

APPENDIX-3 事例集

本事例集は、デジタル庁や国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の実証事業において、各採択事業者によって実施されている空間 ID および 4 次元時空間情報基盤を活用したユースケース実証の概要をまとめたものである。

実施完了した実証の詳細な内容は各実証※の調査報告書に記載されている。実証の結果は 2024 年度末時点の情報を記載しており、事例および各調査報告書の情報は今後、更新、追加していく。

※各実証

- ① デジタル庁：デジタルツイン構築に関する調査研究（実施年度：2022 年度）¹
- ② デジタル庁：デジタルツイン構築に向けたインフラ管理の DX に関する実証調査研究（実施年度：2023 年度）²
- ③ デジタル庁：モビリティ分野における産業用データ連携基盤の整備に関する実証調査研究（実施年度：2023 年度）³
- ④ NEDO：産業 DX のためのデジタルインフラ整備事業／3 次元空間情報基盤に関する研究開発（実施年度：2022 ～2024 年度）⁴

¹ デジタル庁 令和 4 年度「デジタルツイン構築に関する調査研究」報告書等
<<https://www.digital.go.jp/policies/mobility/#documents>>

² デジタル庁 令和 5 年度「デジタルツイン構築に向けたインフラ管理の DX に関する実証調査研究」報告書等
<<https://www.digital.go.jp/policies/mobility/#documents>>

³ デジタル庁 令和 5 年度「モビリティ分野における産業用データ連携基盤の整備に関する実証調査研究」
<<https://www.digital.go.jp/procurement/closed-calls-for-proposal-competition>>

⁴ NEDO「産業 DX のためのデジタルインフラ整備事業」（1）3 次元空間情報基盤（2022 年度～2024 年度）
<https://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP_100218.html>

以下の表にユースケース事例と各実証、利用空間を示す。

実証	ユースケース事例	利用空間	掲載項
①	1.1 地下埋設物管理ユースケース	地下	3
	1.2 複雑な建物内での移動・輸送ユースケース	地上（屋内）	8
	1.3 時間軸を考慮した災害情報の統合・提供ユースケース	地上	12
	1.4 BIM・建物データ等を連携させた CPS ユースケース（ロボット運行最適化、空間の広告価値評価）	地上（屋内）	15
②	2.1 地下埋設物管理ユースケースにおける機能の更新・追加	地下	22
	2.2 対象設備への地上設備の追加に関する実証	地上・地下	29
	2.3 遠隔操作のユースケースの追加に関する実証	地下	33
	2.4 災害対応ユースケース	地下	36
③	3.1 自動車ユースケース	地上	42
④	4.1 物資輸送ユースケース	空	49
	4.2 送電設備点検ユースケース	空	55
	4.3 橋梁点検ユースケース	空	60
	4.4 UTM 間連携に関する技術検証	空	66
	4.5 損害保険に係るリスクアセスメント等に関する技術検証	空	69
	4.6 点検・防災・有人機連携ユースケース	空	72
	4.7 空間情報基盤の有用性に関する技術検証	空	75
	4.8 点検ユースケース	空	81
	4.9 信号認証技術による Spoofing 脅威の低減に関する技術検証	空	84
	4.10 教育ユースケース	地上	89
	4.11 インフラ管理ユースケース	地上	94
	4.12 建設現場アプリユースケース	地上（屋内）	103
	4.13 建設現場アプリに関する技術検証	地上（屋内）	106
	4.14 建設ロボットユースケース	地上（屋内）	108
	4.15 建設ロボットに関する技術検証	地上（屋内）	111
	4.16 空間エンタメユースケース	空・地上	113
	4.17 空間エンタメに関する技術検証	空・地上	116

1. デジタル庁「デジタルツイン構築に関する調査研究」に係る事例

1.1. 地下埋設物管理ユースケース（エヌ・ティ・ティ・インフラネット株式会社、株式会社 EARTHBRAIN、株式会社 NTT データ）

① 実証の概要

地下埋設物空間 ID 整備・地下埋設物照会・建設機械 MG（マシンガイダンス）の3つのユースケースを実証し、地下埋設物工事における4次元時空間情報基盤適用の有効性等を検証する。

- ・ 地下埋設物空間 ID 整備：各事業者の地下埋設物情報を収集し、位置基準による設備位置の統合、フォーマットの統一を行った上で、空間 ID による情報標準化における有効性等を検証する。
- ・ 地下埋設物照会：地下埋設物空間 ID により、既存の地下埋設物照会業務プロセスに対して、どの程度の削減効果を得られるかについて有効性等を検証する。
- ・ 建設機械 MG：地下埋設物空間 ID により、従来の MG に地下埋設物の埋設位置を表示させ、建機オペレータへの安全施工への補助について有効性・掘削範囲情報の可視化による工事計画検討における効果を検証する。

② 背景課題

地下埋設物の図面等は各埋設物事業者が独自フォーマットで管理していることや、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がないことが、既知の課題として挙げられている。したがって、施工前の地下埋設物照会では各埋設物事業者から図面等を取り寄せるといった作業が必要となり、多大な業務時間を要する、という経済的課題になっている。

本ユースケースでは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）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。

- ・ 空間 ID を利用して地下埋設物データと紐づいているボクセルが可視化できる機能を建設機械 MG に搭載し、技術者不足の解消を実現
- ・ 地下埋設物データを空間 ID へ紐づけボクセル化し、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
- ・ 空間検索の結果として得られたボクセルに紐づ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

③ アウトカム

本ユースケースが社会実装された際に創出されるアウトカムは以下の想定である。

表 1-1-1 アウトカム

観点	アウトカム
経済的価値	工数の削減による業務速度の向上
社会的価値	情報利用性の向上
	労働人口（技術者）不足の解消
	施工時の安全性向上

④ KGI・KPI

本実証では下記に示す KGI の達成を目標に、実地検証にて KPI 指標の達成状況を測定した。

表 1-1-2 KGI・KPI

観点	KGI	KPI
経済的価値	工数の削減による業務速度の向上	従来の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
		自動化率の上がったデータ整備仕様に賛同する団体数
社会的価値	情報利用性の向上	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
	労働人口（技術者）不足の解消	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
	施工時の安全性向上	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

⑤ システムアーキテクチャ

本ユースケースのシステムアーキテクチャを図 1-1-1 に示す。



図 1-1-1 地下埋設物管理におけるシステムアーキテクチャ

⑥ 実地検証の内容

2022 年度の実証では以下の検証項目により、空間 ID の活用可能性を評価する。なお詳細な検証内容や条件、結果の判定方法は、デジタル庁からの委託を受けて対象事業者が遂行した「デジタルツイン構築に関する調査研究事業の調査報告書」を参照。

表 1-1-3 検証内容

分類	観点	検証内容
経済	【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	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。 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） 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）
	【データ整備】 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。
社会	【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	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。 （※「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）
	【建機マシンガイダンス】 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	ICT 建機の実機とダミー管路を用いた開削デモ工 事（掘削→管底掘上）の実施に要する時間を測 定。
	【建機マシンガイダンス】 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	動画（工事の諸条件を設定）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。
	【建機マシンガイダンス】 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	ICT 建機の既存機能に空間 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が建機 の操作判断行動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。
技術	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。
	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	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

分類	観点	検証内容
	用サイクル確認（フォーマットの項目過不足確認）	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。
	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	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。

⑦ 実地検証結果

各検証項目に対する結果を以下に示す。なお結果の詳細は、デジタル庁からの委託を受けて対象事業者が遂行した「デジタルツイン構築に関する調査研究事業の調査報告書」を参照。

表 1-1-4 検証結果

分類	観点	目標値・目標状態	検証結果
経済	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	20%に短縮	4.8%に短縮
	経済②【データ整備】 自動化率の上がったデータ整備仕様に賛同する団体数	0.4% (15÷3,687)	0.4%
社会	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	16%（キャズムの壁） （＝社会実装に足り得る）	32.7%
	社会②【建機マシンガイダンス】 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	90%に短縮	82%に短縮
	社会②【建機マシンガイダンス】 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【建機マシンガイダンス】 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	50%に削減	0%に削減

技術	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	左記が評価できていること	難易度のレベル定義と実証地域における評価を実施済み
	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）		統一フォーマットの定義と実証における運用評価を実施済み
	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		利用側・提供側の許容ズームレベルを確認済み

（出典：「デジタルツイン構築に関する調査研究」調査報告書より引用）

⑧ 実証スケジュール

2022 年度の実証スケジュールを表 1-1-5 に示す。

表 1-1-5 実証スケジュール

タスク	2022 年度						
	9	10	11	12	1	2	3
システム要件定義							
実証用システムの設計・開発							
データ・メタデータ仕様検討							
ユースケース実証							
実証成果の取りまとめ							

⑨ 本実証のステークホルダーと役割

本実証に関係するステークホルダーと連携し、実証・開発を実施した。

表 1-1-6 ステークホルダー一覧

ステークホルダー	実証における役割
エヌ・ティ・ティ・インフラネット株式会社	地下埋設物照会の実証、地下埋設物空間 ID 整備
株式会社 EARTHRAIN	建設機械マシンガイダンス実証アプリの開発・実証
株式会社 NTT データ	地下埋設空間情報基盤の構築、埋設物照会実証アプリの開発・実証

1.2. 複雑な建物内での移動・輸送 ユースケース（ダイナミックマッププラットフォーム株式会社、ソフトバンク株式会社、ビーブリッジ株式会社）

① 実証の概要

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、および空間 ID に紐づくデータの連携による AR ナビゲーションを検証する。

- ・ 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空間 ID を取得する
- ・ 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

② 背景課題

自律走行ロボットによる配送ニーズは少子高齢化や地方の空洞化などを背景として、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ならびに災害時の物資輸送等として想定されている。

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、開発にかかる工数が膨らみ、配送サービスアプリ開発者の開発コスト増加に繋がっている。また、自動走行に活用する地図は走行前に取得する必要があるため、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した場合であっても、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につながり、自律走行ロボットの普及の障害となっている。

本ユースケースでは、空間 ID の活用により上記課題が解決した将来ビジョンを次のように設定した。

- ・ 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
- ・ 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 アウトカム

本ユースケースが社会実装された際に創出されるアウトカムは以下の想定である。

表 1-2-1 アウトカム

観点	アウトカム
経済的価値	・ ロボットの普及に伴う業務効率化・ユーザー利便性向上 ・ 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
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 ID 活用関連の新規アプリ創出に伴う情報のオープン化

④ KGI・KPI

本実証では下記に示す KGI の達成を目標に、実地検証にて KPI 指標の達成状況を測定した。

表 1-2-2 KGI・KPI

観点	KGI	KPI
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	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
		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 活用時の配送リードタイムの削減率
		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	新規アプリの創出件数

⑤ システムアーキテクチャ

本ユースケースのシステムアーキテクチャを図 1-2-1 に示す。

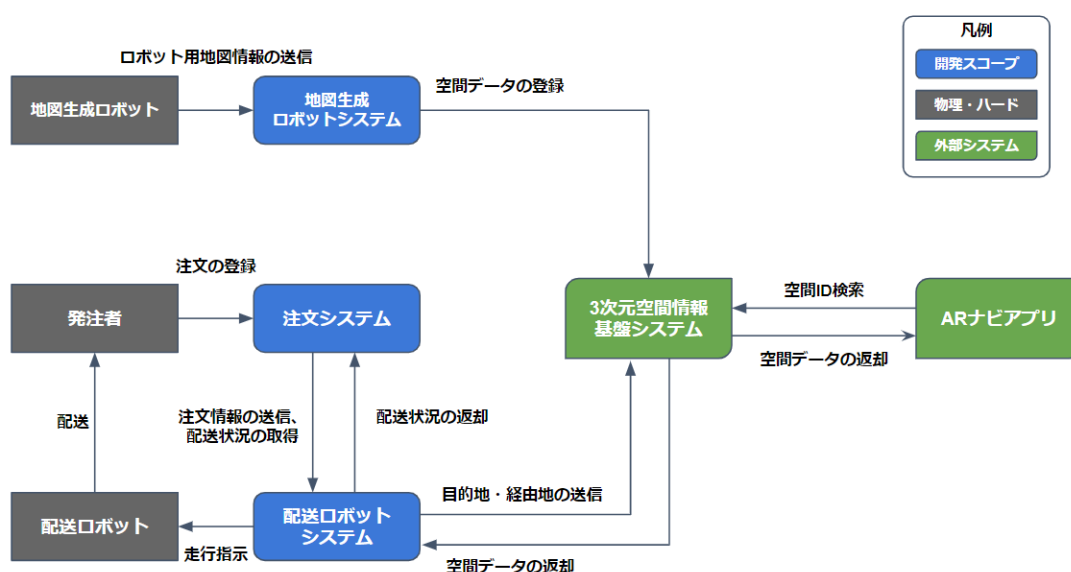


図 1-2-1 複雑な建物内での移動・輸送の問題解決のシステムアーキテクチャ
(出典：デジタル庁「デジタルツイン構築に関する調査研究」調査報告書より引用)

⑥ 実地検証の内容

2022 年度の実証では以下の検証項目により、空間 ID の活用可能性を評価した。

表 1-2-3 検証内容

分類	観点	検証内容
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） ※現地視察の工数も含む
	建物情報整備コスト	ロボット走行およ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） ※現地視察の工数も含む
技術	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
	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実施
	適切なボクセルサイズの評価	地図・建物情報の登録、座標指定に適したボクセルサイズの評価・考察
	企業間でのデータ連携	空間 ID および基盤システムを用い、建物情報を他社に共有し、有効活用が可能か検証

⑦ 実地検証結果

各検証項目に対する結果を以下に示す。なお結果の詳細は、デジタル庁からの委託を受けて対象事業者が遂行した「デジタルツイン構築に関する調査研究事業」に関する調査報告書を参照。

表 1-2-4 検証結果

分類	観点	目標値・目標状態	検証結果
経済	地図生成コスト	現状より削減	86%削減
	建物情報整備コスト	現状より削減	67%削減
技術	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	技術的に実現可能	可能
	空間 ID を活用し		可能

	たルーティング及びロボット走行の実現		
	適切なボクセルサイズの評価	適切なボクセルサイズの導出	以下ボクセルサイズが適切と評価を行った。 建物 ID、フロア ID : zoom level22 建物 POI、KeepOut : zoom level26
	企業間でのデータ連携	技術的に実現可能	可能

(出典：「デジタルツイン構築に関する調査研究」調査報告書より引用)

⑧ 実証スケジュール

2022 年度の実証スケジュールを表 1-2-5 に示す。

表 1-2-5 実証スケジュール

タスク	2022 年度						
	9	10	11	12	1	2	3
システム要件定義							
実証用システムの設計・開発							
データ・メタデータ仕様検討							
ユースケース実証							
実証成果の取りまとめ							

⑨ 本実証のステークホルダーと役割

本実証に関係するステークホルダーと連携し、実証・開発を実施した。

表 1-2-6 実証ステークホルダー一覧

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	本実証の取りまとめ及び実施 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 ナビゲーションアプリの提供
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	地図・GIS 基盤システムの提供

1.3. 時間軸を考慮した災害情報の統合・提供 ユースケース（ダイナミックマッププラットフォーム株式会社、一般財団法人リモート・センシング技術センター）

① 実証の概要

空間 ID を用いて、衛星観測データ、SNS データを使った河川氾濫情報の管理と情報可視化に関する実証を行い、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。実証対象は佐賀県六角川で過去発生した河川氾濫とし、佐賀県庁、六角川流域市町と連携して検証する。

② 背景課題

気候変動の影響などにより各地で気象災害が激甚化している中で、河川氾濫などの被害が繰り返し起こっており、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。

本ユースケースでは、空間 ID の活用により上記課題が解決した将来ビジョンを次のように設定した。

- ・ 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、行政が判断の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。

③ アウトカム

本ユースケースが社会実装された際に創出されるアウトカムは以下の想定である。

表 1-3-1 アウトカム

観点	アウトカム
社会的価値	・ 高精度な浸水ハザードマップ利活用の普及 ・ より安全性の高い防災マップ・避難計画の策定 ・ ユーザー利便性の向上

④ KGI・KPI

本実証では下記に示す KGI の達成を目標に、実地検証にて KPI 指標の達成状況を測定した。

表 1-3-2 KGI・KPI

観点	KGI	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	ハザードマップ：自治体保有の実績データとの整合性 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	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	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

⑤ システムアーキテクチャ

本ユースケースのシステムアーキテクチャを図 1-3-1 に示す。

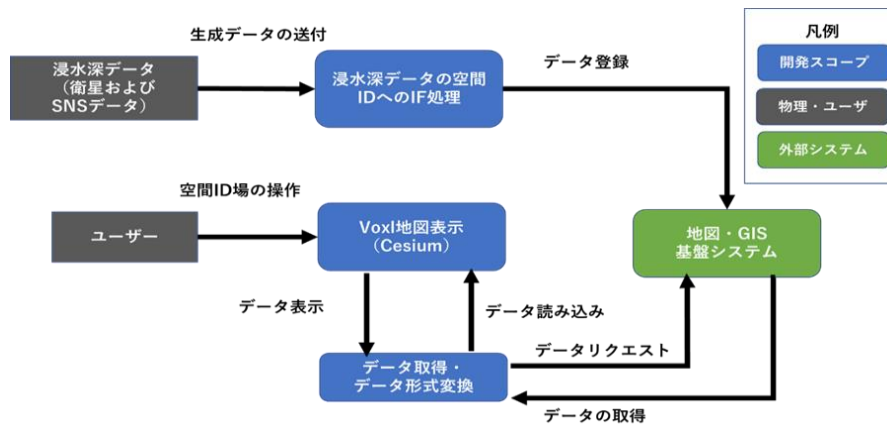


図 1-3-1 統合災害情報の提供におけるシステムアーキテクチャ

(出典：デジタル庁「デジタルツイン構築に関する調査研究」調査報告書より引用)

