

# AR を活用したテーブルトップ型デザイン評価支援システムの比較検討 A Study on Tabletop Design Evaluation System Using AR

○関谷 拓人\*<sup>1</sup>, 川角 典弘\*<sup>2</sup>, 輪玉 隼也\*<sup>1</sup>  
Takuto SEKIYA \*<sup>1</sup>, Norihiro KAWASUMI\*<sup>2</sup> and Junya WADAMA \*<sup>1</sup>

\*1 和歌山大学大学院システム工学研究科 大学院生  
Graduate Student, Wakayama Univ.

\*2 和歌山大学システム工学部 講師 博士(工学)  
Lecturer, Wakayama Univ., Dr. Eng.

キーワード：拡張現実；多視点設計；討論支援；共同設計

Keywords: Augmented reality; Multi-view designing; Discussion support; Collaborative design.

## 1. はじめに

大学キャンパスなどの公共性の高い施設の設計プロセスでは、設計者だけでなく利用者である学生や職員といった非専門家を交えたボトムアップ型のプロセスが重要である。また、意匠設計や構造設計など異なる背景知識を持った専門家による共同設計も行われ、BIM といったデジタルツールを使用したり紙の図面にペンでメモを書き込んだりしてデザイン検討が行われる。しかし専門的な知識を必要とする BIM や図面は非専門家にとって理解が難しく、空間の立体的なスケール感やデザイン案を把握することができないという問題がある。そこで本研究では誰でも親しみやすく、空間の構成が一目で分かるモデルをメタファとし、多角的な視点からの観察が可能な拡張現実 (Augmented Reality : AR) を用いて 3D モデルを机上に立体表示したものを (Fig. 1) を参照しながらデザイン検討を行う共同設計環境を構築することとする。また、平面図とは異なり、AR で表示したモデルを多視点から観察することで空間に対する理解度がどのように変化するか検証を行う。

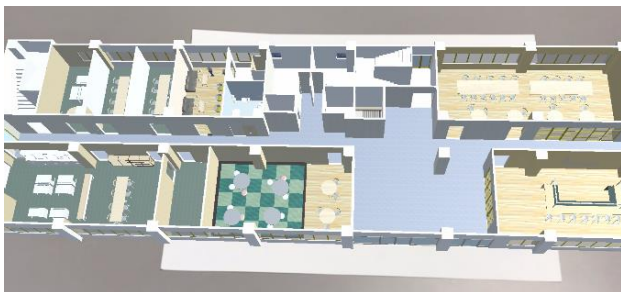


Fig. 1 ARによる建築モデルの模型表示

## 2. 先行研究と本研究の位置付け

AR を用いたデザイン検討や多人数討論について先行研究を調査した。参加型デザインに AR を活用した原田の研究<sup>1)</sup>では 3D モデルを AR で表示し、それを多人数で囲み

ながらデザイン討論を行う環境を提示したが、提案システムは AR を表示するだけであり、討論を支援するような機能の考察までなされていない。一方 Tomas Dorta らの研究<sup>2)</sup>ではユーザーがバーチャル空間上でコミュニケーションできる「ソーシャル VR」を用いて共同設計を行うツールの開発を試みている。その他にも仮想空間と建築・都市模型を融合した設計支援に関する研究<sup>3)4)5)</sup>は広くなされている。本研究では対面環境におけるデザイン討論を実現するために多人数で同じテーブルを囲んでデザイン討論を行う場面を想定したシステムの開発を行う。

## 3. AR を用いたデザイン検討に必要な機能の考察

システムの開発にあたり、模型囲んで行うデザイン検討に必要な機能を検討するために、キャンパス改修計画が進む和歌山大学経済学部棟を事例として市販の AR 表示ツール「Kubity」を用いて実験を実施した。この実験では建築設計知識のない大学職員と学生を対象として、参加者各自がタブレット端末を操作して机上に AR で表示した 1/100 の縮小モデルを参照し家具や部屋のレイアウトについて討論を行ってもらった。

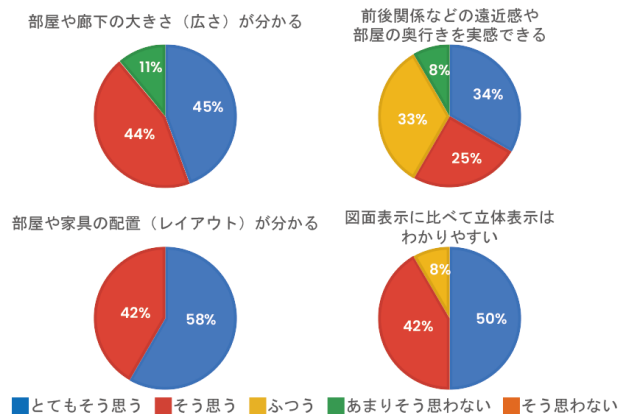


Fig. 2 予備実験アンケート結果 (抜粋)

