場面・用途に応じた仮想オブジェクト提示による歩行誘導システム

櫻木大和[1]　磯山直也[2]　寺田 努[1]　塚本昌彦[1]

概要：通行人の歩行誘導を行う際に，拡張現実感（AR: Augmented Reality）を用いて視覚情報を表示することで，場所や時間帯，あるいは人によって誘導の目的が変わる場合において，個人に合わせた誘導が可能となる．しかし，AR 表示によって景観を損ねないか，周囲が見えづらくなることでユーザが不安を感じないかなどを考慮する必要があり，用途に応じて適切な AR 表示を行うことが重要である．そこで本研究では，屋外での片側通行を促す誘導を行う場面を想定し，4 種類の AR 表示と 1 種類の実物の看板を配置した際の様子について調査することで，用途に合わせた適切な表示を検討した．結果として，AR 表示を行う際に空間に溶け込んだ表示を行うことで歩きづらさや不快感が少ない誘導を行えることがわかった．

1. はじめに

交通整理の場面などにおいて歩行誘導を行う際，看板を用いた誘導が一般的である．しかし，環境によっては設置できなかったり，全員に同じ表示を見せるため誘導の対象ではない人に対しても同じ誘導をしてしまうといった問題がある．そこで，拡張現実感 (AR: Augmented Reality) を用いてユーザを誘導する視覚情報を提示することで，これらの問題を解決できると考えた．AR 環境では実在する風景にバーチャルの視覚効果を重ねて表示することで，目の前にある世界を仮想的に拡張できる．AR 表示を用いることにより場所や時間帯，あるいは人によって誘導の目的が変わる場合において，個人に合わせた提示が可能である．実世界にバーチャルの視覚効果を重ねるので，実世界では看板の設置が難しい危険な場所や立地であっても，AR を用いてバーチャルなオブジェクトを設置できる．

このように AR 表示による誘導には利点があるが，表示によっては景観を損ねたり，周囲が見えづらくなることでユーザが不安を感じる可能性などがある．走ることが好ましくない廊下や左側通行による交通整理を求める横断歩道など，従うことが好ましい場面での誘導には，空間に溶け込んだ不快感の少ない表示が適切であると考えられる．一方，非常口への案内や危険な場所への立入禁止など，必ず従うことが求められる場面では，空間に溶け込んでいない目立つ表示が適切であると考えられる．このように，場面や用途に応じて適切な AR 表示を行うことが重要である．

そこで本研究では，特定の誘導を行う AR 表示を行う際に，どのような提示が人にどのような影響を与えるのかを調査することで，誘導の場面・用途に応じてどのような AR 表示が適切かを明らかにすることを目的とする．本稿では，屋外での片側通行を促す誘導を行う場面を想定し，4 種類の AR 表示，1 種類の実物の看板を配置した際の歩行の様子について調査する．

本稿は以下のように構成される．2 章で関連研究を紹介し，3 章では使用デバイスについて述べる．4 章では評価実験と考察を行い，最後に，5 章で本稿のまとめと今後の課題を述べる．

2. 関連研究

本章ではバーチャルのオブジェクトの特性を調査した研究について述べる．これまでに調査されているものには，仮想現実感 (VR: Virtual Reality) 空間上での仮想オブジェクトの特性を調査したものと，AR 表示の特性を調査したものがある．

2.1 VR 空間上でのオブジェクトの特性

Peillard らは正面に配置された仮想オブジェクトよりも周辺に配置された仮想オブジェクトの方が遠くに見え，正面から離れるほどその影響が大きくなることを示した [1]．Yang らは箸型のデバイスを使用して VR 空間の仮想オブジェクトを把持する際に，実際の箸の動きは同じであっても VR 空間と実空間との間の位置差が-1.48〜1.95cm まで

[1] 神戸大学大学院工学研究科
Graduate School of Engineering, Kobe University
[2] 奈良先端科学技術大学院大学
Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology

