

設計 BIM モデルのプレゼンテーション VR モデルへの代用可能性に関する研究 Study on the Possibility to Substitute BIM Model for Design for VR Model for Presentation

○末永 美帆^{*1}, 大西 康伸^{*2}
Miho SUENAGA^{*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: It is uncommon for architects to offer interactive VR models for clients in a presentation of design meetings. However, by linking BIM software to VR software, architects can give a presentation that provides clients with an interactive experience using a mobile perspective in design meetings. In this study, we clarified the burden involved in converting the BIM models created by architects for a building design to VR models for a presentation. We analyzed the modifications made in order to use a BIM model as a VR model in a practical project. The following results were obtained: 1) Of all the modifications, the incidental details (people, cars, furniture, etc.) were 48%, and the building and landscape elements were 51%. 2) The total average of modifications to ceilings, lighting and equipment was about 80% of the total modifications in the change of shape, addition and movement of the building and landscape elements.

キーワード: BIM; バーチャルリアリティ; インタラクティブ; プレゼンテーション; 設計会議; 3D モデリング

Keywords: BIM; Virtual Reality; interactive; presentation; design meeting; 3D modeling

1. 研究の背景と目的

BIM ソフトウェア (以下、BIM) の導入により、設計者は図面の作成と同時に 3D モデルが手に入るようになった。また、Virtual Reality (以下、VR) の進展により、設計者は 3D モデルを即時的にレンダリングし、リアリティの高い VR モデルをインタラクティブな視点移動でプレゼンテーションできるようになった。しかし現時点で VR は主にパースや動画の作成に使用されており、VR の効果を十分に発揮できていないと言える。また、設計者が設計において作成した BIM モデルを VR モデルの代用とする場合、設計図書に直接必要のない人などの添景や周辺環境モデルを BIM モデルへ追加する必要があると推測されるが、他にどのような作業が必要か明らかではない。

そこで本稿では、施主との設計会議において VR モデルをインタラクティブに動かすプレゼンテーション手法確立の第一歩として、BIM を利用した設計において BIM モデルを VR モデルとして代用する際に発生する作業項目を明らかにすることを目的とする。本研究では、実際の建設プロジェクトの基本設計段階をケーススタディとする。BIM の設計モデルを VR モデルとして代用した際の修正内容を分析し、BIM モデルに不足する要素を明らか

かにする。なおプロジェクト進行の遅延を防ぐため、本研究では設計者の代わりに本研究グループが VR モデルの作成を行うこととする。

2. 既往研究

VR の効果に関する研究として、VR 空間で複数の案を切り替え代替案を評価するソフトウェアを開発した松原らの研究¹⁾、発話分析から VR の効果を明らかにした三木らの研究²⁾、大井らの研究³⁾、VR を使用することでより簡易なコミュニケーションで設計案を検討できることを明らかにした四宮らの研究⁴⁾がある。これらの成果より、VR は建築の空間理解に貢献し、意見の具体化や発話の活性化、スムーズな合意形成に寄与することが明らかとなった。その一方で、BIM モデルの VR モデルへの代用については議論が十分でない。

3. ケーススタディの概要

本研究では K 町教育施設再整備事業 (延床面積約 8,600 m²) をケーススタディの対象とした。計画では、同一敷地にこども園、小学校、中学校、公民館、給食センターの新築工事が予定されており、高低差のある敷地が特徴である。計画建物の鳥瞰パース (本研究にて作成)

を図1、計画の概要を表1に示す。



図1 計画建物の鳥瞰パース

表1 計画の概要

項目	内容
敷地位置	和歌山県 K 町
主要用途	こども園、小学校、中学校、公民館、給食センター
敷地面積	24,292 m ² (7,348 坪)
建築面積	4870 m ²
延床面積	8645 m ²
建蔽率	21%
容積率	36%
前面道路	4.6~10.4m(南側)
最高高さ	15.60m
規模	こども園:地上1階 小学校、中学校、公民館:地上3階 給食センター:地上1階
発注方式	DB(デザインビルド)方式
設計者選定方式	公募型プロポーザル方式
関係者	Y 建築設計事務所(設計者) M 建設株式会社(施工者) K 町教育委員会担当者(発注者) プロジェクトマネージャー(コンサルティング) 本研究グループ(VR プレゼン支援)

