

CGVRツールを用いた 歩行空間評価の基礎的分析

守田 賢司¹・森嶋 裕太²・加藤 暉登³・中村 一樹⁴

¹学生会員 名城大学理工学研究科 社会基盤デザイン工学専攻 (〒466-8502 名古屋市天白区塩釜口1-501)

E-mail: 193433006@ccmailg.meijo-u.ac.jp

²非会員 五洋建設株式会社 東京土木支店 (〒112-0004 東京都文京区後楽2丁目2-8)

E-mail: 160448039@ccalumni.meijo-u.ac.jp

³非会員 名城大学理工学部 社会基盤デザイン工学科 (〒466-8502 名古屋市天白区塩釜口1-501)

E-mail: yuuta.morisima@mail.penta-ocean.co.jp

⁴正会員 名城大学准教授 理工学部社会基盤デザイン工学科 (〒466-8502 名古屋市天白区塩釜口1-501)

E-mail: knaka@meijo-u.ac.jp

車依存都市におけるWalkable Cityの実現には、道路空間整備のあり方を大きく転換する必要があり、この議論を適切に行うためにはその将来ビジョンの可視化が必要となる。主な可視化技術であるCGでは、コンピューターやソフトウェアの性能向上、デザイン要素のクラウド化から、低コストで高質な3D空間の作成が可能となっている。また、空間を疑似体験するVR技術も発展しており、空間の没入感を高めるヘッドマウントディスプレイが一般的に利用可能になっている。しかし、CGやVRツールの特徴が歩行空間評価にどのように有効かは十分に明らかでない。そこで本研究では、VR視聴の視点自由度と街路空間デザインの変化が歩行空間評価へ与える影響を分析した。この結果、VR視聴はデザイン評価が高い空間への関心を高め、CGデザイン要素は滞留空間に関して歩行ニーズ評価への感度が高いことが示された。

Key Words : Walkability Evaluation, CG, VR, Visualization

1. はじめに

日本の多くの都市では、高度成長期のモータリゼーションに伴い車中心のインフラ整備が行われた。しかし、近年の環境問題や人口減少・高齢化といった大きな社会ニーズの変化により、都市はコンパクト化を中心とした脱車依存のビジョンへと転換し、その中で歩いて暮らせるような人中心の歩行空間整備が求められている。このような新たなビジョンの実現には、道路空間整備のあり方を大きく転換する必要があるが、現状と大きく異なる将来ビジョンをイメージすることは容易ではない。このような将来ビジョンのイメージを情報発信するためには、新たな道路空間の可視化が重要となる。

この可視化技術としてCG (Computer Graphics) やVR (Virtual Reality) の技術が発達してきており、情報発信ツールとして利用可能になってきている。CG技術では、実際の都市の3Dデータに基づく街路空間のCG作成、様々なデザイン要素がクラウドのデータベースで利用可能、これを処理するコンピューターの性能の向上、といった機

能により低コストで自由度の高い街路空間デザインの3DCGが作成できるようになっている。また、3D空間を自由な視点で視聴できるヘッドマウントディスプレイ (HMD) のようなVR技術も開発が進んでいる。HMDは、より没入感を高める効果が期待され、歩行空間評価においても、身近にない多様な空間デザインを疑似体験を通して評価することが可能になっている。

しかし、これらの可視化技術はいずれも近年普及したものであり、CGとVRの組み合わせが、歩行空間評価にどのように有効かは明らかでない。これらの先端技術は、人の関心を高める点で、情報発信に有効かもしれない一方で、CGは現実感の欠如という課題が、VRは酔いによる使用時間の制約がある。このため、これらが歩行空間評価へ適応可能か検証する必要がある。

これらを踏まえ、本研究では、CGVRツールを用いて、歩行空間デザインと視点の自由度が歩行空間評価へ与える影響を把握することを目的とする。まず、歩行空間評価における可視化ツールとしてのCGVRツールの特徴を整理する。次に、ケーススタディとする街路空間の

