

# 桿体細胞への情報提示を用いた寝室インタラクション

大島 榛名<sup>1,a)</sup> 的場 やすし<sup>2</sup> 椎尾 一郎<sup>1,2</sup>

**概要：**一般的な HCI は明るい場所で操作する覚醒したユーザが対象である。しかしコンピュータ技術が遍在し、生活のあらゆる場面で利用可能になるに従い、例えば就寝する前の寝室などの、暗い場所において半覚醒状態で機器を操作する機会が増えている。本研究では、暗い寝室における半覚醒ユーザを対象とした、入眠を妨げにくい HCI を提案する。暗所で桿体視細胞が働くことに着目し、これを刺激する緑色天井投影を採用した。エアコン、照明、目覚ましアラーム、防犯カメラ、手書きメモ、玄関鍵を確認・施錠するインタフェースを設計・試作し評価を行った。

## 1. はじめに

一般的なインタラクション研究は、明るい場所における覚醒状態のユーザを対象としている。その一方、暗い場所における半覚醒状態のユーザを対象とした研究は、これまであまり行われていなかった。しかしコンピュータ技術が遍在し、生活のあらゆる場面で利用可能になるに従い、例えば就寝する前の寝室などの、暗い場所において半覚醒状態で機器を操作する機会が増えている。このような環境に適したインタラクションを検討する価値は高いと考えられる。

就寝時の暗い寝室におけるコンピュータ利用の必要性は少なくない。例えば、入眠時や就寝中にふと目が覚めた瞬間に、アラームのかけ忘れや室温が快適でないことが気になり、不安や不快を感じることもある。この他、照明、施錠や防犯カメラなどのセキュリティシステムの確認、入眠時に思いついた翌日の To Do リストの記録など、寝室で制御機器・情報機器を使用したくなる場面は多い。その際には、布団から出て照明を点けて機器操作したり、スマートフォンを手にして画面操作する必要がある。しかしこれらは半覚醒状態のユーザに適した操作ではなく、このような行動により入眠が阻害されると考えた。

そこで本研究では、入眠時のユーザに負担の少ないインタラクションにより、寝室で必要とされる機能を提供するアプリケーションを設計・試作し評価を行った(図1)。本アプリケーションは、低刺激な表示を行い、さらに就寝中のユーザが操作のために大きく姿勢変更する必要がない。

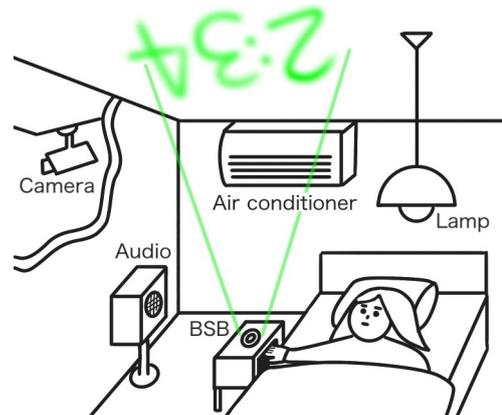


図1 就寝時コンピュータインタラクション。

## 2. 関連研究

入眠時のユーザに、インタラクティブな機器操作手法を提供し得る研究には以下がある。

### 音声インタフェース

今日では、音声認識の技術が飛躍的に向上し、音声アシスタントとしてさまざまなコンピューターシステムおよびモバイルデバイスに広く導入されている。最先端の音声技術には、Google Corp. が作成した GoogleNow (Google Voice Search)、Apple Corp. 製の iPhone 用の音声アシスタント Siri、Alexa (Amazon Co.) を備えたハードウェア Echo などがある。しかし、入眠時には発声が億劫であったり、寝ぼけた状態での不明瞭な発声では正しく認識できない可能性もある。また、寝室が家族等誰かと一緒である場合、音声による入力方法は周囲で寝ている人にとって迷惑になる。これらのことから、音声でのインタフェースは就寝時には適さない場合が多いと考える。

