Web アプリケーションへ展開した AR インテリアシミュレータへの
評価の分析

－建築分野における AR の利活用に関する研究－

EVALUATION FOR A WEB AR INTERIOR-DESIGN SIMULATOR

－ Application of AR system for A/E/C fields －

田中智己*, 中林拓馬**, 加戸啓太***, 平沢岳人****

*Tomoki TANAKA, Takuma NAKABAYASHI, Keita KADO
and Gakuhito HIRASAWA*

The authors developed a Web Application for an Interior-Design Simulator using Augmented Reality (AR). The application aims for getting the evaluation of AR systems from third party. In this paper, we described the results of the evaluation experiment with two versions of the system, and the improvement that was given to the system between two experiments. The conclusions are as follows.

- 1) The reproduction of the shadow which CG models casted on a real floor improves the evaluation of AR systems significantly.
- 2) The operability of CG models probably influence the evaluation of geometric consistency in AR systems.

Keywords : *Augmented Reality, Interior-Design Simulator, Web Application, Practicality Evaluation*

拡張現実感, インテリアシミュレータ, Web アプリケーション, 実用性評価

1. はじめに

1.1. 研究の背景と目的

拡張現実感(AR: Augmented Reality)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り、昨今のコンピュータ技術の急速な発達に伴い様々な分野において研究が行われている。本稿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の映像に重畳して情報提示を行う手法であり、全てを仮想物として表現する仮想現実感(VR: Virtual Reality)と比較して現実環境の反映が容易であるという利点がある。敷地や周辺の建築物など既存の周辺環境を含めた検討が必要とされる建築分野でも、AR の有益な利活用について可能性が見込まれる。

著者らはこれまでに、建築分野における AR の実用性の高い活用方法を検討し、インテリアのシミュレーションを行う Web アプリケーションの開発を行ってきた¹⁾³⁾。このアプリケーションは、ユーザの自室の写真を点景として、それに対して三次元モデルを重畳することで、既存のインテリアとの調和や配置などをシミュレートするものであり、建築の専門家でない者もユーザの対象としている。利用シーンとしては、ユーザが新たなインテリアを購入する際に、家具販売店へ出向く事前の検討やオンラインショップでも詳細な検討ができれば有益であると考え、ユーザの自宅からインターネットを介して利用することを想定している。

さて、AR を利用したシステムの実用性の評価は、一般に、重量結果が AR システムのユーザへ与える違和感の有無など感覚的な要素に依るところが大きく、システム開発者の主観評価のみで実用性について考察することは難しい。先述した AR 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^{注1)}は、実用に即した利用シーンへの対応の他に、ユーザ評価の収集を意図したものである。AR インテリアシミュレータを Web アプリケーションとして公開し、不特定多数の第三者による評価が集積していくことで、建築空間に AR を適用したシステムの実用性評価の指標を得ることができると考えられる。

本稿では、Web 上で評価の収集を行う前段階として、AR インテリアシミュレータの Web アプリケーションの開発過程で二度にわたって実施した公開実験をそれぞれ第一段階、第二段階とし、これらを通して得た評価について、第一段階から第二段階までにシステムへ施した機能の付加および技術的改良との関連を示しつつ分析を行い、AR システムの実用性に加えインテリアシミュレータとしてのユーザビリティについて考察する。

1.2. 研究の位置づけ

AR を利用してインテリアのシミュレーションを行うシステムが実際に Web 上で公開・配布されている事例はみられるが、それらは主として商品 PR 用途あるいは AR 技術の初歩的なデモ用途であり、

* 千葉大学大学院工学研究科 博士後期課程

** 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 DC2*** 建築研究所
日本学術振興会 特別研究員 PD

**** 千葉大学大学院工学研究科 准教授

Graduate Student, Graduate School of Engineering, Chiba University
Graduate Student, Graduate School of Engineering, Chiba University
JSPS Research Fellow
Building Research Institute
JSPS Research Fellow
Assoc. Prof., Graduate School of Engineering, Chiba University

実用性の評価を目的としたものではない^{注2)}。また、AR を適用する分野や用途によって実用性評価の指標は異なり^{注3)}、建築分野における AR 技術の応用が少ない現状からも、独自に開発した Web アプリケーションによって著者ら自らが AR システムの設定、操作を行いつつ、実用性やユーザビリティについて建築分野固有の評価を試行することは価値がある。

