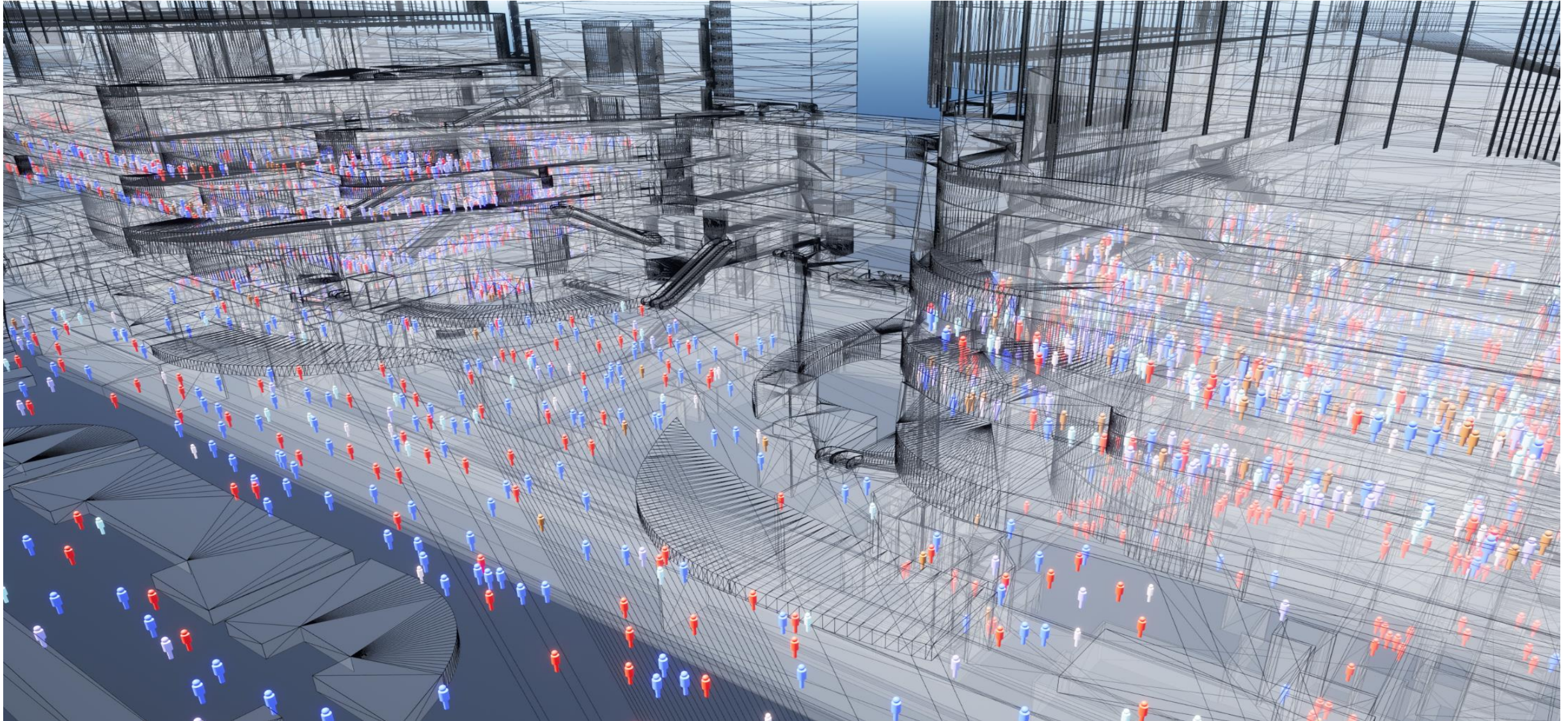


# 防災エリアマネジメントDX 技術検証レポート

Technical Report for Digital transformation of area management for disaster prevention



PLATEAU  
by MLIT



# 目次

<b>I. 実証概要</b>		
1. 全体概要	3	
2. 実施体制	5	
3. 実証エリア	6	
4. スケジュール	9	
<b>II. 実証技術の概要</b>		
1. 活用技術	11	
2. Unreal Engine(UE)	12	
3. Cesium ion	14	
4. Cesium for Unreal	15	
5. Rhinoceros	16	
6. Blender/BlenderGIS	17	
7. Anima	18	
8. Revit	19	
<b>III. 実証システム</b>		
1. 実証フロー	21	
2. 想定事業機会	24	
3. アーキテクチャ全体図	25	
4. システム機能	27	
5. アルゴリズム	59	
6. データ	62	
①活用データ	62	
②データ処理	68	
③出力データ	77	
7. ユーザインタフェース	85	
8. システムテスト結果	90	
<b>IV. 実証技術の検証</b>		
1. シミュレーション環境の検証：災害時	92	
① 検証内容	92	
② 検証結果	105	
2. シミュレーション環境の検証：災害時再検証	112	
① 検証内容	112	
② 検証結果	117	
3. シミュレーション環境の検証：イベント時	126	
① 検証内容	126	
② 検証結果	131	
4. 実証システムの価値検証：高輪ゲートウェイエリア	139	
① 検証内容	139	
② 検証結果	145	
5. 実証システムの価値検証：大丸有エリア	149	
① 検証内容	149	
② 検証結果	152	
<b>V. 成果と課題</b>		
1. 今年度の実証で得られた成果	157	
① 3D都市モデルによる技術面での優位性	157	
② 3D都市モデルによるビジネス面での優位性	158	
2. 今後の取り組みに向けた課題	159	
<b>用語集</b>		161

# I. 実証概要

## II. 実証技術の概要

## III. 実証システム

## IV. 実証技術の検証

## V. 成果と課題

# I. 実証概要 > 1. 全体概要

## 全体概要 (1/2)

テーマ	都市計画・まちづくり
ユースケース名	防災エリアマネジメントDX
実施場所	東京都港区 品川駅北周辺地区
目標・課題 ・創出価値	<ul style="list-style-type: none"><li>• エリアマネジメントはまちの持続的な価値向上のため、まちの維持管理、にぎわい創出、環境、防災、防犯、地域連携など、多岐にわたる活動を実施する。</li><li>• エリアマネジメント活動はアナログな対応が多く、実施のために必要な関係各所との合意形成にコストが相当数かかることから、活動範囲に制約を受けやすく、持続的な活動財源確保のハードルが高い。<ul style="list-style-type: none"><li>- 「防災」は重要性が認識される一方で、潜在的リスクは把握されにくいいため、合意形成が困難かつ成果を実感しづらい、といった理由から取組が停滞しやすい。</li></ul></li><li>• 今回の実証実験では、3D都市モデルを活用した大規模誘導・避難シミュレーション環境を整備し、災害時の潜在的リスクや、これに対応するために必要な避難誘導計画を三次元的に可視化する。</li></ul>
ユースケース の概要	<ul style="list-style-type: none"><li>• 3D都市モデルを利用した大規模誘導・避難シミュレーション環境を構築し、都市再生安全確保計画（官民連携によるエリアの防災計画）の更新に向けて、計画検証や合意形成をサポートすると共に有用性を検証することで、防災を切り口にしたエリアマネジメントのDXを目指す。</li></ul>

# I. 実証概要 > 1. 全体概要

## 全体概要 (2/2)

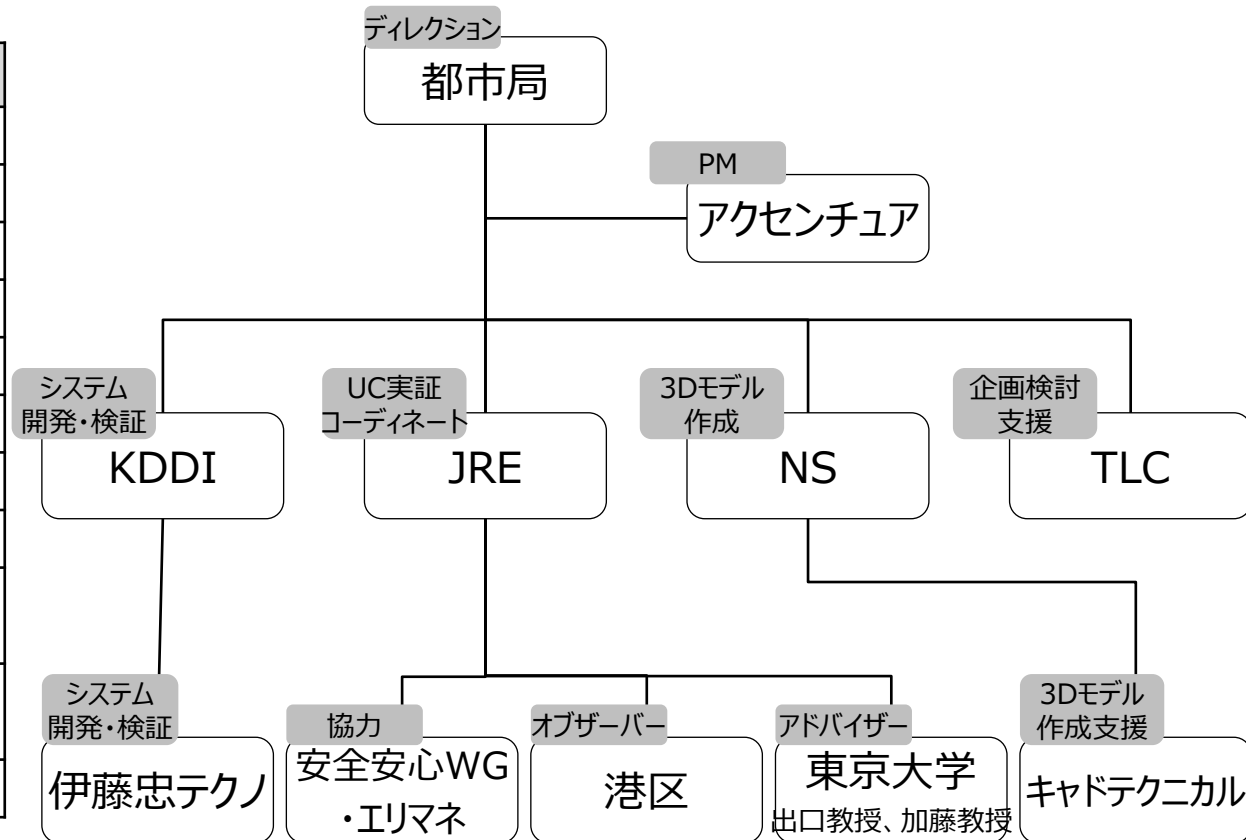
<b>実証仮説</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>● 3D都市モデルを活用した大規模誘導・避難シミュレーション環境を活用することで、関係者間の合意形成を実施しやすくなる。<ul style="list-style-type: none"><li>- 災害リスクの関係者間共有や合意形成コストの軽減に寄与できる。</li></ul></li><li>● 都市開発が完了していないエリアにおいて、3D都市モデルを活用した避難シミュレーションをおこなうことによって、防災エリアマネジメントのフィジビリティ検証に活用できる。<ul style="list-style-type: none"><li>- 大規模避難を実施する際に、人の過剰な滞留が発生する危険個所を特定することができる。</li><li>- 避難誘導を行うことで避難に要する時間を短縮できる。</li><li>- 避難先の収容ボリュームが十分かを検証できる。</li></ul></li></ul>
<b>検証ポイント</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>● 従来の会議体における平面図等を用いた計画検討と比較してより良い計画が作れるか。<ul style="list-style-type: none"><li>- 計画策定時にわからなかった新たな課題が見出せるか。</li><li>- まちのウィークポイント・プレイスを特定できるか。</li><li>- 危険が発生する状況（どこでどんな状況になるか）を把握できるか。</li><li>- より良い誘導策等を検討できるか。</li><li>- 課題の早期発見により、まちびらきに先行して対策を検討でき、地区の安全安心要素を増やせるか。</li><li>- まちびらき前の段階からまちの安全性をシミュレーションで評価できるか。</li></ul></li><li>● 災害対策議論時に共通認識形成に役立つか。<ul style="list-style-type: none"><li>- 潜在的なリスクや状況の可視化により迅速な共通認識の形成や意識変革ができるか。</li></ul></li></ul>

# I. 実証概要 > 2. 実施体制 実施体制

各主体の役割

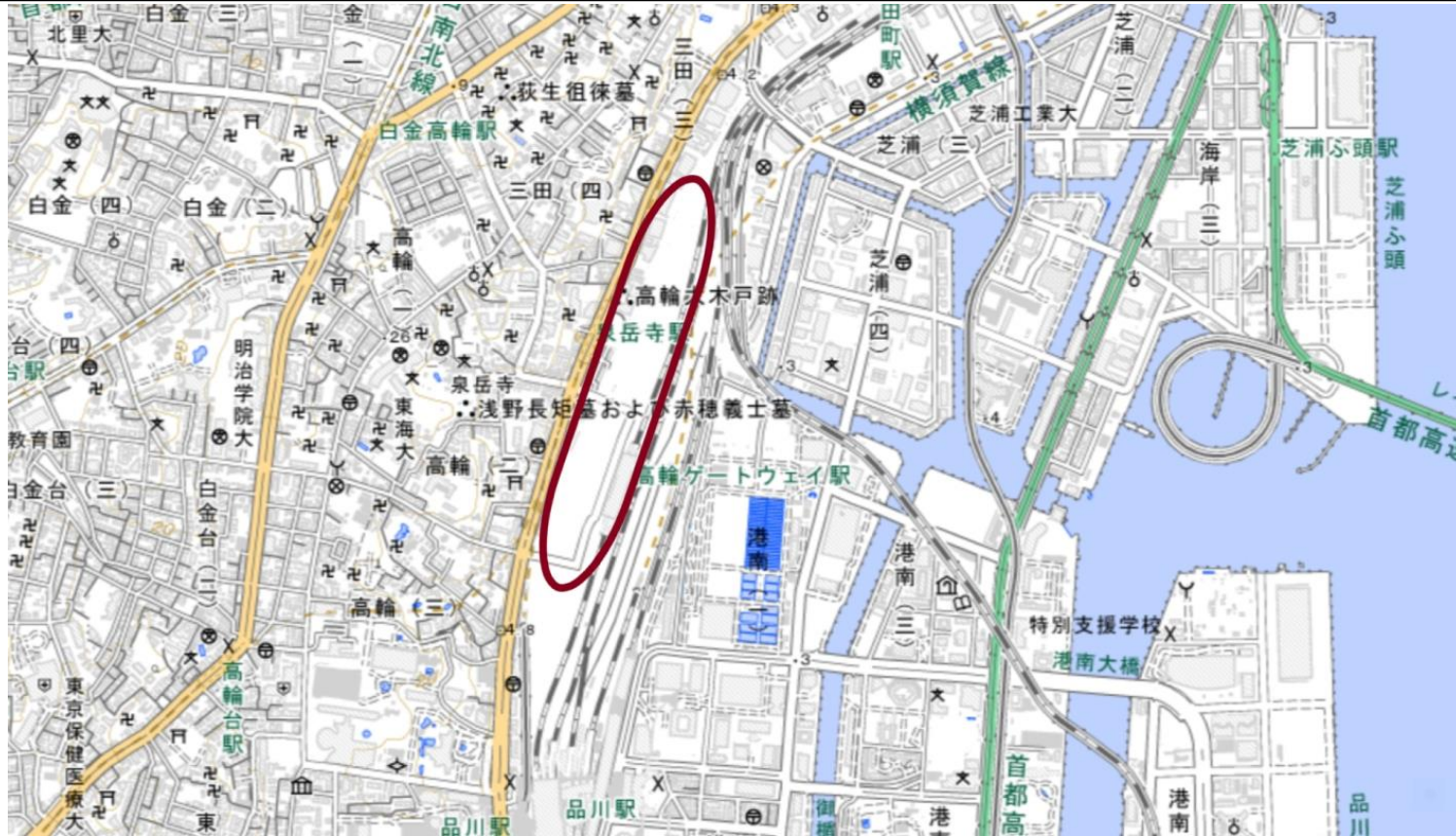
主体	役割
東日本旅客鉄道 (JRE)	ユースケース実証コーディネート
KDDI	システム開発・検証
東急不動産 (TLC)	企画検討支援
日建設計 (NS)	3Dモデル作成、ビジュアル作成
港区	オブザーバー
伊藤忠テクノソリューションズ	システム開発・検証の一部業務実施
キャドテクニカルサポート	3Dモデル作成支援
東京大学 出口教授、加藤教授	アドバイザー
高輪ゲートウェイ駅周辺地区広域連携連絡会 (安全安心WG)	企画協力
高輪ゲートウェイエリアマネジメント (エリマネ)	企画協力 (安全安心WG運営)
アクセンチュア	プロジェクトマネジメント

実施体制図



# I. 実証概要 > 3. 実証エリア 実証エリア

東京都 港区 品川駅北周辺地区（高輪ゲートウェイシティ開発エリア）



# I. 実証概要 > 3. 実証エリア 高輪ゲートウェイシティ（仮称） | 概要

詳細

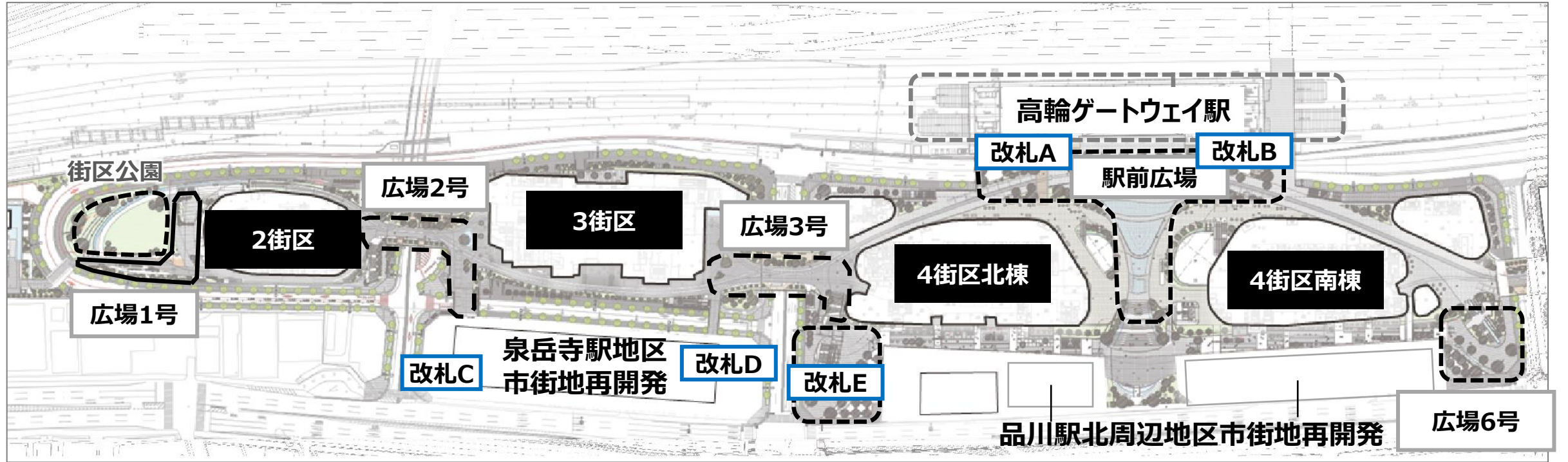
名称	高輪ゲートウェイシティ（仮称）
まち開き	2025年3月予定
概要	<ul style="list-style-type: none"><li>• JR東日本が進める開発計画</li><li>• 商業施設、住居を含む4街区</li><li>• JR品川車両基地の跡地を利用し、開発区域面積は約10haにのぼる</li><li>• まち開きに先行して2020年に高輪ゲートウェイ駅が開業した</li></ul>
本エリアの選定理由	<ul style="list-style-type: none"><li>• エリアマネジメントとして、地域の付加価値向上の一環として、都市の安全確保策を平時から実施し、広域連携も含めた都市の防災力を高めていくことを目指していること</li><li>• 災害時の避難者が1万人規模となることが想定されており、まち開き前からの入念な対策が求められていること</li></ul>

高輪ゲートウェイシティ（仮称）のイメージ





# I. 実証概要 > 3. 実証エリア 高輪ゲートウェイシティ（仮称） | 平面図



# I. 実証概要 > 4. スケジュール スケジュール

実施事項	令和4年										令和5年		
	3月	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.業務計画作成	←→												
2.汎用人流シミュレーション環境開発		←→											
3.3D都市モデル作成		←→											
4.高輪GW人流シミュレーション環境開発			←→										
5.シミュレーション準備			←→										
6.実証環境セット			←→										
7.実証実験										←→			
8.シミュレーション実行						←→							
9.報告書のとりまとめ										←→			

I. 実証概要

**II. 実証技術の概要**

III. 実証システム

IV. 実証技術の検証

V. 成果と課題

## Ⅱ. 実証技術の概要 > 1. 活用技術

# 活用技術一覧

本実証に関わる技術は以下の通り

項目	内容
Unreal Engine(UE)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Epic Gamesが開発したゲームエンジン</li> </ul>
Cesium ion	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cesiumと呼ばれるWebGISソフトウェアに3DTilesを提供するソフトウェア               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 3Dデータをアップロードすると、3D地図上で表示するために最適な3DTilesとしてホスティングが可能</li> </ul> </li> </ul>
Cesium for Unreal	<ul style="list-style-type: none"> <li>• UE上で3D Tiles形式のファイルを取り込むことができるプラグイン</li> </ul>
Rhinoceros	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3DCGモデルを作成・編集するソフトウェア</li> </ul>
Blender/BlenderGIS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3DCGモデリングソフトウェアBlenderのアドオン               <ul style="list-style-type: none"> <li>- GIS機能を実現することで、3D都市モデルや2D地図上にCGモデルを配置可能</li> </ul> </li> </ul>
Anima	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 建築ビジュアライゼーションなどに最適な群衆キャラクターアニメーション、3Dキャラクターアニメーションを手軽に作成できるソフトウェア</li> </ul>
Revit	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 建築で用いられるBIMのオーサリングソフトウェア</li> </ul>

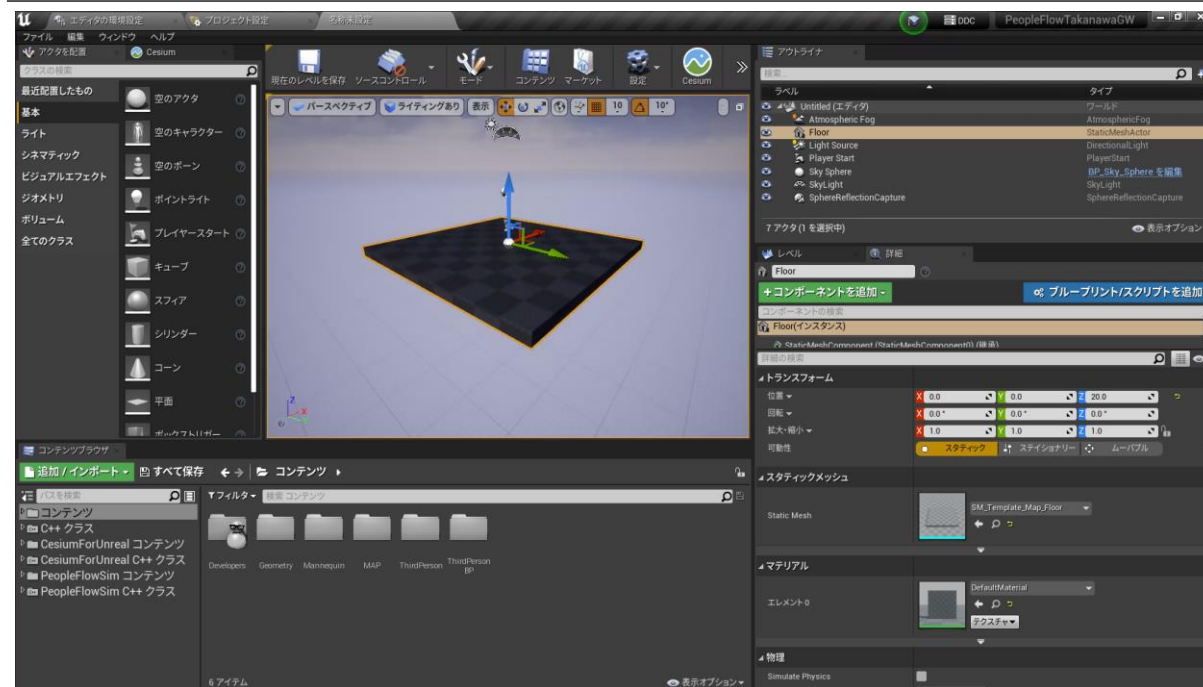
# Ⅱ. 実証技術の概要 > 2. Unreal Engine Unreal Engine (UE) について

高品質な3Dコンテンツ制作を可能とする制作プラットフォーム

## 概要

項目	詳細
名称	Unreal Engine
概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>米 Epic Games社によって開発・提供されるゲームエンジン（3D制作プラットフォーム）</li> </ul>
主な機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>高品質なリアルタイム3D描画機能</li> <li>ゲーム開発向けリアルタイム空間処理機能（経路探索等）</li> <li>ゲームキャラクター向け判断制御機能</li> </ul>
本ユースケースで利用する機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>リアルタイム3D描画機能</li> <li>経路探索機能</li> <li>衝突回避機能</li> </ul>

## Unreal Engineの画面イメージ



## Ⅱ. 実証技術の概要 > 2. Unreal Engine 本ユースケースで利用する主な機能

人流シミュレーション環境を構築するにあたって利用した機能は以下のとおり

機能名*	詳細
Artificial Intelligence	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
Character	基本的な二足歩行の動作機能を持つキャラクターを作成できる
Crowd Manager	群衆の旋回、回避を制御する機能である
Replay System	ゲームプレイを記録し、後で再生して見ることができる
Navigation System	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
Navigation Modifier Volume	キャラクターが移動できる領域を修正する機能である
Collision	オブジェクト同士が衝突した時の挙動をシミュレートする機能である
Behavior Tree	NPCなどのAIがどのような行動をするかを定義するものである
Spawn	ゲーム中に新しいオブジェクトを生成する機能である

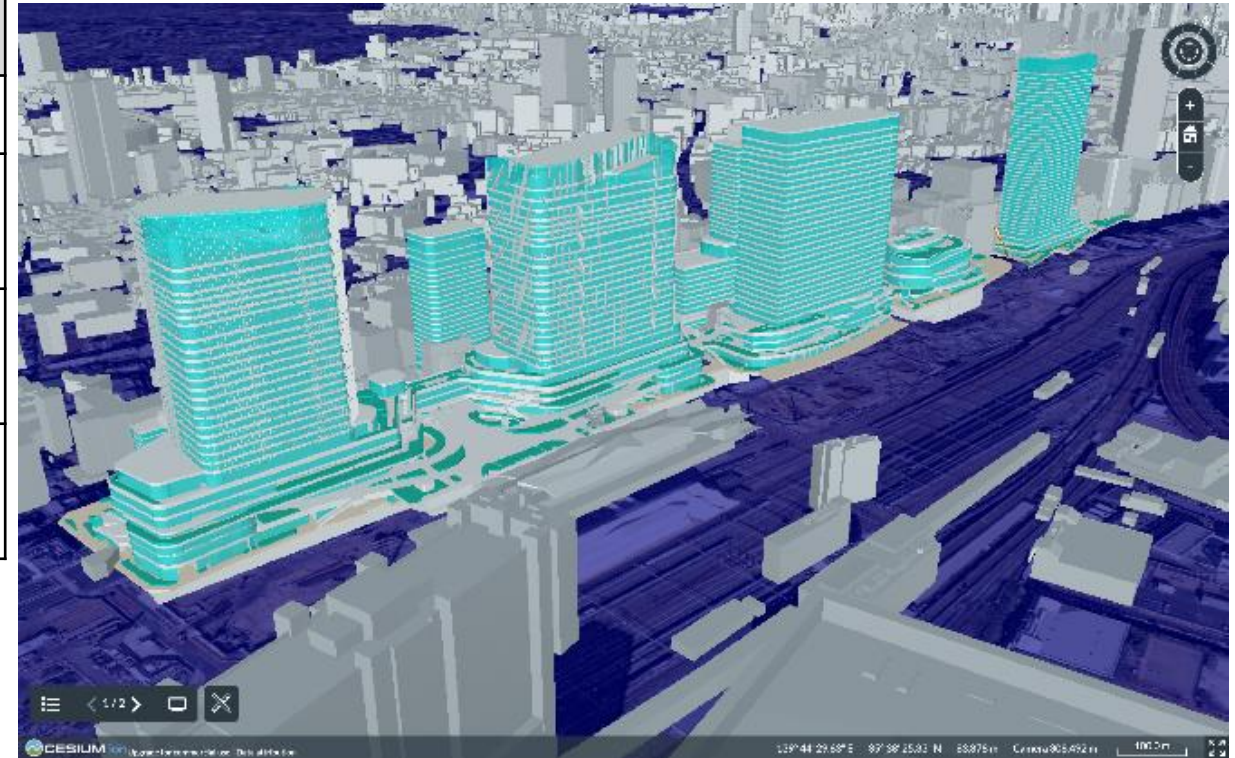
## Ⅱ. 実証技術の概要 > 3. Cesium ion Cesium ionについて

3DTilesファイルをCesiumに配信するソフトウェア

### 概要

項目	詳細
名称	Cesium ion
概要	<ul style="list-style-type: none"><li>• CesiumJSに適した3DTilesに変換、配信するためのシステム</li></ul>
主な機能	<ul style="list-style-type: none"><li>• 3DTilesに変換</li><li>• 3DTilesの配信</li></ul>
本ユースケースで利用する機能	<ul style="list-style-type: none"><li>• 3DTilesの配信</li></ul>

### Cesium ionで配信された3D都市モデル



## II. 実証技術の概要 > 4. Cesium for Unreal Cesium for Unrealについて



PLATEAU  
by MLIT

Unreal Engineに3D Tilesデータを、ストリーミング等でグローバル座標を保持して取り込むことができるプラグイン

### 概要

### 使用イメージ

項目	詳細
名称	Cesium for Unreal
概要	<ul style="list-style-type: none"><li>Unreal Engine上でCesiumを動作させるプラグイン</li></ul>
主な機能	<ul style="list-style-type: none"><li>UEへの3Dモデルデータの取り込み</li><li>UEでの高精細な地球儀の実現</li><li>UEエディタとの統合</li><li>Cesium ionの配信する3D Tilesのストリーミング利用</li><li>3D Tilesのグローバル座標を保持した取り組み</li></ul>
本ユースケースで利用する機能	<ul style="list-style-type: none"><li>UEへの3Dモデルデータの取り込み</li><li>UEエディタとの統合</li></ul>







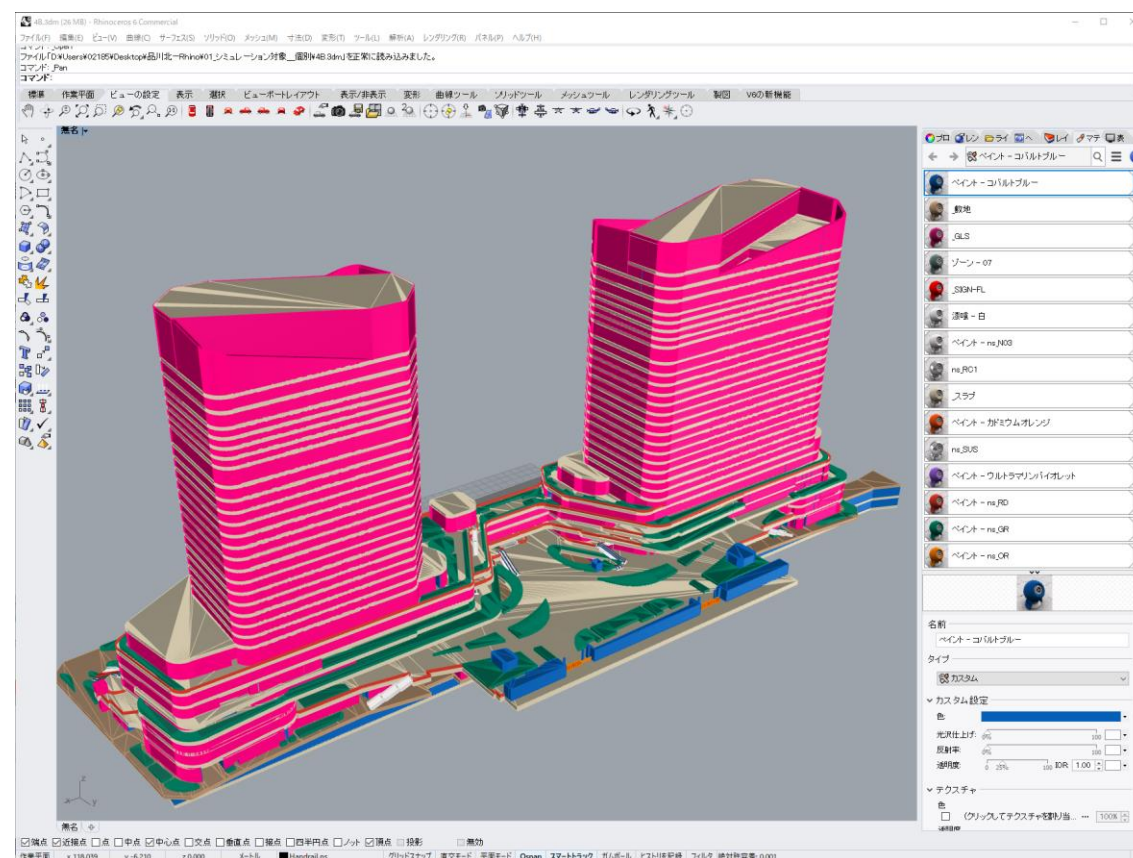
# Ⅱ. 実証技術の概要 > 5. Rhinoceros Rhinocerosについて

## 3DCGモデルを作成・編集するソフトウェア

### 概要

項目	詳細
名称	Rhinoceros
概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>• NURBSと呼ばれる数学的モデルによって生成される曲面や曲線を扱うことができる3次元モデリングツール</li> <li>• 自由曲面を活かしたデザイン性の高い3次元モデルデータを作成できることを特徴としている</li> </ul>
主な機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3Dモデルの作成・編集</li> <li>• レンダリング（プラグイン利用）</li> </ul>
本ユースケースで利用する機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3Dモデル編集機能</li> </ul>

### 使用イメージ



# Ⅱ. 実証技術の概要 > 6. Blender/BlenderGIS

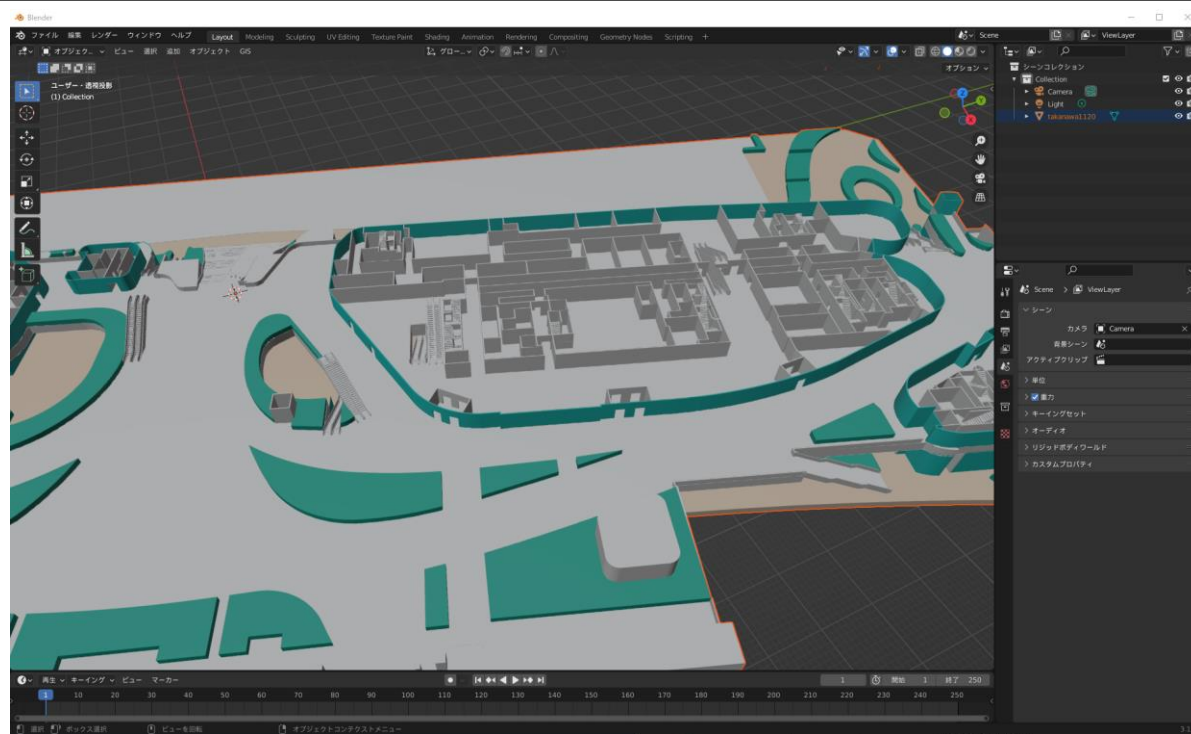
## Blender/BlenderGISについて

オープンソースの統合型3DCG制作ソフトで、BlenderGISアドオンを使うことでGISデータにも対応する

### 概要

項目	詳細
名称	Blender (本体)、BlenderGIS (アドオン)
概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3DCGアニメーションを作成するためのオープンソースの統合環境アプリケーション</li> <li>• 3Dのモデリング、レンダリング、アニメーション等幅広い用途に利用可能</li> <li>• BlenderGISアドオンを使うことでOpenStreetMapを利用しモデルを世界座標系に容易に置ける</li> </ul>
主な機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3Dモデリング (作成、編集、三角メッシュ化等)</li> <li>• 3Dレンダリング</li> <li>• データ変換</li> </ul>
本ユースケースで利用する機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>• OpenStreetMapを使った建物モデルの位置合わせ</li> </ul>

### 使用イメージ



## Ⅱ. 実証技術の概要 > 7. Anima

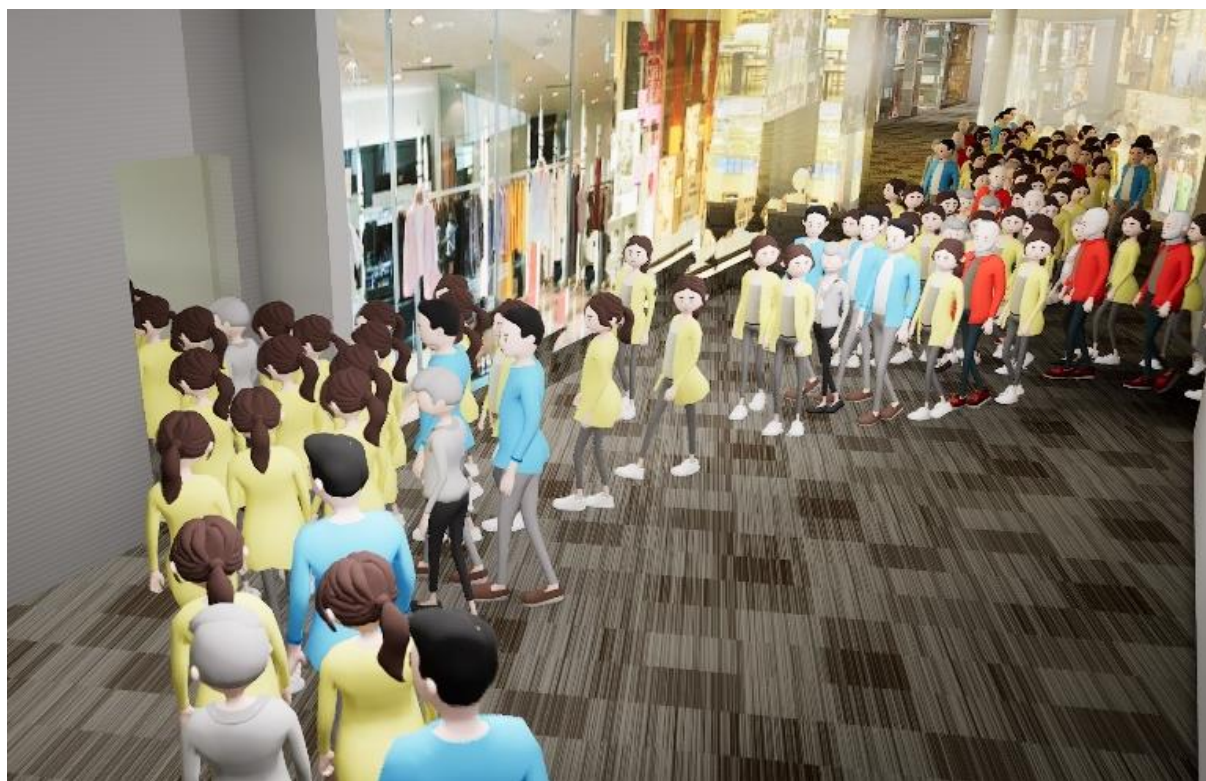
# Animaについて

建築ビジュアライゼーションなどに最適な群衆キャラクターアニメーション、3Dキャラクターアニメーションを手軽に作成できるソフトウェア

### 概要

項目	詳細
名称	Anima
概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>• AXYZ Design社が開発した建築ビジュアライゼーションなどに最適な群衆キャラクターアニメーション、3Dキャラクターアニメーションを手軽に作成できるソフトウェア</li> <li>• 階段を登る動作や扉を開ける動きの再現やキャラクター同士の衝突回避の機能を持つ</li> </ul>
主な機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>• キャラクターの定義</li> <li>• キャラクターへのアニメーション付与</li> <li>• 群衆シミュレーション</li> </ul>
本ユースケースで利用する機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>• シミュレーション結果のアニメーション化</li> </ul>

### Animaで作成されたビジュアル（一例）



# Ⅱ. 実証技術の概要 > 8. Revit

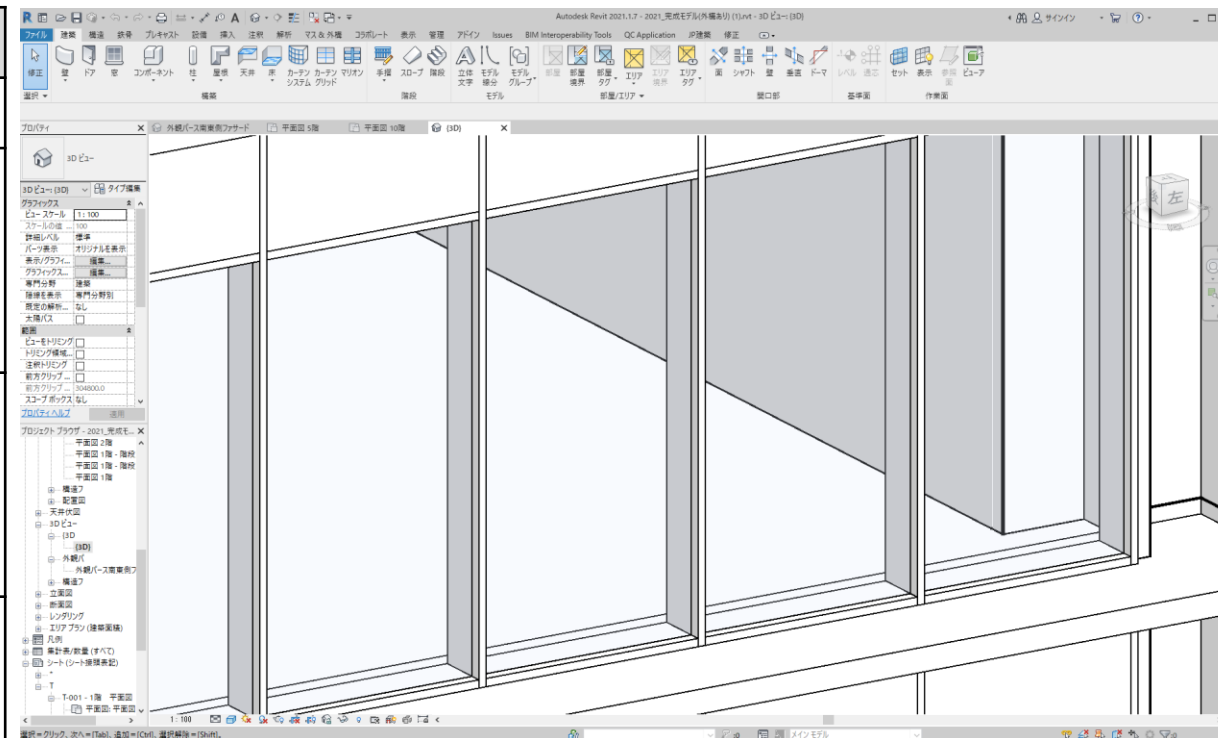
## Revitについて

Autodesk社が提供する、建築、エンジニアリング、施工のためのBIMソフトウェア

### 概要

### Revit 画面イメージ

項目	詳細
名称	Revit
概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>Autodesk社が提供する建築、エンジニアリング、施工（AEC）のための BIM ソフトウェア</li> <li>3Dモデルの構築、編集、出力が可能</li> </ul>
主な機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>データの編集</li> <li>データの統合</li> <li>データ出力、変換</li> <li>ドキュメント作成</li> </ul>
本ユースケースで利用する機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>BIMモデルの編集</li> </ul>



I. 実証概要

II. 実証技術の概要

**III. 実証システム**

IV. 実証技術の検証

V. 成果と課題



# Ⅲ. 実証システム > 1. 実証フロー

## 実証フロー

実証実験ではシミュレーション結果を基に都市再生安全確保計画を見直し、3D都市モデルの有用性を実証対象地区及び他地区の計画策定関係者と自由討議にて検証する

### 3Dモデル作成

- 対象街区のCADやBIMからRevitでモデル調整し、Rhinocerosに取り込みデータを軽量化する
- 全街区の統合モデルとし、シミュレーション用に属性の統合を行いさらなる簡略化を行う

### シミュレーション環境の開発

- 1万人を超える人流を扱うことが可能な大規模人流シミュレーション環境をUnreal Engine、Cesium for Unrealを利用してAWS EC2（GPU搭載）上に構築する
- 作成した3Dモデルをシミュレーション環境に取り込み、デジタルツイン環境を構築する

### シミュレーションシナリオの作成

- 都市再生安全確保計画で定める災害時行動フローを基に、シミュレーションシナリオを作成する
- 人流データは安確計画内の屋外滞留者の推計値を用いる

### シミュレーションの実行

- Unreal Engineのエディタ上で下記条件をインプットし、密集度と移動完了時間の結果データを出力する
  - 移動不可経路、キャラクター定義（移動経路、移動開始時間、配置）、密集度計測エリア
- 結果データにてシナリオの想定外の動きが観測された場合は、シナリオ条件自体を見直し試行を繰り返す

### 結果考察・示唆導出

- シミュレーションログ（キャラクターの定義情報などを記録）を用いて、まちのウィークポイント・プレースを抽出する
- リプレイファイル（実行内容を記録）を用いて、混乱の要因を考察し、示唆（主にソフト対策）を導出する

### 計画策定関係者との自由討議・ヒアリング

- 結果データを用いてプレゼンテーション資料を作成、関係者に示唆をわかりやすく伝達し、共通認識を構築する
  - 計画策定関係者としての観点から3D都市モデルの有用性を検証する



## Ⅲ. 実証システム > 1. 実証フロー

# シミュレーション環境を使った検討フロー

作成したシナリオに沿ってシミュレーションを設定し、異常値に対しては修正を行いながらシミュレーション試行を行い、最終的なアウトプットを分析することでシナリオの課題を検出する

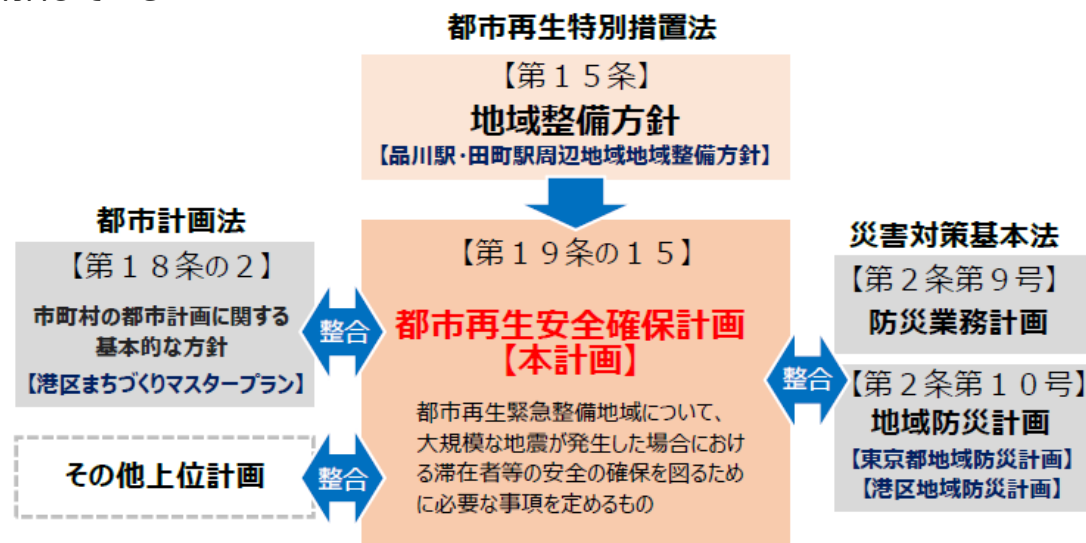
項目	内容
シナリオ作成	<ul style="list-style-type: none"><li>シミュレーションを行うシナリオを作成する<ul style="list-style-type: none"><li>本実証では、品川駅・田町駅周辺地域 都市再生安全確保計画をもとに作成する</li></ul></li></ul>
シミュレーション条件設定	<ul style="list-style-type: none"><li>作成したシナリオに基づき、人流シミュレーション環境にシミュレーション条件を設定する</li><li>シミュレーション条件が設定どおりにいかない場合は、設定の修正を行い、最終的な結果を出力する</li></ul>
シミュレーション結果分析	<ul style="list-style-type: none"><li>シミュレーション結果として出力されるログから、密集度（計測エリア、ゴール）、および移動完了時間を分析する</li></ul>
シミュレーション結果考察	<ul style="list-style-type: none"><li>シミュレーション結果に対して設定した閾値（密集度、移動完了時間）と照らし合わせる<ul style="list-style-type: none"><li>閾値を超えた場合に、リプレイを利用して原因を確認する</li></ul></li><li>リプレイ確認にて課題の有無を判断し、考察結果としてまとめる</li></ul>

# Ⅲ. 実証システム > 1. 実証フロー 都市再生安全確保計画（安確計画）の概要

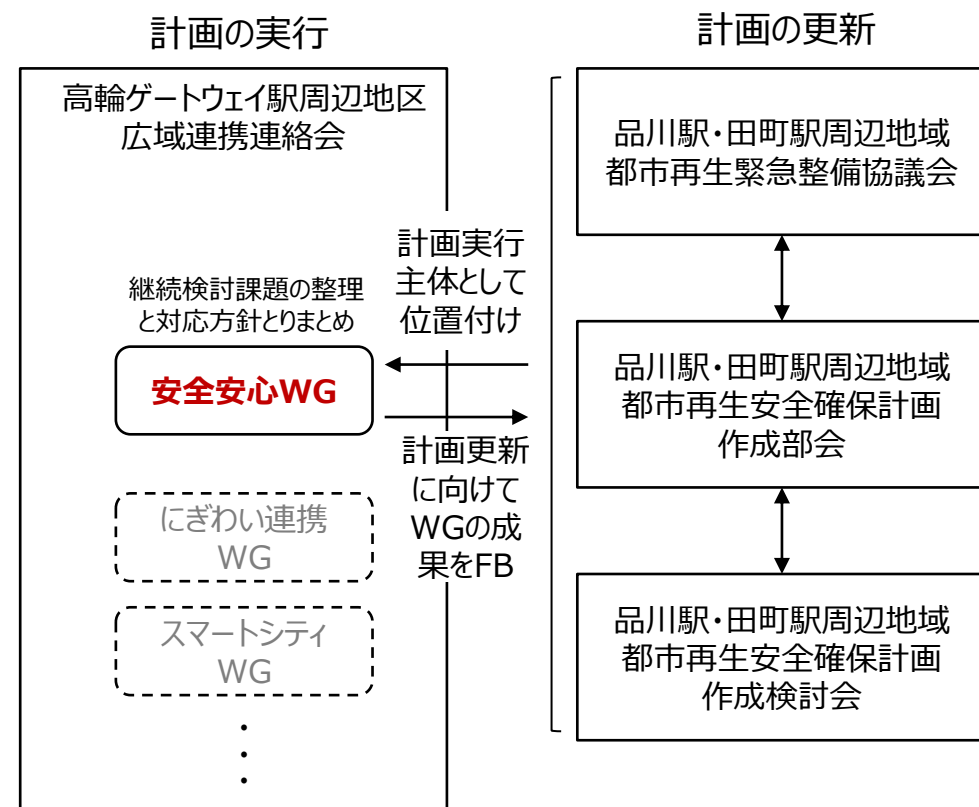
本実証実験では、都市再生安全確保計画の更新を目指したシミュレーション環境の構築を行い、安全安心WGにおいてシミュレーション結果に基づく計画更新の提案を行う