© 2019 Information Processing Society of Japan

表 1　HoloLens の仕様

OS	Windows10
ストレージ	64 [GB]
メモリ	2 [GB]
重量	579 [g]
ディスプレイのアスペクト比	16:9
解像度	1280 × 720 [dot]
フレームレート	60 [fps]
視野角	35 [度] (非公式)

図 1　HoloLens の外観

であれば，様々な大きさのモノを把持している感覚を違和感なく再現できることを示した [2]．Teng らは PE シートを膨らましたものを手のひら全体で把持した時に，VR 空間のオブジェクトが実際のサイズよりも約 30%の大きくても許容できるが，実際のサイズより小さいオブジェクトは許容しづらいことを示した [3]．

2.2　AR 表示の特性

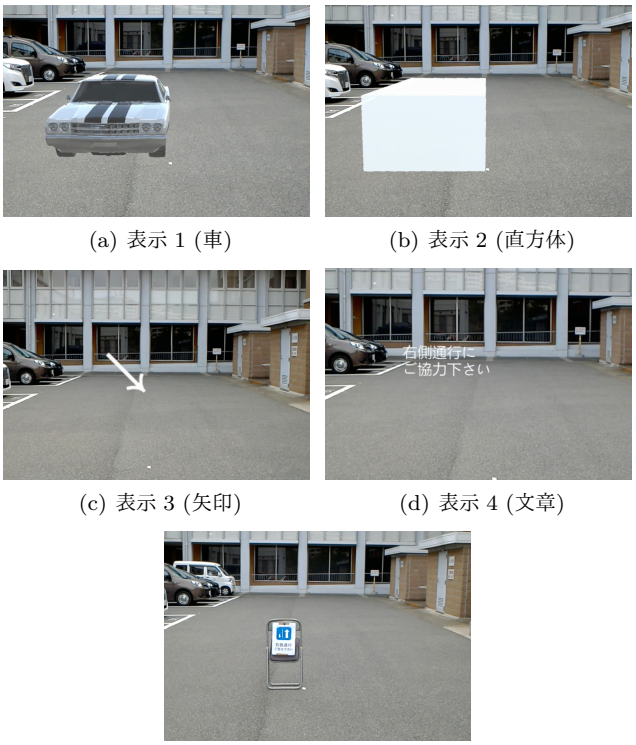
Rosales らは AR 表示は実際に配置した位置よりも近くに配置されているように見えるが，地面に接した AR 表示と地面から離れた AR 表示では，影などを付けない場合は地面に接した AR 表示の方が実際の配置場所より近くに見えることを示した [4]．Diaz らは地面から離れた AR 表示に様々な効果をつけることで距離の知覚がどのように変化するか調査を行い，実際の配置場所と近い場所に AR 表示が配置されているように見せるためには影をつけることが効果的であることを示した [5]．

3.　AR 提示用デバイスの選定

日常生活で使用することを想定し，AR 提示用デバイスには頭部装着型ディスプレイ (HMD: Head Mounted Display) を用いる．AR 表示が可能なシースルー型の HMD として EPSON 社の MOVERIO [6]，Sony 社の SmartEyeglass [7]，Vuzix 社の Vuzix Blade [8] などが挙げられる．しかし，これらのデバイスはユーザの周囲の空間を立体的に認識することはできず，特定の場所にバーチャルの視覚効果を付与することが難しい．そこで本稿では Micorosoft 社の HoloLens [9] を用いる．HoloLens は実世界の空間を立体的に認識することが可能なので，バーチャルのオブジェクトを特定の場所に配置しユーザに提示できる．Meta 社の Meta2 [10] も空間を認識することが可能な AR 提示用 HMD だが，PC と接続しながら使用する必要があるため，歩行中の使用には適さない．また，Stereolabs 社の ZED Mini [11] を取り付けた Oculus VR 社の Oculus Rift CV1 [12] や HTC 社の HTC Vive [13] 等，ビデオシースルー型の HMD を用いることで AR 表示を行うことも可能である．しかし，外の情報はカメラによって得られるためユーザに不安感を与えるといった問題や，PC と接続しながら使用する必要があるため，歩行中の使用には適さない．HoloLens の仕様を表 1 に示し，HoloLens の外観を図 1 に示す．バーチャルのオブジェクトを表示するアプリケーションの作成には Unity Technologies 社の開発したゲームエンジンである Unity [14] を用いる．