3DCGを作成する。最後にVRツールを用いて、CG空間内で空間の視点とデザインの自由度が歩行空間評価へ与える影響を把握する。

2. 文献レビュー

(1) CGVRツールの特徴の整理

歩行空間評価において可視化ツールの特徴を整理するために、VRを定義づける3つの構成要素で分類する。VRを定義づける構成要素は、3次元空間から五感を得る没入感を示す「臨場感」、実時間と相互作用し仮想空間への干渉を示す「対話性」、自動的に成り立つ世界を示す「自律性」の3要素がある¹⁾。歩行空間評価において、「臨場感」を高めることは五感のうちの視覚による没入感を与えることであり、画質の向上や歩行空間の見渡しによる視覚の自由度の向上が挙げられる。「対話性」を高めることは空間の移動の自由度が与えられることで、歩行空間内を自由に行動できることを表す。「自律性」を高めることは、歩行者や車両が自立して動き、実際の歩行環境をシミュレーションできることを表す。

これら全てを完全に満たすことができるのが理想的なVRであると言われているが、3要素を個別に持ち合わせるツールもVRとしての機能を有していると言われている。VRツールとして、360度視界を覆いCG空間内で360度見渡せるOculus Rift等のHMDは、その臨場感を高める機能性が高いといえる。また、3D空間を形成するCGもこれらのVRの要素と大きく関係しており、広義のVRと位置づけることが出来る。

CGを用いた歩行空間評価の「臨場感」を高めるツールとして、デザインの詳細と空間の実データ利用が挙げられる。車両・人やベンチ・テーブルといった個別のデザイン要素は、フリーソフトのSketchUp等でもデータベースとして利用可能である。これらのデザイン要素はゲームエンジンとも互換性があり、ゲームエンジン(Unity等)はCGモデルのデザインの詳細度を向上させる機能を持つ。また、空間データの正確性を高めることで、臨場感をより高める効果が期待できる。CG作成ツールには、CADデータによる都市3DCGの作成機能を持つツール(3ds Max等)や、道路網や建物敷地などの都市基盤の実データのインポートが出来る機能を持つツール(CityEngine等)がある。ここでは、デザイン要素の空間配置ルールに基づく都市CGの自動作成機能もあるため、CG作成労力をより小さく出来る。

その他にも、「対話性」を高めるツールとして、現実の指の動きが疑似空間で歩く動きに対応し、直感的に操作可能なコントローラがある(Oculus Touch等)。また、「自律性」を高めるツールとして、ゲームエンジンは歩

行者や車両の挙動をCGで表現可能であり、交通シミュレーションとリンクする機能を持つツールもある(UC-win/Road等)。

このように、歩行空間評価において、可視化ツールごとで特徴の違いがあると考えられる。本研究では、空間デザインの視聴形態であるVRと表現手法であるCGを、両方組み合わせたものをCGVRとして分析対象とする。

(2) 可視化ツールを用いた既往研究の整理

CGを用いた街路空間評価の既往研究として、斎藤ら²⁾は、UC-win/Roadにより将来ビジョンとしての街路空間を作成し、街路デザインの静的情報だけでなくバスレーンにおける車両挙動等の動的情報を含めることで、情報提供ツールとしての有用性を検証した。この結果、将来ビジョンを見せたことで来街意向と居住意向の反応を示した被験者は、動的情報と静的情報の両方を考慮して評価していることが分かり、その情報提供ツールとして有効性が示された。

このようなCGの視聴形態も様々に分析されている。CG動画に関する研究として、森重ら³⁾はUC-win/Roadと3ds Maxを組み合わせ、新宿通りの将来像のシミュレーション動画を作成し、合意形成手法としての有用性を検証した。この結果、シミュレーション動画を提示することにより、将来像の改善点が明白となる点で、合意形成において有効であることが示された。

