

シースルー型ウェアラブルメガネを用いた ARによる作業効率向上への効果

遠山 貴大^{* a)} 戸谷 貴洋^{**} 宮尾 敏明^{**} 小嶋 健仁^{***}
木下 史也^{***} 山川 達也^{***} 木村 瞭太^{***} 宮尾 克^{***}

Abstract--- 近年、多くのヘッドマウントディスプレイ (HMD)が発表されており、その特性の一つである拡張現実感 (AR)を利用した研究が注目されている。本研究では、シースルー型ウェアラブルメガネを用いることで、AR 技術が作業効率に及ぼす影響について実験を行った。実験は、14 歳から 88 歳までの 143 名を対象とし、HMD 上に表示したコンテンツの指示に従った探索作業を行った。その際には、デバイスごとに探索時間および正答者率、アンケート調査による主観評価(VAS)を用いて、AR 技術が作業効率に及ぼす影響について検証を行った。その結果、HMD 使用時では紙媒体に比べ全ての指標において、作業効率が大きく向上した($p < 0.01$)。

Keywords: HMD, AR, シースルー, 作業効率, VAS

1 はじめに

現実世界の光景に計算機内で生成した情報を重畳描画する拡張現実感 (Augmented Reality: AR)は、新たな情報提示技術としてさまざまな分野から注目を集めている[1, 2]。従来の AR 技術は、施設一体型の体感システムなどに利用されてきたが、この場合では、AR 技術にとって都合のいい条件でのみ利用されてきた。しかし、今日では、AR 技術は幅広く普及し始め、常に都合のいい条件で利用できるとは限らない場合もある[3]。

近年、Oculus Rift や Google Glass など多くのヘッドマウントディスプレイ (Head Mounted Display: HMD)が発表され、HMD は一般にも認知され始めている。HMD には大きく分けて透過型と非透過型の 2 種類が存在する。非透過型には、頭全体を覆う種類のものも多く、現実世界から視界が完全に遮断される。一方で、透過型のもは、メガネ型が多く、視界を現実世界から切り離すことなく、AR 技術を用いて情報を視界内に描画する

ことが可能である。さらに、AR 技術を作業支援に用いることで、作業者の習熟度に関わらず、正確かつ効率的な作業を実施できる作業支援システムの実現が期待されている[4, 5]。

そこで本研究では、シースルー型ウェアラブルメガネを用いて作業効率の向上に関する実験を行った。被験者には、HMD 上に表示されたコンテンツを基に作業を行うことで、AR 技術が被験者の作業効率に与える影響の検証を行った。

2 実験方法

2.1 被験者

本実験は、14 歳から 88 歳の健常な被験者 143 名(男性:74 名、女性:69 名)を対象に行った。被験者には事前にインフォームドコンセントを行い、同意を得た上で実験を行った。また、本実験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た。なお実験時では、裸眼もしくは日常で使用する眼鏡およびコンタクトレンズを用いて測定を行った。

2.2 使用機器・環境

2.2.1 ウェアラブルメガネ (HMD)

本実験では、ウェアラブルメガネとしてセイコーエプソンの作業支援型業務用ヘッドセットである EPSON MOVERIO Pro BT-2000 を使用した。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

a) Correspondence to: Takahiro Tohyama. E-mail: miyao@nagoya-u.jp

* 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, Japan 464-8601

**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, Japan 464-8601

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、0.7 mにコンテンツを表示した。



図 1 BT-2000 (HMD)

2.2.2 ディスプレイ

実験では、BenQ社の24型フルハイビジョン液晶ディスプレイ(以下、LCDと表記)であるG2420HDを使用した。LCDの解像度は1920×1080である。

2.2.3 コンテンツ

本実験では、被験者に探索作業を行わせるために図2のような9×9方眼の数表コンテンツを使用した。また、探索作業を指示するために図3のような経路ガイドを使用した。本実験で行った探索とは、経路ガイドの矢印の指示に従った経路で数表コンテンツの数字を目で追いかけて、到達する数字を回答するものである。経路ガイドでは、探索開始位置を○、探索終了位置を□で示している。例として、図2図3の組み合わせでは、回答は「57」となるのが正しい。

2.3 実験手順

実験は座位姿勢にて行い、被験者の眼前0.7 mの位置にLCDを設置し、大きさが20 cm四方の専用の数表コンテンツ(図2)を表示した。また、紙媒体(20 cm四方)およびHMD上(視距離0.7 mにおいて20 cm四方相当)には専用の経路ガイド(図3)を表示した。紙媒体を用いた測定では、LCDの右横に紙媒体を設置して探索を行った。HMDを用いた測定では、LCD上の数表コンテンツにHMDに表示された経路ガイドを被験者が重畳して探索を行った(図4)。