## 都市再生安全確保計画（安確計画）とは

- 都市再生特別措置法により創設された制度で、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事項を定めるもの
- 実証エリアにおいては、**地域の関係者がまちづくりやエリアマネジメント、地域の付加価値向上の一環**として、本計画に示すハード・ソフト両面の都市の安全確保策を平時から実施し、広域連携も含め本地区内外にわたる**都市の防災力を高めていく**ことを目指している



## 安確計画対象エリアでの計画の検討・実行スキーム







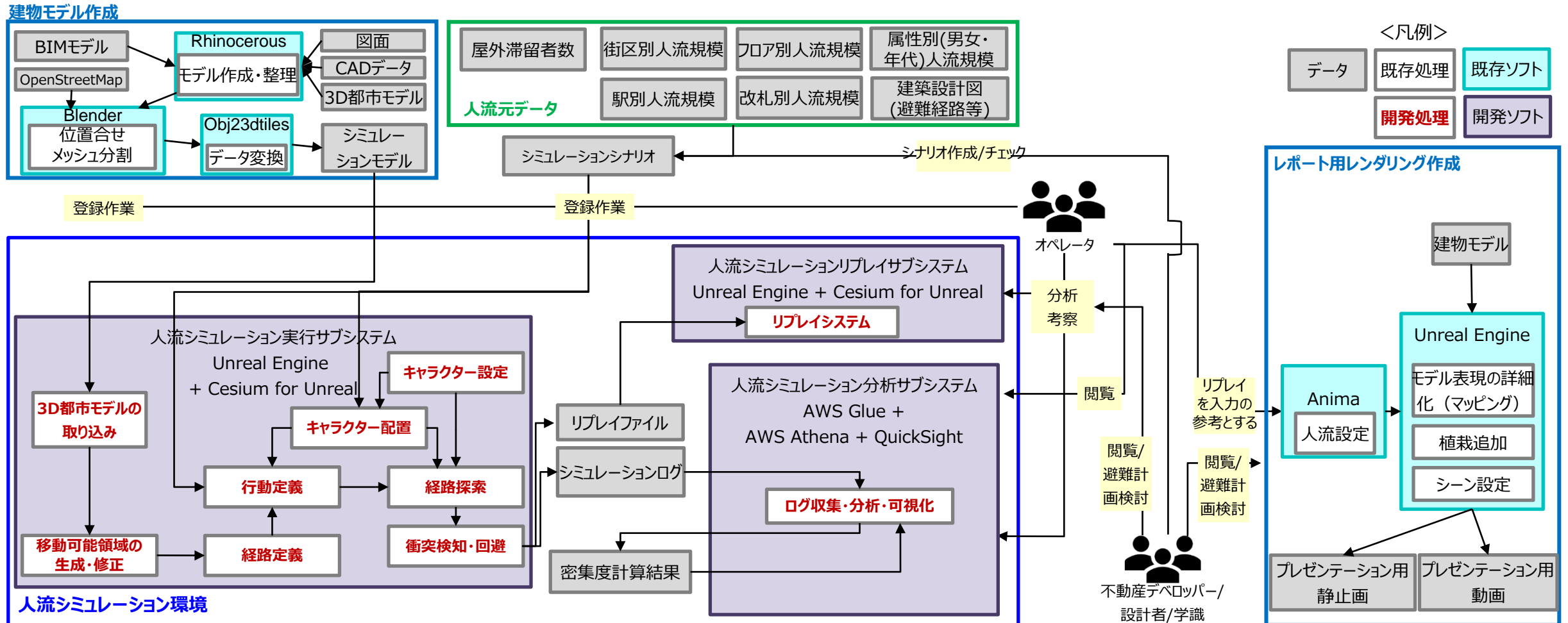
## Ⅲ. 実証システム > 2. 想定事業機会 想定事業機会

自治体、不動産デベロッパー、エリアマネジメント団体を中心として、デジタル技術を活用したスムーズなまちづくり計画の策定・更新を可能とするサービス等を提供する

項目	内容
利用事業者	<ul style="list-style-type: none"><li>● 自治体</li><li>● 不動産デベロッパー</li><li>● エリアマネジメント団体</li></ul>
提供価値	<ul style="list-style-type: none"><li>● エリアマネジメントによる地域の資産価値向上<ul style="list-style-type: none"><li>- 3D都市モデルを活用した計画改善や防災訓練の提供により、企業・シティブランドの価値を向上させる</li></ul></li><li>● まちづくり計画策定の業務効率化<ul style="list-style-type: none"><li>- 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</li></ul></li></ul>
サービス仮説	<ul style="list-style-type: none"><li>● まちづくり計画等の策定・更新支援サービス<ul style="list-style-type: none"><li>- 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</li></ul></li><li>● シミュレーション環境の販売<ul style="list-style-type: none"><li>- 防災計画における避難計画や街の設備の最適化に使用可能なシミュレーション環境を提供する</li></ul></li></ul>

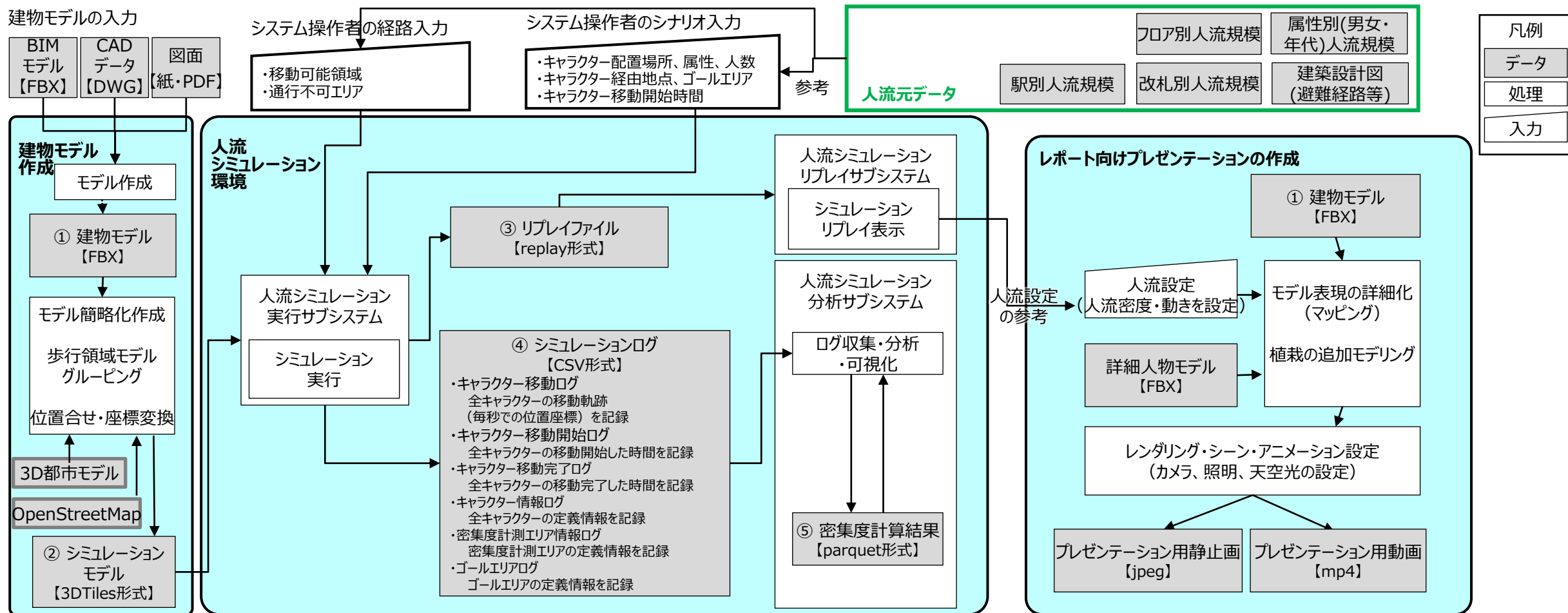
# Ⅲ. 実証システム > 3. アーキテクチャ全体図

## システムアーキテクチャ全体図



# Ⅲ. 実証システム > 3. アーキテクチャ全体図

## データアーキテクチャ全体図



# Ⅲ. 実証システム > 4. システム機能 人流シミュレーション環境 (1/2)

<凡例> **赤太字** : 新規開発要素

機能名	説明
① <b>3D都市モデルの取り込み</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• 3D Tiles形式の3D都市モデルをUEに取り込み表示<ul style="list-style-type: none"><li>- 取り込んだ3D都市モデルのBoundingBoxサイズを最適化</li><li>- 3D都市モデルの全量ロード</li><li>- モデルの原点座標更新オフ</li></ul></li></ul>
② <b>移動可能領域の生成・修正</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• AIキャラクターが移動できる領域を定義</li><li>• 3D都市モデル上にAIキャラクターが移動できる領域を生成</li><li>• 3D都市モデルに合わせた移動可能領域の修正</li></ul>
③ <b>キャラクター設定</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• 属性（性別・年代）毎に異なる歩行速度、サイズ（身長、横幅）をAIキャラクターに設定</li></ul>
④ <b>キャラクター配置</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• AIキャラクターの属性・人数を設定して、指定した場所に配置</li></ul>
⑤ <b>行動定義</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• 任意のAIキャラクターに移動時の経由地点、ゴール地点、移動開始時刻を設定</li></ul>
⑥ <b>経路定義</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• AIキャラクターの通行不可の場所を設定</li></ul>
⑦ <b>経路探索</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• AIキャラクターの移動経路を探索</li><li>• 移動経路の探索打ち切りの閾値を変更</li></ul>

# Ⅲ. 実証システム > 4. システム機能 人流シミュレーション環境 (2/2)

<凡例> **赤太字** : 新規開発要素

機能名	説明
<b>⑧衝突検知・回避</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>● 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を設定</li><li>● 狭所侵入時のAIキャラクター同士の詰まりによる滞留を解消</li><li>● 群衆管理を行い、AIキャラクター移動時にキャラクター同士・建物との衝突を回避</li><li>● 群衆制御の設定をエリアごとに変更</li></ul>
<b>⑨ログ収集・分析・可視化</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>● 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</li><li>● ゴールエリア毎の密集度をログとして記録し分析</li><li>● 密集度計測エリアを定義し、定義ログを記録し分析</li><li>● 分析結果をグラフ表示</li></ul>
<b>⑩リプレイシステム</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>● シミュレーション実行結果を記録し、リプレイで結果を確認</li></ul>

# Ⅲ. 実証システム > 4. システム機能 その他システム

<凡例> **赤太字**：新規開発要素

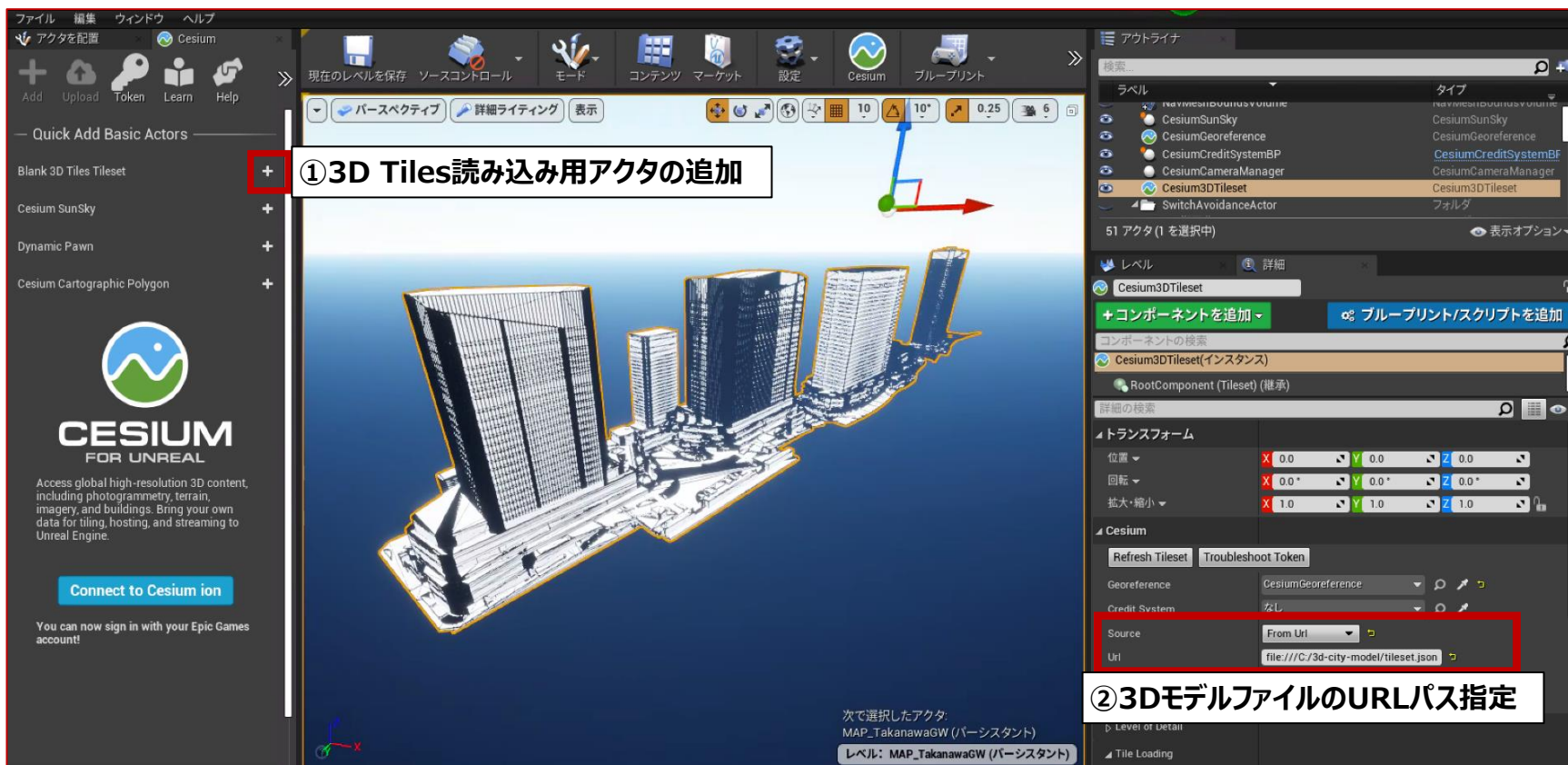
ソフトウェア名	機能名	説明
Rhinoce <span style="color:red">r</span> ous	モデル簡略化	<ul style="list-style-type: none"> <li>人流シミュレーションに必要十分な3Dモデルを作成する</li> </ul>
	歩行領域モデル グルーピング	<ul style="list-style-type: none"> <li>シミュレーションにはレイヤやマテリアル分けは不要なので、レイヤとマテリアルを一つに統合する</li> </ul>
	位置合せ・座標変換	<ul style="list-style-type: none"> <li>3Dモデルを高輪の地図座標に移動する</li> </ul>
Anima	人流設定 (人流密度・動きを設定)	<ul style="list-style-type: none"> <li>リプレイファイルを参考にしてプレゼンテーション用の人物を配置する</li> </ul>
UnrealEngine	モデル表現の詳細化 (マッピング)	<ul style="list-style-type: none"> <li>プレゼンテーション用に、床、壁にテクスチャマッピングを行う</li> </ul>
	植栽の追加モデリング	<ul style="list-style-type: none"> <li>プレゼンテーション用に詳細な形状の植栽を追加する</li> </ul>
	レンダリング・シーン・アニメーション設定 (カメラ、照明、天空光の設定)	<ul style="list-style-type: none"> <li>光源・天空光の設定、カメラの設定等のシーン設定を行い、動画や静止画のレンダリング計算を行い、ファイルに出力する</li> </ul>

# Ⅲ. 実証システム > 4. システム機能

## ① 3D都市モデルの取り込み

3D Tiles形式の3D都市モデルをCesium for Unrealを使用してUEに取り込み表示する

Cesium for Unrealでの3D都市モデルの取り込み画面



## Ⅲ. 実証システム > 4. システム機能

# ① 3D都市モデルの取り込み | Cesium for Unrealの課題

既存のCesium for UnrealはBoundingBoxをComponent単位で扱えない課題があり、本シミュレーション環境の構築に向けて改善が必要であった

### BoundingBoxにおける課題

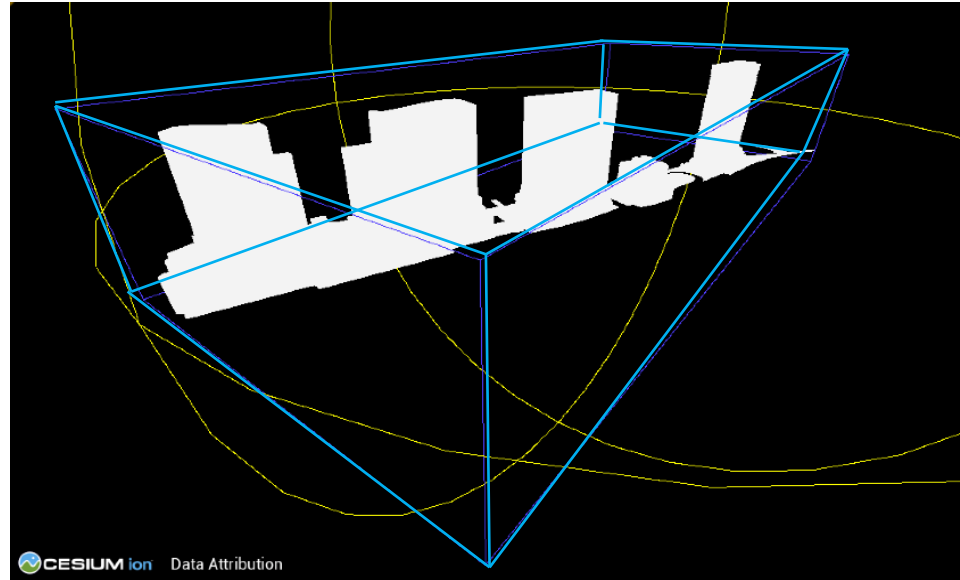
#### 課題

- 各Componentの実際のサイズよりも大きなサイズのBoundingBox（以下BB）が生成されていた
  - Cesium for Unrealは3D Tilesのb3dm内に記載された情報からBBのサイズを決定される
  - しかし、1つのb3dm内に複数のComponentが存在する場合でもその全てに同じサイズのBBが設定される

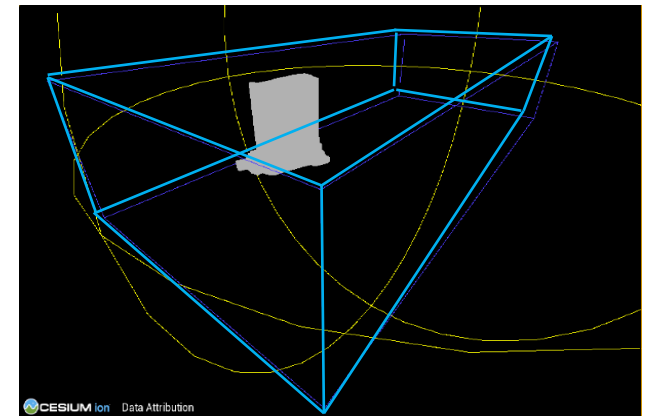
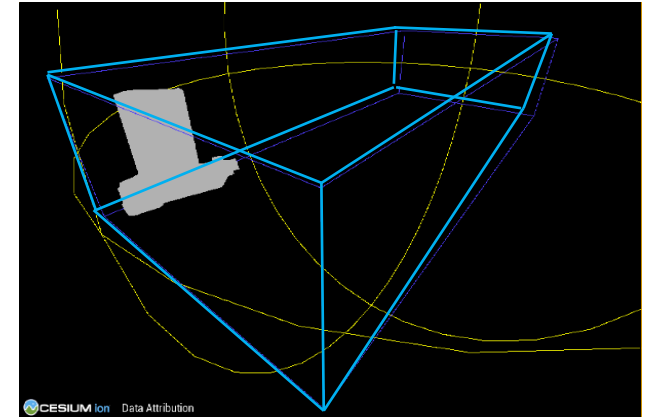
#### 上記によって引き起こされる問題

- BBが大きくなると重なりが増え、衝突計算の実行回数増加などによりシミュレーション負荷が上がる
  - BBはシミュレーション時の各アクタ間の衝突計算を実行する範囲を決める要素となっている

### 3D都市モデル全体のBoundingBox



b3dmファイル内に10個のコンポーネント情報が存在するが、BoundingBoxは全て同じサイズとなっている





## Ⅲ. 実証システム > 4. システム機能

# ① 3D都市モデルの取り込み | Cesium for Unrealの改修

BoundingBoxをComponent単位で生成できるようにCesium for Unrealの改修を行った

### Cesium for Unrealの改修内容

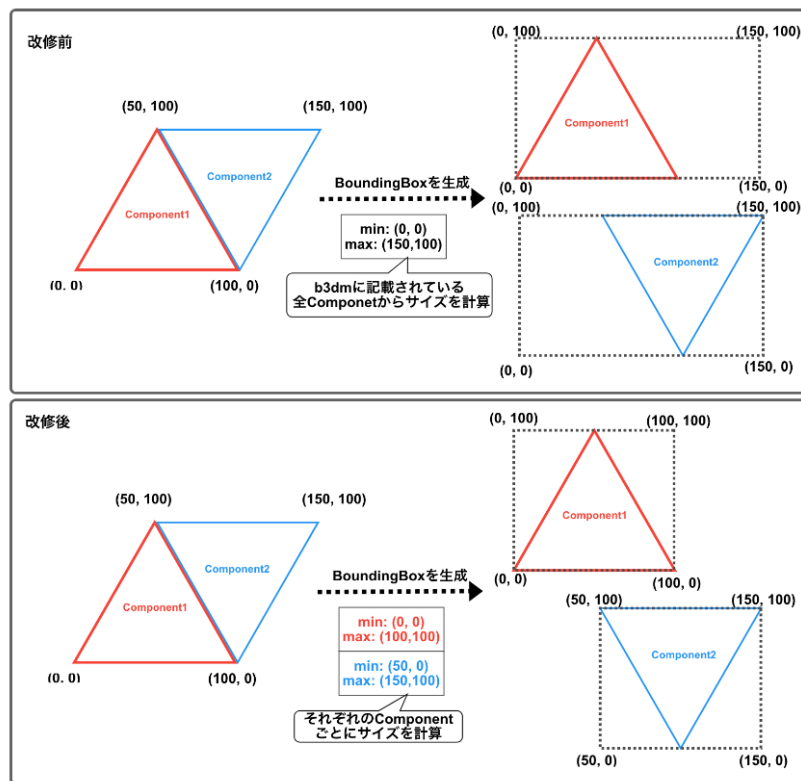
#### 改修ポイント

- 各Componentの各ポリゴン間の座標の距離からBoundingBoxのサイズを計算し設定する処理を呼び出すため、ポリゴンの指定方法について既存のコード改修を実施した

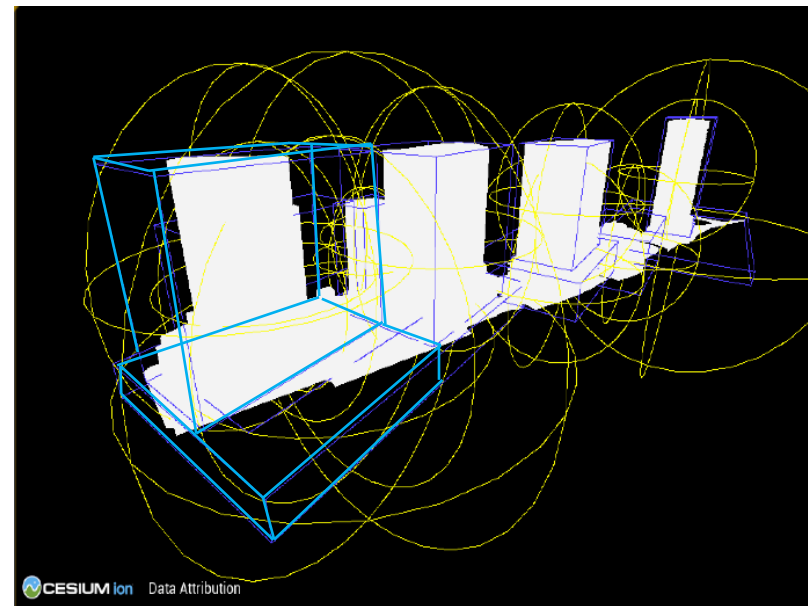
#### 改修結果

- b3dm内のサイズ情報に関わらず、常にComponentのサイズに合ったBoundingBoxが計算し設定できるようになった

### BoundingBoxのサイズ設定概念図（改修前後）



### 改修後のBoundingBox



- b3dmファイル内の各ComponentごとのサイズでBoundingBoxが設定されている

## Ⅲ. 実証システム > 4. システム機能

# ① 3D都市モデルの取り込み | 全モデル取り込み時の改善策

Cesium for Unrealの仕様上、表示範囲のモデルしか取り込まれず取り込んだモデルも適宜アンロードされることから計算やシミュレーションに影響する課題があったが、新たな機能実装と設定変更により対策を行った

### 課題

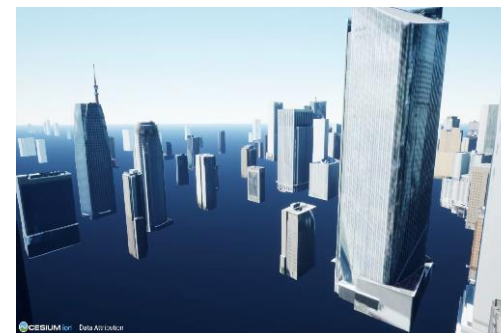
- モデルが一部しか取り込まれていない状態だと、移動可能領域が正しく計算できない
  - プレイヤーのカメラの距離などによってモデルの読み込みを制限しているため、一度に全てのモデルは取り込まれない

- モデルのアンロード機能により、シミュレーション時に移動中のキャラクターが落下
  - カメラの画角から外れたものなどは逐次アンロードを行う機能あり

### 対策

- 移動可能領域の正しい計算のため、シミュレーション実行前に**全モデルを取込完了できる機能を実装**
  - tileset.jsonに記載されているb3dmが全て読み込まれているかを逐次確認し、読み込まれていないb3dmの中心座標にカメラを自動で移動させながら全b3dmが読み込まれるまで待機する機能を実装

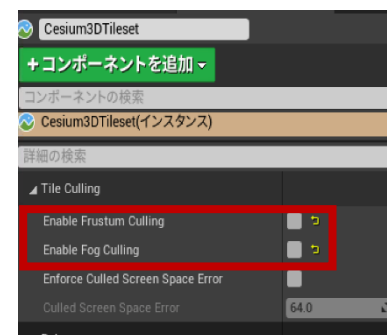
- モデルのアンロードの回避のため、Cesium3DTilesetアクタの**以下の設定値を変更**
  - Culling設定：オフ
  - Maximum Cached Byte：256MB（デフォルト）→16GBに引き上げ



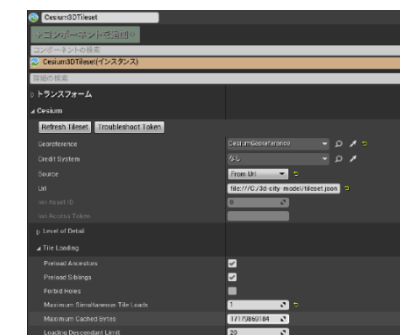
プレイ開始直後、モデル取り込みが一部しか行われていない



カメラを動かしながら待機した状態、モデルが全て取り込まれている



Cesium3DTilesetアクタのCullingの設定オフ



Cesium3DTilesetアクタのMaximum Cached Byteの値を変更

## Ⅲ. 実証システム > 4. システム機能

# ① 3D都市モデルの取り込み | 座標更新設定での改善策

Cesium for Unrealのデフォルト設定ではプレイヤーのカメラ位置に合わせてモデルの位置も移動するため、正しくシミュレーションを行えない課題があり、原点座標の更新処理をオフに設定変更することで解決した

課題と対策

KeepWorld Origin Near CameraのON/OFFの違い

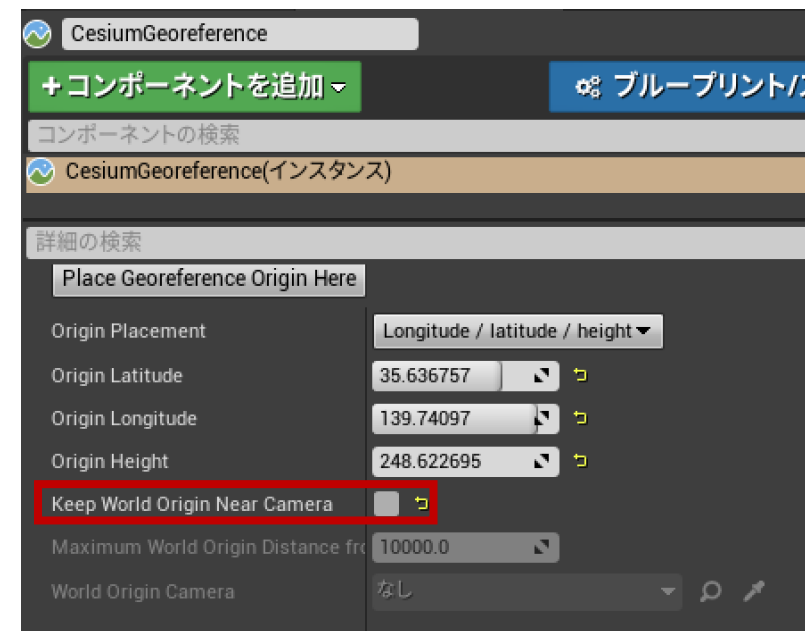
CesiumGeoreferenceアクタの設定

### 課題

- Cesium for Unrealのデフォルト設定では、プレイヤーのカメラ位置に合わせてモデルの原点座標を更新する設定のため、カメラを移動させる度に読み込んだモデルの位置も移動してしまう
- モデルが移動すると、読み込んだモデルと事前に計算した移動可能領域や追加で配置した他のアクタとの位置と乖離してしまうため正しくシミュレーションが行えない

### 対策

- CesiumGeoreferenceアクタでカメラ位置に合わせた原点座標の更新処理をオフ
  - Keep World Origin Near Cameraの設定をオフにした



# Ⅲ. 実証システム > 4. システム機能

## ② 移動可能領域の生成・修正

キャラクターが移動できる領域を個別に設定し、避難時の想定利用経路のシナリオに合わせて微修正を行う

### 移動可能領域の定義

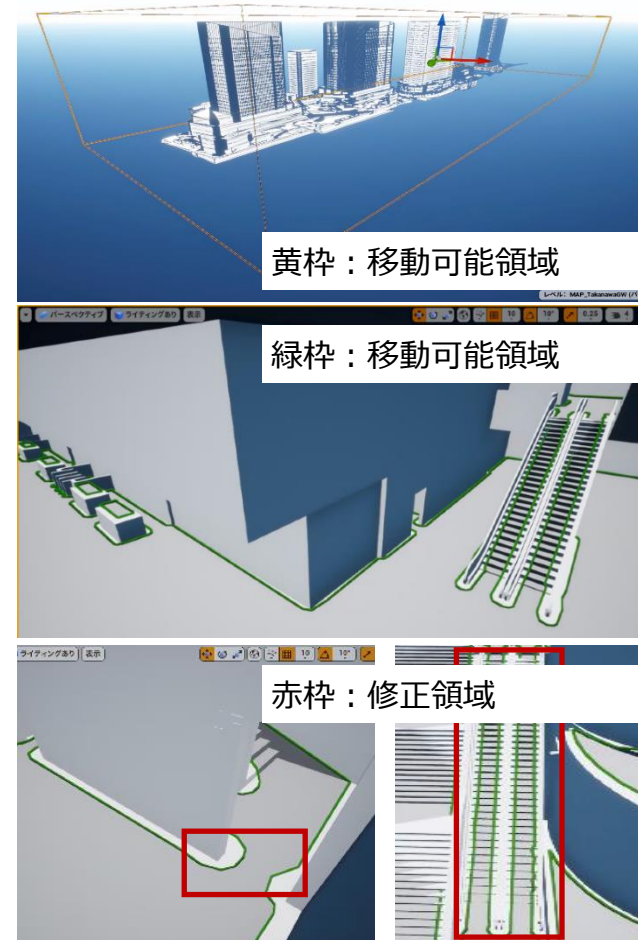
- UEのNavMeshBoundsVolumeの機能を用いて、取り込んだモデル全体を囲うように移動可能領域を定義した

### 移動可能領域の生成

- 標準機能では移動可能領域の計算に必要なコリジョン（衝突判定）が生成されないため、3D都市モデルの取り込み時に各CesiumGltfPrimitiveComponentに対して必要なコリジョンを生成するようにCesium for Unrealのコードを改修した

### 移動可能領域の修正

- RecastNavMeshのパラメータのデフォルト設定値では、扉の出入口・階段・通路などの狭い場所に移動可能領域を設定できないため、3D都市モデルやシナリオ要件に合わせて以下のように設定値を変更した
  - エージェントのサイズを男性キャラクターの最大サイズである半径23.5cm、高さ171cmに設定した
  - タイル・セルのサイズを小さくし、モデル全体にNavMeshが設定できているかを確認しながら最適値を設定した
- パラメータの最適化後も、移動可能領域が途切れている場所は、NavLinkProxyで接続することで補正した。NavMeshの計算で移動可能領域として判断されなかった場所は、StaticMeshを配置することで補正した



### Ⅲ. 実証システム > 4. システム機能

## ② 移動可能領域の生成・修正 | 移動可能領域の定義

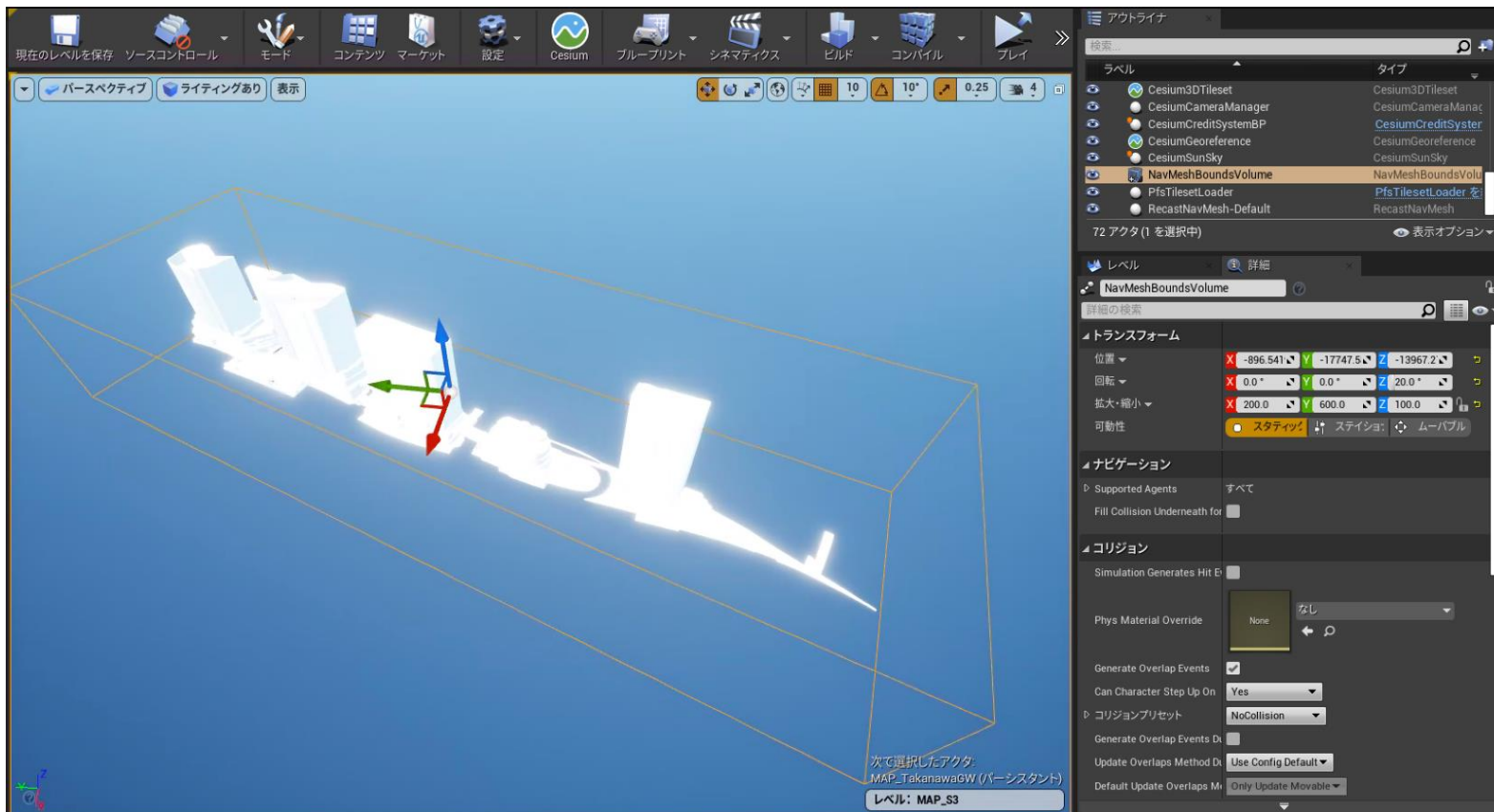
AIキャラクターが移動できる領域を定義する

#### 移動可能領域の定義方法

##### ● 移動可能領域の定義

- UEのNavMeshBoundsVolume機能を活用
- 取り込んだモデルを囲うようにNavMeshBoundsVolumeを配置することで、モデル全体を移動可能領域として定義

#### 取り込んだモデルに対してNavMeshBoundsVolumeを設定



## Ⅲ. 実証システム > 4. システム機能

# ② 移動可能領域の生成・修正 | 移動可能領域の生成

3D都市モデル上に、AIキャラクターが移動できる領域を生成する

### 課題と対策

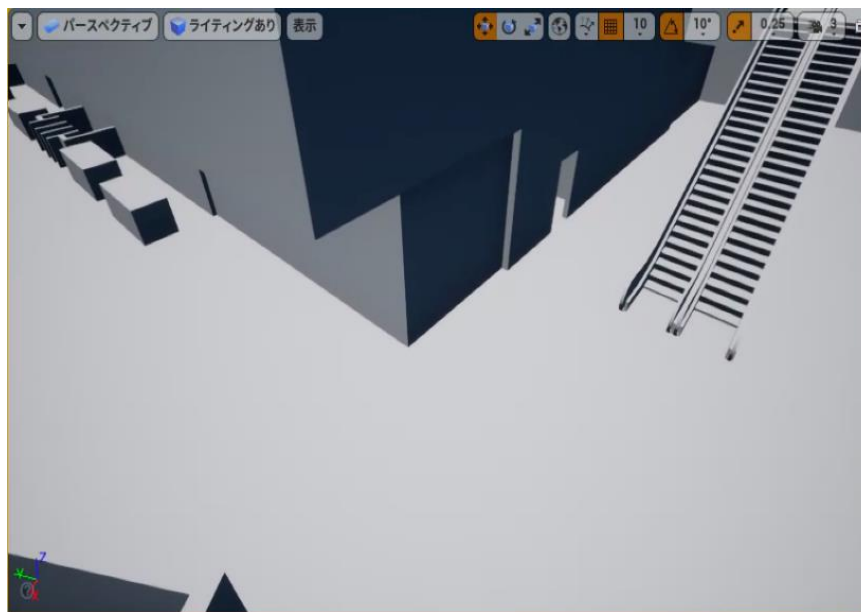
### 読み込んだ3D都市モデルでの移動可能領域の設定

#### 課題

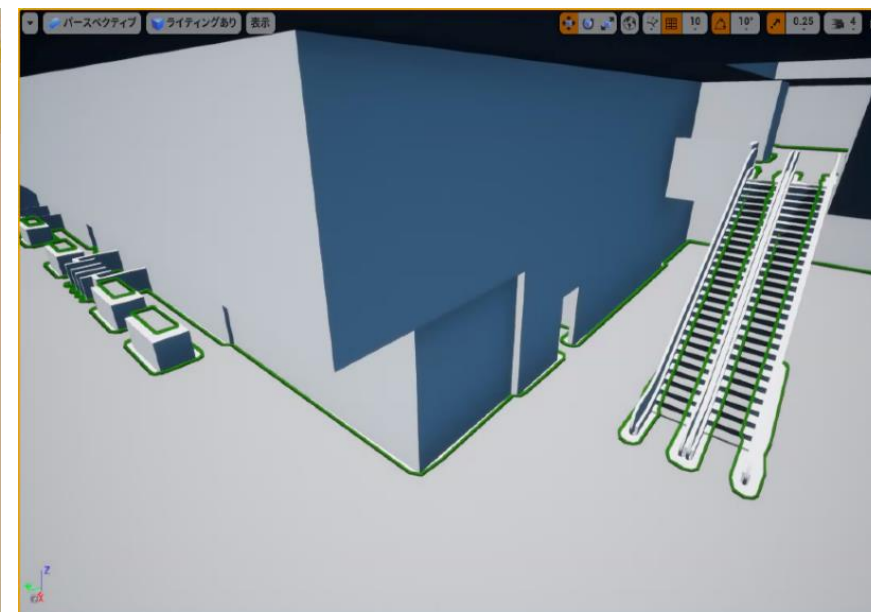
- Cesium for Unrealの標準機能では読み込んだ3D都市モデルに対して、UEのNavMeshBoundsVolumeの計算に必要なコリジョンが生成されておらず、移動可能領域を生成することができない

#### 改修ポイント

- 3D都市モデルの読み込み時に各GltfPrimitiveComponentに対して必要なコリジョンを生成するようにCesium for Unrealのコードを改修



改修前



改修後

移動可能領域として設定された領域は  
緑色の枠で表示される

# Ⅲ. 実証システム > 4. システム機能

## ② 移動可能領域の生成・修正 | 移動可能領域の修正 (1/2)

3D都市モデルに合わせ、移動可能領域を修正する

### 課題と対策

### 読み込んだ3D都市モデルでの移動可能領域の修正

#### 課題

- デフォルトのRecastNavMeshのパラメータ設定値だと扉の出入り口や階段・通路などの狭い場所に移動可能領域を設定できない

#### 対策

- エージェントのサイズ(半径・高さ)をシナリオ要件に合わせて変更
  - 半径23.5cm、高さ171cm(最も大きな大人の男性キャラクター)を設定した
- タイル・セルのサイズの設定を変更(デフォルト値から手動で最適値を探索\*1 (高輪GWエリア3Dモデルにおける最終値は図中の設定値を参照))
  - これらのサイズを小さくすることで、NavMeshの計算精度が向上し細かい粒度で経路定義できる
  - ただし、小さすぎると経路計算時間が長くなる



図 最適化後のパラメータの設定値

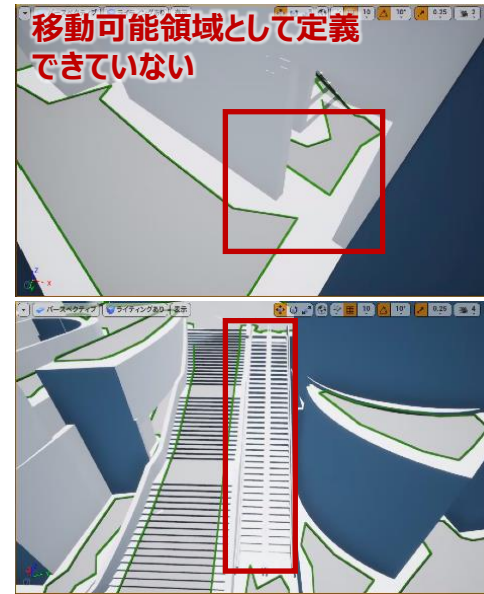


図 パラメータ最適化前

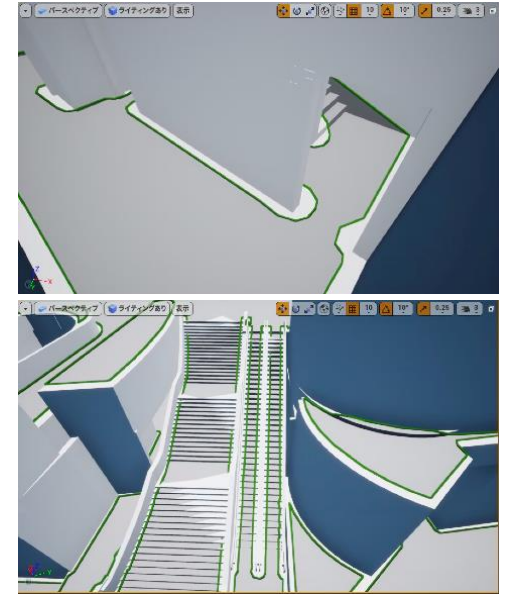


図 パラメータ最適化後

\*出典：EpicGames「ナビゲーション メッシュ生成速度を最適化する」

<https://docs.unrealengine.com/4.27/ja/InteractiveExperiences/ArtificialIntelligence/NavigationSystem/OptimizingNavigationMeshGenerationSpeed/>

# Ⅲ. 実証システム > 4. システム機能

## ② 移動可能領域の生成・修正 | 移動可能領域の修正 (2/2)

3D都市モデルに合わせ、移動可能領域を修正する

### 課題と対策

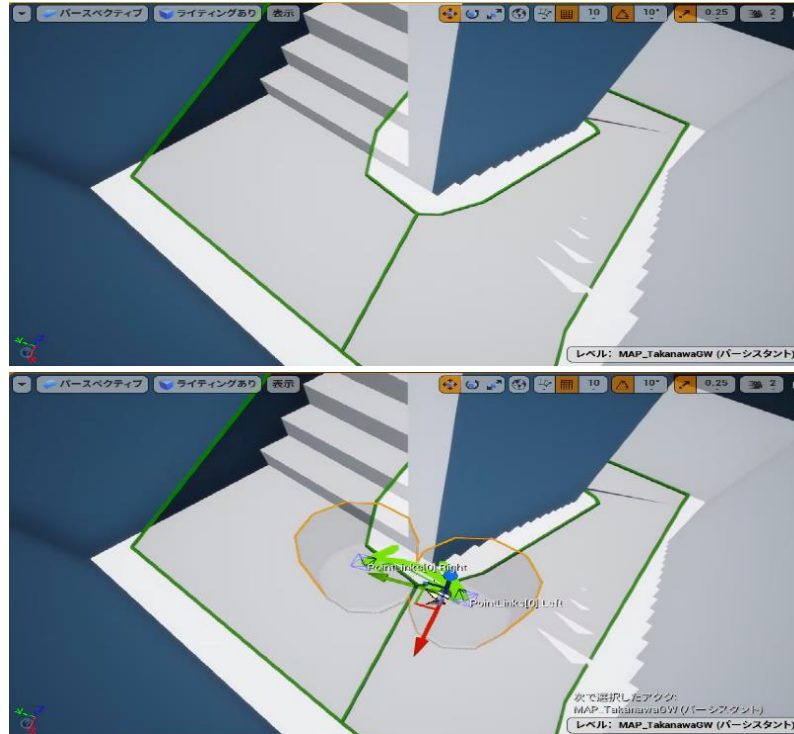
#### 課題

- パラメータの最適化後でも、複雑なモデルだと正しく移動可能領域が定義できない場所があり

#### 対策

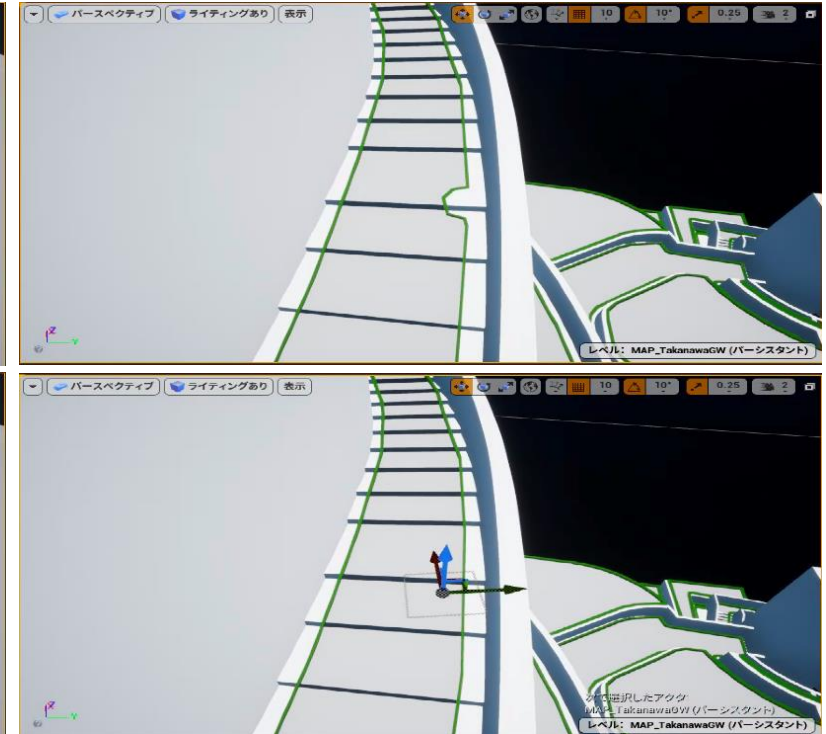
- 移動可能領域が途切れている箇所
  - NavLinkProxyで接続することによって修正
- その他のNavMeshの計算で移動可能領域として判断されなかった場所
  - StaticMeshを配置することで修正

### NavLinkProxyによる修正



移動可能領域が途切れている箇所(上図)に NavLinkProxyを配置し通れるエリアとして再計算(下図)

### StaticMeshによる修正



移動可能領域として認識されなかった箇所(上図)を StaticMeshで補完し、移動可能な領域とする(下図)



## Ⅲ. 実証システム > 4. システム機能

### ③キャラクター設定

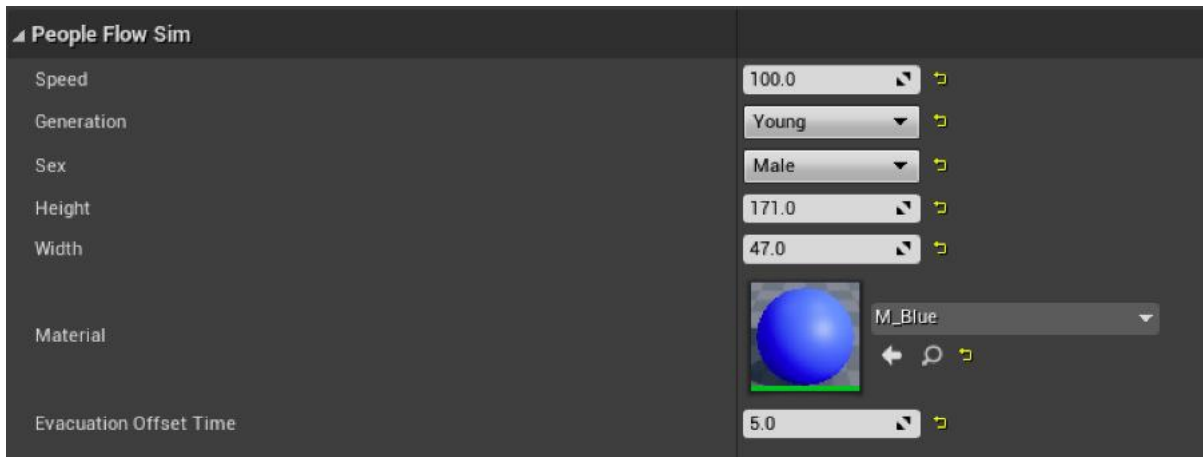
属性(性別・年代)毎に異なる歩行速度、サイズ(身長、横幅)をAIキャラクターに設定する