2. AR システムの実用性評価

実用性の高い AR システムの実現には三つの整合性を確保すべきといわれている⁴⁾。現実環境と仮想環境の空間的な位置合わせを意味する幾何学的整合性、現実環境の変化と仮想物の重畳処理の時間同期に関する時間的整合性、現実環境と仮想環境の光環境・色調・コントラストなど見え方に関する光学的整合性の三つである。これらに加え、現実環境と仮想物の前後関係の破綻（オクルージョン問題）の解消や、重畳する仮想物の精緻さなど、重畳結果のリアリティを向上させる手法も AR システムの実用性に影響を与える。

著者らはこれまでに建築分野における AR の活用法として、インテリアシミュレータ、設計段階での視覚的な検討手法、失われた歴史的建造物の視覚的再現などについて検討し、建築分野に AR を用いる際に課題となり得る問題の解決に取り組んだ⁵⁾¹⁰⁾。これらの研究を通し、カメラの移動などによる三次元モデルのズレとブレ、現実環境と CG 化された三次元モデルとの光環境の不一致、オクルージョン問題などの要因が重畳結果のリアリティを著しく損なわせ、AR システムの実用性を低下させることを確認している。

他分野での AR の位置合わせ精度の評価方法に言及すると、様々な角度からの評価や比較が行われているなかで、柴田らにより、標準となる定量的な評価方法を策定し、精度検証用の映像セットやアプリケーションといったパッケージを作成する試みが行われている¹¹⁾。しかし、これら位置合わせ精度をはじめとする要因について個々に評価することは可能であっても、様々な因子が複合的に影響する AR システムそのものの実用性に関しては、個別の要因の定量的評価では足りず、多数のユーザによる批判を総合しての実用性の判断が理想的である。

3. 公開するアプリケーションについて

3.1. インテリアシミュレータの Web アプリケーション化

ユーザへ公開するアプリケーションは、著者らが以前に開発したスタンドアロン型の AR インテリアシミュレータ^{12)13)注4)}を Web アプリケーション型へ展開するため、全て C++ で記述されていたスタンドアロンシステムを HTML、JavaScript、PHP といった言語に置き換えたクライアントサーバシステムである^{注5)}。

3.2. 実用性評価の対象とした AR システムの基本仕様

本アプリケーションにおいて評価の主対象となる AR システムの基礎部分の仕様については第一・第二段階に共通する。

・マーカトラッキング方式による位置合わせ

AR を用いたシステムの位置合わせにおいて、マーカトラッキング方式を採用する例が最も多い^{注6)}。この手法は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意図した位置に三次元モデルを重畳する。AR

システムの実装手法として、マーカトラッキング方式は特別なデバイスが不要で、一般的に広く普及しているデジタルカメラなどで実行できるため、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。よって、本システムの AR にはマーカトラッキング方式を採用する。トラッカーには ARToolKitPlus^{注7)}を採用した。

・静止画を対象とした AR

本研究では建築分野への AR の利活用の可能性について興味がある。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、動画を対象とした AR では主に使用するカメラ等の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、一フレームごとの位置合わせの精度や合成シーンのリアリティなど、建築空間に適用した AR システムの実用性評価に直結する要因との切り分けが難しい。よって、本研究では敢えて静止画を対象とした AR を取り扱い、前章で挙げた要因から、カメラの移動によるズレやブレ、視点・視線方向の変化との時間同期といった要因を排除した AR システムについて評価を行う^{注8)}。

3.3. アプリケーションの利用手順

本アプリケーションのユーザは利用に際し以下の手順を踏む。

- 1) Web ページからダウンロードしたマーカを印刷し、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を置く。
- 2) デジタルカメラなどでマーカをフレーム内に収めながら写真を撮影する。
- 3) Web ページからカメラの焦点距離（画角情報）の選択と撮影した画像のアップロードを行う。
- 4) 重畳結果の表示画面下に展開されている家具モデルの一覧（次頁図 1 の下部）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) 重畳結果を画像ファイルとしてダウンロードする。

