーンは導電性があることが示されており、アクセサリの外観を維持したまま機能を実装するため ATOM Lite と LED を繋ぐコードとして採用した。

3.4 使用パーツ

アクセサリ実装に使用するパーツはブレスレット、リング台座、リング装飾である。ブレスレットは脈波センサと ATOM Lite、ATOM TailBAT を腕に巻き付ける部分であり、アクセサリチェーンや紐、布やラバー素材を使用する予定である。リング台座はリング装飾を固定して指にはめる部分であり、サイズ調整が可能なリング台座パーツやワイヤーを使用する予定である。リング装飾は疲労通知に使用する LED をレジン液でコーティングをおこない、リングの装飾に加工したものである。レジンは紫外線で硬化する着色可能な液体であり、型に入れて硬化することで、LED のコーティングが可能な範囲で自由な色や形にすることができる。プロトタイプでは、球体と鉾石型を作成した。

3.5 チェーンの安全性

ATOMLite の電圧は 5V である[11]. 乾燥時の人体の抵抗は内部抵抗約 500Ω, 接触抵抗約 5000Ω である[12].

電圧 (V) ÷ [内部抵抗 (Ω) + 接触抵抗 (Ω)] = 電流 (A) より, 乾燥時の人体に流れる電流は約 0.9mA となる. また, 濡れている状態では接触抵抗が 300Ω となる[13]が, 濡れている状態でも人体に流れる電流は 6.25mA となる. 電流の大きさによる症状[12]から, 乾燥時に流れる電流は人体にとって害がないと言える.

4. プロトタイプ

デバイスが脈波数を計測し, LED 点灯の判定をおこなうことができるか確認するためにプロトタイプを実装した. プロトタイプでは次の 5 つの部分を実装した.

- 脈波センサを用いて脈拍数を計測し, マイクロコンピュータに脈拍数を送信する.
- 脈拍数を 1 分間の心拍数に変換する.
- 変換した心拍数を記録し, 3 回分の心拍数の平均を基準値と比較する心拍数とする.
- 心拍数の基準値を決め, 心拍数が基準値以下の場合には疲労度が高いと判定し, LED を点灯させる.
- 心拍数の基準値を決め, 心拍数が基準値以上の場合には疲労度が低いと判定し, LED を消灯させる.

プロトタイプでは心拍数の基準値は 90 とし, 基準値を下回った場合に疲労度が高いと判定させた.

プロトタイプを用いた検証の結果, 心拍数が 90 以下になった場合に LED を点灯させることができた.

実装したプロトタイプを図 2 プロトタイプの外観. (a)表面. 図 2 と図 3 に示す. スペックは表 1 の通りである.



図 2 プロトタイプの外観. (a)表面.

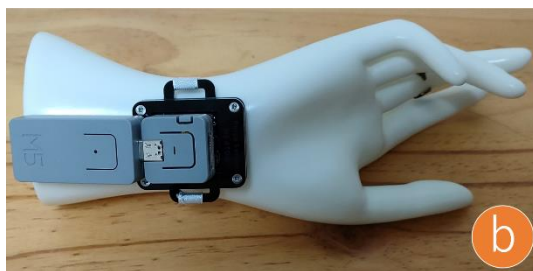


図 3 プロトタイプの外観. (b)裏面.

表 1 プロトタイプのスペック

非装着時の長さ	30cm
装着時の長さ	22cm
重さ	45g
バッテリーの継続時間	1 時間 30 分

5. 評価実験

5.1 実験概要

Jadwelry がアクセサリとして身につけられるデバイスであるか, また, デザインの種類を増やせるものであるか明らかにするため, 評価実験をおこなった. 評価実験は回答者に Jadwelry のプロトタイプを体験してもらい, アンケート用紙に回答する形で実施した.

5.2 アンケート概要

アンケートは Google フォームを利用した Web での入力にて実施した. 回答者数は, 大学内でおこなった実験で 9 名, 大学外でおこなった実験で 4 名であった. そのうち, 男性の回答者数は 6 人, 女性の回答者数は 7 人である. アンケート項目はおおまかに「Jadwelry が日常生活でデバイスとして使用できるか」、「Jadwelry がアクセサリとして使用できるか」、「Jadwelry はデザインの種類を増やせるか」の 3 点に分けて作成した. アンケート項目を表 2 に示す. アンケートの項目は選択式と自由記述の両方がある. 選択式の質問のうち, Jadwelry をアクセサリとして身につけたいかなど, 程度を問うものについては, 5 段階のリッカート尺度とし, それ以外の質問はチェックボックスとした. チェックボックスでの回答は複数選択可能である. 質問項目は原則必須回答で, Q14~Q16 のみ任意回答とした. 必須回答の自由記述項目では, 記入することがない場合は特になしと回答するよう指示した.

