

デジタルツイン構築に関する調査研究 調査報告書

2023年3月

デジタルツイン構築調査研究受託コンソーシアム

ダイナミックマッププラットフォーム株式会社

株式会社エヌ・ティ・ティ・データ

目次

内容

1.	業務概要	1-1
1.1	背景	1-1
1.2	本業務の目的	1-1
1.3	本業務の実施事項と調査報告書構成	1-1
1.4	実施スケジュール	1-4
1.5	実施体制	1-5
1.6	実施したユースケースの概要.....	1-7
2.	アーキテクチャの仕様検討等に関する調査	2-1
2.1	空間 ID の空間定義	2-1
2.2	アーキテクチャの仕様検討及び具体化	2-2
2.2.1	データ・メタデータの連携ルール	2-2
2.2.2	基盤システムのアーキテクチャの仕様検討.....	2-7
2.2.3	基盤システムの仕様	2-11
2.3	共通ライブラリの整備	2-47
2.3.1	共通ライブラリの概要	2-47
2.3.2	共通ライブラリの仕様	2-50
2.3.3	各実証でのライブラリ運用	2-52
2.3.4	考察.....	2-56
3.	データ・メタデータの仕様検討や整備手法の開発等に関する調査	3-1
3.1	実施概要	3-1
3.1.1	概要.....	3-1
3.1.2	実施事項	3-1
3.2	データの仕様、作成手法に関わる標準ドキュメントの検討.....	3-3
3.2.1	データ仕様に関わる検討	3-3
3.2.2	製品仕様書に関わる検討	3-4
3.2.3	作業手順書に関わる検討	3-8
3.2.4	メタデータ仕様に関わる検討.....	3-12
3.3	データに関わるプレ調査.....	3-14
3.3.1	プレ調査内容の検討	3-14
3.3.2	プレ調査の実施	3-15
3.3.3	プレ調査の結果整理	3-16
3.3.4	データ仕様（案）作成	3-18
3.4	品質評価	3-20

3.4.1	品質要素に関わる検討	3-20
3.4.2	品質確認手法・評価基準.....	3-26
3.4.3	品質評価ツール	3-28
3.4.4	品質評価	3-33
3.5	ドキュメントの作成.....	3-34
3.5.1	製品仕様書の作成.....	3-34
3.5.2	作業手順書の作成.....	3-36
3.6	とりまとめ.....	3-37
3.6.1	ユースケース実証で作成したデータ.....	3-37
3.6.2	作成したデータに関わるドキュメント.....	3-38
3.6.3	作成したドキュメント等に関わる課題.....	3-39
3.6.4	データ・メタデータに関わる課題.....	3-40
4.	ユースケースの実証.....	4.1-1
4.1	概要	4.1-1
4.2	時間軸を考慮した災害情報の統合・提供.....	4.2-1
4.2.1	実証概要	4.2-1
4.2.2	実証結果	4.2-12
4.2.3	考察.....	4.2-14
4.2.4	今後の展望.....	4.2-21
4.3	BIM・建物データ等を連携させた CPS	4.3-1
4.3.1	実証概要	4.3-1
4.3.2	実証結果	4.3-25
4.3.3	考察.....	4.3-27
4.3.4	今後の展望.....	4.3-49
4.4	建物内移動の支援	4.4-1
4.4.1	実証概要	4.4-1
4.4.2	実証結果	4.4-18
4.4.3	考察.....	4.4-19
4.4.4	今後の展望.....	4.4-26
4.5	地下埋設物.....	4.5-1
4.6	地上・地下ユースケース.....	4.6-1
4.6.1	実証概要	4.6-1
4.6.2	AI 空調実証結果.....	4.6-12
4.6.3	AI 空調考察	4.6-16
4.6.4	防災実証結果.....	4.6-21
4.6.5	今後の展望.....	4.6-43
4.6.6	補足 3次元データ整備及び防災有用性検証.....	4.6-46
4.7	アクセラレーションプログラム	4.7-1

4.7.1	プログラムの全体概要	4-7-1
4.7.2	選定ユースケースの概要	4-7-3
5.	調査内容の公開	5-1
5.1	目的	5-1
5.2	成果物の公開対象	5-1
5.3	データ・メタデータ公開対象	5-2
6.	総括	6-1
6.1	空間 ID の考察	6-1
6.2	基盤システムの考察	6-7
6.2.1	概要	6-7
6.2.2	基盤システムごとの設計思想	6-7
6.2.3	地図・GIS 基盤システムの考察	6-8
6.2.4	地下埋設基盤システムの考察	6-18
6.3	社会実装に向けた課題と展望	6-24
6.3.1	概要	6-24
6.3.2	地図・GIS 領域の課題と展望	6-24
6.3.3	地下埋設領域の課題と展望	6-30
6.3.4	領域を横断した課題と展望	6-34

1. 業務概要

1.1 背景

デジタル庁は、経済産業省や国土交通省をはじめとする関係省庁と連携し、自動運転車やドローン、自動配送ロボット等の自律移動モビリティの運行に必要な地図・インフラ設備等を効率的に整備するため、様々な空間情報をデジタル化し、機械可読な形で流通可能なデジタルツイン構築を企図している。

また、こうした取組の一環として、独立行政法人情報処理推進機構に設置されたデジタルアーキテクチャ・デザインセンター（以下、「DADC」という）では、空間情報に関する統一的な基準、及びシステム・データを繋ぐ汎用的な連携基盤が存在しない中、様々な空間情報を一意に特定できる3次元空間ID（以下、「空間ID」という）及び3次元空間情報基盤（以下、「空間情報基盤」という）の仕様検討を進めている。

1.2 本業務の目的

本業務「デジタルツイン構築に関する調査研究」は、デジタルツイン実現の基盤となる3次元空間情報に必要な仕様や整備手法、実証用システムの開発等に関する検討を行うことで、デジタル庁が企図するデジタルツイン社会実装を促進することを目的としている。

なお、仕様検討においては、DADCが検討するアーキテクチャを踏まえ、様々な空間情報を連携・活用するために必要となる空間情報基盤、及びサービスとして実装可能なアプリケーションとユースケースの仕様をユーザー視点で検討することを狙いとした。その上で、同基盤上で実空間の位置情報を一意に特定可能な空間IDと空間情報を紐付け、流通させるためのデータ・メタデータ、及びその仕様書案をとりまとめた。

実証用システムは、作成したデータ・メタデータに対応した仕様で開発、及び各ユースケースの実証を行い、空間IDの有用性、技術・サービス上の課題を明らかにすることを目的とした。また、デジタルツインの社会実装を後押しする目的から、本業務の作成物に関する各種仕様、及び開発したシステムの一部についてはソーススクリプト等を公開し、幅広いユーザーが利用できるようにした。

1.3 本業務の実施事項と調査報告書構成

本業務の主たる実施事項と、調査報告書の構成を以下に示す。

- (1) 1章：本章では本業務の背景・目的、及び主たる実施事項を記載した。なお、実施事項と調査報告書構成の対応を以下の図 1.3-1 に示す。

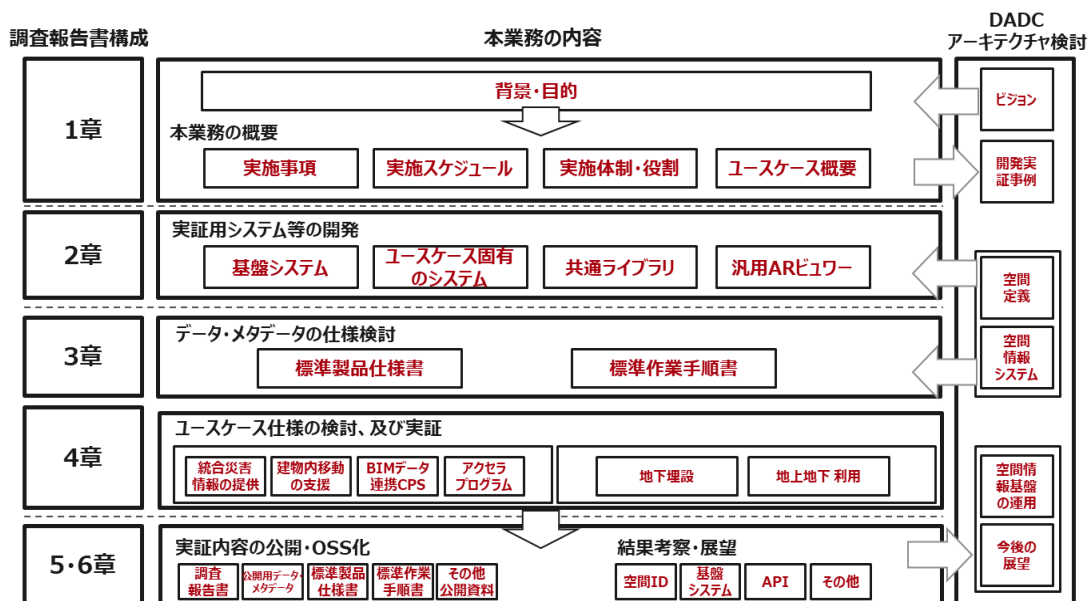


図 1.3-1 本業務の内容と調査報告書構成の対応

また、本業務の流れを以下の図 1.3-2 に示す。

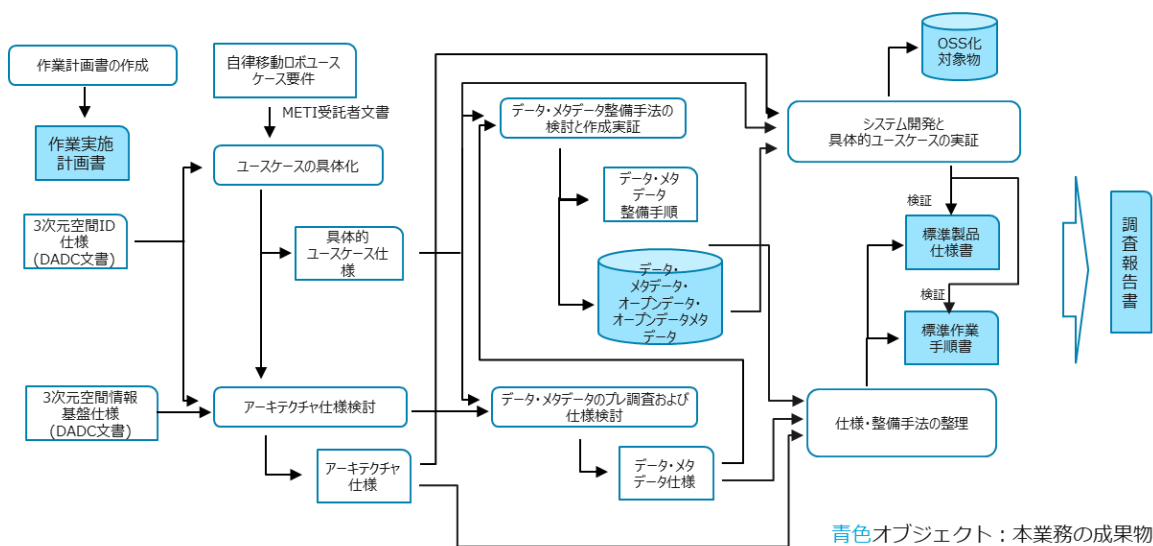


図 1.3-2 本業務の流れ

(2) 2章：アーキテクチャの仕様検討等に関する調査

DADC が仕様を定義する空間情報基盤のアーキテクチャに基づき、以下のシステム開発を行った。

- ・ 実証用基盤システム：空間 ID 及び当該 ID に紐付けられた属性情報により構成された空間ボクセル（以下、「ボクセル」という）の情報を保有し、検索・更新等の機能により、これらの情報を利用者間で共有可能とする基盤システムを地図・GIS、及び地下埋設領域において各々開発・実装した。
- ・ 各ユースケース固有のシステム：各ユースケースの実証遂行においては、基盤システムの利用者が整備するシステム（以下、「利用者システム」という）としてビューワー等の開発を行った。
- ・ 共通ライブラリ：サービス提供者、空間情報提供者を含む基盤システム利用者による利便性、及び開発生産性を高めるため、ユースケース領域横断で頻出する共通的な機能をライブラリとして整備した。

(3) 3章：データ・メタデータの仕様検討や整備手法の開発等に関する調査

空間 ID のデータ・メタデータ仕様検討を行い、標準製品仕様書、及び標準作業手順書としてとりまとめた。データの仕様検討に際しては、空間 ID が紐付けされたデータの仕様が明示すべき事項が何かという視点で検討を実施した。メタデータの仕様検討に際しては、図 3.2-1 DADC のホームページで公開されているメタデータに関わる資料を踏まえ、その内容を整理した。

(4) 4章：ユースケースの実証

空間 ID を含む空間情報に関するデジタルツインに必要な仕様検討や整備手法の開発にあたり有効な調査を行うため、地図・GIS、地下埋設、その他ユースケースを選定。各ユースケースの潜在的な利用者や提供者等のステークホルダーと意見交換を行いながら実証の要件を整理した。また、実施したユースケースの概要は 1.6 に記載した。

なお、各ユースケースの実証においては、開発した基盤システムと利用者システムを通じて実証用に整備したデータ・メタデータを活用した。あらかじめ設定した経済的・社会的価値の KPI (Key Performance Indicator (以下、「KPI」という))、及び技術的検証項目を確認することで、空間 ID の有用性を検証し、結果・考察をとりまとめた。

(5) 5章：調査内容の公開

本実証の成果物として、各ユースケース実証の仕様、基盤システム、及び共通ライブラリの仕様、データ・メタデータに関する標準製品仕様書、標準作業手順書等は公開する。

(6) 6章：総括

本調査報告書の総括として、空間 ID の有用性、基盤システムの仕様に対する考察を行った。また、地図・GIS、地下埋設の領域に関する今後の課題・展望を記載した。

1.4 実施スケジュール

本業務の工程を以下の実施スケジュール表 1.4-1 に示す。

表 1.4-1 実施スケジュール

実施項目	2022年							2023年		
	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
マイルストーン	ユースケース仕様の決定★ データ中間納品★ 基盤システム開発完了★ 報告書納品★ 実証完了★									
基盤システムの開発										
仕様検討										
実証用システム開発										
実証成果とりまとめ										
共通ライブラリの開発										
仕様検討										
開発										
維持・保守										
データ・メタデータの仕様検討、及び作成実証										
プレ調査										
データ・メタデータ作成										
標準製品仕様書作成										
標準作業手順書作成										

実施項目	2022年							2023年		
	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
実証（地図・GIS）										
実証（地下埋設）	仕様検討									
	実証用システム開発									
	実証									
	実証成果とりまとめ									
実証（地図・GIS）										
実証（地下埋設）	仕様検討									
	実証用システム開発									
	実証									
	実証成果とりまとめ									

1.5 実施体制

本調査業務における実施体制を、以下の図 1.5-1 と表 1.5-1 に示す。

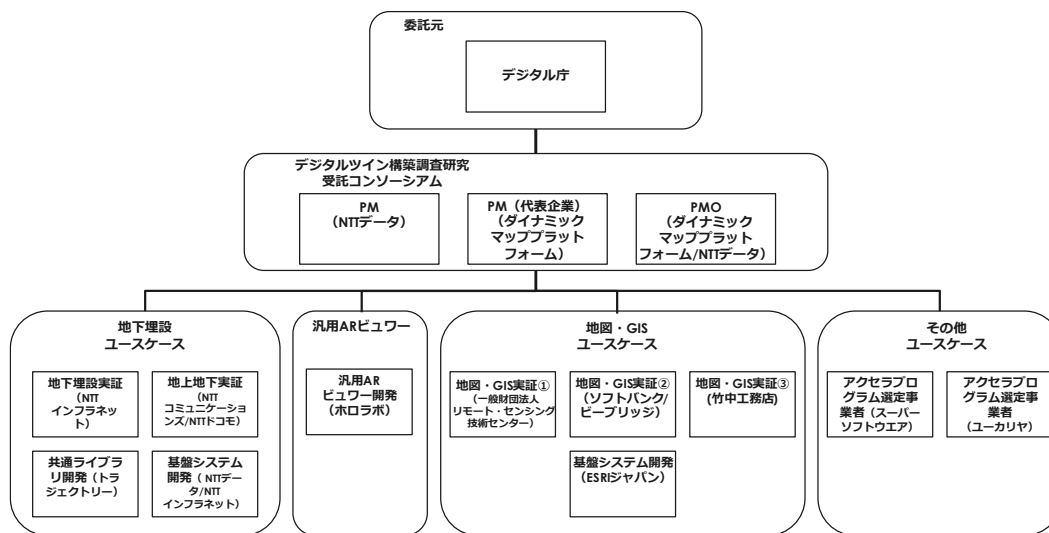


図 1.5-1 調査の実施体制図

表 1.5-1 本業務の役割一覧

体制	実施体制（実施企業）
委託元	デジタル庁
受託者	デジタルツイン構築調査研究受託コンソーシアム 代表企業：ダイナミックマッププラットフォーム株式会社 株式会社エヌ・ティ・ティ・データ（以下、「NTT データ」という）
地図・GIS 実証担当① （統合災害情報の提供）	一般財団法人リモート・センシング技術センター （以下、「RESTEC」という）
地図・GIS 実証担当② （建物内移動の支援）	ソフトバンク株式会社（以下、「ソフトバンク」という） 株式会社ビーブリッジ（以下、「ビーブリッジ」という）
地図・GIS 実証担当③ （BIM データ連携サイバーフ ィジカルシステム）	株式会社竹中工務店（以下、「竹中工務店」という）
地下埋設実証担当	エヌ・ティ・ティ・インフラネット株式会社 （以下、「NTT インフラネット」という）
地上地下サービス実証担当	エヌ・ティ・ティ・コミュニケーションズ株式会社（以下、「NTT コミュニケーションズ」という） 株式会社 NTT ドコモ（以下、「NTT ドコモ」という） 三菱電機株式会社（以下、「三菱電機」という）
共通ライブラリ開発	株式会社トラジェクトリー （以下、「トラジェクトリー」という）
地図・GIS 基盤システム開発	ESRI ジャパン株式会社（以下、「ESRI ジャパン」という）
地下埋設基盤システム開発	株式会社エヌ・ティ・ティ・データ エヌ・ティ・ティ・インフラネット株式会社
汎用 AR ビュワー開発	株式会社ホロラボ（以下、「ホロラボ」という）
アクセラプログラム用 システム開発、データ提供	システム開発：株式会社ジオロニア データ提供：ジオテクノロジーズ株式会社
アクセラプログラム 選定事業者①	株式会社スーパーソフトウェア（以下、「スーパーソフトウエ ア」という）
アクセラプログラム 選定事業者②	株式会社ユーカリヤ（以下、「ユーカリヤ」という）

1.6 実施したユースケースの概要

本業務では、以下の表 1.6-1 に示す全 6 種類のユースケースについて開発・実証を行った。

表 1.6-1 ユースケース一覧

領域	ユースケース
地図・GIS	衛星画像、SNS 情報に基づく過去の災害情報を統合し、時間軸横断で可視化する実証（以下、「統合災害情報の提供」という）
	BIM・建物データ等を連携させたサイバーフィジカルシステムの実証（以下、「BIM データ連携 CPS」という）
	複雑な建物内で空間 ID を活用した配送モビリティ、及び AR ナビゲーションによる物の輸送、人の移動に関する問題解決（以下、「建物内移動の支援」という）
地下埋設	効率的かつ着実な埋設物照会や工事時の建機による掘削事故等のリスクの低減等を実現する地下埋設物照会の実証（以下、「地下埋設」という）
地上地下 利用	ビルや地下街の 3 次元空間や 3 次元人口分布をボクセルに紐付けて整備することで、施設管理における防災計画や災害対応へのデータ活用を検証。また、移動ロボットによる空間センシングデータを空間 ID・空間情報基盤に格納し、空調制御等の施設管理に活用する実証（以下、「地上地下」という）
その他 ユースケース	上記以外のユースケースを発掘するために、アクセラレーションプログラム（以下、「アクセラプログラム」という）を開催。国内企業、及び大学研究室等から空間 ID・空間情報基盤を活用したユースケースを広く募り、2社を採択。空間 ID 及び PLATEAU データを含む空間情報を活用したアプリケーションの開発、並びに成果発表会を行った。

以下の表 1.6-2 から表 1.6-7 に各ユースケースの概要を記載する。

(1) GIS・地下埋設物のユースケース

表 1.6-2 各ユースケースの概要 時間軸を考慮した災害情報の統合・提供

項目	詳細
課題	<ul style="list-style-type: none"> ・衛星データや SNS 情報から推定された浸水域及び浸水深の情報、及びハザードマップ等の防災情報は 2 次元データが主流のため多様な情報の管理、可視化に限界がある。具体的には、SNS などの情報収集と選択、情報の IT 化による管理と可視化に大きな課題がある。 ・防災情報は異なる座標系（位置情報の表現方法）で作成されている場合が多い。特に時間軸で管理されていないことから、それぞれの情報を複合利用する際の利便性が悪い。
展望	<ul style="list-style-type: none"> ・空間 ID を用いて 2 次元情報を 3 次元情報として標準的に取り扱えるようになることで、行政が判断をする際に用いる情報の選択肢を増やし、適切かつ迅速な対応ができるようになる。 ・任意の空間・時間で分析することができるようになる。 ・災害対策のための分析や防災教育等による防災能力向上が効果的・効率的に行えるようになる。
実証概要	<p>空間 ID を用いることにより、位置情報の有無や精度の異なる情報を総合的に利用可能とし、災害への備えと災害状況の把握の高度化等へ向けた検討を行う。</p>
実証における空間 ID の活用方法	<p>衛星データ、SNS 情報から解析した河川氾濫情報を管理する。また、河川氾濫情報の時間変化、平時との差分などの解析事例についても空間 ID 上で管理する。</p>

表 1.6-3 各ユースケースの概要 BIM・建物データ等を連携させた
サイバーフィジカルシステムの実証

項目	詳細
課題	<p>【ビルシステム全般】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ビルシステムそのものが「一品生産」であるため、建物ごとに収集するデータも標準化されていない。 ・アプリケーションは建物ごとに開発／カスタマイズが必要であるため、導入コストが大きくなる。 <p>【ロボットの最適化運転】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ロボットは目的地までの経路情報までは取得せずに走行するため、ルート見直しなどリトライに時間がかかり、サービス品質の低下が発生する。 <p>【広告価値の分析／評価】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・屋内広告のようなミクロな観点での適正な価格算定が困難とされている。
展望	<ul style="list-style-type: none"> ・施設内情報の空間分析の分析粒度が空間 ID に統一されることで、施設内情報を管理するプラットフォームを横断してサードパーティアプリケーションが施設内データを利用することが可能となる。 ・サードパーティへ空間情報を受け渡す際に、空間 ID によって情報が抽象化されるためセキュリティ／プライバシー問題を回避し、施設管理者側が情報提供を行いやすくなる。 ・施設内情報の空間分析の分析粒度に空間 ID を用いることで、空間への機械学習や AI などの技術適用がしやすくなり、分析結果を得るためのプロセスが高速化／効率化し、コスト削減が期待できる。 ・ロボットの運転において、空間 ID 基盤上から目的地までの経路情報を取得することで混雑回避や最短経路選択等に対応し、ユーザーへ高品質のサービスを提供できるようになる。 ・3次元デジタル空間における広告提供手段の確立により、実空間におけるユーザーの体験を提供できるようになる。

項目	詳細
実証概要	①建物内空間の空間 ID による分析②建物情報を用いたロボットの最適化運転③広告価値の分析の3つのスコープにおいて実証を行う。
実証における空間 ID の活用方法	<ul style="list-style-type: none"> ・ 現在の人流や予測した混雑情報を基盤システムに登録する。登録した混雑情報はロボット制御の最適化に用いる ・ 現在の人流から広告価値を算定し基盤システムに登録する。登録した広告価値は汎用ビューワー（ホロラボ社）にて可視化する。

表 1.6-4 各ユースケースの概要 複雑な建物内での移動・輸送の問題解決

項目	詳細
課題	<ul style="list-style-type: none"> ・ 屋外と屋内で座標系が異なるためシームレスな移動が困難 ・ 各事業者が空間データ（混雑／施設情報 等）を作成し、共有されない。
展望	<ul style="list-style-type: none"> ・ 空間 ID を基準とした座標系を用いることで屋内外・ビル間でのシームレスな移動を実現。 ・ 空間データ（混雑／施設情報等）を空間 ID に紐付け・公開し各事業者が利用することでデータ作成コストを削減。
実証概要	空間 ID を用いた屋内外の座標系の共通化・空間データの共有を実現するために、空間 ID を活用した自律移動ロボットによる配送可否、及び空間 ID に紐付くデータの連携による AR ナビゲーションの実現可否を実証する。
実証における空間 ID の活用方法	<ul style="list-style-type: none"> ・ 配送ロボットが初期位置を特定する際に、基盤システムから位置情報として取得する。 ・ 配送ロボットが配送場所までのルート計算を行う際に、必要なジオメトリ情報と基準点情報を空間 ID から変換する。

表 1.6-5 各ユースケースの概要 地下埋設物

項目	詳細
課題	<ul style="list-style-type: none"> ・地下埋設物の情報は、各事業者の独自フォーマット管理により情報間の連関性が低く、秘匿性の高いことにより流通基盤も整備されていない。 ・図面等の理解には専門知識が必須であり、さらに工事現場では、熟練技術や経験に基づく状況判断スキルが要求されるため、技術者数が減少傾向にある。
展望	<ul style="list-style-type: none"> ・地下領域のデータ流通を容易にすることができる。業務効率化が可能となり、施工品質の向上につながることも期待される。 ・地下埋設物形状の可視化や情報共有により、工事作業に求められるスキルレベルを下げるることができる。技術者不足が解消されることで、高品質なインフラサービスの提供を持続可能なものとする。
実証概要	<ul style="list-style-type: none"> ・地下埋設物情報を空間 ID へ紐付け、ズームレベル定義によって埋設位置の秘匿性を確保と利用性の維持をすることにより、事業者間のデータ共有の実現性を検証する。 ・空間検索の結果として得られた空間 ID に紐付く地下埋設物が参照可能な機能を開発し、埋設物照会業務に要していた業務時間の削減可否を検証する。 ・地下埋設物情報と紐付いている空間 ID が可視化できる機能を建設機械 MG に搭載し、熟練者でないと難しかった操作を経験が少ない人でも実施可能であるか検証する。
実証における空間 ID の活用方法	<ul style="list-style-type: none"> ・地下埋設物の位置情報、及び形状情報を空間 ID に紐付け、情報の連関性を獲得する。 ・空間 ID を検索キーとして、指定空間に存在する地下埋設物の位置情報を抽出、及び、地下埋設物の属性情報を参照する。

表 1.6-6 各ユースケースの概要 地上地下

項目	詳細
課題	<ul style="list-style-type: none"> ・（特に屋内空間において）データが存在しないエリアが多い。 ・データ取得のために個別センサーを設置するには多くのコストや手間がかかる。
展望	<ul style="list-style-type: none"> ・地上／地下の屋内空間において、空間 ID に紐付く様々なデータが安心・安全、リアルタイムに生成・利用できるようになり、人や移動体の位置認証技術と合わせることで空間の価値が高まって市場が創出され、「人間を中心とした」サービスと「施設管理者」のエリアマネジメントの両立、平常時／非常時のデュアルユースの様々なサービスが実現されるようになる。
実証概要	<p>本ユースケースの中では「人口統計情報を活用した防災（以下、「防災」という）と「AI によるフィードフォワード空調制御（以下、「AI 空調」という）」の2つのユースケースを扱う。防災のユースケースでは既設のセンサーから新たな情報としてドコモが提供している基地局データを元とした2次元の人口統計情報であるモバイル空間統計を3次元化したデータ（以下、「3次元人口統計データ」という）について、空間 ID に紐付け、有効性を検証する。また AI 空調のユースケースでは、自律移動ロボットから効率的なデータの収集を行い、空間 ID に紐付け、AI 空調システムに連携し、空調制御の効率化を検証する。</p>
実証における空間 ID の活用方法	<p>【防災】 3次元人口統計データを紐付け、有効性を検証する。</p> <p>【AI 空調】 温湿度及び人流データを紐付け、AI 空調システムに連携する。</p>

(2) その他（アクセラプログラム）

アクセラプログラムにて実証するユースケースは以下の2社を採択企業とした。

表 1.6-7 各ユースケースの概要_アクセラプログラム

採択企業名	項目	詳細
株式会社スーパー ソフトウェア	テーマ	生活に溶け込むデジタル空間の実現に向けて
	概要	空間IDをキーに取得した多様な空間データをデジタルサイネージ上に視覚化する視覚化アプリの開発と、それを操作できる操作アプリの開発を行い、空間IDを活用したサービスの実現可能性を実証する。
株式会社ユーカリヤ	テーマ	ノーコードでの空間ID活用に向けたシステム開発の実証実験。
	概要	空間IDをキーに取得したデータやユーザーが独自に用意したCSVファイルを、空間IDが付与された空間ボクセル上に可視化する機能を開発し、同社のWebGISシステム「Re:Earth」上に実装し、空間IDの普及に向けた有用性を実証する。

2. アーキテクチャの仕様検討等に関する調査

2.1 空間 ID の空間定義

本業務におけるユースケース実証では、実証で使用する様々な空間情報のデータを空間 ID に紐付けて利用した。空間 ID は 3 次元空間を格子状に分割して得られた直方体形状のボクセルに付与された一意の識別子である。具体的に 3 次元空間を分割し空間 ID を付与する方法については、2022 年 7 月付けで DADC が公開している「3 次元空間情報基盤アーキテクチャ設計報告書¹」の「4 空間の定義」において方針が示されており、本業務ではこの空間の分割方法を前提とした。

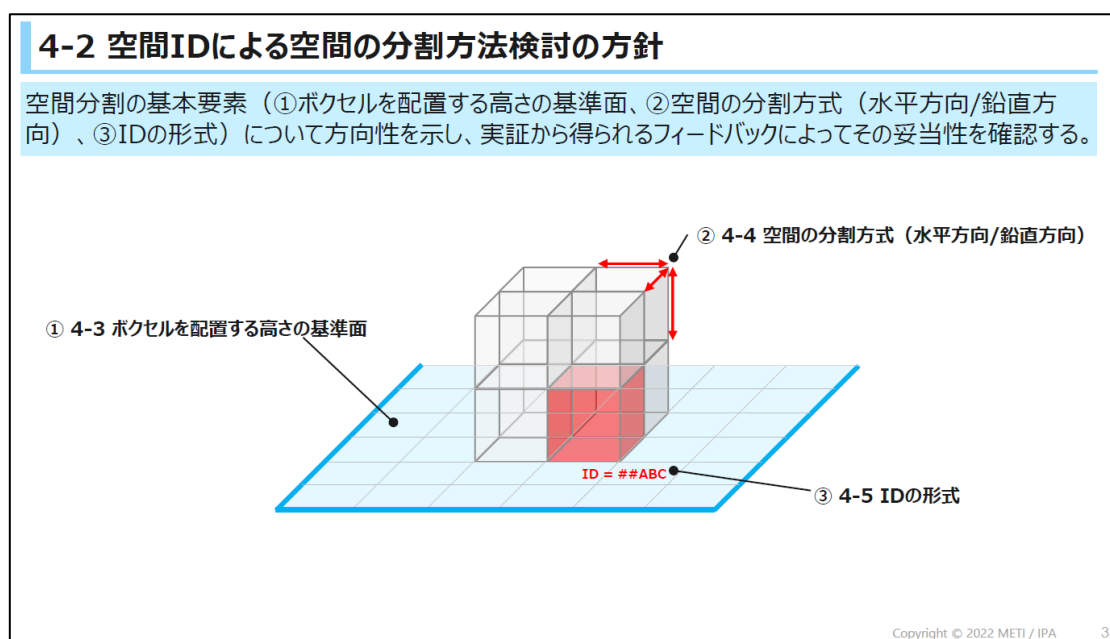


図 2.1-1 空間 ID による空間の分割方法

3 次元空間を分割して得られるボクセル内に存在する空間情報のデータを空間 ID と紐付けることで、空間 ID を検索キーにしてデータを取得することが可能となる。ユースケース実証では空間 ID を検索キーとして取得したデータを、自律移動ロボットのナビゲーションや災害情報の可視化などに活用した。

¹ 3 次元空間情報基盤アーキテクチャ設計報告書

https://www.ipa.go.jp/dadc/architecture/pdf/pj_report_3dspatialinfo_doc_202208_1.pdf

2.2 アーキテクチャの仕様検討及び具体化

本業務では、DADC が設計した「3次元空間 ID」の空間定義（2.1）並びに3次元空間情報基盤に関するアーキテクチャ及び同基盤の仕様を前提として、本業務において開発する実証用の基盤システムのアーキテクチャの仕様を検討し具体化を実施した。まず空間 ID と空間情報のデータ及びそのメタデータの連携ルールを整理し（2.2.1）、空間 ID と空間情報の連携をシステムとして実現するための空間情報システムのアーキテクチャを整理した（2.2.2）。その上で、地図・GIS と地下埋設管理のそれぞれの領域においてアーキテクチャの仕様を検討し、実証において使用するための基盤システムを開発した（2.2.3）。基盤システムの開発においては、空間情報の座標情報を空間 ID に変換する機能などの領域を横断して共通的に必要となる機能を整理して共通ライブラリを開発し、基盤システムの開発に利用した（2.3）。

2.2.1 データ・メタデータの連携ルール

空間 ID と空間情報のデータ・メタデータを紐付けるための連携ルールを整理した。この連携ルールを前提として地図・GIS 領域、地下埋設領域それぞれの基盤システムの要件に応じて空間 ID と空間情報のデータの具体的な紐付け方法を検討し実装を行った。紐付けを行う空間情報のデータ及びメタデータの定義を以下に示す。

- ・ 空間情報のデータ
現実世界に存在する地物や事象（例：建物、気象、人流等）を表すデータ。空間情報のデータには、地物や事象の位置情報と位置情報に付与された属性情報が含まれる。例えば建物の空間情報のデータであれば、対象範囲に含まれるそれぞれの建物の位置情報とその建物の名称や住所、階数などの属性情報を持つ。なお、位置情報はデータによって、点（例：施設の代表位置、観測点）、線（例：道路、管路）、及び面（建物形状、行政区）等の図形情報によって表される。
- ・ 空間情報のメタデータ
空間情報のデータを説明するための情報。空間情報のメタデータには、データの概要、範囲、作成者、作成された年月日等の情報が含まれる。

空間情報のデータと紐付けを行う空間 ID は、その空間情報のデータの位置情報が含まれるボクセルを表す。ただし、紐付けにおいて空間 ID と空間情報のデータの関係は必ずしも 1 対 1 にはならない。紐付けに使用する空間 ID のズームレベル（ボクセルのサイズ）と空間情報のデータが対象とする地物や事象の大きさによっては多対 1 や 1 対多の関係になるケースも想定される。例えばあるボクセルのサイズにおいて、商業施設などの大きな建物が複数のボクセルにまたがって存在する場合は、複数の空間 ID に紐付ける必要がある。一方、一般家屋などの小さな建物が 1 つのボクセル内に複数存在する場合は、1 つの空間 ID に複数の建物を紐付ける必要がある。空間 ID と建物の紐付けが多対 1 や 1 対多になる例を図 2.2-1 に示す。

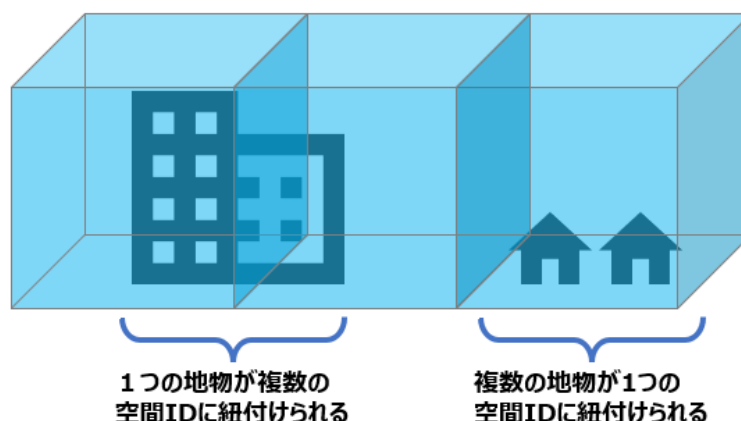


図 2.2-1 空間 ID と空間情報のデータが多対 1 や 1 対多の関係になるケース

そのため、空間 ID と空間情報のデータの連携ルールは、多対 1 や 1 対多の紐付けに対応する必要がある。このような連携ルールを保持するためのテーブル構造の例は DADC が公開した「3次元空間情報基盤アーキテクチャ設計報告書²」の 47 ページに示されている。このテーブル構造では（1）空間 ID と空間情報のデータの紐付け情報（空間情報の ID）を保持するためのリンクテーブル、（2）紐付けられた空間情報のデータの属性情報を保持するデータテーブル、及び（3）空間 ID が付与されたボクセルごとの属性情報を保持する統計テーブルの 3 つのテーブルによって空間 ID とデータの紐付け情報を管理することになっている。本業務ではこれに基づいて空間 ID と空間情報のデータの連携ルールを整理し、紐付け情報を管理するためのテーブル構造の検討を実施した。図 2.2-2 にこのテーブル構造を示す。

² 3次元空間情報基盤アーキテクチャ設計報告書

https://www.ipa.go.jp/dadc/architecture/pdf/pj_report_3dspatialinfo_doc_202208_1.pdf

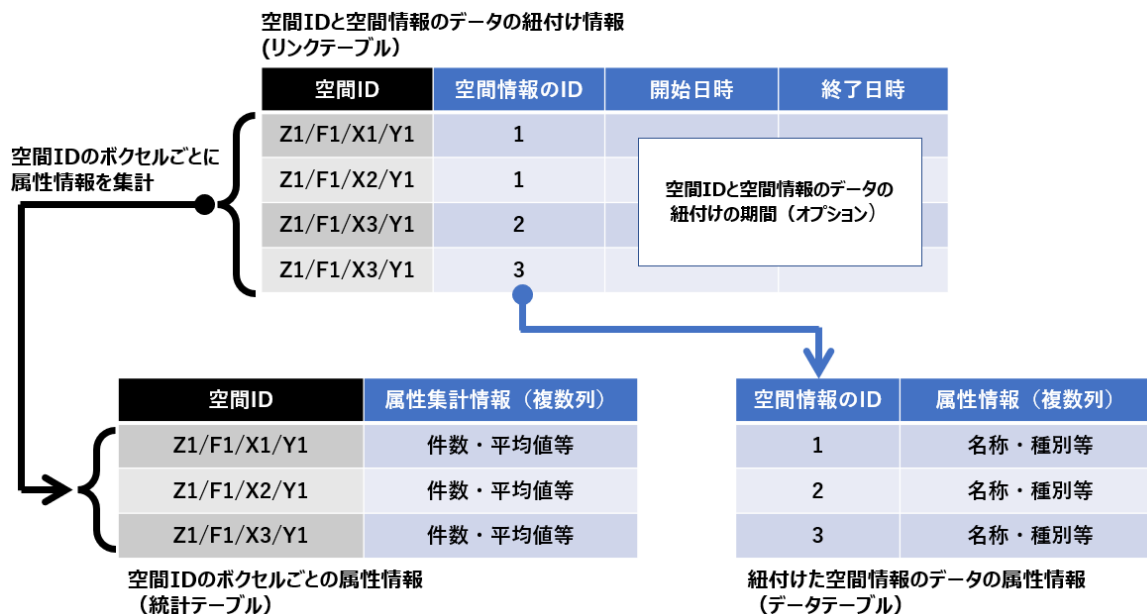


図 2.2-2 空間 ID の紐付け情報を管理するテーブル構造

(1) リンクテーブル

リンクテーブルは空間 ID と空間情報のデータの紐付け情報を保持する。紐付け情報は空間 ID と紐付け対象のデータが元々保持している個別のデータを識別するための ID (建物のデータであれば「建物 ID」等) のペアによって表される。また、気象情報や移動体などの時間に応じて変化する空間情報のデータについては、空間 ID と空間情報のデータが紐付いていた期間の情報を表すことができるように紐付けの「開始日時」と「終了日時」の情報を保持することができるようにする。なお、空間 ID と紐付ける空間情報のデータの性質や用途によっては紐付けの期間の情報を必ずしも管理する必要はないため、「開始日時」と「終了日時」の情報の保持は任意とした。

空間 ID と空間情報のデータは多対多の関係になるケースが存在するため、リンクテーブルにおいて複数の空間 ID が 1 つの空間情報の固有の ID と紐付けられる場合や、逆に 1 つの空間 ID に複数の空間情報の固有の ID と紐付けられる場合がある。多対多の関係となる空間 ID と建物のデータの紐付け情報をリンクテーブルによって管理した例を図 2.2-3 に示す。

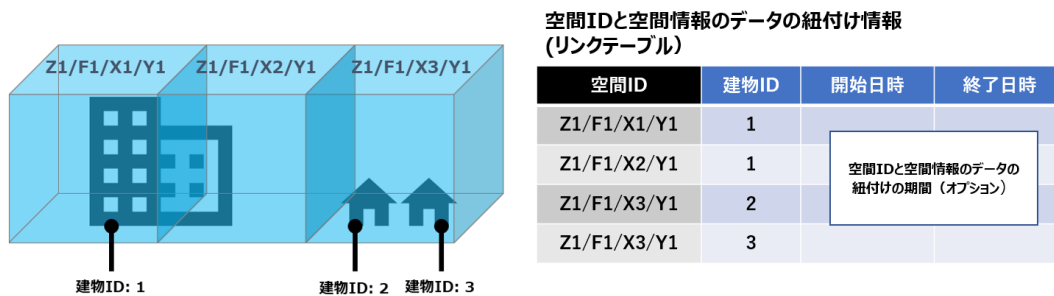


図 2.2-3 リンクテーブルによる紐付け情報の管理

(2) データテーブル

データテーブルは空間情報のデータの属性情報（建物の空間情報であれば、建物の名称や階数等）を保持する。空間 ID と空間情報のデータの紐付け情報はリンクテーブルによって管理されるが、1つの空間情報のデータの ID が複数の空間 ID に紐付くケースが存在する（例：図 2.2-3 の建物 ID=1 のケース）。このようなケースにおいて、リンクテーブルで空間情報の属性情報を管理すると、同じ属性情報が重複してリンクテーブルに保持されることになる。属性情報の冗長性を排除して更新時の不整合を防止するために、空間情報のデータの属性情報はデータテーブルによって管理し、リンクテーブルの空間情報のデータの ID（例：建物 ID）を外部キーとして参照することにした。また空間情報のデータが保持する属性情報はデータの種別や用途によって様々であるため、データテーブルには必要に応じて任意の数の列を定義できるものとした。リンクテーブルとデータテーブルによって建物の空間情報の属性情報を管理する例を図 2.2-4 に示す。

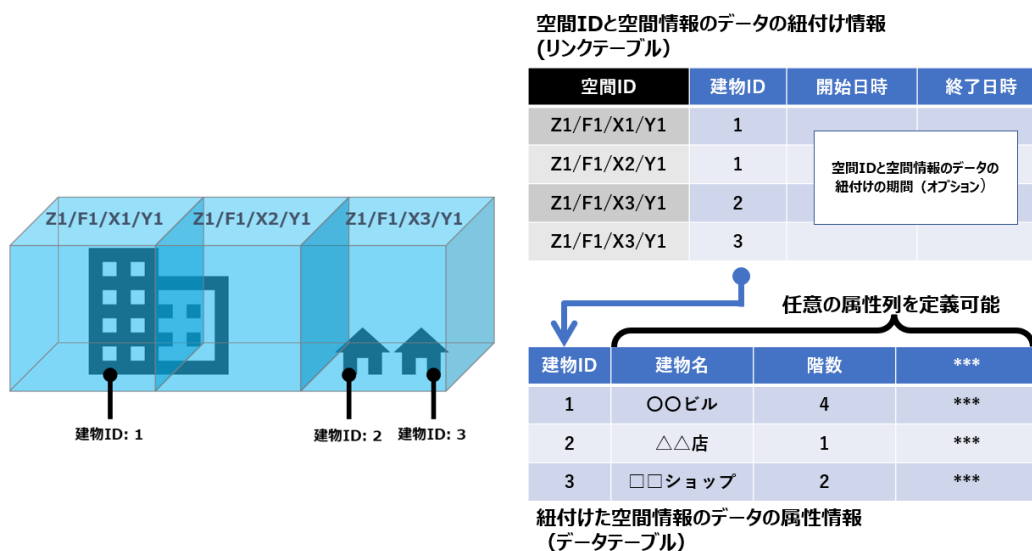


図 2.2-4 空間情報のデータの属性情報の管理

(3) 統計テーブル

統計テーブルは空間 ID のボクセルの属性情報を保持する。ボクセルの属性情報は、ボクセル内に存在する個々のデータの属性情報ではなく、ボクセル（空間）の特性や性質（例：この空間には建物が〇件存在する、この空間は飛行禁止である、この空間の人口は〇人である等）といった情報を提供する。ユースケース実証においては空間 ID に紐付けられた個々のデータを取得するのではなく、このボクセルの空間に「なんらかの地下埋設物が存在するか」、「この空間の浸水推定結果はどの程度か」といったボクセルの単位で情報を管理するニーズがあり、そのようなケースにおいて、ボクセルの属性情報を統計テーブルで管理できるようにした。ボクセルの属性情報は空間情報のデータが保持する属性情報と同じく、種類や用途によって様々であるため、統計テーブルには必要に応じて任意の数の列を定義できるものとした。統計テーブルによってボクセルごとに建物の属性情報を集計して管理する例を図 2.2-5 に示す。

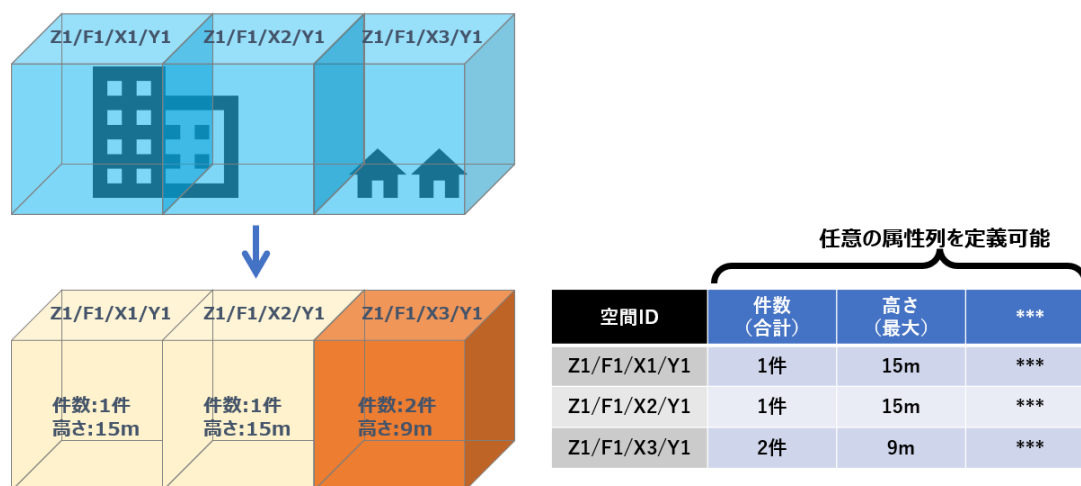


図 2.2-5 ボクセルの属性情報の管理

(4) メタデータ

上述したように空間 ID と空間情報のデータの紐付け情報は、リンクテーブル、データテーブル、及び統計テーブルの3つのテーブルで構成されるデータセットによって管理される。紐付けの対象となる空間情報はその種類（例：建物、気象、人流等）によってデータテーブルや統計テーブルにまったく異なる属性情報を保持する必要があるため（建物のデータであれば建物名称、気象のデータであれば雨量等）空間 ID のデータセットは紐付けを行う空間情報の種類ごとに作成する必要がある。この空間 ID のデータセットを作成し第三者に提供して利用してもらう場合、利用者側はそれぞれの空間 ID のデータセットにどのような空間情報が紐付けられているのか、データの概要や範囲、作成

者、精度などの情報を把握する必要がある。そのため DADC が公開した「3次元空間情報基盤アーキテクチャ設計報告書³」の 69 ページに示されている「5-6 メタデータ項目の定義」を前提に、それぞれの空間 ID のデータセットにデータセット自身の内容を説明するためのメタデータを付属させることにした（メタデータの項目などの仕様に関わる検討については「3.2.4 メタデータ仕様に関わる検討」に記載する）。

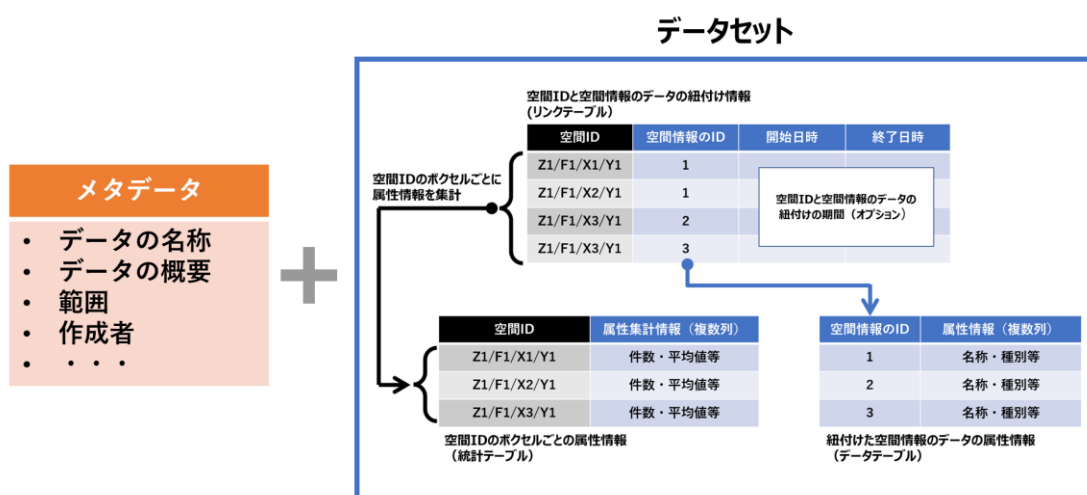


図 2.2-6 メタデータの付与

2.2.2 基盤システムのアーキテクチャの仕様検討

2.2 で整理を行ったデータ・メタデータの連携ルールによって空間情報のデータを空間 ID に紐付け、クライアント（空間 ID を活用するサービスのシステムやユーザー等）に提供するための、基盤システムのアーキテクチャの仕様について検討を実施した。空間情報のデータ・メタデータが空間 ID に紐付けられ基盤システムを介してサービス用システムなどのクライアントに提供されるまでの各レイヤーとそれを繋ぐインタフェースの関係を以下のように整理した。

³ 3次元空間情報基盤アーキテクチャ設計報告書

https://www.ipa.go.jp/dadc/architecture/pdf/pj_report_3dspatialinfo_doc_202208_1.pdf



図 2.2-7 空間 ID を連携するためのレイヤーとインターフェース

図 2.2-7 において、まだ空間 ID に紐付けられていないデータ・メタデータと基盤システムを繋ぐインターフェースは、空間情報のデータが持つ座標情報から紐付けを行う空間 ID を特定し、空間情報を空間 ID のデータセットに変換して基盤システムに登録する機能を提供する。

また、基盤システムとクライアントを繋ぐインターフェースは、クライアントが必要とする空間 ID のデータへのアクセスを提供する。クライアントが空間 ID のデータをどのように利用するかによって必要なアクセスに関する機能は異なるが、一般的なデータへのアクセスとして想定される機能を以下のように整理した。

- ① 基盤システムに登録されている空間 ID のデータセットのメタデータを返す
- ② 指定された条件（空間的範囲や属性の値）に合致する空間 ID に紐付いた空間情報の属性値を返す
- ③ 空間 ID に新たに空間情報の属性値を紐付ける
- ④ 空間 ID に紐付いた空間情報の属性値を更新する
- ⑤ 空間 ID に紐付いた空間情報の属性値を削除する

ユースケース実証の領域によってはクライアントにはデータは参照専用（①及び②の機能のみ）で提供する必要があるため、更新や削除の機能を提供することは適切ではないケースも存在する。そのため上記に記載した機能を前提としながら、ユースケースもしくは領域ごとに要件によって提供する API の機能を決定できるものとした。

図 2.2-7 において、基盤システムはユースケース実証もしくは領域ごとのデータを一元的に管理し、様々なクライアントに提供する役割を担う。そのため、データ・メタデータ、基

盤システム、クライアントを繋ぐそれぞれのインタフェースは、基盤システムの機能として一元的に管理することで、基盤システムが空間 ID のデータを流通させるためのユースケースもしくは領域ごとのハブとして機能するように、基盤システムのアーキテクチャを図 2.2-8 のように整理した。

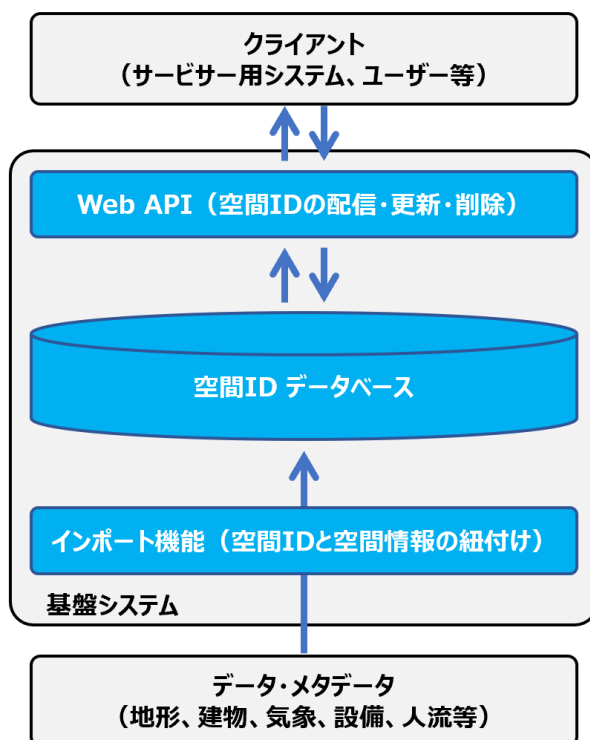


図 2.2-8 基盤システムのアーキテクチャ

ここで、基盤システムが提供する機能について以下のように整理を行い、実証用の基盤システムとして仕様を検討し、システムの開発を行った（「2.2.3（1）地図・GIS 基盤システム仕様」及び「2.2.3（2）地下埋設基盤システム仕様」）。

（1）空間 ID データベース

2.2.1 において整理を実施した空間 ID の紐付け情報を管理するリンクテーブル、データテーブル、統計テーブルを用いたテーブル構造によって、空間 ID と空間情報のデータの紐付け情報を保持する。紐付けの対象となる地物・事象ごとに空間 ID のデータセットを作成して管理し、各データセットについて、その概要や目的、紐付けに使われている空間 ID のズームレベルなどの情報を保持したメタデータの管理も行う。

(2) Web API

空間 ID データベースが保持している空間 ID と空間情報のデータの紐付け情報への Web アクセスを、基盤システムを利用するサーバー用システム等のクライアントに提供する。図 2.2-7 において整理を行った基盤システムとクライアントを繋ぐインタフェースの機能を前提として、地図・GIS 領域、地下埋設領域それぞれの基盤システムの要件に応じて必要な機能を検討し、クライアントからのオンラインでのリクエストに対応する Web API として実装する。

(3) インポート機能

図 2.2-7 において整理を行ったデータ・メタデータと基盤システムを繋ぐ API として空間情報のデータと空間 ID の紐付けを行い、基盤システムの空間 ID のデータベースに登録を行う機能を提供する。インポート機能は空間情報のデータが格納されたファイルをオフラインかつ非同期処理でインポートする機能を想定し、地図・GIS 領域、地下埋設領域それぞれの基盤システムの要件に応じて実装する。空間情報のデータ・メタデータのファイル形式は多岐にわたるため、空間 ID を活用するユースケースや領域ごとに、API によって基盤システムに登録を行うことができるデータ・メタデータのフォーマットを規定しておく必要がある。本業務においては空間情報のファイル形式として広く用いられている CSV 形式及びシェープファイル形式の 3D データ（以下、「3D シェープファイル」という）を実証用のファイル形式として規定した。

シェープファイルは、GIS データフォーマットの 1 つで、形状と属性情報を持つベクトルデータを格納することができるデータ形式である。特に、通常のジオメトリである X、Y に加えて高さ情報 Z が格納されたシェープファイルが 3D シェープファイルである。

2.2.3 基盤システムの仕様

本業務におけるユースケース実証に利用する基盤システムの仕様について、「2.2.1 データ・メタデータの連携ルール」、「2.2.2 基盤システムのアーキテクチャの仕様検討」で整理したルール、仕様を前提として基盤システムの仕様の検討を行った。検討した基盤システムの仕様は、対応するユースケース実証ごとに地図・GIS 基盤システム、地下埋設基盤システムとして仕様や開発手法を整理した。

(1) 地図・GIS 基盤システム仕様

1) 地図・GIS 基盤システムの構成

地図・GIS 基盤システムは、地図・GIS 領域のユースケース実証を遂行する際に使用する基盤システムである。地図・GIS 基盤システムを構成する要素とそれらに共通となる機能を個別にモジュール（共通モジュール）化して、地図・GIS 基盤システムの仕様を整理した。

① 地図・GIS 基盤システムの構成要素

「2.2.2 基盤システムのアーキテクチャの仕様検討」で整理したルールを前提として、地図・GIS 基盤システムを構成する要素の検討を行った。地図・GIS 基盤システムを構成する要素として、空間 ID にデータの紐付けを行うデータベース、データベースに格納した空間 ID に紐づくデータを配信する Web API、データベースへ空間 ID に紐づくデータを格納するインポートツール、データベースに格納した空間 ID に紐づくデータをボックスとして表示する可視化アプリの仕様を整理した。これらの地図・GIS 基盤システムの構成を図 2.2-9 に示す。

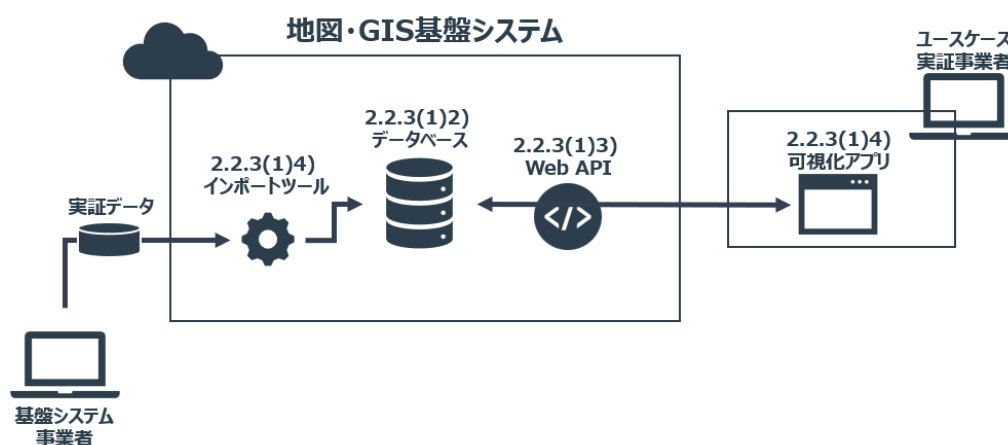


図 2.2-9 地図・GIS 基盤システムのシステム構成

② 地図・GIS 基盤システムの共通モジュール

地図・GIS 基盤システムでは、共通ライブラリ（詳細は「2.3 共通ライブラリの整備」で後述）と共通モジュールを組み合わせて地図・GIS 基盤システムの構成要素の開発ができるように仕様の具体化を行った。データベースへ接続、データベースへのデータの追加、更新、削除及び、データベースからのデータの出力といった機能をそれぞれ個別にモジュール化し、それぞれの個別モジュールを総称して共通モジュールと呼称した。地図・GIS 基盤システムの構成要素の Web API 及びインポートツールは、個別のモジュールを組み合わせて仕様を策定した。共通モジュールとそれを利用した地図・GIS 基盤システムの構成要素について、図 2.2-10 に示す。

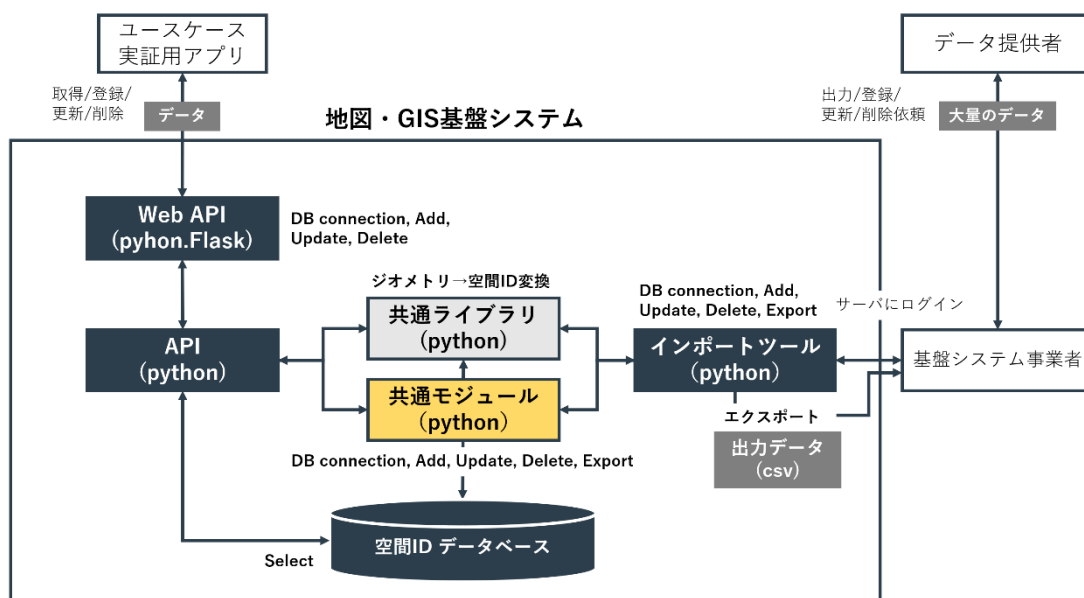


図 2.2-10 地図・GIS 基盤システムの共通モジュールを利用した構成要素

③ サーバ構成

地図・GIS 基盤システムは、空間 ID に紐づくデータを管理するデータベース用のサーバ（空間 ID DB 用サーバ）と可視化アプリをホストするサーバ（可視化アプリ用サーバ）の 2 台で構成されている。空間 ID DB 用サーバへの負担を軽減し空間 ID に紐づくデータを高速に配信できるよう役割に応じてサーバを分割した。各サーバの役割と諸元について、表 2.2-1 に示す。

表 2.2-1 サーバの役割と諸元

項目	空間 ID DB 用サーバ	可視化アプリ用サーバ
役割	空間 ID 基盤機能提供	可視化機能提供
OS	Windows Server 2019	Windows Server 2019
CPU	8 core	8 core
RAM	64 GB	64 GB
ストレージ (SSD)	1 TB	1 TB
Security	Cloud One	Cloud One
RDBMS	PostgreSQL	—
ArcGIS 1	Portal for ArcGIS	ArcGIS Server
ArcGIS 2	ArcGIS Pro	ArcGIS Data Store

④ ソフトウェア構成

地図・GIS 基盤システムの構成要素の開発に使用したソフトウェア等について、表 2.2-2 に示す。

表 2.2-2 地図・GIS 基盤システムのソフトウェア等の構成

地図・GIS 基盤システムの構成要素	ソフトウェア・ミドルウェア・ライブラリ ()内はバージョン
データベース	PostgreSQL(13.7)
Web API	Python(3.9.13)、Flask(2.1.3)、FastCGI、Internet Information System
インポートツール	Python(3.9.13)
可視化アプリ (ボクセル表示)	ArcGIS API for JavaScript
可視化アプリ (キャッシュデータ作成)	ArcGIS Enterprise、arcpy、Python(3.9.13)

2) データベース

空間 ID に紐付けたデータを管理するデータベースは、「2.2.2 基盤システムのアーキテクチャの仕様検討」で整理したテーブル構造を前提にリレーショナルデータベースで仕様を策定した。

① 仕様検討

テーブル構造の前提から、テーブルの基本構成としてリンクテーブル、データテーブル、統計テーブルの3つのテーブルで1つのデータセットを成し、1つのデータセット

に対して、1つのメタデータ情報をメタデータテーブルに持つ仕様を定めた。これらの基本構成について図 2.2-11 示す。

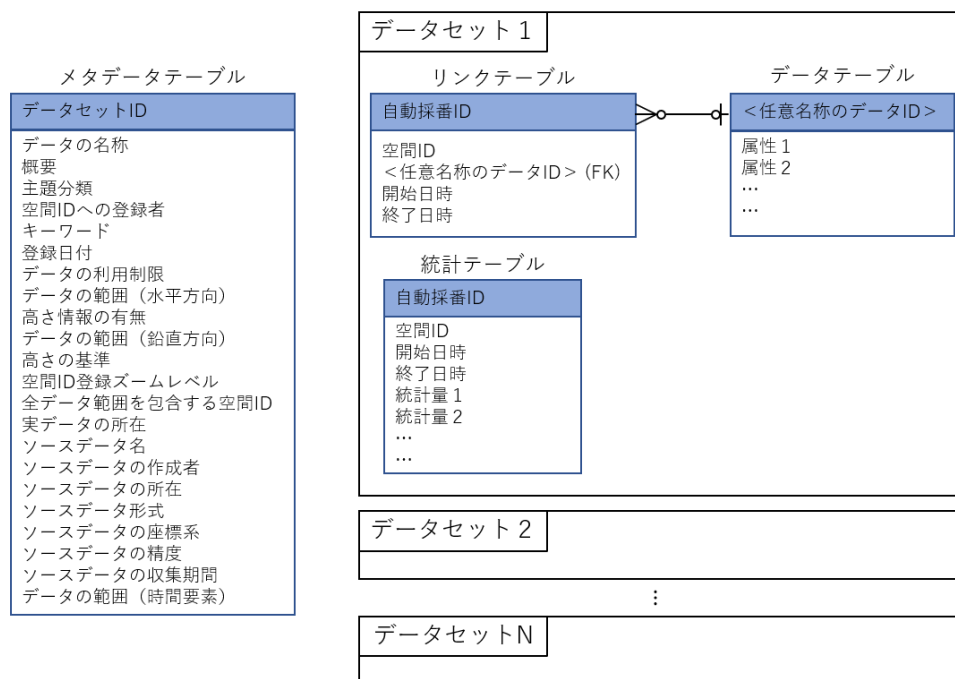


図 2.2-11 地図・GIS 基盤システムのテーブルの基本構成

② テーブル定義

メタデータテーブルは、DADC のウェブサイト⁴で2022年7月28日に公開された「第4回 3次元空間情報基盤アーキテクチャ検討会 会議資料⁴」の中の「資料3 事務局提出資料」の28ページ「2-7 (2)b 空間 ID に紐付けをしたデータセットのメタデータ項目」で示されるメタデータ項目を前提にテーブル定義をした。テーブル定義にメタデータの項目の対象となるデータセットを一意に特定するデータセット ID の項目を追加した。整理したメタデータテーブルの定義を表 2.2-3 に示す。

⁴ 「第4回 3次元空間情報基盤アーキテクチャ検討会 会議資料」

https://www.ipa.go.jp/dadc/architecture/pdf/pj_report_3dsatialinfo_doc-appendix_202207_1.pdf

表 2.2-3 地図・GIS 基盤システムのメタデータテーブル

カラム名	項目名	型	必須	主キー	備考
dataset_id	データセット ID	Varchar	○	○	・「d」と「4桁の番号」で構成された一意なデータセットの識別子 例: d0002
dataset_name	データの名称	Varchar	○		・データの名称 例: 下水道管路
abstract	概要	Varchar	○		・データの内容の概要説明
topic_category	主題分類	Varchar			・データを分類する主題
registrant	空間 ID への登録者	Varchar	○		・空間 ID へのデータの紐付けを行った事業者
keyword	キーワード	Varchar			・データの検索に使用するキーワード ・フォーマット: ["keyword1", "keyword2"]
registration_date	登録日付	Date	○		・空間 ID へのデータの紐付けを行った日付 (日本標準時)
use_limitation	データの利用制限	Varchar			・データ利用上の制限等 例: 非商用に限定
geographic_element	データの範囲 (水平方向)	Varchar	○		・最小・最大緯度、最小・最大経度 ・フォーマット: 最小緯度 (minx), 最小経度 (miny); 最大緯度 (maxx), 最大経度 (maxy) 例: 139.661636,35.641115;139.724121,35.692437
is_height_information	高さ情報の有無	Boolean	○		・データに高さが含まれているかの有無
vertical_element	データの範囲 (鉛直方向)	Varchar			・最低・最高標高値 (高さ情報の有無が "有" の場合) ・フォーマット: 最低標高値; 最大標高値 例: 0;271
vertical_datum	高さの基準	Varchar			・標高の基準面 (高さ情報の有無が "有" の場合) 例: 東京湾平均海面

2 アーキテクチャの仕様検討等に関する調査

コラム名	項目名	型	必須	主キー	備考
reference_zoom_level	空間 ID 登録ズームレベル	Varchar	○		<ul style="list-style-type: none"> データを空間 ID へ紐付けするときのズームレベル（整数値） ズームレベルが複数の場合はセミコロン区切りで連結 基盤システムのアプリケーション等から参照するときに、ズームレベルの指定がなかった場合は、先頭のズームレベルを使用 例: 25;23;24
highest_voxel_id	全データ範囲を包含する空間 ID	Varchar			・全データ範囲を包含する最上位レベルの空間 ID
location_of_actual_data	実データの所在	Varchar	○		・実データの所在（システム内、システム外）
data_name	ソースデータ名	Varchar			・ソースデータの名称（実データの所在が "システム外" の場合に必須）
data_creator	ソースデータの作成者	Varchar			・ソースデータを作成した機関（実データの所在が "システム外" の場合に必須）
data_url	ソースデータの所在	Varchar			・ソースデータが提供されている URL（実データの所在が "システム外" の場合に必須）
data_file_format	ソースデータ形式	Varchar			<ul style="list-style-type: none"> ソースデータのフォーマット 例: CityGML
geographic_coordinate_system	ソースデータの座標系	Varchar			・ソースデータの座標系
data_accuracy	ソースデータの精度	Varchar			・ソースデータの縮尺レベル、解像度
date_of_data_collection	ソースデータの収集期間	Varchar			・ソースデータが収集された期間（日本標準時）
temporal_extent	データの範囲（時間要素）	Varchar			<ul style="list-style-type: none"> データの対象時期・期間（日本標準時） 例: 2010/01/01~2024/03/31、2021 年度等

リンクテーブルは、空間 ID にデータテーブルのデータを紐付けする役割のテーブルとして設計した。

空間 ID に時間情報を紐付けする方法について、DADC のウェブサイト⁵で 2022 年 7 月 28 日に公開された「第 4 回 3 次元空間情報基盤アーキテクチャ検討会 会議資料⁵」の中の「資料 3 事務局提出資料」の中の 29 ページ「2-7(3) 時間情報の扱い方」を参考に、リンクテーブルに開始日時、終了日時（いずれも日本標準時）の項目を追加し、時間情報を空間 ID に紐付けて、空間 ID と時間情報を用いた管理や検索ができるような仕様を検討した。また、空間 ID と紐付け対象のデータの固有の ID（任意名称のデータ ID）の紐付けの「開始日時」、「終了日時」を管理しない場合を想定して、それぞれデフォルト値で「-infinity」、「infinity」で補完する仕様とした。

次に、同一のデータセットにおいて、空間 ID、任意名称のデータ ID、開始日時及び終了日時の組合せで同じ値のデータが重複しないように、リンクテーブルはこれらの 4 つの項目で一意になるよう制約を設けた。

最後に、リレーショナルデータベース上での管理を容易にするため、1 つの項目で一意にレコードを特定できるよう自動採番の ID の項目を主キー制約で設けた。リンクテーブルのテーブル定義を表 2.2-4 に示す。

表 2.2-4 地図・GIS 基盤システムのリンクテーブル

カラム名	項目名	型	必須	主キー	外部キー	ユニーク	備考
id	自動採番の ID	Bigserial	○	○			
voxel_id	空間 ID	Varchar	○			○	
(任意名称)	任意名称のデータ ID	Text か整数値	○		○		
start_datetime	開始日時	Timestamp	○				・日本標準時 ・省略した場合、「-infinity」値
end_datetime	終了日時	Timestamp	○				・日本標準時 ・省略した場合、「infinity」値

データテーブルは、任意名称のデータ ID を主キーとして持ち、データの属性、制約を自由に定義できるテーブルとして設計した。データテーブルのテーブル定義を表 2.2-5 に示す。

⁵ 「第 4 回 3 次元空間情報基盤アーキテクチャ検討会 会議資料」

https://www.ipa.go.jp/dadc/architecture/pdf/pj_report_3dsatialinfo_doc-appendix_202207_1.pdf

表 2.2-5 地図・GIS 基盤システムのデータテーブル

カラム名	項目名	型	必須	主 キー	外部 キー	ユニ ーク	備考
(任意名称)	任意名称のデータ ID	Text か 整数値	○	○			
(以下、ユースケース実証事業者の提供データにより定義)							
...					

統計テーブルは、ある開始日時、終了日時における空間 ID ごとにデータを集計・処理する役割を持つテーブルとして設計した。データの集計・処理を行う空間 ID に対して、「開始日時」、「終了日時」を管理しない場合は、それぞれデフォルト値で「-infinity」、「infinity」で補完する仕様とした。統計テーブルのテーブル定義を表 2.2-6 に示す。

表 2.2-6 地図・GIS 基盤システムの統計テーブル

カラム名	項目名	型	必須	主 キー	外部 キー	ユニ ーク	備考
id	自動採番の ID	Text か 整数値	○	○			
voxel_id	空間 ID	Varchar	○			○	
start_datetime	開始日時 (JST)	Timestamp	○				・日本標準時 ・省略した場合、 「-infinity」値
end_datetime	終了日時 (JST)	Timestamp	○				・日本標準時 ・省略した場合、 「infinity」値
(以下、ユースケース実証事業者の提供データにより定義)							
...					

3) Web API

Web API はデータベースに登録されたデータをユースケース実証アプリケーションへ配信する RESTful API として仕様を策定した。また、本業務におけるユースケース実証においては、認証機能として実装が容易な Basic 認証を採用した。以降では、Web API のメソッドの仕様検討や機能の概要について示す。

① 仕様検討

地図・GIS 基盤システムでは、様々なユースケースに対応するために汎用的な機能構成になるようにインタフェースの仕様の策定を行った。Web API の各メソッドの機能を表 2.2-7 に示す。

表 2.2-7 地図・GIS 基盤システムの API メソッド

メソッド名	概要
query	1つのデータセットのリンク、データ、統計テーブルからいずれかを指定し、入力したパラメータ条件に合致するデータを取得する。
adds	1つのデータセットのリンク、データ、統計テーブルからいずれかを指定し、指定したテーブルに応じた入力パラメータ条件でデータを登録する。
updates	1つのデータセットのリンク、データ、統計テーブルからいずれかを指定し、指定したテーブルに応じた入力パラメータ条件で特定するデータを更新する。更新したい項目と更新したい値も同様に入力パラメータで指定する。
deletes	1つのデータセットのリンク、データ、統計テーブルからいずれかを指定し、指定したテーブルに応じた入力パラメータ条件で特定するデータを削除する。
get_metadata	1つのデータセットのリンク、データ、統計テーブルのいずれか、もしくはすべてを指定し、メタデータ情報と指定したテーブルのカラムのデータ型を取得する。
list_metadata	特定の複数もしくはすべてのデータセットのリンク、データ、統計テーブルのいずれか、もしくはすべてを指定し、メタデータ情報と指定したテーブルのカラムのデータ型を取得する。

- 各メソッドの選定理由：
ユースケース実証事業者が容易に Web API を扱えるよう、データモデルに基づいてデータを配信できる Web API 仕様で検討を行った。具体的には、データベースを扱う上で一般的な機能である、作成 (Create)、読み出し (Read)、更新 (Update)、削除 (Delete) に倣い、Web API の取得 (query)、追加 (adds)、更新 (updates)、削除 (deletes) メソッドの仕様を検討した。また、1つのデータセットのメタデータ取得 (get_metadata)、特定の複数もしくはすべてのデータセットのメタデータ一覧取得 (list_metadata) メソッドも加え、合計6種類のメソッドの仕様の検討を行った。
- 各メソッドの仕様の具体化：
各メソッドの仕様を具体化する際に、ユースケース実証事業者へ実証内容の聞き取りを実施し、入出力インタフェースの仕様案を作成した。作成した入出力インタフェース仕様案のパラメータについて、ユースケース実証事業者に要望の聞き取りを行いパラメータの追加を行った。具体的には、データベースに格納されている時のデータ型がわかると、Web API で取得できるデータの取り扱いが容易になると要望を受け、データベースに格納時のデータ型を返す出力パラメータ (field_type) を get_metadata、list_metadata に追加した。また、1つのデータセットにおいて、複数の異なるズームレベルのデータを格納し Web API で取得できるよう要望を受け、query に対応する入力パラメータ (target_zoom_level) を追加した。
さらに、ユースケース実証事業者が空間 ID への変換の工数をかけずとも、座標値から空間 ID に紐付いた情報を取得できるよう query に座標値を受け付ける入力

パラメータ (`rectangular_range`、`input_geometry`) を追加した。

最終的に、各メソッドの入出力パラメータを整理し **Web API** のインタフェース仕様を策定した。**Web API** の各メソッドのインタフェース仕様について、表 2.2-8～表 2.2-19 に示す。

- ・ メソッドの段階的なリリース：
策定した **Web API** の仕様に基づき各メソッドごとに開発を実施した。`query` のように使用頻度が高い想定メソッドから開発し、開発完了したメソッドから順に合計3回のリリースを行った。各リリースにおいて、ユースケース実証事業者からのフィードバックを得て、ユースケース実証事業者の実証アプリケーション仕様の具体化・機能ごとの開発に活用した。

2 アーキテクチャの仕様検討等に関する調査

表 2.2-8 query の入力パラメータ

項目名	型	必須	説明	備考
data_type	文字	○	<ul style="list-style-type: none"> 検索する対象を指定する。 存在しない対象を指定した場合エラーとする。 検索条件を指定する。 	両データベースは"DATA"、統計テーブルは"STATS"、リンクテーブルは"LINK"のように指定する。
where_clause	文字		<ul style="list-style-type: none"> 検索条件をSQLのWhere句形式で指定する。 未指定の場合条件としない。 	
data_ids	文字		<ul style="list-style-type: none"> 検索対象のデータベースのキーカラムのIDを指定する。2件以上指定する場合はカンマ区切りで指定する。 1件以上指定されている場合条件とする。 指定したIDが含まれる場合ヒットとする。(SQLのIN句のイメージ) 	data_typeに"DATA"を指定した場合に条件として適用する。それ以外の種別では指定しても条件としては適用しない。
time_where_clause	文字		<ul style="list-style-type: none"> リンクテーブルの開始、終了日時を対象としてデータベースの検索を行う場合、条件を指定する。 検索条件をSQLのWhere句形式で指定する。 未指定の場合条件としない。 	data_typeに"DATA"を指定した場合に条件として適用する。それ以外の種別では指定しても条件としては適用しない。
voxel_ids	文字		<ul style="list-style-type: none"> 検索対象の空間IDを指定する。2件以上指定する場合はカンマ区切りで指定する。 1件以上指定されている場合条件とする。 指定したIDが含まれる場合ヒットとする。(SQLのIN句のイメージ) 	
target_zoom_level	文字		<ul style="list-style-type: none"> 検索対象のズームレベルを指定する。 省略した場合、メタデータで定義しているズームレベルの1件目を対象ズームレベルとする メタデータで定義しているズームレベル以外が指定された場合、指定エラーとする 	
rectangular_range	オブジェクト		<ul style="list-style-type: none"> 立方体での範囲選択をする場合の条件を指定する。 	rectangular_range、input_geometry両方を指定した場合、rectangular_rangeを検索条件とし、input_geometryの入力値は検索条件に含めない。
upper_left_x upper_left_y bottom_right_x bottom_right_y lower_limit_z upper_limit_z	数値 数値 数値 数値 数値 数値	△ △ △ △ △ △	<ul style="list-style-type: none"> 範囲左上の経度、またはx座標 範囲左上の緯度、またはy座標 範囲右下の経度、またはx座標 範囲右下の緯度、またはy座標 範囲下部の高さ、またはz座標 範囲上部の高さ、またはz座標 	検索条件としてrectangular_rangeを指定する場合、入力必須となる。
input_geometry			<ul style="list-style-type: none"> 検索対象のジオメトリを指定する。 点の集合 (points)、線(lines)、面 (polygon) の指定が可能とする。 2つ以上指定されている場合は以下の順でより上にあるもの一つを優先して条件とする points lines polygon 	rectangular_range、input_geometry両方を指定した場合、rectangular_rangeを検索条件とし、input_geometryの入力値は検索条件に含めない。
points geometry x y z	配列 オブジェクト 数値 数値 数値	△ △ △ △ △	<ul style="list-style-type: none"> 検索対象のジオメトリを指定する。 点の集合 (points)、線(lines)、面 (polygon) の指定が可能とする。 2つ以上指定されている場合は以下の順でより上にあるもの一つを優先して条件とする points lines polygon 	検索条件としてpointsを指定する場合、入力必須となる。
lines line circle_distance geometries geometry x y z	配列 オブジェクト 数値 配列 オブジェクト 数値 数値 数値	△ △ △ △ △ △ △ △	<ul style="list-style-type: none"> 検索対象の線の配列 配列が空 (サイズ0) の場合、条件としない。 指定した線種での線は保証しない 線要素をジオメトリとして指定する。 線と検索する場合は円の半径 (m) を指定する。0より大きい値を指定する。 線のジオメトリ配列、2件以上のジオメトリの指定が必要 配列が1件の場合は条件指定エラーとする 配列には、線としてのつながり順に接続する必要がある ジオメトリ情報を表すオブジェクト 経度、またはx座標 緯度、またはy座標 高さ、またはz座標 	検索条件としてlinesを指定する場合、入力必須となる。
polygon triangle geometry x y z	配列 配列 オブジェクト 数値 数値 数値	△ △ △ △ △ △	<ul style="list-style-type: none"> 検索対象の面を表す配列。1件以上のトライアングルの指定が必要。 配列が空 (サイズ0) の場合、条件としない。 指定したポリゴン種での線は保証しない 3件のジオメトリからなるオブジェクトの配列。 配列に線が指定される場合、3件以外の場合はエラーとする。 配列が空 (サイズ0) の場合、条件としない。 ジオメトリ情報を表すオブジェクト 経度、またはx座標 緯度、またはy座標 高さ、またはz座標 	検索条件としてpolygonを指定する場合、入力必須となる。
input_spatial_reference	文字列		<ul style="list-style-type: none"> 検索対象の座標参照系を指定する。 未指定の場合、デフォルト値 (WGS84) を使用 指定する座標参照系はトライアングルの定義に準拠する 指定したボックス座標を取得する座標系を指定する。 	共通ライブラリで定義されたSpatial Referenceの値を指定する
voxel_around	文字列		<ul style="list-style-type: none"> 検索結果として出力する項目名を指定する。2項目以上指定する場合はカンマ区切りで指定する。 アスタリスク(*)が指定された場合全項目を取得する。 未指定の場合、ID項目のみ取得する。 	
return_voxel_geometry	Boolean		<ul style="list-style-type: none"> 検索結果にボックス構成面のジオメトリを含めるか否かを指定する。 Trueの場合、検索結果ジオメトリにボックス構成面のジオメトリ配列を含め、Falseの場合含めない デフォルトはfalse distinct_valuesがTrueの場合、本項目の設定は無効(false)となる 	
return_centroid_geometry	Boolean		<ul style="list-style-type: none"> 検索結果にボックス中心点のジオメトリを含めるか否かを指定する。 Trueの場合、検索結果ジオメトリにボックス中心点のジオメトリを含め、Falseの場合含めない デフォルトはfalse distinct_valuesがTrueの場合、本項目の設定は無効(false)となる 	
output_spatial_reference	文字列		<ul style="list-style-type: none"> 検索結果の座標参照系を指定する。 未指定の場合、デフォルト値 (WGS84) を使用 	共通ライブラリで定義されたSpatial Referenceの値を指定する
distinct_values	Boolean		<ul style="list-style-type: none"> 検索結果として出力項目で一意となる値を返すか否か Trueの場合、out_fieldsで指定した項目でDistinctした結果を返す Trueの場合、return_voxel_geometry、return_centroid_geometryの指定は無効とする デフォルトはfalse 	
orderby_fields	文字列		<ul style="list-style-type: none"> 検索結果を並び替える項目を指定する 並び替えるフィールド名、並び替えルールを組み合わせてカンマ区切りで指定し、 指定した順に並び替えた結果を返す 未指定の場合並び替えをしない 	フィールド1、フィールド2という項目について指定する例(以下は通り) <ul style="list-style-type: none"> ■/ターン1 (フィールド名だけ指定: ルールを省略するとASCを補う) フィールド1 ■/ターン2 (フィールド名、ルール指定: ASC or DESCを指定可能) フィールド1 DESC ■/ターン3 (複数指定: カンマ区切りで複数の指定が可能) フィールド1 DESC, フィールド2 ASC
return_count_only	Boolean		<ul style="list-style-type: none"> 検索結果の数を返すか否かを指定する。 Trueの場合、出力結果で検索ヒット件数のみ返す。Falseの場合結果も返す Trueの場合、以下項目の指定は無効とする。 out_fields、return_voxel_geometry、return_centroid_geometry、output_spatial_reference、distinct_values、orderby_fields デフォルトはfalse 	
offset	数値		<ul style="list-style-type: none"> 検索結果の取得開始オフセットを指定する。 指定したオフセットが取得件数より大きい場合、取得結果は0件となる デフォルトは0 	指定するオフセットの値は0000よりとする。例: 1001件目から取得する場合、offsetの値は1000を指定
limit	数値		<ul style="list-style-type: none"> 検索結果の取得件数上限を指定する。 デフォルトは2000 	limitの桁数に上限は設けられないが、件数が大きくなるほど処理時間が長くなり必ずしも時間が長くなるため、指定の際は注意が必要。

表 2.2-9 query の出力パラメータ

項目名	型	必須	説明	備考			
results	配列	○	以下項目を1オブジェクトとした配列 検索ヒット件数が0件、または上限を超える場合は空の配列が返る				
attributes	オブジェクト	○	検索結果の属性情報を表すオブジェクト				
	項目名※1	※2	・データセット定義に存在する項目のうち、out_fieldsで指定された項目。 値は可変となる	※1 項目名はデータセット定義の値となる ※2 型は項目によって可変となる			
geometries	オブジェクト	○	検索結果のジオメトリ情報を表すオブジェクト				
	voxel_geometry	配列	・ボクセル構成点 (8点) のジオメトリ情報配列 ・return_voxel_geometryでTrueを指定した場合に設定される				
	geometry	オブジェクト	○	ジオメトリ情報を表すオブジェクト			
		x	数値	○	経度、またはx座標値		
		y	数値	○	緯度、またはy座標値		
	centroid_geometry	geometry	オブジェクト	○	ジオメトリ情報を表すオブジェクト		
			x	数値	○	経度、またはx座標値	
			y	数値	○	緯度、またはy座標値	
z	数値	○	高さ、またはz座標値				
count	数値	○	limit、offsetを加味しない検索結果件数	未指定での検索結果が1000件の場合、入力で指定したlimit、offsetと、出力のcount、next_offsetの値は以下のようになる。 ■ limit=100 offset=0の場合 count = 1000 next_offset=100 ■ limit=100 offset=100の場合 count = 1000 next_offset=200 ■ limit=100 offset=950の場合 count = 1000 next_offset (項目非表示)			
next_offset	数値	○	・limit、offsetを加味して取得した件数が上限を超える場合、次のデータのオフセット値 ・上限を超えない場合は項目非表示とする				
error	オブジェクト	○	エラー情報を表すオブジェクト				
	code	文字列	○	エラーコード。成功の場合は空文字			
	description	文字列	○	エラーメッセージ。成功の場合は空文字			

表 2.2-10 adds の入力パラメータ

項目名	型	必須	説明	備考
data_type	文字列	○	・追加する対象を指定する。 ・存在しない対象を指定した場合エラーとする。	例、データテーブルは"DATA"、統計テーブルは"STATS"、リンクテーブルは"LINK"のように指定する。
attributes	配列	○	・以下の項目をオブジェクトとした配列 ・1件以上の指定を必須とする	
voxel_id	文字列	△	空間ID値。data_typeの指定により指定条件が以下の通り変わる。 DATA: 不要 STATS: 必須 LINK: 必須	
data_id	文字列	△	データテーブルの主キー値。data_typeの指定により指定条件が以下の通り変わる。 DATA: 必須 STATS: 不要 LINK: 必須	
start_datetime	文字列	△	開始日時値。data_typeの指定により指定条件が以下の通り変わる。 DATA: 不要 STATS: 任意 LINK: 任意※	日時のフォーマットは以下とする yyyy-MM-dd hh:mm:ss ※ LINKテーブル、STATSテーブルの場合、指定を省略するとテーブル定義のデフォルト値を条件とする
end_datetime	文字列	△	終了日時値。data_typeの指定により指定条件が以下の通り変わる。 DATA: 不要 STATS: 任意 LINK: 任意※	日時のフォーマットは以下とする yyyy-MM-dd hh:mm:ss ※ LINKテーブル、STATSテーブルの場合、指定を省略するとテーブル定義のデフォルト値を条件とする
項目名※1	※2		・データセット定義に存在する上記主キー以外の項目のうち、明示的に登録する項目、値のみ設定する。 ・設定していない項目はDBのデフォルト値を登録する。 ・データセットごとに項目名、型、項目数は可変である。	※1 項目名はデータセット定義の値となる ※2 型は項目によって可変となる

表 2.2-11 adds の出力パラメータ

項目名	型	必須	説明	備考	
results	配列	○	以下項目を1オブジェクトとした配列		
table_name	文字列	○	登録したテーブル名。		
voxel_id	文字列	△	・空間ID ・データテーブルの場合は出力されない		
data_id	数値	△	・データテーブルのID。 ・統計テーブルの場合は出力されない		
start_datetime	文字列	△	・開始日時 ・データテーブルの場合は出力されない	日時のフォーマットは以下とする yyyy-MM-dd hh:mm:ss	
end_datetime	文字列	△	・終了日時 ・データテーブルの場合は出力されない	日時のフォーマットは以下とする yyyy-MM-dd hh:mm:ss	
success	Boolean	○	登録成否。Trueの場合成功、Falseの場合失敗		
error	オブジェクト	○	エラー情報を表すオブジェクト		
	code	文字列	○	エラーコード。成功の場合は空文字	
	description	文字列	○	エラーメッセージ。成功の場合は空文字	

表 2.2-12 updates の入力パラメータ

項目名	型	必須	説明	備考
data_type	文字列	○	・更新する対象を指定する。 ・存在しない対象を指定した場合エラーとする。	例、データテーブルは"DATA"、統計テーブルは"STATS"、リンクテーブルは"LINK"のように指定する。
attributes	配列	○	・以下の項目をオブジェクトとした配列 ・1件以上の指定を必須とする	
update_target	オブジェクト	○	更新対象の指定条件	
voxel_id	文字列	△	空間ID値。data_typeの指定により指定条件が以下の通り変わる。 DATA：不要 STATS：必須 LINK：必須	
data_id	数値	△	データテーブルの主キー値。data_typeの指定により指定条件が以下の通り変わる。 DATA：必須 STATS：不要 LINK：必須	
start_datetime	文字列	△	開始日時の値。data_typeの指定により指定条件が以下の通り変わる。 DATA：不要 STATS：任意 LINK：任意※	日時のフォーマットは以下とする yyyy-MM-dd hh:mm:ss ※ LINKテーブル、STATSテーブルの場合、指定を省略するとテーブル定義のデフォルト値を条件とする
end_datetime	文字列	△	終了日時の値。data_typeの指定により指定条件が以下の通り変わる。 DATA：不要 STATS：任意 LINK：任意※	日時のフォーマットは以下とする yyyy-MM-dd hh:mm:ss ※ LINKテーブル、STATSテーブルの場合、指定を省略するとテーブル定義のデフォルト値を条件とする
update_value	オブジェクト	○	更新対象の値	
項目名※1	※2		・データセット定義に存在する更新する項目、値のみ設定する。 ・設定していない項目は更新しない。 ・データセットごとに項目名、型、項目数は可変で、1件以上の指定が必須	※1 項目名はデータセット定義の値となる ※2 型は項目によって可変となる

表 2.2-13 updates の出力パラメータ

項目名	型	必須	説明	備考
results	配列	○	以下項目を1オブジェクトとした配列	
table_name	文字列	○	更新したテーブル名。	
voxel_id	文字列	△	・空間ID ・データテーブルの場合は出力されない	
data_id	文字列	△	・データテーブルのID。 ・統計テーブルの場合は出力されない	
start_datetime	文字列	△	・開始日時 ・データテーブルの場合は出力されない	日時のフォーマットは以下とする yyyy-MM-dd hh:mm:ss
end_datetime	文字列	△	・終了日時 ・データテーブルの場合は出力されない	日時のフォーマットは以下とする yyyy-MM-dd hh:mm:ss
success	Boolean	○	更新成否。Trueの場合成功、Falseの場合失敗	
error	オブジェクト	○	エラー情報を表すオブジェクト。	
code	文字列	○	エラーコード。成功の場合は空文字	
description	文字列	○	エラーメッセージ。成功の場合は空文字	

表 2.2-14 deletes の入力パラメータ

項目名	型	必須	説明	備考
data_type	文字列	○	・削除する対象を指定する。 ・存在しない対象を指定した場合エラーとする。 ・DATAテーブルデータを削除する場合、削除したキーの値を持つLINKテーブルのデータも同時に削除される。	例、データテーブルは"DATA"、統計テーブルは"STATS"、リンクテーブルは"LINK"のように指定する。
targets	配列	○	・以下の項目をオブジェクトとした配列 ・1件以上の指定が必須	
voxel_id	文字列	△	空間ID値。data_typeの指定により指定条件が以下の通り変わる。 DATA：不要 STATS：必須 LINK：必須	
data_id	文字列	△	データテーブルの主キー値。data_typeの指定により指定条件が以下の通り変わる。 DATA：必須 STATS：不要 LINK：必須	
start_datetime	文字列	△	開始日時の値。data_typeの指定により指定条件が以下の通り変わる。 DATA：不要 STATS：任意 LINK：任意※	日時のフォーマットは以下とする yyyy-MM-dd hh:mm:ss ※ LINKテーブル、STATSテーブルの場合、指定を省略するとテーブル定義のデフォルト値を条件とする
end_datetime	文字列	△	終了日時の値。data_typeの指定により指定条件が以下の通り変わる。 DATA：不要 STATS：任意 LINK：任意※	日時のフォーマットは以下とする yyyy-MM-dd hh:mm:ss ※ LINKテーブル、STATSテーブルの場合、指定を省略するとテーブル定義のデフォルト値を条件とする

表 2.2-15 deletes の出力パラメータ

項目名	型	必須	説明	備考
results		○	以下項目を1オブジェクトとした配列	
table_name	文字列	○	削除したテーブル名。	
voxel_id	文字列	△	・空欄ID ・データテーブルの場合は項目自体をなくす	
data_id	数値	△	・データテーブルのID。 ・統計テーブルの場合は項目自体をなくす	
start_datetime	文字列	△	・開始日時 ・データテーブルの場合は項目自体をなくす	日時のフォーマットは以下とする yyyy-MM-dd hh:mm:ss
end_datetime	文字列	△	・終了日時 ・データテーブルの場合は項目自体をなくす	日時のフォーマットは以下とする yyyy-MM-dd hh:mm:ss
success	Boolean	○	削除成否。Trueの場合成功、Falseの場合失敗	
error	オブジェクト	○	エラー情報を表すオブジェクト。	
code	文字列	○	エラーコード。成功の場合は空文字	
description	文字列	○	エラーメッセージ。成功の場合は空文字	

表 2.2-16 get_metadata の入力パラメータ

項目名	型	必須	説明	備考
get_link_fields	Boolean		・該当データセットのリンクテーブルの項目名を取得するか否か。 Trueの場合取得する。Falseの場合取得しない ・未指定の場合はFalse	
get_data_fields	Boolean		・該当データセットのデータテーブルの項目名を取得するか否か。 Trueの場合取得する。Falseの場合取得しない ・未指定の場合はFalse	
get_stats_fields	Boolean		・該当データセットの統計テーブルの項目名を取得するか否か。 Trueの場合取得する。Falseの場合取得しない ・未指定の場合はFalse	

表 2.2-17 get_metadata の出力パラメータ

項目名	型	必須	説明	備考
results	オブジェクト	○	以下項目を1オブジェクトとした配列	
metadata_info	オブジェクト	○	メタデータテーブル情報	
link_info_list	※ 配列	○	メタデータテーブルに定義されている全ての列を取得 ・リンクテーブルのフィールド情報。 ・get_link_fieldsでFalseが指定される場合空の配列を返す	
data_type	文字列		テーブル名	
field_info_list	配列		テーブル列情報の配列	
field_name	文字列		フィールド名	
field_type	文字列		フィールド型	返される値は以下のいずれかとなる text : 文字列 integer : 整数 decimal : 小数 datetime : 日時
remarks	文字列		備考	
data_info_list	配列		・データテーブルのフィールド情報。 ・get_data_fieldsでFalseが指定される場合空の配列を返す	
data_type	文字列		テーブル名	
field_info_list	配列		テーブル列情報の配列	
field_name	文字列		フィールド名	
field_type	文字列		フィールド型	返される値は以下のいずれかとなる text : 文字列 integer : 整数 decimal : 小数 datetime : 日時
remarks	文字列		備考	
stats_info_list	配列		・統計テーブルのフィールド情報。 ・get_stats_fieldsでFalseが指定される場合空の配列を返す	
data_type	文字列		テーブル名	
field_info_list	配列		テーブル列情報の配列	
field_name	文字列		フィールド名	
field_type	文字列		フィールド型	返される値は以下のいずれかとなる text : 文字列 integer : 整数 decimal : 小数 datetime : 日時
remarks	文字列		備考	
error	オブジェクト	○	エラー情報を表すオブジェクト。	
code	文字列	○	エラーコード。成功の場合は空文字	
description	文字列	○	エラーメッセージ。成功の場合は空文字	

表 2.2-18 list_metadata の入力パラメータ

項目名	型	必須	説明	備考
dataset_names	文字列		・取得するデータセットを指定する ・複数取得する場合、カンマ区切りで指定する。指定しない場合全件取得する	
get_link_fields	Boolean		・該当データセットのリンクテーブルの項目名を取得するか否か。 Trueの場合取得する。Falseの場合取得しない ・未指定の場合はFalse	
get_data_fields	Boolean		・該当データセットのデータテーブルの項目名を取得するか否か。 Trueの場合取得する。Falseの場合取得しない ・未指定の場合はFalse	
get_stats_fields	Boolean		・該当データセットの統計テーブルの項目名を取得するか否か。 Trueの場合取得する。Falseの場合取得しない ・未指定の場合はFalse	

表 2.2-19 list_metadata の出力パラメータ

項目名	型	必須	説明	備考
results	オブジェクト	○	以下項目を1オブジェクトとした配列	
metadata_info	オブジェクト	○	メタデータテーブル情報	
	項目名	※	メタデータテーブルに定義されている全ての列を取得	
link_infos	配列	○	・リンクテーブルのフィールド情報。 ・get_link_fieldsでFalseが指定される場合空の配列を返す	
	data_type		テーブル名	
	field_infos	配列	テーブル列情報の配列	
	field_name	文字列	フィールド名	
	field_type	文字列	フィールド型	返される値は以下のいずれかとなる text : 文字列 integer : 整数 decimal : 小数 datetime : 日時
	remarks	文字列	備考	
data_info_list	配列	○	・データテーブルのフィールド情報。 ・get_data_fieldsでFalseが指定される場合空の配列を返す	
	data_type	文字列	テーブル名	
	field_info_list	配列	テーブル列情報の配列	
	field_name	文字列	フィールド名	
	field_type	文字列	フィールド型	返される値は以下のいずれかとなる text : 文字列 integer : 整数 decimal : 小数 datetime : 日時
	remarks	文字列	備考	
stats_info_list	配列	○	・統計テーブルのフィールド情報。 ・get_stats_fieldsでFalseが指定される場合空の配列を返す	
	data_type	文字列	テーブル名	
	field_info_list	配列	テーブル列情報の配列	
	field_name	文字列	フィールド名	
	field_type	文字列	フィールド型	返される値は以下のいずれかとなる text : 文字列 integer : 整数 decimal : 小数 datetime : 日時
	remarks	文字列	備考	
error	オブジェクト	○	エラー情報を表すオブジェクト。	
	code	文字列	○ エラーコード。成功の場合は空文字	
	description	文字列	○ エラーメッセージ。成功の場合は空文字	

4) インポートツール

インポートツールは、ユースケース実証で使用するデータを空間 ID に紐付けし、データベースへ格納するアプリケーションである。本実証では使用者が限定的であったため、実装が容易なコマンドラインインタフェースのアプリケーションとして実装を行った。仕様検討の整理と機能の概要について以下に示す。

① 仕様検討

データの提供者が工数をかけずともデータを空間 ID に紐付けてデータベースへ投入できるように、共通ライブラリの座標値から空間 ID へ変換する機能を利用する前提で仕様を検討した。そのため、インポートツールが対応する入力形式は、共通ライブラリの対応する入力形式に準拠し、**CSV** と **3D** シェープファイルの座標情報に対応した。

また、データベースに格納した空間 ID に紐付いたデータを外部システム・外部事業者へ容易に共有できるよう、指定したデータセットのテーブルもしくはデータセット単位で **CSV** にエクスポートする機能を加えた。エクスポートした **CSV** を利用して、データベースの空間 ID に紐付くデータの登録・更新・削除を容易にできるよう、空間 ID に紐付いたデータの入力形式も対応する仕様で整理を行った。

② 機能

インポートツールの機能を表 2.2-20 に示す。

表 2.2-20 インポートツールの機能一覧

機能	概要
3D シェープファイルでリンクテーブルヘデータを登録	・3D シェープファイルを読み込み、3D シェープファイルに含まれる位置情報から空間 ID を計算しリンクテーブルにデータを登録する。
3D シェープファイルでリンクテーブルとデータテーブルヘデータを登録	・3D シェープファイルを読み込み、3D シェープファイルに含まれる位置情報から空間 ID を計算しリンクテーブルに登録し、データテーブルに 3D シェープファイルに含まれる属性情報を登録する。
CSV ファイルでリンクテーブルヘデータを登録	・CSV ファイルを読み込み、CSV ファイルに含まれる位置情報から空間 ID を計算しリンクテーブルにデータを登録する。
CSV ファイルでデータテーブルヘデータを登録	・CSV ファイルを読み込み、CSV ファイルに含まれる属性情報をデータテーブルに登録する。
CSV ファイルで統計テーブルヘデータを登録	・CSV ファイルを読み込み、CSV ファイルに含まれる位置情報から空間 ID を計算し、空間 ID と属性情報を統計テーブルに登録する。
CSV ファイルでリンクテーブルのデータを更新	・CSV ファイルを読み込み、リンクテーブルの主キーの ID をキーにしてリンクテーブルの該当するデータを更新する。 ・主キーの ID カラムの値を得るために一度リンクテーブルをエクスポートした CSV ファイルを編集して利用する。
CSV ファイルでデータテーブルのデータを更新	・CSV ファイルを読み込み、データテーブルの主キーの ID をキーにしてデータテーブルの該当するデータを更新する。
CSV ファイルで統計テーブルのデータを更新	・CSV ファイルを読み込み、統計テーブルの主キーの ID をキーにしてリンクテーブルの該当するデータを更新する。 ・主キーの ID カラムの値を得るために一度統計テーブルをエクスポートした CSV ファイルを編集して利用する。
CSV ファイルでメタデータテーブルのデータを更新	・データセット ID キーにして、メタデータテーブルの該当するデータを更新する。
CSV ファイルでリンクテーブルのデータを削除	・リンクテーブルの主キーの ID を指定してリンクテーブルの該当するデータを削除する。 ・主キーの ID カラムの値を得るために一度リンクテーブルをエクスポートした CSV ファイルを編集して利用する。
CSV ファイルでデータテーブルのデータを削除	・データテーブルの主キーの ID の値を指定してデータテーブルの該当するデータを削除する。
CSV ファイルで統計テーブルのデータを削除	・統計テーブルの主キーの ID を指定して、統計テーブルの該当するデータを削除する。 ・主キーの ID カラムの値を得るために一度統計テーブルをエクスポートした CSV ファイルを編集して利用する。
リンクテーブルのデータを CSV ファイルに出力	・指定されたデータセット ID のリンクテーブルのデータを CSV ファイルに出力する。
データテーブルのデータを CSV ファイルに出力	・指定されたデータセット ID のデータテーブルのデータを CSV ファイルに出力する。
統計テーブルのデータを CSV ファイルに出力	・指定されたデータセット ID の統計テーブルのデータを CSV ファイルに出力する。
データセットのデータを CSV ファイルに出力	・指定されたデータセット ID のリンクテーブル、データテーブル、統計テーブルのデータを CSV ファイルに出力する。
メタデータテーブルのデータを CSV ファイルに出力	・メタデータテーブルのデータを CSV ファイルに出力する。