アンケート結果から、改修案を平面図ではなく立体的な模型表示にして見せることで概要がよく掴めたという声を得られた (Fig. 2)。また実験中の参加者の行動を観察していると、模型を用いたデザイン討論ではある場所を「指す」、領域を「囲む」、空間の用途ごとに「区切る」、部屋と部屋を「つなぐ」といった行為が多く使われていることが分かった。

この実験に使用した Kubity は AR モデルを表示する機能のみであったため、AR を活用する実験であるにも関わらず、紙の図面にメモや意見を書き込む行動も見られた。したがって本研究では上述の模型を用いたデザイン検討に使われる行為を支援する独自の機能を実装した AR システムを開発する。

#### 4. 開発システムの構成

本研究で使用する AR ツールの開発環境にはタブレットやスマートフォンなど様々なプラットフォームに対応でき、手軽に開発可能であるゲームエンジンの Unity と、AR の開発ライブラリの AR Foundation を選択した。使用機器には、多人数討論を支援することを目的としているため没入感や臨場感は低いが互いに視線を交わしながら討論ができ、操作性も含めて機器が十分に普及しているという点から HMD ではなくタブレット端末を用いる (Table 1)。

Table 1 AR 表示デバイスの比較

	臨場感	操作性	対話性
HMD	○	△	×
タブレット	×	○	○

本システムでは設計者が事前に SketchUp などのモデリングツールで作成した 3D モデルを Unity に取り込み、使用するデバイスにアプリとしてインストールする。

アプリを起動し検討対象の 3D モデルを AR で表示し、AR モデルに付箋を貼るようにしてコメントを残すアノテーションなどの機能を活用しながらデザイン討論を行う。討論中にアノテーションを使って書かれたコメントなどのデータは PHP 通信により MySQL の DB に記録される (Fig. 3)。

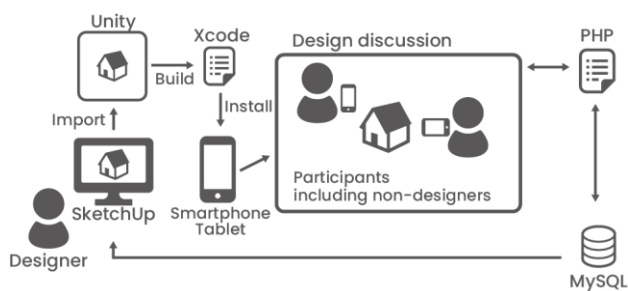


Fig. 3 システム構成図

#### 5. 開発システムの仕様・機能

##### ① イメージトラッキングによる AR モデルの表示

AR モデルの表示に物理的な画像マーカーを用いることでデバイス操作に慣れていない人でも直観的に表示した AR モデルを切り替えたり移動させたりすることができる。画像マーカーの向きを変えたり、デバイスのカメラを画像マーカーに近づけたり遠ざけたりすることで表示する AR モデルの回転や拡大縮小の操作を実現でき、また異なるデバイスから同一のマーカーを認識することでデバイス間の AR モデルの位置合わせや多視点からの AR モデルの観察が可能になる (Fig. 4)。また、端末の処理能力に依存するが、同時に複数の画像マーカーを認識することができるため、異なるレイアウトを並べて検討するといった使い方にも対応可能である。

本システムではこの画像マーカーに、AR で表示する 3D モデルの平面図を使用することで、現実の画像マーカーと AR を照らし合わせながら向きや方向感覚を保持できるよう配慮した。

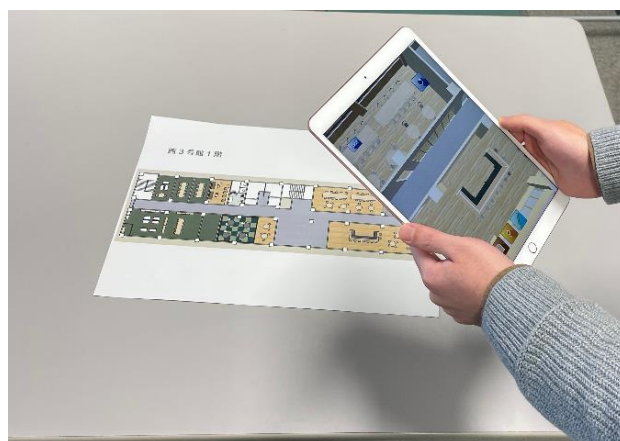


Fig. 4 イメージトラッキングによる AR モデルの表示

##### ② アノテーション (注釈) 機能

討論中に AR モデルの気になる場所について意見やコメントを付加する (Fig. 5)。同意・反対・意見・疑問の 4 種類のアイコンのアノテーションを模型に付箋を貼るような操作で作成し、アノテーションには具体的なコメントを入力することができる。作成されたアノテーションは DB に記録されるため、複数の端末で別々に作成したアノテーションは DB と通信を行い DB に追加されたデータを読み込むことで異なる端末間の同期を行う。

