

スマートフォン利用型 AR ゴーグルを利用した設計案伝達手法に関する研究 Study on a Sharing Method of an Architectural Design Proposal Using AR Goggles for Smartphone

○村木 悠乃^{*1}, 大西 康伸^{*2}
Yuno MURAKI^{*1} and Yasunobu ONISHI^{*2}

*1 熊本大学大学院自然科学教育部 大学院生

Graduate Student, Graduate School of Science and Technology, Kumamoto Univ.

*2 熊本大学大学院先端科学研究部 准教授 博士 (学術)

Associate Prof., Faculty of Advanced Science and Technology, Kumamoto Univ., Ph. D.

Summary: Viewing VR content, dedicated software and a high-performance computer and VR operation skill are needed. That is why not everyone can easily view VR. To solve this problem, we proposed a method to share an architectural design proposal using smartphone and AR goggles and created content using the method. By using a drawing as an AR marker, the 3D model is overlaid onto the drawing using AR, and the 3D model and the drawing can complement each other for missing information. Additionally, a link to the panoramic image is placed in the 3D model. For comparison with the proposed method, we proposed two other methods. One is the method using a tablet instead of a smartphone and AR goggles, and the other is the method using a tablet to view only panoramic photography without AR. As a result of the evaluation experiment, it was proved that the method using a smartphone and AR goggles was the easiest for viewers to operate content and understand the architectural design proposal well.

キーワード: BIM; VR; 重畳; プレゼンテーション; ゴーグル; 立体視

Keywords: BIM; VR; superimpose; presentation; goggles; stereoscopic vision.

1. 研究の背景と目的

Virtual Reality (以下、VR) はリアリティの高い表現や、インタラクティブな視点移動が可能なることから建築の知識に乏しい人でも設計案の理解がしやすく、設計者から施主へのプレゼンテーションなどの場面で使用されている。しかし、VR を扱うためには専用のソフトや高性能な PC が必要であり、マウスやキーボードなどの従来の入力装置を用いた場合操作にも慣れが必要なことから、誰もが気軽に閲覧できないという問題点がある。また、室名や寸法などの文字や数字を VR 上に表現することは難しいため、形状や素材以外の情報を把握することが困難である。これらの解決方法として、次に述べる全天球画像と Augmented Reality (以下、AR) を用いることが考えられる。

全天球画像は、スマートフォン (以下、スマホ) やタブレットなど高性能な PC を用いることなく、ウェブブラウザのみでスワイプやタブレットの角度変更などの直感的な操作で 360 度見回すことができる。しかし問題点として、建物の全体像やその周辺環境との関係、建物内での全天球画像の位置が把握しづらいことがあげられる。

また、AR はスマホやタブレットのカメラが取得した目の前の風景にコンピュータが作り出した視覚情報を重

畳し、実空間を仮想的に拡張することができる。紙の図面をマーカーとしてその上に 3D モデルを重畳し全天球画像へのリンクを 3D モデル内に配置することで、3D モデルで建物の全体像や全天球画像の建物内での位置を把握し、紙の図面で敷地の周辺環境や建物内での室名、寸法を把握できる。そのため、全天球画像の問題点を解決できる可能性がある。さらに、全天球画像と同様に携帯端末などでの実装が比較的簡単にできることも利点としてあげられる。

そこで、高性能な PC や特別なソフト、操作の慣れを必要とせず、「わかりやすい」という VR の利点を残したまま設計案の伝達を可能とするため、全天球画像と AR を組み合わせた設計案伝達手法を提案し、実際にコンテンツを作成することを本研究の目的とする。なお、3D モデルと図面の融合により欠けている情報を互いに補い合うことで、文字や数字の表現が難しい VR の問題点の解決を図る。また、操作の簡易化のためにスマホ利用型 AR ゴーグルを用い、閲覧者の頭の動きに追従した自然な閲覧を可能にする。この伝達手法は、建築知識の乏しい施主や建物の利用者が、完成予定の建物を閲覧者主体で理解するために使用することを想定している。

2. 既往研究

西澤ら^{1) 2) 3) 4)}の一連の研究では、初心者による鉄筋組立作業に要する時間を短縮するために、ARを用いた施工実習用教材を提案、作成した。図面をマーカーとして使用している点は本研究と類似しているが、3Dモデルと図面に位置的な繋がり無く、3Dモデルと図面が情報を相互補完する本研究とは異なる。

