

3D 実施設計図書の VR を用いた問題解決に関する研究

○大倉 佑介*¹ 大西 康伸*²

キーワード：BIM VR HMD 設計図書 情報伝達 立体視

1. 研究の背景と目的

近年多くのゼネコンや設計事務所が BIM を利用している。そのような状況の中、本研究では BIM で作成した 3D モデルを活用した実施設計図書に代わる新たな実施設計図書として 3D 実施設計図書（以下、3D 図書）を提案した¹⁾。3D 図書は従来図書の大部分を 3D 化しているが、従来の図面の方が伝達しやすい情報もあるため、一部従来図書を包含するような形式を採用している。一方で、3D 図書の評価実験で実施設計図書として様々な問題が明らかとなった。多くの問題は 3D モデル作成方針を変更することで解決することができるが、一部の問題にはディスプレイで 3D を表示することに起因する興行きを正確に表現できない問題が生じていた。

そこで近年急速に普及している Virtual Reality（以下、VR）を利用し、ヘッドマウントディスプレイ（以下、HMD）を用いて 3D 図書を立体的に閲覧することで、これらの問題を解決できると考えた。本研究では、ディスプレイで閲覧していた 3D 図書を HMD で閲覧することで、その問題を解決できるか検証する。加えて、VR に対応した場合の新たな利点についても検証する。

2. 研究の方法

本研究では在来木造住宅を対象とする。3D モデルのような立体表現は細部の寸法が把握しづらい。鉄筋コンクリート造や鉄骨造と比べ、在来木造住宅はプレカットなどの技術により現場での組み立てが主であり、構法が規範化されているため、詳細寸法を伝える頻度が少なく、施工図が比較的簡易なものである。また在来木造は日本での年間施工件数も多く、市場に対する影響も考え、本試行に適切であると判断した。以下に研究の手順を示す。

- 1) 3D 図書の問題点について整理を行う。
- 2) HMD に対応させるために 3D 図書を VR モデルへ変換する。
- 3) ディスプレイと HMD での閲覧方法で比較実験を行い、ヒアリング・アンケート実施する。
- 4) 比較実験の結果をもとに考察を行う。

なお、本研究は将来 BIM の編集画面が HMD を用いた立体視に対応するという前提のもと実施している。それが現在不可能であるため、3D 図書の立体視評価のために便宜上 VR モデルへの変換を行っている。

3. 3D 図書の概要と問題点の整理

3-1. 3D 図書の概要

BIM を用いて従来の実施設計図書（以下、従来図書）を作成する際には、建築情報モデルが生み出す図面に寸法や部材の属性情報を表示させ、詳細部は 2 次元で加筆する必要があり、完全な従来図書が自動的に作成されるわけではない。そこで、BIM の建築情報モデルの平行投影図に直接寸法などの建築情報を加筆したものが 3D 図書である（図 1）。従来図書作成と同程度、または製図表記の慣習にとられないことでそれ以下の労力で作成でき、さらに 1 次元分情報が増えることでモデルの持つ豊富な情報を可能な限り活用した設計図書となっている。

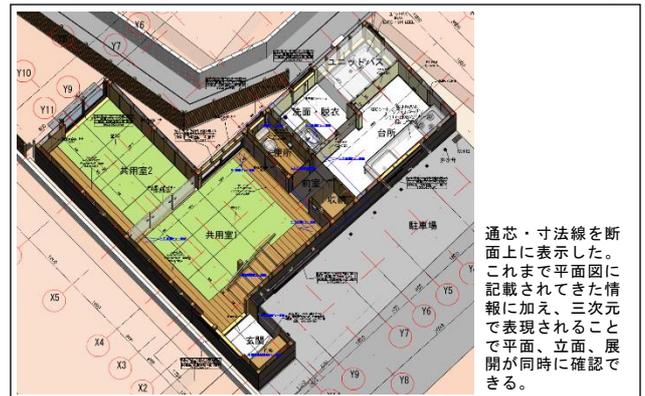


図 1 3D 図書のビューの例（平面詳細ビュー）

3-2. 3D 図書の問題点

「3D 図書は従来図書としての役割を果たすかどうか」、また「3D 図書の利点と問題点を探る」ため、3D 図書のみをディスプレイ上で参照し、1/20 の比較的大きな建築模型を製作する評価実験を行った²⁾。結果、9 割程度 3D 図書の通り建築模型を製作ができ、高い情報伝達能力が確認できた。一方で、問題点も明らかとなった。問題点は以下の 6 種類に分類することができる（表 1、表 2）。