表 2　実験で用意したオブジェクトのサイズ

	縦 [m]	横 [m]	奥行き [m]
表示 1 (車)	1.0	1.6	4.2
表示 2 (直方体)	1.0	1.6	4.2
表示 3 (矢印)	0.4	0.4	-
表示 4 (文章)	0.3	0.85	-
看板	0.9	0.45	0.3



(a) 表示 1 (車)　(b) 表示 2 (直方体)

(c) 表示 3 (矢印)　(d) 表示 4 (文章)

(e) 看板

図 2　オブジェクトを配置した様子

4.　評価実験

さまざまな AR 表示が，誘導を行う際に人にそれぞれどのような影響を与えるかを調査するため，評価実験を行った．

© 2019 Information Processing Society of Japan

表 3　実験で用意したオブジェクトの分類

バーチャルのオブジェクト		現実のオブジェクト
暗示的	明示的	
表示 1 (車) 表示 2 (直方体)	表示 3 (直方体) 表示 4 (文章)	看板

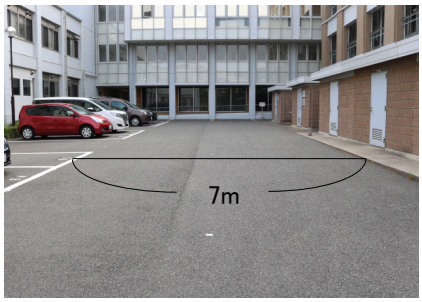
表 4　アンケートの内容

アンケート	内容
A	「表示に対して自然だと感じたか」
B	「表示から特定の方向へ行くように指示されていると感じたか」
D	「オブジェクトがあることで歩きづらいと感じたか」
E	「オブジェクトがあることで不快だと感じたか」

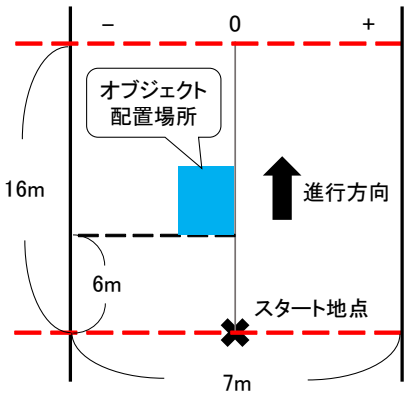
4.1　実験の内容

片側通行を促す誘導を行うことを想定した 4 種類のバーチャルのオブジェクト (表示 1〜4) と 1 種類の現実のオブジェクト (看板) を用意した．それぞれのオブジェクトのサイズを表 2 に，オブジェクトを配置した様子を図 2 に示す．図 2(a)〜(d) は HoloLens を通して被験者に見えている様子である．表示 1 は車，表示 2 は白い直方体，表示 3 は斜め下向きの矢印，表示 4 は「(右 or 左) 側通行にご協力お願いします」と記した文章である．矢印の向きは，「指定方向外進行禁止」の道路標識を参考に決定した．表示 1，2 ではオブジェクトを避けさせることで片側通行を促すことを狙った暗示的な誘導，表示 3，4 では表示から直接指示を行うことで片側通行を促すことを狙った明示的な誘導を行い，比較する．表示 1 は環境に溶け込む表示であることに対し，表示 2 は溶け込んでいない表示であることの比較を行う．表示 3 は情報量の少ない表示であることに対し，表示 4 は情報量の多い表示であることの比較を行う．それぞれのオブジェクトの特徴を分類したものを表 3 に示す．