4. アプリケーションの改良

後述する第一段階への評価の分析から、第二段階の調査に向け AR システムに改良を施した。また第二段階への準備として、インタフェースや機能など、AR による合成シーン以外へのアプリケーションに対する被験者の評価や実験時における被験者の観察から得られた様子から、対応すべきと思われた事柄の改善に努めた^{注9)}。

4.1. 三次元モデルが現実環境に落とす影の表現

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。マーカ平面（床平面）上に、影を投影するための仮想床として黒い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深度値を用いることで、家具モデルが現実の床平面に落とす影を表現した（図 1）。

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¹⁴⁾¹⁵⁾。しかし、本システムが想定するユーザの使用環境では、これらの手法の再現は困難であると考えられ、また、広く公開することを目的とした AR システムの汎用性を考慮すると、これらの手法の導入は過剰であるといえる。また、ユーザの撮影した一枚の画像から光環境を正確に推定することも困

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。第一段階では、サーバのリレーショナルデータベース^{注 10)}に家具モデルのバージョン管理のためのテーブルを作成していた。このテーブルをもとにデータベースのスキーマを図4のように拡張、紐付けし、デザイナー名、家具名、寸法などのデータを新たに格納した。第二段階のアプリケーションではサムネイルをクリックするか、配置した家具モデルにマウスカーソルを重ねることで、その家具に関する情報がテキストとして表示される。

表 1 評価項目

	質問	[5](5点)	[4](4点)	[3](3点)	[2](2点)	[1](1点)
1) 幾何学的整合性	家具モデルの形に違和感がありましたか	無かった	あまり無かった	どちらとも言えない	やや有った	有った
2) 光学的整合性	家具モデルの色や光に違和感がありましたか	無かった	あまり無かった	どちらとも言えない	やや有った	有った
3) 操作性	アプリケーションの操作は簡単でしたか	簡単	やや簡単	どちらとも言えない	やや難しい	難しい
4) 満足度	アプリケーションに満足しましたか	満足	やや満足	どちらとも言えない	やや不満	不満

図 5 AR インテリアシミュレータ・第一段階（左）、第二段階（右）

表 2 被験者の個人属性

	第一段階（2011年11月5日実施）	第二段階（2012年11月3日実施）
1) 性別	男性34名、女性24名（計58名）	男性26名、女性14名（計40名）
2) 年齢	19歳以下14名、20代前半26名、20代後半9名、30代2名、40代2名、50代3名（平均年齢24.3歳）	19歳以下15名、20代前半11名、20代後半3名、30代2名、40代3名、50代6名（平均年齢27.8歳）
3) 専攻・職業 大学での専攻または職業が 建築・プロダクト・デザインの どれかに当てはまるか	当てはまる(5点)35名、やや当てはまる(4点)3名、 どちらとも言えない(3点)1名、あまり当てはまらない (2点)2名、当てはまらない(1点)15名、 無回答2名	当てはまる(5点)20名、やや当てはまる(4点)6名、 どちらとも言えない(3点)2名、あまり当てはまらない (2点)0名、当てはまらない(1点)11名、 無回答1名
4) ARの知識 「AR」または「拡張現実感」 という言葉を知っていたか	知っていた(5点)11名、やや知っていた(4点)13名、 どちらとも言えない(3点)2名、あまり知らなかった (2点)10名、知らなかった(1点)22名	知っていた(5点)10名、やや知っていた(4点)7名、 どちらとも言えない(3点)0名、あまり知らなかった (2点)7名、知らなかった(1点)16名

表 3 個人属性の F 検定と t 検定

		平均	分散	F検定(p値)	t検定(p値)
2) 年齢	第一段階	24.4561	82.9668	0.0095 **	0.1446
	第二段階	28.1026	164.9366		
3) 専攻・職業	第一段階	3.7321	3.1815	0.4437	0.7520
	第二段階	3.6154	3.0324		
4) ARの知識	第一段階	2.6724	2.6101	0.3391	0.9356
	第二段階	2.7000	2.9333		