インポートツールのインポート、エクスポート機能の概要を図 2.2-12 に示す。

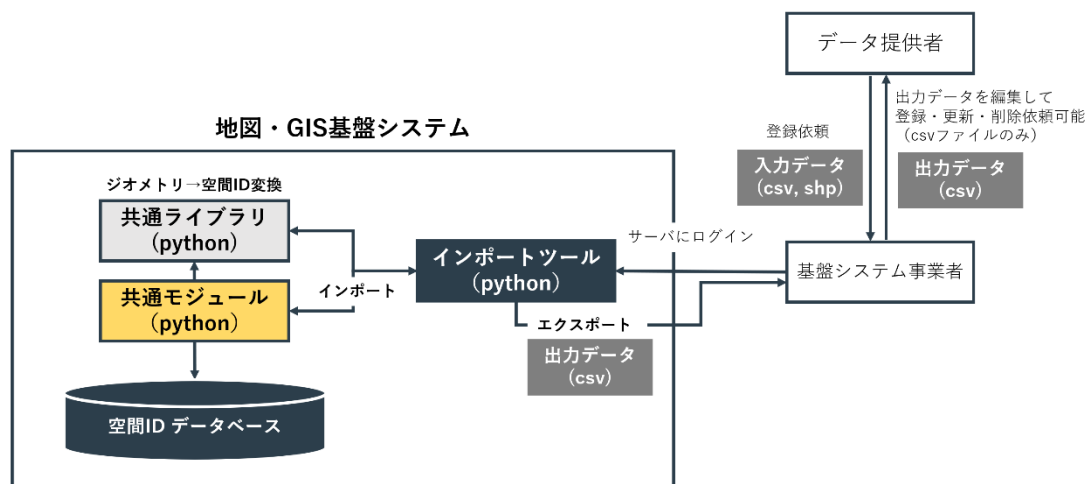


図 2.2-12 インポートツールのインポート、エクスポート機能の概要

5) 可視化アプリ

可視化アプリは、データベースに格納している空間 ID に紐付いたデータをボクセルとして表示する Web ブラウザアプリケーションである。仕様検討の整理と機能の概要について、以下に示す。

① 仕様検討

地図・GIS 基盤システムのデータベースに格納した空間 ID に紐付いたデータをボクセルとして可視化し、選択したボクセルの属性表示機能を有する仕様を検討した。利用者が空間 ID に紐付いたデータの 3 次元空間上での位置を確認し、ユースケース実証アプリケーションの仕様の具体化の参考にする用途を想定した。利用者から、表層のボクセルで隠れて確認できない内側のボクセルがあるとフィードバックを受け、ボクセルの透過表示機能を追加した。また、利用者が快適に可視化したボクセルを確認できるようにするため、地図・GIS 基盤システムのデータベースに登録済のデータをキャッシュ化しボクセル表示を高速化する仕様を検討した。可視化アプリは、Web API 同様に、実装が容易な Basic 認証を設けて、利用者ごとに表示可能なデータを制御する仕様とした。

② 機能

可視化アプリのボクセル表示画面上で、空間 ID に紐付いたデータを青色の 3 次元ボクセルで表示する。表示したボクセルを選択すると、Web API で選択したボクセルの属性

情報を地図・GIS 基盤システムのデータベースから取得し、属性表示ウィンドウに属性情報を表示する。また、同画面上のレイヤーリストにて、可視化するボクセルの表示・非表示の切り替えが可能である。これらの機能が明示された可視化アプリのボクセル表示画面を図 2.2-13 に示す。

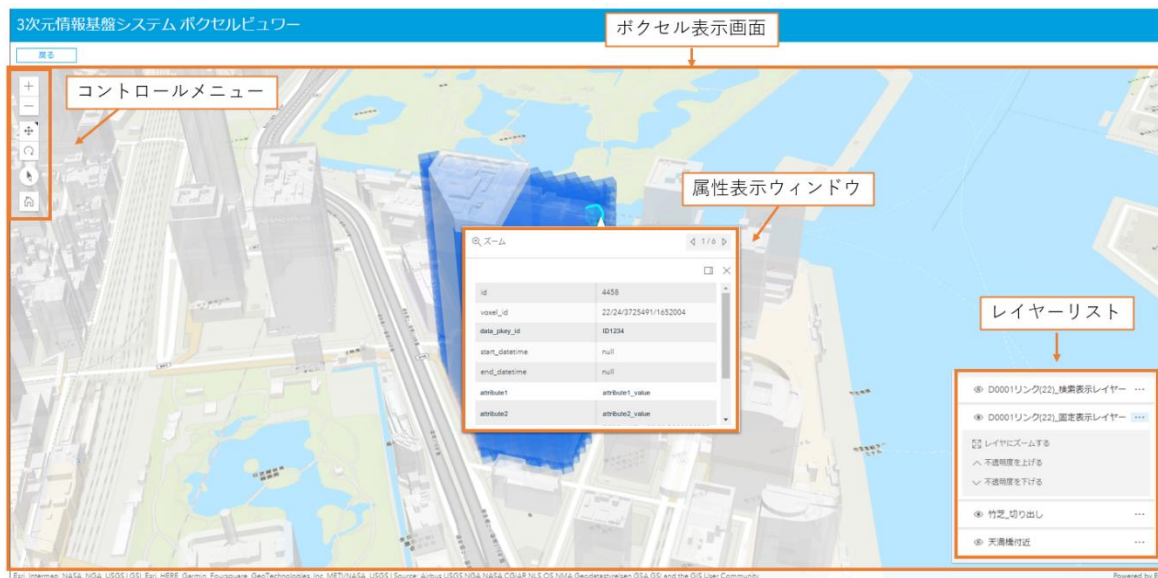


図 2.2-13 可視化アプリのボクセル表示画面

(2) 地下埋設基盤システム仕様

地下埋設基盤システムの仕様を以下に示す。

1) 地下埋設基盤システムの構成

地下埋設基盤システムの仕様策定に際し、システムを構成する要素を挙げ、各要素で共通となる機能を個別にモジュール（共通モジュール）化し仕様の整理を行った。

① 地下埋設基盤システムの構成要素

地下埋設基盤システムの構成を図 2.2-14 に示す。地下埋設基盤システムを構成する要素として、地下埋設基盤 API、インポートツール、データベースについて仕様の具体化及び開発手法について整理を行った。

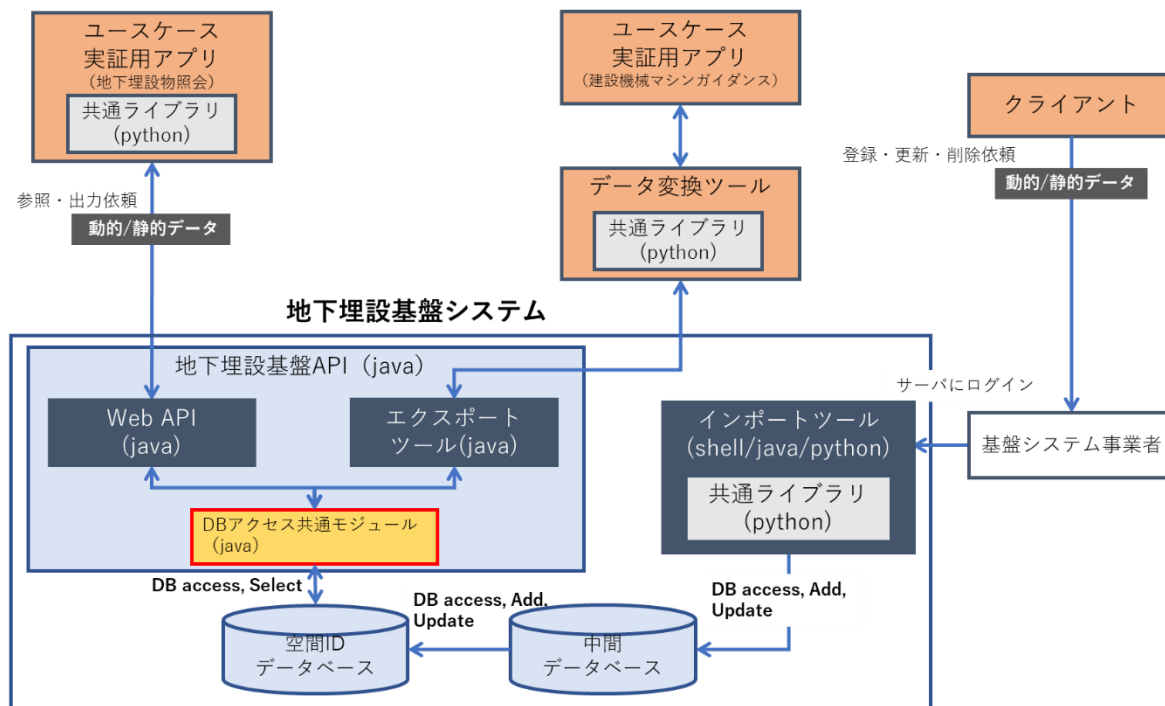


図 2.2-14 地下埋設基盤システムのシステム構成図

② 地下埋設基盤システムの共通モジュール

地下埋設基盤システムでは、個別の機能ごとにモジュール化することで、自由に機能を組み合わせて利用できるように検討を行い、地下埋設基盤 API 内の Web API 及びエクスポートツールから空間 ID データベースへ空間 ID 情報の取得を行う処理 (DB アクセス共通モジュール) を共通化し、地下埋設基盤システムの機能開発が行えるように仕様の具体化を行った。具体的には、Web API 及びエクスポートツールと DB アクセス共通モジュールのインタフェース仕様を以下のように策定した。

DB アクセス共通モジュールが空間 ID データベースより空間 ID データを取得するために必要な発行する SQL の ID、発行する SQL に必要なテーブル名、条件について、Web API 及びエクスポートツールより情報連携を行う仕様とした。

また、DB アクセス共通モジュールが発行した SQL の取得結果 (空間 ID 情報) は、DB アクセス共通モジュールから Web API 及びエクスポートツールへ返却する仕様とした。

共通モジュールを利用した機能について、図 2.2-15 に示す。

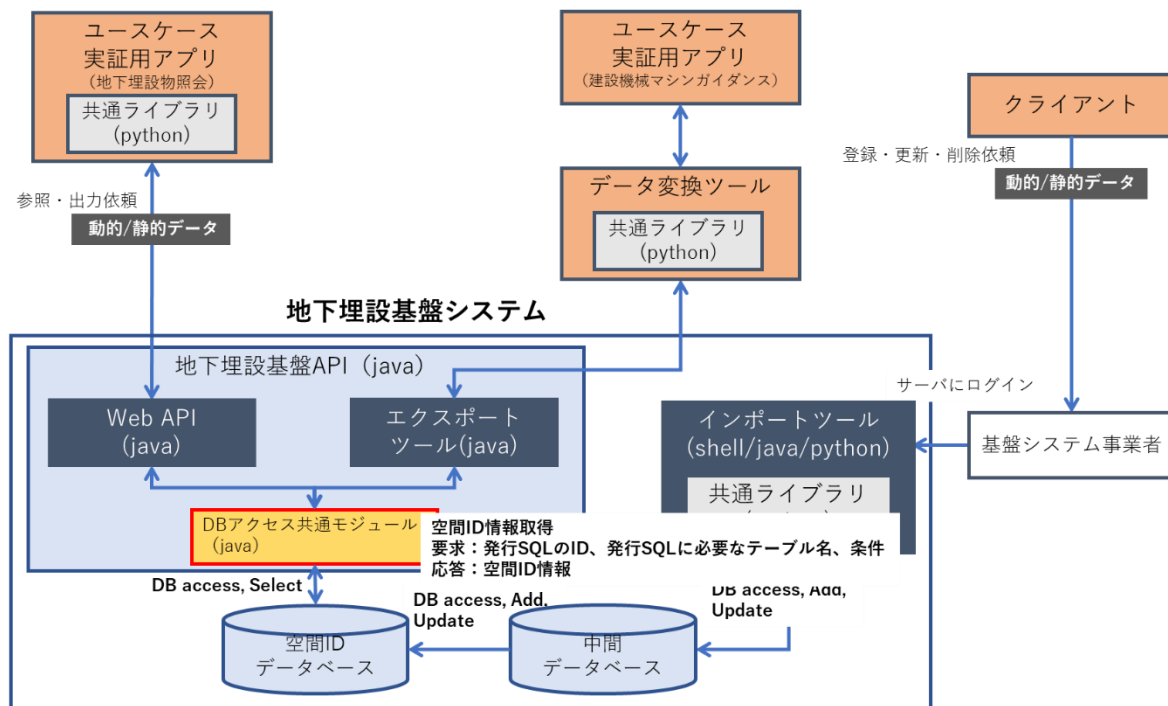


図 2.2-15 地下埋設基盤システムの共通モジュールを利用した機能

③ サーバ構成

地下埋設基盤システムは、空間 ID と紐づく地下埋設物データを管理する空間 ID データベース用の地下埋設基盤 DB サーバと地下埋設基盤 API をホストする地下埋設基盤 AP サーバの 2 台で構成されている。各サーバの役割と緒元について、表 2.2-21 に示す。

表 2.2-21 サーバの役割と緒元

項目	地下埋設基盤 DB サーバ	地下埋設基盤 AP サーバ
Role	空間 ID データベースデータ提供	地下埋設基盤 API 機能提供
OS	Amazon Linux 2	Amazon Linux 2
CPU	2 core	2 core
MEM	8 GB	8 GB
SSD	200 GB	50 GB
RDBMS	PostgreSQL	—

④ ソフトウェア構成

地下埋設基盤システムの構成要素の開発に使用したソフトウェア等について、表 2.2-22 に示す。

表 2.2-22 地下埋設基盤システムにおけるソフトウェア・ミドルウェア・ライブラリ構成

アプリケーション名	必要なソフトウェア・ミドルウェア・ライブラリ
データベース	PostgreSQL
地下埋設基盤 API	Java、Python、Apache、Tomcat
インポートツール	Java、Python

2) データベース

空間 ID とデータの紐付けを管理するデータベースは、「2.2.2 基盤システムのアーキテクチャの仕様検討」で整理したテーブル構造を前提にリレーショナルデータベースで仕様を策定した。データベースの仕様を以下に示す。

① 仕様検討

DADC が発行したテーブル構造、メタデータ項目案、及び時間情報の扱い方を参考にテーブル構成の仕様を検討し、基本構成としてリンクテーブル、データテーブル、統計テーブルの 3 つのテーブルで 1 つのデータセットを成し、1 つのデータセットに対して、1 つのメタデータ情報をメタデータテーブルに持つ構成とした。

また、地下埋設物管理事業者の地下埋設物データには、地下埋設物管理事業者外へ公開可能な情報と非公開な情報が含まれており、機密性が高い。そのため、地下埋設物データを空間 ID データベースに直接反映する形は取らず、中間データベースを準備し、地下埋設物データを中間データベースへ一時的に保持する構成とした。中間データベースに保持した情報より、地下埋設物管理事業者外へ公開可能な情報（公開情報）と地下埋設物管理事業者の自組織のみ公開可能な情報（条件付き公開情報）に切り分け、空間 ID データベースへ反映する方式とした。

中間データベース、空間 ID データベースの基本構成をそれぞれ図 2.2-16、図 2.2-17 に示す。

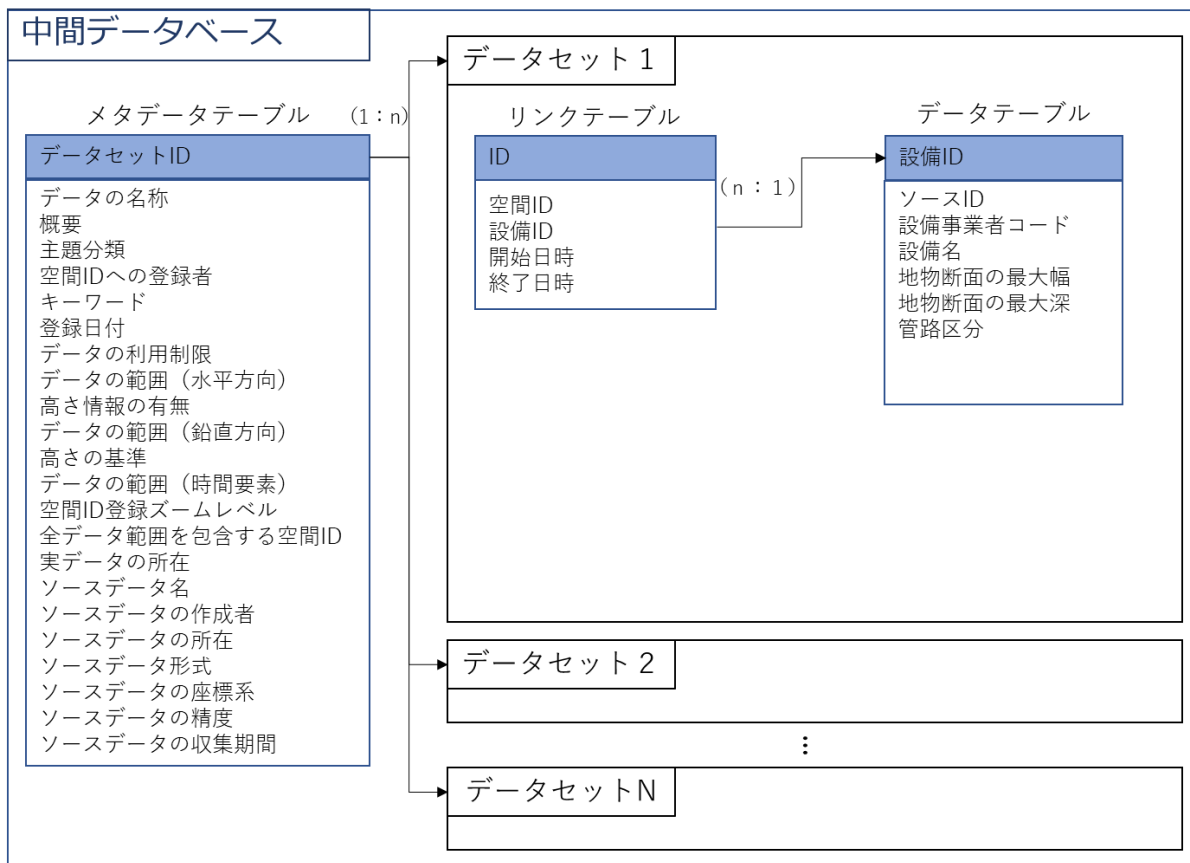


図 2.2-16 地下埋設基盤システムの間接データベースの基本構成

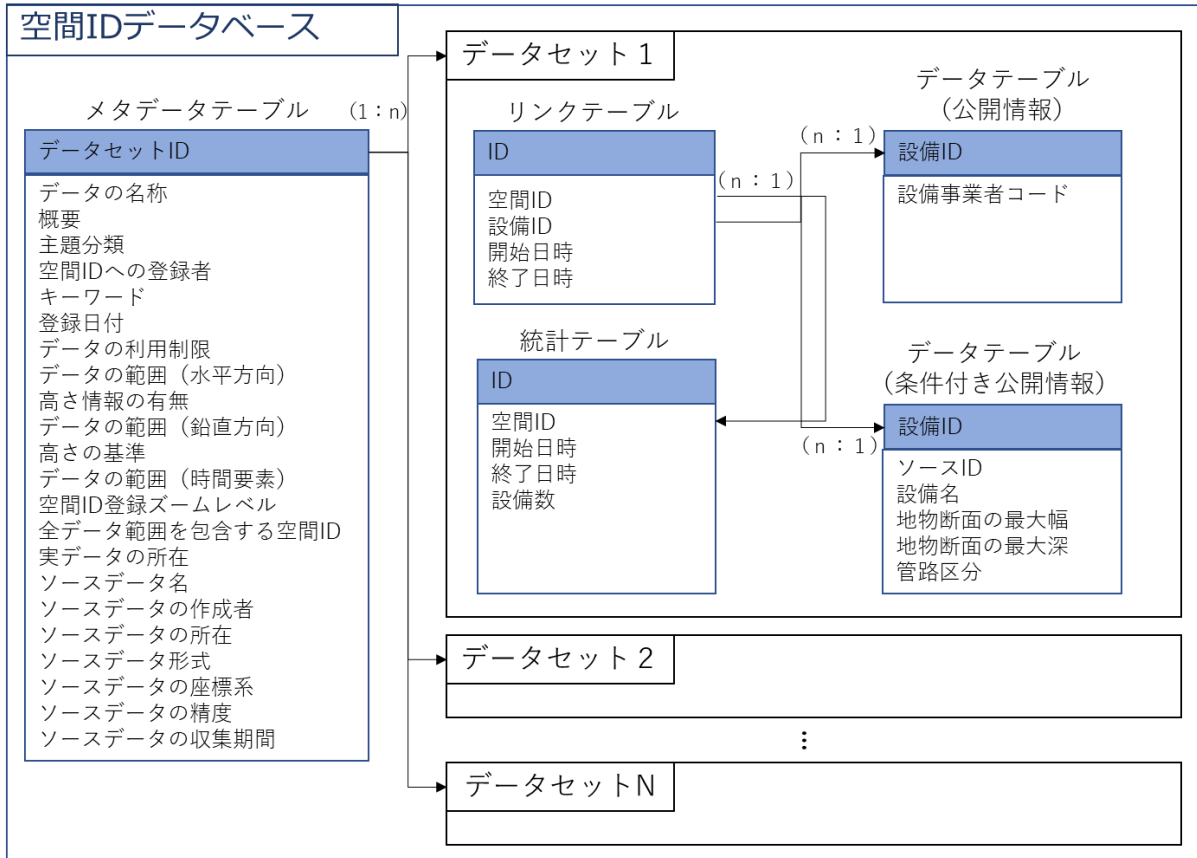


図 2.2-17 地下埋設基盤システムの空間 ID データベースの基本構成

② テーブル定義

メタデータテーブルの定義を表 2.2-23 に示す。メタデータテーブルは整備ズームレベルを記載しなければならないが、複数ズームレベルを記載可能とし、1つのデータセットにおいて異なるズームレベルの混在が可能な定義とした。これは、複数のズームレベルでデータを管理するデータセットに対応するためである。

表 2.2-23 地下埋設基盤システムのメタデータテーブル

カラム名	項目名	型	必須	主キー	外部キー	備考
dataset_id	データセット ID	Varchar	○	○		・ 「d」と「4桁の番号」で構成された一意なデータセットを識別する ID 例：d0002
dataset_name	データの名称	Varchar	○			・ 例：下水道管路
Abstract	概要	Varchar	○			・ データの内容の概要説明
topic_category	主題分類	Varchar				・ データを分類する主題
Registrant	空間 ID への登録者	Varchar	○			・ 空間 ID へのデータの紐付けを行った事業者
Keyword	キーワード	Varchar				・ データの検索に使用するキーワード ・ フォーマット：["keyword1", "keyword2"]
registration_date	登録日付	Date	○			・ 空間 ID へのデータの紐付けを行った日付
use_limitation	データの利用制限	Varchar				・ データ利用上の制約条件 ・ 例：非商用に限定
geographic_element	データの範囲（水平方向）	Varchar	○			・ 最小・最大緯度、最小・最大経度 ・ フォーマット：最小緯度 (minx), 最小経度 (miny); 最大緯度 (maxx), 最大経度 (maxy) ・ 例：139.661636,35.641115;139.724121,35.692437
is_height_information	高さの情報の有無	Boolean	○			・ データに高さが含まれているかの有無
vertical_element	データの範囲（鉛直方向）	Varchar				・ 最低・最高標高値（高さ情報の有無が“有”の場合） ・ フォーマット：最低標高値;最大標高値（例：0;271）
vertical_datum	高さの基準	Varchar				・ 標高の基準面（高さ情報の有無が“有”の場合） ・ 例；東京湾平均海面

2 アーキテクチャの仕様検討等に関する調査

カラム名	項目名	型	必須	主キー	外部キー	備考
reference_zoom_level	空間 ID 登録ズームレベル	Varchar	○			<ul style="list-style-type: none"> 空間 ID のデータの紐付けを行ったズームレベルを整数値で指定 ズームレベルが複数の場合はセミコロン区切りで連結 ズームレベルの指定がなかった場合は、先頭のズームレベルを使用 例：25;23;24
highest_voxel_id	全データ範囲を包含する空間 ID	Varchar				<ul style="list-style-type: none"> 全データ範囲を包含する最上位レベルの空間 ID
location_of_actual_data	実データの所在	Varchar	○			<ul style="list-style-type: none"> 実データの所在（システム内、システム外）
data_name	ソースデータ名	Varchar				<ul style="list-style-type: none"> ソースデータの名称（実データの所在が "システム外" の場合に必須）
data_creator	ソースデータの作成者	Varchar				<ul style="list-style-type: none"> ソースデータを作成した期間（実データの所在が "システム外" の場合に必須）
data_url	ソースデータの所在	Varchar				<ul style="list-style-type: none"> ソースデータが提供されている URL（実データの所在が "システム外" の場合に必須）
data_file_format	ソースデータ形式	Varchar				<ul style="list-style-type: none"> ソースデータのフォーマット 例：CityGML
geographic_coordinate_system	ソースデータの座標系	Varchar				<ul style="list-style-type: none"> ソースデータの座標系
data_accuracy	ソースデータの精度	Varchar				<ul style="list-style-type: none"> ソースデータの縮尺レベル、解像度
date_of_data_collection	ソースデータの収集期間	Varchar				<ul style="list-style-type: none"> ソースデータが収集された期間
temporal_extent	データの範囲（時間要素）	Varchar				<ul style="list-style-type: none"> データの対象時期・期間 例：「2010/01/01~2024/03/31」、「2021 年度」等

2 アーキテクチャの仕様検討等に関する調査

リンクテーブルは、空間 ID とデータテーブルの主キーである設備 ID と紐付けを行う役割をもつテーブルとして設計した。リンクテーブルのレイアウトは、リンクテーブルは空間 ID、設備 ID、開始日時、終了日時の4つの項目で一意になるよう制約を設けた。また、地下埋設ユースケースでは空間 ID と設備 ID データを時間単位で管理を行う要件はなかったため、「開始日時」、「終了日時」は、それぞれデフォルト値で「-infinity」、「infinity」で補完する仕様とした。リンクテーブルのテーブル定義を表 2.2-24 に示す。

表 2.2-24 地下埋設基盤システムのリンクテーブル

カラム名	項目名	型	必須	主キー	外部キー	備考
id	ID	Bigserial	○	○		自動採番
voxel_id	空間 ID	Varchar	○			
facility_id	設備 ID	Varchar	○		○	
start_datetime	開始日時	Timestamp	○			省略した場合、「-infinity」値 (※) ※-infinity 値とは空間 ID データベースが扱える最小日時
end_datetime	終了日時	Timestamp	○			省略した場合、「infinity」値 (※) infinity 値：空間 ID データベースが扱える最大日時

データテーブルは、設備 ID を主キーとして持ち、データの属性、制約を自由に定義できるテーブルとして設計した。データテーブルのテーブル定義を表 2.2-25 に示す。

表 2.2-25 地下埋設基盤システムのデータテーブル

カラム名	項目名	型	必須	主キー	外部キー	備考
facility_id	設備 ID	Varchar	○	○		
company_code	設置事業者コード	Varchar	○			

統計テーブルは空間 ID 単位にデータを集計したデータを定義できるテーブルとして設計した。統計テーブルはリンクテーブルと同様に、複数のズームレベルの混在が可能である。また、地下埋設ユースケースでは空間 ID データを時間単位で管理を行う要件はな

かったため、「開始日時」、「終了日時」は、それぞれデフォルト値で「-infinity」、「infinity」で補完する仕様とした。統計テーブルのテーブル定義を表 2.2-26 に示す。

表 2.2-26 地下埋設基盤システムの統計テーブル

カラム名	項目名	型	必須	主キー	外部キー	備考
id	ID	Bigserial	○	○		
voxel_id	空間 ID	Varchar	○			
start_datetime	開始日時	Timestamp	○			省略した場合、「-infinity」値 (※) ※-infinity 値とは空間 ID データベースが扱える最小日時
end_datetime	終了日時	Timestamp	○			省略した場合、「infinity」値 (※) infinity 値:空間 ID データベースが扱える最大日時
facility_count	設備数	Integer	○			

3) 地下埋設基盤 API

地下埋設基盤 API はデータベースに登録されたデータをユースケース実証アプリケーションへ配信する RESTful API である。地下埋設基盤 API の仕様を以下に示す。

① 仕様検討

地下埋設基盤システムは、ユースケースに対応するために汎用的な機能構成とインタフェースの仕様の策定を行った。ユースケース実証アプリケーション開発者が容易に地下埋設基盤 API を扱うことができ、地下埋設基盤 API の組合せで機能が実現できるメソッドの仕様を検討した。

各メソッドの仕様を具体化する際に、ユースケース実証事業者へ実証内容の聞き取りを実施し、入出力インタフェース仕様案を作成した。その後、実証内容の追加や変更に伴い、入出力インタフェース仕様案のパラメータ修正を随時行い、開発を行った。

また、空間 ID データベースに登録されている空間 ID をもとに、3D シェープファイル (マルチパッチ形式) を出力する機能 (エクスポートツール) を作成し、各ユースケースへのデータ提供、及びデータ確認で活用できるように検討を行った。

上記仕様を具体化し、各メソッドの入出力パラメータを整理し地下埋設基盤 API のインタフェース仕様を策定した。

2 アーキテクチャの仕様検討等に関する調査

策定した地下埋設基盤 API の仕様に基づき、各メソッドの開発を実施し、開発完了した段階で随時リリースを行った。各リリースにおいて、ユースケース実証事業者からのフィードバックを得て、ユースケース実証事業者の実証アプリケーション仕様を具体化し、開発の流れ（サイクル）で仕様検討から開発まで行った。

② 機能

地下埋設基盤 API の各メソッドの機能を表 2.2-27 に示す。

表 2.2-27 地下埋設基盤システムの API メソッド

No	API メソッド名	概要
1	UndergroudFacility	入力したパラメータ条件をもとに、リンクテーブル、データテーブルから合致する空間 ID、公開可能な属性情報を取得する。
2	SecondaryInfomation	入力したパラメータ条件をもとに、リンクテーブル、データテーブルから地下埋設物管理事業者の自組織のみ公開可能な属性情報を取得する。
3	DataOutput	入力したパラメータ条件をもとに、リンクテーブル、データテーブルから 3D シェープファイル（マルチパッチ形式）を出力する。

4) インポートツール

インポートツールは、空間 ID データベースへ地下埋設物データを空間 ID に紐付けした情報、及び地下埋設物データの属性情報を格納するためのアプリケーションである。インポートツールの仕様を以下に示す。

① 仕様検討

地下埋設物データ（3D シェープファイル）のデータをもとに空間 ID データベースへ反映する仕様を検討した。

地下埋設物は管路やマンホールであり、シリンダー形状が主要素であること、また、目標とするズームレベルのサイズに対し、細かな形状情報は不要であるため、詳細な形状が表現できるマルチパッチ形式の 3D シェープファイルよりも、ポリライン形式の 3D シェープファイルのほうがデータ整備や取り扱いが平易で共通ライブラリの処理速度が

速く、要求されるデータ品質と処理速度を実現できると判断し、ポリライン形式の 3D シェープファイルをインプットデータとして利用することとした。

また、地下埋設物データの属性情報の機密性が高いことより、地下埋設物データについて、中間データベースへ一時的に情報を保持する仕様とした。中間データベースに保持した情報より、地下埋設物管理事業者外へ公開可能な情報（公開情報）と地下埋設物管理事業者の自組織のみ公開可能な情報（条件付き公開情報）に切り分けを行い、空間 ID データベースへ反映する方式とした。

② 機能

インポートツールの機能を表 2.2-28 に示す。

表 2.2-28 インポートツールの機能一覧

No	機能	概要
1	3D シェープファイルデータ内容を中間データベースへ登録	3D シェープファイル（ポリライン形式）を読み込み、3D シェープファイルの属性情報より設備 ID を生成し、生成した設備 ID 単位に空間 ID 変換を行う。 中間データベースのリンクテーブルに変換した空間 ID と設備 ID を紐付けした情報を登録し、中間データベースのデータテーブルに 3D シェープファイルの属性情報を登録する。
2	中間データベースに登録されているデータを空間 ID データベースへ登録	中間データベースに登録されているリンクテーブルのデータを CSV 形式でファイル出力する。出力した CSV 形式のファイルを空間 ID データベースのリンクテーブルへインポートする。 中間データベースに登録されているデータテーブルのデータについて、地下埋設物管理事業者外へ公開可能な属性情報（公開情報）と地下埋設物管理事業者の自組織のみ公開可能な属性情報（条件付き公開情報）と分けて、CSV 形式でファイル出力する。出力した CSV 形式のファイルを空間 ID データベースのデータテーブル（公開情報）、データテーブル（条件付き公開情報）へインポートする。 中間データベースに登録されているリンクテーブルの空間 ID 単位に集計した設備 ID 数を CSV 形式でファイル出力する。出力した CSV 形式のファイルを空間 ID データベースの統計テーブルへインポートする。

インポートツールのインポート機能の概要を図 2.2-18 に示す。

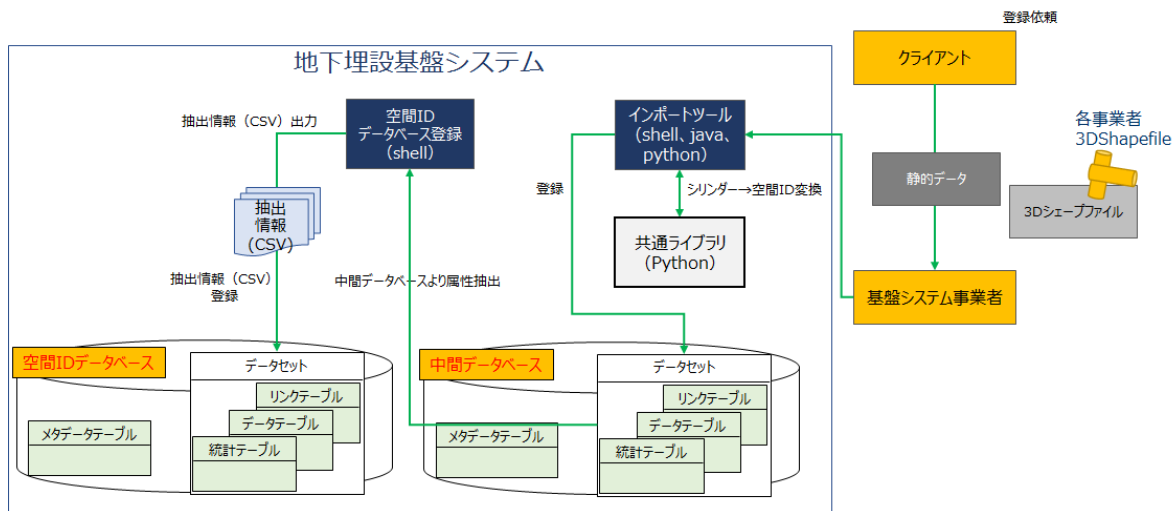


図 2.2-18 インポートツールのインポート機能の概要

(3) 汎用 AR ビュワー仕様

実空間の位置情報を統一的な基準で一意的に特定する「3次元空間 ID」を AR サービスにおいて活用するために、領域横断での活用を想定した空間 ID ボクセルデータを可視化する汎用 AR ビュワーアプリケーションの仕様を整理した。

1) 利用フロー

図 2.2-19 に利用フローの全体像を示す。

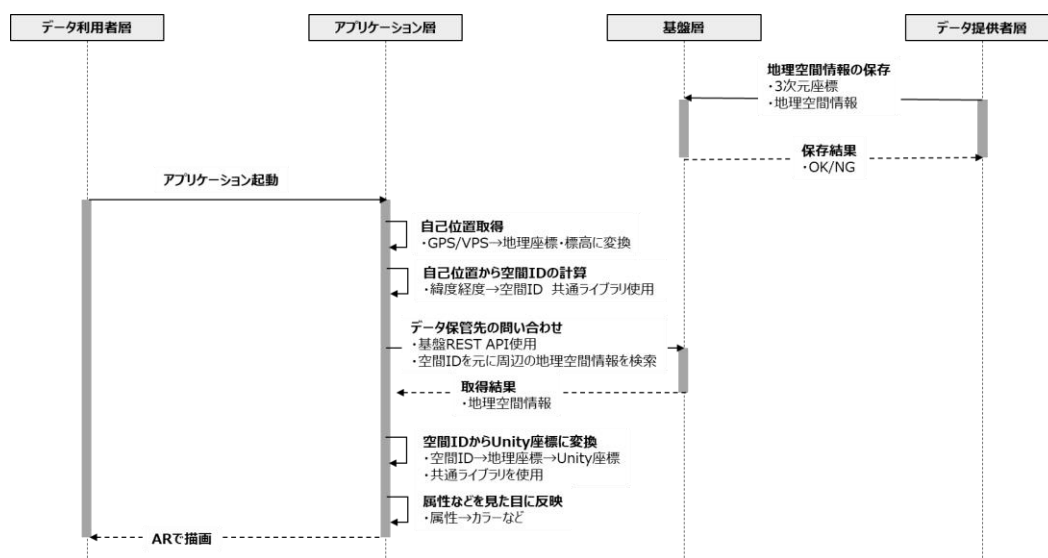


図 2.2-19 利用フローの全体像

データ提供者は地理空間情報を空間 ID に紐付けて、地図・GIS 基盤システムに登録する。データ利用者がアプリを起動すると、アプリ上では GPS や VPS⁶によって取得した自己位置を、共通ライブラリを用いて空間 ID に変換する。取得した空間 ID を用いて地図・GIS 基盤システムに地理空間情報の問い合わせを行い取得する。共通ライブラリを用いて変換した空間 ID のボクセルの地理座標を Unity 座標に変換し、AR アプリケーション上で描画する。描画する際は紐付けられた地理空間情報の属性を使用してボクセルを色分け表示する。

データ提供者は地下埋設、BIM データ連携 CPS の各ユースケース事業者とし、2つのユースケースで AR ビュワーによる空間 ID ボクセルデータの可視化実証を行った。

⁶ Visual Positioning System : 衛星信号を使って自己位置を推定する GPS に対して、画像等のビジュアル情報を元に自己位置/姿勢を推定する技術。事前に制作した空間の特徴点情報に対して画像から得られる特徴点情報を突合して自己位置を割り出す。

利用場所は上記ユースケースで設定したフィールドとし、屋外・屋内問わず、主に対応 VPS が利用可能な場所とした。

2) システム方式・構成

図 2.2-20 にシステム構成図を示す。

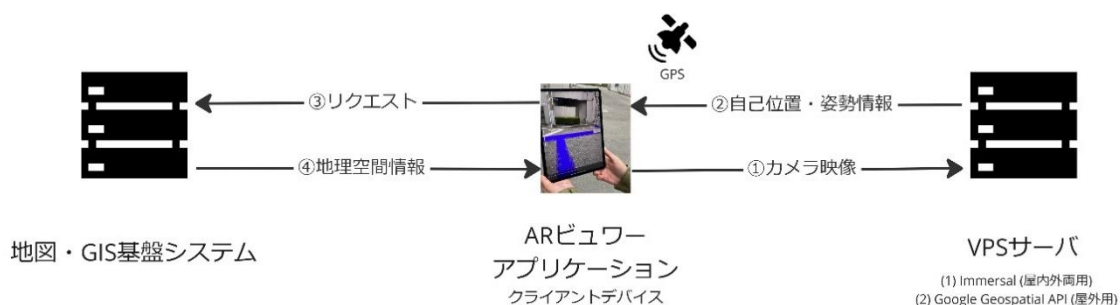


図 2.2-20 汎用 AR ビューアーのシステム構成図

アプリケーションを起動すると、クライアントデバイスは VPS による自己位置推定を行い、周辺の空間 ID 情報を地図・GIS 基盤システムから取得する。取得した空間 ID、及びそれに紐付く属性情報を AR で描画する。本実証ではクライアントデバイスとして iPad を使用する。iPad は GPS 機能を活用可能なことが望ましいため、Cellular モデルを使用する。

VPS は表 2.2-29 に示す外部サービスを利用する。クライアントデバイスから映像情報を送付することで、自己位置推定結果が配信される。

表 2.2-29 VPS で利用する外部サービス

No.	名称	提供事業者	説明
1	Immersal Cloud Service	Hexagon/ Immersal	開発者が独自で VPS 用空間マップを作成することが可能。専用スマホアプリでの作成を想定して選定。
2	Google Geospatial API	Google	ARCore の一機能として提供。Google ストリートビューの画像情報を元に生成された Google 独自の空間マップを使う（開発者は独自で作ることができない）。Google ストリートビューが提供されている場所であれば利用可能であり、カバー範囲が広いため選定。

3) システム機能

表 2.2-30 に本アプリの各機能の概要を記載する。

表 2.2-30 本アプリの機能の概要

No.	機能名	機能概要	備考
1	AR 重畳表示	空間 ID ボクセルを実際の風景に重畳して表示する機能	
2	データ読み込み	地図・GIS 基盤システムからデータを取得し、表示方法をカスタマイズして 3D モデルを構築する機能	
3	属性情報表示	画面上で指定したボクセルの属性情報をポップアップ表示する機能	対象ボクセルのタップで属性情報がオーバーレイする
4	地下埋設物表示支援	地下埋設物を表示する際にわかりやすく補足情報を提示する機能	仮想的な断面の表示を実施する
5	VPS 利用・切り替え	位置推定に用いる VPS を実証環境で使い分ける機能	2つの外部サービスを選択可能

4) 可視化画面イメージ

図 2.2-21、図 2.2-22 に可視化画面のイメージを示す。

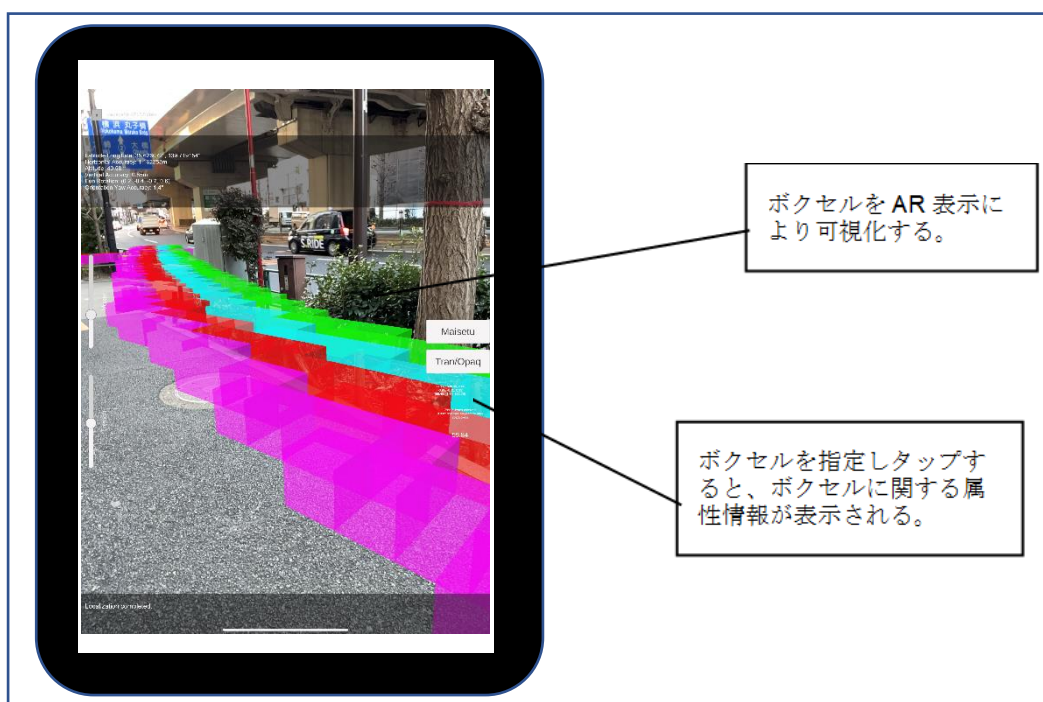


図 2.2-21 地下埋設・可視化画面（イメージ）



図 2.2-22 BIM データ連携 CPS・可視化画面（イメージ）

ボクセルを AR 表示により実際の風景上に重畳して可視化する。ユーザーの移動に伴いユーザーの位置を含むボクセルが変わった際には、それを検出し、必要なボクセルを同様に読み込み処理する。

ボクセルをタップすると、空間 ID をキーとした属性情報を基盤システムより取得し、ポップアップで表示する。

2.3 共通ライブラリの整備

2.3.1 共通ライブラリの概要

領域横断で利用される機能について、相互運用性や開発生産性の向上を目的として2022年7月付けでDADCが公開している「3次元空間情報基盤アーキテクチャ設計報告書⁷」に記載された内容に基づき、共通ライブラリの開発を行った。

(1) ライブラリへの要求と対応方針

3次元空間情報基盤アーキテクチャ設計報告書に記載されている共通ライブラリへの要求について、実証における対応方針を下記に示す。

表 2.3-1 共通ライブラリへの要求に対する対応方針

番号	要求条件	要求に対する前提条件	実証における対応方針
1	オープンソースとして提供され、ドメイン横断で共通的に頻度高く利用される機能を実装すること	<ul style="list-style-type: none"> ・実装する機能及び各機能の仕様についてはDADC/実証事業者間で協議を行い定義する（実証対象の全てのユースケースで共通的に利用される最小限の機能を実装） ・実装にあたっては、市中のOSSライブラリの活用も可能とする ・実装対象とした機能については、実証用基盤システムに組み込み実証で検証を行う ・ユースケース個別に利用される機能の実装は今後の拡張対象候補とする 	<ul style="list-style-type: none"> ・DADCで検討された機能に基づき仕様案を具体化して実装する ・実装言語の前提を置いたうえOSSライブラリも活用する ・ユースケース実証において過不足を確認しながら実装する
2	再配布可能な形式かつ、利用側に構築の負担をかけない形で提供されること	<ul style="list-style-type: none"> ・計算式のみで演算可能な機能のみを対象とする（≠データベース構築を必要とするシステムとしての提供） ・機能要求の実装を優先し、非機能要求（特に性能、拡張性）については利用側で対応する 	<ul style="list-style-type: none"> ・左記前提で実装する

⁷ 3次元空間情報基盤アーキテクチャ設計報告書

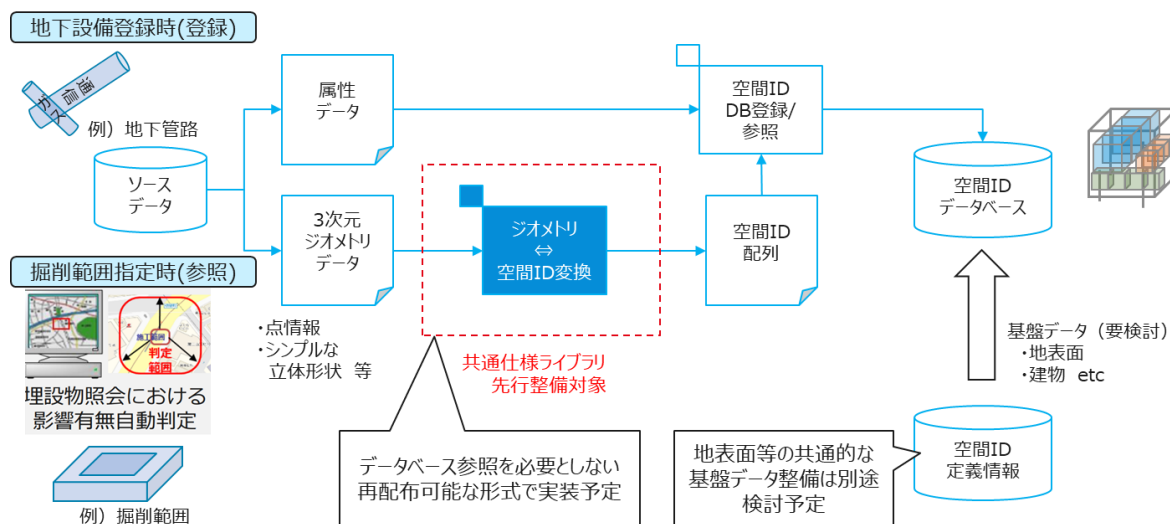
https://www.ipa.go.jp/dadc/architecture/pdf/pj_report_3dspatialinfo_doc_202208_1.pdf

2 アーキテクチャの仕様検討等に関する調査

番号	要求条件	要求に対する前提条件	実証における対応方針
3	共通的に利用される定義情報も同時に配布されること	<ul style="list-style-type: none"> ・地表面等が共通属性として利用される想定があるが、膨大なデータ量となることが想定されるため、共通ライブラリの開発において、共通属性のデータ整備は対象外とする 	<ul style="list-style-type: none"> ・左記の前提で実装する
4	複数のプログラム言語で提供されること	<ul style="list-style-type: none"> ・多数のプログラム言語での実装が利用の幅を広げる可能性はあるものの、言語の数分だけ開発、試験、運用が発生するため、スケジュール・コストに影響がある。そのため、本実証で最も利用可能性の高い言語1つのみの実装とし、その他の言語での開発は対象外とする 	<ul style="list-style-type: none"> ・短期間での実証及び、今後の普及を考慮し、開発者を確保しやすく可読性の高い実装言語として、今年度の実証においては Python 言語による実装を行う
5	利用者側で改変を可能とするため、実行形式のプログラムだけでなくソースコード、設計ドキュメントも提供されること（ただし、改変は自己責任）	<ul style="list-style-type: none"> ・著作権、及び OSS ライセンス種別を設定する必要があるため、DADC/実証事業者との協議事項となる ・改変を前提とした非コピーレフト型のライセンスの設定を想定（MIT License、Apache License、BSD License 等） ・市中の OSS ライブラリを活用する場合も、同様のライセンスのものを選定する 	<ul style="list-style-type: none"> ・共通ライブラリは非コピーレフトライセンスとする ・共通ライブラリが利用する OSS ライブラリも非コピーレフトライセンスのものから選定する ・ソースコード、仕様書を OSS として提供する
6	オープンソースとしての提供後も利用者へのサポートや継続的機能追加が提供されること	<ul style="list-style-type: none"> ・実証事業期間中に発生した不具合の修正は、本実証で使用する範囲に対して実施（活用する市中 OSS ライブラリ側で発生した不具合については不具合解決を保証できないため、利用側でも回避策を検討する） ・次年度以降は別途保守の委託業務等により継続される前提とする 	<ul style="list-style-type: none"> ・一般開発者が誰でもアクセス可能なインターネット上のリポジトリに公開する
7	ソフトウェア/ドキュメントの品質は一定の品質基準を満たしていること	<ul style="list-style-type: none"> ・提供するソフトウェアの品質指標/品質基準及びドキュメントの記載レベルについても DADC/実証事業者で協議の上決定する 	<ul style="list-style-type: none"> ・共通ライブラリのソフトウェア・ドキュメントは、実証システムの開発において実証が滞りなく遂行できる最低限の品質を確保する（機能性の確認ができること）

(2) 共通ライブラリの実装方式

共通ライブラリで実装する範囲は3次元空間情報基盤アーキテクチャ設計報告書 58 ページで示されている通り、最も共通性の高い機能と考えられる「ジオメトリと空間IDの変換」に関連する機能を初期実装対象とする。これ以外の機能については、空間IDの仕様案に基づき利用側（実証アプリケーション側）で実装することとし、共通性が高いものに関しては今後の改善要望として取りまとめることとした。



3

図 2.3-1 共通ライブラリ先行整備対象

(3) 領域横断で見込む共通機能

3次元空間情報基盤アーキテクチャ設計報告書の 59-60 ページで示された下記の7つの機能を実装要件として具体的な仕様を検討し、実装を行った。

No.	分類	想定する利用シーン・用途	主な入力データ	主な出力データ	実装イメージ	
1	ジオメトリ ⇒ 空間ID	点座標（複数）を空間IDに変換する	緯度・経度・高度の配列	空間IDの配列	Input 1つ以上の点座標群 レベルM ⇒ [3D point cloud] レベルN ⇒ [3D point cloud]	Output 空間IDリスト {XXX} 空間IDリスト {XXX1, XXX2, XXX3}
2	ジオメトリ ⇒ 空間ID	閉塞範囲（穴の開いている箇所を除く）を含む空間を空間IDに変換する	緯度・経度・高度の配列	空間IDの配列	Input 三角形ポリゴンの集合 レベルM ⇒ [3D polygon mesh] レベルN ⇒ [3D polygon mesh]	Output 空間IDリスト {XXX} 空間IDリスト {XXX1, XXX2, XXX3}
3	ジオメトリ ⇒ 空間ID	ウェイポイント配列を空間IDに変換する（複数の点座標を直線で繋ぎ、太さを持たせた形状）	緯度・経度・高度の配列、直径	空間IDの配列	Input 円柱の中心の接続点/円柱の直径（半径） レベルM ⇒ [3D cylinder] レベルN ⇒ [3D cylinder]	Output 空間IDリスト {XXX} 空間IDリスト {XXX1, XXX2, XXX3}

No.	分類	想定する利用シーン・用途	主な入力データ	主な出力データ	実装イメージ
4	ジオメトリ⇒空間ID	3次元の構造物情報(シェープファイル形式)を空間IDに変換する	シェープファイル形式の3Dデータ	空間IDの配列	
5	周辺空間ID取得	点座標の周辺の空間を空間ID(6個または8個)に変換する	緯度・経度・高度	空間IDの配列	
6	周辺空間ID取得	空間IDを指定して周辺の空間ID(6個または8個)に変換する	空間ID	空間IDの配列	
7	空間ID⇒ジオメトリ	空間IDから空間ボックスの頂点の座標(8点)に変換する	空間ID	緯度・経度・高度の配列	

図 2.3-2 共通ライブラリ機能要件

2.3.2 共通ライブラリの仕様

(1) 詳細仕様

前述の機能の詳細仕様検討を行う中で、空間 ID の仕様自体の拡張余地や、実装の過程において領域横断で再利用が高いと考えられる機能を追加した。実際に開発を行った機能は下記の通り。

表 2.3-2 実装機能一覧

No.	分類	想定する利用シーン・用途	主な入力データ	主な出力データ	備考
1	ジオメトリ⇒空間ID	点座標(複数)を空間IDに変換する	緯度・経度・高度の配列	空間IDの配列	
2	ジオメトリ⇒空間ID	閉塞範囲(穴の開いている箇所を除く)を含む空間を空間IDに変換する	緯度・経度・高度の配列	空間IDの配列	
3	ジオメトリ⇒空間ID	ウェイポイント配列を空間IDに変換する(複数の点座標を直線で繋ぎ、太さを持たせた形状)	緯度・経度・高度の配列、半径	空間IDの配列	入力を半径とした
4	ジオメトリ⇒空間ID	構造物情報(シェープファイル形式)を空間IDに変換する	3Dシェープファイル(マルチパッチのうちトライアングルファンとストリップ)	空間IDの配列	

No.	分類	想定する 利用シーン・用途	主な入力データ	主な出力 データ	備考
5	周辺空間 ID 取得	点座標の周辺の空間 を空間 ID (6 個また は 8 個) に変換する	緯度・経度・高度	空間 ID の配列	
6	周辺空間 ID 取得	空間 ID を指定して周 辺の空間の空間 ID (6 個または 8 個) に変換する	空間 ID	空間 ID の配列	
7	空間 ID⇒ ジオメトリ	空間 ID からボクセル の頂点の座標 (8 点) に変換する	空間 ID	緯度・経度・ 高度の配列	
8	ジオメトリ⇒ ジオメトリ	ジオメトリの座標を 変換する (地理座標→投影座 標)	緯度・経度・高度、 変換元・変換先座標 の EPSG コード	緯度・経度・ 高度	追加
9	ジオメトリ⇒ ジオメトリ	ジオメトリの座標を 変換する (投影座標→地理座 標)	緯度・経度・高度、 変換元・変換先座標 の EPSG コード	緯度・経度・ 高度	追加
10	周辺空間 ID 取得	空間 ID を囲う 26 個 の空間 ID を取得	空間 ID	空間 ID の配列	追加
11	周辺空間 ID 取得	指定の数値分、移動 した場合の空間 ID を 取得	空間 ID	空間 ID	追加

空間 ID の ID 仕様に関しては扁平状のボクセル形状の扱いが未定のため、今後の拡張余地を考慮し、空間 ID を入出力とする上記機能に関しては共通的に下記を実装した。なお、実証においては空間 ID 仕様案ベースのものを使用することとした。

表 2.3-3 空間 ID の拡張を見込んだ仕様

仕様案	空間 ID の文字列の並び	機能の違い
空間 ID 仕様案 ベース	ID 文字列 : z/f/x/y z: ズームレベル (水平・鉛直同一) f: 鉛直方向インデックス x: 東西方向インデックス y: 南北方向インデックス	水平・鉛直方向のズームレベルは 同一。
拡張仕様案	ID 文字列 : z1/x/y/z2/f z1: 水平方向ズームレベル z2: 垂直方向ズームレベル f: 鉛直方向インデックス x: 東西方向インデックス y: 南北方向インデックス	水平・鉛直のズームレベルは独立 して定義可能。扁平状、縦長状の ボクセル形状にも対応。

(2) ライブラリ仕様書

共通ライブラリの各機能の入出力仕様は開発者向けに実用性の高い形で提供するため、HTML形式のドキュメントとしてまとめている。下図は仕様書の画面サンプルであるが、ソースコードと連動しており簡易な検索機能も備えている。ライブラリ仕様書の詳細については別紙空間 ID ライブラリ API 仕様書 (HTML 形式) を参照。

The screenshot shows a web page for the SpatialId library documentation. On the left is a navigation sidebar with a search bar and a list of subpackages. The main content area displays the title 'SpatialId.shape package', a brief description, and the 'SpatialId.shape.cylinders module'. It lists requirements (Python 3.9+) and provides a code example for the `get_spatial_ids_on_cylinders` function. Below the code, it explains the function's purpose and lists its parameters: `center` (a list of points), `radius` (float), `h_zoom` (int), `v_zoom` (int), `crs` (int), and `is_capsule` (bool). It also specifies the return value as a list of strings and lists potential `SpatialIdError` exceptions.

図 2.3-3 共通ライブラリ仕様書 (例)

2.3.3 各実証でのライブラリ運用

(1) 実証中の管理プロセス

共通ライブラリは DADC から提示された初期機能要件に基づき、実証システムの開発に先行して開発し、各実証事業者に展開した。本実証において空間 ID の概念を初めて実装していることから、DADC と随時連携しながら空間 ID の仕様や実装に関する理解を深めつつ、各実証事業者からの問い合わせや改善要望に対する対応を行った。

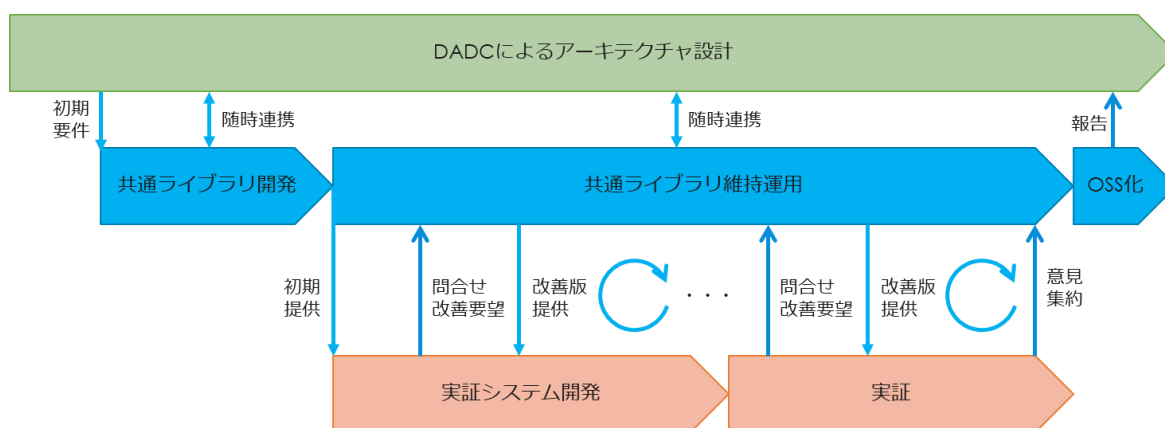


図 2.3-4 共通ライブラリの実証中の管理プロセス

(2) ライブラリ利用個所と用途の整理

各実証ユースケースにおいて、開発した共通ライブラリの各機能は以下の用途で検討・利用された。なお、地図・GISの基盤システムにおいては、全てのライブラリ機能をAPIとして提供できるような実装しているため、記載は省略している。

表 2.3-4 実証ユースケースにおける共通ライブラリの利用用途

実証ユースケース	利用シーン・用途	利用ライブラリ機能	利用方法・実装箇所
統合災害情報の提供	<ul style="list-style-type: none"> 衛星、SNS、地形データ等の空間ID紐付け 浸水情報の表示のための空間IDの座標情報取得 	<ul style="list-style-type: none"> 点座標（複数）を空間IDに変換する機能 空間IDからボクセルの頂点の座標（8点）に変換する機能 	<ul style="list-style-type: none"> 地図・GIS基盤システムのインポートツール経由 地図・GIS基盤システムのAPI経由
BIM・建物データ等を連携させたCPS	<ul style="list-style-type: none"> 建物空間ID分析基盤によるBIM/設備データの空間ID紐付け ロボットPFによる走行ルート選択時の予測人流データの取得 	<ul style="list-style-type: none"> 点座標（複数）を空間IDに変換する機能 空間IDからボクセルの頂点の座標（8点）に変換する機能 	<ul style="list-style-type: none"> 建物空間ID分析基盤内 ロボットPF内
建物内移動の支援	<ul style="list-style-type: none"> 地図生成ロボットシステムによる施設情報、立ち入り禁止情報等の空間ID紐付け 配送ロボットシステムによる空間IDのロボット座標への変換 	<ul style="list-style-type: none"> 空間IDからボクセルの頂点の座標（8点）に変換する機能 点座標（複数）を空間IDに変換する機能 	<ul style="list-style-type: none"> 地図生成ロボットシステム内 配送ロボットシステム内

実証ユースケース	利用シーン・用途	利用ライブラリ機能	利用方法・実装箇所
汎用 AR ビュワー	ボクセル及び属性情報の3次元表示のため、ボクセルの座標情報取得	<ul style="list-style-type: none"> 点座標（複数）を空間 ID に変換する機能 空間 ID からボクセルの頂点の座標（8点）に変換する機能 	<ul style="list-style-type: none"> 汎用 AR ビュワーアプリケーション内（共通ライブラリの一部の機能を移植して利用）
地下埋設埋設物照会	<ul style="list-style-type: none"> 地下埋設物（管路、マンホール）のジオメトリ情報を空間 ID に変換 埋設物照会範囲ポリゴンの空間 ID 化 	<ul style="list-style-type: none"> ウェイポイント配列を空間 ID に変換する機能 構造物情報（シェープファイル形式）を空間 ID に変換する機能（検討・検証まで） 閉塞範囲（穴の開いている箇所を除く）を含む空間を空間 ID に変換する機能 	<ul style="list-style-type: none"> 統一フォーマットで変換済みの地下埋設データのインポートツール内 埋設物照会用の API 内
地下埋設建機マシンガイダンス	<ul style="list-style-type: none"> 建機オペレータ向けアプリ画面 3次元ビューワー 	<ul style="list-style-type: none"> 空間 ID からボクセルの頂点の座標（8点）に変換する機能 	<ul style="list-style-type: none"> 地下埋設基盤システムのエクスポート
地上地下三次元人口統計	<ul style="list-style-type: none"> 高さ方向の人口統計データの紐付け 	<ul style="list-style-type: none"> 利用無し 	<ul style="list-style-type: none"> 高さを持たない空間 ID を検討
地上地下移動センシング	<ul style="list-style-type: none"> ゴミ箱自律移動ロボットが自己位置推定で取得した座標を空間 ID に変換し、センシングしたデータに紐付け 	<ul style="list-style-type: none"> 利用無し 	<ul style="list-style-type: none"> ライブラリを使用せず、ZFXY の計算式を直接実装

表 2.3-5 機能ごとの利用有無

No.	分類	想定する利用シーン・用途	ユースケース実証中の利用有無
1	ジオメトリ⇒空間 ID	点座標（複数）を空間 ID に変換する	有
2	ジオメトリ⇒空間 ID	閉塞範囲（穴の開いている箇所を除く）を含む空間を空間 ID に変換する	有
3	ジオメトリ⇒空間 ID	ウェイポイント配列を空間 ID に変換する（複数の点座標を直線で繋ぎ、太さを持たせた形状）	有
4	ジオメトリ⇒空間 ID	構造物情報（シェープファイル形式）を空間 ID に変換する	有
5	周辺空間 ID 取得	点座標の周辺の空間を空間 ID（6個または8個）に変換する	無

No.	分類	想定する利用シーン・用途	ユースケース 実証中の利用有無
6	周辺空間 ID 取得	空間 ID を指定して周辺の空間の空間 ID（6 個または 8 個）に変換する	無
7	空間 ID⇒ジオメトリ	空間 ID からボクセルの頂点の座標（8 点）に変換する	有
8	ジオメトリ⇒ジオメトリ	ジオメトリの座標を変換する （地理座標→投影座標）	無
9	ジオメトリ⇒ジオメトリ	ジオメトリの座標を変換する （投影座標→地理座標）	無
10	周辺空間 ID 取得	空間 ID を囲う 26 個の空間 ID を取得	無
11	周辺空間 ID 取得	指定の数値分、移動した場合の空間 ID を取得	無

本実証で用意した各機能の利用状況に関して、以下のようにまとめる。

- ・ジオメトリと空間 ID の変換機能は全て利用された。
- ・点座標を空間 ID に変換する機能については ZFX の計算式で空間 ID を直接算出できるため、共通ライブラリの実行環境を用意してまで利用しないケースもあった。
- ・周辺空間 ID 取得は移動体等の周辺ボクセルを連続的に取得することを想定した機能と考えられるが、今回の実証におけるユースケースにおいては該当するシーンが無かったため、利用されなかった。
- ・座標系の変換機能についてはデータ整備時等の事前処理やアプリケーション利用時等の事後処理で対応していたケースもあり利用されなかったが、利用範囲によっては必要な機能となり得る。
- ・保有しているアプリケーションやプラットフォームと実装言語が合わないため、ライブラリの仕様をもとに座標変換以外は独自に再実装したユースケースもあったことから、実際には多くの機能は必要であったと考えられる。

(3) 改善要望及び機能追加要望の取りまとめ

実証期間中の共通ライブラリ運用を通じて改善要望や機能追加要望が挙げられた。代表的なものを下表にまとめた。

表 2.3-6 機能ごとの利用有無

分類	要望	内容
機能追加	複数言語への対応	<ul style="list-style-type: none"> • Python 以外の言語への対応（主に挙げたもの） - Javascript - Java - .NET - C++ - C - C#
機能追加	ファイルフォーマットの追加	<ul style="list-style-type: none"> • 3D シェープファイルにおける対応フォーマットの追加 • 2D シェープファイル対応（高さ属性付与） • PLATEAU (CityGML) への対応
機能追加	緯度・経度・高さから空間 ID を取得	<ul style="list-style-type: none"> • 緯度、経度、高さを直接入力して空間 ID を取得 • 緯度、経度、高さの範囲を直接入力して空間 ID のリストを取得
機能追加	空間 ID による変換・操作	<ul style="list-style-type: none"> • ズームレベルの変換機能 • 階層構造を利用した機能
改善	速度向上	<ul style="list-style-type: none"> • 空間 ID の算出処理の速度向上 • データ量が増えた際の高速化や並列分散処理への対応
改善	提供方法	<ul style="list-style-type: none"> • GitHub の公開リポジトリ化 • Web アプリケーション開発向けのパッケージ化 (Node.js の npm 等)

2.3.4 考察

DADC で検討された共通ライブラリの機能について実際に実装を行い、各領域の基盤システムや実証用アプリケーションの中に組み込む形で実証を行った。DADC の検討において、ユースケースをある程度想定して必要最小限の機能を定義していたこともあり、機能については概ね過不足は無く空間 ID を利用した実証を行うことができたと言える。

一方で、改善要望や機能追加の声も多く挙げられた。最も多かったのは複数言語への対応で、共通ライブラリの実装言語が限定されていたことから、現状のアプリケーションに組み込む際に異なる言語を呼び出す対応や他の言語で再実装をするなど実証事業者の開発者に負担がかかったケースもあった。

2 アーキテクチャの仕様検討等に関する調査

機能面においては、対応ファイルフォーマットの追加や空間 ID をより使いこなすための機能に関する要望も多く挙がった。非機能面において、特に大量のボクセルを扱うようなユースケースにおいてはインポート機能や一括で抽出するような利用シーンにおいて速度向上やスケーラビリティに対する要望も挙がった。

また、共通ライブラリの実装を通じて空間 ID を利用したアプリケーション全般における共通的な課題も見えてきている。例えば、ジオメトリ情報と空間 ID の対応関係が正しいかどうかを簡易かつ効率的に確認する手段が確立されておらず、3D ビュワーによる目視確認をする等の手間のかかる対応が残る部分があり、今後利用が拡大するにつれて何らかの対策が必要になってくると想定される。

今後の方向性としては、3次元空間情報基盤アーキテクチャ設計報告書の 63 ページでも議論されているように今回の実証で実装した共通ライブラリの仕様書とソースコードを空間 ID 普及の第一歩として OSS としてインターネット上のリポジトリに公開し、開発者が仕様の改良や機能追加、他の言語での実装を自由に行っていく環境づくりや開発ノウハウが共有されるコミュニティづくりを進めていくことが期待される。

3. データ・メタデータの仕様検討や整備手法の開発等に関する調査

3.1 実施概要

3.1.1 概要

本業務におけるユースケース実証では、建物の中や地下に埋設された様々な施設の位置・施設情報や、屋内外のセンサー等で得られた情報を格納、提供する等、3次元空間 ID を紐付けした様々なデータが使用された。各ユースケースで行った実証内容を検証するため、また今後行われる利活用への参考資料とするため、これらのデータの整備に関わる製品仕様や3次元空間 ID の紐付け等のデータ作成手法について整理してドキュメント化した。これらのドキュメント化にあたり、このためのドキュメント様式や記載内容に関わる検討を行い、標準様式として定めた。

定めた様式は、それぞれ3次元空間 ID を紐付けられたデータの「製品仕様書」、「作業手順書」とし、本業務で作成したデータについて作成を行った。作成した各ドキュメントは、本業務の成果としてとりまとめ、それぞれ「標準製品仕様書」、「標準作業手順書」とした。

また、作成されたこれらのデータに関わるメタ情報について、メタデータ仕様を検討した。

さらに、これらの仕様に基づいて作成されたデータについて、3次元空間 ID が正しく紐付けられているか等を確認する品質要素を検討し、作成されたデータの品質を評価できるようにした。これに加えて、データの品質を確認、評価する際に用いるツールも併せて検討し、作成した。

3.1.2 実施事項

本章、データ・メタデータの仕様検討や整備手法の開発等に関する調査の主な実施事項は、以下の5項目である。

- (1) データの仕様、作成手法に関わる標準ドキュメント（様式）の検討
- (2) メタデータの仕様に関わる検討
- (3) データの仕様、作成手法に関わるプレ調査の実施
- (4) データに関わる品質（要素）の検討と評価ツールの作成
- (5) ユースケース実証等に基づく各種ドキュメントの作成

各種検討から調査、ドキュメント作成までの流れを表 3.1-1 に整理した。これらの検討、調査においては、関連する様々な参考情報や調査結果に基づいて実施しており、表の「参考情報等」の欄に、主に参考とした資料等を併記した。

表 3.1-1 データ・メタデータに関わる検討、調査、ドキュメント作成までの流れ

基本的業務の流れ	実施事項	成果	参考情報等
データ・メタデータの仕様検討や整備手法の開発等に関する調査			
ユースケースで使用するデータに関わる調査	ドキュメント検討 データ仕様作成調査のための 標準ドキュメント検討 (3.2.1~3.2.3)	標準ドキュメン ト様式（製品仕 様書・作業手順 書）	<ul style="list-style-type: none"> ・第4回 3次元空間 情報基盤アーキテク チャ検討会 会議資料 ・3D都市モデル標準 製品仕様書（国土交通 省都市局） ・地理空間データ製品 仕様書作成マニュアル 令和元年11月 国土交通省 国土地理院
	メタデータ仕様の検討 (3.2.4)	メタデータ仕様	
	事前概況把握 ユースケースデータ (3.3.1)	ユースケースに 関わるデータ概 況把握	
	プレ調査 データの詳細、仕様に関わる 調査項目検討と実施、整理 (3.3.2~3.3.3)	ユースケースで 使用するデータ 概要、仕様	
ユースケースで使用する データの仕様（案） 作成	データ仕様（案）の作成 (3.3.4)	データ仕様 （案）作成	<ul style="list-style-type: none"> ・国土数値情報（災害 危険区域）製品仕様書 国土交通省） ・地理情報標準 地理情報標準とは 国土地理院 (gsi.go.jp)
	必須調査対象に関わるデータ 仕様（案）の作成 (3.3.4)		
3次元空間 ID データ の品質に関わる検討	品質に関わる検討 (3.4)	<ul style="list-style-type: none"> ・品質要素 ・評価ツール 	
データ・メタデータ作成実証			
データ作成の ○作成対象都市の選定 ○作成計画の立案	作成地の選定 作成計画立案	第4章ユースケ ース実証で報告 <ul style="list-style-type: none"> ・計画立案 ・データ ・メタデータ ・品質確認 	
○既存データの収集 ○新規データの取得	データの収集、取得		
データの作成	データ作成 品質確認 メタデータ作成		
実証成果のとりまとめ、仕様や整理手法の整理、オープンデータ化			
データ作成実証によっ て得られた知見の整理 ○製品仕様書 ○作業手順書 の作成	製品仕様書の作成 (3.5.1) データ仕様の整理 (3.5.1) 作業手順書の作成 (3.5.2)	<ul style="list-style-type: none"> ・製品仕様書 ・データ仕様 ・作業手順書 	データ・メタデータの 仕様検討や整備手法の 開発等に関する調査に おける調査・検討結果
オープンデータの作成	オープンデータの作成	<ul style="list-style-type: none"> ・オープンデー タ 	
とりまとめ	結果と課題等 (3.6)	結果と課題	

3.2 データの仕様、作成手法に関わる標準ドキュメントの検討

3.2.1 データ仕様に関わる検討

3次元空間 ID が紐付けされたデータの仕様とは、どのような事項を明示することが必要かという視点で検討を実施した。3次元空間 ID が紐付けされたデータは、何等かの定義、仕様に基づいて作成された元のデータに、3次元空間 ID を紐付けして作成されたものであり、本業務においては、この元の情報（データ）の諸元、仕様については必要に応じて明示するものの、その仕様等の取り決め、内容、品質については深く立ち入らない。3次元空間 ID が紐付けされたデータが、どのようなものであるか、3次元空間 ID の紐付けに関わる仕様を中心に、元のデータから引き継ぐべく仕様を追加する形で検討を実施した。

ただし、3次元空間 ID が紐付けされたデータの内容がどのようなものなのかを明示しないとわからない属性項目・内容部分については、データの内容として明記することとした。

3次元空間 ID を紐付けしたデータ仕様として明示すべき事項を、以下のような項目として整理した。

- ・名称等：作成したデータの名称、識別情報
- ・目的等：作成したデータの目的・用途
- ・規格等：3次元空間 ID を紐付けした際に使用した規格・基準
- ・形式等：作成したデータの体系・形式
- ・参照系：作成したデータに関わる座標系・位置、時間等の基準
- ・粒度等：作成したデータのボクセル・ズームレベル
- ・内容：作成したデータのもつ属性項目・内容
- ・品質：作成したデータに関わる品質（データに関わる誤差、条件等も含む）
- ・メタデータ（当初仕様検討段階は作成任意）
- ・その他（使用に関わる権利、条件関係）（当初仕様検討段階は作成任意）
- ・3次元空間 ID を紐付けする前の元データの概要・仕様に関わる情報
（当初仕様検討段階は任意）

このうち、「メタデータ」、「その他（使用に関わる権利、条件関係）」、「3次元空間 ID を紐付けする前の元データの概要・仕様に関わる情報」については、作成するデータの当初仕様の検討段階においては、踏み込んで検討できない場合もあるので、これらは必須情報とせず、任意記述対象とした。

「データ仕様」の検討に際し、3次元空間 ID データと関係性が高く、地理空間情報に関わるデータの仕様を整理、表現したものとして、「製品仕様書」というものがある。この製品仕

3 データ・メタデータの仕様検討や整備手法の開発等に関する調査

仕様書は、作成された地理空間データについて、その作成目的、利用用途、含まれる地物、データ構造、品質等を明示したものであり、データの作成者が他者に対してデータの仕様・内容等について系統的に伝達するツールとなっている。

3次元空間 ID が紐付けされたデータについても、このような地理空間データと類似した位置情報に付随した情報を格納、提供するものであり、非常に類似した情報であると考え、この製品仕様書を参考にその内容や構成、品質について検討を行った。

上記事項について各種検討を行い、以下の表 3.2-1 のようなデータ仕様書に関わる項目を設定した。

表 3.2-1 3次元空間 ID に関わるデータ仕様と主な記載事項

No.	項目	主な記載事項
1.	概覧	
1.1	目的	本書の目的
1.2	引用規格	本書に関わる引用規格
2.	データ構成及び内容	
2.1	データ構成	データファイルの構成
2.2	データ内容	属性データに関わる定義
3.	参照系	
3.1	座標参照系	座標系（緯度経度等）
3.2	時間参照系	時間基準 （西暦／日本標準時等）
4.	データ品質	
4.1	品質要求及び評価手順	品質要素ごとの品質確認事項
5.	メタデータ（当初仕様検討段階では任意）	適用したメタデータ仕様
6.	オプション（当初仕様検討段階では任意）	
6.1	参考	データの権利、使用条件等
6.2	3次元空間 ID 紐付け前の元データに関わる情報	本データに関わる参考資料等

3.2.2 製品仕様書に関わる検討

（1）製品仕様書の検討に関わる参考資料

3次元空間 ID が紐付けされたデータに関わる製品仕様書の内容、様式の検討にあたっては、国土交通省 国土地理院が公開している「地理空間データ製品仕様書作成マニュアル 令和元年11月 国土交通省 国土地理院」を参考にした。このマニュアルは、製品仕様書に記載する各種情報の項目や内容、後述する品質評価（要素）、その評価手順（確認方法）に関わる部分で参考とした。

3 データ・メタデータの仕様検討や整備手法の開発等に関する調査

本業務における具体的な製品仕様書の記載については、国土交通省不動産・建設経済局が作成、公開している「国土数値情報（災害危険区域）製品仕様書 第1.2版 令和3年11月」を参考資料として検討を行った。

前記の製品仕様書作成マニュアルや製品仕様書における目次項目と主な記載事項を、以下の表 3.2-2 に整理した。

表 3.2-2 地理空間データに関わる製品仕様書の目次項目と主な記載事項

No.	目次項目	主な記載事項
1.	概覧	
1.1	空間データ製品仕様書の作成情報	本製品仕様書作成に関わる基本情報
1.2	目的	本書の目的
1.3	適用範囲	空間・時間範囲
1.4	引用規格	本書に関わる引用規格
1.5	用語と定義	本書に関わる用語と定義
1.6	略語	英文字等略語説明
1.7	参考資料	本データに関わる参考資料等
2.	適用範囲	
2.1	適用範囲識別	本書適用範囲
2.2	階層レベル	本書のデータ階層レベル
3.	データ製品識別	データの製品識別（名称等）
4.	データ内容及び構造	
4.1	応用スキーマクラス図及び応用スキーマ文書	内容クラス図及び文書
4.1.1	国土数値情報応用スキーマパッケージ	データの全体構成、包含対象
4.1.2	指定地域パッケージ	含まれる対象
4.1.3	災害危険区域パッケージ	対象のスキーマクラス図・文書
4.1.4	共通パッケージ	共通的なコードリスト等
4.2	空間スキーマプロトコル	空間的に適用した規格・基準等
4.3	時間スキーマプロトコル	時間的に適用した規格・基準等
5.	参照系	
5.1	座標参照系	座標系（緯度経度等）
5.2	時間参照系	時間基準（西暦／日本標準時等）
6.	データ品質	
6.1	品質要求及び評価手順	品質要素ごとの品質確認事項
7.	データ製品配布	
7.1	配布書式情報	書式名称、符号化仕様、言語
7.2	配布媒体情報	配布の単位、媒体名
8.	メタデータ	適用したメタデータ仕様

(2) 3次元空間 ID データに関わる製品仕様項目の検討

本業務において、3次元空間 ID に関わる製品仕様書の内容、様式等の検討を行うにあたり、参考にした資料は、表 3.2-2 で示した「地理空間データ製品仕様書作成マニュアル 令和元年11月 国土交通省 国土地理院」である。製品仕様書として明示すべき事項を、このマニュアルに示された目次項目や内容と、3次元空間 ID が紐付けされたデータの製品仕様として、照合、比較しながら検討を行った。このうち、地理空間データに関わる製品仕様書に設定されている目次項目の中で、地域や範囲を問わず、地理空間データの具体的なデータ的内容及び構造を示している部分は、「4. データ内容及び構造」で、3次元空間 ID が紐付けされたデータの特性を考慮した検討が必要となった。このデータ内容及び構造は、地理空間データの個々の地形・地物の地理空間的な構成や関係を示す応用スキーマクラス図 (UML クラス図) と、個々の地形・地物が保持するスキーマクラス図では表現できない属性情報に関わる応用スキーマ文書 (属性項目、内容、定義域等、以下「属性等」という) で表現されている。地理空間データに関わる分野では、「データ内容及び構造」のことを、作成する又は作成された地理空間データの内容、構造及びその特性を詳細に記した「応用スキーマ」と呼んでいる。データに関わる地形・地物の定義を行うためには、最初に何を地形・地物とするかを定める必要があり、位置・空間情報 (形状) を表す幾何属性や、この地形・地物のもつ主題属性等から構成されるという考えに基づき、応用スキーマクラス図と応用スキーマ文書で表現することとなっている。

このうち、応用スキーマクラス図については、地理空間データとしての個々の地形・地物の位置・空間情報 (固有の地物図形データ) と、これに関わる応用スキーマ文書 (属性) が対となり、この連関を想定したものとなっている。一方、3次元空間 ID が紐付けされたデータについては、これに照らし合わせて検討してみると、3次元空間 ID を紐付けすることで、個々の地形・地物の位置・空間情報は、ボクセル空間領域内に存在するという情報に置き換えられ、固有の位置・空間情報を保持するものとはなっていない。また、1つの3次元空間 ID (ボクセル空間領域) には多様な他の地形・地物の属性情報が連関できるものとなっている。さらに、1つの地形・地物が複数の3次元空間 ID に分割されて連関される場合もあり、当初の位置・空間情報 (固有の地物図形データ) として表すことができなくなっている。このようなことを踏まえ、3次元空間 ID を紐付けしたデータの応用スキーマクラス図での表現は適さないとして取りやめ、対象となるデータの属性に関連した応用スキーマ文書 (属性等) のみを3次元空間 ID に関連させて記載することとした。なお、応用スキーマクラス図を取りやめた理由は、上記に関すること以外でも、3次元空間 ID を取り扱うメリットとして、特定の座標等の位置情報を持たない情報 (例えば、ある範囲の風向きや気温、人流等) を、ボクセル空間領域における属性情報として連関できることや、逆にボクセル空間領域を指定して、この領域 (3次元空間 ID) に存在する情報の検索に利用できることである。これらの検討の結果、応用スキーマ文書 (属性等) のみを3次元空間 ID に関わる製品仕様書に採用とした。

3 データ・メタデータの仕様検討や整備手法の開発等に関する調査

製品仕様書で取り扱うデータとして、応用スキーマクラス図を明示すべき地形・地物であった場合には、そのベクトルデータ又はラスターデータとしての製品仕様書が存在する場合においては、3次元空間 ID に関わる製品仕様書の原データの製品仕様を記載する箇所に、その製品仕様書名を記載し参照するものとし、存在しない場合には、「9. オプション」に応用スキーマクラス図を記載することで対応できるものとした。

この他の目次項目、「1. 概覧」、「2. 適用範囲」、「3. データ製品識別」、「5. 参照系」、「6. データ品質」、「7. データ製品配布」、「8. メタデータ」、「9. オプション」は、記載内容について3次元空間 ID の特性に応じた考慮が必要な部分がありつつも、基本的には必要な要素と考え、「地理空間データ製品仕様書作成マニュアル」に準拠する形で、目次項目を設定した。以下の表 3.2-3 は、本検討に基づいて設定した3次元空間 ID データに関わる製品仕様書の目次項目と主な記載事項である。

表 3.2-3 3次元空間 ID データに関わる製品仕様書の目次項目と主な記載事項

No.	目次項目	主な記載事項
1.	概覧	
1.1	空間データ製品仕様書の作成情報	本製品仕様書作成に関わる基本情報
1.2	目的	本書の目的
1.3	適用範囲	空間・時間範囲
1.4	引用規格	本書に関わる引用規格
1.5	用語と定義	本書に記載された用語と定義
1.6	略語	英文字等略語説明
1.7	参考資料	本データに関わる参考資料等
2.	適用範囲	
2.1	適用範囲識別	本書適用範囲
2.2	階層レベル	本書のデータ階層レベル
3.	データ製品識別	データの製品識別（名称等）
4.	データ構成及び内容	
4.1	データ構成	データファイルの構成
4.2	データ内容	属性データに関わる定義
5.	参照系	
5.1	座標参照系	座標系（緯度経度等）
5.2	時間参照系	時間基準（西暦／日本標準時等）
6.	データ品質	
6.1	品質要求及び評価手順	品質要素ごとの品質確認事項
7.	データ製品配布	
7.1	配布書式情報	書式名称、符号化仕様、言語
7.2	配布媒体情報	配布の単位、媒体名
8.	メタデータ	適用したメタデータ仕様
9.	オプション	
9.1	参考	データの権利、使用条件等

3.2.3 作業手順書に関わる検討

(1) 作業手順書の検討に関わる参考資料

3次元空間 ID が紐付けされたデータに関わる作業手順書の内容、様式の検討にあたっては、国土交通省が公開している「3D 都市モデル標準作業手順書」を参考にした。この作業手順書における目次項目を、以下の表 3.2-4 に整理した。

表 3.2-4 3D 都市モデル標準作業手順書の目次項目

No.	目次項目	備考
0.	概要	
0.1	本書の目的	本標準作業手順書の目的
0.2	引用文献	JPGIS や JMP2.0 等の参考文書名
0.3	作業工程	製品仕様から成果とりまとめまでの工程
1.	製品仕様の決定	
1.1	概要	拡張製品仕様書を作成する手順概要
1.2	標準製品仕様書との比較	標準仕様として定めた地物型等との比較
1.3	標準製品仕様書の使用	必要となる地物型等が網羅されている場合に使用
1.4	標準製品仕様書の拡張	仕様書に定義されていない地物型等の拡張
1.5	拡張製品仕様書の作成	新たな地物型等の拡張製品仕様書の作成
2.	作成計画の立案	
2.1	概要	作成計画の手順概要
2.2	既存資料の把握	地物型等の情報が含まれる既存資料を把握
2.3	作成方法の検討	作成対象の地物型等に関わる作成方法決定
2.4	作成計画の作成	地物ごとの作成方法を考慮した作成計画
3.	原典資料の収集	
3.1	概要	必要となる原典資料の収集概要
3.2	既存資料の収集	原典資料とする既存資料の収集
3.3	新規データの取得	新規取得するデータの取得に関わる事項
4.	データ作成と品質評価	
4.1	概要	データ作成の手順と品質評価に関わる概要
4.2	幾何オブジェクトの作成と品質評価	幾何オブジェクト作成に関わる事項
4.3	属性追加と品質評価	属性作成に関わる事項
4.4	データ出力と品質評価	符号化仕様に示されたデータへの変換
5.	成果とりまとめ	
5.1	概要	成果品として含むべき内容
5.2	オープンデータの作成	オープンデータの作成方法
5.3	メタデータの作成	メタデータの作成方法
5.4	成果品のとりまとめ	すべてのデータ（成果品）のとりまとめ方

3 データ・メタデータの仕様検討や整備手法の開発等に関する調査

(2) 3次元空間 ID に関わる作業手順記載項目の検討

本業務における作業手順書の検討においては、既にデータに関わる製品仕様書について別途検討し、前記表 3.2-3 のような項目で定めているため、これらに関わる項目を含めて考慮しつつ、データの作成から品質評価、成果作成を行う部分を中心とした構成とした。

特に、本業務では3次元空間 ID の紐付けに関わるデータ作成と作成された3次元空間 ID データに関わる品質評価が中心になることから、表 3.2-4 の「3D 都市モデル標準作業手順書」の目次項目を参考にしつつ、データ作成部分においては、3次元空間 ID の紐付け前のデータの段階から、3次元空間 ID の紐付け作業に関わる部分を中心に、その後の成果作成までを記述することとして目次項目を設定した。

以下の表 3.3-5 が、3次元空間 ID に関わる作業手順書の目次項目と主な記載事項である。

表 3.2-5 3次元空間 ID に関わる作業手順書の目次項目と主な記載事項

No.	目次項目	主な記載事項
1.	目的	
1.1	本書の目的	本書の目的
1.2	概要	本書に記載されている概要
1.3	引用規格	本書に関わる引用規格
1.4	用語と定義	本書に記載された用語と定義
1.5	略語	英文字等略語説明
1.6	参考資料	本データに関わる参考資料等
2.	製品仕様	
2.1	本データの製品仕様	本データの仕様
2.2	原データの製品仕様	原データの仕様
2.3	メタデータ仕様	メタデータの仕様
3.	作成準備	
3.1	準備物	本作業で準備するもの
3.2	作成計画の立案	データ作成の立案に関わること
3.3	準備段階における留意事項	データ作成上の留意点（任意）
4.	データ作成	
4.1	全体の流れ	データ作成に関わる全体の流れ
4.1.1	作成フロー	作成の流れをフロー化したもの
4.1.2	簡単な手順説明	簡単な作成手順の説明
4.2	空間 ID 紐付け 前作業	紐付けする前のデータの準備
4.2.1	紐付け作業前の形式変換等	ファイル形式変換等前準備
4.3	空間 ID の紐付け作業	紐付け作業に関わる作業説明
4.3.1	使用する紐付けツール（ライブラリ）	使用するツールに関わる説明
4.3.2	紐付けツール操作手順	紐付けツールの操作手順
4.4	空間 ID 紐付け 後作業	紐付け後の作業説明
4.5	メタデータ作成	メタデータ作成の作業手順
4.5.1	メタデータ仕様	メタデータ仕様の確認
4.5.2	使用するメタデータ作成ツール（ライブラリ）	メタデータの登録
4.5.3	入力するメタ情報	入力するメタデータ情報
5.	品質及び評価	
5.1	基本的な品質評価要素	本データに関わる品質確認要素
5.2	本データに関わる品質評価要素と具体的な確認方法	具体的な品質確認要素と確認方法
5.3	品質評価基準	品質評価に関わる基準
6.	成果作成	
6.1	形態・形式	データの形態・形式
7.	特記事項等	
7.1	データ作成における空間 ID 紐付け前の準備作業	準備作業（任意）
7.2	その他	（任意）

(3) 本業務における作業手順書の記載に関わる留意点

① 3次元空間 ID を紐付けする前のデータにするための事前準備

本業務において、3次元空間 ID を紐付けしたデータを作成するには、2つの方法がある。

1つ目は、基盤システムにインポートしつつ、このインポートの段階で3次元空間 ID が紐付けされるような処理を行う方法である。この時、インポートされるデータは、3D シェープファイルか、位置情報（緯度・経度、高さ）を含む、CSV ファイルを作成する必要がある。

2つ目は、何等かの方法で事前に3次元空間 ID がデータに記載された、CSV ファイルのインポートである。

これらのファイルの準備について、準備するファイル内の情報、ファイル形式等について、作業手順書の「2.製品仕様 2.2 原データの製品仕様」で記載する。

この手順が多岐に渡り、詳細な説明が必要な場合は、「7.特記事項等」で記載する。

② 3次元空間 ID の紐付け操作に関わる事項

本業務においては、3次元空間 ID を紐付けするには、①に挙げる事前準備データの準備とともに、基盤システムへのインポート処理を行うことが必要である。このインポートの処理に使用するライブラリの使用方法について、「4.データ作成 4.5 空間 ID 紐付け作業」に簡単に記載する。

3.2.4 メタデータ仕様に関わる検討

(1) メタデータとその参考資料

メタデータは、データ自身の「データのためのデータ」と呼ばれ、データの概要、そのデータの整備の目的・用途、整備にあたって適用した様々な規格・基準、品質等が記載されたデータである。本業務におけるメタデータは、3次元空間 ID を紐付けしたデータに関わるメタデータであり、これを考慮したメタデータ仕様を検討する必要がある。

3次元空間 ID を紐付けしたデータに関わるメタデータ項目は、DADC のウェブサイトにて2022年7月28日付にて公開された「第4回 3次元空間情報基盤アーキテクチャ検討会 会議資料⁸⁾」の中の「資料3 事務局提出資料」の28ページに、「2-7(2)b 空間IDに紐付けをしたデータセットのメタデータ項目」にメタデータとその項目案が示されており、本業務ではこれに基づいて検討を実施した。

2-7(2)b 空間IDに紐付けをしたデータセットのメタデータ項目

空間IDに紐付けたデータセットの効率的な管理・検索を行うためのメタデータの項目について、必須、条件付き必須、任意の考え方について、以下に素案を示すが、実証を通して整理していく。

Digital Architecture Design Center

メタデータとは
データ本体に関する付帯情報が記述されたデータ

メタデータの利用例
メタデータ項目（主題分類、登録者、データの範囲など）を対象とした検索を行うことで、利用目的に合ったデータセットを見つけ出すことができる。
(データのポータルサイトにおけるデータ検索に活用)

メタデータの利用イメージ

地理情報のメタデータ標準
・国際標準：ISO 19115
・日本版メタデータプロファイル：JMP2.0
⇒ JMP2.0のメタデータ項目を参考に案(右表)を作成
* JMP2.0にはない空間ID独自のメタデータ項目

メタデータ項目案 ◎必須、○条件付き必須、△任意

No	項目	説明	レベル
1	データ名	データの名称	◎
2	概要	データの内容の概要説明	◎
3	主題分類	データを分類する主題	△
4	空間IDへの登録者*	空間IDへのデータの紐付けを行った事業者	◎
5	キーワード	データの検索に使用するキーワード	△
6	登録日付*	空間IDへのデータの紐付けを行った日付	◎
7	データの利用制限	データ利用上の制約条件(例: 非商用に限る)	△
8	データの範囲(水平方向)	最小・最大緯度、最小・最大経度	◎
9	高さ情報の有無*	データに高さ情報が含まれているかの有無	◎
10	データの範囲(鉛直方向)	最低・最高標高値(No9が「有」の場合必須)	○
11	高さの基準	標高の基準面(No9が「有」の場合必須)	○
12	データの範囲(時間要素)	データの対象時期・期間	△
13	空間ID登録ズームレベル*	空間IDへのデータの紐付けを行った基準となるズームレベル	◎
14	全データを包含する空間ID*	全データ範囲を包含する最上位レベルの空間ID(要自動計算)	△
15	実データの所在*	実データの所在(システム内、システム外)	◎
16	ソースデータ名	ソースデータの名称(No14が「システム外」の場合必須)	○
17	ソースデータの作成者	ソースデータを作成した機関(No14が「システム外」の場合必須)	○
18	ソースデータの所在	ソースデータの提供先(URL)(No14が「システム外」の場合必須)	○
19	ソースデータ形式	ソースデータのフォーマット	△
20	ソースデータの座標系	ソースデータの座標系	△
21	ソースデータの精度	ソースデータの縮尺レベル、解像度	△
22	ソースデータ収集期間	ソースデータが収集された期間	△

「第4回 3次元空間情報基盤アーキテクチャ検討会 会議資料」資料3 28ページ

図 3.2-1 DADC のホームページで公開されているメタデータに関わる資料

⁸⁾ 「第4回 3次元空間情報基盤アーキテクチャ検討会 会議資料」

https://www.ipa.go.jp/dadc/architecture/pdf/pj_report_3dsatialinfo_doc-appendix_202207_1.pdf

3 データ・メタデータの仕様検討や整備手法の開発等に関する調査

(2) メタデータ項目の定義

本業務では、発注者との協議を受けて、図 3.2-1 DADC のホームページで公開されているメタデータに関わる資料にあるメタデータ項目案により項目を定義し、本業務で構築する基盤システム上でテーブル定義して、メタデータの整備を行うこととした。表 3.2-6 にメタデータ項目と内容について整理した。

表 3.2-6 メタデータ項目と内容

No.	項目	内容	レベル
0	データセット ID	データセットに関わる識別 ID	※3
1	データ名	データの名称	必須
2	概要	データの内容の概要説明	必須
3	主題分類	データを分類する主題	任意
4	空間 ID への登録者	空間 ID へのデータの紐付けを行った事業者	必須
5	キーワード	データの検索に使用するキーワード	任意
6	登録日付	空間 ID へのデータの紐付けを行った日付	必須
7	データの利用制限	データ利用上の制約条件（例：非商用に限る等）	任意
8	データの範囲（水平方向）	最小・最大緯度、最小・最大経度	必須
9	高さ情報の有無	データに高さ情報が含まれているかの有無	必須
10	データの範囲（鉛直方向）	最低・最高標高値 ※1	条件付
11	高さの基準	標高の基準面 ※1	条件付
12	データの範囲（時間要素）	データの対象時期・期間	任意
13	空間 ID 登録ズームレベル	空間 ID のデータの紐付けを行った基準となるズームレベル	必須
14	全データを包含する空間 ID	全データ範囲を包含する最上位レベルの空間 ID（要自動計算）	任意
15	実データの所在	実データの所在（システム内、システム外）	必須
16	ソースデータ名	ソースデータの名称 ※2	条件付
17	ソースデータの作成者	ソースデータを作成した機関 ※2	条件付
18	ソースデータの所在	ソースデータの提供先（URL）	条件付
19	ソースデータの形式	ソースデータのフォーマット	任意
20	ソースデータの座標系	ソースデータの座標系	任意
21	ソースデータの精度	ソースデータの縮尺レベル、解像度	任意
22	ソースデータの収集期間	ソースデータが収集された期間	任意

※「レベル」覧の「条件付」は、条件付必須を意味する

※1 No.9 が「有」の場合は必須として、必ず記載。

※2 No.14 が「システム外」の場合は必須として、必ず記載。

※3 DADC の仕様（案）に加え、データセットを識別するために No.0 に「データセット ID」を加えた。

3.3 データに関わるプレ調査

3.3.1 プレ調査内容の検討

本業務において、様々な3次元空間情報等を統合的に流通させる基盤として、3次元空間IDデータを運用する「3次元空間情報基盤」の構築のため、ユースケース実証内容の立案時に、実証に必要な3次元空間情報等に関するデータに関わる調査を実施した。

具体的なユースケース実証仕様については、実証環境の調整等、その後の調整・詳細化で明らかになることから、本調査は「プレ調査」という位置づけで、データ仕様（案）作成のため、データに関わる事前調査を行ったものである。

一方、このプレ調査の調査内容を定めていくため、ユースケース実証の中のデータの取扱いの想定について事前に概況把握を行った。

(1) プレ調査前の概況把握調査

ユースケース実証において使用を想定しているデータに関わる調査として、各ユースケース実証者に対し、以下の表 3.3-1 のような項目で調査を実施した。

調査様式は、Microsoft Excel ソフトウェア（以下、「Excel」という）「を用いた簡単な表形式で回答するものとした。

表 3.3-1 プレ調査前の概況把握調査における主な調査項目

No.	調査項目	主な内容
1	データの名称、概要	使用を予定しているデータの名称、概要
2	使用方法	ユースケースでの使用方法
3	3次元空間IDの紐付け	3次元空間IDの紐付けを行うか否か
4	データの格納先	ユースケース実証時のデータの格納先
5	データの整備者	このデータを整備する者
6	情報源	3次元空間IDを紐付けする元のデータ
7	新規整備の場合の整備方法	データの取得、整備の方法
8	既存データの入手・加工方法	既存データの入手、加工編集方法
9	データ形式・容量	データのフォーマット、データ容量
10	データに関わる想定課題	作成するデータに関わる予想される課題
11	権利関係	作成したデータに関わる著作権、使用条件
12	納入・オープン化の可否	作成したデータの納入、オープン化の可否

3 データ・メタデータの仕様検討や整備手法の開発等に関する調査

(2) プレ調査の実施内容検討

プレ調査前の概況把握調査の結果に基づいて、ユースケース実証者がこの段階において想定し得る調査項目について検討を行った。検討結果を表 3.3-2 に示す。

表 3.3-2 プレ調査における主な調査項目

No.	調査項目	主な内容
1	データ概要	名称、概要、範囲、データの静・動区分
2	ユースケースでのデータ利用	使用方法、要求品質、格納先、紐付け有無
3	整備データの内容	品質、形状、座標系、高さ基準、形式、容量 データの取得・整備年月日
4	整備方法	整備者、新規取得・既存データ利用等区分
5	新規データ整備の場合	取得、整備方法、取得・整備仕様・諸元
6	既存データの利用整備の場合	入手・調達、加工編集方法、仕様・諸元
7	データの納入・オープン化	納入・オープン化の可否
8	データの属性情報	データの中にある属性情報（項目）と概要

(3) プレ調査様式の検討

上記表 3.3-2 の調査項目を用いて、プレ調査様式を作成した。調査様式（回答用紙）は、Microsoft Word ソフトウェアを用い、調査項目を表形式で記載し、その右の欄に回答を記載する表形式のものとした。回答内容や度合いがわかりやすいように、調査様式の前部に回答例を設置し、回答内容や事例を記載した。

3.3.2 プレ調査の実施

(1) プレ調査の実施

各ユースケース実証者に向けて、ユースケースで使用を想定しているデータについて、以下の期間中に実施した。

プレ調査実施時期 : 2022年8月～2022年9月

調査対象者 : ユースケース実証を行う各者

(2) 調査結果への補足対応

ユースケース実証者ごとに、プレ調査様式に回答を記載して提出していただいたが、ユースケース実証者により、記載内容の濃淡や不明事項が生じたため、一部において別途補足のための確認、ヒアリングを実施して、内容の充実と状況確認、統制を行った。

3.3.3 プレ調査の結果整理

(1) プレ調査の結果整理

ユースケース実証者からの回答を、今後の基盤システム構築とデータ仕様の検討をはじめ、データの納入・成果公開という観点から、表 3.3-3 のとおり簡便化して整理した。

表 3.3-3 プレ調査によるユースケースで用いるデータの概要（項目、概要、情報源、空間 ID の紐付け等）

UC 名	データ項目	概要	情報源	ID 紐付け	納入可否	公開可否	中間納品対象	ファイル形式
建物内移動の支援	ロボット用地図情報	自律走行 2D LiDAR 地図情報	独自新規整備	有※1	可	不可	○	CSV
	フロア情報	建物の各フロアに関わる情報	BIM 情報から整備	有	可	不可	○	CSV
	建物 POI	エレベーター、自動ドア等施設情報	独自新規整備	有	可	不可	○	CSV
	立入禁止情報	立入禁止かどうかを示す情報	独自新規整備					
BIM データ連携 CPS	建物 BIM モデル	実証場の BIM モデル（メタ/ジオメトリデータ）	社内保有 BIM データ	無	不可	不可	対象外	対象外
	建物設備データ	実証場のデータプラットフォーム（ビルコミ®）内に収集している建物設備/IoT センサーのデータ	社内保有設備データ	無	不可	不可	対象外	対象外
	建物ボクセルデータ	BIM モデルから変換したボクセルデータとそれを ID 化し格納したデータベース	社内保有 BIM データ 社内保有設備データ	無	不可	不可	対象外	対象外
	建物ボクセルデータ・空間 ID 転写	ビルコミ内に格納した建物ボクセルと建物設備データを空間 ID の規則に従い転写したもの	社内保有 BIM データ 社内保有設備データ	有	可	可	○	CSV
統合災害情報の提供	浸水推定結果	衛星画像及び SNS 情報から推定した浸水域	ALOS-2、SNS データ	有	可	不可	○	CSV
	浸水域・浸水深	浸水域の解析用衛星（ALOS-2）画像データ	ALOS-2	無	不可	不可	対象外	対象外
	標高	JAXA が整備・配布する標高データ	AW3D30	無	不可	不可	対象外	対象外
アクセラレーション	建物住所ポイントデータ	建物単位での住所情報データ※2	建物住所ポイントデータ（販売品）	無	不可	属性のみ可	対象外	対象外
	建物名称データ	建物形状と紐付くビル名称データ（主要のみ）※2	建物名称データ（販売品）	無※	不可	属性のみ可	対象外	対象外
	人流メッシュ統計データ	人流を元にしたメッシュ単位の人口統計データ	人流メッシュ統計データ（販売品）	有※3	可	可	○	ベクトル タイル
	物件情報データ（戸データ）	賃料情報、物件概要等の不動産情報データ	物件情報データ（戸データ）（無償）	有※3	不可	不可	対象外	対象外
	物件情報データ（棟データ）	賃料情報、物件概要等の不動産情報データ	物件情報データ（棟データ）（無償）					
PLATEAU 建物データ	国土交通省の 3D オープンデータ	PLATEAU データ（LOD1）	有※3	可	可	○	ベクトル タイル	
地下埋設	地下埋設設備ボクセルデータ	AR ビュワー可視化実証エリアの地下埋設設備データから変換した地下埋設ボクセルデータと属性データ	独自新規整備	有	可	可	○	CSV

※1 空間 ID をキーに 2D LiDAR 地図ファイルを取得

※2 PLATEAU 建物データに属性として付与して整備

※3 データのベクトルタイル化を行い配信システム経由で空間 ID と連携可能とする

※上記は、プレ調査時点のユースケース実証で用いる予定のデータについて整理したものである。データ項目に記載している名称は、調査時点の収集情報で示している。

3 データ・メタデータの仕様検討や整備手法の開発等に関する調査

(2) 各ユースケースにおける3次元空間IDが紐付けされるデータの概要

プレ調査時点で、各ユースケース実証で使用を予定している3次元空間IDが紐付けされるデータの概要を以下の表 3.3-4 に整理した。

表 3.3-4 プレ調査時点における3次元空間ID紐付けデータの概要

UC名	データ項目	データ概要
建物内移動の支援	ロボット用地図情報	自律走行 2D LiDAR 地図情報
	フロア情報	階数、フロア内基準点情報等
	建物 POI・立入禁止情報	エレベーター、自動ドア等施設情報と、立入禁止かどうかを示す情報
BIMデータ連携CPS	建物ボクセルデータ・空間ID転写	ビルコミ内に格納した建物ボクセルに建物設備データを空間IDの規則に従い転写したデータ
統合災害情報の提供	浸水推定結果	衛星画像及びSNS情報から推定した浸水域
地下埋設	地下埋設設備ボクセルデータ	ARビューワー可視化実証エリアの地下埋設設備データから変換した地下埋設ボクセルデータと属性データ

このほか、アクセラレーションプログラムにおいて、3次元空間IDの紐付けはなされないが、3次元空間IDを用いて検索指定箇所の情報を抽出し表示するデータとして、ベクトルタイル形式で整備する「人流メッシュ統計データ」や「PLATEAU建物データ」等がある。

3.3.4 データ仕様（案）作成

(1) プレ調査結果に基づくデータ仕様（案）の作成

プレ調査結果に基づいて、表 3.3-4 に整理した6つのデータと、アクセラレーションプログラムで使用する2つのベクトルタイルデータについて、表 3.2-43 で整理した製品仕様書の目次項目のうち、特にデータ仕様に関わる項目を中心にして、これらのデータ仕様（案）の作成を行った。

(2) 必須調査対象に関わるデータの読み替え

業務仕様書上において、GISのユースケースとしてデータ仕様（案）の検討対象となっていたものは、以下に挙げるものである。

3 データ・メタデータの仕様検討や整備手法の開発等に関する調査

- ・ 検討対象： 洪水浸水想定区域、土砂災害危険箇所、避難ルート上の危険箇所、避難場所、避難行動要支援者施設、気象情報、建物、バス停、公園、建物エントランス、人流、混雑状況その他 GIS 関連情報

各ユースケース実証で使用する予定のデータと合致、類似するようなデータと、全く合致しないデータがあったため、発注者との協議調整により、本業務での取扱いについて、表 3.3-5 のとおり整理した。この調整により、当初の調査対象数と、実際に調査する対象の数量は一致した。

表 3.3-5 業務仕様書上の調査対象（データ）の実業務上の取扱い

仕様書上の調査対象	取扱い	調査対象データの読替え及び追加対象データ		
		データ名称	ユースケース名	追加した対象データ
建物エントランス	ユースケースデータを調査対象とする	建物 POI（建物内施設情報）	建物内移動の支援	—
建物	ユースケースデータを調査対象とする	PLATEAU 建物データ	アクセラレーションプログラム	—
人流	ユースケースデータを調査対象とする	人流メッシュ統計データ	アクセラレーションプログラム	—
混雑状況	ユースケースデータを調査対象とする	建物ボクセル空間 ID 転写データ	BIM データ 連携 CPS	—
洪水浸水想定区域	ユースケースデータを調査対象とする	浸水推定結果	統合災害情報の提供	—
土砂災害危険箇所	防災を仮想的ユースケースとして設定調査	—	仮想設定： 防災	—
避難ルート上の危険箇所	防災を仮想的ユースケースとして設定調査	—	仮想設定： 防災	—
避難場所	防災を仮想的ユースケースとして設定調査	—	仮想設定： 防災	—
避難行動要支援者施設	防災を仮想的ユースケースとして設定調査	—	仮想設定： 防災	—
気象情報	防災を仮想的ユースケースとして設定調査 対象：雨量情報	—	仮想設定： 防災	—
バス停	調査対象外とする	—	—	—
公園	調査対象外とする	—	—	—
—	ユースケースデータを追加調査対象とする	—	建物内移動の支援	ロボット地図
—	ユースケースデータを追加調査対象とする	—	建物内移動の支援	フロア情報

(3) 必須調査対象に関わるデータ仕様

本業務においてユースケース実証で使用するデータ以外の、実際にはデータ作成されない必須調査対象については、表 3.2-1 で設定したデータ仕様項目を中心にデータ仕様

3 データ・メタデータの仕様検討や整備手法の開発等に関する調査

の検討を行うこととした。データ仕様の検討にあたっては、インターネットでの検索により、各種データについてデータ名等をキーワードに検索を行い、可能な限り最近のもので、比較的幅広い範囲で利用できるような共通的な情報を選出し、データ仕様として定義し、データ仕様書（案）を作成した。

3.4 品質評価

3.4.1 品質要素に関わる検討

3次元空間 ID に関わる品質（要素）を検討するにあたり、同様の地理空間情報についてマニュアル化された『地理空間データ製品仕様書作成マニュアル 令和元年11月 国土交通省 国土地理院』を参考とした。このうち、参考とした品質の構成要素や内容、例が記載された「6.2 品質の構成要素」を抜粋し、以下に示す。

以下、『地理空間データ製品仕様書作成マニュアル 「6.2 品質の構成要素」』

.....