図 3 は実験環境を示しており，実験は幅が 7m 以上ある屋外の駐車場で行う．まず，被験者には HoloLens を装着しながら歩行することに慣れさせるため，何も表示をしていない HoloLens を装着し，約 30 秒間歩行させる．歩行後，オブジェクトを配置し，被験者にスタート地点から 16m 先のゴールラインに向かって自由に歩行させ，スタート地点から直進した位置より横方向にずれた距離を，誘導する方向を正としてゴールラインに 2m 近づくごとに計測した．オブジェクトはスタート地点から約 6m 先の位置に配置する．左側，右側のどちらに誘導するかは，被験者ごと，オブジェクトごとにランダムに決定した．表示するオブジェクトの順番も，被験者ごとにランダムに決定した．左側に歩行誘導する際はオブジェクトの左端がスタート地点から直進した位置となるように配置し，右側に歩行誘導する際はオブジェクトの右端がスタート地点から直進した位置となるように配置した．図 2 は右側への歩行誘導を狙った際の様子である．



(a) 実際の実験環境



(b) 右側通行を促す際の実験環境の模式

図 3　実験環境

図 4　実験の様子

歩行後，「表示に対して自然だと感じたか」，「表示から特定の方向へ行くように指示されていると感じたか」，「オブジェクトがあることで歩きづらいと感じたか」，「オブジェクトがあることで不快だと感じたか」(アンケート A〜D) について，「感じなかった」が 1，「感じた」が 7 として，それぞれ 7 段階で回答させた．アンケートの内容をまとめたものを表 4 に示す．実験は 20 代の男性 10 名で行った．実験の様子を図 4 に示す．

4.2　横方向へ移動した距離の計測方法

実験中，スタート地点から 2 m後方の位置にビデオカメラを固定し撮影を行う．図 4 のように実験者は被験者の約 1m 後ろを歩行し，被験者が計測地点を通過するごとに実験者は片手を上げる．その場面のフレームを静止画としてキャプチャし，スタート地点から直進した位置より横方向

© 2019 Information Processing Society of Japan

にずれた距離をピクセルの差を用いて計測する．

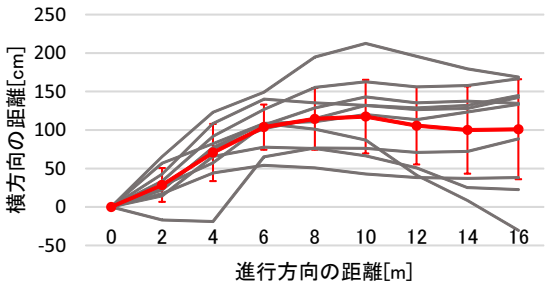
4.3 実験の結果と考察

4.3.1 横方向への移動距離

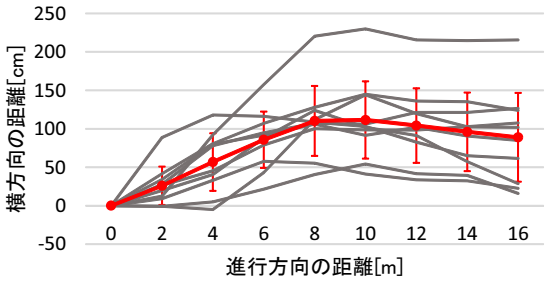
横方向への移動距離の結果を図 5 に示す．灰色の線はそれぞれの被験者の結果を示し，赤色の線は平均値，エラーバーは標準偏差を示している．表示 3 において，1 名の被験者が最後まで歩行せず 10m 付近で停止したため，実験結果から除外している．横方向の移動距離の平均値をまとめたものを図 6 に示す．

AR 表示 (表示 1〜4) と実物の看板を比較する．表示 1〜4 では 100cm 以上横方向に移動していたが，看板では 80cm 程度の横方向への移動となっており，AR 表示よりも横方向への移動が小さかった．表示 1〜4 はバーチャルのオブジェクトであるため，歩行に従って表示位置にズレが生じたことが原因として考えられる．また，AR 表示は実際に配置した場所より近くに存在するように感じることが知られている [4]．よって，表示 1〜4 の方が近くに見えたために横方向に移動した距離が大きくなった可能性も考えられる．標準偏差に注目すると，看板に対して表示 1〜4 の方が大きい値となり，AR 表示した際の横方向への移動距離は個人差が大きいことがわかる．原因としては，バーチャルのオブジェクトにズレが生じることや，表示に対する不快感も個人差があったことが影響していると考えられる．1 人の被験者の横方向への移動距離の結果を図 7 に示す．灰色の線は AR 表示を配置した際の結果を示し，青色の線は実物の看板を配置した際の結果を示す．AR 表示を配置した際にはオブジェクトのすぐ手前で急激に横方向に移動しているのに対し，実物の看板を配置した際は 2m 付近から滑らかに横方向に移動していた．これより，AR 表示による誘導ではオブジェクトのギリギリを歩行しやすい可能性があると考えられるが，今回の実験では 1 人の被験者にしかこの傾向は見られなかったため今後調査を行っていく．