4. VR モデルの作成

4.1. VR モデル作成手順

図2左は設計者が自らVRモデルを作成する場合の理想的なフロー、図2右は本研究におけるケーススタディでのフローを示す。ケーススタディでのフローでは、はじめに設計者が作成したBIMモデルを本研究グループが受け取り、添景の配置と周辺環境モデルの追加を行い、VRモデルを作成する。次に当該VRモデルを用いて設計者と打合せを行う(以下、VR作成会議)。VR作成会議は、設計会議の主に前日か直前、またはその両方に計20回行われた。その中で本研究グループは、設計者からVRモデルの修正指示を受けVRモデルの修正を行う。その後、修正したVRモデルを設計会議において施主へのプレゼンテーションに使用する。設計会議は15回行われた。VR作成会議及び設計会議の概要を表2、設計会議の様子を図3に示す。なお本研究では、BIMとしてオートデスク社製のRevit2021(以下、Revit)をVRソフトとしてBIMモデルのファイル形式を変換することなくそのままVRモデルとして表示できるEnscape社製のEnscape3.0^{注1)}(以下、Enscape)を使用する。

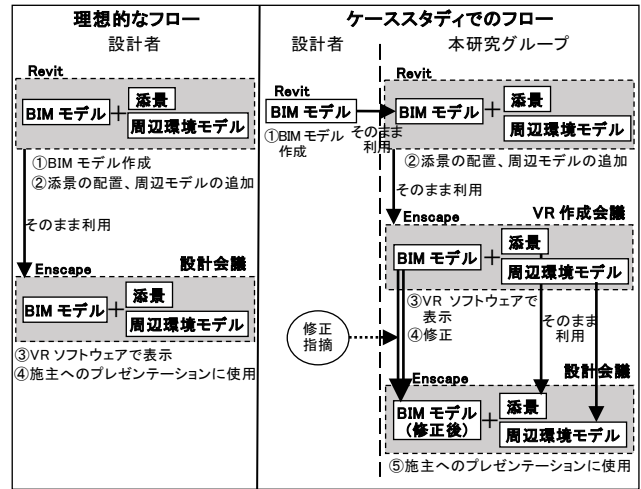


図2 VRモデル作成のフロー

表2 VR作成会議及び設計会議の概要

会議種別	VR作成会議	設計会議
日時	2021/7/2~11/16(20回)	2021/7/6~11/25(15回)
場所	オンライン	
内容	本研究グループがVRソフトを操作し視点移動を行いながら、Y建築設計事務所が施主へのプレゼンテーションに向けてモデルの修正指摘を行った。	本研究グループがVRソフトを操作し視点移動を行いながら、Y建築設計事務所が設計案の説明を行い施主の設計案の理解、意思決定を促した。
時間	1、2時間程度	2、3時間程度
参加者	Y建築設計事務所(設計者) 本研究グループ	Y建築設計事務所(設計者) M建設株式会社(施工者) K町教育委員会担当者(施主) プロジェクトマネージャー 本研究グループ

