

建設工程の時系列デジタルアーカイブ

3D バーチャルツアーを用いた若手技術者のための教育ツールの開発

Time-series digital archive of construction process

Development of educational tool for young engineers using 3D virtual tour

○下川 雄一^{*1}, 須田 達^{*1}, 矢野 拓幹^{*2}, 野村 秀久^{*2}
Yuichi SHIMOKAWA^{*1}, Tatsuru SUDA^{*1}, Takumi YANO^{*2}, Hidehisa Nomura^{*2}

*1 金沢工業大学大学建築学部建築学科 教授・博士(工学)
Prof., Dept of Architecture, Kanazawa Institute of Technology, Dr. Eng.

*2 真柄建設株式会社
Magara Construction Co., Ltd.

キーワード : 3D ;VR ; 360° 画像; フォトグラメトリ; 建築教育教材; 現場見学

Keywords: 3D; VR; 360 degree image; Photogrammetry; Architectural educational materials; Site visit

1. 研究の背景と目的

大学や高校、建築の企業における教育や新人育成に関して建築施工の理解には、実際の建設現場での体験や観察が重要である¹⁾²⁾。しかし現場見学は安全面の配慮に加えて時期および時間を限定されるため、全体工程を理解し難い。これに対して全周囲の映像を自由に観察でき、各工程の作業内容を閲覧できる3Dバーチャルツアー技術を用いることで建設現場の状況把握や各工程の作業内容が理解しやすくなると考えられる。バーチャルツアーは施設案内や不動産など建設業でも活用事例が増えつつあるが、建設現場のような時間経過に伴う空間の変化を記録した事例はほとんど見られない。そこで本研究では、実際分譲マンションの一室を対象として、内装工事の複数工程が1つのコンテンツに含まれた時系列の3Dバーチャルツアー教材(以降、施工教材ツールと呼ぶ)の制作を試み、その制作方法を明らかにする。また、関係技術者等を対象とした閲覧実験とアンケートを実施し、その有効性を確認する。

2. 施工教材ツールの開発概要

施工教材ツールの制作方法検討のため、2022年3月から7月の期間で筆者らが所属する大学内の建物において時系列のバーチャルツアー(以降、VTと呼ぶ)制作のための撮影実験を行い、提案する撮影方法の実現性を検証した。その後、同年8月から翌年1月の期間でマンションの内装工事の施工現場において本撮影を行った(図1)。また同じ期間内に取得したデータを随時編集しながら施工教材ツールを仕上げた。2023年1月に関係の技術者を対象としてツールの閲覧実験とアンケート評価を実施した。

施工教材ツールの開発環境として、通常現場見学のように現場を細かく見て回れること、フォトグラメトリにより3Dモデルが生成されること、静止画や動画などの各種

情報を柔軟にタグ付けできること等を条件として検討した結果、VTプラットフォームの一つであるMatterport(以降、VTプラットフォームと呼ぶ)および専用カメラPro2を用いることにした。特定の住戸ユニットの工程ごとに多地点での360°画像の撮影を繰り返し、それらを階層的に積み上げることで時系列の工事現場が3次元空間上に縦に伸びていくようなVTを作成し、その上に説明情報をタグ付けしながら施工教材ツールを制作した(図2)。静止画・動画での作業状況の記録にはiphoneとGoproを用いた。今回、次章で提案する撮影方法の特性上、躯体工事が完了した後の内装工事²⁾の工程のみを対象とした。