問題点の P2、P4、P5、P6 はモデリング方法の見直しや BIM ソフトの機能拡充によって改善される問題であった。しかし、P1、P3 の問題は 3D である建築情報モデルがディスプレイ上では 2 次元でしか表示できないため生じている問題であり、モデリング方法や BIM ソフトの機能拡充によって改善できるとは限らない。

P1-1、P1-2、P1-3 のような問題は、3D モデルのオービット操作ができれば解決できるが、P1-5 のように建築情報が密集し情報を読み取りづらいという問題は、オービ

表 1 3D 図書の問題点(P)と利点(A)の分類

P1	要素が他の要素を隠すことによる問題	A1	立体的な表現により、要素の形状や位置関係が把握しやすい
P2	文字よりもモデルが表現する情報の影響が大きいことによる問題	A2	要素の色分けにより、直感的に部材仕様や寸法を判別しやすい点
P3	立体的なビューの中に平面的な拘束が強い寸法線の表示による問題	A3	従来では別の図面として表現されていた設計情報が一元化されることで、相互関係が把握しやすい
P4	記号的な表現の不足による問題	A4	拡大・縮小、オービット等のビュー操作が可能であることで、設計案の理解が促進される
P5	切断位置の不備による問題		
P6	ビューにおける要素の一貫性の低さによる問題		

表 2 3D 図書の問題点

分類	番号	問題の概要
P1	1	床伏ビューでは、土台に隠れて見え根太受け材が見えなかった。
	2	軸組ビューにおいて、全体のボリュームから突き出た玄関部分の軸組玄関の背後にある要素が見えづらかった。
	3	トイレの照明のスイッチなど、どの展開ビューにも見えていない器具があった。
	4	天井伏ビューに寸法線がなければ、照明の取付け位置がわからない。
	5	展開ビューでは、小さな部屋が集まった部分は要素が集まりすぎて見えづらくなる。対象 3D 図書では、トイレや納戸などが該当する。
P2	6	前室の床は OS (オイル・ステン) 塗装、収納の床は合板の塗装なしで仕上げてあったが、3D 図書の仕上げ表示に記載されているだけで、モデルとしては表現が分かれていなかったため、気づけなかった。
	7	前室の壁は OS 塗装であることが仕上げ表からわかるが、モデルとして塗装が表現されておらず仕上げ範囲がわからない。
	8	3D 図書には幅木が入力されておらず、どの部屋に幅木が入るかわからなかった。仕様書には記載があった。
	9	共用室 1 と共用室 2 の境界にある建具は太鼓ふすま (緑なしのふすま) であった。3D 図書の建具表、展開ビューの建具タグには記載があったがモデルには縁付ふすまが配置してあったため気づけなかった。
	10	建具は表と裏で塗装が異なる場合があるが、塗装については建具表に記載があるだけで、モデル中の要素には塗装の違いが表現できていないため、気づけなかった。
	11	対象住宅の玄関ドアは、外側と内側で取手のデザインが異なっていたが、建具表にも、モデルにも表現されておらず、気づけなかった。
P3	12	軸組ビューでは、2 階床梁の梁上のレベルに通芯が表示されるが、それと異なるレベルに配置された要素と通芯の位置関係を確認しづらい。接続する要素を順に辿ることで、対応する通芯がどれかを確認しなければならぬ確認しづらい。
	13	平面詳細ビューでは、寸法線が詳細に表示されるが、寸法線がどの要素や位置からの距離をとった寸法なのかかわかりづらい。寸法の拾い出しに、図面よりも手間がかかるように感じる。
	14	天井伏ビューでは、傾斜した天井に照明がつく場合、通芯や寸法線を表示する水平面と傾斜した面上の要素の位置関係がわからなくなる。
P4	15	外構ビューは軒天レベルに寸法線が表現されており、敷地境界線と建物の位置関係が理解できない。また、通芯と敷地境界線の表示レベルが異なるため、敷地の大きさも理解できない。
	16	3D 図書に断熱材は入力されておらず、また、矩計ビューに外壁の仕様としてタグで表示されているだけであるため、断熱材が入る壁と入らない壁の区別がつかない。
P5	17	扉が内開か外開か、開勝手がわからない。
	18	展開ビューはどの高さを切断しているのかわからない。ビュー作成のルールでは、ある部屋の天井の高さを切断するとされていたが、展開ビューはいくつもの部屋を表現しているため、天井が表示されていない部屋は「天井を張らない部屋なのか」「天井が切断面より高い位置にあるのか」わからない。
	19	一部の展開ビューで梁や垂れ壁など、建具の上枠よりも高い部分が非表示になっており、上枠から天井までのデザインがどのようになっているのか確認できなかった。
	20	天井伏ビューは、上から見上げた表現となっており、それぞれの面がどの部屋の天井なのかかわかりづらい。
P6	21	ビューを目視することで数量の確認は行いづらい。
	22	設備ビューでは数量や取りこぼしがないか確認しづらい。