CGをVRツールで視聴する研究として、有馬ら⁴⁾は、3ds Maxにより作成した街路空間CGを実際のワークショップ(WS)に持ち込み、コントローラにより移動可能な街路空間を360度視聴出来るVRツールの有効性を検証した。この結果、VRツールは議論に応じて必要な視点からの画像を提供できることでWS参加者の空間理解を促し、意見の具体化に貢献できることを示した。

また、視聴に関するVRの先端ツールとして、HMDに関する研究も行われている。小場ら⁵⁾は、3ds Maxにより作成した街路空間CGを、HMDで視聴して、建物の見え方の違いによる都市の印象評価を行った。日本橋中央通りの建物高さの変化に伴う都市の印象をアンケートにより評価した結果、情緒性、印象度、繁華性、透明性について評価の違いが示された。

以上のように、CGやVRに関する可視化ツールを用いた研究はされてきたが、それぞれのツールの特徴が歩行空間評価に与える影響は十分に明らかにされていない。CGツールは空間デザインの表現内容の自由度を高めるものであり、VRツールはその視聴形態により視点の自由度を高めるものである。そこで本研究では、街路空間CGのデザイン要素の組み合わせを変えたオプションを作成し、これをHMDを有無を含めた複数の視聴形態で評価することで、これらの自由度の影響を分析する。

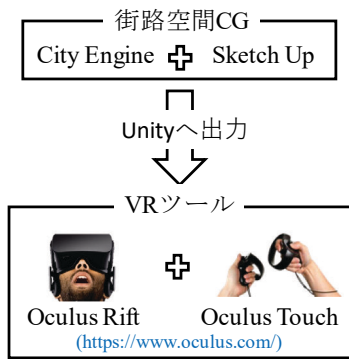


図-1 本研究で用いる CGVR ツール

視聴形態に関して具体的には、CityEngineとSketchUpを用いて街路空間CGを作成し、作成した街路空間CGをUnityへ出力することで画質を高める。さらに、Oculus Riftで視聴することで視覚による臨場感を高め、Oculus Touchにより疑似空間を移動することで対話性を高める。このようなCGVRツールの組み合わせを変えて、臨場感と対話性の異なる視聴形態が歩行空間評価に与える影響を分析する(図-1)。

3. 街路空間CGの作成

(1) 街路空間CGの作成方法

本研究で分析対象とする街路空間のCGを作成する。まず、CityEngineのGet Map Data機能を用いて、道路網と建物敷地・高さのCGを作成する(図-2)。これは、Open Street MapのGISデータをCityEngine内に取り込むことで、基盤となるCGを作成する機能である。また、CityEngineの、デザインルールを用いて、車線数、街路樹、自転車レーンなどの空間配置を数値設定で作成する。例えば、街路樹のCGを3次元の疑似空間に出力する時は、数値設定を0から任意の数まで増やすことで、自動的に可視化することができる(図-3)。

次に、SketchUpで、駐輪、ベンチ、テーブル等のデザイン要素を、ユーザー間で作成したCGモデルを共有しているデータベース(3D Warehouse機能)から追加し、空間の詳細デザインを作成する。また、建物モデルの作

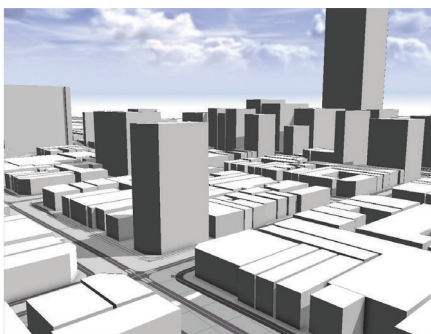


図-2 GISデータに基づくCGモデルの作成



図-3 デザインルールによる道路CGの作成



図-4 建物CGの作成

成に必要な建物壁面画像は、Google Street Viewより画像データを取得する、Street View Static APIを用いることで、視点を指定して画像データを取得できる。取得した画像データをSketchUp上で作成したオブジェクトに貼り付けることで図-4のような建物のモデルを作る。作成した街路空間CGは、Unityへ出力し、Oculus Rift及びOculus Touchで視聴する。