#### キャラクターのパラメータ

- キャラクター設定を行うためのアクタを開発した
- シナリオの要件に合わせて属性、サイズ、速度などの設定を実施した
- UEではコリジョンを設定することで建物やキャラクターとの衝突を判定することが可能となる

パラメータ名	内容
Speed	キャラクター速度
Generation	キャラクターの年代 - Elder、Young、Childから選択
Sex	キャラクターの性別 - Male、Femaleから選択
Height	キャラクターの高さ(コリジョンの高さ)
Width	キャラクターの横幅(直径。コリジョンの幅)
Material	キャラクターのマテリアル
Evacuation Offset Time	移動開始タイミング - スポーンされてから何秒後に移動開始するか

#### キャラクター設定用アクタの設定項目(大人の男性の場合)



# Ⅲ. 実証システム > 4. システム機能

## ③キャラクター設定 | 設定値の詳細

各属性に対して設定したサイズ・移動速度は以下の通り

属性・サイズ・移動速度の設定



キャラクターの3Dモデル

種類	身長*1	横幅*1	移動速度
子供 (男性)	148cm	38cm	0.73m/秒
子供 (女性)	144cm	32cm	0.79m/秒
大人 (男性)	171cm	47cm	1m/秒 子連れは子供の速度
大人 (女性)	158cm	42cm	0.85m/秒 子連れは子供の速度
高齢者 (男性)	164cm	44cm	0.74m/秒
高齢者 (女性)	152cm	41cm	0.65m/秒

0-14歳の  
平均速度 避難係数

15-59歳の  
平均速度 避難係数

60-79歳の  
平均速度 避難係数

年代毎の移動速度\*2

年齢	男性平均 歩行速度 (m/秒)	女性平均 歩行速度 (m/秒)
0-4	0.983333333	0.903333333
5-9	0.986666667	1.081666667
10-14	1.108333333	1.318333333
15-19	1.526666667	1.2
20-24	1.46	1.235
25-29	1.42	1.236666667
30-34	1.591666667	1.203333333
35-39	1.421666667	1.12
40-44	1.371666667	1.183333333
45-49	1.375	1.31
50-54	1.296666667	1.12
55-59	1.21	1.058333333
60-64	1.168333333	0.986666667
65-69	1.063333333	0.996666667
70-74	1.011666667	0.916666667
75-79	0.908333333	0.845

$$\text{避難係数} = \frac{1^{*3}}{\text{大人 (男性) 平均歩行速度: } 1.408148148}$$

\*1 出典：経済産業省「size-JPN 2004-2006 調査結果について【別紙】57項目平均値データ」2007年10月

[https://warp.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/286890/www.meti.go.jp/press/20071001007/004\\_bessi.pdf](https://warp.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/286890/www.meti.go.jp/press/20071001007/004_bessi.pdf)

厚生労働省「身体状況調査の結果」2012年 <https://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/eiyou/dl/h24-houkoku-05.pdf>

\*2 出典：阿久津邦男,不味堂出版 [歩行の科学] p56-57 1975年

\*3 出典：国土交通省「階避難安全検証法に関する算出方法等を定める件」2000年5月 <https://www.mlit.go.jp/notice/noticedata/pdf/201703/00006493.pdf>

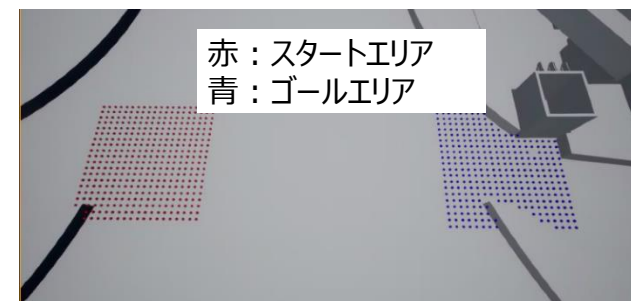
### Ⅲ. 実証システム > 4. システム機能

## ④ キャラクター配置

スタートエリアとゴールエリア及びその経由地点の設定できるアクタを開発し、キャラクターをスタート地点に設置する

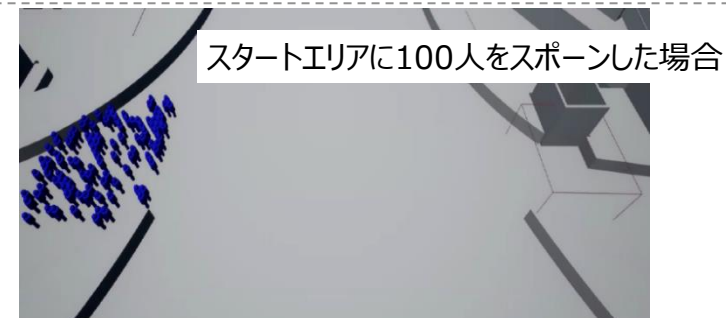
キャラクター配置用の  
アクタ機能開発

- エリア内の各座標に移動可能か確認し、移動不可能な座標は候補から排除した上でスタートエリアとゴールエリアを定義するアクタ機能を開発する



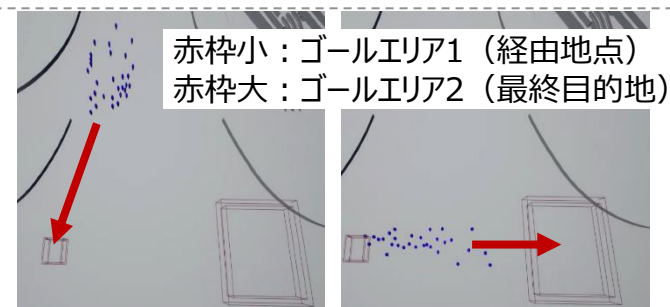
スポーンするキャラクターの  
属性・人数の設定

- スタートエリアの設定項目で、シミュレーション開始時にスポーンするキャラクターの属性・人数を設定する



ゴールエリアと経由地点  
の設定

- スタートエリアの設定項目で、ゴールエリアを複数設定することで最終的目的地までの移動経路を指定する



### Ⅲ. 実証システム > 4. システム機能

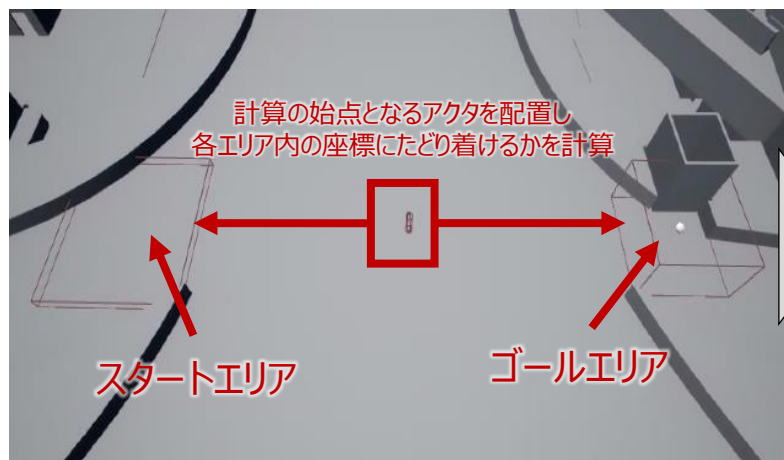
## ④ キャラクター配置 | キャラクター配置用のアクタ機能開発

AIキャラクターの属性・人数を設定して、指定した場所に配置するためのアクタ機能を開発した

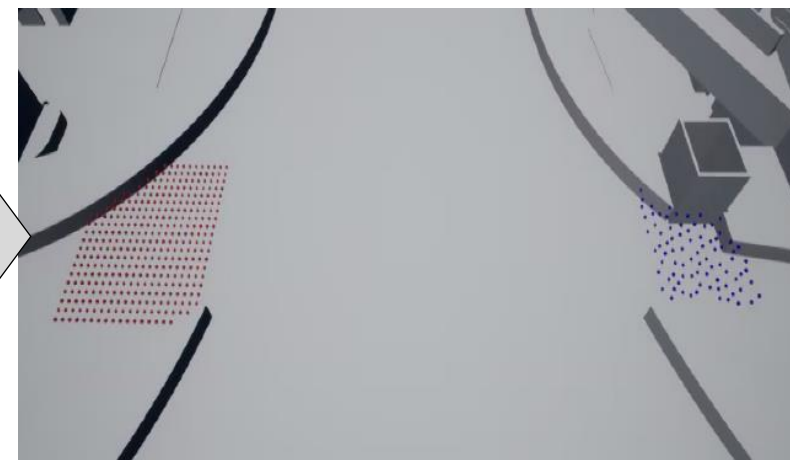
#### キャラクター配置用アクタの開発

- キャラクターの移動開始地点となるスタートエリアと目的地となるゴールエリアを定義するためのアクタ機能を開発した
  - 移動開始地点と目的地としたい領域にそのアクタを配置することで、2点間を移動するキャラクターを生成する
  - キャラクターが移動できないことが無いよう、事前計算としてナビゲーションシステムによる経路探索とテスト的な移動を実施し、移動できない座標は移動開始地点および目的地の候補から除外
  - スタートエリアの設定項目でスポーンするキャラクターの属性・人数を設定可能（次頁）

#### 移動開始地点と目的地の座標の候補点計算



計算の始点となるアクタを配置



アクタからスタートエリアとゴールエリア内でたどり着ける座標のみを抽出し候補点とする

### Ⅲ. 実証システム > 4. システム機能

## ④ キャラクター配置 | スポーンするキャラクターの属性・人数の設定

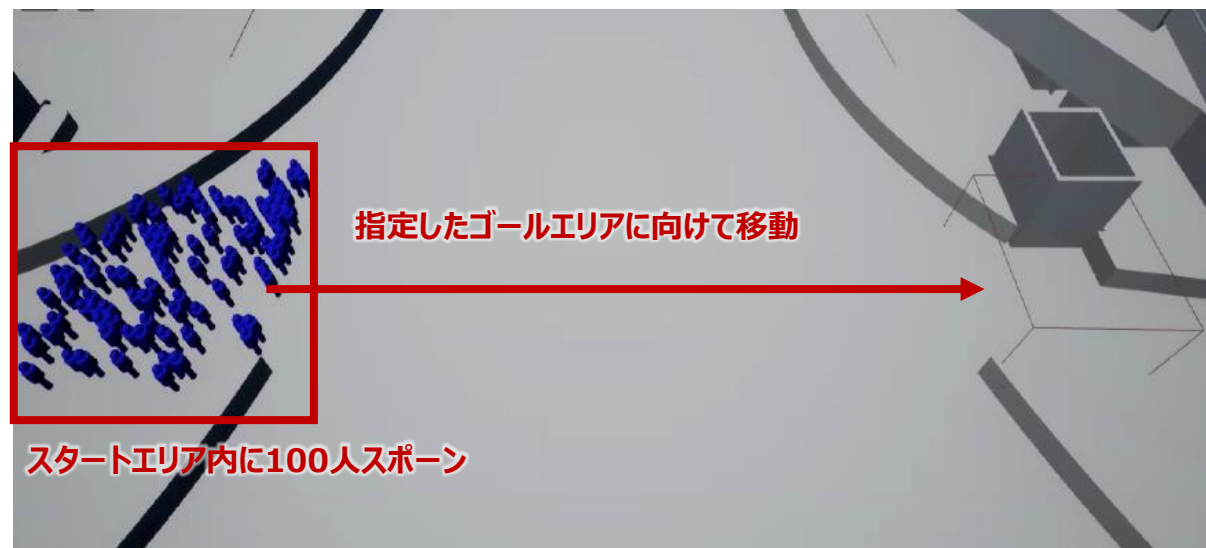
AIキャラクターの属性・人数を設定して、指定した場所に配置する

スタートエリアアクタによるスポーンの設定

実際のスポーンの様子

- スタートエリアアクタの設定項目にてスポーンの設定を行えるように設定した

パラメータ名	内容
SpawnStartTime	シミュレーション開始から初回のスポーンタイミングまで間隔(秒数)
SpawnPattern	キャラクターの属性、スポーン人数、目的地の配列
GroupActor	キャラクターの属性ごとの設定(キャラクターの設定用アクタを指定)
SpawnNum	一度にスポーンする人数
GoalActor	目的地の配列(ゴールエリアアクタを指定)



- キャラクター設定用アクタで設定した属性のキャラクターがシミュレーション開始から10秒後に100人スタートエリア内にスポーンされ、指定したゴールエリアに向けて移動する



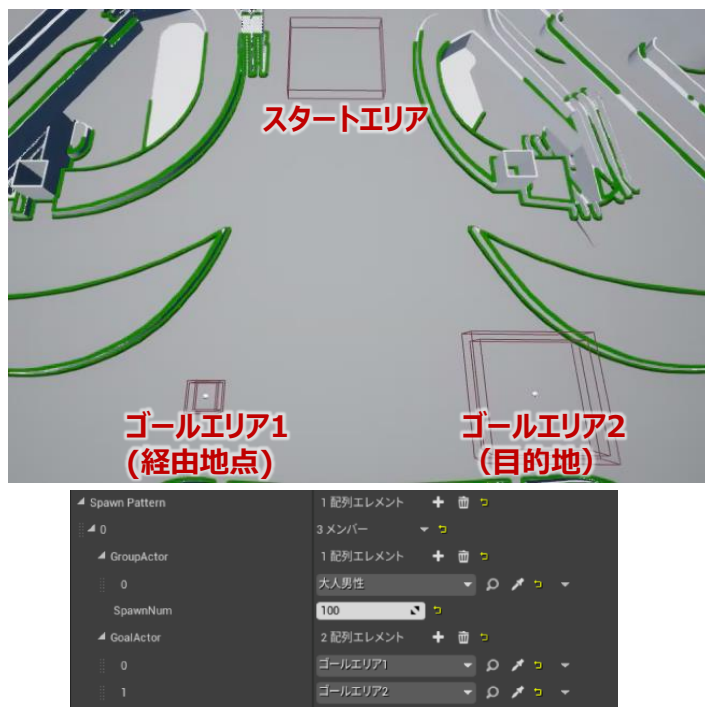
図 スタートエリアの設定例

### Ⅲ. 実証システム > 4. システム機能

## ④ キャラクター配置 | ゴールエリアと経由地点の設定

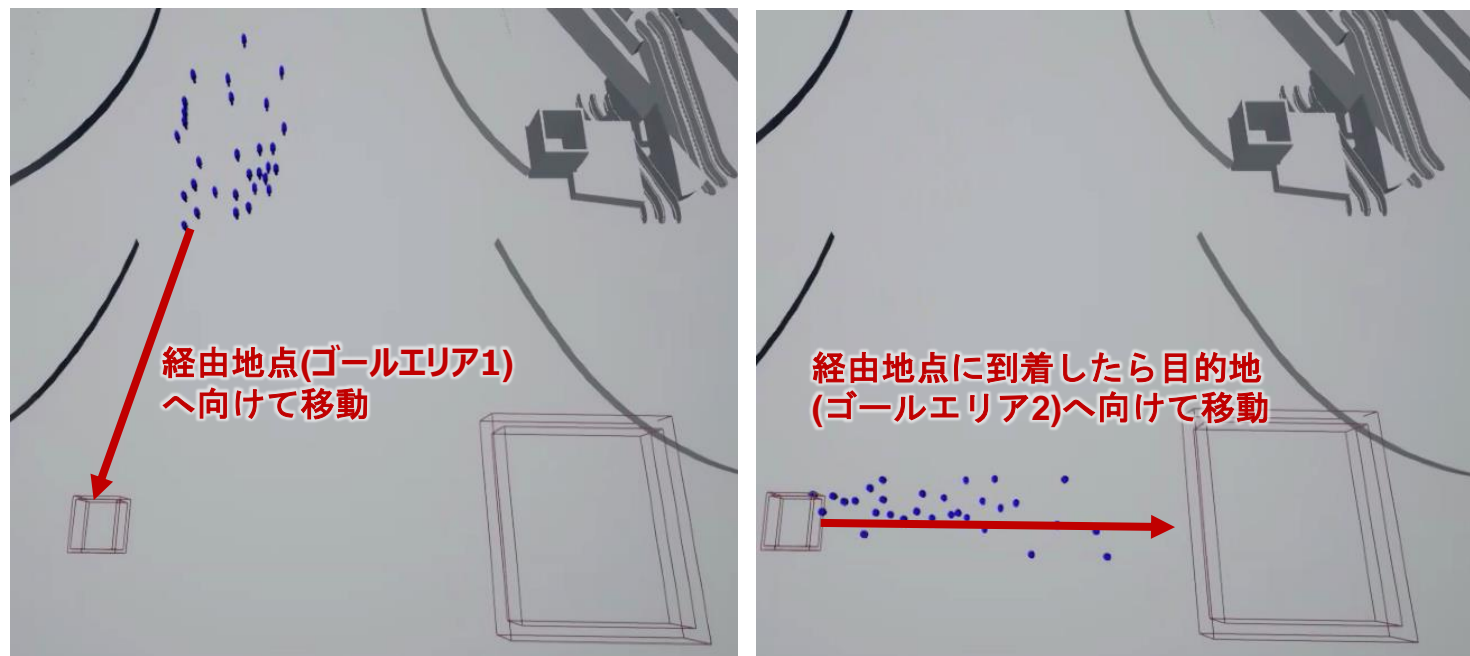
スタートエリアの設定項目としてゴールエリアを複数設定できるようにしたことで、最終的な目的地に辿り着くまでの経由地点を設定できるようになり、大まかな移動経路を指定できるようになった

経由地点の配置とスタートエリアへの設定



- モデル上に複数のゴールエリアを追加し(上図)、スタートエリアの設定にゴールエリアを複数設定する(下図)

複数のゴールエリアを経由した移動



- 複数のゴールエリアが設定されている場合、設定された順番でゴールエリアを経由して移動(左図)し、最後に目的地として設定されたゴールエリアまで移動する(右図)

## Ⅲ. 実証システム > 4. システム機能

### ⑤ 行動定義

任意のキャラクターに移動時の経由地点、ゴール地点、移動開始時刻を設定する

シミュレーションの開始

- シミュレーションを開始するとキャラクターがスポーンされ、各キャラクターのBehaviorTreeを起動する

移動開始時刻まで待機

- BehaviorTreeから移動開始時刻まで待機を命令するタスクが実行される
- Evacuation Offset Timeで設定した時間に応じて待機する

複数地点を経由して  
最終ゴールエリアまで移動

- BehaviorTreeからゴールエリアへの移動を命令するタスクが実行される
- キャラクターがゴールエリアに向かって移動を開始する。複数のゴールエリアが設定されている場合は順番に経由して移動する

最終ゴールエリアへ到達

- 最終ゴールエリアへ到達するとBehaviorTreeを終了する

### Ⅲ. 実証システム > 4. システム機能

## ⑥ 経路定義

災害時に利用できないエスカレーターなど、シミュレーション要件で移動させたくない場所は、NavModifierVolumeを設定することでAIキャラクターの通行不可の場所として指定することが可能

#### NavModifierVolumeによる移動不可能領域の設定



シナリオ要件で災害時に利用できない想定のエスカレーターなどは通れないように設定



バス乗り場やロータリーなどの車が入り出るエリアも移動できないように設定

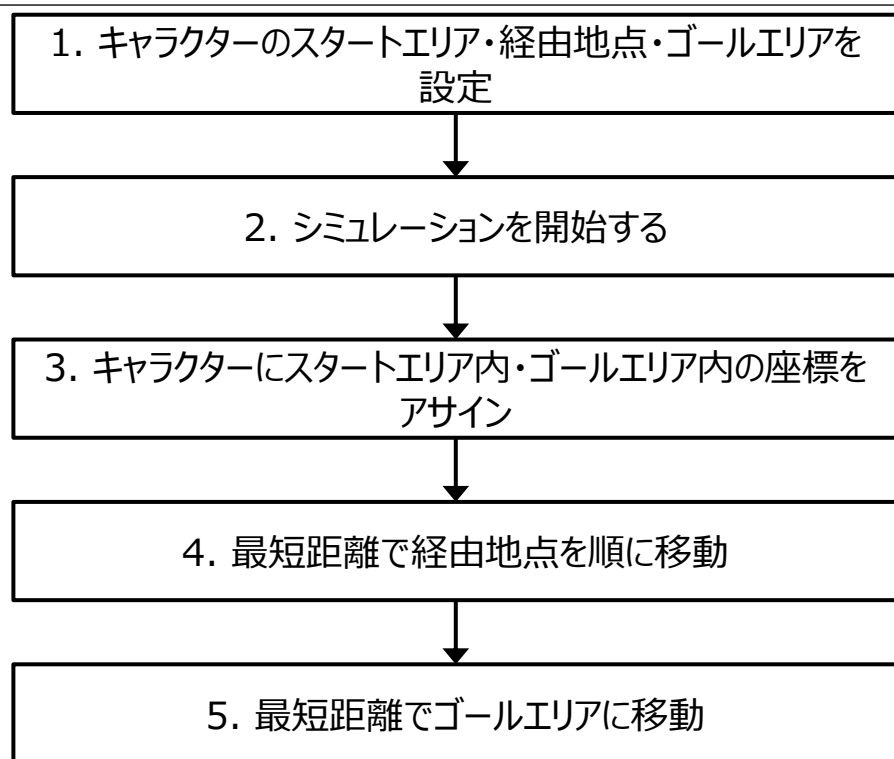


## Ⅲ. 実証システム > 4. システム機能

### 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

RecastNavigationの処理フロー



処理の詳細

1. キャラクターのスタートエリア・経由地点・ゴールエリアを設定する
2. シミュレーションを開始する
3. キャラクターはスタートエリア内の座標にランダムに配置され、ゴールエリア内の座標をランダムにアサインする
4. キャラクターは設定された経由地点を順に移動する
5. キャラクターは全ての経由地点を経由後、アサインされたゴールエリア内の座標に移動する
  - UEで提供されているRecastNavigation\*を利用した経路探索機能の活用により、経由地点およびゴールエリアへの経路は、最短移動距離が選択される

## 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

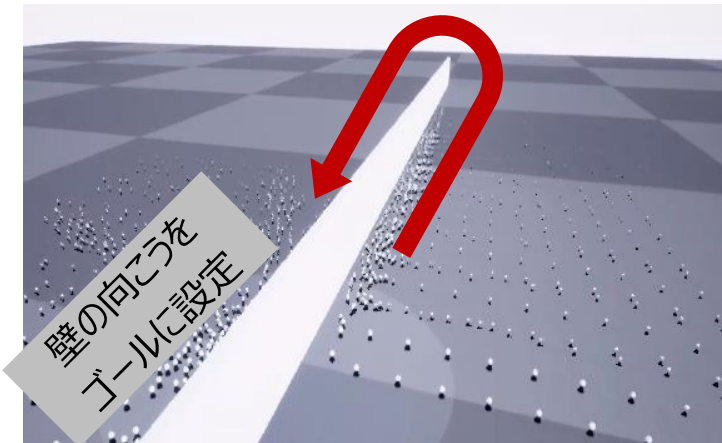
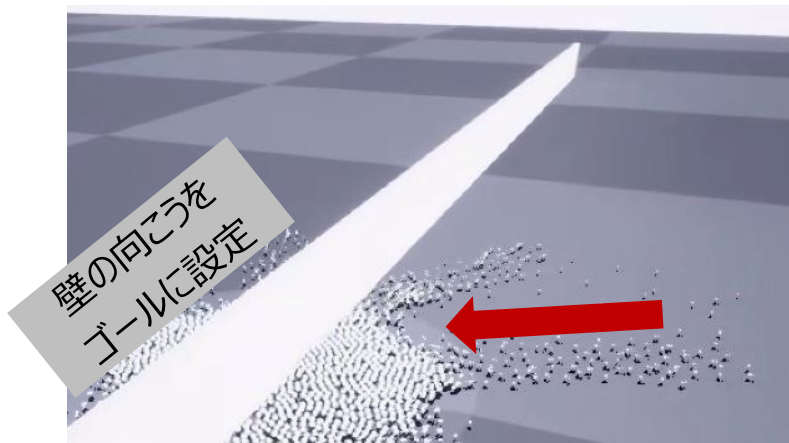
UEのRecastNavigation機能をデフォルト設定で利用すると、探索を打ち切りその場に滞在するという不自然な動きが発生するため、閾値を最大値に設定することで、とにかく逃げるという避難人流の動きを再現することができた

#### 経路計算の設定値の変更

- UEでは、指定したスタートエリアからゴールエリアの距離がDefaultMaxSearchNodesのデフォルト値よりも離れている場合は、経路計算が途中で打ち切られる仕様になっており、キャラクターの挙動が不自然になる可能性があった
- Configフォルダ配下のDefaultEngine.iniファイル内で、DefaultMaxSearchNodesの値をデフォルトの2048から最大値の65536に設定することで解決した

#### 壁を回り込む移動での設定値の変更結果

- DefaultMaxSearchNodeの値が低い場合、途中で経路計算が打ち切れ壁に向かって移動する（左図）
- DefaultMaxSearchNodeの値を上げることで、経路計算が打ち切られず壁を回り込みゴールに到達できる（右図）



### 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

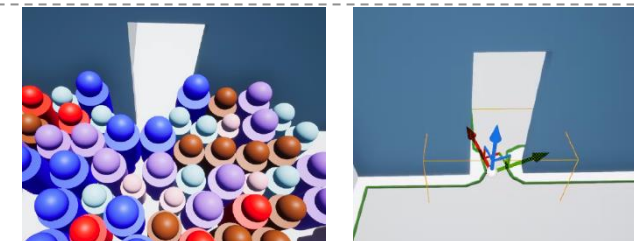
#### 物体透過の回避

- オブジェクト同士が衝突した際に物体がすり抜けないように、オブジェクトにコリジョンを設定した



#### 詰まりによる滞留の回避

- キャラクターのコリジョンを微小変化する（矩形エリアの通過中縮小、通過後元に戻る）アクタを開発し、詰まりの発生箇所に配置することで滞留を解消した
  - 階段や扉など狭所にキャラクターが殺到することで、詰まりによる滞留（デッドロック）が発生する

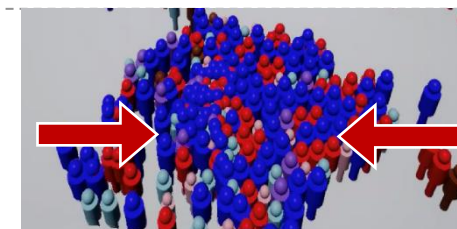


#### キャラクター同士・建物との衝突の回避

- 移動時の衝突回避には、UEが提供している群衆制御の機能であるCrowdManagerを活用した

#### 交差による衝突の回避

- 大規模移動時はキャラクターの経路が交差し滞留が発生する
- CrowdManagerの設定を変更するアクタ機能を開発し、後方・横に移動しやすくすることで解消した

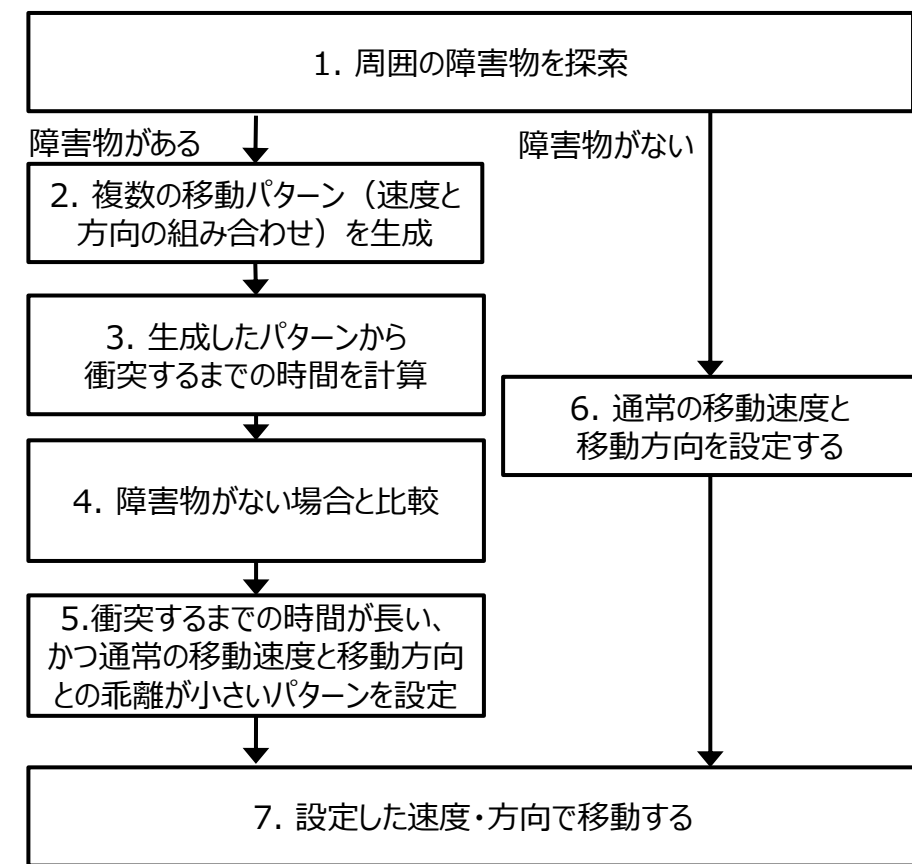


### Ⅲ. 実証システム > 4. システム機能

## 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

CrowdManagerのベースとなるRVO\*の処理フロー



処理の詳細

1. キャラクターの周辺に回避すべき障害物（他のキャラクターを含む）があるかどうかを探索する

障害物がある場合

2. 複数の移動速度と移動方向の組み合わせを生成する
3. 生成したパターンごとに障害物に衝突するまでの時間を計算する
4. 各パターンごとに障害物がない場合の通常の移動速度と移動方向の時間と比較する
5. 比較結果から衝突するまでの時間が長い、かつ通常の移動速度と移動方向との乖離が小さいパターンを設定する

障害物がない場合

6. 通常の移動速度と目的地に向かうための移動方向を設定する
7. 設定した速度と方向でキャラクターを移動させる

### Ⅲ. 実証システム > 4. システム機能

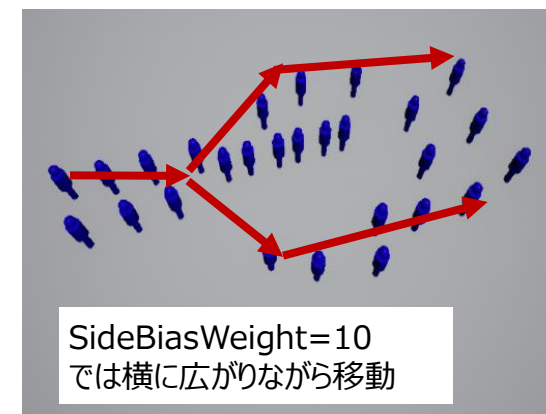
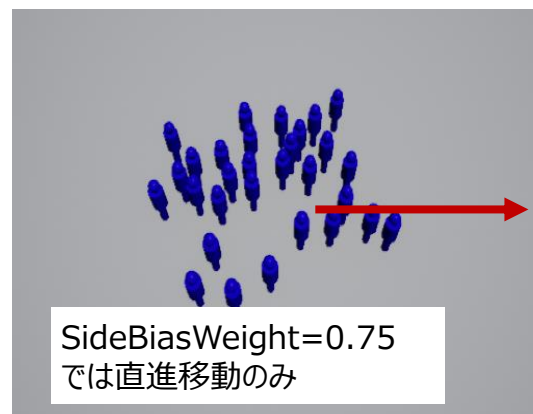
## ⑧ 衝突検知・回避 | 交差時の衝突回避行動の設定

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

#### CrowdManagerの設定値の変更

- CrowdManagerの設定は全てのキャラクターに適用されるため、設定を一括変更すると滞留が起こっていない場所の動きも不自然な動きとなる
- CrowdManagerの仕様では4つのコンフィグがあるが、デフォルトでは1つしか利用していない。指定したエリアのみでVelocityBiasとSideBiasWeightのコンフィグを変更できるようアクタを開発し、滞留が発生し得る場所のみにそのアクタを配置することで、キャラクターの動きを局所的に変化させた
  - VelocityBiasをデフォルト値の0.5から下げることで、前方だけでなく後方にも移動するようになる
  - SideBiasWeightをデフォルト値の0.75から上げることで、キャラクターが横へ広がりながら移動するようになる

#### 設定値の変更結果

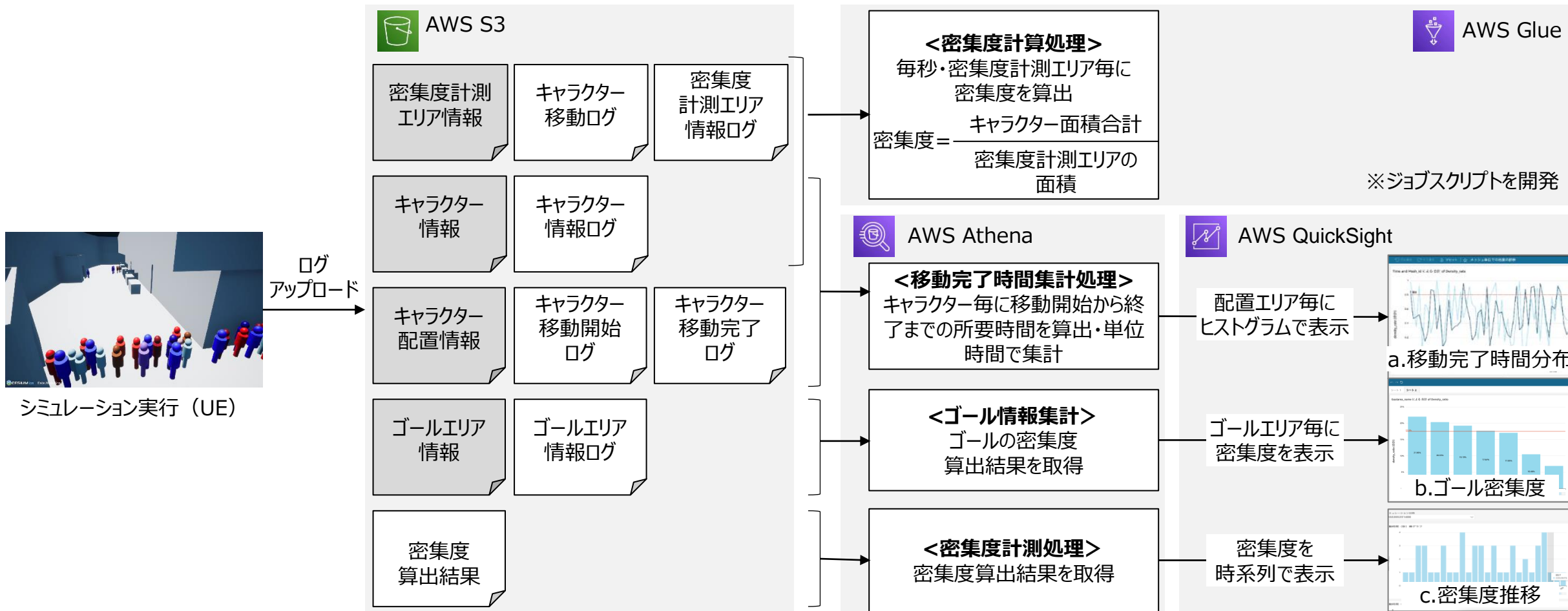


# Ⅲ. 実証システム > 4. システム機能

## ⑨ ログ収集・分析・可視化

ログ収集から分析処理、分析結果の表示までの全体概要図は以下のとおり

凡例 定義情報 ログ・結果





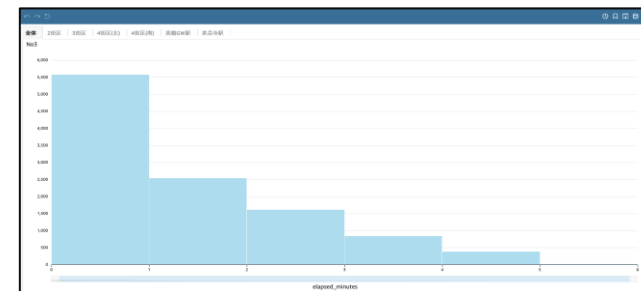
### Ⅲ. 実証システム > 4. システム機能

## ⑨ ログ収集・分析・可視化 | 分析フロー

キャラクター別の移動時間を確認した後、移動に時間が掛かった要因をゴールエリア及び計測エリアの密集度から抽出する

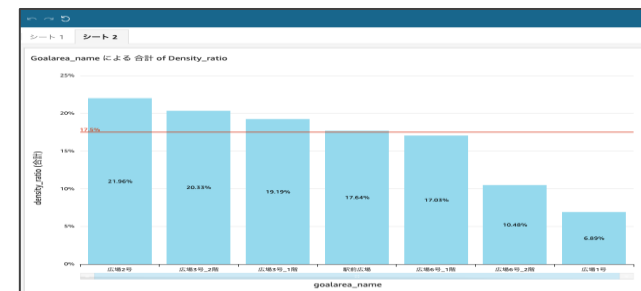
キャラクター属性・  
移動時間の分析

- 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、移動時間を計測した
- 移動時間が8分を超えたキャラクターがいたエリアをAWS Athenaで集計した



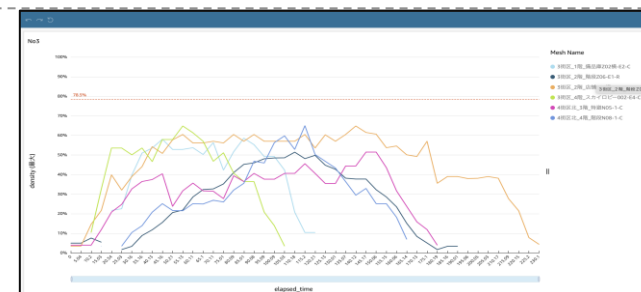
ゴールエリアの  
密集度の分析

- 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、密集度を計測した
  - 総面積に対するキャラクターの占有面積の割合
  - 収容可能人数に対するキャラクター数の割合



キャラクター  
密集度の分析

- 計測エリアを指定するアクタを開発し、滞留が発生しやすい場所に設置した。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した
  - 総面積に対するキャラクターの専有面積の割合



### Ⅲ. 実証システム > 4. システム機能

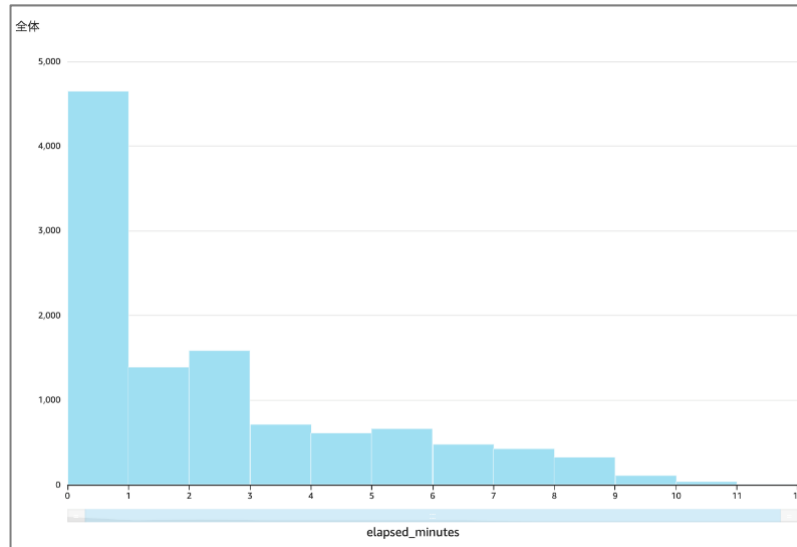
## ⑨ ログ収集・分析・可視化 | キャラクター属性・移動時間の分析

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する

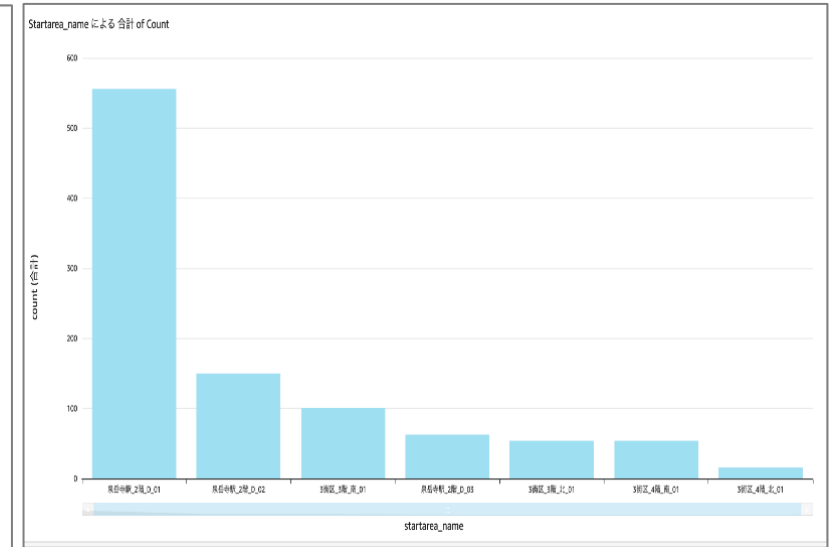
#### 分析機能の詳細

- スタートエリア・ゴールエリアごとの移動完了時間をAWS QuickShightで分析するため、シミュレーション環境から以下をAWS S3に出力
  - 移動開始時間ログ(キャラクター移動開始ログ)
  - 移動完了時間ログ(キャラクター移動完了ログ)
  - キャラクターの属性情報のログ(キャラクター情報ログ)
- 上記集計結果から、移動完了時間が8分を超えたキャラクターが1人でもいたスタートエリアを更にAWS Athenaで集計し、AWS QuickShightのグラフで表示

#### 移動完了時間のグラフ



#### 移動完了時間が8分以上のスタートエリア





### Ⅲ. 実証システム > 4. システム機能

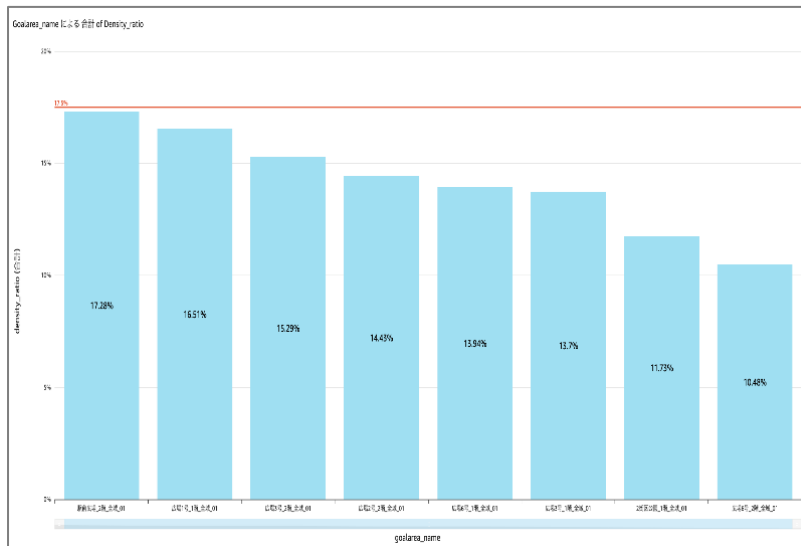
## ⑨ ログ収集・分析・可視化 | ゴールエリアの密集度の分析

ゴールエリア毎の密集度をログとして記録し分析する

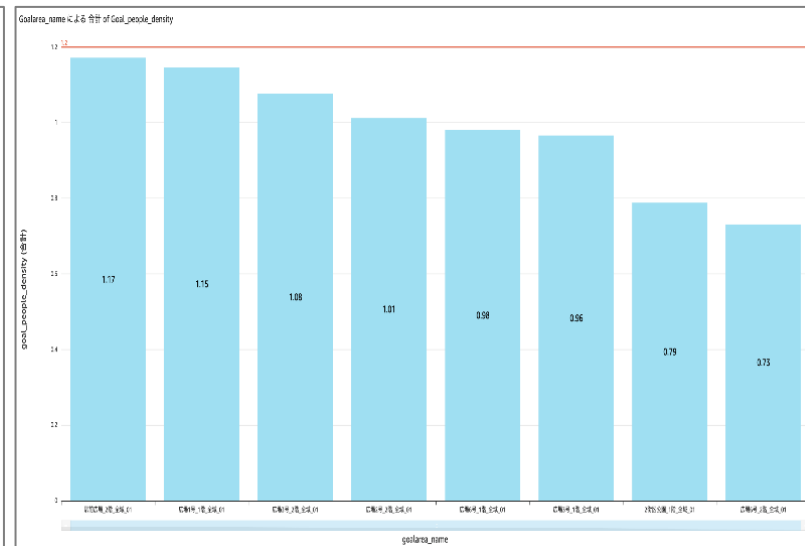
#### 分析機能の詳細

- ゴールエリアごとの密集度をAWS QuickSightで分析するため、シミュレーション環境から以下をAWS S3に出力
  - ゴールエリアの総面積に対するシミュレーション完了後のゴールエリアにいるキャラクターの占有面積の割合
  - ゴールエリアに収容可能な人数と最終的にゴールエリアにいるキャラクターとの人数比

#### ゴールエリアの面積比のグラフ



#### ゴールエリアの人数比のグラフ



### Ⅲ. 実証システム > 4. システム機能

## ⑨ ログ収集・分析・可視化 | キャラクター密集度の分析

密集度分析エリアを定義し、定義ログを記録し分析する

#### 密集度計測方法

- キャラクターの密集度を計測するために、計測するエリアを指定するアクタを開発し、この密集度計測エリアを、滞留が発生しやすい扉や階段の入り口などの広い所から狭所への入り口になるところ\*に配置する
  - 密集度計測エリアの面積を計算し、配置場所の情報と面積の情報を密集度分析エリア情報ログとしてAWS S3に出力
  - キャラクターの毎秒の座標をキャラクター移動ログとしてAWS S3に出力

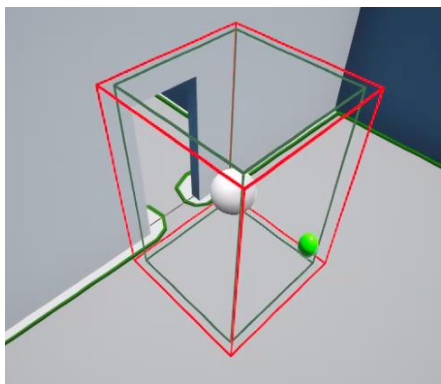


図 密集度分析エリアの配置例（狭い扉の前などに配置）

#### 密集度計測結果

- 密集度分析エリア情報ログとキャラクター移動ログを用いて毎秒の密集度分析エリアの総面積に対するキャラクターの占有面積の割合を計算しS3に出力、その結果をAWS QuickShigt上で表示分析できるようにした
- エリア内にキャラクターが少ない時（グラフ約10秒の付近）は密集度も低くなる一方でエリア内に人が多くなると密集度も上がる（グラフ55秒付近）

(密度)

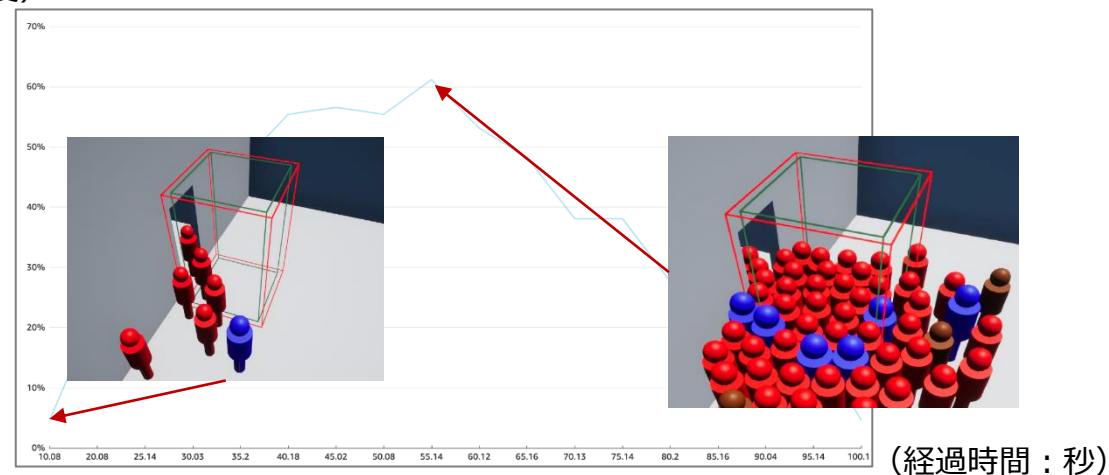


図 毎秒ごと密集度のグラフとその時の密集度分析エリアの様子

\*出典：「はじめて学ぶ建物と火災」p17

[https://slidesplayer.net/slide/11273406/https://www.jstage.jst.go.jp/article/kasai/48/1/48\\_1\\_33/\\_pdfht](https://slidesplayer.net/slide/11273406/https://www.jstage.jst.go.jp/article/kasai/48/1/48_1_33/_pdfht)

## Ⅲ. 実証システム > 4. システム機能

### ⑩リプレイシステム

シミュレーション実行結果を記録し、リプレイで結果を確認する

リプレイファイル  
を記録する

- シミュレーション実行用インスタンスを使って、UEの機能であるリプレイシステム\*を稼働させて実行結果を記録する
- リプレイファイルはシミュレーション実行時に記録するようにし、保存先のフォルダ名も設定できるようにした
- 記録したファイルを、AWS S3へアップロードする

必要環境を  
整備する

- リプレイ再生用のAWS EC2環境を用意し、リプレイファイルを再生するアプリケーションを配置する
- AWS S3からリプレイファイルをダウンロードする

リプレイファイル  
を再生する

- AWS S3に保存されているファイル一覧から選択して再生する



シミュレーション実行画面



リプレイファイルの再生画面

## Ⅲ. 実証システム > 5. アルゴリズム アルゴリズム一覧

利用したアルゴリズムの一覧は以下の通り

名称	説明
キャラクター設定の最適化	大規模人流シミュレーションを実現するためのキャラクター設定の最適設定
スレッド割り当ての最適化	大きな負荷を分散させるためのスレッド処理の最適設定

# Ⅲ. 実証システム > 5. アルゴリズム

## 大規模人流シミュレーションのための最適化 | キャラクター設定

キャラクターの設定を変更することで負荷を軽減する

### 規定値の場合の課題

- シナリオ要件である1.2万人規模のシミュレーションを実施するにあたりシミュレーション時の高負荷はFPSを著しく下げる
  - 移動時のキャラクターの描画が遅れて移動がスキップしているように見えるなどのシミュレーションの見た目に不自然な影響を与える
  - シミュレーションの確認時にカメラが動かさないなどの問題が発生

### 解決のためのキャラクター設定内容

設定内容	説明
CharacterのStartwithTickEnableの設定をオフ	<ul style="list-style-type: none"> <li>キャラクターがTick（毎フレームごとに処理を回す仕組み）で実行する処理は不要なので全て無効にした</li> </ul>
MovementComponentのMaxSimulationIterationsを8→1に変更	<ul style="list-style-type: none"> <li>1Tick内で移動時の物理演算処理の回数を指定する設定。移動時の物理演算（衝突判定など）の精度向上に関係する</li> <li>高速で移動するオブジェクトや複雑なコリジョンを持つオブジェクトは高い値に設定することが推奨されるが、今回のケースでは不要なため1に設定</li> </ul>
SkeletalMeshを削除しStaticMeshを追加	<ul style="list-style-type: none"> <li>負荷軽減のため、キャラクターのアニメーションを削除</li> <li>SkeletalMeshを削除し、代わりにStaticMeshで棒人間の見た目にした</li> </ul>
StaticMeshのCastShadowをオフ	<ul style="list-style-type: none"> <li>影は不要なので無効に設定した</li> </ul>
Capsuleコリジョンを使用	<ul style="list-style-type: none"> <li>複雑なコリジョンは使用せずにシンプルなコリジョンであるCapsuleコリジョンを使用した</li> </ul>