⑥ 実地検証の内容

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

表 1-3-3 検証観点

分類	観点	検証内容
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実施
	【ハザードマップ・防災マップ】既存システムとの互換性	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、アンケートを実施
	【防災マップ】既存データとの互換性	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、互換性高い利用が可能かヒアリング、アンケートを実施
	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	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、アンケートを実施
技術	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、ラスターフォーマットなどの効率的に変換が可能か検証
	データ整備工数：座標系などの変換処理	各2次元座標と3次元座標および時間情報を効率的に持たせることは可能か検証

⑦ 実地検証結果

各検証項目に対する結果を以下に示す。なお結果の詳細は、デジタル庁からの委託を受けて対象事業者が遂行した「デジタルツイン構築に関する調査研究事業の調査報告書」を参照。

表 1-3-4 検証結果

分類	観点	目標値・目標状態	検証結果
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	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、使用に耐えうる（暫定）
	【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%
	【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%
	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%
技術	データ変換工数：異なるフォーマットの変換処理	技術的に実現可能	可能
	データ整備工数：座標系などの変換処理		空間 ID で管理が可能。時間情報は UI 側で切替え表示させることを実現した

（出典：「デジタルツイン構築に関する調査研究」調査報告書より引用）

⑧ 実証スケジュール

2022 年度の実証スケジュールを表 1-3-5 に示す。

表 1-3-5 実証スケジュール

タスク	2022 年度						
	9	10	11	12	1	2	3
システム要件定義							
実証用システムの設計・開発							
データ・メタデータ仕様検討							
ユースケース実証							
実証成果の取りまとめ							

⑨ 本実証のステークホルダーと役割

本実証に関係するステークホルダーと連携し、実証・開発を実施した。

表 1-3-6 実証ステークホルダー一覧

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	・空間 ID を活用した防災ユースケースの開発、実証遂行 ・衛星データの解析および空間 ID への対応付
株式会社 Spectee	・SNS データの解析および空間 ID への対応付 ・UI の開発
佐賀県庁	実証場所の提供および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	地図・GIS 基盤システムの提供

1.4. BIM・建物データ等を連携させた CPS ユースケース ロボット運行最適化、空間の広告価値評価）（ダイナミックマッププラットフォーム株式会社、株式会社竹中工務店）

① 実証の概要

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う。

② 背景課題

建物に関するデータを活用することで、「省人化」「省エネルギー」「健康増進」等これまでになかったような高度な機能を持つスマートビルへの取組が進んでおり、スマートビルをはじめとする建物におけるデータ活用を加速させるための「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。

一方、アプリケーション開発においては建物ごとに収集するデータが標準化されていないことから、建物ごとの個別開発・カスタマイズが発生し、アプリケーションひとつひとつの導入コストが大きくなる傾向にある。

現状では各データの記述方法が異なることから、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・管理しており、それに紐付く機器や位置の記述方法についてもシステムごとで異なる為、統計的手法を用いたデータ利活用が難しいという課題がある。空間IDを用いることで、機械学習等のAI技術を用いた活用、システム間の連携を促進し、それにより実現を目指す将来像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）を外販している状態（地図・GIS基盤＝iOSやAndroidにあたり、様々なベンダーがカスタマイズの必要ないアプリを販売）
- ・ 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、高品質のサービスをユーザーに提供している状態
- ・ 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状態

③ アウトカム

本ユースケースが社会実装された際に創出されるアウトカムは以下の想定である。

表 1-4-1 アウトカム

観点	アウトカム
経済的価値	・ サービスの高品質化・標準化に伴うユーザー（ビルオーナー・エンドユーザー）の利便性・満足度向上 ・ 【ロボット】運転の効率化に伴うサービス向上 ・ 【広告】3D デジタル空間における広告提供手段の確立による、実空間におけるユーザーの体験向上

④ KGI・KPI

本実証では下記に示すKGIの達成を目標に、実地検証にてKPI指標の達成状況を測定した。

表 1-4-2 KGI・KPI

観点	KGI	KPI (経済的・社会的検証項目)
経済	サービスの高品質化・標準に伴うユーザー（ビルオーナー・	・ データ収集可能なスマートビルの棟数（導入数、契約数）、棟あたりのデータの

	エンドユーザー) の利便性・満足度向上	多様化 (増加率)
		・設備データを基にした混雑度予測精度
		・1人APPあたりのコスト
	【ロボット】 運転の効率化に伴うサービス向上	・1人あたりの開発期間・リードタイム
		・人手オペレーションによる人的コスト・リトライ時間の削減率 (到着時間低減率)
	【広告】 3D デジタル空間における広告提供手段の確立による、実空間におけるユーザーの体験向上	・広告オーナーに適切なFBを与えるための「有効投資率 (広告価値・広告費用)」の導入
		・広告の有無による消費者の行動変容の分析
		・空間IDを用いたARコンテンツ数

(出典: 「デジタルツイン構築に関する調査研究」調査報告書より引用)

⑤ システムアーキテクチャ

本ユースケースのシステムアーキテクチャを図1-4-1に示す。

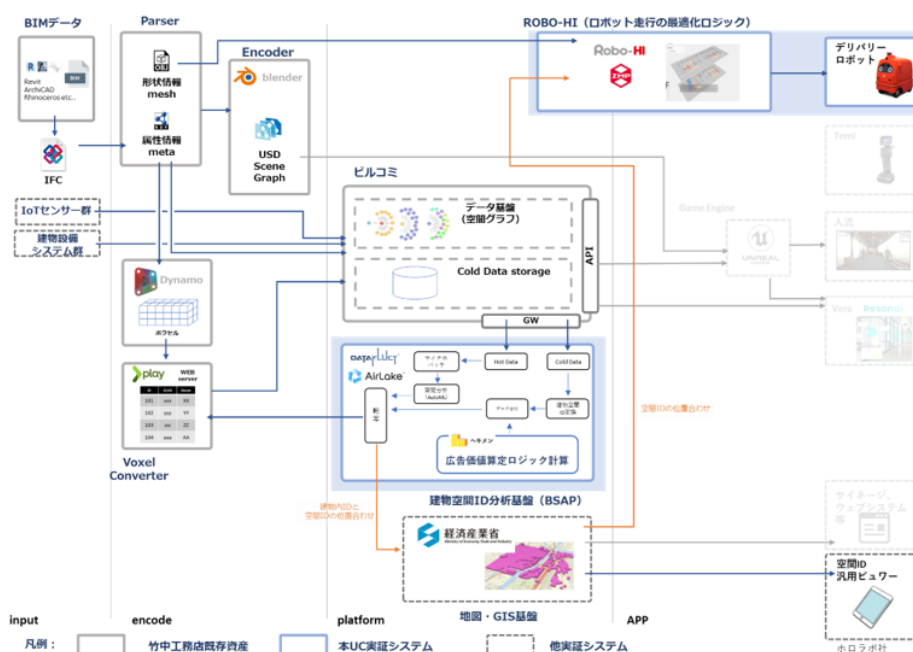


図1-4-1 BIM・建物データ等を連携させたCPSにおけるシステムアーキテクチャ
(出典: デジタル庁「デジタルツイン構築に関する調査研究」調査報告書より引用)

⑥ 実地検証の内容

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

表1-4-3 検証内容

分類	観点	検証内容
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・確立を行う

	【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により、ロボット・モビリティの実装を促進する
	【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
技術	想定するシーケンス全体の完遂可否	(i) 建物内空間の空間 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。詳細は同表内技術検証項目「BIM データのボクセル化」、「ボクセル単位での混雑度予測」に記載 (ii) 建物情報を用いたロボットの最適化運転 詳細は同表内技術検証項目「ロボット走行最適化」に記載 (iii) 広告価値の分析 詳細は同表内技術検証項目「ボクセル単位での視認性スコア算定」に記載 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
	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
	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 分後の予測を行う。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。予測データを実情に照らし、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。
	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・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ミクロな範囲に適応できるか検証を行う
	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おり、共通ライブラリを用いることで空間 ID への変換を行う。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。
	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

⑦ 実地検証結果

各検証項目に対する結果を以下に示す。なお詳細は、デジタル庁からの委託を受けて対象事業者が遂行した「デジタルツイン構築に関する調査研究事業の調査報告書」を参照。

表 1-4-4 検証結果

分類	観点	目標値・目標状態	検証結果
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。妥当性は高いと判定。
	【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。
	【広告】 行動変容の割合	広告価値の導出	空間ごとの広告価値の変化が見られ、屋内広告にボクセル単位での広告価値算出の手法は妥当。
技術	想定するシーケンス全体の完遂可否	技術的に実現可能	表 1-4-3 中の技術観点（i）～（iii）のスコップに対して実証が完了し、シーケンス全体を完遂した。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。
	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。
	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 妥当性は高いと判定。

	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、定量的な視認スコアを計算する手法を開発し、00H を置いたことによる利用者の行動変を定量的に分析可能。
	ローカルボクセル座標と空間 ID の変換		全ての座標変換処理は問題なく実行完了。
	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（4 次元時空間情報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可能。

（出典：「デジタルツイン構築に関する調査研究」調査報告書より引用）

⑧ 実証スケジュール

2022 年度の実証スケジュールを表 1-4-5 に示す。

表 1-4-5 実証スケジュール

タスク	2022 年度						
	9	10	11	12	1	2	3
システム要件定義							
データ・メタデータ仕様検討							
システム詳細設計・実装							
・建物空間分析基盤							
・広告価値算定							
・ロボット走行の最適化							
ユースケース実証							
実証成果の取りまとめ							

⑨ 本実証のステークホルダーと役割

本実証に係るステークホルダーと連携し、実証・開発を実施した。

表 1-4-6 実証ステークホルダー一覧

ステークホルダー	実証における役割
株式会社竹中工務店	・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

株式会社 DATAFLUCT	・建物空間 ID 分析基盤（BSAP）の構築 ・人流データの予測モデル ・モーションオーダーのボクセル座標系の空間 ID への変換
株式会社 ZMP	・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
株式会社ヘキメン	・広告価値算定アルゴリズムの提供及び実装サポート
コモングラウンド・ リビングラボ 運営委員会	・実証場所の提供
株式会社ホロラボ	・汎用 AR ビュワーの提供
ダイナミックマップ プラットフォーム株式会社	・地図・GIS 基盤システムの提供

2. デジタル庁「デジタルツイン構築に向けたインフラ管理の DX に関する実証調査研究」に係る事例

2.1. 地下埋設物管理ユースケースにおける機能の更新・追加（エヌ・ティ・ティ・インフラネット株式会社、株式会社 NTT データ）

① 実証の概要

地下埋設物空間 ID 利用したアーキテクチャを介して様々なインフラ事業者が管理する地下埋設物等の空間情報の相互共有を始めるため、2022 年度の「デジタルツイン構築に関する調査研究」の成果を踏まえて「ビジネス・業務」と「システム」の2つの側面から、現状における課題について検討を行う。

【ビジネス・業務】

- ・ 地下埋設物空間 ID を紐付けた地下埋設物データの適切な保存期間について検討する。
- ・ 地下埋設物空間 ID を紐付けた地下埋設物データについて、業種・事業者・システム等の間で共通して設定・整備すべきデータ項目の定義を検討する。
- ・ 4 次元時空間情報基盤を活用した地下埋設物データの流通システムについて、ビジネスモデルや運用体制及びインセンティブ設計等を検討する。
- ・ 4 次元時空間情報基盤を活用した地下埋設物データの流通システムについて、どのようなセキュリティレベルを設定すべきか検討する。

【システム】

- ・ 地下埋設物の土被りの情報について、DEM（数値標高モデル）データを利用したジオイド面基準の標高情報に変換し、空間 ID を算出可能な仕組みを提供することを検討する。
- ・ 地下埋設物空間 ID ズームレベルを柔軟に変更もしくは、親子要素を取得できる仕組みを検討する。
- ・ 地下埋設物空間 ID を活用した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といった情報を環流する仕組みを検討する。
- ・ 地下埋設物空間 ID が膨大なデータであっても、高速に処理できる管理方法を確立することを検討する。
- ・ 地下埋設物空間 ID のデータ品質の定義やその品質を担保する仕組み、利用者が品質を把握できるようにする仕組みについて検討する。
- ・ 地下埋設物空間 ID を活用した汎用ビューワーやインポートツールの対応フォーマット拡張、異なるデータのボクセル属性を掛け合わせるといった演算機能を有する解析ツールの準備等を通じて、ノンエンジニアでも空間属性情報を活用することができる環境を整備することを検討する。
- ・ 4 次元時空間情報基盤システムに処理要求を送信してから結果の出力が終了するまでの時間が延びる可能性を考慮し、リクエストとレスポンスを2つに分割して非同期に動作する仕組みを検討する。

- ・ 4次元時空間情報基盤システムにおいて分散管理・省コスト管理が可能な運用手順を含めて、分散型DBとして拡張することを前提に、高速処理できる仕組みを検討する。
- ・ 地下埋設物空間IDを取り扱うユースケースにおいて、設定したセキュリティレベルを技術的に実現するため、共有する相手やデータ項目、期間等の条件を柔軟に設定するといったアクセス権限の管理方法を確立することを検討する。

② 背景課題

インフラ設備を取り巻く複合化した社会問題の解決策として、土木設計及び施工サービスを構成する要素である技術者、すなわち、「ヒト」に依存した土木設計及び施工サービス品質からの脱却が挙げられる。解決手法の1つとして、「ヒト」から「ヒト+モノ」への転換を想定し、異なる業種のインフラ事業者の間で複合化した社会問題において解決すべき課題と、本業務のKGI（上位目標）・KSF（重要成功要因）・プロセスKPI（管理指標）として定めた仮説に基づき、新たな「モノ」となる4次元時空間情報基盤の運用開始に必要な機能を整理する必要がある。 「4次元時空間情報基盤アーキテクチャガイドライン」等に基づき、事業者間のビジネスや業務で「モノ」を新たに活用するためのデータ流通において必要となる機能を整理し、これらの有用性を評価することで、運用開始に必要な機能を定義する。

③ アウトカム

本ユースケースが社会実装された際に創出されるアウトカムは以下の想定である。

表 2-1-1 アウトカム

観点	アウトカム
経済的価値	事業者間でデータを連携・活用できる
	事業者間で共通的な機能を共有できる
	事業者が必要なデータ・機能を拡張できる
社会的価値	適切な人・組織が適切な粒度のデータの操作をすることができる
	品質・鮮度の高いデータの管理ができる
	利用者が必要な時にデータを取得できる

④ KGI・KPI

本実証では下記に示すKGIの達成を目標に、実地検証にてKPI指標の達成状況を測定した。

表 2-1-2 KGI・KPI

観点	KGI	KPI
経済的価値	「インフラ設備」のキーワードを含んでいる事業者向けのデータドリブン型ビジネスモデルの構築	4次元時空間情報基盤の需給予測
		年間作業量の現新比較
		ヒアリングによる定性評価（設備管理事業者）

社会的価値		ヒアリングによる定性評価（施工事業者）
		【連携方式、データフォーマットの標準化】 4次元時空間情報基盤を介した各事業者間でのデータ連携方式及びフォーマットの定義可否
		【機能一覧の整理】 4次元時空間情報基盤に必要となる、以下の個別課題に対する機能の定義可否 ・ 地表面情報の対応 ・ 情報更新等のコスト削減 ・ ターンアラウンドタイムが延びることへの対応 ・ APIのアーキテクチャ設計
		4次元時空間情報基盤で対応するデータ及び機能の追加を考慮したAPIのアーキテクチャ設計の可否
	「インフラ設備」のキーワードを含んでいる事業者向けのデータドリブン型ビジネスモデルの構築	【データ主権、データトラストの設定】 地下埋設物空間IDに対してアクセス権限の設定、公開粒度の決定ができる仕組みの定義可否
		【データ管理手法の整理】 地下埋設物空間IDの品質を定義し、定義した品質を担保及び公開するため仕組みの定義可否
		【システムのサービスレベルの整理】 4次元時空間情報基盤に膨大なデータを格納しても、高い可用性や迅速な応答時間等を含む、厳格な要求仕様を満たすサービスレベルを実現するための仕組みの定義可否
		【連携方式、データフォーマットの標準化】 4次元時空間情報基盤を介した各事業者間でのデータ連携方式及びフォーマットの定義可否 【機能一覧の整理】 4次元時空間情報基盤に必要となる、以下の個別課題に対する機能の定義可否 ・ 地表面情報の対応 ・ 情報更新等のコスト削減 ・ ターンアラウンドタイムが延びることへの対応 ・ APIのアーキテクチャ設計

⑤ システムアーキテクチャ

本ユースケースのシステムアーキテクチャを図 2-1-1 に示す。



図 2-1-1 地下埋設物管理におけるシステムアーキテクチャ

⑥ 実証の内容

2023 年度の実証では以下の検証項目により、4 次元時空間情報基盤アーキテクチャガイドラインをもとに、デジタル庁が企画する 2024 年度からの「インフラ管理 DX」の社会実装に向けて必要となる実証調査研究を行った。なお詳細な検証内容や条件、結果の判定方法は、デジタル庁からの委託を受けて対象事業者が遂行した「デジタルツイン構築に向けたインフラ管理の DX に関する実証調査研究調査」を参照。

