

令和3年度

BIMを活用した建築生産・維持管理

プロセス円滑化モデル事業

S5施工段階におけるVRモックアップの効果検証と課題分析

成果報告会

株式会社梓設計

戸田建設株式会社

株式会社ハリマビステム

(1) -①.プロジェクトの概要

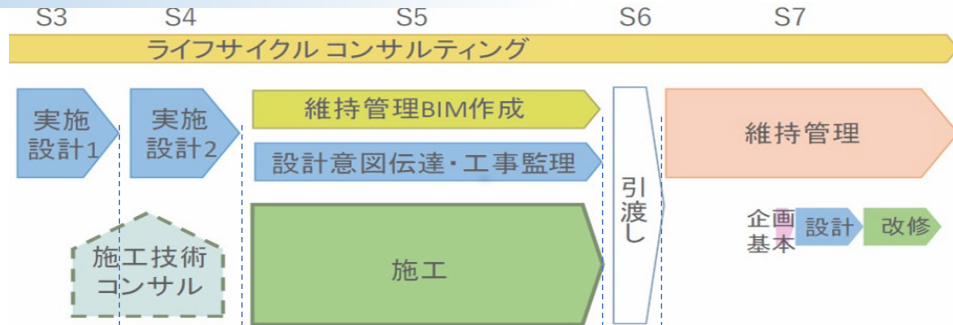
S5施工段階におけるVRモックアップの効果検証と課題分析

プロジェクト概要

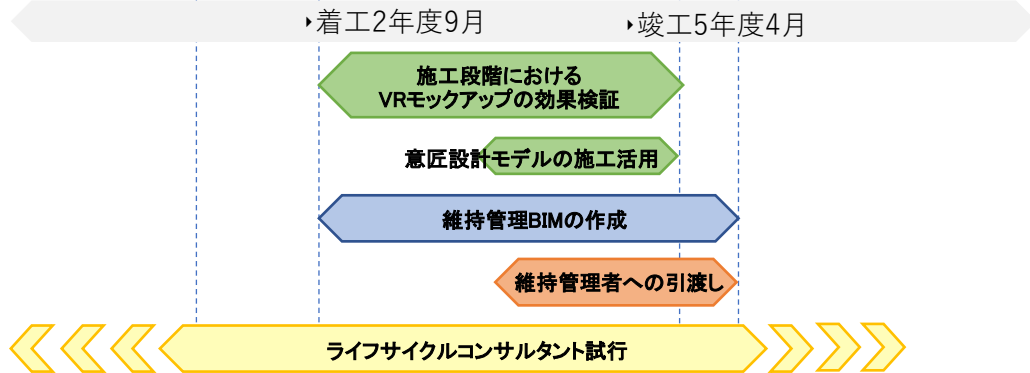
- 案件： 合同庁舎 (PFI事業)
- 用途： 事務所
- 規模： 約48,000㎡ 地上7階 地下なし
- 構造種別： RC造 (基礎免振) 一部：S造
- 設計： 株式会社梓設計
- 施工： 戸田建設株式会社
- 維持管理： 株式会社ハリマビシステム



