

経路の混雑の性質に対して最も視認しやすい拡張現実型経路案内の表示高さ MOST VISIBLE DISPLAY HEIGHT OF AUGMENTED REALITY ROUTE GUIDANCE FOR THE NATURE OF ROUTE CONGESTION

○吉原 真由*¹, 吉岡 陽介*²
Mayu Yoshihara*¹, Yohsuke Yoshioka*²

*1 千葉大学大学院 融合理工学府 創成工学専攻 建築学コース 博士前期課程
Graduate Student, Graduate School of Science and Engineering, Chiba University

*2 千葉大学工学研究院 准教授 博士(工学)

Associate Professor, Graduate School of Engineering, Chiba University, Doctor of Engineering

キーワード：没入型仮想環境；サイン計画；経路案内；注視行動；HMD

Keywords: Immersive virtual environment; Sign plan; Route guidance; Gaze behavior; Head Mounted Display.

1. はじめに

本研究では没入型仮想環境技術を用いた被験者実験により、経路の混雑具合に対して最も視認しやすく安定した歩行を可能とする経路案内の表示高さについて、人間の視覚特性に基づいた検証を行う。実験結果の定量的な分析を通し、拡張現実空間における情報表示手法の策定に活用できる知見を導出することを本研究の目的とする。

標識やサインを用いた現実空間での経路案内では、人や車両の通行を妨げないよう、表示する位置や高さなどに物理的な制限が設けられている。しかし、この高さは通行する人間や車両の通行の妨げにならないことを条件に定められたものであり、人間が最も視認しやすい表示高さであるとは限らない。

それに対しウェアラブル端末は拡張現実の技術を利用し、情報を実空間に三次元的に重畳投影し表示することが出来るため¹⁾、その表示位置に制約がなく、最も視認に適した位置に表示することができる。しかし、拡張現実を利用した経路案内について、その表示高さや位置に着目して検証をおこなった先行研究は少ない²⁾。

2. 実験方法

2.1. 実験概要

本研究では、没入型仮想環境技術を用いて仮想空間を作成し、ヘッドマウントディスプレイを介して被験者にこれを体験させることで実験を行う。本研究は、透過型のウェアラブル端末を用いて実装される拡張現実型のサイン表示に関する知見の獲得を目指したものである。しかし実験では、実験条件とする「サインの表示高さ」と「経路の混雑具合」以外の要素を統制するため、仮想環境技術を用いることとした³⁾。被験者は健康な大学生10名(男性5名、女性5名)である。

被験者にヘッドマウントディスプレイ (VIVE PRO

EYE/HTC社)を装着させ、仮想環境構築ソフトウェア：Vizard6.0 (WorldViz社製)を用いて構築した実験環境を体験させる。ヘッドマウントディスプレイは、頭部の回転角を量る機能と視線追跡機能を内蔵しており、実験中の被験者の頭部の回転角及び視線の動きを検出、記録することができる。実験中の被験者の行動について記録を行い、被験者が経路案内サインに従って進行方向を選択する際の動きの特性について分析を行う。また被験者の腰にはポジショントラッカー (VIVEトラッカー/HTC社)を取り付け、実験室内での被験者の位置座標を取得する。壁で挟まれた分岐のある「経路」を、Vizard6.0を用いて作成し、正しい経路の上に「サイン」を表示した(Figure 1.)。歩行可能範囲は5000mm×5000mmの正方形であり、経路の幅は1000mmである。被験者はこの分岐のある経路を、表示されるサインに従って正しい経路を選択し進む。サインは15mm×15mmの太さの四角柱を2本、300mm離して並べたものを表示した。また経路上には障害物として170cmの「人影」を配置し、経路が混雑し視界が通らなくなる様子を再現した。実験は千葉大学工学部10号棟214教室で行った。実験室の大きさは、幅5800mm、奥行き7200mm、天井高2700mmである。