5.3 デバイスとしての Jadwelry の評価

Q2「Jadwelry は日常生活で使用できるデバイスと感じましたか?」(1.まったくそう思わない~5.とてもそう思う)の 5 段階評価の平均値は 3.54 だった. 5 段階評価中 3・4 と評価した人が同率で最多の 4 人であり, 全体の約半数である 7 人が 4・5 と回答したやや肯定的な評価となった(図 4).

Q3「Jadwelry のどの点が日常生活で使用できるデバイスと感じましたか?」によると, 「疲労度の通知」「心拍数の測定」の機能が日常生活で使用できるデバイスと感じた回答者が多かった(図 5). Q4「Jadwelry のどの点が日常生活で使用できないデバイスと感じましたか?」によると, 「その他」を除くと「通知がわかりにくい」と感じた回答者が多かった(図 6). 「その他」の内訳としては, 「装着しにくい」「装着した際に手が動かしにくい」「サイズが大きい」とい

ったデバイスの装着面が日常生活で使いづらいという回答があった。Q5「バッテリーの継続時間は何時間以上であれば使いやすいと感じますか？」については「4時間」「5時間」が合計7人と回答が多かった(図7)。

このことから、デバイスとしてのJadwelryは、日常生活で使用できる機能はあるが、光による通知はわかりにくく、バッテリーの継続時間と装着しやすさに課題があるという評価になった。

5.4 アクセサリとしてのJadwelryの評価

Q6「Jadwelryはアクセサリとして身につけたいと感じる5段階評価の平均値は3.38だった。5段階評価中3と評価した人が最多の6人であり、中間的な評価となった(図4)。

Q7「Jadwelryのどの点がアクセサリとして身につけたいと感じましたか？」によると、「オシャレ」「オシャレなデザインにできそう」といったフィンガーブレスレット型のデザインが身につけたい理由と回答した人は6人だった。「特になし」と回答した人は4人で、反対に「チェーンが少し邪魔かもしれない」と回答した回答者もいた。Q8「Jadwelryのどの点がアクセサリとして身につけたくないと感じましたか？」によると、「アクセサリとして身につけるには重い」と回答した人は7人で、Q6でアクセサリとして身につけたいと感じた回答者の中にも身につけるには重いと回答した回答者がいた(図8)。また、Q7で「特になし」「チェーンが少し邪魔かもしれない」と回答した5人の中で「アクセサリとして身につけるには重い」と回答したのは3人であり、ほか2人は「アクセサリとして身につけたくないと感じた点はない」「指輪を身につけない人もいる(その他の回答)」と回答した。この回答者はアクセサリ自体に興味がない可能性がある。

Q8「Jadwelryの見た目が悪いと感じたパーツはどこでしたか？」ではブレスレット部分の見た目が悪いと回答した人が7人と最多だった(図9)。次に回答が多かったのはバッテリーであり、5人だった。

このことから、アクセサリとしてのJadwelryは、オシャレではあるが手首部分の見た目が悪く、身につけるには重いと感ずるためアクセサリとして身につけられるかについてはどちらともいえないという評価となった。

5.5 デザインの種類としてのJadwelryの評価

Q11「Jadwelryはデザインの種類を増やせそうと感じましたか？」(1.まったくそう思わない～5.とてもそう思う)の5段階評価の平均値は4.15だった。5段階評価中4・5と評価した回答者が同率で最多の5人であり、肯定的な評価となった(図4)。

Q12「Jadwelryのどの点がデザインの種類を増やせそうと感じましたか？」によると、特に「リング部分の飾りを様々な色や形にできる」と感じた回答者は11人であり、ほとん

どの回答者がリング部分の飾りがデザインの種類を増やせそうだと感じていた。また、そのうち6名の回答者は「ブレスレット部分に様々な素材を使える」と感じており、リング部分とブレスレット部分のどちらもデザインの種類を増やせると回答していた(図10)。

Q13「Jadwelryのどの点がデザインの種類を増やせなさそうと感じましたか？」では「デザインのバリエーションが少ない」「デザインがシンプル」と感じた回答者は3人であった(図11)。3人の回答者はQ12で「リング部分の飾りを様々な色や形にできる」と回答していたため、リング部分のデザインは増やせると感じるが、そのデザインのバリエーションは少ないあるいはそのデザインはシンプルになると感じたと考えられる。

