

AR を用いたインテリアシミュレータのプロトタイプに対する評価の考察

○田中 智己*¹ 中林 拓馬*²
加戸 啓太*³ 平沢 岳人*⁴

キーワード：拡張現実感技術 インテリアシミュレータ Web アプリケーション

1. 研究背景と目的

AR (Augmented Reality) とは、現実の環境にコンピュータで生成した情報を付加し、現実を拡張する技術である。本報で取り扱う視覚を対象とした AR は、三次元モデルなどの仮想物を、現実映像を点景としたシーンに合成して情報提示を行う手法である。AR は様々な分野において研究が行われており、建築分野においても AR の活用法を想定することができる¹⁾。一方、建築分野における AR の活用法に関して、実用性評価の指標となる要件は明らかでない。これまでのところ、AR を利用したシステムの実用性の評価は、合成シーンが使用者へ与える感覚的な違和感の有無などに依るところが大きく、システムの開発者自身が客観的に評価しにくい状況にある。AR システムに関する実用性評価の指標を得るためには、不特定多数の第三者による客観的な評価が必要であると考えられる。

前報では、第三者による実用性評価を目的に、Web 上での公開とユーザによる評価を前提とした AR システムとしてインテリアシミュレータを取り上げ、AR システムを Web アプリケーションへ展開する際のシステムの構成と実装について考察し、プロトタイプの開発を行った²⁾。本報では、プロトタイプについて行った公開実験により得られた評価に対し考察を行う。また、評価により明らかとなった課題への対応策を検討し、一部改善を試みる。

2. プロトタイプの概要

プロトタイプの開発にあたり、これまでに著者らが C++ を用いて開発した、スタンドアロン型のインテリアシミュレータ³⁾を HTML、JavaScript、PHP といった言語により Web アプリケーションへ置き換えた。プロトタイプの概要を図 1 に示す。



図 1. プロトタイプの概要

本アプリケーションの利用手順を以下に示す。

- 1) Web ページからダウンロードしたマーカーを印刷し、シミュレーションの対象となる建築空間の床面にマーカーを置く。
- 2) デジタルカメラなどでマーカーをフレーム内に収めながら画像を撮影する。
- 3) Web ページからカメラの焦点距離 (画角情報) の選択と画像のアップロードを行う。
- 4) 合成シーンの表示画面下に展開されている家具モデルの一覧からシミュレートしたい家具を選択する。
- 5) 家具モデルをマウスにより操作し、シミュレーションを行う。
- 6) シミュレート結果を画像ファイルとしてダウンロードする。

3. プロトタイプへの評価の分類

プロトタイプの公開実験 (被験者：男女計 60 名) により得られたアンケート結果から、AR による合成シーンへの違和感に関する質問を抜粋して示す (図 2)。

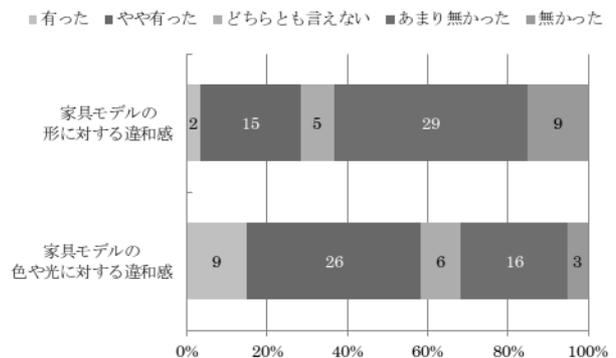


図 2. 合成シーンへの違和感に関するアンケート結果

これらの質問については、具体的にどのような点に違和感を覚えたか、自由記述による追加の回答を求めた。公開実験により得られた評価を対応するプロトタイプの仕様や要素技術と照らし合わせ、以下の項目に分類する。

- AR システムの対象
- 家具モデルの傾きやスケール感
- 家具モデルの幾何学的前後関係
- 家具モデルの陰影
- 家具モデルの質感
- インタフェースやその他機能

これらの項目について、AR を利用したインテリアシミュレータ、ひいては建築空間に適用した AR システムに求められるに実用性について考察する。また、自由記述により得られた回答の例を挙げ、プロトタイプの課題とされる項目については対応策を検討し、改良を加えた点について報告する。