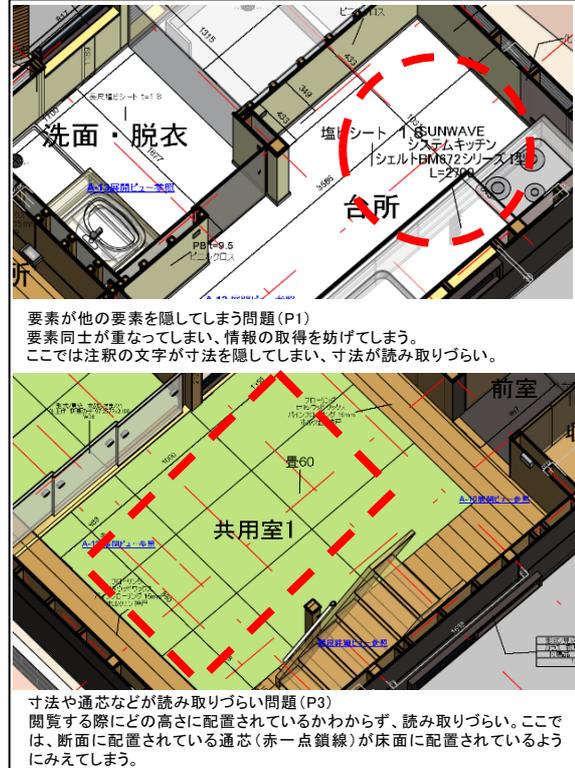


図 2 本研究で取り扱う 3D 図書の問題点

対応した 3D 図書の VR モデルへの変換は、VR コンテンツ作成に関する情報が多く、コンピュータ処理の負荷が少ないゲームエンジンである Unity Technologies 社の Unity5 (以下、Unity) を使用する。また 3D 図書の閲覧に用いる HMD は HTC 社の HTC Vive (以下、Vive) を使用する。Vive は対角に設置した 2 つのセンサーによって約 3×4m の広い範囲で HMD の動きをトラッキングし、範囲内を自由に歩きまわることができるのが特徴である。

4-2. 3D 図書の VR モデルへの変換手順

本研究では 3D 図書の主要なビューである「1 階平面詳細ビュー」を対象とする (図 3)。

3D 図書のデータを Unity に読み込むまでにソフトウェアやファイル形式の違いによって、マテリアル設定やオブジェクト仕様に違いが生じる。本研究では、Unity にデータを書き出すために Revit に加え、オートデスク 3ds MAX (以下、MAX) を利用した。Revit で書き出したデータは部材それぞれが個別に認識され、MAX では Revit のマテリアルごとにモデルが結合される。Unity 上でテクスチャ設定する際、Revit で書き出したデータはオブジェクトがそれぞれ個別になっているため、オブジェクトがマテリアルごとに統合されている MAX で書き出した

ット操作が可能であったとしても解決は困難である。また P3 は通芯や寸法線と関係する部材との位置関係が読み取りづらいため生じている問題である。したがって、本研究では、3D 図書の立体視によって P1、P3 の問題を解決することとする (図 2)。

4. 3D 図書の VR モデルへの変換

4-1. VR モデルに変換した 3D 図書の概要

本研究では BIM ソフトであるオートデスク Revit 2015 (以下、Revit) で作成された 3D 図書を HMD に対応させるため 3D 図書を VR モデルへ変換する (図 3)。HMD に

STEP1. 旧 3D 図書 (Revit)



