



PLATEAU
by MLIT

Handbook of 3D City Models
3D都市モデル導入のためのガイドブック



3D都市モデルのユースケース
開発マニュアル(民間活用編)

Manual for Applications of 3D City Models (in the Private Sector)

series
No. 06

はじめに

- Project PLATEAUでは、2020年度に「3D都市モデルを活用した民間サービス開発に向けた実証調査」を実施した。本実証調査では、今後の3D都市モデルの民間活用への先駆けとなるユースケースの創出を図るため、異業種・異テーマの7領域において3D都市モデルを活用した具体的なサービスの企画・開発を行った。いずれも我が国における前例のない先進的事例の実証調査となっており、今後、多様な領域の民間企業が3D都市モデルを活用する際のヒントとなる多くの示唆を与えるものであった。
- 2021年度には「スマートシティの社会実装に向けた3D都市モデルを用いた民間サービス実証調査」において、さらに3つの領域において民間ユースケースの開発を行った。3D都市モデルを活用したサービス創出の動きは市場ベースでも表れ始めており、本調査で得られた知見を展開することで3D都市モデルの社会実装が更に促進されることが期待できる。
- 2022年度は、XR、モビリティ、デジタルツインなどの領域でさらに17件の先進的な民間ユースケース開発を行った。開発過程で得られた知見を様々なドキュメントやソフトウェアとして公開することで、民間領域における3D都市モデル活用の社会実装を推進するためのベストプラクティスの創出を図った。
- 本マニュアルは、上記の実証調査で得られた成果をもとに、3D都市モデルの提供価値やサービス開発における課題・対応策を取りまとめ、民間企業や地方公共団体の参考に供することを目的とするものである。
- また、上記の実証調査の内容と成果に関しては、本マニュアル第4章「3D都市モデルを活用した民間サービス開発事例」において、事例ごとに詳細を掲載した。具体的な先行事例としてサービス企画・開発の際の参考にして頂きたい。
- 3D都市モデルを商用利用する際に技術的なハードルの一つとなる、CityGMLデータのCG系データへの変換方法については、別途「3D都市モデルのデータ変換マニュアル」としてまとめているので、参考にして頂きたい。
- 本マニュアルが官民の幅広い分野における3D都市モデル活用の端緒となり、Project PLATEAUのキーコンセプトである“Map the New World（新しい世界を創る）”に貢献できれば幸甚である。

改定の概要

2021/3/26発行 3D都市モデルのユースケース開発マニュアル（民間活用編）第1.0版

- 2020年度には、3D都市モデルを活用した具体的なサービス/プロダクトを開発するための7件の実証調査を実施し、実証調査から得られた知見や課題、対策案をとりまとめた。
- その際「検証方法・検証成果」「3D都市モデルの活用方法・結果」「将来展開の展望とチャレンジ」についても分析・考察し、3D都市モデルの民間活用促進に向けた多くの示唆を提示。

2020年度のユースケース開発のテーマ

1. バーチャル都市空間における「まちあるき・購買体験」
2. ゲーミフィケーションを通じた地域の魅力発信
3. AR/VRを駆使したサイバー・フィジカル横断コミュニケーション
4. 空間認識技術を活用したAR観光ガイド
5. 物流ドローンのフライトシミュレーション
6. 工事車両の交通シミュレーション
7. エリアマネジメントのデジタルツイン化

2022/3/29発行 3D都市モデルのユースケース開発マニュアル（民間活用編）第2.0版

- 2021年度は、さらに3つの領域において先進的な民間ユースケースの開発を行い、2020年度と同様、その成果をとりまとめるとともに、サービス開発の課題やポテンシャル、今後のサービス展開の展望など3D都市モデルの社会実装の加速化に資する内容を紹介。

2021年度のユースケース開発のテーマと概要

1. 工事車両の交通シミュレーションVer.2

2020年度に開発した3D都市モデルを用いた工事車両の搬入経路シミュレータをさらに進化させ、地域住民の安全・安心や施工業者の円滑な資材搬入を実現する建設物流プラットフォームの構築を実証し、想定ユーザーの業務への有用性・汎用性等を検証

2. 大丸有 Area Management City Index (AMCI)

3D都市モデルの持つ「一目瞭然」に「エリア」を可視化する特徴を活かしてエリアマネジメント活動のビジュアライゼーションを行い、企業や個人の参加促進を図るプラットフォーム“Area Management City Index (AMCI)”を開発し、実際にエリアマネジメントに有効なツールとして機能するかを検証

3. XRを活用した観光バスツアー

3D都市モデルをベースに横浜・みなとみらいエリアのメタバースを構築し、これをオクルージョンとして利用したXRコンテンツを開発。XRコンテンツをオープントップバスと組み合わせた観光バスツアーとして提供することで、そのサービス価値を検証

2023/3/31発行 3D都市モデルのユースケース開発マニュアル（民間活用編）第3.0版

- 2022年度は、さらに17件の先進的な民間ユースケース開発を実施し、ベストプラクティスの創出と横展開を図ることで、多様な分野におけるユースケースの社会実装の加速化に資する内容を紹介。

2022年度のユースケース開発のテーマ

1. 三次元データを用いた土砂災害対策の推進
2. XR技術を活用した市民参加型まちづくり
3. 防災エリアマネジメントDX
4. 歩行者移動・回遊行動シミュレーション
5. 容積率可視化シミュレータ
6. まちづくり教育ツール
7. 地域エネルギーマネジメント支援システム
8. 都市AR空間とメタバースの連携プラットフォーム
9. 広告効果シミュレーションシステム
10. 3D都市モデルとBIMを活用したモビリティ自律運行システム
11. ドローン最適ルートシミュレーション
12. ドローンリアルタイム・ナビゲーションシステム
13. ドローンによる建築物外壁検査の支援
14. 都市空間の統合デジタルツインの構築
15. 3D都市モデルの更新優先度マップ
16. 3D都市モデルを基礎としたIDマッチング基盤
17. AIを用いた3D都市モデルの自動更新手法の開発

■目次

改定の概要

第1章 3D都市モデルの民間活用動向

1-1 まちづくりのデジタルトランスフォーメーションにおける民間事業の役割	8
1-2 民間領域における3D都市モデルの提供価値	9
1-3 3D都市モデル活用のマネタイズ手法	11
1-4 3D都市モデル活用のユースケース	12

第2章 3D都市モデルを活用した民間サービス開発のポイント

2-1 民間サービス開発で特に理解すべき3D都市モデルのデータ特性	17
2-2 3D都市モデルの利活用に向けた課題と対応策	19

第3章 3D都市モデルを活用した民間サービス開発の概要

3-1 民間サービス開発の目的	29
3-2 民間サービス開発の事例概要	30

第4章 3D都市モデルを活用した民間サービス開発事例

(防災・防犯)

2022年度

4-1 三次元データを用いた土砂災害対策の推進	59
-------------------------	----

(都市計画・まちづくり)

2022年度

4-2 XR技術を活用した市民参加型まちづくり	72
4-3 防災エリアマネジメントDX	86
4-4 歩行者移動・回遊行動シミュレーション	102
4-5 容積率可視化シミュレータ	112
4-6 まちづくり教育ツール	125

2021年度

4-7 大丸有 Area Management City Index (AMCI)	139
4-8 工事車両の交通シミュレーションVer.2	151

2020年度

4-9 工事車両の交通シミュレーション	160
4-10 エリアマネジメントのデジタルツイン化	168

(環境・エネルギー)

2022年度

4-11 地域エネルギーマネジメント支援システム	177
--------------------------	-----

■目次

(地域活性化・観光)

2022年度

4-12 都市AR空間とメタバースの連携プラットフォーム	187
4-13 広告効果シミュレーションシステム	200

2021年度

4-14 XRを活用した観光バスツアー	213
---------------------	-----

2020年度

4-15 バーチャル都市空間における「まちあるき・購買体験」	222
4-16 ゲーミフィケーションを通じた地域の魅力発信	231
4-17 AR/VRを駆使したサイバー・フィジカル横断コミュニケーション	240
4-18 空間認識技術を活用したAR観光ガイド	250

(モビリティ・ロボティクス)

2022年度

4-19 3D都市モデルとBIMを活用したモビリティ自律運行システム	260
4-20 ドローン最適ルートシミュレーション	282
4-21 ドローンリアルタイム・ナビゲーションシステム	295

2020年度

4-22 物流ドローンのフライトシミュレーション	306
--------------------------	-----

(インフラ管理)

2022年度

4-23 ドローンによる建築物外壁検査の支援	316
------------------------	-----

(データ作成)

2022年度

4-24 都市空間の統合デジタルツインの構築	327
4-25 3D都市モデルの更新優先度マップ	338
4-26 3D都市モデルを基礎としたIDマッチング基盤	350
4-27 AIを用いた3D都市モデルの自動更新手法の開発	363

第1章 3D都市モデルの民間活用動向

1-1 まちづくりのデジタルトランスフォーメーションにおける民間事業の役割

2000年代前半から国内各地で広がりを見せているスマートシティの取組は、AIやIoT等の新技術を用いたエネルギーマネジメント等の環境対策を中心としたものから、サービスの提供や産業振興を通じて都市の課題を解決したり、街の活力や魅力の創出等の新たな価値を創造するなど、広く住民のQoL向上に資する方向へとシフトしてきている。

このような潮流の中、国土交通省都市局では、2020年度からProject PLATEAU（プラトー）として、「まちづくりのデジタルトランスフォーメーション（UDX）」に取り組んできた。その目的は、都市空間を「3D都市モデル」と呼ばれるデータによって再現し、これをデータ基盤として活用することで、まちづくりに新たな価値をもたらすことにある。

特に、3D都市モデルを活用した住民向けサービスの拡充や新事業の創出等を産学官が連携して展開していくためには、従来まちづくりの中心的役割を担ってきた不動産・建設等の業界に加えて、デジタル技術を有する新興企業や消費者向けサービスを提供するプレーヤーの新規参入が必要となる。実際に、スマートシティ関連では異業種のプレーヤー参入が進んでおり、象徴的な事例としては自動車メーカーであるトヨタ自動車が進めている未来型実証都市「Woven City」がある。これは、静岡県裾野市の同社工場跡地（約70万平方メートル）を利用して、人々が生活するリアルフィールドにおいて、先進的な技術を活用して社会課題や住民ニーズを反映した技術・サービスの検証を進める大規模な構想であり、トヨタは業界を超えて数多くのパートナーを募って新たな商品・サービスの開発を進める意向である。

図1-1-1に示す通り、まちづくりのバリューチェーンの各所において新たな業界からのプレーヤー参入が進み、都市空間を舞台とした新たな価値の創出が期待される。

図1-1-1 まちづくりにおける新規参入事業者例

		従来の中心プレーヤー	新たなプレーヤー	価値創出アプローチ	
調査・測量		<ul style="list-style-type: none"> 測量会社 地質調査会社 	<ul style="list-style-type: none"> 衛星測量会社 ドローン測量会社 3Dモデリング会社 	<ul style="list-style-type: none"> 測定の低コスト化・簡便化 測量データの付加価値強化 	
	不動産 開発・ 建設	都市計画・ 企画・設計	<ul style="list-style-type: none"> 地方公共団体 不動産デベロッパー 設計会社 	<ul style="list-style-type: none"> 都市計画・設計のデジタルソリューションプロバイダ デジタルPF提供会社（都市OSなど） 	<ul style="list-style-type: none"> 意思決定の最適化・高速化 意思決定プロセスの民主化（多様な関係者巻き込み）
		建設工事	<ul style="list-style-type: none"> ゼネコン ハウスメーカー 資材・設備機器メーカー メンテナンス会社 	<ul style="list-style-type: none"> センサー・ロボット会社 建設ソリューションプロバイダ 	<ul style="list-style-type: none"> 建設・インフラオペレーションの大幅効率化 設備・サービス提供価値強化
住民サービス		<ul style="list-style-type: none"> 物件管理、火災保険会社 インフラサービス会社（電力・水道・通信） 交通・物流サービス…等 	<ul style="list-style-type: none"> 既存企業によるDX新規事業 デジタルサービス会社/PFer 自動運転・ロボティクス企業…等 	<ul style="list-style-type: none"> 消費者への新たなサービス・利用体験の創出 	

本章は、上記のような新たなプレーヤーも含め、幅広いプレーヤーに3D都市モデルを活用したまちづくりへの参画を促すため、3D都市モデルの提供価値やマネタイズ手法、ユースケースを紹介することを目的とする。

1-2 民間領域における3D都市モデルの提供価値

3D都市モデルの最大の特徴は、都市の幾何形状（ジオメトリ）モデルに対して様々な“都市の意味”（セマンティクス）に関するデータが統合されていることである（参考：「3D都市モデル標準製品仕様書」）。この特徴を有効に活用することで「可視化（ビジュアライズ）」と「再現性（シミュレーション）」、「双方向性（インタラクティブ）」といった3D都市モデルの提供価値の導出ができる。

「可視化（ビジュアライズ）」とは、3D都市モデルを活用することで、都市の外観を三次元的に把握することに加え、開発計画や統計情報等のまちづくりに関する情報や映像コンテンツ等を紐づけるいことで、都市の活動をわかりやすく可視化できることを意味する。

また、「再現性（シミュレーション）」とは、例えば建物について、「屋根」、「床面」といった地物や「用途」、「構造」といった主題属性を拡張していくことで、限りなく精緻に現実の都市空間を再現可能な3D都市モデルの価値を表すものである。また、地形や建物等の地物に加え、土地利用や人口分布等の主題属性を用いることで、都市スケールでの熱需要を精緻にシミュレートすることが可能である。

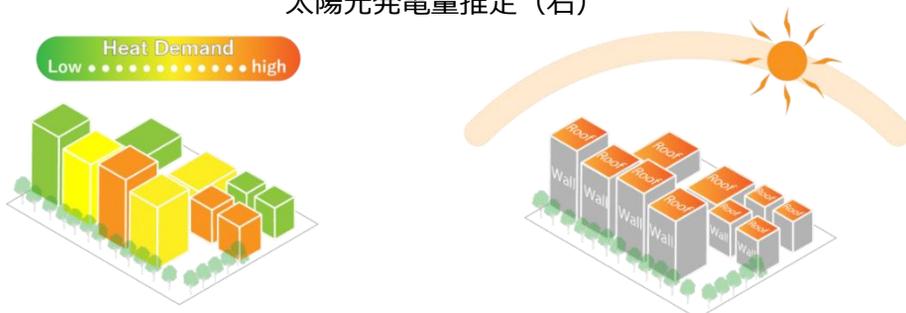
さらに、3D都市モデルは、デジタルツインの基盤として活用することでその価値を発揮する。デジタルツインとは、フィジカル空間と対になる「双子（ツイン）」をバーチャル空間上に構築する考えである。都市空間についても、フィジカル空間の都市をサイバー空間上に再現し、リアルタイムデータを取り込むことで、都市活動の精緻なモニタリングやシミュレーションが可能となる。例えば、道路ネットワークモデルに交通量情報を重ね合わせることで、都市交通網の状況をリアルタイムでモニタリングすることや、道路空間における車道と歩道の分配の影響をバーチャル空間上でシミュレートし実際の車線規制にフィードバックするといった、新たなサービスの創出が期待されている。

近年、このような「都市のデジタルツイン」の構築を目指し、行政のみならずデベロッパーや建設会社などの民間企業によっても様々な試みが行われている。精緻なジオメトリ（幾何形状）モデルの上に、建物等の属性情報をセマンティクスモデルとして統合した3D都市モデルは、「都市のデジタルツイン」を実現する上での基盤となるデータである。地名や番地、緯度・経度等といったタグとなるデータを持つ3D都市モデルを基盤として、インフラ設備から収集されるIoTデータやセンサーから収集されるモニタリングデータ等の多種多様なデータを連携させることができる。

図1-2-1 3D都市モデルの特徴と提供価値

提供価値	価値が導出される適用例
可視化 (ビジュアライズ)	<ul style="list-style-type: none"> 【研究開発】デジタルサンドボックス 【企画・設計】浸水リスク分析
再現性 (シミュレーション)	<ul style="list-style-type: none"> 【製造・流通】 • 映像コンテンツ、都市のアーカイブ • 災害・事故等の緊急時の意思決定
双方向性 (インタラクティブ)	<ul style="list-style-type: none"> 【製造・流通】工事現場等での遠隔操作 【保守メンテ】遠隔保守・点検

図1-2-2 セマンティクスモデルを用いた熱需要の予測（左）、太陽光発電量推定（右）



このような3D都市モデルの提供価値を活用することで、民間企業のバリューチェーン上でも様々な価値創造が期待される。

まず、研究開発領域では、3D都市モデルを活用したバーチャル空間を構築し、技術実証・開発のためのテストベッドとして利用することが可能である。例えば、自動車やロボットの自動運転AIの開発シミュレーション環境を実際の都市空間を模したバーチャル空間上に構築することで、現実の都市ではコストのかかる実証をバーチャル空間で行うことが可能になる。また、様々な環境条件を自在に操作でき、並列処理や高速での実証が可能なフィールドを獲得することも可能となる。さらに、これらのテストベッド構築に要する投資額を大幅に抑制することで投資回収の短縮が期待される。

企画・設計領域では、気象条件や人流・交通流、イベント開催の影響など多様な変数を反映させた都市空間を3D都市モデルを活用して構築し、シミュレーションを実施することで、製品・サービスの設計・企画の精度を高めると共に、設備のキャパシティや投資を最適化することが可能となる。また、災害発生時の被害予測等のシミュレーションを精緻に行い、3D都市モデル上で分かりやすく表現することにより、リスクを適切に評価して必要な機能・バックアップを確実に具備すること、価格設定にリスクを適切に反映すること、設計開発に係る関係者間での合意形成を円滑化することなどの効果が期待される。

製造・流通領域では、3D都市モデルを活用したバーチャル空間ならではの新たな顧客体験を伴う販路の開拓や、それに合わせた新たな商品・サービスの開発が期待される。特にアフターコロナを見据え、バーチャル空間とフィジカル空間を連動した顧客接点の構築を図る取組は、対人接触の抑制と消費促進の両立を図る観点から重要性が高まるものと見込まれる。また、流通に関して、経路上の多拠点の施設・輸送アセットや、顧客・事業者・従業員・周辺住民など多様な観点を考慮したシミュレーションを仮想空間上で行うことにより、経路・オペレーションの最適化、在庫適正化が期待される。

保守メンテナンス領域では、分散して広域に存在するインフラ設備や遠隔地・危険地域に存在する施設を3D都市モデルを活用したサイバー空間で管理することで、統合モニタリングや保守メンテナンス業務計画の最適化、老朽化・故障リスクの把握といった価値創出が期待される。

以上のように、3D都市モデルの提供価値を生かすことで、民間企業のバリューチェーン上の各所で新たな価値をもたらすことができる。このような3D都市モデルのポテンシャルを十分に活かすためには、製品やサービスの一要素としてこれを用いるのみならず、バリューチェーン全体としての事業の特性や課題を踏まえた活用方法を検討することが肝要である。

図1-2-3 バリューチェーンにおける3D都市モデルの提供価値

3D都市モデルのユースケース体系		民間事業者目線での機能的価値（例示）
研究開発	バーチャル空間をテストベッドにした技術実証・開発	<ul style="list-style-type: none"> 自社で莫大なコストを掛け実証実験フィールドを整備せずとも（また公共空間で行う場合、規制緩和等の条件も重なる）、バーチャル空間で実証実験を多様な環境下において24h365日バラレドで実証実験を行うことができる
企画・設計	バーチャル空間に環境情報を可視化したシミュレーションによる、企画・計画の高度化・効率化	<ul style="list-style-type: none"> 自社で3D空間や環境のセットアップをいちいちせずに、人流や日照、建築物による風の変化や電波の干渉など、複数の環境条件をフィールド内に統合することで、企画・計画の精度を高めるとともに高速化できる
	バーチャル空間に環境情報を可視化したシミュレーションによる、価格設定・リスク見極め	<ul style="list-style-type: none"> 人流や過去未来の地層変化のデータ、災害時の被害予測等、地表面上に複数に跨がる情報を統合し3D化することでシミュレーション結果を可視化することで、不動産の価格・リスク提示等が誰が見ても判りやすい状態で正しい判断がしやすくなる
製造・流通	バーチャル空間を用いた商品開発	<ul style="list-style-type: none"> 特に昨今のコロナ禍により、リアルなイベント開催や店舗への大規模な集客施策の自粛が求められる状況においても、物理的な制約を受けず/物理的な対面を再現することができることでエンタメ・ショッピングの場を設け、営業活動の継続・販路の拡大につなげられる バーチャル空間ならではの超現実的な付加価値も付与することで市場拡大にも繋がる
	バーチャル空間を用いた商品流通	
	バーチャル空間に環境情報を可視化したシミュレーションによる、経路・アセット分配の最適化	<ul style="list-style-type: none"> 3D化されたマップに様々な情報を重ねることで、地表面上を舞台にした経路設計等のオペレーションの最適化を実現
保守メンテ	バーチャル空間へのアセット/対象物の可視化を元にした、モニタリング・メンテナンス効率化	<ul style="list-style-type: none"> そもそも現地に赴くことができない/見るために多大な工数がかかる建築物・設備等のデジタルツイン化し、稼働状況監視を行うことでメンテナンス工数の圧倒的削減 事業者横断で正確な状態を可視化することで工事調整・立ち会い等の効率化に寄与

1-3 3D都市モデル活用のマネタイズ手法

3D都市モデルの民間活用におけるマネタイズ手法については、コスト削減、売上向上といった直接的なマネタイズに加えて、ブランドや資産価値向上といった企業価値向上を図る長期的なアプローチも想定される。このため、これらのマネタイズ手法を検討・評価する際には、短中期的・直接的アプローチのみならず、長期的に期待される間接的な効果にも着目して検討することが重要である。

直接的なマネタイズ手法には、コスト削減と売上向上の両面が含まれる。コスト削減では、3D都市モデルをベースとしたプラットフォームの構築とこれを用いたオペレーションによる、現場情報の把握や人員・設備等のリソースの最適配置、工数削減、設計最適化による資材コスト削減等が想定される。また、売上向上の観点では、VR・ARを用いたバーチャル空間ならではの高品質な顧客体験の演出、バーチャル空間上でのマーケティングや広告等の顧客アクセスの拡大といったアプローチがある。また、中期的な取組としてはデジタルツインの活用による新製品・新サービスの創出が挙げられる。

より長期的な視点では、企業のブランド向上や保有スキル・資産等の企業価値向上の観点も考慮に入れるべきである。例えば、ブランディングの価値として、デジタルツイン上での先進的なデータ活用による技術企業としての対外的な打ち出しや、事業活動が周辺地域の多様な関係者に与える影響をシミュレーションし、それらを公開することによる企業イメージ向上などが考えられる。

上記の点に加えて、経時的にデータを蓄積し分析・利活用のケイパビリティを内製化して高めることは、将来的な事業収益性向上や新事業創出のポテンシャルに繋がるという観点で企業価値向上の一翼を担うといえる。

このように、3D都市モデルの民間活用にあたっては、短期的な効果のみならず、中長期的に享受可能なメリットを考慮して活用方針を立てることが重要である。

図1-3-1 マネタイズ手法の全体像

マネタイズ手法		説明	
直接効果	コスト削減	工数削減	【同じ品質を短時間で】 ・精緻な現場データ把握によりオペレーション人員等のリソース配分を最適化し総工数を削減
		事業費削減	【同じ品質を低コストで（事業費）】 ・現場情報を基に必要な資材等の最適化を通じて、事業費を削減
		費用単価削減	【同じ品質を低コストで（費用単価）】 ・現場情報を基に適したスペックの人員・物品・サービスを活用すること等で、費用単価の削減
		品質向上	【同じ時間で高品質に】 ・人流等の現場情報を基にリソース配分やリスク見積もりの計画や意思決定の精度を向上
売上向上	既存事業の拡大	客数増	【ユーザのバイ拡大、リピーター増】 ・バーチャル空間上での広告等、物理的制約を受けることなく顧客にアプローチし客数を増加
		客単価増	【財布の大きい層にリーチ、単価向上】 ・バーチャル空間ならではの高付加価値体験・サービスを提供し、客単価を増加
	新規事業の創造	【新事業や新市場創造】 ・3D都市モデルを実証実験として活用し、新技術のテストベッドとする等、新規事業を創出	
間接効果	企業価値向上	企業・サービスのブランド向上	【顧客にとっての企業価値向上】 ・先進テクノロジーを活用するプレーヤのポジションの確立により企業・ブランドへの好意度が向上
		保有資産価値・保有スキル向上	【投資家にとっての企業価値向上】 ・高付加価値サービス提供や、ケイパビリティ獲得による本業ビジネス運営や保有資産価値の向上
		周辺市場の活性化	【自社を取り巻く市場・エコシステム活性化】 ・広範な領域・エリアの3D都市モデル活用による市場全体の商品・サービスの流通量増加

1-4 3D都市モデル活用のユースケース

本項では、各業界のエキスパートに対して実施したインタビューの結果等を踏まえて、3D都市モデルの活用方法に関して既に各分野で検討されている内容や各業界の課題や研究開発テーマ等を踏まえたユースケースを紹介する。

図1-4-1 3D都市モデル活用のユースケース例

都市開発 建設	<ul style="list-style-type: none"> • 設計意図を伝えるためのコミュニケーションツール • ビル風等の環境シミュレーション • 3Dデータを活用したICT建機稼働 • 大型車両の工事現場までのルート検索 	小売	<ul style="list-style-type: none"> • 店舗周辺環境の人流シミュレーションによる出店判断・売上予測の精度向上 • コロナ禍等におけるVR店舗を用いた販路拡大
不動産 流通	<ul style="list-style-type: none"> • バーチャル内見や眺望シミュレーションによるバーチャル不動産内覧 • 災害時被害シミュレーション • 地価分析 	広告	<ul style="list-style-type: none"> • 人流/視死角シミュレーションを通じた広告効果測定によるダイナミックプライシング（通行料・閲覧回数で変動） • バーチャルコンテンツ上でのWeb広告表示 • 3Dを活用した効果的な広告サンプル作成
インフラ 管理運営	<ul style="list-style-type: none"> • 地下インフラを保有する複数事業者のインフラ情報の3Dマッピングによる工事効率化 • 送電網のデジタルツイン化による、インフラ管理効率化/周辺樹木伐採 • ダム等における危険地帯のインフラのデジタルツインによる管理 	金融	<ul style="list-style-type: none"> • 物件の担保価値・資産評価 • 店舗の立地等、投資対効果の事前検証 • リスクシミュレーションによる保険料率の最適化 • 事故情報の3D地図上マッピングによる事故リスクの高い地形/街区などの特定
通信	<ul style="list-style-type: none"> • 通信インフラの保全管理 • 実際の街並みの3Dモデルを活用した電波干渉度合シミュレーション 	防犯 防災	<ul style="list-style-type: none"> • 防犯カメラ情報等を3Dモデル上で統合した治安状況モニタリング • 被害状況・避難シミュレーションなどによるテロ対策や要員配置計画の検討 • 3Dモデルを活用した救助・救護活動支援 • 水害・津波・地すべり・火災などの災害シミュレーション
交通運輸 物流 観光	<ul style="list-style-type: none"> • 自動運転車用のマップ作成 • ドローン/輸送用ロボットの配送ルート設定 • 鉄道会社では、災害時の乗客の適切な避難/誘導の支援、車両疎開判断等 • 航空会社では、VR観光等による外国人観光客誘致、空港のバリアフリー化検討 	その他 (ウェルネス・食・農業など)	<ul style="list-style-type: none"> • 日照や傾斜を踏まえた最適なランニングコースの設定 • 施設内も含めた自動販売機の最適配置 • 日陰シミュレーションなど考慮した害獣・害虫繁殖シミュレーション

都市開発・建設・不動産流通分野

都市開発・建設分野はBIM（Building Information Modeling / 建築情報モデル）等の普及により、3Dモデルの活用検討では最も先行する領域の一つであり、一部では都市スケールでの3Dモデル構築・活用に既に着手している事例も存在する。

企画・設計から施工、維持管理まで様々なフェーズで3Dモデルの活用が検討されており、特に設計領域においては、防災・環境等のシミュレーションによる設計品質向上や多くのステークホルダーの間でのまちづくり情報の共有等で活用可能である。また、企画・設計時に構築したモデルを施工後のエリア管理業務等でも有効に活用する取組が始まっている【参考事例①】。施工領域では、ドローン等を活用した3D測量技術によりデジタルツイン上で計測や作業進捗管理が可能となることで、現場作業の大幅な効率化が期待される【参考事例②】。自動施工等のICT建機の機能強化や、資材配送車両のルート最適化等の施工現場作業の改善においても3D都市モデルは重要なインプットデータとなる。不動産流通の領域でも、遠隔内覧や購入前の環境・防災分析、地価分析等での活用が期待される。

インフラ管理運営・通信分野

電力・ガス・水道等のライフライン分野の事業者では、重要課題であるインフラの安定運用と管理コスト削減の両立のため、3Dモデルを活用したデジタルツインの構築・活用が検討されている。例えば、複数事業者の地下インフラ情報を統合した3Dマッピングによる工事業務の最適化・効率化や、遠隔地・危険地帯に存在する施設（ダム等）や分散して存在するインフラ（送配電網等）の状態監視や保守管理業務の効率化等が検討されており、3D都市モデルの活用が期待される。

また通信分野では、通信ケーブルや基地局等の基盤インフラの設備保全・工事効率化における活用に加えて、通信ネットワークの効率化（電波伝搬シミュレーション等）やスマートシティのデータインフラ等で3D都市モデルの活用が見込まれる。

交通運輸・物流・観光分野

鉄道輸送では、インフラ設備のデジタルツイン化により、センサーデータや沿線カメラの画像等のデータ集約、及び集約したデータの分析による効率的な保守計画の策定等において3D都市モデルの有効活用が注目されている。また、車両基地の地形の3Dモデリングによる高精度の洪水浸水予測や、災害時の乗客避難シミュレーション等といった、災害対応における活用の余地は大きい。

自動車輸送では、モデルの精度・詳細度や更新頻度を十分に高めることにより、自動運転AIの開発シミュレーションや、自動配送車両のルート指示・管理の基盤としての活用が期待される。

ドローン輸送では、飛行ルートの設定・管理の基盤としての活用余地を検証する取り組みが行われている。3D都市モデルを活用することで風況シミュレーションや通過、もしくはルートに近接する地上施設の属性等のより詳細・多様な条件を反映させた飛行ルート設定が可能になる。

観光関連では、コロナ禍の影響もあり、観光資源のアート化を含めたバーチャル観光や、観光施設や飲食店等のARガイドの分野での活用に期待が寄せられている。

小売・広告分野

小売分野では、コロナ禍における新たな販路としてVR空間上を活用した店舗出店・EC販売への期待が高まっており、実在の商業施設の3DモデルをVR店舗として活用することで、新たな購買体験やリアル店舗側への誘客に繋げる試みが行われている【**参考事例③**】。また、店舗周辺地域の人流分析・商圏分析等により、科学的な出店判断や精度の高い売上予測での活用余地も見込まれる。

広告領域では、従来定量的な広告効果の分析・評価が困難であった屋外看板広告等の掲示物について、VR空間上で効果を検証する取組や、広告掲載等の可能性が検討されている。

金融分野

金融分野では、保険領域を中心に建設物のリスク評価等での活用が期待される。例えば工場や倉庫等の災害リスクの把握、検証結果の保険料率への反映や、事故率の高い地形・道路・街区の特徴を踏まえた自動車保険の商品設計、交通事故ハザードマップの作製や周知等での活用が期待される。

防犯・防災分野

防犯分野では、海外の空港・駅などの大規模施設を対象に、防犯カメラ情報、人間の位置情報などを3Dモデル上で統合し、治安状況をモニタリングする試みが行われている。また、被害状況等に応じたテロ発生時のシミュレーションにより、避難ルート設計や要員配置計画の最適化が期待される。

防災分野では、地表面の高さ情報、地下空間情報などを用いて、水害・津波・地すべりなどのシミュレーションや、風況分析とあわせて火災延焼リスクのシミュレーションなど、万が一の事態への対応を検討する際に3D都市モデルを有効に活用することができる。また、災害発生の際に、発生前後の3Dモデルを分析することで状況把握や救助・救護活動、保険求償手続き等の迅速化に繋げる取組の実用化が始まっている。【**参考事例④**】

【参考】都市空間の三次元データを活用した取組の事例

参考事例① 三次元シミュレーションを活用した都市マネジメント - 大成建設

大成建設はダッソーシステムズ社が提供する都市計画向けのソリューションを活用し西新宿エリアや銀座エリアのデジタルツインを構築した。環境シミュレーションに必要な機能・データを具備してデジタルツイン化し、単一の建築物ではなくエリアの包括的なファシリティマネジメントへの展開を推進している。また、IoT等の新たなデータとの連動を図り、セキュリティや防災、地域活性化での活用を志向している。

図1-4-2 バーチャル空間上に再現された銀座の都市空間

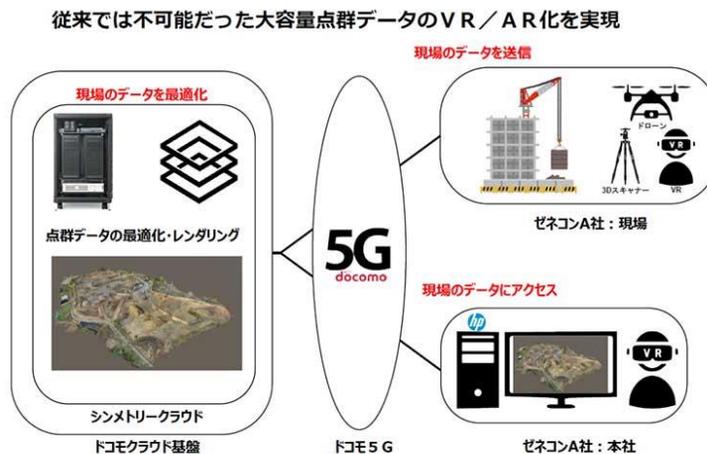


[出典：ダッソーシステムズ プレスリリース]

参考事例② デジタルツイン構築による建築・土木業現場の業務効率化 - NTTドコモ, Symmetry Dimensions

ドローンやレーザースキャナーで取得した大容量の三次元データを5G通信を通してクラウド上に集約しデジタルツインを構築する実証を実施した。デジタルツインの活用により現場に行かなくても現状把握・調査・測量等を行うことができ、移動時間や再測量といった業務稼働を大幅に削減することが可能となる。また、遠隔からの現場指揮など、建築・土木業界の業務効率化が期待される。

図1-4-3 5Gネットワークを介した三次元データの共有イメージ



[出典：NTTドコモ プレスリリース、Symmetry Dimensions プレスリリース]

参考事例③ 仮想空間上でショッピング体験を演出 - 三越伊勢丹

三越伊勢丹は世界最大級のVRイベントある「バーチャルマーケット」にて新宿本店を3Dで再現した仮想店舗を出店した。ユーザーに対して実際の店舗を訪れるような仮想体験を提供すると共に、実際の商品やアバターの着せ替えアイテム等の商品を取り揃え、仮想空間上での購買体験を演出した。

図1-4-4 三次元的に再現された新宿伊勢丹の外観



[出典：バーチャルマーケット「仮想伊勢丹新宿本店」ホームページ]

参考事例④ 三次元分析による洪水時の保険金支払判断の迅速化 - 三井住友海上

三井住友海上はArithmerと協業により、水害時の損害調査にドローンを活用した地表の3Dモデリング技術とAIによる流体シミュレーション技術を導入した。従来のように一件ごとに立ち合い調査をする必要なく、正確かつ迅速に広域の浸水高の算定を行うことが可能となり、保険金支払の判断迅速化を実現した（従来、1カ月程度要していた支払までの期間を最短5日まで短縮）。

図1-4-5 ドローン測量データによる浸水被害予測



[出典：三井住友海上 プレスリリース、Arithmer「浸水予測AIシステム」ホームページ]

第2章 3D都市モデルを活用した 民間サービス開発のポイント

本章では、2021年1月-3月に実施した「3D都市モデルを活用した民間サービス開発に向けた実証調査」（4章にて事例を詳述）で得られた成果を踏まえて、3D都市モデルを活用した民間サービス開発を進める際に検討すべき論点及び技術的に対応・対策すべき事項とその対応策を紹介する。また開発プロセスでの多くの論点の背景はCityGML形式で提供される3D都市モデルのデータの特性にあることから、まず2-1項で民間サービス開発において留意すべき3D都市モデルの仕様・特徴を記載する。

本章を参考にして頂き、民間サービス開発に取り組む事業者には、3D都市モデルを効果的に活用し、開発上の難所を円滑に乗り越えて市場への価値提供を実現して頂きたい。また、民間事業者との連携を想定してデータの整備・運用を行う地方公共団体には、整備するデータの仕様や運用方法の検討及び事業者の活用支援の際の参考としてご活用頂きたい。

2-1 民間サービス開発で特に理解すべき3D都市モデルのデータ特性

2020年度のProject PLATEAUによって整備された3D都市モデルのデータについては、G空間情報センター（<https://www.geospatial.jp/ckan/dataset/plateau>）においてオープンデータ化されており、政府標準利用規約又はCC BY4.0等のライセンスによって商用利用も含めて自由に利用できる。

本項は、民間サービス開発の視点で各事業者が3D都市モデル（CityGML）を円滑に利用するための「最初の障壁」を取り除くことを目的としている。そのため、3D都市モデルを利用する際に特に理解すべき仕様・特性をとりまとめている。

Project PLATEAUが提供する3D都市モデルは、CityGML形式によって整備されているが、民間分野で利用されているソフトウェアの多くはこの形式にネイティブ対応しておらず、未だ発展途上の段階である。さらに、3D都市モデルはCityGMLが定義する拡張仕様を利用して独自に拡張されていることもあり（参照：「3D都市モデル標準製品仕様書」）、その特性を理解いただくことが効果的な利用のための第一歩となっている。

① 各種ソフトウェアでの利用

民間サービスで利用が想定される各種ソフトウェア（ゲームエンジン、CGソフトウェア、CADツール、その他3Dプラットフォーム等）について、CityGMLにネイティブに対応したものはほとんどないのが現状である（参照：「3D都市モデルの導入ガイダンス」第5章）。そのため、CityGML形式の3D都市モデルを利用するソフトウェアに対応した形式へ変換することが必要となる（参照：「3D都市モデルのデータ変換マニュアル」）。

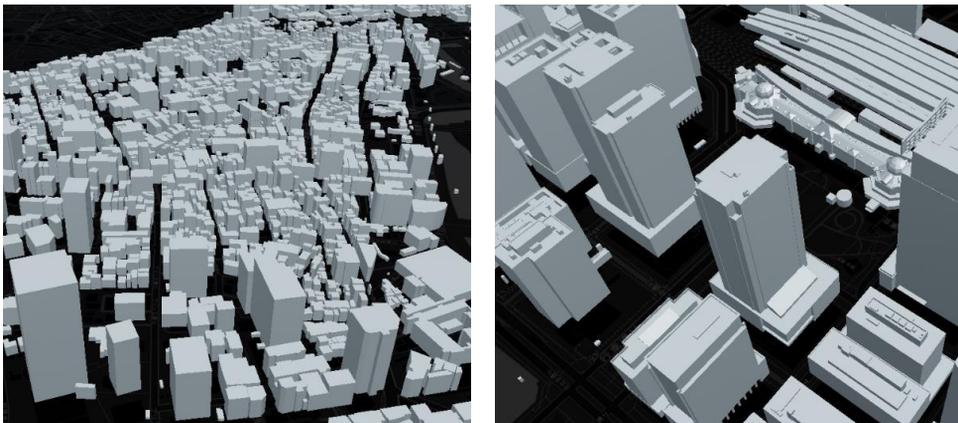
② 3D都市モデルのハンドリングに必要な基本仕様（抜粋）

3D都市モデルのデータ仕様の詳細については、「3D都市モデル標準製品仕様書」を参照されたい。ここでは、3D都市モデルのジオメトリモデル及びそのテクスチャの利用を中心としたサービス開発を行う場合に有用を思われる情報を記す。

- 3D都市モデルは大きく分けると3つの情報から構成されている
 - ジオメトリデータ、テクスチャ、セマンティクスデータ（属性情報）
- 供給される主な地物は4つである
 - 建物（3D、テクスチャ）、道路（3D/2D）、地形（3D）、土地利用（2D）

- ファイルフォーマットはCityGML形式 (.gml) である
 - CityGML2.0に準拠しその拡張仕様 (ADE) として定義されたi-UR1.4にも準拠する形である。CityGML2.0は地理空間データに関する標準化団体であるOpen Geospatial Consortium (OGC) が策定した3D都市モデルのためのオープンデータモデル及びデータ形式の国際標準である。
 - i-UR1.4は内閣府地方創生推進局がCityGMLの規則に基づき都市再生に必要なデータを拡張した Application Domain Extension (ADE) である。
 - テクスチャがあるエリアについては、テクスチャは別ファイルとして提供されている (.tif) 。
- 地物ごとにフォルダ分けされ、地域メッシュで分割される
 - 建物：第三次地域区画（一辺の長さ約1km）、建物以外の地物：第二次地域区画（一辺の長さ約10km）

図2-1-1 LOD1（左）とLOD2（右）の建物形状表現の差異



- LOD (Level of Detail) により建物等のジオメトリ表現の詳細度が分けられる
 - LOD1：建物図形を建物の高さで押し出した形状で表現
 - LOD2：屋根の形状を詳細に表現（側面の開口部は対象外のため玄関や窓などの形状はない）
 - LOD3：側面の開口部の形状を付与。
 - LOD4：外観だけでなく内部構造を再現。2020年度のProject PLATEAUでは一部の建物で表示のみされている（DL対応はされていない）。
- ※2020年度のProject PLATEAUでは、LOD1は比較的広域に整備され、LOD2は緊急整備地域等の一部に限定して整備されている。
- 3D都市モデルは公共測量作業規定に基づき航空測量等によって作成されているため、測量精度は下記の品質で統一されている。また、テクスチャ品質にも下記のような特徴がある
 - 精度は高さ方向がより高精度に測定されている
 - 水平方向：全ての250mサブメッシュについて標準偏差が1.75m以内（縮尺1/2500）
 - 高さ方向：全ての250mサブメッシュについて標準偏差が0.66m以内
 - テクスチャデータは、俯瞰ではリアルに表現されるが、アイレベル等の近距離では粗さがみられる。また、撮影時の日照によるコントラスト等の影響を受ける
 - 座標系（空間参照系）は以下で定義される
 - 日本測地系2011における経緯度座標系と東京湾平均海面を基準とする標高の複合座標参照系（EPSG:6697）で定義される
 - 平面座標系とは異なり水平方向は°（度）で定義されるため注意が必要である
 - 道路の起伏を表現する場合は地形データとの組み合わせが必須

- 中間フォーマットとしての性質が強い
 - CityGML形式はその性質上サイズが大きくなり処理も重く、3D都市モデルにおいてはテクスチャがない状態でも1ファイル100MB以上となるエリアも存在する。データ容量の大きさの主な原因は以下の3点である
 - CityGML形式はXML (Extensible Markup Language) と呼ばれる汎用の言語仕様で記述されており、可読性が高くエディタ等で容易に編集できる一方で、コンピューターの処理には最適化されていないためファイルサイズ・処理ともに「重い」ものとなっている
 - CityGML形式は都市をモデル化することを目的としていることから、建物単位でのファイルではなく都市スケールでファイルを区切っている。3D都市モデルの仕様では、建物データの1ファイルのカバレッジは第三次地域区画（一辺の長さ約1km）、建物以外の地物データは第二次地域区画（一辺の長さ約10km）とされており、例えば東京23区を600個ほどのメッシュで再現している。このことから1ファイルのファイルサイズが大きくなり、特に建物の多い都心部ほどデータが重くなる
 - 3D都市モデルでは一部の地域においてテクスチャが供給されている。CityGMLファイルはテクスチャを内包することはできず、外部ファイルを参照する形となるが、各壁面・屋根に対して1枚ずつ画像が割り当てられる。3D都市モデルにおいては、テクスチャを画質維持のためにTIFF形式で供給しており、1つの建物に対して最低5枚のテクスチャがあることから、一式としてのファイルサイズの大きさとファイルアクセスのオーバーヘッドを含めた処理重さに繋がっている

2-2 3D都市モデルの利活用に向けた課題と対応策

本実証調査においては、3D都市モデルを活用した7つのサービスについて企画から開発・利用に至る一連のプロセスを実行した。下記はその経験を踏まえて抽出した、民間サービス開発において事業者が検討・対応すべきポイントである。

[事業・サービスの企画・構想段階の検討ポイント]

- ① 事業将来像及びマネタイズモデルの検討
- ② 3D都市モデル活用意図の明確化と3Dデータに対する要件定義

[サービス開発段階の対応ポイント]

- ③ 利活用方法に応じたデータ形式変換・データ補完
 - 利用目的・利用環境に対応したデータ形式の変換
 - 可視化・演出方針に応じたテクスチャデータの補完
 - 可視化・分析内容に応じたジオメトリデータの補完
 - 空間認識技術（VPS）のバックデータとして利用する際の特徴点の補完
- ④ データの利用環境・デバイス等に応じたデータ保持方法の最適化
 - データ形式変換の際のデータ量削減処理
 - ゲームエンジンやCGモデリングソフトウェアで扱う際の適切なポリゴン構造の変換

[サービスの展開・利用促進における取組ポイント]

- ⑤ 地域の多数の事業者や住民・来訪者らの巻き込み
- ⑥ ステークホルダの整理とリーガルリスク対策

以降に上記の各項目について課題・論点と対応策を記載する。

[事業・サービスの企画・構想段階の検討課題]

① 事業将来像及びマネタイズモデルの検討

サービス企画にあたっては、3D都市モデルの活用を通して、中期的な発展も含めた事業展開やマネタイズ方法を構想した上で取り組むことが重要である。本実証調査を通じたサービス企画においても、各参画事業者の将来構想やマネタイズに向けたストーリー立てを踏まえてユースケースを具体化し、中長期の取組みの端緒として実証実験に取り組んでいる（各実証調査案件の目的や展開方針等の詳細は、「4章 3D都市モデルを活用した民間サービス開発事例」を参照）。

② 3D都市モデル活用意図の明確化と3Dデータに対する要件定義

3D都市モデルのデータは、三次元のジオメトリデータを用いた空間再現から、セマンティクスデータと連携したシミュレーションまで、様々なレベルで民間サービスに活用可能である。この点を踏まえ、サービス構想段階で3D都市モデルにより提供したい価値・機能を検討・明確化することが重要である。

また、3D都市モデルの活用意図に合わせた適切なデータ仕様の選択も必要となる。具体的には、データの詳細度（LOD1~4）やテクスチャ解像度、属性情報等に関して、使用するデータ仕様・要素を定義する必要がある。また、データの誤差精度やデータに含まれるオブジェクトの範囲（例：道路や信号等の付属物の有無など）等、利用可能なデータの仕様がサービスと整合するか確認し、不足する場合には別のデータソースからの補完を検討する必要がある。例えば、地図データを補完を検討する場合には、下記の事業者が提供しているデータライブラリやオープンソースで公開されているデータを利用可能である。また、本実証調査では、別途取得した画像データでテクスチャを補完した事例や、詳細なエリア構造物や建物構造内を再現した事例がある。

（参考）3D都市モデルを補完するための他の3D地図データの例

- G空間情報センター：産学官の様々な機関が保有する地理空間情報の流つの促進を目的とする機関で、幅広い業界・領域で約6,000のデータセットを公開（2021年3月現在）
- Open Street Map（OSM）：英国のOSM財団が発起したプロジェクトで、誰もが自由に利用・編集可能な地図データを公開している
- CAD Mapper：OSMや米国地質調査所（USGS）らが提供する地図情報をCAD形式で提供。小規模なデータ（1km未満）であれば無料で利用可能
- ゼンリン社『3D都市モデルデータ』：ゼンリンの詳細地図情報と専用車両で計測したデータにより、現実の街を忠実に3Dモデル化。各種センサーや全方位カメラを搭載した専用車両により、建物の形状や質感、道路の交通標識や路面ペイントまで収集。距離や位置情報を走行撮影により収集し、細部まで忠実に再現している
- NTTデータ社『AW3D』：広域性に優れた宇宙航空研究開発機構（JAXA）の陸域観測技術衛星「だいち（ALOS）」と、世界最高性能の衛星を運用する米国Maxar社の高精細な衛星画像を活用。広域性と高精細性を兼ね備えた全世界3D地図の提供を実現している

意図する表現方法や分析方法によっては利用環境（プラットフォーム）の選択が必要である。CGデータとして可視化表現を行う場合はゲームエンジンを活用するケースが多く、地図情報として利用する場合はGIS（地理情報システム）、設計等に利用する場合はCADツール等を用いる等、活用領域毎に適切なプラットフォームが異なる。

(参考) 3D都市モデルの活用が想定されるプラットフォーム例

[利用環境]

- ゲームエンジン : Unity、Unreal Engine
- 設計プラットフォーム : Oracle Aconex、Twinmotion
- GIS : ArcGIS、Cesium
- VPSプラットフォーム : Vuforia Studio、Immersal

[開発・加工環境]

- CADツール : Autodesk Revit、ARCHICAD、BricsCAD
- CGソフトウェア : Maya、Blender、RenderMan、3dsMAX

なお民間サービス開発実証調査では各案件のテーマに応じて図2-2-1に示すデータ仕様と利用環境によりサービスを構築した。

図2-2-1 民間サービス開発実証でのデータ仕様と利用環境 (2020年度)

テーマ	3D都市モデルの活用目的	利用プラットフォーム*	対象エリア	LOD	テクスチャ	データ加工内容
バーチャル都市空間における「まちあるき・購買体験」	アバターでの都市回遊体験のために都市構築素材として利用	[Sys] Twinmotion、Unity [Mod] Blender	新宿三丁目	2	10cm解像度	伊勢丹を中心とした複数建物をモデル詳細化
ゲーミフィケーションを通じた地域の魅力発信	アバターでのゲーム体験のために都市構築素材として利用	[Sys] Unreal Engine 4 [Mod] Blender、3dsMAX	銀座・東銀座	2	未利用	ランドマークとなる複数建物をモデル詳細化
AR/VRを駆使したサイバー・フィジカル横断コミュニケーション	アバターでの都市回遊体験のために都市構築素材として利用	[Sys] Unity [Mod] Blender	渋谷区 神南	2	10cm解像度	データ変換+動的エフェクト付与
空間認識技術を活用したAR観光ガイド	高精度ARを実現するためにバックデータとして利用	[Sys] Unity、Vuforia	札幌市 狸小路商店街	2	個別取得	独自三次元測定データとマージ
物流ドローンのフライトシミュレーション	フライトシミュレーションのための都市構築素材・データとして利用	[Sys] Unity	東京駅周辺	2	20cm解像度	データ変換のみ
工事車両の交通シミュレーション	シミュレーションのためのパラメータ・可視化素材のために都市構築として利用	[Sys] Oracle Aconex [Mod] BricsCAD	大阪市	1	未利用	道路モデルを追加
エリアマネジメントのデジタルツイン化	モニタリング情報の可視化のための都市構築に素材として利用	[Sys] Unreal Engine 4	竹芝/ 東京全域	2、4	未利用	竹芝エリアをモデル詳細化

* Sys : 利用環境、Mod : 開発・加工環境

図2-2-2 民間サービス開発実証でのデータ仕様と利用環境（2021年度）

テーマ	3D都市モデルの活用目的	利用プラットフォーム*	対象エリア	LOD	テクスチャ	データ加工内容
工事車両の交通シミュレーション Ver2	工事車両のルート情報との組み合わせによる物理的な干渉チェック	[Sys] Hexagon Luciad [Mod] BricsCAD	大阪市	1、2	未利用	信号、植生等の点群・詳細モデルを追加
大丸有 Area Management City Index (AMCI)	3D都市モデルを用いたデータビジュアライゼーション	[Sys] Three.js	大丸有エリア	2	未利用	コンシューマ向けビジュアライゼーションデータ
XRを活用した観光バスツアー	XR映像内の未来都市や海底都市世界といったバーチャル空間データとして利用	[Sys] RideVision	横浜市内 みなと みらい地区	2	20cm 解像度	モデル詳細化、テクスチャ等演出面での加工

* Sys : 利用環境、Mod : 開発・加工環境

図2-2-3 民間サービス開発実証でのデータ仕様と利用環境（2022年度）

テーマ	3D都市モデルの活用目的	利用プラットフォーム*	対象エリア	LOD	テクスチャ	データ加工内容
三次元データを用いた土砂災害対策の推進	点群データと突合し、建物の被災状況の分析、AR用のモデルデータとして利用	[Sys] Summetry Digital Twin Cloud	掛川市	1	未利用	データ変換のみ
XR技術を活用した市民参加型まちづくり	GISデータを表示するための基盤データ、AR用のモデルデータとして利用	[Sys] HoloMaps(CesiumJS)、Unity	八王子市	2	20cm解像度	データ変換のみ
防災エリアマネジメントDX	人流シミュレーションを行うためのマップに利用	[Sys] Unreal Engine+Cesium for Unreal [Mod] Rhinoceros、Blender+BlenderGIS	港区 品川駅北周辺地区	1	未利用	データ変換のみ
歩行者移動・回遊行動シミュレーション	歩行シミュレーションのための歩行ネットワークの生成に利用	[Sys] Unity [Mod] QGIS、Python	新宿区 西新宿エリア	2	未利用	BIMモデルとのマージ
容積率可視化シミュレータ	余剰容積率の算出に利用	[Sys] CesiumJS、 Babylon.JS [Mod] ArcGIS	西新宿地区・道玄坂地区・八丁堀地区	2	未利用	データ変換のみ
まちづくり教育ツール	ARタグ付けのための地物、ユーザーがデザインした建物を現実の建物に重畳表示するために利用	[Sys] Twinmotion、 Three.js、AR.js、 PLATEAU VIEW	港区高輪 ゲートウェイ駅周辺地域	1	未利用	データ変換のみ
地域エネルギーマネジメント支援システム	エネルギー消費量の予測のパラメータ素材として利用	[Sys] UC-win/Road	中央区 日本橋エリア	2	20cm解像度	データ変換のみ
都市AR空間とメタバースの連携プラットフォーム	CMS(コンテンツマネジメントシステム)、メタバースにおける都市空間の構築、ARにおける遮蔽(オクルージョン)表現に利用	[Sys] Unity [Mod] Blender	渋谷区 渋谷駅周辺	2	10cm解像度	頂点数の削減、テクスチャの加工
広告効果シミュレーションシステム	広告視認範囲の算出のパラメータ素材として利用	[Sys] Summetry Digital Twin Cloud、 STYLY	渋谷区 渋谷駅周辺	2	未利用	データ変換のみ

* Sys : 利用環境、Mod : 開発・加工環境

図2-2-3 民間サービス開発実証でのデータ仕様と利用環境（2022年度）

テーマ	3D都市モデルの活用目的	利用プラットフォーム*	対象エリア	LOD	テクスチャ	データ加工内容
3D都市モデルとBIMを活用したモビリティ自律運行システム	LiDAR SLAMによる自己位置推定のためのマップに利用	[Sys] ROS、Autoware、Unity [Mod] Python	川崎市扇町地区・大阪市夢洲地区周辺	2	未利用	BIMモデルとのマージ
ドローン最適ルートシミュレーション	ルートシミュレーションのパラメータ素材として利用	[Sys] TRJX (CesiumJS)	豊川市御油地区	2	20cm解像度	データ変換のみ
ドローンリアルタイム・ナビゲーションシステム	Visual SLAM・LiDAR SLAMによる自己位置推定のための事前マップに利用	[Sys] ROS、COSMOS (CesiumJS)	甲府市	2	個別取得	データ変換のみ
ドローンによる建築物外壁検査の支援	建物への直射光、反射光の日射状況のシミュレーションに利用	[Sys] UC-win/Road [Mod] Shade3D				
都市空間の統合デジタルツインの構築	ルート探索用のマップに利用	[Sys] Unity、Unreal Engine [Mod] Blender、CloudCompare	大阪市天満周辺・大阪市本町駅周辺	3	未利用	BIMモデル・点群データとのマージ
3D都市モデルの更新優先度マップ	3D都市モデルを更新すべき優先箇所の分析に利用	[Sys] PLATEAU VIEW [Mod] PyTorch、QGIS	東京都23区・郡山市・横浜市・沼津市・掛川市・大阪市・豊中市・久留米市	0	未利用	データ変換のみ
3D都市モデルを基礎としたIDマッチング基盤	住宅地図や航空写真から抽出した建物ポリゴンおよび3次元点群データとのマッチングに利用	[Sys] Flask、jQuery、Leaflet [Mod] PostgreSQL+PostGIS、QGIS	沼津市	2	未利用	データ変換のみ
AIを用いた3D都市モデルの自動更新手法の開発	公共交通に取り付けたLiDARやiPhoneから撮影した点群からの自動モデリングに利用	[Sys] Automated Modeling System [Mod] PyTorch、Open3D、Blender、CloudCompare	仙台市	2	未利用	データ変換のみ

* Sys : 利用環境、Mod : 開発・加工環境

[サービス開発段階の対応課題]

③ 利活用方法に応じたデータ形式変換・データ補完

- 利用目的・利用環境に対応したデータ形式の変換

3Dモデルの利用環境に応じてCityGMLから他のデータ形式に変換する必要があり、適切な変換ソリューション及び技術知見者を活用した作業が必要となる。

民間サービス開発実証調査では、OBJ、FBX、Datasmith、IFCといった各種データ形式に変換して活用するケースが見られ、データ変換に関しては、Safe Software社が開発したFME Desktop（拡張仕様に対応し3D都市モデルと完全互換の変換ツール）が使用された。FME Desktopを活用したデータ変換作業の詳細は、「3D都市モデルのデータ変換マニュアル」を参照頂きたい。

- 可視化・演出方針に応じたテクスチャデータの補完

3D都市モデルで構築したVR空間上でユーザに対して没入感ある体験を提供するためには十分なクオリティのテクスチャデータが必要だが、現段階では3D都市モデルが提供するテクスチャデータはアイレベルではややざらつきが目立ち、没入感が得られにくい。

そのため、コンシューマ向けの民間サービス開発実証調査では、リアル模写等で表面を張り替える、テーマに合わせたパターン着色を行う、遠景・夜景等の演出方法で工夫する、などの施策を各参画事業者が実施した。

また、地形データに関しては東京都23区等の一部地域では緻密な形状データ（1mメッシュ）が、大部分の地域では国土地理院が提供する基盤地図情報（数値標高モデル、5m～10mメッシュ）が用いられている。テクスチャデータについても提供されているが、VR空間上での都市回遊体験等で没入感演出するに当たっては精度が足りない場合もある。これに対しては、詳細な2Dの航空写真等を用いて地面のテクスチャを補完したり、CG化したりする等のアプローチが考えられる。

図2-2-2 VR上での没入感演出のための工夫



- **可視化・分析内容に応じたジオメトリデータの補完**

利用するオブジェクトが3D都市モデルによって提供されていなかったり、2Dデータである場合にはジオメトリデータの補完が必要となる。

例えば、道路データに関しては、現段階の3D都市モデルでは2Dデータとして提供されているため、道路の起伏構造を表現できない。道路データを3D化するため、3Dで展開される地形データに対して2Dの道路を投影し切り抜くことで地形に沿った3Dの起伏のある道路形状を再現したり、測量等の方法によって新規に道路構造物をモデリングしたりする必要がある。また、起伏が少ないエリアであれば、地形データにテクスチャとして航空写真等を貼り付けることで（道路形状は正確ではないものの）VR等で一定程度リアリティのある表現が可能となる。

- **空間認識技術（VPS）のバックデータとして利用する際の特徴点の補完**

ARアプリケーションの開発等で空間認識技術（VPS）を活用する際に、3D都市モデルをバックデータとして利用することが可能である。一方で、現段階で提供される3D都市モデル（LOD1～LOD2）では建物の側面形状が再現されていないため、3D都市モデル単独で位置認識のための特徴点を識別することは困難である。

民間サービス開発実証調査（4. 空間認識技術を活用したAR観光ガイド）では、3D都市モデル上の精緻な緯度・経度情報を持つ建物形状データに対して簡易的な三次元測量で追加取得した点群データとテクスチャデータを組み合わせることで、高精度なVPSを構築することに成功した。

④ データの利用環境・デバイス等に応じたデータ保持方法の最適化

- **データ形式変換の際のデータ量削減処理**

CityGML形式で提供される3D都市モデルは2-2で述べた通り、「ファイルフォーマットの特性」、「1ファイルのカバレッジの仕様」、「テクスチャ」の3要素によりファイルサイズ・処理ともに重いものとなっている。その対処としては、FME Desktopなどの変換ソフトウェアを利用し他のファイル形式（FBX、OBJ、等）に変換することで上記原因の回避が可能である。また、1ファイルのカバレッジの広さに起因する問題に関しても、FME Desktopを利用した変換時に建物ごとにファイル化あるいは緯度経度でクリッピング処理を行うことで処理の軽減・ファイルサイズの軽量化が可能である。

- **ゲームエンジンやCGソフトウェアで扱う際の適切なポリゴン構造の変換**

3D都市モデルをゲームエンジンやCGソフトウェアに取込んで扱う際にパフォーマンス低下や不具合が発生するケースがある。その要因の一つは、CGデータに最適化されたソフトウェアとCityGMLの間でのポリゴンの保持方法の違いによるものであり、それにより描画処理や衝突判定等に関わる演算で非効率やバグが発生するものである（CityGMLでは建物の立体形状を不必要に分割せずに多角形ポリゴンとして保持する一方で、CGソフトウェア等では三角形や四角形のポリゴンに分割して保持）。

そのためCGソフトウェア等で3D都市モデルを利用する場合は、FME DesktopやCGソフトウェア等を使ったポリゴン構造の変換処理が望まれる。

[サービスの展開・利用促進における取組課題]

⑤ 地域の多数の事業者や住民・来訪者らの巻き込み

都市のデジタルツインやバーチャル都市空間の構築・利活用に関する民間市場は立ち上がり段階にある。このようなタイミングにおいては、3D都市モデルを活用したサービス開発を個社に閉じた活動とせず、関連する事業者等とアライアンスを組む等しながら市場を育成する視点が求められる。特にバーチャル都市空間は、リアルな都市空間での活動と同様に様々なプレーヤらが参画することによってサービスの価値が高まるものである。また投資の効率性や地権者らへの許諾等の運用面からも共有資産としてのバーチャル空間の構築・活用が好ましい。これらを踏まえ多くの地域事業者や地方公共団体らを巻き込んだ取組みとして推進することが望まれる。

⑥ ステークホルダ整理・リーガルリスク対策

都市空間をスキャンしてバーチャル空間において再現し、これを商用利用することについて、現時点で明確な法規制等は存在しない。しかし、円滑な業務遂行を図る観点からも、データ取得時における施設管理権やプライバシー権などへの配慮が求められること、エリアや施設関係者からのクレームが発生しうることなど、一定のリスクについては認識が求められる。そのため、バーチャル空間の構築やそれを用いたサービス提供に際しては、関係するステークホルダを明らかにした上で、事前の許諾取得等の調整を図ることが望ましい。また今後、仮想空間上での法規制に関わる検討が進むことが予想されることから、議論の動向を注視していくことが必要である。

第3章 3D都市モデルを活用した 民間サービス開発の概要

3-1 民間サービス開発の目的

具体的なサービス開発の実証実験を通じて民間領域における3D都市モデル活用のポテンシャルを検証するため、2020年度、2021年度及び2022年度において下記27件のサービス開発実証調査を実施した。

本実証調査においては、具体的な調査計画を立案のうえ、3D都市モデルを活用したサービス/プロダクトの開発を行い、効果検証・将来の構想検討を実施した。また結果の取りまとめにあたっては、実証調査の結果のみならず下記の点についても分析・考察し、3D都市モデルの民間活用促進に向けた示唆を提示した。

- 検証方法・検証成果
- 3D都市モデルの活用方法・結果
- 将来展開の展望とチャレンジ

本章は、上記事業を通じて検証した3D都市モデルの活用方法の知見を共有することで、3D都市モデルを活用したサービス開発を検討している民間企業の取組の一助とするとともに、これらのサービス開発を政策に取り込む意欲を持つ地方公共団体の参考資料とすることで、更なる民間領域における利活用の促進を目的とするものである。また、「4章 3D都市モデルを活用した民間サービス開発事例」では、詳細の調査・検証結果とともに、各実証調査を進めるにあたり直面した課題やその対応事例など、実務上ヒントとなる情報についても掲載しており、併せて民間事業者によるサービス開発の参考資料として活用頂きたい。

ユースケース開発のテーマ及び実施企業

1. 三次元データを用いた土砂災害対策の推進（2022年度）
 - Symmetry Dimensions Inc.、株式会社パスコ
2. XR技術を活用した市民参加型まちづくり（2022年度）
 - 株式会社ホロラボ
3. 防災エリアマネジメントDX（2022年度）
 - 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
4. 歩行者移動・回遊行動シミュレーション（2022年度）
 - 株式会社構造計画研究所、大成建設株式会社
5. 容積率可視化シミュレータ（2022年度）
 - 株式会社キャドセンター
6. まちづくり教育ツール（2022年度）
 - 東日本旅客鉄道株式会社、インフォ・ラウンジ株式会社、株式会社日建設計、特定非営利活動法人放課後NPOアフタースクール
7. 大丸有 Area Management City Index (AMCI)（2021年度）
 - PwCアドバイザリー合同会社、株式会社アブストラクトエンジン（パノラマティクス）、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
8. 工事車両の交通シミュレーションVer.2（2021年度）
 - 株式会社竹中工務店
9. 工事車両の交通シミュレーション（2020年度）
 - 株式会社竹中工務店
10. エリアマネジメントのデジタルツイン化（2020年度）
 - 東急不動産株式会社、ソフトバンク株式会社

11. 地域エネルギーマネジメント支援システム（2022年度）
 - 株式会社日建設計総合研究所、株式会社フォーラムエイト
12. 都市AR空間とメタバースの連携プラットフォーム（2022年度）
 - 株式会社MESON、株式会社博報堂DYホールディングス
13. 広告効果シミュレーションシステム（2022年度）
 - Symmetry Dimensions Inc.
14. XRを活用した観光バスツアー（2021年度）
 - 京浜急行電鉄株式会社、株式会社シナスタジア、株式会社ネイキッド、KDDI株式会社、株式会社Psychic VR Lab、株式会社角川アスキー総合研究所、株式会社サムライインキュバート、横浜市都市整備局
15. バーチャル都市空間における「まちあるき・購買体験」（2020年度）
 - 株式会社三越伊勢丹ホールディングス
16. ゲーミフィケーションを通じた地域の魅力発信（2020年度）
 - 株式会社NTTドコモ
17. AR/VRを駆使したサイバー・フィジカル横断コミュニケーション（2020年度）
 - 株式会社MESON、株式会社博報堂DYホールディングス
18. 空間認識技術を活用したAR観光ガイド（2020年度）
 - 株式会社JTB、株式会社JTB総合研究所、凸版印刷株式会社
19. 3D都市モデルとBIMを活用したモビリティ自律運行システム（2022年度）
 - 株式会社竹中工務店、株式会社センシンロボティクス、アダワープジャパン株式会社、株式会社アルモ
20. ドローン最適ルートシミュレーション（2022年度）
 - 株式会社トラジェクトリー
21. ドローンリアルタイム・ナビゲーションシステム（2022年度）
 - 株式会社A.L.I. Technologies
22. 物流ドローンのフライトシミュレーション（2020年度）
 - 株式会社A.L.I. Technologies
23. ドローンによる建築物外壁検査の支援（2022年度）
 - 株式会社フォーラムエイト
24. 都市空間の統合デジタルツインの構築（2022年度）
 - 株式会社竹中工務店、株式会社日立製作所、株式会社gluon
25. 3D都市モデルの更新優先度マップ（2022年度）
 - 株式会社パスコ
26. 3D都市モデルを基礎としたIDマッチング基盤（2022年度）
 - 一般社団法人社会基盤情報流通推進協議会（AIGID）
27. AIを用いた3D都市モデルの自動更新手法の開発（2022年度）
 - Symmetry Dimensions Inc.、名古屋鉄道株式会社、中日本航空株式会社、宮城交通株式会社、国際航業株式会社、株式会社パスコ

3-2 民間サービス開発の事例概要

以降、実施したユースケース開発の概要を記載する。各案件の詳細については「4章 3D都市モデルを活用した民間サービス開発事例」を参照されたい。

1. 三次元データを用いた土砂災害対策の推進（2022年度）

Symmetry Dimensions Inc.、株式会社パスコ

概要

- 土砂災害等の災害が発生した際に、どの場所でのどの程度の土砂が流出し、どの程度の家屋が被害を受けているのかといった被害状況の把握は、現状では現地における目視や写真確認による方法が主に用いられており、迅速かつ的確な情報共有の課題となっている
- 今回の実証実験では、自治体の持つ住民情報を3D都市モデルに統合し、ドローン等を用いて取得した3D測量データを用いた解析を行うシステムを開発することで、被害家屋等の迅速な把握を可能とし、地方公共団体における応急対策や救助等における有用性を検証する

検証方法・検証成果

- 3D都市モデル上での住民情報の正確な可視化、及び点群データ化した3D都市モデル及び3D測量データの差分比較による被害住居検出を検証した。さらに、検出した被害住居情報の連携による、住民情報の確認も検証した
- 点群データを編集することで被害を再現した検証では、被災住居判定の閾値を面積比90%以下として実施し、検出率83%を確認することができた。誤検出は山沿いの斜面に隣接したいくつかの住居のみであり、高い精度で検出ができていたことが分かった。また有用性検証として防災業務に関連する方を対象にデモ・体験をいただき、被害状況の迅速な把握に活用できる可能性があるという評価を得た。また、AR被災状況可視化アプリについても、従来の目視による被害状況の把握に比べ、被害状況の把握に係る時間短縮の可能性があると評価を得た

3D都市モデルの活用方法・結果

- 3D都市モデルと災害時に撮影した点群データを重畳することで、被害を受けた住居の正確な位置情報を検出するベースとして活用。また、3D都市モデル上の建物に住民基本台帳等の情報を付与することで、被害を受けた住居の世帯情報を統合し可視化した
- 「住居が土砂を被る」という被害パターンの検出が難しく課題として残った。改善策として、同一地域の過年度の点群データとの地盤高の比較や3D都市モデルの建物の地面からの高さデータを現況点群データの値と比較を行い、被害住居検出率を向上させることが必要である

将来展開の展望とチャレンジ

- 本システムでは、土砂災害にフォーカスした被害住居検出アルゴリズムの構築を行ったが、洪水や津波など様々な自然災害での活用に合わせて被害住居検出方法の検討等の開発を進める
- また、将来的には災害発生後の被害状況の把握のみでなく、シミュレーション機能による災害時避難方法の事前検討や、気象情報との連動による適切なタイミングでの避難指示の発令を支援するシステムなど、災害による被害を最小限に抑えるためのシステムの拡張を目指す

図3-2-1 被災住居可視化システムでの被災住居検出結果の表示



3. 防災エリアマネジメントDX（2022年度）

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

概要	<ul style="list-style-type: none"> 地域の価値を維持・向上させるため、民間事業者が主体となってまちづくりを行うエリアマネジメントの取組が各地で進められている。しかし、こうした活動は事業者側の負担が大きく直接的な収益も生みにくいことから、活動の効率化・成果の見える化が課題となっている。特に、「安全安心なまちづくり」に向けた取組は、付加価値創出ではなくコストとして捉えられる傾向が強い 今回の実証実験では、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、エリア内防災計画の更新や合意形成における有効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を目指した
検証方法・検証成果	<ul style="list-style-type: none"> 品川駅北周辺地区の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を行い、今年度、新設する「高輪ゲートウェイ駅周辺地区広域連携連絡会」内の安全安心WGを実証の場として、避難のプランニングや合意形成をサポートする。都市再生安全確保計画の更新に向けて、計画初版の検証結果、継続検討課題の対応方針（計画更新の骨子（案））を資料としてとりまとめる。これらのフロー全体を通じて「課題解決×価値創造のプラットフォーム」としての有効性・有用性を検証した シミュレーション結果からまちの中の避難の阻害要因を持つ場所を特定し考察することで、示唆とその対策（ソフト面での対策）を導出した。さらに、安全安心WGにて議論する際、作成したビジュアル（静止画や動画）を用いたところ、施策の理解促進につながり、議論を深めることができた。このことから、シミュレーション環境を活用した計画検証の有用性や継続的なエリアマネジメント活動の必要性など多くの評価と期待を得ることができた
3D都市モデルの活用方法・結果	<ul style="list-style-type: none"> PLATEAUのLOD1から2をベースに、シミュレーションに重要な各階床・壁の情報や家具・什器等の入力のレベルを検証し、人流シミュレーションに活用するために必要なセマンティクス情報を整理提案する。計画建物においては、CAD/BIMから形状と必要属性をCityGMLに書き出し、シミュレーションを行い可視化する。今回、周辺建物はPLATEAUの3D都市モデルを用い、当該計画建物（シミュレーション対象）及び泉岳寺駅地区・4-2街区の建物はモデル化する シミュレーション環境構築にあたって必要となる3Dモデルの作成コストの高さが課題となった。特に建物内部を再現するために利用した建築物モデルLOD4の作成に当たっては、その元データとなったBIMモデルのデータ量が大きく、パフォーマンスに支障をきたした。また、BIMモデルのデータ量の削減に向けたポリゴン数の間引きにあたっては、データ構造上の理由から機械的に処理できず、手作業が必要となる部分が大きかった
将来の展望とチャレンジ	<ul style="list-style-type: none"> 計画検証のサポートツールとしての有用性が得られたことから、実証対象地区での継続的な使用や他の安確計画策定地区以外の不動産デベロッパーやエリアマネジメント組織への展開についても検討を進める 将来的には安確計画をはじめとした各種防災計画の立案・策定・更新業務に本シミュレーション環境を適用し、まちづくりのDXを防災観点でも推し進めていく

図3-2-3 大規模人流シミュレーション



4. 歩行者移動・回遊行動シミュレーション（2022年度）

株式会社構造計画研究所、大成建設株式会社

概要	<ul style="list-style-type: none"> 近年、全国的に「人間中心のまちづくり」が志向されているなか、その実現のためにさまざまなまちづくり活動（エリアマネジメント）が実施されている。エリアマネジメントを効果的なものとするためには、都市空間・歩行者の行動特性を理解することが必要である 今回の実証実験では、東京都西新宿エリアを対象として3D都市モデルを活用した歩行者行動シミュレーションを実施し、そのシミュレーション結果の分析と可視化によって、平常時・イベント実施時等におけるまちの賑わい創出のための施策の検討や検証を支援するツールを開発する
検証方法・検証成果	<ul style="list-style-type: none"> LOD2の3D都市モデルをベースとして拡張した西新宿3D都市モデルにおいて、歩行者の移動、回遊、賑わいをシミュレーションする環境を構築した。将来的な新宿再開発の計画検討での利用を想定し、西口駅前広場から都庁までの超高層ビル群を含む西新宿エリアを対象として解析を行い、想定計画シナリオを入力とした、時間帯別の滞留人口、流動人口を推定した 人流シミュレーションにおける精度検証は、平常時とイベント時に分けて実施した。検証の基となる実データとしては、KDDI Location Analyzerから取得した平常時の人流データを利用した。シミュレーション結果と実データをヒートマップ形式に変換して比較したところ、70%以上の一致が確認された。これは、出発地から目的地までを最短距離で行動する経路選択モデルよりも高い一致度であった。このことから、今回開発した歩行者の可視範囲を考慮した経路選択モデルの再現性が高いことがわかった
3D都市モデルの活用方法・結果	<ul style="list-style-type: none"> 歩行者の行動シミュレーションに活用する歩行可能空間、及び3D都市モデル上の歩行者の視野を、歩行者の移動経路の推定に活用した。また、3D都市モデルの属性データを、属性に応じた歩行者の移動経路の推定にも活用した 3D都市モデル上で人が動く様子とともに、通行量の変化を示すヒートマップやグラフを表現することで、俯瞰的に人流の通行量の変化を把握し、ポイントとなる箇所の人流を直感的かつ詳細に確認することができた。自治体やエリアマネジメント団体からは、都市計画・まちづくりの場面での合意形成の円滑化に活用できるといったコメントがあった。一方で、人流シミュレーションの実行と3D可視化ツールにおける可視化がシームレスに連携したシステムとなっていないなど、実用化に向けた課題も明らかになった
将来の展望とチャレンジ	<ul style="list-style-type: none"> 今後は行政やデベロッパー等を主体とした他地域へ展開していくため、更に精緻なシミュレーションの実装や3D可視化ツールのエクスペリエンス改善などのブラッシュアップを検討していく。将来的にはウォークブル・コンパクトなまちづくりの実現のため、歩行回遊性や賑わい創出のための施策検討、交通施策の検討や防災分野での活用など、都市計画・まちづくり分野において幅広く人流シミュレーションを展開し、EBPM（証拠に基づく政策立案）の推進を目指し、社会実装に向けた技術検証を進めていく

図3-2-4 歩行者の回遊行動シミュレーションによる人流の可視化



5. 容積率可視化シミュレータ（2022年度）

株式会社キャドセンター

概要

- 近年、マンションの老朽化の急増が問題視される中、維持管理の適正化とともに、建替えの円滑化によるマンション再生の重要性が高まっている。マンション建替円滑化法の施行により老朽化したマンションの建替ルールが整備されているものの、マンション所有者同士の合意形成及び建替えまでの実行プロセスの難易度がハードルとして存在している
- 今回の実証実験では、3D都市モデルの建築物モデルや都市計画モデルを解析し、建物の未消化容積率を直感的でわかりやすく可視化するアプリケーションを開発することにより、マンション所有者及び民間事業者による開発余地の把握を可能とし、建替え・有効活用等の活性化への寄与を目指す

検証方法・検証成果

- 高さ規制、斜線規制、指定容積率・建蔽率等をインプットデータとし、敷地単位で最大限土地を利用した場合の建物高さ・形状等を三次元的に可視化し、これを3D都市モデルに重ね合わせて解析することで、都市全体の中で容積率が未消化のエリアを検証する。また、容積率可視化の手段として3Dビューワー上で表現することで多くのユーザにとって利用しやすい仕組みを検証した
- 本システムによって生成された容積ボリュームと、建築設計業務の通常の方法で計算される容積ボリュームとの比較により、本システムが前提とする条件と一致する建築物については、90%を超える一致度が得られた。また、サービスの有用性検証としてヒアリングおよびアンケート調査を実施した結果、可視化による直感的な分かりやすさや、専門知識が無くても建築計画や都市計画などの初期段階の検討へ活用できることなどについて評価を得た

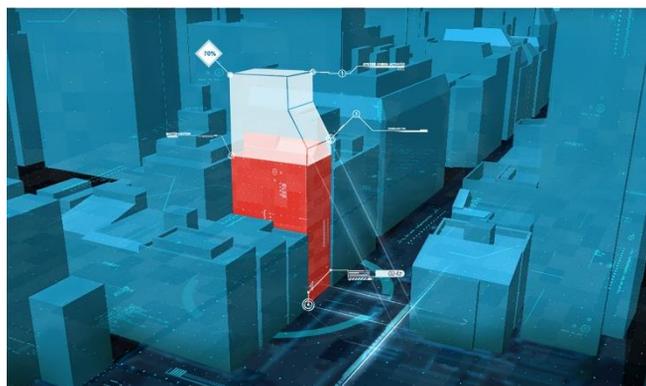
3D都市モデルの活用方法・結果

- 3D都市モデル（建物データ）をGeoJSONに変換してボリューム生成に使用する
- 本実証実験に用いた3D都市モデル（建築物モデルLOD1、LOD2）には、多くの属性情報が含まれており、容積率算定及び余剰比率評価に使用することができる
- 属性の拡張は2Dレベルでも高さに関する情報を持つことはできたが、本データは座標、線分や面など幾何形状を示す数値情報を有するジオメトリ性と、各々の形状に対しての意味（属性）が付与されたセマンティクス性が一元化されており、加えて現実の地理空間情報としての位置座標を有していることから3D地図化が容易にできるため、デジタル空間上で現実的な都市空間を再現することができる

将来の展望とチャレンジ

- 本システムの実用化に向け、日影規制、道路斜線の緩和措置、天空率等の多様な法規制への対応や、複数敷地をまとめた建て替え検討への対応など、現実に即した条件設定が可能なように開発を進めていく
- 個別建物の開発余地の確認のみならず、都市全体の土地利用状況の把握や面的な再開発検討など、都市構造の再生を検討する際にも本ツールは有用であると考えられる。このような多様な利用を普及していくため、ユーザが利用しやすいサービスとしての完成度を高めていく

図3-2-5 3Dでの未消化容積ボリュームの重畳



6. まちづくり教育ツール（2022年度）

東日本旅客鉄道株式会社、インフォ・ラウンジ株式会社、株式会社日建設計、特定非営利活動法人放課後NPOアフタースクール

概要	<ul style="list-style-type: none"> 都市における生活や働き方が多様化する昨今、様々な市民が主体的にまちづくりに関与していく市民参加型まちづくりの重要性がますます高まっている。参加意識の向上の観点からは、特に次世代のまちづくりを担う子どもたちに対するまちづくり教育の充実が重要である 今回の実証実験では、地域の子どもたちを対象として、3D都市モデルを活用したまちづくり教育ツールを開発し、市民参加型まちづくり促進を目指す
検証方法・検証成果	<ul style="list-style-type: none"> 児童向けのまちづくり教育ツールとして、高輪ゲートウェイ駅周辺地域の街並みがわかる3D都市モデルを構築し、児童向けにUI開発したARタグ付けアプリと3Dモデリングツールを整備した。上記ツールを用いた教育プログラムを企画のうえ、教育現場で展開し、児童の地域への愛着醸成とデジタルリテラシーが向上したか検証した ARタグ付けアプリを用いたフィールドワークでは、各生徒が主体的にフィールドワークによる地域理解や魅力の発見に取り組む様子がうかがえた。今回のアプリでは現実に存在する建築物等の地物に紐づけて情報を作成・管理できるため、タグ付けの意図や狙いをより解像度高く表現することができた。建物のデザインワークでは、Twinmotion上で三次元空間としてビジュアライズされた静止画や動画を活用することで、生徒たちのプレゼンテーションの幅を広げることができ、成果発表会の参加者にとっても、発表内容の理解を深める助けとなった
3D都市モデルの活用方法・結果	<ul style="list-style-type: none"> デジタルツイン・3D都市モデルを使って効果的なコミュニケーションを行うために必要なレベル感を導出する 展開図からオリジナル建物をデザインし、3D都市空間上に簡単に表示できる仕組みは多くの生徒から好評であり、これにより、体験価値の向上だけでなく、アイデアのオリジナリティが増すなど、先生から普通の授業でアイデア出しを伴う場面と比較してアウトプットの質・量ともに向上したという評価を頂き、アウトプットの質・量の改善に対する有用性が確認できた
将来の展望とチャレンジ	<ul style="list-style-type: none"> 今回の教育プログラムがデジタルリテラシー向上及び街への愛着醸成に対して有用であることが確認された。今後はまちづくり教育プログラムとして広く展開していくとともに、教育現場以外でも多様な市民参加型のまちづくり検討用ツール・プログラムとして応用範囲の拡大を目指す

図3-2-6 3Dモデリングソフトと連動させたTwinmotion内でのアイデア再現



7. 大丸有 Area Management City Index (AMCI) (2021年度)

PwCアドバイザリー合同会社・株式会社アブストラクトエンジン (パノラマティクス) ・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

概要	<ul style="list-style-type: none"> 3D都市モデルの持つ「一目瞭然」に「エリア」を可視化する特徴を活かしてエリアマネジメント活動のビジュアライゼーションを行い、企業や個人の参加促進を図るプラットフォーム“Area Management City Index (AMCI)”の開発を行う AMCIを用いることで、本地区で開催している「大丸有SDGsACT5」期間中にユーザーに付与されるポイントアプリデータ等をビジュアライズ・発信し、企業や個人の活動への参加促進効果を検証する
検証方法・検証成果	<ul style="list-style-type: none"> 大丸有エリアを起点にSDGs達成に向けた活動を推進する「大丸有SDGs ACT5」期間中のメンバーポイントアプリデータ等をもとに取得した、エリア内のポイント発行数、人流、SDGs活動への貢献指標等を3D都市モデル上にビジュアライゼーションするウェブアプリを開発した WebGL技術を用いた3D都市モデル及び動的データのビジュアライゼーションによる見栄えのするビジュアルを快適なパフォーマンスで提供することが可能となり、Webサイトの閲覧者からの評価も高かった。個人や企業にエリアマネジメント活動への参加を促すツールとして、3D都市モデルを用いたデータビジュアライゼーションの高いポテンシャルが導き出された
3D都市モデルの活用方法・結果	<ul style="list-style-type: none"> 3D都市モデルが現実空間のデジタルツインであることを活かし、都市内の「どこで何が行われているか」をビジュアルに表現する基盤として活用した また、ポイント発行数や人流、SDGs活動への貢献指標等の都市活動に関するデータを美しく表現するデータビジュアライゼーションを実現するための基盤としても活用することが出来た
将来展開の展望とチャレンジ	<ul style="list-style-type: none"> 解像度の高い都市活動データを用いた魅力的なビジュアライゼーションにより、エリアマネジメント活動への共感ある参加を促すために、AMCIに重畳する活動データの種類の追加や新機能追加など、効果的なシティプロモーションツールとしての成長を目指す また、全国のエリアマネジメント等での活用可能性を高めるため、運用面の自動化やシステムの汎用性の改善を図っていく

図3-2-7 AMCIの活用イメージ



8. 工事車両の交通シミュレーションVer.2 (2021年度)

株式会社竹中工務店

概要

- 2020年度に開発した3D都市モデルを用いた工事車両の搬入経路シミュレータをさらに進化させ、地域住民の安全・安心や施工業者の円滑な資材搬入を実現する建設物流プラットフォームの構築を実証した。
- 将来的には3D都市モデルを活用することで、大規模建設工事において地域住民の安心と円滑な工事の両立を可能とする「建設物流プラットフォーム」を構築し、各所の建設工事へ展開していくことを目指す。

検証方法・検証成果

- 前年度に開発した工事車両の搬入経路シミュレータのバージョンアップとして、今年度はユーザーインターフェースの改善、対象エリアの拡大、干渉チェック機能を実装し、大規模な建設工事を想定した業務シミュレーションを実施した。
- 3D都市モデルを活用した工事車両のルートシミュレーションサービスは、工事業者にとつては主に環境アセスメントや工事計画における車両アクセス経路の決定に、運送業者にとっては現地調査や事前の大型車両通行シミュレーションに活用することで業務を効率化・高度化に有効であることが確認された。

3D都市モデルの活用方法・結果

- 道路設備、樹木、電柱・電線等の道路上に存在するオブジェクトを3D都市モデルとして整備し、工事車両のルート情報と組み合わせることで物理的な干渉チェックを行った。
- 工事車両のルート検討の際の参考資料としてシミュレーション結果を活用することが出来た。また、車両の通行という観点だけではなく、施工計画や施工シミュレーションへも活用できる可能性が高いということも確認された。

将来展開の展望とチャレンジ

- 3D都市モデルを活用したさらなる工事車両の運用管理、シミュレーションへの適用範囲の拡大
- 3D都市モデルとリアルタイム情報の融合による工事現場内外の移動円滑化サービスの展開
- 3D都市モデルと自動自律走行可能ロボットとの融合による効率的な輸送サービスの展開
- 本事業の想定実行タイムラインは、今後の大阪の都市開発での活用を念頭に開発を進め、実用化後は関西圏、さらには全国展開することを目標として進めていく
- 今回の実証調査において、ルートシミュレーションサービスとして実現できていない機能については、今後詳細な要件を決め、本格サービス導入に向けて実装を検討していく

図3-2-8 騒音シミュレーションとルートシミュレーションの結果

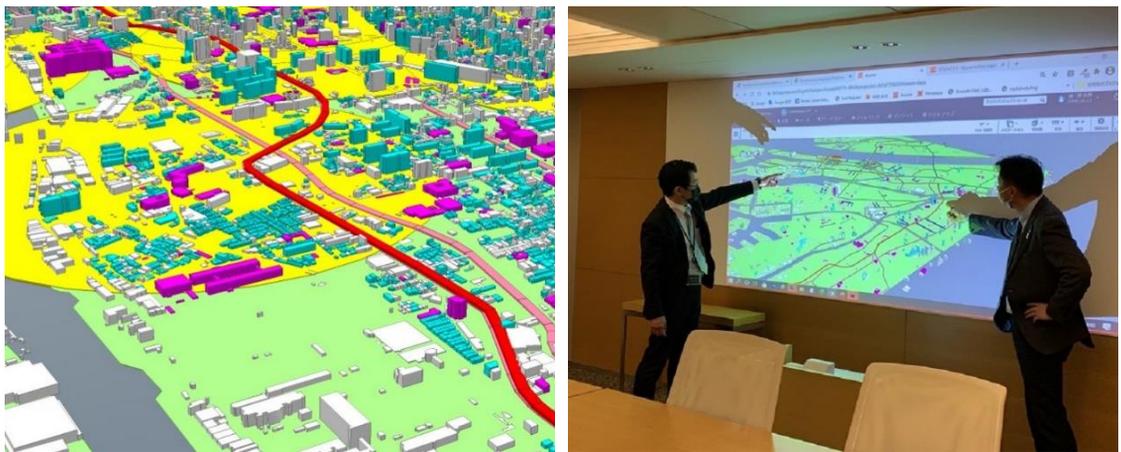


9. 工事車両の交通シミュレーション（2020年度）

株式会社竹中工務店

概要	<ul style="list-style-type: none"> 3D都市モデルを活用して、大阪市内の建物や道路、橋、高架等のオブジェクトをシステムに取り込むとともに3D都市モデルが持つ「都市の属性情報」をパラメータに取り込んだ工事車両のルートシミュレータを開発した 将来的には、大規模建設工事において地域住民の安心と円滑な工事の両立を可能とする「建設物流プラットフォーム」を構築し、全国の建設工事へ展開していくことを目指す
検証方法・検証成果	<ul style="list-style-type: none"> 3D都市モデルを活用して、物理的通行可否に加えて騒音レベルや周辺住民の生活圏・通学路等を考慮した最適ルートシミュレータを開発 本シミュレーションが複雑な搬入計画・調整業務の効率化に資することを確認した。また住民・運送業者等への調査により本システムがわかりやすく・付加価値の高い情報提供を可能とし、周辺住民の安心や工事への理解促進に資することを確認した 一方、実用化に向けた論点として、既存交通や通勤車両等の条件の追加考慮や、シミュレーション結果を踏まえた工事計画の改善手法の検討等が整理された
3D都市モデルの活用方法・結果	<ul style="list-style-type: none"> 大阪市西部域の3D都市モデル（LOD1）をIFC形式に変換のうえ設計プラットフォームに取り込んで活用。三次元広域MAPとしての活用に加えて、騒音シミュレーションやルート制約となる属性情報（通学路・住宅地等）の抽出において使用した 3D都市モデルのジオメトリデータによりシミュレータ構築がより簡便・迅速に行えることに加え、パラメータとしてセマンティクスデータを活用することでより精緻なシミュレーションが可能となることが確認された
将来展開の展望とチャレンジ	<ul style="list-style-type: none"> 今後、シミュレーションのパラメータの拡充・精緻化を行い、建設物流プラットフォームの実用化に向けた検討を進める意向 今後の検証では、実用化に向けたシミュレータ機能の改良を図る。特に既存交通に対して影響の大きな大型車両への適用を重視し、詳細な3Dコンテンツの充実により現実に即した精緻な交通シミュレーションを実施する（道路・歩道・並木といった交通路の詳細化、及び信号・案内板・電柱・電線といった情報の付加等）

図3-2-9 建設物流シミュレーションと利用シーン



10. エリアマネジメントのデジタルツイン化（2020年度）

東急不動産株式会社、ソフトバンク株式会社

概要	<ul style="list-style-type: none"> 3D都市モデルを活用し東京ポートシティ竹芝・周辺エリアのエリアマネジメントのデジタルツイン化を目指し『バーチャル竹芝』を構築した ビル管理業務の効率化やエリア来訪者の利便性向上など、街区単位でのマネジメント高度化を図る竹芝地区で今後70年間続くまちづくりのシミュレーションやエリア全体のマネジメント高度化での活用を目指す
検証方法・検証成果	<ul style="list-style-type: none"> バーチャル竹芝を活用し、エリア来訪者向けのルート案内表示機能と、警備員向けの混雑状況・要注意者検知情報・警備員位置情報の管理機能を実装。エリア来訪者の利便性向上や警備員駆け付け業務の効率化を検証した 実証調査により、3D都市モデルを活用することで街の状況をより分かりやすく的確に把握できることに繋がり、まちの課題解決とより良い環境の提供に繋がる可能性が示された 今後の事業化に向けて、バーチャル竹芝のモデル精度向上、取り込みデータ・機能の拡張（シミュレーションなど）、他事業者の巻き込みの必要性といった論点が整理された
3D都市モデルの活用方法・結果	<ul style="list-style-type: none"> テクスチャ付きのLOD2データをSHP形式に変換のうえゲームエンジンに取込んで活用し、広域100km²の都市空間をバーチャル上に再現した 竹芝エリアマネジメント地区は同データを元に建物形状や街並を詳細モデリングし精緻化。特にエリアマネジメント活動の中核となる東京ポートシティ竹芝はBIMデータをベースとしたLOD4の3D都市モデルにより、建物の内部構造・周辺デッキまでを詳細に表現 上記により、東京ポートシティ竹芝内外の接続が没入感高くシームレスに実現された
将来展開の展望とチャレンジ	<ul style="list-style-type: none"> 本実証の結果を踏まえ、デジタルエリアマネジメントの実現に向け、バーチャル竹芝の更なるエリア拡張・街区情報の取り込みを行う。先端のテクノロジーを街全体で活用してエリアの発展や課題解決を実現し、スマートシティのモデルケースの構築を加速させていく方針 今後、エリアマネジメント活動の経済効果の可視化・定量化をバーチャル竹芝を通じて明らかにし、まちの課題解決や新たな価値の創造というエリアマネジメント活動の役割をより一層果たすとともに、まちの持続的発展への貢献、活動領域の拡大を図る

図3-2-10 構築した3Dモデルとルート案内のイメージ



11. 地域エネルギーマネジメント支援システム（2022年度）

株式会社日建設計総合研究所、株式会社フォーラムエイト

概要

- カーボンニュートラルや分散型電源の普及などの背景により、建物単位から街区・エリア単位での地域エネルギーマネジメントのニーズが高まっている
- 今回の実証実験では、3D都市モデルを活用し、地域全体のエネルギー需給予測や地域の省エネ対策の効果分析・可視化などを行う地域エネルギーマネジメント（REM）の支援システムを開発する

検証方法・検証成果

- 3D都市モデルの属性データやジオメトリデータを活用し、地域エネルギーマネジメントを普及・実現するための検討ツールを開発した。開発したツールは、エネルギーマネジメントのベース機能（エリアのエネルギー需給把握、省エネ対策やデマンドレスポンスの実施等の効果分析、可視化など）を具備し、簡易な操作でエリア単位の分析を可能としている
- エネルギー予測モデルの精度検証では、3D都市モデルを活用したエネルギー需給推計モデルは、導出された推計値と実績データを比較検証することで類似研究以上の予測精度を達成し、地域エネルギーマネジメントに使用するのに十分な精度である事が確認された。可視化ツールの有用性と効果については、ワークショップでのツール体験、アンケート・ヒアリング調査により、「在宅誘導によるエリア内需要の削減」や「照明の利用の抑制」といった様々なREMメニューの効果検証をリアルタイムに行い、比較検討できる点が非常に有効であることがわかった

3D都市モデルの活用方法・結果

- 様々な3D都市モデルを活用しデジタルツイン上で可視化する
- 3D都市モデルを活用し、直感的にエネルギー需給量と分布把握することが可能であることが確認された。また、エリアの環境認証を3D都市モデルと重ねて可視化することで、地域エネルギーマネジメントへ参画が見込まれる建物を俯瞰的に特定することができ、エネルギーマネジメントの範囲拡大等の検討が可能となる

将来の展望とチャレンジ

- 将来的には、LOD3以上の3Dモデルの活用し、建物の外装を考慮したエネルギーの負荷計算や、スマートメーターの実績データ（街区単位での電力消費量データなど）との融合などより高精度の推計方法を目指したい。また再エネの予測機能を実装することによって、エネルギーの地産地消など地方都市に適応できるようなメニューの実装も開発していきたい。さらに、省エネやデマンドレスポンスのメニューの最適化支援に向けて合意形成のプラットフォームとの連携により参画者を増やし、地域エネルギーマネジメントの実現・普及拡大を目指したい

図3-2-11 地域事業者の環境認証取得状況の可視化



12. 都市AR空間とメタバースの連携プラットフォーム（2022年度）

株式会社MESON、株式会社博報堂DYホールディングス

概要

- 3D都市モデルを活用して、都市空間に紐づけられたARコンテンツを提供可能なウェブベースのコンテンツマネジメントシステムを開発し、これと同期したバーチャル空間をウェブ上で構築することで、現実空間とバーチャル空間が相互にフィードバック可能なメタバース空間を構築。
- これにより、物理的距離や時間の制約を超えて誰もが参加・交流のできる都市AR空間とメタバースの連携プラットフォームを提供し、ロケーションへの訪問喚起や都市の魅力向上への貢献を検証する。

検証方法・検証成果

- 開発したシステムを用いて、CMS/アプリの活用が想定される事業者にとっての有用性と、アプリを使用して体験に参加するエンドユーザーにとっての有用性を検証した。
- 精度検証により、都市空間内でキャラクターやアート作品などを建物の形状に合わせて表示することや、店舗や観光スポットなど街に関する情報をピンポイントで表示するようなユースケースで、十分にCMSとARアプリを活用可能な精度が担保されることが確認できた。
- また、当初想定していたイベント向けの活用に加え、ユーザーが日常的に使用できる「街のメディア」（偶発的に都市の情報に出会えるメディア）として当プラットフォームを活用しうることが示唆された。

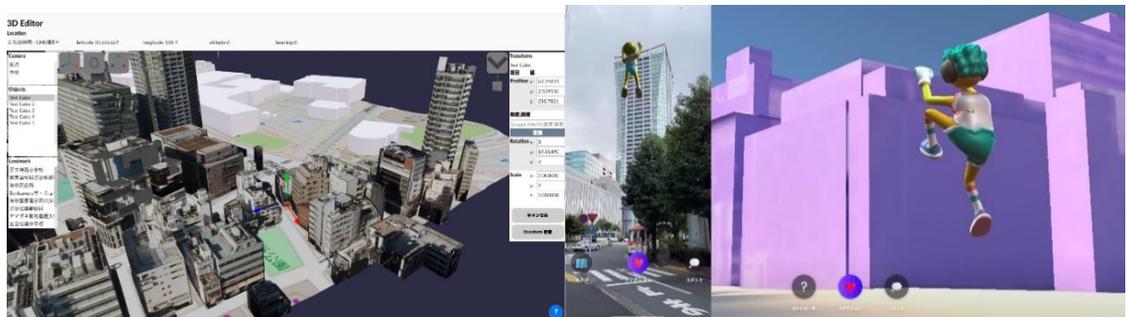
3D都市モデルの活用方法・結果

- CMSでは、3D都市モデルを3Dエディター上に配置し、3D都市モデルのもつ座標情報と現実の位置情報をリンクさせる処理をすることで、3D都市モデルを位置合わせの基準としてCMS上でARコンテンツの配置が可能となる。
- モバイルARアプリケーションは、ARコンテンツの表示及び3D都市モデルによるコンテンツの遮蔽（オクルージョン）の表現を実現。
- CMS側の3D都市モデル自体の形状・寸法の正確さによる精度と、ARアプリ側のGeoSpatial APIの位置合わせ精度により、高精度でのコンテンツ表示が実現できた。

将来展開の展望とチャレンジ

- ロケーションオーナーやコンテンツホルダーの企業と連携しながら、プラットフォームとしての提供価値の向上や機能開発を進め、特に、IPコンテンツの活用や、店舗・商業施設での販促などにおけるパブリックな企画・イベントを開催することで、プロダクトの継続的な改善を行うとともに、アプリケーションの対応エリアを拡充していく。
- また、令和2年度のProject PLATEAUにおいて構築した「GIBSON」の技術を活用し、リアルタイムコミュニケーションやアバターコミュニケーションの要素を組み合わせるなど、3D都市モデルを活用したより没入感の高いバーチャル空間を構築する方法を模索しながら、XRの体験を身近なものとして全国への普及拡大を目指す。

図3-2-12 コンテンツマネジメントシステム（CMS:左）とWebメタバース環境（右）



13. 広告効果シミュレーションシステム (2022年度)

Symmetry Dimensions Inc.

