

シースルー型ウェアラブルメガネ装着時の AR 環境における水晶体調節の測定

木村 瞭太^{a)} 戸谷 貴洋^{**} 宮尾 敏明^{**} 小嶋 健仁^{*}

采女 智津江^{*} 木下 史也^{*} 山川 達也^{*} 遠山 貴大^{***} 宮尾 克^{*}

Abstract--- 近年、様々なウェアラブルデバイスが実現され、その活用方法に注目が集まっている。特にシースルー型ウェアラブルメガネは、単に映像を楽しむのみではなく、現場作業員の作業支援に用いる事も可能であると期待されている。本研究では、シースルー型ウェアラブルメガネに表示された映像観視時の、水晶体調節の測定を行なった。本実験は、14 歳から 88 歳の被験者 128 名を対象として実施した。実験の結果、輻輳刺激に誘発され、ウェアラブルメガネに表示された映像に向かって、水晶体調節焦点が遷移することが確かめられた。すなわち、視覚生理学的に正しい反応が起きていることが検証された。

Keywords: ウェアラブルメガネ, 水晶体調節, 立体視, AR

1 はじめに

近年、ディスプレイやセンサの小型化により、様々なウェアラブルデバイスが開発されている [1]。その中で、頭部に装着するタイプのヘッドマウントディスプレイは、アミューズメントや実務作業に用いられるなど、その活用方法に注目が集まっている。

ヘッドマウントディスプレイには、大きく分けて非シースルー型とシースルー型の 2 種類がある。

非シースルー型は、単に 2D 映像を視聴するのみでなく、3D 映像や VR (Virtual Reality) コンテンツに適用することで、臨場感のある体験を可能とする。

シースルー型は、表示した映像を、現実の風景に情報を重ね合わせる AR (Augmented Reality) を適用できる [2]。近年、この技術を用いて、実務作業を支援するシステムも検討されており、活用の方が広がっている [3, 4]。そして、AR を用いた作業支援のためのウェアラブルメガネも開発・発売されている。

セイコーエプソン株式会社は、2015 年に作業支援型業務用ウェアラブルメガネとして、EPSON MOVERIO

Pro BT-2000 を発売した。BT-2000 は、左右眼用の映像を独立に投影する特徴を持つ。この特徴を利用し、左右眼の画像を独立に移動させ、従来のウェアラブルメガネでは変更することのできなかった映像の表示位置 (視距離) を被験者の眼前で変化させることを可能とした。つまり、輻輳 (対象物を注視した際に、両眼球が同時に内側に回旋する眼球の水平運動; いわゆる寄り目) 刺激を与える事で、両眼立体視を実現し、映像の仮想的な表示位置 (視距離) の変更を可能とした。

立体映像を視聴するにあたり、不快感や視覚疲労を伴うことがしばしば問題にされる。その原因の一つとして、輻輳が立体物に合わせられるのに対し、水晶体調節 (眼に入ってくる光を、水晶体の厚みを変化させることで屈折させ、眼球後部の網膜上に結像する機能) が画面位置に固定されることが挙げられている。しかし、塩見らは、立体映像観視時の調節と輻輳は、移動視標に合わせて遷移し、それらの間の不一致はほとんどなかったと述べている [5]。また、長谷川らは、非シースルー型ウェアラブルメガネに表示した立体映像観視時に、視標に追従した水晶体調節反応が見られたことを示した [6]。しかし、現実世界の視対象と、HMD における AR としての 3D 映像の双方を見ることが出来るシースルー型ウェアラブルメガネにおいては、画面に表示された 3D 映像に対して、いかなる水晶体調節になっているか未だ明らかとなっていない。

そこで本研究では、シースルー型ウェアラブルメガネに表示した 3D 映像観視時の水晶体調節焦点を測定し、表示された映像の仮想位置に調節焦点が遷移するか否かを検証した。

a) Correspondence to: Ryota Kimura. E-mail: miyao@nagoya-u.jp

* 名古屋大学大学院情報科学研究科
〒464-8601 名古屋市千種区不老町
Nagoya University, Graduate School of Information Science
Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya, 464-8601 Japan

**セイコーエプソン株式会社
〒399-8285 長野県安曇野市 豊科田沢 6925
Seiko Epson Corporation
6925, Toyoshinatazawa, Azumino-shi, Nagano 399-8285, Japan

***名古屋大学工学部
〒464-8601 名古屋市千種区不老町
Nagoya University School of Engineering
Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya, 464-8601 Japan