* 5%水準, ** 1%水準, *** 0.1%水準

5. AR インテリアシミュレータの公開実験

第一・第二段階の AR インテリアシミュレータについてそれぞれ公開実験を実施した。

5.1. 実験方法

本アプリケーションは Web 上での公開の初期段階にあり、インタフェースの操作性などユーザビリティについては著者らによる被験者の観察が必要であるため、評価の収集は本研究室を会場とする公開実験の形を採った^{注 11)}。実験は被験者にアプリケーションの概要を説明し、体験後にアンケートへの回答を依頼するという手順で行った。なお、シミュレーションの対象となる部屋の写真については著者らが事前に用意した。

5.2. 評価項目

表 1 に評価項目を示す。2 章で述べた AR システムの幾何学的整合性、光学的整合性の評価に該当する項目として表 1 の 1)、2)を、アプリケーションとしてのユーザビリティを問う項目として 3)を、全体的な評価として 4)を質問として設定した。また、項目 1)、2)に

については自由記述による意見の収集も行った。各項目に対する五段階評価の集計値と平均値から第一・第二段階間での比較を行う。自由記述による回答では被験者の観察から得られた知見と合わせ、各段階にて分析し課題の抽出を試みた。

5.3. 被験者

被験者の個人属性を表 2 に示す。なお、両実験の被験者に対応はないが、表 2 の 2)- 4)の各項目について F 検定（等分散検定）と t 検定（平均の有意差の検定）を行い、両実験間で被験者の個人属性の平均に有意差が無いことを確認している（表 3）^{注 12)}。

図 6 五段階評価の集計結果（左：第一段階、右：第二段階）

表 4 五段階評価の平均と t 検定の結果

	平均	t 検定 (p 値)
1) 幾何学的整合性	第一段階 3.5000 第二段階 4.0000	0.0269 *
2) 光学的整合性	第一段階 2.7069 第二段階 3.8750	4.9623e-6 ***
3) 操作性	第一段階 4.3966 第二段階 4.3250	0.7148
4) 満足度	第一段階 4.2931 第二段階 4.5250	0.1063

* 5%水準, ** 1%水準, *** 0.1%水準

表 5 自由記述による意見（第一段階）

1) 幾何学的整合性	スケール感 (N=3)	家具モデルの傾きがやや不自然 家具モデルの遠近感など
	オクルージョン問題 (N=3)	既存の家具との関係 壁もあるといい
2) 光学的整合性	影の表現 (N=10)	影がない
		光の感じが変
		光の入り方が違い、浮いているように見える
	三次元モデルの質感 (N=12)	CGっぽかった
	テクテクしている	
	色合いが均一	
	材質ごとの質感等が再現できなかったらなおよい	

表 6 自由記述による意見（第二段階）

1) 幾何学的整合性	スケール感 (N=1)	スケールが分かりづらい
2) 光学的整合性	影の表現 (N=3)	影の形がなめらかではなかった 影の力が強すぎると感じた
	三次元モデルの質感 (N=8)	CGっぽさを感じる 素材が全てテクテクして見える 色が一樣 素材感が不足している感じ

6. 評価の結果と考察

6.1. 五段階評価の相対的な比較

第一・第二段階についての五段階評価の集計結果を図 6 に、平均値の比較と t 検定の結果^{注 13)}を表 4 に示す。

1) 幾何学的整合性について

AR システムに対する評価として「違和感は無かった」、もしくは「あまり無かった」、と回答した被験者の割合が、第一段階では約 60%であったのに対し、第二段階では 80%となり、第一段階と第二段階の平均値に有意差が見られた。

2) 光学的整合性について

第一段階では「違和感があった」もしくは「ややあった」との回答が 50%以上を占めていたが、第二段階で 20%まで降下した。「違和感は無かった」、もしくは「あまり無かった」、と回答した被験者の割合が、第一段階で約 35%、第二段階で 75%と約 40%の大幅な上昇を見た。平均値では第一段階の約 2.7 から約 3.9 へと上昇し、五段階評価の段階が一つ上がる結果となり、t 検定の結果より有意差が確認された。光学的整合性への評価の向上については第二段階で実装した家具モデルが落とす影の表現による影響が非常に大きいと考えられる。