このことから、デザインの種類としてのJadwelryはデザインの種類を増やせると感じた人が多いが、一部デザインを増やせてもバリエーションが少なくなることやデザインがシンプルになると感じた人もいるという評価となった。

5.6 改善点

Jadwelryの評価実験をおこなう中でいくつか改善点が見つかった。1つはリングやチェーンの接続部分といったパーツの耐久性で、評価実験で付け外しを繰り返す中でリングの一部が割れる、チェーンの接続部分が外れるという破損が起きた。これは、装着手順を変更することや強度の高いパーツに変更することで改善できると考える。もう1つは装着する際にチェーンが絡まって接触するとLEDが点灯しなくなる問題で、着脱時に気をつけてもチェーンが絡まりやすく接触してしまうという課題が残った。

5.7 自由記述

Q14～Q16の自由記述項目では、Jadwelryの改善点や活用場面について質問した。改善点は「チェーンが重なると通知がうまくいなくなる点」「装着しにくい」「重さ、センサとバッテリーの位置が改善できそう」といったデバイスの改善点や「センサやバッテリーの機械の感じがなくなればおしゃれだと思う」といった見た目の改善点が寄せられた。また、「手首用のレースのつけ袖にチェーンを縫い付ければチェーンの接触を改善できるかもしれない」といったチェーンが接触するとLEDが点灯しなくなる問題を改善するアイデアもいただいた。活用場面については具体的なものはなかったが、「ブレスレットの部分の見た目が良くなると、おしゃれで若者も身につけたいと思った」「疲労や心拍を測れるウェアラブルデバイスは今話題になっているので、その選択肢のひとつになるのではないかと考えた」といった好意的な感想が寄せられた。

6. おわりに

本研究では、ヘルスケアをおこないながらアクセサリ

として身につけられるものとして、ヘルスケア機能を搭載したデザインの種類があるアクセサリであるフィンガーブレスレット型疲労通知デバイス Jadwelry (ジェドウェリー) を提案した。今回は特に、Jadwelry がアクセサリとして身につけられるデバイスであるか、Jadwelry はデザインの種類を増やせそうかという 2 点に着目し、評価実験をおこなった。

今後は実勢にデザインのバリエーションを増やしていくとともに、プロトタイプでは実装しなかったストレス指標の計算の実装を進めていきたい。

参考文献

- [1] 福地あゆみ, 塚田浩二, 椎尾一郎, “JewelryCircuit: 汎用パーツを用いた インタラクティブ・アクセサリ,” 情報処理学会シンポジウムシリーズ, 2014.
- [2] “fitbit” <https://www.fitbit.com/> (参照 2023-12-18).
- [3] “JINS MEME” <https://jinsmeme.com/> (参照 2023-12-18).
- [4] “Smart Ring SO+” <https://www.artrip.biz/soplus> (参照 2023-12-18).
- [5] “EVERING” <https://store.evering.jp/> (参照 2023-12-18).
- [6] “Oura Ring” <https://ouraring.com/ja> (参照 2023-12-18).
- [7] “RINGLY” <https://ringly.com/> (参照 2023-12-18).
- [8] 岸野泰恵, 藤原礼征, 田中敏之, 下須賀滋穂, 義久智樹, 塚本昌彦, 板生知子, 大江瑞子, 西尾章治郎, “遠隔制御可能な LED を用いたアクセサリの実現” 情報処理学会研究報告モバイルコンピューティングとユビキタス通信 (MBL), 2004.
- [9] 長谷川清久, 山本愛優美, 谷口英俊, “ウェアラブルセンサの試作とエレメカ設計環境を使った構造検討” エレクトロニクス実装学術講演大会講演論文集, 2022.
- [10] “心電センサを使ってストレスを可視化するヘルスケア IoT を作ろう!”. https://www.analog.com/jp/education/landing-pages/003/iot_lectureship/content_08.html, (参照 2023-12-16).
- [11] “ATOM Lite - スイッチサイエンス”. <https://www.switch-science.com/products/6262>, (参照 2023-12-16).
- [12] “感電のおはなし | 北海道でんき保安協会”. <https://www.hochan.jp/knows/electric/>, (参照 2023-12-16).
- [13] “感電 | 一般財団法人九州電気保安協会”. https://www.kyushu-qdh.jp/public_interest/howto_electlic/shock/, (参照 2023-12-16)