6.2 品質の構成要素

6.2.1 データ品質要素

次のデータ品質要素が適用可能な場合、これらを使用してデータ集合がその製品仕様書に示されている基準をどれだけ満たしているかを記述しなければならない。

●完全性

アイテム（地物、地物属性及び地物間関係）の過不足を表す品質の要素。

●論理一貫性

データの構造、属性及び関係の論理的な規則に対する整合性を表す品質の要素。

●位置正確度

地物の位置の正確さを表す品質の要素。

●時間正確度

地物の時間属性及び時間関係の正確さを表す品質の要素。

●主題正確度

定量的属性の正確度、非定量的属性の正しさ、並びに地物の分類及び地物間関係の正しさを表す品質の要素。

これらの五つのデータ品質要素は、さらに細分化された要素（データ品質副要素という）に分解できる。次のデータ品質副要素が適用可能な場合、これらを使用して地理空間データの品質を表示（品質要求の作成を含む）しなければならない。

6.2.2 データ品質副要素

データ品質副要素は、五つのデータ品質要素を細分化した要素であり、より詳細に品質情報を表示することができる。製品仕様書に記述する品質要求、データ作成者が作成する品質評価手順書及び品質評価結果を報告するメタデータにおいては、それぞれ、このデータ品質副要素を用い情報を記述する必要がある。

(1) 完全性

●過剰

地理空間データ内に存在する過剰なアイテム（地物、地物属性及び地物間関係（地物間関係には関連、集成及び合成がある））の度合いを表す品質の要素。

【例】〇〇市の学校一覧（論議領域とみならず資料）に示されている 100 箇所の学校に対し、学校のデータが 105 個存在していた。この場合、品質表示は「過剰 ‘5%’」となる。

●漏れ

地理空間データから欠落しているアイテムの度合いを表す品質の要素。

【例】〇〇市の公園台帳に記録されている 100 箇所の公園に対し、公園のデータが 97 個しか存在しなかった。この場合、品質表示は「漏れ ‘3%’」となる。

(2) 論理一貫性

●書式一貫性

地理空間データの物理構造を規定する規則に従わずに格納されているアイテム（地物、地物属性及び地物関係）の度合いを表す品質の要素。

【例】XML 文書として記録されている地理空間データは、XML の文法に従い「整形形式の XML 文書」となっていなければならない。「開始タグと終了タグが対になっている」、「ルートタグが一つ存在し、そのタグが他のタグの入れ子になっていない」等の規則に従っていないアイテムがあれば、書式一貫性のエラーとなる。

●概念一貫性

応用スキーマが規定する概念レベルの規則に従わずに格納されているアイテムの度合いを表す品質の要素。

【例】XML 文書として記録されている地理空間データは、XML スキーマによって表現される概念規則（応用スキーマ）に従い“妥当な XML 文書”となっていなければならない。「XML スキーマに定義されていないタグが XML 文書に存在してはならない」、「地物関連の参照先の地物型が XML スキーマと矛盾してはならない」等の規則に従っていないアイテムがあれば、概念一貫性のエラーとなる。

●定義域一貫性

応用スキーマが規定する定義域の範囲外にある値をもつ地物属性の度合いを表す品質の要素。

【例】ある地物属性の値の定義域が 1 から 10 までの整数と規定されている場合に、その範囲に含まれないアイテム（属性インスタンス）があれば、定義域一貫性のエラーとなる。

3 データ・メタデータの仕様検討や整備手法の開発等に関する調査

●位相一貫性

応用スキーマが規定する位相の特性（包含している、一致している、重なっている、接している、離れている）の規則に従わずに格納されているアイテムの度合いを表す品質の要素。

【例】応用スキーマに示されている、「道路ネットワーク中のノードは全てエッジの端点となる」、「等高線は交差しない」、「行政区域を構成する線の始点と終点は一致する」等の規則に従っていないアイテムがあれば、位相一貫性のエラーとなる。

(3) 位置正確度

●絶対正確度（外部正確度）

地理空間データに記録されている座標値と、真又は真とみなす座標値との近さを表す品質の要素。

【例】道路データの形状の構成点の座標値と、点検測量によって得た座標値（真とみなす座標値）との誤差の標準偏差が 0.52m となった。この場合、品質表示は「絶対正確度『標準偏差 0.52m』」となる。

●相対正確度（内部正確度）

地物の相対位置と、真又は真とみなす個々の相対位置との近さを表す品質の要素。

【例】現地測量によって計測した基準点データ同士の相対距離と、既存の座標成果によって求めた相対距離との誤差の標準偏差が 0.12m となった。この場合、品質表示は「相対位置正確度『標準偏差 0.12m』」となる。

●グリッドデータ位置正確度

グリッド（格子点）データ位置と、真又は真とみなすデータ位置との近さを表す品質の要素。

【例】TIN（不整三角網）から内挿により得られた格子点の標高値と、点検測量によって得た標高値（真とみなす標高値）との誤差の標準偏差が 1.23m となった。この場合の品質表示は、「グリッドデータ位置正確度『標準偏差 1.23m』」となる。

(4) 時間正確度

●時間測定正確度

地理空間データに記録されている時間属性の示す時間（有効時間）と、より正確な時計によって測定した真又は真とみなす時間との近さを表す品質の要素。

【例】台帳に記録されている建築年月日と、建物データがもつ時間属性「建築年月日」の年月日との間に標準偏差 5 日のバラツキがあった場合、品質表示は「時間測定正確度『標準偏差 5 日』」となる。

●時間一貫性

イベント（事象）の系列の順序関係の正しさを表す品質の要素。

【例】建物の建て替えの場合、新しい建物の建築年月日が元の建物の取り壊し年月日よりも過去のアイテム（時間属性インスタンス）があれば、本来存在してはならない時間を遡るイベントの列であるので、時間一貫性のエラーとなる。

3 データ・メタデータの仕様検討や整備手法の開発等に関する調査

●時間妥当性

トランザクション時間（データベースへの登録日時（タイムスタンプ）又はデータベース中の有効期間）と、より正確な時計によって測定された真又は真とみなす時間との近さを表す品質の要素。

【例】観測施設の観測結果をデータベースに登録する際、その観測結果のタイムスタンプを示す観測施設の時計と、基準となるデータベース側の時計との誤差が7分あった場合、品質表示は「時間妥当性 ‘誤差7分’」となる。

(5) 主題正確度

●分類の正しさ

地物型が正しく分類されているアイテムの度合いを表す品質の要素。

【例】河川に特定されなければならないアイテムが、道路型のデータとして作成されていれば、分類の正しさのエラーとなる。

●非定量的主題属性の正しさ

他のアイテムと区別するための符号（非定量的な主題属性）が正しく記録されているアイテムの度合いを表す品質の要素。

【例】道路台帳に表示されている路線名と、異なる路線名が記録されているアイテム（主題属性のインスタンス）が全体の2%あった場合、品質表示は「非定量的主題属性の正しさ ‘不良率2%’」となる。

●定量的主題属性の正確度

大小又は順序を示す数（定量的な主題属性）が正確に記録されているアイテムの度合いを表す品質の要素。

【例】台帳に記載された道路延長の数値と、道路データの主題属性「延長」に記録されている数値との誤差の標準偏差が12mとなった。この場合の品質表示は「定量的主題属性の正確度 ‘標準偏差12m’」となる。

.....

以上、『地理空間データ製品仕様書作成マニュアル 「6.2 品質の構成要素」』

上記の地理空間データに関わる品質要素を、製品仕様書等のドキュメントに利用しやすいように、表 3.4-1 のように表形式で整理した。

表 3.4-1 地理空間データに関わる品質要素

品質要素	品質副要素	概要
1.完全性	①過剰	該当データの数量過剰の有無
	②漏れ	該当データの数量欠落の有無
2.論理一貫性	①書式一貫性	データの物理構造規定への準拠、その良否
	②概念一貫性	応用スキーマが規定する概念レベルの規則への準拠、その良否
	③定義域一貫性	応用スキーマが規定する定義域への準拠、その良否
	④位相一貫性	応用スキーマが規定する位相特性の規則への準拠、その良否
3.位置正確度	①絶対正確度	地物の記録されている座標値と、真又は真とみなす座標値との近さ
	②相対正確度	地物の相対位置と、真又は真とみなす個々の相対位置との近さ
	③グリッドデータ位置正確度	グリッド（格子点）データ位置と、真又は真とみなすデータ位置との近さ
4.時間正確度	①時間測定正確度	データに記録されている時間属性の示す時間（有効時間）と、より正確な時計によって測定した真又は真とみなす時間との近さ
	②時間一貫性	イベント（事象）の系列の順序関係の正しさ
	③時間妥当性	トランザクション時間（データベースへの登録日時（タイムスタンプ）又はデータベース中の有効期間）と、より正確な時計によって測定された真又は真とみなす時間との近さ
5.主題正確度	①分類の正しさ	地物型が正しく分類されているかの度合い
	②非定量的主題属性の正しさ	他の地物と区別するための符号が正しく記録されているかの度合い（名称等）
	③定量的主題属性の正確度	大小又は順序を示す数が正確に記録されているアイテムの度合い（数量、順等）

これらの品質要素（品質副要素含む）のうち、3次元空間IDについて、現段階の状況を考慮し、本業務においては、表 3.4-2 のような品質要素（副要素含む）を定義した。品質要素

3 データ・メタデータの仕様検討や整備手法の開発等に関する調査

の掲載順は、品質の確認を実施する上で、比較的簡単に品質の確認がしやすい順番に並べている。ここで定義した品質要素は、今後作成されるデータの生成方法の違いや、今後の調査研究、3次元空間 ID に関わるデータファイルの定義、取扱いにより見直しが必要となると考えられるが、本業務ではこの表に定義された品質要素に基づいて、品質の確認、評価方法を検討することとした。

< 3次元空間 ID データの現段階の状況 >

- ・現在の3次元空間 ID が紐付けされたデータは、3種類のファイルで構成され、このファイルは、CSV形式であり、内部はカンマ区切り「,」という形態なので、論理一貫性のうち書式一貫性が問われるレベルでの書式定義はなされていない。
- ・3次元空間 ID データ自体は、ボクセルによりズームレベルに応じた位置を表すことはできるが、個々の地物の詳細な位置を示すものではないので、位置正確度における絶対位置正確度等の位置正確度という表現は品質としてふさわしくない。一方、ボクセルのズームレベルにおける範囲内に適正に位置づけられているかの判定は可能なため、3次元空間 ID が紐付けされたデータについては、適切な位置への ID 付けを位置正確性として定義する。
- ・本業務では、もともと何等かの形で存在するデータや新たに取得整備したデータに対して、3次元空間 ID をデータに紐付けすることによる3次元空間 ID の有効性を検証、評価することに着眼した業務であるため、もともと存在するデータや新規取得整備したデータに対する品質は、3次元空間 ID の紐付け前の品質確認事項と考えて品質確認対象から除き、あくまで3次元空間 ID の紐付けに関わる品質に注目するため、時間正確度、主題正確度は、対象外とする。

表 3.4-2 3次元空間 ID データに関わる品質要素

品質要素	品質副要素	概要
1.論理一貫性	①位相一貫性	空間 ID に関わる規格、基準、仕様等の明示
	②概念一貫性	データファイルの構成や形式の適切さ
	③フォーマット一貫性	ファイル内のデータの形式の適切さ
	④定義域一貫性	データの定義域（空間領域）の適切さ
2.位置正確性	①空間 ID レベル	空間 ID ズームレベル値の明示
	②空間 ID 位置	空間 ID ボクセル位置の正確さ
3.完全性	①過剰	紐付けされたデータに関わる空間 ID の過剰
	②漏れ	紐付けされるはずの空間 ID の漏れ
4.ID 属性間関連整合性	関連正確度	紐付けされた空間 ID と紐付けされたデータの相互間の紐付けの正しさ

3.4.2 品質確認手法・評価基準

(1) 各種品質確認方法

各種品質要素に関わる品質の確認方法について、表 3.4-3 に示す。表に示した確認方法は、現時点における確認方法であり、今後の 3 次元空間 ID に関わる継続的な仕様の検討、確立により、適切な確認方法を構築する必要がある。

表 3.4-3 各種品質要素に関わる品質確認方法

品質要素	品質副要素	確認方法
1.論理一貫性	①位相一貫性	データ作成時に作成した製品仕様書又はメタデータに空間 ID に関わる規格、基準、仕様等が明示され、これに基づいて作成されているかを確認する
	②概念一貫性	作成されたデータのデータファイルの構成や形式（拡張子）が適切かを確認する
	③フォーマット一貫性	作成したデータを読み込んで、問題なく読み込み、ファイル内のデータが確認（表示、使用）できるか、ファイル内の形式の適切さを確認する
	④定義域一貫性	作成したデータが、原データの存在していた空間領域と同じ空間領域で作成されているか確認する
2.位置正確性	①空間 ID レベル	データ作成時に作成した製品仕様書又はメタデータに、空間 ID のズームレベル値が明示され、これに応じたデータとなっているかを確認する
	②空間 ID 位置	データ作成時に作成した製品仕様書又はメタデータに定義された空間 ID の規格、基準、仕様に基づき、明示された空間 ID のズームレベル値でデータが作成され、データへの空間 ID 紐付け位置が正確であることを確認する
3.完全性	①過剰	リンクデータファイルにおいて、紐付けされるデータと結びつかない過剰な空間 ID レコードが無いかを確認する
	②漏れ	リンクデータファイルにおいて、紐付けされるはずの空間 ID レコードの欠落（漏れ）が無いかを確認する
4.ID 属性間関連整合性	関連正確度	紐付けされた空間 ID とソースデータの相互間の紐付けの正しさについて、適切に関連して紐付けされているか（リンクデータファイル／レコード）ができていないかを確認する

(2) 評価基準

各種品質要素について、品質要素ごとの評価基準に関わる検討を行った。各種品質要素においては、「1.論理一貫性」や「2.位置正確性 ①空間 ID レベル」、「3.完全性」のように、ドキュメントやメタデータ情報の確認、Excel 等の一般に存在するツールを使用して簡単に品質確認することができる要素と、「2.位置正確性 ②空間 ID 位置」や「4.ID 属性間連関整合性」のような個別位置の確認や個々のデータの相互間の確認等、確認方法が高度又は確認に労力を要する可能性の高い要素がある。このため、すべての品質要素について適切な評価基準を定めることが難しい状況にあるが、現時点における評価基準を検討し、評価基準（案）を、表 3.4-4 に例示した。なお、本来であれば、「各評価基準（案）」覧には、合否に関わる評価基準（例：適合率・正確率・誤りの割合＝〇%・〇%以上・以下）を記載すべきであるが、個々のデータの目的・用途に応じて数値を定めて記載することが適切であるが、現在は個々のデータの状況が不明のため、これらの覧には明記していない。

表 3.4-4 品質要素に関わる主な評価基準（案）（例示）

品質要素	品質副要素	評価基準（案）
1. 論理一貫性	①位相一貫性	A) 空間 ID に関わる規格、基準、仕様等の明示 → 規格等が明示されていれば良 B) この規格等に基づいて作成されているか確認 → 規格等に基づいて作成されている場合は「良」
	②概念一貫性	A) 作成されたデータのファイルの構成が適切かを確認 → ファイル構成が適切である場合は良 B) 作成されたデータのファイル形式（拡張子）が適切（CSV）かを確認 → 拡張子が CSV である場合は「良」
	③フォーマット一貫性	作成したデータを読み込んで、問題なく読み込み、ファイル内のデータが確認（表示、使用）できるか、ファイル内の形式の適切さを確認 → データファイルが読み込める、データの内容が確認できる場合は「良」
	④定義域一貫性	作成したデータが、原データの存在していた空間領域と同じ空間領域で作成されているか空間的定義域の適切さを確認 → データが正しい空間領域、定義域内の情報である場合は「良」

3 データ・メタデータの仕様検討や整備手法の開発等に関する調査

品質要素	品質副要素	評価基準（案）
2. 位置正確性	①空間 ID レベル	データ作成時に作成した製品仕様書又はメタデータに、空間 ID のズームレベル値が明示され、これに応じたデータとなっているかを確認 → 明示されたズームレベル値でデータが作成されている場合は「良」
	②空間 ID 位置 ※1	データ作成時に作成した製品仕様書又はメタデータに定義された空間 ID の規格、基準、仕様に基づき、明示された空間 ID のズームレベル値でデータが作成され、データへの空間 ID 紐付け位置の正確さを確認 → 明示された規格等、ズームレベル値で作成され、紐付けされた空間 ID の位置が正しいかを確認し、正しい場合は「良」
3. 完全性	①過剰	リンクデータファイルにおいて、紐付けされるデータと結びつかない過剰な空間 ID レコードが無いかを確認 → リンクデータファイルに、紐付けされるデータと結びつかない空間 ID レコードが存在しない場合は「良」
	②漏れ	リンクデータファイルにおいて、紐付けされるはずの空間 ID レコードの欠落（漏れ）が無いかを確認 → リンクデータファイルに、紐付けされるはずの空間 ID レコードの欠落（漏れ）が存在しない場合は「良」
4. ID 属性間関連整合性	関連正確度	紐付けされた空間 ID とソースデータの相互間の紐付けの正しさについて、適切に関連して紐付けされているか（リンクデータファイル/レコード）ができていないか確認 → 紐付けされた空間 ID とソースデータの相互間の関連の正しさを確認し、関連が正しい場合は「良」

※1 ソースデータの位置をボクセル上に展開した時、ボクセルの縁辺上にデータが存在した場合、このデータは縁辺を共有するどちらのボクセル（3次元空間 ID）に属するのか、この定義や判定が現時点で不明確である。特に曲線を有するような地物で、縁辺部でのデータの存在位置の判定で非常に難易度が高いため、現時点では目的・用途に応じてデータを表示して目視で位置、状況を確認する等の方法をとっている場合がある。

3.4.3 品質評価ツール

(1) 評価ツール作成に関わる検討

品質要素に関わる評価ツール作成の検討を行った。このうち、現時点において品質の確認が容易であり、一定の評価基準の設定が可能な要素を対象に検討を実施した。これらの品質要素については、3次元空間 ID を紐付けされたデータをデータベースに格納することや Excel に取込み、ファイル化することで、比較的簡単に品質確認のために検索して異常を把握できるため、これらに関わる単独でのツール化は実施しなかった。

今後、一定の評価要素と確認方法が確立後、一体的に評価できるツールの作成が望ましいものと考えて、今後の課題として（3）に記載した。

3 データ・メタデータの仕様検討や整備手法の開発等に関する調査

(2) 評価ツールの作成

本業務における評価ツールとして Excel ファイルを使用した品質確認用のシートを作成した。

① シートの構成

Excel ファイルで品質確認用のシートを作成するにあたり、シートは目的・用途に応じ、以下の表 3.4-5 のように設定した。

表 3.4-5 品質確認用のシート構成

シート名	目的・用途
表紙	<ul style="list-style-type: none"> ・ 3次元空間 ID に関わるデータの名称の明示、確認 ・ データに関わるユースケース名の明示、確認（任意） ・ 書類作成・更新年月日の明示、確認
データ名・評価記録	<ul style="list-style-type: none"> ・ データ名称の明示、確認 ・ データ作成者（社名、担当（責任）者）の明示、確認 ・ 品質評価者（社名、担当（責任）者）の明示、確認 ・ 品質評価履歴の明示、確認
総合評価	<ul style="list-style-type: none"> ・ 品質要素・副要素ごとの評価結果を総合的に掲載、確認 ・ 副要素における個別確認項目を明示、確認 ・ 個別確認項目に応じた確認方法の記載、確認 ・ 合否判定に関わるその合否、判定者、判定日付の記載、確認
メタデータ比較	<ul style="list-style-type: none"> ・ メタデータ情報の記載覧を設置、概況確認 ・ 実データに関わる値、状況の記載覧を設置、概況確認 ・ メタデータ情報と実データの状況を比較して状態を合否判定
論理一貫性	<ul style="list-style-type: none"> ・ 3次元空間 ID に関わる規格・基準・仕様等の明示、確認 ・ ファイルの構成、拡張子、ファイル内フォーマットの確認 ・ ファイルの読み込み、内容の適切さの確認 ・ 原データと同じ領域空間に存在しているか確認
位置正確性	<ul style="list-style-type: none"> ・ 3次元空間 ID ズームレベル値の明示、確認 ・ 紐付けされた ID が適切な位置のものかを確認
完全性	<ul style="list-style-type: none"> ・ 主にリンクデータファイルに対する 3次元空間 ID 紐付けに関わる過剰、漏れに関わる確認 ※ 3次元空間 ID データの使用の仕方により、統計データファイルに対する確認となる場合もある
付与 ID 属性間関連整合性	<ul style="list-style-type: none"> ・ 主にリンクデータファイルに対する 3次元空間 ID とソースデータファイル（ソースデータ ID）間における関連の正しさの確認 ※ 3次元空間 ID データの使用の仕方により、統計データファイルに対する確認となる場合もある

3 データ・メタデータの仕様検討や整備手法の開発等に関する調査

② 品質確認用のシートのイメージ

Excel で作成した品質確認用のシートのイメージを、表紙から各確認シートまで8種類を図として示す。

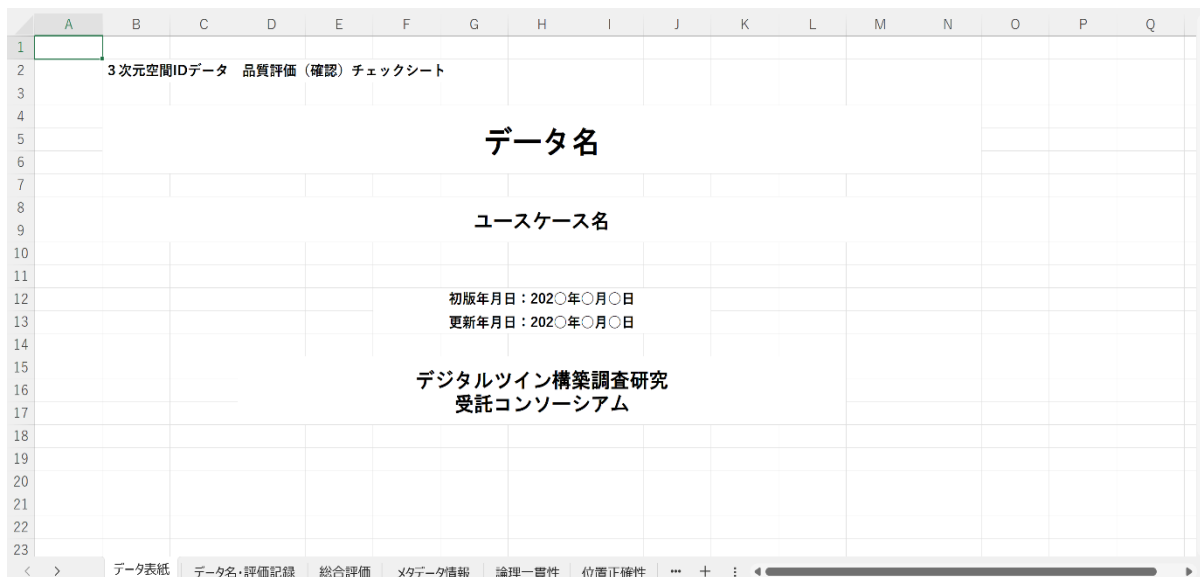


図 3.4-1 品質評価ツール（品質評価 Excel シート<表紙>）



図 3.4-2 品質評価ツール（品質評価 Excel シート<データ名・評価記録>）

3 データ・メタデータの仕様検討や整備手法の開発等に関する調査

図 3.4-3 品質評価ツール（品質評価 Excel シート＜総合評価＞）

図 3.4-4 品質評価ツール（品質評価 Excel シート＜メタデータ比較＞）

図 3.4-5 品質評価ツール（品質評価 Excel シート＜論理一貫性＞）

3 データ・メタデータの仕様検討や整備手法の開発等に関する調査

品質要素		位置正確性								
品質副要素	確認項目	確認内容		確認印	確認の結果等	合否判定				
		確認詳細	正常			合否	判定者	日付		
紐付けIDレベル	ズームレベル値	ズームレベル値の明示		明示						
紐付けID位置	Voxel位置	1:Viewerによる視覚判断 2:図形各構成点によるVoxel判定		問題なし 問題なし						

※Voxel位置 2 に関わる課題：Voxelの各図形面上（点・線・面）の場合の判定
・8点、12線、6面上にONする場合の属するVoxelの決め方、判定ツール
一律に定義できるか？ その地物等より本体側のVoxelを重視？

図 3.4-6 品質評価ツール（品質評価 Excel シート<位置正確性>）

品質要素		完全性								
品質副要素	確認項目	確認内容		確認印	確認の結果等	合否判定				
		確認詳細	正常			合否	判定者	日付		
過剰	過剰空間ID	過剰な空間IDの存在（属性IDのリンクが無い空間ID）		ナシ						
漏れ	不足空間ID	空間IDを持たない属性IDの存在		ナシ						

「過剰」の定義 リンクデータとして存在するレコードで、空間IDが存在しながらも、属性IDが存在しない（属性レコードとのリンクがない）データの存在
具体的には、レコードとして存在する空間IDについて、属性ID（属性レコード）のリンク具合（実質的には1以上）を確認し、仮にリンク具合が"0"の場合（リンク属性が

No.	空間ID (Voxel-ID)	属性ID
11	24/8/14899933/6608766	1231
12	24/8/14899933/6608767	1231
13	24/8/14899933/6608765	0
14	24/8/14899933/6608768	1231
15	24/8/14899934/6608766	0

←過剰の可能性のあるレコード
ただし、属性IDを順に見ているだけでは、この空間IDには他の属性とリンクしてい
←過剰の可能性のあるレコード

図 3.4-7 品質評価ツール（品質評価 Excel シート<完全性>）

品質要素		付与ID属性間関連整合性								
品質副要素	確認項目	確認内容		確認印	確認の結果等	合否判定				
		確認詳細	正常			合否	判定者	日付		
関連正確度	空間ID・属性関連正確度			整合						

図 3.4-8 品質評価ツール（品質評価 Excel シート<付与 ID 属性間関連整合性>）

(3) 品質評価ツールの今後への課題

現段階の品質評価ツールは、データベースや Excel にデータを取り込むことで、指定したズームレベルでデータが作成されているか等の基本的な品質要素の確認状況等の把握は可能である。別途、ユースケースの目的・用途に応じた品質になっているかの評価も必要であるが、データ自体の総合的な評価には用いることが可能である。しかし、これ以外の比較的高度、難度の高い品質確認要素には、このツールだけでは対応しきれない。

今後、3次元空間 ID に関わる規格・仕様が的確に定義、確立された時点で、基本的な品質要素から比較的高度、難度の高い品質要素までを一体的に評価するツールの作成が望まれる。

3.4.4 品質評価

(1) ユースケース実証データに関わる品質評価の観点と評価の実施

ユースケース実証における品質評価の実施においては、ユースケース実証者によるユースケースの目的用途に応じた適性面での評価と、データごとに必要な品質要素面での評価の2面で実施した。基盤システムに登録された各種ユースケース実証データは、データベースからエクスポートし、データごとに必要な品質要素について確認、評価を実施し、納入成果品とした。

(2) ユースケース実証データの品質（結果）

ユースケース実証データの品質評価結果は、第4章のユースケース実証に関わる報告内で記述している。基盤システムとして納入成果品について、受注者が製品仕様書及びメタデータに基づいて、データごとに必要な品質要素について確認を行い、問題がないものと評価した。

3.5 ドキュメントの作成

3.5.1 製品仕様書の作成

(1) ユースケース実証結果に基づく製品仕様書の作成

ユースケースの実証結果に基づき、各種データの製品仕様書を作成した。具体的な対象データについて、表 3.5-1 に示す。なお、データ名については、ユースケースの詳細仕様の確定時及び実証結果のとりまとめの際に改められたものもある。また、アクセラプログラムで作成するデータは、3次元空間 ID を用いて検索される側のベクトルタイルデータであり、3次元空間 ID を紐付けしていないので、3.3.4 (3) で作成したデータ仕様(案)をもとにデータ仕様書レベルでの作成を行った。

表 3.5-1 製品仕様書を作成したユースケースのデータ

ユースケース名	製品仕様書を作成したデータ名	備考
建物内移動の支援	建物地図データ	
	フロアデータ	
	建物内テナント及び施設名データ	
BIM データ連携 CPS	建物データ	
統合災害情報の提供	浸水推定結果データ	
アクセラ プログラム	人流メッシュ統計データ (データ仕様書レベルで作成)	<ul style="list-style-type: none"> 3次元空間 ID が紐付けされていないベクトルタイルデータ 3次元空間 ID によって検索(指定)された場所の情報を表示するためのサンプルデータ
	PLATEAU 建物データ (データ仕様書レベルで作成)	
地下埋設	地下埋設物データ	

3 データ・メタデータの仕様検討や整備手法の開発等に関する調査

(2) 必須調査対象に関わるデータ仕様書の作成

必須調査対象に関わるデータについて、以下の表 3.5-2 に示すデータの仕様書を作成した。

表 3.5-2 データ仕様書を作成した必須調査対象のデータ

ユースケース名	データ仕様書を作成したデータ名	備考
防災（仮想ユースケース） ・対象とするデータが防災に関わる情報が多いため、防災面での利活用を想定した設定とした ・このような中で、対象とするデータの関連性から、降雨による災害を想定した仕様を検討した	土砂災害危険箇所	
	避難ルート上の危険箇所	行政による指定危険箇所以外に住民による危険対象地物を含む ※1
	避難場所	災害時の避難として避難所を含む ※2
	避難行動要支援者施設	
	気象情報（雨量情報を対象）	アメダス解析雨量

※1 地域や住民の意見等により指定危険対象は異なるため、一例として定義している

※2 避難場所は、緊急的に一時的に避難を行う大きな公園や広場を含む場合があり、本仕様の検討においては、降雨による災害を想定しているため、一時的避難を行うような避難場所ではなく、一定の期間、避難生活を行うことができる避難所を含めて仕様定義した。

(3) 標準製品仕様書としてのとりまとめ

各ユースケースで作成した製品仕様書及び必須調査対象として作成したデータ仕様書をひとまとまりにして、今後の3次元空間 ID データの作成、利活用に役立つよう、標準製品仕様書としてとりまとめた。

3.5.2 作業手順書の作成

(1) ユースケース実証結果等に基づく作業手順書の作成

ユースケースの実証結果に基づき、各種データの作業手順書を作成した。具体的な対象データについて、表 3.5-3 に示す。

表 3.5-3 作業手順書を作成したユースケースのデータ

ユースケース名	作業手順書を作成したデータ名	備考
建物内移動の支援	建物地図データ	
	フロアデータ	
	建物内テナント及び施設名データ	
BIM データ連携 CPS	建物データ	
統合災害情報の提供	浸水推定結果データ	
地下埋設	地下埋設物データ	

なお、必須調査対象に関わるデータのうち、ユースケースでの使用対象とならなかったデータについては、仮想ユースケースとして調査し、データ仕様（案）は作成したが、実際のデータ作成に至っていないため、作業手順書作成の対象外である。

(2) 標準作業手順書としてのとりまとめ

各ユースケースで作成した作業手順書をひとまとまりにして、今後の3次元空間IDデータの作成、利活用に役立つよう、標準作業手順書としてとりまとめた。

3.6 とりまとめ

3.6.1 ユースケース実証で作成したデータ

本業務で実施したユースケース実証で作成したデータを表 3.6-1 に整理した。基本的には、3次元空間 ID を紐付けしたデータであるが、アクセラプログラムの人流メッシュ統計データや PLATEAU 建物データのように、3次元空間 ID を用いて位置を指定して、その場所の検索結果情報として整備したデータも含んでいる。また、作成されたデータは、私有空間の情報が多く、施設等のセキュリティ面から非公開を要望されたため、公開不可のデータが多い。さらに、地下埋設物に関わるデータは、作成したデータに関わるセキュリティ面から、公開可となったデータは、実際に使用している情報ではなく、実験フィールドで模擬的に作成したデータとしている。

表 3.6-1 本業務のユースケース実証で作成したデータ

ユースケース名	データ名	概要	紐付けの有無	公開の可否
建物内移動の支援	建物地図データ	自律走行 2D LiDAR 地図情報	有	不可
	フロアデータ	空間 ID の階数	有	不可
	建物内テナント及び施設名データ	エレベーター、自動ドア等施設情報と、立入禁止かどうかを示す情報	有	不可
BIM データ連携 CPS	建物データ	ビルコミ内に格納した建物ボクセルと建物設備データを空間 ID の規則に従い転写したもの	有	不可※2
統合災害情報の提供	浸水推定結果データ	衛星画像及び SNS 情報から推定した浸水域・深と国土地理院数値標高モデル	有	可
アクセラプログラム	人流メッシュ統計データ	人流を元にしたメッシュ単位の人口統計データ	無※1	可
	PLATEAU 建物データ	国土交通省の 3D オープンデータ	無※1	可
地下埋設	地下埋設物データ	実証エリアの地下埋設設備データから変換した地下埋設ボクセルデータと属性データ	有	可 ※3

※1 本業務で3次元空間 ID のユースケース検討を進める中、3次元空間 ID によって検索されるベクトルタイルデータとして整備することとなったため、本業務の実施過程で、3次元空間 ID の紐付けは行わないこととなった。

※2 本業務の実施過程で、実証者の意向により公開から非公開に変更した。

※3 本業務の実施過程で、実データではなく、フィールド実験用のサンプルデータとして非公開から公開可となった。

3.6.2 作成したデータに関わるドキュメント

本業務で実施したユースケース実証で作成したデータに関わるドキュメントを表 3.6-2 に整理した。作成したドキュメントは、データ仕様書レベルのもの5つを含む製品仕様書13をとりまとめた標準製品仕様書と、作業手順書8つをとりまとめた標準作業手順書である。

表 3.6-2 本業務で作成したデータに関わるドキュメント

ドキュメント名	ユースケース名	データ名	備考
標準製品仕様書	建物内移動の支援	建物地図データ	
		フロアデータ	
		建物内テナント及び施設名データ	
	BIM データ連携 CPS	建物データ	
	統合災害情報の提供	浸水推定結果データ	
	アクセラプログラム	人流メッシュ統計データ	データ仕様書レベル
		PLATEAU 建物データ	データ仕様書レベル
	地下埋設	地下埋設物データ	
	防災（仮想ユースケース）	土砂災害危険箇所	データ仕様書レベル
		避難ルート上の危険箇所	データ仕様書レベル
		避難場所	データ仕様書レベル
		避難行動要支援者施設	データ仕様書レベル
		気象情報（雨量情報）	データ仕様書レベル
標準作業手順書	建物内移動の支援	建物地図データ	
		フロアデータ	
		建物内テナント及び施設名データ	
	BIM データ連携 CPS	建物データ	
	統合災害情報の提供	浸水推定結果	
	地下埋設	地下埋設物データ	

3.6.3 作成したドキュメント等に関わる課題

本業務で作成した製品仕様書及び作業手順書において、これらドキュメントの作成中に3次元空間 ID の仕様等への改善が望まれる事項が発生した。ドキュメントのわかりやすさや、実際に作成されたデータの仕様と現在設定されている3次元空間 ID のルールとの乖離を無くすため、これらに関わる適正化に向けた検討を行う必要があると考えられる。改善が必要となる事項を「課題」として(1)～(5)に区分し、「問題点」と「対応策例」を記載した。

(1) 3次元空間 ID に関わる規格名の取り決めによる引用規格記載の簡略化

(問題点) 製品仕様として、3次元空間 ID に関わる規格、仕様を明示する必要があるが、規格名等が無い場合、この内容を製品仕様書に長々と記載する必要がある。

(対応策例) 定めた3次元空間 ID の規格・仕様について、名称と版番号等を付けて簡略表示できるようにし、名称・版番号と規格・仕様を公開して、誰もがこの規格・仕様を同一認識できるようにする。

(2) メタデータ項目仕様の見直し

(問題点) 現在設定されているメタデータ項目では、データに関わる内容(主に属性項目)が明記される項目がなく、製品仕様書上で明記される内容との乖離が大きく、メタデータからデータの詳細、定義に関わる部分が把握しにくい。また、項目名がデータベースへの登録を前提とした表現となっており、データベースに登録されていないデータ、又はデータベースに登録される以前のデータは、メタデータ情報として記載できない項目がある。

(対応策例) 地理空間データに関わるメタデータ仕様等を参考に、3次元空間 ID データがデータベースに登録されたデータを前提にした項目設定ではなく、データファイルとして単独に存在するファイルデータとして検討を行う。

(3) データ構成・内容・定義の見直し

(問題点) 現在、「リンクデータファイル」、「ソースデータファイル」、「統計データファイル」という3つのデータファイルが設定されているが、地図・GISに関わるユースケース実証においては、例えば次に示す2つの状況が生じていた。製品仕様書内でファイル構成や内容を記載する場合に、現在設定しているルールと矛盾、無駄が生じてしまう可能性がある。

3 データ・メタデータの仕様検討や整備手法の開発等に関する調査

・「リンクデータファイル」の時間要素項目（開始日時、終了日時）は、どのユースケース実証においても使用されずに実証を実現した。

・「リンクデータファイル」と「ソースデータファイル」の使用は必須、「統計データファイル」の使用は任意というルールの中で、ユースケース「統合災害情報の提供」において、「統計データファイル」のみの使用で実証を実現した。

（対応策例）上記のように発生した状況を踏まえ、構成や内容、定義の見直しを実施する。

（4） 上記（1）～（3）の改善、改定による品質に関わる見直し

（問題点）上記（1）～（3）において、何等かの変化が生じた場合、品質に関わる対象（ファイル、内容情報等）や品質要素、評価基準が変化する場合がある。製品仕様に関連し、この変化に応じた品質に関わる見直しが必要である。

（対応策例）改善、見直し等の変化の内容に応じ、現在設定している品質に関わる各種定義に影響しないか確認し、影響がある場合には、その見直しを実施する。

（5） 各ドキュメントの様式、記載要領の改訂

（問題点）上記（1）～（4）において、改善、見直し等何等かの変化が生じた場合、関連するドキュメントの関係部分の様式、記載要領を適切に改訂する必要がある。

（対応策例）改善、見直し等の変化に応じた各ドキュメントの様式、記載要領の改訂について検討を行う。

3.6.4 データ・メタデータに関わる課題

3次元空間 ID のデータ及びメタデータの作成から品質確認、このデータ利用に至る中で、様々な手間、問題となる点があった。これらについて以下に整理して記述する。

（1） ファイルのあり方

現在の3次元空間 ID データは、前述の「第4回 3次元空間情報基盤アーキテクチャ検討会 会議資料⁹」に基づき、「リンクデータファイル」と「ソースデータファイル」、場合によっては「統計データファイル」の3つで構成されている。このうち、主題的な属性情報が格納されているソースデータファイルは、直接的に3次元空間 ID が付与するわ

⁹ 「第4回 3次元空間情報基盤アーキテクチャ検討会 会議資料」

https://www.ipa.go.jp/dadc/architecture/pdf/pj_report_3dspatialinfo_doc-appendix_202207_1.pdf

3 データ・メタデータの仕様検討や整備手法の開発等に関する調査

けではないので、正しい3次元空間IDが紐付けされているかについては、リンクデータファイルに対して連関状況の確認を行う必要がある。

この3つのファイル構成は、既に正しいデータとしてデータベースに登録されたものをデータベースからのエクスポートファイルとして出力された場合のファイルのあり方としては問題ないが、データベースへの登録前の最初のデータの作成時に、このような構成でのデータ作成や正しい連関の維持は難度が高い。当初のデータ作成においては、ソースデータファイルへの3次元空間ID付与を前提とし、使用するアプリケーションにより、リンクデータファイル、ソースデータファイル等に分離編集するのが適切ではないか等、見直しが必要であると考えられる。

(2) リンクデータファイルに付された開始・終了日時情報

現在の3次元空間IDデータのリンクデータファイルには、開始・終了日時に関わる項目が設定されているが、「地図・GIS」に関わるユースケース実証では、どのユースケース実証者も、ソースデータファイルに時間要素を格納しており、リンクデータファイルの時間要素は使用していない。時間要素は、各データ（主題）の内容やアプリケーションの目的・用途によって、その設定や使い方が異なるため、時間要素項目の設定はソースデータファイルに行うものとし、アプリケーションの目的・用途に応じて、アプリケーションのデータベースの中で、リンクデータテーブルに時間要素項目を設けるようにすれば良いのではないか等、見直しが必要であると考えられる。

(3) メタデータ項目

現在のメタデータ項目の設定は、DADCの資料を引用して定義しているが、ソースデータの主題として含まれるデータの内容（属性情報）に関わる情報項目が無く、格納されたデータを使用したい利用者にとっては、情報不足である。これらを鑑み、メタデータとしての情報（項目）のあり方の見直しが必要であると考えられる。

(4) 品質要素、確認方法の変化

現在の3次元空間IDデータのファイルのあり方、内包する項目等に変化が生じた場合、これに伴って品質を確認する対象や要素、確認方法が変化することが考えられる。

ファイルのあり方以外でも、3次元空間IDという現時点ではまだ普及していない特殊性から、もともとの地物の位置に対する3次元空間ID・ボクセルに関わる正確さへの考え方や、たまたまボクセルの縁辺上に位置した場合に、どの3次元空間IDを紐付けするか等、様々な未確定な事柄があり、引き続きこれらに関わる問題について検討を継続する必要があると考えられる。

3 データ・メタデータの仕様検討や整備手法の開発等に関する調査

また、品質要素、確認方法の変化に応じて、品質評価ツールの見直しも必要となる。

(5) リンクデータファイル等3種類のファイル構成の必須、任意

DADCの資料では、3次元空間IDを紐付けたデータは、リンクデータファイルやソースデータファイル、統計データファイルのうち、リンクデータファイルとソースデータファイルの存在を必須とし、統計データファイルの存在、使用は任意としている。

本業務における「時間軸を考慮した災害情報の統合・提供」のユースケースにおいては、実証実現の検討過程において、利便性の観点からリンクデータファイルとソースデータファイルを連携して使用するよりも、3次元空間IDとソースデータが直接紐付いている統計データファイルを使用する方が利便性が高いとして、統計データファイルのみを使用した実証となっている。本業務では、このようなケースが生じ、実証に至ったため、これを考慮したファイルの位置づけ、定義が必要と考えられる。

4. ユースケースの実証

4.1 概要

本章では、本業務で実施した各ユースケース実証の概要、結果、及び考察と今後の展望を記載する。以下に各項の記載内容を記す。

(1) 実証概要

本項では各ユースケースで設定した将来ビジョン実現に繋がる **Key Goal Indicator**（以下、「KGI」という）と、その **Key Success Factor**（以下、「KSF」という）及びプロセス **KPI** について記載した。

また、各ユースケースの仕様は、本報告書に記載の空間 ID 定義、アーキテクチャ、基盤システムや、データ・メタデータ仕様を前提に、空間 ID の有用性とサービスとしての実現可能性を念頭において検討を行った。本項の構成と主な記載事項は以下の通りである。

- ユースケースの現状：
業界が有する根源的な課題や潜在的ニーズを踏まえ、各ユースケースの現状を整理した。また、それらの現状を踏まえ、空間 ID を活用して解決すべき課題・ペインポイントを技術面、ビジネス面等から検討した。
- 将来ビジョン：
ユースケースの現状を踏まえ、2030年までに実現させたい将来を「将来ビジョン」として設定した。
- 実証における検証項目の設定：
将来ビジョンを実現するために達成すべき上位目標を **KGI** とした。また、**KGI** を達成する上で不可欠な要因を **KSF** とし、各 **KSF** を評価するうえで検証に必要な指標をプロセス **KPI** として各々設定した。なお、プロセス **KPI** は経済性と社会性の観点から、内容に応じて適切と考えられる定量・定性指標を設定した。
また、技術的な検証項目についてはユースケースの成立に欠かせない重要性が高い項目を設定し、実証を通じてその検証を行った。
- 検証プロセス
各ユースケースにおける実証用のデータ整備から結果検証までの流れを、実施主体間のサービス連携、及びシステム間のデータ連携を記述した検証プロセス図に記載した。また、システム間のデータ連携については、別途作成したシーケンス図にて詳述した。

- ・ 検証方法

前掲のプロセス KPI 及び技術的な検証項目について、その測定方法と検証時の条件、結果の判定方法についてあらかじめ取り決めることで、検証方法と手順を明確にした。

- ・ 開発スコープ、ステークホルダー、及び実証場所

各ユースケースの実証を行うにあたり、開発対象となるシステムの概要図と開発内容を記載した。また、実証の履行にあたり、連携必要な主要ステークホルダー（人・組織・団体等）、及び実証場所の選定理由や選定要件を整理した。

(2) 実証結果

本項では、プロセス KPI、及び技術的検証項目の評価結果を記載した。

(3) 考察

本項では、本章結果を踏まえた課題抽出、改善策、及び今後の検討を行った。具体的には実証結果を踏まえ、本実証における達成事項と未達事項を整理した。未達事項についてはその原因を考察の上、課題の整理と改善策を記載した。

また、本実証の結果、及び設定した将来ビジョンを踏まえ、ユースケースの社会実装に向けて必要な検討事項を取りまとめた。

4.2 時間軸を考慮した災害情報の統合・提供

4.2.1 実証概要

(1) ユースケースの現状と課題・ペインポイント

気候変動の影響などにより各地で気象災害が甚大化している中で、河川氾濫などの被害が繰り返し起こっている。したがって、各自治体など行政の対策としてより高度な情報管理と過去情報を用いた備えが重要視されている。

現状、衛星データや SNS 情報から推定された浸水域及び浸水深の情報は 2 次元データとして提供され、取り扱われることが主流である。同様に、ハザードマップ等の防災情報も 2 次元情報として主に利用されている。また、SNS などを用いた情報の収集・選択や、各情報ソースからの浸水想定箇所の特定、その時間推移、平時との比較など取り扱いが極めて煩雑になることが課題である。

また、これらの情報は異なる座標系（位置情報の表現方法）で作成されている場合が多く、かつ時間軸で管理されていないため、それぞれの情報を複合利用する際の利便性が悪い。したがって、多様な情報の管理や可視化などにおいても限界がある。

上記の課題に基づくと、自治体をはじめとした行政やそれらに情報を提供する事業者にとって、ソースデータや解析結果が統一された時空間座標で管理が行われることによるアクセシビリティの向上や、時間軸で管理された防災情報の提供は、初動を早めるだけでなく、平時からの備えに繋がることを期待される。

(2) 将来ビジョン（課題を解決したビジョン）

2030年を目処に、空間 ID による統合的な災害リスク情報の提供により必要な備えが行われることで、防災教育が進み理解が促進されて防災能力が向上するとともに、初動が加速し減災・防災が実現する。

防災分野における空間 ID を用いた管理がデファクトスタンダード化されると、全国で情報共有が容易になる。また、ハザードマップがアクティブにアップデートされるようになる。図 4.2-1 に空間 ID を用いたハザード情報更新の概念図を示す。時空間管理ができることで、想定浸水深を表すピンク色のボクセルが、一度目の冠水（濃青）、二度目の冠水（淡青）のボクセルで容易に更新されるようになる。また、地形の変化（斜面崩壊、盛土など）も適宜更新されるようになる。

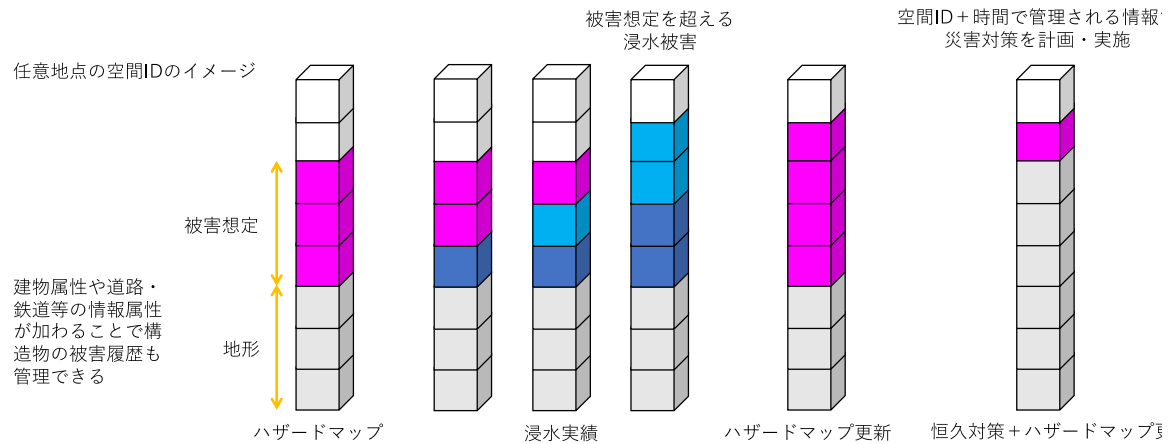


図 4.2-1 空間 ID を用いたハザード情報更新の概念

(3) 経済的・社会的検証項目の設定

将来像を実現するために達成すべき上位目標 (KGI) を、経済的価値・社会的価値の観点から設定し、KGI を達成するために重要な要因 (KSF) を導出した。さらに、KSF を達成するために本業務の実証にて検証すべき指標としてプロセス KPI も同様に検討を行い、これらのプロセス KPI を本実証での経済的・社会的検証項目として設定することとした。

KGI、KSF、プロセス KPI は表 4.2-1 のように整理した。なお、本業務の実証における各 KPI の具体的な内容については表 4.2-2 に掲載している。

表 4.2-1 KGI、KSF、プロセス KPI (経済的・社会的検証項目) の一覧

観点	KGI	KSF	プロセス KPI (経済的・社会的検証項目)
社会	高精度な浸水ハザードマップ利活用の普及	衛星・SNS 情報の組み合わせによる浸水情報解析の精度向上	【ハザードマップ】自治体保有の実績データとの整合性
		既存システムとの整合性やインターオペラビリティの確保 (共通インタフェースの設定)	【ハザードマップ・防災マップ】既存システムとの互換性
	より安全性の高い防災マップ・避難計画の策定	過去の浸水情報を含む統合的な防災情報に基づく計画策定	【防災マップ】既存データとの互換性
	ユーザー利便性の向上	良質な UI/UX の提供	3次元情報可視化とインタラクティブ性のユーザー評価

2022年度の実証では表 4.2-2 の検証項目により、空間 ID の活用可能性を評価する。

表 4.2-2 実証における経済的・社会的検証項目

観点	検証項目	詳細	現状（比較対象）	指標
社会	【ハザードマップ】自治体保有の実績データとの整合性	自治体保有の災害実績データ及び参照しているオープンデータと情報の精度などの観点から比較評価する	自治体を持つ既存の実績情報	SNS と衛星画像の統合によるハザードマップと既存情報との整合性
社会	【ハザードマップ・防災マップ】既存システムとの互換性	既存システムなどとの比較	該当なし（自治体を持つ従来の災害・防災情報のみ）	アンケート設問において、現状機能で実現可能な項目が半数以上
社会	【防災マップ】既存データとの互換性	既存情報、自治体所有の情報などとの比較において、比較のしやすさ、併用運用のしやすさを評価する（操作性）	自治体が所有するデータのみ依存した分析	アンケート設問において、現状機能で実現可能な項目が半数以上
社会	3次元情報可視化とインタラクティブ性のユーザー評価	自治体所有の防災情報などと比較することで、ユーザビリティなどの観点から評価する	自治体が所有するデータ	アンケート設問において、実現可能な項目が半数以上

上記の KPI と検証項目に基づいて、実証計画を策定し、実証・考察を行った。

(4) 検証プロセス

本実証では、空間 ID を用いた衛星観測データ、SNS による河川氾濫情報の管理と情報可視化を行う。実証対象は佐賀県六角川で過去発生した河川氾濫とし、対象地域は佐賀県庁、六角川流域市町とした。

具体的な検証プロセスを図 4.2-2 に示す。検証は「データ整備」「サービス提供」「検証」の 3 ステップに分類される。

データ整備として、実証者（RESTEC）が保有する解析設備機能を用いて、河川氾濫による浸水深・浸水分布解析を行った。本事業で開発するデータ変換機能、Voxel 表示機能を用いて解析結果を地図・GIS 基盤システムにインポートした。

サービス提供としては、データ提供者としての実証者が地図・GIS 基盤システム（サーバー・DB・システム）から必要な情報（解析結果）を取得し、表示可能なデータに変換する機能を開発した。変換されたデータを、別途開発する UI により表示、操作を行う。

評価は佐賀県庁を中心とした六角川流域関連自治体にデモ、アンケートを実施することで行った。

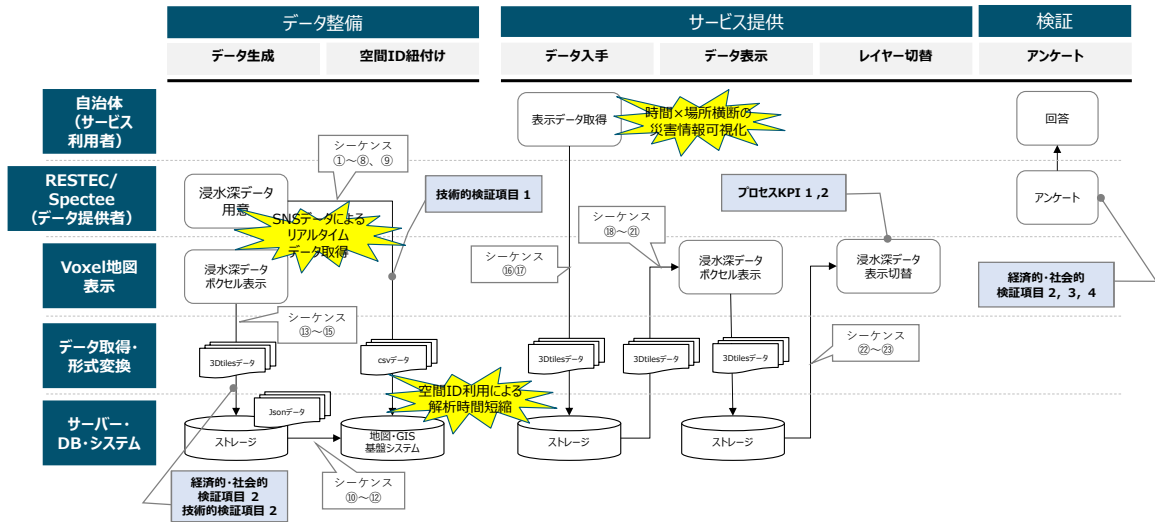


図 4.2-2 検証プロセス図

検証プロセス図中に記載のシステム間の処理シーケンスについて図 4.2-3 から図 4.2-4 に示す。

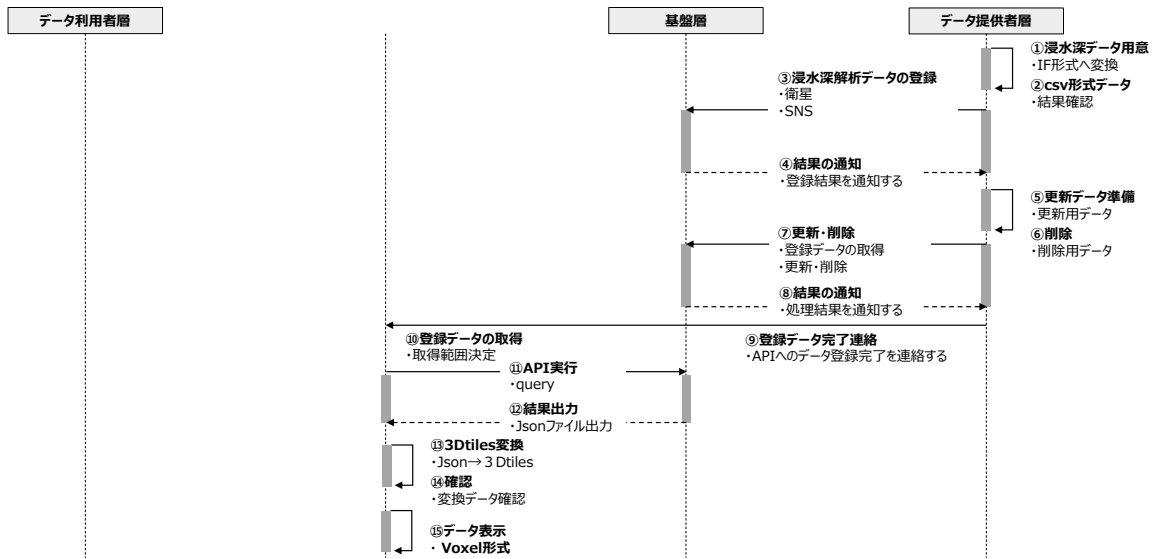


図 4.2-3 シーケンス図 (1/2)

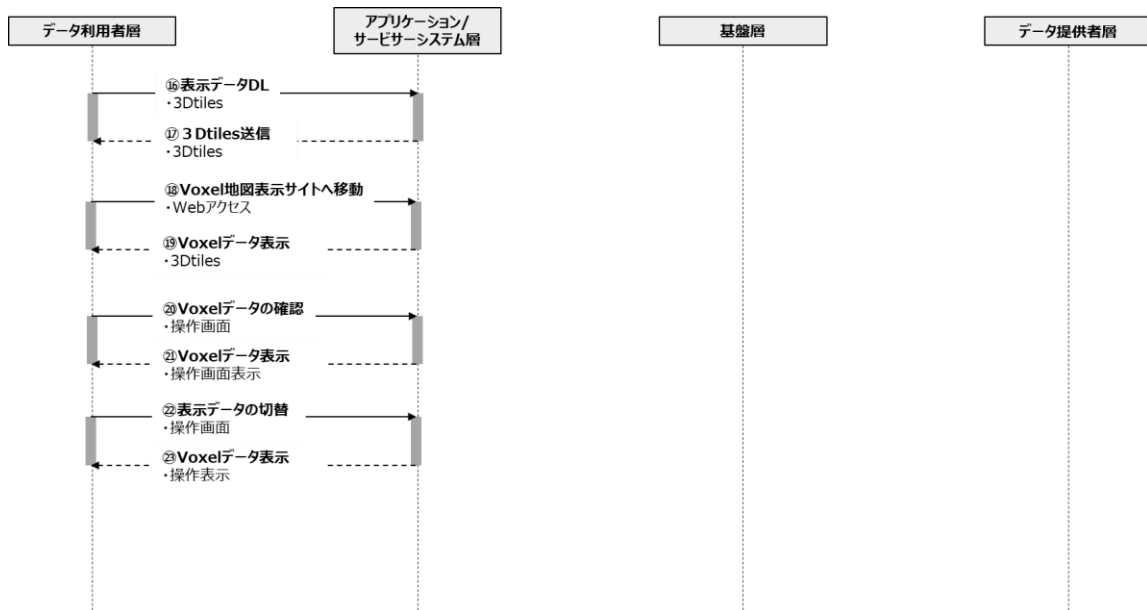


図 4.2-4 シーケンス図 (2/2)

(5) 技術的検証項目の設定

ユースケースにおいて空間 ID を活用するにあたり、技術的に検証が必要な項目を技術的検証項目として設定した。設定した項目を表 4.2-3 に記載する。

表 4.2-3 技術的検証項目の一覧

検証項目	詳細
データ変換工数：異なるフォーマットの変換処理	空間 ID を起点として、ラスターからポイントデータへの効率的な変換が可能か
データ整備工数：座標系などの変換処理	地図・GIS 基盤システムの Web API の出力から得られるデータに対し、3次元座標と時系列に対応する情報を、Cesium での表示に最適化した形で効率的に持たせることが可能か。

(6) データ・メタデータ

(4) 検証プロセスで示した全プロセスを完遂するためには、表 4.2-4 のデータが必要となる。本データは、衛星データを用いた浸水推定解析結果、SNS を用いた浸水推定解析結果、国土地理院数値標高モデル (DEM)、Sentinel-2 による可視画像データの4つのデータを統合して「浸水推定結果データ」として、空間 ID に紐付けを行い地図・GIS 基盤システムに格納した。SNS 画像を用いた浸水推定解析結果に関しては、Spectee.Inc が保有する既存システムを用いて作成した。具体的には、まずは投稿された画像や動画

を AI など解析することで、その画像や動画の正確な位置と、その画像に写っている浸水の深さを特定する。そして、得られた天気データ（浸水深、降雨量など）や DEM データなどを掛け合わせることで、画像や動画が投稿されてから数分で、「投稿」という点データから「浸水推定図」という面のデータを作成する。

以降にデータ作成方法を計画し、取得したデータの詳細を記載する。なお、本実証にて使用したデータは株式会社 Spectee、国土地理院より許諾を得た図を使用した。また、JAXA、ESA のデータについては、利用規約に従い使用した。

表 4.2-4 本実証で使用するデータ一覧

データ名	概要	空間 ID 紐付け
浸水推定結果	衛星データ、SNS データ、国土地理院数値標高モデル (DEM) を用いて冠水箇所の判定、浸水深を出力する。	有

① 浸水推定結果

実証者 (RESTEC) が保有する解析設備機能を用いて、河川氾濫による浸水深・浸水分布データを作成。冠水域抽出エリアに対応する空間ボクセルと空間 ID に紐付けを行うため、抽出結果をズームレベル 22 相当のボクセルサイズに分割し、座標情報と浸水深及び、浸水深に対応する色情報 (RGB) 等を格納した。1つの衛星データを用いた浸水推定解析結果、または1つの SNS を用いた浸水推定解析結果に対して、解析結果の日時に対応する flood_id (災害 ID) を付加し、浸水推定結果データに格納することで、時系列の表示が可能である。また、国土地理院数値標高モデル (DEM)、Sentinel-2 可視画像データは、浸水推定データを 3D 表示する際、地形の背景として表示した。

表 4.2-5 浸水推定結果

項目	内容
取得年月日	2022年11月～2023年3月
整備年月日	2022年11月～2023年3月
データ品質	緯度経度上の位置及び浸水深の高さ等をボクセル表示して検証
作成方法	RESTEC が保有する解析設備機能を用いて、1つの衛星データを用いた浸水推定解析結果、または1つの SNS を用いた浸水推定解析結果に対して、解析結果の日時に対応する flood_id (災害 ID) を付加し、河川氾濫による浸水深・浸水分布データを作成。ズームレベル

項目	内容
	22 相当のボクセルサイズに分割し、座標情報と浸水深及び、浸水深に対応する色情報（RGB）等を格納。
データフォーマット	画像データ（GeoTIFF フォーマット及びシェープファイルフォーマット）
データ容量	約 100MB/ 1 シーン
新規整備／既存データ	新規整備

本データを空間 ID に紐付け、地図・GIS 基盤システムに格納し実証で利用した。

空間 ID に紐付ける際のデータ仕様については 3 章記載のデータ仕様案に則り、データ・メタデータを作成し、品質評価を行い、実証時の仕様に問題ないことを確認した。なお、データの具体的な属性情報の項目等の詳細、作成手順については標準製品仕様書・標準作業手順書に記載した。

(7) 検証方法

① 経済的・社会的検証項目

- ・ 自治体保有の実績データとの整合性

【測定方法】

自治体が所有している被災情報及び自治体が参照している国土地理院などの情報と、本実証での浸水深マップ結果について、浸水域、浸水深に関する比較評価を行った。

【結果の判定方法】

本実証に用いた解析結果はいずれも、自治体が現在使っている評価対象データにおいて同条件（解析時間、場所など）ではないことに配慮しながら、複数地点での浸水深の比較、浸水域の形状、面積などについて検証、評価結果をまとめ要因分析を行う。比較の結果は観測、解析の手法により起こりうる差異も考慮した考察を行った。

- ・ 既存システムとの互換性

【測定方法】

将来的な想定ユーザーである自治体（佐賀県庁、六角川流域市町）の担当部局の既存運用状況と実証システムの想定運用を比較して、互換性高い利用が可能かヒアリング、アンケートを行った。

【結果の判定方法】

既存のシステム（有無も含める）の運用状況と、当該実証用システムの機能比較により、利用上のメリット・デメリットに関する分析を行い、ポジティブなポイントの点数によって評価を行った。具体的には、現在自治体で運用されているシステム（統合型GIS）の機能を前提として以下の設問に回答いただいた。その上で、得られた回答に対して、将来的な実現性を技術面から検討し、実現可能なものが半数以上を占めるかどうかで評価を行った。

- 統合型GISと併用利用の可能性
- CSV, シェープファイルでのインタフェース
- 自治体様で注視している箇所の視認性

- ・ 既存データとの互換性

【測定方法】

将来的な想定ユーザーである自治体（佐賀県庁、六角川流域市町）の担当部局が現在利用しているデータと実証システムの想定運用を比較して、互換性の高い利用が可能かヒアリング、アンケートを行った。

【結果の判定方法】

コンテンツや利用に関する要望に対して、実現が可能なものの割合によって評価を行った。具体的には、現在自治体で利用しているデータとその利用・運用状況を踏まえ、以下の設問に回答いただいた。その上で得られた回答に対して、将来的な実現性を技術的から検討し、実現可能なものが半数以上を占めるかどうかで評価を行った。

- 予測・予報情報の必要性について
- 罹災証明のエビデンスとしての利用可能性
- 罹災証明のエビデンスの補助情報としての利用可能性
- 既存防災情報の更新への利用可能性

- ・ 3次元情報可視化とインタラクティブ性のユーザー評価

【測定方法】

将来的な想定ユーザーである自治体（佐賀県庁、六角川流域市町）の担当部局に実証システムのデモを行い、その結果についてヒアリング、アンケートを行った。

【結果の判定方法】

可視化、UIに関するコメント、要望に対して、実現が可能なものの割合によって評価を行う。具体的には、自治体担当者が注視しているポイントに関する本実証システムでの視認性、及び本実証システムの機能全般に関する以下の設問に回答いただいた。その上で得られた回答に対して、将来的な実現性を技術的から検討し、実現可能なものが半数以上を占めるかどうかで評価を行った。

- 建物などの視認性
- 道路、橋、河川などのインフラの視認性
- 浸水深の視認性
- 動作の軽快さ
- 異なる時間の切り替え表示
- 幹線道路、インターチェンジの状況確認視認性について

② 技術的検証項目

- ・ データ変換工数：異なるフォーマットの変換処理

【測定方法】

本実証で開発したフォーマット変換ツールを用いて、浸水推定解析結果を保持するラスタデータ、地図・GIS基盤システムで管理されるポイントデータ（CSV）へと変換する際の、変換に必要な処理時間を測定した。

【検証時の条件】

実証ではサイズ 9.55m（ズームレベル 22）のボクセルを用いて評価を行った。

【結果の判定方法】

ラスタデータからポイントデータへの変換時間は、ピクセル数とファイルサイズに大きく依存するため、異なる変換処理を用いたとしても、対象ファイルが同一である場合は、処理時間は同程度になると想定される。したがって、本実証で開発したフォーマット変換ツールによるラスタからポイントデータへの変換時間が、衛星画像の取得や浸水推定解析に要する時間と比べ同程度以下であるかどうか、という観点から効率的な変換に関する可否の判定を行った。

- ・ データ整備工数：座標系などの変換処理

【測定方法】

本実証で作成した座標系変換処理を使用し、地図・GIS 基盤システムの Web API 呼び出しによるデータ取得開始から、Cesium 上での表示が可能なデータ形式への処理完了までの所要時間を測定した。

【検証時の条件】

本実証ではサイズ 9.55m（ズームレベル 22）のボクセルを用いて評価を行った。

【結果の判定方法】

ラスターデータからポイントデータへの変換時間は、ピクセル数とファイルサイズに大きく依存するため、異なる変換処理を用いたとしても、対象ファイルが同一である場合は、処理時間は同程度になると想定される。したがって、本実証で開発した座標系変換処理による、データ取得開始から処理完了までの所要時間が、衛星画像の取得や浸水推定解析に要する時間と比べ同程度以下であるかどうか、という観点から効率的な変換に関する可否の判定を行った。

(8) 開発スコープ

ユースケース実証の開発スコープとなるシステムコンセプト図及び開発内容をそれぞれ図 4.2-5、表 4.2-6 に示す。

実証事業者は開発する浸水深データ（衛星及び SNS データ）の空間 ID へのインタフェース処理を用いて、地図・GIS 基盤システムへのデータ登録を行った。ユーザーは、地図・GIS 基盤システムから必要なデータを取得し、開発するデータ形式変換機能、Cesium をメインとした UI を用いて地図表示を行い、空間 ID の操作（可視化）を行った。

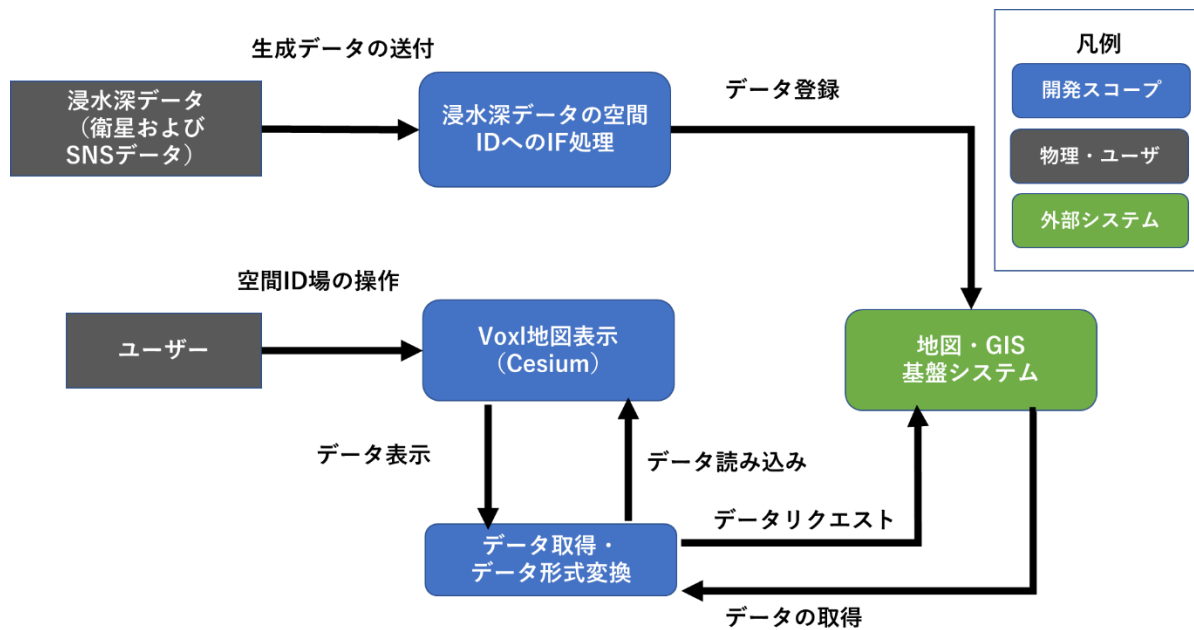


図 4.2-5 統合災害情報の提供におけるシステムコンセプト

表 4.2-6 統合災害情報の提供における開発内容

項目名	概要説明
浸水深データ及び SNS データの空間 ID への IF 処理	浸水推定解析結果を 3 次元空間情報基盤システムへ登録するデータ形式 (CSV) への変換処理を行う機能の開発
データ取得・データ形式変換	<ul style="list-style-type: none"> ・ 3 次元空間情報基盤システムからデータをリクエストし、データを取得する機能の開発 ・ Cesium 上に 3 次元空間情報基盤システムから DL したデータを表示可能な形式に変換する機能の開発
Voxel 地図表示 (Cesium)	Cesium 上で、取得した浸水深データ及び SNS データ表示を切り替えるボタンの開発

(9) ステークホルダー

表 4.2-7 のステークホルダーと適宜連携し、実証・開発を実施した。

表 4.2-7 統合災害情報の提供におけるステークホルダー

ステークホルダー	実証における役割
一般財団法人リモート・センシング技術センター	<ul style="list-style-type: none"> 空間 ID を活用した防災ユースケースの開発、実証遂行 衛星データの解析及び空間 ID への対応付
株式会社 Spectee	<ul style="list-style-type: none"> SNS データの解析及び空間 ID への対応付 UI の開発
佐賀県庁	実証場所の提供及び自治体内における実証関係者取り纏め
ダイナミックマッププラットフォーム株式会社	3次元空間情報基盤システムの提供

(10) 実証地

実証地は以下の点を考慮し、表 4.2-8 に記載の場所を選定した。

- 直近2年（2021、2019年）で河川氾濫を起こしている
- 流域市町の関心度が高い

表 4.2-8 統合災害情報の提供における実証地

実証地名称	所在地
佐賀県六角川流域	直近2年（2021、2019年）で河川氾濫を起こしているため、氾濫流域を選定

4.2.2 実証結果

(1) プロセス KPI（経済的・社会的検証項目）に対する結果

プロセス KPI（経済的・社会的検証項目）について得られた結果を表 4.2-9 に示す。

表 4.2-9 プロセス KPI（経済的・社会的検証項目）に対する結果

No	観点	プロセス KPI (経済的・社会的 検証項目)	目標値/目標状態	結果	備考 (回答内訳)
1	社会的 価値	【ハザードマップ】自治体保有の実績データとの整合性	SNS と衛星画像の統合による高度なハザードマップの作成	既存情報と比較し、整合した (暫定)	
2		【ハザードマップ・防災マップ】既存システムとの互換性	アンケートの対応する設問において、実現可能な件が半数以上	100% 要望項目数：3件、うち実現可能：3件	○：統合型 GIS と併用利用の可能性 ○：CSV, シェープファイルのインタフェース ○：自治体様で注視している箇所が、既存システムも併用して確認可能か。
3		【防災マップ】既存データとの互換性	アンケートの対応する設問において、実現可能な件が半数以上	67% 要望項目数：3件、うち実現可能：2件	×：既存の実績データと組み合わせ、自治体が必要とする予測情報を得られるか。 ○：罹災証明のエビデンスの補助情報としての利用可能性 ○：既存防災情報の更新への利用可能性
4		3次元情報可視化とインタラクティブ性のユーザー評価	アンケートの対応する設問において、実現可能な件が半数以上	75% 要望項目数：4件、うち実現可能：3件	○：地物情報の視認性（建物、道路、橋、河川、IC など） ○：浸水深の視認性 ×：画面表示・動作の軽快さ ○：異なる時間の切り替え表示

(2) 技術的検証項目に対する結果

技術的検証項目について得られた結果を表 4.2-10 に示す。

表 4.2-10 技術的検証項目に対する結果

No	検証項目	詳細	結果
1	データ変換工数： 異なるフォーマットの変換処理	空間 ID を起点として、ラスターデータからポイントデータへの効率的な変換が可能か。	可能 (40 分程度)
2	データ整備工数： 座標系などの変換処理	地図・GIS 基盤システムの Web API の出力から得られるデータに対し、Cesium での表示に最適化した形で、3次元座標と時系列に対応する情報を、効率的に持たせることが可能か。	可能 (30 分程度)

4.2.3 考察

前章での評価結果の考察を以下にまとめる。

(1) 結果のまとめ

本実証において、各検証項目は概ね達成であると評価した。一方で、法規的、技術的な観点から現時点では実現が不可能とみられる課題もあった。以降に詳細を記載する。

・ 社会的検証項目

表 4.2-9 の No. 1 については、自治体が参照している国土地理院の六角川河川氾濫マップと比較を行った。その結果、SNS、衛星 (ALOS-2 SAR) という異なる観測・解析手法を用いることによる差や、比較する国土地理院の情報と実証システムでの観測、解析の手法が異なることで解析結果に差が生じることは既知である。比較する国土地理院の情報と実証システムの解析結果は異なる日時で出していることも差として表れる。それを加味して、全ての情報を時系列に並べた時に、変化の様子を違和感なく表現できており、行政が災害対応の判断に資する情報として利用に耐えうることを確認することができた。

表 4.2-9 の No. 2～4 については、佐賀県庁、六角川流域市町による評価と要望を収集し、要望の半数以上を将来的にも達成できることがわかった。その結果を以下にまとめる。

- 災害時に注視している対象は、実証システムでもよく判読ができる
- 既存の統合型 GIS(LGWAN)とは将来的にインタフェースが可能
- 予測、予報に関する情報提供の要望には技術的、法規的観点から困難
- 軽快な動作は実証システムでは確立できたが、今後データ量が多くなる場合は地図・GIS 基盤システムとの連携などの観点で検討が必要

表 4.2-9 の No.1 について、自治体が所有している被災情報、及び自治体が参照している国土地理院などの情報と本実証で得られた浸水深マップとで、浸水域、浸水深に関する比較評価を行った。

今回整備した衛星及び SNS を用いた浸水解析結果について、国土地理院が HP にて公開している浸水推定図との比較を実施した。それぞれの浸水解析結果の特徴を以下に整理する。

- ・ 令和元年8月の前線に伴う大雨に関する情報

図 4.2-6 ①で示す推定図は、8月28日15時頃に国土交通省災害対策用ヘリコプターが撮影した画像を用いて浸水した範囲を判読し、標高データを用いて算出した浸水範囲における浸水深を深さに応じて色別に表現した地図である。比較対象として、衛星により8月28日4時と12時の2時期で観測したデータを元に、作成した浸水解析結果を図 4.2-6 に示す。

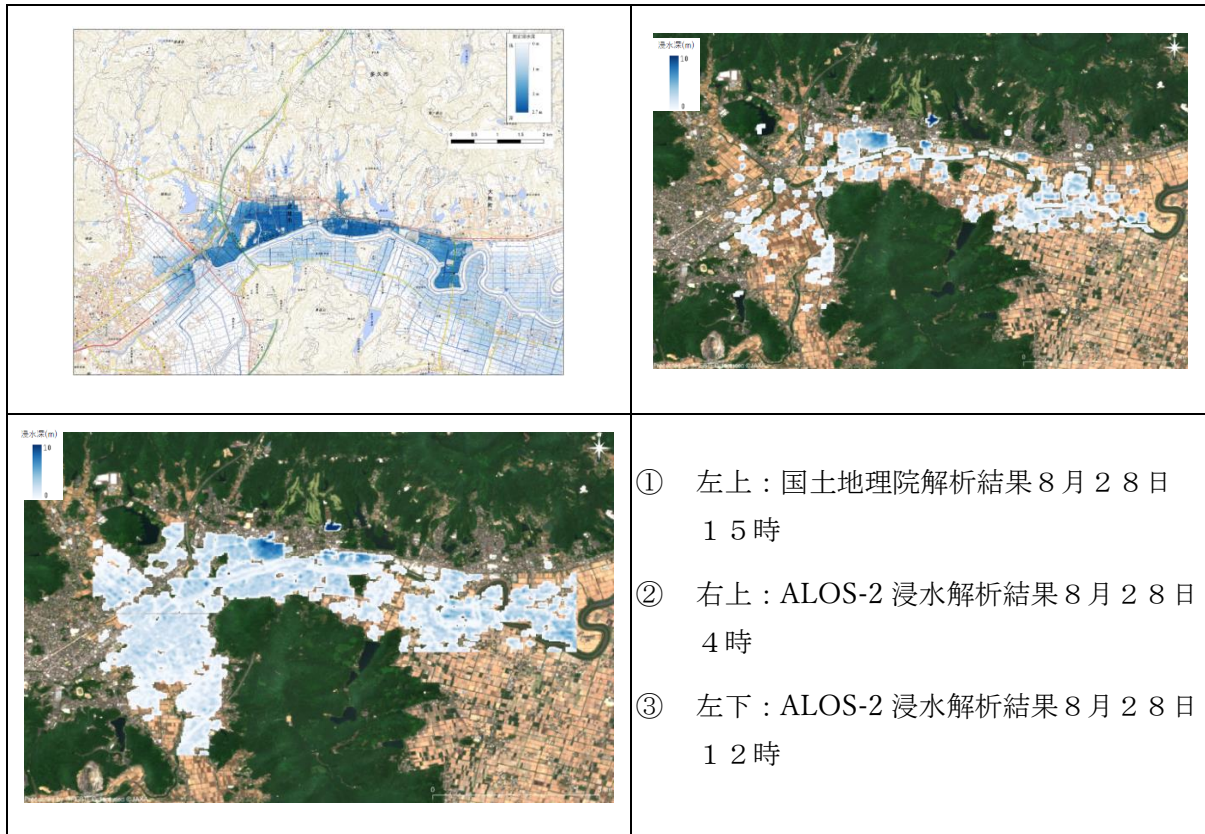


図 4.2-6 国土地理院、衛星データから作成した浸水深解析結果一覧¹⁰

衛星データを用いて作成した浸水解析結果②、③は、レーダーを用いた推定方法のため、市街地での浸水判定は苦手とされているが、今回取得された2時期のデータから、時間経過と共に浸水域が拡大した状況を捉えていることが分かる。また、国土地理院が公開している推定領域①と28日12時の観測データから得られた浸水範囲③については、非常に近い結果となった。一方浸水深については、①で国土地理院が公開している浸水深の高さは2.7mまでは読み取れるが、それ以上の情報がないため、単純な比較は難しいが、衛星から得られた解析結果②、③でもそれに近い浸水深が得られている。

・ 令和3年8月の前線に伴う大雨に関する情報

図 4.2-7 に国土地理院の解析結果、衛星による解析結果、SNS 画像による解析結果を示す。①②は国土地理院が収集した画像と標高データ等を元に浸水範囲における水深を算出し、水深を濃淡で表現した地図である。③④⑤は、それぞれ8月13日12時、8月14日11時、8月16日23時の3時点の衛星観測データを基に作成した浸水解析

¹⁰ 出典： https://www.gsi.go.jp/BOUSAI/R1_kyusyu_heavyrain.html

©Analysis by RESTEC from ALOS-2 L2.1 data of JAXA and TCI data of Sentinel-2、「測量法に基づく国土地理院長承認（使用）R 4JHs 933」

析結果である。⑥は8月14日11時に SNS に投稿された画像を用いて作成した浸水解析結果である。

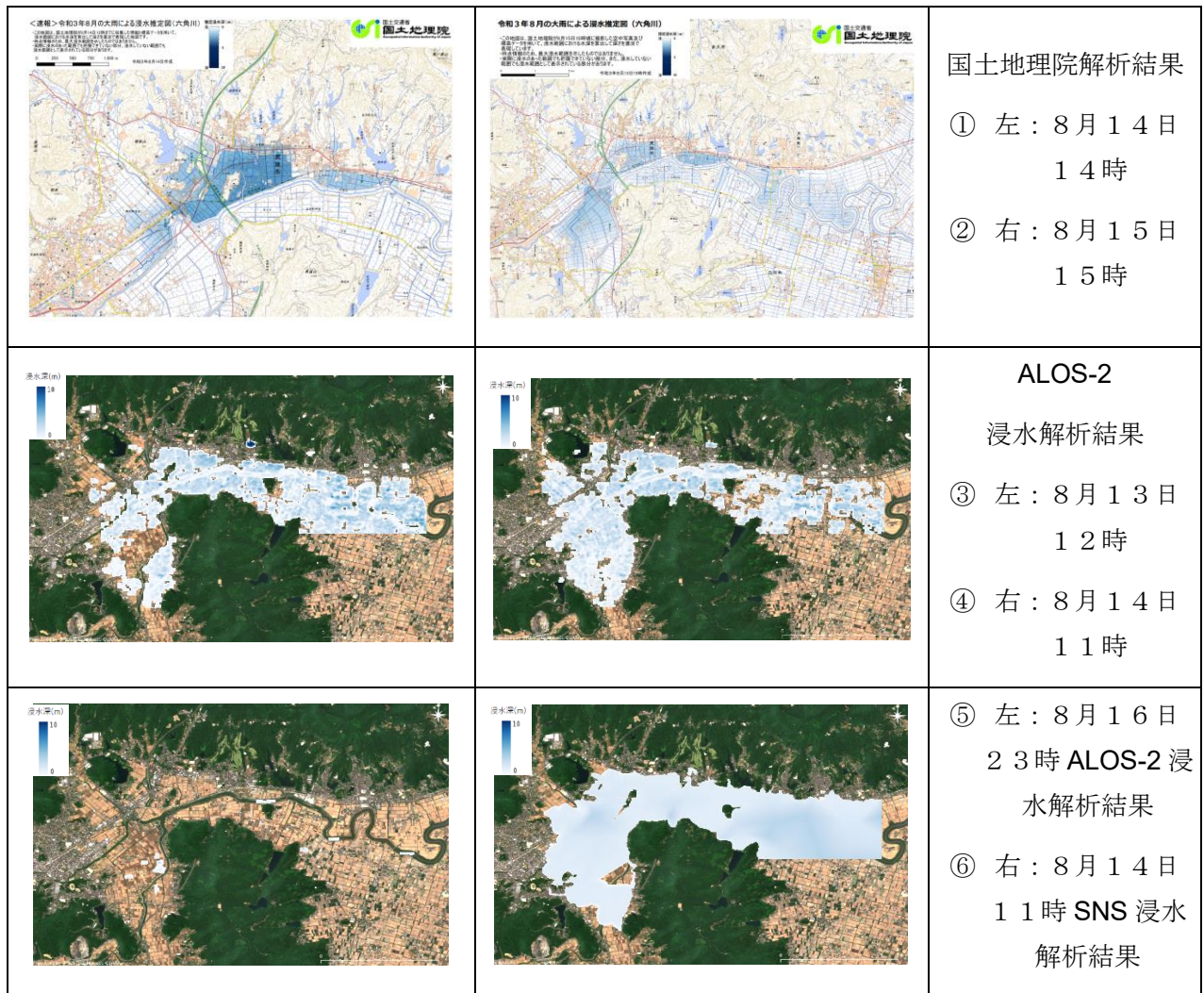


図 4.2-7 国土地理院、衛星データ、SNS 画像から作成した浸水深解析結果一覧¹¹

国土地理院が公開している①②の2時期のデータからは、現地の情報が徐々に集まってきたことにより、浸水被害の推定エリアが広範囲になっていること、時間経過と共に浸水の水位が低下していることが分かる。

¹¹ 出典： https://www.gsi.go.jp/BOUSAI/R3_0811_heavyrain.html

©Analysis by RESTEC from ALOS-2 L2.1 data of JAXA and TCI data of Sentinel-2、©株式会社 Spectee

「測量法に基づく国土地理院長承認（使用）R 4JHs 933」

次に、①②と衛星データを用いて作成した浸水解析結果③④⑤の比較を行う。13日に観測されたデータを用いた結果③は、国土地理院の14日時点での推定図①より広範囲での浸水範囲の推定が出来ていることが分かる。また、14日に観測されたデータ④と地理院が15日に公開した情報②とを比較した場合も、近い浸水範囲が得られた。浸水深については、①②と③④⑤それぞれとで解析時刻に若干の差異があることから単純な比較は難しい。しかし、③④⑤では①②に近い浸水深が得られていることが視覚的に確認でき、観測時間の経過に伴い、13日から16日にかけて浸水深の高さが変化している様子も確認できた。

SNS から得られた浸水深解析⑥では、地理院の15日時点の推定図②の浸水範囲とよく一致していることが分かる。一方、浸水深については、衛星の解析結果と同様、解析時刻に若干の誤差があることから単純な比較は難しいが、②で国土地理院が公開している浸水深と比較して、数値的に近い結果が得られている。

14日のほぼ同時刻に観測された衛星データ④、SNS 画像から解析された結果⑥を比較すると、浸水と判定した領域に若干の違いはあるものの、概ね一致していることが分かる。また、両者の差異として、④では市街地に近い箇所を衛星では浸水領域として判定していないことが挙げられる。この原因は、衛星データを用いて作成した浸水解析結果は、レーダーを用いて推定を行っているため、市街地の浸水判定が難しいことにあると考えられる。

上記の結果から、衛星データ、SNS 画像から解析された浸水領域及び浸水深共に、国土地理院が公開している浸水推定結果と近い結果が得られたと結論付け、実際の洪水時の使用にも耐えうると判断した。

表 4.2-9 の No. 2 に関しては、佐賀県庁への既存システムとの互換性に関するヒアリングとアンケートにより評価を行なった。ヒアリングとアンケートの結果、佐賀県が導入している統合型 GIS とのインターオペラビリティ確保は可能であることが示唆された。理由は、統合型 GIS とサービス提供側システム間のインタフェース整備は技術的に実現可能と想定されるためである。統合型 GIS 側ではシェープファイルが指定されており、本実証で使用したシステムでは対応していないものの、将来的に空間 ID へのインタフェース処理機能にシェープファイルへのインポート機能を開発実装することは十分可能である (図 4.2-8)。したがって、本実証システムは自治体側で使用する既存システムとも互換性があるものと判断した。

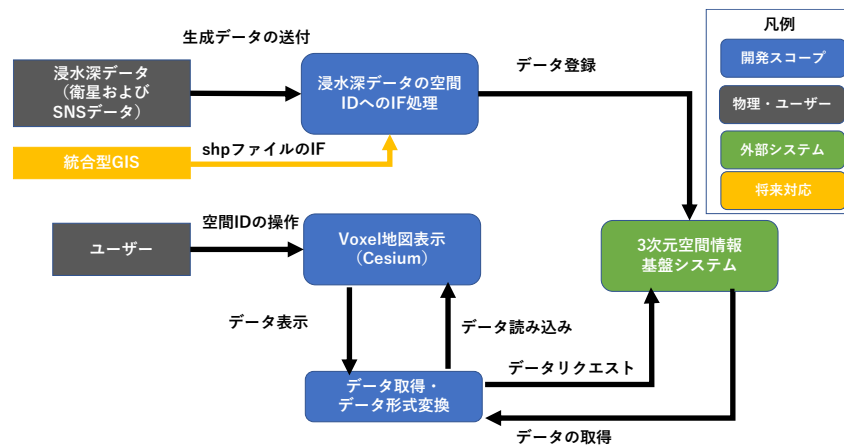


図 4.2-8 統合型 GIS 側からシェープファイルの IF イメージ

表 4.2-9 の No. 3 に関しては、佐賀県庁、六角川流域市町に対する、各自治体保有の既存データとの互換性に関するヒアリングとアンケートにより評価を行なった。評価の結果、自治体保有の既存データと互換性は将来的に担保可能であると判断した。理由は、各自治体の本実証システムへの要望は、いずれも統合型 GIS との連携が可能なシェープファイルを取り込むことで可能となると考えられるためである。

ヒアリングとアンケートから得られた本実証システムへの要望として、予測情報の配信、罹災証明にかかる情報提供、そして両者の掛け合わせによる、既存データからは得られない情報補完が挙げられた。

予測に関しては、技術的に実現に向けて課題がある。第一に、個別流域に特化したモデルのカスタマイズが必要となるため、現時点では開発コストが大きくなってしまう。第二に、予測情報の提供にあたっては気象業務法による情報提供者に対する規制があり、現時点では法規的に困難である。

罹災証明に関しては、現時点でも衛星、SNS で達成できている 10cm 単位程度の精度であれば技術的に実現可能である。床上/下の大きな把握を面的に行うことにより、通常時間がかかる紙処理の前段の処理が削減できるため、全体での工数の短縮化が期待できる。

表 4.2-9 の No. 4 に関しては、佐賀県庁、六角川流域市町への 3 次元可視化とインタラクティブ性に関するヒアリングとアンケートによる評価を行なった。

被災時に注目されるインフラ（幹線道路、IC、橋など）や、浸水深の視認のしやすさに加え、画面の操作性、軽快な操作性を求める要望があった。視認のしやすさに関しては現時点でも十分であるという評価を得られた。

軽快な操作性に関しては、定量的に評価できるものではないものの、本実証での限定的な領域においては、現実的なスピードで表示、操作ができていると自治体に評価いた

だいた。一方で、実際の災害用途を考えた場合、よりリッチなデータと、広域性が求められる。したがって、今後取り扱う情報量の増大を見込んだ場合は、UI システム側のみならず、地図・GIS 基盤システムのスペック、地図・GIS 基盤システムとの連携の仕方などに関しても見直しや改善が必要になる。

- ・ 技術的検証項目

表 4.2-9 の No. 1 については、衛星及び SNS による浸水深解析結果を保持するラスターデータから、ズームレベル 22 (9.56 m×9.56 m×8 m) に相当する空間 ID と結びつけられたポイントデータ (CSV) へと変換する際の処理時間の測定を行い、効率的な変換の可否について評価を行った。

測定の結果、ズームレベル 22、かつ実証領域全体 (図 4.2-9 黒枠) における、浸水のラスターデータからポイントデータ (CSV) への変換に要する処理時間は最大でも 40 分程度であった。衛星画像の取得に要する時間は数時間から一晩程度かかるため、これより大幅に短い時間で変換することができるといえる。また、浸水推定解析の処理時間も 30 分程度と比較的近い値であった。以上から、災害発生時から空間 ID 単位で浸水推定結果を結び付けるまでの工程のうち、フォーマット変換に要する工数は衛星画像の取得及び浸水推定解析と比較した結果同等以下であったことから、効率的な変換ができていると結論付けた。



図 4.2-9 黒枠:本実証に置ける実証領域全体

赤枠:本実証中で使用した中間納品領域¹²

¹² 「測量法に基づく国土地理院長承認 (使用) R 4JHs 933」

表 4.2-9 の No. 2 については、地図・GIS 基盤システムの Web API の出力データから、Cesium 上でのズームレベル 22 相当のボクセル表示までの、データに対する必要な座標系の変換や時系列に対応する情報の追記等にかかる処理時間を測定し、効率的な変換に関する可否について評価を行った。

測定の結果、本実証で開発した座標系変換処理を用いた場合、一つの浸水深データに対する処理時間は最大でも 30 分程度であった。これは No. 1 の検証結果と同様、自治体への 3D 浸水深データの提供といった全体像の中では、同座標系変換処理に要する工数は衛星画像の取得及び浸水推定解析と比較した結果同等以下であることから、効率的な変換ができていると結論付けた。

No. 1, No. 2 の結果を踏まえると、従来ではラスターデータによる 2 次元での表現がなされていた浸水深のデータに対し、およそ 70 分程度の解析時間と基盤システムへの登録時間を追加することで空間 ID と結びつけた上で Cesium による 3 次元での浸水状況の可視化・頒布が可能となった。このタイムスケールであれば最大で 1 日あたり 2 回取得される衛星観測データにも対応が可能であることから、No. 1, No. 2 それぞれで述べた変換システムを包括的に見ても、十分効率的な変換が実施できている。

(2) 課題の抽出

プロセス KPI に関して、今回は全て目標が達成されたが、将来に向けた要望を実現するには課題が残ると判断した点は以下の通りである。

実証自治体からは、初動のために予報の情報が欲しいという要望があった。しかし、予報に関しては技術的には可能であるものの、開発コストがかかる。また、法規的な障害として、予報、予測情報の提供にあたっては気象業務法による情報提供者に対する規制がある。

(3) 改善策の検討

社会的評価における予測情報の提供に関しては法規次第である。

4.2.4 今後の展望

本実証をベースとした展開として、自治体と共有ができた以下の課題解決に向けて、サービス化の可能性があることがわかった。

- ・ 空間 ID で管理された 3 次元表示を用いて、SNS から導出された即時性が高い情報を配信することにより、自治体が有事に対応策を判断する際の今までに無い判断材料になりうる。ただし、予測、予報の提供に関しては法規制などの点から現時点では難しい。

- ・ 衛星データを用いた面的に広範囲をカバーする浸水情報は、SNS によるそれと補い合うことより、被災の振り返り情報として利用が可能である。この情報は、自治体が罹災証明を発行する時間の短縮に役立つことが示唆された。自治体は、罹災証明の発行手続きの仕組みを改変する必要があるため、引き続き連携した取り組みが必要である。
- ・ 家屋の浸水深を把握する要望があったため、六角川流域市町の PLATEAU データ整備を進めた。本実証の中では、実証システムで PLATEAU データを模した建物データを重畳表示し、自治体へデモンストレーションし自治体から良い評価が得られた。
- ・ 今後 PLATEAU データを空間 ID に取り込み、システムに実装していくことで建物の属性情報も把握でき、より高いサービスレベルが実現できる。

これら、今後の展開を可能にするためには、災害が広域に及び、ユーザーから要望される情報量が増えても、軽快に動作する汎用性の高いシステム開発の必要性がある。そのためには、地図・GIS サービス提供側システム、地図・GIS 基盤システム双方のスペックアップが肝要である。

4.3 BIM・建物データ等を連携させた CPS

4.3.1 実証概要

(1) ユースケースの現状と課題・ペインポイント

従来ビル内には各種設備機器（電気・衛生・空調）があり、それらを最適に運転するための計装・計測機器で構成される BA（ビルディングオートメーション）システムがある。近年ではそれに加えてこれまでビルが収集／制御対象としていなかったビル利用者の人流データやロボットが持つデータ等を対象とするシステムの事例が増えている。

これらのビルに関するデータを活用し、「省人化」「省エネルギー」「健康増進」など今まで以上の高度な機能を持つスマートビルへの取組みが進んでおり、データ活用を加速させるビル OS といったデータプラットフォームの構築が普及しつつある。これらビル OS と空間 ID が相互にデータ連携することで、図 4.3-1 のような多くのデータを用いたサービス提供を可能とすることが想定できる。

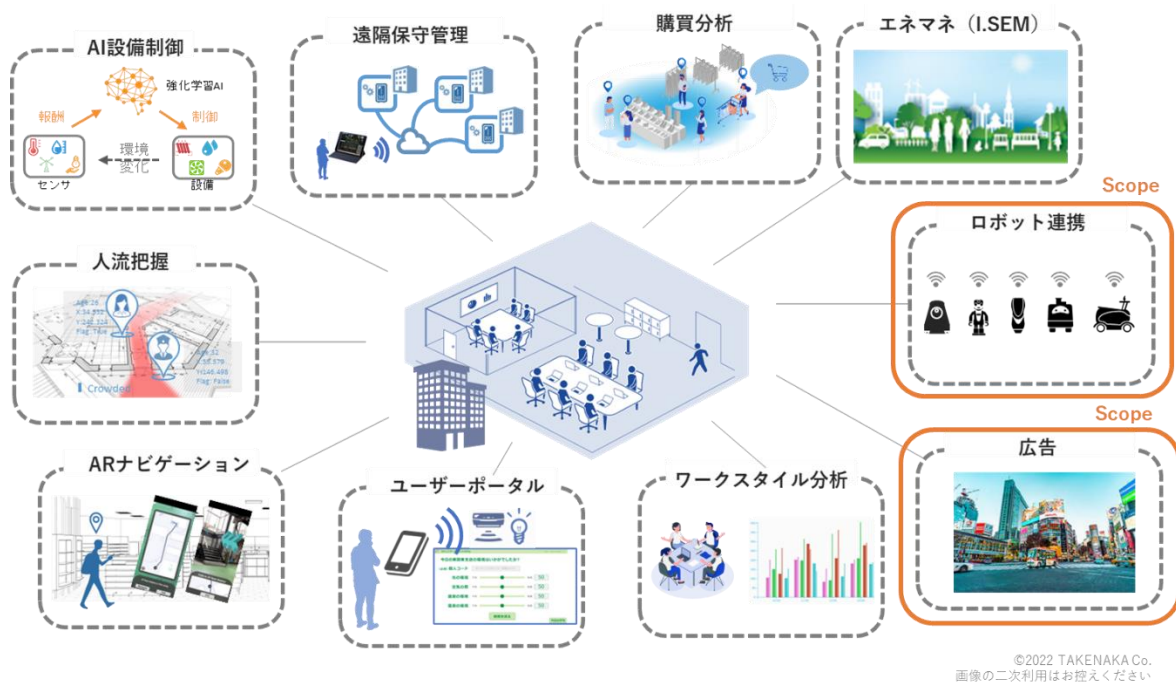


図 4.3-1 スマートビルのユースケース

一方、アプリケーション開発には ①アプリケーションに利用するデータ収集 ②建物ごとのニーズへの対応 の2つが課題となる。ビルシステムそのものが「一品生産」であるため、建物ごとに収集するデータも標準化されておらず、それにならってアプリケーションも建物ごとに開発/カスタマイズが発生し、アプリケーション一つひとつの導入コストが大きくなる傾向にある。

図 4.3-2 に示すように、現状では各データの記述方法が異なりインデックス化されていないシステムごとのデータを取得、管理している。この場合でも各データ連携は可能だが、データが紐付いている機器や位置の記述方法がシステムごとに異なっており、統計的なデータ利活用は難しいという課題がある。ここに空間 ID を用いることで、機械学習などの AI 技術の適用、システム間連携が容易になるものと想定される。

本実証では、ベースとなる建物内の空間情報を分析し、建物の形状と人流データ等のセンサーのデータから空間ごとの特性を算出することでスマートビルのユースケースへの適用を調査する。スマートビル全体としては図 4.3-1 に示した複数のユースケースが考えられるが、本実証においては、図 4.3-1 中に示す「ロボット連携」のユースケースとしてロボットの最適化運転と「広告」のユースケースとして広告価値の分析/評価をスコープとして実証を行う。

