

Mixed Reality における実物体に重畳表示した仮想ディスプレイの操作性の調査 Perceived ease of use in mixed reality: A virtual display superimposed on a real object.

桐山 由衣[†] 梶原 祐輔[†]
Yui Kiriya Yusuke Kajiwara

1. はじめに

複合現実感 (Mixed Reality; MR) は主に医療・航空・自動車産業などの分野で盛んに産業応用が進められている。MR とは実世界を見ているユーザの視野内に CG や文字などの仮想物体を重畳表示し、さらに表示した仮想物体を手や音声で操作可能にする技術である。MR を実現するために、Microsoft HoloLens2 に代表される、シースルー型ヘッドマウントディスプレイ(HMD)がよく利用される。一方で、シースルー型 HMD で MR を実現したさい、眼精疲労が発生することが知られている。この原因として考えられるのは、焦点距離と輻輳距離の矛盾 (輻輳調節矛盾) が発生することである。また、仮想物体の奥行きを知覚するさいに手掛かりとなる要素である、物体の相対的大きさの比較と輻輳機能に必要な眼球運動の量が周辺視野によって左右されることである。輻輳とは左右の眼球が独立で動き視線を交わせることで奥行きを知覚する反射の一種である。シースルー型 HMD を使用することで、輻輳距離は眼球から仮想物体までの距離であるのに対して、焦点距離は眼球から仮想物体を表示しているバイザー内のディスプレイ間の距離であるという矛盾が発生してしまう。そしてこの輻輳調整矛盾は画面酔いや眼精疲労を引き起こす原因の一つであると過去研究により知られている。また、仮想物体が他の実物体との距離を空けて表示されている状態であると、奥行き手掛かりを視野内で探索するさいに必要な眼球の運動が多くなり、眼精疲労につながると本研究において仮説を立てた。また従来、MR 空間の操作領域は空中であるが、操作のさいに触感が得られず操作感を欠いている。したがって誤操作が増えユーザの身体的疲労の蓄積が懸念される。これらのことから本研究では、MR 空間における操作領域を実物体に重畳表示することで、眼精疲労の軽減と操作性の向上を図る。

2. 調査内容

MR の導入には HoloLens2 を使用した。HoloLens2 はシースルー型 HMD として Microsoft 社が開発した MR デバイスで、仮想物体の重畳表示の他にユーザの手や頭、瞳の動きなどを追跡することができる。この技術によって、コントローラー等の物体を使用しなくともユーザが視野に映る仮想ディスプレイに触れること等で、入力が可能である。

また物体に仮想ディスプレイを重畳表示することで、奥行き知覚のさいに発生する眼球運動量が削減されるため、眼精疲労が軽減されると考えられる。したがって言い換えると、距離感が掴みやすくなると考えられる。これらのことから本研究では空間表示した場合と仮想ディスプレイを物体に重畳表示した場合を比較することで、上記の仮説を検証した。

[†] サステナブルシステム科学研究科生産システム専攻

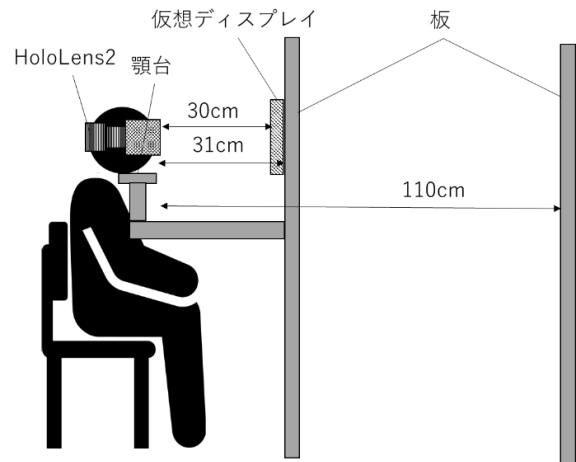


図 1 実験条件

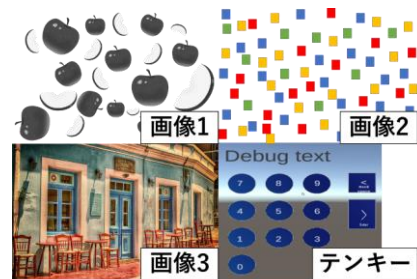


図 2 実験に使用した画像とテンキー

3. 評価実験

20~22 歳の 8 人を対象に実験を行った。ディスプレイは、顎台にて頭の位置を固定した被験者から前方 30cm に固定表示し、実物体 (背景を緑色にした板) の位置を被験者から前方 110cm の場合 (ケース 1) と、31cm の場合 (ケース 2) とで 2 日間に分け実験を行った (図 1)。これは仮想ディスプレイが空中に表示されている状況と、物体に重畳表示されている状況を簡易的に再現した条件である。実験に使用した仮想ディスプレイには画像 3 種と 1900 字程度の文章、また数字を入力することのできるボタン列 (テンキー) の機能を搭載した。画像 3 種と 1900 字程度の文章は眼精疲労を意図的に起こさせるために、用意した。画像 3 種は画像に対しては実験者から指示を出し、被験者に画像を観察させ、その後、画像の内容について回答させた。文章は音読させた。数値入力課題は操作性を検証するために行った。誤操作を促すため、数値入力課題は指示した文字列を 5 回続けて入力させた。被験者には実験前後や途中でシミュレータ酔いアンケート (Simulator Sickness Questionnaire; SSQ) や操作性についてのアンケートやインタビューを行った。この SSQ では氏家ら [1] が眼精疲労やそれに起因する不快感の自覚評価について因子分析し有効