STEP2. 3ds MAX への読み込み



Revit データを読み込む際、「Revit のビューを選択」で対象のビューを選択する。マテリアル情報は引き継がれるが、Revit データを読み込む段階では 3ds MAX のエディット画面のシェーディング表示には反映されない。マテリアルエディタで表示できるが、ここでは便宜上マテリアルの表示は行わない。

STEP3. Unity への読み込み



Unity でデータを読み込む際、データ形式によってモデルの様相が異なる (図5) ここでは 3DS 形式のデータを使用する。

STEP4. 建築情報の追加



Unity で読み込まれたデータは 3D 図書のように建築情報データが反映されない。寸法などの文字情報、テクスチャ情報を追加することで HMD に対応した 3D 図書が完成する。

図3 3D 図書の VR モデルへの変換手順

データに比べて非常に手間がかかる。ここではテクスチャの表現は 3D 図書程度で良く、手間を省くために MAX でデータを書き出すこととする。また Unity で読み込むためのモデルのデータ形式の違いによってモデルのテクスチャ設定にも違いが生じる。今回は FBX、3DS、OBJ、DXF、COLLADA 形式でモデルの違いを調査し、ある程度マテリアルの色の設定が引き継がれる 3DS 形式のデータを HMD に対応した 3D 図書では使用する (図 4)。

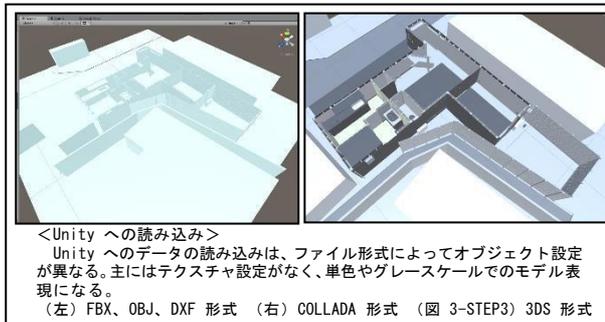


図 4 書き出しファイル形式によるモデルの違い

以上から今回は 3D 図書の建築情報モデルを MAX に読み込み、3DS 形式で書き出したデータを Unity で読み込んだ。読み込んだデータはテクスチャ情報、文字情報が引き継がれないため、それぞれ 2DCAD や画像編集ソフトでデータを作成し、Unity 上で追加した。HMD に対応した 3D 図書の主な仕様を以下にまとめる。

HMD に対応した 3D 図書の閲覧条件

HMD に対応した 3D 図書は着座の姿勢で閲覧し、HMD を装着した自身の頭の動きに追従するカメラ操作で情報取得を行う。着座状態で閲覧するため VR モデルは VR 空間に作成したテーブル上に配置することで実空間と同様に操作できるようにした。HMD に対応した 3D 図書は図面としての一覧性を保つため 1/20 スケールで作成する。VR 空間 (skybox) は単色の白色に設定する (図 5a)。

注釈作成

建具や仕上げを表す注釈は画像編集ソフトでタグ画像を作成し、PNG 形式で書き出し、Unity で作成した薄い板状のオブジェクトに透明マッピングする。注釈タグは外部に面する建具は白色に設定し、その他の仕上げや仕様に関する注釈は黒色で表現する。建築内部にある注釈には注釈タグが閲覧者に対し常に正対するようにビルボード設定を行った (図 5b)。注釈の引き出し線は注釈と指し示す対象に直接接触するよう配置し、部材と誤認しないよう Unity 上でできる限り細い円柱で作成した。

寸法・通芯の作成

3D 図書の建築情報は Unity に引き継がれないため、個別に作成する必要がある。寸法や通芯の情報は 2DCAD で文字情報を作成し、画像編集ソフトで PNG 形式に書き出し、Unity 上で作成した薄い板状のオブジェクトに透明マッピングすることで作成する (図 5c)。

