

原著論文

シースルー型スマートグラスに表示した画像観視時の
水晶体調節応答木村 瞭太¹⁾, 遠山 貴大¹⁾, 戸谷 貴洋²⁾, 宮尾 敏明²⁾, 小寫 健仁¹⁾,
石尾 広武³⁾, 森田 一三¹⁾, 木下 史也¹⁾, 山川 達也¹⁾, 宮尾 克¹⁾

1) 名古屋大学, 2) セイコーエプソン株式会社, 3) 福山市立大学

Lens Accommodation Response during the Viewing of Images Displayed on
See-Through Smart GlassesRyota KIMURA¹⁾, Takahiro TOHYAMA¹⁾, Takahiro TOTANI²⁾, Toshiaki MIYAO²⁾,
Takehito KOJIMA¹⁾, Hiromu ISHIO³⁾, Ichizo MORITA¹⁾, Fumiya KINOSHITA¹⁾,
Tatsuya YAMAKAWA¹⁾, Masaru MIYAO¹⁾

1) Nagoya University, 2) Seiko Epson Corporation, 3) Fukuyama City University

Abstract: In recent years, many visual devices have been produced for consumers. The development of see-through smart glasses has attracted much attention. These glasses overlap virtually images by using Augmented Reality (AR) technology. Epson released the BT-2000 see-through smart glasses, which change distance of display by changing convergence. It is not confirmed that changing distance of display allow to change distance of lens accommodation. In this experiment, we measured lens accommodation of subjects viewing images displayed on see-through smart glasses. The results found that lens accommodation moved with the image position for over one hundred people. Therefore, our study verified that correct reaction occurred visual physiologically.

Keywords: see-through, smart glasses, lens accommodation, Augmented Reality

キーワード: シースルー, スマートグラス, 水晶体調節, 拡張現実

1. はじめに

近年, 電子部品の小型化により, 各種センサを搭載した様々な電子機器がモバイル化されている[1]. その中で, 身に付けることを前提としたデバイスは, ウェアラブルデバイスと呼ばれる. 本研究では, 頭部に装着するメガネ型デバイスであるシースルー型スマートグラスに着目した. シースルー型スマートグラスは AR (Augmented Reality) 技術を適用することで, 現実世界の光景に情報を重ねあわせて表示することが可能である[2]. 近年, シースルー型スマートグラスにコンテンツを重畳描画することで, 利用者の作業支援を向上させるといった研究が盛んに行われている. 2014 年, 牧田らはスマートグラスに道路の損害情報などを重畳描画し, その有効性について言及している[3]. また, 2015 年, 巻瀨らはスマートグラスを用いることで, ハンズフリーでの作業支援システムを提案している[4].

このように, スマートグラスを用いた作業支援システムは今後活躍が期待される. 一方, 従来のスマートグラスではコンテンツの表示位置は固定されており, 作業支援においても視距離が変化する手元作業などを想定した場合は, コンテンツの表示位置も手元位置に追随しなければ, 違和感を生じ, 作業に影響を及ぼす可能性がある. そこで, スマートグラス使用時でのコンテンツの奥行き方向での知覚位置を任意に変更することは作業支援に対しても有意義であると考えられる. 奥行き方向での表示位置を変化させる一つの方法として, 輻輳焦点位置の変化がある. 視機能のうち, 近くのものを見る際には, 両眼が内側に向く輻輳運動に連動して, 水晶体の厚みを増加することでピントを合わせる水晶体調節反応が起こる. また, これに付随して, 瞳孔も縮瞳する. これら 3 つの反応は近見反応と呼ばれ, 1 つの反応が起こることにより, 他の反応が誘起される[5]. 水晶体調節反応が起こることで, 輻輳が変化することを調節性輻輳と呼び, 輻輳が変化することで, 水晶体調節反応が起こることを輻輳性調節と呼ぶ[6]. 本研究では, スマートグラスのコンテンツ表示位置を左右方向に移動させることで, 輻輳性調節を引き起こし, スマートグラス使用時でのコンテ

2016 年 1 月 19 日受理. (2016 年 3 月 10-11 日シンポジウム「モバイル16」にて発表)

ツの奥行き方向の認知に及ぼす影響に関して実験を行った。本研究ではシースルー型スマートグラスとして、EPSON MOVERIO Pro BT-2000を使用した。BT-2000は、左右眼用の映像を独立に投影する特徴を持つ。また、各々の映像は、左右方向で中心間距離を変化させることが可能である。そこで本研究では、この2つの特徴を利用した独自のアプリケーションを適用し、中心間距離を変化させることで、輻輳を変化させ、調節応答が追従することを検証した。以下、本実験で使用するスマートグラスであるBT-2000をHMD (Head Mounted Display)と表記する。