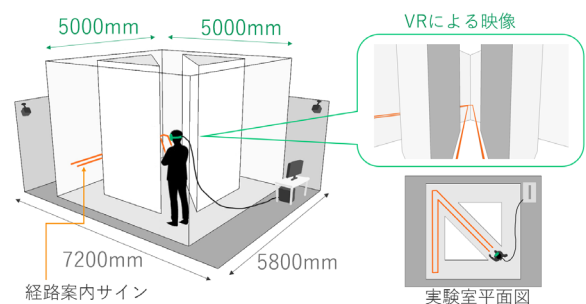


Figure 1. 実験環境および仮想空間の寸法

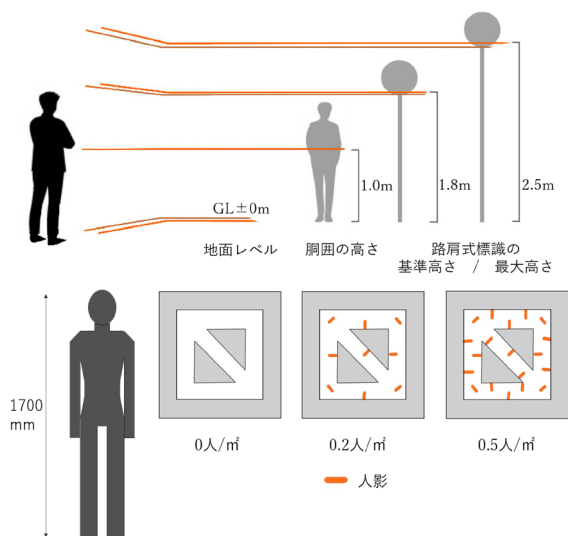


Figure 2. サインの表示高さや経路の混雑具合の条件

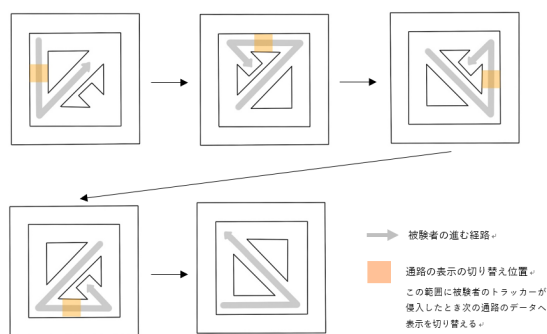


Figure 3. 経路案内サインのデータの切り替え方法

2.2. 実験条件と計測データの評価手法

本実験では「サインの表示高さ」と「経路の混雑具合」の2条件を実験変数とした。「サインの表示高さ」は0m、1.0m、1.8m、2.5mの4段階、「経路の混雑具合」は0人/m²、0.2人/m²、0.5人/m²の3段階に設定した(Figure 2.)。

ヘッドマウントディスプレイの出力データより、実験中の被験者の頭部の回転角と注視位置座標、実験環境に対する位置座標を0.1秒間隔で取得した。頭部の回転角については、頭部の3方向の回転角度(roll,pitch,yaw)のうち、サインの表示高さの変化と最も関係が深いpitch(仰角方向の揺れ)方向の数値について着目する。

また事前の検証より、経路の中でも、条件の変化によって被験者の行動に差が表れやすいとされた対角線の入口部分と出口部分に着目し、被験者の位置座標がこの範囲内にあるときの被験者の行動について分析を行った。

また被験者の頭部の動きを定量的に分析するため、得られたpitch方向のデータの数値からデータ取得範囲における仰角角度の平均値と、頭部の揺れの激しさを算出した。頭部仰角の平均値からは、各実験条件において被験者が経路のどこを見る傾向にあったか、頭部の揺れの激しさからは経路を確認する頻度と視界の安定性につい

て測ることができる。頭部の揺れの激しさは0.1秒ごとの仰角の変化の絶対値を合算することにより求めた。被験者が実験中に頭を多く上下に動かしている場合や、その振幅が大きい場合に数値が大きくなる。この数値が小さいほど、安定した視界で歩行できていると評価した。

更に視線追尾によって被験者の実験中の注視位置座標を取得し解析する。被験者の注視位置座標から、歩行中の注視対象を7種類(壁面、手前・中間・奥の曲がり角のサイン、床、手前・奥の人影)に分類した。注視割合から、被験者が歩行中に優先して注視している対象について分析をする。注視特性を分析するにあたり、注視位置座標の0.1秒以内の変位が視角5度以内に収まるとき、注視が行われているものと判定した。

注視の定義は、注視特性を分析した多くの研究において設定されているが、その詳細は研究の方法や検証の対象によって異なる⁴⁾。本実験では、アイカメラによる歩行中の注視点を分析した足立⁵⁾らの実験で、注視点の収束の範囲について信頼区間(95%水準)が4.23度~5.37度と定められたことに従っている。足立らの実験が直線歩行中の注視点を調査したものに對し、本実験は45度の曲がり角を歩行する条件であり、より注視位置がぶれやすいことを考慮し視角5度以内を採用した。