性が示された 5 因子の項目について、5 段階評価する方式を採用した。また hololens2 で表示している映像を保存した。この映像を確認し、テンキーの操作ミスを集計した。図 2 に実験に使用した仮想ディスプレイに表示された画像とテンキーを示す。

4. 解析方法

SSQ において、5 段階評価で回答された値を「SSQ 評価値」、実験前に実施して取得した SSQ 評価値を「初期値」と定義する。実験後に実施した SSQ 評価値から、この初期値を差し引いた値を、評価に用いる。またこの値をケース 1 とケース 2 にて取得し、その差分 (差分 SSQ 評価値) の平均値にて眼精疲労が軽減されたかを示す。

操作性においては、数値入力課題にて集計した誤操作数を総操作数で割った誤操作率を、操作性の評価に用いる。また、映像の分析により、どのような誤操作が発生したかを分析するために、誤操作の種類を「押し間違い」と「押し損ない」の 2 種に大別した。押し間違いとは、誤って意図したボタンとは別のボタンを押してしまった場合を指し、押し損ないとは、押そうとしたボタンに対して指の位置がずれているために入力がされなかった場合を指す。この押し損ないにおける指のズレ方向の発生回数について分析を行った。ボタンは地面に鉛直方向を y 軸とする左手座標系で表される。また、操作性に関するアンケートの評価値の比較を両ケースの差分を改善度として比較を行った。

5. 実験結果

眼精疲労に関して、解析した差分 SSQ 評価値を表 1 にて示す。この差分 SSQ 評価値はケース 1 のほうが各因子における点数が高ければ正、低ければ負、等しければ 0 の値をとる。また全因子の差分 SSQ 評価値の平均値は 1.13、中央値と最頻値は共に 0 であった。したがって平均値 1.13 を基準として、平均値以下であれば、効果がないとして解析した。表 1 より、第 1 因子の眼精疲労において、ケース 1 のほうがケース 2 に比べ、画像探索が +3.75、文章音読が +5.25、数値入力が +5.13 であった。また第 1 因子において、文章音読課題が差分 SSQ 評価値の変化が最も大きかった。

次に操作性に関して、数値入力課題の平均誤操作率は、ケース 1 とケース 2 を比較したところ、ケース 2 において約 11.3% 削減された。また、総誤操作数の平均は、ケース 1 では 16.0 回、ケース 2 では 6.8 回であった。また、誤操作の種類における誤操作の発生割合を両ケースにて比較を行った (表 2)。押し間違い平均回数はケース 1 で 0.63 回、ケース 2 で 2.7 回であった。また押し損ないではケース 1 で 16.1 回、ケース 2 で 6.3 回であった。表 2 より全体として誤操作の約 9 割が押し損ないだったことがわかる。また、この押し損ないにおいて、ケース 2 では x 軸方向および y 軸方向のズレは共に 10% 以上削減されているが、z 軸方向のズレは増大したことが分かる。

操作性に関するアンケートでは、表 3 に示される評価値が得られた。この評価値は各条件において項目ごとに全被験者の回答した評価値を足し合わせた値である。またケース 1 からケース 2 を引いた値を改善度として定義する。改善度が正の項目は、ケース 1 に比べて、ケース 2 の操作性が向上したことを示す。表 3 よりケース 2 では、首の疲労や操作の快適さの項目が特に改善されたことが分かる。

またインタビューの内容より「仮想ディスプレイの表示位置と実物体に近い方が距離感をつかみやすい」や、「物体重畳された仮想ディスプレイには操作感覚があり、快適だった」という意見が多かった。

これらのことから、眼精疲労はケース 1 と比較してケース 2 において軽減されていることが判明した。また操作性ではケース 2 において、誤操作発生率が 10% 以上削減されたことや、操作の快適さに関するアンケート結果、インタビューの内容より、操作性は向上したと判断することができる。

6. おわりに

本実験により仮想ディスプレイを実物体に重畳表示することによって操作性が向上したと結論づけられる。また実験に使用した機材の関係で取ることが叶わなかったが、眼精疲労度を定量的に測ることのできるフリッカー値や、被験者が実際どこを凝視しているかが分かる視線追跡、またボタンを押し損ねたさいにボタンの座標から指がどれほど離れているか測定する機構があれば、シースルー型 HMD を使用した MR において発生する眼精疲労や誤操作の種類やその要因に関して、より詳しく考察することが可能であると考えられる。

表 1. 差分 SSQ 評価値の平均値の比較

比較	課題		
	画像探索	文章音読	数値入力 (実験後)
全体	4.75	6.75	5.50
第1因子: 眼精疲労	3.75	5.25	5.13
第2因子: 全般的な不快感	0.375	0.750	0.625
第3因子: 焦点の合わせづらさ	0.250	0.500	0.500
第4因子: 頭痛	0.625	0.875	0.125
第5因子: 眠気	-0.250	-0.625	-0.875

表 2. 数値入力課題における誤操作の詳細分析

ケース	押し間違い 発生割合	押し損ない発生割合			計
		x方向ズレ	y方向ズレ	z方向ズレ	
1	2.0%	52.8%	37.9%	7.3%	98.0%
2	9.3%	39.9%	21.6%	29.2%	90.7%
改善度	-7.4%	12.9%	16.3%	-21.9%	7.4%

表 3. 操作性アンケート結果

		ケース1	ケース2	改善度
身体的疲労	腕が重い	14	13	1
	肩が凝る	21	18	3
	首が疲れる	21	16	5
操作性	操作が快適で無い	24	16	8
	操作ミスがあった	22	20	2
UI評価	表示が煩わしい	12	16	-4

参考文献

- [1] 氏家 弘裕, 渡邊 洋, “立体映像における視覚疲労の自覚評価についての分析”, 映像情報メディア学会技術報告, Vol.41, No.8 (2017).