# Ⅲ. 実証システム > 5. アルゴリズム

## 大規模人流シミュレーションのための最適化 | スレッド割り当て

GameThreadで実行されているキャラクターの移動処理をTaskGraphThreadで実行することでタスク待ち状態で活用されていなかったCPUリソースを有効活用した\*

スレッド割り当ての変更

6000人同時移動時のFPSの変化

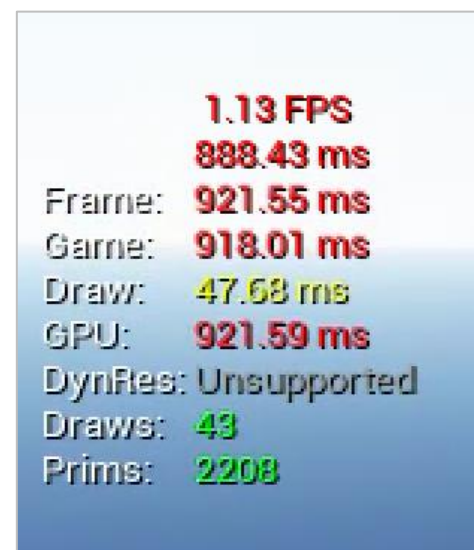
- UEの標準機能であるキャラクターの移動処理に対してTaskGraphThreadで実行されるように追加実装を行うことで、CPUリソースを有効活用し負荷の改善を行った

### デフォルト実装

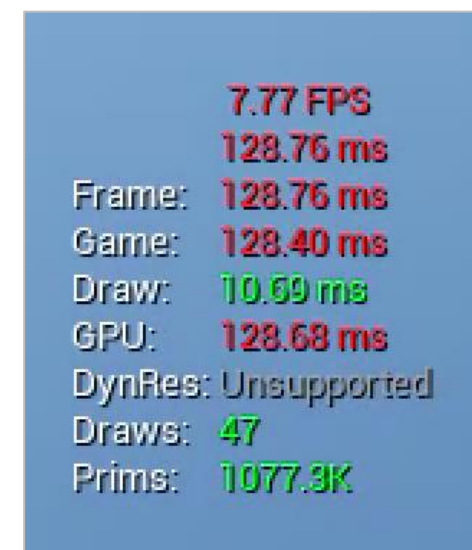
- GameThread
  - アクタ機能やコンポーネント（建物データ等）の処理を行う（**キャラクターの移動の処理も含む**）
- TaskGraphThread
  - 明示的にタスクを割り当てなければ何も処理しない（処理するタスクがなくともCPUリソースは割り当てられている状態）

### 本実証での実装

- GameThread
  - アクタ機能やコンポーネント（建物データ等）の処理を行う
- TaskGraphThread
  - キャラクターの移動処理を行う**



Gameの処理が  
ボトルネックとなり1FPS前後



ボトルネックが解消され  
8FPS程度に改善

\*出典：Qiita（EpicGamesJapan Organaization）「CharacterMovementをマルチスレッド化してみよう」  
[https://qiita.com/EGJ-Takashi\\_Suzuki/items/33449c17c61d1ed30079](https://qiita.com/EGJ-Takashi_Suzuki/items/33449c17c61d1ed30079)

# Ⅲ. 実証システム > 6. データ > ①活用データ 3D都市モデル一覧

地物	地物型	属性区分	属性名	内容
建築物LOD1	bldg:Building	空間属性	bldg:lod1Solid	建築物のLOD1の立体
建築物LOD4	bldg:Building	空間属性	bldg:lod4Solid	建築物のLOD4の内部要素

# Ⅲ. 実証システム > 6. データ > ①活用データ その他の活用データ一覧

活用データ	内容	データ形式	出所
BIMモデル	4街区の設計図作成に作成した部分的なBIMデータ	FBX	(株)JR東日本建築設計
図面	高輪ゲートウェイ地区の設計図面（一般図、避難計画図など）	紙・PDF	
CADデータ		DWG	
詳細人物モデル	ボーン付きの人物（成人男女、高齢者男女、子供男女）	FBX	(株)日建設計
OpenStreetMap	位置合わせ用にオープンライセンスで自由に参照できる地図データ	OSM	OpenStreetMap Foundation Japan (OSMFJ)

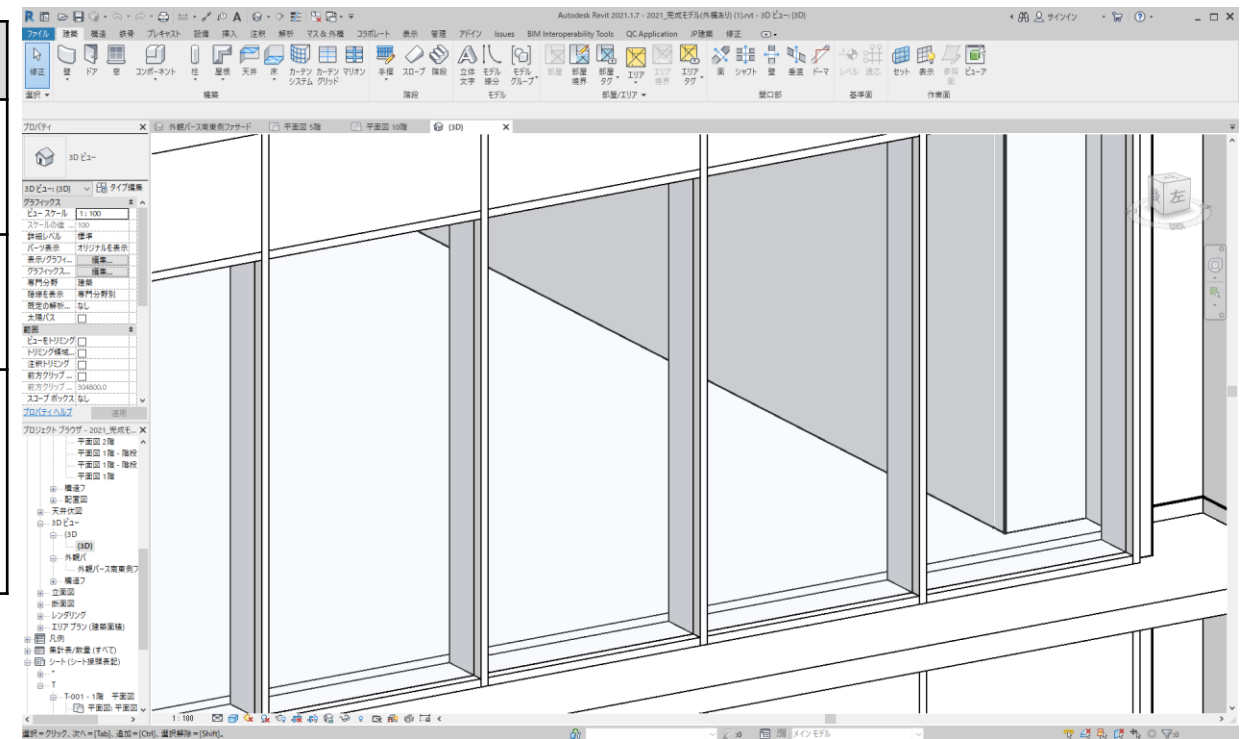


# Ⅲ. 実証システム > 6. データ > ①活用データ BIMモデル

## 概要

項目	詳細
概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>4街区の北棟と南棟と低層部で、の工事発注用の図面下図用の設計BIMモデル</li> </ul>
作成時期	<ul style="list-style-type: none"> <li>2020年12月</li> </ul>
詳細	<ul style="list-style-type: none"> <li>LOD150～250程度</li> <li>確認申請に必要な内壁、外装・外壁、建具、トイレなどの衛生器具をモデル化</li> </ul>

## イメージ

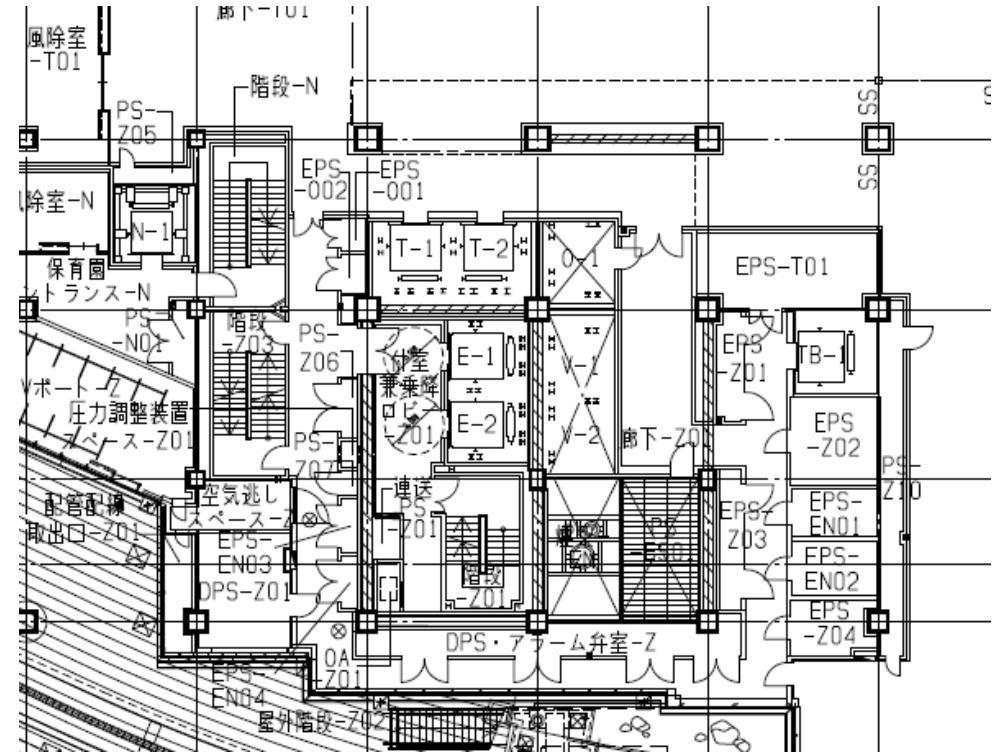


# Ⅲ. 実証システム > 6. データ > ①活用データ 図面・CADデータ

## 概要

項目	詳細
概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>工事発注用の図面でAutoCADで作られた1街区から4街区の建築意匠の図面</li> </ul>
作成時期	<ul style="list-style-type: none"> <li>2020年12月</li> </ul>
詳細	<ul style="list-style-type: none"> <li>平面図・断面図、立面図、平面詳細図、店舗区画図、避難安全計画図、建具詳細図のCADデータおよび紙またはPDFに出力したもの</li> </ul>

## イメージ



# Ⅲ. 実証システム > 6. データ > ①活用データ 詳細人物モデル

## 概要

項目	詳細
概要	<ul style="list-style-type: none"><li>著作権フリーの人物キャラクターを基に、(株)日建設計にて手足の稼働用にボーンと呼ばれる動きを制御するデータを内包し整備された人物モデル</li><li>ボーンに動きを与えることで手足などが動くようになる</li></ul>

## イメージ

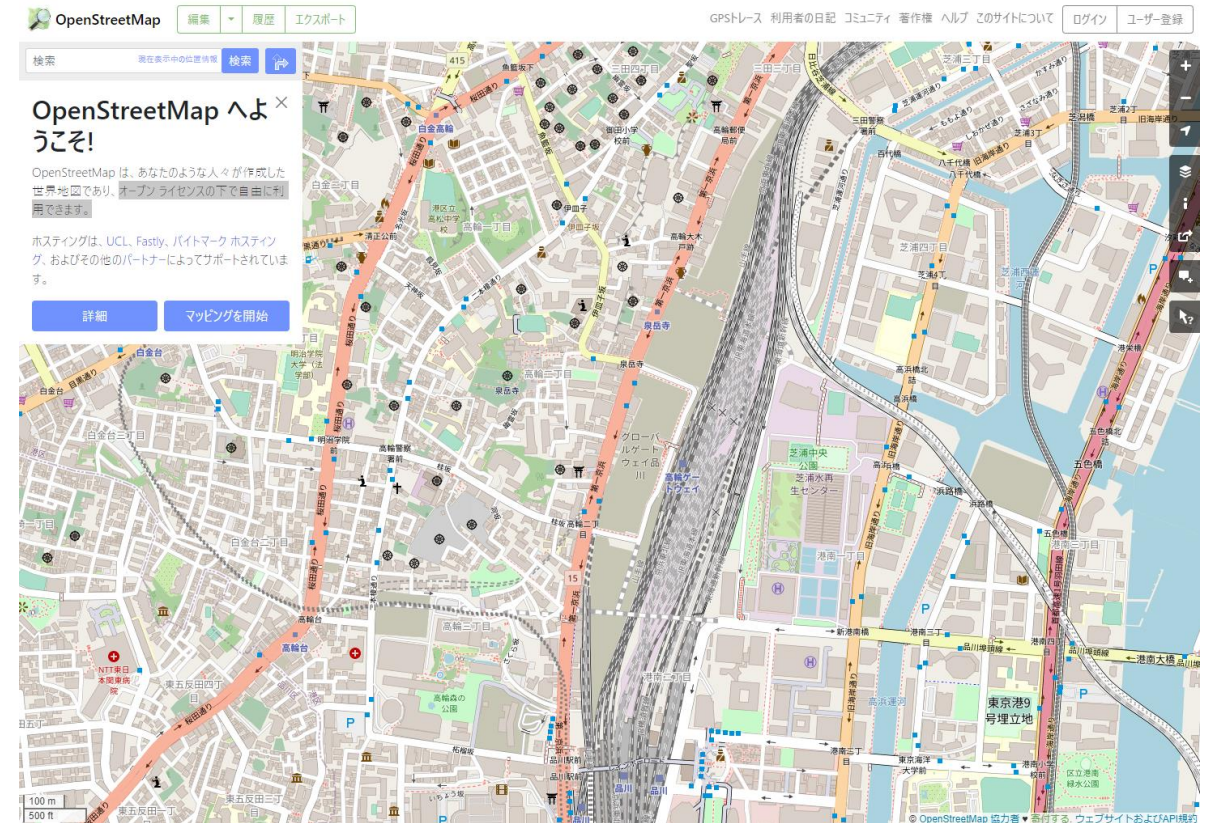


# Ⅲ. 実証システム > 6. データ > ①活用データ OpenStreetMap

## 概要

項目	詳細
概要	<ul style="list-style-type: none"><li>オープンライセンスの下で自由に利用できる世界地図データ</li></ul>
HP	<ul style="list-style-type: none"><li><a href="https://www.openstreetmap.org/">https://www.openstreetmap.org/</a></li></ul>

## イメージ



# Ⅲ. 実証システム > 6. データ > ②データ処理 データ処理一覧

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)
建物モデル (FBX形式)	当該エリアの建築3Dモデル	手作業でCADやBIMデータを下図に床壁階段等のシミュレーションに必要な3Dオブジェクトをモデリング	Rhinoceros	CADデータ(DWG形式)とBIMデータ(FBX形式)
シミュレーションモデル (3Dtiles形式)	人流シミュレーション用の3Dモデル	手作業でシミュレーション用に、グループの統一、レイヤ・マテリアルの統一を実施	Rhinoceros	3D都市モデル(3Dtiles形式)と建物モデル(FBX)
密集度計算結果	密集度計算結果を可視化	シミュレーションログから、密集度計測エリアの密集度を計算する	AWS Glue	シミュレーションログ(CSV)

# Ⅲ. 実証システム > 6. データ > ②データ処理 建物モデル

## オペレーションのフロー

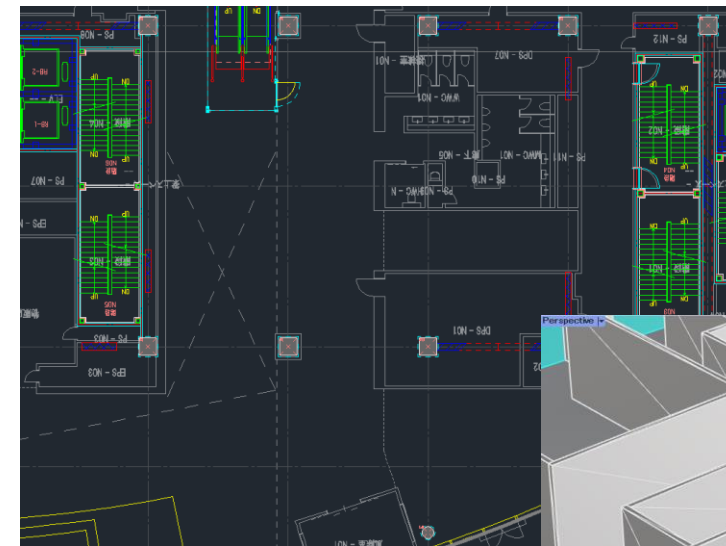
CAD図面とBIM  
モデルの読み込み

- 設計時に作成されたCAD図面とBIMデータを読み込む
- 図面を見ることでデータ読み込みでなくてもモデル作成できる部分は、図面のみで対応する

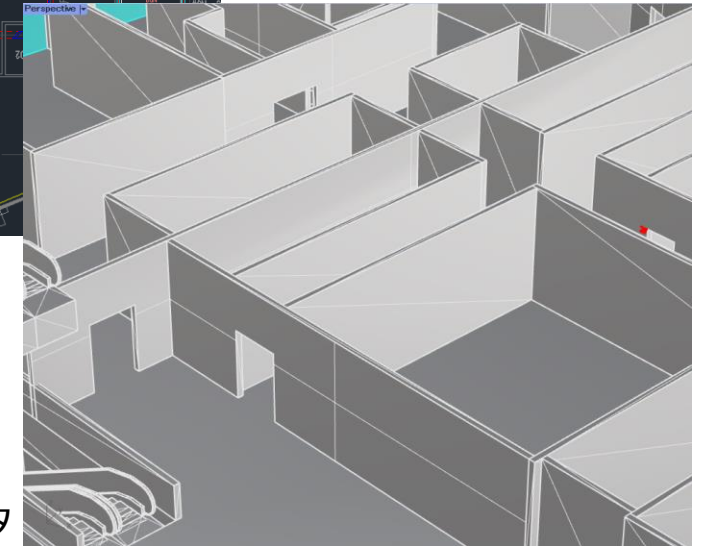
モデル作成

- 1から3街区は設計図がCAD図面だけ、4街区はCAD図面とBIMモデルがあるが、店舗区画などBIMモデルでは不足する情報があるためCAD図面を下図に床、壁、天井、階段、転落防止の手すり（腰壁）、植栽帯をモデリングする
- 歩行可能範囲以外の部分についてはモデルを作成しない
- 避難動線上にある扉については、開口のみをモデル化し、階段出入口と階段踊り場には階数をモデル化する

## イメージ



作成した  
建物データ



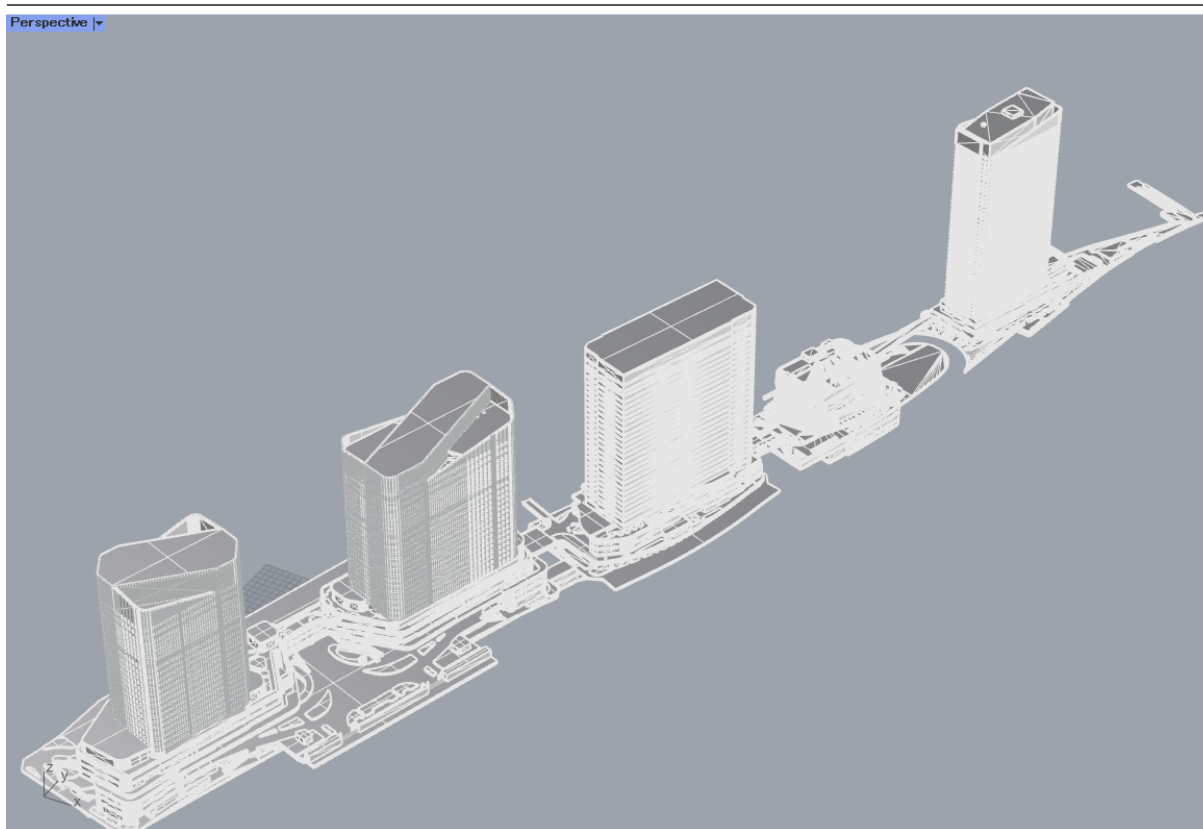
# Ⅲ. 実証システム > 6. データ > ②データ処理 シミュレーションモデル

シミュレーションに適する様、3Dモデル構築にあたってデータの軽さと歩行領域の連続性を要件とした

## シミュレーションモデルとしての要件

- CAD/BIMから必要なモデルやCADをRhinocerosに取り込み、全街区のデータ粒度をそろえたモデルを構築するにあたって、以下のモデル要件を設定した
  - できるだけ軽いデータ
    - モデル読み込み時、シミュレーション時の負荷の軽減
    - マテリアルやレイヤは全部同一にする
  - 歩行領域がすべてつながっていること
    - 歩行可能な領域がすべてつながっており、隙間や穴等の人の移動を阻害するデータ上の不備が存在しないこと

## イメージ

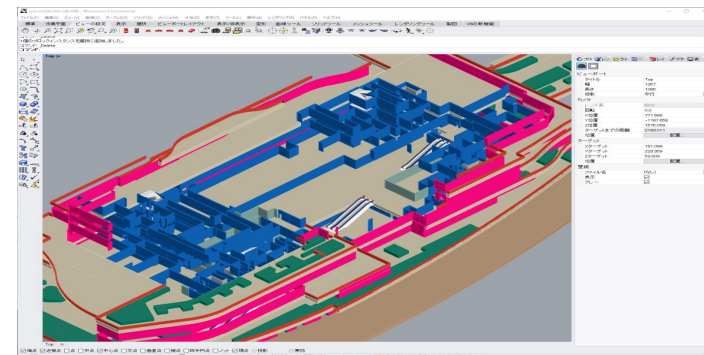


# Ⅲ. 実証システム > 6. データ > ②データ処理 シミュレーションモデル | 作成手順

CAD/BIMデータから必要なモデルをRhinocerosに取り込み、シミュレーションに利用できるようモデリングをして3DTiles形式のファイルを作成する

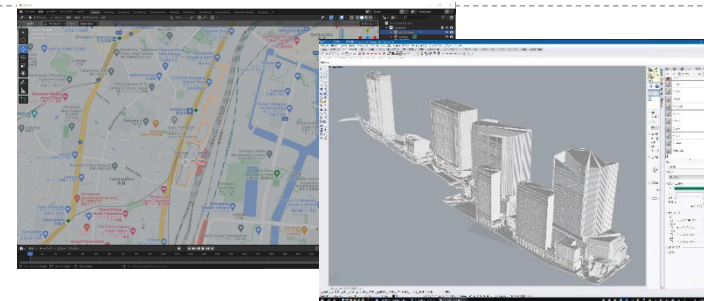
## モデル作成

- CAD/BIMから作成する部位としては、床、壁、天井、階段、転落防止の手すり（腰壁）、植栽帯、また歩行可能範囲以外の部分についてはモデルを作成しない
- 避難動線上にある扉については、開口のみをモデル化し、階段出入口と階段踊り場には階数をモデル化する



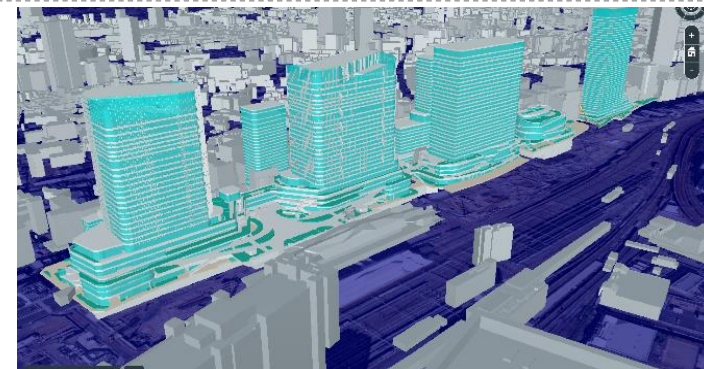
## 位置合わせ・メッシュ化

- Blenderにて、GIS座標で高輪の当該位置にモデルを移動する
- モデルの座標は敷地測量図から取得した
- OpenStreetMapを利用し軽く動く状態で位置合わせを行い、正しい位置に置いた後で3D都市モデルを読み込んで位置確認を行う
- モデル配置後、UEが読みやすいように、すべての面の面内にねじれがないように三角メッシュ化する



## 3D Tiles作成と確認

- OBJ形式で出力されたメッシュデータを、obj23dtilesで3D Tiles形式に変換する
- Cesium ionで読み込み、位置情報とモデル形状がぁっていることを確認





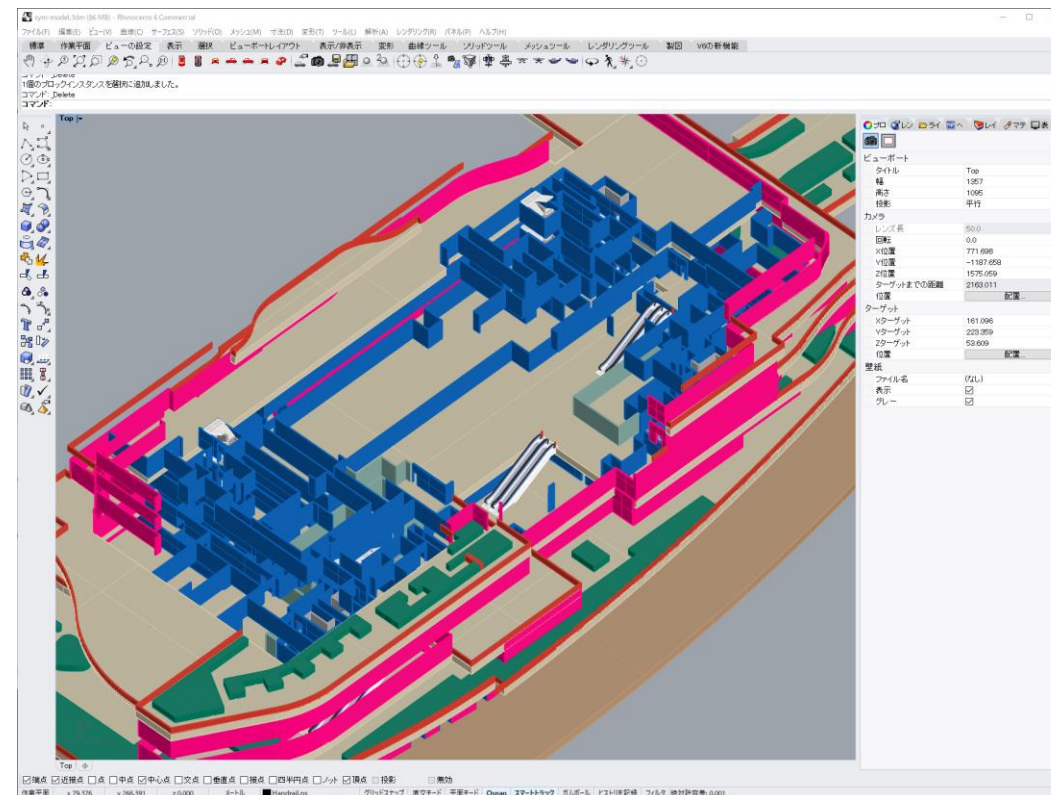
# Ⅲ. 実証システム > 6. データ > ②データ処理 シミュレーションモデル | モデル作成

CAD/BIMモデルを使い3Dモデルを作成する

## モデル作成の要点

- CAD/BIMから作成する部位
  - 床、壁、天井、階段、転落防止の手すり（腰壁）、植栽帯
- 追加モデリング箇所
  - 避難に用いる階段
  - 避難動線上にある扉の開口部
  - 階段出入口と階段踊り場に階数の数字のモデルを追加
  - 壁のない店舗へ歩行制限のための壁を追加
  - 非常扉や非常シャッターは避難時を想定し、壁としてモデリング
    - くぐり戸は開口を設けて、歩行可能な状態に調整
- データ量を減らすために、シミュレーションでの歩行可能範囲以外の部分についてはモデルを作成していない

## 作成イメージ



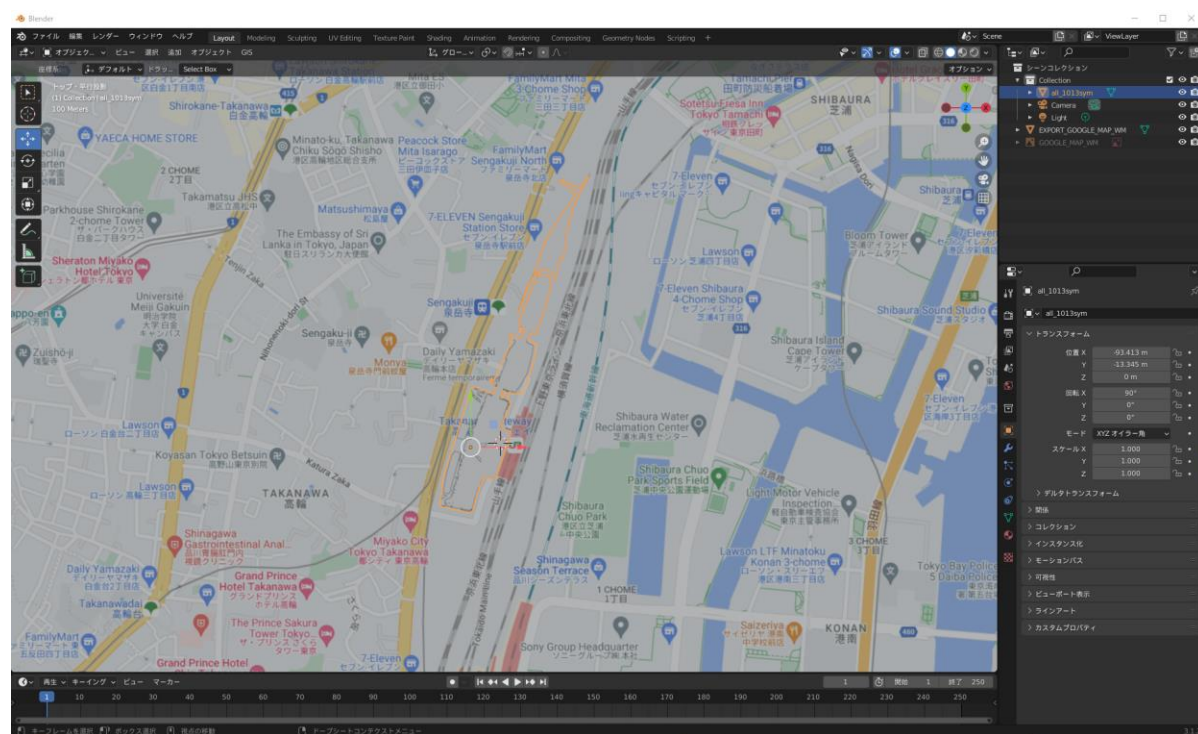
# Ⅲ. 実証システム > 6. データ > ②データ処理 シミュレーションモデル | 位置合わせ

3D都市モデルおよび作成した3Dモデルの位置合わせを行う

## 位置合わせの方法

- Blender (BlenderGISアドオン適用) により、作成した建築モデルが正しい位置に置かれているかをOpenStreetMapを使い確認を実施
- ただし、以下の制約から最終的な位置確認はCesium ionにて実施する (後述)
  - Blenderには直接CityGMLや3DTilesに出力する機能がない
  - OBJ形式で出力すると世界座標系での基点情報が入らない

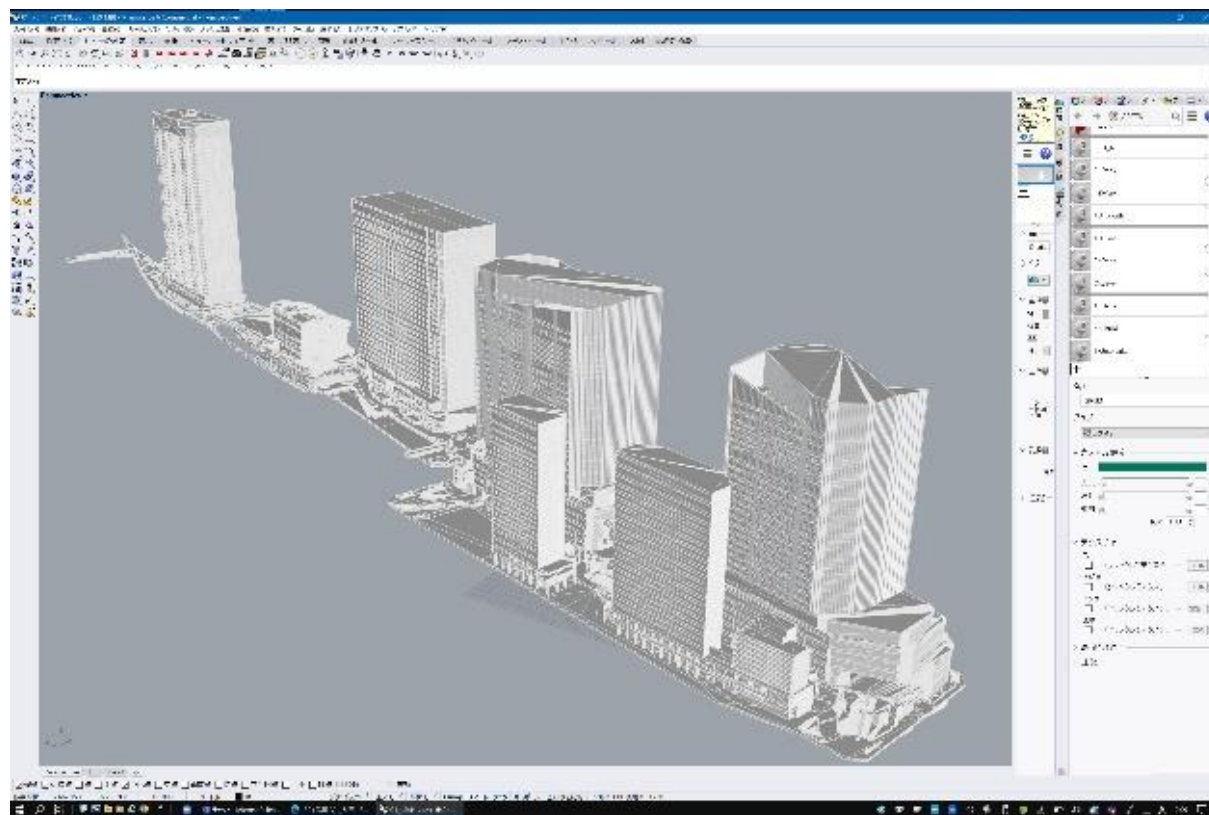
## イメージ



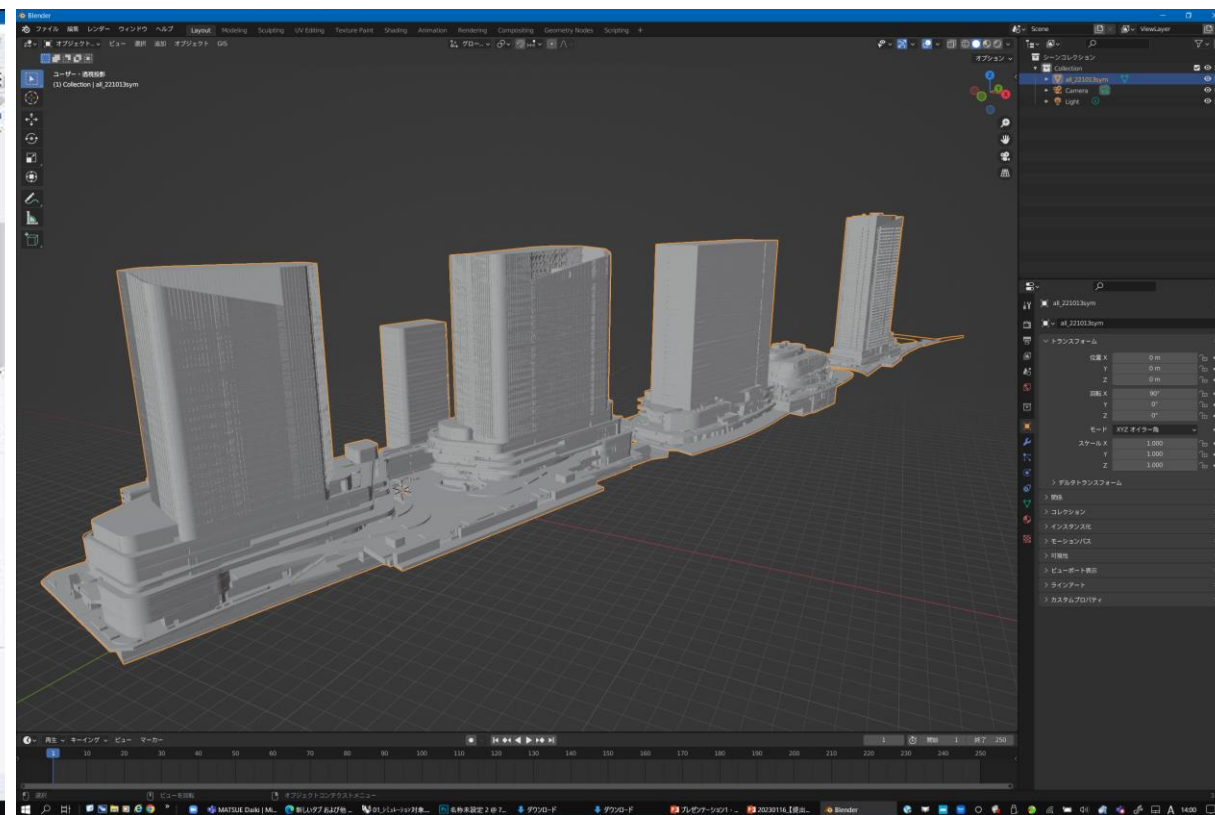
# Ⅲ. 実証システム > 6. データ > ②データ処理 シミュレーションモデル | 三角メッシュ化

CesiumやUEに読み込んだ際にRhinocerosの三角メッシュでは、一部メッシュに穴が開いていたりポリゴンが不正な形状になるため、Blenderにて三角メッシュ化することで安定してモデルをCesiumに取り込むことが可能

Rhinocerosの三角メッシュ



Blenderによる三角メッシュ化

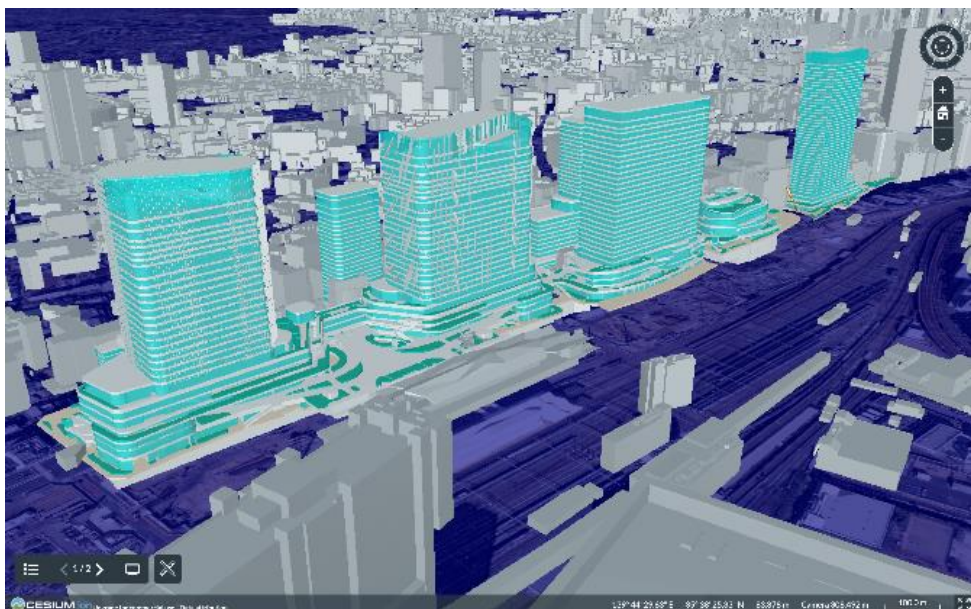


# Ⅲ. 実証システム > 6. データ > ②データ処理 シミュレーションモデル | 3D Tiles作成と確認

Cesium ionとUnreal Engineを使って作成された3DTilesの確認を行う

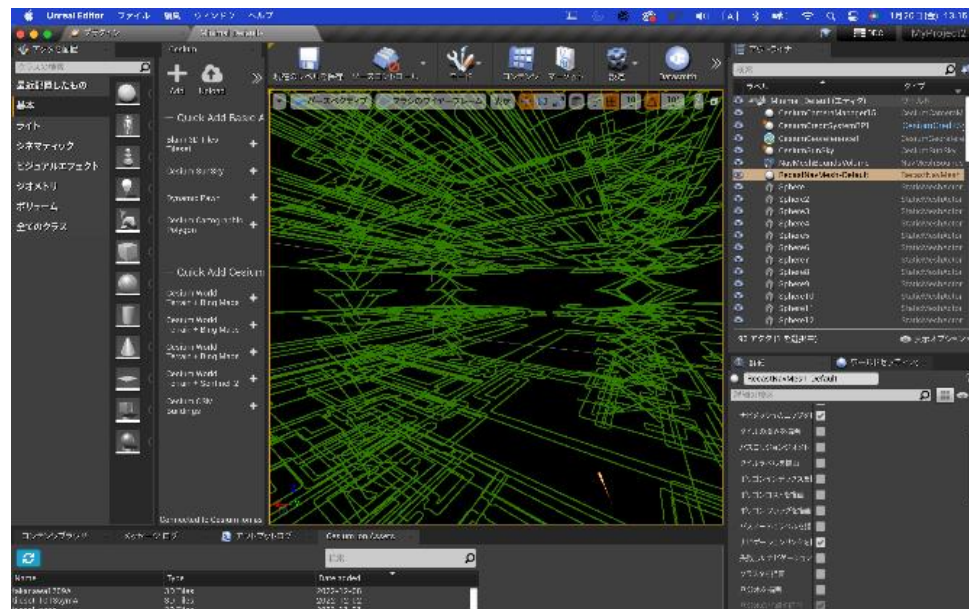
## Cesium ionでの確認

- OBJ形式で出力されたメッシュデータを、obj23dtilesで3D Tiles形式に変換し、Cesium ionにて3D都市モデル座標に読み込めているか確認し、ポリゴンの修正を行う
- Cesium ionはクラウド上でモデルを共有できるので視認による確認を人海戦術で行うことが可能



## Unreal Engineでの確認

- Unreal Engine4で、Cesiumからモデルを読み込み人流シミュレーションで歩行範囲の設定を行うNavMeshでポリゴンがつながっていることを確認
- 繋がっていない場合はRhincerosaurusに戻って修正する



# Ⅲ. 実証システム > 6. データ > ②データ処理

## 密集度計算結果

シミュレーションログから、密集度計測エリアの密集度を計算する

データ処理のフロー（AWS Glueのジョブスクリプトで処理）

密集度計算結果のデータイメージ

移動ログの集計

- 「キャラクター移動ログ」のうち、「密集度計測エリア情報ログ」の密集度計測エリア座標内に含まれるレコードを抽出。密集度計測エリアと経過時間(1秒単位)で集計する (①)

キャラクター面積算出

- 「キャラクター情報ログ」からキャラクターの横方向の面積を算出 (②)

密集度計算

- ①で集計した移動ログと②で算出したキャラクター面積を用いて、密集度計測エリアの経過時間毎の密集度を計算。計算結果をファイルに出力する

密集度計測エリアID	エリア名	シミュレーション経過時間	密集度	エリア内キャラクター数
4n_1_oku gaituuro	4街区北_1階_屋外通路	69	0.019277	1
4n_1_oku gaituuro	4街区北_1階_屋外通路	70	0.038839	2
4n_1_oku gaituuro	4街区北_1階_屋外通路	71	0.019134	1
3_2_kaida n01	3街区_2階_階段01	69	0.034709	2
3_2_kaida n01	3街区_2階_階段01	70	0.038912	3

# Ⅲ. 実証システム > 6. データ > ③ 出力データ

## 出力データ一覧

本システムの出力データは以下の通り

出力データ	内容	データ形式
リプレイファイル	<ul style="list-style-type: none"> <li>シミュレーションの実行内容を記録したファイル</li> <li>全てのキャラクターの設定情報と移動情報（時間と座標）が記録されている</li> <li>シミュレーション完了時に、UEのリプレイファイルを出力し、UEのリプレイシステムで再生することで、過去のシミュレーションを再現できる</li> </ul>	replay
シミュレーションログ	<ul style="list-style-type: none"> <li>シミュレーション実行のログファイル</li> <li>キャラクターの移動軌跡や移動開始時刻・完了時刻、キャラクター定義情報などを記録している</li> <li>シミュレーション完了時に、CSV形式のシミュレーションログを出力し、結果分析に活用する</li> </ul>	CSV
プレゼンテーション用画像	<ul style="list-style-type: none"> <li>シミュレーションのモデルに対して、床壁の等のテクスチャー追加、人物表現のリッチ化を行い、動画と静止画を作成した</li> </ul>	JPEG
プレゼンテーション用動画		mp4

# Ⅲ. 実証システム > 6. データ > ③ 出力データ リプレイファイル



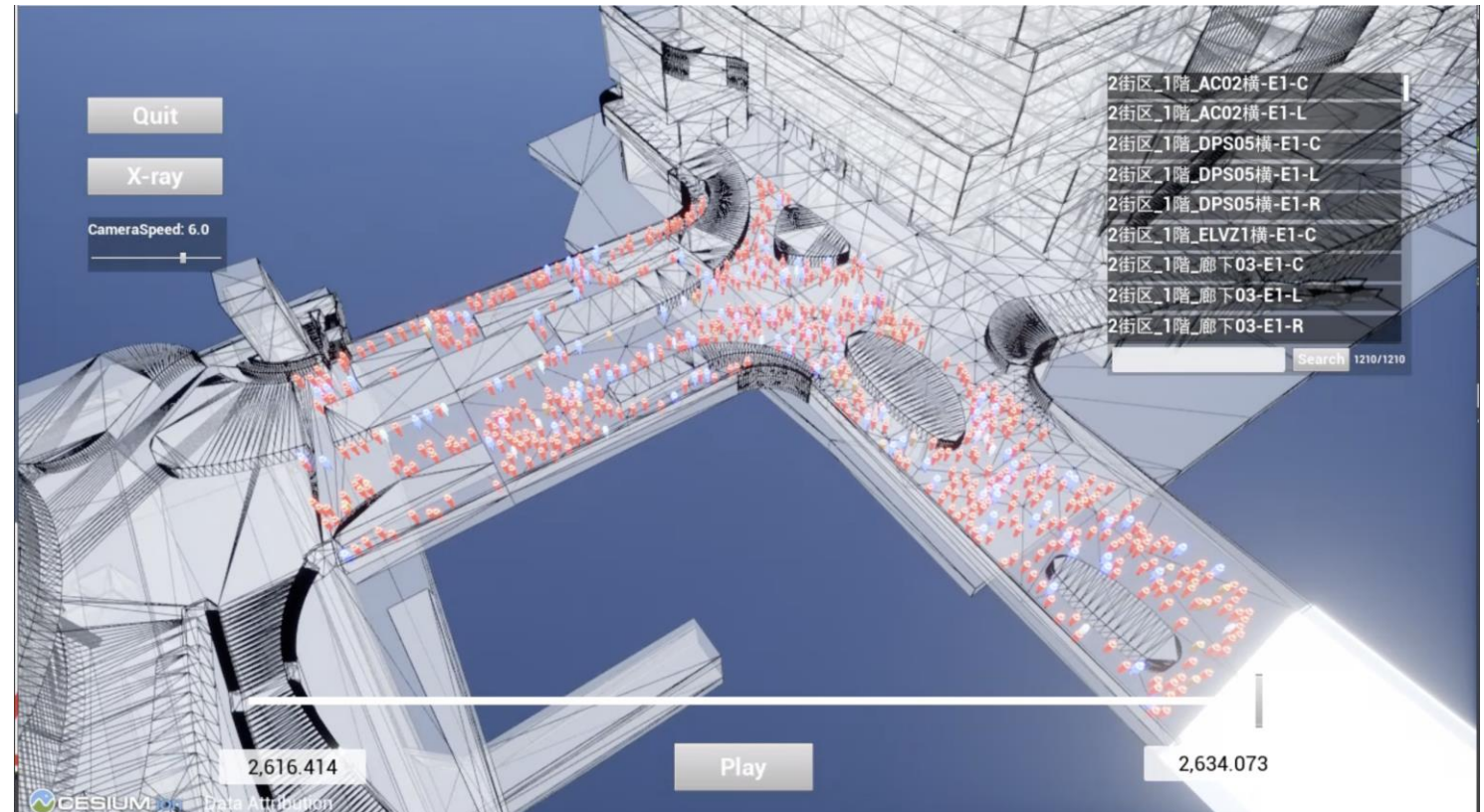
PLATEAU  
by MLIT

シミュレーション完了時に出力されるリプレイファイルをUEのリプレイシステムで再生することで、過去のシミュレーションを再現できる

## リプレイファイルの概要

- シミュレーション完了時に、UEのリプレイファイルを出力する
- リプレイファイルは、シミュレーションの内容を記録しており、後から再生してシミュレーションを再現できる
- リプレイファイルには、全てのキャラクターの設定情報と移動情報（時間と座標）が記録されている