<sup>1</sup> お茶の水女子大学大学院 人間文化創成科学研究科 理学専攻 情報科学コース

<sup>2</sup> お茶の水女子大学 理学部 情報科学科

<sup>a)</sup> oshima.haruna@is.ocha.ac.jp

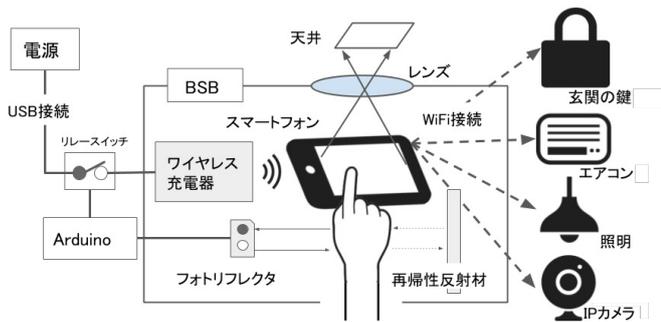


図 2 全体構成.

## ウェアラブルインタフェース

入眠時にウェアラブルなデバイスを身につけ機器を操作する可能性も考えられる。ウェアラブルなデバイスを利用することで、ジェスチャ認識を容易にする研究は数多く実施されている。例えば Brainy hand[1] では、頭部にカメラ、イヤホン、レーザーを取り付け、カメラにて手のジェスチャ認識を行い、イヤホンとレーザーにて音と視覚のフィードバックを行う。手首や手指にデバイスを装着してジェスチャ認識を行う研究も多くある。[2], [3], [4] ユーザが物理センサを装着するこれらの手法は、入眠時のユーザには装置が煩わしく感じられるであろう。また装着負担を軽減するためには、装置がワイヤレスであることが望ましいが、電池充電・交換などのメンテナンス作業が必要になる。

## 寝室インタラクション

寝室におけるインタラクションを対象とした研究がいくつか実施されている。Hands-UP[5] では、通常のコンピュータプロジェクタを用いて寝室天井にコンピュータ画面を投影し、深度カメラ (Kinect) を用いてユーザのジェスチャ認識を行っている。ユーザはベッドに横たわりながら天井の表示を見て、手のジェスチャでインタラクティブに操作を行う。BedRemo[6] は、寝具へ投影するプロジェクタと寝具高さを取得する Kinect により、ユーザは寝た状態のまま布団から手や足を出さずに、寝具を上げ下げする動作により家電等を操作する。このように、深度カメラを用いてジェスチャ認識を行う研究は数多く実施されている。しかし、入眠時にカメラインタフェースを適用すると、肘または肩から先の腕を重力に抗して持ち上げなくてはならず、筋肉の負担が大きい。それに対し本研究では腕を持ち上げずに手首から先の動作だけで操作が可能である。また、カメラ撮影によるプライバシー侵害の懸念がある。これらは本研究と同様に就眠状態に近い姿勢で、最小限のユーザ動作で操作を行う特徴がある。

本研究では、入眠を妨げない低刺激な色、輝度のプロジェクタを試作し投影表示を行った。またスマートフォンのマルチタッチを使用し、設置とキャリブレーションが不

要で確実に操作できる入力方式を採用した。

## 3. 寝室に適した視覚的インタフェース

入眠時のユーザのための寝室における視覚的インタフェースに関して、本研究では以下の点に考慮して設計した。

### 3.1 入眠を妨げない波長光

入眠時に明るい光を浴びると、快適な睡眠が阻害される可能性がある [7]。これは、睡眠の周期を作り出すメラトニンの分泌量が、網膜への光照射により抑制されるためである [8]。メラトニンの分泌量は、光の強度、時間、浴びるタイミングなどに影響される [9]。また、メラトニンの分泌量は、特定の波長に依存して変化する [10]。Hatori ら [11] は、メラトニン分泌に最も影響がある波長として、可視光の青～シアン範囲にある 460～480nm のスペクトル部分を示した。入眠を妨げない視覚的インタフェースではこの波長帯を避け、緑・赤などによる情報提示が望ましいと考えた。