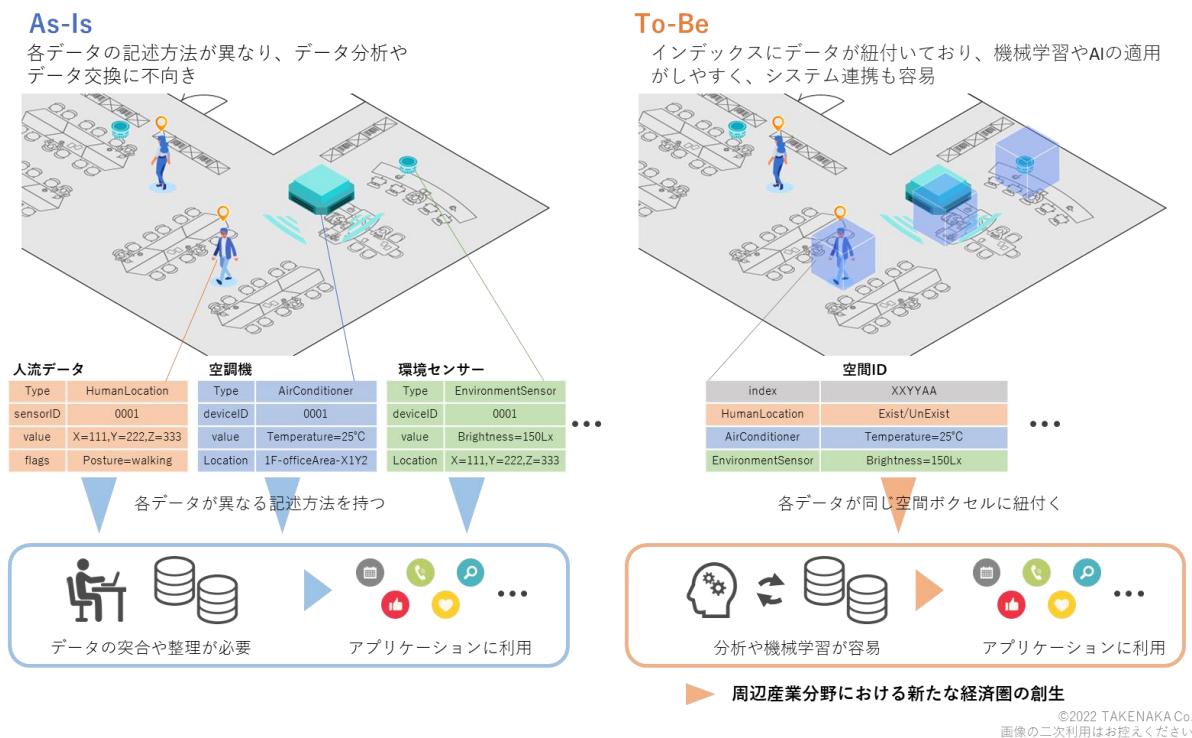
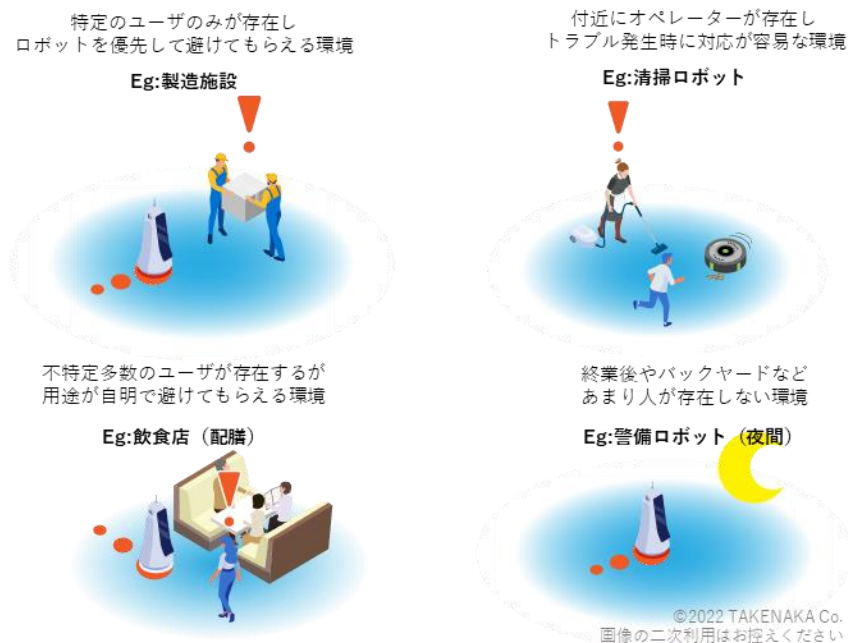


図 4.3-2 空間 ID による空間単位での情報集積

【ロボットの最適化運転】

建物や街を走行するロボットは、自身に搭載しているセンサーを用いて、ロボット周囲の状況を把握している。本実証の協力企業であり、サプライヤーとしてステークホルダーである株式会社 ZMP（以下、「ZMP 社」という）へ建物内へのロボットの導入における課題についてヒアリングを行った。ヒアリングの結果、現状の建物内での有効なロボットの活用例とロボットの導入が避けられるケースについて整理した内容を図 4.3-3 に示す。ロボットは目的地までの経路状況についてリアルタイム情報までは取得できないため、到達不可能な状態を把握できないことにより、再度のルート見直しやリトライなど人手のオペレーションを含むコストがかかることがわかった。ルートの見直しやリトライなどの目的地へ到達不可能な状態が頻繁に発生し、サービス品質の低下が発生し得る物件には実装が躊躇される課題があることがわかった。

現状の建物内におけるモビリティ・ロボット活用例



▶ 上記の例に該当しないショッピングモールやオフィスの営業時間帯などでは、不特定多数のユーザが存在し走行不可となるリスクが高いため、利用が避けられる傾向にある

図 4.3-3 建物内におけるロボット活用例と導入が避けられるケース

【広告価値の分析／評価】

2022年5月、世界の OOH（Out of Home、屋外広告や室内の吊広告などの自宅以外の場所に設置された広告）の媒体社／代理店を束ねる業界団体である The World Out of

Home Organization から OOH オーディエンス計測のガイドライン¹³が発表され、OOH の定量的な評価をする機運が高まっている。これまでのように単純な接触人数を測るだけでなく、視認率や視認秒数を考慮した計測（図 4.3-4）を行うことで、適切な OOH の設置やコンテンツの掲載が可能になり、利用者により空間経験を提供し、空間価値を高められる。この考え方は、広告に限らず視認性をシミュレーションすることが必要なユースケース、例えば避難誘導などの情報提供にも同様に使うことができると考えられる。

OOH の価格設定は、土地性などのマクロな観点で属性を加味して設定されることが多いが、屋内広告のようなミクロな観点では定量的な評価による適正な価格算定は進んでいない。本実証においても広告場所提供者である不動産会社へのヒアリングを行った結果、現状は広告に対する投資対効果を測定することが難しく、屋内空間における広告価値算定には広告場所提供者／広告代理店／広告主において相互にメリットがあるという意見があった。



図 4.3-4 OOH オーディエンス計測に用いられている指標

(出典：LiveBoard 社¹⁴)

オンライン広告と比較した OOH の主な課題として広告効果の測定が難しいことが挙げられるが、その要因としては以下のようなものがある。

① 空間の定量評価の難しさ

現状、空間的な視認範囲の計算は人が現地を訪れた際の実地調査、及びそこで得られる所感に頼ることが多い。

¹³ https://www.worldooh.org/pdf/Global-guidelines-e-book_V.8.pdf

¹⁴ <https://liveboard.co.jp/en/reason/>

② 認知の定量評価の難しさ

実際にどれくらいの人がある広告を見たか、それがどんな属性の人たちなのかをトラッキングができない、あるいはそれを合理的に算出する手段が確立されていないため定量化が難しい。同様に、認知の結果として行動変容に結びついたかどうかのコンバージョンを取ることも難しい。

結果として、利用者の体験価値を最大化するような内容の配信や、その広告を配信する際の適切な値段設定が現状では難しくなっている。

(2) 将来ビジョン（課題を解決したビジョン）

上記の課題・ペインポイントを踏まえ、空間 ID を活用することで実現する将来ビジョンを次のように設定した。

- ・多くの施設内データが地図・GIS 基盤システム上に存在し、サードパーティベンダーが建物用アプリ（APP）を外販している
- ・ロボットの運転において、地図・GIS 基盤システム上から目的地までの経路情報を取得することで混雑回避や最短経路選択等に対応し、ユーザーへ高品質のサービスをしている
- ・地図・GIS 基盤システム上から空間のもつ広告価値を取得することで、適正価格によって広告の売買がされ、デジタル空間・現実空間において壁面広告以外の 3 次元広告がユーザーに提供されている

(3) 経済的・社会的検証項目の設定

将来像を実現するために達成すべき上位目標（KGI）を、経済的価値・社会的価値の観点から設定し、KGI を達成するために重要な要因（KSF）を導出し、図 4.3-5 のように整理した。さらに、KSF を達成するために本実証にて検証すべき指標としてプロセス KPI も同様に検討を行い、これらのプロセス KPI を本実証での経済的・社会的検証項目として設定することとした。

なお、本実証における各プロセス KPI は社会実装までの検証項目を主眼として整理しており本実証の PoC 内では計測対象外とするものも含む。本実証における具体的な目標及び指標は表 4.3-1 に示す。

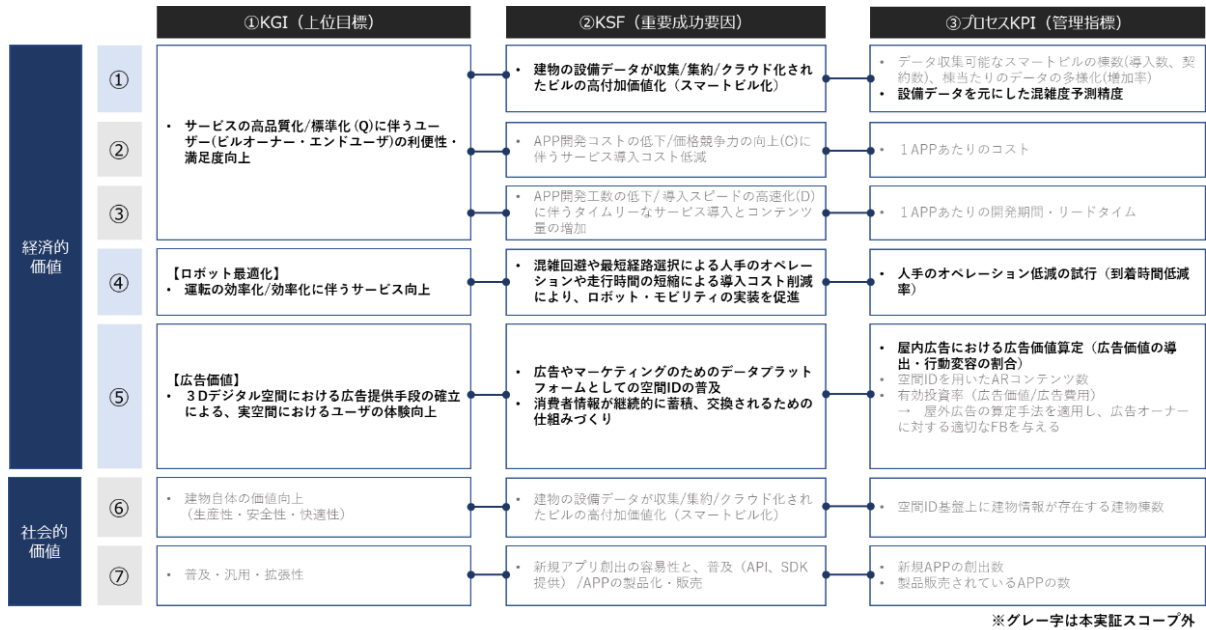


図 4.3-5 KGI、KSF、プロセス KPI（経済的・社会的検証項目）の一覧

表 4.3-1 実証における経済的・社会的検証項目

No.	観点	検証項目	詳細	現状	目標（指標）
1	経済	【CPS】 混雑度予測手法	人流データを用いたボクセル単位の N 分後の混雑度の予測手法の検証	—	妥当性の高い予測手法の検証・確立
2	経済	【ロボット】 適用ユースケース拡張のための人手のオペレーション低減の試行	混雑回避や最短経路選択による人手のオペレーションや走行時間の短縮による導入コスト削減	—	人手のオペレーション低減（到着時間低減率）
3	経済	【広告】 広告価値算定手法	広告による人流データの変化（行動変容）の分析、屋内広告における広告価値算定手法の検証	—	屋内広告における広告価値算定手法の検証・確立（広告価値の導出・行動変容の割合）

(4) 検証プロセス

先述の経済的・社会的検証項目を検証するために、本実証での検証プロセスを図 4.3-6 のように設定し、実証を行った。図 4.3-6 に記載のあるシーケンスの詳細は図 4.3-7、図 4.3-8 に記載する。

本実証においては、実証地である大阪天満にあるコモングラウンド・リビングラボ¹⁵（以下、「CGLL」という）を対象に、スマートビル化のための混雑度予測、ロボット走行時間の短縮を見据えた到着時間低減可否、広告プラットフォームの実現に向けた広告価値算定手法の確立に着目して実証を行った。

ゼネコンや設計事務所、ビルオーナーが作成・保有する BIM (Building Information Modeling) データを取得、BIM のオブジェクトの座標を特定空間のインデックス化及び LoD (Level of Details) の検証に優れたモートンオーダー¹⁶に変換し、建物ボクセルデータとして建物空間 ID 分析基盤 (Building Space Analyze Platform、以下、「BSAP」という) に格納した。

センサー検知エリアの歩行者のセンサーデータを取得した。取得したデータはモートンオーダーに変換し、人流データとして BSAP に蓄積した。蓄積した人流データとリアルタイムの人流データから、N 分後の混雑度予測値を算出した。

広告価値データは人流データを基に算出し、BSAP に格納した。

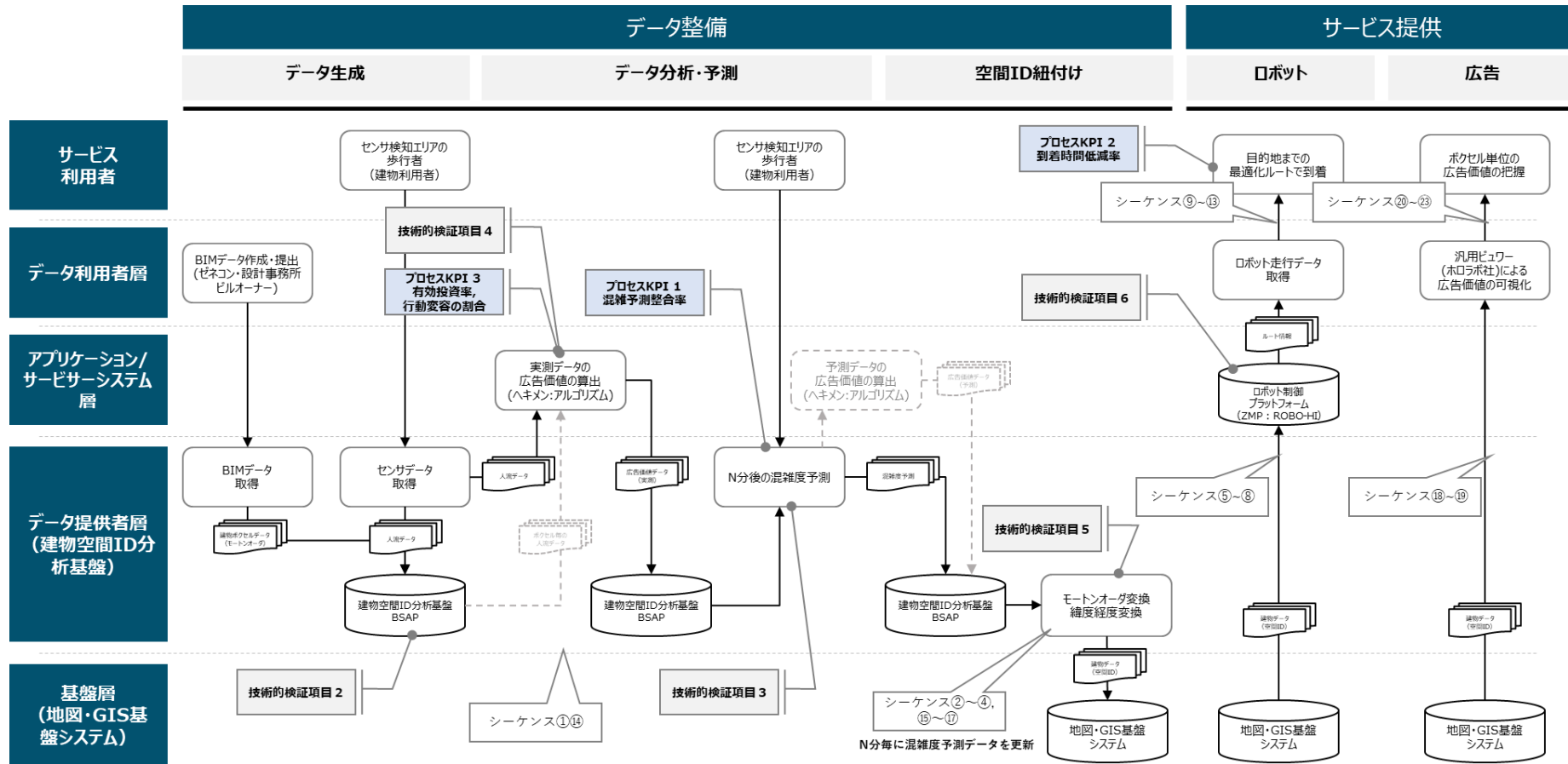
BSAP に格納したモートンオーダーのデータは、ボクセル座標に変換後、さらに緯度経度座標系に変換し、地図・GIS 基盤システムに格納した。混雑度予測値のみ、N 分毎に更新を行った。

地図・GIS 基盤システムに格納されている N 分後の混雑度予測を取得し、ロボット制御プラットフォームに格納した。本プラットフォームに取得したデータを基に走行ルートを選定し、目的地までの最適なルートで到着した。

地図・GIS 基盤システムからデータを取得し、汎用ビューワー (ホロラボ社) によりボクセルに格納されているデータの可視化を行った。

¹⁵ <https://www.cgll.osaka/>

¹⁶ https://en.wikipedia.org/wiki/Z-order_curve



技術的検証項目 1：プロセス全体の完遂可否

点線表記：本実証スコープ外

図 4.3-6 検証プロセス図

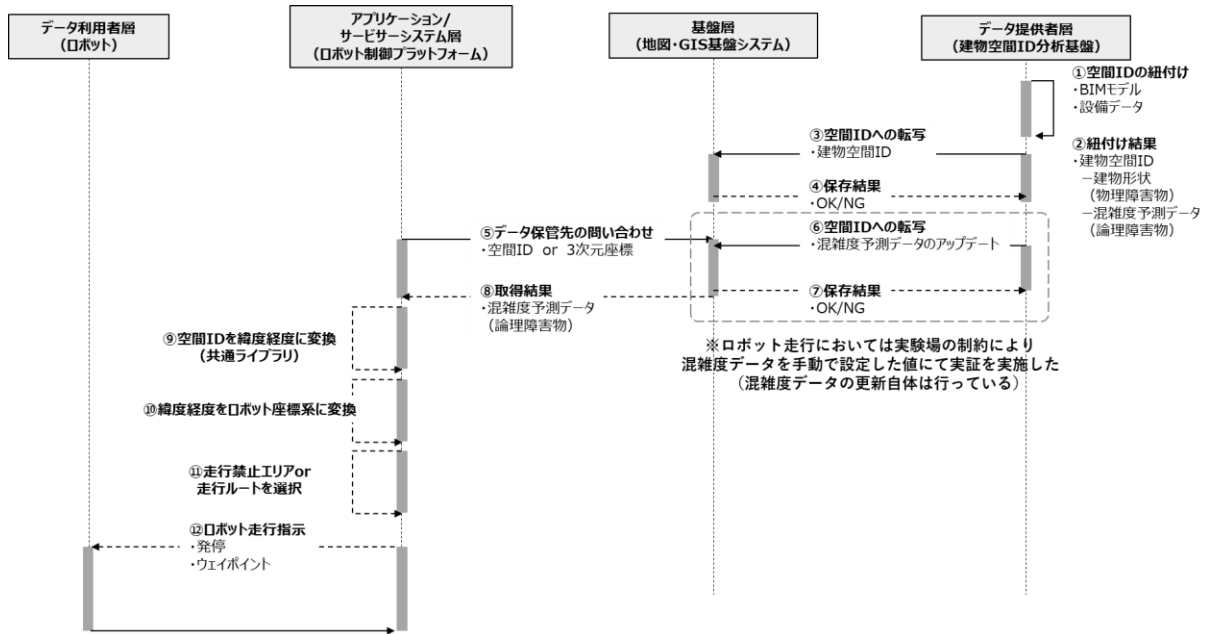


図 4.3-7 シーケンス図 (ロボット)

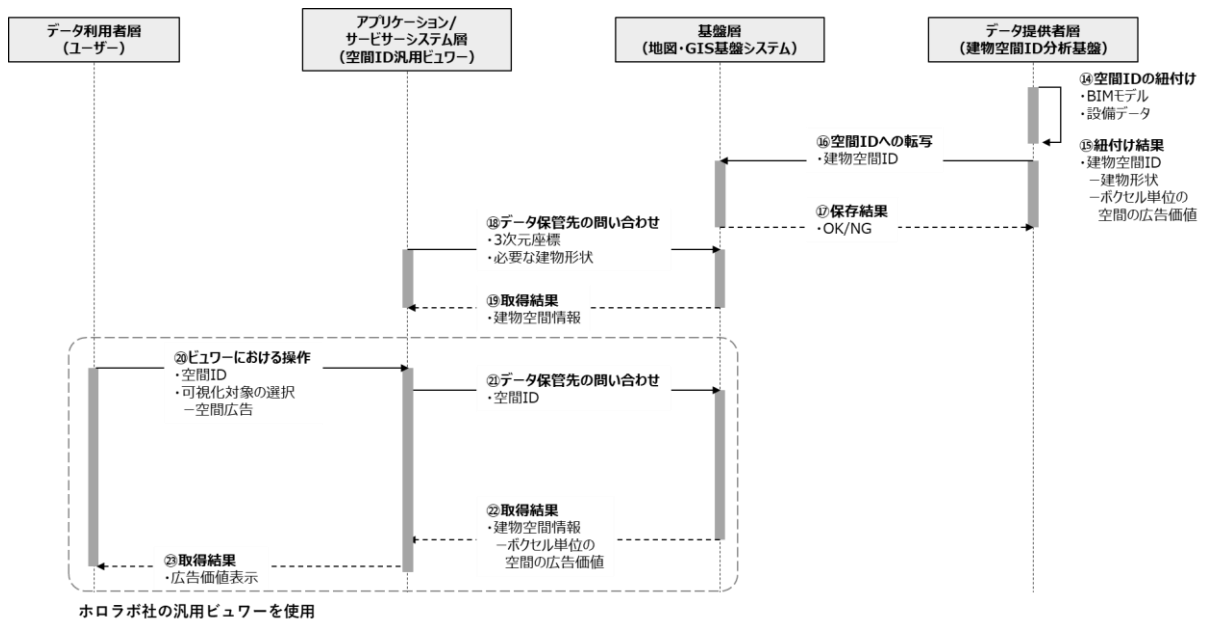


図 4.3-8 シーケンス図 (広告)

(5) 技術的検証項目の設定

設定したシーケンスの中で空間 ID の活用に伴い、技術的に検証が必要な項目を技術的検証項目として設定した。設定した項目を表 4.3-2 に記載する。

表 4.3-2 実証における技術的検証項目

No.	検証項目	目標（指標）
1	想定するシーケンス全体の完遂可否	<p>(i) 建物内空間のボクセル ID による分析 主として検証プロセス図「データ提供者層（建物空間 ID 分析基盤：BSAP）」にて処理されるボクセル単位の分析。詳細は同表内技術的検証項目 2、3 に記載。 分析結果は同表内技術的検証項目 5 にて地図・GIS 基盤システムに格納する</p> <p>(ii) 建物情報を用いたロボットの最適化運転 詳細は同表内技術的検証項目 6 に記載。</p> <p>(iii) 広告価値の分析 詳細は同表内技術的検証項目 4 に記載。</p> <p>以上 3 つのスコープにおいて実証し、空間 ID を用いたサイバーフィジカルシステム構築の妥当性を検証する。</p>
2	BIM データのボクセル化	CGLL の BIM データを変換し、50cm サイズのボクセルへ変換を行い、メタデータを含めてローカルサーバに格納する。すべてのデータが正しく変換されているか、データの確認を行うとともに、ローカル環境の簡易ビューワーによって形状や LoD の確からしさについて検証する。
3	ボクセル単位での混雑度予測	<p>人流データを予測するモデルを構築し、実証実験場の混雑度の N 分後の予測を行う。</p> <p>タイムスパンは実証実験場のサイズを加味し、1 分後程度を想定するが、モデルからの出力結果によって流動的に検証を行う可能性がある。予測データと実情を照らし合わせることによって、空間ボクセル単位の予測にどの程度の整合性が確認できるか検証する。</p>
4	ボクセル単位での視認性スコア算定	ToF（Time of Flight：飛行時間）センサー・LiDAR から取得した人流データを用いて、本実証における広告価値の指標である注目度（視認性スコア）をボクセルごとに算出する。ボクセルごとに算出した視認性スコアをもとに、空間ごとの持つ広告価値を分析し、通常屋外広告物といったマクロな視点で行われている広告価値をボクセル単位というマイクロな範囲に適用できるか考察を行う。

No.	検証項目	目標（指標）
5	ローカルボクセル座標と空間 ID の変換	BIM データは通常ローカルの座標系を持っている。ToF や LiDAR については、BIM の座標系に基づいて、座標値の変換が行われる。BIM 座標原点は、緯度経度との対応が取れているために、行列計算によって容易に変換することができる。さらに、共通ライブラリを用いることで空間 ID への変換を行う。
6	ロボット走行最適化	建物形状（物理的な障害物）と人流データ（論理的な障害物）を元にロボット走行の最適化が可能か検証を行う。

上記の KPI と検証項目に基づいて、実証計画を策定し、実証・考察を行った。

(6) データ・メタデータ

(4) 検証プロセスで示したプロセスを完遂するためには、表 4.3-3 に示した「建物データ」が必要となる。「建物データ」の作成に用いたデータを表 4.3-4 に示す。各データは、実証地である CGLL のデータを使用する。

CGLL では様々なセンサーが設置されている他、実証実験場として解放されており、それらセンサーデータ及び建物形状データ（BIM データ）が参画メンバー企業には品質が担保された状態で公開されており、効率的なデータ取得ができる。

以降にデータ作成方法を計画し、取得した各データの詳細を記載する。

表 4.3-3 BIM データ連携 CPS の実証において空間 ID と紐付けをしたデータ

No.	データ名	概要	空間 ID 紐付け
1	建物データ	建物ボクセルデータ、混雑度データ、広告価値データの3つのデータを統合して、空間 ID に紐付けを行い地図・GIS 基盤システムに格納したデータ	有

表 4.3-4 BIM データ連携 CPS の実証において必要となるデータ一覧表

No.	データ名	概要
1	人流データ	LiDAR・ToF センサーで取得する人物ごとの移動軌跡データ
2	BIM データ	建物の空間情報（形状及び属性情報）を記述したモデルデータ
3	建物ボクセルデータ	BIM データを空間ボクセル単位に分解したデータ
4	混雑度データ	任意の場所単位（複数ボクセルの集合体によって定義される分析範囲）内に人が存在する割合
5	広告価値データ	ある場所に設定された広告物の視認性から算出されるボクセルごとの広告の空間価値

1) 人流データ

LiDAR・ToF センサーで取得する人物ごとの移動軌跡データ。CGLL 内に設置されている LiDAR・ToF センサーで取得した。人物 1 人に対し 5 回/sec 位置情報を取得した連続データになっており精度も数センチ程度で検出できる。また、同一人物に対しては固有の ID が付与され複数のセンサーで構成される検出エリア内に存在する間のみ保持される。人物の同定はこの ID のみで可能であるため、検出エリア外に出入りした同一人物でも別人物と判定される。

本実証においては混雑度及び広告の算定に用いるため、元々の人流データは直接空間 ID には紐付けない。

表 4.3-5 人流データ

項目	内容
取得・整備年月日	2022.10.1~2023.2.1
データ品質	精度： $\sigma \leq 80$ mm 2m 画素 320x240 相当測定精度 8% 以下
データフォーマット	JSON
データ容量	取得期間ごとに流動的に変化
新規整備/既存データ	既存
センサー仕様	LiDAR Velodyne Lidar 社 VLP-32C ToF 日立 LG データストレージ社 HLS-LFOM5

2) BIM データ

建物の空間情報（形状及び属性情報）を記述したモデルデータ。建築を ArchiCAD、設備を Rebro でモデリングを行い、IFC で出力を行った。CGLL の実証実験エリアのみ

をモデリング対象とした。図面上ではm単位で表現され、データの品質・形式は IFC 規格に準じる。

表 4.3-6 BIM データ

項目	内容
整備年月日	2021.7.11
データ品質	実情に即した図面を元に作成されたもの
データの座標系/高さ基準	ローカル座標系 (左手系 Z-up) / 基準階床面
データフォーマット	IFC
データ容量	170MB
新規整備/既存データ	既存

3) 建物ボクセルデータ

BIM データを空間ボクセル単位に分解したデータ。Dynamo¹⁷にて IFC ファイルをモートンオーダーによってインデクシングした空間ボクセル単位に分解する。なお、Dynamo 以外にもボクセル化は可能であるが、比較して性能の良いものとして選定した。各空間ボクセルは元の IFC ファイルで記述されていた属性 (エリア・躯体情報・材質・色) を保持する。分解の粒度は本実証における空間 ID の最小値と同等程度の 50cm 四方とした。分解結果は簡易なビューワーによって元の IFC ファイルから大きな欠落がないか確認した。ボクセルデータは専用サーバに保存し、必要に応じて HTTP による問い合わせを行った。

表 4.3-7 建物ボクセルデータ

項目	内容
整備年月日	2022.5.1 地図・GIS 基盤システム格納 : 2023.2.1
データ品質	技術的検証項目 No.2 「BIM データのボクセル化」にて、ボクセル粒度についてデータ分析等の 2 次利用 (混雑度・広告) に耐えるか検証
データの座標系/高さ基準	BIM データ (IFC ファイル) に依存
データフォーマット	Pickle (バイナリデータ)
データ容量	14MB
新規整備/既存データ	既存

¹⁷ <https://dynamopackages.com/>

4) 混雑度データ

CGLL の ToF センサー及び LiDAR より取得した人流データを用い、任意の場所単位内に人が存在する割合を記述した、機械学習によって得られた学習モデルによる出力結果データ。詳細は（7）検証方法 1）経済的・社会的検証項目①【CPS】混雑度予測手法に記載する。

表 4.3-8 混雑度データ

項目	内容
整備年月日	2022.10.1~2023.2.1 地図・GIS 基盤システム格納：2023.2.1~2.28
データ品質	本実証にて緯度経度上の位置等を可視化アプリ上で検証
データフォーマット	データベース（地図・GIS 基盤システムに格納）
データ容量	約 5,000 レコード
新規整備/既存データ	新規

5) 広告価値データ

CGLL の ToF センサー及び LiDAR より取得した人流データを用い、設置されている OOH に対して、一人当たりの視認性スコアを計算したデータ。詳細は（7）検証方法 1）経済的・社会的検証項目③【広告】広告価値算定手法に記載する。

表 4.3-9 広告価値データ

項目	内容
整備年月日	2022.10.1~2023.2.1 地図・GIS 基盤システム格納：2023.2.1~2.28
データ品質	本実証にて緯度経度上の位置等及び粒度を可視化アプリ/ホロラボ社汎用ビューワで検証
データフォーマット	データベース（地図・GIS 基盤システムに格納）
データ容量	約 3,000 レコード
新規整備/既存データ	新規

空間 ID に紐付ける際のデータ仕様については 3 章記載のデータ仕様案にのっとり、データ・メタデータを作成し、品質評価を行い、実証時の仕様に問題ないことを確認した。なお、各データの具体的な属性情報の項目等の詳細、作成手順については標準製品仕様書・標準作業手順書に記載した。

(7) 検証方法

表 4.3-1 に示した BIM データ連携 CPS の実証における経済的・社会的検証項目について、試験・検証の方法を以下に記す。

1) 経済的・社会的検証項目

① 【CPS】混雑度予測手法

【測定方法】

任意の場所単位（複数ボクセルの集合体によって定義される分析範囲）内に人が存在する割合を「混雑度」と定義する（図 4.3-9）。言い換えると、混雑度 = (i) 人が存在するボクセル ID の数 / (ii) 人が存在できるボクセル ID の数 である。

(i) については、前処理として実証実験場である CGLL の ToF センサー及び LiDAR より取得した人流データを BIM の座標系に変換し、ボクセルに変換した。単位時間（10 秒～30 秒）ごとに集計を行ったデータを用いた。

(ii) については、単位領域を定義することで予め算定した。例えば、2m 四方（4 m²）など容易に定義・計算可能な単位から人が存在できない空間（壁内等）を除いた数を用いて検証を行った。

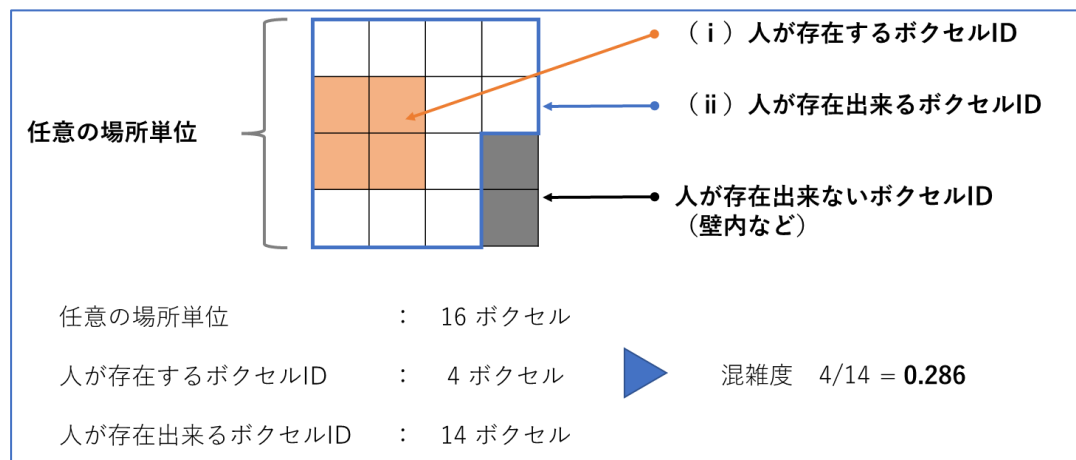


図 4.3-9 混雑度の定義

取得したデータを用いて、機械学習を行い、単位時間に予測値を出力する学習モデルを生成した。出力値は、場所単位ごとに混雑度合いを記述している。予測値を活用し、上記の混雑度を計算することで、将来の混雑度が算出できる。

【検証時の条件】

単位時間、単位領域については固定の上、複数のアルゴリズムについて検証を行い、混雑度予測を行った（ニューラルネットワーク、ランダムフォレストを利用）。特徴量については、基本センサーから取得できるものを用いるが、精度を見ながら追加の検証を

行った。なお、ボクセル ID ごとに計算された混雑度予測は、10 分毎に地図・GIS 基盤システム上の対応する空間 ID のレコードに保存・更新される。

【結果の判定方法】

混雑度予測手法の評価については、混雑度と将来混雑度を用いて、よく知られた R2（決定係数）を用いた。併せて、F 値（適合率と再現率の調和平均）、Precision（適合率）、Recall（再現率）についても検証を行った。分析対象などによって異なるが、一般的に決定係数が 0.5 を超えた場合、一定の相関関係があると考えられる。

新規開発につき、評価にあたっての現状の比較対象が存在しない。上記の定量評価と合わせて、ユースケース（ロボットの最適化走行）での活用可否などについて定性的な考察を行い、混雑度予測手法の一連のプロセスについて妥当性があつたかどうか評価を行った。

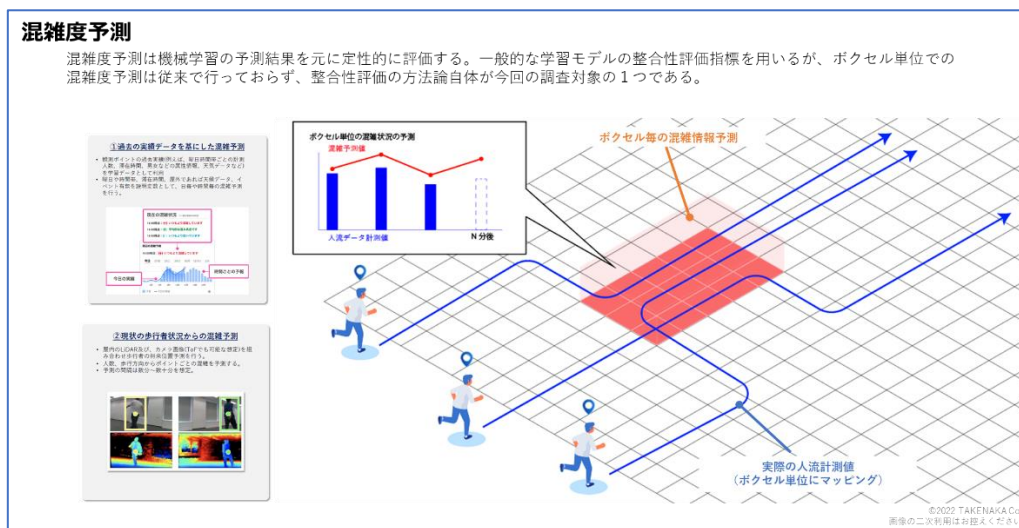


図 4.3-10 混雑度予測手法

② 【ロボット】適用ユースケース拡張のための人手のオペレーション低減の試行

【測定方法】

ロボット制御プラットフォームを介して、ロボットの走行情報をリアルタイムで取得する。それらは、CGLL に導入されているビル OS であるビルコミに保管されており、ロボットの走行情報を取得可能である。

以下 2 つの比較実験を行った。

(i) 通常走行：通常ロボット制御に委ね、目的地までのルートを行く。障害物（人間など）はロボットのセンサーによって直接検知し、もし走行不可能であれば一度ルートを設定しなおし、リスタートする必要がある。

→計測内容：リスタート回数及びリスタートに所要した時間（走行時間含む）

(ii) 最適化走行：目的地までのルート選択に障害物（人間など）を空間 ID から取得して判断する。ルート選択後の挙動は基本的に「通常走行」と同等である。

→計測内容：リスタート回数及びリスタートに所要した時間（走行時間含む）

【検証時の条件】

実証実験場の面積制限に起因して、前項の混雑度予測によって算出された値をそのまま使用した場合、廊下の広さといった物理的な制約によって走行不可となる可能性が高い。その場合はロボットが走行可能となる程度に混雑エリアが小さくなるよう手作業でデータを修正する。

また、本実験で用いるロボットは常設（常時運用）されていない。本実験中に比較実験を行った。

【結果の判定方法】

ロボット制御プラットフォームから取得する走行時間や停止回数の低減率から検証を行った。この値から有意な人手オペレーションの低減が認められるか評価を行った。

走行時間の低減率 = {(i) 走行時間 - (ii) 走行時間} / (i) 走行時間

※走行時間 = 目的地到着ルートの走行時間 + Σ (リトライ時の走行時間)

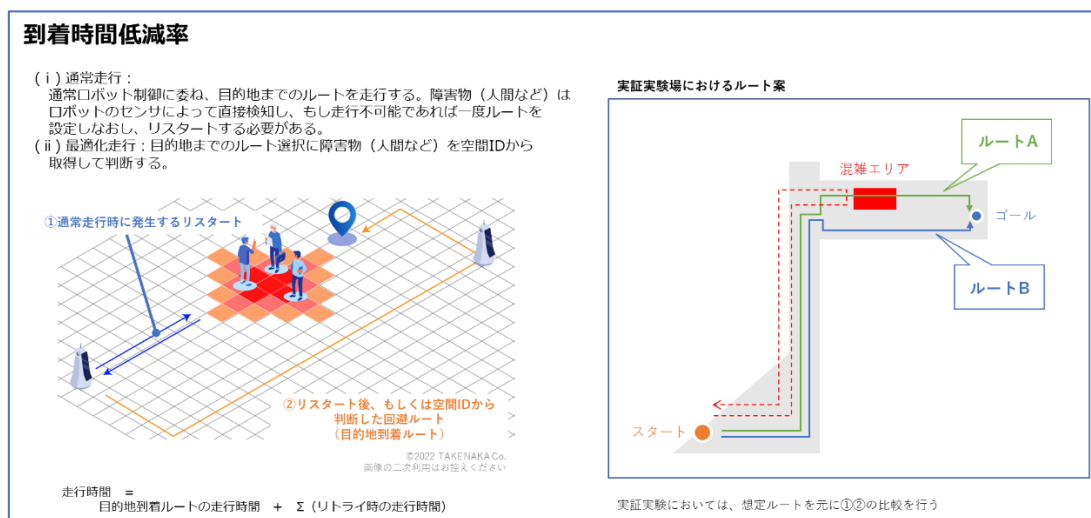


図 4.3-11 到着時間低減率

③ 【広告】 広告価値算定手法

【測定方法】

広告価値を「ある広告及びその設置空間が、どれくらいの範囲において、人に視認され、広告として効果（価値）を発揮するか」と定義した。本実証ではこの範囲を空間 ID（ボクセル）で表現し、ボクセル毎にその位置の広告価値を持つ、とする。

CGLL の ToF センサー及び LIDAR より取得した人流データを用いて、株式会社ヘキメン（以下、「ヘキメン社」という）が有するアルゴリズムを用いることで、設置されている OOH に対して、一人当たりの広告接触時間を計算することができる。また、人流の移動方向等を加味して人流の総数と掛け合わせることで1 広告ごと、及び空間全体の広告接触時間の計算が可能である。それぞれの指標をボクセルにマッピングすることで、以下から広告価値の指標（視認性スコア）を計算した。計算した視認性スコアは空間 ID に格納した。

（i）ボクセルごとの歩行者の接触可能人数、（ii）各歩行者の各広告に対する接触可能秒数

【検証時の条件】

（i）については、OOH のあり／なし時の人流データから OOH 近傍のボクセルごとに接触可能人数・接触可能秒数を算定、比較することで、OOH 自体の価値や、OOH による空間価値の変動及び行動変容を推定した。（ii）については、OOH あり時の人流データを用いて、その歩行者がその OOH を何秒間、どの程度視認できたか算定することで、当該 OOH がどの人にどの程度認識されたのか推定した。この手順を当該空間内のすべての広告に対して繰り返すことにより空間全体の広告接触時間の計算が可能であるが、本実証ではまず2 箇所の OOH に対して検証を行った。

また、実際は OOH の評価は有効投資率によって評価される。有効投資率は広告価値／広告費用にて算出されるが、本実証実験場では広告費用が存在しないため、広告価値のみを算出した。

【結果の判定方法】

OOH あり／なし時について、行動変容及び空間全体の広告価値の変化について考察を行い、有意な差異が出ているか検証を行うことで広告価値算定手法の確からしさを評価した。（ii）の指標も踏まえて、広告価値としてどの程度のポテンシャルがあるかを推定し、普及の際の社会的なインパクトについて考察した。

広告価値

- (i) ボクセルごとの歩行者の接触可能人数
- (ii) 各歩行者の各広告に対する接触可能秒数
 - 広告あり時の人流データを用いて、その歩行者がその広告を何秒間、どの程度視認できたか算定することで、当該広告がどの人にどの程度認識されたのか推定

評価方法・評価基準(結果の判定方法)

1. ボクセルごとに視認可能な範囲を特定
2. 人流の移動方向等を加味して一人あたりの広告接触時間を計算し、人流の総数と掛け合わせることで全体の広告接触時間を計算

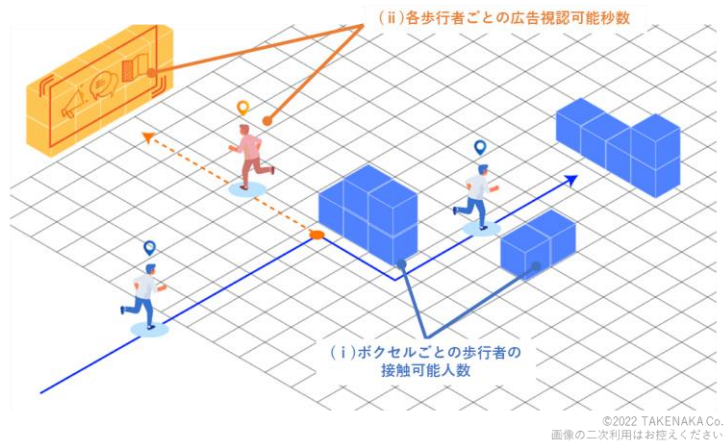


図 4.3-12 広告価値算定手法

2) 技術的検証項目

① 想定するシーケンス全体の完遂可否

(i) 建物内空間のボクセル ID による分析

主として検証プロセス図「データ提供者層(建物空間 ID 分析基盤: BSAP)」にて処理されるボクセル単位の分析。詳細は②BIM データのボクセル化③ボクセル単位での混雑度予測に記載した。分析結果は⑤ローカルボクセル座標と空間 ID の変換にて地図・GIS 基盤システムに格納した。

(ii) 建物情報を用いたロボットの最適化運転

詳細は⑥ロボット走行最適化に記載する。

(iii) 広告価値の分析

詳細は④ボクセル単位での視認性スコア算定に記載する。

以上3つのスコープにおいて実証し、空間 ID を用いた CPS 構築の妥当性を検証した。

② BIM データのボクセル化

【測定方法】

CGLL の BIM データを変換し、50cm サイズのボクセルへ変換を行い、メタデータを含めてローカルサーバに格納した。すべてのデータが正しく変換されているか、データの確認を行うとともに、ローカル環境の簡易ビューワーによって形状や LoD の確からしさについて検証した。

【検証時の条件】

本実証における最小単位（最大 LoD）である 50cm サイズで検証を行った。ボクセルへの変換については、複数アルゴリズムやツール（Python、Dynamo）を適用して検証を行った。

【結果の判定方法】

データ分析等の 2 次利用に十分使用に耐えうる粒度か検証を行った。検証に際しては、図 4.3-6 に示した検証プロセスを実行するにあたり、課題の有無によって評価した。

③ ボクセル単位での混雑度予測

人流データを予測するモデルを構築し、実証実験場の混雑度の N 分後の予測を行った。

タイムスパンは実証実験場のサイズを加味し、1 分後程度を想定するが、モデルからの出力結果によって流動的に検証を行う可能性がある。予測データと実測データの照らし合わせによって、空間ボクセル単位の予測にどの程度の整合性が確認できるか検証した。詳細は「(7) 検証方法 1) 経済的・社会的検証項目①【CPS】混雑度予測手法」に記載する。

④ ボクセル単位での視認性スコア算定

ToF センサーから取得した人流データを用いて、ボクセルごとの注目度を算出し、空間ごとの持つ広告価値を分析し、通常屋外広告物といったマクロな視点で行われている広告価値をボクセル単位というマイクロな範囲に適用できるか検証を行った。詳細は「(7) 検証方法 1) 経済的・社会的検証項目③【広告】広告価値算定手法」に記載する。

⑤ ローカルボクセル座標と空間 ID の変換

【測定方法】

建物データの元になる BIM データは通常ローカルの座標系を持っている。ToF センサーや LiDAR については、BIM の座標系に基づいて、ボクセル ID の座標変換が行われる。BIM 座標原点は、緯度経度との対応が取れているために、行列計算によって容易に変換することができる。さらに、ライブラリを用いることで空間 ID への変換を行った。

【結果の判定方法】

可視化アプリ等を用いて定性的に確認することに加え、検証に際しては、図 4.3-6 に示した検証プロセスを実行するにあたり、課題の有無によって評価した。

⑥ ロボット走行最適化

建物形状（物理的な障害物）と人流データ（論理的な障害物）を元にロボット走行の最適化が可能か検証を行った。詳細は「(7) 検証方法 1) 経済的・社会的検証項目②

【ロボット】適用ユースケース拡張のための人手のオペレーション低減の試行」に記載する。

(8) 開発スコープ

ユースケース実証の開発スコープとなる BIM データ連携 CPS のコンセプト図を図 4.3-13 に、開発内容を表 4.3-10 に示す。本実証では既存のビル OS で取り扱う各種属性データの格納及び、混雑度情報の予測、ヘキメン社の広告価値算定ロジックを組み込んだ「建物空間 ID 分析基盤 (BSAP)」を AirLake (株式会社 DATAFLUCT 商標) に構築し、地図・GIS 基盤システムを介して、建物情報や混雑度情報、広告価値情報を配信する構成とした。

また、ロボットの走行実証では地図・GIS 基盤システムからの混雑度情報を取得し、ZMP 社プロダクト ROBO-HI にてロボット走行の最適化 (混雑度情報を用いたルート選択) を行った。

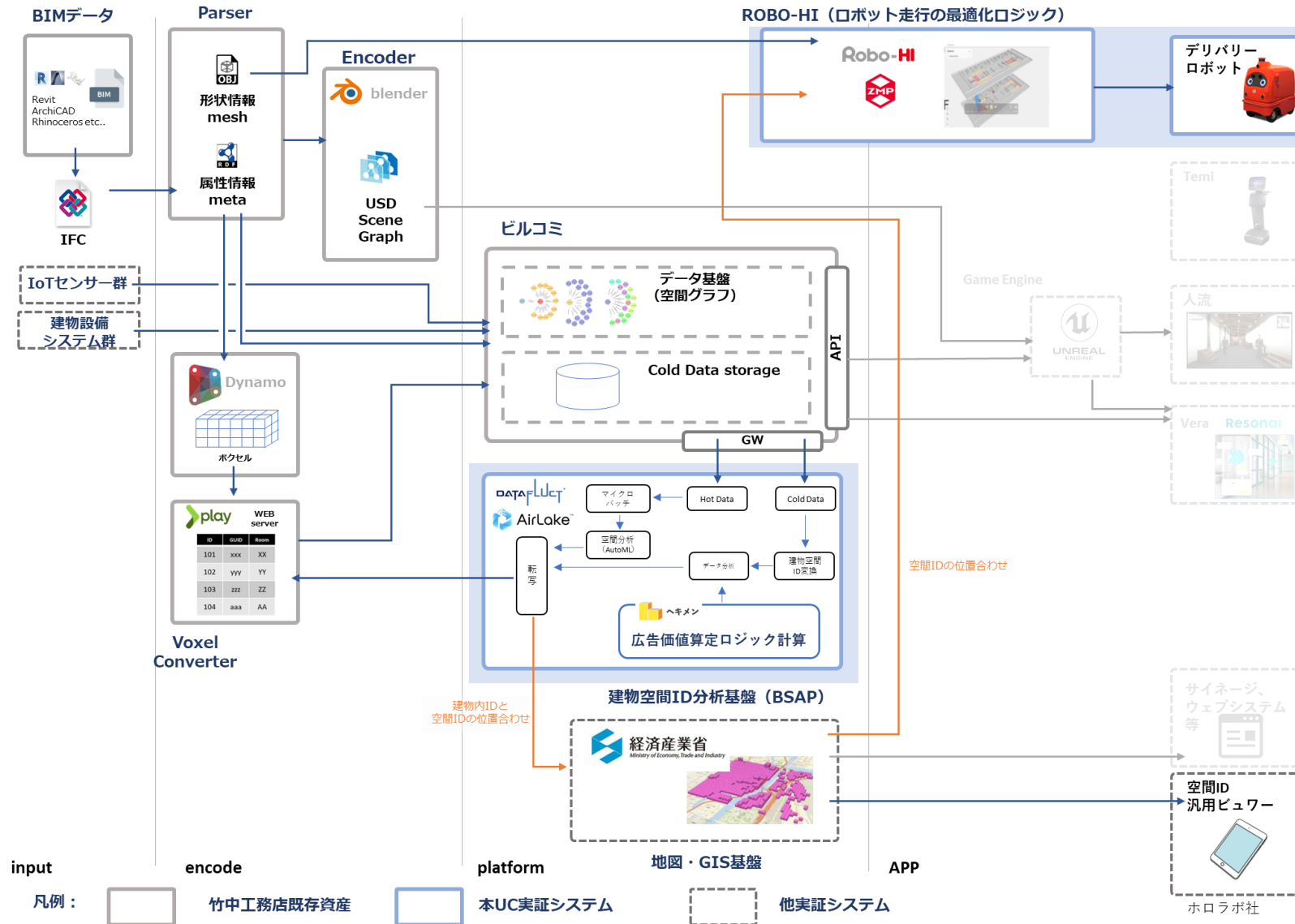


図 4.3-13 BIM データ連携 CPS のシステムコンセプト

表 4.3-10 BIM データ連携 CPS の開発内容

No.	項目名	内容
1	建物空間 ID 分析基盤 (BSAP)	<ul style="list-style-type: none"> ・ボクセル化した建物データ（形状・属性・設備）の格納 ・ToF センサーから取得する人流データを用いた混雑情報の予測モデルの作成 ・上記建物データのボクセル ID を空間 ID に変換
2	ロボット走行の最適化ロジック	<ul style="list-style-type: none"> ・建物形状（物理的な障害物）と人流データ（論理的な障害物）を元にロボット走行の最適化
3	広告価値算定ロジックの適用	<ul style="list-style-type: none"> ・ToF センサーから取得した人流データを用いて、ボクセルごとの注目度を算出し、空間ごとの持つ広告価値を分析

(9) ステークホルダー

表 4.3-11 に記載するステークホルダーと適宜連携し、実証・開発を実施する。

表 4.3-11 BIM データ連携 CPS におけるステークホルダー

No.	ステークホルダー	実証における役割
1	株式会社竹中工務店	<ul style="list-style-type: none"> ・本実証の取りまとめ及び実施 ・ユースケース、コンセプト及び本実証システム全体のマネジメント/エンジニアリング
2	株式会社 DATAFLUCT	<ul style="list-style-type: none"> ・建物空間 ID 分析基盤 BSAP の構築 ・人流データの予測モデル ・モートンオーダーのボクセル座標系の空間 ID への変換
3	株式会社 ZMP	<ul style="list-style-type: none"> ・ロボット及びロボット制御プラットフォームの提供 ・空間 ID を利用した走行ロジックの検討
4	株式会社ヘキメン	<ul style="list-style-type: none"> ・広告価値算定アルゴリズムの提供及び実装サポート
5	コモングラウンド・リビングラボ 運営委員会	<ul style="list-style-type: none"> ・実証場所の提供
6	株式会社ホロラボ	<ul style="list-style-type: none"> ・汎用 AR ビュワーの提供
7	ダイナミックマッププラットフォーム株式会社	<ul style="list-style-type: none"> ・地図・GIS 基盤システムの提供

(10) 実証地

実証地は以下の場所を選定した。

実証地名称：コモングラウンド・リビングラボ (CGLL)

所在地：大阪府大阪市北区天満橋3丁目3-5 中西金属工業株式会社敷地内

選定理由：

- 建物データ (IoT センサーデータ・ジオメトリデータ) を取得可能な実証実験場として整備されているため
- 竹中工務店もメンバー企業の1社として参画しており、データ取得や実験申請のスキームが既に構築されているため

運用フェーズにおいてビル内にはユーザー¹⁸が多く存在するため、ロボットをはじめとした来訪者に影響を与える可能性が高い PoC は、他の場所において実証実験の成果が出ていない場合は基本的に施設オーナーから許可されない。一般的には実証実験場やラボ試験などを経て段階的に PoC を行う。また、現在はセンサーを用いた人流データの計測などのヒューマンファクターのセンシングも普及しつつあるが一般的でなく、実証実験場でのデータ取得以外は現実的でない段階である。

以上から本実証スコープは実証実験場段階と設定し、技術的な検証・方法論の確立をスコープとする。なお最終的な社会実装という観点でのプロセス KPI (経済的・社会的検証項目) については図 4.3-5 に記載の通り、想定はされるが本実証スコープ外とする。

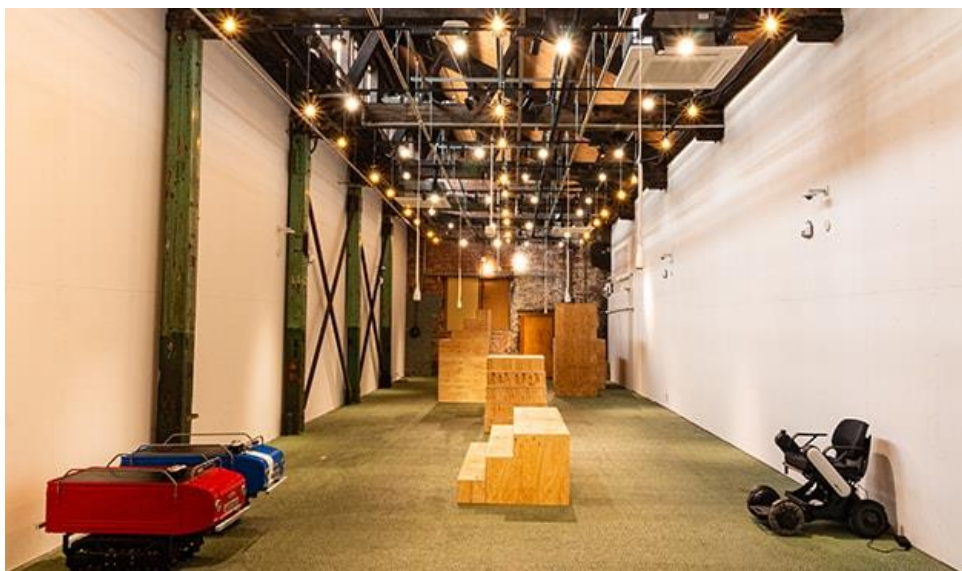


図 4.3-14 実証実験場 (出典：コモングラウンド・リビングラボ¹⁹)

¹⁸ オフィス：執務者、一般来訪者 商業施設：施設運営者、テナント従業員、一般来訪者 など

¹⁹ <https://www.cgll.osaka/>

4.3.2 実証結果

(1) プロセス KPI (経済的・社会的検証項目) に対する結果

プロセス KPI (経済的・社会的検証項目) について得られた結果を表 4.3-12 に示す。
なお詳細は「4.3.3 考察」に記載する。

表 4.3-12 プロセス KPI (経済的・社会的検証項目) に対する結果

No.	観点	検証項目	目標 (指標)	結果
1	経済	【CPS】 混雑度予測手法	妥当性の高い予測手法の 検証・確立	混雑度予測モデルの予測精度 (F1 スコア) は 0.519、 決定係数 (R2 スコア) は 0.534 予測モデルのアルゴリズムは改 善の余地はあるが、手法として の妥当性は高いといえる。
2	経済	【ロボット】 適用ユースケース 拡張のための人手 のオペレーション 低減の試行	人手のオペレーション低 減 (到着時間低減率)	人手オペレーションの低減を確 認できた。 (本実証のルートに限れば到着 時間低減率: 74.8%)
3	経済	【広告】 広告価値算定手法	屋内広告における広告価 値算定手法の検証・確立 (広告価値の導出・行動 変容の割合)	ひとつの広告価値算定手法を確 立し、広告有無による行動変容 差異も確認できた。

(2) 技術的検証項目に対する結果

技術的検証項目について得られた結果を表 4.3-13 に示す。

表 4.3-13 技術的検証項目に対する結果

No.	検証項目	概要	結果
1	想定するシーケ ンス全体の完遂 可否	(i) 建物内空間のボクセルによる分析 (ii) 建物情報を用いたロボットの最適 化運転 (iii) 広告価値の分析 以上3つのスコープにおいて実証し、空 間 ID を用いたサイバーフィジカルシ ステム構築の妥当性を検証した。	(i) ~ (iii) のスコープに対 して実証が完了し、シーケンス 全体が完遂できた。空間 ID を用 いたビルにおけるサイバーフィ ジカルシステム構築は妥当であ るといえる。

No.	検証項目	概要	結果
2	BIM データのボクセル化	BIM データを変換し、50cm サイズのボクセルへ変換を行い、メタデータを含めてローカルサーバに格納する。すべてのデータが正しく変換されているか、データの確認を行うとともに、ローカル環境の簡易ビューャーによって形状や LoD の確からしさについて検証した。データ分析等の 2 次利用に十分使用に耐えうる粒度か検証を行った。検証に際しては、上記シーケンスを実行するにあたり、課題の有無によって評価した。	変換処理及び粒度には問題なく、データ分析（混雑度予測・広告価値算出）等の 2 次利用に十分使用に耐えうるものであった。 2 次利用のユースケースに応じたデータの加工の必要性や、直線（外壁など）の形状がボクセル単位では階段状になるといった面があるが、データ分析の面では問題ないと考えられる。
3	ボクセル単位での混雑度予測	人流データを予測するモデルを構築し、実証実験場の混雑度の N 分後の予測を行った。 タイムスパンは実証実験場のサイズを加味し、1 分後程度を想定するが、モデルからの出力結果によって流動的に検証を行う可能性がある。予測データと実情を照らし合わせることによって、空間ボクセル単位の予測にどの程度の整合性が確認できるか検証した。	5 分のタイムスパンでの混雑度の予測において、混雑度予測モデルの予測精度（F1 スコア）は 0.519 、決定係数（R2 スコア）は 0.534 予測のアルゴリズムは改善の余地はあるが、手法としての妥当性は高いと判定される。 また、混雑度予測精度が高いという結果が得られたボクセルは実情でも交通量の多い箇所（出入口などの主要動線）であり、実態とも整合しており、ロボット走行など他システムでのデータ利活用に支障のない精度であることがわかった。
4	ボクセル単位での視認性スコア算定	ToF（Time of Flight：飛行時間）センサー・LiDAR から取得した人流データを用いて、ボクセルごとの注目度（視認性スコア）を算出し、空間ごとの持つ広告価値を分析し、通常屋外広告物といったマクロな視点で行われている広告価値をボクセル単位というミクロな範囲に適用できるか検証を行った。	BIM データと人流データを組み合わせることで、定量的な視認性スコアを計算する手法を開発し、OOH を置いたことによる利用者の行動変容を定量的に分析できた。ボクセル単位での視認性スコア算定は妥当な方法であったと考えられる。

No.	検証項目	概要	結果
5	ローカルボクセル座標と空間IDの変換	建物データの元になる BIM データは通常ローカルの座標系を持っている。ToF や LiDAR については、BIM の座標系に基づいて、座標値の変換が行われる。BIM 座標原点は、緯度経度との対応が取れているために、行列計算によって容易に変換することができる。さらに、共通ライブラリを用いることで空間 ID への変換を行う。可視化アプリ等を用いて定性的に確認することに加え、検証に際しては、上記シーケンスを実行するにあたり、課題の有無によって評価した。	すべての座標変換処理は問題なく実行完了し、可視化アプリ上で差異がない事が確認できた。
6	ロボット走行最適化	建物形状（物理的な障害物）と混雑度データ（論理的な障害物）を元にロボット走行の最適化が可能か検証を行った。	建物形状（BIM データ・ロボットセンサーデータ）と混雑度データ（地図・GIS 基盤システムより取得）を用いて人手のオペレーションを介さないロボットの混雑地点回避走行が行えた。

4.3.3 考察

(1) 結果のまとめ

■ 経済的検証項目

表 4.3-12 プロセス KPI（経済的・社会的検証項目）No.1~3 に対する結果について詳細及び考察を記載する。

No.1【CPS】混雑度予測手法

混雑度予測手法の結果・判定の流れを図 4.3-15 のように取りまとめる。

一般的に人流計測はその測定方法及び精度において設置されているセンサー（その物件が採択しているソリューション）によって差異がある。本実証場所では複数ある測定方法のうち、かなり精度の高い光学系センサー（ToF センサー／LiDAR）を選定している。位置精度は高くサンプリング数も相当な数が見込めるため、教師データとしては現実的な範囲で最もリッチと期待できる。

予測時間単位については、予測結果はある入力因子（人の在不在）が N 分後に影響するアルゴリズムになる。これを本実証へ当てはめると長い時間単位では、入力因子にな

った人物が実証エリアから退場してしまう、という事になり、予測の確からしさが低くなってくると予想される。

予測範囲の粒度については粒度を密（LoD 高）とすると特徴量が計算機の許容範囲を超えてしまうことが検証の中でわかり、妥当なボクセル粒度を検証した。

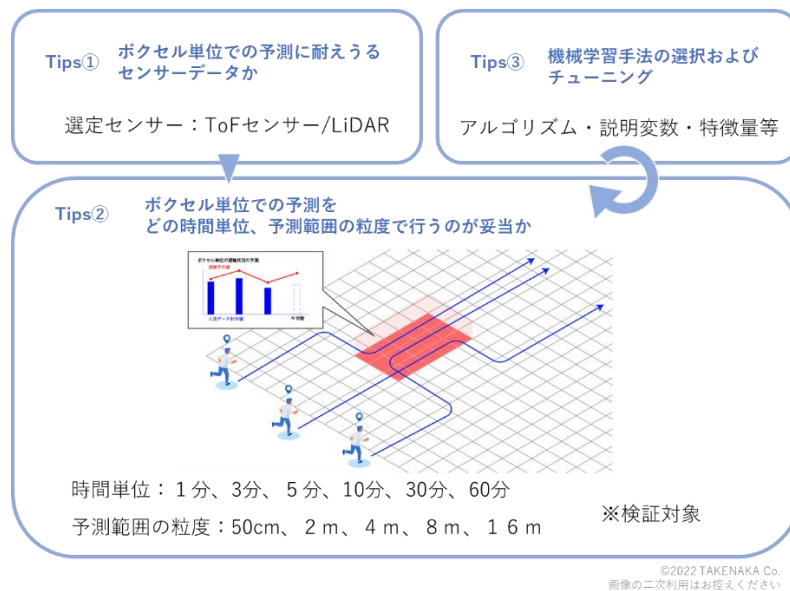


図 4.3-15 混雑度予測手法：結果判定方法まとめ

各予測範囲の粒度・予測時間単位及び予測モデルの精度について以下の結果が得られた（図 4.3-16）。

当初、本実証における空間 ID におけるボクセル単位の最小サイズ（50cm）ほどで予測を行い、予測結果を「0 か 1」で算出した後、ボクセルを複数個まとめた任意の場所単位の混雑度を計算する方針であった。ただ実際に学習を行ったところ説明変数・特徴量の数が膨大になり、計算コストがかかりすぎるという結果が得られた。そのため複数ボクセルをまとめ、任意の場所単位を学習における予測範囲の粒度とし、直接混雑度を予測する検証を行った。

検証によって、1辺 8m や 16m 程度であれば、サンプル数の少ない（あまり人の通過しない）エリアに関してもある程度妥当なスコアが算出されることがわかった。また、時間単位においては 1分～1時間単位での予測モデルの検証を行い、時間単位に近いほど、予測精度が高いという結果が得られた。10分以降で予測精度が下がるが、これは現実的には「予想対象範囲外へ対象人物像が移動する」ということが発生し得るため現実空間での実情とも合致する。

ボクセルサイズによるモデル検証 (8m)					各時間単位でのモデル検証				
	num_of_voxel	r2_mean	mae_mean	rmse_mean					
0<X<=500	75	0.153	0.031	0.246					
500<X<=1000	15	0.396	0.154	0.575					
1000<X<=1500	9	0.348	0.332	1.15					
1500<X<=2000	2	0.635	0.508	1.749					
2000<X<=2500	1	0.432	0.88	2.638					
2500<X<=3000	4	0.445	1.382	3.75					
3000<X<=3500	1	0.486	0.324	0.737					
3500<X<=4000	0								
4000<X<=4500	0								
4500<X<=5000	0								
5000<X<=5500	1	0.371	1.635	4.184					
5500<X<=6000	0								
6000<X<=6500	1	0.686	1.473	2.524					
6500<X<=7000	1	0.787	2.044	3.833					

予測時間:1分後					予測時間:10分後				
	precision	recall	f1-score	support		precision	recall	f1-score	support
macro avg	0.07	0.05	0.054	67276	macro avg	0.053	0.041	0.043	60660
weighted avg	0.398	0.339	0.354	67276	weighted avg	0.373	0.339	0.346	60660

予測時間:3分後					予測時間:30分後				
	precision	recall	f1-score	support		precision	recall	f1-score	support
macro avg	0.064	0.042	0.046	66025	macro avg	0.042	0.028	0.031	51586
weighted avg	0.393	0.331	0.344	66025	weighted avg	0.383	0.345	0.353	51586

予測時間:5分後					予測時間:1時間後				
	precision	recall	f1-score	support		precision	recall	f1-score	support
macro avg	0.059	0.044	0.047	64684	macro avg	0.04	0.026	0.029	48943
weighted avg	0.372	0.327	0.336	64684	weighted avg	0.37	0.337	0.342	48943

Copyright© DATAFLUCT, Inc. All Rights Reserved.

図 4.3-16 予測範囲の粒度・予測時間単位及び予測モデルの精度検証

予測範囲の粒度についての検証の詳細を以下に掲載する（図 4.3-17）。

予測範囲を 1 辺 50cm とすると 1 つのボクセルごとに学習モデルを生成していく形になり、説明変数（特徴量）が膨大になり、教師データのサンプル数を増やすことができない。特定のボクセルでは極端にサンプル数が少なく、100 以下のボクセルでは F1 スコア（機械学習における予測精度の指標の 1 つ）が 0.1 以下、と信頼できない結果が多く出た。特に対象のボクセル数の多い、サンプル数 10 以下のデータの影響が大きいと考えられる。説明変数のチューニングや計算機のスペック向上など、様々な方法論が考えられるが、本実証実験場以外への今後の展開を念頭にするとボクセル数も案件ごとに異なり、チューニングの負荷やコストといった機械学習特有の問題が発生する。

本実証では空間 ID の持つ階層構造（親子関係）に着目し、予測範囲の粒度の変更によって課題を解決する方法を取った。後述する通り本実証実験場においては 8m や 16m でおおよそ信頼に足る予測結果が得られたが、この値は建物の形状や建物内部の人流によって定まると考えられる。以上からボクセル単位での混雑度予測では、まず学習モデルを構築するボクセルサイズ（予測範囲）をチューニングする事が、適切な予測結果を得るための方法論といえる。

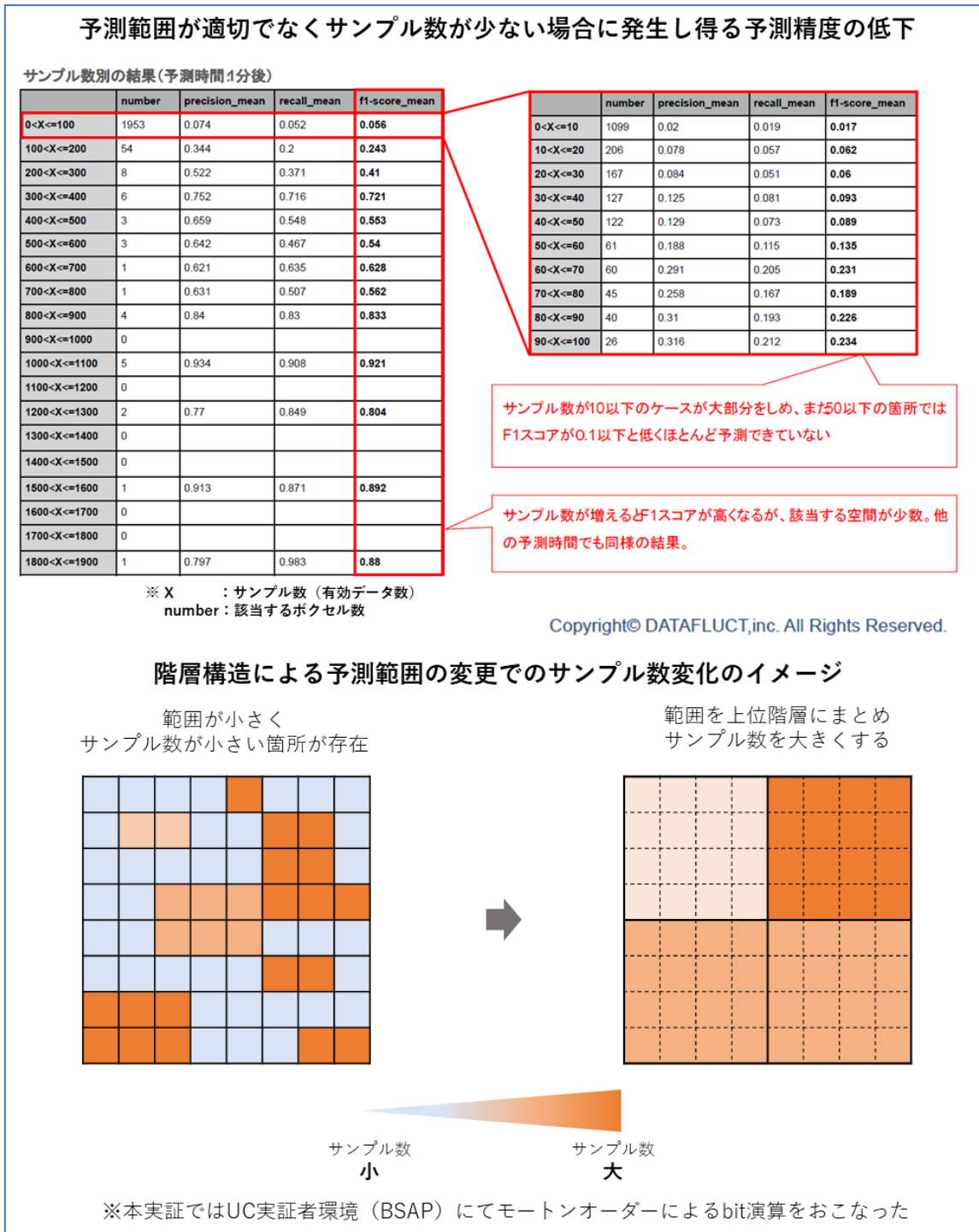


図 4.3-17 予測範囲のサイズ検証

予測結果の分布を表 4.3-14 に示す。図 4.3-17 でも示した通り、有効データが 10 未満では信頼できない結果が多い為除外するとし、有効データが 10 以上、有効データが 100

以上の予測精度及び決定係数をそれぞれ記載する。アルゴリズムはニューラルネットワークとランダムフォレストの場合をそれぞれ記載する。

本実証の検証において、予測範囲を 16m 四方の任意の場所単位とした場合の予測が最も精度が高い結果になった。有効データ（サンプル数）が極端に少ないもの（100 未満）を除いた場合のランダムフォレストを活用した結果得られた 5 分のタイムスパンでの予測時の予測精度は、予測精度（F1 スコア）が 0.519、このとき決定係数（R2 スコア）が 0.534 となった。

一般的に決定係数が 0.5 を超えた場合、一定の相関関係があると考えられるため、混雑度として妥当性のある予測を算出できる結果であるといえる。予測精度についても 50cm 四方の分析範囲のときに比べ上昇し、予測精度が向上したといえる。

その他得られた予測結果の分布を表 4.3-14 に示す。図 4.3-17 でも示した通り、有効データが 10 未満では信頼できない結果が多い為除外するとし、有効データが 10 以上、有効データが 100 以上の予測精度及び決定係数をそれぞれ記載している。

- F1 スコア²⁰：統計及び機械学習における評価指標の 1 つで、Precision（適合率）及び Recall（再現率）によって算出される値。1.0 に近いほど、適合率と再現率の両方が同時に高いことを意味する（効率よくバランスの取れた機械学習モデルである）
- R2 スコア²¹：決定係数。回帰分析などにおいてデータ同士の近さを示す相関係数の二乗を取った値。1 に近いほど相関がある。（回帰式による予測が出来ている）
- 加重平均²²：距離の近さを加味し重みづけをした平均。単純な平均とは異なり値の大きさ以外に距離、つまり値同士の近傍も計算できる。

一般的に機械学習においては、教示データと学習後のデータに対して、F1 スコアや R2 スコアなど 2 つのデータ間の適合率や再現率、相関関係を示す指標など統計的な手法を用いて評価を行う。また、1 つの指標だけで評価を行うと、その指標だけが低い結果（局所解）に陥るケースが想定されるため 2 つ以上の指標を用いて評価を行う。また、統計的な分析では一般的には有効データの多い／少ない箇所及び有効データ全体で平均及び加重平均を求め、結果を分析する。

表 4.3-14 からは有効データ全体の加重平均などからは予測精度が低い箇所もあるが、アルゴリズムや予測範囲の粒度によっては、有効データが 100 未満と少ない箇所においても妥当性のある予測が行えると読み取れる。

²⁰ <https://atmarkit.itmedia.co.jp/ait/articles/2210/24/news034.html>

²¹ <https://www.stat.go.jp/teacher/dl/pdf/c4learn/materials/fourth/dai3.pdf>

²² <https://www.stat.go.jp/teacher/dl/pdf/c4learn/materials/fourth/dai3.pdf>

表 4.3-14 混雑度予測モデルの予測精度と決定係数 結果

		8m		16m	
		ニューラル ネットワーク	ランダム フォレスト	ニューラル ネットワーク	ランダム フォレスト
予測精度 (F1)	平均値	0.262	0.273	0.344	0.289
	加重平均	0.392	0.438	0.504	0.512
	有効データ数が 10 以上の平均値	0.225	0.229	0.318	0.259
	有効データ数が 10 以上の加重平均	0.392	0.439	0.504	0.512
	有効データ数が 100 以上の平均値	0.307	0.321	0.425	0.373
	有効データ数が 100 以上の加重平均	0.398	0.446	0.510	0.519
決定係数 (R2)	平均値	0.104	0.219	0.247	0.279
	加重平均	0.360	0.456	0.487	0.528
	有効データ数が 10 以上の平均値	0.188	0.265	0.268	0.301
	有効データ数が 10 以上の加重平均	0.360	0.456	0.488	0.528
	有効データ数が 100 以上の平均値	0.295	0.353	0.420	0.400
	有効データ数が 100 以上の加重平均	0.367	0.463	0.494	0.534

予測結果の確からしさを定量的に評価することは今回予測モデルに機械学習の手法を用いているため難しいが、得られた予測結果を確認すると概ね人流データにおいてもデータが多く人の交通量や滞留が多い入口付近の混雑度が高い値で予測されていることがわかり、実態と乖離の無い結果が得られているといえる（図 4.3-18：検証中の一辺 4m の予測モデル時の写真）。このことから特に人の交通量の多い（有効データ数の多い）位置においては、予測結果を別システムが利用するに足る結果が得られ、予測手法として有用性のある結果と考察できる。

また、今回の学習モデルでは一様に予測範囲を変更したが、ユースケースによって予測範囲、つまりボクセルサイズの大／小（LoD:低／高）を動的に変更することでユースケースごとに必要な精度を達成するという手法や、空間の用途といった人流データ以外の教師データを加える事で精度の向上を行う手法が考えられる。

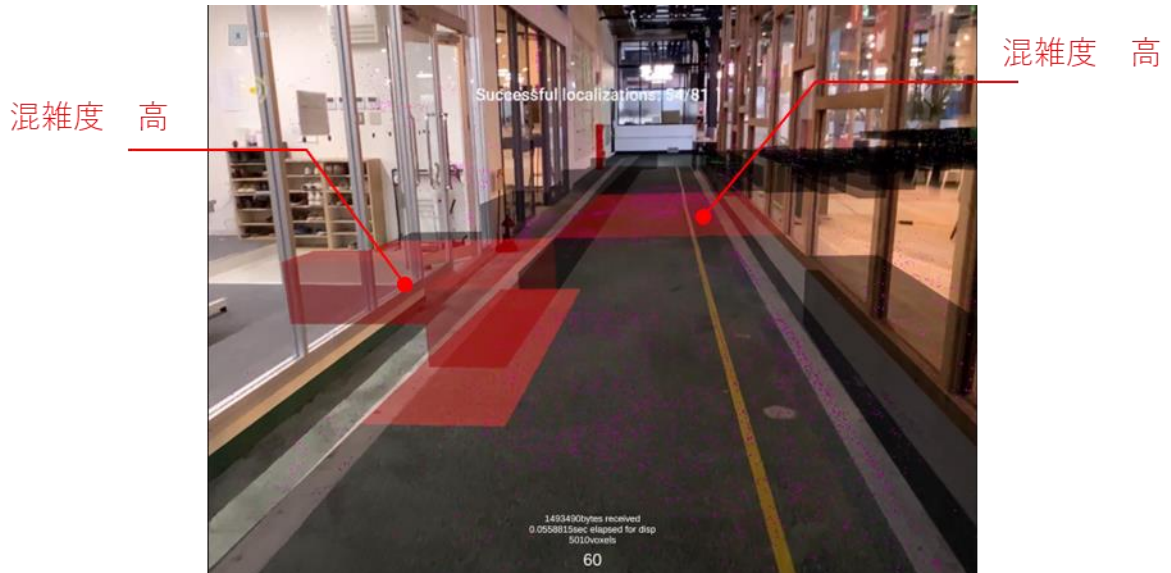


図 4.3-18 混雑度の予測結果が高い位置の空間 ID : 一辺 4m の予測モデル時（出典：ホロラボ社）

No.2【ロボット】適用ユースケース拡張のための人手のオペレーション低減の試行

適用ユースケース拡張のための人手のオペレーション低減の試行の結果・判定の流れを以下のように取りまとめる（図 4.3-19）。

一般的に ZMP 社をはじめとしてサービスロボットは「スタート地点」「ルート」「ゴール」を指定して走行する仕組みを取っているものが多い。そのため、ロボット自身のセンサー検知範囲外のルート上に障害物がある場合には、障害物地点まで走行して初めて走行不能、とわかることになる。この場合、障害物を避けられない（ロボット側の自律判断では回避できず障害物自身も退避してくれない）場合は設定されたスタート地点までロールバックする必要がある。以上から現在は流動的なリスクが存在し、ロールバックが発生するといったオペレーションの負荷が大きくなる環境ではロボット利用自体が避けられる傾向にある。

今回の実証では、本来ロボット側で知りえない走行ルート上の障害物（論理的な障害物：混雑度）の情報を地図・GIS 基盤システムから取得することで自動的に回避し、有意の人手オペレーションの低減が見られることを確認した。

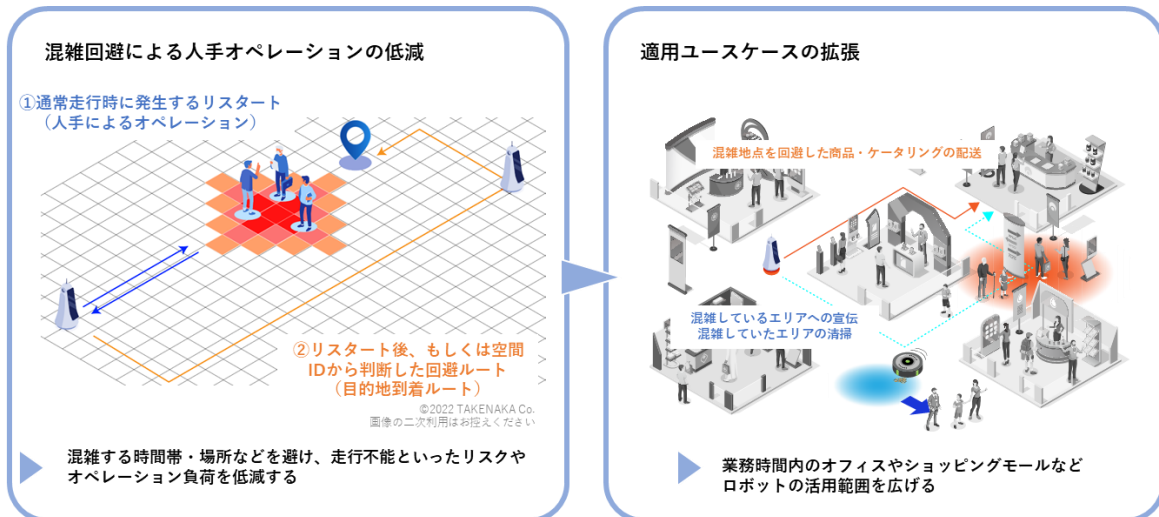


図 4.3-19 適用ユースケース拡張のための人手のオペレーション低減

地図・GIS 基盤システムから Web API 経由で対象エリアの混雑度を取得し、ZMP 社 ROBO-HI 内にてルートを判断し混雑している空間（ボクセル）を避けて走行できる事が確認できた。

ROBO-HI 内ではロボットが走行前に複数あるルートのうち、最適なルートを選択するロジックが働いている。本実証ではこのロジックの判断基準として、ルート上の空間ボクセルに格納されている混雑度が 1.0 であればそこを避けるルートが最適であるというアルゴリズムによるオペレーションを行った。

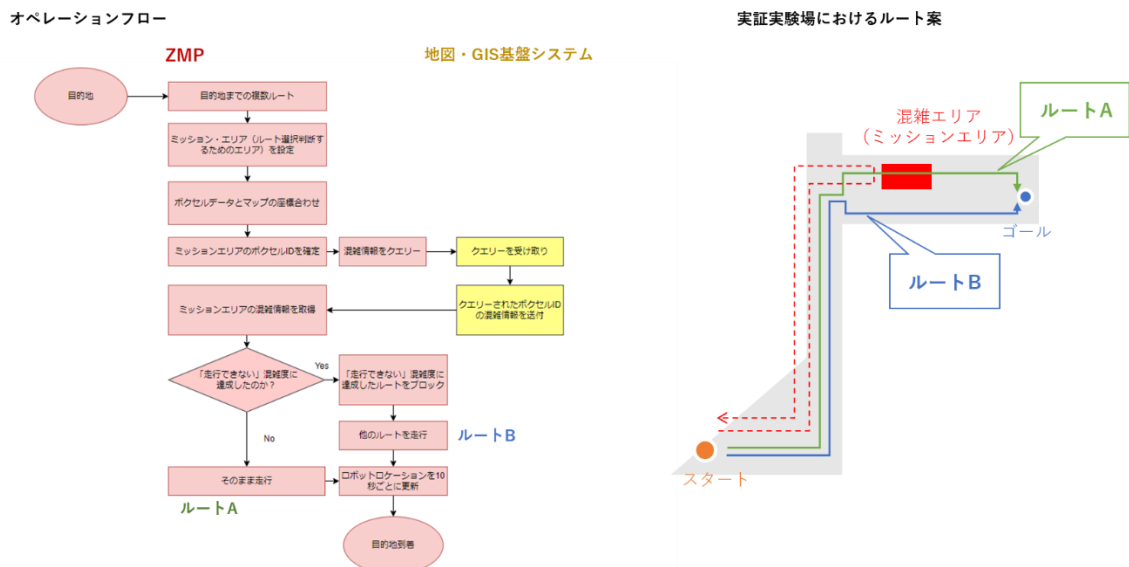


図 4.3-20 オペレーションフローと走行ルート（出典：ZMP 社）

今回の実証実験場は広さの制約から物理的な迂回ルートが存在せず、図 4.3-21 左図に示す実際の混雑度予測情報においては「混雑度が高い」と結果が出た廊下を避けた複数のルートが設定できない。したがって実際の混雑度予測情報を用いて実証を行った場合、単に「ロボットは走行しない」という結果になることは自明であった。

実証では混雑度予測とロボット走行の地図・GIS 基盤システムを介した連携スキームは確立したものとし、実証実験としては十分に迂回できる広さをもった室内に便宜上2ルートを設定し、片方のルート上に比較的小さな混雑エリアを設定して迂回ルート選択の余地が残るよう、手動で混雑度データを設定し実験を行った。(図 4.3-21)。

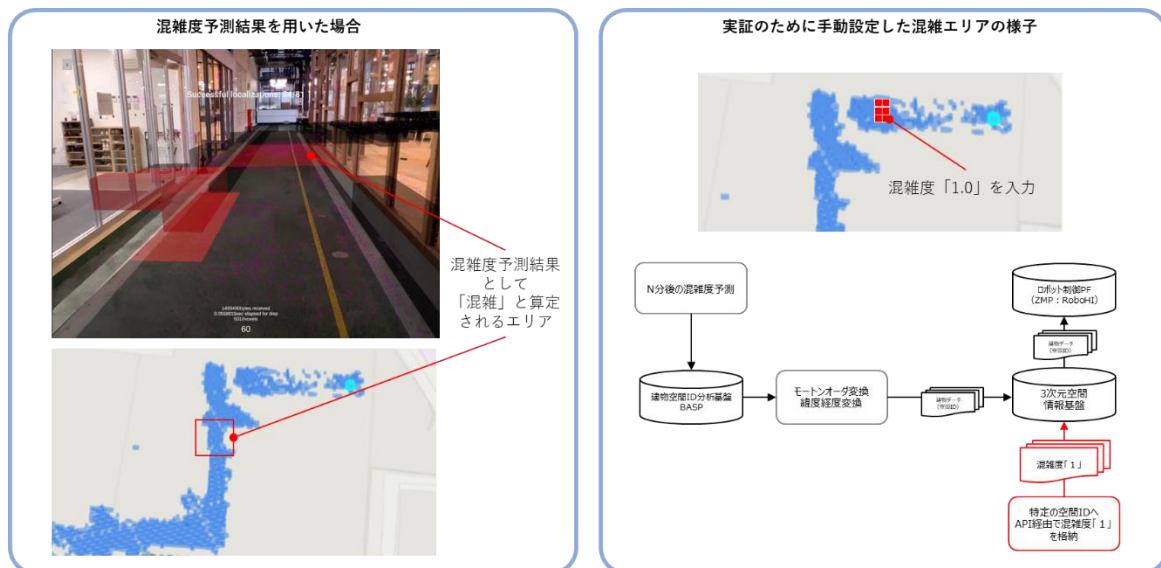


図 4.3-21 混雑度予測とロボット走行の地図・GIS 基盤システムを介した連携スキーム

(i) 通常走行 (ii) 最適化走行の実験結果を以下に示す。

(i) 通常走行：図 4.3-20 中ルート A を地図・GIS 基盤システム上の混雑度情報を用いずに走行した。実際に混雑エリアには障害物を設置し対照実験を行った。結果は混雑エリアの障害物で停止し、スタート地点にロールバックを行う結果となった。混雑エリアまでの到達及び停止、人手オペレーションによるスタート地点へのロールバックの合計で 335 秒要した。再度ルート B を設定しゴールに到達するのに 113 秒要した。合計で通常走行時の走行時間は 448 秒となった。

(ii) 最適化走行：地図・GIS 基盤システム上の混雑度情報を用いてに走行した。混雑エリアには地図・GIS 基盤システム上で混雑度 1.0 が格納されているため、アルゴリズムによってルート B が自動で選択された。走行途中で停止・ロールバックすることなくゴールに到達し、所要時間は 113 秒だった。

以上から、空間 ID を用いることによって、ロボットが進行不可能となりスタート地点へのロールバック及びリスタートが発生するリスクのあるルートを回避できる事が確認

できた。ロボット走行時の人手オペレーションの負荷を低減できたといえる。また、本実証実験におけるルートでの到着時間低減率を評価すると、空間 ID を用いた混雑度の事前把握によって $(448-113)/448=74.8\%$ になるとの結果が得られた。これはルートの全長や混雑地点によって変動する値であり、他の施設やルートにおいて必ずしも同等の効果が得られると限らないが、参考値として記す。

以下に障害物を設置しないで試験を行った際の写真を示す（図 4.3-22）。なお実際には地図・GIS 基盤システム上に格納されている混雑度情報は目に見えないため、後から合成によりボクセルを表現している。

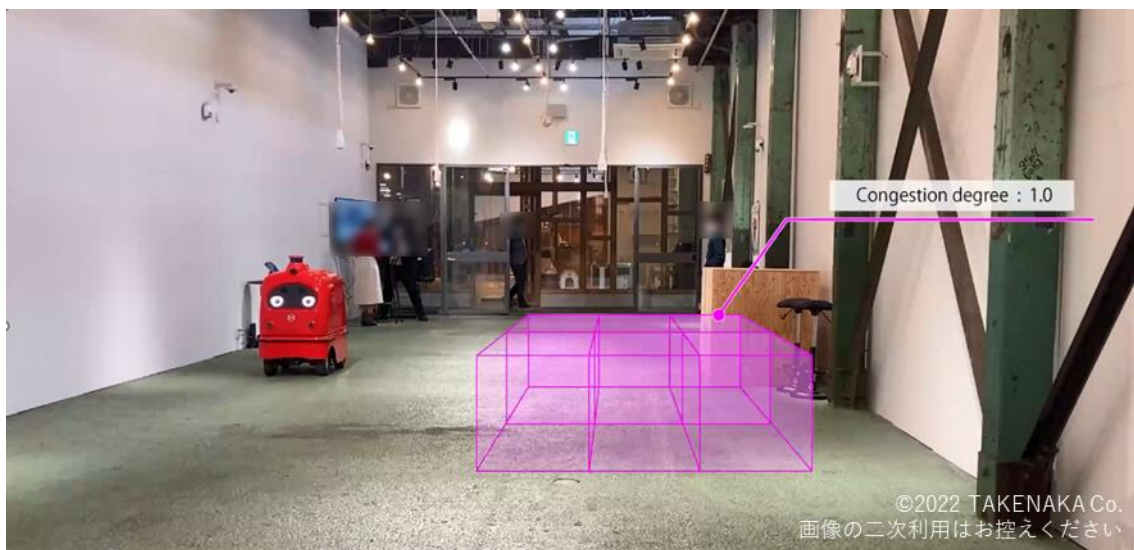


図 4.3-22 最適化走行時（空間 ID を利用する）

No.3【広告】広告価値算定手法

広告価値算定手法の結果・判定の流れを図 4.3-23 のように取りまとめる。

建物 3D データと人流データを組み合わせて使う事で、オンライン広告と同じように OOH の視認性を定量化することが可能と考えられ、OOH を置いたことによる利用者の行動変容を、人流データの変化から確認できると考えられる。また、その視認性を定量化した結果を建物空間 ID と紐付けて格納し、屋内外の広告のデータプラットフォームとして機能させることができる。

今回の実証では（i）視認性の定量評価手法を開発（ii）CGLL の一区画にデジタルサイネージを一定期間設置（iii）設置前後の比較によるサイネージの視認性と与えた行動変容（人流の変化）の定量化を行い、屋内における広告価値算定を人流データによって行うことの妥当性を確認する。

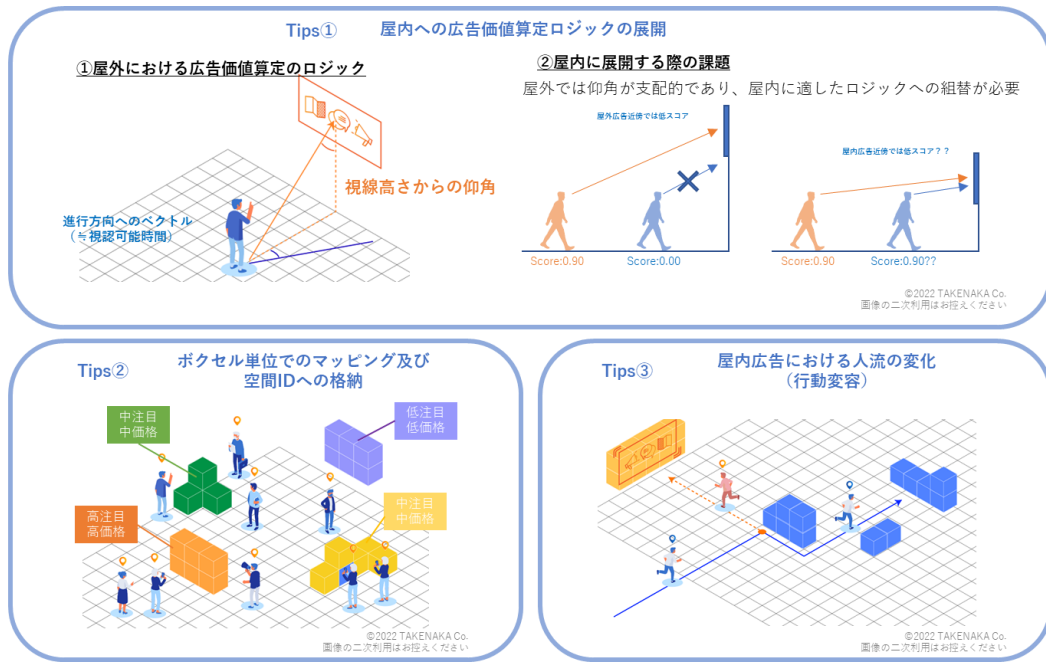


図 4.3-23 広告価値算定手法：結果判定方法まとめ

(i) 視認性の定量評価手法を開発

本実験では視認性の定量的な評価指標としてへキメン社の保有するロジックから導かれた視認性スコアを用いる。BIM から抽出した建物形状データを用いて視認範囲の特定を行った上で、サイネージまでの距離、角度（方位角、仰俯角）を考慮し、ある瞬間の視認のしやすさを0～1で定量化した指標である（図 4.3-24）。

視認性スコアの取りうる値の意味としては、全く見えない時に0、歩行可能なエリア内で、最も見えやすい場所に立ち、広告を直視している状態が1である。また、広告設置場所が近すぎて見えない、遠すぎて見えないケースのように、広告までの距離や仰俯角が視認性に与える影響を考慮する必要がある。本実証では一般的なサイネージやポスターと同等程度の大きさとして、43インチのデジタルサイネージを用いた。有効視野内を占める広告面積の比率に応じて、視認性スコアは0から1の範囲の値となる。

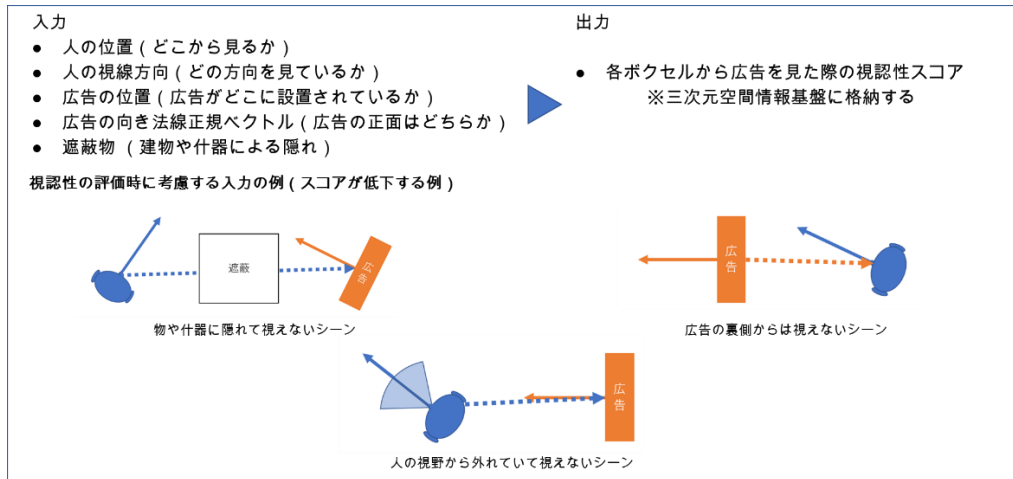


図 4.3-24 視認性スコア算出の概要（出典：ヘキメン社）

(ii) CGLL の一区画にデジタルサイネージを一定期間設置

43 インチのディスプレイを 2023 年 1 月 19 日から 2023 年 2 月 17 日まで CGLL に設置し、視認性の評価と人流への影響を調査した。加えて、複数の媒体を評価し空間全体の価値を評価していくことも将来的なスコープにあるため、まずはサイネージ単体だけでなく既設ポスターについても視認性スコアを算出した（図 4.3-25、図 4.3-26）。



図 4.3-25 設置した媒体及び閲覧者（出典：ヘキメン社、2023年1月19日）

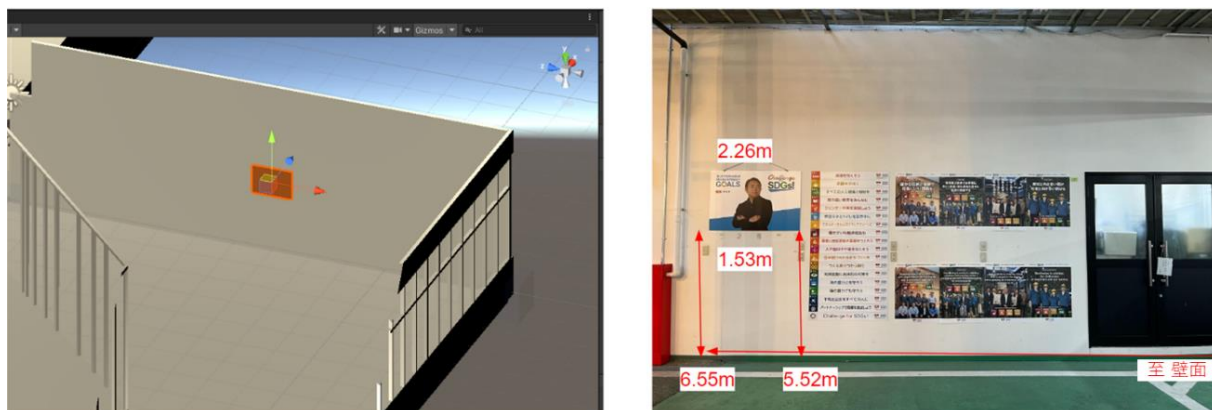


図 4.3-26 既設のポスター（出典：ヘキメン社、2023年1月19日）

視認性スコアは事前に Unity 上で人流データを考慮した検証を行い、BIM 座標系に依存したローカルのボクセル座標系（モートンオーダー）上にマッピングしている。マッピングした視認性スコアは BSAP に格納し、BSAP から混雑度情報や建物情報と同様に地図・GIS 基盤システムへ Web API を用いてアップロードを行った（図 4.3-27）。

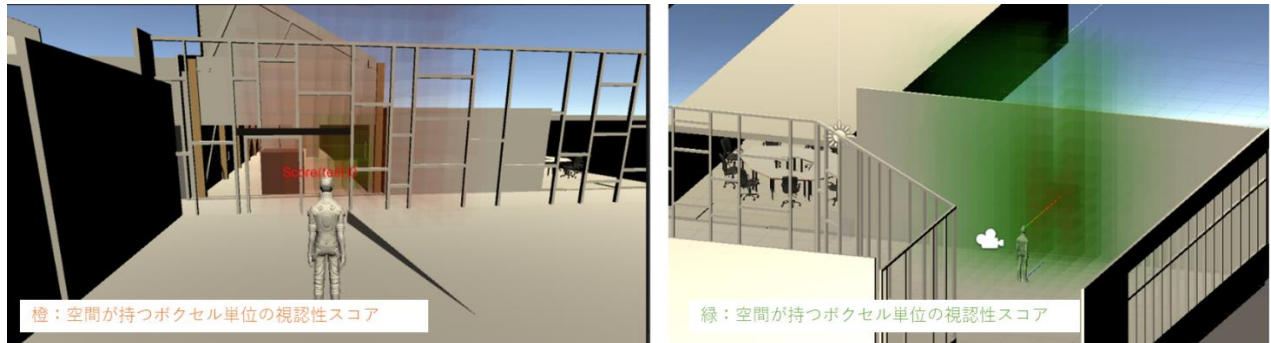


図 4.3-27 Unity 上で検証と BSAP に格納した視認性スコア（出典：ヘキメン社）

上記から BIM データ及び人流データを組み合わせて使う事で、定量的な視認性スコアを計算する手法を確認でき、空間 ID の座標系で利用可能にする手法が確立した。汎用 AR ビュワーをはじめ、地図・GIS 基盤システムと連携した多様なアプリケーションでのデータ利活用が可能となると考えられる（図 4.3-28）。本実証では汎用 AR ビュワーによる可視化結果の確認にとどまったが、以下に示す利活用例は業界ニーズに即したものと期待が高いと考察される。

【3次元の定量評価】

高さ方向の影響を加味して、空間の定量的な評価を行うことができ、施設設計者や広告出稿者にとってよりわかりやすい評価ができる。

【他データとの連携】

基盤側で整備された混雑度情報との組み合わせで、視認性の評価ができる。プライバシーのための匿名性を確保しつつ、利便性を損なわない混雑度情報を用いた広告配信ができる。

【顧客体験の向上】

部屋の形、扉や什器の配置から、情報提供を行いやすい広告設置をリコメンドするなど、屋内環境が数値化されることで最適な空間設計や広告配置が可能になり、顧客体験を向上させることができる。

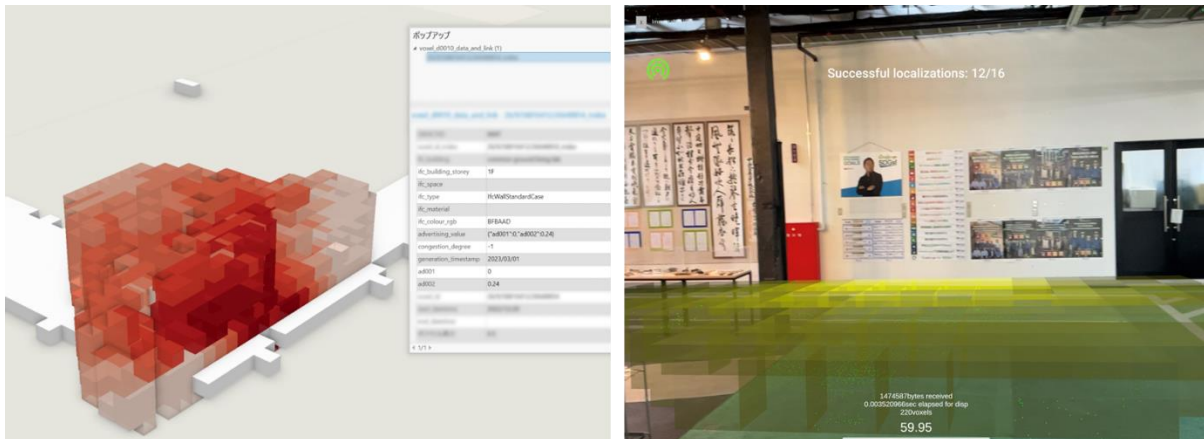


図 4.3-28 GIS やホロラボ社汎用ビューーによる可視化

(iii) 設置前後の比較によるサイネージの視認性と与えた行動変容の定量化

本実証において、行動変容は人流データの変化、つまり視認性スコアの累積値等の変化によって定量化及び分析を行った。また、サイネージのみの評価ではそれ以外の外的要因による変化の有無が不明瞭になるため、既設ポスターでも同様の分析を行った。

広告ユースケースで使用可能な人流データを確認した。ノイズデータを除外するため、同一 ID のデータ行が 100 行以上、移動総距離が 20m 以上、移動範囲が東西方向か南北方向のいずれか 10m 以上の人流データに限定し、分析に利用した。設置前後でそれぞれ 9 日間のデータを活用した。平日は平均 982 件の人流データがあり、分析に十分な人流データを取得できたと考えられる。設置前後における日別の分析対象データ数は表 4.3-15 に示す通りである。

表 4.3-15 分析に用いた人流データ

設置前			設置後		
日付	曜日	ID 数	日付	曜日	ID 数
2023/1/10	火	967	2023/1/19	木	1124
2023/1/11	水	1026	2023/1/20	金	978
2023/1/12	木	767	2023/1/21	土	37
2023/1/13	金	1092	2023/1/22	日	174
2023/1/14	土	36	2023/1/23	月	955
2023/1/15	日	13	2023/1/24	火	1202
2023/1/16	月	1154	2023/1/25	水	154
2023/1/17	火	1286	2023/1/26	木	1092
2023/1/18	水	893	2023/1/27	金	1053

