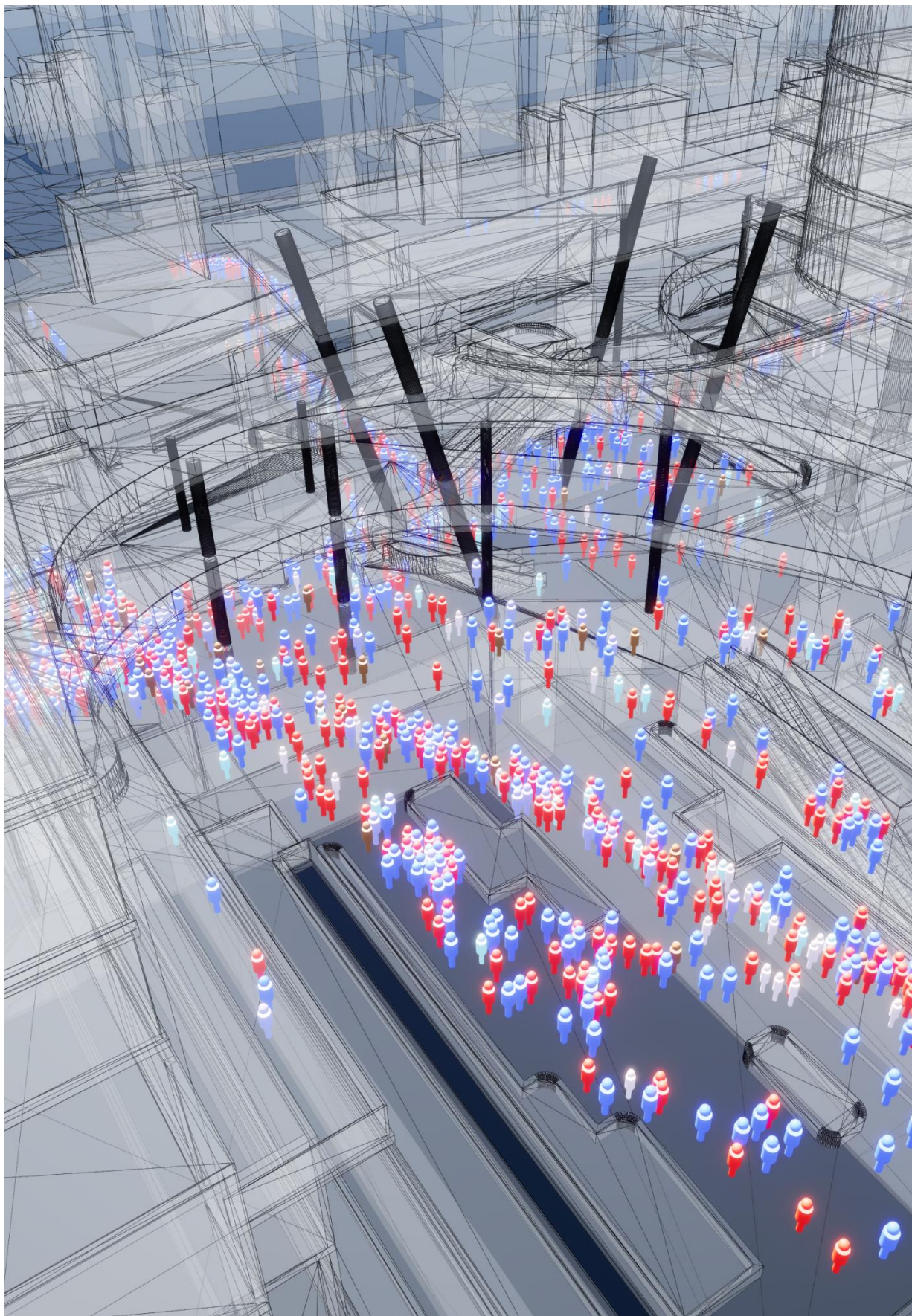




防災エリアマネジメントDX v2.0

技術検証レポート

series
No. 101

Technical Report on Digital Transformation of Area Management for Disaster Prevention v2.0

目次

1. ユースケースの概要	- 3 -
1-1. 現状と課題	- 3 -
1-1-1. 課題認識	- 3 -
1-1-2. 過年度の手法とその課題	- 3 -
1-1-3. 既存業務フロー	- 3 -
1-2. 課題解決のアプローチ	- 5 -
1-3. 創出価値	- 6 -
1-4. 想定事業機会	- 6 -
2. 実証実験の概要	- 7 -
2-1. 実証仮説	- 7 -
2-2. 実証フロー	- 7 -
2-3. 検証ポイント	- 8 -
2-4. 実施体制	- 8 -
2-5. 実証エリア	- 9 -
2-6. スケジュール	- 10 -
3. 開発スコープ	- 11 -
3-1. 概要	- 11 -
3-2. 開発内容	- 11 -
4. 実証システム	- 13 -
4-1. アーキテクチャ	- 13 -
4-1-1. システムアーキテクチャ	- 13 -
4-1-2. データアーキテクチャ	- 14 -
4-1-3. ハードウェアアーキテクチャ	- 15 -
4-2. システム機能	- 16 -
4-2-1. システム機能一覧	- 16 -
4-2-2. 利用したソフトウェア・ライブラリ	- 18 -
4-2-3. 開発機能の詳細要件	- 19 -
4-3. アルゴリズム	- 42 -
4-3-1. 利用したアルゴリズム	- 42 -
4-3-2. 開発したアルゴリズム	- 43 -
4-4. データインタフェース	- 44 -
4-4-1. ファイル入力インタフェース	- 44 -
4-4-2. ファイル出力インタフェース	- 46 -
4-4-3. 内部連携インタフェース	- 48 -
4-4-4. 外部連携インタフェース	- 50 -
4-5. 実証に用いたデータ	- 51 -

4-5-1. 活用したデータ一覧	51 -
4-5-2. 生成・変換したデータ	53 -
4-6. ユーザーインターフェース	77 -
4-6-1. 画面一覧	77 -
4-6-2. 画面遷移図	79 -
4-6-3. 各画面仕様詳細	79 -
4-7. 実証システムの利用手順	85 -
4-7-1. 実証システムの利用フロー	85 -
4-7-2. 各画面操作方法	85 -
5. システムの非機能要件	88 -
5-1. 社会実装に向けた非機能要件	88 -
6. 品質	91 -
6-1. 機能要件の品質担保	91 -
6-2. 非機能要件の品質担保	91 -
7. 実証技術の非機能要件の検証	92 -
7-1. 検証目的	92 -
7-2. KPI	92 -
7-2-1. 検証方法と検証シナリオ	93 -
7-2-2. 検証結果	94 -
8. シミュレーションロジックの有用性検証	97 -
8-1. 検証目的	97 -
8-2. 検証方法	97 -
8-2-1. 複数シミュレーションシナリオの作成条件	97 -
8-2-2. シミュレーションシナリオの前提条件	98 -
8-3. 検証結果	102 -
9. BtoB ビジネスでの有用性検証	112 -
9-1. 検証目的	112 -
9-2. 検証方法	113 -
9-3. 被験者	113 -
9-4. ヒアリング・アンケートの詳細	114 -
9-4-1. アジェンダ・タイムテーブル	114 -
9-4-2. アジェンダの詳細	114 -
9-4-3. 検証項目と評価方法	116 -
9-4-4. 実証実験の様子	118 -
9-5. 検証結果	121 -
9-5-1. 1次利用者/システム利用者（シミュレーション実施者）の有用性検証結果	122 -
9-5-2. 2次利用者/サービス利用者（リプレイ受領・確認者）の有用性検証結果	123 -
10. 成果と課題	127 -

10-1. 本実証で得られた成果.....	- 127 -
10-1-1. 人流シミュレーションシステムの技術面での優位性.....	- 127 -
10-1-2. 人流シミュレーションシステムのビジネス面での優位性	- 127 -
10-2. 実証実験で得られた課題と対応策.....	- 129 -
10-3. 今後の展望.....	- 131 -
11. 用語集.....	- 132 -

1. ユースケースの概要

1-1. 現状と課題

1-1-1. 課題認識

市街地における大規模な新規開発や機能更新に伴って、街区形状や人口の属性・滞留者数・人流の変化も大規模化する傾向にある。そのため、より実践的な避難経路の設定や避難場所の確保等の計画策定、防災計画や防災マニュアル等の更新・新設が必要となる。

都市の防災計画については、大規模な地震が発生した場合における滞在者等の安全の確保を図るため、都市再生緊急整備地域内の場合には都市再生緊急整備協議会が都市再生安全確保計画を、一定規模以上の乗降客数が見込まれる主要駅周辺の場合には帰宅困難者対策協議会がエリア防災計画を作成することができる。これらの防災計画等の更新に当たっては関係者間で合意形成を図る必要があり、まちびらき前の段階で発災時の人流を検証・分析し、潜在的なリスクを可視化することが求められるが、汎用的かつ実用的なツールがなく分析の負荷が大きい。

1-1-2. 過年度の手法とその課題

2022年度の「[防災エリアマネジメント](#)」では、TAKANAWA GATEWAY CITYを対象地として、人流シミュレーションシステムを用いた大規模誘導・避難シミュレーションを行う環境を構築し、エリア内防災計画の更新や合意形成における有効性の検証を実施した。その結果、開発した人流シミュレーションシステムが災害時の計画検証や関係者間の共通認識・合意形成が構築において有用であることが確認できた。

他方、本ツールの環境構築や災害シナリオ設定が煩雑であり、汎用的なツールとして他地区への横展開を図る上では、UI/UXの簡易化による操作性の改善等が課題であった。

1-1-3. 既存業務フロー

防災計画等の策定及び更新に係る業務フローについて、大規模誘導・避難シミュレーションを活用しない従来の業務フロー概要及びボトルネックとなる部分を以下に示す。

従来の業務フロー（大規模誘導・避難シミュレーションシステム活用なし）

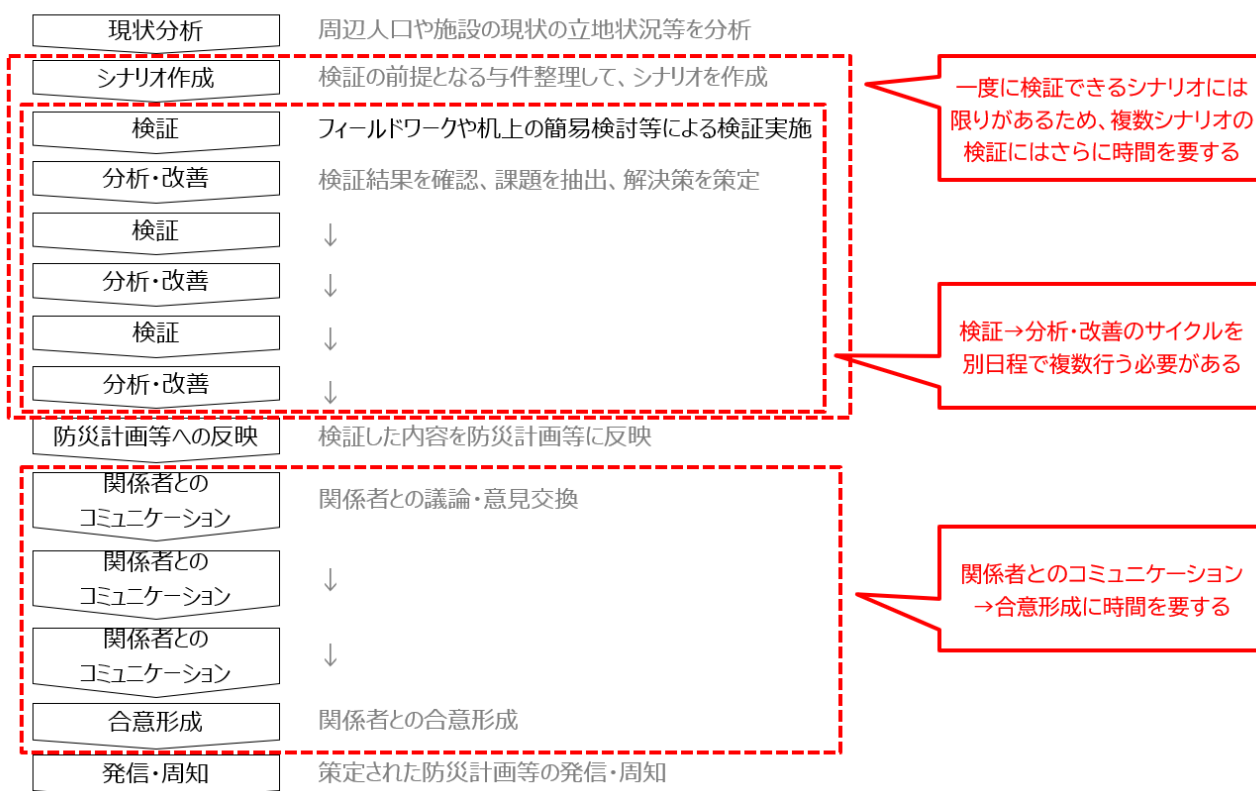


図 1-1 既存業務フロー

1-2. 課題解決のアプローチ

大規模誘導・避難シミュレーションシステムを活用することで、大きく3点について従来フローと比べて時間的負荷の低減が図れる。本システムを導入した場合の各工程の改善点を以下の表に示す。

本システムが目指す業務フロー（大規模誘導・避難シミュレーションシステム活用）

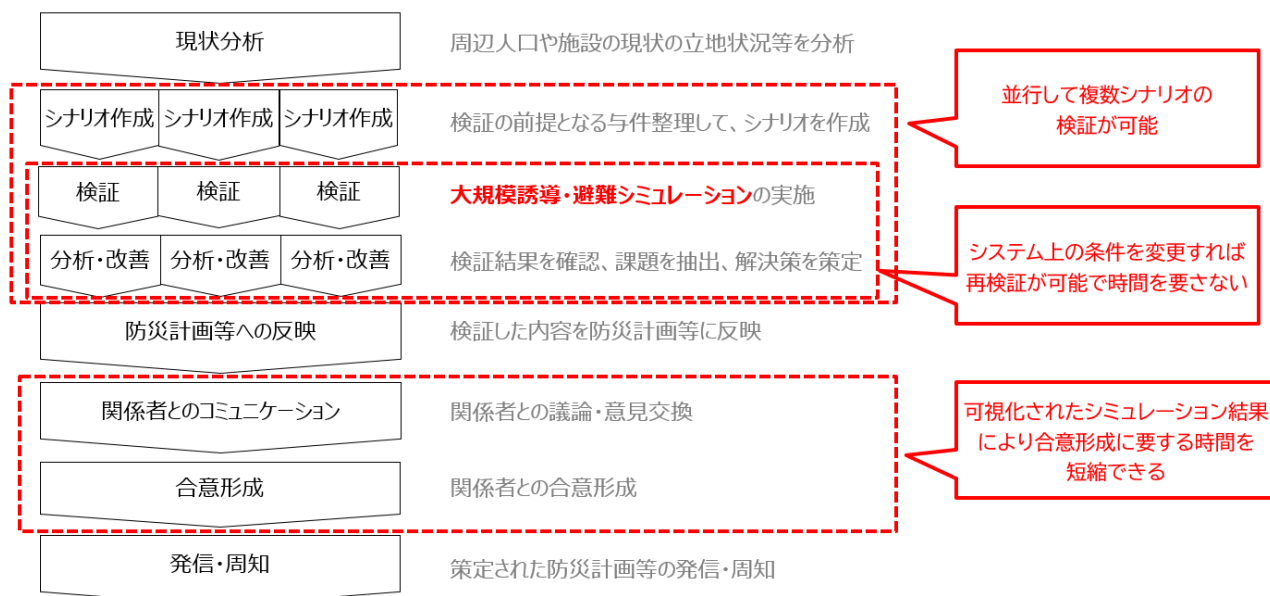


図 1-2 改善後の業務フロー

表 1-1 本システム導入による改善点

業務フロー	本システム導入による改善点
①シナリオ構築	- 従来は一度に検証できるシナリオに限りがあったため、複数シナリオの検証には多くの時間を要した - 本システム導入により並行して複数シナリオの検証が可能となり、フローの短縮を図ることができる
②検証→分析・改善	- 従来のフィールドワーク等による検証では、課題が発覚しても都度関係者間の日程調整から実施する必要があり時間を要した - 本システム導入によりシステム上のパラメータを変更することで再シミュレーションが可能となり、再検証の時間的負荷が低減できる
③関係者とのコミュニケーション→合意形成	- 従来は②の検証結果をもとに策定された防災施策の有効性や妥当性は数値や平面図上でしか示すことができないために、関係者の理解が図りにくく、理解が図れない場合には補足資料の作成等が発生し、合意形成まで時間を要した - 本システム導入により大規模誘導・避難シミュレーションの可

	視化が可能となり、直感的にも関係者の理解が促進され、合意形成の時間的負荷を低減できる
--	--

1-3. 創出価値

3D 都市モデルを活用した人流シミュレーションシステムの開発と、それをもとにした大規模誘導・避難シミュレーションの活用を推進することで、まちづくりを推進するデベロッパーや防災計画を運用する地方公共団体等は発災状況を複数パターン検証でき、滞留者の状況や避難上のボトルネックを確認しながら、防災施策を検討できる。ひいては、前述組織において定量的な分析に基づく実効性のある防災計画や防災マニュアルの整備が可能となる。

本ユースケースで得られた検証結果をもとに、今後本システムをさらにブラッシュアップして全国に水平展開し、各地において防災力の向上に寄与することを目指す。将来的には、本システムを用いて防災施策などのソフト面を整備するだけでなく、まちの都市設計や建築設計などのハード面の整備にも活用可能である。

1-4. 想定事業機会

表 1-2 想定事業機会

項目	内容
利用者	● 1次利用者（システム利用者）：建築設計事務所、コンサルティング会社等 ● 2次利用者(サービス利用者)：地方公共団体、エリアマネジメント団体、デベロッパー等
サービス仮説	● まちづくり計画等の策定・更新支援サービス ➢ シミュレーションを基にスムーズな計画策定を実現し、関係者の対応工数を削減する ● シミュレーション環境の販売 ➢ 防災計画や防災マニュアルの作成等に使用可能なシミュレーション環境を提供する
提供価値	● まちの防災力向上 ➢ 3D 都市モデルを活用した実効性のある防災計画や防災マニュアル等の策定・更新によりまちの防災力が向上する ● まちづくり計画策定の業務効率化 ➢ デジタル技術活用により、計画の策定・持続的な更新に関わる業務を効率化する

2. 実証実験の概要

2-1. 実証仮説

- 2022年度の「防災エリアマネジメント」では、開発した人流シミュレーションシステムの有用性を確認できた一方、本ツールの環境構築や災害シナリオ設定が煩雑であり、他地区への水平展開を図る上でもUI/UXの簡易化による操作性の改善等が課題であった。そこで、従来は専門の作業従事者が操作する必要のあった同ツールを改善し、シミュレーションシステムの専門知識が無くても防災計画に対応した設定が行えるよう、ツールのプラグイン化及び本ツールへの情報入力簡易化を推進して、人流シミュレーションの利活用を広げる
- 同時に、本件では人流シミュレーションシステムに基づく大規模誘導・避難シミュレーションを実行する範囲として、新規開発街区と既存街区の一部の3D都市モデルを統合し、現行のエリア防災計画の与条件を基にシミュレーションを実行する。シミュレーション結果から得られた課題は、改善策を検討した上でシミュレーションを再実行し、その有効性を検証する。このサイクルを回すことで、地域の実態に即した実効性のある防災施策の確立を目指す

2-2. 実証フロー

以下図のうち、赤枠で囲った「人流シミュレーションシナリオの作成」から「人流シミュレーションシステムの効果検証」までの3つの工程を実証フローとして想定する。

実施計画の策定	● プロジェクト・ビジョンの定義、プロジェクト・スコープの定義などを実施し、実施計画書としてまとめる。
人流シミュレーションシステムの開発	● 実証に向けて、人流シミュレーションシステムを開発する。
3D都市モデル開発	● 実証に向けて、大井町駅周辺の開発街区＋一部既存街区の3D都市モデルを開発する。
人流シミュレーションシナリオの作成	● 大井町駅周辺エリア防災計画の各種与条件等に基づき、発災時における大井町駅周辺の人流シミュレーションシナリオを作成する。
人流シミュレーション環境開発	● 3D都市モデルの取り込み調整、および、シナリオに対応した機能調整、人流シミュレーション環境構築を行う。
人流シミュレーションシステムの効果検証	● 発災時における大井町駅周辺の人流シミュレーションを実行し、課題抽出と改善を繰り返し行う。 ● 他地区における大規模誘導・避難シミュレーションシステムの有用性について、デベロッパー等にヒアリングする。

図 2-1 実証フロー

2-3. 検証ポイント

- シミュレーションロジック

- 3D 都市モデルを活用した人流シミュレーション結果の有用性（課題把握・対策検討に使えるか）を確認する

上記 1 点の検証ポイントについては「8.シミュレーションロジックの有用性検証」において検証結果を記載する。

- システム利用者（シミュレーション実施者）

- 本システムの他地区への水平展開に向けて、汎用化のために整備するプラグイン化箇所を含む、今年度開発した本システムにおけるユーザビリティ（UI/UX の分かりやすさ・使いやすさ）を確認する

- システム利用者（リプレイ受領・確認者）

- 3D 都市モデルを活用した人流シミュレーションの可視化結果を用いることで、防災に関連する業務の効率化に寄与するか確認する

上記 2 点の検証ポイントについては「9. BtoB ビジネスでの有用性検証」において検証結果を記載する。

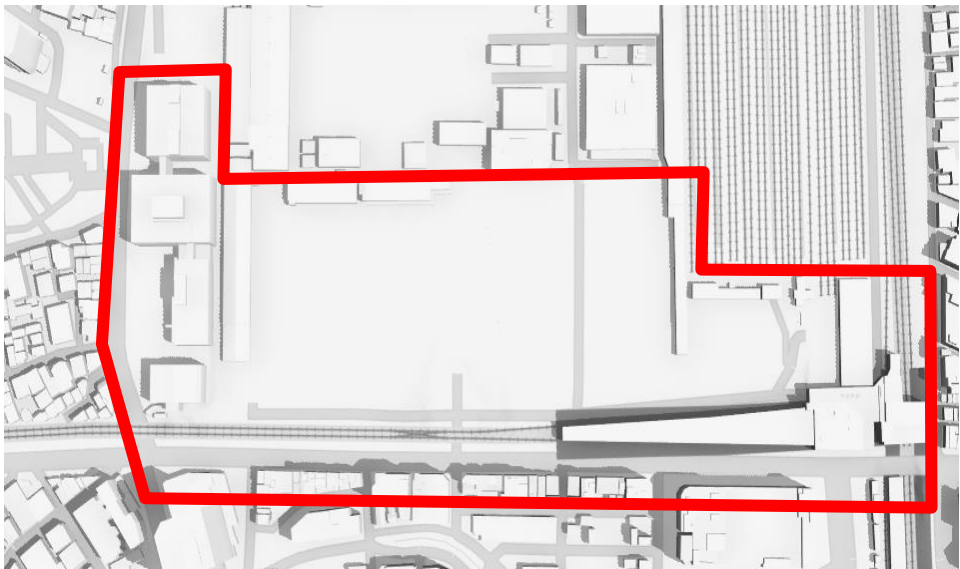
2-4. 実施体制

表 2-1 実施体制

役割	主体	詳細
全体管理	国交省 都市局	プロジェクト全体ディレクション
	アクセンチュア	プロジェクト全体マネジメント
実施事業者	東日本旅客鉄道	全体統括及び関係者調整、人流シミュレーションシナリオ構築、ドキュメンテーション（全般）、業務報告書等の取りまとめ及び作成
	KDDI	人流シミュレーションのプラグイン化企画、大井町エリア人流シミュレーション環境構築及び実施の要件定義、クラウド環境提供、ドキュメンテーション（人流シミュレーションシステム関連）及び業務報告書等の作成
	KDDI アジャイル開発センター	人流シミュレーションのプラグイン化開発、大井町エリア人流シミュレーション環境構築及び実施、ドキュメンテーション（人流シミュレーションシステム関連）及び業務報告書等の作成
	JR 東日本建築設計	3D 都市モデルの作成及び企画、ドキュメンテーション（3D 都市モデル関連）及び業務報告書等の作成

2-5. 実証エリア

表 2-2 実証エリア

項目	内容
実証地	東京都品川区大井町駅周辺
面積	0.1 km ²
マップ (対象エリア は赤枠内)	

2-6. スケジュール

表 2-3 スケジュール

実施事項	2024 年										2025 年		
	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月	
1. 業務実施計画書作成	↔												
2. 人流シミュレーションプラグイン開発		↔											
3. 3D 都市モデル作成		↔											
4. 大井町大規模誘導・避難シミュレーションシナリオ構築		↔											
5. 大井町大規模誘導・避難シミュレーション環境開発					↔								
6. 大井町大規模誘導・避難シミュレーション実施						↔							
7. 実証環境セット						↔							
8. 実証実験							↔						
9. 業務報告書作成								↔					

3. 開発スコープ

3-1. 概要

本プロジェクトでは、2022 年度の「[防災エリアマネジメント](#)」において開発した人流シミュレーションシステムを基礎としつつ、シミュレーションの環境構築や災害シナリオ設定の煩雑さを解消するために、人流シミュレーションシステムの Unreal Engine プラグイン化及び情報入力の手軽化のため、シミュレーション実行前の事前計算やキャラクター配置アクターの作成対応の実施、同ツールのログを収集し分析・可視化を行う分析環境について環境構築のコード化を行い、環境構築の自動化を推進する。避難シミュレーションを実施するに当たって必要な避難者の配置や経路設定のほか、シミュレーション結果のリプレイの実行機能などもプラグイン化し、分析環境の構築もコードを利用して自動構築できるようにすることで、任意の開発環境へのシミュレーション機能の導入を容易にする。

同時に、シミュレーションシナリオの入力を容易にできるよう UI/UX の改善を行うことで、システム操作性の向上を図る。このような機能開発を実現することで、人流シミュレーションへの専門知識がない人でも容易にシミュレーションを実行できる環境を構築し、他地区でも活用できるようなシステムを構築する。

3-2. 開発内容

本プロジェクトでは、3D 都市モデルを活用し、災害時の避難誘導を想定した大規模シミュレーションシステムを開発した。実証エリアとして、2026 年 3 月開業予定の大規模複合施設 OIMACHI TRACKS を含む大井町駅周辺エリア（約 0.1 平方キロメートル）を選定した。複数の路線が乗り入れる駅周辺で想定される避難者の最大 1 万人規模の人流シミュレーションを実現するため、3D 都市モデルの作成と統合、Unreal Engine 4 を基盤とした大規模人流シミュレーション環境の構築、シミュレーション結果の分析および可視化環境の構築を行った。シミュレーション環境はローカル PC 上に、分析・可視化環境はクラウドサービスである AWS EC2 上に実装を行った。

3D 都市モデルの作成と統合では、OIMACHI TRACKS の設計データ（BIM モデル）を活用して建築物内部を含む建築物モデル LOD4 を作成し、周辺エリアの既存の建築物 LOD1/LOD2 のモデル、交通（道路）モデル LOD3 と統合した。この統合された 3D 都市モデルを地理座標（緯度経度座標）に基づいて扱うため、FME Form を用いて 3DTiles 形式に変換した。

大規模人流シミュレーション環境の構築では、3DTiles 形式に変換した 3D 都市モデルを Cesium for Unreal を用いて Unreal Engine 4 に取り込み、シミュレーションのベースとなるマップを設定する。

3DTiles データの効率的な表示を可能にするため、一度に複数の 3DTiles の読み込みができるように、読み込み機能を提供する TilesetLoader コンポーネントを改良した。さらに、Unreal Engine 4 の Navigation System と Crowd Manager を利用して、AI キャラクターの群衆挙動をシミュレートした。Navigation System は、仮

想空間内での経路検索とナビゲーションを担当し、群衆が目的地に向かって効率的に移動できるようにする機能である。一方、Crowd Manager は、複数の AI キャラクターが同時に移動する際に、互いの障害物や他のキャラクターを回避しながら目標地点を目指すためのアルゴリズムを提供する。これにより、現実に近い群衆挙動を再現することができる。これらのシミュレーション結果は、キャラクター移動軌跡ログとして出力する機能により、CSV 形式で出力される。

また、UI/UX については、2022 年度の「防災エリアマネジメント」(<https://www.mlit.go.jp/plateau/use-case/uc22-030/>) にて課題となっていたシナリオ設定の複雑さを解消するため、ウィジェットメニューを導入し操作手順を視覚的に整理することで、専門知識のないユーザーも設定作業を進められる改善を行った。具体的には、操作手順をステップごとに分けて表示し、各ステップで必要なアクターや機能を限定することで、ユーザーが迷わずに作業を進められるようメニューを設計した。また、システムを Unreal Engine のプラグインとして提供することで、シミュレーション環境構築にかかる工数を抑制し、容易に利用できる汎用性を担保した。なお、本システムでは Unreal Engine 4 を用いているが、これは Unreal Engine 5 で物理エンジン*1 が変更となり、同規模のシミュレーション実行が担保されなくなったことから Unreal Engine 4 を採用した。

*1 物理エンジン：コンピュータ上で物体の動きを、衝突、摩擦、重力などの物理運動法則に従って計算するツール

シミュレーション結果の分析および可視化環境の構築では、AWS Glue、Athena、QuickSight を用いた分析・可視化環境の構築、および UnrealEngine をインストールしていない PC でもリプレイファイルが再生可能となるリプレイアプリを開発した。

構築した分析・可視化環境では、シミュレーション環境から出力される移動軌跡ログを入力として、人流の密集度や移動時間などの分析や、グラフ描画による結果解析が可能である。この環境に利用した AWS Glue はデータの抽出、変換、ロードを行う Amazon 社のサービスである。Athena は Amazon S3 上のデータに対して SQL クエリを実行するサービスである。Quicksight は、データの可視化とダッシュボード作成を行うサービスである。本環境は AWS CDK と呼ばれるインフラストラクチャをコードとして管理するツールを利用して環境構築をコード化することで、分析・可視化環境のセットアップを簡略化した。

リプレイアプリは、Unreal Engine 上の機能を使用して、再生・一時停止・時間指定再生・視点移動に対応している。

開発したシミュレーション環境を利用し、2016 年に策定された大井町駅周辺地域エリア防災計画（以下、エリア防災計画）で想定する災害や滞留者の推計等をもとに、大井町駅周辺エリアにおける災害時のシミュレーションを実施した。OIMACHI TRACKS 内には、発災時に広域避難場所として開放する広場等が整備されるため、「首都直下地震発生直後における開発敷地内外から開発敷地内の広場及び品川区庁舎への一時避難（フェーズ 1）」と「地震に伴う開発敷地外における火災発生による開発敷地内の広場及び品川区庁舎への一時避難（フェーズ 2）」について、一連の流れでシミュレーションを行った。

こうして得られたシミュレーション結果により、OIMACHI TRACKS において人流が混雑する課題箇所の把握や対応策の導出、検証を実施した。

4. 実証システム

4-1. アーキテクチャ

4-1-1. システムアーキテクチャ

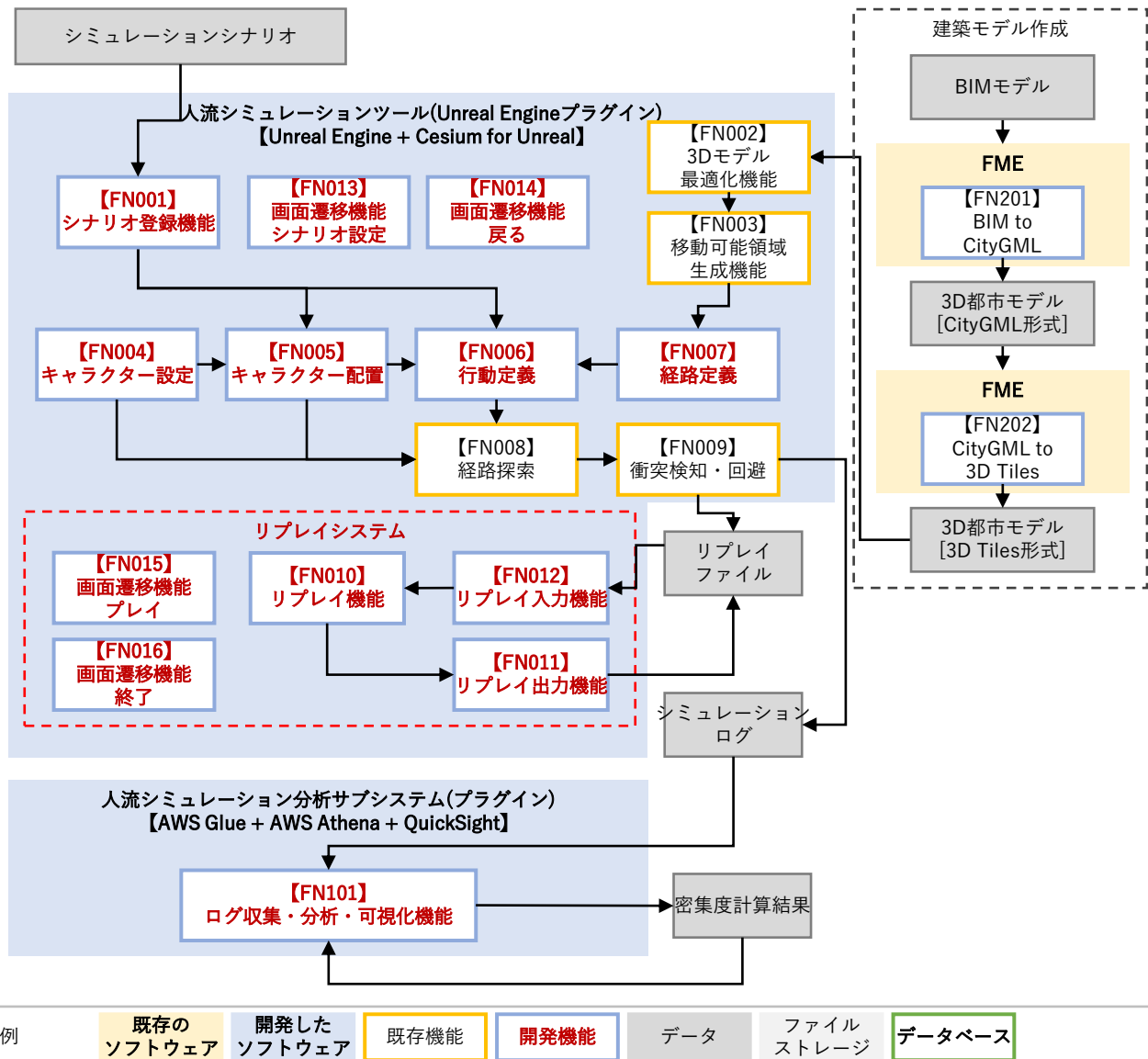


図 4-1 システムアーキテクチャ

4-1-2. データアーキテクチャ

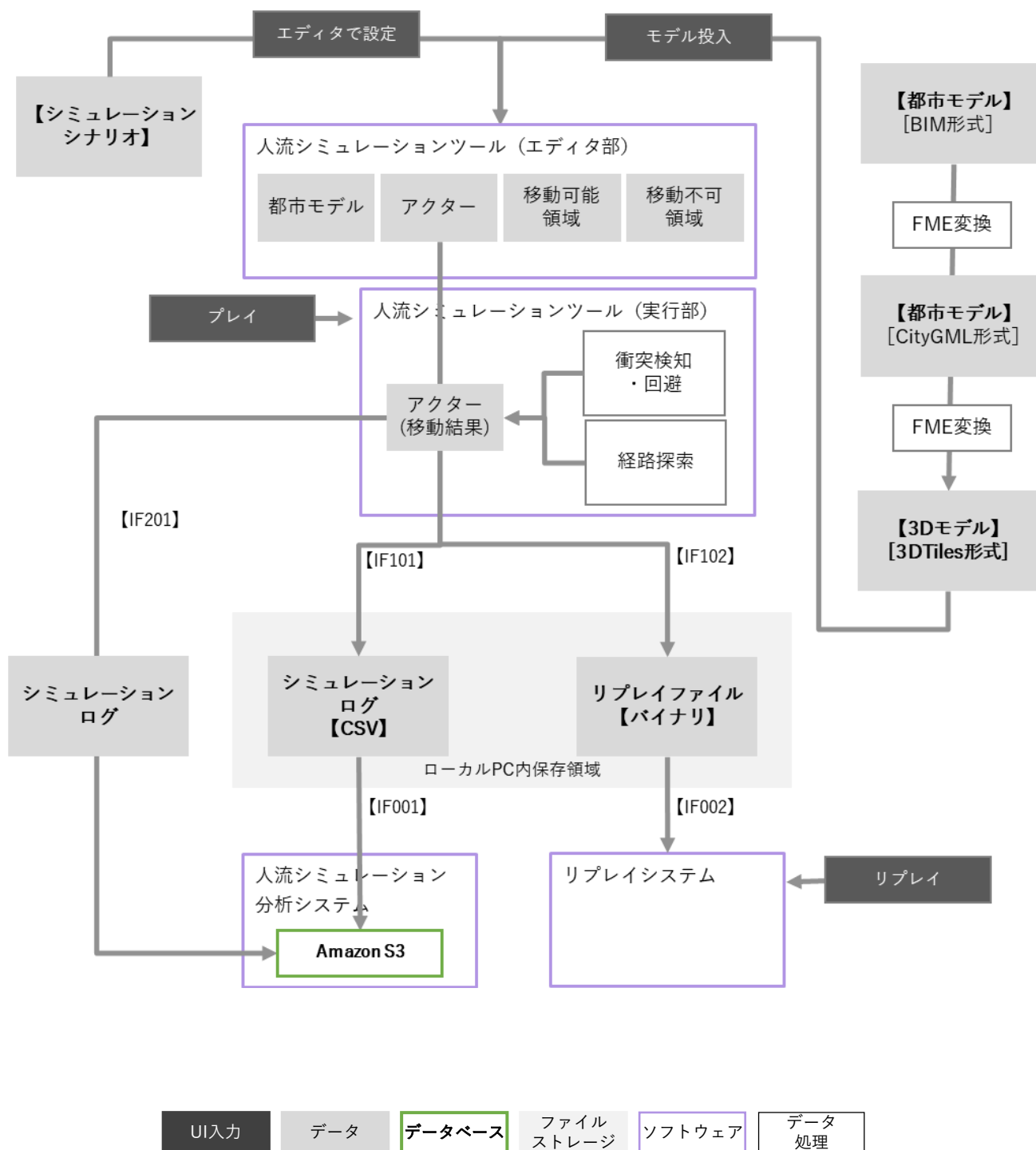


図 4-2 データアーキテクチャ

4-1-3. ハードウェアアーキテクチャ

4-1-3-1. 利用したハードウェア一覧

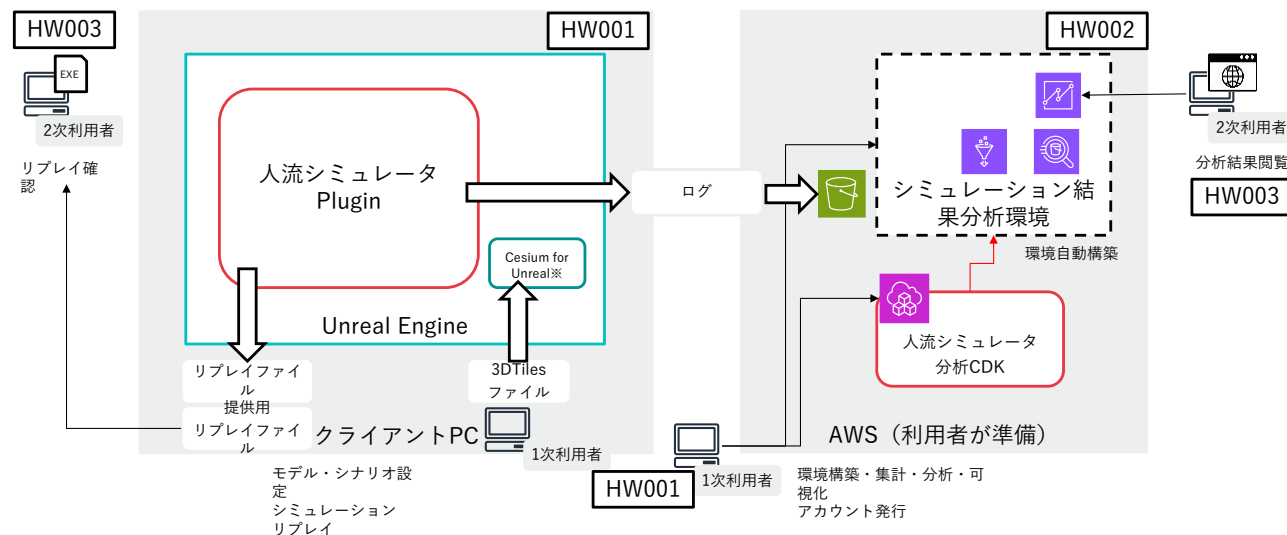


図 4-3 ハードウェアアーキテクチャ

4-1-3-2. 利用したハードウェア詳細

【HW001】クライアント PC：

選定理由：

Unreal Engine がインストール、起動できること。

3D グラフィックアニメーションを動作できること。

- スペック：
 - CPU：AMD Ryzen9 5950X 16Core Processor 3.40GHz
 - メモリ：128GB
 - GPU：NVIDIA GeForce RTX 3080

【HW002】AWS：

- 選定理由：
 - 分析環境を CDK で構築できるため。
- スペック：
 - 特に指定なし (CDK 実行権限のあるアカウントを利用する)

【HW003】クライアント PC (2 次利用者)：

- 選定理由：
 - Windows10 以上がインストールされていること

- 動画再生等最低限のメディア操作が可能なこと
- スペック：
 - CPU：Intel Core i5-1245U 1.60GHz
 - メモリ：16GB
 - GPU：オンボード

4-2. システム機能

4-2-1. システム機能一覧

1) 人流シミュレーションシステム

※赤文字：新規開発・既存改修

表 4-1 人流シミュレーションシステム機能一覧

大分類	小分類	ID	機能名	機能説明
人流シミュレーションシステム	チュートリアル	FN001	チュートリアル機能	● 避難シミュレーションを行うための人流シミュレーションの初期化パラメータ設定について、設定方法・操作方法を一連の流れで提示する
	分析設計	FN002	分析アクター	● シミュレーション分析用アクターを生成する
	モデル入力	FN003	3DTiles モデル取り込み最適化	● 3D都市モデルが3DTiles形式かつCesium for Unreal（サードパーティのUnreal Engineプラグイン）を用いて取り込まれている場合、以下の機能の設定方法を提示する ➤ シミュレーション空間内でのモデル位置を固定する ➤ シミュレーション開始時に3D都市モデルの全量ロードを可能にする
	シナリオ入力	FN004	キャラクター設定	● AIキャラクターの属性情報を保持する設定用アクターを生成する ● 前記AIキャラクターの属性情報について、老若男女を想定した設定をプリセットする
		FN005	人流定義	● キャラクター配置アクターを生成する ● 移動経路を設定する
		FN006	行動定義	● CrowdManager 設定変更アクターを生成する

		FN007	経路定義	● 中継地点、ゴール地点となる位置情報を指定するアクターを生成する ● 障害物、シミュレーション範囲外等の歩行不能領域の設定を行うアクターを生成する
	実行部	FN008	経路探索	● 初期化での設定に基づき、キャラクターごとの移動経路を探索する
		FN009	衝突検知・回避	● コリジョン設定を行った AI キャラクターの衝突計算及び回避行動の実施 ● CrowdManager 機能を適用し、所定位置でのコリジョン設定を変更する
リプレイ機能	-	FN010	リプレイ	● 3D モデルを表示する ● シミュレーション実行結果をそのまま記録し、再現する
	-	FN011	リプレイ出力	● 人流を計算する ● 分析用ログ、リプレイログを生成する ● Unreal Engine がインストールされていない環境で起動可能なビルドアプリについての作成方法を提示する
	-	FN012	リプレイ入力	● リプレイに必要なファイルを取り込み、リプレイできる状態にする

2) 人流シミュレーション分析システム

※赤文字：新規開発・既存改修

表 4-2 人流シミュレーション分析システム機能一覧

分類	ID	機能名	機能説明
分析機能	FN101	分析機能	● AI キャラクター毎の移動軌跡、移動開始・完了時間のログを記録し分析 ● ゴールエリア毎の密集度をログとして記録し分析 ● 密集度計測エリアを定義し、ログを記録し分析 ● 分析結果をグラフ表示 ● 環境構築のコード（CDK）化

3) FME form

※赤文字：新規開発・既存改修

表 4-3 FME form 機能一覧

分類	ID	機能名	機能説明
FME Form	FN201	IFC to CityGML	● BIM モデル(IFC データ)を CityGML 形式の 3D 都市モデル (建築物モデル LOD4) に変換する
FME Form	FN202-1	CityGMLto3DTiles	● CityGML 形式の 3D 都市モデル(建築物モデル LOD4)を、プリミティブ統合を伴う 3DTiles 形式に変換する
FME Form	FN202-2	CityGMLto3DTiles	● CityGML 形式の 3D 都市モデル(建築物モデル LOD1、2 及び道路モデル LOD3.1)を、プリミティブ統合を伴う 3DTiles 形式に変換する