アノテーション作成時には、AR モデル上の任意の場所に対して画面をタップすると原点からの座標を取得し、その座標をアノテーションの位置とする。AR モデルに配置されたアノテーションはデバイスのカメラに正対するため、建築モデルのどの場所にもどのような意見や要望が出ているのか一目で確認することができる。



Fig. 5 AR モデルに配置されたアノテーションとインターフェース

③ AR 上の書き込み機能

「囲む」「区切る」「つなぐ」といった行為を支援するため、AR モデル上に線を描きこむ機能を実装した (Fig. 6). カメラで現実空間の床や壁といった 3 次元の空間情報を点群として認識し、デバイス画面を指でなぞり検出した点群をつなげることで仮想空間である AR に直接描画を行う。



Fig. 6 AR 上の書き込み機能

④ ポインター機能

デバイスの画面を見せ合うことなく、AR モデルの注目したい場所を共有するための機能 (Fig. 7). 生成されるポインターオブジェクトはデータベースを介さずデバイス間で直接通信を行う Multipeer Connectivity ライブラリを使用した。Multipeer Connectivity は iOS 端末間限定の通信方法ではあるが、Bluetooth を使って接続するため十数 m までの近距離の通信でかつ最大接続端末は 8 台と制約はあるが、本研究で想定している同じテーブルを囲んでデザイン検討を行う場面には十分であると考えた。

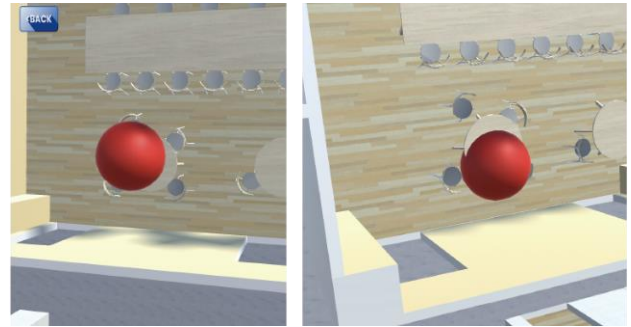


Fig. 7 異なるデバイス間の視点共有

6. 開発システムの評価実験

開発したシステムのユーザビリティの評価のために、改修計画が進む和歌山大学経済学部棟を対象とし、改修計画案の 3D モデルを机上に AR で表示し、部屋のレイアウトや家具、動線などについて実際にデザイン討論を行ってもらった (Fig. 8). 実装したアノテーションやポインター機能について評価するアンケートを実施し、アノテーション内に記録されたコメントの内容とともに分析を行った。



Fig. 8 システム評価実験の様子

実験後に実施したアンケートでは提案空間の分かりやすさに関する「体験性」、AR モデルやデバイスの操作に関する「操作性」、CG モデルの表示や再現性に関する「表現性」、実装した各機能に関する「機能性」の 4 項目に分けて 5 段階評価による設問を設けた。この実験では被験者 8 人から合計 35 個のアノテーションコメントが得られた。

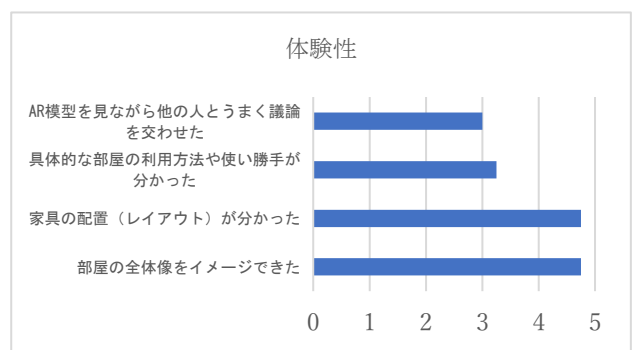


Fig. 9 体験性に関する項目の回答結果の平均値 (抜粋)