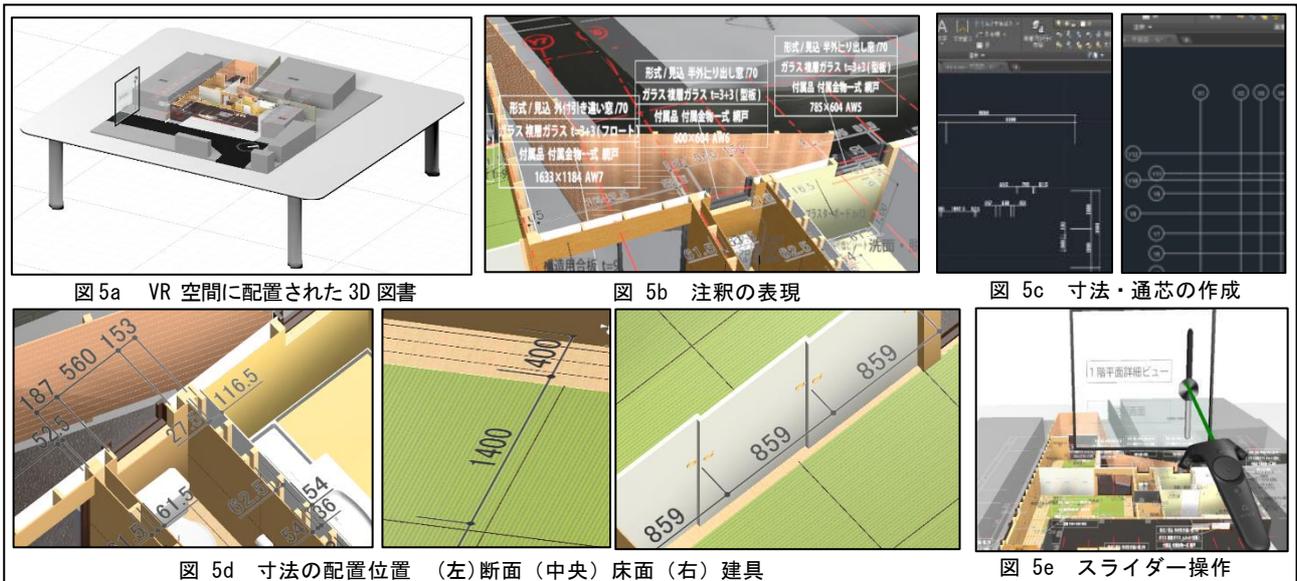


図 5 3D 図書の VR モデル変換の際に追加した建築情報や機能

寸法配置のルール

寸法はディスプレイで閲覧する 3D 図書とは異なり自由な位置に設定できる。そこで寸法を表示する位置について以下のように設定する。床面は床面より少し高い位置、建具の寸法は建具の中央、モデルの切断面には断面上に寸法を配置する (図 5d)。

通芯の機能

通芯を閲覧しやすくする工夫としてスライダー操作によって通芯を上下移動できる機能を実装した (図 5e)。

5. 評価実験

HMD に対応した 3D 図書について、「3D 図書の抱える問題を解決できるか」、「3D 図書を HMD で立体視することによる新たな利点があるか」を検証するため、3D 図書のディスプレイでの閲覧 (以下、平面視) と HMD で閲覧 (以下、立体視) する比較実験を行った。実験後、被験者にどちらが優れているかを問う 5 段階評価のアンケートを行い、またその回答理由についてヒアリングを実施した。実験概要を表 3、実験の様子を図 6、アンケート内容と結果を図 7 に示す。また比較実験では、平面視は図 1、立体視は図 3 に示すデータを使用した。

6. 評価実験結果と考察

立体視が最も高い評価を得たのは「Q4. 建築空間のイメージのしやすさ」で、被験者全員が立体視の方が良いと回答した。全員が立体視することで高さや奥行きなど立体的で模型のように閲覧できることを高く評価した。そのような立体視による利点は VR の利用目的に則しているといえる。また教員からは、「詳細部分をズームする際はディスプレイの方が見やすい」(PP)、「全体像を確認する場合、VR 上で後ろに回り込まないといけないため、ディスプレイの方が良い」(PD) という回答があった。全体

表 3 実験概要

項目	内容
実施日	2016 年 11 月 19 日、20 日、25 日
被験者	熊本大学 計画系教員 1 名 (PP)、計画系博士前期課程 2 年生 3 名 (StP1~3) 設計系教員 1 名 (PD)、設計系博士前期課程 1 年生 3 名 (StD1~3)
利用機材	PC : GALLERIA Gamemaster GT CPU : Intel (R) core i7-6700 3.40GHz、ROM : SSD 480GB RAM : DDR4 16GB、GPU : NVIDIA GeForce GTX1070 8GB ディスプレイ : TOSHIBA Diamondcrysta RDT232WLM 23 インチ 解像度 : 1920 × 1080dpi HMD : HTC Vive 解像度 : 1080 × 1200dpi (片側)