4-2-2. 利用したソフトウェア・ライブラリ

表 4-4 利用するソフトウェア・ライブラリ

ID	項目	内容
SL001	C++	● 汎用プログラミング言語の一つ。C 言語をベースとし、オブジェクト指向プログラミングを始めとした様々な改良が加えられたもの ● 本プラグインの一部機能においては C++ で実装を行う
SL002	Unreal Engine	● 米 Epic Games 社によって開発されたゲームエンジン (3D 制作プラットフォーム) ● 本シミュレーションにて大規模でのシミュレーション実行に当たっては、マルチスレッドでの実行が必要なため、Unreal Engine 4 を推奨する
SL003	Cesium ion	● CesiumJS に適した 3DTiles に変換、配信するためのシステム
SL004	Cesium for Unreal	● Unreal Engine 上で Cesium を動作させるプラグイン。3DTiles モデルの取り込み検証に使用
SL005	Amazon S3	● Amazon Simple Storage Service の略。拡張性と耐久性を兼ね備えたクラウドストレージサービス
SL006	AWS Glue	● データの抽出、変換、ロード (ETL) プロセスの検出、準備、統合、近代化を容易にするサーバーレスデータ統合サービス
SL007	Amazon Athena	● SQL を使用した S3 でのデータクエリサービス
SL008	Amazon QuickSight	● AWS で利用可能なビジネスインテリジェンス(BI)サービス
SL009	Unreal Engine 修正パッチ	● Unreal Engine4 においてマルチスレッドを実現するための修正を

		するパッチ。Unreal Engine 本体への適用のため、ユーザーごとに同パッチを充てる必要がある
SL010	FME Form	● Safe Software 社が提供するデータ変換・統合処理ソフトウェア ● BIM データ等からの CityGML 形式・3DTiles 形式への変換を、提供されるモジュールをつなぎ合わせたワークベンチ(Workbench)によって処理する

4-2-3. 開発機能の詳細要件

1) 人流シミュレーションシステム

1) 【FN001】チュートリアル機能

● 機能概要

- 人流シミュレーションの初期化パラメータ設定について、設定方法・操作方法を一連の流れで提示する。

● フローチャート

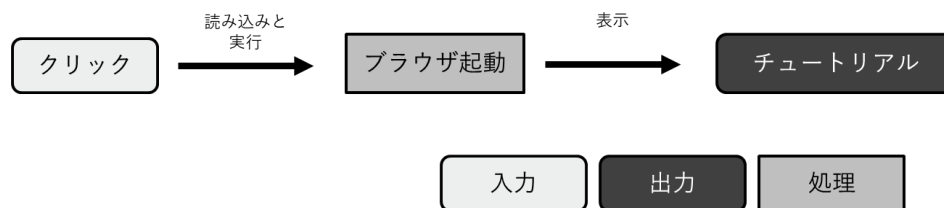


図 4-4 チュートリアルのフローチャート

● データ仕様

➢ 入力

◇ なし

➢ 出力

◇ 説明文章、図

● 内容

- モデル、シナリオを設定するための操作や、オブジェクト配置手順の説明を表示する。

● 形式

- Markdown 形式

● データ詳細

- 3D モデルの登録方法
- 分析オブジェクトの設定方法
- スタート、ゴール設定方法

- スポーン詳細設定方法
- シミュレーション実施方法
- リプレイ実施方法
- リプレイアプリ作成方法

- 機能詳細

- 人流シミュレーションの初期化パラメータ設定について、設定方法・操作方法を一連の流れで提示する
 - ◇ 処理内容
 - ユーザーが作業内容を確認したいときに各ステップに応じた設定・操作方法の表示を開く
 - ブラウザが起動する
 - モデル・シミュレーションシナリオのシミュレーション実行までに必要な設定を提示する
 - ◇ 利用するライブラリ
 - なし
 - ◇ 利用するアルゴリズム
 - なし

2) 【FN002】分析アクター

- 機能概要
 - シミュレーション分析用アクターを生成する
- フローチャート

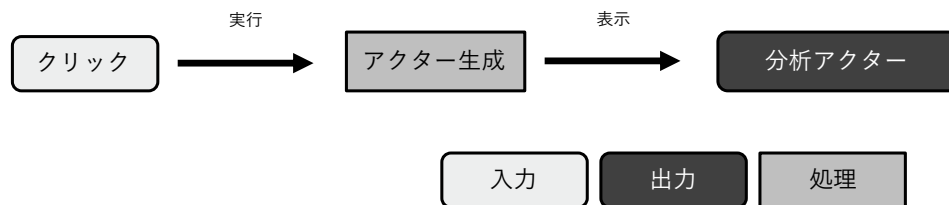


図 4-5 チュートリアルフローチャート

- データ仕様
 - 入力
 - ◇ なし
 - 出力
 - ◇ シミュレーション分析用アクター
 - 内容
 - 利用するアクター・配置・移動経路情報
 - 形式
 - Unreal Engine 上の設定情報

- データ詳細
 - 同アクターを設置した箇所のシミュレーション分析のための情報。シミュレーション実施時、同箇所に侵入したキャラクターの情報を逐次収集、解析ログを生成
- 機能詳細
 - シミュレーション分析用アクターを生成する
 - ◇ 処理内容
 - シミュレーション分析用アクターを説明し、設定方法を提示する
 - ユーザーがシミュレーション分析用アクター生成の実行、Unreal Engine エディタで配置操作する
 - キャラクター密度推移等測定用のアクターを生成する
 - ◇ 利用するライブラリ
 - 【IF203】プリセットパラメータ
 - ◇ 利用するアルゴリズム
 - なし

3) 【FN003】3DTiles モデル取り込み最適化

- 機能概要
 - 3D 都市モデルが 3D Tiles 形式かつ Cesium for Unreal（サードパーティの Unreal Engine プラグイン）を用いて取り込まれている場合、以下の機能設定方法を提示する
 - ◇ シミュレーション空間内でのモデル位置を固定する
 - ◇ シミュレーション開始時に 3D 都市モデルの全量ロードを可能にする
- フローチャート

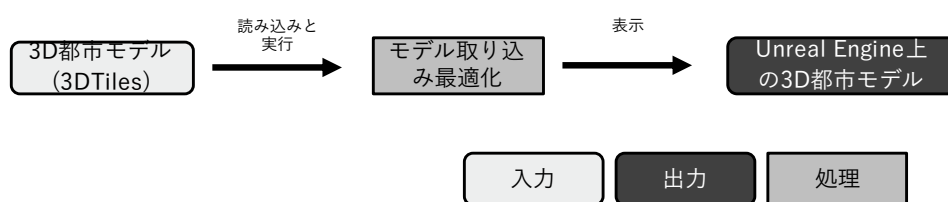


図 4-6 3DTiles モデル取り込み最適化 フローチャート

- データ仕様
 - 入力
 - ◇ 3D 都市モデル
 - 内容
 - 3D 都市モデル
 - 形式
 - 3DTiles 形式

- データ詳細
 - Cesium for Unreal を用いて取り込みが行われる
- 出力
 - ✧ シミュレーション上の 3D 都市モデル
 - 内容
 - シミュレーション用に最適化された 3D 都市モデル
 - 形式
 - 3DTiles 形式
 - データ詳細
 - シミュレーション実行内でロードされる 3D データ
- 機能詳細
 - シミュレーション空間内でのモデル位置の固定
 - ✧ 前述のサードパーティプラグインを使用している場合、デフォルト設定ではシミュレーション空間内でのモデル位置がカメラ位置に合わせて変更されてしまい正しいシミュレーションが実行できないため、当該変更処理が行われないための設定変更方法を提示する
 - シミュレーション開始時に 3D 都市モデルの全量ロードを可能とする
 - ✧ 前述のサードパーティプラグインを使用している場合、シミュレーション開始時に 3D 都市モデルが一部しか取り込まれず正しいシミュレーションが実行できないため、全量ロードを可能とする処理を行う

4) 【FN004】キャラクター設定

- 機能概要
 - AI キャラクターの属性情報を保持する設定用アクターを生成する
 - 前記 AI キャラクターの属性情報について、老若男女を想定した設定をプリセットする
- フローチャート

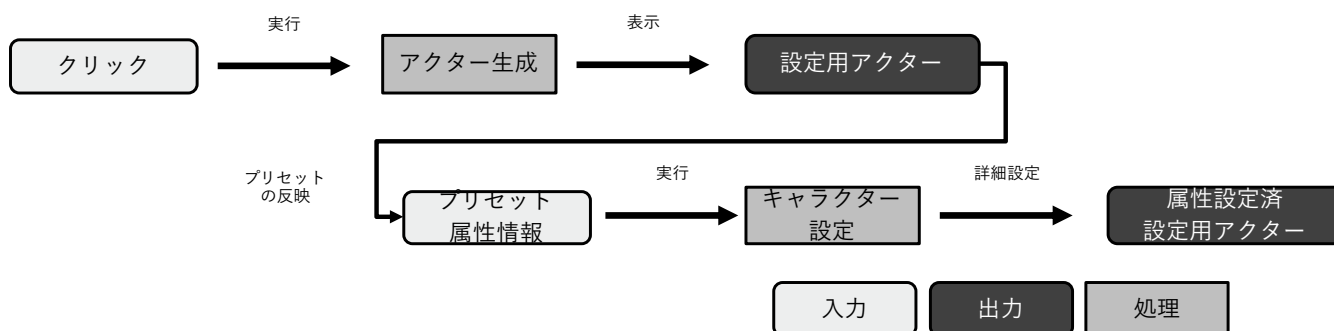


図 4-7 キャラクター設定 フローチャート

- データ仕様
 - 入力
 - ✧ プリセット属性情報

- 内容
 - 設定用アクターに設定するプリセット属性情報
 - 形式
 - AI キャラクターの各種パラメータ（以下凡例）からなる配列データ
 - ◇ 種類：子供（男性）
 - ◇ 身長：148cm
 - ◇ 身幅：38cm
 - ◇ 速度：0.73m/秒
 - ◇ アクター名称：PfsGroupActorChildMale
 - データ詳細
 - 【IF203】プリセット属性情報
- 出力
- ◇ 設定用アクター
 - 内容
 - AI キャラクターに設定する属性情報
 - 形式
 - Unreal Engine のアクターとして
 - データ詳細
 - 各属性が設定された設定用アクターが生成される。同設定を FN005 で呼び出す
- 機能詳細
 - AI キャラクターの属性情報を保持する設定用アクターを生成する
 - ◇ 処理内容
 - ユーザーは設定用アクターを追加する
 - 設定用アクターを生成する
 - ◇ 利用するライブラリ
 - なし
 - ◇ 利用するアルゴリズム
 - なし
 - 前記 AI キャラクターの属性情報について、老若男女を想定した設定をプリセットする
 - ◇ 処理内容
 - AI キャラクターに属性値（性別・年代毎に異なる歩行速度、サイズ（身長、横幅）等）を設定する
 - ◇ 利用するライブラリ
 - なし
 - ◇ 利用するアルゴリズム
 - なし
 - 前記 AI キャラクターの属性情報について、老若男女を想定した設定をプリセットしてアクターを生

成する

✧ 処理内容

- シナリオで利用する代表的な AI キャラクターの属性値を、作成時にプリセットする

✧ 利用するライブラリ

- なし

✧ 利用するアルゴリズム

- なし

5) 【FN005】人流定義

● 機能概要

- キャラクター配置アクターを生成する
- 移動経路を設定する

● フローチャート

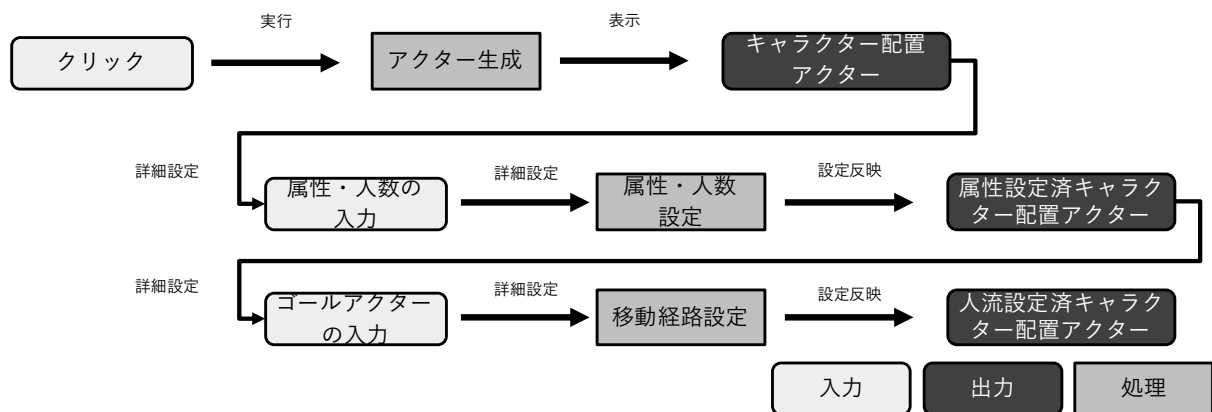


図 4-8 人流設定 フローチャート

● データ仕様

➢ 入力

✧ キャラクター設定情報

● 内容

- 【FN004】で生成したキャラクター設定用アクターから選択する

● 形式

- アクター名称のリスト選択形式

● データ詳細

- AI キャラクターの各種パラメータ（以下凡例）

- ✧ 種類：子供（男性）
- ✧ 身長：148cm
- ✧ 横幅：38cm
- ✧ 移動速度：0.73m/秒

- ◇ 移動経路の設定情報
 - 内容
 - 【FN007】で生成したゴールアクターを順番指定する
 - 形式
 - ゴールアクターからなる配列
 - データ詳細
 - 同ゴールアクターで指定した領域を目標地点として順次移動する
- 出力
 - ◇ キャラクター配置アクター
 - 内容
 - キャラクター配置アクター
 - 形式
 - Unreal Engine 上のアクター（オブジェクト）として
 - データ詳細
 - AI キャラクターの各種パラメータおよびスポーン位置、移動経路設定情報
- 機能詳細
 - キャラクター配置アクターを生成し、スポーンする AI キャラクターの属性・人数の設定、移動経路設定ができるようにする
 - ◇ 処理内容
 - キャラクター配置アクターを生成する
 - 前記アクターにユーザーがキャラクター配置アクターの詳細設定を実施し、属性・人数を入力する
 - ユーザーが移動経路を入力する
 - ◇ 利用するライブラリ
 - なし
 - ◇ 利用するアルゴリズム
 - なし

6) 【FN006】行動定義

- 機能概要
 - CrowdManager 設定変更アクターを生成する
- フローチャート

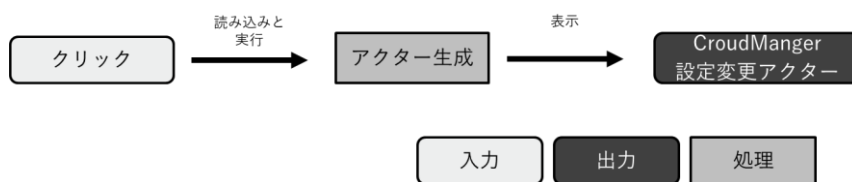


図 4-9 行動定義 フローチャート

- データ仕様
 - 入力
 - ✧ なし
 - 出力
 - ✧ CrowdManager 設定変更オブジェクト
 - 内容
 - CrowdManager 設定変更オブジェクトを生成する
 - 形式
 - Unreal Engine のオブジェクトとして
 - データ詳細
 - 人流の通過地点に配置すると、同地点を通過した人流の回避行動（【FN009】）の設定が変更されるようになる
- 機能詳細
 - CrowdManager 設定変更アクターを生成する
 - ✧ 処理内容
 - 混雑具合の差を考慮した自然な衝突回避アルゴリズム【AL002】を実施するため、CrowdManager の設定値を局所的に変更するためのオブジェクトを生成する
 - ✧ 利用するライブラリ
 - なし
 - ✧ 利用するアルゴリズム
 - AL002

7) 【FN007】経路定義

- 機能概要
 - 中継地点、ゴール地点となる位置情報を指定するアクターを生成する
 - 障害物、シミュレーション範囲外等の歩行不能領域の設定を行うアクターを生成する
- フローチャート

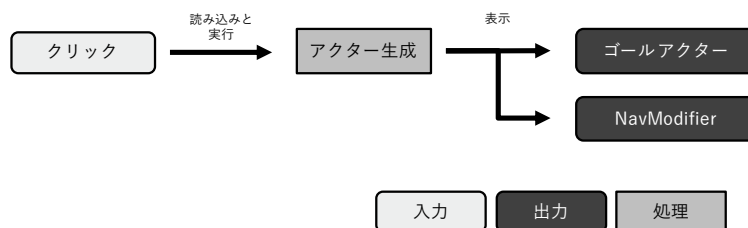


図 4-10 経路定義 フローチャート

- データ仕様
 - 入力
 - ✧ なし

➤ 出力

✧ ゴールアクター

- 内容
 - 人流の中継地点、またはゴール地点となる領域の指定を行うアクター
- 形式
 - Unreal Engine 上のアクター（オブジェクト）として
- データ詳細
 - 同アクターを FN005 で生成したキャラクター配置アクターの詳細設定で経路情報として定義するための領域情報

✧ 歩行不能領域の設定を行うアクター（NavModifier）

- 内容
 - 歩行不可領域設定アクター
- 形式
 - Unreal Engine 上のアクター（オブジェクト）として
- データ詳細
 - 同アクターが配置された位置については、NavMesh で生成された歩行可能領域の対象外とする

● 機能詳細

➤ 中継地点、ゴール地点となる位置情報を指定するアクターを生成する

✧ 処理内容

- ゴールアクターを生成する

✧ 利用するライブラリ

- なし

✧ 利用するアルゴリズム

- なし

➤ 障害物、シミュレーション範囲外等の歩行不能領域の設定を行うアクターを生成する

✧ 処理内容

- 歩行不能領域設定アクターの生成を行う
- ユーザーが適切な位置にアクターを移動させる

✧ 利用するライブラリ

- なし

✧ 利用するアルゴリズム

- なし

8) 【FN008】経路探索

● 機能概要

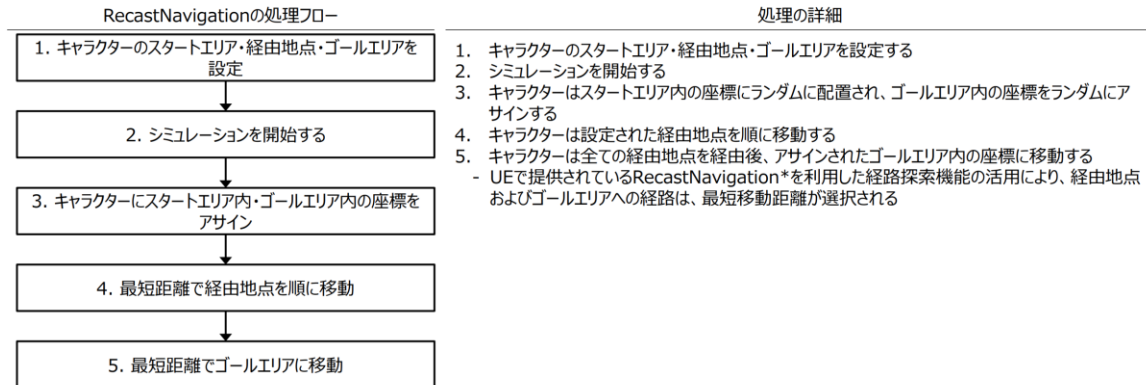
➤ 初期化での設定に基づき、キャラクターごとの移動経路を探索する

● 昨年度レポート

Ⅲ. 実証システム > 4. システム機能

⑦経路探索

AIキャラクターの移動経路の探索にはUEのRecastNavigation機能を利用した



*出典：GitHub「RecastNavigation」<https://github.com/recastnavigation/recastnavigation>

Copyright © 2023 by MLIT. All rights reserved.

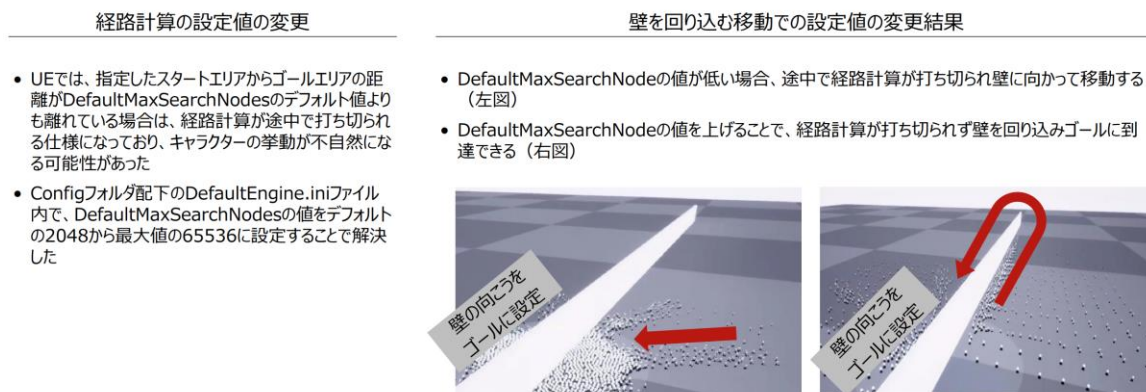
48

図 4-11 経路探索 1（昨年度レポートより）

Ⅲ. 実証システム > 4. システム機能

⑦経路探索 | 探索打ち切りの閾値調整

UEのRecastNavigation機能をデフォルト設定で利用すると、探索を打ち切りその場に滞在するという不自然な動きが発生するため、閾値を最大値に設定することで、とにかく逃げるという避難人流の動きを再現することができた



Copyright © 2023 by MLIT. All rights reserved.

49

図 4-12 経路探索 2（昨年度レポートより）

● フローチャート

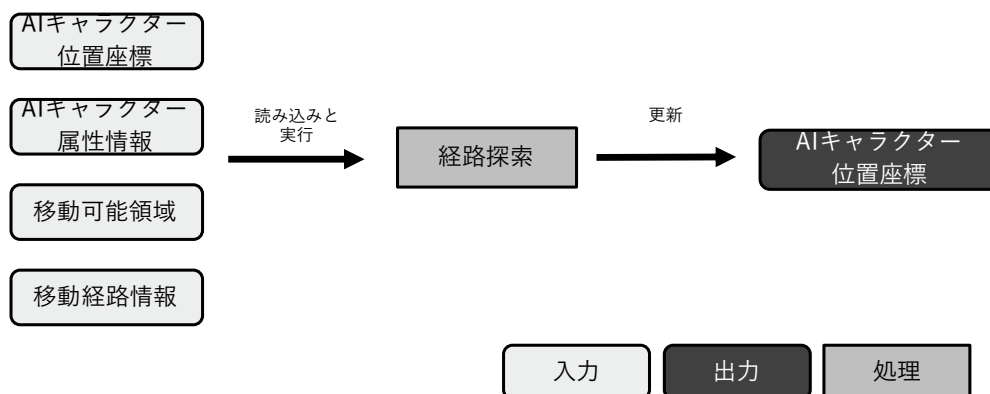


図 4-13 経路探索 フローチャート

● データ仕様

➤ 入力

- ✧ AI キャラクターの現在位置座標
- ✧ AI キャラクターの属性情報
- ✧ NavMesh で設定された移動可能領域
- ✧ キャラクター配置アクターの詳細設定された移動経路

➤ 出力

- ✧ AI キャラクターの次の位置座標

● 機能詳細

➤ 初期化での設定に基づき、キャラクターごとの移動経路を探索する

- ✧ 処理内容
 - 各 AI キャラクターにおいて次の移動経路を探索する
 - 移動後の位置を算出する
- ✧ 利用するライブラリ
 - なし
- ✧ 利用するアルゴリズム
 - 経路探索アルゴリズム 【AL001】

9) 【FN009】衝突検知・回避

● 機能概要

- コリジョン設定を行った AI キャラクターの衝突計算および回避行動の実施
- CrowdManager 機能を適用し、所定位置でのコリジョン設定を変更する

● 昨年度レポート

Ⅲ. 実証システム > 4. システム機能

⑧衝突検知・回避

キャラクター同士が衝突する設定を付与したうえで実際のシチュエーションに想定されるように設定を調整する



Copyright © 2023 by MLIT. All rights reserved.

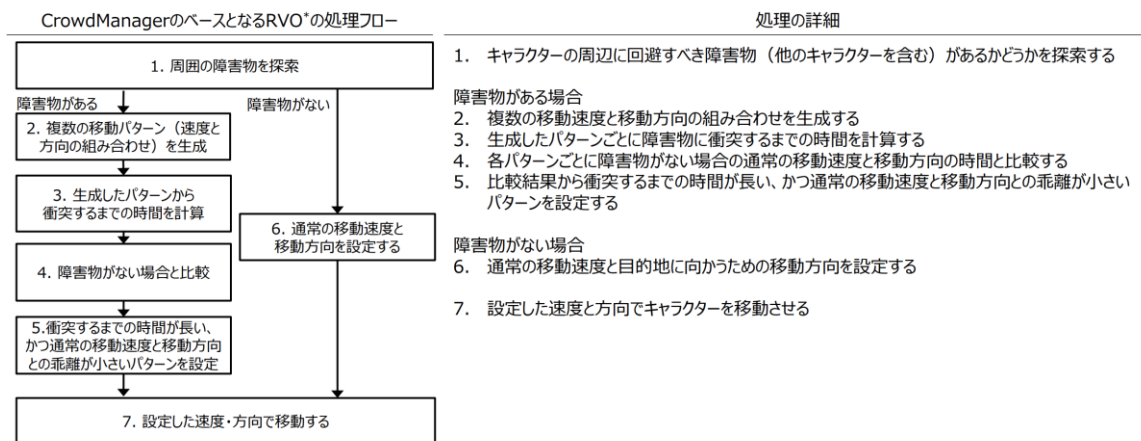
50

図 4-14 衝突検知・回避 1（昨年度レポートより）

Ⅲ. 実証システム > 4. システム機能

⑧衝突検知・回避 | Crowd Managerによる回避メカニズム

UEで提供されているCrowdManagerと呼ばれる多数のキャラクターをNavMeshに基づいて制御するための群衆制御機能を活用し、キャラクター同士の衝突回避を実現する

*出典：Jur van den Berg, Ming C. Lin, Dinesh Manocha「Reciprocal Velocity Obstacles (RVO)」<https://gamma.cs.unc.edu/RVO/>

Copyright © 2023 by MLIT. All rights reserved.

51

図 4-15 衝突検知・回避 2（昨年度レポートより）

Ⅲ. 実証システム > 4. システム機能

⑧衝突検知・回避 | 交差時の衝突回避行動の設定

CrowdManagerを活用してキャラクターが交差した際に前後左右に移動して衝突を回避しながら移動するように設定する

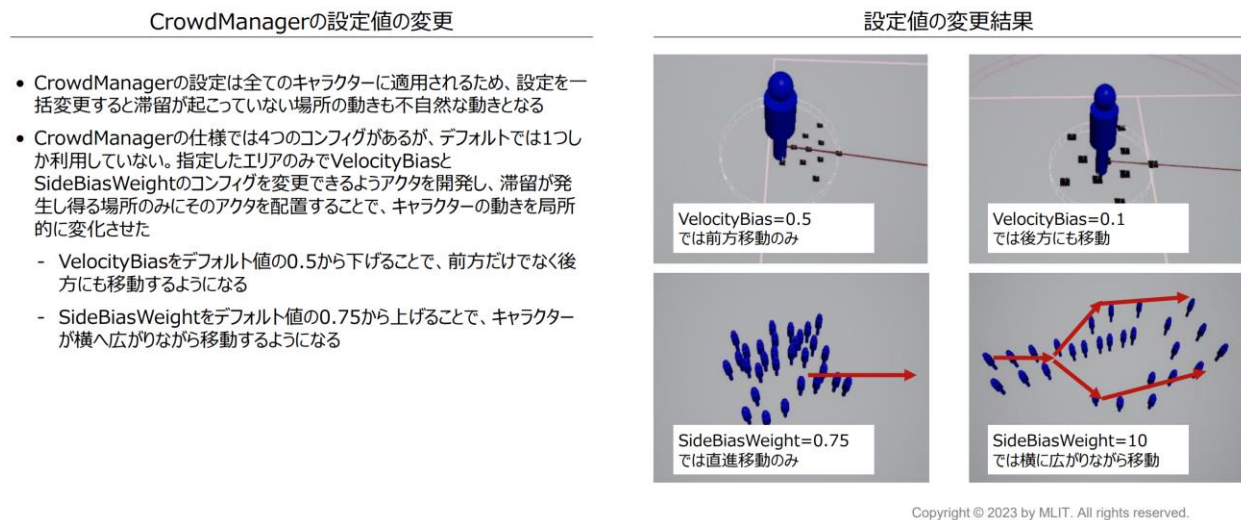


図 4-16 衝突検知・回避 3（昨年度レポートより）

● フローチャート

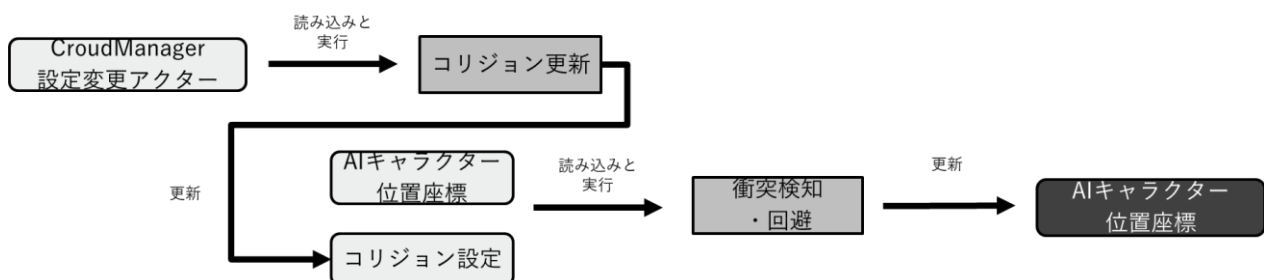


図 4-17 衝突検知・回避 フローチャート

● データ仕様

➢ 入力

- ✧ CrowdManager 設定変更アクター
- ✧ AI キャラクターの現在の位置
- ✧ AI キャラクターのコリジョン設定情報

➢ 出力

- ✧ 各 AI キャラクターの次の位置座標

● 機能詳細

➢ コリジョン設定を行った AI キャラクターの衝突計算及び回避行動の実施

- ✧ シミュレーション実行中の衝突判定。AI キャラクター同士および AI キャラクターと建物等の

オブジェクトが衝突した際に物体を透過しないよう、コリジョン設定に従って AI キャラクターの回避を実施する

- ✧ 利用するライブラリ
 - なし
- ✧ 利用するアルゴリズム
 - 衝突回避アルゴリズム【AL002】
- CrowdManager 機能を適用し、所定位置でのコリジョン設定を変更する
 - ✧ AI キャラクター移動時に AI キャラクター同士の不自然な衝突を回避する CrowdManager 機能を適用する
 - ✧ 利用するライブラリ
 - なし
 - ✧ 利用するアルゴリズム
 - 衝突回避アルゴリズム【AL002】

10) 【FN010】リプレイ

- 機能概要
 - 3D モデルを表示する
 - シミュレーション実行結果をそのまま再現する
- フローチャート

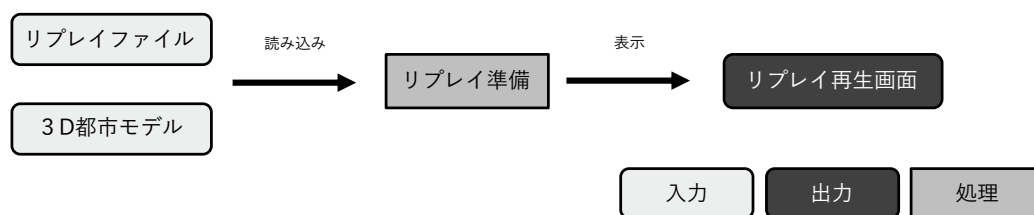


図 4-18 リプレイ フローチャート

- データ仕様
 - 入力
 - ✧ リプレイファイル
 - 内容
 - シミュレーション実行結果を記録したリプレイファイル
 - 形式
 - バイナリデータ
 - データ詳細
 - 【IF002】を参照
 - ✧ 3D 都市モデル
 - 内容
 - 【FN003】で取得した 3D 都市モデル

- 形式
 - Unreal Engine 上でのモデル表示 (3D Tiles)
- データ詳細
 - 【FN003】を参照
- 出力
 - ◇ なし
- 機能詳細
 - モデルを表示する
 - ◇ 処理内容
 - リプレイファイルを取得し、一覧表示をする
 - ユーザーは再生したいリプレイを選択する
 - 選択されたリプレイファイルを取得
 - ◇ 使用するライブラリ
 - なし。
 - ◇ 使用するアルゴリズム
 - なし
 - シミュレーション実行結果をそのまま再現する
 - ◇ 処理内容
 - リプレイファイルを取得
 - リプレイファイルに基づきシミュレーションの実行結果をそのまま再現
 - ◇ 使用するライブラリ
 - なし
 - ◇ 使用するアルゴリズム
 - なし

11) 【FN011】リプレイ出力

- 機能概要
 - 人流の動きを計算する
 - 分析用ログ、リプレイログを生成する
 - Unreal Engine がインストールされていない環境で起動可能なビルドアプリについての作成方法を提示する

● フローチャート

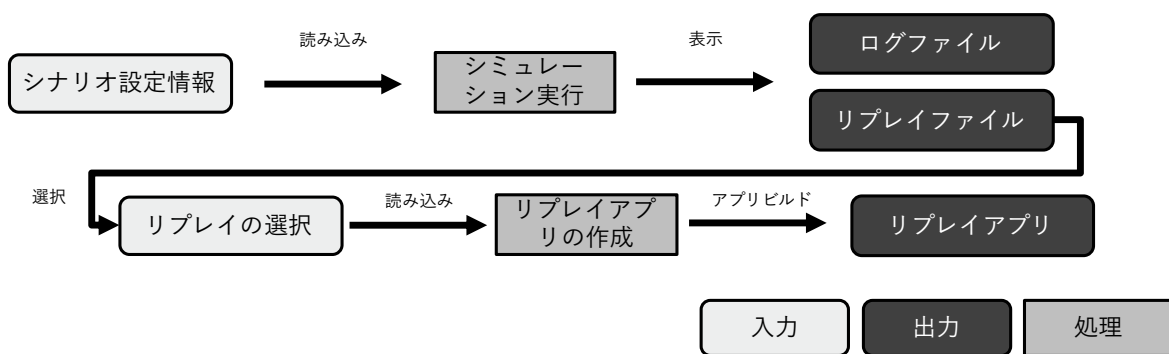


図 4-19 リプレイ出力 フローチャート

● データ仕様

➤ 入力

✧ シナリオ設定情報

- 内容
 - Unreal Engine 上に設定された前述までの各種シミュレーション情報
- 形式
 - Unreal Engine 上のアクター等
- データ詳細
 - 【FN002】【FN004】【FN005】【FN006】【FN007】により設置されたアクター

➤ 出力

✧ ログファイル

- 内容
 - シミュレーション中の各 AI キャラクターの移動中座標
 - シミュレーション中の各 AI キャラクターの移動開始時刻
 - シミュレーション中の各 AI キャラクターの移動終了時刻
 - 各ゴールの密度情報
 - 分析アクターの位置情報
- 形式
 - CSV
- データ詳細
 - 【IF001】参照

✧ リプレイファイル

- 内容
 - シミュレーション実行時の各時間での人流移動情報
- 形式
 - バイナリ
- データ詳細

➤ 【IF002】 参照

● 機能詳細

➤ 人流の動きを計算する

✧ 処理内容

- 【FN008】に基づき次の位置情報を更新する
- 【FN009】に基づき回避行動をとる。
- 以上を繰り返し、すべての移動が完了するまで実行しつづける

✧ 利用するライブラリ

- なし

✧ 利用するアルゴリズム

- 【AL001】【AL002】

➤ 分析用ログ、リプレイログを生成する

✧ 処理内容

- 各シミュレーション実行中の人流の位置を記録する
- シミュレーション終了後、ファイルとして出力する

✧ 利用するライブラリ

- なし

✧ 利用するアルゴリズム

- なし

➤ Unreal Engine がインストールされていない環境で起動可能なビルドアプリについての作成方法を提示する

✧ 処理内容

- ユーザーはアプリ化したいリプレイをリストから選択する（チェックを入れる）
- ビルドアプリの作成方法を提示する
- ユーザーは記載内容に基づいてアプリをビルドする

✧ 利用するライブラリ

- なし

✧ 利用するアルゴリズム

- Unreal Engine 標準のビルド機能。 <https://dev.epicgames.com/documentation/ja-jp/unreal-engine/build-operations-cooking-packaging-deploying-and-running-projects-in-unreal-engine>

12) 【FN012】 リプレイ入力

● 機能概要

- リプレイに必要なファイルを取り込み、リプレイできる状態にする

● フローチャート

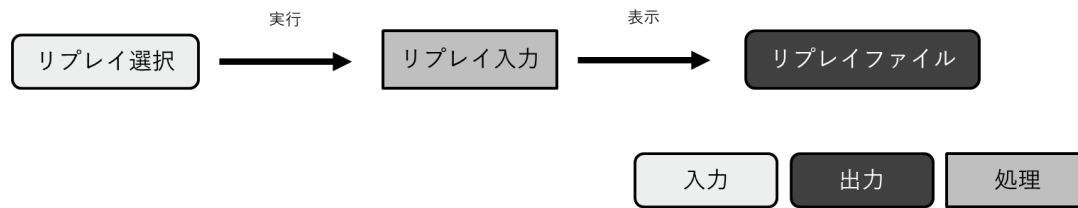


図 4-20 リプレイ入力 フローチャート

- データ仕様
 - 入力
 - ◇ なし
 - 出力
 - ◇ (選択された) リプレイファイル
 - 内容
 - シミュレーション実行時の各時間での人流移動情報
 - 形式
 - バイナリ
 - データ詳細
 - 【IF002】参照
- 機能詳細
 - リプレイファイルを取り込む
 - ◇ 処理内容
 - ローカルフォルダからリプレイファイルを取得する
 - リプレイ一覧をリスト表示する
 - ユーザーはリプレイを選択する
 - リプレイファイルをリプレイシステムに取り込む
 - ◇ 利用するライブラリ
 - なし
 - ◇ 利用するアルゴリズム
 - なし

13) 【FN101】分析機能

- 機能概要
 - AI キャラクター毎の移動軌跡、移動開始・完了時間のログを記録し分析
 - ゴールエリア毎の密集度をログとして記録し分析
 - 密集度計測エリアを定義し、定義ログを記録し分析
 - 分析結果をグラフ表示

- フローチャート

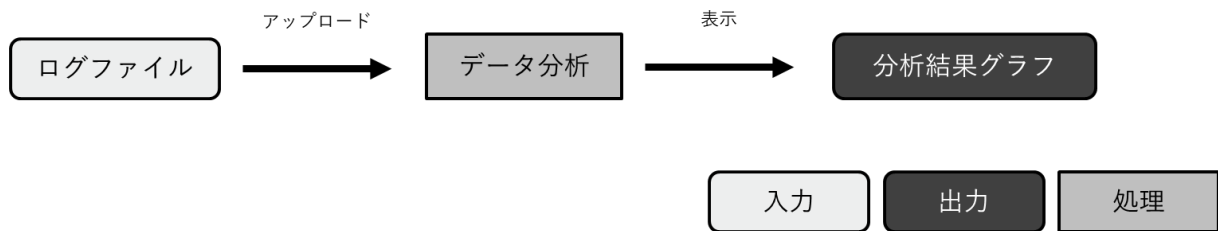


図 4-21 分析機能 フローチャート

- データ仕様

- 入力

- ☆ シミュレーション実行により出力される各種ログ

- 内容

- キャラクター移動ログ、キャラクター移動開始ログ、キャラクター移動完了ログ、ゴールエリア情報ログ、ゴールエリア情報ログ、密集度計算エリア情報ログ

- 形式

- CSV

- データ詳細

- 【IF001】ログファイルを参照

- ☆ 密集度計測エリア情報

- 内容

- 密集度計測エリア情報ログ、密集度算出結果

- 形式

- CSV

- データ詳細

- 【IF001】ログファイルを参照

- 出力

- ☆ AWS 分析環境でのグラフ等分析結果表示

- 内容

- シミュレーション実行により出力される各種ログの可視化

- 形式

- 統計量、各種グラフ表示

- データ詳細

- 最終移動完了時のゴールエリアごとの密集度棒グラフ
- ゴールエリアごとの密集度の時間変化折れ線グラフ
- 分析アクター配置領域の密集度の時間変化折れ線グラフ
- 経過時間ごとのゴール人数ヒストグラム

- 機能詳細

- AI キャラクター毎の移動軌跡、移動開始・完了時間のログを記録し分析

- ◇ 処理内容
 - シミュレーション実行時にキャラクターの移動開始時間・移動完了時間・属性情報のログを出力し、移動時間を計測してログに記録する
- ◇ 利用するライブラリ
 - なし
- ◇ 利用するアルゴリズム
 - なし
- ゴールエリア毎の密集度をログとして記録し分析
 - ◇ 処理内容
 - ゴールエリアの総面積・収容可能人数とゴールエリアに到達したキャラクターの面積・人数を出力し、密集度を計測する
 - ◇ 利用するライブラリ
 - 【SL006】 AWS Glue
 - ◇ 利用するアルゴリズム
 - なし
- 密集度計測エリアを定義し、定義ログを記録し分析
 - ◇ 処理内容
 - 計測エリアを指定するアクターを滞留が発生しやすい場所に設置
 - 計測エリアの面積・場所とキャラクターの毎秒の座標を出力し、計測エリアの密集度を計測
 - ◇ 利用するライブラリ
 - 【SL007】 Amazon Athena
 - ◇ 利用するアルゴリズム
 - なし
- 分析結果をグラフ表示
 - ◇ 処理内容
 - 収集した各種ログデータを分析環境で確認するため、Amazon S3 に出力する
 - Amazon S3 に出力されたログを Amazon Athena で集計する
 - 集計結果を Amazon QuickSight のグラフで可視化する
 - ◇ 利用するライブラリ
 - 【SL008】 Amazon QuickSight
 - ◇ 利用するアルゴリズム
 - なし

14) 【FN201】 IFC to CityGML

- 機能概要
 - BIM モデル(IFC データ)を CityGML 形式の 3D 都市モデル（建築物モデル LOD4）に変換する
- フローチャート

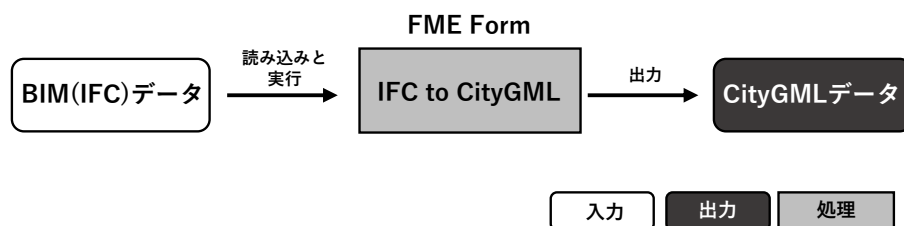


図 4-22 CityGML データ(建築物 LOD4)への変換のフローチャート

- データ仕様

- 入力

- ◇ BIM データ (IFC データ)

- 内容
 - 都市モデル情報
- 形式
 - -
- データ詳細
 - -

- 出力

- ◇ 3D 都市モデル

- 内容
 - 都市モデル情報
- 形式
 - CityGML 形式
- データ詳細
 - -

- 機能詳細

- データ変換

- ◇ 処理内容

- BIM モデル(IFC データ)を CityGML 形式の 3D 都市モデル (建築物モデル LOD4) に変換する

- ◇ 利用するライブラリ

- FME Form

- ◇ 利用するアルゴリズム

- なし

15) 【FN202-1】 CityGML to 3DTiles

- 機能概要

- CityGML 形式の 3D 都市モデル(建築物モデル LOD4)を、プリミティブ統合を伴う 3DTiles 形式に変換する。

- フローチャート

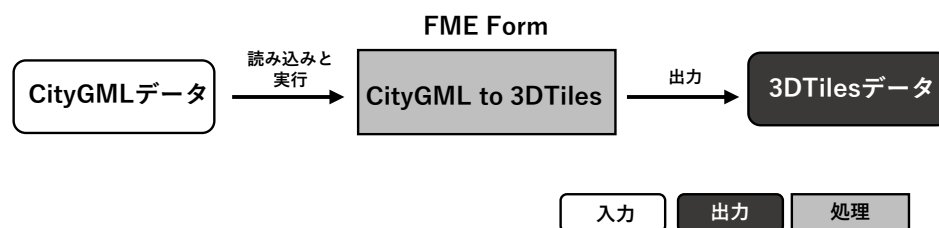


図 4-23 3DTiles(建築物モデル LOD4)への変換のフローチャート

- データ仕様

- 入力

- ◇ 3D 都市モデル（建築物モデル LOD4）

- 内容
 - 都市モデル情報。
- 形式
 - CityGML 形式
- データ詳細
 - —

- 出力

- ◇ 3D 都市モデル

- 内容
 - 都市モデル形状。（属性情報なし）
- 形式
 - 3DTiles 形式
- データ詳細
 - -

- 機能詳細

- データ変換

- ◇ 処理内容

- CityGML 形式の 3D 都市モデル(建築物モデル LOD4)を、プリミティブ統合を伴う 3DTiles 形式に変換する

- ◇ 利用するライブラリ

- FME Form

- ◇ 利用するアルゴリズム

- なし

16) 【FN202-2】 CityGML to 3DTiles

- 機能概要

- CityGML 形式の 3D 都市モデル(建築物モデル LOD1、2 および道路モデル LOD3.1)を、プリミティブ

ブ統合を伴う 3DTiles 形式に変換する

- フローチャート

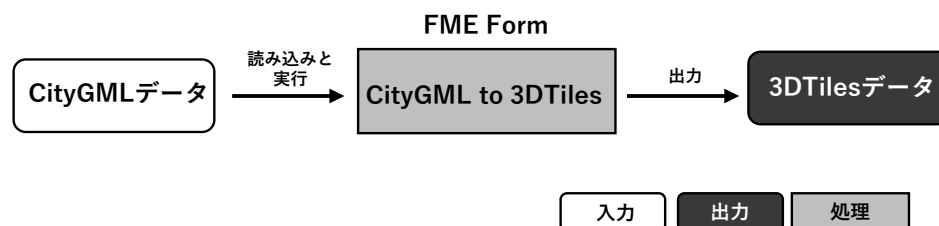


図 4-24 3DTiles(建築物モデル LOD1、2 及び道路モデル LOD3.1)への変換のフローチャート

- データ仕様

- 入力

- ◇ 3D 都市モデル（建築物モデル LOD1、2 及び道路モデル LOD3.1）

- 内容
 - 都市モデル情報
 - 形式
 - CityGML 形式
 - データ詳細
 - -

- 出力

- ◇ 3D 都市モデル

- 内容
 - 都市モデル形状（属性情報なし）
 - 形式
 - 3DTiles 形式
 - データ詳細
 - -

- 機能詳細

- データ変換

- ◇ 処理内容

- CityGML 形式の 3D 都市モデル(建築物モデル LOD1、2 および道路モデル LOD3.1)を、プリミティブ統合を伴う 3DTiles 形式に変換する