### 3.2 桿体細胞を対象とした表示

暗所では人の視細胞のうち主に桿体細胞が機能する。錐体細胞と比較すると、桿体細胞は色の識別ができないものの、より高感度である。国際照明委員会の暗所視感度関数によると、桿体細胞の感度のピークは約 510nm (緑) であり、長波長光 (赤) や短波長光 (青) への感度は低い。そこで、桿体細胞の感度ピークである波長 510nm 近辺の弱い光を用いることで、暗所における、メラトニン分泌に影響しない低刺激な視覚的情報提示が可能であると考えた。

### 3.3 表示面への距離

人の目は毛様体筋の収縮・弛緩により水晶体の厚さを調整し合焦している。遠くを見るときは毛様体筋が弛緩し、水晶体は薄くなる。それに対して近くを見るときは毛様体筋が収縮し、水晶体は厚くなる [12]。このことから、就眠時には毛様体筋が弛緩することで人の目は遠くに合焦していると考えられる。そこで入眠時の視覚的インタフェースでは、スマートフォンのように顔面近くに情報提示するよりも、天井面・壁面などのより遠くの位置に情報を提示することで、合焦のための負担を低減できると考えた。

以上の考察から、錐体細胞が活性化する通常の生活・作業環境を対象としたディスプレイ装置の RGB 画素のうち、桿体細胞の感度ピークに近い緑色画素のみを利用し、これを人の目から遠い寝室天井に微弱に投影する視覚的インタフェースを試作した。

## 4. ベッドサイドボックス

### 4.1 ハードウェア構成

寝室における機器操作を実現するために開発したシステ

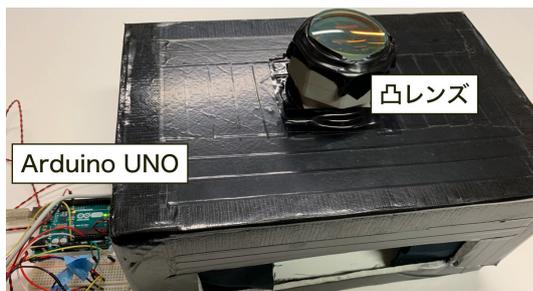


図 3 ベッドサイドボックス (BSB) 外観。

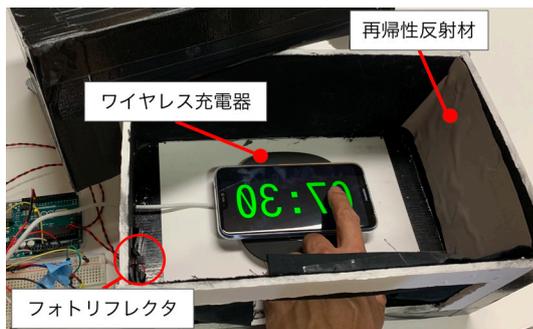


図 4 BSB 内部と操作の様子。

構成を図 2 に示す。ユーザが操作する本体は、ベッドサイドに設置する箱（以下、ベッドサイドボックス、BSB と呼ぶ）として実装した。図 3 に BSB の外観を示す。

内部に置いたスマートフォン画面を天井に投影する目的で、BSB の上面には直径 5cm、焦点距離 18 cm の凸レンズをはめ込んだ。使用したスマートフォン<sup>\*1</sup>の画面サイズが 15.1 cm x 7.69 cm であるので、170 cm 上方の天井には約 128 cm x 65cm の画面が表示される。投影される表示は暗いので、就眠を著しく妨げるものではないものの、暗所において後述のアプリケーションを操作する目的では十分な輝度であった。

BSB 側面には手を差し入れる穴が開いている。就眠中のユーザは仰臥して天井への投影表示を見ながら、BSB に手を差し入れて、スマートフォン画面をタッチ操作することができる。操作の様子を図 4 に示す。