3) 操作性について

操作性の平均値を比較すると第二段階でわずかな低下が見られるが、複数の家具を用いたシミュレーションやスポットライトの設定など機能が多様化、GUI のメニュー構成が複雑化したことがその理由であると考えられる。両段階間に有意差は認められなかった。

4) 満足度について

「満足」と評価した被験者の割合が第一段階での約 40%から第二段階で 60%以上になり、20%以上の増加が見られ、平均値も約 0.2 増加した。t 検定の結果から有意な差とは言えないが、1)、2)の AR システムに対する評価の大幅な向上がアプリケーションとしての満足度を高め、実用性の向上につながったと考える。

6.2. 自由記述による評価の分析と課題

評価項目 1)、2)の自由記述により得られた意見を表 5、表 6 に示す。これらの意見は、違和感を生じさせていると思われる要因から、スケール感、オクルージョン問題、影の表現、家具モデルの質感の四つに大別できた。

6.2.1. 幾何学的整合性（スケール感）

家具モデルの遠近感、傾きが不自然であるとの意見が見られた。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確さがインタ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^{注 14)}。公開実験では AR システムで用いる画像を用意しておき、これらの正確なカメラ変数を算出済みである。したがって、トラッキング精度は十分に信頼に足るものとなっている。

第二段階の公開実験においても、スケール感への言及がわずかながら見られた。マーカトラッキングの精度については前述したとおり問題ないが、用意した家具はいずれも有名なデザイナーズチェアなどで、被験者にとって、実物は見たことがなくてもグラビアなど

見知ったものであることが多い。これらの家具が、被験者が想像していたよりも大きかったことがスケール感への言及につながった可能性が高いと思われる^{注15)}。これらの評価については光学的整合性の改善による仮想物のリアリティの向上などにより変化が見られることも想定されるが、今後の評価においてもこのような回答が見受けられる場合は、アンケートの評価項目に変更を加えるなどして有意性を検証したい。

6.2.2. 幾何学的整合性（オクルージョン問題）

第一段階において、家具モデルと既存の家具や壁との関係に違和感を覚えるとの意見が確認された。2章で述べたオクルージョン問題によるものと思われるが、図7に示す通り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易い。著者らはこれまでに、デジタルカメラで撮影した写真群から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¹⁶⁾、Webシステム上での一般ユーザによる再現が困難な手法であるため、第二段階に向けた改良においても実装を見送った^{注16)}。

第二段階では上述のような意見は見られなかった。観察された被験者の様子から考察するに、インタフェースの改良により操作性が向上し、家具モデルが被験者にとって予想外の挙動をするケースが減少したことが要因の一つである。すなわち、被験者の家具モデル操作において、もとよりオクルージョン問題が発生する位置へ家具の移動がなされなくなったことに起因すると考えられる。

図7 既存インテリアと家具モデルの前後関係の破綻

6.2.3. 光学的整合性（影の表現）

第一段階において、家具モデルの影がない、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¹⁷⁾、第二段階のARシステムにこれを実装した。

第二段階では、追加実装した家具モデルが落とす影の表示に対し、影の形が滑らかでない、あるいは影が強すぎるといった意見が得られた。CGによる影のリアリティについては、コンピュータビジョンの分野においてソフトシャドウと呼ばれる自然な影の表示に関し

研究が盛んに行われている。第二段階のシステムではその手法の一つであるPCF(Percentage Closer Filtering)^{注17)}を用い、簡易な実装ではあるが影の輪郭を目立たなくする処理を行なっている。上述の意見については、今後、本システムに対し応用可能な技術について適宜検証し対応していく。

6.2.4. 光学的整合性（家具モデルの質感）

第一段階、第二段階に共通して、家具モデル素材の質感に違和感があるとの意見が自由記述による評価のなかで最も大きな割合を占めた。三次元モデルでの質感の再現については狭義の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は適宜、三次元モデラ、ARシステムでの材質設定などの調整を行う必要が生じた。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、この点については現状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、商用ソフトウェア等を利用してプレレンダリングする手法が考えられる。

7. まとめ

ARを利用したインテリアシミュレータのWebアプリケーションに対し行った二度の公開実験によるアンケートの結果から、建築分野でのARの利活用に関して、有効性の客観的な評価を得ることができた。第一段階および第二段階ではシステムが提供する機能や完成度が異なるが、それらの違いがアンケート結果に反映されることが示された。