また上野⁵⁾、中村⁶⁾の研究では、ARや全天球画像を活用し、都市開発における情報共有や合意形成を支援する提案を行っている。ARで3Dモデルを表示させている点と全天球画像を使用している点は類似している。しかし、都市開発における提案であるため建物の3Dモデルはボリューム程度の詳細度でしか表現されておらず、設計案の理解をより深めるために3Dモデルを建物内部まで詳細に表現した本研究とは異なる。

3. 従来の入出力装置を用いたVRの問題点を解決しうる設計案伝達手法の提案

本研究では、スマホ利用型ARゴーグルを用いた設計案伝達手法(以下、ARゴーグル案またはA案)の他に、比較のためにARゴーグルを用いずタブレットとARを用いた伝達手法(ARタブレット案またはB案)、タブレットのみを用いた伝達手法(サムネイルリンク案またはC案)を提案する(図1)。なお、3案とも全天球画像を使用しているが、使用機材や操作方法は異なり、それに伴ってマーカーや3Dモデルの表現が異なっている(表1)。

またA案とB案は、ARにより俯瞰的な視点から建物形状や部屋の配置、周辺環境などを把握し、全天球画像によりアイレベルから外観や内部空間の詳細な把握を行う構成となっている。そのため、ARで重畳する3Dモデルの内部空間は詳細なテクスチャの表現は行わず色のみ表現し、外観に関しては周辺環境との関係性や全体像の把握のため詳細なテクスチャを表現する。一方で、全天球画像では外観や内部空間全てに詳細なテクスチャを表現する。以下、各伝達手法について説明する。

3.1. ARゴーグル案(A案)

紙の配置図兼一階平面図、各階平面図、断面図に3Dモデルを重畳し、モデル内に配置されている円形のサムネイルを選択することで全天球画像を表示する。操作方法として、まずマーカーとなる図面(例として配置図兼一階平面図)をスマホを装着したARゴーグルで閲覧すると、マーカーが認識され図面から立ち上がるように建物全体の3Dモデルが表示される。自ら頭を動かすことで、3Dモデルと外構図を多方向から閲覧できる。次に、近づくことで3Dモデルが一階の高さで自動的に切断され、建物一階の内部空間と一階平面図及び外構図を同時に閲

覧することができる。異なる階や断面への3Dモデルの表示切り替えは、図面(マーカー)を差し替えることで行う。3Dモデル内の円形のサムネイルに視線を合わせると、対応する全天球画像に表示が切り替わる。表示された全天球画像は頭を動かすことで見回すことができる。全天球画像からARの3Dモデル表示に戻するためには、全天球画像の真上に配置された「戻るボタン」に一定時間視線を合わせ選択する。

表2に3Dモデルで表現する情報と図面で表現する情報の分類を示す。図面の視認性を上げるため3Dモデルの床は表示せず、図面でハッチングなどにより床の表現を行う。階段室や吹抜など下の階が見える部分は、上下関係を表現するために対象階と下階の両方に3Dモデルの床を表示する。また、モデルやカメラを通して図面を見る際図面の文字が見えにくくならないよう文字の大きさを検討し、適切な大きさで図面を印刷した。

表1 各伝達手法の違い

		A案	B案	C案
操作方法	使用機材と閲覧方法	使用機材	スマホ利用型ARゴーグル	タブレット端末
		3Dモデルの閲覧方法	ARゴーグルを装着した頭を動かすか、紙の図面を動かす	タブレットを動かすか、紙の図面を動かす
	全天球画像の閲覧方法	ARゴーグルを装着した頭を動かす	タブレットを動かす	
	全天球画像のサムネイルの選択	視線入力	タップ	
	異なる平面の選択	紙の図面を変える	3Dモデルの階を指でタップ	
表現方法	立体視	有り	無し	
	周辺環境や建物の表現	全天球画像 モデル	全て表現(建物・道路・工作物など) 敷地内建物	
	全天球画像のサムネイルの表現	3Dモデル内に配置	画面下に並べて配置	
	全天球画像の作成手法	BIMモデルをクラウドレンダリング	BIMモデルを書き出し、VRソフトでレンダリング	
	添景の種類	人	人・車・植栽・本など	
	室名の表現	紙の図面に表記	サムネイルと共に表記	
	マーカーの表現	紙の図面種類	配置図兼一階平面図、各階平面図、断面図	スケッチ調の配置図兼一階平面図
		大きさ(縮尺)	A3*(1/200) 文字の大きさは1.8mm、2.5mm、3.5mmの3種類	A1*(1/200)
	3Dモデルの表現	図面に対応する階のモデルのみを表示し、床、家具を非表示にすることで重畳している紙の図面が閲覧可能(平面図) 図面より奥の3Dモデルと手前の家具を非表示にする(断面図)	床、家具を含む切断面より下をすべて表示	
	その他		画面左に平面の画像を配置し、表示している全天球画像の位置がピンで示される	