2 実験方法

2.1 概要

シースルー型の HMD (Head Mounted Display) に表示した視標観視時の水晶体調節焦点を測定した。また、同被験者が液晶ディスプレイに表示した視標を観視した際の調節焦点も計測した。これは、両者を観視した際の調節応答に差異があるかどうかを比較検証するためである。

2.2 被験者

本研究では、14 歳から 88 歳の被験者 128 名を対象とした。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、もしくは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。

2.3 使用機器

2.3.1 シースルー型ウェアラブルメガネ

本実験では、シースルー型ウェアラブルメガネである EPSON MOVERIO Pro BT-2000 を使用した (図 1)。本デバイスを、以下 HMD と定義する。BT-2000 は、頭部全体で本体の重量を支えるヘッドセット型を採用している。そのため、ハンズフリーで映像を確認しながらの作業が可能である。また、両眼シースルータイプなので作業対象や周囲を確認しながら情報表示が可能である。BT-2000 では、通常 4 m 先に視角にして 64 型相当の



図 1 EPSON MOVERIO Pro BT-2000



図 2 WAM-5500

大画面を表示しているが、本実験では、独自のアプリケーションを利用して、映像の仮想位置を変更している。

2.3.2 WAM-5500

水晶体調節の測定には、シギヤ精機製オートレフラクトメーター WAM-5500 を用いた (図 2)。本機器は、ある程度 (5 度程度) 視線が中心視から周辺にずれても正しい測定を維持することに関して頑健である。時間分解能 5Hz の連続測定により調節の値を取得した。

2.4 実験デザイン

実験風景を図 3 に示す。本研究では、HMD に表示する 3D 映像の視距離も、液晶ディスプレイで実物映像を表示する視距離もいずれも、1.43 D (0.7 m)、0.8 D (1.25 m)、0.3 D (3.33 m) の 3 条件に設定した。Diopter (D) とは調節力の単位であり、メートル (m) の逆数である。HMD においては、各条件の位置に仮想的に表示されるよう、独自のアプリケーションで設定を行なった。

本実験では、10 秒間の調節の測定を、各条件において 2 回ずつ行なった。順序による効果を考慮し、両デバイスの測定順番を、交互に被験者ごとに入れ替えた。

表示画像は、黒背景に視角 1 度の白十字をとした (図 4)。被験者には白十字が中心を注視するよう教示した。実験環境下での水平面照度は、956 lx であった。

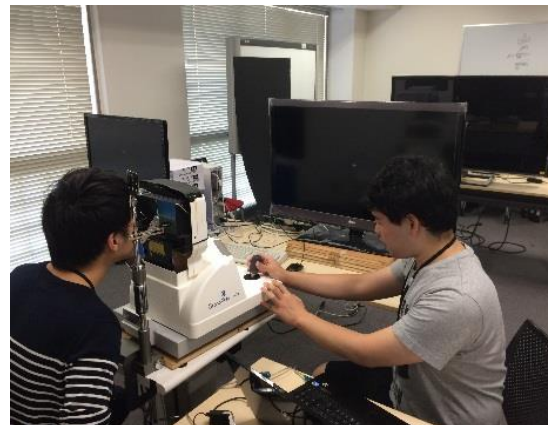


図 3 実験風景 (実物体を注視した実験)

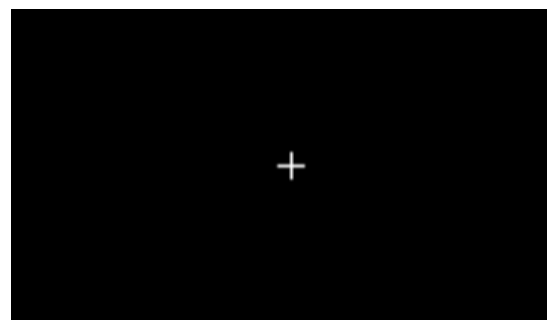


図 4 表示画像

3 結果

3.1 データクレンジング

本研究では、統計的解析を実施する前に、データクレンジングを実施した。

まず、測定より得られた各時系列データに対し、平均 ± 3SD (Standard Deviation) を用いて外れ値を除外した。一試行 10 秒間のうち欠損値のない 3 秒分のデータを取得した。このとき、両デバイス各 3 条件のうち 1 条件でも欠損のあった被験者のデータは除外した。