表 2-1-3 実証内容

分類	観点	実証内容
経済的価値	4 次元時空間情報基盤の需給予測	道路工事 1 件あたりの地下埋設物調査に係る所要業務時間について、システム導入前後での想定、比較を行う。次いで、これに業務従事者（土木施工事業者、地下埋設物を管理するインフラ事業者）の想定業務委託単価を乗ずることで効果を金額換算する。更に、全国における道路工事件数の統計から、4 次元時空間情報基盤による地下埋設物調査が全国に普及した場合の導入効果を試算する。
	年間作業量の現新比較	過年度の検討成果や関係者等へのヒアリングにより、システム導入前後での地下埋設物調査業務にかかる時間を試算する。
	ヒアリングによる定性評価（設備管理事業者）	4 次元時空間情報基盤によるデータドリブン導入後の業務プロセスの実現性を、設備管理事業者へのヒアリング等により定性的に評価する。
	ヒアリングによる定性評価（施工事業者）	4 次元時空間情報基盤によるデータドリブン導入後の業務プロセスの実現性を、施工事業者へのヒアリング等により定性的に評価する。
	連携方式、データフォーマットの標準化	4 次元時空間情報基盤を介した各事業者間でのデータ連携方式、フォーマットを検討し定義可否を評価する。

分類	観点	実証内容
	機能一覧の整理	4次元時空間情報基盤に必要な以下の機能に関して検討し定義可否を評価する。 ・ 地表面情報の対応 ・ 情報更新等のコスト削減 ・ ターンアラウンドタイムが延びることへの対応 ・ APIのアーキテクチャ設計
	機能のAPI化	4次元時空間情報基盤で対応するデータ及び機能の追加を考慮したAPIのアーキテクチャ設計を検討し定義可否を評価する。
社会的価値	データ主権、データトラストの設定	地下埋設物空間IDに対してズームレベルの柔軟な変更が可能な機能を検討し定義可否を評価する。
		地下埋設物空間IDに対してアクセス権限の設定が可能な機能を検討し定義可否を評価する。
	データ管理手法の整理	地下埋設物空間IDに対してデータ品質の定義及びデータ品質情報の共有が可能な機能を検討し定義可否を評価する。
	システムのサービスレベルの整理	地下埋設物空間IDが膨大なデータ量があった場合の管理手法を検討し定義可否を評価する。
		地下埋設物空間IDが膨大なデータ量があった場合の分散型データベースの適応性を検討し定義可否を評価する。

⑦ 実証結果

各検証項目に対する結果を以下に示す。なお結果の詳細は、デジタル庁からの委託を受けて対象事業者が遂行した「デジタルツイン構築に向けたインフラ管理のDXに関する実証調査研究調査」を参照。

表 2-1-4 実証結果

分類	観点	実証項目	実証結果
経済的価値	4次元時空間情報基盤の需給予測	導入による効果の金額換算	44,162円/件
		導入による効果の金額換算（全国）	約44億円/年
	年間作業量の現新比較	導入による所要業務時間削減量	336分/件
		導入による所要業務時間削減量（全国）	約56万時間/年
	ヒアリングによる定性評価（設備管理事業者）	業務における活用可能性	業務の省力化、効率化に資する技術開発となり得る。

	ヒアリングによる定性評価（施工事業者）	業務における活用可能性	地下埋設物空間IDが、ボクセル1辺50cmの設定のため、安全面に余裕のある状態で確認ができ、効果を期待できる。
	連携方式、データフォーマットの標準化	4次元時空間情報基盤を介した各事業者間でのデータ連携方式、フォーマットを検討し定義可否を評価する。	インフラ事業者間で共有すべき地下埋設物に係るデータ項目については、地理空間データの標準化団体であるOpen Geospatial Consortium（OGC）が策定した3D都市モデルのためのオープンデータモデル及びデータファイル形式の国際標準である「CityGML」や、これに準拠し我が国の標準として策定された「3D都市モデル標準製品仕様書」に準拠することで実現が可能。
	機能一覧の整理	地表面情報の対応	DEMデータから取得した地表面の標高値に、地下埋設設備の土被りを減じて得られる標高値をもとに空間IDを算出する事が可能。
		情報更新等のコスト削減	4次元時空間情報基盤の利用により、情報利用者における地下埋設物の情報を手に入れるためのコスト、情報提供者における設備情報を公開・更新・管理するためのコスト、システム運用者におけるシステムを管理維持するための運営コストについて削減が可能。
		ターンアラウンドタイムが延びることへの対応	リクエストとレスポンスを2つに分割して非同期に実行させることで実現が可能。
		APIのアーキテクチャ設計	個別の用途に対応できるローレベルのAPIと一定の処理を纏めて実施するハイレベルのAPIについて整理を行った。ハイレベルのAPIを定義することで、設備データの登録、出力、管理事業者の確認などの地下埋設物領域のユースケースで必要となる情報連携の実現が可能。
	機能のAPI化	4次元時空間情報基盤	技術仕様書としてAPI一覧を

		で対応するデータ及び機能の追加を考慮したAPIのアーキテクチャ設計を検討し定義可否を評価する	定義した。
社会的価値	データ主権、データトラストの設定	4次元時空間情報基盤に1つのズームレベルで格納した空間属性情報から、任意のズームレベルに変換して空間属性情報を取得する。	ズームレベルの大きい空間IDへの変更ロジックおよび、ズームレベルの小さい空間IDへの変更ロジックについて、2つの手法で実用的な処理コストで実現が可能。
		空間属性情報の保有者であるインフラ事業者が、4次元時空間情報基盤に空間属性情報を格納するタイミングで、アクセス権限の設定を行う。	一般的なシステム認証で用いられる技術とデータアクセスログを併用することで実現が可能。
	データ管理手法の整理	地下埋設物空間IDに対してデータ品質の定義及びデータ品質情報の共有が可能な機能を検討し定義可否を評価する。	精度の観点で元データ保有事業者/元データ位置精度/データ整合性レベル、鮮度の観点で元データ整備年月日/データ生成年月日/データ更新日時/データ更新回数を定義し、データ整合性チェック機能、品質情報連携機能、品質情報確認機能を具備することで実現が可能。
	システムのサービスレベルの整理	地下埋設物空間IDが膨大なデータ量があった場合の管理手法を検討し定義可否を評価する。	データストア層においてテーブルの分割、インデックスの最適化、VACUUM処理、クラスター化処理を行うことで実現が可能。
		地下埋設物空間IDが膨大なデータ量があった場合の分散型データベースの適応性を検討し定義可否を評価する。	データストア層については膨大なデータの格納を想定するため、メンテナンス性や拡張性を考慮し、水平スケールアウトが可能となるデータベースを採用することで実現が可能。

(出典：「デジタルツイン構築に向けたインフラ管理のDXに関する実証調査研究調査」より引用)

⑧ 実証スケジュール

2023 年度の実証スケジュールを表 2-1-5 に示す。

表 2-1-5 実証スケジュール

タスク	2023 年度							
	8	9	10	11	12	1	2	3
ビジネス・業務課題								
検討計画の策定								
実証準備/関係者調整								
机上検討の実施と結果報告								
システム								
検討計画の策定								
実証準備/関係者調整								
机上検討の実施と結果報告								
調査報告書の作成								
技術仕様書の作成								
OSS の作成								

⑨ 本実証のステークホルダーと役割

本実証に関するステークホルダーと連携し、実証・開発を実施した。

表 2-1-6 ステークホルダー一覧

ステークホルダー	実証における役割
エヌ・ティ・ティ・インフラネット株式会社	地下埋設物ユースケース検討
株式会社 NTT データ	地下埋設物ユースケース基盤システム検討
NTT データ先端技術株式会社	地下埋設物ユースケース基盤システム検討
株式会社 HBA	地下埋設物ユースケース基盤システム検討

2.2. 対象設備への地上設備の追加に関する実証（エヌ・ティ・ティ・インフラネット株式会社、株式会社 NTT データ）

① 実証の概要

地上設備の種類別に整理し、地上設備データを、空間 ID を介して相互に共有できるようにするためのデータ整備手法の検討及び実証を行う。

- ・ 地上設備への空間 ID の紐付けによる効果を評価する。
- ・ 地上設備データから空間 ID 紐付けを行う整備手法を机上調査および検討する。
- ・ 検討した整備手法の実現性及び手法に基づき、空間 ID を紐付けた地上設備データが、インフラ設備の施工、計画の品質（現場の安心・安全）の向上に与える影響を実証により評価した。

② 背景課題

地下埋設物の維持管理で開削施工を行う際、建設機械の持ち込み可否や稼働範囲の確認、周囲への騒音対策や安全確認等、地上構造物が施工計画に与える影響は大きい。したがって、地下埋設物とともに、地上設備についても空間 ID を紐付けることで、インフラ設備の施工、計画の品質（現場の安心・安全）の向上を目指す。

③ アウトカム

本ユースケースが社会実装された際に創出されるアウトカムは以下の想定である。

表 2-2-1 アウトカム

観点	アウトカム
経済的価値	施工前の静的な周辺状況が空間 ID で事前提供することが可能となる
社会的価値	施工前の静的な周辺状況が空間 ID で事前提供することが可能となる
	簡易な計測機器を用いた施工現場で地上設備データを取得することが可能となる
	継続的にインフラ設備の DX に資するデータ提供が可能となる
	必要な機能として API が整理されていること、拡張性が生まれること

④ KGI・KPI

本実証では下記に示す KGI の達成を目標に、実地検証にて KPI 指標の達成状況を測定した。

表 2-2-2 KGI・KPI

観点	KGI	KPI
経済的価値	「インフラ設備」のキーワードを含んでいる事業経営資源（計画、施工、管理におけるヒト、モノ、カネ、情報、時間等）の最適化	計画品質向上：施工前の静的な周辺状況が空間 ID で事前提供されることによる業務効果
社会的価値	・ 「インフラ設備」のキーワードを含んでいる事業経営資源の最適化	計画品質向上：施工前の静的な周辺状況が空間 ID で事前提供されることによる業務効果
	・ 現場周辺状況の可視化	施工品質（安全性）向上：施工前の静的な周辺状況が空間 ID で事前提供されることによる業務効果
	・ 「インフラ設備」のキーワードを含んでいる事業者向けのデータドリブン型ビジネスモデル（主要な利活用データ項目の整理と収集、販売、利活用（分析、検討）等）の構築	維持管理業務改善：簡易な計測機器による施工現場の作業時間、新事業による社会全体の改善効果

⑤ システムアーキテクチャ

本ユースケースのシステムアーキテクチャを図 2-2-1 に示す。

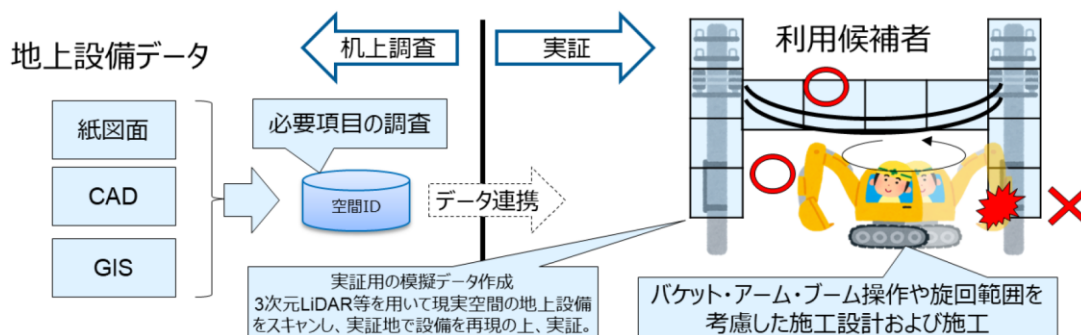


図 2-2-1 地上設備ユースケースにおけるシステムアーキテクチャ

⑥ 実証の内容

2023 年度の実証では以下の検証項目により、4 次元時空間情報基盤アーキテクチャガイドラインをもとに、デジタル庁が企画する 2024 年度からの「インフラ管理 DX」の社会実装に向けて必要となる実証調査研究を行った。なお詳細な検証内容や条件、結果の判定方法は、デジタル庁からの委託を受けて対象事業者が遂行した「デジタルツイン構築に向けたインフラ管理の DX に関する実証調査研究調査」を参照。

表 2-2-3 実証内容

分類	観点	実証内容
経済的価値	計画品質向上	実証対象エリアでの実際の工事実施を想定し、品質の向上効果を、施工事業者へヒアリングを行い評価した。
社会的価値	計画品質向上	LiDAR 等の計測機器を用いて、実証対象エリアの 3 次元点群データを計測し、ユースケースに活用可能かを評価する。 地上設備ユースケースの目的を実現するために必要な地上設備データのデータ項目について検討し定義可否を評価する。
	施工品質（安全性）向上	地上設備データに空間 ID を紐付けるためのインポート機能について検討し定義可否を評価する。 地上設備データの参照、更新、削除等を行う API について検討し定義可否を評価する。
	維持管理業務改善	図面および現地調査で情報を取得する方式と新方式を比較することでどの程度の効果が施工事業者側で得られるかを試算する。

⑦ 実証結果

各検証項目に対する結果を以下に示す。なお結果の詳細は、デジタル庁からの委託を受けて対象事業者が遂行した「デジタルツイン構築に向けたインフラ管理の DX に関する実証調査研究調査」を参照。

表 2-2-4 実証結果

分類	観点	検証項目	検証結果
経済的価値	計画品質向上	施工事業者へヒアリング	作業帯の設置・撤去、車両・重機搬入、搬出、資機材荷卸し・片付け、掘削・積込、埋戻し・舗装、土留め設置・撤去、地下埋設物敷設での活用が可能。
社会的価値	計画品質向上	データ計測方法	3DLiDARを用いた点群取得機器では、電柱、ケーブルといった空中に存在し、施工計画や施工時にも影響を与える可能性のある設備を安定して検知の実現が可能。
		データ項目	地理空間データの標準化団体である Open Geospatial Consortium (OGC) が策定した3D都市モデルのためのオープンデータモデル及びデータファイル形式の国際標準である「CityGML」や、これに準拠し我が国の標準として策定された「3D都市モデル標準製品仕様書」に準拠することで実現が可能。
	施工品質（安全性）向上	インポート機能	3DLiDAR を用いた点群取得機器と、スマートフォン等で3次元点群データを生成する技術を用いて、地下埋設物ユースケースと同サイズの空間 ID 生成（ズームレベル 26）の実現が可能。
		参照、更新、削除等を行う API	API の仕様については地下埋設物領域と同様の汎用的な仕組みで実装することで実現が可能。
	維持管理業務改善	データ整備における効果	現地情報を主体に人がデータ整備する方式に比べ 30 分/工事の時間短縮が可能。

（出典：「デジタルツイン構築に向けたインフラ管理の DX に関する実証調査研究調査」より引用）

⑧ 実証スケジュール

2023 年度の実証スケジュールを表 2-2-5 に示す。

表 2-2-5 実証スケジュール

タスク	2023 年度							
	8	9	10	11	12	1	2	3
ビジネス・業務課題								
検討計画の策定								
実証準備/関係者調整								
データ整備								
机上検討の実施と結果報告								
調査報告書の作成								
技術仕様書の作成								
OSS の作成								

⑨ 本実証のステークホルダーと役割

本実証に関するステークホルダーと連携し、実証・開発を実施した。

表 2-2-6 ステークホルダー一覧

ステークホルダー	実証における役割
株式会社 NTT データ	地上設備ユースケース検討
エヌ・ティ・ティ・インフラネット株式会社	地上設備ユースケース検討
株式会社ミライト・ワン	地上設備ユースケース検討
株式会社 Kudan	地上設備ユースケースデータ整備
株式会社ホロンシステム	地上設備ユースケースデータ整備
株式会社 EARTHRAIN	地上設備ユースケースアーキテクチャ検討

2.3. 遠隔操作のユースケースの追加に関する実証（エヌ・ティ・ティ・インフラネット株式会社、株式会社 NTT データ）

① 実証の概要

遠隔操作を伴う施工の課題の中から、インフラ設備を対象とした遠隔施工において空間 ID で課題解決できるものを選定し、課題解決に向けて空間 ID の紐付けが必要な情報（地物等）の検討を行う。

- ・ 遠隔操作を伴う建機マシンガイダンスに機能として組み込むことを想定し機能の検討をする。
- ・ 施工の有識者やインフラ設備の施工事業者へヒアリングすることで、その有用性を評価する。

② 背景課題

インフラ設備の維持管理を担当する土木・建設業界の労働人口減少は社会問題として認識されており、対策は急務である。遠隔操作を利用した建設機械による施工は土木・建設

業界における働き方改革を実現する技術の1つであるが、実際に利用するには制約が多いため、「安心・安全」な遠隔施工の実現を目指す。

③ アウトカム

本ユースケースが社会実装された際に創出されるアウトカムは以下の想定である。

表 2-3-1 アウトカム

観点	アウトカム
社会的価値	遠隔操作事業者が地下埋設物及び地上設備を対象に遠隔施工を行うことによる潜在課題の検知によって、今後の社会実装におけるハードルを下げる
	課題解決に向けた主要なデータ項目の検討と実証環境の整備によって社会実装に向けた環境整備を促進する

④ KGI・KPI

本実証では下記に示す KGI の達成を目標に、実地検証にて KPI 指標の達成状況を測定した。

表 2-3-2 KGI・KPI

観点	KGI	KPI
社会的価値	- 遠隔操作事業者の課題解決・施工事業者の潜在課題の検知 - 課題解決に向けた主要なデータ項目の検討と実証環境の整備	4次元時空間情報基盤を利用した改善効果の検証
		空間ID を用いた機能の機能性評価