(2) ケーススタディの道路の特徴

本研究では、ケーススタディとして、名古屋の栄駅から久屋大通駅までの久屋大通り約400m、錦通から桜通までの長者町通り約400m(図-5)の2つの道路を対象とする。2つの道路の特徴は、久屋大通りは現代的な大型商業施設が並ぶ大通りとなっているのに対し、長者町通りは昔ながらの商店が並ぶ商店街となっている。2つの道路は共に、再開発計画が進んでおり、歩行空間デザインの改善の素案が提案されている。そこで本研究ではCGVRツールによる歩行空間デザインの代替案として、現況の歩行空間デザイン(以下:現況)、現在提案されている改善案の歩行空間デザイン(以下:改善1)、改善余地のある歩行空間デザイン(以下:改善2)として



図-5 ケーススタディの道路

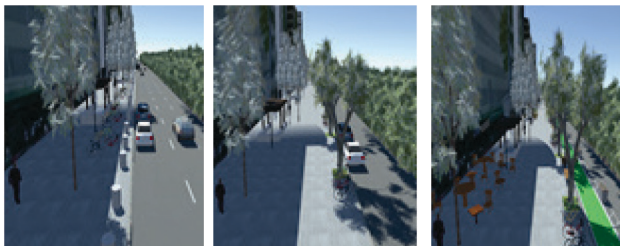


図-6 久屋大通りの代替案 (左から現況, 改善1, 改善2)

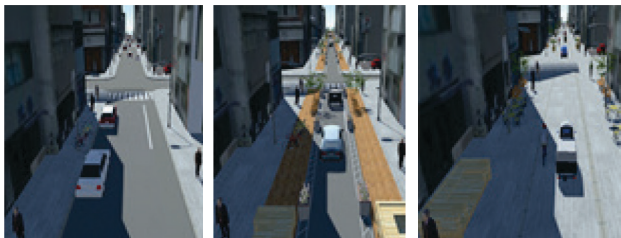


図-7 長者町通りの代替案 (左から現況, 改善1, 改善2)

街路空間CGを歩行空間デザインごとに3段階作成し評価する。

久屋大通りの現況は、片道3車線道路であり、車道の片側にある歩道の幅員は約10mである。しかし、車道側の半分は地下鉄入り口や放置自転車、街路樹などがあり、歩行者の通行空間は建物側の約4mである。改善1では、片側1車線道路への移行に伴う歩道拡幅により、歩道幅員が約15mとなっている。これにより、歩行者の通行空間が車道側の歩道拡幅部分となり、さらに、歩車道間に緩衝帯となる街路樹も設置されている。改善2では、現況の通行空間であった建物側の空間に、ベンチやテーブルのデザイン要素を含むオープンカフェによる滞留空間を設けた。また、歩車道間の空間には、車道レーン幅を狭くし自転車専用レーンとする交通空間を設置し、街路樹の下にベンチの滞留空間を設置した。これにより、建物・歩道・車道の境界部分をより多機能な空間デザインとした(図-6)。

長者町通りの現況は、1車線の一方通行道路であり、車道両側に駐車可能なスペースがあるため、車道幅が広い。車道両側にある歩道幅員は約4mであり、街路灯や放置自転車があるため、歩行者の通行空間が狭い歩行空間デザインとなっている。改善1では、滞留空間を重視した整備となっており、車道幅員を狭め、両側の歩道を

ウッドデッキにより拡幅し、ウッドデッキ部分にベンチによる滞留空間を設置した。これは、滞留空間が歩車道間の緩衝帯となる歩行空間デザインとなっている。改善2では、歩車道の境界を無くし、電気自動車などの小型モビリティや自転車といった軽車両が共存する交通空間を設置した。これにより、改善1の滞留空間を車道側から建物側に移し、建物側の空間にオープンカフェを設置した。これにより、建物側は滞留空間、車道側は交通空間とするよう空間配置を変更した(図-7)。