実験前に、被験者には5×5の数表コンテンツと経路ガイドを用いて両デバイスでの練習を行い、経路探索の実験手順を十分に習得させた後、9×9の数表コンテンツで実験を行った。この実験では、探索(所要)時間を測定し、探索終了点の数字を回答させた。なお順序による効果を考慮し、紙媒体とHMDを交互に第一課題にした。

0	30	74	97	87	83	92	1	39
81	54	61	85	66	95	15	24	44
64	77	79	73	88	18	53	29	3
60	71	35	46	5	99	75	12	96
19	89	40	63	94	17	98	4	90
34	58	26	57	8	48	82	45	76
78	21	20	68	16	55	67	9	23
14	36	7	38	32	11	86	69	51
22	80	84	59	25	42	13	27	49

図 2 数表コンテンツ

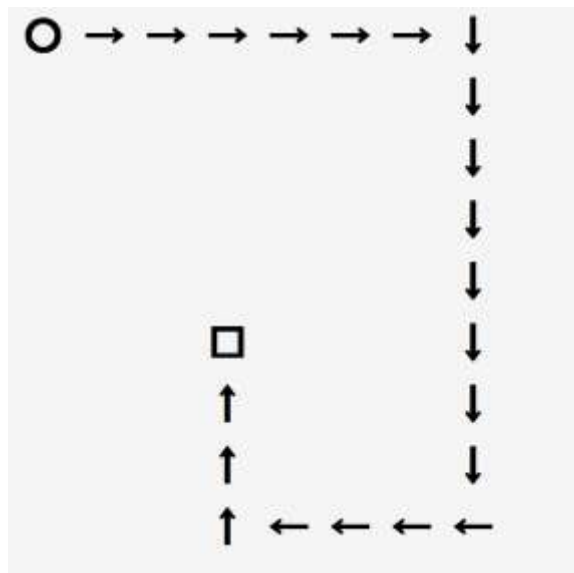


図 3 経路ガイド



図 4 実験風景(被験者は手前)

探索終了後にはデバイスごとに Visual Analog Scale (VAS)を用いて、探索しやすさ、および疲労度についてのアンケート調査を行った。VAS は心理的応答評価の一種で、医学や心理学で利用されている[6, 7]。VAS の値は、線分を 100 等分して 0~100 点に換算することができる。VAS は左に行くほど評価が低く(例えば、非常に探索しにくい)、右に行くほど評価が高い(非常に探索しやすい)ことを示し、被験者が適当な位置に縦線を引くことで評価を行っている。

2.4 評価・分析方法

全被験者についてデバイス別に探索時間の平均値を算出した。また、正答者率については、被験者の回答の正誤の判定を行い、デバイス別に正答を回答した被験者数の全被験者における割合を求めて算出した。VAS による主観評価については、100 点満点に換算し、全被験者のデバイス別平均点を算出した。

紙媒体および HMD を用いた際の探索時間および探索しやすさ、疲労度に対し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 検定を用いて比較した。また、正答者率に対して対応のある McNemar の検定を用いて両デバイスを比較した[8]。

3 結果

全被験者 143 名中 1 名は、スマートグラスに表示された経路ガイドが融像できず、実験が困難だったため測定を中止し、分析から除外した。

探索時間および正答者率の結果を図 5, 6 に示す。紙媒体における探索時間では平均 30.6 秒であったのに対し、HMD 使用時では平均 10.9 程度となった。また、紙媒体における正答者率では 53 %程度であったのに対し、HMD 使用時では 74 %程度となった。次に、紙媒体と HMD を用いた際の探索時間について対応のある t 検定を実施した。その結果、HMD 使用時での探索時間は紙媒体と比較し、有意に($p < 0.01$)短縮した。紙媒体と HMD を用いた際の正答者率に対する検定では、HMD 使用時での正答者率は紙媒体と比較し、有意に(McNemar : $p < 0.01$)向上した。

次に、VAS によるアンケート調査の結果を図 7, 8 に示す。紙媒体における探索しやすさは平均 23 であったのに対し、HMD 使用時では平均 74 となった。紙媒体における疲労度は平均 58 であったのに対し、HMD 使用時での疲労度は 24 となった。次に紙媒体と HMD 使用時での探索しやすさと疲労度について対応のある t 検定を実施した。その結果、HMD 使用時での探索しやすさは紙媒体と比較し、有意に($p < 0.01$)向上した。また、HMD 使用時での疲労度は紙媒体と比較し、有意に($p < 0.01$)減少した。