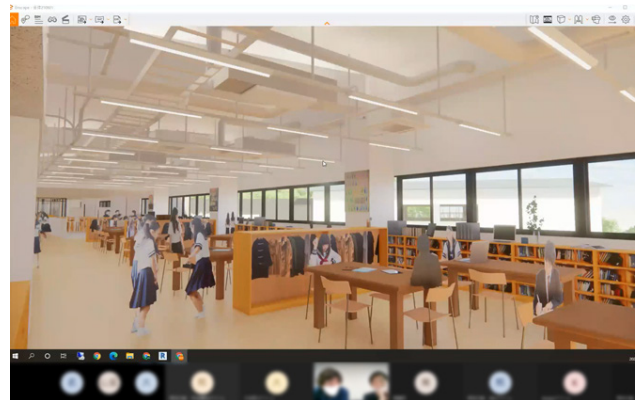


図3 設計会議の様子

4.2. 周辺環境モデルの作成

VRを用いた設計会議では、あらゆる角度から建築の外観や建築内部からの外の見え方を検討するため、広範囲の周辺環境モデルを作成する必要がある。そのためモデリング対象エリアを「建設敷地及びその周辺」と「遠景」に分け、前者はドローン測量で作成した点群から正確な地形を作成し、後者は国土地理院の基盤地図情報ダウンロードサービスのウェブサイトからダウンロードした標高の5mメッシュデータから大まかな地形を作成する(図4「周辺環境モデル」)。

4.3. 添景の作成

空間の使い方を表現するため具体的な活動のわかる添景を配置する必要がある。作業をできるだけ減らすため、細部までモデリングするのではなく、大まかな形にモデリングしたものや設計者が BIM モデルに配置した家具などに画像をマッピングして表現することを基本とする。人の添景は Revit のファミリを用いて薄い板状のモデルで作成し、画像を裏表両方にマッピングした。本や文具などは主に家具に画像をマッピングして作成し、随時 Enscape のライブラリや汎用 3DCAD 用のモデルを使用した。最後に、作成した添景を室の用途や想定されるアクティビティに合わせて配置した (図 4「添景」)。

4.4. 添景の追加・修正、VR モデルの修正

各作業段階における内観、外観の比較を図 5 に示す。内観について、この例では設計者から受け取った BIM モデルに人や本、文具の添景の追加を行った。次に VR 作成会議モデルに加えた修正として、天井の形状の変更、照明の追加、天井及び床の素材の変更、棚の高さの変更、人や本、文具の添景の追加及び削除、ホワイトボードの削除を行った。外観については、BIM モデルに人の添景の追加、周辺環境モデルの追加を行った。次に VR 作成会議モデルに加えた修正として、階段部分の形状の変更、外壁及び屋根の素材の変更、人や樹木の添景の追加及び削除を行った。