- ◇ 利用するライブラリ

- FME Form

- ◇ 利用するアルゴリズム

- なし

4-3. アルゴリズム

4-3-1. 利用したアルゴリズム

表 4-5 利用したアルゴリズム一覧

ID	アルゴリズムを利用した機能	名称	説明	選定理由
AL001	FN008	経路探索アルゴリズム	● 経路地点とゴール地点を定義。3D モデル上の通行可能な領域のうち、経路地点・ゴール地点への最短経路を探索する ● 経路探索は移動開始前、中継間地点経由時に実施する ● 経路探索のロジックは、UnrealEngine の機能を利用	● UnrealEngine4 にて標準機能として実装された NavigationSystem で採用されており、少ない開発コストで最適化された経路探索が可能であるため
AL002	FN009	衝突回避アルゴリズム	● Unreal Engine の CrowdManager を活用し、実現する ● CrowdManager とは、多数のキャラクターを制御するための群衆制御機能 ● CrowdManager の衝突回避アルゴリズムは、Reciprocal Velocity Obstacles(RVO)を拡張し、従来の RVO 手法よりも回避性能が大きく向上したキャラクターの衝突回避を実現している。	● UnrealEngine4 にて標準機能として実装された NavigationSystem にて拡張機能として提供されており、RVO と比較してより自然な挙動での衝突回避制御が可能となっているため

AL003	FN007	NavMesh 生成	● 3D モデル情報をもとに AI キャラクターが歩行可能な領域を生成する	● Unreal Engine の標準機能であり、AI キャラクターの移動可否判定を可能とする
-------	-------	------------	---	---

4-3-2. 開発したアルゴリズム

該当なし。

4-4. データインタフェース

4-4-1. ファイル入力インタフェース

1) 【IF001】 ログファイル

シミュレーション実施において自動でログファイルが生成される

- 本インタフェースを利用する機能

➤ 【FN101】

表 4-6 シミュレーション移動中ログ CSV ファイル

Character_ID	Elpsed_time	Coordinate_X	Coordinate_Y	Coordinate_Z
4	0	24.11	-2410.22	379.65
5	0	30.11	-2510.02	379.65
...	...	...	...	...
キャラクターごとの識別 ID	シミュレーション経過時間	X 座標	Y 座標	Z 座標

表 4-7 シミュレーション開始ログ CSV ファイル

Character_ID	Elpsed_time
4	0.64357
5	0.64357
...	...
キャラクターごとの識別 ID	シミュレーション開始から移動の開始を始めた時間

表 4-8 シミュレーション完了ログ CSV ファイル

Character_ID	Elapsed_time	
4	38.3558	0
5	71.64357	0
...	...	...
キャラクターごとの識別 ID	シミュレーション開始から移動を終了した時間	エラーの検知フラグ

表 4-9 ゴールエリア密度ログ CSV ファイル

GoalArea_id	GoalArea_name	Goal_People_Num	Goal_People_Area_Size	Goal_People_Density	Density_Ratio	Goal_Area_Size
PfsGoalActor1	PfsGoalActor1	40	11.3	0.67	0.19	56.5

PfsGoalActor2	PfsGoalActor2	40	14.2	0.73	0.21	60.2
...	...	...	...	...	...	...
Goal エリアごとの識別 ID	Goal エリアの名称	Goal エリアの収容人数	Goal に対してキャラクターが占める割合	Goal エリアの人数の密度	Goal エリアのサイズに対して、埋まっている割合	Goal エリアのサイズ

表 4-1 0 CollisionOptimizer 位置ログ CSV ファイル

Mesh_id	CollisionOptimizer_id	CollisionOptimizer_name	Min_Z	Max_Z	P0X	P0Y	P1X	P1Y	P2X	P2Y
PfsCongestionAnalyzer_C_0	PfsCollisionOptimizer_2	PfsCollisionOptimizer	290	490	-670	-100	-167	-100	-670	-1100
...	...	...	...	...	...	...				
gestionAnalyzer の識別 ID	CollisionOptimizer の識別 ID	CollisionOptimizer の名称	Z 座標 (下限)	Z 座標 (上限)	X 座標 1	Y 座標 1	X 座標 2	Y 座標 2	X 座標 3	Y 座標 2

表 4-1 1 CongestionAnalyzer 位置ログ CSV ファイル

Mesh__id	Mesh_name	Size	Min_Z	Max_Z	P0_X	P0_Y	P1X	P1_Y	P2_X	P2_Y
PfsCongestionAnalyzer_C_0	PfsCongestionAnalyzer	1385625.0	280	580	195.0	565.0	-105.0	565.0	195.5	-685.0
...	...	...	...	...	...	...				
gestionAnalyzer の識別 ID	CollisionOptimizer の識別 ID	CollisionOptimizer の名称	Z 座標 (下)	Z 座標 (上)	X 座標 1	Y 座標 1	X 座標 2	Y 座標 2	X 座標 3	Y 座標 2

			限)	限)						
--	--	--	----	----	--	--	--	--	--	--

2) 【IF002】 リプレイファイル

- 本インターフェースを利用する機能
 - 【FN012】

表 4-1 2 シミュレーションファイル バイナリファイル

ワールドの個々のオブジェクトに対する漸進的変化情報、 チェックポイント情報、ゲームステート情報等を含んだバイナリファイル (UnrealEngine 本体機能 (アプリビルド) による生成ファイル、 https://dev.epicgames.com/documentation/ja-jp/unreal-engine/build-operations-cooking-packaging-deploying-and-running-projects-in-unreal-engine
--

4-4-2. ファイル出力インターフェース

1) 【IF101】 ログファイル

- 本インターフェースを利用する機能
 - 【FN011】

表 4-1 3 シミュレーション移動中ログ CSV ファイル

Character_ID	Elapsed_time	Coordinate_X	Coordinate_Y	Coordinate_Z
4	0	24.11	-2410.22	379.65
5	0	30.11	-2510.02	379.65
...	...	...	...	...
キャラクターごとの識別 ID	シミュレーション経過時間	X 座標	Y 座標	Z 座標

●

表 4-1 4 シミュレーション開始ログ CSV ファイル

Character_ID	Elapsed_time
4	0.64357
5	0.64357
...	...
キャラクターごとの識別 ID	シミュレーション開始から移動の開始を始めた時間

表 4-1 5 シミュレーション完了ログ CSV ファイル

Character_ID	Elpsed_time	flag
4	38.3558	0
5	71.64357	0
...	...	...
キャラクターごとの識別 ID	シミュレーション開始から移動を終了した時間	エラーの検知フラグ

表 4-1 6 ゴールエリア密度ログ CSV ファイル

GoalArea_id	GoalArea_name	Goal_People_N um	Goal_People_Ar ea_Size	Goal_People_ Density	Density_ Ratio	Goal_Area _Size
PfsGoalActor1	PfsGoalActor1	40	11.3	0.67	0.19	56.5
PfsGoalActor2	PfsGoalActor2	40	14.2	0.73	0.21	60.2
...	...	...	...	...	...	...
Goal エリアごとの識別 ID	Goal エリアの名称	Goal エリアの収容人数	Goal に対してキャラクターが占める割合	Goal エリアの人数の密度	Goal エリアのサイズに対する人オブジェクトの充填割合	Goal エリアのサイズ

表 4-1 7 CollisionOptimizer 位置ログ CSV ファイル

Mesh_id	CollisionOptimizer_id	CollisionOptimizer_name	Mi n_Z	Ma x_Z	P0 X	P0 Y	P1 X	P1 Y	P2 X	P2 Y
PfsCongestionAnalyzer_C_0	PfsCollisionOptimizer_2	PfsCollisionOptimizer	290	490	- 670	- 100	- 167	- 100	- 670	- 1100
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
gestionAnalyze の識別 ID	CollisionOptimizer の識別 ID	CollisionOptimizer の名称	Z 座 標 (下 限)	Z 座 標 (上 限)	X 座 標 1	Y 座 標 1	X 座 標 2	Y 座 標 2	X 座 標 3	Y 座 標 2

表 4-18 CongestionAnalyzer 位置ログ CSV ファイル

Mesh__id	Mesh_name	Size	Min _Z	Max _Z	P0 X	P0 Y	P1X	P1 Y	P2 X	P2 Y
PfsCongestionAnaly zer_C_0	PfsCongestionAnaly zer	1385625.0	280	580	195 .0	565 .0	- 105 5.0	565 .0	195 .5	- 685 .0
...	...	...	...	...	...	...				
gestionAnalyze の識 別 ID	CollisionOptimizer の識別 ID	CollisionOptimizer の名称	Z 座 標 (下 限)	Z 座 標 (上 限)	X 座 標 1	Y 座 標 1	X 座 標 2	Y 座 標 2	X 座 標 3	Y 座 標 2

表 4-19 キャラクターブロックログ CSV ファイル

Elapsed_time	Location
0.6437	Location: X=876.13 Y=-1029.55 Z=379.65
...	...
シミュレーション開始し移動の開始を始めた時間	キャラクターが滞留している座標

2) 【IF102】 リプレイファイル

- 本インターフェースを利用する機能
 - 【FN011】

表 4-20 シミュレーションファイル バイナリファイル

ワールドの個々のオブジェクトに対する漸進的变化情報、 チェックポイント情報、ゲームステート情報等を含んだバイナリファイル (UnrealEngine 本体機能 (アプリビルド) による生成ファイル、 https://dev.epicgames.com/documentation/ja-jp/unreal-engine/build-operations-cooking-packaging-deploying-and-running-projects-in-unreal-engine
--

4-4-3. 内部連携インターフェース

1) 【IF201】 S3 ログファイル連携 (AWS-SDK For C++)

- 本インタフェースを利用する機能
 - 【FN011】、【FN101】
- メソッド名
 - S3Client.put_object
- 引数
 - バケット名、オブジェクトキー
- 戻り値
 - 成否 (Boolean)
- 用途
 - 【IF001】のAWS連携で用いる

2) 【IF202】分析実行 (AWS-SDK For C++)

- 本インタフェースを利用する機能
 - 【FN011】、【FN101】
- メソッド名
 - GlueClient.Startworkflow
- 引数
 - ワークフロー名称、シナリオ名称
- 戻り値
 - 成否 (Boolean)
- 用途
 - 【IF001】の連携後に分析機能を開始する

3) 【IF203】プリセット属性情報

- 本インタフェースを利用する機能
 - 【FN004】
- 引数
 - なし
- 戻り値
 - 属性配列

表 4-21 プリセット属性情報

	種類	身長	身幅	速度	アクター名称
1	子供 (男性)	148cm	38cm	0.73m/秒	PfsGroupActorChildMale

2	子供（女性）	144cm	32cm	0.79m/秒	PfsGroupActorChildFemale
3	大人（男性）	171cm	47cm	1.00m/秒	PfsGroupActorAdultMale
4	大人（女性）	158cm	42cm	0.85m/秒	PfsGroupActorAdultFemale
5	大人（男性）※子供 （男性）連れ	171cm	47cm	0.73m/秒	PfsGroupActorAdultMaleWithChildMale
6	大人（男性）※子供 （女性）連れ	171cm	47cm	0.79m/秒	PfsGroupActorAdultMaleWithChildFemale
7	大人（女性）※子供 （男性）連れ	158cm	42cm	0.73m/秒	PfsGroupActorAdultFemaleWithChildMale
8	大人（女性）※子供 （女性）連れ	158cm	42cm	0.79m/秒	PfsGroupActorAdultFemaleWithChildFemale
9	高齢者（男性）	164cm	44cm	0.74m/秒	PfsGroupActorSeniorMale
10	高齢者（女性）	152cm	41cm	0.65m/秒	PfsGroupActorSeniorFemale

- 用途

- 【FN004】でプリセットする属性パラメータとして利用する

4-4-4. 外部連携インタフェース

外部連携インタフェースなし

4-5. 実証に用いたデータ

4-5-1. 活用したデータ一覧

1) 利用した 3D 都市モデル

- 年度：2024 年度
- 都市名：品川区
- ファイル名：13109_shinagawa-ku_city_2024_citygml_1_op.zip
- メッシュ番号：53393538、53393528（インデックスマップで黄色囲いの箇所）

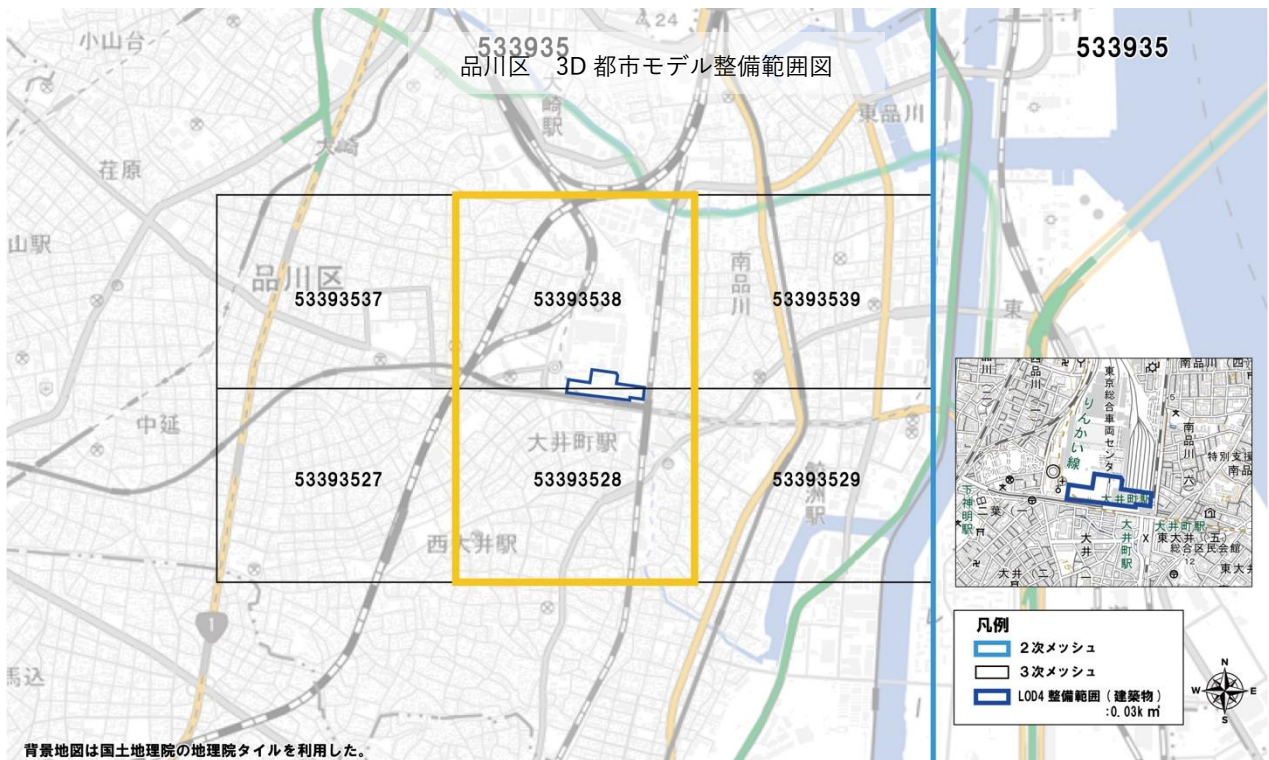


図 4-25 インデックスマップ（品川区）

表 4-2 2 利用する 3D 都市モデル

地物	地物型	属性区分	ID	属性名	内容	データを利用した機能 (ID)
建築物 LOD2	bldg:Building	空間属性	DT001	bldg:lod2Solid	3D 可視化	FN202-2
建築物 LOD1	bldg:Building	空間属性	DT002	bldg:lod1Solid	3D 可視化	FN202-2
道路 LOD3.1	tran:Road	空間属性	DT003	tran:lod3MultiSurface	避難ルート利用	FN202-2

2) 利用したその他のデータ

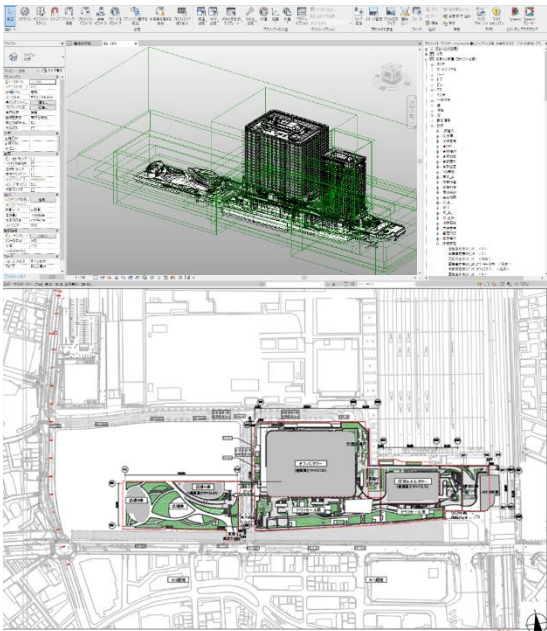
1. データ一覧

表 4-2 3 利用したその他データ (一覧)

ID	エリア (都市)	活用データ	内容	データ 形式	更新情報	出所	データを利用した機能 (ID)
DT101	品川区	大井町開発街区データ	開発街区の実施設計詳細 BIM データ、確認申請図面	rvt 形式、 dwg 形式	2022.10	東日本旅客鉄道株式会社	FN201

2. データサンプル（イメージ）

表 4-2 4 利用したその他データ（サンプル）

ID	活用データ	サンプル・イメージ
DT101	大井町開発街区データ	

4-5-2. 生成・変換したデータ

表 4-2 5 生成・変換したデータ

ID	システムに入力するデータ (データ形式)	用途	処理内容	データ処理ソフトウェア	活用データ (データ形式)	データを 利用した 機能 (ID)
DT201	3D 都市モデル (3DTiles 形式)	人流シミュレーションシステムへの実装のため	3D 都市モデル (CityGML) から、「FME」を利用し、3DTiles にデータ変換	FME Form	3D 都市モデル (RVT 形式、IFC 形式、CityGML 形式)	FN202-1 FN202-2

1) IFC から CityGML への変換手順

● 都市モデル拡張製品仕様書テンプレート

3D 都市モデル標準製品仕様書（国土交通省都市局 Project PLATEAU）から「3D 都市モデル拡張製品仕様書テンプレート[ZIP 形式]」をダウンロードし、デスクトップ等の任意の場所に保存する。

<https://www.mlit.go.jp/plateaudocument/>



図 4-26 「3D 都市モデル拡張製品仕様書テンプレート[ZIP 形式]」ダウンロード元

「3D 都市モデル拡張製品仕様書テンプレート」のフォルダ構成は下記となる。

名前	種類	サイズ
codelists	ファイル フォルダー	
metadata	ファイル フォルダー	
schemas	ファイル フォルダー	
specification	ファイル フォルダー	
udx	ファイル フォルダー	
index.docx	Microsoft Word ...	260 KB
README.md	MD ファイル	5 KB

図 4-27 「3D 都市モデル拡張製品仕様書テンプレート」のフォルダ構成

- Git Hub で公開されている 【FN201】「IFC to CityGML」(FME を用いた IFC から CityGML2.0 建築物モデル(LOD4)への変換テンプレート)を用いて CityGML データへの変換を実行する

2) CityGML からプリミティブ統合を伴う 3DTiles への変換手順

避難シミュレーションにあたって、バウンディングボリューム（一般的に衝突検出アルゴリズムにおいて可視化モデルの計算範囲を制限するための幾何学形状）の重なりが性能を悪化させる（バウンディングボリュームの中に入ると衝突判定が発生する）、またプリミティブはシミュレーションの計算単位になるので、少なければ少ない方が計算は早くなるため、シミュレーションがよりスムーズに実行できるプリミティブ統合版

の FME ワークベンチを構成し、利用する。

以下に、【FN202-1】「CityGML to 3DTiles」(建築物モデル LOD4 プリミティブ統合版) による具体的な処理内容(変換手順)を記載する。

- ステップ1: 「User Parameters」を右クリックし、「Edit User Parameter Default Values…」を選択する

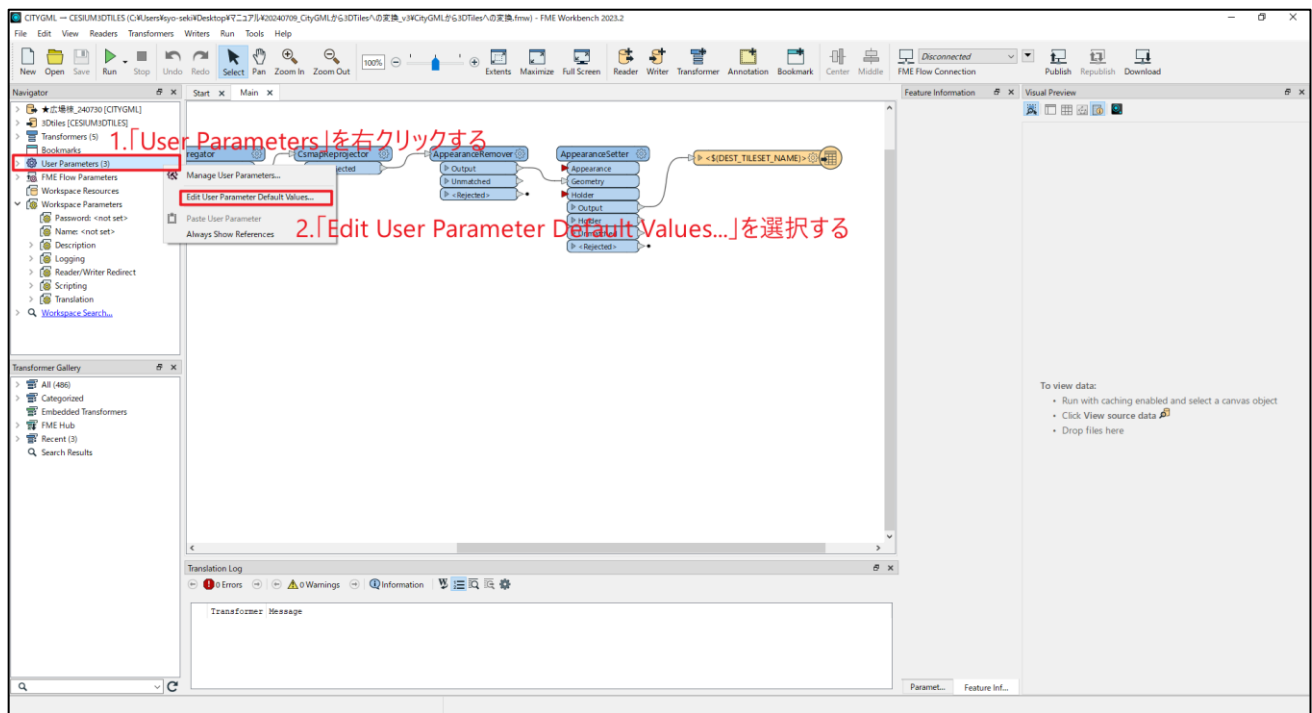


図 4-28 ステップ1

- ステップ2：「建築モデルデータ」に CityGML データを選択し、「変換結果出力先フォルダ」と「3DTiles タイルセット名」を設定する

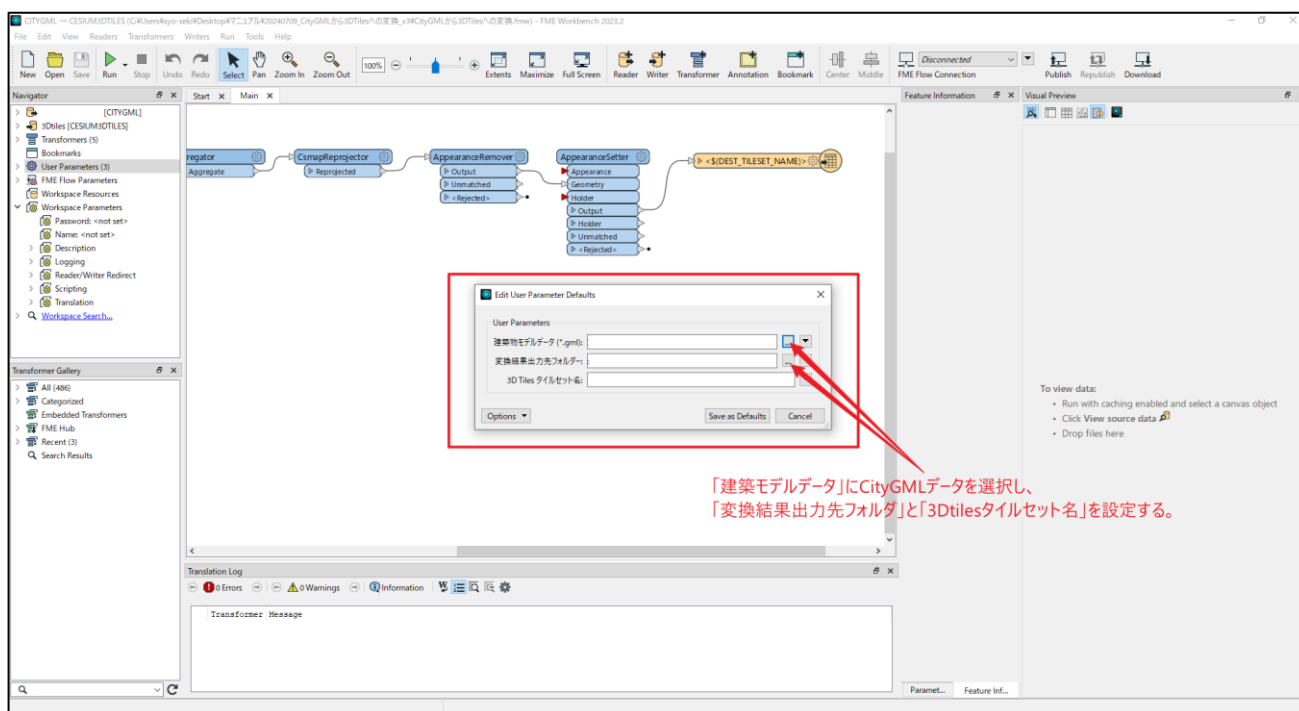


図 4-29 ステップ 2

- ステップ3：「建築モデルデータ」、「変換結果出力先フォルダ」と「3DTiles タイルセット名」の設定が終わったら「Save as Defaults」をクリックする

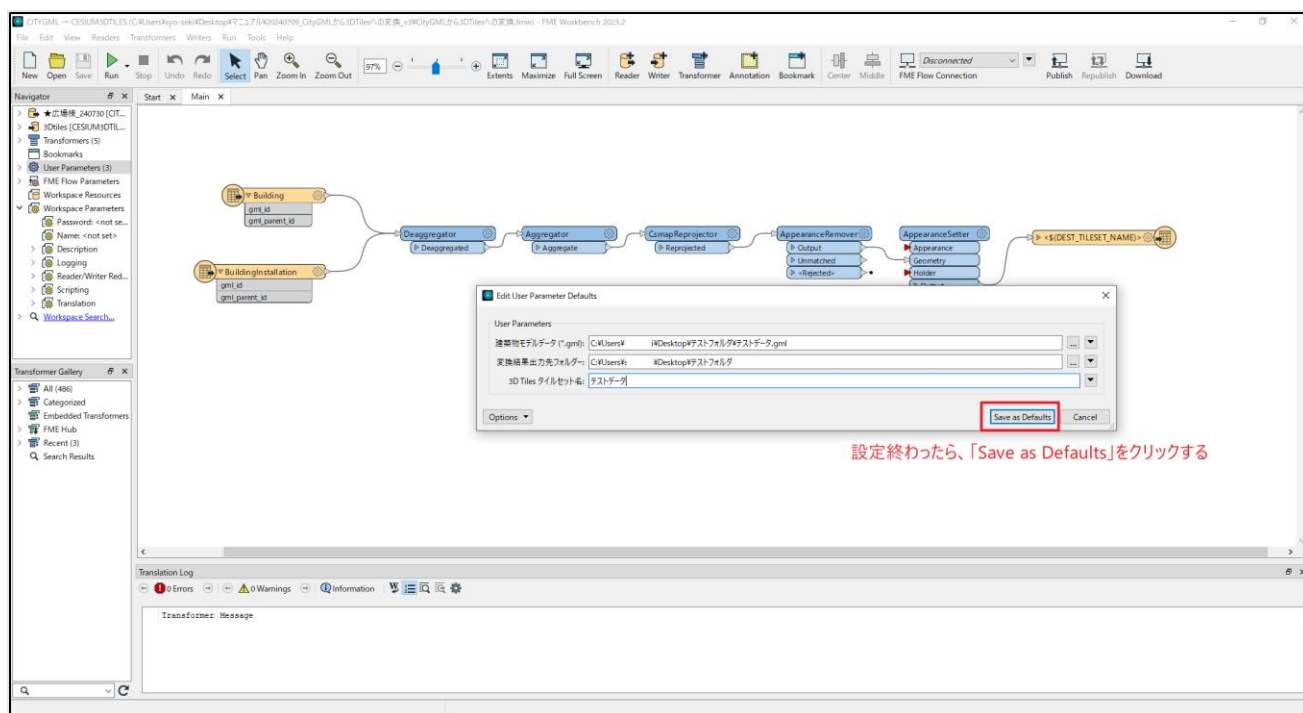


図 4-30 ステップ 3

- ステップ4：「Enable Feature Caching」はチェックの状態だと処理に時間がかかってしまうため、「Run」のメニューを選択し、「Enable Feature Caching」にチェックを外す

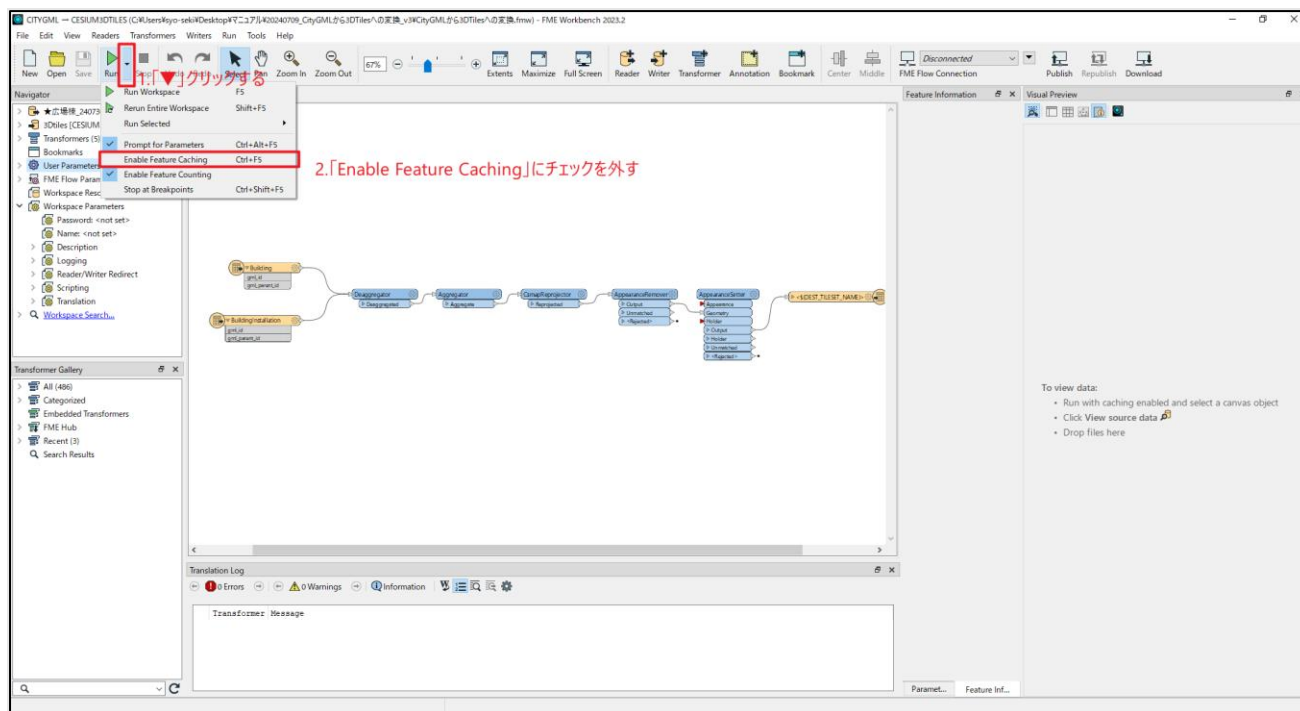


図 4-31 ステップ4

- ステップ5：「Run」をクリックし、CityGML を 3DTiles に変換する作業は完了となる

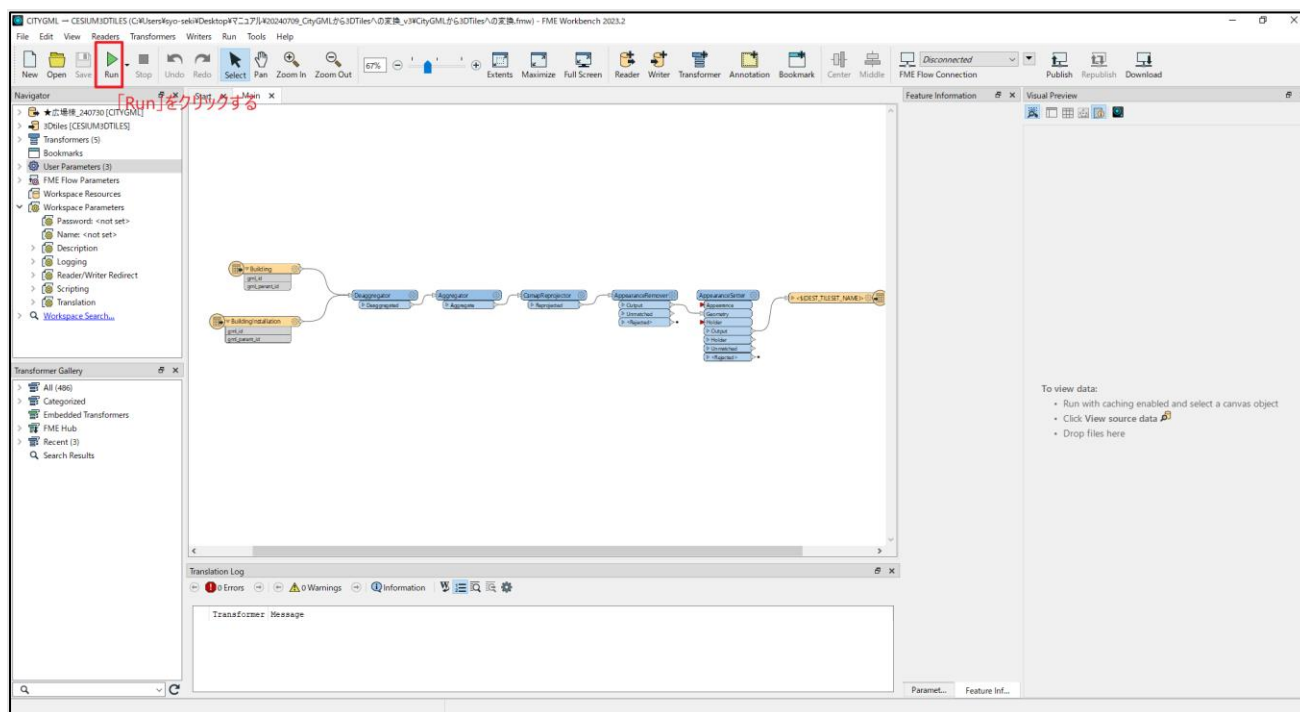


図 4-32 ステップ5

ステップ5まで、CityGML から 3DTiles への変換は完了となる。しかし、変換された 3DTiles の建築物モデ

ルのバウンディングボリュームがシミュレーション区域のバウンディングボリュームに重畳してしまうため 3DTiles データの修正が必要となってくる。

以下に、3DTiles データについての具体的な処理内容を記載する。

- ステップ 6 : 3Dtile フォルダの「data」を開く



図 4-33 ステップ 6

- ステップ 7 : 「data1.b3dm」を削除する

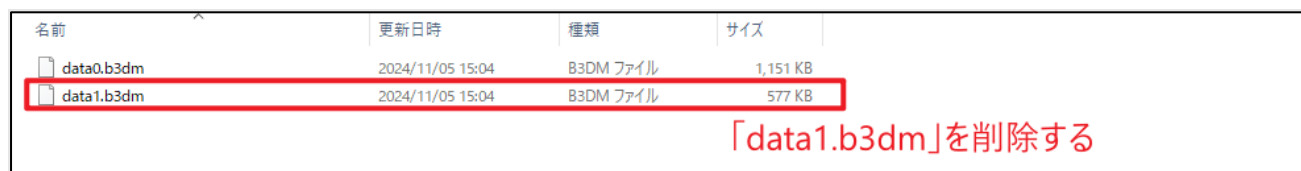


図 4-34 ステップ 7

- ステップ 8 「tileset.json」をテキストエディタで開く

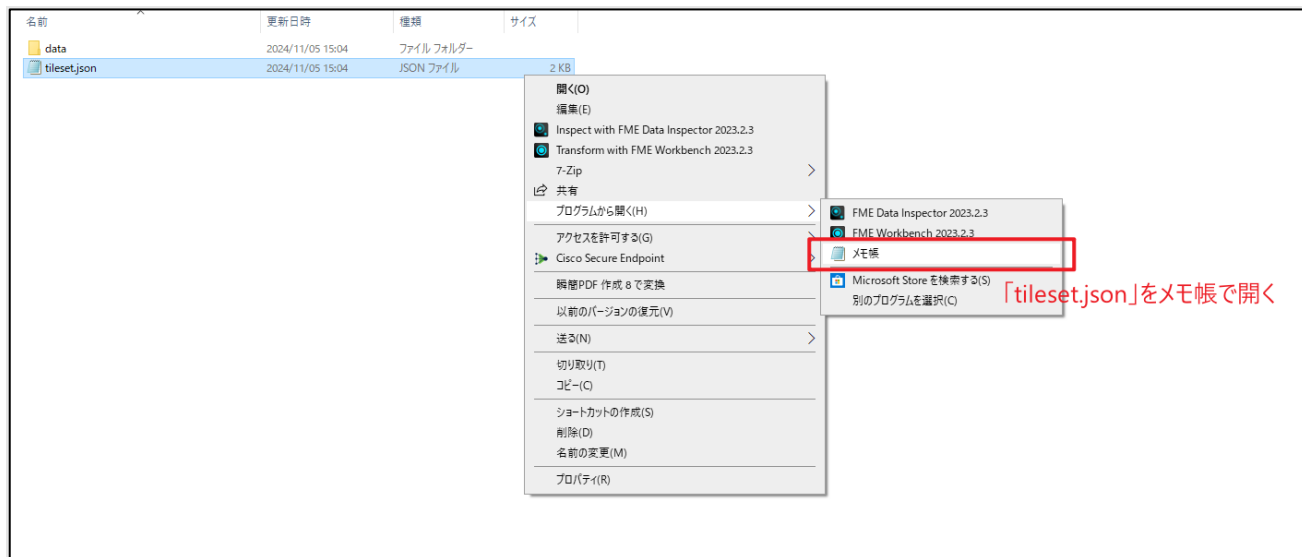


図 4-35 ステップ 8

- ステップ 9 : Unreal Engine に実装した際に移動可能領域の再生成が起こってしまうため、チルドレン要素を削除し、親要素のみのデータにする必要があるため、図のように、「REPLACE」を削除し、「ADD」を入力する