*周辺建物はA案では3Dモデルで表現するが、B案では図面で表現する。したがってB案で用いる図面の方が大きいサイズとなっている。

表2 モデル・図面における表現情報の分類

	平面		断面	
	3Dモデル	図面	3Dモデル	図面
壁、柱、窓、建具、階段	○	○	○	○
床	△*1	△*2	○	○
天井	×	×	○	○
梁	×	×	×	○
家具、文字情報・寸法、軸線・注釈線、記号、衛生設備	×	○	×	○
周辺建物、周辺環境	○*3	○*3	×	×
方位	×	○	×	×

○: 表現する △: 一部表現する ×: 表現しない

*1 階段室・吹抜のみ表示 *2 ハッチングがある場合のみ表現 *3 配置図兼一階平面図にのみ表現

AR ゴーグル案(A案)

AR ゴーグルで図面を開覧

配置図兼一階平面図

全地球画像のサムネイル
視線カーソルを合わせることで全地球画像の画面に移る

平面的にカットされる

全地球画像を使用して指定された場所から360度見回すことができる

頭を動かして全地球画像の閲覧が可能

図面から20cm程度の距離に近づく

頭や図面を動かして様々な角度や距離から外観を閲覧

各階平面図

吹抜や階段部分は床を表示

各階平面図では最初から平面的にカットされたモデルを表示

モデル表示の際も床を非表示にすることで図面の閲覧が可能

断面図

断面図では図面に近づくと徐々にモデルが切断され、図面から20cm程度まで近づくと切断は一定の場所では止まる

断面図のマークではまず立面が表示される

図面はカメラを通して見えやすい文字の大きさや図面の表現にすることで、AR用に新たな図面を作成する

図面を入れ替えることで階や平面、断面の切り替えを行う

断面図はアプリを切り替える必要がある

AR ゴーグルにより立体的に表示される

他の全地球画像を閲覧するにはARのシーンに一度戻る必要がある

全地球画像には家具や人の添景、テクスチャの反映も行う

戻るボタン
全地球画像閲覧時に真上にある戻るボタンで最初のAR画面に戻る

AR タブレット案(B案)

図面に重ねて3Dモデルが表示される

タブレットや図面を動かして様々な角度や距離から外観を閲覧

タブレットを動かして全地球画像を閲覧が可能

学芸館以外の建物は3Dモデルとしては表示されない

サムネイルをタップ

図面にタブレットをかざす

1つのマークで各階全ての3Dモデルを閲覧可能

3Dモデルの階をタップ

階をタップすると、平面的に3Dモデルがカットされ、その階の内部が閲覧できる

左下に階と部屋名が表示される

戻るボタン
全地球画像閲覧時に右下にある戻るボタンで最初のAR画面に戻る

全地球画像のサムネイル
タップすることで全地球画像の閲覧画面に移る

モデル表示の際は建物内の図面は見え、周囲の図面のみ閲覧可能

サムネイルリンク案(C案)

ウェブページを表示

初めからタブレットの画面に表示される全地球画像を閲覧

サムネイルをタップ

画面を指でスワイプして全地球画像を閲覧

位置アイコン
表示している全地球画像の部屋の位置が示される

全地球画像のサムネイル
サムネイルがそれぞれのウェブページへリンクしており、他の全地球画像が表示されたWebページへ直接移動可能

図1 xRを利用した設計案伝達手法

3.2. AR タブレット案 (B 案)

3D モデルや全天球画像の表示方法は A 案と同様であるが、AR ゴーグルを用いない点や 3D モデルと図面の重畳表現が異なる。配置図兼一階平面図のみをマーカーとして使用する。図面に対するタブレットの位置や角度を変えることで、それに即した方向から見た 3D モデルが表示される。表示する階を変更する際は、閲覧したい階付近の 3D モデルの外壁の一部をタブレット上でタップすると、当該階で平面的にカットされたモデルが表示される。この方法では A 案のように図面を入れ替えることなく、各階の 3D モデルを閲覧できる。3D モデル内にある円形のサムネイルをタップすると、それに対応した全天球画像が表示される。表示された全天球画像は、タブレットを動かすことで見回すことができる。全天球画像から AR の 3D モデル表示に戻るためには、全天球画像の右下に配置された「戻るボタン」をタップし選択する。

3.3. サムネイルリンク案 (C 案)