BIM推進会議 標準ワークフロー



検証等を行うプロセス



VRモックアップの効果検証

VR
Unreal Engine 4



VR体験



排水処理機械室
空調機械室



実験室レイアウト

BIMソフトウェア
ArchiCAD



相互
連携

レイアウト調整資料

レイアウト総合図



諸元表 機器リスト



(1) -②提案の概要・コンセプトのおさらい

そもそもモックアップとは？

建物の外観や機能の確認のために、試作される原寸大の模型、室内。

図面だけでは判断しがたいものが主な対象。

従来のリアルモックアップ

◇主目的

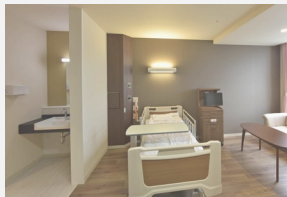
施工者のリスク回避
発注者と確実に合意形成をはかる

◇対象範囲

同じ空間がたくさんある場合
(病室、客室など)
複雑で特別確認が必要な重要室

◇制約

制作コスト
設置場所
設置期間



様々な制約のため対象範囲が限定的。

新しいモックアップのかたち = VRモックアップ

合意形成をはかる手法として新しいツールを提案。

VRモックアップとは？

- ・ヘッドマウントディスプレイを通じ対象空間を仮想空間として体験する。
- ・実際の大きさのスペースで行動しながらの体感が可能なように、モックアップスペースを準備する。
- ・ここでは現場内での実際の空間に重ね合わせて行うARも含めVRモックアップと呼ぶ。

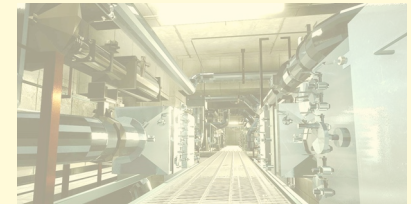
コスト、場所、期間などの制約から解放

- ・ BIMモデルさえあれば比較的容易に仮想空間を体験でき、モックアップ対象も自由に選べる。
- ・ 維持管理者も含め、多くの人の視点でモックアップが活用できる。
- ・ 建材Lossが少なくCO2排出量が削減。