⑤ システムアーキテクチャ

本ユースケースのシステムアーキテクチャを図 2-3-1 に示す。

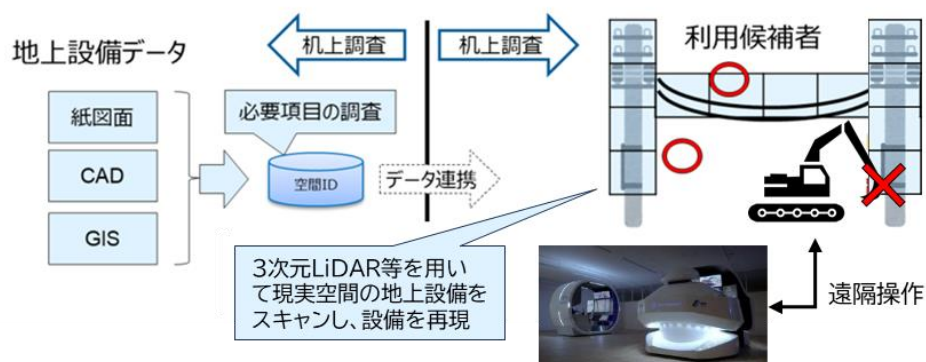


図 2-3-1 遠隔操作ユースケースにおけるシステムアーキテクチャ

⑥ 実証の内容

2023 年度の実証では以下の検証項目により、4 次元時空間情報基盤アーキテクチャガイドラインをもとに、デジタル庁が企図する 2024 年度からの「インフラ管理 DX」の社会実装に向けて必要となる実証調査研究を行った。なお詳細な検証内容や条件、結果の判定方法は、デジタル庁からの委託を受けて対象事業者が遂行した「デジタルツイン構築に向けたインフラ管理の DX に関する実証調査研究調査」を参照。

表 2-3-3 実証内容

分類	観点	実証内容
社会的価値	4 次元時空間情報基盤を利用した改善効果の検証	通常の遠隔操作システムを用いた場合の作業効率をもとに、4 次元時空間情報基盤を利用した場合の効果について検討し評価する。
	空間 ID を用いた機能の機能性評価	遠隔操作を伴う工事・点検に必要な空間情報の種類・データ項目・粒度・リアルタイム性について検討する。
		遠隔操作で必要とされるデータを取得する建設機械その他工事・点検に必要な機器を検討する。
		工事・点検作業の生産性及び安全性向上の程度を検討する。

⑦ 実証結果

各検証項目に対する結果を以下に示す。なお結果の詳細は、デジタル庁からの委託を受けて対象事業者が遂行した「デジタルツイン構築に向けたインフラ管理の DX に関する実証調査研究調査」を参照。

表 2-3-4 実証結果

分類	観点	検証項目	検証結果
社会的価値	4 次元時空間情報基盤を利用した改善効果の検証	1現場当たりの作業時間	通常施工が4時間に対し、2.5時間に短縮が可能
		1日あたりの作業現場数	通常施工が1件に対し、2件に向上が可能
		1日の作業時間	通常施工が8時間に対し、7.5時間に短縮が可能
	空間 ID を用いた機能の機能性評価	空間情報の種類・データ項目・粒度・リアルタイム性	遠隔操作を行う上で必要となる空間情報および計画と現場の乖離を埋めるための情報の確認が行えた。
		データを取得する建設機械その他工事・点検に必要な機器	建設機械に必要な機器、および通信環境について確認が行えた。
		工事・点検作業の生産性及び安全性向上の程度	安全性向上に資する安全装置についての必要要件

			が確認できた。また生産性向上に必要な要件を確認できた。
--	--	--	-----------------------------

(出典：「デジタルツイン構築に向けたインフラ管理の DX に関する実証調査研究調査」より引用)

⑧ 実証スケジュール

2023 年度の実証スケジュールを表 2-3-5 に示す。

表 2-3-5 実証スケジュール

タスク	2023 年度							
	8	9	10	11	12	1	2	3
ビジネス・業務課題								
検討計画の策定								
実証準備/関係者調整								
机上検討の実施と結果報告								
調査報告書の作成								
技術仕様書の作成								
OSS の作成								

⑨ 本実証のステークホルダーと役割

本実証に関係するステークホルダーと連携し、実証・開発を実施した。

表 2-3-6 ステークホルダー一覧

ステークホルダー	実証における役割
株式会社 NTT データ	遠隔操作ユースケースとりまとめ
エヌ・ティ・ティ・インフラネット株式会社	遠隔操作ユースケース検討
株式会社 EARTHRAIN	遠隔操作ユースケース検討

2.4. 災害対応ユースケース（株式会社 NTT データ）

① 実証の概要

平時・災害時に収集されるインフラ設備やその他情報が空間 ID 及びそれに紐付く属性情報として 4 次元時空間情報基盤で管理されている将来像を想定し、それら情報に対する共有・利用のフロー及び情報流通による災害対応へ与える効果を明らかにしつつ、災害復旧対応に効果を発揮するユースケースを具体化することを目的とする。

② 背景課題

災害対応のサイクルは「予防・減災」、「事前準備」、「災害応急対応」及び「復旧・

復興」の 4 つの局面から構成される。これらの災害対応の各局面において適切な活動を行うことが総合的な防災政策の観点で重要とされる。そこで、適切な活動のために事前情報は不可欠であり、必要な情報が必要なタイミング・粒度・形式で整備され情報を要求する者へ提供されることが、災害時の混乱を軽減しつつ、効率的・効果的な災害復旧活動を実現することに繋がる。このように、迅速で質の高い情報流通が災害からの早期復旧には不可欠である一方で、災害時の情報流通は煩雑かつ迅速性や共有性が乏しく、復旧活動への情報利用が極めて困難であることが大きな問題となっている。

③ アウトカム

本ユースケースが社会実装された際に創出されるアウトカムは以下の想定である。

表 2-4-1 アウトカム

観点	アウトカム
経済的価値	災害情報収集及び復旧計画策定の迅速化
	災害情報収集の省力化
社会的価値	復旧計画策定の品質向上

④ KGI・KPI

本実証では下記に示す KGI の達成を目標に、調査および机上検証にて KPI 指標の達成状況を測定した。対象とする災害はその種類、規模及び地域によって多様であるが、特に「インフラ事業者の管理・取得情報が災害対応に必要となる」、「災害リスクが拡大傾向にある」という 2 つの理由から、調査対象とする災害を「内水氾濫及び浸水被害に伴うサービス停止被害」に焦点を当てる。

表 2-4-2 KGI・KPI

観点	KGI	KPI
経済的価値	災害情報収集及び復旧計画策定の迅速化	水害（内水氾濫）の予測時に共有してほしい情報項目 水害（内水氾濫）被害予測情報の提供周期 水害（内水氾濫）被害予測情報の提供方法
	災害情報収集の省力化	水害（内水氾濫）時に共有してほしい災害情報項目 水害（内水氾濫）時の災害情報の提供周期 水害（内水氾濫）時の災害情報の提供方法
社会的価値	復旧計画策定の品質向上	水害（内水氾濫）時に共有してほしい復旧計画の項目 水害（内水氾濫）時の復旧計画の提供周期 水害（内水氾濫）時の復旧計画の提供方法

⑤ システムアーキテクチャ

本ユースケースのシステムアーキテクチャを図 2-4-1 に示す。

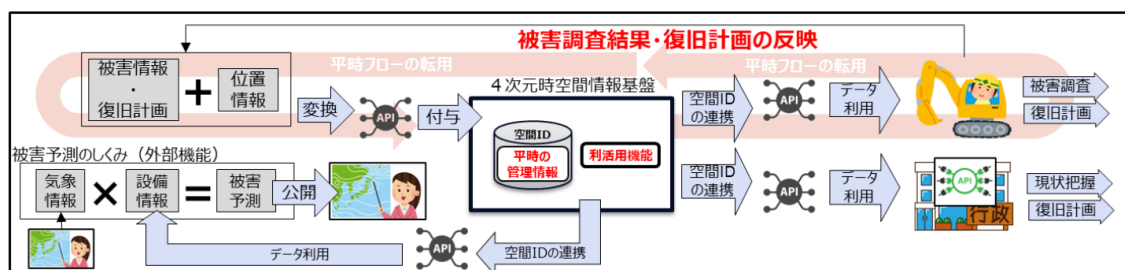


図 2-4-1 災害対応におけるシステムアーキテクチャ

⑥ 実地検証の内容

2023 年度の実証では以下の検証項目により、空間 ID の活用可能性を評価する。なお詳細な検証内容や条件、結果の判定方法は、デジタル庁からの委託を受けて対象事業者が遂行した「デジタルツイン構築に向けたインフラ管理の DX に関する実証調査研究」の調査報告書を参照。

表 2-4-3 検証内容

分類	観点	検証内容
経済	水害（内水氾濫）の予測時に共有してほしい情報項目	各検証観点は共通して下記の工程で検証を行った。 工程 1：ユースケース仮説の構築 工程 2：調査対象者の特定 工程 3：災害情報ニーズ・シーズ及び取得方法の調査 工程 4：机上検討による調査 工程 5：情報流通可能なユースケースの特定 工程 6：ユースケース実現による災害対応への効果の調査 工程 7：KGI の達成評価
	水害（内水氾濫）被害予測情報の提供周期	
	水害（内水氾濫）被害予測情報の提供方法	
	水害（内水氾濫）時に共有してほしい災害情報項目	
	水害（内水氾濫）時の災害情報の提供周期	
	水害（内水氾濫）時の災害情報の提供方法	
社会	水害（内水氾濫）時に共有してほしい復旧計画の項目	
	水害（内水氾濫）時の復旧計画の提供周期	
	水害（内水氾濫）時の復旧計画の提供方法	

⑦ 実地検証結果

各検証項目に対する結果を以下に示す。調査対象者は、情報提供および情報参照者としてインフラ事業者（電力事業者/通信事業者/ガス事業者/上水道事業者/下水道事業者）、情報参照者として自治体防災担当者（都道府県庁/市役所）とした。なお結果の詳細は、デジタル庁からの委託を受けて対象事業者が遂行した「デジタルツイン構築に向けたインフラ管理の DX に関する実証調査研究」の調査報告書を参照。

表 2-4-4 検証結果

分類	観点	目標値・目標状態	検証結果（例）
経済	水害（内水氾濫）の予測時に共有してほしい情報項目	必要な情報項目について提供者・参照者の要求を獲得すること。	要求獲得。 ・内水氾濫による浸水領域・浸水深（地下埋設物（雨水管路）の位置情報の提供を前提とする。） ・サービス停止計画情報
	水害（内水氾濫）被害予測情報の提供周期	情報提供タイミング（t1）と発災タイミング（t2）を比較し、 $t1 < t2$ が成立すること。	机上検討より、 $t1 = -2$ 日、 $t2 = 0$ 日 よって $t1 < t2$ が成立
	水害（内水氾濫）被害予測情報の提供方法	必要な情報流通方法について提供者・参照者の要求を獲得すること。	要求獲得。 ・平時運用と同様の流通方法（提供時） ・4次元時空間情報基盤へのデータアップロード（提供時） ・ウェブビューワー閲覧、ポータルサイトからダウンロード（参照時） ・4次元時空間情報基盤へのアクセス（参照時）
	水害（内水氾濫）時に共有してほしい災害情報項目	必要な情報項目について提供者・参照者の要求を獲得すること。	要求獲得。 ・地上の被害情報（情報取得位置＋被害の周辺状況を示す画像や映像情報等） ・設備位置 ・設備の被害情報 ・サービス停止エリア被害情報
	水害（内水氾濫）時の災害情報の提供周期	情報更新周期について参照者の要求を獲得すること。	要求獲得。 ・10分周期 ・地上の被害情報 ・サービス停止エリア被害情報 ・1時間周期 ・設備の被害情報

	水害（内水氾濫）時の災害情報の提供方法	情報収集作業の現稼働（c1）と新稼働（c2）を比較し、稼働削減率（ $(c1-c2)/c1 > 0$ ）が成立すること。	机上検討より稼働削減率（ $(c1-c2)/c1 = 55.9\%$ ）によって稼働削減率（ $(c1-c2)/c1 > 0$ ）が成立
社会	水害（内水氾濫）時に共有してほしい復旧計画の項目	必要な情報項目について提供者・参照者の要求を獲得すること。	要求獲得。 ・設備位置 ・設備工事計画情報 ・工事進捗 ・工事優先度 ・サービス回復計画情報
	水害（内水氾濫）時の復旧計画の提供周期	情報更新周期について参照者の要求を獲得すること。	要求獲得。 ・1日周期 ・設備工事計画情報 ・工事進捗 ・工事優先度 ・サービス回復計画情報
	水害（内水氾濫）時の復旧計画の提供方法	必要な情報流通方法について提供者・参照者の要求を獲得すること。	要求獲得。 ・平時運用と同様の流通方法（提供時） ・4次元時空間情報基盤へのアップロード（提供時） ・4次元時空間情報基盤へのアクセス（参照時）

（出典：「デジタルツイン構築に向けたインフラ管理のDXに関する実証調査研究」の調査報告書より引用）

⑧ 実証スケジュール

2023年度の実証スケジュールを2-4-5に示す。

表 2-4-5 実証スケジュール

タスク	2023 年度						
	9	10	11	12	1	2	3
計画策定							
実証準備/関係者調整							
机上検討の実施と結果報告							
調査報告書作成							

⑨ 本実証のステークホルダーと役割

本実証に関係するステークホルダーと連携し、実証を実施した。

表 2-4-6 ステークホルダー一覧

ステークホルダー	実証における役割
株式会社 NTT データ	災害対応ユースケースの実証

3. デジタル庁「モビリティ分野における産業用データ連携基盤の整備に関する実証調査研究」に係る事例

3.1. 自動車ユースケース（ダイナミックマッププラットフォーム株式会社）

① 実証の概要

本実証では、デジタルライフライン全国総合整備計画が対象とする先行投資領域のうち、自動運転車向けに必要なハード・ソフトを含むインフラやルール整備に関する検討を目的としている。具体的には、机上調査と技術実証を通じ、モビリティの安全かつ経済的な運行に資する空間情報を路側インフラ等から効率的に取得し、空間 ID を介して相互に共有可能な 4 次元時空間情報基盤の有効性を、安全性と経済性の両面から評価した。

なお、空間情報を活用する仕組みとしては、4 次元時空間情報基盤およびデータ通信（キャリアの一般公衆網）を前提として、交差点領域等におけるリスク情報を自動運転車両へ提供する機能（以下、先読み情報支援機能）の評価を行った。

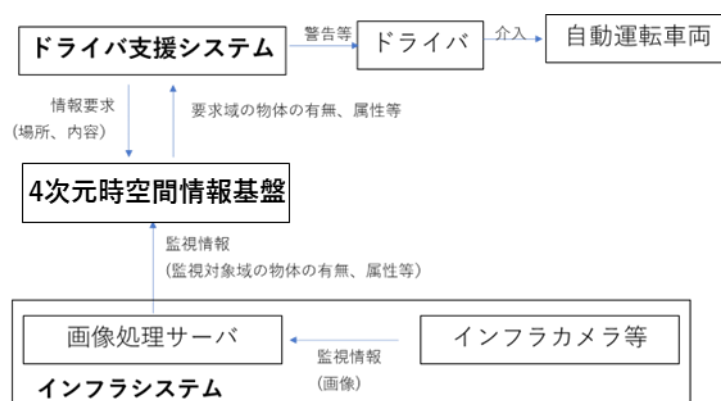


図 3-1-1 先読み情報支援機能に関するシステム構成

② 背景課題

公共交通や物流など様々な産業において人口減少や高齢化による人手不足が進展する日本においては、人流、物流の多様なニーズを集め、複数の企業やモビリティを跨いで最適な移動サービスを提供できる仕組みが必要とされている。このようなサービスを支えるモビリティの安全かつ経済的な運行には、ハード・ソフトを含むインフラやルールの整備に加え、路側インフラやモビリティ等から空間情報を効率的に取得し、今後増加が見込まれる自動運転車両に対して、車両ごとに必要な情報を適切なタイミングで個別配信する機構が必要になる。

この時、取り扱う空間情報が多種多様で動的な情報を大量に扱うことから、時空間の範囲を指定して空間情報を取得する際の標準的なインターフェースとして空間 ID の活用が期待されている。今後増加する自動運転車両からの処理要求に対し、軽量かつ適切な応答時間で処理が可能か、2023 年度の技術実証を通じて有効性検証を行った。

③ アウトカム

本ユースケースが社会実装された際に創出されるアウトカムは以下の通り。

表 3-1-1 アウトカム

観点	領域	アウトカム
経済的価値	人流	- 交通事業者の費用低減、および一定の規模（運行便数）拡大による損益分岐の達成 - 自動運転車両や、データ利活用による乗車運賃以外の収益創出
	物流	- 倉庫間の横持など反復輸送への自動運転導入において以下の省人効果や輸送の効率化を実現 - 倉庫側荷役要員のピークシェーブによる倉庫事業者の人件費削減 - 輸送能力のピークシェーブによる車両・ドライバの最適化（10tトラックを5tトラックへ入替えなど）
社会的価値	人流	- マイカーからEV自動運転バスへの転換によるCO2排出削減、事故削減による地元住民の便益 - 住民・来訪者の回遊性向上による地域経済波及効果
	物流	- 車両最適化による環境負荷の抑制 - 輸送区間（敷地内、一部公道）の輸送における事故、労災の削減

④ システムアーキテクチャ

下図の通り、本ユースケースでは路側・車載カメラ、気象、道路交通情報など種別の異なる情報を、空間IDを識別子として空間情報システムに収集・統合される。個々の車両は自車が空間IDで表現された特定の範囲に侵入した際に、空間情報システムに対して自社が必要とする範囲を空間IDでリクエストし、その範囲に含まれる空間情報を取得する汎用的な仕組みを検討した。