アンケート結果から (Fig. 9), 全体を俯瞰できる模型の特徴からレイアウトなどの概要を把握するという点で高い評価が得られた。また、「ARを見ながら他の人とうまく議論を交わせた」という設問では回答者の平均値が5段階評価で3となりそれほど評価が上がらなかった。テーブルを囲んでARモデルを見ながら討論を行うことで互いに目を合わせながら会話できると考えたが、ARモデルはデバイス画面にしか表示されないため顔を見合わせながら議論することは難しかったようである。

また、アノテーションに記入されたコメントを整理すると、「ここにグループワークのためのホワイトボードのようなものが欲しい」というような、全体を俯瞰するだけでなく空間の中に入り込むようにして模型を観察し、実際の空間の利用シーンを想定したコメントも得られた。

## 7. 模型による空間理解の向上の検証実験

さらに、空間における家具や開口部といったレイアウトを平面図ではなく立体模型で提示することで、建築設計経験のない非専門家の空間理解をどれほど促進することができるのかを評価するため、建築設計の経験のない大学院生8名を被験者として実験を実施した。

被験者には Fig. 10 のように、改修工事が行われた和歌山大学教育学部棟のレイアウト案の 3DCG モデルをレンダリングした画像を合計 10 枚提示し、平面図と AR で表示した建築模型のそれぞれに対して CG レンダリング画像を 5 枚ずつに振り分け、そのレンダリング画像が撮影されたスポットとアングルを探し出してもらうことで両者の体験性の違いを評価した。



Fig. 10 CG レンダリング (左) と AR による模型表示 (右) との体験性の違いの評価

CG レンダリング画像 (Fig. 10) を大型モニターに提示してから平面図と AR で表示した建築模型のそれぞれで被験者が CG レンダリング画像の撮影スポットを導き出すまでにかかった時間を計測すると、平面図では平均 26.2 秒かかったのに対して模型を使った場合平均 22.9 秒まで短縮された。また、撮影スポットを探し出す際に目印となったものを記入してもらったところ、平面図を使った場合は

机の種類や数など水平方向に分布する要素を頼りにするしかないが、AR を用いた建築模型の場合には AR を表示するタブレット端末を自在に動かすことで対象物を多視点から観察することができるため、窓や扉、壁掛けのスクリーンといった平面図には描かれない垂直方向に設置された要素も手掛かりにしていることがよく分かった。一方 3D モデルのレンダリング画像に比べて AR モデルは光の陰影や家具のマテリアルの描写の精度が低く、空間の配置だけでなく質感や雰囲気を持った空間の提示はできていない点が課題として挙げられる。

このように、平面図から空間構成を想起することが困難な非専門家にとっては、模型のように立体的に空間を提示することで空間の概要を簡単に理解することができ、制作にコストがかかる物理的な模型ではなく 3D モデルを現実空間に仮想的に投影する AR を用いることで、多視点から観察できる模型の利点を活かしながら手軽にデザイン検討を行う環境が有用であると言える。

## 8. まとめと今後の展望

非専門家を含めたデザイン検討の際の空間の提示手法として平面図と AR で表示した建築模型を比較すると、立体的な模型を多視点から観察するという体験を通して家具のレイアウトや空間構成など複雑な 3 次元の情報をより簡単に理解できていることが明確になった。さらに単なる模型ではなく体験型デジタルメディアの AR を用いることで多人数による共同設計を支援するシステム開発が可能になり、空間の利用者からアイデアを抽出し、ボトムアップ方式で設計者に要望を伝えるというワークフローを提案した。

今後の展望として、本研究ではアノテーションに記入されたコメントなどのデータを DB に記録したが、そうして集めたデータを意見の属性や重要度に分けて分類し、多人数討論の全体像を可視化することで討論の活性化を図る機能の実装が考えられる。また、平面図より模型の方が空間の理解が容易であることは検証したが、AR で模型を表示することで平面図を使った場合と比べてどれほど討論が活性化・具体化しているのかプロトコル分析を用いて検証していきたい。

### [参考文献]

- 1) 原田理江: 拡張現実を利用した参加型まちづくり討論支援に関する基礎的研究, システム工学部, 和歌山大学, 2014
- 2) Tomas Dorta: Co-Designing in Social VR, 2019
- 3) 赤川英之ら: MRを通じた縮小された空間情報の提示が鑑賞者の設計への認識に与える影響, 日本建築学会情報シンポ, 2020
- 4) 福田知弘ら: 模型と VR との視点連携による都市プレゼンテーションシステムの開発, 日本建築学会環境系論文集, Vol. 76, No. 668, 2011
- 5) 中林拓馬ら: 拡張現実と模型を用いた建築設計用ツールの開発, 日本建築学会技術報告集, Vol. 17, No. 37, 2011