「利用者の体験の必要性」

を優先した対象室や範囲を選定可能



(1) -③. 検証と課題分析の概要

1) S5施工段階におけるVRモックアップの効果検証と課題分析

検証A) VRモックアップ体験による発注者・エンドユーザーとの合意形成

⇒発注者の打合せ及び調整時間 目標 60%

結果：図面チェック 36%削減

結果：打合時間 60%削減

検証B) VRモックアップ体験での維持管理者の事前検証によるメンテナンス性の向上

⇒メンテナンス性 目標 20%

結果：点検・整備項目 13%削減

結果：機器レイアウトの改善 81.8%削減

検証C) 現場VRモックアップの用効果

⇒モックアップ費用 目標 40%

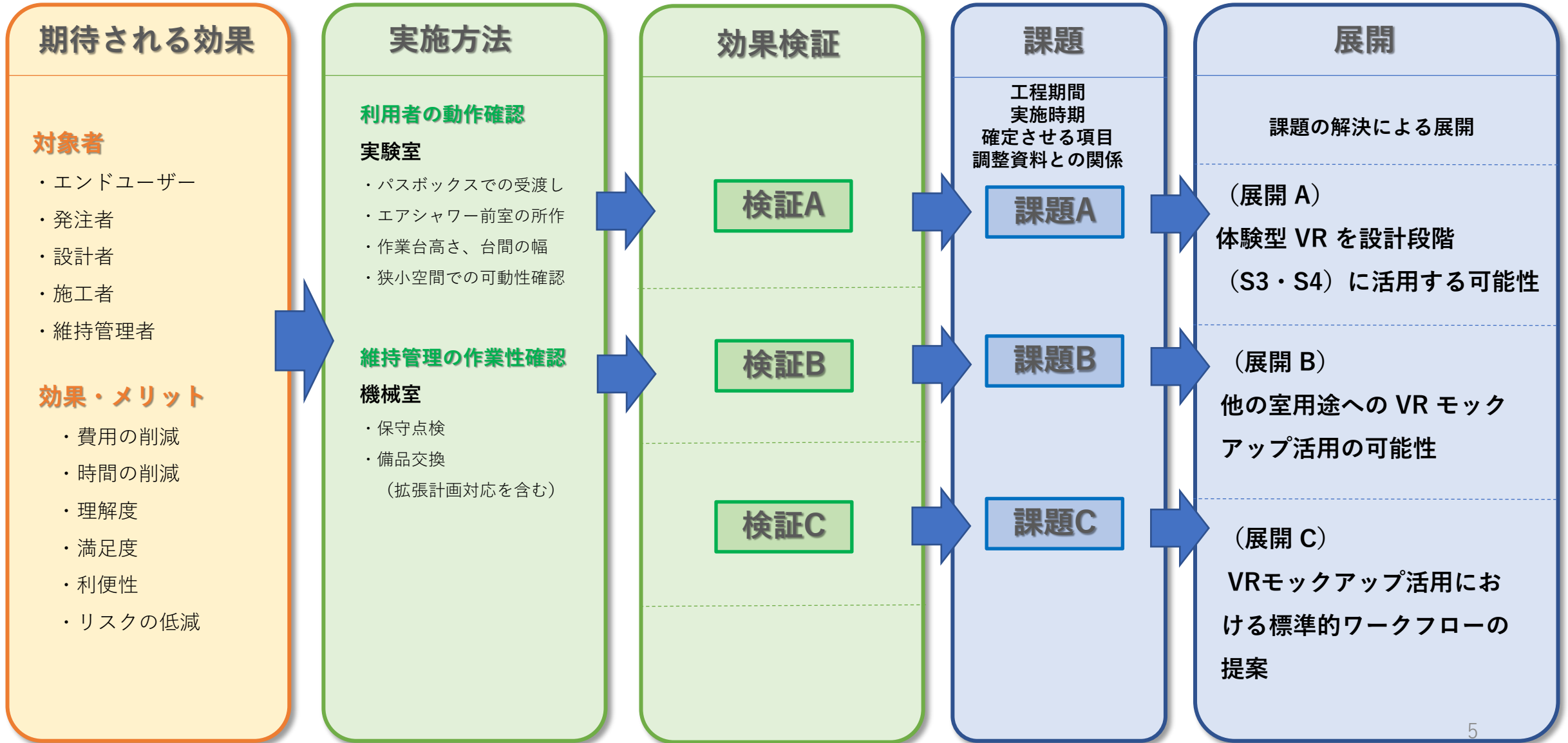
結果：60%削減

課題A) 発注者・エンドユーザーの視点からのVRモックアップの課題

課題B) 維持監理者の視点からのVRモックアップの課題

課題C) VRモックアップの作成過程における課題

(1) -④. VRモックアップによる検証のフロー



(1) - ⑤. 検証と課題分析の概要 中間報告で受けた指摘に対しての追加検証

1) VR技術の仕様や性能

1. VRゴーグルのトラッキング方式

3DoF (3 Degree of Freedom)

頭の回転や傾きに連動した仮想空間の映像を映し出すVRゴーグル



6DoF (6 Degree of Freedom)

3DoFに加えて前後左右と上下の動きに対応するVRゴーグル



今回は**6DoF**を使用

体の位置に連動する仕組みは、身長に対応し、かがみ、着席を視野に反映

PCVR時のPC仕様

検証A、検証B、リアルVR比較

OS	Windows 10
CPU	AMD RYZEN 3900
メモリ	16GB
GPU	RTX 2080Ti

VRゴーグル仕様(Oculus RiftS)

検証A、検証B、リアルVR比較

解像度	1,280×1,440×2、LCDパネル
リフレッシュレート	80Hz
視野角	110°
トラッキング	5つの内蔵式光学カメラ (インサイドアウト方式)
IPD調整	ソフトウェア側で調整
重量	約470g

ソフトウェア仕様

検証A、検証B

モデリング	ArchiCAD24 Rhinoceros
VRレンダリング	UnrealEngine4

リアルVR比較

モデリング	Revit2021
VRレンダリング	TwinMotion (UnrealEngine4)

2) VRと現実の視覚認識を比較検証

2. 検証方法

- ・実在する**イベントホール** (230㎡) と**会議室** (20㎡) の**同じVR空間**を作成。実空間とVR空間をそれぞれ**個別に確認し、広さ、高さ等の空間の感じ方を比較検証**。(空間の大小による差異も比較)
- ・**検証の流れ**: **現実空間を視認**→**VR空間を視認**→(速やかにその場で) **ヒアリング実施**。
- ・ヒアリングの**回答数25**。リッカート尺度**7段階評価**でアンケートを集計。