概要

- 3D都市モデルと人流データを組み合わせた空間解析により、OOH広告及びAR広告の効果を測定するシミュレータを開発。
- 同シミュレータを外部の広告管理・配信システムと接続するためのAPI開発、将来のAR広告の社会普及に必要な整理すべきルールに関する論点整理等を行うことで、広告ビジネスにおける3D都市モデルの有用性を検証する。

検証方法・検証成果

- 広告効果シミュレーションシステムは、都市空間における遮蔽物を考慮した広告物視認エリアのシミュレーションを実現し、人流データから広告の被視認量を効果として定量化するなど、広告配信時の想定リーチ数の算出を可能にしている。
- また、現実空間へのAR広告配信が可能なシステムとの連携により、3D都市空間における周辺環境を加味した広告配置検討及び広告効果を事前に測定し、広告掲載検討業務を効率化することができ、広告代理店や広告主など屋外広告物の出稿検討を行うユーザーからは、効果的な広告掲載箇所の検討に有効であるという評価を得た。

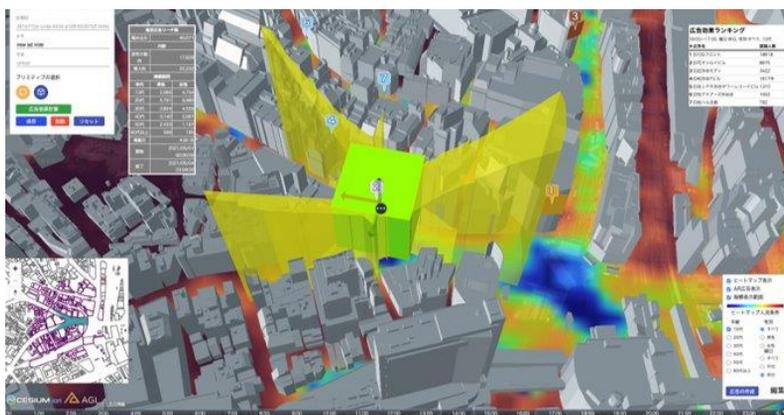
3D都市モデルの活用方法・結果

- 3D都市モデルの建築物LOD2モデルのジオメトリを利用した広告効果シミュレーションシステムと、ARコンテンツ管理・配信システム「STYLY」に、同様の3D都市モデルの建築物LOD2モデルを読み込むことで、システム間連携を実現。
- 3D都市モデルを利用することで、周辺建物、道路状況を確認しながら広告掲載の検討が可能になり、広告掲載検討業務をより精度高く行うことが可能となる。

将来展開の展望とチャレンジ

- 今後の実用化に向けて、人流データに含まれる他の属性情報を入力パラメーターとして追加、業界団体とシミュレーション実施時の基準策定、指標検討を行い、広告効果シミュレーションの精度を高める。
- 将来的なガイドライン策定に向けた議論及びシステムの機能向上を継続的に行うことで、広告主、広告代理店等のステークホルダーの価値を毀損せず、広告を見る一般の方にとってもメリットのあるAR広告体験を生み出していきたい。

図3-2-13 AR広告効果シミュレーションの様子



14. XRを活用した観光バスツアー（2021年度）

京浜急行電鉄株式会社、株式会社シナスタジア、株式会社ネイキッド、KDDI株式会社、株式会社Psychic VR Lab、株式会社角川アスキー総合研究所、株式会社サムライインキュバート、横浜市都市整備局

概要	<ul style="list-style-type: none"> • 現在、観光産業は厳しい状況にあるが、ポストコロナを見据えた地域経済の活性化に向けて文化・自然等の既存の観光資源とデジタル技術の掛け合わせによる体験価値の向上や観光消費額の増加に向けた取組が行われている • 今回の実証実験では、3D都市モデルをベースに横浜・みなとみらいエリアのメタバースを構築し、これをオクルージョンとして利用したXRコンテンツを開発した。さらに、XRコンテンツをオープントップバスと組み合わせた観光バスツアーとして提供することで、そのサービス価値の検証を行った
検証方法・検証成果	<ul style="list-style-type: none"> • 2021年12月～2022年1月の定期運行ツアーとして3社（京浜急行電鉄株式会社、株式会社シナスタジア、株式会社ネイキッド）で販売実証を実施。横浜・みなとみらいエリアのメタバースは、3D都市モデルと独自に取得した高精度三次元点群地図データを位置合わせすることで構築。移動体・屋外という特殊環境下においてAR・VRコンテンツを提供するため、3D都市モデルをオクルージョンマスクとして利用する技術検証を実施した • 体験品質の向上にあたっては、オリジナルの3D都市モデルデータより高いLODへの加工を行い、世界観に合わせたテクスチャ等の演出を施したが、映像制作コストの低減や、より没入感の高い体験へつなげることができた。また、PLATEAUデータの活用を含む4つのオクルージョン技術の開発は順調に進み、顧客満足に十分な精度でのオクルージョンを実現
3D都市モデルの活用方法・結果	<ul style="list-style-type: none"> • XR観光コンテンツを配置するための位置合わせや、オクルージョンマスクとして3D都市モデルを活用した。 • 3D都市モデルは位置精度が担保されているため、特に高層建物が密集する都市部におけるオクルージョンマスクとしての利用に適しており、同様のサービス開発における工数削減効果が期待できる。
将来展開の展望とチャレンジ	<ul style="list-style-type: none"> • 5G技術を用いたデバイスのシンクライアント化、キャリブレーションソフトウェアのフルオート化、Googleなどハードウェアの無線化・軽量化等のさらなる技術開発を目指す。また、3D都市モデルを活用することで、低コスト化とコンテンツ力を両立させ、実際に一般の乗客を動員して収益を上げることに成功したツアー事例は数少なく、他の地域や乗り物でのXRを活用した観光ツアーを行い、事業の水平展開を図っていく

図3-2-14 AMCIの活用イメージ



15. バーチャル都市空間における「まちあるき・購買体験」（2020年度）

株式会社三越伊勢丹ホールディングス

概要	<ul style="list-style-type: none"> 「バーチャル伊勢丹」の仮想世界を拡大し、3D都市モデルを活用して新宿三丁目エリアを中心とする都市スケールの「バーチャル新宿」を構築。仮想空間における購買体験や回遊体験等の都市機能を提供する ECのためのモールプラットフォームに閉じず、教育・行政サービスまで網羅した、エリア居住者の生活行動に密着したサービスを提供する仮想世界の構築を目指す
検証方法・検証成果	<ul style="list-style-type: none"> 被験者に対し、バーチャル上での新宿周辺地域の移動体験や、リアルに再現した都市空間上での街並み景観・EC店舗情報等のコンテンツを提供。またアバターによる接客型ECの体験や実際の催事と連動したバーチャルイベントを実施し、体験価値を検証した 実証調査により、3D都市モデルを活用して仮想空間上で没入感のある回遊体験を提供でき、周辺エリアの魅力の認知拡大や立地店舗のECへの誘客に繋がられる可能性を確認した 事業化にあたって、EC・実店舗への誘客に繋げるマーケティング手法や、アバター接客の運用方法、多くの事業者の巻き込みによる価値強化などの課題を整理した
3D都市モデルの活用方法・結果	<ul style="list-style-type: none"> 新宿エリアのテクスチャ付きLOD2データをFBX形式へ変換し、仮想空間の制作補助データや景観として活用した 3D都市モデルの正確な大きさ、高さ、座標とテクスチャをモデル制作の補助として利用することで仮想空間構築の工数が大幅に削減された また俯瞰・遠景及び夜間・車窓などの条件では景観として没入感を損なわないクオリティであったので、データ変換のみでそのまま取り込みリアリティを演出することができ、コスト面・工期の面で非常に有用であった
将来展開の展望とチャレンジ	<ul style="list-style-type: none"> 三越伊勢丹では、バーチャル都市空間上で回遊体験や購買体験に限らず多様な都市体験を提供し得るプラットフォームの構築・事業化に向け、さらなる検証を進めていく方針 今後バーチャル空間上の体験を高めるべく、日本のおもてなし文化・ホスピタリティ溢れる接客を伴う購買体験や、新宿という都市の魅力や日本ならではのメディア・コンテンツの活用を図る <p>(参考) 仮想都市空間サービス“REV WORLDS”β版を2021年3月にローンチ</p>

図3-2-15 3D都市モデルで表現した新宿三丁目エリアと回遊体験



16. ゲーミフィケーションを通じた地域の魅力発信（2020年度）

株式会社NTTドコモ

概要

- 3D都市モデルを活用し再現された街全体をユーザ自身のアバターでダイナミックに駆け回る“パルクール”のゲーム体験を通して、地域の歴史・文化に触れながらその魅力を発見する体験を提供する
- 現実の都市と連動したコンテンツやユーザ間のコミュニケーションを通じ、これまで接点なかった人々の現地訪問への関心を喚起し、地域活性化につなげることを目指す

検証方法・検証成果

- 「バーチャル銀座」を舞台としたゲームアプリを構築し、バーチャル空間での回遊体験におけるゲーミフィケーションの効果等を検証した
- 実証調査により、アイテム獲得やパルクールなどのゲーミフィケーションがバーチャル空間での回遊促進につながることで、またバーチャル空間での体験が現地訪問への関心喚起につながることを示唆された
- 一方で、サービス開発における環境として、建物等をバーチャル空間に再現する際の所有者や地権者に対する許諾の必要性等に関する法制度面の未整備が課題として識別された

3D都市モデルの活用方法・結果

- 銀座周辺のLOD2データをDatasmith形式へ変換してゲームエンジンに取込み、ゲームの舞台となるリアルな銀座の都市空間を構築した。また今回は、没入感演出のために各建物をパターン着色した
- 3D都市モデルにより街の構造や建物の位置関係等をバーチャル空間上での再現を精緻かつ効率的に構築できることが確認され、他都市展開の容易性も示唆された
- 一方で、CGデータに最適化されたソフトウェアとCityGMLの間でのポリゴンの保持方法の違いによる不具合（描画処理や衝突判定等に関わる演算で非効率やバグ）が発生が確認され、ゲーム活用における課題が識別された

将来展開の展望とチャレンジ

- アフターコロナにおける消費者行動のオンライン化を見据え、スマートフォンによる自分自身の3Dアバター生成やバーチャル空間周遊に関する技術開発を進めている。これら技術と3D都市モデルと連携し、多様な非日常体験（ゲーム・街の周遊・バーチャルイベント・コミュニケーション・購買等）を提供する新たな顧客接点の構築を図る
- 今後、街の魅力を再発見する機会の提供や現地訪問の動機付けにつなげるための更なる仕掛けづくりを模索していく

図3-2-16 銀座を舞台にしたVRゲーミフィケーション

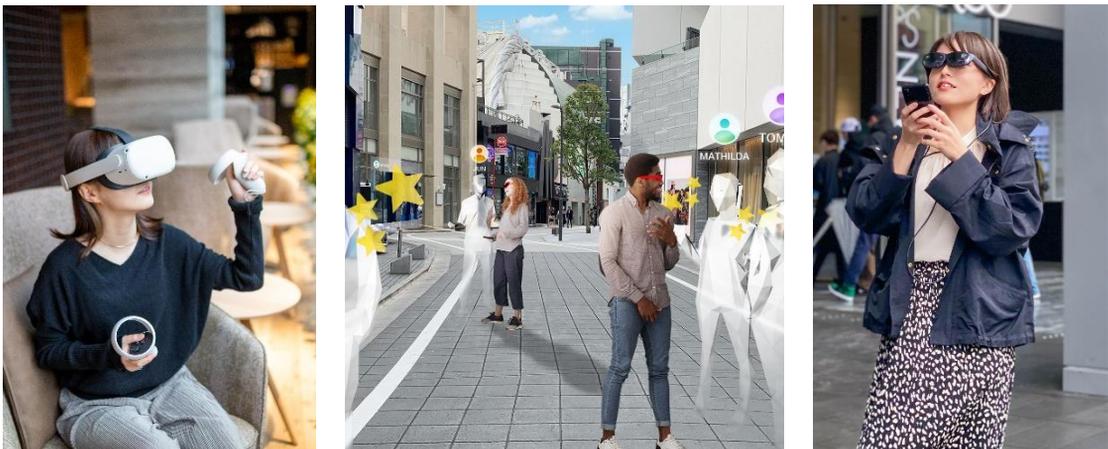


17. AR/VRを駆使したサイバー・フィジカル横断コミュニケーション（2020年度）

株式会社MESON、株式会社博報堂DYホールディングス

概要	<ul style="list-style-type: none"> 遠隔地のVRユーザーと現実世界のARユーザーが同じ空間で場を共有しているようなサイバー・フィジカル横断でのコミュニケーション体験を3D都市モデルを活用し都市スケールで提供する コロナ禍においてフィジカルな移動・接触が制限される中、観光やイベント、コマースといった産業にも活用できるコミュニケーションの基盤技術の構築を目指す
検証方法・検証成果	<ul style="list-style-type: none"> 渋谷神南地域を対象に、VRのサイバー空間、ARの現地を横断し同じ空間を共有しているかのような周遊散歩やコミュニケーションによる付加価値や円滑性を検証した。また都市空間に紐づく情報コンテンツを配置し都市の魅力発見に対する効果を検証した 実証調査により、AR/VRを用いて空間を共有しながら周遊することが、ユーザー同士の親密感の醸成や街に関する発見・愛着の増加につながることを示唆された 一方で、VPS技術を用いたユーザー同士の位置認識の補正・精度担保、ユーザー間の情報共有機能強化など、体験の向上に向けた課題も明らかになった
3D都市モデルの活用方法・結果	<ul style="list-style-type: none"> 3D都市モデルをFBX形式に変換してゲームエンジンに取込み、渋谷神南地区をバーチャル空間上で再現した 緯度経度が正確な3D都市モデルを活用することで、ARとVRユーザの位置同期やコンテンツ空間配置が広域かつ効率的に実現された 一方、アイレベルでの没入感を演出するには現在の3D都市モデルのテクスチャデータの解像度が不足することが明らかとなり、主要建物については別途取得した高精細テクスチャを貼り付けて対応した
将来展開の展望とチャレンジ	<ul style="list-style-type: none"> 本実証調査を受けて今後システム面の拡張（エリアの広域化、多人数接続等）の開発・実証を進めるとともに、コミュニケーション体験の向上、エンタメや買い物などの都市体験を充実させるコンテンツの実装に向けた更なる検証を進めていく 3D都市モデルを基盤としたAR/VR技術を組み合わせたサイバー・フィジカル横断コミュニケーションを新たなサービスモデルに発展させることで、サイバー空間からフィジカル空間への新たな導線となるコミュニケーションプラットフォームの実現を目指していく

図3-2-17 VR/ARを活用した遠隔コミュニケーションのイメージ



18. 空間認識技術を活用したAR観光ガイド（2020年度）

株式会社JTB、株式会社JTB総合研究所、凸版印刷株式会社

概要	<ul style="list-style-type: none"> 3D都市モデルをバックデータとして活用してVPS（空間認識技術）を構築し、ARを活用した飲食店ガイドとモバイルオーダーシステムを組み合わせたスマートフォン向けアプリを構築した 安心安全な飲食・観光体験による地域経済の発展への寄与を目指し、お店探しからメニューの注文まで自身のスマホで完結する「非対面・非接触」サービスを提供する
検証方法・検証成果	<ul style="list-style-type: none"> 札幌市の狸小路商店街を対象とし、被験者にAR飲食店ガイドアプリを体験利用してもらうことで、観光体験の向上や観光需要の喚起における有用性を検証した 実証調査を通して、ARガイドやモバイルオーダーにより、利便性を担保しつつ非対面・非接触による安全・安心の提供が可能となることが確認された 事業化にあたり、ユーザーの認知拡大や飲食事業者へのモバイルオーダー普及等、地元の人とのふれあいと非対面・非接触を両立した観光体験の在り方の検討の必要性が明らかになった
3D都市モデルの活用方法・結果	<ul style="list-style-type: none"> 3D都市モデルをバックデータとして活用して対象エリアのVPSを構築した なお現在の3D都市モデルが提供するジオメトリやテクスチャだけではVPSに必要な特徴点を十分に抽出できないことも確認された（建物外部形状の詳細度不足、時間による明るさの変化、視線位置/歪み等の影響） 3D都市モデルが保有する正確な位置情報とベース形状に、簡易三次元測量データを合わせることで高精度なVPSをスピーディに構築できることが確認され、今後他都市展開の可能性も示唆された
将来展開の展望とチャレンジ	<ul style="list-style-type: none"> 本実証調査の結果を踏まえ、より満足度が高く思い出に残る旅行体験を提供するニューノーマル時代の新たなサービスとして、全国各地での事業化に向け検討を進める 今後、対象施設の拡大（寺社仏閣、城、観光施設等）に加え、観光型MaaS等の他サービスとの連携や多言語対応等の機能拡充を行い土地勘がない観光客に安心感と満足感を提供するサービスとして開発を進める方針 更に、バーチャルな観光体験の提供や目的地の魅力発信など、VR空間を活用した観光ソリューションの領域でも3D都市モデルの活用を志向

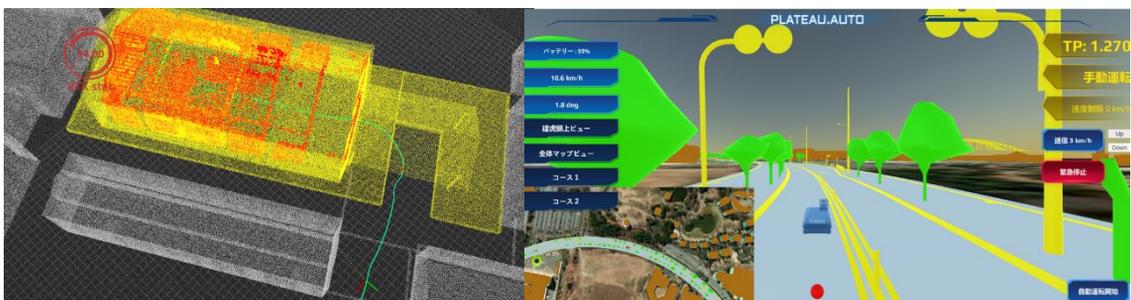
図3-2-18 ARガイドの表示イメージと利用シーン



19. 3D都市モデルとBIMを活用したモビリティ自律運行システム（2022年度） 株式会社竹中工務店、株式会社センシンロボティクス、アダワープジャパン株式会社、株式会社アルモ

概要	<ul style="list-style-type: none"> 都市部における建設工事では資材運搬等による交通渋滞が課題となっており、自律運航可能なドローンや無人搬送車両（AGV）の活用による解決が期待されている。 資材運搬等を担うドローンやAGVの自律運行を可能とするため、LiDARやGPS等のセンサーと3D都市モデルを利用した自己位置測位を組み合わせた運航システムを開発する。
検証方法・検証成果	<ul style="list-style-type: none"> ドローンの自律飛行では、飛行スタートからゴールまでの間に複数のウェイポイントを設定し、屋外から屋内の飛行を連続的に行うコの字型の飛行ルートを作成。ドローン本体下部に設置したカメラから地上のウェイポイントに設置したマーカーを読み取り確認する方法により、高精度な飛行ができていることを確認した。 無人搬送車両(AGV)自律走行では、3D都市モデルから生成した点群マップと、LiDARセンサーにてエッジ側で取得された点群とをマッチングさせることで自己位置推定を行うAutowareを活用した自律走行システムを構築し、自律走行が可能であることを確認した。
3D都市モデルの活用方法・結果	<ul style="list-style-type: none"> ドローンの自律飛行では、3D都市モデル・BIMモデルをマップとして利用するLiDARによる自己位置測位を行う仕組みをフルスクラッチで開発し、屋外から屋内までシームレスに自律飛行することができた。 無人搬送車両(AGV)自律走行では、3D都市モデルを配置した仮想空間をUnity上で構築したデジタルツインビューワーを開発。3D都市モデルのみから作成した点群マップでの自己位置推定を行い、自律走行が可能であることを確認できた。特に、道路の両脇に特徴のある建物がある場合、あるいは建物が周りになくとも植樹・道路標識がある場合に自己位置推定の精度が向上することが確認できた。
将来展開の展望とチャレンジ	<ul style="list-style-type: none"> さらなる実用化に向けて、効率面と安全面において大きく高めた運搬システムサービスを新しく生み出すとともに、汎用性の高い本システムをその他のサービスへ横展開していく。 ドローンについては、特徴点の多い、より精緻なBIMモデルと3D都市モデルを組み合わせたマッチング精度向上の手法を構築し、GNSS測位が不安定な高層ビルに囲まれた都市部における自己位置推定の実用化を目指す。 無人搬送車両については、自律走行に必要な点群マップ生成にかかるコストを下げつつ、自動運転の普及に資する基盤構築を目指す。

図3-2-19 ドローン自己位置推定時のRvizによるモニタリング（左）と搬送車両の自律走行時のデジタルツインビューワー（右）



20. ドローン最適ルートシミュレーション（2022年度）

株式会社トラジェクトリー

概要

- 3D都市モデルを活用して、グラウンドリスク、風況、電波伝搬状況等の複合的なリスク要素を評価値として空間上にマッピングし、安全性の高いルートを生成するシミュレータを開発することで、誰もがドローンを安全に飛行させることができる社会の実現を目指す。

検証方法・検証成果

- 3D都市モデルの建物用途及び土地用途を活用し、地上にドローンが落下した場合の損害想定規模から算出するグラウンドリスク、ドローンの安全な飛行の妨げとなる風況の乱れや電波干渉といったエアリスクを算出し、飛行に関わる複合リスクを最小化できるルートを自動生成する最適ルートシミュレーションシステムを構築した。
- 本システムを用いて、リスクを回避する最適な飛行ルート（地図や現場の目視では発見しづらい文教厚生施設などを確実に迂回する飛行ルート）が自動的に導出されることを確認した。

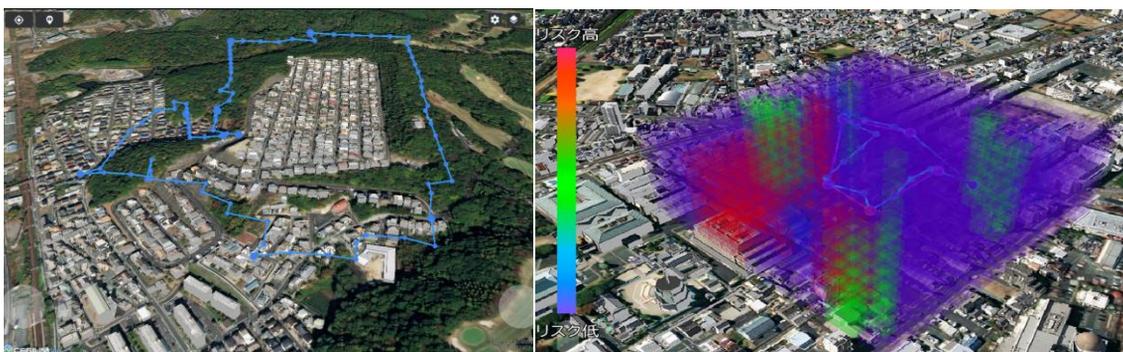
3D都市モデルの活用方法・結果

- 3D都市モデルに付与されている属性情報のうち、建築物モデル及び土地利用モデルの用途を用いて、グラウンドリスク値の算出を行った。
- また、電波リスク算出のための電波伝搬シミュレーションにおいて、3D都市モデル（建築物LOD1、地形LOD1）を建物・地形による電波の遮蔽と減衰の計算に利用した。
- 地上の構造物の情報は、目視による地図確認、パイロットの現地調査、自治体を通じての住民確認等を経て得ていたが、3D都市モデルを用いる事で容易に取得可能となり、更にはそれらのリスクを反映した飛行ルートも自動算出される事で、高精度で安全な飛行に寄与することが確認できた。

将来展開の展望とチャレンジ

- 3D都市モデルが整備済みエリアの電力・鉄道・道路等の公益事業者のインフラ保守点検業務にドローンを活用することで、遠隔監視や点検作業の省力化に資するサービスの提供を目指したい。
- 今後の実用化に向けては、効率的なデータベース構築技術の開発と、新たな探索アルゴリズムの継続的な研究を進め、より広域での空間リスクの算出とルート探索が可能となるよう注力していく。

図3-2-20 ドローンルートシミュレーション



21. ドローンリアルタイム・ナビゲーションシステム（2022年度）

株式会社A.L.I. Technologies

概要

- 2022年度からドローンのレベル4飛行（有人地帯での補助者なし目視外飛行）が解禁され、ドローン運用の安全性の要請が一層高まっている。
- 今回の実証実験では、3D都市モデルを活用したドローンの自己位置を高精度に推定する自己位置測位システムを開発し、それらの処理をサーバーで処理してエッジに配信する技術検証を行う。

検証方法・検証成果

- 3D都市モデルを活用したドローンの自律飛行を実現するためのエッジ側に、搭載可能なLiDAR SLAMシステムとVisual SLAMシステムの開発を行い、ドローンのペイロードの増加を目的とした両SLAMの演算処理をサーバー側で行う仕組みを構築した。
- 3D都市モデルとSLAM技術を用いることで、これまでGPS単独では衛星からの電波が建物や地表等で反射し、複数の経路で受信されることで生まれるマルチパス誤差などが発生し、安全性を担保することが困難と考えられていた都市部での飛行においても、高い精度で自己位置推定を保つことができ、3D都市モデル・SLAM・ドローンと組み合わせることの有用性が確認された。

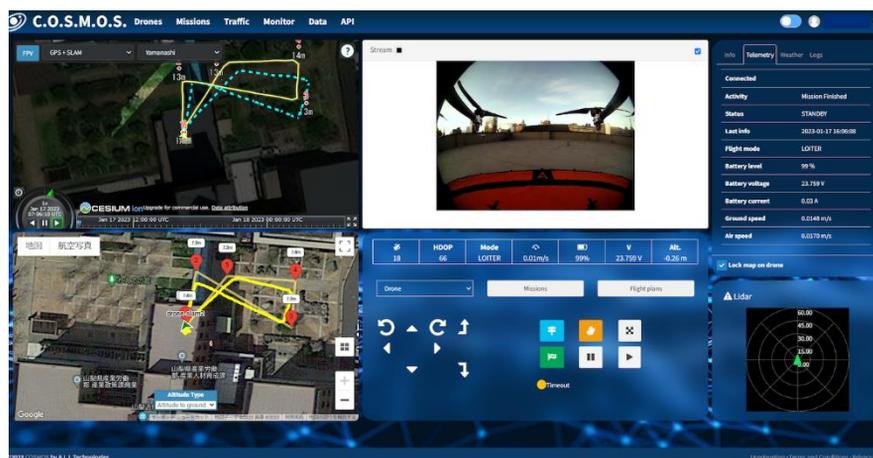
3D都市モデルの活用方法・結果

- LiDAR SLAMシステムでは、事前に3D都市モデルを、Octomapライブラリを介して軽量化したマップデータとしてプリロード（事前地図化）して利用した。
- Visual SLAMシステムでは、3D都市モデルは事前にシミュレーション上でVisual SLAMを行い、環境地図情報を作成することで、実際のVisual SLAMを行う際の事前地図を得るという方法をとっている。
- また、LiDAR SLAMシステムの精度検証では、3D都市モデルとLiDAR SLAMを用いることでGPSを超える位置推定精度が得られる可能性が示された。

将来展開の展望とチャレンジ

- LiDAR SLAMとVisual SLAMの自己位置推定における、3D都市モデルの有用性を確認することができ、サーバー側での演算処理においても同様の結果が得られたことから、ドローンの社会実装及び事業化に向け、特にペイロードの増加に有利と考えられる軽量の一般的なカメラが利用可能なVisualSLAMとサーバーを介した演算処理システムを組み合わせたドローンシステムの検討を進めていきたい。
- 3D都市モデル×ドローンというコンセプトに基づき、レベル4飛行に向けた安全・安心を担うシステムとして高度化を図り、今後もドローンの社会実装の実現を加速させていく。

図3-2-21 ドローンの運航状況遠隔管理システムCOSMOSからモニタリング



22. 物流ドローンのフライトシミュレーション（2020年度）

株式会社A.L.I. Technologies

概要

- 高層ビルが立ち並ぶ都市部における安全かつ効率的なドローン航行の実現に向け、3D都市モデルを活用したバーチャル空間にてフライトシミュレータを開発した
- また3D都市モデルのデータ鮮度を効率的に維持するための手法として、物流ドローンが撮影する配送ルート上の航空写真を活用した3D都市モデルの更新手法の確立を図る

検証方法・検証成果

- 東京駅周辺を対象に3D都市モデルに基づくバーチャル空間を構築し指定した離着陸地点に対し規制遵守した最適航路を提示するフライトシミュレーションができるシステムを構築
- 飛行ルートの可視化のみならず荷主や関係当局らとの調整業務の円滑化に寄与し得ることが示唆された。一方、実用化に向けては、考慮すべきパラメータの精緻化、離着陸といった精緻な操縦を要する局面に対応したシステム高度化等の課題が整理された
- 加賀市片山津地域で物流ドローンを想定したルートを実際に飛行し、撮影した航空写真を用いてLOD1及びLOD2の3D都市モデルの整備・更新が可能であることが確認された

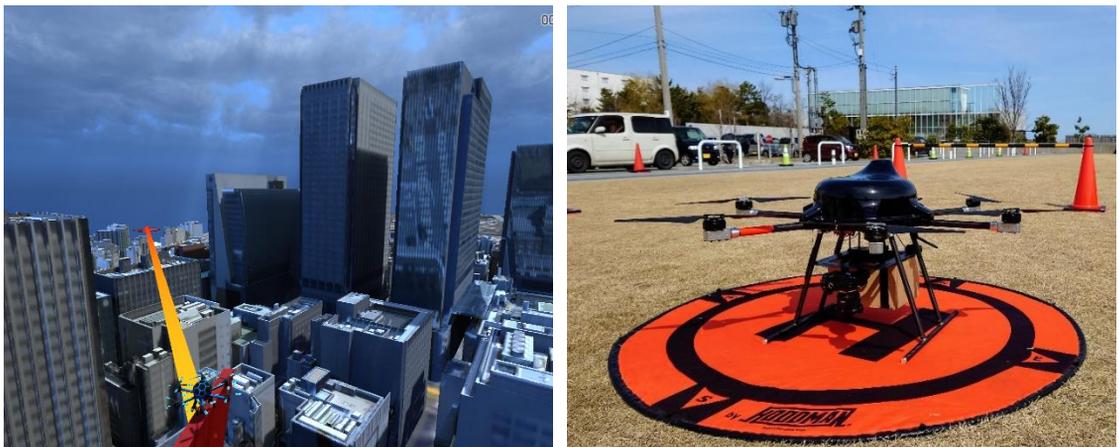
3D都市モデルの活用方法・結果

- フライトシミュレータ開発では、テクスチャ付きLOD2データをゲームエンジンに取込んで東京駅周辺をバーチャル空間上に再現。3D都市モデルを活用することで精度が担保された航路シミュレータを容易に構築・展開可能であることが確認された
- 3D都市モデル更新では、精緻なモデル構築には物流ルートのみ航空写真では完結せず、今後の論点として物流と写真測量の双方の条件を満たす飛行ルート設定や機材選定・撮影手法を検討する必要性が明らかとなった

将来展開の展望とチャレンジ

- 今後、都市部におけるビル群の間を縫うような飛行に必要となる高精度な航路シミュレータの開発に向け検証を進める。都市部では特に精度が高い3D都市モデルを効率的・持続的に維持・更新していく仕組みが不可欠となることから、引き続きドローン物流ネットワークを活用した3D都市モデル更新作業の検証・実証を進める意向
- また、全国各地域における3D都市モデルの整備・更新業務の確立に貢献するためにも、日本全国におけるドローンの防災物流ネットワークの構築にむけて事業の加速を図る

図3-2-22 シミュレータ（左）と測量に用いた物流用ドローン（右）



23. ドローンによる建築物外壁検査の支援（2022年度）

株式会社フォーラムエイト

概要

- マンションの外壁タイルの点検は、多くは人力による打診で実施されているが、近年ではドローンによる赤外線調査の手法が実用化されはじめている。一方、ドローンによる赤外線調査では建築物の外壁温度が品質・精度に影響を与えるため、建築物への日照環境を事前に把握することが重要である
- 今回の実証実験では、3D都市モデルを活用した建物外壁への日照・反射光シミュレーションによりドローンにおける赤外線調査の調査計画の効率的な立案を支援するシステムを開発する

検証方法・検証成果

- 現在は人が現地に赴いて実施している対象建物への時刻歴の日影の状態及び反射光の状態の確認作業を、3D都市モデルのジオメトリ情報を活用した机上調査で支援・代替できるシステムを開発することで、事前調査の効率化を図ることができるか検証した
- 精度の高い建築物モデルを使用することで、正確な日照シミュレーション結果を得られることを確認できた一方で、反射シミュレーション結果の精度には課題が残った

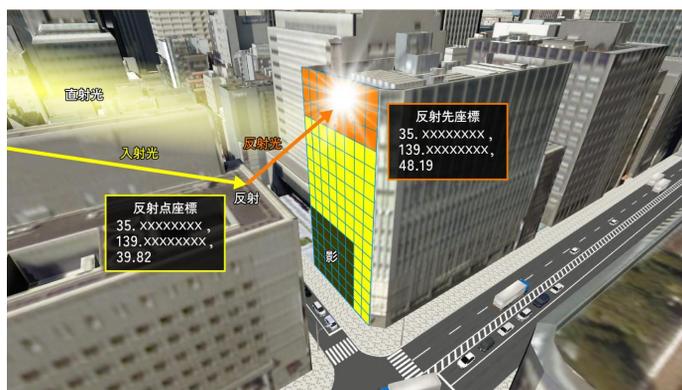
3D都市モデルの活用方法・結果

- 対象となる建物とその近隣建物の3Dモデルを、開発したアプリに入力してデジタルツイン環境を構築し、調査予定期間内の日照および反射のシミュレーションを実施するのに活用した
- 3D都市モデルを利用することで、日照・反射シミュレーションによる外壁点検に必要な日射状態を把握することができた。対象建物の形状精度によって精度は大きく改善されることが分かった一方で、周辺建物の形状についてはLOD1でも十分な精度が得られた

将来展開の展望とチャレンジ

- 実証実験の結果を踏まえ、誰もが扱いやすいようにソフトの操作性を向上するとともに、事前調査の計画策定時を含めた、ドローンによる外壁調査の各工程で参考にできる様々な情報を提示できる新たな機能の検討を進めていく
- 今後は日照シミュレーションをベースとして、輻射熱の算出等のシミュレーション機能や出力内容の拡充によって利活用できるシーンを増やしていく。また、本システムにより今年度スタートしたドローンによる外壁調査のコストメリットを最大化し、普及拡大を目指す

図3-2-23 建物外壁への日照・反射光シミュレーション



24. 都市空間の統合デジタルツインの構築（2022年度）

株式会社竹中工務店、株式会社日立製作所、株式会社gluon

概要

- 3D都市モデルをベースに、BIMモデルと点群モデルを統合したデジタルツインを構築し、パーソナルモビリティの運行やARナビゲーションの運用をテストする。
- その上で、データ統合の方法について整理・比較検討し、標準的なモデル統合手法を開発。これらをデジタルツイン構築のための3Dデータ統合ガイドラインとして取り纏めることを目指す。

検証方法・検証成果

- ARナビゲーションを使った精度検証では、ナビゲーションアプリケーションで案内された最終到達地点と、現地設定したゴール地点の位置の差をメジャーで測定して誤差を算出。誤差は最大でも0.9m、平均値0.23m程度と歩行者を案内するナビゲーションとしては十分なレベルが得られた。
- パーソナルモビリティ運行の精度検証では、実際のモビリティの通過点とデジタル空間上でも設定した実際の設定点との距離差を算出し、結果としてデジタルツイン空間で設定したルートを安全に走行することができ、誤差はモビリティの運行に支障ないレベルであった。

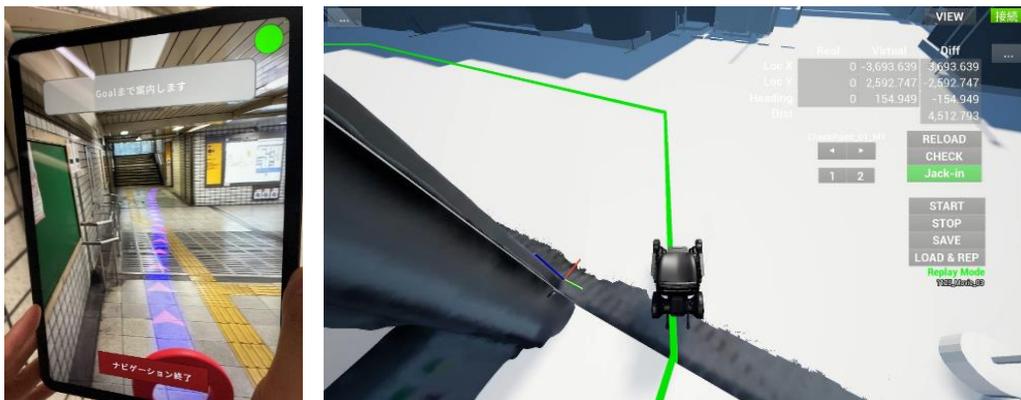
3D都市モデルの活用方法・結果

- 3D都市モデル、BIMモデル、点群データなどの複数の異なる3Dデータを統合したデジタルツインを構築するため、各データの異なる詳細度（LOD）、位置正確度、座標系、原点、スケール等を調整し、統合するための手法を開発。
- これらの手法によって統合されたデジタルツインデータは、ユースケースを通じた精度検証により、実用的な精度を有するものであることが確認できた。

将来展開の展望とチャレンジ

- 多様なユースケースへの対応を想定し、より高い精度を実現するデータ統合手法の開発とともに、今回開発した統合手法の自動化を進める。課題として挙げられた移動物の取り扱いやデータ作成の時点の違いについても、統合データを使ったデジタルツインプラットフォーム上で管理を行うことで実用化を目指す。
- 将来的には、3Dデータの統合手法の標準化を推し進め、ヒトモノの移動の情報基盤として3D都市モデルを基盤とした統合3Dデータによるデジタルツインプラットフォームの提供を通じて、ヒトモノの流れを効率化するだけでなく安全・安心を担保し高付加価値な都市空間づくりに寄与していく。

図3-2-24 ARナビゲーション画面（左）とパーソナルモビリティ運用システム（右）



25. 3D都市モデルの更新優先度マップ（2022年度）

株式会社パスコ

概要

- 3D都市モデルの整備に利用した航空写真と、撮影頻度が高い衛星画像を比較し、建物等の新築・滅失等の変化を抽出するAIモデルを開発する。
- これにより、3D都市モデルと現実空間の差分を低コストで迅速に可視化し、3D都市モデルのデータの更新を促す。

検証方法・検証成果

- 3D都市モデル作成の元データとなる航空写真と、より撮影頻度が高い衛星画像とを比較し、建築物の変化を判定してメッシュ単位で評価することで、3D都市モデルの更新優先度を判別できるシステムを開発した。
- 出力データは更新優先度マップとしてPLATEAU VIEWに掲載し、新旧2時期画像と各メッシュの更新優先度を確認しながら、3D都市モデルの整備・更新に関わる自治体・民間事業者にも実務における有用性をヒアリングした。
- 地図の更新用に航空写真を購入している民間事業者からは、調達効率化へ大きな期待が寄せられ、自治体においては、固定資産業務等での撮影成果を利用した3D都市モデルの部分更新の可能性を確認することができた。

3D都市モデルの活用方法・結果

- 航空写真と衛星画像から建物変化領域を抽出する深層学習モデル（U-NETベース）によって、メッシュ単位で建物の変化面積（新築・滅失・建替え等の変化）を求め、既存の3D都市モデルの建物面積やメッシュ面積に対する変化率を算出した。
- 検証エリア内の変化規模を5段階の自然分類（データ値の差異が比較的大きい部分に境界が設定されるクラス分割の手法）で閾値処理する機能を実装した。

将来展開の展望とチャレンジ

- 本実証の成果を発展的に他地域に適用を拡大し検討を進めるとともに、利用拡大を図るにはユーザー負担の軽減が必要であるため、入力画像の選定や分析処理等がクラウド上で提供されることが望ましい。
- また、ユーザーの業務要件に合わせた更新業務全体のコスト低減や付加価値の拡大へソリューションをブラッシュアップしていくことで、民間事業者における3D都市モデルの利用価値の拡大を図る。これに伴い民間事業者の需要喚起により自治体の3D都市モデル整備・更新もさらに加速していくことが期待される。この取り組みを継続することで、3D都市モデルの発展、普及拡大に寄与していきたい。

図3-2-25 更新優先度マップのサンプル（5次メッシュ:250m）



26. 3D都市モデルを基礎としたIDマッチング基盤（2022年度）

一般社団法人社会基盤情報流通推進協議会（AIGID）

概要

- 3D都市モデルの幾何形状を基礎データとして多様な地理空間情報をマッチング処理し、建物IDを介したデータ結合を行う基盤を構築することで、様々な地理空間情報の統合を促進する。

検証方法・検証成果

- 同一の建築物に関する2Dの建物図形データや3Dの点群データ、3D都市モデルの建築物モデルとを識別してマッチングさせるシステム・API及びフロントエンドのUIをウェブシステムとして開発し、また、3Dマッチングシステムによって抽出した点群データを用い、建築物モデルの壁面テクスチャを生成するシステムを開発した。
- 2D・3Dマッチングシステムの検証では、高いマッチング率が得られた結果となり、本システムが様々な建物データのマッチングに有用であることが確認できた。
- テクスチャ生成システムの検証では、3D都市モデルの建築物モデルに対して、ある程度正確な範囲のテクスチャを生成できることが確認できた。

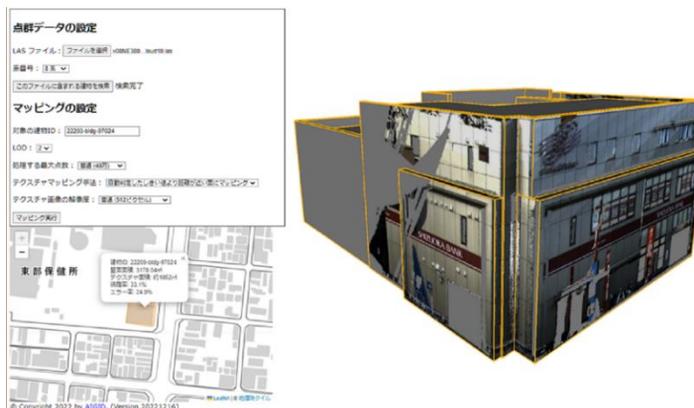
3D都市モデルの活用方法・結果

- 2Dデータのマッチングシステムにおいて、3D都市モデルの平面ポリゴンデータ（建築物モデルLOD0）を活用し、ゼンリン住宅地図の建物ポリゴンの幾何形状の重複判定を行い、同一の建築物を識別した。
- 3D点群データのマッチングシステムでは、3D都市モデルのLOD1-2建築物モデルに対応する点群データの範囲を抽出するシステムを構築し、入力データである点群データの平面位置（座標）を用い、その範囲に含まれている建築物モデルを抽出後、建築物モデルの持つ各壁面の近傍に位置する点群データを建物領域の境界として抽出・出力した。
- テクスチャ生成システムにおいても、3Dマッチングシステムと同様のアルゴリズムを用いて、抽出した点群データを建築物モデルの壁面単位に再抽出し、建築物モデルのサーフェスID情報を点群データと紐づけた。

将来展開の展望とチャレンジ

- 本システムが3D都市モデル整備・更新に利用できるよう、並列処理化やクラウド化等による利用環境の改善やユーザインターフェースの改良、マッチング精度の向上や、テクスチャの生成に有効と考えられる車載全方位カメラ画像などへの対応について開発を進めることで、3D都市モデル整備事業者向けのサービスとしての実装を目指す。
- さらに、この仕組みを単なる建物データのマッチングシステムとして展開するだけでなく、自治体や民間企業との連携により、建物に関するあらゆる情報を集約するプラットフォームとして、行政サービスの高度化や民間サービスによる生活の質の向上、経済活動の活性化への寄与を目指していく。

図3-2-26 3Dマッチングシステムによる点群とのマッチング及び点群からのテクスチャ生成結果



27. AIを用いた3D都市モデルの自動更新手法の開発（2022年度）

Symmetry Dimensions Inc.、名古屋鉄道株式会社、中日本航空株式会社、宮城交通株式会社、国際航業株式会社、株式会社パスコ

概要

- バス等のモビリティに搭載されたLiDAR等で定期的に取得される点群データや、スマートフォン等で市民が日常的に取得できるデータを活用することで、3D都市モデルのデータソースを取得。
- これに基づき都市の変化点の検出するAI及び3D都市モデルを生成する自動モデリングツールを開発することで、高頻度かつ低コストの3D都市モデル更新を目指す。

検証方法・検証成果

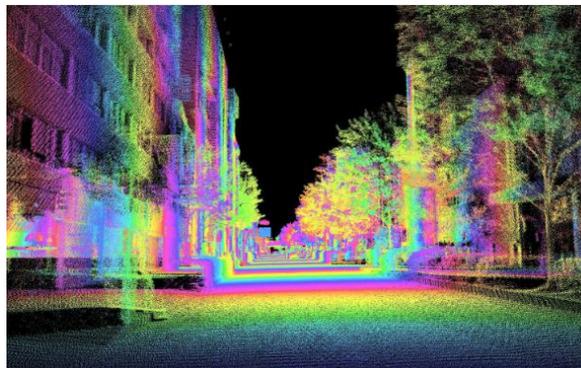
- 公共交通機関であるバスやタクシー等に取り付けた簡易MMSにより高頻度低コストで点群データを取得する仕組みを構築。これに加え、LiDAR付きスマートフォンを活用し、市民参加により点群データを収集するためのクラウドソーシング型データ取得を行う。
- 取得した点群データをもとに、都市の変化パターンを深層学習させたAIを開発し、既存の3D都市モデルをインプットデータとした変化点の自動検出を可能とするシステムを構築。さらに、このシステムが変化点として検出した箇所の点群データから、新たなLOD3建築物モデルを構築するため、既存のLOD2建築物モデルをベースとしたサーフェス生成、属性情報付与、CityGML符号化等を行う3D都市モデル自動生成システムを構築する。

3D都市モデルの活用方法・結果

- 3D都市モデルの更なる活用を進めるためには、日々変化する都市空間の3次元的な情報をリアルタイムに取得し3D都市モデルに反映することが求められる。
- 一方、3D都市モデルは、土地基本法に基づき自治体が行う5年に1回の土地基本調査や固定資産等の撮影成果を基に作成されるため、更新を頻繁に行うことが難しい点、変化のあった建物の特定やCityGML作成に必要な建物のモデリングにコストを要する点が課題となっている。
- 一連のシステムの開発及びフィジビリティスタディを行うことで、3D都市モデルの高頻度かつ低コストの更新スキームを確立し、デジタルツインの社会実装を加速する。

将来展開の展望とチャレンジ

- 今回の実証実験では、3D都市モデルの自動更新の実現に向けた、高頻度かつ低コストで恒常的に取得が可能な複数のデータソースを活用したセマンティックセグメンテーション・アライメント・異動判読・サーフェスモデル化を行うA.I.モデルの有用性を確認することができた。更なる完全自動化を実現するためには、セマンティックセグメンテーションの精度向上のため、より多数の地物ラベリングを用いたニューラルネットワーク構築や、新たなデータソースによる点群データの欠損箇所の補完が必要となる。
- 今後の実用化が進む自律運航型ドローンを活用し、車両通行が困難な場所や隣接した建物の境界といった、簡易MMSではデータ取得の難しい場所の測量データを使うことで、地上測量と航空測量を組み合わせたより精度の高い3D都市モデル生成が可能になると考えられる。



第4章 3D都市モデルを活用した 民間サービス開発事例

4-1 三次元データを用いた土砂災害対策の推進（2022年度）

Symmetry Dimensions Inc.、株式会社パスコ

<https://www.mlit.go.jp/plateau/use-case/uc22-014/>
https://www.mlit.go.jp/plateau/file/libraries/doc/plateau_tech_doc_0037_ver01.pdf

4-1-1 サービス概要

①事業・サービスの目的、ビジネスモデル、社会的意義

事業・サービスの目的と概要

土砂災害等の災害が発生した際に、どの場所でどの程度の土砂が流出し、どの程度の家屋が被害を受けているのかといった被害状況の把握は、現状では現地における目視や写真確認による方法が主に用いられており、迅速かつ的確な情報共有の課題となっている。

今回の実証実験では、自治体の持つ住民情報を3D都市モデルに統合し、ドローン等を用いて取得した3D測量データを用いた解析を行うシステムを開発することで、被害家屋等の迅速な把握を可能とし、地方公共団体における応急対策や救助等における有用性を検証する。

ビジネスモデル

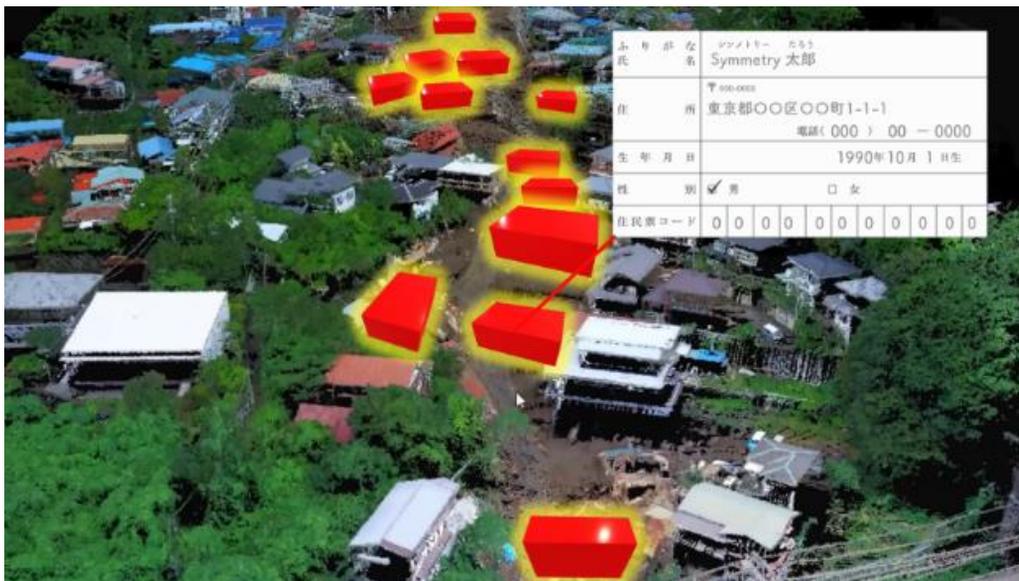
災害が発生した際には災害協定を結んでいる企業が測量等を行い、災害対応を行う。その際に利用するシステムとして、本システムを活用する。

社会的意義

本実証では3D都市モデル及び3D測量データを活用することで、被害状況の3次元的な把握及び住民基本台帳の情報から、被害者情報を可視化することで、災害被害状況の把握にかかる時間を短縮する。

また、データを活用した災害時被害状況把握の際の必要な取り決め等策定するため、本実証の検証を通じて得られた知見をオープンデータとして公開することで、各自治体における災害時データ活用のガイドライン策定の推進を狙う。

図 4-1-1 3D都市モデルと3D測量データによる災害被害住居検出



4-1-2 実証調査詳細

①実証調査の目的・概要

実証調査の目的

緊急災害時の様々なデータの集約先を整え、ドローンやレーザースキャナー等による現場の即時的な3D測量情報と3D都市モデルを組み合わせ、被害状況の把握と次のアクションを迅速に導き出すことを可能にする。

実証調査の概要

- 実証仮説
 - 建築物等の位置と三次元的な形状をデータとして保持している3D都市モデルと、流出土砂の3D測量データをシステム上で連携させることで、家屋の被害状況を迅速に把握できる
 - 3D都市モデルと点群データを用いた被害住居検出システム・ARによる可視化システムを実現することで、災害時被害状況の迅速な把握ができ、救助・調査活動の迅速化に繋がる
 - 3D都市モデルとドローンにより取得した点群データを比較することで、被災した建物と正常な建物を判別でき、地方公共団体の応急対策や救助等における有用性がある
- 検証ポイント
 - 被害住居検出システムの精度検証
 - ARアプリにおける自己位置推定精度の検証
 - ✓ VPSの精度検証
 - ✓ 手動位置合わせ後のSLAM利用時の精度検証
 - 開発システムの有用性検証
 - ✓ 被害住居検出システムの有用性ヒアリング
 - ✓ ARアプリの有用性ヒアリング

②実証調査の対象エリア

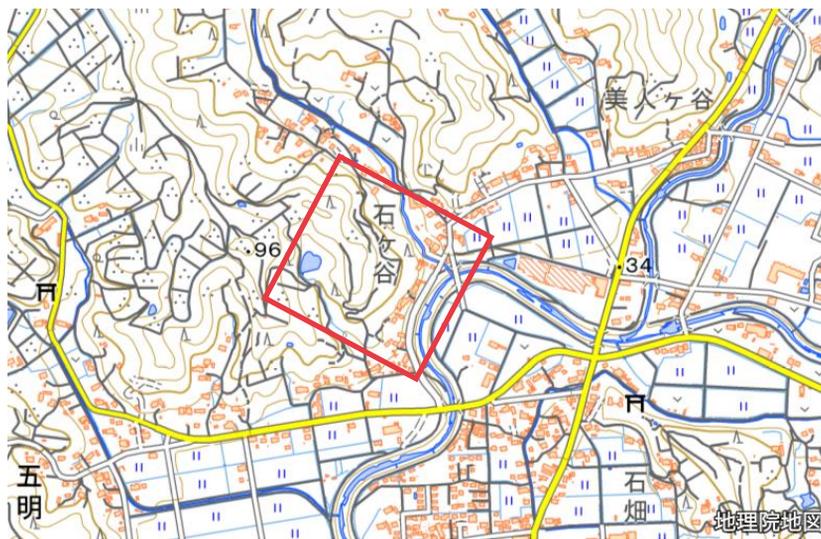
対象エリア

静岡県掛川市

エリア選定理由

- 同地域は土砂災害警戒区域に含まれており、過去に土砂災害等が発生しているエリアであり、住民からの同意も得やすいエリアである
- また、このエリアはユースケースの実証を行うにあたって十分な広さ・十分な建物種別を含んでいる

図 4-1-2 3D都市モデル利用範囲



静岡県掛川市 上西郷石ヶ谷地域（点群撮影エリア面積：0.3km²）

③実証調査に向け開発されたサービス

本実証実験では、土砂災害等によって被災した建物を自動検出し、被害状況を把握するためのウェブシステム（被災住居可視化システム）と、その結果をARアプリによって被災現場で可視化するスマホアプリ（AR被災状況可視化アプリ）を開発した。

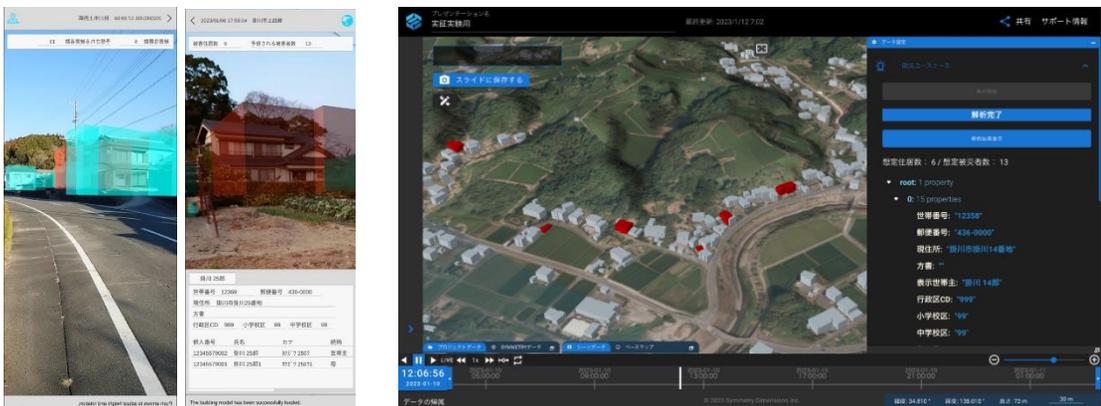
被災住居可視化システムは、Cesium.jsをベースにSymmetry Dimensions Inc.が開発したGISデータ統合・可視化システムSymmetry Digital Twin Cloud（以下、SDTC）に機能を付加する形で開発した。SDTCは都市の様々なデータを統合・可視化しデジタルツインを構築することのできるウェブアプリで、ドローン等から取得された点群データをアップロードする機能なども備えている。本システムでは、SDTCをベースにドローンにより取得した点群データと3D都市モデルを空間解析することで流出土砂の被害を受けた建築物を検出する機能、被害を受けた建築物に居住する住民の情報を一覧で表示する機能などを開発した。

被害建築物を検出する機能は、3D都市モデル（被災前）と取得した点群の差分比較を行い、建築物の流出、倒壊、横滑り等を検知する仕組みとしている。具体的には、建築物の差分検出の手掛かりとしてドローンによって計測可能な「屋根」に着目し、点群データから建築物の「屋根」を自動で検出するセグメンテーション機能を開発した。これを用いて、3D都市モデルの「屋根」と点群データの「屋根」の比較を行い、各「屋根」の面積比を閾値として点群データの「屋根」が地表に対して水平・垂直方向に移動している又は屋根が消失していることを検知し、「被災住居」判定を行うアルゴリズムを構築した。

被害状況の把握するためのシステムは、あらかじめ建築物モデルに付与されている「建物ID」と住民基本台帳の住居情報（地番及び住居表示）を紐づけたデータベースを構築し、「被災住居」の判定を受けた3D都市モデルの「建物ID」を集計することで、被害を受けた可能性のある住民の人数、住居、氏名、年齢等を把握できる仕組みとした。

AR被災状況可視化アプリは、被災住居可視化システムと連携し、3D都市モデル及び「被災住居」の判定を受けた建築物をAR画面上で表示し、被災現場で位置や住人情報を確認できるものとした。ゲームエンジンUnityをベースに構築し、スマホカメラを用いた位置合わせはVPS（Visual Positioning System）としてGoogleが提供するARCore Geospatial APIを活用して構築した（補足的にGPSによる位置合わせも実装した。）。「被災住居」の判定を受けた建築物は赤色に着色して投影することで視認性を向上させている。土砂災害等発生時には、周辺環境の変化によりVPSを用いた位置情報推定が難しい状況も想定されるため、2D地図データをベースにした手動で位置を補正する機能も開発しており、災害時でも利用可能なシステムとしている。

図 4-1-3 開発されたサービスのイメージ



（平常時） （被災時）
AR被災状況可視化アプリによる
被災住居可視化の様子

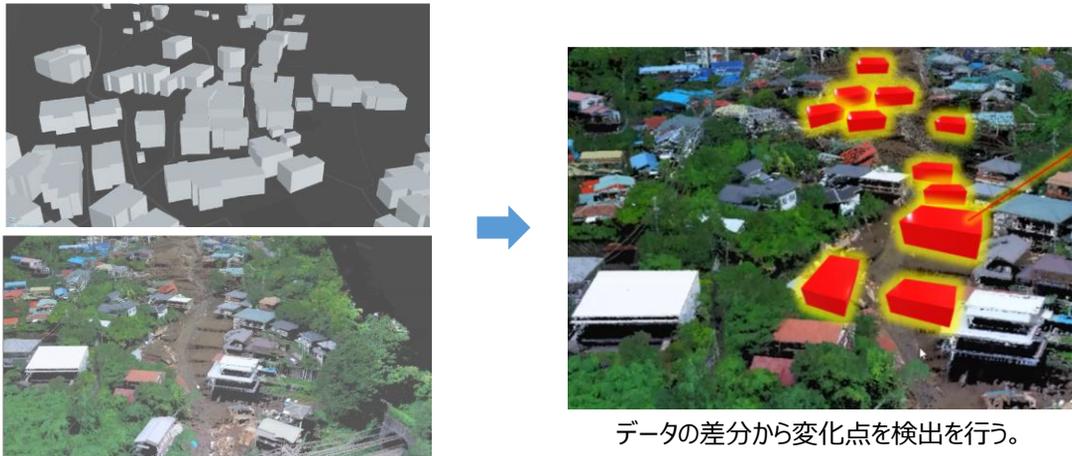
被災住居可視化システムによる被災住居の可視化
及び被災住民情報可視化の様子

●導入する新技術

3D都市モデルによって表現される既存の都市空間データを点群データに変換を行い、3D測量データにより取得した現状の都市空間と比較することで、都市の変化を検出し、システム上で検出箇所の表示を行う技術の実証開発を行う。

3D都市モデルは各地方自治体が整備する都市計画基本図及び、航空測量成果を基に3D都市モデルが構築されているため、災害時に撮影した点群データを重畳し比較することで、都市の変化点を正しく検出することができる。

図 4-1-4 導入する新技術



3D都市モデルを3D点群データに変換
を行い、3D測量データと比較を行う。
(LocusBlue)

図 4-1-5 システムアーキテクチャ全体図

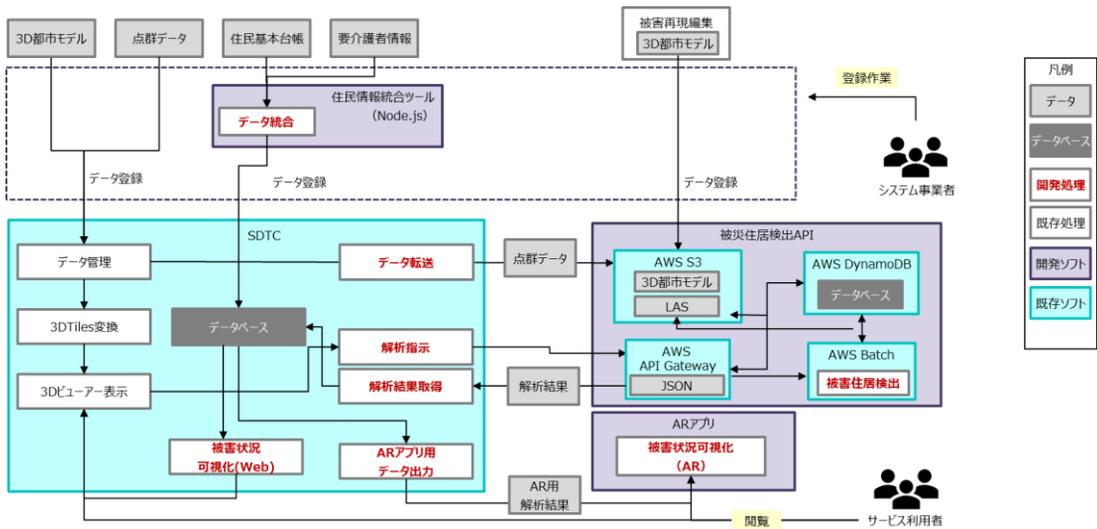


図 4-1-6 データアーキテクチャ全体図

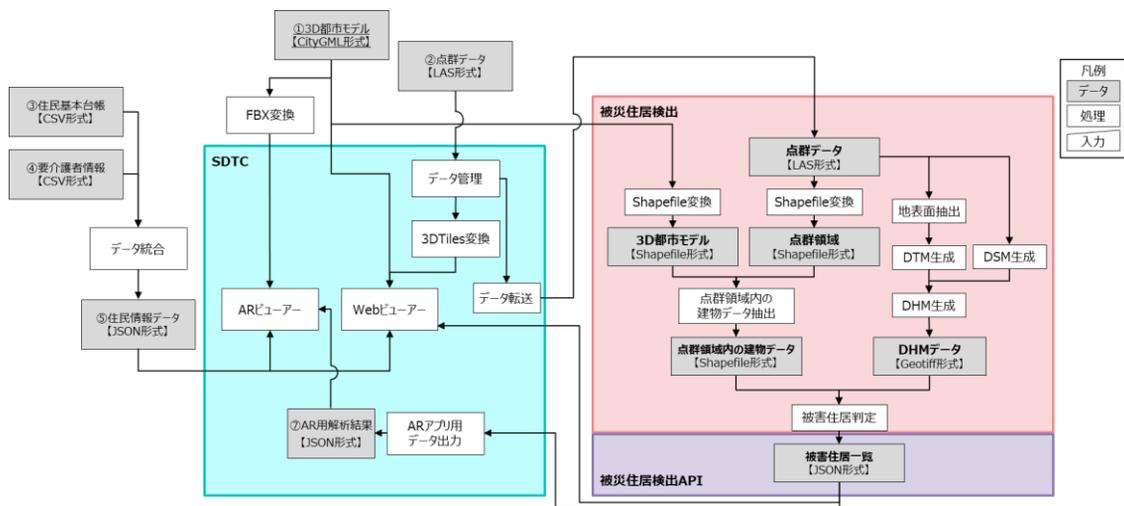
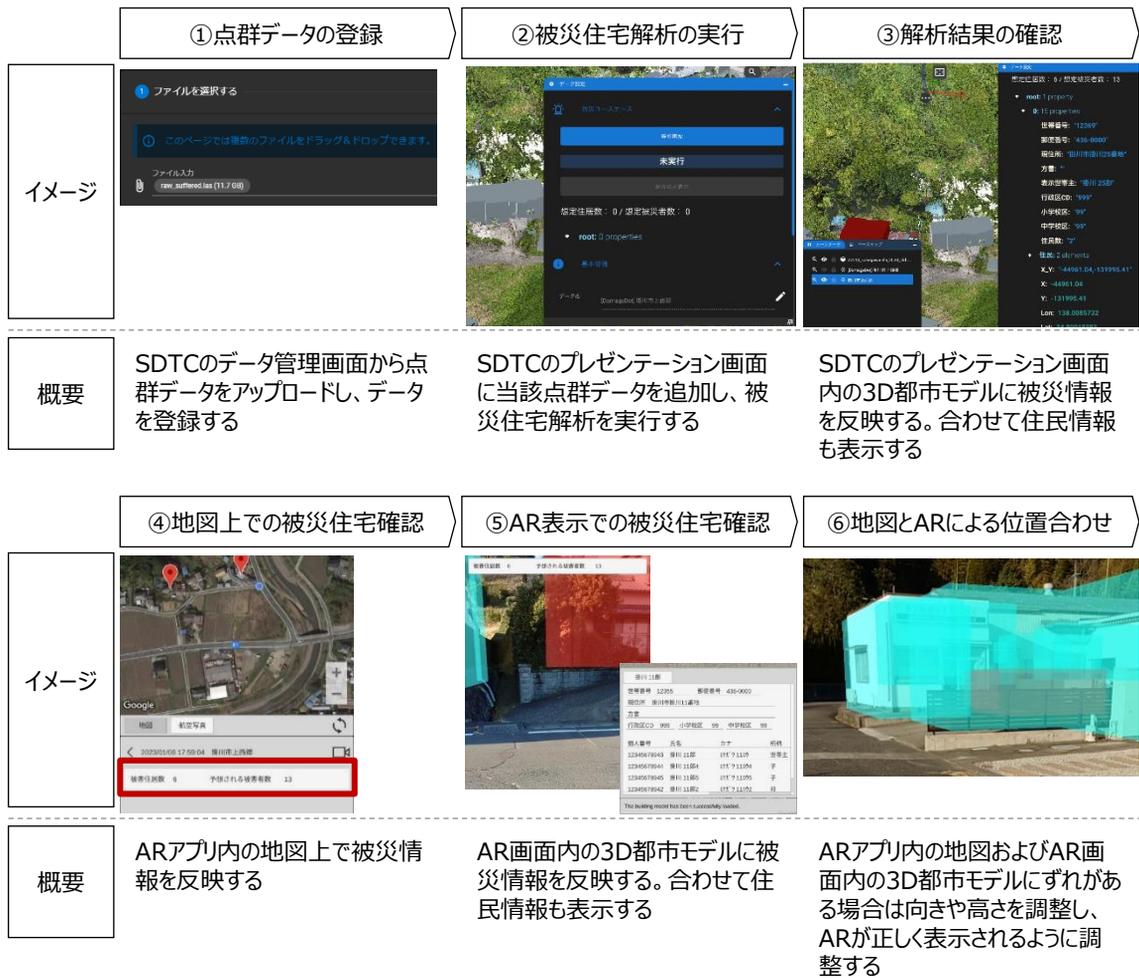


図 4-1-7 UI/UXの全体フロー



④3D都市モデル (CityGML) の活用方法

3D都市モデルのジオメトリ情報の活用により、日照に係る事前調査項目について、事前に適切な検査計画の概要を立案できるようになり、現地での事前調査を効率よく、短時間で実施できる。

利用された3D都市モデルの仕様

- 上西郷石ケ谷(土砂災害警戒区域内)：道路LOD1、地形起伏LOD1、土地利用LOD1
- 水垂西山(土砂災害警戒区域内)：道路LOD1、地形起伏LOD1、土地利用LOD1
- 3D都市モデルデータ形式：点群、FBX(CityGMLから変換を行い使用)、3DTiles

3D都市モデルの用途

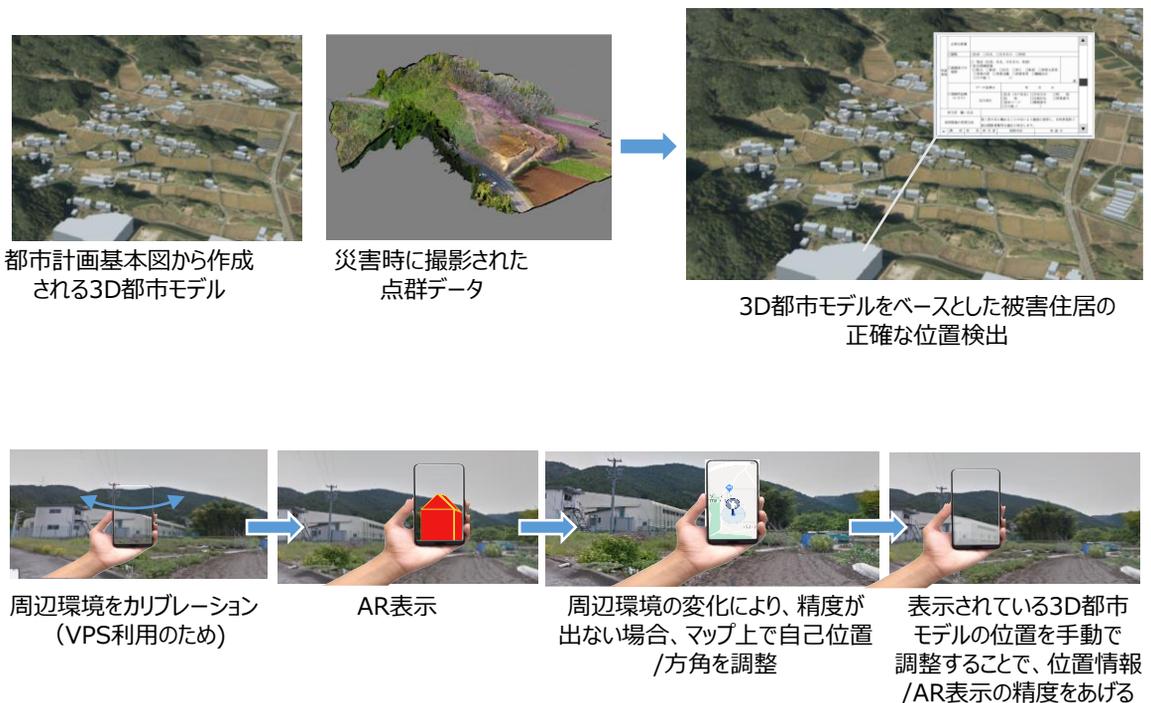
3D都市モデルと災害時に撮影した点群データを重畳することで、被害を受けた住居の正確な位置情報を検出するベースとして活用。また、3D都市モデル上の建物に住民基本台帳等の情報を付与することで、被害を受けた住居の世帯情報を統合し可視化する。

災害による地形の変化等でVPS技術によるAR表示が利用できない場合に、2次元地図情報を元に自己位置情報のおおまかな調整を行いARを表示を行う。表示される3D都市モデルを手動にて災害エリアにおける残存する建物と表示の位置合わせを手動で行う。

3D都市モデル活用のためのソフトウェア

- Symmetry Digital Twin Cloud(データ統合・分析・可視化基盤)
- LocusBlue(点群解析システム)
- Open 3D(3D点群データの解析、処理オープンソースソフトウェアライブラリ)

図 4-1-8 3D都市モデルの活用方法



4-1-3 実証調査結果

①被害住居検出の精度検証

検証内容

実証地域の点群データを被災パターンに合わせて編集し、編集後のデータを基に被害をシステムが検出できるか分析精度を検証する。

	検証の手順	被災住居の位置関係のイメージ
点群データの取得	<ul style="list-style-type: none"> 実証地域の3次元計測を実施し、点群データを取得する 	
点群データの編集	<ul style="list-style-type: none"> 点群データを編集し、想定する3パターンの被災状況を再現した点群データを作成する 	
被災住居の分析の実行	<ul style="list-style-type: none"> 点群データのアップロードを行い、Webアプリケーションから被災住居の分析を実行する 	
分析精度の確認	<ul style="list-style-type: none"> 編集した住居と分析結果を突合し、検出率（一致率）から精度を確認する 	

検証結果

検証結果から、開発したアルゴリズムには被災パターンに対して得手不得手が明確に存在しており、実用化に向けてはすべてのパターンを網羅できるアルゴリズムの開発が肝要である。

検証結果				考察・示唆
被災パターン	検証数	検出率		
		面積比50%以下	面積比90%以下	
住居消失	4戸	100% (4戸)	100% (4戸)	<ul style="list-style-type: none"> 住居消失 <ul style="list-style-type: none"> 閾値に依らずすべて検出できていることから、今回開発したアルゴリズムとは相性がいいと考えられる 住居移動 <ul style="list-style-type: none"> 閾値と点群編集時の移動量がそのまま結果となっていることから、アルゴリズムは機能していると考えられる 実際の被害状況を分析し、実態に合った閾値を設定する・選択できるようにすることが実用化に向けた課題となる 住居土被り <ul style="list-style-type: none"> 検出率は低く面積比を90%とした場合においても検出率は50%と実用には改善が必要である 地表面と建物の分離に課題があると考えられるため、アルゴリズムの改善だけでなく地表面データを別のデータソースから得られれば精度を改善できる可能性がある
住居移動	4戸	50% (2戸)	100% (4戸)	
住居土被り	4戸	25% (1戸)	50% (2戸)	

②ARアプリにおける自己位置推定の精度検証

検証内容

ARアプリが有する自己位置推定の精度検証を2つの想定シナリオのもと、検証を行う。

想定シナリオ	検証項目	検証内容	検証条件
被災建物が少ない災害 (建物を使った位置合わせが可能)	VPSの精度検証	<ul style="list-style-type: none"> 明るい時間帯に、VPSを利用して自己位置推定を行い、3D都市モデルと現実空間の建物の一致度を検証する 日没後、十分な明るさがない時間帯において、VPSがどの程度利用できるかを確認する 	<ul style="list-style-type: none"> 場所 <ul style="list-style-type: none"> 掛川市上西郷石ヶ谷の屋外 日時 <ul style="list-style-type: none"> 2023年1月11日(水) <ul style="list-style-type: none"> 日中(13:00-17:00) 日没後(日没16:56~17:40) 利用端末 <ul style="list-style-type: none"> SONY Xperia 1 III SO-G03を利用する
被災建物が多い災害 (建物を使った位置合わせが困難)	SLAMの精度検証	<ul style="list-style-type: none"> VPSを使わず、地図を利用して手動で位置合わせを行った後、SLAMを利用して自己位置推定を行った場合の、3D都市モデルと現実空間の建物の一致度を検証する 	

検証結果

検証項目	検証結果	考察
VPSの精度検証	<ul style="list-style-type: none"> VPS開始時、実際の建物と3D都市モデルの位置には1~2メートル程度のズレが見られた 経路上も誤差を一定以内の範囲に保ち、ズレが拡大することはなかった 日没後、40分程度で認識しなくなった(日没後、17時35分頃にVPSの認識NG) 	<ul style="list-style-type: none"> 3D都市モデルを現実空間の建物に重畳するARアプリを実装するにあたり、VPS(ARCore Geospatial API)は、明るい時間帯において十分な位置精度を持っている(隣の家と間違えるレベルではない) <ul style="list-style-type: none"> 日没後は30分程度は問題ないと考えられるが、端末の暗所性能次第のため、原則として日中の利用が望ましい
SLAMの精度検証	<ul style="list-style-type: none"> 位置合わせ後約110メートル地点では目測で3~5メートル程度のズレに拡大し、辛うじて本来の建物と重なっている状況 さらに100メートル進んだ地点では、目測で10~15メートル程度のズレになっており、本来の建物とは完全に重ならない位置に3D都市モデルが表示される 	<ul style="list-style-type: none"> SLAMを使って自己位置推定をする場合、位置合わせをしてから100メートル以内で利用するのが望ましい

③開発システムの有用性検証

検証内容

有用性ヒアリングの実施概要は下記のとおり。

有用性検証の概要		参加者詳細		
項目	内容	団体名	部署	人数
目的	開発した災害時被害住居検出システム、ARアプリケーションの実演及びデモ体験を通じて、システムの実用性・有用性に関するヒアリングを目的とする	掛川市役所	副市長	1名
実施期間	2023/1/12（火） 10:00-12:00		DX推進課	5名
実施場所	掛川市中央消防署3F会議室		消防総務課	3名
実施内容	1. 実証の流れ、アンケート概要説明 2. Webシステム動作確認 3. ARアプリの実演及びデモ体験 4. フィードバック、質疑応答、アンケート		都市建設部	1名
			都市政策課	2名
			土木防災課	1名
			基盤整備課	3名
		維持管理課	1名	
		掛川市中央消防局	掛川市消防署職員	2名
		合計		19名

検証結果

被害住居検出システムとARアプリは両者とも有用性が確認されたが、操作性や精度向上を求める声が寄せられ、実用化に向けてシステムの改善が必要である。

検証対象	結果
被害住居検出システム	<ul style="list-style-type: none"> 土砂災害のみならず火事や洪水等の災害における活用の可能性が確認できた <ul style="list-style-type: none"> 救助活動時に住民情報を可視化することで時間短縮の有用性が検証できた一方で、住民情報は個人情報であるため、自治体との災害協定等による取り扱い方法の事前協議の必要がある 3D都市モデルと合わせることで被害状況を俯瞰して確認ができ、救助計画への活用の可能性がある 災害時、ユーザーが直感的に使えるよう、UI改善や、チュートリアル作成が必要 被害パターンによっては、「屋根」による被災状況検知は識別されにくい場合もあった
ARアプリ	<ul style="list-style-type: none"> VPS及び位置情報補正機能を用いた被害住居のARでの可視化で調査・救助活動への有用性を確認することができた 被害住居のARでの可視化機能を拡張することで救助者がより安全かつ簡易に使用できる

図 4-1-9 実証実験の様子



ARでの被災状況の確認



AR被災状況可視化アプリ体験

⑦参加ユーザーからのコメント

被災住居可視化システムへのコメント

- ・3D都市モデルと点群データとの比較で、被害状況の迅速な確認ができると思う。
- ・データを用いた被害住居検出は完全ではないが、把握できる可能性はわかった。
- ・3D都市モデルと住民基本台帳のデータを連携することで、優先度の判断などの手助けになると思う。
- ・マイナンバーの整備が進み、連携が可能になることで、より精度の高い情報連携が可能になることが考えられる。
- ・データとして被災範囲、被害状況を把握できることで、災害救助の初動を早めることができると思われる。

AR被災状況可視化アプリへのコメント

- ・アイコンなどが見づらく、使いやすさには改善の余地があった。
- ・被災住居が色分けされ表示されており、使いやすかった。

4-1-4 実証調査考察

本システムの精度検証は、住居が土砂災害により流されたパターン、住居が土砂を被ったパターン、住居が消失したパターン（ドローンから観測不可）の3つに分け、その状況を再現した住居の点群データを編集して用意した。これを用いて本システム上での「被災住居」検知を試みたところ、検出率83%を確認することができた（被災前後の面積比一致の閾値は90%以下とした）。また、誤検出（被災していない住居を被災したと判定するケース）は山沿いの斜面に隣接したいくつかの住居のみであり、高い精度で検出ができていたことが分かった。

本システムの有用性検証として、防災業務に関連する掛川市職員16名、同市中央消防署・消防隊2名を対象にデモ・体験をいただきアンケート・ヒアリング調査を実施した。被災住居可視化システムについては、消防隊などの災害救助を行うユーザーから、被災住居・被害者数が一覧で確認できる点、被害住居と共に住民基本台帳の情報が紐づいて確認できる点において、被害状況の迅速な把握に活用できる可能性があるという評価を得た。AR被災状況可視化アプリについても、被害住居が赤色で強調表示されることで、従来の目視による被害状況の把握に比べ、被害状況の把握に係る時間短縮の可能性があるとといった評価を得た。

一方で、分析精度については「住居が土砂を被る」という被害パターンの検出が難しく課題として残った。改善策として、同一地域の過年度の点群データとの地盤高の比較や3D都市モデルの建物の地面からの高さデータを現況点群データの値と比較を行い、被害住居検出率を向上させることが必要である。

また、被災住居の検出漏れを防ぐためにユーザー側で被害建物の検出率に影響するパラメータをユーザーが変更できることが望ましいという意見が挙げられた。このパラメータは検出率に影響することから、システム内部で設定していたが、実際の災害発生時は目的や被害状況によって求められる検出率が異なる可能性があることから、ユーザーインターフェース上での変更が求められていることが分かった。加えて、使い方が複雑であるという意見から、今後災害発生時に救助を行うあらゆる利用者が使いやすいようなエクスペリエンス設計が必要であることが分かった。

①今年度の実証で得られた成果

3D都市モデルによる技術面での優位性

点群データからの建物領域の抽出	<ul style="list-style-type: none">3D都市モデル（建築物LOD1）に含まれているFootprintの情報を利用することで、点群データから正確に建物の領域を抽出することが可能と分かった建物ごとに被災状況の判定を行うために広範囲の点群データから自動的に1軒ずつ建物領域を抽出することができた
ARアプリケーションでの活用	<ul style="list-style-type: none">3D都市モデル（建築物LOD1）の建物の位置やFootprint形状が十分な精度を持っており、ARアプリケーションで活用できることが分かった<ul style="list-style-type: none">AR表示において、現実世界の建物と重ね合わせても位置と形状がおおむね一致しており、3D都市モデルと実際の建物に関する様々なデータ（本実証実験では住民基本台帳データ）を結び付けて管理することができるVPSが利用できない場合であっても、AR表示された3D都市モデルと現実世界の建物が一致するように、手動で視覚的に位置を調整することにより、現実世界の座標とコンピューター世界の座標を合わせることができる

3D都市モデルによるビジネス面での優位性

救援活動支援への適用性	<ul style="list-style-type: none">被害住居を3D都市モデルと合わせて可視化することで、周辺環境との関係性を見ながら視覚的に被害規模を把握し、救助計画や復興計画を検討できる
-------------	--

②今後の取り組みに向けた課題

他地域への適用	<ul style="list-style-type: none"> ● 該当地域の3D都市モデルやShapefileが不可欠であり、かつ最新の情報に更新されている必要がある <ul style="list-style-type: none"> - 被災住宅判定技術はオープンデータの3D都市モデルを正常な住宅の位置の真値として扱っている ● 住民基本台帳の位置情報がない自治体は、住所から住所辞書を使用したアドレスマッチング（ジオコーディング）を行う必要がある <ul style="list-style-type: none"> - アドレスマッチングの結果、アンマッチや3D都市モデルとの位置の整合がとれない世帯は位置補正を行う必要がある - 住所辞書は号レベル（建物レベル）の情報が記載された市販品が庁内の地番図や住居表示台帳から作成する
詳細な損傷の分析	<ul style="list-style-type: none"> ● 被災住宅判定を様々な被災状況に対応できるようにより形状的な特徴に注目して解析を行い損傷の程度を判定できるように改善する必要がある <ul style="list-style-type: none"> - 現在の判定は被災している住宅を大部分が土砂に埋まっている、あるいは大きく移動しているが、実際の災害においてはより様々な被災状況が存在する - 手法の一つとして、過去の計測点群データとの比較を行うことで、その差分から変異を解析することができるが、そのためには一定期間ごとにレーザー計測を行い、そのデータを公開し入手しやすくする取り組みが必要である
要介護情報の表示	<ul style="list-style-type: none"> ● 救助の際の優先度判定のために必要な要介護情報をシステム上で表示するためには、住民基本台帳と要介護情報との紐づけが必要である。そのため、キーとなる番号を住民基本台帳と要介護情報の各データに保有しておく必要がある
住民基本台帳や要介護情報における事前対応	<ul style="list-style-type: none"> ● 災害時に住民基本台帳をインターネット回線上のシステムへ搭載できる環境を整えるために、個人情報保護審議会等での審議、関係部署との調整を行い、庁内合意、搭載項目を決定することが必要 <ul style="list-style-type: none"> - 地方公共団体の情報セキュリティポリシーで、住民基本台帳をはじめとする個人情報の活用には制限があるため、事前の討議・合意形成が必須である - 被害を受けた範囲の住民基本台帳データをGISにて抽出する操作方法や操作する人、事業者へのデータの授受方法などを記載した運用マニュアルの策定が必要となる
住民基本台帳の使用上の注意点	<ul style="list-style-type: none"> ● 住民基本台帳を使用する上では以下の点で最新情報が反映されていない可能性があり、最新情報をいかに入手し続けるかが課題となる <ul style="list-style-type: none"> - 長期出張や施設への入居した場合など住民基本台帳の住所と実際の居住場所や世帯構成が異なる - 住民基本台帳（座標情報付）の更新頻度によっては、時点が古い場合がある
アプリケーションのユーザインタフェース	<ul style="list-style-type: none"> ● 実際に災害が発生し、緊急対応が必要な場面を想定し、できるだけ少ない操作手順でスピーディに使い、誤操作をさせないように磨きこみが重要 <ul style="list-style-type: none"> - 特にARアプリケーションは災害現場で迅速に利用する必要があり、中でもVPSが利用できない場合の位置合わせ機能は、位置精度と操作スピードを両立させる検討が必要である

4-1-5 展望

本実証実験から、昨今活用が進むドローンにより撮影された点群データと3D都市モデルとの比較により被害住居の検出を行う本システムは、被害状況把握及び災害救助活用に有効であることが確認できた。さらに、非専門家でも簡単に利用できるUI/UX設計、住民基本台帳連携のための事前協定の検討といった課題を解決し、システムの完成度を高めることで、年々増加する自然災害における人的被害を最小限に抑える手立てになると期待される。

本システムでは、土砂災害にフォーカスした被害住居検出アルゴリズムの構築を行ったが、洪水や津波など様々な自然災害での活用に合わせて被害住居検出方法の検討等の開発を進めていきたい。また、将来的には災害発生後の被害状況の把握のみでなく、シミュレーション機能による災害時避難方法の事前検討や、気象情報との連動による適切なタイミングでの避難指示の発令を支援するシステムなど、災害による被害を最小限に抑えるためのシステムの拡張を目指したい。

4-2 XR技術を活用した市民参加型まちづくり（2022年度）

株式会社ホロラボ

<https://www.mlit.go.jp/plateau/use-case/uc22-015/>
https://www.mlit.go.jp/plateau/file/libraries/doc/plateau_tech_doc_0038_ver01.pdf

4-2-1 サービス概要

①事業・サービスの目的、ビジネスモデル、社会的意義

事業・サービスの目的と概要

大規模な都市開発においては、都市計画に関する複雑な情報をわかりやすく住民に伝え、再開発事業者や地域住人などの様々なステークホルダが透明性を持って討議を重ね、開発計画を実現していくことが重要となる。

今回の実証実験では、3D都市モデルとXR技術を組み合わせた市民参加型まちづくりの支援ツールを開発することで、まちの課題や将来像を直感的に理解可能とし、市民のまちづくりへの参加を活性化させることを目指す。

ビジネスモデル

都市開発における市民参加支援ツールの開発を行う。（自治体、デベロッパー、建設業者向けSaaSモデルを想定）

社会的意義

都市開発において、一般住民への説明、多様な価値観にコミュニケーションをフィットさせる難しさがあるなか、透明性を持って討議を重ねることができる市民参加支援ツールを提供する。

人口減に伴う再開発資金の不足と民間事業者との一体型開発などの新しいスキームが出現するなか、大規模開発のパターン化がすすむことから、本ツールに活用によって、都市開発における創造的なアイデア創出が可能となる。

図 4-2-1 市民参加型都市開発を実現する直感的な情報共有プラットフォーム



4-2-2 実証調査詳細

①実証調査の目的・概要

実証調査の目的

大規模な都市開発において、3D都市空間データ自体が持つ【新しさ】【楽しさ】【魅力】を通じて、より計画に関わる全ての人々の関心を高め、理解度を高め、広く議論できる情報共有の基盤をかたちづくる

- 3D都市空間データや様々なデータを可視化し、計画に対する議論をデジタルコンテンツとして保存／閲覧可能とするプラットフォームサービスの企画開発を目指す
- 3D都市空間データの、都市開発におけるステークホルダ間コミュニケーションでの有用性を実証する

実証調査の概要

• 実証仮説

- 従来の書面における平面的なデータに比べ、3D都市モデルを活用することで、専門知識のない一般市民にも再開発計画の内容が容易かつ直感的に理解できるようになる
- XR技術をもちいることで自身や他人の出した情報が都市空間や地図上での表現ができ、共通認識の構築により、アイデア発散・収束が起こりやすくなる

• 検証ポイント

- WOW性：新しさや面白さをフックに新たな参加者層の獲得と関心を高められるか
- 説明性：直感的な情報提示により理解を深められるか
- 透明性：市民の意見・アイデアを検討プロセスも含めて可視化し、トレース可能な状態となるか
- 公民性：検討プロセスを3D都市上に可視化し、市民・自治体・民間事業者間の理解を促進できるか
- 創造性：参加者の創造性を刺激することでアイデアの創出を支援できるか
- 操作性：短い時間で操作を理解でき、ワークショップの進行を妨げない、シンプルで使いやすいUIが実現できるか

②実証調査の対象エリア

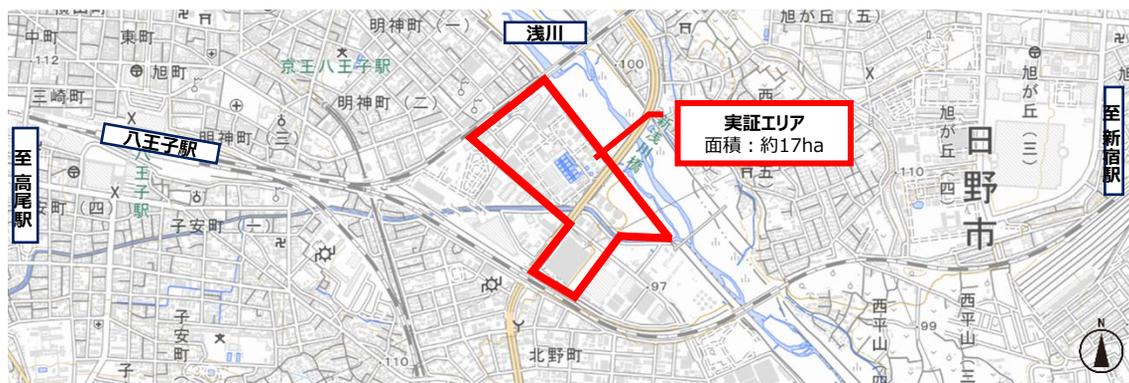
対象エリア

八王子市北野町・明神町・大和田町の一部

エリア選定理由

- 北野清掃工場を中心に大規模な再開発計画が進んでいる
- 東京都立大饗庭研究室(まちづくり) 協力
- 八王子市担当がPLATEAU Project参加に強いモチベーション

図 4-2-2 3D都市モデル利用範囲



出展：国土地理院 (<http://maps.gsi.go.jp/development/ichiran.html>)

東京都 八王子市 北野地域

③実証調査に向け開発されたサービス

八王子市の北野下水処理場・清掃工場跡地の活用をテーマに、XR技術を活用した市民参加型まちづくり支援ツールを開発した。本ツールは、3D都市モデルと都市の現況を理解するための様々な地理空間情報（GIS）やテキスト、画像、動画などを自由に重ね合わせ、一元的に管理・可視化できる3D地理空間情報Webプラットフォーム「HoloMaps」と、UnityベースのARアプリケーションである「Fieldwork AR」と「Workshop AR」の、計3つのアプリケーションで構成されている。

「HoloMaps」はMicrosoft Azure上に構築したCesiumJSベースのWebアプリケーションであり、3D都市モデルの3DTilesデータを表示できることに加え、様々な形式のGISデータ（GeoJSON, CZML）や2D/3Dデータ（jpg, png, mp4, las, glb）をウェブ画面から簡単に登録が出来るインタラクションを備えている。登録されたデータの管理・調整用にPostGISをベースとしたWebCMSを開発した。また、後述する各ARアプリケーションとのデータ連携が可能となっている。

「Fieldwork AR」は「HoloMaps」と連携し、Volumetric Video（奥行情報を追加した立体映像）など様々なARコンテンツの視聴と、写真や動画の撮影・アップロード機能を備えるフィールドワーク用のアプリケーションであり、Microsoft HoloLens 2（以下HL2）とiPadに対応している。Unityをベースとして、二次元バーコード認識によるARコンテンツの位置合わせにはQRFoundation（iPad版）及びMixed Reality-QRCode-Sample（HL2版）を、Volumetric Videoの撮影と再生はRememory SDK（iPad版）及びAzure Kinect DKと自社ライブラリMeshPortation（HL2版）を利用した。「Fieldwork AR」を用いてユーザーがアップロードした写真や動画は位置情報付きで「HoloMaps」へ共有され、「HoloMaps」上でも閲覧することができる。

「Workshop AR」は、AR画面上に「HoloMaps」で登録された3D都市モデルやその他のオブジェクトを表示するとともに、カード型ARマーカー（タンジブルインターフェース）を読み取り、AR画面上に読み取ったオブジェクトを重畳する機能を備えている（配置したオブジェクトの位置も三次元的に計算され、3D都市モデルなどと組み合わせることでオブジェクトを自由に配置することが出来る）。また、複数のユーザーが同一の画面をリアルタイムで共有可能であり、カード型ARマーカーによって追加されたオブジェクトを複数人で閲覧・操作することが出来る。参加ユーザーはグループ単位で管理され、グループで作成したワールドを保存し、「HoloMaps」上で再現することも可能である。システムとしては、Unityをベースに画像マーカー認識（iPad版はARKit Image Tracking, HL2版はVuforia Image Targets）を持つクライアントアプリケーションと、ゲーム進行管理用Webアプリ（ターン管理、ユーザーコメントの入力とリアルタイムなAR反映、画像マーカー配置の保存機能）を開発した。

図 4-2-3 開発されたサービスのイメージ



HoloMaps



Fieldwork AR



Workshop AR

●導入する新技術

- PLATEAUデータ互換ビューワーの新規開発
 - ✓ PLATEAUデータ表示の基本機能を具備
 - ✓ 幅広いデータ種別の統合的取り扱いと可視化、管理
 - ✓ より直感的なデータ管理UI
- コミュニケーション記録の仕組み
 - ✓ Web、AR、VRそれぞれでコミュニケーションの記録の保存と再現に挑戦
- BIM連携
 - ✓ BIMからPLATEAU、XR間の連携強化
- XR連携
 - ✓ D都市データをより直感的に扱えるヒューマンインターフェースの開発

図 4-2-2 導入する新技術



図 4-2-4 システムアーキテクチャ全体図

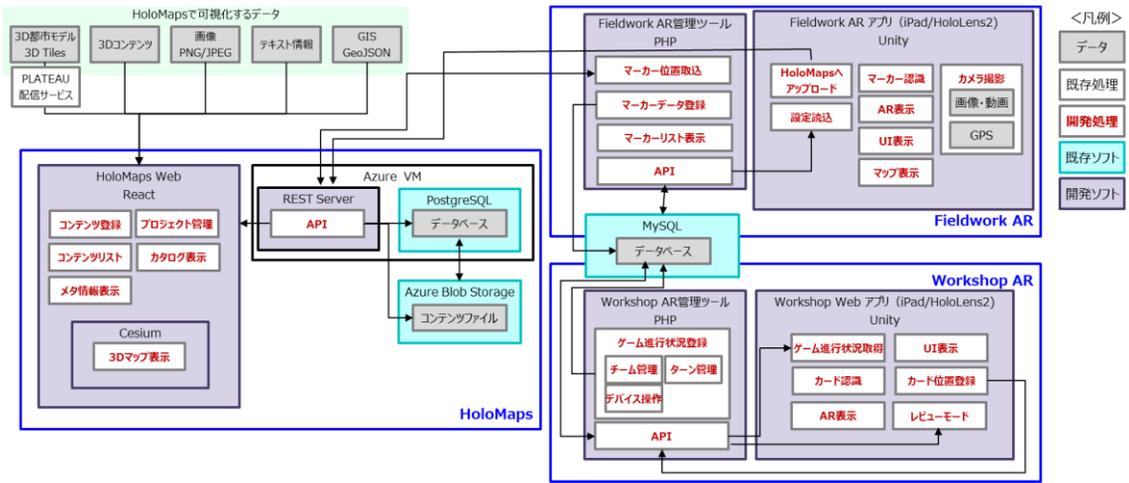


図 4-2-5 データアーキテクチャ全体図

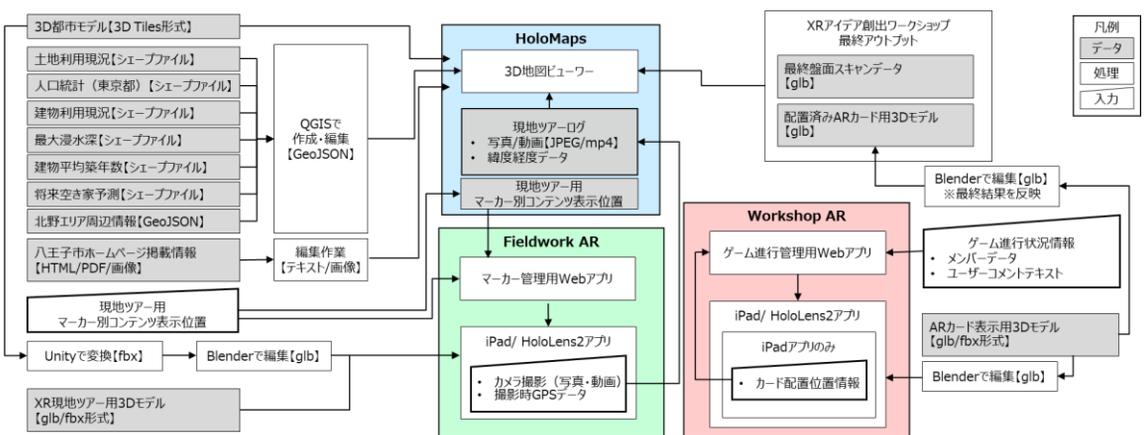


図 4-2-6 システムの全体像



④3D都市モデル (CityGML) の活用方法

3D都市モデルと都市の現況を理解するための様々な地理空間情報 (GIS) やテキスト、画像、動画などを重ね合わせ、一元的に管理・可視化できる3D地理空間情報Webプラットフォーム「HoloMaps」を開発した。

利用された3D都市モデルの仕様

八王子市北野町・明神町・大和田町の一部のLOD1及びLOD2モデル

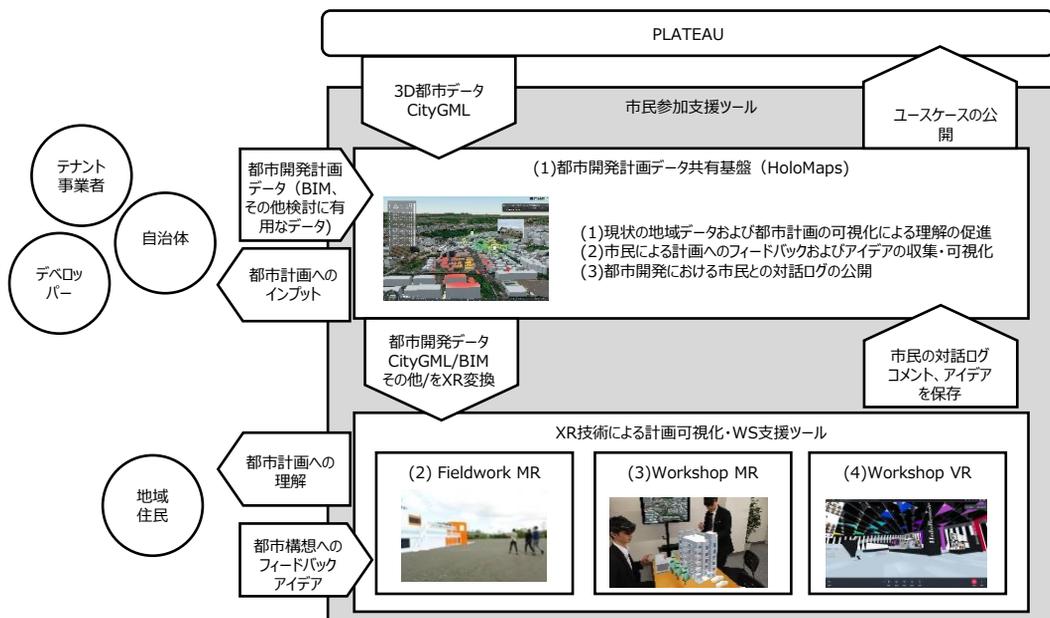
3D都市モデルの用途

現状の地域データおよび都市計画の可視化による理解の促進

3D都市モデル活用のためのソフトウェア

- CityGMLデータの変換
 - ✓ 3D Tiles、GLB形式に変換 (変換ツールtbdを利用)

図 4-2-7 3D都市モデルの活用方法



4-2-3 実証調査結果

①実証システムの価値検証：参加者視点

検証内容

参加者視点で以下の6つの観点で検証を実施する。

観点	既存WSの課題	検証項目	検証方法	
			定性	定量
WOW性	<ul style="list-style-type: none"> 参加者の高齢化、固定化が進んでいる 人々の関心が少ない 	①新たな参加者層の獲得ができたか ②参加モチベーションや積極性向上に寄与するか	<ul style="list-style-type: none"> 全WS実施後のアンケートを実施し、回答から示唆抽出 (システムに紐づく項目のみ、各回別にアンケート実施) 	<ul style="list-style-type: none"> 参加人数の定量評価
説明性	<ul style="list-style-type: none"> 一般住民への都市開発の説明が難しい 多様な価値観にコミュニケーションをフィットさせるのが難しい 	③従来手法と比較し市民の現況への理解が深まったか		-
透明性	<ul style="list-style-type: none"> 検討プロセスが伝わりづらい トレース可能な透明性が求められている 	⑤計画検討プロセスを可視化、保存できているか		<ul style="list-style-type: none"> 第2回ワークショップのコメント数を定量評価 第3回ワークショップの途中成果物の数を定量評価
創造性	<ul style="list-style-type: none"> 大規模開発のパターン化が進み、都市開発において創造的なアイデアが求められている 	⑦十分な量のアイデアが得られたか		<ul style="list-style-type: none"> 第4回ワークショップの成果物の量を定量評価
操作性	<ul style="list-style-type: none"> 3Dコンテンツの操作は難しい デジタルリテラシーの低い人でも参加できること 	⑨開発したそれぞれのシステムに対するユーザビリティ評価		-
満足度	-	⑩各ワークショップの内容に満足できたか		-

ワークショップ参加人数

対面・オンライン双方で参加者を募り、八王子市民だけでなく八王子市以外の地域に住む人々も参加した。

形式	内容	場所	開催日	時間	事前申込数		参加者数(実績)	
					全体	市内	全体	市内
対面	プロジェクト全体説明会	北野清掃工場	2022/08/27(土)	10:00-12:00	27人	13人	17人	8人
	XR現地ツアー		2022/09/10(土)				22人	10人
	3D都市モデルワークショップ	八王子市学園都市センター	2022/10/08(土)	13:00-17:00			20人	9人
	アイデア創出XRワークショップ	東京たま未来メッセ	2022/10/22(土)				15人	7人
オンライン	プロジェクト全体説明会	オンライン (Zoom)	2022/09/14(水)	19:00-21:00	24人	12人	14人	7人
	XR現地ツアー		2022/09/21(水)		25人	11人	9人	2人
	3D都市モデルワークショップ		2022/10/12(水)		25人	10人	5人	0人
	アイデア創出XRワークショップ		2022/11/02(水)		22人	9人	7人	3人

検証結果

あらかじめ設定した定量KPIのうち特に市民のアイデアや意見を得る「透明性」と「創造性」のKPIについては設定した目標値を大幅に上回り、XR技術活用がワークショップの活性化に有力であることがわかった。

観点	検証項目	評価指標	達成度	結果
WOW性	①新たな参加者層の獲得	ターゲット層（30～40代親世代）30%以上のWS参加 ※八王子市と協議の上、親世代をターゲットに人口比率も踏まえて設定	100%	<ul style="list-style-type: none"> 対面参加者27名中30～40代は8名となり30%となった さらに20代以下も9名33%となっており、従来の高齢層が多いWSと比較しても大きな変化が見られた 初回に対面参加した17名のうち8名（47%）はWSへの参加が初めてで従来とは異なる層の取り込みに成功した
透明性	⑤計画検討プロセスを可視化、保存できているか	第2回現地ツアーでのコメント登録数 1人1件以上	1537%	<ul style="list-style-type: none"> 目標を大幅に上回る1人平均15.4件の登録を確認（参加者は27名のため、計415件の登録） 手軽さと面白さが寄与したと考えられる 但しアップロードに時間を要した点や、ワークショップ後のコメントの可視化やとりまとめ方法に課題が残る
		第3回3D都市モデルワークショップでの成果物 1グループ1件以上	100%	<ul style="list-style-type: none"> 各グループ1テーマずつ模造紙に取りまとめることができた（4グループとしたため、全体で4件の成果物） 取りまとめた模造紙はキャプチャし、HoloMaps上で参加者が閲覧可能な状態とした
創造性	⑦十分な量のアイデアが得られたか	第4回アイデア創出WSでの最終成果物 1グループ2件以上（1件×最低2ターン）	150%	<ul style="list-style-type: none"> 各グループ平均3件のアイデアを最終成果物として出すことができた

ワークショップの様子

全4回を通して参加者の熱量が高く、XRを活用して活発な議論が交わされていた一方で、コンテンツを最大限活用できるよう利用環境の改善の必要性が感じられた。

1 プロジェクト全体説明会

- XR技術やProject PLATEAUに対する関心が高く、活発な質疑応答や議論が発生した
- 20-30代の参加も多く、ITエンジニアや地域の都市開発専門の方等、従来ワークショップと参加者層に大きな違いがみられた



Fieldwork ARデモ

2 XR現地ツアー

- 機器の同時Wifi利用、及びコンテンツ数の多さによりアップロードに時間がかかり進行に遅延が発生した
 - 一部HoloMapsでの閲覧ができないチームも発生した
- 真夏の屋外では、HoloLens2の推奨環境から逸脱しており、正常に動作せずARコンテンツの閲覧ができない状態が頻発した



ルートを設定している参加者

3 3D都市モデルワークショップ

- 普通の視点とは異なる視点でまちを確認でき、議論が広がっていた
- 通信環境の問題から広範囲のGISデータの表示に時間がかかった
 - ポケットWiFiの電波環境が悪く、テザリングでも不十分だった
 - リストのみを転送するはずが、コンテンツデータ本体も転送していた



4つの言葉のまとまりに再構成したものの

4 アイデア創出XRワークショップ

- 参加者の習得が想定よりも、予測より1ターン多い、4ターンをプレイすることができ、各グループの個性が出た
- 最終的に全員総立ちとなり、熱気に包まれた最終回となった



全ワークショップ終了の記念写真

②実証システムの価値検証：WS主催者視点

検証内容

WS主催者として八王子市職員2名と東京都立大学饗庭先生にアンケートを下記観点に対して実施した。

観点	既存WSの課題	検証項目	検証方法
WOW性	<ul style="list-style-type: none"> 参加者の高齢化、固定化が進んでいる 人々の関心が少ない 	①新たな参加者層の獲得 ②参加モチベーションや積極性向上への寄与度	<ul style="list-style-type: none"> アンケートを実施し、回答から示唆抽出
説明性	<ul style="list-style-type: none"> 一般住民への都市開発の説明が難しい 多様な価値観にコミュニケーションをフィットさせるのが難しい 	④従来手法と比較し説明が容易か（自治体）	
透明性	<ul style="list-style-type: none"> 検討プロセスが伝わりづらい トレース可能な透明性が求められている 	⑤計画検討プロセスを可視化、保存できているか	
公民性	<ul style="list-style-type: none"> PFI/PPP（公共サービスの公民連携）の導入によるスキームの複雑化による相互理解の難しさ 	⑥民間事業者へのサウンディング等でも利用価値があるか	
創造性	<ul style="list-style-type: none"> 大規模開発のパターン化がすすみ、都市開発において創造的なアイデアが求められている 	⑦十分な量のアイデアが得られたか ⑧次年度以降へのインプットにつながるアイデアが得られたか	
操作性	<ul style="list-style-type: none"> 3Dコンテンツの操作は難しい デジタルリテラシーの低い人でも参加できること 	⑨開発したそれぞれのシステムに対するユーザビリティ評価	

検証結果

意見の広がりや参加者の積極性の増進に寄与し、ワークショップを盛り上げるツールとして好意的に受け取られており、さらなる有用性向上のために主催者側のサポートや機能の拡充を付加する必要性が挙げられた。

八王子担当者コメント（抜粋）

学識コメント（抜粋）

全般	<ul style="list-style-type: none"> 有償利用の価値はあるが一事業よりも全庁的取組にしたい 楽しくWSが出来て良かったが、主催者は理解を深めるサポートをする必要がある 	<ul style="list-style-type: none"> バーチャルを使ったことで、いつでもどこでも簡単にできるようになったので、あちこちで簡単にやってみたい。 他のエリアでも利用してどのような人に効果的なのかを検証したい
WOW性	<ul style="list-style-type: none"> 従来のWSよりも若い世代が多く、先端技術に関心のある層が集まり、ツールを使って積極的に取り組んでいた印象を受けた 	<ul style="list-style-type: none"> デジタル技術に興味のある層が参加していた 物珍しさからワークの内容よりも技術に夢中なときがあった
説明性	<ul style="list-style-type: none"> 3Dの直感的・視覚的わかりやすさによって理解が深まった データの作り込み（精度向上）や複数データの比較ができることさらに良くなるのではないかと 	<ul style="list-style-type: none"> 意見の広がりを感じた 分かりやすさから説明せずとも使ってもらえるのが良い
透明性	<ul style="list-style-type: none"> 意見がすべて表示されているので透明性は高い 個別の意見をグループ化等で見やすく整理したい 	<ul style="list-style-type: none"> 参加者にアプリを配布し、帰宅後も使えるようにするとさらに広がりがあるのではないかと
公民性	<ul style="list-style-type: none"> HoloMapsを使っでの提案は有用だと思ふ 敷地概要や注意すべき点をまとめて全体像として把握したい、その後足りない部分をHoloMapsを使って細かく見るとよい 	<ul style="list-style-type: none"> （コメントなし）
創造性	<ul style="list-style-type: none"> 視覚的なわかりやすさは発想やアイデアを生むサポートになる 想定していなかった意見がもらえてよかった 	<ul style="list-style-type: none"> 最終回のゲーム形式でどんどんアイデアが出てよかった タンジブルツールの併用や立体的に可視化されることが意見の広がりを生んだ
操作性	システムごとの評価結果は後述	

操作性（HoloMaps）：ワークショップ主催者の目線ではHoloMapsは反応面に難があり、ワークショップの運営に支障をきたす可能性が危惧されているため、利用拡大のためには遅延を防ぐ対策を講じる必要があるのではないかと

操作性（Fieldwork AR）：Fieldwork ARは利用のしやすさや展開の可能性の広さから、WS主催者からも好意的な反応が得られており、内容や反応面を磨きこむことでより有用なものとしてとらえられるのではないかと

操作性（Workshop AR）：Workshop ARは運営側・参加者双方に負担が少なく利用できるUIの開発が求められている

③実証システムの価値検証：民間事業者視点

検証内容

鉄道・不動産事業者のワークショップ運営で今後活用可能性があるか、有用性が認められるかを以下4つの観点でアンケートを実施した。

観点	既存WSの課題	検証項目	検証方法
説明性	<ul style="list-style-type: none"> 一般住民への都市開発の説明が難しい 多様な価値観にコミュニケーションをフィットさせるのが難しい 	④従来手法と比較し説明が容易か（自治体）	<ul style="list-style-type: none"> アンケートを実施し、回答から示唆抽出
透明性	<ul style="list-style-type: none"> 検討プロセスが伝わりづらい トレース可能な透明性が求められている 	⑤計画検討プロセスを可視化、保存できているか	
公民性	<ul style="list-style-type: none"> PFI/PPP（公共サービスの公民連携）の導入によるスキームの複雑化による相互理解の難しさ 	⑥民間事業者へのサウンディング等でも利用価値があるか	
操作性	<ul style="list-style-type: none"> 3Dコンテンツの操作は難しい デジタルリテラシーの低い人でも参加できること 	⑨開発したそれぞれのシステムに対するユーザビリティ評価	

検証結果

3DやXR技術を活用したまちづくりは開発者側の提案を住民にわかりやすく説明することができ、住民と自治体の議論や合意形成に有用であると声が寄せられているため、利用価値は認識されていると考えられる。

説明性	住民とのコミュニケーションでの課題は？	<ul style="list-style-type: none"> 開発案に対する住民の納得感を得るために、従来は開発側の使いたいデータを使って議論がなされていたが、今後はデータをオープンにして住民と議論をし、合意形成ができる提案を行う必要がある
	住民への説明が容易になったり、理解が深まる可能性はあるか？	<ul style="list-style-type: none"> 3DやAR等のビジュアル要素は理解度の向上や、正しく把握できるまでの時間の短縮等に寄与する 住民への説明が容易になり、開発への理解が深まる可能性は十分にある
透明性	検討プロセスの可視化や保存、情報のやりとりの課題は？	<ul style="list-style-type: none"> 手法やステークホルダーによって公民連携の開発では課題が異なって存在する 住民のニーズが多様化しているため、検討のプロセスの可視化は良いと思う
公民性	上記の検討プロセスにおける課題は本WSの手法で解決できるか？	<ul style="list-style-type: none"> 「分かりやすい説明」という点で、3Dを用いたビジュアル的な説明は住民の無用な混乱を回避できて効果的 専門的なやり取りでの本WSシステムの適応や財政面での課題がハードルとなるのではないかと
	住民の意見やアイデアは自治体への提案の際に有用なインプットになるか？	<ul style="list-style-type: none"> 住民にしか分からない課題の解決に向けて有用であると思う。自治体へ具体的に意見やアイデアを正確に共有できると思う ワークショップの経過を上席にどのように伝えるか、結果ではなくプロセスの共有の手法が求められる
	3D都市モデルやXR技術を御社のまちづくりビジネスに活用したいか？	<ul style="list-style-type: none"> 活用してみたい。イメージの共有や、WSの幅がひろがると思う 3DやXR等の高度で先進的なデジタル技術を駆使していくことは、まちづくりにおいて不可欠と考えています
	メリットが得られそうなシーンや活用したい機能はあるか？	<ul style="list-style-type: none"> ワークショップ(防災)、社内での事例整理(データベースの構築) 保有3Dデータ・GISデータの管理・ビュー機能 沿線メタデータの蓄積
操作性	開発したそれぞれのシステムに対するユーザビリティ評価	システムごとの評価結果は後述

操作性（HoloMaps）：HoloMapsの体験に対してネガティブな印象は少ないものの、利用を強く後押しするような高い満足感の醸成には至っておらず、民間事業者への導入のためには価値訴求を強化する必要があるのではないかと

操作性（Fieldwork AR）：HoloMapsと同様に高い満足感の醸成には至っておらず、利用シーンや利用価値を強く押し出す必要があるのではないかと

操作性（Workshop AR）：Workshop ARに対しては満足していない声が多くなっており、コンテンツの内容や操作性を磨きこみ、民間事業者のワークショップ運営を支援するARとして磨きこみが必要ではないかと

図 4-2-8 実証実験の様子



さまざまなデータを重畳させたHoloMaps



Fieldwork ARをつかったまちあるき



Workshop ARをつかったワークショップ

④参加ユーザーからのコメント

- ・ 3D地図上で情報を重ねて意見交換をすることでイメージの共有が早くなった。
- ・ データを見ながら話すことで議論のきっかけになり、具体的な案が出て建設的な議論ができる。
- ・ 知りたい情報が見られるのは便利だが、欲しいデータが無いこともある。
- ・ ユーザーが大量のGISなどのコンテンツを使いこなす必要がある。
- ・ 操作はシンプルで分かりやすいが、慣れるまでの時間が必要と感じた。
- ・ オンラインワークショップで、3D地図上で実際の参加者が撮影した写真や動画をみることで、体力使わずに、色々なところに行って見られるのがよい。
- ・ ARカードゲームで使った模型とARで表示する3Dの相性が良く、活発な意見交換をすることができた。
- ・ ARで建物のツールカードを可視化することで、一般の人でも想像しやすい
- ・ 場を盛り上げるための新たなコンテンツとしてXR技術を導入することは有用と感じた。

4-2-4 実証調査考察

従来、再開発の構想などを住民と討議するためのまちづくりワークショップなどは、高齢層が主な参加者という傾向があり、参加者層の多様性や自由な発想に基づく議論を活性化させるといった面での課題となっていた。今回の実証実験では、本システムを用いた「XRアイデア創出ワークショップ」など先進的な取組である面を強調したことにより、ワークショップ参加者27名のうち20代以下が33%、30代～40代が33%、50代が26%、60代以上が8%と、参加者の年齢層を多様化することができた。

また、従来のまちづくりワークショップなどでは、自治体側からテキストや図面などが示され、課題やビジョンの内容の理解が難しいと言った課題があった。今回のワークショップでは、「Fieldwork AR」や「HoloMaps」などを用いることで、まちの現在・未来のイメージについて参加者が直感的に理解することができた。また、行政や住民、まちづくり関係者などの意見やアイデアをその場で保存し共有可能とすることで、関係者が共通の認識を持ちながら双方向のコミュニケーションを行うことができた。

一連のワークショップのまとめとなる「XRアイデア創出ワークショップ」では、参加者はカードを物理的に触って直感的に動かすことができる「タンジブルインターフェース」を用いて理想のまちの姿を簡単に構築し、これを「Workshop AR」の画面上で共有することで、自由な発想が創発され、関係者間のコミュニケーションが活性化された。参加者アンケートで過半数以上の方から、操作や機能のわかりやすさとコンテンツ内容に対して、好評が得られた。

また、まちづくり以外の自治体課題に対する市民参加の場においてもXR技術を用いることについて、9割近い参加者から「期待する」との評価を得た。

一方で、多方面で挑戦的な取り組みであったことから、課題も多数見出された。まず、共通的な課題として、多くのデジタルデータをオンラインで扱うことから通信回線の品質にワークショップの進行が左右され、待ち時間が度々発生することがあった。また運営面では、事前のデータやコンテンツの制作、デバイスの準備、ファシリテータへのツールのレクチャ、当日のトラブルシューティングなど実用化に向けてオペレーションの効率化や内容の磨き込みが必要であることが明らかになった。

また、ワークショップ全体のデータ基盤となる「HoloMaps」については、特に表示する各種データのサイズが課題となった。大きなデータを多数ロードすると通信回線と処理能力の双方の問題から表示までに時間を要し、件数は少ないがブラウザがクラッシュすることもあった。ユーザー体験面でも初見で使いこなすことは難しく、画面内の3D空間を動かすのに慣れが必要であるといった意見もあった。

2つのARアプリ「Fieldwork AR」と「Workshop AR」については、ともにARマーカの認識精度が屋外や照明直下などの光学条件に大きく左右されることで、ARマーカを認識するまで参加者がARデバイスのカメラをかざす角度・向きを試行錯誤して探すといったユーザー体験面の課題があった。

①今年度の実証で得られた成果

3D都市モデルによる技術面での優位性

複数視点のシームレスな切替え	<ul style="list-style-type: none"> 俯瞰視点と1人称視点のシームレスな切替えができる <ul style="list-style-type: none"> 現地ツアーの写真や動画等の2Dデータを使った一人称での現場理解に加え、3D都市モデルを活用して俯瞰的に広域な地区の現況を把握することができる
ARを使った現地イメージの可視化・共有	<ul style="list-style-type: none"> 3D都市モデルを切り出し、アイデア創出XRワークショップでARカードとして活用できるためCG制作数を大幅に減らすことができ、ワークショップの運営負担が大幅に軽減される
3D都市モデルとARアプリの連携	<ul style="list-style-type: none"> 3D都市モデルを通じてHoloMapsとFieldwork ARが連携することで、事前に3D都市モデルを使ったコンテンツ配置確認・調整を行えるため、現地作業を軽減できる Fieldwork ARで撮影した写真・動画や位置情報データがリアルタイムにHoloMapsを通して3D都市モデル上に表示されることで即座にアイデアの共有や議論ができる Workshop ARデータをHoloMapsにインプットすることで参加者以外でも議論の内容やアウトプットを確認できる

3D都市モデルによるビジネス面での優位性

新たな参加者層の獲得	<ul style="list-style-type: none"> 3D都市モデルとXR技術の新しさ・面白さをフックに、まちづくりの新たな参加層の獲得とまちづくりへの関心の向上につながる
デジタルとアナログのハイブリッドワークショップの実現	<ul style="list-style-type: none"> 3D都市モデルとXR技術を使ってデジタルに、かつ、直感的に情報を伝えつつ、模造紙と付箋でアイデアを出す方式を採用することで、より創造的なアイデアを引き出すことができる
ワークショップの質向上	<ul style="list-style-type: none"> 多様なデータ形式に対応した3D都市モデルとHoloMapsが連携していることで、ワークショップ内で様々なデータを基に議論が行われ、創造的なアイデアを創出しやすくなったり、議論のデータを保存して別のワークショップに展開することが出来たりすることで、ワークショップの効果的な運営が可能になる
オンライン化による拡がりの可能性	<ul style="list-style-type: none"> 開発したツール類を使うことでオンラインでもワークショップへの参加ができ、質の高い議論が出来たことから、新たな参加者層の獲得やアイデアの拡がりが期待できる
3D都市モデルによる都市スケールの理解の促進	<ul style="list-style-type: none"> 建物の大きさや高さで都市の機能や構造を直感的に理解できる <ul style="list-style-type: none"> 都市を広範囲かつ俯瞰して大きさや高さ等のモデルの形状からエリアの特徴が判別でき、住宅地、商業地域、工場地等の特性が直感的に理解できる
コンテンツ作成の負担削減	<ul style="list-style-type: none"> 対象地域に施設を置いた場合のイメージやサイズ感等を地図上で可視化することで、直感的な理解・共有ができる 消失予定建築物の表示/非表示を現場で行うことで、空地の眺望や広さ、活用の可能性等を実感できる

②今後の取り組みに向けた課題

ユーザビリティの改善	<ul style="list-style-type: none"> ● 開発したシステムの精度やワークショップ運営時の使いやすさを改善する必要がある <ul style="list-style-type: none"> - Fieldworks ARでのマーカー読取り精度の向上や利用環境の改善 - WorkshopARでの操作性向上 - HoloMapsでの操作性・視認性の向上
オペレーションの改善	<ul style="list-style-type: none"> ● ワークショップの進行が遅延するリスクを軽減する必要がある <ul style="list-style-type: none"> - コンテンツ準備時間の短縮 - 通信環境の改善 - ファシリテータ・オペレータの事前トレーニングの実施
実運用に向けた新機能の検討	<ul style="list-style-type: none"> ● ユースケース内では運営者が操作を行い、参加者には限定的な機能を提供していたが、実運用に向けては参加者自身でより広範な役割を果たすことができるように新たに導入を検討すべき課題がそれぞれ確認された <ul style="list-style-type: none"> - HoloMapsのアカウント管理・編集機能の追加 - WorkshopARの簡易化 - ワークショップ運営支援機能・ツールの導入

4-2-5 展望

本実証実験で得られた結果から、XR技術を活用した市民参加型まちづくり支援ツールやそれらを活用したワークショップが市民参加型まちづくりと親和性が高く効果的であることが分かったため、更なる活用に向けて検討を進めていく。具体的には、自治体主催のワークショップでの活用を実現するために、ユーザビリティの改善（ツール間のUI/UXの統一等）やセキュリティ強化をはじめとした機能追加、運営のためのオペレーションの効率化、ワークショッププログラムの拡充を目指す。またこれらと並行して、一つの自治体にとどまらずに全国規模での展開を企図し、ワークショップを実施している事業者と協業することで、ユーザー体験やサービス品質の向上とオペレーションの精緻化を進めていきたい。

3D都市モデルとXR技術を組み合わせることで複雑な都市開発を直感的に理解可能とし、市民参加型まちづくりにおけるDXを推し進める。これにより街づくりのプロセスに新たな価値を提供し、多様な世代をまちづくりに呼び込むことで、よりよい未来の実現を目指していく。

4-3 防災エリアマネジメントDX（2022年度）

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

<https://www.mlit.go.jp/plateau/use-case/uc22-030/>

https://www.mlit.go.jp/plateau/file/libraries/doc/plateau_tech_doc_0039_ver01.pdf

4-3-1 サービス概要

①事業・サービスの目的、ビジネスモデル、社会的意義

事業・サービスの目的と概要

地域の価値を維持・向上させるため、民間事業者が主体となってまちづくりを行うエリアマネジメントの取組が各地で進められている。しかし、こうした活動は事業者側の負担が大きく直接的な収益も生みにくいことから、活動の効率化・成果の見える化が課題となっている。特に、「安全安心なまちづくり」に向けた取組は、付加価値創出ではなくコストとして捉えられる傾向が強い。

今回の実証実験では、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、エリア内防災計画の更新や合意形成における有効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。

ビジネスモデル

デジタル技術を活用した業務効率化に加え、エリアマネジメントによる地域の価値向上やそれらを実現する為のケイパビリティ・ブランド価値の向上を目指す。

社会的意義

エリアマネジメント活動の持続性に対する課題解決と、官民連携による安全安心（防災）のまちづくりの価値創造への挑戦。

図 4-3-1 大規模人流シミュレーション



4-3-2 実証調査詳細

①実証調査の目的・概要

実証調査の目的

データ駆動型マネジメントにより、品川駅・田町駅周辺地域都市再生安全確保計画において掲げられている、「世界に誇る自立発展性・創造性をもち、自立可能な「えきまち一体」の安全・安心拠点」という将来像を実現し、災害への備えが国際的な信頼となると共に、日常のイノベーションを起こし、国際競争力強化・地域の価値向上に繋がるよう、持続的な都市の発展に寄与する。

まちづくり段階にある品川駅北周辺地区（約10ha）を広大な実証フィールドとして、駅とまちが一体となった、将来のデータ駆動型マネジメントを推進するための「課題解決×価値創造のプラットフォーム」のプロトタイプとして3D都市モデル及びシミュレーション環境を整備し、先行的に安全安心なまちの仕組み構築を目指す。

実証調査の概要

●実証仮説

- 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
 - ✓ 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
- 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
 - ✓ 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箇所を特定することができる
 - ✓ 避難誘導を行うことで避難に要する時間を短縮できる
 - ✓ 避難先の収容ボリュームが十分かを検証できる

●検証ポイント

- 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
 - ✓ 計画策定時にわからなかった新たな課題が見出せるか
 - ✓ まちのウィークポイント・プレイスを特定できるか
 - ✓ 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
 - ✓ より良い誘導策等を検討できるか
 - ✓ 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
 - ✓ 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
- 災害対策議論時に共通認識形成に役立つか
 - ✓ 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

②実証調査の対象エリア

対象エリア

品川駅北周辺地区

エリア選定理由

- 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
- 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

図 4-3-2 3D都市モデル利用範囲



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）

③実証調査に向け開発されたサービス

実証実験では、まず、建築物内部を含む建築物モデルLOD4、対象エリア周辺の建築物モデルLOD2、ペDESTリアンデッキモデル、道路モデル等を統合した対象エリアの3D都市モデルを作成した。対象エリアとなる高輪ゲートウェイの開発区域（品川駅北周辺地区）は開発段階のため、建築物モデルLOD4等の作成に当たっては、地権者の協力を得て、設計データ（AutoCAD、REVIT）の提供を受けた（3Dモデル作成・統合にはRhino、BlenderGISを利用）。これを基礎に、Unreal Engine（以下、UE）を利用して1万人を超える人流を扱うことが可能なシミュレーション環境をAWS EC2（GPU搭載）上に構築した。

3D都市モデルを地理座標に基づいて扱うため、作成したデータを一度ウェブGISのためのレンダリングフォーマットである3DTilesに変換し、これをUEプラグインであるCesium for Unreal（C4U）を用いてUEに読み込んだ。また、C4Uを改修することで、取り込んだ3DTilesデータにNavMesh（移動可能領域）を自動生成できるようにした。シミュレーション内の人流のモデルは、UEが提供するNavigation Systemの群衆制御アルゴリズム（Crowd Manager）や経路検索アルゴリズムを利用して構築した。

人流を生み出す方法としては、UEのEditor上で人流発生地点及び目的地点を設定し、生成するキャラクター数などを設定できる仕組みとした。また、大規模なキャラクター数を扱うためのパフォーマンスチューニングとして、キャラクターの移動処理のマルチスレッド化やキャラクターのアニメーション処理削減などの軽量化を行った。また、本システムの拡張性と利便性を向上させるため、シミュレーション及びレンダリングをクラウドサーバで実行する仕組みを構築した。

シミュレーション結果である人流の密集度（経路と目的地）や移動完了時間等を分析・可視化するため、UEが演算したシミュレーションログ（キャラクターの移動軌跡ログなど）をCSVでアウトプットし、これをAWSの分析マネージドサービス（AWS Glue, Athena, QuickSight）で処理する仕組みを構築した。また、UEでシミュレーションの実行内容を再生できるリプレイアプリを開発し、分析結果から抽出された課題を考察できるようにした。

より多くのまちづくり・エリアマネジメントの関係者に避難イメージが伝わるよう、シミュレーション結果からビジュアル（静止画や動画）を作成する仕組みを構築した。ビジュアル作成のためのレンダリングはシミュレーション環境とは分離したシステムとし、分析作業と資料作成を効率的に進められるようにしている。ビジュアルの作成方法としては、3D都市モデルの床壁や店舗部分などにテクスチャやマテリアルを付与しリアリティを向上させるとともに、アニメーションを付与したNPCモデルを作成し、シミュレーション結果を参照して配置した。映像は群衆アニメーションソフトAnimaを用いて作成し、レンダリングにはシミュレーション環境とは別のUE環境を用いた。

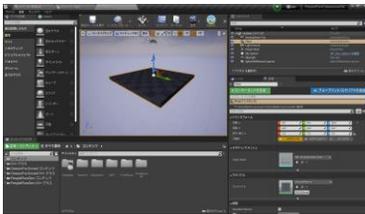
図 4-3-3 開発されたサービスのイメージ



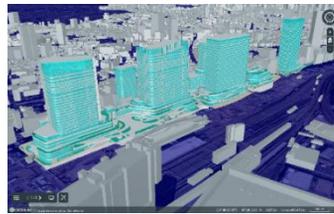
●実証技術一覧

項目	内容
Unreal Engine(UE)	<ul style="list-style-type: none"> Epic Gamesが開発したゲームエンジン
Cesium ion	<ul style="list-style-type: none"> 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"> 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
Cesium for Unreal	<ul style="list-style-type: none"> 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
Rhinoceros	<ul style="list-style-type: none"> 3DCGモデルを作成・編集するソフトウェア
Blender/BlenderGIS	<ul style="list-style-type: none"> 3DCGモデリングソフトウェアBlenderのアドオン <ul style="list-style-type: none"> 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
Anima	<ul style="list-style-type: none"> 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

図 4-3-4 実証技術の画面イメージ



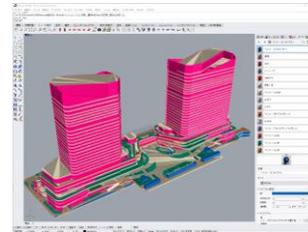
Unreal Engine



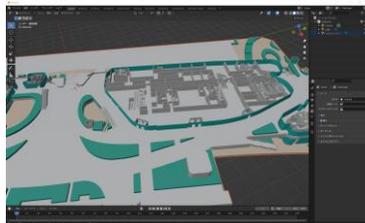
Cesium ionで配信された3D都市モデル



Cesium for Unreal



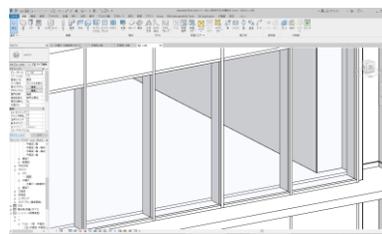
Rhinoceros



Blender/BlenderGIS



Anima



Revit

● 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	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 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 <ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 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 <ul style="list-style-type: none"> 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