表 2 アンケートの項目

番号	質問	選択肢
Q1	性別を教えてください	男性/女性/回答しない/その他
Q2	Jadwelryは日常生活で使用できるデバイスと感じましたか?	リッカート尺度 1.まったくそう思わない ~ 5.とてもそう思う
Q3	Jadwelryのどの点が日常生活で使用できるデバイスと感じましたか?	チェックボックス (疲労度の通知, 光による体の状態の通知, 心拍数の測定, その他)
Q4	Jadwelryのどの点が日常生活で使用できないデバイスと感じましたか?	チェックボックス (バッテリーの継続時間が短い, 通知がわかりにくい, その他)
Q5	バッテリーの継続時間は何時間以上あれば使いやすいと感じますか?	自由記述
Q6	Jadwelryはアクセサリとして身につけたいと感じましたか?	リッカート尺度 1.まったくそう思わない ~ 5.とてもそう思う
Q7	Jadwelryのどの点がアクセサリとして身につけたいと感じましたか?	自由記述
Q8	Jadwelryのどの点がアクセサリとして身につけたくないと感じましたか?	チェックボックス (見た目が悪くアクセサリと感じない, アクセサリとして身につけるには重い, その他)
Q9	Jadwelryの見た目が悪いと感じたパーツはどこでしたか?	チェックボックス (ブレスレット, リング, チェーン, センサ, バッテリー, その他)
Q10	Jadwelryがどのくらいの重さであればアクセサリとして身につけられると感じましたか?	自由記述
Q11	Jadwelryはデザインの種類を増やせそうだと感じましたか?	リッカート尺度 1.まったくそう思わない ~ 5.とてもそう思う
Q12	Jadwelryのどの点がデザインの種類を増やせそうと感じましたか?	チェックボックス (リング部分の飾りを様々な形や色にできる, ブレスレット部分に様々な素材を使う, その他)
Q13	Jadwelryのどの点がデザインの種類を増やせなさそうと感じましたか?	チェックボックス (デザインのバリエーションが少ない, デザインがシンプル, その他)
Q14	Jadwelryを使用及び身につけて、感想や改善点がありましたらご記入ください	自由記述
Q15	改善後も含み、Jadwelryが活用できると感じた場面がありましたらご記入ください	自由記述
Q16	その他、Jadwelryへの質問がありましたらご記入ください	自由記述