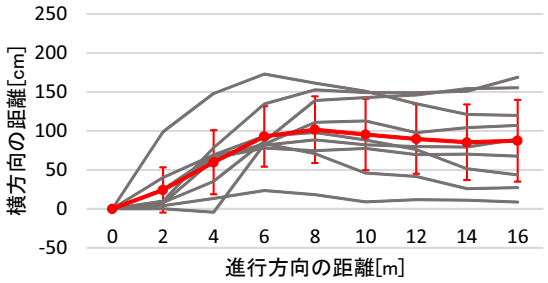
暗示的な表示 (表示 1, 2) と明示的な表示 (表示 3, 4 と看板) を比較する．明示的な表示はオブジェクトを通り過ぎた後も片側通行をしていたのに対して，暗示的な表示はオブジェクトを通り過ぎた後に中心位置に戻ろうとする傾向が見られた．標準偏差に注目すると，明示的な表示は暗示的な表示と比べて標準偏差の値が小さかった．これらより，明示的な表示の方が個人差の少ない誘導ができ，暗示的に片側へと誘導させ続けるにはオブジェクトを奥の方まで複数個置いたり，長いオブジェクトを配置する必要があると考えられる．しかし，表示 3(矢印) は明示的な表示であるがこれらの特徴は見られなかった．その理由として，矢印の意味を理解できたか聞いたところ，「矢印の先に何かあると思った」と答えた被験者が多くいたため，意味が理解できずに明示的な誘導ができなかったと考えられる．もし



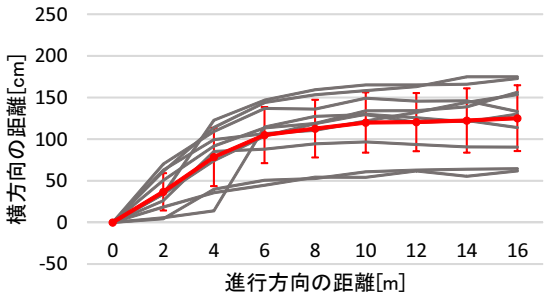
(a) 表示 1 (車)



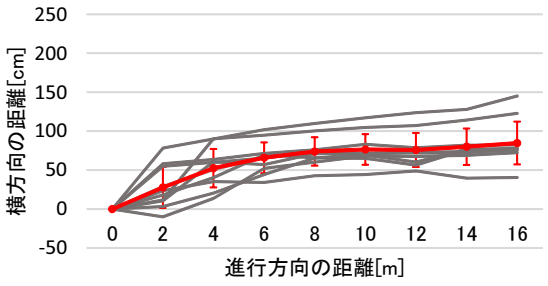
(b) 表示 2 (直方体)



(c) 表示 3 (矢印)



(d) 表示 4 (文章)