次に、液晶ディスプレイに表示した実物視標を観視する際の調節焦点が、理論値近傍に安定している被験者のデータを残し、その他の調節が適切でない被験者のデータ除外した。以上の手順により、信頼性のあるデータセット (表 1) を構築した。

3.2 解析手法

本研究では、各試行の調節平均値に対し、視距離 3 レベル (1.43 D, 0.8 D, 0.3 D) とデバイス 2 レベル (液晶ディスプレイ, HMD) を要因とした 2 元配置分散分析および Tukey の多重比較を行なった。また、調節能力は、加齢に伴い減少するため [7]、被験者を若年 (44 歳以下), 中年 (45 - 64 歳), 高年 (65 歳以上) の 3 つのグループに分けた (表 1)。

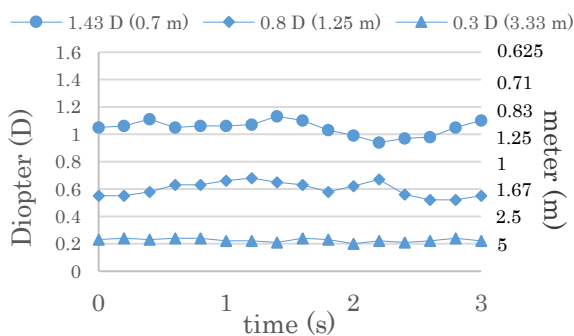


図 5 液晶ディスプレイ観視時の調節 (48 歳, 男性)

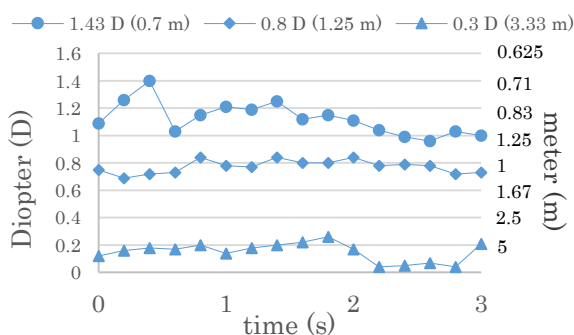


図 6 HMD 観視時の調節 (48 歳, 男性)

3.3 結果

図 5, 6 に液晶ディスプレイ, HMD に表示した視標観視時の調節値の典型例を、それぞれ示す。縦軸は調節値 (左軸: D, 右軸: m), 横軸は時間 (s) を示している。

また、2 元配置分散分析の結果を図 7, および表 2 ~ 4 に示す。縦軸は調節の平均値 (左軸: D, 右軸: m), 横軸は視距離 (D) を示している。

4 考察

図 5, 6 の典型例のように、両デバイスにおいて、視距離の変化に対応して、調節焦点位置に変化がみられた。

自然視状態 (本実験では、液晶ディスプレイを注視する際) は、輻輳焦点位置と調節焦点位置が一致するため、本実験でも調節焦点が液晶ディスプレイの設置位置近傍に遷移している (図 5)。また、HMD 装着時には、輻輳刺激が与えられたことにより、調節が誘発されたため、初期表示位置である 0.25 D (4 m) ではなく、仮想的な表示位置へ遷移していることが検証された (図 6)。すなわち、HMD を用いた際に、輻輳性調節が働いたことが明らかとなった。輻輳性調節とは輻輳刺激により引き起こされる調節反応である。つまり、平行視は遠方視であり、寄り目(輻輳)は近方視という条件反射が存在し、寄り目で調節反応が誘発され、ピントが近方化する視覚生理現象である。

図 7 より、0.3 D (3.33 m) の位置に表示された視標観視時と比較し、1.43 D (0.7 m) に表示された視標観視時の調節が有意に接近していることがわかる。つまり、輻輳性調節により、調節が仮想位置の方へ遷移したのである。また、図 7 や表 2 ~ 4 のとおり、両デバイス間に有

表 1 被験者の人数と年齢

	人数	年齢平均	標準偏差
若年 (44 歳以下)	15	29.9	8.7
中年 (45 - 64 歳)	25	51.2	4.3
高年 (65 歳以上)	3	73.7	2.6