BSB にはワイヤレス充電器が内蔵されており、就眠中にスマートフォンが充電される。就眠中の充電は一般的な利用形態であるため、スマートフォン充電台としても機能することは BSB を導入する利点の一つになると考えている。BSB 内部に置いたスマートフォンは、一定時間後スリープ状態になる。画面は暗転し、投影は消えるので睡眠を妨げることはない。一方で、BSB に手を差し込むだけの動作により画面を復帰させるための仕組みを組み込んだ。図 4 に示すように、BSB 内部の一端にフォトリフレクタ<sup>\*2</sup>を設置し、対面に再起反射材を貼り付けた。フォトリフレクタの出力は Arduino のアナログ入力に接続した。また、

\*1 ASUS, ZenFone Go (ZB551KL)

\*2 ROHM Co, RPR-220



図 5 タッチ座標を左右反転した位置に表示する操作位置ポインタ。

Arduino のデジタル出力にリレーを接続し、ワイヤレス充電器への電力供給を遮断できるようにした。ユーザが BSB に手を差し入れるとフォトリフレクタに戻る反射光が減少する。これを Arduino プログラムで検出し、ワイヤレス充電器への電力供給を 1 秒間だけ停止する。これによりスマートフォンはスリープ状態から復帰し、天井への画面投影を再開する。

BSB 内に置いたスマートフォンからは、次節で説明するアプリケーションを用いて、WiFi 接続で、エアコン、照明、施錠システムなどのスマートホーム機能を利用することを想定している。本研究では、これらの機能を操作するインタフェースの試作に重点を置いたため、外部機器との連携に関する実装は行っていない。

## 4.2 アプリケーション

就寝中の寝室でのコンピュータ利用を想定し、エアコン、照明、目覚ましアラーム、防犯カメラを確認、翌日の To Do リストを記録、玄関の鍵を確認・施錠するためのスマートフォンアプリケーションを開発した。

低照度において機能する桿体細胞の応答波長を考慮して、アプリケーションの表示画面には、スマートフォン画面の RGB 画素のうち緑色画素<sup>\*3</sup>だけを使用した。また低照度の表示を行うために、背景を黒色として、全体の光量を抑えるよう画面設計した。さらに、桿体細胞を利用する環境では中心視野の視力が低下する [13] ことから、表示する文字や図は可能な限り大きくした。

BSB ではスマートフォン画面を凸レンズを用いて投影しているため、スマートフォン画面と投影画面は、上下左右反転する。そこで、スマートフォン画面下部をユーザ頭側に設置し、表示内容を左右反転するとともに、ユーザのタッチ座標も左右反転して処理し、投影面での座標とタッチ座標の方向を合わせた。また BSB の構成では、スマートフォン画面にタッチした指の黒い影も天井に投影される。前述した背景を黒色とした画面デザインはこの影響を軽減する効果もある。

スマートフォンを直視する通常の操作と違い、ユーザは

\*3 分光器 (B&W TEK Inc., Quest<sup>TM</sup> X Compact High Performance CCD Spectrometer) にて測定の結果波長は約 540nm であった。

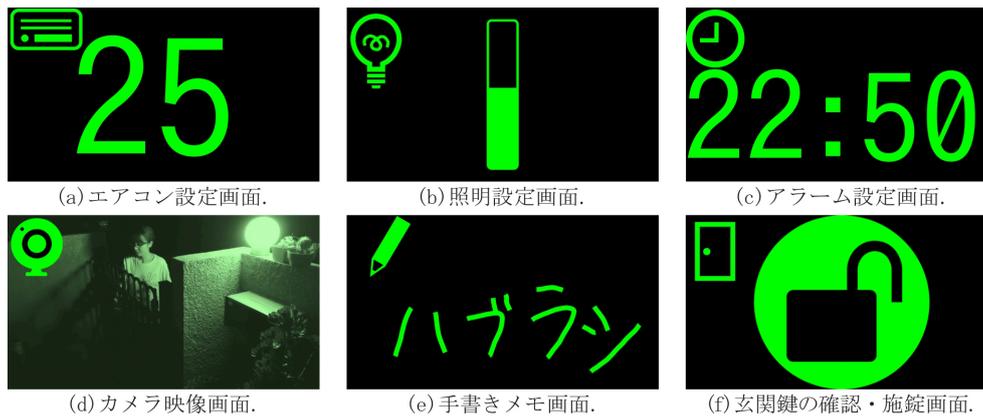


図 6 アプリケーション画面.