(e) 看板

図 5 横方向への移動距離の結果

© 2019 Information Processing Society of Japan

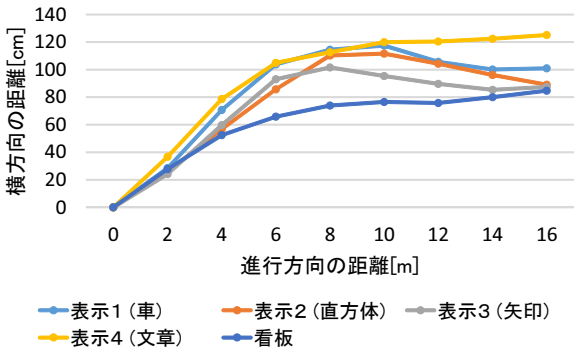


図 6　各オブジェクトでの横方向への移動距離の平均値

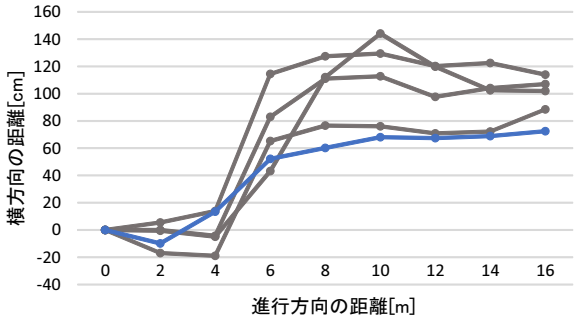


図 7　1 人の被験者の横方向への移動距離

くは，明示的な表示であっても文章のみがこのような特徴を持っている可能性があるため，今後調査を行っていく．

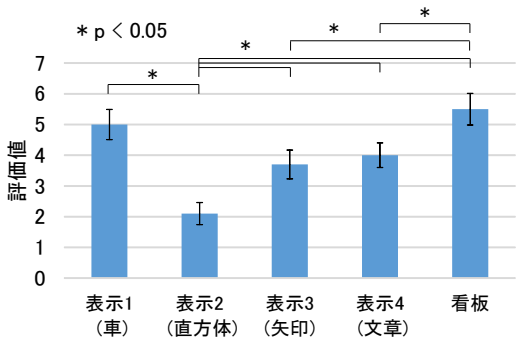
環境に溶け込んだ表示 (表示 1) と溶け込んでいない表示 (表示 2) を比較する．図 6 より表示 1(車) の方が比較的手前から横方向に移動していることが確認できた．図 7 より，実際の看板を配置した場合の方が他のオブジェクトを配置した場合と比べて手前から横方向に移動した被験者もいたことから，環境に溶け込んだ表示の方がオブジェクトに離れた場所から避けようとする可能性がある．横方向に移動した距離には大きな差はなかった．

情報量の少ない表示 (表示 3) と情報量の多い表示 (表示 4) を比較する．上記で述べたように，表示 3(矢印) では矢印の意味を理解できない被験者が多くいたため，ほとんど誘導されていない被験者や途中で歩行を止める被験者がいた．矢印の表示方法を改善することで結果が変化する可能性があるため，今後調査を行っていく．

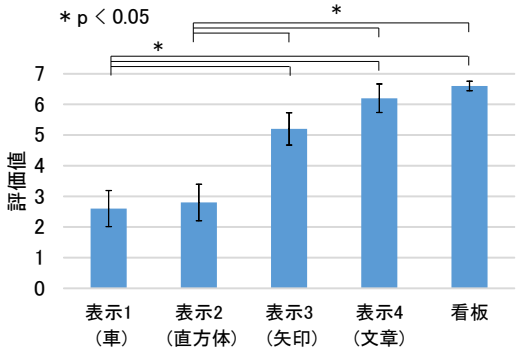
4.3.2　アンケート

アンケート結果の平均値を図 8 に示す．被験者内一要因分散分析を行った結果，アンケート A, B, C は有意差があった (アンケート A: $F_{(4,36)}$=15.04, p<0.01 / アンケート B: $F_{(4,36)}$=11.32, p<0.01 / アンケート C: $F_{(4,36)}$=3.99, p<0.05)．それらについて Tukey 法を用いて多重比較を行い，p<0.05 で有意に差があったものを図に示す (アンケート A: MSe=1.15 / アンケート B: MSe=3.12 / アンケート C: MSe=1.77)．