図 4.3-29 は CGLL の空間座標と取得できた人流データを図示したものである。灰色で示す曲線が各人流 ID の移動軌跡に相当し、ヒートマップで表しているのは各時点における視認性スコア、黒の星マーク部分が実際にサイネージを設置した位置である。前後の両期間において人流の軌跡と方向は安定して取得できており、設置前後の視認性スコアの空間分布はほぼ同じになっていることから、正しい比較が行える人流データであるといえる。

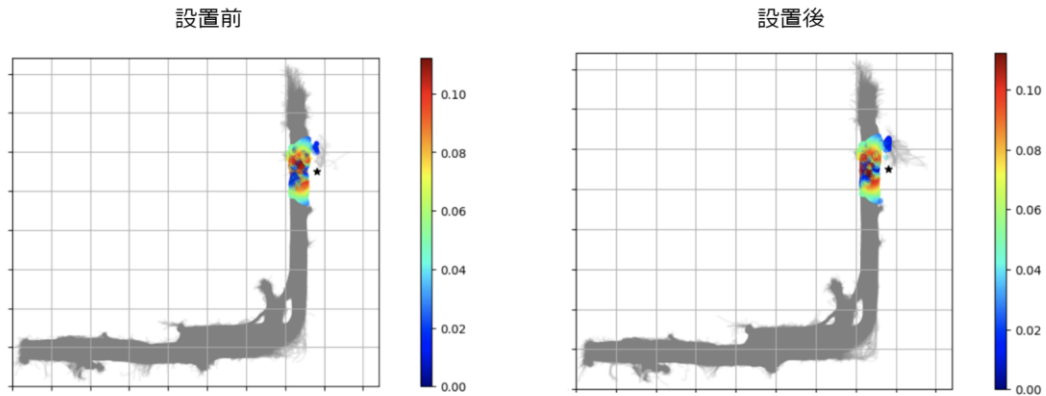


図 4.3-29 媒体設置前後の比較：媒体の視認性スコアの空間分布（出典：ヘキメン社）

図 4.3-30 は各時点で記録した視認性スコアのヒストグラムである。横軸が視認性スコア、縦軸は5回/secでサンプリングした人流データのID総数を示す。青線は累積度数の分布を示す。設置後の期間ではヒストグラム右端に大きな山が存在することがわかる。これは広告を注視するような動きに対応するスコアが検出できているものと考えられる。BIM データを用いた定性的な検証であり、広告の大きさなどによって変動するが、おおよそ視認性スコアが 0.10 以上であれば広告が設置されている空間を視認していると考えられる。

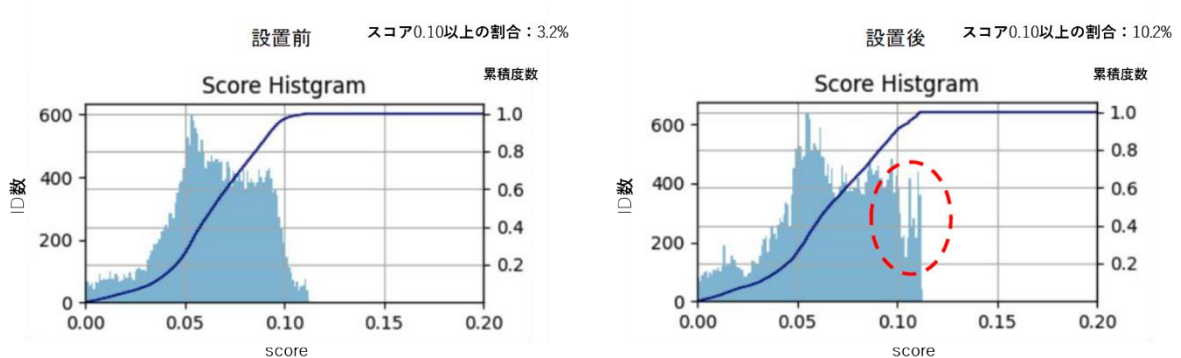


図 4.3-30 媒体設置前後の比較：媒体の視認性スコアの ID 分布（出典：ヘキメン社）

ここで、各人流がどれだけの時間広告を視認することができたかを表す指標として、「impulse」を定義する。impulse はあるユニークな人流 ID 毎の視認性スコアの積分値として計算され、物体に働く力の大きさと力が働く時間の積である力積 (impulse) に準えている。

図 4.3-31 は impulse ヒストグラムである。横軸が impulse、縦軸はユニークな人流 ID 数を示す。設置前後では impulse の分布や平均値に大きな変化はなく、人流全体への影響は少ないことがわかる。一方で、impulse の最大値が 2.40→14.9 に大幅に上昇している。長時間に渡って何も無い空間を直視しているとは考えにくい為、立ち止まって広告を注視するような行動が検出されていると考えられる。なお impulse が 1.0 以上の箇所については、0.4~1.0 と同様に該当の ID 数が数個でありヒストグラム上は見えにくい為割愛する。

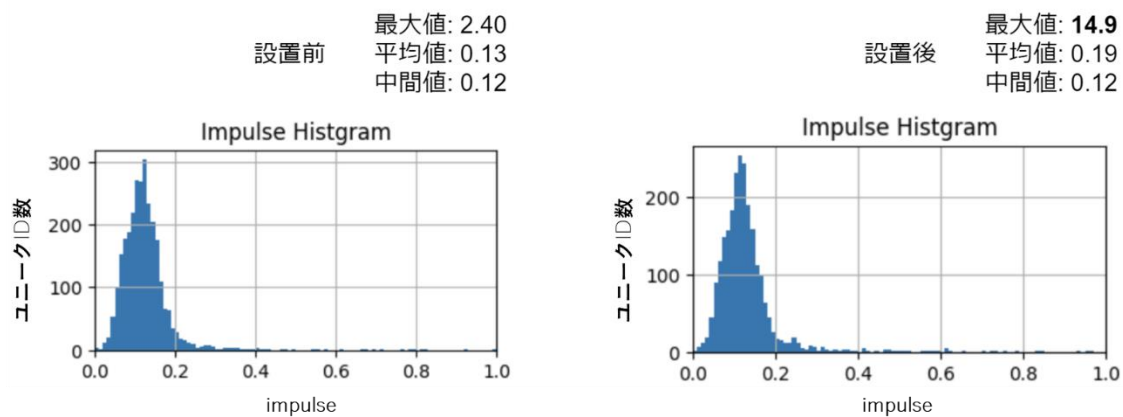


図 4.3-31 媒体設置前後の比較：媒体の視認時間×視認性スコアの ID 分布（出典：ヘキメン社）

また、媒体設置後、既設ポスターの視認性と与えた行動変容の定量化を同様に行った。図 4.3-32、図 4.3-33、図 4.3-34 に示す通り、廊下の対面に位置し目に入りやすいため比較的高いスコアが算出されるが、前後でスコアの変化は見られず、既設ポスターに関しては大きな変化は起きないことが示されている。これは媒体設置時期に施設全体の環境変化による人の行動変容がなく、上記の媒体設置前後の結果は媒体による行動変容であることがわかる。また、本実証においては 1 媒体の設置による環境変化は他の媒体へ影響しないといえる。

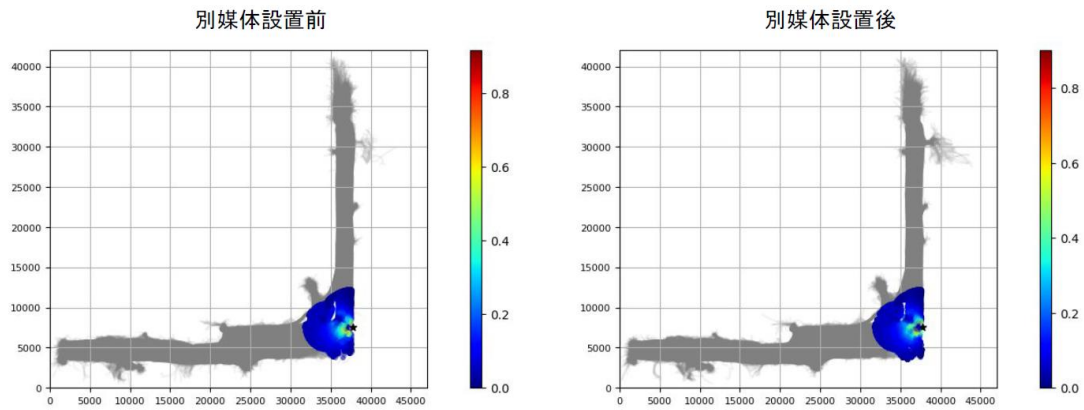


図 4.3-32 媒体設置前後の比較：既設ポスター視認性スコアの空間分布
(出典：ヘキメン社)

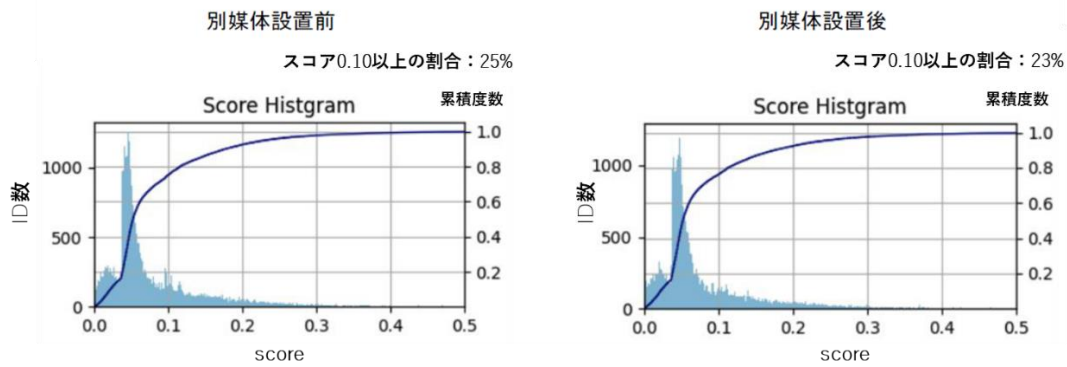


図 4.3-33 媒体設置前後の比較：既設ポスター視認性スコアの ID 分布
(出典：ヘキメン社)

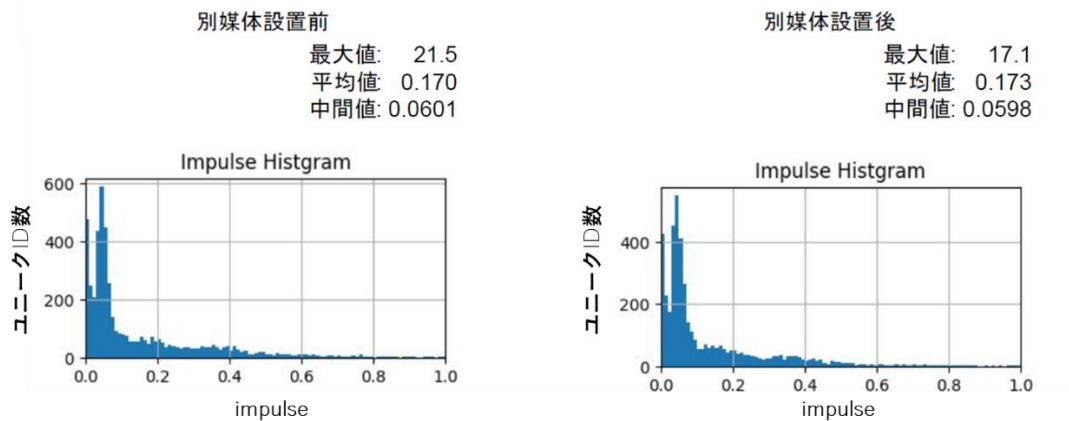


図 4.3-34 媒体設置前後の比較：既設ポスター視認時間×視認性スコアの ID 分布
(出典：ヘキメン社)

以上の視認性スコア分布の分析や impulse の分析、既設ポスターとの比較などから OOH 設置前後で人流データ及びその空間の価値に変動が起こったといえる。変動の度合については OOH のコンテンツとしての魅力や元々の設置場所の特性（交通量や明るさ等）が影響することは自明であるが、これはインターネット広告においても同様である。単一の施設やエリアの検証結果を広告価格のエビデンスにすることは難しいため、地図・GIS 基盤システム上の広告価値算出を様々な施設やエリアで普及・展開していく事が肝要である。本実証では単一エリアでの算出方法の方法論を示すことができた。

■ 技術的検証項目

表 4.3-13 技術的検証項目 No.1,2,5 に対する結果について詳細及び考察を記載する。

No.3,4,6 は前項「経済的検証項目」で述べている内容と同様であるため省略する。

No.1 想定するシーケンス全体の完遂可否

(i) 建物内空間のボクセルによる分析 (ii) 建物情報を用いたロボットの最適化運転 (iii) 広告価値の分析の3つのスコープにおいて実証し、空間 ID を用いたサイバーフィジカルシステム構築の妥当性を検証した。すべてのスコープに対して実証が完了し、シーケンス全体が完遂できた。空間 ID を用いたビルにおけるサイバーフィジカルシステム構築は妥当であるといえる。図 4.3-35 に全体の概略を示す。

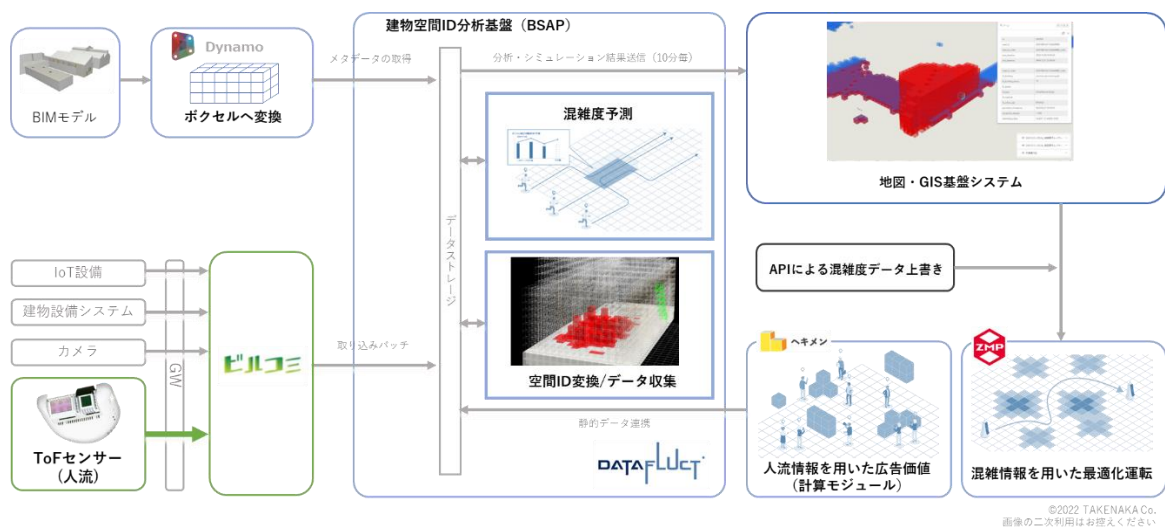


図 4.3-35 実証したシーケンス全体の概略

No.2 BIM データのボクセル化

BIM データを変換し、本実証における最小単位の 50cm サイズのボクセルへ変換を行い、メタデータを含めてローカルサーバに格納した。すべてのデータが正しく変換されているか、データの確認を行うとともに、ローカル環境の簡易ビューワーによって形状や LoD の確からしさについて検証した。データ分析等の 2 次利用に十分使用に耐えうる粒

度か検証を行った。検証に際しては、プロセス全体を実行するにあたり、課題の有無によって評価した。

結果として変換処理は問題なく実行できた。また、粒度・形状については元の BIM データでは直線や面で記述されている形状が階段状の表現になるが、50cm 程度であれば元の形状を十分推測でき、広告価値の算出や混雑度予測などのデータ分析などの 2 次利用に十分使用に耐えうる粒度であった。

データ分析についてはユースケースによっては粒度を下げて分析するというニーズは発生し得るが、■経済的・社会的検証項目 No.1【CPS】混雑度予測手法でも示したように粒度を下げる（複数ボクセルを纏める）手法も検証されており、粒度を下げる事に関して問題ないといえる。変換手法においても Dynamo の公開ライブラリ²³を用いており、汎用的な手法といえる（図 4.3-36）。

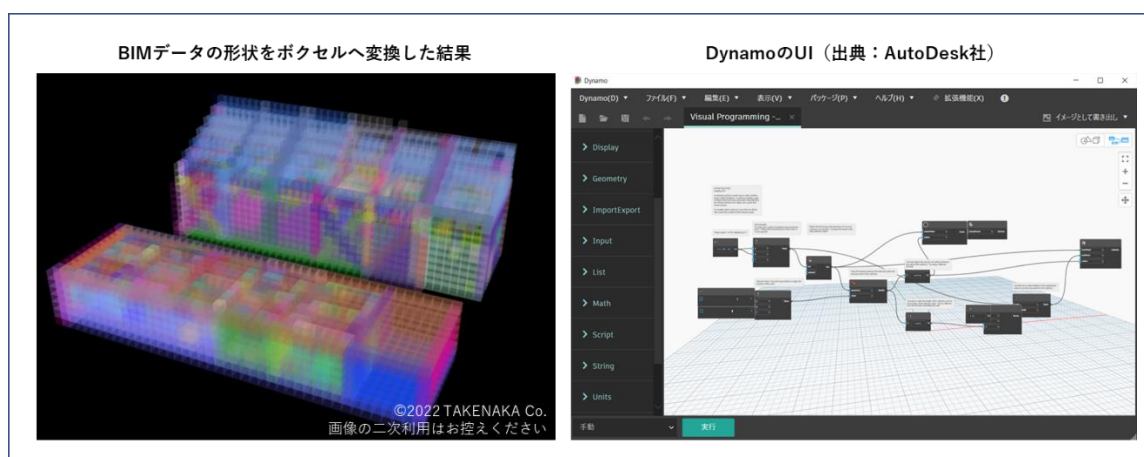


図 4.3-36 ボクセル化した結果と使用ツールの UI

No.5 ローカルボクセル座標と空間 ID の変換

建物データの元になる BIM データは通常ローカルの座標系を持っている。ToF センサーや LiDAR については、BIM の座標系に基づいて、座標値の変換が行われる。BIM 座標原点は、緯度経度との対応が取れているために、行列計算によって容易に変換することができる。さらに、共通ライブラリを用いることで空間 ID への変換を行う。可視化アプリ等を用いて定性的に確認することに加え、検証に際しては、プロセス全体を実行するにあたり、課題の有無によって評価した。すべての座標変換処理は問題なく実行完了し、可視化アプリにて差異がないことを確認した。

²³ <https://www.keanw.com/2022/02/vasa-020-is-now-available.html>

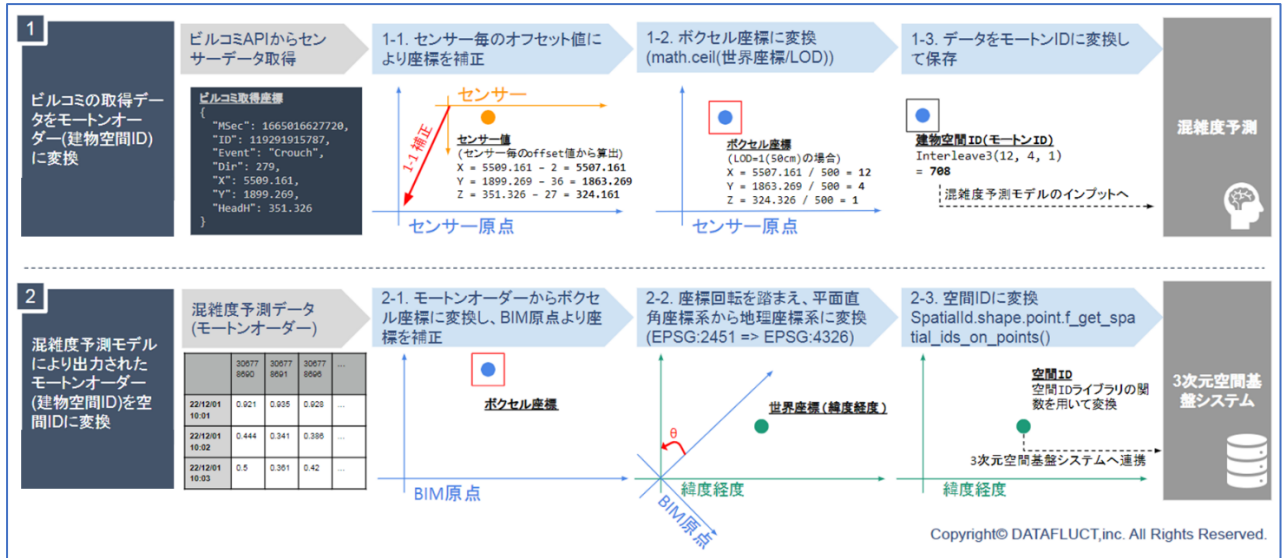


図 4.3-37 座標変換処理

(2) 課題の抽出

本実証スコープとにおいていたプロセス KPI (経済的・社会的検証項目) はすべて達成できた。

表 4.3-16 プロセス KPI (経済的・社会的検証項目) の目標未達項目に関する原因分析

No.	観点	検証項目	目標 (指標)	結果	原因
1	経済	【CPS】 混雑度予測手法	妥当性の高い整合性算出方法の検証・確立	混雑度予測モデルの予測精度 (F1 スコア) は 0.519、 決定係数 (R2 スコア) は 0.534 予測モデルのアルゴリズムは改善の余地はあるが、手法としての妥当性は高いといえる。	—
2	経済	【ロボット】 適用ユースケース拡張のための人手のオペレーション低減の試行	人手のオペレーション低減 (到着時間低減率)	人手オペレーションの低減を確認できた。 (本実証のルートに限れば到着時間低減率: 74.8%)	—
3	経済	【広告】 広告価値算定手法	屋内広告における広告価値算定手法の検証・確立 (広告価値の導出・行動変容の割合)	広告有無による行動変容差異が確認でき、空間ごとの広告価値も導出できた。 屋内広告においてボクセル単位での視認性スコア算出は妥当な方法だったといえる。	—

本実証スコープとにおいていた技術的検証項目はすべて達成できた。ただ予測モデルのアルゴリズム、実験場の物理的な制約などに起因する課題が検証の中で表面化した。

表 4.3-17 技術的検証項目に関する原因分析

No.	検証項目	結果	原因
1	想定するシーケンス全体の完遂可否	(i) ~ (iii) のスコープに対して実証が完了し、シーケンス全体が完遂できた。空間 ID を用いたビルにおけるサイバーフィジカルシステム構築は妥当であるといえる。	—
2	BIM データのボクセル化	変換処理及び粒度には問題なく、形状もデータ分析等の 2 次利用に十分使用に耐えうる粒度であった。 課題として外壁などの形状がボクセル単位では階段状になるが、データ分析の面では問題ないと考えられる。	属性データの利用ではボクセル単位で問題ない。形状データはあくまで概形の取得といった粒度であれば使用に耐え得ると考えられる。
3	ボクセル単位での混雑度予測	混雑度予測モデルの予測精度 (F1 スコア) は 0.519、決定係数 (R2 スコア) は 0.534 予測モデルのアルゴリズムは改善の余地はあるが、手法としての妥当性は高いといえる。	既存のアルゴリズムではボクセル粒度の検証など予測精度に影響する課題が存在することがわかった。より高い予測精度を求めるとであれば以下の要素が重要になると考えられる。 <ul style="list-style-type: none"> ・ 人流データのサンプル数 (有効データ数) の拡充 ・ 外れ値の混入抑制 ・ 同じ人が出入りを繰り返し、実態以上の値を取得する状況の排除・抑制 ・ 人の属性や空間の利用目的による 人の行動パターン変化の考慮
4	ボクセル単位での視認性スコア算定	建物 3D データと人流データを組み合わせて使う事で、定量的な視認性スコアを計算する手法を開発し、OOH を置いたことによる利用者の行動変容を定量的に分析できた。	実際の広告価値には売主/買主の売買関係が必要だが、実証実験場では売買関係が存在しない。今後は実運用中の比較的広い物件での試行が必要と考えられる。

No.	検証項目	結果	原因
5	ローカルボクセル座標と空間 ID の変換	すべての座標変換処理は問題なく実行完了した。	—
6	ロボット走行最適化	建物形状 (BIM データ・ロボットセンサーデータ) と混雑度データ (地図・GIS 基盤システムより取得) を用いて人手のオペレーションを介さないロボットの混雑地点回避走行が行えた。	実験場の物理的な制約により混雑度データを Web API 経由で書き込む必要があった。今後は実運用中の比較的広い物件での試行が必要と考えられる。

4.3.4 今後の展望

本実証では、ベースとなる建物内の空間情報を分析し、建物の形状と人流データ等のセンサーのデータから空間ごとの特性を算出することでスマートビルのユースケースへの適用を調査した。スマートビル全体としては複数のユースケースが考えられるが、本実証においてはロボットの最適化運転と広告価値の分析/評価をスコープとして実証を行った。実証を通して、社会実装という観点でのプロセス KPI を念頭にした方法論の確立は確認できた。次のフェーズでは実運用中の施設への適用及びサービスイン、並びにユースケースの拡張が必要と考えられる。

【実運用中の施設への適用】

実運用中の施設への適用においては、人手オペレーションの低減といったサプライヤー側のメリットよりもテナント事業者及び一般来訪者といったよりエンドユーザー側のメリットが重要になる。

混雑地点を回避した商品配送によって、遅延なく商品が届く、もしくは反対に混雑地点に対するアプローチ (宣伝や清掃等) といったユースケースが想定される (図

4.3-38)。

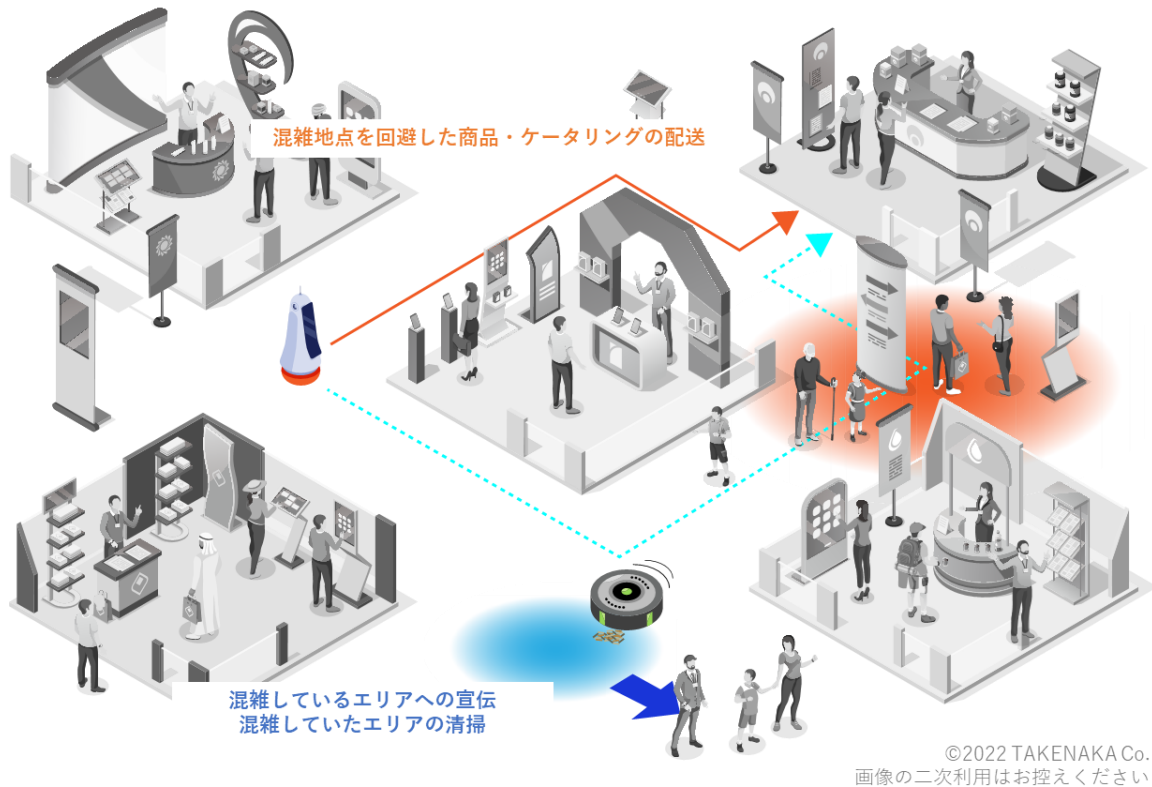


図 4.3-38 実運用の施設への適用（ロボット）のイメージ

【サービスイン】

広告価値のユースケースにおいては図 4.3-39 に示すような様々なステークホルダー及びステークホルダーごとのメリットが存在する。これらはインターネット広告ではある程度方法論が確立しており、インターネット広告と同様のメリットを現実の空間に適用するともいえる。前項までに示した課題のクリア及びサービスへの展開により、広告配信やダイナミックプライシングに向けた基盤になると考えられる（図 4.3-39）。

- ・施設保有者：プライバシーの問題を考慮しつつ、広告配信に最適な空間を特定し、広告媒体における経済性と良質な顧客体験の提供を両立することができる
- ・広告主：従来のような媒体の一括購入ではなく、一部の場所や時間帯を切り出して、リーチしたい顧客がいる最適な場所と時間に広告の配信を行うことができる
- ・エンドユーザー（施設利用者）：自分の属性に適した情報（広告）に触れることができ、顧客体験の大幅な向上につながる

また、本実証の実証地は実験場であった為、広告の売買関係が存在しなかった。広告の売買関係が存在し広告の価格がある施設での試行も必要になると考えられる。

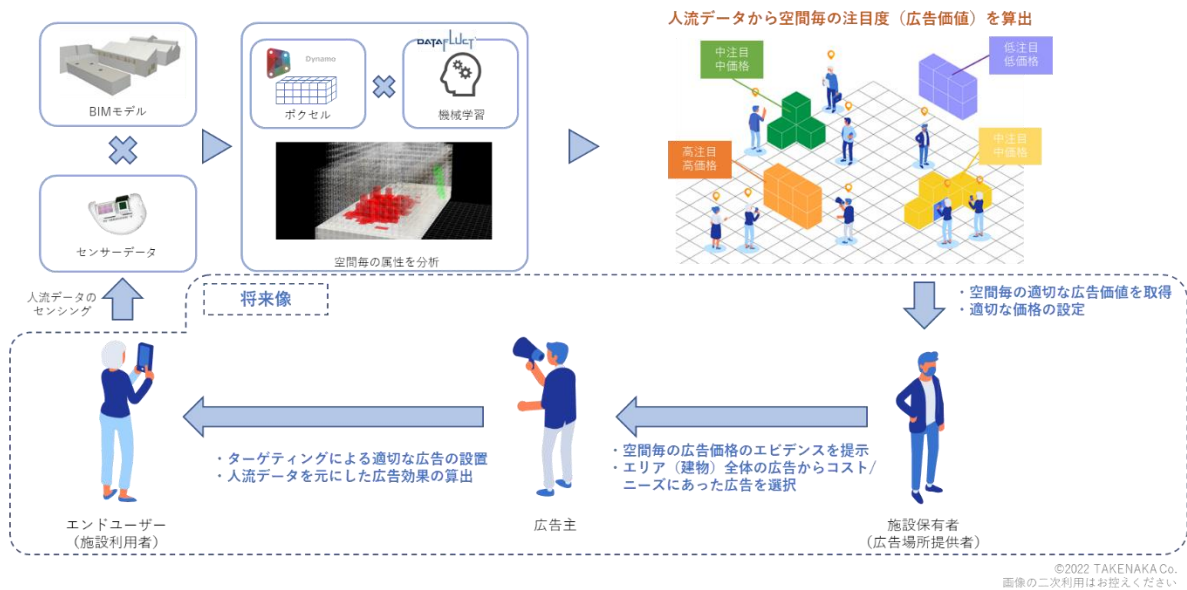


図 4.3-39 サービスイン（広告）のイメージ

【ユースケースの拡張】

本実証では複数想定されるスマートビルのユースケースのうち、期間やコストといった実現性を加味し、建物内の空間情報分析として混雑度の予測とロボット走行の連携、及び広告を対象とした。混雑度予測精度の向上やロボットの実運用中の施設への適用、広告のサービスインといった本実証で対象としたユースケースを発展させていく方法の他にもユースケース自体を拡張していくという観点も重要である。他のユースケースとしてはビルを取り巻くステークホルダーのうち、施設管理者視点に寄った遠隔監視・保守管理や設備制御、エンドユーザー視点に寄った購買分析やワークスタイル分析などが考えられる（図 4.3-40）。

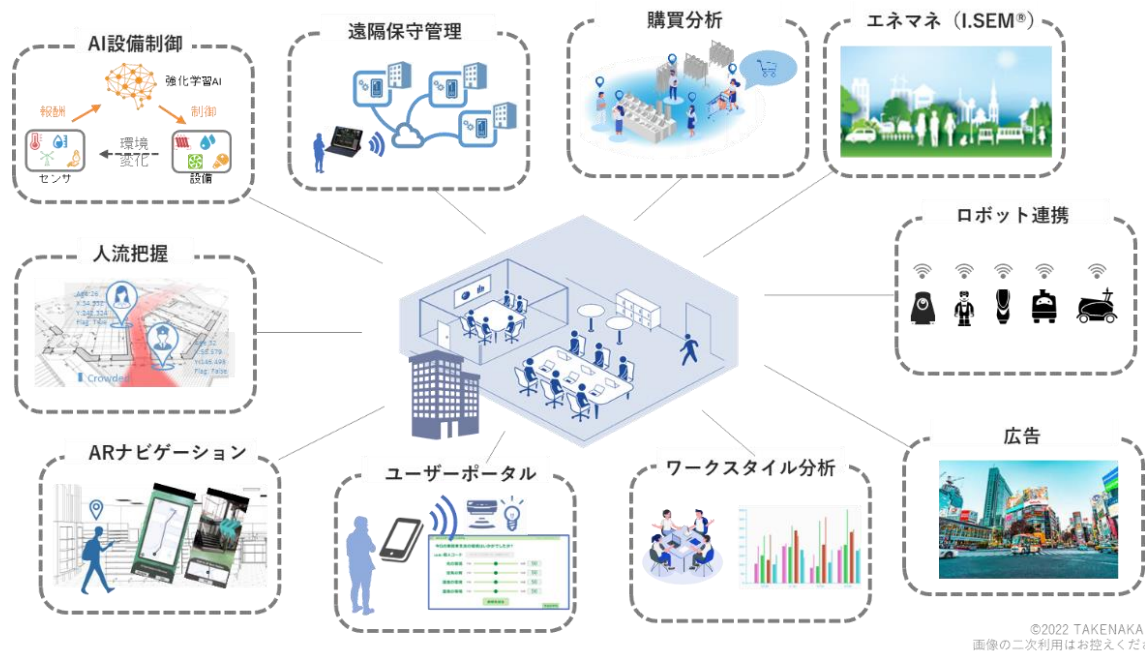


図 4.3-40 ユースケースの拡張

社会実装の観点では、2025年を目途にビルごとの様々なデータが地図・GIS基盤システムに格納、空間IDを介して分析・活用され、ユースケースごとにアプリケーション機能の開発が行われるという姿が到達点と考えられる。また、空間IDがユースケースを横断して利用されることで、システム間連携が容易になるものと想定される。

その中で特に課題となるのが、開発を促進するために複数のビルのデータが知見として必要である点と考えられる。一般的にプラットフォームに対して各ステークホルダーが「データの登録者」と「データの利用者」という属性に分けられる場合、前者自身にはメリットが生じない場合が多い。データの登録による対価や他事業所の格納したデータの優先利用など、データ登録者にメリットとなる仕組み作りが社会実装という観点では肝要と考えられる。

4.4 建物内移動の支援

4.4.1 実証概要

(1) ユースケースの現状と課題・ペインポイント

自律走行ロボットによる配送は少子高齢化や地方の空洞化等を背景として、高齢者や過疎地域住民等の買い物弱者対策や人手不足対策、また、災害時の物資輸送等のニーズが想定されている。

社会実装に向けては、自律走行ロボットによる配送サービスは実証実験が多数行われており、ファミリーレストラン等をはじめとした店内での配膳が導入されつつある。制度設計の面では2020年に公道実証実験の制度整備が行われ、屋外を含むサービス導入のための制度設計に向けた動きが活発化している。

一方、技術面・ビジネス面では、屋内外移動では座標系が異なるため、シームレスな移動ができず、対応にかかる開発工数が膨らみ、配送サービス事業者の市場参入の障害となっている。また、自律走行に活用する地図は走行前に取得する必要があり、個別の事業者が保有しているため、他事業者で地図を作成済みの場所であっても、別の事業者が自律走行ロボットを導入する際は、地図生成・開発を新たに行う必要がある。この地図生成コストが施設管理者をはじめとした配送サービスの潜在顧客たちの導入コスト増につながるため、自律走行ロボットの普及の障害となっている。

(2) 将来ビジョン（課題を解決したビジョン）

(1)の課題・ペインポイントを踏まえ、空間IDを活用することで実現する将来ビジョンを次のように設定した。

- ① 空間IDを屋内外・ビル間の共有座標系として、屋内外シームレス移動支援の実現
- ② 関連する空間データの空間IDとの紐付けによる企業間でのデータ共有の実現

(3) 経済的・社会的検証項目の設定

将来像を実現するために達成すべき上位目標（KGI）を、経済的価値・社会的価値の観点から設定し、KGIを達成するために重要な要因（KSF）を導出した。さらに、KSFを達成するために本業務の実証にて検証すべき指標としてプロセスKPIも同様に検討を行い、これらのプロセスKPIを本実証での経済的・社会的検証項目として設定することとした。

KGI、KSF、プロセスKPIは表4.4-1のように整理した。なお、本業務の実証における各KPIの具体的な内容については表4.4-2に掲載している。

表 4.4-1 KGI、KSF、プロセス KPI（経済的・社会的検証項目）の一覧

観点	KGI	KSF	プロセス KPI (経済的・社会的検証項目)
経済的 価値	ロボットの普及に伴う業務効率化・ユーザー利便性の向上	ロボット用データの生成コスト削減によるロボット導入費用の削減	空間 ID 活用時におけるロボット用地図生成コストの削減率
			空間 ID 活用時におけるロボット用建物情報整備コストの削減率
		ロボット導入施設の増加、ユーザー利便性の向上	空間 ID 活用時におけるロボット開発の対応工数の減少率
	配送の利便性向上に伴う業務効率化・ユーザー利便性の向上	空間 ID を用いた AR によるナビゲーション（以下、「AR ナビ」という）による配送リードタイムの削減によるユーザー利便性向上	空間 ID 活用時の配送リードタイムの削減率
AR ナビによる配送効率化によるユーザー負担配送コストの削減		空間 ID 活用時の配送コストの削減率	
社会的 価値	空間データの普及（公開化）に伴う情報のオープン化	空間データ（オフィス情報、公共情報等）の公開化・情報配信によるユーザーの理解促進・利用促進	空間データの公開件数、閲覧数
	空間 ID 活用関連の新規アプリ創出に伴う情報のオープン化	新規アプリの創出・普及によるユーザーの理解促進・利用促進	新規アプリの創出件数

本業務では表 4.4-2 の経済的・社会的検証項目により、空間 ID の活用可能性を評価する。

表 4.4-2 実証における経済的・社会的検証項目

項	観点	検証項目	詳細	現状	指標
1	経済	地図生成コスト	ロボット走行に必要なロボット用地図の作成にかかるコスト（工数）	10.5 人日	工数削減率 [%]
2	経済	建物情報整備コスト	ロボット走行及びルート設計に必要な建物情報の整備にかかるコスト（工数）	4.5 人日	工数削減率 [%]

上記の KPI と検証項目に基づいて、実証計画を策定し、実証・考察を行った。

(4) 検証プロセス

先述の経済的・社会的検証項目を検証するために、本実証で実施する検証プロセスを図 4.4-1 のように設定し、実証を行った。

本実証においては、配送ロボットのための地図及び建物情報のデータ整備のプロセスと建物内の配送及び移動支援のためのサービス提供のプロセスに対して検証する。

データ整備のプロセスでは、建物の BIM データとロボットを用いた 2D LiDAR による建物内のフロアの計測によりロボット用地図情報を作成し、さらに建物内のエレベーターや店舗等の施設情報、立入禁止情報等を整備し、空間 ID との紐付けを行い、地図・GIS 基盤システムへの格納を行う。

サービス提供のプロセスでは、はじめに配送サービスのユーザーがウェブサイトを通じて配送を依頼したい飲食物等の商品及び配送の目的地を指定して注文を行い、配送システムへ登録される。注文情報では目的地等の位置や店舗の情報は空間 ID を用いて指定される。配送ロボットシステムは、注文情報及び建物と紐付けられた空間 ID の情報を用いて地図・GIS 基盤システムから配送に必要となるロボット用地図情報や注文を達成するための経路地、目的地等の施設内の情報を取得する。その後、配送ルートの作成を行い、ロボットの走行を開始し、商品の受け取り、受け渡しを完了する。

本実証では空間 ID を用いた建物情報の整備プロセス、空間 ID に紐付けられた建物情報を活用した配送サービス提供のプロセスにおいて空間 ID の有用性の検証を行う。具体的な検証方法については（7）検証方法に記載する。

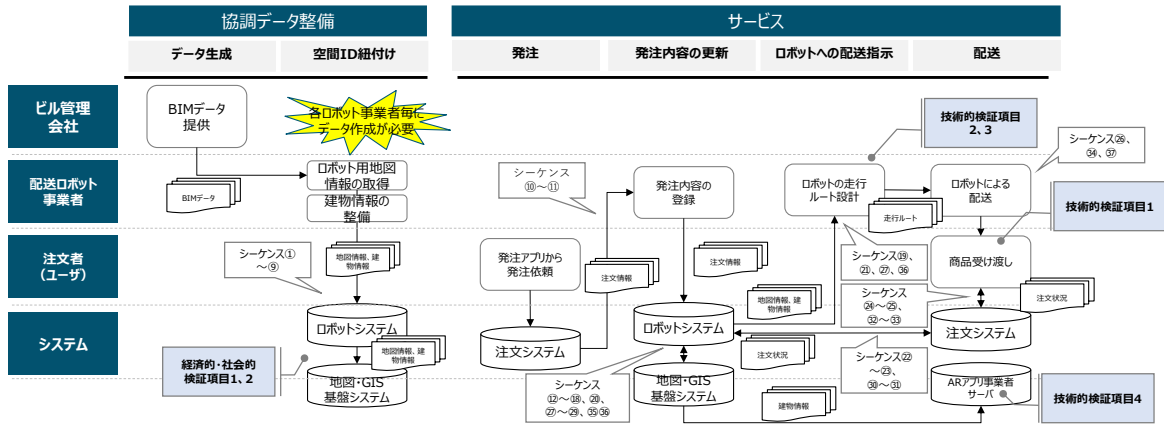


図 4.4-1 検証プロセス図

検証プロセス図中に記載のシステム間の処理シーケンスについて図 4.4-2 から図 4.4-7 に示す。また同様に、技術的検証項目の内容は表 4.4-3 に示す。

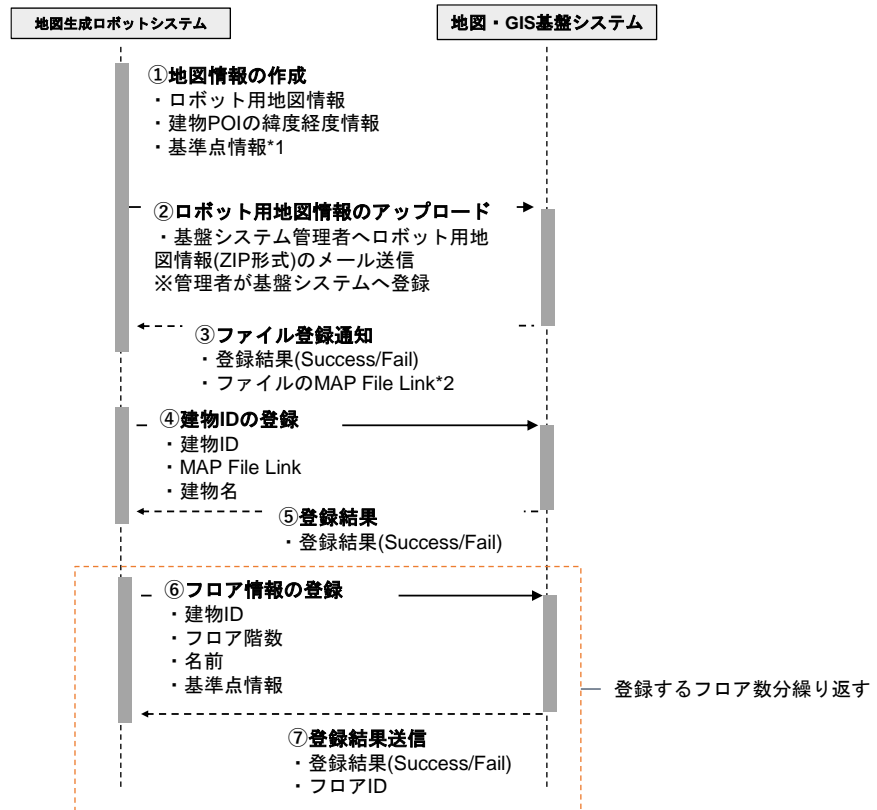


図 4.4-2 データ整備 (1 / 2)



図 4.4-3 データ整備 (2 / 2)

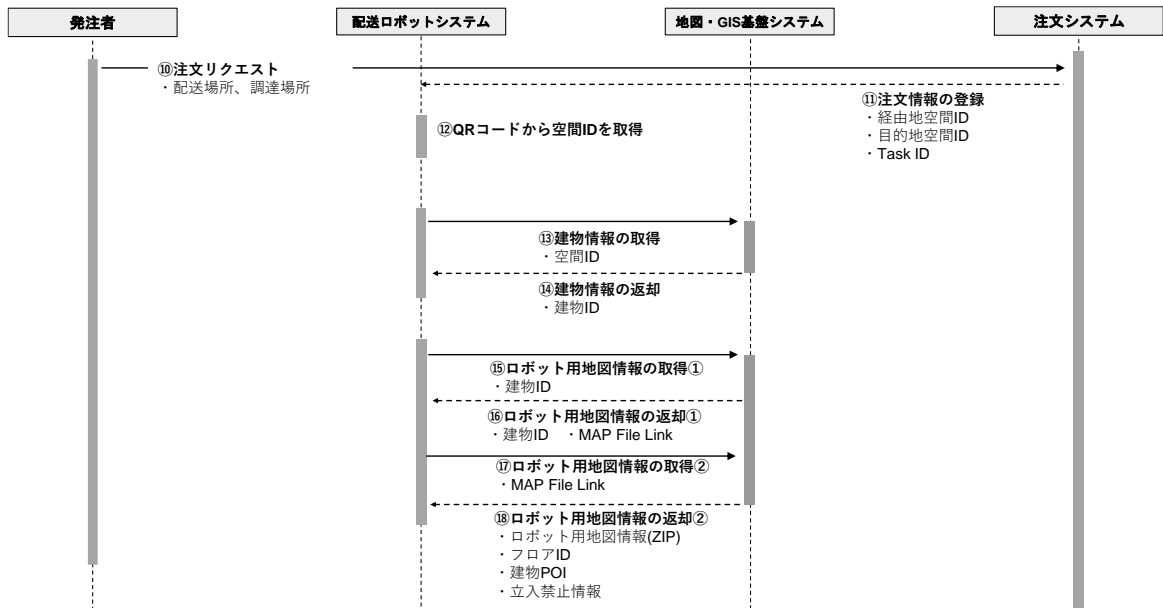


図 4.4-4 配送サービス (1 / 4)

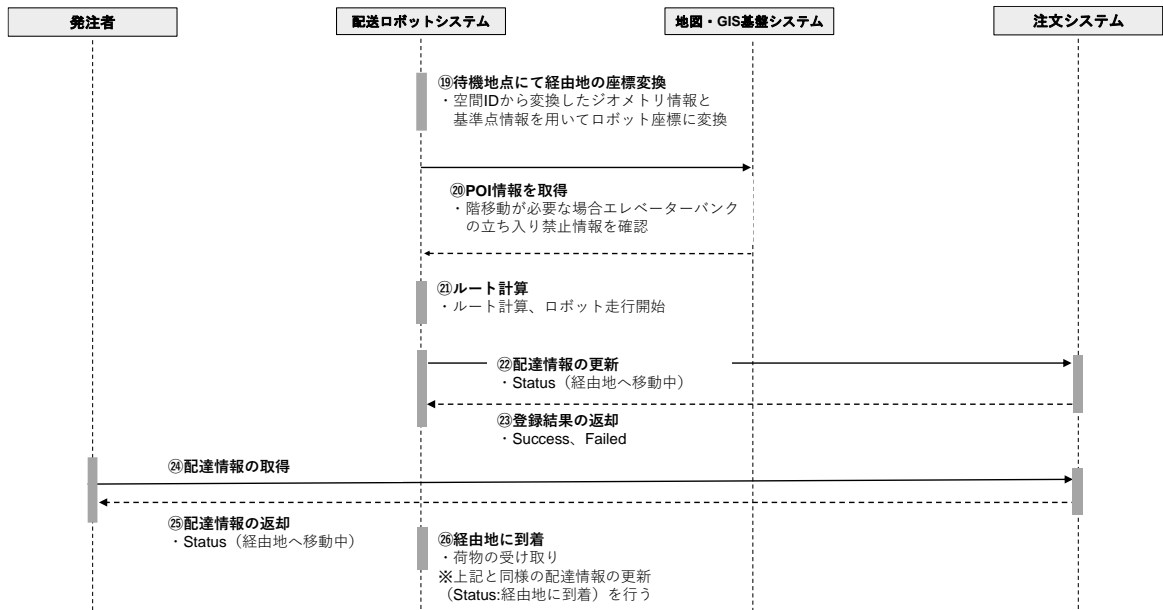


図 4.4-5 配送サービス (2 / 4)

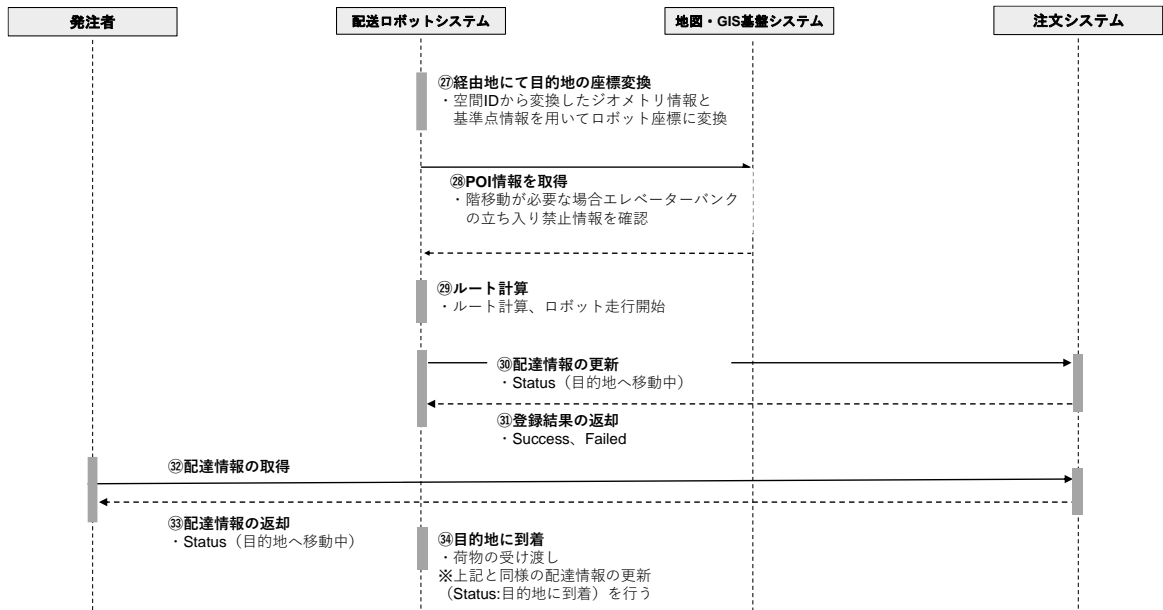


図 4.4-6 配送サービス (3 / 4)

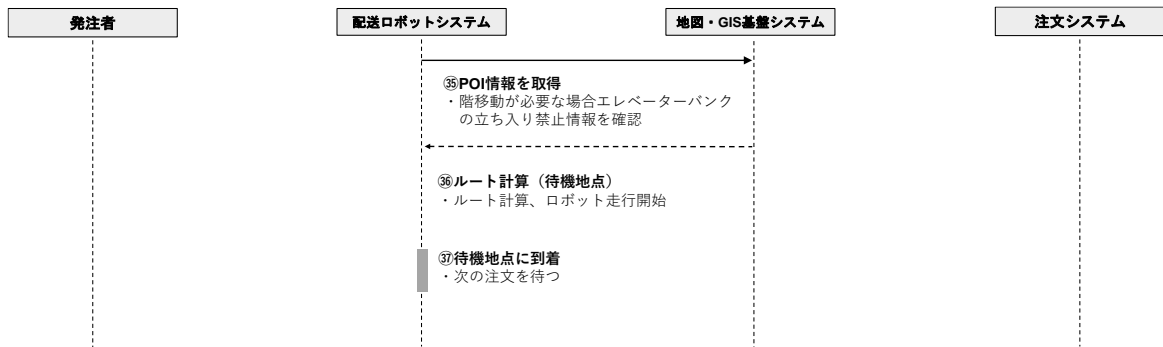


図 4.4-7 配送サービス (4 / 4)

(5) 技術的検証項目の設定

ユースケースにおいて空間 ID を活用するにあたり、技術的に検証が必要な項目を技術的検証項目として設定した。設定した項目を表 4.4-3 を記載する。

表 4.4-3 技術的検証項目の一覧

項	検証項目	詳細
1	空間 ID からロボット用地図における座標値の導出処理の実装	空間 ID の座標系（グローバル座標）からロボット用地図の座標系（ローカル座標）に座標変換を行うライブラリの開発・実装を行う。
2	空間 ID を活用したルーティング及びロボット走行の実現	空間 ID をキーとして、地図・建物データ及び経由地・配送先の座標情報、エレベーターに設定される立入禁止情報を取得し、ロボットによる自律走行を行う。
3	適切なボクセルサイズの評価	地図・建物情報の格納に適したボクセルサイズの調査を行う。
4	企業間でのデータ連携	空間 ID、地図・GIS 基盤システムを用いて、建物情報を他社に共有し、有効活用可能か検証を行う。

(6) データ・メタデータ

実証のために整備を行い、使用するデータの一覧を表 4.4-4 に示す。それぞれのデータは本実証で対象とする建物と関連する施設の情報を空間 ID と紐付けて整備し、地図・GIS 基盤システムへ登録することにより、ロボットシステムやアプリから地図・GIS 基盤システムを介して利用することとした。以下にデータ作成方法を計画し、作成した各データの詳細を記載する。

表 4.4-4 本実証で使用するデータ一覧

項	データ名	概要	空間 ID 紐付け
1	ロボット用地図情報	ロボットが自律走行を行うための 2D LiDAR 地図情報	有
2	フロア情報	建物内のフロア（階数等）に関する情報	有
3	建物 POI 情報	建物内の施設（エレベーター、店舗等）に関する情報	有

1) ロボット用地図情報

2D LiDAR で取得した点群から作成した 2 次元画像データとその画像データに紐付く縮

尺情報、各種座標を記載したテキストファイルである。実証を実施する対象のフロアごとに作成を行う。該当の建物と建物に対応する空間ボックスとを空間 ID により紐付け、紐付けられた空間ボックスの持つ属性情報へロボット用地図情報を取得するための情報 (URL) を格納する。ロボットシステムは建物に対応する空間 ID を特定することを契機に、該当の建物のロボット用地図情報を取得することが可能である。

表 4.4-5 ロボット用地図データ

項目	内容
整備期間	2022年11月～2023年2月
作成方法	建物管理者から提供された BIM データをもとにロボットの 2D LiDAR センサーの高さにおける断面図を作成する。また、BIM データに反映されていない領域を 2D LiDAR を備えたロボットを走行させ取得した点群から地図画像を作成する。BIM の断面図と 2D LiDAR による地図画像を組み合わせた画像データを作成する。また、作成した画像データと、作成した画像の縮尺情報等を記載したテキストデータをあわせて ZIP ファイルへ格納を行う。
使用センサー	Akusense 社 AS-21C Lidar Scanners
データフォーマット	ZIP ファイル (画像データ及びテキストデータを格納)
データ容量	約 300KB
データ品質	作成したデータの形状、縮尺等が実状に即したものであるか確認を実施する。また、作成したデータと配送ロボットを用いて、サンプルコースの走行を実施し、地図データや目的地の位置等に問題がないか動作確認を実施する。
新規/既存	新規整備

2) フロア情報

建物内のフロアに関連する情報である。フロアの床面から天井までのフロアの空間と対応する空間ボックスと空間 ID により紐付け、紐付けられた空間ボックスの持つ属性情報へ階数及び基準点の情報を格納する。この基準点は、緯度・経度・標高の絶対座標からロボットが走行する際に利用する相対座標への変換に用いる。ロボットシステムは建物に対応する空間 ID を特定することを契機に、該当の建物のフロア情報を取得することが可能である。

表 4.4-6 フロア情報

項目	内容
整備期間	2022年11月
作成方法	建物管理者から提供された BIM データの寸法等を緯度・経度・標高と関連付け、空間 ID への紐付けを行う。
データフォーマット	テキスト
データ容量	約 400B
データ品質	作成したデータに設定する基準点の位置等が実状に即したものであるか確認を実施する。
新規/既存	新規整備

3) 建物 POI 情報

建物内の施設に関連する情報である。建物内でロボットシステムがロボットを走行させる際に利用する目的地やエレベーター等の地点の情報、店舗や飲食店等の施設の種別の情報を空間 ID に紐付ける。ロボットシステムは建物に対応する空間 ID を特定することを契機に、該当の建物の建物 POI 情報を取得することが可能である。取得した建物 POI 情報はロボットシステムにおいて目的地や経由地等を設定するために使用する。

また、建物内のロボット等が立入できない地点を表す情報も合わせて紐付けを行う。例えば、建物内のエレベーターが故障や保守点検中である場合にロボットの走行等に利用できない状態であるため、対応する空間ボックスに属性情報として格納する。本業務の実証においてはエレベーターが点検中のため利用不可の状態を想定し使用したが、センサー等により取得できる建物内の混雑情報や建物内の工事等による通行規制等の場合に、該当のエリアの立入の可否を動的に設定することを想定するものである。ロボットシステムは建物内の特定位置に対応する空間 ID を特定することを契機に、該当の建物の建物 POI 情報を取得することが可能である。

表 4.4-7 建物 POI 情報

項目	内容
整備期間	2022年11月～2023年2月
作成方法	ロボットが利用する建物内の施設の位置についてロボット用地図情報における位置を目視により特定し、緯度・経度・標高へ変換する。緯度・経度・標高で表された施設の位置情報を対応する空間 ID へ変換する。また、施設の種別や立入禁止情報等を属性情報として対応する空間 ID に紐付ける。

項目	内容
データフォーマット	テキスト
データ容量	約 7KB
データ品質	作成したデータの位置、属性情報が実状に即したものであるか確認を実施する。また、作成したデータと配送ロボットを用いて、サンプルコースの走行を実施し、地図データや目的地の位置等に問題がないか動作確認を実施する。
新規/既存	新規整備

本実証で使用するデータについて、ロボット用地図データを「建物地図データ」、フロア情報を「フロアデータ」、建物 POI 情報を「建物内テナント及び施設名データ」として、それぞれ空間 ID と紐付けを行い地図・GIS 基盤システムに格納し実証で利用した。

空間 ID に紐付ける際のデータ仕様については3章記載のデータ仕様案にのっとり、データ・メタデータを作成し、品質評価を行い、実証時の使用に問題ないことを確認した。なお、各データの具体的な属性情報の項目等の詳細、作成手順については標準製品仕様書・標準作業手順書に記載した。

(7) 検証方法

① 経済的・社会的検証項目

- ・ 地図生成コスト及び建物情報整備コスト

【測定方法】

ロボットの自律走行に必要となる地図情報及び建物情報をロボット事業者間で共有することによる効果を測定し、考察する。具体的には、本業務において「ロボット用地図情報」及び「建物 POI 情報」を整備し、空間 ID に紐付けて地図・GIS 基盤システムに格納するまでの作業に要する工数を計測する。作業内容及び要した工数について、本業務を実施しない他ロボット事業者²⁴が同等の整備を実施した場合の工数や課題の有無をヒアリングにより調査する。他事業者において同等程度の工数削減効果及び有効性獲得が可能かヒアリングを行い、結果をまとめ、課題がある場合は改善案の考察を行う。

【結果の判定方法】

地図作成コスト、建物情報整備コストを算出し、地図及び建物情報が地図・GIS 基盤システムを介して複数のロボット事業者に共有されることにより工数削減が可能か判定を行う。

²⁴ 他ロボット事業者：アスラテック株式会社

② 技術的検証項目

- ・ 空間 ID からロボット用地図における座標値の導出処理の実装

【検証方法】

空間 ID の座標系（グローバル座標）からロボット用地図の座標系（ローカル座標）に座標変換を行うライブラリの開発・実装を行う。

【結果の判定方法】

座標変換ライブラリを用いて、空間 ID で指定した出発地・経由地・配送先の座標を、ロボット用地図内の座標に変換し、エラーが生じることなく配送が実現できること。

- ・ 空間 ID を活用したルーティング及びロボット走行の実現

【検証方法】

空間 ID をキーとして、地図・建物データ及び経由地・配送先の座標情報、エレベーターに設定される立入禁止情報を取得し、ロボットによる自律走行を行う。図 4.4-8 に検証を行う東京ポートシティ竹芝内の走行ルート例を示す。ロボットは出発地から出発し、注文された商品を調達する店舗を経由し、指定された目的地にて商品を受け渡すまでの走行を行う。複数のフロアを経由する場合にはロボットが利用可能なエレベーターを経由し走行を行う。

【結果の判定方法】

空間 ID から取得した情報を元に設計したロボット走行ルートにおいて、経由地点・目的地の誤り等による走行中断が生じず、ロボットによる自律配送が実現可能なこと。



フロアマップ画像を東京ポートシティ竹芝 Web サイト²⁵より引用し、ロボットの想定ルートを追記した

図 4.4-8 ロボット走行における想定ルート

- ・ 適切なボクセルサイズの評価

【検証方法】

指定したボクセルが建物内の壁・床と重ならない、適切なボクセルサイズの範囲の評価を行う。3D ソフト上で BIM・空間 ID を描写し視覚的に、または BIM の寸法情報と空間 ID の座標情報を用いて算出する。

【結果の判定方法】

ロボット走行を行う上で、ルーティングや目的地の設定に最適なボクセルサイズの範囲を算出できること。具体的には、ロボットがスムーズに走行を行うことが可能な通路幅、目的地への到達判定処理の判定条件等から建物内の配送が実現できるために適したボクセルサイズを算出し、特定する。

- ・ 企業間でのデータ連携

【検証方法】

空間 ID に紐付けた情報を地図・GIS 基盤システムに格納し、AR ナビアプリ開発事業者²⁶へ共有する。同社の AR ナビアプリに読み込み、AR 上で建物 POI 情報の描写及び建物内移動のナビゲーションを行う。

²⁵ <https://tokyo-portcity-takeshiba.jp/floor/>

²⁶ AR ナビアプリ開発事業者：株式会社ビーブリッジ

【結果の判定方法】

AR ナビアプリ上で問題なく空間 ID に紐付けた情報の描写及び建物内移動のナビゲーションが可能なこと。

(8) 開発スコープ

ユースケース実証の開発スコープとなるシステムコンセプト図を図 4.4-9 に示す。

今回のシステムではロボットに搭載した 2D LiDAR からロボット用地図データを生成する地図生成ロボットと、そのデータを元に実際にロボット配送を行う配送ロボットの 2 種のロボットを用いる。2 種のロボットを図 4.4-10 に示す。

本業務では空間データの整備を行うシステムである「地図生成ロボットシステム」とサービスを提供するためシステムである「注文システム」及び「配送ロボットシステム」の開発を行った。「地図生成ロボットシステム」では地図生成ロボットにより生成されるロボット用地図情報と建物情報を空間 ID と紐付けて地図・GIS 基盤システムへ登録する。「配送ロボットシステム」は「注文システム」と連携し、発注者からの注文をもとに地図・GIS 基盤システムから空間 ID に紐づくロボット用地図情報及び建物情報を取得し、走行ルートの生成と配送ロボットへの走行指示を行う。地図生成ロボットと配送ロボットは地図・GIS 基盤システムを介してロボット用地図情報を共有する。

また、本業務で整備した空間データを、空間 ID 及び地図・GIS 基盤システムを介して共有し、利活用する他システムとして「AR ナビアプリ」を開発した。

それぞれのシステムについて 3 次元空間情報を活用するために実施した開発内容を表 4.4-8 及び表 4.4-9 に示す。

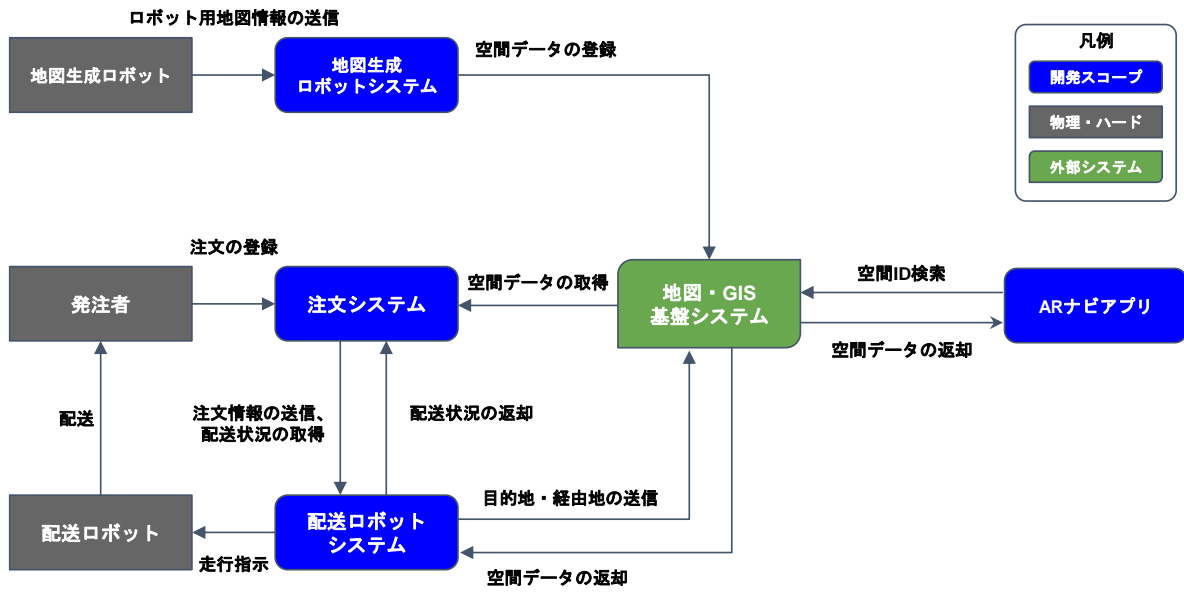


図 4.4-9 建物内移動の支援のシステムコンセプト



名称	地図生成用ロボット
役割	ロボット用地図の生成



名称	配送用ロボット
役割	実走行による配送

図 4.4-10 実証で使用するロボット

表 4.4-8 建物内移動の支援の開発内容（配送ロボット）

項目名	概要説明
配送ロボットシステム	<ul style="list-style-type: none"> ・グローバル座標（XYZ）とローカル座標の座標変換処理 ・空間データを用いた自律走行ルートの自動作成 ・注文システムとの連携 等を行うライブラリ及び機能の開発・実装
地図生成ロボットシステム	グローバル座標（XYZ）とローカル座標の座標変換を行うライブラリの実装
注文システム	注文情報の登録・送信を行う Web システムの開発

表 4.4-9 建物内移動の支援の開発内容（AR ナビアプリ）

項目名	概要説明
ナビゲーション機能	AR 表示を活用したルート案内機能（現在地から目的地までのルート表示）
目的地設定機能	空間 ID により取得する建物 POI 情報をナビゲーション機能で使用する目的地に設定する機能
建物情報表示機能	空間 ID により取得する建物 POI 情報をスマートフォンの画面上的カメラ映像に AR 表示する機能

(9) ステークホルダー

表 4.4-10 のステークホルダーと適宜連携し、実証・開発を実施した。

表 4.4-10 建物内移動の支援におけるステークホルダー

ステークホルダー	実証における役割
ソフトバンク株式会社	<ul style="list-style-type: none"> ・本実証のとりまとめ及び実施 ・配送ロボットシステムの提供 ・データ・メタデータの整備
株式会社ビーブリッジ	AR ナビアプリの提供
東急不動産株式会社	実証場所及び BIM データの提供
アストラテック株式会社	空間 ID 活用に関する工数削減及び有効性のヒアリング先
ダイナミックマップ プラットフォーム株式 会社	<ul style="list-style-type: none"> ・地図・GIS 基盤システムの提供 ・データ・メタデータの整備

(10) 実証地

実証地は以下の点を考慮し、表 4.4-11 に記載の場所を選定した。

- ・エレベーターとロボットの連携が可能で、自律走行ロボットの屋内走行実績が多数ある点
- ・様々なセンサーを取り付けており、将来的なデータ利活用が検討可能な点
- ・先進的な実証に非常に前向きで、現地視察や情報提供等の支援があり、センサー含む施設利用が可能な点

表 4.4-11 実証地

実証地名称	所在地
東京ポートシティ竹芝	東京都港区海岸1丁目7-1

4.4.2 実証結果

(1) プロセス KPI (経済的・社会的検証項目) に対する結果

プロセス KPI (経済的・社会的検証項目) について得られた結果を下表に示す。

表 4.4-12 に記載したコスト削減の内容と考察については、「4.4.3 考察」に具体的に記載する。

表 4.4-12 プロセス KPI (経済的・社会的検証項目) に対する結果

No.	観点	プロセス KPI (経済的・社会的検証項目)	目標値/目標状態	結果
1	経済的	地図生成コスト	現状より削減できること	86%削減
2	価値	建物情報整備コスト	現状より削減できること	67%削減

(2) 技術的検証項目に対する結果

技術的検証項目について得られた結果を下表に示す。

表 4.4-13 に記載した結果に対する考察については、「4.4.3 考察」に具体的に記載する。

表 4.4-13 技術的検証項目に対する結果

No.	検証項目	詳細	結果
1	空間 ID からロボット用地図における座標値の導出処理の実装	空間 ID の座標系 (グローバル座標) からロボット用地図の座標系 (ローカル座標) に座標変換を行うライブラリの開発・実装を行う。	実装成功
2	空間 ID を活用したルーティング及びロボット走行の実現	空間 ID をキーとして、地図・建物データ及び経路地・配送先の座標情報、エレベーターに設定される立入禁止情報を取得し、ロボットによる自律走行を行う。	実現成功

No.	検証項目	詳細	結果
3	適切なボクセルサイズの評価	建物及びフロアについては、周辺の道路や施設を含まない範囲で最大のボクセルサイズを評価する。 また、建物 POI については、ボクセルを目的地に設定して到着できる最大のボクセルサイズを評価する。3D ソフト上で BIM・空間 ID を描写し視覚的に、または BIM の寸法情報と空間 ID の座標情報を用いて算出する。	以下ボクセルサイズが適切と評価を行った。 建物情報、フロア情報： ズームレベル 22 建物 POI 情報： ズームレベル 26
4	企業間でのデータ連携の実現	空間 ID に紐付けた情報を地図・GIS 基盤システムに格納し、AR ナビアプリ開発事業者へ共有する。同社の AR ナビアプリ上でナビゲーションに活用する。	連携成功

4.4.3 考察

(1) 結果のまとめ

■ 経済的検証項目

プロセス KPI における地図生成コスト及び建物情報整備コストの内訳を表 4.4-14 に示す。

表 4.4-14 における No.1~3、No.5~6 は今回の実証ではソフトバンク社が整備を行った。「従来の工数」は、今回の実証場所に対して新たに配送ロボットサービスを導入する際に地図生成及び建物情報の整備にどの程度の工数が必要であることを記載したものである。「本実証後の工数」は、今回の実証場所に対して既に第三者によってロボット用の地図・建物情報が整備され共有されていると仮定し、それを活用し新たに配送ロボットサービスを導入する際の整備にどの程度の工数が必要となるか試算したものである。

表 4.4-14 地図生成コスト及び建物情報整備コストの内訳の比較

No.	大項目	小項目	説明	従来の 工数 [人日]	本実証後の 工数 [人日]
1	地図生成 コスト	BIM データを 用いた地図生 成工数	BIM データの断面図を用い たロボット用地図作成にか かる工数	2.0	0.0
2		走行による地 図生成工数	No.1 で BIM に反映されて いない設備情報等を補完す るために、実際にロボット 走行を行う。ロボットに取り 付けた 2D LiDAR のデー タを元にしたロボット用地 図の作成にかかる工数	1.0	0.0
3		地図統合工数	No.1,2 で作成したそれぞ れの地図を原点・縮尺の結 合等にかかる工数	5.0	0.0
4		現地調査工数	事前訪問、テスト走行等 にかかる工数	2.5	1.5
小計				10.5	1.5
5	建物情報 整備コス ト	建物情報整備 工数	ロボット走行に必要となる 建物情報（配送地点、経由 地点等）をロボット用地図 の中で座標指定等登録を行 うのに整備にかかる工数	1.0	0.0
6		エレベーター 情報整備工数	ロボットからエレベーター を制御する上で必要となる 情報（エレベーター待機位 置等）の整備にかかる工数	1.0	0.0
7		現地調査工数	事前訪問、テスト走行等 にかかる工数	2.5	1.5
小計				4.5	1.5

No.1～4 の地図生成コストに関して、空間 ID を用いた地図情報取得を行うことで、従来の工程と比較して工数削減率 86%という試算結果となった。表 4.4-14 における No.1～3 に関して、本実証後に地図情報をそのまま活用することで、工数が 0 になることが考えられる。ただし、No.4 の現地調査工数に関しては、地図情報の共有がされたとしても、事前訪問やテスト走行は行うため、工数を減らすことはできるが、1.5 人日程度の工数は残ることが考えられる。また、本実証には参加していないロボットベンダーであるアストラテック社に対してヒアリングを行ったところ、No.1～4 の工数の合計において、概算で工数削減率 80%見込みという試算結果が得られた。

No.5～7 の建物情報整備コストに関して、空間 ID を用いた建物情報取得を行うことで、従来の工程と比較して工数削減率 67%という試算結果になった。表 4.4-14 における No.5～6 に関して、本実証後に関しては、地図情報をそのまま活用することで、工数が 0 になることが考えられる。ただし No.7 の現地調査工数に関しては、地図情報の共有がされたとしても、事前訪問やテスト走行は行うため、工数を減らすことはできるが、1.5 人日程度の工数は残ることが考えられる。また、アストラテック社にヒアリングを行ったところ、No.5～7 の工数の合計において、概算で工数削減率 85%見込みという試算結果が得られた。

上記のように地図・建物情報の共有によって、地図・建物情報が整備に要する工数の削減が見込めた。また今回は実証場所である 3 フロア分を対象にした削減率であるが、より多くのフロア数を対象とすることで、より多くの工数削減が期待される。ただし地図・建物情報の共有を行う上で、各ロボット事業者の地図管理方法やナビゲーションシステムが異なる場合があることから、ロボットの種類によってはそのまま地図・建物情報の取得ができず、対応するためには大きなアプリケーションの改修が発生する可能性がある。多種多様なロボット間における地図・建物情報の共有を実現するためには、複数ロボット事業者間で規格等の整備が必要となる。

■ 技術的検証項目

No.1 : 空間 ID からロボット用地図における座標値の導出処理の実装

空間 ID を用いたロボット走行を実施するにあたり、ロボット用 2D 地図における XY 座標を示すローカル座標系から空間 ID の示す緯度・経度・高度に紐づくグローバル座標系、またその逆のグローバル座標系からローカル座標系への座標変換処理を担うライブラリを開発した。同ライブラリでは、BIM データに関連する情報（原点における緯度・経度・高度、ローカル座標系 X 軸の緯度線からの傾き）を元に座標変換を行う。ここで、ロボット用 2D 地図は建物の BIM データから生成されており、ローカル座標系は BIM データと共通の座標系となっている。

図 4.4-11 に、ローカル座標系における座標値からグローバル座標系における座標値（緯度と経度に該当）への変換式及びグローバル座標系における座標値からローカル座標系における座標値への変換式を示す。

空間 ID から座標値を導出する際は、高度については BIM データから抽出した床面の高さを用い、図 4.4-11 から導出された緯度と経度と併せて共通ライブラリによる変換を行った。結果として、ロボットの目的地を指定する際に空間 ID を活用可能な精度での変換を実現できた。

グローバル座標からローカル座標への変換

$$\begin{bmatrix} x_{robot} \\ y_{robot} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} (lon_{robot} - lon_{ori})/lon_{per_meter} \\ (lat_{robot} - lat_{ori})/lat_{per_meter} \end{bmatrix}$$

ローカル座標からグローバル座標への変換

$$\begin{bmatrix} lon_{robot} \\ lat_{robot} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} lon_{ori} \\ lat_{ori} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} lon_{per_meter} & 0 \\ 0 & lat_{per_meter} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{robot} \\ y_{robot} \end{bmatrix}$$

lon_{robot} : グローバル座標系におけるx座標 (経度) (1)
 lat_{robot} : グローバル座標系におけるy座標 (緯度) (2)
 lon_{ori} : グローバル座標系原点の経度 (3)
 lat_{ori} : グローバル座標系原点の緯度 (4)
 lon_{per_meter} : その地域における1メートル当たりの経度変化 (5)
 lat_{per_meter} : その地域における1メートル当たりの緯度変化 (6)
 θ : グローバル座標系x軸から見たローカル座標系x軸の傾き (7)
 x_{robot} : ローカル座標系におけるx座標 (メートル) (8)
 y_{robot} : ローカル座標系におけるy座標 (メートル) (9)

図 4.4-11 座標変換を行う処理の内容

No.2 : 空間 ID を活用したルーティング及びロボット走行の実現

空間 ID に紐付いたデータの取得及び空間 ID の座標情報を元にロボットの走行ルート設計及び実走行が可能か検証を行った。実証内容としては、まず初期位置の空間 ID を示した QR コードを読み込み、その空間 ID の含まれる建物を検索し、建物の ID に紐付けた地図・建物情報の取得を行った。次に、注文アプリより送信された経由地・配送地の空間 ID を上述した変換式を用いてロボットの移動先として指定可能な位置座標に変換した上で、ロボットによる走行を実現した。また、ルーティングの際には、地図・GIS 基盤システムにアクセスし、エレベーター待機位置の建物 POI 情報から、現在そのエレベーターが使用可能かどうかの判断を行った上でルーティングを行った。加えて、ロボットが店舗の担当者向けに送信するメールに、基盤システムに登録された建物 POI の情報を利用する等の情報活用手段の検証も行った。結果として空間 ID に紐付いたデータ及び空間 ID の座標情報を元にロボットの走行ルート設計及び実走行を実現できた。

No.3 : 適切なボクセルサイズの評価

ロボットの座標指定及びデータ登録を行うにあたり、適切なボクセルサイズの評価・考察を行った。前提として、データ容量の関係で、ボクセルサイズは大きい方が（ズームレベルの値は小さい方が）好ましいものとして評価を行う。

建物の含まれるボクセルを指定する際の推奨サイズはズームレベル 22 とした。建物を含むボクセルは、地図情報等建物に関連付けたデータを格納しているため、建物以外のエリアをなるべく含まないサイズが好ましいとした。図 4.4-12 に示す通り、ズームレベル 21 のボクセルを用いた場合は、建物として登録したボクセルの底面の包含する範囲のうち、ボクセルの中心点が道路等建物以外のエリアの占める割合が大きくなってしまいうため、非推奨と判断した。対して、ズームレベル 22 のボクセルを用いた場合は、その割合が十分小さく、なおかつボクセルサイズを大きくすることができる最も小さなズームレベルとなるため、推奨値と評価した。ただし、あくまで今回の実証でのユースケースを対象とした定性評価であり、建物やロボット事業者によって適切なズームレベルは異なる可能性があるため、ビル事業者やロボット事業者間で経験値の蓄積・共有を行い、協議していく必要がある。なお、図 4.4-12 の推奨サイズの図示と比較検討においては PLATEAU View²⁷を使用した。

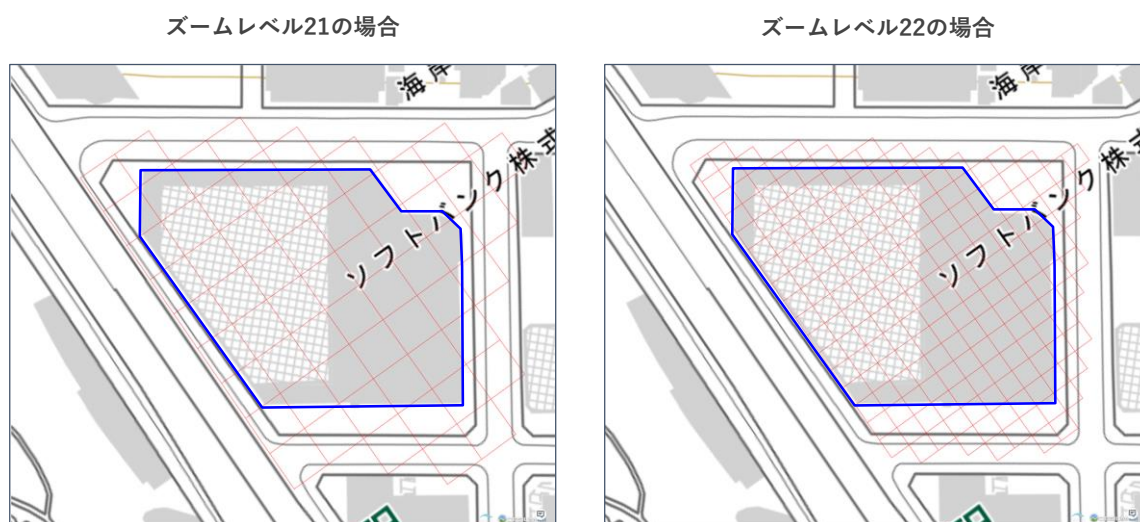


図 4.4-12 ズームレベル 21 と 22 の比較

建物 POI のボクセルを指定する際の推奨サイズはズームレベル 26 とした。これは2つの観点から見た推奨サイズである。

²⁷ <https://www.mlit.go.jp/plateau/plateau-view-app/>

ロボットの自律走行において、走行を円滑にするため、ロボットの目的地となる場所に許容誤差を設けることが一般的であり、今回の実証ではロボットが指定した目的地の半径 30cm 以内に到達した場合は正常に目的地に到着したものと判断するよう設定を行った。また今回の実証ではロボットの目的地の座標は、指定したボクセルの中心点を活用した。ズームレベル 27 のボクセルの場合、一辺の長さは約 30cm となる。図 4.4-13 に示す通り、このときは目的地として指定したボクセルではなく、隣接するボクセル内にロボットが到着する場合もあるため、ここまで大きなズームレベルで目的地を指定する必要はなく、非推奨と判断した。一方、同図に示す通り、ズームレベル 26 ではボクセルの一辺の長さが約 60cm となり、指定したボクセル内に確実にロボットが到着するといえる理論上最大のズームレベルである。

また同時に、ズームレベル 26 はロボットが走行可能な最も狭い領域での走行時に経由地・目的地を問題なく指定できる最小のズームレベルであるといえる。ここでは、最も狭い領域として幅 1.2m の通路を考える。これは、「革新的ロボット研究開発等基盤構築事業に係る ロボットフレンドリーな環境構築支援事業（施設管理分野）」²⁸によれば、ロボフレレベル A となる通路幅が 1.2m 以上であることを踏まえてのものである。図 4.4-14 に示すように、ズームレベル 25 のボクセルは一辺の長さが約 1.2m であるため、図中 1-b に示すようなボクセルと通路の重なり方をする場合に、ボクセルの中心点が通路の壁面と重なることにより適切に目的地を指定できないケースが生まれる。一方で、ズームレベル 26 のボクセルの場合は一辺の長さが約 0.6m となり、図中の 2-a 及び 2-b に示す通路内に 1 つ以上のボクセルを目的地として指定することが可能となる。

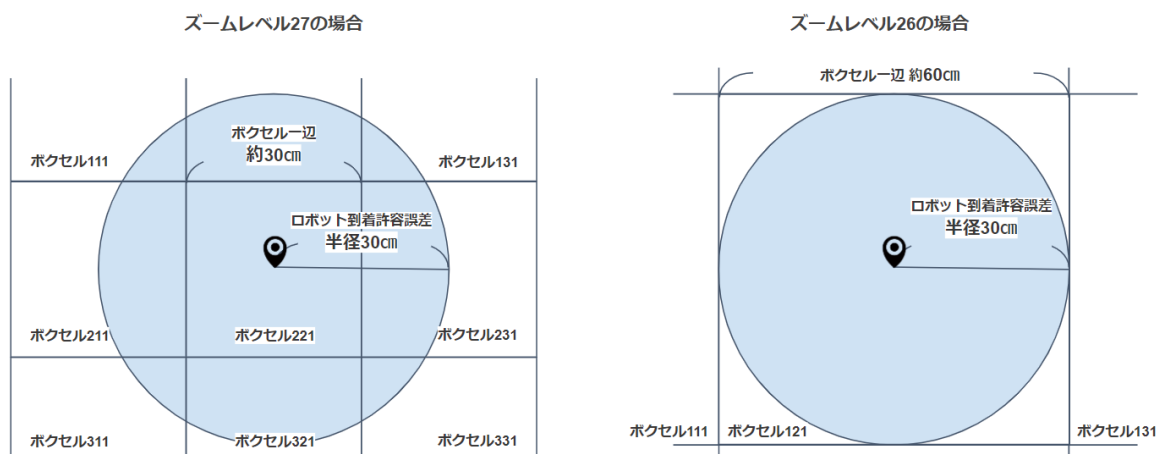


図 4.4-13 ズームレベル 26 と 27 の比較

²⁸ http://www.jmf.or.jp/content/files/houkokusho/reiwa3nendo/2022_robo_03.pdf

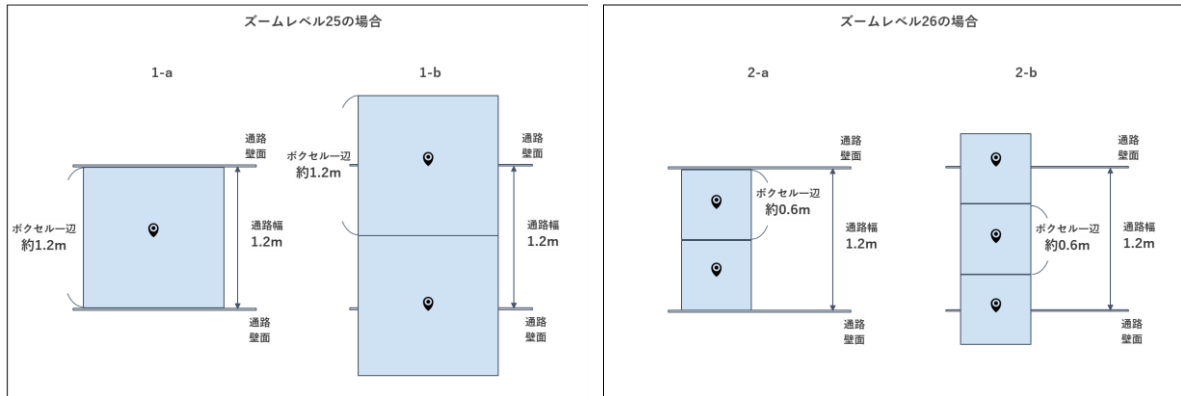


図 4.4-14 ズームレベル 25 と 26 の比較

No.4 : 企業間でのデータ連携の実現

空間 ID に紐付けた情報の共有を目的とした検証のため、AR ナビアプリ開発事業者との連携を行った。ロボットの目的地等を示すために基盤システムに空間 ID に紐付けて登録した建物 POI の情報を用いて、スマートフォン上で動作する AR ナビアプリ上で店舗等の特徴的な地点とその名称等を可視化し、人のナビゲーションに活用した。AR ナビアプリによって建物 POI 情報をもとに生成した施設名を表示した看板、ユーザーが設定した目的地やナビルートがスマートフォン上に表示される様子を図 4.4-15 に示す。結果として、空間 ID に紐付けた空間情報を事業者間で共有し、それぞれの目的での活用が可能であることを示した。図 4.4-16 はある特定の建物 POI 情報を配送ロボットの目的地に設定し、目的地に到着した時の状態と、同一の建物 POI 情報を AR ナビアプリの目的地に設定した時の表示とを重ね合わせた様子である。図 4.4-16 からわかる通り、ロボット配送や AR ナビを行う上で支障がない程度で、AR ナビアプリ上で可視化したボクセルの位置とロボットの到着地となる位置に差が生じている。これはロボット到着地点に半径 30cm の許容誤差を設けている点、AR ナビアプリ用地図作成時に測定誤差が生じている点、グローバル座標をロボット内及び AR ナビアプリ内の各ローカル座標にそれぞれ変換する際に誤差が生じている点の 3 つの要因が考えられる。

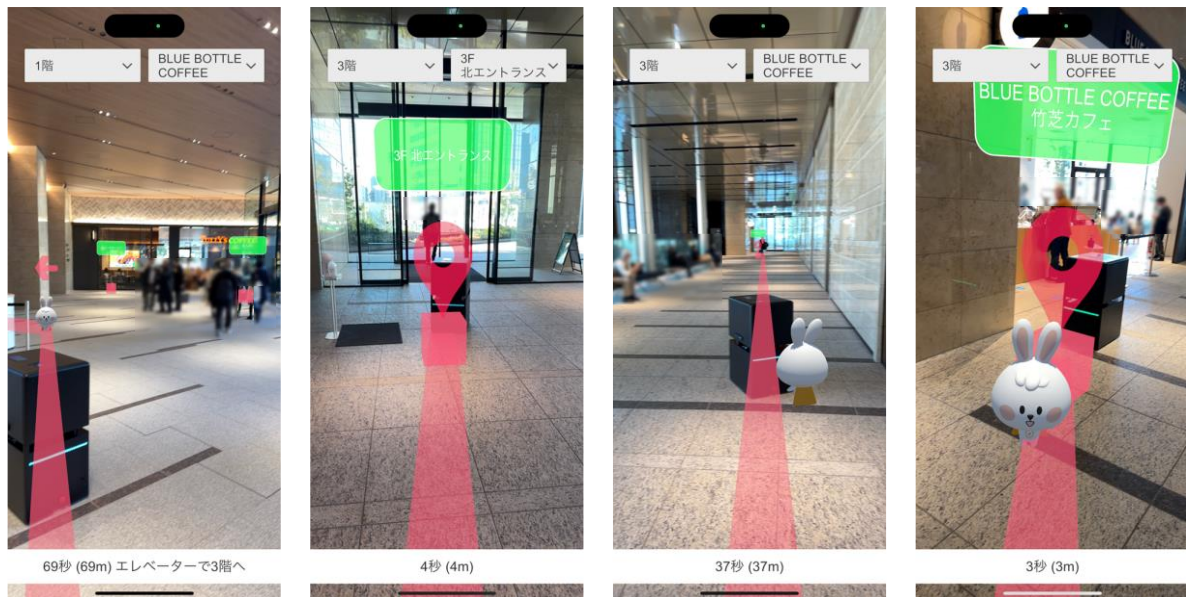


図 4.4-15 AR ナビアプリによる空間情報の可視化

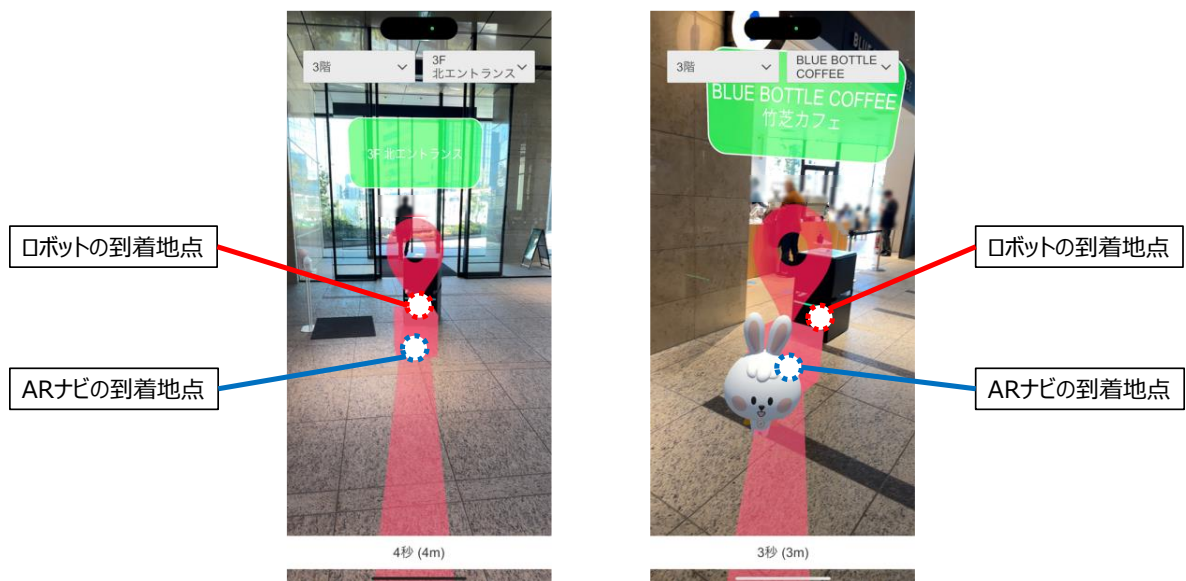


図 4.4-16 ロボットと AR ナビアプリによる到着地点の位置の違い

4.4.4 今後の展望

今後の展望を以下に示す。

■ 複数システム間での空間データ共有の推進

今回の実証ではソフトバンク社の2種のロボットとARナビアプリにおける空間IDの活用例を示した。今後複数のロボット事業者、複数種類のロボット間、複数のシステム間での地

図・建物情報のデータ共有に取り組むことで、地図・建物情報整備工数の削減とロボット導入費用の減少に繋がることが期待される。

■ ビル側のデータ整備の規格化推進

今回の実証場所では独自に設定したフォーマットのマップ情報やデータベースの項目を用意したが、ビル事業者と連携を行い、ビル側の建物情報整備における規格の標準化を推進することで、さらなる情報共有が期待できる。

■ リアルタイムに更新される空間データの利用推進

今回は空間 ID に紐付ける空間データとして地図・建物情報、立入禁止情報等静的なデータを用いたが、今後は固定センサーやロボットに取り付けたセンサー等でリアルタイムに取得した人の混雑情報等の動的なデータを空間 ID と紐付け地図・GIS 基盤システムに格納して活用することも期待できる。例として、「4.3 BIM・建物データ等を連携させた CPS」において実証を行った、建物内の固定センサーによる人流データを元に混雑度予測を行いロボットの走行ルートへ反映する活用方法や、あるロボットがセンサーで取得した情報を元に別のロボットが立入禁止エリアの変化をリアルタイムに取得して走行ルートへ反映する活用方法等が挙げられる。

■ データベースへのアクセス制御に関する議論の推進

本システムを拡充して運用していくためには、可能な限りデータへのアクセスをオープンにすることが必要である。しかし、その場合に悪意ある第三者によって建物情報等が改竄されロボット等のモビリティに悪影響が出る恐れがあるため、データベースへのアクセス権制御については十分意識して検討、普及を進める必要がある。

上記のような仕組みの検討と、普及へ向けた取り組みを推進していくことで、多種多様なロボットが空間 ID を介して連動した運用の実現が期待できる。

4.5 地下埋設物

(1) 実証概要

1) ユースケースの現状と課題・ペインポイント

水道管、下水道管、電力管、ガス管、通信管等の地下埋設物は、2040年代に更新のピークを迎える。下水道設備を例にとると、1960年代から1990年代にかけて整備が進められた。そのため、耐用年数を迎える2010年代から2040年代にかけて、更新時期を迎える管路も増加する。2040年代に更新時期を迎える管路の延長距離は、2010年代のおよそ6倍になる。(図 4.5-1)

一方で、インフラの維持管理に従事する労働者の減少も問題になっている。我が国の生産年齢人口(15歳から59歳)の推移をみると、2010年代の7,100万人が2040年代には5,000万人に減少すると見込まれている。(図 4.5-2)。

こうした状況から、今後急増する地下埋設物の更新ニーズにどのように対応するか重要な社会課題となっている。

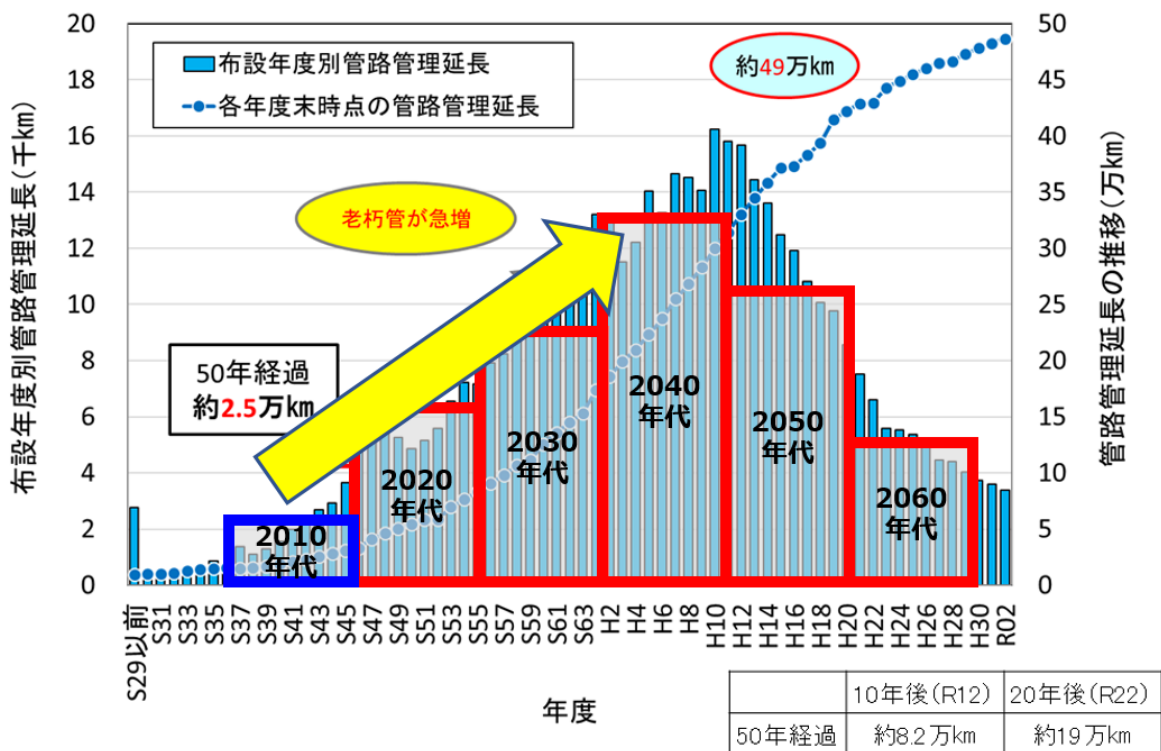


図 4.5-1 管路施設の年度別管理延長 (2020年度末現在)

出典：国土交通省下水道の維持管理 https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/crd_sewerage_tk_000135.html

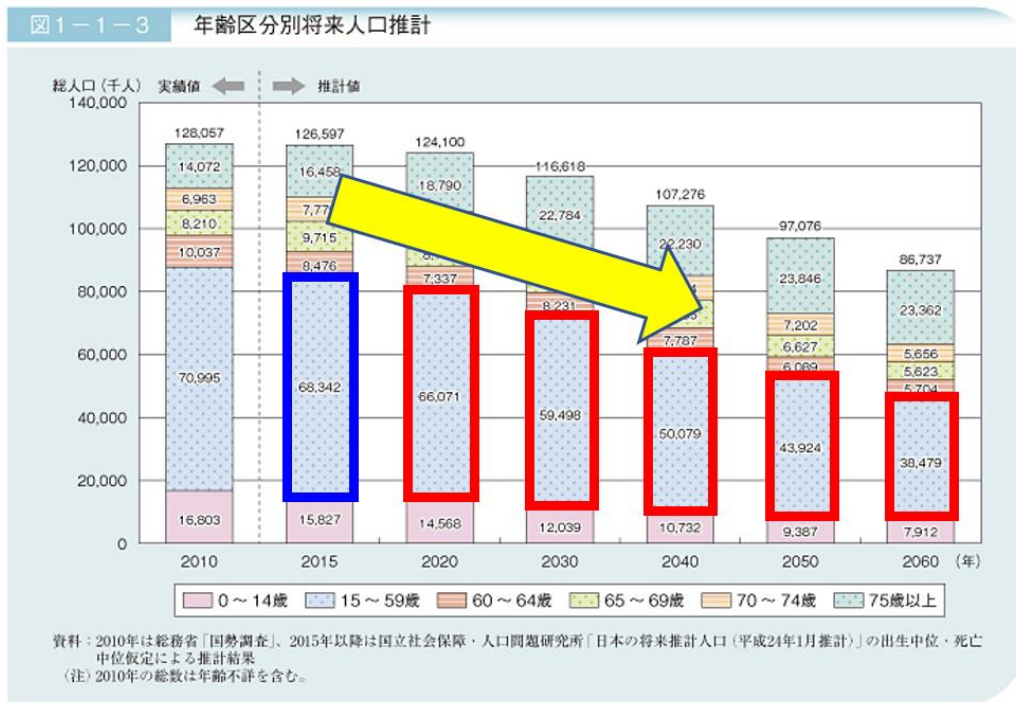


図 4.5-2 年齢区分別将来人口推計

出典：2012年版 高齢社会白書(全体版)第1章 第1節 1(2) 将来推計人口でみる50年後の日本

以上を背景として、国や自治体により地下埋設物管理業務の高度化検証が多数行われており、技術面・運用面の課題に対応した持続的な維持・管理の仕組みの構築が検討されている。しかし、安全管理上の理由から、設備情報の利用は各設備の管理者のみにしか許可されておらず、事業者間での共有や一般への公開は行われていない。そのため、地下埋設物のデータ利用による維持・管理の高度化・効率化は進んでいない。今後は、セキュリティ対策、個人情報保護等一事業者の取組だけでは解決の難しい諸課題に対し、業界横断的かつ官民を挙げた取組より、望ましい在り方を確立する必要がある。

今日まで地下埋設物の運用・管理を維持できたのは、各事業者が膨大な業務時間を割いてきたことによる。今後、労働力の減少が予想される中では、従来行われてきた管理方法を抜本的に効率化することが求められる。

地下埋設物の図面等は各埋設物事業者が独自のフォーマットで管理している。また、地下埋設物の埋設位置といった秘匿性の高いデータを各埋設物事業者間で共有するデータ流通基盤は存在しない。そのため、工事計画前の地下埋設物照会では、設計事業者等が各埋設物事業者から個別に図面等を収集するといった作業が必要となり、多大な業務負担が生じている。

また、計画に際しては、専門的な知見をもとに図面から正確に情報を読み取ることに加え、現場の状況を踏まえながら図面に書かれていないことを経験に照らし合わせ判断することも要求される。こうした熟練の技術により支えられているものを、形式知化さ

れた技術により次世代に伝承することも必要となる。

2) 将来ビジョン（課題を解決したビジョン）

空間 ID の活用では、一定のセキュリティが担保されたネットワークやシステム等を用いることで、地下領域のデータ流通を容易にすることができる。その結果、現在事業者が負担している業務時間や経費の効率化が可能となり、施工品質の向上につながることも期待される。

地下埋設物の管理では、各事業者は自事業の実施を目的に管理を行っているため、図面等は他事業者への共有や他での活用を目的に作られておらず、データの整備目的の違いから仕様も不揃いであり、一元管理には多くの課題があった。そのために、地下埋設物の統一的なデータ仕様を策定し、各埋設物事業者の図面等から当該仕様に準拠するデータ（以下、「地下埋設物データ」という）へ変換する手順を確立する。さらに、空間 ID を活用することで実現する将来ビジョンを次のように設定した。

1. 空間 ID を利用して地下埋設物データと紐付いているボクセルが可視化できる機能を建設機械マシンガイダンス（以下、「建機 MG」という）に搭載し、熟練者でないと難しかった操作を経験が少ない人でも扱えるようにすることで、技術者不足の解消を実現。熟練者が減っても、国民に対し高品質なインフラサービスの提供を持続可能なものとする。
2. 地下埋設物データを空間 ID へ紐付けボクセル化し、埋設位置の秘匿性を確保することにより、データ共有を実現する。
3. 空間検索の結果として得られたボクセルに紐付く地下埋設物が参照可能な機能を開発し、埋設物照会に要していた業務時間の削減を実現する。

3) 経済的・社会的検証項目の設定

KGI、KSF、プロセス KPI は表 4.5-1 のように整理した。なお、本実証における各プロセス KPI の具体的な目標値・目標状態は表 4.5-2 に掲載している。

表 4.5-1 KGI、KSF、プロセス KPI（経済的・社会的検証項目）の一覧

No	観点	KGI (上位目標)	KSF (重要成功要因)	プロセス KPI (経済的・社会的検証項目)
1	経済的 価値	【Cost】 【Delivery】 工数の削減による 業務速度の向上	業務時間が短縮されること。 業務速度の向上による時間短縮。 工数削減による時間短縮	従来方法での業務に対する、 空間 ID を利用した業務時間 (分/1 工事) の短縮率
2			データ整備の生産性が向上すること	自動化率の上がったデータ 整備仕様に賛同する団体数
3	社会的 価値	情報利用性の向上	空間 ID の恩恵を受ける人口 が増加すること	総人口に対する、地下埋設物 情報が空間 ID 整備された地域 の人口の割合 ※地下埋設物情報とは、水道・ 下水道・電気・ガス・通信の 5 種の管路情報を指す
4		労働人口 (技術者) 不足の 解消	業務の要求難易度が下がり、 作業対象が増える	空間 ID を利用した重機オペ レータの開削作業時間の短縮 率
5		施工時の 安全性向上	空間 ID を利用し、施工中の 作業員による操作判断行動を 削減する ※人間行動のすべては人為的 ミスの原因になりうる	空間 ID と施工時データを利用 した、作業員の動作判断行動 回数削減率