3. 検証結果

- ・ヒアリング結果より実空間、VR空間共に若干の個人差は見られたものの、**VR空間と実空間を比較**した際の**認識に、大きな違いは見られなかった**。
- ・**VR空間は「実空間に置き換えた確認行為」として十分利用できる技術**と考えられる。



(2) -①、本事業を経て目指すもの、目的、解決する課題、成果等

1) 体験型VRによる関係者との相互理解の促進

今後VRモックアップが、現実のモックアップをカバーし、利活用の可能性の幅を広げ、発注者を含むより多くの利用者が事前に空間を体験する機会をつくり、**関係者との相互理解を促し意思決定を効率的に行うという将来的な方向性を見出す事を目指す。**

(展開 A) 体験型 VR を設計段階 (S3・S4) に活用する可能性

- ・ VRモックアップの実効性を確認し、発注者や関係者とのより効率的な合意形成を構成する新しい手法として整備。

(展開 B) 他の室用途への VR モックアップ活用の可能性

- ・ 維持管理者がVRモックアップで事前検証を行うことによるメンテナンス性の向上。
- ・ 維持管理業務におけるVRの利活用の効果を確認し、多様な活用を提案。
- ・ VRを活用した事前検証による改善から、改修費用削減の可能性を上げ、さらに維持管理機能を向上させる。

(展開 C) VRモックアップ活用における標準的ワークフローの提案

- ・ VRモックアップの費用対効果や課題を確認し、今後、社内及び他の事業者の活用も視野に効果と課題を整理。
- ・ 今後は他の用途や規模の課題を分析し、広い範囲でVRモックアップの活用を提案。

(3) -①、検証A：課題分析

検証A：VRモックアップ体験による発注者・エンドユーザーとの合意形成（実験室レイアウト）

1) 検証する確認項目

1. 利用者の動線及び動作確認
(パスボックスでの受渡し、エアシャワー前室の着衣、手洗い、履き替え)
2. 作業時の周辺の寸法確認
(作業台高さ、作業台間の幅、狭いスペースでの可動性の確認)
3. コンセント、設備、スイッチ等の位置確認



2) 課題分析等の結果

1. VRモックアップを発注者の合意形成に活用する際の実効性

- ・空間の広がり（幅、奥行き、高さ）の感じ方に対するヒアリング回答はばらつきが見られる。これは各個人の持つ空間への印象の問題があると考えられる。

2. 発注者の調整作業負担を軽減する効果

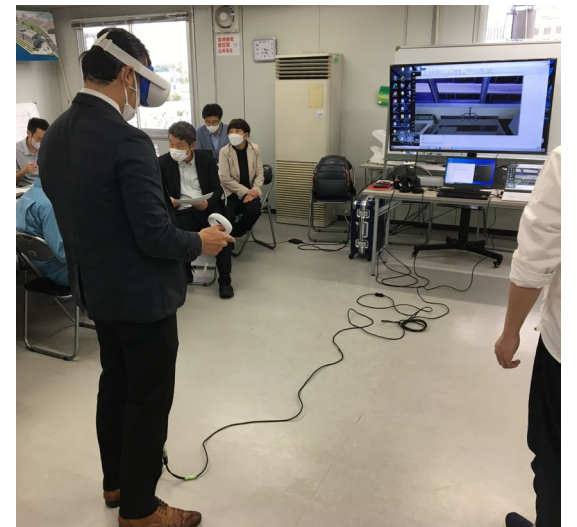
- ・機器や設備の位置関係をVR体験で認識できた。VRにより所作に新たな気づきもあり、手戻りの回避や調整作業の負担軽減につながると考えられる。