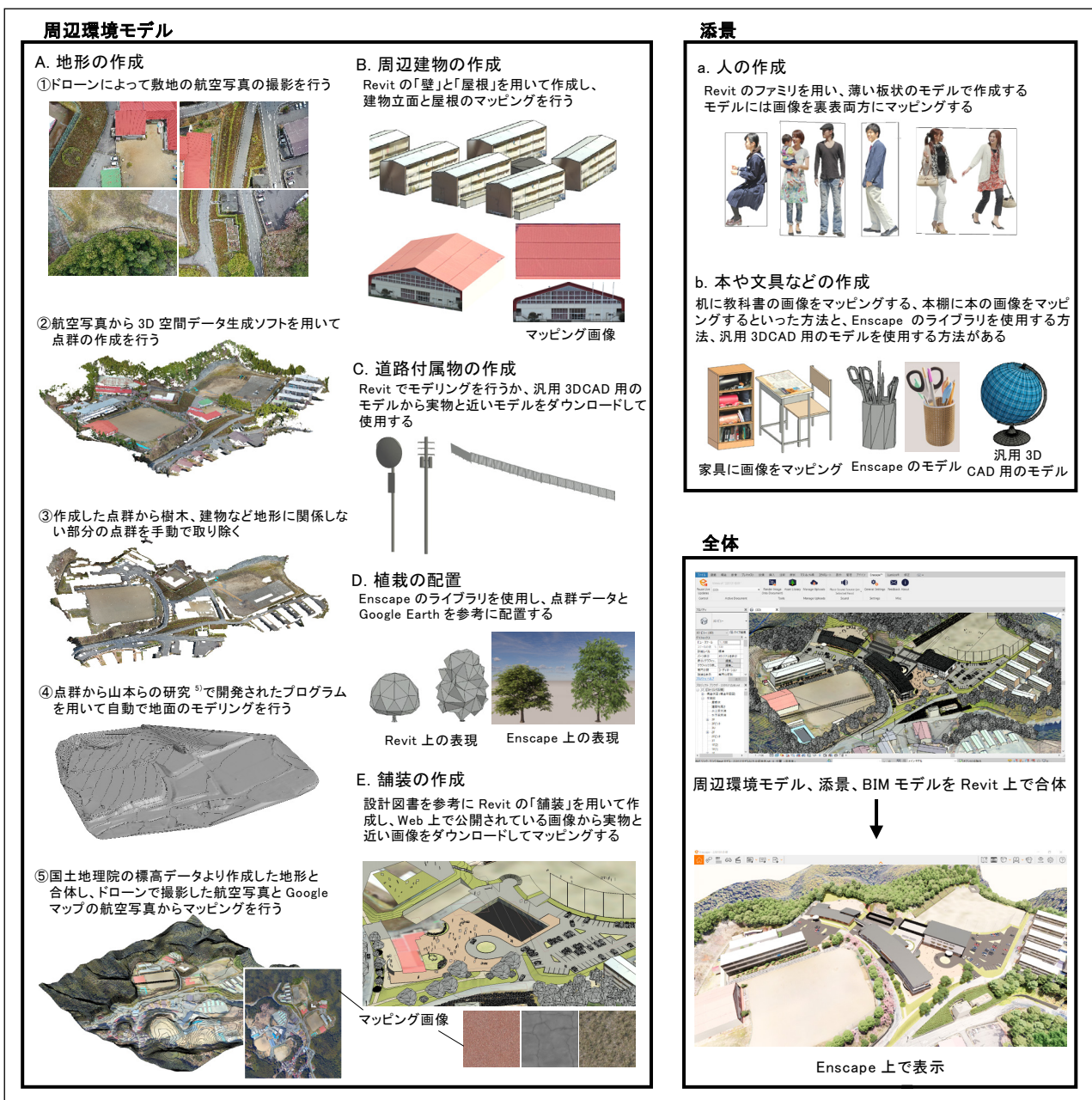


図 4 VR モデルの作成方法の詳細



図5 各作業段階のモデルの比較

5. BIMモデルの修正内容の分析

5.1. 分析方法

VR 作成会議で指摘された修正の内容とその回数を把握するため、全ての修正内容を集計した。はじめに修正内容を建築部材や外構要素などの「建築構成要素」と、人や車、植栽、家具などの「添景」に大別した。さらにそれぞれを形状の「変更」、「追加」、「削除」、「移動」、「素材の変更」に分類し、修正行為の回数を集計した(表3)。表3中の修正回数は以下のように計上する。素材変更の場合は、変更した回数を計上する(一度の操作で複数の要素の素材が変更された場合でも1回とする)。添景追加の場合は、追加した添景の個数を回数として計上する。また集計の手間を減らすため、修正行為の回数が1回～5回までは観察された回数をそのまま計上するが、6回以上では5回、10回、15回というように最も近い5の倍数として計上する。修正行為の集計及び分析を行った後、分析結果の理由を確認するためケーススタディプロジェクトに従事した設計者3名を対象にヒアリングを行った(表4)。なお、修正の回数はそれに必要な時間やスキルを示したものではないため、負担の大小を直接的に意味するものではない。

5.2. 分析結果

図6は修正行為の全回数に対する分類項目別の割合を円グラフで表したものである。また、図7は図6の分類項目から5%未満のものを除いたものを対象として修正が行われた部位を詳しく示したものである。