## リプレイファイルによるシミュレーション結果の再現



# Ⅲ. 実証システム > 6. データ > ③出力データ シミュレーションログ

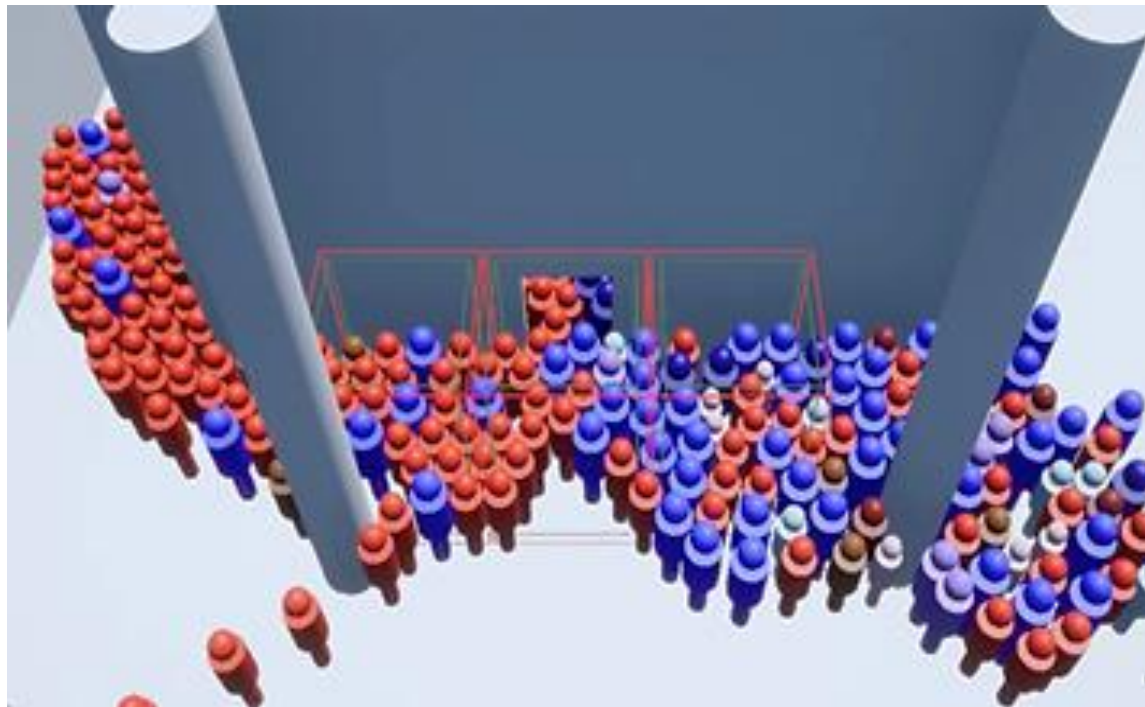
シミュレーションログの内容は以下の通り

出力ファイル	内容	カラム
キャラクター移動ログ	全キャラクターの移動軌跡（毎秒での位置座標）を記録	キャラクターID、シミュレーション経過時間、座標X、座標Y、座標Z データ例 1004,0,4762.9,-37025.7,-20654.8
キャラクター移動開始ログ	全キャラクターの移動開始した時間を記録	キャラクターID、移動開始時のシミュレーション経過時間 データ例 1004,5.18636
キャラクター移動完了ログ	全キャラクターの移動完了した時間を記録	キャラクターID、移動完了時のシミュレーション経過時間 データ例 1004,24.5067
キャラクター情報ログ	全キャラクターの定義情報を記録	キャラクターID、年代、性別、身長、横幅、歩行速度、配置エリア名、ゴールエリア名 データ例 1004,Young,Male,171.0,47.0,100.0,高輪GW駅_2階_A_01,駅前広場_2階_全域_0
密集度計測エリア情報ログ	密集度計測エリアの定義情報を記録	密集度計測エリアID、エリア名、サイズ、底面-Z座標、上面-Z座標、底面-X座標1、底面-Y座標1、底面-X座標2、底面-Y座標2、底面-X座標3、底面-Y座標3 データ例 C_0,2街区_1階_階段02-B-C,33750.0,-20720.0,-20420.0,338.149872,-26249.296875,278.296356,-26084.849609,173.703659,-26309.150391
ゴールエリアログ	ゴールエリアの定義情報を記録	ゴールエリアID、名前、収容可能人数、ゴールしたキャラクターの合計面積、ゴールしたキャラクター数/m <sup>2</sup> 、ゴールしたキャラクターの占有面積/m <sup>2</sup> 、ゴール面積 データ例 Goal2_1,2街区_1階,94,13.276685,0.868433,0.122659,108.240997



# Ⅲ. 実証システム > 6. データ > ③出力データ プレゼンテーション用画像・動画

シミュレーションのため軽量化した画像・動画



プレゼン用にリッチ化した画像・動画

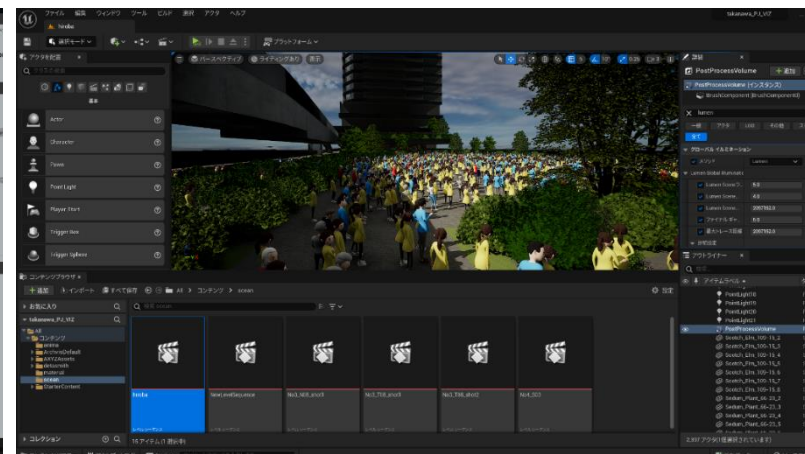
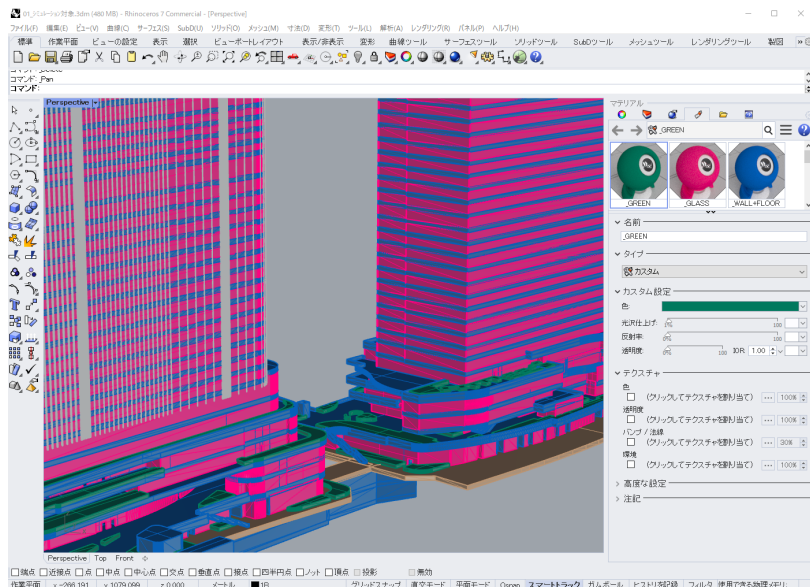


# Ⅲ. 実証システム > 6. データ > ③ 出力データ プレゼンテーション用画像・動画の作成フロー

建築モデルのレイヤー整理

人物アニメーションの作成

テクスチャ・シーン設定/  
レンダリング



- Rhinocerosを使い、UnrealEngineでマッピングしやすいようにレイヤ分けを確認する

- Animaを使って、シミュレーションリプレイを参考に、人物の配置と動きの調整を行う

- Unreal Engineを使って、テクスチャマッピング、カメラの設定などのレンダリング条件のシーン設定を行い、静止画や動画のレンダリングを行う

# Ⅲ. 実証システム > 6. データ > ③出力データ プレゼンテーション用画像・動画の作成 | Rhinoceros

オペレーションのフロー

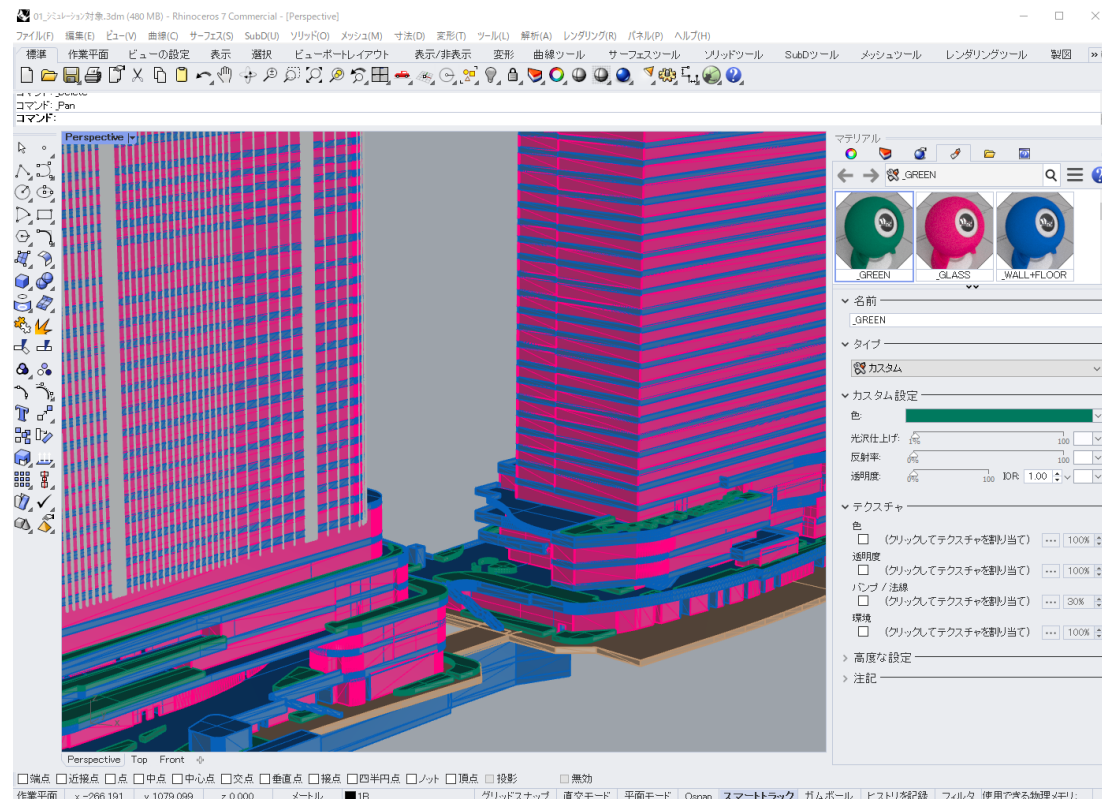
イメージ

モデルの整理

- シミュレーション向けに統一されていたレイヤやマテリアルを部位ごとに再度グループ化し、テクスチャを貼るオブジェクトを整理する

FBX出力

- Unreal Engine向けにfbx形式でデータの本出しを行う  
(人流シミュレーションとは異なり、レイヤやマテリアル情報が重要なため、3D Tiles形式は用いない)



# Ⅲ. 実証システム > 6. データ > ③ 出力データ プレゼンテーション用画像・動画の作成 | Anima

## オペレーションのフロー

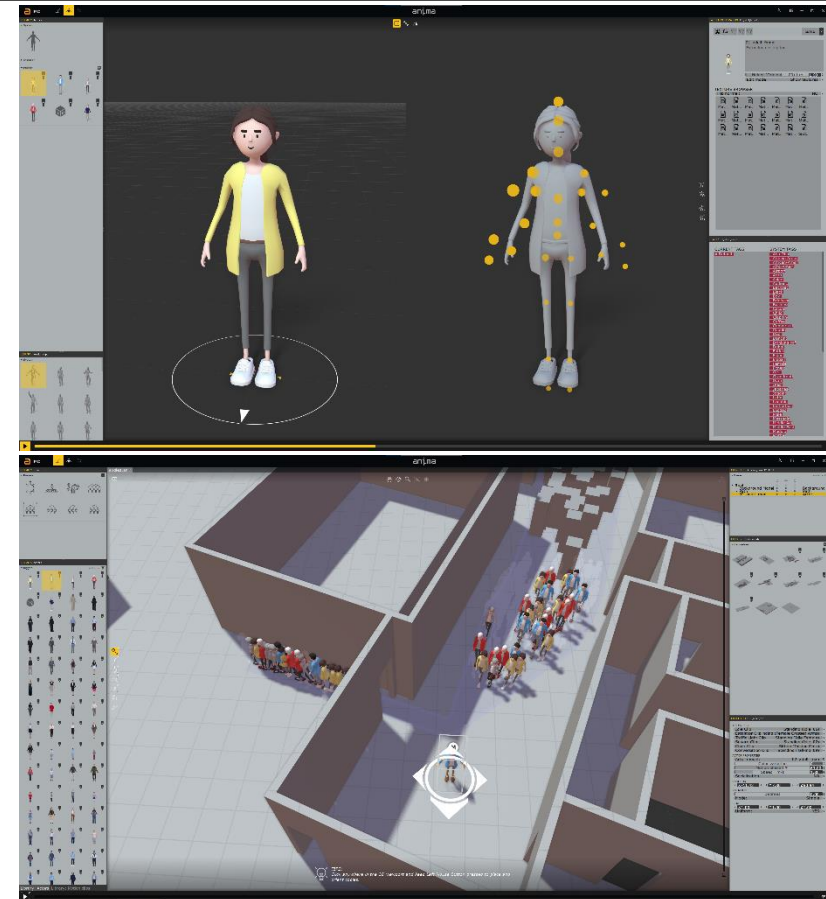
人物モデルの調整

- シミュレーションが、成人男女、子供男女、高齢者男女の6パターンの人物で行われているので、6パターンの人物モデルを選別し、服の色をシミュレーションに合わせて設定する

人物の配置

- リプレイファイルを見ながら、密度、速度を設定し人物を配置し、動きを確認する
- 人物の手足の動きを大きくしすぎるとバウンダリーボックスが大きくなりリプレイでの人の流れと様相が異なってくるので最低限の動きに設定する

## イメージ



# Ⅲ. 実証システム > 6. データ > ③出力データ プレゼンテーション用画像・動画の作成 | Unreal Engine

## オペレーションのフロー

データ読み込み

- 建築モデル を読み込む
- Animaの人物をスポーンとして読み込む

テクスチャ設定

- 建築モデルのガラス床壁などにテクスチャを設定する
- 店舗部分に店舗のイメージのテクスチャを設定する
- 木等の植栽の追加配置

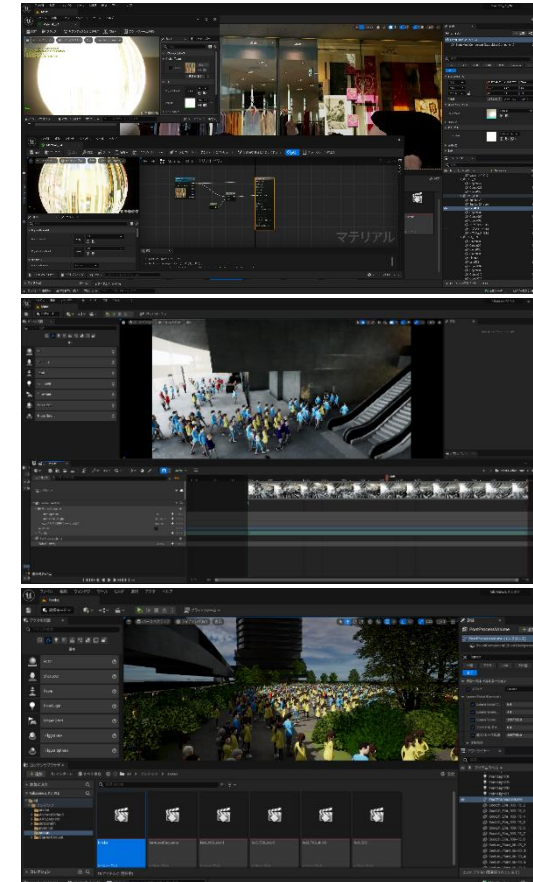
シーン設定

- カメラの設定
- ライトの設定
- 太陽光や環境光の設定

シーン書出し

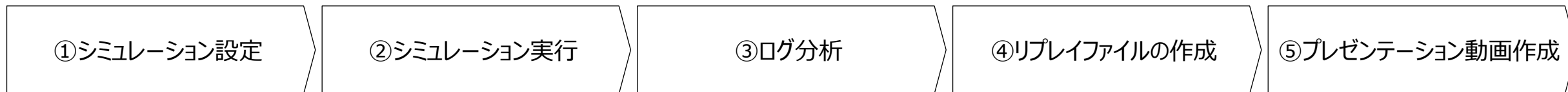
- 各シーンのレンダリング開始
- プレゼンテーション用動画の書出し
- プレゼンテーション用静止画の書出し

## イメージ



# Ⅲ. 実証システム > 7. ユーザインタフェース UI/UXの全体フロー

シミュレーション設定からプレゼンテーション動画作成までのUI/UXの全体の流れは以下の通り



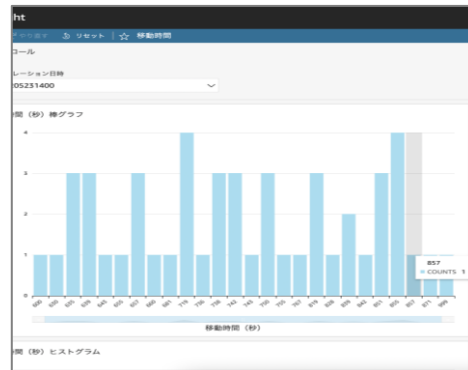
- ① 専用の画面は用意せず、UEのエディタ上でシミュレーション実施に必要な設定を行う
- ② シミュレーションを実行し、実行中の様子を表示する
- ③ シミュレーションの結果ログを分析する
- ④ シミュレーションのリプレイを表示する。結果の考察に利用する
- ⑤ シミュレーションのリプレイ動画を参考にビジュアルのリッチ化を行う。歩行イメージをわかりやすく伝えるのに利用する



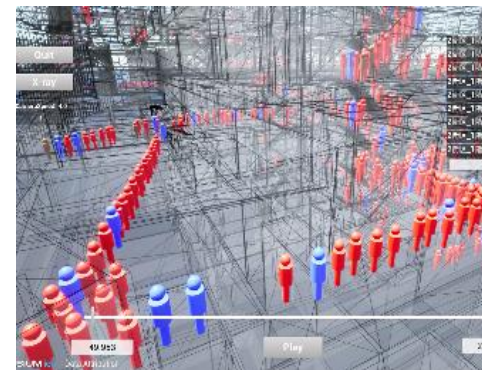
UEのエディタ画面



シミュレーション実行画面



分析結果画面



リプレイ画面



プレゼン動画画面

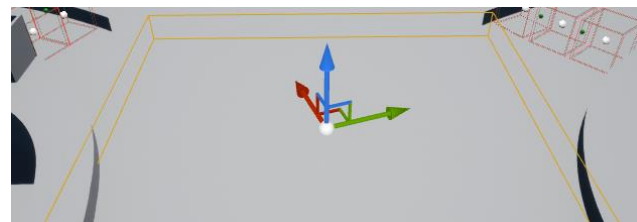
# Ⅲ. 実証システム > 7. ユーザインタフェース

## ① シミュレーション設定

シミュレーション設定の流れは以下の通り

キャラクターの配置  
エリア・ゴールエリア  
の設置

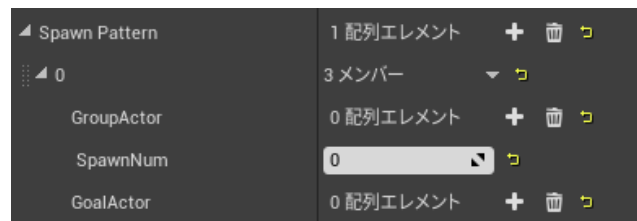
- シミュレーション実行時にキャラクターを自動配置する範囲を設定する
- キャラクターの移動先となるゴール座標の生成範囲を設定する



エディタ画面（キャラクター配置エリア）

キャラクターの配置  
エリア設定

- 生成するキャラクターの属性（性別、年代）を設定する
- 生成するキャラクターの数を設定する
- 上記で設定したキャラクターが向かうゴールエリアを設定する



キャラクターの配置  
エリア設定画面

面積計算の実行

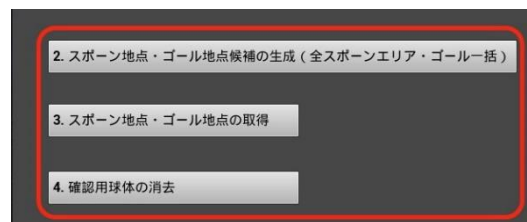
- シミュレーション後の分析にあたり、事前にゴール面積の算出を実行する
  - 面積算出範囲に球体を敷き詰め、確認時の参考情報とする



面積計算実行画面

キャラクターの配置  
座標・ゴール座標の  
算出実行

- シミュレーションの実行にあたり、キャラクターの配置座標及びゴール座標の算出を行う
  - キャラクター・ゴール座標の配置範囲に球体を敷き詰め、確認時の参考情報とする



キャラクター・ゴール  
座標配置実行画面

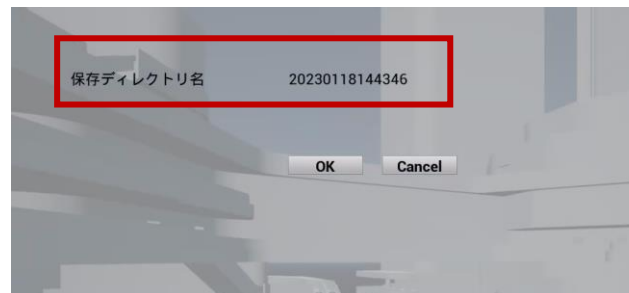
# Ⅲ. 実証システム > 7. ユーザインタフェース

## ② シミュレーション実行

シミュレーション実行の流れは以下の通り

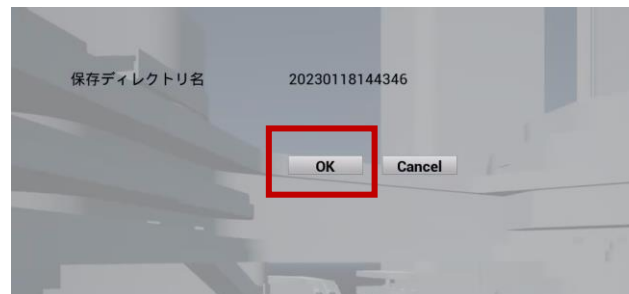
ログディレクトリ名  
の設定

- S3に保存するシミュレーションのログファイルのディレクトリ名を設定する



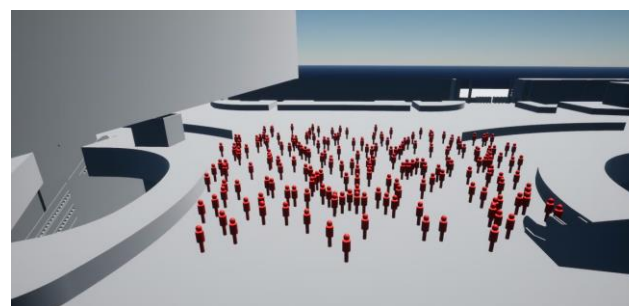
シミュレーション  
の実行

- 「OK」ボタンを押下しシミュレーションを開始する



シミュレーション  
の表示

- シミュレーションの様子をリアルタイムで表示する







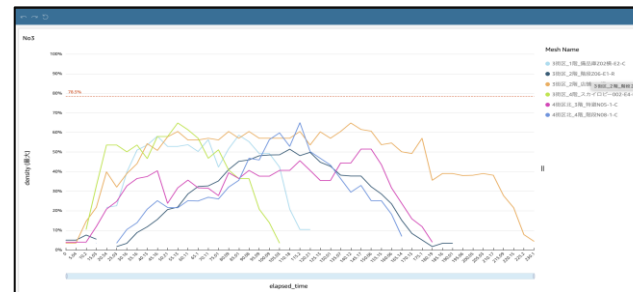
# Ⅲ. 実証システム > 7. ユーザインタフェース

## ③ ログ分析

シミュレーション結果ログの分析の流れは以下の通り

密集度推移グラフ  
の表示

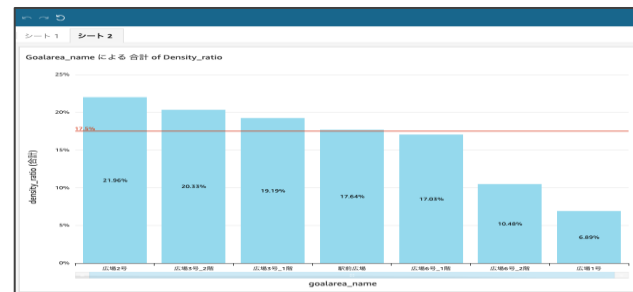
- 密集度計測エリア毎に、密集度推移をグラフ表示する
- 評価の閾値をオレンジ線で表示する



密集度推移  
グラフ画面

ゴール密集度グラフ  
の表示

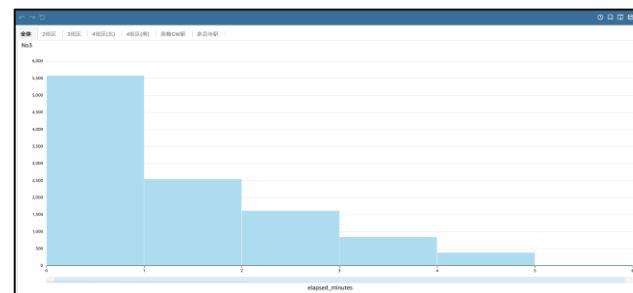
- ゴールエリア毎に、シミュレーション完了後の密集度をグラフ表示する
- 評価の閾値をオレンジ線で表示する



ゴール密集度  
グラフ画面

移動完了時間毎  
の人数グラフの表示

- 移動完了時間（分）毎に、ゴールした人数をグラフ表示する



移動完了時間毎の  
人数グラフ画面

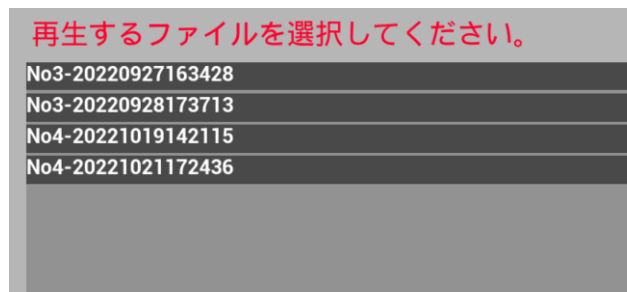
# Ⅲ. 実証システム > 7. ユーザインタフェース

## ④リプレイファイルの再生

シミュレーションのリプレイファイルの再生の流れは以下の通り

ファイルの選択

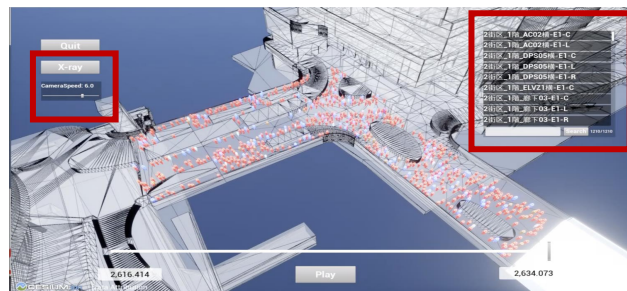
- 再生するリプレイファイルを選択する



ファイル選択画面

設定の変更

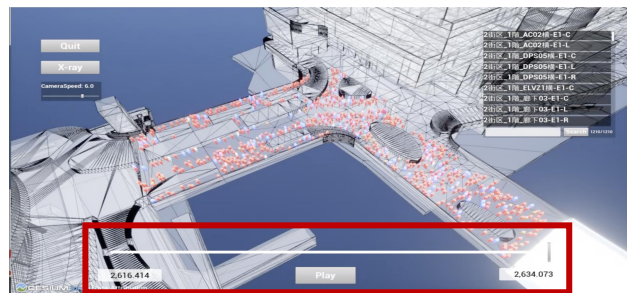
- 「X-ray」にて建物をワイヤフレーム表示にして透過する
- 「カメラ移動速度変更」で 8 段階で調整する
- 「密集度計測エリア一覧」でエリアを検索・選択しカメラを移動させる



X-ray・カメラ移動速度の設定 (左)  
エリアの設定 (右)

ファイルの再生

- 「Play」ボタン押下で再生/停止を切り替える
- 「Quit」ボタン押下でリプレイを終了する
- 「経過時間シークバー」はリプレイの経過時間 (秒) を表示する
- 「現在の経過時間」はリプレイの全体時間 (秒) を表示する



時間経過の表示

# Ⅲ. 実証システム > 8. システムテスト結果

## システムテスト結果一覧

システムテストの結果一覧は以下の通り

試験項目	確認内容	結果
3D都市モデル取り込み	3D Tiles形式の3D都市モデルをUEに取り込み、表示できること	OK
移動可能領域の生成・修正	3D都市モデル上に、AIキャラクターが移動できる領域を生成・修正できること	OK
キャラクター設定	属性（性別・年代）毎に異なる歩行速度、サイズ（身長、横幅）をAIキャラクターに設定できること	OK
キャラクター配置	AIキャラクターの属性・人数を設定して、指定した場所に配置できること	OK
行動定義	AIキャラクターに移動時の経路地点、ゴール地点、移動開始時刻を設定できること	OK
経路定義	AIキャラクターの通行不可の場所を設定できること	OK
経路探索	AIキャラクターの移動経路を探索できること	OK
衝突検知・回避	オブジェクト同士の衝突時に物体を透過しないせず、AIキャラクター移動時にキャラクター同士・建物との衝突を回避する動きをすること	OK
ログ収集・分析	シミュレーション終了後に必要なログが出力されていること。また、分析結果がグラフ化されていること	OK
リプレイシステム	シミュレーション実行結果を記録し、リプレイで結果を確認できること。リプレイでは、時間・地点の指定できること	OK
性能（シミュレーション）	1.2万人での人流シミュレーション実行時、フレーム描画速度が1fps以上であること	OK
性能（リプレイ）	1.2万人でのリプレイ実行時、フレーム描画速度が3fps以上であること	OK
可用性	1時間シミュレーションを連続稼働できること	OK

I. 実証概要

II. 実証技術の概要

III. 実証システム

**IV. 実証技術の検証**

V. 成果と課題

# IV. 実証技術の検証 > 1. シミュレーション環境の検証：災害時 > ① 検証内容 シミュレーションシナリオの全体像

エリアマネジメントの観点で有事（災害時）と平時を含めた6つのシナリオを想定して検証を行い、シミュレーション環境がアウトプットする結果の有用性を検証する

シナリオ分類		シナリオNo.	想定シーン	検証観点
災害時	災害時	1	発災～3時間	<ul style="list-style-type: none"> <li>開発エリア（高輪GWシティ（仮称））の空間の安全性を検証</li> </ul>
		2	3時間後～	
	災害時再検証 （災害時＋打ち手）	3	発災～3時間	<ul style="list-style-type: none"> <li>災害時シナリオから発見された弱点に対する対策（避難誘導策等）の有効性を検証</li> </ul>
		4	3時間後～	
平時	イベント時	5	イベント開始前	<ul style="list-style-type: none"> <li>大規模イベント開催時の人流・群衆の密集度およびボトルネックを検証</li> </ul>
		6	イベント開始後	

\*検証によって災害時・平時の示唆を抽出するが、前提となる本システムのシミュレーション結果の妥当性は、東京大学加藤教授にてご確認いただき、以下のコメントを頂戴した。  
「今ある知見を積み重ねて出した結果であることから、人の行動が劇的に変わらないとすれば妥当と考えられる」



# IV. 実証技術の検証 > 1. シミュレーション環境の検証：災害時 > ① 検証内容 検証の概要

高輪ゲートウェイエリアの安全安心確保計画の更新に向けて大規模な避難シミュレーションを行い、課題を抽出し打ち手を検討する

<b>検証目的</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>高輪ゲートウェイエリアの安全確保計画の更新に向けて大規模な避難シミュレーションを行い、課題を抽出し打ち手を検討する</li></ul>
<b>検証方法</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>初期避難と二次避難の2つのシナリオに分けてシミュレーションを行い、課題や混乱の要因が何かを抽出する<ul style="list-style-type: none"><li>初期避難：上下の避難経路における密集度、避難に要した時間から階ごとの移動等の誘導が必要か検証する</li><li>二次避難：移動経路の群衆の密集度から、街区間で連携した移動対応（時間差移動等）が必要か検証する</li></ul></li></ul>

# IV. 実証技術の検証 > 1. シミュレーション環境の検証：災害時 > ① 検証内容 シナリオ詳細



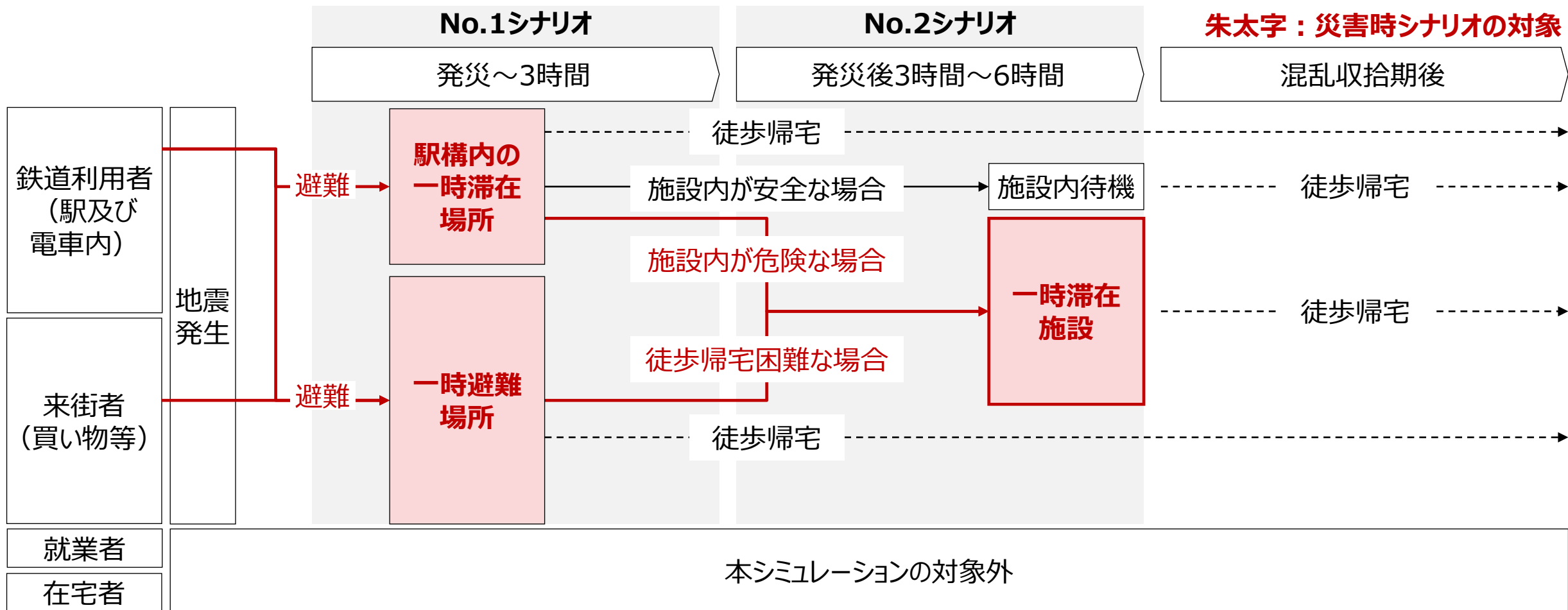
PLATEAU  
by MLIT

開発エリア（高輪GWシティ（仮称））の空間の安全性の検証、現状把握のためのシナリオを設定し検証する

シナリオ	シナリオ詳細	対象街区	移動パターン	移動経路
No.1 初期避難時 (発災～3時間)	<p>有事・平日 下記の一時的避難をシミュレーション</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>来街者が屋内から最寄りの広場への避難</li> <li>鉄道利用者が駅から最寄りの広場への避難</li> </ul> <p>《前提》</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>5,131人が屋内から一時避難</li> <li>駅から5,923人が一時避難</li> <li>各広場に数百人いる状態</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>2、3、4街区</li> <li>駅前広場</li> <li>広場1、2、3、6号</li> <li>高輪GW駅 ・泉岳寺駅</li> </ul>	<p>一斉移動 ※階ごとの避難順番は定めなし ※最寄りの広場へ移動</p>	<p>各建物⇒各広場 駅⇒各広場</p>
No.2 二次避難時 (発災3時間後～)	<p>有事・平日 下記の避難をシミュレーション</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>各広場及び屋内から一時滞在施設への避難</li> </ul> <p>《前提》</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>一時滞在施設受け入れ人数 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 4街区：7,000人</li> <li>- 3街区：2,000人</li> <li>- 2街区：1,000人</li> <li>- 1街区：200人（今回対象外）</li> </ul> </li> <li>2,000人は街区外に移動（近隣の方が帰宅する想定）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>2、3、4街区</li> <li>駅前広場</li> <li>広場1、2、3、6号</li> </ul>	<p>一斉移動 ※最寄りの施設へ移動</p>	<p>各広場 ⇒各街区一時滞在施設</p>

# IV. 実証技術の検証 > 1. シミュレーション環境の検証：災害時 > ① 検証内容 災害時シナリオの対象領域

首都直下型地震帰宅困難者等対策協議会が作成したガイドラインを基にシミュレーション対象領域を設定



\*出典：品川駅・田町駅周辺地域都市再生安全確保計画 P3-6 (2)災害時の行動フロー を基に作成





# IV. 実証技術の検証 > 1. シミュレーション環境の検証：災害時 > ① 検証内容 エリア全体の屋外滞留者数の算出

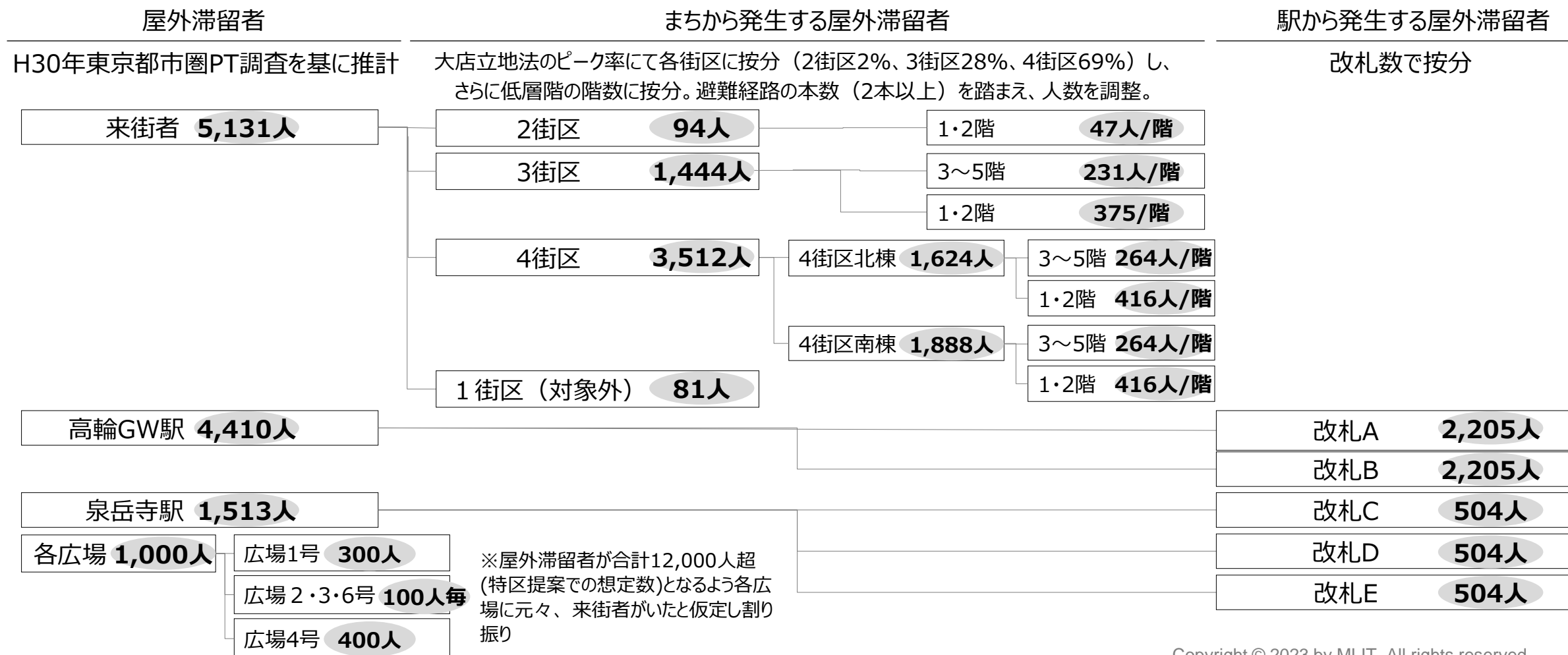
屋外滞留者数の算出方法は以下の通り

<p>(1) 来街者</p>	<p>5,131人</p>	<p>「東京都市圏のPT調査(平成30(2018)年)」を基に、</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>地震発生時の地区内の滞留者数(ピーク時：11時台)</li> <li>PT調査の着目的区分(買物、その他私事、不明)より、上記のうち屋外滞留者数(滞在場所のない帰宅困難者)をそれぞれ算出</li> </ul>
<p>(2) 高輪GW駅から</p>	<p>4,410人</p>	<p>地震発生時に、駅間にいる列車の乗車中の利用者や、駅うち内にいる乗車待ち利用者を、駅から屋外に発生する滞留者数と想定し算出</p> <p><u>A: 駅間にいる列車の乗車中人数4,275人</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>路線(山手線、京浜東北線・根岸線)</li> <li>方面(内外回り、南行北行)</li> <li>混雑率：H26版都市交通年報終日混雑率(H24.10.24調査日)</li> <li>1編成当たりの定員：国土交通省HP鉄道関係統計データ 混雑率データ(R元年度)</li> </ul> <p><u>B: 駅構内にいる乗車待ち人数135人</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>PT調査)の「鉄道駅乗降別端末手段別トリップ数(H30)」データより各駅11時台の乗車トリップ数を使用し、各路線の時刻表より、5分平均の乗車人数を算出し、滞留者とし定義</li> </ul>
<p>(3) 泉岳寺駅から</p>	<p>1,513人</p>	<p>同上の考え方を基に算出 A:1,505人 B:8人</p>
<p>合計</p>	<p>11,054人</p>	

# IV. 実証技術の検証 > 1. シミュレーション環境の検証：災害時 > ① 検証内容

## 屋外滞留者数割り当て

安確計画で推計した人流データをもとに、まち・駅から発生する屋外滞留者数を割り振った





# IV. 実証技術の検証 > 1. シミュレーション環境の検証：災害時 > ① 検証内容 初期避難の人数割り当てロジック

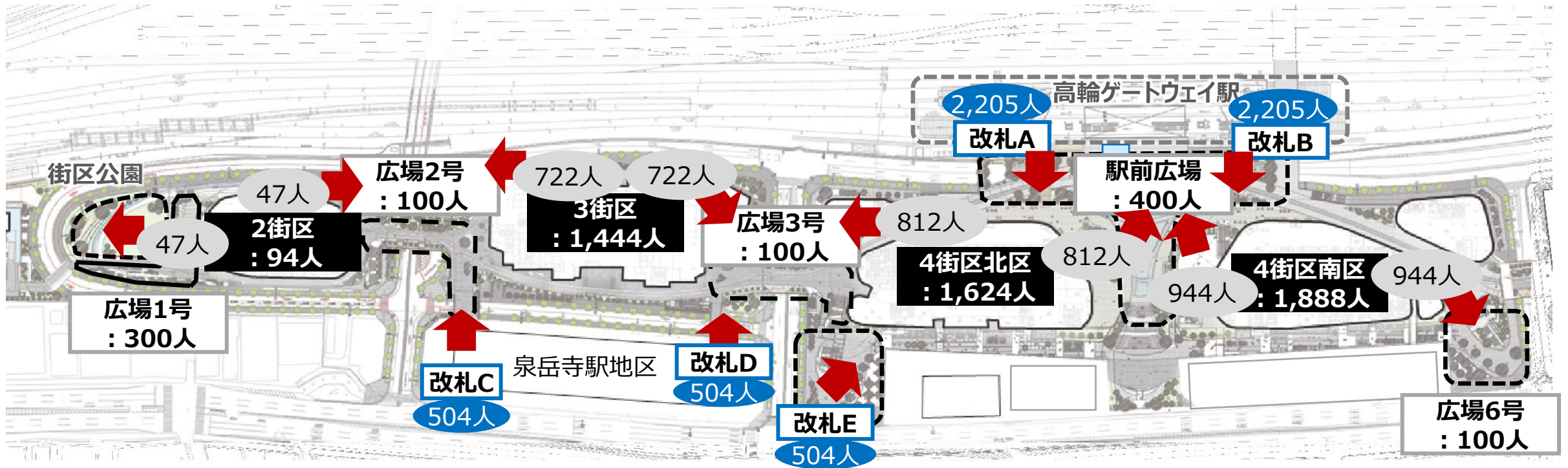
各街区、階層に割り振られた屋外滞留者を、同じ階層内で合流をさせない（避難経路が偏らない）ようにしながら、安確計画の災害時行動フローで定める、最寄りの一時避難場所（広場）に初期避難するよう割り振った



※各街区から1:1で按分し割り振り

# IV. 実証技術の検証 > 1. シミュレーション環境の検証：災害時 > ① 検証内容 No.1 初期避難（発災～3時間）

災害発生直後に鉄道利用者及び来街者が一時避難場所に向けて避難を行うと想定し、割り当てのロジックに沿って移動する



**XX人** まちから発生する屋外滞留者数  
**XX人** 割り当てられた屋外滞留者数  
 (最寄りの広場に1:1で按分)

**XX人** 広場に発災前から滞在していた人数  
**XX人** 駅から発生する屋外滞留者数



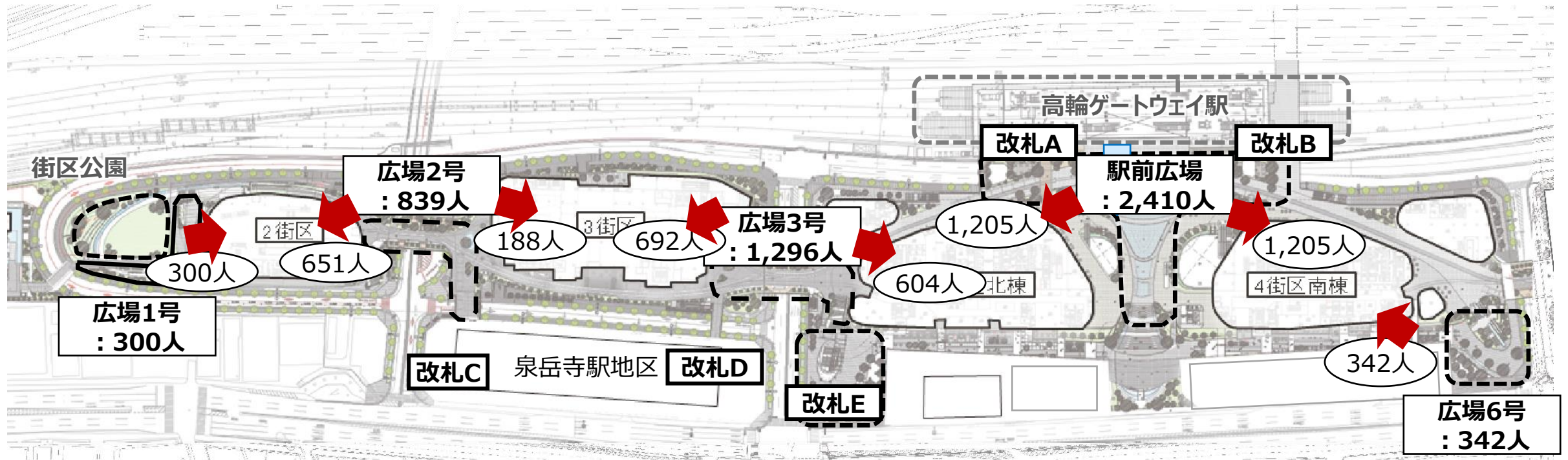
# IV. 実証技術の検証 > 1. シミュレーション環境の検証：災害時 > ① 検証内容 二次避難の人数割り当てロジック

初期避難をした一時避難場所（広場）から各街区建物内の一時滞在施設への避難について、広場と街区の位置関係を確認しながら、街区跨ぎの移動をさせないように各広場から各街区の一時滞在施設への割り振りをすると共に、一時滞在施設の収容人数（フロアごとの面積と人数は非公開）を超えない割り振りを学識に相談の上、決定



# IV. 実証技術の検証 > 1. シミュレーション環境の検証：災害時 > ① 検証内容 No.2 二次避難（発災3時間後～）

発災から三時間が経過し、一時避難場所（広場）から一時滞在施設への移動を行うと想定し、一斉に移動を開始した シナリオで検証を行う



○ XX人 一時滞在施設への移動者

□ XX人 一時避難場所（広場）に避難していた人数

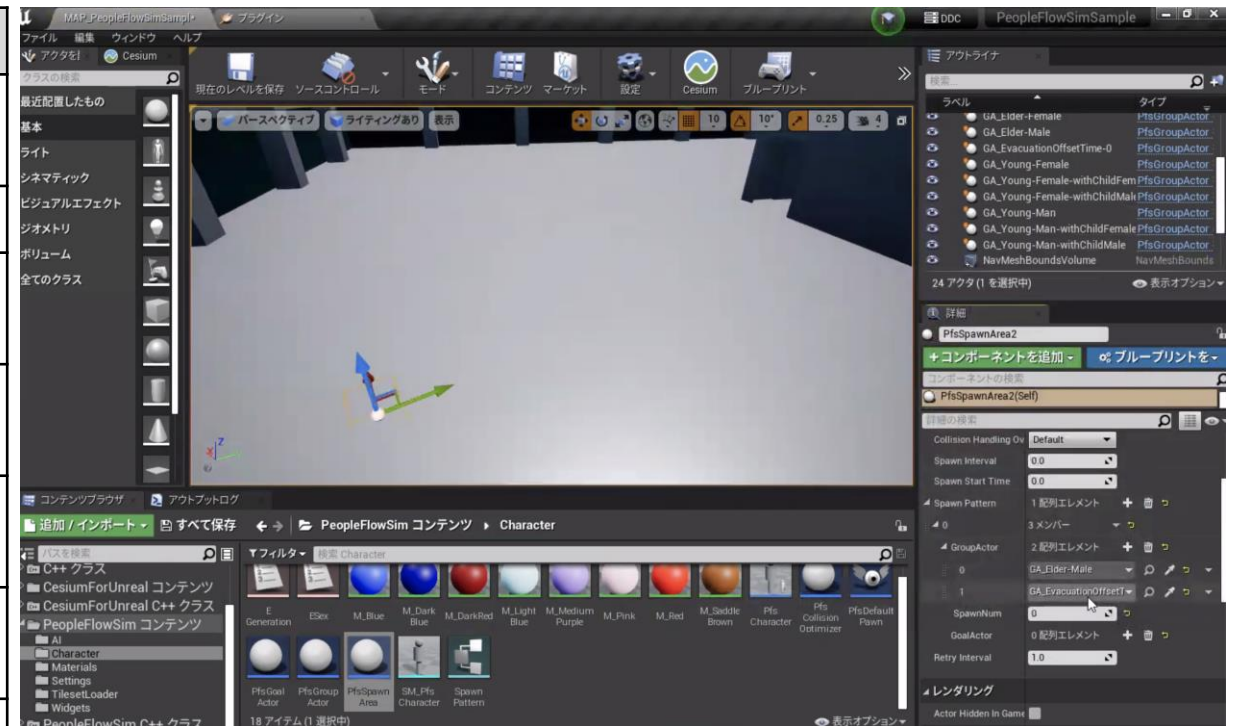
# IV. 実証技術の検証 > 1. シミュレーション環境の検証：災害時 > ① 検証内容 シミュレーションの設定項目