4. CGVRツールを用いた歩行空間評価

(1) 調査方法

CGVRツールによる空間の視点とデザインの自由度の変化が歩行空間評価に与える影響を分析する。歩行空間の評価指標として、歩行ニーズの指標を用いる。Speck⁶⁾は歩行のニーズは、利便性、安全性、快適性、楽しさで構成されるとしている。本研究では、歩行ニーズを評価する項目として知覚的な指標を用いて評価を行う(表-1)。

調査フローは、まず被験者情報に関する属性アンケートを行った後、使用するVRツールの視聴形態を変え、視点の自由度の違いによる歩行ニーズ評価の違いを分析する。これは現況の歩行空間CGに対して行い、視聴形態としては、録画した歩行空間の移動動画を見る「固定

表-1 本研究で使用する歩行ニーズ指標

時間	移動が短く感じる
利便	道がわかりやすい
	移動の障害が少ない
	移動の接続が良い
安全	横断の危険が少ない
	すれ違いの危険が少ない
	治安が良い
快適性	街並みが良い
	天候から保護されている
	くつろげる
楽しさ	賑わいがある
	個性的である
	親しみがわく



図-8 各視点ごとの視聴の様子

2D疑似歩行」，画面上で歩行空間をOculus Touchにより自由に移動できる「自由2D疑似歩行」，歩行空間をOculus Rift及びOculus Touchにより没入型3D空間内で自由に移動できる「自由3D疑似歩行」，の3段階に分けて評価する(図-8)．その後，被験者に1つの選好する視聴形態を選択してもらい，3つの歩行空間デザイン代替案を評価した．歩行ニーズの評価は各疑似歩行後に行った．

(2) 視点自由度の違いによる評価結果の比較

視聴形態を変えて現況のケーススタディ CG を評価した結果，久屋大通り(図-9)と長者町通り(図-10)ともに，視点の自由度の違いによる歩行ニーズの評価の差は見られなかった．これはVRの視聴形態が，歩行空間評価結果に与える影響は小さいことを示している．この理由として，同じ被験者が視聴形態を変えて繰り返し同じ動画を視聴していることが考えられる．また，VRツールについての被験者の感想の中に，体感度が増す，デザインの詳細がわかる等の肯定的な意見だけでなく，圧迫感がある，操作が困難等の否定的な感想があることが

