

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^{*1} 的場 やすし^{*2} 椎尾 一郎^{*1,2}

Bedroom Interaction Using Information Presentation to Rod Cells

Haruna Oshima^{*1}, Yasushi Matoba^{*2}, Itiro Siio^{*1,2}

Abstract – A typical interaction research is intended for awakened users operating in bright places. On the other hand, we propose interaction that does not disturb sleep onset for non-waking users in a dark bedroom. In this study, we focused on the working of rod photoreceptors in the dark and adopted a green ceiling projection to stimulate this. We prototyped applications that control and check air conditioners, lights, alarm, security cameras, etc., and conducted evaluation experiments.

Keywords : darkness, rod cell, bedroom interaction, half awakening, low stimulus interaction

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、環境音楽の調整、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、布団から出て明かり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。

そこで本研究では、入眠を阻害しない最低限の姿勢変更で低刺激な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)。

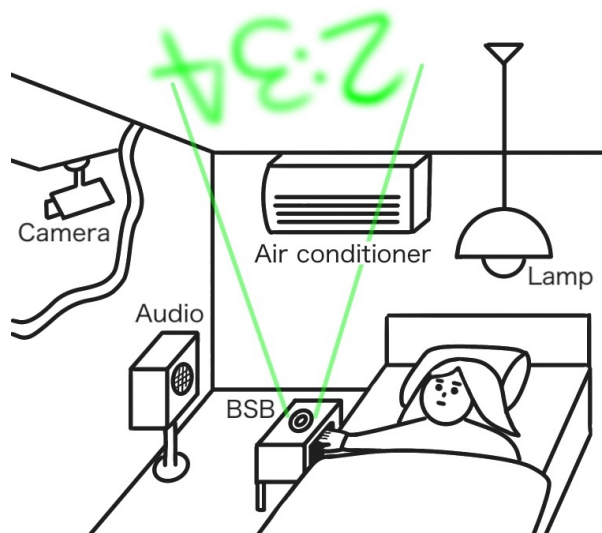


図1 就寝時コンピュータインタラクション。
Fig.1 HCI and applications in bed.

2. 関連研究

寝室におけるインタラクションを対象とした研究には以下がある。Hands-UP^[1]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^[2]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を組み合わせたシステムである。これによりユーザは、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。石井ら^[3]は、就眠中の寝返り動作を記録し、これによりコンピュータゲームをプレイするシステムを開発した。これらは

*1: お茶の水女子大学大学院 人間文化創成科学研究科

*2: お茶の水女子大学 理学部 情報科学科

*1: Graduate School of Humanities and Sciences, Ochanomizu University

*2: Department of Information Science, Faculty of Science, Ochanomizu University

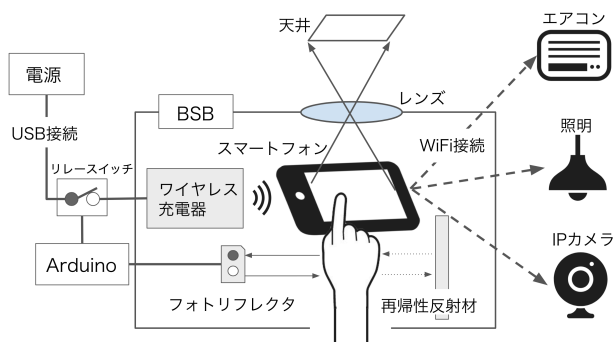


図2 全体構成.
Fig. 2 System Configuration.

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。本研究ではさらに、入眠を妨げない低刺激なプロジェクション表示を行った。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を行った。

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、視覚的な不快感が生じるだけでなく、快適な睡眠が阻害される可能性がある[4-5]。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[6-8]。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]。Ferracioli-Odaら[10]は、メラトニンが入眠潜時を減らしたり、総睡眠時間を増やすことで、全体的な睡眠の質を改善することを実証した。また、近年の研究では、夜間における発光装置の使用が、睡眠や概日時計に悪影響を及ぼすことが明らかにされた[11]。メラトニンの分泌量は、特定の波長に依存して変化することが示されている[12-13]。Hatoriら[14]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(赤色)や短波長光(青色)への感度は低い。そこで、桿体細胞の感度ピーク

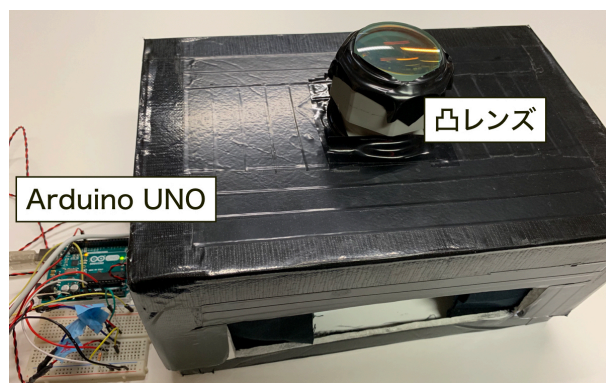


図3 ベッドサイドボックス (BSB) 外観.
Fig. 3 Bed Side Box (BSB) appearance.