4. 評価の考察

4.1. AR システムの対象

AR を利用したシステムの主流は、動画に対する三次元モデルのリアルタイムな合成であるが、インテリアのシミュレーションは、ユーザが想定したある構図において行われる場合が多く、必ずしも視点や視線方向の自由変更が可能であることは重要な要件でないと考えられる。加えて、動画を対象とした AR では主に使用するデバイスに由来するズレやブレといった要素が過剰に評価されてしまい、実用性評価に直結する他の要因との切り分けが難しい¹⁾。技術的な進歩に伴いデバイス由来の要因は将来的に解消されると考えられるが、実用性の評価に動画を対象とした AR システムは現時点では妥当でない。よって、本研究では静止画を対象とした AR システムを取り扱う。

公開実験に参加した被験者のなかには、AR に対し知識があり、動画を対象とした AR システムを見慣れている者もあったため、得られる意見として動画によるインテリアシミュレータへの要求が含まれているのではないかと予想したが、プロトタイプではそのような意見は見られなかった。

4.2. 家具モデルの傾きとスケール感

本アプリケーションの AR システムにはマーカ・トラッキング方式を採用した。画像内に写り込んだ二次元マーカと呼ばれる平面パターンを検出し、その形状からマーカに対するカメラの相対的な位置・姿勢の情報を算出し、そのトラッキング結果によりシーンの意図した位置に三次元モデルを合成する。デジタルカメラなど一般的に広く普及しているデバイスで実行できるため、多くのユーザが比較的容易に AR を用いたシミュレーションを行えるという利点がある。シーンへ合成した家具モデルの傾きとスケール感への評価は、マーカ・トラッキングの精度によるところが大きい。

通常の AR システムではトラッキングの精度を向上させるため、マーカ・トラッキングを行う前に、使用するカメラのキャリブレーション（歪み補正等）を行う。しかし、ユーザがアップロードする一枚の画像からキャリブレーションを行うことは困難である。デスクトップ型には備わっている機能であるが、トラッキング精度を著しく損なわない限り簡便な操作を優先すべく、これらの機能は移植しなかった。また、マーカ・トラッキングには対象となる画像を撮影したカメラの画角情報が必要である。ユーザの撮影した画像を用いてシミュレーションを行う際の画角情

報の取得については、画像のアップロード画面に予め用意した選択肢（ラジオボタン）から選択する仕様とするなど、簡易な実装を行なっている。なお、アップロードされた画像が EXIF データを保持している場合、マーカ・トラッキングを行うプログラム内で EXIF データから画角情報を抽出し、優先して使用している。

マーカ・トラッキングの実装には ARToolKitPlus を用いており、研究室での事前実験により傾きやスケール感の精度さがインテリアシミュレータとしての使用に耐えうる精度であることを確認している。公開実験では、事前実験で用いた画像を提供したため、マーカ・トラッキングの精度に問題はないと思われる。家具モデルの遠近感、傾きがやや不自然であるとの意見もわずかながら見られたが、これらの評価については他の要因の改善により変化が見られることも考えられるため、今後の評価の集積を待ちたい。

4.3. 家具モデルの幾何学的前後関係

通常の AR システムでは、現実環境の画像に対し、三次元モデルを上書きする形で合成するため、現実物と三次元モデルの前後関係の破綻が起こる（図3）。オクルージョン問題と呼ばれるこの不整合は、一見して明らかであるため AR システムのユーザに違和感を与える要因となりやすく、プロトタイプの公開実験においても、家具モデルと既存の家具や壁との前後関係の破綻に違和感を覚えるとの意見が確認された。著者らはこれまでに、現実環境の三次元幾何形状を取得することによるオクルージョン問題の解決手法を提案しているが⁴⁾、Web システム上での一般ユーザによる再現が困難であるため、現段階では実装についての検討はしていない。この問題については、既存の家具と同一の家具モデルを用いて新たに検討する家具モデルを遮蔽するなど、今後の家具モデルの拡充により解決されることも考えられる。



図3. 現実物と三次元モデルの前後関係の破綻

4.4. 家具モデルの陰影

家具モデルの影の表現がなされていない点に違和感がある、あるいは家具モデルが浮いているように見えるとの

意見が得られた。浮遊感についてはオクルージョン問題の影響も考えられるが、配置した家具モデルが現実の床平面に落とす影がないために、周囲の既存建築物から浮遊しているような印象を与えていたものと思われる。三次元モデルが他の三次元モデルや現実環境に落とす影の再現が、ARにおける三次元モデルと現実環境の位置関係の把握を容易にするという報告もあり⁵⁾、被験者のこれらの反応については事前に予想されたものであった。