3. VRにおける主な課題

- ・VR空間の家具は干渉せずすり抜けてしまうため、テーブルや机越しに奥のものに手を伸ばす際など本当に触れられるかどうかは不明。→細かい距離を把握するためには、物理的に行けなくするなどの工夫があるとよい。
- ・UE 4 によるVR作成を行なったが、労力が想定以上に必要であった。→今後汎用化する上では、より簡便なソフトも視野に入れ、目的に応じたソフトの選択が必要である。例えばTwinmotionでは製作時間を約1/10程度に効率化が可能。

4. 設計段階の有効性を確認

- ・ヒアリング回答では実験室のみならず、設計段階の様々な業務、室用途への活用の期待が多い。



(4) -①. 検証A：メリットの検証等-1

検証A：VRモックアップ体験による発注者・エンドユーザーとの合意形成（実験室レイアウト）

1) 効果時間を測定する際の比較基準

1. 「従来の図面による打合せ」を基準にして、「VRを含む打合せ」と比較。

従来通りの総合図、レイアウト図、機器リスト、諸元表で打合せをした場合を比較基準とし、VRを含む打合せとの比較を行う。

2) 前提条件

1. 施工段階の**施工総合図のチェック完了後**に作成したモデルでVR体験を実施。
2. 実際の打合せ時間ではなく、検証のために**仮に設定した「打合せ時間」**として、**従来の図面**による**打合せ準備**や**打合せ時間**を**仮定**して設定した。
3. 「**図面で理解したと思っていた部分**」と、「**VRによって理解した部分**」を比較した。
4. 「**図面から読み取る場合の時間**」や、「**手戻りがあった場合の再打合せ**」を仮定した。

3) 検証の方法

1. ヒアリングは関係者**18名**を対象に**リッカート尺度5段階評価**でアンケート実施。
2. ヒアリングをもとに**時間削減の効果**の割合を算出。
3. 対象室を利用する方のヒアリングを元に、**メリットや課題とその解決策**を整理。
4. **効率時間の計算方式**
 - ①**図面読み取りの削減効率の割合の測定**は、**削減時間の割合**についてヒアリングを行い、**回答比率**から**効果比率**を算出した。
 - ②**手戻り回避**を見込んだ**削減効果の測定**は、手戻り回避の効果問い、**回避できた割合**のうち**改善の効果の割合**から**効果比率**を算出した。
 - ③**上記を2つを**を発注者の**時間削減の効果**とする。

(4) -②. 検証A：メリットの検証等-2

検証A：VRモックアップ体験による発注者・エンドユーザーとの合意形成（実験室レイアウト）

1) 検証等の結果

1. VR体験の全般に関わる内容

① 図面から読み取ったイメージと体感の違い

- ・室内・機器の幅、奥行き、高さともに違いの**感じ方**にはばらつきがあった。

② 図面では理解しにくい内容

- ・天井や壁の**コンセント等の設備**について**当初の理解に違いを感じない**回答が多かった。

③ VR体験をおこなうことで作業動作に新たな気づきがあったか。

「**新たな気づきがあった**」 **56.3%**

2. 時間削減に関わる内容

① 図面の読み込み時間が短縮されたと感じるか。

「**短縮されたと思う**」 **93.3%**

② 打合せ時のVR確認による見落としの回避されたと思うか。

「**見落としが回避されたと思う**」 **94.5%**

3. 今後の可能性についての意見

① 設計段階でVR活用に可能性があると思うか。

「**多少**」もしくは「**大い**」にある **合わせて94.4%**

② VR体験者が感じたVRによる取組みの可能性や改善点

- ・改善点として、VRでは**所作**を確認する際、**机越しに手を伸ばした場合に机にめり込むため限界位置の認識**しにくい。

4. 削減効果の計算

図面チェック

	①短縮効果あり回答	②改善の割合	③回答比率	削減比率
床壁総合図	93.30000%	25%	47%	11%
		50%	40%	19%
		75%	13%	9%
合計				39%
天井総合図	81%	25%	46%	9%
		50%	46%	19%
		75%	8%	5%
合計				33%