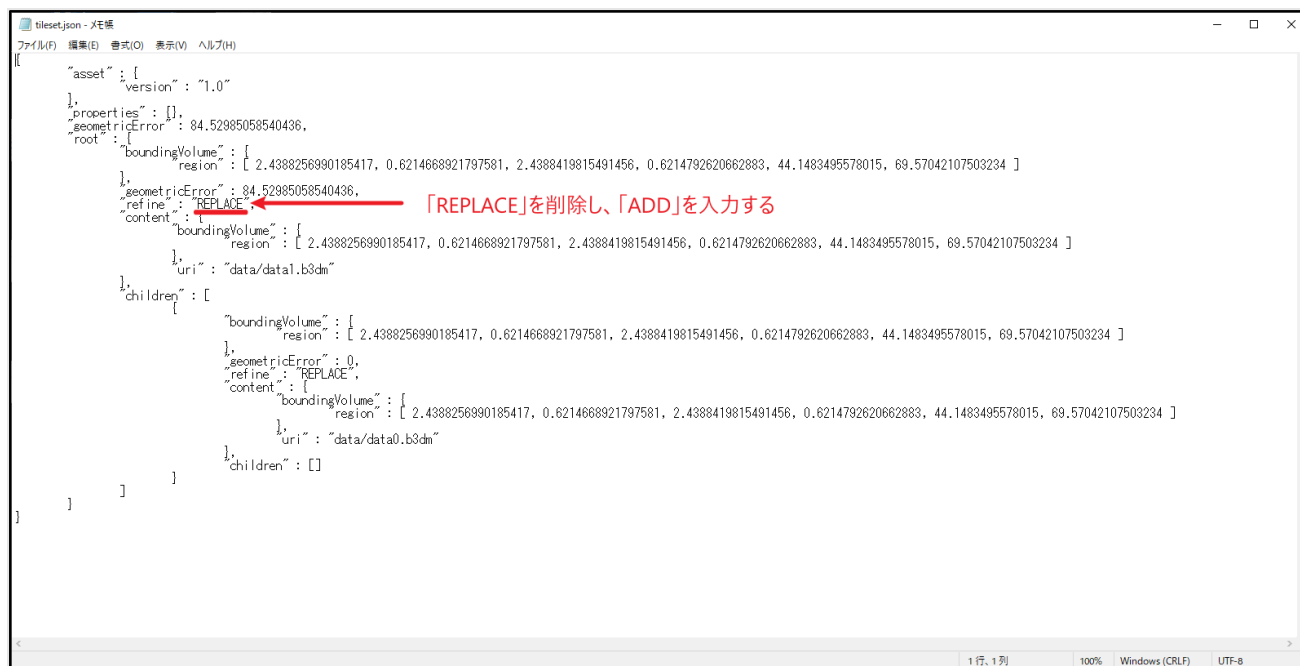


図 4-36 ステップ 9

- ステップ 10：図のように「data1.b3Dm」を「data0.b3Dm」にする

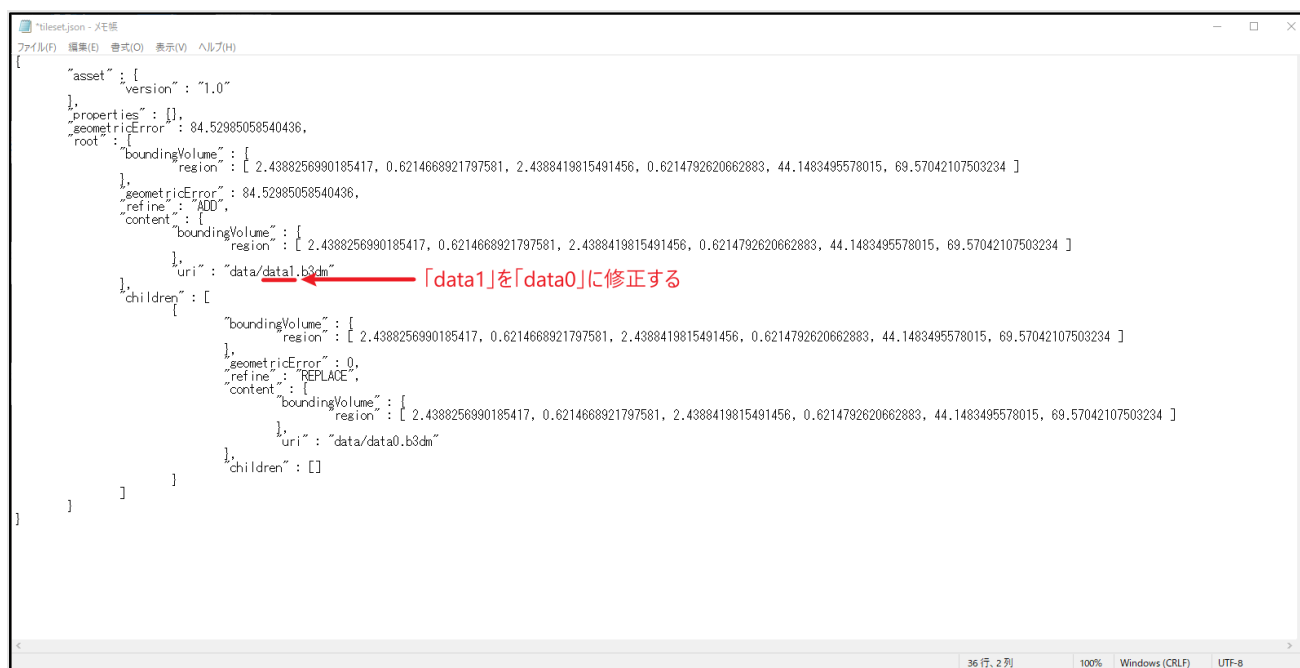


図 4-37 ステップ 10

- ステップ 11：図のように、チルドレン要素を削除する

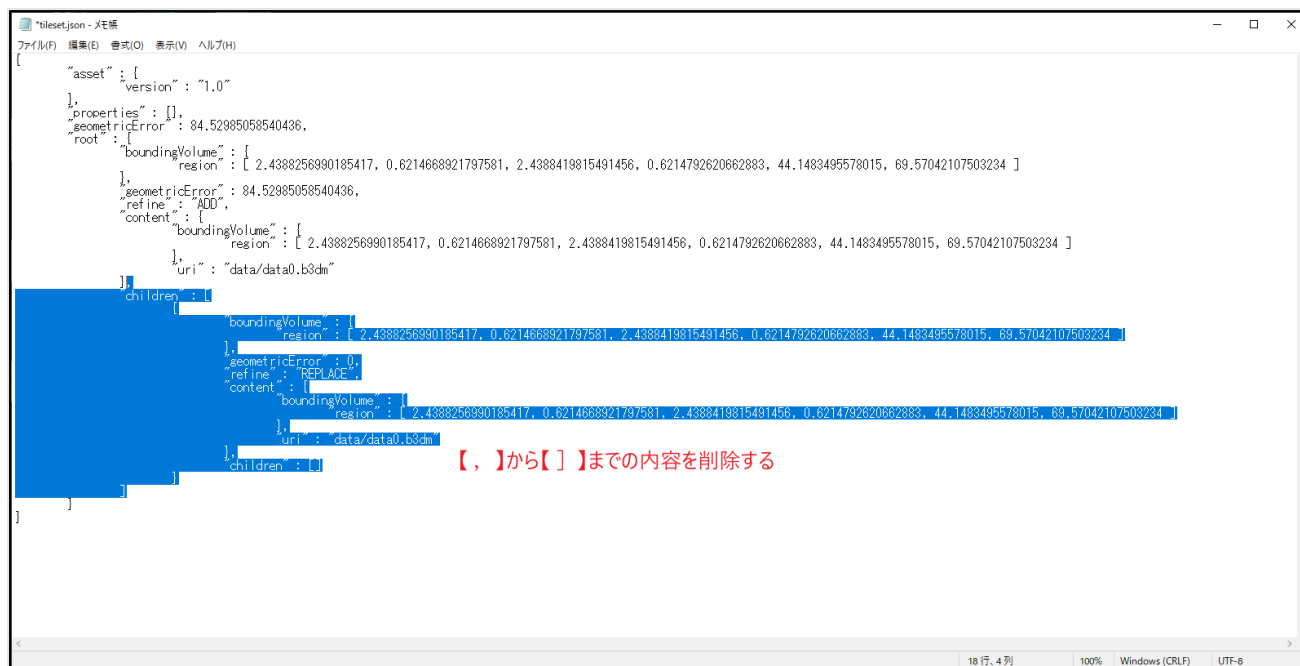


図 4-38 ステップ 11

- ステップ 12: 「上書き保存」をクリックし、テキストエディタを閉じる

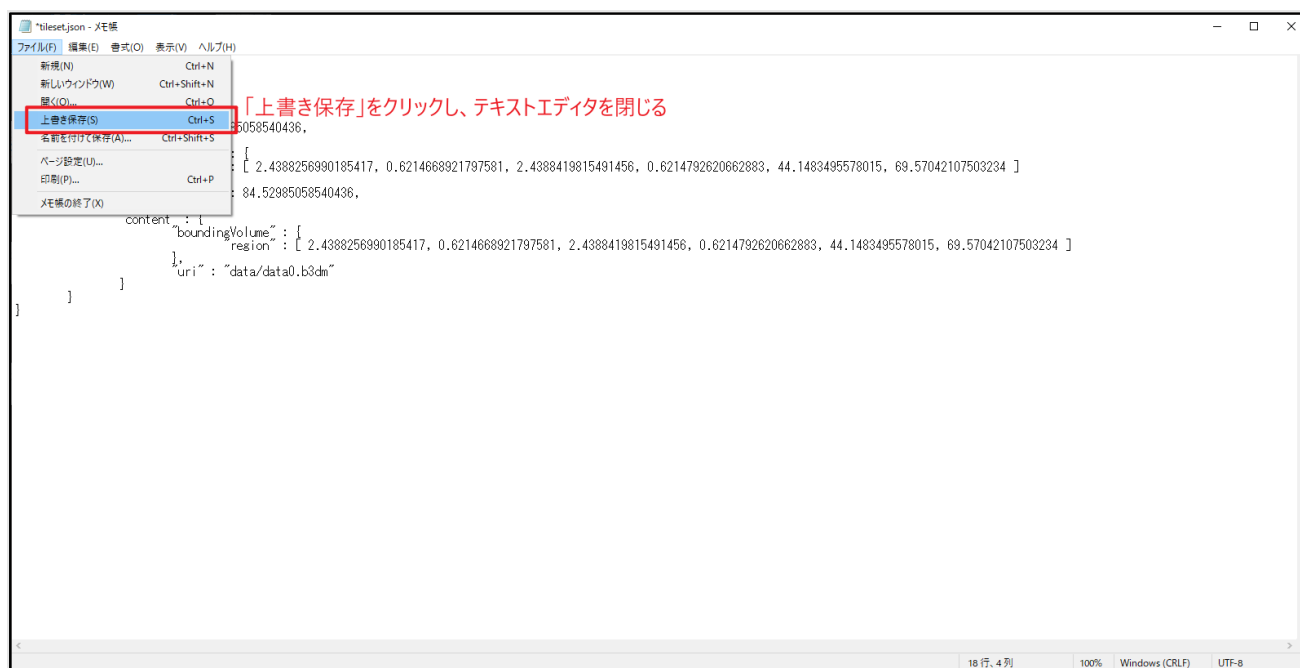


図 4-39 ステップ 12

- ステップ 13: 3DTiles データを Zip 化し、CityGML からプリミティブ統合を伴う 3Dtiles への変換作業は完了となる

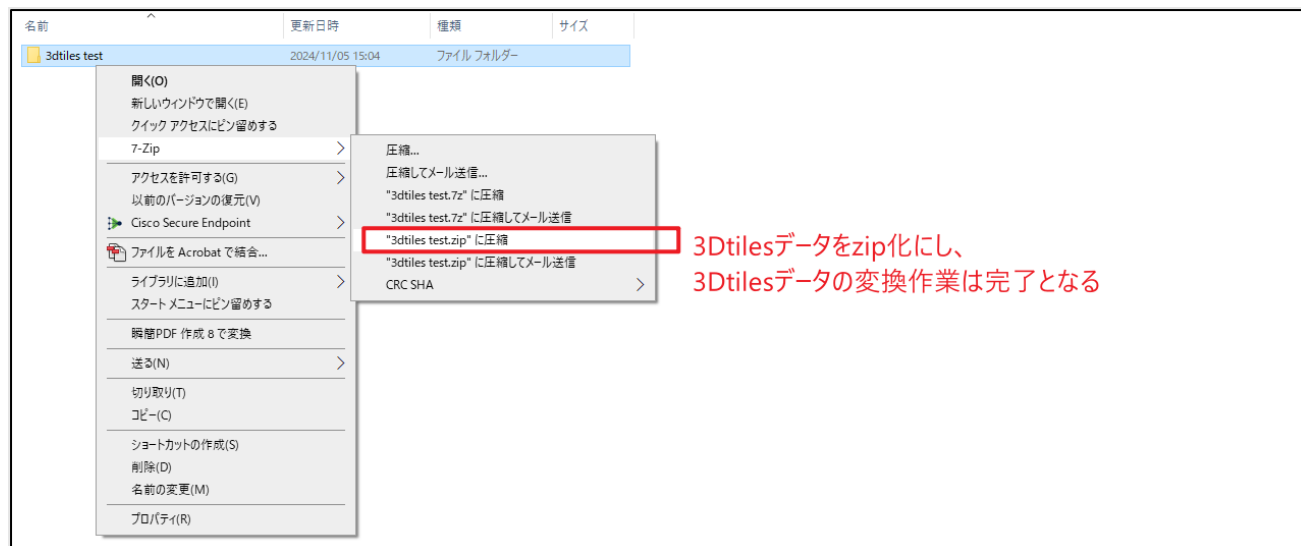


図 4-40 ステップ 13

3) 周辺建築物モデル(LOD1、2)及び道路モデル(LOD3.1)のプリミティブ統合を伴う 3DTiles への変換手順

建築物モデル(LOD4)と同様、周辺建築物モデル(LOD1、2)及び道路モデル(LOD3.1)についても、UnrealEngine へ実装する際の負荷を抑えるために、プリミティブ統合された状態で 3DTiles データを用意する必要がある。しかし、LOD1、2 の建築物モデル等は範囲が広域であるため、1 データを 1 つのプリミティブに統合すると LOD4 モデルや道路モデル(LOD3.1)等のバウンディングボリューム（一般的に衝突検出アルゴリズムにおいて可視化モデルの計算範囲を制限するための幾何学形状）との干渉が大きくなるため、任意のブロック(範囲)ごとに分割してプリミティブ統合を行うことが望ましい。

以下に、FME Form で構成したワークベンチ【FN202-2】「CityGML to 3DTiles」（建築物モデル LOD1、2 および道路モデル LOD3.1 プリミティブ統合版)による変換手順を記載する。

● ステップ 1：

まずは周辺建築物モデル(今回は LOD 2 のみ)を FME Form のビューアー機能で表示する必要がある。FME Form を開き、Readers → Add Reader... をクリック → Format : OGC CityGML を選択し、Dataset で表示したい周辺建築物モデル(今回は LOD2 のみ)の CityGML データを選択する。また、Parameters... → GML SRS Axis Order : 2,1,3 を選択する。これを行わないとビューアー上でモデルが反転して表示されてしまうため必ず行うこと。

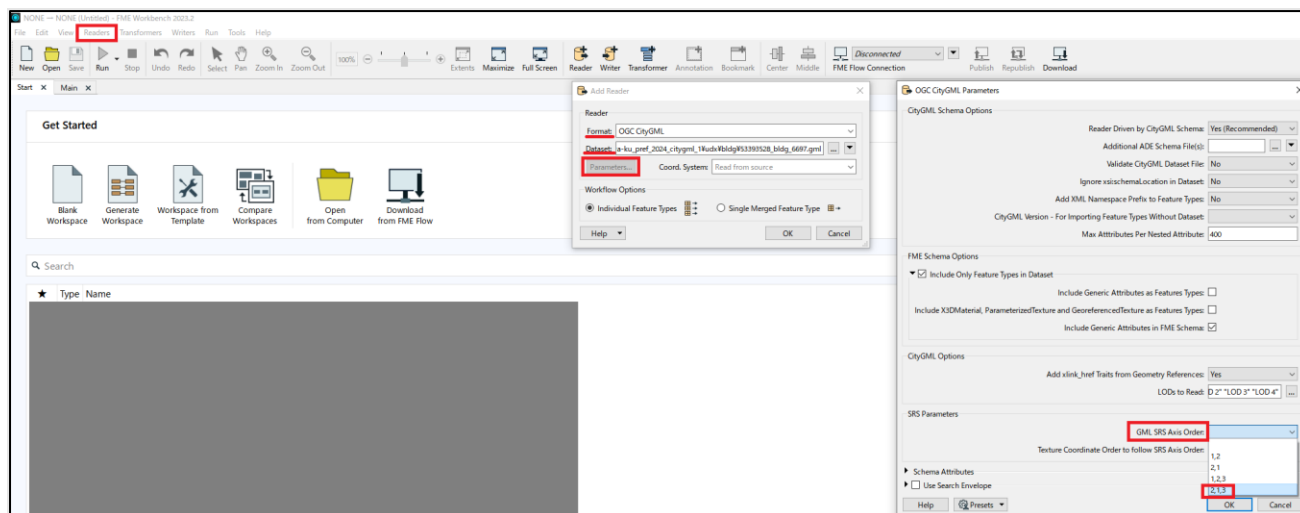


図 4-41 ステップ 1

● ステップ 2：

Select Feature Types が表示されるため、全ての項目にチェックがついていることを確認し OK をクリックする。

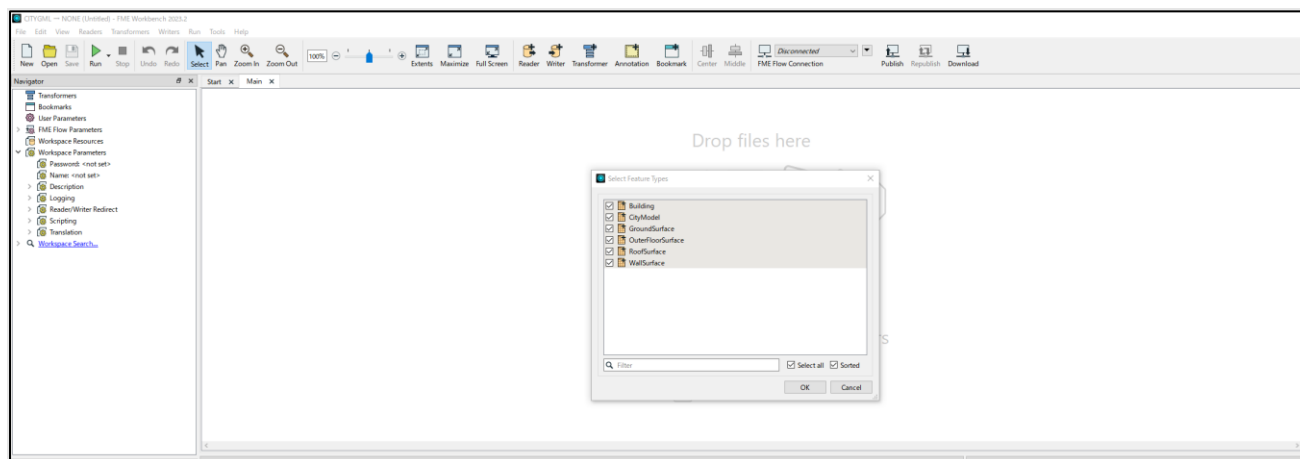


図 4-42 ステップ 2

● ステップ 3：

ワークスペース内に下記の通りチェックした項目が表示されていることを確認する。

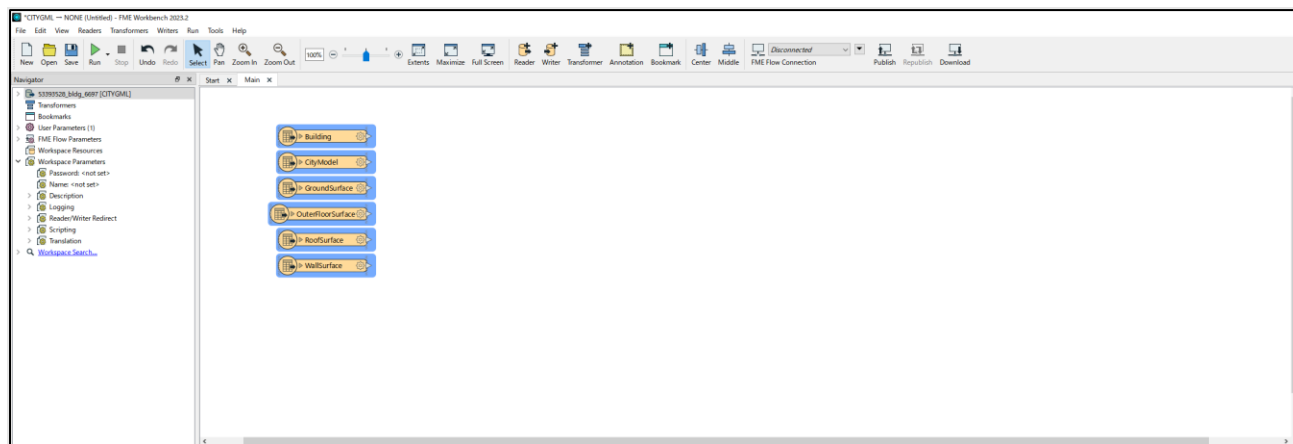


図 4-43 ステップ 3

● ステップ 4：

全てのチェック項目を選択した状態で、「proj...」とコマンド入力し「PROJReprojector」を選択する。

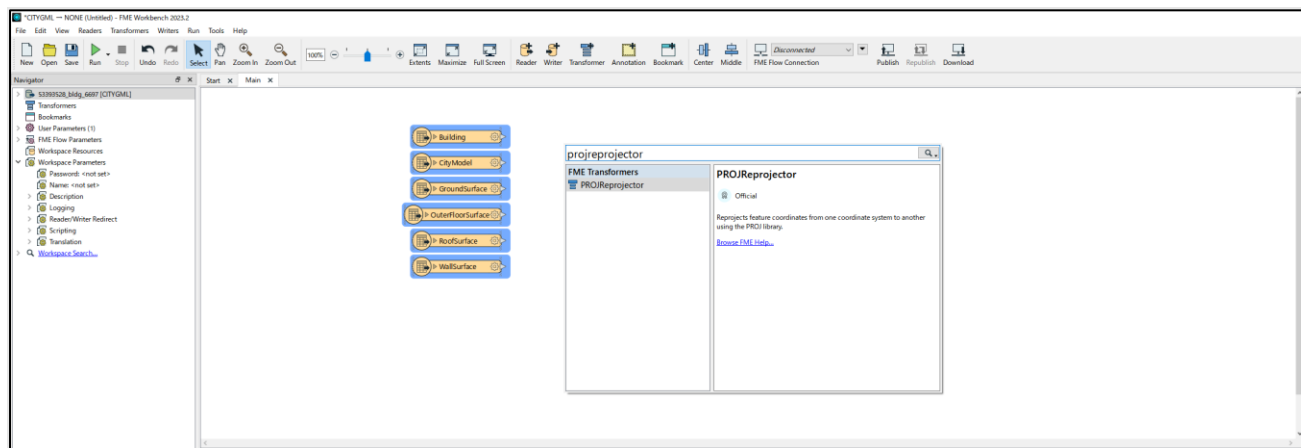


図 4-44 ステップ 4

● ステップ 5：

PROJReprojector をダブルクリックし、設定画面を開く。Distination Coordinate System で任意の座標系を選択する。東京の場合 EPSG:6677 を選択し OK をクリックする。

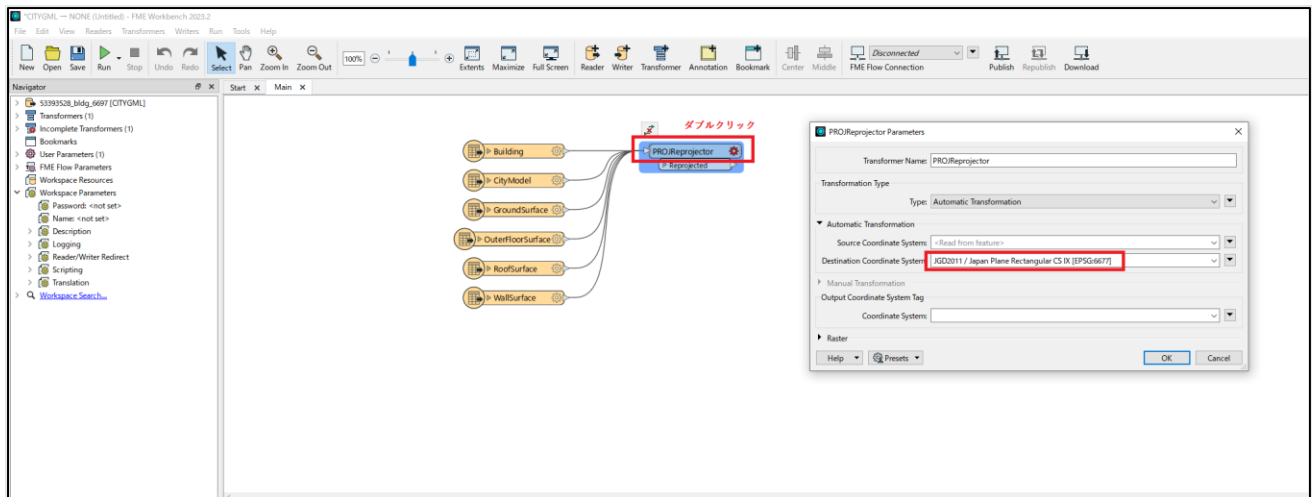


図 4-45 ステップ 5

- ステップ 6：
PROJReprojector を選択した状態で、「insp...」とコマンド入力し「Inspector」を選択する。

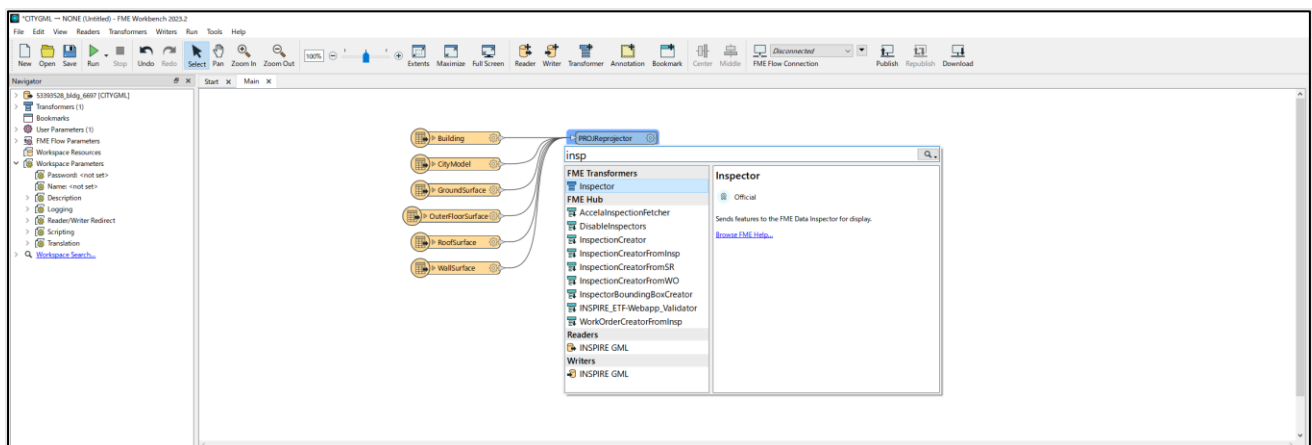


図 4-46 ステップ 6

- ステップ 7：
下記の画面の状態で、「Run」を実行する。

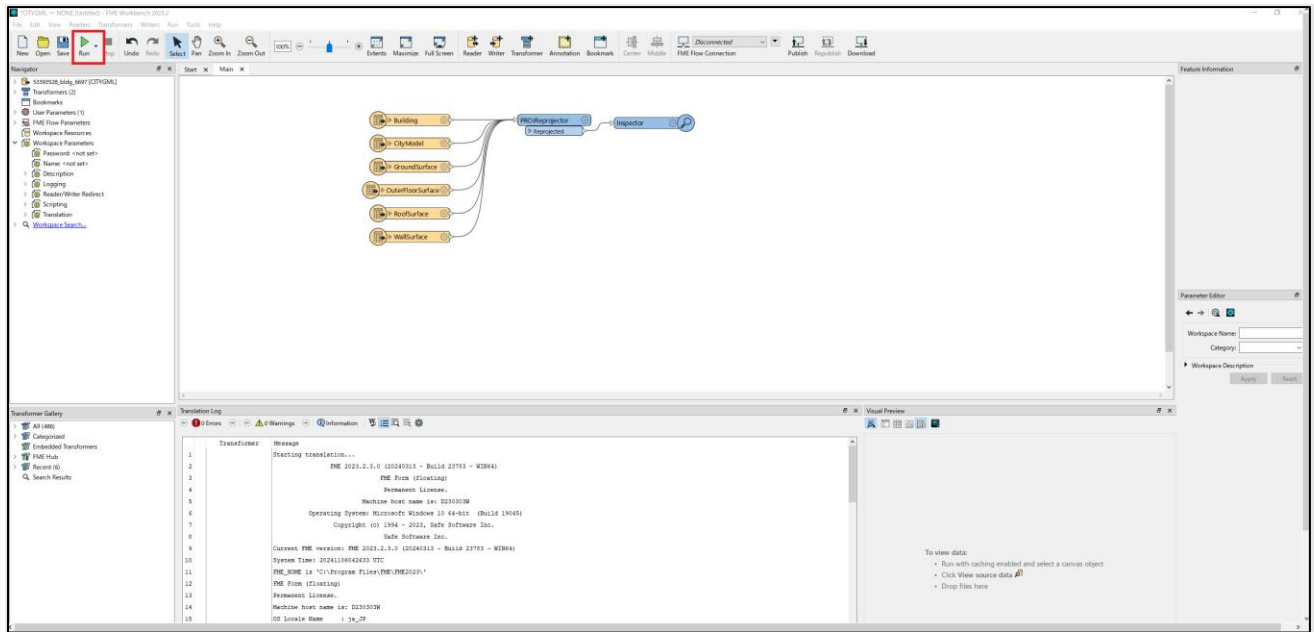


図 4-47 ステップ 7

- ステップ 8：

Graphics にビューアーが表示されたことを確認し、「Open in Data Inspector」をクリックして、Data Inspector を開く。

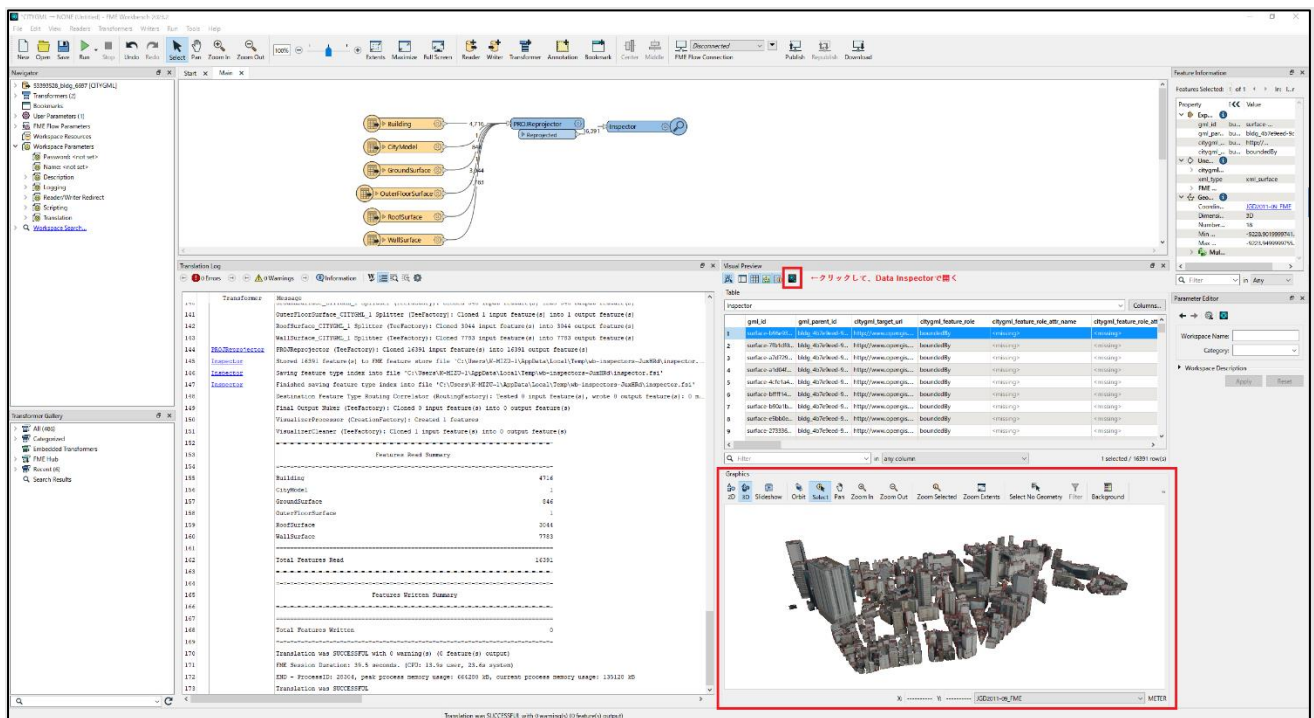


図 4-48 ステップ 8

- ステップ 9：

任意のブロック(範囲)ごとにわたるために Data Inspector 上で、分割したい範囲の建築物モデルを選択

する。どこを選択したかがわかりにくいいため慎重に範囲選択すること。

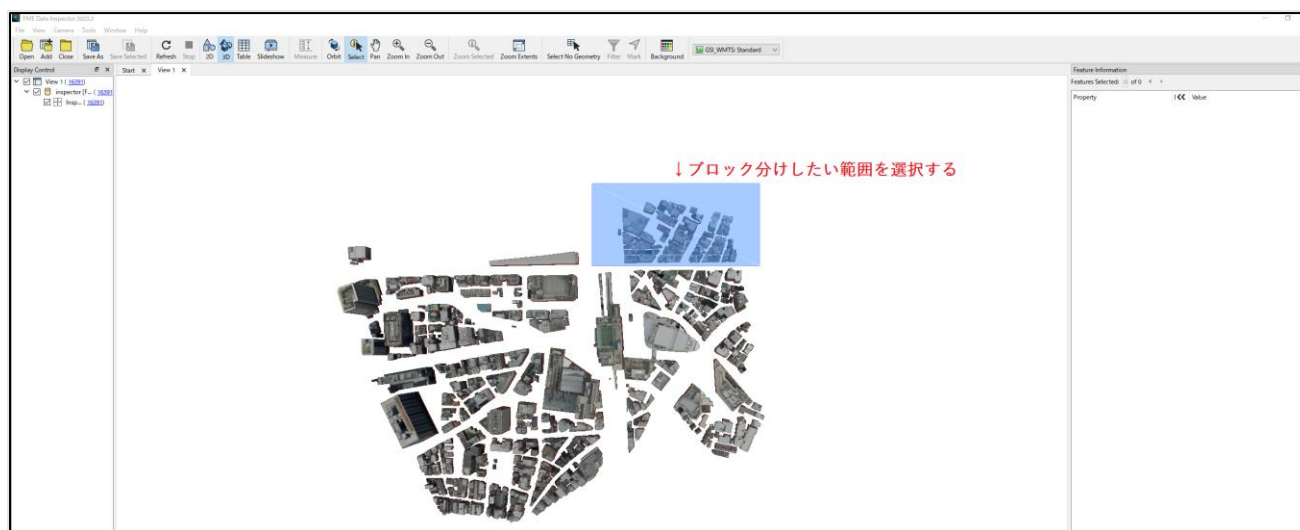


図 4-49 ステップ 9

- ステップ 10 :
範囲選択した状態で、右クリック → Save Selected Data As...を選択する。



図 4-50 ステップ 10

- ステップ 11 :
Format : OGC CityGML を選択し、Dataset で任意の場所にフォルダ作成 & データ名を指定し、Parameters... → GML SRS Axis Order : 2,1,3 を選択する。

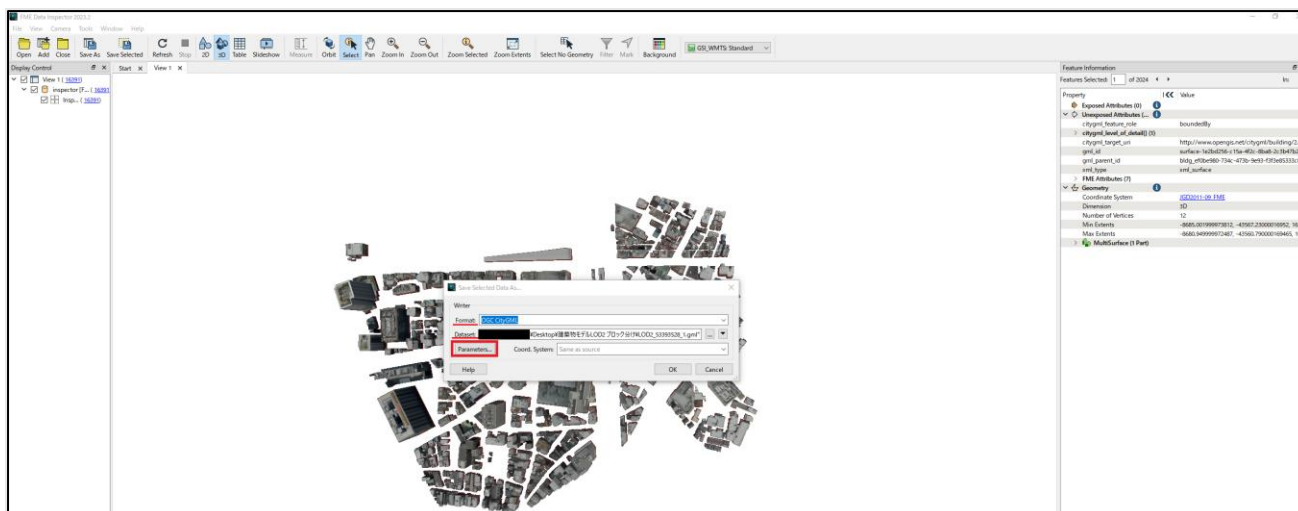


図 4-51 ステップ 11

- ステップ 12：
ブロック分けした CityGML データをエクセルで開く。

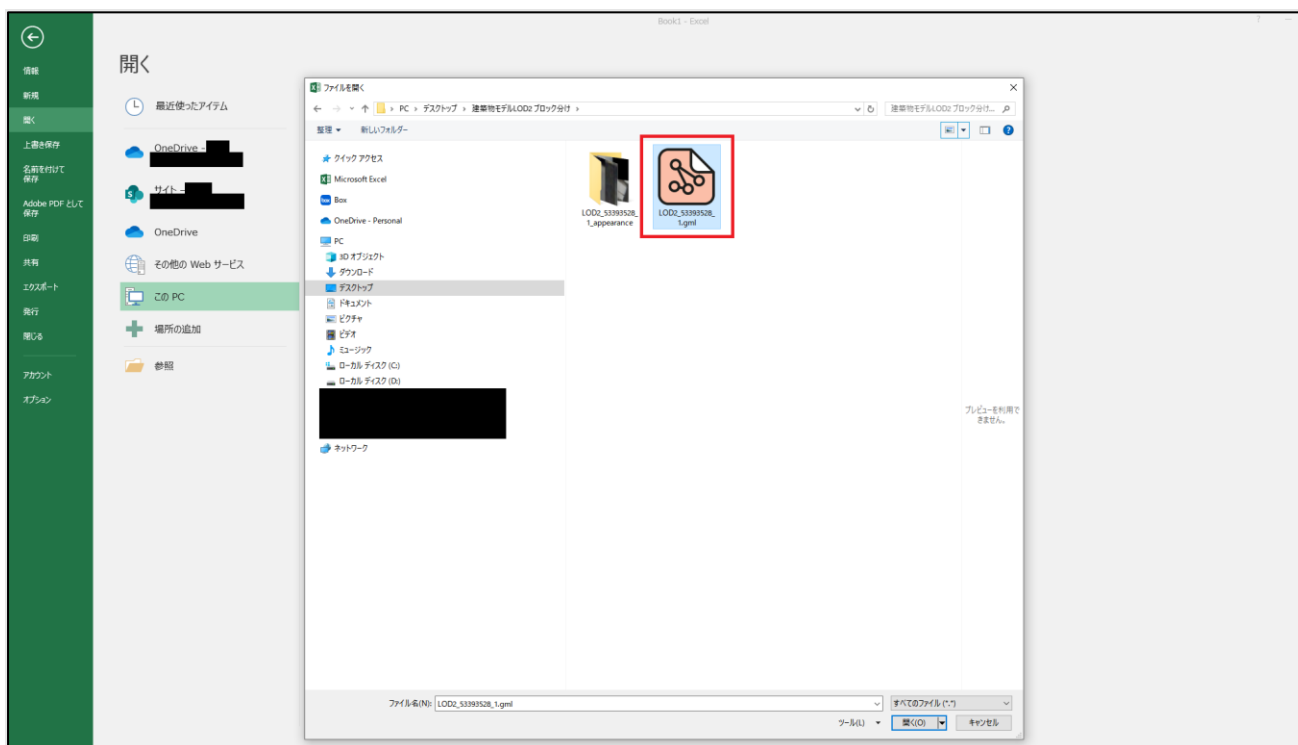


図 4-52 ステップ 12

- ステップ 13：
「id」の列に記載されている bldg 要素を全て選択 & コピーする。

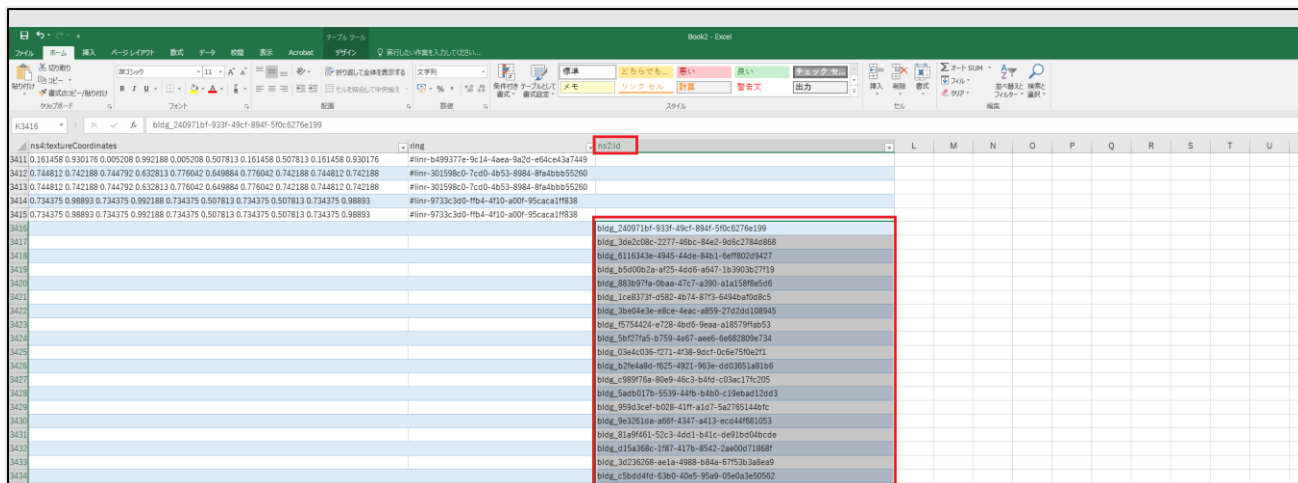


図 4-53 ステップ 13

- ステップ 14：

新規エクセルに貼り付けし、「ゾーン①」等として整理する。同様の操作を分けたいブロックごとに繰り返し、「ゾーン①」の後の列に「ゾーン②」、「ゾーン③」...等で貼り付けて整理する。

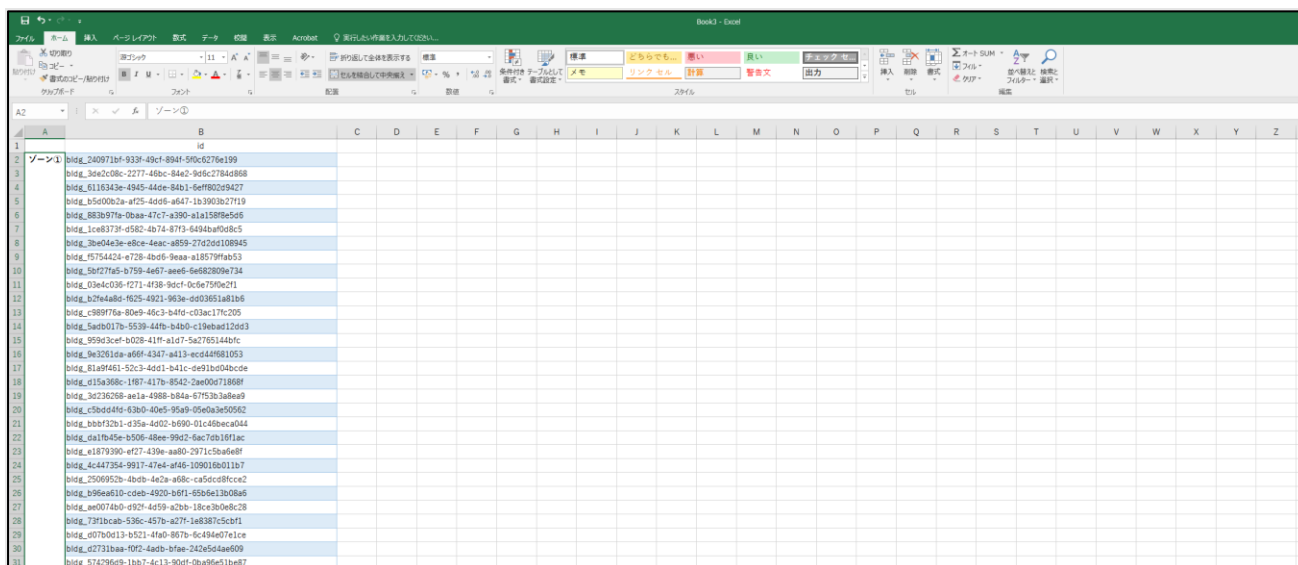


図 4-54 ステップ 14

- ステップ 15：

以下に示す通り、周辺建築物モデル(LOD1、2)および道路モデル(LOD3.1)を任意のゾーンごとにプリミティブ統合し 3DTiles データへ変換するためのワークベンチを構成した。

Navigators → User Parameters を右クリック → Edit User Parameter Defaults を選択し、3DTiles へ変換する建築物モデル(LOD1、2)、道路モデルの CityGML データとゾーンごとに整理したエクセルデータを指定し「Run」を実行する。

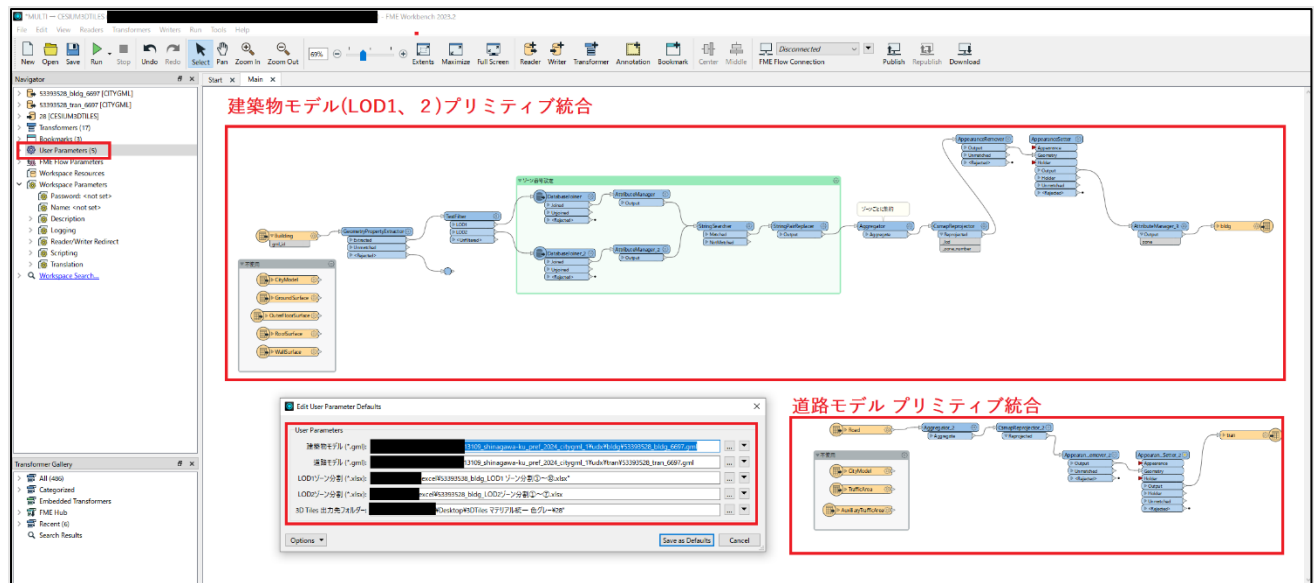


図 4-55 ステップ 15

- ステップ 16 :
建築物モデル(今回は LOD2 のみ)について、図のように bldg フォルダ → data フォルダ のなかでゾーンごとに b3Dm ファイルが分かれた状態で 3DTiles データが出力される。さらにここからバウンディングボリュームをゾーンごとの大きさに調整していく。