2. 方法

2.1 実験方法

本研究では、14歳から88歳の被験者128名(男性:66名, 女性:62名)を対象に実験を行った。一般的に40歳中盤以降に調節機能が衰え始めるとされている[7]。そこで、45歳未満の被験者を若壮年群(58名)、45歳以上を中高年群(70名)として分類した。また、すべての被験者は裸眼もしくは日常で使用するメガネおよびコンタクトレンズを装着した状態で実験を行った。倫理的配慮として、被験者には事前に十分なインフォームド・コンセントを行い、同意を得たうえで実験に参加させた。本研究は名古屋大学情報科学研究科倫理審査委員会の承認を得て実施した。

水晶体調節焦点の測定は、シギヤ精機製オートレフラクトメーターWAM-5500を用いた。本機器の時間分解能は5Hzである。実験で使用するHMDおよびWAM-5500を図1に示す。

本研究では、HMDおよびLCD (Liquid Crystal Display)にコンテンツを表示し、それぞれのコンテンツ観視時の水晶体調節焦点を測定した。両デバイスに表示するコンテンツの位置は、被験者の眼前から1.43 D (0.7 m), 0.8 D (1.25 m), 0.3 D (3.33 m)に設定した。ここでDiopter (D)とは調節力の単位であり、メートル (m)の逆数である。実験で使用したLCDは、東芝製REGZA 55X3 (画面サイズ:幅121.0 cm, 高さ68.0 cm, 解像度:3840x2160), LG製42LW5700 (画面サイズ:幅93.0 cm, 高さ52.3 cm, 解像度:1920x1080), BenQ製G2420HD (画面サイズ:幅53.0 cm, 高さ29.8 cm, 解像度:1920x1080)である。

両デバイスで、各視距離において、コンテンツを10秒間観視させる試行を行ない、一旦被験者の目を休息させ、2回目



図1 左:EPSON MOVERIO Pro BT-2000, 右:WAM-5500

の試行を行った。なお、順序による効果を考慮し、先に測定するデバイスの順番を、被験者ごとに交互に入れ替えた。また、デバイスでの視距離をランダムとした。本実験時での水平照度の値は956 lxであった。コンテンツは黒背景の中央に白十字の画像を使用し、被験者には白十字を注視するように指示した。また、白十字は距離によらず同一視角になるように大きさを変更した。実験風景を図2に示す。

2.2 評価指標

実験により得られた調節値の時系列データは、瞬きなどの要因を除外するため、2回の試行でそれぞれ10秒間の中で分散が最も小さい3秒間の時系列データを抽出し、その中で分散の小さい時系列データを採用した。その後、採用した3秒間の時系列データの平均値を、各視距離の代表値として算出した。このとき、デバイス2条件と視距離3条件の計6条件のうち、1条件でも3秒間の時系列データを抽出できない被験者は除外した。人間はおよそ3秒間に1回ほど自発的に瞬きをしているため[8]、瞬きの影響を考慮し、連続したデータ内に瞬きの入らない3秒間の時系列データを抽出した。

算出した代表値に対し、各年齢群でデバイス (LCD, HMD)と視距離 (1.43 D, 0.8 D, 0.3 D)を因子とした二元配置分散分析を行った。その後、デバイスごとに各視距離で、母平均に差がないことを帰無仮説とする対応のあるt検定を行い、多重比較を行った。また、各デバイスの同視距離において、母平均に差がないことを帰無仮説とする対応のあるt検定を行った。なお、本研究では有意水準を5%以下とした。

3. 結果

両眼開放型であるWAM-5500は、メガネをかけたまま自然な状態で測定することが可能である。しかし、本実験では、シースルー型スマートグラスの映像投影光学系 (ハーフミラー)を避け、斜めからの測定用赤外光を投射する必要がある。そのため、前面開放型で左右20°の計測範囲をもつWAM-5500においても測定範囲外になる被験者が一定数見られた。結果として、若壮年群は15名、中高年群は26名となった。