注視位置座標の変位が5度以上の場合は、離れた地点に注視点を移す際に起こる急速な眼球の回転運動、サッカードが起きていると考えられる。よって、サッカード中と見られる注視位置座標は、被験者が意識的な注視をしていないと考えられるため、分析の対象から除外した。

2.3. 経路の表示方法

実験室内の限られた空間の中で極力長い歩行距離を得るために、正方形の辺と対角線を交互に通る8の字状の経路を設定した。実空間であれば交差部分の壁を取り払い、通路の形状自体を8の字にしないで8の字状に通行できる道を作ることはできない。しかし、今回の実験では対角線上の直線通路の壁には分かれ道など余計な要素のない状態が好ましい。よって、通路のデータを5つに分割し、被験者の経路内の進行に合わせて表示を切り替えることで、対角線上に分かれ道を表示することなく8の字状に歩行させることを可能にした(Figure 3.)。

経路の切り替えは、トラッカーで記録される被験者の位置座標を参照して行った。トラッカーは、身体を中心に歩行時に揺れが小さい腰部にベルトで取り付ける。被験者の位置座標が指定した範囲に突入したときに、経路の形状が次の形状へと切り替えられ、被験者には継ぎ目ない1本の長い道を歩いているように体感される。

経路中の対角線を通る度に混雑具合が0人/m²、0.2人/m²、0.5人/m²の順に変化することで、1本の経路の中で3段階の混雑具合が体験させる。サインの表示高さを先述の4条件に変えて実験を行い、それぞれの混雑具合にお

いて最も安定した通行ができるサインの表示高さについて分析することとする。

3. 実験結果

3.1. 頭部の仰角についての考察

実験で得られた頭部仰角 (pitch) のデータについて、混雑具合とサイン表示高さの2条件で繰り返しのある二元配置分散分析を危険率 5%で行ったところ、有意確率 0.0048 で条件間の差が確認された。そこで各条件群について多重比較検定(5%水準)をテューキー・クラマー法を用いて行ったところ、サインの表示高さについて有意差が認められた(Figure 4,5.)。

図に被験者の頭部仰角の平均値を表す(Figure 4.)。頭部仰角が水平に近いほど数値は 0 に近くなり、下を向いたときに正の値を取る。サインの表示高さの上昇に伴い頭部も上を向く傾向が見られることから、サインの表示高さが人の頭部の向きに影響を与えることが伺える。しかし表示高さ 2.5m のときには仰角がほぼ水平に近くなり、表示高さに対して下方を見ている特徴が見られた。入口部分と出口部分を比べると、特に 1.8m のときに頭部の仰角の変化が小さく、水平に近い視界を保っていることが分かる。

図に被験者の頭部の揺れの激しさの程度について表す(Figure 5.)。頭部の揺れの回数や振幅が小さいほど、算出される値は小さくなり頭部の揺れは激しくない、と評価される。図を見ると、表示高さ 1.0m、1.8m、0m の順に揺れが小さく、2.5m のときに最も大きくなっている。

上記のデータをまとめて分析すると、サイン表示高さ 1.0m のときは入口部分でも出口部分でも仰角の平均値はやや下向きの角度であり変化がなく、揺れの激しさも最も小さい。サイン表示高さ 1.8m、2.5m のときも、入口部分と出口部分の仰角の平均値の差は 1.0m のときに次いで小さく、仰角はほぼ水平に保たれている。

しかし頭部の揺れの激しさについて着目すると、サイン表示高さ 1.8m のときは揺れの激しさが小さく安定していることに対し、サイン表示高さ 2.5m のときは頭部の揺れが最も大きい値になっている。よって、サイン表示高さ 2.5m のときは、頭部を上下どちらにも大きく振っており、値を平均すると仰角は水平に近い値になったが、実際の頭部の動きは不安定であったことが読み取れる。

以上より、頭部の仰角についての分析の結果、サイン表示高さが 1.0m、1.8m のときに、2.5m のときに比べて視界が安定した状態で保たれていることが分かった。

3.2. 注視位置についての考察

視線追尾により得た被験者の注視対象の割合を混雑具合ごとに示す(Figure 6,7,8.)。グラフの値が交互に上下するのこぎり型になっていることから、経路の入口部分と出口部分で注視対象の割合に差があることが読み取れる。