シナリオ条件をUEに設定してシミュレーションを実行した結果、シナリオ検討段階では想定できなかった動きが観測されることがあり、その都度シナリオ条件を見直し、またシミュレーション中の問題に対しても改善を行い設定した

シミュレーション設定項目

シミュレーション設定画面

項目	概要
移動不可経路	<ul style="list-style-type: none"> <li>災害時に利用不可能となるエスカレータなど、移動経路に適さないエリアを設定する</li> </ul>
キャラクター移動経路	<ul style="list-style-type: none"> <li>避難誘導を想定した経路地点、ゴールを設定する</li> </ul>
キャラクター属性	<ul style="list-style-type: none"> <li>人流シミュレーションに利用するキャラクターの属性（サイズ、スピード）を設定する</li> </ul>
スポーンの設定	<ul style="list-style-type: none"> <li>上記で設定した属性のキャラクターの配置人数、配置場所、発生回数を設定する</li> </ul>
デッドロック解消エリア	<ul style="list-style-type: none"> <li>デッドロック（人流が詰まる）した場合の解消を行うエリアを設定する</li> </ul>
CrowdManagerの設定切り替えエリア	<ul style="list-style-type: none"> <li>避難誘導等で人流の動き（群衆制御の設定）に変容をもたらすエリアを設定する</li> </ul>
キャラクター密集度計測エリア	<ul style="list-style-type: none"> <li>人流密度を計測するエリアを設定する</li> </ul>



# IV. 実証技術の検証 > 1. シミュレーション環境の検証：災害時 > ① 検証内容

## シミュレーション評価における閾値の設定

シミュレーション実行において出力されるログを分析した。密集度計測エリアは、1,290個を設置し、密集度と移動完了時間に対して閾値を設定した

分析対象	閾値	説明
エリア密集度	4人/m <sup>2</sup> =約70% 3人/m <sup>2</sup> =約50%	<ul style="list-style-type: none"> <li>フルーインの研究<sup>*1</sup>を元に閾値(4人/m<sup>2</sup>)を設定。また、今回は3人/m<sup>2</sup>=約50%を超えたエリアについてもリプレイから危険の有無の確認を行った</li> <li>密集度計測エリアは、「Ⅲ. 実証システム &gt; 4. システム機能 ⑨ログ収集・分析」の設置基準に基づき、1,290個を設置した</li> </ul>
ゴールエリアの密集度	平米あたりの人数 ・長期滞在: 2人/3.3m <sup>2</sup> =8.8% ・短期滞在: 4人/3.3m <sup>2</sup> =17.5%	<ul style="list-style-type: none"> <li>長期滞在については、大規模地震の発生に伴う帰宅困難者対策のガイドライン<sup>*2</sup>の一時滞在施設の基本的な考え方から設定した</li> <li>短期滞在については、東京都内の地域防災計画(中央区)<sup>*3</sup>の考え方を参考に設定した</li> </ul>
移動完了時間	8分	<ul style="list-style-type: none"> <li>Guide to Safety at Sports Ground<sup>*4</sup>により、避難者が動揺やストレスを感じずに避難できる上限として定義されている8分以下を閾値として設定した</li> </ul>

\*1 出典：公益財団法人 鉄道総合技術研究所「歩行速度とパーソナルスペースの計測手法の開発（フルーインの研究）」2017年10月

\*2 出典：内閣府「大規模地震の発生に伴う帰宅困難者対策のガイドライン」p7-p8

\*3 出典：中央区「中央区地域防災計画」p196-p198 2019年

\*4 出典：国土交通省「避難シミュレーション報告」p4

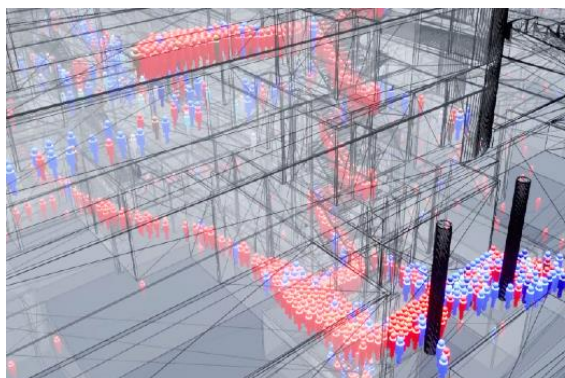


# IV. 実証技術の検証 > 1. シミュレーション環境の検証：災害時 > ① 検証内容 リプレイ動画での分析・確認方法

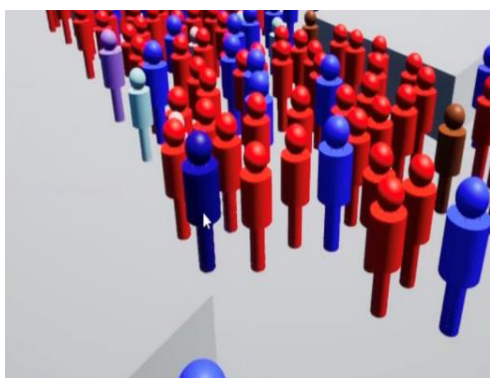
シミュレーションの分析結果が閾値を超えた場所について、リプレイで確認を行い、移動時間は原因を考察し、密集度は危険の有無を確認した

## 移動完了時間に関する分析

- 移動完了時間については、閾値を超えた際にリプレイ動画を確認し、理由を考察した
- 移動時間が延びる要因としては以下のようなケースがあった
  - 混雑によって移動ができない時間が続いた
  - ゴール済みの人の間を縫うように移動しなければならず移動に時間がかかった



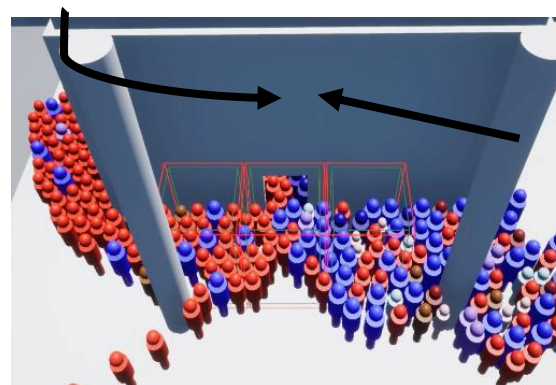
混雑による移動困難



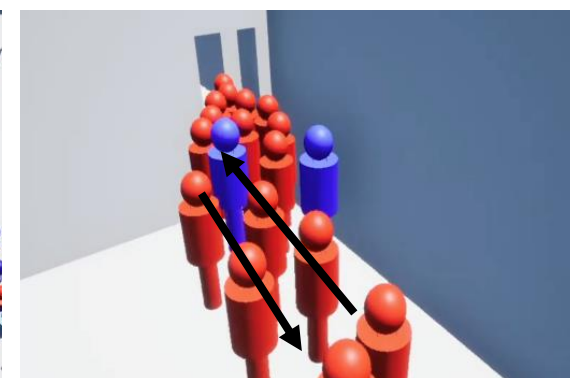
ゴール済みの人の経路妨害

## 密集危険度に関する分析

- 密集度の高い場所は将棋倒しや混乱を招く危険ポイントとして考察した
- 危険有りとしたポイントとしては以下のようなケースがあった
  - 同じ通路や階段を多くの人利用しようとした結果、移動経路が詰まって移動が困難になるほど滞留を起こした
  - 移動方向の違いから交差し滞留した



人が密集することによる滞留



経路の交差による滞留

# IV. 実証技術の検証 > 1. シミュレーション環境の検証：災害時 > ② 検証結果 結果サマリ

特に二次避難において、密集度・移動完了時間ともにリスクが高く何らかの対策が必要であることが分かった

○：課題なし、△：改善余地あり、×：課題あり、-：考察対象外

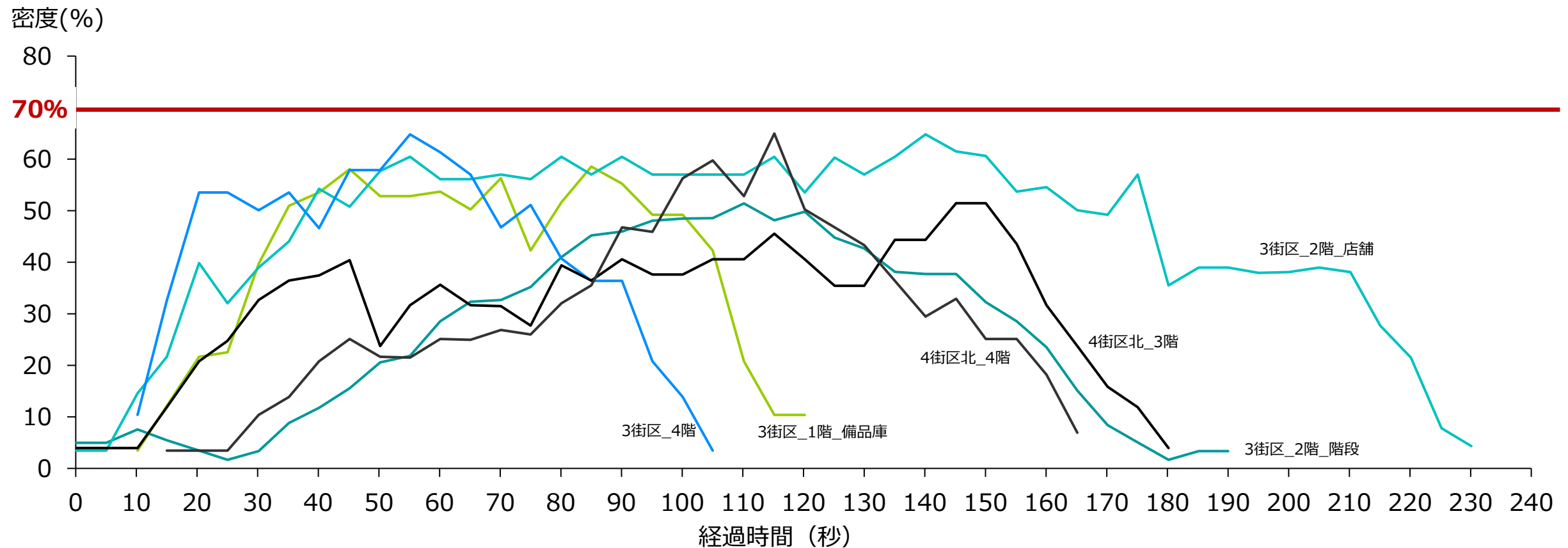
シナリオ	エリア密集度		ゴールエリアの密集度		移動完了時間	
	結果	考察・示唆	結果	考察・示唆	結果	考察・示唆
No.1 初期避難時 (発災～3時間)	○	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 屋内の移動は安全である（複数の階段利用による移動の分散等により）</li> <li>● 70%の閾値を超える時間帯はなく、滞留が長時間発生する時間がなかったため、混乱リスクは低い</li> </ul>	×	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 避難時間の閾値を超えず避難が完了しているが、一部ゴールに人が集中しており、混乱や危険リスクが高まっている                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 一つの避難場所に集中することが無いよう、オペレーションによる誘導で、各広場に分散させる必要がある</li> </ul> </li> </ul>	○	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 混乱がなく避難できている</li> <li>● 短時間で移動が完了しており、それぞれが最寄りの一次待機場所まで移動できている</li> </ul>
No.2 二次避難時 (発災3時間後～)	×	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 屋内外からの人流が交差する時間帯に閾値を超える密集度が発生している                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 時間による分散や避難経路の分散などの対策が必要と考えられる</li> </ul> </li> </ul>	×	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 多くのゴールエリアで高い密集度となってしまう危険リスクが高まっている                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- シミュレーション環境上の面積と現実での差異はあるが、今後設計が深度化していく中で計画面積を確保する必要がある</li> </ul> </li> </ul>	×	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 移動完了時間が長時間化しており、目標時間以内の完了率が低くなっている                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 特定の階段に人が集中するため、分散等の対策が必要と考えられる</li> </ul> </li> </ul>

# IV. 実証技術の検証 > 1. シミュレーション環境の検証：災害時 > ② 検証結果

## No.1 初期避難のエリア密集度

発災後から3時間のエリア密集度は、閾値の70%を超えたエリアはなく、50%を超えたエリアでも時間の経過で捌けているため問題ないと言える

エリア密集度の推移

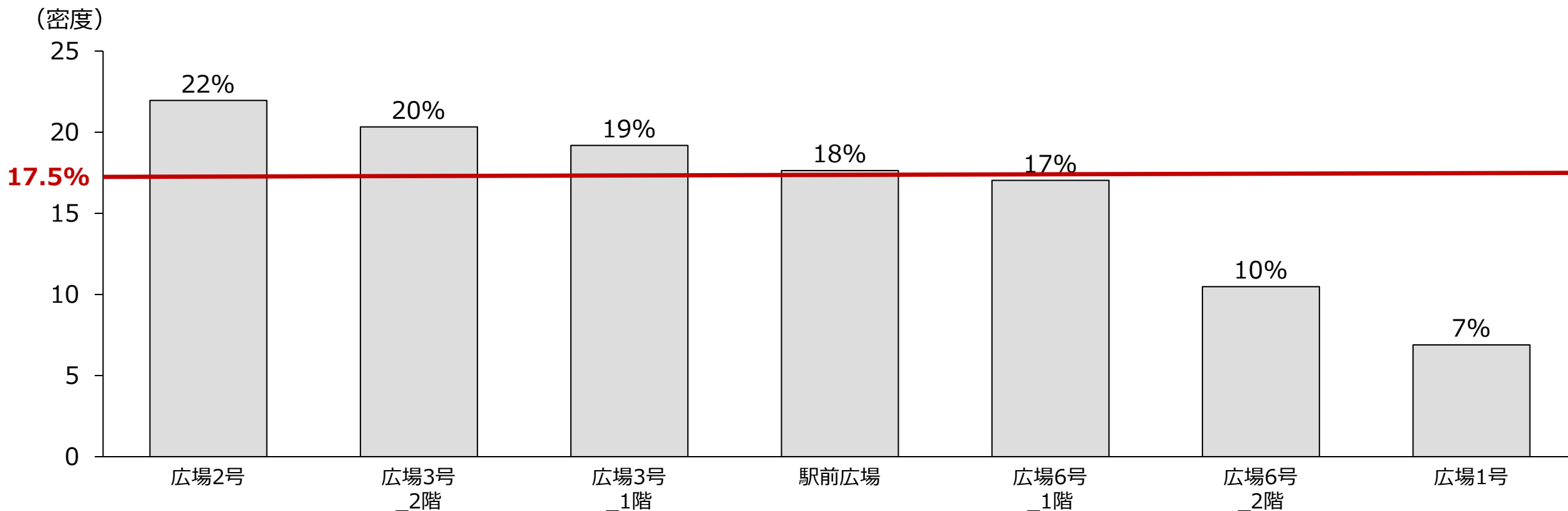


# IV. 実証技術の検証 > 1. シミュレーション環境の検証：災害時 > ② 検証結果

## No.1 初期避難のゴールエリア密集度

ゴールエリアごとの分散がなく、閾値を超えた密集度となっているエリア（街区間を結ぶ通路機能を持った広場）が多数見受けられるため、危険リスクが高まっている

ゴールエリア毎の密集度

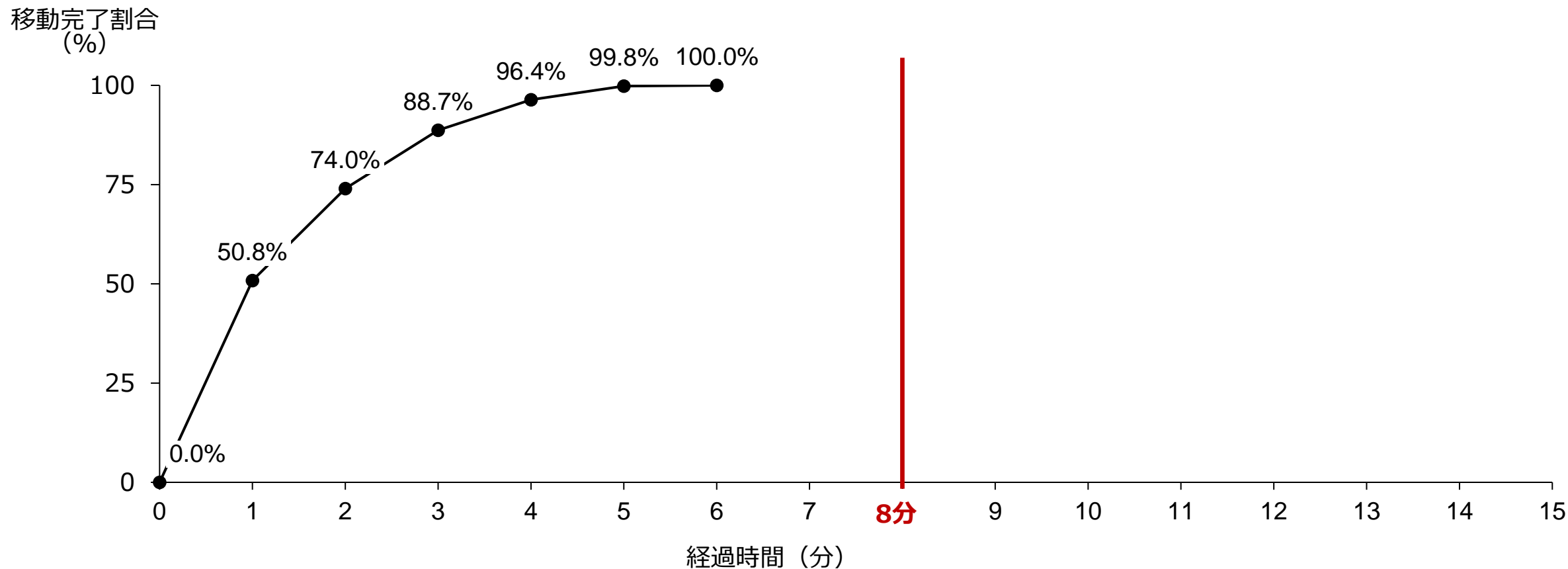


# IV. 実証技術の検証 > 1. シミュレーション環境の検証：災害時 > ② 検証結果

## No.1 初期避難の移動完了時間

最寄りのゴール地点への避難がなされた結果、移動完了は6分で達成されている

経過時間別移動完了割合



# IV. 実証技術の検証 > 1. シミュレーション環境の検証：災害時 > ② 検証結果

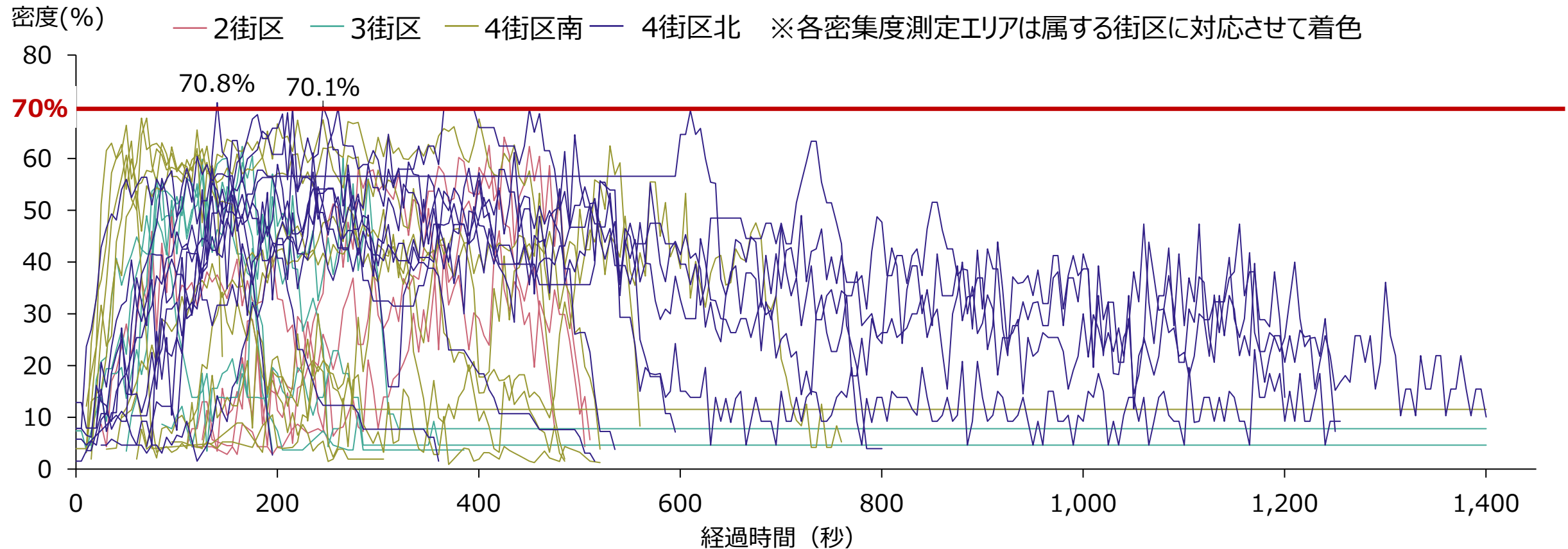
## No.2 二次避難のエリア密集度



PLATEAU  
by MLIT

二次避難では各ゴールエリアに向かう屋内外からの人流が合流する箇所で、70%を超えた滞留が発生している

エリア密集度の推移

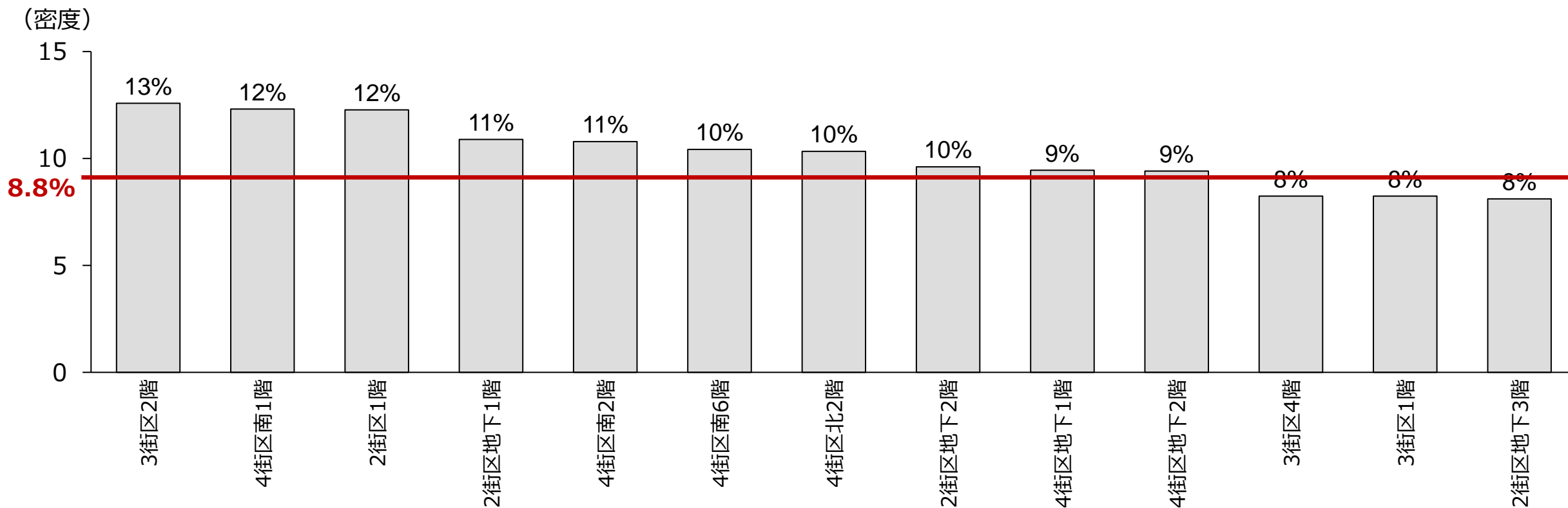


# IV. 実証技術の検証 > 1. シミュレーション環境の検証：災害時 > ② 検証結果

## No.2 二次避難のゴールエリア密集度

長期滞在の収容閾値8.8%を超えた密集度となっているゴールエリアが多数見受けられるため、危険リスクが高まっている

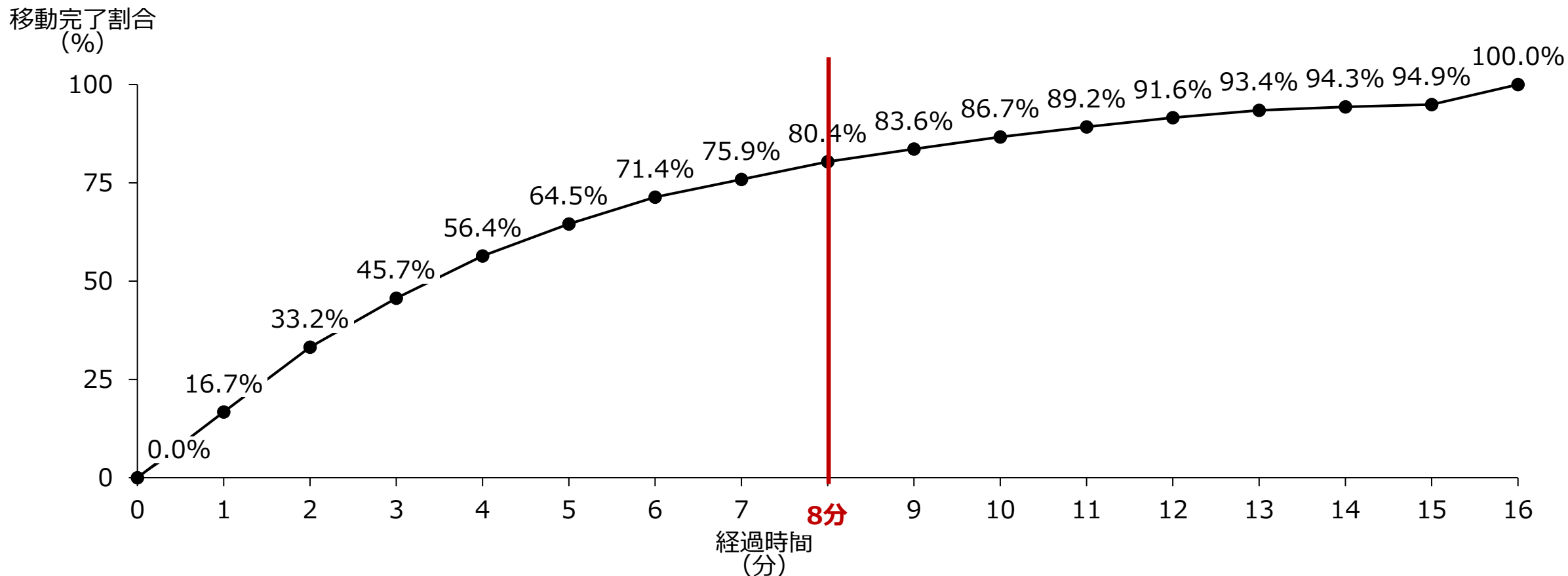
ゴールエリア密集度



# IV. 実証技術の検証 > 1. シミュレーション環境の検証：災害時 > ② 検証結果 No.2 二次避難の移動完了時間

二次避難においては、移動完了時間の閾値8分の2倍の16分も要しておりリスクの高い危険な状況といえる

経過時間別移動完了割合





# IV. 実証技術の検証 > 2. シミュレーション環境の検証：災害時再検証 > ① 検証内容

## 検証の概要



PLATEAU  
by MLIT

シナリオNo.1/No.2で抽出された課題に対して打ち手を講じた具体シナリオを作成しシミュレーションを実施し、打ち手の有効性を確認、示唆を抽出する

<b>検証目的</b>	• シナリオNo.1/No.2で抽出された課題に対して打ち手を講じた具体シナリオを作成しシミュレーションを実施する
<b>検証方法</b>	• シナリオNo.1/No.2で抽出された課題に対する対策の有効性を検証する

# IV. 実証技術の検証 > 2. シミュレーション環境の検証：災害時再検証 > ① 検証内容

## シナリオ詳細



初期避難時は誘導による収容コントロール、二次避難時は時間による分散を主な打ち手として講じるシナリオを設定した

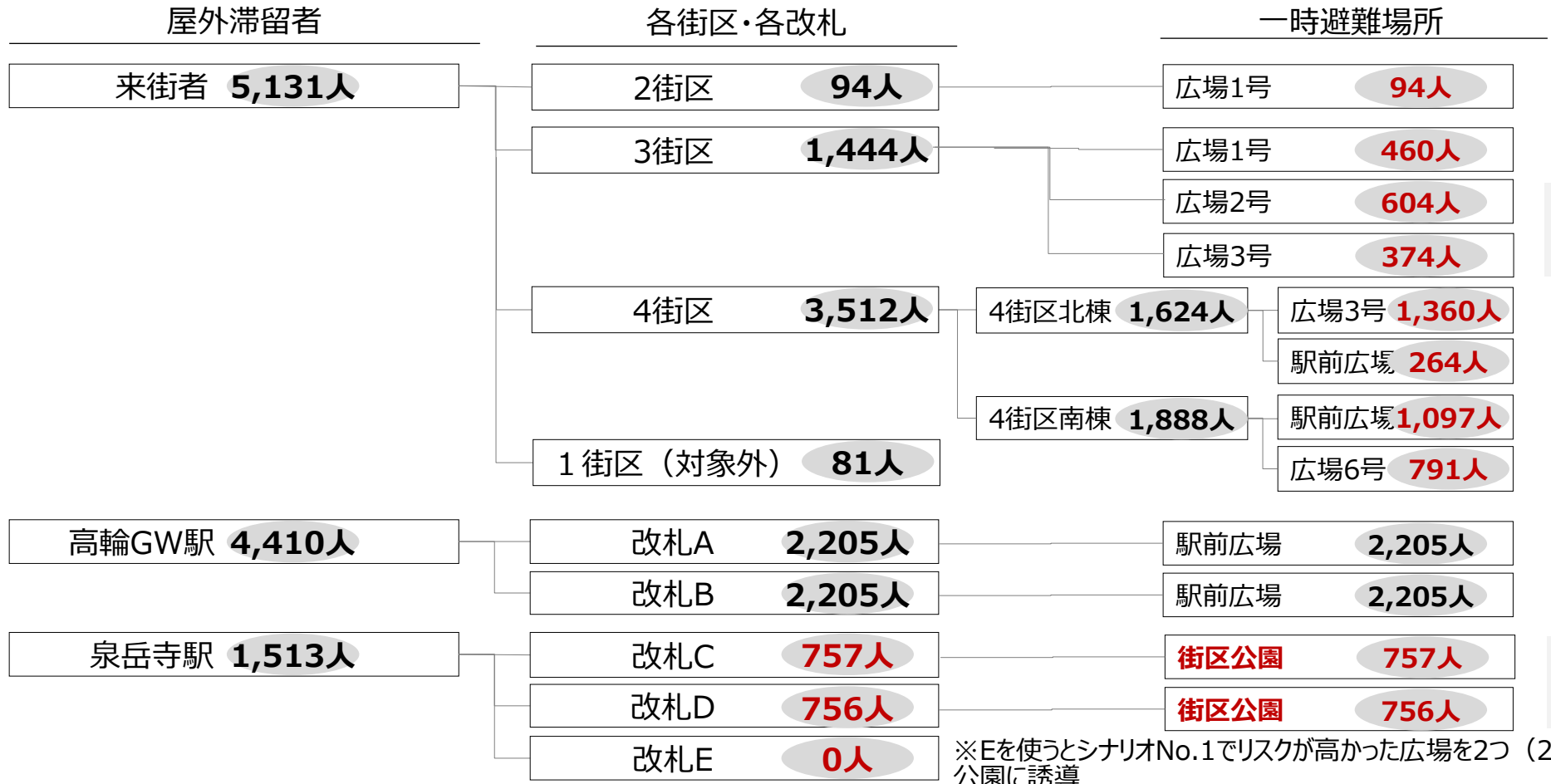
シナリオ	シナリオ詳細	対象街区	移動パターン	移動経路
No.3 初期避難時 (発災～3時間)	<p>有事・平日 下記打ち手を打つ</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>誘導による収容コントロール                             <ul style="list-style-type: none"> <li>泉岳寺駅からは街区公園へ誘導</li> <li>シンプルな誘導（フロア内で極力同じ避難先が異なるように割り振り）</li> </ul> </li> <li>一時滞留スペース（街区公園）の追加指定</li> <li>デッキ上の通路機能確保し、収容人数減</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>2、3、4街区</li> <li>駅前広場・広場1、2、3、6号</li> <li>高輪GW駅・泉岳寺駅</li> </ul>	<p>一斉移動 ※階ごとの避難順番は定めなし ※最寄りの広場へ移動</p>	<p>各建物⇒各広場 駅⇒各広場</p>
No.4 二次避難時 (発災3時間後～)	<p>有事・平日 下記打ち手を打つ</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>屋外と屋内で時間による分散を行う 《前提》</li> <li>一時滞在施設受け入れ人数                             <ul style="list-style-type: none"> <li>4街区：7,000人</li> <li>3街区：2,000人</li> <li>2街区：1,000人</li> </ul> </li> <li>約2,000人は街区外に移動（近隣の方が帰宅する想定）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>2、3、4街区</li> <li>駅前広場</li> <li>広場1、2、3、6号</li> </ul>	<p>屋内の避難完了後に屋外からの避難誘導 ※最寄りの一時滞在施設へ移動</p>	<p>各広場 ⇒各街区一時滞在施設</p>

# IV. 実証技術の検証 > 2. シミュレーション環境の検証：災害時再検証 > ① 検証内容

## 初期避難の人数割り当てロジック



No.1シナリオに加えて、誘導による収容コントロール（泉岳寺駅からは街区公園へ誘導、一時避難場所（街区公園）を追加指定）で改札の人数を割り振り。デッキ上の通路機能確保し、リスクが高かった広場2号と3号の収容人数が減るように一時避難場所に割り振った



赤太字：No.1シナリオからの変更点

デッキ上の通路機能確保し、収容人数が減るように一時避難場所に割り振り

泉岳寺駅からは街区公園へ誘導

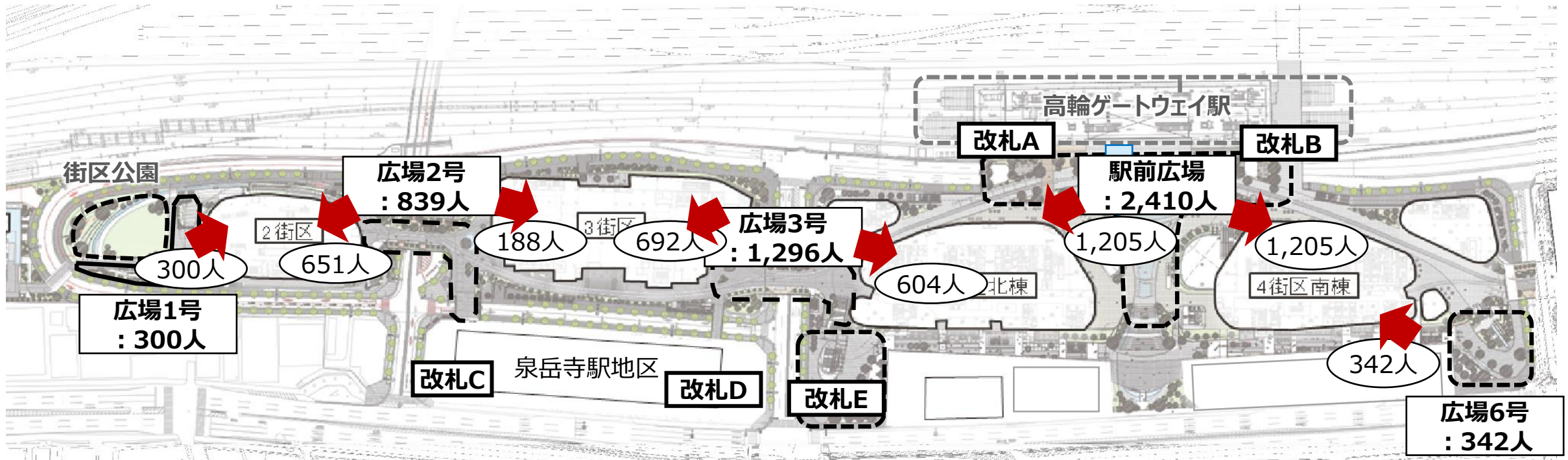
※Eを使うとシナリオNo.1でリスクが高かった広場を2つ（2号と3号）跨ぐため改札C、Dから街区公園に誘導





# No.4 二次避難

No.2シナリオと同じ一時避難場所から一時滞在施設への移動となり人数は変更ないが、屋内と屋外に分けて避難開始時間をずらすことによる混雑緩和を行うシナリオで検証を行う



XX人 一時滞在施設への移動者

# IV. 実証技術の検証 > 2. シミュレーション環境の検証：災害時再検証 > ② 検証結果

## 打ち手を講じたシナリオの結果サマリ

講じた打ち手は必ずしも有効な手立てではなかったものの、次なる打ち手の検証に対して有用な示唆を得ることができた

○：課題なし、△：改善余地あり、×：課題あり、-：考察対象外

シナリオ	エリア密集度		ゴールエリアの密集度		移動完了時間	
	結果	考察・示唆	結果	考察・示唆	結果	考察・示唆
No.3 初期避難時 (発災～3時間)	×	<ul style="list-style-type: none"> <li>混乱を招くリスクが上がっていると考えられる</li> <li>多数のルートが交差する通路で密集度が高まる時間が発生している                             <ul style="list-style-type: none"> <li>要所となるポイントに人が集中しないように誘導することが必要である</li> </ul> </li> </ul>	○	<ul style="list-style-type: none"> <li>広場の安全は確保できていると考えられる</li> <li>誘導通りに避難した結果、密集度の高いゴールは発生していない                             <ul style="list-style-type: none"> <li>避難誘導による分散効果は得られたと考えられる</li> </ul> </li> </ul>	×	<ul style="list-style-type: none"> <li>一部の移動完了時間は閾値の8分を超えている                             <ul style="list-style-type: none"> <li>避難の収容基準を満たし、移動距離ができるだけ短くなるような避難ルートを設定するなどの対策が必要と考えられる</li> </ul> </li> </ul>
No.4 二次避難時 (発災3時間後～)	△	<ul style="list-style-type: none"> <li>課題を絞り込み、運営者等の避難誘導業務量が削減され、他の業務に対応できる等地域の限られたリソース有効活用できると考えられる</li> <li>閾値を超える時間帯はなく、エリア密集度は分散されている                             <ul style="list-style-type: none"> <li>屋内と屋外の避難を分散させることで安全な避難を実現できると考えられる</li> </ul> </li> </ul>	×	<ul style="list-style-type: none"> <li>収容可能面積がシミュレーション環境上の面積計算との若干の差異はあるが、今後設計が深度化していく中で計画面積を確保を確認していく</li> </ul>	△	<ul style="list-style-type: none"> <li>屋内の安全性が向上したと考えられる</li> </ul>

# IV. 実証技術の検証 > 2. シミュレーション環境の検証：災害時再検証 > ② 検証結果

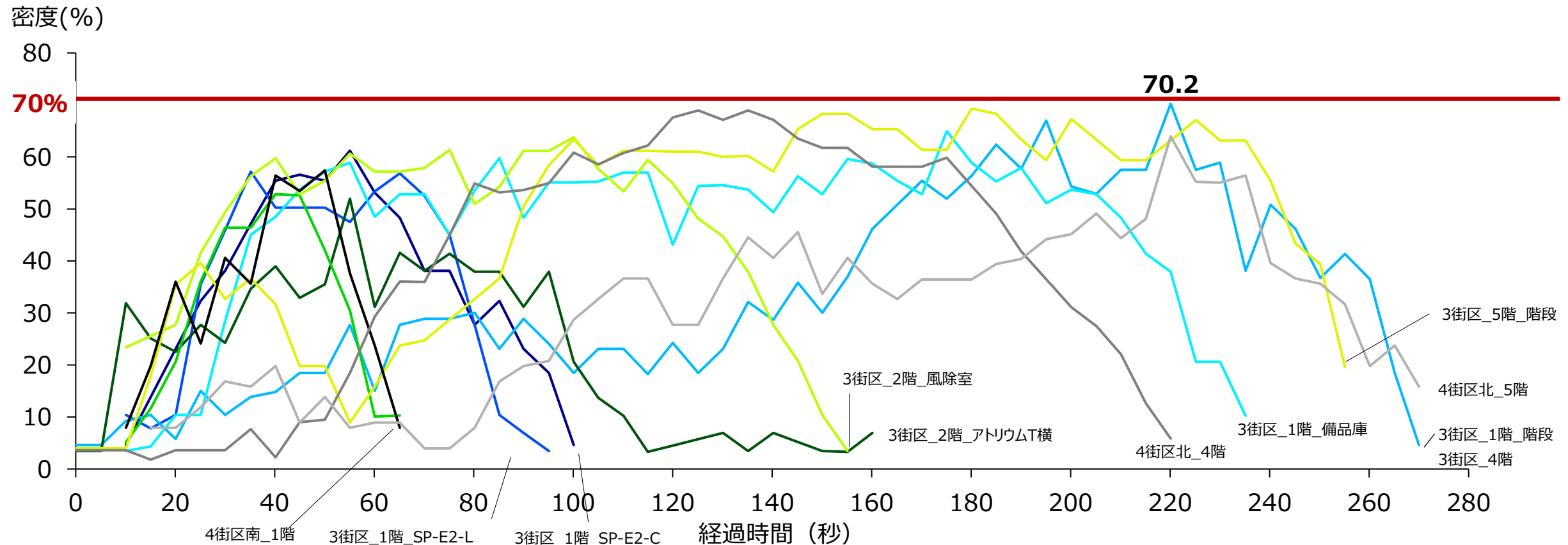


PLATEAU  
by MLIT

## No.3 初期避難のエリア密集度

初期避難時に避難誘導を行った結果、70%の閾値を超えるエリアが発生し、シナリオNo.1に対して、危険度が高まる時間が発生した

No.3シナリオのエリア密集度の推移



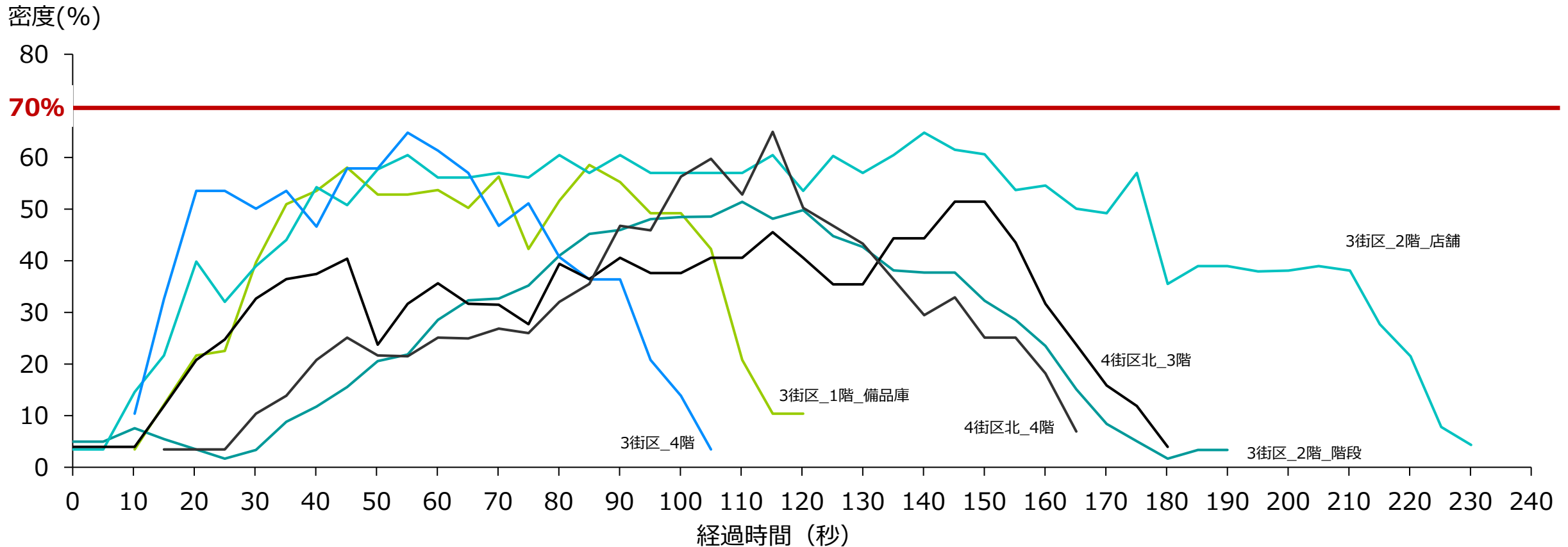
# IV. 実証技術の検証 > 2. シミュレーション環境の検証：災害時再検証 > ② 検証結果

## 【再掲】 No.1 初期避難のエリア密集度



発災後から3時間のエリア密集度は、閾値の70%を超えたエリアはなく、50%を超えたエリアでも時間の経過で捌けているため問題ないと言える

No.1シナリオのエリア密集度の推移



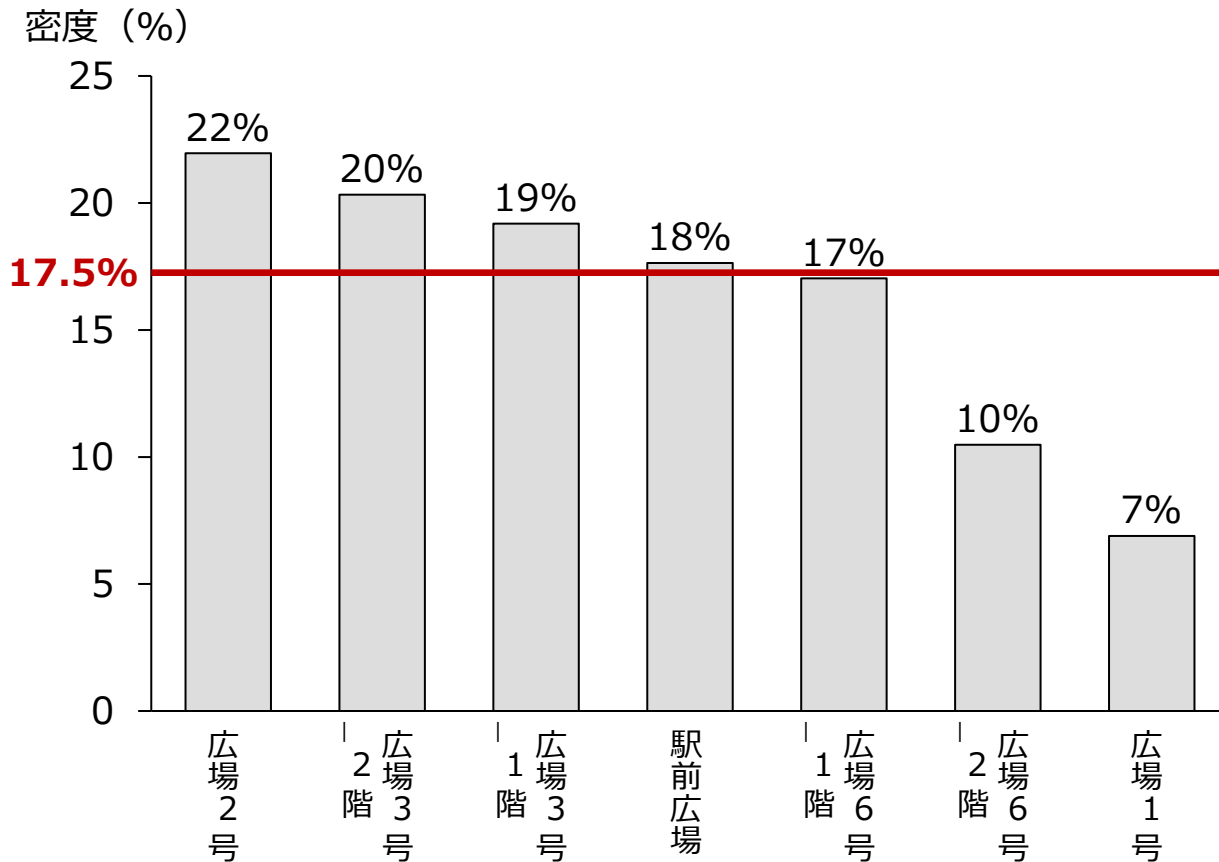


# IV. 実証技術の検証 > 2. シミュレーション環境の検証：災害時再検証 > ② 検証結果

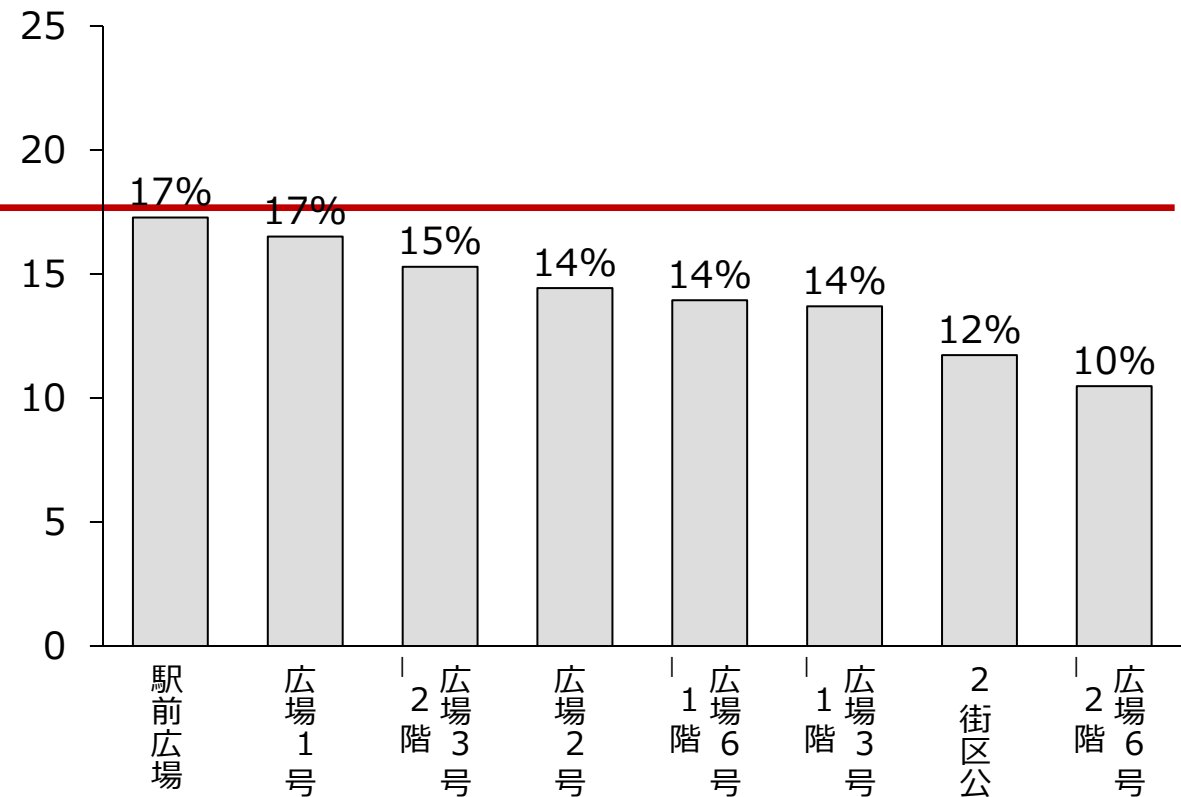
## No.3 初期避難のゴールエリア密集度

No.1シナリオに対して避難誘導を行ったため、ゴールエリアごとの密集度が分散されており、誘導によってゴールをコントロールすることで危険リスク低下に効果があると考えられる