図 6 実験の様子 (左 : 立体視、右 : 平面視)

Q1. 寸法の示す位置の読み取りやすさ	4 (PP)	3	0	1 (PD)	0
Q2. 通芯の配置位置の読み取りやすさ	6 (PP)		1	0	1 (PD)
Q3. 注釈が示す位置の読み取りやすさ	3 (PP)	3	0	2 (PD)	0
Q4. 建築空間のイメージのしやすさ	7 (PP, PD)				1 0
Q5. 直感的な操作性	5 (PP)		2 (PD)	0	1
Q6. 総合評価	3 (PP)	2	1 (PD)	1	1

■ 立体視 ■ どちらかと言えば立体視 ■ どちらとも言えない
■ どちらかと言えば平面視 ■ 平面視

図 7 アンケート内容と結果

を閲覧する場合や詳細部分を閲覧するために、わざわざ HMD を装着して頭を大きく動かす必要があることを不便に感じていたと考えられる。通常、視線の動きのみで図面を閲覧するため、立体視もコントローラーを補助的に用いて、HMD を装着して動きながら閲覧する必要が

ないよう、モデルの回転や拡大縮小機能があるとそのような問題を解決できるのではないかと考えられる。

「Q1.寸法の示す位置の読み取りやすさ」、「Q2.通芯の配置位置の読み取りやすさ」、「Q5.直感的な操作性」については、立体視が良いと回答したのは7名で、平面視が良いと回答したのは1名だった。Q1、Q2で共通していたのが、「奥行きがあることで、立体視の方が指し示している位置がわかりやすい」という回答であった。加えてQ2では「通芯の高さを変更するスライダーがあることで、部材と通芯の関係がわかりやすくなった」(StD1、StP2)、「奥行きがあることでスライダー操作を行わなくても通芯を理解できる」(StD3、StP3)といった回答があり、立体視によって、文字情報やそれを指し示す位置が読み取りやすくなったことがわかった。逆に、Q1で「従来の図面は通常、視線の動きのみで図面を見るため、HMDを装着し、動きながらの閲覧は情報を取得しづらい」(PD)、Q2では「スライダーによる通芯の上下移動で壁に通芯が隠れ読み取れなくなる」(PD)という回答があり、通芯の移動や部材に隠れることを今後は上下移動する通芯の面より上部が非表示になるような機能を検討が必要である。

「Q3.注釈が示す位置の読み取りやすさ」については、「立体視が良い」と回答した理由のほとんどは「奥行きによって指し示す位置がわかりやすい」であった。他には「立体視は注釈と他の部材が重なり合っても少し視点を変えれば理解できる」(StP2)といった利点の回答が確認できた。逆に平面視が良いと回答した被験者は「引き出し線が白く見えにくい」(StD2)、「部分的に背景のある部材と注釈が重なった時、注釈が読み取りづらい」(PP、PD)という回答があり、注釈などの文字情報と部材との関係を考慮し、配色や配置位置についての検討が必要であることが明らかとなった。

「Q6.総合評価」については、立体視が良いと回答した被験者が5名、どちらとも言えないが1名、平面視が良いと回答したのが2名だった。立体視が良いと回答した被験者はQ1～Q5で立体視が良いと回答した理由である「HMDの利用による奥行きや直感的な操作」の面で総合的に見ても立体視が良いと評価していた。平面視が良いと回答した被験者2名は、「平面視は輪郭線が描写されており個々の部材形状がイメージしやすいため、実施図面としては立体視より良い」(StD2)、「Q4で述べたように建築空間はイメージしやすいものの、直感的な操作性に関しては、ディスプレイによる拡大縮小ができるマウス操作のできる平面視の方が実施図面として細かな寸法まで閲覧できるため平面視の方が良い」(StP3)と回答している。以上から共通して言えることは、実施図書として細かな寸法を読み取るには部材の表現や立体視のHMDを利用した一部の操作方法などに問題があり、細かな情報まで読み取るために今後はHMDのコントロ