である波長500nm近辺の弱い光を用いることで、暗所における、メラトニン分泌を抑制しない低刺激な視覚的情報提示が可能であると考ええる。

3.3 表示面への距離

人の目は毛様体筋の緊張・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緊張(収縮)し、水晶体は厚くなる[15]。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、従来の錐体細胞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の画素のみを利用し、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ム構成を図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として実装した。以下この箱をベッドサイドボックス(BSB)と呼ぶ。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の上面には焦点距離18cmの凸レンズをはめ込んだ。使用したスマートフォン¹⁾の画面サイズが13.5cm x 6.5cmであるので、170cm上方の天井には約114cm x 55cm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

1: HUAWEI, P20 lite

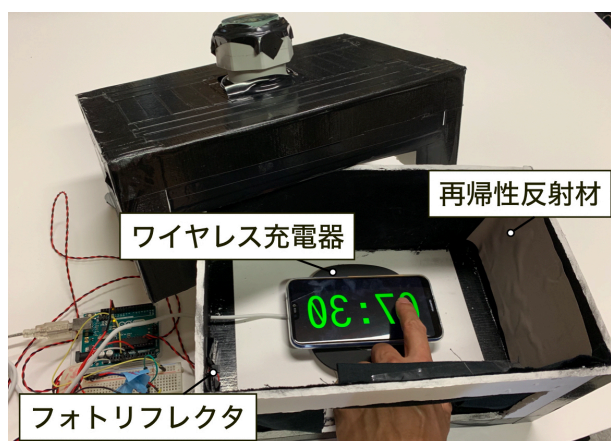


図4 BSB 内部と操作の様子。
Fig. 4 Touch manipulation Inside BSB.

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。これにより、就眠を大きく妨げる姿勢をとる必要なく、仰臥のままでの操作が可能である。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いるので、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、しばらくして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。そこで図4に示すように、BSB 内部の一端にフォトリフレクタ²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 マイクロコンピュータのアナログ入力に接続した。また、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、WiFi 接続で、エアコン、照明、環境音楽再生装置、防犯カメラ、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ーフェー

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わなかった。

ただし防犯カメラ機能に関しては、桿体細胞を対象とした微弱光によるカメラ映像の視認性を確認するために、IP カメラ³を用いた映像取得機能を実装した。

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、防犯カメラを制御・確認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。これらをスマートフォンにインストールしBSB 内で稼働させることで、就寝中ふと目が覚めた瞬間に不安や不快を感じる状況に対応できると考えた。

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、RGB 画素のうち緑色画素だけを使用した。実際に予備実験を行ったところ、暗所での低輝度表示においては、スマートフォンの赤色画素の表示は知覚できなかった。青色画素は知覚可能であったが、メラトニン分泌を抑制する可能性に配慮して使用しないことにした。また低照度の表示を行うために、背景を黒色として、細めのグラフィックスとフォントを採用し、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^[16]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投影しているため、スマートフォン画面と投影画面は、表示中心に対して点対称で反転している。そこで、表示内容を反転するとともに、ユーザのタッチ座標も反転して処理し、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、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。そこで画面タッチ位置の絶対座標情報を利用しないよう設計した。ユーザは、画面上での相対的なスクロールやスワイ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、スワイプの他に、回転、フリック、ピンチなどの手法も考えられる。時刻の設定においては、当初、アナログ表示と回転ジェスチャを組み合わせることで、滑らかで連続的な設定が可能になると考えた。これらの選択肢を複数試作して評価したところ、シンプルなデジタル表示と、上下方向のシングルタッチ・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



図5 エアコン設定画面.
Fig.5 Air conditioner setting screen.



図7 アラーム設定画面.
Fig.7 Alarm setting screen.