入口部分のデータに着目すると、対角線にあたる直線部のサインよりも突き当たりの進行方向を示す曲がり角のサインを注視する割合が高くなっている。また、混雑具合 0.2 人/m²、0.5 人/m² の人影が現れる条件においても、直近の人影よりも曲がり角の人影を注視する割合が高いことから、歩行中は直近の物よりも、3-5m 先の物を優先的に注視する傾向があると考えられる。対して出口部分においては、入口部分に比べて直近の曲がり角のサインを見る割合が高くなる。これは出口部分が曲がり角に突入する直前の位置にあり、進行方向を確認するためにサインを注視する必要があるためだと考えられる。

また人影が現れる条件 0.2 人/m²、0.5 人/m² のときの注視位置座標のデータを分析すると、サイン表示高さ 1.0m、1.8m のときには人影の中でもサインの表示高さに近い位置を注視している傾向が見られた。

よって注視位置座標についての分析の結果、歩行中には視界の中で特に目を引く、障害物となる人影と経路案内サインの 2 つを優先的に見ていることが分かった。

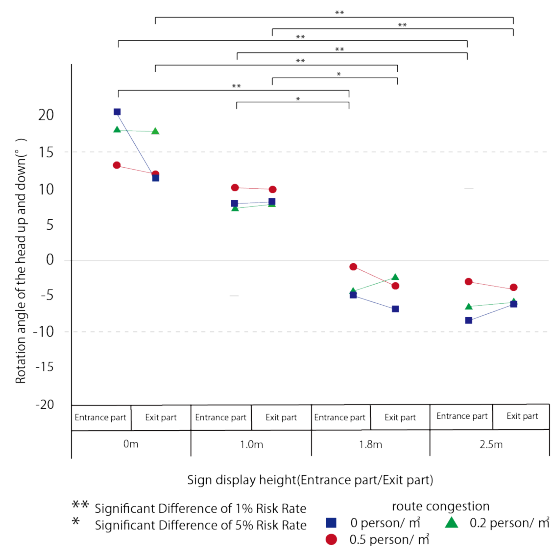


Figure 4. サイン表示高さ別の頭部の仰角の平均値

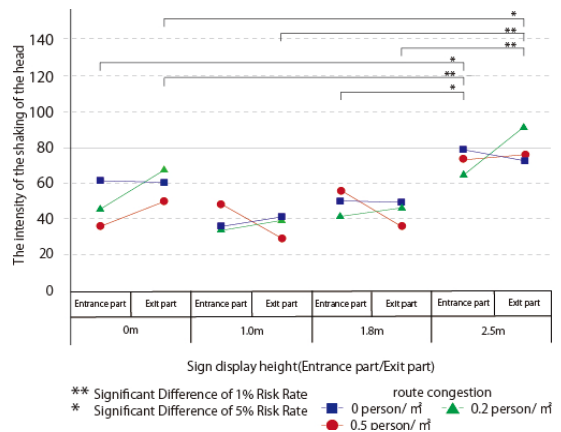


Figure 5. サイン表示高さ別の頭部の揺れの激しさ

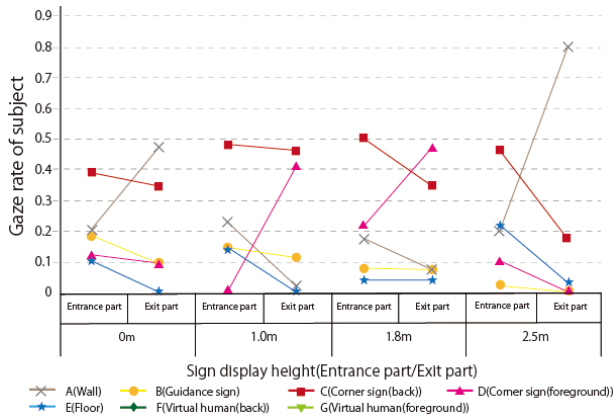


Figure 6. 混雑具合0人/㎡の注視割合

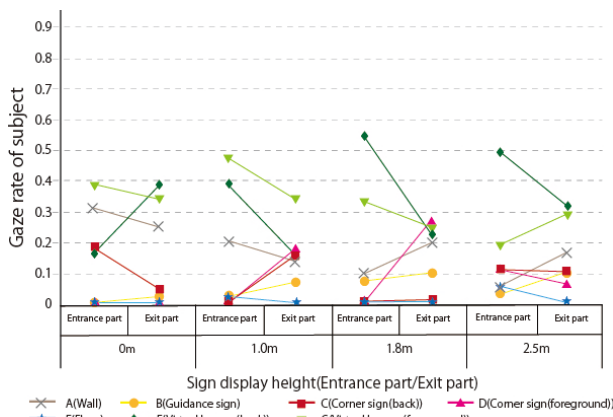


Figure 7. 混雑具合0.2人/㎡の注視割合

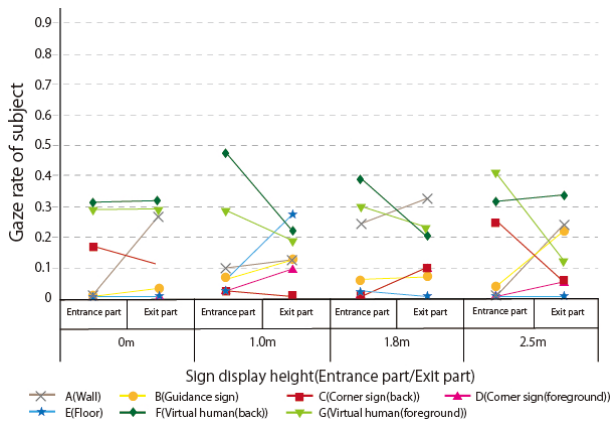


Figure 8. 混雑具合0.5人/㎡の注視割合

4. まとめ

本研究では、経路案内サインに従って仮想環境内の経路を歩行させる被験者実験を行い、被験者の頭部の回転角と注視位置座標の推移を計測した。計測したデータの定量的な分析を通して、人間が経路案内のサインに従って経路を把握しながら歩行する際に、最も視認しやすく、安定した歩行を可能とする「サインの表示高さ」と「経路の混雑具合」の関係について検証した。検証の結果、歩行中にはサインと障害物である人影を特に注視する傾

向があり、双方の高さの差が小さくなるときに頭部の揺れが小さくなり視界が安定することが分かった。