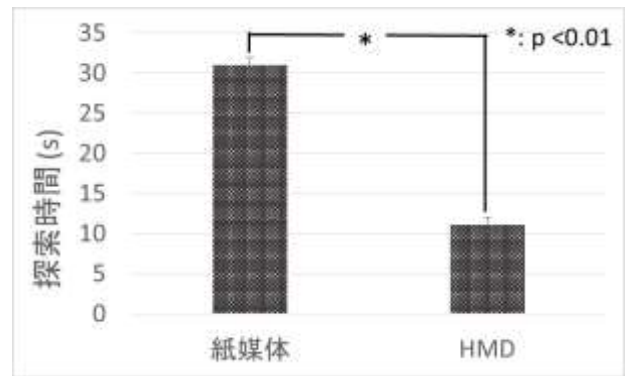


図 5 実験結果 (探索時間)

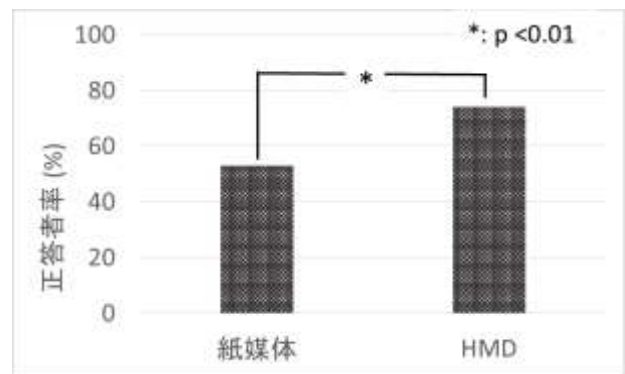


図 6 実験結果 (正答者率)

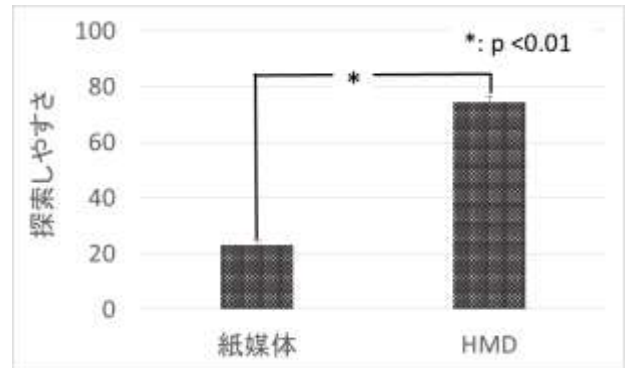


図 7 探索しやすさ (VAS の値が大きいほど探索しやすい)

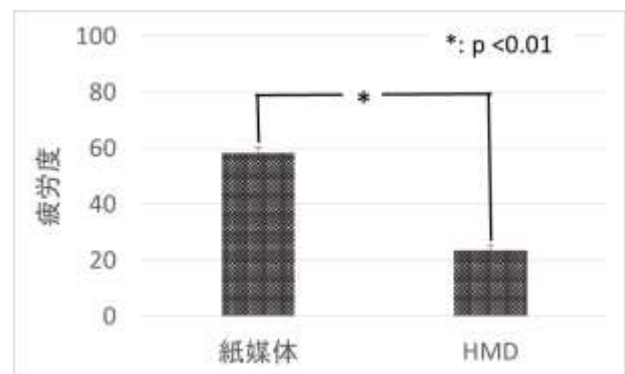


図 8 疲労度 (VAS の値が大きいほど疲労度大)

4 考察

ウェアラブルデバイスを用いた AR 技術に関する研究は、2001 年、Azuma らによって紹介されている[9]。また、AR 技術を用いた探索実験の先行研究として、2010 年、Huckauf らは単眼用スマートグラスを用いることで、作業効率の向上性について検討を行った。しかし、Huckauf らが行った実験では、必ずしも AR 技術を用いることで作業効率が向上する結果ではなかった[10]。この結果から、AR 技術を用いた作業効率の向上には、適切なコンテンツの選択や環境が重要であると考えられる。

本研究では、作業支援デバイスとして、透過型 HMD を使用し、AR 技術を用いた経路探索実験を行った。経路の探索には、9×9 方眼の数表コンテンツを用いた。その結果、紙媒体に比べ HMD 使用時では、探索時間、正答率、探索しやすさ、疲労度のいずれにおいても有意に良好な成績であった。このことから、作業支援の方法のひとつとして AR 技術を用いた今回の作業支援の方法は紙媒体に比べ、顕著に作業効率を向上させたと考えられる。