設計で使用する BIM モデルには添景が不要であるため、当初は BIM モデルを VR モデルの代用とするためには添景の修正が作業の大半を占めると推測していた。しかし分析の結果、建築構成要素の修正が 51%、添景の修正が 48%となり、建築構成要素が約半数を占めていた(図6)。周辺環境や添景の追加だけでは、BIM モデルを VR モデルとして利用できないことが明らかとなった。

建築構成要素の修正について詳しく見ると、Sb(形状の変更)が30%、Ab(追加)が6%、Mb(移動)が8%、Cb(素材の変更)が5%という結果となった(図6)。Sb、Ab、Mbにおいて天井や照明、設備といった平面図では表現されない建築構成要素の修正が平均して約8割を占めた(図7)。ヒアリングの結果より、基本設計段階では動線やゾーニング、部屋の配置を決定するために平面図の作成が先行されており、平面図に表現されない部材や高さに関する情報は基本設計の早い時点では BIM モデルに入力されにくいことが確認できた(表4 Q1～3)。Cbでは、屋外では外壁、屋根、屋内では床、天井の順で修正が多かった(図7)。ヒアリングの結果より、素材の設定はパースを作成する箇所のみ行われていたことが確認できた(表4 Q4)。素材についても平面図に表現されない内容であるため、十分な検討が行われていなかったと言える。また、VR モデルを閲覧する際に視野の中で占める面積の比較的多い素材の修正が多いことが明らかとなった(表4 Q5)。

次に添景の修正について詳しく見ると、Aa(追加)

が 42%と最大の割合を占めた (図 6)。追加した添景として人が 36%であった一方で、本、文具などが 46%、樹木が 13%を占め、人以外にも多くの添景が必要であることが明らかとなった (図 7)。これは空間の使い方の表現は人の添景を配置するのみでは不十分であるためと推測される。

以上より、基本設計段階では、「平面図に関係の薄い部位や、高さ情報、素材はモデリング対象から省かれる傾向にありその修正が必要であること」が明らかとなった。また、素材については「視野の中で占める面積の比

表 3 修正内容の分類項目

分類	コード	定義	修正内容の例	修正回数
建築構成要素	1. 形状の変更 (Change the shape of building component)	Sb	昇降口の天井の高さに建具を揃えること	1
			ホームベースの照明を蛍光灯にすること	20
			小上がりの天井のラインを棚に合わせる	1
			事務室の窓の幅を半分にし、上端を横の窓に合わせる	1
			事務室に高さ 2400mm の白の天井を貼ること	1
	2. 追加 (Add a building component)	Ab	ダウンライトを配置すること	50
			畳を置くこと	10
			扉に白いレールをつけること	3
			扉は未定のため、すべて消すこと	10
	3. 削除 (Delete a building component)	Db	楽器庫の垂れ壁を消すこと	4
階段と重なっている照明を削除すること			5	
扉と扉の間の窓をなくすること			1	
4. 移動 (Move a building component)	Mb	オープンスペースの天井高を 2700mm に上げること	1	
		天井が飛び出ているので埋め込むこと	10	
		ダウンライトが飛び出ているのでダクトスペースを指定した位置に移動させること	50	
5. 素材の変更 (Change the material of building component)	Cb	天井を白にすること	1	
		窓のサッシを黒にすること	1	
		こども園の外壁の北側を焼杉、南側を木にすること	2	
		外壁の 1 階部分を RC の打ち出し、2 階以上を白にすること	2	
		棚を 3 段から 2 段にすること	4	
添景	6. 形状の変更 (Change the shape of architectural accessory)	Sa	教室のホワイトボードは可動式にすること	3
			卓球コーナーのクローゼットになっている家具を棚にすること	10
	7. 追加 (Add an architectural accessory)	Aa	配膳室の作業台を流し台の長さと同じにすること	1
			ホームベースには教材がわかるような添景を入れること	15
			ティーチャーズコーナーに先生が生徒に勉強を教えているような添景を入れること	5
	8. 削除 (Delete an architectural accessory)	Da	こども園の丘に遊具を入れること	3
			段々畑に植栽を追加すること	30
			可動式のホワイトボードは削除すること	5
	9. 移動 (Move an architectural accessory)	Ma	アスファルト舗装の部分に配置している植栽を削除すること	3
			棚を削除すること	2
10. 素材の変更 (Change the material of an architectural accessory)	Ca	ポスターは検討するためとりあえず削除すること	5	
		掲示板を出口の外の壁に移動させること	2	
		診察用のベッドの位置が違うため修正すること	1	
その他	Ot	電動スクリーンの巻き上げている部分を垂れ壁の中に埋め込むこと	1	
		掲示板をブルテンボードにするため、色を青などにすること	5	
		引き戸は引いたとき両側に扉が残るようにすること	3	
			照明を使用して内部を明るくすること	1
			外の露出が高すぎるため下げる	1