図1 専用カメラによる工事現場での360°画像撮影

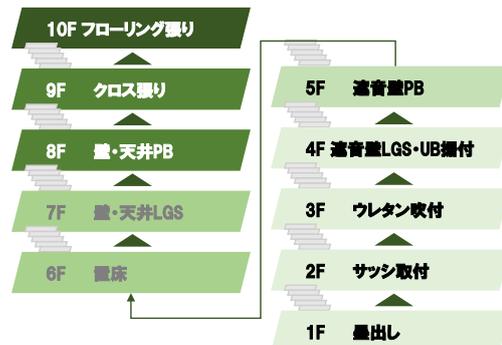


図2 内装工事の工程に対応した時系列デジタルアーカイブとしての階層表現

3. 時系列 VT 制作のための事前検討

3.1 360° 画像撮影方法の検討

今回使用した VT プラットホームでは標準機能としてフォトグラメトリによる 3D モデルの自動生成およびその階層区分が可能である。専用カメラでの 360° 画像撮影時に、階段を数段飛びで下階から上階へ向けて撮影していき、上階に床に上がったところで上階であることを専用アプリで指示することで 3D モデルが上階と下階に区別されることになっている。今回、時系列の工程ごとの撮影にはこの特性を流用した。すなわち、同じ様相の階段が上下に連なる場所を対象とし、n 階においてある工程を撮影した後にそのまま上階 n+1 に向けて撮影しながら上っていき、n+1 階に上がりきるタイミングで元の n 階の同じ位置に戻って上階として指示した上で撮影することで、VT プラットホームが上階に上がったものとして処理し、そのまま n 階を n+1 階として誤認させたまま撮影できるのではないかと考えた。この撮影方法を一定の時間をおきながら繰り返し実行することができれば、同一フロアの複数の工程シーンが上方に向かって積み重なった階層モデル、すなわち時系列の 3D バーチャルツアーを作成することが可能となる。この方法を検証するため、金沢工業大学 8 号館の 2 階と 3 階およびその間の折り返し階段を対象に撮影およびデータ作成の実験を行った。2 つの工程を想定し、2022 年 3 月 30 日と同 4 月 13 日の 2 回に分けて実施した。結果、次節で述べる問題以外は特に問題なく実施可能であった(図 3)。撮影手順は、図 3 の右上図に示す青○の位置で 2 階から 3 階に向かって順に撮影し、3 階に上りきった場所(右上図の赤○)を撮影するはずのタイミングで 2 階に戻って同じ位置(右下図の赤○)で撮影し、そのまま 3 階に向けて階段を上りながら撮影し、これを繰り返した。これにより 2 階と 3 階の撮影のみで図 3 左図のような 5 層分の VT モデルを作成できた。下から 2 層は 3 月 30 日、上から 3 層は 4 月 13 日に撮影されたものである。

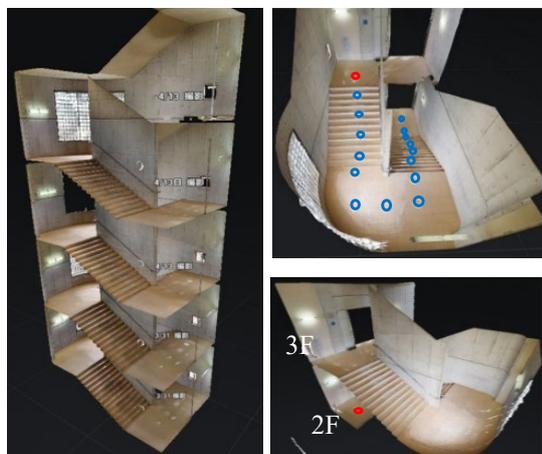
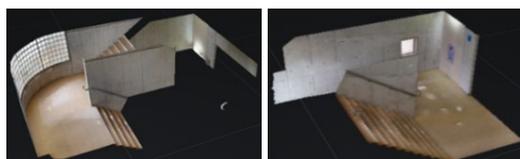