図 4-3-5 システムアーキテクチャ全体図

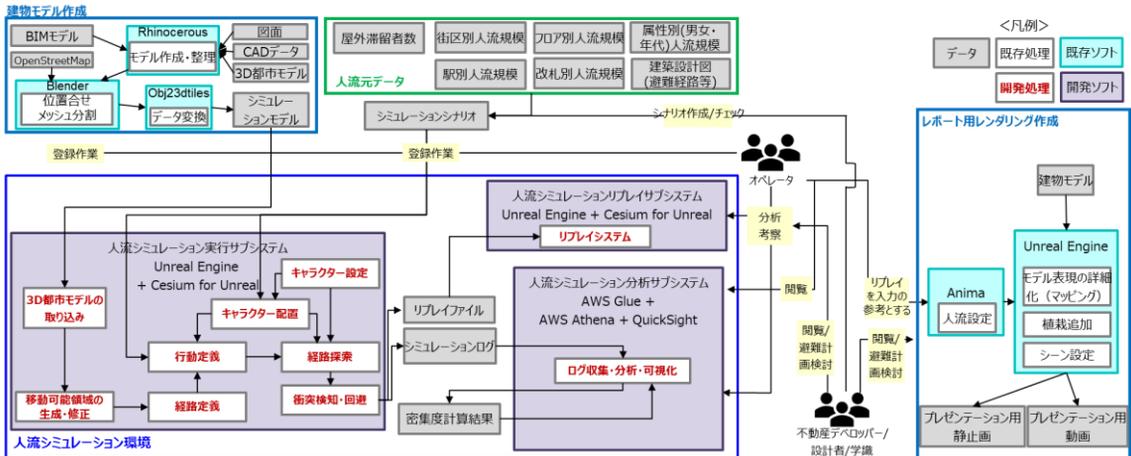


図 4-3-6 データアーキテクチャ全体図

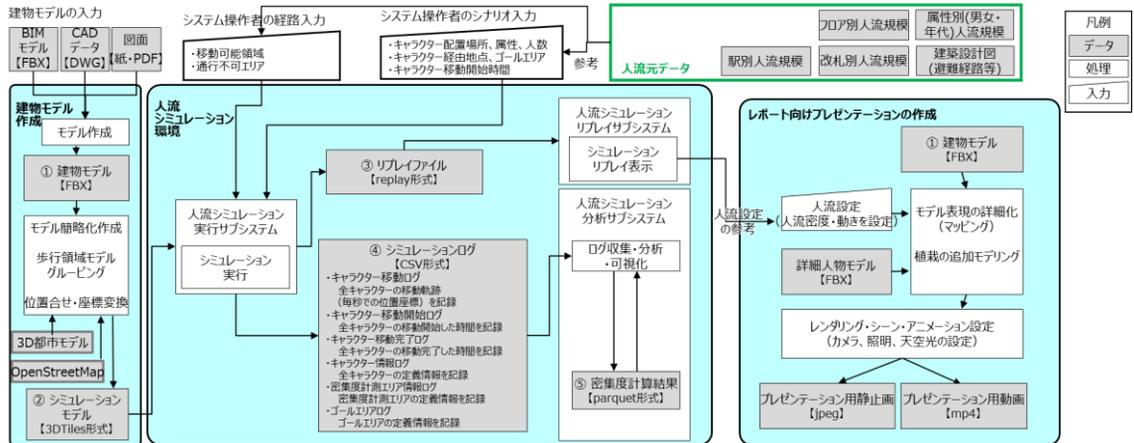
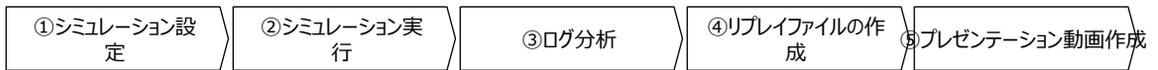


図 4-3-7 UI/UXの全体フロー



- 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
- シミュレーションを実行し、実行中の様子を表示する
- シミュレーションの結果ログを分析する
- 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
- 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



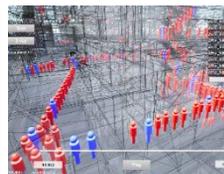
UEのエディタ画面



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

④3D都市モデル (CityGML) の活用方法

PLATEAUのLOD1から2をベースに、シミュレーションに重要な各階床・壁の情報や家具・什器等の入力のレベルを検証し、人流シミュレーションに活用するために必要なセマンティクス情報を整理提案する。計画建物においては、CAD/BIMから形状と必要属性をCityGMLに書き出し、シミュレーションを行い可視化する。今回、周辺建物は3D都市モデルをPLATEAUを用い、当該計画建物（シミュレーション対象）及び泉岳寺駅地区・4-2街区の建物はモデル化する。

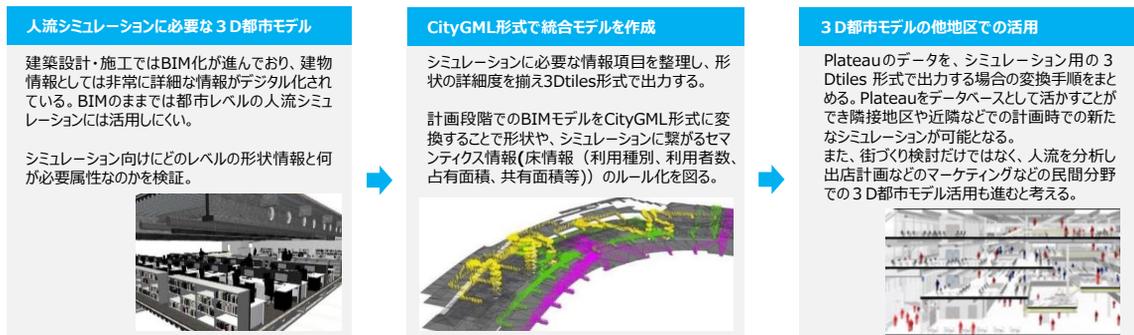
利用された3D都市モデルの仕様

品川駅北周辺地区のLOD1及びLOD2モデル

3D都市モデルの用途

判り易く円滑な合意形成や、事業策定や街づくりの合意、エリマネ活動の推進に向けて以下の用途で活用する。

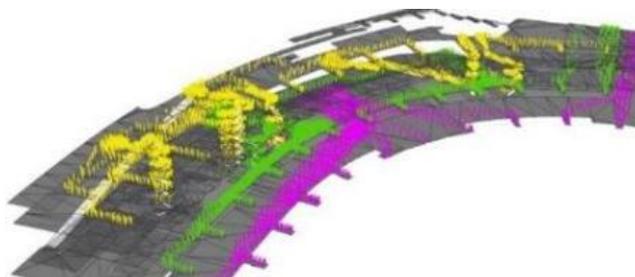
図 4-3-8 3D都市モデルの活用方法



3D都市モデル活用のためのソフトウェア

- 計画データ編集/変換
 - ✓ CAD:AutoCAD、BIM:REVIT、GIS:ArcGIS、FMEDesktop、obj23dtiles
- 3Dモデル作成・統合
 - ✓ Rhinoceros、BlenderGIS
- 3Dモデル確認
 - ✓ Unreal Engine、Cesium ion

図 4-3-9 CityGML形式で統合モデルを作成



4-3-3 実証調査結果

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"> 開発エリア（高輪GWシティ（仮称））の空間の安全性を検証
		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"> 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
		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"> 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
		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」

①シミュレーション環境の検証：災害時

検証内容

検証目的	<ul style="list-style-type: none"> 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
検証方法	<ul style="list-style-type: none"> 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"> 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 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

検証結果

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"> 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） 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 	×	<ul style="list-style-type: none"> 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"> 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 	○	<ul style="list-style-type: none"> 混乱がなく避難できています 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ます
No.2 二次避難時 (発災3時間後～)	×	<ul style="list-style-type: none"> 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"> 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 	×	<ul style="list-style-type: none"> 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"> 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 	×	<ul style="list-style-type: none"> 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"> 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

②シミュレーション環境の検証：災害時再検証

検証内容

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。

検証目的	<ul style="list-style-type: none"> 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
検証方法	<ul style="list-style-type: none"> 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

検証結果

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"> 混乱を招くリスクが上がっていると考えられる 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"> 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 	○	<ul style="list-style-type: none"> 広場の安全は確保できていると考えられる 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"> 避難誘導による分散効果は得られたと考えられる 	×	<ul style="list-style-type: none"> 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"> 避難の収容基準を満ち、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
No.4 二次避難時 (発災3時間後～)	△	<ul style="list-style-type: none"> 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 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"> 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 	×	<ul style="list-style-type: none"> 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 	△	<ul style="list-style-type: none"> 屋内の安全性が向上したと考えられる

③シミュレーション環境の検証：イベント時

検証内容

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。

検証目的	<ul style="list-style-type: none"> 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
検証内容	<ul style="list-style-type: none"> 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 シミュレーション結果を踏まえて考察を行う
検証方法	<ul style="list-style-type: none"> 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"> 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 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

検証結果

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"> 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 	○	<ul style="list-style-type: none"> 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 	○	<ul style="list-style-type: none"> 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
No.6 大規模イベント終了後	△	<ul style="list-style-type: none"> 下記2エリアで大規模な滞留が発生 <ul style="list-style-type: none"> 駅前広場 <ul style="list-style-type: none"> 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"> ①南側に対して、北側に行く人が多い ②通路が南側に比べると若干狭い 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る 高輪GW駅改札 <ul style="list-style-type: none"> 一斉に改札に向かうため滞留が発生 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 	-	(分析対象外)	△	<ul style="list-style-type: none"> 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 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

④実証システムの価値検証：高輪ゲートウェイエリア

検証内容

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。

目的	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
実施期間	令和4（2022）年12月21日（水）
実施場所	Tokyo Yard Building 2階Playground
主な参加者	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】 <ul style="list-style-type: none"> 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 【アドバイザー】 <ul style="list-style-type: none"> 東京大学 加藤孝明教授 【オブザーバー】 <ul style="list-style-type: none"> 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)
検証内容	<ul style="list-style-type: none"> 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"> - 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 - 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 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

検証結果

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"> 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 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
防災業務への活用	<ul style="list-style-type: none"> 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"> 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
議論の可視化	<ul style="list-style-type: none"> 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"> 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 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
分析メニューの豊富さ	<ul style="list-style-type: none"> 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"> 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 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

⑤実証システムの価値検証：高輪ゲートウェイエリア

検証内容

大丸有エリアを対象とした検証の詳細は以下の通り。

目的	<ul style="list-style-type: none"> 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
実施期間	令和5（2023）年1月11日（水）
実施場所	大手町パークビル3階会議室
主な参加者	<p>【大丸有地区】</p> <ul style="list-style-type: none"> 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） <p>【アドバイザー】</p> <ul style="list-style-type: none"> 東京大学 加藤孝明教授 <p>【オブザーバー】</p> <ul style="list-style-type: none"> 国土交通省都市局 品川北JV（東日本旅客鉄道(株)、KDDI(株)、(株)日建設計） （参加者数24名）
検証内容	<ul style="list-style-type: none"> 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"> 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 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 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

検証結果

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"> 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 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
説得力・理解度の向上	<ul style="list-style-type: none"> 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"> 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 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
簡便なシミュレーション環境の必要性	<ul style="list-style-type: none"> 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 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

⑥参加ユーザーからのコメント

安全安心WGの参加者からのコメント

- ・災害時の状況について想像力が高まるため、計画検証には有用である
- ・このシミュレーション環境を活用した計画検証を通じて共通認識が構築できたので、これが今後の議論の基盤となる
- ・構成員同士の平時からの連携の必要性やシミュレーションのケースを増やしていくことで更にエリアとしての災害への備えが拡充する

他地区へのヒアリング参加者からのコメント

- ・合意形成のしやすさ、わかりやすさ、応用可能性といった観点などからまちづくり・エリアマネジメント活動に非常に有用である
- ・シミュレーション環境の進化の方向性として、用途を増やしていくことやシミュレーションの命題をどこにおくか（どこまでやるか）が重要である

4-3-4 実証調査考察

本検証では、シミュレーション結果からまちの中の避難の阻害要因を持つ場所を特定し考察することで、示唆とその対策（ソフト面での対策）を導出した。結果としては、「発災後から3時間」では、屋外へ一時避難させる場合、運営者側で緻密な避難誘導を行わないと、混乱（群衆の対向、人の合流、収容容量オーバー）が発生する可能性が高いことがわかった。ここから、各建物からとにかく早く屋外に避難させるといった個別最適施策はかえって全体最適につながらない可能性が識別され、屋内に留める一時避難も選択肢としてなりうること等、新しい示唆を得られた。また、「発災後3時間から6時間」では、建物外から一時滞在施設への避難者が合流することにより、建物内で滞留が発生する可能性が高いことがわかった。このことから、屋外と屋内で時間帯による避難の分散を行うという対応方針を導出することが出来た。加えて屋外の避難誘導に注力することで、地域の限られた人員を一時滞在施設の開設などの災害対応に割り当てられる可能性についても示唆を得られた。

さらに、上述の課題及び対応策を安全安心WGにて議論する際、作成したビジュアル（静止画や動画）を用いたところ、施策の理解促進につながり、議論を深めることができた。このことから、シミュレーション環境を活用した計画検証の有用性や継続的なエリアマネジメント活動の必要性など多くの評価と期待を得ることができた。

一方で、シミュレーション環境構築にあたって必要となる3Dモデルの作成コストの高さが課題となった。特に建物内部を再現するために利用した建築物モデルLOD4の作成に当たっては、その元データとなったBIMモデルのデータ量が大きく、パフォーマンスに支障をきたした。また、BIMモデルのデータ量の削減に向けたポリゴン数の間引きにあたっては、データ構造上の理由から機械的に処理できず、手作業が必要となる部分が大きかった。

①今年度の実証で得られた成果

3D都市モデルによ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"> 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 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
人流シミュレーションの精緻化	<ul style="list-style-type: none"> 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
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"> 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

3D都市モデルによ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"> 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"> 建物内外、上下といった立体的都市空間で誘導の計画検討が深度化できる 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
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"> 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の可能性が見込める まちづくり後の「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
まち単位での総合的な防災計画	<ul style="list-style-type: none"> 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"> 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） 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

②今後の取り組みに向けた課題

人流シミュレーション環境への追加機能開発・改善	<ul style="list-style-type: none"> 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"> 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 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"> 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街全体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 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"> 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
シミュレーション環境の汎用化	<ul style="list-style-type: none"> 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見えてきたことから、システムとして簡略化する方向性も検討が必要 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
3Dモデル作成の自動化	<ul style="list-style-type: none"> 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"> 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 LOD4の策定による3D都市モデル単体での内部再現
ビジュアルのリッチ化作業の負担軽減	<ul style="list-style-type: none"> 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キスト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"> 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 PC環境向上への対応や、現状の環境でのリッチ化作業負担を軽減する方法の検討が必要になる

4-3-5 展望

計画検証のサポートツールとしての有用性が得られたことから、実証対象地区での継続的な使用や他の安確計画策定地区以外の不動産デベロッパーやエリアマネジメント組織への展開についても検討を進める。具体的には以下の観点での課題に継続して対応し、エリアの安全性向上、価値向上に寄与する。

シミュレーション環境としては、精度の高い結果を出すための複雑なパラメータ設定や、シミュレーション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。例えば、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を想定している。また、シミュレーションの考察結果として、ウィークポイントを3D上でマーキングできるようにすることで課題を考察し、様々なシナリオをシミュレーションした上での街全体の課題を可視化でき、関係者で更に共通認識を持ちやすくなるような環境を整備していく必要があると考える。

本システムを汎用的なツールとして展開していくには、非エンジニアの関係者が簡単にシミュレーションを実行し、対策を検討することができるよう、UI/UXの整備やビジュアル作成も含めたクラウド活用のシミュレーション・レンダリング環境の構築及びシミュレーション用3Dモデル作成の自動化などが求められる。将来的には安確計画をはじめとした各種防災計画の立案・策定・更新業務に本シミュレーション環境を適用し、まちづくりのDXを防災観点でも推し進めていく。

4-4 歩行者移動・回遊行動シミュレーション（2022年度）

株式会社構造計画研究所、大成建設株式会社

<https://www.mlit.go.jp/plateau/use-case/uc22-023/>

https://www.mlit.go.jp/plateau/file/libraries/doc/plateau_tech_doc_0040_ver01.pdf

4-4-1 サービス概要

①事業・サービスの目的、ビジネスモデル、社会的意義

事業・サービスの目的と概要

近年、全国的に「人間中心のまちづくり」が志向されているなか、その実現のためにさまざまなまちづくり活動（エリアマネジメント）が実施されている。エリアマネジメントを効果的なものとするためには、都市空間・歩行者の行動特性を理解することが必要である。

今回の実証実験では、東京都西新宿エリアを対象として3D都市モデルを活用した歩行者行動シミュレーションを実施し、そのシミュレーション結果の分析と可視化によって、平常時・イベント実施時におけるまちの賑わい創出のための施策の検討や検証を支援するツールを開発する。

ビジネスモデル

本業務で実施したユースケースは、社会実験の代替手段のほか、都市のモニタリングツールとしての活用が期待される。将来的には、行政、ディベロッパーを中心に、幅広く展開することを想定する。

社会的意義

PLATEAUの3Dデータ、人流データ等に基づくシミュレーションを通じた、「まちの賑わいの可視化」「回遊行動施策の検証」により、効率の良いエリアマネジメント活動の検討と実施、より関係者の納得性の高い目標設定が可能になる。

図 4-4-1 歩行者の回遊行動シミュレーションによる人流の可視化



4-4-2 実証調査詳細

①実証調査の目的・概要

実証調査の目的

エリアニーズであるウォークアブルなまちづくりと、オープンスペースの賑わい創出を考慮し、「歩行者の行動シミュレーション」・「賑わいの可視化」を通じて効果的なまちづくり・エリアマネジメント活動を支援することを目的とする。

実証調査の概要

• 実証仮説

- 3D都市モデルデータと人流データ等を用いた歩行者の行動シミュレーションを行うことで、これまで社会実験の形式の検証と同等以上の品質で、エリアマネジメント団体の歩行者の回遊性向上・賑わい創出等の施策の有用性を安価かつ迅速に検証できる

• 検証ポイント

- シミュレーション精度の検証
 - ✓ 3D都市モデルを活用した歩行者の行動シミュレーションの精度検証
- シミュレーション評価結果・可視化結果に関する活用可能性の検証
 - ✓ 評価結果や可視化結果に対するユーザー（行政、エリアマネジメント団体）の意見に基づく有用性検証

②実証調査の対象エリア

対象エリア

新宿区 西新宿地区

エリア選定理由

- 西新宿地区は立体的な都市構造に特徴になっており、一体的な空間形成や賑わいの連続性の欠如が課題となっている。
- 西新宿地区は、エリアマネジメント団体による社会実験等が盛んであり、過去の社会実験の効果測定結果が整備されている。また、スマートポールが整備されており、人流データの取得が可能である。
- そのため、3D都市モデルを利用した賑わい・空間形成に関する施策検証に適したエリアと考える。

図 4-4-2 3D都市モデル利用範囲



東京都新宿区 西新宿地区 (約0.5km²)

③実証調査に向け開発されたサービス

今回の実証実験では、大規模な地下通路やペDESTリアンデッキ、高層ビルなど、立体的かつ複雑な都市構造を特性として有する西新宿において、歩行者が移動する際の心理的な行動アルゴリズムを反映した平常時・イベント開催時の三次元的な人流シミュレーションが可能なシステムの開発を行った。シミュレーション実行環境は構造計画研究所が運用するMAS（マルチエージェント・シミュレーション）プラットフォームのartisoc Cloudを使用した。

シミュレーションに利用する歩行ネットワークは、3D都市モデル（道路モデルLOD1及びLOD3）をベースにQGISを用いて作成した。作成に当たっては、歩行ネットワークを構成する道路リンクを3D都市モデルの道路モデルの枠線から自動抽出する処理をQGISで行うためのPythonスクリプトを開発した。また、3D都市モデル上でシミュレーションの結果及びその分析結果を可視化し、関係者で共有・討議等を行うため、Unityを用いた3D可視化ツールの開発を行った。

図 4-4-3 開発されたサービスのイメージ

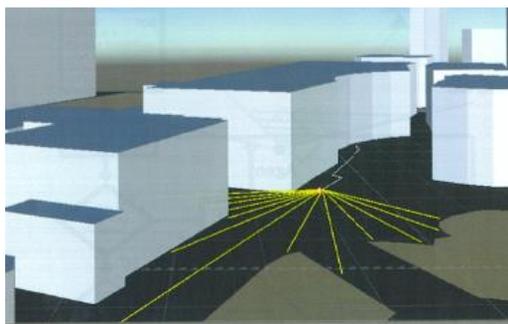


回遊行動の3D可視化のイメージ
(エージェントベース・シミュレーションの既往成果)

●導入する新技術

- 歩行者の移動、自然な回遊行動を再現するため、3D都市モデル上で観測可能な歩行者の空間の視野、3D都市モデル上のセマンティクス情報等をもとにした移動、回遊行動の推定を行う。
- これまで2次元空間での都市構造解析等に用いられてきた上記の解析手法（Space Syntax理論を援用した手法）を3D都市モデルに拡張する。

図 4-4-4 導入する新技術



視界駆動型歩行者エージェントの行動
兼田敏之、Downtown Dynamics（Springer 2020）
（※）本ユースケースでは3次元空間における視野に基づく歩行者行動を模擬する。

図 4-4-5 システムアーキテクチャ全体図

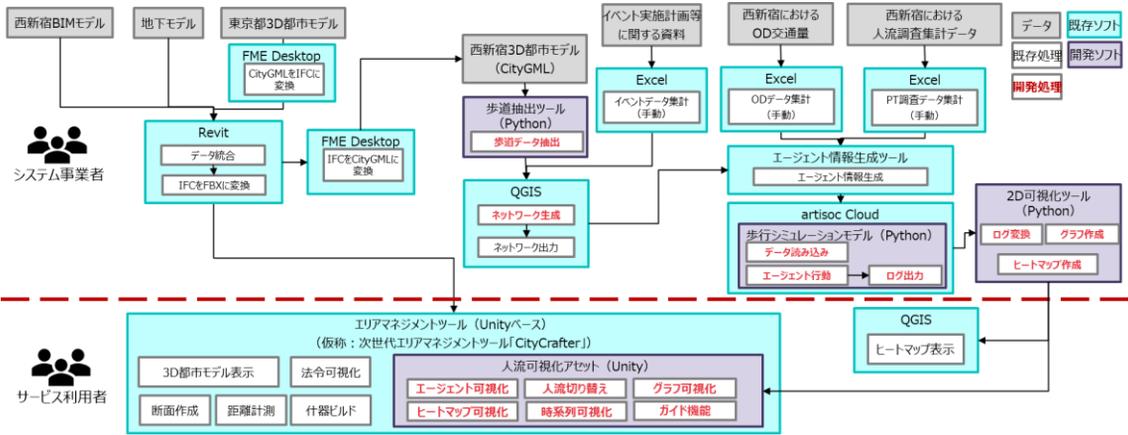


図 4-4-6 データアーキテクチャ全体図

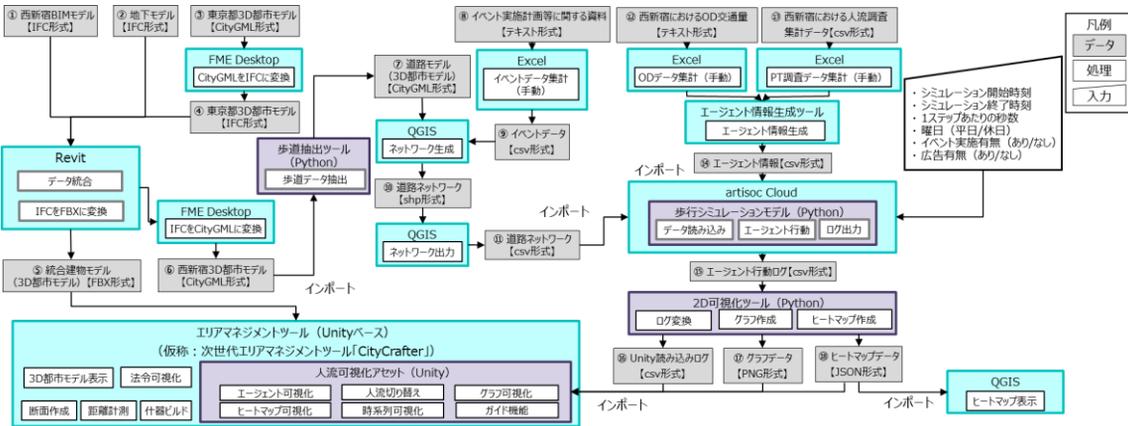
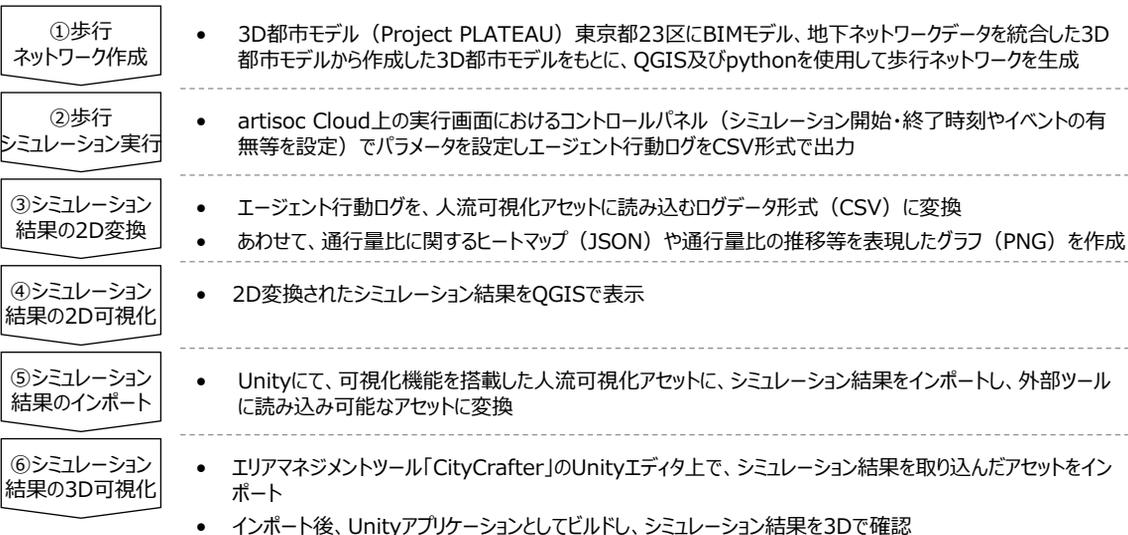


図 4-4-7 UI/UXの全体フロー



※①③は5.データ内で手順をそれぞれ記載したため本パートでは割愛した

④3D都市モデル (CityGML) の活用方法

3D都市モデルを使用することにより、立体的な都市構造が特徴の地域において、歩行者の視野、土地利用や建物形状などを考慮した歩行者の移動、回遊行動の再現が可能になる。

利用された3D都市モデルの仕様

- 西新宿地区のLOD2モデル
- シミュレーションに利用する歩行ネットワークは、3D都市モデル（道路モデルLOD1及びLOD3）をベースにQGISを用いて作成

3D都市モデルの用途

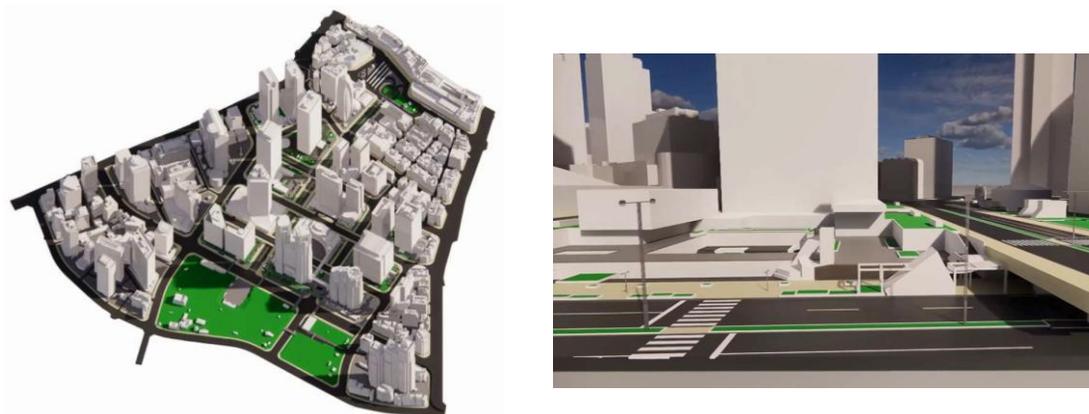
歩行者の行動シミュレーションに活用する歩行可能空間として使用する

- 3D都市モデル上の歩行者の視野を、歩行者の移動経路の推定に使用する
- 3D都市モデルの属性データを、属性に応じた歩行者の移動経路の推定に使用する

3D都市モデル活用のためのソフトウェア

- artisoc Cloud（歩行者の行動シミュレーションに使用、構造計画研究所所有）
- Unity（シミュレーションの3D可視化に使用）

図 4-4-8 西新宿版3D都市モデル



4-4-3 実証調査結果

①シミュレーション精度の検証

検証内容

シミュレーション精度の検証を、平常時シナリオとイベント時シナリオの2パターンで評価を行う。

	実施内容	比較対象データ
① 精度検証 (平常時)	<ul style="list-style-type: none"> KLA*¹から収集した実際の人流データを平常時の人流データとして、平常時シナリオのシミュレーション結果と比較し精度を評価 	<ul style="list-style-type: none"> KLA*¹
② 精度検証 (イベント時)	<ul style="list-style-type: none"> 西新宿に設置されているスマートポールから収集した社会実験時の実際の人流データをイベント時の人流データとして、イベント・広告設置時シナリオのシミュレーション結果と比較し精度を評価 	<ul style="list-style-type: none"> スマートポールのカメラ観測データ

*1：KLAについては「Ⅲ. 6. データ > ①活用データ > 西新宿におけるOD交通量」を参照のこと

検証結果

シミュレーション精度はいずれのシナリオにおいても「60%以上」という評価基準をクリアすることができている一方で、リンク単位では改善の余地あり。

区分	平常時 歩行シミュレーション結果 (参考：最短経路シミュレーション結果比)	イベント時 歩行シミュレーション結果	示唆
平日	77.8% (+2.8pt)	88%	<ul style="list-style-type: none"> いずれのシナリオにおいても精度は「60%以上」という評価基準をクリアすることができている 一方で、細かく結果を見ると大きく結果の異なるリンクも存在するため、ミクロ視点での有用性を高めるには一定の改善が必要である
休日	89.4% (+1.1pt)	79%	

②実証システムの価値検証

検証内容

実証システムの価値検証として、本ユースケースで整備・拡張した3D可視化ツールの活用可能性を明らかにするためにヒアリングを実施。

実施概要

	①東京都ヒアリング	②エリアマネジメント団体ヒアリング	③東京都ヒアリング
目的	<ul style="list-style-type: none"> ヒアリングを通じたシミュレーションの活用可能性の検証 		
実施期間	2022年11月11日（金）	2023年1月24日（火）	2023年1月30日（月）
実施場所	東京都庁	新宿住友ビル内会議室	新宿三井ビル内会議室
主な参加者	<ul style="list-style-type: none"> 東京都 都市整備局 都市づくり政策部（1名） 株式会社構造計画研究所（4名） 大成建設株式会社（2名） 	<ul style="list-style-type: none"> 新宿副都心エリア環境改善委員会（4名） 株式会社構造計画研究所（4名） 	<ul style="list-style-type: none"> 東京都 都市整備局 都市づくり政策部（1名） 国土交通省 都市局（3名） 株式会社構造計画研究所（4名） 大成建設株式会社（2名） アクセンチュア株式会社（1名）
実施内容	<ul style="list-style-type: none"> イベント実施時を想定したシミュレーション結果の説明 3D可視化ツール説明、体験 シミュレーション結果、3D可視化ツールに関するヒアリング、意見交換 		

検証結果

実証システムの価値として概ねポジティブな検証結果が得られたが、3D都市モデル上での歩行行動の表現の精緻さにや操作性には改善の余地がある。

ヒアリングを通じた検証結果

	KPI評価方法	達成度・結果	成果	課題
①シミュレーション結果の妥当性	<ul style="list-style-type: none"> シミュレーション精度、面的な人流の広がりについて、妥当と考えられるか否か 	<ul style="list-style-type: none"> 実証実験の目的に対して「現状のシミュレーション精度は十分である」との評価をいただいた 	<ul style="list-style-type: none"> 「スマートボールの今後の活用にも繋がる」との意見をいただいた 	-
②ユースケースで得られる新たな知見	<ul style="list-style-type: none"> 従前の検討と比較して、新たな分析観点が得られているか否か 	<ul style="list-style-type: none"> 分析観点として、「都市の回遊性」について、「人が行動するにあたっての心理的な要素を考慮することで回遊性の評価がし易くなる」との評価をいただいた 	<ul style="list-style-type: none"> 「飲食店にキッチンカー等の出店許可をもらう際に説明し易くなる」との評価をいただいた 「西新宿を俯瞰したときのイベント近隣だけでなく、その周辺の人流の変化を確認できる」との評価をいただいた 	-
③人流のイメージのしやすさ	<ul style="list-style-type: none"> 従前のイベント検討と比較して、より明確な人流のイメージが形成されるか否か 	<ul style="list-style-type: none"> イメージのしやすさの観点では達成された 他方、表現の精緻さ、操作性に課題が見られた 	<ul style="list-style-type: none"> 「ヒートマップによるマクロ的な把握から、グラフや人の動き等によるミクロ的な確認に繋げることができる」との評価をいただいた 「2次元よりも3次元の方がイメージがし易い」との評価をいただいた 	<ul style="list-style-type: none"> 3D都市モデル上での歩行行動の表現の精緻さに改善の余地がある 操作性に改善の余地がある
④今後の活用性	<ul style="list-style-type: none"> 今後の活用性が見込まれるか否か 	<ul style="list-style-type: none"> 複数の分野における今後の活用性に関する評価をいただいた 	（分野例） <ul style="list-style-type: none"> マイクロモビリティ導入による交通流の変化 災害時の混雑箇所の把握 車道を歩行者空間とした場合の車両交通への影響 建替え等による景観変化 	-

③参加ユーザーからのコメント

- ・デジタルサイネージなどの設置物によって人流が変化する様子をリアルタイムでシミュレーションして可視化できれば、広告掲示等の配置計画やそれを実施する際の関係者協議へ活用できる可能性がある
- ・3次元の表現に対してはよりミクロなものを期待する。特に人が動いて見えることはまちづくりの協議にとって効果的な表現手法であり、よりリアリティな表現が実現できれば、防災など非常時の場面でも活用できる可能性がある
- ・2次元よりも3次元の方がイメージしやすいので、操作性が改善されていけば3次元での再現が主流になることも考えられる
- ・3Dのヒートマップで概略を把握し、グラフを表示して詳細を見るという活用が可能と考える
- ・これまで4号街路等の特定の道路の交通量調査を実施することはあったが、回遊性に関するシミュレーションは実施したことがなかった。南北方向の交通量が減少している等、西新宿を俯瞰したときの回遊性の把握ができて良いと考える
- ・今回のシミュレーションの新規性は、人の回遊行動に心理的な要素を考慮している点だと考える。例えば交差点の信号待ちといった心理的な影響を考慮することによって、回遊性の評価がしやすくなるのではないかと
- ・シミュレーション精度の向上は今後も期待するところだが、操作性もポイントであるとする

4-4-4 実証調査考察

人流シミュレーションにおける精度検証は、平常時とイベント時に分けて実施した。検証の基となる実データとしては、KDDI Location Analyzer（※）から取得した平常時の人流データを利用した。シミュレーション結果と実データをヒートマップ形式に変換して比較したところ、70%以上の一致が確認された。これは、出発地から目的地までを最短距離で行動する経路選択モデルよりも高い一致度であった。このことから、今回開発した歩行者の可視範囲を考慮した経路選択モデルの再現性が高いことがわかった。

また、イベント実施時の人流シミュレーションの精度検証は、スマートポールから取得できる通行人数のデータと、人流シミュレーションの結果を比較することにより行った。その結果、70%以上の一致が確認されており、再現性が高いことがわかった。

3D可視化ツールでは、3D都市モデル上で人が動く様子とともに、通行量の変化を示すヒートマップやグラフを表現することで、俯瞰的に人流の通行量の変化を把握し、ポイントとなる箇所の人流を直感的かつ詳細に確認することができた。自治体やエリアマネジメント団体からは、都市計画・まちづくりの場面での合意形成の円滑化に活用できるといったコメントがあった。

一方で、人流シミュレーションの実行と3D可視化ツールにおける可視化がシームレスに連携したシステムとなっていないなど、実用化に向けた課題も明らかになった。また、3D可視化ツールの操作性として、自治体やエリアマネジメント団体の方々が使いやすいようなユーザエクスペリエンスとなっていないといったコメントもあった。

※技研商事インターナショナル「KDDI Location Analyzer」。データの提供にあたってはauスマートフォンユーザーのうち個別同意を得たユーザーを対象に、個人を特定できない処理を行って集計している。

①今年度の実証で得られた成果

3D都市モデルによる技術面での優位性

歩行シミュレーションデータとしての活用性

- これまで、歩行シミュレーションに必要なネットワークデータの生成については手作業での生成が行われることが多かったが、3D都市モデルを利用することでこれを簡便に行うことができる

3D都市モデルによるビジネス面での優位性

3D都市モデルによる人流と都市の重畳・可視化

- エリアマネジメントの取り組みにおいて、3D都市モデルを活用することでイベント時の人流の変化を3次元的にとらえることができ、2次元よりもイメージがしやすいことが、ユーザーヒアリングから得られた
- 今後、都市計画等の分野において、3D都市モデルを用いることで施策の効果や人流の様子をより明確に伝えることができると考えられる

複数の視点からの評価

- ヒートマップによって都市全体の回遊性をマクロ的・俯瞰的に見たうえで、グラフや人の動き等によってミクロ的・詳細な分析を行うといった複数の視点からの分析が新たに可能となると考えられる

②今後の取り組みに向けた課題

3D都市モデルによるネットワークの自動生成	<ul style="list-style-type: none"> 3D都市モデルから歩行シミュレーションに用いるネットワークを生成する際に、横断歩道の生成など、手作業による補完が必要な箇所が残っている。これらの手作業を可能な限り自動化し、シミュレーションに必要なインプットデータの生成をより簡易に実施できるよう、手作業箇所に関する補完ロジックを検討する必要がある 3D都市モデルのバージョンアップにより、歩道データが整備されることにより、歩行シミュレーションに係るインプットデータの生成が簡易になることが期待される
シミュレーション精度	<ul style="list-style-type: none"> ヒアリングではシミュレーション精度として問題ないとの評価をいただいているが、細かいリンク単位では実際の人流データとの違いもあるため、シミュレーション精度のさらなる向上が望ましい 他地域に展開する場合においては、対象地区の特性に応じた歩行アルゴリズムを検討することが求められる
シミュレーション結果の可視化	<ul style="list-style-type: none"> シミュレーション結果を3D都市モデル上で可視化するにあたり、一部高さ方向の表現の精緻さに課題が見られた 可視化の方法、シミュレーション結果のインポート方法についてより精緻に表現が可能となるようにロジックを検討する必要がある
ツールの操作性	<ul style="list-style-type: none"> 3D可視化ツールの操作にあたっては、ツール上での動作が重い、操作方法がわかりにくいといった課題が見られた Unity上でのレンダリング方法の検討、マウス操作の変更といった対応を検討する必要がある

4-4-5 展望

本実証実験で得られたユーザーからのフィードバックなどを活用し、今後は行政やデベロッパー等を主体とした他地域へ展開していくため、更に精緻なシミュレーションの実装や3D可視化ツールのエクスペリエンス改善などのブラッシュアップを検討していく。将来的にはウォークブル・コンパクトなまちづくりの実現のため、歩行回遊性や賑わい創出のための施策検討、交通施策の検討や防災分野での活用など、都市計画・まちづくり分野において幅広く人流シミュレーションを展開し、EBPM（証拠に基づく政策立案）の推進を目指し、社会実装に向けた技術検証を進めていく。

4-5 容積率可視化シミュレータ (2022年度)

株式会社キャドセンター

<https://www.mlit.go.jp/plateau/use-case/uc22-003/>
https://www.mlit.go.jp/plateau/file/libraries/doc/plateau_tech_doc_0041_ver01.pdf

4-5-1 サービス概要

①事業・サービスの目的、ビジネスモデル、社会的意義

事業・サービスの目的と概要

近年、マンションの老朽化の急増が問題視される中、維持管理の適正化とともに、建替えの円滑化によるマンション再生の重要性が高まっている。マンション建替円滑化法の施行により老朽化したマンションの建替ルールが整備されているものの、マンション所有者同士の合意形成及び建替えまでの実行プロセスの難易度がハードルとして存在している。

今回の実証実験では、3D都市モデルの建築物モデルや都市計画モデルを解析し、建物の未消化容積率を直感的でわかりやすく可視化するアプリケーションを開発することにより、マンション所有者及び民間事業者による開発余地の把握を可能とし、建替え・有効活用等の活性化への寄与を目指す。

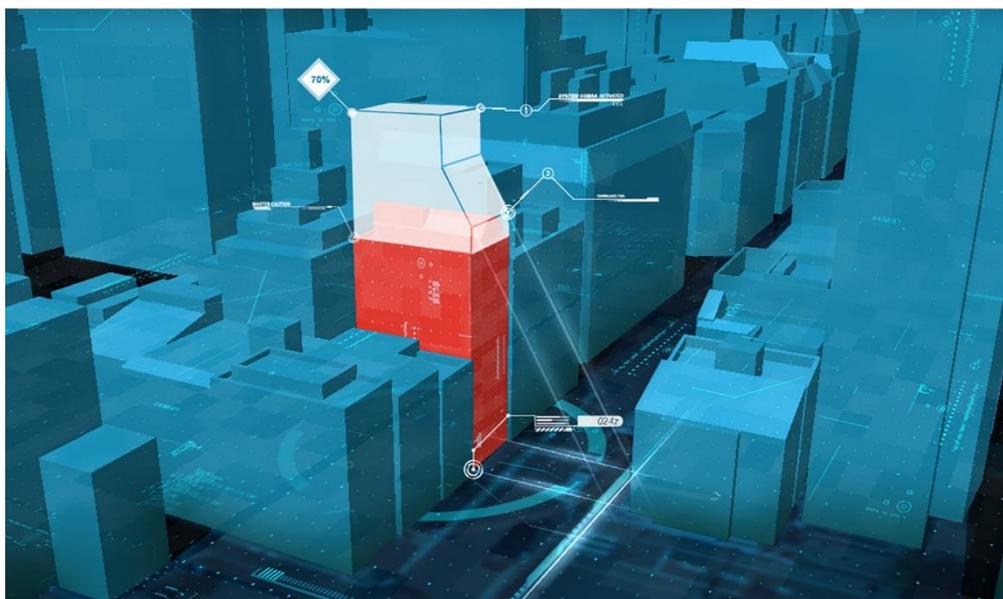
ビジネスモデル

デベロッパー等の民間事業者や自治体等公共主体に対して、余剰容積率可視化ソリューションとして外販を想定。

社会的意義

老朽化したマンションなどの建て替え促進は、都市の安全性確保において重要な課題。公共のみならず民間事業者によるマンション建替え事業への積極的な参画は、活発なマンションの新陳代謝を促し、安全な住まいの確保につながる。

図 4-5-1 3Dでの未消化容積ボリュームの重畳



4-5-2 実証調査詳細

①実証調査の目的・概要

実証調査の目的

マンション建替え等円滑化法の施行により老朽化したマンションの建替えルールは整備され実施されているが、まだ活発ではない。上記の大きな要因として、マンション所有者同士の合意形成及び建替えまでの実行プロセスの難易度の高さがある。

本事業では、建築可能容積を規定する法規、基準などの難解な事項により決定される結果を直感的に見える形にする。そして、建物を建築可能なボリュームを誰でも一目で理解できるように、3D都市モデルを活用した可視化を実現する。

また、建物の未消化容積率を都市スケールで可視化することにより、マンション所有者及び民間事業者による開発余地の把握を可能とし、老朽化マンションの現行法規に沿った建築物への建替え等の活性化実現を目指す。

実証調査の概要

• 実証仮説

- 高さ制限、斜線制限、指定容積率・建ぺい率等をインプットデータとし土地を仮に最大限利用した場合に建築可能となるボリュームと、3D都市モデルの建物形状を対比することで、容積率が未消化のエリアを可視化するシミュレータを構築できる
- 容積率を可視化する際に3Dビューワ上で容積ボリューム（都市計画及び建築基準法に基づく指定容積率によって建築可能な建物の最大ボリューム）を表示する手法を取ることで、容積率の直感的な把握が可能となり、将来的な都市計画検討の効率化・高度化に寄与できる

• 検証ポイント

- シミュレータ精度検証（手作業で作成する容積との比較）
 - ✓ 同一敷地に対し、実務と同様に容積ボリュームを算出した結果と、今回のシミュレータで行う限定された法令を考慮した条件で算出した結果で、どの程度のギャップが生じるか
 - ✓ 公図や土地利用現況図などから手動で作成した敷地割データから自動算定したアウトプットが、どれだけ実務と近い精度が出力できるか
- システムの有用性の検証（デベロッパー、自治体へのヒアリング）
 - ✓ シミュレーションした容積ボリュームを3D都市データに重畳表示し、面的に可視化することが、デベロッパーの実際の開発検討や自治体の計画検討時の業務に対してどのような有用性があるか
 - ✓ 簡易な手法を用いるシミュレーション実証において、将来的にデベロッパーや自治体の業務として活用されるためにはどのような要件を反映させることが必要か

②実証調査の対象エリア

対象エリア

八丁堀地区（中央区）、道玄坂地区（渋谷区）、西新宿地区（新宿区）

エリア選定理由

法的制限の影響を受けにくく、かつ、シミュレーションに際して必要な建物棟数があるエリアでシミュレーションを行うために対象エリアはLOD2整備範囲の中から2つの条件で絞り込みを行った。

図 4-5-2 3D都市モデル利用範囲



東京都 中央区（八丁堀地区）0.36km²（600m四方）



東京都 渋谷区（道玄坂地区）0.36km²（600m四方）



東京都 新宿区（西新宿地区）0.36km²（600m四方）

③実証調査に向け開発されたサービス

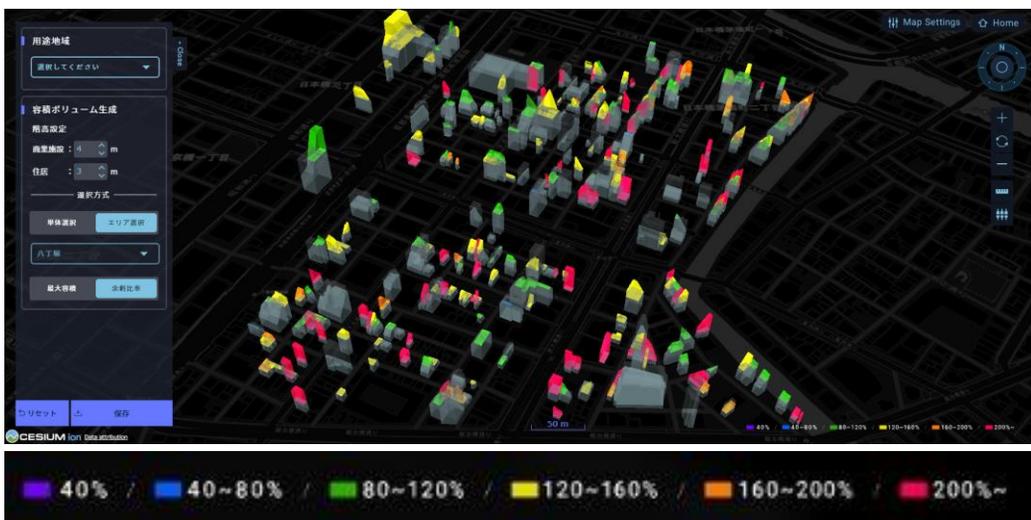
今回の実証実験では、3D都市モデルの建築物モデル及び道路モデルを活用して、都市計画及び建築基準法に基づく指定容積率によって建築可能な建物の最大ボリューム（以下、容積ボリューム）と既存建築物の差分（余剰容積）を三次元的に分析して可視化するシステムを開発した。

容積ボリュームの算出に当たっては、まず、土地利用モデルや公図等の敷地に関するデータと建築物モデルの形状の組み合わせ等から建築敷地を特定した。次に、この敷地面積に対して建物用途、道路モデル（前面道路幅員/前面道路・対面道路の別）、用途地域等の都市計画、指定容積率、建蔽率、隣地境界線の有無といった情報から建築容積ボリュームの制限条件を生成し、さらに前面道路斜線規制及び隣地境界斜線規制による空間的な制約条件を三次元的に再現することで、容積ボリュームを算出している。容積ボリュームは床面積と階高の組み合わせによっても変わり得るため、算出の際はユーザーが用途地域に応じた任意の階高（住居系：3m、商業系：4m等）を設定する仕組みとした。こうした手順によって算出された容積ボリュームと既存建築物の差分を立体的に空間演算することで、余剰容積を算出している。算出された容積ボリューム・既存建築物のモデルともにシステム内部にサーフェスマodelで保持されていることから、容積ボリュームのサーフェスに囲まれた既存建築物モデルの体積を算出する機能をBabylon.jsのサーフェスマッシュ関数を用いて開発し、余剰容積ボリュームを計算するためのアルゴリズムとして実装した。

シミュレーション結果を可視化するシステムとして、CesiumJSをベースに開発したWebGISを構築し、既存の3D都市モデルと重ね合わせることで、余剰容積の把握を可能とした。ユーザーエクスペリエンスの観点から、エリア別・建物別での余剰容積の算出・表示、3D都市モデルの透過表示、余剰容積の多寡に応じた色分け表示などの機能を開発した。これにより、容積率が未消化で開発余地があるエリアをわかりやすく把握することが可能とした。

これらの空間演算及び可視化機能はウェブシステムとして統合されており、ユーザーはブラウザのみから利用することができる。

図 4-5-3 開発されたサービスのイメージ



余剰容積ボリュームの色分け

図 4-5-4 システムアーキテクチャ全体図

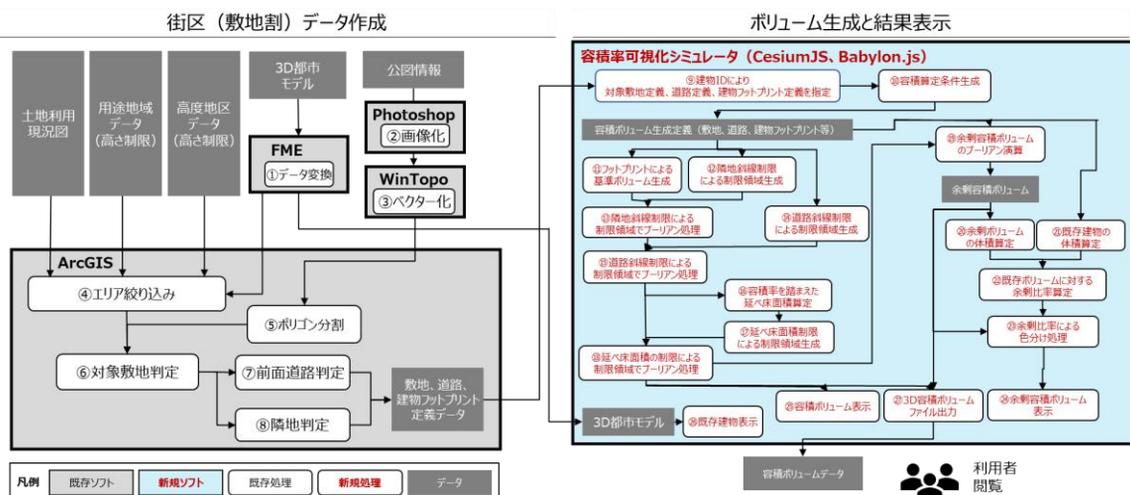


図 4-5-5 データアーキテクチャ全体図

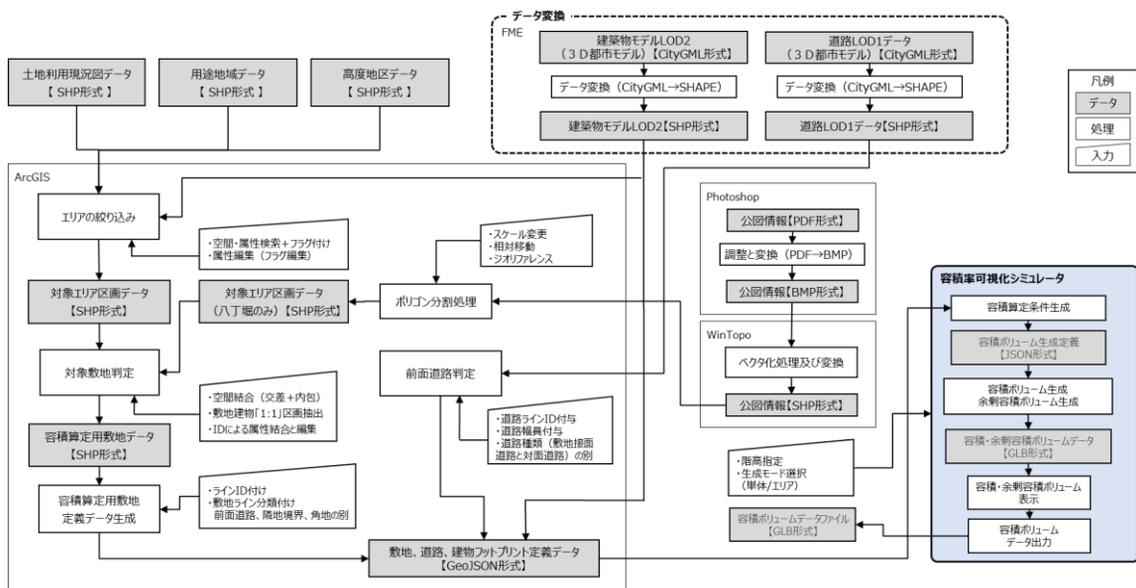
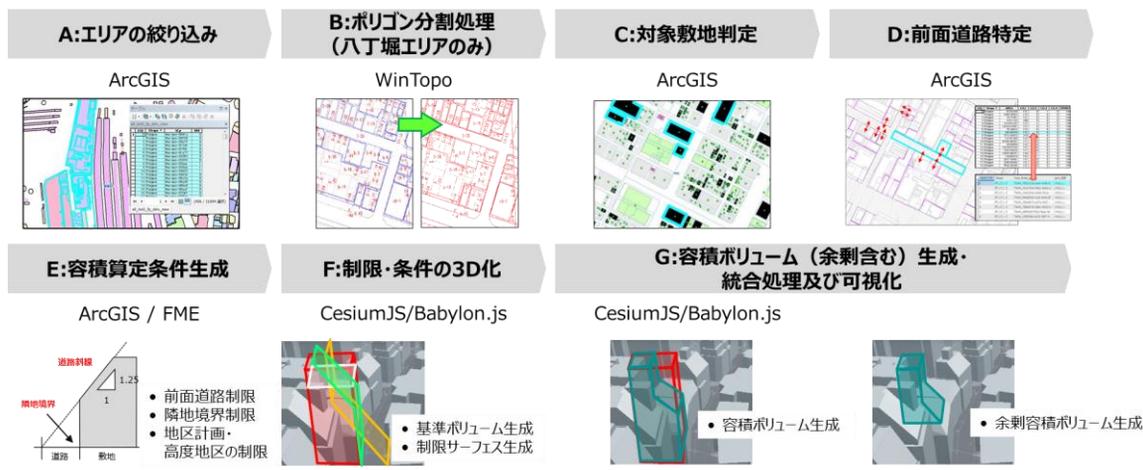


図 4-5-6 アルゴリズム全体フロー



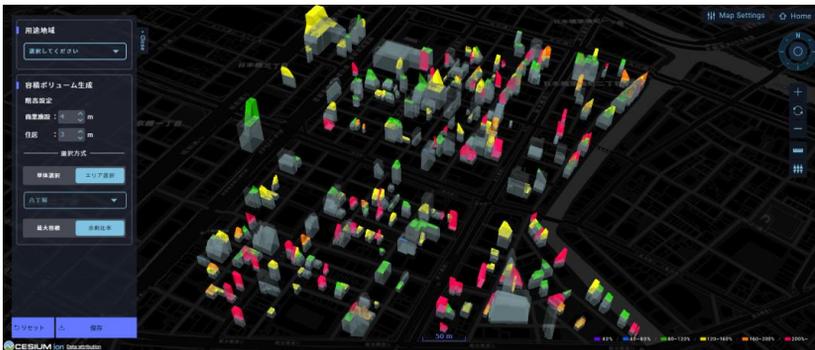
エリア又は個別建物を選択し、シミュレーション条件を設定・実行した上で、結果を3次元で可視化する。

図 4-5-7 システムのUI/UX



シミュレーション条件の設定

- ①用途地域の表示
- ②基準階高*およびエリアの設定



シミュレーションの実行・結果表示

- ③シミュレーションの実行と容積ボリューム生成
- ④余剰容積ボリュームの色分け表示
- ⑤建物の属性データの表示

*基準階高は建物の各階の高さをあらわす

④3D都市モデル (CityGML) の活用方法

- セマンティックス
 - ✓ 容積率算定の条件として、3D都市モデルの属性情報（地区地域、高さ・階数、その他法規制等）が利用できることから、算定対象となる建物から条件を直接取得できる。
 - ✓ 上記DBテーブルに必要な情報を追加することも可能になり、情報の一元管理を行うことで運用時の利便性を向上させることができる。
 - ✓ 属性データ内容によりフィルタリングして表示することで、容積率との関連性を明確化できる。 Ex) 以下の未消化容積率との関係から、地域分析やエリアマーケティング要素への応用可能性が高い。
 - ・建物構造や築年数など建物の老朽化や建築耐久性と未消化容積率の関係性を把握
 - ・用途や建物利用現況など建物の利用状況と未消化容積率の関係性を把握
 - ・その他追加情報（賃料、地価など）と未消化容積率の関係性を把握
- ジオメトリ
 - ✓ 3D都市モデルを使うことで、平面的な地図では認識することが難しかった容積ボリュームを専門の知識を持たない誰もが視覚的に把握できる。
 - ✓ 容積は縦・横・高さの掛け算である立体であることから、敷地における容積率可視化の表現としては、3Dのボリュームで表現することで分かりやすさが格段に向上し、3Dモデル化することで、日影解析や天空率計算など他のデータ素材や解析対象としての有効性が高まる。
 - ✓ 多くの建物を擁する都市部を中心に、既存マンションを含め悉皆整備している3D都市モデルに対して、建築可能容積を重畳し可視化することで、建築計画のみならず周辺含めた景観検討要素も効果的に加味できるため、今後、3D都市モデルがある多くの都市に汎用的に活用していくことが期待できる。

利用された3D都市モデルの仕様

LOD2整備範囲：約8km² / 3地区（八丁堀、西新宿、道玄坂地区）各0.36km²（600m四方）

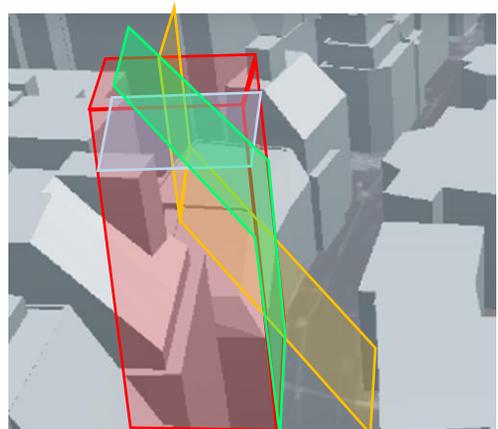
3D都市モデルの用途

建物データをGeoJSONに変換してボリューム生成に使用する

3D都市モデル活用のためのソフトウェア

- 3D都市データ変換
 - ✓ FME Desktop
- 敷地境界データ変換
 - ✓ ArcGIS、Wintopo（公図ベクタ化用）
- 3D都市データのWEB表示
 - ✓ CesiumJS、TerriaJS

図 4-5-8 容積ボリューム生成・統合処理および可視化



4-5-3 実証調査結果

①シミュレーションの精度検証

検証内容

シミュレーション結果（システムで生成した容積ボリューム）と手作業で算出する容積ボリュームとの比較から精度検証を行う。

各機能詳細

N O	項目	KPI	検証方法
1	シミュレーション結果の精度検証	容積消化率	シミュレーション結果の容積消化率がどれだけ100%に近似するかを評価
2		未消化ボリュームの精度	シミュレーション結果と手作業にて算定した容積消化率を比較
3	シミュレーションロジックの妥当性検証	位置・勾配の妥当性	シミュレーションで生成された容積ボリュームの形状について、制限を受けた壁面の位置、勾配と手作業にて作成した容積ボリュームの形状との一致度合を断面図及びアイソメ図を比較することで確認
4		制限範囲の妥当性	

検証結果

項目	KPI	結果	示唆
シミュレーション結果の精度検証	容積率の消化率	<ul style="list-style-type: none"> シミュレータと手作業による算定において、延べ床面積の数値で整合がとれたものについては、消化率が約80%となった 	<ul style="list-style-type: none"> シミュレータによる延べ床面積の算定の際に、最大の延べ床面積を超えないための最上階の床面積を算入しないことにより、消化率が少なく算定される。そのため、生成した階数が少ない建物ほど、消化率が少なくなると考えられる
	未消化ボリュームの精度	<ul style="list-style-type: none"> 延べ床面積については概ねシミュレータと手作業による算定で整合した 但し、シミュレータでは未対応の道路幅員関連（4m未満道路等）や日影規制による不整合が確認された 	<ul style="list-style-type: none"> 現シミュレータで未対応の道路幅員関連法規や日影規制へ対応可能となれば、より精度の高い結果を得られることが明らかとなった 一方で、これらへの対応が今後の課題となることが明らかとなった
シミュレーションロジックの妥当性検証	位置・勾配の妥当性	<ul style="list-style-type: none"> 隣地、道路斜線による制限は概ね整合しており、妥当 但し、日影規制による制限の有無により、上部の形状に相違がみられる 	<ul style="list-style-type: none"> 位置・勾配等の形状の相違については、日影規制による全体の容積ボリュームの形状の相違が影響し、日影規制をシミュレータへ組み込むことが課題である
	制限範囲の妥当性	<ul style="list-style-type: none"> 隣地、道路斜線による制限は概ね整合しており、妥当 道路幅員及び容積率の算定において、相違がみられ、これによる最大延べ床面積の相違が生じた 	<ul style="list-style-type: none"> 制限範囲の内、とくに算定した基準容積率による高さ方向の制限が大きく影響する。このことから、道路幅員による容積率算定等への対応が課題である

No	対象地	容積率の消化率*1	未消化ボリュームの精度*2	誤差の原因・示唆
	住所			
1	渋谷区 南平台町16-32	90.27%	100.03%	<ul style="list-style-type: none"> 面積・階数がほぼ整合 後退距離の反映の有無による
2	渋谷区 桜丘町29-5	75.48%	66.68%	<ul style="list-style-type: none"> 道路幅員及び容積率算定のシステム未反映
3	渋谷区 南平台町13-4	88.15%	100.02%	<ul style="list-style-type: none"> 面積・階数がほぼ整合 日影規制の反映の有無の差
4	渋谷区 桜丘町29-31	95.24%	99.29%	<ul style="list-style-type: none"> 面積・階数がほぼ整合 日影規制の反映の有無の差 特殊な道路形状により差（すり鉢形状の未反映）
5	新宿区 西新宿7-5-9	79.59%	100.04%	<ul style="list-style-type: none"> 既存建物との差は天空率のシステム未反映による 複雑な敷地形状により不具合
6	渋谷区 道玄坂2-17-2	80.06%	103.27%	<ul style="list-style-type: none"> 面積・階数がほぼ整合 道路幅員が一律か可変の差
7	新宿区 西新宿8-2-5	82.11%	100.02%	<ul style="list-style-type: none"> 面積・階数がほぼ整合 後退距離の反映の有無による
8	新宿区 西新宿8-1-3	51.02%	53.28%	<ul style="list-style-type: none"> 法第56条第6項（2aかつ35m 適用距離）のシステム未反映

*1 容積率の消化率 = シミュレーション結果の容積率 ÷ 基準容積率

*2 未消化ボリュームの精度 = シミュレーション結果の延べ床面積 ÷ 手作業による延べ床面積

②実証システムの価値検証

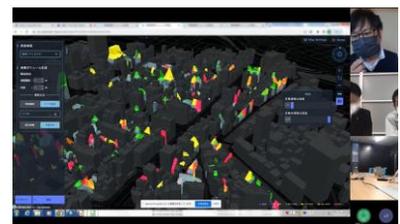
検証内容

開催概要

実施期間	令和4年11月17日～12月2日
実施場所	①対面：自社オフィス会議室/②オンライン
主な参加者	合計54名の参加 <ul style="list-style-type: none"> デベロッパー（8社36名） 自治体（2自治体5名） 不動産業に関連する業界団体（2団体9名） その他業界関係者（4名）
実施方法	セミオープンエクスションでのグループインタビュー（1時間）
実施内容	①システムデモ及び機能・シミュレーション条件の説明 ②被験者によるシステムの操作体験 ③ヒアリング <ul style="list-style-type: none"> 本システムの機能に対する質問・コメント どのような機能があったら有用であると思うか その他、3D都市モデルにおける3D可視化技術への期待・現時点の活用法



対面形式でのヒアリングの様子



ビデオ会議形式でのヒアリングの様子

検証結果

未消化容積ボリュームは分かりやすく受け入れられている一方で、実務への活用には課題があり、日影規制や天空率といった規制の加味や操作性の向上が必要になる。

対象者	観点	結果サマリ	示唆
デベロッパー	説明力・説得力	<ul style="list-style-type: none"> シミュレーション結果は違和感なく受け入れられているが、業務への活用価値は訴求できていない 	<ul style="list-style-type: none"> シミュレーションを行うだけでなく、業務支援を行うツールを開発する必要がある
	見やすさ	<ul style="list-style-type: none"> 未消化容積ボリュームは把握しやすいと受け入れられている 	<ul style="list-style-type: none"> 未消化容積ボリュームがどのように実業務に活用できるか訴求する必要がある
	操作性	<ul style="list-style-type: none"> 条件設定や操作性は高く受け入れられているがボタン配置に課題があると考えられる 	<ul style="list-style-type: none"> ボタン配置の直感的利用に課題があるため改善の必要性がある
	将来性	<ul style="list-style-type: none"> 実務活用のためには日影規制や天空率の加味が求められている 	<ul style="list-style-type: none"> 実務利用のためにはさらなる規制の加味が必要になる
自治体	説明力・説得力	<ul style="list-style-type: none"> 庁内会議での活用性は認められている 	<ul style="list-style-type: none"> シミュレーションを行って結果を可視化することが庁内会議での合意形成に役に立つ
	見やすさ	<ul style="list-style-type: none"> 未消化容積ボリュームは把握しやすいと受け入れられている 	<ul style="list-style-type: none"> 未消化容積ボリュームがどのように実業務に活用できるか訴求する必要がある
	操作性	<ul style="list-style-type: none"> 満足感も不満も寄せられておらず特徴が捉えられていない 	<ul style="list-style-type: none"> 操作性には改善余地がある
	将来性	<ul style="list-style-type: none"> 自治体業務への利用は想定できていない 	<ul style="list-style-type: none"> シミュレーションによる可視化と実業務への紐づけが必要になる

デベロッパー | ヒアリングサマリ

現状業務では開発検証段階で費用と時間が多くかかっている課題があるため、シミュレーションを使うことでスピーディーに検討ができることが有用であるという意見が寄せられた。

ヒアリング項目	結果サマリ
ビジネスモデルとしてマネタイズ可能か	<ul style="list-style-type: none"> 現在は開発検証時に費用と時間（1～2週間）をかけて、設計事務所等に容積ボリュームの検討を依頼しており、それが簡易かつスピーディーにできるのであれば活用が期待できる 日影規制を考慮したシミュレーションができると活用の可能性が広がると考えられる
都市計画の支援ツールとして活用可能か	<ul style="list-style-type: none"> まちづくりの検討には日影規制が反映されるとよいというアンケート結果もあり、機能追加による活用可能性の向上は見込むことができる

自治体 | アンケート回答結果

庁内会議での利用しやすさやツール利用のわかりやすさは評価をされている一方でプロトタイプの機能では業務への利用には不足があるため、自治体利用には特定用途への業務利用を想定した機能アップデートが必要。

観点	質問	回答内容 (n=1)
説明力・説得力	結果に違和感がないか	<ul style="list-style-type: none"> どちらとも言えない
	設定条件は業務に十分か	<ul style="list-style-type: none"> どちらとも言えない
	社内会議で利用できるツールとなっていると思うか	<ul style="list-style-type: none"> 十分利用できる
見やすさ	未消化容積ボリュームが把握しやすかったか	<ul style="list-style-type: none"> とても把握しやすい
	操作性	ボタンの配置は分かりやすかったか（直感的だったか）
将来性	条件設定は分かりやすかったか	<ul style="list-style-type: none"> どちらとも言えない
	動作はストレスがなかったか	<ul style="list-style-type: none"> どちらとも言えない
	サービス化されたら業務に利用したいか	<ul style="list-style-type: none"> いいえ
	どのような機能があれば有用だと思うか	<ul style="list-style-type: none"> 市街地再開発に向けた制限緩和方針の検討支援、マンション建替えの促進情報の一つとして情報発信
	建物の基礎情報として表示すべき項目は何か	<ul style="list-style-type: none"> 用途、敷地面積、延床面積、建築面積、都市計画区域、地域地区、地価、接道幅員、階高、土地利用計画区分、地上階数、地下階数、住所、計測高さ、建築年、分類
ビジネスモデルとしてマネタイズ可能	<ul style="list-style-type: none"> 市が持っている土地の有効活用のために容積率の可視化ができればと考えている 	
都市計画の支援ツールとして活用可能	<ul style="list-style-type: none"> 超過している容積も可視化されると、建て替えが進まなそうな所も目星を付けられる まちづくりとしては、日影の譲歩も反映されると良い 	

4-5-4 実証調査考察

本実証実験では、東京都中央区八丁堀、新宿区西新宿、渋谷区道玄坂の3つの地区を対象にシミュレーションを行った。

シミュレーション精度の検証として、本システムによって生成された容積ボリュームと、建築設計業務の通常の方法で計算される容積ボリュームとの比較を行った。その結果、本システムが前提とする条件と一致する建築物については、90%を超える一致度が得られた。なお、本システムでは、前面道路斜線制限、隣地境界斜線制限、高度地区による最高高さ制限等を空間的な制約条件としているが、その他の法規則による制限や容積率の緩和には対応していないため、比較検証は同一の条件によって行った。

また、サービスの有用性検証としてユーザーとなり得るデベロッパー・ゼネコン45名、自治体5名、その他関係者3名の計53名に対して、シミュレータの操作や処理をデモした上で、実務への活用可能性や都市計画における開発余地の確認支援に資するツールか、等についてヒアリングおよびアンケート調査を実施した。調査では、可視化による直感的な分かりやすさや、専門知識が無くても建築計画や都市計画などの初期段階の検討へ活用できることなどについて評価する意見が示された。

一方で、本システムをより汎用的なものとするためには、実際の容積ボリュームの計算に用いられる多様な法規制等に対応する必要がある。また、我が国では建築敷地の情報として利用可能なGISデータはほとんど流通しておらず、今回の実証実験では各種の情報から手で建築敷地を作成することになった。斜線制限面の生成の際は建築敷地、建物、前面道路を紐づけて空間演算を行う必要があるが、この紐づけも手動処理によって行っている。これらの手動工程はスケーラビリティを確保するうえでの課題となっている。

①今年度の実証で得られた成果

3D都市モデルによる技術面での優位性

本データは建物のみでなく敷地情報を保持している点で最大の優位性を要しており、シミュレーション結果の手作業との一致率やオープンソースを使った操作性の良好さにも優位性を持つことが明らかになった。

3D都市モデルの属性情報	<ul style="list-style-type: none"> ● 本実証実験に用いた3D都市モデル（建築物モデルLOD1、LOD2）には、多くの属性情報が含まれており、容積率算定及び余剰比率評価に使用することができる <ul style="list-style-type: none"> - 散在している情報収集を沢山のソースから引き出し連携させるのは手間、コストがかかるため、あらかじめ建物のみでなく敷地情報も保持している点は本データの最大の優位性といえる - 属性情報は拡張することが可能で、ジオメトリ計算による3D要素の値（建物容積、延べ床面積等）や追加拡張した敷地情報（敷地面積、境界線情報等）の整備拡張、関連法規情報と連携することで、シミュレーション精度を高めることが可能となる ● 属性の拡張は2Dレベルでも高さに関する情報を持つことはできたが、本データは座標、線分や面など幾何形状を示す数値情報を有するジオメトリ性と、各々の形状に対しての意味（属性）が付与されたセマンティクス性が一元化されており、加えて現実の地理空間情報としての位置座標を有していることから3D地図化が容易にできるため、デジタル空間上で現実的な都市空間を再現することができる
余剰容積ボリュームの算定及び表示	<ul style="list-style-type: none"> ● 通常の手作業とシミュレータによる容積算定の結果や容積ボリュームの比較で、概ね延べ床面積や階数が合致した <ul style="list-style-type: none"> - アルゴリズムに組み込むことが出来なかった法令の影響が大きな地域や建築物（検証No8の建物）については、明らかな相違が確認された - 一般的な階高だけでなく、特殊な建物等への適用や計画段階での階高検討にも活用することができる - 敷地データへ関連付けた属性値を変更することで、対象エリアの余剰容積ボリュームを即座に算出できる ● Webブラウザによる余剰ボリュームの3D表示によって、誰もが直感的に理解し利用できることが分かった <ul style="list-style-type: none"> - 専門知識を有するデベロッパーだけでなく、自治体などによる初期の都市計画にも活用ができる - オープンソースにより構築したことで、汎用的なWEBブラウザでの閲覧が可能となった

3D都市モデルによるビジネス面での優位性

作業効率の改善効果や視覚的にわかりやすいアウトプットの作成支援によりビジネス面でもインパクトを与えられることが認識された。

容易性	<ul style="list-style-type: none"> 開発用地選定、初期検討にあたり、法令に関する専門的知識が無くても容積ボリュームを簡単に確認することができ、建物や街区の開発検討の手間を軽減することができる 有用性ヒアリングの結果から、本ユースケースで開発したプロトタイプ機能（道路斜線、隣地斜線、高度地区の制限による容積ボリュームの可視化）であっても、簡単な操作で誰でも使えることが作業効率を改善させる効果につながる事が分かった
視覚的直感性	<ul style="list-style-type: none"> 容積ボリュームを3Dで可視化することで、建て替え検討等で周辺建物との関係性を見ながら視覚的に開発用地選定にあたりをつけやすくなる効果があることが分かった 有用性ヒアリングの結果から、複数の敷地を一体的に再開発するような実際の運用に沿った機能や地形（高低差）を考慮した規制の可視化に対応することでより有用性を高めることが期待できる
プレゼンテーション性	<ul style="list-style-type: none"> 3D都市モデルを活用した容積ボリュームの可視化は、2D平面での表現に比べて直感的に見やすいことから、都市や建築に専門性を持たない土地の所有者や開発関係者、地域住民などに対する計画の説明、合意に向けたプレゼンテーションに活用することができる <ul style="list-style-type: none"> 選択した敷地や街区に対する容積ボリュームをリアルタイムで計算し、余剰容積ボリュームを色分け表現していることで、視認性が上がり、プレゼンテーションとしてのインパクトを与えることができる

②今後の取り組みに向けた課題

技術面での課題	処理の複雑さによる手作業の発生	<ul style="list-style-type: none"> インプット情報から敷地情報作成する際の大部分が手作業による作成であり、汎用性の向上や対応範囲拡張の点で大きな課題となるが一部複雑で対応が難しい処理がある <ul style="list-style-type: none"> 公図を用いた敷地分割処理 容積ボリューム計算用データへの形状加工及び属性編集処理 <ul style="list-style-type: none"> 隣地斜線制限面生成に用いる敷地ライン情報の作成 道路斜線制限面生成に用いる道路ライン情報の作成
	高い操作性を持つツールの機能面での不足	<ul style="list-style-type: none"> 誰でも使いやすいツールとするためのオープンソース活用を促進すると、ツールの実装機能に不足がある <ul style="list-style-type: none"> 現時点の実装機能では開発者の実際の運用に沿った機能開発や法令対応の強化が難しい 利用用途に応じたツールの棲み分けを行い、操作性と有用性を担保する必要がある
有用性向上のための拡張	機能拡張	<ul style="list-style-type: none"> 日影規制や天空率等の各種法令や複雑な地形への対応力の強化が必要である 余剰容積ボリュームの算定は計算負荷が大きく数分から数十分といった処理時間を要するため、アルゴリズムを改善し表示までの時間を短縮する必要がある 敷地絞り込み時に「建物：敷地」を「1:1」以外のパターンについても、対応方法を併せた検討が必要になる
	取り扱いデータの拡張	<ul style="list-style-type: none"> より広範なエリアでのシミュレーションを行うために、公図レベルに細分化されて、建物データと整合する敷地割りをもつデジタルデータを取得する必要がある 不動産IDとの連携等、データ属性の多様化が必要になる

4-5-5 展望

本実証実験の結果を踏まえ、本システムの実用化に向け、日影規制、道路斜線の緩和措置、天空率等の多様な法規制への対応や、複数敷地をまとめた建て替え検討への対応など、現実に即した条件設定が可能なように開発を進めていく。また、本システムにおいて大きな課題となっている、建築敷地の特定についても、最新技術やデータを用いて自動算出可能な技術検討を進め、システムのスケールビリティを担保する必要がある。

これまで、余剰容積の有無はゼネコンや建設コンサル会社等が開発や買収の検討の際に専門知見をもって個別に確認してきたが、本システムを用いることにより、技術的な専門性を有しないデベロッパーや自治体職員などの多様な利用者が都市スケールで開発余地を平易かつ直感的に把握できるようになった。このため、個別建物の開発余地の確認のみならず、都市全体の土地利用状況の把握や面的な再開発検討など、都市構造の再生を検討する際にも本ツールは有用であると考えられる。このような多様な利用を普及していくため、ユーザーが利用しやすいサービスとしての完成度を高めていく。

4-6 まちづくり教育ツール（2022年度）

東日本旅客鉄道株式会社、インフォ・ラウンジ株式会社、株式会社日建設計、
特定非営利活動法人放課後NPOアフタースクール

<https://www.mlit.go.jp/plateau/use-case/uc22-031/>

https://www.mlit.go.jp/plateau/file/libraries/doc/plateau_tech_doc_0042_ver01.pdf

4-6-1 サービス概要

①事業・サービスの目的、ビジネスモデル、社会的意義

事業・サービスの目的と概要

都市における生活や働き方が多様化する昨今、様々な市民が主体的にまちづくりに関与していく市民参加型まちづくりの重要性がますます高まっている。参加意識の向上の観点からは、特に次世代のまちづくりを担う子どもたちに対するまちづくり教育の充実が重要である。

今回の実証実験では、地域の子どもたちを対象として、3D都市モデルを活用したまちづくり教育ツールを開発し、市民参加型まちづくり促進を目指す。

ビジネスモデル

- 民間サービスとしても汎用性のあるデジタル教育プログラムとして基本パッケージを作成し、カスタマイズすることにより、様々な教育現場で活用・展開を目指す
- 教育現場以外での多様な市民参加型のまちづくり検討用ツール・プログラムとしての応用を目指す
- 高輪GW駅周辺地域での将来の広域連携・エリアマネジメントに向けたデジタル情報基盤（ベースインフラ）として整備し、データ駆動型マネジメントへの活用展開を目指す
- 将来的に、デジタル技術を活用したエリアマネジメント活動を通して、住民ニーズに合わせたサービス展開を行い、満足度の高い街づくりを目指すことで、まちのブランディングに繋げ、エリア価値向上に寄与することを想定

社会的意義

- 様々な価値観を享受できる社会実現の手段として、市民参加型のまちづくりが大きな注目を集める中、当該地域も含め、多くの地域で市民参加のまちづくりにおける体制が不十分であり、合意形成基盤が不足しているため、市民参加型のまちづくりモデルを実現する
- 将来、地域の担い手となる児童たちに、住民であることに誇りを感じてもらおうとともに、まちへの興味関心や参加意識を高めるために、地域愛着醸成に繋がるプログラムを提供し、人や地域を豊かにすることを旨とする
- DX（デジタルトランスフォーメーション）の普及が加速する昨今、デジタルリテラシーに対するニーズは年々高まっているため、国際交流拠点を目指す当該地区に相応しい人材を育成する
- 当該地域において将来の円滑な広域エリアマネジメント活動を実現するため、デジタルインフラの整備を進める

図 4-6-1 3Dモデリングソフトと連動させたTwinmotion内でのアイデア再現



4-6-2 実証調査詳細

①実証調査の目的・概要

実証調査の目的

- 市民参加型のまちづくりモデルの構築
- まちの将来像をイメージしやすいツール・プログラムの開発
- 児童の地域への愛着醸成とデジタルリテラシー向上のためのまちづくり教育ツールの開発

実証調査の概要

•実証仮説

- 市民参加型まちづくり教育において、本実証で開発する“ARを活用した”まちづくり教育ツールと教育プログラムが、有用である
- 参加者（子ども）・主催者（エリマネ事業者）双方に以下の活用ニーズがある
 - ✓ 子どもたちがフィールドワークで気づきを記録する際、ARタグ付けアプリを活用することで、直感的かつ簡単に記録・シェアできるようになり、地域理解や魅力発見に主体的に取り組むことができるようになる
 - ✓ ARタグ付けアプリで現実に存在する建築物等の地物に紐づけて情報を作成・管理できるようになることで、タグ付けの意図や狙いをより解像度高く表現することができるようになると共に、情報共有と議論を進めやすくなる
 - ✓ エリマネ事業者にとって、今回開発するツールにより、市民参加型のまちづくりの場で市民の声をより効率的に集約できるようになる

•検証ポイント

- 3Dツール（ARタグ付けアプリ・モデリングツール）の教育プログラムにおける有用性検証
 - ✓ 参加者の現在のまちに対する意見が伝達・集約しやすくなるか
 - ✓ 参加者のコメント・アイデアを正確に再現できるか
 - ✓ 参加者の意見交換ツールとしてコミュニケーションが円滑になるか
- 教育プログラムの活用可能性・汎用性検証
 - ✓ 主催者が横展開しやすく、教育プログラムとして学校に普及・浸透しやすいか

②実証調査の対象エリア

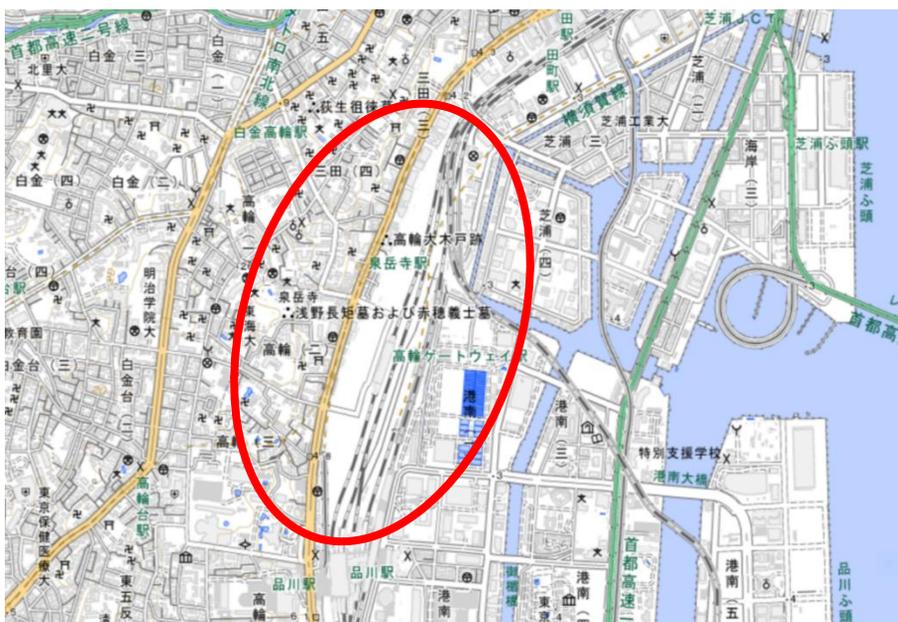
対象エリア

高輪エリア（4-2A街区 ※隣接する泉岳寺辻広場を含む）

エリア選定理由

- 市民参加・教育をテーマとしたユースケース開発を通じて、新しくできるまちの広域情報連携に向けたテストケースとするため。
- 参加予定の児童はこのエリアに在住・利用している。そのためワークショップの内容が実生活とも結びつきやすく、「児童を巻き込んだまちづくり」「地域への愛着の醸成」という本ユースケースの目標の達成に適している。対象エリアは世界から日本へのゲートウェイとして今後発展していく先端的な地域であり、対象エリアに住む児童のデジタルリテラシーの向上寄与を目指す。

図 4-6-2 3D都市モデル利用範囲



東京都 港区 高輪ゲートウェイ駅周辺地域（約168ha）

③実証調査に向け開発されたサービス

本実証実験では、港区立高松中学校の協力のもと、3D都市モデルを活用したまちづくり教育の課外授業を行った。この授業で利用するツールとして、「ARタグ付けアプリ」を開発した。このアプリを用い、フィールドワークで収集したARタグを可視化するためのPLATEAU VIEWを構築した。

ARタグ付けアプリは、現実の都市空間に紐づけてユーザーがコメントや写真などを「タグ」として投稿できるスマートフォンやタブレット向けアプリであり、それらのデバイスのブラウザ上で動作するウェブアプリとして構築した。バックエンドに firebase、フロントエンドに next.jsと3D の描画に AR.js及びThree.js を採用しており、GPSの情報をもとにしてカメラ映像上に3D都市モデルを重ねて投影できる。タグ付け操作には2D地図モードとARモードを用意しており、いずれも画面上からタグ付けする建物を選択して、分類、コメント、画像等をアップロードする。アップロードされた情報はデータベースに蓄積され、ユーザーが相互に閲覧したり検索したりすることができる。タグ付け対象の建物は3D都市モデルを加工して作成した。また、収集したタグ情報をPC上でも一覧表示できるようにするため、GeoJSONで情報を出力するAPIを実装し、PLATEAU VIEW上で3D都市モデルとあわせて表示できるようにした。なお、寺院の建物や碑文など3D都市モデルに含まれない地物も対象にする必要があったため、タグ付け専用のオブジェクトを3D空間内に配置して、周囲の情報をタグ付けできるようにした。

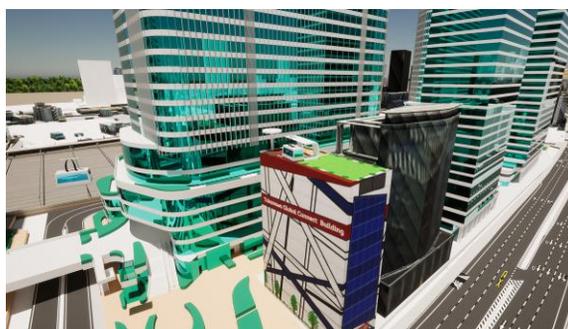
また、収集したタグ情報をもとに、まちをより魅力的にするためにはどのようなまちづくりが必要かを考えるまちづくりワークショップを開催した。ワークショップでは、生徒が都市に紐づけられた様々なタグ情報を参考にしながら、都市開発の提案を行った。生徒の提案内容をわかりやすくビジュアライズするため、生徒がデザインした建物を3Dモデル化し、3D都市モデル内に配置してプレゼンテーションに利用した。生徒は展開図のテンプレートを用いて建物のデザインを描き、それを画像として取り込み、Blenderでモデル化しfbx形式に貼り付け、Twinmotionに取り込み表現した。

図 4-6-3 開発されたサービスのイメージ



PLATEAU VIEWによるARタグの表示

ARタグ付けアプリ



生徒アイデア (Twinmotion)

図 4-6-4 システムアーキテクチャ全体図 | ARナビ

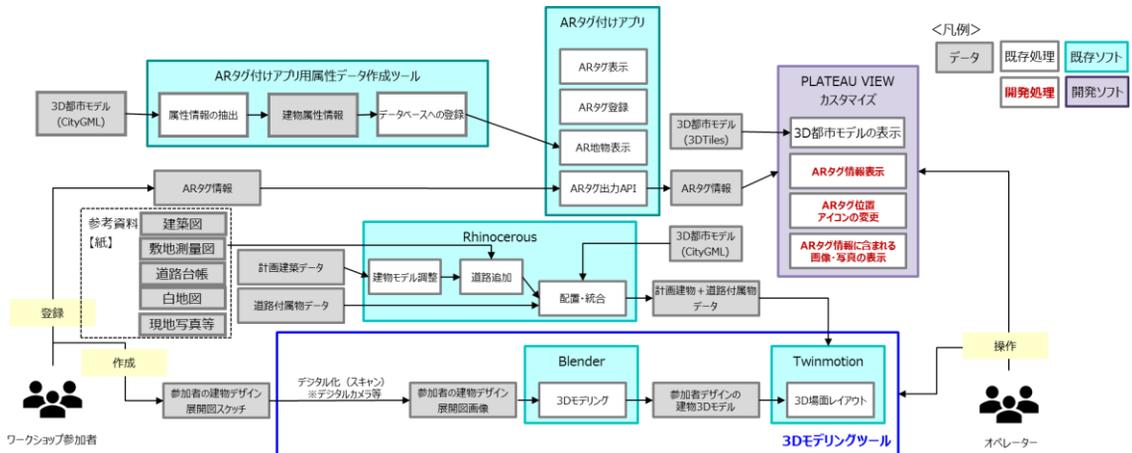


図 4-6-5 データアーキテクチャ全体図

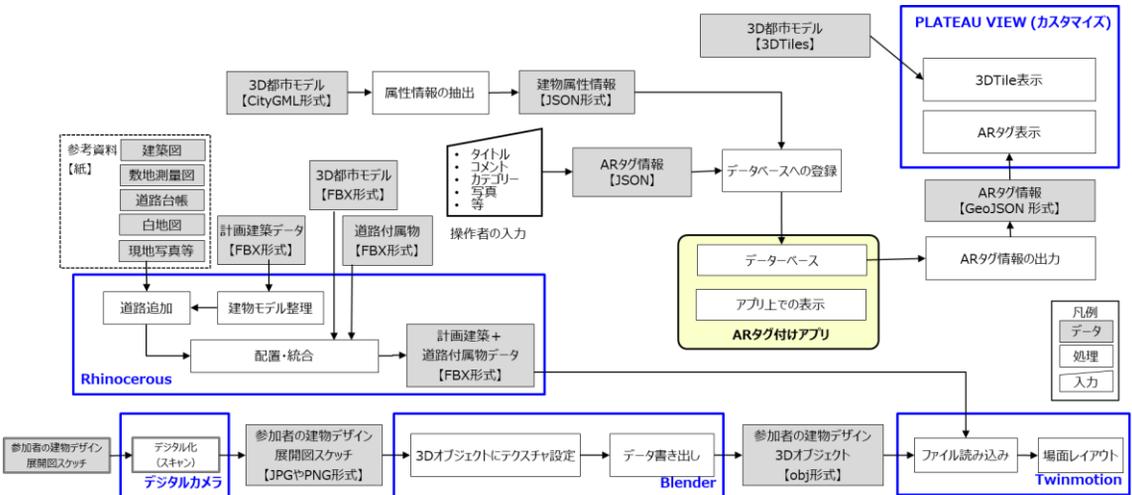


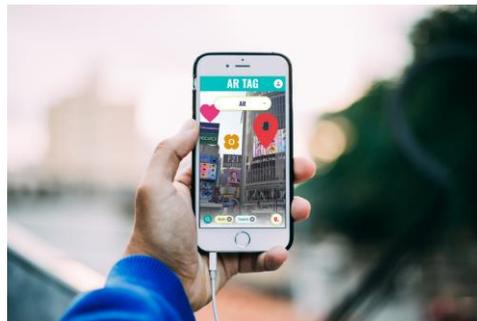
図 4-6-6 ARタグ付けアプリ | UI全体フロー



- 導入する新技術
 - 児童の関心ごとをARタグとして収集
 - ✓ 児童が操作するスマホアプリを開発し、AR空間内に児童の街を見る視点を可視化
 - ✓ 空間座標に対するアノテーションに加えて、地物識別子に対するアノテーション（要検証）
→ARタグの検索やフィルタリングでの活用に期待
 - ✓ CityGMLの持つ地物の属性情報と他に必要な情報を合わせてAR内に表示（要検証）
→ アプリ利用者に街の情報を提供することが可能に
 - 児童が都市空間を自由にデザイン
 - ✓ Twinmotion内に構築した3D都市モデルに児童がデザインした都市空間を再現
 - ✓ 建造物の平面展開図に自由に作画、ビルファサードや街のサインをデザイン
→独自デザインの3Dモデルは3Dモデリングソフト（Sketch upを想定）で作成
→ダイレクトリンク機能を用いて、3Dモデリングソフト（Sketch upを想定）とTwinmotionを連動
 - ✓ 用意した3Dアセット（公園、植栽、部品等）を自由に3D空間内に配置

図 4-6-7 導入する新技術

＜ARまち情報タグ付け機能＞



④3D都市モデル (CityGML) の活用方法

- PLATEAUを初期段階から用いることで、イメージをつかみ易く、モデルの範囲や詳細度などのコンセンサスが得やすい。
- CityGMLの特性であるセマンティクス情報を活用することで、街の特性の説明に寄与する。(属性を使った表示のフィルタリング等)
- 今後街づくりの3D都市モデル利用の業務モデルが確立すれば、街づくりに必要なセマンティクス情報の標準化に寄与し、については広域の街づくりに活用できる。
- 今まで図面や模型を用いて検討していた過程に、3D都市モデルや新たな技術を導入することで、市民もまちづくり検討に参加しやすくなり、わかりやすくコミュニケーションがとれるようになる。
- 現場でやりとりをしなければできなかった意見伝達、意見集約が、3D上でリアルタイムに実現できるようになることで利便性が向上する。
- 生徒のアイデアを3D都市モデル上に再現することで、臨場感や手触り感があり、生徒でも楽しめるプログラムを提供する。

利用された3D都市モデルの仕様

- 高輪GW駅北周辺10ha (品川JVで作成した建築物LOD2モデル)
- 形状のみ

3D都市モデルの用途

デジタルツイン・3D都市モデルを使って効果的なコミュニケーションを行うために必要なレベル感を導出する。

3D都市モデル活用のためのソフトウェア

- ARタグ付け：インフォ・ラウンジが開発するオープンソースを活用、UIをカスタマイズ
- WSプレゼンテーション：Twinmotion
- 展開図取り込み (3Dモデリングソフト)：SketchUp (仮)
- PLATEAU編集：ArcGIS
- 3D都市モデル及び点景モデル等作成：Rhino

図 4-6-8 広域エリアの3D都市モデル構築

広域エリアの3D都市モデル構築



4-6-3 実証調査結果

①ワークショップの概要

中学生向けの課外授業として、まちづくりをテーマとしたワークショップ全4回を企画した。

内容 誰でも簡単に扱える最新のテクノロジーを活用して、未来の高輪のまちづくりを行うプログラム！

DAY 1



高輪の開発を学ぶ

高輪ゲートウェイ駅周辺の開発の様子を3Dモデルなどを利用して、目で見て学び、3D都市モデルを体験することができます。

DAY 2



高輪の街を歩く

高輪の街を歩きながら地域の良さや課題を見つけしていきます。iPadを使ったAR(拡張現実)という最新の技術による近未来の街歩きです。
※駅施設非公認エリアにて開発模型や映像等を見学予定

DAY 3



まちづくり

開発中の地域でこれから検討を始める建物をテーマにまちづくりを行います。最新の技術により、自分たちのイメージした建物が簡単に3Dモデルとして再現できます。

DAY 4



発表

まちづくりの成果を、まちを実際に開発しているJR 東日本のチームに向けて発表します。街に対する皆さんの想いをぜひ聞かせてください！

DAY1 「高輪の開発を学ぶ」
2022/11/25 (金) 16:00-17:00
高松中学校内教室

DAY2 「高輪の街を歩く」
2022/12/02 (金) 14:00-16:00
学区内の街歩き (解散：高輪ゲートウェイ駅)

DAY3 「まちづくり」
2022/12/07 (水) 14:00-16:00
2022/12/14 (水) 15:00-17:00 ※補講
高松中学校内教室

DAY4 「発表」
2022/12/23 (金) 14:00-16:00
JR東日本 Tokyo Yard Building 2階

3D都市モデルとは…実際の都市を仮想空間に再現したモデルのこと。この取り組みでは国土交通省が整備する PLATEAU のモデルを使用します。

②実証システムの価値検証：生徒視点

検証内容

生徒に対して以下の通りアンケートを実施した。

検証観点	項目	概要
理解促進	説明理解度	<ul style="list-style-type: none"> 3D都市モデルを活用したワークショップの内容が理解できるか
	各回ワークショップの満足度	<ul style="list-style-type: none"> 従来のワークショップと比較して3D都市モデルを活用したワークショップの満足度が向上するか
創造性	アイデアのオリジナリティ	<ul style="list-style-type: none"> 従来のワークショップと比較してアイデアや意見を出しやすいか
	アイデアの再現性	<ul style="list-style-type: none"> 考えたアイデアを3D空間上に表現できるか
	アウトプットの量的向上	<ul style="list-style-type: none"> 従来のワークショップよりも発言量は増えたか
	体験価値の向上	<ul style="list-style-type: none"> ARタグ付けや3Dモデルを使うことでワクワク感が増えたか
公教育性	まちづくり教育プログラムとしての有用性	<ul style="list-style-type: none"> ワークショップを通じてまちづくりに必要な検討項目や視点を得られたか
	デジタルリテラシー向上の有用性	<ul style="list-style-type: none"> デジタルツール（ARタグ付けや3D空間活用）を使いこなすことができたか
	まちへの愛着醸成の有用性	<ul style="list-style-type: none"> ワークショップを通じてまちへの知識や愛着が増えたか
アプリの使い勝手	使い易さ	<ul style="list-style-type: none"> 3Dマップ上でタグを見ることでまちの特徴が理解できたか
	見易さ・分かり易さ	<ul style="list-style-type: none"> 3Dマップ上でほしい情報や他の人の意見を見つけることができたか

検証結果

生徒からはワークショップに対して好意的な意見が寄せられ、特に新たな視点で物事が見られることやまちへの興味が得られた点が評価された。

検証観点	回答サマリ	示唆
理解促進	<ul style="list-style-type: none"> 説明の内容をとても理解できたと回答した生徒が第1回は70%、第2回は52%となった ワークショップをとても満足と回答した生徒は初回が85%だが第3回以降は100%になった 	<ul style="list-style-type: none"> 生徒は事前説明の内容を理解していた一方で第1回に比べて第2回の理解度は下がったため、ワークショップの説明内容を見直す必要がある 各ワークショップへの満足度は極めて高く、また回を追うごとに満足度が高まったため、まちづくりに対して3D都市モデルを利用したツール及びワークショップが自然に受け入れられており、理解促進にこれらのデジタルツールが有用であることが確認できた
創造性	<ul style="list-style-type: none"> 約6割の生徒がツールを利用したことで意見を出しやすくなったと答えた 思い描いていた内容を3Dモデル上に表現できた生徒が約7割にのぼった 新しい発見や異なる視点での考え方ができたことで7割を超えた生徒が発言量が増えたと回答した ワクワク感への満足度は他項目に比べて劣っていた 	<ul style="list-style-type: none"> ARアプリを活用することで、まちへのイメージが抱きやすく、議論が活性化されることで発展的なアイデアを出しやすくなる場を作りやすくなるのではないかと 生徒はデジタルツールに慣れていることから初めて使うツールでも作りやすい内容を3D都市モデル上で作り上げることができ、生徒とARタグ付アプリの親和性は高いと考えられる デジタル環境を活用した議論は生徒にとって従来のワークショップよりも発言のしやすい環境を作ることができ、デジタルツールによるイメージ共有の重要性を確認することができた 一部の生徒はワクワク感を感じにくく、ツールを使用する目的やアウトプットを明確にする必要があると考えられる
公教育性	<ul style="list-style-type: none"> 9割を超える生徒がまちづくりに必要な考え方を学ばきっかけになったと回答した ツールを使いこなせた生徒は多いものの満足度にはまだ向上の余地がある まちに興味や関心を抱けたと回答した生徒が9割に上った 	<ul style="list-style-type: none"> まちづくりになじみのなかった生徒たちがワークショップを通じて理解を深めることができ、生徒が新たな経験・知識を獲得するための良い機会となると想定される ツールを使いこなせた生徒は多く、3D都市モデルに興味を抱ききっかけとなったと考えられるが、生徒の求める体験価値やツールの磨きこみの必要がある 本ワークショップを通じてまちの新たな魅力を発見し、街づくりへの関心を抱く機会となったと考えられる
アプリの使い勝手	<ul style="list-style-type: none"> 8割の生徒の新しい発見にタグ機能が寄与した タグ機能の有用性は認められたが利用環境の安定性から不満も挙げられた 	<ul style="list-style-type: none"> 3Dマップ上で普段見られない視点や将来の姿を考えることが出来たと考えられる 他者視点や考え方をタグ付アプリを使って認識することができ、教育的観点としての有用性もあると考えられる タグ付アプリがうまく利用できなかった班があり、満足度の低下につながったため、教育ツールとして安定性は重要と考えられる

③実証システムの価値検証：教師・保護者視点

検証内容

検証観点	項目	概要
理解促進	生徒のプレゼンの分かり易さ	<ul style="list-style-type: none"> 生徒のプレゼンは分かり易かったか
創造性	アウトプットの向上	<ul style="list-style-type: none"> 新技術を用いた本プログラムでは普段よりアイデアや発言などアウトプット量や質は向上したか
公教育性	プログラム実施回数	<ul style="list-style-type: none"> 本プログラムの実施回数・時間は適切か
	プログラム構成	<ul style="list-style-type: none"> 中学生の生徒が取組む内容として適切か
	取組内容	<ul style="list-style-type: none"> デジタルとアナログのバランスは適切か
	教育カリキュラムとしての有用性	<ul style="list-style-type: none"> 本プログラムを教育カリキュラム（総合学習等）に導入することができそうか
	デジタルリテラシー向上の有用性	<ul style="list-style-type: none"> デジタルを活用した教育は、他の生徒にも薦めたいと思うか
	まちへの愛着醸成の有用性	<ul style="list-style-type: none"> 生徒たちが地域に興味を持てたと思うか

検証結果

生徒がワークショップに取り組む姿勢が高く評価されており、生徒の自主性や創造性を育む教育プログラムとして好意的に受け入れられていると考えられる。

検証観点	回答サマリ	示唆
理解促進	<ul style="list-style-type: none"> 95%の回答者が生徒のプレゼンを分かり易かったと回答した 	<ul style="list-style-type: none"> 生徒のプレゼンは分かり易く、かつ、生徒のまちづくりへの姿勢が保護者や教師から高い関心を得られたため今後も展開可能性が高いと考えられる
創造性	<ul style="list-style-type: none"> 生徒のアウトプットの質と量が向上したと全回答者が答えた 	<ul style="list-style-type: none"> 従来のワークショップよりも生徒の自主性や創造性を刺激するワークショップ内容となり、教育的意義が高いため他生徒や他プログラムへの展開可能性があると考えられる
公教育性	<ul style="list-style-type: none"> 全回答者が適切であると回答したものの、自由回答内で時間が足りなかったと回答した教師がいた 中学生の取り組む内容として十分であり、教育プログラムとしての有用性が高いとの回答が100%得られた 生徒がまちの歴史や将来に関心を抱き、愛着を持つ機会となったという回答が100%得られた 	<ul style="list-style-type: none"> アンケート回答は高評価ではあったものの、ワークショップや事前準備の時間が不足していたと回答する教師もいたため、余裕を持ったプログラム設計が必要と考えられる 職場体験のように企業や行政との繋がりができる点が評価されており、教育的意義の高さが検証された 生徒がまちや地域の歴史に関心を抱き、まちづくりを考えるきっかけになるため教育プログラムとしての価値があると考えられる

④実証システムの価値検証：主催者視点

検証内容

検証観点	項目	概要
理解促進	生徒のプレゼンの分かり易さ	<ul style="list-style-type: none"> 生徒のプレゼン（表現）は分かり易かったか
公教育性	生徒たちの反応	<ul style="list-style-type: none"> 生徒たちは楽しそうに取り組んでいたか
	まちへの愛着醸成の有用性	<ul style="list-style-type: none"> 生徒たちが地域に興味を持てたと思うか
	まちづくりプログラムとしての有用性	<ul style="list-style-type: none"> 本プログラムを市民参加型まちづくりの中で活用することができそうか
	プログラム実施回数	<ul style="list-style-type: none"> まちづくりプログラムとして実施回数や時間は適切か
	地域課題の把握	<ul style="list-style-type: none"> 地域の抱えている課題感を把握できそうか
	アイデア集約の有用性	<ul style="list-style-type: none"> 市民の良いアイデアを集めることができそうか
	まちづくり機運の醸成	<ul style="list-style-type: none"> 市民と一緒にまちづくりを行う機運を高めていくことに繋がるプログラムだと思うか

検証結果

まちづくりワークショップ参加者からのアウトプットや理解・関心の高まりが観測されたことから、他エリアや他参加者に対象を広げて開催することで魅力的なまちづくりの一環としてワークショップを位置づけることが可能。

検証観点	回答サマリ	示唆
理解促進	<ul style="list-style-type: none"> 生徒のプレゼンが分かり易かったという評価が全回答者から寄せられた 	<ul style="list-style-type: none"> 3D都市モデルを活用したワークショップのアウトプットでは分かり易く発表されたため、他地域や他対象者に対しても分かり易くプレゼンテーションができると考えられる
公教育性	<ul style="list-style-type: none"> 生徒は楽しそうに地域に興味をもってワークショップに取り組んでいたという回答が9割以上に上った 3D都市モデルを活用したワークショップは市民参加型のまちづくりに活用できるという回答が寄せられたが、実施回数や時間が足りなかったという傾向もみられた まちづくりワークショップによっていつもと異なる視点での考えができ、かつ、イメージ創出のしやすさから地域の抱える課題や市民の持つアイデアを集めることが出来るという声が寄せられた 	<ul style="list-style-type: none"> 地域の歴史理解やまちづくり検討への参加のきっかけとしての有用性が認識されたと考えられる 参加者は関心高くワークショップに参加しているため、ワークショップの回数や時間を見直すことで参加者の創造性をより活用できる可能性あり まちづくりワークショップを開催することで地域の特徴への理解やまちづくりへのアイデアを地域住民・周辺住民から得ることができるため、他地域や幅広い参加者に対するワークショップ開催が有益になる

⑤参加ユーザーからのコメント

生徒からのコメント

- ・自分の住む街についてあらためて考えることができ、とても楽しいプログラムだった。
- ・PLATEAUを活用したタグ付けアプリのおかげで発表の幅が広がった。
- ・まちづくりの色々な視点を知ることができて良かった。
- ・再開発を自分たちの手で考えられることがすごくワクワクしてとても楽しかった。
- ・3D上に表現するという経験がとても貴重で楽しかった、また参加したい。

教育関係者からのコメント

- ・子どもたちにとって充実した学びの機会となった。
- ・「高輪」というテーマで行われたが、港区立中学校10校すべてで同様の取り組みが可能だと思う。今回の取り組みが広くいわたることを期待している。

保護者からのコメント

- ・課外授業で地域を学ぶだけでなく、子どもたちにとって身近なものとなりつつあるデジタル技術についても学習できる環境はありがたい。
- ・自分と異なるバックグラウンドを持つ人にとってどのようなまちであるか、あるいはどのようなまちにしたいか、という視点で街を見られるようになり、子どもたちにとって大きな学びがあった。

港区からのコメント

- ・市民参加型のまちづくりの場で、市民の声を拾う際に具体のイメージを貰うことも可能と感じた。

学識からのコメント

- ・まちのことをいつもと違う視点で考えるツールとして面白い、活用可能性があると感じた。
- ・本教育プログラムは、学習指導要領に沿ったカリキュラム等に組み込める可能性があり、全国のさまざまなまちづくりの授業での活用が期待される。

4-6-4 実証調査考察

ARタグ付けアプリを用いたフィールドワークでは、まちの良いところ、悪いところ、将来に向けたアイデアをARタグとして収集した。約1時間で各班平均35個、一人平均8個のタグが付けられ、各生徒が主体的にフィールドワークによる地域理解や魅力の発見に取り組む様子がうかがえた。従来のARアプリと異なり、今回のアプリでは現実存在する建築物等の地物に紐づけて情報を作成・管理できるため、タグ付けの意図や狙いをより解像度高く表現することができた。

また、生徒がタグ付けした内容をPLATEAU VIEW上で相互に一覧で閲覧することができることで、都市の構造を俯瞰で把握しつつ、同じような意見が多く集まった箇所や、逆にユニークな着眼点が表示された箇所など、情報を共有しつつ議論を進めることができた。

都市開発のアイデアをTwinmotion上でビジュアライズしたデザインワークでは、Twinmotion上で三次元空間としてビジュアライズされた静止画や動画を活用することで、生徒たちのプレゼンテーションの幅を広げることができた。成果発表会の参加者にとっても、発表内容の理解を深める助けとなった。また、展開図からオリジナル建物をデザインし、3D都市空間上に簡単に表示できる仕組みは多くの生徒から好評であり、これにより、体験価値の向上だけでなく、アイデアのオリジナリティが増すなど、先生から普段の授業でアイデア出しを伴う場面と比較してアウトプットの質・量とも向上したという評価を頂き、アウトプットの質・量の改善に対する有用性が確認できた。

一方で、当初予定していたプログラムスケジュールのうち準備期間の3日間（計5時間）ではディスカッションやアイデア検討、発表準備の時間が足りず、追加時間の確保が必要となった。ARタグ付けアプリにより直感的かつ簡単に気づきを記録することができたことから、得られた様々な情報から班ごとにインサイトを得るにはより時間が必要であり、さらに建物デザインに昇華させるまでに時間を要したと考えられる。また、オリジナル建物のデザインでは、3Dモデリングツールの利用が困難であると想定し展開図を紙に印刷したものを配布し、手書きでデザインを施してもらったが、実際には各自が授業で使っているiPadのカメラを使って展開図を取り込み、iPad上でデザインをする生徒もいたことから、iPadを使って3D上でデザインをさせるなどの生徒たちのデジタルリテラシーに合わせたワークショップ作り込みの必要性も明らかとなった。技術面では、ARの位置合わせは端末のGPS精度に依存しているため、実風景に建物等の地物モデルを重ねる際のズレが生じるという課題も見つけられた。

①今年度の実証で得られた成果

3D都市モデルによる技術面での優位性

3D都市モデル上の可視化機能	<ul style="list-style-type: none"> 都市を俯瞰したり、建物外観の遠方からの見え方を確認することができる BlenderやTwinmotionを利用することでワークショップ参加者がデザインした建物が3D空間内に再現できるだけでなく、静止画や動画も作成することができる
まちづくりワークショップの活性化	<ul style="list-style-type: none"> 現場でやりとりをしなければできなかった意見伝達、意見集約が、3D上でリアルタイムに実現できる <ul style="list-style-type: none"> 収集した街の情報を3次元地図上に可視化することで、空間的な位置関係が把握できる
自由度の高いタグ付け機能	<ul style="list-style-type: none"> 地物を直接指示して高さ情報を持たせたタグをつけることができたり、地物を起点とした検索や表示が可能となった

3D都市モデルによるビジネス面での優位性

生徒でも使える 利用容易性	<ul style="list-style-type: none"> 中学生でも楽しみ、直感的に理解できるプログラムを提供できる <ul style="list-style-type: none"> アイデアを3D都市モデル上に再現することで、臨場感や手触り感をもった表現ができる 3Dモデルを使うことで街の構成や地形の状況が地図や図面を読み解くスキルのない一般の方にも解りやすく直感的に理解できる
情報可視化によるアイデア 創出性の向上	<ul style="list-style-type: none"> アイデアのオリジナリティが増し、普段と比較してアウトプットの質・量共に向上させることができる <ul style="list-style-type: none"> BlenderとTwinmotionを用いたワークは、ワークショップ参加者がデザインした建物が3D空間内に再現されることで体験価値が向上する
アイデア表現の 自由度	<ul style="list-style-type: none"> ワークショップ参加者のアイデアを3D都市モデルを使って他者への発表が容易にできる <ul style="list-style-type: none"> デザインアイデアをTwinmotionに取り込み、静止画や動画を作成できることにより、プレゼンテーションの幅が広がると共に、発表内容に対する理解が促進した 3D都市モデルや新たな技術を導入することで、市民もまちづくり検討に参加しやすくなり、分かり易くコミュニケーションができる

②今後の取り組みに向けた課題

ツール・プログラムのバージョンアップの必要	<ul style="list-style-type: none"> 複数の建物、建物と周りの空間など、各種の関係性を踏まえた上でアイデアを3D化出来るツール・プログラムへのバージョンアップが課題 <ul style="list-style-type: none"> 位置合わせは端末のGPS精度に依存していることにより、実風景に建物等の地物モデルを重ねる際のズレが生じたため、VPS（ビジュアル・ポジショニング・システム）技術を導入することで改善する可能性がある 展開図を使った手法は、制作は簡単で誰でもできるという利点があるが、一方で自由度がないという欠点がある <ul style="list-style-type: none"> 自由度向上のためには、展開図のパターンを増やす、または手作業で作成した模型を3Dスキャンするなどの手法も考えられる
プログラム内容の見直し	<ul style="list-style-type: none"> 発表準備時間の不足があり、プログラムの開催日程やコンテンツに見直しが必要 <ul style="list-style-type: none"> 当初予定していたプログラムは4日間だが、アイデア検討や発表準備の時間が不足したためフォローアップ会を一度、臨時開催した 発表準備のための時間確保が不十分であったため、プログラムの実施回数・時間の見直しが課題
教育プログラム向けに内容の見直し	<ul style="list-style-type: none"> 本プログラムを教育カリキュラム（授業）の中で活用するうえでは、ツールを学校で自由に使える環境整備が課題 <ul style="list-style-type: none"> 中学生でも理解に時間を要したため、小学生向けに実施する場合はハードルが高く、プログラムの見直しが必要となる 歴史や地理や産業などの具体的な学習テーマと絡めてワークショップを設計・実施することで、より高い学習効果が得られる可能性がある また高校地理の学習指導要領内でGISの活用がうたわれており、GISを活用したARタグ付けアプリを使用することが有効な可能性がある
ツール・プログラムのバージョンアップの必要	<ul style="list-style-type: none"> 複数の建物、建物と周りの空間など、各種の関係性を踏まえた上でアイデアを3D化出来るツール・プログラムへのバージョンアップが課題 <ul style="list-style-type: none"> 位置合わせは端末のGPS精度に依存していることにより、実風景に建物等の地物モデルを重ねる際のズレが生じたため、VPS（ビジュアル・ポジショニング・システム）技術を導入することで改善する可能性がある 展開図を使った手法は、制作は簡単で誰でもできるという利点があるが、一方で自由度がないという欠点がある <ul style="list-style-type: none"> 自由度向上のためには、展開図のパターンを増やす、または手作業で作成した模型を3Dスキャンするなどの手法も考えられる

4-6-5 展望

本実証実験にて得られた結果から、今後はより親和性の高い歴史や地理等の学習テーマと絡めたプログラムを設計し、検証を進めていきたい。また、子ども用の玩具ブロックや粘土を使うなどして形状を作成したものを3Dスキャンし、3D都市モデル内に再現するというような手法によって参加者の自由な発想を表現してもらうことで、多様な成果が得られるような取組へと発展させていきたい。

今まで図面や模型を用いて検討していたまちづくりの過程に、3D都市モデルを活用したARタグ付けアプリ、ARタグ可視化ツール（PLATEAU VIEW）、3Dモデリングツール等を組み合わせることで、意見伝達・集約と、アイデアを3次元空間上に即座に可視化することが容易になり、参加者同士のわかりやすいコミュニケーションや合意形成に寄与し、市民がまちづくり検討に参加しやすくなると考えられる。

また今回の教育プログラムがデジタルリテラシー向上及び街への愛着醸成に対して有用であることが確認された。今後はまちづくり教育プログラムとして広く展開していくとともに、教育現場以外でも多様な市民参加型のまちづくり検討用ツール・プログラムとして応用範囲の拡大を目指していきたい。

4-7 大丸有 Area Management City Index (AMCI) (2021年度)

PwCアドバイザリー合同会社・株式会社アブストラクトエンジン (パノラマティクス) ・
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

<https://www.mlit.go.jp/plateau/use-case/uc21-004/>
https://www.mlit.go.jp/plateau/file/libraries/doc/plateau_tech_doc_0002_ver01.pdf