較的多い素材の設定が特に必要であること」が明らかとなった。加えて、平面図より空間の使い方の表現を期待される VR モデルでは、人以外の添景も多く必要であることが明らかとなった。

修正内容別の回数の割合について考察すると、「建築構成要素の修正」はどれだけ先を見越して BIM モデルに情報を入力するかに依存するため建築の用途によって変化しないが、「添景の修正」は想定されているアクティビティの種類が多さによって変化すると推測される。これにより、両者の割合は変化すると考えられる。

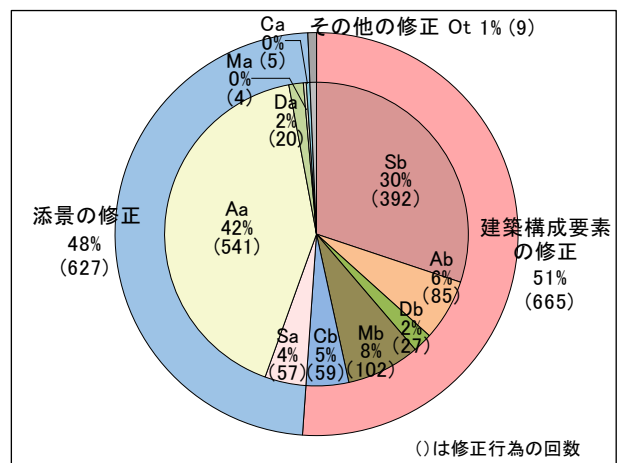


図 6 修正内容の割合

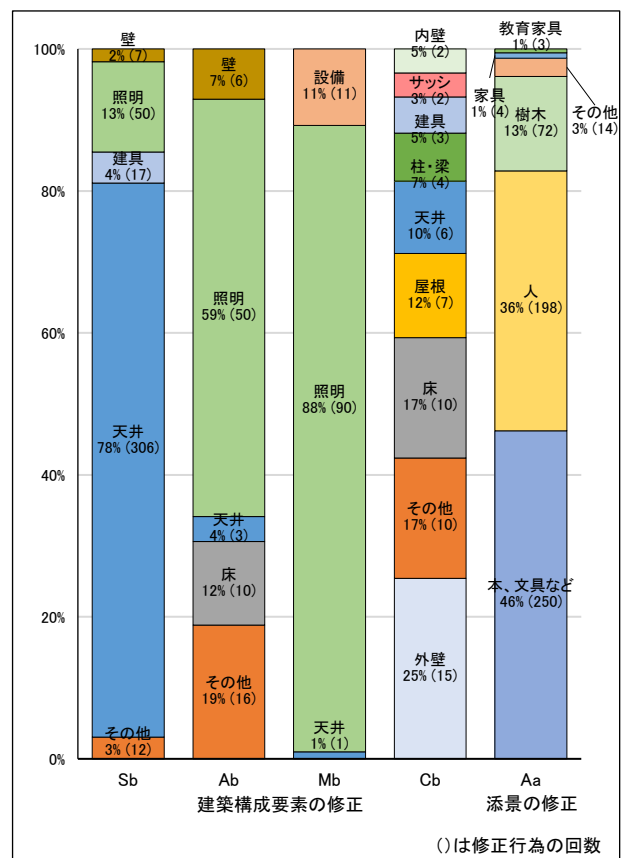


図 7 各修正内容における修正対象の割合

表4 ヒアリング結果

質問	主な回答
Q1 設計モデルに天井のモデリングがされていない箇所があったのはなぜか	<ul style="list-style-type: none"> 主に平面図を用いて設計案を考えていたため、天井まで考えていなかった。 平面図と空間を一緒に考えて設計していなかった。平面図を先に考えてから空間を考えている。 メインとなる部屋については内観パース作成のために天井のモデリングを行うこともあるが、それ以外の部屋は天井のモデリングの優先順位が低い。
Q2 設計モデルに壁や棚の高さが正しく入力されていない箇所があったのはなぜか	<ul style="list-style-type: none"> エリアやどこに何を配置するかなどを施主との打合せで説明ができる平面図作成を主体としてしまっていた。 積算のために正確な壁の高さまで設定した設計モデルを作成するときもある。ただ積算は実施設計の時に必要になるため、基本設計段階である今回はきちんとモデリングできていなかった。
Q3 設計モデルに畳がなかったのはなぜか	<ul style="list-style-type: none"> 図面上は畳を詳細図で表現していたが、時間の都合上設計モデルでは床一枚で表現していた。 細部まで作成するには限界がある。
Q4 設計モデルに素材の反映がされていない箇所があったのはなぜか	<ul style="list-style-type: none"> パースを作成した際に一目見て気になるところは素材の反映をしていた。 パースを作成する際に素材を反映するが、Revit 上で素材の設定をしなくても、マテリアルの名前だけ変更しておくことで VR ソフト上で素材をあてることができるため名前しか変更していなかった。