インテリアシミュレータに適用したARシステムにおいては、家具モデルが現実の床に落とす影が表現されていない合成シーンがユーザに違和感を与えることがアンケート調査により明らかとなった。また、CGによる三次元モデルや影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影響を与えることが明らかとなった。影の表現に関してはシャドウマップとPCFを用いた手法を試み、影を表現しないケースと比較してARシステムの完成度が向上することを示した。

インテリアシミュレータのアプリケーションに付加すべき機能やインタフェースの向上についても、公開実験によるアンケート調査や被験者の観察から知見を得ることができた。また、インタフェースの改良については想定外の効果があり、ARシステムの幾何学的整合性の評価に対し影響を与える可能性があることを示した。

公開実験でのアンケート調査は、建築分野へ応用したARシステムの実用性の客観的な評価を取ることが本来の目的であったが、アンケートによる評価の収集を繰り返したことで、実用性向上の副次的効果もあったと思われる。第一段階に対して得られた評価を考慮して施した技術的な改良によりシステムの完成度が向上したことから、ユーザアンケートがARシステムの改良に有効な手法の一つである可能性を示した。

今後は、本アプリケーションをWeb上で公開^{注18)}することで、より大きな母集団による評価を期待できる。また、アンケートによらない評価手法を検討するなどして、より客観性の高い評価の取得に

努める。さらに、第二段階で得られた評価や Web 公開による評価をアプリケーションに反映させるとともに、建築分野における他の応用シーンでの AR システムの客観的な有効性に関して検証を進める計画である。

参考文献

- 1) Tomoki Tanaka, Takuma Nakabayashi, Keita Kado, Gakuhiro Hirasawa: A Web Application for an Interior-Design Simulator using Augmented Reality, The 21st International Conference on Artificial Reality and Telexistence, pp.151, 2011.11
- 2) 田中智己, 中林拓馬, 加戸啓太, 平沢岳人: 拡張現実感技術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) 田中智己, 中林拓馬, 加戸啓太, 平沢岳人: 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, 第 35 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.239-242, 2012.12
- 4) 亀田能成, 蔵田武志, 清川清, 稲見昌彦, 伴好弘, 苗村健, 神原誠之, 黒田知宏, 前田典彦: MR・AR・VR の現状—何ができて何ができていないのか? これから何をやるべきか? —, 日本バーチャルリアリティ学会第 13 回大会, 2B1-1, 2008.9
- 5) 加戸啓太, 平沢岳人: コンピュータビジョンによる建築部位等の採寸に関する研究, 日本建築学会技術報告集, 第 14 巻 第 27 号, pp.307-310, 2008.6
- 6) 加戸啓太, 中林拓馬, 平沢岳人: 軽装備での写真測量に関する研究, 日本建築学会技術報告集, 第 17 巻 第 35 号, pp.393-396, 2011.2
- 7) 中林拓馬, 江原司, 加戸啓太, 平沢岳人: 大規模空間において実寸大表現が可能な拡張現実感システムの開発, 日本建築学会計画系論文集, 第 76 巻第 667 号, pp.1753-1759, 2011.9
- 8) 中林拓馬, 加戸啓太, 平沢岳人: 拡張現実感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, 第 17 巻第 37 号, pp.1053-1056, 2011.10
- 9) 加戸啓太, 岩田健吾, 中林拓馬, 平沢岳人: 三次元 CAD とコンピュータビジョンによる写真管理に関する研究, 日本建築学会技術報告集, 第 18 巻 第 39 号, pp.781-784, 2012.6
- 10) 中林拓馬, 福井雅俊, 平沢岳人: 屋外向け拡張現実感景観シミュレータの没入感向上に関する研究, 日本建築学会技術報告集, 第 19 巻 第 42 号, pp.787-792, 2013.6
- 11) 柴田史久, 池田聖, 蔵田武志, TrakMark WG: TrakMark WG 中間報告～AR/MR 位置合わせ&トラッキング手法の評価方法策定, 第 15 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, pp.107-111, 2010.6.30
- 12) 山田祐輝, 加戸啓太, 平沢岳人: 複合現実感を用いたインテリアシミュレータの開発, 日本建築学会大会学術講演梗概集, A-2, pp.505-506, 2008.9
- 13) 山田祐輝, 加戸啓太, 平沢岳人: AR/MR インテリアシミュレータの実用性の検証, 日本建築学会大会学術講演梗概集, A-2, pp.487-488, 2009.8
- 14) 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, 1998.7
- 15) 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)), pp.31-40, 2000.12.15
- 16) 福井雅俊, 中林拓馬, 平沢岳人: 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, 日本建築学会大会学術講演梗概集, a-23 pp.35-36, 2012.9
- 17) N. Sugano, H. Kato, and K. Tachibana: The Effect of Shadow Representation of Virtual objects in Augmented Reality, ISMAR 2003, pp.76-83, 2003.