4-7-1 サービス概要

①事業・サービスの目的、ビジネスモデル、社会的意義

事業・サービスの目的と概要

まちづくり活動を3D都市モデル上で可視化するプラットフォーム「AMCI (Area Management City INDEX)」を開発。大手町・丸の内・有楽町地区 (以下、大丸有エリア) を舞台に、SDGsアクション等の活動状況を、3D都市モデル上で「一目瞭然」に可視化する。また、「ひとり/個社のアクション」を「みんなのアクション」として知覚することが可能になり、次のアクションにもつながっていくサステイナブルな活動を促す好循環の仕組みの実現を目指す。

想定ビジネスモデル

- エリア内企業へのプロモーション
 - 大丸有エリアに属するイベント参加候補企業への誘致活動への活用
- ACT5イベント参加者に対する個人向けプロモーション
 - AMCIを活用した当事者に気づきを与え、行動変容を促進

社会的意義

エリアマネジメント団体が抱えている課題は「参加企業 (参加者) の巻き込み」であるが、広義かつ長期的な目的としては、3D都市モデルが「エリアマネジメント活動への共感・評価の獲得」に資するかを検証することでもある。

上記はエリアマネジメント活動への共感の獲得や、エリアマネジメント活動効果の可視化、エリアマネジメント活動の価値を効果的に発信・訴求するという、エリアマネジメント組織が抱える根底の課題解決にもつながるものである (エリアマネジメントの高度化)。

図4-7-1 AMCI実証の概観 (全体イメージ)



4-7-2 実証調査詳細

①実証調査の目的・概要

実証調査の目的

本実証調査の目的は3D都市モデルを活用した「エリアマネジメント業務」に役に立つユースケースの開発である。これを実証し、実際にエリアマネジメントに有効なツールとして機能するかを検証することを目的とする。

実証調査の概要

AMCIを大丸有SDGsACT5参加企業および個人の参加者へ公開し、SDGsに関する都市活動の可視化の意義や効果についてのフィードバックを受ける。さらにAMCIを企業・有識者・エリマネ団体に実際に使ってもらい今後の展開についての示唆を頂く。AMCIの主な掲載情報は以下の通り。

- まちの活動量
 - CO2排出削減量：大丸有SDGs ACT5で実施される活動実績に対応して削減量を可視化
 - 歩数：ACT5メンバーポイントアプリをダウンロードした方々の中で、健康に寄与する歩数としてポイントを付与する、一日8000歩以上を歩いた方々の総歩数を算定。それをもとに国土交通省が示す健康指標を参考に、医療費抑制効果を算出（H29.3 まちづくりにおける健康増進効果を把握するための歩行量(歩数)調査のガイドラインに基づき算出）
 - ポイント数：AMCI上にポイントの総発行数を表現し、日々のポイントの増加が参加者にわかるよう可視化
- 活動場所
 - SDGs ACT5のイベントなどが行われている施設を3D都市モデル上に高さ情報をもってプロットし、活動場所を立体的に表現
- SDGsの活動の集積
 - 大丸有エリアのSDGs活動の集積を17の目標別に表現。数字の計算方法は、大手町・丸の内・有楽町エリアそれぞれの活動の集積を、各エリアに勤務する参加者が獲得したポイントに基づき計算

②実証調査の対象エリア

対象エリア

大丸有エリア

エリア選定理由

大丸有エリアは、東京駅と皇居の間に位置し、120haの区域に約28万人・約4,300社の企業が集積している。日本経済を牽引する東京都心のビジネスエリアとして、日本で先進的にスマートシティ化を推進し、日本の国際競争力を牽引する存在である。

また、当該エリアはデータ利活用型エリアマネジメントを推進するエリアマネジメント体制・企業の集積エリア・大丸有版都市OS構築計画の揃った、最適な実証対象地域である。

図4-9-2 検討対象範囲

	地区	大手町・丸の内・有楽町地区
	区域面積	約 120 ha
	就業人口	約 28 万人
	集積企業	約 4,300 社
	建物延床面積	約 800 ha (建設予定含む)
	建物棟数	101 棟 (建設予定含む)

③実証調査に向け開発されたサービス

AMCIを大丸有SDGsACT5参加企業および個人の参加者へ公開するとともに、企業・有識者・エリマネ団体に実際に使ってもらった。

AMCIの概要・イメージ

● トップ画面



● まちの活動量（CO2排出削減量）

- 大丸有SDGs ACT5で実施される活動実績に対応して削減量を可視化。CO2排出削減量に寄与する活動に関して下記計算式を設定

テーマ	活動	概要	計算式
ACT2 気候 変動	カフェでマイカップ・マイボトル利用	対象店舗でのドリンク購入にマイカップ・マイボトルを利用した方にポイント付与	$(37.4g / \text{個} - 1.81g / \text{回}) \times \text{取引回数(個数)}$ 参照：H23.4 リユース可能な飲料容器およびマイカップ・マイボトルの使用に係る環境負荷分析について(環境省)をもとにPwCにて原単位作成
	店舗でエコバッグ利用	対象店舗での商品購入にエコバッグを利用した方にポイント付与	$33g / \text{枚} \times \text{取引回数(枚)}$ 参照：H24 3R 原単位の算出方法（環境省）より
	古くなった衣類の回収	回収拠点に不要な衣料品を持参した方にポイント付与	$7.52kg\text{-}co2 / kg \times 0.25kg / \text{回} \times \text{取引回数}$ 参照：H24 3R 原単位の算出方法（環境省）より
	不要なエコバックの回収	回収拠点に使っていないエコバック（新品）を持参した方にポイント付与	$781.7g / \text{個} \times \text{取引回数}$ 参照：H21.3 第4回日本LCA学会研究発表会講演要旨集

- CO2排出削減量を3D都市モデル上で空中に舞う葉っぱの表現として可視化



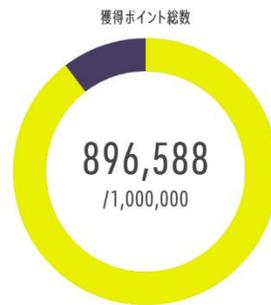
• まちの活動量（歩数）

- ACT5メンバーポイントアプリをダウンロードした方々の中で、健康に寄与する歩数としてポイントを付与する、一日8000歩以上を歩いた方々の総歩数を算定（右図参照）。それをもとに国土交通省が示す健康指標を参考に、医療費抑制効果を算出(H29.3 まちづくりにおける健康増進効果を把握するための歩行量(歩数)調査のガイドラインに基づき算出)
- 3D都市モデル上の歩数の表現として、総歩数の増加をより楽しく閲覧者に感じてもらうため、まちの街路を躍動する光の道筋を描き、総歩数の増加によってそれがよりダイナミックに変化していく表現とした



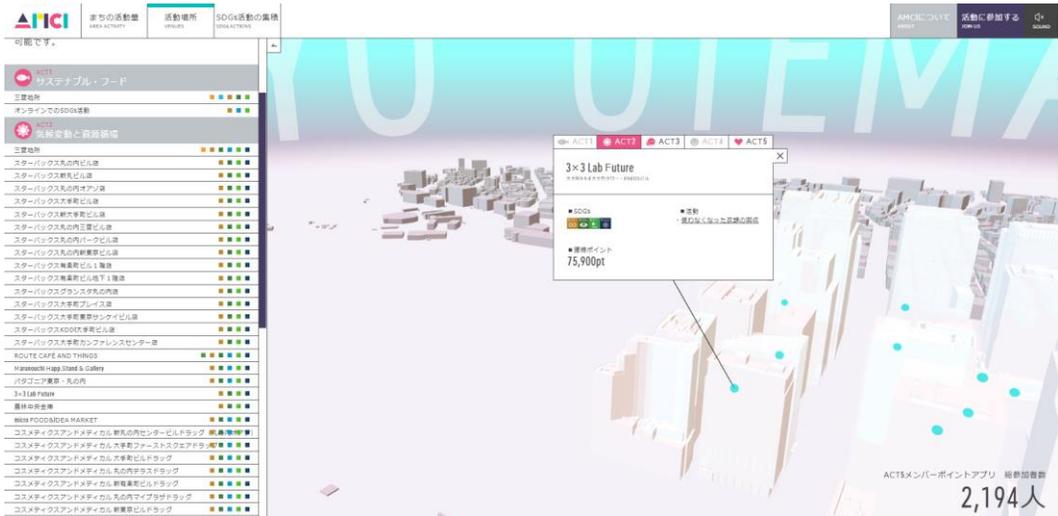
• まちの活動量（ポイント数）

- AMCI上に可視化されるポイントの総発行数を表現し、日々のポイントの増加が参加者に対して可視化される表現とした。さらには、どのように一日当たりのポイント発行数が増加してきたかをグラフを用いて可視化される。
- 3D都市モデル上では、CO2削減量と同様に、大手町・丸の内・有楽町各エリアごとにACT5メンバーポイントアプリ参加者の勤務地毎に集計され比較できる可視化の仕様とした。各エリアの獲得ポイント量が青い粒子として浮かび上がり、粒子の総量で想定的に、エリアの活動量が比較可能



● 活動場所

- SDGs ACT5のイベントなどが行われている施設が3D都市モデル上に高さ情報をもってプロットされており、活動場所が立体的に把握できる。画面左側に表示される、活動場所のリストはACT5のテーマごとにACT1~5のカテゴリに分類されており、リストを選択することで、3D都市モデル上のビューが自動的に活動場所に移動する仕様とした

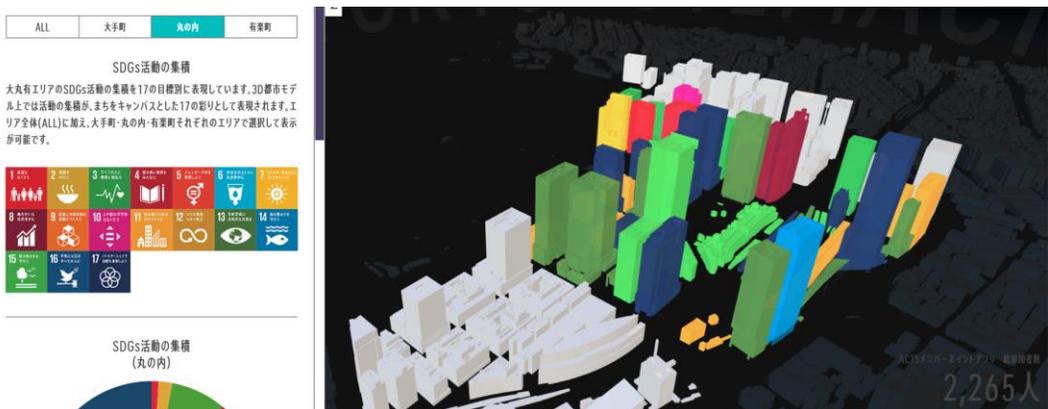


● SDGsの活動の集積

- 大丸有エリアのSDGs活動の集積を17の目標別に表現。数字の計算方法は、大手町・丸の内・有楽町エリアそれぞれの活動の集積を、各エリアに勤務する参加者が獲得したポイントに基づき計算。ユーザーがエリア全体(ALL)に加え、大手町・丸の内・有楽町それぞれのエリアを選択して表示することも可能

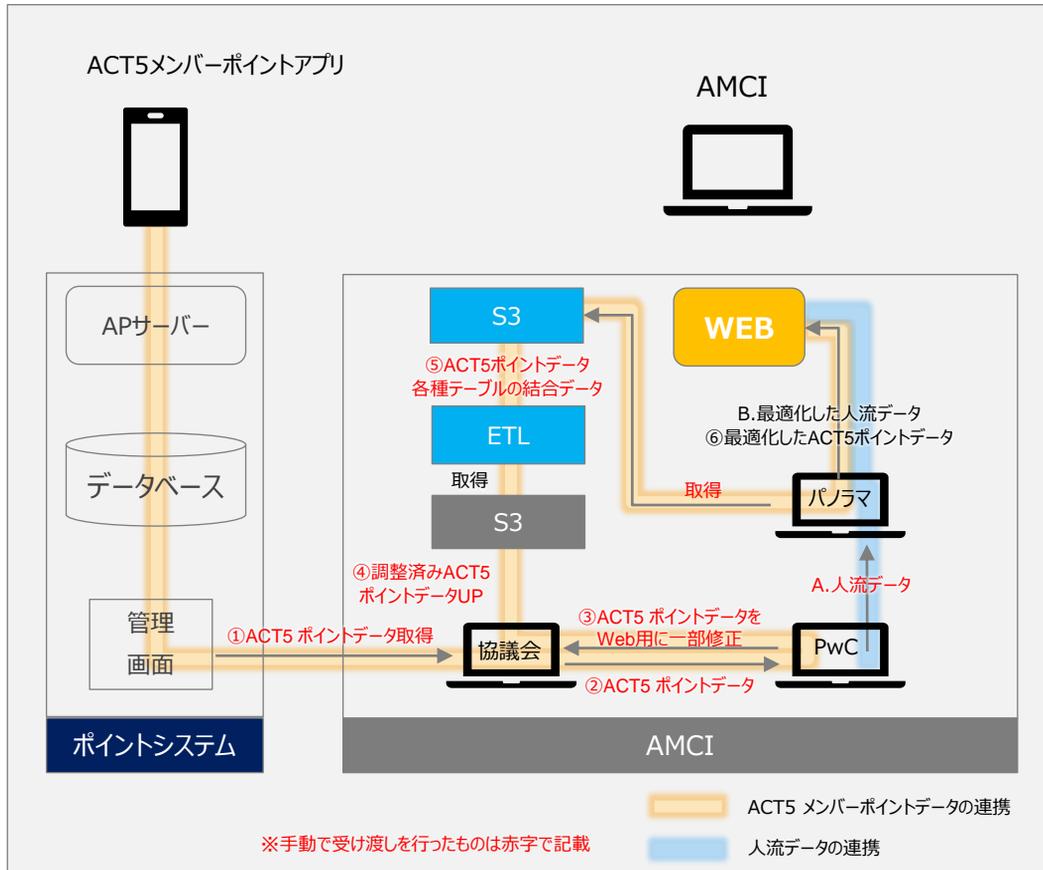
計算式：SDGs活動の集積 = 活動毎に紐づけられた17の目標による分類 × 活動毎の獲得ポイント数

- 3D都市モデル上のSDGs活動の表現として、地区毎の3D都市モデル上では活動の集積が、まちをキャンパスとした17の彩りとして表現される。選択した地区のタブによって、3D都市モデル上でも各地区ごとに表現される建物範囲が変更される



● システムの全体像

- 2021年度はAMCIの表現の検討及び実現を最優先したため、バックエンドでは手作業を多く含む形でシステムを稼働させた。各種データの受け渡しについても手作業が発生しており、手作業でのデータ授受に該当する部分は下図赤字で示す通りである
- また、手作業での連携の際に人為的なデグレージョンが発生し、開発環境下でのエラーが1度発生した
- 今後の持続可能なAMCI運用のためには、API連携などの技術を活用しながら、可能なところから自動化を進め、品質と持続性を高めていくことが必要となってくる



ファイルアップ手順

- csv データをダウンロードして、dataディレクトリに保存
- JavaScriptを用いたプログラムにより、スクリプトを実行して csvを解析し、サイトで利用する json に変換。なお、スクリプトで計算したものは以下。
 - ・ CO2排出削減量：「貢献可視化」が「CO2削減量」である項目の総和
 - ・ 抑制された医療費：「貢献可視化」が「歩数データの医療費削減金額」である項目の総和
 - ・ 歩数：「支払人」が「歩数チャレンジ達成」である項目1つにつき8000歩として、8000×項目数として歩数の総和を算出
 - ・ ポイント数：全項目の「金額」(*三菱総合研究所より受領データ内のポイント数を表すカラムの名称)の総和を算出
 - ・ SDGs活動の集積：活動別に割り振られたSDGsの目標ごとにポイント数を集計し、その割合を算出

※上記手順でおおよそのデータは最新に更新されるが、手動による更新作業も発生

4-7-3 実証調査結果

①効果検証の方法

AMCIを大丸有SDGsACT5参加企業および個人の参加者へ公開し、SDGsに関する都市活動の可視化の意義や効果についてのフィードバックを受けた。さらにAMCIを企業・有識者・エリマネ団体に、実際に使ってもらい今後の展開についての示唆を頂いた。

また、上記の方々からのフィードバックを整理の上、本実証の仮説の確かさについて検証し、今後のAMCIの展開及びAMCIを活用したエリアマネジメントの高度化についての方向性の示唆を得た。

なお、分析にあたり、実証開始前に掲げたKPIに対しての達成度合いは以下ようになった。

表4-9-1 本実証のKPIの達成状況

項目	達成値	目標値
AMCI視聴者へのアンケート収集	343件	500件
大丸有SDGsACT5参加者へのAMCI公開 (閲覧回数)	5,638回	2,000回
有識者・企業等へのヒアリング	15件	10件

効果検証の方法は、企業・有識者向けのインタビューと、一般向けのアンケートとした。各検証の狙いは以下に示す通りである。

図4-7-3 効果検証の方法と狙い

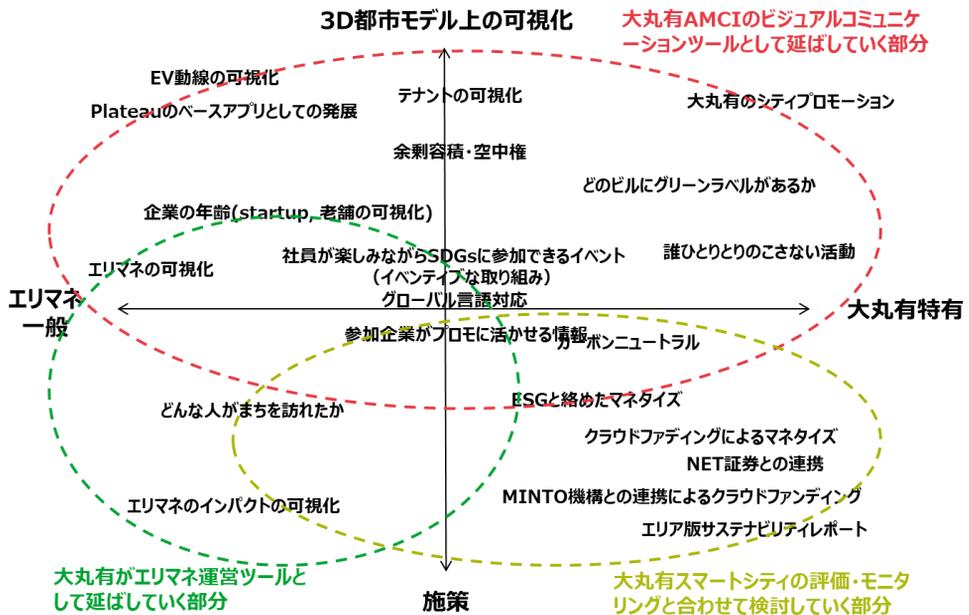


②効果検証結果の概要

1)スマートシティやエリアマネジメントに知見のある学識経験者コメント

	所属 / 氏名	コメント
1	東京大学大学院 教授 出口 敦	AMCIのようなものを他の地域でも出せると、他のエリアとの相対評価に繋がっていく。現在は時系列評価だが、他地域との比較ができると、この地域の貢献度がより明確になる。また就業者の行動変容に繋がるとより宜しい。どう個人に働きかけられるかが課題。
2	千葉大学大学院 教授 村木 美貴	AMCIは個人の参画の結果がビジュアルになるのはわかりやすいものの、それが個人にとってどのようなリターンになるのか説明されていない。例えば集まったポイントが仲通りの芝生の購入代金になったなど、成果の出口がみえると宜しい。企業の参画に際しても、最終的なリターンが何かを念頭に置きながら評価することも大事である。
3	東京大学生産技術研究所 教授 野城 智也	ポイントデータの解像度を挙げていくには、プラトーよりも細かい、大丸有がもっている空間データと結び付けていく必要がある。この点も大事な課題だと思う。 建物単体ではLEEDが成功しているが、その積み上げがエリア評価になるかはわからない。大事なことは集めるデータがMRV (measurable, reportable, verifiable / 測定でき、レポートでき、検証可能であること) であること。正確に測ることよりも、皆が同じやり方で計測すること、コストかからない形で検証できること、というのがポイント。

2) エリマネとしてAMCIで検討していくことへの企業・有識者コメントの分類



3) アンケート結果概要

(SNS・プレスリリース経由アンケート：回答79件、ACT5アプリ経由アンケート：回答262件)

<回答者属性>

- 回答者は関東圏、30~50代が多い。大丸有エリア外の就業者も1/3程見られる

<ACT5活動の認知度>

- ACT5メンバーポイントアプリ外からのアンケート回答者は、ACT5の活動は知りつつも、6割強の人がアプリへのメンバー登録を行っていない。
- ACT5メンバーポイントアプリ経由に次いで、社内での案内及びSDGs ACT5のホームページからAMCIを知ってもらった方が多い。

<AMCIをみて感じたこと>

- 興味があった項目は、CO2排出量や歩数、SDGs活動の集積などの回答が多く、ポイントそのものではなく、換算されたものへの興味が高い。
- CO2削減量を見て、個人の活動の集積を感じる一方、もっと多くの人が参加する必要性についても選択されている。
- 活動場所をみて、大丸有エリアの多くの場所で活動が行われていることが多くの方に理解されたが、活動内容・場所が増えると良い、という感想も次いで多く見られた。

<AMCIの満足度>

- AMCIの満足度も普通(3)から非常に満足(5)の回答が多く、一定の評価が得られていると考えられる。

(満足度の理由)

- **3Dを使ったことによるビジュアル的分かり易さ・とっつき易さ、音楽・表現などのポップさが評価されている。**
- **一方で、具体的に何を伝えたいのかわからないなどのコメントも多く、より深い意味を伝える工夫も今後は必要。**

<今後のAMCIの可視化の要望(回答例)>

(SDGs等関連)

- フードロスに関する情報等。どのくらいフードロスを防げたと言った情報が見えたら面白いなと思いました。
- 食べ残し削減や、FOODロス削減のために値下げを実施しているレストランなどの見える化。食べ残し持ち帰りなど積極的受け入れてくれる店舗の紹介。

(可視化対象・範囲)

- 日本全国でこの取り組みをして、ランキングを作って欲しい。
- 大丸有エリアだけでなく、ほかのエリアにも広がり、エリアごとの比較などがあれば、新たなエリアのブランドが構築できると思う。

(ACT5に関するコメント)

- 今後参加出来るイベントについても一緒に教えて欲しい
- エリア内の事業(本業)でSGDsに取り組んでいる企業の取り組みを反映したサステナビリティ製品、サービス等を利用したらポイントがつくようにしてほしい

③仮説の検証結果

1) 課題解決への仮説①に対する視座



仮説①：SDGsポイントの発行状況と取り組み内容・場所の情報を掛け合わせて表現することで、ロケーション単位のSDGsへの貢献度を訴求することができる。
SDGsACT5に参加する店舗や企業の活動状況を、エリアマネジメント団体が、エリア内のSDGs貢献度として示すことで、イベント参加や店舗への誘客動機に活かすことができる。

視座①：エリアマネジメント団体として、外部の方へ説明する際にもビジュアル的な評価は高く、一目瞭然に見える点も評価されている。ロケーション単位でのSDGsへの貢献度の訴求については、ポイントを活用した定量化には成功したものの、各ロケーション毎やその他のエリアとの比較ができるようにはなっていなかった。コメントとしても他エリアとの比較ができるようになれば良い、というコメントはとて多く、各ロケーションやエリアとしての訴求力を高めていくには、比較を行えるシステムとすることも重要と考えられる。

2) 課題解決への仮説②に対する視座



仮説②：就労者がSDGs ACT5活動へ熱量をもって参画していることを伝えることも、企業の巻き込みにあたって重要となる。
参加者の巻き込みにあたっては、一般参加者が参画の意欲を想起させるビジュアルで表現をし、エリア全体としてACT5の目標達成に向けた、参加者の一体感を提供することが重要となる。

視座②：AMCIを利用した一般の方からのAMCIの評判は比較的に高い。他の人にAMCIを勧めたいという意見も多く、AMCIのキャッチーなビジュアルや一目瞭然の表現が、より多くの人を誘引できるということが分かった。
一方で、SDGsに関連する取り組みや表現としての評価は高いものの、詳細な内容に関しては、よりユーザーにとっても分かり易い表現が求められていくこととなり、ユーザーの評価をさらに高くすることで、企業としても巻き込みのインセンティブが高くなっていくと想定される。

3) 長期的な視点での課題解決への仮説に対する視座



長期的仮説：企業のSDGs関連担当部門は、SDGsへの対応という新しいテーマに対して、管理や評価に活かせるシステムが整備されていない現状がある。
そこでエリアマネジメント団体が、近隣におけるSDGsに資する活動量を把握・可視化する機会を提供する事で、対内部・外部に活動実績をPR出来るようになる。それは各企業のSDGs推進担当部門のニーズに合致すると考えられる。

長期的視座：企業のSDGs担当者にもSDGs貢献へのノルマがあり、AMCIのような形で企業のSDGs貢献を第三者が可視化してくれるシステムにはニーズがあることが分かった。一方で、AMCI自体がESG投資を誘引していくようなシステムとなるには、中長期的な目線が必要であり、システムの継続的運用が重要となる。

4-7-4 実証調査考察

① エリアマネジメントの高度化に向けたAMCIの活用に関する課題とポテンシャル

1) AMCIの活用に関する課題

本事業ではAMCIの表現の検討及び実現を最優先したため、バックエンドでは手作業を多く含む形でシステムを稼働させたが、今後の持続可能なAMCI運用のためには、都市OS等のデータ連携基盤との接続やAPI連携などの技術を活用し自動化を進め、品質と持続性を高めていくことが必要となる。これにより長期的な取り組みとしての持続可能性を高めるとともに、様々なエリアでのAMCIの導入容易性が高まる。

また、エリア内で展開される活動との連携の観点からスマートフォンからアクセスできるツールとしてのニーズも高く、今後の対応が必要となる。

加えて、WEB GL技術を用いた3D都市モデル及び動的データのビジュアライゼーションによる見栄えのするビジュアルと快適なパフォーマンスは評価が高かったが、表現の分かりづらさに対する指摘もあり、2Dと3Dそれぞれの特徴を活かし分かりやすく伝えるための表現のブラッシュアップも必要である。

2) サービス開発のポテンシャル

本事業では大丸有SDGs ACT5との連携により、SDGsに資する活動の総量やその効果を可視化し一定の有効性の結論を得たが、その他のエリアマネジメント活動も把握・提示できるようになれば、エリア価値を内外によりわかり易く伝えるシティブロモーションツールとなるポテンシャルを有すると考えられる。

また、本事業では俯瞰的にまちの活動を一目瞭然に可視化することを優先したため、街の特徴である公共的空間や多様な屋内機能にズームアップする表現には及んでいないが、3D都市モデルの特徴を活かし、まちの活動をよりミクロに解像度を高めて表現することで情報発信力を向上させるポテンシャルを有すると考えられる。

AMCIをより汎用的にシステム化することで、将来的に類似の取り組みが他エリアにも広がり、更なるエリアマネジメント活動への共感がなされるとともにエリア間の特徴も見える化され、より効果が高まることが期待される。

ヒアリングやアンケートからも、他エリアとの比較要望や重畳するデータのアイデアなどのコメントが多数あり、今後のAMCIの横展開・新たなデータ等、展開先ニーズは多岐にわたる。

4-7-5 展望 ～エリアマネジメント活動の高度化に関する方向性～

1) 来年度以降の取り組みの方向性

AMCIを今後発展させていくにあたって、新たな活動やデータの重畳とあわせて、評価の高かったthree.js技術を活用した「キャッチーな表現を高めていく視点」、一方で汎用的なBIツール等を効率的に活用しAMCIの持続可能な運用及び様々なエリアへの展開のためのバックエンドの汎用化を行う「持続性・展開の視点」、さらには想定以上の効果を発現し得る可能性の発掘や活動への「共感・参加を高める視点」を大事にし、以下のような方向性に基づき取り組んでいくことが必要と考えられる。

1. Growing AMCI “育てる”



新たな活動やデータの重畳とあわせ、伝える表現を高めていき、AMCIを育てていく。

2. Sustainable AMCI “つづけられる”



データ連携の自動化による汎用性・効率性の確保により様々なエリアで導入しやすい、続けられるAMCIの構築

3. Playing with AMCI “遊ぶ”



よりエリアを知ってもらう・興味を持ってもらう方法として、AMCIを使って遊んでもらう・使い倒してもらうような仕掛けにより、共感や参加性を高めていく。

2) エリアマネジメントにおけるAMCIの捉え方

再現性の高いデジタルツインによるシミュレーション等の用途とは異なり、エリアマネジメントに有効なビジュアルコミュニケーションツールとして、「一目瞭然」の特徴を活かし自由な表現を許容する「ゆるやかなデジタルツイン」の可能性を追求する。また、より共感を高める表現やコミュニケーション機能の付加等も模索し得るものと思料される。

3) 長期的なAMCIによるエリアマネジメントの発展にむけて

持続的なAMCIの運用のためには先述の通りバックエンドシステムの自動化・汎用化が必要であるが、あわせてエリアマネジメントの様々な活動と連携した内容の充実とそれを運営する体制の整備も必要となる。ツールによりエリアマネジメントの高度化が図られ、それによりまたツールも向上するという好循環により、エリアマネジメントが発展していくことが期待される。



4-8 工事車両の交通シミュレーションVer.2（2021年度）

株式会社竹中工務店

<https://www.mlit.go.jp/plateau/use-case/uc21-003/>

4-8-1 サービス概要

①事業・サービスの目的、ビジネスモデル、社会的意義

事業・サービスの目的と概要

3D都市モデルや地図情報、交通情報・天気等のリアルタイム情報といった基礎データを始め、建設工事にかかわる様々な情報を統合し、各種のシミュレーションを行うことで建設物流の最適化サービスを提供する建設物流プラットフォームの構築を目的とする。

建設工事における工事車両が引き起こす交通問題や騒音等の環境問題の解決を目指し、地域住民にとって安全で安心した工事による地域住民のQoLの向上と、建設工事に携わるすべての施工業者が計画通りに資材搬入・工事実施を実施できる円滑な工事の両立を目指す。

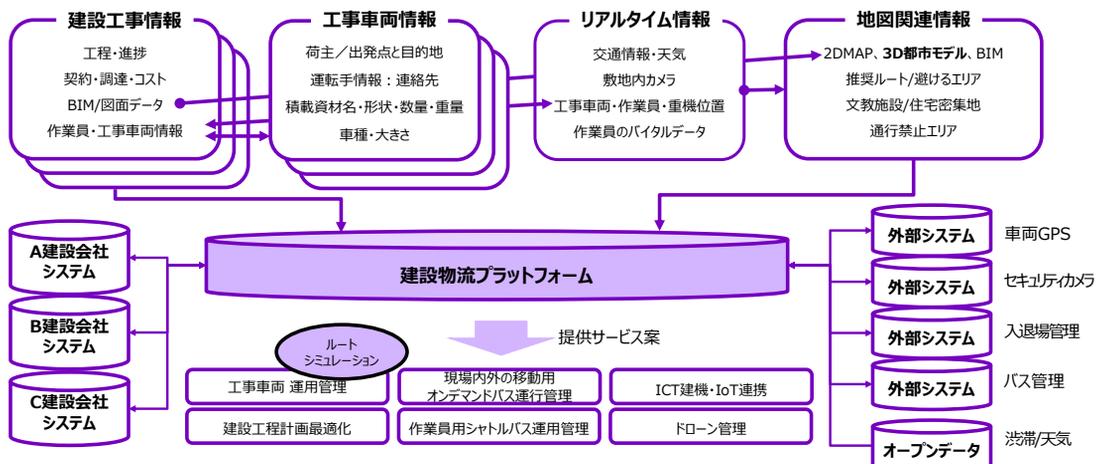
想定ビジネスモデル

- プラットフォーム利用者からの利用料収入
- 建設事業におけるコストの追加流出防止
 - 推奨ルートの通行・時間帯などを各社でシェア、車両集中日・時間帯の予測、アラート発信などのサービス提供により、工事に必要な資材搬入を円滑に進めることでスケジュール遅延を発生させない
- 建設物流プラットフォーム（発展版として建設MaaSプラットフォームを構想）
 - 複数の建設事業者あるいは官民共同のコンソーシアムによるプラットフォーム構築・運営
 - それぞれの役割に応じた費用負担

社会的意義

都市開発に伴う建設工事を完遂させるためには、地域住民の理解を得て建設工事を推進することが重要である。本サービスの開発・実装によって、建設工事における工事車両の交通問題や騒音等環境問題の解決により、地域住民の安心と円滑な工事の推進の両立の実現が期待できる。さらに、地域住民にとっては、安全・安心な工事の実施と、建設工事の予定通りの完了は、地域住民のQoL向上にも繋がることになる。

図4-8-1 建設物流プラットフォーム（将来構想イメージ）



※本実証調査の対象である工事車両ルートシミュレーションサービスは、建設物流プラットフォームの発展版である建設MaaSプラットフォームの提供サービス「工事車両 運用管理」の一部を構成する想定

4-8-2 実証調査詳細

①実証調査の目的・概要

実証調査の目的

スマートシティにおける先端的サービスを活用した建設工事の実現に向けて、地域住民と施工業者が共存できるソリューションを提供する。

実証調査の概要

都市開発における大規模な建設工事では、地域住民の安全・安心を確保しながら施工業者の円滑な資材搬入を実現することが課題となる。

今回の実証実験では、3D都市モデルを用いた工事車両の搬入経路シミュレータをさらに進化させ、地域住民の安全・安心や施工業者の円滑な資材搬入を実現する建設物流プラットフォームの構築を実証する。

• 事業価値検証

- 最終プロダクトを想定したサービスのユーザー業務への有用性・汎用性検証
 - 詳細3Dモデルを使用した車両スイープと道路及び構造物との干渉チェック
 - 各種情報の見え方検証（3D/2D/地形/騒音SIM結果等の重ね合わせ）

• ユーザ価値検証

【建設業者】

- 環境アセスにおける活用検証(車両ルート、ゲート位置決めなど)
- うめきた2期、梅田3丁目での実施内容と比較検証

【運送業者】

- 輸送ルート計画における活用
- 特車申請における活用(交差点番号)
- うめきた2期、梅田3丁目での実施内容と比較検証

②実証調査の対象エリア

対象エリア

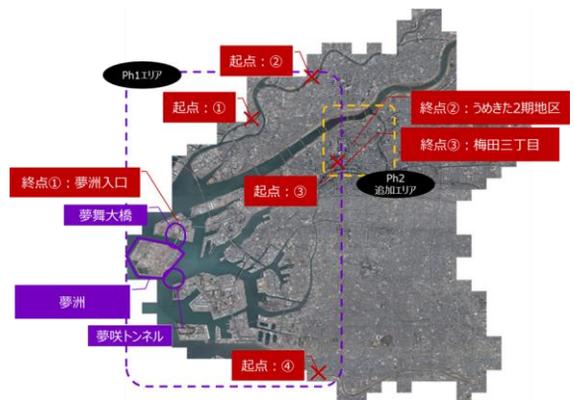
大阪市西部エリア

エリア選定理由

夢洲及びうめきた2期は大阪府市におけるスーパーシティ構想対象エリアであり、建設領域のサービス検証にふさわしいエリアと想定。

大阪を中心とした再開発の活発化に伴い、複数の施工業者が同時並行的に参画するような大規模工事が発生・集中する状況において、工事車両による渋滞や近隣住民とのトラブルなど、当該エリアで今後想定される課題が本サービスとして目指すべきソリューションに合致。

図4-8-2 対象エリア



Phase1のエリアに加え、市内中心部エリアを拡張

③実証調査に向け開発されたサービス

3D都市モデルの三次元幾何形状や属性情報を基礎にCIMモデル等のデータを統合してシミュレーションを行い、工事車両ルートの計画策定ソリューションを提供する。

1) 最適ルートシミュレーション

本実証実験においては、3D都市モデルの情報を活用してモデリングにより構築したアセットに加え、工事現場周辺の点群データから詳細モデルを作成し、最適ルートシミュレーションに利用。

【インプット】

- 起点（市内幹線道路端）
- 終点（工事現場：夢洲に加え、うめきた2期地区及び梅田3丁目地区を追加。）
- 通行する車両
 - 車両種別（小型/大型）、積載状態（積載/荷下ろし） など
- 4か所の起点（市内幹線道路端）それぞれ10ルート程度を構築
- 本業務ではPh1で作成したアセットに加え、追加する終点に対するルートや周辺エリアの情報についてモデリングを行う
- うめきた2期地区及び梅田3丁目地区周辺の点群データを取得、3D都市モデルと重ね合わせ

【アウトプット】

- 指定した起点と終点を結ぶルートのうち、車両が通行可能な最適ルート

図4-8-3 実装システムイメージ

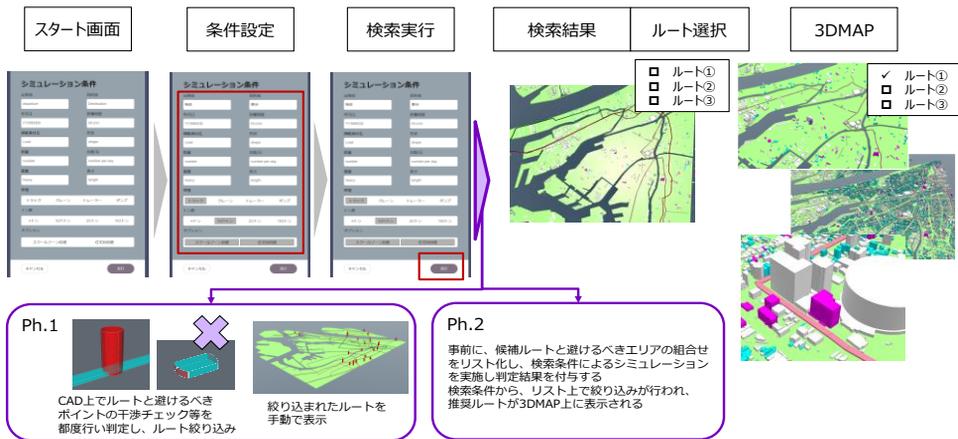
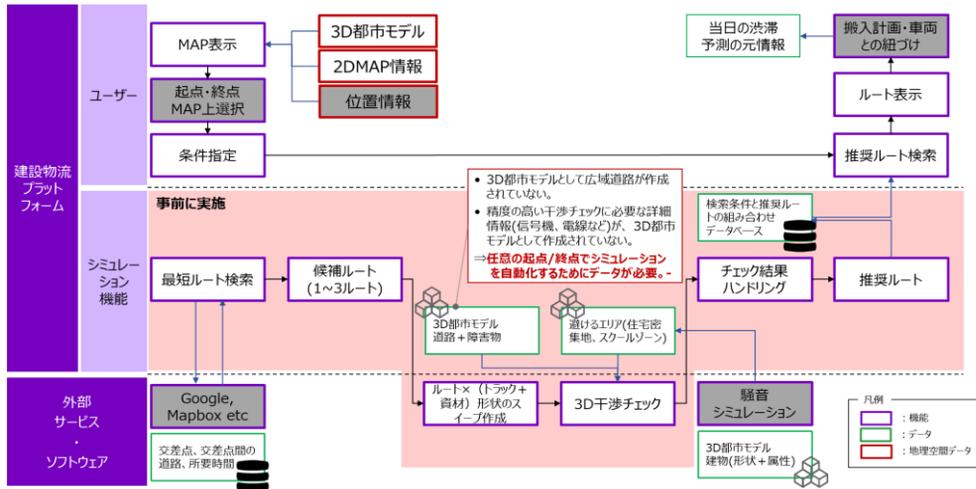


図4-8-4 実装処理フロー



2) 騒音シミュレーション

3D都市モデルを活用した騒音シミュレーションの結果について、ルートシミュレーションサービス上に表示。シミュレーションと可視化の両面での活用を検証。

- 騒音シミュレーションソフト（SoundPLAN）を用いる。
- 工事車両が通る可能性がある住宅地域について、3D都市モデルをBIM/CAD形式に変換し、騒音シミュレーションソフトに流し込む。
- 騒音シミュレーション結果を踏まえ、周辺地域の通行可否を判定。
通行不可の場合、最適ルートシミュレータでは当該地域をさけるべきエリアとして、ルートを検索する。（シミュレーション結果をルート検索のパラメータとして使用。システム間の自動連携は行わない。）
- 環境基準等の基準値を閾値に設定。
- 本業務ではPh1のシミュレーション結果について、ルートシミュレーションサービスにおける可視化の検証を実施。

図4-8-5 騒音シミュレーションの流れと可視化のイメージ



④3D都市モデル（CityGML）の活用方法

本実証実験では3D都市モデルと自前で用意する各モデルを組み合わせ、ジオメトリ・セマンティックの両面で利用を行い、ルートシミュレーションの実行環境を構築した。

3D都市モデルの読込

- モデリングツールへIFC形式に変換して読み込み、シミュレーション用データ準備

サービスにおける3D都市モデルの利用方法

- 3D都市モデルをIFCに変換した上で、ルートシミュレーション用に利用
- 3D都市モデルのジオメトリ情報による広域MAP
- 工事車両の最適ルートシミュレーションのための騒音シミュレーション
（シミュレーション結果をルート検索のパラメータとして使用） ※ジオメトリ情報を活用
- 通学路、住宅街、渋滞ポイント（交差点等）といった工事車両の通行に制約を与える情報
 - 住宅街、学校近辺など通るべきでないエリア ※セマンティック情報を活用

3D都市モデルと組み合わせるデータ

- 大阪市が公開している地形図・地図情報（2D）
- 点群データからBIM/CAD形式へ変換した3Dモデル
※次頁で点群データによる道路詳細モデル作成について詳述
- 工事車両モデルおよび生成したスイープモデル（3D）
- 交差点番号情報（実施箇所は限定）

点群データによる道路詳細モデル作成

うめきた2期地区及び梅田3丁目工事現場周辺において、ラストワンマイルにおける工事車両と道路との精緻な干渉チェックの検証を行うため、点群データによる道路詳細モデルを作成した。

【点群データの取得範囲】

- うめきた2期地区及び梅田3丁目工事現場周辺の点群データを取得。対象となる地物をモデル化し、干渉チェックの検証に活用
- 工事現場周辺（幹線道路から現場ゲートまで）の詳細化
 - Ph1における検証の結果として各ユーザーが現場周辺の詳細情報を把握したいというニーズが存在
 - 建設業者としては、環境アセスにおいて工事現場周辺の工事車両のアクセス経路検討に活用したい
 - 運送業者としては、工事現場周辺における大型車両や大型積載物の搬入ルート計画時の現地調査に代わる手段として活用したい
 - 現場周辺にシミュレーション上必要となる地物が存在するため、工事現場周辺に限らずルート上いづれの場所であっても検証結果の適用は可能と想定
- うめきた2期地区及び梅田3丁目工事現場について主要なゲート(環境アセスで示されるゲート)付近

【対象地物】

- 道路（車両が通行可能な範囲が特定できるレベル）
車道、歩道、ガードレール、中央分離帯
- 空中物等
信号機、標識、樹木、電柱、電線

図4-8-6 点群データの取得とモデル化・3D都市モデルとの重ね合わせイメージ

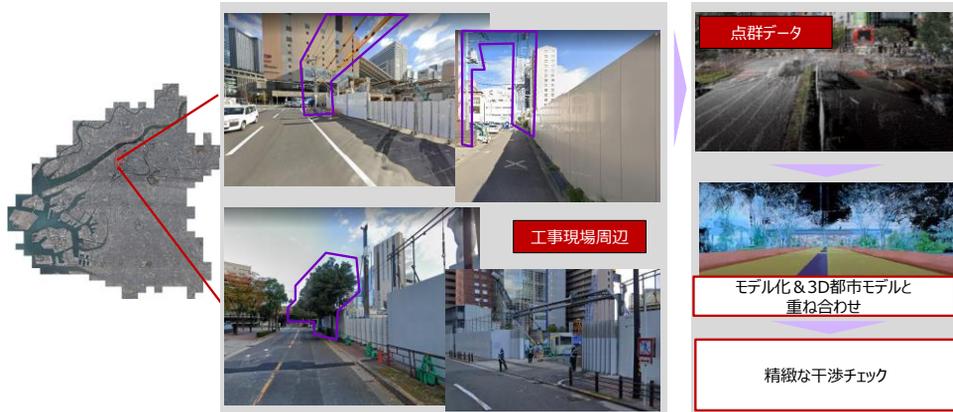


図4-8-7 点群データ取得範囲（うめきた2期地区の例）



4-8-2 実証調査結果

①実証調査の様子

うめきた2期、梅田3丁目の工事現場を訪問し、施工計画や車両搬入に携わっている担当者にサービスの体験、ヒアリングを実施。サービスの実用性について評価・検証。

図4-8-8 現場の様子（うめきた2期）



図4-8-9 現場の様子（梅田3丁目）



図4-8-10 運送業者とのディスカッション



②KPI達成状況

設定したKPIに対して、それぞれ適切な方法にて収集し評価を行った。業務の効率化に繋がる結果が得られた一方、付加価値の向上に向けてはさらなる取り組みが必要である。

	KPI	収集方法	比較対象	評価
サービス	環境アセス業務の高度化・効率化	集合 検証会 測定評価	現行作業の場合とサービスを使う場合の業務作業時間の比較検証	<p>☀️</p> <p>現行業務で工事車両ルートを検討する場合、まずは既存サービスや道路図面等から通行ルートを大まかに決め、その後高架や周辺地物、各種規制等を踏まえて計画を策定する。一方で、ルートシミュレーションサービスを活用する場合、工事車両として通るべきでない道が予め考慮されたルートが把握できるため、実地調査及び計画策定の時間が短縮可能。(活用効果は約6倍)</p> <p>現場周辺においては、実地調査結果や搬入資材と使う車両サイズを踏まえ、紙資料等の投影によるディスカッションや机上検証によりゲート位置やルートを最終的に決定。ルートシミュレーションサービスを使う場合は、シミュレーション結果を共有しながらディスカッションすることが可能であり、作業を効率的かつ円滑にすすめることができると想定。(活用効果は4倍)</p>
	輸送計画業務の高度化・効率化	ヒアリング 測定評価	現行作業の場合とサービスを使う場合の業務作業時間の比較検証	<p>☀️</p> <p>ルート決定の手順については工事業者の環境アセス業務と同様であるが、輸送計画の場合は工事現場周辺に限らず、港湾や貨物ターミナルから現場に至る広範囲での確認が必要となるため、よりサービス活用の効果を得られる。(活用効果は約8倍)</p> <p>ルートの途上及び現場周辺の実地確認を踏まえ、紙資料や2Dでの図面等を用いて机上検証により最終的なルートを決する。ルートシミュレーションサービスを使う場合は、シミュレーション結果を共有しながら検証やディスカッションを進めることが可能であり、作業を効率的かつ円滑にすすめることができると想定。(活用効果は4倍)</p>
	特車申請業務の効率化	ヒアリング 測定評価	現行作業の場合とサービスを使う場合の業務作業時間の比較検証	<p>☀️</p> <p>大型の建設資材や重機の輸送においては、特殊車両通行許可申請が必要。申請には「特殊車両オンライン申請システム」を使用して、目的地までの経路順に交差点番号を入力する必要があるが、実際のルートと対象の交差点番号を検索し、照らし合わせながら入力していく。当該作業はかなりの労力を要しており、1申請あたり240分と見積り。サービスの活用により、採用する通行ルートと共に交差点番号を表示可能となり、交差点番号を調べる労力は大きく低減可能。(活用効果は約4倍)</p> <p>さらに今後PDFまたはテキスト等のフォーマットで交差点番号を出力する機能があれば、転記の労力の削減も可能と想定。</p>
	実工事への適用検証	ヒアリング	-	<p>☀️</p> <p>実際に工事が行われている現場で実証調査を行った結果、今後当該工事現場で想定されているゲート変更や場内の車両の流れの変化に伴って発生する具体的な課題に対して、活用可能なシナリオを評価することができた。</p>
UI/UX	情報可視性評価	集合 検証会 ヒアリング	-	<p>☁️</p> <p>今回は全体的に情報をモデル化して表示しており、例えば交差点番号や干渉している箇所などは可視性が低いものもあった。</p>
	操作性評価	集合 検証会 ヒアリング	-	<p>☀️</p> <p>搭載しているデータの種類や種類にも関わらず、操作性は良好であり、スムーズに画面移動や視点変更ができる点をユーザーの体験から評価いただくことができた。</p>
	機能性評価	集合 検証会 ヒアリング	-	<p>☁️</p> <p>道路設備や樹木などと車両との干渉チェックは有用であると評価を得た一方で、樹木や電線など一部の設備は状態が変化するため、データ更新のタイミングによっては現地確認等も合わせて必要となる。</p>

4-8-3 実証調査考察

①サービス開発における示唆

ルートシミュレーションサービスの開発に対する事業価値及びユーザ価値の側面から3D都市モデルの活用価値についての示唆を得られた。

事業価値	サービスの価値	<ul style="list-style-type: none"> 3D都市モデルを活用した工事車両のルートシミュレーションサービスは、工事業者にとっては主に環境アセスメントや工事計画における車両アクセス経路の決定に、運送業者にとっては現地調査や事前の大型車両通行シミュレーションに活用することで業務を高度化することができる有効なサービスとなりうる。
	実際の建設工事現場における活用価値、汎用性	<ul style="list-style-type: none"> 工事車両のアクセス経路に関して、周辺道路の高架(高さ制限)や幅、道路設備・構造物の影響調査は、工事現場の大小や場所に関わらず必要な業務であることから、工事現場周辺の3Dデータを活用したシミュレーションサービスは汎用的なサービスとしてあらゆる現場で利用可能である。 3Dモデルならではの干渉チェック機能を活用することで、道路設備・構造物と車両が衝突することなく走行できるかを事前検証することが可能となる。 3Dを活用した大型車両・特殊車両の運行計画立案や走行シミュレーションを本サービス上で実施することにより、運送会社の業務効率化が大きく進む。
ユーザー価値	情報の多様性	<ul style="list-style-type: none"> 建物や道路の3Dモデルに加えて、2D地図や航空写真によって広域エリアの視覚的な情報を補完できる。 工事現場、特にゲート周辺においては点群データを用いることで、ユーザはよりリアルな情報によって計画や対策の検討を行うことができる。
	干渉チェック	<ul style="list-style-type: none"> 樹木や電線等が周辺に存在するルートの使用に際し、工事車両のゲートへアクセスにおける周辺道路状況の確認で干渉チェック機能が活用できる。 狭い現場においては、仮囲い直近に建物が迫るケースもあり、施工時のクレーン旋回等で電線と接触が発生しないよう特に留意が必要な場面で干渉チェック機能が活用できる。
	業務効率化	<ul style="list-style-type: none"> 信号や標識、路面標示等の道路設備・構造物に関する情報は、現状整備・提供されているものはない。どのような工事現場においてもスクールゾーンの確認などの現地確認は必要なため、サービス上で確認ができれば業務の効率化に繋がる。 交差点番号などのユニークな情報との組み合わせは、これまで複数かつ独自のシステムを使って行われていた業務をシンプルにし、効率的に遂行することができる。

②サービス開発における課題

本サービスの今回の取組において様々な価値に関する示唆を得られた一方で、今後の発展的な開発に向けて課題も明確化された。

工事業者	<ul style="list-style-type: none"> 道路上の電気・ガス等関連の動かすことのできない設備の情報が把握できれば、工事の施工計画で活用できる。これらは現状、占用物等の申請として行政で管理されているが紙でしか情報が管理されていない。 など
運送業者	<ul style="list-style-type: none"> 高さ指定道路・重さ指定道路といった申請の不要な道路の情報表示やルート検索の条件があるとよい。 条件の指定は、法令等による区分での指定に加え、具体的な値を直接入力できることも必要。 など
サービス	<ul style="list-style-type: none"> 車両の交通計画で最も気にするのは、高架などの高さ。高架や高さ制限の情報に加えて、実際にシミュレーター上で高さや幅、距離が計測できる機能があるとよい。 など
今後の発展に向けたチャレンジ	<ul style="list-style-type: none"> 実工事で構築するフルBIMモデルと3D都市モデルを同一プラットフォーム上で統合し、シームレスかつストレスなく操作できることで、建設物流プラットフォームとしての完成形を目指す。

③3D都市モデルと開発するサービスとの親和性

道路及び道路設備の3D都市モデルとルートシミュレーションサービスの親和性を認識することができた。今後は、形状のみならず属性情報を積極的に活用することが重要である。

親和性が高く活用できた・活用できる可能性を感じたポイント	<ul style="list-style-type: none"> • 車両と道路及び道路設備、樹木等との干渉チェックは、3D形状ならではの活用方法であり、シミュレーション結果をルートの制約条件としてうまく適用することができた。 • 3Dモデルに点群データを重ねることで、現場周辺がよりリアリティをもって表現することができた。 • 道路形状のみならず信号機や案内表示板、道路に掛かる電線・樹木といった詳細な情報を活用することを検証したが、車両の通行という観点だけではなく、施工計画や施工シミュレーションへも活用できる可能性が高い。 • 道路上だけではなく、歩道上にある動かすことができないインフラ用設備（電気、NTT、ガスなど）についても把握することで、ゲートの位置決めなどにも活用可能。
活用しきれなかったポイント	<ul style="list-style-type: none"> • 今回は主に道路、道路設備の形状を活用したが、属性情報を十分に活用することができなかった。道路の路線名や交差点名、道路設備の情報などをサービス上に表示するなどの活用をしたい。

4-8-4 展望

事業の本格展開・全国展開に向けた展望・チャレンジ

3D都市モデルと工事に関する情報、テクノロジーを融合することでより建設工事を高度化するサービスの提供が可能となる。また、リアルタイム情報との融合による工事現場内外の移動円滑化や自動自律走行可能ロボットとの融合による効率的な輸送ルートの提供といったサービスの展開が期待される。本サービスの実用化後は全国展開を目標として進めていく。

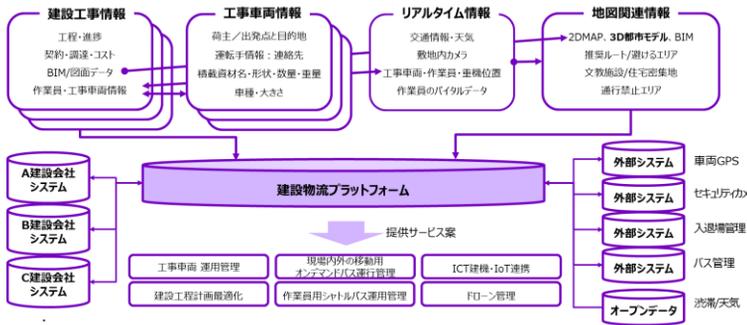


図4-8-11

建設工事におけるサービスの高度化

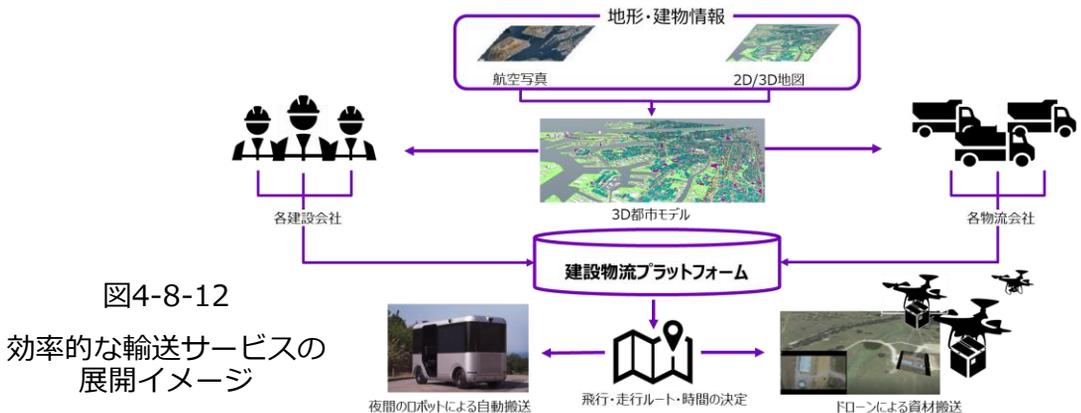


図4-8-12

効率的な輸送サービスの展開イメージ

4-9 工事車両の交通シミュレーション（2020年度）

株式会社竹中工務店

<https://www.mlit.go.jp/plateau/use-case/uc20-027/>

4-9-1 サービス概要

①事業・サービスの目的、ビジネスモデル、社会的意義

事業・サービスの目的と概要

3D都市モデルや地図情報といった基礎データを始め、建設工事にかかわる様々な情報を統合し、各種のシミュレーションを行うことで建設物流の最適化サービスを提供する建設物流プラットフォームの構築を目的とする。

建設工事における工事車両が引き起こす交通問題の解決を目指し、地域住民にとって安全で安心した工事による地域住民のQoLの向上と、建設工事に携わるすべての施工業者が計画通りに資材搬入・工事実施を実施できる円滑な工事の両立を目指す。

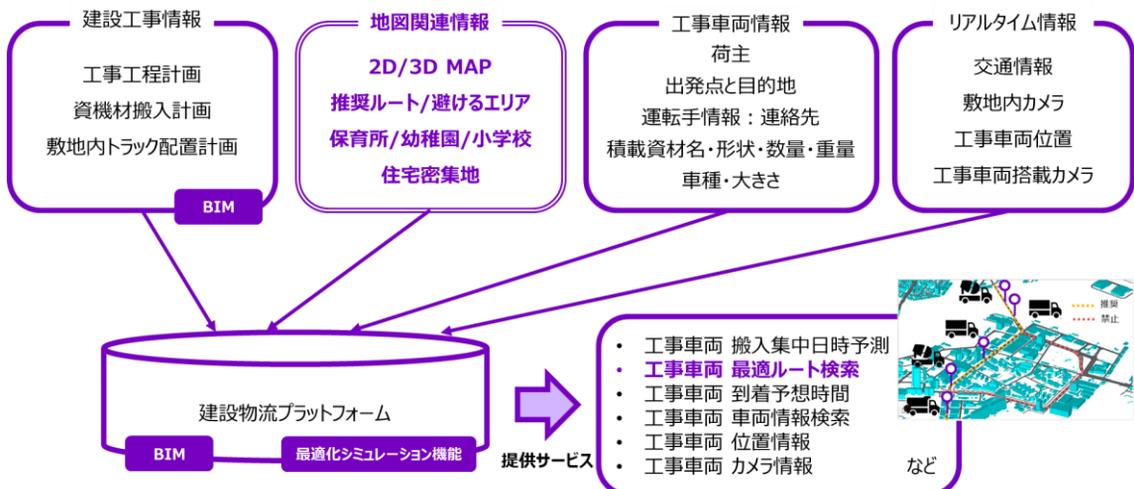
想定ビジネスモデル

- プラットフォーム利用者からの利用料収入
- 建設事業におけるコストの追加流出防止
 - 推奨ルートの通行・時間帯などを各社でシェア、車両集中日・時間帯の予測、アラート発信などのサービス提供により、工事に必要な資材搬入を円滑に進めることでスケジュール遅延を発生させない
- 建設物流プラットフォーム
 - 複数の建設事業者あるいは官民共同のコンソーシアムによるプラットフォーム構築・運営
 - それぞれの役割に応じた費用負担

社会的意義

大規模な都市開発を予定通り成功させ、地域経済を活性化することが、大阪・関西地域が今後より発展していくための要諦となる。都市開発に伴う建設工事を完遂させるためには、地域住民の理解を得て建設工事を推進することが重要である。そのため、建設工事における工事車両の交通問題解決により、地域住民の安心と円滑な工事の両立を目指す。地域住民にとって安全・安心な工事の実施と、建設工事が予定通り完了することにより、地域住民のQoL向上を目指す。

図4-9-1 建設物流プラットフォーム



4-9-2 実証調査詳細

①実証調査の目的・概要

実証調査の目的

3D都市モデルを活用したプラットフォーム上で工事車両の最適ルート候補をシミュレートし、関連する業務シミュレーションとの連携を図ることで、建設物流プラットフォーム構築における3D都市モデルの有用性や将来に向けた改善点等を抽出する。

実証調査の概要

3D都市モデルを利用した最適ルート候補の表示により、ルート計画策定のプロセスやアウトプットがどのように改善するかを実証する。また、3D都市モデルを活用した住民向けの説明資料について、その作成プロセスとアウトプットがどのように改善し、住民との相互理解を深めることに寄与するかを実証する。さらに、工事工程計画から車両の集中日を予測することで、通行する車両のルートや時間帯の平準化、資材の搬入日調整といった事前対策が有効に実施できるかを実証する。

- 事業価値検証（ビジネスモデル・マネタイズの妥当・受容性、効果等）
 - ルート検索サービスが業務プロセスを改善し、工期遅延を抑制できるか
 - 車両集中日の把握と事前対応策の策定、指示が効果的に実施できるか
 - 他に応用できる業務があるか
- ユーザ価値検証（エクスペリエンス、ユーザ受容性、等）
 - 工事車両ルートのマネジメント業務において、ルートが容易かつ適切に検索でき作業効率向上につながるか
 - 3D都市モデルに他にどんな情報があれば良いのか

②実証調査の対象エリア

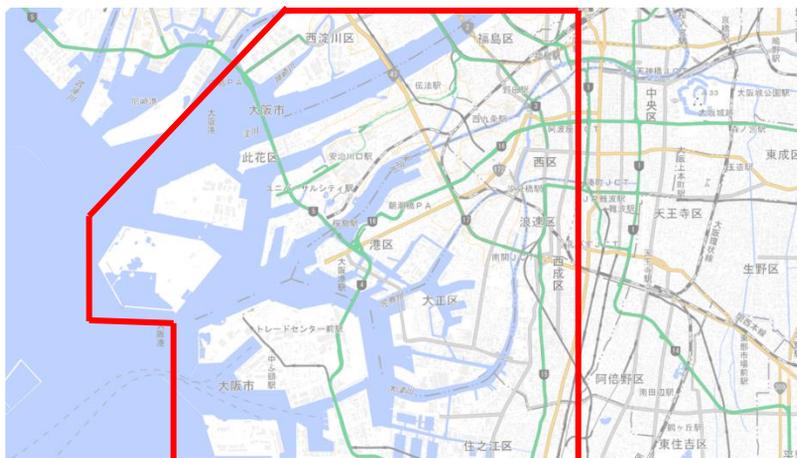
対象エリア

大阪市西部エリア

エリア選定理由

大阪市は2025年大阪・関西万博の開催地であり、また各所で大規模再開発が予定されている。大阪市の中心とした再開発に伴い複数の施工業者が同時多発的に大規模工事が集中することが予見されており、当該エリアにおいて工事車両による渋滞や近隣住民とのトラブルなど、今後解決すべき課題が存在することから、本サービスが目指すソリューションを検証するエリアとして最適である。

図4-9-2 3D都市モデル利用範囲



③実証調査に向け開発されたサービス

3D都市モデル、地図情報といった基礎データを始め、建設工事にかかわる様々な情報をもとに各種最適化シミュレーションを実施、サービスを提供する。

開発されたサービス概要

建設物流プラットフォームの先行実装として、工事車両の最適ルートシミュレーションサービスを構築した。

- 工事車両のルート計画策定のため、通行する車両属性等の条件を基に3D都市モデル上で最適な搬入ルート候補を検索
- 各社がプラットフォーム上に入力した工事計画や資材配送計画に基づいて工事車両の集中日を算出
- 工期遅延の抑止のため、建設工事における工事車両ルートマネジメント（計画作成、当日のコントロール）を最適化

都市開発に伴う大規模な工事では、工事現場に向かって多くの工事車両や工事関係者の通勤車両が押し寄せる。現場付近の交通渋滞や地域住民の安全や騒音に対する不安、それに伴うトラブルの発生が課題として想定される。一方で、建設工事のスケジュール遅延は許されず、各施工業者にとっては計画通りに人員や資材を搬入することも重要である。地域住民の生活圏や通学路、騒音発生エリアを考慮した最適ルートシミュレーションにより、工事計画作業（当初計画と計画変更）や工事進捗の効率化・遅延防止を図る。

図4-9-3 開発されたサービスのイメージ



④3D都市モデル (CityGML) の活用方法

本実証実験では、自社で用意する車道・歩道を区別した3D道路データをBIMモデル (IFC形式) に3D都市モデルをIFC形式に変換したデータを組み合わせ、3D都市モデルのジオメトリ及びセマンティクスの両面の特性を利用したルートシミュレータを構築した。

利用された3D都市モデルの仕様

- 大阪市のLOD1モデル
- 属性情報 (建物利用概況)

3D都市モデルの用途

- IFCに変換した上で、以下のように利用
 - 3D都市モデルのジオメトリ情報による広域MAP
 - 工事車両の最適ルートシミュレーションのための騒音シミュレーション (シミュレーション結果をルート検索のパラメータとして使用)
 - 3D都市モデルの属性情報として、通学路、住宅街といった工事車両の通行に制約を与える情報
 - 住宅街、学校近辺など通るべきでないエリア

3D都市モデル活用のためのソフトウェア

- CityGMLの変換
 - IFC形式へFME Desktop2020.2にて変換
- 3D都市モデルの加工
 - BricsCAD
- 3D都市モデル利用システム
 - Oracle Aconex (ルートシミュレーションの実行基盤)
 - SoundPLAN (騒音シミュレーション)

図4-9-4 ルートシミュレータで利用された3D都市モデル

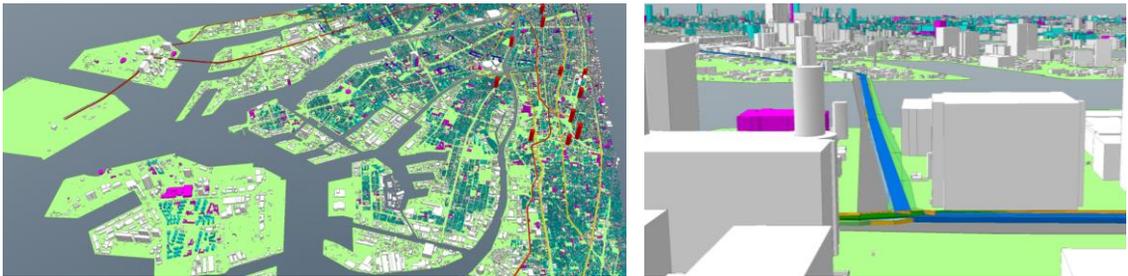
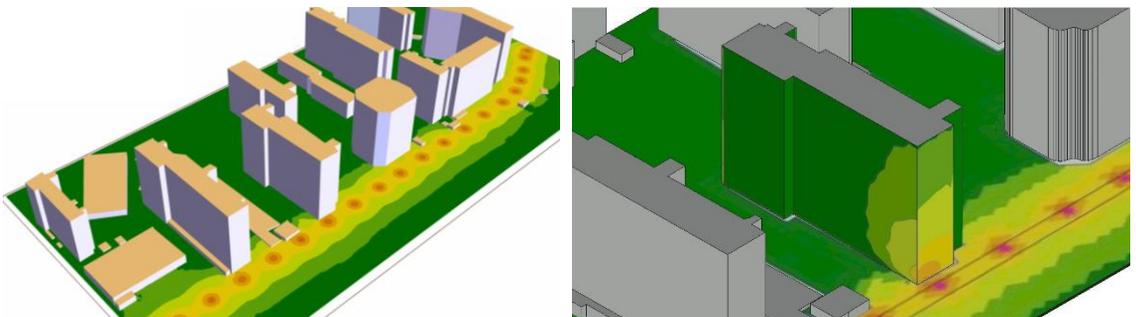


図4-9-5 騒音シミュレータで利用された3D都市モデル



4-9-3 実証調査結果

① 実証調査の様子

2021年3月30日～12日の10日間で、地域住民、施工業者、運送業者等へのヒアリング・アンケートを実施。延べ30名程度の被験者の協力を得て様々な観点でサービスの価値・効果を検証した。

図4-9-6 業務シミュレーションの様子



図4-9-7 集合検証会の様子

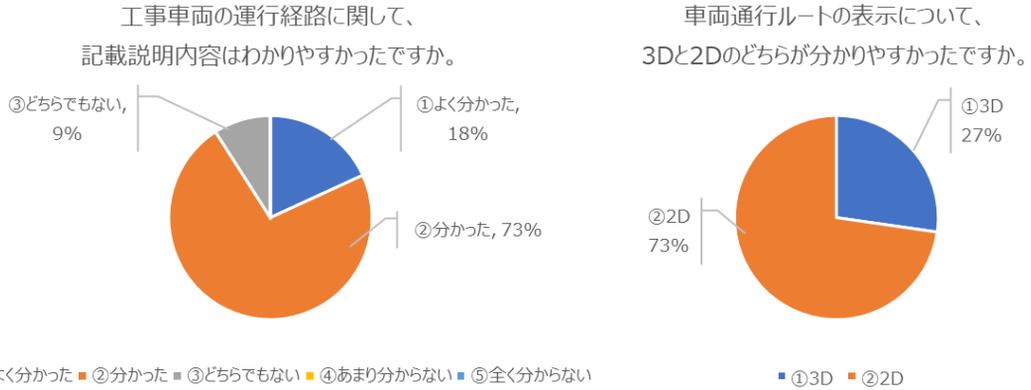


図4-9-8 運送業者へのヒアリング

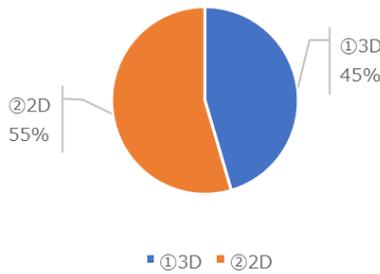


②アンケート結果 | 地域住民向けアンケート

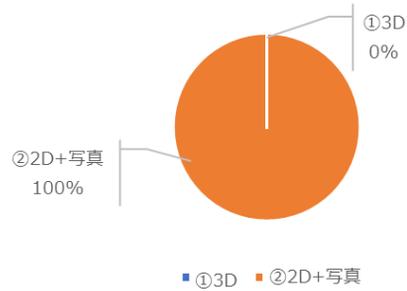
シミュレートされたルートを使った住民説明会においては十分な理解促進を図ることができた。



スクールゾーンの通行に関する説明について、3Dと2Dのどちらがわかりやすかったですか。



住宅街の通行に関する説明について、3Dと2D+写真のどちらがわかりやすかったですか。



③KPI達成状況

ルート選定の作業時間や住民説明・対応に係る時間の短縮など業務の効率化に繋がる結果が得られた。一方で情報満足度など付加価値の向上に向けてはさらなる取り組みが必要である。

	KPI	収集方法	比較対象	評価
業務効率化	作業所要時間	測定評価	手作業とシミュレータを使う場合の業務作業時間	☀️ 各工区のルート計画を集計・分析する作業及びその調整発生回数についてシミュレータを活用することで約8倍の効率化が可能
	ルートの妥当性	ヒアリング	-	☀️ 工事現場近隣の環境アセス観点では、主要幹線道路から住宅地・教育施設を配慮したルートの選定は妥当。ドライバー観点では迂回路検索が各自のスマホ等からできれば有用。特に土地勘のないドライバーに効果的
	住民説明・対応に係る業務時間	測定評価	手作業とシミュレータを使う場合の業務作業時間	☀️ 住民説明会における個別質問についてその場で情報検索・回答ができることで、後日手作業にて調査回答するよりも約10倍の効率化
業務付加価値向上	情報満足度	集合検証会	-	☁️ 住宅街や教育施設は最低限必要な情報として見える化できており、評価できる。一方、交通影響解析に使用する交通量データは常に新しいデータが必要。特殊車両の通行可否検証では、電線や看板等、より詳細なモデル化が必要
	ルート計画理解度	集合検証会	-	☁️ ルートという意味では理解できるが、交通影響解析という観点ではもう一段階の踏み込みが必要
	住民説明/ドライバー理解度	アンケート/ヒアリング	-	☁️ 広い範囲を指し示す場合は、2Dの方がわかりやすいという意見が多数。詳細箇所は3Dを評価する意見もある一方、写真の方がわかりやすいという意見も多い
	工期遅延抑止効果	集合検証会	-	☀️ 工事中の工事前計画フェーズで正確な情報が見える化し具体的な対策に繋げることができれば、区間調整が減少し工期遵守が可能

4-9-4 実証調査考察

①サービス開発における示唆と課題 | 示唆

3D都市モデルの活用した本シミュレータを踏まえて各業者からのヒアリングにより、建設物流において考慮すべきシミュレーションパラメータ、必要なアウトプットを識別することができた。

事業価値	<ul style="list-style-type: none"> • 工程マネジメントと連動したルートシミュレーションサービスは、建設工事に伴う交通渋滞の発生やそれによる事業全体・地域住民への影響を科学的根拠をもって示し、事前対策プランの具体化に繋げるためにも必須 • 複数の建設会社が同時並行で建設工事を行う場合、各会社の計画を統合し、モニタリングするための仕組みが必要 • 3Dの活用による特殊車両の運行計画や走行シミュレーションを実現することにより、運送会社の業務効率化が大きく進む
ユーザ価値	<ul style="list-style-type: none"> • 騒音シミュレーションは3D都市モデルと親和性が高く、住宅街への影響を根拠をもって説明できるため、地域住民のQoL向上につながる • 遠方からくる運送事業者にとって、ルートシミュレーションは特に有用。また、都市モデルが随時更新され、情報鮮度が保たれることにより地場ユーザにも有用なサービスとなりうる • 3Dにより橋梁と道路の境界が明確になることや地下埋設物（上下水道管、ガス管、通信ケーブルなど）の位置までわかるようになることで、ユーザの輸送ルート計画の効率化はさらに向上が見込まれる • 広域（2D）と詳細（3D）の組み合わせによって、より一層ユーザ体験の向上が期待できる
②サービス開発における示唆と課題 課題	
シミュレータの実用化に向けては、より多くのパラメータの設定が必須となり、3D都市モデルに対してはより多くの地物（特に高架道路やトンネル、City furniture、等）があれば更に深い分析がクイックに実現可能となる。	
建設会社の視点	<ul style="list-style-type: none"> • 建設工事に伴う交通渋滞の発生、それによる事業全体・地域住民への影響を科学的根拠をもって示し、事前対策プランの具体化に繋げることが肝要 <ul style="list-style-type: none"> - 本当に渋滞するのかどうなのかということに関係者が納得する条件と精度でシミュレーション • 交通影響解析をより精緻に行うための条件をさらに深耕することが必要。また、精緻な解析には鮮度の高いデータが必要 <ul style="list-style-type: none"> - 道路交通量、交差点飽和度、通勤車両台数 など
物流会社の視点	<ul style="list-style-type: none"> • 特殊資材の運搬のための検証をバーチャルで実施するには、より精緻な3Dモデルが必要 <ul style="list-style-type: none"> 電柱、電線、信号機、看板、道路にせり出した樹木など - 精緻な走行シミュレーションにより、現地調査の作業負荷を軽減可能
今後の発展に向けたチャレンジ	<ul style="list-style-type: none"> • 工事車両の待機可能場所やその空き状況情報の検索機能開発 <ul style="list-style-type: none"> - 渋滞問題解決、ドライバーの負荷軽減や働き方の改革にもつながる • 特車申請のための調査負荷軽減 <ul style="list-style-type: none"> - 道路名称、交差点番号との連携 • 夢洲港湾コンテナ物流把握のためのCOMPASシステムとの連携

③3D都市モデルと開発するサービスとの親和性

3D都市モデルを属性を引き継いでIFCに変換することで、建築領域のソフトウェアにおいて属性も含めたシミュレーションが実装できた。

親和性が高く
活用できた・
活用できる
可能性を感じた
ポイント

- 住宅街周辺環境影響解析のための騒音シミュレーション
 - 3D形状建物ならではの活用方法であり、シミュレーション結果をルートの制約条件としてうまく適用できた
- 住宅の持つ属性情報（住宅、文教施設など）を活用して、情報が見える化できた。形状をクリックして情報が見える状態よりも、着色によりテキスト情報を視覚情報に変換することで可視化することができた
 - 道路や橋等にも様々な属性情報を持たせることで、活用できる場面が広がると認識した
- IFCに変換することによりBIMとの親和性向上
 - 建設予定建物と既存の周辺建物とを重ね合わせ、様々なシミュレーションに活用できる可能性がある。（日照・日影、風向など）
- 道路形状のみならず信号機や案内表示板、道路に掛かる樹木といった詳細な情報を持つことにより、特殊車両の通行シミュレーションが精緻にバーチャルで実施できる可能性がある

活用しきれ
なかった
ポイント

- 広域で地図的に見たい場合、2Dとの差別化が十分にできなかった
 - 直上の視点から見ると2Dと変わらないが、地名や施設名などの地図的な情報が無く、活用には見せ方の工夫が必要

4-9-5 展望

事業の本格展開・全国展開に向けた展望・チャレンジ

本実証実験の結果を踏まえ、シミュレータの精緻化、パラメータの拡充を行い、本シミュレータの実用化に向けた検討をさらに進めていく。

検証ポイントとして、まずは実用化に向けたシミュレータ機能の改良を図るとともに、通行に際し綿密な計画が必要な大型車両への適用を重視する。この通行シミュレーションのために、道路・歩道・並木といった交通路の詳細化のみならず、信号・案内板・電柱・電線といった情報の付加も必要と想定している。詳細度の高い3Dコンテンツの充実により、実際の交通シーンを想定し、現実に対応する精緻な交通シミュレーションを実施する。

さらに、リアルタイムの工事現場で活用することを目指し、GPSやIoTと連携した工事車両のリアルタイムモニタリングや作業員輸送の運行管理といったサービスを構築する。それによりさらなる建設工事の効率化・高度化を進め、建設工事の最先端へと昇華させていく。

将来的には3D都市モデルを活用することで、大規模建設工事において地域住民の安心と円滑な工事の両立を可能とする「建設物流プラットフォーム」を構築し、全国の建設工事へ展開していくことを目指す。

4-10 エリアマネジメントのデジタルツイン化（2020年度）

東急不動産株式会社、ソフトバンク株式会社

<https://www.mlit.go.jp/plateau/use-case/uc20-028/>

4-10-1 サービス概要

①事業・サービスの目的、ビジネスモデル、社会的意義

事業・サービスの目的と概要

デジタル基盤を用いて様々なデータを可視化し、まちの状況を的確に把握したうえでエリアマネジメント活動を行うことで、これまでの活動とは異なる、高付加価値のまちづくりを実施する。

東京ポートシティ竹芝の事業期間である70年間を見据えて、3D都市モデルを用いたデジタル・エリアマネジメントを志向し、まちの課題解決やより良い環境の提供を図ることで、エリア価値の向上と持続的な発展を実現させる。また、デジタル・エリアマネジメントの先行プレーヤーとしての認知拡大を狙う。

想定ビジネスモデル

- デジタルを用いたエリアマネジメントによる地域の魅力向上
 - 企業ブランド向上
 - 保有資産価値の向上・ケイパビリティ強化
- デジタルを用いたプロパティマネジメントの効率化
 - 工数・管理コスト削減

社会的意義

エリアマネジメント活動は都市の持続的な発展に不可欠なものであるが、人的対応の必要性や活動範囲の限界といった課題がある。

デジタル・エリアマネジメントの活用により、まちの状況の可視化やシミュレーションを可能とすることで、人的対応に頼らない高効率な活動を実現する。また、これにより活動領域を更に拡大させ、エリアマネジメント活動を持続可能なものとするすることで、都市の持続的な発展を可能とする。

図4-10-1 竹芝デジタル・エリアマネジメント



4-10-2 実証調査詳細

①実証調査の目的・概要

実証調査の目的

今回の実証実験では、3Dモデルを活用したファシリティマネジメントを街区単位でのエリアマネジメントに拡張することで、竹芝エリアでの70年のまちづくりシミュレーションの検討ツールとしての活用を見据え、将来の高度なエリアマネジメントの実施準備を行う。

実証調査の概要

3D都市モデルを活用した東京ポートシティ竹芝及び周辺エリアのファシリティマネジメントシステムへの取り込みを検証する。

- ルート案内
 - 産業貿易センターへのルートを経を跨いでルートを表示することで、来訪者が迷うことなく産業貿易センターに向かうことを可視的に手助けする
- EV前混雑度可視化・店舗・フリースペース混雑度可視化
 - コロナ禍において、混雑発生箇所は潜在的なリスクが潜んでいるため、3D都市モデルで混雑状況が可視化されることで、別フロアの空いているスペースへの誘導等、混雑回避のための誘導案内が円滑に実施可能となる
- 警備員位置情報取得
 - 同一画面で複層フロアの位置情報を確認できることで、適切な人選を行い、複雑化した施設内でトラブル発生箇所への迅速な駆け付けが可能となる
- 要注意者検知
 - 不特定多数の来館者がいる中で、迅速に要注意人物を把握できることは重要であり、複層フロア表示により、その後の対応の検討が可能となる

②実証調査の対象エリア

対象エリア

竹芝エリア

エリア選定理由

竹芝エリアでは、2020年9月に東京ポートシティ竹芝が開業し、この他、ウォーターズ竹芝等の再開発事業が進められているが、これらの再開発事業により地区内の人口（就労・居住）が急速に増加し、エリアとして環境の変化への対応が求められる。

東急不動産は、東京ポートシティ竹芝の事業期間である今後70年間、竹芝地区（約28ha）でのエリアマネジメント活動を行うこととなっており、この活動に通じて、まちの課題を解決し、より良い環境を提供することで、まちの持続的な発展を実現できるものとする。

図4-10-2 3D都市モデル利用範囲



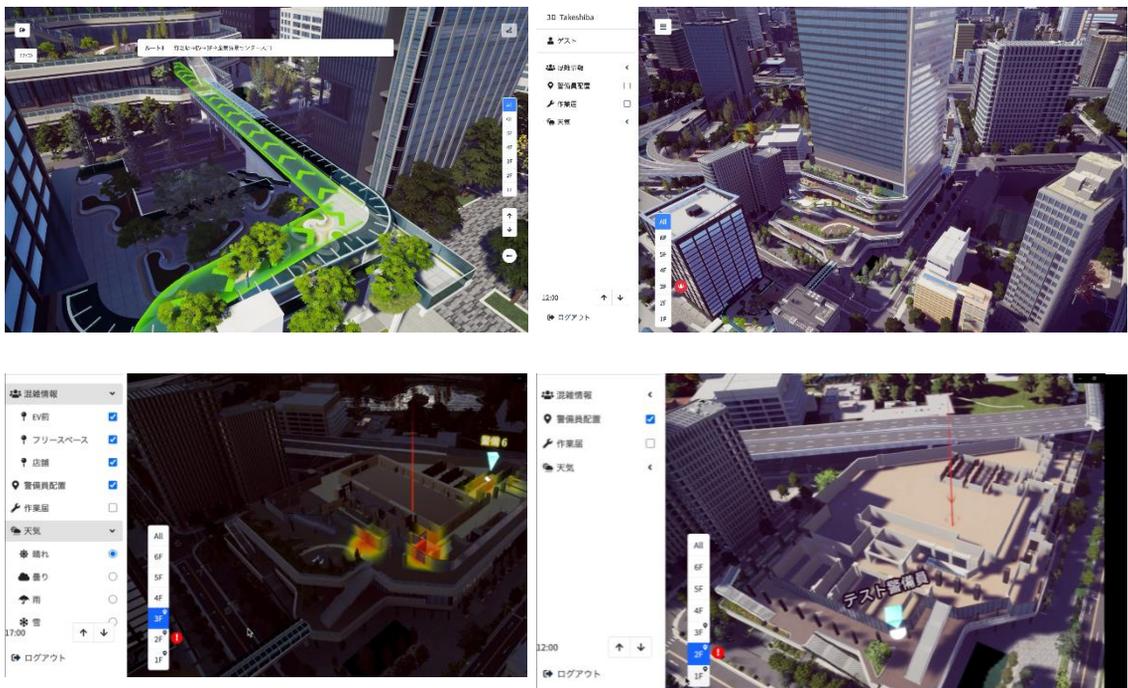
③実証調査に向け開発されたサービス

3D都市モデルを活用した東京ポートシティ竹芝及び周辺エリアのファシリティマネジメントシステムへの取り込みを検証するため、ファシリティマネジメントに関わる2種類のサービスを提供する。

開発されたサービス概要

- 産業貿易センターへのルート案内
 - 設定した複数のスタート地点から都立産業貿易センターへのルートを階を跨いだ移動も含めて三次元上に表示し来街者向けに提供する
- 3Dビル全体の構造とセンサーの状況を一つの画面で表示（ビル管理者向け）
 - ビル内から取得を行っているセンサー情報を三次元上に可視化、ビル管理者が現在のビル内状況を一括表示し、トラブル発生を想定し警備員配置を行う

図4-10-3 開発されたサービスのイメージ



④3D都市モデル (CityGML) の活用方法

利用された3D都市モデルの仕様

- 竹芝エリアのLOD2モデル
- テクスチャ (20cm)

3D都市モデルの用途

- 3D都市モデルを活用し、バーチャル竹芝 (約100Km²) を構築

3D都市モデル活用のためのソフトウェア

- CityGMLの変換
 - SHP形式へFME Desktopにて変換
- 3D都市モデルの加工
 - CGモデリング
 - UnrealEngine4
- 3D都市モデル利用システム
 - ゲームエンジン
 - UnrealEngine4
 - UI 開発
 - JavaScript / CSS / HTML

図4-10-4 3D都市モデルで構築された竹芝エリア



図4-10-5 竹芝を中心に広域にわたって利用された3D都市モデル



広域エリア

CityGMLデータをベースとし、シティ構造を作成、植栽、建物外観の形状やテクスチャは手動で追加



中域エリア ※おおよその範囲を加工して作成

CityGMLデータをベースとし、植栽、建物外観の詳細形状やテクスチャを追加

ポートシティ竹芝 ビル内

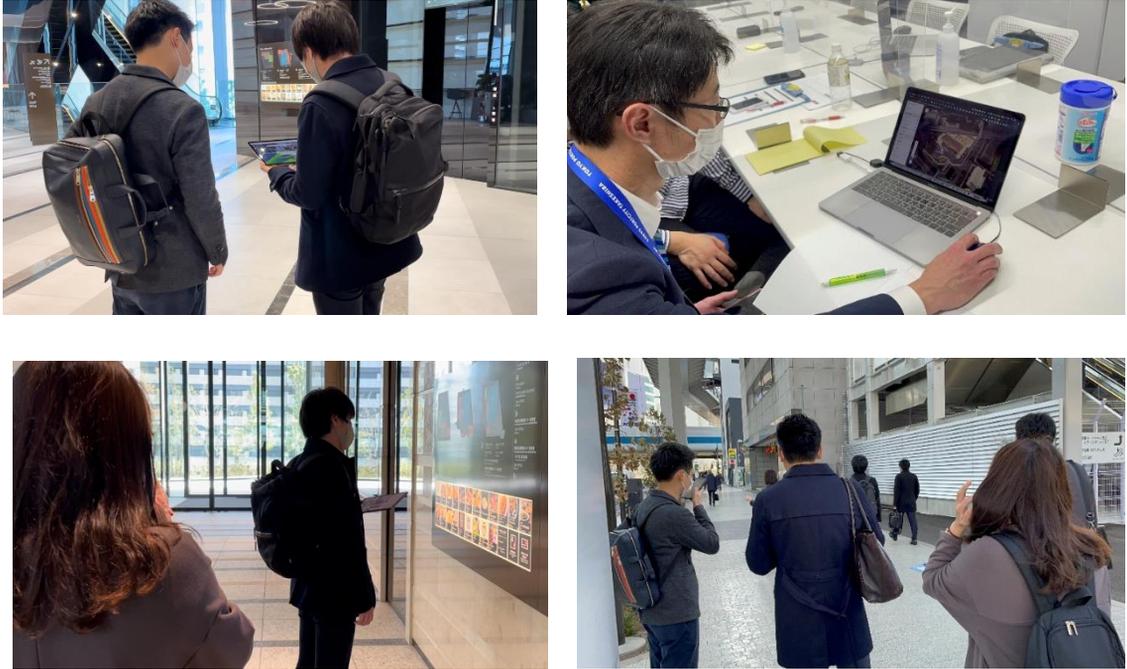
BIMデータをベースとし手動にて情報を追加
Maxデータ、現地の写真を参考に詳細を追加

4-10-3 実証調査結果

①実証調査の様子

2021年3月17日に実証調査を行い効果を検証した。

図4-10-6 実証調査の様子

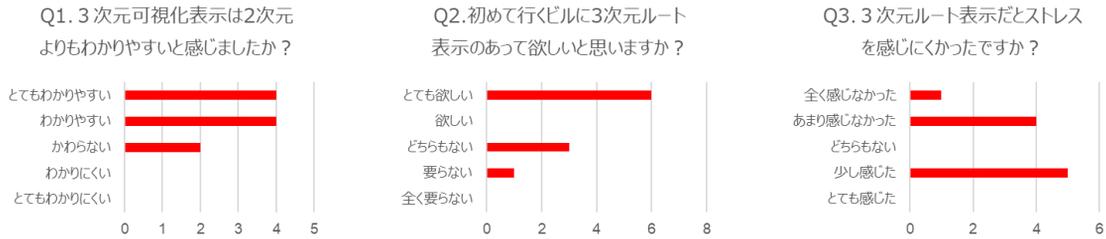


②実証調査の被験者

N O.	ユースケース名	被験者	主な感想
1	産業貿易センターへのルート案内	(株)アバンアソシエイツ社員5名 ソフトバンク(株)社員5名 計10名 ※竹芝来訪経験無し	<ul style="list-style-type: none"> ● 実際と3D画面と一緒に良い ● 目印やシンボルが3Dにもある方が良い ● 音声認識「困った」等で必要な情報が出ると良い
2	混雑度把握と警備員のアサイン	東京ポートシティ竹芝オフィスタワー防災センター職員及び警備員	<ul style="list-style-type: none"> ● ビル全体を一気に確認でき、全体像をつかみやすい ● 新人とかに説明するのもやりやすい ● 上から見たときにエレベーターが分かりづらい ● 入り口の場所が矢印であると分かりやすい ● エスカレーターが色付けされるとわかりやすい ● 操作を覚えてしまえば3Dの方が良い ● 雨や大雪の時にどのくらい積もっているか、防犯カメラと雨の浸水の状況を実際と対応できると良い
3	不審者検知と警備員のアサイン	同上	

③アンケート結果 | 産業貿易センターへのルート案内

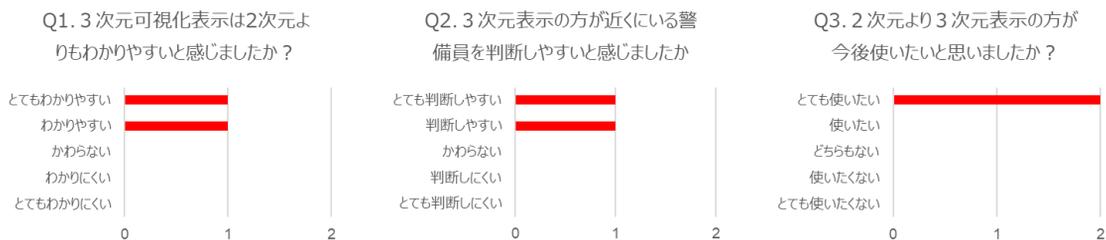
ルート案内の3D化により来訪者の理解促進に繋がることが示唆された。また、利用者がルート決定を行う際の目印となるものの表現や操作性を改善することにより、利用者が更に安心して迷わずに目的地に到達できるという教訓を得た。



Q4 今回のツールに追加で欲しい情報はありますか？ 〔自由回答〕	床面に矢印/ルート進行中の停止ボタン/位置情報、GPSと連動/言葉による(文字)案内/ 目印になるモノを表示(エレベーター前ローソンなど) /視点の高さ調整/ バリアフリー案内 /自分の位置情報と見ている画面の位置関係がわかる絵/音声案内/俯瞰でルートが確認できるとよい/目的地までの到着予想時間/カーナビのような「次〇〇mで右折」といった距離の表示/ エレベーターなどの上り下りの色分け
Q5 今回のツールで不要だった情報はありますか？ 〔自由回答〕	指の動きで 全部が見えすぎている /遠くほどあるいは高く行きすぎる/視線の範囲が限定できると良いのでは/床の矢印はもう少し細い方が良い/ エスカレーターの矢印の動き/屋外の本が邪魔だった
Q6 全体を通して、気になる点等ございました、ご記入ください。〔自由回答〕	二本指の横の動きが慣れていないものと逆だった/微妙に視点位置が実際と異なる/ 自分の位置とリンクした3D画面情報となると良い /速度も自分の歩行速度と合わせた風景が見えると更に良い/ 初めての訪問者としては3D表示が非常にわかりやすかった/進行案内(緑色の)が、大きすぎて他の景観が見えなかった/操作になれる必要があると感じた/場所によっては3次元が役立つエリアもあると感じた(新宿など地下から上がる必要がある入り組んだエリア) /ところどころ3Dとリアルな景色が異なる印象を受けた

④アンケート結果 | 3Dビル全体の構造とセンサーの状況を一つの画面で表示

ビル管理の3D化とセンサー情報のマッピングは、ファシリティマネジメントの観点で有用であることが示唆された。



Q4 今回のツールに追加で欲しい情報はありますか？ 〔自由回答〕	・出入口、EV等が色付けされていたり、区別されているとわかりやすかった ・リアルタイムの天気情報 ・ビル周辺の道路状況
Q5 今回のツールで不要だった情報はありますか？ 〔自由回答〕	・特になし
Q6 全体を通して、気になる点等ございました、ご記入ください。〔自由回答〕	・警備員の位置が全然違っていたので、もっと正確性が上がればよいと思う ・2Dよりも現地のイメージがわかりやすい

4-10-4 実証調査考察

① サービス開発における示唆と課題 | 示唆

今回の実証実験により、3D都市モデルを活用したデジタル・エリアマネジメントが、街の状況をより分かりやすく的確に把握できることに繋がり、まちの課題解決とより良い環境の提供に繋がる可能性が導き出された。また、3D都市モデルを活用することで、より広範囲の街区単位でのエリアマネジメントへの拡張の実現可能性、他都市展開の容易性も確認された。

主なポイント

- 3D都市モデルがあることで、エリア・場所の共通理解が深められ、エリア・ファシリティマネジメントの議論や意志決定の円滑化に寄与している
- 3D空間上で防犯カメラの映像を確認できるインターフェースを有することにより、警備が必要な場所を正確に特定できるため迅速な駆けつけの実現ファシリティマネジメント業務の効率化への寄与が示唆された。
- 建物内の目印となるエレベーターやエスカレーターが3Dで表示されており遠隔での指示出しが具体化されビル管理業務への効率化が示唆された
- 機能拡張により、人流データを活用し、混雑度が時間によって変わることがデータに基づいて分かることで、シミュレーションを通じてイベントでの課題感を確認することも将来的には可能

② サービス開発における示唆と課題 | 課題

今後の事業化検討に向けて、バーチャル竹芝の精度の向上、取り込みデータ・機能の拡張（シミュレーションなど）の論点や、他事業者の巻き込みの必要性も明らかになった。

主な課題

① アプリケーションの維持コスト

- 今回開発したアプリケーションは、同時アクセス数は上限2つとなっており、その維持コストは月額20数万円程度
- 将来的に一般ユーザー向けに公開すること想定すると、アプリケーションの開発方法の再考が必要
- シミュレーション等の機能拡張に関しても、多額のコストが発生する見込みであることから、それに見合うサービスを開発する必要がある

② 道路等基盤データの不足

- ルート案内の構築に際し、現状主要道路しかデータが整備されていないため、今回開発にあたっては信号位置・道路形状等はGoogle Map等を用い事業者にて追加した
- 将来の街区内の自動運転車両の走行等のユースケースを実装していくためには、道路付属物、車線・歩道等の情報の整備をする必要がある

③3D都市モデルと開発するサービスとの親和性

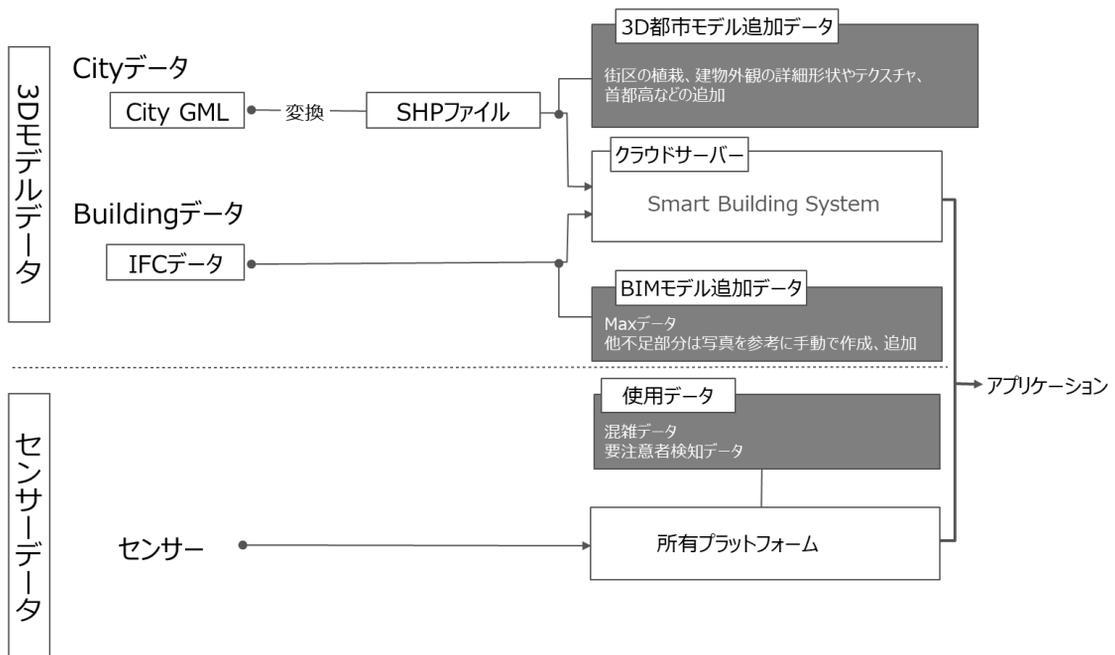
エリアマネジメント活動は、“民間建物だけの活用”や“公共空間だけの活用”という形ではなく、民地・公共空間の境界線をなく、エリア全体としての活動となるため、LOD4の建物データがあることで、建物内外がシームレスにつながっていることは非常に有益である。

一方、エリアマネジメントでの活用を想定した場合、単なるエリアの環境の可視化に留まらず、様々なシミュレーション等への活用が求められるため、エリア内のデータについてはより高い精度が求められる。

今回開発したアプリケーションにおいても、データ不足により事業者側で適宜修正を行ったが、全ての修正を実施できなかったため、“バーチャル竹芝”において実際とは異なる空間となる部分が発生し、ルート案内においても被験者が誤認を招く可能性があった。

ビジネスへの活用という観点では、高い精度の3D都市モデルとLOD4の建物データが一定のルールに基づき集約され、活用できる状態に整っていることが望ましい。

図4-10-7 3D都市モデルと各種データとの組み合わせ



4-10-5 展望

事業の本格展開・全国展開に向けた展望・チャレンジ

本実証実験の結果を踏まえ、デジタル・エリアマネジメントの実現に向けたバーチャル竹芝の更なるエリア拡張・街区情報の取り込みを行い、先端のテクノロジーを街全体で活用してエリアの発展や課題解決を実現するスマートシティのモデルケースの構築を加速させていく。

今後の検証ポイントとして、バーチャル竹芝を活用したエリアマネジメント活動の効果のわかりやすい可視化がある。大規模開発事業において必須であるエリアマネジメント活動に関しては、活動の経済効果等を視覚的・定量的に示すことが難しく、エリアの住民や事業者からのコミットメントを引き出しにくいという課題がある。バーチャル竹芝を通じてエリアマネジメント活動の成果を視覚的に表現していくことで、まちの課題解決や新たな価値の創造というエリアマネジメント活動の役割をより一層果たしていきたい。

さらに、バーチャル竹芝を活用したファシリティマネジメントやまちづくりシミュレーションを実装していくことで、エリアマネジメント活動の効率化に加え、その活動領域を拡大させ、まちの持続的な発展に貢献することが可能である。

今後、竹芝エリアをデジタル・エリアマネジメントのリーディング・ケースとしていくとともに、その知見を横展開することで、全国のエリアマネジメント活動の活性化とこれによる高付加価値なまちづくりの実現を目指していく。

4-11 地域エネルギーマネジメント支援システム（2022年度）

日建設計総合研究所、フォーラムエイト

<https://www.mlit.go.jp/plateau/use-case/uc22-032/>

https://www.mlit.go.jp/plateau/file/libraries/doc/plateau_tech_doc_0043_ver01.pdf

4-11-1 サービス概要

①事業・サービスの目的、ビジネスモデル、社会的意義

事業・サービスの目的と概要

カーボンニュートラルや分散型電源の普及などの背景により、建物単位から街区・エリア単位での地域エネルギーマネジメントのニーズが高まっている。

今回の実証実験では、3D都市モデルを活用し、地域全体のエネルギー需給予測や地域の省エネ対策の効果分析・可視化などを行う地域エネルギーマネジメント（REM）の支援システムを開発する。

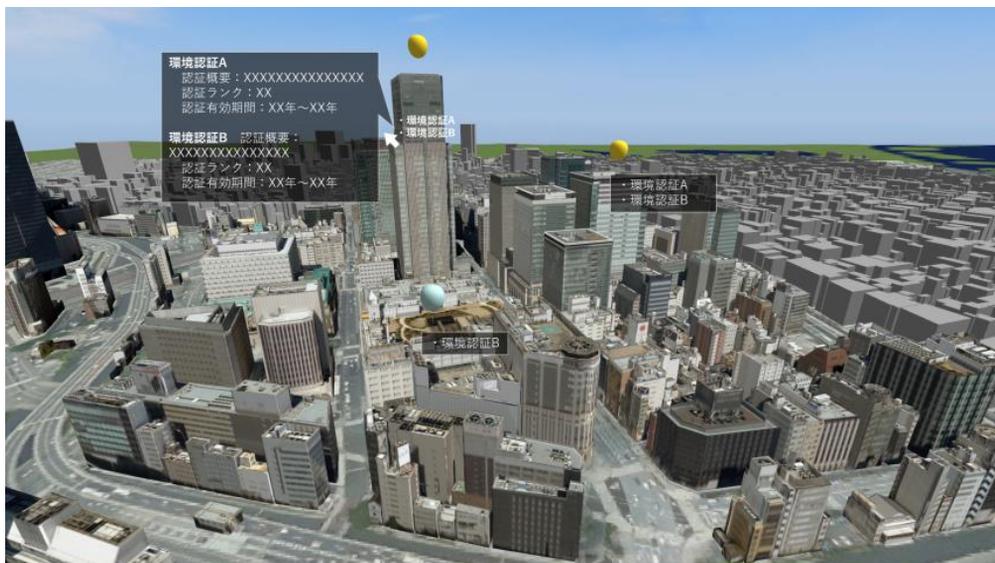
ビジネスモデル

- 都市・エリアマネジメントプラットフォーム
 - ✓ ソフト購入し、3D都市モデルをもとにエリアマネジメントの構築ができる
 - ✓ エネルギーマネジメント実施による省エネ、低炭素
- 環境価値のブランディング
 - ✓ 建物の環境性能や地域のカーボンニュートラルの達成度の可視化による建物・地域の環境価値のブランディング

社会的意義

- 現状のエネルギーを把握した上、
 - ✓ 既存ストック（既築）の改修に伴う省エネ改修
 - ✓ 建て替えに伴う高性能建物の導入
- エリアの需給解析による、再エネなどの分散電源の最大利用
- 建物の環境価値のブランディングによる、環境に関する取り込みの誘発

図 4-11-1 地域事業者の環境認証取得状況の可視化



4-11-2 実証調査詳細

①実証調査の目的・概要

実証調査の目的

3D都市モデルの情報を活用することで、簡易に地域エネルギーマネジメントプラットフォームの構築が可能となる、下記の手法の開発を目的とする。

- より精度高いエネルギー供給と需要の予測手法
- 地域エネルギーマネジメントのメニューと効果検証手法
- 3Dモデルを活用した可視化手法

また、REMが普及することを通じてエリアカーボンニュートラルのソリューションを提供する。

実証調査の概要

- 実証仮説
 - 3D都市モデルの属性データを使った予測モデルを構築することで、従来よりも広いエリアを俯瞰するような広範囲の建物エネルギーシミュレーションをより簡易に実施することが可能になる
 - 3D都市モデルを活用したシミュレーションを構築することで、高度な数値シミュレーションが不要となり、一般ユーザーでも操作でき、内容を理解できるシステムの構築が可能になる
- 検証ポイント
 - 3D都市モデルの属性データを活用したエネルギー需給予測の精度検証
 - ✓ 3D都市モデルの属性データ（建物用途分類、図形面積、建物地上階数、建物地下階数、延べ面積換算係数）を用いたシミュレーションの精度
 - ✓ 建物内人数に対する一次エネルギー消費量の半弾力性と、人流を考慮した一次エネルギー消費量予測モデルの精度
 - 開発する地域エネルギーマネジメントシステムの有用性の検証
 - ✓ エネルギー消費予測モデルやREMメニューの有用性
 - ✓ ツールの有用性・操作性・情報視認性

②実証調査の対象エリア

対象エリア

日本橋エリア

エリア選定理由

- REMに関する検討要素が多い
 - ✓ 建物の規模は大、中、小が含まれている
 - ✓ 建物用途は多様である（事務所、ホテル、商業、住宅など）
 - ✓ 新築や既存のストックがある

エネルギー供給パターンが多様である（DHC、中央、個別）

- 実績が入手できるため、シミュレーション結果の検証が可能
 - ✓ エリア内の企業とのネットワークがあるため、地域内個別地域内の一部建物データを入手し、シミュレーションの精度の検証ができる
 - ✓ ステークホルダーとのネットワークがあるため、ヒアリングなどの検証が実施可能

図 4-11-2 3D都市モデル利用範囲



東京都中央区日本橋エリア (0.43km²)

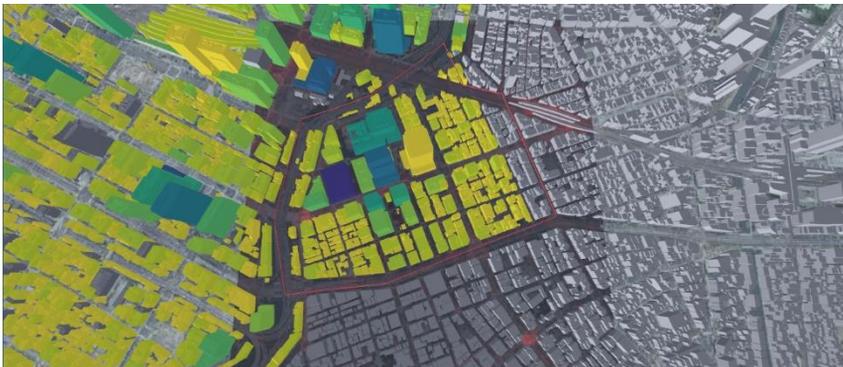
③実証調査に向け開発されたサービス

本実証実験では、3D都市モデルの属性データやジオメトリデータを活用し、地域エネルギーマネジメントを普及・実現するための検討ツールを開発した。開発したツールは、エネルギーマネジメントのベース機能（エリアのエネルギー需給把握、省エネ対策やデマンドレスポンスの実施等の効果分析、可視化など）を具備し、簡易な操作でエリア単位の分析を可能としている。

エネルギーの需給把握については、3D都市モデルの建物の属性情報（用途分類、面積、階数）を用いて、建物ごとの年間・時刻別エネルギー消費量を推計するモデルを作成した。このモデルではDECC（非住宅建築物の環境関連公開データベース）を用いて建物用途別一次エネルギー消費量を予測する重回帰モデルに加え、利用動態に合せた消費エネルギーの補正を行なうため人流データと建物別のエネルギー実績値を用いた推計モデルを構築した。地域エネルギーマネジメント対策（REMメニュー）効果推計モデルとしては、エネルギー消費における公知情報（優良特定地球温暖化対策事業所の認定基準、照明や冷暖房のカタログスペック値等）に基づいて、建物の省エネ、デマンドレスポンス、地域エネルギーシステムの導入、行動変容など、様々な手法の効果予測をモデル化し、これらを組み込んだエネルギーマネジメントシステムを構築した。例えば建物消灯による電力逼迫時のピークカット効果や地域エネルギーシステム（CGS:Co-Generation Systemなど）を導入した際の省エネ効果などをモデル化した。

エリアのエネルギー需給量とREMメニューによる省エネ効果等の可視化システムでは、エネルギー需給量のグラフや表での表示機能に加え、推計したエネルギー需要や削減効果に応じた色を3D都市モデルに着色することで、より直感的にエネルギー削減効果やエネルギー需給分布などを把握することを可能とした。さらに、ユーザーが任意のエリアの3D都市モデルを読み込み、REMメニューを選択して省エネ効果等をその場で演算・可視化することで、システムの汎用性を確保した。また、エリアの人流データや建物の環境認証など関連する情報を画面上で統合して表示が可能であり、より総合的な地域エネルギーマネジメント対策の検討が実施できるシステムとしている。

図 4-11-3 開発されたサービスのイメージ



人流データの重ね合わせ表示



環境価値の重ね合わせ表示

図 4-11-4 システムアーキテクチャ全体図

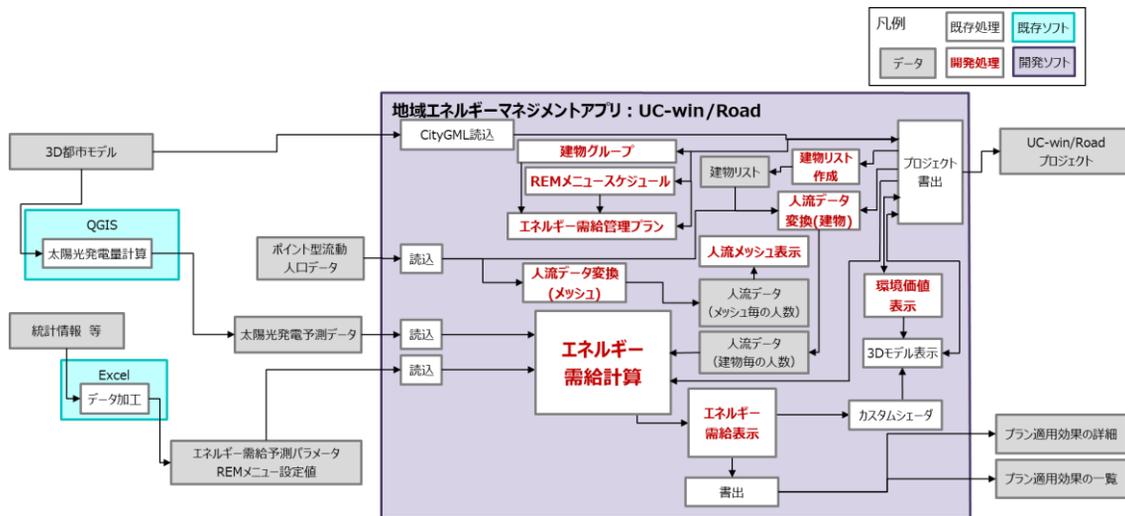


図 4-11-5 データアーキテクチャ全体図

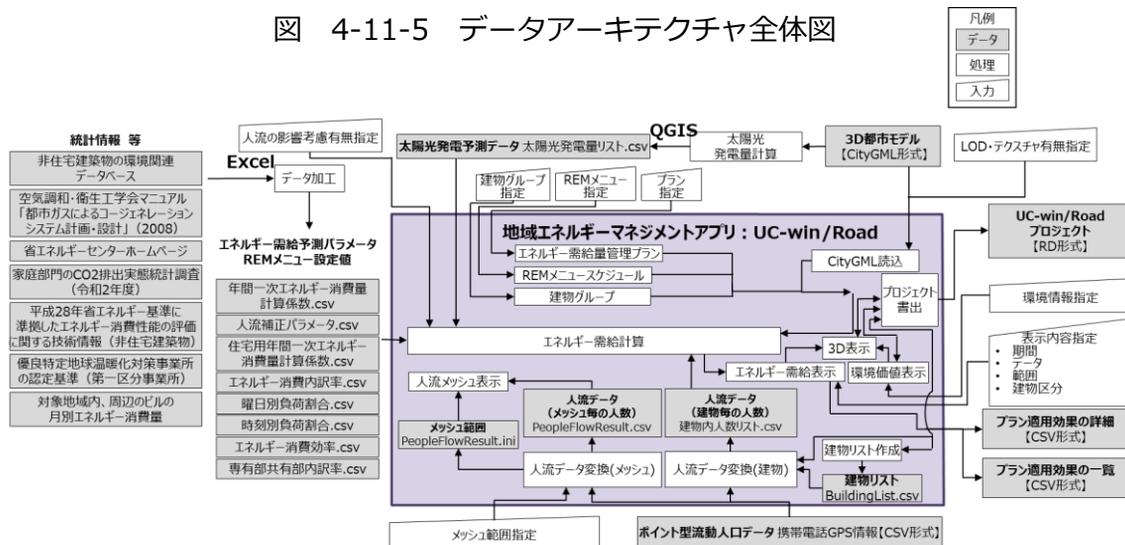


図 4-11-6 ユーザインタフェース

この図は、ユーザインタフェースのスクリーンショットを示しています。3Dビュー、情報タブ、表示設定バーが強調されています。

機能名	説明
3Dビュー	VR空間を3次元表示する
情報タブ	本システムの運用で使用するUIを集約したタブ。3つのタブから成る <ul style="list-style-type: none"> プラン作成 <ul style="list-style-type: none"> エネルギー需給管理プランを作成し、計算する プラン適用効果の詳細 <ul style="list-style-type: none"> エネルギー需給管理プランの個別の計算結果を表・グラフで確認する プラン適用効果の一覧 <ul style="list-style-type: none"> エネルギー需給管理プランの全計算結果を表で確認する。結果のソートが可能
表示設定バー	3次元表示の設定を変更する

④3D都市モデル（CityGML）の活用方法

様々な3D都市モデルを活用しデジタルツイン上で可視化。

- 建物時刻別の電力・熱需要

現状建物用途別時刻別電力消費量 = 用途別電力消費量原単位※1 × 図形面積 × (建物地上階数 + 建物地下階数) × 延べ面積換算係数 (※1 エネルギー現状予測モデルによる算出)

- CO2排出量

現状建物のCO2排出量 = Σ建物用途別時刻別電力消費量 (①で算出した結果) × 電力のCO2排出量原単位※2 (※2 公開データベースで設定)

- 年間・時刻別太陽光発電量

年間・時刻別太陽光発電 = 太陽光パネル面積あたり年間・時刻別発電量※3 × 設置係数 × 図形面積 (※3 シミュレーションによる算出)

- 需要側のメニューを適用した削減率

メニューを適用した建物用途別時刻別電力消費量 = 用途別電力消費量原単位※1 × 図形面積 × (建物地上階数 + 建物地下階数) × 延べ面積換算係数 × 月別削減率※1 × 時刻別削減率※4

メニューを適用した建物のCO2排出量 = Σ建物用途別時刻別電力消費量 × 電力のCO2排出量原単位※2

CO2排出量効果 (%) = メニューを適用した建物のCO2排出量 / 現状のCO2排出量 (②で算出)
(※4 REMメニューを適用後、補正した時刻別負荷率)

利用された3D都市モデルの仕様

- 東京都 中央区 日本橋地域のLOD2モデル
- 用途（業務施設、商業施設など）、延床面積（【図上面積】と【延べ面積換算係数】から算出）

3D都市モデルの用途

様々な3D都市モデルを活用しデジタルツイン上で可視化する。

3D都市モデル活用のためのソフトウェア

- UC-win/Road

簡単な操作で3D地形を生成し、建物、樹木等の3Dモデル配置、道路生成、交通流生成設定など、専門家でなくとも任意の地域の大規模な3次元空間を容易に作成し、環境を含めたシミュレーションが可能

- QGIS

データの閲覧、検索、地図の作成、編集、解析などGISの基本操作に必要な機能を網羅し、様々なプラグインや、GRASSやPostGISなど他のオープンソースGISと連携して使用することで、多種類の分析が可能

図 4-11-7 環境認証の取得状況の可視化
認証制度のアイコン（種類）、ランク（色や★数など）で建物の環境価値を示す



4-11-3 実証調査結果

①シミュレーション精度の検証

検証内容

国内の建物エネルギー消費量のデータベース（DECC*1）および学識保有の中央区データを利用して、月別一次エネルギー消費量の予測値と実績値を比較し、予測モデルの計算精度を検証する。



モデルの予測性能は決定係数（ R^2 ）から評価する。決定係数はモデルの予測性能を評価するための代表的な評価指標で、予測性能が高くなると決定係数が1に近づく。先行研究*3等を参考に決定係数0.80を基準とする

*1：※DECCとは日本サステナブル建築協会に設置された「非住宅建築物の環境関連データベース委員会」により調査分析された、国内の建築物のエネルギー等に関する国内最大級のデータベース。

*2：対象地域内と周辺地域の20棟建物内の月別一次エネルギー消費量実績データ（慶應義塾大学SDM研究科 山形研究室の保有データ）

*3：亀谷 茂樹, DECCの概要とその活用, 電気設備学会誌, 2014, 34 巻, 6 号, p. 365-368, <https://doi.org/10.14936/ieiej.34.365>