ウェブページ下部に配置されたサムネイルを選択することで、それに対応する全天球画像が表示される。サムネイルは各全天球画像へのショートカットとして機能する。表示された全天球画像は、画面をスワイプして閲覧する。また、ウェブページ左側に建物の平面を表現する画像を配置し、その画像上に表示されている全天球画像の位置がピンで示される。これにより建物の全体像と建物と全天球画像の位置関係が把握できる。画面表示の一部を全天球画像の表示エリアとしているため、他の全天球画像に画面を切り替える際は、常に画面下に表示されているサムネイルの中から任意のものをタップするだけで良い。

4. コンテンツ作成手順

提案した 3 つのコンテンツの作成手順を図 2 に示す。^{注 1)} 本研究では 3D モデリングソフトとして BIM ツールであるオートデスク Revit、VR ソフトウェアとして Lumion を使用する。また使用する携帯端末として、AR ゴーグル案は iOS または Android OS に対応したスマホ、AR タブレット案とサムネイルリンク案は iPadOS または Android OS に対応したタブレットのいずれかである。

AR ゴーグル案 (A 案) : 使用するソフト数を削減するため、BIM ツールのみで全天球画像のレンダリング及び図面の作成を行う。全天球画像のレンダリングで用いる 3D モデルは、壁や床、天井など建築の基本的な部位に加え、手すりや照明などの詳細な部位もモデリングする。またリアリティ向上のため、テクスチャは実際の画像を建築部材にマッピングする。カメラは目線高さである 1.6m に設定し、昼間の太陽光と照明によって明るさを調節する。一方 AR で用いる 3D モデルは全天球画像の作

成で使用した 3D モデルから、表 2 で分類した情報に基づき天井や家具などを削除する。この 3D モデルをアプリ開発などに用いられるゲームエンジン Unity にインポートし、テクスチャを画像ではなく色のみで表現する。その後、AR 開発ライブラリである Vuforia^{注 2)} を用いて AR コンテンツを構築する。Vuforia では、BIM ツールで作成した図面の画像をマーカーとして登録する。Unity ではマーカー画像の配置、マーカーを用いた 3D モデルの位置合わせ、円形のサムネイルの配置、近づくともモデルが切断される機能を付加する。また、球状のスクリーンに全天球画像をマッピングすることで、全天球画像を閲覧するシーンの作成も行う。さらに、AR カメラ設定で立体視に関する設定を行い、VR 開発用ライブラリである Google VR SDK for Unity を使用し視線入力の設定を行う。

これらを構築した後スマホにアプリケーションとしてビルド (またはインストール) することで、AR ゴーグル案を使用できる。全ての図面を 1 つのアプリケーションにまとめると動作が遅くなるため、本研究ではアプリケーションを配置図兼一階平面図及び各階平面図と断面図の 2 つに分けて作成した。閲覧の際は表示させたい図面に対応したアプリケーションを起動する必要がある。

AR タブレット案 (B 案) : 基本的には AR ゴーグル案と同様の手順で行うが、立体視や視線入力の設定を行う必要がないため Google VR SDK for Unity は使用しない。全天球画像の作成については、リアリティの高いレンダリングを行うために、BIM ツールで作成した 3D モデルを VR ソフトウェアにインポートし、VR ソフトウェア上でレンダリングを行う。また紙の配置図に周辺環境を表現するため、手書きと着色でマーカーの作成を行う。

サムネイルリンク案 (C 案) : 全天球画像の作成は AR タブレット案と同様であるが、AR コンテンツではなく HTML、JavaScript、Pannellum^{注 3)} を用いて全天球画像を Web 上に表示させる。