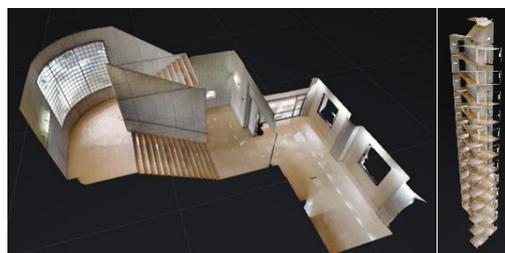
図 3 時系列での空間撮影方法の検証

3.2 中間踊り場がフロアとして認識される問題

前節で述べた実験における一つの問題として、中間踊り場が 1 つのフロアとして認識されてしまい、2 階から中間踊り場の手前までの 3D モデルと中間踊り場から 3 階の手前までの 3D モデルが分割されてしまう現象が確認された(図 4(a))。この原因として、①使用した専用カメラが短距離の距離センサーも搭載しており、実寸で周囲(半径約 3m の範囲)を認識できること、②VT プラットホーム内の自動処理においてある程度広い同一高度の水平面が認識される場合は撮影時に指示していなくても自動的に 1 つのフロアとして追加されること、③今回の中間踊り場が通常よりも比較的広い階段であること、の 3 つの要因が複合的に作用したことが考えられた。そのため、前節と同じ場所で一部撮影方法を変更して実験を行った。具体的には、2 階から 3 階に上りながら撮影し、2 階に戻った後、すぐに 3 階に上り始めるのではなく、隣接する廊下空間を広めに撮影した後に戻ってきてその後に 3 階に上り始めるという撮影方法に変更した。つまり、2 階を広く撮影することで、中間踊り場が相対的に狭い空間として扱われ、1 つのフロアとして認識されなくなるのではないかと推測した。この方法で、前節の実験と同じ場所において 2022 年 5 月 13 日、5 月 16 日、5 月 19 日の 3 回に分けて 4 回ずつ撮影を行い、合計 12 層の階層モデルを作成した。その結果、推測どおり、中間踊り場がフロアとして認識されることは一度もなく、中間踊り場も含めた状態で通常の 1 階分のモデルが 12 層積み重なった VT モデルが作成された(図 4(b))。



(a) 中間踊り場がフロアとして認識される場合



(b) 中間踊り場がフロアとして認識されない場合
図 4 中間踊り場のフロア認識の有無による影響

4. 本撮影と施工教材ツールの制作

4.1 撮影対象

内装工事現場の撮影対象として、阪急阪神不動産株式会社(以降、H 社)を施主、真柄建設株式会社(以降、M 社)を設計・施工会社とする地上 10 階・地下 1 階の鉄筋コンク

リート造マンションを選定し、3階または5階^{注1)}（以降、撮影階と呼ぶ）の住戸ユニット一戸、共用廊下および上階までの折り返し階段を撮影対象とした（図5）。

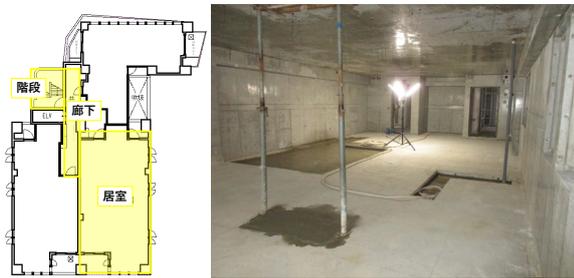


図5 撮影範囲と住戸ユニット内の躯体状況

4.2 撮影方法と結果

内装工事過程を10工程に分け、各工程で専用カメラによる360°画像撮影および技術者による作業風景の静止画・動画撮影を行った。撮影期間は工期に合わせて実施した結果、2023年8月から12月までとした。1工程における360°画像撮影の撮影順序は、事前検討の結果を踏まえ、[撮影階の階段踊り場]→[共用廊下]→[住戸ユニット]→[上階への折り返し階段]→[撮影階の階段踊り場]とし、これを各工程にて繰り返した（図5）。最終的に10工程（10階層分）の工事現場のVTシーンおよび21種の作業風景に対応した静止画・動画を記録することができた（表2）。

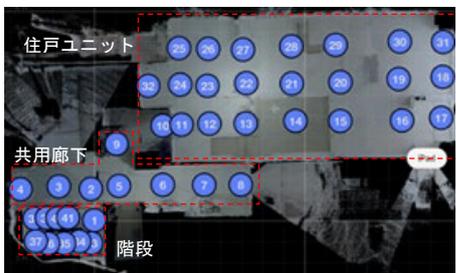


図6 360°画像撮影ポイントの分布と順序（初期工程）

表2 時系列VTの階層構成と対象工程・作業・撮影日

階	工程 (360°カメラ)	作業 (静止画・動画)	撮影日
10	フローリング張り	フローリング張り	12/22, 12/27
		床暖房	
		巾木	
9	クロス張り	バテ処理	12/12, 12/13 12/22
		クロス張り	
		キッチン据付	
8	壁・天井PB	壁PB	11/24, 12/2
7	壁・天井LSG	天井LSG	11/8, 12/2
6	置床	置床	10/21, 11/8
5	遮音壁PB	天井・壁電気配線	10/14, 11/24
		遮音壁PB	
4	遮音壁LSG・UB据付	UB据付	9/5, 9/29 12/2
		遮音壁LSG	
		床配管	
3	ウレタン吹付	ガラス嵌込	9/26, 9/27
		コマ付け	
		ウレタン吹付	
2	サッシ取付	額縁取付	8/17, 8/19 9/22
		サッシ取付	
1	墨出し	墨出し	8/9, 19