削減比率=① + ② + ③ **平均 36%**

打合せ時間

	①手戻り回避回答	②改善の割合	③回答比率	削減比率
床壁総合図	100%	多少 25%	7%	2%
		ある程度 50%	47%	23%
		おおよそ 75%	47%	35%
				60%
天井総合図	100%	多少 25%	7%	2%
		ある程度 50%	47%	23%
		おおよそ 75%	47%	35%
				60%

※回避されることで追加打合せが削減すること

削減比率=① + ② + ③ **平均 60%**

削減効果

目標

60%削減



図面読み取りの削減率

36%削減

手戻りの回避率

60%削減

(3) -②、検証B：課題分析

検証B：VRモックアップ体験での維持管理者の事前検証によるメンテナンス性の向上（排水処理及び空調機械室）

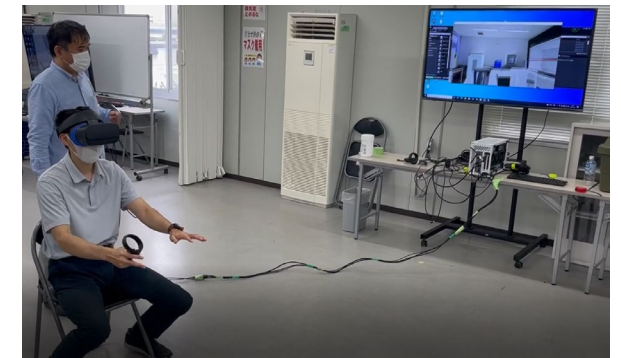
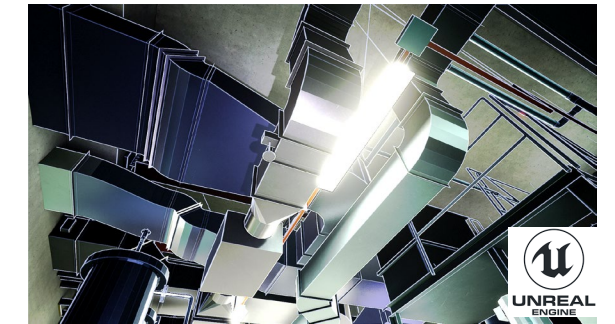
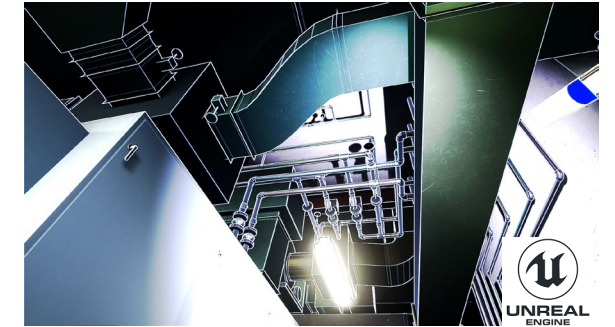
維持管理者が施工段階でVR体験し、点検や保守の業務での実用性を検証。

1) 検証する確認項目

1. VR体験によって維持管理者が想定ルートに沿って点検、備品交換等の保守メンテナンス動作等の作業性を確認する。
2. 維持管理者へのヒアリングから提案や意見を確認し課題を分析する。

2) 課題分析等の結果

1. 維持管理業務のVRモックアップを製作過程
 - 設計、施工モデルを活用。改めて大幅なモデリング作業はなし。
 - 更に今後は建築用レンダリングソフトウェア（Twinmotion等）で対応可能のため大幅な省力化が望める。
2. 施工段階でVRモックアップを実施するメリット
 - 事前に維持管理の整備計画を明確にイメージし不具合の調整業務ややり直しを防ぐ。
 - 改修計画の再確認によって、盛替え、一時撤去など本来は不要なコストを抑える可能性あり。
 - 上記2つから発注者が受ける追加工事のリスクを低減出来る可能性あり。