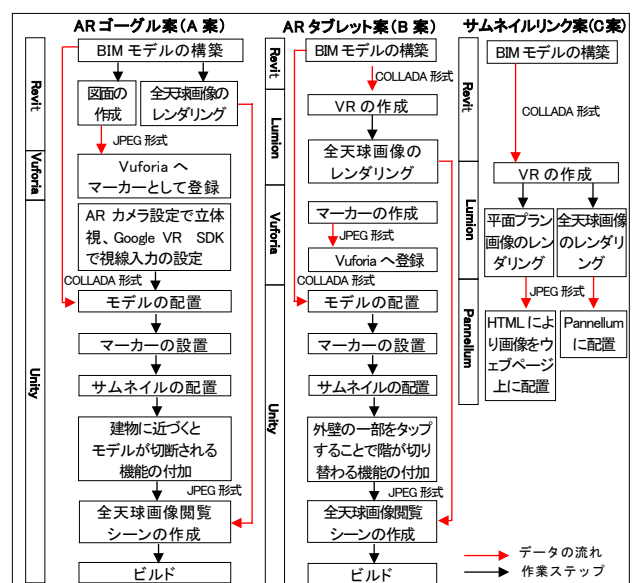


図 2 作成手順

5. 評価

5.1. ケーススタディの概要

本研究では A 学園敷地内にある小学校建替計画（延床約 3,500 m²、地上 4 階）をケーススタディとする。計画では、新小学校の隣に位置する施設も改修を行い、新小学校と繋げる計画となっている（図 3）。なお提案手法は新小学校の設計会議に参加できない学園関係者や、地域の人などにどういった小学校が建つのか、設計案の伝達や告知のために作成した。

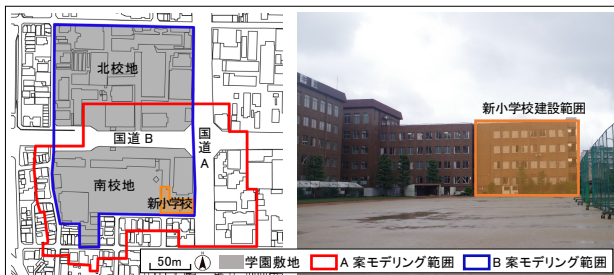


図 3 ケーススタディの対象とモデリング範囲

5.2. 設計案理解に関する評価

操作性、閲覧性、視認性に関して評価するために、建築の知識に乏しい被験者 12 名（スマホ・タブレットの操作に慣れていない人 6 名、慣れていない人 6 名）を対象に評価実験を行った（表 3、表 4、図 4）。評価実験では、被験者は本研究で提案した 3 案を操作、閲覧（同じ閲覧順序の被験者の数に偏りがないように、被験者ごとに順序を変えた）したのち、アンケート、ヒアリングに回答した。アンケートでは、3 つの案を評価の高い順に並び変えて回答する。ヒアリングでは、アンケートの回答理由を尋ねた。結果を表 5 に示す。表 5 中のグラフは、アンケートで各案を何人が何番目に良いと評価したかを示す。なお、視認性に関しては A 案のみを対象に質問した。

表 3 評価実験の概要

項目	内容
日時	2021 年 1 月 23 日～2021 年 1 月 29 日
場所	熊本大学研究室及び被験者の自宅
使用機材	スマホ: iPhone8 Plus 注4) AR ゴーグル: VR SHINECON VIRTUAL REALITY GLASSES 注5)



図 4 評価実験の様子

表 4 被験者の属性

スマホ・タブレットの操作に慣れているか	年齢	性別
慣れている	20代	女
	20代	男
	50代	男
どちらかといえば慣れている	20代	女
	30代	男
	50代	女
どちらかといえば慣れていない	50代	女
	50代	女
	60代	女
慣れていない	70代	女
	80代	男

総合評価では、8 割近くの被験者が A 案を 1 番使ってみたくて回答した。また、8 割近くの被験者が B 案を 2 番目に、8 割を超える被験者が C 案を 3 番目に使ってみたくて回答した。以上より、A 案、B 案、C 案の順に評価が高い結果となった。

操作性に関しては、A 案、B 案ともに AR を用いているが、A 案の方が評価が高かった。これは A 案がスマホ

やタブレットを操作する必要がなく、AR ゴーグルによる頭の動きに追従した直感的な閲覧や視線入力、表示階の切り替えを図面を入れ替えるという行為でできることがわかりやすさに貢献していると考えられる。A 案の AR ゴーグルの使用が B 案のタブレットの操作が難しいという問題の解決につながったと考える。また、スマホ・タブレットの操作に慣れていない人の評価では A 案の方が評価が高かったことから、A 案はデバイス操作の慣れに関係なく様々な人を対象に使用できると考える。C 案は AR を使用せず、タップやスワイプなど単純な操作で使用できることや、機能の実行に階層構造がなく全地球画像の閲覧に複雑な過程がないことから最も評価が高かった。

閲覧性に関しては、どの質問でも A 案の評価が高かった。これは AR ゴーグルの立体視、多視点からの容易な閲覧、図面への 3D モデルの重量が貢献したと考えられる。また、A 案は各階の図面をマーカーとして用い、それぞれに対応する 3D モデルを重畳することで全階に渡って 3D モデルと図面の情報の相互補完を行っていたが、B 案では 1 階のみ行っていた。この違いが A 案の閲覧性を優位にしたと考える。一方で、A 案の AR ゴーグルは裸眼に比べ視界が狭くなってしまおうという意見があり、全体を把握するためには積極的な視点移動が必要である。