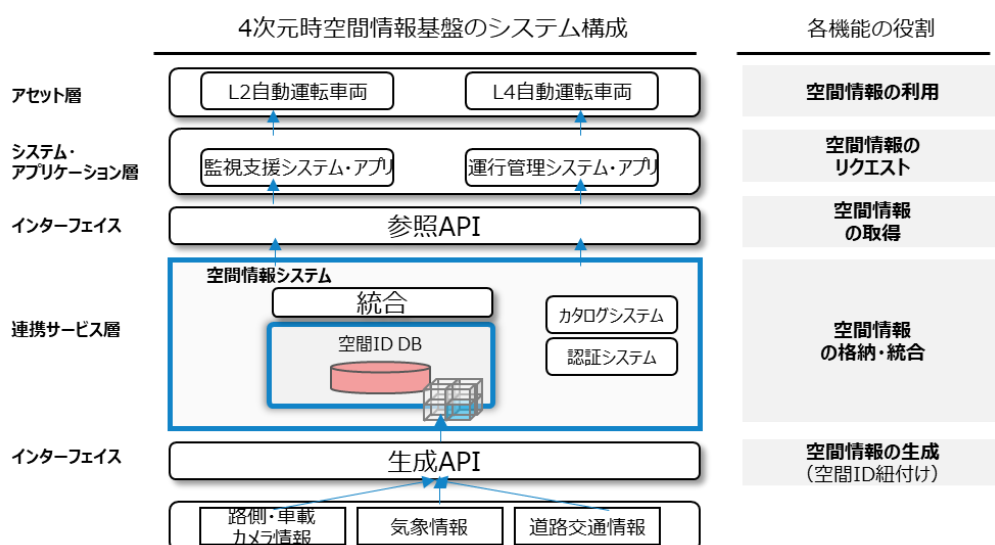


図 3-1-2 自動車領域のシステムアーキテクチャ

⑤ 実証内容

先読み情報支援は問い合わせポイントという一定の範囲に突入した車両が、問い合わせ領域という走行ルート上の離れた場所の一定の範囲の情報を取得する汎用的な仕組みである。2 点間の距離や範囲の広さは可変であり、今後増加が見込まれる個々の車両が多数同時に情報を取得するため、より軽量の処理が求められる。よって、ここに場所と範囲を ID 文字列で表すことができる空間 ID を活用し、範囲内に存在する動体情報を含む複数の物標を統合して取得する等、効率的な処理が可能となる。

2023 年度の技術実証では、図 3-1-3 に示す通り、L2 自動運転車に対して路側カメラが検知したリスク情報を先読み情報として配信し、自動運転領域における空間 ID、および分散データベース技術の活用による拡張性を備えた 4 次元時空間情報基盤の有効性を検証した。

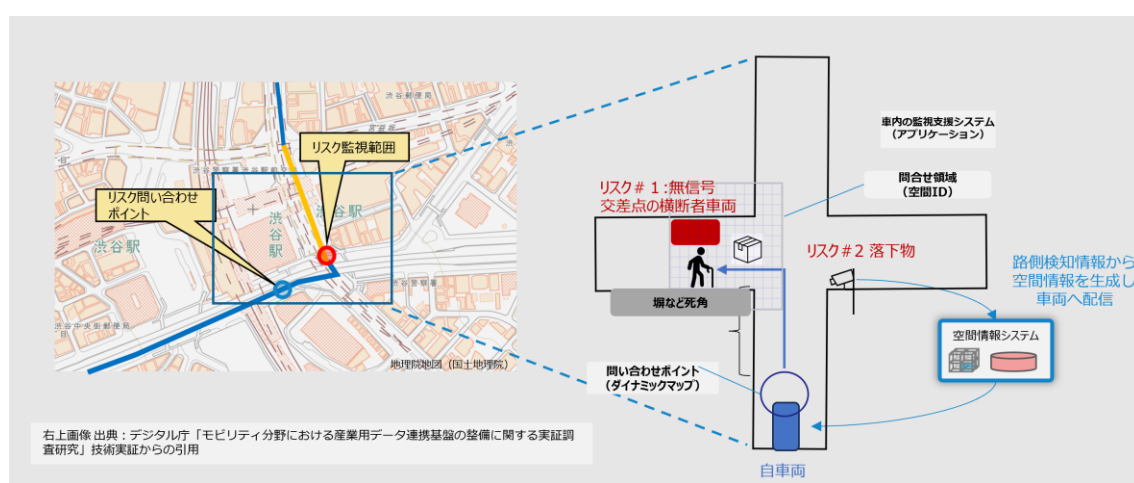


図 3-1-3 先読み情報の配信 概要図

同乗したドライバと自動運転システム開発社の評価結果は以下の通りであり、安全走行を補完する上で有効との評価、および実装に向けての改善点が挙げられた。

表 3-1-2 実証実験後の主なフィードバック

	ドライバ	自動運転システム開発社
評価された点	- 運転手が目視で確認できない遠方や死角情報は、急ブレーキによる乗客の横転防止に繋がる - 車速（20km/h）に対し、配信タイミングは概ね適切であった	車載センサが検知できない死角情報に対しては有効
今後の検討事項	- シーンによっては、配信が遅れることもあり、車速に応じた情報配信機能が欲しい - リスク情報（落下物、自転車等）が何なのか、動くものであれば車速なども分かるとよい	- L2 自動運転では、ドライバに次にとって欲しい行動で、音をカテゴリ分けした方がよい（徐行、停止、車線変更など） - L4 自動運転では、車両を直接制御するための仕組み（必要な配信情報や配信方法）を要検討

1) 空間 ID (ボクセル) を活用した先読み情報の配信

実証では交差点周りのリスク情報を空間 ID に紐づけ、空間情報システムを通じて LV2 自動運転車両の運転手向けに先読み情報として配信するユースケースを実証。同乗したドライバーから急な操作介入を緩和する手段として有効であるとの評価を確認した。

また、ズームレベルの異なる空間 ID (ボクセル) の親子関係の特性を活かすことで、親空間 ID に内包される子空間 ID に紐付く属性情報が効率的に取得できることを検証した。

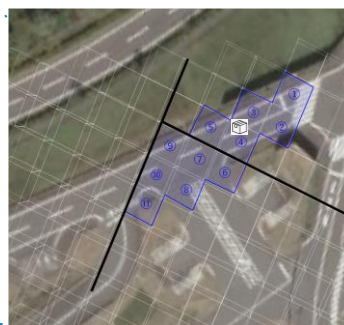
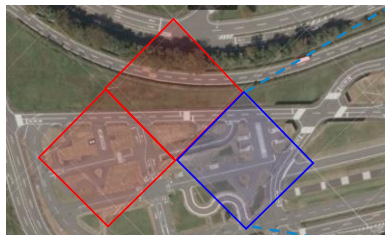
表 3-1-3 空間情報の取得 (空間 ID と座標の比較)

空間 ID	座標 (緯度・経度)
対象範囲を指定する際、ズームレベルの選択により、1 つもしくは、限られた数の空間 ID で指定可能。これにより、効率的な問い合わせポイントの設定と情報 (リスク属性情報) の取得が可能となる。	問い合わせポイントなどの対象範囲を指定する際、最低でも 3 点以上の座標情報を指定する必要がある (伝達する情報量が増加)
	

なお、検索対象によっては、範囲指定の粒度と計算の高速性はトレードオフの関係になりえる。一定のズームレベル以下 (大きなサイズのボクセル) の空間 ID で広域に範囲指定することで、座標点からの距離による検索や、ポリゴンの内外判定処理等の演算を行う方法に比べて少ないパラメータで、計算コストを抑えた情報取得が可能となる。一方、広範囲に小さなサイズのボクセルで特定の地物を特定する場合、検索対象となる ID の数が増え、検索に時間を要して逆効果となることが懸念された。

実証ではテストコースにおいて、親空間 ID で広域範囲を選択し、指定したズーム LV の子空間 ID で、進行方向状の落下物など車両が必要な先読み情報をピンポイントに且つ非同期に取得可能であることを確認した。また、保持する情報の粒度と検索したい情報の粒度が異なる場合でも、同一の検索ロジックで高速検索が可能であることを確認した。

問い合わせ領域：空間ID 19/0/466895/205180



問い合わせ領域：空間ID

- ① 22/4/3735162/1641447
- ② 22/4/3735163/1641448
- ③ 22/4/3735163/1641447
- ④ **22/4/3735164/1641447**
- ⑤ 22/4/3735164/1641446
- ⑥ 22/5/3735164/1641445
- ⑦ 22/4/3735165/1641446
- ⑧ 22/4/3735165/1641445
- ⑨ 22/4/3735165/1641444
- ⑩ 22/4/3735166/1641445
- ⑪ 22/4/3735166/1641444

図 3-1-4 親空間 ID から子空間 ID の情報取得

⑥ 実証結果

本ユースケースでは交差点等におけるリスク情報を先読み情報としてドライバへ配信することを目的としているため、配信の遅延や、ユーザインターフェイスが実用性の観点では重要と考えられた。それらの観点から、今年度技術実証を通じて確認された 4 次元時空間情報基盤の非機能面に関する評価結果は以下の通りである。多種多様で動的な情報を大量・リアルタイムに扱うことが想定される自動運転領域における標準識別子としての空間 ID と、情報連携層として分散データベース等を活用して処理量の増加に対する拡張性を備えた 4 次元時空間情報基盤の有用性が確認された。

表 3-1-4 4 次元時空間情報基盤：評価項目と評価結果

区分	評価項目	評価結果
情報取得の即時性	情報取得のターンアラウンドタイム	最大 2 秒（通信 1.5 秒、空間情報システム内処理：150～250 ミリ秒） ※別途、路側カメラ側の画像取得から出力まで最大 3 秒を要したが、エッジ解析処理導入により短縮を見込む
大量データの処理に対する耐性	データ量増加による即時性への影響	空間属性情報システム内の格納処理時間は、データ量との相関は低く 150～250ms を維持し、遅延は確認されなかった。さらにデータ量が増えた場合もノードの追加を行うことで処理時間を一定に押さえることが可能である。

なお、情報処理フロー図および処理遅延要因(左)と、登録データ数・レスポンスタイムの相関(右)を以下に示す

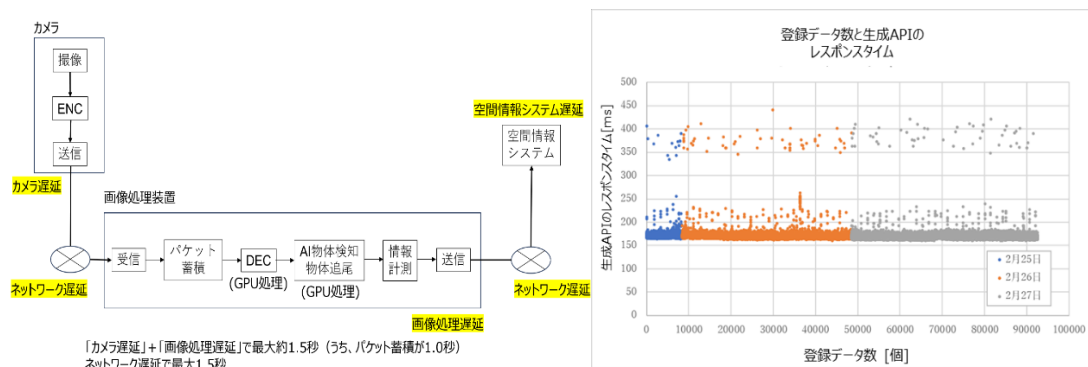


図 3-1-5 情報処理フロー図・遅延要因(左)と、レスポンスタイム(右)

⑦ 実証スケジュール

2023 年度の実証スケジュールは表 3-1-5 の通り。

表 3-1-5 実証スケジュール

タスク	2023 年度						
	9	10	11	12	1	2	3
全体アーキテクチャの整理							
システム構成、機能項目の検討							
人流・物流 UC 検討・評価モデル策定							
ユースケース実証・評価							
4 次元時空間情報基盤の調査、仕様検討							
4 次元時空間情報基盤の開発・実装							
4 次元時空間情報基盤の実証・評価							
調査報告書作成							

⑧ 本実証のステークホルダーと役割

本実証に関係するステークホルダーと連携し、実証を実施した。

表 3-1-6 ステークホルダー一覧

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	自動車領域ユースケースの実証
株式会社 NTT データ	空間情報システム開発担当
パナソニックコネクタ株式会社	インフラシステム提供者
イーソル株式会社	検証用システム開発担当
ESRI ジャパン株式会社	空間情報課題検討支援
先進モビリティ株式会社	実証用車両提供者
SOMPO リスクマネジメント株式会社	リスクアセスメント検討支援
三菱総研株式会社	アーキテクチャ検討支援、物流ユースケース設定・評価支援

みちのりホールディングス株式会社	人流ユースケース設定・評価支援
トヨタ自動車株式会社	ユースケース設定支援
ソフトバンク株式会社	ユースケース設定支援
日本電気株式会社	空間情報の多用途活用検討

4. NEDO「産業 DX のためのデジタルインフラ整備事業／3 次元空間情報基盤に関する研究開発」に係る事例

4.1. 物資輸送ユースケース（株式会社日立製作所）

① 実証の概要

本ユースケースでは、ドローンが自律飛行し薬局から医薬品の物資輸送を行う。従来では、人手で運搬をしていた業務をドローンに置き換え、河川上空における配送経路でドローンが医薬品の輸送を行う。

ドローンの飛行においては、安全対策を目的とした飛行経路の目視調査等の事前実施が望ましいが、それらの作業はコスト増の要因となっている。

今回、デジタルツインとしての 4 次元時空間情報基盤を使用することで地形物等の現地調査の負荷軽減に寄与する可能性があると期待している。

また、飛行時には上空の天候リスク等を考慮する必要があるが、気象情報を 4 次元時空間情報基盤に取り込む事でそれらのリスク低減につながる事も期待している。

また、本ユースケースを行う上での適切なボクセルサイズの検討も合わせて実施する。

図 4-1-1 に実証の概要イメージを示す。

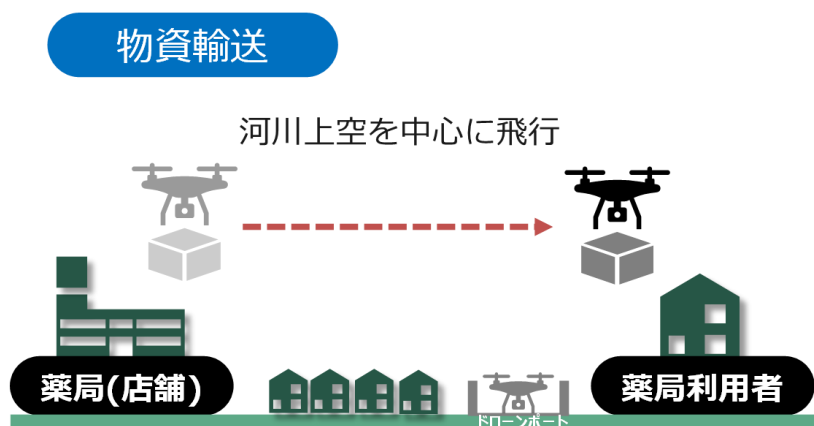


図 4-1-1 概要イメージ図

② 背景課題

薬局における薬の配送に関しては、2019 年度の薬機法改正によるオンライン診療およびオンライン服薬指導の解禁により、オンライン服薬指導の患者対応のための薬の配送が既に行われている。また、2022 年 4 月からのリフィル処方箋の導入により、医師の診察を受けずに処方箋を繰り返し利用して一定期間・複数回の処方薬の受取りが可能となった。このような背景から処方薬の定期的な配送ニーズがさらに高まる事が想定される。

③ アウトカム

本ユースケースが社会実装された際に創出されるアウトカムは以下の想定である。

表 4-1-1 アウトカム

観点	アウトカム
社会的価値	医薬品等配送時の感染抑制（安心安全）及び高齢者などの交通弱者への対応
経済的価値	地域医療の質の向上に伴う、地域経済の活性化

④ KGI・KPI

本実証では下記に示す KGI の達成を目標に、実地検証にて KPI 指標の達成状況を測定する。

表 4-1-2 KGI・KPI

観点	KGI	KPI
社会的価値	医薬品等の配送におけるドローン配送割合向上	・利用シナリオ案の検討 1 件 →以下 2 件のシナリオを抽出。 ①処方薬をお渡しする際に欠品があった場合にドローンで配送 ②新型コロナウイルス等、即時配送が必要な場合にドローンで配送 ・飛行経路案の提示 2 件 →河川上空・海岸線上空の 2 件を評価。 ・飛行前確認項目一覧 1 件 →医薬品配送ガイドライン記載の確認事項に沿った飛行を実施。 ・制約条件の見直し案 1 件 →医薬品配送ガイドラインにおける課題を 1 件抽出。 ・薬局/利用者、地権者等の意見収集 20 件(アンケート等) →3 回の実証でアンケートを実施、合計 24 件の意見を収集。
経済的価値	当日配送に切り替えた利用者数の増加	・利用シナリオや輸送件数 →前述の 2 件のシナリオについて南相馬市内の調剤薬局での件数を確認。 (①70 件/月、②2 件/半年) ・収支モデルの設定（コスト・投資可能額・コスト削減策検討(補助金等)） →経済性の検討を実施した結果、収支の採算が取れるモデルの構築は難しいと判断した。想定される処方薬の配送件数が「70 件/月」と現時点では少ないこと、1 フライトあたりに発生するコストが高額な一方で、それを患者様負担とした場合、患者様が想定している費用イメージが「500 円以内」であり、収支の費用感

		が合わないことが課題である。1フライトで複数の患者様の薬袋を運べるよう需要を拡大すること、配送費用を保険適用とし患者様の負担軽減すること等が必要と考える。
その他（技術面等）	上述の社会価値、経済価値を満たす仕組みの社会実装	異なる UTM を連携させた実証 1 件 →UTM 間連携に関する実証を実施。