(4) -③. 検証B：メリットの検証等

検証B：VRモックアップ体験での維持管理者の事前検証によるメンテナンス性の向上（排水処理及び空調機械室）

1) 検証等の実施方法・体制

1. はじめに**機械室**で実施される**点検及び保守更新業務をリストアップ**し、更にはその中から**VRモックアップで検証できる項目**をピックアップする。
2. ハリマビシステムから**維持管理業務に従事する18名**を対象に一人ずつ**VR体験を実施**。
(機械室の点検・整備項目の**視認性**や**気づき**を中心に確認)
3. その後（速やかにその場で）**ヒアリングを実施**。ヒアリングの**アンケート**回答をもとに**メンテナンス性の向上**を測る。

2) 検証等の前提条件

1. **施工段階の施工総合図チェック**で維持管理者の「**図面によるチェック**」が完了後の段階でVR体験とヒアリングを実施。
2. 「**メンテナンス性の向上**」としての**評価**は「機械室における**すべての点検・整備項目**」のうち、「**VRで気づきを得られた項目**」の割合を判断材料にした。また「**機器レイアウトの改善点**」への気づきを得た割合も**評価に加えた**。

(4) -④、検証B：メリットの検証等

検証B：VRモックアップ体験での維持管理者の事前検証によるメンテナンス性の向上（排水処理及び空調機械室）

1) 検証等の結果

1. VR空間で**維持管理業務**を体験する上で**業務の作業を認識**することができるか。
「できる」 100%

2. 機械室のすべての点検・整備項目に対してVR検証が可能な項目。 43%

3. 機械室の**点検、整備**に関わる内容の**改善や気づき**があったか。
バルブ、フィルターなど10項目「気づきがあった」 32%

4. **機器レイアウト**の配置や向きの**改善に気づき**があったか。
「気づきがあった」 81.8%

5. 今回VR空間で**維持管理業務**を体験する上で**モデルの内容に不足**があったか。
「不足あった」 40%

上記の不足した内容のなかで、**効果の可能性が見込まれるもの**

- ・ 非常灯、感知器、などの**点検や交換**。マンホールや排水桝、照明等スイッチ等などの**位置確認**。

6. **その他効果が期待できる維持管理業務や作業等**

- ・ 普段立ち入ることができない**天井内**や**立ち入り制限**の部屋等の**設備点検の教育研修**。
- ・ **竣工前**に**点検表、点検ルート**等を作成し、**検証**が可能。
- ・ **事前**に維持管理の**整備計画**のイメージし不具合の調整業務や**改修計画の効率化**をおこなえる。

削減効果の計算

点検、整備項目

左記2：全ての項目に対してVR検証が可能な項目の割合（10/23） 43%

左記3：気づきがあった項目の回答数の割合 32%

2.の内の3.の割合を算出 13%

削減効果

目標 20%向上



点検・整備項目の削減効果 13%

機器レイアウトの改善についての削減効果 81.8%

検証結果報告書

(3) BIMデータの活用・連携に伴う課題の分析等について

検証C：現場VRモックアップの費用効果

(3) -③、検証C：課題分析

実施内容

VRモックアップ実施におけるワークフロー上の課題検討

VRモックアップ検証を通じて、浮き上がった課題を抽出する。

- ・ **スケジュールコントロール**：総合図承認時期とVR作成時期
(打合せ時期、**制作上のマイルストーン**、承認時期)
- ・ **設置機器を含めた建築空間**の総合的な妥当性の**確認行為**として、従来の図面によるものと比較し、**合意形成**に係る**時間や作業手間**に関わる項目
- ・ 現場VRモックアップの制作・運用上の課題