ーラーを使用したVRモデルの機能拡張で、挙げられた問題を改善できる可能性があると考えられる。

また、ヒアリングにおいて「平面視と異なり、立体視が平行投影表示ではなく透視投影表示であること」について尋ねたところ、以下のような回答が得られた。学生被験者全員が「平行投影表示でなくても気にならない」、もしくは「平行投影表示である必要はない」といった平行投影表示は必ずしも必要ではないと回答した。しかし、PP・PDは「今回閲覧したモデルは簡単なプランであるため直角・水平が判断できるが、複雑な場合はパースがかかっているとモデルによっては、直角や水平が判断しづらい」(PP)、「パースがかかってしまうとディテールのプロポーションが確認できない。図面で確認していたことを透視投影のVRモデルに置き換えて確認することは不可能ではないか」(PD)といった回答が得られ、立体視の平行投影表示を実現する必要がある。

全体として、PDだけが全体の回答傾向と異なる回答をしていたが、その理由として以下のことが挙げられる。PDはHMDを利用した設計図書として実務の中で扱えるかどうかという視点で評価していたが、その他の被験者は平面視での問題が改善されているかどうかで評価していたと考えられ、この差が回答の傾向として現れたのではないかと推測される。また業務での利用に関しては、「HMDの特徴である没入感が、現場での利用や打ち合わせなどの作業や、実務での利用ができるのか疑問に感じた」と5名の被験者が回答した。

7. 展望

本研究では3D図書の1階平面詳細ビューを対象に立体視と平面視で評価実験を行った。その結果、3D図書の問題点は改善されてはいるものの、実務で利用するには課題が多いことが明らかとなった。立体視の平行投影表示やモデルの回転や拡大縮小機能など、HMDを使用しない平面視と同等の操作ができるような新たな機能を実装し、効果を検証する必要がある。

また、HMDに対応した3D図書に矩計や展開などの他のビューを作成しリンク機能を実装する必要がある。

立体視の問題とは別に、HMDの解像度による問題もある。HMDの解像度が高くなることで、寸法線や仕上げ等の文字情報がより見やすくなると考えられる。

【参考文献】

- 1) 金井陽平、大西康伸、本間里見「建築情報モデル利用した住宅における設計者から施工請負業者への設計案の伝達に関する研究」、第36回情報・システム・利用・技術シンポジウム、2013.12
- 2) 松尾梯弘、大西康伸、本間里見「建築情報モデルを活用した3D実施設計図書の提案と評価」、第38回情報・システム・利用・技術シンポジウム、2015.12

*1 熊本大学大学院自然科学研究科 博士前期課程

*2 熊本大学大学院先端科学研究部 准教授・博士(学術)

Study on solving the problems of BIM 3D design documents applied VR

○Yusuke OHKURA^{*1}

Yasunobu ONISHI^{*2}

Keywords : BIM, VR, HMD, Design documents, Information transfer, Stereopsis

1. Background and Objective

In recent years, many general contractors and design offices use BIM. Under these circumstances, we propose a 3D design documents which is a new design documents, utilizing the 3D model created by BIM. We conducted an evaluation experiment of the 3D design documents and discovered many problems. Many problems could be solved by changing the modeling method. However, some problems were caused by displaying 3D models on the display. Recently the use of Virtual Reality (VR) has been increasing rapidly. And we created the VR content of 3D design documents. We attempted to solve the problem of 3D design documents by stereoscopically viewing VR content with head mounted display (HMD). The research also verified whether stereoscopic viewing by using HMD could be possible when BIM corresponds to VR in the future.

2. Study Method

The processes of this study are described below.

- 1 Organize the problems of 3D design documents created with BIM.
- 2 Make a VR model of the 1st floor plan of the 3D design documents corresponding to HMD.
- 3 Make comparison experiment between 3D design documents and created VR model and conduct questionnaire and hearing survey.
- 4 Consideration based on the results of comparative experiments.

3. Conclusions

In order to solve the problems of 3D design documents, we created VR contents that can perform stereoscopic viewing with HMD. As a result of the questionnaire, subjects highly appreciated that they were able to feel the depth by stereoscopically viewing the 3D drawing, understand architectural space, and operate the HMD intuitively. However, I got the answer that VR content was perspective projection display and it could not be imagined to use it in practice. Although the problem of 3D design documents had been improved from the above, it turned out that there were a little problems in using this VR content in practice. In order to solve the problems in practical use in the future, we need to verify whether there is an effect by proposing new functions and making VR of other drawings.

*1 Graduate Student, GSST, Kumamoto University

*2 Associate Prof., GSST, Kumamoto Univ., Ph. D.