表 4.5-2 プロセス KPI（経済的・社会的検証項目）の詳細と目標

観点	検証項目	詳細・定義	現状	空間 ID 活用時
経済①	従来方法での業務に対する、 空間 ID を利用した業務時間 (分/1 工事) の短縮率	埋設物照会業務にかかる時間 的コストの短縮率。 実証デモアプリを用いた新 手法の作業時間÷ 従来手法での作業時間	100% (従来手法÷従 来手法)	20%に短縮
経済②	自動化率の上がったデータ 整備仕様に賛同する団体数	埋設物を保有する事業者の うち、空間 ID に賛同し、デー タ提供事業者となる事業者の 割合。総数は下記の通り。 ・水道事業者 (市区町村) : 1,741 団体 ・下水道事業者 (市区町 村) : 1,741 団体 ・ガス事業者 (一般ガス導 管事業者) : 193 事業者 ・電力事業者 (一般送配電 事業者) : 10 事業者 ・通信事業者数 : 2 事業者	0.0%	0.4% (15÷3,687)

観点	検証項目	詳細・定義	現状	空間 ID 活用時
社会①	総人口に対する、地下埋設物情報が空間 ID 整備された地域の人口の割合	<p>地下領域における空間 ID 普及率。</p> <p>1.事業者ごとのデータ整備率。事業者のサービスエリア（市区町村）の人口÷全事業者のサービスエリアの人口</p> <p>2.1.の事業者ごとのデータ整備率を基にした、全事業者の平均値。これを、社会的価値の観点で評価するデータ整備率とする。（水道分+下水道分+ガス分+電力分+通信分）÷5 事業者</p>	<p>水道：3.14%</p> <p>下水道：1.16%</p> <p>電力：27.55%</p> <p>ガス：18.64%</p> <p>通信：100.00%</p> <p>平均：30.10%</p> <p>（全事業者整備済市区町村数：0.20%）</p>	16%（キャズムの壁） （=社会実装に足り得る）
社会②	空間 ID を利用した重機オペレータの開削作業時間の短縮率	<p>開削作業（掘削→管底掘上）時間（※1）の短縮率。空間 ID を利用した場合の開削作業時間÷空間 ID を利用しない場合の開削作業時間</p> <p>（※1） 作業時間=① + ② + ③ ①=建機による掘削速度 × 建機により掘削する深さ ②=深さや探針棒による確認の時間×確認回数×係数</p> <p>（※2） ③=手掘りによる掘削速度×手掘りにより掘削する深さ×係数</p> <p>（※2）係数は掘る深さに応じて下記の内容とする ～1.0m：1.0 1.0m 超～1.5m：1.2（+0.2） 1.5m 超～：1.5（+0.3）</p>	100% （従来手法÷従来手法）	90%に短縮
社会③	空間 ID と施工時データを利用した、作業員の動作判断行動回数の削減率	<p>作業員が作業を停止して実施する図面等の資料確認や指示確認の回数（以下、確認回数） 空間 ID を利用した場合の確認回数÷空間 ID を利用しない場合の確認回数</p>	100% （従来手法÷従来手法）	50%に削減

4) 検証プロセス

上記の経済的、社会的観点に基づき、本事業では地下埋設物照会業務において、空間 ID の比較や社会的影響度の把握等、以下5つの検証プロセスを実施した。

経済①：従来方法での業務に対する、空間 ID を利用した
業務時間（分／1 工事）の短縮率

経済②：自動化率の上がったデータ整備仕様に賛同する団体数

社会①：総人口に対する、地下埋設物情報が空間 ID 整備された地域の人口の割合

社会②：空間 ID を利用した重機オペレータの開削作業時間の短縮率

社会③：空間 ID と施工時データを利用した、作業員の動作判断行動回数の削減率

経済①の検証では、計画前の調査として、地下埋設物の有無を確認する地下埋設物照会業務において、電話・メール・FAX・訪問（移動時間含む）による照会作業を開始した時点から、すべての埋設物事業者から地下埋設物照会で必要となる情報を得られた時点までの時間を計測した。空間 ID の実証アプリを導入したうえで、埋設物事業者の業務時間の短縮効果を検証した。（図 4.5-3）。

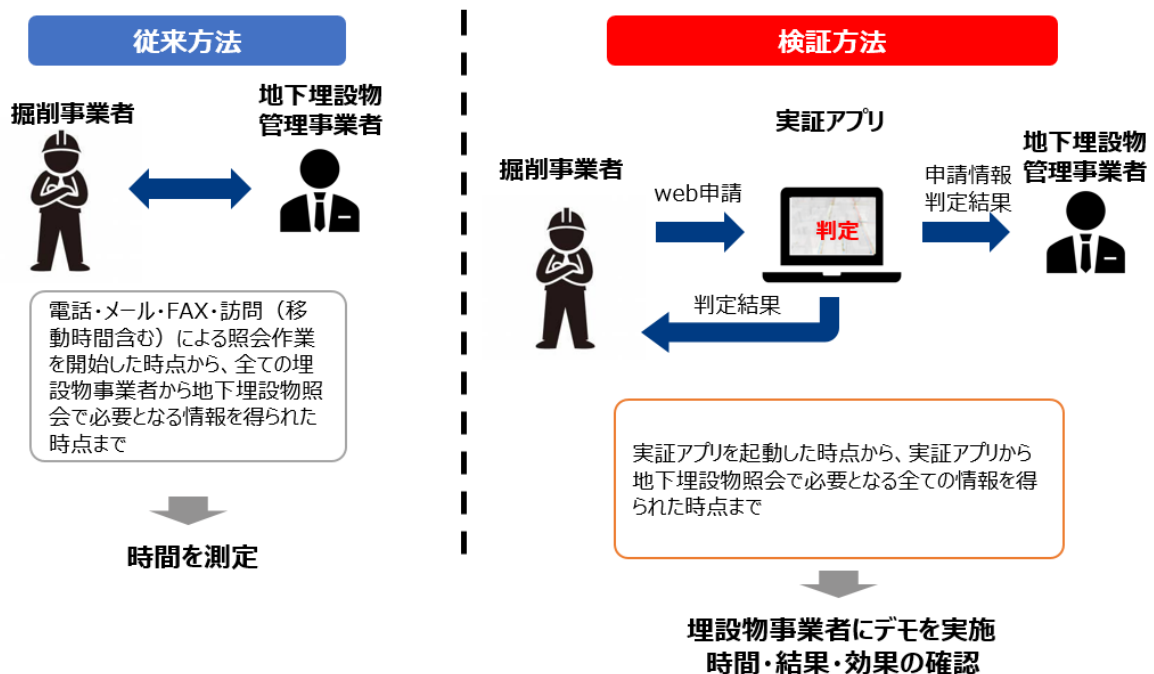


図 4.5-3 検証プロセス図（経済①）

経済②の検証では、自動化される業務割合の向上したデータ整備仕様に賛同する団体数をカウントした。データ整備事業者へ地下埋設物データを貸与した地下埋設物管理事業者の数をもとに検証した。(図 4.5-4)。

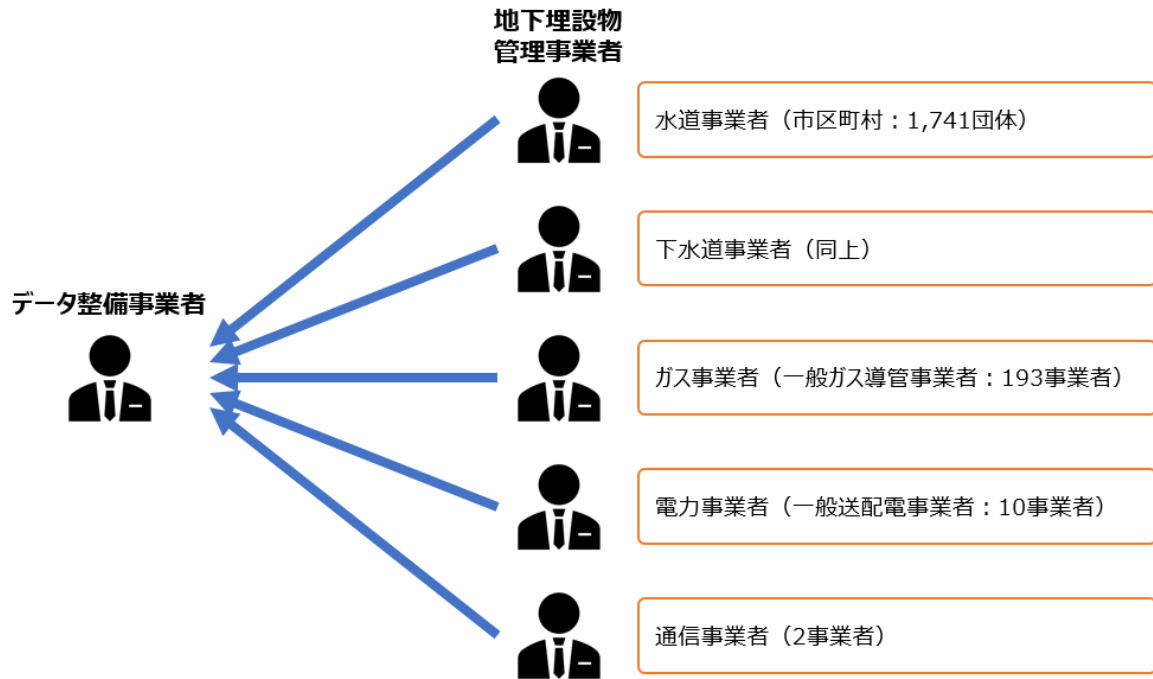


図 4.5-4 検証プロセス図 (経済②)

社会①の検証では、総人口に対する、地下埋設物情報が空間 ID 整備された地域の人口の割合を検証した。事業者ごとのデータ整備率として、事業者のサービスエリア (市区町村) の人口 ÷ 全事業者のサービスエリアの人口を算出した。事業者ごとのデータ整備率を基にした、全事業者の平均値を算出し、本観点で評価するデータ整備率とした (図 4.5-5)。



図 4.5-5 検証プロセス図（社会①）

社会②の検証では、空間 ID を利用した重機オペレータの開削作業時間の短縮率を検証した。開削作業（掘削→管底堀上）時間の短縮率を、「空間 ID を利用した場合の開削作業時間÷空間 ID を利用しない場合の開削作業時間」で算出した。また社会③の検証では、空間 ID と施工時データを利用した作業員の動作判断行動回数の削減率を検証した。作業員が作業を停止して実施する図面等の資料確認や指示確認の回数（以下、「確認回数」という）の削減率を「空間 ID を利用した場合の確認回数÷空間 ID を利用しない場合の確認回数」で算出した（図 4.5-6）。

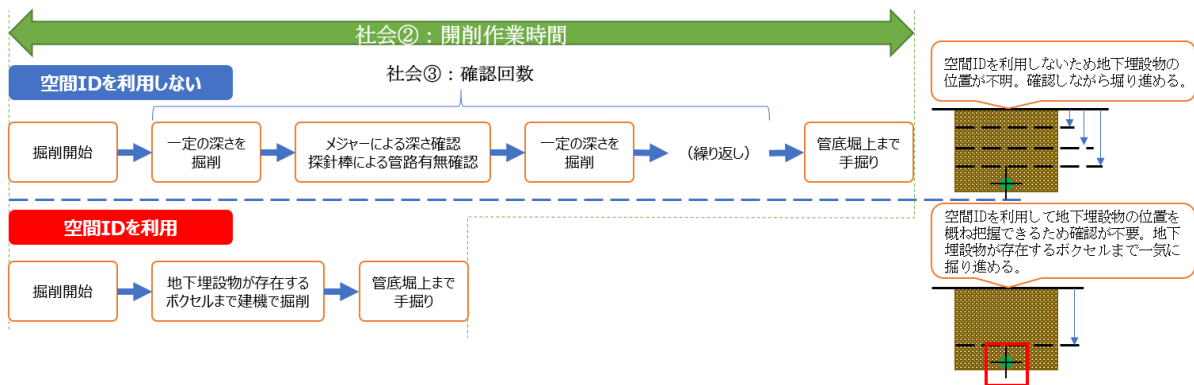


図 4.5-6 検証プロセス図（社会②③）

5) 技術的検証項目の設定

経済的価値・社会的価値の有無を確認するユースケースの実証実施までに解決すべき課題として、技術的検証項目を設定した。不揃いなデータの仕様の統一、利用時に双方が送受信可能なデータ形式への変換、提供者と利用者のデータ流通をふまえたセキュリティ

ティの確保の観点から、提供データ受領から空間 ID の登録までの作業や処理に必要な技術的難易度の評価、統一したデータフォーマットによるユースケースの運用サイクルの確認、提供可能なズームレベルと利用可能なズームレベルの確認を行い、実証アプリをはじめとする空間 ID の活用技術を検証した。(表 4.5-3)。

表 4.5-3 技術的検証項目の一覧

No	検証項目	詳細
1	提供データ受領から空間 ID の登録までの作業や処理に必要な技術的難易度（データ整備難易度）の評価基準の策定、及び、提供データに基づく評価	<p>【技術的難易度（データ整備難易度）の評価基準】</p> <p>Level0：必要項目が存在しない、または、読取不可能なデータ</p> <p>Level1：汎用的なプログラムでは必要項目が読取困難なデータ（※1）</p> <p>Level2：汎用的なプログラムで必要項目は読取可能だが、提供データの高精度化が必要なデータ（※2）</p> <p>Level3：汎用的なプログラムで必要項目は読取可能だが、複数の提供データ間を統合利用する際に表記揺れ等の対応が必要なデータ（※3）</p> <p>Level4：汎用的なプログラムで必要項目は読取可能な LOD0 データ（地理空間情報なし）</p> <p>Level5：汎用的なプログラムでは必要項目が読取可能な LOD0 データ（地理空間情報あり）</p> <p>Level6：汎用的なプログラムでは必要項目が読取可能な LOD1 データかつ、空間 ID に登録可能な項目を持つ地理空間情報付きデータ</p> <p>※1：（例1）画像データや、図面上に線で文字を描いているデータ。（例2）複雑な条件分岐を用いた設備管理情報等を紐解くための、技術者や専用プログラムが必要なデータ。</p> <p>※2：提供データ受領から空間 ID の登録までの作業や処理に必要な位置精度と、提供データの位置精度が不一致。（例）提供データ内で管路の接続部が途切れている、等。</p> <p>※3：各事業者の慣習に依存した表記揺れ （例1）m・cm・mm 等の、単位揺れ （例2）地表高・地盤高等の、慣習に起因する項目名の表記揺れ</p> <p>【提供データに基づく評価】 実際に提供されたデータ形式に応じてデータ整備事業者が評価</p>

No	検証項目	詳細
2	統一した提供データフォーマットによるユースケースの運用サイクル確認（フォーマットの項目過不足確認）	地下埋設物事業者から提供を受けたデータから変換した統一フォーマットを用いて、ユースケースで想定する業務プロセス（地下埋設物照会、建機 MG）が滞りなく実施できることを地下埋設物実証アプリ開発事業者、空間 ID 共通ライブラリ評価事業者、ICT 建機実証事業者が確認
3	提供可能なズームレベルと、利用可能なズームレベルの確認	空間 ID の社会実装に向け、以下 2 点の技術的検証を行う。 <ul style="list-style-type: none"> ・利用精度と要求精度の不一致（フィット&ギャップ） ・位置情報の表記揺れの是正効果検証 地下埋設物管理事業者、開削工事事業者から以下 3 つの観点で空間 ID 共通ライブラリ評価事業者がヒアリングにより確認する。 観点 1：設備データから提供可能なズームレベル範囲 観点 2：データ提供事業者が事業活動を行う上で提供可能なズームレベル範囲 観点 3：データ利用事業者が事業活動を行う上で必要なズームレベル範囲

6) データ・メタデータ

4) 検証プロセスで示したプロセスを完遂するためには、表 4.5-4 のデータが必要となる。実証地である八王子駅周辺、大阪駅周辺、新静岡駅北、Atos Village のデータを使用する。

以降に各データの詳細を記載する。

表 4.5-4 地下埋設物実証におけるデータ一覧表

項	データ名	概要	空間 ID 紐付け
1	地下埋設物データ	地下埋設物の位置情報及び属性情報を示すデータ	有

<地下埋設物データ>

地下空間に設置されているインフラ設備のデータである。インフラ設備の対象は、主に水平方向に展開される管路設備と垂直方向に整備されるマンホール設備である。データは、位置情報（管路軸、外形形状）と属性情報（設備種別・材質等）が含まれる。デ

ータフォーマットは、管理事業者、設備種別、取得時期、取得方法によって異なる形式で管理される。また、データ利用者の属性によって入手できるフォーマットに制約を持つ事業者もある。(表 4.5-5)

実証においては、空間 ID の示す空間内の地下埋設物の存否確認及び存在埋設物の属性参照に用いる。

表 4.5-5 地下埋設物データ

項目	内容
整備年月日	2022年9月21日～2023年3月7日 地下埋設基盤システム格納：2023年1月1日～3月8日
データフォーマット	紙図面、ラスターデータ、CAD データ、GIS データ
新規整備/既存データ	既存
入手元	<p>地下埋設物管理事業者</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 八王子駅周辺 <ul style="list-style-type: none"> 東日本電信電話株式会社 東京電力パワーグリッド株式会社 東京ガスネットワーク株式会社 東京都水道局 八王子市水循環部 ・ 大阪駅周辺 <ul style="list-style-type: none"> 西日本電信電話株式会社 関西電力送配電株式会社 大阪ガスネットワーク株式会社 大阪市水道局 大阪市建設局 ・ 新静岡駅北 <ul style="list-style-type: none"> 西日本電信電話株式会社 中部電力パワーグリッド株式会社 静岡ガス株式会社 静岡市上下水道局

7) 検証方法

上記で設定した、検証プロセスと項目について、測定方法や検証時の条件、結果判定方法を策定。経済的・社会的視点（表 4.5-6）と、技術的な視点（表 4.5-7）それぞれから検証を行った。

表 4.5-6 (a) 経済的・社会的検証項目

No	検証項目	検証方法
1	<p>経済①【地下埋設物】 従来方法での業務に対する、空間 ID を利用した業務時間（分／1 工事）の短縮率</p>	<p>【測定方法】 新旧比較により地下埋設物照会に要する時間を測定する。 1.従来方式：電話・メール・FAX・訪問（移動時間含む）による照会作業時間（ヒアリングベース） 計測の開始点：最初の埋設物事業者に対して上記いずれかの行動を開始した時点 計測の終了点：すべての埋設物事業者から地下埋設物照会で必要となるすべての情報を得られた時点 2.新方式：実証アプリを用いた照会作業時間（実証アプリの操作は Web・訪問等で実施） 計測の開始点：実証アプリを起動した時点 計測の終了点：実証アプリから地下埋設物照会で必要となる全すべての情報を得られた時点</p> <p>【検証時の条件】 実証エリア（八王子市・静岡市・大阪市）の地下埋設物管理事業者に測定を実施。</p> <p>【結果の判定方法】 定義に基づき、地下埋設物実証アプリ開発事業者が集計。</p>
2	<p>経済②【データ整備】 自動化率が上がったデータ整備仕様に賛同する団体数</p>	<p>【測定方法】 地下埋設物管理事業者からデータ整備事業者へ地下埋設物データを貸与した事業者の数を測定する。なお、水道・下水道の地下埋設物管理事業者は、サービスを提供する市区町村を測定する。 計測の開始点：空間 ID の社会実装前（※自動化の手法自体が存在しない） 計測の終了点：空間 ID の社会実装後</p> <p>【検証時の条件】 実証エリア（八王子市・静岡市・大阪市）の地下埋設物管理事業者に限定する。データ整備事業者が主</p>

No	検証項目	検証方法
		<p>体となり、データ借用に関する手続きや調整（覚書締結等）を実施する。</p> <p>【結果の判定方法】 定義に基づき、データ整備事業者が集計する。</p>
3	<p>社会①【データ整備】 総人口に対する、地下埋設物情報が空間 ID 整備された地域の人口の割合</p>	<p>【測定方法】 人口及び地域（市区町村）を行、地下埋設物管理事業者を列として、地下埋設物情報が空間 ID で整備された地域（※）の人口を集計し、地域の総人口を 100%とする割合を測定する。 （※「自動化率の上がったデータ整備仕様に賛同する団体数」の対象地下埋設物事業者が社会インフラサービスを提供する市区町村）</p> <p>【検証時の条件】 人口及び地域（市区町村）は、「令和 2 年国勢調査（総務省統計局）都道府県・市区町村別の主な結果」の数値を使用する。同一市区町村に同じ社会インフラサービスを複数事業者が提供している場合、総人口も重複して測定する。</p> <p>【結果の判定方法】 定義に基づき、データ整備事業者が集計する。</p>
4	<p>社会②【建機 MG】 空間 ID を利用した重機オペレータの開削作業時間の短縮率</p>	<p>【測定方法】 ICT 建機の実機とダミー管路を用いた開削デモ工事（掘削→管底堀上）の実施に要する時間を測定する。 計測の開始点：掘削開始 計測の終了点：掘削完了（＝管底堀上）</p> <p>【検証時の条件】 開削工事事業者が実証地で開削デモ工事を実施。ICT 建機を手配可能な期間の中で、機器が使用する GNSS が Fix 解を得られる条件で計測する。</p> <p>【結果の判定方法】 定義に基づき、ICT 建機実証事業者が集計。</p>
5	<p>社会②【建機 MG】 空間 ID を利用した重機オペレータの開削作業時間の短縮率</p>	<p>【測定方法】 動画（条件参照）と同程度の規模の工事に ICT 建機を導入した場合を想定した工事時間の見積りを依頼。 計測の開始点：掘削開始 計測の終了点：掘削完了（＝管底堀上）</p> <p>【検証時の条件】</p>

No	検証項目	検証方法
		<p>開削デモ工事（No.4 参照）時に測定に必要な動画を撮影。開削工事事業者が測定を実施。</p> <p>【結果の判定方法】</p> <p>工事時間の見積回答を受領後、ICT 建機実証事業者が集計。</p>
6	<p>社会③【建機 MG】</p> <p>空間 ID と施工時データを利用した、作業員の動作判断行動回数の削減率</p>	<p>【測定方法】</p> <p>ICT 建機の既存機能（※1）に空間 ID（ボクセル及び属性情報）を追加することで実現できる機能（※2）が建機の操作判断行動（※3）の回数ほどの程度影響を与えるか、事実の記録（定量）とヒアリング（定性）を実施。</p> <p>計測の開始点：掘削開始 計測の終了点：掘削完了（＝管底掘上）</p> <p>※1：各種データの表示（例：開削により埋設する管路の設計図面、現地データ（DEM 等）、掘削データ、等。）</p> <p>※2：後付バックホウ 3D ガイダンスシステム＋空間 ID で実現できる機能の例（建機操作者向け）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・地下埋設物管理事業者が管理している地下埋設物の属性表示（材質・口径等） ・地下埋設物管理事業者が管理している地下埋設物への接近アラート＋空間 ID で実現できる機能の例（現場作業員向け） ・地下埋設物の可視化に起因する現場作業の効率化 <p>※3：例）作業員が作業を停止して実施する図面等の資料確認や指示確認</p> <p>【検証時の条件】</p> <p>開削デモ工事（No.2 参照）を実施。ダミー管路の埋設位置情報は空間 ID としているが、図面と比べると 10cm 程度（※4）の誤差がある。</p> <p>※4：一般的に図面と地下埋設物の間に生じている誤差を開削工事事業者が探針棒等を用いて測定及び管路位置の確認を実施。</p> <p>【結果の判定方法】</p> <p>記録内容（頻度・内容等）とヒアリング結果を踏まえ、ICT 建機実証事業者が集計・分析を実施。</p>

表 4.5-7 (b) 技術的検証項目

No	検証項目	検証方法
1	提供データ受領から空間 ID の登録までの作業や処理に必要な技術的難易度（データ整備難易度）の評価基準の策定、及び、提供データに基づく評価	<p>【測定方法】</p> <p>地下埋設物管理事業者から提供を受けたデータに対し、データ整備事業者が空間 ID の登録データとして整備するまでに要した作業内容（技術者による技術的要素を含むデータ整備の対象量や難易度等）に基づき、定性的に評価する。</p> <p>【結果の判定方法】</p> <p>検証項目の詳細に記載した段階の何れに該当するか、データ整備事業者が評価する。</p>
2	統一した提供データフォーマットによるユースケースの運用サイクル確認（フォーマットの項目過不足確認）	<p>【測定方法】</p> <p>地下埋設物管理事業者から提供を受けたデータに対し、データ整備事業者と地下埋設物実証アプリ開発事業者兼空間 ID 共通ライブラリ評価事業者が定めた空間 ID 登録のための統一フォーマットを用いて、ユースケースで想定する業務プロセス（地下埋設物照会、建機 MG）が滞りなく実施できることを確認する。</p> <p>【結果の判定方法】</p> <p>地下埋設物実証アプリ開発事業者、空間 ID 共通ライブラリ評価事業者、ICT 建機実証事業者がユースケースを滞りなく実施できること。</p>
3	提供可能なズームレベルと、利用可能なズームレベルの確認	<p>【測定方法】</p> <p>提供者（地下埋設物管理事業者）、及び、利用者（工事申請受付・建機 MG）からデータ提供・データ利用の観点で適切なボクセルのズームレベルをヒアリング</p> <p>【検証時の条件】</p> <p>提供者兼利用者（工事申請・受付者）＝地下埋設物照会：実証デモアプリを用いた、実証3エリアの各事業者（水道・下水道・電気・ガス・通信＋工事発注者（自治体））</p> <p>利用者（施工事業者）＝建機 MG：実証地での建機操作者ヒアリング</p> <p>【結果の判定方法】</p> <p>ヒアリング結果を以下のステークホルダーがそれぞれの観点で検討し、報告書へ取り纏め。</p> <ul style="list-style-type: none"> データ整備事業者：データ整備（基盤の要件定義（機能要件（流通方式検討支援））、データ変換・補正・統合等）

No	検証項目	検証方法
		<ul style="list-style-type: none"> ・地下埋設物実証アプリ開発事業者：データ利用（データ参照性能） ・空間 ID 共通ライブラリ評価事業者：データ整備（空間 ID 基盤の要件定義（機能要件・非機能要件）、データ登録性能） データ利用（データエクスポート性能） ・ICT 建機実証事業者：データ利用（ICT 建機ソフトウェアの要件定義（機能要件・非機能要件））

8) 開発スコープ

掘削事業者と占用事業者が管路を敷設するための工事エリアを、各埋設物事業者に通知（申請）して実証を行った。地下埋設物照会は図 4.5-7、建機 MG は図 4.5-8 のフローにて実施した。

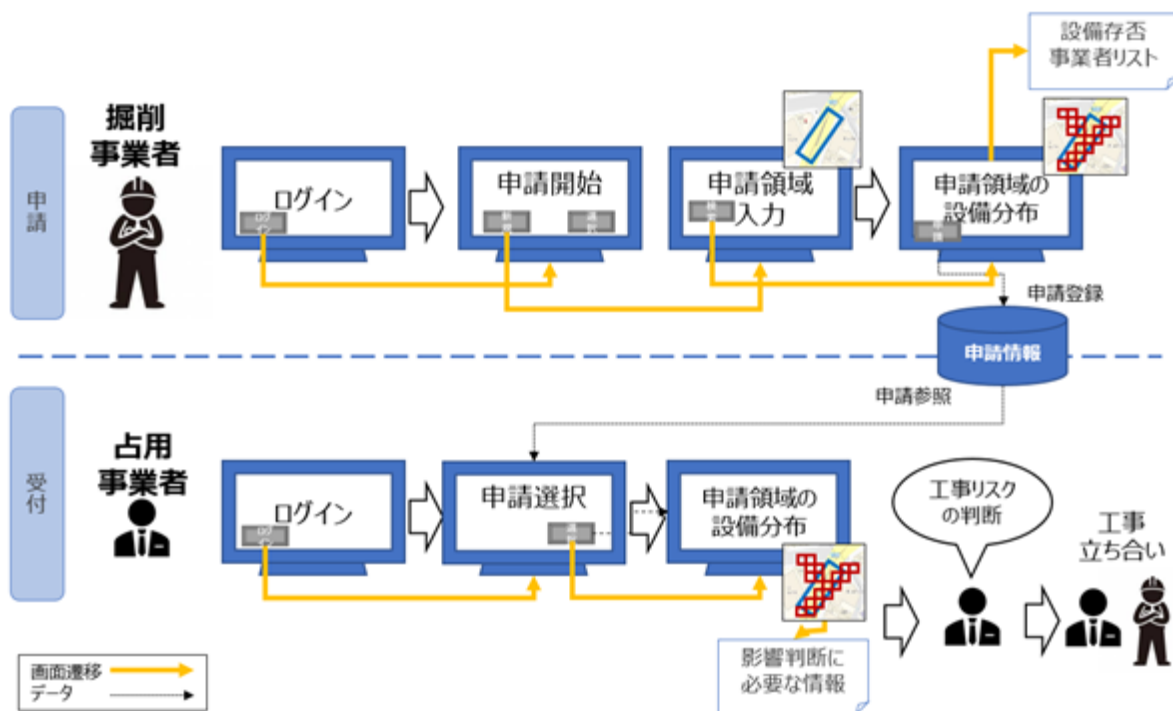


図 4.5-7 (a) 地下埋設物照会

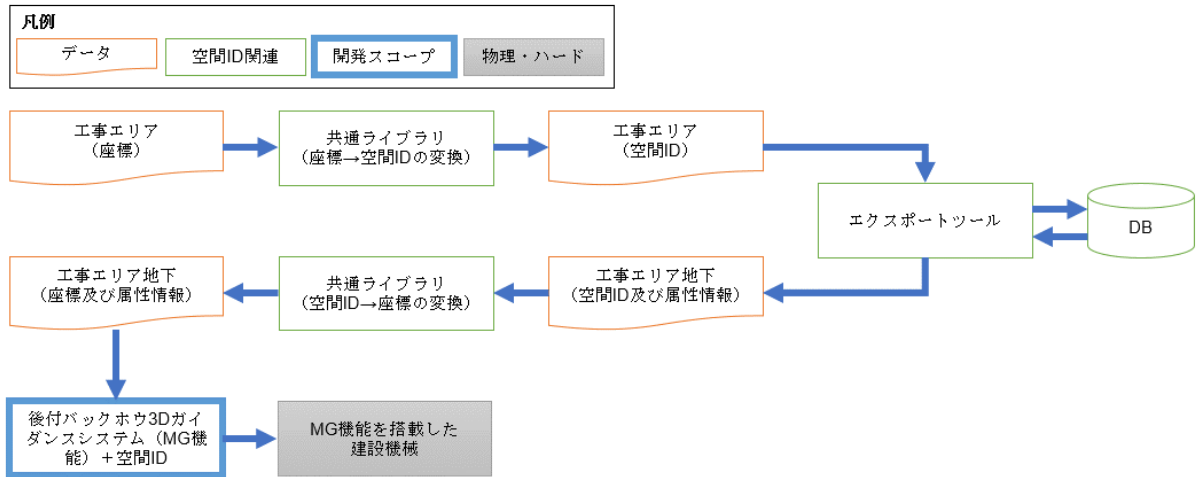


図 4.5-8 (b) 建機 MG

9) ステークホルダー

実証エリアの自治体、地下埋設物管理事業者、データ提供事業者、地下埋設物実証アプリ開発事業者兼空間 ID 共通ライブラリ評価者、データ整備事業者、ICT 建機実証事業者兼開削工事事業者、開削工事事業者といった幅広いステークホルダーと連携し、実証実験を行った（表 4.5-8）。

表 4.5-8 地下埋設物におけるステークホルダー

ステークホルダー	実証における役割
実証エリアの自治体 (八王子市・静岡市・大阪市)	八王子市：中核都市・中心部エリア（中核都市、設備量：多） 静岡市：政令指定都市・郊外エリア（政令市、設備量：少） 大阪市：政令指定都市・中心部エリア（政令市、設備量：多）
実証エリアの地下埋設物管理事業者兼データ提供事業者 ・水道、下水道、ガス、電力、通信	地下埋設物設備データの提供（各事業者運用中のデータ形式） 地下埋設物照会ユースケースにおける、空間 ID 導入前後の KPI 評価
地下埋設物実証アプリ開発事業者兼空間 ID 共通ライブラリ評価事業者 (NTT データ)	空間 ID 共通ライブラリの利用評価、地下領域の空間 ID データベースの利用評価、地下埋設物実証アプリの開発（地下領域の空間 ID データベース評価用アプリ）

ステークホルダー	実証における役割
データ整備事業者（NTT インフラネット）	地下埋設物照会のユースケースで使用する地下埋設物管理事業者とのデータ借用交渉 地下埋設物設備データから空間 ID へのデータ整備作業（変換・補正・統合等） データ借用から空間 ID データ整備までに関する、実証エリア内における空間 ID 導入前後の KPI 評価
ICT 建機実証事業者 兼開削工事事業者 （EARTHRAIN）	ICT 建機に関する技術協力及び仕様検討、空間 ID と建機の実証場所提供、実証における開削工事（掘削→管底掘上）の KPI 評価
開削工事事業者	実証における開削工事（掘削→管底掘上）の KPI 評価

10) 実証地

① 地下埋設物照会、データ・メタデータ

実証地は表 4.5-9 の場所を選定した。

表 4.5-9 地下埋設物（地下埋設物照会、データ・メタデータ）で選定した実証地

実証地名称	所在地
八王子駅周辺	JR 八王子駅の周辺 1.26 km ² のエリア
大阪駅周辺	JR 大阪駅の周辺 2.1 km ² のエリア
新静岡駅北	静岡鉄道新静岡駅北側の 6.72 km ² のエリア

各地域の特性を把握するため、上記の実証地をそれぞれ前述の表 4.5-8、実証における役割の通り定義し、選定した。



図 4.5-9 八王子駅周辺



図 4.5-10 大阪駅周辺



図 4.5-11 新静岡駅北

② 建機 MG

実証地は、空間 ID を用いた掘削を実際に行うことができる表 4.5-10 の場所を選定した。

表 4.5-10 地下埋設物（建機 MG）で選定した実証地

実証地名称	所在地
Atos Village	福島県白河市白坂松ヶ苗 1 3 0

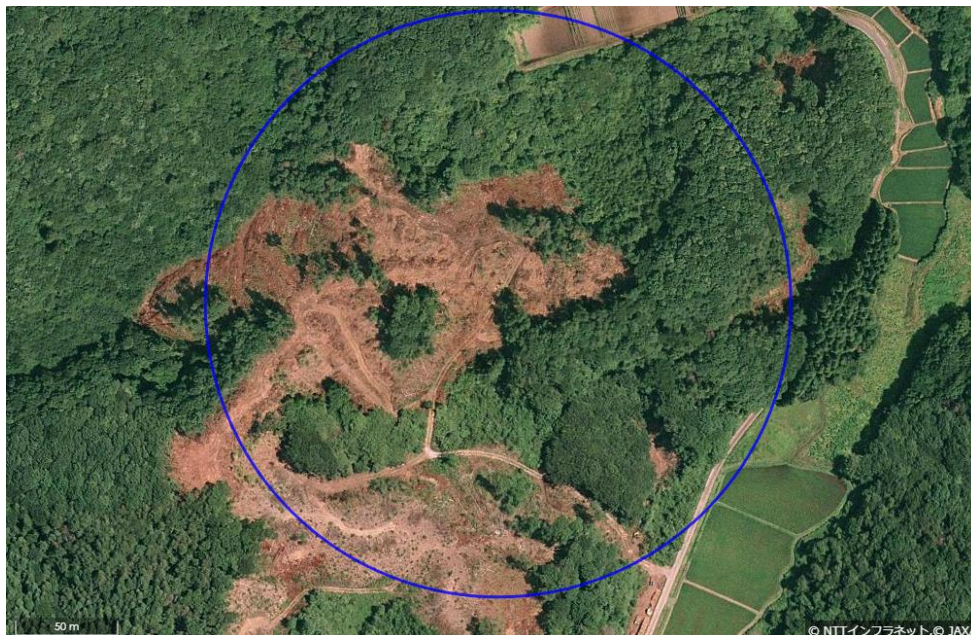


図 4.5-12 (b) Atos Village 俯瞰地図

(2) 実証結果

1) 経済的・社会的検証項目の実証結果

① 経済①：従来方法での業務に対する空間 ID を利用した業務時間の短縮率

経済①の実証では、空間 ID の実証アプリを利用し、埋設物照会業務にかかる作業時間の削減率の検証を行った。電話・メール・FAX・訪問で照会作業を行う水道・下水道事業者（八王子市エリア・静岡市エリア）では、作業時間が従来方法から 98.3%改善して 2.7%（=4分÷240分）まで短縮された。Web で照会作業を行うガス・電力・通信事業者では、作業時間が従来方法と比較して横ばいとなった。全体では作業時間が 95.2%改善して 4.1%（=15分÷310分）まで短縮された。（表 4.5-11）。

表 4.5-11 経済的検証項目① 実証結果

エリア	種類	従来方法	従来方法 (分)	検証方法 (分)	短縮率
八王子市	水道	訪問	60	1	2.7% (5÷182) (97%改善)
	下水道	訪問	60	1	
	ガス	Web	1	1	
	電力	訪問	60	1	
	通信	Web	1	1	
静岡市	水道	訪問	60	1	4.1% (5÷123) (96%改善)
	下水道	訪問	60	1	
	ガス	Web	1	1	
	電力	Web	1	1	
	通信	Web	1	1	
大阪市	水道	対面	1	1	0% (5÷5) (従来通り)
	下水道	対面	1	1	
	ガス	対面/Web	1	1	
	電力	対面/Web	1	1	
	通信	Web	1	1	

② 経済②：自動化率の上がったデータ整備仕様に賛同する団体数

地下埋設物を保有する 3,687 事業者のうち、データ収集の過程において 15 事業者との覚書を締結し実証を進めた。

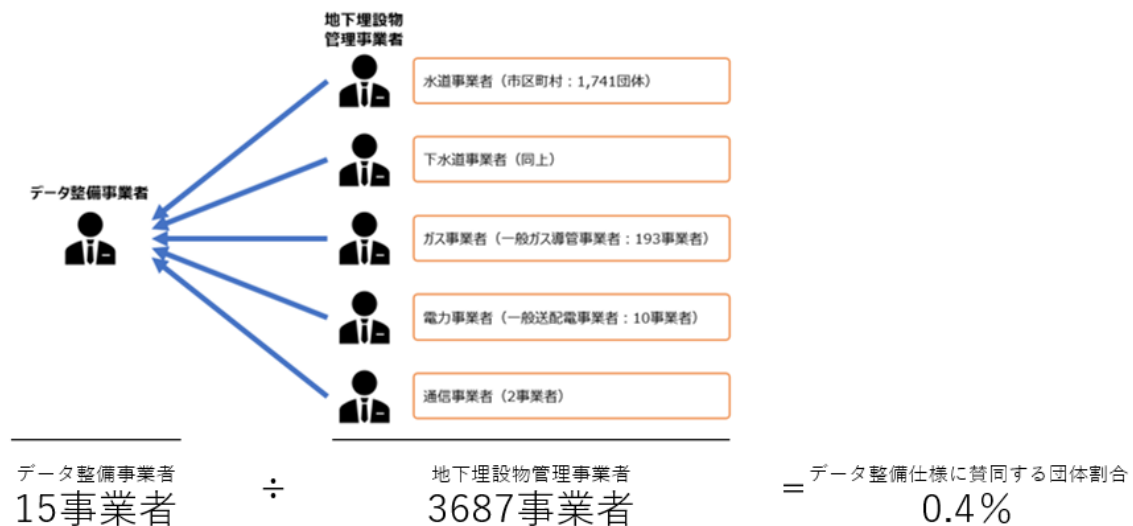


図 4.5-13 経済的検証項目② 実証結果

③ 社会①：総人口に対する地下埋設物情報が空間 ID 整備された地域の人口の割合

本観点で評価する地下領域における空間 ID の普及率は全事業者で 32.7%となり、KPI で設定した社会実装に足りうる普及率 16%の目標値を上回った。しかし、下水道事業者が 1.16%、水道事業者が 3.14%と水道・下水道事業者のデータ整備率が低い傾向となった。これは、電力・ガス・通信事業者は市区町村をまたがって広域にサービスを展開しているのに対し、水道・下水道事業者は市区町村単位でサービスを提供していることに起因する。

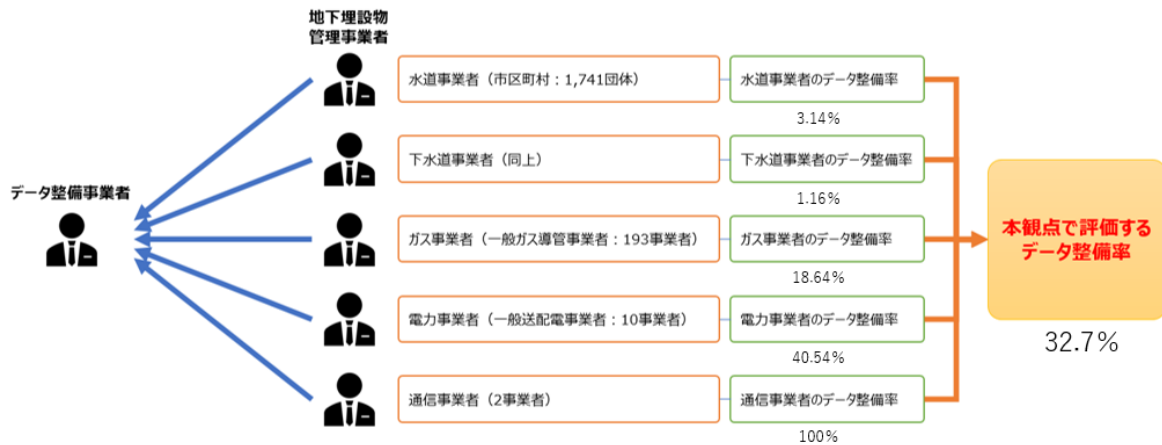
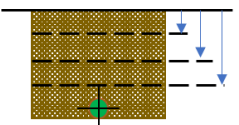
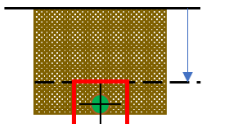


図 4.5-14 社会的検証項目① 実証結果

- ④ 社会②：空間 ID を利用した重機オペレータの開削作業時間の短縮率
- ⑤ 社会③：空間 ID と施工時データを利用した、作業員の動作判断行動回数の削減率

社会②、社会③の2つの KPI については、実際に延長約 5m、幅約 1m、深さ 1m の範囲を掘削し、実証を行った。従来手法では約 66 分かかる掘削作業が、空間 ID を利用することで約 54 分に短縮され、開削作業時間は 18%削減された。また従来手法では3回確認された確認作業が、空間 ID を使用することで実施が不要となり、100%の省力化が確認された。

表 4.5-12 社会的検証項目①② 実証結果

内容	空間 ID の有無	埋設物確認	地下埋設物	掘削イメージ	稼働時間
掘削条件 1	無	有 (通信工事の有識者による現状確認作業を含む)	通信配管 Φ100× 1条 を想定	空間 ID の情報がないため他埋設物を確認しながら埋設管上 30cm まで掘り上げる 	①建機による稼働時間=54 分 ②探針棒による確認時間=6 分 (確認時間=2 分/回、 回数=3 回、係数=1.0) ③手掘りによる稼働時間=6.3 分 ①+②+③= 66.3 分
掘削条件 2	有	無 (建機 MG アプリケーションによる空間 ID を利用した作業確認)	通信配管 Φ100× 1条 を想定	空間 ID の情報を正として埋設管上 30cm まで一気に掘り上げる 	①建機による稼働時間=48 分 ②探針棒による確認時間=0 分 ③手掘りによる稼働時間=6.3 分 ①+②+③= 54.3 分

2) 技術的検証項目の実証結果

- ① 提供データ受領から空間 ID の登録までの作業や処理に必要な技術的難易度（データ整備難易度）の評価基準の策定及び提供データに基づく評価

地下埋設物管理事業者から地下埋設物設備データを受領してから空間 ID の登録までの作業や処理に基づき、あらかじめ定義した技術的難易度ごとに 1 平方キロメートル当たりの基準工数（技術者・非技術者を含む）をデータ整備事業者が検討及び評価を実施した。なお、この数値には提供データ受領後の仕様確認工数（対象面積を問わず一律に約 0.5 人月/事業者（データは 10 種類程度まで））及び、安全マージンは含んでいない。設備量に伴う工数の変化については、データ整備時に多くの作業が必要となるレベル 1 にのみ設定した上で、地下埋設物管理事業者の設備を利用する需要家がいる商業地・工業地に係数が加算されるよう対象エリアの判定条件とした。

表 4.5-13 1平方キロメートル当たりの空間 ID 変換工数

受領データを空間 ID に変換する技術的難易度	位置補正 位置基準統合 +形状補正 +データ整形	高さ付与	属性付与	計
レベル 1	<商業地・工業地> 約 33.0 人月/km ² <その他> 約 11.0 人月/km ²	約 0.4 人月/km ²	約 0.6 人月/km ²	<商業地・工業地> 約 34.0 人月/km ² <その他> 約 12.0 人月/km ²
レベル 2	約 8.3 人月/km ²	約 0.4 人月/km ²	約 0.6 人月/km ²	約 9.3 人月/km ²
レベル 3	約 1.1 人月/km ²	約 0.4 人月/km ²	約 0.6 人月/km ²	約 2.1 人月/km ²

表 4.5-14 当実証における技術的難易度ごとの評価コメント

受領データを空間 ID に変換する技術的難易度	データ整備事業者 評価コメント エリア横断でコメントを収集した上で、 レベルごとの評価コメントとして記載
レベル 0	なし（該当なし）
レベル 1	<p><受領データが紙・画像ファイル・PDF の場合></p> <ul style="list-style-type: none"> ・スキャニングやマップデジタイズ等 GIS 技術者による作業指示の下、人手による図面形状トレース及び必要項目の読み取りと転記を実施。 ・印刷による文字潰れ等、読み取り不可能な項目への対応に苦慮。特に設備量が多い場合の不鮮明さは作業効率に顕著な影響を与える。 ・位置補正の際に用いる道路境界線等、図面と当実証の位置基準の地形情報（背景地図）について、図面側が道路境界線の経年変化を反映できていないケースがあり、一部の場所の同定が困難であった。 <p><受領データが上記以外の場合></p> <ul style="list-style-type: none"> ・立体的な情報を平面で表現するために工夫された図面（※1）や、平面図上で図形化できない情報を扱うための工夫された図面（※2）等、独自の工夫を紐解いて実証用データを整備するまでの手法について、熟練した GIS 技術による解析と検討に長い作業時間を要した。 ※1：例 ダミー記号を利用して平面上に設備形状を記載、等。 ※2：例 管径等の当実証のデータ整備上必要項目や必要項目の構成要素について、旗上げ（※3）した上で設備管理上影響のない図面上の空白エリアに線で数字を描く、等。 ※3：旗上げとは、管路とは別の線を用いて指差するイメージで管路に対する設備管理上の必要情報を図面上に記録するための工夫。設備量が多く密集している場合

受領データを空間 ID に変換する技術的難易度	データ整備事業者 評価コメント エリア横断でコメントを収集した上で、 レベルごとの評価コメントとして記載
レベル 2	<ul style="list-style-type: none"> 膨大なデータ仕様（最大 1,000 ページ程度）から GIS 技術者が必要項目を判断して読み解き、空間 ID の登録に必要な情報を解析。 LoD0（2D のネットワークデータ）の状態に達していないため、図面上で未接続の端点に対する位置補正等、人手による目視判断を必要とする補正作業が必要。また目視判断の作業品質を一定とするため、個別のデータ状態を熟練した GIS 技術者が解析した上で作業基準を設定する等、データ整備前の準備に時間を要する。
レベル 3	<ul style="list-style-type: none"> 単位の表記揺れを同じ単位に統一。（例：mm・cm を m に変換） 土被り（地表面からの深さ）から、標高への変換を実施。 欠損値やダミー値（例：不明な土被りを 999 に設定）に対する補完作業を、現場経験者へのヒアリング結果に基づき GIS 技術者が実施。
レベル 4 以上	なし（該当なし）

表 4.5-15 実証地における技術的難易度ごとの事業者数と積算工数

実証地 エリア特性	受領データを空間 ID に変換する技術的難易度	該当事業者数	積算工数 仕様確認工数（※）を除く ※0.5 人月／事業者
八王子駅周辺 ・中核都市 ・設備多（商業地）	レベル 0	なし	—
	レベル 1	1	34.0 人月/km ² ((34.0 人月/km ²) / 事業者 × 1 事業者)
	レベル 2	1	9.3 人月/km ² ((9.3 人月/km ²) / 事業者 × 1 事業者)
	レベル 3	3	6.3 人月/km ² ((2.1 人月/km ²) / 事業者 × 3 事業者)
	レベル 4 以上	なし	—
新静岡駅北 ・政令市 ・設備少（その他）	レベル 0	なし	—
	レベル 1	3	36.0 人月/km ² ((12.0 人月/km ²) / 事業者 × 3 事業者)
	レベル 2	なし	—
	レベル 3	2	4.2 人月/km ² ((2.1 人月/km ²) / 事業者 × 2 事業者)
	レベル 4 以上	なし	—

実証地 エリア特性	受領データを 空間 ID に変換する 技術的難易度	該当 事業者数	積算工数 仕様確認工数 (※) を除く ※0.5 人月/事業者
大阪駅周辺 ・政令市 ・設備多 (商業地)	レベル 0	なし	—
	レベル 1	なし	—
	レベル 2	1	9.3 人月/km ² ((9.3 人月/km ²) /事業者 × 1 事業者)
	レベル 3	4	8.4 人月/km ² ((2.1 人月/km ²) /事業者 × 4 事業者)
	レベル 4 以上	なし	—

② 統一した提供データフォーマットによるユースケースの運用サイクル確認

当実証でデータ整備事業者から地下埋設物実証アプリ開発事業者兼空間 ID 共通ライブラリ評価事業者へデータ提供するため、表 4.5-16 に基づき項目の選定を行い、3次元空間 ID データベースへの登録するための共通フォーマット (シェープファイル) を定めた。(表 4.5-17)

このデータフォーマットに基づき生成した空間 ID を各ユースケース実証に提供され、滞りなく KPI の測定までできることを確認した。

表 4.5-16 データ整備事業者内における一般的な3次元データ作成の検討工程

項番	工程	作業 グループ	作業名	作業概要	当実証への 適用
1	要望実現に向けた検討 (業務要件定義)	要望確認	3D 化に対する特別要望	業務が 3D に求める形状や操作感以外の要望や利用場面をヒアリングする。	未実施 (ユースケースごとに要望や利用場面が明確なため)
2		現状確認	データ提供媒体確認	データの提供媒体を確認する。 (紙、HDD 等の電子記録媒体)	実施
3			深さ (高さ) 情報の有無確認	深さ (高さ) 情報が提供データに含まれているか確認する。	実施
4			位置合わせ基準点の有無確認	複数事業者のデータを 3D 上で重ねて表示する場合、データの位置を合わせるための基準点 (※) の有無を確認する。 ※地図上に表現する絶対座標。度・分・秒やメートル、等。	実施

項番	工程	作業グループ	作業名	作業概要	当実証への適用
5			業務コード値有無確認	複数事業者のデータをシームレスに表示する場合、データに保有しているコード値の有無を確認する。 (例：設備の材質、等)	実施
6			イレギュラーデータへの対応方針確認	3D化が困難なイレギュラーデータ(※)が発生した場合、対応の基本方針を確認する。 ※例：必要な項目が NULL・ゼロ値・オール9等。	実施
7	準備 (システム要件定義)	実現可能な要望の選定	要望に対する3Dアプリでの実現方法検討	ヒアリングした内容に対し、3Dモデルの製作・閲覧方法を検討する。	一部未実施 (ユースケースごとに閲覧方法が明確であったため)
8		3Dアプリの選定	3D製作アプリの選定	要望を実現可能な3Dモデルデータを製作する3D GISアプリケーションを選定する。	実施
9			3D閲覧アプリの選定	要望を実現可能な3Dモデルデータを利用者が閲覧する3D GISアプリケーションを選定する。	未実施 (ユースケースごとに閲覧方法が明確であったため)
10			3Dアプリの位置基準データ仕様の決定	要望の実現に必要な以下の設定を決定する。 測地系 投影法 XYZ各座標の単位 XYZ各座標のデータ精度 XYZ各座標軸の方向 Z軸(高さ・深さ)基準面 基準背景図 基準点(Ground Control Point)	実施
11		3D基準データの調達	位置基準データの調達	3Dアプリの位置基準として定めたデータを調達する。	実施
12	データ変換作業 提供データ(顧客システムデータ)を3Dアプリの位置基準に準	データ仕様の確認	データ形式の確認	提供データの形式を確認する。 ・紙データ：紙(印刷物)、紙地図の画像データ、等 ・GISデータ：シェープファイル、等 ・非GISデータ：CSVファイル、固定長テキストファイル、CADデータ	実施

項番	工程	作業グループ	作業名	作業概要	当実証への適用
	拠するデータへ移行			(DXF ファイル等)、図形と属性が別ファイル管理、等	
13			測地系の確認	測地系を確認する。 ・旧測地系 ・世界測地系 (WGS84・JGD2000・JGD2011、Webメルカトル等)	実施
14			投影法の確認	投影法を確認する。 ・経緯度座標 ・平面直角座標 (19 座標、等) ・独自の基準点からの距離で示した数学的な座標	実施
15			座標単位の確認	投影法の座標単位を確認する。 ・緯度経度座標：度・分・秒 ・平面直角座標：メートル・センチメートル・ミリメートル等	実施
16			データ精度の確認	事業者内でデータ (提供データ) の位置を確認するために使用している背景地図に関する製品名や座標精度を確認する。	未実施 (位置基準に基づき位置補正を実施するため)
17			座標軸方向の確認	X 軸、Y 軸、Z 軸のプラス値が示す方向を確認する。	実施
18		データ変換作業	紙や画像から GIS データへの変換作業	位置基準データを用いたマップデジタルサイズ (1～3 の工程) により、紙図面を GIS データに変換する。 1. 紙+スキャナ ⇒画像 2. 画像+基準地図 (GCP) +ジオリファレンス処理 ⇒位置情報付き画像 3. 位置情報付き画像 +GIS アプリケーション ⇒GIS データ	実施
19			非 GIS データから GIS データへの変換作業	GIS 技術者が GIS アプリケーション等を用いて、非 GIS データから GIS データへ変換する作業を実施する。	実施
20		座標変換作業	測地系の変換作業	3D アプリの位置基準で定めた測地系と GIS データが一致しない場合、測地系変換作業を実施する。	実施

項番	工程	作業グループ	作業名	作業概要	当実証への適用
21			投影法の変換作業	3D アプリの位置基準で定めた投影法と GIS データが一致しない場合、投影法変換作業を実施する。	実施
22			座標単位の変換作業	3D アプリの位置基準で定めた座標単位と GIS データが一致しない場合、単位変換作業を実施する。	実施
23			座標軸方向の変換作業	3D アプリの位置基準で定めた座標軸方向と GIS データが一致しない場合、測地系変換作業を実施する。	実施
24		座標補正作業	データ精度の補正作業	GIS データの基準点を 3D アプリで定めた基準点位置に合わせ、基準点の移動量に合わせて GIS データの位置を補正 (※) する。 ※ 平行移動・拡大縮小・回転・せん断、等	実施
25		業務コード変換作業	業務データのコード変換作業	複数事業者のデータを 3D 表示する場合、設備材質等の業務情報のコード体系を統一する。	未実施
26	3D モデルデータの製作	3D モデルの書式情報設定	色の設定	GIS データに対する 3D モデルの表示色を設定する。	未実施 (ユースケースごとに独自の色設定があるため)
27			位置以外の形状 (直径・太さ・厚み) の設定	GIS データに対する 3D モデルの形状を設定する。	実施
28		3D モデルデータの出力	3D モデルデータの出力	GIS データと 3D モデルの書式情報を組み合わせ、3D 閲覧アプリで使用する 3D モデルデータを出力する。	一部未実施 (書式情報は、ユースケースごとに準備しているため)

表 4.5-17 統一した提供データフォーマットの項目選定結果

項番	項目名 (論理)	データ型 (論理)	項目概要
1	地下埋設物 ID	文字列	地下埋設物の ID。複数の管で構成する地下埋設管路であっても、1つの地下埋設設備としてカウントする。 UUID で生成する 32 桁の半角英数字 (0~9、a~f) を使用。
2	地下埋設物管理者 ID	文字列	地下埋設物を管理する組織 (設備管理事業者等) を一意に表す ID。
3	地下埋設物種別	文字列	地下埋設物の種類を示すコード値。 現在のコード値は以下の通り。 Null 値 : 種別不明 0 : 不連続構造物 (人孔・マンホール) 1 : 連続構造物 (管路・洞道・トンネル等)
4	地下埋設物断面の最大幅	整数値	地下埋設物の鉛直切断面における、水平面上の最大幅を設定。 複数管の離隔 (管と管の間) や、管の厚みも最大幅に含む。
5	地下埋設物断面の最大深	整数値	地下埋設物の進行方向に対する鉛直切断面における、鉛直面上の地物の最大深 (地物の土被りから最大深までの距離) を設定。 複数管の離隔や、管の厚みも最大深に含む。
6	地下埋設物の材質	文字列	地下埋設物の材質。 各設備管理事業者で使用している呼称をそのまま設定。

③ 提供可能なズームレベルと利用可能なズームレベルの確認

ズームレベルについては、地下埋設物管理事業者に対して下記ヒアリングシートを用いて提供可能なズームレベルと利用可能なズームレベルの検証を実施した (図 4.5-15)。

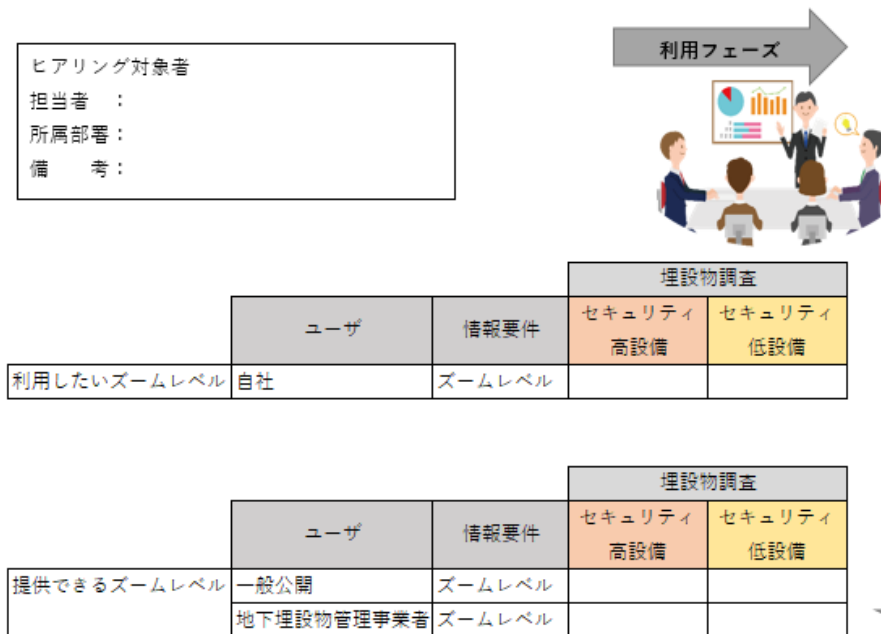


図 4.5-15 技術的検証項目③ ヒアリングシート

各実証エリアにおけるヒアリングを実施し、地下埋設物調査時に空間 ID を利用する際のズームレベル結果を表 4.5-18 にまとめ、地下埋設物調査時に地下埋設物管理事業者に対して空間 ID を提供できるズームレベルを表 4.5-19 にまとめた。

表 4.5-18 埋設物調査におけるズームレベルの事業者数（利用時）

実証エリア	ズームレベル	セキュリティ高設備	セキュリティ低設備
八王子市	23 以下	1	1
	24	なし	なし
	25	なし	なし
	26	なし	なし
	27 以上	4	4
静岡市	23 以下	なし	なし
	24	1	1
	25	なし	なし
	26	なし	なし
	27 以上	4	4
大阪市	23 以下	なし	なし
	24	なし	なし
	25	なし	なし
	26	2	2
	27 以上	3	3

表 4.5-19 埋設物調査におけるズームレベルの事業者数（地下埋設物管理事業者に提供時）

実証エリア	ズームレベル	セキュリティ高設備	セキュリティ低設備
八王子市	23 以下	2	1
	24	なし	なし
	25	なし	なし
	26	1	2
	27 以上	2	2
静岡市	23 以下	4	1
	24	なし	なし
	25	なし	なし
	26	なし	2
	27 以上	1	2
大阪市	23 以下	4	2
	24	なし	なし
	25	なし	なし
	26	なし	2
	27 以上	1	1

<ヒアリング結果>

利用する際・提供する際のどちらもズームレベルが二極化している。全体としては利用する際はズームレベルが高い物（高精度）を求められ、提供する際はズームレベルが低い物（低精度）を求める傾向にあった。また利用ユーザーによってデータ提供者から提供可能なズームレベルの差があるという意見もあった。一方で下水道の管理事業者は下水道法第 23 条の関係で下水道台帳を公開する義務がある事から、利用ユーザーを問わず提供する際のズームレベルを高くして問題ないとの回答が得られた。

また、設備の中には高圧管等の幹線設備はサービスに与える影響が非常に大きい設備がある。幹線設備の有無のみを知らせて確実な設計協議・施工協議を実施する仕組みを構築したいという意見もあった。

(3) 考察

1) 問題点の把握と原因分析

<データ整備>

地下埋設物管理事業者から受領するデータの状態が技術的難易度のレベル 3 に到達していれば、技術者・非技術者を問わず少ない人数で半自動での空間 ID 化が可能であることを確認した。技術的難易度がレベル 1 の場合、汎用的なプログラムでは必要項目が読

取困難なデータであり、技術者による変換手法の確立と非技術者による手作業が必要不可欠である。ただし、紙で受領した地下埋設物管理事業者のデータはシステムから印刷したものが多く、セキュリティ対策以外の要因（例：システムに CAD・GIS データの出力機能が存在しない、等）により電子データとして提供できない可能性が高い。技術的難易度がレベル2の場合、汎用的なプログラムで必要項目は読取可能だが、地下埋設物管理事業者から受領するデータから表 4.5-17 の提供データに変換する過程で高精度化が必要であり、管路の端点がマンホール等の設備と図面上で繋がっていないケースが多く見受けられた。そのため地下埋設物管理事業者内のデータ利活用も限られた範囲のみに留まっている可能性が高い。

また、地下埋設物管理事業者はデータ提供をすることに起因して、外部から要求されることでデータ更新頻度を増やすケースが考えられる。この場合、データ更新頻度の増加はデータ提供側の作業員に対する負担増加に繋がる可能性があり、労働人口の減少という社会的課題の解決に逆行する動きを引き起こす可能性がある。ゆえに、将来にわたって継続的にデータが提供されるよう、データ提供事業者側への負担軽減、または、受益者負担を含むデータ提供によるメリットを提示する等の対策が必要と考えられる。

<地下埋設物照会>

設備有無を判定することが目的の地下埋設物照会では、空間 ID の利用に際して現在と同等の効果を得ることができ、ヒアリング等でも大きな問題は見つかっていない。ただし、事業者やエリアによっては情報共有のための仕組みとして Web システムや 5 事業者を対面で集めて実施する等の工夫で現在運用されている。この場合の空間 ID 導入による効果は、システムの共同運用による割り勘効果以外に現在と同等以上の効果を得ることは難しいと考えられる。

データ提供とデータ利用の両方の立場になり得る地下埋設物管理事業者は、単独での一方的なデータ提供には消極的である一方、双方向のデータ共有には積極的な事業者も多数見受けられた。このことから、一定の信用ができる相手と機微な情報に十分配慮したデータ共有の場を切望していたのではないかと考えられる。

<建機 MG>

実証地でのユースケースでは KPI としても施工品質の向上に寄与することは確認できた。ただし、試験場という特殊な工事条件であるため、施工時における掘削以外にも「安心安全」を目標に施工現場の熟練技術者が配慮している点は他にも多数存在する。（例：騒音対策、ガードマンの配置、地下の水分量による掘削難度の検討、掘削中の地質変化から過去の掘削履歴を読み取って、事業者の敷設深度等の特性も踏まえて管路の位置を推定する等）

これらを含めて空間 ID を利用した施工現場の業務改善に期待する声は、複数事業者から寄せられた。

実証内容そのものへの意見として、建機 MG よりも建設機械マシンコントロールを望む現場技術者からの声は多く頂いた。持続可能で安心安全な施工の実現に向け、空間 ID を用いた手法も含め様々な検討が必要である。

一方で、地下埋設物管理事業者へ実証内容の説明を行ったところ、複数の事業者から共有した設計図を閲覧することにより自社への申請無く自社設備周辺を工事される可能性が上がることで事前に検知できない事故の発生リスクが高まることや、共有先の事業者からの二次的な情報漏洩リスクが高まることを懸念する声が寄せられた。

2) 改善策の検討

＜データ整備、及び、地下埋設物照会（地下埋設物設備管理全般）＞

地下埋設物管理事業者から受領するデータの状態が技術的難易度のレベル3のデータ提供が可能になることで、自動化・半自動化のデータ整備が可能となる。よって、レベル1及び2の地下埋設物管理事業者に対する効果的な改善策の推進が重要と考える。

両レベルの改善策は以下のとおり。

- ・レベル1：空間 ID への変換に必要な項目を地下埋設物管理事業者へ提示し、レベル3相当のデータ提供を促す。
- ・レベル2：空間 ID への変換に必要な位置精度（LoD2 相当）を事業者へ提示し、竣工図等より高精度な図面情報のデータ提供を促す。

将来にわたって地下埋設物管理事業者から継続的にデータが提供されるような仕組みの構築については、データ提供増加に伴う負担軽減とデータの継続提供によるメリットの提示の2つの手法が考えられる。

データ提供増加に伴う負担の軽減については、提供元となる地下埋設物管理事業者が運用するシステムと空間 ID 基盤が表 4.5-17 のようなデータフォーマットを用いたシステム間連携の運用を確立することで解消可能と考えられる。

またデータ提供事業者への継続提供メリットについては、自社設備周辺を工事した施工事業者から、一定の条件を満たしたデータ（※）の共有を受けることで、空間 ID の元データでもある自社設備情報のデータ鮮度や精度の向上に寄与することが可能と考えられる。

※例：マンホール等の高精度な位置基準として利用可能な構造物を含む自社設備、様々な角度から撮影した写真（SfM や MVS）や LIDAR 等のセンサー情報により取得したデータ。これらは後処理により、位置基準情報から地理空間情報が付与可能。

<建機 MG>

施工時における掘削以外にも「安心安全」を目標に施工現場関係者が配慮している点は他にも多数存在する。そのため、地下領域だけでなく地上領域も含め施工現場全般の「安心安全」の確保、すなわち事故ゼロという施工品質を維持するため、様々な施工現場の課題に対し、空間 ID も含めた課題解決のアプローチが必要である。

上記以外に熟練技術者だからこそ配慮している点も多数存在している。例えば、掘削時の地質変化等から施工履歴を読み取る技術等がノウハウとして蓄積されている。これらの技術について ICT 機器を通じて再現することは「安心安全」を支える上で重要な要素である。センサーで検知した地質変化パターンと熟練者の操作パターンを分析して、空間 ID に関連づけることで、熟練技術者のノウハウを形式知化することで、実現できる可能性がある。

(4) 将来展望

地上・地下というエリアからアプローチするのではなく、ICT 建機を含む様々な ICT 機器の利用や操作に対するリスクという観点からアプローチを行い、地下埋設物工事だけでなく、ICT 建機が活躍する幅広い場面（災害復旧、等）で想定される課題を洗い出す必要がある。これまでの地下領域の実証での知見を踏まえ、段階的にユースケースを通じて洗い出した課題について、空間 ID を含む様々なアーキテクチャや技術を用いて解決するため検討活動を推進することが重要である。

<空間 ID の普及に向けた活動について>

これまでの工事に対する品質は「安心安全」＝「事故ゼロ」と言われるほど、安全に対する要求品質は高い。現場、現物、現実の「三現主義」という言葉もあるとおり、設備管理データを含むデータ全般に信用がない社会が構築されている。労働人口の減少に伴い人に依存した産業構造の脱却を図るためには、データ全般が社会的な信頼を得ることが重要となる。そのため、社会が人に求めてきた内容を空間 ID 等のデータに置き換えるための要求事項を取りまとめて信頼を積み重ねると共に、空間 ID が利用可能な場面を増やすデータの拡充するための活動を推進することが重要である。

またデータ整備を持続可能なものとするため、レベル 3 を前提とした空間 ID の半自動化によるデータ整備を前提とした、部分的な空間 ID の社会実装を開始する。最終的にはレベル 6 を前提とする空間 ID の完全自動化によるデータ整備により、日本全国における空間 ID の普及を推進することが重要である。

<空間 ID を用いた ICT 建機・技術者への周辺情報提供サービス>

建機を利用する場面は施工現場のみに留まらず、災害現場等でも活用されている。現在は **i-Construction** 等により施工現場の課題解決に向けた動きは存在するが、昨今急増する大規模災害への対応として、災害現場における ICT 建機ならではの更なる利活用が見込まれる。例えば、ICT 建機の遠隔操作が挙げられる。遠隔操作が実現可能になれば、安全が確保されていない現場への建機派遣や、災害で移動手段が寸断されている現場に移動時間ゼロで技術者を派遣できるといった効果がある。ICT 建機の遠隔操作に必要な低遅延回線を準備し、高精度な ICT 建機の操作に必要な情報を得るためのデータ要求や課題を洗い出すと共に、空間 ID を用いたデータ流通がこれらの課題解決に向けてどの程度寄与するのか検討を進めることが重要である。

4.6 地上・地下ユースケース

4.6.1 実証概要

(1) ユースケースの現状と課題・ペインポイント

デジタルツインには、あらゆる場所・時間のモノ・コト・ヒトの情報を集約し、適切な計画・連携・意思決定に活用できることが求められるが、実現にあたり現状、以下の2つが課題となっている。

- ・(特に屋内空間において) データが存在しないエリアが多い
- ・データ取得のために個別センサーを設置するには多くのコストや手間がかかる

これらの課題ゆえに垂直統合のユースケース・サービスからの脱却ができず、一つひとつの導入コストが大きくなる傾向にあり、デジタルツイン実現の障害となっている。そのため、これらの課題に対し、既存の固定センサー及び今後さらに増えてくることが予想されるモビリティを活用することで解決が可能だと考えてユースケースを設定した。

本ユースケースの中では「人口統計情報を活用した防災(以下、防災とする)」と「AIによるフィードフォワード空調制御(以下、AI空調とする)」の2つのユースケースを扱う。

「人口統計情報を活用した防災」のユースケースでは既設のセンサーから新たな情報としてドコモが提供している基地局データを元とした2次元の人口統計情報であるモバイル空間統計を3次元化したデータ(以下、三次元人口統計データ)を生成し、空間IDに紐付けることで課題を解決できるのではないかとという仮説を立てた。

また「AIによるフィードフォワード空調制御」のユースケースでは、自律移動ロボット(英語: **Autonomous Mobile Robot**、以下、「AMR」という)から効率的なデータの収集を行い、空間IDに紐付けることで課題を解決できるのではないかとという仮説を立てた。またAMRによるセンサーデータ収集のことを本ユースケースでは移動センシングと呼ぶこととした。

(2) 将来ビジョン(課題を解決したビジョン)

(1)の課題・ペインポイントを踏まえ、空間IDを活用することで実現する将来ビジョンを次のように設定した。

- ・地上・地下の屋内空間において、空間IDに紐付く様々なデータが安心・安全、リアルタイムに生成・利用できるようになり、人や移動体の位置認証技術と合わせることで空間の価値が高まって市場が創出され、「人間を中心とした」サービスと「施設管理者」のエ

リアマネジメントの両立、平常時／非常時のデュアルユースの様々なサービスが実現されるようになる。

(3) 経済的・社会的検証項目の設定

将来ビジョンを実現するために達成すべき上位目標（KGI）を、経済的価値・社会的価値の観点から設定し、KGIを達成するために重要な要因（KSF）を導出した。さらに、KSFを達成するために2022年度の実証にて検証すべき指標としてプロセスKPIも同様に検討を行い、これらのプロセスKPIを本実証での経済的・社会的検証項目として設定することとした。

KGI、KSF、プロセスKPIは表4.6-1のように整理した。なお、本実証における各プロセスKPIの具体的な目標値・目標状態は表4.6-2及び表4.6-3に掲載している。

表 4.6-1 KGI、KSF、プロセス KPI（経済的・社会的検証項目）の一覧

No	観点	KGI	KSF	プロセス KPI (経済的・社会的検証項目)
1	経済的価値	【防災】 三次元人口統計データによるユーザーの利便性・満足度向上	防災計画のため有効なデータ収集	<ul style="list-style-type: none"> 提供エリア拡大の実現性 三次元人口統計の空間 ID 方式の整備の実現性 要件への適合性
2		【AI 空調】 センシングデータを収集・利用するサービス及びそのユーザーの満足度向上	移動センシングによるサービス導入コストの低下	<ul style="list-style-type: none"> 移動センシングによる効率化 副業的移動センシングによる効率化
3	社会的価値	【防災】 普及・汎用・拡張性	新規ユースケース創出の容易性	<ul style="list-style-type: none"> 防災活用における有用性
4		【AI 空調】 屋内空間のセンシングデータが収集／集約されることによる空間の高付加価値化（生産性・安全性・快適性）	時空間補間による精度	<ul style="list-style-type: none"> 屋内空間の実測値、補間値含めた管理方法 モビリティ 1 台での該当ボクセルに対する網羅率 補正可能なボクセルの網羅率

表 4.6-2 プロセス KPI（経済的・社会的検証項目）の詳細と目標値（防災）

観点	検証項目	詳細・定義	現状	空間 ID 活用時
経済	三次元人口統計の空間 ID 方式の整備の実現性	現在未定義である三次元人口統計の空間 ID 化方式の実現性の確認	標準地域メッシュかつ、階層分けした人口統計の実現性が確認されている	空間 ID 変換方式の実現性が確認される
経済	提供エリア拡大の実現性	空間 ID 化に必要な情報（標高情報等）準備等、提供エリア拡大時に必要な対応の確認	標準地域メッシュかつ、高さ方向が階層で分けた人口統計の実現性が確認されている	空間 ID 化に必要な情報が明確化され、提供エリア拡大時の実現性と課題が明確となる
社会	要件への適合性	防災ユースケースでの要件（空間解像度）とのギャップ確認	空間 ID を利用した防災活用の要件が確認されていない	ボクセルベースでの人口統計と防災分野での要件との適合性、ギャップ、課題が明確となる
社会	防災活用における有用性	防災ユースケースごとの空間 ID 化された三次元人口統計データ活用による有用性の確認	空間 ID を利用した防災活用の有用性が確認されていない	防災分野での空間 ID 化の有用性、課題が明確となる

表 4.6-3 プロセス KPI（経済的・社会的検証項目）の詳細と目標値（AI 空調）

観点	検証項目	詳細・定義	現状	空間 ID 活用時
経済	移動センシングによる効率化	AI 空調を固定センサーで稼働させた場合と比較し、移動センサーで稼働させた場合の導入／ランニング費用の削減可能性のある項目を明らかにする。	—	AI 空調のセンサー費用について、移動センシング導入のメリットの有無が確認できるようになること
経済	副業的移動センシングによる効率化	データをシェアする仕組みを活用し、主業務以外へのモビリティが利用されるユースケースを将来構想も含めて検討する。想定されるユースケース数を KPI とする。	—	3 ユースケース
社会	屋内空間の実測値、補間値含めた管理方法	実測値、補間値含めた管理方法が検討され、仕様が定義されること。	—	テーブル定義がなされること

観点	検証項目	詳細・定義	現状	空間 ID 活用時
社会	モビリティ 1 台での該当ボクセルに対する網羅率	AI 空調の制御に必要な固定センサーの設置場所に該当するボクセルに対して、モビリティ 1 台が走行することによってどの程度網羅できるか確認する。	—	網羅率が確認されること
社会	補正可能なボクセルの網羅率	モビリティで収集したデータによって、欠損となったボクセルの数に対して補正可能であったボクセルの数の割合を確認する。	—	網羅率が確認されること

(4) 検証プロセス

先述の経済的・社会的検証項目を検証するために、本実証での検証プロセスを下図のように設定し、実証を行った。

防災ユースケースにおいては図 4.6-1 に示すプロセスを設定し、空間 ID 情報を付与した三次元人口統計情報の防災分野での有用性について有識者ヒアリングを通じて机上検証を行った。

AI 空調ユースケースにおいては図 4.6-2 に示すプロセスを設定し、自律移動ロボット (AMR) にセンサーを搭載して効率的なデータ収集を行い、収集したデータに対して空間 ID を付与することで、設定した課題の検証を行った。

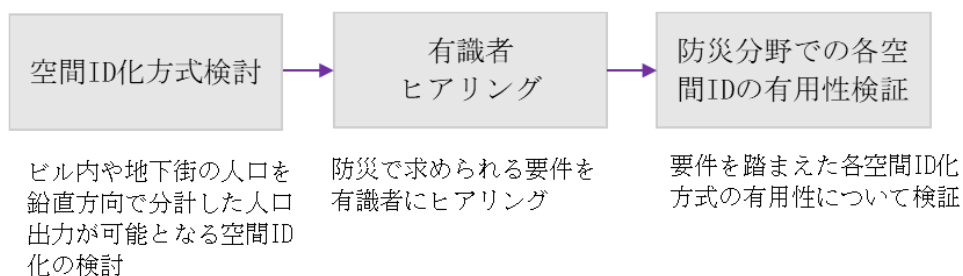


図 4.6-1 防災ユースケース検証プロセス図

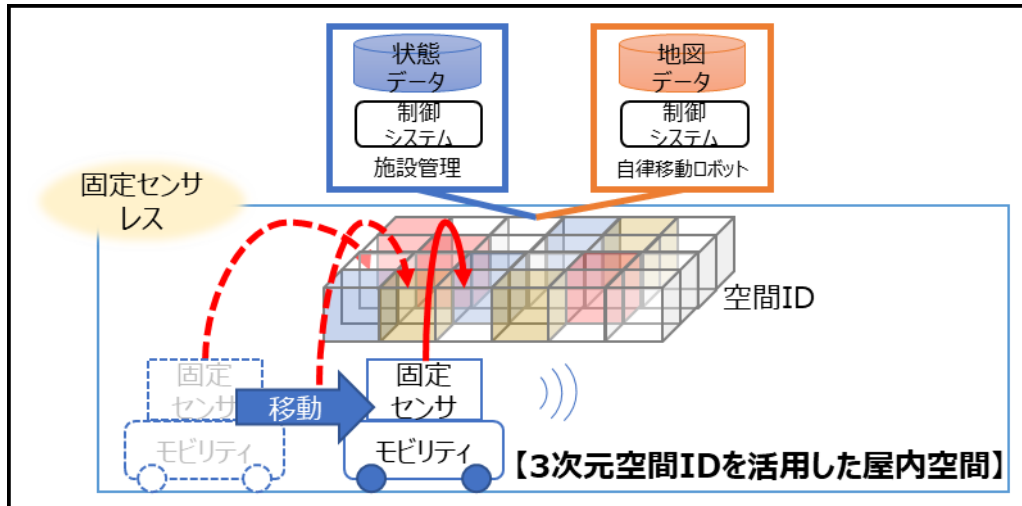


図 4.6-2 AI 空調ユースケース検証プロセス図

(5) 技術的検証項目の設定

設定したユースケースにおいて空間 ID を活用するにあたり、技術的に検証が必要な項目を技術的検証項目として設定した。設定した技術的検証項目を表 4.6-4 及び表 4.6-5 に示す。

表 4.6-4 技術的検証項目の一覧（防災）

No	検証項目	詳細
1	空間 ID 化方式の妥当性	要件に対し、必要となる出力仕様の机上検討を行い、有識者へのヒアリングにより確認する。

表 4.6-5 技術的検証項目の一覧（AI 空調）

No	検証項目	詳細
1	出力結果の妥当性	AI 空調が補正データを利用した際に問題なく稼働できるかを確認する。 固定センサーからのデータをインプットとしたときの算出シナリオと、移動センサーのデータをインプットとしたときの算出シナリオとを比較し、同等であるかどうかを評価する。

(6) データ・メタデータ

実証のために使用するデータの一覧をユースケースごとに表 4.6-6 及び表 4.6-7 に示す。

表 4.6-6 本実証で使用するデータ一覧(AI 空調)

項	データ名	概要	空間 ID 紐付け
1	AMR 用地図情報	AMR が自律走行を行うための 3D LiDAR 地図情報	有
2	温湿度情報 (AMR)	AMR に設置したセンサーから収集する空調制御エリア内の温湿度の情報	有
3	温湿度情報 (固定)	壁面に設置したセンサーから収集する空調制御エリア内の温湿度の情報	無

表 4.6-7 本実証で使用するデータ一覧(防災)

項	データ名	概要	空間 ID 紐付け
4	モバイル空間統計 ²⁹	NTT ドコモの基地局情報を使用して作成される 2 次元人口の統計情報	無
5	東京駅周辺屋内地図オープンデータ ³⁰	東京駅周辺の地下の屋内地図情報	無

1) AMR 用地図情報

3D LiDAR で取得した点群データである。実証を実施する対象のフロアについて作成を行う。自律移動のために利用するとともに、収集した温湿度データの収集場所の情報の算出元となる。

表 4.6-8 AMR 用地図情報

項目	内容
整備期間	2022年12月14日
作成方法	事前取得した LiDAR 点群データを用い、SLAM 技術により地図を作成
データフォーマット	pcd

²⁹ 「【公式】モバイル空間統計 | 位置情報などのビッグデータを利用した人口統計情報」
<https://mobaku.jp/>

³⁰ 「東京駅周辺屋内地図オープンデータ (令和元年度版) - データセット」
<https://www.geospatial.jp/ckan/dataset/mlit-indoor-tokyo/>

項目	内容
新規整備／既存データ	新規

2) 温湿度情報 (AMR)

AMR に温湿度センサーを搭載し、走行しながら収集する。収集対象エリアは空調制御エリア内であり、AMR は店舗や出入口付近は避けて走行するため、収集できるエリアが限定的になる。収集した温湿度は、収集地点の位置情報を AMR の位置情報とし、紐付けて、空間 ID 基盤システムに連携する。

表 4.6-9 温湿度情報(AMR)

項目	内容
整備期間	2023年1月16日～2023年1月27日
作成方法	AMR に温湿度センサーを搭載し、走行しながら収集
データフォーマット	テキスト
新規整備／既存データ	新規

3) 温湿度情報 (固定)

空調制御対象エリアの壁面に、温湿度センサーを設置し、収集する温湿度情報。温湿度情報 (AMR) との比較検証のために利用する。

表 4.6-10 温湿度情報(固定)

項目	内容
整備期間	2023年1月16日～2023年1月27日
作成方法	AMR に温湿度センサーを搭載し、走行しながら収集
データフォーマット	テキスト
新規整備／既存データ	新規

空間 ID に紐付ける際のデータ仕様については 3 章記載のデータ仕様案に則り、データ・メタデータを作成し、品質評価を行い、実証時の仕様に問題ないことを確認した。

(7) 検証方法

(5) に記載した経済的・社会的検証項目及び技術的検証項目の検証方法を表 4.6-11 及び表 4.6-12 に記載する。

表 4.6-11 検証方法（防災）

No	検証項目	検証方法
1	三次元人口統計の空間 ID 方式の整備の実現性	<p>【検証方法】 空間 ID の仕様に基づき、空間 ID 化方式の検討及び課題を抽出する</p> <p>【結果の判定方法】 既存の空間 ID の仕様に基づき空間 ID を付与可能か否か評価する</p>
2	提供エリア拡大の実現性	<p>【検証方法】 1 にて検討した空間 ID 化方式を行うために必要な情報の取得可能性を確認する</p> <p>【結果の判定方法】 必要情報の取得可能性を踏まえ、エリア展開時に空間 ID を付与可能か否か評価する</p>
3	要件への適合性	<p>【検証方法】 防災計画・災害対策に必要となる要件を、有識者へのヒアリングにより確認する</p> <p>【結果の評価方法】 空間 ID 化された三次元人口統計が上記の要件に適合可能であるかを評価する</p>
4	防災活用における有用性	<p>【検証方法】 空間 ID 化された三次元人口統計の防災計画・災害対策への有用性を有識者へのヒアリングにより確認する</p> <p>【結果の評価方法】 空間 ID 化された三次元人口統計の有用性が認められるかを評価する</p>
5	空間 ID 化方式の妥当性	<p>【検証方法】 各要件において、どのような出力仕様が有効か、またその活用方法について評価</p> <p>【結果の評価方法】 上記の確認結果により妥当性を評価する</p>

表 4.6-12 検証方法 (AI 空調)

No	検証項目	検証方法
1	移動センシングによる効率化	<p>【検証方法】 AI 空調を固定センサーで稼働させた場合と比較し、移動センサーで稼働させた場合の導入・ランニング費用の削減可能性のある項目の洗い出し、及び上記で設定されたタリフに基づいて実証対象のビル全体に AI 空調を導入した場合のコストを洗い出す</p> <p>【結果の判定方法】 定義に基づき、評価を行う</p>
2	副業的移動センシングによる効率化	<p>【検証方法】 空間 ID にモビリティが収集したセンサーデータを紐付けて流通させる仕組みができることにより、実現するユースケースを検討する。</p> <p>【結果の判定方法】 検討の結果出てきたユースケース数</p>
3	屋内空間の実測値、補間値含めた管理方法	<p>【検証方法】 テーブル定義の仕様が検討され、仕様書として整備されていることを確認する</p> <p>【結果の判定方法】 仕様書の有無</p>
4	モビリティ 1 台での該当ボクセルに対する網羅率	<p>【検証方法】 モビリティを AI 空調制御エリアで走行させ、固定温湿度センサーの代替となる温湿度データを収集する。そのデータ数が AI 空調の必要とするデータ数に対してどの程度網羅的に収集できるかを評価する</p> <p>【結果の判定方法】 定義に基づき、評価を行う</p>
5	補正可能なボクセルの網羅率	<p>【検証方法】 モビリティで収集した温湿度データの欠損を、時空間補完できたデータ数を確認する</p> <p>【結果の評価方法】 定義に基づき、評価を行う</p>
6	出力結果の妥当性	<p>【検証方法】 AI 空調が補正データを利用した際に問題なく稼働できるかを確認する。固定センサーからのデータをインプットとした場合の算出シナリオと、移動センサー方のデータをインプットとしたときの算出シナリオとを比較し、同等であるかどうかを確認する</p> <p>【結果の判定方法】 定義に基づき、評価を行う</p>

上記の KPI と検証項目に基づいて、実証計画を策定し、実証・考察を行った。

(8) システムコンセプト

本ユースケース実証のシステムコンセプトを図 4.6-3 に示す。本実証にて開発したスコープは図内のオレンジ枠内である。3次元空間情報を活用するために実施した開発内容を表 4.6-13 に示す。

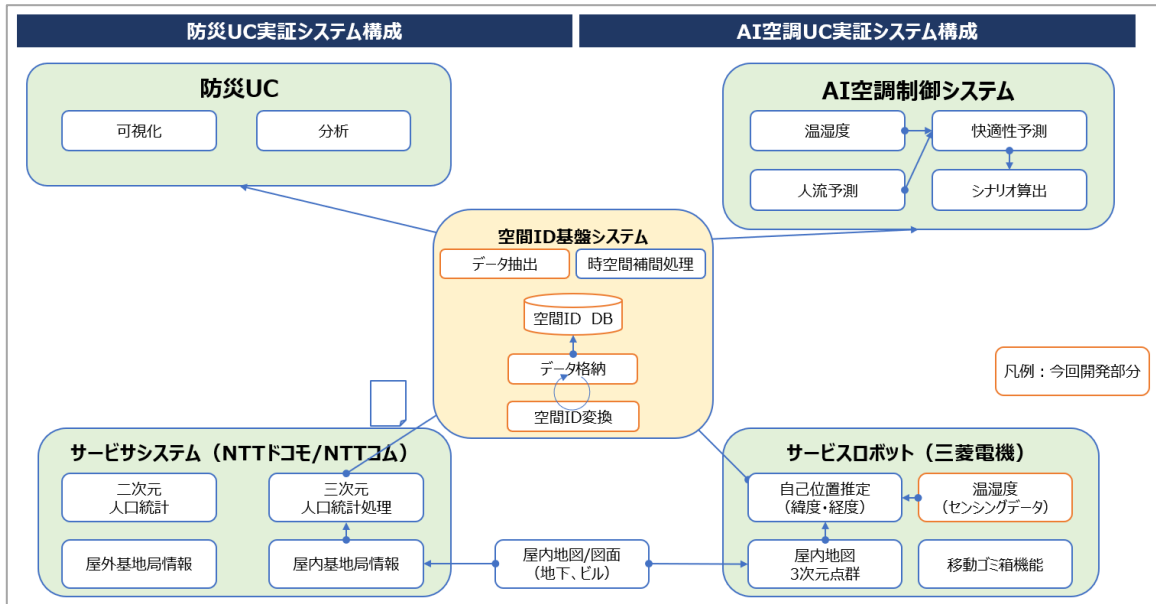


図 4.6-3 システムコンセプト(防災については将来像)

表 4.6-13 開発内容

項目名	概要説明
温湿度収集機能	AMR に搭載した温湿度データを自己位置と紐付けて空間 ID 基盤に連携する機能
空間 ID 変換機能	AMR の自己位置を空間 ID に変換する機能(対象エリアが限定的であったため、あらかじめライブラリで算出した変換の紐付け利用)
データ格納機能	AMR からのデータを DB に格納する機能
データ抽出機能	センシングデータを抽出し、AI 空調に制御システムに連携する機能

(9) ステークホルダー

表 4.6-14 及び表 4.6-15 に記載のステークホルダーと適宜連携し、実証・開発を実施した。

表 4.6-14 防災ユースケースにおけるステークホルダー

ステークホルダー	実証における役割
防災計画策定者	本検証を行うにあたり、事前の意見交換を行うためのヒアリング先
防災関連有識者	検証項目3「要件への適合性」、検証項目4「防災活用における有用性」に関するヒアリング先

表 4.6-15 AI 空調ユースケースにおけるステークホルダー

ステークホルダー	実証における役割
モビリティサービス事業者 (三菱電機)	実証におけるモビリティの提供者、及び経済評価項目1の評価者
データ利用者 (NTT データ)	実証における AI 空調サービスの提供者、及び経済評価項目2 及び技術評価1の評価者

(10) 実証対象地

机上検討による防災ユースケースの実証地は、大規模都市を想定し、表 4.6-16 に記載の場所を選定した。

表 4.6-16 実証地 (防災)

実証地名称	特質
高層ビル	商業施設とオフィス施設が混在するビル
地下街	ビル街と繋がりがあがる地下街

AI 空調ユースケースの実証地は、以下の点を考慮し、表 4.6-17 に記載の場所を選定した。

- ・固定センサーと移動センシングの両者を用いた空調制御の効果測定が実現可能なビル

表 4.6-17 実証地 (AI 空調)

実証地名称	所在地
アレア品川ビル	東京都港区港南1丁目

4.6.2 AI 空調実証結果

(1) 実証実施概要

三菱電機製のゴミ箱機能付きの AMR に温湿度センサーを搭載し、温湿度データを収集した。あらかじめ取得した点群データから走行用の地図を生成し、AMR の走行ルートを設定した。温湿度データ取得時の AMR の位置は、AMR 内の内部座標から絶対座標に変換し、空間 ID との紐付けを行った。空間 ID に紐付けた温湿度データを AMR から空間 ID 基盤システムに連携し、データの欠損が生じているボクセルに対して時空間補完処理を行った。その結果を、AI 空調に連携し、空調最適化のシナリオ算出を行い、実際に空調制御を行った。また温湿度データの検証のための温湿度センサーと、人流データ収集用のセンサーを壁面に設置し比較検証を行った。

- ・実証期間：2023年1月16日（月）～2023年1月27日（金）の平日
- ・実働時間：9時00分～17時30分

実証で利用したゴミ箱機能付き AMR のイメージを図 4.6-4 に、実証風景を図 4.6-5 に示す。また、実証地内での AMR 走行ルートを図 4.6-6 に、ビル内の空調制御範囲及び検証用固定センサー設置位置を図 4.6-7 に示す。



図 4.6-4 ゴミ箱機能付き AMR



図 4.6-5 実証光景

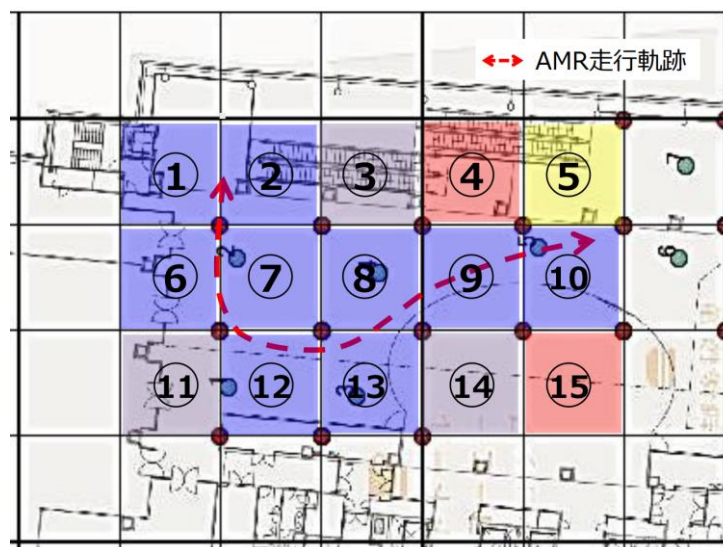


図 4.6-6 AMR 走行ルート

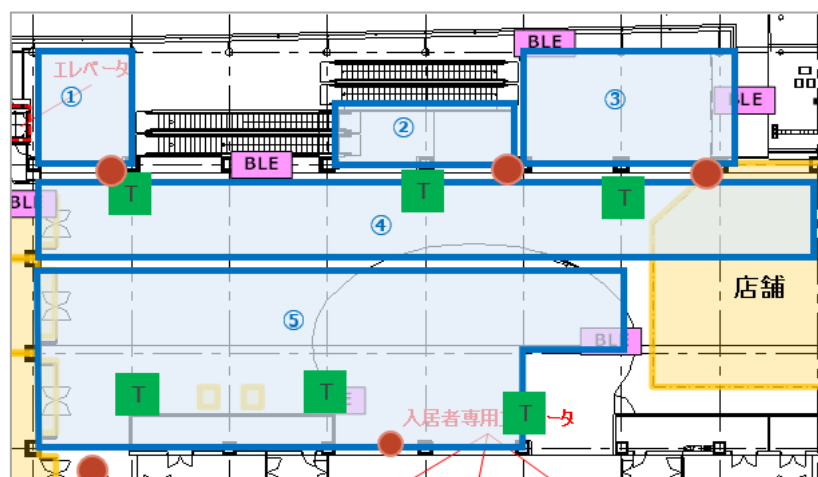


図 4.6-7 空調制御範囲及び検証用固定センサー設置

(青枠：空調制御範囲、T：固定温湿度センサー、赤丸：人流データ収集用センサー)

また、本実証でゴミ箱機能付きの AMR から収集したデータを空間 ID に紐付けをする際に利用したボクセルサイズと当該ボクセルサイズに対応した収集データの対応付けを以下に示す。

1) ボクセルサイズ

本ユースケースで収集した温湿度を空間 ID に紐付けるにあたり、利用側の AI 空調サービスの要件として「分割した各空間を異なる空間と識別するための代表点」が指定されたため、それぞれの代表点が異なる空間 ID に配置される最小サイズとなるズームレベルを算出し、本実証ではズームレベル 22 を採用することとした。

2) 収集データ網羅率

AMR から収集した温度データの空間 ID 別の網羅率を図 4.6-8 に示す。AMR で 5~10 秒間隔で収集したデータを、1 分に 1 回の頻度でまとめて空間 ID 基盤システムに連携し、AI 空調が必要とする 10 分ごとのデータに加工した。

- ・温度データ空間 ID 別網羅率

全期間：82.6%（疑似値あり） ※実データのみ場合は 52.4%

時間ごとの温度情報	2023/1/24 17:00			
y/x	3725254	3725255	3725256	3725257
1652354	温度: - 湿度: - 情報フラグ: 正精度: -	温度: - 湿度: - 情報フラグ: 正精度: -	温度: - 湿度: - 情報フラグ: 正精度: -	温度: - 湿度: - 情報フラグ: 正精度: -
1652355	温度: - 湿度: - 情報フラグ: 正精度: -	温度: 20.51809 湿度: 24.74993 情報フラグ2 正精度: A4	温度: 20.526787 湿度: 24.721071 情報フラグ1 正精度: 1	温度: 20.535715 湿度: 24.73 情報フラグ1 正精度: 1
1652356	温度: - 湿度: - 情報フラグ: 正精度: -	温度: 20.509394 湿度: 24.778788 情報フラグ1 正精度: 1	温度: 20.525002 湿度: 24.755001 情報フラグ1 正精度: 1	温度: 20.472069 湿度: 24.938793 情報フラグ1 正精度: 1
1652357	温度: - 湿度: - 情報フラグ: 正精度: -	温度: 20.502 湿度: 24.835001 情報フラグ1 正精度: 1	温度: 20.513124 湿度: 24.768436 情報フラグ1 正精度: 1	温度: 20.48818 湿度: 25.123117 情報フラグ1 正精度: 1
1652358	温度: - 湿度: - 情報フラグ: 正精度: -	温度: 20.50193 湿度: 24.805965 情報フラグ2 正精度: A4	温度: 20.501858 湿度: 24.776928 情報フラグ1 正精度: 1	温度: 20.37 湿度: 25.19 情報フラグ1 正精度: 1
1652359	温度: - 湿度: - 情報フラグ: 正精度: -	温度: 20.508148 湿度: 24.700237 情報フラグ2 正精度: B2	温度: 20.514366 湿度: 24.594507 情報フラグ1 正精度: 1	温度: 20.442184 湿度: 24.892254 情報フラグ2 正精度: A4
1652360	温度: - 湿度: - 情報フラグ: 正精度: -	温度: 20.514542 湿度: 24.634482 情報フラグ2 正精度: C2	温度: 20.520933 湿度: 24.508667 情報フラグ1 正精度: 1	温度: 20.48156 湿度: 24.70046 情報フラグ2 正精度: B2
1652361	温度: - 湿度: - 情報フラグ: 正精度: -	温度: - 湿度: - 情報フラグ: 正精度: -	温度: - 湿度: - 情報フラグ: 正精度: -	温度: - 湿度: - 情報フラグ: 正精度: -

図 4.6-8 収集データのイメージ（青：実データ、白：データなし、その他：類似データ）

(2) プロセス KPI (経済的・社会的検証項目) に対する結果

プロセス KPI (経済的・社会的検証項目) について得られた結果を表 4.6-18 に示す。

表 4.6-18 プロセス KPI (経済的・社会的検証項目) に対する結果

No	観点	プロセス KPI (経済的・社会的検証項目)	目標値/ 目標状態	結果
1	経済的価値	移動センサー利用による効率化	削減可能性の項目の有無	固定センサーに比べて、移動センサーを用いることで6か所の固定センサーに対して1つの移動センサーで計測可能であった。 モビリティ上のセンサー導入/維持コストは固定センサーに比べて小さく、コスト削減が見込まれる結果となった。
2		副業的移動センシングによる効率化	ユースケースを3項目想定	屋内の温度・湿度を対象としたモビリティ例：掃除ロボット/警備ロボット/配膳ロボット 公共交通機関によるセンシング(車道) 配達台車によるセンシング(歩道)
3	社会的価値	屋内空間の実測値、補完値含めた管理方法	管理方法の検討と仕様定義	仕様定義を実施。 ※詳細は後述
4		モビリティ1台での該当ボクセルに対する網羅率	網羅率の確認	52.4% (実データのみ) (82.6%※疑似値含む)
5		補正可能なボクセルの網羅率	網羅率の確認	63.6%

(3) 技術的検証項目に対する結果

技術的検証項目について得られた結果を表 4.6-19 に示す。

表 4.6-19 技術的検証項目に対する結果

No	検証項目	詳細	結果
1	出力結果の妥当性	AI 空調が補正データを含むデータを利用した際に問題なく稼働できるかを確認する。 固定センサーからのデータをインプットした時の算出シナリオと移動センサーのデータをインプットとした時の算出シナリオを比較し、同等であるかどうかを評価する。	可能。 固定センサーよりも省エネ効果という面で良い結果が出ているため、同等以上のシナリオの算出が行えている。

4.6.3 AI 空調考察

(1) 結果のまとめ

1) 経済的検証項目

実証実験で利用する屋内フロアを 24 のボクセルに定義し、モビリティが巡回できる範囲でのデータ収集を実施して以下の検証結果を得た。検証対象のボクセルは実証で制御する空調の範囲とし、図 4.6-9 のとおり定義した。



図 4.6-9 検証対象ボクセル

No.1 の移動センサー利用による効率化に関しては固定センサーに比べて、移動センサーを用いることで6か所の固定センサーに対して1つの移動センサーで計測可能であった。

モビリティ上のセンサー導入／維持コストは固定センサーに比べて小さく、コスト削減が見込まれる結果となった。

No.2 の副業的移動センシングによる効率化に関してはフロア巡回を実施できるロボット機器が想定できる。空調系の移動センシングの活用としては、今回のごみ箱機能付きの AMR の代替案として、屋内で自動移動を行う掃除ロボット／警備ロボット／配膳ロボットが対象となると考えられ、副業的情報の要素としては、

- ・環境系：温度／湿度／気圧／風量／風向／騒音／振動／明暗／環境物質の検出
- ・特殊：携帯キャリア電波強度／GPS 強度／その他電波強度
- ・人関連：人数／密度／出入数等

が考えられる。ただし、各要素の特性により、モビリティ上の実装については多様性があるので検討が必要ではある。

またサービスロボット以外に視野を広げると、携帯端末やカーナビ等で利用されているプローブ情報も活用の対象となると考えられる。より視野を広げた場合には、動体の副業的センシングと捉えることが可能となり、鉄道・新幹線や車両・航空機等の各種交通手段によるセンシングも検討対象として含めることができる。

2) 社会的検証項目

No.3 の屋内空間の実測値、疑似値含めた管理方法に関しては空間 ID に地物／事象データを個別に紐付けることを可能とするため、設計段階において測位結果格納用のテーブルを「メタデータ（空間 ID）」と「関連する属性情報（取得日時や温度データ）」の2つのテーブル（Link テーブルと Data テーブル）に分割した。また、実測値と疑似値を区別するフラグを属性情報テーブル（Data テーブル）に付与した。さらに疑似値については情報の正確性をフラグとは別で保持し、正確性については多段階の情報を保持している。

No.4 は検証対象の 24 のボクセルに対して、AMR 1 台で実データを収集もしくは疑似値の生成ができた割合を網羅率とした。実データのみ網羅率は 52.4% となった。また AMR 1 台での疑似値を含めた場合は 82.6% となった。検証対象となる総データ数は当該ボクセル数（24）と実施期間（10 日間の 9 時 0 0 分～17 時 3 0 分）から 9,180 件であり、そのうち AMR によって実データ収集ができたものが 4,810 件、補正処理による疑似値が 2,779 件となった。

No.5 の補正可能なボクセルの網羅率に関しては、検証対象となる総データ数 9,180 件から、AMR によって実データ収集ができたもの 4,810 件を除いた、4,370 件を母数とし、そのうち生成できた疑似値が 2,779 件であったので 63.6% となった。

3) 技術的検証項目

No.1については、当該エリアでの固定式センサーのデータでの算出シナリオとモビリティによる移動センサーデータ（補完データ含む）での算出シナリオを比較して、出力結果の妥当性について測定温度、シナリオ算出結果、予測温冷感申告指数（英語：Predicted Mean Vote、以下、「PMV」という）で検討した。

4) 測定温度

固定センサーと移動センサーそれぞれで収集した温度の比較結果を図 4.6-10 に示す。一部、固定センサーより移動センサーの方が高い温度が計測されている箇所があるが、固定センサーは壁に固定されているため、各空間の温度としては移動センサーの方が正しい値を収集できたと考えられる。

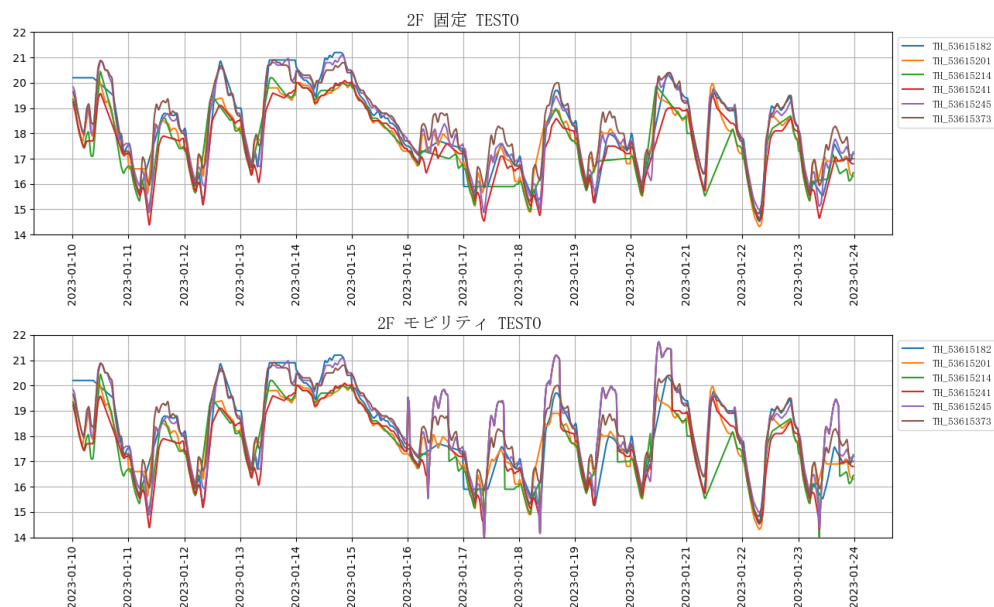


図 4.6-10 固定センサーと移動センサーの温度比較

(上段：固定センサー、下段：移動センサー)