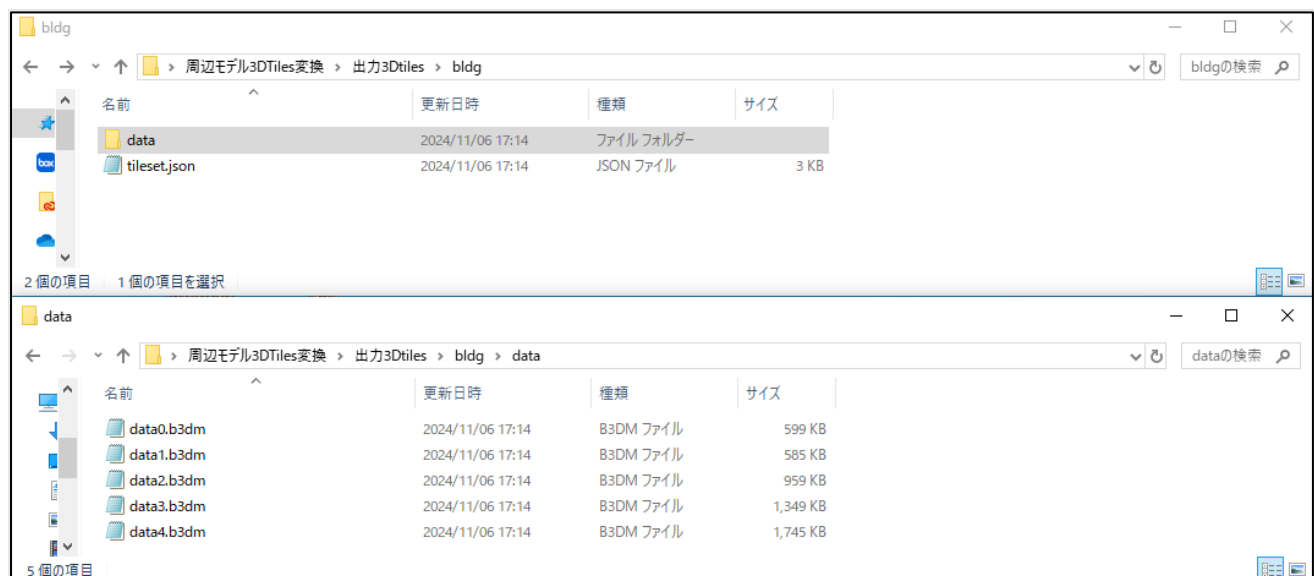


図 4-56 ステップ 16

- ステップ 17 :
「bldg」フォルダをコピーし、「bldg_0」「bldg_1」「bldg_2」「bldg_3」のように名称をつける。

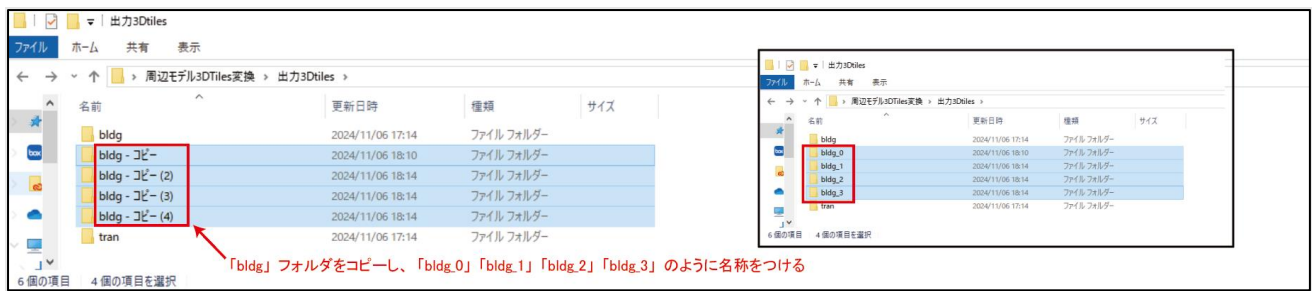


図 4-57 ステップ 17

- ステップ 18：

「bldg_0」フォルダ内の tileset.json をテキストエディタで開く。

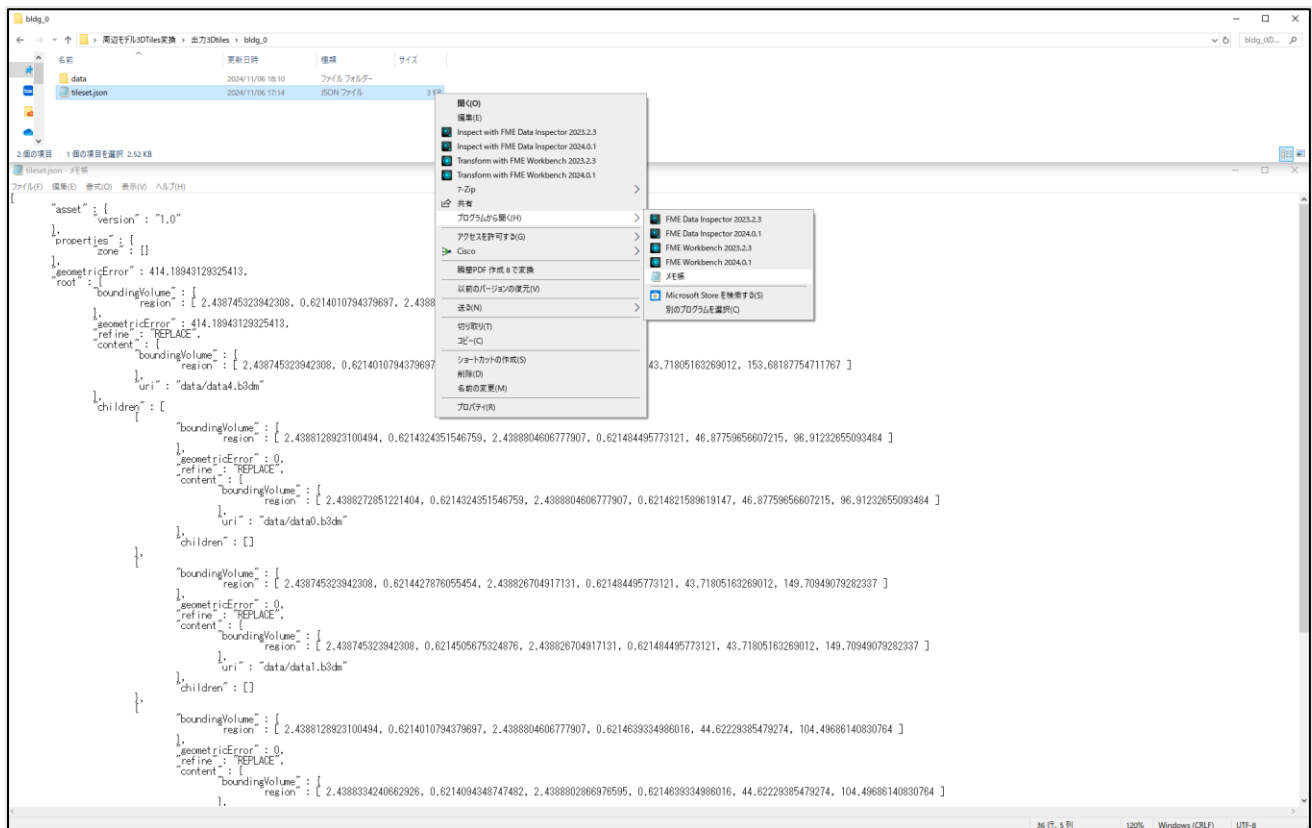


図 4-58 ステップ 18

- ステップ 19：

図のように、「REPLACE」を「ADD」に書き換え、

「"uri": "data/data4.b3dm"」をまずは「"uri": "data/data0.b3dm"」に書き換える。



図 4-59 ステップ 19

- ステップ 20：

親要素である全体のバウンディングボリューム範囲の数値に対して、図のように、チルドレン要素である「data0」のバウンディングボリューム範囲の数値をコピーし、書き換える。

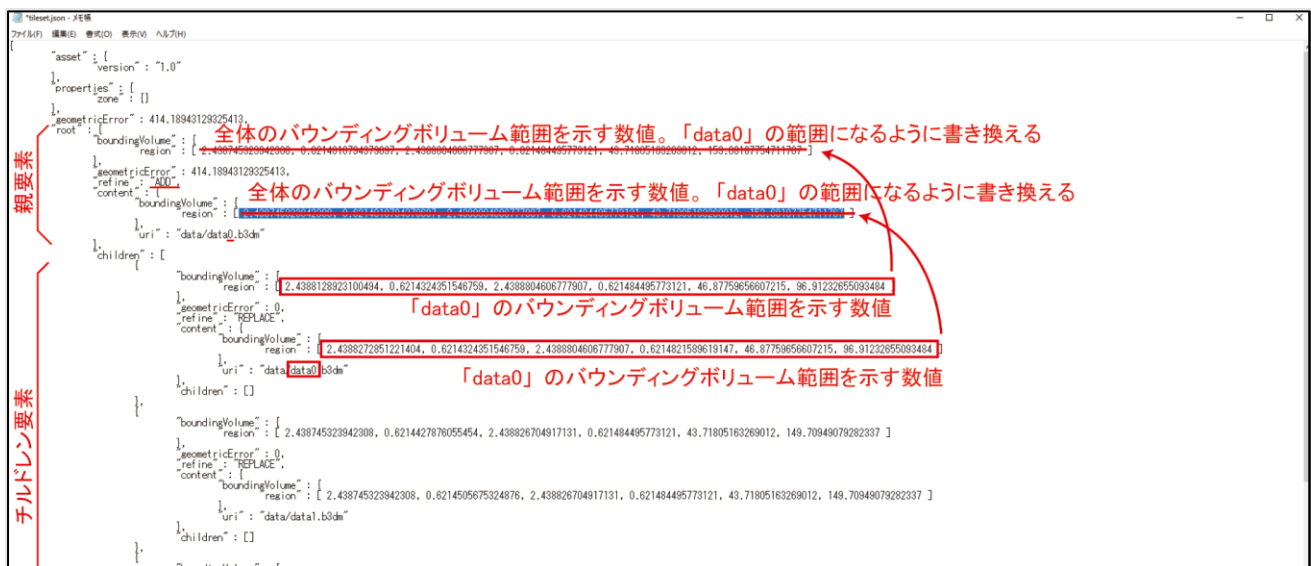


図 4-60 ステップ 20

- ステップ 21：

上記の書き換えの後、残ったチルドレン要素を削除する。

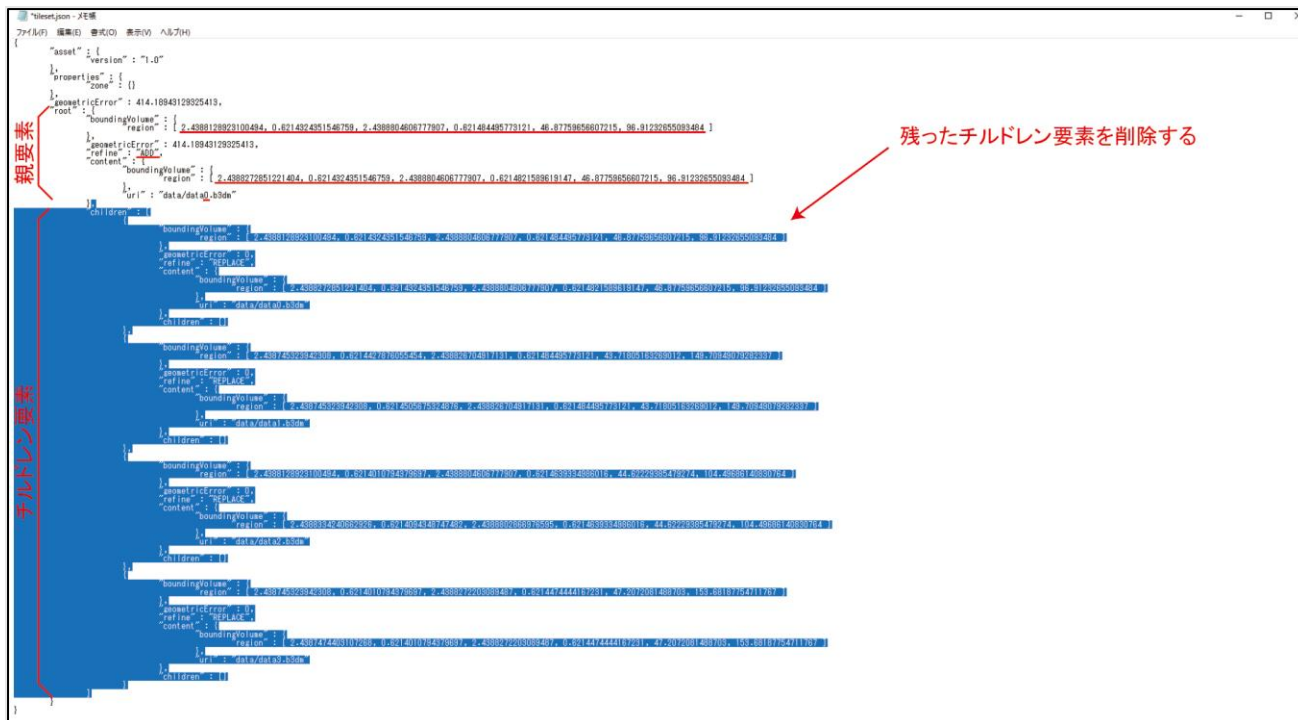


図 4-61 ステップ 21

- ステップ 22 :
tileset.json が図のような構成になっていることを確認する。

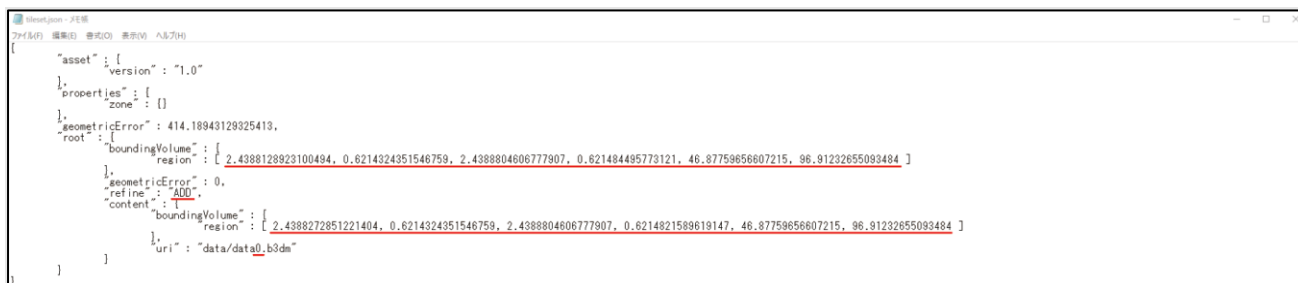


図 4-62 ステップ 22

- ステップ 23 :
「bldg_0」→「data」フォルダ 内の b3Dm データは「data0.b3Dm」以外を削除する。
以上で「bldg_0」の範囲のプリミティブ統合を伴う 3DTiles 化が完了。
「bldg_1」「bldg_2」「bldg_3」...も同様の手順でテキストエディタやフォルダ構成を更新し、それぞれ UnrealEngine へ実装する。



図 4-63 ステップ 23

4) 道路モデルの手すり(落下防止のための仮想境界)の考え方

道路モデル (LOD3.1) を 3DTiles に変換し、UnrealEngine 上で避難シミュレーションを行う際、流動キャラクターが道路モデルの端部から落下してしまう可能性があるため、落下防止の対策が必要となる。今回はトレース用モデルとして Revit に読み込むために、道路モデルの整備を行なった測量会社から dwg データを受領し、Revit へ読み込んでいる。また Revit で手すりを作成したら同様にプリミティブ統合を伴う 3DTiles に変換し、完了となる。

以下に、落下防止の対策の一つの例として具体的な処理内容（変換手順）を記載する。

● ステップ 1：図のように、Revit にて CAD を追加する

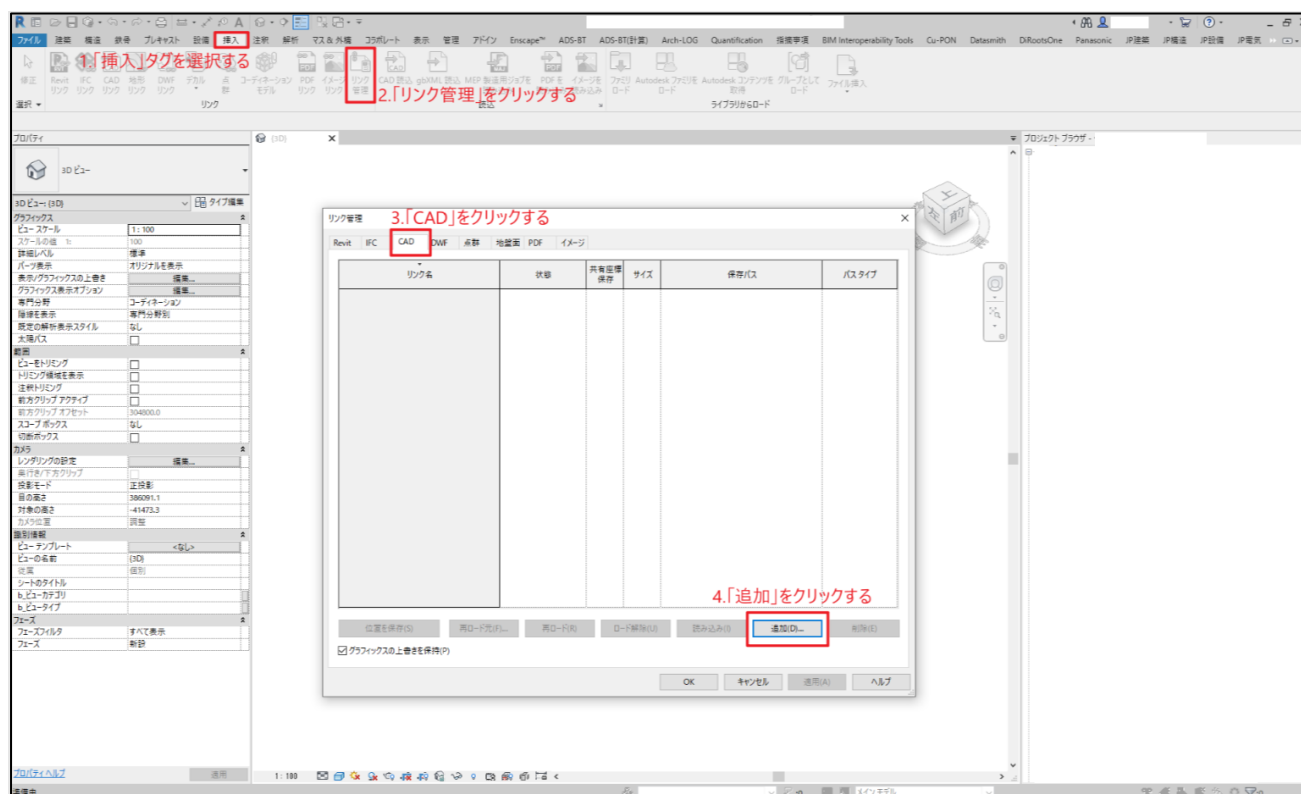


図 4-64 ステップ 1

- ステップ 2 : CAD の詳細設定を行う



図 4-65 ステップ 2

- ステップ 3 : 「OK」 をクリックする

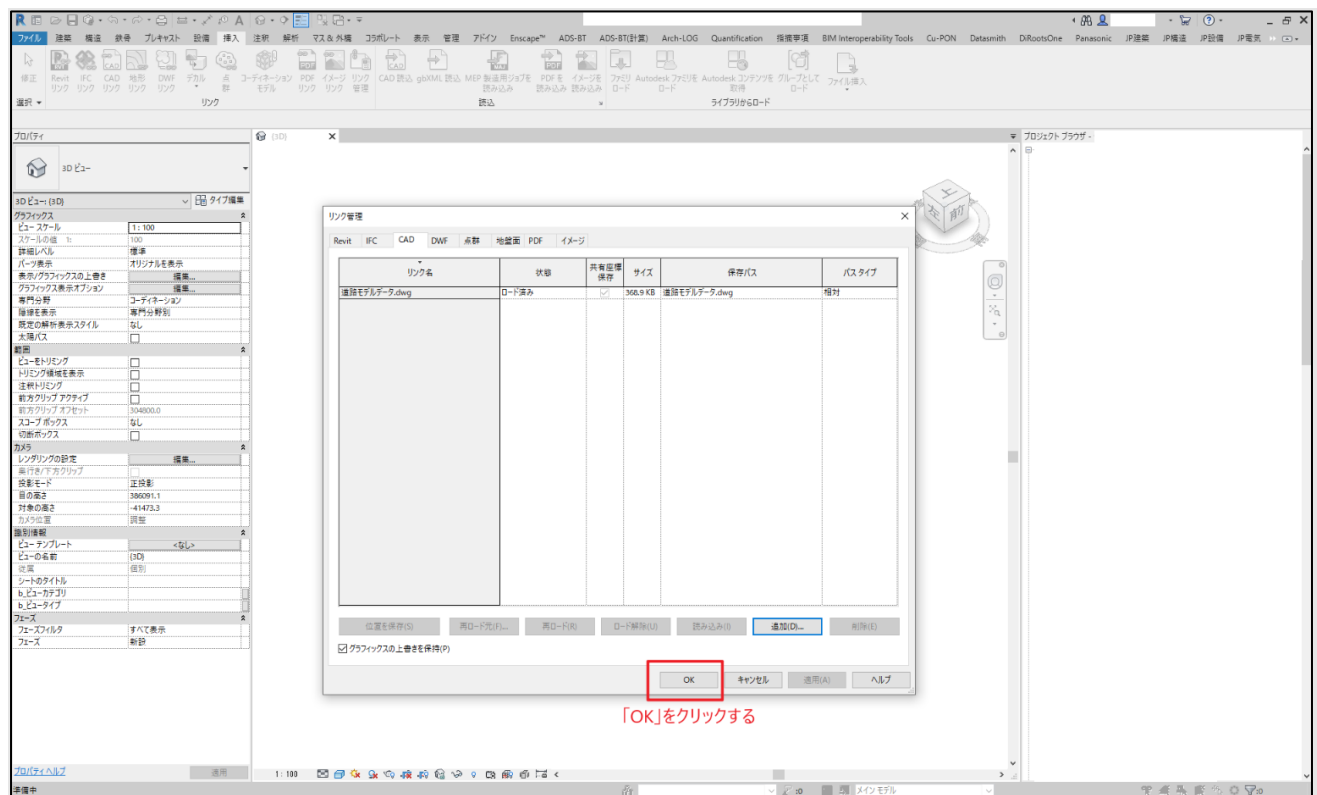


図 4-66 ステップ 3

- ステップ4：キャラクターが落ちる可能性がある箇所はシステムファミリー「壁」でモデリングする

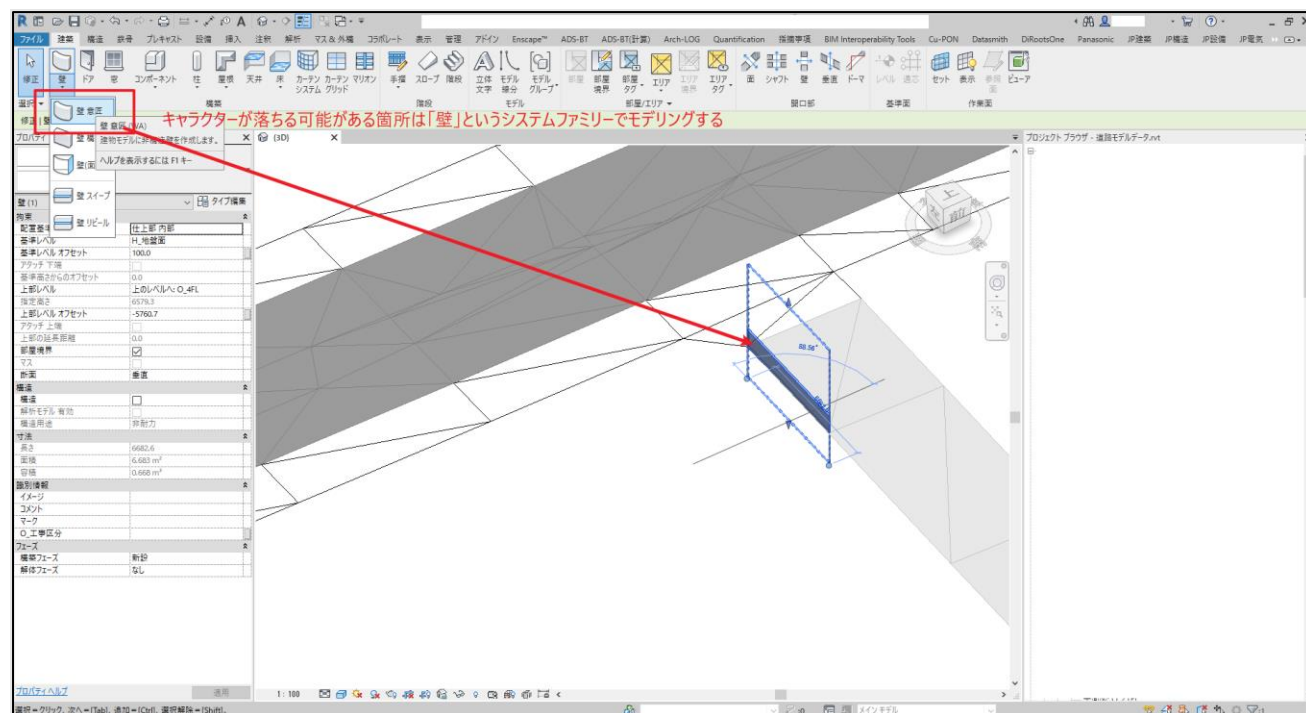


図 4-67 ステップ4

- ステップ5：「IFC オプション」を選択する

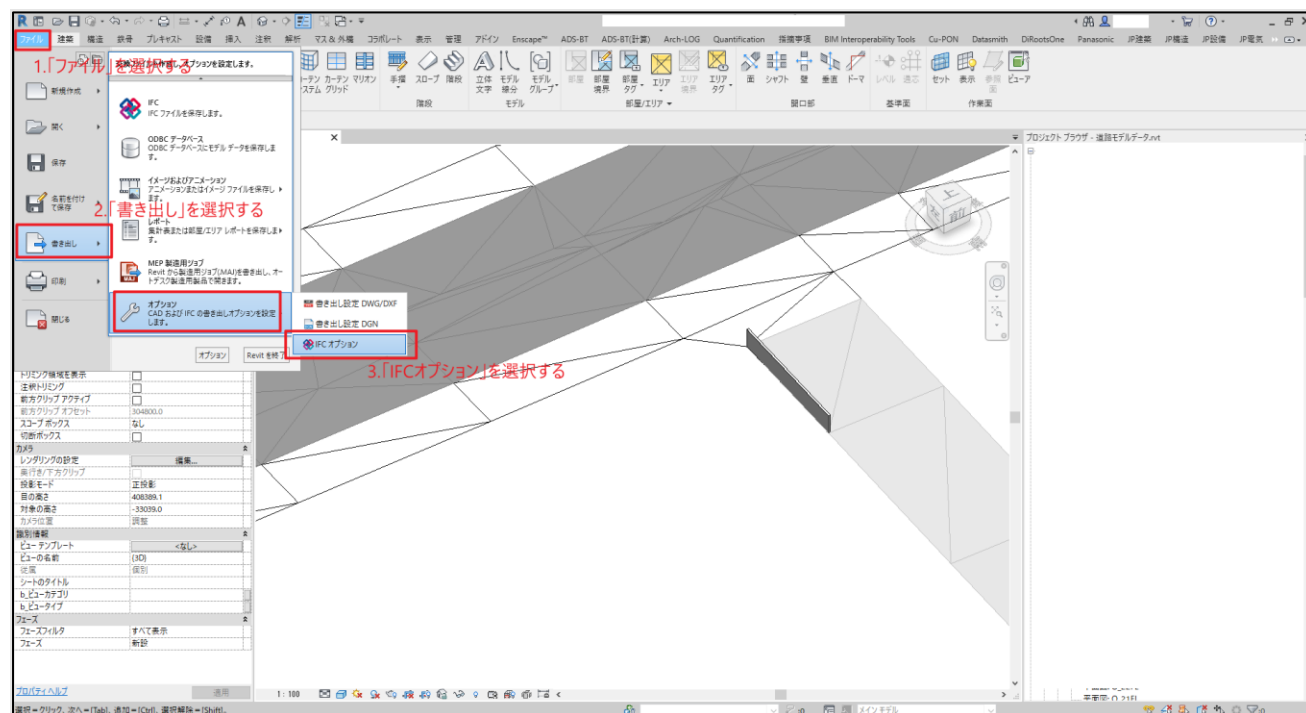
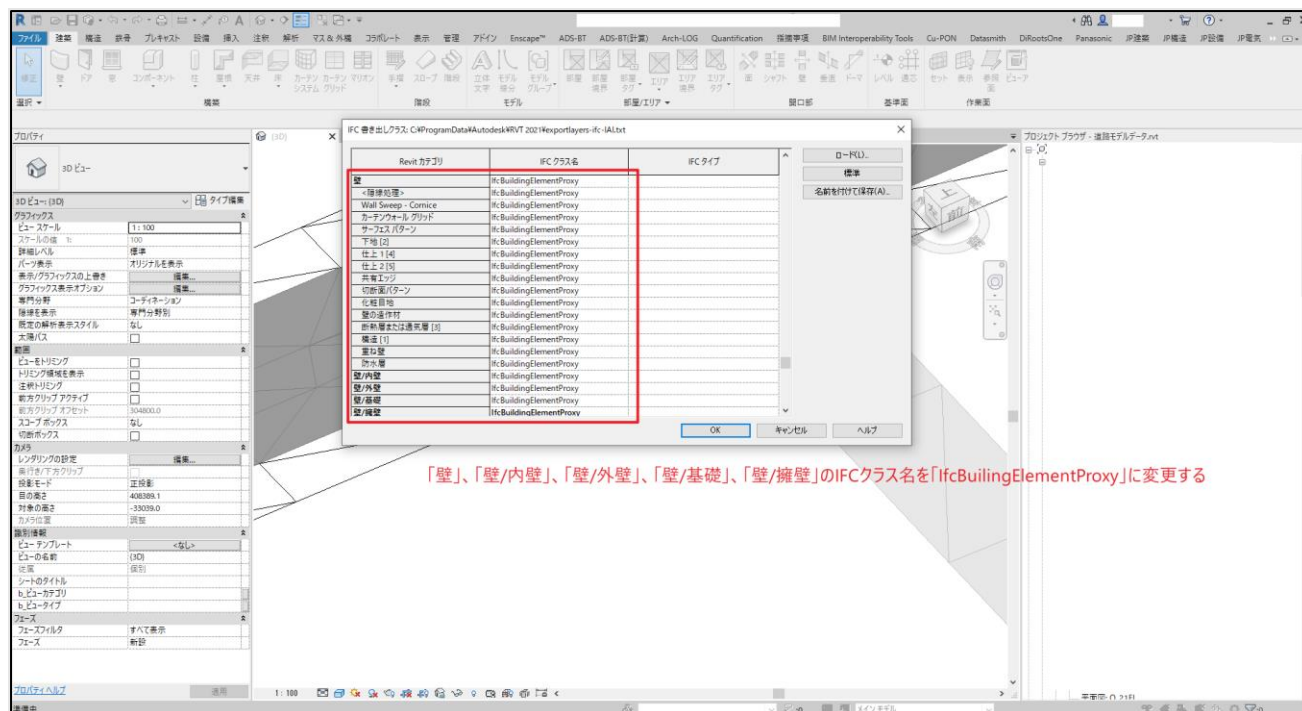


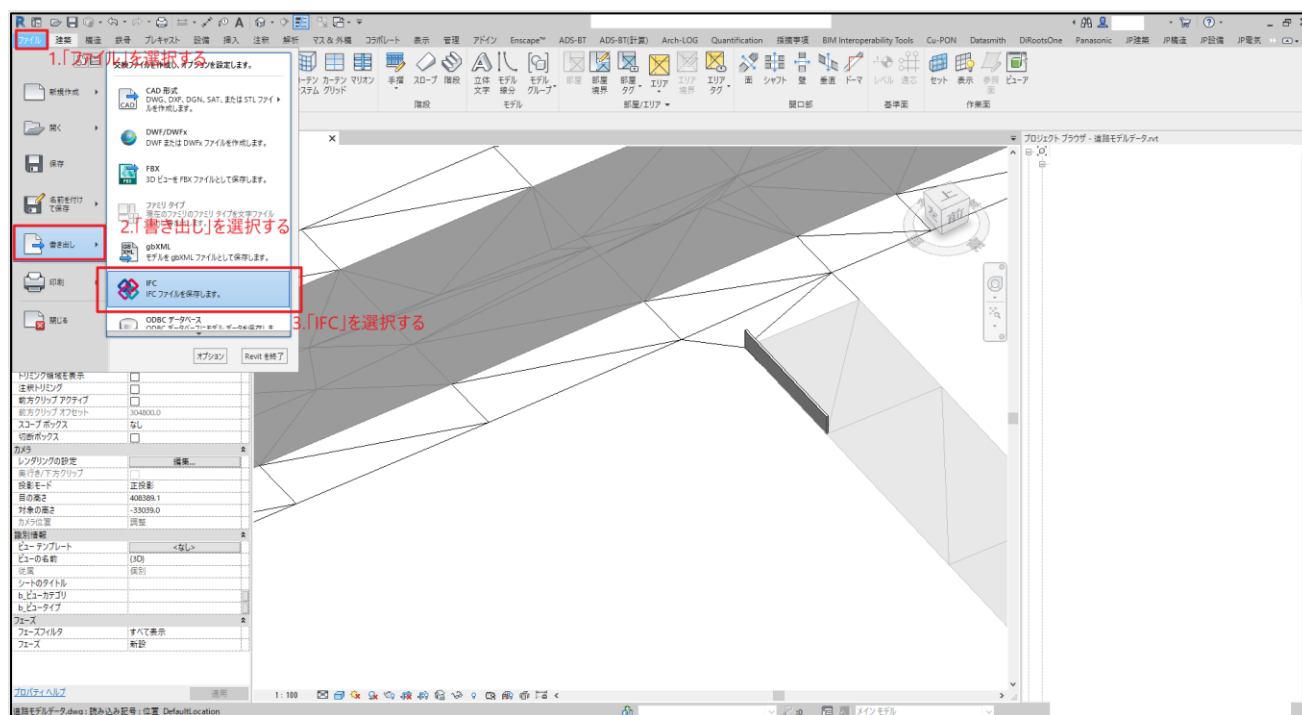
図 4-68 ステップ5

- ステップ6：図のように、壁に関する IFC クラス名を「IfcBuildingElementProxy」に修正する



p>図 4-69 ステップ 6

- ステップ 7：図のように、「書き出し」>「IFC」を選択する



p>図 4-70 ステップ 7

- ステップ 8：図のように、保存場所を選択し、また「IFC2x3 Coordination View2.3」を選択し、「Export」を選択する

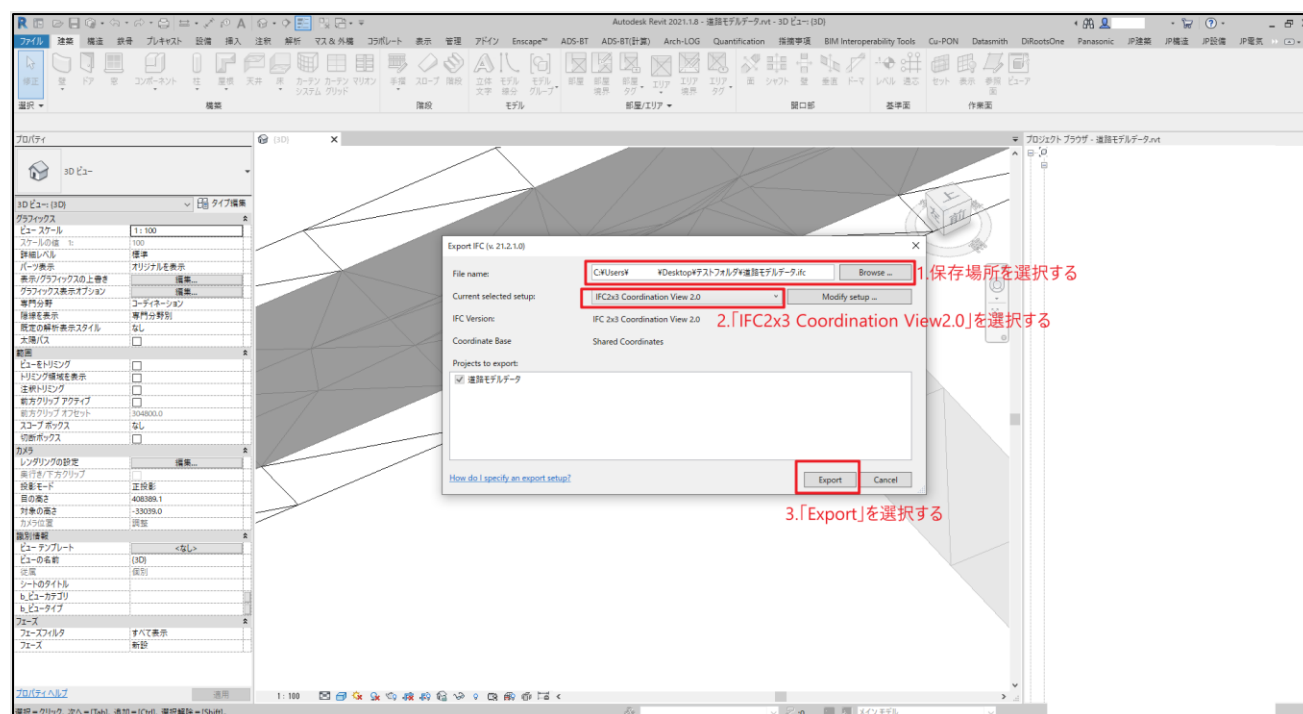


図 4-71 ステップ 8

4-6. ユーザーインターフェース

4-6-1. 画面一覧

1) 人流シミュレーションシステム画面

表 4-26 人流シミュレーションシステム画面一覧

ID	連携 (ID)	画面名	画面説明	関連する機能 (ID)
SC001	SC002	モデル設定ウィジェット	3DTiles の読込のサポートアクターの生成や、移動可能領域の操作内容など、シミュレーションに向けた最適化を実施する。	FN001 FN002 FN003
SC002	SC001	シナリオ設定ウィジェット	- シミュレーションに必要なアクターの生成やキャラクター配置設定、経路定義など、シミュレーションの実行に必要なシナリオ設定を実施する。 - 設定したシナリオの実行準備および起動方法を案内する。 - リプレイファイルの作成方法を案内する。	FN004 FN005 FN006 FN007
SC003	SC001、002	シミュレーション画面	- 設定された情報を用いてシミュレーションを実行し、リプレイ保存する。 - 保存されたリプレイの再現を実施する。	FN008 FN009 FN010

			● Unreal Engine 環境がない場合でも実行できる形式のリプレイファイルの生成を行う上で、どのリプレイを含めるかを選択する。	FN011 FN012
--	--	--	---	----------------

2) 人流シミュレーション分析システム画面

表 4-27 人流シミュレーション分析システム画面一覧

ID	連携 (ID)	画面名	画面説明	画面を表示した機能 (ID)
SC101	SC003	分析画面	● シミュレーション結果の分析チャートを表示する	FN101

4-6-2. 画面遷移図

1) 人流シミュレーションシステム画面

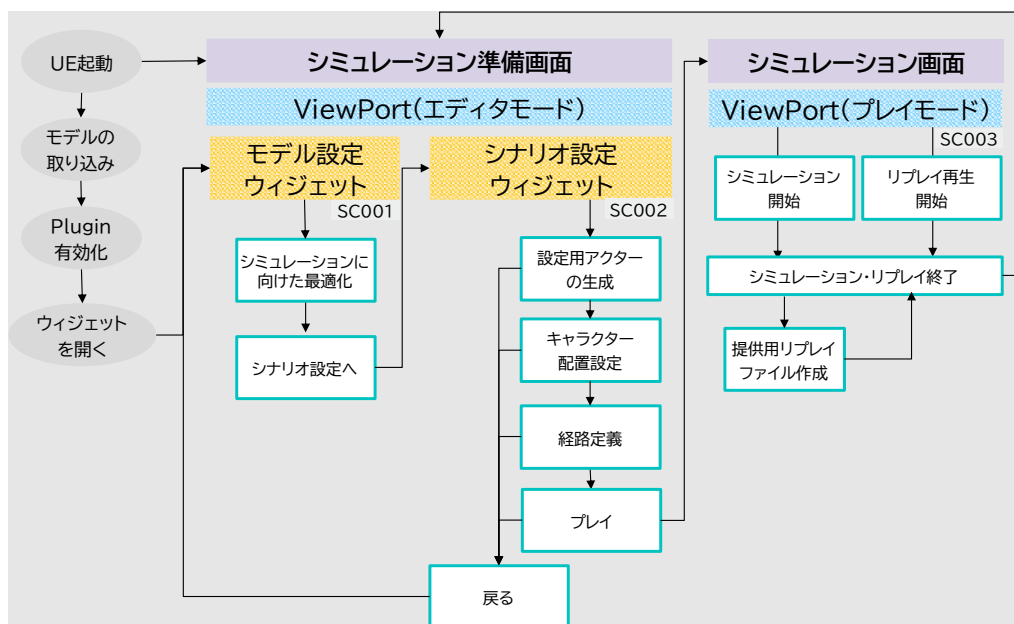


図 4-72 画面遷移図

2) 人流シミュレーション分析システム画面

- 「ログイン→表示」のみ

4-6-3. 各画面仕様詳細

1) 人流シミュレーションシステム画面

シミュレーションの準備は UnrealEngine のエディタモードにて実施する。

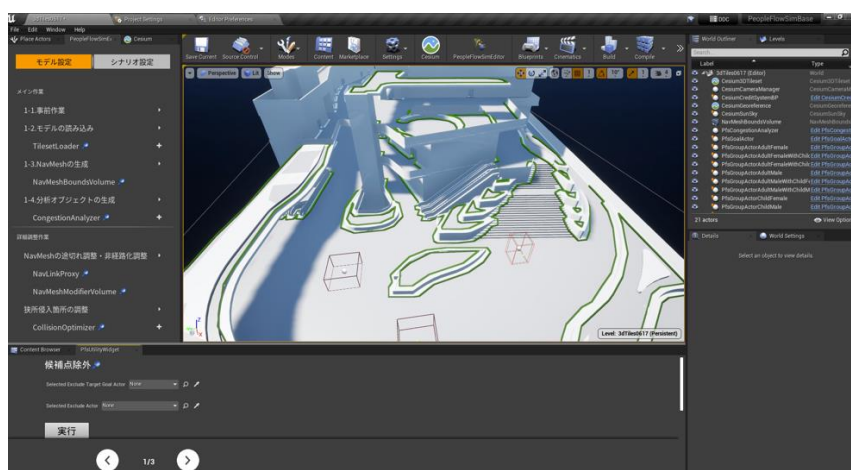


図 4-73 人流シミュレーションシステム画面 全体画面

1. 【SC001】モデル設定ウィジェット

- 画面の目的・概要

- 3DTiles の読み込みのサポートアクターの生成や、移動可能領域の操作内容など、シミュレーションに向けた最適化を実施する
- ウィジェットの左タブが選択されているとモデル設定のメニューを確認できる
- 1-1、1-2 などの各ステップのメニューを選択すると、ヘルプが表示される
- 各ステップを順番に内容を確認し、実行することでモデルの設定が完了できる
- 各ステップ配下のコンテンツについて、詳細説明の確認、および、「+」マークを押下することで簡単に対象のオブジェクトを呼び出すことができる

- 画面イメージ



図 4-74 モデル設定ウィジェット

2. 【SC002】シナリオ設定ウィジェット

- 画面の目的・概要

- シミュレーションに必要なアクターの生成やキャラクター配置設定、経路定義など、シミュレーションの実行に必要なシナリオ設定を実施する

- ウィジェットの右タブが選択されているとモデル設定のメニューを確認できる
- 2-1、2-2 などの各ステップのメニューを選択すると、ヘルプが表示される
- 各ステップを順番に内容を確認し、実行することでモデルの設定が完了できる
- 各ステップ配下のコンテンツについて、詳細説明の確認、および、「+」マークを押下することで簡単に対象のオブジェクトを呼び出すことができる
- 設定したシナリオの実行準備および起動方法を案内する
- リプレイファイルの作成方法を案内する

● 画面イメージ



図 4-75 シナリオ設定ウィジェット

3. 【SC003】 シミュレーション画面

● 画面の目的・概要

- 設定された情報をもとにシミュレーションを実行し、リプレイ保存する
- 保存されたリプレイを再現実施する
- リプレイ中のカメラ操作を行い、混雑箇所の確認等を行う
- Unreal Engine 環境がない場合でも実行できる形式のリプレイファイルの生成を行う上で、どのリプ