図2 実験風景

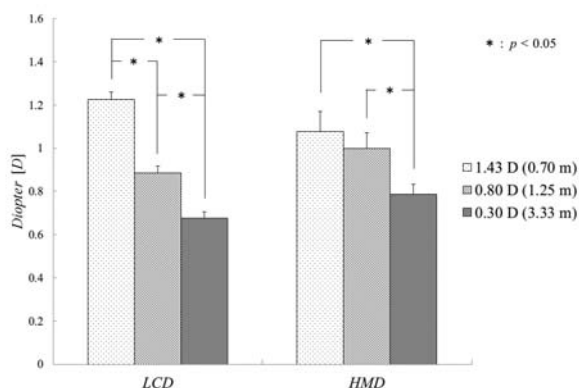


図3 若壮年群の水晶体調節焦点

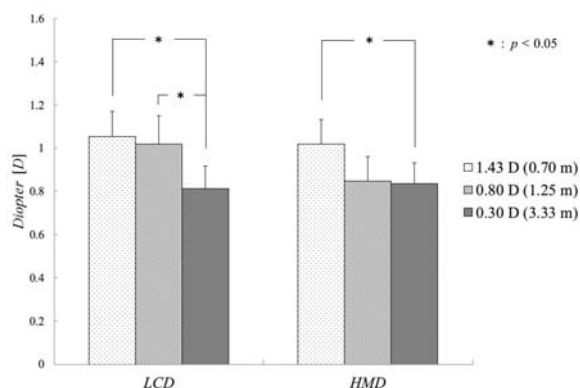


図4 中高年群の水晶体調節焦点

若壮年群と中高年群における、水晶体調節焦点の結果を図3, 4に示す。若壮年群におけるLCDの結果は、コンテンツを0.3 Dに表示した場合、平均値は0.7 D程度となった。コンテンツを0.8 Dに表示した場合、平均値は0.9 D程度となった。コンテンツを1.43 Dに表示した場合、平均値は1.2 D程度となった。また、若壮年群におけるHMDの結果は、コンテンツを0.3 Dに表示した場合、平均値は0.8 D程度となった。コンテンツを0.8 Dに表示した場合、平均値は1.0 D程度となった。コンテンツを1.43 Dに表示した場合、平均値は1.1 D程度となった。

中高年群におけるLCDの結果は、コンテンツを0.3 Dに表示した場合、平均値は0.8 D程度となった。コンテンツを0.8 Dに表示した場合、平均値は1.0 D程度となった。コンテンツを1.43 Dに表示した場合、平均値は1.0 D程度となった。また、中高年群におけるHMDの結果は、コンテンツを0.3 Dに表示した場合、平均値は0.8 D程度となり、コンテンツを0.8 Dに表示した場合、平均値は0.8 D程度となった。コンテンツを1.43 Dに表示した場合、平均値は1.0 D程度となった。

若壮年群の結果に対し、視距離とデバイスを因子とした二元配置分散分析を行った。その結果、視距離を因子とした場合で主効果は有意であった($p < 0.05$)が、デバイスを因子とした場合では主効果は有意でなかった($p > 0.05$)。なお、交互作用は有意でなかった($p > 0.05$)。次に、若壮年群における、LCDの結果に対し、対応のあるt検定を行った。その結果、視距離1.43 Dに比べ0.8 Dは平均値が有意に低下した($p < 0.05$)。視距離0.3 Dでは、1.43 Dに比べ平均値は有意に低下した($p < 0.05$)。視距離0.3 Dでは、0.8 Dに比べ平均値は有意に低下した($p < 0.05$)。次に、HMDの結果に対し、対応のあるt検定を行った。その結果、視距離1.43 Dに比べ0.3 Dは平均値が有意に低下した($p < 0.05$)。視距離0.3 Dでは、0.8 Dと比べ平均値は有意に低下した($p < 0.05$)。

中高年群の結果に対し、視距離とデバイスを因子とした二元配置分散分析を行った。その結果、どちらの因子においても主効果は有意でなかった($p > 0.05$)。なお、交互作用は有意

でなかった($p > 0.05$)。次に、中高年群における、LCDの結果に対し、対応のあるt検定を行った。その結果、視距離1.43 Dに比べ0.3 Dは平均値が有意に低下した($p < 0.05$)。視距離0.3 Dでは、0.8 Dに比べ平均値は有意に低下した($p < 0.05$)。次に、HMDの結果に対し、対応のあるt検定を行った。その結果、視距離1.43 Dに比べ0.3 Dは平均値が有意に低下した($p < 0.05$)。

次に、各デバイスの同視距離において、対応のあるt検定を行った。その結果、LCDとHMDの同視距離においては、すべての視距離で有意差はみられなかった。

4. 考察

本研究ではEPSON MOVERIO Pro BT-2000を使用して、左右方向での中心間距離を変化させることで、HMD使用時においても輻輳運動に連動する調節応答が引き起こされるか実験を行った。その結果、HMD使用時においても輻輳性調節は引き起こされ、奥行き方向に関する認知が変化することが確認された。