検証結果

DECCデータおよび学識保有データの各実績値と今回開発した予測モデルで算出された予測値に基づく決定係数 R^2 は、いずれの場合も評価基準となる類似研究を超える0.8以上が得られ有用性が確認された。

比較対象	建物用途	決定係数 (R^2)	示唆
DECCデータ (中央区)	事務所	0.846	<ul style="list-style-type: none"> 本予測モデルは、3D都市モデルの建物用途・延床面積・階数を利用してエネルギー負荷や消費量を試算しているが、これらの属性値を使うことでエリアとしてのエネルギー消費量を十分な精度で評価できることが分かった 一方で、個々の点（1つの点が1つの建物の1月分の消費量に該当）を見るとバラツキはあるため、建物を個別で評価するような使い方に向けておらず注意が必要であることも分かった。（本実証は地域や都市など、建物群を対象となるシミュレーションを構築するため、個別のデータの精度評価よりは全体建物の実態を反映できるかどうかの検証を行った）
	商業施設	0.961	
	ホテル	0.916	
	病院	0.987	
学識保有の実績データ	事務所	0.970	
	商業施設	0.999	

決定係数（ R^2 ）はモデルの予測性能を評価するための代表的な評価指標で、予測性能が高くなると決定係数が1に近づく。先行研究*1等を参考に決定係数0.80を基準とする

*1 DECCの概要とその活用, J. IEIE Jpn. Vol. 34 No. 6

②実証システムの価値検証

検証内容

目的	可視化手法の効果検証
実施期間	12月2日 13:00~15:00
実施場所	日建設計 竹橋オフィス 東京都千代田区一ツ橋1-1-1 パレスサイド・ビルディング 8F
主な参加者	ビルオーナー：6名、ビルオーナー関係者：1名、エリマネ団体1名 町会長：1名、自治体：3名、デベロッパー：1名 (主催者側) 日建総研、フォーラムイト、慶應SDM山形研究室
実施内容	3Dモデルでシミュレーションの検証結果を提示した上で、後述の検証項目等について参加者へアンケートを実施 実施内容 <ul style="list-style-type: none"> エネルギーマネジメントの関連説明 ツールの説明 建物単位の適用例 エリア単位の適用例 体験（ハンズオンでビルオーナーの建物等を用いてシミュレーションを実施） 意見交換 アンケート



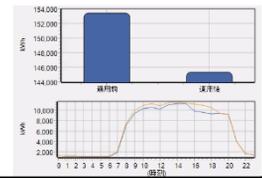
ワークショップの様子

検証結果

需給調整市場への参入検討への利用可能性

開発した予測モデルを用いた分析を行うことで、需給調整市場に参入可能なデマンドレスポンスの上げ/下げ量を実現する打ち手が識別できた。

現在の電力消費 予測量の算出	<ul style="list-style-type: none"> 自社の建物所在している街区（アグリゲーターを介して）の中で電力ピーク時に調整市場を参入したい建物を選定する エネルギー予測モデルを使って、ピーク値（例えば、8月）の時刻別電力消費量の予測と現状のピーク値を算出する
検討プランごとの エネルギー需給量計算	<ul style="list-style-type: none"> 自社の情報に応じたREMメニューを選定し、REMメニューを適応後のピーク値と現状のピークの差分を算出する 差分が電力調整市場に入札する最低ラインに達成できたかどうかを確認する
施策実施検討	<ul style="list-style-type: none"> 適応可能なREMメニューをすべて適応した後でも、最低ラインを達成できなかった場合、周辺建物や街区まで拡大し、適切な対象範囲の検討が可能となる



実施時間	エネルギー消費量(kW)			
	実施前	実施後	効果量	効果率
15時	11,368	11,253	-116	-1.0%
16時	11,125	9,764	-1,360	-12.2%
17時	10,873	9,538	-1,335	-12.3%
18時	10,527	9,211	-1,311	-12.4%
19時	9,350	9,350	0	0.0%

可視化手法の効果検証ヒアリング

ツールに対して利便性の高さや有用性の高さが好印象を与えられており、導入に向けて実業務に対してどのように役に立つかを訴求していくことで利用者が広がるといえる。

項目	成果	課題
REMの効果予測の有用性	<ul style="list-style-type: none"> REMメニューの理解を得ることができ、興味を持つ回答者も多く確認でき、関心があると見える 	<ul style="list-style-type: none"> 導入に対しては慎重な様子がうかがえ、投資対効果を気にする声や精度を気にする声が寄せられた
可視化の効果情報の視認性	<ul style="list-style-type: none"> 施策前後の影響が可視化されることや人流データを重ね併せて見れること等、利便性に対しては高評価が得られた 	<ul style="list-style-type: none"> 人流データ及び環境価値の視認性について改善余地が残されている
可視化の効果情報の操作性	<ul style="list-style-type: none"> アンケート回答者は概ね好印象な回答を寄せており、コメントの中には操作性の良さについて触れている箇所も確認でき、利用難度の低いツールになっている 	<ul style="list-style-type: none"> 説明やマニュアルを求める声が寄せられており、想定ユーザーにハンズオン等の説明機会を設ける等、操作性の理解を助ける必要がある
可視化アプリの有用性	<ul style="list-style-type: none"> 自治体関係者はエリア単位、ビルオーナーはビル単位での可視化に関心を示しており、有用性の高さがうかがえる 	<ul style="list-style-type: none"> ビルオーナーがユーザーの場合は、自社ビルへの適用が主となり、可視化アプリの有用性は高いと想定される エリア単位では、想定ユーザーであるデベロッパーや自治体と、具体的な活用イメージについて更なるすり合わせを行うことで、有用性は向上すると想定される

4-11-4 実証調査考察

本実証ではエネルギー予測モデルの精度検証、可視化ツールの有用性と効果について検証を行った。

エネルギー予測モデルの精度検証では、3D都市モデルを活用したエネルギー需給推計モデルは、導出された推計値と実績データを比較検証することで類似研究以上（*）の予測精度を達成し、地域エネルギーマネジメントに使用するのに十分な精度である事が確認された。また、開発したシステムにより電力逼迫時の節電要求に応じるための施策を検討した結果、十分な電力消費抑制を実現するための時間帯とREMメニューの組み合わせを予測・導出することができた。

エリア一体となったエネルギーマネジメントの促進という観点からは、日本橋エリアのデベロッパー、自治体、ビルオーナーとエネルギー団体を対象に、ワークショップを開催することで有用性の検証を行った。ワークショップでは、開発したツールを体験していただき、ツールに関してアンケート・ヒアリング調査を実施した。デベロッパーや自治体等のユーザーにとっては、「在宅誘導によるエリア内需要の削減」や「照明の利用の抑制」といった様々なREMメニューの効果検証をリアルタイムに行い、比較検討できる点が非常に有効であることがわかった。また、エリア単位で対策をすることの意義等の理解も深まり、地域で協働して取組みを展開するためのファーストステップに寄与することに有効といえる。

システムの操作性や視認性に関しては、非専門家でも比較的容易に操作でき、グラフ・表やバルーン等を活用することで見えない情報が可視化されて分かりやすいという評価や、対策前後のエリア全体のエネルギー消費量の分布、環境への取り組み（環境認証）など複数の情報を一覧化し確認できることが重要であるという意見が聞かれた。

また、検証を通じて得られた全体的な意見として、ツールの活用主体によって目的が異なること（例えば自治体は、管轄エリア全体、町内会は街区など）、地方都市の自治体をターゲットとした場合には、地方都市で適応可能なREMメニューの実装が必須であることが分かった。

* DECCの概要とその活用、J. IEIE Jpn. Vol. 34 No. 6

①今年度の実証で得られた成果

3D都市モデルによる技術面での優位性

3D都市モデルによるエネルギー予測	<ul style="list-style-type: none"> 従来のCEMSデータに加えて、3D都市モデルもエネルギー予測に有用なデータであることがわかった <ul style="list-style-type: none"> 3D都市モデルの属性値（建物用途分類、図形面積、建物地上階数、建物地下階数、延べ面積換算係数）を活用することで、簡便に建物の年間一次エネルギー消費量、時刻別電力消費量の推定モデルを構築できた また、REMメニューごとのエネルギー消費量予測にも活用ができ、適応効果の検討ができる
可視化の視認性 ・操作性	<ul style="list-style-type: none"> 3D都市モデルを活用し、直感的にエネルギー需給量と分布把握することが可能であることが確認された

3D都市モデルによるビジネス面での優位性

他地域への展開の 簡便性	<ul style="list-style-type: none"> 3D都市モデルはオープンデータであり、日本全国のデータが含まれる 3D都市モデルの属性を利用することで、その他地域でも地域エネルギーマネジメントの基本機能（エリアのエネルギー需給把握、REMメニューの効果分析、可視化など）が構築でき、簡易な操作でエリア単位の分析が可能となる <ul style="list-style-type: none"> 3Dモデルによって、全国展開の可能性が見えてきた
多様な情報との融合	<ul style="list-style-type: none"> エリアの環境認証を3D都市モデルと重ねて可視化することで、地域エネルギーマネジメントへ参画が見込まれる建物を俯瞰的に特定することができ、エネルギーマネジメントの範囲拡大等の検討が可能となる

②今後の取り組みに向けた課題

エネルギー予測モデルの精度向上	<ul style="list-style-type: none"> ● 本実証実験で構築した予測モデルは、3D都市モデルの建物用途・延床面積・階数を利用してエネルギー負荷や消費量を試算しているため、建物の大きさに比例し誤差が大きくなる傾向があり、この点で精度向上の余地がある <ul style="list-style-type: none"> - LOD3による窓やドア等の開口部、LOD4で建物内部の設置状況等建物の情報を得られればより精緻な予測が可能と考えられる - 建物設備や人員密度情報を持った外部エネルギーシミュレーションソフトとの連携を行うことでエネルギー予測とREMメニューの効果推計精度を向上する - スマートメーターの情報を取り込むことでリアルタイムデータを活用して実態に近い推計モデルの開発ができる
地方都市で適応可能なREMメニューの構築	<ul style="list-style-type: none"> ● 構築したREMメニューは省エネ対策等の建物が密集した都市部で利用することが想定されていて、地方都市で適応しやすいREMメニューを構築する必要がある <ul style="list-style-type: none"> - 再生可能エネルギーの自家消費率の算出などの機能を追加することで、エネルギーの地産地消など地方都市で適応可能なメニューを追加も想定される
エリアマネジメントプラットフォームとの連携	<ul style="list-style-type: none"> ● 地域エネルギーマネジメントのビジネスを実現するためには効果のシミュレーションだけでなく実際にREMメニューを実行するために自治体や利用者との合意形成や管理者向けの制御機能が必要 <ul style="list-style-type: none"> - エリアマネジメントを実行するプラットフォームや都市OSなどと連携が必要

4-11-5 展望

地域エネルギーマネジメントに関する検討は、従来は専門家によるエネルギー消費量の計測や数値シミュレーションの分析などによって行われてきたが、これらの分析を平易なユーザーインターフェースによって実現し、かつ、その結果を直感的に理解可能とする本システムにより、シミュレーション結果の妥当性を維持しつつ、一般の人が操作して簡易にエネルギー需給量や分布を把握できることが確認できた。このようなシステムの導入が、地域エネルギーマネジメントの普及につながると期待される。

本システムでは、3D都市モデルの建物の属性情報（用途分類、面積、階数）と人流データをインプットデータとして予測値を算出するモデルのため、大規模建物の削減ポテンシャルが多い傾向がある。将来的には、LOD3以上の3D都市モデルを活用し、建物の外装を考慮したエネルギーの負荷計算や、スマートメーターの実績データ（街区単位での電力消費量データなど）との融合などより高精度の推計方法を目指したい。また再エネの予測機能を実装することによって、エネルギーの地産地消など地方都市に適応できるようなメニューの実装も開発していきたい。さらに、省エネやデマンドレスポンスのメニューの最適化支援に向けて合意形成のプラットフォームとの連携により参画者を増やし、地域エネルギーマネジメントの実現・普及拡大を目指したい。

4-12 都市AR空間とメタバースの連携プラットフォーム（2022年度）

株式会社MESON、株式会社博報堂DYホールディングス

<https://www.mlit.go.jp/plateau/use-case/uc22-016/>

https://www.mlit.go.jp/plateau/file/libraries/doc/plateau_tech_doc_0044_ver01.pdf

4-12-1 サービス概要

①事業・サービスの目的、ビジネスモデル、社会的意義

事業・サービスの目的と概要

3D都市モデルデータとCMS(コンテンツマネジメントシステム)を用いて、サイバー・フィジカル空間横断でデジタルコンテンツを簡単に配置・再生可能なXRコンテンツプラットフォームを構築する。PC上で3D都市モデルを読み込み、実際の都市空間の位置や形状に紐づけてデジタルコンテンツを配置することで、都市空間上でのAR表示やメタバース空間上でのコンテンツ提供を行えるプラットフォームを構築し、距離や時間の制約を超えて人々が都市に集まることができる環境を提供する。

想定ビジネスモデル

- AR・メタバース体験を提供するB2B2C型サービス
 - 事業者に対しては、コンテンツプラットフォームを活用したコンテンツ配置や管理支援サービス等を提供する
 - エンドユーザーに対しては、オフライン・オンラインのどちらからも参加できるXRイベント体験を提供する
 - オフライン：実際に街を訪れた人が、現地でモバイルARアプリを使用して参加する
 - オンライン：遠隔地にいる人が、メタバース環境から参加する

社会的意義

現状、リアルロケーションを使用したXR体験は、都度XR事業者によるコンテンツ制作とロケーションへの紐付けが必要となっている。本プラットフォームを使用することで、XRに関する専門知識を有さない事業者や自治体などが都市空間に紐づけてコンテンツを配置することで、アートイベントを始めとした地域活性化のためのアクティビティを簡単に、様々なロケーションで展開できるようになる。また、システムを利用するエンドユーザーからの投稿により、イベントの内容に関するフィードバックや要望などを体験を通して収集することや、ボトムアップ的にユーザーが都市を彩っていくことができるようになる。

図4-12-1 ARアプリ（左）／Webメタバース環境（右）でのコンテンツ表示



4-12-2 実証調査詳細

①実証調査の目的・概要

実証調査の目的

近年、世界市場においてVR・ARデバイスの普及や関連コンテンツ市場が著しく成長し、特に人々の活動や交流の場がXRやメタバース空間へと広がり、時間的・金銭的支出がデジタルに広がっている。そのため、現実とバーチャルの双方が連携した新しい都市空間の中で、デジタルコンテンツを展開するビジネスニーズが高まると予想されることから、現実空間とバーチャル空間がつながり、コメントや投稿で連動できるメタバース空間を構築し、人々の交流活性化やまちの魅力発信力強化を目指す。

実証調査の概要

3D都市モデルを活用し、都市空間に紐づけられたARコンテンツを提供可能なウェブベースのコンテンツマネジメントシステムを開発。さらに、これと同期したバーチャル空間をウェブ上で構築することで、現実空間とバーチャル空間が相互にフィードバック可能なメタバース空間を構築する。これにより、物理的距離や時間の制約を超えて誰もが参加・交流のできる都市AR空間とメタバースの連携プラットフォームを提供し、ロケーションへの訪問喚起や都市の魅力向上への貢献を検証する。

● 実証仮説

- XR・メタバース市場が急成長し、今後人々のコミュニケーションの場やエンターテインメントの基盤がXR・メタバース空間へ拡大する中で、3D都市モデルを活用することで、現実の都市空間とバーチャル空間の双方が同期されたアクティビティやイベント等の体験を提供するために、デジタルコンテンツを環境横断で提供する技術の活用が安価・簡便にでき事業者及びエンドユーザー双方に新しい価値を提供できる。
- 3D都市モデルを活用したデジタルコンテンツ配置が可能なCMSや他者とのコミュニケーションが可能な都市AR空間・メタバース空間を、事業者・エンドユーザーが利用することでコミュニケーションの活性化やまちの魅力発信に繋がりビジネスニーズが創出される。

● 検証ポイント

(CMSの性能検証)

- 精度：CMS上で配置したコンテンツを、モバイルARアプリ上でどの程度正確な位置に表示できるか
- 工数削減効果：CMS環境でコンテンツを展開できることで、従来のスクラッチ開発やアップデート開発に比べてどの程度工数を削減することができるか

(事業者・エンドユーザーへの提供価値の検証)

- 事業者目線でのCMS、アプリ環境（メタバース・モバイルARアプリ）の利用意向、想定ユースケース
- ロケーションへの訪問喚起やユーザー間の交流に活用しうるか
- 一般ユーザー視点でのユーザビリティ、コンテンツの視認性

②実証調査の対象エリア

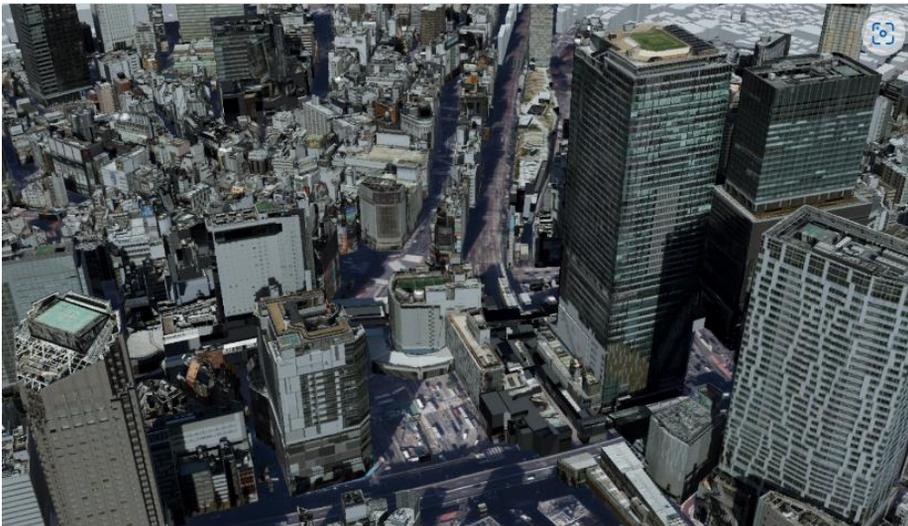
対象エリア

東京都渋谷区 渋谷駅周辺エリア

エリア選定理由

単色などシンプルな演出でメタバース環境を構築するため、形状や地形に特徴がある場所を選定。

図4-12-2 3D都市モデル利用範囲



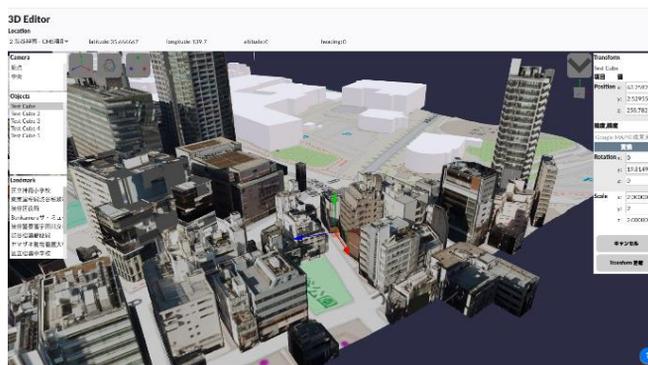
③実証調査に向け開発されたサービス

メタバース空間に展開するデジタルコンテンツを管理するためのWebベースのコンテンツマネジメントシステム（CMS）と、これと連動するiPhone向けのモバイルARアプリケーション及びPCからアクセス可能なWebメタバース環境を開発した。

開発されたサービス概要

- CMS
 - MESON社が提供するGAUGUIN CMSをベースに、3D都市モデルを3Dエディター上に配置。
 - 3D都市モデルのもつ座標情報と現実の位置情報をリンクさせる処理を追加することで、3D都市モデルを位置合わせの基準としてCMS上でARコンテンツを配置できる。
- モバイルARアプリケーション
 - Flutterを用いて構築し、CMS上で配置したARコンテンツ及びその情報をスマホ側へ配信し、ARコンテンツの表示及び3D都市モデルによるコンテンツの遮蔽（オクルージョン）の表現を実現。
 - スマホのカメラ画像を用いた位置合わせ（VPS）は、UnityをベースにGoogleが提供するARCore GeoSpatial APIを用いてスマホアプリに組み込んだ。
- Webメタバース環境
 - モバイルARアプリケーション向けに構築したUnity部分を移植することで、同様の体験をメタバース空間でも得られるよう開発。
 - CMSと連携することでCMS上で配置された3D都市モデル及びARコンテンツをウェブ上でVR体験として提供。

図4-12-3 開発されたサービスのイメージ



コンテンツマネジメントシステム（CMS）



ARアプリケーションでのコンテンツ表示



Webメタバース環境でのコンテンツ表示

導入する新技術・実証技術

- ARCore GeoSpatial API

Googleストリートビューの膨大な数の画像をベースに自己位置推定用のマップを構築し、事前空間スキャンが不要かつスマホカメラの撮影画像を使った自己位置推定（VPS : Visual Positioning System）を提供するAPI。
- Unity

Unity Technologies社が提供するゲームエンジン/統合開発環境で、XRアプリケーションの開発に活用されている。
- Flutter

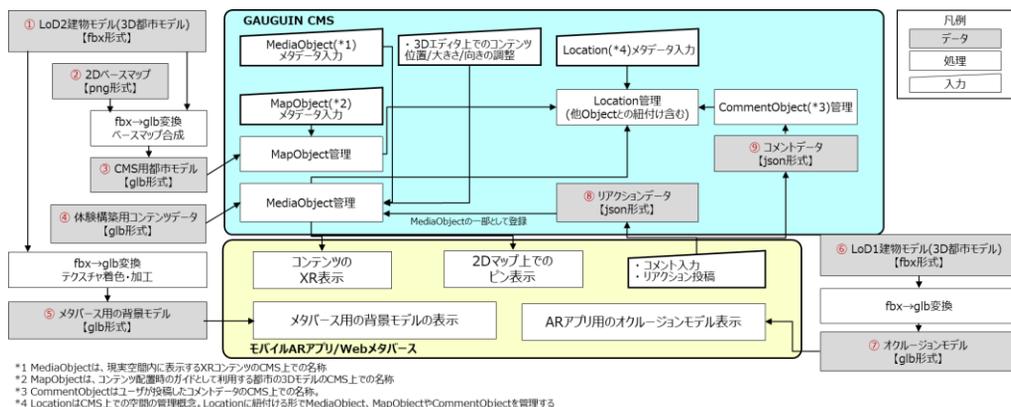
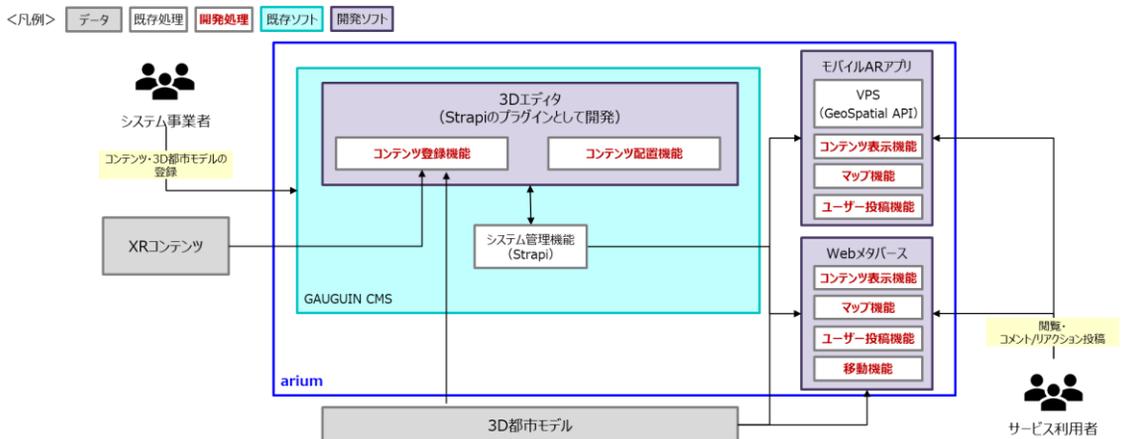
Googleが開発したスマホ開発向けのモバイルフレームワークで、クロスプラットフォーム開発、ホットリロード*など開発者向けの機能も充実している。
- Strapi

Node.jsベースのヘッドレスCMSでローカルプラグインを使い独自開発のUIを追加実装できる。
- GAUGUIN

MESON社が構築したUnity向けのXR開発フレームワーク。クロスプラットフォーム対応やユースケースを想定したテンプレート、CMS機能などの特徴を有する。

実証システム図

図4-12-4 システムアーキテクチャ全体図（上）、データアーキテクチャ全体図（下）



④3D都市モデル (CityGML) の活用方法

3D都市モデルが保有する緯度経度情報による高精度なコンテンツ配置に利用。

利用された3D都市モデルの仕様

- 対象エリアのLOD1・LOD2建築物モデル

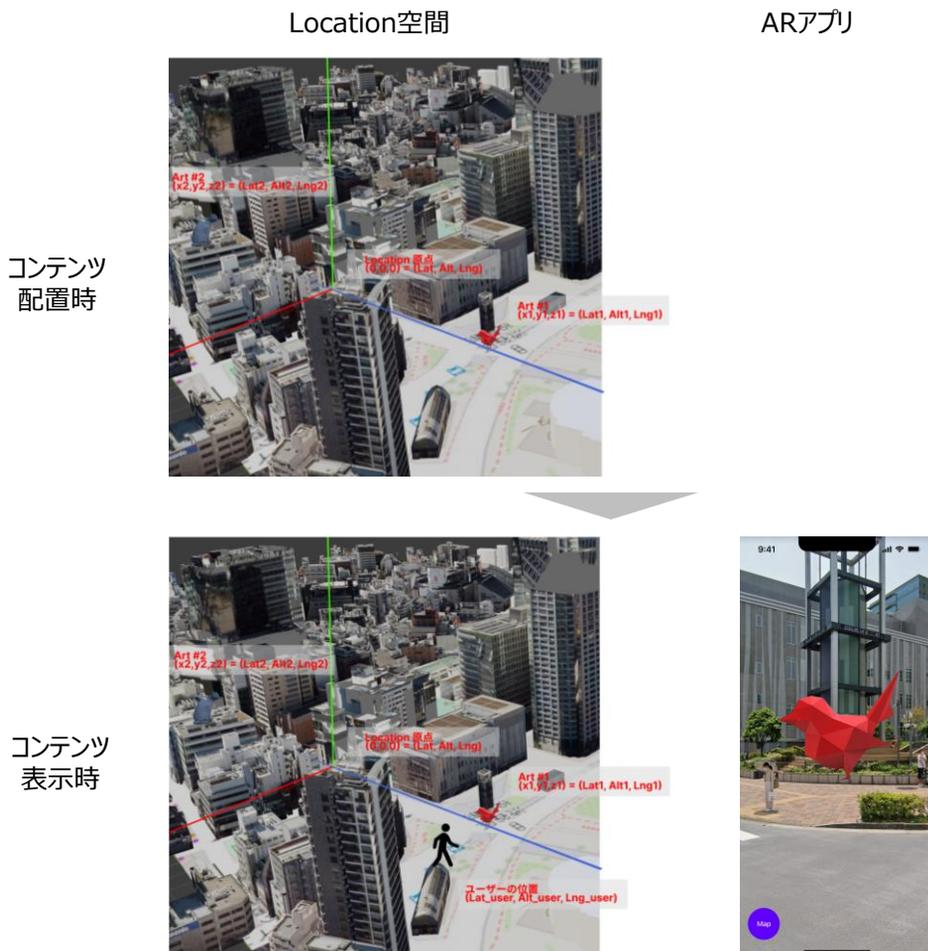
3D都市モデルの用途

- CMS上でのコンテンツ配置時の背景モデル、Webメタバース環境の背景モデルに使用 (LOD2)
- モバイルARアプリ上でのコンテンツの遮蔽 (オクルージョン) に使用 (LOD1)
- CMS上でランドマークとなる建物の名称を表示するために使用 (建築物属性データ)

3D都市モデル活用のためのソフトウェア

- 変換
 - FBX形式からgltf形式に変換 (Blender)
- 3D都市モデル利用システム
 - CMSにて利用

図4-12-5 3D都市モデルを使ったコンテンツの配置と表示



4-12-3 実証調査結果

①CMSの性能検証（A:CMSの精度検証）

構築したCMSにより、ARアプリ上で必要な精度をもってコンテンツを表示できるかを確認した。

検証内容

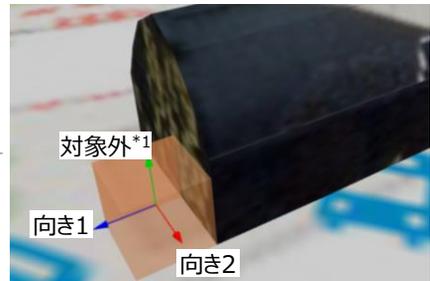
- CMSで配置したコンテンツをARアプリで表示する際、2~3m程度の誤差の範囲で表示できるかを検証する。
- 検証は以下の4つの条件を全て満たす4か所で行う。（右図参照）
 - 混雑しすぎず、テストを実施しても歩行者の邪魔 になりにくい。
 - 建物の輪郭が直線でできており、ズレを測定しやすい。
 - 測定可能な目印となる物体がある。
 - 3D都市モデルと実際の建物の形状が一致している。



検証スポット

検証フロー

- | | |
|------------------------|---|
| テスト
オブジェクトを
準備する | <ul style="list-style-type: none"> • 3Dモデリングツール（今回はBlenderを使用）により、半透明で1辺2mの立方体のテストオブジェクトを作成し、CMSで配置可能なglb形式でエクスポートする。 |
| テスト
オブジェクトを
配置する | <ul style="list-style-type: none"> • CMS上で配置スポットの建物の外壁に立方体の1面が接し、1辺が建物の輪郭と重なるようにテストオブジェクトを配置する。 <ul style="list-style-type: none"> - 右図の青い矢印を向き1、赤い矢印を向き2と定義する【右図】 |
| 現地で
AR表示する | <ul style="list-style-type: none"> • CMS上でオブジェクトを配置した場所でARアプリを起動し、登録したテストオブジェクトをAR表示して画面キャプチャを行う。 |
| 目印となる物体の
サイズを計測する | <ul style="list-style-type: none"> • 撮影したキャプチャ画像内に写り込んでおり、実寸の計測が可能な物体の寸法を現地で測定する。 |
| 表示位置の
誤差を計算する | <ul style="list-style-type: none"> • 画像編集ツール（今回はFigmaを使用）により、目印の物体のピクセル数とテストオブジェクトの建物外壁からの距離のピクセル数を測定し、上記ステップで測定した寸法から誤差を1/100m単位で算出する。 |



テストオブジェクトの配置



誤差計算の様子

*1：高さ方向（緑）は地表面の凹凸（坂道や段差等）によって対象物の純粋な高さが厳密に定義できないため測定対象外とした

図4-12-6 各配置位置におけるコンテンツの表示誤差

検証結果

モバイルARアプリ上でのコンテンツの表示誤差は1m以内であり、キャラクターを使った演出やアート作品の展開等、施設やイベントへの集客というユースケースにおける活用に支障がない精度であることが確認できた。

検証地点	向き1の誤差	向き2の誤差
①	0.38m	0.23m
②	0.02m	0.06m
③	0.09m	0.06m
④	0.56m	0.49m

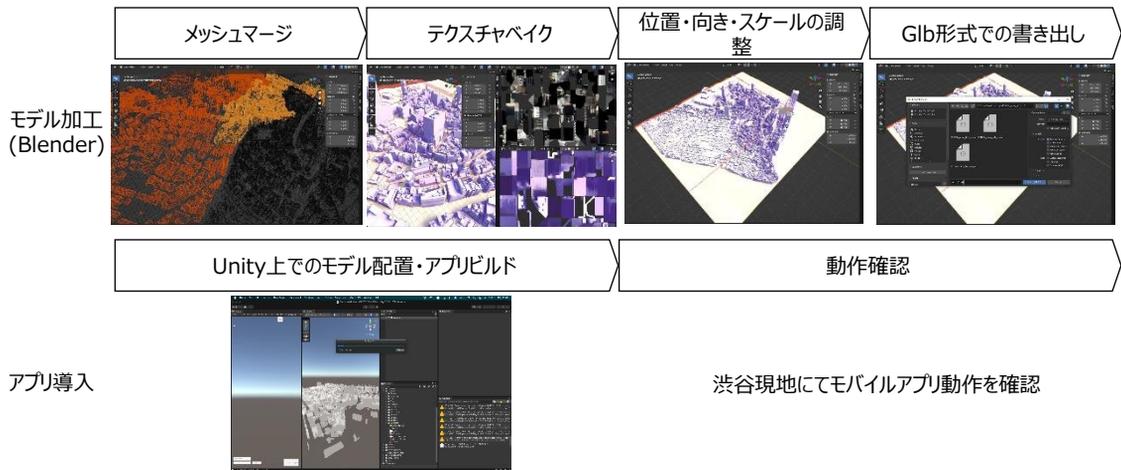
①CMSの性能検証（B:CMSの工数削減効果検証）

3D都市モデルを活用した場合に、コンテンツ開発工数をどの程度削減できるかを検証。

検証内容

- ariumの利用にあたって事業者ごとにカスタム対応が必要な開発工程を確認し、PLATEAUモデルを活用した場合と、他社製モデルを活用した場合とで、開発工数(時間)にどの程度の差分が生じるかを計算し、PLATEAUモデルによる工数削減効果を検証する。

検証フロー



検証結果

arium利用にあたって事業者ごとにカスタム対応が必要な部分の開発工数を36%削減できる。

検証工程	タスク内容	PLATEAUモデル活用時 作業工数(h)	他社製モデル活用時 作業工数(h)
モデル加工 (Blender)	メッシュマージ	1	1
	テクスチャバイク	1	1
	位置・向き・スケールの調整	4	8
	Glb形式での書き出し	0	0
アプリへの 導入	Unity上でのモデル配置・ アプリビルド	1	1
	動作確認	8 (1日)	8 (1日)
計		7 (36%減)	11

②実証システムの価値検証

事業者ヒアリング

目的	事業者観点でのプラットフォームの有用性や活用意向を検証する
実施概要	イベントロケーションやIP（知的財産）を保有する企業、コンテンツ制作支援を行う企業に対して体験のデモンストレーションおよびヒアリングを行う
実施期間	2022年11月～2022年12月
実施場所	渋谷区神南エリア
主な参加者	デモ体験・ヒアリング対象企業の担当者（計9社22名）
対象企業	株式会社サンリオ/株式会社小学館/株式会社グラフィック/三井不動産株式会社/三菱地所株式会社/サッポロ不動産開発株式会社/小田急電鉄株式会社/株式会社TBWA HAKUHODO/株式会社東北新社



ariumの実際の画面の様子

検証結果

積極的な活用意向を示したのは**9社中5社**で、その他の4社からも前向きな検討意向が示された。

サマリ

フィードバック

CMSについて	<ul style="list-style-type: none"> 3D都市モデルの活用による複数都市で展開し得る拡張性が好評 Webブラウザベースでスムーズなコンテンツの入替えや配置の編集が可能な点も好評だった 導入ハードル・運用コストへの懸念から、特に導入初期における実行支援を要請する声が多かった 機能面においては、音声コンテンツの入れ込みや、ユーザーのデータ取得・管理・分析に関する機能拡充を求める声が上がった 	<p>▶ CMSについては概ねポジティブな意見が得られたが、運用プロセスの標準化は今後の課題</p>
モバイルARアプリについて	<ul style="list-style-type: none"> ARコンテンツの位置合わせ精度や複数コンテンツの表示のシームレスさを評価する意見が多数上がった コメント・リアクションによるユーザーコミュニケーションの創発性や、メタバース空間との連動性に期待する声寄せられた コンテンツの鑑賞体験だけでなく、ユーザーのダウンロード動線や歩きスマホの事故リスク回避も含めた全体的な体験設計の必要性が指摘された。また屋外だけでなく屋内・施設敷地内での対応を求める声も多くなった 	<p>▶ 機能面ではポジティブな意見が得られたが、運用面では歩きスマホの対策を踏まえたコンテンツ開発が必要</p>
メタバースについて	<ul style="list-style-type: none"> モバイルARアプリとの連動性や、実際の都市空間のバーチャルな再現性に期待の声が多く寄せられた テキスト解像度を高めて没入感を高めたいという要望が寄せられた 	<p>▶ 実際の都市空間のバーチャルな再現性への評価が得られた一方で、更なる没入感の提供には操作性の改善が求められる</p>

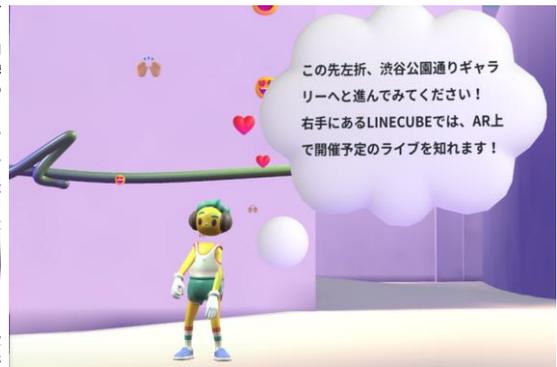
②実証システムの価値検証

エンドユーザーテスト

目的	一般ユーザー目線でアプリ上での体験の価値や今後望ましい機能拡充の方向性を検証する
実施期間	2023年1月
実施場所	渋谷区神南エリア（MESON本社周辺）
主な参加者	将来的な利用ユーザー層として想定している、20代・30代の男女（計11名）
実施内容	モバイルARアプリ/メタバース環境を活用して、テスト配置したコンテンツの鑑賞や他ユーザーによる投稿の閲覧を行った後、アンケートの回答とグループインタビューへの参加を行う
検証項目	<ul style="list-style-type: none"> コンテンツの視認性の評価 <ul style="list-style-type: none"> 配置したコンテンツ全体の中で、いくつかのコンテンツを発見し、実際にモバイルARアプリ上で閲覧・鑑賞したか そのうちいくつかを主観的に記憶しているか ユーザー投稿機能およびコメントの有用性の評価 <ul style="list-style-type: none"> 空間SNSとして活用する際、どのような形式のユーザー投稿が望ましいか また、どのような内容の投稿が特に想定されるか XR体験のあるべき姿 <ul style="list-style-type: none"> 安全・快適な体験を阻害する要素がないか どのようなユースケースの体験をしたいと思うか



コンテンツ配置マップ（体験ルート）



道案内コンテンツ



体験中の様子

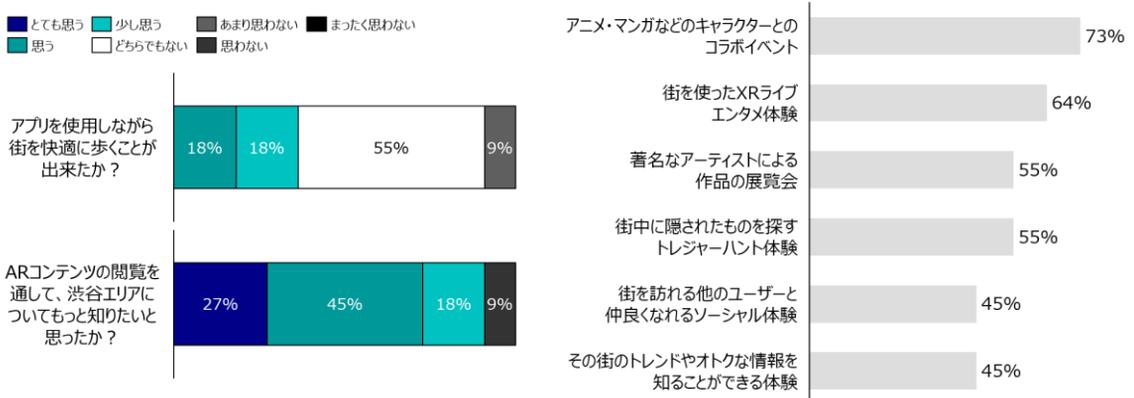
②実証システムの価値検証

検証結果

<p>コンテンツの視認性</p>	<ul style="list-style-type: none"> 他のユーザーの投稿は、情報鮮度を確保するための投稿日時や、年齢や性別などデモグラフィック情報がわかることを望む意見が多かった 物理空間だけでも情報量が多い都市空間の中で、更にデジタル情報が重畳される際にはユーザーの関心に合う情報のみが表示されていることが重要である 物理的な建物や歩行者で溢れている都市空間の中では、サイネージなどで一般的なサイズより数倍大きく、動きのあるコンテンツが注目を集めた。一方で大きなコンテンツは近づきすぎると全体が見えないなどの問題もあるため、ビューポイントを設定する、近づきすぎると非表示になるなどの仕組みが必要である スマートフォンの画面上でのAR表示では、小さなコンテンツや動きの小さいコンテンツは注意を引かず、文字情報はほとんど読まれなかった XRアプリでは現実空間の物体とARコンテンツの区別のつきにくさやコンテンツの重なりから見落としが発生するといったUX上の課題が見受けられ、使いやすさ向上のための磨きこみが必要
<p>ユーザー投稿機能およびコメントの有用性</p>	<ul style="list-style-type: none"> XRアプリ上で表示されるコメントはユーザーにとって有益かつ面白さにつながる 普段からSNSへの投稿を行うユーザーが本XRアプリでもコメント投稿のメインターゲットとなり得るが、その他の層にも投稿を促すにはクーポンや他者からのリアクションといった動機付けが必要
<p>XR体験のあるべき姿</p>	<ul style="list-style-type: none"> スマートフォンをかざしてARで情報やエンタメ体験を得られることが、新鮮であり楽しいというフィードバックが多く寄せられた。 街に関する思いもよらない発見に繋がったという意見もあった まち歩きへのXR利用のみでなく、コラボイベントやXR活用ライブといったエンタメ要素へのツール利用を望む声も寄せられ、他のユースケースの検討が必要とわかった

・ariumで体験してみたいユースケース

ARコンテンツを活用したまち歩きは、エンドユーザーから一定の満足度とニーズが寄せられた一方で、今回のテストにはなかったエンタメ寄りの体験に参加してみたい声も多い。



4-12-4 実証調査考察

①実証で得られた成果

3D都市モデルによる技術面での優位性

モデルの正確性	<ul style="list-style-type: none"> • CMSの性能検証で、コンテンツの表示誤差が概ね1m以内だったことには、PLATEAUのモデル自体が正確であることが寄与している。 • 今回使用したGeoSpatial APIや、同等の精度が出るVPSシステムと組み合わせて使用することで、他のロケーションでも同様に当プラットフォームを展開しうることが示唆された。
モデルの処理負荷とリアリティのバランス	<ul style="list-style-type: none"> • 今回使用したLoD2のテクスチャ付き建物モデルは、CMSの3Dエディタ上で背景モデルとして使用する際に、処理負荷とリアリティのバランスが適切だった。 • Webブラウザ上での処理に耐えうる処理負荷の範囲の中で、3Dエディタ上で建物を識別したり、建物の形状に合わせたコンテンツ配置を検討したりするのに十分なテクスチャ解像度や形状のリアリティが担保できていた。
PLATEAU配信サービスの活用	<ul style="list-style-type: none"> • 3D都市モデルを始めとしたデータ配信を行っているPLATEAU配信サービスを活用することで、ユーザーの所在地付近のモデルを読み込み、3Dの遮蔽処理（オクルージョン処理）に使用できる。 • ストリーミングに必要なデータだけを読み込んで使用できるため、アプリ自体のファイルサイズを大きくせず、3D都市モデルの対応エリア内で汎用的に活用できるようになると考えられる。 • 実証システムでは、事前にダウンロードした建物モデルを使用してモバイルARアプリ上でのオクルージョン処理を行った。安定的に動作する一方で、渋谷以外のロケーションで使用する場合には別途オクルージョン用のモデルをダウンロードしてアプリに入れ込んでおく必要がある。

3D都市モデルによるビジネス面での優位性

データの信頼性	<ul style="list-style-type: none"> • 3D都市モデルはユーザーが自由に編集できるマップではなく、自治体主導で整備・アップデートが進められるモデルであるため、データの信頼性が高いという優位性がある。 • モデルの正確性が今後も維持されるのであれば、他の3DモデルではなくPLATEAUの3D都市モデルを採用することでサービス自体の信頼性を高めることができると考えられる。
データの利用条件	<ul style="list-style-type: none"> • データを無料で改変・装飾して利用できる点に優位性がある。 • メタバース環境を構築する際には、ユースケースに合わせた空間の装飾やモデルの一部改変を行うことが想定されるが、PLATEAUの3D都市モデルは無料でデータ取得ができ、かつ、改変を自由に行える点が強みである。

②活用にあたっての課題

コンテンツの 探索/拡充	<ul style="list-style-type: none"> 都市空間やメタバースの中でコンテンツを展開しエンドユーザーに届けていくために更なるコンテンツの拡充が必須。 <ul style="list-style-type: none"> 事業者によるコンテンツ展開だけでは提供できる体験の量が限られてしまうため、ユーザー自身が投稿するコンテンツによりSNS・メディア的にユーザーが増えるようなコンテンツ設計が重要である。 今後、商業施設内や大規模なイベント施設内でのコンテンツ展開が予想されるため、屋内エリアで高精度・低コストでコンテンツ展開を行える仕組みを構築することが望ましい。 <ul style="list-style-type: none"> 実証実験では精度を上げるためにGoogleが提供するGeoSpatial APIを活用した結果、屋内利用は不可だった。 施設内に設置されたIoTデバイス（ビーコン、等）との連携による位置取得や屋内が再現される3D都市モデルの建築物LOD4の策定が望まれる。 CMSを企業ユーザーに向けて利用を促進するにはアプリの操作性向上、特にコンテンツ配置の操作性の改善が不可欠である。 <ul style="list-style-type: none"> 操作性に優れたUnityやBlenderとの連携によって配置操作等の編集は既存ツールを活用し、本CMSはデータのアップロードや座標変換に特化することで、操作性とデータ管理の効率性を両立しながら発展させることが望ましい。
モバイルARアプリ ・Webメタバース 環境の 使用ハードル低下	<ul style="list-style-type: none"> 要求するスペックの高さや歩きスマホの危険性等により、日常的にまちあるきで使うにはハードルが高いため、気軽にスマートフォンで利用でき、危険性の低いUI/UXの作り込みが必要。 スマホでの利用を想定し、インストール不要のWebXR体験の創出やインストールのインセンティブとなるようなアプリの提供価値を高める試みの両輪を進めていくことが必要。
環境の没入性の さらなる向上	<ul style="list-style-type: none"> 空間を演出できるライティングやフォグなどを簡単に編集して展開できると没入感の高い体験構築が可能になる

4-12-5 展望

今後は、ロケーションオーナーやコンテンツホルダーの企業と連携しながら、実際の施策を実施する中でプラットフォームとしての提供価値の向上や機能開発を進める。特に、事業者からも活用意向が寄せられたIPコンテンツの活用や、店舗・商業施設での販促などのユースケースで、パブリックな企画として実際にエンドユーザーを集めたイベントを開催することでプロダクトの継続的な改善を行っていく。本実証実験では渋谷エリアを対象としたが、今回構築した仕組みで3D都市モデルが提供されている他都市でも体験構築が可能のため、イベントや施策内容に合わせてアプリケーションの対応エリアを拡充していく。

また、令和2年度のProject PLATEAUの民間ユースケース開発「都市空間におけるAR/VRでのサイバー・フィジカル横断コミュニケーション」で構築した「GIBSON」の技術を活用し、リアルタイムコミュニケーションやアバターコミュニケーションの要素を組み合わせることで、特に親和性が高いと考えられるエンターテイメント・観光系のユースケース向けに没入感の高い体験の構築を進める。3D都市モデルを活用したより没入感の高いバーチャル空間を構築する方法を模索しながら、XRの体験を身近なものとして全国への普及拡大を目指す。

4-13 広告効果シミュレーションシステム（2022年度）

Symmetry Dimensions Inc.

<https://www.mlit.go.jp/plateau/use-case/uc22-004/>
https://www.mlit.go.jp/plateau/file/libraries/doc/plateau_tech_doc_0045_ver01.pdf

4-13-1 サービス概要

①事業・サービスの目的、ビジネスモデル、社会的意義

事業・サービスの目的と概要

現実の都市空間を再現する3D都市モデルを用いることで、OOH広告（屋外広告/AR広告）の視認エリアのターゲット属性をシミュレートし、最適な広告配信位置の提案を可能にする。さらに、このシステムをAR広告配信システムと組み合わせることにより、空間に制約されないARの利点を最大限生かした広告配信が可能となる。これらの有用性を検証することで、リアルとデジタルの双方の領域において広告ビジネスの新たな価値を創出する。

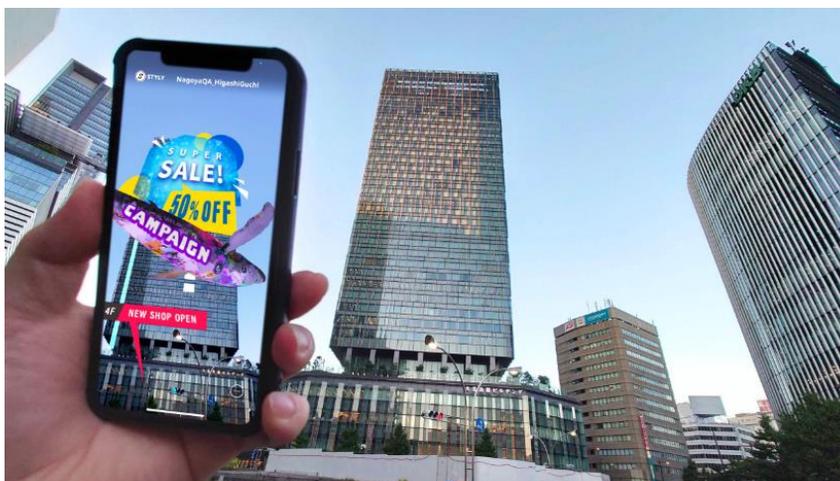
想定ビジネスモデル

- OOH（屋外広告・AR広告）広告効果予測サービス
 - 広告効果を過去人流データから予測するサービスを提供
- OOH（屋外広告・AR広告）広告管理、提案サービス
 - 広告媒体管理者・広告代理店が企業に対して、広告掲載を提案する際、3D都市モデルを見せながら実際の広告の場所を確認、イメージを共有しながら商談できるサービスを提供

社会的意義

昨今、「メタバース」、「デジタルツイン」、「ミラーワールド」など現実世界と仮想空間の情報を相互に活用する技術や概念の一般市場への浸透が進んでいる。同時に、第5世代移動通信システム(5G)の整備、ARデバイスの普及など、これらの概念を実現する環境も整いつつある。既存のOOH広告（屋外広告）に加え、これらAR技術を用いたOOH広告(AR広告)の登場が予想され、新たなビジネス領域・体験を生み出すと考えられる。様々なサービスを持つ企業との連携を実現しサービスの拡張、精度の向上を目指し、AR広告の配信に向けた広告シミュレーションプラットフォームとして全国の自治体及び企業への展開を目指す。

図4-13-1 AR広告のイメージ



4-13-2 実証調査詳細

①実証調査の目的・概要

実証調査の目的

OOH広告の効果測定やAR広告の効率的な配信システムを提供することで、リアルとデジタルの双方の領域において広告ビジネスの新たな価値を創出することを目的に、建築物に設置されたOOH広告（屋外広告）の視認エリアをシミュレートし視認エリア内を通過するユーザ特性を分析し、適切なターゲティングポリシーに基づく最適な広告配置を実現することで広告価値の定量化、可視化を行う。空間に制約されないAR広告の利点を最大限生かした広告配信が可能となるAR広告配信システムに広告効果シミュレータを組み合わせることで、ARにおける広告価値の最大化も狙う。

実証調査の概要

3D都市モデルと人流データを組み合わせた空間解析により、OOH広告及びAR広告の効果測定するシミュレータと、同シミュレータを外部のAR広告管理・配信システムと接続するためのAPIを開発する。開発したシステムの精度検証と同時に、将来のAR広告の社会普及に必要となる整理すべきルールに関する論点整理等を行うことで、広告ビジネスにおける3D都市モデルの有用性を検証する。

• 実証仮説

- 3D都市モデルを活用することで屋外広告やAR広告の広告の大きさや見え方等の視認範囲の計算の精緻化と3D可視化による直感的な把握を促進する。
- 計算された視認範囲と人流データを組み合わせた広告効果シミュレーションにより、これまで実現できていなかった広告効果を人の属性（年齢、性別）ごと定量化することができるため、広告掲載検討業務の効率化に寄与する。
- 3D都市モデルを広告効果シミュレーションとARのオクルージョンの双方に用いることでAR広告の視認範囲の計算結果の精度を高められる。

• 検証ポイント

- 広告効果シミュレーションシステムの広告視認範囲計算精度の検証
 - 4つの広告掲載パターンにおいて、それらの可視範囲計算が正しく行われているかを検証する。
- 広告効果シミュレーションシステムのヒートマップ生成精度の検証
 - 3パターン人流データにおいて、ターゲット情報をもとにヒートマップが正しく表示されているかを検証する。
- 開発システム（広告効果シミュレーションシステム・AR広告配信システム）の有用性検証
 - 民間企業（広告主、広告代理店、媒体主）と自治体に対して、デモ体験会とアンケート・ヒアリングを実施する。

②実証調査の対象エリア

対象エリア

東京都渋谷区 渋谷駅周辺エリア（半径1km／対象面積3.14km²）

エリア選定理由

渋谷区は「バーチャル渋谷」「デジタルツイン渋谷」の取り組みなど、AR/VRを活用した取り組みが活発に進んでおり、渋谷未来デザインに参画する複数の企業がバーチャルシティコンソーシアム、一般社団法人メタバースジャパンへ参加しており、本実証におけるAR広告のガイドライン策定のためのインプット導出に適した企業が集積していることから選定。

図4-13-2 3D都市モデル利用範囲



③実証調査に向け開発されたサービス

3D都市モデルのLOD2建築物モデルのジオメトリを利用した、OOH広告（屋外広告/AR広告）の広告効果シミュレーションシステム及び、これと連携したARコンテンツ管理・配信API（AR広告配信システム）を開発した。

開発されたサービス概要

• 広告効果シミュレーションシステム

- 都市内に配置されたOOH広告を視認することができる地理的範囲を演算するシステムを開発した。視認範囲の算出は、Wall Tracking（視認範囲を求めたい1点から周囲に円を描くように遮蔽物（建物）がないかをスキャンし、遮蔽領域を特定する）と呼ばれるアルゴリズムを用いた。
- また、視認範囲の計算結果に基づき、ある地点にOOH広告を掲示した場合の効果を実量的に評価するため、視認範囲に含まれる人流情報を解析する仕組みを構築し、広告を目にし得る人数（リーチ数）やその属性情報を任意のOOH広告ごとに表示することができる。
- OOH広告の場所をユーザーが指定する場合とは別に、人流分布を俯瞰で把握し、最適な掲示場所を検討できるよう、人流データをヒートマップ化して表示する機能や、ユーザーによる操作、パラメータ入力、演算結果の可視化等のため、フロントエンドにCesiumJSを用いたWebGISシステムを開発した。

• AR広告配信システム

- 広告効果シミュレーションシステムを用いてAR広告の設置場所を決定したユーザーが、そのままAR広告を作成・編集・配信できる仕組みを構築。
- 広告効果シミュレーションシステム上で設定された設置場所の位置情報を、API経由でARコンテンツ管理・配信プラットフォームである「STYLY」（Psychic VR Lab社）へ提供する機能を開発した。また、「STYLY」側では3D都市モデルを配置したエディターが準備されており、建築物によるオクルージョンを再現したAR広告の配信が可能となっている。

図4-13-3 開発されたサービスのイメージ



STYLY スマホアプリARコンテンツ

導入する新技術・実証技術

- 広告効果シミュレーション

予め登録されたOOH広告を選択することで、視認エリア内の人流データを表示したり、OOH広告配信を検討する任意の位置へ3Dオブジェクトを配置することで、視認エリアの可視化及び人流データを用いた広告効果のシミュレーションを行うことができる。

- OOH広告(屋外広告/AR広告)の最適配信エリア提案

ユーザーが広告配信のターゲットとなる属性を入力することで、事前に登録した人流データを元にヒートマップとして各時間別に表示することができる。

- CesiumJS

Webブラウザで3D地球儀を表示するためのオープンソースのJavascriptライブラリで、CesiumエンジンによるWebGLベースでの様々な3Dデータの表示機能がある。

- MapLibre

高速な描画を特徴とする地図を表示するためのJavascriptライブラリで、WebGLによるマップタイル（ベクターデータ、ラスターデータ）の表示やGeoJsonの表示機能がある。

- PostGIS

地理情報システム（GIS : Geographic Information Systems）を扱うためのPostgreSQL の拡張モジュール。

- ARCore Geospatial API

Google社が提供しているARCoreに含まれるカメラ画像を使った自己位置推定機能（VPS = Visual Positioning System）。

- STYLY Studio、STYLY Mobile

Psychic VR Lab社が提供するAR空間制作サービスで、「STYLY Mobile」はAR空間視聴アプリケーション。

- Symmetry Digital Twin Cloud

Symmetry Dimensions Inc.が提供する様々なGISデータを組み合わせてWeb上で閲覧できるデジタルツインプラットフォーム。

実証システム図

図4-13-4 システムアーキテクチャ全体図

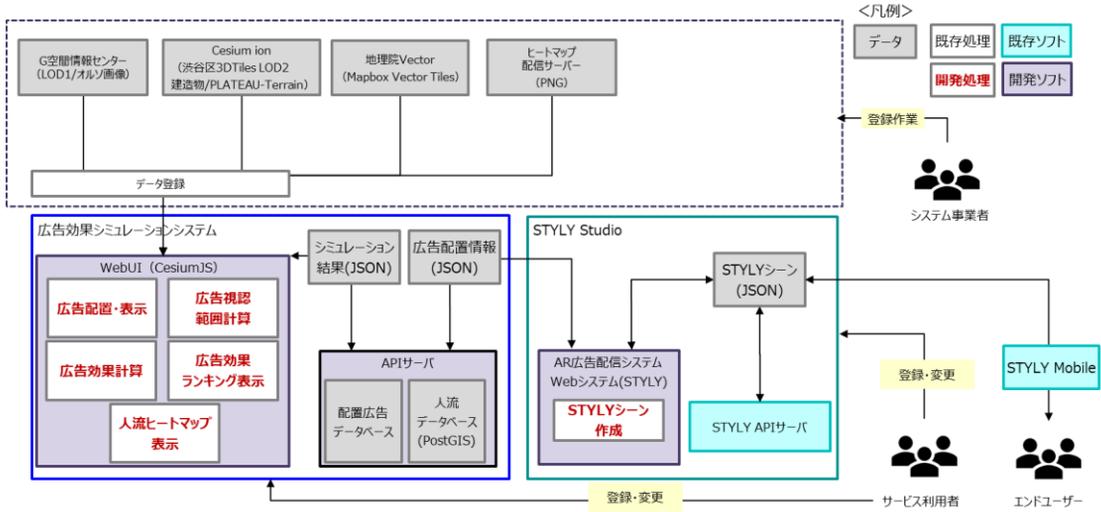
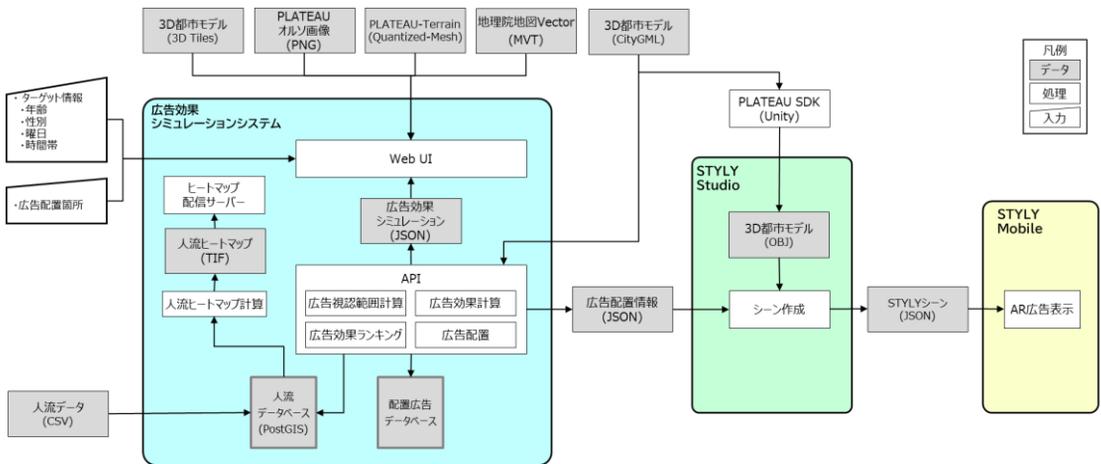


図4-13-5 データアーキテクチャ全体図



④3D都市モデル (CityGML) の活用方法

3D都市モデルが保有する緯度経度情報によるAR広告コンテンツの配置に利用。

利用された3D都市モデルの仕様

- 対象エリアのLOD1地物モデル、 LOD2建築物モデル

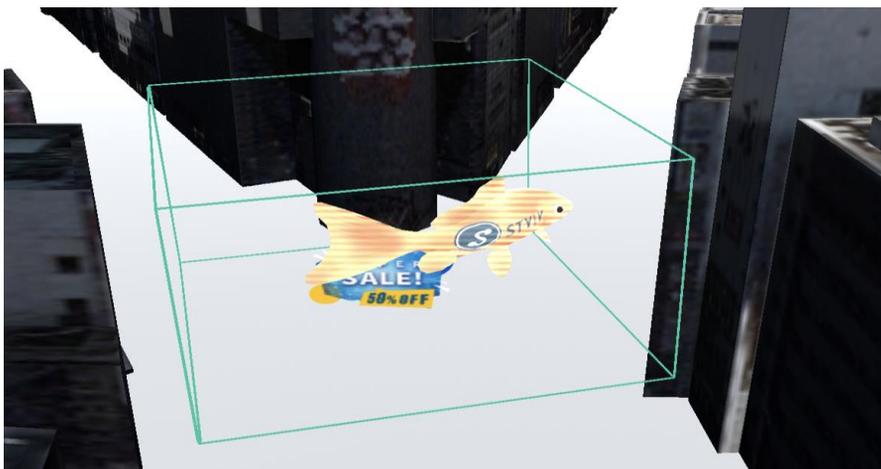
3D都市モデルの用途

- 3D都市モデルを用いることで、VPS技術を活用し、任意の位置に設定したAR広告を現実世界の正しい位置へ配信する。

3D都市モデル活用のためのソフトウェア

- 変換
 - 建築物LOD2モデルのCityGML形式からOBJ形式へ変換（処理ソフト：PLATEAU SDK（Unity））
- 3D都市モデル利用システム
 - CesiumJS
 - STYLY

図4-13-6 3D都市モデルの位置情報によるコンテンツ配置



4-13-3 実証調査結果

① 視認範囲計算精度検証

OOH広告とAR広告を想定した4つの広告掲載パターンについて、視認範囲の計算精度の検証を行った。

検証内容

- 可視範囲計算が正しく行われているかを検証
- 広告掲載パターンは4つを設定
 - No.1 平面型看板・渋谷スクランブル交差点
 - No.2 立方体型看板・渋谷スクランブル交差点
 - No.3 平面体型看板・渋谷109
 - No.4 立方体型看板・渋谷109

検証フロー

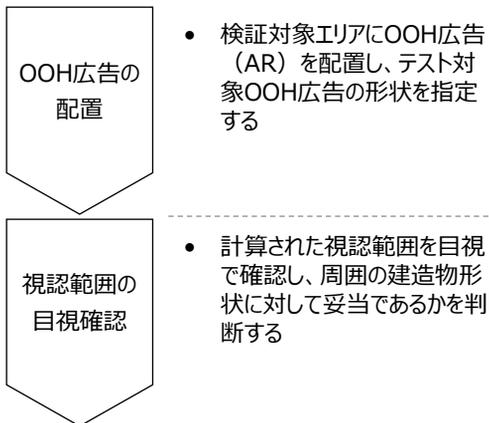


図4-13-7 検証範囲



検証結果

4つのパターンに対し、どれも可視範囲計算が適切に行われていることが確認できた。

広告掲載パターン	結果	検出された課題
No.1 平面型看板・渋谷スクランブル交差点	<ul style="list-style-type: none"> • 広告及び周辺の建造物の形状に対して妥当な結果である <ul style="list-style-type: none"> - 設定した最大100mの視認範囲を可視化できている - 建造物による遮蔽を踏まえた視認範囲を反映できている（一部利用した地図の差異による漏れあり） 	<ul style="list-style-type: none"> • 人間が通行不可能なエリアが存在する
No.2 立方体型看板・渋谷スクランブル交差点		
No.3 平面型看板・渋谷109		
No.4 立方体型看板・渋谷109		

②ヒートマップ精度検証

人流データを用いたヒートマップ表示が正しく行われるか、3つのパターンを用意し検証を行った。

検証内容

- 人流データを用いたヒートマップ表示について、ターゲット情報をもとに正しく表示が行われているかを検証
- 人流データパターンは3つを設定
 - A.条件なし（すべてのデータ）
 - B.40代、50代、60代以上男性、平日
 - C.10代、20代、30代女性、平日

検証フロー

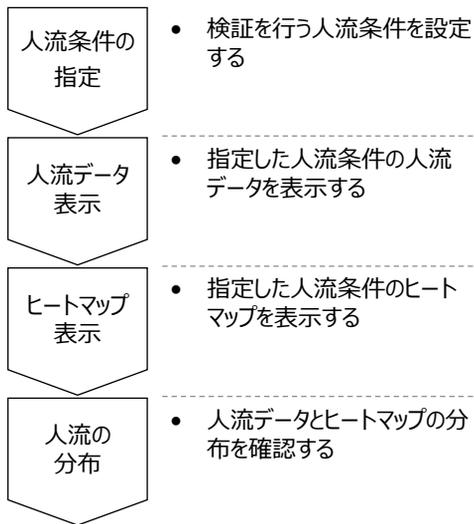
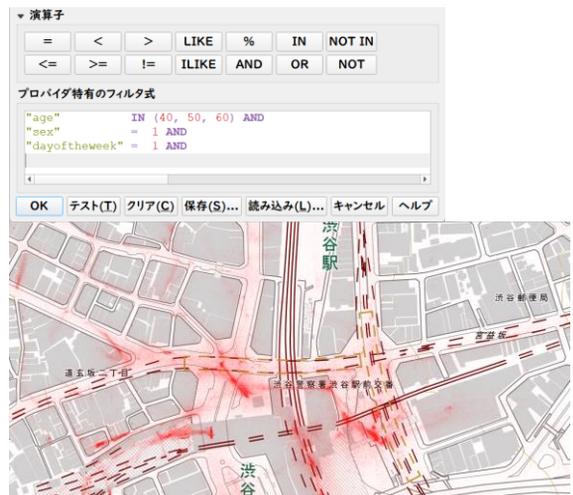


図4-13-8 検証範囲



検証結果

人流データ・ヒートマップ表示を行いそれぞれを比較すると、計算結果としては正常であったものの見た目上は差異が見られ、分かり易さに課題が残る結果となった。

シナリオ	人流データ	ヒートマップ表示	結果の考察
A. 条件なし（すべてのデータ）			<p>結果</p> <ul style="list-style-type: none"> 分布としては概ね一致している 見た目上ではベクターデータ（点のデータ）と画像データでの差異があるように見える <ul style="list-style-type: none"> 縮尺に対しての大きさや着色の設定を完全に同一の表示にすることはできないため <p>結論</p> <ul style="list-style-type: none"> 計算そのものは正常に行われている わかりやすさにおける課題として、ヒートマップが相対値であることが挙げられる
B. 40代、50代、60代以上 男性 平日			
C. 10代、20代、30代 女性 平日			

③開発システムの有用性検証

ヒアリングによって、開発した広告効果シミュレーションシステム、AR広告配信システムシステムの実用性・有用性の検証を行った。

ヒアリング対象者

広告条例関係者、広告代理店・媒体主、広告主を対象にヒアリングを実施

検証結果

図4-13-9 ヒアリング結果概要

	開発システム全般の有用性		サービス化への利用意向	
広告条例関係者	<p>広告効果が可視化されることは行政面でも活用余地があるという声が寄せられたものの、安全性への懸念が見られたため、歩きながらのスマホ操作を推奨することのないUX設計が必要になる。</p>		<p>サービス化の肯定的な利用意向は7割程度あり、自治体の賑わい創出・密集回避のための仕組みとしての活用予知が示唆された。</p>	
	広告シミュレーションシステムの有用性	広告シミュレーションシステムの使い勝手	AR広告配信システム	サービス化への利用意向
広告代理店・媒体主	<p>シミュレーション試算前提や結果表示時の根拠を明確に示してほしいと要望が寄せられており、既存広告を棄損しないシミュレーションになることが求められている。</p>	<p>広告表示機能はわかりやすさが肝要なため、複数の広告が重なる空間内で識別しやすいように視認性向上の検討が必要。</p>	<p>Webシステム・ARアプリ双方とも操作の簡易さや直感的なわかりやすさが高く評価されている。</p>	<p>サービス化に対してネガティブなコメントは寄せられていないが、既存の人流可視化ソリューションとの差別化が不足していることがわかった。</p>
広告主	<p>広告効果シミュレーションシステムはおおむね高評価を得られているが、結果表示のわかりにくさを指摘する声もあるため、広告主向けのチューニングが求められていると考えられる。</p>	<p>広告シミュレーションシステムは普段ツールを利用しないような広告主にとってもわかりやすく構成されているといえる。</p>	<p>3D都市モデルを使ったことで、現地でのAR広告の配信イメージを想起させることができた。</p>	<p>広告主に対して、広告効果シミュレーションの利用メリットの訴求することが必要と考えられる。</p>

④AR広告の社会普及に向けた討議（AR広告検討会）

都市空間におけるARコンテンツ・広告の課題や既存の条例についての課題・論点の整理を行い、将来のAR広告の社会普及に必要な整理すべきルールに関する議論を行った。

検討対象	検討会での論点	ガイドライン検討に向けて整理が必要なテーマ
広告物	<ul style="list-style-type: none"> AR屋外広告の規定 ARによるアート作品と屋外広告物の切り分け 	<ul style="list-style-type: none"> AR屋外広告物の規定 AR屋外広告物の「高さ」「面積」についての定め ARによるアート作品と屋外広告物との切り分け 新たな広告物の可能性 (位置情報をもとにした、映像を伴わない音声等のAR屋外広告、ARアート作品)
設置場所	<ul style="list-style-type: none"> 屋外広告物の設置禁止場所・物件 	<ul style="list-style-type: none"> AR屋外広告物の設置禁止場所・物件 AR屋外広告物のエリアターゲティング（ジオフェンシング）
配信	<ul style="list-style-type: none"> 既存の法令に準ずるか、新たな取扱いを検討するか AR屋外広告物は屋外広告業の登録をしていない企業でも配信を可能とするか 	<ul style="list-style-type: none"> ガイドライン又は条例に違反しているAR屋外広告の簡易除去 屋外広告業の登録をしていない企業又は個人の配信 AR屋外広告物の「オプトイン」「オプトアウト」 既存屋外広告媒体との連携、等のガイドラインの共有

4-13-4 実証調査考察

①実証で得られた成果

3D都市モデルによる技術面での優位性

<p>広告効果の定量化の視認エリアの計算及び表示</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 広告の大きさや広告の見え方などを直感的に把握することができる。 • 都市空間の建造物の遮蔽を考慮した視認範囲のシミュレーションをすることができる。
<p>AR オクルージョン</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 建物モデルをAR広告を配信・表示する際のARオクルージョンに活用することができる。 - AR広告におけるリアリティ表現のためにはARのオクルージョンが欠かせない。 - オクルージョン表現と広告の視認範囲の確認をするモデルを同一とすることができるため、リアリティを担保しながら正確な視認範囲から広告効果シミュレーションをできることは精度の面で大きなメリットである。
<p>コンテンツ開発におけるコスト削減</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 3D都市モデルのグローバル座標により、地理座標に基づくARコンテンツを低コストで開発することができる。

3D都市モデルによるビジネス面での優位性

<p>広告効果の定量化、俯瞰的な効果の把握</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 3D都市モデルと人流データを組み合わせることで、OOH広告、AR広告の視認エリアの算出とそこに含まれる人流に基づく広告効果を定量化することができる。 - 定量化した広告効果を3D都市モデル上の人流ヒートマップと合わせて確認できるため、その効果を俯瞰的に把握することができる。
<p>広告掲載検討の簡略化</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 3D都市モデル整備範囲と人流データ取得範囲の中であれば、周辺環境の状況を加味した広告掲載の検討が行えるため、現地に行かず机上での広告掲載検討が可能となる。 - エリアでの広告効果（視認性・リーチ人数）を現地に行かずに確認できる。 - 他の広告が掲載されている状態での広告効果を確認できる。
<p>AR広告への活用</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 3D都市モデルを使うことでARコンテンツの開発の敷居が下がり、AR広告の実現性が高まった。 • 3D都市モデルの建築物モデルを使った、ビルの後ろに潜り込むなどの都市空間を使ったコンテンツ表現（オクルージョン）は新たな広告表現として活用価値が見込まれる。

②活用にあたっての課題

歩行可能エリアの精緻化	<ul style="list-style-type: none"> ・一般歩行者が自由に通行できる範囲を定義するデータがなく、アルゴリズムにも反映できていないため、ビルのわずかな隙間や通行規制エリア等も視認範囲とみなされている。 - 属性データの活用（車道か否か）や隙間距離からの通行の可否など3D都市モデルの更なる活用が必要である。
音声情報の広告効果組み込み	<ul style="list-style-type: none"> ・視覚情報への広告効果はシミュレーションされているが、音声を発する広告媒体の評価が不十分。 - 視認エリアに加えて音声等の可聴エリアのデータ整備及び計算が必要である。
データ整備及び計算の高度化	<ul style="list-style-type: none"> ・OOH広告設置後の行動変容を分析・検討するための人流データおよび行動属性が不十分。 - 人流データの経路情報、進行方向、滞在時間等が必要になる。
外部団体との指標・ガイドラインの策定	<ul style="list-style-type: none"> ・広告効果等の広告媒体価値情報の計算方法や分析測定のためのデータ取得のガイドラインの策定ができていない。 - ガイドラインに基づいた計算方法など、ターゲットユーザーと合意ができるアルゴリズムが必要である。
規制情報のビューワー表示開発	<ul style="list-style-type: none"> ・屋外広告条例、景観条例、地権者による施設ルール等の規制情報がシミュレーションに反映されていない。 - 広告内容も踏まえたシミュレーション設定項目の追加が必要である。
利用制限及びシステム管理	<ul style="list-style-type: none"> ・自社広告媒体情報へのアクセス制限や管理者権限等の設定機能が不足している。 - 他の広告主の情報などが本システムを介して漏洩しないための、セキュリティ機能の追加が必要である。
広告効果数値の取扱い	<ul style="list-style-type: none"> ・広告効果のシミュレーションに必要なデータの取得方法やシミュレーション結果の開示方法についてのガイドラインが必要。 - AR広告の魅力を高めるには、人流データだけではなく購買行動や、なぜ、どこから、なんのために来たか等の情報も必要。
ルール・制度化	<ul style="list-style-type: none"> ・AR広告の普及、活用促進に向けて出展ルールや表現に関するガイドラインの作成が必要。

4-13-5 展望

3D都市モデルを用いた広告効果シミュレーションシステム及びAR広告配信システムは広告掲載検討業務の効率化に有効であることが確認できたことから、実用化に向けてさらに検討を進めていく。具体的には、業界団体とのシミュレーション実施時の基準策定や人流データに含まれる経路情報、進行方向、移動方法、滞在時間、該当場所に訪れる目的といった属性情報やARコンテンツで使用するローカル座標、空間座標についてガイドラインの策定を行い、広告効果シミュレーションの精度を高めていきたい。

本取り組みの中で、システムの開発に合わせ将来のAR広告の社会普及に必要と考えられる論点の整理を行うため、広告主、広告代理店等の企業を対象にAR広告検討会を開催した。広告媒体価値の算出基準、屋外広告条例、景観条例、地権者による施設ルールといった将来的なガイドライン策定に向けた議論及びシステムの機能向上を継続的に行うことで、広告主、広告代理店等のステークホルダーの価値を毀損せず、広告を見る一般の方にとってもメリットのあるAR広告体験を生み出していきたい。

4-14 XRを活用した観光バスツアー（2021年度）

京浜急行電鉄株式会社、株式会社シナスタジア、株式会社ネイキッド、KDDI株式会社、株式会社Psychic VR Lab、株式会社角川アスキー総合研究所、株式会社サムライインキュベート、横浜市都市整備局

<https://www.mlit.go.jp/plateau/use-case/uc21-005-2/>

4-14-1 サービス概要

①事業・サービスの目的、ビジネスモデル、社会的意義

事業・サービスの目的と概要

現在、観光産業は厳しい状況にあるが、ポストコロナを見据えた地域経済の活性化に向けて文化・自然等の既存の観光資源とデジタル技術の掛け合わせによる体験価値の向上や観光消費額の増加に向けた取組が行われている。

本実証実験では、3D都市モデルをベースに横浜・みなとみらいエリアのメタバースを構築し、これをオクルージョンとして利用したXRコンテンツを開発した。さらに、XRコンテンツをオープントップバスと組み合わせた観光バスツアーとして提供することで、そのサービス価値の検証を行った。

想定ビジネスモデル

- XRを活用した観光バスツアー参加者からの収入
 - 長期間の運行に向けたコンテンツの抜本的な入れ替え（シーズンを意識したコンテンツ作成等）
- 広告等収入
 - 法人広告収入やコラボレーションによる収益源の多角化

社会的意義

横浜は日本の近代文化発祥の地であり、観光においては、みなとみらい、赤レンガ倉庫、元町・中華街などが近接して混在する有数の人気都市である。しかしながら、横浜では「コロナ以前インバウンド拡大の時期でも訪日外国人宿泊者数が他都市ほど増員していない、宿泊者数が日本全体の1%未満、観光消費額が少ない」ことが観光の課題とされている。そこで、地域の魅力をデジタルコンテンツを通じて発信することで、地域の各観光スポットや商業施設での滞在時間の増加を促し、横浜地域全体での消費金額の拡大を目指す価値は大きいといえる。

また、今後、自動運転社会が到来すれば、移動中の非消費時間がさらに発生することとなる。新たに生まれた時間を活用した新たな消費への先駆けとして、モビリティ架装型XR機器を普及させ、乗り物に乗る時間を単なる移動から楽しい体験へと昇華を目指す。

図4-14-1 KEIKYU OPEN TOP BUS YOKOHAMA-NAKED XR TOUR



4-14-2 実証調査詳細

①実証調査の目的・概要

実証調査の目的

XRツアー実施のために必要な複数のソフトウェア開発やハードウェア改良を行い、昨年12月より KEIKYU OPEN TOP BUS YOKOHAMA-NAKED XR TOURを実施。体験の没入感、体験の快適性、体験の安定性、XRバスの需要、XRバスの訴求の5つの観点でKPIを設定し、実証実験の効果を検証することを目的とする。

実証調査の概要

今回の実証実験では、観光庁と国土交通省都市局が連携し、横浜・みなとみらいエリアで3D都市モデルを活用したXR技術および高精度位置認識技術によるXR観光バスツアーという新たな観光体験アトラクションを提供し、そのサービス価値を検証。屋外を走行するバスという特殊な環境下において、スケジューリング技術・予測技術・プランニング技術などを用いて、交通状況ごとに変化する走行状況の「間」に自動チューニングされたElastic（弾力性のある）な観光コンテンツを造成するとともに、3D都市モデルを活用した横浜一帯のメタバースを構築や没入感を高めるため現実世界の物体の前後関係を反映するオクルージョン技術の開発を行った。

- 本事業で実施したツアー概要（【活用した観光資源】の代表的な例を含めて記載）
 - 【赤レンガ倉庫】出発後、時空トンネルをめぐり未来のみなとみらいへとワープ
 - 【よこはまコスモワールド】【パシフィコ横浜】【ランドマークタワー】【さくら通り】などがデジタルと融合された世界に変貌
 - 【YOKOHAMA AIR CABIN】や対岸から見る【大観覧車コスモクロック21】などが拡張したかのように、街全体が未来の遊園地のような世界が広がる
 - 【横浜市庁舎】【馬車道】を走行しながら海中都市へ変化、海の世界と街が融合、やがて海中の世界のみ（VR）となり、海中トンネルを抜ける
 - クライマックスの【大さん橋】では、みなとみらいの景色に様々な要素が融合し希望を照らす花火（VR）を鑑賞

②実証調査の対象エリア

対象エリア

神奈川県横浜市 赤レンガ倉庫前を始点・終点として、みなとみらい地区を巡るルート

エリア選定理由

横浜は日本の近代文化発祥の地であり、観光においては、みなとみらい、赤レンガ倉庫、元町・中華街などが近接して混在する有数の人気都市である。しかし、横浜では「コロナ以前インバウンド拡大の時期でも訪日外国人宿泊者数が他都市ほど増員していない、宿泊者数が日本全体の1%未満、観光消費額が少ない」ことが観光の課題とされている。

図4-14-2 検討対象範囲（バスツアールート、3D都市モデル活用エリア）



③実証調査に向け開発されたサービス（開発技術）

株式会社シナスタジアが開発を行った特別仕様の精密機器を含む独自キット『Ride Vision Kit』をヘッドマウントXRデバイスとし、株式会社ネイキッドが制作した新規XRコンテンツを「NAKED XR TOUR」として造成。これを京急電鉄が所有する『KEIKYU OPEN TOP BUS横浜』に搭載して提供するサービスを開発した。

実際のバスツアーでは、オーブントップバス運行ルート上の建物や施設をデジタルと融合させて鑑賞する。赤レンガ倉庫を発着箇所として、様々な建物、とりわけ横浜らしい新旧の建造物など、周遊ルート上から眺めることのできるリアル（実写の景色）とバーチャル（デジタルの観光情報）の融合体験やミラーワールドに完全に没入する体験を提供した。

表4-14-1 開発技術の概要

技術名	技術の概要	特徴・新規性（場所・技術・コト）
オクルージョン	移動体・屋外という特殊環境下でのオクルージョン技術の実現する。 ※オクルージョンとは、“塞ぐ”を意味する英単語「occlude」で、手前にある物体が後ろにある物体を隠す状態のこと。 空間認識によって現実世界の物体の前後関係を把握し、物体の場所によってコンテンツの一部を隠したり、表示させたりすることができ、XRで表現されたものをより本物のように感じさせることができる。	<ul style="list-style-type: none"> ・ Self Occlusion（乗客の両手に対するオクルージョン） ・ Passenger-Passenger Occlusion（他の乗客に対するオクルージョン） ・ Vehicle Occlusion（車両ピラーに対するオクルージョン） ・ World Occlusion（周囲の建物に対するオクルージョン）
Elastic Contents Development Tool	従来の「長年の勘と経験」によるガイディングの「黙認知」を技術を用いて、交通状況毎に自動調整された観光コンテンツを実現する。	<ul style="list-style-type: none"> ・ 一定の体験品質 ・ ドライバー安全運転集中による高安全性 ・ 高展開性
PLATEAUとの連携（3D都市モデル活用）	開発したPLATEAU連携機能およびその関連ツールはPLATEAUのGitHubリポジトリへプルリクエストする事で開示を行う。	<ul style="list-style-type: none"> ・ 高精度三次元点群地図データとの位置合わせ ・ XR映像内の未来都市や海底都市世界といったバーチャル空間データとして利用 ・ 周囲の建物に対するXR映像のオクルージョンに利用 ・ 体験品質向上のために、元データより高いLODにモデル加工し、世界観に合わせてテクスチャ等演出面での加工を施した ・ 事業水平展開による効率化

図4-14-3 オクルージョン技術の開発要素（1/2）

1. Self Occlusion

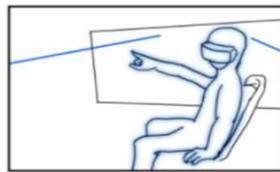


既存ライブラリ：
- ARcore, ARkit - スマートフォン用ライブラリでHMDには使用不可。

新規開発要素：
- HMDで利用可能なHand Occlusion機能。深度推定結果・輪郭抽出結果などを用いて画像上での手の検出・追跡・オクルージョンを行う

使用予定ライブラリ：
- OpenCV - 汎用的なコンピュータビジョン向けライブラリで、汎用的な輪郭抽出機能を提供。

2. Passenger - Passenger Occlusion



既存ライブラリ：
- ARcore, ARkit - スマートフォン用ライブラリでHMDには使用不可。

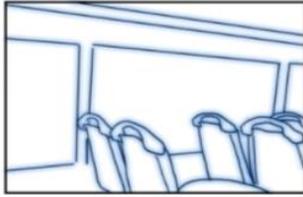
新規開発要素：
- HMDの位置推定情報・深度推定結果・輪郭抽出結果を元に他の乗客の画像上での輪郭検出・追跡・オクルージョンを行う

使用予定ライブラリ：
- OpenCV - 汎用的なコンピュータビジョン向けライブラリで、汎用的な輪郭抽出機能を提供。

横浜・みなとみらいエリアのメタバスは、3D都市モデルと独自に取得した高精度三次元点群地図データを位置合わせすることで構築。移動体・屋外という特殊環境下においてAR・VRコンテンツを提供するため、3D都市モデルをオクルージョンマスクとして利用する技術検証を実施した。

図4-14-3 オクルージョン技術の開発要素 (2/2)

3. Vehicle Occlusion



既存ライブラリ：
- 無し

新規開発要素：
- 車体の形状を事前知識として、カメラからの映像と比較することで車体フレームの境界判定を行い、窓枠の内外の境目に合わせてバーチャル映像を切り、没入感を高める機能。

使用予定ライブラリ：
- 無し。独自システムと車両の設計図面を元に開発

4. World Occlusion(Static)



既存ライブラリ：
- 無し

新規開発要素：
- 都市3Dデータ・車両位置情報・車体形状・HMD位置を事前知識として、カメラからの映像と比較することで建物の境界判定を行い、建物境界の内外の境目に合わせてバーチャル映像を切り、没入感を高める機能。

使用予定ライブラリ：
- PLATEAU。併せて、当初開発計画どおり、PCL(Point Cloud Library.汎用的な点群地図ライブラリ)を併用する可能性あり。

図4-14-4 実証に使用された観光バスと実証イメージ



④3D都市モデル (CityGML) の活用方法

XR観光コンテンツを配置するための位置合わせや、オクルージョンマスクとして3D都市モデルを利用している。

利用された3D都市モデルの仕様

- 横浜・みなとみらい地区のLOD1モデル及びLOD2モデル
- テクスチャ (20cm)

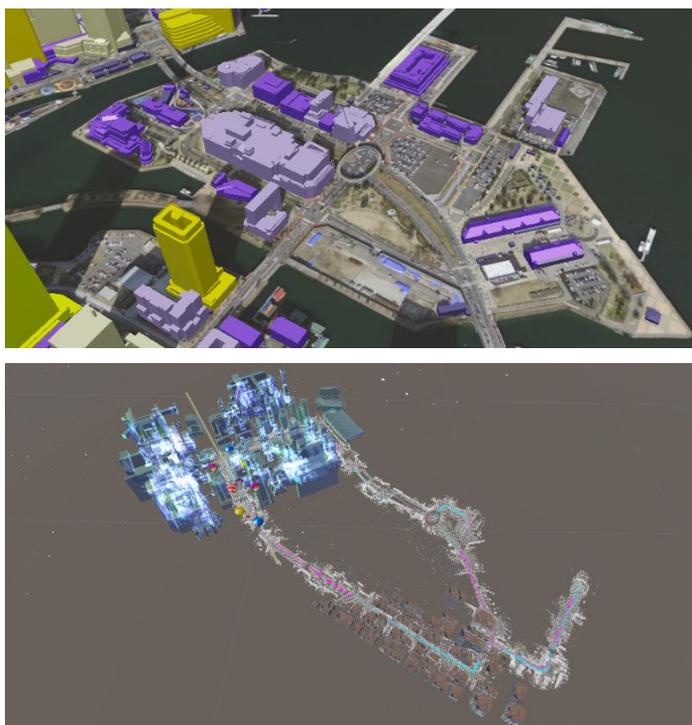
3D都市モデルの用途

- 高精度三次元点群地図データとの位置合わせ(LOD1)
- 周囲の建物に対するXR映像のオクルージョンマスクとしての利用(LOD1)
 - 3D都市モデルは位置精度が担保されているため、特に高層建物が密集する都市部におけるオクルージョンマスクとしての利用に適している
- XR映像内の未来都市や海底都市世界といったバーチャル空間データとして利用(LOD2)
 - 体験品質・価値向上のため、元データより高いLODにモデル加工し、世界観に合わせてテクスチャ等演出面での加工を施した

3D都市モデル活用のためのソフトウェア

- CityGMLの変換
 - FBX形式で利用
- 3D都市モデルの加工
 - Cinema4D
 - Unity
- 3D都市モデル利用システム
 - RideVision

図4-14-5 3D都市モデル(上図 : LOD2)とデータ生成イメージ(下図)



4-14-3 実証調査結果

実証実験として実施した定期運行ツアーは、9割近い予約率となり、約380名が参加し、XRによる観光コンテンツの集客力及び注目度の高さが明らかになった。

今回の実証実験により、高精度三次元点群地図データと3D都市モデルデータの位置合わせをすることにより、XR映像内の未来都市や海底都市世界といったバーチャル空間データとして利用可能であることが確認できた。

① ツアー予約・参加状況

- ・単価4,000円（税込）にて販売。
- ・計32回実施、829名に予約（新型コロナウイルスや雨天等の中止により379名の参加）
※新型コロナウイルスの影響等で約半数の席がキャンセルとなった。

| XRバス 予約状況

2022年1月31日更新

	増便A	1便	2便	増便B	3便	4便	5便	予約全	乗車全	枠	率	備考
	10:20	11:30	12:40	16:30	18:00	19:00	20:00					
12月18日（土）	-	10	13	-	10	6	7	46	46	70	65.7%	
12月19日（日）	-	14	14	-	11	8	4	51	51	64	79.7%	
12月25日（土）	-	12	12	-	12	12	12	60	36	60	100.0%	③④⑤雨天による中止
12月26日（日）	-	12	12	-	12	12	8	56	24	56	100.0%	①2名返金 ②③④⑤システム不良による中止
1月8日（土）	-	14	14	-	13	13	9	63	61	66	95.5%	
1月9日（日）	-	14	14	-	14	14	10	66	66	66	100.0%	④1名返金
1月16日（日）	14	14	14	14	14	14	14	98	95	98	100.0%	
1月22日（土）	14	14	14	11	14	14	14	95	0	95	100.0%	まん防で全中止
1月23日（日）	14	14	14	14	14	14	14	98	0	98	100.0%	〃
1月29日（土）	14	14	14	14	14	14	14	98	0	98	100.0%	〃
1月30日（日）	14	14	14	14	14	14	14	98	0	98	100.0%	〃
計	70	146	149	67	142	135	120	829	379	869	95.4%	
償ごとの乗車率	100.0%	97.3%	99.3%	100.0%	95.9%	91.2%	90.2%	472			54.3%	返金対応

② ツアー参加者の感想・コメント

- ・現実とXRの融合を初めて体験して、感動した。
- ・自分の手の動きを検知して映像に反映されるのが面白かった。
- ・オクルージョン技術によって、同様の体験よりも見え方がよかった
- ・交通状況によってコンテンツ内容にズレが生じない技術の高さを感じることができた。
- ・さらに横浜らしさのあるプログラムになると、バスを降りた後に周辺に立ち寄りたくなる。

③ WEBマーケティングの実施

利用媒体	メニュー	掲載期間	実績PV数
ウォーカープラス	ニュースタイアップ	2021/12/17-2022/1/14	7,492
ASCII.jp	レジャー&ショッピング	2021/12/16-2022/1/12	5,473

利用媒体	掲載期間	インプレッション数	クリック数(PV数)	クリック率
Google ディスプレイ広告	2021/12/16-2022/1/20	595,374	3,047	0.51%
Yahoo! ディスプレイ広告	2021/12/16-2022/1/20	3,357,877	3,504	0.10%
LINE 広告	2021/12/20-2022/1/20	315,613	2,335	0.74%
Instagram 広告 (フィード、ストーリーズ)	2021/12/16-2022/1/20	47,195	1,239	2.63%
Twitter 広告	2021/12/16-2022/1/20	468,467	1,019	0.22%

③KPIの達成状況と考察

オクルージョン技術開発について、体験品質の向上にあたっては、オリジナルの3D都市モデルデータより高いLODへの加工を行い、世界観に合わせたテクスチャ等の演出を施したが、映像制作コストの低減や、より没入感の高い体験へつなげることができた。また、PLATEAUデータの活用を含む4つのオクルージョン技術の開発は順調に進み、顧客満足に十分な精度でのオクルージョンを実現。他方で、天候不良や機器の接触不良などのトラブルもあり、モビリティ内でのXR体験の総合的な満足度向上に対する課題も明確化された。

表4-14-2 本実証のKPIの達成状況

設定したKPI	達成状況	結果と考察
Self Occlusionの実装	達成	乗客自身のハンドオクルージョン・トラッキングを達成。乗客自身の手とその他の乗客の手の識別も高精度に実現
Passenger-Passenger Occlusionの実装	達成	達成したものの、精度にやや課題あり。顧客満足度への影響は少ない。
Vehicle Occlusion : 誤差80cm (標準偏差) →10cm以内に	達成	顧客満足度に十分な精度を実現
World Occlusion : PLATEAUデータ (3D都市モデル) 連携	達成	XR体験満足度に寄与する効果的な利用を実現
XRシステム同時稼働可能台数8台→40台に	達成	本事業においては機材調達のCapabilityの制約から17台実現。理論上40台可能な水準を実現。
XRシステム手動キャリブレーション要請回数6回 →0回に	部分的に達成	6→2に。キャリブレーションソフトウェアの更なる開発によるフルオート化によって、更なる運用効率化を将来的に達成可能
XRシステム露光調整機能により夜間の体験を可能に	達成	高ダイナミックレンジかつ低遅延な自動露光調整により、夜間にも高い満足度を維持
バッテリーシステムのエラー発生率30%→0%に	部分的に達成	エラー発生率を0.1%にまで抑制
バッテリーシステムの連続体験可能時間2時間 →8時間に	達成	車体からの給電により更なる稼働時間増加を検討
オープントップバス横浜の実証実験中における稼働率50%に	大幅に達成	販売開始直後の12月は85.2%、1月は99.7%と予想を遥かに上回る大幅な稼働率を達成し、更なる増席・増便も検討
webマーケティングにより、CVR(予約者/特設HP訪問者)を4%以上	達成と同評価	webマーケティングによるPV24,109は訴求効果があったと判断する。販売開始直後に予想を超える予約により便による売切れが複数発生、特設HPからのCVR評価は不相当と考える。インタビュー対応者にもweb広告の閲覧を確認できており、複数のwebマーケティングは効果的だった評価する。
webマーケティングにより、NPS(顧客ロイヤリティ指標) : -10	大幅に達成	アンケート結果による NPS 8.6 (n=176) と高い評価をいただいた。また狙った20~30代よりも比較的高い年齢層に高評価いただいた。

4-14-4 実証の考察と課題

本実証の成果	要因（工夫したところなど）
オクルージョン技術の開発	オクルージョンについての4つのKPIを達成。高性能XRデバイスを利用したことにより画像処理ハードルを下げられた結果、首尾よく開発できたと考える。アンケート及びインタビューにおいて、技術に関心が高い方からは、従来の同様の体験での見え方と違うとの高い評価を受けた。
Elastic Contents Development Toolの開発	従来の「長年の勘と経験」によるガイディングの「黙認知」技術を用いて、交通状況毎に自動調整された観光コンテンツを実現を狙い、テスト段階で成功して実証に臨んだ。 インタビューでは走行のタイミングをその地点で見られるコンテンツ内容にズレが生じない完成度の高さを評価いただく方もあった。
PLATEAUとの連携	PLATEAUとの連携機能開発は、観光庁と国土交通省都市局PLATEAUチームとの連携により奏功、本件を模範的に事例として日本各地へ波及する可能性が期待できる。具体的には、高精度三次元点群地図データとPLATEAUモデルデータを位置合わせすることで、XR映像内の未来都市や海底都市世界といったバーチャル空間データとしてPLATEAUモデルデータを利用可能になり、映像制作コストの低減やより没入感の高い体験に仕上がった。また、周囲の建物に対するXR映像のオクルージョンに当たってもPLATEAUデータを利用し、高精度なオクルージョン表現に繋がった。
高い稼働率・注目度	販売開始直後の12月は85.2%、1月は99.7%と予想を遥かに上回る大幅な稼働率を達成し、更なる増席・増便も検討可能。キー局2社からのTV取材も受け、高い集客力・注目度があることを確認できた。アンケートやインタビューにおいて、XRに関心の高い方は技術に対する興味から参加した方も多くみられ、技術的な進展を評価された。他方、娯楽性においては横浜らしさのあるプログラムに改善すべきとの厳しめのコメントも複数あった。今後観光商品として向上を図るには娯楽性を高める必要性を感じた。
地域への波及的効果	ツアー参加者の多くが前後に赤レンガ倉庫近隣又は横浜市内で食事やショッピング等の時間を過ごしたと聞いた。詳細な活動内容や消費金額まではヒアリングしていないが、本ツアーが人々を地域に誘引そして周遊と消費を生み出す効果があることを確認できた。

課題点	上手くいかなかった要因・改善点
予期せぬ返金対応	実証期間中、天候不良/システムの不具合/コネクターの接触不良など、ソフトハード問わず予期せぬエラーが発生し、返金対応が9.6%発生したため、以下の解決策を講じる必要がある。 天候：全天候型の乗り物への転換検討、鉄道、タクシー、大型バス（非オープントップ）など、自社資産を活かした乗り物への転嫁検討 システム：さらなるシステム開発、処理落ちを起こさないPCの安定化、起動までの時間短縮、シンクライアント化による一元管理 コネクタ接触：ハード設備の充実化、ゴーグルなどハードウェアの無線化、軽量化
XRデバイス調達の遅延	XRデバイスメーカーからのXRデバイス向けソフトウェア調達が予定より遅れた。本事業の技術的な進歩性の高さと、限られた予算制約から、先方にとっても想定よりも時間を要したことによる遅延であった。また、先方日本支店と台湾本社では、販売代理と事業・技術開発の明確な役割分担がなされており、販売代理機能以上の役割を期待されていない日本支店経由での開発交渉は、交渉アプローチそのものに問題があることが事業期間終盤で明らかになった。こうした観点から、国内に支店を持つ国外ベンダーとの開発交渉においては、一般に直接国外ベンダーとの密な連携が欠かせないものと推察される。
事業デザイン上の課題	本サービス体験前後にみなとみらい周辺での他の観光消費を行なったとの顧客からの直接の声は届いたものの、街全体での観光消費を明示的に促進・計測可能な状態には至らなかった。今後に向けて既に周辺ホテルや商業施設から連携の相談を受けており、各施設連携商品や販売チャネルの設定を検討する考えである。
チケット代金の妥当性検討	本件では4,000円で販売したが、予約率が好調であった点や、今後のコンテンツの更新頻度を鑑みながら価格設定を検討する。

4-14-5 今後の技術活用の展望

本実証実験の結果を踏まえ、5G技術を用いたデバイスのシンクライアント化、キャリブレーションソフトウェアのフルオート化、Googleなどハードウェアの無線化・軽量化等のさらなる技術開発を目指す。

また、3D都市モデルを活用することで、低コスト化とコンテンツ力を両立させ、実際に一般の乗客を動員して収益を上げることに成功したツアー事例は数少なく、他の地域や乗り物でのXRを活用した観光ツアーを行い、事業の水平展開を図っていきたい。さらに、最新技術を惜しみない活用と映像コンテンツの内容を工夫することで、チケット代としての収入のみならず地域周遊への誘因となる様な未来の観光事業を切り開いていきたい。

4-15 バーチャル都市空間における「まちあるき・購買体験」（2020年度）

株式会社三越伊勢丹ホールディングス

<https://www.mlit.go.jp/plateau/use-case/uc20-022/>

4-15-1 サービス概要

①事業・サービスの目的、ビジネスモデル、社会的意義

事業・サービスの目的と概要

仮想世界とアバターによる「第2のライフスタイルの場」を日本から生み出す事ことを目指し、ECを中心としたモールプラットフォームに閉じない、教育・行政サービスまで網羅したエリア居住者の生活行動に密着したサービスを提供する仮想世界プラットフォームを構築する。また最終的なサービスの対象は、インターネットに接続し、かつスマートフォンなどの身近なデバイスを保有している世界中の10代～60代の約23億人をターゲットとする。

仮想世界の領域において、我が国が誇る文化・歴史・アニメ・ゲーム等の優れたコンテンツは極めて高いポテンシャルを有している。これらの日本独自の価値を活かしながら、仮想空間プラットフォームを構築する。

ビジネスモデル

- サービス当初
 - コンシューマ向け：EC売上を中心とした小売モデル
 - 法人向け：プラットフォーム利用料
- 将来
 - コンシューマ向け：データプロダクト販売
 - 法人向け：3DCG制作費・広告・不動産などの仮想でも現実同様のビジネスモデルの実装を狙う

社会的意義

仮想世界を通して国際的に様々な企業・個人が参入する新しい産業の実現を目指す。アバターによるもう一つの身体データを活用した新しいコミュニケーション活動が24時間行われ、その中で世界中の様々な価値観を持ったあらゆる性年代の人々が交流し多様なライフスタイルの追求ができるプラットフォームを構築し「Society5.0」の実現に寄与する。

図4-15-1 バーチャル伊勢丹



4-15-2 実証調査詳細

①実証調査の目的・概要

実証調査の目的

バーチャル空間に新宿東口駅前～新宿三丁目エリアを再現し、都市回遊体験と3Dアバターによるコミュニケーション、バーチャル接客による購買体験を提供することで、3D空間における新しい産業とサービスのポテンシャルを検証した。また、仮想空間における購買体験が通常のECと比較してどのような好影響をもたらすのかについても調査した。

実証調査の概要

• 検証内容

- 回遊体験：PCモックによる高画質な仮想世界における検証
 - 3D都市モデルが消費者に対しどのように有用か？
 - 仮想環境との接点はリアル消費に影響を及ぼすか？ 等
- 購買体験：スマホモックを使用したアバター操作における検証
 - 店内に入れる買い物施設に利便性はあるか？
 - 接客サービスの併用に価値があるか？ 等
- 購買体験：一般公開のスマートフォンアプリ（β版）を利用しEC購買動向の検証

• 検証方法

- PC/スマホモックの2種のプラットフォームを一連のシナリオに沿って体験してもらい、インタビュー形式+事後アンケートにより定性データを取得し分析を行う
- スマートフォンアプリではアプリログを使って分析を行う

②実証調査の対象エリア

対象エリア

新宿三丁目

エリア選定理由

新宿は、世界一の乗降客数を誇るターミナル駅があり世界的にも認知度が高いため、海外観光客も多数来訪する都市である。また、エリアによって異なる特徴（繁華街、ビジネス街、新宿御苑等）を有しており、コンセプトualな再現も見据えた本事業と相性の良い多様性を具備している。

伊勢丹は1930年以来新宿のランドマークともなる旗艦店を構え、およそ一世紀にわたって新宿の街自体と深い関わりを構築してきた。一般消費者からその関係性は高い認知度を得ており、サービスの立ち上げの地として相応しいものとする。

図4-15-2 3D都市モデル利用範囲



③実証調査に向け開発されたサービス

3D空間における新しい産業とサービスのポテンシャルを検証するため、バーチャル新宿エリアを構築し、都市回遊体験と3Dアバターによるコミュニケーション、バーチャル接客による購買体験を提供する。

開発されたサービス概要

ゲームエンジンを利用し、検証内容に合わせて3つのプラットフォームを用いサービスを開発した。

- PCモックにて高精度・広域な「都市回遊」、「購買体験」を提供
 - 3D都市モデルを用いて新宿東口から三丁目エリアを構築（アルタ前～伊勢丹～国立競技場等）
 - 俯瞰・アイレベルでの移動・天候や時間変化が感じられる高精度・広域な都市回遊体験を提供
 - 近隣の商業施設等にはサイトリンクを張り、将来の伊勢丹外での購買体験を模擬的に表現
- スマホモックにて「都市回遊」「購買体験」を提供
 - 伊勢丹を中心とした三丁目エリアをコンセプトualに構築
 - アバターでアイレベルの都市回遊体験を提供
 - 伊勢丹店内への入店（化粧品・婦人服・デパ地下）、店内での複数ショップでの購買体験を提供
- β版アプリを一般向けに提供
 - 伊勢丹を中心とし三丁目エリアをコンセプトualに構築
 - アバターを使用した他者コミュニケーションや、販売員による接客が受けられる購買体験を提供
 - 実店舗と仮想空間で同時期に催事を実施

図4-15-3 開発されたサービスのイメージ



④3D都市モデル (CityGML) の活用方法

3D都市モデルそのものをアイレベルのサービスで利用することは、ビジュアル面でコンシューマ向けのサービスとしてのクオリティに達していない。このため、回遊エリアにおいては、高精度テクスチャも含め3D都市モデルを制作補助資料として利用することで、モデルデータの制作スピードの短縮を実現している。一方で、遠景や全体俯瞰マップ、夜景としては十分なクオリティがあるため、そのまま3D都市モデルを利用して都市空間を再現し没入感を演出している。

利用された3D都市モデルの仕様

- 新宿エリアのLOD2モデル
- 高精細テクスチャ (10cm)

3D都市モデルの用途

- 新宿の仮想空間を構築するための素材データとして活用
 - 俯瞰・遠景・夜景オブジェクトでの利用
 - 3D都市モデルをFBXに変換し、ゲームエンジンにて読み込み
 - 制作補助データとして利用
 - アイレベルオブジェクトの制作時の参考として利用

3D都市モデル活用のためのソフトウェア

- CityGMLの変換
 - FBX形式で利用
- 3D都市モデルの加工
 - Blender (CGツール) を利用
- 3D都市モデル利用システム
 - PCモック : Twinmotion
 - スマホモック・β版 : Unity

図4-15-4 俯瞰、遠景、夜景、等に利用された3D都市モデル



図4-15-5 制作補助データに3D都市モデルを利用したオブジェクト



CityGMLデータ (10cmテクスチャ)

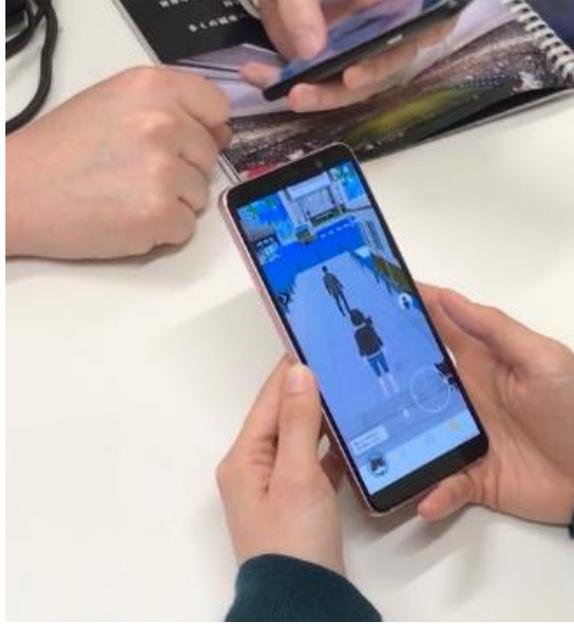
CityGMLを制作補助として構築した3DCGデータ

4-15-3 実証調査結果

①実証調査の様子

2021年3月1日～14日の14日間で実証調査を行い効果を検証した。

図4-15-6 実証調査の様子



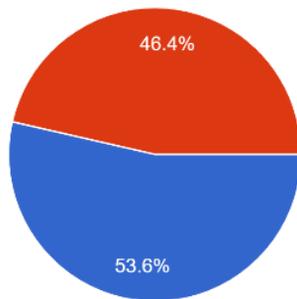
②実証調査の被験者

コンシューマ向け：消費者、約40名（10代～60代まで各年代3名ずつ18名）+地方（九州）
 法人向け：企業、5社（デジタルガジェット、住宅不動産、ロボティクス、小売業、メーカー）

図4-15-7 実証調査の被験者詳細

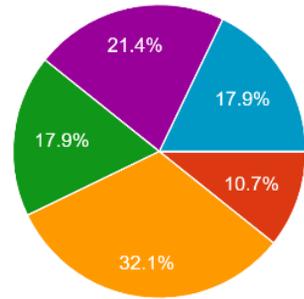
性別
28件の回答

- 男性
- 女性
- その他



ご年齢
28件の回答

- 10代
- 20代
- 30代
- 40代
- 50代
- 60代
- 70代
- その他



③ アンケート結果 | 都市回遊体験

都市の回遊体験にはポジティブな反応が多く、さらに国内外の他のエリア、観光地の回遊に対する意欲も高い。店内に入りたい・買い物したいというスコアが高くLOD4需要は高いと想定。

【回遊体験】 仮想世界での都市回遊体験は楽しかったですか？		10代	20代	30代	40代	50代	60代	男性	女性
4.5	[店内も入りたい]	5.0	4.4	4.9	5.0	3.8	4.4	4.5	4.6
4.4	[お買い物施設を増やしてほしい(友人と一緒に買い物ができる)]	4.5	4.0	4.5	5.0	4.2	4.4	4.2	4.6
4.3	[空を飛んで移動してみたい]	3.5	3.6	4.3	5.0	4.5	4.6	4.3	4.2
4.3	[もっと日本の他のエリアを拡張してほしい]	3.5	4.0	4.5	5.0	4.2	4.2	4.3	4.2
4.2	[もっと海外の他のエリアを拡張してほしい]	4.5	3.4	4.9	5.0	3.8	3.8	3.9	4.5
4.1	[天気・季節が変わると気分が変わった]	4.5	3.2	4.4	5.0	4.3	3.8	4.1	4.2
4.0	[観光地を増やしてほしい]	3.0	3.6	4.1	5.0	3.8	4.2	3.9	4.1
4.0	[都市回遊は楽しかった]	5.0	3.6	4.3	4.7	3.7	3.4	4.2	3.7
3.9	[仮想世界からWEBサイトやECサイトにアクセスしたい]	4.5	4.0	4.4	3.7	3.2	4.0	3.7	4.2
3.9	[昼と夜とは気分が変わった]	4.0	3.2	4.3	4.3	4.0	3.8	3.8	4.0
3.9	[お祭りや花火大会など季節のイベントを見たい]	4.5	3.6	3.9	5.0	3.5	3.8	3.8	4.0
3.8	[テーマパークを増やしてほしい(投票を受けられたり会議ができる)]	4.5	3.4	3.3	5.0	3.8	4.2	4.0	3.6
3.8	[学校や職場を増やしてほしい(授業を受けられたり会議が出来る)]	5.0	3.8	3.6	4.3	3.5	3.6	3.7	3.9
3.6	[行政機関を増やしてほしい(行政手続きの仕方・情報が閲覧できる)]	2.5	3.2	3.5	4.0	4.2	3.8	3.6	3.6
3.3	[実際にリアルな現地に訪れてみたくなった]	3.5	3.4	3.4	3.3	3.0	3.4	3.5	3.1
3.3	[車やバイクなどに乗ってみたい]	5.0	3.2	3.1	3.7	3.0	3.0	3.7	2.8
3.2	[映画館を増やしてほしい(友人と一緒に映画が見られる)]	3.0	2.4	3.5	4.3	2.5	3.6	3.2	3.1

【特徴的なアンケートコメント】

- 「リアルとバーチャルが素敵に融合していて、実体験とも近く、共感できたため」
- 「敷居が高く、入りづらかった新宿本店に気軽に入れたから」
- 「実際の街中では、ごみが散らかっていたり人が密だったりするが、仮想世界ではそのようなストレスが少ない」
- 「季節、時間の設定があることでよりリアルな世界観を感じることができたから」
- 「歩いたときのほうが小さな発見があって楽しいから。一人で街歩きはなかなかできないのでそういう意味で楽しかった」

④ アンケート結果 | 購買体験

伊勢丹以外の施設も強く求められており購買体験に対する意欲の高さが窺える。ECとの差別化された現実の世界に近い購買体験が得られることがわかった。

【購買体験】 仮想世界での購買体験は楽しかったですか？		10代	20代	30代	40代	50代	60代	男性	女性
4.3	[伊勢丹以外をもっと増やしてほしい]	5.0	4.4	4.1	4.5	4.1	4.6	4.4	4.2
3.7	[接客を受けたいと思った]	3.0	3.6	3.7	4.2	3.8	3.8	3.8	3.7
3.3	[お買い物に便利だと感じた]	3.5	3.2	3.4	3.4	3.1	3.4	3.4	3.3
3.1	[思わぬものに出会った]	3.5	3.4	3.0	3.6	3.0	2.6	3.1	3.2
2.7	[賞し切りにしたい]	3.0	2.4	3.2	3.4	2.4	2.0	2.5	3.1
他、あればいいといった機能・体験や施設・イベントはありますか？									
1位	[リビング]	-	-	-	-	-	-	-	-
2位	[海外の商品]	-	-	-	-	-	-	-	-
3位	[靴]	-	-	-	-	-	-	-	-
4位	[婦人服]	-	-	-	-	-	-	-	-
5位	[紳士服]	-	-	-	-	-	-	-	-
6位	[ベビー子供]	-	-	-	-	-	-	-	-
7位	[アニメ・ゲーム]	-	-	-	-	-	-	-	-
8位	[マンションの内覧ルーム]	-	-	-	-	-	-	-	-
9位	[美術]	-	-	-	-	-	-	-	-
10位	[宝飾]	-	-	-	-	-	-	-	-
11位	[肌着]	-	-	-	-	-	-	-	-
12位	[高額商品]	-	-	-	-	-	-	-	-

【特徴的なアンケートコメント】

- 「ECサイトだと、目的の商品に一直線という感じだが、今回は回遊する楽しさを感じることができた」
- 「写真が羅列されているのとは違い、商品がもっと生きている感じがした。もっと実際のお買物感覚に近いと思う」
- 「目的が決まっている場合はEC、ふらっと立ち寄るのは仮想世界でも良いと感じた。現実世界と同じ感覚かと」
- 「購買におけるめんどくささは感じた。目的買いなら通常ECを使用」
- 「商品探しが難しそうではないか。どこに何があるかわからない」

4-15-4 実証調査考察

①サービス開発における示唆と課題 | 示唆

仮想空間では娯楽や買い物のニーズが高く、友人との待ち合わせなどの交流の場として効果が期待。一方で仮想空間で購買を完結させたい意見も多く、リアル送客ニーズは本実証では確認されなかった。

体験価値	<ul style="list-style-type: none"> • LOD4相当の「店内データ」に関して商業施設で有用な効果が期待できると判別 <ul style="list-style-type: none"> - 友人と一緒に店内に入れるお買い物施設を増やして欲しいニーズが特に顕在化 - 今後仮想都市内の回遊体験が「ECへの購買行動」に有用であると判別 • 仮想空間内での時間や季節の変化と移動体験を併用することで価値向上が期待 <ul style="list-style-type: none"> - 鳥の目での俯瞰が好評で都市内を空を飛んで移動するニーズが高い - 一方車での移動体験のニーズは平均的なスコア • スマートショッピングとは異なるアナログDXとしてのコマースポテンシャルを識別 <ul style="list-style-type: none"> - 効率的なショッピングは圧倒的にECの方が利便性が高いと評価 - 一方この回遊性ショッピング体験を求めるニーズは確実に存在
現地への送客	<ul style="list-style-type: none"> • 仮想空間がリアルな土地への来訪動機になるかの調査結果は全年代で中立な結果 <ul style="list-style-type: none"> - 実際にリアルへ行きたいニーズよりも、仮想都市内でそのままWEBサイトに遷移して購買したい動機の方がスコアが高い
3D都市モデルのクオリティ	<ul style="list-style-type: none"> • 3D都市モデルの高精細に対して、若年層は高い関心を示し求める傾向 <ul style="list-style-type: none"> - スマートフォンのローポリゴン化に対しては、40代以上は寛容であった - 一方求めるデバイスはスマートフォンであったため高画質×スマートフォンが最適 • 仮想都市へのアクセスは、スマホが全年代で高いスコア <ul style="list-style-type: none"> - ヘッドマウントディスプレイは20代を除く年代で非常に低いスコアとなった - 高画質な都市を体験できるのであればPC版でも若年の動員が期待される

②サービス開発における示唆と課題 | 課題

リアルに寄せた購買体験ゆえに仮想空間での購買は指名買いには不向き。リアル同様の購買体験・価値提供の訴求・磨き込みが肝要であり、買い物・回遊以外のコンテンツを充実させサービス拡大に向けた利用率の改善が欠かせない。