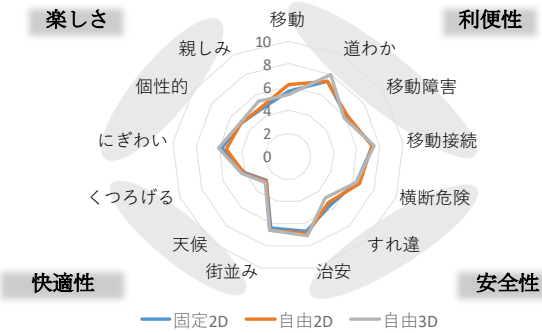


図-9 久屋大通りの視点自由度による評価の違い

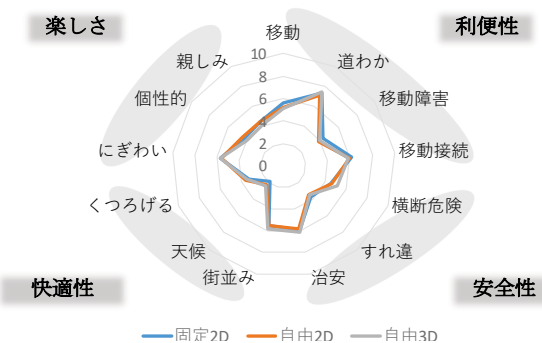


図-10 長者町通りの視点自由度による評価の違い

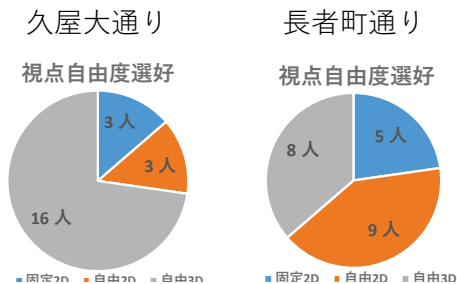


図-11 久屋大通と長者町通りの視点自由度専攻の違い

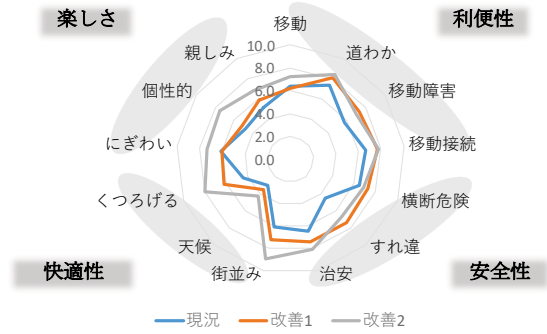


図-12 久屋大通りの歩行空間デザインによる評価の違い

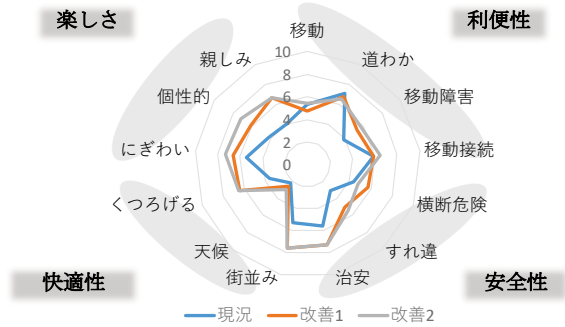


図-13 長者町通りの歩行空間デザインによる評価の違い

挙げられたことも影響しているかもしれない。

さらに，ケーススタディのデザイン代替案の評価において，被験者が視聴形態を選好により選択した結果も示す(図-11)．この結果，自由2D疑似歩行，自由3D疑似歩行を選好した被験者の数が，長者町通りよりも久屋大通りの方が多かった．長者町通りは空間評価がより高いことから，視点自由度の高いVRツールは，デザイン評価の高い歩行空間では関心を高める効果があることが示された．

(3) 歩行空間デザインの変化による評価結果の比較

歩行空間デザイン評価に関して，久屋大通り(図-12)では，現況に対し改善1は，歩道幅員の拡幅により，利便性・安全性に関する評価項目が高まった．また，改善1に対し改善2は，滞留空間の設置をして，快適性・楽しさに関する評価項目が高まった．このことから，歩道幅員を拡幅しただけでは利便性が向上するのみで，境界空間に滞留スペースを設けることで快適性や楽しさが高まる，といったデザイン要素に対する感度を評価することが出来た．

長者町通り(図-13)では，現況から改善1にかけて，歩道拡幅と滞留空間の設置により，快適性・楽しさに関する項目の評価が高まった．しかし，改善1と改善2を比較すると，歩行ニーズ評価の差は小さい結果となった．これは，ウッドデッキの有無が大きく変化したことにも起因するかもしれないが，交通と歩行者との共存という交通空間の整備の有効性という観点からは，まだ十分な評価の感度が得られなかった．

5. 結論

本研究では、CGツールとVRツールの組合せて、歩行空間デザインと視点の自由度が歩行空間評価へ与える影響を分析した。VRツールの視聴形態による評価結果は、視点自由度によって差が見られなかった。これは、被験者が同じ動画を繰り返し視聴したこととが要因と考えられる。また、VR使用における圧迫感や操作性の課題も報告された。一方、デザイン評価において被験者が選好した視点自由度の割合を見ると、長者町通りより久屋大通りの方が、自由2D疑似歩行、自由3D疑似歩行を選択した人数が多いことが分かった。これは、デザイン評価の高い久屋大通りでは、VRツールにより空間の関心を高めることが出来ることを示唆している。