作業効率が向上した要因として、紙媒体では左右に並べた数表コンテンツと経路ガイドを元に探索を行うため、視線を交互に動かす必要があるが、HMD 使用時では、経路ガイドの矢印を数表コンテンツに重ね合わせるにより、視線を移動することなく、探索作業が容易に可能となった。また、紙媒体では、視線を動かす際に、現在の探索位置を見失うことで、HMD 使用時と比べ正答率が低かったと考えられる。しかし、HMD 使用時でも、数表コンテンツと経路ガイドを正しく重ね合わせることができず、不正解となる被験者が少なからずみられた。これは、探索終了位置が HMD 上にあらかじめ表示されているため、紙媒体に比べ注意力が散漫になり、経路探索を行わず、探索終了位置のみを見て回答してしまったためであると考えられる。そのため、AR 技術を用いて作業を行わせる場合には、十分な練習が必要であり、最終結果だけを求めるのではなく、途中経過などを回答させる工夫が必要である。

次に、HMD に表示された経路ガイドを表示できなかった被験者について考える。この被験者は片目の白内障手術の経験者であったため、左右の目のバランスが悪くなり、両眼視機能が低下したものと考えられる。

探索しやすさ、および疲労度という主観評価に関して、本研究では VAS を用いた。VAS の結果は、パフォーマンスの指標といえる探索時間と関連が強く、VAS の妥当性を示唆している。

5 まとめ

近年、AR 技術を作業支援に用いることで、作業者の習熟度に関わらず、正確かつ効率的な作業の実現を目

指す流れが顕著になっている。本研究では、探索作業において、紙媒体と HMD を使用した際の探索時間および正答率、主観評価を比較した。その結果、AR 技術を用いる方が作業効率を向上させることが示された。さらに、効果的な練習を少しでも追加することによって、一層の作業効率の向上が見込まれた。今後、実際の作業環境を考慮したコンテンツを用いた場合の作業効率の向上の検証を予定している。また、長時間の作業における視機能等の疲労度、安全性の確認を行う予定である。

参考文献

- [1] 柴田 史久: 位置情報に基づく AR システム; 情報処理, 51 (4), 385-391 (2010.4)
- [2] 富士原 匡隆, 新井 イスマイル: 光学透過型 HMD を用いた AR ナビにおける背景色に基づくビューマネジメント; 研究報告ユビキタスコンピューティングシステム (UBI), 2014-UBI-41 (11), 1-5 (2014.3)
- [3] 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(3)-光学シースルー方式を前提とした注視情報提示方の検討-; 研究報告コンピュータビジョンとイメージメディア (CVIM), 2015-CVIM-195 (34), 1-6 (2015-1)
- [4] Tsutomu Horikoshi: Wearable devices: current features and future perspective; *Memoirs of Shonan Institute of Technology*, 49(1), 65-73 (2015.03)
- [5] 巻潤 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; 研究報告オーディオビジュアル複合情報処理 (AVM), 2015-AVM-88 (2), 1-6 (2015.2)
- [6] Stan Grant, Tom Aitvhisson, Esther Henderson, Jim Christie, Sharam Zare, John McMurray, Henry Dargie: A Comparison of the Reproducibility and the Sensitivity to Change of Visual Analogue Scales, Borg Scales, and Likert Scales in Normal Subjects During Submaximal Exercise; *Chest* 116(5), 1208-1217 (1999.11)
- [7] Polly E. Bijur, Wendy Silver, John Gallagher: Reliability of the Visual Analog Scale for Measurement of Acute Pain; *Academic Emergency Medicine*, vol(8), 1153-1157 (2001.12)
- [8] 小椋透, 柳本武美: 信用水準検定の McNemar 検定への適用; 日本計算機統計学会シンポジウム論文集, 27 巻, 233-234 (2013.5)
- [9] Ronald Azuma, Yohan Baillot, Reinhold Behringer, Steven Feiner, Simon Julier, Blair MacIntyre: Recent advances in augmented reality; *Computer Graphics and Applications*, IEEE 21(6), 34-47 (2001)
- [10] Anke Huckauf, Mario H. Urbina, Jens Grubert, et al.: Perceptual Issues in Optical-See-Through Displays; APGV '10 Proceedings of the 7th Symposium on Applied Perception in Graphics and Visualization, 41-48 (2010.7)