⑤ システムアーキテクチャ

システムアーキテクチャについて図 4-1-2 に示す。

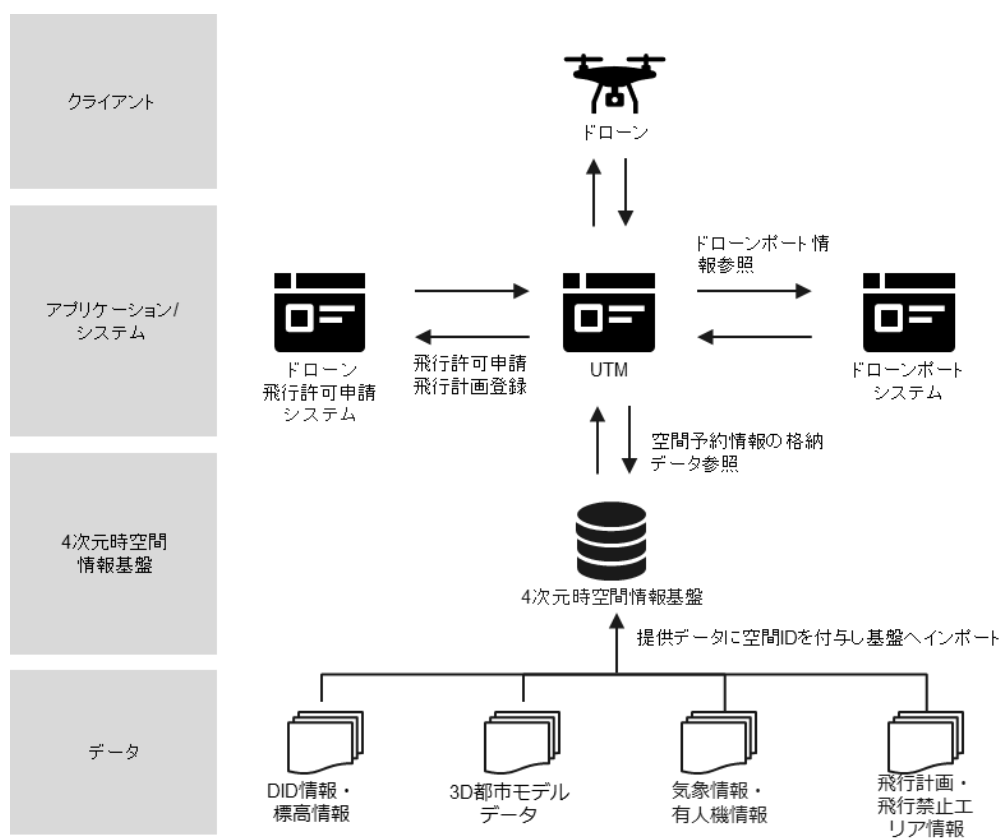


図 4-1-2 システムアーキテクチャ

⑥ 実地検証の内容

➤ 概要

福島県南相馬市において、ドローンを使った医薬品の配送を住民居住地域にて実施する。また、開発した 4 次元時空間情報基盤の有効性の検証として、3D 都市モデルデータ等を活用したフライト計画の有効性検証を行う。

➤ 実地検証のゴール

4 次元時空間情報基盤を活用したドローンによる医薬品配送の実現性を確認する。

➤ 測定項目・測定方法

表 4-1-3 に示す観点で検証項目を検討した。

表 4-1-3 検証観点

No.	観点	検証内容
1	4 次元時空間情報基盤の有効性	4 次元時空間情報基盤を活用した飛行計画作成し、飛行計画作成の有効性を検証。また、飛行中に 4 次元時空間情報基盤を活用する事で飛行の安全性を検証。 活用データ：3D 都市モデル (LOD1)、気象情報
2	配送業務シナリオ	当日配送や非接触配送の業務シナリオを検証。技術的に実現可能であることを確認。
3	飛行経路	安全性や利便性を考慮した飛行経路の飛行検証を実施。
4	荷物の受渡し	調剤薬という性質上、患者へ荷物を確実に届けるための方法を検証。

※上記の検証の他、ユースケース共通で、UTM 間連携に関する検証、リスクアセスメントに関する検証を実施。各検証内容の詳細については、4.4 節、4.5 節に示す。

⑦ 実地検証結果

各検証項目に対する結果を表 4-1-4 に示す。

表 4-1-4 検証結果

No.	検証内容	検証結果
1	4 次元時空間情報基盤を活用した飛行計画作成し、飛行計画作成の有効性を検証。また、飛行中に 4 次元時空間情報基盤を活用する事で飛行の安全性を検証。	【飛行計画時】 ・3D 都市モデルにより飛行の障害になるものを確認できる想定であったが、電柱や植生、配電線は本実証においては、整備対象外のため、現地調査にて離着陸地点や緊急着陸時地点の安全を確認する必要がある。 以上より、現時点では飛行計画作成時に有効とは言えず、一層の地物情報の充実が必要と考える。 【飛行中】 ・気象急変を察知し、リスク回避動作につなげられることを確認した。 ・長距離飛行において、飛行開始時点で着陸地点までの気象リスクを把握できた。 ・着陸の際、近隣の建物や配電線からの距離が十分であることを確認するには、ズームレベル 22 (1 辺 8m) のボクセルサイズが必要であった。但し、より狭い場所へ着陸することも考えられるため、必ずしもズームレベル 22 で十分とは言えない。 以上より、ボクセルサイズの細かさに課題はあるものの、飛行中の安全確保に有効と言える。

2	当日配送や非接触配送の業務シナリオを検証。技術的に実現可能であることを確認。	調剤薬局の運営会社と現在の運用を確認し、以下 2 件の現行運用についてはドローンによる配送の適用可能性があるシナリオとして抽出した。 ・処方薬をお渡しする際に薬の欠品がある場合等、配送業者を使って処方薬を配送する。 ・新型コロナウイルス等、即時配送が必要な場合に、FAX で処方箋を受け取り自家用車で配送する。 これらのシナリオの検証として、午前中に病院の受診をして頂いた患者様に対し、午後に自宅近隣の公民館までドローンで処方薬を配送する実証を行い、当日中に処方薬を受け取って頂くことが可能であることを確認した。以上より、技術的に実現可能な業務シナリオであるものと判断した。
3	安全性や利便性を考慮した飛行経路の飛行検証を実施。	河川上空および海岸線上空を飛行経路とした実証を実施。それぞれ以下の評価であった。 <u>①河川上空</u> 【メリット】 ・第三者の立ち入る可能性が低いためレベル 3.5 飛行が可能。なお、河川の途中に橋があることが多いためレベル 3 飛行は難しい。 【デメリット】 ・河川が直線ではないため、目的地に対して遠回りになる可能性がある。 ・河川敷に釣り人等の第三者がいる可能性があり、飛行には注意が必要。 以上より、比較的大きく直線的な河川であれば飛行経路として有効と考える。 <u>②海岸線上空</u> 【メリット】 ・障害物が少なく直線的な飛行経路を作りやすい。 ・第三者の立ち入る可能性が低いため、レベル 3 及びレベル 3.5 飛行が可能。 【デメリット】 ・陸上に比べて風が強いため、耐風性能の低い機体は不向き。 以上より、気象条件さえ問題なければ飛行経路として有効と考える。
4	調剤薬という性質上、患者へ荷物を確実に届けるための方法を検証。	ドローンによる医薬品配送として、公民館を離着陸地点とする場合の運用フローを検討した。その際、「ドローンによる医薬品配送に関するガイドライン」を遵守し、処方薬を確実に届けられることを確認した。主な遵守事

		項は以下の通り。 ・医薬品の品質が保持される方法で梱包、温度管理を行う。 ・リアルタイムでドローンの飛行状況、位置情報等を管理する。 ・落下物の拾得者が開封できないような措置を講じる。 ・服用する薬剤が第三者からわからないよう患者様のプライバシーに配慮する。 ・薬剤が確実に患者様に授与されたことを薬局から患者様に確認する。
--	--	---

⑧ 実証スケジュール

実証スケジュールについて表 4-1-5 に示す。

表 4-1-5 実証スケジュール

実施時期	実証項目
2022 年度	配送先（患者）の調整 検証項目及びシナリオの検討 ドローン機体の選定
2023 年度	配送先（患者）の確定 ドローン配送実証フライト実施（操縦飛行及び自律飛行） KPI 具体化 気象・有人機データ等の情報活用による 4 次元時空間情報基盤の有効性評価 既存配送手段との比較評価
2024 年度	ドローン配送実証フライト実施 KPI の見直し ドローン活用における経済性・安全性の総合評価 既存配送手段との比較評価

⑨ アーキテクチャにおける本実証の対象レイヤとプレイヤの役割

本実証の対象となるレイヤと関連するプレイヤをマッピングしたアーキテクチャマップを図 4-1-3 に示す。

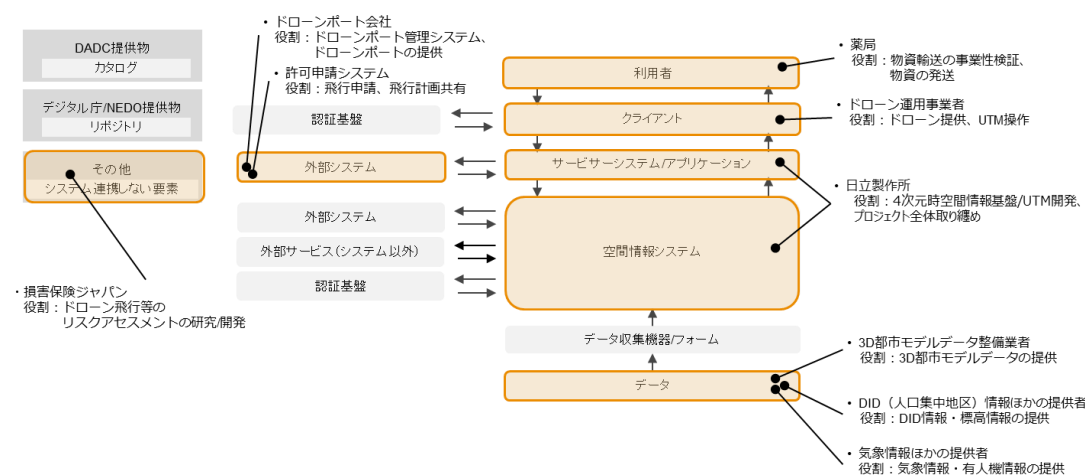


図 4-1-3 アーキテクチャマップ

4.2. 送電設備点検ユースケース（株式会社日立製作所）

① 実証の概要

本ユースケースでは、ドローンによる送電線・鉄塔の点検を行う。飛行計画作成時及び自律飛行時に 4 次元時空間情報基盤を活用し、その有効性を検証する。また、ドローンが自律飛行で撮影した画像・映像の精度と充足度を検証し、点検業務の置き換え可否を検討する。

ドローンの飛行においては、事前に安全対策を目的とした飛行経路の目視調査等の実施が望ましいが、それらの作業はコスト増の要因となっている。

今回、デジタルツインとしての 4 次元時空間情報基盤を使用することで地形物等の現地調査の負荷軽減に寄与する可能性がある」と期待している。

また、飛行時には上空の天候リスク等を考慮する必要があるが、気象情報を 4 次元時空間情報基盤に取り込む事でそれらのリスク低減につながる事も期待している。

また、送電線などの幅が狭い対象物を点検する本ユースケースを行う上で適切なボクセルサイズの検討も合わせて実施する。

図 4-2-1 に実証の概要イメージを示す。

送電設備点検

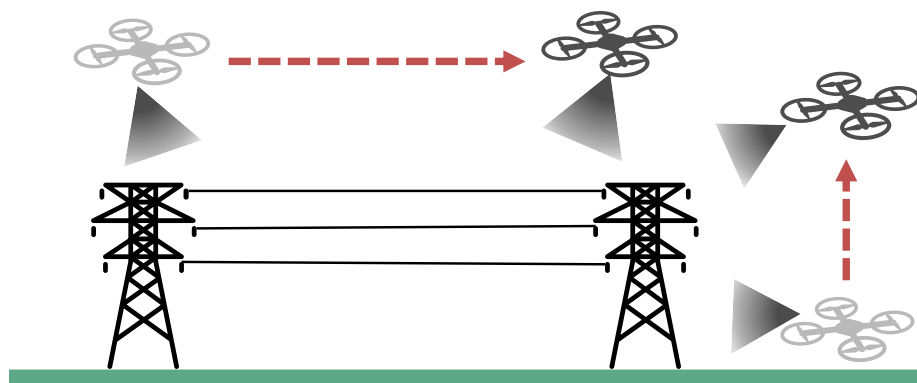


図 4-2-1 概要イメージ図

② 背景課題

送電線・鉄塔の点検は定期的に作業員が高所での目視確認を行っており、危険性と負荷が高い業務となっている。そのため、従来の有人による送電線点検は点検作業員への負担大や労災発生などの課題が顕在化している。

また、点検技術者不足による点検品質低下の課題にも直面している。

③ アウトカム

本ユースケースが社会実装された際に創出されるアウトカムは以下の想定である。

表 4-2-1 アウトカム

観点	アウトカム
社会的価値	点検時の事故の削減
経済的価値	点検品質の向上、低コスト化

④ KGI・KPI

本実証では下記に示す KGI の達成を目標に、実地検証にて KPI 指標の達成状況を測定する。

表 4-2-2 KGI・KPI

観点	KGI	KPI
社会的価値	労災件数の低減	ドローン点検で置換えできる危険作業を伴う業務範囲の検討 →ドローンで撮影した画像の精度は問題ないものの一部充足度を満たせないため、点検業務の置き換えは不可と判断した。
経済的価値	点検技術者の作業時間削減	ドローン点検で置換えできる業務範囲の検討 →前述の通り、点検業務の置き換え不可。

		・ドローンによる撮影時間、画像による点検時間の評価 →一部充足度を満たしていないため正確にはKPIの測定は不可。年次点検作業において、ドローンで撮影できる範囲では、人手での作業に比べて27%程度の削減が可能。
	点検品質の維持	・ドローン点検で置換えできる業務範囲の検討（送電線点置換範囲 30%以上） →前述の通り、点検業務の置き換え不可。 ・画像による点検品質の評価（送電線点検 1件・鉄塔点検 1件） →ズーム撮影した画像であれば、人手での作業と同等の品質で点検可能。

⑤ システムアーキテクチャ

システムアーキテクチャについて図 4-2-2 に示す。

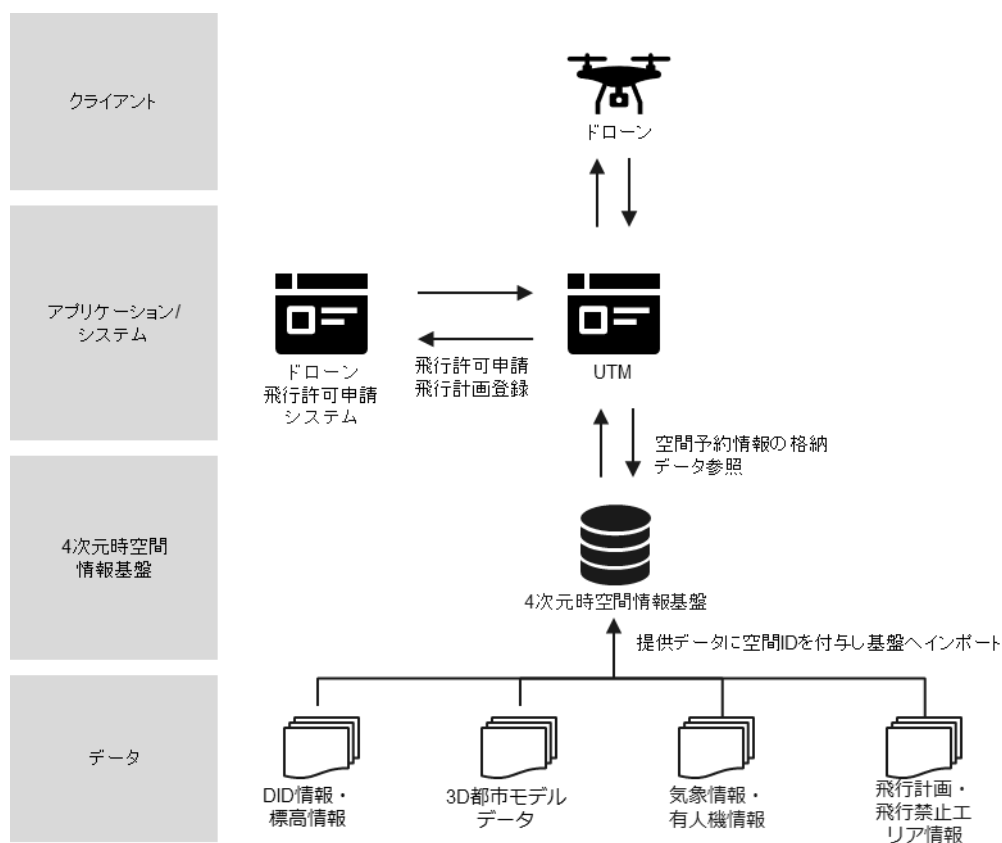


図 4-2-2 システムアーキテクチャ

⑥ 実地検証の内容

➤ 概要

福島県南相馬市にある風力発電関連設備（送電線、鉄塔）のドローンを用いた点検作業を行う。

➤ 実地検証のゴール

3D 都市モデル等をインプット情報とした 4 次元時空間情報基盤の有効性評価、自律飛行で撮影した画像・映像の精度と充足度に対する評価を行うこと。

➤ 測定項目・測定方法

表 4-2-3 に示す観点で検証項目を検討した。

表 4-2-3 検証観点

No.	観点	検証内容
1	4 次元時空間情報基盤の有効性	4 次元時空間情報基盤を活用した飛行計画作成し、飛行計画作成の有効性を検証。また、飛行中に 4 次元時空間情報基盤を活用する事で飛行の安全性を検証。 活用データ：3D 都市モデル(LOD1)、有人機情報、気象情報
2	自律飛行における撮影精度と充足度	ドローンが自律飛行で撮影した画像・映像の精度と充足度を検証し、点検業務の置き換え可否を検討。また、自律飛行による撮影の課題を特定する。