レイを含めるかを選択し、星マークをチェックする（リプレイ作成は Unreal Engine エディタにてビルドを実行）

- 画面イメージ

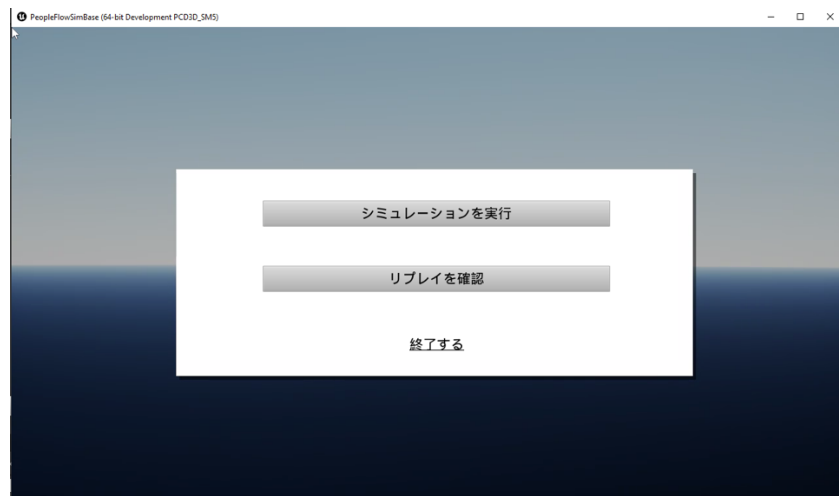


図 4-76 シミュレーション/リプレイ画面・開始メニュー

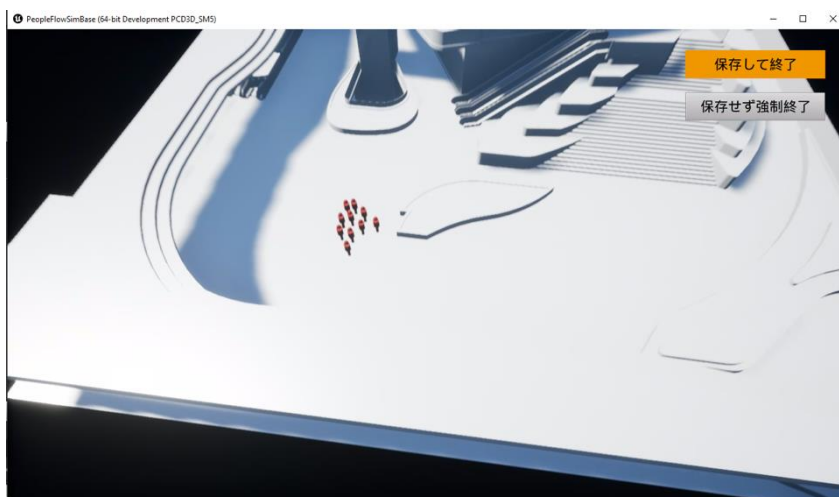


図 4-77 シミュレーション画面・シミュレーション実行

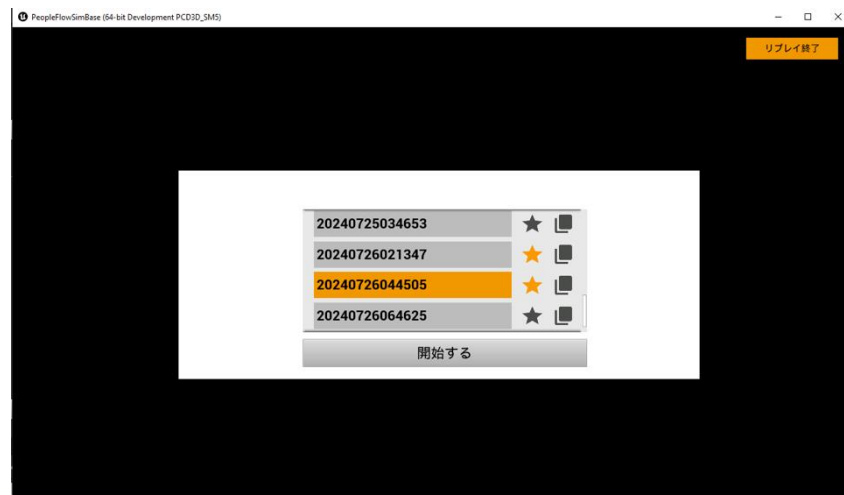


図 4-78 リプレイ画面・リプレー一覧表示

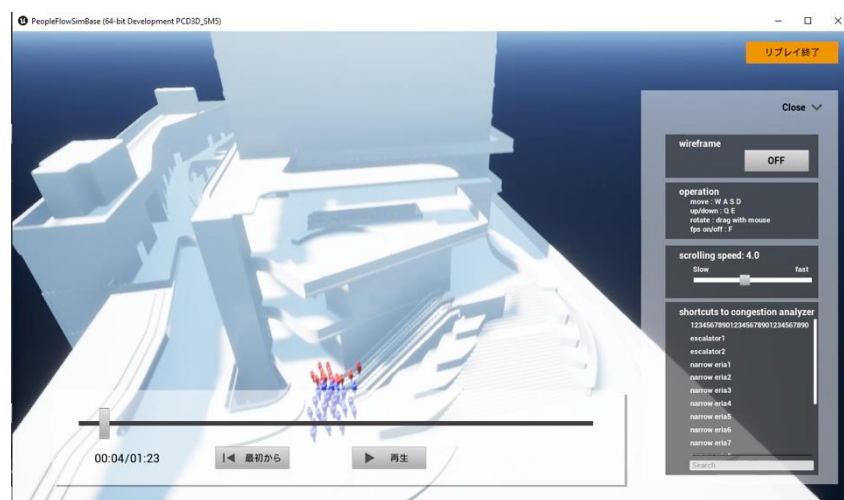


図 4-79 リプレイ画面・リプレイ実行

2) 人流シミュレーション分析システム画面

人流シミュレーションシステムのログを取り込み、分析結果を表示する。

4. 【SC101】分析画面

- 画面の目的・概要
 - シミュレーション結果の分析チャートを表示する
- 画面イメージ

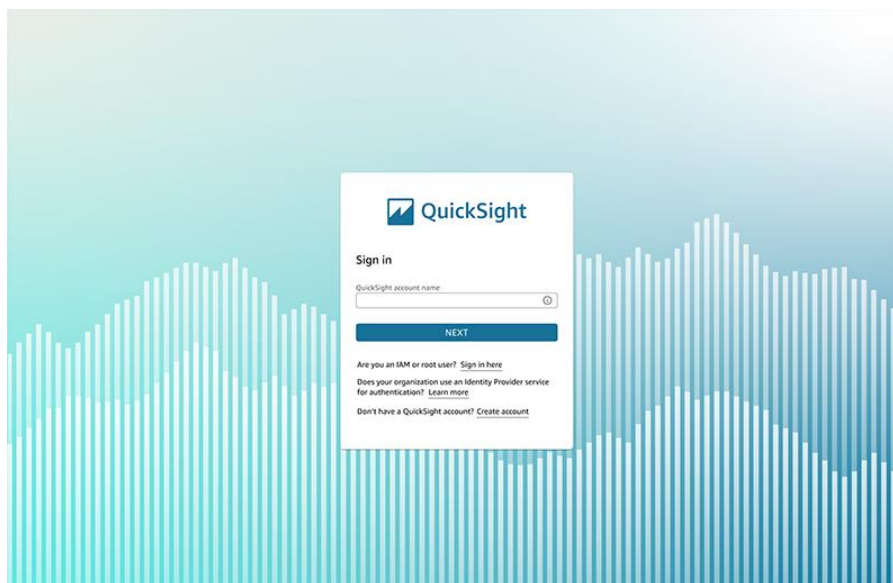


図 4-80 ログイン画面（QuickSight）

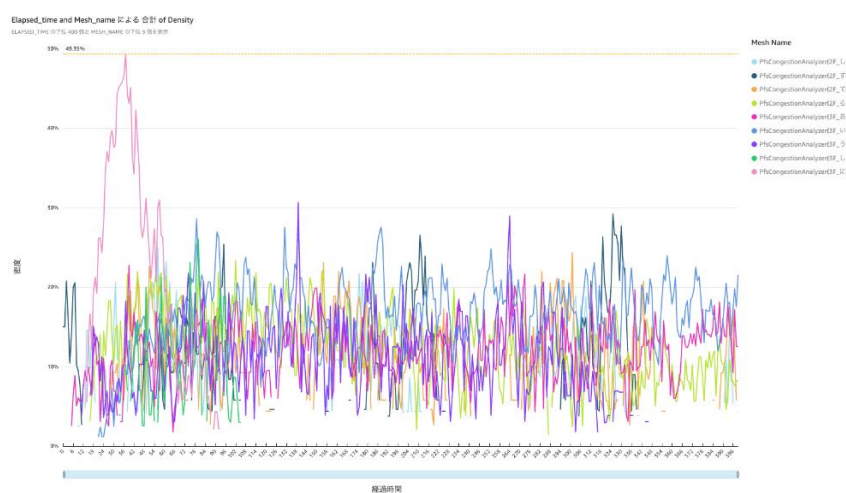
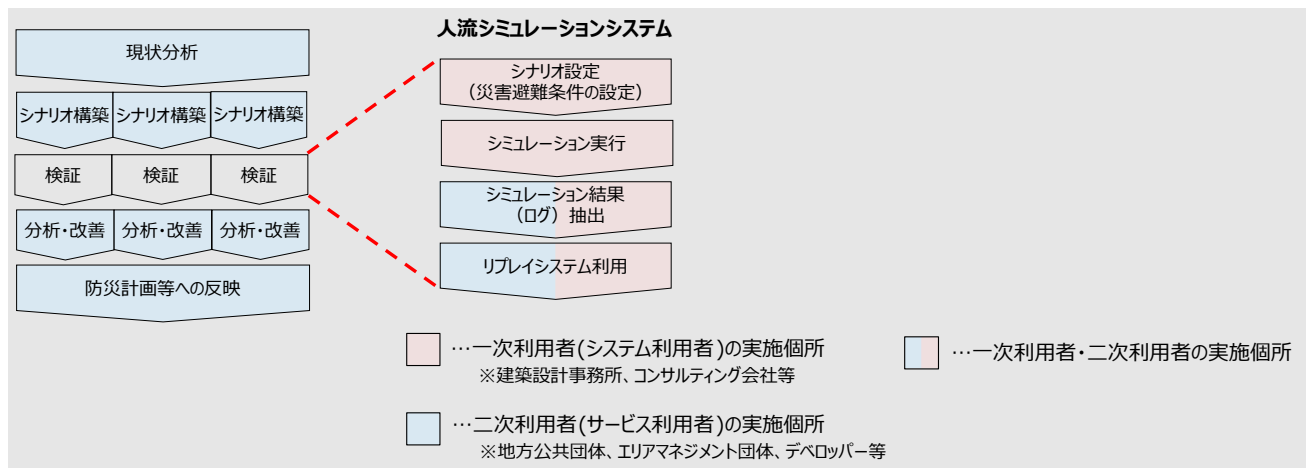


図 4-81 分析画面（QuickSight）

4-7. 実証システムの利用手順

4-7-1. 実証システムの利用フロー



4) 分析結果、リプレイ出力

- 最終的にシミュレーションが完了したら、同ログをシミュレーション分析機能に入れて分析結果を得る。
また、必要に応じて同シミュレーション結果のリプレイを出力する
- 2次利用者において分析結果を受領し、確認する
- 2次利用者においてリプレイアプリを受領し、Windows 環境下で実行する

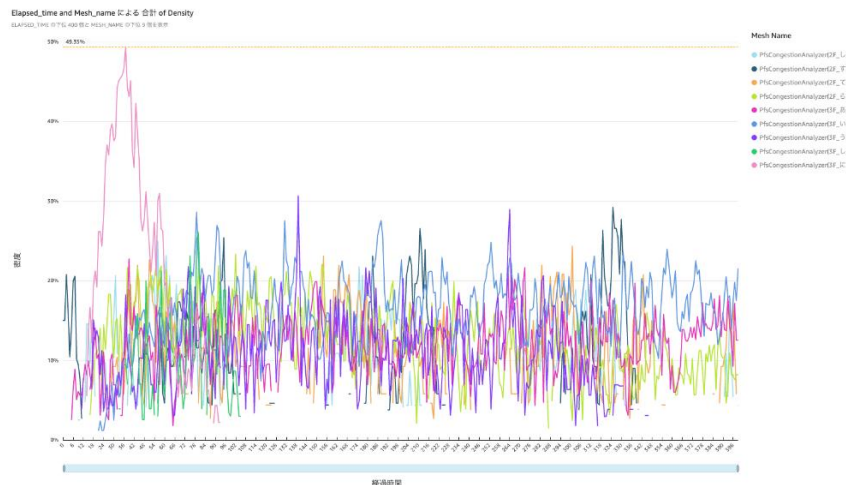


図 4-83 分析画面 (QuickSight)

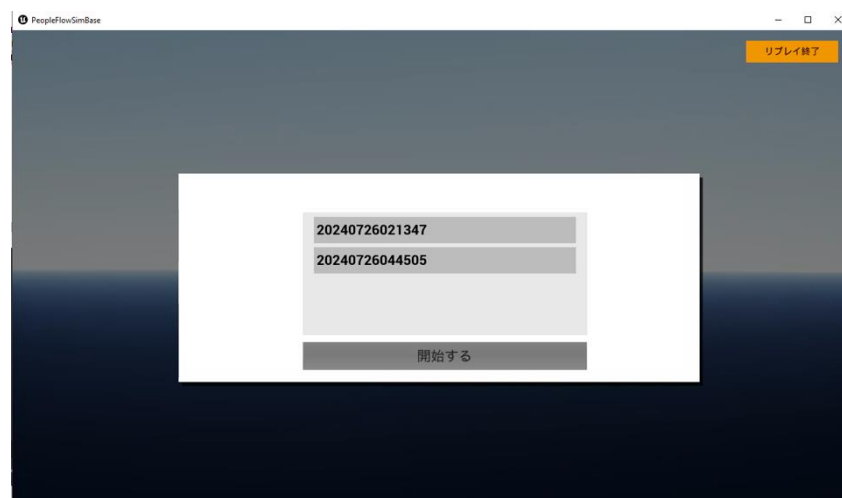


図 4-84 リプレイアプリ・開始メニュー

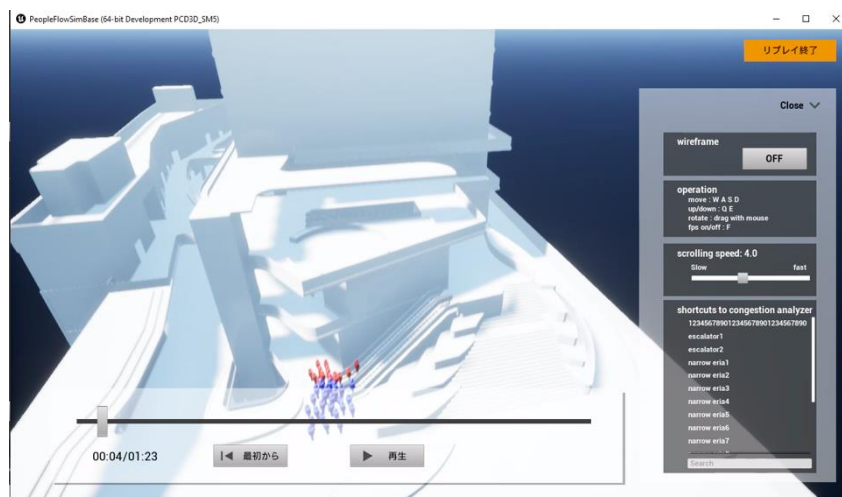


図 4-85 リプレイアプリ・リプレイの実行

5. システムの非機能要件

5-1. 社会実装に向けた非機能要件

表 5-1 人流シミュレーションシステムに対する非機能要件一覧

カテゴリ	ID	項目	詳細
可用性	NR002	安定動作時間	避難シミュレーションの設定からシミュレーション実行が達成できるよう、開発プラグインは 2 時間程度の安定稼働ができること
性能・拡張性	NR005	データの読込速度	各プラグインウィジェットの機能について、読込、表示されるまで 1 分以内に実施完了
	NR006	システムの処理実行速度	重い処理がバックグラウンドで実施されていない環境下において、各種アクター配置、ウィジェット表示切り替えが 5 秒以内に行われる
	NR007	画面描画のフレームレート	- シミュレーション準備画面で対象エリアの中心で 3D モデルを表示したとき、処理落ち等により操作障害とならないこと 1.2 万人規模の避難シミュレーション実行時、フレーム描画速度が 1FPS 未満とならないこと 1.2 万人規模のリプレイ実行時、フレーム描画速度が 3fps 未満とならないこと
運用・保守性	NR008	セキュリティ	インターネット経由でのデータ送受信が暗号化されていること

なお、人流シミュレーション分析システムについては、AWS 上の機能で実現し、AWS の SLA に依存するため非機能要件は定義しない。

1) 【NR002】システムの安定動作時間

- 本非機能要件を適用するシステム
 - 人流シミュレーションシステム
- 目標値
 - 2 時間
- 設定理由
 - 避難シミュレーションの設定からシミュレーション実行が達成できるよう、開発プラグインは 2 時間程度の安定稼働ができること
- 評価方法
 - HW001 端末上でプラグインモジュールの起動から測定開始し、作業中にシステムダウンやフリーズ

が発生しないことを確認する

- 上記作業を 10 回行い、9 回以上達成すること

2) 【NR005】データの読込速度

- 本非機能要件を適用するシステム

- プラグインウィジェット

- 目標値

- 1 分

- 設定理由

- 人流シミュレーションの設定において操作不都合がないよう、編集操作中の各読込は 1 分以内に行われること

- 評価方法

- HW001 端末上でプラグインモジュールの起動から測定開始し、各種操作に対する表示が 1 分以内かを確認する
- 上記作業を 10 回行い、9 回以上達成すること

3) 【NR006】システムの処理実行速度

- 本非機能要件を適用するシステム

- プラグインウィジェット

- 目標値

- 5 秒

- 設定理由

- 避難シミュレーションの設定において操作不都合がないよう、表示の切り替えは 5 秒以内に行われること

- 評価方法

- HW001 端末上でプラグインモジュールの起動から測定開始し、各種操作に対する表示が 5 秒以内かを確認する
- 上記作業を 10 回行い、9 回以上達成すること

4) 【NR007】画面描画のフレームレート

- 本非機能要件を適用するシステム

- 人流シミュレーションシステム

- 目標値

- シミュレーション準備画面で対象エリアの中心において 3D モデルを表示したとき、処理落ち等により操作障害とならないこと
- 1.2 万人規模の避難シミュレーション実行時、フレーム描画速度が 1fps 未満とならないこと
- 1.2 万人規模のリプレイ実行時、フレーム描画速度が 3fps 未満とならないこと

- 設定理由

- シミュレーション準備画面（エディタ画面）上でユーザーが設定するに当たり、操作の阻害無く許容できるフレームレートに収める必要がある
- 避難シミュレーション実行時にユーザーが確認するに当たり、処理が停止したと感じないために動きを続けられている必要がある
- リプレイ確認時にユーザーがカメラを操作・移動するに当たり、処理が止まったように感じないフレームレートに収める必要がある

- 評価方法

- シミュレーション準備画面においてシナリオ設定する中で、処理落ちによるフリーズ等操作困難な状態の発生が 10 回中 1 回以下であることを確認する
- Unreal Engine 設定で FPS 表示を ON にして、各作業を実施する
- 10 分程度動かした後、FPS の変化履歴を確認し、最低値を取得
- 最低値が基準を下回っていないことを、数回確認する

5) 【NR008】セキュリティ

- 本非機能要件を適用するシステム

- 人流シミュレーションシステム

- 目標値

- インターネット経由でのデータ送受信は暗号化する（平文によるデータ送受信が行われていない）

- 設定理由

- 本システムで取り扱うデータは個人情報等の高リスクのものは含まれていない
- ただし、シミュレーションの実行ログを AWS 分析環境にアップロード連携することで利便性が向上する。その際の AWS 環境との通信確立のためにユーザーのアクセスキーをプラグインに設定するので、通信の際に暗号化によるアクセスキーの保護が必要となる

- 評価方法

- ハードウェア上の通信ログを取得し、暗号化されているかを確認する

6. 品質

6-1. 機能要件の品質担保

表 6-1 機能要件の品質担保方針

対象プロセス/ サブシステム	品質評価項目	目標値	期間の単位	アクティビティ
UI ガイドライン準 拠の開発	UI/UX	● ガイドライン（ア クセシビリティ 基準）に準拠して 開発	2024/5～9	● デジタル庁 の示す UI ガ イドライン （ https://d esign.digital .go.jp/ ）の参 照、準拠した 開発
人流シミュレーショ ンシステム	UI/UX	● ユーザーヒアリ ング（満足度）	2024/7～11	● 1 次利用者想 定の方への ユーザーヒ アリングを 実施

6-2. 非機能要件の品質担保

表 6-2 非機能要件の品質担保方針

対象項目	品質評価項目	目標値	期間の単位	アクティビティ
人流シミュレーショ ンシステム	処理性能	2022 年度の「防災エ リアマネジメント」で 開発した人流シミュ レーションシステム からのデグレードが 無いこと	2024/7～11	シミュレーション実施 中の処理能力（FPS 等） 測定

7. 実証技術の非機能要件の検証

7-1. 検証目的

- 実証実験を実施するために必要な時間、安定してシステムが稼働することを検証する
- 実証実験を安全に実施するために必要なセキュリティが担保されることを検証する
- ユーザーが使いやすいシステムであることを検証する

7-2. KPI

表 7-1 非機能要件の一覧

カテゴリ	ID	項目	詳細
可用性	NR002	安定動作時間	● 避難シミュレーションの設定からシミュレーション実行が達成できるよう、開発プラグインは2時間程度の安定稼働ができること
性能・拡張性	NR005	データの読込速度	● 各プラグインウィジェットの機能について、読み込み、表示されるまで1分以内に実施完了できること
	NR006	システムの処理実行速度	● 重い処理がバックグラウンドで実施されていない環境下で、各種アクター配置、ウィジェット表示切り替えが5秒以内に行われること
	NR007	画面描画のフレームレート	● シミュレーション準備画面で対象エリアの中心で3Dモデルを表示したとき、処理落ち等により操作障害とならないこと ● 1.2万人規模の避難シミュレーション実行時、フレーム描画速度が1fps未満とならないこと ● 1.2万人規模のリプレイ実行時、フレーム描画速度が3fps未満とならないこと
運用・保守性	NR008	セキュリティ	● インターネット経由でのデータ送受信が暗号化されていること

表 7-2 非機能要件の検証方法

対象項目	品質評価項目	目標値	期間の単位	アクティビティ
可用性	安定動作時間	2時間	2024/10～11	A) 作業中にシステムダウンやフリーズが発生しないことを確認

性能・拡張性	データの読込速度	1 分	2024/10～11	B) データ読込処理実施時から処理完了までの時間を計測
性能・拡張性	システムの処理実行速度	5 秒	2024/10～11	C) プラグイン上の画面切替え操作実施時から処理完了までの時間を計測
性能・拡張性	画面描画のフレームレート・シミュレーション準備画面	処理落ちで操作不能としない	2024/10～11	D) シミュレーション準備画面上で 3D モデルを含む対象エリアの表示・移動時に処理落ちによる操作不可状態が発生しないかを確認
性能・拡張性	画面描画のフレームレート・シミュレーション実行画面	1fps	2024/10～11	E) シミュレーション実行中、フレーム描画速度（fps）が下回っていないかを確認
性能・拡張性	画面描画のフレームレート・リプレイ実行画面	3fps	2024/10～11	F) リプレイ実行中、フレーム描画速度（fps）が下回っていないかを確認
運用・保守性	セキュリティ	平文データの送受信なし	2024/10～11	G) ハードウェア上の通信ログを取得し、暗号化されているかを確認

7-2-1. 検証方法と検証シナリオ

A) 開発者による性能試験

以下の開発環境（スペック A とする）において複数回測定し、目標値の達成回数を測定、評価する。

- g4dn.4xlarge
 - vCPU : Intel® Cascade Lake 16core
 - メモリ : 64GB
 - GPU : NVIDIA® T4

B) ローカル環境における追試験

以下の検証環境（スペック B とする）において同項目の評価をする。ただし、大規模シミュレーションを行うスペックではないため、異常な挙動がないかの確認のみとする。

- CPU : AMD Ryzen9™ 5950X 16Core Processor 3.40GHz
- メモリ : 128GB
- GPU : NVIDIA® GeForce RTX™ 3080

7-2-2. 検証結果

A の試験により、実証実験を実施するに当たり、人流シミュレーションシステムの実行目標を達成できた。B の試験では、ローカル PC にインストールされた Unreal Engine 上でも人流シミュレーションシステムの稼働が確認できた。

表 7-3 検証結果サマリー (A)

黄セル：KPI 達成

青セル：KPI 未達

検証内容	評価指標・KPI	目標値	結果	示唆
可用性	安定動作時間	2 時間	2 時間以上	● 安定して目標値を超える時間稼働した
性能・拡張性	データの読込速度	1 分	~10 秒	● 十分高速にデータを読み込むことができた
性能・拡張性	システムの処理実行速度	5 秒	1 秒以内	● 十分高速にデータを読み込むことができた
性能・拡張性	画面描画のフレームレート・シミュレーション準備画面	処理落ちで操作不可とならない	処理落ち発生無し	● 大量のモデル読込後でもエディタ操作によるシナリオ設定が可能であることが確認できた
性能・拡張性	画面描画のフレームレート・シミュレーション実行画面	1fps	1.10~1.25fps	● 処理負荷が高くなったときも 1fps を下回ることが無かった ● 大規模な避難シミュレーションに対しても操作に問題がないことが確認できた
性能・拡張性	画面描画のフレームレート・リプレイ実行画面	3fps	7~10fps	● 大規模な避難シミュレーションのリプレイに対しても操作に問題がないことが確認できた
運用・保守性	セキュリティ	平文データの送受信なし	○	● 平文データの送受信がないことを確認できた

安定動作時間に関しては、性能試験での2時間連続使用のほか、今回のシミュレーションの出力に向けての使用でも特に支障なく利用できたことから問題はないと考える。データの読込速度について、今回利用した中で最もファイルサイズが大きい大井町3Dモデルの読込でも10秒以内に表示された。その他、ウィジェット切替えやアクターの追加等のシステム処理関連も即時に実行されている。

各画面の描画速度について、エディタ画面においては測定機能が無いためfpsでの測定は行っていないが、移動、拡大縮小、回転それぞれの操作への追従と描画は問題なく行われており、シナリオ設定に支障をきたすような処理落ち、フリーズ等の事象は見られなかった。シミュレーション画面では、今回の大井町3Dモデル上で最大1.2万人の人流を取り扱って測定した。同処理は各キャラクターで次の移動の計算を行うため非常に重い処理となるがそれでも1fpsを切ることはなく、1.10~1.25fpsでシミュレーションの完遂を確認した。リプレイ画面については、描画中の人流数で多少変化するものの、7~10fpsで再生することができた。



図 7-1 画面描画のフレームレート・シミュレーション実行画面

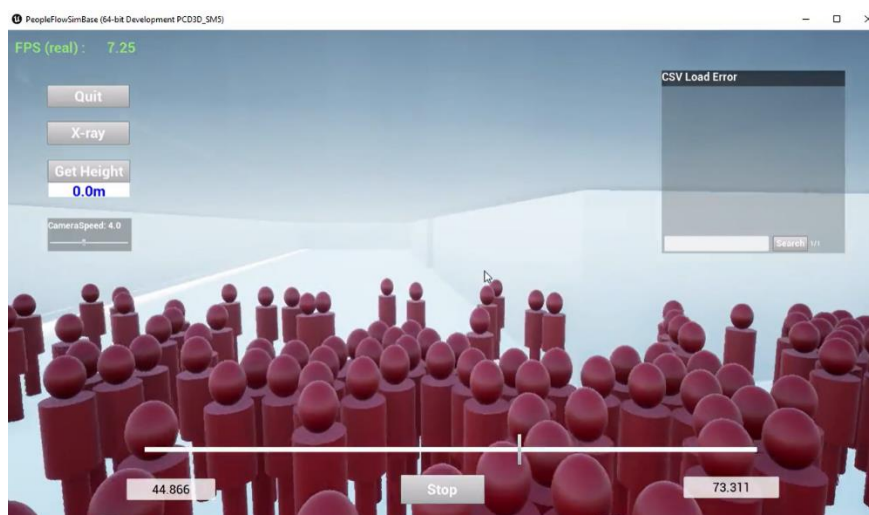


図 7-2 画面描画のフレームレート・リプレイ画面

セキュリティについては、平文での情報送信がされていないかを確認した。本プロダクトで行っている情報送

信は、Amazon QuickSight 上でのデータ可視化を目的とするログデータ送信のみである。同情報送信は AWS SDK を用いているが、TLS1.2 以上の暗号化通信が必須となっており平文での情報送信は行われない (https://docs.aws.amazon.com/ja_jp/sdk-for-cpp/v1/developer-guide/data-protection.html)。また、本プロダクトを動かしている PC からの他の通信状況を確認すべく、Wireshark (<https://www.wireshark.org/>) を用いて通信解析したところ、上記 TLS 及び一般的なプロトコルである NTP、ARP、DNS 以外の通信規格は見つからず、不審な情報送信が行われていないことが確認できた。

以上はクラウド上に建てた開発環境において測定、検証を行ったが、追加で B の試験（ローカル PC 環境）でも問題なく動作するかを確認した。B 環境は A 環境と比べて、想定に満たないスペックであるため大規模環境でのフレームレートの測定については省略するが、大井町 3D モデルの部分モデル、小規模人流において問題なくシナリオ設定、シミュレーションの実行及びリプレイ再生が確認できた。これにより、プラグインでも問題なく動作することが確認できた。

8. シミュレーションロジックの有用性検証

8-1. 検証目的

- 本プロジェクトで用いたシミュレーションロジックの有用性について検証する

8-2. 検証方法

- シミュレーションロジックの確認のため、実際に大井町エリアでシナリオを複数作り、シミュレーションを行った上で、その結果を確認することでロジックの妥当性を確認する

検証においては、作成したシナリオに対して以下の4ステップのサイクルを回すことによってシミュレーションを実行し、その有用性を検証する。

表 8-1 シミュレーション実行の手順

No	ステップ	想定する実施者
1	シミュレーションシナリオ作成	2次利用者 (行政・デベロッパー・エリマネ団体等)
2	シミュレーション設定	1次利用者 (設計事務所・コンサル等)
3	シミュレーション実行	1次利用者 (設計事務所・コンサル等)
4	シミュレーション結果分析・考察・活用	2次利用者 (行政・デベロッパー・エリマネ団体等)

8-2-1. 複数シミュレーションシナリオの作成条件

以下3つのシミュレーションシナリオを作成し、実際の避難誘導に最適なシナリオを構築する。

表 8-2 シナリオ作成条件

No	シナリオ名称	シナリオ内容	目的
1	課題の把握	避難者が発生する地点（スタート地点）から最も近い避難所に逃げ込むシナリオ	全く誘導を行わなかった場合の滞留箇所の把握などの課題抽出
2	対策の効果検証	シナリオ1で発生した滞留上の課題への対策を講じたシナリオ	滞留上の課題への対策のために一部避難者を誘導する設定をした際の効果検証、及び誘導した場合に発生する新たな課題の抽出
3	運用面の反映	シナリオ2で新たに発生した誘導	シナリオ2における誘導で新たに発生した課題

		上の課題への対策を講じたシナリオ	への対策とその効果検証による、より現実に近い誘導の確認
--	--	------------------	-----------------------------

	シナリオ 1 課題の把握	シナリオ 2 対策の効果検証	シナリオ 3 運用面の反映
結果概要	- 避難場所の混雑度に偏り - 狭い通路で混雑度高	- 避難場所の混雑度が平準化 - 狭い通路での混雑度低下 交錯による混雑発生	- 交錯による混雑の軽減 - 誘導方法の具体化
イメージ			

凡例： ● 避難者発生箇所 広場（避難場所）

図 8-1 複数シナリオの位置づけ

8-2-2. シミュレーションシナリオの前提条件

3つのシミュレーションシナリオは、以下の前提条件のもとに作成し検証を行った。

今回のシミュレーションでは、2026年にOIMACHI TRACKSが新たに開業予定であることから、大規模な震災の発生時における当該地と周辺街区の人流影響を検証することとした。そこで、2016年に策定された「大井町駅周辺地域エリア防災計画」を参照の上、首都直下地震（M7.3 最大震度7）発生時における大井町駅周辺の滞留者状況を分析したところ、避難者が大井町駅や周辺街区からOIMACHI TRACKS内に流入する蓋然性が高いことが判明した。また、OIMACHI TRACKS内に整備される一部広場は広域避難場所として開放する予定である。広域避難場所とは「震災時に発生する延焼火災から身の安全を確保するために、一時的に避難する場所」であることから、震災起因の火災を逃れて広域避難場所に避難する状況についても検証することとした。そのため、「首都直下地震発生直後における開発敷地内外から開発敷地内の広場及び品川区庁舎への一時避難（フェーズ1）」と「地震に伴う開発敷地外での火災発生時における開発敷地外から開発敷地内の広場及び品川区庁舎への一時避難（フェーズ2）」について、一連の流れでシミュレーション実施することとした。

避難者数の推計の考え方は次のとおりである。フェーズ1では、「大井町駅周辺地域エリア防災計画」における滞留者数の算定方法に準拠した上で、最新の統計等のデータをもとに数値を更新した。ただし、OIMACHI TRACKS 内の滞留者（街区内滞留者）については、開業前で実績値がないため、想定 of 来街者数などから推計した。なお、街区内滞留者の算定では、東京都帰宅困難者対策ハンドブックの考帰宅困難者対策ハンドブックの考え方に準拠し、震災時に施設内に待機する前提となっているオフィス・ホテル住宅の利用者は除外している。フェーズ2では、「大井町駅周辺地域エリア防災計画」に震災起因の火災による避難者数が算定されていないため、東京都が公表している「首都直下地震等による東京の被害想定」に基づき、OIMACHI TRACKS が含まれる広域避難場所の地区割当内からの避難者と、広域避難場所への遠さ等の要因から地区割当を越境して避難することが想定される避難者の数をそれぞれ推計した。

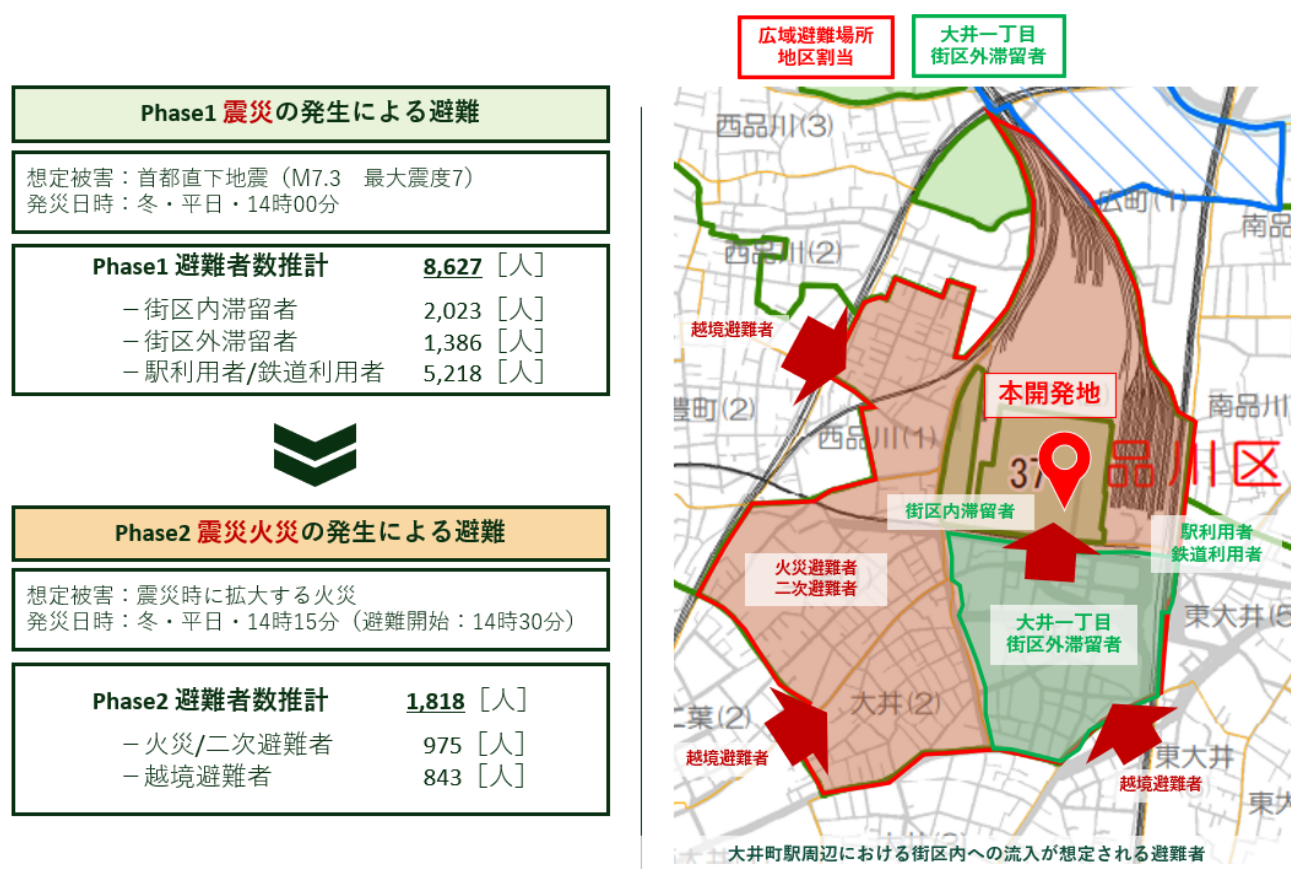


図 8-2 シミュレーションシナリオの流れと各避難者種別の想定人数

また、シミュレーションの対象範囲は OIMACHI TRACKS に加え、大井町駅や品川区庁舎等を含む周辺街区とし、OIMACHI TRACKS 内の 4 つの広場（広場 1、広場 2（ともに 3 階）、中央広場（2 階）、広場 3（地上レベル））と品川区庁舎前の空地を避難場所として設定し、周辺街区を中心に順次避難者を発生させることとした。



図 8-3 シミュレーション範囲と避難のイメージ

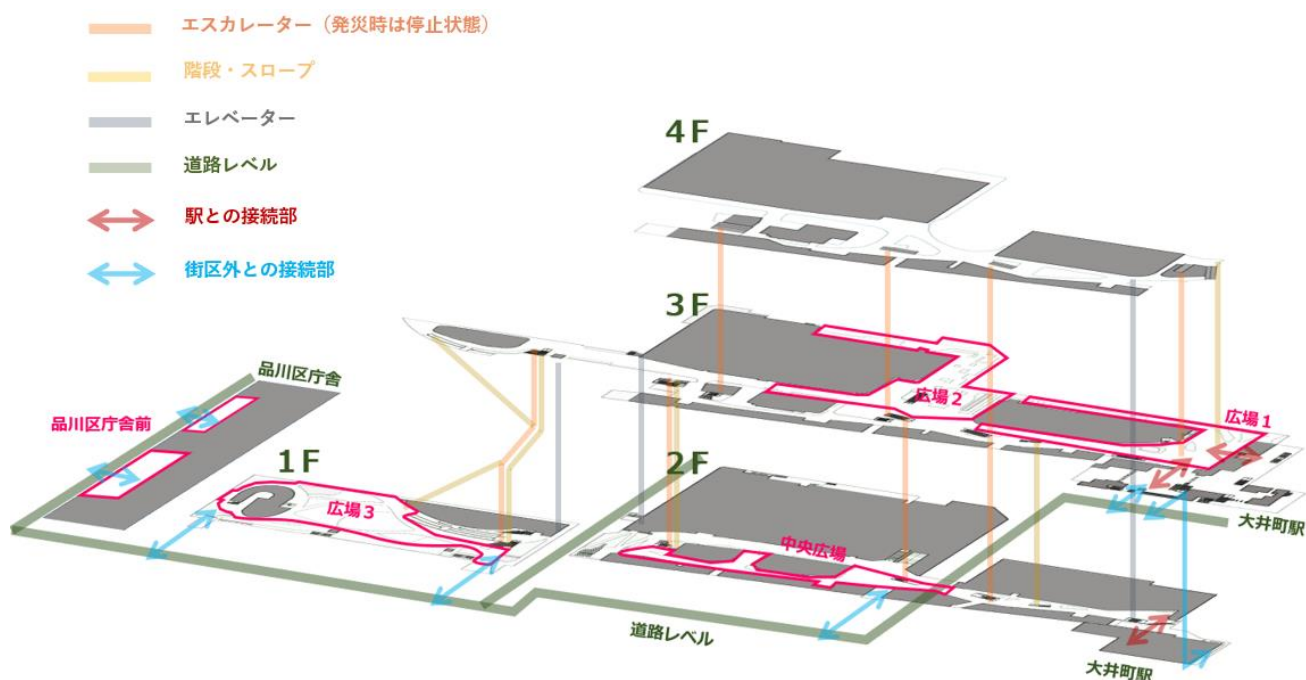


図 8-4 OIMACHI TRACKS 内の広場の位置関係のイメージ

なお、本システムでは、あらかじめキャラクター（今回のシミュレーションでは、このキャラクターが「避難者」にあたる）ごとに、サイズ、歩行速度、スタート地点、中継地点、ゴール地点を設定する。今回は、男性・女性の区別の他、高齢者・成人・子どもの掛け合わせにより計6属性を設定した。キャラクターは、次の2つ

の基本動作に則って、シミュレーション空間上を移動する。

- ・ 通路や階段等の移動可能領域内で、スタート地点、中継地点、ゴール地点を結んだ最短経路を移動する
- ・ ほかのキャラクターとの衝突を回避するように移動する

また、キャラクターがシミュレーション空間上に発生する時刻も任意に設定することができ、キャラクターごとに避難の開始時間がコントロールできる。シナリオ作成においては、これらのシステム上の特性や設定項目を考慮に入れた上で実施した。

シミュレーションにおける避難者の行動ルール

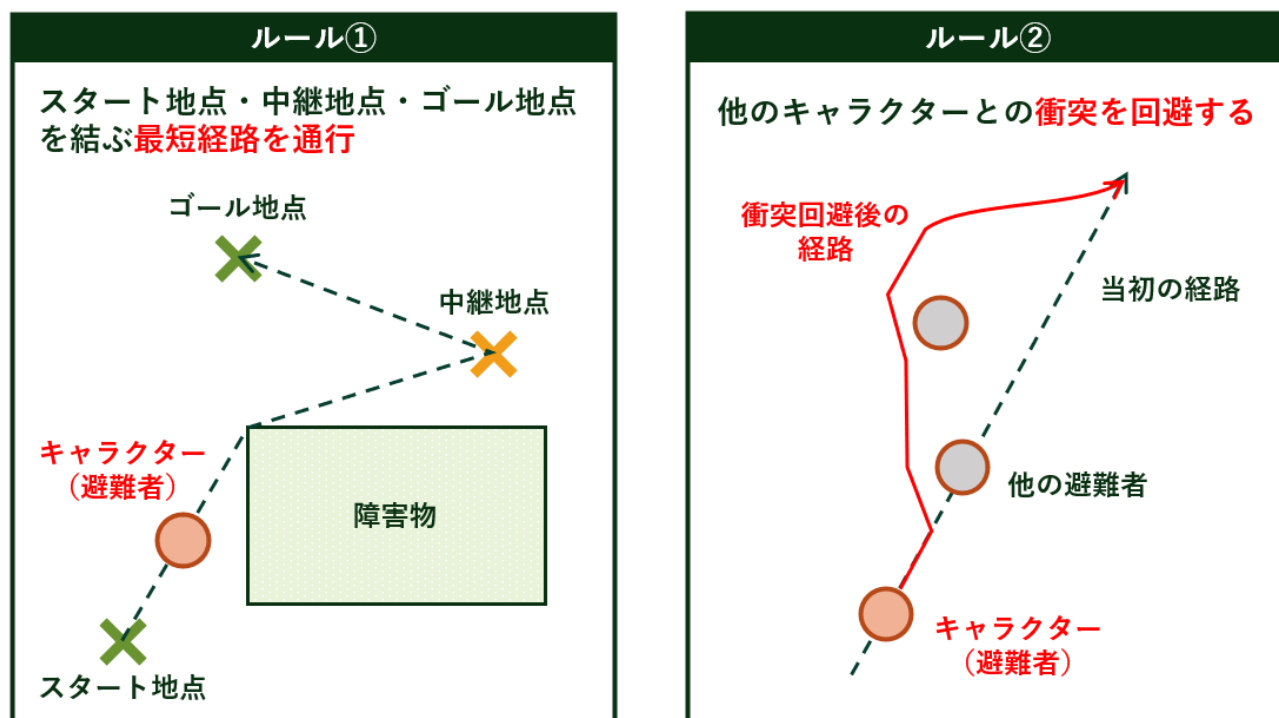


図 8-5 シミュレーションにおける避難者の行動ルール

8-3. 検証結果

検証の結果、複数のシナリオを構築しシミュレーションを実行することで、実際に想定される人の滞留や誘導上の課題を把握した上で対策を検討・効果検証ことができ、有用な避難シナリオを構築できることが分かった。シナリオ1では避難所の混雑度の偏りや、狭い通路で混雑が発生するといった課題が把握できた。それらを解消したシナリオ2では、誘導することによって、新たに人流の交錯によって混雑が発生するという課題が生じた。最後にシナリオ3で交錯による混雑を解消し、誘導方法の具体化等の運用面への反映に繋げた。

混雑度の上限として、「[帰宅行動シミュレーション結果について](#)」（内閣府）にて目安とされた、他の歩行者との強制的な接触や摩擦が生じる日常で敬遠される心理的閾値である3.6人/㎡を設定した。この閾値を超える、もしくは近い値に迫る地点を特定し対策を講じた。

表 8-3 各シナリオにおける課題・対策・効果

発生した課題		課題への対策・効果	
シナリオ名称	内容	シナリオ名称	内容
シナリオ1 「課題の把握」	● 避難所の混雑度に偏りが発生	シナリオ2 「対策の効果検証」	● 混雑度が低い避難所に人流を誘導することで、混雑度の偏りを解消
	● 狭い通路での混雑が発生		● 一部避難者を別ルートへ誘導することで、特定の箇所における混雑を解消
シナリオ2 「対策の効果検証」	● 人流を誘導したことにより、階段やスロープ等の分岐点で人が交錯し、混雑が発生	シナリオ3 「運用面の反映」	● 一部階段等のルートを封鎖し導線を一本化することで、交錯が発生しない誘導を行い、混雑を解消

● シナリオ1における課題、シナリオ2での対策・効果

課題①：避難所の混雑度に偏りが発生

シナリオ1においては、複数ある避難所の内、「広場1」「中央広場」へ避難者が多く流入し、大規模な混雑が発生した。これらの広場は大井町駅舎から最も近い場所に位置するため、一切の誘導を行わない場合、避難者は最寄りの避難所に逃げ込み、混雑度の偏りが発生する。具体的には、「広場3」の混雑度は0.35人/㎡と低い値となったことに対して、「広場1」の混雑度は3.72人/㎡と閾値（3.6人/㎡）を超える値となり、避難所から人が溢れ出る状態がシミュレーションで再現された。