頭部の回転角の分析により、サイン表示高さ 1.0m、1.8m のときに頭部の揺れは小さくなっており、視界が安定した状態に保たれていた。サイン表示高さ 0m、2.5m のときは経路案内サインと人影の表示高さに差があるため、サインと人影を頭の向きを変えて交互に確認することにより、頭部が揺れ視界が不安定な状態になっていた。実験後に行ったヒアリングでも、サイン表示高さ 0m、2.5m のときにはサインの方へ顔を向けないと視認できず、死角となる位置から急に人影が現れたように感じられ不安になった、との意見が多数見受けられた。

注視位置座標の分析からは、人間は経路案内サインと経路上の目立つ障害物となる人影の双方を、優先的に注視する傾向が見られた。また人影を見ているときでも、サインと人影が重なる位置を特に注視していることが分かった。今回の実験条件においては、人影の頭の高さに最も近いサイン表示高さ 1.8m のときに頭部の平均角度が最も水平に近く、頭部の揺れも比較的小さく、安全な表示高さであると評価された。

以上より、拡張現実型の経路案内サインについては、その表示高さを、経路上の目立つ障害物の高さと近づけるようにすることで、歩行者が注視位置を移す負担が小さくなり、より安定した視界を保ちながら歩行ができるようになるのではないかと考えられる。

[参考文献]

- 1) 天目隆平, 神原誠之, 横矢直和: ウェアラブル拡張現実感を利用した屋外型観光案内システム, 情報科学技術フォーラム, (FIT)一般公演論文集, 第3分冊, pp. 635-636, 2003. 8
- 2) 塚越義明, 加藤誠巳: 拡張現実感を用いた実写動画像による歩行者経路案内システムに関する検討, 情報処理学会全国大会講演論文集, 67th, pp. 735-736, 2005. 3
- 3) 鈴木康太, 吉岡陽介: 段差と曲がり角との間の距離が注視特性および歩行特性に及ぼす影響, 日本建築学会技術報告集, 26巻第62号, pp. 267-271, 2020
- 4) 黒岩将人, 岡崎甚幸, 吉岡陽介: 視野制限下と通常視野での注視行動の比較 廊下及び階段の歩行において, 人間工学, 37巻1号, pp. 29-40, 2001. 2
- 5) 足立啓, 荒木兵一郎: 屋内歩行時の視覚誘導情報への痴呆性老人と精神薄弱者の注視に関する実験的研究, 日本建築学会計画系論文報告集, 439号, pp. 55-63, 1992. 9
- 6) 高幣俊之, 野村宣邦, 前田太郎, 館暲: 歩行における視覚と運動感覚の整合性に関する研究, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 5巻2号, pp. 831-835, 2000. 6