水晶体調節焦点の平均値は、理論値に比べ乖離がみられた。これは、被験者の近視傾向や、室内照明により、被写界深度が深くなったことが考えられる。若壮年群に比べ中高年群では、調節能力が低下しており、すべての視距離において水晶体調節焦点の平均値の変動は小さくなった。HMDおよびLCDに表示したコンテンツ観視時の水晶体調節焦点を測定した結果、年齢群に関わらず、HMD使用時においても、視距離1.43 Dと0.3 D間で水晶体調節焦点の平均値には有意差がみられた。このことから、左右眼に表示するコンテンツの中心間距離を変化させると、調節応答が引き起こることが確認された。

若壮年群において二元配置分散分析を行った結果、各デバイスにおいて主効果はみられず、各視距離において主効果がみられた。若壮年群では、十分な調節能力があるため、視距離に応じて調節応答が起こり、水晶体調節焦点は遷移した

ことが考えられる。また、デバイス間で有意差がみられなかったことは、LCDとHMDで異なる視覚生理学的調節応答をしているとはいえないということが確認された。

中高年群において二元配置分散分析を行った結果、各デバイス間および各視距離間で主効果はみられなかった。中高年群において、LCDおよびHMDの結果から、水晶体調節焦点が視距離に応じて変化していることが確認できる。このことから、中高年群においてもHMDに表示したコンテンツを観視した際にも調節応答が正常に起こっていることが確認された。

5. まとめ

近年、モバイル化技術が発達したことにより、様々なウェアラブルデバイスが発表されている。中でも、頭部に装着するタイプのスマートグラスは、AR技術によって現実世界の光景に情報を重ねあわせて表示する、新しい情報提示として注目されている。大森ら、長谷川聡ら、長谷川旭らはヘッドマウントディスプレイに表示した3D映像観視時の水晶体調節焦点を測定している[9-11]。しかし、これらの研究では、シースルー型ではないヘッドマウントディスプレイを使用しているため、AR技術を用いた映像の水晶体調節焦点を測定してはいない。牧田らは、道路の情報をスマートグラスに表示することでの有効性について研究を行っている[3]。また、巻渕らは、スマートグラスを用いたハンズフリーでの作業支援についての研究を行っている[4]。こうした研究によって、スマートグラスを用いることで、作業効率が向上することが期待されている。しかし、従来のスマートグラスでは、映像の表示位置を変更することが不可能であり、手元での作業を想定した場合では、違和感などにより作業効率が低下する可能性がある。そこで本研究では、左右眼用映像を独立に投影しており、輻輳角を変化させることが可能なEPSON MOVERIO Pro BT-2000を使用し、作業効率向上における基礎研究として、水晶体調節焦点の測定を行った。コンテンツの表示位置を変化させることで、視距離に追従して調節応答が起こっていることを検証した。その結果、どの年齢群においても、視距離に追従して調節応答が起こっていることが確認された。したがって、LCDと全く異なる調節応答ではないということが確認された。本研究ではHMDの短時間使用について検証したが、実際の使用状況では、数時間の連続した使用が想定されるため、今後は長時間における視機能の検証することを予定している。

参考文献

- [1] Tsutomu Horikoshi: Wearable devices: current features and future perspective, *Memoirs of Shonan Institute of Technology*, 49(1), 65-73 (2015.3).
- [2] 柴田史久: 応用 1 モバイル AR 位置情報に基づく AR システム, *情報処理* 51(4), 385-391 (2010.4).

- [3] Koji Makita, Keishun Chou, Ryosuke Ichikari, Takashi Okuma, Takeshi Kurata: A fundamental study of an augmented reality system for road maintenance, *IEICE-MVE2014-34* 114(239), 19-24 (2014.10).
- [4] 巻渕有哉, 小林達也, 加藤晴久, 柳原広昌: HMD キャリブレーションとオンサイト学習によるハンズフリー遠隔作業支援 AR システム, *AVM*, 88(2), 1-6 (2015. 2).
- [5] 仁田正雄: 眼科学 改訂第2版, 文光堂 (1988).
- [6] John Semmlow, Diane Heerema: The synkinetic interaction of convergence accommodation and accommodative convergence, *Vision Research*, 16, 1237-1242 (1979).
- [7] 内川恵二, 篠森敬三編: 視覚 I - 視覚系の構造と初期機能-, 朝倉書店 (2007).
- [8] 中野珠実, *BRAIN and NERVE - 神経研究の進歩*, 66(1), 7-14 (2014).
- [9] Masako OMORI, Satoshi HASEGAWA, Tomoyuki WATANABE, Hiroki TAKADA, Masaru MIYAO, Tetsuya ICHIKAWA: Study of lens accommodation in response to 3D images on a HMD, *ITE Technical Report*, 33(16), 53-56 (2009).
- [10] Satoshi Hasegawa, Masako Omori, Tomoyuki Watanabe, Kazuhiro Fujikake, Masaru Miyao: Lens Accommodation to the Stereoscopic Vision on HMD, *Virtual and Mixed Reality, LNCS 5622*, 439-444 (2009).
- [11] Akira HASEGAWA, Satoshi HASEGAWA, Masako OMORI, Hiroki TAKADA, Tomoyuki WATANABE, Masaru MIYAO: Effects on Visibility and Lens Accommodation of Stereoscopic Vision Induced by HMD Parallax Images, *Forma*, 29, 65-70 (2014).