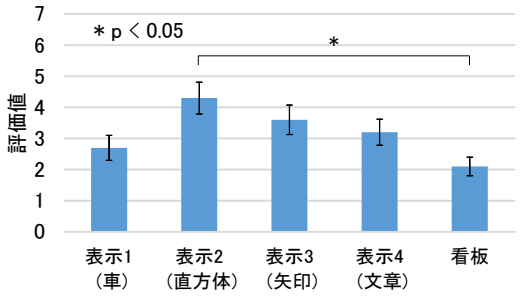
全体を見た特徴として，アンケート A の評価値の平均が



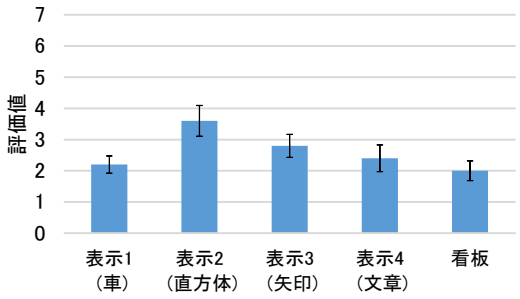
(a) アンケート A



(b) アンケート B



(c) アンケート C



(d) アンケート D

図 8　アンケート結果の平均値

高いほど，アンケート C とアンケート D の評価値の平均が低い傾向が見られた．これより，どんなオブジェクトを配置する場合でも空間に溶け込んだ表示の方が誘導の際に適していることが示唆された．

AR 表示 (表示 1〜4) と実物の看板を比較する．アンケート A の評価値の平均は，実物の看板の方がほとんどの AR 表示 (表示 2, 3, 4) に対して有意に高いという結果となっ

© 2019 Information Processing Society of Japan

た．しかし，実物の看板のアンケート C とアンケート D の評価値の平均は一番低い値ではあったが，有意差が表れたのはアンケート C の表示 2(直方体) とのみであった．今後，被験者を増やすことでより詳しい調査を行っていく．また，アンケート A の結果で，実物の看板は表示 1(車) とのみ有意差がなかった．これより，AR 表示であってもその場所に合ったオブジェクトであれば現実のオブジェクトのように空間に溶け込むことができる可能性がある．

暗示的な表示 (表示 1, 2) と明示的な表示 (表示 3, 4 と看板) を比較する．アンケート B の評価値の平均は，暗示的な表示の方が明示的な表示よりも有意に低いという結果となった．つまり，暗示的な表示では指示されていると感じないが，オブジェクト設置者が意図した誘導が可能であったため，ユーザの意味解釈を必要としない誘導ができる可能性がある．

環境に溶け込んだ表示 (表示 1) と溶け込んでいない表示 (表示 2) を比較する．アンケート A の評価値の平均では，表示 1(車) の方が表示 2(直方体) よりも有意に高いという結果となったが，その他のアンケートでは 2 つのオブジェクト間で有意差は見られなかった．しかし，アンケート C とアンケート D の評価値の平均はどちらも表示 1(車) の方が表示 2(直方体) よりも低い値となっている．

情報量の少ない表示 (表示 3) と情報量の多い表示 (表示 4) を比較する．2 つのオブジェクト間ではどのアンケートでも有意差は見られなかった．しかし，「表示 3 の矢印の意図が読み取れず不快だと感じた」と答えた被験者がいたことから，矢印の表示方法を調整することでユーザに対する影響が変化する可能性があるため，今後調査を行っていく．

4.4 用途に合わせた適切な AR 表示の検討

AR 表示による誘導の効果には個人差が大きく，今回の実験では見られなかったが AR 表示はぶつかっても問題がないため気にせずに歩行する人がいる可能性があるため，従わないと危険を伴う誘導に関しては現実の看板を使うなどの必要がある．ただし，文章の AR 表示による誘導は他の AR 表示と比べて個人差がわずかに小さかったため，従わないと危険を伴うが看板を設置することが困難な場所では，文章の AR 表示を行うことが適切であると考えられる．環境に溶け込んだ表示の方が，歩きづらさや不快感をユーザに与えないという結果であったため，従うことが好ましい場面での誘導には環境に溶け込んだオブジェクトを配置することが必要である．現実のオブジェクトが AR 表示よりも環境に溶け込むことができるが，駐車場に車の AR 表示をするなど適切な AR 表示を行えば，現実のオブジェクトと同程度に環境に溶け込むことができる．明示的な AR 表示である矢印と文章によるユーザへの影響に大きな差は見られなかったが，矢印は意味を理解できない人がいたため，文章の方が適切であると考えられる．しかし，矢印の向きなどを改善することで結果が変化する可能性があるため，今後調査を行っていく．暗示的な誘導では特定の方向へ行くように指示されていると感じづらかったため，無視して従わないような場面では暗示的な誘導によって意味解釈を必要としない誘導を行うことが適切である．