5) シナリオ算出結果

固定センサーと移動センサーそれぞれで収集した温度を元に AI 空調制御によって算出された温度設定シナリオを比較した結果を図 4.6-11 に示す。AI のランダム性により、全く同じシナリオを生成することは困難であるが、固定センサーと比較し、移動センサーを利用した方が低い温度設定のシナリオとなっている。1) の結果のとおり、移動セン

サーの方は一部温度が高めに測定されていることから、固定センサーよりも低い温度設定のシナリオが生成されたと考えられる。

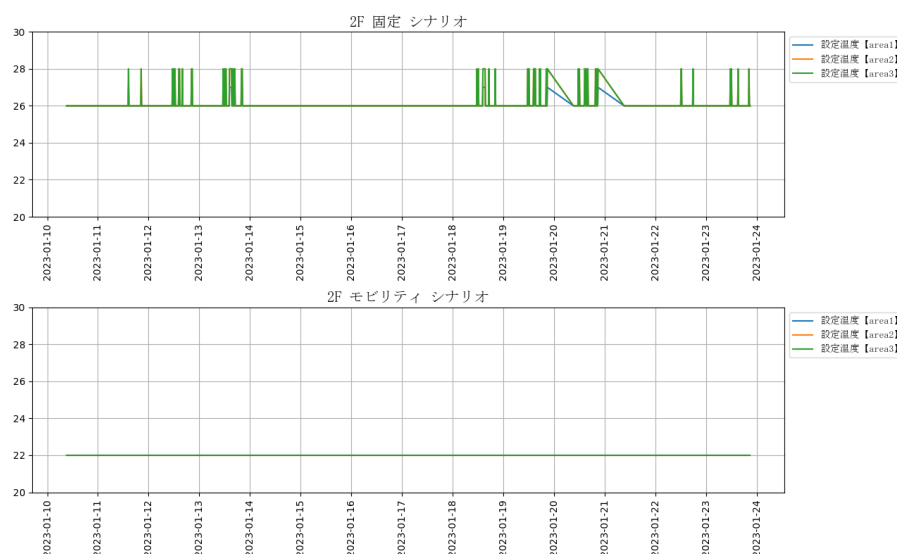


図 4.6-11 シナリオ比較

(上段：固定センサーを利用した場合、下段：PMVに搭載したセンサーを利用した場合)

6) PMV (予測平均温冷感申告) 指標

PMV 指標とは人体の熱負荷と人間の温冷感を結びつけた温熱環境評価の指標であり、一般的には PMV が-2 から+2 の範囲内の値を温熱環境評価に用いるのがよいとされている。固定センサーと移動センサーそれぞれを利用した場合の PMV 指標の比較結果を図 4.6-12 に示す。

比較の結果、2) の結果で記載したとおり、AMR で収集した移動センサーデータは低めの温度となっていることから、移動センサーを利用した方が予測 PMV もやや低めの結果となった。

しかし、PMV の値は-0.5 以内であることから人の感覚として影響は少ないと考えられる。本実証期間は冬季であり、通常は暖房設定で運転することになるため、固定センサーを用いた時よりも移動センサーを用いた時の方が設定温度を低くしても問題ない運転ができるということが確認できるため、固定センサーと比較し、AMR で収集した移動センサーデータをインプットした場合の方が省エネ効果が強く出ていると考える。

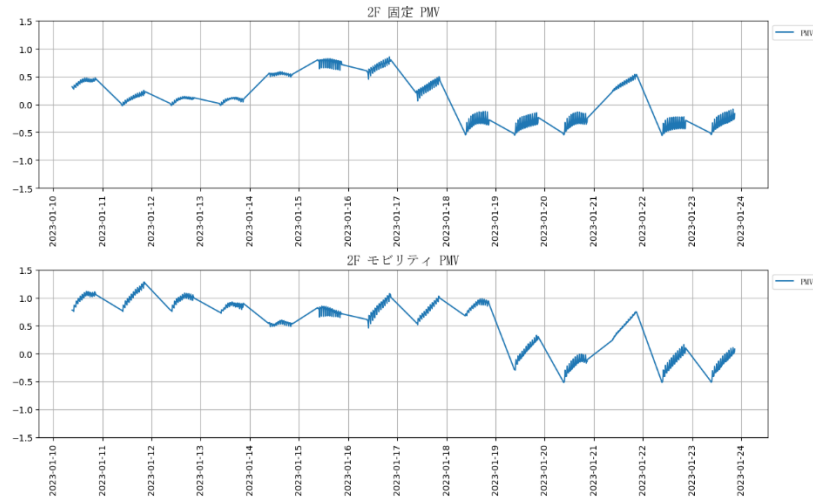


図 4.6-12 PMV 比較

(上段：固定センサーを利用した場合、下段：PMVに搭載したセンサーを利用した場合)

(2) 課題の抽出

本実証を通じて明確となった課題を表 4.6-20 に示す。

表 4.6-20 本実証での仕様に関する課題

No	分類	課題	関連する原因
1	サービサー用システム	モビリティによるデータ取得が全域網羅や連続性を保証できない。 (モビリティ1台での該当ボクセルに対する網羅率に関連)	物理的な条件やその他要因で、取得したい範囲を必ずしも移動体でデータ取得可能とすることができない。
2	サービサー用システム	欠損となったボクセルの網羅率の向上	取得データの特性上、実測値との隣接を基本に推察のみ為、実値が取得できている範囲の周囲以外の補完が困難。
3	空間 ID ルール・体系	屋内空間をボクセル単位で分割することが困難	屋内空間は画一的な空間ではない為、単一のズームレベルでのボクセルサイズで分割ができない。

(3) 改善策の検討

(2) で抽出した各課題の改善策を表 4.6-21 に示す。

表 4.6-21 各課題の改善策

No	分類	課題	改善策
1	サーバー用システム	モビリティによるデータ取得が全域網羅や連続性を保証できない。(モビリティ1台での該当ボクセルに対する網羅率に関連)	対象とする範囲を限定するか、移動できない範囲に関しては、固定センサーを流用する等の別方法を活用。連続性は、本実証実験では1台のみ使用したが、複数台利用することで網羅率の向上が見込める。
2	サーバー用システム	欠損となったボクセルの網羅率の向上。	本実証では、同一空間の気温・湿度を対象であり、実値から隣接ボクセルの値を単純に推察する形を取ったが、データ特性や対象空間特性を加味し統計データを含めたAI推論等で補完することで、より向上すると考えられる。
3	空間IDルール・体系	屋内空間をボクセル単位で分割することが困難	本実証実験では、当該フロアを包含する形での利活用なので問題はなかった。対象とする屋内空間の利活用に関しては、屋内の形状に依存する活用ではなく、室内空間を包含する形での活用や運用を想定する必要がある。

4.6.4 防災実証結果

(1) 三次元人口統計空間ID方式整備

1) 三次元人口統計の概要

モバイル空間統計の応用として、屋内基地局より得られる運用データを活用し、ビル内や地下街の人口を鉛直方向で分計した人口(三次元人口統計)の出力が可能である。

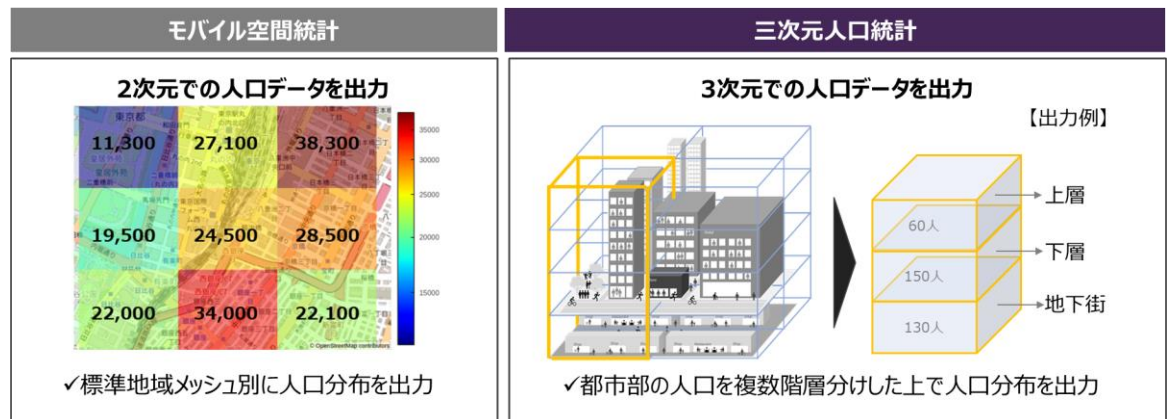


図 4.6-13 三次元人口統計の概要 *

2) 三次元人口統計の空間 ID 化方式の概要

前述の三次元人口統計を空間 ID に適用する方式として、空間 ID の仕様³¹を踏まえ、以下の 3 パターンを検討する。

- ・ XYZ タイル単位
XYZ タイルで定義されたボクセルで空間 ID を設定する。
- ・ 標準地域メッシュ近似
三次元人口統計の出力単位である階層別標準地域メッシュ別の空間に対して、粒度の細かいボクセルの集合体を近似することで空間 ID を設定する。
- ・ ビル+地下街標準メッシュ近似

ビルはビルの形状に対して粒度の細かいボクセルの集合体で近似することで空間 ID を設定する。

地下街は標準地域メッシュに対して、粒度の細かいボクセルの集合体で近似することで空間を設定する。

³¹ 「第 4 回 3 次元空間情報基盤アーキテクチャ検討会 会議資料」

https://www.ipa.go.jp/dadc/architecture/pdf/pj_report_3dsatialinfo_doc-appendix_202207_1.pdf

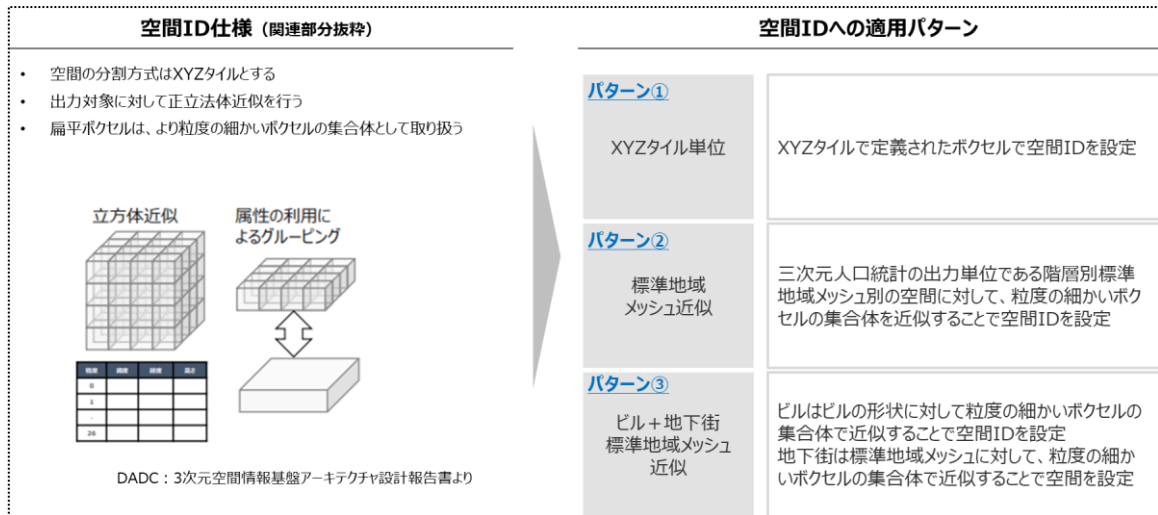


図 4.6-14 空間 ID 化方式 *

3) 三次元人口統計の空間 ID 化のイメージ

- XYZ タイル単位

XYZ タイル×階層で空間を設定する。

※2 : 「空間 ID α 版仕様書」における空間ボクセルのズームレベルを 18 として例示

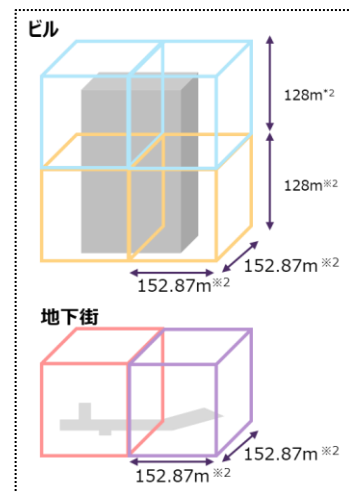


図 4.6-15 空間 ID 化イメージ① *

・標準地域メッシュ近似

標準地域メッシュ階層で空間を設定する。

※各空間を粒度の細かいボクセルの集合体で近似

※3：標準地域メッシュ 8分の1 地域メッシュ（125メートルメッシュ）に近似した場合として例示

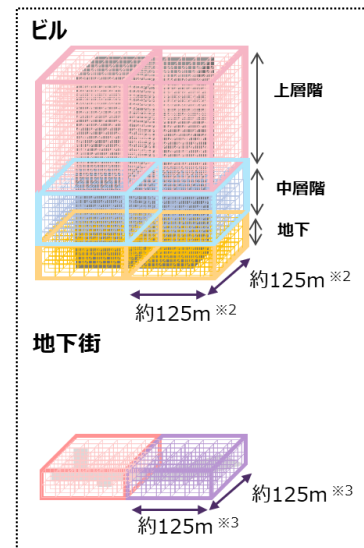


図 4.6-16 空間 ID 化イメージ② *)

・ビル+地下街標準メッシュ

ビルはビル×階層、地下街は標準地域メッシュ別で空間を設定する。

※各空間を粒度の細かいボクセルの集合体で近似

※3：標準地域メッシュ 8分の1 地域メッシュ（125メートルメッシュ）に近似した場合として例示

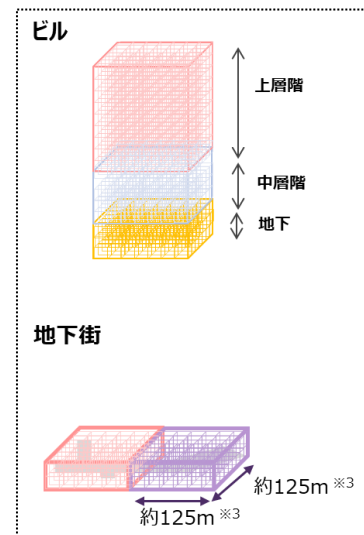


図 4.6-17 空間 ID 化イメージ③ *)

(2) 実証概要

防災ユースケースごとの三次元人口統計データ活用による有用性を確認する。具体的には防災分野におけるユースケースと、どのようなデータが用いられるのかを検討し、防災上有用な空間 ID 化方式を検討し、空間情報に紐付けられた空間 ID を利用することによる防災分野における有用性の確認ならびに机上検討を行う。

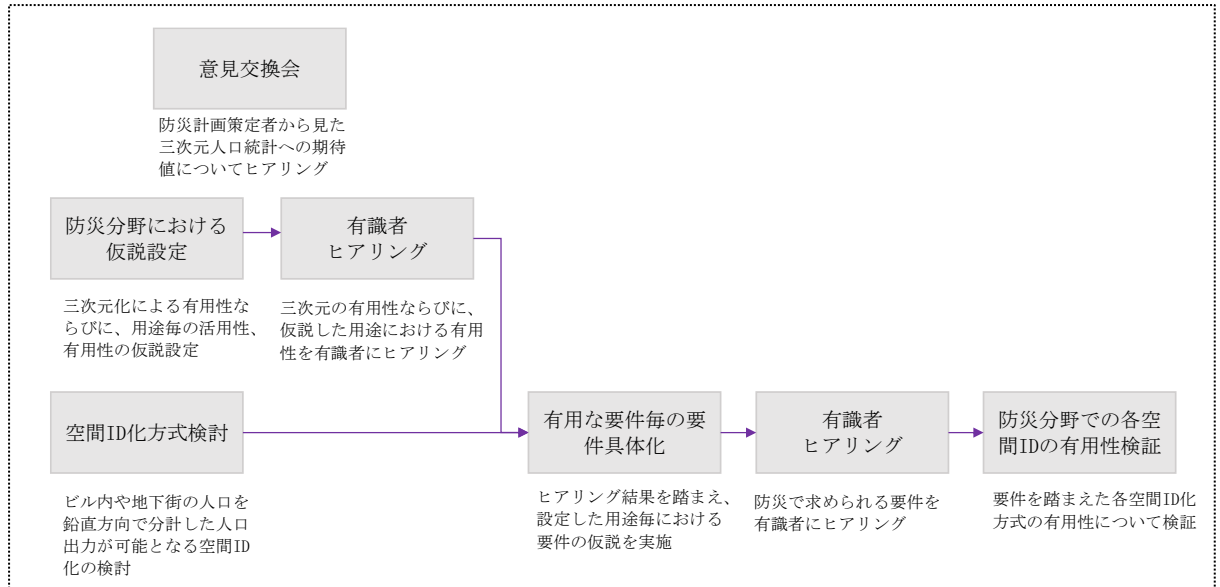


図 4.6-18 実証内容プロセス

(3) プロセス KPI（経済的・社会的検証項目）に対する結果

プロセス KPI（経済的・社会的検証項目）に対する結果は以下の通りである。

① 三次元人口統計の空間 ID 化方式整備の実現性

三次元人口統計の空間 ID 化方式としては、3つの方式（図 4.6-14）を検討し、いずれの方式も実現可能と考える。

② 提供エリア拡大の実現性

検討した空間 ID のいずれの方式においても、鉛直方向の空間 ID の算出には各階層の標高情報が必要となるため、各階層の標高を規格化された基準で整備する事が提供エリア拡大においては必要となる。

③ 要件への適合性

地下空間の人口分布やビル内の鉛直方向の人口分布はこれまで不十分であり、人口分布が把握できること自体が防災分野で利用価値が高く有用であり、都市空間の人口を常時把握可能なため、多様なパターンで人口分布を把握可能となることから初動対応、事前避難計画等の精度向上や現状把握に有用となる。

④ 防災活用における有用性

空間 ID に求められる要件としては、以下のとおりとなる。

・ 防災活用の観点

水平方向ではビル単位での区分、鉛直方向は地下1階層・ビルは階層別の区分が必要であり、さらに用途によってはフロア用途区分等も有用な場合がある

防災分野においては標準地域メッシュが広く活用されており整合性取れる事が望まれる

・ データ整備の観点

空間 ID の普及に向けては、扁平ボクセルを規定可能なシンプルなデータ構造によりデータの取り扱い容易性を上げる事が望まれる

上記要件に対する空間 ID に望まれる方式の見解としては以下のとおりとなる。

- 水平方向については標準地域メッシュで分計可能な空間 ID の方式が望まれる
- 鉛直方向については、水平方向の分計単位とは別に設定可能な空間 ID の方式が望まれる
- 防災上重要であるビル単位、階層区分、フロア用途区分等の整合性が取れるデータ整備が必要

⑤ 空間 ID 化方式の妥当性

事前計画においては、ビル・地下街単位での曜日・時間帯・年間で特徴のあるイベント時等多様なパターンでの人口分布が把握でき、避難誘導の方針、避難場所の準備等、帰宅困難者対応等の事前計画の検討に有用である。

災害時においては、ビル・地下街単位での避難誘導、避難場所への収容計画、帰宅困難者の推計、支援の必要性検討等への活用が有用である。

プロセス KPI（経済的・社会的検証項目）について得られた結果を表 4.6-22 に示す。

表 4.6-22 プロセス KPI（経済的・社会的検証項目）に対する結果

No	観点	プロセス KPI (経済的・社会的検証項目)	目標値/ 目標状態	結果
1	経済	三次元人口統計の空間 ID 方式の整備の実現性	空間 ID 化方式の実現性が確認される	空間 ID 化方式は3つのパターンを検討し、いずれも実現可能と判断
2		提供エリア拡大の実現性	空間 ID 化に必要な情報が明確化され、提供エリア拡大時の実現性と課題が明確となる	検討した空間 ID 化方式のいずれにおいても、共通の課題として標高情報の取得が掲げられており、空間とビルの結びつけを一意に行うための情報の整備等が必要となる
3	社会	要件への適合性	ボクセルベースでの人口統計と防災分野での要件との適合性、ギャップ、課題が明確となる	防災分野での利用価値は高く、有用性がある。 ハザードごとに要件が異なるため、全体最適化した空間 ID 化の仕様を検討する必要がある
4		防災活用における有用性	防災分野での空間 ID 化の有用性、課題が明確となる	検討した空間 ID 化方式のうち、2つの方式においては防災対策や、防災に必要となる様々な用途において有用と判断

(4) 技術的検証項目に対する結果

技術的検証項目に対する結果は以下の通りである。

- ・ 事前計画においては、ビル・地下街単位での曜日・時間帯・年間で特徴のあるイベント時等多様なパターンでの人口分布が把握でき、避難誘導の方針、避難場所の準備等、帰宅困難者対応等の事前計画の検討に有用である。
- ・ 災害時においては、ビル・地下街単位での避難誘導、避難場所への収容計画、帰宅困難者の推計、支援の必要性検討等への活用が有用である。

技術的検証項目について得られた結果を表 4.6-23 に示す。

表 4.6-23 技術的検証項目に対する結果

No	検証項目	詳細	結果
1	空間 ID 化方式の妥当性	要件に対し、必要となる出力仕様の机上検討を行い、有識者へのヒアリングにより確認	事前計画においては、避難等の事前計画の検討に、災害時には避難誘導や収容計画等に有用と判断 ※有識者ヒアリングにより有用と判断された出力仕様については 4.6.6 補足「3次元データ整備及び防災有用性検証」の各ページに記載の「出カイメージ」を参照

(5) 結果のまとめ

1) 空間 ID 化方式の妥当性評価手法

三次元人口統計を空間 ID に適用する方式として、空間 ID の仕様を踏まえ、3パターンを検討（「①XYZ タイルベース単位」「②標準地域メッシュ近似」、「③ビル+地下街標準地域メッシュ近似」）

各空間 ID 方式の妥当性を以下の観点にて仮説評価する。

表 4.6-24 評価観点

観点		定義	
①	空間 ID 化方式の実現性	各空間 ID 化方式にて定義した空間の単位で人口統計が作成可能であること	
②	統計データとしての信頼性	他の統計データと比較・分析を行う際に出力単位の変換等によりデータの信頼性が損なわれないこと	
③	情報管理・活用における利便性	1. 取り扱いの容易性	データの構造がシンプルであり、データの作成・蓄積・抽出の容易性が高いこと
		2. データの有用性	情報活用において必要となる空間の単位での分計、活用ができること

2) 空間 ID 化方式の妥当性評価結果

空間の切り方としては、防災で広く使用されており防災システム上も採用されている標準地域メッシュが適切であるため、①XYZ タイル単位ではなく、②標準地域メッシュ近似が有用であると考えられる。防災上ビル単位と地下街を分けて出力するという事は、有識者の方と多様なパターンで重要であると議論しており、③ビル単位+地下街標準地域メッシュ近似も有用であると考えられる。各空間 ID 方式を適用した場合の評価詳細は以下の通り。

表 4.6-25 XYZ タイル単位の評価 *

※表内の凡例 「■：メリット」、「□：デメリット」

観点		評価結果
①	空間 ID 化方式の実現性	■屋内基地局単位に推計された人口を XYZ タイル単位に面積案分することで出力可能である
②	統計データとしての信頼性	□XYZ タイルは標準地域メッシュ（JIS X0410 として標準規格化）と異なり JIS 規格化されていない、国内の他の統計データとの比較を行う際に出力単位の変換が必要となり、信頼性が損なわれる
③	情報管理・活用における利便性	1. 取り扱いの容易性 ■単純なボクセルにより 3次元空間を分割することでデータ構造がシンプルとなり、情報の取り扱いが容易となる
	データの有用性	■空間 ID にて管理された他の情報との組み合わせによる有用性が期待できる □三次元人口統計は扁平空間の人口統計となるため、立法体のボクセルで空間を定義した場合、地上階層と地下階層が同一ボクセルとなる等、階層別に人口を分計することができない。（上記の対策として階層の底面を基準としたボクセルで空間を重ね合わせ定義した場合、空間 ID のみで鉛直方向の範囲を規定することができず、ボクセルごとにメタデータによる情報付与が必須となり、メタデータの標準仕様の整備が必要となるとともに、情報の取り扱いが煩雑となる懸念がある） □XYZ タイル単位の人口統計となるためビル単位の情報に基づく施策が必要となるケースにおいて、ビル内に限定した人口を把握することができない

表 4.6-26 標準地域メッシュ近似の評価 *)

観点		評価結果
①	空間 ID 化方式の実現性	■屋内基地局単位に推計された人口を標準地域メッシュ単位に面積案分し、粒度の細かいボクセルにて近似することで出力可能である
②	統計データとしての信頼性	■国内の統計情報において広く利用されている標準地域メッシュベース（JIS X0410 で規格化）となるため、それらの統計情報との比較を行う際に、出力単位の変換の必要がなく信頼性が損なわれない
③	情報管理・活用における利便性	<p>1. 取り扱いの容易性</p> <input type="checkbox"/> 扁平な空間を粒度の細かいボクセルの集合体として近似するため、データ構造が複雑となり、情報管理の容易性が損なわれる（ボクセルの集合体として扁平空間を定義する際の空間 ID の仕様化が必要となる）
		<p>2. データの有用性</p> <p>■標準地域メッシュにて管理された各種統計データとの組み合わせた分析・活用による有用性が期待できる</p> <input type="checkbox"/> 標準地域メッシュ単位の人口統計となるためビル単位の情報に基づく施策が必要となるケースにおいて、ビル内に限定した人口を把握することができない

表 4.6-27 ビル+地下街標準地域メッシュ近似の評価 ^{*}

観点		評価結果
①	空間 ID 化方式の実現性	<p>■ビルに関しては、ビルごとの屋内基地局単位で人口を推計し、粒度の細かいボクセルにて近似することで出力可能</p> <p>■地下街に関しては屋内基地局単位に推計された人口を標準地域メッシュ単位に面積案分し、粒度の細かいボクセルにて近似することで出力可能</p>
②	統計データとしての信頼性	<p>□標準地域メッシュ（JIS X0410 で規格化）の他の統計データとの比較において、複数の標準地域メッシュに跨るビルの人口を、面積案分により標準地域メッシュに振り分ける必要があり、ビル内の人口に限定して変換による信頼性の低下が懸念される</p>
③	情報管理・活用における利便性	<p>1. 取り扱いの容易性</p> <p>□扁平な空間（ビル、地下街）を粒度の細かいボクセルの集合体として近似するため、データ構造が複雑となり、情報管理の容易性が損なわれる（ボクセルの集合体として扁平空間を定義する際の空間 ID の仕様化が必要となる）</p> <p>□空間 ID にて定義された空間とビルとの紐付けを一意に行うための情報（ビルコード情報等）の整備が必要となる</p>
		<p>2. データの有用性</p> <p>■ビル内の人口を分計して把握することが可能となり、ビル単位での情報に基づく施策を実施することが可能となる</p>

3) 防災分野における三次元人口統計の有用性

① 防災計画策定者から見た三次元人口統計への期待値について

防災計画策定者へのヒアリングの結果、商業施設やオフィス等のフロア用途ごとに人口統計が出力されることに対する期待値を確認した。

② 有用性検証のアプローチ

防災分野において人口統計の3次元化に求められる要件、及び、望ましい空間 ID 化方式を、三次元人口統計を用いた仮説検証アプローチにて検証を実施した。

有用性検証項目		有用性検証内容	検証方法
①仮説設定 防災分野における 用途の仮説設定	1.人口統計の三次元化における有用性	✓ 人口統計が三次元化される事で防災分野に有用性があるか、留意すべき点はあるか	✓ 有識者ヒアリング
	2.用途の抽出	✓ 防災計画・対策の実務を踏まえ、三次元人口統計はどのようなシーンでの用途が想定されるか	
	3.用途別活用方法の仮説設定	✓ 想定用途において、三次元人口統計はどのように活用可能か	
②仮説検証 用途毎の有用性、求められる要件の検証		✓ 三次元人口統計の活用方法の仮説に対し、どのような有用性があるか ✓ 活用方法の仮説において三次元人口統計はどのような要件が求められるか	✓ 有識者ヒアリング

図 4.6-19 有用性検証アプローチ*)

③ 防災分野における三次元人口統計の有用性について

防災分野において、人口統計の3次元化に関する有用性は鉛直方向の人口出力や常時出力が可能である事、留意点として標準地域メッシュとの整合性が重要な事、求められる空間分計単位は用途によって異なる事等を有識者ヒアリングにて確認を行う。また、防災分野において、どのような用途で三次元人口統計の活用が想定されるか、その用途における課題は何かを有識者ヒアリングにて確認を行う。

④ 防災分野における用途の抽出

防災分野において、どのような用途で三次元人口統計の活用が想定されるか、その用途における課題は何かを有識者ヒアリングより確認した。

表 4.6-28 有識者ヒアリングより得られた防災分野における想定用途一覧 *)

防災において必要な対応 ※防災計画・対策の実務において、三次元人口統計が有用だと想定されるシーン		防災上の課題 ※防災計画・対策の実務上の課題
津波避難計画策定	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 発災時に地下街滞在者の避難誘導が必要 ➤ 地下街滞在者が接続ビル空きスペースに避難する収容計画が必要 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 地下街人口を踏まえた避難者数の把握が困難 ➤ ビル収容可能人数把握が困難
水害支援必要性判断	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 町やビルの孤立が発生した際、ビル内の人数・高齢者の人数等に基づき、どのビル/地下街が支援を必要としているかと言った判断が必要 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ ビル別の滞在人口、高齢者の人口把握が困難

防災において必要な対応 ※防災計画・対策の実務において、三次元人口統計が有用だと想定されるシーン		防災上の課題 ※防災計画・対策の実務上の課題
高層ビル火災避難誘導	▶ 該当ビルの出火階より上のフロア滞在者に対し、避難誘導が必要	▶ 高層ビル出火階より上のフロア人口の把握が困難
地下街火災避難誘導	▶ 発災時に地下街の滞在者の避難誘導が必要	▶ 地下街に滞在する人口の把握が困難
地震被害者推計	▶ 地震が発生した際に迅速に被害規模を把握し対応検討が必要	▶ ビル別の滞在人口、地下街の人口把握が困難
帰宅困難者推計	▶ 帰宅困難者数を推計し、収容場所や支援物資の準備・手配が必要	▶ 帰宅困難者推計に重要な「自宅までの距離別」「利用する鉄道路線別」の人口把握が困難
帰宅困難者地下街収容計画策定	▶ 地下空間を避難場所として利用する際に、安全な滞留密度ギリギリまで人を収容するための計画策定が必要	▶ 地下街の人口分布、何人収容可能か、把握が困難
国民保護計画策定	▶ ミサイル等が発射された時の国民保護として、どこの地下街にどう収容するかの検討が必要	▶ 地下街の滞在者を踏まえた収容可能人口の把握が困難

⑤ 防災分野の用途の仮説設定 仮説の検討

有識者ヒアリングによって確認した防災分野における用途ごとに、三次元人口統計データの活用方法、出力データの内容についての仮説を想起した。

※詳細は 4.6.6 補足「3次元データ整備及び防災有用性検証」参照

表 4.6-29 防災分野の用途の仮説設定一覧 *)

防災において必要な 対応	防災上の課題	三次元人口統計の 活用方法 上段：事前 下段：災害時 ※補足参照番号5の み災害時のみ	三次元人口統計の 出力データ						補足 参照	
			空間軸		時間軸		属性情報			
			ビル	地下街	特定時間断面	時系列	性年代	居住地		
津波 避難 計画 策定	<ul style="list-style-type: none"> ✓発災時に地下街滞在者の避難誘導が必要 ✓地下街滞在者が接続ビル空きスペースに避難する収容計画が必要 	<ul style="list-style-type: none"> ✓地下街人口を踏まえた避難者数の把握が困難 ✓ビル収容可能人数把握が困難 	曜日、時間別にビル内人口に基づく収容可能数、地下街人口に基づく避難者数を把握	●	●		●			1
			発災直前のビル、地下街人口からビル、地下街ごとの収容可能人数を把握	●	●	●				2
水害 支援 必要 性判 断	<ul style="list-style-type: none"> ✓水害により町単位の孤立が発生した際、ビル内の人数・高齢者の人数に基づく支援の必要性判断が必要 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ビル別の滞在人口、高齢者の人口把握が困難 	曜日、時間別に発災エリアのビル／地下街人口、高齢者人口を把握	●	●		●	●		3
			発災エリアにおけるビル、地下街別の発災直前の人口、高齢者人口を把握	●	●	●		●		4
高層 ビル 火災 避難 誘導	<ul style="list-style-type: none"> ✓該当ビルの出火階より上のフロア滞在者に対し、避難誘導が必要 	<ul style="list-style-type: none"> ✓高層ビル出火階より上のフロア人口の把握が困難 	発災直前の出火階以上の階層人口より発災時の避難誘導が必要な人数を把握	●		●				5
地下	<ul style="list-style-type: none"> ✓発災時に地下街の滞在 	<ul style="list-style-type: none"> ✓地下街に滞在する人口 	曜日、時間別地下街人口推移を把握		●		●			6

防災において必要な 対応		防災上の課題	三次元人口統計の 活用方法 上段：事前 下段：災害時 ※補足参照番号5の み災害時のみ	三次元人口統計の 出力データ					補足 参照	
				空間軸		時間軸		属性情報		
				ビル	地下街	特定時間断面	時系列	性年代		居住地
街火 災避 難誘 導	者の避難誘 導が必要	の把握が困 難	発災直前の地下街人 口より発災時の避難 誘導が必要なメッシ ュ別の人数を把握		●	●				7
地震 被災 者推 計	✓地震が発生 した際に迅速に被害規 模を把握し 対応検討が 必要	✓ビル別の滞 在人口、地下 街の人口把 握が困難	年間のビル内人口動 態データを作成し、あ る日ある時間にある ビルなら何人いるか 概算を把握	●	●		●			8
			発災直前のビル、地下 街メッシュ別人口を 把握	●	●	●				
帰宅 困難 者推 計	✓帰宅困難者 数を推計し、 収容場所や 支援物資の 準備・手配が 必要	✓帰宅困難者 推計に重要 な「自宅まで の距離別」 「利用する 鉄道路線別」 の人口把握 が困難	曜日、時間別、ビル別 に、自宅との距離別、 方角別人口を把握	●	●		●		●	10
			発災直前の居住地別、 性年代別人口の把握	●	●	●			●	
帰宅 困難 者地 下街 収容 計画 策定	✓地下空間を 避難場所と して利用す る際、安全な 滞留密度を 保って人を 収容するた めの計画策	✓地下街の人 口分布、何人 収容可能か、 把握が困難	曜日、時間別地下街人 口から、地下街ごとの 帰宅困難者収容可能 人数を把握		●		●			12
			発災直前の地下街人 口から、地下街ごとの 帰宅困難者収容可能 人数を把握		●	●				

防災において必要な 対応	防災上の課題	三次元人口統計の 活用方法 上段：事前 下段：災害時 ※補足参照番号5の み災害時のみ	三次元人口統計の 出力データ					補足 参照	
			空間軸		時間軸		属性情報		
			ビル	地下街	特定時間断面	時系列	性年代		居住地
	定が必要								
国民 保護 計画 策定	✓ミサイル等 が発射され た時の国民 保護として、 どこの地下 街にどう収 容するか の検討が必要	✓地下街の滞 在者を踏ま えた収容可 能人口の把 握が困難	平日、休日別、時間別の地下街人口より、地下街での収容可能人数の推移を把握		●				14
			発災直前の地下街人口より、地下街収容可能人数を把握	●	●				15

⑥ 用途ごとの有用性、求められる要件の検証

用途ごとの有用性、求められる要件の検証有識者へ仮説を元にヒアリングを行い、用途ごとに求められる要件、三次元人口統計データの有用性について確認した。

表 4.6-30 用途ごとの有用性、求められる要件の検証一覧 *)

表内の凡例：A:水平方向 B:鉛直方向（ビル） C:鉛直方向（地下街）

仮説			検証結果					三次元人口統計データの有用性	備考
			必要な要件						
			空間分計単位						
防災において必要な対応	補足参照	三次元人口統計の活用方法 上段：事前 下段：災害時 ※補足参照番号5のみ災害時のみ	A		B		C		
			ビル単位	地下街標準地域メッシュ	ビル階層で区分	出火階以上／以下で区分	地下として区分		
津波避難計画策定	1	曜日、時間別にビル内人口に基づく収容可能数、地下街人口に基づく避難者数を把握	●	●	●		●	曜日、時間帯等の多様なパターンで地下街、地上滞在者をどのようにビル等へ避難させるかの検討に有用	予想される津波の高さ以上のビルの階層への収容計画が策定できるとより有用
	2	発災直前のビル、地下街人口からビル、地下街ごとの収容可能人数を把握	●	●	●		●	ビル、地下街ごとの収容可能人数を元に津波警報発令時等にビル、高台へどう避難させるか検討に有用	
水害支援必要性判断	3	曜日、時間別に発災エリアのビル／地下街人口、高齢者人口を把握	●	●	●		●	曜日、時間帯等の多様なパターンで水害発生時にビル、地下街ごとの支援の必要性に応じた事前計画検討に有用	洪水ハザードマップ等を考慮の上、町単位等の広いエリアにおけるビル単位のデータが出力必要
	4	発災エリアにおけるビル、地下街別の発災直前の人口、高齢者人口を把握	●	●	●		●	広域水害時に、ビル別／地下街別の人口、高齢者人口より、どのビル／地下街がより支援を必要としているかの判断に有用	
高層ビ	5	発災直前の出火階	●				●	出火階より上層階の人	出火階より上

仮説			検証結果					三次元人口統計データの有用性	備考
			必要な要件						
			空間分計単位						
防災において必要な対応	補足参照	三次元人口統計の活用方法 上段：事前 下段：災害時 ※補足参照番号5のみ災害時のみ	A		B		C		
			ビル単位	地下街標準地域メッシュ	ビル階層で区分	出火階以上／以下で区分		地下として区分	
火災避難誘導		以上の階層人口より発災時の避難誘導が必要な人数を把握						人口分布を元に、煙が充填する前の避難のため避難者を分散させた避難経路検討に有用	層階人口に意味があるため、出火階上下で明確に区分できる必要有り
地下街火災避難誘導	6	曜日、時間帯別地下街人口推移を把握		●			●	曜日、時間帯等の多様なパターンで地下街滞在者をどのように地上へ誘導するか、事前計画に有用	地下街管理会社別に計画策定するため、地下街管理会社別の出力が有用な場合も有り
	7	発災直前の地下街人口より発災時の避難誘導が必要なメッシュ別の人数を把握		●			●	人口分布と避難階段の位置とを踏まえた避難指示等、地下街から地上への安全な避難計画に有用	
地震被災者推計	8	年間のビル内人口動態データを作成し、ある日ある時間にあるビルなら何人いるか概算を把握	●		●		●	特定時間帯、特定ビル／地下街の人口の傾向に基づく事前計画により発災時の迅速な初動対応が可能となり有用	地下街は街区単位(125mメッシュ単位等)、ビル単位だと自衛隊の活動と粒度が合う
	9	発災直前のビル、地下街メッシュ別人口を把握	●	●	●		●	どこに、何人いるかわかることで、停電等により見通しが悪くなったビル、地下街での初動対応時の支援の必要性判断に有用	

仮説			検証結果					三次元人口統計データの有用性	備考
			必要な要件						
			空間分計単位						
防災において必要な対応	補足参照	三次元人口統計の活用方法 上段：事前 下段：災害時 ※補足参照番号5のみ災害時のみ	A		B		C		
			ビル単位	地下街標準地域メッシュ	ビル階層で区分	出火階以上／以下で区分		地下として区分	
帰宅困難者推計	10	曜日、時間別、ビル別に、自宅との距離別、方角別人口を把握						曜日、時間帯等の多様なパターンで帰宅困難者数を予測でき、備蓄品等の対策に有用	商業フロアを有するビルにおいては把握が困難な商業フロア人口を分計できると有用
	11	発災直前の居住地別、性年代別人口の把握						路線の運休状況や年齢を踏まえた帰宅、ビル滞在等の誘導等の対応検討へ有用	
帰宅困難者地下街収容計画策定	12	曜日、時間別地下街人口から、地下街ごとの帰宅困難者収容可能人数を把握		●			●	曜日、時間帯等の多様なパターンにおける地下街収容可能数を把握でき、事前収容計画の策定に有用	
	13	発災直前の地下街人口から、地下街ごとの帰宅困難者収容可能人数を把握		●			●	発災時に安全滞留密度を保った上で帰宅困難者収容を行う際の計画策定に有用	
国民保護計画策定	14	平日、休日別、時間別の地下街人口より、地下街での収容可能人数の推移を把握		●			●	曜日、時間帯等の多様なパターンで地下街収容可能人数を把握でき、国民保護計画の策定に有用	
	15	発災直前の地下街人口より、地下街収容可能人数を把握		●			●	ミサイル等発射時に地下街収容可能人数が把握でき、地上から地下街への避難誘導に有用	

4) 考察

① 空間 ID 化方式の妥当性評価

空間 ID 化方式の実現性については、いずれの方式においても実現可能であり、統計情報としての信頼性、情報活用における利便性に関しては、それぞれのパターンによりメリット、デメリットが存在するため、今後さらに防災活用における想定利用ユーザーの意見の深堀を行い、検討を進めることが望ましい。

観点		パターン① XYZスタイル単位	パターン② 標準地域メッシュ近似	パターン③ ビル+地下街標準地域メッシュ近似
①	空間ID化方式の実現性	○ 実現可能※	○ 実現可能※	○ 実現可能※
②	統計データとしての信頼性	× 他の統計データとの比較において、変換による信頼性の低下が生じる	○ 国内で広く活用されている標準地域メッシュ単位の他の統計データとの比較において変換が不要であり信頼性が損なわれない	△ 他の統計データとの比較において、ビル内人口に限定して変換による信頼性の低下が生じる
③	情報管理・活用における利便性	○ 単純なボクセルにより三次元空間を分割することでデータ構造がシンプルとなる	△ 扁平な空間を粒度の細かいボクセルの集合体として近似するため、データ構造が複雑となる	× 扁平な空間（ビル、地下街）を粒度の細かいボクセルの集合体として近似するため、データ構造が複雑となるとともに、ビルを一意に識別する情報整備が必要
	2.データの有用性	× 扁平空間の人口統計を立方体で定義するため、有用性を踏まえた階層分けができない	△ ビル内の人口に基づく施策を行う場合にビル内に限定した人口を把握することができない	○ ビル単位での情報に基づく施策を実施することが可能となる

○：問題なし、△：一部懸念事項あり、×：大きな懸念事項あり

図 4.6-20 空間 ID 化方式の妥当性評価 *)

※鉛直方向の空間 ID の算出には各階層の標高情報が必要となるため、公的機関が各階層の標高を規格化された基準で整備する事が前提となる。

② 防災分野における人口統計の 3次元化による有用性

防災分野において、人口統計の 3次元化に関する有用性は鉛直方向の人口出力や常時出力が可能である事、留意点として標準地域メッシュとの整合性が重要な事、求められる空間分計単位は用途によって異なる事等を有識者ヒアリングにて確認し、防災分野において、3次元化、常時出力は有用であると結論。

- ・ 人口統計の3次元化に関するヒアリング結果

以下の点で有用性を確認した。

- 地下やビルにおいて人口が何人か、と言ったデータはこれまでなく、防災分野において利用価値が高い
- 3次元空間の人口を把握するための代替手段は主に手動のカウンターであるが断片的な定点観測しかできない
- 三次元人口統計によりこれまで把握できなかった、都市空間の人口分布が、多様なパターンで出力、把握可能
- 発災時初動対応、事前避難計画等の精度向上や現状把握に有用

③ 課題の抽出

経済的・社会的・技術的各検証項目のうち、当初の目標を達成できなかったものや、技術的な実現性が困難だった項目における原因は以下の通り。

表 4.6-31 プロセス KPI (経済的・社会的検証項目) の目標未達項目に関する原因分析

No	観点	プロセス KPI(経済的・社会的検証項目)	目標値／目標状態	結果	原因
1	経済	三次元人口統計の空間 ID 方式の整備の実現性	空間 ID 化方式の実現性が確認される	空間 ID 化方式は3つのパターンを検討し、いずれも実現可能と判断	-
2	経済	提供エリア拡大の実現性	空間 ID 化に必要な情報が明確化され、提供エリア拡大時の実現性と課題が明確となる	検討した空間 ID 化方式のいずれにおいても、共通の課題として標高情報の取得が掲げられており、空間とビルの結びつけを一意に行うための情報の整備等が必要となる	現時点では、防災上重要であるビル単位、階層区分、フロア用途区分等の整合性が取れるデータが整っていない
3	社会	要件への適合性	ボクセルベースでの人口統計と防災分野での要件との適合性、ギャップ、課題が明確となる	防災分野での利用価値は高く、有用性がある。ハザードごとに要件が異なるため、全体最適化した空間 ID 化の仕様を検討する必要がある	-

No	観点	プロセス KPI(経済的・社会的検証項目)	目標値／目標状態	結果	原因
4	社会	防災活用における有用性	防災分野での空間 ID 化の有用性、課題が明確となる	検討した空間 ID 化方式のうち、2つの方式においては防災対策や、防災に必要な様々な用途において有用と判断	-

- ・ 公的機関が整備すべき事項
前提として鉛直方向の空間 ID の算出には各階層の標高情報が必要となるため、各階層の標高を規格化された基準で整備する必要がある。

- ・ 空間 ID に求める仕様

- 取り扱いの容易性

XYZ タイル単位であれば単純なボクセルにより 3次元空間を分割することでデータ構造がシンプルとなるが、標準地域メッシュ近似においては、扁平な空間を粒度の細かいボクセルの集合体として近似するため、データ構造が複雑となる。また、ビル+地下街標準地域メッシュ近似に関しては、扁平な空間（ビル、地下街）を粒度の細かいボクセルの集合体として近似するため、データ構造が複雑となるとともに、ビルを一意に識別する情報整備が必要

- データの有用性

ビル+地下街標準地域メッシュ近似においては、ビル単位での情報に基づく施策を実施することが可能となる。また、標準地域メッシュ近似においては、ビル内の人口に基づく施策を行う場合にビル内に限定した人口を把握することができず、XYZ タイル単位に関しても扁平空間の人口統計を立方体で定義するため、有用性を踏まえた階層分けができない。

防災分野にて開発が進められている基盤的防災情報流通ネットワーク（SIP4D）やモバイル空間統計等の統計情報で採用されている標準地域メッシュとの整合性は重要であり、求められる鉛直方向の空間分計単位は、用途によって求められる区分の方法や粒度が異なるため留意する必要がある。

- ・ 防災分野における三次元人口統計の有用性について

検証のアプローチ方法としては、有識者に防災分野での三次元人口統計の利用用途をヒアリングし、ヒアリングした利用用途において三次元人口統計の活用方法の仮

説検討を行い、利用用途の仮説ごとに、有識者ヒアリングにて三次元人口統計の有用性や求められる要件の検証を実施。

ヒアリングの結果、防災分野における3次元化人口統計の有用性に関する総論としては、地下空間の人口分布やビル内の鉛直方向の人口分布データはこれまで不十分であり、人口分布が把握できること自体が防災分野で利用価値が高く有用であり、都市空間の人口を常時把握も可能なため、多様なパターンで人口分布を把握可能であり初動対応、事前避難計画等の精度向上や現状把握に有用となる。

また、個別用途においても、事前計画においては、ビル・地下街単位での曜日・時間帯・年間で特徴のあるイベント時等多様なパターンでの人口分布が把握でき、避難誘導の方針、避難場所の準備等、帰宅困難者対応等の事前計画の検討に有用であり、災害時には、ビル・地下街単位での避難誘導、避難場所への収容計画、帰宅困難者の推計、支援の必要性検討等への活用が有用と確認がとれている。

- ・ ヒアリングを通じての見解

- 空間 ID に求められる要件

防災活用の観点においては、水平方向ではビル単位での区分、鉛直方向は地下1階層・ビルは階層別の区分が必要であり、さらに用途によってはフロア用途区分等も有用な場合がある。

また、防災分野においては標準地域メッシュが広く活用されており整合性取れる事が望まれる。データ整備の観点においては、空間 ID の普及に向けては、扁平ボクセルを規定可能なシンプルなデータ構造によりデータの取り扱い容易性を上げる事が望まれる。

- 空間 ID に望まれる方式の見解

水平方向については標準地域メッシュで分計可能な空間 ID の方式が望まれ、鉛直方向については、水平方向の分計単位とは別に設定可能な空間 ID の方式が望まれる。(防災の既存システムとも連携が取れるためメリットとなる可能性はある。) また、防災上重要であるビル単位、階層区分、フロア用途区分等の整合性が取れるデータ整備が必要と考える。

※水平方向と鉛直方向について異なるズームレベルで設定可能な空間 ID の仕組みを検討することで階層を表現することが望まれる。

4.6.5 今後の展望

AI 空調ユースケースでは屋内空間（単一フロア）を空間 ID で管理することで移動センシングによるセンサーデータの効率的な収集の実現可能性が検証できた。

※屋内空間と空間 ID で、水平方向での差異はあるが、空間 ID が包含する形での管理により

活用できる。

同一の垂直方向の施設内での複数のフロアを管理する場合、空間 ID はシームレスな空間を分割した単位となる為、空間 ID での垂直方向の単位と各施設のフロアの垂直方向の区切りに差異があることにより、屋内に関しては制約的な利用方法（包含する ID を定義する等）を検討する必要があると考えられる。

移動センシングの活用をより多くの環境下での展開を考えた場合、屋内のモビリティ、屋外のモビリティ、既存の交通機関等の移動・物流環境もその一部と捉えることができる。これらを活用も含め、移動センシングを捉えることができる。

上記に合わせて、センサーデータの属性を気温・湿度以外の情報へ広げることで、計測地点が限定されていた情報が多くの場所で取得が可能になる。

これにより環境や状況変化の原因調査や予測の基礎データとしての活用が考えられる。

防災ユースケースにおいては、三次元人口統計の提供にあたっては、プライバシー保護等考慮すべき観点が存在する。空間 ID 化にあたっては、それらの観点を踏まえ、仕様や変換システム実装場所等を今後検討する必要がある。

各ユースケースを踏まえ、デジタルツイン実現の障壁となる「(特に屋内空間において) データが存在しないエリアが多い」「データ取得のために個別センサーを設置するには多くのコストや手間がかかる」という課題に対するアプローチとして、既存の固定センサー（今回は屋内基地局）及び今後さらに増えてくることが予想されるモビリティ（今回はゴミ箱機能付き AMR）を活用することの有効性が確認された。今後ユースケースを拡大するためには、空間 ID に紐付けたデータを流通させる仕組みづくり等が必要となると考える。

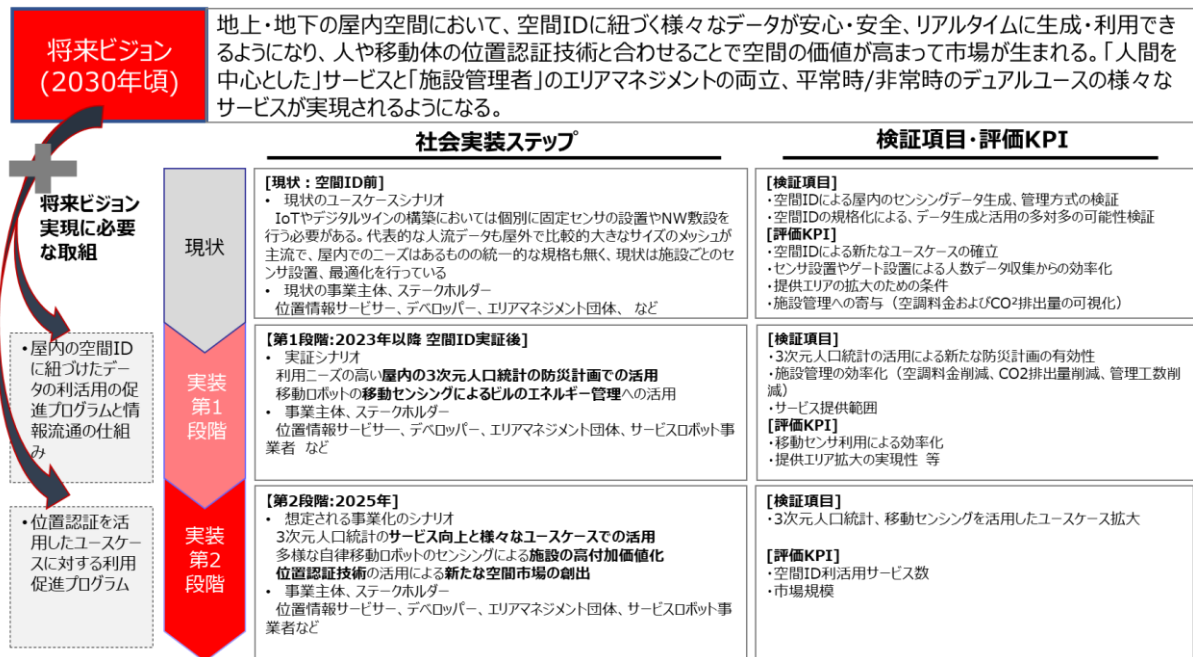


図 4.6-21 将来ビジョン

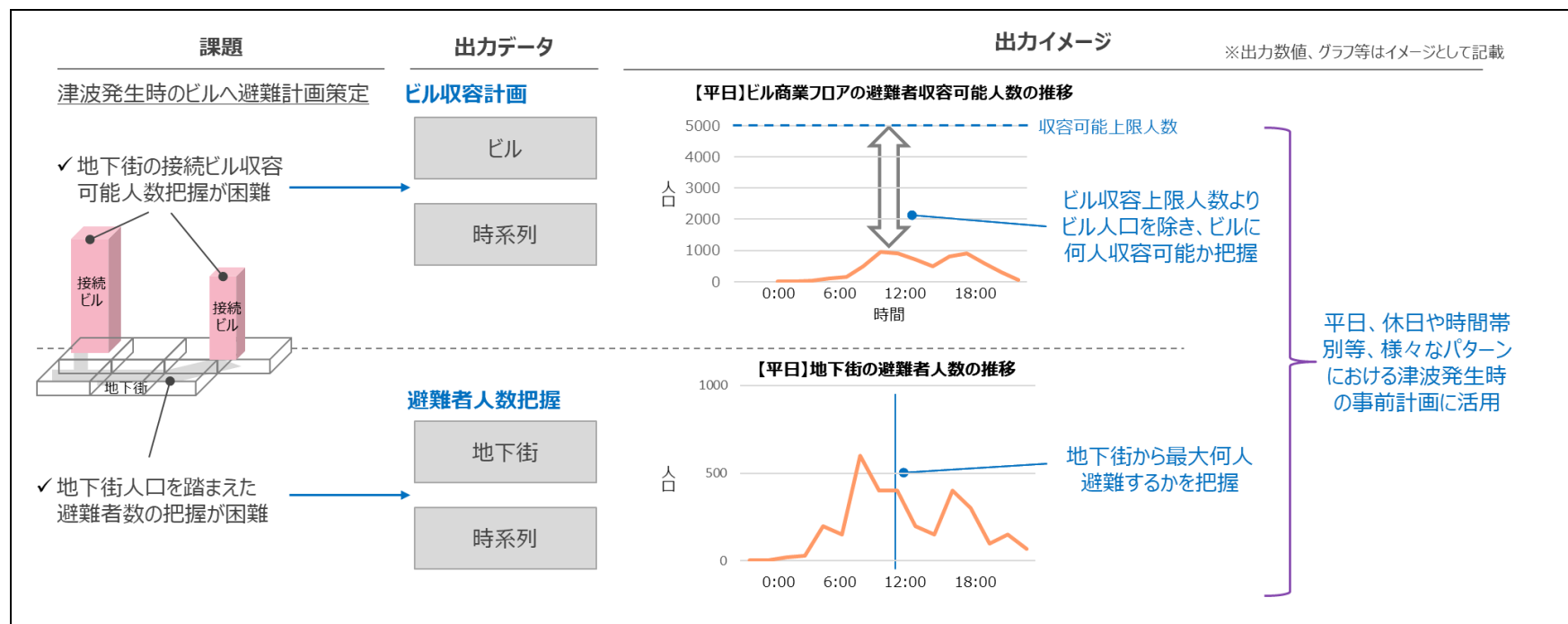
*1 NTT ドコモの作成資料及び NTT ドコモへのヒアリング結果より。NTT ドコモの知的財産権を含む。

図表番号	図表名
図 4.6-13	三次元人口統計の概要
図 4.6-14	空間 ID 化方式
図 4.6-15	空間 ID 化イメージ①
図 4.6-16	空間 ID 化イメージ②
図 4.6-17	空間 ID 化イメージ③
図 4.6-19	有用性検証アプローチ
図 4.6-20	空間 ID 化方式の妥当性評価
表 4.6-25	XYZ タイル単位の評価
表 4.6-26	標準地域メッシュ近似の評価
表 4.6-27	ビル+地下街標準地域メッシュ近似の評価
表 4.6-28	有識者ヒアリングより得られた防災分野における想定用途一覧
表 4.6-29	防災分野の用途の仮説設定一覧
表 4.6-30	用途ごとの有用性、求められる要件の検証一覧

4.6.6 補足 3次元データ整備及び防災有用性検証

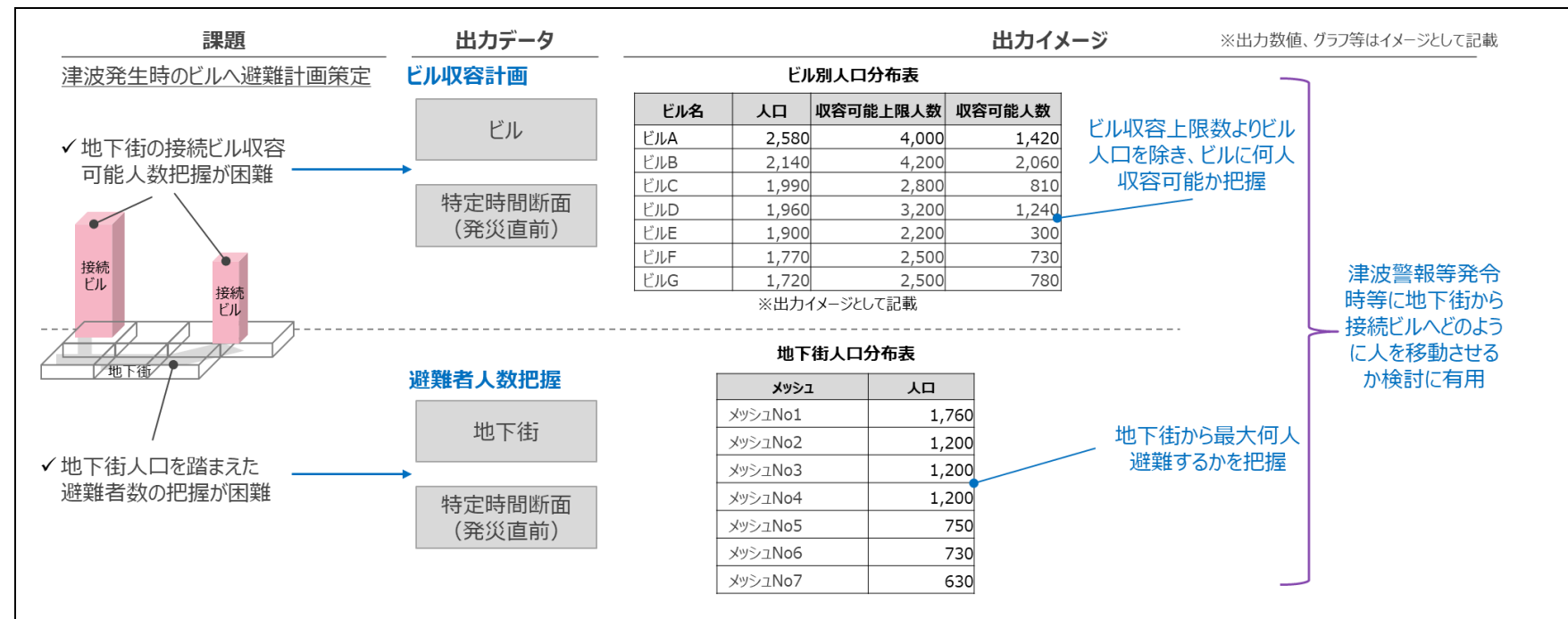
用途 1：津波避難事前計画策定 事前計画

ビル／地下街人口の時系列推移と収容可能上限人数により平日、休日や時間帯別のビル収容可能人数・地下街避難者人口の傾向を把握することで、時間帯別、津波の規模別等様々なパターンで地下街から接続ビルへの避難計画の策定に活用が期待できる。



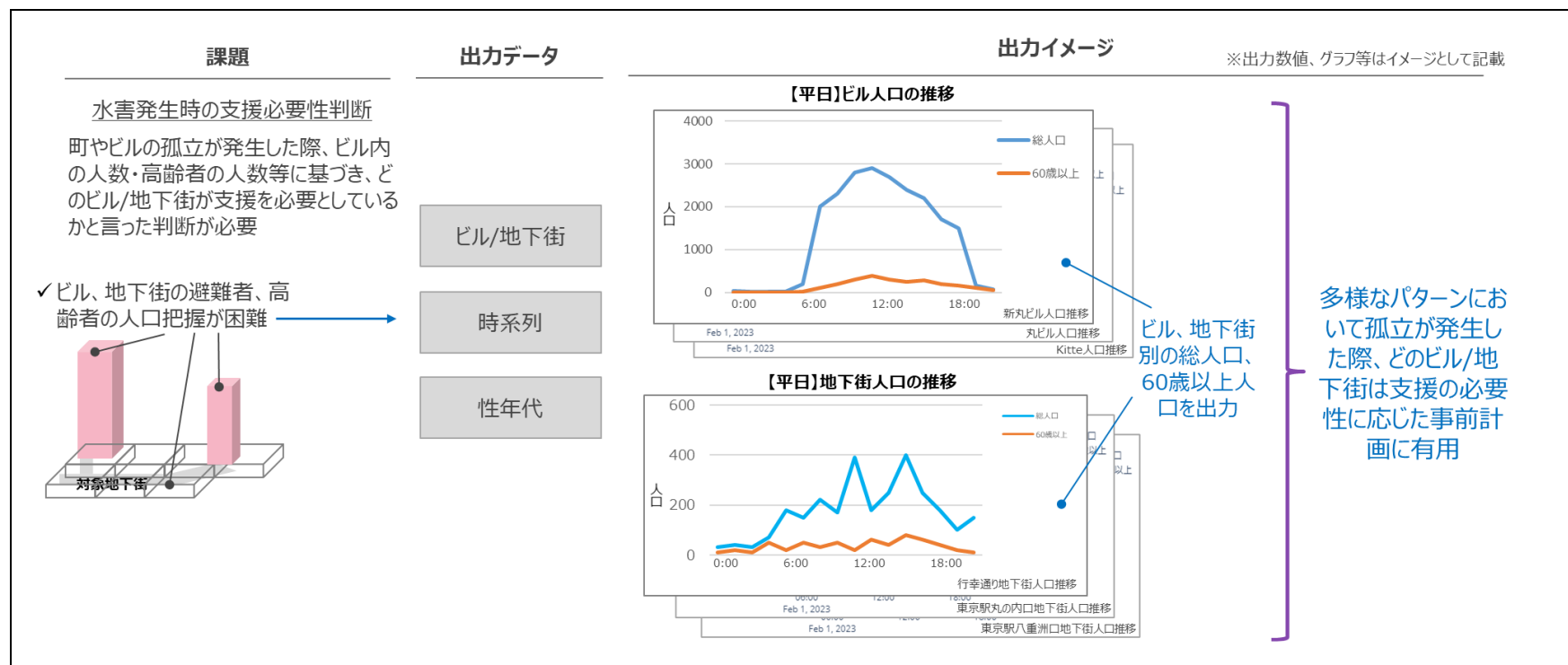
用途 2：津波避難事前計画策定 災害時

津波が予想された際のビル／地下街人口の人口分布表と収容可能上限人数により、ビル収容可能人数、避難が必要な人数を把握し、津波の規模を考慮の上、どの地下街からどの接続ビルへ人を移動させればよいかを計画検討する際に活用が期待できる。



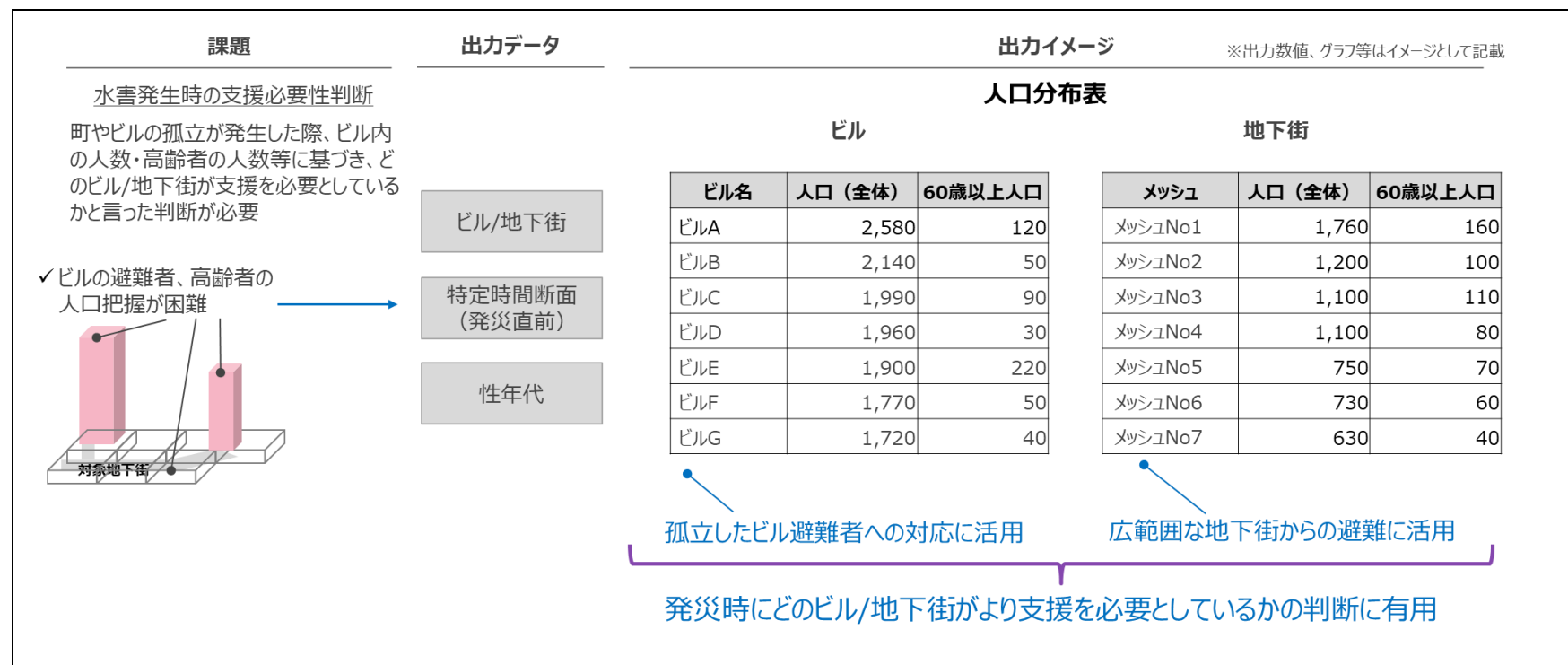
用途 3：水害支援必要性判断 事前計画

ビル別、地下街メッシュ別の人口、高齢者人口の時系列推移により平日、休日や時間帯別等の人口推移を把握し、洪水ハザードマップ等を考慮のうえ、水害発生時にビル／地下街ごとの支援の必要性に応じた事前計画へ活用が期待できる。



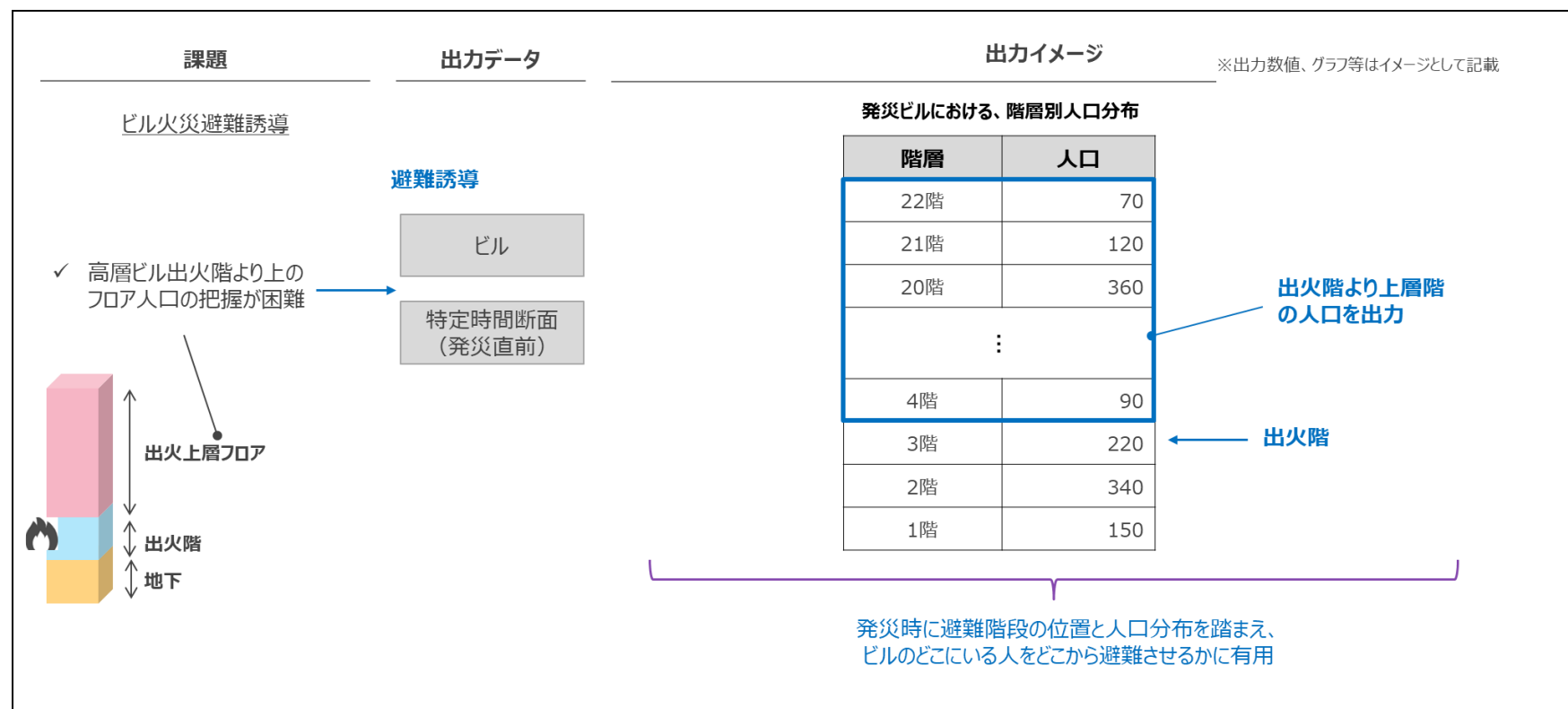
用途 4：水害支援必要性判断 災害時

広域での水害が発災した状況において、ビル別／地下街別の人口、高齢者人口により、どのビル／地下街がより支援を必要としているかと言った判断に活用が期待できる。



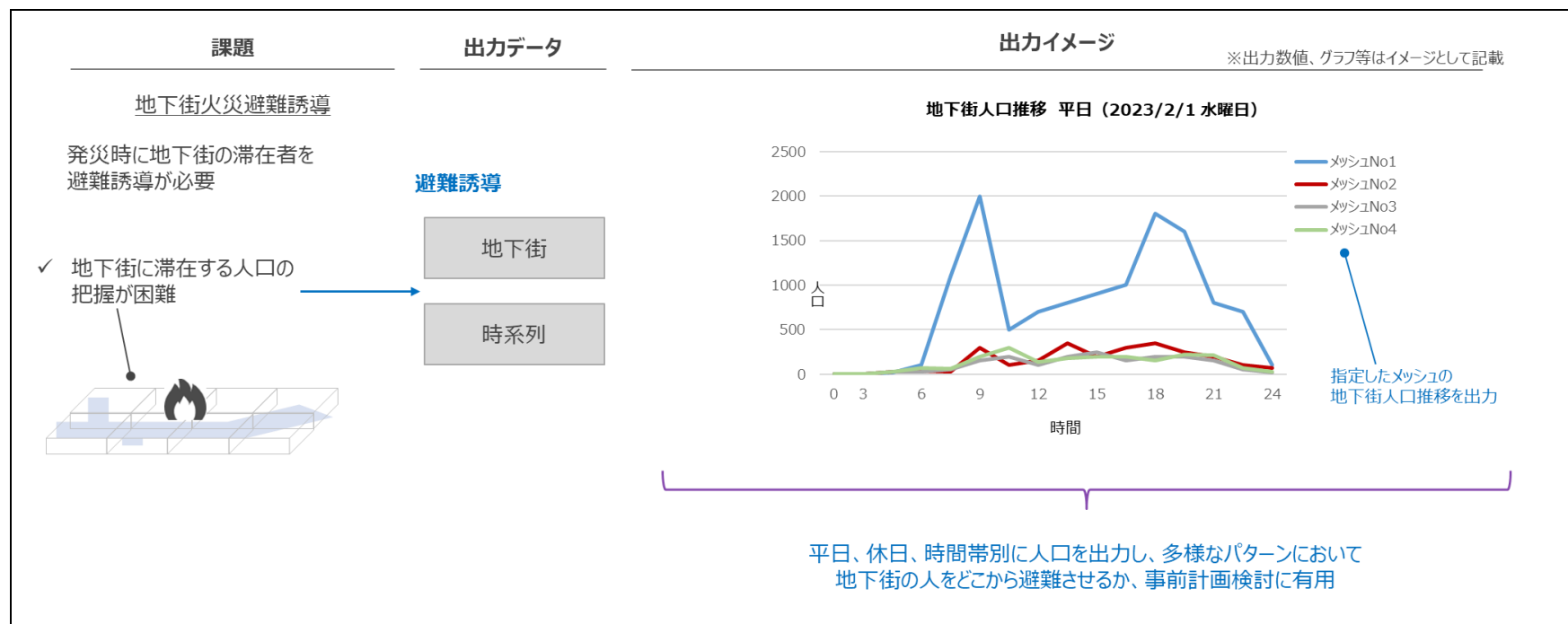
用途 5：高層ビル火災避難誘導 災害時

発災時に出火上層階の避難階段の位置と人口分布を踏まえ、出火上層階に残された人の避難誘導に活用が期待できる。



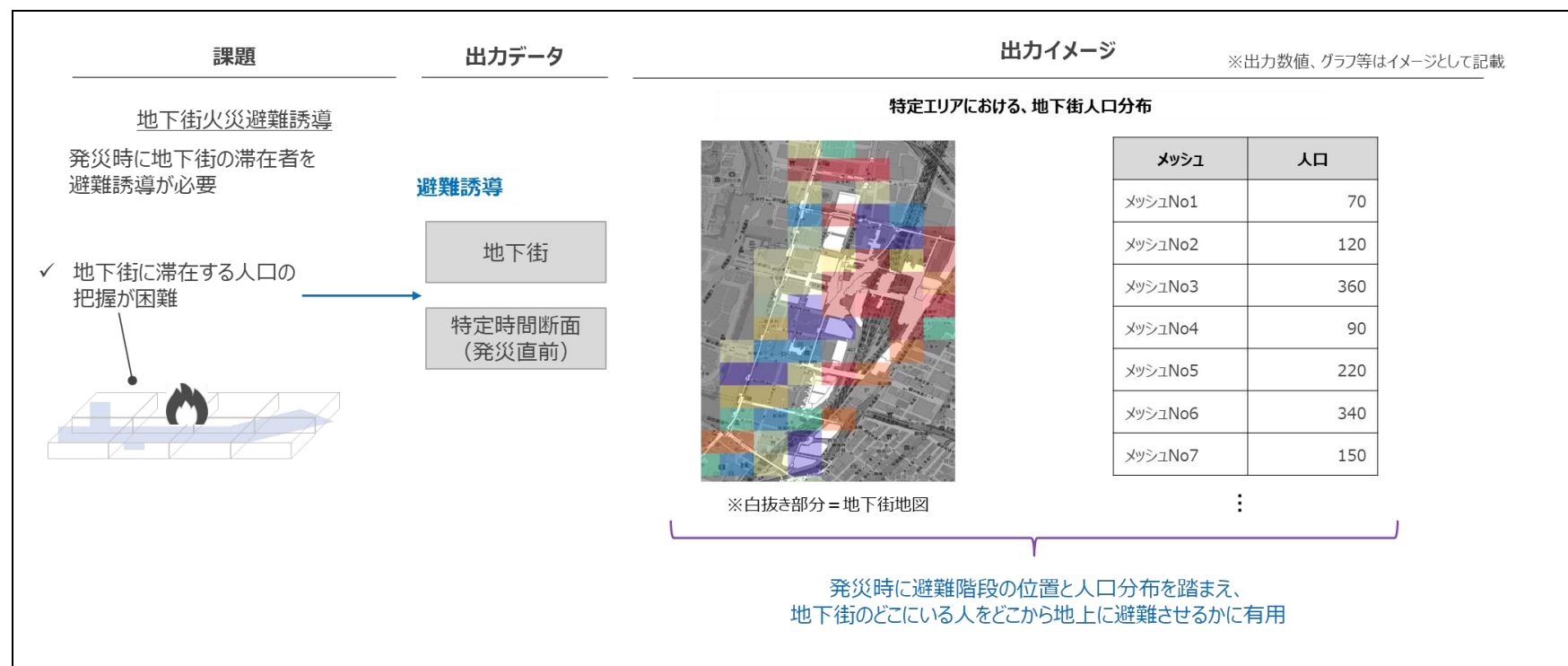
用途 6：地下街火災避難誘導 事前計画

地下街のメッシュ別人口の時系列推移より、平日、休日や時間帯別の人口推移の傾向を把握し、平日／休日別、時間帯別、イベント別等様々なケースでの避難誘導の事前計画検討に活用が期待できる。



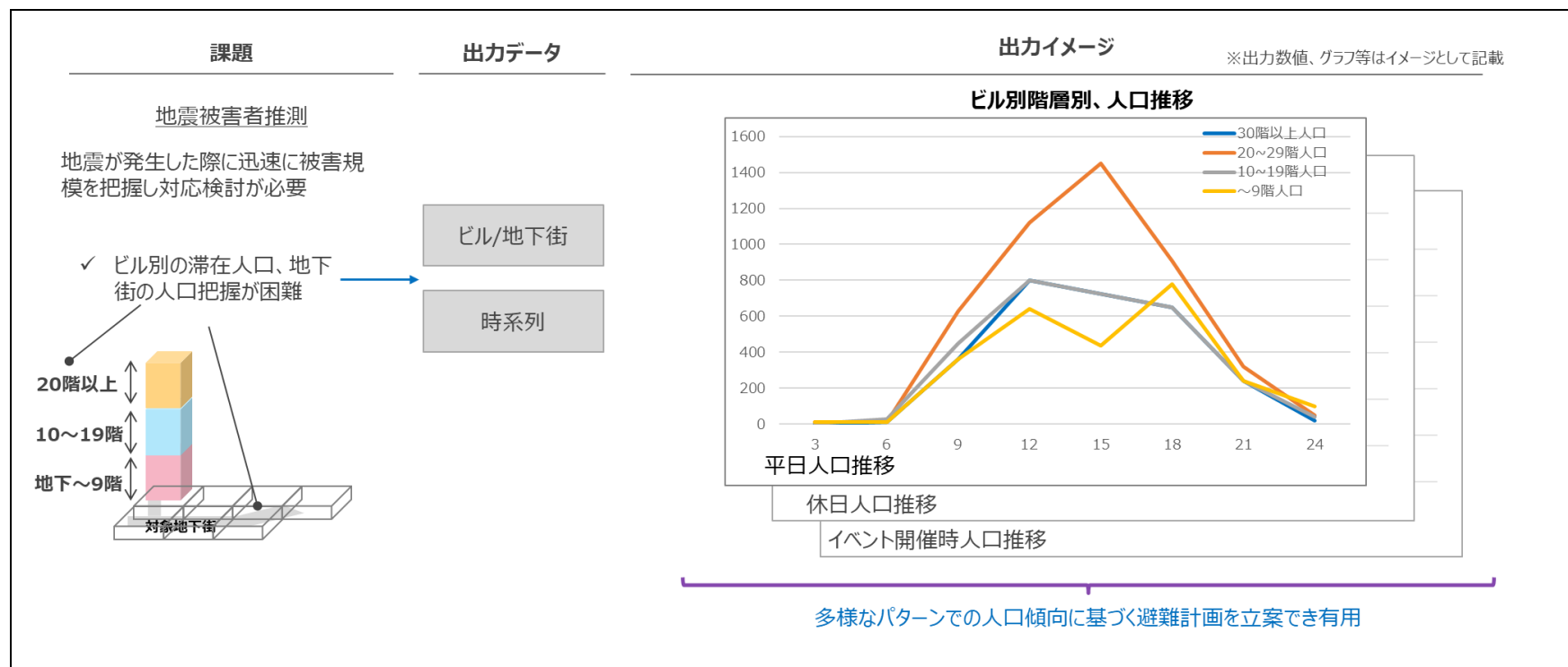
用途7：地下街火災避難誘導 災害時

地下街のメッシュ別人口により発災時の人口分布を把握し、人口分布と避難階段の位置とを踏まえた避難指示を行う等、地下街から地上への安全な避難計画に活用が期待できる。



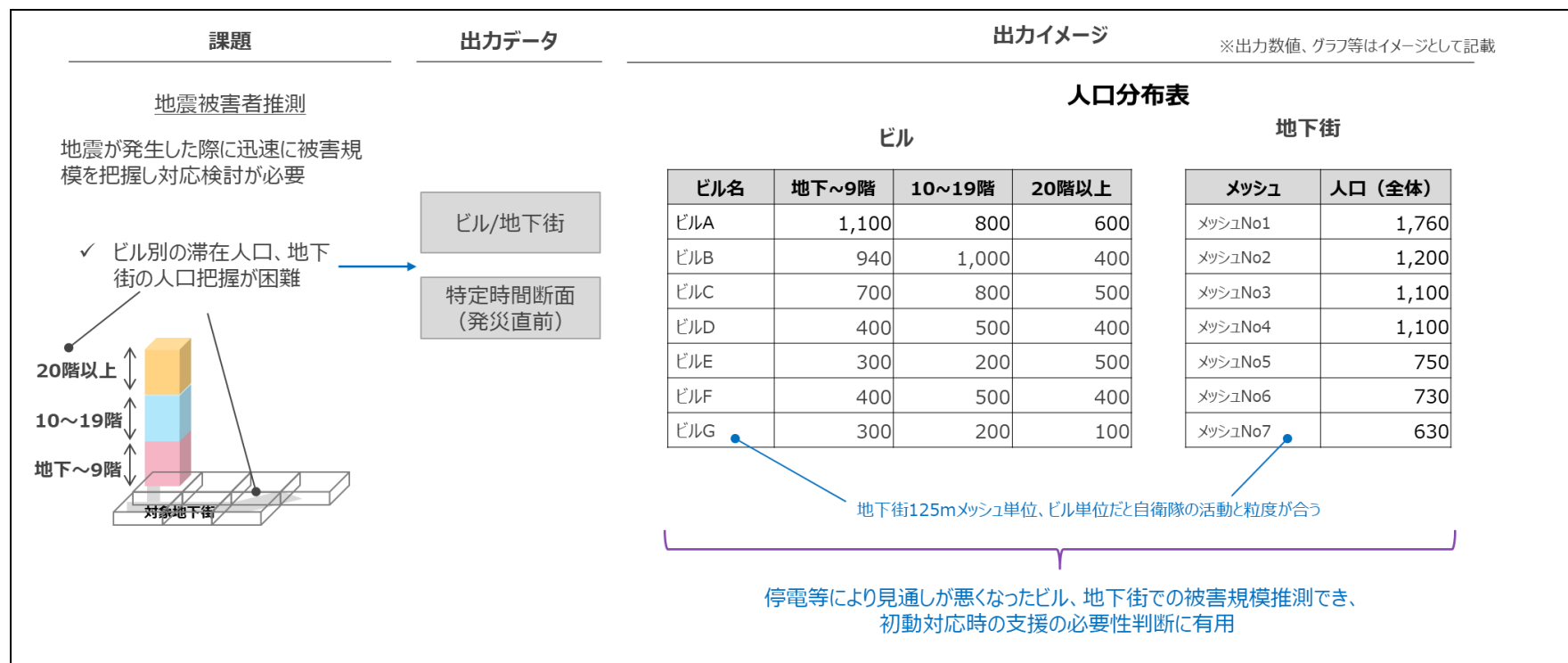
用途 8 : 地震被災者推計 事前計画

ビル別階層別人口／地下街の時系列推移により、特定時間帯、特定ビル／地下街の人口の傾向に基づく避難誘導の事前計画の立案に活用が期待できる。



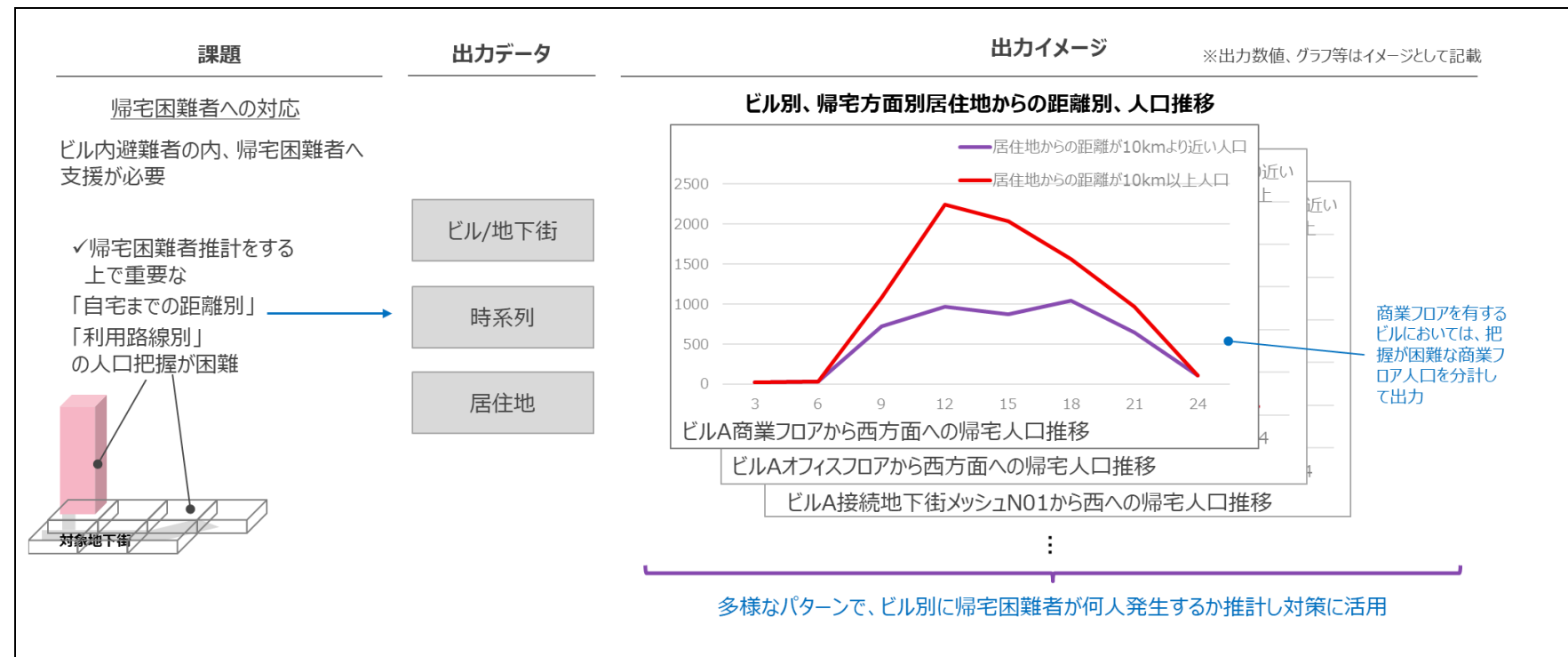
用途 9：地震被災者推計 災害時

ビル、地下街の発災直前人口から、被災者がどこに何人いるか把握し、初動対応時の支援の必要性判断等に活用が期待できる。



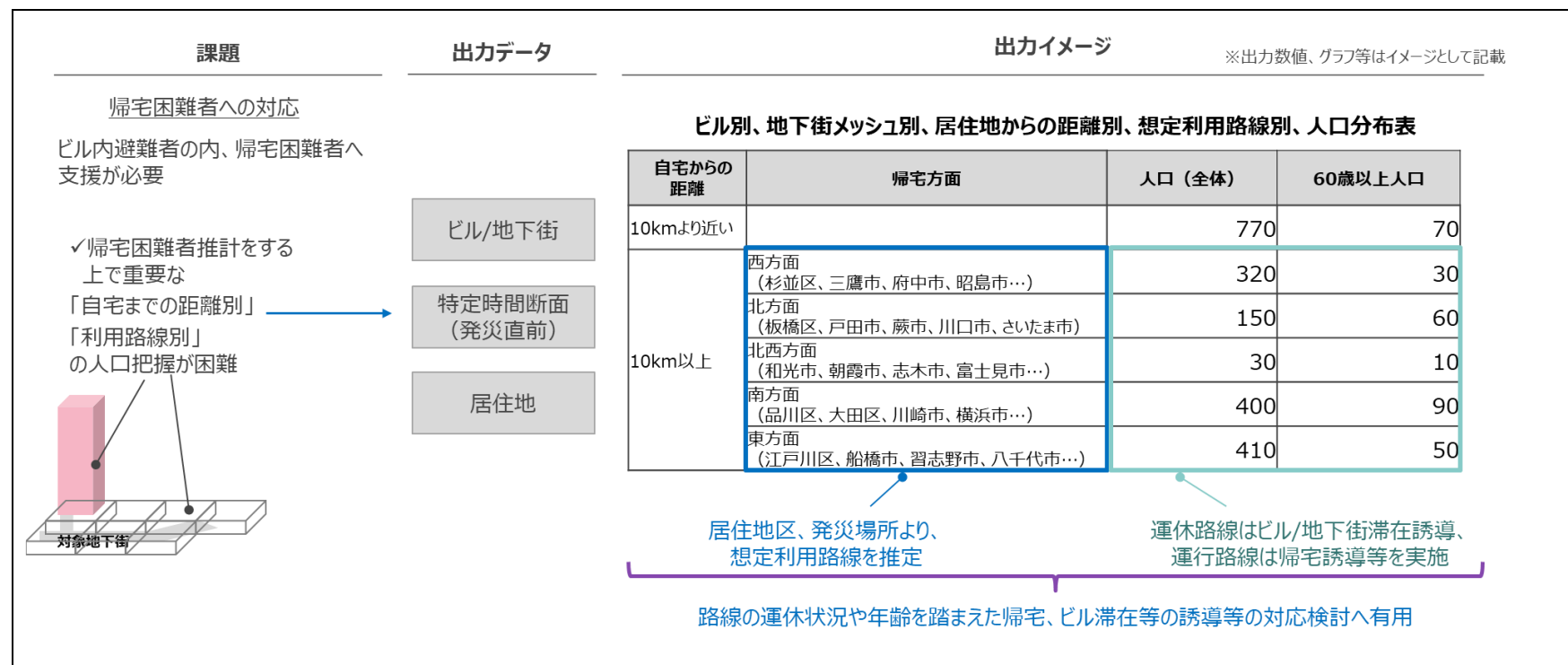
用途 10：帰宅困難者推計 事前計画

帰宅困難者の推計にあたり、特に商業フロアの人口変動の把握が困難であり、居住地からの距離別、帰宅の方角別、時間帯別、イベント別等様々なパターンにおける帰宅困難者の予測、予測に基づく備蓄品配備等の計画への活用が期待できる。



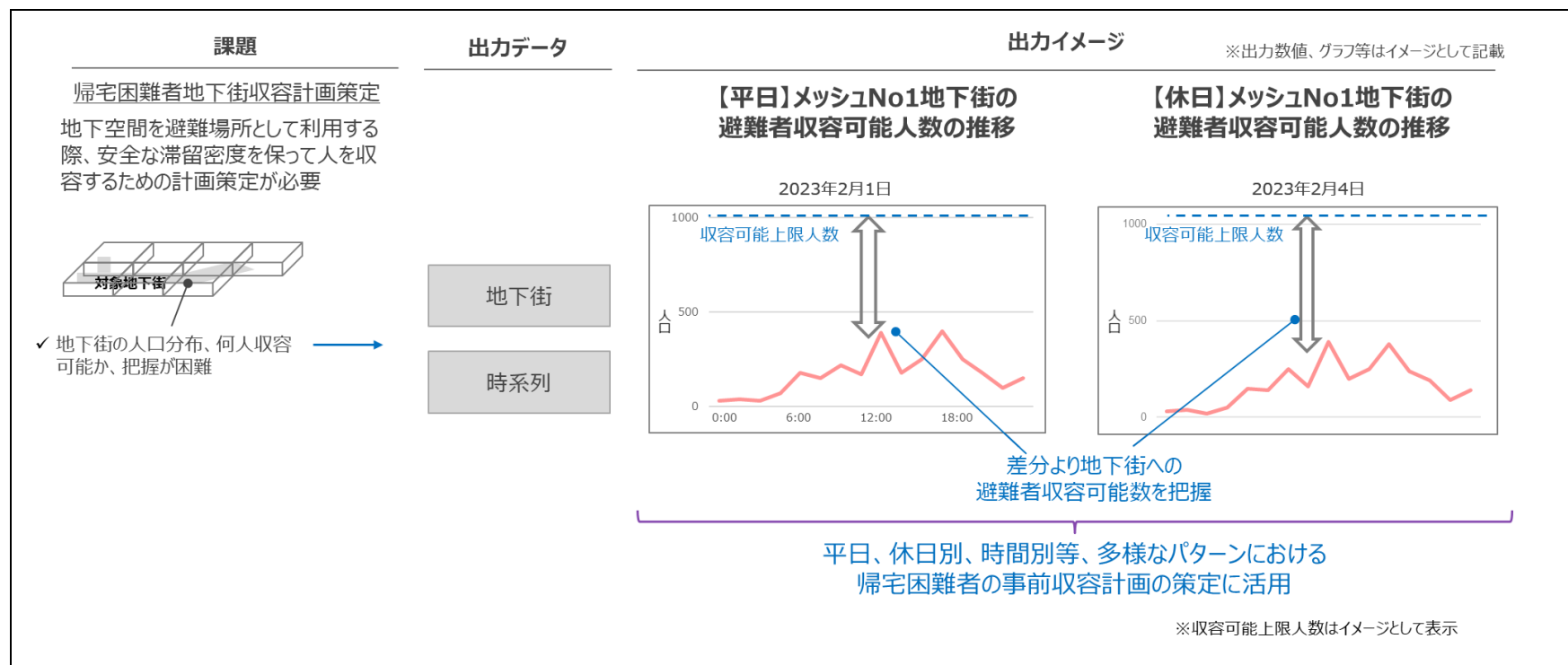
用途 11：帰宅困難者推計 災害時

発災直前の自宅からの距離・想定利用路線別のビル内人口、高齢者人口を出力。路線の運休状況や年齢を踏まえた帰宅、ビル滞在等の誘導等の対応検討に活用が期待できる。



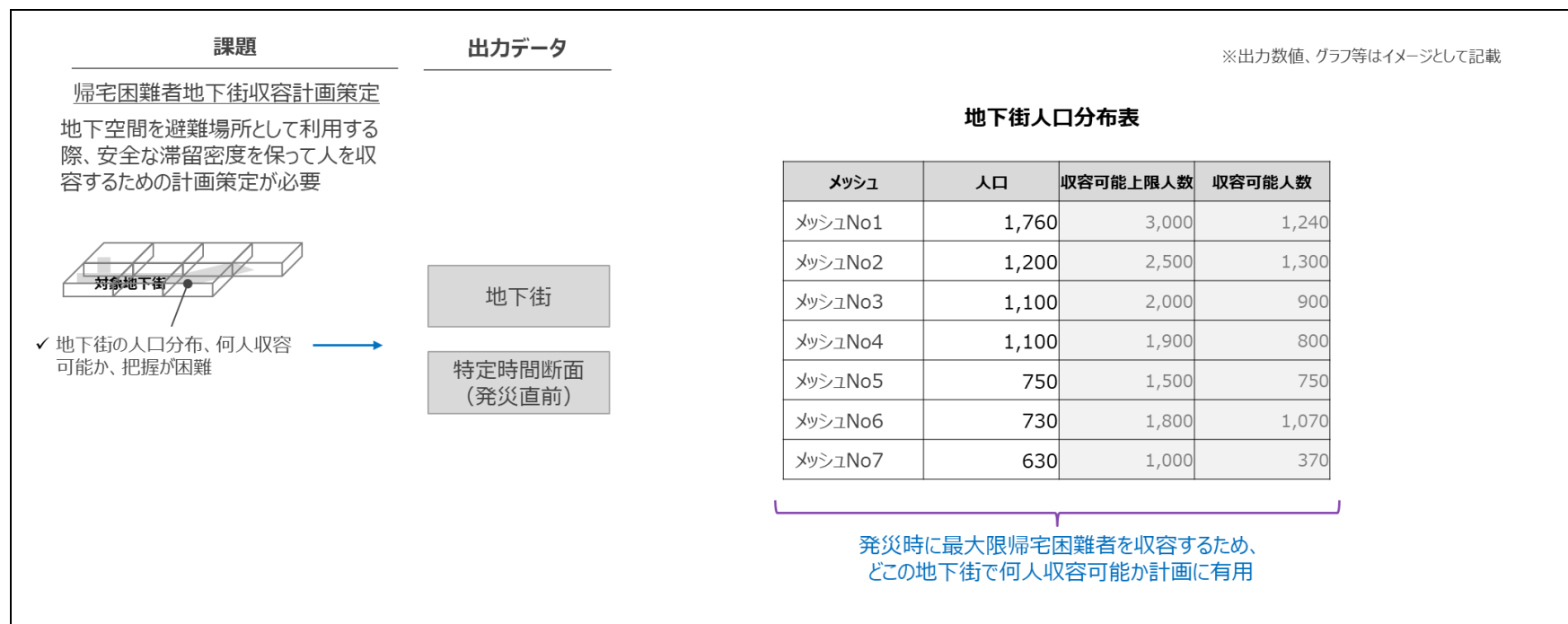
用途 12：帰宅困難者地下街収容計画策定 事前計画

地下街人口の時系列推移と地下街の収容可能上限人数をもとに、平日、休日別、時間別等、多様なパターンにおける地下街の収容可能人数の傾向を把握し、帰宅困難者の事前収容計画の策定に活用が期待できる。



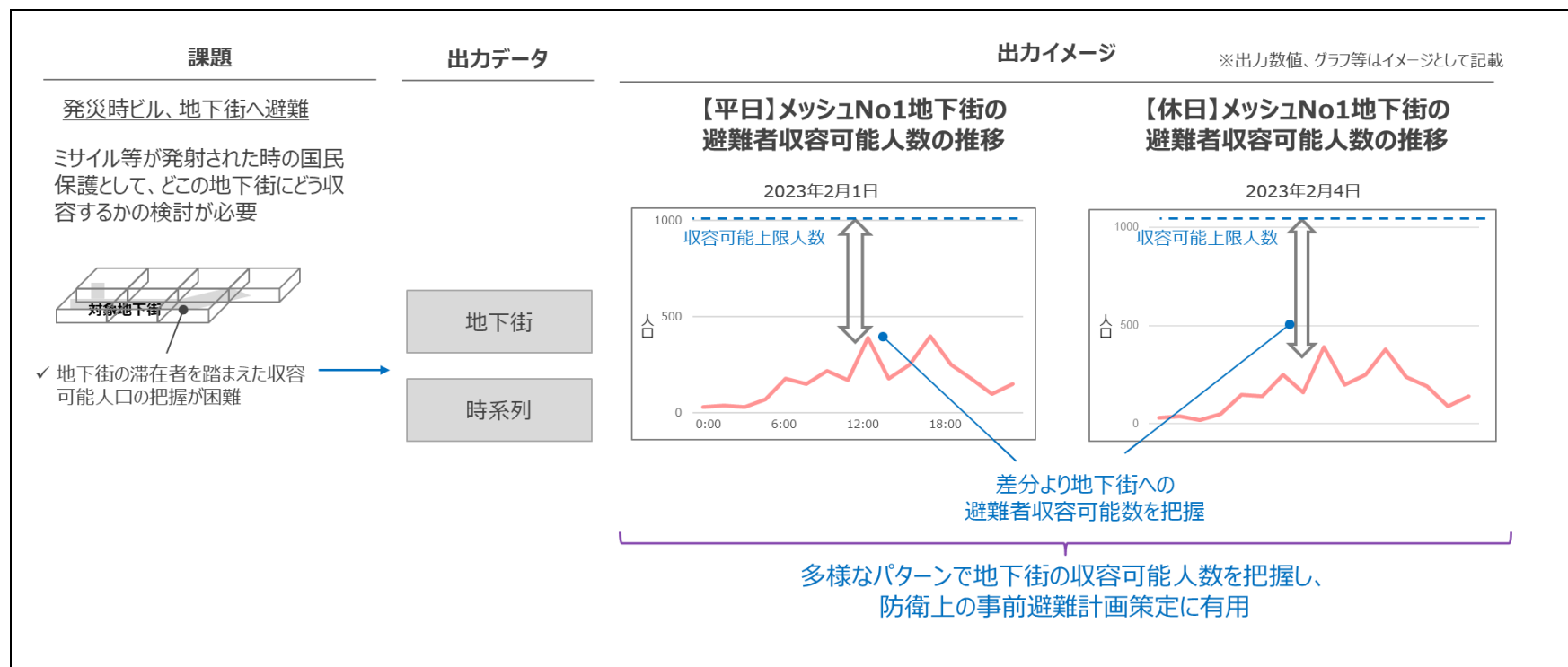
用途 13：帰宅困難者地下街収容計画策定 災害時

発災時の地下街メッシュ別の人口分布と収容可能上限人数により、追加可能な収容人数を推計し、帰宅困難者の収容計画に活用が期待できる。



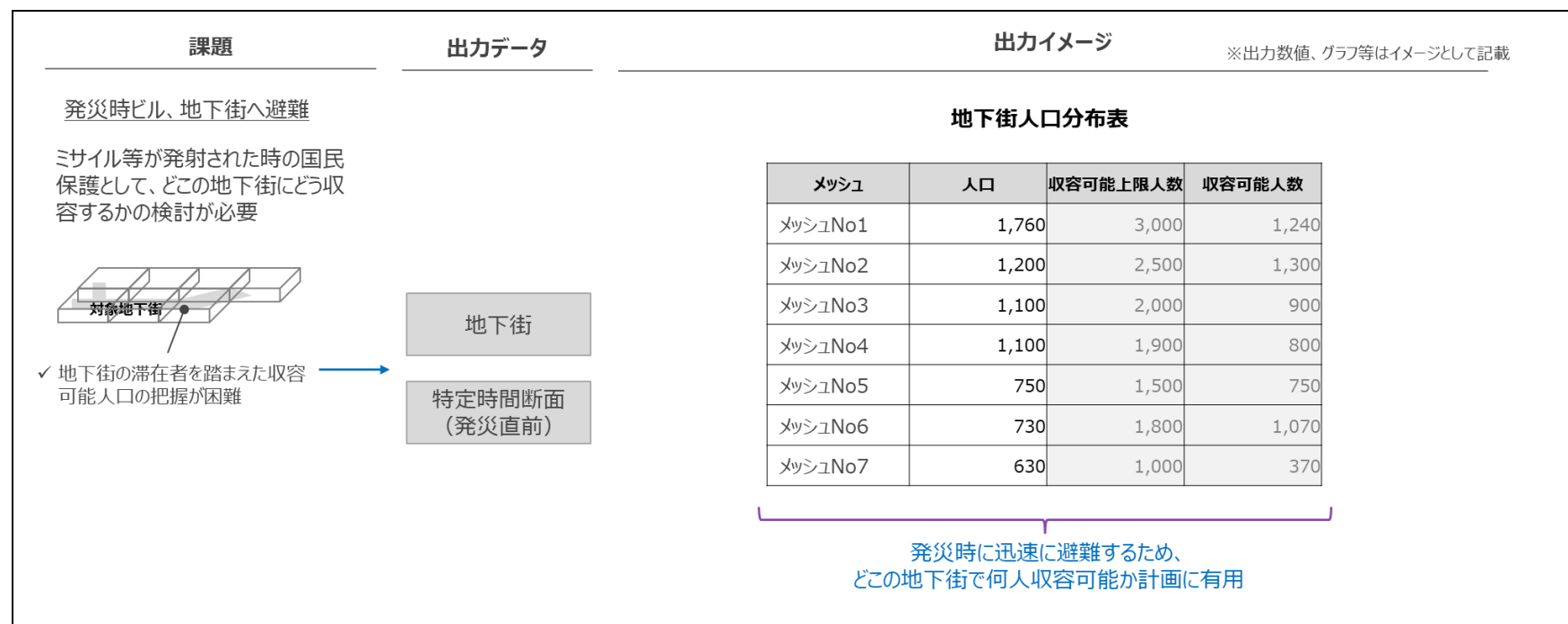
用途 14 : 国民保護計画策定 事前計画

地下街人口の時系列推移と地下街の収容可能上限人数をもとに、平日、休日別、時間別等、多様なパターンにおける地下街の収容可能人数の傾向を把握し、弾道ミサイル発射時の地上から地下への避難等防衛上の事前避難計画策定に活用が期待できる。