No.1シナリオでのゴールエリア毎の密集度



No.3シナリオのゴールエリア毎の密集度

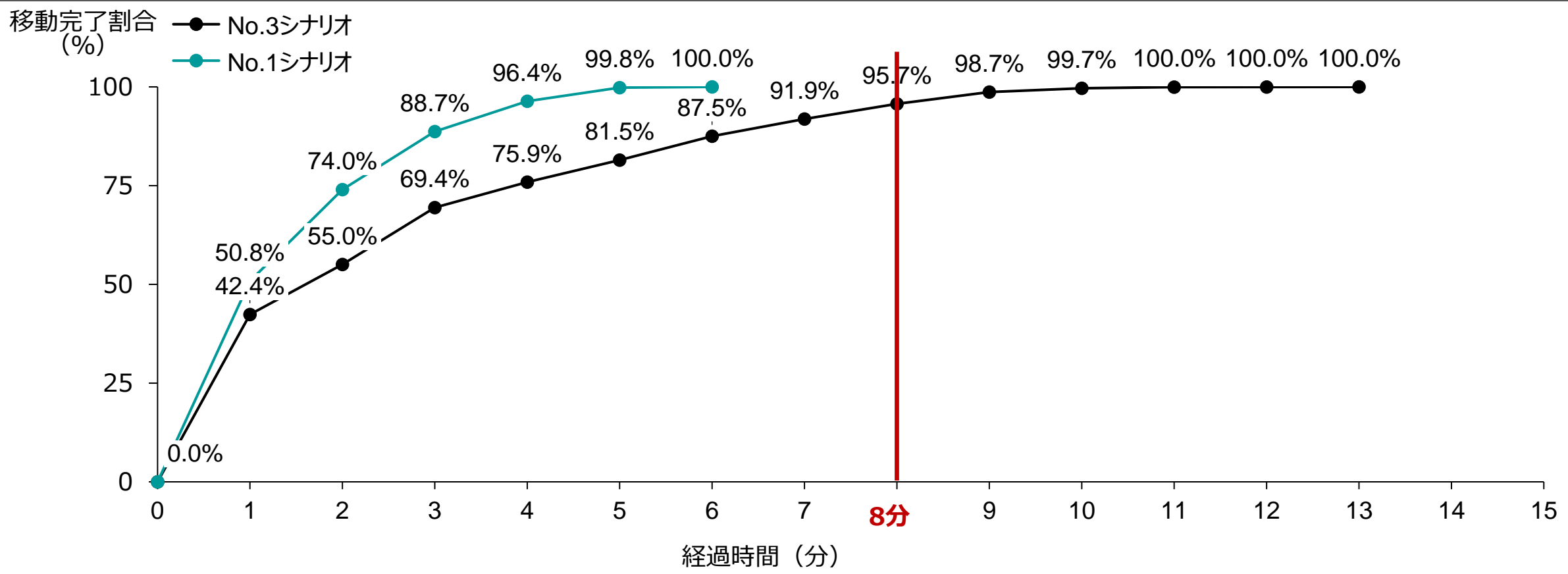




# No.3 初期避難の移動完了時間

No.1シナリオに対して、キャラクターのゴールが距離最適ではなく、密集度最適で設定されたため移動距離が長くなり所要時間が伸びたと考えられ、移動時間を考慮した誘導計画が必要と考えられる

経過時間別移動完了割合

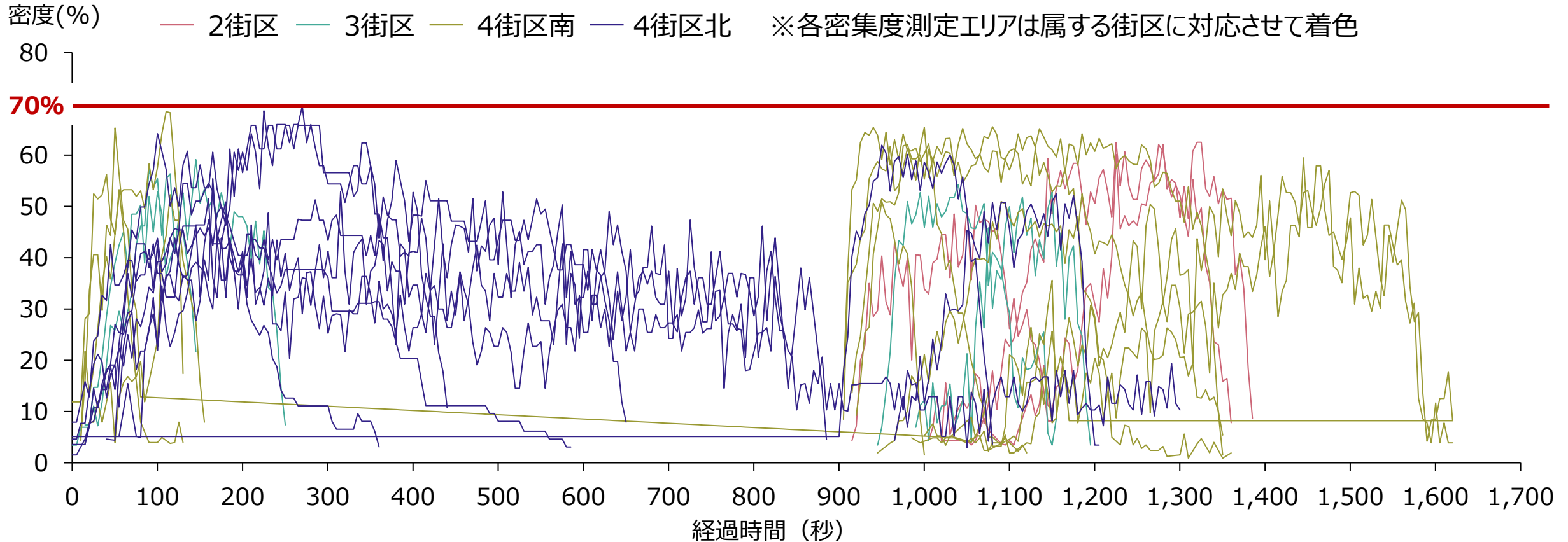




# No.4 二次避難のエリア密集度

二次避難の際に時間を分けて避難するように誘導を行うことでエリア密集度が分散されて閾値の70%を超える時間帯はなくなり、施策効果が検証された

No.4シナリオのエリア密集度の推移



# IV. 実証技術の検証 > 2. シミュレーション環境の検証：災害時再検証 > ② 検証結果

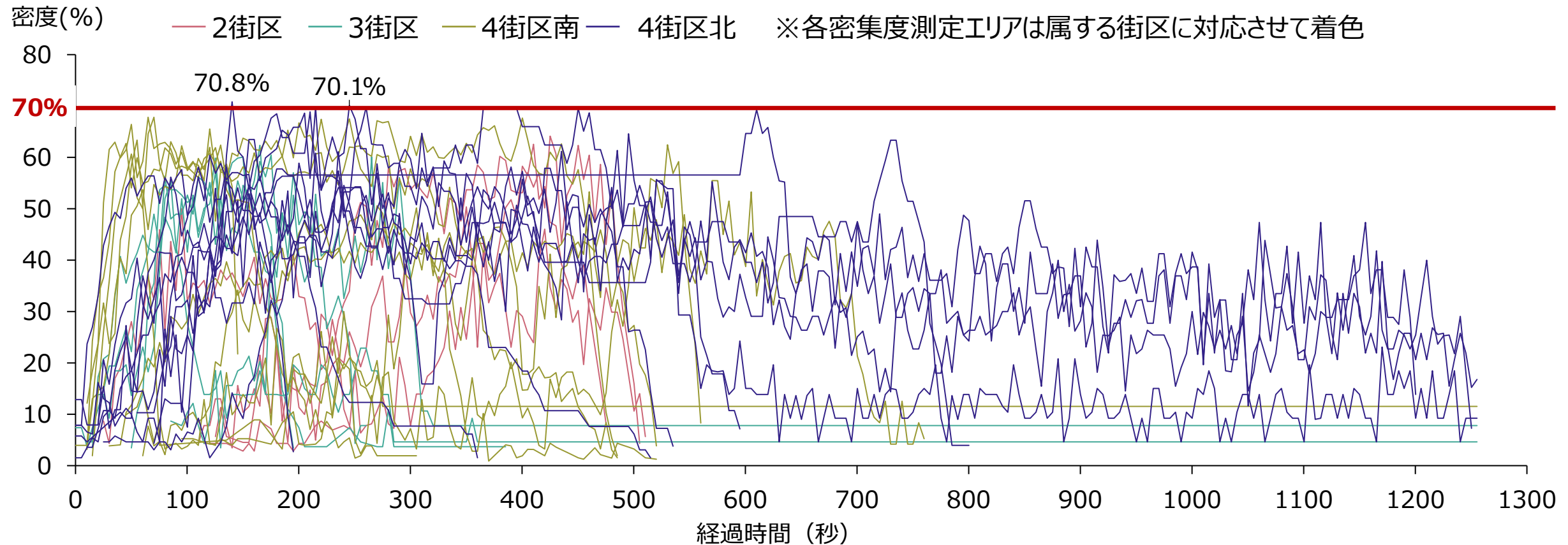
## 【再掲】 No.2 二次避難のエリア密集度



PLATEAU  
by MLIT

二次避難では各ゴールエリアに向かう屋内外からの人流が合流する箇所で、70%を超えた滞留が発生している

No.2シナリオのエリア密集度の推移

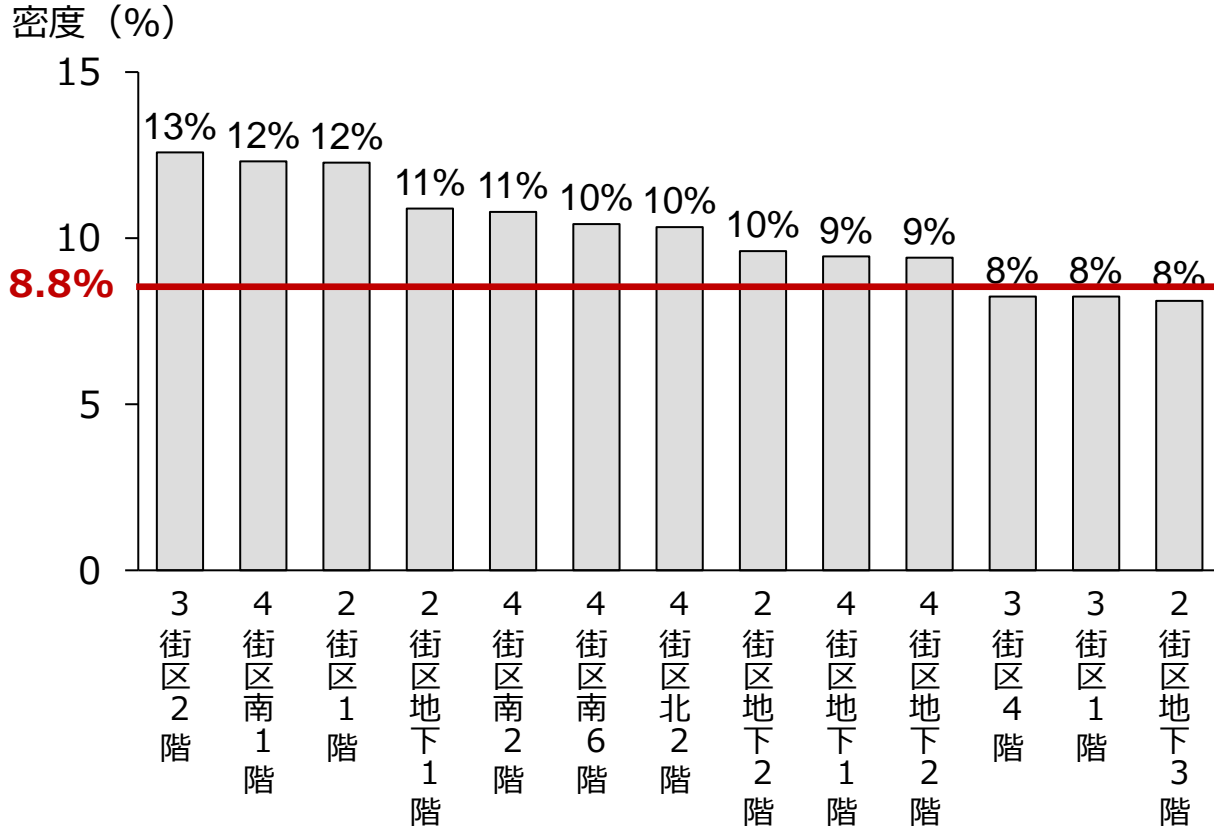




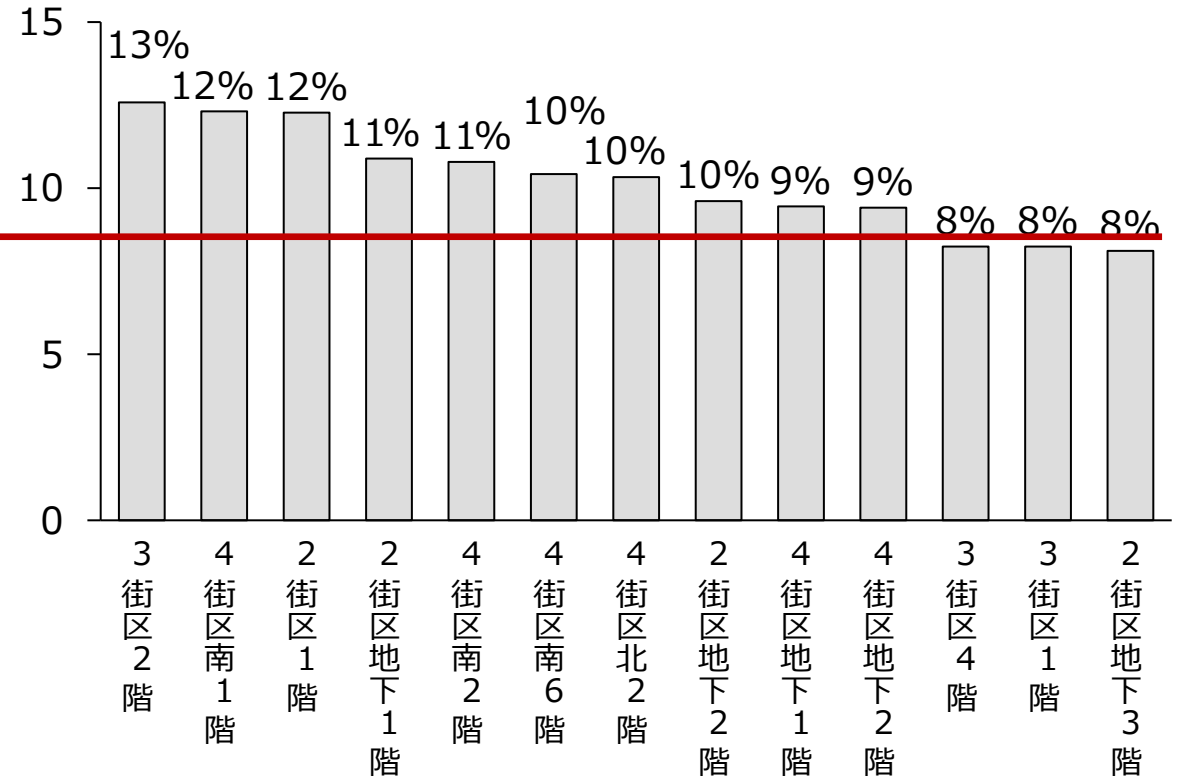
# No.4 二次避難のゴールエリア密集度

No.2シナリオに対してゴールエリアの設定は変更せずに、避難順序をコントロールしたためゴールエリアの密集度は改善はなく多くのゴールエリアで長期滞在の収容閾値8.8%を超えている

No.2シナリオでのゴールエリア密集度



No.4シナリオでのゴールエリア密集度

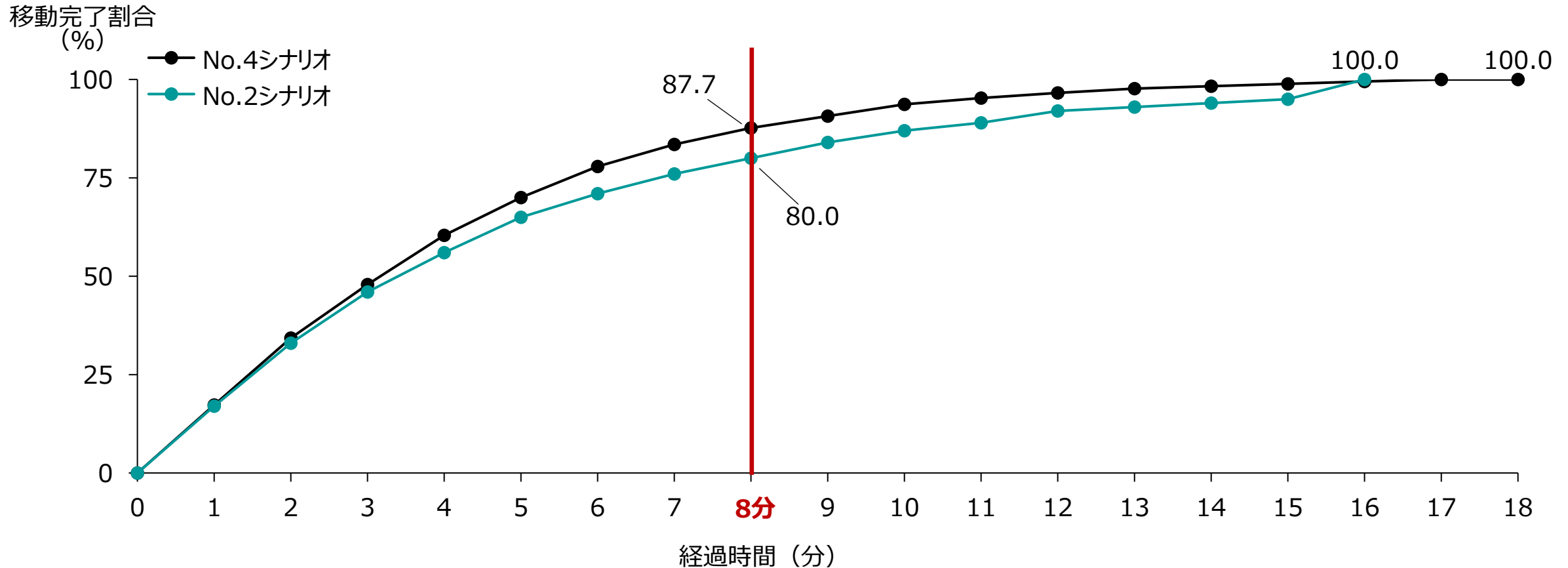




# No.4 二次避難の移動完了時間

閾値8分に対して移動完了ができなかったものの、No.2シナリオに対して移動完了割合は増加しており、打ち手としての有効性は確認ができた

経過時間別移動完了割合



# IV. 実証技術の検証 > 3. シミュレーション環境の検証：イベント時 > ① 検証内容

## 検証の概要



PLATEAU  
by MLIT

平時でのシミュレーション環境の利用を想定し、多くの来客が想定される大規模イベント時のシミュレーションを行い結果を考察する

<b>検証目的</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• 平時でのシミュレーション環境の利用を想定し、多くの来客が想定される大規模イベント時のシミュレーションを行う</li></ul>
<b>検証内容</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• 大規模イベントを想定した具体シナリオを作成しシミュレーションを実施する</li><li>• シミュレーション結果を踏まえて考察を行う</li></ul>
<b>検証方法</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• 大規模イベント開始前と終了後の2シナリオを想定して以下の観点で確認を行う<ul style="list-style-type: none"><li>- 開始前：移動経路（特に街区間デッキ）の群衆の密集度を見て、移動ルートの誘導が必要か検証する</li><li>- 終了後：まちから駅へ（特に駅付近）の群衆の密集度を見て、移動ルートの誘導が必要か検証する</li></ul></li></ul>

# IV. 実証技術の検証 > 3. シミュレーション環境の検証：イベント時 > ① 検証内容 シナリオ詳細

シナリオ	シナリオ詳細	対象街区	移動パターン	移動経路
No.5 大規模イベント開始前	<p>平時・休日</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>大規模イベント開始前の駅から駅前広場への来街者の移動をシミュレーション</li> </ul> <p>《前提》</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>最大収容3,000人のイベントを仮定</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>駅前広場</li> <li>高輪GW駅</li> <li>泉岳寺駅</li> </ul>	<p>駅から駅前広場に徐々に移動（到着した列車から徐々に移動）</p>	<p>駅⇒駅前広場</p>
No.6 大規模イベント終了後	<p>平時休日</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>大規模イベント終了後の駅前広場から駅への来街者の移動をシミュレーション</li> </ul> <p>《前提》</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>最大収容3,000人のイベントを仮定</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>駅前広場</li> <li>高輪GW駅</li> <li>泉岳寺駅</li> </ul>	<p>一斉移動 ※駅と最寄りの建物へ移動</p>	<p>駅前広場⇒駅、建物</p>



# IV. 実証技術の検証 > 3. シミュレーション環境の検証：イベント時 > ① 検証内容

## 人数割り当てロジック

駅前広場で3,000人の大規模イベント開催を想定し、イベント開始前の駅から駅前広場の移動とイベント終了後の駅前広場から駅や各街区の建物への移動を割り振った

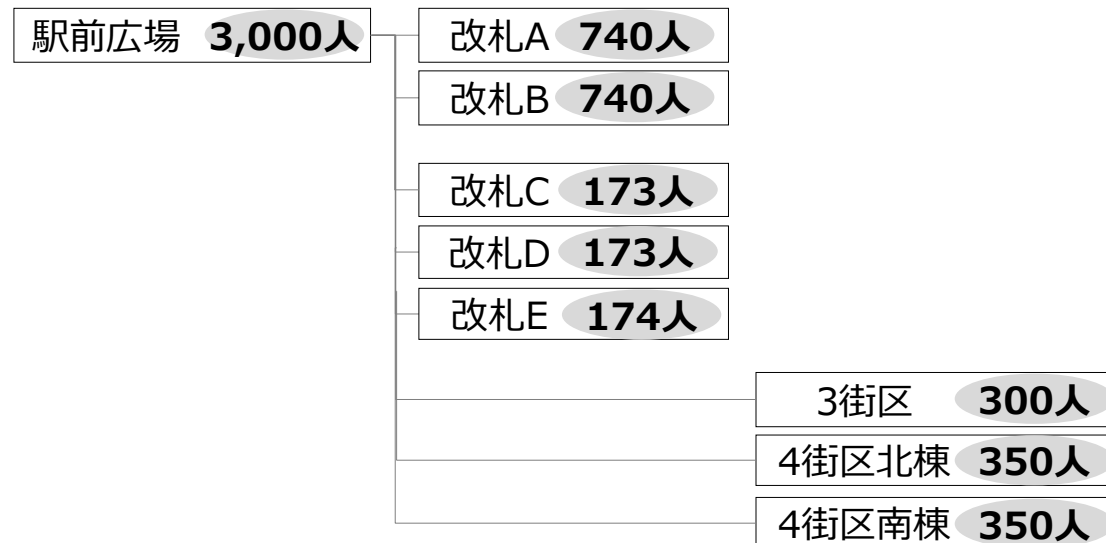
大規模イベント開始前

安確計画で各駅から発生する屋外滞留者の割合で按分後、各駅の改札数で按分  
(比率は学識と相談の上、災害時と同じ値を設定)



大規模イベント終了後

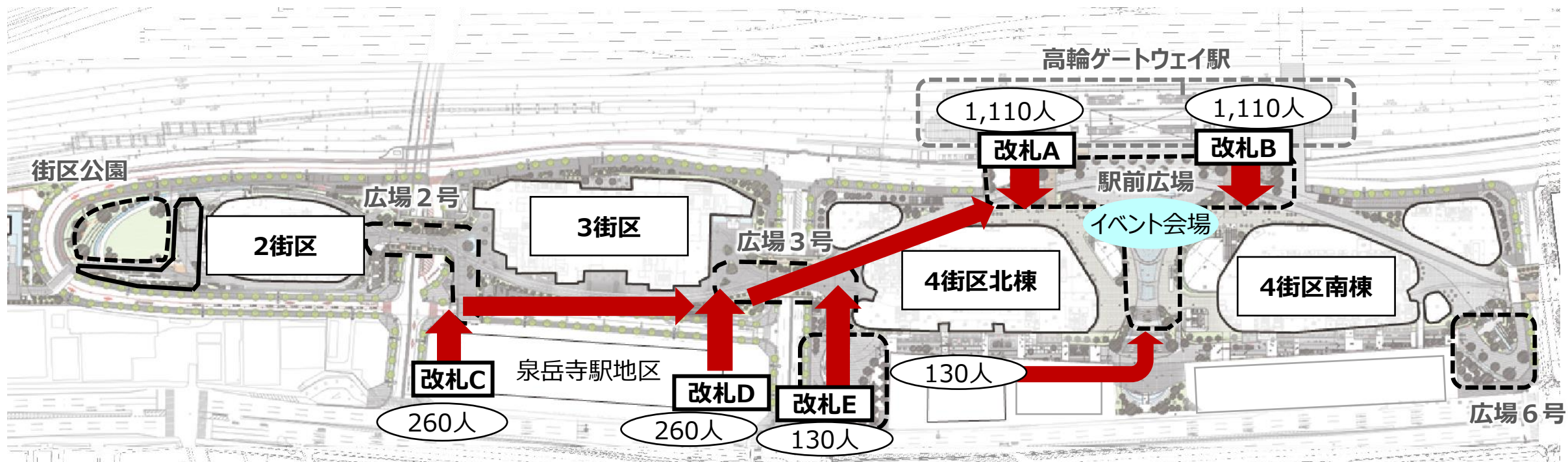
学識と相談の上、駅と建物を2：1、3街区と4街区（北・南）を3：7で  
割り振り比率を決定



# IV. 実証技術の検証 > 3. シミュレーション環境の検証：イベント時 > ① 検証内容

## No.5 大規模イベント開始前

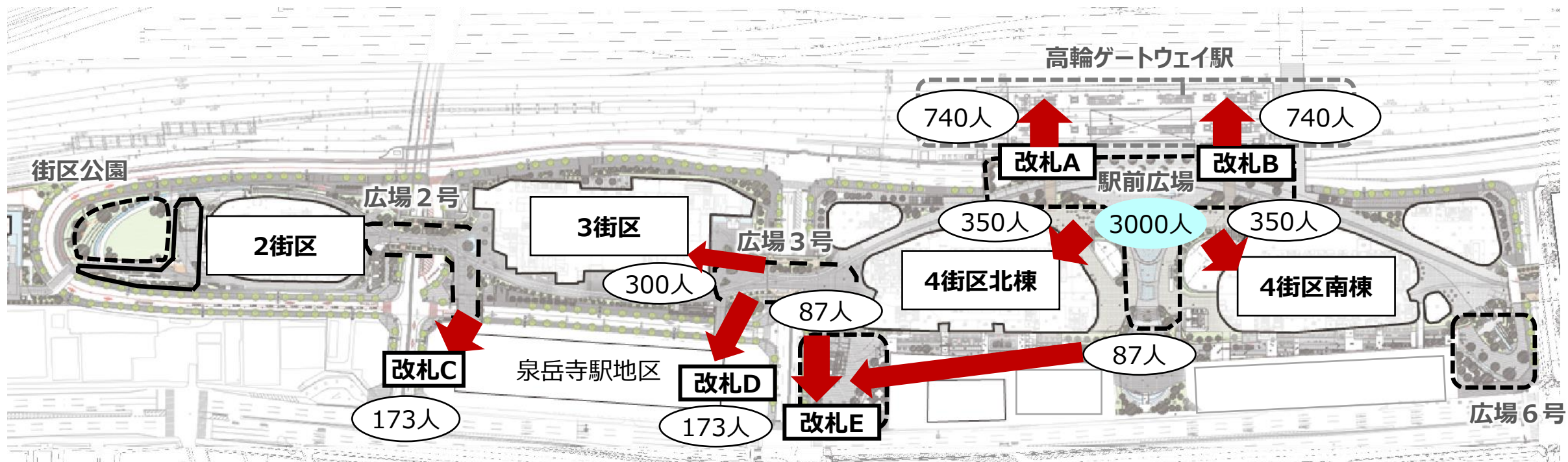
駅前広場で大規模イベントが開催され、電車が到着したら人々が最寄りの改札から駅前広場に集まるシーンを想定して検証を行う



XX人 イベント参加者

# IV. 実証技術の検証 > 3. シミュレーション環境の検証：イベント時 > ① 検証内容 No.6 大規模イベント終了後

イベント開催後に参加者が最寄りの建物か駅に移動を開始するシーンを想定して検証を行う



- XX人 イベント参加者
- XX人 帰宅者

# IV. 実証技術の検証 > 3. シミュレーション環境の検証：イベント時 > ② 検証結果

## 大規模イベント時の結果サマリ

一気に人が動き出すイベント終了後には、災害時同様に滞留が発生しているため、移動経路の確保のための誘導や駅に臨時改札を設けるなどの対策が有効と考えられる

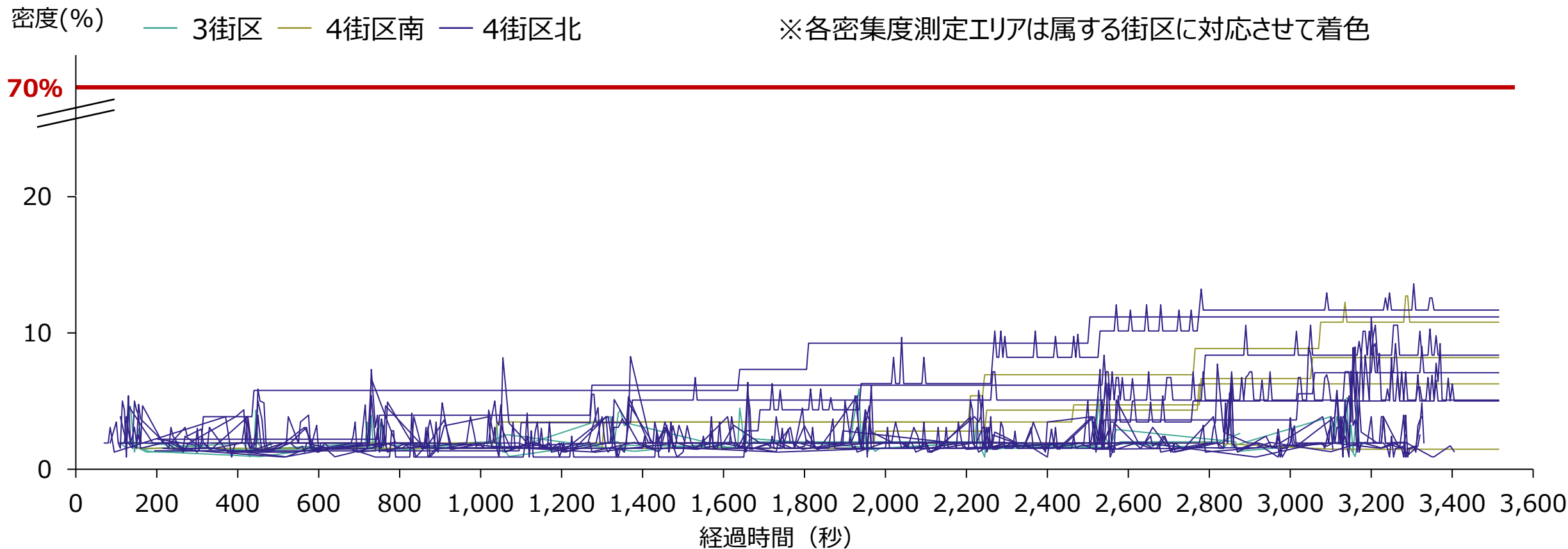
○：課題なし、△：改善余地あり、×：課題あり、-：考察対象外

シナリオ	エリア密集度		ゴールエリアの密集度		移動完了時間	
	結果	考察・示唆	結果	考察・示唆	結果	考察・示唆
No.5 大規模イベント開始前	○	<ul style="list-style-type: none"> <li>全体を通して滞留は発生しておらず、問題はないと考えられる</li> </ul>	○	<ul style="list-style-type: none"> <li>駅前広場のキャパシティに対して、最も集中する時間帯でも十分に余裕があり、特に問題はないと考えられる</li> </ul>	○	<ul style="list-style-type: none"> <li>移動において特に時間がかかっている改札や経路は存在しなかったため、問題はないと考えられる</li> </ul>
No.6 大規模イベント終了後	△	<ul style="list-style-type: none"> <li>下記 2 エリアで大規模な滞留が発生                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 駅前広場                                     <ul style="list-style-type: none"> <li>交差が発生し、北側のみ大規模な滞留が発生している。原因としては、以下の2点が考えられる   <ol style="list-style-type: none"> <li>①南側に対して、北側に行く人が多い</li> <li>②通路が南側に比べると若干狭い</li> </ol> </li> <li>移動経路の分散(行き先によって通る経路を誘導)や時間による分散(駅前広場をエリアで分けて順番に移動開始)の対策が必要と考えられる</li> </ul> </li> <li>- 高輪GW駅改札                                     <ul style="list-style-type: none"> <li>一斉に改札に向かうため滞留が発生</li> <li>イベント時等の混雑が予想される場合は使用できる改札を増やし流量を増やすことで解消できると考えられる</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>	-	(分析対象外)	△	<ul style="list-style-type: none"> <li>駅前広場から3000人が各々の目的地に向かうシミュレーションのため、駅前広場内で経路の交差による大規模な滞留が発生した</li> <li>交差が発生しないよう、目的地に応じた移動経路の確保と誘導の対策が必要と考える</li> </ul>

# IV. 実証技術の検証 > 3. シミュレーション環境の検証：イベント時 > ② 検証結果 No.5（大規模イベント開始前）エリア密集度

イベント開始前のエリア密集度は70%を超えることはなく、また10%以上密集して滞留することはなく移動できている

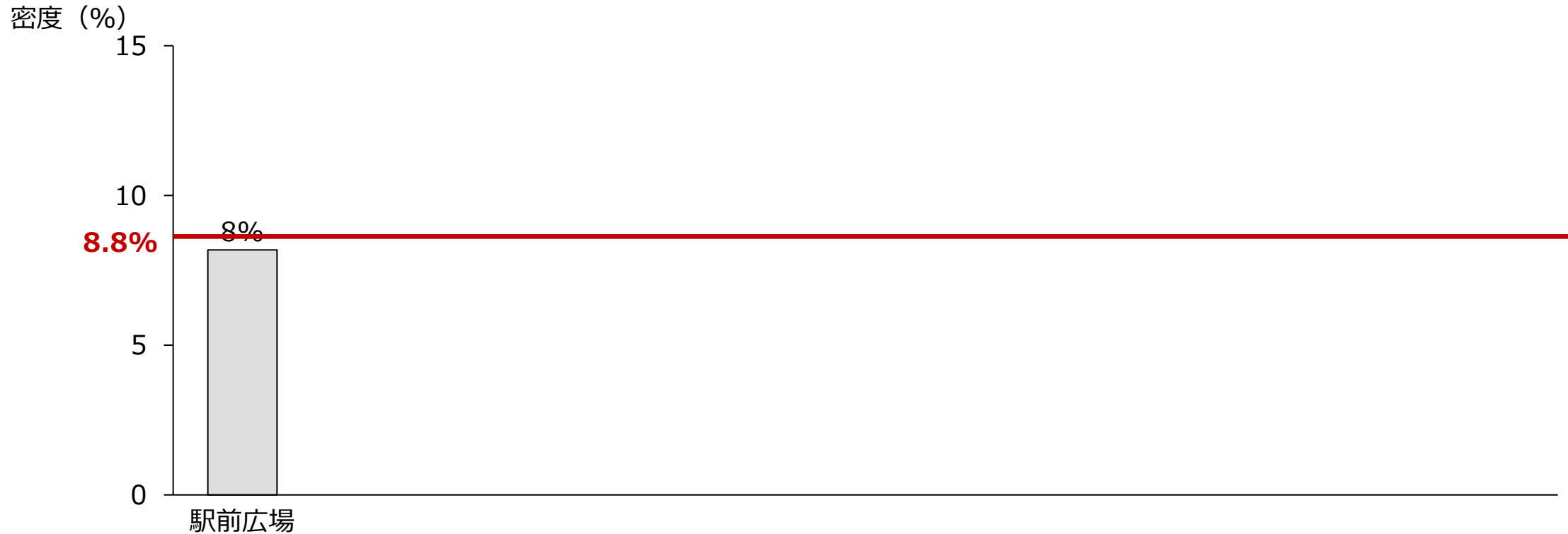
エリア密集度



# IV. 実証技術の検証 > 3. シミュレーション環境の検証：イベント時 > ② 検証結果 No.5（大規模イベント開始前）ゴールエリア密集度

ゴールエリアの密集度は駅前広場の収容人数に対して十分に余裕があり、問題ない

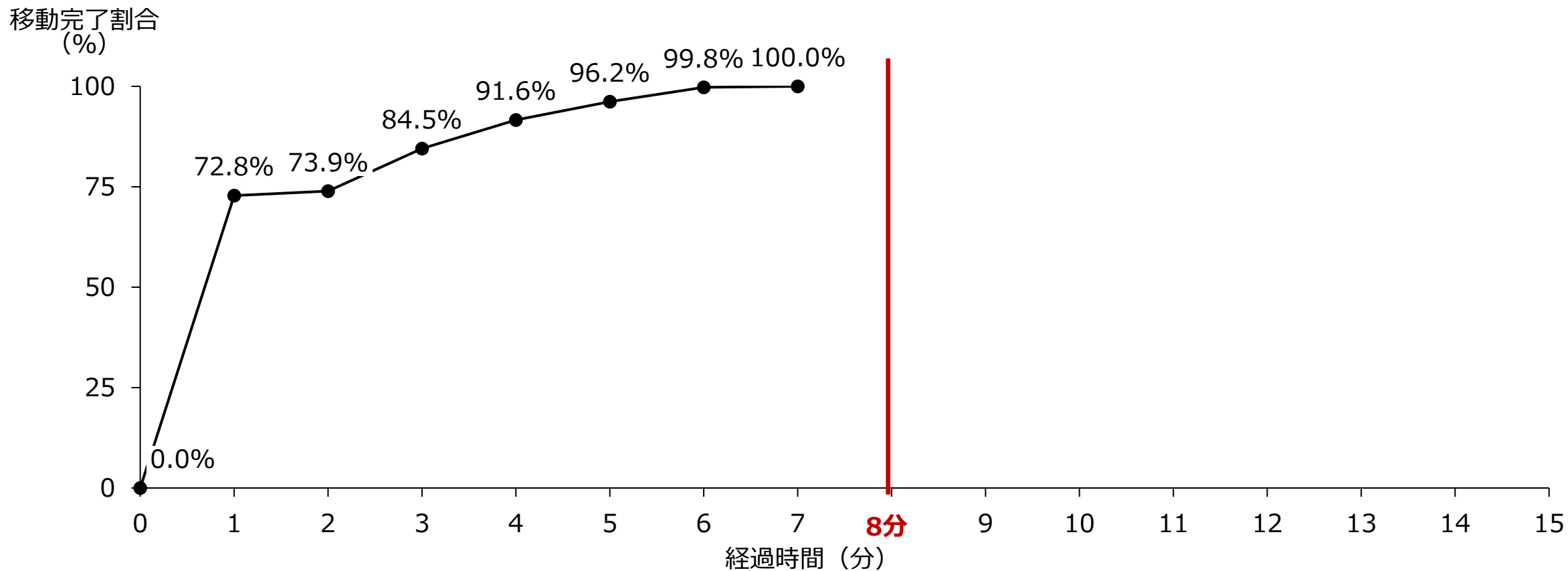
イベント開始前のゴールエリア（駅前広場）の密集度



# IV. 実証技術の検証 > 3. シミュレーション環境の検証：イベント時 > ②検証結果 No.5（大規模イベント開始前）移動完了時間

イベント開始前の移動は閾値となる8分よりも前に完了した

経過時間別移動完了割合

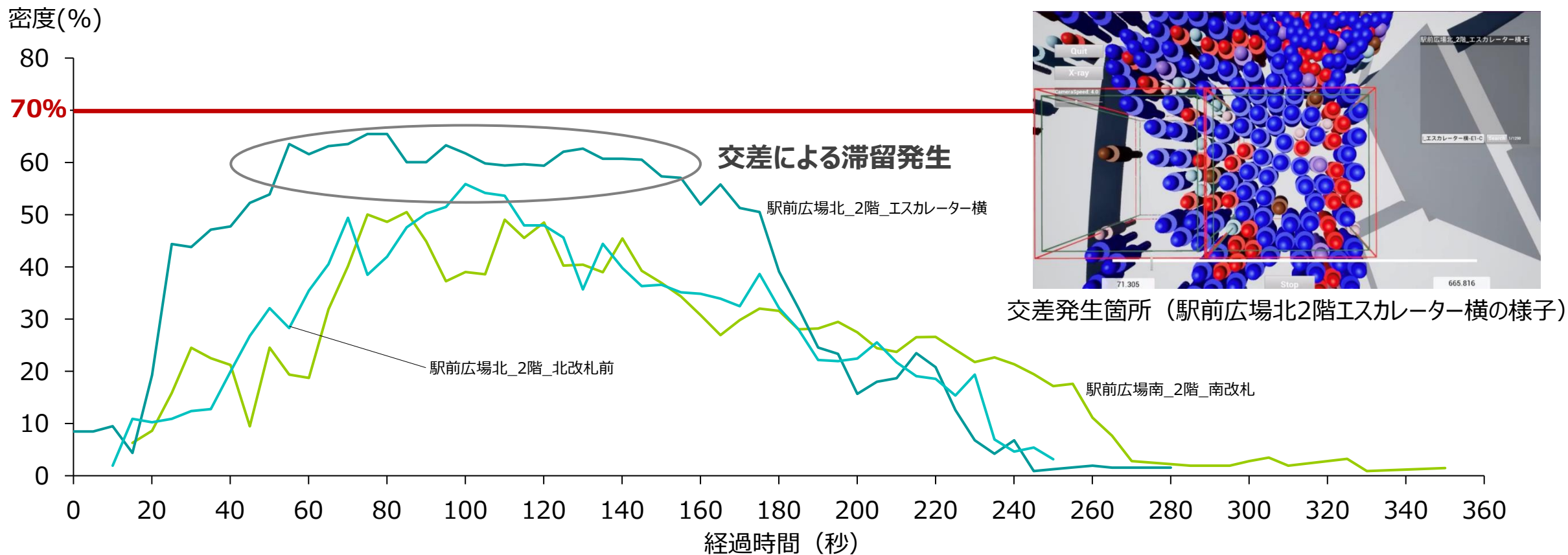


# IV. 実証技術の検証 > 3. シミュレーション環境の検証：イベント時 > ② 検証結果

## No.6（大規模イベント終了後）エリア密集度

イベント終了後のエリア密集度は閾値を超えることはなかったものの、駅前広場北2階エスカレーター横のエリアで、交差が発生したことで一部滞留が発生した

エリア密集度の推移





# IV. 実証技術の検証 > 3. シミュレーション環境の検証：イベント時 > ② 検証結果

## No.6（大規模イベント終了後）ゴールエリア密集度

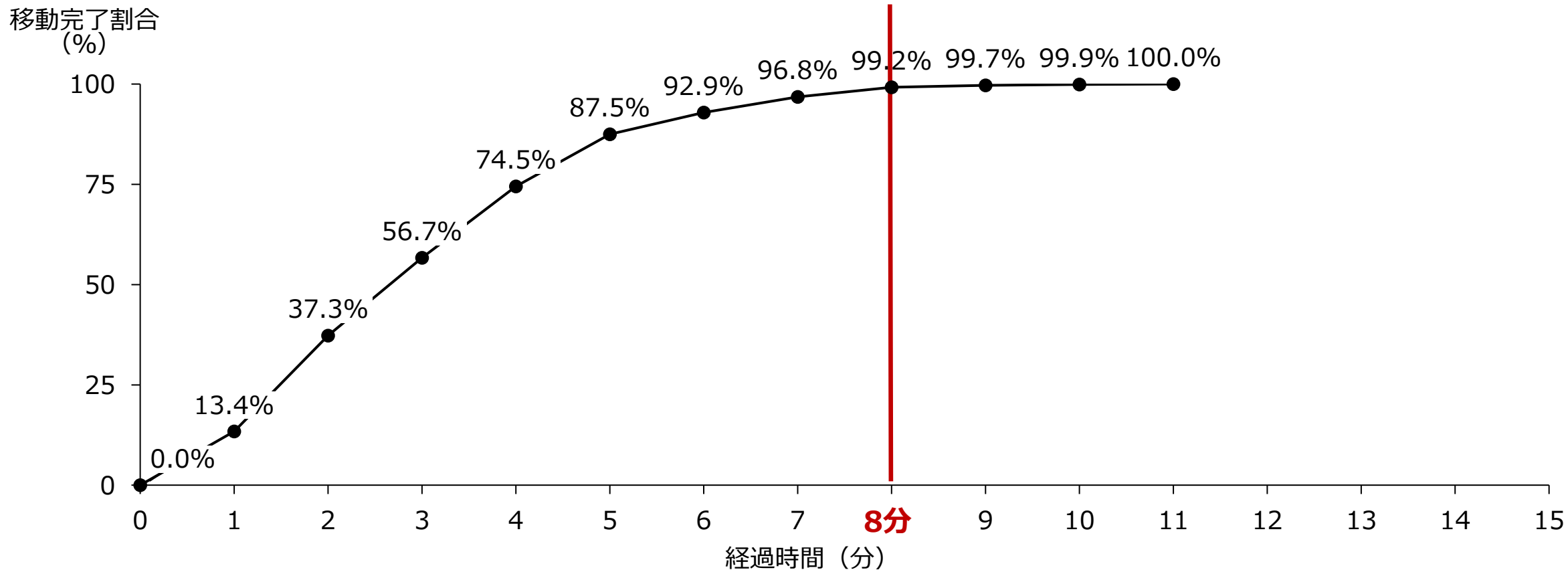
イベント終了後は建物内へ移動または帰宅（高輪ゲートウェイ駅および泉岳寺駅へ移動）というシナリオになっており、特定の目的地への移動ではなく分析の対象外とした

No.6のゴールエリア密集度に関しては  
分析の対象外

# IV. 実証技術の検証 > 3. シミュレーション環境の検証：イベント時 > ② 検証結果 No.6（大規模イベント終了後）移動完了時間

大規模イベント終了後の移動時間は長くなっており、3街区または泉岳寺駅へ向かう一部キャラクターの移動距離が長いこと、駅前広場内の滞留が原因で時間がかかっている

経過時間別移動完了割合





# IV. 実証技術の検証 > 4. 実証システムの価値検証 > ① 検証内容

## 実証システムの価値検証の全体像

高輪ゲートウェイエリアは、高輪ゲートウェイ駅周辺地区 広域連携連絡会 第2回安全安心WGにて、大丸有エリアは一般社団法人大手町・丸の内・有楽町地区まちづくり協議会へヒアリングを行った

検証項目		高輪GW広域連絡連絡会	大丸有協議会
本取組の意義	平面図で計画した初版との差異	○	-
業務効率化	全体納期（会議開催数）の減少	○	-
	関係者の対応工数の減少	○	-
	プレゼンへの適用容易性	-	○
	計画検証・資料とりまとめ業務の効率化	-	○
利用の容易性	インプットデータの条件のイメージ/整理のしやすさ	○	-
課題抽出の精度	平面図での計画と同様の課題抽出	○	○
	抽出された課題の具体性向上	○	-
	平面図と異なる新たな課題の抽出	○	○
	平面図と異なる新たな対策案の考案	-	○
対策方法の妥当性	導出された災害時の対策・行動フローの妥当性	○	-
課題・シチュエーションの可視化	危険/安全な状況のイメージの具体性向上	○	-
	シミュレーションによる安全安心度の向上	○	-
災害対策意識	安全安心WG会員連携の必要性の実感	○	-
	当地区の将来像に向けた本取り組み成果の実感	○	-
理解度向上	抽出された課題・解決策の理解度向上	-	○
	関係者間での共通認識の醸成	○	○
	安全安心の取り組みに関する成果・価値の実感	○	○
シミュレーション結果の可読性	シミュレーション結果の可読性	-	○
	シミュレーション結果とパラメータ表示の可読性	-	○
ツールの利便性	ツールの反応速度・レスポンス	-	○
	インプット条件の整理のしやすさ	-	○
	ツールの設定可能条件・機能	-	○

# IV. 実証技術の検証 > 4. 実証システムの価値検証：高輪GWエリア > ① 検証内容 検証詳細



高輪ゲートウェイエリアを対象とした検証の詳細は以下の通り

<b>目的</b>	高輪ゲートウェイ駅周辺地区 広域連携連絡会 第2回安全安心WGでの、 ①シミュレーション結果と計画検証結果の共有と自由討議、②計画作成部会への報告内容の確認
<b>実施期間</b>	令和4（2022）年12月21日（水）
<b>実施場所</b>	Tokyo Yard Building 2 階Playground
<b>主な参加者</b>	<p>高輪ゲートウェイ駅周辺地区 広域連携連絡会 安全安心WGの会員 【会員】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>東日本旅客鉄道(株)、品川駅北周辺地区市街地再開発準備組合、(株)NTTドコモ*1、品川シーズンテラス(株)*2、東京ガスネットワーク(株)、東日本電信電話(株)、(株)えきまちエナジークリエイト、東京電力パワーグリッド(株)、泉岳寺駅地区市街地再開発 特定建築者、東京都下水道局、東京都交通局</li> </ul> <p>【アドバイザー】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>東京大学 加藤孝明教授</li> </ul> <p>【オブザーバー】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>港区防災危機管理室防災課、港区街づくり支援部都市計画課、港区高輪地区総合支所、港区芝浦港南地区総合支所 (参加者数30名)</li> </ul>
<b>検証内容</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>3D都市モデルを活用したシミュレーションの有用性は認められるか             <ul style="list-style-type: none"> <li>- シミュレーション環境やアウトプットデータの整理・条件設定は利用しやすいか</li> <li>- シミュレーションによって抽出された課題・対応策は妥当か</li> </ul> </li> <li>3D都市モデルを活用することは市民・行政・事業者の合意形成・議論活性化に寄与するか</li> </ul>