タッチ面を見ないため、本システムの構成では画面上のタッチ位置を知ることが困難である。そこで図 5 に示すように、画面タッチ位置を示す円形のポインターを表示した。図 5 でユーザは画面の右部分にタッチしているが、システムは左側の反転位置に現れたポインター座標へのタッチとして処理を行う。投影画面を見ているユーザにとっては、ポインター位置は行った操作に合致した位置にある。

ユーザは、画面上でのスクロール及びタップ操作で一連の操作を実行する。タッチジェスチャにおいては、スクロール、タップの他に、回転、フリック、ピンチなどの手法も考えられる。これらの選択肢を複数試作して評価したところ、シングルタッチ・マルチタッチスクロールが最も容易であった。また、負担の少ないシンプルなメニュー設計のために、1 機能を 1 画面だけで表示した。それぞれの機能の操作方法を以下で説明する。

#### エアコン設定機能

エアコンの設定温度が図 6(a) のように大きく表示される。画面を上下にスクロールすると値が変化する。

#### 照明設定機能

照明の明るさを直感的に提示する目的で、図 6(b) に示すスライダーグラフィックスを使用した。画面を上下にスクロールするとスライダーが動き、スライダーの位置に連動して照明の明るさが変化する。

#### 目覚ましアラーム設定機能

画面に現在の時刻を大きく表示する (図 6(c))。時の数字上を上下にスクロールすると時、分の数字上を上下にスクロールすると分が変化する。

#### 防犯カメラ映像確認機能

外部に設置した IP カメラの映像をグレースケール化し、緑のフィルターをかけ表示する (図 6(d))。

#### 手書きメモ機能

入眠時に思いついた翌日の To Do リストを記録する目的で、画面上に自由に文字や図を書くことができる (図 6(e))。複数行のテキスト入力を可能にするために、画面の右端まで文字を書いた後、画面の左端に

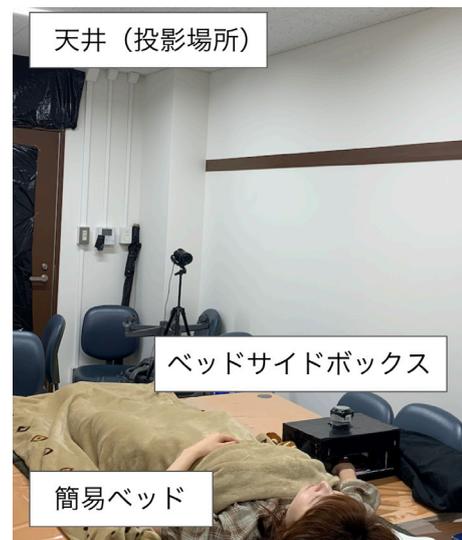


図 7 実験の様子 (明かりを消す前).

戻って書き始める操作を改行の操作とした。改行と画面切り替えの際に書いた情報を保存する。

#### 玄関鍵の確認・施錠機能

画面に鍵のイラストを大きく表示する (図 6(f))。鍵の開閉状態をイラストにて提示する。鍵が開いている場合、画面をダブルタップすると鍵が閉まる。

#### 画面切り替え機能

画面上を 2 本指で左右にスクロールすることで画面が切り替わり、次の機能が表示される。それぞれの機能の操作は全て 1 本指で行うため、それらとの誤操作に繋がらないよう 2 本指での操作を採用した。