5. まとめ

本稿では，屋外での片側通行を促す誘導を行う場面を想定し，4 種類の AR 表示と 1 種類の実物の看板を配置した際の様子について調査することで，用途に合わせた適切な表示を検討した．

評価実験の結果，AR 表示による誘導を行う際は，空間に溶け込んだ表示を行うことで歩きづらさや不快感が少ない誘導を行えることがわかった．オブジェクトを避けさせることで片側通行を促す暗示的な誘導は，重要度が低く従うことが好ましいような場面での誘導に適している．一方，意味を理解して行動に移させることで片側通行を促す明示的な誘導は矢印よりも文章が適しており，従わないと危険を伴うような場面であるが実物の看板が配置できない環境であったり個人に合わせた誘導を行いたい場合に適している．

今後は被験者を増やし，矢印の向きを改善することでの結果の変化や，その他のオブジェクトを表示した際の誘導の様子についても調査を行う．また，片側通行の誘導以外の AR 表示の利用についても調査を行っていく．

謝辞 本研究の一部は，国立研究開発法人情報通信研究機構，JST CREST(JPMJCR16E1,JPMJCR18A3) の支援によるものである．ここに記して謝意を表す．

参考文献

[1] E. Peillard, T. Thebaud, J. Normand, F. Argelaguet, G. Moreau, A. Lecuyer: Virtual Objects Look Farther on the Sides: The Anisotropy of Distance Perception in Virtual Reality, *Proc. of the 26th IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (IEEE VR 2019)*, pp. 1339–1348 (Mar. 2019).

[2] J. Yang, H. Horii, A. Thayer, R. Ballagas: VR Grabbers: Ungrounded Haptic Retargeting for Precision Grabbing Tools, *Proc. of the 31th Annual Symposium on User Interface Software and Technology (UIST 2018)*, pp. 889–899 (Oct. 2018).

[3] S. Teng, T. Kuo, C. Wang, C. Chiang, D. Huang, L. Chan, B. Chen: PuPoP: Pop-up Prop on Palm for Virtual Reality, *Proc. of the 31th Annual Symposium on User Interface Software and Technology (UIST 2018)*, pp. 5–17 (Oct. 2018).

[4] C. S. Rosales, G. Pointon, H. Adams, J. Stefanucci, S. Creem-Regehr, W. B. Thompson, B. Bodenheimer: Distance Judgments to On- and Off-Ground Objects in Augmented Reality, *Proc. of the 26th IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (IEEE VR 2019)*, pp. 1566–1572 (Mar. 2019).

[5] C. Diaz, M. Walker, D. A. Szafir, D. Szafir: Designing for Depth Perceptions in Augmented Reality, *Proc. of*

© 2019 Information Processing Society of Japan

the 16th IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR 2017), pp. 111–122 (Oct. 2017).
[6] MOVERIO, http://www.epson.jp/products/moverio/bt300special/.
[7] SmartEyeglass, https://developer.sony.com/ja/develop/smarteyeglass-sed-e1/.
[8] Vuzix Blade, https://www.vuzix.com/.
[9] Microsoft HoloLens, https://www.microsoft.com/en-us/hololens.
[10] Meta2, https://www.metavision.com/.
[11] ZED Mini, https://www.stereolabs.com/zed-mini/.
[12] Oculus Rift, https://www.oculus.com/rift/#oui-csl-rift-games=mages-tale.
[13] HTC Vive, https://www.vive.com/jp/product/.
[14] Unity, http://japan.unity3d.com/.

© 2019 Information Processing Society of Japan