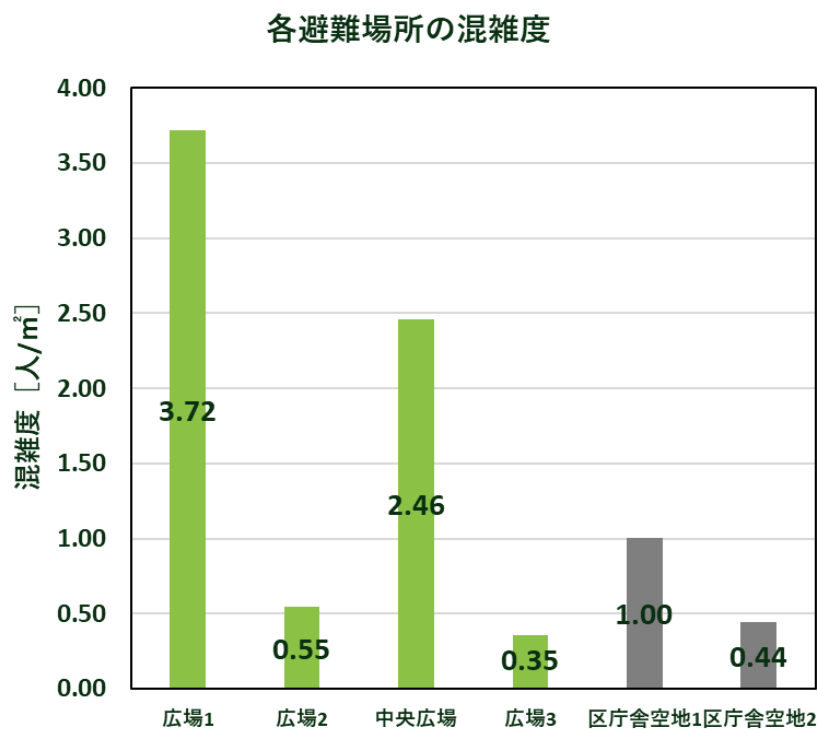


図 8-6 シナリオ 1 における課題①の状況

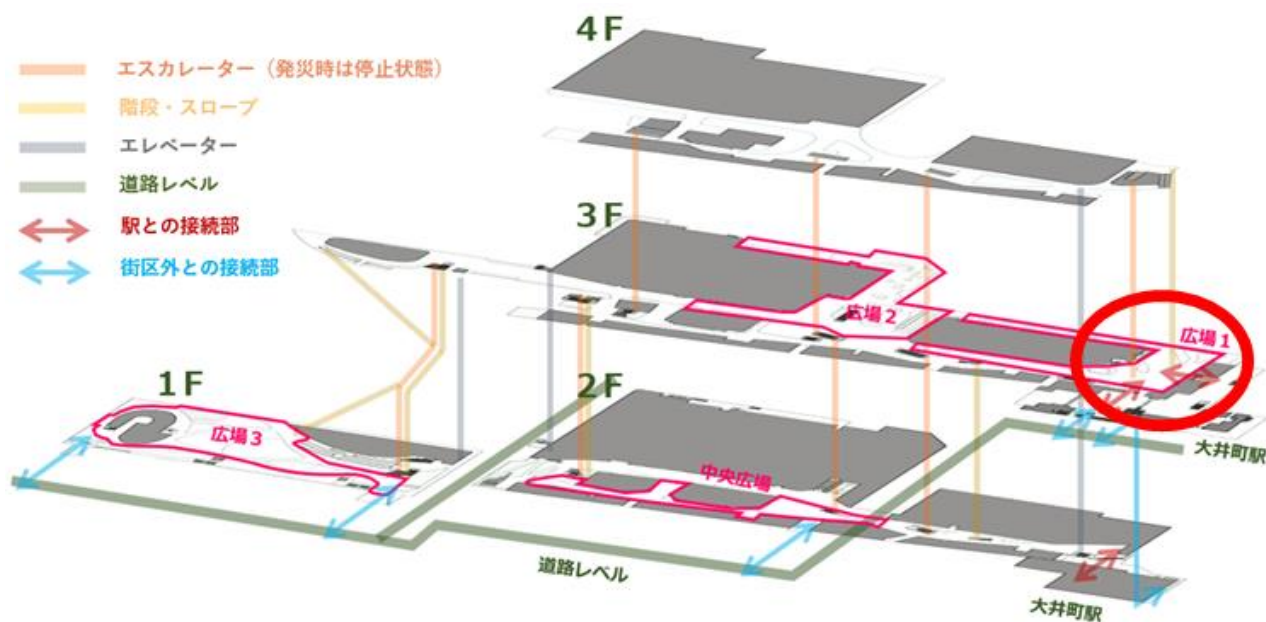


図 8-7 課題①の発生箇所

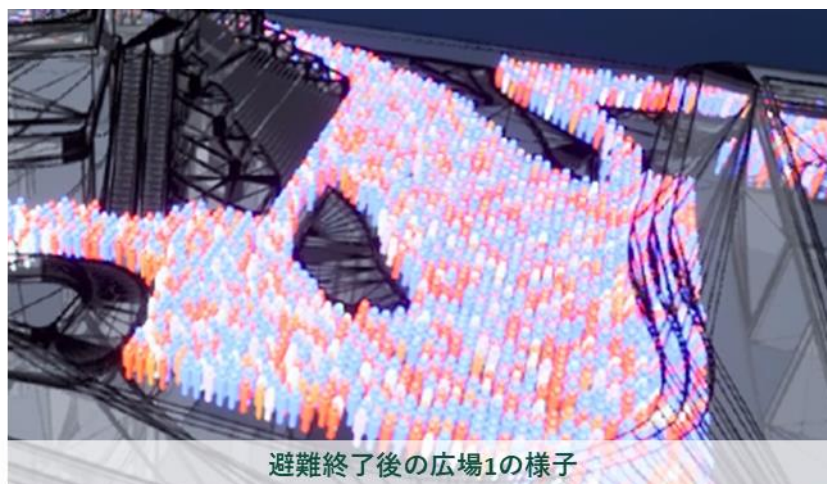


図 8-8 課題①のシミュレーション画面

これに対して、シナリオ 2 においては、以下の対策を講じることで、混雑度の偏りを解消した。

- ・発災時の街区内滞留者は最寄りの広場ではなく、広場 3 に誘導する
- ・大井町駅から広場 1 に向かう避難者の一部を、隣接する広場 2 に誘導する

これらの対策によって、広場 1 の混雑度は 3.72 人/㎡から 1.41 人/㎡まで低下した。加えて、その他の広場についても、概ね同程度の混雑度になった。

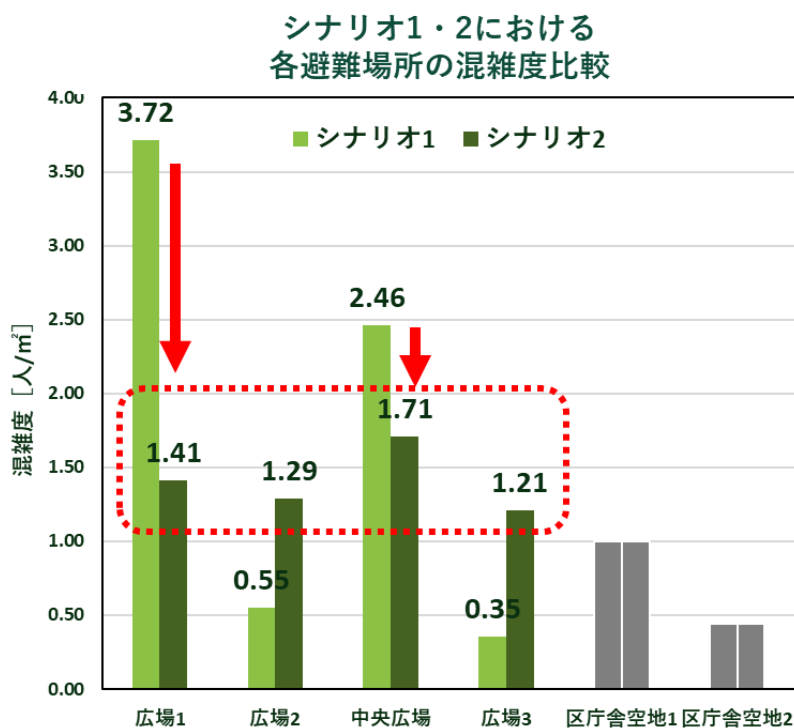


図 8-9 シナリオ 2 における課題①の改善状況

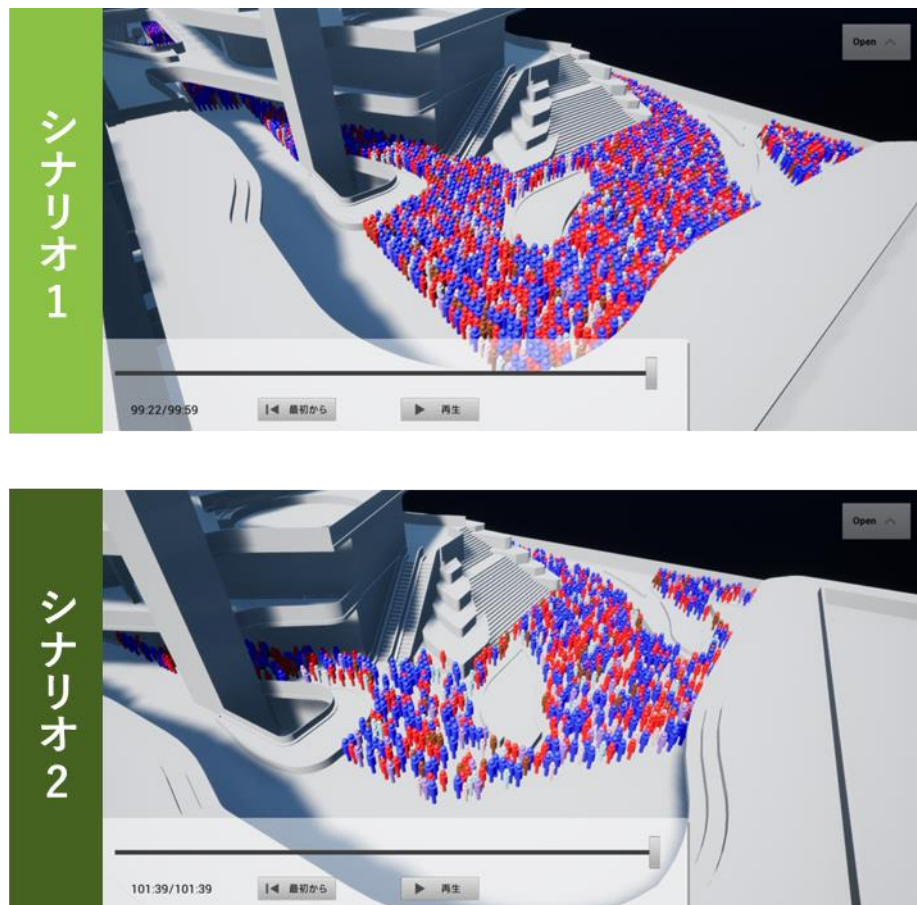


図 8-10 課題①の改善状況を示すシミュレーション画面

課題②：狭い通路での混雑が発生

避難者が局所的に狭い通路に集中し、流動が詰まる事態が発生した。今回のシミュレーションでは、予め幅員が狭い通路を中心に複数の分析地点を設定しておき、混雑度を計測した。その結果、3階の歩行者デッキ上にある狭い通路で、局所的に混雑度が 3.5 人/㎡近くに達していた。発災時に街区内滞留者が狭い通路に一度に集中したことが原因で、避難の遅れにもつながっていた。

【分析地点における各時点の混雑度】 Phase1

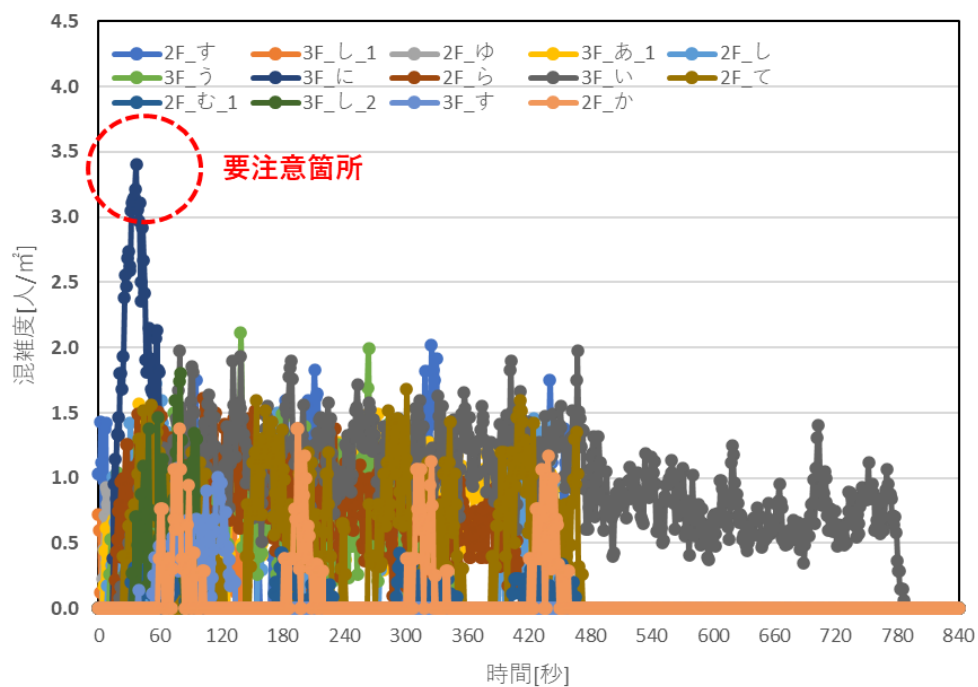


図 8-11 シナリオ 1 における課題②の状況

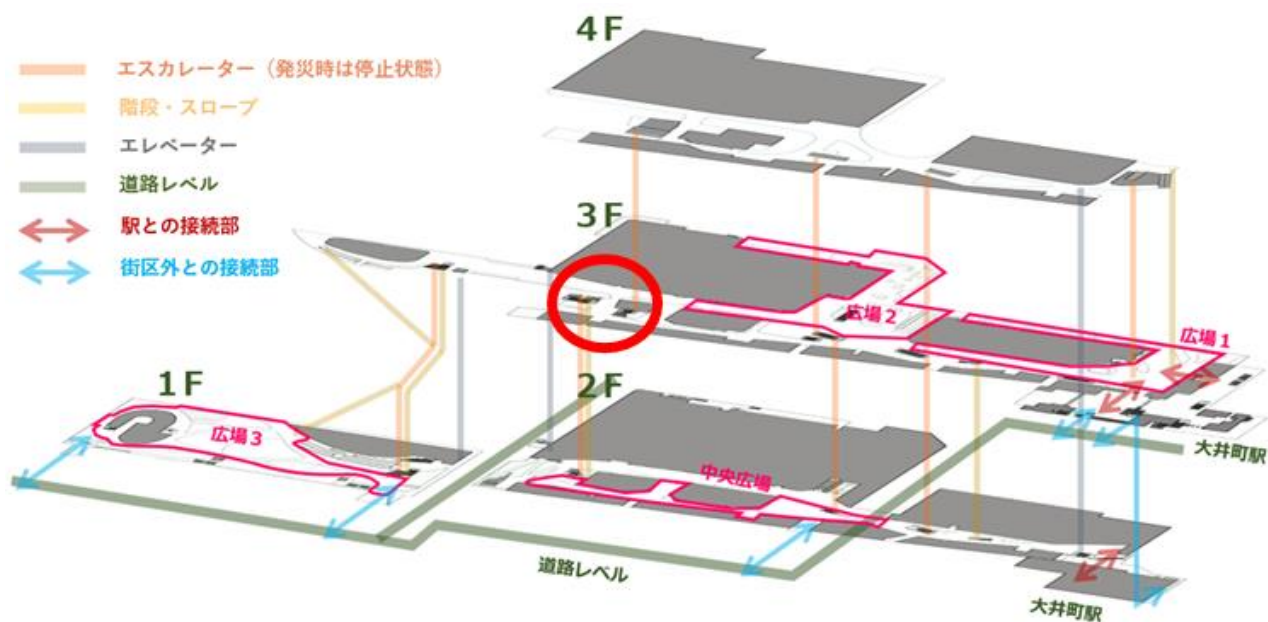


図 8-12 課題②の発生箇所

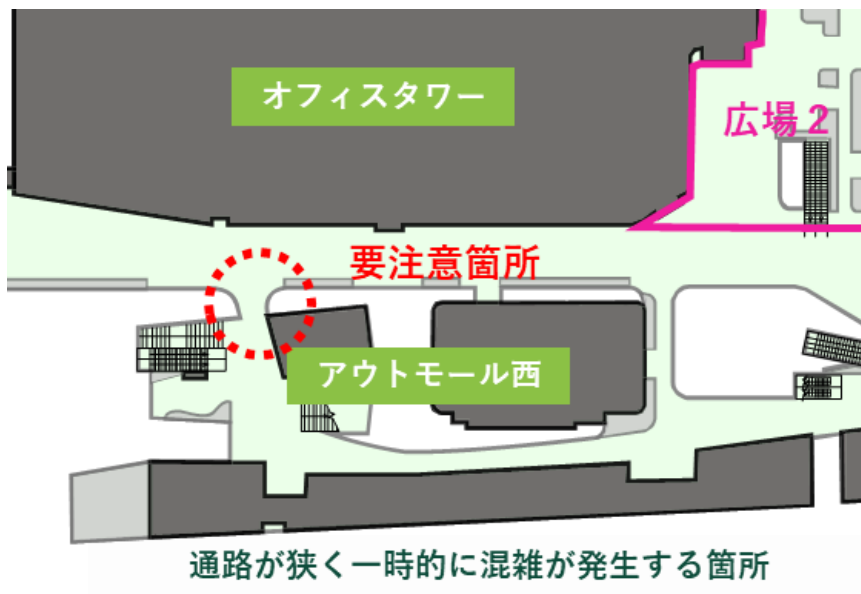


図 8-13 課題②の発生箇所詳細

対策として、当該通路を通る一部の避難者を別ルートに誘導することで避難通路を分散させ混雑度を解消、避難時間の短縮につなげた。

要注意箇所の混雑度推移（発災後0～120秒）

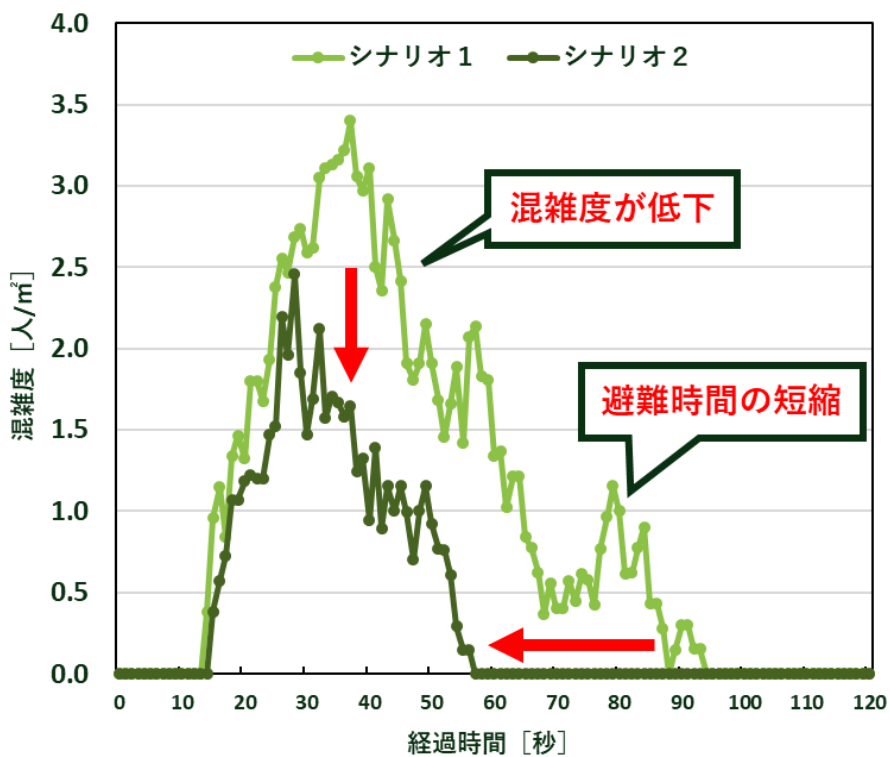


図 8-14 シナリオ2における課題②の改善状況

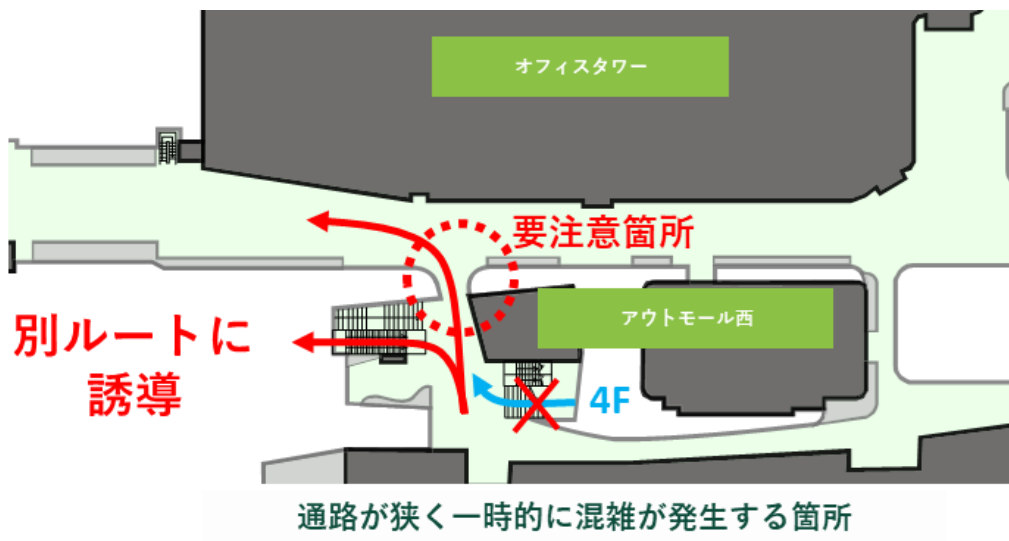


図 8-15 シナリオ 2 における課題②の対策内容

- シナリオ 2 における課題、シナリオ 3 での対策・効果

課題③：階段・スロープ利用の分岐により交錯して混雑発生

3・4 階の街区内滞留者を広場 3 に誘導する際に、2 階踊り場部分で流動がスロープと階段に分かれることにより、避難者同士の交錯が生じ、一部で 4.0 人/㎡に迫る混雑が発生した。2 階踊り場部分から広場 3 に下りる避難経路が 2 つあることが原因と考えられる。

要注意箇所の混雑度推移

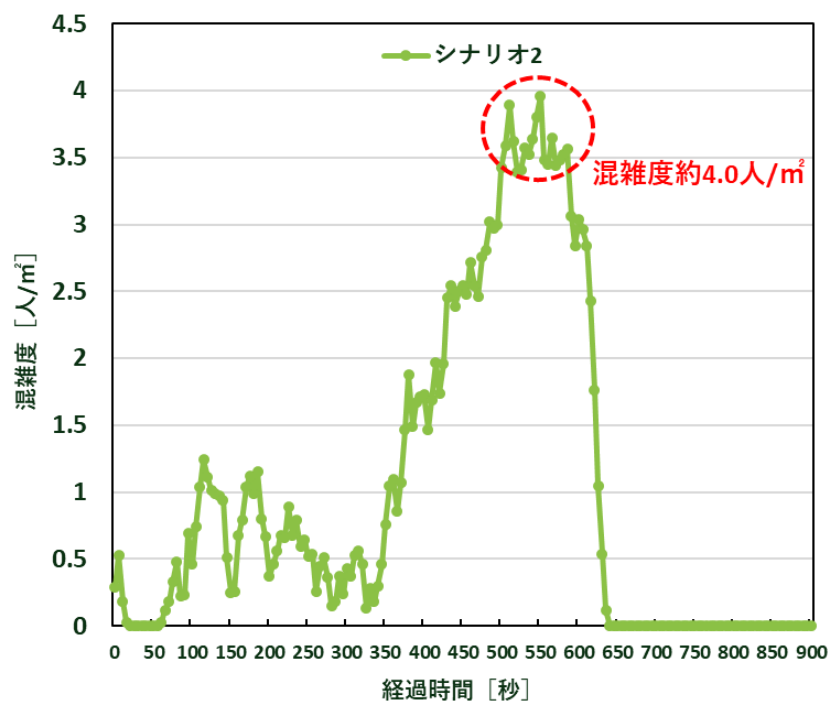


図 8-16 シナリオ 2 における課題③の状況

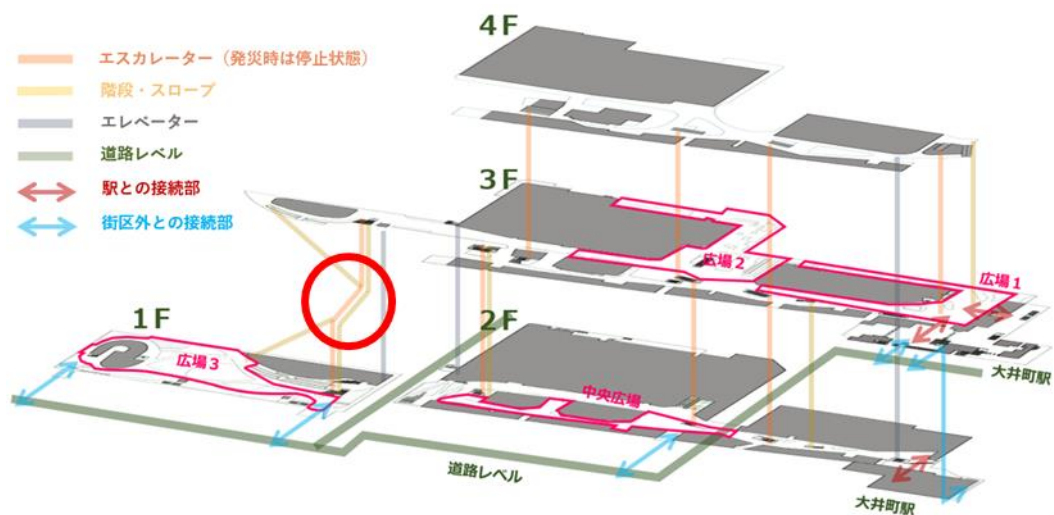


図 8-17 課題③の発生箇所

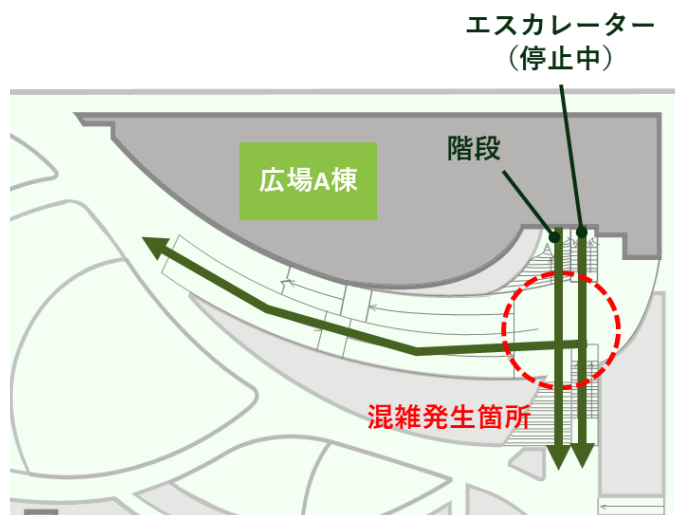


図 8-18 課題③の発生箇所詳細

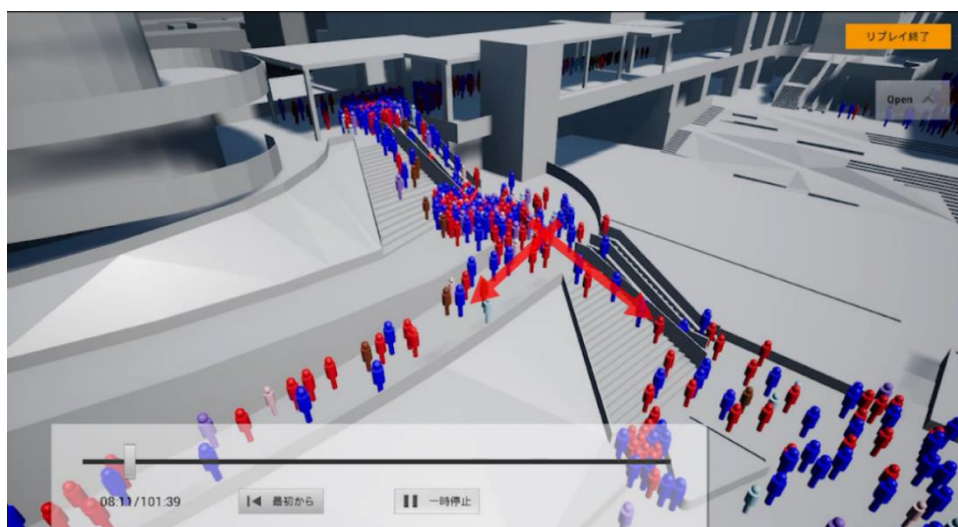


図 8-19

本課題への対策として、次の通り設定を変更した。

- ・ 3階から2階踊り場までの階段と2階踊り場から1階（広場3）までの階段・エスカレーターを通行止めとし、3階から2階踊り場までは停止中のエスカレーターのみ、2階踊り場から1階（広場3）まではスロープのみに避難者動線を一本化する

避難者ごとに経路選択が異なったために、2階踊り場部分で交錯が発生して混雑が生じたが、避難者動線が一本化されたことで交錯が発生しなくなり、混雑も生じなくなった。混雑度は最大 4.0 人/㎡から 3.56 人/㎡まで改善し、閾値である 3.6 人/㎡を下回ることができた。

要注意箇所の混雑度推移

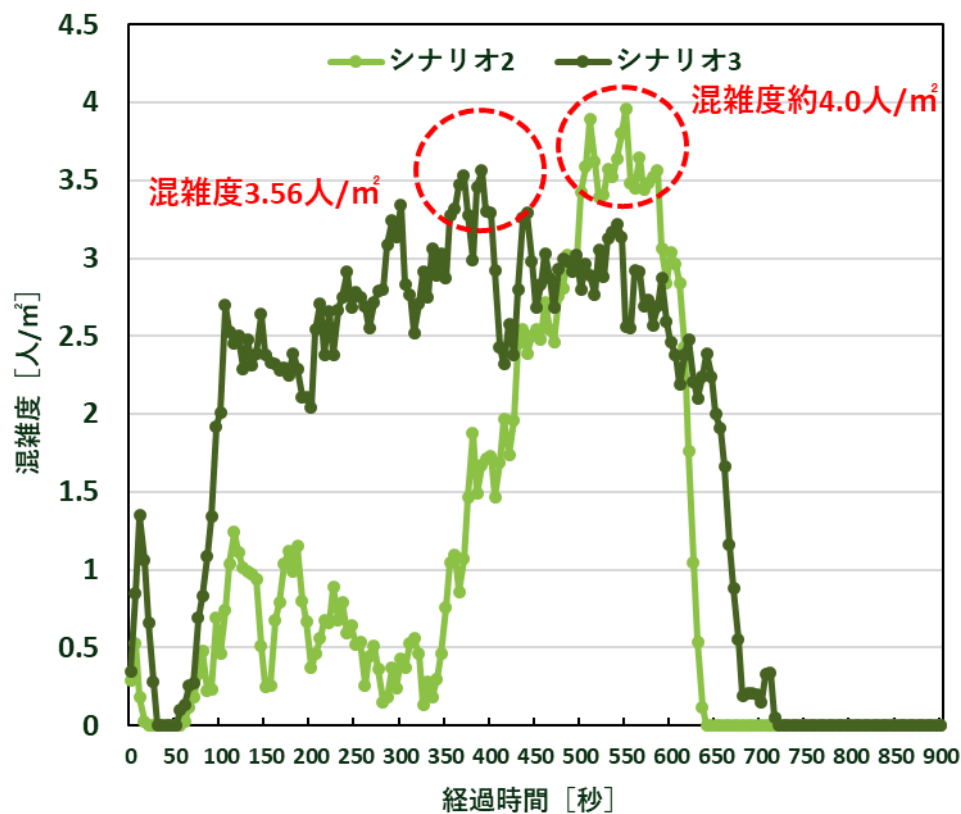


図 8-20 シナリオ 3 における課題③の改善状況

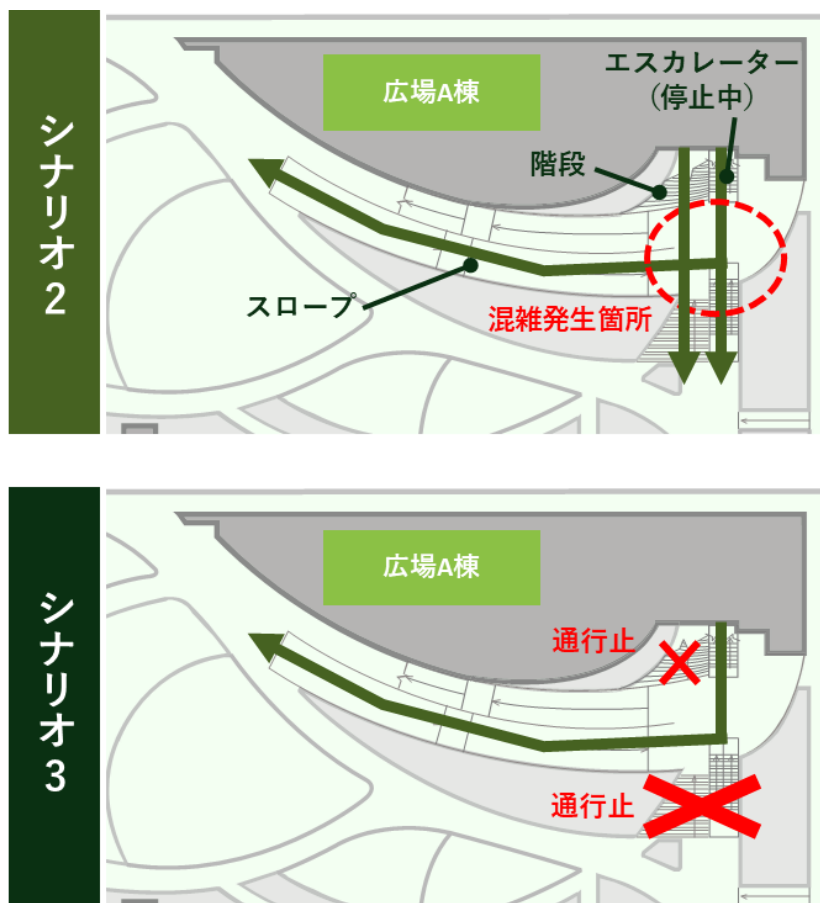


図 8-21 シナリオ 3 における課題③の対策内容

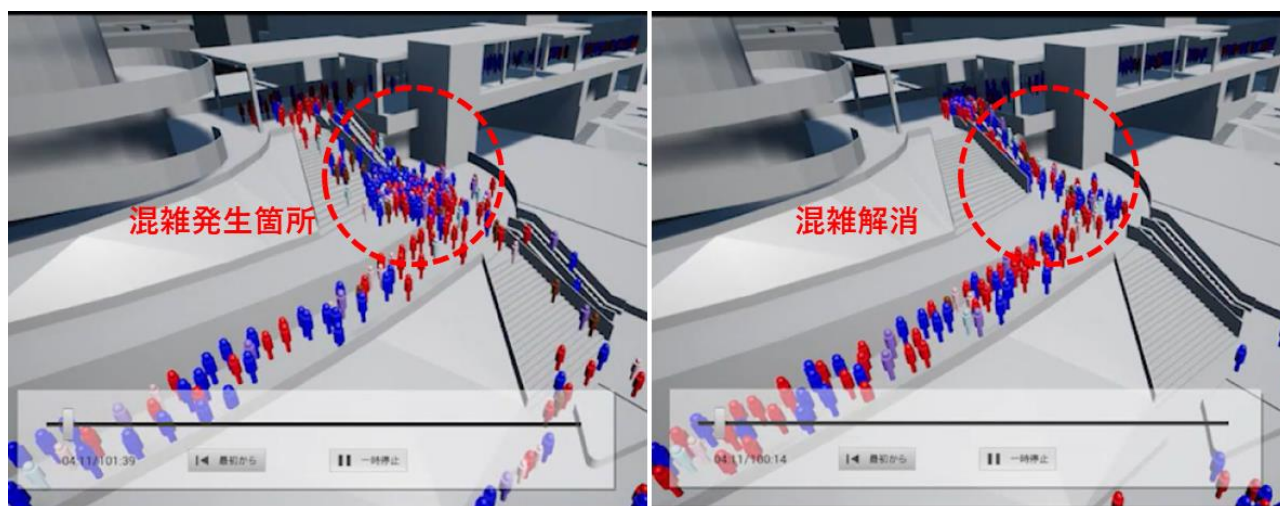


図 8-22 (左)シナリオ 2・(右)シナリオ 3 の比較

9. BtoB ビジネスでの有用性検証

9-1. 検証目的

実証仮説に基づき、以下の検証目的を設定する。

【実証仮説】

避難者の人流シミュレーションシステムの操作性向上を図ることで、本システムの横展開を容易にするとともに、シミュレーション結果が防災計画等の策定・更新等において有用であることを確認する。

主に以下の3つを機軸に有用性検証を行った。

(1) 1次利用者／システム利用者（シミュレーション実施者）

①人流シミュレーションシステムの操作性に関する検証

- 人流シミュレーションシステムの汎用化のために整備するプラグイン化箇所を含む、今年度開発した本システムにおけるUI/UXの分かりやすさ・使いやすさを確認する

(2) 2次利用者／サービス利用者（リプレイ受領・確認者）

②大井町駅周辺の避難シミュレーション結果に基づく防災施策に関する検証

- 品川区防災課に避難シミュレーション実施の過程及び結果についてプレゼンテーションを実施し、エリア防災計画の検討における人流シミュレーションシステムの有用性について確認する

③人流シミュレーションシステムの有用性に関する検証（2次利用者を想定）

- 都市安全確保計画等における人流シミュレーションシステムの有用性について確認する

9-2. 検証方法

検証方法としては、以下を想定する。

(1) 1次利用者／システム利用者（シミュレーション実施者）

①人流シミュレーションシステムの操作性に関する検証

- 被験者に対してデモンストレーションを取り入れたヒアリング・アンケートを実施する

(2) 2次利用者／サービス利用者（リプレイ受領・確認者）

②大井町駅周辺の避難シミュレーション結果に基づく防災施策に関する検証

③人流シミュレーションシステムの有用性に関する検証

- 避難シミュレーション実施の過程及び結果についてプレゼンテーションを実施した上で、本システムの有用性についてヒアリング・アンケートを実施する

事業者向けヒアリングの実施方法

- 会場：自社の会議室など
- 機材：体験・デモ用にスペック A の実施環境を用意し、リモートアクセスで利用する

9-3. 被験者

本プロジェクトでは、人流シミュレーションシステムの利用者として、本システムを操作する 1 次利用者（建築設計会社、コンサル事業者等）と、本システムの結果を活用して防災計画等の策定・更新を行う 2 次利用者（地方公共団体、デベロッパー、まちづくり団体）を想定している。

本実証実験では、これらのユーザーに該当する以下の方々にヒアリング・アンケートを行い、本システムの価値を検証する。

表 9-1 被験者リスト

分類	具体名称	部署	役職	担当業務	人数
1 次利用者	JR 東日本建築設計	IT 推進部、開発調査部、 プレゼン推進室	次長、主任等	BIM データの利用等	4 名
2 次利用者	品川区	防災課 避難体制係 区長室 新庁舎整備課	係長等	防災計画の策定等 新庁舎整備計画の策定等	3 名 2 名
	広島電鉄	地域共創本部	本部長、課長等	地域共創等	3 名
	広島市	都市整備局 都市機能調整部	課長補佐、主幹等	まちづくり、防災対策等	6 名

9-4. ヒアリング・アンケートの詳細

9-4-1. アジェンダ・タイムテーブル

(1) 1次利用者／システム利用者（シミュレーション実施者）

①人流シミュレーションシステムの操作性に関する検証

表 9-2 アジェンダ・タイムテーブル①

No.	アジェンダ	所要時間
1	検証の目的を説明	5 分
2	操作課題の説明	5 分
3	操作の体験（新規開発システム・令和 6 年度ユースケースで開発したシステム）	50 分
4	操作感のヒアリング	10 分
5	アンケート回答	10 分

(2) 2次利用者／サービス利用者（リプレイ受領・確認者）

②大井町駅周辺の避難シミュレーション結果に基づく防災施策に関する検証

表 9-3 アジェンダ・タイムテーブル②

No.	アジェンダ	所要時間
1	企画の概要	8 分
2	検証事項・検証目的	2 分
3	避難シミュレーション概要	15 分
4	大井町駅周辺の避難シミュレーション	15 分
5	防災計画等へのシミュレーションの活用イメージ	10 分
6	意見交換・アンケート回答	20 分

③人流シミュレーションシステムの有用性に関する検証

表 9-4 アジェンダ・タイムテーブル③

No.	アジェンダ	所要時間
1	企画の概要	8 分
2	検証事項・検証目的	2 分
3	避難シミュレーション概要	15 分
4	大井町駅周辺の避難シミュレーション	15 分
5	防災計画等へのシミュレーションの活用イメージ	10 分
6	意見交換・アンケート回答	20 分

9-4-2. アジェンダの詳細

(1) 1次利用者／システム利用者（シミュレーション実施者）

①人流シミュレーションシステムの操作性に関する検証

表 9-5 アジェンダの詳細①

No.	アジェンダ（再掲）	内容
1	検証の目的を説明	● 本実証実験でアプローチする課題や背景の説明 ● 本実証実験の比較対象となる従来手法の説明 ● 本実証実験で用いるシステムの提供価値 ● システムの全体像の説明
2	操作課題の説明	● 本実証実験で設定したい、避難想定、人数、避難先等のシナリオ情報の説明
3	操作の体験	● 上記設定を事業者が操作して実施
4	操作感のヒアリング	● 質疑応答及びヒアリングを実施
5	アンケート回答	● アンケート回答を依頼し、その場で回答を回収

(2) 2次利用者／サービス利用者（リプレイ受領・確認者）

②大井町駅周辺の避難シミュレーション結果に基づく防災施策に関する検証

表 9-6 アジェンダの詳細②

No.	アジェンダ（再掲）	内容
1	企画の概要	● Project PLATEAU の概要を説明 ● 本ユースケースの概要を説明 ● 実証地（OIMACHI TRACKS）の概要を説明
2	検証事項・検証目的	● 本実証実験でアプローチする課題や背景を説明
3	避難シミュレーション概要	● 大井町駅周辺のシミュレーションシナリオを説明 ● シミュレーション範囲と避難のイメージを説明 ● シミュレーションシステムの設定を説明
4	大井町駅周辺の避難シミュレーション	● 各シナリオの位置づけと設定の考え方を説明 ● 各シナリオの結果を説明 ● 本シミュレーションを踏まえた防災上の知見を説明
5	防災計画等へのシミュレーションの活用イメージ	● シミュレーション結果を踏まえた、大井町駅周辺エリア防災計画への活用イメージや活用可能性を説明
6	意見交換・アンケート回答	● 質疑応答・意見交換を実施 ● アンケート回答を依頼し、その場で回答を回収

③人流シミュレーションシステムの有用性に関する検証

表 9-7 アジェンダの詳細③

No.	アジェンダ（再掲）	内容
1	企画の概要	● Project PLATEAU の概要を説明 ● 本ユースケースの内容を説明

		● 実証地（OIMACHI TRACKS）の概要を説明
2	検証事項・検証目的	● 本実証実験でアプローチする課題や背景の説明
3	避難シミュレーション概要	● 大井町駅周辺のシミュレーションシナリオを説明 ● シミュレーション範囲と避難のイメージを説明 ● シミュレーションシステムの設定を説明
4	大井町駅周辺の避難シミュレーション	● 各シナリオの位置づけと設定の考え方を説明 ● 各シナリオの結果を説明 ● 本シミュレーションを踏まえた防災上の知見を説明
5	防災計画等へのシミュレーションの活用イメージ	● シミュレーション結果を踏まえた、広島都心地域都市再生安全確保計画への活用イメージや活用可能性を説明
6	意見交換・アンケート回答	● 質疑応答・意見交換を実施 ● アンケート回答を依頼し、その場で回答を回収

9-4-3. 検証項目と評価方法

1 次利用者、2 次利用者ごとに検証項目を分けて、ユーザビリティ評価や既存手法と比較した場合の有用性を検証項目とし、それぞれ定量・定性的に評価した。

（1）1 次利用者／システム利用者（シミュレーション実施者）

①人流シミュレーションシステムの操作性に関する検証

表 9-8 検証項目と評価方法①

検証観点	No.	検証項目	定量評価	定性評価
1) ユーザビリティ評価	1	指示通りに設定できたか	● 対象ユーザーに令和 6 年度に開発したシステムを体験していただいた後、アンケートを実施 ● 選択肢は「とても不満」を 1、「とても満足」を 5 とした 5 段階で設定 ● 回答を集計し、各選択肢の選択率から評価（各設問で、過半数の 4 以上の回答を目標とする）	● アンケートの各設問に自由記入欄を設定
	2	作業を抜け漏れなく完遂できたか		
	3	想定時間内に完遂できたか		
	4	画面表示（UI）が分かりやすいか		
	5	操作が直感的か		