## 5. 評価実験

画面を天井に投影する本システムの方式は、画面を直接見て操作する従来方式に比べて、同様の操作性を維持しつつ、ユーザの入眠を妨げにくい操作方法であると考えられる。このことを確認するために、比較実験を 12 人の被験者 (女性 11 人男性 1 人) を対象に行った。被験者らはコンピュータやスマートフォンの操作を日常的に行っている。

表 1 就寝時刻と操作時刻 (AM).

| 被験者 | 1 日目 | 1 日目 | 2 日目 | 2 日目 |
|-----|------|------|------|------|
|     | 就寝時刻 | 操作時刻 | 就寝時刻 | 操作時刻 |
| A   | 1:00 | 5:28 | 0:45 | 4:38 |
| B   | 0:30 | 2:15 | 0:00 | 1:37 |

### 5.1 実験方法

会議室テーブル上にマットレスを敷き、これを簡易ベッドとし、窓を塞ぎ遮光した環境下 (<0.01 lux) で実験を行った (図 7)。それぞれの被験者は、3 分程度の操作方法説明を受けた後、数回の操作練習をした。その後、指定した一連の操作を 2 つの手法で行い、それぞれ操作にかかる時間を計測した。手法 1 ではスマートフォンの画面を直接見て操作、手法 2 では本システムを使用し、天井に情報を投影し操作してもらった。今回は眠りから目覚めた時の利用を想定し、被験者は仰臥位で 3 分間目を閉じた後に、スマートフォンのアプリケーションを稼働した。この時、手は掛け布団の外に出している状態で実験を行った。スマートフォンは暗い状態でも被験者が容易に探せるように定位置 (枕元右側) に置いた。指定した一連の操作を以下に示す。

- (1) アプリケーションを起動する (手法 1 ではスマートフォンを探して起動し、手法 2 では BSB に手を入れて起動する)
- (2) アラーム時刻を 7:30 に設定する (初期値は 22:50)
- (3) カメラ映像を 7 秒見る
- (4) エアコンの温度を 20 に設定する (初期値は 25)
- (5) 照明のスライダーを指定された位置に合わせる
- (6) 「ハンカチもっていく」との手書きメモを書く
- (7) 鍵を閉める

この一連の操作をしたのち、被験者らは手法 2 の操作性についてシステムユーザビリティスケール (SUS: System Usability Scale) を評価した。また、自由記述欄を設けて、意見や感想を聞き取った。

### 5.2 操作性

アプリケーションを起動するまでの平均時間は、手法 1 が 10.1 秒、手法 2 が 4.4 秒と手法 2 の方が約 5.7 秒短い結果となった。本方式によりスマートフォンの置き位置が固定されるので、暗い環境でデバイスを探す手間が省ける効果があると考えられる。次に、指定した一連の操作の平均操作時間は、手法 1 が 49.6 秒、手法 2 が 54.9 秒と手法 1 の方が約 5.3 秒短い結果となった。画面を直接操作する従来手法と比べて、投影画面を間接的に操作する本方式の方が操作時間が長くなるものの、今回の実験において手法 1 と手法 2 の操作時間の差は 10%程度にとどまった。また手法 2 における SUS の評価は平均 79.2 点と高評価であった。本

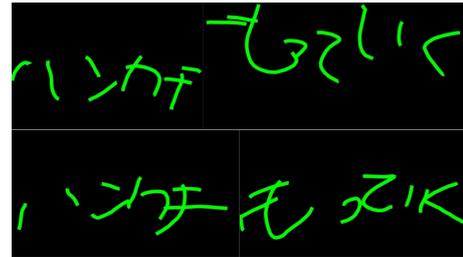


図 8 就眠時ユーザ実験における手書きメモ結果。(上)被験者 A, (下)被験者 B.