表 5 アンケート・ヒアリング結果

	質問内容	アンケート結果	ヒアリングから得られた代表的な意見																
総合評価	1. 建物について理解する際に使用してみたいと思うか	<table border="1"> <tr><th>案</th><th>3番</th><th>2番</th><th>1番</th></tr> <tr><td>A案</td><td>3</td><td>9</td><td>0</td></tr> <tr><td>B案</td><td>1</td><td>2</td><td>9</td></tr> <tr><td>C案</td><td>1</td><td>1</td><td>10</td></tr> </table>	案	3番	2番	1番	A案	3	9	0	B案	1	2	9	C案	1	1	10	<ul style="list-style-type: none"> A 案は動作に運動した操作ができ、また臨場感があつてわかりやすい B 案は視野が広く、建築全体を把握しやすい C 案は手軽に閲覧できる
	案	3番	2番	1番															
	A案	3	9	0															
B案	1	2	9																
C案	1	1	10																
操作性	2. 操作が簡単であるか	<table border="1"> <tr><th>案</th><th>3番</th><th>2番</th><th>1番</th></tr> <tr><td>A案</td><td>2</td><td>4</td><td>6</td></tr> <tr><td>B案</td><td>4</td><td>1</td><td>7</td></tr> <tr><td>C案</td><td>1</td><td>5</td><td>6</td></tr> </table>	案	3番	2番	1番	A案	2	4	6	B案	4	1	7	C案	1	5	6	<ul style="list-style-type: none"> A 案は慣れが必要だが、すぐに慣れることができたので問題であるとは感じなかった A 案は頭を動かすだけで見られるため簡単だった A 案は階の表示を変える際に図面ごと変えることができたためわかりやすい B 案はタップしても反応しなかったり、違う場所が反応してしまったりして難しい C 案は指のタップの操作に慣れていないため簡単だった
	案	3番	2番	1番															
	A案	2	4	6															
B案	4	1	7																
C案	1	5	6																
閲覧性	3. 建物の全体像（建物の外観、部屋の配置など）の把握がしやすいか	<table border="1"> <tr><th>案</th><th>3番</th><th>2番</th><th>1番</th></tr> <tr><td>A案</td><td>2</td><td>9</td><td>1</td></tr> <tr><td>B案</td><td>1</td><td>3</td><td>8</td></tr> <tr><td>C案</td><td>1</td><td>2</td><td>9</td></tr> </table>	案	3番	2番	1番	A案	2	9	1	B案	1	3	8	C案	1	2	9	<ul style="list-style-type: none"> A 案は立体的でわかりやすかった B 案は自分がその場にいるように感じた C 案は全体像はほとんどわからなかった
	案	3番	2番	1番															
	A案	2	9	1															
B案	1	3	8																
C案	1	2	9																
視認性	4. 建物とその周辺環境の関係がわかりやすいか	<table border="1"> <tr><th>案</th><th>3番</th><th>2番</th><th>1番</th></tr> <tr><td>A案</td><td>4</td><td>8</td><td>0</td></tr> <tr><td>B案</td><td>8</td><td>4</td><td>0</td></tr> <tr><td>C案</td><td>1</td><td>11</td><td>0</td></tr> </table>	案	3番	2番	1番	A案	4	8	0	B案	8	4	0	C案	1	11	0	<ul style="list-style-type: none"> A 案は部分的な視野になってしまうため、全体的な把握は行いにくいと感じた B 案は常に外構や建物の立面が見え、建物と周辺環境の関係がわかりやすい
	案	3番	2番	1番															
	A案	4	8	0															
B案	8	4	0																
C案	1	11	0																