体験価値	<ul style="list-style-type: none"> • ECと比較では不便だと感じる声があった。仮想都市内でのスマートショッピングの仕組みが必要 • 一方で、ECと仮想空間が別システムとなるとユーザー体験が分断されスケールしない可能性 • スマートショッピングの価値が高まった現状では、接客等のアナログ的価値の浸透を実現できなければ、事業として成立しない • 買い物や回遊、観光コンテンツとしてのイメージが強く、毎日使用したいと思うユーザーはほぼいない結果となったため、アクティブ率を上げる取り組みが必要
現地への送客	<ul style="list-style-type: none"> • 仮想都市内での接点がリアルへのきっかけとならない可能性や、ECで購入できる利便性がリアルへの行動欲求を生み出さない可能性がある • リアル世界のマーケティングプロモーションという点でのバーチャル都市はさらに深い調査が必要
3D都市モデルのクオリティ	<ul style="list-style-type: none"> • ゲーミングPCとヘッドマウントディスプレイのデバイス普及が大衆化していないため、開発コストに対して費用対効果が期待できないリスクが発生する • 若年層はゲーム等の高グラフィックになれているため、スマートフォン版のローポリゴンに対しては求めるクオリティに到達できていない

③3D都市モデルと開発するサービスとの親和性

ビジネス価値

- LOD4の店内データの実装によってビジネス機会が創出されていく可能性が高い

店内の回遊の需要はコロナ禍において商業施設との新たな接点となりうる。また小売業は商圈と営業時間に依存する事業であるため、仮想空間での接点はその課題を解決する可能性がある。

- ユーザーが集まれば広告ビジネスも可能

現実と同様にサイネージや看板広告の掲示が可能となる。新しい広告の在り方としてバーチャル空間上での顧客属性データに最適な広告を1サイネージからターゲティング表示をすることができれば、現実とは異なり1枠に対して何件もの広告を貼ることができ、広告事業のビジネスの収益性が向上する。

開発

- 制作補助として利用価値が高く、モデル作成工数の大幅削減が可能

3DCGの制作にあたり、①正確なスケール、②建造物の高さ、③座標の3つは既存3DCGソフトでは解決できない問題であったが、3D都市モデル/CityGMLデータではすべて網羅されていることで、従来かかる工数を大幅に減らすことができた（最大1/20程度の削減）。

特に③の座標に関して、土台となる土地データの基準情報がCityGML内に実装されていたため、リアル同様の土地の隆起に合わせて正確に建築物を建てるのが容易に実現できた

- 俯瞰・遠景オブジェクトとして利用ができる

ビル群を自社で仮想空間上で構築するとなると数か月の工数がかかる。また、データを購入しようとするとなら数万円の資金が必要となる。そのため、景観制作にリアリティを出すために非常に有用なデータであった。特に強調したい点として、高低差まで反映されている点が素晴らしい。平坦な土地にビル群がただあるのではなく、隆起した土地の上に正確に高さ情報まで把握してデータ化されている点が、仮想都市内に高低差が入り体験価値を大幅に向上させた。

- アイレベルのオブジェクトへの利用は困難

没入感を演出するにはある程度のリアリティが求められるが、3D都市モデルはテクスチャにおいて航空測量特有の問題があり没入感が得られにくい。

- 狭い通りなどは撮影の角度がきつく、建物下層の再現性が低い
- ビルの陰による明暗差、クレーンなどの映り込みの問題
- 昼のシーンでは解像度の荒さが目立つ

社会的意義

- Society5.0のロードマップに一致し社会的意義の創出に直結

あらゆる身体的、精神的多様を受け入れることができるアバターを操作して、他者との交流が可能となり、24時間世界中どこからでもアクセスできることで新たな国際的な接点の場となりうる。また資材や在庫リスクが伴わないデジタルプロダクトは大量生産・大量消費の社会システムからサステナブル社会への実現に向けた取り組みへ昇華できる。

- 行政、教育機関の実装によって経済活動だけでなくライフスタイル領域まで昇華可能

次世代消費者が教育や社会との接点をもてる場となりうる。さらに、高齢者や障害者が行政機関での手続きや相談、サポートを受けられる新たな接点となる可能性もある。

4-15-5 展望

事業の本格展開・全国展開に向けた展望・チャレンジ

本実証実験の結果を踏まえ、バーチャル都市空間上で『回遊体験』や『購買体験』に限らない多様な都市体験を提供し得るプラットフォームの構築・事業化に向け、さらなる検証を進めていく。

今後の検証ポイントとして、我が国のメディア・コンテンツをはじめとする独自の魅力と、「新宿」という都市自体の魅力を相乗させたコンテンツの組成により、バーチャル空間ならではのエクスペリエンスを高めていく観点が重要である。文化・歴史・アニメ・ゲームなど日本が誇る優れたコンテンツと「新宿」の掛け合わせにより引き出されるバーチャル空間のポテンシャルは極めて高いものと確信している。

さらに、バーチャル空間において日本のおもてなし文化・ホスピタリティ溢れる接客を伴う購買体験を提供することにより、アフターコロナを見据えたインバウンドの活性化も本プラットフォームのスコープに入り得る。

コンテンツカ×街の魅力×3D都市モデルという新たなサービスモデルを発展させていくことで、バーチャル空間とフィジカル空間の都市体験が相互に新たな価値を生み出すエコシステムの構築を目指していく。

4-16 ゲームフィクションを通じた地域の魅力発信（2020年度）

株式会社NTTドコモ

<https://www.mlit.go.jp/plateau/use-case/uc20-023/>

4-16-1 サービス概要

①事業・サービスの目的、ビジネスモデル、社会的意義

事業・サービスの目的と概要

3D都市モデルを活用して「バーチャル銀座」を構築し、ユーザ自身の3Dアバターで街全体をダイナミックに駆け回る非日常を体験できるゲーム体験や、街の周遊・バーチャルイベント参加・コミュニケーション・購買等が可能な新体感サービスを提供する。リアル/バーチャルが連携した体験を通じ、遠隔からでも街の魅力を発見し、訪問・地域活性化のきっかけを作る。将来的には自身をスキャンした3Dアバターを活用し、試着や購買体験などを提供（バーチャル空間への出店や広告出面としてマネタイズ）。リアル/バーチャル空間の連携による新たな顧客接点を通じて、バーチャル空間上での営みと現実世界をつなげるサービス提供をめざす。

想定ビジネスモデル

【コンシューマ向け】

- 基本利用無料（一部レース内課金要素あり）
- 自社サービスをバーチャル空間で提供し、加入促進

【法人向け】

- プラットフォーム利用料収入、広告収入
- デジタルツインサービスの提供、各地域の特性に応じたコラボレーション施策、ユーザを集めることで広告価値の向上

社会的意義

新型コロナウイルスの世界的な蔓延により、外出等の活動が制限を受ける中、消費者の思考・行動・価値観の変化に伴い、あらゆる領域でオンライン/デジタル化・バーチャル化が加速している。このため、デジタル空間での体験を通じたQoL向上や、バーチャル空間での新たなコミュニケーションの提供が求められている。都市においても、バーチャル都市空間における体験を通じた市民のQoL向上や、街の魅力の発信、現地訪問に繋げる顧客接点の創出、バーチャル空間を通じた新たなサービス提供等を通じた地域活性化の実現を目指す必要がある。

図4-16-1 GINZA Parkour



4-16-2 実証調査詳細

①実証調査の目的・概要

実証調査の目的

バーチャル空間上での営みと現実世界をつなげるサービス提供に向けた事業の実現可能性を検証することを目的とする。Business/Exploration/Communication/Gamification/Advertisement要素を含む疑似体験の提供を通じた検証を実施し、実証実験の結果を踏まえてサービス化に向けたロードマップを策定を目指す。

実証調査の概要

- 事業価値検証（ビジネスモデル・マネタイズの妥当・受容性、効果等）
 - ゲームがどの程度盛り上がっているか・クセになる要素が盛り込まれているか
 - ゲーム内外を通じてどの程度コミュニケーション・インタラクションが発生するか
 - レース期間以外でどの程度バーチャル空間を探索・周遊するか
 - バーチャル空間がどの程度デジタル広告の出面として価値があるか
- コンセプト価値検証
 - バーチャル都市と、そこを舞台にしたゲームの魅力によりユーザーが集まるPFとなりうるか
 - バーチャル都市によってリアル都市を訪れたいと思う体験を提供できるか
- ユースケース磨きこみの方向性検証
 - ユーザーにとって魅力的な要素・機能はなにか
 - ユーザーにとって使いやすい機能にするための課題はなにか

②実証調査の対象エリア

対象エリア

銀座・東銀座周辺

エリア選定理由

銀座・東銀座エリアは世界的に知られるショッピングタウンであり、国内外のフラッグシップ店舗が立ち並んでいる。また、週末のメインストリート大通りはスタイリッシュな歩行者天国となるなど、今後のサービス化に向け様々な展開が見込める街である。和光や歌舞伎座、築地市場などの周辺観光名所も多数あり、デジタルツインとして再現する価値が高い街である。

また、碁盤の目のように画一的な道路が配置され、ゲーミフィケーションのフィールドとしての魅力的な要素を持っている。

図4-16-2 3D都市モデル利用範囲



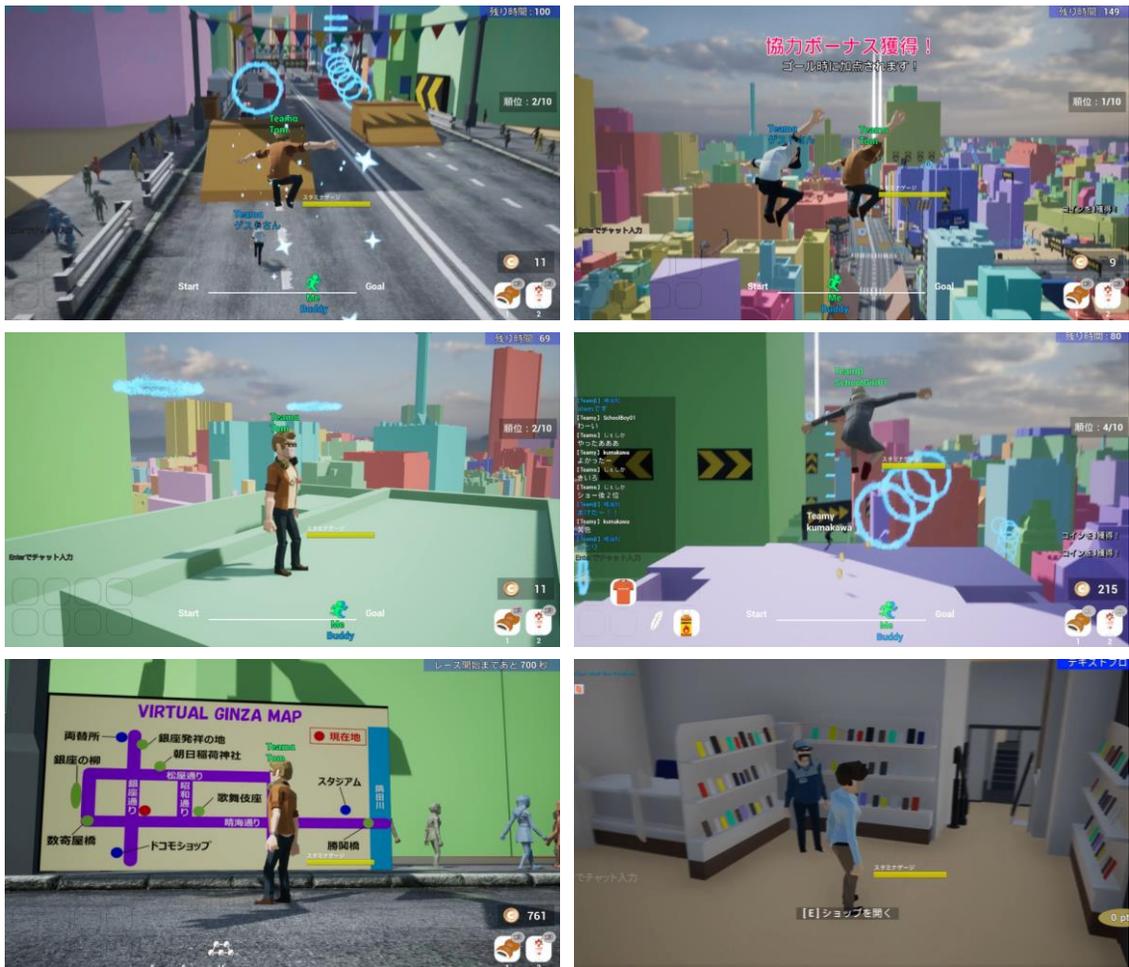
③実証調査に向け開発されたサービス

日本を代表するショッピングタウン「銀座」の街を3D都市モデルにより忠実に再現し、バディと共に縦横無尽に“走り・跳び・よじ登り”ゴールを目指す「競争ゲーム体験」を提供する。また、銀座の街を周遊し、歴史・文化に触れることで、バーチャル空間での体験全体を通して、銀座の持つ様々な魅力を再発見できる仕掛けを盛り込んでいる。

今後のビジネススケールも視野に入れ、体験全体の中に「エンターテインメント」、「観光」、「ショッピング」、「広告」など“3D都市モデル×バーチャル空間の可能性”を最大限に引き出すための様々な要素を想定し検証できるように設計している。

- バーチャル銀座の構築及びバーチャル銀座内でのゲーム体験+回遊体験
- 3D都市空間にリアル・コンセプトualな要素を包含したバーチャル銀座を再現
- モニターユーザにPCからアクセスできる環境を提供
- バーチャル銀座でのゲーム体験と回遊体験（疑似広告・購買要素を含む）を提供

図4-16-3 開発されたサービスのイメージ



④3D都市モデル (CityGML) の活用方法

LOD2モデルのデータを利用しバーチャル銀座の構築を行った。没入感のあるユーザー体験を追求するため、3D都市モデルのテクスチャ（解像度20cm）は利用しなかった。テクスチャの代わりにパターン着色を行い、ゲーム空間として統一感を持たせた。

利用された3D都市モデルの仕様

- 銀座エリアのLOD2モデル

3D都市モデルの用途

- バーチャル銀座の構築に利用
 - ワールドマップ：各エクスペリエンスが提供できるエリアの関係性を俯瞰で示す
 - 周辺エリア：回遊できる中心エリアはコンセプトチュアル化し、周辺の景観等にも3D都市モデルを配置し空間全体で立体/奥行き感を表現
 - エリアとエリアを繋ぐ街並：リアルな銀座を仮想空間上で再現

3D都市モデル活用のためのソフトウェア

- CityGMLの変換
 - Unreal Engine datasmith形式へFME Desktop2020.2にて変換
- 3D都市モデルの加工
 - CGモデリング
 - Blender、3dsMAX
 - テクスチャの生成
 - Photoshop
- 3D都市モデル利用システム
 - UnrealEngine 4

図4-16-4 銀座エリアの再現に利用された3D都市モデル



4-16-3 実証調査結果

①実証調査の様子

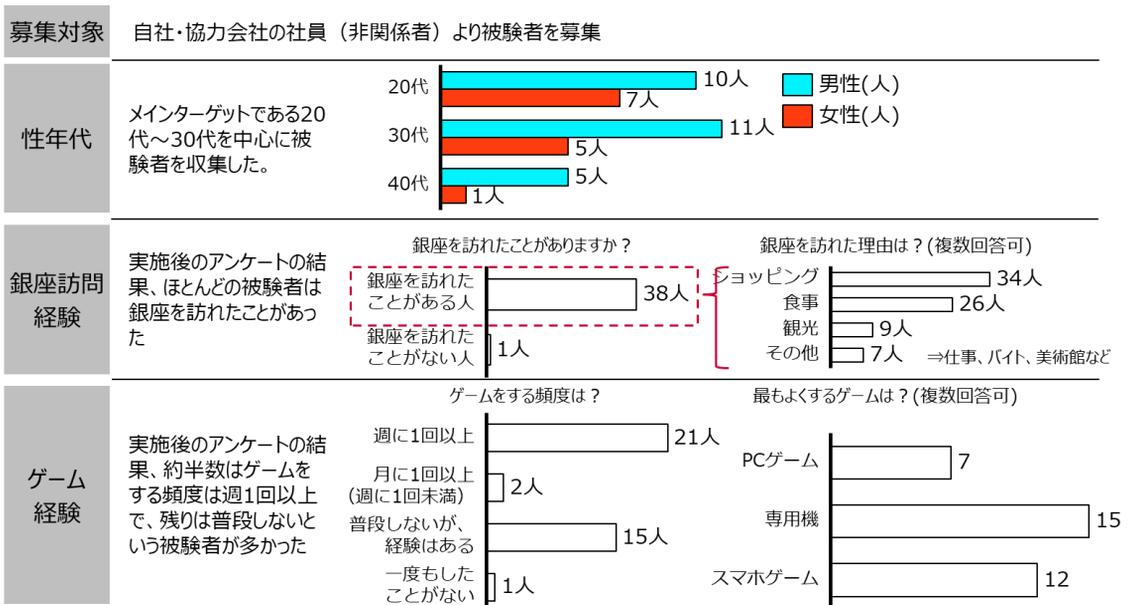
2021年3月5日～11日の4日間で実証調査を行い効果を検証した。

図4-16-5 実証調査の様子



②実証調査の被験者

主要ターゲットである20代～30代を中心に40代までの被験者に体験してもらった。



③アンケート・プレイログ・インタビュー結果

3D都市モデルを活用した建物の上を含めた街を走り回るゲームとしての評価は高く、非日常の体験を与えることができた。また、ゲーム体験を契機として、銀座に足を運びたいとの回答があった。一方で、ゲーム中ではランドマークのみで「銀座」を表現しようとしたが、ユーザーにとっては銀座を感じづらいという結果となった。

観点	良かった点	悪かった点
エンタメコンテンツ	<ul style="list-style-type: none"> 3D空間で動画を視聴することを魅力に感じた被験者は79%と多く、エンタメコンテンツ提供へのニーズが確認できた 多くの被験者（67%）がバーチャル空間で動画を見ることで現地に行った気分になる体験を期待しており、リアルな都市の再現が有効である 	<ul style="list-style-type: none"> 3D空間の一部で動画が流れていることや、アバター等が視聴の妨げになる等、単純に動画を楽しむなら他の方法が良いという被験者もいた
周遊	<ul style="list-style-type: none"> 90%の被験者が周遊を楽しんだと回答しており、ビルを登る・走るといったアクションや普段見られない景色に魅力を感じた被験者が多いことがアンケートやインタビューで確認できた 3D都市モデルを元に詳細化した建物は被験者からの関心が高く、よりリアルな建物を増やすことを求める声が多かった 	<ul style="list-style-type: none"> 街の作り込みが部分的で、銀座を周遊している感覚は得られたという被験者は少なかった（28%）
レース	<ul style="list-style-type: none"> 93%の被験者がレースを楽しめたと回答し、リアルに再現した都市を走りまわるといふ非日常に魅力を感じる被験者が多かった（54%） 	<ul style="list-style-type: none"> 62%と多くの被験者がコースが分かりにくいと回答している ビルの間にはまったり、屋上の形状にスタックしてしまうという声がある
広告	<ul style="list-style-type: none"> アドトラック広告、特に音声付きの動画広告は顕著に効果が高く、82%がクリックし、内59%が印象に残ったと回答している 49%の被験者が銀座の実際の店舗に紐づいた広告を期待しており、リアルな都市の再現が有効である 3D都市内で実際に買い物をしたいという声が多かった 	<ul style="list-style-type: none"> 横断幕広告は気づかれていないことが確認できた（クリックした被験者は14%） アバターや持ち物のロゴは気づかれていないことが確認できた 広告のマッチングをしていないこともあり、興味が無い広告のため、内容を見ない・印象に残らないという声があった
現地訪問 地域活性化	<ul style="list-style-type: none"> 67%の被験者が銀座に足を運びたい・機会があれば足を運びたいと回答しており、銀座ならではの情報を提供することで、送客・地域活性化の可能性が確認できた 	<ul style="list-style-type: none"> ゲームとして楽しみ、銀座が舞台という意識が薄く銀座に足を運びたいと思わないという被験者もいた 訪問を促すためには、銀座でしか体験できないこと・知れない情報や、訪問を促す特典が必要という声があがった

4-16-4 実証調査考察

①サービス開発における示唆と課題

	今後のサービス開発への示唆	取り組むべき課題
エンタメ コンテンツ	<ul style="list-style-type: none"> 会場が再現された場所でのスポーツ観戦や音楽フェスといったその場にいる気分を味わえたり、交流が生まれるようなコンテンツが求められている 	<ul style="list-style-type: none"> 現実の会場の再現や、今回の動画に留まらない実際の都市と連携したコンテンツ開発が必要となる
周遊	<ul style="list-style-type: none"> 周遊を楽しめたという被験者も、銀座にいる感覚はあまり感じられておらず、よりリアルな都市の作り込みが求められている 	<ul style="list-style-type: none"> 今回作り込んだランドマークは評価が高かったため、そのレベルで作り返された建物を今後増やしていく必要がある
レース	<ul style="list-style-type: none"> リアルであるからこそコースのわかりずらさやスタックするなど操作性の悪さを引き起こしている 	<ul style="list-style-type: none"> リアルな建物の形状を活かしつつ、分かりやすいコース設計、スタックしづらい形状、ミニマップによる支援等が必要となる
広告・EC	<ul style="list-style-type: none"> 3D都市の空間では現実空間よりも音が際立って聞こえるため音声付の広告の効果が高い、一方で視覚に訴える広告がかなり目立たせた表現をしないと気付かない 3D都市を体験することで、店舗で実際に買い物ができるという機能が欲しいと回答多い クリック数が多いにもかかわらず印象に残っていない広告については、コインのためにクリックしたものの内容は見ていないことがわかった 	<ul style="list-style-type: none"> Webページ用の広告をそのまま持ってくるのではなく、音声付きの広告等、3D都市ならではの広告の表現を磨きこむ必要がある バーチャル都市でのECを実現するためには、実際の店舗の内部まで再現することが必要となる パーソナライズされた広告や実際の店舗や商品の広告、商品を3D空間で体験できるような広告など、クリック後に印象に残る広告内容や表現方法を検討する必要がある
現地訪問 地域活性化	<ul style="list-style-type: none"> その地ならではの情報により、銀座訪問の動機付けをすることができるとわかった。現地への送客と広告やポイントを組み合わせることでマネタイズできる可能性を確認できた 	<ul style="list-style-type: none"> 歴史情報だけでは興味が湧かなかったという被験者もあり、より興味を惹く情報（リアルタイム情報やグルメ、名産情報）や現地に行くことによる特典などを充実させる必要がある

②3D都市モデルと開発するサービスとの親和性（サービス提供者-企画者視点）

	親和性が高い点	親和性が低い点
エンタメ コンテンツ	<ul style="list-style-type: none"> 現実にある場所のデジタル空間で動画コンテンツを提供することで交流が生まれたり会場にいる気分になることへのニーズが高い 	<ul style="list-style-type: none"> 3D空間の一部で動画が流れている形や、アバターなどが障害になるなど、単純に動画を楽しむためであれば3D空間は必然性は低い
周遊	<ul style="list-style-type: none"> CityGMLを建物の形状や位置の再現に活用することで、ビルに登ったり、景色を見たりする非日常感を提供ができる 	<ul style="list-style-type: none"> 3D都市モデルのテクスチャではアイレベルに耐えられず、別途外観の詳細化が必要
レース	<ul style="list-style-type: none"> CityGMLを活用することで、実際の都市を舞台にしたレース、実際の建物の形状を活かしたアクションはゲームの魅力を高めている 	<ul style="list-style-type: none"> 一般的なゲームだと建物の高さやジャンプの高さなどが計算されているが、3D都市モデルを活用する際には実際の建物の寸法となるため、バランスを取ることが必要
広告・EC	<ul style="list-style-type: none"> リアルに再現した都市で買い物したいという声が多く、CityGMLによる都市の再現はECによるマネタイズにつなげることができる 音による訴求や大きく目立つ広告、実際の街と紐づいた広告など、都市を再現しているからこそ興味を惹く広告表現が可能となる 	<ul style="list-style-type: none"> 建物内については一からスポンサー企業と連携してコンテンツ開発をする必要あり 単なる都市の模倣ではなく、実際の建物のデータを用いているため、広告表現も様々なステークホルダーへの配慮・折衝が必要となる（ここにおいてはいけない、派手すぎるなど）
現地訪問 地域活性化	<ul style="list-style-type: none"> 3D都市モデルとそのエリアの情報（リアルタイムな状況・名物・グルメなど）や特典を組み合わせることで現地への送客、地域活性化が可能となる 	<ul style="list-style-type: none"> より行きたくなるような都市の魅力を訴求するためには、リアルな建物の外観の再現や建物内部の再現が容易にできることが望ましい

③3D都市モデルと開発するサービスとの親和性（サービス提供者-開発者視点）

	親和性が高い点	親和性が低い点
スケール	<ul style="list-style-type: none"> 建物の外周形状や高さは総じて正しく、3D都市モデルを構築していく上で建物情報の基準となる 	<ul style="list-style-type: none"> 特になし
テクスチャ	<ul style="list-style-type: none"> 建物ファイル名は機械的に割り振られておりファイル名から建物を特定することは不可能なため、テクスチャ情報が建物を特定する手掛りとなった 	<ul style="list-style-type: none"> テクスチャの画像解像度が著しく低いため、地上を歩く人間の視点で、都市外観をもつゲームの世界を創出することは困難
位置情報	<ul style="list-style-type: none"> 建物の位置情報は正確であったため、特に修正や変更をせずそのまま採用した 	<ul style="list-style-type: none"> 特になし
モデル品質	<ul style="list-style-type: none"> 建物の形状は詳細であったため、そのままゲームで利用できた。 	<ul style="list-style-type: none"> Nゴン（4頂点以上で構成される面）が生じたため、法線がうまく生成できておらず、UVマップも適切に作られなかった
拡張性	<ul style="list-style-type: none"> 建物、地形データがあるため、データ変換、修正、追加のプロセスが確立されれば3D都市モデルの拡張は期待できる 	<ul style="list-style-type: none"> 都市の景観（含道路、歩道など）やゲーム性の作り込みには、手作業によるモデルの修正、追加が不可避で、拡張性を阻む要因となる
コスト	<ul style="list-style-type: none"> CityGMLが定期的に更新され、民間企業でも最新のファイルを利用できるのであれば、コストメリットはあると思われる 	<ul style="list-style-type: none"> ユースケースによっては、CityGMLのデータ変換、テクスチャやモデルの修正・作り込み、相応のコストがかかってしまう
インフラ	<ul style="list-style-type: none"> 今回の実証実験においてはクライアントPC側に一都市分（銀座）の3Dモデルを配置する方式を採用したが、CityGMLデータのサイズという観点からは、NW上のデータ伝送量およびPC上の保存データサイズが問題となることはなかった 	<ul style="list-style-type: none"> 複雑な3D要素（Nゴン）が含まれた3Dモデルを描画する必要があったため、クライアントPCのリソース（特にCPUやGPU）としては、一般的なものよりも多く装備する必要があった。

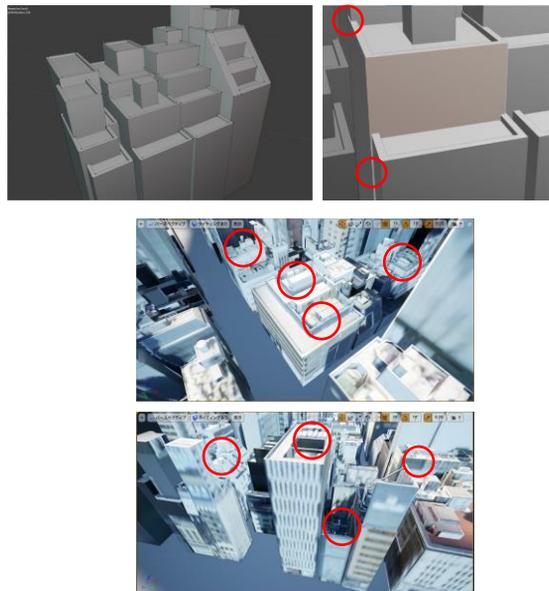
Nゴンに関する補足

CityGMLの建物データには、多角形ポリゴンのデータが多数含まれていることにより、法線ベクトルがうまく処理できず、コリジョン応答（キャラクターなどが衝突する際の反応）が良好なケースと不良なケースが混在してしまう課題があった。

また、3Dアバターを用いたゲームを開発するためには、現実の世界と異なり、アバターが動き回れるように、3Dアバターと建物の間にある程度のスペースを確保する必要があるが、建物によっては、右図のように、精度が細かすぎて、動きが取れなくなるなど、ゲームに適さないケースがあった。

そのため、ゲームエンジンで3D都市モデルを利用する場合は、ポリゴン構造の変換処理が欠かせないものとなる。

図4-2-6 Nゴンによる法線ベクトル処理問題



4-16-5 展望

事業の本格展開・全国展開に向けた展望・チャレンジ

実証実験の結果を踏まえ、バーチャル空間上での非日常的な体験やゲーミフィケーションを起点とし、イベント、観光、ショッピング、広告などの幅広いコンテンツを取り揃えたバーチャル都市の構築を検討する。また、建物のテクスチャや許諾に関する整理といった課題についても今後対応を進め、銀座にとどまらず様々な都市で同様の取り組みを行い、現地訪問への関心を喚起して地域活性化につなげることも検討する。

今後の検証ポイントとして、幅広いコンテンツをバーチャル空間上に取り揃えることでユーザーが日常的に利用するサービスとして確立するとともに、バーチャル空間での都市空間表現や情報コンテンツの充実などにより、ユーザーの現実世界での行動へのフックを設計・検証していくことが肝心である。

リアルアバターと3D都市モデルによるリアル/バーチャルが融合した体験にも今後着目し、バーチャル空間での体験から現実の都市を訪れるきっかけを作るなど、バーチャル空間を活用した様々な取り組みが実現できると思われる。バーチャル空間に再現した建物オーナーやテナント企業に出店していただくほか、多くの外部企業に対して店舗出店や広告掲出をオープン化してマネタイズを行うなど、様々な取り組みを今後検討していく。

4-17 AR/VRを駆使したサイバー・フィジカル横断コミュニケーション（2020年度）

株式会社MESON、株式会社博報堂DYホールディングス

<https://www.mlit.go.jp/plateau/use-case/uc20-024/>

4-17-1 サービス概要

①事業・サービスの目的、ビジネスモデル、社会的意義

事業・サービスの目的と概要

PROJECT「GIBSON」は2020年10月より開始したMESON・博報堂DYホールディングスの共同プロジェクトで、「現実にいる人と遠隔にいる人があたかも空間を共有してコミュニケーションできる」プラットフォームを構築することを目的にしている。2021年以降、観光やイベント、コマースでの活用を期待し、2023-2025年AR/VRグラスの普及が予測される将来における新しいコミュニケーションインフラとなることを目指す。

本実証では「GIBSON」プロジェクトを更に発展させ、3D都市モデルとVPS技術を組み合わせて活用することで、渋谷の街を舞台とした都市空間におけるサイバー・フィジカル横断した次世代コミュニケーションのサービス開発実証を行う。

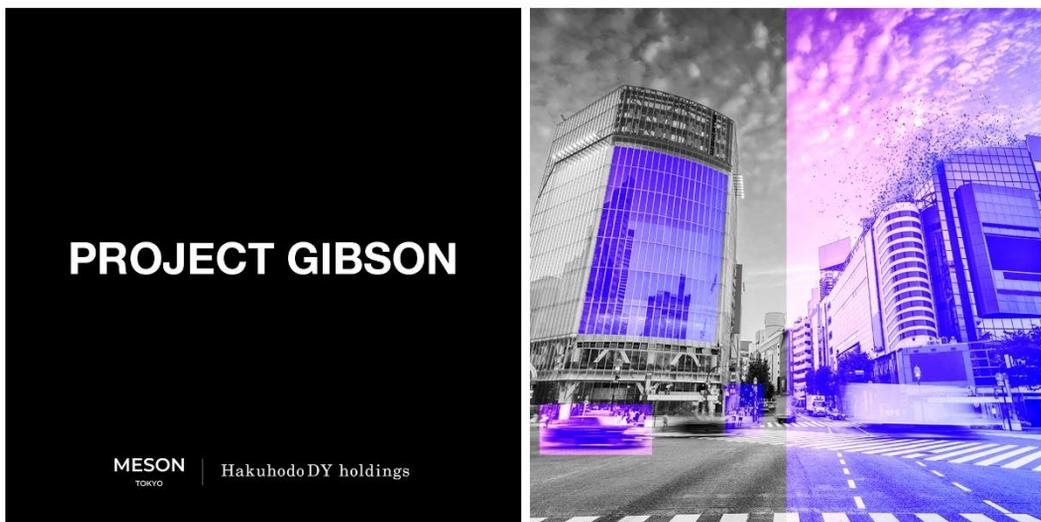
ビジネスモデル

- 観光・イベント・コマース事業者向けのサービスプラットフォームを想定

社会的意義

新型コロナウイルスの世界的な蔓延によって、人々はフィジカル空間での移動が制限され、事業者側では入店人数の制限や時短営業、リモート化、非接触決済の導入に取り組み、リアルな人と人との接触を減らすことが何よりも肝要となった。こうした時代に、「GIBSON」のコミュニケーション・プラットフォームによって新たに人と人をつなぎ直す仕組みを構築し、将来的に観光やイベント、コマースといった産業にも活用できるサービス・技術基盤となることを目指す。

図4-17-1 PROJECT GIBSON



4-17-2 実証調査詳細

①実証調査の目的・概要

実証調査の目的

3D都市モデル・VPS技術を活用し、サイバー・フィジカルを横断した次世代コミュニケーションの都市・屋外向けサービスのプロトタイプを開発し、価値検証を行う。本実証実験で得られるコミュニケーション体験に関するアンケート・インタビュー・行動ログの結果を今後のプロダクト改善や協業パートナー獲得のための提案へ活用する。

実証調査の概要

GIBSONを使用しないリアルな街歩き体験と、GIBSONを利用したAR/VRの周遊体験を比較し、「コミュニケーション」、「街での発見・理解性」、「街への魅力・情緒性」に違いが見られるかを検証する。具体的には、渋谷神南の実証エリアで30分間の街歩き体験を行ったのち、体験者にアンケートとインタビューを実施することで上記の3つ観点について定量的・定性的に検証を行った。

【コミュニケーション】

- 遠隔からでも同じ場にいるようにコミュニケーションができるか
- サービスを通じて街での他者とのコミュニケーションが増えるか

【街での発見・理解性】

- 空間コンテンツが施設、観光スポットの発見・理解を促すか

【街への魅力・情緒性】

- 現地・遠隔ユーザーがそれぞれ訪れた空間に対して愛着を感じるか

②実証調査の対象エリア

対象エリア

渋谷神南エリア

エリア選定理由

観光資源が多い渋谷エリアの中でも特にショッピング・飲食施設が密集しており、街歩き体験の検証に適しているため。

図4-17-2 3D都市モデル利用範囲



③実証調査に向け開発されたサービス

GIBSONを活用し、現実の渋谷にいる人と遠隔地にいる人があたかも同じ空間を共有しているような周遊体験を提供する。

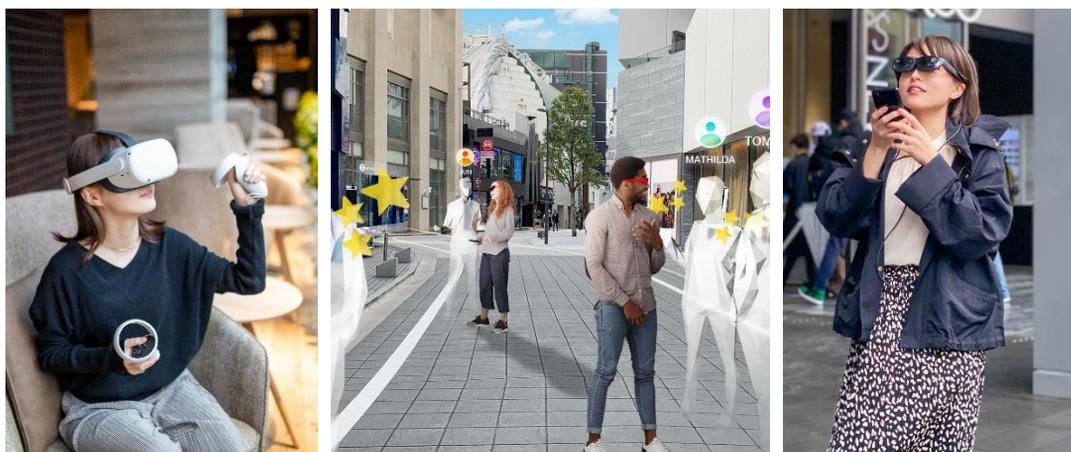
開発されたサービス概要

「空間のSNS」をテーマに、AR・VR技術を活用したユーザー間のリアルタイム・非同期コミュニケーション機能を提供する。現地にいるARユーザーと、遠隔のVRユーザーが空間を共有しながら、「現実空間の映像配信」「空間への写真・コメント投稿」「空間上の写真・コメント閲覧」が可能になる。

- リアルタイムな現実空間を動画配信しVRユーザーに空間を情報を伝える機能
- テキストや現実の写真を空間に投稿し、思い出を空間に残す機能
- 空間に投稿された他ユーザーのテキスト・写真投稿を閲覧する機能

本実証調査は、ARではスマートグラス「NrealLight」をAndroidスマートフォンと組み合わせ、VRはOculus Quest2を利用して体験を提供した。

図4-17-3 VR/ARを活用した遠隔コミュニケーションのイメージ



④3D都市モデル (CityGML) の活用方法

本サービスではAR/VRの連携とVR空間の構築に3D都市モデルを利用している
利用された3D都市モデルの仕様

- 渋谷エリアのLOD2モデル
- 高精細テクスチャ (10cm)

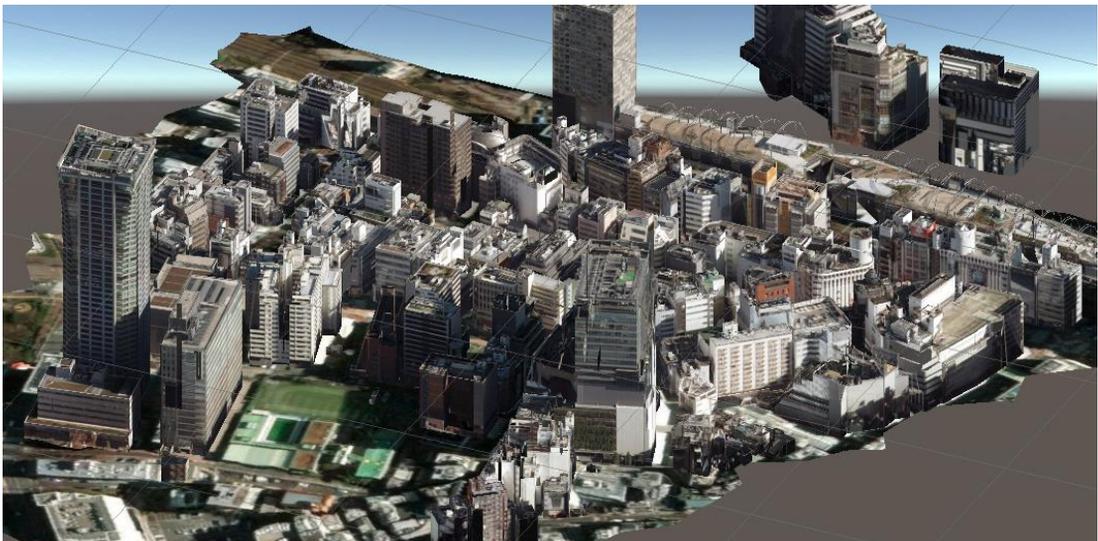
3D都市モデルの用途

- VR空間の構築
- VPSシステムで取得した都市マップを組み合わせることで、CityGMLデータ上のVRユーザーの座標と、VPSシステムで取得したARユーザーの座標を同期し、下記を可能にする
 - AR、VRユーザー同士の空間同期
 - 同座標での空間コンテンツの保存・表示

3D都市モデル活用のためのソフトウェア

- CityGMLの変換
 - FBX形式へFME Desktop2020.2にて変換
- 3D都市モデルの加工
 - Blender、Photoshopを利用
 - Reality Capture、Maya (独自生成建物モデル 三次元計測・3Dモデリング)
- 3D都市モデル利用システム
 - Unity (AR、VR)

図4-17-4 3D都市モデルでバーチャル空間上に構築された渋谷の街並み



【参考】 3D都市モデルとVPSの位置同期の仕組み

VPSシステムで取得したARマップ（点群データ）を3D都市モデルと組み合わせることで、CityGMLデータ上のVRユーザーの座標と、VPSシステムで取得したARユーザーの座標を同期することで下記の機能を構築した。

- AR、VRユーザー同士の空間同期
- 同座標での空間コンテンツの保存・表示

図4-17-5 3D都市モデルとVPSの位置同期の仕組み



4-17-3 実証調査結果

①実証調査の様子

2021年3月14日～16日の期間で実証調査を行い効果を検証した。AR・VRそれぞれで体験してもらうグループと、比較対象として渋谷を2人組で歩いてもらうグループを設けて調査を行った。

図4-17-6 実証調査の様子



②実証調査の被験者

20代～30代の男女計9組が体験を行った。

図4-17-7 実証調査の被験者内訳

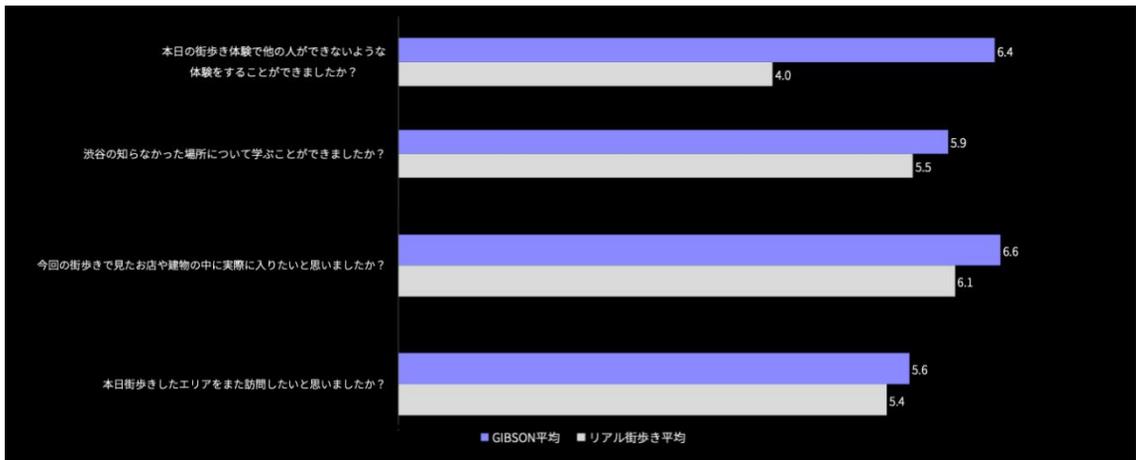
属性	街歩き	GIBSON
男・女	1組 (2名)	2組 (4名)
男・男	2組 (4名)	2組 (4名)
男・女	1組 (2名)	1組 (2名)

③実証結果 | 都市回遊

3D都市モデルを利用したGIBSONは、「他の人が出来ない体験をできる」、「知らなかった場所について学べる」、「店舗に実際に入りたいと思う」、「周遊したエリアを再訪問したい」といった項目で実際の街歩きよりも高い指標となり、都市回遊の魅力を増すものだと示された。

その理由として空間に投稿されるコンテンツが体験者の注意を引いたり、スポットに関する気付きや深い理解を促していることが理由として挙げられる。場所や建物を認知していた理由についてヒアリングを行い、AR、VR体験をした約60%が空間投稿コンテンツによって場所・建物を認知していた。ユーザーが空間情報を投稿することが場所を認知することに強く影響を与え、街の発見や理解につながるのではないかと考えられる。

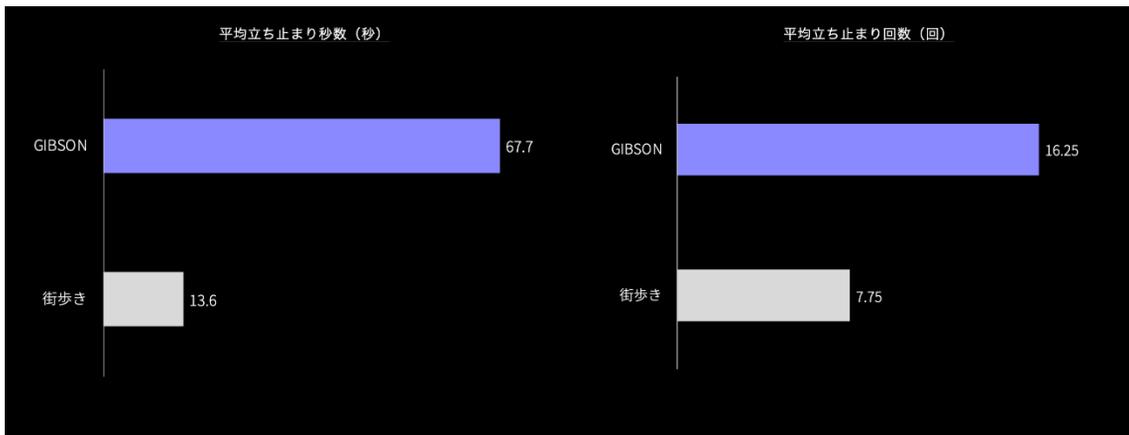
図4-17-8 都市回遊に関する7段階指標アンケート回答



④実証結果 | 行動変容

3D都市モデルを利用したGIBSONによるAR/VR周遊体験とリアル街歩き体験を比較したところ、被験者の立ち止まり秒数と回数が共にGIBSONでの体験において増加の傾向が観察された。立ち止まり秒数は平均して54.1秒、GIBSONでの立ち止まり秒数はとリアル街歩きよりも長かった。GIBSONの機能の「ライブ配信」機能や「メッセージ」・「写真」を空間に残しお互いにコミュニケーションをしたことが立ち止まり秒数の長さに影響していると考えられる。また、GIBSONでは立ち止まり回数が10回近く増加した。普段の街歩きでは立ち止まらない場所でも、立ち止まって建物の色や外観についてお互いに教え合う行動が見てとれた。

図4-17-9 都市回遊での立ち止まり回数と秒数



4-17-4 実証調査考察

①サービス開発における示唆と課題 | 示唆

ユースケース毎の開発アプローチ	<p>ユースケース毎の開発方向性について被験者コメントから下記の様な示唆が得られた</p> <ul style="list-style-type: none"> • 観光 <ul style="list-style-type: none"> - 盛り上がっている場所が分かる様な機能 - 既存の地図情報・レストランガイドサービスとの連携によるコンテンツ充実 • コマース <ul style="list-style-type: none"> - 手に取った商品の説明情報が発信されるなど、AR側の情報発信とVR側のリアル感の強化 • SNS <ul style="list-style-type: none"> - 投稿者のレーティングや、ユーザー間のフォロー機能などによるコンテンツのフィルタリング - 表情をつける等、アバターの機能の強化
GIBSONの 利便性/改善点	<ul style="list-style-type: none"> • VR側の演出のクオリティや、VR/AR間で連携した遠隔コミュニケーション体験の楽しさについては概ね高評価が得られた • VR/AR双方の体験の作り込みの余地に関してコメントが得られた（AR側が相手を認識するのが難しい、メッシュデータにうるささを感じた、音質の不良、等）
3D都市モデルの 体験価値/改善点	<ul style="list-style-type: none"> • 高精細で開発した部分についてはリアリティを感じられたという評価が多い一方で、CityGMLのテクスチャデータを使用した部分を含むその他の部分では没入感を得られず改善を要する • 各建物が何の建物なのかの情報が表示されると体験が向上する、という意見や、道路周辺の設備（電柱等）があるとリアリティが増す、という意見が得られた

②サービス開発における示唆と課題 | 課題

GIBSONのAR/VR連携をコンシューマー向けサービスのクオリティで都市スケールで提供しようとした場合、ネットワーク・デバイスのCPU・SLAM技術・VPS技術・3D都市モデルが課題となりうる。

- コンシューマー仕様端末のネットワーク速度向上

リアルタイムでの3Dアバターデータや動画・画像データの通信、また動画のリアルタイム配信を屋外で行うには、各端末でポケットWi-fi程度の通信速度（60Mbps程度）が定常的に必要。

- AR・VRデバイスのメモリ・CPU・GPUのスペック向上

3Dアバター・3D都市モデルデータや動画・画像データのダウンロード、また動画のリアルタイム配信の送受信は、ARに接続されるスマートフォン、VRヘッドセットデバイスの現段階での処理負荷の限界に近い。

- AR SLAM技術の精度向上による自己位置の精緻化

現在ARデバイスNrealLightが活用しているSLAM技術（=自己位置認識技術）では、屋外空間の周遊に際し、100mでおおよそ1mほどの自己位置のズレが生じ、ユーザー同士・ユーザーとコンテンツを空間に違和感なく重ね合わせるための工夫が必要。

- VPS技術の広域化・自動化

現在のVPS技術は位置の同定は瞬時に可能だが、角度のズレが発生するため精度の向上が望まれる。またVPS利用に都市の点群データを手動撮影する必要あり、更なる広域化のために手法確立が必要。

- 3D都市モデルの高解像度化

VR上での体験でユーザーが3D都市モデルの10cmテクスチャをアイレベルで見ると、「自身がどこにいるか分かる」「リアルな街にいる感覚を得られる」といったレベルでの没入感を得られない。

③3D都市モデルと開発するサービスとの親和性

3D都市モデルとGIBSONの係についてメリットと課題・デメリットを下記の通り認識。

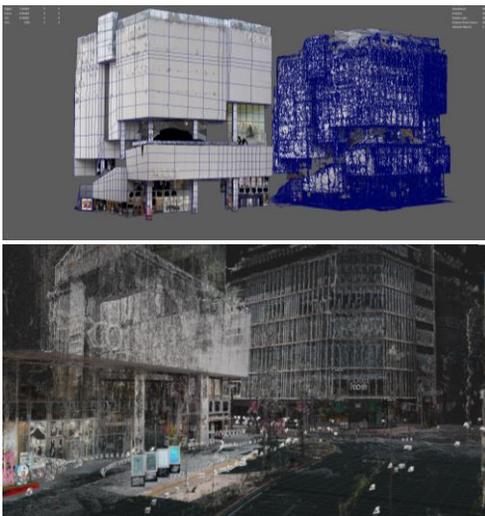
[メリット]

- 精度の高いスケールを活用した位置同定
3D都市モデルは標高差を含めてスケールの誤差が少なく、今回のVPS技術を組み合わせた位置同定に適していた。
- 3D都市モデルのテクスチャの編集性
テクスチャ付きである程度没入度が担保された3D都市モデルをフリーでダウンロード可能なことはサービスの広域化に寄与。またゲームエンジン（Unity等）で建物ごとに編集可能で、一部の建物のテクスチャを別途取得した高精細のデータで差し替える等の編集において利便性が高い。

[デメリット]

- メタデータの不便性
3D都市モデルが保有している属性情報について、一般生活者に寄与する情報が少なく活用が難しかった。また編集可能なfbx形式で変換する際にそのメタデータが紐付かなくなるため結果手動で扱う必要があった。
- テクスチャデータの解像度
アイレベルで見た場合、3D都市モデルが提供する10cm解像度版テクスチャのみでユーザーにまちあるきの高揚感・没入感を演出することは困難。本実証調査では、下記の方法で対応した。
[施策①] 体験の中心となる施設を高解像度モデル化
[施策②] メッシュデータ等の空間演出により3D都市モデルのテクスチャ部分へ注視することを回避

図4-17-10 没入感演出の為の施策



[施策①] 体験の中心となる施設と道路の
高精細テクスチャ化



[施策②] メッシュデータ等を活用した空間演出

4-17-5 展望

事業の本格展開・全国展開に向けた展望・チャレンジ

実証実験の結果を踏まえ、都市スケールでの「GIBSON」をさらに広域化し、多人数が参画できるシステムに拡張するための実証を進めるとともに、位置測位のブラッシュアップ、コミュニケーションのエクスペリエンス向上、エンタメや買い物などの都市体験を充実させるコンテンツの実装に向けたシステム拡張等に向け、さらなる検証を進めていく。

今後の検証ポイントとして、都市スケールでの「GIBSON」を展開し、その体験価値を充実させるため、デベロッパーなどのスマートシティ関連事業者や地方公共団体と連携し、その知見やニーズを取り込んでいくことが重要と考える。この際には、基盤となるバーチャル空間を品質を保ちながらいかに効率的に構築するかが重要となるため、3D都市モデルがオープンデータとして提供されていく意義は大きい。

さらに、新型コロナウイルスが収束した後の世界においても、サイバー・フィジカルを横断したコミュニケーションの多様性が更に求められると考えており、「GIBSON」はこうした時代の中でAR/VR技術を活用して人々の繋がりをより深くする仕組みの構築を目指していく。

3D都市モデルを基盤としたAR/VR技術を組み合わせたサイバー・フィジカル横断コミュニケーションを新たなサービスモデルに発展させることで、サイバー空間からフィジカル空間への新たな導線となるコミュニケーションプラットフォームの実現を目指していく。

4-18 空間認識技術を活用したAR観光ガイド（2020年度）

株式会社JTБ、株式会社JTБ総合研究所、凸版印刷株式会社

<https://www.mlit.go.jp/plateau/use-case/uc20-025/>

4-18-1 サービス概要

①事業・サービスの目的、ビジネスモデル、社会的意義

事業・サービスの目的と概要

新型コロナウイルス感染症拡大に伴う消費者の生活様式の変化に合わせて、飲食店のお店選びの基準も「安心安全の食体験が約束されているかどうか」が最優先事項へと変化している。このような変化の中で感染症対策などの店舗の情報をストレスなく取得できるシステムや、店員と接触することなくオーダーできるシステムを実装することが求められている。デジタル技術を活用した「非対面・非接触」サービスへ移行し新たな安心・安全をPRすることで地域経済を担う商店街・飲食店の賑わいを取り戻すことができると考えられる。

想定ビジネスモデル

- 【既存事業の拡大】ARガイドアプリ導入による旅行体験価値向上による旅行客の増加及び単価アップ
 - 新しい旅行体験を提供でき、需要喚起及び収入増（現地オプションツアーや、ゲーム性のある新しいツアーの造成等）
 - 言語に依らない観光体験を提供でき、インバウンドの誘致にも寄与（観光諸費額増）
- 【コストダウン】ARツアーガイド利用によるツアーガイド不要
 - 今後見込まれる少人数でのツアーやオーダーメイド旅行のツアーガイドをスマホARで置き換え低コスト化を実現

社会的意義

感染症対策などの店舗の情報をストレスなく取得できるシステムや、店員と接触することなくオーダーできる非対面・非接触の接客を実現するサービスの普及を図る。コロナ後を見越したインバウンド復活に備えた多言語&DX対応を実現し、コロナ禍において安全安心を担保し、飲食店需要の回復を促進。土地勘がなく言語が通じない観光客の観光体験の向上、飲食店利用者増、消費行動の促進を目指す。さらに、これらに伴う地域経済の再活性化や持続的な発展と安心安全な都市生活の実現する。

図4-18-1 ARガイドアプリ



4-18-2 実証調査詳細

①実証調査の目的・概要

実証調査の目的

お店探しからメニューの注文まで自身のスマホで可能となる「非対面・非接触」サービスを提供し、そのビジネス価値と地域経済活性化につながるかを検証する。

実証調査の概要

実証実験では3D都市モデルのデータを用いたVPSを構築し、より良い観光情報を提供することを目的としニューノーマル時代における観光・飲食体験の検証を行う。

- コロナ禍における飲食店選びのデジタル化を促進し、新たな体験価値を提供できるかを検証する
 - デジタル化によって消費行動は促進されるか
 - 安全安心によって飲食店利用者は回帰するか
- 3D都市モデルを活用したARガイドは、新たな観光需要を喚起するかを検証する
 - 土地勘のない観光客の増加するか
 - 飲食店利用者の増加、消費行動が促進できるか
- 「旅行者の利用」と「飲食事業者の導入」の促進に向けた課題を抽出する
 - ARガイドアプリを利用した旅行者等の視点からの課題
 - 対応飲食店の視点からの課題

②実証調査の対象エリア

対象エリア

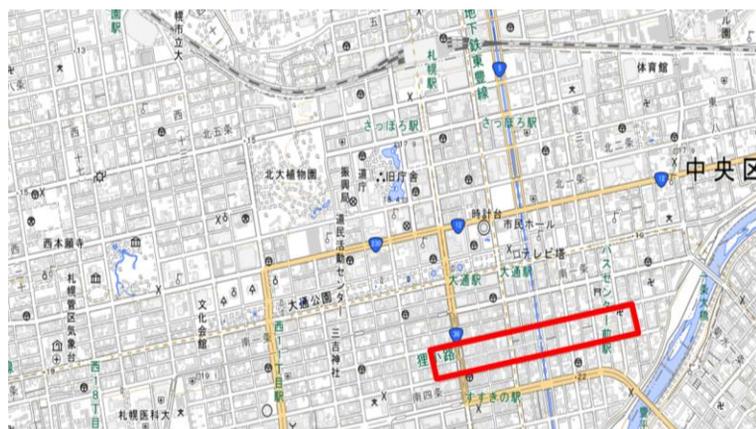
北海道札幌市 狸小路商店街

エリア選定理由

札幌市の駅前エリアは、ある程度の密度で飲食店が並んでおり、特にアーケード商店街である狸小路商店街は雪の影響を受けず車通りもないことからARガイドの実証調査を行うのに必要十分な規模である。コロナ前においては、北海道はインバウンドの消費額で東京、大阪に次ぐ勢いとなっており、言語に依らないARガイド・モバイルオーダーの導入はコロナ後を見据えると非常に有用であり、利用が見込める。

また、JTBIは従来より様々な取り組みを札幌市と行っており（直近ではMaaSの取り組みなど）、関係者調整の実施も問題なく遂行可能である。

図4-18-2 3D都市モデル利用範囲



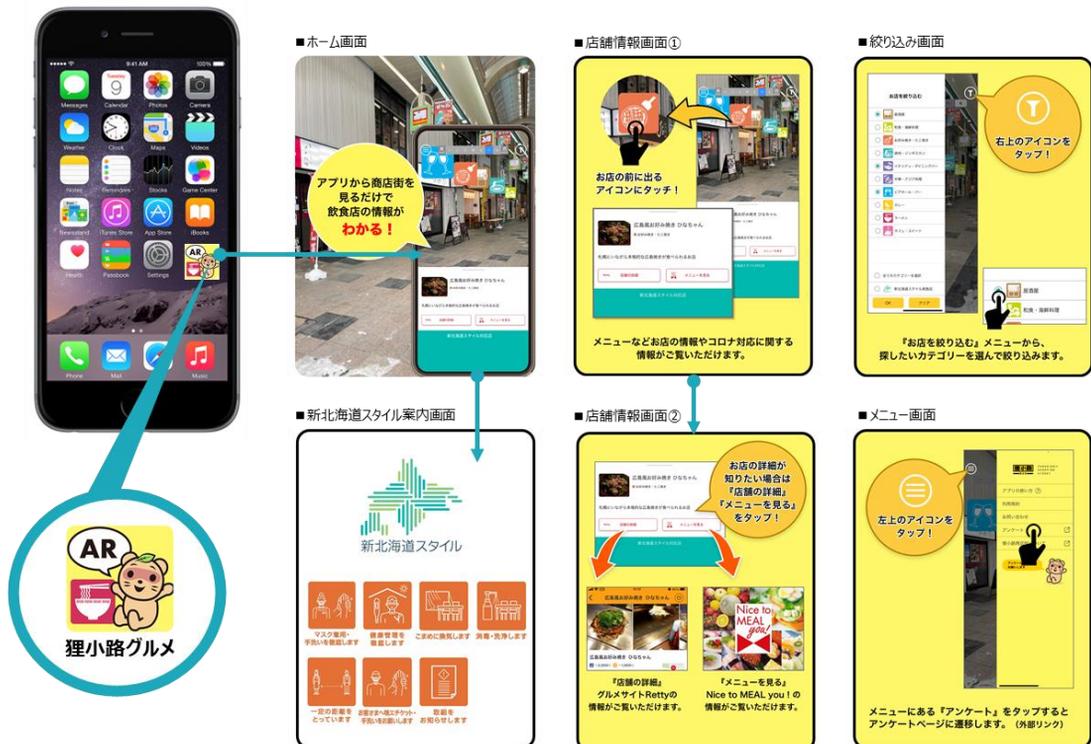
③実証調査に向け開発されたサービス

観光地でありグルメの宝庫である札幌市の狸小路商店街を対象として、3D都市モデルをバックデータとして活用したVPSによる高精度なAR飲食店ガイドとモバイルオーダーシステムを組み合わせたスマートフォン向けスーパーアプリを開発した。

本アプリを構成する機能は、コロナ禍における食の安全安心を担保する以下の4つである。

- ARガイド機能（ARによるスマホカメラをかざして得られる飲食店の位置情報表示）
- 飲食店詳細情報（Retty情報）
- コロナ対策情報（北海道スタイル対応情報）
- Nice to Meal youによるメニューの非接触モバイルオーダー機能（一部店舗のみ）

図4-18-3 開発されたサービスのイメージ



④3D都市モデル (CityGML) の活用方法

3D都市モデルのみをバックデータとしたVPSでは、均質な建物が密集するため特徴点が捉えづらい商店街において明るさの変化や視線位置の影響により十分な位置精度を確保できないことが明らかとなった。そのため特徴点を補うために追加で簡易的な三次元測量を実施した

利用された3D都市モデルの仕様

- 狸小路商店街のLOD2モデル
- 高精細テクスチャ（アーケード下のため個別で地上より取得）

3D都市モデルの用途

- 三次元測量で取得した点群データを付与する対象のバックデータとして使用
- ARタグの位置調整の補助データ
 - テクスチャを見ながら各店舗のARタグを空間上の適切な位置に配置している

3D都市モデル活用のためのソフトウェア

- CityGMLの変換
 - OBJ形式へFME Desktop2020.2にて変換
- 3D都市モデルの加工
 - 三次元計測によりモデルで不足している特徴点を補完、詳細化を実施
- 3D都市モデル利用システム
 - PTC Vuforia (VPS)
 - Unity 2020.2.1 (ARタグ付け)

図4-18-4 特徴点を補完された3D都市モデル

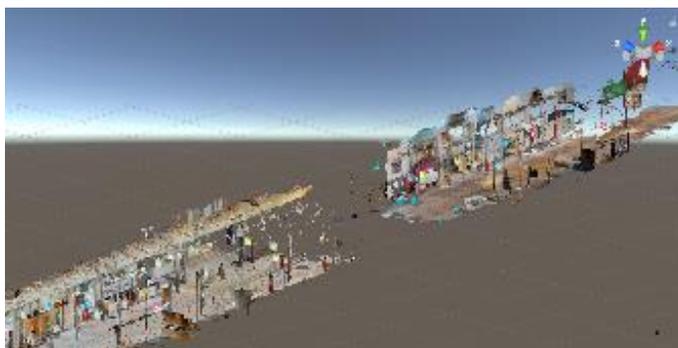


図4-18-5 ARタグ付けの補助データとして利用された3D都市モデル



【参考】3D都市モデルを利用したVPSの仕組み

ARを高精度化するVPSのバックデータとして3D都市モデルを利用した。GPSを用いて利用者の位置情報を数十mの精度で測定した後、スマホのカメラを用いて得られた画像から建物の特徴点を抽出し、VPSのバックデータを利用して特徴点とマッチングさせ、スマホの位置・向き・画角を精度高く測定する。なお、追加で簡易三次元測量で得られた点群データを3D都市モデルに付与することで特徴点の補完を実施した。

図4-18-6 3D都市モデルによるVPSバックデータ構築

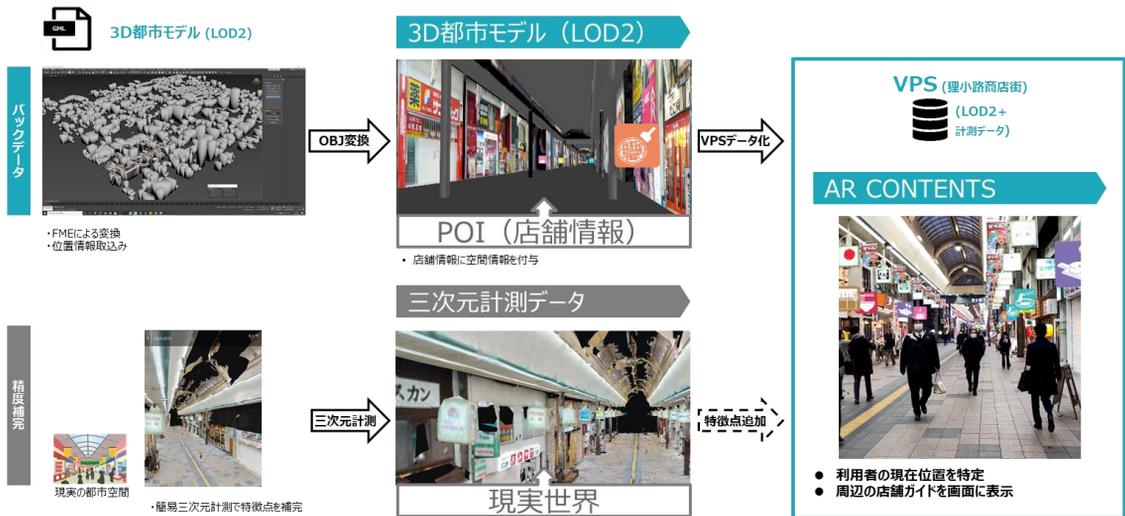
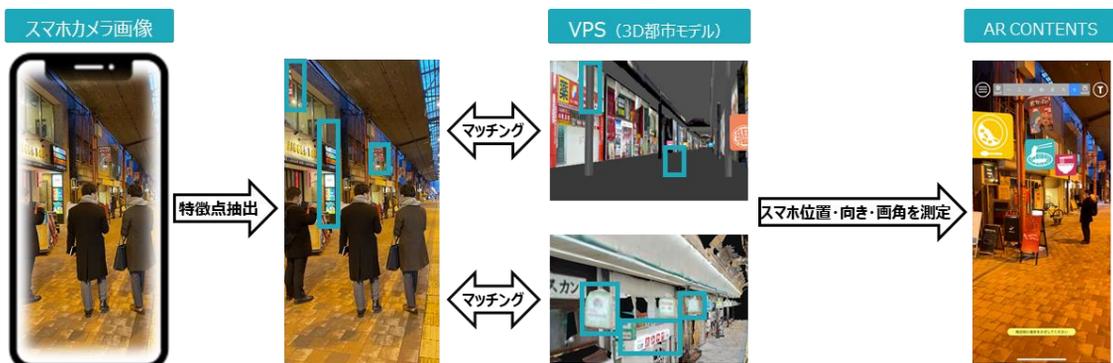


図4-18-7 3D都市モデルによるVPSバックデータを使った実際のマッチング



4-18-3 実証調査結果

①実証調査の様子

2021年3月10日～19日の10日間で実証調査を行い効果を検証した。

図4-4-8 実証調査の様子



②実証調査の被験者

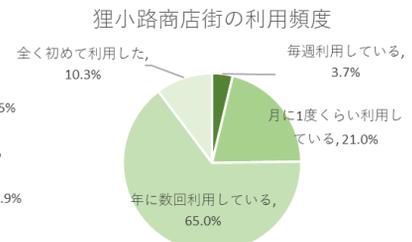
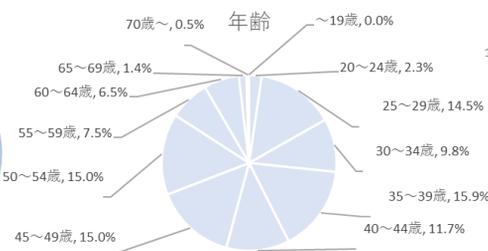
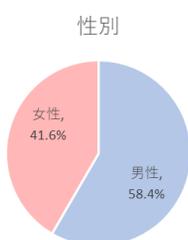
実証実験への参加しアンケート回答頂いた被験者は214名であった。

図4-18-9 実証調査の被験者詳細

《利用者プロフィール》

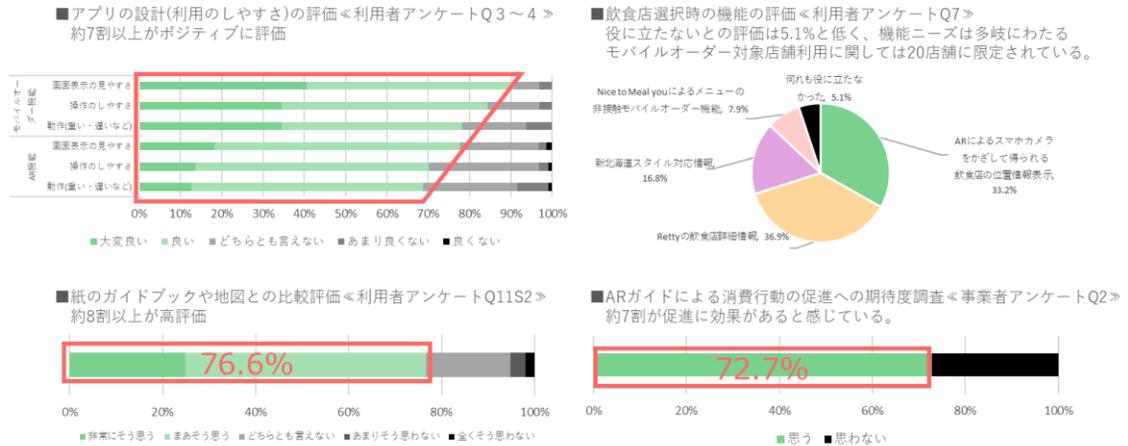
一段目 実数、二段目 横割合

	計	～19歳	20～24歳	25～29歳	30～34歳	35～39歳	40～44歳	45～49歳	50～54歳	55～59歳	60～64歳	65～69歳	70歳～
計	214	0	5	31	21	34	25	32	32	16	14	3	1
	100.0%	0.0%	2.3%	14.5%	9.8%	15.9%	11.7%	15.0%	15.0%	7.5%	6.5%	1.4%	0.5%
男性	125	0	4	15	10	18	20	16	18	13	9	1	1
	100.0%	0.0%	3.2%	12.0%	8.0%	14.4%	16.0%	12.8%	14.4%	10.4%	7.2%	0.8%	0.8%
女性	89	0	1	16	11	16	5	16	14	3	5	2	0
	100.0%	0.0%	1.1%	18.0%	12.4%	18.0%	5.6%	18.0%	15.7%	3.4%	5.6%	2.2%	0.0%



③アンケート結果 | 消費行動の促進

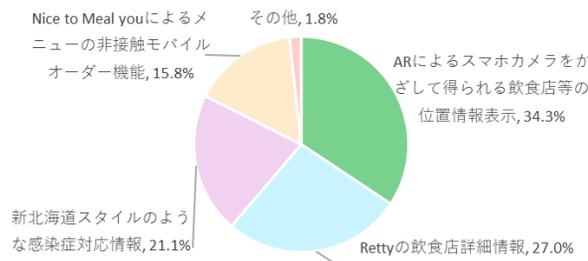
利用者視点、事業者視点から消費促進への効果を検証し、『サービスの設計、機能ニーズ、既存紙媒体との比較、事業者の期待』の観点にて高い評価を得た。



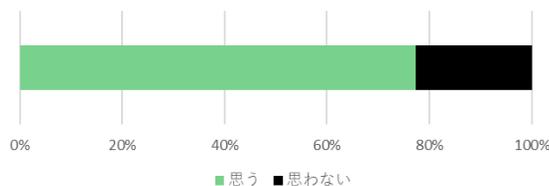
④アンケート結果 | 観光体験

旅行先でのニーズの検証より多岐に渡るニーズがあり機能の連携が必須と思われる。また土地勘がない場所での利用に対する事業者の期待の観点にて高い評価を得た。

■ 旅行先(土地勘がない場所)での機能に対する利用意向調査<利用者アンケートQ8>
ニーズが存在し、機能の種別は多岐にわたる。
『ニーズなし(特になし)』は非常に僅かであった(214件中1件)。



■ 土地勘のない観光客の増加への期待度調査<事業者アンケートQ6>
約8割が増加に効果があると感じている。



⑤ アンケート結果 | 3D都市モデルを活用したARガイドの価値

3D都市モデルをベースとしたVPSを組み込んだARガイドの位置精度に不満を感じるユーザーはほぼおらずVPSの十分な効果が確認された。旅行先での利用はARガイドが飲食店情報よりも高い評価を得た。

案内される飲食店の位置は正確・的確でしたか

質問内容	実数	%
大変良い	51	23.8%
良い	127	59.3%
どちらとも言えない	32	15.0%
あまり良くない	2	0.9%
良くない	2	0.9%
合計	214	100.0%

もし、どこかへ旅行に行ったときに利用できたら便利と思う機能はありますか？（複数回答可）

質問内容	実数	%
ARによるスマホカメラをかざして得られる飲食店等の位置情報表示	117	34.3%
Rettyの飲食店詳細情報	92	27.0%
北海道スタイルのような感染症対応情報	72	21.1%
Nice to Meal youによるメニューの非接触モバイルオーダー機能	54	15.8%
その他	6	1.8%
合計	341	100.0%

4-18-4 実証調査考察

① サービス開発における示唆と課題 | 示唆

3D都市モデルを用いて以下の2つの位置情報をワールド座標内で管理することで、精度の高いAR体験が実現することができことが明らかとなり、3D都市モデルの有用性が示された。

- 情報の立体的な位置情報付加による『バックデータベース』
飲食店情報の場所は住所で管理されており、AR化するにあたって3Dプラットフォームで管理できる仕組みが必要であった。3D都市モデル+テキストチャを用いることで、より高精度で飲食店の位置を管理することが可能となった。これにより、表示・認識精度ともにユーザーの体験性を高めることに寄与した。
- 利用者の『自己位置推定』
自己位置推定を行うためのデータは、画像（自然画）認識、立体認識など様々ある。今回、現実空間の簡易三次元計測によるデータ構築を行い、立体認識を採用した。その主たる理由は、屋外における時間帯での光源の変化に対応し、環境に影響なくサービスを行うためである。結果、3D都市モデルに簡易三次元計測を組み合わせることで立体認識に必要なデータベースが構築できた。

図4-4-10 3D都市モデルによる位置管理



②サービス開発における示唆と課題 | 課題

分類	課題	対策案
3D都市モデル	<p>VPS構築における課題</p> <ul style="list-style-type: none"> • LODレベルの不足（前後の凹凸による陰影と視差を情報として位置測位するため、LOD2では測位不可） • 建物詳細情報の不足（外構、開口部、フロア情報等が不足しており、単体では特徴点の捕捉不可） 	<ul style="list-style-type: none"> • LODのレベルUP（LOD3以上） • 三次元計測情報搭載（ADE定義） • CityGMLに展開図等の建物詳細情報搭載
	<p>情報更新における課題</p> <ul style="list-style-type: none"> • 都市モデルの更新頻度（都市計画基礎調査更新/5年、【参考】Google Earth 更新/1~3年） • データの保守・更新（都市モデルの更新に合わせた更新） 	<ul style="list-style-type: none"> • 現実世界の変化に即したデータ更新 • 税務調査データ等を活用した更新 • 衛星データ等の活用による更新
配信情報	<p>情報更新における課題</p> <ul style="list-style-type: none"> • データの保守・更新（店舗等の変化に合わせた更新） • リアルタイムな情報配信（混雑状況等） 	<ul style="list-style-type: none"> • 現実世界の変化に即したデータ更新 • Retty等の事業者からの予約情報取得
	<p>コンテンツにおける課題</p> <ul style="list-style-type: none"> • 配信情報の不足（飲食店以外の配信情報・コンテンツタイプ等） • 多言語対応（現状日本語対応のみ、他言語設定のiPhoneでは動作せず） 	<ul style="list-style-type: none"> • 見どころ・イベントなど配信情報整備・追加 • 多言語対応オプション追加
UX改善	<p>対応機種における課題</p> <ul style="list-style-type: none"> • 対応OS・機種不足（現状iOSのみ、過去機種では動作性に改善の余地あり） 	<ul style="list-style-type: none"> • Android対応 • 省データ化による動作改善
	<p>機能における課題</p> <ul style="list-style-type: none"> • 旅マエ～旅アト機能の不足（現状旅ナカの機能のみ搭載） • アナリティクス機能の不足（ログ取得・解析・FB・改善へ活用） 	<ul style="list-style-type: none"> • VR観光等の旅マエ機能拡充 • アナリティクス機能の整備
サービス改善	<p>サービス拡大における課題</p> <ul style="list-style-type: none"> • 対象エリア・参画事業者の不足（現状狸小路商店街・飲食店のみ） • 認知拡大に向けた施策（現状HP告知・手作業での告知のみ） • サービス一般化に向けた汎用化 	<ul style="list-style-type: none"> • 対象エリア・参画事業者の拡大 • 告知・クチコミ等による認知拡大施策の整備 • 汎用化に向けたデータフォーマット標準化

③3D都市モデルと開発するサービスとの親和性

検証の結果、LOD2の3D都市モデル単体ではVPSが構築できないことが確認された。3D都市モデル単体でのVPS構築に向けては今後より詳細度の高いLODのデータによる検証が求められる。

一方で、本実証においてもLOD2都市モデル+テクスチャは一定の作業軽減効果を発揮しており、構築までのリードタイムを約半減することができているため、3D都市モデルと本サービスの親和性は高い。

ARガイド

- LOD2の3D都市モデル単体でのVPS構築はできなかったが、LOD2+テクスチャによって店舗情報との照合の構築作業の軽減
- VPS構築での店舗入口などの位置設定作業および特徴点の三次元計測作業の負荷軽減に貢献※約50%削減
- LOD3+テクスチャの高精細化によって、都市モデル単体でのVPS構築が可能となるかは今後の検証課題

ARの横展開

- 観光・防災・福祉・教育など、地図・地形・建物をインターフェースにした情報コミュニケーションサービスと親和性が高い
- バーチャル観光機能など、現在のARガイド以外の拡張サービス開発とも親和性が高い
- CityGMLならではの意味情報として、事業者情報などを追加することで、更に負荷軽減や情報精度の向上が望める

ビジネス価値・社会意義

- CityGMLに基づく標準化により、グローバルな情報提供や情報連携及び相互運用性確保等が期待できる

4-18-5 展望

事業の本格展開・全国展開に向けた展望・チャレンジ

本実証実験の結果を踏まえ、より満足度が高く思い出に残る旅行体験を提供するニューノーマル時代の新たなサービスとして、全国地域での事業化に向けて検討を進めていく。

今後の検証ポイントとして、ARとVPS技術を組み合わせた観光体験を様々な領域に広げていくことが考えられる。例えば、寺社仏閣やお城、観光施設等に対象施設を拡大し、観光型MaaS等の他サービスとの連携を実装していくことで、安心・安全を確保しつつ魅力的な体験価値を提供し得るサービスの可能性を検証していきたい。また、インバウンド需要の回復に備えた多言語対応などの機能拡充を行うことで、土地勘がない、あるいは言語が通じない観光客に対しても安心感を与え、満足度の高い思い出に残る旅行体験を提供していきたい。

さらに、VR空間を活用した観光ソリューションの領域でも3D都市モデルを活用し、バーチャルな観光体験の提供や目的地の魅力発信を行い、サイバー空間とフィジカル空間の双方を横断的に活用して観光を盛り上げていくことも想定している。

3D都市モデルを基盤として観光領域におけるDXの取組みを進め、より満足度の高い思い出に残る旅行体験の提供、地域経済の再活性化、地域の持続的な発展と安心・安全な都市生活の実現を目指していく。

4-19 3D都市モデルとBIMを活用したモビリティ自律運行システム（ドローン編） （2022年度）

株式会社竹中工務店、株式会社センシンロボティクス、アダワープジャパン株式会社、株式会社アルモ

<https://www.mlit.go.jp/plateau/use-case/uc22-024/>
https://www.mlit.go.jp/plateau/file/libraries/doc/plateau_tech_doc_0046_1_ver01.pdf

4-19-1 サービス概要

①事業・サービスの目的、ビジネスモデル、社会的意義

事業・サービスの目的と概要

都市部等が抱える交通サービス課題の一つとして、建設工事における人や物の移動による交通渋滞がある。このような課題を解決し、より良い環境を提供することで持続的な経済発展を実現できる。空と陸の新たなモビリティサービスとして、3D都市モデル（CityGML）とBIMモデルを融合させたドローン自律飛行を実現させることを目的とする。

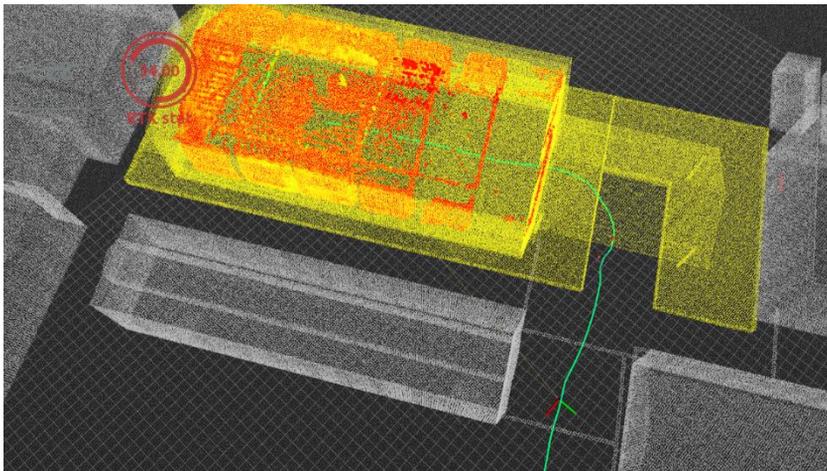
想定ビジネスモデル

- ドローン自律飛行による業務支援サービス
- 利用事業者の省力化につながる自律飛行システムを使った業務支援サービス
例) 資材運搬や物流における自律ドローンによるラストワンマイルの輸送支援

社会的意義

3D都市モデルと屋内のBIMモデルと融合させることで、ドローンの正確で安全な運航に向けた自己位置推定の指標を提供することが可能となる。また、自己位置推定の指標とすることで、経産省「空の産業革命ロードマップ」に記される「レベル4 目視外飛行」の実現が可能となるなど、様々な輸送サービスが生まれることによって、3D都市モデルが一般の人への認知度を高めることになり、日常的な活用が見込まれる。

図4-19-1 ドローン自己位置推定時のRvizによるモニタリング



4-19-2 実証調査詳細

①実証調査の目的・概要

実証調査の目的

現在のドローン自律運航に関わる課題を解決し、資材運搬等を担うドローンやAGVの自律運行を可能とするため、LiDARやGPS等のセンサーと3D都市モデルを利用した自己位置測位を組み合わせた運航システムを開発する。

実証調査の概要

屋外は3D都市モデル、屋内はBIMモデルの形状を活用してLiDARとGNSS（衛星測位システム）による自己位置推定を行うドローン自律飛行システムを、ロボット・アプリケーションの作成支援ライブラリ・ツール群であるROSを利用して構築した。3D都市モデルとBIMモデルという形式の異なる2つのモデルを同一のマップに表示するために、それぞれのモデルに原点座標を持たせて統合し、PCL（Point Cloud Library）を使って点群マップ化する方法を構築した。

検証は、飛行スタートからゴールまでの間に複数のウェイポイントを設定し、屋外の3D都市モデルを利用した飛行から屋内のBIMを利用した飛行を連続的に行うコの字型の飛行ルートを作成し、飛行精度を評価した。

• 実証仮説

- ドローンを都市部で飛行させる場合、GNSS測位だけの飛行では受信状況が悪いビルの間などでは正確で安全な飛行を担保できないことが多々あるため、センサーにより周囲環境を計測し自己位置を推定する技術が必要不可欠となる。この時二つの位置候補を破綻なく統合する技術も必要となる
- 3D都市モデル（CityGML）データを基にしたLiDAR SLAMで得られる自己位置を、GPS（RTK）データと取捨選択・統合することで都市部における安全な飛行が可能となる
- 屋外/屋内のシームレスな運航を実現することで、資材運搬・輸送における「ラストワンマイル」の課題の解決が可能となる

• 検証ポイント

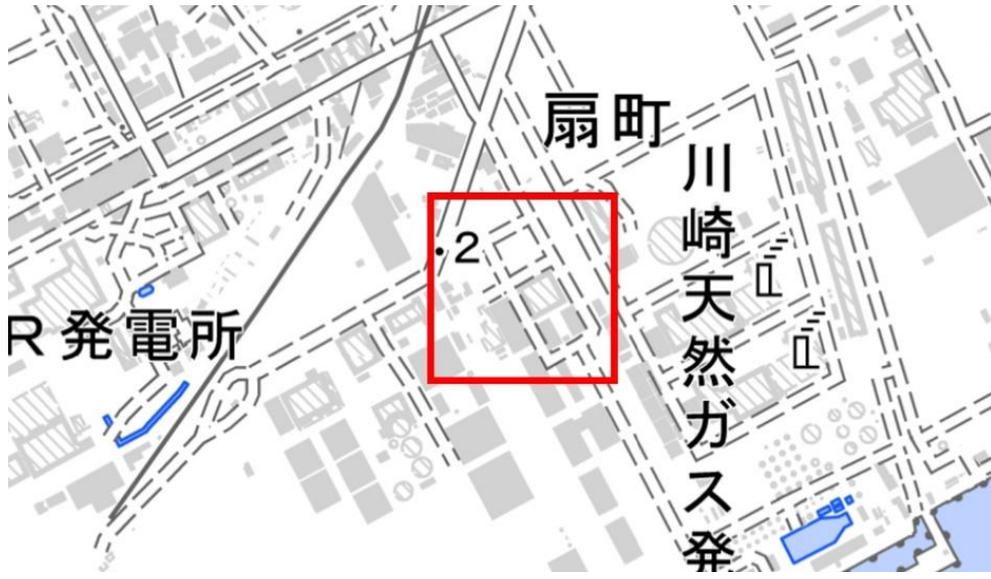
- GPSデータ・3D都市モデルデータ・センサーからの情報を統合して飛行マップを作成した際の自己位置推定の精度の検証
 - ✓ MAP上に飛行ルートを設定し同じルートを自動飛行できるか
 - ✓ MAP上に設定したウェイポイントへの到達した際の位置精度は実用に十分か

②実証調査の対象エリア

対象エリア

神奈川県川崎市扇町地域(約26,000m²)

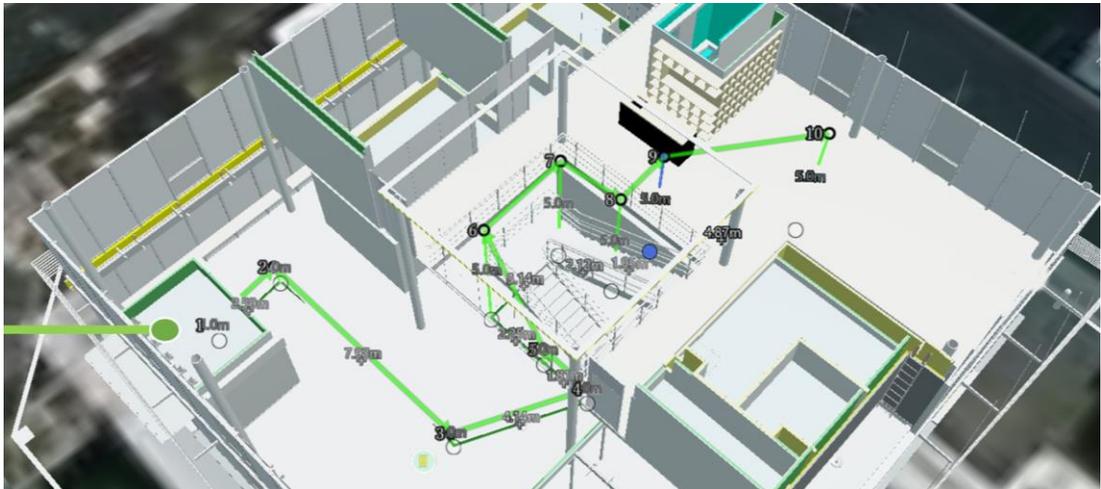
図4-19-2 3D都市モデル利用範囲



③実証調査に向け開発されたサービス

屋外は3D都市モデル（建築物モデルLOD2）、屋内はBIMモデルの形状を活用してLiDARとGNSS（衛星測位システム）による自己位置推定を行うドローン自律飛行システムを、ロボット・アプリケーションの作成支援ライブラリ・ツール群であるROSを利用して構築した。具体的には3D都市モデル・BIMモデルをマップとして利用するLiDARによる自己位置測位（LiDAR SLAM）を行う仕組みをフルスクラッチで開発するとともに、LiDAR SLAMとGNSSの2つの測位情報を状況に応じて統合又は切り替える「FUSION」と呼ばれるシステムを構築した。具体的には、測位状態の良好な状態（数cmの精度が期待される状態）を閾値として設定し、双方ともに有効な場合は測位結果を統合し、一方の精度が期待できない場合にはもう一方のみに切り替えることで、精度向上と冗長性を図る仕組み（FUSION）を開発した。また、3D都市モデル（建築物モデルLOD2）とBIMモデルという形式の異なる2つのモデルを同一のマップに表示するために、それぞれのモデルに原点座標を持たせて統合し、PCL（Point Cloud Library）を使って点群マップ化する方法を構築した。

図4-19-3 開発されたサービスのイメージ



導入する新技術・実証技術

- LiDARセンサー

レーザー光の反射によって対象物との距離や形状を図るLiDAR技術を用いた測距センサーで、点群データを取得する技術
- LiDARローカリゼーション

LiDARセンサーで移動体が周囲の環境をセンシング、マップを用いて自己位置推定を行う技術
- ROS

ロボット・アプリケーション作成を支援するライブラリとツール、ロボット/モビリティの自律運行を実現する技術
- ArUcoマーカ

姿勢推定に使用できるバイナリの正方形基準マーカ。QRコードに似た正方形マーカにより、堅牢・迅速・簡単にカメラとマーカの相対位置を検出することが可能な技術

実証システム図

図4-19-4 システムアーキテクチャ全体図

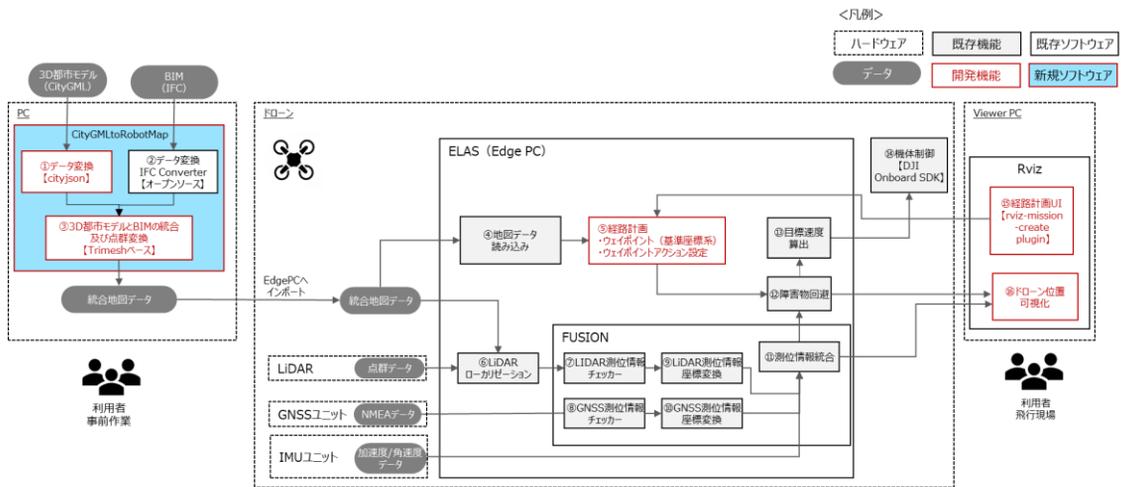
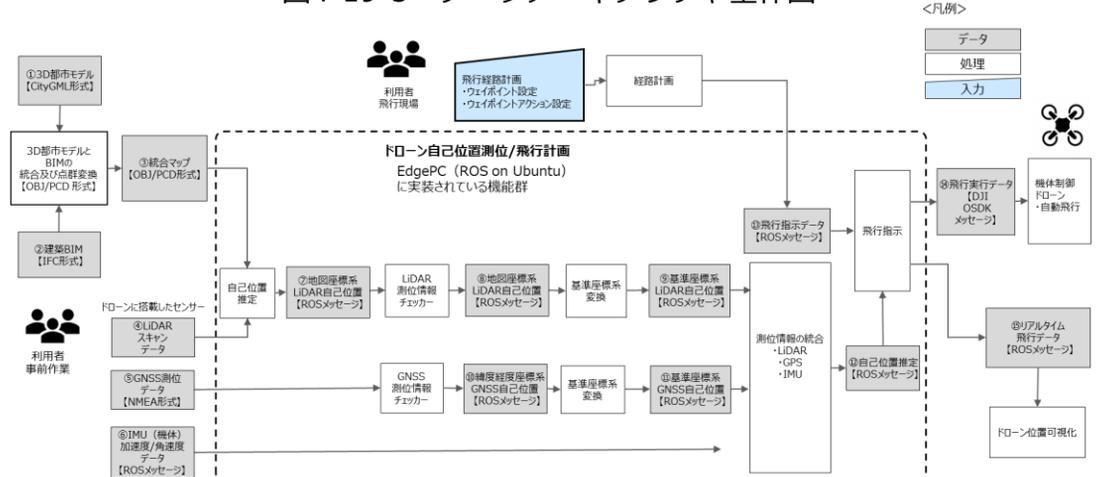


図4-19-5 データアーキテクチャ全体図



④3D都市モデル (CityGML) の活用方法

本実証では、3D都市モデルとBIMデータを統合し、LiDARによる自己位置推定のためのマップとして利用している。

利用された3D都市モデルの仕様

- 対象エリアのLOD2建築物モデル、 LOD1地物モデル

3D都市モデルの用途

- LiDARローカリゼーションのためのマップとして利用

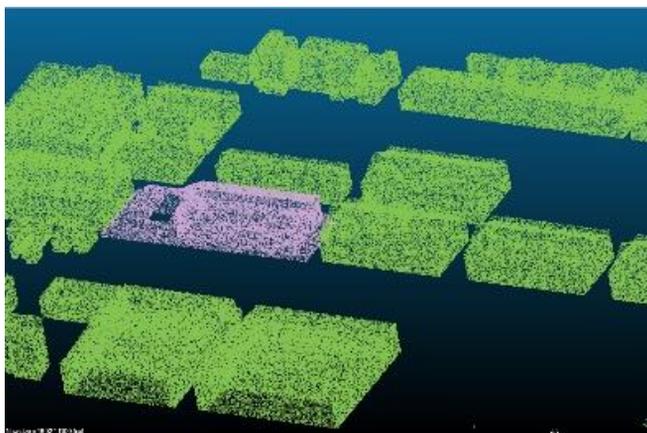
3D都市モデル活用のためのシステム

- CityGMLの変換
 - CityGML形式からobj形式へ変換（使用ソフトウェア：CityGMLtoRobotMap）
- 3D都市モデル利用システム
 - CityGMLtoRobotMap

図4-19-6 統合マップの作製



3D都市モデルとBIMデータのマージ (OBJ形式)



統合したOBJから点群を生成

4-19-3 実証調査結果

①自己位置推定の精度検証

2022年11月22日、11月28日にドローンの自己位置推定精度について、複数回の飛行による位置の再現性の検証を行った。

図4-19-7 実証調査の様子



屋外での自律飛行

屋根下の自律飛行

開口部を通過

検証内容

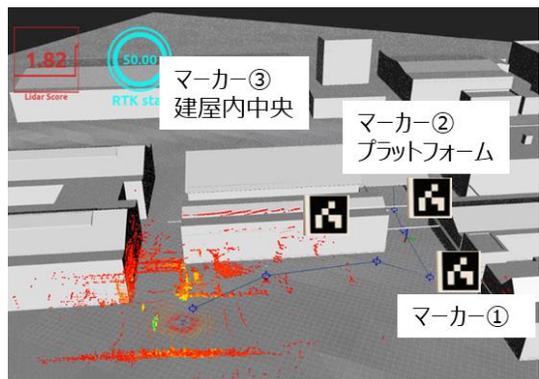
指定ポイントにArUcoマーカ―を設置し、ArUcoマーカ―の位置 (x,y,z) を計測する。

- ArUcoマーカ―上にて10秒間ホバリングを行う。
- ドローン搭載カメラにて1秒間に15枚の画像を撮影。
- 合計150枚の画像から、x,y,zそれぞれの平均値を算出する。
- 1回目、2回目の平均値を比較し再現性を確認する。

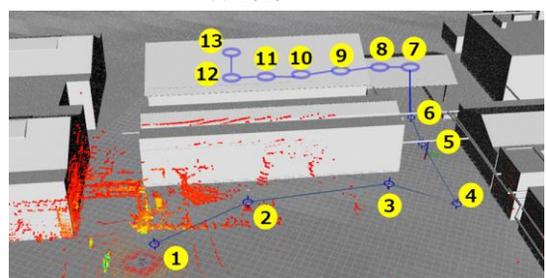
検証フロー

マーカ―設置	飛行ルートのウェイポイント3か所にマーカ―を設置する (①～③)
自律飛行 1回目	1回目の自律飛行を実施
相対位置 計測	3か所のマーカ―上空で10秒間ホバリングして、マーカ―とドローンとの相対位置を計測する
自律飛行 2回目	2回目の自律飛行を実施
相対位置 計測	3か所のマーカ―上空で10秒間ホバリングして、マーカ―とドローンとの相対位置を計測する
比較検証	1回目と2回目のArUcoマーカ―3つとそれぞれ比較してセンチメートル単位の差分を算出する

検証イメージ



ウェイポイントの設定位置



検証結果

ArUcoマーカーを設置したポイント①②③にて算出した平均値と差分を表示したところ限定された条件下で飛行ルートを設定し、自動飛行することができた。3D都市モデル（LOD2）とBIMを統合した自動飛行用のMAPを作成して活用することで、事前飛行によるMAP作成をすることなく限定された条件下で自動飛行ができることが分かった。屋外から屋内への飛行ルート設定を同一インターフェース上で容易に設定できた。Z方向はドローンの回転翼による推力方向と一致するため、制御性の高さから精度が高いことが見込まれる。よって、飛行動作を考慮しない自己位置推定のみの精度の高さはXYZともにこのZ方向の結果を超える精度が得られていることが期待される。

図4-19-8 飛行再現性検証サマリ

KPI		達成度・結果 (差分の平均値)	示唆
事前のLiDARスキャンによるマップを用いずに、3D都市モデル/BIMを用いてLiDARローカリゼーションによる自己位置推定を用いた自律飛行の再現性	X方向	35mm	<ul style="list-style-type: none"> 3D都市モデル（LOD2）とBIMを統合した自動飛行用のMAPを作成して活用することで、事前飛行によるMAP作成をすることなく限定された条件下で自動飛行ができることが分かった 屋外から屋内への飛行ルート設定を同一インターフェース上で容易に設定できた Z方向はドローンの回転翼による推力方向と一致するため、制御性の高さから精度が高いことが見込まれる。よって、飛行動作を考慮しない自己位置推定のみの精度の高さはXYZともにこのZ方向の結果を超える精度が得られていることが期待される
	Y方向	60mm	
	Z方向	9mm	

図4-19-9 自己位置推定の精度検証結果

		ウェイポイント			精度の 平均値
		①	②	③	
X方向	1回目	14mm	29mm	37mm	35mm
	2回目	5mm	117mm	30mm	
	差分	9mm	88mm	7mm	
Y方向	1回目	210mm	112mm	120mm	60mm
	2回目	235mm	6mm	169mm	
	差分	25mm	106mm	49mm	
Z方向	1回目	1,333mm	1,572mm	1,251mm	9mm
	2回目	1,344mm	1,565mm	1,261mm	
	差分	11mm	7mm	10mm	

※各測定値は、ArUcoマーカーとドローンとの相対距離である。Z方向から撮影しているため、距離をとる必要があり、Z方向の距離はXYに比べて大きい。

4-19-4 実証調査考察

①実証で得られた成果

3D都市モデルによる技術面での優位性

モビリティ用 MAP	<ul style="list-style-type: none"> • 3D都市モデルを活用することで、現地での事前飛行によるMAP作成の必要なく、仮想空間上でドローン自律飛行用のMAPを作成することができる。 - 3D都市モデルとBIMを統合した自動飛行用のMAPを作成して活用することで、事前飛行によるMAP作成をすることなく限定された条件下で自動飛行ができることが分かった。
自動運行 ルート	<ul style="list-style-type: none"> • 本実証にて、3D都市モデルおよびBIMを統合したMAPを用いて、屋外から屋内への飛行ルート設定を同一インターフェース上で容易に設定できた。

3D都市モデルによるビジネス面での優位性

自律飛行の 実現性	<ul style="list-style-type: none"> • 3D都市モデルがあれば、事前の点群MAP作成をせずに、点群マップが作成でき、従来よりもリードタイムが短く自動運行が可能となる。 - 3D都市モデルが整備される以前は、自律飛行には事前運行による点群MAP作成が必要不可欠であるが、ビルの間などのGPS測位の難しいエリアでは目視のみでの飛行に頼る必要があった。
入手・加工の 容易性	<ul style="list-style-type: none"> • 3D都市モデルが整備されさえすれば、誰でも容易に点群MAPが作成でき、モビリティサービスへの活用が可能となる。 - 自動運行のシミュレーションや点群MAPの生成などで、3D都市モデルは有効なプラットフォームになりうる。 - 3D都市モデルの整備エリアの拡大に伴い、モビリティサービスも拡大しやすくなる。
オープンデータの 信頼性	<ul style="list-style-type: none"> • 3D都市モデルは公共測量を用いており、同精度であれば問題なく自動運行が可能となる。

②活用にあたっての課題

上空エリアでの 推定精度向上	<ul style="list-style-type: none"> ・ 上空利用のLTE回線は、一般のLTE回線より通信速度が遅くなるため自己位置推定精度が低下するおそれがある。 - 上空はドローンから地上へ送信される自己位置情報、点群データなどが遅延し、自己位置推定に影響を及ぼす。 - 今回は実証できていない10メートル以上の高度ではドローンに搭載したLiDARから周囲の点群情報が更に減少する可能性が高い。
積載容量の 増加	<ul style="list-style-type: none"> ・ 建設資材等を搬送するためには本年活用したドローンの積載容量は不足しており、ハードウェア自体の技術開発が必要である。 - 実証では最大積載量2.7kgのドローンにRTK-GNSS、LiDAR、EdgePCを搭載し自動飛行を行うことができたが建築資材運搬には不十分である。
システムの ユーザーインター フェース 向上	<ul style="list-style-type: none"> ・ サービス化に向けてターゲットとするユーザー（資材運搬、運輸、等）が利用できるようなユーザーインターフェースの開発が必要である。 - 本年は技術面での実証としたため、システムはシステム開発者で操作できるレベルに留めたが、想定ユーザーに使ってもらえる使い勝手のよいインターフェースを検討する必要がある。

4-19-5 展望

都市部におけるドローンや車両等の自律運航では、高層ビル等の影響でGNSS測位の精度が低下する状況が発生し、正確かつ安全な飛行・走行ができないことが多々ある。また、LiDARによるSLAMはGNSSに頼らない自己位置推定の仕組みとして有効だが、事前のマップ作成や調整などが必要となり、コストの面で課題がある。これらの課題解決に資する新たな技術として、本システムでは、LiDARと3D都市モデル・BIMモデルを組み合わせた自己位置推定の仕組みを構築した。さらなる実用化に向けては、今回の実証実験で抽出した課題を迅速に解決し、効率面と安全面において大きく高めた運搬システムサービスを新しく生み出すとともに、汎用性の高い本システムをその他のサービスへ横展開していくことも志向したい。

また、実用的な飛行速度・飛行高度を担保するため、より高速な動作が可能なシステム・センサーの導入による速度向上を検討していくとともに、特徴点の多い、より精緻なBIMモデルと3D都市モデルを組み合わせたマッチング精度向上の手法を構築し、GNSS測位が不安定な高層ビルに囲まれた都市部における自己位置推定の実用化を目指す。

4-19 3D都市モデルとBIMを活用したモビリティ自律運行システム（搬送車両編） （2022年度）

株式会社竹中工務店、株式会社センシンロボティクス、アダワープジャパン株式会社、株式会社アルモ

<https://www.mlit.go.jp/plateau/use-case/uc22-024/>
https://www.mlit.go.jp/plateau/file/libraries/doc/plateau_tech_doc_0046_2_ver01.pdf

4-19-1 サービス概要

①事業・サービスの目的、ビジネスモデル、社会的意義

事業・サービスの目的と概要

都市部等が抱える交通サービス課題の一つとして、建設工事における人や物の移動による交通渋滞がある。このような課題を解決し、より良い環境を提供することで持続的な経済発展を実現できる。3D都市モデルを活用し、建物、道路等を的確に把握することによって、搬送車両を自動および遠隔にて操作することが可能となり、人的操作、人的ミスを減らし計画的な作業を行うことを目的とする。

想定ビジネスモデル

- 自律走行の搬送車両による業務支援サービス
 - 資材運搬・物流等の省力化につながる自律走行システムによる業務支援サービスの提供
- 搬送車両の自律走行車両の遠隔モニタリングサービス
 - 自己位置推定とデジタルツインビューによる自律走行支援型遠隔車両の管制サービスの提供

社会的意義

3D都市モデルと屋内のBIMモデルと融合させることで、搬送車両の正確で安全な運航に向けた自己位置推定の指標を提供することが可能となり、輸送における課題「ラストワンマイル」のアプローチとして、屋外/屋内のシームレスな運航が可能となる。こうした輸送サービスが生まれることによって、3D都市モデルが一般の人への認知度を高めることになり、日常的な活用が見込まれる。

図4-19-1 搬送車両の自律走行時のデジタルツインビューワー



4-19-2 実証調査詳細

①実証調査の目的・概要

実証調査の目的

都市部での大規模再開発に伴う建設工事による交通への影響は、現代社会において深刻な問題となっている。この問題に対処するためには、都市部や屋外・屋内のシームレスな自律運行の実現が期待される。本実証では、3D都市モデルを活用し安全かつ効率的に自律運行の実現するシステムの構築を目指す。

実証調査の概要

現在の搬送車両に係る下記課題を解決し、資材運搬時などの自律運行を可能とする運行システムを開発する。自律運行では、走行ルートの点群マップ生成が必要不可欠であり、その点群マップを3D都市モデルを用いて生成して自律走行させ、その精度を計測する。また、自律運行の場合、遠隔でのモニタリングが必要となるケースがあるため、車両情報をリアルタイムで監視し、3D都市モデルと連携したリアルタイムモニタリングシステムを開発する。

● 実証仮説

- 3D都市モデルを応用し自動運転に必要な点群マップを生成することで、開発のコスト削減が可能となる。
- ✓ 点群マップには、道路の形状や標識、信号、建物などが3次元の点群データとして表現され、自動運転車は点群マップを基に、自分自身の位置や周囲の環境を正確に把握することができる。

● 検証ポイント

- LOD3のモデルを使って自動運転マップを作製した場合の自己位置推定の精度
- 正確な推定が難しいと考えられる下記エリアでの自己位置推定の精度
 - ✓ 建物がなくその他の地物（植生、道路、等）のみで推定が必要なエリア
 - ✓ 現実と3D都市モデルの提供データ量や粒度に差異があるエリア

②実証調査の対象エリア

対象エリア

大阪府大阪市舞洲地域 (2.2km²)

図4-19-2 3D都市モデル利用範囲



③実証調査に向け開発されたサービス

建築資材運搬のための自動搬送車両（最大積載量4トン、最大速度15km/h）を製作するとともに、3D都市モデル（建築物モデルLOD2、道路モデルLOD3、都市設備モデルLOD3、植生モデルLOD3）から生成した点群マップとLiDARセンサーにてエッジ側で取得された点群とをマッチングさせることで、自己位置推定を行うAutoware（自動運転システム用オープンソースソフトウェア）を活用した自律走行システムを構築した。また、自動搬送車両の運行をモニタリングするため、3D都市モデルを配置した仮想空間をUnity上で構築し、リアルタイムの車両の自己位置推定結果をプロットするデジタルツインビューワーを開発した。このビューワーでは、自動搬送車両のコントロールや車載カメラのモニタリングなども可能となっている。

自律走行に必要な点群マップは、Unity上の仮想空間に3D都市モデルを配置し、この空間上で仮想LiDARセンサーを搭載した仮想車両を走行させることによって取得した。この点群マップと、実際の現場を走行させてLiDARセンサーから取得した点群マップの2パターンを用意し、精度の比較に用いた。自己位置推定にはエッジ側で取得したリアルタイムのLiDARセンサーの点群データと、あらかじめ生成した点群マップの分布をマッチングさせるNDT（Normal Distributions Transform）スキャンマッチングと呼ばれる手法を利用した。

図4-19-3 開発されたサービスのイメージ



搬送車両の自律走行

導入する新技術・実証技術

- Autoware Converter

3D都市モデルを点群データにするために、仮想空間内で仮想LiDARによる点群取得を行う点群データコンバーターを開発。

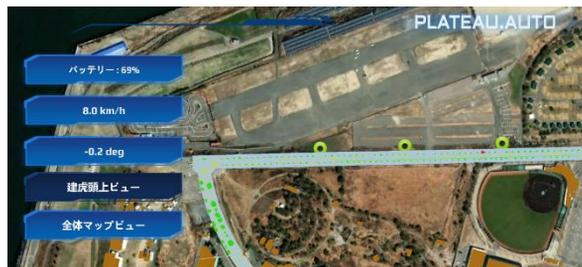
図4-19-4 生成された点群マップ



- Digital Twin Viewer

運搬車が走行するリアルタイムモニタリングシステムと自動運転の経路を計画し、車体に経路を送信する機能を有する。

図4-19-5 車両情報の表示



- LiDARセンサー

レーザー光の反射によって対象物との距離や形状を図るLiDAR技術を用いた測距センサーで、点群データを取得可能にする技術

- LiDAR Localization

LiDARセンサーから出力される点群データとエリアマップをマッチングすることで、自身の位置を推定する技術

- FZKViewer

CityGMLを視覚化するためのソフトウェア

- Autodesk Fusion

Autodesk社によって開発された、3D CAD、CAM、CAEの機能を統合したクラウドベースの製品設計ソフトウェア

- Warpner

LTE経由で低遅延の映像を送信するAndroidアプリケーション

- Warpner Viewer

Warpnerアプリから映像を受信するためのブラウザアプリケーション

- Autoware.Universe

自動運転のオープンソースソフトウェアプラットフォーム

● 実証システム図

図4-19-6 システムアーキテクチャ全体図

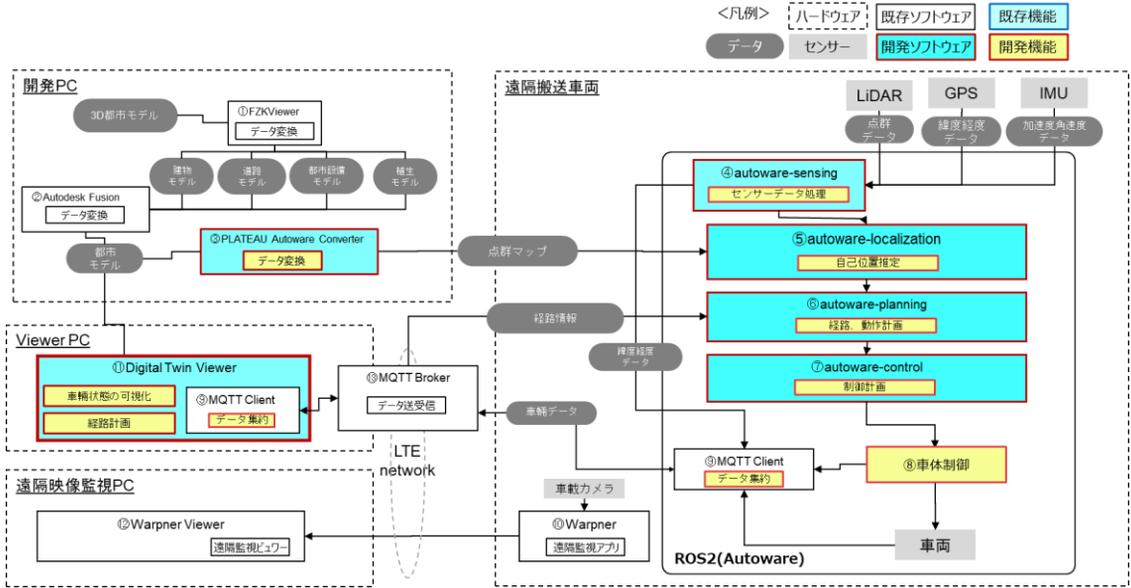
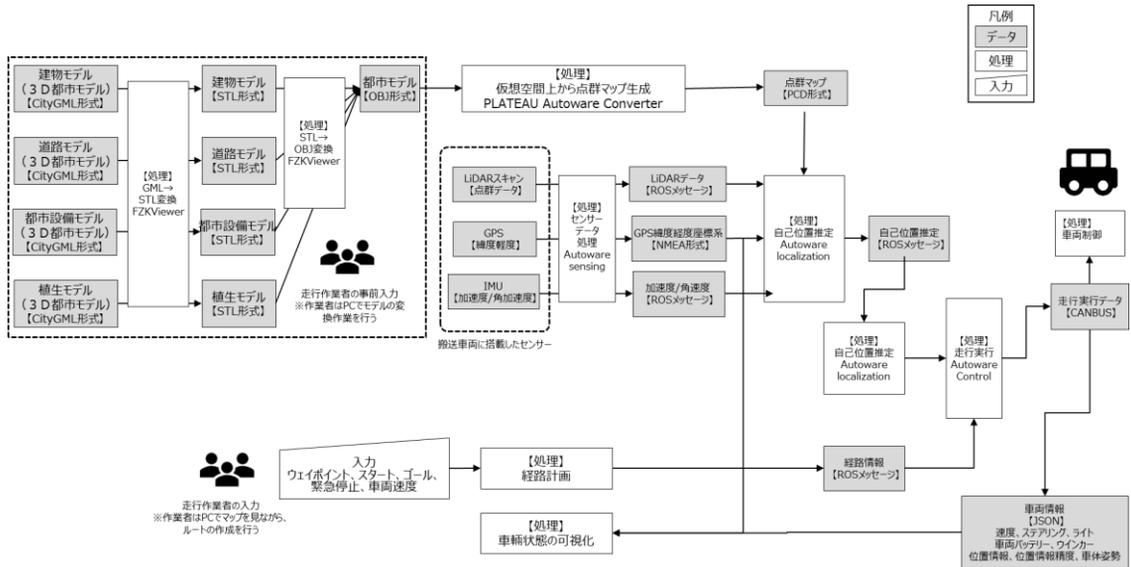


図4-19-7 データアーキテクチャ全体図



④3D都市モデル (CityGML) の活用方法

本実証では、3D都市モデルから点群マップを生成し、自律走行マップ、自己位置推定の精度検証のために利用している。

利用された3D都市モデルの仕様

- 対象エリアのLOD2建築物モデル、 LOD3道路・都市設備・植生モデル

3D都市モデルの用途

- 自己位置推定のためのマップ
- デジタルツインビューを活用した遠隔操作の3Dビュー化

3D都市モデル活用のためのシステム

- CityGMLの変換
 - CityGML形式からSTL形式へ変換後、OBJ形式へ変換
- 3D都市モデル利用システム
 - FZKViewer
 - Autodesk Fusion
 - Autoware Converter

図4-19-8 3D都市モデルを仮想車両が走行



4-19-3 実証調査結果

①自己推定位置精度の検証

2022年12月2日、12月8日に事前取得した点群マップと3D都市モデル由来の点群マップによる自律走行の検証を行った。

図4-19-9 実証走行ルート



検証内容

- ・事前取得した点群マップにより、コースを自律走行できるか検証（12月2日）
- ・3D都市モデル由来の点群マップにより、コースを自律走行できるか検証（12月8日）

評価方法

1. 事前取得マップを取得した際の天候状況と同じ状況で3D都市モデル由来の点群マップを用いた自律走行を行う
2. 事前取得点群マップ及び3D都市モデル由来の点群マップを用いたAutowareの自己位置推定から得られる X座標、Y座標、TP値を散布図、グラフにプロット
3. ルート整合率を算出してX座標、Y座標にプロットし、3D都市モデルの優位性を評価

検証結果

精度検証の結果、3D都市モデル上に建物/植生データの不足しているエリアでは自己位置推定やマッチングに難が生じたものの、建物がメインのエリアでは自己位置推定精度が高く安定的に自律走行ができた。絶対位置精度分析では、TP値が閾値を超える走行ルート上においてはRTKとの位置誤差が0.3m未満となっており、車幅1.66m、一般的な道路幅員3mを考えると十分に公道走行が可能と考えられる。