システムは、直接スマートフォン画面を見る従来の操作方法と同等程度の使いやすさを提供していると考えられる。

### 5.3 有用性

自由記述の回答で、「天井を見たままだと首を動かさなくていいので楽だった」等の回答があった。また、観察された被験者の画面操作は全員指先及び手首の動きのみで行われており、最低限の姿勢変更で低刺激なインタラクションを実現することができたと考えられる。

## 6. 就眠時ユーザ実験

実際の夜間就眠時におけるユーザ実験を行った。本システムを 2 人の被験者 (女性 2 人) が実際に使用し、半覚醒状態での操作が可能であるか、画面を直接操作する従来手法と比べて入眠を阻害しないかの 2 点に関して評価した。

### 6.1 実験方法

被験者らの自宅の寝室のベッド横に BSB を設置し、深夜から早朝にかけて、明かりを消し窓を塞ぎ遮光した寝室 (<0.01 lux) で実験を行った。被験者らには、普段通りに一旦就寝し、就寝中に一時的に目が覚める事があれば指定した一連の操作を行ってもらうように依頼した。実際には、どの実験日にも被験者は就眠中に一連操作を行った。実験は 2 日間にわたって行い、1 日目にはスマートフォンの画面を直接見て操作 (手法 1)、2 日目には本システムを操作 (手法 2) してもらった。それぞれの被験者の就寝時刻、目が覚めて操作をした時刻を表 1 に示す。指定した一連の操作を以下に示す。

- (1) アプリケーションを起動する
- (2) アラーム時刻を 7:30 に設定する (初期値は 22:50)
- (3) エアコンの温度を 20 に設定する (初期値は 25)
- (4) 「ハンカチもっていく」との手書きメモを書く
- (5) 鍵を閉める

被験者らは 2 日間の実験を終えた翌日に、以下の 3 つの質問に対して手法 1、手法 2、違いはないの 3 択から選択し、その理由を答え評価を行った。

- Q1. 眠りを妨げないという点でどちらの手法が良かったか。
- Q2. まぶしくないという点でどちらの手法が良かったか。

表 2 アンケート結果.

| 被験者 | Q1   | Q2    | Q3    |
|-----|------|-------|-------|
| A   | 手法 1 | 違いはない | 手法 1  |
| B   | 手法 2 | 手法 2  | 違いはない |

Q3. 就眠時はどちらの手法が快適に操作できると思ったか。  
また、自由記述欄を設けて、意見や感想を聞き取った。

## 6.2 操作性

今回は指定した一連の操作の 2 から 5 までの操作時間を計測した。操作の平均時間は、手法 1 が 40.4 秒、手法 2 が 55.3 秒と手法 1 の方が約 14.9 秒短く、差は約 27%であった。実験室ユーザ実験時の差より大きかったものの、スマートフォンを直接見て操作する従来手法と比べて、本方式が著しく操作性に劣る結果では無いと思われる。

また、手法 2 におけるそれぞれの被験者の手書きメモの結果を図 8 に示す。2 人とも翌日読解可能であり、その他の操作も完了できていることから、半覚醒状態でも本システムを問題なく操作できていると考える。

## 6.3 有用性

アンケート結果を表 2 に示す。被験者 A に関しては、Q2 にてどちらも眩しいと感じていないことからわかるように、そもそも普段から暗所でスマートフォンを操作する際に眩しいと感じたことがないとのことだった。そのため、使い慣れている手法 1 の方が操作しやすく眠りを妨げないとのことであった。被験者 B からは、本システムが眠りを妨げない、まぶしくないという評価を得た。就眠時にはどちらの手法が快適に操作できるかという点では、2 つの手法に違いはないという回答であった。暗所でのスマートフォン使用にて画面を眩しいと感じている人にとっては本システムは有効である。本システムは、スマートフォンを直接見て操作する従来手法と比べて操作性を著しく落とすことなく、まぶしさを軽減し半覚醒状態のユーザの眠りを妨げないという点を実現できたと考える。