著者紹介



木村 瞭太 (学生会員)

2015 名古屋工業大学工学部情報工学科卒業。同年、名古屋大学大学院情報科学研究科情報システム学専攻博士前期過程入学。立体映像に関する研究に従事。



遠山 貴大 (学生会員)

2012 名古屋大学工学部電気電子・情報工学科入学。ヘッドマウントディスプレイの視認性や立体映像に関する研究に従事。



戸谷 貴洋 (非会員)

セイコーエプソン(株) ビジュアルプロダクツ事業部 HMD 事業推進部 主事、セイコーエプソン入社後、液晶プロジェクターの光学系の設計/開発を担当。2009 年よりシースルーHMD の光学技術開発リーダーとして参画。2011 年の MOVERIO「BT-100」を初め、2014 年の「BT-200」、2015 年の「BT-2000」の開発に従事。



宮尾 敏明 (非会員)

セイコーエプソン(株) ビジュアルプロダクツ事業部 HMD 事業推進部 主任、セイコーエプソン入社後、有機 EL デバイスのアレイ設計/開発を担当。2009 年以降シースルーHMD の導光板製造プロセス開発に従事し、MOVERIO の小型、軽量化に取り組む。



小嶋 健仁 (正会員)

1989 信州大学農学部農芸化学学科卒業。同年 愛知県公立学校教員。2012 名古屋工業大学大学院工学研究科博士前期課程修了。2014 名古屋大学大学院情報科学研究科博士後期過程修了。同年、中部学院大学看護リハビリテーション学部看護学科助教、2015 年 同講師に昇任、現在に至る。立体映像の生体測定、モバイルアプリケーションに関する研究に従事。



石尾 広武 (正会員)

福山市立大学都市経営学部・教授。1995 京都大学大学院理学研究科で博士(理学)号取得。主たる研究は、量子力学の基礎論、カオス理論、計算物理学、そしてヒューマン・コンピュータ・インタラクション。The University of Tennessee, Oak Ridge National Laboratory, Harvard University, Technische Universität Wien, Linköpings Universitet, University of Bristol, Universidad Autónoma de Madrid などで研究に従事。



森田 一三 (非会員)

1992 愛知学院大学歯学部卒業。同年 臨床研修課程(1993 まで)。1997 愛知学院大学大学院歯学研究科修了(博士(歯学))。同年 愛知学院大学歯学部助手(口腔衛生学講座)。1999 同講師。2006 ロンドン大学客員研究員(2007 まで)。2013 愛知学院大学歯学部退職。2014 名古屋大学大学院情報科学研究科博士研究員。立体映像の生体計測、e-paper の可読性について研究に従事。



木下 史也 (非会員)

2012 年 3 月、福井大学工学部知能システム工学科卒業。2014 年 3 月、福井大学大学院工学研究科博士前期課程修了、同年 4 月、名古屋大学大学院情報科学研究科情報システム学専攻博士後期課程に進学、現在に至る。主に胃電図解析に関する研究に従事。



山川 達也 (学生会員)

2014 同志社大学理工学部情報システムデザイン学科卒業。同年、名古屋大学大学院情報科学研究科情報システム学専攻博士前期過程入学。立体映像に関する研究に従事。



宮尾 克 (正会員)

1977 名古屋大学医学部医学科卒業。1982 医学博士。同大学医学部助手・講師・助教授・教授(多元数理科学・情報基盤センター)を経て、2009 情報科学研究科教授、現在に至る。人間工学・公衆衛生学を通じ、立体映像の生体影響、ケータイ・モバイル機器のユーザビリティ、多言語情報システムを研究。