用途 15 : 国民保護計画策定 災害時

発災時の地下街メッシュ別の人口分布と収容可能上限人数により、追加可能な収容人数を推計。弾道ミサイル発射時に迅速に、地下街へどのように避難するか的事前計画に活用が期待できる。



46 補足は NTT ドコモの作成資料及び NTT ドコモへのヒアリング結果より。NTT ドコモの知的財産権を含む。

4.7 アクセラレーションプログラム

4.7.1 プログラムの全体概要

(1) プログラムの目的

GIS・地下埋設物のユースケース以外のユースケースの発掘を目的として、空間 ID の活用を前提に、幅広い事業者に 3 次元空間情報に関するデジタルツインの新たなユースケース検討を促すアクセラプログラムを企画した。また、空間 ID をインデックスとし多様な情報を参照するための仕組みを実現するための初期の実証として位置付け、プログラムでの採択事業者が、用意した提供リソースを活用することで、その有用性の検証も実施した。

(2) 審査基準

アクセラプログラムの採択企業審査においては、第三者専門家の審査を通じて、以下表 4.7-1 審査基準を設定し審査員の総合得点による審査を実施した。なお同審査基準はデジタル庁及び第三者専門家と協議の上決定した。

表 4.7-1 審査基準

大項目	中項目	小項目
テーマとの整合性	空間 ID の活用	空間 ID の有用性を示す提案か
	提供する環境リソースの活用	提供リソースを有効活用する提案か
実現インパクト	市場性	ターゲットとする市場規模と経済的価値
	社会的意義	提案サービスの社会的価値
	新規性・独自性	サービス内容、技術のユニークさ、革新性
実現性	提案内容の実現性	アイデアは論理整合性があり、実現可能なものか
	遂行体制	プロジェクトチームの実行体制は期間内に開発、実証するに十分か
	情熱、コミットメント	チームの情熱、コミットメント

(3) 提供リソース

採択事業者には空間 ID をインデックスとして多様な情報を参照可能とするためのリソースとして、以下を提供した。

1) 環境

① アクセラプログラム用ベクトルタイルデータ配信基盤

空間 ID を用いてリクエストを行うことで、空間 ID を持つオブジェクトを取得するための API の配信基盤をベクトルタイル配信システムとして構築したもの。配信予定のデータはベクトルタイルとして整備され、システムに格納され、運用される。

② GitHub を活用したベクトルタイルデータの生成・配信基盤

GitHub に定められたフォーマットの CSV、GeoJSON ファイルをコミットすると、ベクトルタイルが自動生成され、GitHub Pages 上にホスティングされる。URL が発行されるので、その末尾等に空間 ID を付与してリクエストをすることで、データが返却される。

③ ベクトルタイルデータ取得 SDK

ベクトルタイルデータ配信基盤（アクセラプログラム用ベクトルタイルデータ配信基盤及び GitHub を活用したベクトルタイルデータ配信基盤）に対して、空間 ID を用いてリクエストを送り、データを受け取って操作することができる。

④ ジオコーディング API

住所から緯度経度を特定することができる。

2) データ

東京都港区エリアを対象に以下のデータをベクトルタイル化し、アクセラプログラム用ベクトルタイルデータ配信基盤を通じて提供した。

① 3D 都市モデル (PLATEAU)

地図情報提供会社より購入した「建物住所データ」及び「建物ビル名称データ」が紐付いた、国土交通省都市局が公開している 3D 都市モデル (PLATEAU) の最新の建物データ (CityGML 形式)。建物の座標指定や、デジタル地図上での建物の指定等の手段によって指定した建物の住所と建物名等を取得できる。

② 人流統計

座標から混雑度合い等に関する有用なデータを、時期や性別、年代等ごとに 125 メートルメッシュ単位で取得することができる。当データは、地図情報提供会社より購入した。

③ 物件データ

マンション、アパート等様々な物件の棟データ（詳細住所、建物名等）と戸データ（築年数、家賃、駅からの所要時間等）を取得することができる。当データは、不動産情報を提供する会社より提供を受けた。

(4) 実施体制

アクセラプログラムの企画運営、提供リソースの開発、データ作成は以下図 4.7-1 実施体制図のような体制・役割分担で行った。

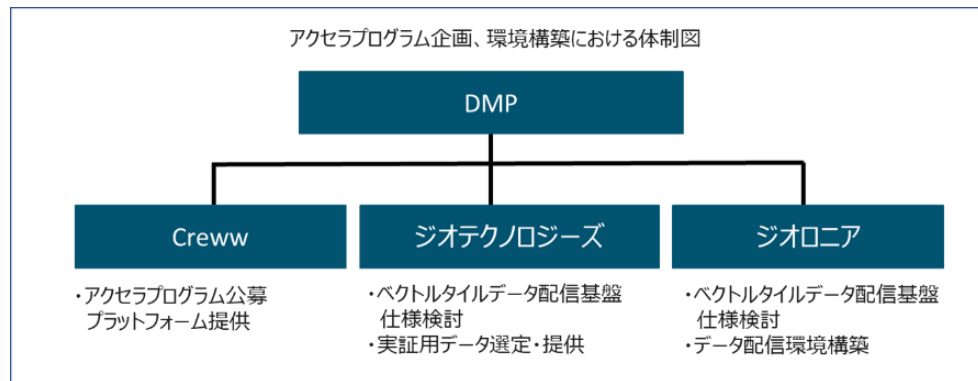


図 4.7-1 実施体制図

(5) 採択企業・ユースケース

選考の結果、以下の2社を採択企業とした。

- 1) 採択企業名 : 株式会社スーパーソフトウェア
選定ユースケーステーマ : 生活に溶け込むデジタル空間の実現に向けて
- 2) 選定企業名 : 株式会社ユーカリヤ
選定ユースケーステーマ : ノーコードでの空間 ID 活用に向けたシステム開発の実証実験

4.7.2 選定ユースケースの概要

(1) スーパーソフトウェア

1) 実証概要

街中に設置されるデジタルサイネージをタッチポイントとした、自治体等によってオープンデータとして整備される地域の情報等を視覚的に提供する機能を備える「分散型情報提供サービス」の社会実装に向け、プロトタイプシステムの開発を実施することで、空間 ID を活用したサービスの実現可能性を実証した。このサービスは、空間 ID に紐づく地域の情報を視覚化して利用者に提供することで、観光、日常生活や災害時等における情報格差の改善やデジタルサイネージを利用した広告市場の拡大等に貢献するこ

とが期待される。また、プロトタイプシステムの開発過程において、空間 ID をインデックスとして様々な空間データを取得できることの有用性を確認し、整備要件等を明確にした。

2) 将来ビジョン

本業務は、建物単位の情報を含む広域なデータを活用した「街の 3D デジタル案内板」としての情報提供サービスを想定して開発に着手した。その後は、ショッピングモールの各店舗の情報等のより狭域で流動性の高いデータの活用に幅を広げ、将来的には、遠隔地の事業者によるデジタルポップアップストアの出店先としての活用等、生活に密着したデジタル空間を備える都市 OS のユーザーインターフェースとしての役割を担うことを想定している。

3) 実証シナリオ

提供リソースから提供されるデータを活用して、街の建物や避難場所等の地域情報を視覚的に提供する「街の 3D デジタル案内板」をプロトタイプシステムとして開発した。プロトタイプシステムの開発においては、空間 ID をキーとする空間データの動的取得アルゴリズムを組み込んだアプリを実装し、デジタルサイネージで視覚化される情報の地理的範囲と情報種別が利用者操作により動的に変化することで、地域特有の情報を容易に提供できるデジタル案内板として整備可能なことを確認した。

開発したプロトタイプシステムのユーザーテストとして、東京都港区の浜松町駅にある「港区観光インフォメーションセンター」にデジタルサイネージが設置されることを想定し、同施設の訪問者の視点で、アプリをダウンロードしたスマートフォンから実際にデジタルサイネージを操作し、その所感をアンケートとしてまとめた。多数の方の意見をもらうため、5日間にわたりユーザビリティ検証を実施した。

4) 検証プロセス

本実証での検証プロセスを以下図 4.7-2 検証プロセス図のように設定し、空間 ID をキーとして取得する人流統計メッシュデータ、PLATEAU 属性データ、物件情報データ、港区オープンデータを活用した情報提供サービスが実現できることを検証した。

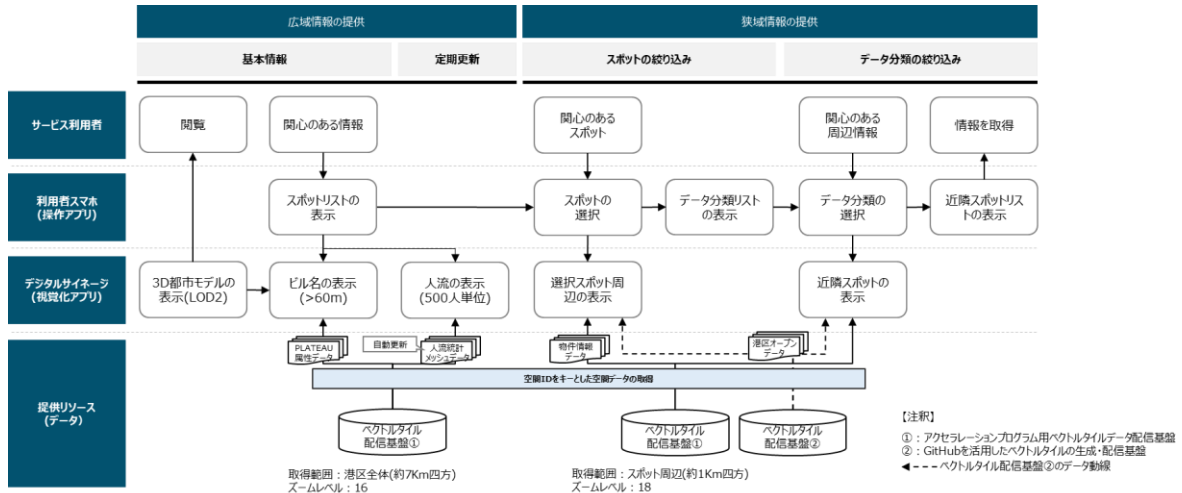


図 4.7-2 検証プロセス図

5) 開発概要

本実証の開発スコープとなる開発内容及び図 4.7-3 システムコンセプト図をそれぞれ以下に示す。

3D デジタル案内板は3層のステークホルダーによって稼動するシステムを想定している。システム開発にあたっては、利用者操作により情報の範囲と内容がダイナミックに変化する仕組みのリファレンス実装として、下記2つのアプリを開発した。

- ① 空間 ID をキーに取得した空間データをディスプレイに表示する視覚化アプリ
- ② 利用者スマホから視覚化アプリを操作する操作アプリ

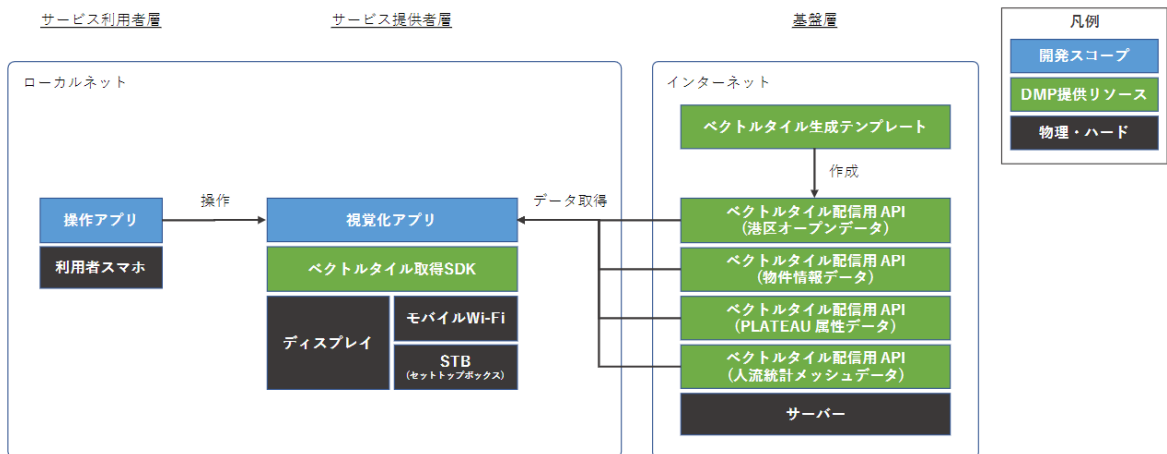


図 4.7-3 システムコンセプト図

6) ステークホルダー

以下表 4.7-2 スーパーソフトウェアのステークホルダーに記載するステークホルダーと適宜連携し、実証・開発を実施した。

表 4.7-2 スーパーソフトウェアのステークホルダー

ステークホルダー	実証における役割
株式会社スーパーソフトウェア	<ul style="list-style-type: none"> ・本実証の取りまとめ及び実施 ・ユースケース、コンセプト及び本実証システム全体のマネジメント、エンジニアリング
ダイナミックマッププラットフォーム株式会社	<ul style="list-style-type: none"> ・アクセラプログラムの企画、実施、全体取りまとめ ・上記 4.7.1 (3) 提供リソースの環境整備、提供

7) 実証結果

地域の情報等を視覚的に提供するシステムの開発と、そのユーザーテストを通して、空間 ID をインデックスとして様々な空間データを取得し、アプリケーション上で活用するサービスの実装・整備が可能であることが確認できた。また、ユーザーテストによる評価においては、以下図 4.7-4 アンケート結果に示す通り、同一空間に関連する異なる情報を立体的な表現で視覚化して提供することに対するニーズが確認でき、本実証での実装方針が空間 ID を活用したサービスの実現可能性において有効であることを確認した。

■ユーザーテスト参加者：14名

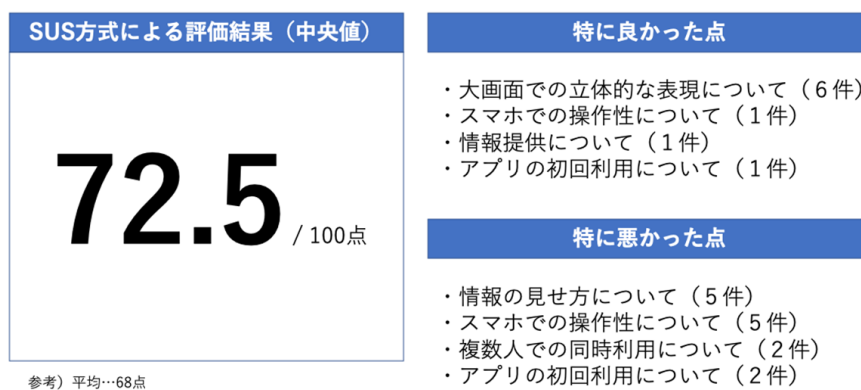


図 4.7-4 アンケート結果

8) 考察

空間 ID をキーとして港区の人流統計メッシュデータ、PLATEAU 属性データ、物件情報データ、港区オープンデータといった様々な空間データを想定通りシステムで扱うことができたのは、種類の異なるデータにおいてもデータ形式と属性に一貫性があったことが要因として考えられる。これは空間 ID が単なる連番のインデックスではなく、階層構造を持つという特徴により実現されており、アプリ実装においても容易にデータを活用できるという効果を得られた。一方で一つの規格として空間 ID の有効活用を検討する場合、高さ情報、時間情報、詳細リンク（例：詳細が掲載されているウェブページの URL 等）、多言語表記等、紐付けるデータの属性においても一貫性のある拡張が期待される。空間 ID を活用するサービスを開発し、実用化していく際にはデータの拡充と同時に空間 ID をキーとするデータの拡張仕様についても整備を進めていくことが必要と考えている。データ拡張仕様の案として、空間データとしてのメタ情報（高さ情報、時間情報等）とその空間に紐付いているデータに関するエンティティ情報（詳細リンク、多言語表記など）をデータ構造的に分離した上で、種類の異なるデータが同一の空間に紐付きうることから、エンティティ情報のデータ構造に柔軟性と共通性を持たせるといったことが考えられる。

今回、分散型情報提供サービスのプロトタイプとして開発した「街の 3D デジタル案内板」についてはデータの有無で提供可否が決まるという性質が特に強く、LOD2 レベルの広域データの拡充にそった事業化の計画が必要となる。そのため現時点ですぐに実用的なサービスとして事業展開できる状態ではない。ただし、今回実証できたシステムを活用しつつ、1つの観光地における活用など、狭域で流動性の高いデータに絞り込んだ具体案を創出していくことによって短期的にも事業化の見込みのあるものとして捉えている。

(2) ユーカリヤ

1) 実証概要

空間 ID を活用した様々なユースケースが創出される中で、地理空間情報を専門としないユーザーまたはノンエンジニアが空間 ID を簡単に操作できる環境の構築の必要性が高まると想定される。そこで、ユーカリヤの WebGIS システム「Re:Earth」上に、空間 ID が付与された空間ボクセルを標準装備し、空間 ID に紐付いた様々な空間データの情報をボクセルに紐付けて 3D 地図上で可視化できる汎用的な機能を開発し、その有用性を実証した。この機能開発において、空間 ID をインデックスとして様々な空間データを取得できることの有用性を確認し、整備要件等を明確にする。

2) 将来ビジョン

今年度開発した機能を拡張することで、将来的には、以下のように幅広い場面での空間 ID の活用（普及）を期待できる。

- ・ 自治体における各政策等の意思決定者やその他のステークホルダー（ノンエンジニア）が、空間 ID 含む 3 次元空間情報を自ら扱うことができるようになることで、より多くの意見を反映した意思決定ができるようになる。
- ・ エリアやユースケースを横断して利用可能な汎用的なプラグインとして機能提供することで、コミュニティ全体において、開発リソースの共有を可能とし、コスト削減に寄与する。
- ・ 既存のデータをノーコードで簡単に空間 ID に変換し、利用できる環境を整備していくことで、空間 ID 対応データのオープンデータ化を促進する。

3) 実証シナリオ

空間 ID をインデックスとして取得したデータやユーザーが独自に用意した CSV ファイルを、空間 ID が付与された空間ボクセル上に可視化する機能を開発し、「Re:Earth」上に実装したユーザーによる、データ読み込みからデータ可視化までの一連の作業において、一切のコーディングや専門知識を必要とせずに行うことができることを検証した。また、可視化するデータは、ベクトルタイルデータ配信基盤や CSV ファイルから取得することで、様々なデータを取得するための空間 ID のインデックスとしての有用性の検証を実施した。

- ・ 想定ユーザー：地理空間情報を専門としないユーザーまたはノンエンジニア
- ・ 実証内容：

- ・ イベントに参加し、ユーカリヤが開発した機能を用いて空間 ID をノーコードで操作する。
- ・ 港区のオープンデータ等の任意の CSV データを空間 ID と紐付けて閲覧することで、各空間の特色などを閲覧する。また、人流データによりボクセルを色分けすることによって、各空間の人流を視覚的に見て体験する。
- ・ ホワイトボードを用いて、空間 ID の有用性等を話し合うディスカッションを行う。
- ・ イベント参加者より、空間 ID の活用案などアンケートを取りまとめる。

4) 検証プロセス

本実証での検証プロセスを以下図 4.7-5 検証プロセス図のように設定し、実証を行った。

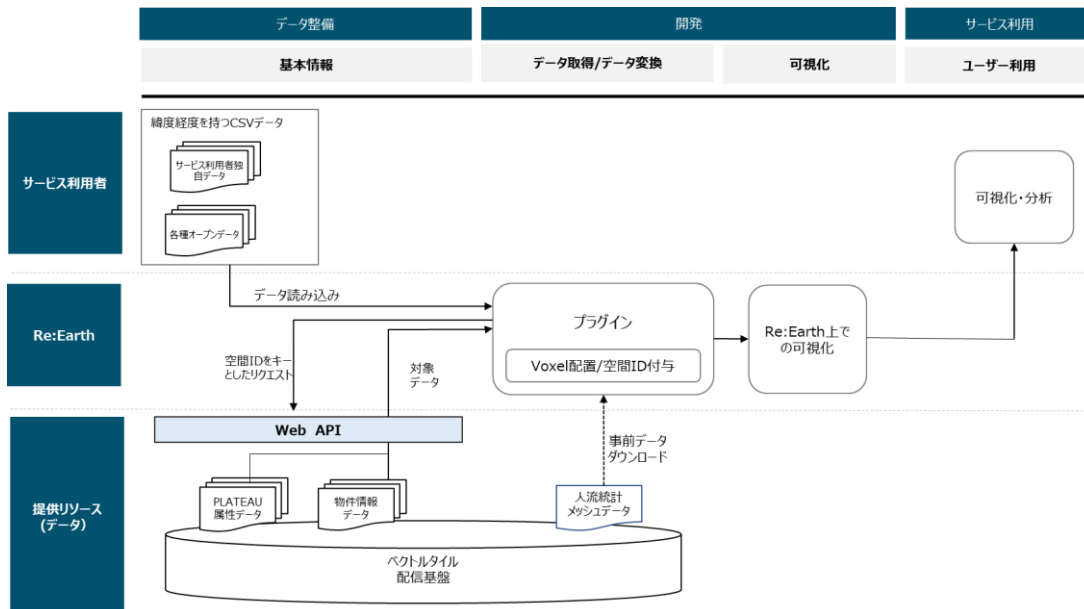


図 4.7-5 検証プロセス図

5) 開発概要

本業務の開発スコープとなる開発内容及び図 4.7-6 システムコンセプト図をそれぞれ以下に示す。

空間 ID を付与した空間ボクセルと属性結合を行う Re:Earth 上で機能するプラグインを開発した。

- ① ズームレベル 16 における空間ボクセルを事前に 3DTiles 形式にて整備し読み込む。

- ② ダウンロードした人流統計 125 メートルメッシュデータを①で読み込んだ空間ボクセルに紐付け、属性の値に応じて空間ボクセルで色を変更することで視覚的に表現する。
- ③ 空間 ID をインデックスとしてベクトルタイル配信基盤から取得した属性情報を、①で読み込んだ空間ボクセルに紐付ける。
- ④ 座標情報のあるオープンデータやユーザー独自の CSV データを読み込んで、属性情報を①で読み込んだ空間ボクセルに紐付ける。
- ⑤ 空間 ID に紐付けた CSV データを、CSV もしくは GeoJSON 形式でダウンロードする。

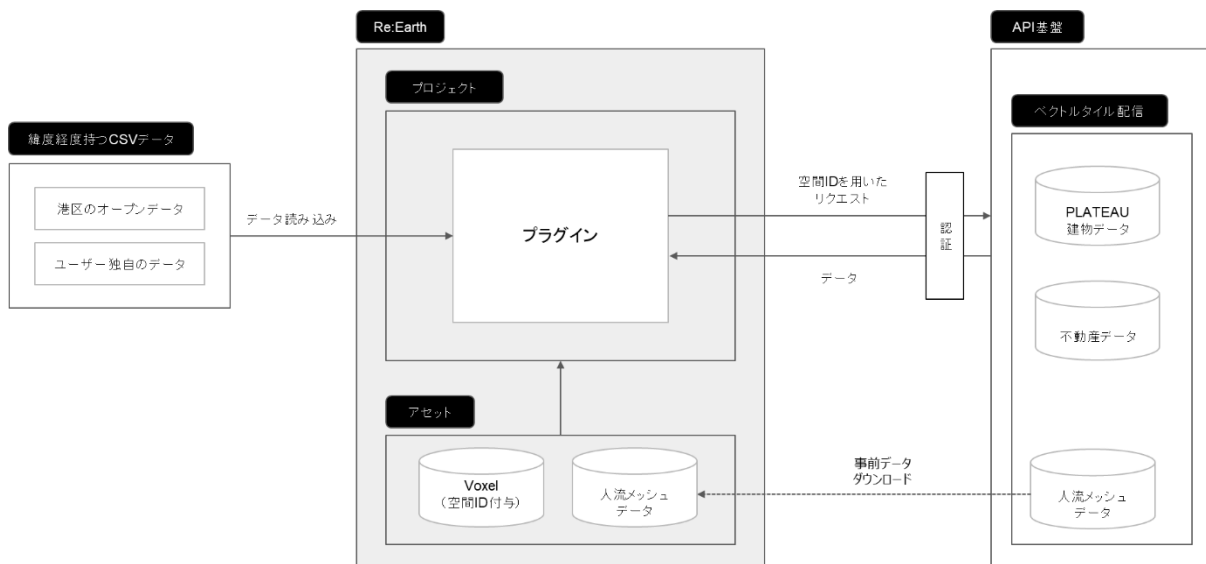


図 4.7-6 システムコンセプト図

6) ステークホルダー

本実証においては、以下表 4.7-3 ユーカリヤのステークホルダーに記載するステークホルダーと適宜連携し、実証・開発を実施した。

表 4.7-3 ユーカリヤのステークホルダー

ステークホルダー	実証における役割
株式会社ユーカリヤ	<ul style="list-style-type: none"> ・本実証の取りまとめ及び実施 ・ユースケース、コンセプト及び本実証システム全体のマネジメント、エンジニアリング

ステークホルダー	実証における役割
ダイナミックマップ プラットフォーム株式会社	<ul style="list-style-type: none"> ・アクセラプログラムの企画、実施、全体取りまとめ ・上記 4.7.1 (3) 提供リソースの環境整備、提供
2023年2月21日の イベント参加者（自治体 職員、民間事業者等）	開発した機能を用いて、実際にノーコードで人流データやオープンデータを任意に可視化し、港区の特徴を検討してもらう

7) 実証結果

本業務を通して、空間 ID が付与された空間ボクセルを「Re:Earth」上に実装することで、ノンエンジニアのユーザーによる、空間 ID をインデックスとして取得したデータの可視化や座標情報のある CSV データ読み込みからデータ可視化までの一連の作業を、一切のコーディングや専門知識を必要とせずに実施できることを確認した。また、実証イベント後のアンケート結果からも、当機能は空間 ID の普及や理解深堀に有用であると考えられる。アンケート結果を以下に示す。

イベント参加人数：19名

■ 建設業 ■ 公務員 ■ 運輸業 ■ 情報通信業 ■ 製造業 ■ メディア

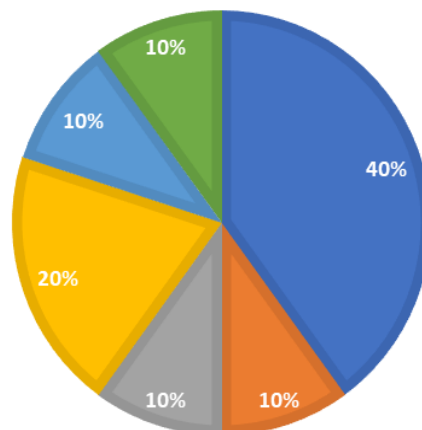


図 4.7-7 イベント参加企業



図 4.7-8 イベント参加者の理解度の変化

一方で、実証により見えてきた課題として、途中で操作につまずく参加者もいたため、より直感的かつシンプルな操作で空間 ID を扱える、UI/UX の検討が必要となる。

また、本業務は、ズームレベルを 16 に固定かつ港区に絞って実証を行っているため、今後様々なズームレベルかつより広域を対象とした場合、パフォーマンス上の課題が想定される。ズームレベル 16、f=0（高さ情報なし）であっても、参加者の PC スペックや通信環境によってはレンダリングに時間がかかることもあった。そのため、ズームレベル、高さ情報、対象地域のバリエーション展開を検討する際には、データサイズが大きくなるため、今後の対応課題として認識した。

8) 考察

今回の実証実験を通し、ノーコードで空間 ID を簡単に扱うことができる環境を提供することによって、利用者の属性問わずほとんどの方が、実際に空間 ID を手にとって体験し、短時間で空間 ID についての理解を深められることが検証できた。今後空間 ID をより広範に展開していくためにも、例えば、自治体向けに同様のワークショップを開催する等し、空間 ID の普及・発展にとって重要なステークホルダーを巻き込んでいけると良いと考える。また、既存データを簡単に空間 ID 対応できるようなインタフェースの提供によって、空間 ID 対応のデータがないという課題を解決し、段階的な空間 ID の普及に貢献できると考えられる。一方で、上空へ展開した際の UI/UX のあり方の検討や、より大きなズームレベルへの対応等、技術的に改善すべきポイントも多く見つかった。今後、ノーコードで構築された空間 ID 対応の 3 次元地図が、実践的なユースケースに利用されていくことを目指す。

5. 調査内容の公開

5.1 目的

本業務で得られた知見や検討した仕様、開発を行ったソーススクリプト等を可能な範囲で公開し、幅広い者が利用できるようにすることで、デジタルツインの社会実装、及びアプリケーションの開発を後押しすることを目的とする。

5.2 成果物の公開対象

本業務で公開する各成果物を表 5.2-1 に示す。

表 5.2-1 公開対象物・方法

納品成果物	内容	公開方法
調査報告書	業務概要、アーキテクチャ仕様、ユースケース仕様、実証概要・結果、考察	デジタル庁ウェブサイト上で公開
標準製品仕様書	ユースケース実証で作成した3次元空間 ID データや、仮想ユースケースとして設定したデータの仕様	同上
標準作業手順書	ユースケース実証で用いた3次元空間 ID データの作成に関わる作業手順	同上
オープンデータ	ユースケース実証用に作成したデータのうちオープン化が可能なもの（詳細後述）	同上
オープンメタデータ	ユースケース実証用に作成したメタデータのうちオープン化が可能なもの（詳細後述）	同上
その他成果物 (基盤システム)	地図・GIS 基盤インポートツール (ソースコード) 地図・GIS 基盤 Web API (ソースコード)	同上
その他成果物 (基盤システム以外)	共通ライブラリ (ソースコード、仕様書) データ品質評価のチェックシート	同上 (共通ライブラリは GitHub 上で公開)

5.3 データ・メタデータ公開対象

本業務のデータ作成実証にて作成したデータのうち、オープンデータとして公開するデータの一覧を表 5.3-1 に示す。

表 5.3-1 公開対象のデータ一覧

領域	ユースケース	データ名	概要
地図・GIS	統合災害情報の提供	浸水推定結果データ	衛星画像及び SNS 情報から推定した浸水域
	アクセラプログラム	人流メッシュ統計データ	125mメッシュをベースとした人流統計データ (ベクトルタイル)
		PLATEAU 建物データ	3D 都市モデル (Project PLATEAU) 東京都 23 区」オープンデータをもとにした建物情報 (ベクトルタイル)
地下埋設管理	地下埋設照会	地下埋設設備データ (模擬フィールド)	模擬フィールド内の地下埋設設備データ 模擬フィールド内の、地下埋設設備データから変換した地下埋設設備ボクセルデータと属性情報を格納したデータベース

6. 総括

6.1 空間 ID の考察

本業務で扱った複数のユースケースにおいて、空間 ID を活用した実証及び KPI の計測を行うことができ、空間 ID の利用可能性を確認することができた。各ユースケースにおける実証の成果及び空間 ID の有用性については 4 章に記載している。一方、各ユースケース実証の事業者からのフィードバック等を通して、更なる開発効率の向上や今後の普及を目指すにあたって、本業務のユースケース実証で得られた空間 ID の使用方法に関する知見や現状の空間 ID の定義における課題について考察し整理を行った。

(1) ボクセルの高さの基準（標高）と楕円体高の連携

空間 ID のボクセルはジオイドを高さの基準面としている。ジオイドは平均海面（標高 0m）を陸地に延長した面であり、空間 ID の鉛直方向のインデックス (f) が 0 のボクセルはこの標高 0m の面の上に配置される。本業務においてはユースケース実証で使用したデータの高さ情報を、ジオイドを基準とした鉛直方向の空間 ID のインデックス (f) に標高値として紐付けることで、建物内の店舗等の POI や地下埋設物等様々なデータの高さ情報を空間 ID によって管理することができた。「3次元空間情報基盤アーキテクチャ設計報告書³²」の「4-3 (1) 空間ボクセルを配置する高さの基準面」(34 ページ) に記載されている通り、公共測量成果等の空間データの高さ基準は標高であり、多くの空間データを本業務の実証のように空間 ID と紐付けて管理することが可能であると考えられる。

一方で、モバイル端末上で動作するアプリケーション等において全球測位衛星システム (Global Navigation Satellite System、以下、「GNSS」という) と連携して自己位置情報を取得する場合、自己位置の高さ情報には楕円体高が使用されるケースが存在する。このようなケースにおいて自己位置情報を空間 ID に変換しようとする場合、アプリケーション等の開発者は楕円体高から標高への変換を実装する必要がある。地図サービス等の外部サービスにおいては楕円体高から標高への変換機能を提供しているものもあるが、グローバルなサービスでは変換に用いるジオイドモデルとして EGM2008 等全球のジオイドモデルが用いられていることがある。仮に連携先の空間 ID の基盤システムが日本のジオイド 2011 等の異なるジオイドモデルを用いている場合は、その誤差を補正する必要があり、開発者が楕円体高から標高への変換機能を自身で実装する必要がある。そのため、ユースケースにおいて取り扱う高さ情報に楕円体高が含まれる場合は、開発者は高さ情報の変換等において利用するジオイドモデルに留意する必要がある。

本業務においても、一部のユースケースのデータやシステムは高さ情報を楕円体高で管理しており、実証の場面ごとに標高と楕円体高の変換が必要となるケースが発生し

³² 3次元空間情報基盤アーキテクチャ設計報告書

https://www.ipa.go.jp/dadc/architecture/pdf/pj_report_3dspatialinfo_doc_202208_1.pdf

た。例えば、高さ情報について楕円体高を基準とする建設機械マシンガイダンスのシステムに地下埋設の基盤システムから空間 ID に紐付いた地下埋設物の情報を提供する場合は、空間 ID の鉛直方向のインデックス (f) が持つ標高を楕円体高に変換してから提供する必要があった。また、その他の実証事業者からも、データの整備事業者や空間 ID システムの開発者が楕円体高と標高の変換に用いられるジオイドモデルを常に意識する必要がある点は課題であり、標高への変換を意識せずに楕円体高と空間 ID を連携できるようにすると良いといったフィードバックが得られた。

今後空間 ID が普及し、様々なモバイルアプリケーションが GNSS から取得した楕円体高ベースの位置情報を空間 ID と紐付けて情報を取得するようなケースの増加に伴って、楕円体高からジオイドモデルを意識せずに容易に空間 ID の鉛直方向のインデックス (f) を取得できるニーズが高まることが想定される。

このようなニーズに対応する方法の一つとして、各領域の基盤システムにおいて緯度、経度、標高の座標情報を受け取り空間 ID に変換して返す機能だけではなく、緯度、経度、楕円体高の座標情報を受け取り空間 ID に変換して返す機能を実装する方法が考えられる。この場合、領域ごとの基盤システムが楕円体高から標高に変換するために使用するジオイドモデルを保持することで領域ごとの高さの基準面（ジオイドモデル）の統一も容易になると考えられる。なお、日本国内のユースケースにおいては各領域の基盤システムが利用する高さの基準面であるジオイドモデルは共通的に日本のジオイド 2011 が用いられることが想定されるが、今後空間 ID がグローバルに利用される場合、国や地域ごとに異なるジオイドモデルが用いられることが考えられる。そのようなケースにおいては基盤システム間で連携を行う前に基準面となるジオイドモデルの情報を交換し補正を行う機能を検討することが必要になると想定される。

(2) 屋内データと空間 ID の紐付け

空間 ID は地表面や存在する構造物等を意識せずに、地球の緯度、経度、標高によって、空間を分割している。そのため、建物の構造物の情報等を空間 ID と紐付けるために屋内環境で空間 ID を活用する場合は、空間 ID のボクセルが建物の構造を考慮せずに作成されているため、天井や床にめり込んだボクセルが存在し、建物の壁面とボクセルの水平方向の配列が必ずしも平行にならない点を考慮する必要がある。

今回、建物内移動の支援のユースケースにおいて、ビル内の店舗やエレベーター等のフロアごとの POI 情報を管理する必要があった。階をまたぐ空間 ID を紐付けに使用してしまうと、POI が存在するフロアを正確に表現することができない。そのため、実証地の構造物の階高とズームレベルごとのボクセルの大きさの比較からフロアをまたがない適切なズームレベルを選択することで対応を図った。

また、空間 ID はその ID が示すボクセルによって空間範囲を特定するためのものであり、前述の通り、このボクセルによる空間範囲は建物の構造を考慮していないため、空間 ID のボクセルによって建物の壁や天井、入口等の正確な構造の形状を表すことは想定していない。そのような目的の場合は、例えば建物の構造情報であれば BIM データの取得先の URL 等を空間 ID と紐付け、建物形状の正確なベクトルデータを持つ BIM データを検索し取得するためのインデックスとして活用する方法が考えられる。

その他に、屋外から屋内への自己位置情報の受け渡しが考えられる。例えば、自律走行ロボットのナビゲーションを屋外から屋内までシームレスに実施する場合において、屋外では GNSS との連携等によって自己位置を推定してナビゲーションを行い、屋内では建物内移動の支援ユースケースで実証したような建物のロボット用地図情報を用いたナビゲーションを行う、といった異なるナビゲーションを連携させるケースが想定される。このような屋外と屋内においてナビゲーションのシステムが異なる場合は、自己位置情報の受け渡し方法も検討する必要がある。例えば、それぞれのシステムが空間 ID で管理するエリアを建物の入口周辺において重複させておき、屋外システムにおいて取得していた自己位置情報を空間 ID として屋内システムに受け渡して、現在の自己位置からの相対的な屋内システムの出発地点の空間 ID を特定し、建物のロボット用地図情報を取得するといった方法を検討していく必要があると想定される。

(3) 扁平形状のボクセルの利用

空間 ID のボクセルの形状はおおよそ立方体であり、水平方向と鉛直方向でおおよそ近い長さとなっている。そのため、鉛直方向と水平方向で扱いたい分解能が異なるときには分解能が高い方に合わせたズームレベルの設定が必要となる。

例えば統合災害情報のユースケースにおいては分析結果である浸水深の地域ごとの違いを表現できるようにするため、鉛直方向については 1m 程度の分解能が必要であったが、水平方向については、10m 程度の分解能で十分であった。そのため、当初はズームレベル 25 のボクセル（高さ方向 1m）を用いたデータ管理を検討した。しかし、ズームレベル 25 では水平方向の分割が必要以上に細かくなり過ぎてしまい、結果として空間 ID のボクセルのデータ数が膨大になってしまうという課題が発生した。この課題に対して、水平方向は空間 ID の分割方法を用い、鉛直方向の高さは空間 ID に紐付ける属性情報によって管理する方法で対応した。使用する空間 ID のズームレベルをズームレベル 25（水平方向の分割サイズ：約 1.19m）からズームレベル 22（水平方向の分割サイズ：約 9.55m）に変更したうえで、鉛直方向の表現はボクセルの高さではなく、ボクセルに紐付いた属性情報である浸水深の値によって表現することで、ユースケースのニーズに応じた表現を可能とした。

鉛直方向の分解能を水平方向の分解能よりも高く設定したいというニーズは別のユースケースにおいても確認されている。「3次元空間情報基盤アーキテクチャ設計報告書

33」の「4-4 (7) 空間ボクセルの形状に関する論点」(42 ページ)において、ドローン等のエアモビリティにおいて高さ方向を水平方向より細分したいという同様のニーズがあると述べられており、空間 ID の形状として扁平な形状のボクセルを利用するニーズが複数のユースケースにおいて存在すると考える。なお、同ページにおいて述べられているように、水平方向と鉛直方向の適切な分割の粒度はユースケースによって異なる。ユースケースがそれぞれ独自の扁平形状のボクセルを定義してしまうと、空間 ID という共通のキーによって領域やユースケースを横断して共通の空間を特定することができるという空間 ID の特性が失われてしまう。そのため、例えば空間 ID に紐付ける属性情報としてグループを識別する ID を付与し、複数の空間 ID のボクセルをグループ化して扁平なボクセルを表現する等の方法を検討することが必要だと考える。

(4) 場所により異なるボクセルサイズの影響

空間 ID の水平方向の分割方式は、メルカトル図法による投影平面を均等に分割する方式を用いており、投影平面上の面積の歪みにより、ボクセルが存在する場所によってボクセルの大きさが異なる。つまり、空間 ID のボクセルは同じズームレベルであってもボクセルが存在する場所によって水平方向の1辺の長さが異なるという性質を持っている。このため異なる2つの場所における地物の大きさや事象の影響の比較を空間 ID のボクセル数によって実施することは適切ではない。また、なんらかの業務オペレーションを空間 ID のボクセル単位で行う場合は、場所によってボクセルサイズが異なる性質を常に考慮する必要がある。地下埋設ユースケースの建設機械マシンガイダンス実証においては実証を行う場所に応じたボクセルのサイズの差を考慮して空間 ID から実際の長さへのデータ変換を実施する必要がある。

このような存在する場所によってサイズが異なる性質から、空間 ID のボクセルをデータの形状や範囲の比較や計測に用いる事は推奨されない。データの詳細な形状や範囲を扱う必要がある場合は、空間 ID をデータ検索のためのインデックスとして利用し、空間 ID に紐付いたソースデータからデータの詳細な形状等を取得して分析や計測に用いることが推奨される。

(5) 複数のズームレベルによる管理

空間 ID はズームレベルを自由に設定できるため、小さい領域についても空間 ID による指定やデータの紐付けを行うことができる。

33 3次元空間情報基盤アーキテクチャ設計報告書

https://www.ipa.go.jp/dadc/architecture/pdf/pj_report_3dspatialinfo_doc_202208_1.pdf

しかし、ズームレベル 25（鉛直方向の分解能約 1m）やズームレベル 26（鉛直方向の分解能約 50cm）の小さいボクセルの範囲を指定する空間 ID を用いて広域に分布するデータや頻繁に更新される時系列データを紐付けると、空間 ID とデータの紐付け情報のレコード数が膨大な量となってしまう。例えば統合災害情報のユースケースにおいては面的に存在する浸水深データをズームレベル 25 の空間 ID に紐付けたところ、空間 ID と浸水深の紐付け情報のレコード数が 2,000 万件以上のレコード数となった。そのためデータの取得や可視化処理に時間を要し、ユーザーの利便性が低下する等の問題が発生したため、紐付けを行うズームレベルを下げて紐付け情報のレコード数を減らすことで対応を行った。今後、空間 ID が普及し、各事業者により広域な範囲の様々なデータが空間 ID に紐付けられた場合、このようなレコード数の問題が同様に発生することが想定される。

このような大規模なレコードをより効率的に検索、あるいは可視化するために空間 ID のズームレベルによる親子関係の特性を利用し、空間 ID の基盤システム側で空間 ID に紐付いた属性情報を動的に集約して返す機能の検討が必要であると想定される。例えばユーザーから非常に広範囲のエリアの情報を要求された場合には、基盤システム側で応答を返す前にデータの属性の値を現在の紐付けられているズームレベルから、要求されたエリアの範囲に応じて適切なより低いズームレベルのボクセルまで集約し、応答のレコード数を低減する。そしてユーザーがその応答に応じて範囲を限定しより詳細な情報を要求した際に、オリジナルのズームレベルの分解能で空間 ID に紐付けられた属性の値を応答するといった方法が考えられる。

ただし、ズームレベル 25 や 26 といった小さいボクセルに紐付いた属性値を広範囲に渡って上位のボクセルに集約する処理は大量のレコードを扱う高負荷な処理になることが想定されるため、空間 ID の階層構造を活かした効率的な集約の演算方法を検討する必要がある。また、ボクセル（空間 ID）に紐付いている属性の値をどのように集約するかも論点となる。例えば建物の高さであれば最大値もしくは平均値、建物の収容可能人数であれば合計値、建物名称であれば代表値といったように紐付いている属性のデータタイプや用途によって集約の方法は異なる。空間 ID の親子関係の特性を活用した効率的なデータの検索や可視化を実現できるように、ユースケースごとの要件に応じて、適切な属性値の集約方法を検討することが必要である。

(6) 高さ情報を持たないデータの表現

空間 ID と紐付けを行う可能性があるデータとして、人口統計や用途地域等必ずしも高さ情報を必要としないデータが存在する。例えばアクセラプログラムにおいては、空間 ID を検索キーにしてこのような高さ情報を持たない港区の人流データやその他オープンデータのベクトルタイルを取得する実証を行った。このような高さ情報を持たないデー

タと空間 ID との紐付けは、「3次元空間情報基盤アーキテクチャ設計報告書³⁴」の「4-6 (1) b 高さ情報を持たないデータの紐付け 検討例」(49 ページ)においても示されている通り、空間 ID から鉛直方向のインデックス (f) を除いた「{z}/{x}/{y}」の ID によって紐付けを行うことが有効であると考ええる。この ZXY の ID 形式はオープンストリートマップや地理院地図等の Web 地図のデファクトスタンダードとなっている方式であり、分割インデックスである Z、X、Y は空間 ID の Z (ズームレベル) と X 方向、Y 方向のインデックスと同一となる。既に様々なデータがこの ZXY タイル方式 (もしくは XYZ タイル方式) によって既存の Web 地図のシステムから配信されており、空間 ID も高さを持たないデータを ZXY タイル方式で管理することにより、既存の地図データや地図サービスとの親和性が高くなると想定される。

アクセラプログラムにおいてはこの ZXY タイル方式にて配信されるベクトルタイル形式の港区の人流データやオープンデータ等の 2次元データを、空間 ID をキーにして紐付けることが可能であることが確認できた。既に多様なデータが流通している Web 地図の配信方式と親和性のある「{z}/{x}/{y}」の ID 方式を採用することで、Web 地図のエコシステムと連携が容易になり、空間 ID をキーにして取得できる情報を多様化できると考えられる。

³⁴ 3次元空間情報基盤アーキテクチャ設計報告書

https://www.ipa.go.jp/dadc/architecture/pdf/pj_report_3dspatialinfo_doc_202208_1.pdf

6.2 基盤システムの考察

6.2.1 概要

本業務におけるユースケース実証のために開発した地図・GIS 基盤システムと地下埋設基盤システムの機能について、ユースケース実証事業者からユースケース実証を通じて得られたそれぞれの基盤システムの機能に関するフィードバックを収集した。収集したフィードバックは、地図・GIS 基盤システム、地下埋設基盤システムごとに考察として整理を行った。

6.2.2 基盤システムごとの設計思想

地図・GIS 領域と地下埋設領域は、それぞれの基盤システムを利用するユースケースの特性が異なる。地図・GIS 領域は、様々なユースケースで利用されるため、格納する情報が広汎で不特定多数の利用者を想定して設計を行う必要がある。一方で、地下埋設領域は、ユースケースが電力管等の地下の埋設物を扱うものに限定され、また、犯罪やテロ等の目的で利用されることを避けるため、限定された少数の利用者のために機微な情報を格納するものと想定して設計を行う必要がある。本業務で開発したそれぞれの基盤システムにおいても、地図・GIS 基盤システムでは、多数の利用者が広汎な情報を扱えるように空間 ID に紐づく属性を自由に定義できるテーブル設計とした。一方で、地下埋設基盤システムでは、限定した少数の利用者が機微な情報を扱えるように、利用者は属性を取得するのではなく空間に含まれるかといった空間検索を中心に利用した。これらの基盤システムごとの設計思想の違いを表 6.2-1 に整理した。

表 6.2-1 各領域における設計思想

項目	地図・GIS 基盤システム	地下埋設基盤システム
格納する情報の取り扱い	オープンで広汎	クローズで機微
システム利用者	不特定多数	限定した少数
システム利用方法	属性検索中心	空間検索中心
アクセス制御（セキュリティ）	Allow ベース（ブラックリスト）	Deny ベース（ホワイトリスト）

基盤システムごとに異なる設計思想を持ち、基盤システムの機能は開発された。本章以降では、それぞれの基盤システムの機能について、ユースケース実証事業者から得られたフィードバックを収集し、基盤システムごとに利便性、汎用性、拡張性、セキュリティの観点で、基盤システムの考察として整理した。

6.2.3 地図・GIS 基盤システムの考察

(1) Web API

本業務におけるユースケース実証では、開発した地図・GIS 基盤システムの Web API を利用してユースケース実証の遂行ができた。一方で、ユースケース実証事業者より Web API の機能の拡充や改善点のフィードバックを受領した。これらのフィードバック内容について、課題として整理を行い本章の以降に示す。

1) 利便性

① Web API の実行速度

本業務における地図・GIS 領域のユースケース実証では、データの取得にミリ秒といったオーダーのリアルタイム性は求められていなかった。その上で、ユースケース実証事業者より、Web API の query では十分な速度でデータを取得できたとのフィードバックを得た。実際に Web API の query を呼び出してからデータを取得するまでに要した時間を測定したところ、取得するデータの件数が 1 万件程度までは数秒で取得できた。一方で、大量のデータの取得や追加といった場合においては、より速い動作速度であることが好ましいとフィードバックを得た。

Web API の動作速度を改善する方法としては、データベースにおいて、高速に取得が必要な属性をあらかじめ明らかにし、インデックスを利用できるような設計にすることで、取得したいデータの検索速度を改善する方法が考えられる。

大量のデータの追加においては、Web API 経由ではなくファイルをアップロードして追加や更新を実行するインポートツールのようなツールをデータ提供者が利用できる環境を整備することが好ましいと考える。

② Web API の利用の容易さ

地図・GIS 基盤システムが対応するユースケースは多岐に渡り、Web API は様々な用途に対応するために汎用性の高い機能を確保する必要があった。汎用性の高い機能を確保するために Web API のパラメータ数を増やし、本業務におけるユースケース実証では一つの Web API ですべてのユースケース実証を遂行できた。例えば、Web API の adds、updates、deletes メソッドは、データの取得対象テーブルを指定する data_type パラメータを設け、LINK、DATA、STATS のどのテーブルでも対象とすることができた。一方で、それぞれのテーブルの項目によって必須、ユニーク等のテーブル定義の制約条件が異なるため、指定するテーブルによって Web API の各メソッドも必ず指定しなければならないパラメータ、任意のパラメータが変わり、仕様が複雑化した。複雑化した仕様を

理解し利用するまでに時間を要したとユースケース実証事業者よりフィードバックを得た。

地図・GIS 領域における利用が容易な API とするための対策案については、地図・GIS 領域における社会実装に向けた課題と展望として、「6.3.2 (1) 1) ハイレベルな API の開発」に示す。

2) 汎用性

① Web API のパラメータの網羅性

本業務において、地図・GIS 基盤システムの Web API の query で様々なユースケース実証で使用する異なるテーブルのデータの取得ができた。異なるテーブルのデータの取得ができた要因として、テーブルを選択するパラメータ (data_type) や取得する属性を指定するパラメータ (out_fields)、取得範囲を指定するパラメータ (rectangular_range) 等、パラメータを豊富に用意し自由度の高い取得ができるようなパラメータ仕様にした点が挙げられる。また、WHERE 句をパラメータ (where_clause) として設けており、取得する属性の値に対して検索条件を詳細に指定することも可能とした。WHERE 句の利用方法によっては、query による取得速度が遅くなる懸念も考えられるが、高い自由度で検索条件を指定できる点とパラメータの利用の容易さの点で、本業務においては適切であったと考える。

また、指定した検索条件で取得できるレコードの総数をカウントするパラメータ (return_count_only) や、取得する属性のユニークな値を確認するパラメータ (distinct_values) は地図・GIS 基盤システムに格納されているデータを確認する目的の利用で利便性が高かった。

本業務におけるユースケース実証やユースケース実証のための開発過程で利用した Web API のメソッドとそのパラメータ例について、表 6.2-2 に示す。

なお、Web API の各メソッドの全パラメータとその用法については、表 2.2-8~表 2.2-19 で示している。

表 6.2-2 Web API ごとの利用したパラメータ

メソッド名	入力パラメータの組合せ例	用途
query	<ul style="list-style-type: none"> ・ data_type ・ where_clause ・ voxel_ids ・ out_fields ・ disntinct_values ・ return_count_only ・ offset ・ limit 	格納データの属性値の種類や件数の確認
query	<ul style="list-style-type: none"> ・ data_type ・ where_clause ・ voxel_ids ・ target_zoom_level ・ out_fields ・ return_voxel_geometry ・ distinct_values 	ユースケース実証アプリケーション実行のための格納データの取得
query	<ul style="list-style-type: none"> ・ data_type ・ where_clause ・ rectangular_range ・ out_fields ・ return_voxel_geometry ・ return_centroid_geometry ・ distinct_values ・ orderby_fields ・ return_count_only ・ offset ・ limit 	ARビューワーによる可視化のための格納データの取得
adds	<ul style="list-style-type: none"> ・ data_type ・ voxel_id ・ data_id ・ start_datetime ・ end_datetime ・ 追加する属性名 	新規データの追加
updates	<ul style="list-style-type: none"> ・ data_type ・ voxel_id ・ data_id ・ start_datetime ・ dnd_datetime ・ update_value 	格納済みデータの属性更新

メソッド名	・入力パラメータの組合せ例	用途
deletes	<ul style="list-style-type: none"> ・ data_type ・ voxel_id ・ data_id ・ start_datetime ・ end_datetime 	格納済みデータの削除
get_metadata	<ul style="list-style-type: none"> ・ get_link_fields ・ get_data_fields ・ get_stats_fields 	対象データセットの項目のデータ型の取得
list_metadata	<ul style="list-style-type: none"> ・ dataset_names ・ get_link_fields ・ get_data_fields ・ get_stats_fields 	すべてのデータセットの項目のデータ型の取得

② 汎用 AR ビュワー

地図・GIS 基盤システムのクライアントとして、汎用 AR ビュワーを開発し、Web API を使用して異なるユースケースのデータを AR 上に可視化した。対象のユースケースとして、地図・GIS 領域から BIM データ連携 CPS のユースケースのデータを可視化した。また、地下埋設基盤システムの地下埋設物データのサンプルデータを作成して地図・GIS 基盤システムに取り込み可視化を行った。

汎用 AR ビュワーアプリケーションにおいて、アプリケーションの設定画面から地図・GIS 基盤システムへのアクセス URL を設定できるようにした。URL には Web API のパラメータを含み、ユースケースごとに異なるデータを取得できるよう実装した。また、地図・GIS 基盤システムに格納されているデータは、データごとにユースケースの要件に応じた属性情報が紐付けられているため、このようなデータをそれぞれの特性に応じて効果的に可視化するために、アプリケーションの設定画面により、取得する属性情報と、その値を使用してボクセルをどのように色分け表現するかを指定できる機能を実装した。例えば地下埋設物データは地下埋設物を管理する事業者の ID によってボクセルを色分けして表示した。また、BIM データ連携 CPS のユースケースの建物データは建物内の混雑度によってボクセルの色分け表示を行った。

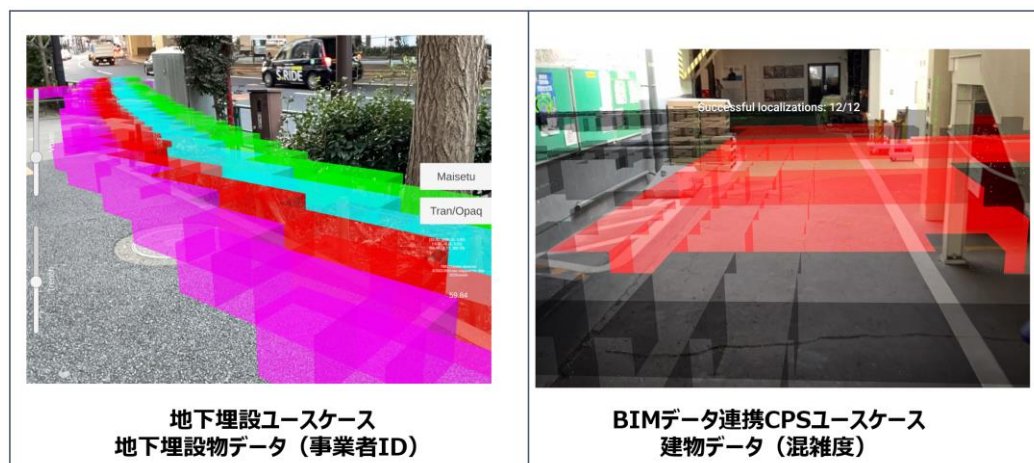


図 6.2-1 汎用 AR ビュワーによるボクセルデータの表示

地図・GIS 基盤の Web API のパラメータを活用することで一つのアプリケーションからユースケースの異なるデータを取得し空間 ID に紐付けられた属性を利用して可視化できることを確認した。地図・GIS 領域では汎用 AR ビュワーのような複数のユースケースのデータを扱えるアプリケーションが、AR 用途だけではなく、Web アプリケーションやモバイルアプリケーションといった様々な形態で今後数多く登場することが見込まれる。そのため、地図・GIS 領域の基盤システムでは様々なユースケースのデータを汎用的に格納し配信する役割を担い、空間 ID を活用するアプリケーション開発を可能とする環境を提供することが必要だと考える。

3) セキュリティ

① Web API の認証方法

本業務における地図・GIS 基盤システムは、Web API に Basic 認証を設けることで利用者ごとにデータセットのアクセス制御を行った。Basic 認証は特定のページ (URL) へアクセスするときにユーザーの認証情報 (ユーザー名、パスワード) を求めるものである。地図・GIS 基盤システムにおいては、ユースケース実証事業者ごとに Basic 認証の認証情報を発行した。そして、Web API の各メソッドとデータセット ID が含まれる URL に対して、発行したユーザー名ごとにアクセス権限を設定することで、ユースケース実証事業者ごとにアクセス権限を制御した。ユースケース実証事業者からは、本業務におけるユースケース実証においては Basic 認証で十分であるとの評価を得た。

一方で、Web API の認証方法は、一般的な API キーを利用した認証方法を採用する方が良いと考える。API キーによる認証では、データの配信ホスト側でユーザーごとに認証情報である API キーを発行し、API キーに対してアクセス制御設定を行う方法である。Basic 認証に対して API キーによる認証では、呼び出し元のプラットフォーム (OS 等)

や特定のサイト（公開 IP アドレス等）に API キーのリクエスト制限を設けることができ、詳細なアクセス制御が設定しやすい点で秀でている。また、利用者としても API の認証方法として一般的で、利用が容易であると想定される。

② POST メソッドを使い分けたアクセス制御

Web API の各メソッドは一律に POST メソッドで実装した。一律に POST メソッドのみで実装を行った理由としては、query メソッドにおいてジオメトリを指定するパラメータを GET パラメータで表現する場合は文字列の最大を超える可能性があった点や、入力パラメータの種類が多いと想定され、入力パラメータを JSON として作成し POST のパラメータで渡す方が利用者側にとって容易に利用できる点を考慮したためである。

一方でこれらの懸念がない場合は、Web API の各メソッドは RESTful API メソッドの GET、POST、PUT、DELETE を適切に使い分け、Web API の各メソッドレベルでデータへのアクセス制御し、より明示的にアクセス制御を管理する方法が、誤ったデータの更新、削除等が避けられるため好ましいと考える。

(2) データベース

1) 利便性

① 共通属性の定義

本業務における地図・GIS 基盤システムを利用したユースケース実証において、データベースに格納した空間 ID に紐付くデータのうち、異なるユースケース間で同じ種別のデータに共通するデータの属性の整理を行った。浸水域の災害情報を空間 ID に紐付けて可視化する統合災害情報の提供ユースケースでは、データベースに格納したデータで他のユースケースと同じデータ種別は存在しなかった。一方で、建物内の情報を空間 ID に紐付けてロボットや人のナビゲーションに活用する建物内移動の支援ユースケースと、BIM データやビル内の情報を空間 ID に紐付けてスマートビルの様々なサービスを提供する BIM データ連携 CPS ユースケースの間では、同じ種別のデータとして建物情報が存在した。したがって、建物内移動の支援、BIM データ連携 CPS のユースケースでそれぞれ扱った建物情報の属性を整理し、地図・GIS 領域における建物情報の共通する属性の案を作成した。作成した地図・GIS 領域における建物情報の共通属性案を表 6.2-3 に示す。

表 6.2-3 建物情報の共通属性案

共通属性	備考
建物種別	<ul style="list-style-type: none"> ・建物の種別を格納する ・例) オフィスビル、商業施設、駅等
建物名称	<ul style="list-style-type: none"> ・建物の名称を格納する ・例) ○○ビル、渋谷駅等の固有名詞
階数	<ul style="list-style-type: none"> ・階数を格納する。 ・例) 1、2 階、3F、G01 等
POI の種別	<ul style="list-style-type: none"> ・POI の種別を格納する ・例) 会議室、飲食店、エレベーター、配送地等
POI の名称	<ul style="list-style-type: none"> ・POI の名称を格納する ・例) 会議室 1、○○カフェ、南 1 エレベーター等
通行可否	<ul style="list-style-type: none"> ・通行可否を示す真偽値を格納する ・例) 0 : 通行不可、1 : 通行可

建物情報のように、地図・GIS 領域においてはデータ種別ごとに共通属性として定義する必須項目と、ユースケースに応じて拡張して定義できる項目を設けることが利便性の高いデータモデル設計の観点で重要であると考えます。データの提供者と利用者が異なる場合や、複数のデータ提供者が同じデータを整備する場合において、データの提供者及び利用者のデータモデルの理解を促進し、容易に利用できるようにするためです。

2) 汎用性

① 属性定義の自由度

本業務におけるユースケース実証で使用するデータを格納する地図・GIS 基盤システムのデータテーブル、統計テーブルは、空間 ID、データの任意名称の ID、開始日時、終了日時の必須カラムを除き、データセットごとに属性を自由に設計できる仕様を策定しました。そのため、地図・GIS 基盤システムを利用するユースケース実証を通じて、同じデータセットの構造で異なるユースケースの実証データを空間 ID に紐付け管理することができました。

② 外部システムでの運用

本業務において作成したデータについて、外部システムと連携した運用を想定し、「デジタルツイン構築に向けた 3D 都市モデルの整備に関する調査研究」の事業者と調整を行

い、同事業において開発されている 3D 都市モデルのボクセル可視化用アプリケーション上での表示を行った。具体的には汎用 AR ビュワーアプリケーションの可視化においても使用した地図・GIS 基盤システムのデータベースに格納している地下埋設物のサンプルデータを CSV ファイルに出力し、3D 都市モデルの空間 ID 生成ツールのビュー機能にて表示した。

空間 ID 生成ツールのビュー機能は、3D 都市モデルの情報が付与された空間 ID をボクセルとして可視化することを目的に開発されており、表示するためのデータとして、空間 ID と 3D 都市モデルの地物インスタンスを識別する地物 ID のペアリストの CSV データと、PLATEAU View 用の 3D Tiles/ Mapbox Vector Tile を使用する。地図・GIS 基盤システムのリンクテーブルにおいて空間 ID と地下埋設物等、空間 ID に紐付けを行う対象の地物を識別する ID のペアリストを保持しており、空間 ID 生成ツールのビュー機能での表示において、CSV に出力したリンクテーブルの地下埋設物の ID を 3D 都市モデルの地物 ID に置き換えて読み込み表示を行った。空間 ID 生成ツールのビュー機能上での表示結果を図 6.2-2 に示す。

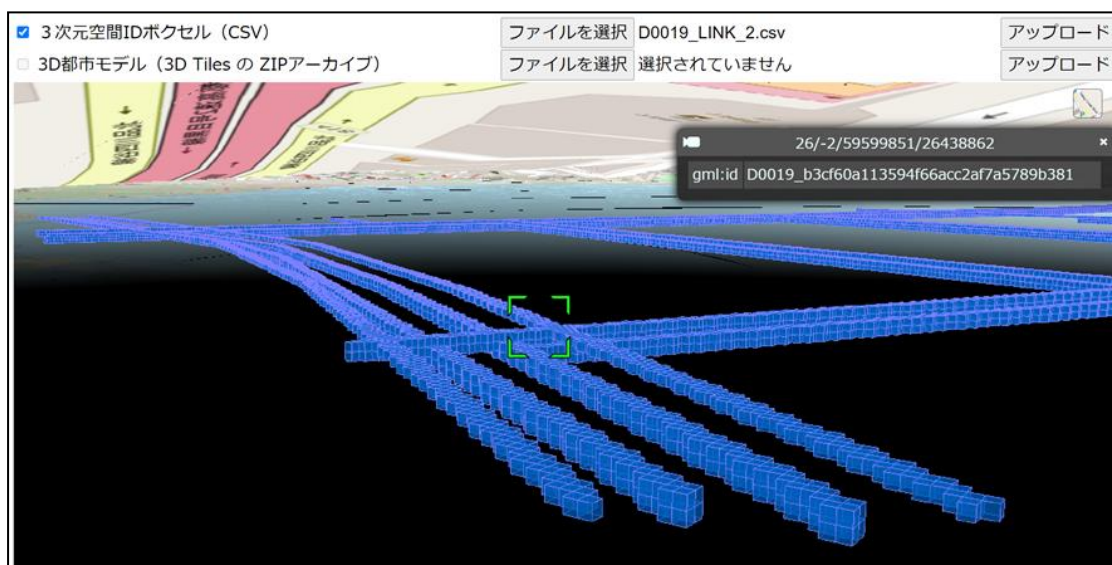


図 6.2-2 外部システムでの表示

空間 ID に紐付け対象の地物の ID のペアリストの情報を交換することで、他システムのアプリケーション上でも空間 ID のボクセルを可視化できることを確認した。

ただし、空間 ID 生成ツールのビュー機能は、空間 ID とペアになる地物 ID から別途読み込んだ PLATEAU View 用のデータからの属性情報を取得して表示する設計となっている。そのためリンクテーブルとあわせて提供した地下埋設物の属性情報を保持するデ

ータテーブルを使用して、表示した地下埋設物の属性データを参照することはできない。このような外部システムとの空間 ID に紐付けたデータの受け渡しをファイル形式で実現するには、属性の参照方法も含めた空間 ID の標準ファイルフォーマットが定義され各システムが標準ファイルフォーマットの読み込み表示やデータベースへのインポートに対応する必要がある。例えば本業務において定義したリンクテーブルとデータテーブルのデータ構造を CSV 形式で保持するような標準フォーマットを定義することで、現在流通している空間情報のデータがシェープファイルや KML ファイルのようなフォーマットによってオープンデータとして流通しているように、空間 ID のデータがファイル形式としても普及することが見込まれる。

(3) データ格納方法

1) 利便性

① 複数の事業者によるデータの格納

本業務におけるユースケース実証に利用したデータは、Web API の adds もしくはインポートツール を利用してデータベースへ格納する方法とした。Web API の adds はオンデマンドでデータを格納することが可能であるが、大量のデータを格納する場合は、時間を要するため不適であった。一方でインポートツールは大量のデータを格納する場合に向いているが、基盤システムに直接ログインしてコマンドラインアプリケーションを実行するため、セキュリティの観点でユースケース実証事業者の直接利用は制限する必要があった。本業務におけるユースケース実証では、大量のデータの追加及び更新する回数が限られていたため、これでも十分な仕様であった。

一方で、社会実装を踏まえた場合は、地図・GIS 領域ではデータの提供者が複数存在することが想定されるため、データ提供者自身が任意のタイミングで容易にデータを格納できるような仕組みが必要になる。データの格納方法としては、ノンエンジニアの場合でもデータの格納が容易にできるよう、グラフィックユーザーインターフェースで大量のデータを格納できる機能を有したアプリケーションを開発し機能を提供することが、容易なデータの整備の観点で重要であると考えられる。

2) 拡張性

① データの対応形式

本業務における地図・GIS 基盤システムを利用するユースケース実証において、実証で使用するデータを空間 ID に紐付けしデータベースへ格納する方法としてインポートツールが存在する。インポートツールは、共通ライブラリの座標情報から空間 ID を算出する変換機能を内包しているため、共通ライブラリが対応している入力形式に準じた。した

がって、インポートツールは **CSV** 形式と **3D** シェープファイル形式の入力データに対応した。本業務におけるユースケース実証遂行の目的においては、ユースケース実証事業者より対応形式の追加要望はなく十分であった。特に **CSV** 形式はユースケース事業者にとってデータ作成が容易であるとフィードバックを得た。一方で、将来的には **ZIP** ファイルのような他の形式のデータをデータベースへ格納できる方が、ユースケース事業者にとって用途が広がるといったフィードバックを得た。

6.2.4 地下埋設基盤システムの考察

(1) Web API

1) 利便性

① Web API の実行速度

ユースケース実証事業者より、空間 ID に紐付いたデータを Web API を利用して検索・取得でき、期待していた機能を実現できたとフィードバックを得た。Web API を呼び出してからデータを取得するまでに要した時間を測定（※1）したところ、20 万件の空間 ID（ズームレベル：26、検索領域：平面 1000 m²×深度 20m 相当）を検索し、取得するデータの件数 1,780 件程度までは 3.5 秒程度で取得でき、地下埋設物照会ユースケース実証においては、想定業務（SLA=1 分未満）の要求に対し十分な実行速度が得られていることがわかった。

一方で、大規模工事・地下に限定しない工事等のより規模の大きいユースケースを想定した場合、処理の実行に要求以上の時間を要する可能性があるとしてフィードバックを得た。その原因を分析したところ、共通ライブラリによるジオメトリ情報から空間 ID への変換工程であることがわかった。広範囲の検索や大量データの検索の想定し、共通ライブラリの効率的な利用方法を検討した。検索領域の簡略化（8 点指定による直方体指定）によって、座標情報から空間 ID に変換する量を減らし、共通ライブラリの限られた空間 ID 情報から検索する API 設計・テーブル設計の検討等、省力的な検索機能を整備する必要がある。

※1 処理速度の測定環境を表 6.2-4 に、ベンチマークテスト結果を表 6.2-5 に示す。

表 6.2-4 地下埋設基盤 Web API の実行環境

種別	詳細
OS	NAME="Amazon Linux" VERSION="2" ID="amzn" ID_LIKE="centos rhel fedora" VERSION_ID="2" PRETTY_NAME="Amazon Linux 2" ANSI_COLOR="0;33" CPE_NAME="cpe:2.3:o:amazon:amazon_linux:2" HOME_URL=" https://amazonlinux.com/ "
CPU	2 CPUs Intel(R) Xeon(R) CPU E5-2686 v4 @ 2.30GHz (406F1) Intel(R) Xeon(R) CPU E5-2686 v4 @ 2.30GHz (406F1)
メモリ	7946 MB

表 6.2-5 ベンチマークテスト結果

ベンチマークソフトウェア	p7zip Version 16.02			
実行コマンド	./7za b			
実行結果	CPU 使用率	メモリ仕様量	評価/CPU 使用率	総合評価
	186%	441 MB/ 7,946 MB	3,176	5,853

2) 汎用性

① Web API のパラメータの網羅性

ユースケース実証を通じて、Web API のメソッド及びそのパラメータで空間 ID をキーに紐付く複数種類の情報取得ができ、地下埋設物の管理事業者ごとの分布状況の把握（図 6.2-3）や注目する領域に存在する地下埋設物の数の把握（図 6.2-4）等、異なる用途への適応を確認した。また、パラメータ不足といったフィードバックはなかった。

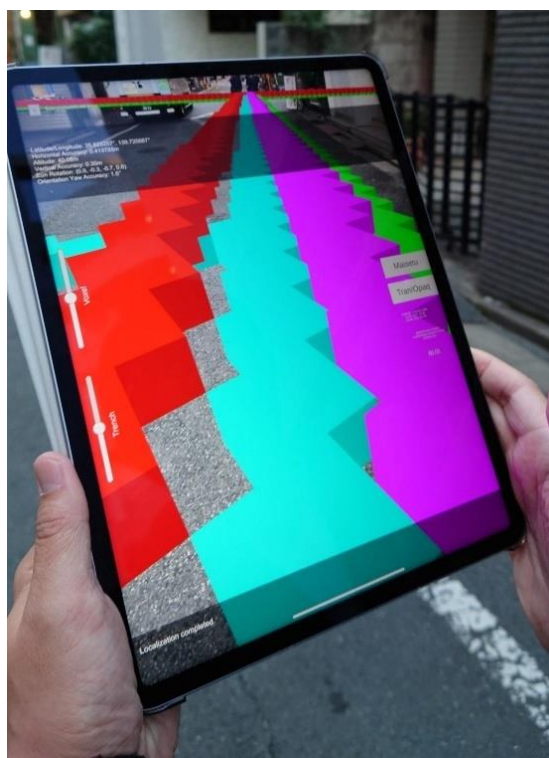


図 6.2-3 地下埋設物管理事業者ごとの埋設物分類の表示例

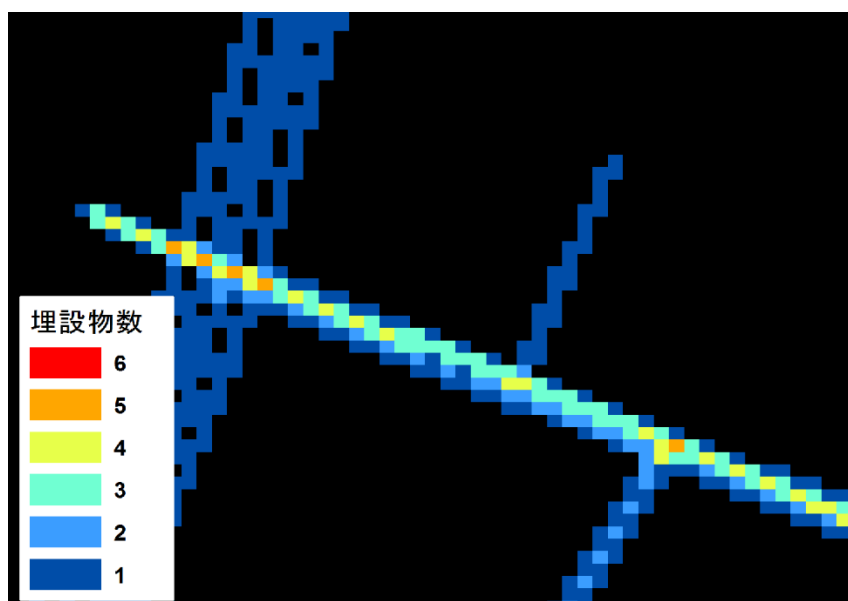


図 6.2-4 地下埋設物の存在数の表示例

3) 拡張性

① API の最適化

空間情報の種類別に API（例えば UndergroudFacility API）を整備していることに課題があると考えている。将来的にその基盤で取り扱う情報の種類が増える（例：天候・地質等）場合、膨大な数の API が必要になることが想定される。その結果、空間 ID 基盤の拡張作業の負担増加と管理の複雑化により、普及速度の低下が予想される。API は情報取り扱いのための機能別に整理され、情報種別に依存しない設計がされていることが望ましいと考える。

また、データ量が増えてリクエスト&レスポンスのターンアラウンドが延びる可能性を考慮し、リクエストとレスポンスで2つに分割して非同期に動作する仕組みが必要と考える。

4) セキュリティ

① Web API 及び DB のアクセス制御

地下埋設物管理事業者にはテロ対策（例：基幹インフラの損傷や水道設備への毒物混入等への対策）や個人情報保護（私有地内の埋設設備は個人資産）が課せられていることが多い。利用者が制限される環境内において、比較的重要度が低いと判断した情報（現在も施工事業者等にものみ限定して公開している紙図面等に記載の情報等）の共有には施工事業者からの2次的な情報漏洩がないという条件付きで前向きな意見が多い一方、どのようなデータであっても地下埋設物に関する

るものを一般公開するには慎重な意見が多かった。ユーザーや情報種別ごとに情報共有を制御する仕組みが社会実装のために必須であると考え。また、サービスごとの SLA 等のニーズに適合するために、システム間の連携を司る REST API のみ仕様を定め、Web API の各メソッドレベルも併せてアクセス制御を管理する方が好ましいと考える。

(2) データベース

1) 利便性

① 共通属性の定義

地下埋設基盤システムのデータベースに格納するために整備した実証データにおいて、データ種別が同じでデータの提供事業者が異なるデータ間で共通の属性及び、ユースケース内容に応じて異なる属性が存在した。地下埋設基盤システムを利用したユースケース実証において確認した共通属性を持つデータについて、表 6.2-6 に示す。

表 6.2-6 地下埋設基盤領域の実証データにおける共通属性

データ種別	共通の属性	ユースケースに応じた属性
地下埋設物データ	設置事業者コード	設備数

地下埋設領域においてデータ種別ごとに共通属性として定義する項目と、拡張して定義できる項目を設けることで、データの提供者と利用者が異なる場合や、複数のデータ提供者が同じデータを整備する場合等において、データの提供者及び利用者がデータモデルを理解し平易に利用できるようになることを考える。

② データベース検索速度

データ整備領域を日本全国に拡張した場合、登録件数が増えることに起因するデータベースフェッチの速度低下が示唆される。データベース管理システムのパーティショニング機能や、フェッチ性能を向上させるために、さらなるテーブルを分割できる仕組み（範囲分割、リスト分割）の検討が必要と考える。本実証では、地下埋設物管理事業者及びズームレベルによってテーブル分割を実施したが、事業エリアが広域にわたる事業者を想定すると不十分と考えられる。改善策としては、上述の分割基準に加えて、より狭小な事業管理エリアや空間 ID の

X,Y,Z 項目による領域指定な等の空間的要素を基準としたテーブル分割が想定される。

2) 汎用性

① カラム定義の自由度

本業務において、地下埋設基盤システムのデータテーブル、統計テーブルは、必須カラムを除き、ユースケースごとに属性を自由に設計できる仕様を策定した。そのため、同じテーブル構造で異なるユースケースの実証データを空間 ID に紐付けることができた。

② 必須カラムの見直し

本実証で定義したカラムには定義や要否について見直しが必要である。カラム定義については、データテーブルの開始日時・終了日時カラムは、地下埋設物が設置されてから撤去されるまでの時間（存否時間）と地下埋設物の利用の開始から終了までの時間（機能時間）に分解した方が好ましいというフィードバックがあった。この背景には、業務上の管理が終了した地下埋設物は撤去せずに残置されるケースが多いという事実がある。また、カラム要否については、リンクテーブル・統計テーブルの ID カラムの利用がユースケース内で発生せず、情報量肥大化にも繋がるという理由で、当該カラムは不要というフィードバックがあった。

社会実装を想定し、マルチベンダーで利用用途が異なるサービスを考えるような場合、サービス化の要件定義や SLA が異なるため、その影響を受けやすいデータ正規化を含む設計行為はサービス（＝ベンダー）によって異なる。ゆえにマルチベンダーでサービスを考える場合において、データベース項目を仕様として定めるのは不向きであり、必須カラムの設定をより限定的にする利点も確認された。

3) 拡張性

① 親子関係の空間 ID のデータの自動計算

ズームレベルの上位、下位のボクセルから任意の親子関係のボクセルに紐づく属性情報の取得、任意の親子関係のボクセルの統計量の自動計算をする機能の要望のフィードバックを得た。具体的には、アプリケーションに表示するボクセルのサイズ変更のため、子ボクセルから親ボクセルへの変換（描画速度や視認性の制御のため）や親ボクセル内の子ボクセルの空間位置の把握（ボクセルの端から本来の対象物までの距離や深度の把握のため）の実現が期待された。

② 分散したデータベースへの対応

地下埋設物管理事業者にはテロ対策や個人情報保護が課せられていることが多く、同業者間であっても情報共有には慎重である。空間 ID データとなってもデータ管理は各事業者もしくは、特定の管理組織に委託されることが予想されるため、分散管理・省コスト管理が可能な運用手順を基盤と合わせて検討する必要がある。

6.3 社会実装に向けた課題と展望

6.3.1 概要

空間 ID 及び基盤システムが社会実装され普及するために想定される課題と展望を整理した。基盤システムについては、本業務でユースケースを実証した地図・GIS 領域、地下埋設領域に分けて課題と展望を整理した。また、空間 ID 及び、基盤システムの領域横断の課題と展望については、領域を横断した課題と展望として整理した。

6.3.2 地図・GIS 領域の課題と展望

(1) 汎用的な領域としての機能提供

地図・GIS 領域は、領域内で扱うユースケースを地下埋設領域やドローン領域のように特定の分野に限定せず、空間情報のデータを空間 ID に紐付けて利用する様々なユースケースを対象としている。本業務においても、浸水域の災害情報を空間 ID に紐付けて可視化する統合災害情報の提供ユースケースや、建物内の情報を空間 ID に紐付けてロボットや人のナビゲーションに活用する建物内移動の支援ユースケースのように空間 ID を活用する目的がまったく異なるユースケースの実証を地図・GIS 領域内で実施し、空間 ID の有用性を検証する必要がある。そのため地図・GIS 基盤システムは、様々なユースケースのデータに対応できるように、ユースケース固有のニーズに応じてデータの取得条件を指定できる API や、空間 ID に紐付けるデータの属性の項目を任意に定義できるテーブル構造といった自由度の高い設計思想となっている。今後、空間 ID が普及することで、さらに様々な分野（防災、建設・土木、保険・医療、交通、環境等）のユースケースを地図・GIS 領域において取り扱うことが想定される。そのため、多様なユースケースのデータに対応できるように、自由度が高く、柔軟性を尊重した設計思想は維持する必要がある。

一方で現状の地図・GIS 基盤システムは、自由度の高さと引き換えに API の仕様やインポートの手順等が複雑化しているという課題がある。新たな分野において空間 ID を活用するユースケースのサービス事業者がより容易かつ迅速にデータを空間 ID に紐付けられるように、本業務で開発した機能をより使いやすいものに改良し、空間 ID を利用するための技術的なハードルを下げていく必要がある。具体的には地図・GIS 領域において、よりハイレベルな仕様の API や、様々なデータを容易に空間 ID に紐付ける汎用的なツールの提供が考えられる。

1) ハイレベルな API の開発

地図・GIS 領域において空間 ID に紐付けられるデータは、そのデータを扱うユースケースごとに独自の属性の項目を保持している。またユースケースはそれらのデータをユ

ユースケースの要件に応じて空間的な範囲や、属性の値等、様々な条件を指定して取得する必要がある。このような多様なユースケースのニーズに対応するために、本業務の地図・GIS 領域の API は取得するデータの範囲や属性の項目に対応した豊富なパラメータや、SQL 文の WHERE 句のような表現で文字列パラメータにより指定することができるローレベルな API となっている。このローレベルな API は「6.2.3 (1) 1) ②Web API の利用の容易さ」で述べた通り豊富なパラメータを提供することで、データを取得する際の汎用性の高さを確保した反面、インタフェース仕様が複雑化しユースケース事業者が容易に利用できない、仕様の理解に時間がかかるといった課題があった。そのため、今後、多様な分野のユースケースのサービス事業者が地図・GIS 基盤領域において空間 ID をより容易に迅速に活用できるように現状のローレベルの API のパラメータをスリム化して利便性を向上し、ハイレベルな領域内で共通の API を整備する必要があると考える。したがって、ローレベルな API のパラメータを集約し、地図・GIS 領域のユースケースにおいて共通化できる機能をハイレベルな API のメソッドとして整理した。地図・GIS 領域の今後の展望として、整備されるべきハイレベルな API のメソッド案を表 6.3-1 に示す。

表 6.3-1 地図・GIS 領域におけるハイレベルな API メソッド案

API メソッド (仮称)	主な想定機能	現状の Web API の例
GIS_FindSid	<p>指定された範囲(エリア、期間)に存在する対象のデータと紐付く空間 ID を取得する。</p> <p>使用パラメータ例:</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ エリアの範囲 ・ 期間の範囲 	<p>query メソッドのパラメータ:</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 対象のテーブル (LINK を指定) ・ WHERE 句 (期間の範囲を指定) ・ ズームレベル ・ エリアの範囲 (立方体/点の集合/線の集合/ポリゴンの集合のいずれかを指定) ・ 出力フィールド情報 (空間 ID を指定) ・ カウントのみ出力フラグ (False を指定) ・ オフセット (0 を指定) <p>等</p>
GIS_GetValue	<p>指定された範囲(エリア、期間)に存在する空間 ID に紐付けられた対象のデータの属性の値を取得する。</p> <p>使用パラメータ例:</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ エリアの範囲 ・ 期間の範囲 	<p>query メソッドのパラメータ:</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 対象のテーブル (DATA を指定) ・ 期間の指定 ・ ズームレベル ・ エリアの範囲 (立方体/点の集合/線の集合/ポリゴンの集合のいずれかを指定) ・ 出力フィールド情報 (対象の属性もしくはアスタリスクを指定) ・ カウントのみ出力するか (False を指定) ・ オフセット (0 を指定) <p>等</p>
GIS_GetInfo	<p>対象のデータの概要・属性の定義情報を取得する。</p> <p>使用パラメータ例: なし</p>	<p>list_metadata メソッドのパラメータ:</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ データセット名 ・ リンクテーブルを取得するか (True を指定) ・ データテーブルを取得するか (True を指定) ・ 統計テーブルを取得するか (True を指定)

GIS_FindSid は、指定された位置や期間の範囲に存在する対象のデータと紐付く空間 ID を取得するメソッドである。地図・GIS 領域における広汎なデータについて、データの存在を容易に確認しデータの存在する空間 ID そのものを情報として扱うユースケースや、データの属性の値を取得する前にデータが存在する空間 ID を確認する用途を想定して選定した。

GIS_GetValue は、指定された位置や期間の範囲に存在する空間 ID に紐付けられた対象のデータの属性の値を取得するメソッドである。地図・GIS 領域における広汎なデータについて、データの属性の値を取得しユースケースに利用する想定で選定した。

GIS_GetInfo は、対象のデータの概要・属性の定義情報を取得するメソッドである。地図・GIS 領域における広汎なデータについて、メタデータ（データの概要や属性の定義情

報)を取得し、ユースケースに利用するデータを理解可能にする用途を想定して選定した。

また、地図・GIS領域のハイレベルなAPIメソッド案の命名に際し、他の領域の空間情報システム間でAPI名称の重複を避けるため、DADCとAPIの命名規則の協議を行った。協議の上、地図・GIS領域のハイレベルなAPIメソッド案の命名にAPIメソッドの基本記載形式、領域識別子、機能識別子、操作対象識別子の要素を取り込んだ。取り込んだ内容を表6.3-2に示す。

表 6.3-2 APIの命名規則

規則	詳細
基本記載形式	<ul style="list-style-type: none"> 基本記載形式: 「AAA_BbbbbCcccc」とする。 アルファベットで表される箇所はそれぞれ「AAA: 領域別識別子、Bbbbb: 機能識別子、Ccccc: 操作対象識別子」を表す。
領域識別子	<ul style="list-style-type: none"> 空間情報基盤が対応する領域を表す識別子である。 本業務に関連する領域の識別子として「GEN: 共通の全領域、UGM: 地下埋設物管理領域、GIS: GIS活用領域」を定義する。
機能識別子	<ul style="list-style-type: none"> APIの機能を示す識別子である。 値を取得する機能識別子として「Select: 空間ボクセル検索を伴う値の取得、Get: 空間ボクセル検索を伴わない値の取得」を定義する。 また、空間ボクセル検索を伴うインデックスを取得する機能識別子としてFindを提案する。インデックスの例: 空間ID。
操作対象識別子	<ul style="list-style-type: none"> 機能が操作する対象を示す識別子である。

このようにハイレベルな仕様のAPIを提供することで、地図・GIS領域において新しいユースケースの実証事業者がAPIの仕様を容易に理解し、空間IDを迅速に活用できるようになることが期待される。ただし地図・GIS領域においては、上記のハイレベルなAPIでは対応しきれないユースケースごとの固有のデータ取得や更新といったAPIのニーズが発生することが想定される。そのため本業務で開発を行ったようなローレベルなAPIを維持しユースケース固有のニーズに柔軟に対応できるようにしておくことが必要だと考える。またローレベルなAPIとハイレベルなAPIを効率的に開発するためにローレベルなAPIをラップする形でハイレベルなAPIを提供し、必要に応じてユースケース事業者がローレベルなAPIへのアクセスを提供する構成が推奨される。

2) 様々なデータを想定した紐付けツールの開発

地図・GIS領域がより多様なユースケースに対応するために、より容易に様々なデータを空間IDと紐付けるツールを提供する必要がある。

本業務で開発した地図・GIS 基盤システムのインポートツールはコマンドラインアプリケーションとして提供されており、基盤システムのデータベースに直接ログインして実行されるため基盤システム事業者の利用に限定した。そのため大量のデータを新規に空間 ID に紐付ける際には事前にサービス事業者と基盤システム事業者が格納するデータのスキーマ等を事前確認する等のプロセスが必要になっていた。今後は様々なユースケースのサービス事業者が容易にデータを空間 ID に紐付けて試行できるように、Web アプリケーション等のグラフィックユーザーインターフェースからデータをアップロードし空間 ID に紐付けが行えるようなツールの提供が必要であると考えます。

インポートツールが対応する入力データ形式については、本業務では CSV 形式と 3D シェープファイル形式に対応し、すべてのユースケースのデータを空間 ID に紐付けし、地図・GIS 基盤システムに格納することができた。しかし今後、より多様なユースケースのデータに対応すると、様々な業界標準のデータフォーマット (KML、CityGML、BIM データ等) を空間 ID に直接紐付けるニーズが発生することが想定される。したがってインポートツールの開発・機能拡張においては地図・GIS 領域のユースケースのデータフォーマットのニーズを確認し、段階的に対応データ形式を拡張していくことが推奨される。また、本業務においてはロボットのナビゲーションに使用するためのデータのように必ずしも人間が目視する必要がないデータであっても、空間 ID に紐付けた後はデータが正しく作成されているか可視化するニーズが存在した。そのため空間 ID に紐付けた様々なデータを地図上に可視化するための可視化アプリやあるいは現地でデータを確認するための汎用 AR ビュワーのような空間 ID に紐付けたデータの可視化クライアントアプリケーションは地図・GIS 領域として継続して開発を行いデータの確認手段を提供し続けることが必要だと考える。

より容易に空間 ID にデータを紐付けるツールとそのデータを汎用的に可視化できるビューワーを開発し、ノンエンジニアでも空間 ID にデータを紐付け利用可能な環境を提供することでより多くの事業者がより多くのユースケースで空間 ID を活用し、空間 ID の社会実装を後押しすることができると考える。

(2) 汎用的な領域から固有領域の創出

地図・GIS 領域では前述した通り、今後様々な分野のユースケースを取り扱うことが想定される。これらのユースケースは地下埋設領域のように特定の分野を対象とした個別の領域としては確立されていないユースケースであり、地図・GIS 領域が提供する汎用的な API、データ構造、インポートツール等を利用してユースケースの実装を試行する。そして地図・GIS 領域のシステムをベースとして立ち上がった様々なユースケースから類似したユースケースの共通項が整理され、空間 ID を活用する新たな分野に特化した個別領域が作られていくことが見込まれる。この個別領域が作られるプロセスにおいて、その領域のデータ仕様が定められ、必要な API が整理される。例えば各ユースケース固有の

ニーズから地図・GIS領域のローレベルなAPIで実現していた機能が、新しい個別領域の共通APIとして整理されることが想定される。

本業務のユースケースであれば、統合災害情報の提供ユースケースに類似した複数のユースケースが地図・GIS領域で立ち上がり、最終的に「防災」領域が作られる、あるいは、建物内移動の支援ユースケースやBIMデータ連携CPSユースケース等屋内の情報を扱う複数のユースケースから「建物管理」領域が作られるといったように、地図・GIS領域から個別領域が創出されていくことが期待される。このようなプロセスによって空間IDを活用する個別領域が増えていき、より多様な分野に空間IDが普及し、社会実装が推進されることが期待される。

地図・GIS領域としてはこのような新しい個別領域の創出を促すために、まだ個別領域として確立しておらずデータやAPIの仕様が確定していない新しいユースケースを試行するための受け皿として、容易にデータと空間IDの紐付けを試行する環境を提供することが役割であると考えられる。

6.3.3 地下埋設領域の課題と展望

(1) 情報整備の課題と展望

地下埋設領域の情報整備についての課題と展望を述べる

- 1) 地下埋設物管理事業者内で情報ごとの秘匿性の整理ができていないこと、及びセキュリティコントロール（情報項目の出力可否選択等）できるデータ出力の機能を有していないことが課題である。地下埋設物管理事業者には、あらゆる情報を公開しないことで、埋設物情報の秘匿性担保を実現している実態がある。情報内にはセキュリティレベルが存在することは認識されているものの、レベル設定やデータ項目ごとのレベル対応付けには至っておらず、セキュリティレベルを制御する仕組みもない。この課題に対して、包括的な情報のセキュリティレベルを示すガイドラインの設定・展開が解決策になると考える。さらにガイドラインの基づいたデータ公開制度を設定すれば、情報整備の敷居が下がることが見込まれる。このガイドラインは地下埋設物管理事業者間で協議のうえ制定し、地下埋設物管理事業者が合意できるものである必要があると考えられる。
- 2) 日本全国の情報整備の観点からみると、個々の地下埋設物管理事業者の事業範囲は決して広くなく、情報整備スコープが自組織内利用に限定される傾向にあり、地下埋設物管理事業者間の相互連携が進行しないことが課題である。情報公開方法は地下埋設物管理事業者ごとの裁量に任されており、他社連携システムを導入している地下埋設物管理事業者もあれば、対面での紙媒体による開示等、環境に大きな差異がある。一方、情報閲覧方法については、閲覧者（地下埋設物管理事業者や開削工事事業者）による対応（独自フォーマットの閲覧環境構築・手作業によるメモ等）に委ねられている。この課題に対し、地下埋設物管理事業者と情報閲覧者共用の空間 ID 基盤を設置することで、地下埋設物管理事業者の相互連携にかかる負担を軽減し、情報の流通度向上を促進できる。副次的効果として、情報閲覧者の閲覧コストの軽減にも寄与できると考える。
- 3) 地下埋設物管理事業者から空間 ID 基盤へのデータ提供に関して、主に2つの課題を確認している。1点目の課題は、マスターデータは地下埋設物管理事業者が持たなければならない点である。この課題に対し、次の将来像が考えられる。地下埋設物管理事業者はマスターデータとして機密性の高い高解像度な情報を保持するが、各事業者の判断によって公開許可する情報を空間 ID 基盤に投入することで、情報隠蔽しつつ情報共有を実現する。一方で、情報閲覧者（開削工事事業者等）は、フィードバックとして施工実績を空間 ID 基盤へ投入する。このように、地下埋設物情報を取り巻

くステークホルダー間の双方向の情報共有プラットフォームとして、空間 ID 基盤を利用することが望ましいと考える。

2点目の課題は、マスターデータから空間 ID 基盤への登録手段にメリット以上のコストが発生する点である。地下埋設物事業者からは自動登録への強い希望を確認した。この課題への対応として、各事業者が現在保持している情報フォーマットから空間 ID 基盤へ自動登録可能なマスターデータフォーマットへの変換プロセスの細分化（人依存の作業中の自動化可能な作業の分別等）が必要である。

（2） 情報普及拡大の課題と展望

地下埋設領域の情報普及拡大についての課題と展望を述べる

- 1) 空間 ID データ整備手法の導入や実施が地下埋設物管理事業者への負担になることが課題である。地下埋設物情報は自組織内利用に限定して整備・管理される傾向が強く、情報閲覧者（地下埋設物管理事業者や開削工事事業者）に必要なデータ項目が失われているケースも存在する。情報閲覧者のニーズに対応したデータ整備のため、個々の地下埋設物管理事業者ごとに整備方法を検討することは非効率である。この課題に対し、情報項目ごとの段階的な情報整備計画と整備手法指針を示すことで、地下埋設物管理事業者における、空間 ID データ整備負担による損失が空間 ID データ利用によって得られる恩恵を超えないように調整することで、持続可能なデータ整備が見込まれる。
- 2) 情報公開・更新・管理し続けることによる地下埋設物管理事業者のメリットは、情報管理の省力化とサービス拡張性の獲得であると考ええる。

「地下埋設物管理事業者による情報公開→開削工事事業者による実測→地下埋設物管理事業者による情報更新」の情報還流サイクルを空間 ID 基盤に組み込むことで、情報更新コストの削減が見込まれ、持続可能な情報基盤が維持できると見込まれる。具体的には、工事实績（新設埋設物の位置情報、参照情報の精度フィードバック等）を空間 ID 基盤に返すことで、地下埋設物管理事業者はマスターデータの更新や高品質化の効率化の実現が予想される。

さらに、整備した空間 ID に紐づく具体的な地下埋設物の形状情報や属性情報の高精度化、連携する情報種類の増加が進むことによって、空間 ID 基盤の利用性向上や新サービスの創出が見込まれる。

これをサステナブルに続けることができる仕組みが、空間 ID が産業アーキテクチャとして機能するために必要である。

- 3) 空間 ID データ整備普及のためには、情報管理の省力化とサービス拡張性の理解を浸透させる必要がある。

地下埋設物管理事業者（民間企業）においては、「開削工事事業者による実測→地下埋設物管理事業者による情報更新」の仕組みによる情報管理業務コスト減（開削工事事業者の事業コスト減による副次効果も含む）が主に期待される。また、今後拡大していく空間 ID を利用した社会活動やサービスとの連携による新規ビジネス創出が見込まれる。

地下埋設物管理事業者（自治体）においては、土木事業を超えた業務改善が期待される。従来、行政情報・庁内事務（住所等の座標値を持たない位置情報）と地理空間情報は連携に GIS 等に関する専門スキルが必要で、取り扱いに障壁があったが、住所から空間 ID、地理空間情報から空間 ID への変換する仕組みを用意しておけば、住所ベースの情報を座標由来の情報と容易に比較できるようになる。特に有事の場合は、高スキルを必要としない情報連携基盤となり、コスト削減だけでなく情報管理の質があがり、被害量減少や復旧コスト削減につながる。

開削工事事業者においては、情報参照による工事計画の高品質化と低コスト化が見込まれる。座標情報をもたない CAD・図面に示される設備情報と、座標情報で管理される工事現場環境情報（地質情報等）を、空間 ID を媒介にして紐付けることが可能になる。情報を統合解析することにより、より確度の高い計画ができる。その結果、工事現場での安全性や生産性の向上、工事全体の省力化が期待される。

(3) 情報利用の課題と展望

地下埋設領域の情報利用についての課題と展望を述べる

- 1) 従来の整備データフォーマットによる利用シーンの制限が課題である。従来フォーマットによるデータ整備や利用には GIS に関する高度な知識とスキルが必要なことから、情報更新量や利用できるユーザーの数が限定的であった。さらに、従来フォーマットを取り扱えるシステムやアプリケーションに GIS エンジンやライブラリが必要な点や、紐付ける情報の管理単位が限定的（従来の地下埋設物の管理単位はマンホールからマンホールまでを 1 単位としている）である点も情報普及の阻害要因となる。この課題に対し、GIS の概念が不要なインデックス管理により様々な情報（行政情報等）を紐付けられることにより、他分野における利活用（災害復旧状況把握等）や、対象の形状特性に依らない情報格納（例えば、地下埋設物の途中の故障個所を指定して情報を格納できる）が見込まれる。
- 2) 実利のある地下空間管理のためには、地下管路設備のデータ化だけで不十分である。現実の掘削工事の際には、地上設備（電柱・信号機等）やその地下構造、及び地

下通路構造の情報も必要である。地上設備や管路以外の地下設備のデータ整備も合わせて実施することで、総合的な設備管理への寄与が見込まれる。

- 3) 本実証においては地下埋設物管理事業者が保有する地下設備のデータに対して地下埋設領域の基盤システムで中央集権的に地下設備データを集約して空間 ID に紐付けを行った。今後利用が進むにつれて地下設備データに対する更新頻度や位置精度の要求が高まり、情報の利用価値も高まることが予想され、地下埋設物管理事業者自らが保有するシステムに空間 ID による配信インタフェースを実装し、利用側のシステムとの間で自動連携する形も考えられる。こうすることで情報の流通性はますます高まっていく一方、情報アクセスに対する認証や認可のコントロールと合わせた全体のアーキテクチャ設計が重要となると考えられる。

6.3.4 領域を横断した課題と展望

(1) 領域を横断した共通 API の定義

本業務におけるユースケース実証で使用した、地図・GIS 基盤システムと地下埋設基盤システムは「6.2.2 基盤システムごとの設計思想」において述べたように設計思想が異なっている。そのため、汎用的に様々なユースケースのデータに対応する必要がある地図・GIS 基盤システムの API と、用途が明確でありデータの仕様も領域において確定している地下埋設基盤システムの API で実装が異なっている。しかしながら、将来的には例えば地下埋設基盤システムのクライアントが地下埋設物の被害状況を把握するために地図・GIS 基盤システムの災害情報のデータを取得する等の領域を横断したユースケースが想定される。このようなニーズを想定し、空間情報のデータが空間 ID を活用してより効率的に流通する仕組みを提供するためには、領域を横断した共通 API が定義されている必要があると考える。

このような領域横断の共通 API を検討する上で、すでに多様なユースケースに対応するために設計されている地図・GIS 基盤システムの API を前提とする方法が考えられる。以下に、「6.3.2 地図・GIS 領域の課題と展望」において検討した地図・GIS 領域のハイレベルな API を、領域横断で利用する場合の例を示す。

- ・ **GIS_FindSid** (仮称)：指定された範囲の対象のデータと紐付く空間 ID を取得する。浸水の被害状況把握等の用途において、**GIS_FindSid** メソッドを用いて、地図・GIS 領域の基盤システムから浸水等の被害が発生している場所の空間 ID のリストを取得し、地下埋設領域の基盤システムからは埋設物等の設備が存在する空間 ID のリストを取得する。2つの領域から取得した空間 ID のリストから共通の空間 ID を取得することで、浸水等の被害が発生している場所に存在する設備の情報を特定する等の用途が想定される。
- ・ **GIS_GetValue** (仮称)：指定された範囲の空間 ID に紐付けられた属性の値を取得する。**GIS_GetValue** が共通 API として各領域の基盤システムに定義されることで、領域ごとの内部的なデータ構造を意識せずに空間 ID に紐付けられた属性情報を取得することが可能になると想定される。例えば浸水の被害状況把握等の用途において、地図・GIS 領域から浸水深の値を取得したり、地下埋設領域から被害が発生している場所の設備の管理事業者の情報を取得したりする用途が考えられる。
- ・ **GIS_GetInfo** (仮称)：対象のデータの概要・属性の定義情報を取得する。

地下埋設領域等データの仕様が領域内で共通化されている場合は、この機能は不要となるが、他領域の基盤システムからデータを取得する際にはどのようなデータ型の属性の値が返ってくるのかを事前に確認するために必要な機能となる。

本業務で検討した共通 API については、例えば GIS_GetValue メソッドはデータのスキーマを意識せずに空間 ID に紐付けられた属性の項目を取得する想定であるため、API のクライアント側で一度すべての属性の項目を取得してからデータの処理を行う必要がある。そのため実際には使用しない属性の項目まで取得するデータのオーバーフェッチの問題が発生する。より様々な空間 ID の活用領域を比較して領域横断で共通の属性を見出すことで、API のリクエスト・レスポンスに共通属性のみを含めた無駄のない API を準備することが可能になるため、地図・GIS 領域と地下埋設領域だけではなく、今後空間 ID を活用する様々なユースケースを俯瞰して共通の項目を見出していく必要があると考える。

また、領域横断の共通 API は、開発者が利用しやすいように共通の名称の API (メソッド) で各領域の基盤システムに実装されることが推奨される。API の名称が統一されることで、基盤システムを利用する開発者は同一の方法で複数の領域の基盤システムにデータをリクエストする機能を開発することが可能となり、必要に応じてデータを取得する領域を切り替える等の汎用的なアプリケーションの開発が可能になる。「6.3.2 地図・GIS 領域の課題と展望」で述べられた命名規則に則り、領域を横断して利用される API の命名では、領域識別子に「GEN: 共通の全領域」を採用することが好ましいと考える。

各領域によって空間 ID に紐付けられている属性情報が異なるため、共通 API のレスポンスを完全に同一にすることは困難であるが、例えば空間 ID、空間 ID に紐づく属性の項目と値の配列を保持する JSON 形式を API のレスポンスの共通のデータ構造として定義することで、アプリケーションがデータを取得する領域を変更しても、空間 ID に紐付けられた属性の項目の違いだけに対応すればよくなる等、共通 API の利便性を向上させることができる。

このような十分にシンプルな API と共通のレスポンスのデータ構造を定義することで個別の領域だけでなく領域を横断したユースケースやアプリケーション開発が可能となり、空間 ID がより幅広い分野や用途で活用されることが期待される。

(2) 領域を横断した協調データの整備

全く同じデータを複数の領域やユースケースの事業者が重複して整備してしまう状況を回避し、効率的に空間 ID を活用してデータ流通させるためには、領域を横断して必要とされるデータを協調データとして定義し、整備・運用する必要がある。

ただし前述の通り、特に地図・GIS 領域のユースケースにおいては目的の異なる様々なユースケースが存在し、各ユースケースの要件に応じて必要となるデータも異なる。そのため、どのようなユースケースにおいても必ず共通的に使用されるデータは存在しないものと想定される。

一方で本業務においても地図・GIS領域の一部のユースケースと地下埋設領域において共通で地表面の標高値（DEM）データへの利用ニーズが存在した。例えば地下埋設物の位置は多くのデータが土被り（地表面を0mとして地下方向に正值）で管理されているため、地下埋設物の高さを、ジオイドを基準とした標高値に変換するために、DEMを使用した。また、統合災害情報の提供ユースケースにおいても分析を行い空間IDに紐付けた浸水深を地表面から立ち上げて可視化するためにベースとなるDEMが必要であった。

このようにすべてのユースケースではなくとも領域を横断して複数のユースケースから必要とされるデータは存在するため、このようなデータについては領域横断の協調データとして定義し整備する必要がある。共通APIの検討と同様に地図・GIS領域と地下埋設領域だけではなく、今後空間IDを活用する様々なユースケースを俯瞰して領域を横断してニーズが存在する協調データを見出していく必要があると考える。

現在も数値標高モデルが国土地理院の基盤地図情報ダウンロードサービス³⁵から提供されているように、このような協調データが行政機関等からオーソライズされた信頼できるデータとしてファイル形式もしくはWeb API経由で提供されることで、協調領域のデータに対する重複整備を回避し、空間IDのユースケースが信頼できる正しいデータを使用して社会実装されることが期待される。

³⁵ 国土地理院 基盤地図情報ダウンロードサービス

<https://fgd.gsi.go.jp/download/menu.php>

デジタルツイン構築に関する調査研究
調査報告書

2023年3月

デジタルツイン構築調査研究受託コンソーシアム
ダイナミックマッププラットフォーム株式会社
株式会社エヌ・ティ・ティ・データ