視認性	5. 各全地球画像が建物のどの位置にあるか分かりやすいか	<table border="1"> <tr><th>案</th><th>3番</th><th>2番</th><th>1番</th></tr> <tr><td>A案</td><td>1</td><td>9</td><td>2</td></tr> <tr><td>B案</td><td>1</td><td>3</td><td>8</td></tr> <tr><td>C案</td><td>1</td><td>1</td><td>10</td></tr> </table>	案	3番	2番	1番	A案	1	9	2	B案	1	3	8	C案	1	1	10	<ul style="list-style-type: none"> A 案は図面で部屋名や位置を 3D モデルと同時に見られるため、位置関係がわかりやすかった C 案は平面図で全地球画像の場所が示してあり、わかりやすかった
	案	3番	2番	1番															
	A案	1	9	2															
B案	1	3	8																
C案	1	1	10																
視認性	6. 立体感（広がり、奥行き・高さなど）が分かりやすいか	<table border="1"> <tr><th>案</th><th>3番</th><th>2番</th><th>1番</th></tr> <tr><td>A案</td><td>1</td><td>11</td><td>0</td></tr> <tr><td>B案</td><td>2</td><td>9</td><td>1</td></tr> <tr><td>C案</td><td>2</td><td>10</td><td>0</td></tr> </table>	案	3番	2番	1番	A案	1	11	0	B案	2	9	1	C案	2	10	0	<ul style="list-style-type: none"> A 案が一番奥行きがあり、細部まで見えやすかった A 案は AR の 3D モデルも自分で建物を見ているような感覚があった
	案	3番	2番	1番															
	A案	1	11	0															
B案	2	9	1																
C案	2	10	0																
視認性	7. 部屋名や寸法が見えるか	<table border="1"> <tr><th>質問</th><th>3番</th><th>2番</th><th>1番</th></tr> <tr><td>質問 7</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr> <tr><td>質問 8</td><td>10</td><td>2</td><td>0</td></tr> <tr><td>質問 9</td><td>9</td><td>1</td><td>2</td></tr> </table>	質問	3番	2番	1番	質問 7	3	4	5	質問 8	10	2	0	質問 9	9	1	2	<ul style="list-style-type: none"> 文字と家具の重なりがある部分は少し見づらく感じた 文字が見えないことはないが、もう少し大きい方がよい
	質問	3番	2番	1番															
	質問 7	3	4	5															
質問 8	10	2	0																
質問 9	9	1	2																
視認性	8. モデルの窓やドアなどが見えるか	<table border="1"> <tr><th>案</th><th>3番</th><th>2番</th><th>1番</th></tr> <tr><td>A案</td><td>0</td><td>4</td><td>8</td></tr> <tr><td>B案</td><td>1</td><td>8</td><td>3</td></tr> <tr><td>C案</td><td>1</td><td>12</td><td>0</td></tr> </table>	案	3番	2番	1番	A案	0	4	8	B案	1	8	3	C案	1	12	0	<ul style="list-style-type: none"> 階段のモデルが小さい ゴーグルを通さない方が見やすい
	案	3番	2番	1番															
	A案	0	4	8															
B案	1	8	3																
C案	1	12	0																
視認性	9. 吹抜や階段の様子が見えるか	<table border="1"> <tr><th>案</th><th>3番</th><th>2番</th><th>1番</th></tr> <tr><td>A案</td><td>0</td><td>4</td><td>8</td></tr> <tr><td>B案</td><td>1</td><td>8</td><td>3</td></tr> <tr><td>C案</td><td>1</td><td>12</td><td>0</td></tr> </table>	案	3番	2番	1番	A案	0	4	8	B案	1	8	3	C案	1	12	0	<ul style="list-style-type: none"> 吹き抜けのイメージが図面でわからなかったが、モデルをみるとすぐに理解できる
	案	3番	2番	1番															
	A案	0	4	8															
B案	1	8	3																
C案	1	12	0																