※上記の検証の他、ユースケース共通で、UTM 間連携に関する検証、リスクアセスメントに関する検証を実施。各検証内容の詳細については、4.4 節、4.5 節に示す。

⑦ 実地検証結果

各検証項目に対する結果を表 4-2-4 に示す。

表 4-2-4 検証結果

No.	検証内容	検証結果
1	4 次元時空間情報基盤を活用した飛行計画作成し、飛行計画作成の有効性を検証。また、飛行中に 4 次元時空間情報基盤を活用する事で飛行の安全性を検証。	【飛行計画時】 ・3D 都市モデルにより飛行の障害になるものを確認できる想定であったが、本実証においては、電柱や植生、配電線は整備対象外のため、現地調査にて離着陸地点や飛行経路の安全を確認する必要があった。 ・点検のための撮影には近接飛行が必要なため、ズームレベル 20(1 辺 32m)のボクセルサイズでは粗すぎ、ズームレベル 22(1 辺 8m)以上とすることが望ましい。 以上より、現時点では飛行計画作成時に有効とは言えず、一層の地物情報の充実が必要と考える。 【飛行中】 ・気象急変を察知し、リスク回避動作につなげられるこ

		とを確認した。 以上より、飛行中の安全確保に有効と言える。
2	ドローンが自律飛行で撮影した画像・映像の精度と充足度を検証し、点検業務の置き換え可否を検討。また、自律飛行による撮影の課題を特定する。	以下の理由により、画像の精度は問題ないものの充足度を満たせないため、送電設備点検業務の置き換えは不可と判断した。充足度を満たすには、ドローンに搭載するカメラ自体の性能向上や飛行中のカメラの角度やフォーカスをAI等で制御する技術の開発が必要と考えられる。 【鉄塔】 ・ズーム撮影を行うことで碍子の破損有無やボルトの発錆を確認することができた。 ・一方で、碍子は数が限られているものの、ボルトは多数あるため漏れなく撮影することができなかった。 【送電線】 ・ズーム撮影を行うことで素線切れや落雷痕の有無を確認することができた。 ・一方で、カメラをズームした状態のままたわみのある送電線を漏れなく撮影することはできなかった。

⑧ 実証スケジュール

実証スケジュールについて表 4-2-5 に示す。

表 4-2-5 実証スケジュール

実施時期	実証項目
2022 年度	テスト環境における事前フライト実施 次年度以降に向けた検証項目の洗い出し及びシナリオの検討
2023 年度	ドローン点検実証フライト実施 3D 都市モデル等の情報活用による 4 次元時空間情報基盤の有効性評価 自律飛行で撮影した画像・映像の精度と充足度に対する評価
2024 年度	ドローン活用における経済性・安全性の総合評価

⑨ アーキテクチャマップとの紐づけ

本実証で開発・使用するレイヤをマッピングしたアーキテクチャの概要を図 4-2-3 に示す。

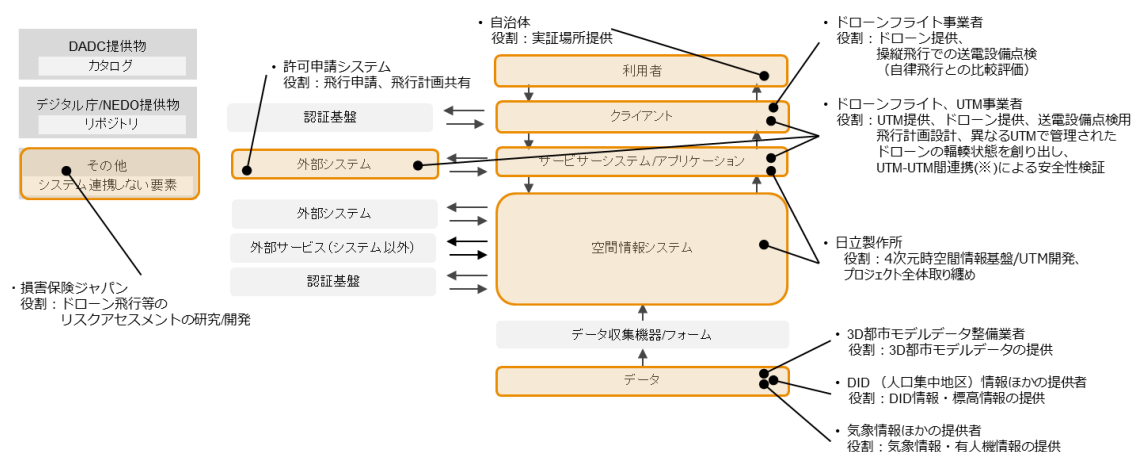


図 4-2-3 アーキテクチャマップ

4.3. 橋梁点検ユースケース（株式会社日立製作所）

① 実証の概要

本ユースケースでは、ドローンを用いた平時/災害時を想定した橋梁・ダムおよび周辺（道路、河川、堤防、海岸線等）の点検・巡視を行う。主に飛行計画作成時に 4 次元時空間情報基盤を活用し、その有効性を検証する。

また、災害時における橋梁・ダムおよび周辺の状況把握を行うための自律飛行を行い、その際の 4 次元時空間情報基盤の有効性・活用方法なども検証する。本検証は、インフラ点検（送電線、橋梁）と同一機体を活用したマルチドメインユースの位置付けである。

ドローンの飛行においては、事前に安全対策を目的とした飛行経路の目視調査等の実施が望ましいが、それらの作業はコスト増の要因となっている。

今回、デジタルツインとしての 4 次元時空間情報基盤を使用することで地形物等の現地調査の負荷軽減に寄与する可能性がある」と期待している。

また、飛行時には上空の天候リスク等を考慮する必要があるが、気象情報を 4 次元時空間情報基盤に取り込む事でそれらのリスク低減につながる事も期待している。

災害時における迅速な橋梁及び周辺の被害状況把握を行う上での 4 次元時空間情報基盤の役割やサイズの検討も合わせて実施する。

図 4-3-1 に実証の概要イメージを示す。

橋梁点検

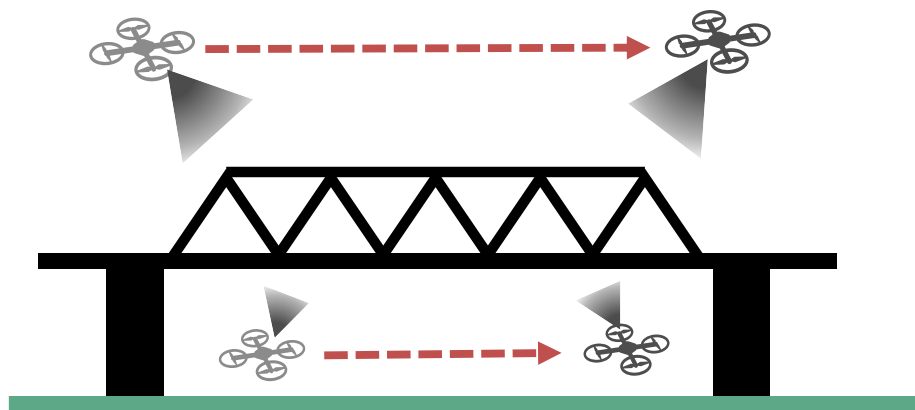


図 4-3-1 概要イメージ図

② 背景課題

作業員による橋梁の点検においては、送電設備と同様に、危険性が排除できず負荷が高い業務となっている。また、橋梁点検車両を用いる必要がある場合は、通行止めや車線規制などにより通行の妨げが発生し交通渋滞等が発生する。

さらに、災害発生時には地域内の橋梁に大きな損傷や倒壊が発生することもあり人や車の通行に影響がないかを迅速に把握することが重要視されている。

③ アウトカム

本ユースケースが社会実装された際に創出されるアウトカムは以下の想定である。

表 4-3-1 アウトカム

観点	アウトカム
社会的価値	- 点検時の事故の削減 - 通行止め・車線規制による交通渋滞発生緩和 - 災害時の迅速な状況把握
経済的価値	点検品質の維持、低コスト化

④ KGI・KPI

本実証では下記に示す KGI の達成を目標に、実地検証にて KPI 指標の達成状況を測定する。

表 4-3-2 KGI・KPI

観点	KGI	KPI
社会的価値	労災件数の低減	ドローン点検で置き換えできる危険作業を伴う業務範囲の検討 →ドローンで撮影可能な箇所の精度は問題ないものの、操縦飛行でも一部充足度を満たせ

		ないため、点検業務の置き換えは不可と判断した。
	通行止めや車線規制時間の低減	ドローン点検で置き換えできる業務範囲の検討 →前述の通り、点検業務の置き換え不可。
	災害時における橋梁及び周辺の被害状況把握（設備点検機体の災害時マルチドメイン活用）	- 対象橋梁撮影のための自律飛行 →被害状況把握のための自律飛行が可能。 - ドローン撮影画像による橋梁被災状況確認 →通行可否を判断するレベルであれば判別できる可能性がある。 - 対象橋梁以外の把握可能な周辺状況の確認（対象箇所 河川等 2 件） →以下 2 件について状況把握が可能であることを確認。 ①河川周辺、②ダム周辺
	災害時状況把握に要する時間の低減	既存手段とドローンを活用した場合の被害状況把握時間の比較（橋梁周辺 1 件） →地震後のダム臨時点検において作業時間は同程度要したが点検品質が向上。
経済的価値	点検技術者の作業時間削減	- ドローン点検で置き換えできる業務範囲の検討 →前述の通り、点検業務の置き換え不可。 - ドローンによる撮影時間、画像による点検時間の評価（橋梁点検 1 件） →一部充足度を満たしていないため正確には KPI の測定は不可。ドローンで撮影できる範囲では、人手での橋梁点検とドローン点検で要する時間は同程度。 - 撮影画像を使った 3D モデル作成による点検報告書作成時間の削減（橋梁点検 1 件） →3D モデル作成に時間を要するため報告書作成時間の削減には寄与しなかった。一方で、全体を視覚的に把握しやすくなり損傷箇所の確認が容易になる点は有益。
	点検品質の維持	- ドローン点検で置き換えできる業務範囲の検討（橋梁点検 1 件） →前述の通り、点検業務の置き換え不可。 - 画像による点検品質の評価（橋梁点検 1 件） →撮影可能な範囲においては人手での橋梁点検と同程度の確認が可能。

⑤ システムアーキテクチャ

システムアーキテクチャについて図 4-3-2 に示す。

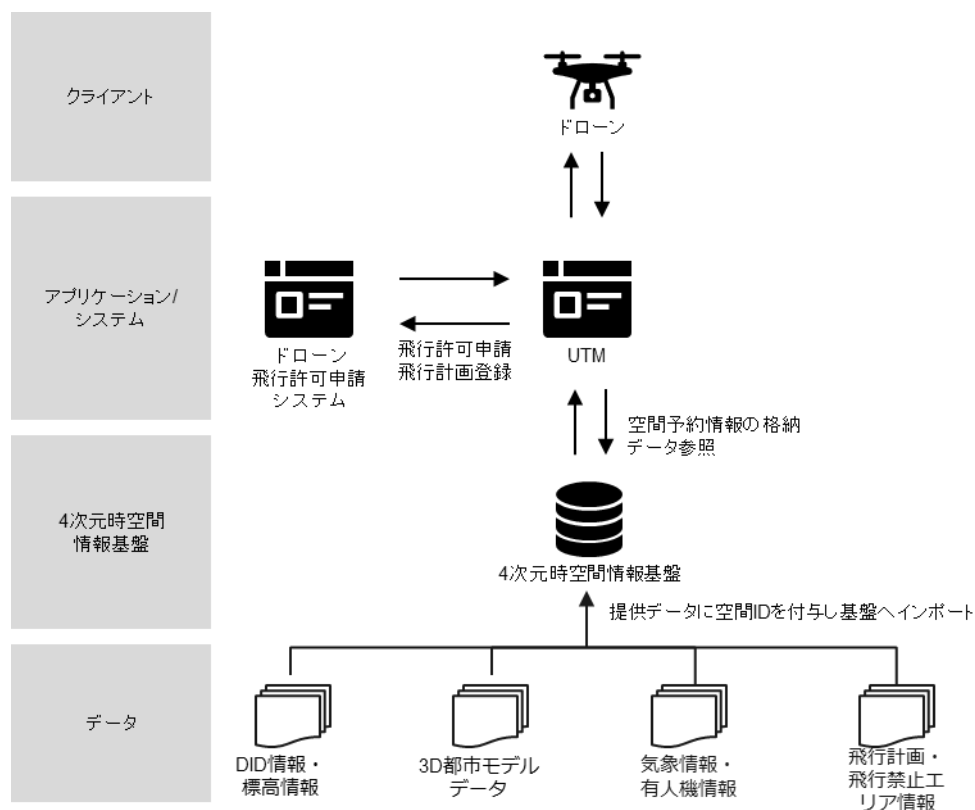


図 4-3-2 システムアーキテクチャ

⑥ 実地検証の内容

➤ 概要

福島県南相馬市において、ドローンによる平時/災害時を想定した橋梁・ダムおよび周辺（道路、河川、堤防、海岸線等）の点検・巡視を行う。

➤ 実地検証のゴール

平時/災害時の橋梁・ダムおよび周辺（道路、河川、堤防、海岸線等）の点検・巡視において、3D 都市モデル等を活用した 4 次元時空間情報基盤の有効性評価、自律飛行で撮影した画像・映像の精度と充足度に対する評価を行うこと。

➤ 測定項目・測定方法

表 4-3-3 に示す観点で検証項目を検討した。

表 4-3-3 検証観点

No.	観点	検証内容
1	4 次元時空間情報基盤の有効性	4 次元時空間情報基盤を活用した飛行計画作成し、飛行計画作成の有効性を検証、また、飛行中に 4 次元時空間情報基盤を活用する事で飛行の安全性を検証。

		活用データ：3D 都市モデル(LOD1)、有人機情報、気象情報、標高情報
2	自律飛行における撮影精度と充足度	ドローンが自律飛行で撮影した画像・映像の精度と充足度を検証し、点検業務の置き換え可否を検討。また、自律飛行による撮影の課題を特定する。
3	撮影画像の災害時活用	発災時の被災状況把握を目的とした検証。河川を飛行経路としドローンが橋梁まで自律飛行を行いながら、河川周辺(堤防、道路)や橋梁の撮影を実施し、撮影した画像の災害時の有効性を検証。
4	同一機体の活用可能性(マルチドメイン)	橋梁点検[通常時・災害時]および送電設備点検において、同一機体を活用して資産効率向上の可能性を検証。

※上記の検証の他、ユースケース共通で、UTM 間連携に関する検証、リスクアセスメントに関する検証を実施。各検証内容の詳細については、4.4 節、4.5 節に示す。

⑦ 実地検証結果

各検証項目に対する結果を表 4-3-4 に示す。

表 4-3-4 検証結果

No.	検証内容	検証結果
1	4 次元時空間情報基盤を活用した飛行計画作成し、飛行計画作成の有効性を検証、また、飛行中に 4 次元時空間情報基盤を活用する事で飛行の安全性を検証。	【飛行計画時】 ・3D 都市モデルにより飛行の障害になるものを確認できる想定であったが、本実証においては、電柱や植生、配電線は整備対象外のため、現地調査にて離着陸地点や飛行経路の安全を確認する必要があった。 以上より、現時点では飛行計画作成時に有効とは言えず、一層の地物情報の充実が必要と考える。 【飛行中】 ・気象急変を察知し、リスク回避動作につなげられることを確認した。 ・高低差のある飛行経路において、標高情報とドローンから送られてくる高度情報を比較して安全に飛行することができた。 以上より、飛行中の安全確保に有効と言える。
2	ドローンが自律飛行で撮影した画像・映像の精度と充足度を検証し、点検業務の置き換え可否を検討。また、自律飛行による撮影の課題を特定する。	【橋梁点検(操縦飛行での評価)】 ・橋梁に対して撮影可能な箇所の精度は問題ないが、橋梁下面の端部や支承周りは操縦飛行であっても接近しての撮影が難しく、充足度を満たせなかった。 ・よって、橋梁点検業務の置き換えは不可と判断した。 【河川巡視】 ・堤防の損傷や河川の増水、不法投棄物の有無等、大き