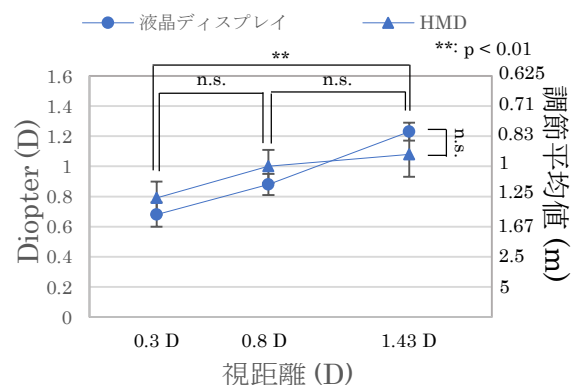


図 7 若年グループにおける 2 元配置分散分析のグラフ (n = 15)

表 2 若年グループにおける 2 元配置分散分析の結果 (n = 15, ×6 条件)

	自由度	平方和	平均平方和	F 値	p 値
デバイス	1	0.014	0.014	0.094	0.760
視距離	2	2.644	1.322	8.639	0.000 **
交互作用	2	0.344	0.172	1.125	0.330
誤差	84	12.855	0.153		

** p < 0.01

表 3 中年グループにおける 2 元配置分散分析の結果 (n = 25, ×6 条件)

	自由度	平方和	平均平方和	F 値	p 値
デバイス	1	2.03	2.032	2.889	0.091
視距離	2	0.96	0.480	0.682	0.507
交互作用	2	0.42	0.208	0.295	0.745
誤差	144	101.27	0.703		

表 4 高年グループにおける 2 元配置分散分析の結果 (n = 3, ×6 条件)

	自由度	平方和	平均平方和	F 値	p 値
デバイス	1	0.182	0.182	0.239	0.634
視距離	2	0.258	0.129	0.169	0.846
交互作用	2	0.055	0.027	0.036	0.965
誤差	12	9.131	0.761		

意差がなく、HMD と液晶ディスプレイのそれぞれの調節反応には顕著な差がないことが示された。

以上より、HMD 装着時には、輻輳性調節が働いていることが明らかとなり、視覚生理学的に正しい反応が起きている。言い換えれば、実物体を見ている状態に近い視機能の働きをしており、不自然な反応ではないことが示唆された。このことは長谷川ら [5] の結果と同様である。

5 まとめ

近年、技術発展により、様々なウェアラブルデバイスが開発されている。その中で、頭部に装着するタイプのヘッドマウントディスプレイは、アミューズメントや実務作業に用いられるなど、その活用方法に注目が集まっている。セイコーエプソン製 BT-2000 は、両眼立体視を実現するシースルー型ウェアラブルメガネである。本研究では、シースルー型ウェアラブルメガネに表示した映像観視時の水晶体調節焦点を測定し、表示された映像の仮想位置に調節焦点が遷移することを検証した。また、同被験者が液晶ディスプレイに表示した視標を注視した際の調節焦点も計測し、両デバイス間の調節応答に差異があるかどうかを比較検証した。若年グループに対する二元配置分散分析 (表 2) の検定の結果、0.3 D (3.33 m) の位置に表示された視標観視時と比較し、1.43 D (0.7 m) に表示された視標観視時の調節が有意に接近したことが検証された。また、デバイス間に有意な差が認められなかった (表 2 ~ 4)。以上より、シースルー

型ウェアラブルメガネを用いた場合にも、実物を注視する条件に類似した調節が見られ視覚生理学的に正しい反応が起きていることが示唆された。

参考文献

- [1] 堀越力: ウェアラブルデバイスの現状と将来, 湘南工科大学紀要, 49(1), 65-73, (2015.3)
- [2] 蔵田武志, 清川清, 大隈隆史 (編): AR 技術の基礎・発展・実践: 科学情報出版, 茨城県 (2015.9)
- [3] 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)
- [4] 山崎賢人, 柴田史久, 木村朝子, 田村秀行: 商品物流における仕分け作業支援への複合現実感技術の応用; 第 18 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 17 号, 196-199 (2013.9)
- [5] Tomoki Shiomi, Keita Uemoto, Takehito Kojima, Shunta Sano, Hiromu Ishio, Hiroki Takada, Masako Omori, Tomoyuki Watanabe, Masaru Miyao: Simultaneous measurement of lens accommodation and convergence in natural and artificial 3D vision, Journal of the SID, (2013.3)
- [6] 長谷川聡, 大森正子, 渡邊智之, 宮尾克: ヘッドマウントディスプレイ上の立体像への水晶体調節反応, シンポジウムモバイル研究論文集 2010, 121-124, (2010)
- [7] R. F. Fisher: Presbyopia and the changes with age in the human crystalline lens, The J. Physiol., No.228, 765-779, (1973)