A 案: AR ゴーグル案 B 案: AR タブレット案 C 案: サムネイルリンク案

B案は2番目に評価が高く、「どの階を切断表示しても常に外構や建物の立面が見えることから、建物と周辺環境の関係がA案よりわかりやすい」という意見が得られた。一方でC案は最も評価が低く、全天球画像の位置がプロットされた建築の平面表現のみでは、建物の全体像が把握できないことが要因であると考えられる。

A案に対してのみ質問した視認性（モデルやカメラを通して見た図面の解像度や図面の表記が適切か）に関しては、文字が見にくかったと回答した人が多く見られた。これはスマホのカメラ映像を介して図面を見ることが文字の見にくさに影響していたことや、文字が家具の図面表記と重なっていたことから、端末カメラの解像度向上や文字が重ならない図面表現の工夫によって、視認性の改善ができると考える。また、図面ではわからなかった吹抜のイメージが3Dモデルと重ねることで理解できたという意見もあり、図面に3Dモデルを重畳し図面に不足している情報を3Dモデルで補ったことが、設計案の理解に繋がったと考えられる。

5.3. コンテンツ作成手間の評価

それぞれの提案手法に基づくコンテンツ作成の手間について評価した（表6）。評価項目を以下に示す。「手順」はコンテンツを作成する際の手順を比較し、図2に表記した手順が少ないほど高評価とする。「時間」はコンテンツを作成する際に要した時間を比較し、時間が短いほど高評価とする。コンテンツの作成はUnityやHTMLの知識がある本研究グループの学生が行い、ARコンテンツやウェブページ作成までの時間を計測した。なお、全天球画像作成の時間は、BIMツールとVRソフトを用いる場合とBIMツールのみを用いる場合では添景やテクスチャの表現などに違いがあり比較できないため、ここでは評価対象外とする。「ソフト」は「コンテンツを作成する際に使用するソフトの数」及び「専門知識を要するソフトの数」を比較し、数が少ないほど高評価とする。

評価結果より、C案と比べてA案、B案は作成手順が多く、作成時間を多く要することがわかった。また必要なソフトの数や専門知識も多いため、設計案を理解しやすい案であるが作成に手間がかかることが明らかとなった。

表6 作成者側の評価結果

	A案	B案	C案
手順	11手順	11手順	6手順
時間	110分	110分	35分
ソフト	総数	3本	4本
	専門知識を要するソフトの数	1本	1本

6. まとめ

A案は立体視により設計案が伝わりやすいが、スマホへのビルドやARゴーグルが必要であるため、設計案を十分に伝える10名程度の少人数のワークショップで有用である。一方、C案は全天球画像が中心であるため

設計案の全体像が伝わりにくいが、スマホやタブレットのインターネットブラウザで簡単に閲覧できるため、不特定多数が自由に閲覧する際に有用である。B案は設計案の3Dモデルを表示できるが操作が難しいため、30名程度の中規模のワークショップにおいて設計案を比較的しっかり伝える際に有用である。以上より、各案を目的に応じて使い分ける必要があることが明らかとなった。

また、各案の改善方針を以下に示す。A案、B案のビルドを必要とする問題は、ウェブ上でARが動作するWebARを導入することで解決できると考える。また、コンテンツ作成時間短縮のためには、モデリングやコンテンツ作成の部分的な自動化が求められる。加えてB案は机上のマーカに対して着座でタブレットを正対させることが困難なため、マーカが認識されにくい。マーカの範囲の縮小や認識向上のための表現の工夫により、タブレットの角度に依存しないマーカを作成する。C案は建物と全天球画像の位置関係が分かりづらいことが問題である。画像のみで周辺環境や建物全体、各部屋の全天球画像の関係を表現する検討が必要である。

注釈

- 注1) 本研究でコンテンツを作成するのに用いたアプリケーションや開発環境のバージョンは以下の通りである。
Revit2019, Lumion10, Unity2018, Vuforia9, Google VR SDK for Unity 1.200.1
- 注2) 様々なハードウェアに対応したAR開発用ライブラリである。VuforiaをUnityに組み込むことで、画像・空間・オブジェクトなどをマーカとしたARアプリケーションの作成を行うことができる。
- 注3) オープンソースのWeb用パノラマビューワーである。
- 注4) 画面サイズ:5.5インチ、画面解像度:401ppi、背面カメラ画素数:1200万画素、ディスプレイ種類:Retina HDディスプレイ、4Kビデオ撮影:24fps、30fpsまたは60fps、iOSバージョン:11.4.1(15G77)
- 注5) レンズ種類:HD resin aspherical lens、レンズサイズ:40mm

参考文献

- 西澤秀喜、蟹澤宏剛、吉田競人、船木裕之、「AR技術（マーカ型・ロケーション型）を利用した施工実習用の教材開発」、日本建築学会大会学術講演梗概集（中国）、pp. 61-62、2017. 7
- 西澤秀喜、蟹澤宏剛、吉田競人、船木裕之、「携帯端末を利用する施工実習用教材群の開発と評価」、日本建築学会環境系論文集、82巻、第740号、pp. 905-913、2017. 10
- 西澤秀喜、蟹澤宏剛、吉田競人、船木裕之、「AR・VR技術を利用したRC造施工実習用教材群の開発」、日本建築学会大会学術講演梗概集（東北）、pp. 17-18、2018. 9
- 西澤秀喜、吉田競人、「技能伝承のためのウェアラブル端末によるAR教材開発」、日本建築学会大会学術講演梗概集（北陸）、pp. 175-176、2019. 9
- 上野慎也、本間里見、位寄和久、「AR技術を用いた都市再開発計画における合意形成・情報共有手法に関する研究」、日本建築学会九州支部研究報告、第58号、pp. 517-520、2018. 3
- 中村泰斗、本間里見、内山忠、「AR技術を用いた都市再開発計画における合意形成・情報共有ツールの開発」、日本建築学会九州支部研究報告、第59号、pp. 317-320、2020. 3