検証結果報告書

(4) BIMの活用による生産性向上、建築物・データの価値向上や様々なサービスの創出等を通じた**メリットの検証等**について

(4) -⑤、検証C：メリットの検証等

定量的に検証する効果、目標、効果を測定するための比較基準 検証Aの結果からVRモックアップの費用検証

検証A VR確認目的

- ・ 実施会場は現場事務所
- ・ 空間の広さや高さ
- ・ 機器やコンセント、什物の位置やレイアウト確認
- ・ 動作確認、所作への気づき
- ・ 発注者合意形成
(発注者は施設利用者を指す)

検証A VR確認目的を満たす現場モックアップ

- ・ 実施会場は別途現場内にプレファブを設置と仮定
- ・ 空間の広さや高さ
- **仕上げや天井内、床下内の表現は必要無し**
- ・ 機器やコンセント、什物の位置やレイアウト確認
- **空調設備・給排水の機器実装はなし**
- ・ 動作確認、所作への気づき
- **什器の実装**
- ・ 発注者合意形成 (発注者は施設利用者を指す)

検証等の結果

比較A	建築・設備+設置・解体+仮設プレファブ VR製作費用	1000万 230万 (77%削減)
比較B	建築・設備+設置・解体 VR製作費用	600万 230万 (60%削減)

会場費(仮設)を含めると現場によってばらつきが出るため、「**比較B**」を採用



課題分析等の結果

制作上のマイルストーンについて

BIMデータからVRデータに移行すると修正・変更が難しくなる要素があり作成期間・コストに影響が出ることが分かった。

→ **BIMモデル段階での確定すべき項目の明示が必要。**

VRモックアップが有効な項目

設計・施工関係者によるVR確認会にてコンセントの位置・扉開き勝手建具と時計納まり・設備点検方法の指摘有あり。発注者アンケートでは、部屋の広さ・動線が体験でき実際の動きを想像しやすいとの意有り。

→ **図面より詳細な合意形成や調整時間の短縮に有効**

VRモックアップを実施する際の課題

・ VRモックアップを作成する段階から、VR特有の問題や安全面も踏まえた確認が必要となることが分かった。

→ **会場のスペース、設備環境、VR実施時体制等の確認事項**

(5) -①、検証結果を踏まえた今後の課題

1) . VR技術に関する課題

1. VRを利用する上でのコストや技術的な課題について ⇒ 技術革新によって数年で解決されると予想

(例： **Google軽量化**、**通信と無線化**、**解像度**、**PC性能**、**価格**、**VR作成ソフトの簡便性等**)

2) . 運用方法、発注者や関係者との合意形成等に関する課題

1. VR利用目的を明確に定める事により、関係者間でのVRに対する思い違いを無くし、効果的な運用を目指す。

VR及びVRモックアップの**定義**／**利用目的**の明確化／**メリット**や**デメリット**／**VRのすり抜け問題への対応**（VR上の物体を体がすり抜けてしまう）
／**規模**、**用途**ごとの活用の**対象となる範囲**／**設計**、**施工**のそれぞれ**フェーズ**での**利活用**とその**運用方法**など

3) . BIMガイドラインの改定に向けた提言

1. “メンテナンスレビュー”実施の提案【維持管理者によるフロントローディング】

維持管理者の目線で「メンテナンスレビュー」を実施し、維持管理面での機能性向上や改修のしやすさを計画に反映することで、施設の価値を高め、発注者メリットにつながる。その際、**VRを活用することで効率的に短時間でのレビューが可能となる**。S3～S5段階では一般的には維持管理業者が決まっていないケースが多く、**ライフサイクルコンサルティング業務**や**技術コンサルタント**として位置付ける事が考えられる。

2. VR活用に伴う運用上の配慮事項の整理と共有化の提案【VR活用ガイドの整備】

標準ワークフローをもとに、**各フェーズ**でBIMモデルによるVRを活用の**運用方法**、**注意点**、**利活用が可能な業務範囲**を示す。

事例等をもとにVRの具体的な**利用メリット**を紹介。