4.3 VTシーンと静止画・動画のタグ付け

全ての360°画像撮影の完了後、全データをまとめてVTプラットフォームにアップロードすると、サーバー側でフォトグラメトリ処理やフロア区分などが自動実行される。今回、撮影ポイントは全10工程で534箇所あったが、特に問題なくフォトグラメトリによる10層分の階層表現による時系列VTが作成された（図9左）。一方、各工程で撮影した静止画には説明情報を付加し、動画は全て1分前後の長さでカットして作業名称や内容のキャプションを入れ、専門用語が分かるようにした（図7）。動画には作業音や技術者の肉声による説明も一部含まれる。それらの視聴覚情報に、M社の施工管理技術者の説明や市販の書籍³⁾を参考にまとめた説明情報を付加し、VTシーンの各所にタグ付け作業を行った（図8、図9右）。図8に見られる「墨の種類」などのサイン表示はVTプラットフォームの標準機能では対応していなかったため、その拡張機能を提供するCaptur3Dを利用して作業内容のサイン表示に対応した。



図7 説明情報を加えた作業風景の静止画・動画

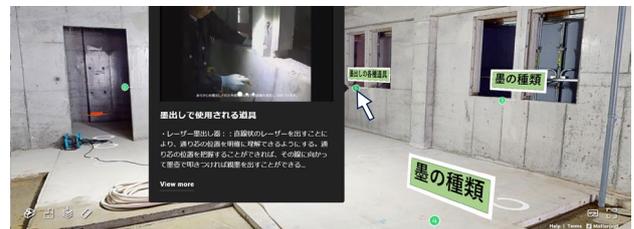


図8 墨出し工程のVTシーンとタグ情報

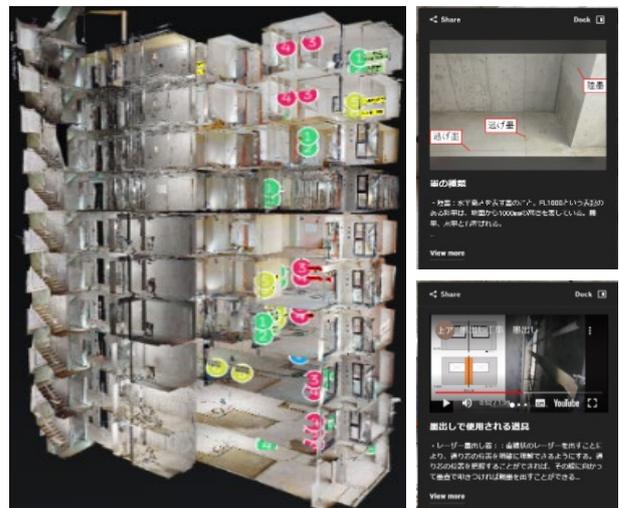


図9 全10工程のフォトグラメトリ3Dモデル(左)とタグ付けされた説明情報(右)

5. 関係実務者を対象とした閲覧実験アンケート評価

制作した施工教材ツールの有効性を確認するため、2023年1月13日に不動産会社H社の社員69名、同年の1月18日から1月20日の3日間に総合建設会社M社の社員49名を対象とし、施工教材ツールの操作をZoomで説明し、その後、1週間程度の利用期間を設け、後日Webアンケートで全員に回答してもらった。主な設問内容を表3に、回答者の職種の内訳を図10に示す。

表3 アンケートの主な設問

No.	設問内容	回答方法
Q1	現在の職種	選択肢回答
Q2	勤続年数	選択肢回答
Q3	関わることの多い建物種別	選択肢回答
Q4	マンション内装工事の工作上的経験の有無	Yes/No
Q5	ツール内の各機能の有効性	5段階評価
Q6	ツールを用いた内装工事の全体的な流れの理解度	5段階評価
Q7	ツールを用いた内装工事の各工程の内容の理解度	5段階評価
Q8	ツール内で説明が分かりづらい工程の有無	選択肢回答
Q9	ツールと現在の仕事の関わりの有無	Yes/No, 理由
Q10	ツールの総合的な満足度	5段階評価
Q11	ツールについての意見・感想	自由記入