注

- 注1) 2008 年に開発したデスクトップタイプ of アプリケーション (参考文献 4)5)) から Web タイプへ展開した。
- 注2) したがって、論文として報告されたものはみられない。
- 注3) 例えば、医療分野におけるオペレーション補助を目的とした AR システムでは、重量される三次元モデルの陰影の再現は必ずしも重要ではなく、評価項目としての重要性は低い。

- 注4) 参考論文 4)5)で検証したインテリアシミュレータは、AR システムが設置された家具販売店などへユーザが写真を持ち込むことによる利用を想定していた。Web アプリケーションへの展開は、システムの適用対象 (場所) を選ばないという利点があることの他に、不特定多数の利用者による評価を得ることが主たる目的である。
- 注5) Web アプリケーションの画面構成等を HTML で、クライアント・サーバ間の画像データや位置合わせデータの交換を PHP で、画像解析による位置合わせ情報の取得をサーバに設置した C++プログラムで、Web ブラウザ上での合成シーンの描画を JavaScript で処理している。
- 注6) マーカトラッキング方式以外の位置合わせ手法としては、カメラの位置を GPS から取得し、カメラの姿勢を角加速度センサから、または予め作成した画像パターンとのマッチングにより取得する手法などが挙げられる。マーカトラッキング方式はこれらの手法に比べ、上述したデバイスや適用する現実環境ごとの画像パターン作成といった準備が不要であり、汎用性に優れている。また、マーカトラッキング方式は開発環境や実装に関する情報が豊富に公開されていることもあり、AR システムの位置合わせ手法として最も一般的である。
- 注7) 最も一般的な AR の C 言語ライブラリである ARToolKit (奈良先端科学技術大学の情報科学研究科教授、加藤博一氏が開発) を拡張したもの。ARToolKitPlus はグラーツ工科大学の Handheld AR Project のチームにより開発、公開されている。
- 注8) なお、AR システムの開発において、メディアが動画あるいは静止画であることに起因する、実装上の違いはほとんどない。
- 注9) 第一段階のシステムの詳細な構成、実装については紙面の都合上割愛する。参考文献 1)-3)を参照のこと。
- 注10) PostgreSQL。
- 注11) 本稿の執筆段階では、Web 経由で収集できているアンケート結果は十分な量に達していないため、考察の対象から外した。
- 注12) 有意水準は 5%とした。なお、専攻・職業の項目については、無回答計三名を除いた。
- 注13) F 検定の結果から、四項目ともに等分散とみなして t 検定を行った。有意水準は 5%とした。
- 注14) ARToolKitPlus を用いた採寸システムの精度については参考文献 7)に詳しく報告済みである。インテリアシミュレータ用途には十分な精度である。
- 注15) 用意したデザイナーチェアなどの家具は海外製のものがほとんどだが、これらは往々にして日本の住宅に対しサイズが大きい。
- 注16) オクルージョン問題については、既存のインテリアと同一の三次元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。
- 注17) 影計算用テクスチャのピクセル毎に近傍ピクセルの深度値と影描画閾値との比較を行い、その平均値でソフトシャドウを実現する手法。
- 注18) http://hlab-annex.ta.chiba-u.jp/webar/WebAR_InteriorDesignSimulator/ にて公開している (2013 年 11 月現在)。

(2013 年 8 月 20 日原稿受理, 2014 年 1 月 10 日採用決定)