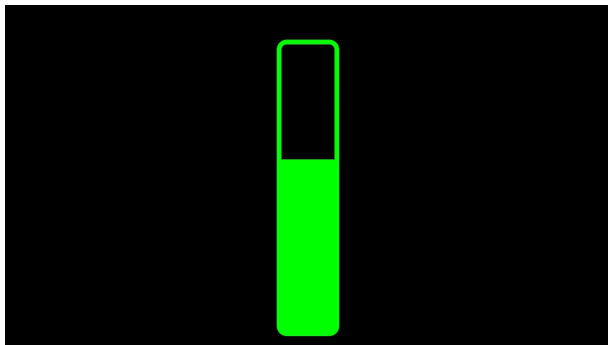


図6 照明設定画面.
Fig.6 Lighting setting screen.



図8 カメラ映像画面.
Fig.8 Camera image screen.

で表示し、機能の切り替えは、画面遷移のユーザインタフェースにおいて一般的な、左右フリックジェスチャを採用した。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5のように大きく表示される。画面を上下に1本指でスクロールすると値が変化する。意図しない値がエアコンに送信されることを防ぐために、画面を5本指でタップすることで表示温度値を送信するよう設計した。

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7)。画面を2本指で上下にスクロールすると時、1本指で上下にスクロールすると分が変化する。画面を5本指でタップするとその時刻にアラームが設定される。

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2値化し、緑

のフィルターをかけ表示する(図8)。試用したところ、暗所での低輝度表示により、静止画、動画の双方の内容を確認することができた。

5. 評価実験

ベッドサイドにスマートフォンを設置し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、ユーザの入眠に負担をかけな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8人の被験者(女性7人男性1人)を対象に行った。被験者は、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。

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で実験を行った(図9)。最初、それぞれの被験者に操作方法の説明を2分から3分程度行った後、数回の操作練習をしてもらった。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。操作自体が単純であることから順番の影響は少ないと考え、被験者全員が手法1、手法2の順

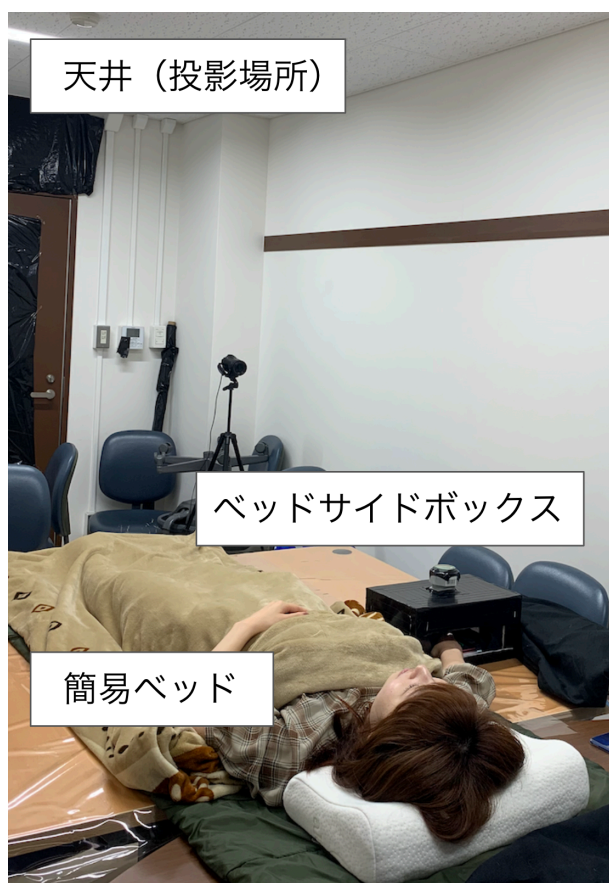


図9 実験の様子（明かりを消す前）.
Fig. 9 State of experiment (Before turning off the light).

番で操作した。今回は眠りからふと目覚めた時の利用を想定し、3分間仰臥位で目を閉じた状態からアプリケーションを稼働させてもらった。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稼働する（手法1ではスマートフォンを探して稼働し、手法2ではBSBに手を入れて稼働する）
2. アラーム時刻を17:20に設定する（初期値は7:30）
3. カメラ映像を5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画面上に表示した線の位置に合わせる

この一連の操作をしたのち、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）の評価と、アンケートによる5段階評価をつけてもらった。また、自由記述欄を設けて、意見や感想をもらった。