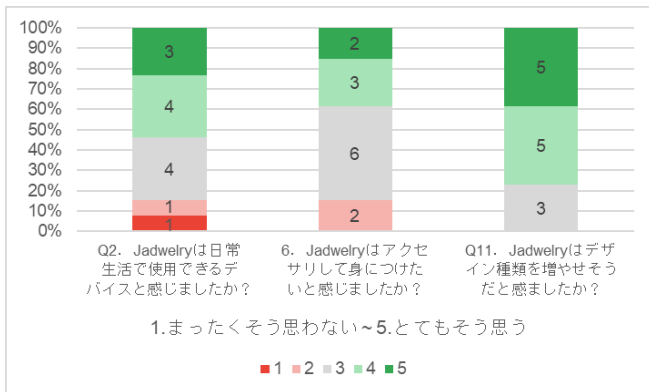


図 4 リッカート尺度のアンケート結果

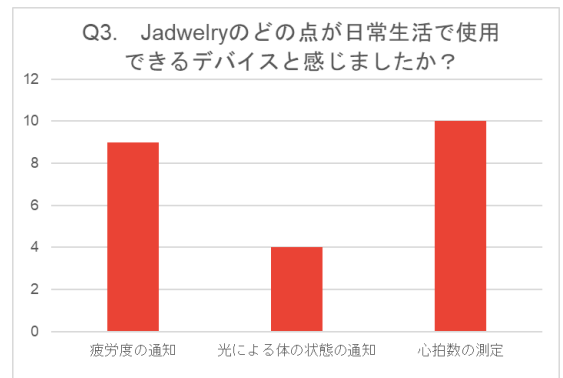


図 5 Q3 のアンケート結果

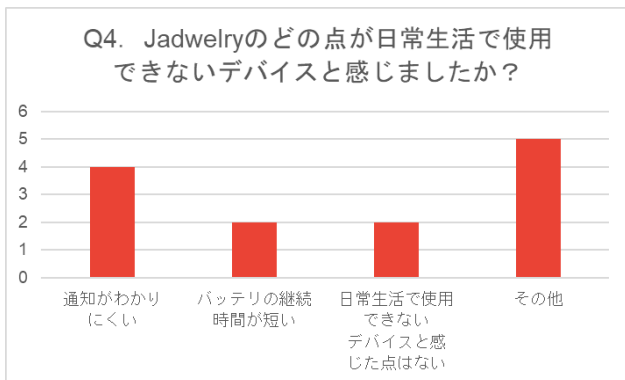


図 6 Q4 のアンケート結果

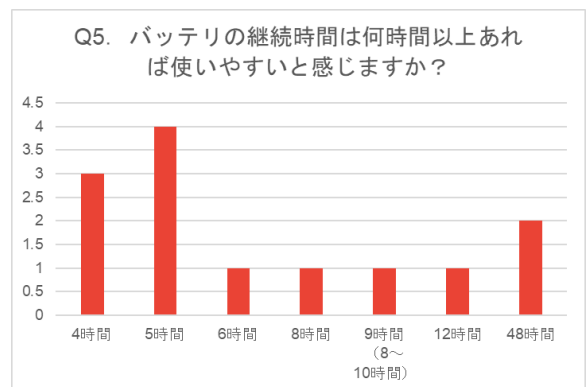


図 7 Q5 のアンケート結果

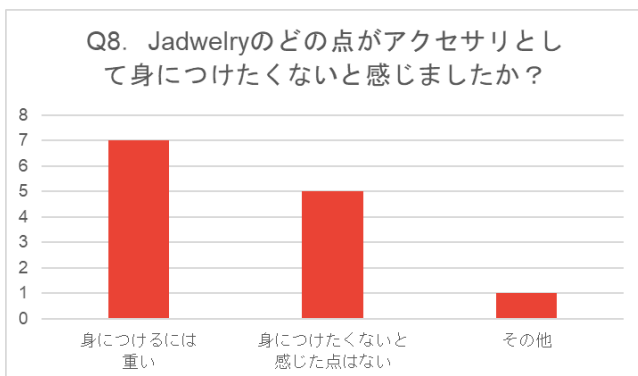


図 8 Q8 のアンケート結果

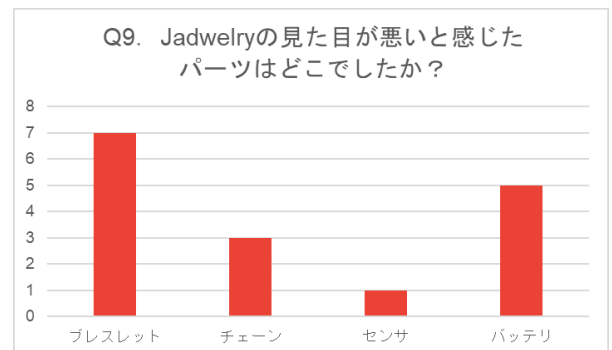


図 9 Q9 のアンケート結果

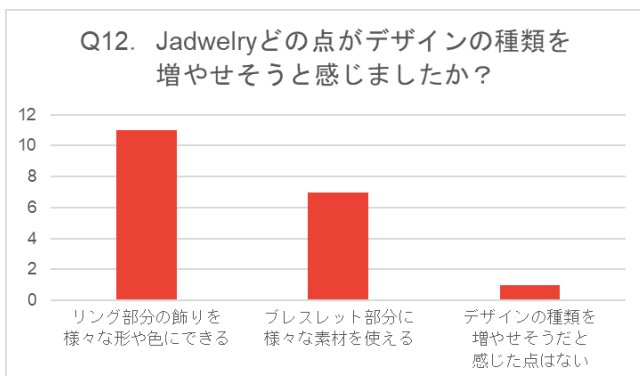


図 10 Q12 のアンケート結果

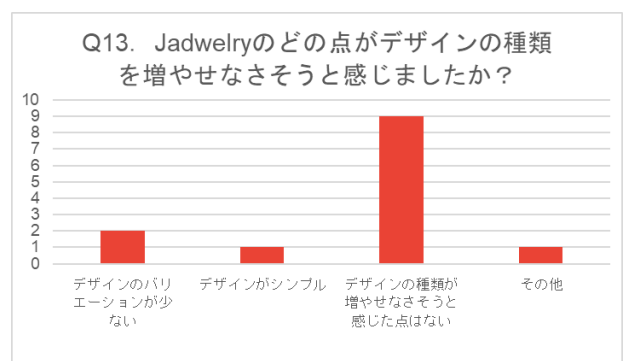


図 11 Q13 のアンケート結果