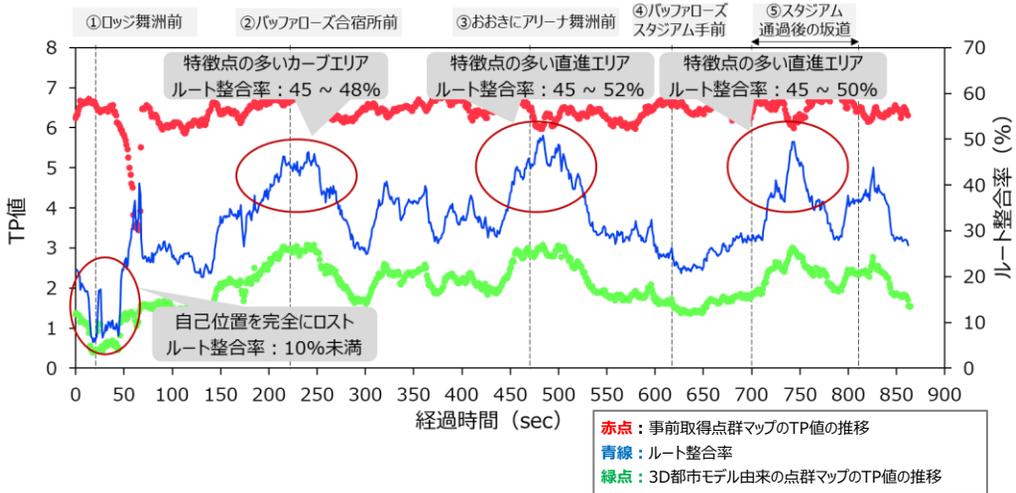
検証結果

精度検証の結果、3D都市モデル上に建物/植生データの不足しているエリアでは自己位置推定やマッチングに難が生じたものの、建物がメインのエリアでは自己位置推定精度が高く安定的に自律走行ができた。絶対位置精度分析では、TP値が閾値を超える走行ルート上においてはRTKとの位置誤差が0.3m未満となっており、車幅1.66m、一般的な道路幅員3mを考えると十分に公道走行が可能と考えられる。

・ マッチング分析結果

精度検証の結果、3D都市モデル上に建物/植生データの不足しているエリアでは自己位置推定やマッチングに難が生じたものの、建物がメインのエリアでは自己位置推定精度が高く安定的に自律走行ができた。

図4-19-10 経過時間ごとのTP値のグラフ



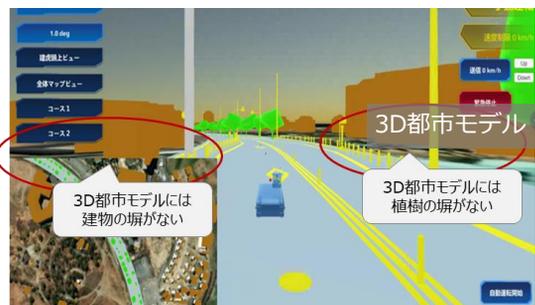
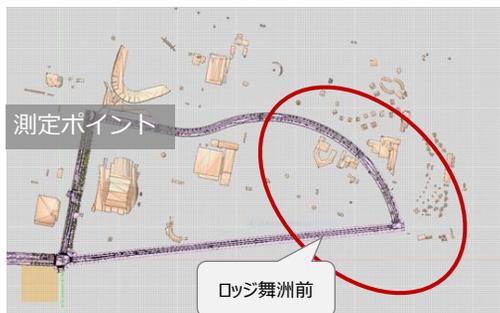
・ 絶対位置精度分析結果

TP値が閾値を超える走行ルート上においてはRTKとの位置誤差が0.3m未満となっており、車幅1.66m、一般的な道路幅員3mを考えると十分に公道走行が可能と考えられる。

(ルート上の特徴点)

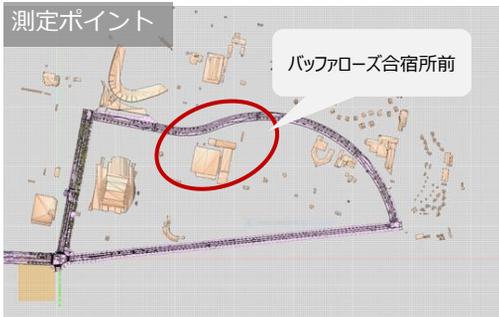
①ロッジ舞洲前

3D都市モデル上に建物や植生データが再現されておらず、現地写真との乖離が大きい。そのため自己位置推定ができず自律走行ができなかった。



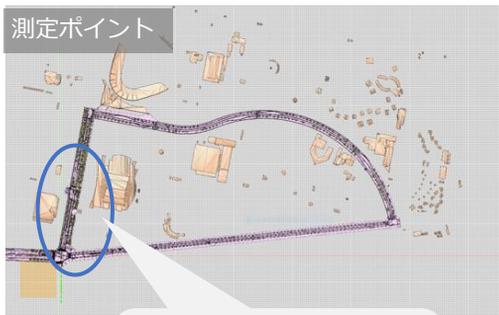
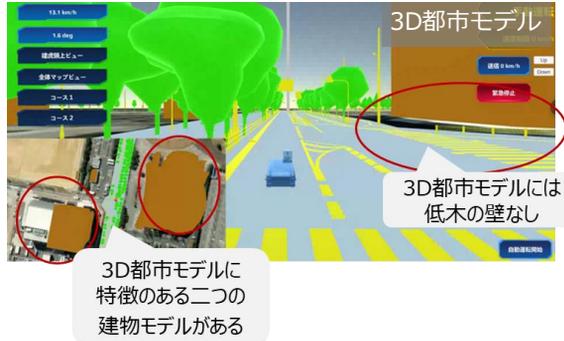
②バッファローズ合宿所前

一般論ではカーブは先行きが見えずセンシングが困難だが、3D都市モデルにより建物の角が表現されていること自己位置推定に影響を与えるオブジェクトが少ないことから、精度高いマッチングで最も安定的な自律走行ができた。



③おおきにアリーナ舞洲前

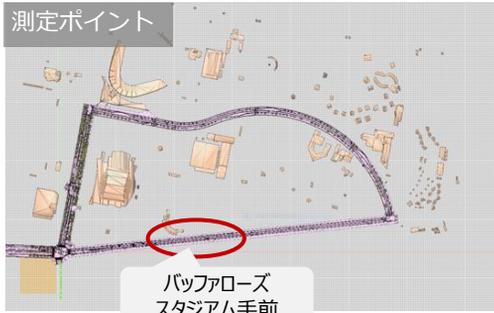
両脇に建物で特徴点を把握できたため精度の高いマッチングが実現し、安定した自律走行ができた。



おおきにアリーナ舞洲前
自己位置推定は高水準だが
路駐があるため、手動運転

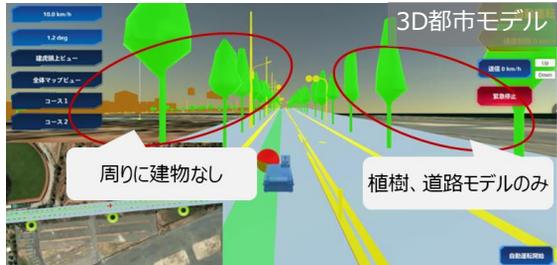
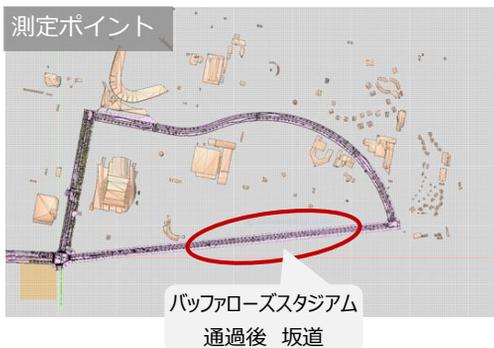
④ バッファローズスタジアム手前

柱や低木のモデルが3D都市モデルとして再現されていないためマッチング精度が低下し、安定した自律走行ができなかった。



⑤ バッファローズスタジアム後の坂道

3D都市モデルと現地の乖離が少なかったため、自己位置推定ができ安定的な自律走行ができた。



4-19-4 実証調査考察

①実証で得られた成果

3D都市モデルによる技術面での優位性

<p>モビリティ用 MAP</p>	<ul style="list-style-type: none"> 3D都市モデルを活用することで、仮想空間上で搬送車両自律走行用のMAPを作成することができ、現地での事前運行によるMAP作成が不要となった。 3D都市モデルから自律走行用のMAPを作成することで、事前走行によるMAP作成をすることなく限定された条件下で自律走行ができることが分かった。
<p>自動運転監視</p>	<ul style="list-style-type: none"> 通常の監視はカメラと2DMAPのみだが、3D都市モデル（LOD3）を用いて植樹、道路標識、地面、建物データ等の豊富なデータを活用した搬送車両のデジタルツインビューによる自動運転監視を行った。 道路中央のポールや道路標識などがモデル化されているため鮮明に確認できる。 車両の速度、ステアリング角度、自己位置推定の精度、など車両からの情報も付加することで、より搬送車両走行の監視にも役立つことが分かった。

3D都市モデルによるビジネス面での優位性

<p>自律飛行の 実現性</p>	<ul style="list-style-type: none"> 3D都市モデルがあれば、事前の点群MAP作成をせずに自律走行用の点群マップが作成でき、従来よりもリードタイムが短く自動運行が可能となる。 3D都市モデルが整備される以前は、公道での自動運行のためには事前運行による点群MAP作成が必要不可欠であり、公道検証のハードルは高かった。
<p>入手・加工の 容易性</p>	<ul style="list-style-type: none"> 3D都市モデルが整備されれば、誰でも容易に点群MAPが作成でき、モビリティサービスへの活用が可能となる。 自動運行のシミュレーションや点群MAPの生成などで、3D都市モデルは有効なプラットフォームになる。 3D都市モデルの整備エリアの拡大に伴い、モビリティサービスも拡大しやすくなる。
<p>オープンデータの 信頼性</p>	<ul style="list-style-type: none"> 3D都市モデルは公共測量を用いており、同精度であれば問題なく自動運行が可能となる。

②活用にあたっての課題

自己位置推定	<ul style="list-style-type: none"> ・ 3D都市モデル由来の点群MAPは現地測量を不要とする分、不得意とする領域がある。 - 3D都市モデルにない地物（植え込み等）や建物施設（柱等）とマッチングができず、自己位置推定に影響を与えている。 - 可視光カメラを使った道路LOD3の車線によるマッチングとの併用や、3D都市モデル由来の地図の調整手法の検討が必要である。
ハードウェア	<ul style="list-style-type: none"> ・ 公道で通常走行を行うためには、一般車両に近い走行速度での自己位置推定が求められるが、その点での精度担保が未了。 - 実証では時速15km以下での自律走行が可能であるものの、より高速な走行速度での精度確保のためにはマッチングスピードを高めるためのアルゴリズム改修やハードウェアのアップグレード等が必要である。
システムのユーザーインターフェース	<ul style="list-style-type: none"> ・ ターゲットとするユーザー（資材運搬、運輸、等）の利用しやすいインターフェースとなっていない。 - サービス化に向けては、当該ユーザーが利用できるようなユーザーインターフェースの開発が必要である。 - 上記ユーザー向けにはトラブル発生時のシューティングや品質の安定化が必要である。

4-19-5 展望

都市部におけるドローンや車両等の自律運航では、高層ビル等の影響でGNSS測位の精度が低下する状況が発生し、正確かつ安全な飛行・走行ができないことが多々ある。また、LiDARによるSLAMはGNSSに頼らない自己位置推定の仕組みとして有効だが、事前のマップ作成や調整などが必要となり、コストの面で課題がある。これらの課題解決に資する新たな技術として、本システムでは、LiDARと3D都市モデル・BIMモデルを組み合わせた自己位置推定の仕組みを構築した。さらなる実用化に向けては、今回の実証実験で抽出した課題を迅速に解決し、効率面と安全面において大きく高めた運搬システムサービスを新しく生み出すとともに、汎用性の高い本システムをその他のサービスへ横展開していくことも志向したい。

また、3D都市モデルのみから作成した点群マップを利用した自己位置推定精度の向上を図る必要がある。点群マップの精度、建物の密集度、車両速度などがマッチングの課題となっていることから、仮想LiDAR及び仮想車両の精緻化、建物が多いエリアでの自己位置推定の精度の検証、速度を上げた場合(15km/h)の自己位置推定の精度検証などを行い、自律走行に必要な点群マップ生成にかかるコストを下げつつ、自動運転の普及に資する基盤構築を目指す。

4-20 ドローン最適ルートシミュレーション（2022年度）

株式会社トラジェクトリー

<https://www.mlit.go.jp/plateau/use-case/uc22-005/>
https://www.mlit.go.jp/plateau/file/libraries/doc/plateau_tech_doc_0047_ver01.pdf

4-20-1 サービス概要

①事業・サービスの目的、ビジネスモデル、社会的意義

事業・サービスの目的と概要

ドローンの社会実装を市街地で進めるためには、目視外環境下における安全な飛行の実現が不可欠である。市街地は、ビル等の影響による局地的な強い風や、家庭・事業所のwi-fiによる2.4Gの電波不良が起りやすく、風・電波の予測がドローンの安定した飛行に大きく影響し、現状、飛行可否や飛行ルート決定判断はパイロットの経験則に依存する部分が大きく、新規参入した経験が浅い事業者の事業拡大の妨げの一部になっている。そのため、高精度かつ高信頼性の3D都市モデルを活用し目的地まで安全な飛行ルートを設計する。

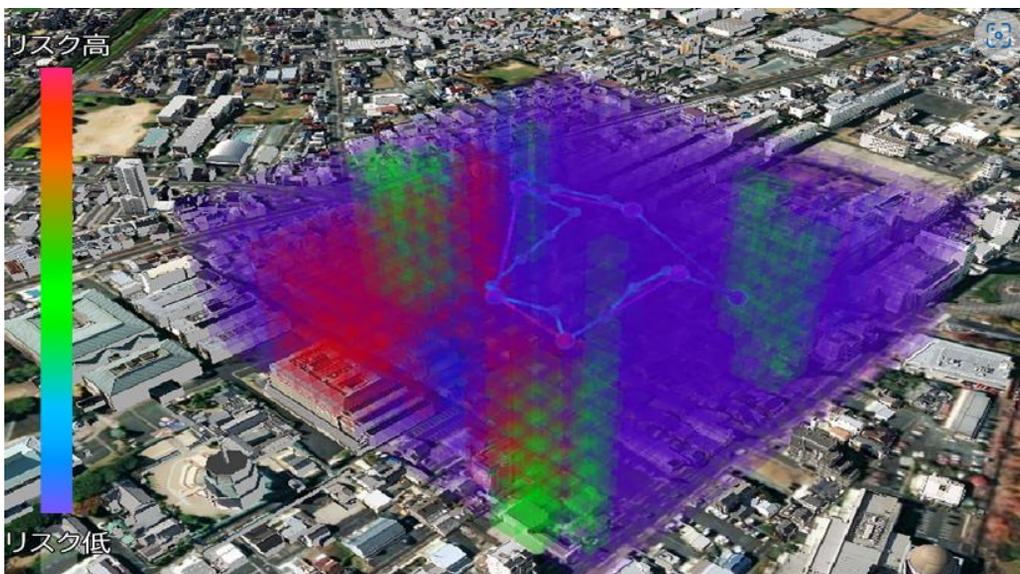
想定ビジネスモデル

- ・ドローンの最適飛行ルート設計サービス
 - 電波伝搬・風況のシミュレーションにより数値化した空間のリスク（エアリスク）を提供する
 - 地図・建物情報を基に数値化したグラウンドリスクを提供する
 - エアリスク・グラウンドリスクを考慮した、最適なドローン飛行ルートの設計・シミュレーションを提供する

社会的意義

3D都市モデルを活用し、風や電波伝搬の状況を空間にマッピングしリスクを測定、TRJXを活用して安全に飛行可能なルート設計を実現することで、経験が浅い事業者でも安全にドローンを飛行可能となる。特に、市街地でのレベル4運用等難易度の高い飛行での効果が期待され、ドローン事業の新規参入の敷居を下げることに繋がり、業界全体の活性化を目指す。

図4-20-1 市街地でのルートシミュレーション



4-20-2 実証調査詳細

①実証調査の目的・概要

実証調査の目的

市街地におけるドローンのレベル4飛行（有人地帯での補助者なし目視外飛行）には安全性の高い飛行ルートを設定する必要がある。特に市街地では地上の用途が多様であり、考慮要素が複雑となるビル等の影響による風・電波によるエアリスクが課題となる。本実証では、3D都市モデルの建築物モデルや土地利用モデル等のデータを活用し、空間上のリスク評価値を視覚化するシミュレータを開発することで、誰もが市街地でドローンを安全に飛行させることができる社会の実現を目指す。

実証調査の概要

3D都市モデルを活用してグラウンドリスク、風況、電波伝搬状況等の複合的なリスク要素を評価値として空間上にマッピングし、安全性の高いルートを生成するシミュレータを開発する。

• 実証仮説

- ドローンの最適ルートシミュレーションを行うことで、リスクが低く安全性が高いルートの導出が可能か
- ✓ これまでドローンの飛行ルートの安全性確保はオペレータの経験則によるルート設計に頼っていたが、3D都市モデルを使いグラウンドリスク及びエアリスクを考慮したドローンの最適ルートシミュレーションによる一般化・安全性の向上を狙う
- シミュレータによって導出されたルートに従った場合、ドローンの社会実装を進めるための安全な飛行が可能か

• 検証ポイント

（シミュレーション精度の検証）

- リスクが高いエリアを確実に回避されたルートが生成できているか
- リスク回避設定をした場合に最短ルートと比較しリスク値が低減されたルートが生成できているか

（実証システムの価値検証（実機飛行検証））

- 飛行中に風の影響で飛行ルートを逸脱している箇所がないか

②実証調査の対象エリア

対象エリア

愛知県豊川市 御油地域 (0.22km²)、諏訪町 (6.82km²)

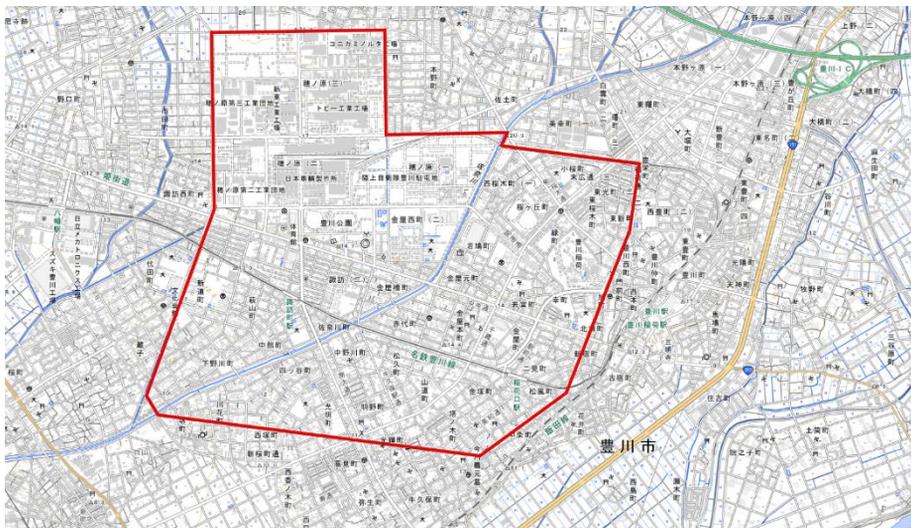
エリア選定理由

- 東三河ドローンリバー推進協議会等含めて、ドローンに対する官民連携体制が構築されている。
- エリア内に、住宅地、公園、道路といった種類の異なる構造物がある。
- 電波シミュレーションに影響しやすい戸建以上の3-4階以上の建物（団地）がある。

図4-20-2 3D都市モデル利用範囲



御油地域



諏訪町

③実証調査に向け開発されたサービス

本実証実験では、3D都市モデルの建物用途及び土地用途を活用し、地上にドローンが落下した場合の損害想定規模から算出するグラウンドリスク、ドローンの安全な飛行の妨げとなる風況の乱れや電波干渉といったエアリスクを算出し、飛行に関わる複合リスクを最小化できるルートを生自動生成する最適ルートシミュレーションシステムを構築した。

開発されたサービス概要

ドローンのルートは三次元的に設定する必要があるため、算出したグラウンドリスク及びエアリスクを三次元空間に投影する仕組みとして、ボクセル単位でリスク値を付与する手法を採用。リスク値は、グラウンドリスクとエアリスク（風況リスクと電波リスク）にそれぞれ係数を乗じ積算することで算出した。ルートシミュレーションは、まずドローンの出発地及び到着地のウェイポイントをオペレーターが設置し最短ルートを設定した上で、ボクセルに付与されたリスク値を考慮し、リスクと飛行距離が最小となるルートを自動的に算出するシステムとした。

図4-20-3 開発されたサービスのイメージ



自動生成された飛行ルート

- 最短距離ルート（リスク値の考慮なし）
- 最適経路（シミュレーション結果のルート）

導入する新技術・実証技術

• 空間中のリスク値算出

リスクが最小になるよう飛行ルートを生成するため、空間にリスク値を設定する。

- 概要

✓ 3D都市モデルや電波伝搬、気象シミュレーションに基づき、下記の条件を反映する。

(建物や構造物の種類 | 3D都市モデル)

✓ 建物は「建物用途分類」、建造物のない公園や駐車場、空き地は、「地上用途分類」を活用し、リスクを段階的に数値化して空域に設定。

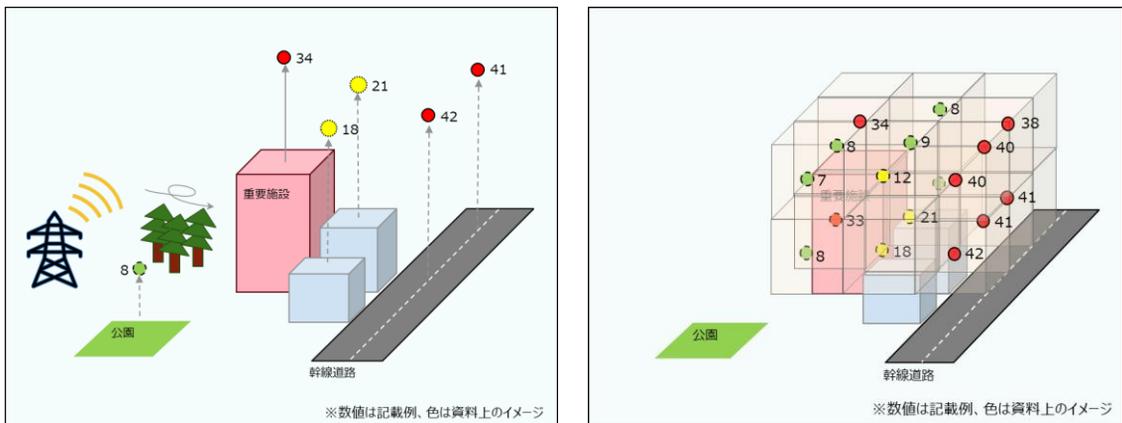
(風況統計情報および電波強度シミュレーション情報)

✓ 任意の地点の風向、風速、電波状況を仮想的に設定し、これらのリスクを段階的に数値化し空域に設定。

(空間単位)

✓ 空間中を5mのボクセルに分割する。

図4-20-4 空間中のリスク値/ボクセルのイメージ



• TRJX

運航管理機能に加え、複数の無人航空機が同時に展開可能な安全な飛行ルートを自動生成可能なドローン運航管理システム。

• Altair Feko

電磁波解析及び電波伝搬のシミュレーションが可能なソフトウェアパッケージで、様々なシナリオや多くの無線システムに対応し、あらゆる電磁波・電波の解析が可能。

• Altair AcuSolve

大規模な計算の取扱いを含めたあらゆる流体解析が可能な流体解析ツールで、広範な物理モデルに対応可能。

• FME Desktop

データの変換や統合などの処理機能を持つソフトウェアであり XML、GIS、CADなどで使われる、様々な空間データのフォーマットに対応。

• Cesium

三次元化したデータや2D画像をクラウドサーバーにアップロードすることでWebブラウザ上で確認が可能。

実証システム図

図4-20-5 システムアーキテクチャ全体図

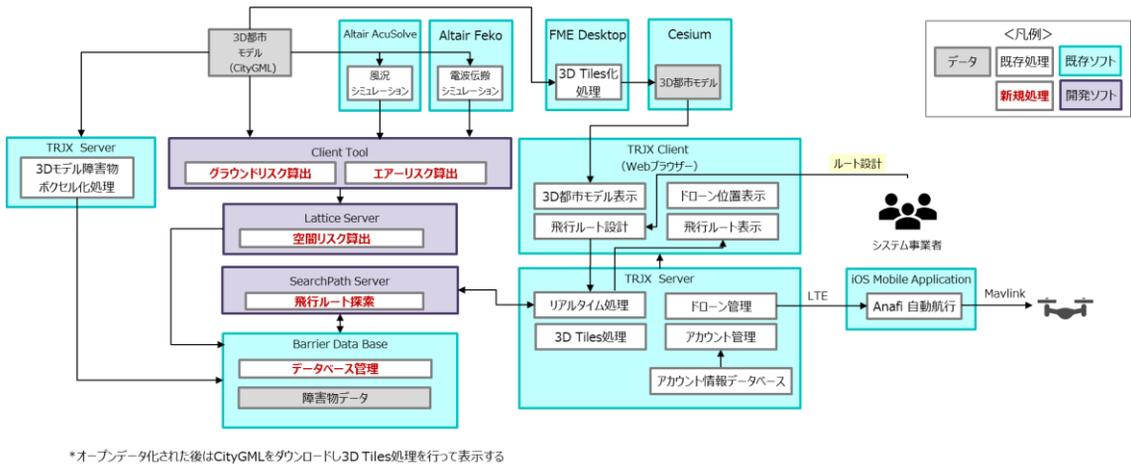
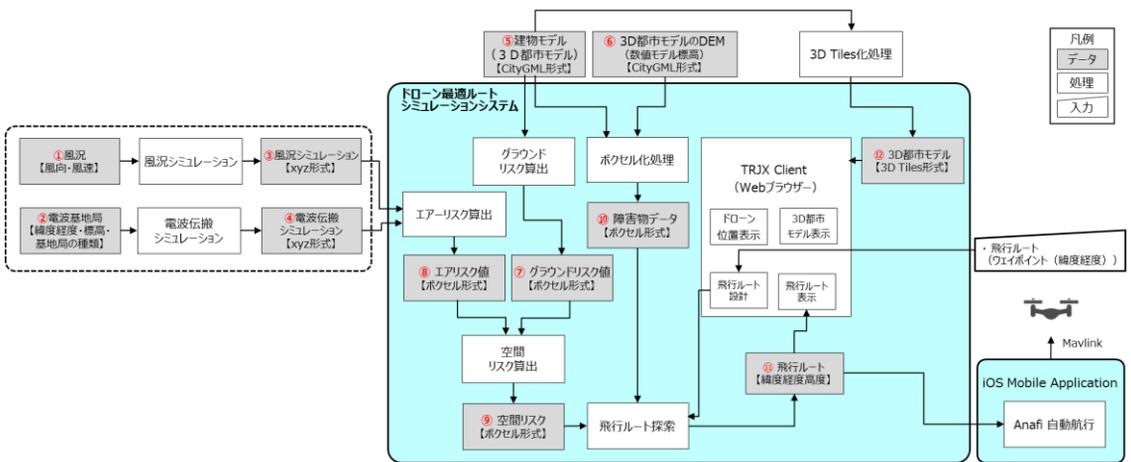


図4-20-6 データアーキテクチャ全体図



④3D都市モデル (CityGML) の活用方法

ドローンの飛行ルートは緯度経度、高度の三次元情報で構成されるため、3D都市モデルを活用することで、正確な地理空間情報を得ることができ、飛行ルートの視認性、安全性が向上する。

また、従来現場で行っていた高度やカメラアングルの確認が机上でできるため、現場作業の工数削減に繋がる。

利用された3D都市モデルの仕様

- 対象エリアのLOD2建築物モデル、 LOD1土地利用・道路・地形モデル

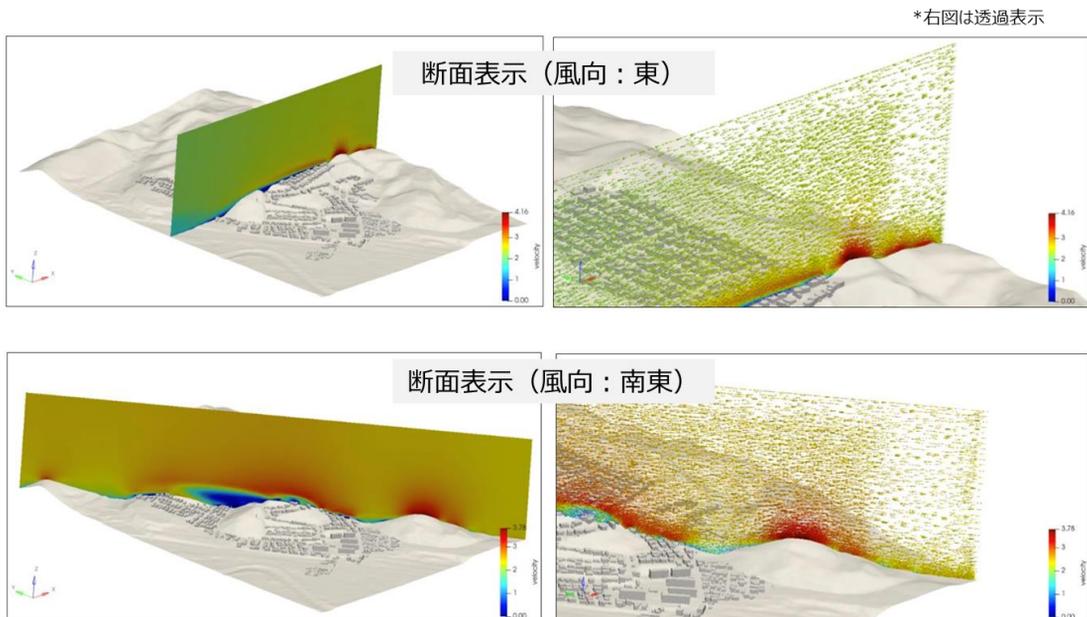
3D都市モデルの用途

- ドローンの飛行ルート設計のためのジオフェンス情報として利用
- 3D都市モデルに含まれる属性値をもとに空間のリスク値を算出
- VR空間における、視覚的な市街地の再現に利用

3D都市モデル活用のためのソフトウェア

- CityGMLの変換
 - CityGML形式から3DTiles形式へ変換
- 3D都市モデル利用システム
 - FME Desktop
 - TRJX Server
 - Altair社製 Altair Feko
 - Altair社製 Altair AcuSolve

図4-20-7 風況シミュレーションによる生成結果



4-20-3 実証調査結果

①シミュレーション精度の検証

(シミュレーター検証1)

最適ルートシミュレータによって、リスク値を反映したルートが生成されることを確認する。

検証方法

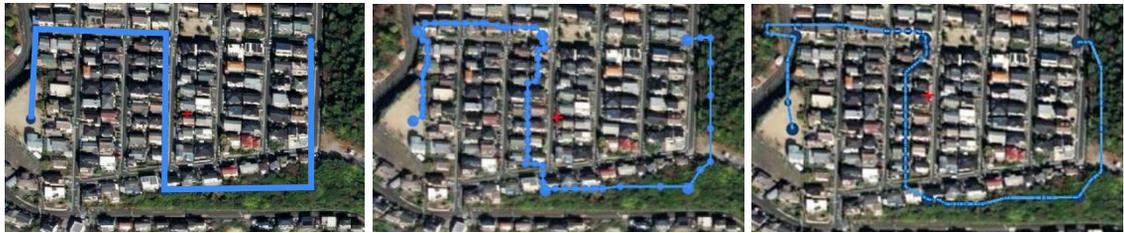
以下の3パターンで最適ルートシミュレーションを行い、ルート形状の変化を確認。

- リスク値の設定がない場合（最短経路）
- グラウンドリスクのみを設定した場合
- グラウンドリスクとエアリスクを設定した場合

検証結果

グラウンドリスク・エアリスクをそれぞれ考慮することで、ルートに変化が発生しアルゴリズムが機能していることが分かった。

一方で、各リスクを避けるルート（迂回路）の設定については、十分にリスクを回避できていないものもあり、リスクの評価パラメータは改善の余地がある。



リスク設定なし

グラウンドリスクのみ

グラウンドリスク+エアリスク

(リスクパラメータの評価)

シミュレーター検証1でリスク値の考慮によるルート変更が確認できた一方で、リスクを十分回避できていないケースもあったことから、リスク評価を行うパラメータ（重みづけ）と迂回路の関係性を評価した。

検証結果

評価から得られたパラメータ

評価から得られたパラメータによるルート生成の一例

$\alpha_q = 1$ グラウンドリスク パラメータ	<ul style="list-style-type: none"> グラウンドリスク10に対して、10m迂回するルートを生成する設定
$\alpha_p \beta_w = 10$ 風況リスク パラメータ	<ul style="list-style-type: none"> 低レベルの渦（渦度2.2）のエリアを迂回するために1m上昇する設定
$\alpha_p \beta_r = 1000$ 電波伝搬リスク パラメータ	<ul style="list-style-type: none"> 10W出力局付近を50m程度迂回し、1W出力局付近を迂回しない設定



(シミュレーター検証2)

シミュレーション検証1に、以下の変更を加えた場合に複雑なルートにおいて適切なルートシミュレーションができるかを確認する。

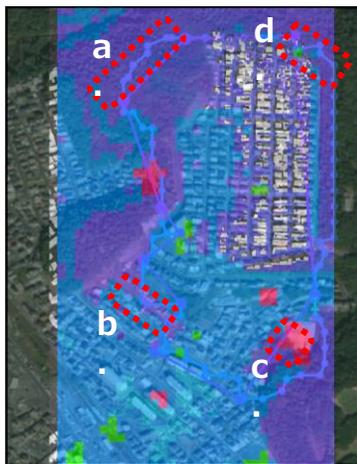
検証方法

より広範なエリアを飛行するようにウェイポイントを設定し、高度帯を変えることで、グラウンドリスク・エアリスクを踏まえた適切なルートが生成されるかを確認。

検証結果

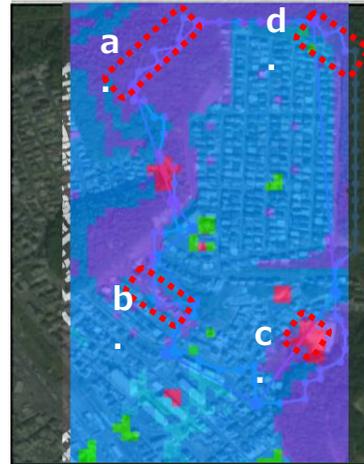
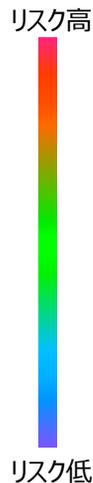
ウェイポイントの高度帯のみを変えて比較することで、3次元空間のエアリスクを反映した最適なルートとして別ルートが生成されることが分かった。

生成されたルートの確認
(①高度100mルート)



- a. 風況リスク値の高い部分を回避
- b. 紫セルのよりリスク値の低い部分を選択
- c. 赤セルのリスク値が高い部分を回避
- d. 公共空地のリスク値が高い部分を回避

生成されたルートの確認
(②高度120mルート)



- a. ①に比べ風況リスク値が低くなったため、最短経路を選択
- b. 紫セルのよりリスク値の低い部分を選択
- c. 赤セルのリスク値が高い部分を回避
- d. ①に比べ電波リスクが高い高度のため、よりリスク値が高い部分を回避

②実証システムの価値検証

豊川市の御油地区と市街地（諏訪町）でそれぞれ実機検証を行い、御油地区では風況の影響を確認する。市街地では、パラメータ評価を行った御油地区以外でのルート生成であり、ルートシミュレータの汎用性を確認した。

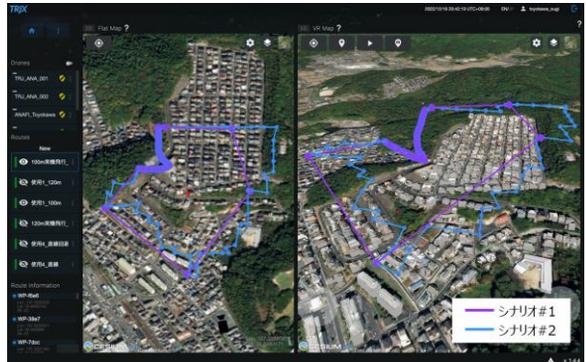
（御油地区）

周回ルート

シミュレーション設定

項目	シナリオ#1	シナリオ#2	
ルート	実機飛行_周回ルート		
リスク値設定	なし	あり	
最大高度	海拔	189m	185m
	対地	101m	101m
飛行速度	5m/s		
ルート全長	1,343m	1,854m	
予測飛行時間	9分10秒	9分15秒	
離陸地点からの最遠距離	312m	332m	

シナリオ#1・#2のルートイメージ



検証結果

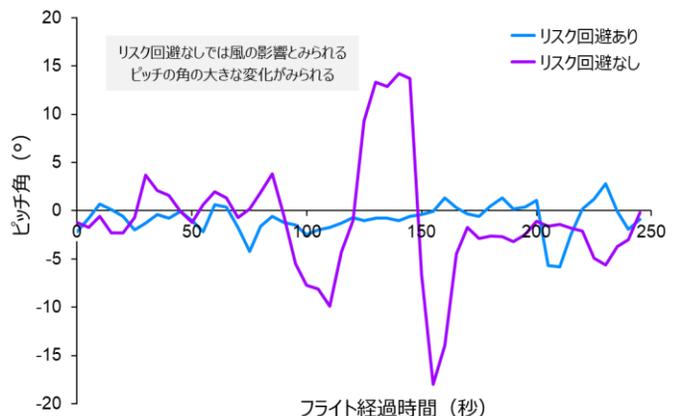
地上風速が0-5m未満（平均風速2.5m）というシミュレーションと同条件の下で飛行検証を行い、飛行ログより、ルート上を誤差なく、かつその他の問題もなく飛行できていることを確認した。



（風の影響の検証結果）

シミュレーションで風の影響がみられた御油団地周辺上空の実機飛行では、目視確認上、リスクを考慮したルートの方が飛行姿勢が安定した様子が見られ、飛行ログ上も姿勢の勾配・傾斜（ピッチ）の揺れの幅も小さい結果となった。

ピッチ（機体前後方向）の揺れ



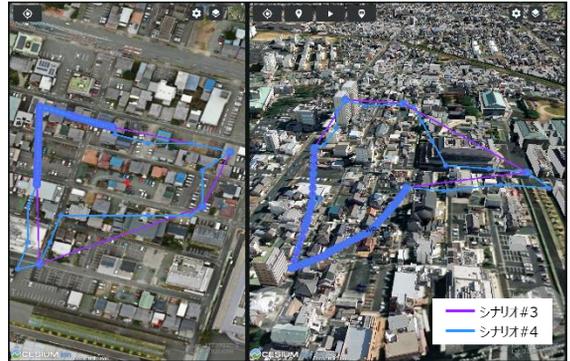
(市街地(諏訪町))

南周回ルート

シミュレーション設定

項目	シナリオ#3	シナリオ#4	
ルート	実機飛行_市街地南周回ルート		
リスク値設定	なし	あり	
最大高度	海拔	99m	101m
	対地	78m	78m
飛行速度	5m/s		
ルート全長	503m	559m	
予測飛行時間	4分5秒	4分15秒	
離陸地点からの最遠距離	145m	146m	

シナリオ#3・#4のルートイメージ

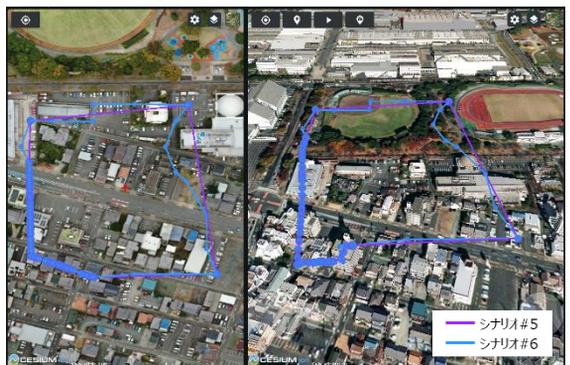


北周回ルート

シミュレーション設定

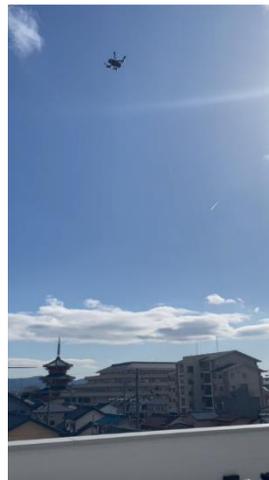
項目	シナリオ#5	シナリオ#6	
ルート	実機飛行_市街地北周回ルート		
リスク値設定	なし	あり	
最大高度	海拔	100m	99m
	対地	81m	81m
飛行速度	5m/s		
ルート全長	586m	638m	
予測飛行時間	4分20秒	5分5秒	
離陸地点からの最遠距離	184m	182m	

シナリオ#5・#6のルートイメージ



検証結果

市街地においても飛行検証を行い、飛行ログからルート上を誤差なく、かつその他の問題もなく飛行できていることを確認した。



4-20-4 実証調査考察

①実証で得られた成果

3D都市モデルによる技術面での優位性

<p>グラウンド リスク値の ルート設計評価</p>	<ul style="list-style-type: none"> 3D都市モデルは構成要素がタグで記述され、建物の構成物が種類ごとに表現されていることから、そのタグを用いて容易にリスク値に変換するという技術が適用可能である。 従来2次元地図や他の3次元地図では、情報量、データ量、情報の保有方法等の課題からリスク値の算出が困難であることから、3D都市モデルによる技術面での優位性といえる。
<p>風況リスク値 /電波伝搬 リスク値の ルート設計評価</p>	<ul style="list-style-type: none"> 3D都市モデルにおいて都市の形状が高い精度で再現されていることから、風況及び電波伝搬のシミュレーションを行い、個別具体の情報に基づいて予測された空間全体のリスク値の分布を得ることが可能となる。

3D都市モデルによるビジネス面での優位性

<p>ドローンの 飛行ルートの 3Dシミュレーション導入の コスト削減</p>	<ul style="list-style-type: none"> 3D都市モデルを既に整備している自治体であれば、グラウンドリスクに関する最適ルートシミュレーションの即時の導入が可能であり、飛行までの準備に係るコストや、自治体・事業者の地図の整備コストが削減される。 従来、ドローンの飛行ルート生成には、サービスに合わせて作成した高精度な3Dモデルを利用するか、郊外・山間部・海上といった地域では3Dモデルは作成せずに既存の2D地図を利用し操縦者の勘と経験からルートの高さ方向の移動経路を選んでいた。
<p>空間リスク マネジメントの コスト削減</p>	<ul style="list-style-type: none"> 事業者が建造物の多い市街地等でドローンによるサービスを新たに導入する場合、当該事業における法令の遵守や自治体や地域住民への安全性の担保といった観点から空間のリスクマネジメントを実施する必要。 自動的にハイリスク地域を回避する飛行ルートを生成することで、事業者の事前準備コストや自治体等の負担の削減が可能になる。 従来、病院・教育施設、等のハイリスク地域について、2次元地図の照会や自治体等の管理者へ詳細を確認することでリスクマネジメントを行っていた。

②活用にあたっての課題

気象データの 充足	<ul style="list-style-type: none"> ・ 定点観測した風況データを基に風況リスクのシミュレーションを実施したが、実運用では飛行予定日、飛行予定時刻に合わせたリアルタイム性の高い気象情報を入手することが望ましい。 - 現状では、ドローンが飛行する高度帯の気象データについて、ドローンの運行に必要な情報を集約して提供するサービスを開始したが有料ということもあり、全てのドローンユーザーが使用するに至っていない。 - 航空管制等で使用する大気解析は、最低高度がドローンの飛行高度よりも高く使用が難しい。
電波データの 充足	<ul style="list-style-type: none"> ・ 仮想の電波基地局を設定した電波伝搬リスクのシミュレーションを実施したが、実運用では実際の基地局の位置又は電波強度の情報を入手することが望ましい。 - 現状では、基地局についてはその所有機関が管理していることから、それらの情報は公開がされおらず、機種や無線通信に与えるノイズの影響などを事前に取得することは難しい。
地上データの 充足	<ul style="list-style-type: none"> ・ 森林地帯では、地表面からの木の高さを考慮して安全な飛行ルートを設計する必要があるが、街中に存在する小規模な森林地帯であっても、現状では精度の高い情報の入手が難しい。
自治体の 情報公開	<ul style="list-style-type: none"> ・ グラウンドリスク値に使用している土地や建物の属性値は、PLATEAUでの公開が必須ではないため、自治体により情報量に差がある。
係数の調整	<ul style="list-style-type: none"> ・ 利用者の目的に沿った評価を行った上でリスク係数を設定する必要があり、リスク値を適切に評価するためのリスク係数の最適化検証と、チューニング作業に数日から1週間程度の時間を要する。

4-20-5 展望

今回の実証実験の結果を踏まえ、グラウンドリスクとエアリスクを総合したボクセルによるリスク分析と、その結果に基づいた最適ルートシミュレータを社会インフラ領域に活用することを志向していく。具体的には3D都市モデルが整備済みエリアの電力・鉄道・道路等の公益事業者のインフラ保守点検業務にドローンを活用することで遠隔監視や点検作業の省力化に資するサービスの提供を目指したい。

今後の実用化に向けては、効率的なデータベース構築技術の開発と、新たな探索アルゴリズムの継続的な研究を進め、より広域での空間リスクの算出とルート探索が可能となるよう注力していく。また、グラウンドリスクの評価については、本実証実験では暫定的なリスク値設定を行ったが、都市空間内でドローンを飛行させる際に、住宅、道路、公園等の上空を飛行することのリスクをどのように評価すべきか、研究を進める必要がある。電波強度や風況などのエアリスク値の評価についても、タイムリーかつ妥当な値を算出できる仕組みが必要となる。

4-21 ドローンリアルタイム・ナビゲーションシステム（2022年度）

株式会社A.L.I. Technologies

<https://www.mlit.go.jp/plateau/use-case/uc22-025/>

https://www.mlit.go.jp/plateau/file/libraries/doc/plateau_tech_doc_0049_ver01.pdf

4-21-1 サービス概要

①事業・サービスの目的、ビジネスモデル、社会的意義

事業・サービスの目的と概要

ドローンによる物流実証の推進、測量手法の確立など ビジネスとして国内での活用用途がひろがりつつある中で、エアモビリティ社会を見据えたリアルタイムナビゲーションシステムを実現し、より精度の高く持続可能なドローン運航システムのサービス化を行う。A.L.I. Technologiesが独自に開発するドローン管制プラットフォームと3D都市モデルを活用することで、より安全・安心なドローンの活用を実践する。

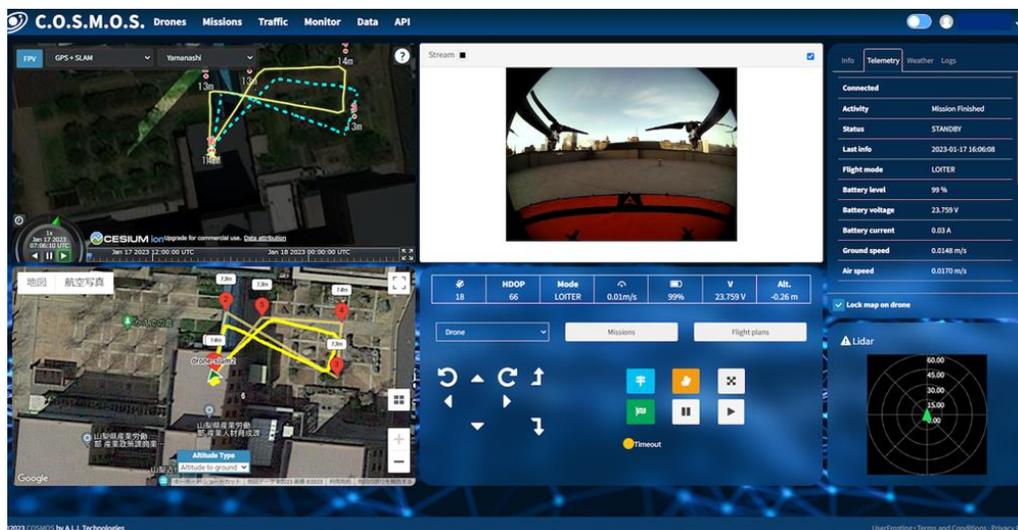
想定ビジネスモデル

- オペレータ・機体の提供までを含めたドローン運航サービス（Drone as a Service）
 - 物流事業者等の業務の省力化につながるドローン運航サービスを提供する
- 飛行ログ提供サービス
 - ドローンの墜落や事故の際に、第三者として状況に対する客観的な情報提供を行う

社会的意義

社会実装に不可欠な特に目視外飛行においては、スケールのある信頼性が高い地図データが必要であり、安全な航行のためにはリアルタイムで自律的に障害物を回避するナビゲーションシステムが不可欠である。そのため、3D都市モデルと自己位置推定技術を用いたドローン航行ナビゲーションシステムを構築することで、都市部においても安全安心な自律飛行・目視外飛行が可能となり、ドローンの社会実装の促進に貢献でき、演算処理をエッジではなく、サーバー上で中央集権的に行うドローンオペレーションシステムを確立することで、エッジ側のハードウェアの自由度を向上し、より幅広い用途に対応したドローンを活用することができる。

図4-21-1 遠隔管理システムからのモニタリング



4-21-2 実証調査詳細

①実証調査の目的・概要

実証調査の目的

ドローンのレベル4飛行（有人地帯での補助者なし目視外飛行）の解禁に伴い、今後有人地帯での目視外飛行が一般化していくことが予想される中、ドローン同士の衝突や事故を防ぐため、飛行するドローンの高精度な自己位置推定の必要性が高まっている。高精度な自己位置推定には高い演算能力が求められるが、航行時間やペイロード（積載量）の観点からエッジ（ドローン機体上）には可能な限りデータを取得するためのデバイスやセンサーのみを載せて軽量化したいというニーズがあり、エッジではなく通信を介してサーバー上で演算処理を行うなどの手法の確立が求められている。

今回の実証実験では、3D都市モデルの形状をマップデータとしたLiDAR SLAMおよびVisual SLAMによって自己位置推定を行うシステムを開発し、3D都市モデルを3D地図としたドローン航行ナビゲーションシステムと組み合わせることで、都市部における安全な自律飛行・目視外飛行の実現を目指す。

実証調査の概要

今回の実証実験では、3D都市モデルを活用したドローンの自己位置を高精度に推定する自己位置測位システムを開発する。また、それらの処理をサーバーで処理してエッジに配信する技術も開発し有用性の検証を行う。

• 実証仮説

- 3D都市モデルを事前地図として活用したLiDAR SLAMとVisual SLAMにより、精度の高い自己位置推定が可能になること。さらに、プレマップ作成のための事前作業等のコストが削減され、より効率的なシステムになること。
- ドローンの飛行に必要な演算処理を、機体に搭載したコンピュータではなく、ドローンの外側に準備したサーバー上で行うことで、自己位置推定精度を実現すること。また、ストリーミング技術として有用なレベルに到達すること。

• 検証ポイント

- 実際の飛行ルートとシステムによる推定計測ルートとを比較して、自己位置推定精度の差異を確認
 - ベンチマーク：2023年時点で主流である位置情報のGPS（RTK）を用いた場合
 - 本実証：3D都市モデルによる事前地図情報を活用したSLAM技術の場合
- ドローンの機体上に設置したセンサーからのデータ通信速度を3種類のネットワーキング構成（LTE、5G、LAN）から比較して、自己位置推定の演算処理速度の差異を確認
 - ベンチマーク：エッジ（ドローン機体上）で演算処理を行った場合
 - 本実証：ドローンの外側に準備したサーバーで演算処理を行った場合

②実証調査の対象エリア

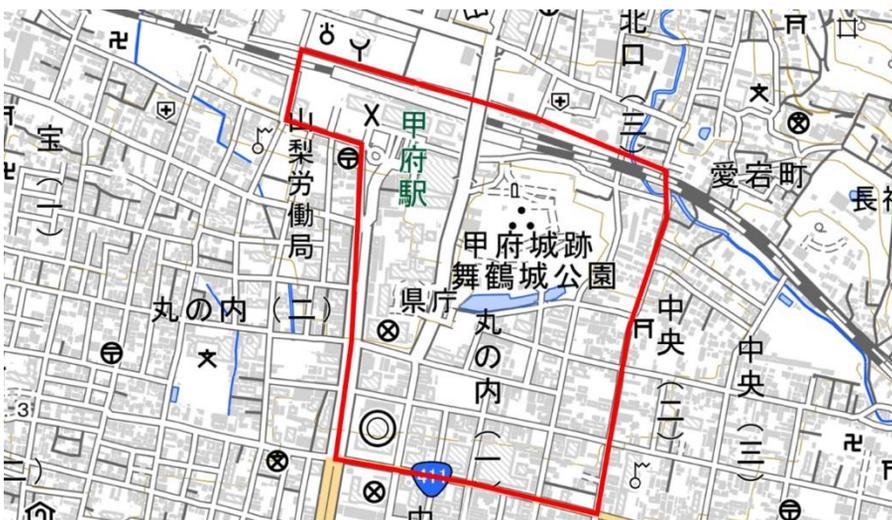
対象エリア

山梨県 甲府市 山梨県庁周辺地域 (1.95km²)

エリア選定理由

実運用を想定した時に、より本番環境に近いルートを想定。低い建物や高いビルなど高低差がより顕著なフィールドが一つのエリアに入っており、3D都市モデルを活用や衝突回避ナビゲーションの検証をする上で理想的であると考えられる。

図4-21-2 3D都市モデル利用範囲



③実証調査に向け開発されたサービス

3D都市モデルを活用したドローンの自律飛行を実現するため、エッジ側に搭載可能なLiDAR SLAMシステムとVisual SLAMシステムの開発を行い、ドローンのペイロードの増加を目的とした両SLAMの演算処理をサーバー側で行う仕組みを構築した。また、事前地図として3D都市モデルを利用し、SLAMで作成した地図とマッチングさせることで高精度な自己位置推定を行うシステムを構築した。両SLAMシステムによる自己位置推定状況を可視化するシステムとして、Rviz（ロボット位置、計測データ、3D地図等、ロボットシステムに関連するデータを視覚化するためのツール）とA.L.I. Technologiesが独自に開発したドローン運航管理システム（UTM）である「COSMOS*」を使用した。

*COSMOS: Centralized Operating System for Managing Open Sky

開発されたサービス概要

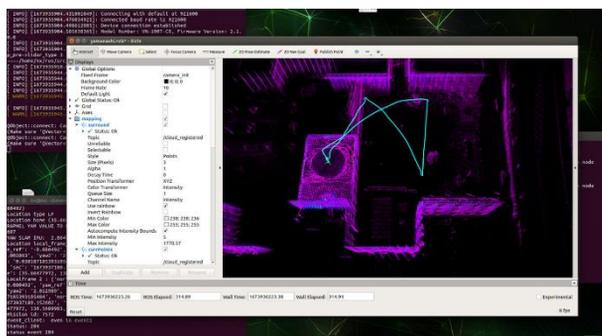
• LiDAR SLAMシステム

- アトラックラボ社製ドローン「HIYOKO18」をベースとした基本構成にLiDARセンサー（Ouster社製OS-128）を搭載した。また、コンパニオンコンピューターとしてNvidia社製のJetsonを搭載してドローンが飛行中に取得するデータ処理に利用し、ROSをベースにLiDAR SLAMのライブラリであるamcl3dを利用して構築した。このシステムが用いる3D地図として、3D都市モデルを元に軽量化のために3次元グリッドマップ化を行ったマップデータをプリロード（事前地図化）し、3次元グリッドマップの生成には、OctoMapライブラリを利用した。

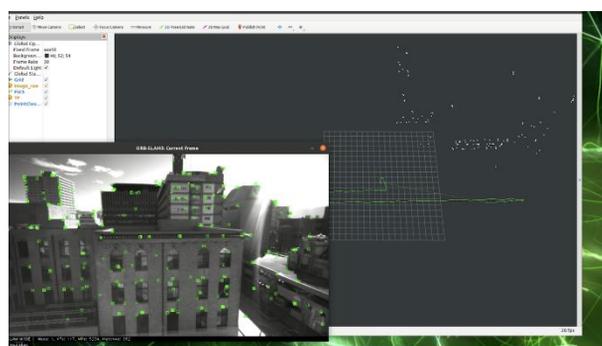
• Visual SLAMシステム

- LiDAR SLAMのシステムと同機体にIntel社製のステレオカメラを搭載した。自己位置推定にはVisual SLAM用のROSライブラリであるORB-SLAM3を用いて、仮想空間上に3D都市モデルを配置し、その中でORB-SLAM3を含めたシミュレーション環境における仮想飛行を実施。この仮想飛行によって得られた映像から仮想的な環境地図情報を作成する。

図4-21-3 開発されたサービスのイメージ



LiDAR SLAM飛行において周囲の環境を把握しながらドローンが自己位置を測位する様子



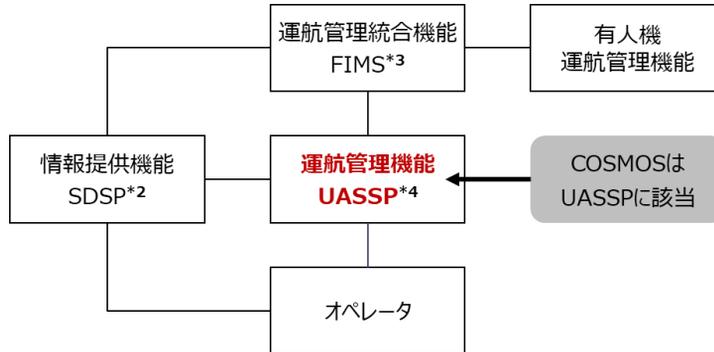
Visual SLAM飛行においてカメラ映像の特徴点から自己位置を測位する様子

導入する新技術・実証技術

• COSMOS

A.L.I. Technologies社が開発するドローン管制システム。ドローンの機体やオペレータ、飛行ログの管理や飛行状況のライブモニタリングなどの機能を有する。

図4-21-4 無人航空機運航管理システムアーキテクチャ*1におけるCOSOMOの位置づけ



*1Source: 新エネルギー・産業技術総合開発機構 DRESSプロジェクト運航管理システムを使ったドローン運航ビジネスの姿 (www.nedo-dress.jp/wp-content/uploads/2022/02/運航管理システムを使ったドローン運航ビジネスの姿.pdf)

*2: Supplementary Data Service Providerの略称で、FIMSやオペレータに対してドローンの運航を補助するための情報を提供する

*3: Flight Information Management Systemの略称で、複数のUASSPから送信される情報を統合し、各UASSPに情報を送信する

*4: Unmanned Aircraft System Service Providerの略称で、オペレータに他紙してドローンの運航に必要な機能や情報を提供する

• LiDARセンサー

光学レーザーを用いて周辺環境の3D測定を行うことが可能なセンサー

• ステレオカメラ

2つのカメラを使い対象物を複数の異なる方向から同時に撮影することにより、人の眼と同じような仕組みで奥行き情報を取得することが可能なカメラ

• SLAM

センサー等を用いて空間の中で自己位置推定と環境地図作成を同時に行う技術

• ROS

ロボットのアプリケーション開発を支援するライブラリやツール群。ハードウェア抽象化、センサやアクチュエータ等のデバイスドライバ、ロボットに搭載される汎用機能の実装、機能同士のデータ通信などの機能を有する

• VPN

VPNはインターネットを介した接続されたマシン・ネットワークに対して仮想的なローカルネットワークを構築する技術であり、物理的に離れたマシン同士があたかも同一のローカルネットワークにあるかのように通信を行うことが可能

• Unity

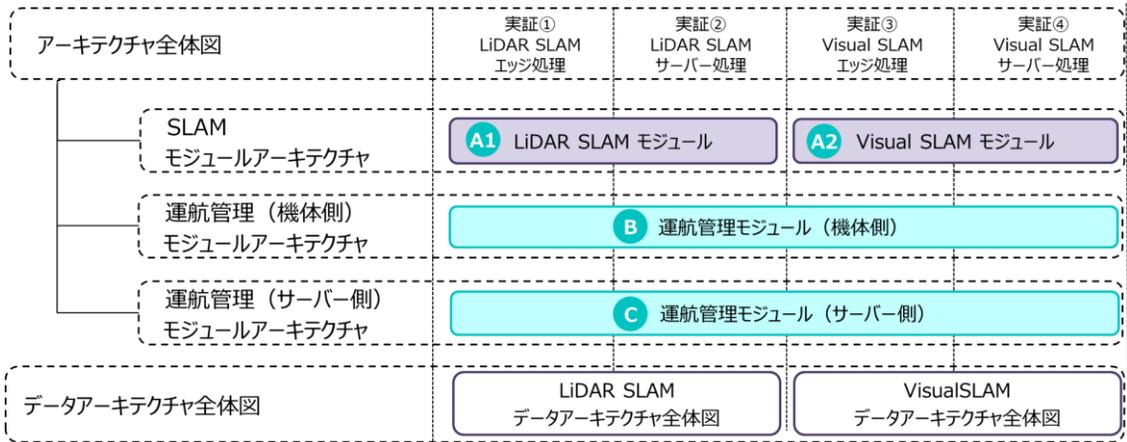
ゲーム開発やシミュレーション、仮想現実、拡張現実などのアプリケーション開発に使用される、クロスプラットフォームの統合開発環境

• Blender

3Dモデリング、アニメーション、シミュレーション、レンダリング、ビデオ編集を含む広範な機能を提供する。オープンソースの3Dコンピューターグラフィックスソフトウェア

実証システム図

図4-21-5 各実証シナリオと各アーキテクチャ全体図及びモジュールの関係



④3D都市モデル（CityGML）の活用方法

利用された3D都市モデルの仕様

- 対象エリアのLOD2建築物モデル

3D都市モデルの用途

- LiDAR SLAMにおける自己位置推定の際の事前地図として利用

3D都市モデル活用のためのソフトウェア

- 変換
 - CityGML形式をOBJ形式に変換
- 3D都市モデル利用システム
 - FME Desktop など

図4-21-6 高解像度のテクスチャを貼り付けた3D都市モデル



4-21-3 実証調査結果

① LiDAR SLAMによる自己位置推定の精度検証

検証方法

- 精度が数cmレベルのRTKを真値と仮定して、4つのシナリオを使いLiDAR SLAMの位置精度を評価する（ログ分析）。
- 全球測位衛星システム（GPS）での誤差（～5m以内）を実用レベルの精度と仮定して、これを閾値に本SLAMシステムの有用性を評価する。

—: 検証エリア
—: 航行ルート



フライトA

建物に対して水平・垂直方向のルート
壁面に対して30m程度の距離の往復でこの程度の精度が出るのかを確認する。



フライトB

カーブを含むルート
壁面に対して水平・垂直以外の動線が入るルートで自己位置推定に影響が出るのかどうかを確認する

検証結果

シナリオ	精度平均値 (m)	標準偏差 (m)	示唆
No.1 3D都市モデル エッジ処理	フライトA : 0.164 フライトB : 0.148	フライトA : 0.178 フライトB : 0.086	3D都市モデルとLiDAR SLAMを組み合わせることで、一般的なGNSSを用いた場合と比較しても精度良く自己位置推定が可能であることが実証することができた
No.2 点群データ エッジ処理	フライトA : 0.100 フライトB : 0.143	フライトA : 0.167 フライトB : 0.074	事前取得したデータを用いた場合の精度は3D都市モデルを用いた場合と同等程度であった。このことから、LiDAR SLAMを用いようとしたとき、3D都市モデルを用いることで事前データの取得の工数を大幅に削減できる可能性が示された。
No.3 3D都市モデル シェアードコンピューティング処理	フライトA : 0.235 フライトB : 0.277	フライトA : 0.188 フライトB : 0.152	SLAM処理をエッジで行った場合とリモートで行った場合での精度についての有意な差はみられなかった。このことから通信を用いることでの精度に対する大きな影響はなく、前述の回線速度の問題が改善されればクラウド環境で演算を行うというコンセプトは実現可能と考えられる。
No.4 点群データ シェアードコンピューティング処理	フライトA : 0.152 フライトB : 0.166	フライトA : 0.076 フライトB : 0.067	No1とNo2の比較と同様に、リモート演算環境においても3D都市モデルを用いた場合と事前取得したデータを用いた場合の結果に大きな差異は見られなかった。

②Visual SLAMによる自己位置推定の精度検証

検証方法

- 精度が数cmレベルのRTKを真値と仮定して、4つのシナリオを使いVisual SLAMの位置精度を評価する（ログ分析）。
- 全球測位衛星システム（GPS）での誤差（～5m以内）を実用レベルの精度と仮定して、これを閾値に本SLAMシステムの有用性を評価する。
- マッチングするまでの時間を計測し、位置精度が担保されるまでの立ち上がり時間を評価する。

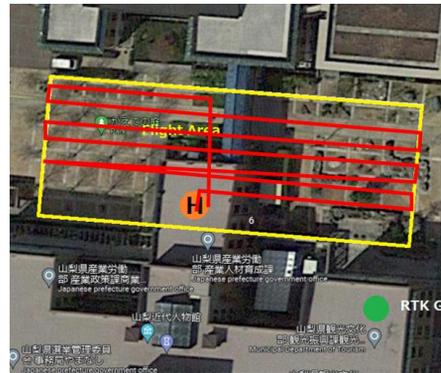
—：検証エリア
—：航行ルート



フライトA

シンプルな長方形のルート

壁面に対して30m程度の距離の往復での程度の精度が出るのかを確認する。



フライトB

壁面に沿って複数回往復するルート

10分程度の飛行において、安定した自己位置推定が可能なのかどうかを確認する。

検証結果

シナリオ	精度平均値 (m)	標準偏差 (m)	立ち上がり時間	示唆
No.1 3D都市モデル エッジ処理	フライトA : 0.118 フライトB : 0.271	フライトA : 0.103 フライトB : 0.311	12	3D都市モデルとVisual SLAMを組み合わせることで、一般的なGNSSを用いた場合と比較しても精度良く自己位置推定が可能であることが実証することができた
No.2 事前取得データ エッジ処理	フライトA : 0.195 フライトB : 0.180	フライトA : 0.162 フライトB : 0.140	14.3	事前取得したデータを用いた場合の精度は3D都市モデルを用いた場合と同等程度であった（3D都市モデルを用いた場合の数字は多少精度良く出ているが、標準偏差の値を考慮すると誤差範囲といえる）。このことから、Visual SLAMを用いようとしたとき、3D都市モデルを用いることで事前データの取得の工数を大幅に削減できる可能性が示された。
No.3 3D都市モデル シェアードコン ピューティング処理	フライトA : 0.158 フライトB : 0.498	フライトA : 0.097 フライトB : 0.302	17.3	SLAM処理をエッジで行った場合とリモートで行った場合での精度についての有意な差はみられなかった。このことから通信を用いることでの精度に対する大きな影響はなく、前述の回線速度の問題が改善されればクラウド環境で演算を行うというコンセプトは実現可能と考えられる。
No.4 事前取得データ シェアードコン ピューティング処理	フライトA : 0.155 フライトB : 0.249	フライトA : 0.090 フライトB : 0.166	12.8	No1とNo2の比較と同様に、リモート演算環境においても3D都市モデルを用いた場合と事前取得したデータを用いた場合の結果に大きな差異は見られなかった。

4-21-4 実証調査考察

①実証で得られた成果

3D都市モデルによる技術面での優位性

3D都市モデルの自己位置推定への活用	<ul style="list-style-type: none"> ・ 広域に整備され精度の高い3D都市モデルの存在は、今後都市部でドローンを飛行させるにあたり有用な事前地図として活用できるポテンシャルは十分あるといえる。 ・ 特に精度やデータ仕様、データ更新時期が公開されていることの意義は大きく、事前地図の精度や仕様が明確になっていることで、それを利用したSLAMの精度についてある程度見通しを立てることができる。
LiDAR SLAM	<ul style="list-style-type: none"> ・ LiDAR SLAMの事前地図として3D都市モデルを活用することで、GNSSと比較しても高精度な自己位置推定が可能であるという結果が得られた。その精度は実際に現場を飛行させて得られたLiDAR点群をもとにした事前地図を使った場合の精度と比較しても遜色のないものであったことから、実際にLiDAR SLAMの運用を想定した場合、事前に地図取得のためのフライトを行うための工数を大幅に削減することができると思われる。 ・ LiDAR SLAMの事前地図としては、LiDARセンサーによって取得したデータと事前地図を比較するため、建物の位置や高さだけでなく、できるだけ詳細な形状データがあることが望ましい。 ・ 本実証で飛行させた範囲においてはLOD2のレベルでも十分な精度を得ることができたが、より込み入った環境での活用においてはさらに詳細度の高いモデルが必要となる可能性もあり、計画的・継続的にデータ整備が進められているという点が3D都市モデルの技術的な優位性といえる。
Visual SLAM	<ul style="list-style-type: none"> ・ 3D都市モデルを用いたシミュレーションを行うことで、Visual SLAMの自己位置推定の事前地図として用いることができることが確認された。 ・ あらかじめ飛行することなく事前地図を作成することでオペレーションの工数削減・安全性の向上という優位性がある。 ・ 自己位置推定の精度について、シミュレーションと実画像のマッチングにおける3D都市モデル側の形状精度（LOD）やテクスチャ解像度との関連性についてはさらなる検証が必要であるものの、今回のように必要に応じて同一モデルのテクスチャを張り替えて活用することができるなどの高いカスタマイズ性は3D都市モデルの活用という意味では大きな魅力である。 ・ 実際のVisual SLAMの運用を想定した場合、現在整備されている3D都市モデルの状況をPLATEAU VIEWを通してWebブラウザから簡易的なプレビューができることは有用である。Visual SLAMの事前地図として用いる場合、そのテクスチャの品質が重要となるが、利用可否チェックなどの上流段階でのフィジビリティ検証においてその確認を専門知識なく行えることで、スムーズなオペレーションが可能になると予想される。
シェアードコンピューティング	<ul style="list-style-type: none"> ・ シェアードコンピューティングにおいても、3D都市モデルを使った自己位置推定が可能であった。エッジ処理ではデータ容量の制限から、飛行エリアを変えるたびに事前地図データの入れ替えが必要であるが、シェアードコンピューティングであれば、ストレージも大きくオンラインでのダウンロードも可能であることは優位性があるといえる。 ・ 本実証においては非常に限られた範囲の活用であったが、将来的に日本各地での活用を考えると、必要な地域の最新の3D都市モデルをシステム側でシームレスにダウンロードするなどの活用法が期待できる。

3D都市モデルによるビジネス面での優位性

公開性・拡張性	<ul style="list-style-type: none"> 3D都市モデルは公的なオープンデータとして整備されていることから、ドローン事業者としては追加コストや許可手続きを経ることなくスピード感をもって開発を進められることは大きな優位性といえる。 ビジネスとしてのスケールを考えた場合、3D都市モデルの整備が進むことで特定の地域に限らない活用ができるようになるため、日本各地で飛行が求められるドローン役務との相性は非常によいと考える。
信頼性	<ul style="list-style-type: none"> 本実証実験で開発したシステムは安全な運航に関わるものであるため、その基礎データとなる3Dデータにも信頼性が求められる。その中で、開発者側、利用者側の双方にとって安全・安心な運航に寄与できるような仕様や精度が明記され、データの信頼性・透明性の高い3D都市モデルは優位性がある。

②活用にあたっての課題

【全般】 汎用的利用 に向けた検証	<ul style="list-style-type: none"> システムの実現性の検証という観点から、LiDAR SLAM・Visual SLAMのどちらにおいても非常に限られた条件・環境における検証にとどまった。したがって、本開発で得られた知見の社会実装に向けては、様々な環境・条件において各システムが安定的に機能するのかが検証する必要があると考えられる。
【LiDAR SLAM】 機器の最適化	<ul style="list-style-type: none"> 機器のスペックが足りずにシステムが十分に機能しないというリスクを軽減するため、なるべく広い取得範囲で高い点密度が得られるLiDARを選定して実証を行った。実際のドローンでの運用を考慮すると、なるべく軽量・小型のセンサーを用いることが望ましいため、得られる精度とセンサー仕様のバランスを考慮して最適化された機器選定やそのための検証が必要と考えられる。
【LiDAR SLAM】 計算リソース について	<ul style="list-style-type: none"> LiDAR SLAMの自己位置推定について、GNSSと比較して十分な精度が得られたものの、計算負荷の都合で環境地図や演算する範囲のグリッドサイズを粗めに設定していた。3D都市モデルの高精度な形状データをより活用するためには、より高い計算リソースを持つコンピュータを活用することが有効と考えられる。
【シェアードコン ピューティング】 携帯通信網	<ul style="list-style-type: none"> 携帯電話通信網の速度がボトルネックとなり、クラウド上でデータ処理を行うという当初の想定で実証を行うことができなかった。通信インフラの改良は日進月歩で進んではいるものの、SLAM処理のためのクラウドコンピューティングに向けては通信網の改善が社会的な課題となる。
【Visual SLAM】 カメラの画角	<ul style="list-style-type: none"> 常に機首方向を壁面に向けて同じ面の画像を取得し続けることでVisual SLAMにおける自己位置推定を行った。実際の活用場面においては、常に建物の方向を向き続けるという飛行方法は現実的ではないため、カメラを複数の方向に取り付ける等より汎用的な利用に向けての開発・検証が必要と考えられる。

4-21-5 展望

本実証実験ではLiDAR SLAMとVisual SLAMの自己位置推定における、3D都市モデルの有用性を確認することができた。また、サーバー側での演算処理においても同様の結果が得られたことからドローンの社会実装及び事業化に向け、特にペイロードの増加に有利と考えられる軽量な一般的なカメラが利用可能なVisual SLAMとサーバーを介した演算処理システムを組み合わせたドローンシステムの検討を進めていきたい。

具体的には、3D都市モデルによるVisual SLAMシステムの更なる精度向上が挙げられる。高精度な自己位置推定のためには、より精度の高い形状やテクスチャを持つ3D都市モデルが必要となる。例えば、LOD3データや高精細なテクスチャデータなどのリッチなデータを活用することで、精度向上を図れると考えられる。一方でデータ量の増加に合わせてハードウェアのアップグレードや軽量なアルゴリズムの検討も同時に進める必要がある。また、サーバーを介した演算処理システムは、通信速度に依存するという課題があるものの、上空の通信状況や強度を事前に調査・把握し視覚的に把握することで、安定した処理が可能な航路を事前に特定することで活用が進められると考えている。

3D都市モデル×ドローンというコンセプトに基づき、レベル4飛行に向けた安全・安心を担うシステムとして高度化を図り、今後もドローンの社会実装の実現を加速させていく。

4-22 物流ドローンのフライトシミュレーション（2020年度）

株式会社A.L.I. Technologies

<https://www.mlit.go.jp/plateau/use-case/uc20-026/>

4-22-1 サービス概要

①事業・サービスの目的、ビジネスモデル、社会的意義

事業・サービスの目的と概要

複雑化されたビル群が立ち並ぶ都心部においてドローンを飛行させるためには、ルート上の建物等の障害物を慎重に確認する必要があり、そのための現地調査のコストや手間が課題となっている。

本事業では、都心部の建築物等を緻密に再現した3D都市モデルを取り込んだフライトシミュレーションシステムにより現地調査等の工程を効率化を狙う。さらに、物流ドローンが配送ルート確認用として撮影しているルート上の航空写真を活用した航空測量を実施し、ドローン物流の副産物を用いた安価・効率的な3D都市モデルのアップデートを目指す。

想定ビジネスモデル

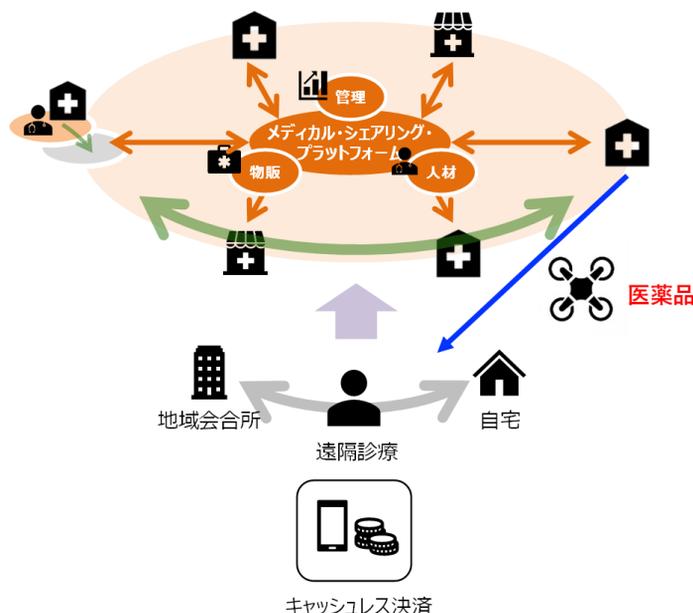
法人向け

- 飛行ルートのシミュレーションによる最適化によるコストダウン
- ドローンオペレーター育成の効率化

社会的意義

ドローンによる過疎地域・都市部の防災物流ネットワークを構築し、平時だけでなく災害時の医療物資輸送や孤立地域との通信手段の提供などの実現を目指している。現在、遠隔医療配送ネットワークの運用に向けて試験を終え2021年より医薬品配送を開始予定、さらに2025年までに都市部へのドローンによる物流ネットワークの導入を検討している。3D都市モデルを活用したフライトシミュレーションの実現により、エアモビリティの社会実装を加速させ、防災物流ネットワークの整備を目指す。

図4-22-1 事業イメージ



4-22-2 実証調査詳細

①実証調査の目的・概要

実証調査の目的

3D都市モデルを利用した飛行ルートシミュレータを開発することで、バーチャル空間上でのルートシミュレーションと運航者トレーニングを実施し、コストダウン・業務効率化に繋がるかを検証する。

さらに、既存のUAVシステムに3D都市モデルを連携させ、3Dで飛行ルートを作成できる機能の実装・検証を行う。

実証調査の概要

- 3D都市モデルの活用に関する事業価値検証（ビジネスモデル・マネタイズの妥当性・受容性・効果等）
 - シミュレーションにより最適化された飛行ルートはコストダウンにつながるか？
 - ドローンシミュレータにより、ドローンオペレーター育成は効率化するか？

②実証調査の対象エリア

対象エリア

東京駅周辺

エリア選定理由

将来的な都心部での飛行を想定して設定を行った。高層ビルが建ち並び、ビルの間を縫うようなシミュレーションならではのルートにより効果が確認しやすいエリアである。

図4-22-2 3D都市モデル利用範囲



③実証調査に向け開発されたサービス

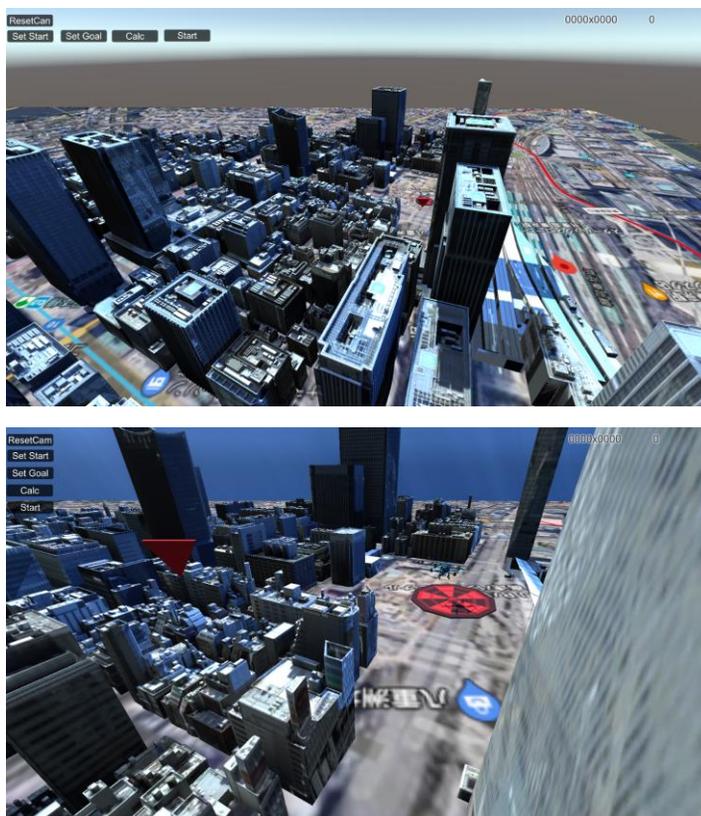
3D都市モデルによりマップを構築した飛行ルートシミュレーションとトレーニング用ドローンシミュレータで業務効率化・コストダウンを図る。

開発されたサービス概要

Unityにて、ルート検索を行うロジックを実装したシミュレータを開発した。

- 東京駅周辺の都市モデルを活用
 - 都市モデルをオブジェクトファイルに変換し、Unityに取り込み
- ルートは最短ルートを判断
 - 指定されたスタート地点とゴール地点に対して、周辺の建造物の高さ・形状を踏まえてルートを作成する
 - 飛行高度と建物の高度を考慮し、最適なルートを算出する
 - ルートは小型無人機の飛行ルールに則り、建造物から30m以上離れたルートとする

図4-22-3 開発されたサービスのイメージ



④3D都市モデル (CityGML) の活用方法

高精度かつテクスチャありのため、3Dでの演算・表示を行うモデルデータとしてそのまま変換データを利用することができ、短期間でのシミュレータ構築の一翼を担った。

利用された3D都市モデルの仕様

- 大丸有エリアのLOD2モデル
- テクスチャ (20cm)

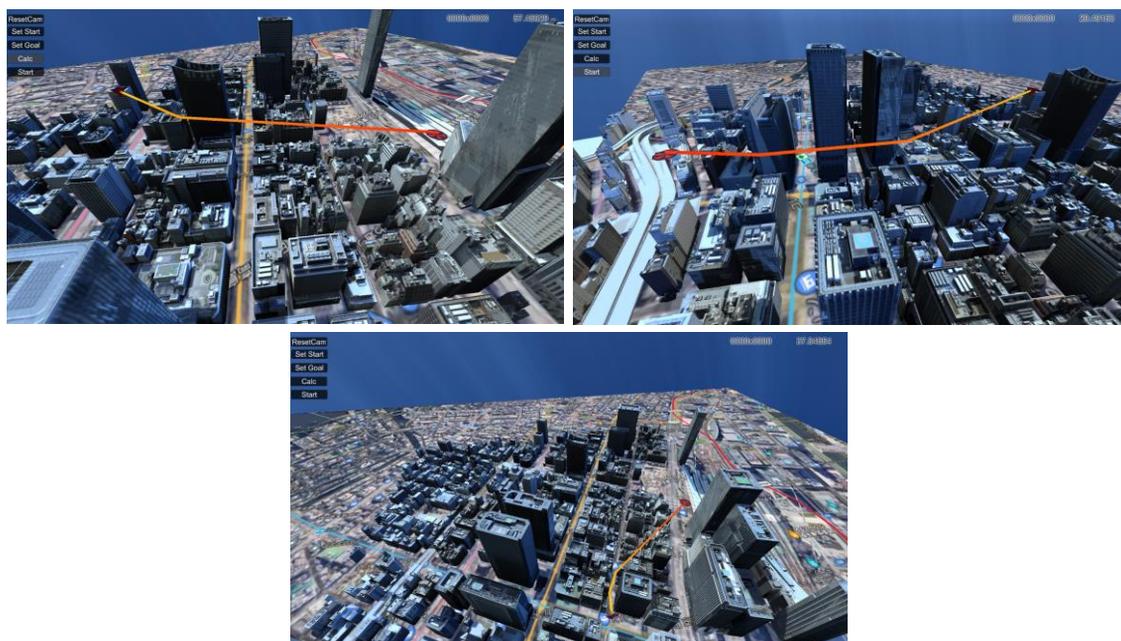
3D都市モデルの用途

- シミュレータの演算用の3D都市データとして利用
- シミュレータ結果表示用の可視化モデルとして利用

3D都市モデル活用のためのソフトウェア

- CityGMLの変換
 - FBX形式で利用
- 3D都市モデルの加工
 - Unity 2019.4 LTSを利用
 - Googleマップの情報も参照し加工
- 3D都市モデル利用システム
 - Unity 2019.4 LTSを利用

図4-22-4 シミュレーション用マップとして利用された3D都市モデル



4-22-3 実証調査結果

① アンケート結果（ドローンパイロット）

操作性やパラメータ指定の要望はあるものの、3D都市モデルを使うことで事前にルートを検討・確認できることのメリットを感じている。

ルート構築の効率改善	<ul style="list-style-type: none"> 自動でルートを作成することで、ルート検討時の事前調査の手間が減らせそうである 3Dモデル上で詳細な建物形状やルートが視覚的にわかることで、各地上地点からの目視範囲を事前に把握できることが便利である 飛行時のパイロットの移動経路や補助者の配置や要否等を事前に判断する材料としても有用である テクスチャがあるため、現場の位置との照合が容易で迷わずに現地入りできそうである 現時点では二点間の飛行のみなので、実際の運用に当たってはより複雑なルートでのシミュレーションが必要と考えられる（途中で高度を変えるルート等）
パイロット育成の効率化	<ul style="list-style-type: none"> より複雑なルートに対応できるようになれば、ルート構築のトレーニングとしては効率化できる可能性はある PCにコントローラをつないで、この3D地図上でフライトシミュレーションができるようになれば、入り組んだ地域でのフライトトレーニングとしてさらに有用になりうる
UIについて	<ul style="list-style-type: none"> 全体的な操作性に慣れが必要なので、UIの操作性改善が必要である 離発着点を緯度経度で指定できるようにしてほしい

② KPI達成状況

飛行業務の半分を占めるの事前検討・現地調査に関して50%ものコスト改善の可能性が識別された。

	KPI		KPI計測結果	比較対象のデータ	評価
定性的KPI	ルート構築の効率改善 オペレータ育成への活用可否	ヒアリング	概ね前向きな評価 ただし、追加機能・UI改善の要望もあり	<ul style="list-style-type: none"> 航空写真によるルート検討 現地踏査によるルート検討 現場のみによるオペレータ育成 	限定的ながらもシミュレータによる作業効率改善、オペレータ育成への活用の可能性が示された
定量的KPI	コスト削減	コスト削減	事前検討、現地調査に50%のコスト削減 飛行業務全体として25%のコスト削減	シミュレータを使わない場合の事前検討、現地調査にかかる人工	現時点では二点間の飛行にのみ対応可能だが、大幅なコスト削減の見込みを得た

4-22-4 実証調査考察

①サービス開発における示唆と課題

LOD2の3D都市モデルを活用することで、コスト削減だけでなくドローン航行に係る関係各所との調整の円滑化に寄与する可能性が示唆された。一方でより精緻で広範囲のモデルの整備が課題となる。

示唆		<ul style="list-style-type: none"> • LOD1ではとらえきれなかった建物の詳細情報を取り入れたことにより、これまで要していたドローン航行のための準備時間を大幅に短縮することができ、移動費や人件費などを削減できる可能性が示唆された • 垂直・水平精度の品質が保証されている3D都市モデルを活用することで、同様の航路シミュレータをあらゆる場所で容易に展開・構築可能であり、都心部における物流ネットワーク構築を図る上での基盤となり得る • LOD2のモデルはビジュアル面でも優れており、荷主や関係当局、ドローンオペレーターに対して航路をわかりやすく可視化することでオペレーションの円滑化に寄与することが期待される
課題	シミュレータ取り込み範囲拡大	<ul style="list-style-type: none"> • 現状は実証として東京駅周辺のデータのみを取り込んでいる。CityGMLの構築範囲の拡大とともに、シミュレータへの取り込み範囲を拡大することで様々な地域でシミュレーションを実施できるようにする必要がある
	より複雑なルートでのシミュレーション	<ul style="list-style-type: none"> • より複雑なルートでシミュレーションができるようにすることで、様々な用途に活用できるようになると考えられる
	都市部でのシミュレータの検証	<ul style="list-style-type: none"> • 実際に都市部でシミュレータのルートを飛行することで、ルートの適切さやシミュレータの課題等を明確にすることが必要である
	ドローン管制システムとの統合	<ul style="list-style-type: none"> • ドローンの管制システムと本シミュレータを統合することで、シミュレーションから実際の飛行指示、遠隔監視までをシームレスに行うことのできるため、管制システムとの統合によりサービスとしての価値は高められると考えられる。さらに、クラウド上からシミュレータを扱えることで、よりユーザー側の利便性も上がることが期待される

②3D都市モデルと開発するサービスとの親和性

3D都市モデルを使うことで有用なシミュレータを短時間で構築することができた。

親和性	<ul style="list-style-type: none"> • LOD2、テクスチャを含むデータを使うことで、より精度が高く、現実に近いシミュレーションを行うことができたため、CityGMLとの親和性は高いと言える • テクスチャ情報を有するため、荷主や関係当局、ドローンオペレーターに対して航路をわかりやすく可視化することでオペレーションの円滑化に寄与することが期待される • CityGMLの構築範囲が広がることで、より幅広い地域での活用が期待できる
-----	---

4-22-5 ドローン測量による3D都市モデルアップデートの実証調査

①実証調査の目的と概要、対象エリア

実証調査の目的

飛行ルートシミュレータの高精度化にあたっては、利用するマップとなる3D都市モデルの精度向上が欠かせない。従来は3D都市モデルを作るための航空測量により実施されているが、物流ドローンにより物流の副産物として写真測量が実施できれば、大幅なコストダウンが見込める。そこで本実証は実際に物流ドローンを飛行させ3D都市モデルのアップデートが可能かを検証する。

検証内容

都市モデルアップデート事業価値（ビジネスモデル・マネタイズの妥当・受容性、効果等）を検証する。

- ドローンによる写真測量でのアップデートは十分に機能するか？
- 将来的により高精度な測量手段に対応し、継続的にモデルをアップデートできる見込みか？

対象エリア

石川県加賀市片山津温泉

図4-22-5 3D都市モデルアップデートの実証調査対象エリア



②実証調査の結果

事前調査、飛行予備日も含めて2021年3月1日～5日にかけて、実証調査を実施した。

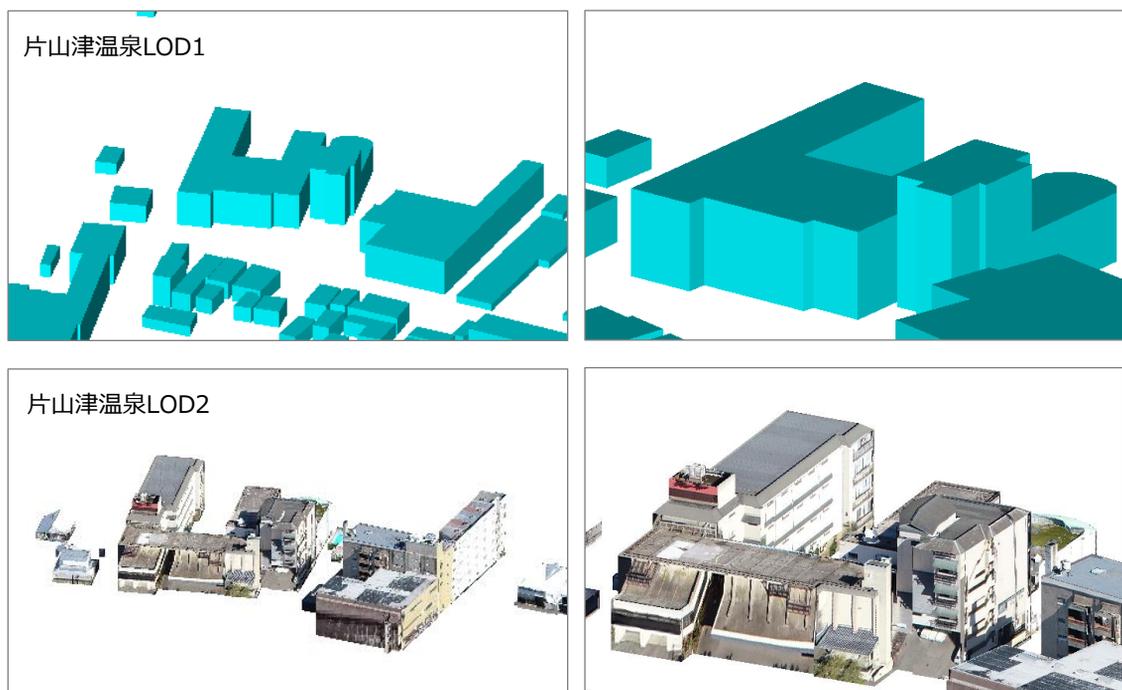
図4-22-6 写真測量を行う物流ドローンと実証の様子



③実証調査の結果（モデルのアップデート）

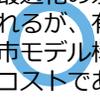
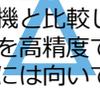
国際航業の協力のもと、3D都市モデルのアップデートを行った。

図4-22-7 3D都市モデルアップデート前（LOD1）とアップデート後（LOD2）



④実証調査結果（KPI達成状況）

最適化の余地はあるものの、有人航空機による都市モデル構築に比較すると低コストで3D都市モデルのアップデートを実現できた。

	KPI	KPI計測結果	備考	評価
定量的KPI	開発工数	工数算出 1人 x 20日	—	有人航空機からの航空写真からの工数と同程度であると想定される 
	フライト工数	工数算出 4人 x 4日	対空標識設置、地上測量等含む	機材選定や飛行法等を標準化することで最適化可能であると考えられる 
	コスト	コスト算出 約550万円	開発工数 20人日 x 20万 フライト工数 16人日 x 10万	さらなる最適化の余地はあると考えられるが、有人航空機による都市モデル構築に比較すると低コストであると考えられる 
	データ	データ量 約3ha	対象とした片山津温泉エリア 約300m x 約100m	撮影できるエリアの大きさは有人航空機と比較して狭いが、狭い範囲を高精度で写真測量する用途には向いていると言える 

⑤3D都市モデルアップデートの示唆と課題

寄り道をしない物流ルートでの測量ではデータが不足しアップデートができないことが分かったが、最適なルートを設定することで物流と写真測量が両立できる可能性が示唆された。

示唆	<ul style="list-style-type: none"> 今回の実証実験により、物流ドローンが撮影した航空写真を用いてLOD1及びLOD2の3D都市モデルの整備・更新が可能であることが確認できた。必要なルート、対空標識の設置、地上測量等のドローンによる写真測量に必要な準備を行えば、十分なデータを取得することができる 単に物流ルート上を通過する際に取得できる航空写真のみを用いるのでは、写真測量ほどのデータ取得が十分にできないため、補完データ等を用意しなければ必要な精度を持つ3D都市モデルの整備・更新を行うことが難しいことも明らかとなった
課題	<p>最適な飛行ルートの設定方法の検討</p> <ul style="list-style-type: none"> 今後は物流飛行として合理的なルートを選択しつつ、写真測量飛行として必要なデータ取得も行えるような飛行ルート設定や機材選定、撮影手法等を検討する必要がある
	<p>都市モデル構築にかかる作業の最適化</p> <ul style="list-style-type: none"> 飛行ルート構築や機材の選定方法や選定基準、対空標識の設置手順等を最適化し、必要な工数・コストの削減を図る必要がある

4-22-6 展望

事業の本格展開・全国展開に向けた展望・チャレンジ

今回の実証実験では、ドローンのフライトシミュレーションシステムの構築における3D都市モデルの有効性を見出すことができた。また、3D都市モデルの効率的なアップデートの実現性についても一定の知見を得ることができた。今後は、3D都市モデル×ドローンの観点から、都市部での事業化に向け検証を進めていきたい。

今後の検証ポイントとして、都市部におけるビル群の間を縫うような飛行を行う際に必要となる高精度な航路シミュレータの開発がある。高精度なシミュレーションには精度の高い3D都市モデルの維持・更新が必要となるため、これをいかに効率的・持続的にやっていくかが肝要である。今後、物流ネットワークを活用した写真測量とこれによる3D都市モデルのアップデートのフィジビリティを高めていくことで、高精度シミュレータの実現可能性も高まるという好循環の実現を目指していきたい。

さらに、ドローン物流ネットワークを活用した3D都市モデルのアップデートサイクルの確立に貢献するためにも、日本全国において防災物流ネットワークの構築ができるよう更に事業の加速を行っていく。

3D都市モデル×ドローンというコンセプトに基づき、双方の持続的な発展に向けて防災物流ネットワークを高度化を図ることで、都市部や過疎地域の社会を支える必要不可欠な基盤作りを目指していく。

4-23 ドローンによる建築物外壁検査の支援（2022年度）

株式会社フォーラムエイト

<https://www.mlit.go.jp/plateau/use-case/uc22-006/>
https://www.mlit.go.jp/plateau/file/libraries/doc/plateau_tech_doc_0036_ver01.pdf

4-23-1 サービス概要

①事業・サービスの目的、ビジネスモデル、社会的意義

事業・サービスの目的と概要

マンションの外壁タイルの点検は、多くは人力による打診で実施されているが、近年ではドローンによる赤外線調査の手法が実用化されはじめている。一方、ドローンによる赤外線調査では建築物の外壁温度が品質・精度に影響を与えるため、建築物への日照環境を事前に把握することが重要である。

今回の実証実験では、3D都市モデルを活用した建物外壁への日照・反射光シミュレーションによりドローンにおける赤外線調査の調査計画の効率的な立案を支援するシステムを開発する。

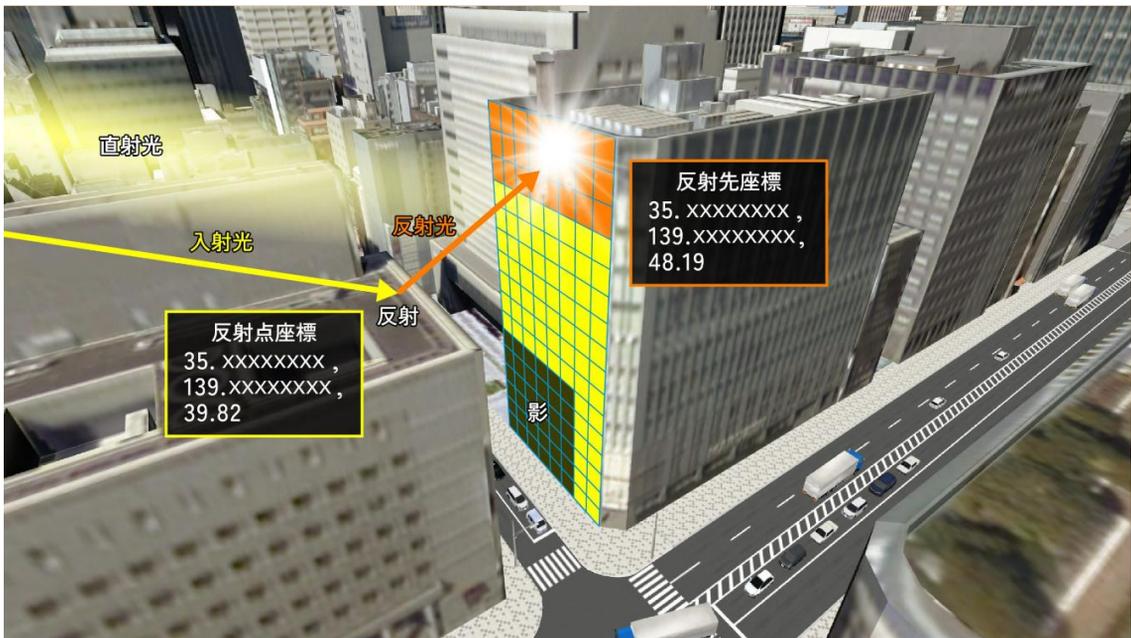
ビジネスモデル

主なターゲットは建物診断業者で、ソフトウェアパッケージ販売とデータ作成サービス、解析支援サービスを提供。

社会的意義

本実証の成果を活かし手法・ツールの実用化と高度化を図り、関係団体に普及させることによって、ドローンによる適切な赤外線調査の拡大普及および合理化を狙う。

図 4-23-1 建物外壁への日照・反射光シミュレーション



4-23-2 実証調査詳細

①実証調査の目的・概要

実証調査の目的

建物外壁のタイルは剥落防止のために定期的な全面点検が義務付けられており、主に打診での点検が行われている。打診は人力実施となるため、足場設置等の費用負担が大きく、また調査期間が長期にわたることが課題。そこでコスト削減・効率化のため、代替手段の一つであるドローンによる赤外線調査が実用化され、令和4年度から実運用が本格的に開始された。

赤外線装置による外壁点検は、外壁タイル剥落の原因となる「浮き」がある部分において、日照によりタイル表面の温度が周囲の健全部と差異が生じる特徴を利用する。したがって、剥落の予測精度を確保するためには最適な日照条件で調査を実施する必要があり、現状では現地へ赴き日射の状況及び日照の時間経過の確認を行っており、ドローン調査の前段階の現地調査で人手と時間を要することが課題となる。

今回の実証実験では、事前の現地調査の中で大きな割合を占める日照の確認作業を、3D都市モデルを活用したシミュレーションによって机上調査で実現することで、現地調査を軽減できるシステムを開発する。

実証調査の概要

●実証仮説

- 机上での3D都市モデルを活用した日照シミュレーションにより、現地に行かずとも、もしくは現場負担を軽減する形で、ドローンを使った赤外線による外壁検査に適切な日照条件となっているかが判断できる
 - ✓ 現在は人が現地へ赴いて実施している対象建物への時刻歴の日影の状態及び反射光の状態の確認作業を、3D都市モデルのジオメトリ情報を活用した机上調査で支援・代替できるシステムを開発することで、事前調査の効率化を図ることができる

●検証ポイント

- 日照シミュレーションの精度の検証、調査可能な箇所と調査に適した時間帯の確認
- 反射シミュレーションの精度の検証、調査に影響のある反射の影響の確認
- 開発したアプリの赤外線調査の事前調査の支援・効率化の観点での実用性・有用性の検証

②実証調査の対象エリア

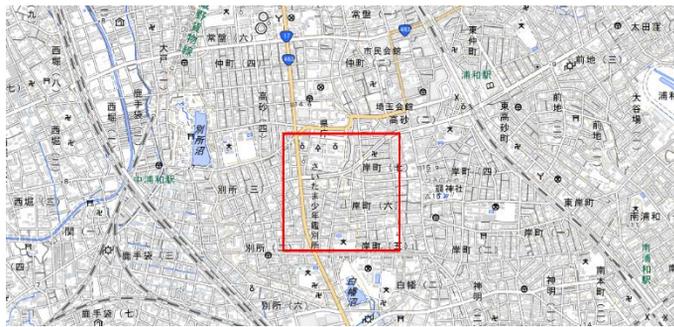
対象エリア

熊谷市、さいたま市、川崎市

エリア選定理由

- ガイドラインに沿った計測が可能な建物（撮影角度、撮影の障害等）
- 3D都市モデルとの現状の相違が少ないエリア
- 隣接建物の影、反射の評価を見込める建物配置
- 設計図書を入手可能
- 都市局、国総研、エンドユーザー（赤外線調査実施者）撮影者等の意向を反映

図 4-23-2 3D都市モデル利用範囲



埼玉県 さいたま市 さいたま市立教育研究所周辺
(対象範囲：さいたま市立教育研究所を中心とした半径600m、1.13km²)



神奈川県 川崎市 川崎マリエン周辺
(対象範囲：川崎マリエンを中心とした半径600m、1.13km²)

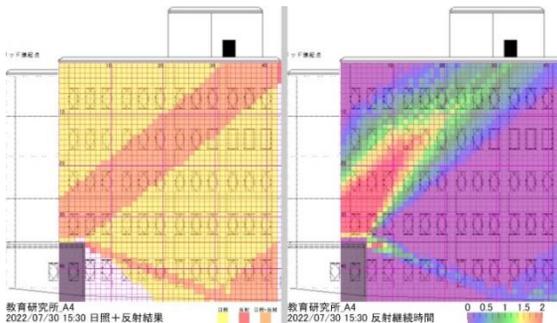


埼玉県 熊谷市 埼玉県農業技術研究センター周辺
(対象範囲：埼玉県農業技術研究センターを中心とした半径600m、1.13km²)

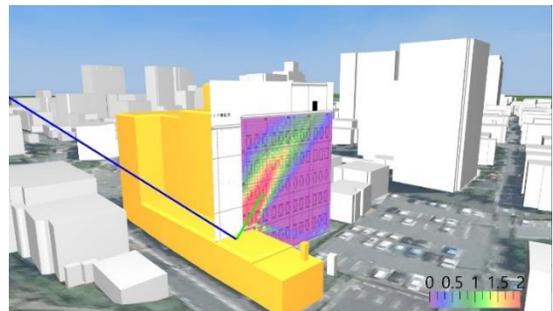
③実証調査に向け開発されたサービス

任意の時刻における外壁への日照の有無および周辺建物による反射光の有無をシミュレーションするシステムを、3次元リアルタイム・バーチャルリアリティソフトであるUC-win/Roadが持つ日照シミュレーション機能をカスタマイズして開発した。シミュレーション結果は0.5mなどの大きさのグリッド（『定期報告制度における赤外線調査（無人航空機による赤外線調査を含む）による外壁調査ガイドライン』に基づくサイズ）で分割した対象外壁に対して得られ、CSVファイルと立面図に日照または反射光の有無をプロットした画像ファイルとして出力するようにした。合わせて、日照と反射光が継続して当たっていた時間に応じて立面図を色分けした画像ファイルも出力するようにした（例えば、1日のうち2時間以上継続して日射が当たっているグリッドは赤色となる）。これらの画像ファイルを3次元空間上で建築物モデルに貼り付けて表示し、時刻をスライダーで操作し、日照と反射光がどのように時刻変化するかを確認できるようにした。

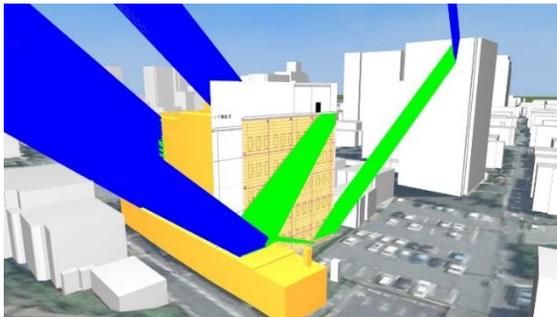
図 4-23-3 開発されたサービスのイメージ



日照・反射結果の表示（立面図への投影）



日照・反射結果の表示（3D可視化）



反射結果の表示（全光束）



反射結果の表示（単光束）

●導入する新技術

デジタルツインで構築された3Dモデルを用いれば、計測に先立って、シミュレーションにより最適な計測計画が立案できる。

フォーラムエイトで販売する3次元バーチャルリアリティソフトウェア UC-win/Road では、緯度・経度・高度情報をもとに任意の時刻において、3次元仮想空間で影の影響を含めた太陽光シミュレーションが可能であり、これをベースに、プラグインとして本事業に必要な機能を新規に開発する。

図 4-23-4 システムアーキテクチャ全体図

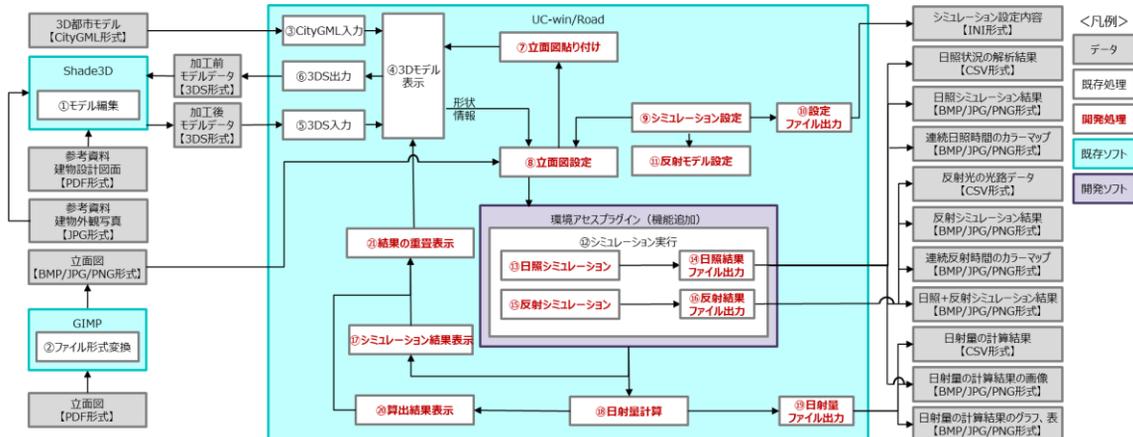


図 4-23-5 データアーキテクチャ全体図

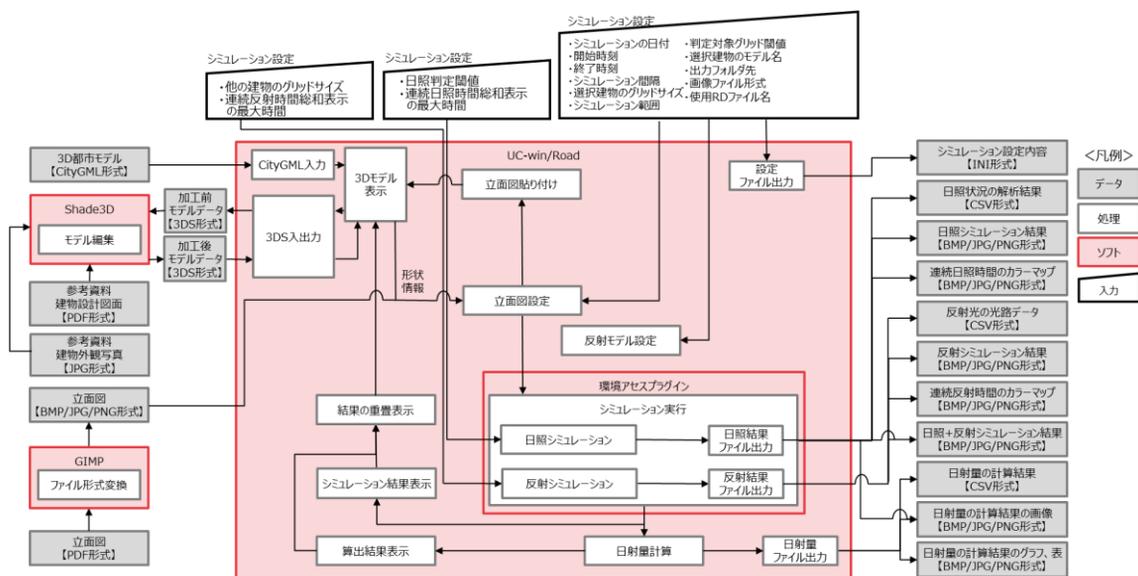
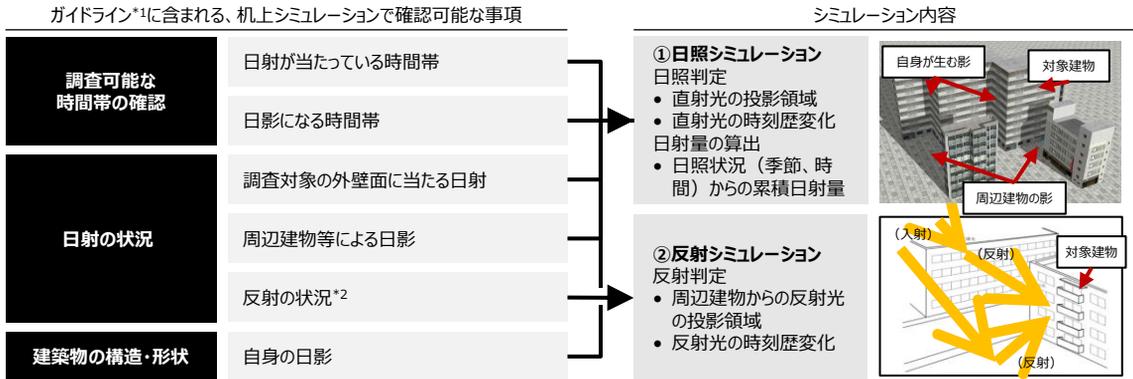


図 4-23-6 シミュレーションの全体像



*1 定期報告制度における赤外線調査（無人航空機による赤外線調査を含む）による外壁調査 ガイドライン

*2 反射光の検証については、建物モデルの詳細度が低いため、本実証においては、隣接建物の壁面や屋根全体からの反射が見込める建物を選定

④3D都市モデル（CityGML）の活用方法

3D都市モデルのジオメトリ情報の活用により、日照に係る事前調査項目について、事前に適切な検査計画の概要を立案できるようになり、現地での事前調査を効率よく、短時間で実施できる。

利用された3D都市モデルの仕様

- 対象建物3棟および各棟のそれぞれ周囲数棟（熊谷市、さいたま市、川崎市）を対象とする
- 熊谷市、さいたま市、川崎市のLOD1整備範囲の0.1km程度を対象面積とする

3D都市モデルの用途

対象となる建物とその近隣建物の3D都市モデルを、開発したアプリに入力してデジタルツイン環境を構築し、調査予定期間内の日照および反射のシミュレーションを実施する。

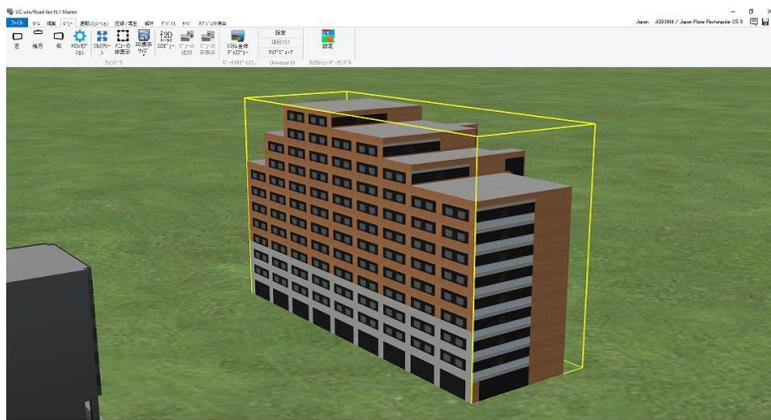
3D都市モデル活用のためのソフトウェア

3DCGソフトウェア（Shade3D）にてモデル編集を行う（UC-win/Roadにて3DSに変換し入出力）

●基本機能

- CityGML 読込
- 3DS 形式での出力（この機能を利用して、CityGML 形式から 3DS 形式への変換を行う）

図 4-23-7 対象地域の3D都市モデル



4-23-3 実証調査結果

①シミュレーション精度の検証

検証方法

i 対象建物に関するシミュレーションの実施

・ さいたま市立教育研究所



対象壁面は、以下の理由から、南面とする

- ・ 検証のための撮影機材の設置が可能である
- ・ 当日、日中の日照が十分見込める

・ 川崎マリエン



対象壁面は、以下の理由から、南東面とする

- ・ 検証のための撮影機材の設置が可能である
- ・ 当日、日中の日照が十分見込める

・ 埼玉県農業技術研究センター



シミュレーションパラメータ

シミュレーション日時	2022/7/30 4:50-18:50
シミュレーション間隔	10分
選択建物のグリッドサイズ	50.0cm
他の建物のグリッドサイズ	5.0cm
シミュレーション範囲	600m
判定対象グリッド判定閾値	50.0%
日照判定閾値	100.0%
連続日照時間総和表示の最大時間	2時間
連続反射時間総和表示の最大時間	2時間

シミュレーションパラメータ

シミュレーション日時	2022/10/2 5:00-19:00
シミュレーション間隔	10分
選択建物のグリッドサイズ	50.0cm
他の建物のグリッドサイズ	5.0cm
シミュレーション範囲	600m
判定対象グリッド判定閾値	50.0%
日照判定閾値	100.0%
連続日照時間総和表示の最大時間	2時間
連続反射時間総和表示の最大時間	2時間

シミュレーションパラメータ

シミュレーション日時	2022/10/14 5:00-19:00
シミュレーション間隔	10分
選択建物のグリッドサイズ	50.0cm
他の建物のグリッドサイズ	5.0cm
シミュレーション範囲	600m
判定対象グリッド判定閾値	50.0%
日照判定閾値	100.0%
連続日照時間総和表示の最大時間	2時間
連続反射時間総和表示の最大時間	2時間

ii. 対象建物の現況写真の撮影

①カメラの設置	<ul style="list-style-type: none"> ・ 対象壁面の全体が画角に収まるように赤外線カメラと可視カメラを設置する
②壁面全体の日照が開始するまでの時間帯	<ul style="list-style-type: none"> ・ シミュレーション上、当該壁面に日照が当たり出すとされる時間の30分前から壁面全体に日照が当たる時間まで15分毎に撮影する
③壁面全体に日照がある時間帯	<ul style="list-style-type: none"> ・ 当該壁面全体に日照が当たり続ける時間帯は概ね1時間毎に撮影する
④壁面全体の日照が終了した後の時間帯	<ul style="list-style-type: none"> ・ シミュレーション上、当該壁面に日影が出来始める時間から全体が日影となった時点まで15分毎に撮影し、日の入まで日照がないことを確認し撮影を終了する *埼玉県農業技術研究センターは入場に時間制限があるため、下記とする。シミュレーション上当該壁面に日影が出来始める時間から閉門の時間まで15分毎に撮影をする