Q1. 手法1に比べ、手法2は眠りを妨げないと思いま

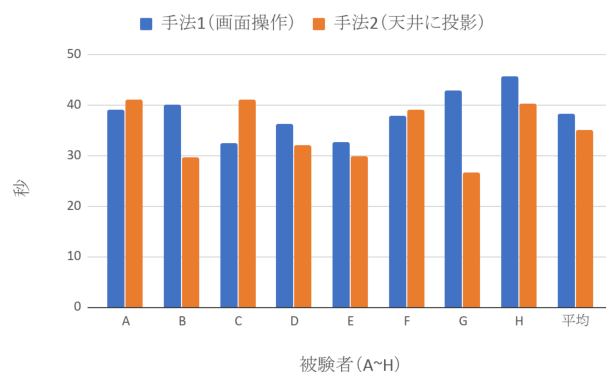


図10 操作時間の比較
Fig. 10 Operation time comparison

	1	2	3	4	5
	そう思わない ← → とても思う				
手法1に比べ、手法2は眠りを妨げないと思いますか	0人	0人	0人	5人	3人
手法1に比べ、手法2は寝ぼけている時にも操作できると思いますか	0人	0人	3人	5人	0人

図11 アンケート結果
Fig. 11 Questionnaire results

すか。

Q2. 手法1に比べ、手法2は寝ぼけている時にも操作できると思いますか。

5.2 操作性

操作時間の比較の結果を図10に示す。手法1の平均操作時間が38.36秒、手法2の平均操作時間が34.99秒と手法2の方が約3.4秒早い結果となった。手法1と手法2の操作時間に有意差は見られなかったが、一部の被験者においては、手法1に比べ手法2の操作時間が大幅に減少する傾向が見られた。また、自由記述の回答で「暗い中スマートフォンを探す手間がなくて良い」との意見があった。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。

また手法2におけるSUSの評価は平均85.6点と高評価であった。本システムは、直接スマートフォン画面を見る従来の操作方法と同等もしくはそれ以上の使いやすさを提供していると考えられる。一方で、自由記述の回答では「指の影が表示に重なり操作しにくい時があった」という意見もあった。これは、投影される指の影の動きが実際の動きと反転するため、違和感を感じることが原因と考えられる。今後は方向修正後の指の動きを表すポインターを表示するなどして、違和感の低減を試みたい。

5.3 有用性

アンケート結果を図 11 に示す。本システムが眠りを妨げない、寝ぼけている時にも操作できるという点で被験者の同意を得ることができた。また自由記述の回答では、「スマートフォンを直接見るより眩しくないので入眠を妨げないと思った」、「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. まとめと今後の課題

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同等の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。今後、画面設計や操作方法を改良するとともに、実際の夜間入眠時における実証実験を行うことで、本システムの有用性を検証したい。

参考文献

- [1] JongHwan,O., Yerhyun,J., Yongseok,C., Chae-woon,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).
- [2] 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).
- [3] 石井優衣, 栗原一貴, 湯村翼: 日常の動作を複数のゲームの操作に再利用する「ながらゲーム」の提案; インタラクション, **Vol.2017**, pp.325-327 (2017).
- [4] 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).
- [5] Lambooi,M., Fortuin,M., Heynderickx,I., IJsselstein,W.: Visual Discomfort and Visual Fatigue of Stereoscopic Displays: A Review; Journal of Imaging Science and Technology, **Vol.53**, No.3, pp.30201-1 (2009).
- [6] 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).
- [7] Garfinkel,D., Laudon,M., Nof,D., Zisapel,N.: Improvement of sleep quality in elderly people by controlled-release melatonin; The Lancet, **Vol.346**, No.8974, pp.541-544 (1995).
- [8] Dubocovich,M.L.: Melatonin is a potent modulator of dopamine release in the retina; Nature, **Vol.306**, No.5945, pp.782 (1983).
- [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] Ferracioli-Oda,E., Qawasmi,A., Bloch,M.H.: Meta-analysis: melatonin for the treatment of primary sleep disorders; PloS one, **Vol.8**, No.5, pp.e63773 (2013).
- [11] Chang,A.M., Aeschbach,D., Duffy,J.F., Czeisler,C.A.: Evening use of light-emitting eReaders negatively affects sleep, circadian timing, and next-morning alertness; Proceedings of the National Academy of Sciences, **Vol.112**, No.4, pp.1232-1237 (2015).
- [12] Cajochen,C., Munch,M., Kriebel,M., 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).
- [13] Lockley,S.W., Brainard,G.C., Czeisler,C.A.: High sensitivity of the human circadian melatonin rhythm to resetting by short wavelength light; The Journal of clinical endocrinology & metabolism, **Vol.88**, No.9, pp.4502-4505 (2003).
- [14] 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).
- [15] Atchison, David, A.: Accommodation and presbyopia; Ophthalmic and Physiological Optics, **Vol.15**, No.4, pp.255-272 (1995).
- [16] 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).