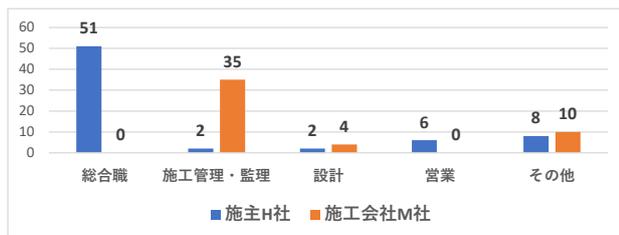


図10 回答者の職種

Q6の工事の流れの理解度とQ7の各工程の内容の理解度に関する設問の回答結果では、二社とも「理解できた」、「ややできた」の回答が多数を占めていた(図11)。また、Q10の総合的な満足度に関する回答結果では、H社が「満足」「やや満足」の回答が多数であるのに対し、M社は「満足」「やや満足」の他に施工管理職で「普通」が3割程度見れた(図12)。

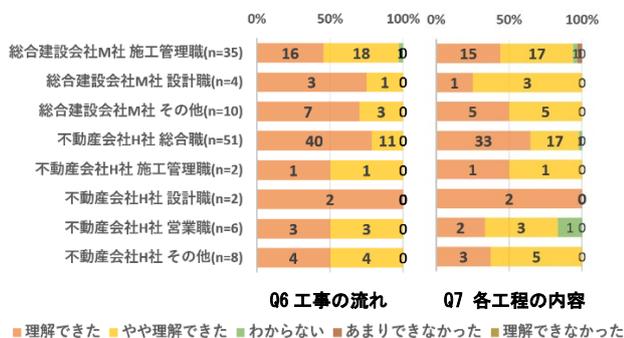


図11 Q6. 工事の流れの理解度と Q7. 各工程の内容の理解度の回答結果

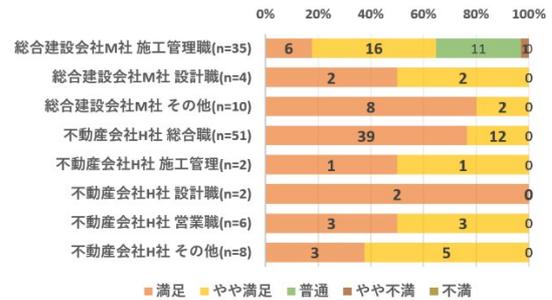


図12 Q10. 総合的な満足度の回答結果

Q11の意見・感想では肯定的な意見が多く見られた。例えば、M社の方からは「入社間もない社員向けには良い」「若手社員等が現場での業務について実際に見る前の準備・下調べとして有効になる」、H社の総合職の方からは「建築学部出身者以外で分譲事業に携わる人にとって、工事工程の理解深化に大変役立つ」などの意見が得られた。これらのことから、学生や新人社員の他、現場での業務経験がない社員対象の教育ツールとしての活用が期待できると考える。一方、M社の一部の社員からは内装工事のみでは物足りなさを感じる回答も見られた。

6. まとめ

若手技術者の教育ツールとして、マンションの内装施工工事を対象にVT技術を用いた時系列のデジタルアーカイブの制作手法を提案し、実際に制作した施工教育ツールを用いて100名以上の関係実務者への試験提供とアンケート評価を実施した。その結果、若手あるいは現場経験の少ない実務者への教育ツールとしての有効性を確認することができた。今後はアンケート回答のより詳細な分析を行うとともに、ツールの実践的な活用やさらなるツール機能の改善を進めていきたい。

謝辞: 金沢工業大学建築学科4年(当時)の上田篤哉君および澤田篤志君には撮影やデータ編集においてご協力頂きました。また物件の提供や撮影の協力、アンケート調査などは阪急阪神不動産、真柄建設および各種専門協力会社の社員の方々に多大なご協力を頂きました。ここに感謝の意を表します。

[注釈]

- 1) 撮影開始時は3階の階段に近い住戸ユニット1戸を継続的に撮影する予定だったが、途中で建設作業場の問題が生じたため5階の同じ位置の住戸ユニットの撮影に切り替えた。

[参考文献]

- 1) 寺西浩司・古賀一八、材料・施工教育における課題、日本建築学会「建築雑誌」2004年2月号、p.61
- 2) 日本建築学会建築教育委員会、手で考えて身体でつくる デザイン/ビルド教育の多様性と可能性、2021年度日本建築学会大会建築教育部門パネルディスカッション資料、2021年9月
- 3) 一般社団法人日本建設業連合会関西支部、イラスト「建築施工」計画・着工から竣工まで改定版、2014年11月