\*1 出典：12/22個別対応

\*2 出典：12/27個別対応

# IV. 実証技術の検証 > 4. 実証システムの価値検証：高輪GWエリア > ① 検証内容

## 安全安心WG向け資料（1/2）

シミュレーションシナリオとシミュレーション環境の動作の様子を説明した

### シナリオ説明

### シミュレーション環境の紹介

高輪ゲートウェイ駅周辺地区 安全安心WG（第2回）

## IV. シミュレーションに関するご報告

### 2. シミュレーションシナリオ詳細【発災～3時間後BASEシナリオ】

■シーン

- ・平日
- ・発災～3時間

■内容

1万2千人のデッキ上の身近な広場（一時滞留スペース）への避難をシミュレーション

- ・来街者が建物内（商業エリア）から広場へ避難
- ・鉄道利用者が駅（高輪ゲートウェイ駅、泉岳寺駅）、停車した電車から広場へ避難

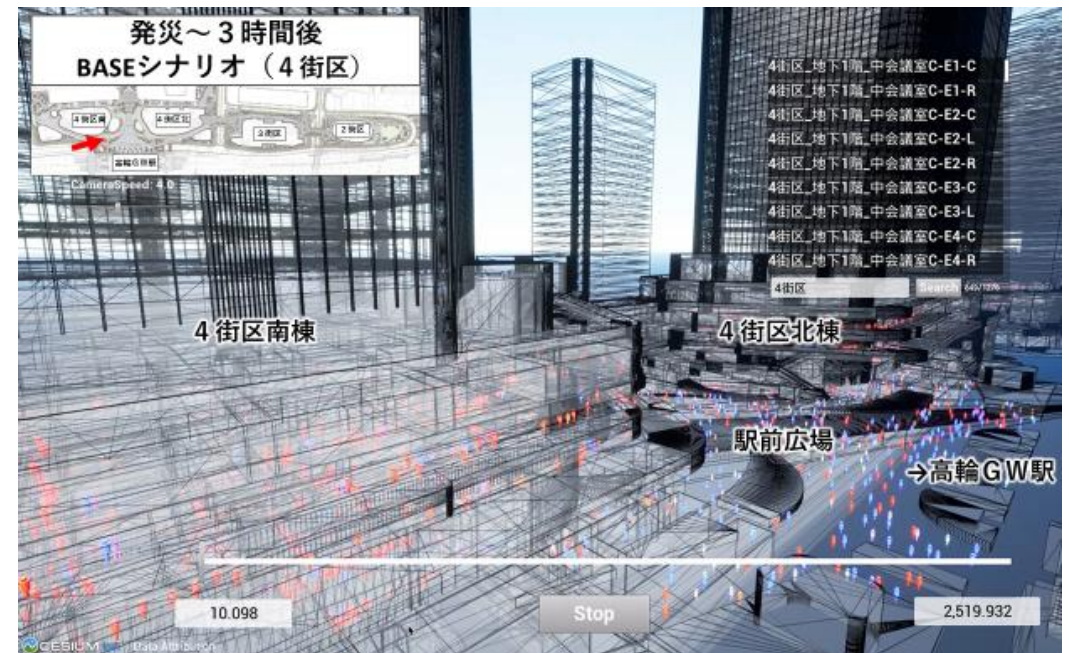
} 1万1千人

※上記人流に広場に1千人来街者がいる想定を付加した合計値が1万2千人

■各駅出口・街区間の人の移動



18



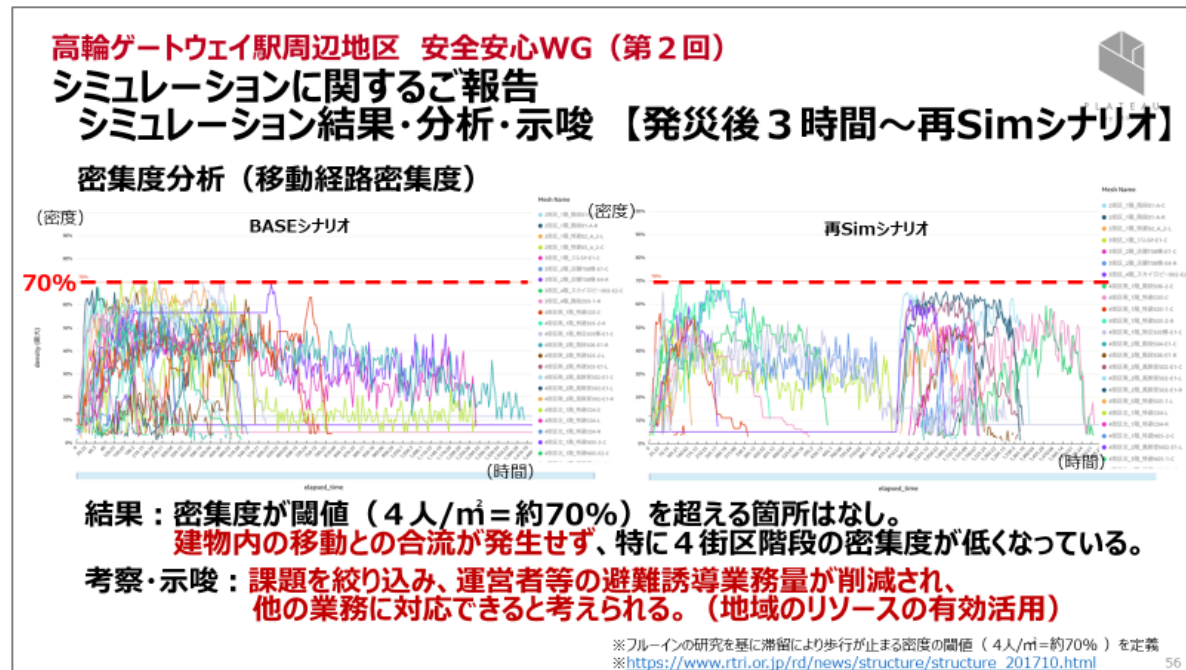
# IV. 実証技術の検証 > 4. 実証システムの価値検証：高輪GWエリア > ① 検証内容

## 安全安心WG向け資料（1/2）

シミュレーション環境から得られた示唆と避難の様子をビジュアル化し、本シミュレータの有用性をヒアリングするとともに、得られた示唆に基づく安確計画の更新の必要性・方向性のすり合わせを行った

シミュレーション環境から得られた結果・考察

ビジュアル化した避難の様子



# IV. 実証技術の検証 > 4. 実証システムの価値検証：高輪GWエリア > ① 検証内容

## 自由討議及びアンケート項目と回答方法



検証項目は以下の通り

検証項目		アンケート項目	評価内容
本取組の意義	平面図で計画した初版との差異	シミュレーション結果及び結果に基づいてとりまとめた資料が、平面図と異なるか	<ul style="list-style-type: none"> <li>肯定的・否定的な発言等を抽出・分類</li> </ul>
業務効率化	全体納期（会議開催数）の減少	計画初版作成時と比較し、会議開催数が減少したか	<ul style="list-style-type: none"> <li>計画初版作成時の会議数と比較</li> </ul>
	関係者の対応工数の減少	計画書版作成時と比較し、会議開催及び事務局打ち合わせ対応工数が減少したか	<ul style="list-style-type: none"> <li>計画初版作成時の対応工数と比較</li> </ul>
利用の容易性	入力データの条件のイメージ/整理のしやすさ	シミュレーションにインプットするデータの条件をイメージ/整理しやすいか	<ul style="list-style-type: none"> <li>被験者の半数が従来手法よりも優れていると感じた場合に、各項目を達成と判断                             <ul style="list-style-type: none"> <li>回答の選択肢を3段階に設定                                     <ul style="list-style-type: none"> <li>はい</li> <li>いいえ</li> <li>どちらでもない</li> </ul> </li> <li>「[はい]」の回答が50%以上得られたかどうかで判断</li> </ul> </li> <li>各質問に対して回答理由を自由回答で確認</li> </ul>
課題抽出の精度	平面図での計画と同様の課題抽出	平面図で検討した計画と同様の課題を抽出できているか	
	抽出された課題の具体性向上	平面図での検討と比較して、抽出された課題がより精緻・具体的になっているか	
	平面図と異なる新たな課題の抽出	平面図での検討では抽出されなかった課題を、シミュレーションにより抽出できているか	
対策方法の妥当性	導出された災害時の対策・行動フローの妥当性	シミュレーションにより導出された災害時の対策・行動フローの妥当性は高いか	
課題・シチュエーションの可視化	危険/安全な状況のイメージの具体性向上	危険な状況や安全な状況を具体的（密集具合や時間感覚）にイメージできるか	
	シミュレーションによる安全安心度の向上	当地区に対する安全安心のイメージは、平面図で検討した計画と比べ高まったか	
災害対策意識	安全安心WG会員連携の必要性の実感	災害時に備え平時から安全安心WGの会員同士で連携していく必要があると感じたか	
	当地区の将来像に向けた本取組み成果の実感	当地区の将来像 <sup>1</sup> の実現に向けて、今回の取り組みの成果や効果を実感できたか	

\*出典：当地区の将来像：「創造性・自律発展性をもった次世代型安全安心拠点」

# IV. 実証技術の検証 > 4. 実証システムの価値検証：高輪GWエリア > ① 検証内容

## 自由討議・アンケート参加者一覧



有用性を検証するため事業者や自治体など計22名からシステムに対する意見のヒアリングを実施し、事後アンケートは22名の回答を得た

参加者属性

企業名等	部署	人数
品川駅北周辺地区 市街地再開発準備組合	—	1名
(株)NTTドコモ	総務部	1名
東日本旅客鉄道(株)	品川ユニット	1名
品川シーズンテラス(株)	管理部	1名
東京ガスネットワーク(株)	東京中支店	1名
東日本電信電話(株)	企画総務部	1名
	第二ビジネスイノベーション部	1名
(株)えきまちエナジークリエイト	エンジニアリング事業部	2名
東京電力パワーグリッド(株)	銀座支社	1名
泉岳寺駅地区 市街地再開発 特定建築者	—	2名
東京都下水道局	芝浦水再生センター	1名
東京都交通局	総務部	1名

企業名等	部署	人数
東京大学	生産技術研究所	1名
港区	防災課	1名
	都市計画課	2名
	高輪地区総合支所	2名
	芝浦港南地区総合支所	2名



# IV. 実証技術の検証 > 4. 実証システムの価値検証：高輪GWエリア > ① 検証内容

## 検証当日の様子

検証当日の様子は以下の通り

安全安心WGでの対面形式での会議の様子



自由討議の様子



# IV. 実証技術の検証 > 4. 実証システムの価値検証：高輪GWエリア > ②検証結果

## 結果サマリ



3D都市モデルによる大規模人流シミュレーション環境は、まちづくりや防災業務への活用が期待される一方で、シミュレーションの設定項目・分析メニューの拡充が望まれる

観点	内容
まちづくりへの活用	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 災害が発生する前に課題を把握することで、有事の際に備えるための対策シミュレーションや別の課題・対策の検討が実施できる</li> <li>• 弱点を事前に把握できることで、根幹であるまちを災害に強く作り上げていく長期的施策を実施することができる</li> </ul>
防災業務への活用	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 事前に防災訓練のポイントを把握することで有効な防災訓練を実施できる             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 防災はまちの人の協力が不可欠のため、安全安心への関心を高めることが必要</li> </ul> </li> </ul>
議論の可視化	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2Dでの検討やイメージを伴わない議論ではできないところまで検討を深めることができる             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 可視化によって共通認識が生まれ、議論の底上げにつながる</li> <li>- 普段防災に関わらない地元の人や住人・住むことを検討している人にもイメージが伝わり、防災に強いまちとして魅力の一つとできる</li> </ul> </li> </ul>
分析メニューの豊富さ	<ul style="list-style-type: none"> <li>• シミュレーションに組み込みたい設定は施設やシミュレーションによって異なるため多様な設定が必要             <ul style="list-style-type: none"> <li>- シミュレーションの設定項目をさらに増やし、自由な設定が出来ることが必要</li> <li>- シミュレーション通りにいかない場合のプランBまで検討できることや余裕を持った設定が必要</li> </ul> </li> </ul>

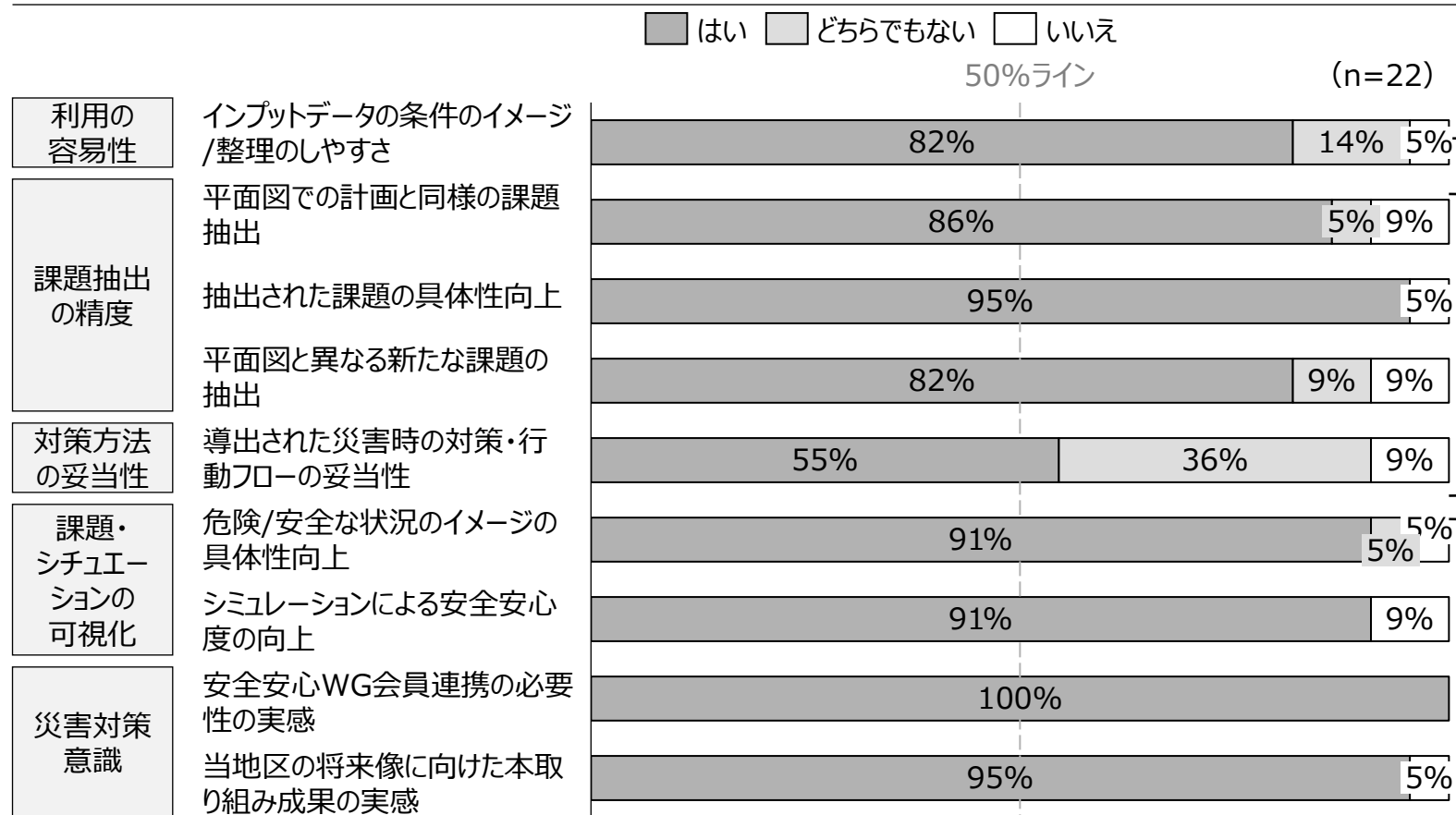
# IV. 実証技術の検証 > 4. 実証システムの価値検証：高輪GWエリア > ② 検証結果 有用性検証



シミュレーションの使い方や課題抽出の精度、及び可視化による具体的なイメージの構築と災害対策意識の向上に対して有効であることが検証された一方で、今後はシミュレーションのパターンを増やすなどの取り組みが必要

災害対策計画におけるシミュレーションの有用性を感じたか

記述回答及び示唆



「シンプルでわかりやすい」という意見が大多数

シミュレーションを活用することで、**平面図での計画よりも高度に課題を抽出することができる一方で、より多くの条件下での対策・行動のフローを検証する必要がある**

【記述回答】

- シミュレーションのパターンが少なく不安が残る
- 品行方正な行動フローに限られ、行動パターンが少ない

可視化によって、**具体的なイメージの構築・共有が可能となり、災害対策意識の向上に大きく寄与できた**

【記述回答】

- エリア全体での共通認識が最重要
- 「高輪GWで被災してよかった」を目指すための真の安全には机上検討だけでは不足していることがわかった

# IV. 実証技術の検証 > 4. 実証システムの価値検証：高輪GWエリア > ②検証結果

## 課題・解決策へのコメント



PLATEAU  
by MLIT

避難計画を作成したり、まち開き前の事前検討にシミュレーションが活用余地があるとみられ、今後新しい条件追加や想定外のシチュエーションへの対応を行うとより活用余地が広がると考えられる

		高評価回答の要約	低評価・改善点回答の要約
課題・解決策の考案	避難計画の事前検討	<ul style="list-style-type: none"> <li>計画や災害時の状況の理解度や想像力が非常に高まる</li> <li>限られたスタッフでどう対応するのか、出来るのか検証したい</li> <li>何に取り組むか落とし込みやすく計画検証に活用できる</li> <li>あらかじめシミュレーションすることで、課題や対策が取れるため有用性が高い</li> <li>事前に計画検証を進めれば、別の課題や対策が見える</li> </ul>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">新しい条件設定の追加</div> <ul style="list-style-type: none"> <li>誘導員の配置に関する条件設定についても考慮したい</li> <li>時間帯や曜日によってシチュエーションが大分変わってくる</li> <li>滞留するような条件、避難時のストレスを感じない改善の視点を今後更新してほしい</li> </ul>
	まちづくりへの活用	<ul style="list-style-type: none"> <li>見えてきたまちのウイークポイントの改善を行う事でより良い街になる</li> <li>どこに弱点があるかを見つけ、対策することで今後の安全につながることに有用性を感じた</li> <li>シミュレーション結果をまちづくりやビル設計にも活かせる</li> <li>机上の避難シミュレーションが3Dになったことで今後のまちづくりの発展にもつながる可能性がある</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>想定とは異なるシチュエーションが発生し必要面積が取れないといった課題が、実際生じると考えられる</li> <li>「品行方正でない場合への備え」として、空間、オペレーション、ゆとり、余裕等を組み込んでいくことが重要</li> </ul>

# IV. 実証技術の検証 > 4. 実証システムの価値検証：高輪GWエリア > ②検証結果

## 業務への活用や理解度へのコメント



3D化を行って災害時に何が起こり得るのかを可視化することで共通認識の醸成や地元住人からの合意形成に役立てられることが評価されている

### 高評価回答の要約

### 低評価・改善点回答の要約

		高評価回答の要約	低評価・改善点回答の要約
業務効率化	防災業務への活用	<ul style="list-style-type: none"> <li>机上で考えるものと結果が違ってくることに有用性がある</li> <li>現実では見ることが出来ないが、シミュレーションだからこそ出来る強みがある</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>規模が大きいため、避難者支援につながるルールがあると良い</li> <li>シミュレーションを活用しながら、出来る限りシンプルなオペレーションルールを見出すことが必要</li> </ul>
	分析項目の豊富さ	<ul style="list-style-type: none"> <li>「屋内に留める」選択肢を入れられることが良い</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>複雑なオペレーションの実効性に課題を感じた</li> </ul>
理解度向上	議論の可視化	<ul style="list-style-type: none"> <li>想像だけで議論すると人それぞれの重要度や経験値でしか議論できないため、シミュレーションの有用性は高い</li> <li>可視化されたことで、関係者の間で、共通認識の醸成が出来た</li> <li>シミュレーションにて3Dによる立体的に人の動き等が見られ、避難状況を理解できたことが良かった</li> <li>可視化できたことが有効であり、動画は今後住まう方や働く方がイメージしやすい</li> <li>防災に関する考え方について、地元・地域協力できるものになればよい</li> </ul>	該当コメントなし
	公共意識の変革	<ul style="list-style-type: none"> <li>継続的に安心安全な街であることを打ち出していくことが必要</li> <li>関心の低い方への意識改革や非常時の安心安全に関心も持って頂くキッカケになる</li> </ul>	

# IV. 実証技術の検証 > 5. 実証システムの価値検証：大丸有エリア > ① 検証内容 検証詳細

大丸有エリアを対象とした検証の詳細は以下の通り

<b>目的</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>都市再生安全確保計画策定地区であり、まちづくり、エリアマネジメントの先進的な取り組みを行っている商業業務地区である、大丸有地区へのシミュレーション環境の有用性のヒアリング・意見交換</li></ul>
<b>実施期間</b>	令和5（2023）年1月11日（水）
<b>実施場所</b>	大手町パークビル 3階会議室
<b>主な参加者</b>	<p>【大丸有地区】</p> <ul style="list-style-type: none"><li>一般社団法人大手町・丸の内・有楽町地区まちづくり協議会（エリア防災委員会、スマートシティ推進委員会）</li></ul> <p>【アドバイザー】</p> <ul style="list-style-type: none"><li>東京大学 加藤孝明教授</li></ul> <p>【オブザーバー】</p> <ul style="list-style-type: none"><li>国土交通省都市局</li><li>品川北 J V（東日本旅客鉄道(株)、KDDI(株)、(株)日建設計） （参加者数24名）</li></ul>
<b>検証内容</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>3D都市モデルを活用したシミュレーションの有用性は認められるか<ul style="list-style-type: none"><li>- シミュレーション環境やアウトプットデータの整理・条件設定は利用しやすいか</li><li>- シミュレーションによって抽出された課題・対応策は妥当か</li></ul></li><li>3D都市モデルを活用することは市民・行政・事業者の合意形成・議論活性化に寄与するか</li></ul>

# IV. 実証技術の検証 > 5. 実証システムの価値検証：大丸有エリア > ① 検証内容 自由討議及びアンケート項目と回答方法

検証項目は以下の通り

検証項目		アンケート項目	評価内容
課題・解決策の考案	平面図での計画と同様の課題抽出	平面図で検討した計画と同様の課題を抽出できているか	<ul style="list-style-type: none"> <li>被験者の半数が従来手法よりも優れていると感じた場合に、各項目を達成と判断                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 回答の選択肢を3段階に設定                                     <ul style="list-style-type: none"> <li>• はい</li> <li>• いいえ</li> <li>• どちらでもない</li> </ul> </li> <li>- 「はい」の回答が50%以上得られたかどうかで判断</li> </ul> </li> <li>各質問に対して回答理由を自由回答で確認</li> </ul>
	平面図と異なる新たな課題の抽出	平面図での検討では抽出されなかった課題を、シミュレーションにより抽出できているか	
	平面図と異なる新たな対策案の考案	平面図での検討では得られなかった対策案を、シミュレーションにより考案できているか	
業務効率化	プレゼンへの適用容易性	シミュレーション結果を関係者にプレゼンしやすいか	
	計画検証・資料とりまとめ業務の効率化	計画の検証結果、及び資料のとりまとめ業務が効率化できるか	
理解度向上	抽出された課題・解決策の理解度向上	シミュレーション結果に基づく課題とその解決状況を理解しやすいか	
	関係者間での共通認識の醸成	都市再生安全確保計画やエリアマネジメント関係者間で共通認識を構築できそうか	
	安全安心の取り組みに関する成果・価値の実感	シミュレーションによって、安全安心の取り組みに貢献できているか	
シミュレーション結果の可読性	シミュレーション結果の可読性	シミュレーションの結果は判読しやすいか	
	シミュレーション結果とパラメータ表示の可読性	シミュレーションの結果とパラメータの紐付きがわかりやすく表示されているか	
ツールの利便性	ツールの反応速度・レスポンス	シミュレーションツールの反応速度やレスポンスは、業務利用において十分高速か	
	入力条件の整理のしやすさ	シミュレーションへの入力条件を整理しやすいか	
	ツールの設定可能条件・機能	設定できる条件や使える機能に不足はないか	

# IV. 実証技術の検証 > 5. 実証システムの価値検証：大丸有エリア > ① 検証内容 検証当日の様子

検証当日の様子は以下の通り

ヒアリング・意見交換の様子





# IV. 実証技術の検証 > 5. 実証システムの価値検証：大丸有エリア > ②検証結果 結果サマリ

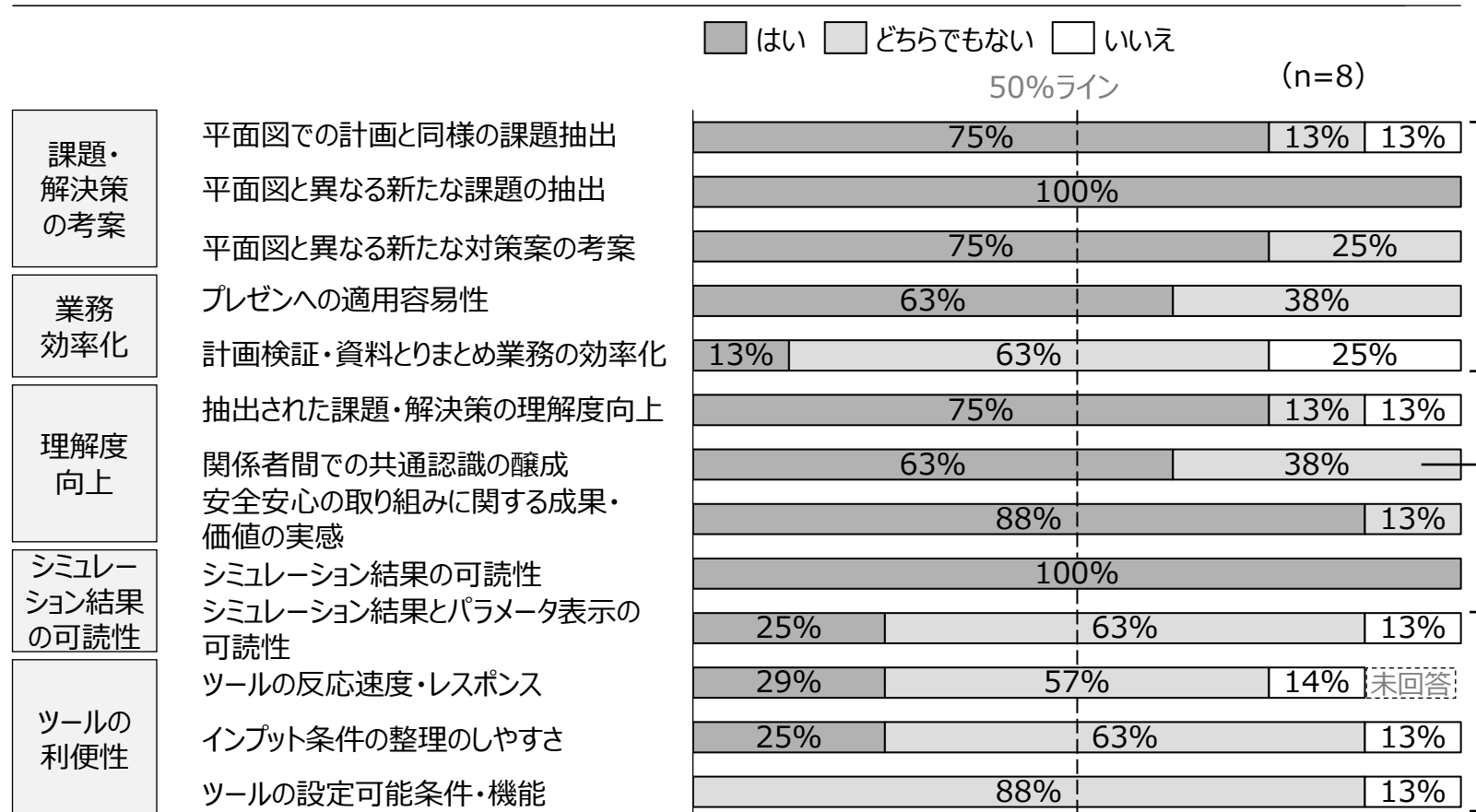
3D都市モデルによる大規模人流シミュレーション環境は、理解促進や説得力の強化に有効であるとの意見を頂いた。一方で、シミュレーション結果の解釈についてはリテラシーが求められることから簡便に使える仕組みも求められる

観点	内容
3次元空間を活用した可視化	<ul style="list-style-type: none"><li>• 平面図では再現できない、3次元空間の解析や時間経過に伴う状況変化を再現できる</li><li>• シミュレーションでは多様なケースを想定することが容易なため、同等の検討を平面図で行うよりも効率的かつ示唆に富んだ結果を得られる</li></ul>
説得力・理解度の向上	<ul style="list-style-type: none"><li>• 災害時の状況を視覚的に把握できることで、他者への説得力の向上や理解度の向上につながる<ul style="list-style-type: none"><li>- 様々な状況の可視化によって、不安の解消や災害対策意識の向上に寄与する</li><li>- 前提条件との因果関係がわかるため、説明精度の向上が期待できる</li></ul></li></ul>
簡便なシミュレーション環境の必要性	<ul style="list-style-type: none"><li>• シミュレーションの結果の解釈には、ある程度のリテラシーが要求されるため、前提知識を共有することが肝要になる</li><li>• より軽快にシミュレーション環境が利用できるような改善が求められている</li></ul>

# IV. 実証技術の検証 > 5. 実証システムの価値検証：大丸有エリア > ② 検証結果 有用性検証

シミュレーションを用いることで、平面図での検討よりも高度な検討ができると評価いただいた一方で、データ処理や分析により多くの時間が必要となるため、現時点では業務効率化への寄与は限定的

災害対策計画におけるシミュレーションの有用性を感じたか



シミュレーションにより、**平面図での検討よりも高度な検討ができる一方、データ処理や分析により多くの時間が必要**になった

【記述回答】

- 「見えなかったものが見える」分、対応労力も増えている
  - CADデータの処理、演算速度等が課題
- 情報量が多く、関係者のリテラシーに応じた説明が重要

**ツールの反応速度については改善が求められるが、ツールの利便性については未知数**

⇒ 意見交換会のシミュレーション結果説明では、時間が不足しており細かな利用方法等を説明できず

# IV. 実証技術の検証 > 5. 実証システムの価値検証：大丸有エリア > ② 検証結果 課題・解決策考案へのコメント

平面図では再現できない、3次元空間の解析や時間経過に伴う状況変化の再現が大きく評価されており、多様なケースのシミュレーションを行うことで、より示唆に富んだ結果を得られると考えられる

		高評価回答の要約	低評価・改善点回答の要約
課題・ 解決策 の考案	3次元空間 の解析	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 立体の都市空間における問題個所と程度を示せた</li> <li>• 建物内の階段や扉での動きを再現出来て良かった</li> <li>• グランドレベルとベデレベルなど、昇降空間のスタディができる</li> </ul>	仮説精緻化 の必要性
	時間軸方向 の解析	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 平面図では時間、密度いずれも設定できない</li> <li>• 時間差、誘導の対策の有効性が導き出せた</li> <li>• 歩行のサービス水準との比較や滞留が数字以上によくわかる</li> <li>• 同時刻での各地点間の比較が行いやすい</li> </ul>	

# IV. 実証技術の検証 > 5. 実証システムの価値検証：大丸有エリア > ② 検証結果 結果分析業務に対するコメント

本シミュレーションの結果は十分に判読しやすく、またシミュレーションによる視覚的な説明精度の向上が期待できる

		高評価回答の要約	低評価・改善点回答の要約
業務 効率化	シミュレーション ケースの 多様性	<ul style="list-style-type: none"> <li>変数を増やせば増やす増やすほど示唆を得やすい</li> <li>平面図との整合がうまくとれていけば問題ない</li> <li>様々な断面で検討することができ、複数断面での検討であれば平面図で行うよりも早い</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>「見えなかったものが見える」分、対応労力も増えている</li> <li>CADデータの処理、演算速度等が課題</li> <li>省時間の観点では机上計算の方が良さそう</li> </ul>
	視覚的な 説明による 理解度向上	<ul style="list-style-type: none"> <li>ケース設定、結果内容がビジュアルで見えてわかりやすいので説明しやすい</li> <li>具体的な対策につながりやすい</li> <li>「見える化」に優れ、意識改革の可能性もある</li> <li>漠然とした不安を解消するのに寄与</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>シミュレーションを提示された側の基礎知識に応じた結果表示が重要</li> <li>情報量の調整をプレゼン相手によって検討が必要</li> </ul>
理解度 向上	結果表示の わかりやすさ	<ul style="list-style-type: none"> <li>表示を見ると前提条件と結果の関係性が明確になる</li> <li>屋外の「俯瞰」や屋内の「寄り」の画角においては、十分見やすい</li> <li>3Dで見にくくなる点も含めて、工夫されているのがわかった</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>求める結果に応じたレスポンス・表示画面をカスタマイズしたい</li> <li>結果表示の倍速機能があれば良い</li> <li>俯瞰した際に半透明の動画を見たい</li> </ul>
			<ul style="list-style-type: none"> <li>作業支援の必要性</li> </ul>
			<ul style="list-style-type: none"> <li>プレゼンテーションの工夫</li> </ul>
			<ul style="list-style-type: none"> <li>結果表示の改善</li> </ul>

I. 実証概要

II. 実証技術の概要

III. 実証システム

IV. 実証技術の検証

**V. 成果と課題**

## V. 成果と課題 > 1. 今年度の実証で得られた成果

### ① 3D都市モデルによる技術面での優位性

項目	想定される技術面での優位性
人流シミュレーションの他都市への転用性	<ul style="list-style-type: none"> <li>既存OSS（Cesium for Unreal）をカスタマイズし、その内容を公開することで他のエリアであっても3D Tiles形式の3D都市モデルを利用した人流シミュレーション環境を構築することが可能となった</li> <li>複数の3D Tilesを取り込んだ場合に3D都市モデルの地理座標を維持した状態で取り込むことが可能なため、周辺の3D都市モデルを含めた人流シミュレーション環境を構築することも可能となった</li> </ul>
人流シミュレーションの精緻化	<ul style="list-style-type: none"> <li>Unreal Engineの機能を活用することにより、3D都市モデル上での建物内外の移動経路計算や人・モノとの衝突判定等が可能となり、これまで2Dシミュレーションではできなかった、個々人の粒度での3次元(横・縦)を移動するシミュレーションが可能となった</li> </ul>
シミュレーションのために3Dモデル作成の工数削減	<ul style="list-style-type: none"> <li>従来のシミュレーションでも問題となる3Dモデルの作成において、3D都市モデルを使ったモデル作成のフローが定義できたことにより、工数削減が期待される</li> </ul>
BIMからのシミュレーション用のモデル化	<ul style="list-style-type: none"> <li>現状BIMには多くの情報が内包されており、シミュレーションに使うにはデータが重く、パラメータを変える複数回の試行には向いていない。そのためBIMから必要な情報を3D都市モデル（LOD4）化することで軽量化でき、汎用的に大規模なシミュレーションが可能となる</li> </ul>
ビジュアルのリッチ化	<ul style="list-style-type: none"> <li>シミュレーションの結果に床・壁の表現を追加し、従来の動かない人型モデルではなく手足が動くモデルにすることによりスピード感や密具合などが直感的に伝えられる</li> </ul>

# V. 成果と課題 > 1. 今年度の実証で得られた成果

## ② 3D都市モデルによるビジネス面での優位性

項目	想定されるビジネス面での優位性
エリアマネジメント活動による地域の資産価値向上	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 防災観点での避難計画だけでなく、イベント時の誘導計画検討等幅広い用途で活用でき、エリア全体としての安全安心サービスレベルが高まり資産価値が向上する               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 建物内外、上下といった立体の都市空間で誘導の計画検討が深度化できる</li> <li>- 多くのステークホルダーの巻き込みと合意形成に必要な共通認識の構築を支援できる</li> </ul> </li> </ul>
まちづくり計画等の策定・更新における業務効率化	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 大規模開発の設計段階から活用することで、オペレーション等のソフト施策検討だけでなく、空間のプランニングに活用が可能が見込める</li> <li>● まちびらき後の「運営フェーズにあるまち」でも、シミュレーション条件の設定を変更することでまちづくりのフェーズに合わせたサービス内容とサービスレベルをパッケージングでき、汎用性のあるツールとなる可能性が見込める</li> </ul>
まち単位での総合的な防災計画	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 本ツールはまち全体での計画検討の有用性及び必要性が確認できたことから、今後はまち単位で計画を立てていく必要があり、本ツールが活用できると考える               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 消防法で防火防災管理という概念があるが、過去の都市空間を前提としておりアップデートされていない（建物単位での検討、防火への偏り）</li> </ul> </li> <li>● データの共有による縦割りの打破につながり、街区やまち単位での防災計画が義務化されれば、防災まちづくりの仕組みに組み込まれ、継続性のあるツールとなる可能性が見込める</li> </ul>

# V. 成果と課題 > 2. 今後の取り組みに向けた課題 活用にあたっての課題 (1/2)

項目	活用にあたっての課題
<p>人流シミュレーション環境への追加機能開発・改善</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 質の高い結果を出すには、何度も設定やパラメータを調整しながらシミュレーション試行する必要があり、時間を要することから、結果を出すまでの実行時間を短縮するための機能追加・改善が必要である             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 不自然な人詰まりを自動検知する仕組みや、リプレイの速度を変更可能にし、倍速確認できるようにする機能等が必要である</li> </ul> </li> <li>● シミュレーションの結果を見て関係者間で議論を行うことを想定して、アウトプット機能を充実させるための機能追加が必要である             <ul style="list-style-type: none"> <li>- ウィークポイントとなる箇所を3D上でマーキングできるようになると、様々なシナリオをシミュレーションした上での街全体でのウィークポイントを俯瞰して確認でき、関係者で共通認識を持ちやすくなる</li> </ul> </li> <li>● シミュレーションで用いた閾値はシチュエーションや建物によって異なるため、多様な閾値を柔軟に設定できる必要がある             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 移動完了時間の閾値（8分）は一定の意味はあるが、ストレスに感じる移動時間は建物の耐震強度など性能によっても異なるものであり、エリア関係者で目指す時間を設定できるとよい</li> </ul> </li> </ul>
<p>シミュレーション環境の汎用化</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● まち全体の大規模なオペレーション検討のニーズの他、カジュアルな検討のニーズも増えてきたことから、システムとして簡略化する方向性も検討が必要</li> <li>● コストを下げる手段として日常使い、複数用途・目的に活用できることが汎用化に向けた進化ポイントと考える</li> </ul>



# V. 成果と課題 > 2. 今後の取り組みに向けた課題 活用にあたっての課題 (2/2)

項目	活用にあたっての課題
3Dモデル作成の自動化	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 設計CAD/BIMモデルをそのまま使うとデータが細かすぎるため、シミュレーションの性能が出ず、データの削減が必要だったものの単純作業ではデータ削減が行えず、今回はCAD/BIMモデルを下敷きとして簡易なシミュレーション用のモデルを作る必要があったため、自動化に向けては改善策が必要               <ul style="list-style-type: none"> <li>- CAD/BIMモデルを使った建築データと3D都市モデルの整合性を担保する基準・ルールの整理</li> <li>- LOD4の策定による3D都市モデル単体での内部再現</li> </ul> </li> </ul>
ビジュアルのリッチ化作業の負担軽減	<ul style="list-style-type: none"> <li>● シミュレーション結果をリッチ化データで表示するために後からテクスチャを付与する作業を行う必要があり、追加作業が必要になった               <ul style="list-style-type: none"> <li>- シミュレーション段階からリッチ化したデータで行えると工数や可視化観点から望ましいが、データ量・計算時間・PCの性能等が満たされずシミュレーション計算に支障があった</li> <li>- PC環境向上への対応や、現状の環境でのリッチ化作業負荷を軽減する方法の検討が必要になる</li> </ul> </li> </ul>



# 用語集 (1/9)

用語	内容
ア行	
ArtificialIntelligence (Unreal Engine)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Unreal Engineの機能</li><li>• 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</li></ul>
RVO	<ul style="list-style-type: none"><li>• Reciprocal Velocity Obstaclesの略</li><li>• 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</li></ul>
アクタ (Unreal Engine)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Unreal Engineの標準機能</li><li>• レベル内へ配置可能な任意のオブジェクト</li><li>• 参考: <a href="https://docs.unrealengine.com/4.27/ja/ProgrammingAndScripting/ProgrammingWithCPP/UnrealArchitecture/Actors/">https://docs.unrealengine.com/4.27/ja/ProgrammingAndScripting/ProgrammingWithCPP/UnrealArchitecture/Actors/</a></li></ul>
Amazon Athena	<ul style="list-style-type: none"><li>• AWSで提供されているデータベース分析サービス</li></ul>
Amazon EC2	<ul style="list-style-type: none"><li>• AWSで提供されている仮想サーバ</li></ul>
Amazon QuickSight	<ul style="list-style-type: none"><li>• AWSで提供されているBI (Business Intelligence) ツール</li></ul>
Amazon Glue	<ul style="list-style-type: none"><li>• 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)</li></ul>
Unreal Engine	<ul style="list-style-type: none"><li>• Epic Games社により開発・提供される、ゲームエンジンの一種</li></ul>



# 用語集 (2/9)

用語	内容
ア行	
UnrealInsights (Unreal Engine)	<ul style="list-style-type: none"><li>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</li><li>参考: <a href="https://docs.unrealengine.com/4.27/ja/TestingAndOptimization/PerformanceAndProfiling/UnrealInsights/Overview/">https://docs.unrealengine.com/4.27/ja/TestingAndOptimization/PerformanceAndProfiling/UnrealInsights/Overview/</a></li><li>参考: <a href="https://www.docswell.com/s/EpicGamesJapan/ZGLNJ5-UE4_UnrealInsights_UE425#p3">https://www.docswell.com/s/EpicGamesJapan/ZGLNJ5-UE4_UnrealInsights_UE425#p3</a></li></ul>
一時滞在施設	<ul style="list-style-type: none"><li>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</li></ul>
一時避難場所	<ul style="list-style-type: none"><li>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</li><li>一時滞留スペースとも呼ぶ</li></ul>
AI キャラクター (Unreal Engine)	<ul style="list-style-type: none"><li>Unreal EngineのArtificialIntelligenceを適用したキャラクター</li></ul>
Amazon S3	<ul style="list-style-type: none"><li>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</li></ul>
FPS	<ul style="list-style-type: none"><li>Frame Per Secondの略</li><li>フレームレートとも呼ばれる</li><li>1秒間あたりに表示される画像数</li></ul>
エリアマネジメント	<ul style="list-style-type: none"><li>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り組み</li></ul>



# 用語集 (3/9)

用語	内容
カ行	
Capsuleコリジョン (Unreal Engine)	<ul style="list-style-type: none"><li>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</li></ul>
Culling	<ul style="list-style-type: none"><li>カメラの画角から外れたり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</li><li>参考: <a href="https://docs.unrealengine.com/4.27/ja/RenderingAndGraphics/VisibilityCulling/">https://docs.unrealengine.com/4.27/ja/RenderingAndGraphics/VisibilityCulling/</a></li></ul>
帰宅困難者	<ul style="list-style-type: none"><li>自宅までの距離が遠く、徒歩による帰宅が困難な人</li></ul>
Character (Unreal Engine)	<ul style="list-style-type: none"><li>Unreal Engineの標準機能</li><li>デフォルトで二足歩行の動作機能を持つポーン</li><li>参考: <a href="https://docs.unrealengine.com/4.27/ja/InteractiveExperiences/Framework/Pawn/Character/">https://docs.unrealengine.com/4.27/ja/InteractiveExperiences/Framework/Pawn/Character/</a></li></ul>
CrowdManager (Unreal Engine)	<ul style="list-style-type: none"><li>Unreal Engineの機能</li><li>群衆の旋回、回避を制御ができる</li></ul>
GameThread	<ul style="list-style-type: none"><li>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)</li></ul>
原点座標 (Unreal Engine)	<ul style="list-style-type: none"><li>Unreal Engineにおける世界全体の座標系 (ワールド座標) における <math>(X, Y, Z) = (0, 0, 0)</math> の座標</li></ul>
交差	<ul style="list-style-type: none"><li>Intersectとも言う</li><li>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おこなった状態</li><li>もしく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</li></ul>
コリジョン (Unreal Engine)	<ul style="list-style-type: none"><li>Unreal Engineの機能</li><li>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</li></ul>

# 用語集 (4/9)

用語	内容
カ行 Component (Unreal Engine)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Unreal Engineの標準機能</li> <li>アクタ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</li> <li>参考: <a href="https://docs.unrealengine.com/4.27/ja/ProgrammingAndScripting/ProgrammingWithCPP/UnrealArchitecture/Actors/Components/">https://docs.unrealengine.com/4.27/ja/ProgrammingAndScripting/ProgrammingWithCPP/UnrealArchitecture/Actors/Components/</a></li> </ul>
サ行 三角メッシュ	<ul style="list-style-type: none"> <li>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すべて3角形に分割したメッシュ状のデータ</li> </ul>
GPU	<ul style="list-style-type: none"> <li>Graphics Processing Unitの略</li> <li>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</li> <li>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</li> </ul>
敷地境界線	<ul style="list-style-type: none"> <li>建築計画上における、敷地の境界</li> <li>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</li> <li>この敷地境界に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</li> </ul>
ジョブスクリプト	<ul style="list-style-type: none"> <li>コマンドを記載したスクリプト</li> <li>AWS Glueでのジョブで実行される</li> </ul>
人流シミュレーション	<ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> <li>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</li> </ul>



# 用語集 (5/9)

用語	内容
サ行	
StaticMesh (Unreal Engine)	<ul style="list-style-type: none"><li>Unreal Engineの標準機能</li><li>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</li><li>参考: <a href="https://docs.unrealengine.com/4.27/ja/WorkingWithContent/Types/StaticMeshes/">https://docs.unrealengine.com/4.27/ja/WorkingWithContent/Types/StaticMeshes/</a></li></ul>
スポーン	<ul style="list-style-type: none"><li>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</li></ul>
3D Tiles	<ul style="list-style-type: none"><li>大規模な3D地理空間コンテンツをストリーミングおよびレンダリングするために設計されたファイル形式</li><li>参考: <a href="https://github.com/CesiumGS/3d-tiles/blob/main/specification/README.md">https://github.com/CesiumGS/3d-tiles/blob/main/specification/README.md</a></li></ul>
スレッド	<ul style="list-style-type: none"><li>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</li><li>論理コアとも呼ばれる</li></ul>
CesiumIon	<ul style="list-style-type: none"><li>Cesium社が提供する3Dコンテンツを配信するSaaSサービス</li></ul>
CesiumGltfPrimitiveComponent	<ul style="list-style-type: none"><li>Cesium for UnrealがglTFファイル内のprimitiveの情報を元に作成するコンポーネント</li><li>参考: <a href="https://github.com/KhronosGroup/glTF">https://github.com/KhronosGroup/glTF</a></li></ul>
CesiumGeoreferenceアクタ	<ul style="list-style-type: none"><li>Cesium for Unrealが用意しているアクタの一つ</li><li>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</li><li>参考: <a href="https://cesium.com/learn/unreal/unreal-sublevels/">https://cesium.com/learn/unreal/unreal-sublevels/</a></li></ul>
Cesium3DTilesetアクタ	<ul style="list-style-type: none"><li>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</li><li>参考: <a href="https://cesium.com/learn/cesiumjs/ref-doc/Cesium3DTileset.html">https://cesium.com/learn/cesiumjs/ref-doc/Cesium3DTileset.html</a></li></ul>
Cesium for Unreal	<ul style="list-style-type: none"><li>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</li></ul>



# 用語集 (6/9)

用語	内容	
タ行	滞留	<ul style="list-style-type: none"><li>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</li></ul>
	滞留者	<ul style="list-style-type: none"><li>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</li></ul>
	TaskGraphThread (Unreal Engine)	<ul style="list-style-type: none"><li>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</li></ul>
	Tick (Unreal Engine)	<ul style="list-style-type: none"><li>通常は1フレームに一回という一定間隔でアクタなどが決められた処理を実行すること</li><li>Unreal Engineの設定で処理間隔を変更可能</li></ul>
	DefaultEngine.iniファイル	<ul style="list-style-type: none"><li>エンジンのコンフィギュレーション ファイルの一つ</li><li>参考: <a href="https://docs.unrealengine.com/4.27/ja/ProductionPipelines/ConfigurationFiles/">https://docs.unrealengine.com/4.27/ja/ProductionPipelines/ConfigurationFiles/</a></li></ul>
	都市再生安全確保計画	<ul style="list-style-type: none"><li>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</li></ul>



# 用語集 (7/9)

用語	内容
ナ行	
NiceDCV	<ul style="list-style-type: none"><li>• リモートデスクトップのプロトコルのひとつ</li></ul>
NavigationSystem (Unreal Engine)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Unreal Engineの機能</li><li>• 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</li></ul>
NavMesh	<ul style="list-style-type: none"><li>• 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</li></ul>
NavMeshBoundsVolume (Unreal Engine)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Unreal Engineの標準機能</li><li>• 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</li><li>• 参考: <a href="https://docs.unrealengine.com/4.27/ja/InteractiveExperiences/ArtificialIntelligence/NavigationSystem/BasicNavigation/">https://docs.unrealengine.com/4.27/ja/InteractiveExperiences/ArtificialIntelligence/NavigationSystem/BasicNavigation/</a></li></ul>
NavModifierVolume (Unreal Engine)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Unreal Engineの標準機能</li><li>• 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</li><li>• 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</li><li>• 参考: <a href="https://docs.unrealengine.com/4.27/ja/InteractiveExperiences/ArtificialIntelligence/NavigationSystem/ModifyingTheNavigationMesh/ModifyingtheNavigationSystem/">https://docs.unrealengine.com/4.27/ja/InteractiveExperiences/ArtificialIntelligence/NavigationSystem/ModifyingTheNavigationMesh/ModifyingtheNavigationSystem/</a></li></ul>
NavLinkProxy (Unreal Engine)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Unreal Engineの標準機能</li><li>• 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</li><li>• 二つのNavMesh間を繋ぐように配置する必要がある</li><li>• 参考: <a href="https://docs.unrealengine.com/4.27/ja/Resources/ContentExamples/NavMesh/1_2/">https://docs.unrealengine.com/4.27/ja/Resources/ContentExamples/NavMesh/1_2/</a></li></ul>
Non Player Character	<ul style="list-style-type: none"><li>• ゲーム上で人間プレイヤーが操作しないキャラクター</li></ul>





# 用語集 (8/9)

用語	内容	
八行	BoundingBox	<ul style="list-style-type: none"><li>• オブジェクト全体を含む境界線</li><li>• 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</li></ul>
	b3dm	<ul style="list-style-type: none"><li>• Batched 3D Modelの略</li><li>• 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</li></ul>
	BehaviorTree (Unreal Engine)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Unreal Engineの標準機能</li><li>• 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</li><li>• 参考: <a href="https://docs.unrealengine.com/4.26/ja/InteractiveExperiences/ArtificialIntelligence/BehaviorTrees/BehaviorTreesOverview/">https://docs.unrealengine.com/4.26/ja/InteractiveExperiences/ArtificialIntelligence/BehaviorTrees/BehaviorTreesOverview/</a></li></ul>
	BIM	<ul style="list-style-type: none"><li>• Building Information Modellingの略</li><li>• 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</li><li>• 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</li></ul>
	フォリッジ (Unreal Engine)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Unreal Engineの機能</li><li>• 地形の上にオブジェクトを置くことができる</li></ul>
	Pawn (Unreal Engine)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Unreal Engineの標準機能</li><li>• プレイヤーまたはAIによって制御可能な、すべてのアクタの基本クラス</li><li>• 参考: <a href="https://docs.unrealengine.com/4.27/ja/InteractiveExperiences/Framework/Pawn/">https://docs.unrealengine.com/4.27/ja/InteractiveExperiences/Framework/Pawn/</a></li></ul>
	ポリゴン	<ul style="list-style-type: none"><li>• 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</li></ul>
	ボリウム	<ul style="list-style-type: none"><li>• 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</li><li>• 参考: <a href="https://docs.unrealengine.com/4.27/ja/Basics/Actors/Volumes/">https://docs.unrealengine.com/4.27/ja/Basics/Actors/Volumes/</a></li></ul>



# 用語集 (9/9)

用語		内容
マ行	密集度	<ul style="list-style-type: none"><li>• 特定エリアの面積に占める人の面積の割合</li></ul>
ラ行	ランドスケープ (Unreal Engine)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Unreal Engineの機能</li><li>• 地形を作成することができる</li></ul>
	リアルタイムレンダリング	<ul style="list-style-type: none"><li>• 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</li></ul>
	RecastNavigation	<ul style="list-style-type: none"><li>• 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</li></ul>
	RecastNavMesh	<ul style="list-style-type: none"><li>• 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</li><li>• NavMeshの詳細設定などを行うためのアクタ</li></ul>
	ReplaySystem (Unreal Engine)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Unreal Engineの機能</li><li>• ゲームプレイを記録し、後で再生して見ることができる</li></ul>
	レベル (Unreal Engine)	<ul style="list-style-type: none"><li>• 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</li><li>• 参考: <a href="https://docs.unrealengine.com/4.27/ja/Basics/Levels/">https://docs.unrealengine.com/4.27/ja/Basics/Levels/</a></li></ul>
	レンダリング	<ul style="list-style-type: none"><li>• 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</li><li>• 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</li></ul>

# 防災エリアマネジメントDX 技術検証レポート

**令和5年3月 発行**

**委託者：国土交通省 都市局 都市政策課**

**受託者：東日本旅客鉄道株式会社、KDDI株式会社、東急不動産株式会社、株式会社日建設計**

本報告書は、東日本旅客鉄道株式会社、KDDI株式会社、東急不動産株式会社、株式会社日建設計が国土交通省との間で締結した業務委託契約書に基づき作成したものです。受託者の作業は、本報告書に記載された特定の手続や分析に限定されており、令和5年3月までに入手した情報にのみ基づいて実施しております。従って、令和5年4月以降に環境や状況の変化があったとしても、本報告書に記載されている内容には反映されておられません。