今後の評価の収集にあたり、陰影の有無や再現性がARシステムの評価に与える影響に関して調査するため、シャドウマップを利用する手法により三次元モデルが落とす影の表現を試みた。家具や照明などの三次元モデルは、マーカ・トラッキングにより得られたマーカ座標系のマーカ面と平行な平面上に配置される。この平面上に、影を投影するための仮想床として黒色の平面オブジェクトを設定し、仮想床平面をレンダリングする際のアルファ値の設定にシャドウマップのデプス値を用いることで、家具モデルが既存の床平面に落とす影を表現した(図4)。



図4. 三次元モデルが床に落とす影の表現

ARにおける陰影表現については、現実環境内の光源情報を取得し、合成シーンの作成に利用する手法の研究がなされている。Devebecは、球状の鏡に写る反射光を測定し、佐藤らは、動画の画像内に写り込んだ、三次元幾何情報が既知の実物体に生じた影を解析することで、リアリティの向上を図った⁶⁾⁷⁾。しかし、ARシステムの一般的なユーザの環境では、これらの手法が再現できない場合が多く、広く公開することを目的としたARシステムのアクセシビリティを考慮すると、導入は難しいといえる。また、ユーザの撮影した一枚の画像から光源環境を正確に推定することも困難である。よって、現段階ではアプリケーションのインタフェースによる光源の設定が行える機能を設けるにとどめた。本アプリケーションで実装した陰影表現・設定機能に対する考察は、今後の評価の集積を待ちたい。

4.5. 家具モデルの質感

家具の三次元モデルデータはBlenderという三次元モデルで自作しており、Web上での表示に適したファイル形式

に書き出し、サーバのデータベースへ置いている。プロトタイプで提供した家具モデルの中には、質感に違和感があると評されたモデルもあった(図5)。



図5. 質感に違和感があるとされた家具モデルの例

三次元モデルでの質感の再現についてはAR技術の範囲外ではあるが、その精緻さが合成シーンのリアリティを左右し、ARシステムの実用性評価に対し重要な要因となることがわかった。ARシステムのリアリティを著しく低下させるモデルについて、適宜、三次元モデル、ARシステムでの材質設定などの調整を行っていく。また、Web上のシステムによる三次元モデルのリアルタイムレンダリングの品質にも一定の限度があると思われ、この点についてはプロトタイプのシステム構成で対処することは難しい。対応策として、最終的なシミュレート結果の合成シーンをレンダリングするときのみ、商用レンダラを利用する手法が考えられる(図6)。



図6. 右: 商用レンダラによるレンダリング

三次元モデルデータのデータ交換工程にも改良を加えた。プロトタイプのシステムでは、Blenderのエクスポートを使用して一度x3dファイル形式へ出力した後、C++を用いて独自に組んだパーサで読み込み、家具データのデータベースへの登録と、JavaScript形式データへの変換を行っていた。これらの仕様を見直し、データの登録・変換の両方をBlenderから直接行なうアドオンを作成した。ARとは直接関係のないバックグラウンドの改良ではあるが、工程を簡潔化したことで、材質設定を始めとするデータへのアクセス性や作業効率の向上が見込まれ、より高品質な家具モデルの作成・提供ができると思われる。

4.6. インタフェースやその他機能

インタフェースや機能など合成シーン以外への評価から、対応すべきと思われた点に関し以下に示す仕様の変更や改善を行った。

・インタフェース

実験中の被験者の操作に見られたエラーとして、家具モデルを変更する際に、家具モデル一覧に表示されたサムネイルを合成シーンに直接ドラッグアンドドロップしようとする事例が多くあった。事前に予想しなかったエラーであったが、ユーザの潜在的な要求による行動であると思われるため、サムネイル画像を表示している HTML タグに家具モデルの ID を持たせることでこの機能を実装した。家具モデルの移動や回転を行うインタフェースの実装についても、被験者の意見や操作の観察を参考に、本アプリケーションに初めて触れるユーザでも直感的な操作できるよう改良を加えた。

・複数の家具モデルによるシミュレーション

複数の家具モデルを用いたシミュレーションを行いたいという意見があった。プロトタイプシステムでは、シミュレーションに使用された家具モデルとユーザ評価を一对一で紐付け、考察を行うことを想定した仕様であったため、インテリアシミュレータのユーザが要求する仕様との間に相違が生じたものと思われる。複数の家具モデルを配置しシミュレーションを行えるよう仕様を変更した(図7)。なお、本アプリケーションではシミュレートできる家具モデルとして100個以上の三次元モデルを提供しており、それらの三次元モデルデータを一度に読み込むことによるクライアントへの負荷の増大を避けるため、サムネイルのクリックやドラッグ開始を家具モデル追加の準備段階とし、このタイミングでデータを読み込む仕様とした。