歩行空間デザインに対する評価結果では、久屋大通りでは、現況に対し改善1では、歩道幅員拡幅して利便性・安全性に関する項目の評価が高まり、改善1に対し改善2は、滞留空間を設置して快適性・楽しさに関する項目の評価が高まった。長者町通りは、現況から改善1にかけて歩道拡幅と滞留空間設置をして快適性・楽しさに関する項目の評価が高まった。しかし、改善1と改善2を比較すると、歩車道間の境界を無くした交通空間を設置することによる評価の差は小さかった。これにより、簡易に作成した街路空間CGにおいて、滞留空間の評価は可能であったが、交通空間の評価には課題があることが示された。

本研究では、一般的に利用可能なツールを用いて、VRツールは空間への関心の高め得ること、またCGツールは通行空間や滞留空間のデザインの感度を表現することが可能であることが分かった。よって、これらを組み合わせたCGVRツールは、新たな歩行空間ビジョンへの関心を高め、その情報提供と評価を同時に行うツールとして有用である可能性が示された。

今後の課題として、交通空間のCGデザインが重要であると考えられる。交通空間では、車両デザインの静的情報だけでなく、その挙動の動的情報を考慮して評価する必要がある。また、被験者による視聴形態の差別化や実歩行との整合性についても、結果の妥当性を改善し検証する必要がある。これらの分析を通して、多様な将来ビジョンを多様な被験者に実施していくことで、大きな道路空間整備の転換へと繋げていくことが期待される。

謝辞：本研究は、JST asia Joint Research Program（研究課題JPMJSC16E1：スマートライフを実現する知的統合交通）と、科研費（基盤C課題19K04659：歩行空間の疑似体験と実体験が歩行行動と健康感に与える影響）の支援により実施された。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 舘暲・佐藤誠・廣瀬通孝：バーチャルリアリティ学，コロナ社，2010
- 2) 斎藤未希・森本章倫：CG 動画を用いた都市景観の再現が市民意識に与える影響，土木計画学研究・論文集，Vol.26，No.2，2009年9月。
- 3) 森重裕貴・森本彰倫・高山宇宙：道路空間将来像の可視化を用いた合意形成手法の提案に関する研究，公益財団法人日本都市計画学会 都市計画論文集，Vol.53，No.3，2018年10月。
- 4) 有馬隆文・百合野高宏・日高圭一郎：まりづくりワークショップにおけるバーチャルリアリティの活用方法とその評価，日本建築学会計画系論文集，第617号，79-85，2007年7月
- 5) 小場則夫・小泉光司・岸本達也：VR を用いた日本橋中央通りにおける建物形態と景観の印象分析，日本建築学会計画系論文集，第73巻，第626号，2008年
- 6) Speck, J.: Walkable City, North Point Press, New York, 2012.

(2019.10.4 受付)

EXPERIENTIAL ANALYSIS OF WALKABILITY EVALUATION USING TOOLS OF COMPUTER GRAPHICS AND VIRTUAL REALITY

Kenji MORITA, Yuuta MORISHIMA, Akito KATOU, Kazuki NAKAMURA

It is necessary to significantly change the ideal way of road space improvement in order to realize Walkable City in car-oriented sprawl development city. In order to carry out this discussion appropriately, visualization of its future vision is important. CG, a visualization technology, can create high-quality 3D space at a low cost by improving the performance of computers and software and creating cloud design elements. In addition, the development of VR technology that virtual-experience of space is progressing. Among them head-mounted displays that enhance the immersive feeling of space are generally available. But, it is not clear how CG and VR tools are effective for walking space evaluation. In this study, we analyzed the influence change of freedom of viewpoint and street space design on the evaluation of walking space. As a result, the design element by CG has high sensitivity to walking needs evaluation, and raises the interest of VR viewing in the space with high design evaluation.