(備考)

- ・ 現場にて、雲により日影が確認できないと判断される場合は間隔を変えることがある
- ・ 対象建物の壁面付近に日射計・温湿度計を設置し撮影時の環境温度を測定する
(1階の手の届く範囲で浮きが確認された場合は、浮き部と健全部の温度計測/熱電対)

ii. 対象建物の現況写真の撮影

①写真の選定	<ul style="list-style-type: none"> 現況写真の内、目視で日照/反射の有無が判別できる写真を選定する（以下、対象写真）
②対象写真への日照/反射の有無のセット	<ul style="list-style-type: none"> 対象写真を50cmグリッドで分割し、グリッドごとに日照/反射の有無をセットする
③対象写真とシミュレーション結果の比較	<ul style="list-style-type: none"> シミュレーション結果として出力される日照/反射結果の画像（50cmグリッドで日照/反射の有無が描画されている）と対象写真とで、日照/反射があるグリッドの個数、場所を比較する

検証結果

検証を行った3つの建物の追加加工モデルを使った日陰のシミュレーションの平均一致率は高い数値を得られた。

	さいたま市立教育研究所	川崎マリエン	埼玉県農業技術研究センター
建物の特徴	<ul style="list-style-type: none"> LOD数値に左右されないようなシンプルな直方体形状の建物 	<ul style="list-style-type: none"> 近隣の建物が隣接し、周辺からの影響を受けやすい建物 	<ul style="list-style-type: none"> 壁面の凹凸が多く、建物自身の影がでやすい建物 
日陰のシミュレーション平均一致率	<ul style="list-style-type: none"> 日照状況：99.0% 反射状況：-（反射確認されず） 	<ul style="list-style-type: none"> 日照状況：96.2% 反射状況：93.4% 	<ul style="list-style-type: none"> 日照状況：97.9% 反射状況：-（反射確認されず）
認識された課題	<ul style="list-style-type: none"> 外階段等の建物への付属物はPLATEAUに現状示されないため、相違があり削除した 	<ul style="list-style-type: none"> 隣接建設物の隅角部がPLATEAUに表示されない丸みを帯びていることでLOD1だと一致率が低くなった 	<ul style="list-style-type: none"> 柱梁や庇等の凹凸の影響で一致度が低くなった 入角部分に画像上では赤外線反射があったが、平場と日射量差でモデルでの浮き検出は困難だった

②実施システムの価値検証

検証方法

目的	開発されたシミュレーションソフトをもとにビジネスタゲットとされる赤外線調査実施者や有識者にソフトの操作感や実用性・有用性などについてアンケート形式でヒアリングを実施した			
実施期間	第1回 2022/11/01(火) 13:30~15:30 第2回 2022/11/10(木) 10:00~11:30			
実施場所	オンライン形式で実施			
参加者	第1回	合計6名	第2回	合計9名
	株式会社フォーラムエイト 一般財団法人日本建築防災協会 防災協会 一般社団法人改修設計センター	3名 2名 1名	株式会社フォーラムエイト 一般財団法人日本建築防災協会 一般社団法人改修設計センター 国土交通省 国土技術政策総合研究所 一般社団法人日本非破壊検査協会 一般社団法人日本赤外線サーモグラフィ協会	3名 1名 1名 1名 1名 2名
実施内容	<ol style="list-style-type: none"> 1. アプリの概要、アンケート概要の説明 2. アプリのデモ実施 3. アプリの出力結果と現況写真の比較結果を説明 4. アンケートの実施 5. 質疑応答 			

検証結果

日照シミュレーションへの有用性は有識者ヒアリングでも確認ができ、特に日照シミュレーションへの好意的な声が多かった一方で、今後の拡大のためには精度向上や操作性の改善の必要性が認識された。

有用性検証項目	成果	課題
アウトプット	<ul style="list-style-type: none"> 日照シミュレーションの結果については役に立つという意見が多かったことから有用性が高いと考えられる 反射シミュレーションの結果については参考になる可能性はあるとの意見もあったが、一方で他の要因を考慮すればもう少し精度が上がるといった意見もあった 	<ul style="list-style-type: none"> 赤外線調査においては輻射熱の影響が大きい場合があり、より有用なシステムとするために、輻射熱も考慮する必要がある <ul style="list-style-type: none"> 本システムでは可視光のみでシミュレーションを行っている
ユーザインターフェース	<ul style="list-style-type: none"> 日照、反射の継続時間に応じて色分画像是蓄積時間が分かりやすく見やすいという意見があった 一方で実際に赤外線調査実施者から色分けが色相別であるために結果を誤解（赤が極端に影響がある箇所である）する可能性があるとの意見があった 	<ul style="list-style-type: none"> 結果画像の色分けについてアプリ使用者が誤解を生まないように検討する必要がある
ユーザエクスペリエンス	<ul style="list-style-type: none"> シミュレーションするまでの操作が煩雑で分かりにくい、慣れるまで時間がかかるとの意見が多かった 	<ul style="list-style-type: none"> 操作性についてはもう少し改善する必要がある

⑤参加ユーザーからのコメント

- 日照状況を確認できることで、事前調査において所有者等に対して適切な実施時期、時間等を説明するのに有効である。また、調査後の赤外線熱画像分析にも参考できる資料である。
- ドローンに搭載された赤外線装置によって外壁調査を行う場合に、日照時間に基づきおおよその調査開始・終了時刻の目安が分かることで、ドローン機器の事前準備や安全対策などの設定（通行制限など）をより緻密に行うことができる。
- 反射状況を確認できることで、シミュレーション範囲にある複数の建物からの反射の影響を、時間を追って確認できるようになるため、調査計画立案に有効である（どの建築物の影響が出てきそうか、あたりを付けられるのは効率的な調査計画の立案時に都合がよい）。

4-23-4 実証調査考察

今回の検証では、加工モデルに対する日照シミュレーションから判定される日照の有無と可視画像から特定される実際の日照状況とが90%程度一致したことから、本システムの日照シミュレーションは高い精度であることを示せた。加工前のLOD1のモデルに対する結果の比較では、最大外形と実形状に差がある箇所においては一致度が50%程度まで落ち込むケースがあり、最大外形と実形状が異なる建物ではより高いLODのモデルが求められる。ただし、差異の程度によっては、結果に影響のある時間帯、影響がある箇所を確認し注意して利用することで、LOD1の結果でもある程度の活用は可能であると考えられる。

さらに、実務者へのヒアリングの結果では、日照の状況を事前に把握できることで赤外線による調査と打診による調査のどちらの手法が適切かを選択できたり、建築物所有者への調査時期の説明を効果的に行えたりと、有用であるという意見を多く得られた。反射シミュレーションについても、調査後の画像分析の参考となるとの意見や赤外線装置の設置場所の検討に活用できるとの意見があり、一定の有用性があると考えられる。特に、調査後にも活用できるという意見は当初想定していなかった活用ケースであり、より多様な場面で利用できる可能性にも期待ができる。

一方で、反射シミュレーションについては、現実とシミュレーション結果との一致度はあまり高くなく、建築物の隅角部の湾曲などの形状やガラスなどの材質の再現性が課題となることが分かった。

①今年度の実証で得られた成果

3D都市モデルによる技術面での優位性

シミュレーション結果の精度向上	<ul style="list-style-type: none"> 3D都市モデルを利用することで、日照・反射シミュレーションによる外壁点検に必要な日射状態を把握することができる 対象建物の形状精度によって精度は大きく改善されることが分かった一方で、周辺建物の形状についてはLOD1でも十分な精度が得られている <ul style="list-style-type: none"> LOD1のみが整備された都市においても、対象建物の精緻な3Dモデル（点群データやBIMデータ等）が手に入れば実用的な精度でシミュレーションが可能
日照シミュレーション	<ul style="list-style-type: none"> LOD2以上の整備エリアが広がることで、本シミュレーションを用いて対象建物自身が落とす影や他建物による遮蔽を考慮した高い精度の日照シミュレーションをスケールアップに行うことができる
反射シミュレーション	<ul style="list-style-type: none"> 赤外線調査において反射光は浮き判定の誤認を招くことから、機材配置や分析誤認防止のために、3D都市モデルを利用した反射シミュレーションは有用である

3D都市モデルによるビジネス面での優位性

コストの削減	<ul style="list-style-type: none"> 事前に日照箇所がわかれば作業時間の短縮が可能である <ul style="list-style-type: none"> 赤外線調査に適さない時間と箇所の事前把握 赤外線調査の条件を事前に建物オーナー等に説明する際の理解促進につながり、効率的な業務を遂行できる
制約の解消	<ul style="list-style-type: none"> 実運用では、現地ならではの制約に囚われず作業が行えるため、効率的な検査の遂行に資する <ul style="list-style-type: none"> シミュレータなしでは実時間での確認あるいは短時間確認と経験者による予測となり精度や効率の面で不利 シミュレータがあれば、天候による順延などにおいても再度の事前調査が不要

②今後の取り組みに向けた課題

反射シミュレーションの精度向上	<ul style="list-style-type: none"> 赤外線調査に活用するには、よりシミュレーションの精度を上げる必要があると考えられる <ul style="list-style-type: none"> メッシュの細分化 輻射熱への対応 反射にあたって考慮する要素の拡充（材質、LOD3.Xで定義される建物凹凸形状、建物以外の地物等）
アプリの操作性向上	<ul style="list-style-type: none"> アンケートではアプリの操作性について煩雑という意見が多かったため操作性の向上が必要と考えられる <ul style="list-style-type: none"> 入力自動化やアプリ内での操作手順簡便化
モデルの高精度化	<ul style="list-style-type: none"> LOD1レベルの場合は現況調査と比較して一致度が低下したため、建物の形状精度向上が必要と考えられる <ul style="list-style-type: none"> 高次LODを持つ3D都市モデルの整備 建物オーナーからのBIMデータの入手（対象建物の形状精度が高ければ、周辺建物はLOD1相当でも十分な精度が得られている）
ドローンの飛行ソリューションとの一体化	<ul style="list-style-type: none"> ドローンによる赤外線調査の事前調査において、日照状況の確認とともに現地調査が必要な項目である、ドローンの航行可能性についてもシステムに取り込むことができれば、一気通貫のソリューションとして現場での利用価値がより高まり社会実装に違づくものと考えられる

4-23-5 展望

実証実験の結果を踏まえ、誰もが扱いやすいようにソフトの操作性を向上するとともに、事前調査の計画策定時を含めた、ドローンによる外壁調査の各工程で参考にできる様々な情報を提示できる新たな機能の検討を進めていく。

今回の実証実験では、精度の高い建築物モデルを使用することで、正確な日照シミュレーション結果を得られることを確認できた一方で、反射シミュレーション結果の精度には課題が残った。そのため、今後の検証ポイントとして、シミュレーションの精度を上げるための条件の特定と整理を行う必要がある。それにより、ソフトの利用者がデータを用意する際に、例えば建築物のどのような形状や部位のモデル化を特に詳細に行うとよいのかといったことなどを考慮できるようになる。

今後は日照シミュレーションをベースとして、輻射熱の算出等のシミュレーション機能やその結果を赤外線カメラ画像に模した画像で出力し実際の撮影結果と突き合わせて浮き判定を支援する等の出力内容の拡充によって事前調査にとどまらず本調査における打診検査が必要な箇所の特定制や撮影後の浮き判定の支援などに活用できるシーンを増やしていく。また、今年度スタートしたドローンによる外壁調査を、本システムにより現地確認が必要な事前調査を机上で完結させるコスト削減価値により普及拡大を目指す。

4-24 都市空間の統合デジタルツインの構築（2022年度）

株式会社竹中工務店、株式会社日立製作所、株式会社gluon

<https://www.mlit.go.jp/plateau/use-case/uc22-033/>
https://www.mlit.go.jp/plateau/file/libraries/doc/plateau_tech_doc_0048_ver01.pdf

4-24-1 サービス概要

①事業・サービスの目的、ビジネスモデル、社会的意義

事業・サービスの目的と概要

オープンデータ、オープンプラットフォームを利用して様々なサービスが提供されることが社会的に求められている中、「モビリティ業界」「スマートビル業界」などの各業界毎や、各企業毎でデータが閉じており、高度な連携が出来ていないのが現状である。

多様なサービスの連携を実現させ、自律走行だけではない、AR/XR、スマートビルディング等、フィジカルとサイバーが高度に融合された社会を実現させるため、AIや都市OSの実装に不可欠なサイバーフィジカルシステムの汎用性を提供することで、バーチャル、リアル空間を問わないあらゆるヒト・ロボティクス・建物・都市をつなぐデジタルツイン（データプラットフォーム）を構築する。

想定ビジネスモデル

- 身体障害者ナビゲーションサービス
 - 移動のための障害（段差情報、階段、エレベータ利用）を踏まえたナビゲーション提供
- スタンプラリーナビゲーション
 - 店舗、建物を渡るナビゲーション提供をおこない、まちでの周回促すサービス提供

社会的意義

パーソナルモビリティ運行への活用が可能なデジタルツイン構築することで、ヒト、モビリティの相互連携を実現デジタルツインを活用したモビリティ運用や、ARナビ運用を可能とする有用性の高いデジタルツイン構築し、パーソナルモビリティ運用やARナビ運用に適用しやすい、3D都市モデル、BIMモデルのあり方を提言する。

図4-24-1 ARナビゲーション向けの3D統合モデル



4-24-2 実証調査詳細

①実証調査の目的・概要

実証調査の目的

デジタルツインを社会実装していくためには、都市、建物、設備等の様々なオブジェクトを再現する点群、CG、BIMモデル等の様々な3Dデータを統合し、相互運用性を確保することが必要になる。3D都市モデルをベースに、BIMモデルと点群データを統合したデジタルツインを構築し、パーソナルモビリティ運用とARナビによって相互運用性が確保できているかの確認することで、デジタルツインの構築手法を確立する。

実証調査の概要

3D都市モデルをベースとして異なる3Dデータを統合する手法を開発し、統合したデータをパーソナルモビリティ運用システムとARナビにより精度検証を行い、各手法の有用性を検証する。

• 実証仮説

- 3D都市モデルやBIMモデル、点群データなど、データ形式の異なるモデルをいくつかの手法で統合し、その必要工数と実際のアプリケーションとしてパーソナルモビリティ運用とARナビを通じて統合データの精度を明らかにすることで、体系化したモデルの統合手法を構築する。
- 統合したデータを使ったデジタルツイン空間を構築し、パーソナルモビリティ運用やARナビで活用することで様々な空間データのリアルタイム連携を実現する。

• 検証ポイント

- 都市、建物、点群と複数の3Dモデルの特徴の整理、課題点の抽出
- デジタルツイン構築する際の各モデル統合方法について整理・比較検討
- ARナビ表示（案内表示やルート表示）のズレ有無の確認
- パーソナルモビリティ運用での自動走行の可否の確認

②実証調査の対象エリア

対象エリア

大阪府大阪市天満周辺エリア（約47,000㎡）、本町周辺エリア（約17,800㎡）

エリア選定理由

（天満周辺エリア）

中西金属工業様施設内にあるCGLLエリアでは、建屋内のデジタルツイン化を実施済みであり建物概要も把握しているため活用がしやすい。また、中西金属工業様敷地内には屋外部分もあり、PLATEAUを利用した検証もしやすいため。

（本町周辺エリア）

竹中工務店大阪本店の周辺エリアであり、建物モデル、点群データが充実している。

図4-24-2 3D都市モデル利用範囲



天満周辺エリア



本町周辺エリア

③実証調査に向け開発されたサービス

複数の異なる3Dデータを統合したデジタルツインを構築するため、各データの異なる詳細度、位置正確度、座標系、原点、スケール等を調整し、統合するための手法開発を行った。さらに、これらの手法によって統合されたデジタルツインデータが実用的な精度を有するかを検証するため、Unityをベースとしたスマートフォン用のARナビアプリと、Unreal Engine（以下UE）をベースとしたパーソナルモビリティ（電動車いすWHILL）運行システムを開発した。

開発されたサービス概要

● 統合デジタルツイン

- 3D CGソフトウェアのBlenderを利用し、Blenderで扱うfbx/obj形式に変換するためのツールとして、FME Desktop（3D都市モデルのデータ形式変換ツール）、CloudCompare（点群のデータ形式変換ツール）、MetaShape（点群の編集ツール）、ARCHICAD（BIMの編集・変換ツール）を用いてデータ統合を行い、UnityやUEといったゲームエンジンで利用可能で、3DCGとシミュレーションの双方に適するファイル形式のUSD（Universal Scene Description）で出力を行った。

（3Dデータの統合手法）

- ① 1つの基準点をもとに回転と移動だけで位置合わせを行い、データを統合
- ② 各データ内の複数点を参照しそれらの平均から位置合わせを行い、データを統合
- ③ 統合前のデータを接続部分ごとにグループ化しグループごとに微調整し、データを統合
- ④ ②に追加でデータの接続部を変形させて整合し、データを統合

● ARナビアプリ

- 屋外、屋内、地下街など多様な空間における歩行者ナビゲーションをシームレスに提供するためのアプリケーション。タブレット等のAR画面に目的地までの経路が表示され、直感的に進行方向がわかる仕組みで、①デジタルツイン空間における経路探索機能、②タブレットカメラを通じて自己位置を推定する機能、③タブレット画面へARによる経路表示の3機能で構成される。

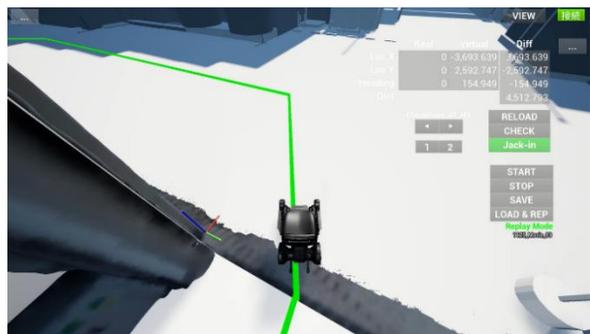
● パーソナルモビリティ運用システム

- デジタルツイン空間上でモビリティの経路指示、位置情報のリアルタイムモニタリング、発進や停止等のオペレーションが可能なシステムで、①デジタルツイン空間における経路探索機能、②モビリティの位置をデジタルツイン空間へフィードバックする機能、③モビリティの位置を補正する機能の3機能で構成される。

図4-24-3 開発されたサービスのイメージ



ARナビゲーション画面



パーソナルモビリティ運用システム

導入する新技術・実証技術

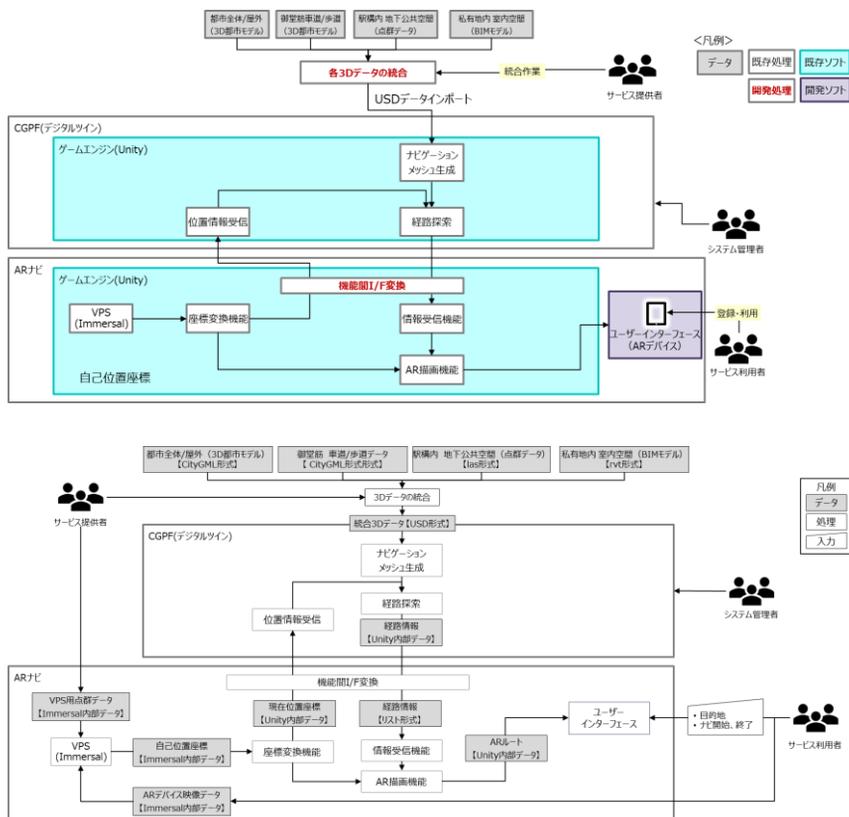
- CloudCompare
点群の編集や変換、間引き処理に広く使われるソフトウェア
- MetaShape
点群データからメッシュ生成が可能な点群処理ソフトウェア
- Blender
オープンソースの統合型3DCG制作ソフトウェア
- Unity
スマートフォンなど様々なプラットフォームに対応した高品質な3Dコンテンツ制作を可能とするゲームエンジン（3D制作プラットフォーム）
- Unreal Engine
リアリティを追求した高品質な3Dコンテンツ制作を可能とするゲームエンジン（3D制作プラットフォーム）
- USD (Universal Scene Description)
様々なソフトウェアやハードウェアに対応した高機能かつ拡張可能な3Dのシーン*を記述可能なファイルフォーマット
- パーソナルモビリティ WHILL
外部機器による制御が可能な車いす型の電動モビリティ

実証システム図

図4-24-4 アーキテクチャ全体図

- ARナビゲーション

(上：システム、下：データ)

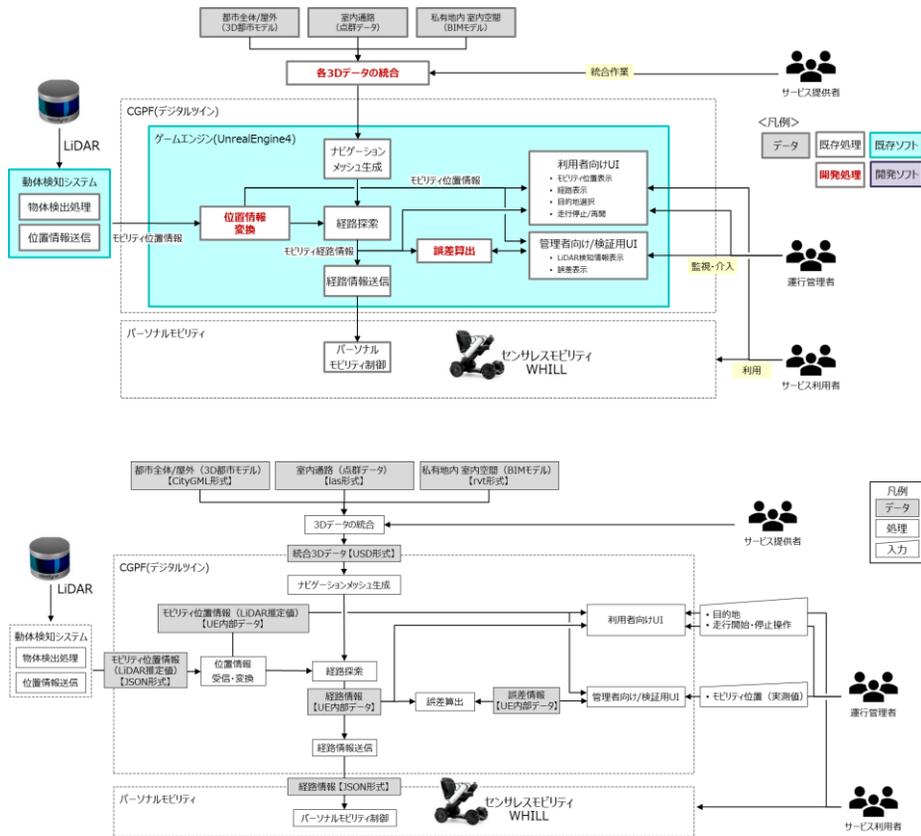


実証システム図

- パーソナルモビリティ運用

図4-24-5 アーキテクチャ全体図

(上：システム、下：データ)



④3D都市モデル (CityGML) の活用方法

3D都市モデルが保有する緯度経度情報による高精度なコンテンツ配置に利用。

利用された3D都市モデルの仕様

- 対象エリアのLOD3建築物・道路・植生モデル、LOD2都市設備モデル、LOD1地形モデル

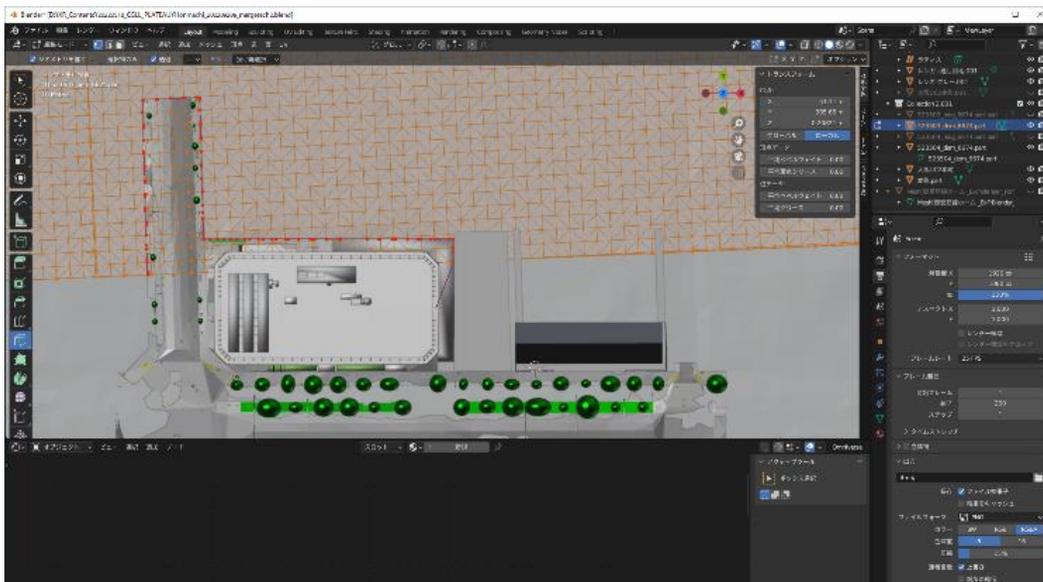
3D都市モデルの用途

- CMS上でのコンテンツ配置時の背景モデル、Webメタバース環境の背景モデルに使用 (LOD2)
- モバイルARアプリ上でのコンテンツの遮蔽 (オクルージョン) に使用 (LOD1)
- CMS上でランドマークとなる建物の名称を表示するために使用 (建築物属性データ)

3D都市モデル活用のためのソフトウェア

- 変換
 - CityGML形式からOBJ形式に変換
- 3D都市モデル利用システム
 - FME Desktop
 - CloudCompare (3D都市モデルの統合)
 - Blender (モデル修正)

図4-24-6 Blenderでのデータ切り取りイメージ



4-24-3 実証調査結果

①統合データの検証

ナビゲーションやパーソナルモビリティ運用などアプリケーションの目的に応じた3Dモデルが必要となり、過不足のない工数・精度の統合データを作成するために統合手法ごとの差分を検証した。

検証内容

- ジオメトリ精度検証
 - 各3Dモデル統合手法毎にジオメトリ精度に差があるかを測定し、各デジタルツイン活用アプリに利用できるジオメトリ精度であるかを検証する。
- 3Dモデル統合の工数検証
 - 各3Dモデル統合手法のジオメトリ精度と作業工数算出を行う。

検証結果

図4-24-7 統合モデルの精度の比較

統合手法	作業時間		精度比較	示唆
	本町	天満		
手法1	8.0h	6.25h	<ul style="list-style-type: none"> • 重なり代が少ない場合は、離れが大きくなる（本町） <ul style="list-style-type: none"> - 199mmのずれが発生 • 各データの重なり代が確保できる場合には、他の手法との大きな精度の差はない（天満） 	<ul style="list-style-type: none"> • 操作する点群の数が少ないため、作業時間は短く抑えることができ、ARナビ等20cm程度の誤差が許容される用途であれば問題がないことが確認された • 手法1はデータ同士の重なり代が大きいケースで利点を生かした統合となる <ul style="list-style-type: none"> - 重なり代が大きいと調整が効くため、精度を維持しつつ作業時間を短くできる
手法2	-	7.5h	<ul style="list-style-type: none"> • 3つのデータでの建物データの精度に差があるため、複数の参照点の抽出が難しい箇所があった <ul style="list-style-type: none"> - 3D都市モデル（LOD3）およびBIMモデルはディテールが省略されている一方、点群は実際のディテールが表現される 	<ul style="list-style-type: none"> • 手法2は建物のディテール表現に差がないケースで利点を生かした統合となる <ul style="list-style-type: none"> - 複数の参照点を設定する必要があるため、モデル間で精度の差が少ない必要がある
手法3	-	8.5h	<ul style="list-style-type: none"> • CGLLは3D都市モデルと点群のズレが小さかったため、他手法と精度の差はなかった 	<ul style="list-style-type: none"> • 手法3は3D都市モデルと点群データ間での誤差が大きいケースで利点を生かすことができる <ul style="list-style-type: none"> - モデル間でのズレを調整しながら統合できる点が利点となるため、誤差が少ないと工数が多くなる一方で精度は上がらない
手法4	8.0h	-	<ul style="list-style-type: none"> • 複数の平均によるため、箇所によっては手法1よりも精度が落ちるおそれがある • 局所的にズレが発生している箇所では、その部分だけを手法4を用いて変形し統合することで精度を高めることができた 	<ul style="list-style-type: none"> • ズレが平均化されるので、最大誤差は手法1と比べて小さい • 一方で、精度が低いモデル同士の統合では全ての箇所にある程度の誤差がある状態になる

図4-24-8 各手法の作業時間（工数）の比較

エリア	統合手法	前処理			統合処理		小計		合計
		3D都市モデル	点群データ	BIMモデル	位置合わせ	その他	前処理	統合処理	
本町	手法1	2.0h	2.5h	0.5h	2.0h	1.0h	5.0h	3.0h	8.0h
	手法4	2.0h	2.5h	0.5h	1.5h	1.5h	5.0h	3.0h	8.0h
天満	手法1	0h	3.25h	0.25h	1.25h	1.5h	3.5h	2.75h	6.25h
	手法2	0h	3.25h	0.25h	2.0h	2.0h	3.5h	4.0h	7.5h
	手法3	0h	4.25h	0.25h	2.0h	2.0h	4.5h	4.0h	8.5h

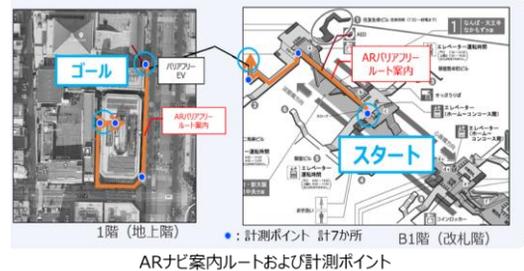
②アプリケーションの精度検証

(ARナビゲーション)

統合手法1、統合手法4で統合されたモデルを使い、どのモデルがARナビに適するかを検証した。

検証内容

- ARナビ案内ルートとARナビアプリの指示のもと移動し、想定ルートおよび計測ポイントとの差分を測定する。
- KPI(±2.5m以内)と比較することで、3D統合データの統合手法の評価を行う。



検証結果

いずれのモデル統合手法もARナビには十分なモデル精度を有することが分かった。

図4-24-9 統合手法別結果

統合手法	検証結果	判定	示唆
統合手法1	最大0.41m (検証ポイント③)	○	<ul style="list-style-type: none"> 誤差の最大値は、いずれの統合手法においてもKPIで定めた±2.5m以内を達成した <ul style="list-style-type: none"> いずれの手法も検証ポイント③では他ポイントに比べ誤差が比較的大きくなったものの、VPSの仕組みによるもので、KPIを達成していることから実用上の問題はない いずれのモデル統合手法も、本検証におけるARナビには十分なモデル精度を達成していたと考えられる <ul style="list-style-type: none"> 誤差の平均値は手法1で0.21m、手法4で0.23mとなっておりARナビのナビゲーションの矢印もほぼ通路の真ん中に表示される状態であるといえる
統合手法4	最大0.90m (検証ポイント③)	○	

(パーソナルモビリティ運用)

統合手法1～3で統合されたモデルを使い、どのモデルがパーソナルモビリティ運用に適するかを検証した。

検証内容

- パーソナルモビリティ運用実証において、デジタルツイン上のルートと現実のルート(走行軌跡)との誤差を複数の経由地点とゴール地点で検証する。(誤差目標とするKPIは60cm(±30cm)以内に設定)

検証結果

図4-24-10 統合手法別結果

統合手法	検証結果	判定	示唆
統合手法1	最大51.2cm (復路④)	○	<ul style="list-style-type: none"> 誤差の最大値は、いずれの統合手法においてもKPIで定めた60cm以内を達成した <ul style="list-style-type: none"> 往路において地点③⑤の直前に急な旋回を行う必要があるが、旋回時にオドメトリによるモビリティ自己位置推定の誤差が大きくなることが原因と考えられる カーブ通過後、直線区間をしばらく走行する際にモビリティ位置はLiDARで補正されるため、カーブで生じた誤差は蓄積されることはなく、目標精度を達成することができた いずれのモデル統合手法も、本検証におけるモビリティ運用には十分なモデル精度を達成していたと考えられる <ul style="list-style-type: none"> 誤差の平均値は、統合手法3を用いた場合に最も小さくしたが、平均誤差の差は0.8cm程度とわずかであった
統合手法2	最大53.4cm (復路③)	○	
統合手法3	最大51.8cm (往路⑤)	○	

4-24-4 実証調査考察

①実証で得られた成果

3D都市モデルによる技術面での優位性

3D都市モデルを軸とした屋内外データ整備

- これまでに組み合わせて利用されていた3D都市モデルとBIMモデルに加えて、点群データも扱える統合手法を構築することで、屋内外をシームレスに繋ぐ経路探索のユースケース（ARナビゲーションおよびモビリティ自律運行システム）を実現可能な精度で、三次元統合空間を都市スケールで作成することが可能になった。
- 精度管理された公共測量成果であり広域に整備された3D都市モデルを活用することで、都市スケールで一貫した精度を保つデジタルツインを構築することが可能。
- BIMモデルがない、設計BIMモデルしかなく現実と差異が大きいケースにおいて、独自に点群データをスキャンすることで屋内データを代替することが可能。

モデル統合による段差や障害物など移動上の制約となる情報の活用

- モビリティの状況が3Dモデル上で可視化されるので、状況を直感的に把握しやすい。
- 例えば一時的に通行不可能なエリアを設定する際にエリアの位置や大きさを直感的に設定できる。

3D都市モデルによるビジネス面での優位性

3D都市モデル、点群データ、BIMモデルを統合した広域デジタルツインの利活用

- 3D都市モデル、点群データ、BIMモデルを組み合わせた屋内外を仮想空間でシームレスに扱うことができるデジタルツインを都市スケールで構築する手法を開発したことで、自律走行ロボットが屋内だけではなく都市空間も活動エリアに含めることに寄与できる。
- 都市空間と屋内外を接続した移動や、ラストワンマイル物流等への活用も示唆される。

統合データを使ったゲームエンジンでの経路探索

- 3D都市モデル、点群データ、BIMモデルを統合したデータによって、屋内外をシームレスにつないだ歩行者ナビゲーション、パーソナルモビリティ運用を実現できたことから、本統合手法による統合データのゲームエンジンでの活用可能性が見出された。
- Unity（ARナビ）とUnrealEngine（パーソナルモビリティ運用）の双方のゲームエンジンの経路探索機能を利用した経路情報の導出ができており、シミュレーションへを活用した目的別の移動方法や、サイバー・フィジカル横断のエンタメ等、多様なサービスの応用可能性がある。

②活用にあたっての課題

統合作業工数	<ul style="list-style-type: none"> 3Dデータの統合手法はガイドライン化し、今後のデータ統合に役立てたいが、手作業による基準点設定など自動化はできない。 複雑な3D形状であるので、作業工数の低減化を検討することは今後の3Dデータの有効活用にもつながると考える。
データ著作権	<ul style="list-style-type: none"> 安全上、収益上他様々な要件で全ての3D空間情報を簡単に公開はできない。 商業施設などの来訪者など、公開範囲、利用目的を整理した上で、何処まで3Dデータを公開するかを様々な関係者とすり合わせていく必要がある。
マネタイズ	<ul style="list-style-type: none"> 3Dデータの統合や作成された3Dデータの活用とさらなる利用アプリケーションへの展開が都市の活性化目的だけでなく、収益を生み出すものとするべく、マネタイズへの取り組みを考えていく必要がある。
自己位置推定の誤差	<ul style="list-style-type: none"> 混雑時は誤差が大きくなる。アプリ側でカメラに写る情報から周囲の混雑度を判断し、その混雑度に応じて適した自己位置推定エリアへの誘導を行うことで、障害物等の影響を回避することが可能と考えられる。 <ul style="list-style-type: none"> - 例えば、混雑時には地面部分の点群を見るようにUI上で指示され、ユーザ側で自己位置推定できるエリアを探すことなく即座に自己位置推定が可能となる。 エレベータで地下から地上へ移動後に自己位置推定した際、想定以上の時間がかかる。人の移動のようなランダムに変化する対象は自己位置推定の難度が上がるため、固定されていて外部影響を受けづらい場所、モノの点群を取得する。 <ul style="list-style-type: none"> - 一意で変化しない部分の点群を取得することが望ましいと考えられる。
移動物の取り扱い	<ul style="list-style-type: none"> 運用時に経路上仮設物、駐車車両等一時的な障害物が発生する可能性があり、アプリケーション側で回避機能を有する必要がある。
データ作成時点の差異	<ul style="list-style-type: none"> BIMモデルが計画段階で構築された場合、実際と差異が発生する可能性があり、3Dデータと実空間との時間的整合性を確認する仕組みが必要である。

4-24-5 展望

本実証実験の結果を踏まえて、3D都市モデルとBIMモデル、点群データを統合した「統合デジタルツイン」の有用性が示された。特に、リッチな情報を持つ3D都市モデルがあらゆる3Dデータの中核となり、データ統合における基準としての役割を果たしていくと考えられる。統合デジタルツインがより多様なユースケースを生み出していくため、より高い精度を実現するデータ統合手法の開発を進めるとともに、今回開発した統合手法の自動化も進めていきたい。課題として挙げられた移動物の取り扱いやデータ作成の時点の違いについても、統合データを使ったデジタルツインプラットフォーム上で管理を行うことで実用化を目指す。

将来的には、3Dデータの統合手法の標準化を推し進め、ヒトモノの移動支援情報として3D都市モデルを基盤とした統合型デジタルツインプラットフォームの提供を通じて、ヒトモノの流れを効率化するだけでなく安全・安心を担保し高付加価値な都市空間づくりに寄与していく。

4-25 3D都市モデルの更新優先度マップ（2022年度）

株式会社バスコ

<https://www.mlit.go.jp/plateau/use-case/uc22-007/>
https://www.mlit.go.jp/plateau/file/libraries/doc/plateau_tech_doc_0050_ver01.pdf

4-25-1 サービス概要

①事業・サービスの目的、ビジネスモデル、社会的意義

事業・サービスの目的と概要

人口減少等の社会経済課題を背景として、インフラ維持管理や災害復旧等で3D都市モデルを活用を進めるには、日々変化する現実空間をリアルタイムで仮想空間上に再現する民間企業等のニーズは大きい。3D都市モデルの維持・更新にはコストと頻度に課題がある。本実証では、都市モデルの現実空間の変化を可視化し、自治体の3D都市モデルの更新に資する情報を提供することを目的とする。

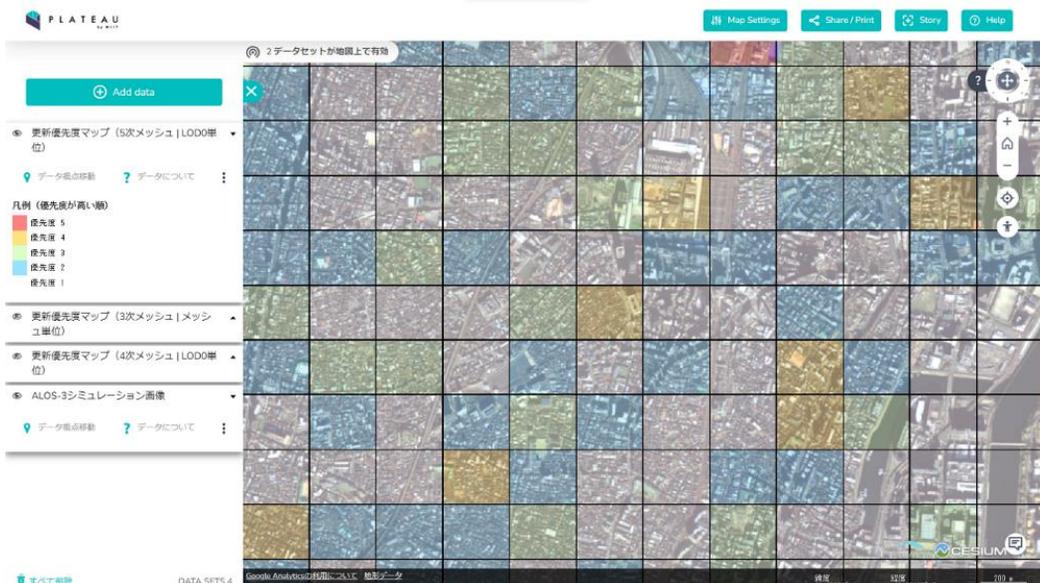
想定ビジネスモデル

- サブスクリプションサービス
 - PCやタブレットから閲覧可能なクラウドサービスとして、ALOS-3衛星画像と合わせたサブスクリプション型のマネタイズ
- 受託型サービス
 - ALOS-3衛星画像の選定、変化検出、成果物までを利用者の個別ニーズに合わせて実施する受託型のマネタイズ

社会的意義

3D都市モデルは、仮想空間の「デジタルツイン」として定期的に更新・メンテナンスされる必要があるが、現在の自治体での更新は、都市計画図の更新に合わせた数年に一度の3D都市モデルの更新になる。自治体の更新に資する情報として、変化箇所を効果的に把握する手法を実証するとともに、3D都市モデルの変化情報は、鮮度と品質（時間正確度）の付加価値情報として、民間による活用を検討することで、利用が維持される3D都市モデルの実現を目指す。

図4-25-1 更新優先度マップのサンプル（5次メッシュ:250m）



4-25-2 実証調査詳細

①実証調査の目的・概要

実証調査の目的

3D都市モデルの要更新情報を低コストに取得し、自治体による能動的・継続的な運用と民間領域での利活用による3D都市モデルのエコシステム活性化に寄与することを目指す。

実証調査の概要

3D都市モデルの整備に利用した航空写真と撮影頻度が高い衛星画像とを比較し、建物等の新築・滅失等の変化を抽出するAIモデルを開発する。AIモデルにより3D都市モデルの要更新箇所を可視化した更新優先度マップの精度を確認した上で、将来的な運用性やコスト削減率等を検証するために、自治体や民間企業にヒアリングを行う。

• 実証仮説

- 3D都市モデルの整備に利用した航空写真と撮影頻度が高い衛星画像との差分から更新すべき箇所を検出・可視化するAIモデルを開発することで、3D都市モデルの要更新情報を低コストに取得できる。
- 上記を更新優先度マップとして活用することによって、以下の業務において低コスト化・効率化の観点で寄与する。
 - ✓ 自治体の都市計画基本図（基盤地図、DM等）等の部分更新
 - ✓ 民間企業で管理・販売等をしている地図情報の部分更新や管理

• 検証ポイント

- 更新優先度マップ作成におけるAIモデルの精度検証
 - ✓ 対象都市の3D都市モデル・航空写真・ALOS-3衛星シミュレーション画像を元に、更新優先度マップを試作
 - ✓ AI教師データの一部エリアを用いて、更新優先度マップ作成におけるAIモデルの精度を検証
- 自治体・民間企業への更新優先度マップの有用性検証
 - ✓ 更新優先度マップのサンプルを用いて、部分更新の実現性・コスト削減見込み・運用性・精度要求等の観点で、実現可能性を確認

②実証調査の対象エリア

対象エリア

全国8都市

(北海道札幌市/福島県郡山市/東京都23区/神奈川県横浜市/静岡県沼津市/静岡県掛川市/大阪府大阪市/大阪府豊中市)

エリア選定理由

以下の条件を考慮して選定。

- PLATEAU撮影時期よりも新しい画像データ（自社撮影、オープンデータ、衛星撮影）
- ユーザーヒアリング対象の民間企業の業務エリア
- AIモデルの精度向上や汎化性能（大都市・郊外、解像度の違い）

図4-25-2 3D都市モデル利用範囲



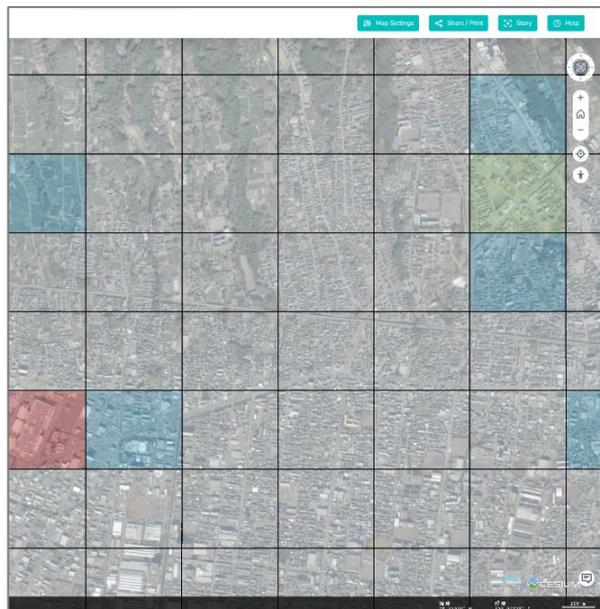
③実証調査に向け開発されたサービス

3D都市モデルの更新優先度を判別できるシステムを開発。全国での利用を想定し、都市部と地方部での建物密度の違いなどを踏まえて、3つの地域メッシュ（3次メッシュ：1辺約1km、4次メッシュ：1辺約500m、5次メッシュ：1辺約250m）から選択可能とした。

開発されたサービス概要

- 航空写真と衛星画像から建物変化領域を抽出する深層学習モデル（U-NETベース）によって、メッシュ単位で建物の変化面積（新築・減失・建替え等の変化）を求め、既存の3D都市モデルの建物面積やメッシュ面積に対する変化率を算出し、検証エリア内の変化規模を5段階の自然分類で閾値処理する機能を実装した。
- 深層学習モデルは、検証8都市における2つの時期の画像から作成した変化箇所のポリゴンデータを教師データとして学習し、変化抽出結果が教師データに近づくようチューニングを繰り返した。
- インputデータとなる衛星画像は、解像度80cmで日本全域を高頻度（年5～8回）で撮影可能なALOS-3光学衛星画像を選定。ALOS-3衛星のデータ利用が実証期間に間に合わないことから、最新の航空写真やASNARO-1衛星画像を元にシミュレーション画像を作成して利用した。
- 一方、3D都市モデル作成の元データとなる航空写真は解像度40cmが一般的であるため、この差異を解消するため、ALOS-3衛星画像をシミュレーションした画像を超解像処理し、解像度40cmとすることで検出精度の向上を図った。

図4-25-3 開発されたサービスイメージ



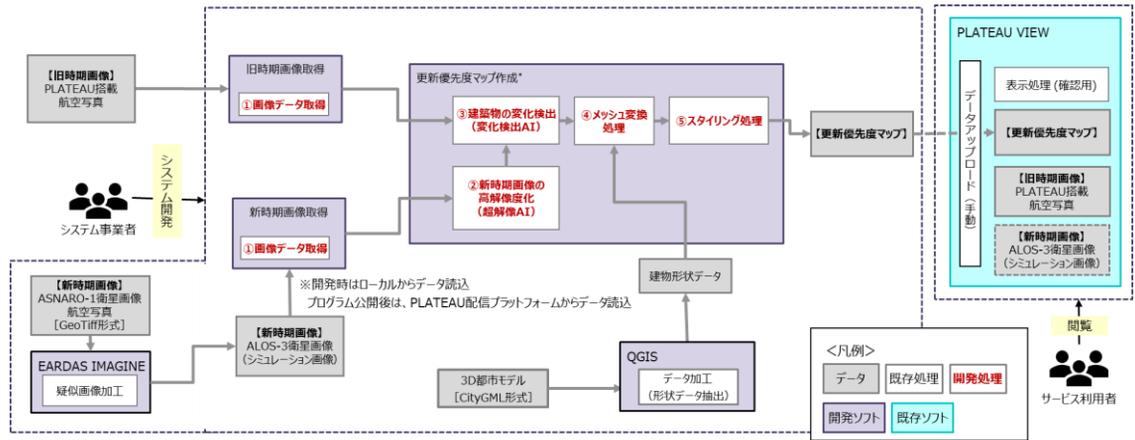
生成した更新優先度マップ（PLATEAU VIEWによる表示）

導入する新技術・実証技術

- ALOS-3衛星
2023年に運用予定であった国産光学衛星であり、直下視で観測幅70kmの広域を解像度80cmで連続撮影可能な衛星
- ASNARO-1衛星
2014年に打上げた国産の小型光学衛星であり、直下視で10km×10kmシーンを解像度50cmで撮影可能な衛星
- AI（深層学習）
現在の第3次人工知能ブームの中心的技術が深層学習であり、画像認識・テキスト解析・音声認識等の複数の領域で、研究開発・実務利用が進んでいる
- PyTorch
深層学習モデル開発に利用される主要フレームワークの一つ。Facebookの人工知能研究開発グループによって開発された
- OpenCV
画像処理や機械学習関連の主要なライブラリで、インテルが開発・公開している
- GDAL
地理空間情報データ操作のライブラリで、ラスター・ベクター形式の変換等を実施
- httpx
Python3用のHTTPクライアントライブラリで、非同期のHTTPリクエスト等を実施
- Rasterio
地理空間情報画像操作のライブラリで、ラスターデータの読み書きを実施
- GeoPandas
地理空間情報データ操作のライブラリで、テーブルデータ処理等を実施
- PySAL
Python用の空間解析ライブラリで、階級区分図における分類等を実施
- ABCI
国立研究開発法人 産業技術総合研究所が構築・運営するAI向け計算プラットフォーム
- QGIS
豊富なファイル形式の空間情報の参照・加工・分析等が可能なGISフリーソフトウェア
- Tellus
日本発のオープン&フリーの衛星データプラットフォーム

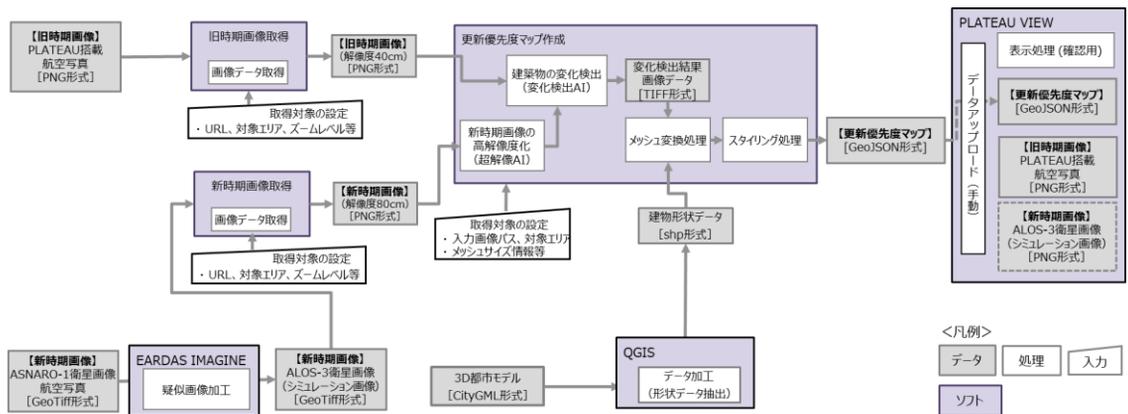
実証システム図

図4-25-4 システムアーキテクチャ全体図



* 計算処理用サーバ（データの読み込み・更新優先度マップの生成等）のスペック：（仮想CPU：4コア、メモリ：4 GB、HDD：SSD 1TB）

図4-25-5 データアーキテクチャ全体図



④3D都市モデル (CityGML) の活用方法

3D都市モデルの建物属性情報を面のGISデータに変換し、ポリゴンデータを生成した。

利用された3D都市モデルの仕様

- 対象エリアのLOD2建築物モデル

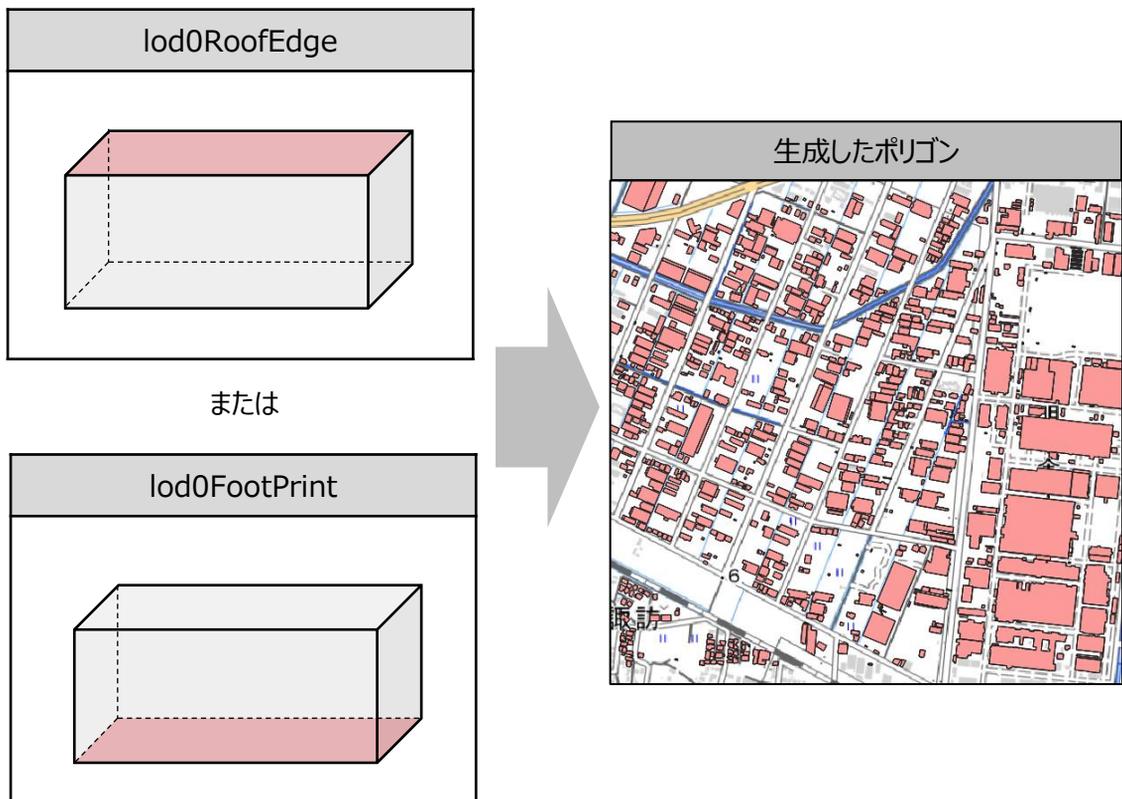
3D都市モデルの用途

建物のLOD0の空間属性を示す「lod0FootPrint」もしくは「lod0RoofEdge」の情報をポリゴン（面のGISデータ）に変換。

3D都市モデル活用のためのソフトウェア

- CityGMLの変換
 - ポリゴンへ変換（面のGISデータ）
- 3D都市モデル利用システム
 - QGIS

図4-25-6 空間属性→ポリゴンへの変換イメージ



4-25-3 実証調査結果

①更新優先度マップにおけるAIモデルの精度検証

閾値による分類精度と2分類での建物変化の検出精度に分けて検証を行う

検証内容・方法

・更新優先度マップにおける閾値分類結果の精度

AI判読結果と教師データ双方から作成した更新優先度マップにおいて、以下の3つの観点から更新優先度の分類が正しいかを評価する。

- メッシュサイズ別: メッシュサイズごとの精度評価を検証
- 地域別: 地域に関係なく同等の精度があるかを検証
- 超解像処理: 超解像処理による精度向上の検証

・建物変化の検出精度

建物変化を検出できるかという観点で、建物変化が一番少ない優先度1とそれ以外の2~5の2分類において再現率を比較する。2分類とすることで建物変化検出の精度をより正確に評価することが可能となる。

図4-25-7 KPI

No.	評価指標・KPI	目標値	目標値の設定理由
1	マイクロ平均 F1値	75%	<ul style="list-style-type: none"> • 閾値分類数を5分類に設定したので、個々の閾値項目の精度ではなく、分類全体の精度を評価する。 • 閾値の境界に近い数値の誤分類もある程度は許容される想定として、目標値を設定した。
2	再現率	90%	<ul style="list-style-type: none"> • 建物変化の有無を評価する観点で、見逃しを少なくすることが重視されるので、チューニング等により実現可能性がある目標値を設定した。
3	適合率	80%	<ul style="list-style-type: none"> • 建物変化の有無を評価する観点では、再現率が重要視される。 • ただし、適合率が低すぎると結果を利用する際にユーザー側での再確認の負荷が高まるため、チューニング等により実現可能性がある目標値を設定した。

検証結果

メッシュサイズ細分化のマイクロ平均F1値の向上効果、画像精度に起因するとと思われる各地域別の特徴、超解像処理による精度向上が確認できた。

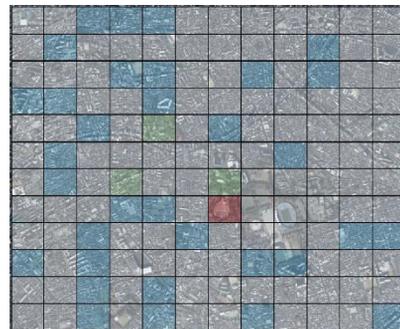
図4-25-8 検証結果

検証内容	評価指標・KPI	達成度・結果 (青字：達成、赤字：未達成)		示唆
		項目	結果	
メッシュサイズ別 (1km、500m、 250m)	マイクロ平均F1値 (75%以上)	1km	62.05%	<ul style="list-style-type: none"> メッシュサイズを細かくするにつれマイクロ平均F1値は向上する傾向が見られた。 メッシュサイズ250mにおいて、マイクロ平均F1値がKPIの75%を超えた。
		500m	70.92%	
		250m	84.08%	
地域的な汎化性能 (全地域、郡山市、 東京23区、 大阪市)	マイクロ平均F1値 (75%以上)	全地域	84.08%	<ul style="list-style-type: none"> 3つの各地域において、マイクロ平均F1値がKPIの90%を超えた。 大阪市の精度が低い原因として、大阪市の旧時期航空写真は空間解像度が1mになるので、他の地域の画像より条件が悪かったことが考えられる。
		郡山市	96.18%	
		東京23区	81.85%	
		大阪市	75.00%	
超解像処理（超 解像処理の有 無）	マイクロ平均F1値 (75%以上)	超解像処理なし	82.60%	<ul style="list-style-type: none"> 超解像処理を加えることで全体的な精度が向上した。 超解像処理を加えることで、更新優先度2～5のメッシュの再現率が向上した。
		超解像処理あり	84.08%	
建物変化の有無 (優先度2分 類)	<ul style="list-style-type: none"> 再現率 (90%以上) 適合率 (80%以上) 	2分類	再現率： 87.02% 適合率： 80.81%	<ul style="list-style-type: none"> KPIとしていた再現率90%に至らなかったが、適合率は80%以上を達成したため、改善は必要なものの実用面ではユーザーが利用しやすい（検出漏れが少ないが誤検出あり → ユーザーは検出されたもののみをチェックすればよい）と考えられる。

正解（東京23区）



判読結果（東京23区）



②実証システムの価値検証

更新優先度マップの利用可能性に関するヒアリングを実施。

ヒアリング概要

実施期間	2022年12月～2023年1月
実施形式	<ul style="list-style-type: none"> オンライン 対面（横浜市、沼津市）
ヒアリング先	<ul style="list-style-type: none"> 横浜市（2名） 東京都（3名） 沼津市（3名） 地図関連サービス事業者：2社（計6名）
実施内容	<ul style="list-style-type: none"> ALOS-3衛星の紹介 PLATEAU実証プロジェクト、更新優先度マップの紹介 PLATEAU VIEWによる更新優先度マップのデモ実施 ヒアリングシートによるヒアリングの実施 質疑応答

図4-25-9 ヒアリングの様子



検証結果

3D都市モデル更新の必要性把握には有用であるものの、実際の更新業務を想定した場合、現状では部分更新を行うスキームがなくオペレーション上の課題があることが分かった。

KPI		結果	示唆
部分更新の可能性	自治体	<ul style="list-style-type: none"> 部分更新箇所の情報を把握できれば、部分更新のニーズは十分にある。 年1回の部分更新のためには自治体内の複数部署での調整が必要。 	<ul style="list-style-type: none"> 部分更新をした箇所は、次の更新対象箇所から外すため、全体での更新コストを削減もしくは以前と同等にする必要がある。 部分更新のためだけに新たに航空写真を撮影することは現実的ではないので、他業務と合わせてリソースデータを取得することでコスト低減を図り、更新頻度を高めることが必要。
	民間企業（地図関連サービス）	<ul style="list-style-type: none"> 更新優先度マップを活用することで、自社製品更新のための航空写真アーカイブの調達が効果化される。 	
更新優先度マップの提供範囲と頻度		<ul style="list-style-type: none"> データ更新目的であれば、年1回の更新情報で良い。 代替の更新情報の得にくい郊外の方が、ニーズが高い。 	<ul style="list-style-type: none"> 原則年1回の更新情報で問題ないが、大規模開発や災害発生時には個別での更新情報の提供ニーズが高い。
精度要求		<ul style="list-style-type: none"> 建物データ更新には、建物単位の変化情報が必要。 建物データ更新に利用する航空写真の調達判断には高い精度要求はないため、利用の可能性あり。 	<ul style="list-style-type: none"> 1棟1棟の建物データ更新のためには、固定資産業務等での撮影成果や高解像度衛星・航空写真アーカイブ画像の限定エリアでの調達等が必要。 更新エリアの選定には、図郭単位でも利用可能。
その他のニーズ		<ul style="list-style-type: none"> 建物の変化情報以外にも、道路・植生等の変化情報がほしいとのニーズ有り。 	<ul style="list-style-type: none"> 建物以外にも変化情報の提供範囲を広げることで、より多くのユーザー利用が期待できる。

4-25-4 実証調査考察

①実証で得られた成果

3D都市モデルによる技術面での優位性

ALOS-3 衛星画像 の活用	<ul style="list-style-type: none"> ALOS-3衛星画像の撮影能力の特徴として、70km幅の連続撮影が可能であり、直下視を基本としていることが挙げられる。 これらの特徴によって、他の衛星画像で生じる建物の倒れ込み（写真の周辺部ほど、写真中心から外側へ傾くような現象）が少なく、位置精度の高いオルソ画像を提供することが可能である。
データ 更新箇所の把握	<ul style="list-style-type: none"> PLATEAU公開済の航空写真と最新時期のALOS-3衛星画像を準備すれば、AIモデルを適用することで、短時間で大まかな変化箇所の把握が可能になる。 ALOS-3衛星の80cmの分解能では、戸建建物レベルの1棟1棟の詳細な変化を得ることはまだ難しいが、集合住宅・団地・大型の開発エリア等の変化が集中する箇所を高い優先度として判定可能になる。 今後、ALOS-3衛星画像への超解像処理等の高度化がさらに進むことで、将来的には戸建建物レベルの詳細な変化を正確に捉えられるようになる可能性がある。
既存 3D都市モデル 等の活用	<ul style="list-style-type: none"> 異なる時期の2画像だけを入力して変化検出するよりも、既存の3D都市モデルデータを活用し既知の建物箇所に対する変化検出処理を追加することで、変化の精度向上が可能になる。

3D都市モデルによるビジネス面での優位性

ALOS-3 衛星画像 の活用	<ul style="list-style-type: none"> 全国の全域を年5～8回撮影可能な撮影能力を生かし、全市町村でも年1回の部分更新を実現可能にするための画像提供が可能である。 衛星画像の調達価格は、他の高解像度衛星に比較して割安であり、価格競争力がある。
データ 更新箇所の把握	<ul style="list-style-type: none"> 民間関連サービス事業者等は、現状は地図データ更新のために航空写真アーカイブを調達している。よって、更新優先度マップを利用し航空写真アーカイブの調達を効率化することのニーズが高い。 また、自治体が調達している航空写真・高解像度衛星がある場合は、部分更新作業を含めたトータルコストの低減を提示することで、利用促進が期待できる。
既存 3D都市モデル の建物面積 の活用	<ul style="list-style-type: none"> 更新優先度マップの表現方法に既存の3D都市モデルの建物面積を用いることで、特に郊外の過疎地域での変化を視覚的に把握しやすくなる（郊外地域の更新を重視し、地域性を考慮した利用が可能）。

②活用にあたっての課題

プラットフォーム 搭載等による 利便性向上	<ul style="list-style-type: none"> ・ ユーザーが衛星画像に容易にアクセスできる環境を整備し、PLATEAU・Tellus等の相互利用を進めるためには、プラットフォーム上にAPIやAIモデルを実装することが必要。 - 本実証では、限定地域でのALOS-3衛星シミュレーション画像によるAIモデル開発に留まっている。 - 今後、実際のALOS-3衛星画像がTellusマーケット等のプラットフォーム上で流通するようになった際、ユーザーが容易に更新優先度マップにアクセスできるようになるためには、Tellus APIやアドイン等によってAIモデルもプラットフォーム上に実装することが必要。 - ユーザーが衛星画像にアクセスしやすい環境が整備できれば、PLATEAU・Tellus等の相互利用が大幅に促進されると考えられる。
更新業務全体 における ソリューション提供	<ul style="list-style-type: none"> ・ 変化箇所の把握後に必要となる高解像度画像の部分調達の支援や、より細かな属性・条件へ対応するためのソリューションが必要。 - 変化箇所の大まかな把握後に、民間事業者や自治体の地図データの実際の部分更新をする際には、高解像度衛星画像・航空写真アーカイブ画像の部分調達等がケース毎に必要なになる。 - そのため、ユーザーニーズに応じて更新業務全体におけるソリューションや提案をブラッシュアップする必要がある。 - 建物変化の属性付与（新築・滅失・増築や、商業施設・工場の情報）や、建物以外の道路・植生等の変化検出のニーズもあるので、詳細な属性付与や対象地物の拡大を図っていくことが期待される。
精度向上	<ul style="list-style-type: none"> ・ 精度向上のために3D都市モデルの更に洗練された連携方法や、実際の衛星画像データを利用した検証の実装が必要。 - 変化検出のAIモデルの精度を継続的に高めていく必要がある。 - 2時期の画像だけを入力して変化検出するよりも、既存の3D都市モデルデータを追加することで、既知の建物箇所に対する変化検出も可能になり、変化抽出の精度向上が期待できる。 - また、ALOS-3衛星の実際の衛星画像を対象にした検証は本実証期間内では実施できなかったため、今後の検証を通して実利用を推進していくことが望まれる。

4-25-5 展望

開モデルの検証と必要な更新を実施するとともに、本実証の成果を発展的に他地域に適用を拡大し検討を進めていく。利用拡大を図るにはユーザー負担の軽減が必要であるため、入力画像の選定や分析処理等がクラウド上で提供されることが望ましい。例えば、ALOS-3衛星画像がTellusマーケット等で流通されるようになれば、更新優先度マップの出力処理をTellus API・アドイン等として実装することにより、ユーザーがより容易に更新優先度マップにアクセス可能になる。これにより、PLATEAU・Tellusのプラットフォームを跨いだ相互利用も促進されると考えられる。

また、ユーザーの業務要件に合わせた更新業務全体のコスト低減や付加価値の拡大（建物ごとの更新の要否の可視化や不動産IDとの連動化等）へソリューションをブラッシュアップしていくことで、民間事業者における3D都市モデルの利用価値の拡大を図る。これに伴い民間事業者の需要喚起により自治体の3D都市モデル整備・更新もさらに加速していくことが期待される。この取り組みを継続することで、3D都市モデルの発展、普及拡大に寄与していきたい。

4-26 3D都市モデルを基礎としたIDマッチング基盤（2022年度）

一般社団法人社会基盤情報流通推進協議会

<https://www.mlit.go.jp/plateau/use-case/uc22-008/>

https://www.mlit.go.jp/plateau/file/libraries/doc/plateau_tech_doc_0051_ver01.pdf

4-26-1 サービス概要

①事業・サービスの目的、ビジネスモデル、社会的意義

事業・サービスの目的と概要

建物を取り巻くデータには、3D点群データ、住宅地図、航空写真等の幾何データや不動産情報や登記情報等のテキストデータなど、様々な主体によるデータ提供が増え、同じ建物を示すデータかどうかの判別そのものが重要になっている。一方で、異なるデータ間で同じ建物として取り扱う場合には、IDによる連携が効果的である。そこで、同一建物のデータ連携を行うために、データの同一性を幾何学的な視点でマッチング処理を行った上で、IDを介したデータ結合を行う基盤の構築を行う。

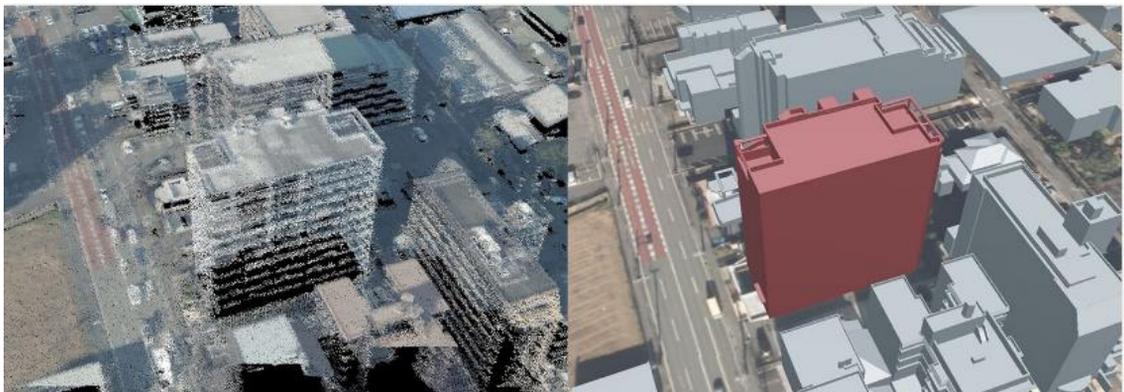
想定ビジネスモデル

- 建物のテキストチャ生成・データ連携サービス
 - 建物IDマッチング基盤を通じ、各建物のテキストチャ画像・属性付与された各建物データを提供する
- 建物情報取得支援サービス
 - 他データベースに建物IDを紐づけることにより、第三者が提供するデータベースからの建物情報の取得を可能とする

社会的意義

現在建物データ同士のマッチングには、不動産IDや住所でのマッチングが主に行われている。しかし、不動産IDについてはまだ利用範囲が限られており、類似のIDも検討、利用されている状況にある。また、住所については、住所記載の揺らぎ等の問題もあり、マッチングがうまくいかない場合もある。本事業で提案する3D建物データの幾何学的情報を用いた建物マッチング手法を使うことで、様々な建物に関する情報が一元的に管理できるようになり、3D都市モデル上に集約できるようになる。

図4-26-1 マッチングイメージ



4-26-2 実証調査詳細

①実証調査の目的・概要

実証調査の目的

近年、様々な主体による建物に関わるデータ提供（住宅地図、航空写真、等）が増えてきているが、データの活用に向けては同じ建物データであるかどうかの判別（マッチング）が課題となっている。公的機関だけでなく民間企業を含めた各種建物データホルダーと連携をして、建物に関するあらゆる情報を提供できる建物IDマッチング基盤の構築と、Web APIの整備を進め、建物IDマッチング基盤と連携したBtoB、BtoC向けのサービス開発を行うことで、建物データに紐づくあらゆるデータを集約し、建物に関連した行政・民間サービス（不動産、観光等）での建物情報の利活用の活性化を目指す。

実証調査の概要

3D都市モデルの建物の幾何形状を基礎データとして、多様な地理空間情報を持つ住宅地図、航空写真、点群データとのマッチングを行い、建物IDを介して3D都市モデルとマッチングデータのデータ結合を行う基盤を構築する。

• 実証仮説

- 建物に共通に付与される標準的なIDが普及していない現状において、3D都市モデルをベースデータとした、2Dの幾何形状にも3Dの幾何形状にも対応可能なマッチング基盤を構築することで、従来用いられている住所によるマッチングよりも高い精度でマッチングが可能となる。
- 3D都市モデルの建物IDを介して、多様な建物データホルダーからのデータ結合が可能となり、建物情報の集約が可能となる。

• 検証ポイント

- 3D都市モデルとのマッチングにより、建物に関する情報を一元的に集約することが可能かどうかを検証する。

（建物IDマッチング）

- 住宅地図・航空写真・点群データとのマッチングを行うツールをデータ整備事業者向けに開発し、その精度・性能の向上余地と有用性を確認する。

（テキストチャ自動生成）

- 点群データを3D都市モデルとマッチングさせて、屋上や壁面に貼り付けるべきテキストチャを建物ごとに点群データから自動生成できるか検証する。

②実証調査の対象エリア

対象エリア

静岡県沼津市（全域191.527km²、LOD1作成範囲 187.10km²、LOD2作成範囲 4.427km²）

エリア選定理由

- 3次元都市モデルが存在し、マッチング対象となりうる点群データがオープンデータとして静岡県より公開されていること。
- ゼンリン住宅地図データと3D都市モデルとの一致度合等について事前に検証の試行を実施していること。

図4-26-2 3D都市モデル利用範囲



③実証調査に向け開発されたサービス

同一の建築物に関する2Dの建物図形データ（住宅地図及び航空写真から自動検出した建物外形）や3Dの点群データ（MMS：移動計測車両による測量及び航空レーザによる測量）と、3D都市モデルの建築物モデル（LOD0、LOD1、LOD2）とを識別してマッチングさせるシステム・API及びフロントエンドのUIをウェブシステムとして開発した。

開発されたサービス概要

・ 2Dマッチングシステム

ゼンリン住宅地図及び航空写真の建物ポリゴンデータ（建築物の外周線）をインプットデータとし、同一建物と識別された3D都市モデル（建築物モデル）の建物IDを検索し、GeoJSON形式で対応テーブルを出力するシステムを開発。また、航空写真とのマッチングについては、AIによる建物形状抽出手法*（東京大学関本研究室）を用いて航空写真から建物の外周線を自動的に検出し、抽出された建物ポリゴンデータを入力データとして同一建築物を識別するシステムとした。

・ 3Dマッチングシステム

点群データを入力データとし、3D都市モデルのLOD1-2建築物モデルに対応する点群データの範囲を抽出するシステムを構築。MMS等による建物壁面の計測によって生成された点群データと、3D都市モデルの建築物モデルLOD1及び2の壁面の形状情報は必ずしも一致しないため、抽出した点群を1mグリッドに間引き、建築物モデルの壁面面積の合計と点群の点数から算出した壁面面積の合計を網羅率として算出し、抽出範囲を最適化する機能を組み込んだ。

・ テクスチャ生成

3Dマッチングシステムによって抽出した点群データを用い、建築物モデルの壁面テクスチャを生成するシステムを開発。抽出した点群データを建築物モデルの壁面単位に再抽出し、建築物モデルのサーフェスID情報を点群データと紐づけた。

図4-26-3 開発されたサービスイメージ



導入する新技術・実証技術

- PostGIS
 - データベースシステムであるPostgreSQL上でGIS（地理情報システム）を取り扱うための拡張モジュール（PostgreSQLは代表的なオープンソースのリレーショナルデータベースマネジメントシステム（RDBMS））。
- QGIS
 - オープンソースの地理情報システムアプリケーション
- GDAL
 - オープンソースの地理情報データフォーマット変換ライブラリ
- GeoPandas
 - Python用の地理空間データ操作のためのオープンソースライブラリ
- Leaflet
 - ウェブマップ用のJavaScriptライブラリ
- Open3D
 - 3Dデータを扱うソフトウェアの迅速な開発をサポートするオープンソースライブラリ

実証システム図

図4-26-4 システムアーキテクチャ全体図

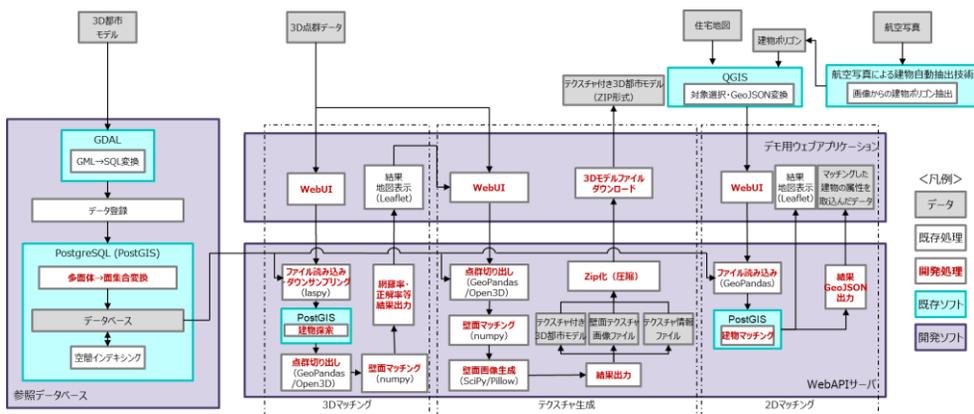
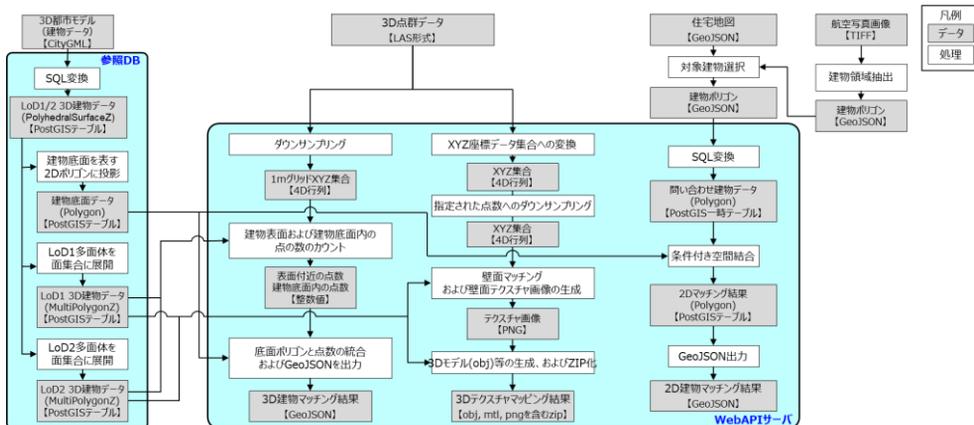


図4-26-5 データアーキテクチャ全体図



④3D都市モデル (CityGML) の活用方法

3D都市モデルからジオメトリ情報を用いてマッチングを行う。

利用された3D都市モデルの仕様

- 対象エリアのLOD1・2建築物モデル

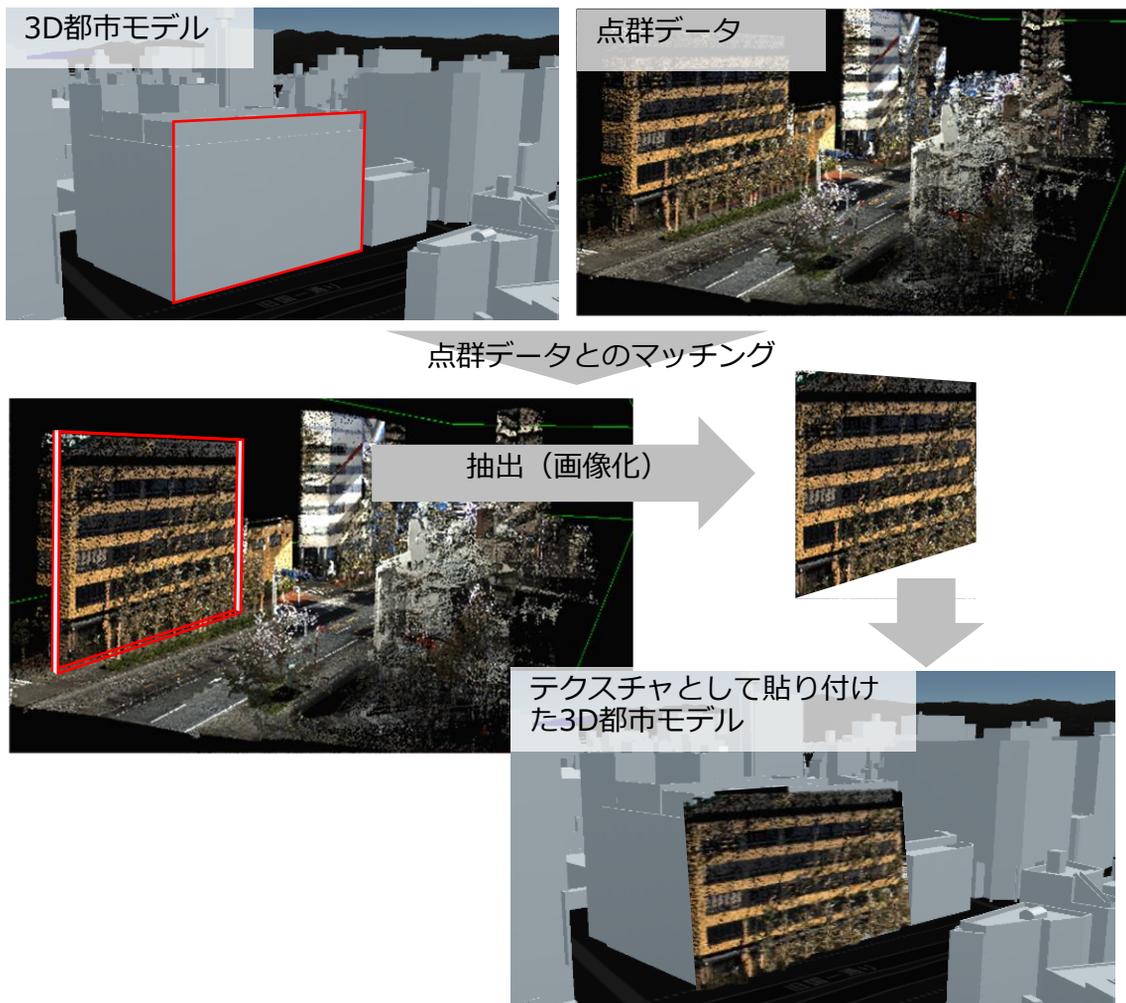
3D都市モデルの用途

- 建物の代表点 (1次元)、建物平面図形 (2次元)、3次元建物図形 (3次元) を生成しマッチング対象のデータタイプに応じて使い分ける。
 - 3D点群データのようにあらかじめ3次元情報を持ったデータとのマッチング
 - 航空写真・衛星画像、地図データなどの2次元情報や、代表点で作成された情報とのマッチング

3D都市モデル活用のためのシステム

- CityGMLの変換
 - CityGML形式をPostGISに登録可能なSQL/MMに変換
- 3D都市モデル利用システム
 - GDAL

図4-26-6 出力結果・表示イメージ



4-26-3 実証調査結果

①分析精度の検証

図4-26-7 精度検証の全体像

種別	内容
①住宅地図マッチング	<ul style="list-style-type: none"> 住宅地図と3D都市モデルの建物モデルとのマッチング <ul style="list-style-type: none"> 建物形状から適切な建物を抽出 建物ポリゴンデータマッチングの適合率を検証
②航空写真マッチング	<ul style="list-style-type: none"> 航空機から撮影した写真と3D都市モデルの建物モデルとのマッチング <ul style="list-style-type: none"> 航空写真をゆがみのないオルソ画像に変換し、建物形状から適切な建物を抽出 建物ポリゴンデータマッチングの適合率を検証
③3D点群マッチング	<ul style="list-style-type: none"> 3D点群データと3D都市モデルの建物モデルとのマッチングする <ul style="list-style-type: none"> 走行する車両の搭載カメラで3D点群データを撮影し、建物モデルとのマッチングを実施する
④テクスチャマッピング	<ul style="list-style-type: none"> 点群データからテクスチャを生成する <ul style="list-style-type: none"> 壁面画像をPythonを利用して生成し、建物モデルの壁面に貼り付ける

(住宅地図マッチング検証)

検証方法

- 住宅地図建物ポリゴンについて3D都市モデルとマッチングした建物数を計測する。
- マッチング判定においてはサジェスト機能による補完も対象とする。
- マッチング率 (%) =
$$\frac{\text{3D都市モデルの建物IDが付与された建物ポリゴン数}}{\text{入力した住宅地図の建物ポリゴン数}}$$
- AWS上に配置したプログラムで処理を行い、処理完了までの速度を計測する。



検証結果

マッチング率は目標を上回る結果が得られたが処理に時間を要しており、サービス化においては、並列処理や処理対象のデータ範囲の分割等によるマッチング処理の高速化が必要である。

図4-26-8 マッチング結果 (左) と精度検証結果 (右)

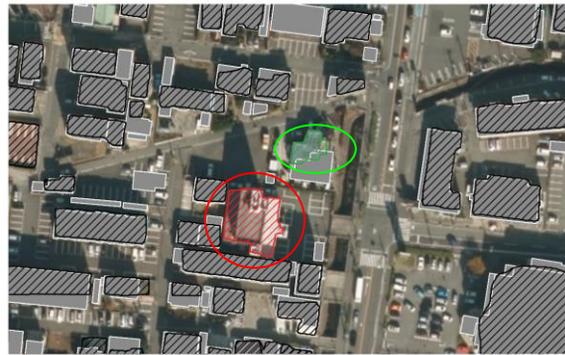
項目	ポリゴン数	全建物に占める割合	評価項目	評価基準*	結果	示唆
ゼンリン住宅地図の建物ポリゴン数	88,525	100.0%	建物ポリゴンデータとのマッチング率	90%	92.4% (サジェストを含めると93.1%)	<ul style="list-style-type: none"> マッチング率は高いものの、処理速度に9倍の時間が掛かっており、実用面においては改善の余地がある
3D都市モデルの建物IDがマッチングされた数	81,771	92.4%				
3D都市モデルの建物IDがサジェストされた数	684	0.7%	建物ポリゴンデータとのマッチング処理速度 (沼津市全域)	60秒	8分52秒	
3D都市モデルの建物ID付与がリジェクトされた数	6,070	6.9%				

* 学識との協議およびの上で評価基準を設定

(航空写真マッチング検証)

検証方法

- 航空写真から自動検出した建物ポリゴンに対して、3D都市モデルの建築物データとマッチングした建物数を計測する。
- マッチング判定においてはサジェスト機能による補完も対象とする。
- マッチング率 (%) = 3D都市モデルの建物IDが付与された建物ポリゴン数 ÷ 航空写真から抽出された建物ポリゴン数
- AWS上に配置したプログラムで処理を行い、処理完了までの速度を計測する。



航空写真から抽出されたポリゴン
 信頼率が低くマッチングはしなかったがサジェストされた建物ポリゴン

3D都市モデルの建築物データとマッチングした建物ポリゴン
 建物が存在しない等からリジェクトされた建物ポリゴン

検証結果

マッチング率は目標を上回る結果が得られたが、サービス化においては、並列処理や、処理対象のデータ範囲を分割するなどによるマッチング処理の高速化が必要である。

図4-26-9 マッチング結果

項目	ポリゴン数	全建物に占める割合
航空写真から抽出されたポリゴン数	61,304	100.0%
3D都市モデルの建物IDがマッチングされた数	58,530	95.4%
3D都市モデルの建物IDがサジェストされた数	91	0.2%
3D都市モデルの建物ID付与がリジェクトされた数	2,683	4.4%

図4-26-10 精度検証結果

評価項目	評価基準*	結果	示唆
航空写真とのマッチング率	90%	95.4% (サジェストを含めると95.6%)	<ul style="list-style-type: none"> • マッチング率は高いものの、処理速度に時間がかかっており、実用面においては改善の余地がある • マッチングの前処理である航空写真からの自動抽出に時間がかかっており、まずはこのアルゴリズムの改善が重要 • F1の結果から比較的高い水準で正否判定ができている • 適合率が高いことから、取りこぼしが少なく手作業でのマッチングの前処理としての有用性あり
航空写真とのマッチング処理速度	10分	3時間29分53秒 - 航空写真からの自動抽出：3時間24分 - 建物抽出データとのマッチング：5分53秒	
F1 (適合率と再現率の調和平均)	(参考)	84% - 適合率：90% - 再現率：78%	

* 学識との協議およびの上で評価基準を設定

(3D点群マッチング検証)

検証方法

- AWS上に配置したプログラムで処理を行い、マッチングしたポリゴン数を評価する。
- マッチング率の評価対象は、今回利用する点群データの特性（MMS計測による道路からの測定）を踏まえ、道路面を対象とした、網羅率20%の建物に設定。
- マッチング結果から対象の建物を抽出して評価を行う。
- マッチング率 (%) = 点群から抽出できた壁面数の合計 ÷ 該当する3D都市モデルの壁面数の合計
※処理時間は後続のテクスチャマッピングにて合わせて評価を行う。

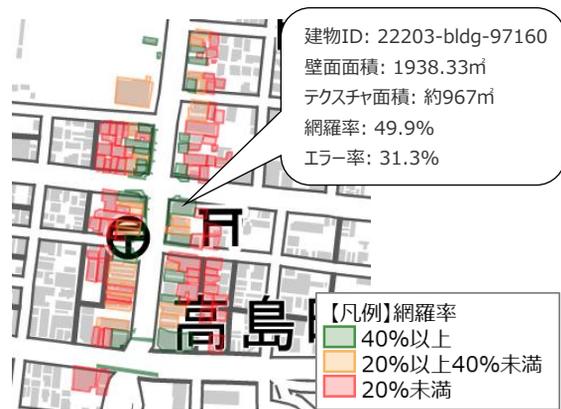
検証結果

20%以上の網羅率を有していてもマッチング率は76%にとどまり、すべての建物への適用は困難であることが分かった。

図4-26-11 精度検証結果

評価項目	評価基準	結果	示唆
点群データとのマッチング率（網羅率20%以上）	90%	76%	<ul style="list-style-type: none"> • 設定した評価基準を満たすことができなかった。 • アルゴリズムの改善においては、MMSに特化するなど点群の取得方法に合わせたチューニングが必要と考えらえる。

点群データのマッチング状況と網羅率の分布（一例）

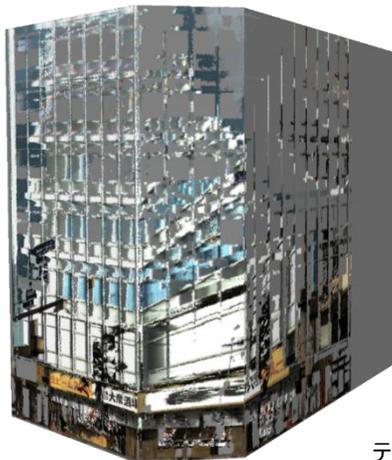


(テクスチャマッピング検証)

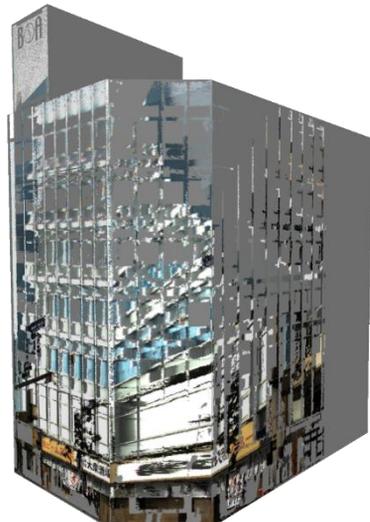
検証方法

- AWS上に配置したプログラムで処理を行い、処理完了までの速度を計測する。
- 点群の間引きや生成するテクスチャ品質のバランスを加味して検証を行う。

LOD1



LOD2



テクスチャイメージ

検証結果

【測量手段の違いによるテクスチャ品質比較】

航空レーザ測量による点群データは点密度が低いため、MMS点群データから生成されるようなテクスチャを生成することはできず、航空写真により生成されたものの方が不明瞭なものになる可能性があることが確認できた。

図4-26-12 航空写真により生成されたテクスチャ画像

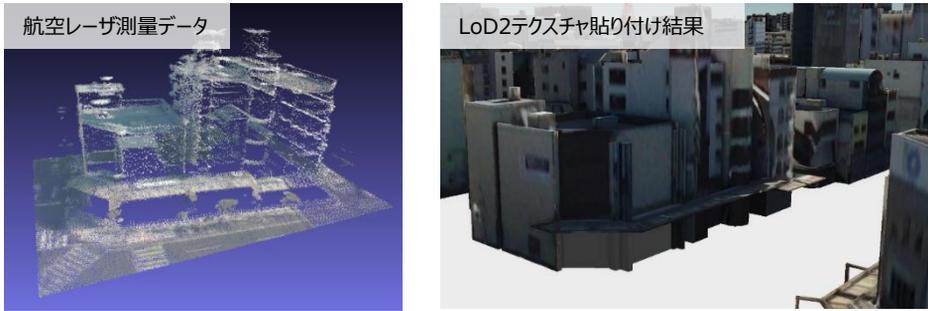
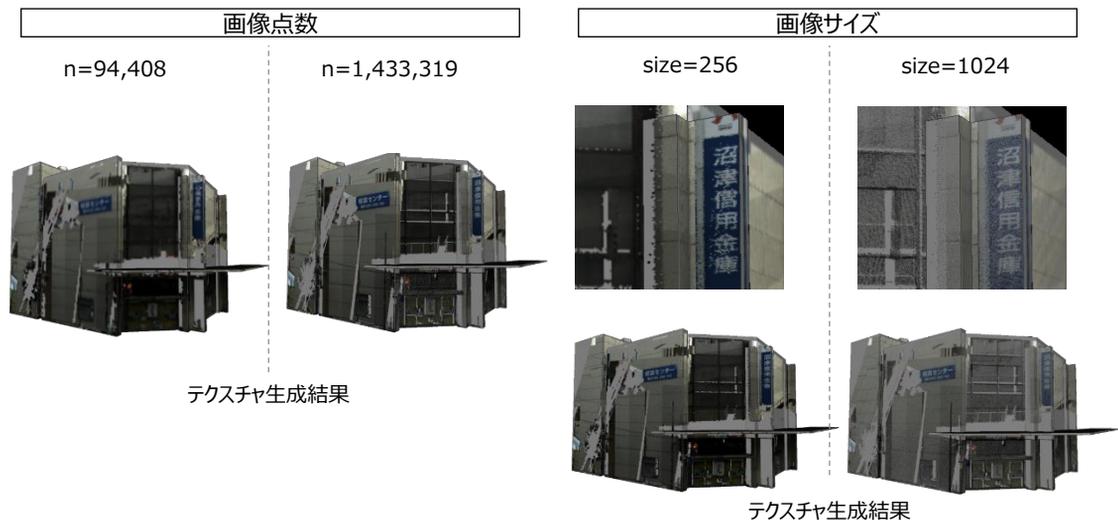


図4-26-13 MMS点群データにより生成されたテクスチャ画像



【処理点群数・テクスチャサイズでの品質比較】

LOD2において、利用する点の数やテクスチャ画像のサイズが上がるほど、基本的に画質は向上するが、画像サイズが1024ピクセルの場合、点群密度に対する画像解像度が高く、生成されたテクスチャ画像が淡い色となった。



【マッチング処理時間】

サービス化においては、処理ハードウェアのメモリの増強、並列処理や、処理対象のデータ範囲を分割するなどによる高速化が必要である。

図4-26-14 検証結果

評価項目	評価基準	結果	示唆
点群データとのマッチング処理速度	10分 (沼津市全域)	計測不可 (1棟あたり90秒程度)	<ul style="list-style-type: none"> • テクスチャマッピングの処理が重く、沼津市全域での計測は不可となった。 • 計算時間はアップロード時間>計算時間のためストリーミング処理などを埋め込み並列性を改善することで処理時間の短縮が見込まれる。

1棟の処理時間の内訳（一例）

処理項目	アップロード時間（秒）	計算時間（秒）	合計時間（秒）
①建物マッチング	27.89	3.41	31.30
②テクスチャマッピング	25.15	22.30	47.45
①+②	53.04	25.71	78.75

②実証システムの価値検証

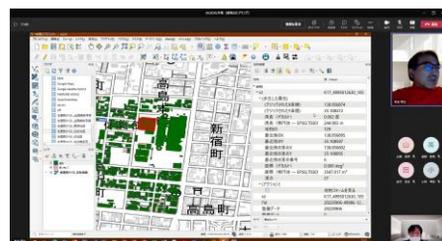
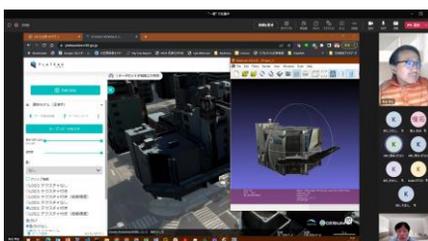
ヒアリング概要

本サービスについて、3D都市モデルの整備業務及び参加者の業務への有用性を確認した。

対象事業者	3D都市モデルの整備事業者	将来的な利用を想定する事業者
実施期間	2022年12月	
実施場所	Web	
主な参加者	アジア航測株式会社 朝日航洋株式会社 国際航業株式会社 株式会社バスコ	株式会社ゼンリン
実施内容	開発したWebサービスについて、実際にマッチング等の実演を行い、結果を確認	

ヒアリング結果

実業務や将来的な利用可能性に対して好意的な意見があった一方で、テクスチャの精緻化やユースケースの拡張等を求める声もあり、サービス拡大に向けて更なる開発が必要であることがわかった。



4-26-4 実証調査考察

①実証で得られた成果

3D都市モデルによる技術面での優位性

<p>様々な次元の建物データとのマッチングの実現</p>	<ul style="list-style-type: none"> 3D都市モデルの建物データを利用することで、2次元の建物データ（ポリゴン）とのマッチングに加えて、3次元の建物データとのマッチングも可能となる。 2次元の建物データについては、ゼンリン住宅地図の建物ポリゴン、航空写真から抽出した建物ポリゴン等と、3次元の建物データについては、3D点群データとのマッチングができることを確認した。
<p>属性によるマッチングの可能性</p>	<ul style="list-style-type: none"> 3D都市モデルの建物データが保有する属性を活用して、本実証で実施したジオメトリによるマッチングだけでなく、属性によるマッチングにも対応可能となる。 マッチングした建物データの属性を取込めるため、マッチング方法ができる。
<p>詳細な建物形状による建物認識の可能性</p>	<ul style="list-style-type: none"> 3D都市モデルの上位のLODを利用することで、本実証で実現した3D点群データによるテクスチャ生成のように、現実世界に近いテクスチャ情報の生成が実現できる。 写真を利用したテクスチャ整理への応用も考えられる。
<p>位置正確度が保証された情報への置き換えの可能性</p>	<ul style="list-style-type: none"> 3D都市モデルは、公共測量成果として、標準製品仕様では地図情報レベル2500の位置正確度が適用されているため、マッチングを行った結果として位置正確度の劣る建物データを置き換えることが可能となる。
<p>オープンデータの利用による他地域への展開</p>	<ul style="list-style-type: none"> 3D都市モデルは、オープンデータとして本実証地域以外でも入手可能であるため、他地域への展開も容易である。

3D都市モデルによるビジネス面での優位性

<p>3D都市モデル建物データ整備の際の作業効率化</p>	<ul style="list-style-type: none"> 3D都市モデル作成の属性付与の場面において、元データと、属性を流し込むデータとの間の時点の違い等による差異の確認に有効であることが確認でき、作業時間の短縮等につながる。 3D都市モデル整備のコスト低減につなげられ、3D都市モデルの整備・更新の推進につなげられる。
<p>精緻なテクスチャ情報を持つ3D都市モデルの作成</p>	<ul style="list-style-type: none"> 3D点群データにより、より精緻なテクスチャ情報を作成することができるため、オープンデータとして公開されている3D都市モデルのテクスチャ情報を更新し、VRやメタバースなどで建物をよりリアルに見せるなどのニーズに対して、本サービスが活用できる余地がある。 まだこのようなツールが作成されていない状況にあるため、今後MMSデータのオープンデータ化等が進む中で、本サービスが有効に利用できる可能性がある。

②活用にあたっての課題

建物マッチング	<ul style="list-style-type: none"> • 将来的な利活用を想定した場合、住宅地図・航空写真・点群データ以外にも、不動産情報やスマホ・ドローン・車載カメラなどの建物に関するデータに対するマッチングのニーズへの対応が必要である。 • 開発した建物マッチングサービスは、幾何情報が存在していることが前提であるため、より多くの建物情報をマッチングするためには、属性データなどの幾何情報以外の情報とのマッチング手法も組み込む必要がある。 • より広域のマッチングに向けて、アルゴリズム変更や並列処理化による処理速度の改善が必要である。
テキストチャ生成	<ul style="list-style-type: none"> • 膨大な点群データを取り扱うため、処理には十分なメモリ容量が必要となっている。WEBサービスとする場合には、メモリ容量の増強とともに、複数の処理への対応（処理の制御）などが必要である。 • 業務利用の場合には、1棟1棟の処理では作業に支障があるため、複数建物を一括で処理できるような方法についても検討する必要がある。 • MMS点群データの場合、取得されている範囲が道路沿いのみであるため、それ以外の壁面のテキストチャ生成についても検討が必要である。 • 点群データの場合、遮蔽物等により壁面に点が届いていない場合がある。よりきれいなテキストチャ生成のためには、アイレベルでの撮影データが得られる車載全方位カメラ（ドライブレコーダー）などへの対応も必要である。

4-26-5 展望

本システムを3D都市モデル整備・更新に利用できるよう、並列処理化やクラウド化等による利用環境の改善、ユーザインターフェースの改良などを進めていく。さらに、マッチング精度を高めるために属性データの活用や、テキストチャの生成に有効と考えられる車載全方位カメラ画像などへの対応について検討し開発を進めていく。これらのブラッシュアップを通じ、本システムを3D都市モデル整備事業者向けのサービスとして実装していくことを目指す。

さらに、この仕組みを単なる建物データのマッチングシステムとして展開するだけでなく、自治体や民間企業との連携により、各社が保有するデータを一元的に集約する仕組みとすることで、建物に関するあらゆる情報を集約するプラットフォームとして活用していく。用途・構造・階数などの建物現況情報、間取り・価格・取引履歴などの不動産情報、テキストチャ生成による建物外観の情報などの建物に関する基盤的なデータを住居表示や地番などのベースレジストリと紐づけてデータベース化していくことにより、行政サービスの高度化や民間サービスによる生活の質の向上、経済活動の活性化への寄与を目指していく。

4-27 AIを用いた3D都市モデルの自動更新手法の開発（2022年度）

Symmetry Dimensions Inc. /名古屋鉄道株式会社/中日本航空株式会社/宮城交通株式会社/国際航業株式会社/株式会社バスコ

<https://www.mlit.go.jp/plateau/use-case/uc22-044/>
https://www.mlit.go.jp/plateau/file/libraries/doc/plateau_tech_doc_0053_ver01.pdf

4-27-1 サービス概要

①事業・サービスの目的、社会的意義

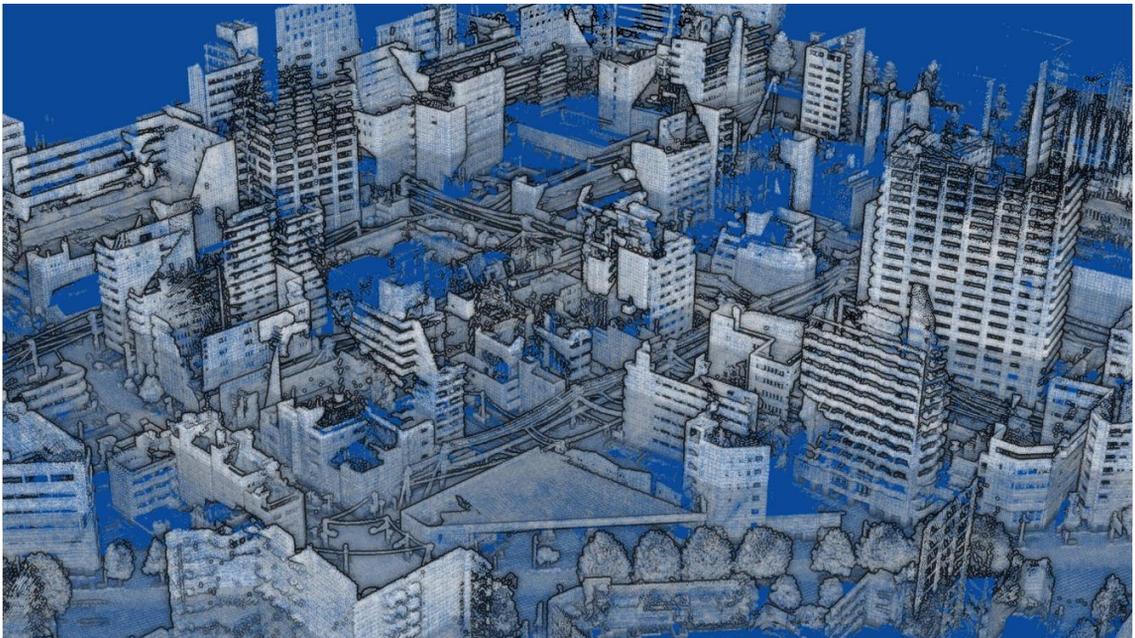
事業・サービスの目的と概要

デジタルツインの社会実装及び継続的な活用を進めるためには、日々変化する都市に合わせて、3D都市モデルを鮮度高く更新する手法を開発していく必要がある。

今回の実証実験では、バス等のモビリティに搭載されたLiDAR等で定常的に取得される点群データや、スマートフォン等で市民が日常的に取得できるデータを活用することで、3D都市モデルのデータソースを取得。これに基づき都市の変化点の検出するAI及び3D都市モデルを生成する自動モデリングツールを開発することで、高頻度かつ低コストの3D都市モデル更新を目指す。

社会的意義

従来、3D都市モデルの更新は航空測量データを用いて都市全体を一気に更新する方法が標準的であった。この方法は、広い範囲を面的に更新できる利点がある反面、多大な時間や費用が必要であり、コストや短周期の更新といった面では課題がある。都市は都心部など一部エリアで頻繁に変化していく一方、あまり変化しないエリアもあるため、変化点のみをピンポイントで抽出してデータ取得と更新を行うことができれば、3D都市モデルの鮮度を効率的に維持することができる。



4-27-2 実証調査詳細

①実証調査の目的・概要

実証調査の概要

宮城県仙台市において、公共交通機関であるバスや一般車両に三次元測量を行うためのLiDARを設置し、定常的に高精度の点群データを取得する仕組みを構築。これに加え、LiDAR付きスマートフォンを活用し、市民参加により点群データを収集するためのクラウドソーシング型データ取得を行う。

取得した点群データをもとに、都市の変化点を抽出するため、都市の変化パターンを深層学習させたAIを開発し、既存の3D都市モデルをインプットデータとした変化点の自動検出を可能とするシステムを構築。さらに、このシステムが変化点として検出した箇所の点群データから、新たなLOD3建築物モデルを構築するため、既存のLOD2建築物モデルをベースとしたサーフェス生成、属性情報付与、CityGML符号化等を行う3D都市モデル自動生成システムを構築する。

これらの一連のシステムの開発及びフィジビリティスタディを行うことで、3D都市モデルの高頻度かつ低コストの更新スキームを確立し、デジタルツインの社会実装を加速する。

●実証仮説

- バスやタクシーなどの公共交通へ取り付けられたLiDARセンサーや、iPhone LiDAR等のクラウドソーシング型のデータを活用することで、高頻度かつ低コストな3D都市モデルの更新を可能とする
- 取得した点群データを活用した建築物の新築や滅失を判定する技術を開発することで、3D都市モデルの更新が必要な箇所をリアルタイムで把握する
- 様々なデバイスから取得された断片的な点群データを統合して3D都市モデルを作成する技術を開発することで、多様なデータを活用した高頻度かつ低コストな3D都市モデルの更新を可能とする

●検証ポイント

- 一般車両へ後付け可能なLiDARを用いた簡易MMSによる点群データ取得方法の検証
- ノイズ除去、位置補正による断片化されたMMS点群、iPhone点群の合成精度の検証
- 自動異動判読による新築・滅失・滅失からの新築・増改築の検出精度検証
- 点群データからのサーフェス生成及びメッシュ化精度の検証
- 生成されたLOD3モデルの精度検証、省力化の検証

②実証調査の対象エリア

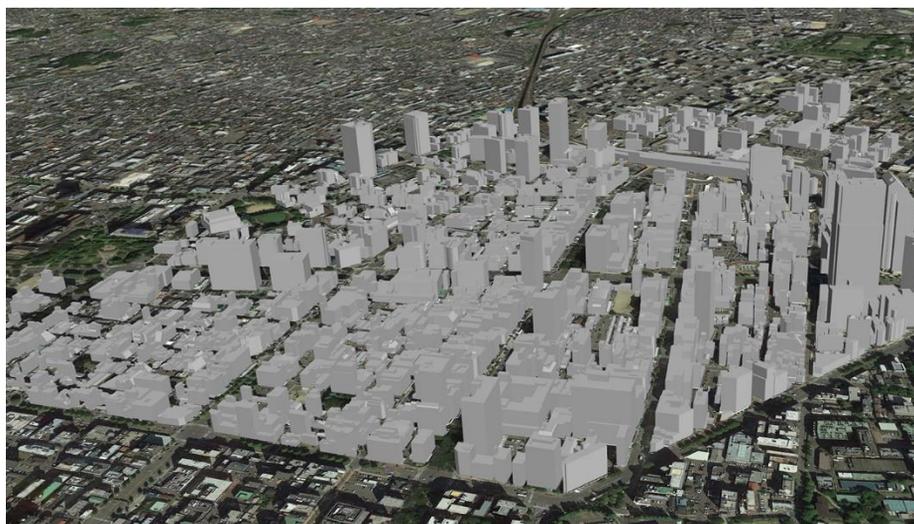
対象エリア

宮城県仙台市

図 4-27-2 対象エリア



宮城県 仙台市 都市再生緊急整備地域（約186ha内）



③実証調査に向け開発されたサービス

今回開発した3D都市モデル自動生成システムは、3つのモジュールから構成される。

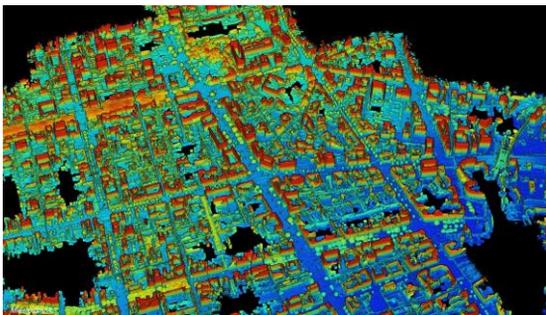
一つは、入力データを処理するモジュールであり、点群のノイズ除去や地物ごとのセグメント（セマンティックセグメンテーション）を行う。セマンティックセグメンテーション処理では、Open3Dライブラリに含まれる「RandLA-Net」をベースに、Symmetry Dimensions社が開発した仮想空間におけるトレーニングデータ自動生成ツールを活用し、仮想空間で簡易MMS（Velodyne VLP-16 LiDAR Puck）及びiPhone LiDARをシミュレートさせ、約2万4千のトレーニングデータセット及び2千の検証サンプル、合計340GBのデータを自動生成してトレーニングセッションを行った。その成果を学習したセマンティックセグメントアルゴリズムを用いることにより、入力した点群を建築物などの地物単位でセグメントし、移動物体やセンサーに起因するノイズ及びCityGML対象地物以外の除去を行った。また、ノイズリダクション処理では、建物単位で抽出された点群からさらにノイズを除去するため、3D都市モデルのLOD1-2建築物モデルを用いてフットプリント生成を行い、これを建物境界として利用することで、各建物の壁面の近傍に位置する点群データから建物領域外のを自動除去した。さらに、アラインメント処理では、複数回取得される様々な点群データを合成して、地物ごとの点群データを自動出力した。また、欠損が生じている点群データに対し、LOD2建築物モデルを自動合成・補完を行った。

二つ目は、更新箇所特定モジュールであり、DCPCR（大規模な屋外環境での深層圧縮点群登録）アルゴリズムとICP（反復計算による近接点適合）アルゴリズムを用いた異動判読処理によって過年度の3D都市モデルと新規に取得した点群データの差異検出を行い、更新された建築物（新築・滅失・滅失から新築・増改築）の建物IDの抽出を行った。

三つめは、3DMesh化モジュールであり、更新建物としてセグメント・アライメントされた点群を用いてサーフェスを自動的に生成する。サーフェスモデル化処理では、iPSR（改良型ポアソン表面再構成）アルゴリズムをベースに、点群データからメッシュの自動作成を行った。また、メッシュ形状に基づく建物窓の自動検出を行いLOD3作成時の補助データとして出力を行った。

3D都市モデル自動生成システムを用いて、公共交通に設置されたMMS及びiPhone LiDARから取得された点群データを入力データとしてサーフェスを生成し、そこから建築物モデルLOD3を作成することで、作成効率等の検証を行った。

図 4-27-3 開発されたサービスのイメージ



宮城交通バス及びタクシーを想定した一般車両により取得した簡易MMS点群データ（宮城県仙台市）



宮城交通バスに取り付けられた簡易MMS

4-27-4 実証調査考察

セマンティックセグメンテーション、ノイズリダクション、アラインメントの処理により、都市空間に存在する人・車・植生・壁・フェンス等の13の有効なラベルによるセグメンテーションが可能になった。これにより、従来では困難であった断片的な点群データを入力データとして、建物単位で合成された点群データの出力や、精度の高いノイズデータの除去、地物への属性付与、3D都市モデル作成に必要な地物のみ抽出を行うことができた。

異動判読処理では、エリア内の建物棟数を母数とした正解率は95.4%以上であり、非常に高い精度となった。AIで新築と判定された建築物は適合率が高く、正しく判定されており、目視による判読作業内の一定の省力化に寄与することが判明した。一方で、滅失と滅失後新築では誤判読や判読漏れが多く発生しており、これら分類に対する精度向上が必要と考えられる。判読漏れにはいくつかの傾向があり、仙台駅より南側及び東側、西端部等での地域的偏りがみられた。また、建築物面積が狭小な地物は新築として判読されなかった。

3DMesh化処理は、従来のポアソン表面再構成アルゴリズムでは困難であった法線ベクトルの反復生成及びメッシュ形状の推定による点群データの直線エッジから直線メッシュへの変換が可能になった。作成したサーフェスモデルからLOD3建築物モデルをモデリングする作業では、サーフェスモデル上で建物形状やエッジの位置がはっきり見えるため、必要な点座標を取得し図化することで、従来のMMS点群からのモデリングと比較して13.5時間から9.0時間へ44.4%の大幅な作業時間の短縮となった。また、入力データを処理するモジュールによる自動化処理済の簡易MMS点群を用いたLOD3建築物モデルの作成との比較では、13.5時間から12.0時間へ12.1%の作業時間の短縮となった。このシステムを活用することで、簡易MMSによる点群（点密度200-400点/ms）、地図情報レベル2,500から1,000に可変する測量成果、iPhone LiDARなどのモバイル端末から撮影された点群データなど、公共測量作業規定に準拠しない低コスト・高頻度で取得可能な点群データを用いた3D都市モデルの作成に一定のポテンシャルを有することが判明した。

4-27-5 展望

今回の実証実験では、3D都市モデルの自動更新の実現に向けた、高頻度かつ低コストで恒常的に取得が可能な複数のデータソースを活用したセマンティックセグメンテーション・アラインメント・異動判読・サーフェスモデル化を行うA.I.モデルの有用性を確認することができた。更なる完全自動化を実現するためには、セマンティックセグメンテーションの精度向上のため、より多数の地物ラベリングを用いたニューラルネットワーク構築や、新たなデータソースによる点群データの欠損箇所の補完が必要となる。具体的には、今後整備が進む3D都市モデルのLOD3データによる高精細な形状情報とセマンティックな属性情報を活用した学習データ生成を行うことで、ラベリング数の増加と精度向上を図れると考えられる。また、今後の実用化が進む自律運航型ドローンを活用し、車両通行が困難な場所や隣接した建物の境界といった、簡易MMSではデータ取得の難しい場所の測量データを使うことで、地上測量と航空測量を組み合わせたより精度の高い3D都市モデル生成が可能になると考えられる。

3D都市モデルのユースケース開発マニュアル（民間活用編）第3.0版
Manual for Applications of 3D City Models (in the Private Sector)

令和5年3月 発行
国土交通省 都市局