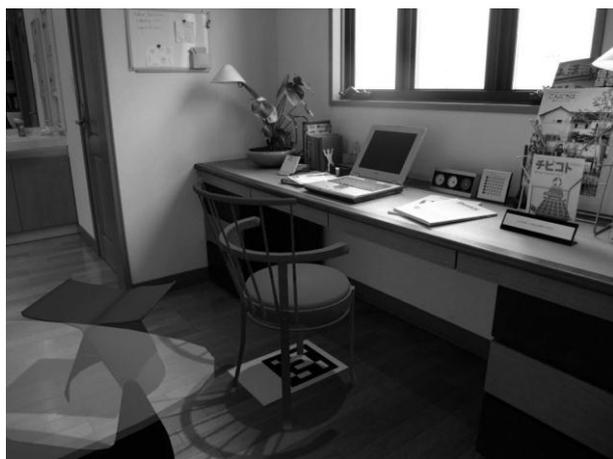


図7. 複数の家具モデルによるシミュレーション

・家具に関する情報の閲覧

選択した家具に関する情報が閲覧できる機能が欲しいとの指摘があったため、サーバのデータベースを拡張、紐付けし、デザイナー名、家具名などといったデータの格納を行った。図8に拡張したデータベースのスキーマを示す。

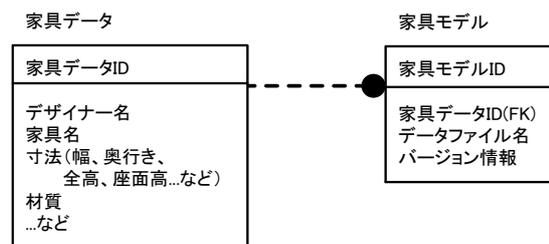


図8. 家具データに関するデータベースのスキーマ

5. まとめ

本報では、不特定多数の評価者による客観的なシステム評価を通しARシステムの実用性評価に関する考察を行うという目的のために、ARを用いたインテリアシミュレータのプロトタイプに対し公開実験により得られた評価を、対応する仕様・要素技術と合わせて考察した。また、家具モデルの陰影の表現やインタフェースなど、プロトタイプに対し改良を加えた点について報告した。

今後は、このWebアプリケーション^{注2)}から得られるユーザの評価を分析し、建築分野におけるARシステムの実用性評価についてより詳細な水準で考察を行う。特に、今回実装した機能である家具モデルの陰影の表現が、他の評価項目へ与える影響について実験を行う計画である。

[注]

注1) 詳しくは前報²⁾を参照されたい。

注2) http://hlab-annex.ta.chiba-u.jp/webar/WebAR_InteriorDesignSimulator/にて公開している。

[参考文献]

- 1) H. Ishii, et al: Augmented Urban Planning Workbench: Overlaying Drawings, Physical Models and Digital Simulation, ISMAR 2002, September 30 - October 1, 2002.
- 2) 田中智己, 他 3 名: 拡張現実感を用いたインテリアシミュレータの Web アプリケーションへの展開, 第 34 回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集 (社) 日本建築学会・情報システム技術委員会, pp.183-186, 2011.12.
- 3) 山田祐輝, 他 2 名: AR/MR インテリアシミュレータの実用性の検証, 日本建築学会大会 (東北) 学術講演梗概集, A-2, pp. 487-488, 2009.8.
- 4) 福井雅俊, 他 3 名: 実物と仮想物の前後関係を考慮した屋外拡張現実感の試行, 日本建築学会大会 (東海) 学術講演梗概集, a-23_pp.35-36, 2012.9.
- 5) N. Sugano, H. Kato, and K. Tachibana: The Effect of Shadow Representation of Virtual objects in Augmented Reality, ISMAR 2003, pp.76-83, 2003.
- 6) P. Debevec: Rendering Synthetic Objects into Real Scenes: Bridging Traditional and Image-based Graphics with Global Illumination and High Dynamic Range Photography, Proc. SIGGRAPH 98, pp.189-198 (July 1998).
- 7) 佐藤いまり, 佐藤洋一, 池内克史: 物体の陰影に基づく光源環境の推定, 情報処理学会論文誌. コンピュータビジョンとイメージメディア 41(SIG_10(CVIM_1)), 31-40, 2000-12-15.

- *1 千葉大学大学院工学研究科 博士後期課程
- *2 千葉大学大学院工学研究科 博士後期課程
日本学術振興会特別研究員 DC
- *3 建築研究所 博 (工)
日本学術振興会特別研究員 PD
- *4 千葉大学大学院工学研究科 准教授 工博