（2）2 次利用者／サービス利用者（リプレイ受領・確認者）

②大井町駅周辺の避難シミュレーション結果に基づく防災施策に関する検証

表 9-9 検証項目と評価方法②

検証観点	No.	検証項目	定量評価	定性評価
1)シミュレーション結果の有用性評価	1	シミュレーションの内容や結果が分かりやすいか	● 被験者の半数が従来手法よりもシミュレーションシステムが優れていると感じるか否か ● 選択肢は「とてもそう思う」・「まあそう思う」・「あまりそう思わない」・「まったくそう思わない」の4階で設定 ● 回答を集計し、「とてもそう思う」・「まあそう思う」の回答が50%以上得られた場合に達成と判断する	● シミュレーションの良い点と課題に感じた点に関して、自由記入欄を設定
	2	従来手法で分からなかった課題や対策の効果が発見できるか		
2)防災関連業務（課題把握・対策検討・関係者協議）の効率化への寄与度合い	3	従来手法よりも、課題の把握や対策案の検討の業務が効率的になるか		
	4	従来手法よりも、関係者への状況共有や合意形成の業務が効率的になるか		
	5	各防災計画等の更新にどの程度役立つか		

③人流シミュレーションシステムの有用性に関する検証

表 9-10 検証項目と評価方法③

検証観点	No.	検証項目	定量評価	定性評価
1)シミュレーション結果の有用性評価	1	シミュレーションの内容や結果が分かりやすいか	● 被験者の半数が従来手法よりもシミュレーションシステムが優れていると感じるか否か ● 選択肢は「とてもそう思う」・「まあそう思う」・「あまりそう思わない」・「まったくそう思わない」の4階で設定 ● 回答を集計し、「とてもそう思う」・「まあそう思う」の回答が50%以上得られた場合に達成と判断する	● シミュレーションの良い点と課題に感じた点に関して、自由記入欄を設定
	2	従来手法で分からなかった課題や対策の効果が発見できるか		
2)課題把握・対策検討・関係者協議の効率化への寄与度合い	3	従来手法よりも、課題の把握や対策案の検討の業務が効率的になるか		
	4	従来手法よりも、関係者への状況共有や合意形成の業務が効率的になるか		
	5	各防災計画等の更新にどの程度役立つか		

9-4-4. 実証実験の様子

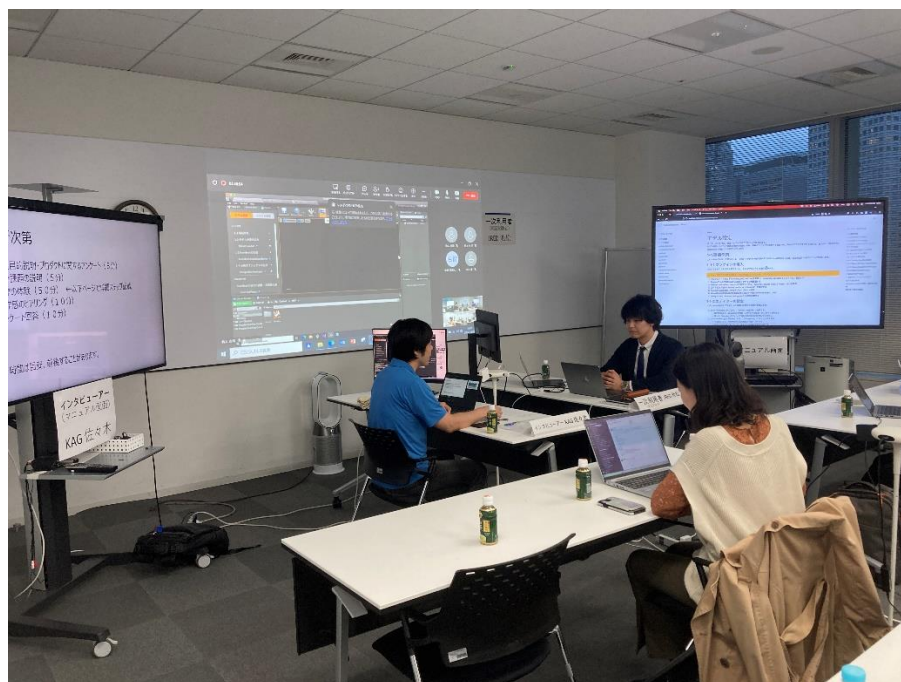


図 9-1 評価実験の様子

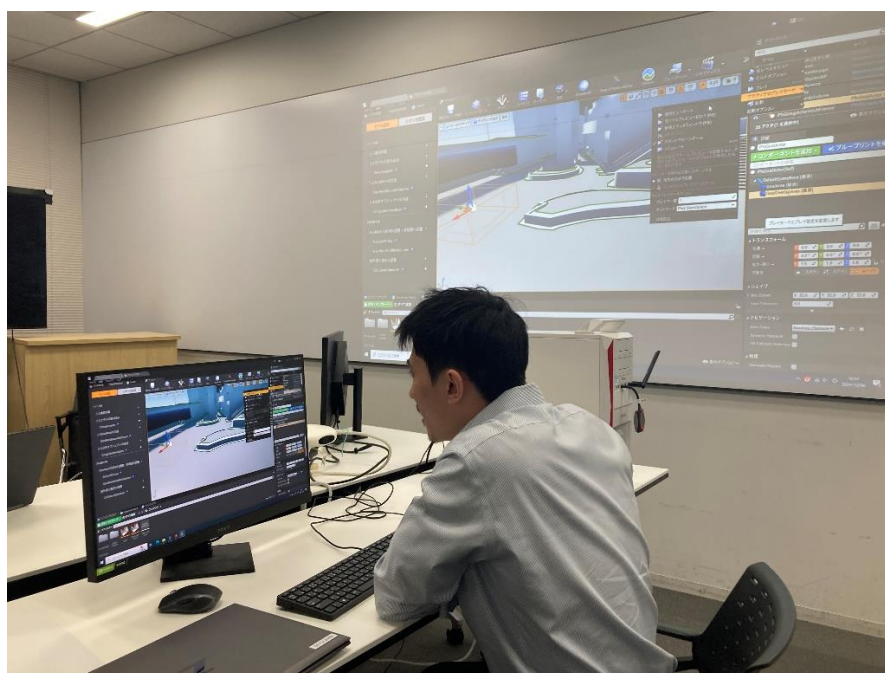


図 9-2 システムを利用する被験者（1次利用者）

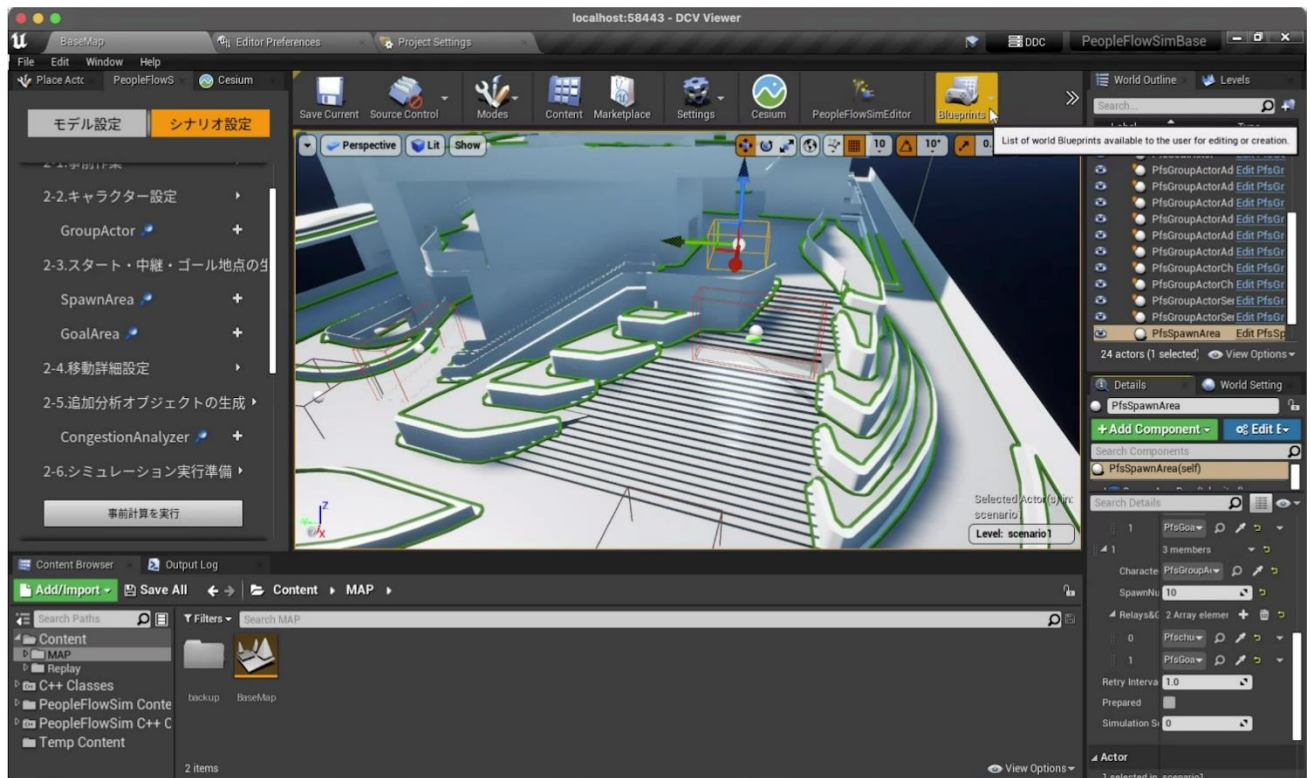


図 9-3 被験者が自力で設定しているシミュレーション画面



図 9-4 2次利用者の実証ヒアリングの様子（品川区）



図 9-5 2次利用者の実証ヒアリングの様子（広島市・広島電鉄）

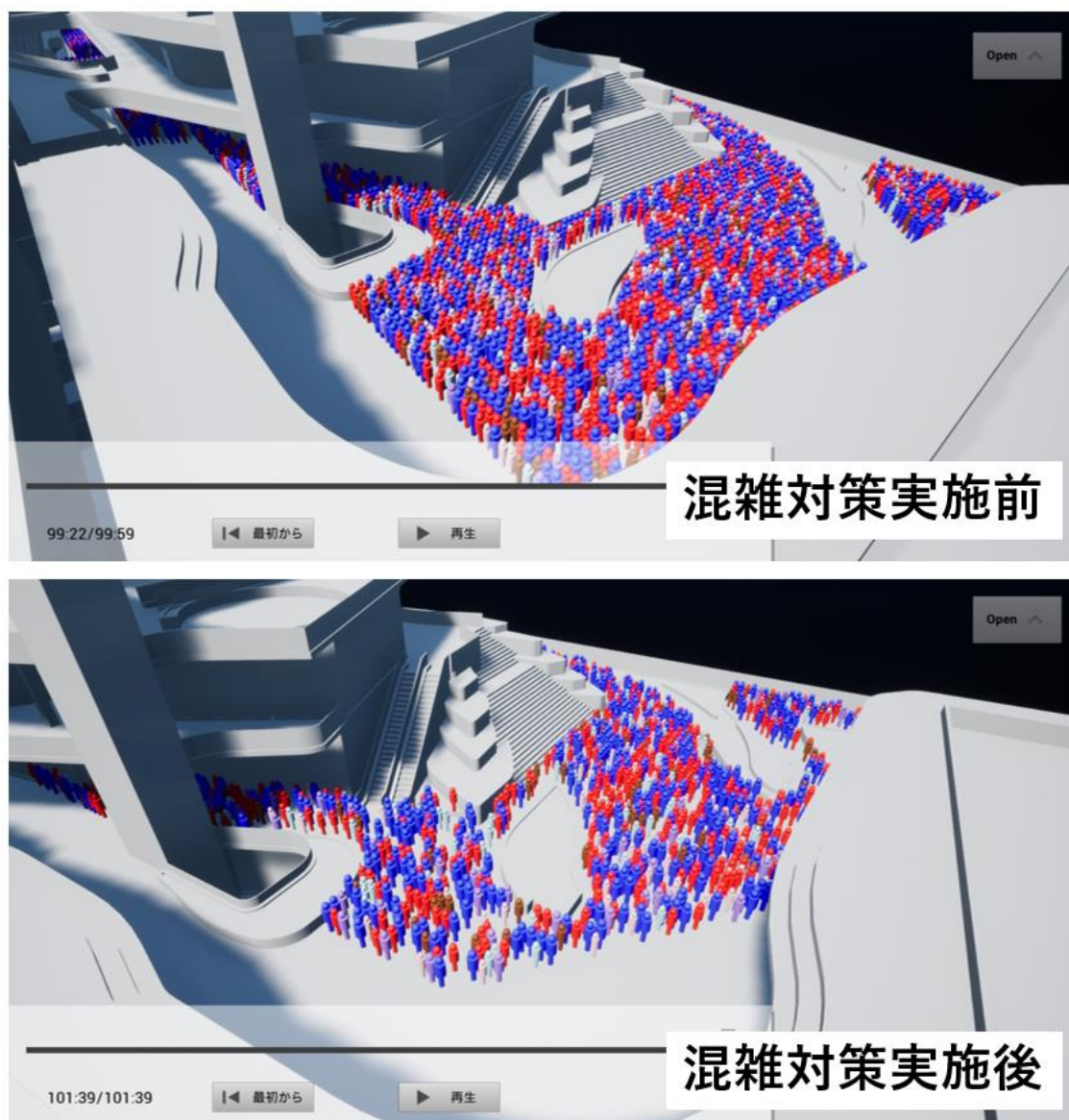


図 9-6 広場の対策前後の混雑度の変化

9-5. 検証結果

検証の結果、ツールのプラグイン化及び本ツールへの情報入力の手簡易化によって、シミュレーションシステムの専門知識が無くても防災計画に対応した設定が行うことができることが分かった。

また、本シミュレーションツールから得られた結果は、地方公共団体やデベロッパー等のユーザーの防災関連業務の効率化に寄与することが示された。

9-5-1. 1 次利用者/システム利用者（シミュレーション実施者）の有用性検証結果

計 4 名のうち全ての回答者が、指示通りに設定できたか、作業を抜け漏れなく完遂できたか、想定時間内に完遂できたか、画面表示（UI）が分かりやすいか、操作が直観的か、について「そう思う」もしくは「ややそう思う」と選択した。

全体を通してユーザビリティについては高く評価されており、被験者である 3D 設計業務従事者であれば十分活用できることが確認できた。一方で、Unreal Engine エディタの仕様上、設定可能なアクターが並列で提示されていることから、一部の被験者は手順通りに設定できずやり直しが発生した。利用者を適切に誘導するためのマニュアル改善の余地があることが示された。

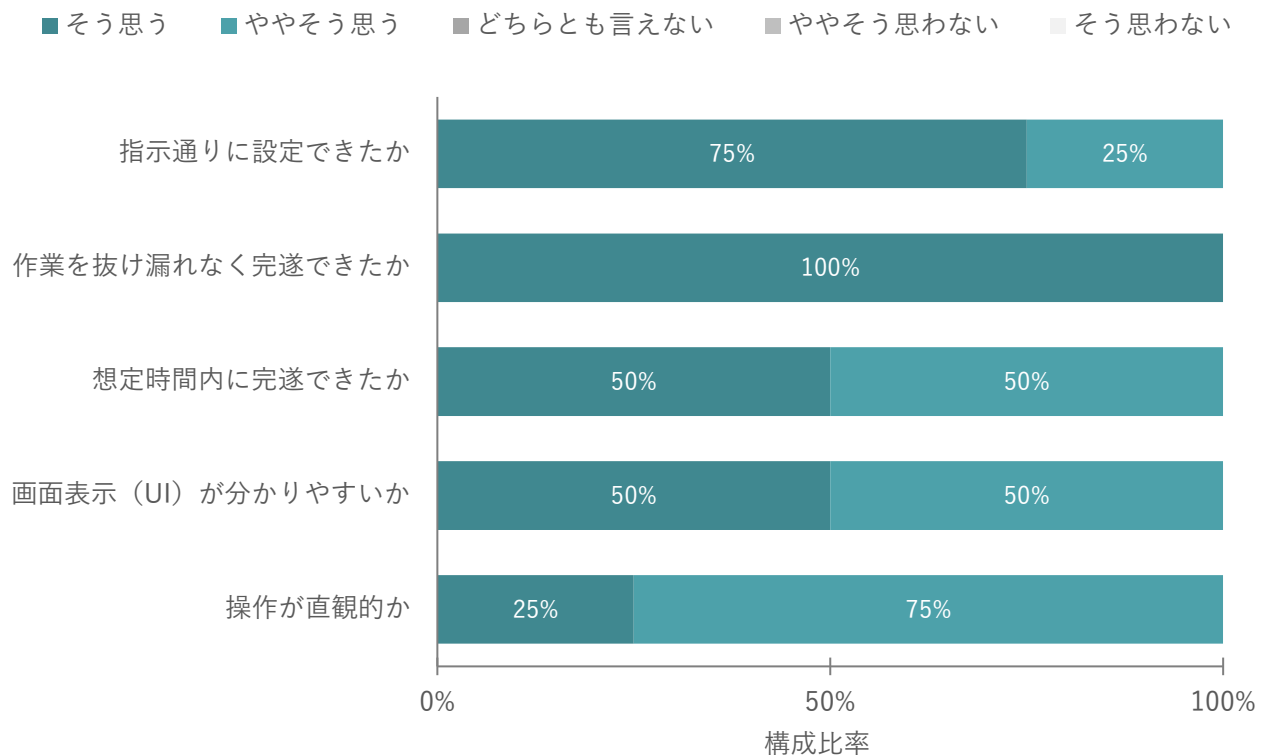


図 9-7 1 次利用者のアンケート結果

表 9- 1 1 関連する定性コメント

No.	検証項目	関連する定性コメント
1	指示通りに設定できたか	- シナリオ設定は何度かやり直しが発生し少し時間がかかったが、すべての作業をサポートなしに完遂できた - 設計中の建物を試すうえで人流シミュレーションを使う、設計する人の学習や教育のために使う等の応用がありそう
2	作業を抜け漏れなく完遂できたか	
3	想定時間内に完遂できたか	
4	画面表示 (UI) が分かりやすいか	
5	操作が直観的か	

9-5-2. 2 次利用者/サービス利用者（リプレイ受領・確認者）の有用性検証結果

1) シミュレーション結果の有用性評価（課題把握・対策検討に使えるか）

計 14 名のうち全ての回答者が、シミュレーションの内容・結果は分かりやすいか、従来の手法で分からなかった課題を発見できるか、これまでできなかった対策の効果を検証できるか、について「そう思う」もしくは「ややそう思う」と選択した。

全体を通してシミュレーション結果の有用性については高く評価されており、地方公共団体やデベロッパー等のユーザーを対象に有用なシステムであることが確認できた。また、避難者の滞留状況や混雑の危険性の視覚化についても好意的な評価が得られた。

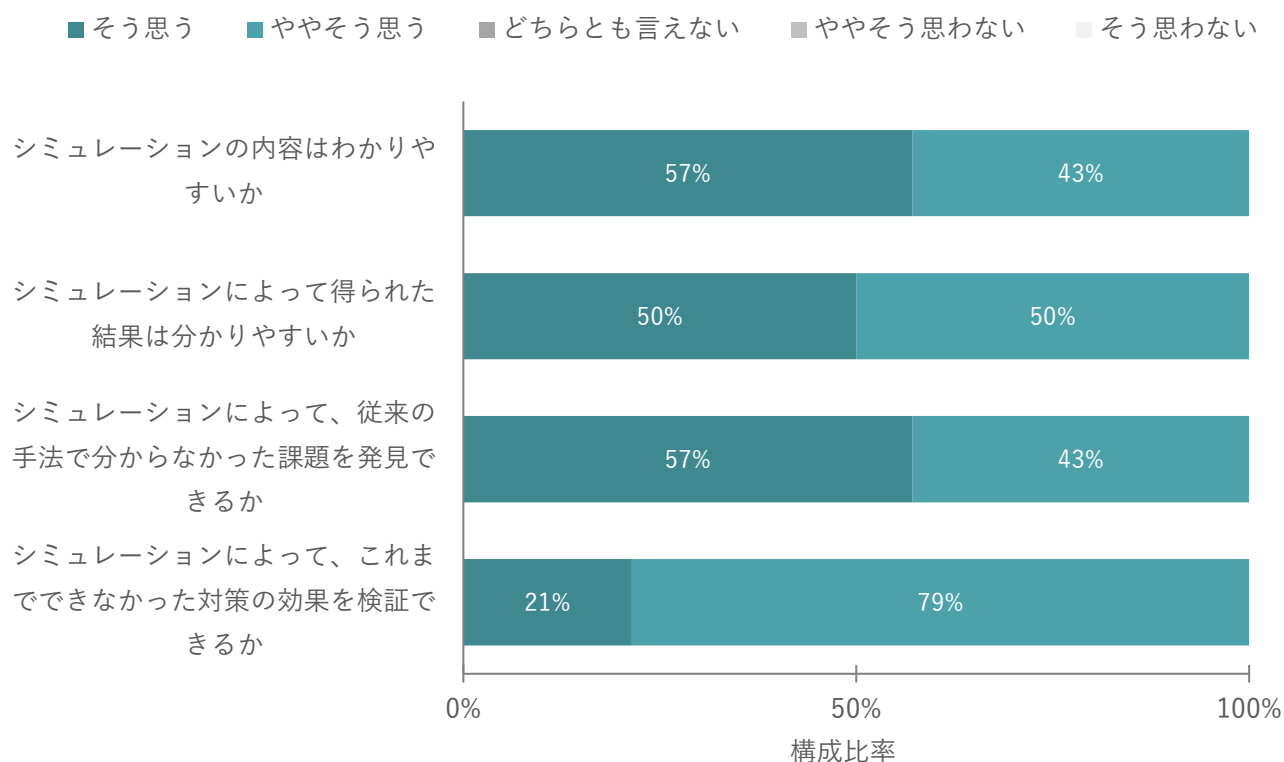


図 9-8 従来手法とシステム利用時の手法による業務品質比較に関するアンケート結果

表 9-1 2 関連する定性コメント

No.	検証項目	関連する定性コメント
1	シミュレーションの内容はわかりやすいか	定性コメントなし
2	シミュレーションによって得られた結果は分かりやすいか	定性コメントなし
3	シミュレーションによって、従来の手法で分からなかった課題を発見できるか	【そう思う・ややそう思う】 ● フェーズごとの人流データが可視化できる

No.	検証項目	関連する定性コメント
4	シミュレーションによって、これまでできなかった対策の効果を検証できるか	● エリアの中で対策がより必要な場所を見つけられる ● 町丁目ごとの滞留者だけでなく、より細かな箇所の滞留状況を発見できる ● 地元町会や商業施設への説明時に、ビジュアル化することで地元へも課題発見の共有ができる ● 人流が詰まる箇所の把握が可能となる ● 各施設のどこが混雑するのかは施設管理者が知っている「だろう」と他力本願な考えがあったが、シミュレーションでははっきり分かる ● 場所によるボトルネックによる滞留の可視化 ● 作成した計画を検証する上で視覚的に発見できる可能性が高い ● 混雑状況、動線、属性別による退避（設定できるのかどうかというのはありますが）※高齢者は長い距離を移動できないなど ● シナリオの設定条件によるが、地震以外のいろいろなケースでシミュレーションができる ● 混雑度、避難時の人の交錯 ● 視覚的に実際の動きをみることができると、避難経路でのボトルネックになる場所などを発見できるのではないか ● シナリオ条件の多様性と分析する人によるところが大きいと思う

2）防災関連業務（課題把握・対策検討・関係者協議）の効率化への寄与度合い

計 14 名の回答者のうち、「そう思う」もしくは「ややそう思う」を選択した割合が、各業務の効率化について、「課題の把握」、「対策案の検討」、「関係者への状況共有」については 100%、「関係者との合意形成」については 93%であった。

全体を通して防災関連業務の効率化については高く評価されており、幅広い業務において本シミュレータの可視化結果が有効であることが分かった。一方で、広場に避難した後のシミュレーションが重要だという意見も得られ、避難完了後のシミュレーション条件などの必要性が示された。

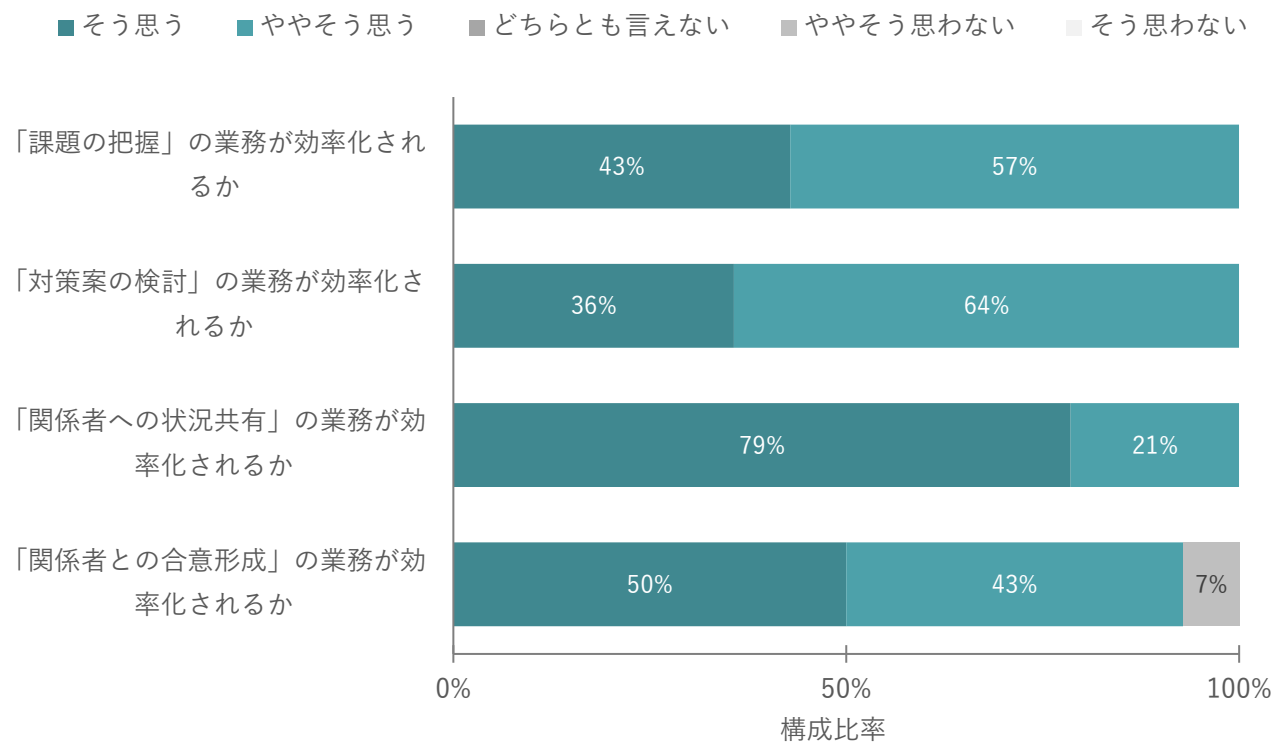


図 9-9 防災関連業務の効率化への寄与度合いに関するアンケート結果

表 9-1 3 関連する定性コメント

No.	検証項目	関連する定性コメント
1	「課題の把握」の業務が効率化されるか	【そう思う】 ● 今までは数字でしか分からなかったものが視覚的に分かり、理解度・認知度を上げられる 【ややそう思う】 ● 混雑度や交錯をシミュレーションできる
2	「対策案の検討」の業務が効率化されるか	【ややそう思う】 ● 課題と改善の状況をビジュアル化できる ● 想定されるリスクの可視化やその対策をうちやすい
3	「関係者への状況共有」の業務が効率化されるか	【そう思う】 ● 可視化されることで誰が見ても分かる ● 動画による”見える化”で関係者間での意識共有が図りやすい

No.	検証項目	関連する定性コメント
4	「関係者との合意形成」の業務が効率化されるか	【ややそう思う】 ● 視覚的に見ることができ、合意形成などに有効活用できる 【ややそう思わない】 ● 行政にとっては広場に避難した後のシミュレーション実施が重要

10. 成果と課題

10-1. 本実証で得られた成果

10-1-1. 人流シミュレーションシステムの技術面での優位性

実証実験を通じて、以下のような人流シミュレーションシステムの技術面での優位性が示された。

表 10-1 人流シミュレーションシステムの技術面での優位性

大項目	小項目	人流シミュレーションシステムの技術面での優位性
システム・機能	汎用エンジンを活用した人流シミュレーションツール	● ゲームでも利用される Unreal Engine を用いることで、リアルな描画の 3D 都市モデル上で、キャラクターの移動の様子をリアルタイムに、かつ、多彩な視点から確認できる ● 任意の Unreal Engine 動作環境（ローカル PC、クラウド）でシミュレーション実施環境を構築できる ● Unreal Engine エディタでの開発経験がある作業であれば、シミュレーションを構築できる
	チュートリアル機能	● 人流シミュレーションの構築経験がなくてもシナリオを構築できる ● 人流シミュレーションを実行する上で必要となる面積計算等の事前処理を、知見が無くても自動実行できる
	リプレイ機能・リプレイアプリ作成機能	● シミュレーション実行処理を繰り返すことなく、いろいろな切り口で確認が可能 ● 1 次利用者が作成したシミュレーション結果を 2 次利用者にも共有することができる
アルゴリズム	経路探索アルゴリズム	● Unreal Engine 標準機能で最適化構成されたアルゴリズムであり、開始位置、中継・終了位置をアクターで指定するだけで途中の詳細経路まで自動で生成できる
	衝突回避アルゴリズム	● Unreal Engine 標準機能で最適化構成されたアルゴリズムであり、経路探索アルゴリズムで生成された経路中での障害物や他キャラクターとの衝突回避を自動で実施できる

10-1-2. 人流シミュレーションシステムのビジネス面での優位性

表 10-2 人流シミュレーションシステムのビジネス面での優位性

大項目	小項目	人流シミュレーションシステムのビジネス面での優位性
避難状況の分析の向上	リスク・課題発見の容易化	● 地震・火災の発生に伴う避難の状況として、人流の混雑状況や交錯状況、避難時間などの課題箇所を空間スケールで

		発見・抽出・確認できる
	効果検証の容易化	● 発見したリスク・課題に対して、立案した対策の効果検証が比較的短時間で実施できる
	関係者への共有度の向上	● システム上で避難シミュレーションの状況を可視化できるとともに、得られたデータのグラフ化も可能となるため、関係者に対して分かりやすい情報共有が可能となる
	合意形成の容易化	● 情報共有が容易になることで、防災上の課題感について関係者で共通認識を醸成することができ、合意形成にかかるプロセスを省力化できる

10-2. 実証実験で得られた課題と対応策

表 10-3 実証実験で得られた課題

大項目	小項目	実証実験で得られた課題	課題に対する対応策
システム (機能)	集団移動・待機行動等のとれるアクションの拡充	● 人流表現として、個々のキャラクターが最適な移動経路を動くので、家族で動く等の再現ができていない ● 安全を確保してから動く、等の時間経過後の移動表現にシナリオ設計での工夫が必要	● 集団行動を可能とする機能の実装 ● 指定時間待機を可能とする機能の実装
システム (UI・UX)	GUI 操作以外のシナリオ設定機能	● 大規模なシミュレーションを組もうとすると、移動定義のためのアクターの配置や各アクターのパラメータ設定の作業量が大きくなる	● シナリオの計画・設計と連動した入力による設定の自動化機能（外部作成した移動経路に関する CSV を取り込むことでシナリオ設定できる機能等）
サービス運用	シナリオ作成	● 多くの諸元やデータを収集した上で、シミュレーション上で避難者（キャラクター）をどの地点からどのタイミングでどのくらい発生させ、どの経路を通すかなどをパラメータとして設定する必要があるため、高度な防災に関する知識と本システムの特性に関する理解が要求される	● 防災コンサルタントといった防災の専門家による監修や協業を図っていくことで、利用者の負担を減らすとともにシミュレーションの質が向上を図る
	ビジネスモデルの改善	● 都市再生安全確保計画やエリア防災計画は、一般的にエリアが広範囲に渡るため、避難経路設定などのミクロな事項については記載されないため、事前に	● 具体の避難経路についても策定がなされる、より下位の防災計画や民間施設の防災マニュアルなどへの活用を目指す

		ヒアリングを行いツールが適用できる業務を精査する必要がある	
		● 防災面だけだと、シミュレーションシステムのビジネス展開の販路が限られる	● 防災での活用以外にも、人流シミュレーションと親和性がある、大人数が収容するスタジアム・アリーナやテーマパーク、博覧会などへの活用を検討する
	価格	● シミュレーションの作成・実行には一定のコストがかかる中、一般的に民間企業は防災面での予算捻出がしにくい	● シミュレーションの作成・実行にかかるコスト削減の方法を検討する
その他	3D 都市モデル構築	● 周辺道路モデル LOD3(既存)について、シミュレーションソフトに実装しキャラクターを歩行させる上で、地形モデルを用いずに道路モデルのみを使った場合、キャラクターが道路から落下してしまう可能性があった	● 周辺道路モデル LOD3(既存)の“端部”に仮想領域の属性を付与するなど、人流キャラクターの歩行経路の補助が必要になると考えられる

10-3. 今後の展望

今回のプロジェクトでは、システムをプラグイン化し UI/UX を向上させたことで、関係者間の状況共有や合意形成が容易になることが確認できた。これにより、本システムを利用した防災計画等の検証・改善・精緻化が可能となった。また、大井町駅周辺エリアだけでなく他都市でも有用であることが示された。

今後は、より信頼性の高いシミュレーション結果を得るために、複数人で一緒に行動するといった実態に即した人流表現や待機行動に関する機能の更新が必要である。具体的には、複数人の一体行動機能や、一時的な待機・滞在を設定する機能の開発を目指す。さらに、他の都市への展開を加速するために、今回の実証実験で想定した震災とそれに起因する火災の避難シミュレーションだけではなく、豪雨・水害、土砂災害、雪害といった災害での活用を想定し、防災コンサルタント等の専門家と連携して多様な災害におけるシミュレーションサンプルを増やしていくことが重要である。

これらの取り組みにより、本シミュレーションを用いることでエリアマネジメントにおける防災計画の策定を DX し、あらゆる災害に対し強靱なまちづくりを目指す。

11. 用語集

A) アルファベット順

表 11-1 用語集（アルファベット順）

No.	用語	説明
1	AI キャラクター (Unreal Engine)	Unreal Engine の Artificial Intelligence を適用したキャラクター
2	Amazon Athena	AWS で提供されているデータベース分析サービス。
3	Amazon EC2	AWS で提供されている仮想サーバ。
4	Amazon Glue	AWS で提供されている ETL ツール（データの抽出・収集、変換・加工、配信・送出手を行うツール）。
5	Amazon QuickSight	AWS で提供されている BI（Business Intelligence）ツール。
6	Amazon S3	AWS で提供されているクラウドストレージサービス AWS で提供されているクラウド上のファイルストレージサービス。
7	Artificial Intelligence (Unreal Engine)	Unreal Engine の機能。プロジェクト内のキャラクターや他のエンティティの人工知能（AI）を作成できる。
8	Behavior Tree (Unreal Engine)	Unreal Engine の標準機能。AI キャラクターの思考から行動までの流れをツリー構造で定義できるようにしたもの。
9	BIM	Building Information Modeling の略。形状情報と仕様情報を建物の属性情報として併用して扱う設計手法・ソフトウェア。必ずしも 3D 形状だけではなく 2D 形状も形状属性として扱う。
10	Bounding Box	オブジェクト全体を含む境界線。オブジェクト同士の接触判定やオブジェクトの表示判定に利用される。
11	b3dm	Batched 3D Model の略。条件によって色を変更するなどのバッチ処理が可能な 3 次元モデル。
12	Capsule コリジョン (Unreal Engine)	Unreal Engine が標準で用意しているカプセル状の形をしたコリジョン。
13	Cesium for Unreal	Cesium 社が提供する Unreal Engine に 3D Tiles データを取り込むことができるプラグイン。
14	Cesium Ion	Cesium 社が提供する 3D コンテンツを配信する SaaS サービス。
15	Cesium Georeference アクター	Cesium for Unreal が用意しているアクターの一つ。読み込んだ 3D モデルの中心位置を Unreal 上での原点座標に設定するためのアクター。
16	CesiumGltfPrimitiveComponent	Cesium for Unreal が glTF ファイル内の primitive の情報を基に作成するコンポーネント。
17	Cesium3DTileset アクター	Cesium for Unreal が用意している 3D モデルストリーミングするた

		めに使用するアクター。
18	Character (Unreal Engine)	Unreal Engine の標準機能。デフォルトで二足歩行の動作機能を持つ ポーン。
19	CityGML	建築物や土地利用、交通といった単位でモジュール化された仕様を必要 に応じて取り込んで利用できる拡張可能なフォーマットのこと。
20	Component (Unreal Engine)	Unreal Engine の標準機能。アクターがサブオブジェクトとして自身 にアタッチできる特別なタイプのオブジェクト。
21	CrowdManager (Unreal Engine)	Unreal Engine の機能。群衆の旋回、回避を制御ができる。
22	Culling	カメラの画角から外れた又は死角になっている場所に配置されている オブジェクトを描画しないようにする処理のこと。
23	DefaultEngine.ini ファイル	エンジンのコンフィギュレーションファイルの一つ。
24	FME Form	提供されるモジュールをつないだワークベンチを使って、データの変 換や統合などの処理を行うソフトウェア。
25	FPS	Frames Per Second の略。フレームレートとも呼ばれる。1 秒間当 たりに表示される画像数。
26	GameThread	ゲームロジックの大半を処理するためのスレッド（処理を行う主体の 単位）。
27	GPU	Graphics Processing Unit の略。コンピュータに搭載される半導体チ ップの一種で、画面表示や画像処理に特化した演算装置。特に、3 次 元グラフィックス（3DCG）描画や動画の圧縮・展開などに必要な演 算を高速化する並列処理に優れた構造のもの。
28	IFC 形式	ISO によって国際標準として承認されたデータフォーマット。デー タの受け渡しを、特定のベンダー又はベンダーグループに支配されな い、オープンファイル形式で行うことができるため、BIM モデルで頻 繁に使用されるフォーマットの一つ。
29	NavigationSystem (Unreal Engine)	Unreal Engine の機能。コリジョンの配置情報などから、キャラク ターが移動できる領域を生成できる。
30	NavLinkProxy (Unreal Engine)	Unreal Engine の標準機能。NavMesh が途中で途切れており、本来で あればキャラクターを移動できない箇所に配置し、移動できる場所と して設定するためのアクター。2 つの NavMesh 間をつなぐように配 置する必要がある。
31	NavMesh	Unity における、自動移動するオブジェクトが経路を探索できる範囲。
32	NavMeshBoundsVolume (Unreal Engine)	Unreal Engine の標準機能。レベル内に配置して移動可能領域を設定 するエリアを指定するためのアクター。
33	NavModifierVolume (Unreal Engine)	Unreal Engine の標準機能。NavMesh が生成されている場所に配置 することで、NavMesh のコストを変更するために利用される。本シ ミュレーションでは、配置した場所は NavMesh が生成されないよう

		に設定した。
34	Non Player Character	ゲーム上で人間プレイヤーが操作しないキャラクター。
35	RecastNavigation	ゲーム等で広く使われているナビゲーションメッシュのライブラリ。
36	RecastNavMesh	NavMeshBoundsVolume をレベルに追加した際に一緒にレベルに追加されるアクター。NavMesh の詳細設定などを行うためのアクター。
37	ReplaySystem (Unreal Engine)	Unreal Engine の機能。ゲームプレイを記録し、後で再生して見ることができる。
38	RVO	Reciprocal Velocity Obstacles の略。Unreal Engine の NavigationSystem のベースとして利用される衝突回避アルゴリズムのひとつ。
39	StaticMesh (Unreal Engine)	Unreal Engine の標準機能。アニメーションなどを持っておらずゲームプレイ中などに構造が変化しないオブジェクト。
40	TaskGraphThread (Unreal Engine)	ハードウェアが持つプロセッサの数に比例して Unreal Engine によって自動的に作られるスレッド。
41	Tick (Unreal Engine)	通常は 1 フレームに 1 回という一定間隔でアクターなどが決められた処理を実行すること。Unreal Engine の設定で処理間隔を変更可能。
42	Unreal Engine	Epic Games 社により開発・提供される、ゲームエンジンの一種。
43	Unreal Insights (Unreal Engine)	Unreal Engine のアプリケーションの CPU、GPU などのパフォーマンスをプロファイルするためのツール。

B) 五十音順

表 11-2 用語集（五十音順）

No.	用語	説明
1	一時滞在施設	大規模な地震が発生した場合における滞在者等の安全の確保を図るために必要な一定期間退避するための施設。
2	一時避難場所	大規模災害時に、施設の安全性が確認され当該施設に戻るまでの間、施設の滞在者が一時的に退避するための場所。一時滞留スペースとも呼ぶ。
3	エリア防災計画	各地域の帰宅困難者対策協議会が作成する都市再生安全確保計画(※)に準じた計画。 ※都市再生安全確保計画とは、大規模な地震等が発生した場合における都市再生緊急整備地域内の来訪者又は居住者（滞在者等）の安全の確保を図るため、国、地方公共団体、民間事業者等の関係者の適切な役割分担・連携方法等を定め、それぞれが定められた事業又は事務を着実に実施できるようにするための計画
4	エリアマネジメント	地域における良好な環境や地域の価値を維持・向上させるための、住民・事業主・地権者等による主体的な取組。
5	帰宅困難者	自宅までの距離が遠く、徒歩による帰宅が困難な人。
6	原点座標（Unreal Engine）	Unreal Engine における世界全体の座標系（ワールド座標）における (X, Y, Z) = (0, 0, 0) の座標。
7	広域避難場所	震災時に発生する延焼火災から身の安全を確保するために、一時的に避難する場所で、地方公共団体が指定するもの。
8	交差	Intersect とも言う。シミュレーション中にキャラクター同士の移動が交わり、キャラクター同士が衝突または衝突回避を行った状態又は入力レイヤとオーバーレイレイヤの交差部分を抜き出す機能。
9	コリジョン（Unreal Engine）	Unreal Engine の機能。オブジェクト同士が衝突した時の挙動をシミュレートができる。
10	三角メッシュ	シミュレーションやレンダリングなどで計算速度や解析性能を向上するために、3D モデルの面データを全て三角形に分割したメッシュ状のデータ。
11	敷地境界線	建築計画における、敷地の境界。通常は測量法に定められる方法で測量され図面化される。この敷地境界においてさまざまな法規制が発生するため、1/100 ミリの精度が要求される。
12	ジョブスクリプト	コマンドを記載したスクリプト。AWS Glue でのジョブで実行される。
13	人流シミュレーション	人の行動や動きをモデル化し、都市や建築である仮定の条件のもと人や群衆をモデルによって動きを計算し予測する手法。目的として、避難など防災につながるもの、購買分析などマーケティングにつながるものな

		どがある。
14	スポーン	キャラクターなどのオブジェクトをマップ上に出現させること。
15	3DTiles	大規模な 3D 地理空間コンテンツをストリーミング及びレンダリングするために設計されたファイル形式。
16	スレッド	CPU に内蔵される物理コア（命令を処理する装置。プロセッサ）が仮想的に持つ処理単位。論理コアとも呼ばれる。
17	滞留	シミュレーション中に多くのキャラクターが密集し、キャラクターの移動速度が低下または移動停止すること。
18	滞留者	都市再生安全確保計画の対象地域に就業、通学、買物その他の私事等で滞在している人。
19	都市再生安全確保計画	大規模な地震等が発生した場合における都市再生緊急整備地域内の来訪者又は居住者（滞在者等）の安全の確保を図るため、国、地方公共団体、民間事業者等の関係者の適切な役割分担・連携方法等を定め、それぞれが定められた事業又は事務を着実に実施できるようにするための計画。
20	フォリッジ（Unreal Engine）	Unreal Engine の機能。地形の上にオブジェクトを置くことができる。
21	ポーン（Unreal Engine）	Unreal Engine の標準機能。プレイヤーまたは AI によって制御可能な、全てのアクターの基本クラス。
22	ポリゴン	3D のコンピュータグラフィックスで立体を表現する際に用いられる、多角形の平面データ。
23	ボリューム	レベル内の特定のエリアの挙動を変更するために使用されるアクター。
24	混雑度	特定エリアの面積に占める人の面積の割合。
25	ランドスケープ （Unreal Engine）	Unreal Engine の機能。地形を作成することができる。
26	リアルタイムレンダリング	ゲーム等その場で視点を動かしたり、動いたりするために瞬間的に演算して画像を生成する技術。
27	レベル（Unreal Engine）	Unreal Engine 上で 3D オブジェクト・ボリューム・ライトなどを配置するための空間。
28	レンダリング	3D モデルに表面仕上げの素材・光源の設定・動きを設定して、動画や静止画を計算させて生成すること。モデルやデータが多くなると計算時間は飛躍的に増大する。

以上

防災エリアマネジメント DX v2.0

技術検証レポート

発 行：2025 年 3 月

委託者：国土交通省 都市局

受託者：東日本旅客鉄道株式会社

KDDI 株式会社

KDDI アジャイル開発センター株式会社

株式会社 JR 東日本建築設計