## 7. まとめと今後の展望

暗い場所における半覚醒状態のユーザを対象としたインタラクションを考案し、寝室での機器操作を実現するシステムの実装を行った。本システムは、ベッドサイドに置いたスマートフォンの画面を天井に投影することで、微弱な緑色光による低刺激な情報提示を行う。評価実験の結果、スマートフォンを直視する従来の操作方法とさほど変わらない操作性を担保しつつ、入眠時のユーザ負担を減らすことができた。本システムは仰臥姿勢を対象としておりそれ以外（うつ伏せ等）は対応していない。今後、画面設計や操作方法を改良し、様々な姿勢に対応していきたい。

また、入眠時にスマートフォンのゲームで遊ぶユーザも多く、睡眠時間が短くなることが問題になっている。本システムをゲームデバイスとして応用し、入眠を促進する（眠くなる）ゲームアプリケーションと組み合わせることで、使用すると眠ってしまう睡眠導入システムの実現が可能であると考えらる。今後開発を行っていきたい。

## 参考文献

- [1] Tamaki, Emi and Miyaki, Takashi and Rekimoto, Jun: Brainy hand: an ear-worn hand gesture interaction device, CHI'09 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, pp.4255-4260 (2009).
- [2] Kim, David and Hilliges, Otmar and Izadi, Shahram and Butler, Alex D and Chen, Jiawen and Oikonomidis, Iason and Olivier, Patrick: Digits: freehand 3D interactions anywhere using a wrist-worn gloveless sensor, Proceedings of the 25th annual ACM symposium on User interface software and technology, pp.167-176 (2012).
- [3] Chan, Liwei and Liang, Rong-Hao and Tsai, Ming-Chang and Cheng, Kai-Yin and Su, Chao-Huai and Chen, Mike Y and Cheng, Wen-Huang and Chen, Bing-Yu: FingerPad: private and subtle interaction using fingertips, Proceedings of the 26th annual ACM symposium on User interface software and technology, pp.255-260 (2013).
- [4] Kienzle, Wolf and Hinckley, Ken: LightRing: always-available 2D input on any surface, Proceedings of the 27th annual ACM symposium on User interface software and technology, pp.157-160 (2014).
- [5] JongHwan,O., Yerhyun,J., Yongseok,C., Chaewoon,H., Hyeyoung,S., Joonhwan,L.: Hands-up: motion recognition using kinect and a ceiling to improve the convenience of human life, CHI'12 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, pp.1655-1660 (2012).
- [6] 飯沢奈緒, 升田枝里, 椎尾一郎: BedRemo:寝室空間における寝具を用いたインタラクションの提案と実装, ヒューマンインターフェースシンポジウム, pp.397-402 (2016).
- [7] Figueiro,M.G.: An Overview of the Effects of Light on Human Circadian Rhythms: Implications for New Light Sources and Lighting Systems Design, Journal of Light & Visual Environment, Vol.37, No.2-3, pp.51-61 (2013).
- [8] Lewy,A.J., Wehr,T.A., Goodwin,F.K., Newsome,D.A., Markey,S.P.: Light suppresses melatonin secretion in humans, Science, Vol.210, No.4475, pp.1267-1269 (1980).
- [9] Wright,H.R., Lack,L.C: Effect of light wavelength on suppression and phase delay of the melatonin rhythm, Nature, Vol.18, No.5, pp.801-808 (2001).
- [10] Cajochen,C., Munch,M., Kobiacka,S., Krauchi,K., Steiner,R., Oelhafen,P., Orgul,S., Wirz-Justice,A.: High sensitivity of human melatonin, alertness, thermoregulation, and heart rate to short wavelength light, The journal of clinical endocrinology & metabolism, Vol.90, No.3, pp.1311-1316 (2005).
- [11] Hatori,M., Panda,S.: The emerging roles of melanopsin in behavioral adaptation to light, Trends in molecular medicine, Vol.16, No.10, pp.435-446 (2010).
- [12] Atchison, David, A.: Accommodation and presbyopia, Ophthalmic and Physiological Optics, Vol.15, No.4, pp.255-272 (1995).
- [13] 石川清: 視覚の機構 (<特集>色と化学), 化学教育, Vol.28, No.1, pp.10-13 (1980).