Q5 モデルの修正事項の優先順位は何によって決まったか	<ul style="list-style-type: none"> 大きく見えるところ、気にしたら見えるところ、気にならないところと分けている。自立つとことや予算に関係するところは優先的に修正してもらった。 ことも間違えの率など意匠的に大事なところは、空間に影響の色などを反映してほしい。 建具の大きさなどよりも、今回は全体的な色味やイメージに関する修正が多かった。
Q6 VR モデル作成に時間や費用がかかったとしても外注しようと思うか	<ul style="list-style-type: none"> VR モデル作成に時間がかかり、施主に見せることができないならば自分たちで作成するかもしれない。社内で VR モデルを作成しているが、それは時間がないからである。 外注の場合、設計案の変更箇所ができていてもデータ共有が難しいため、細部まで設計案を決めないで外注先に委託できないが、全てを先に決めることはできない。一度 VR モデルを見てみて変更したいことも多々あるため、時間がなく外注できない時もある。
Q7 モデリングの効率化やフロントローディングを意識することで手間が少なくなれば、あなた自身も VR モデルを作成することができるか	<ul style="list-style-type: none"> このようなことができるのであれば、VR モデルを作成できると誰かが回答すると思う。 空間のストーリーまで表現できる添景作成の自動化ができるならよい。 初めに全て設計案を決めるのは難しいが、設計案のたたき台を作成するという意味ではフロントローディングを行うべきだと思う。
Q8 修正内容の分析結果を見ての感想	<ul style="list-style-type: none"> VR モデルや模型を見た後に設計案をアップデートすることが普通だと思っているため、建築構成要素の修正が添景と同じくらいあることは予想外ではない。 今回はプロポーザルで建物の大まかな形が決まっていたため、設計会議では内観の検討が主だったが、基本設計の初期段階から VR モデルを使用していたら、外観や外構に関しても修正が増えていたと思う。

6. 分析結果の考察

ケーススタディでは、BIMモデルが主に図面やパースを作成する目的で使用されており、それに不要な情報は入力されていないことが明らかとなった。また VR モデルをプレゼンテーションで使用する際には、モデルの中を歩き回るため広範囲のモデリングが必要であり、パース作成時のように視点を決めそこから見えるもののみモデリングする方法では対応できない。以上のことから、VR ソフトが進化した現状においても BIM モデルから VR モデルを作成する際に多くの作業を要すると言え、BIMモデルをそのまま VR モデルの代用とすることは困難であると推測される。通常、度重なる設計変更で多くのモデルの修正が生じるため、設計者が他者に VR モデル作成を依頼した場合、変更点の伝達が手間となる(表4 Q6、8)。そのため、VR モデル作成に必要な作業と他者への変更点伝達に必要な作業を比較し、作成を他者に依頼するか判断する必要がある。

設計者が円滑に BIM モデルを VR モデルとして代用するために、「設計者の意識を変える」、「添景配置を支援する」の2つの方法が考えられる。前者は設計行為の成果物が今までのような図面やパースなどの2次元であるという考えを設計者が変える方法である。これにより、BIM ソフトを図面やパースを書くツールとしてだけでなく、VR モデルを作成するツールとしても利用することができる。具体的には、分析結果より基本設計における BIM モデルに不足していることが明らかとなった天

井、素材、高さ情報などの、図面やパースに表現されないがいずれ必要となる情報を BIM モデルに早めに入力することを心がける。後者は VR モデル作成の作業の削減方法として、BIM モデルへの添景配置を支援する方法である。まず、空間の使い方を表現できる添景のライブラリを充実させる必要がある。次に、その添景の配置をシーン別に自動配置することが考えられる。例えば授業を受けている様子の児童を群衆で自動配置するなど、アクティビティを具体的に表現した添景の自動配置により VR モデル作成の時間短縮が図られる。

7. まとめ

本稿では、実際のプロジェクトにおいて設計 BIM モデルを VR モデルとして代用する際の修正内容を分析し、作業項目を明らかとした。

課題として、修正を回数ではなく要する時間やスキルなどとして把握し、設計者が負担する手間を明らかにする必要がある。同時に、各修正項目がどのくらい施主への設計案の伝達に寄与するかを調査する必要がある。また、修正内容の割合がプロジェクトによってどう変わるかを調べるため、複数のケーススタディを分析、比較する必要がある。さらに、周辺環境のモデリング作業を減らす方法を提案する必要がある。展望として、VR モデルの中でよりリアルにアクティビティを表現する動く添景を配置することがあげられる。これにより、提案する建築を施主がより実感を伴って評価できると考える。

注釈

注1) 建築用のリアルタイムレンダリングソフトウェア。BIM ソフトと連携することで、作成した BIM モデルのファイル形式を変換することなくそのまま VR モデルとして表示でき、BIM 上での設計変更を即時的に VR に反映できることが特徴である。

参考文献

- 1) 松原知也、石田航星、「VR 技術を用いた設計 VE の手法に関する研究 VR 空間での代替案の比較と評価手法」、日本建築学会大会学術講演梗概集(関東)、pp.161-162、2020.9
- 2) 三木溪社、伊藤巧馬、馬淵大宇、「VR を用いた戸建住宅の打合せに見る VR 体験者の役割に関する事例研究」、日本建築学会大会学術講演梗概集(関東)、pp.993-994、2020.9
- 3) 大井美緒、大西康伸、「施主と設計者の打合せにおける建築設計資料としての VR の役割に関する研究」、日本建築学会大会学術講演梗概集(東海)、pp.985-986、2021.7
- 4) 四宮駿介、酒谷稔将、田中義之、千葉学、「設計空間としての VR における状況との対話のプロセス」、日本建築学会計画系論文集、第 86 巻第 783 号、pp.1409-1419、2021.5
- 5) 山本航、大西康伸、「ドローンを活用した敷地の自動モデリング手法の提案 BIM による応急仮設住宅団地の自動設計プログラムの拡充 その 6」、日本建築学会大会学術講演梗概集(東海)、pp.193-194、2021.7