		な異常がないかどうかを撮影映像から確認できるため、精度・充足度ともに問題なし。 ・よって、河川巡視業務の置き換えが可能と判断した。 【ダム点検・巡視】 ・ダムの堤体の損傷有無やダム湖法面の崩落有無、ダム下流の河川にある堰における水量の変化を撮影映像から確認ができるため、精度・充足度ともに問題なし。 ・よって、ダムの点検・巡視業務の置き換えが可能と判断した。 ・但し、飛行距離が長いことから LTE 電波による操縦を行ったが、LTE 電波が入ることを事前確認しなければならない点が課題となる。 【海岸線巡視】 ・堤防や護岸状況、漂着物・ゴミ・不法占有・危険行為の有無の確認等を撮影映像から確認できた。 ・一方で、堤防に設置されている手すりの強度のように目視・触手での確認が必要な項目は映像で確認することができなかった。 ・よって、精度は問題なく、充足度も一部を除き満たせるため、海岸線巡視業務の置き換えは概ね可能と判断した。 ・但し、飛行距離が長いことから LTE 電波による操縦を行ったが、LTE 電波が入ることを事前確認しなければならない点が課題となる。
3	発災時の被災状況把握を目的とした検証。河川を飛行経路としドローンが橋梁まで自律飛行を行いながら、河川周辺（堤防、道路）や橋梁の撮影を実施し、撮影した画像の災害時の有効性を検証。	被害状況把握を目的とした場合、撮影映像により飛行経路となる河川の周辺状況を十分に確認可能と判断した。また、橋梁については、街路灯などの倒壊や伸縮装置のずれなど、通行可否を判断するレベルであれば判別できる可能性がある。よって、災害により車両の走行が困難な場合は、被害状況の概略の把握にドローンの活用が有効と考える。一方で、車両走行が可能な場合は、車両による巡回や近隣住民からの通報の方が被害状況把握を効率的に行えることが想定される。
4	橋梁点検[通常時・災害時]および送電設備点検において、同一機体を活用して資産効率向上の可能性を検証。	送電設備点検、橋梁点検、河川巡視、ダムの点検・巡視、海岸線巡視のユースケースにおいて、同一機体を使った実証を行った。これらのうち、河川巡視、ダムの点検・巡視、海岸線巡視については、概ね撮影映像による業務の置き換えが可能という結果であり、マルチドメインでの運用が可能と考える。

⑧ 実証スケジュール

実証スケジュールについて表 4-3-5 に示す。

表 4-3-5 実証スケジュール

実施時期	実証項目
2022 年度	ドローンによる橋梁点検検証フライト実施 従来の点検手法と比較したドローン点検の経済性評価
2023 年度	平時/災害時の橋梁・ダムおよび周辺(河川、堤防) KPI 具体化 機体のマルチドメインモデルの検証
2024 年度	平時/災害時のダムおよび周辺(河川、堤防、海岸線) KPI の見直し 機体のマルチドメインモデルの検証 ドローン活用における経済性・安全性の総合評価

⑨ アーキテクチャマップとの紐づけ

本実証で開発・使用するレイヤをマッピングしたアーキテクチャの概要を図 4-3-3 に示す。

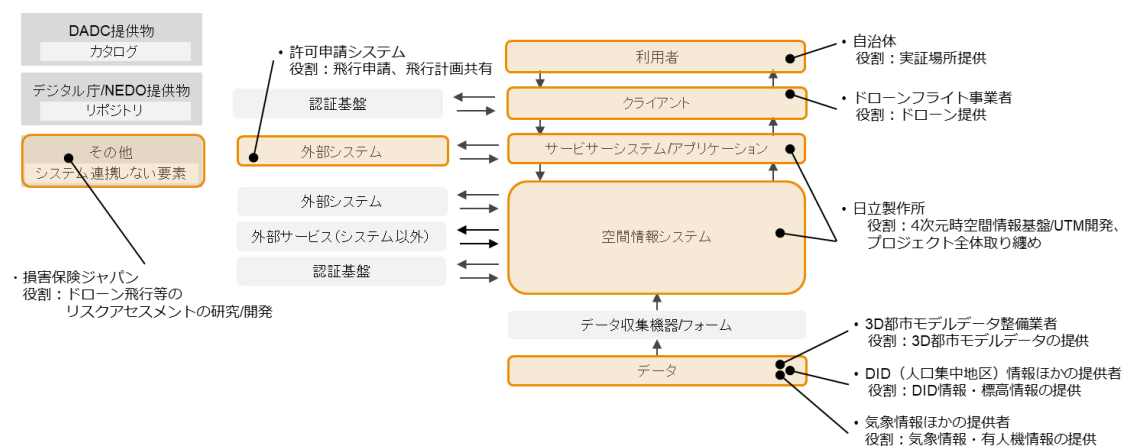


図 4-3-3 アーキテクチャマップ

4. 4. UTM 間連携に関する技術検証 (株式会社日立製作所)

※本実証検証は、複数のドローンが同一空域で輻輳する世界において必要な技術検証の位置付けで実施し、4.1 節、4.2 節、4.3 節に記載の物資輸送ユースケース、送電設備点検ユースケース及び橋梁点検ユースケースが社会実装されるうえで共通的な課題を抽出することを目的とする。

①実証の概要・②背景課題・③アウトカム・④KGI・KPI・⑤システムアーキテクチャ・⑨アーキテクチャマップとの紐づけの各項目については、物資輸送ユースケース、送電設

備点検ユースケース、橋梁点検ユースケースの各ユースケースパートに記載。（4.1 節、4.2 節、4.3 節を参照）

⑥ 実地検証の内容

➤ 概要

UTM 接続における 4 次元時空間情報基盤の活用メリットや検討課題を導き出す。具体的な検討は 2024 年度の実証で行う。例えば、4 次元時空間情報基盤の活用方法としては、国土交通省 航空局が管理している DIPS（ドローン情報基盤システム）2.0 に通報された飛行計画情報を 4 次元時空間情報基盤に取り込み、登録済の飛行計画の空間を 4 次元時空間情報基盤に表示する等を検討している。システムアーキテクチャは図 4-4-1 に示す通りだが、異なる UTM に管理されたドローンによる輻輳状態を創り出し、4 次元時空間情報基盤と連携した UTM 接続の有益性の検証を行う。

➤ 実地検証のゴール

異なる UTM に管理されたドローンの接近時・飛行計画のバッティング時等想定される輻輳状態での UTM 接続の姿や、4 次元時空間情報基盤の有益性や検討課題を導き出す。

➤ 測定項目・測定方法

表 4-4-1 に示す観点で検証項目を検討した。

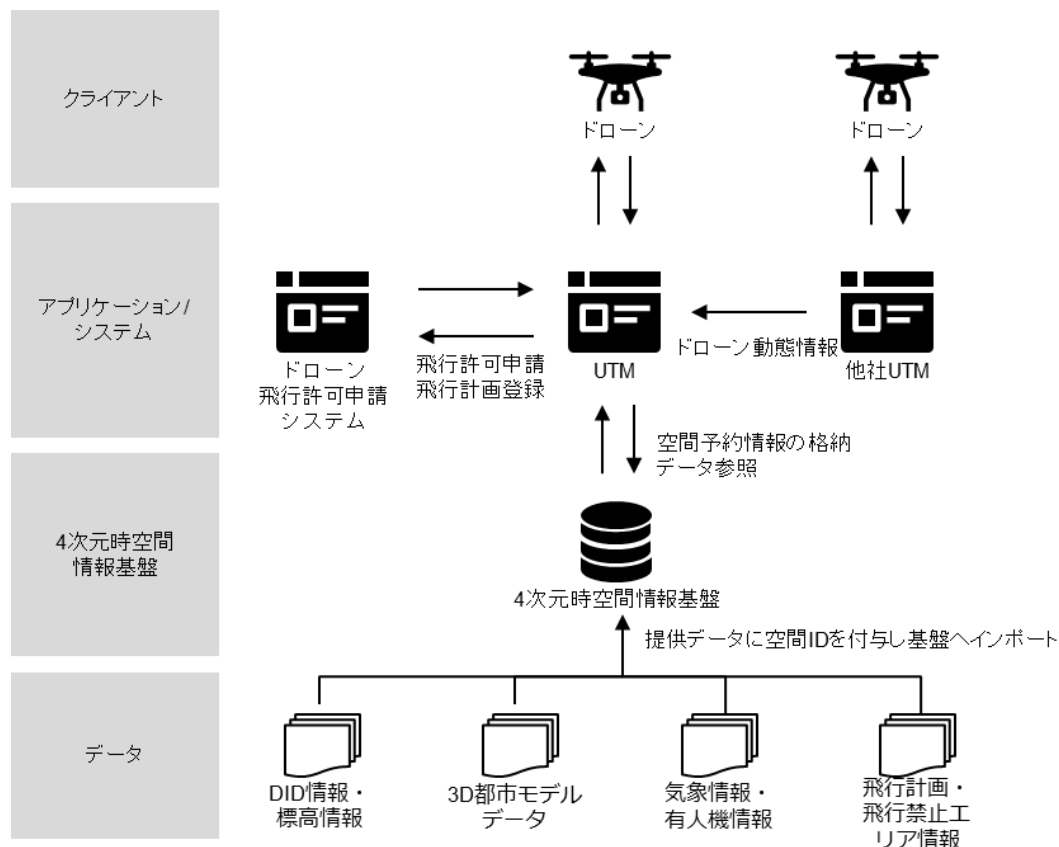


図 4-4-1 システムアーキテクチャ（UTM 間連携）

表 4-4-1 検証観点

No.	観点	検証内容
1	4 次元時空間情報基盤の有効性	同一空域を複数のドローンが飛行する計画を作成し、DIPS から取得した他者の飛行エリア情報によるリスク低減への有効性を検証。
2	UTM 間連携すべき情報の検討	異なる UTM で管理された複数のドローンに対し、安全にドローン運行するために UTM 間で連携すべき動態情報を検討。

⑦ 実地検証結果

各検証項目に対する結果を表 4-4-2 に示す。

表 4-4-2 検証結果

No.	検証内容	検証結果
1	同一空域を複数のドローンが飛行する計画を作成し、DIPS から取得した他者の飛行エリア情報によるリスク低減への有効性を検証。	DIPS 通報において、飛行計画の飛行日時と飛行エリアが重複する場合は、同一空域に他者の飛行計画があることが分かるものの、飛行日時と飛行エリアのいずれかが重複していない場合はそれを把握することができない。この課題を解決する方法として、4 次元時空間情報基盤を通して DIPS から取得した他者の飛行エリア情報を UTM の画面に表示できるようにした。これにより、隣接する空域や近い時間帯に飛行する機体の存在を把握でき、今後想定されるドローン航路の乗入れ等の飛行時のリスク低減に有効であると判断した。
2	異なる UTM で管理された複数のドローンに対し、安全にドローン運行するために UTM 間で連携すべき動態情報を検討。	動態情報として緯度、経度、高度、速度、機首方向を双方向で連携することとした。これら情報により、同一空域の飛行時や、ドローン航路の乗入れ時等に、他者のドローンの飛行位置や飛行方向を正しく把握できるため、自機の飛行継続が可能なのか、一時停止等のリスク回避行動を取るべきかの判断材料として不足はないということを確認できた。 追加で連携したほうがより良い情報としては、飛行計画が挙げられる。機首方向により他者ドローンの次の動きを概ね予想できるものの、飛行計画を把握しておくことで安全確保を行う上でより有効であると考えた。

⑧ 実証スケジュール

実証スケジュールについて表 4-4-3 に示す。

表 4-4-3 実証スケジュール

実施時期	実証項目
2023 年度	UTM 接続に関するシナリオ検討 UTM 接続に関する準備フライト
2024 年度	UTM 接続に関するシナリオ検討 UTM 接続に関する実証フライト 4 次元時空間情報基盤の有効性評価・検証

4.5. 損害保険に係るリスクアセスメント等に関する技術検証（損害保険ジャパン株式会社）

※本実証については、4.1 節、4.2 節、4.3 節に記載の物資輸送ユースケース、送電設備点検ユースケース及び橋梁点検ユースケースにて共通で実施の検証である。

① 実証の概要

本取組については、ドローン運行前の現地サーベイを極小化しながら迅速に安全な航路設定を実現することを目標に、空間 ID を活用した航路に関するリスクアセスメント等について研究開発及び検証を行う実証となる。また、ドローン落下時の損害が大きいと予想される用途の建物・道路など地物や、緊急時の避難・着陸場所として適当な場所を、損害保険の知見等を活用して選定し、その情報を空間 ID と連携してドローン運行事業者が活用する手法についても検証する。

② 背景課題

航路については、現状では予定航路に対して詳細に現地サーベイを行って評価する必要があり、コストが高く時間がかかるという課題がある。複数のドローンが日常的に運行される将来に向けて、空間 ID を活用して必要となる現地サーベイを極小化することにより、コスト面の課題解消や迅速な航路設定を可能にする必要がある。

③ アウトカム

本ユースケースが社会実装された際に創出されるアウトカムは以下の想定である。

表 4-5-1 アウトカム

観点	アウトカム
社会的価値	- 適切なリスク制御による事故発生率・最大予想損害額の極小化 - 適切なリスク制御による社会受容性の向上（住民の心理的安全性の担保）
経済的価値	- 適切なリスク制御による保険料コストの削減 - 安全性の高い飛行経路を設計するコストの削減 - コストダウンおよび社会受容性向上によるドローン産業の発展

④ KGI・KPI

本実証では下記に示す KGI の達成を目標に、実地検証にて KPI 指標の達成状況を測定する。

表 4-5-2 KGI・KPI

観点	KGI	KPI
社会的価値	・保険商品による社会受容性の向上	・保険の予定損害率 50%未満の達成＝リスクアセスメント評価が基準を充足する水準までのリスク低減の実現) →KPI 達成。リスク低減により既存のドローン保険と同じ保険料で保険商品の提供が可能。
経済的価値	・保険・リスクアセスメントコストの削減	・事故発生率の低減 (保険の予定損害率 50%未満の達成＝リスクアセスメント評価が基準を充足する水準までのリスク低減の実現) →KPI 達成。Level4 などリスクが高い飛行でも、リスク低減により既存のドローン保険と同じ保険料で補償が可能。 ・現地サーベ이의工数削減 (3 人／日⇒目標 0.5 人／日) →KPI 達成。

⑤ システムアーキテクチャ

現時点ではシステム構築はしていない。

⑥ 実地検証の内容

➤ 概要

4.1 節、4.2 節、4.3 節の各ドローンユースケースにてリスクアセスメントを実施する。空間 ID を活用して日立製作所が設定した予定航路を現地サーベイし、空間 ID ベースでのリスクアセスメントと差分となる保険会社目線で問題がある高いリスクや現地サーベイでしか確認ができないリスク、さらに航路のリスクを低減させる対策の有無を確認する。リスク低減対策がある場合、対策後に再評価し、リスクが適切に制御されたことを確認する。

また、上記で確認した建物・道路など地物の用途や属性をもとに保険会社目線で抽出したリスクの高い地物の情報については、空間 ID と紐付けを行い、安全な航路設定に活用する。(活用する想定フローは図 4-5-1 のとおり)

➤ 実地検証のゴール

運航可能なリスクスコアの達成、地域住民がドローン運航を受容すること。

➤ 測定項目・測定方法

リスクアセスメントシート(イメージは図 4-5-2 のとおり) による評価を実施する。
法令・各種ガイドライン・飛行環境・リスクの対象者・機体・ドローン運航者・気象

などの各カテゴリにおいて、被害の発生の要因となる「危険源」約 300 個が測定項目となり、各項目について被害の頻度・発生確率等をもとにリスクの大きさを評価し、事前に設定した基準内にリスクが適切に制御されたことを確認する。

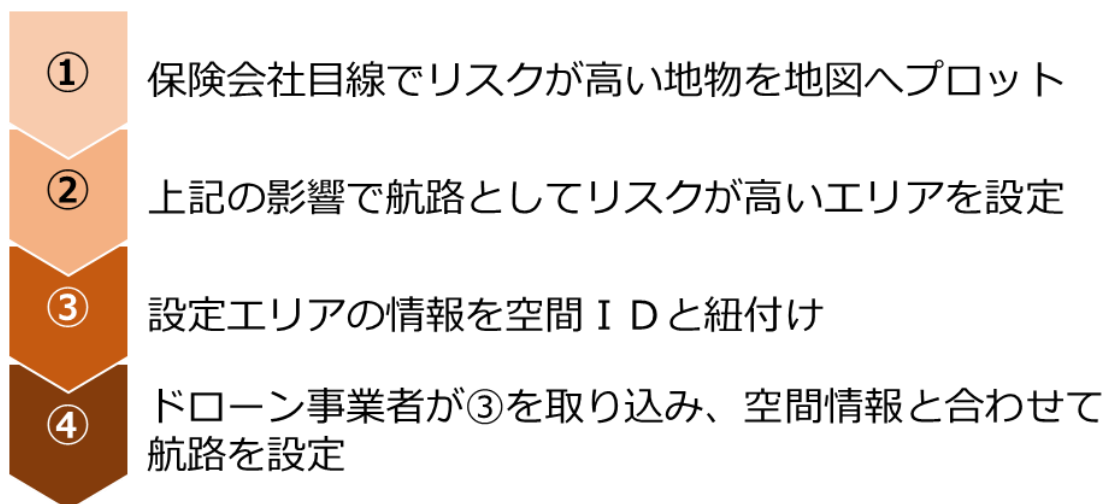


図 4-5-1 想定フロー（保険会社目線で抽出したリスク情報の活用）

No	カテゴリ	危険源	危険状態		被害対象	リスク見積もり				低減対策	...
			大項目	小項目		規模	頻度	点数	可否		
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
E001	飛行環境	離陸地点	ルートの見通し対策	操縦者位置から見た飛行進行方向が崖や丘・樹木などで確認できない。	機体・運行システム	小	中	〇点	〇	...	...
E002			電波の障害	周囲に携帯基地局、通信アンテナなどがあり、電波障害が発生する。	事業遂行	小	小	〇点	〇	...	...
E003			磁気の影響	周囲に鉄塔・高圧線などがあり磁気影響を受ける。	機体・運行システム	小	小	〇点	〇	...	...
E004			飛行方向を遮る障害物対策	高圧電線があり、回避・迂回が必要。	機体・運行システム	大	中	〇点	〇	...	...
E005				鉄塔および電線があり、回避・迂回が必要。	機体・運行システム	大	中	〇点	〇	...	...
E006				樹木などがあり、回避しながらの飛行が必要。	機体・運行システム	小	中	〇点	〇	...	...
E007			監視員の適切配置	周囲の通行人・見学者の状況、交通状況を把握せず飛行し接触事故が発生する。	第三者等	大	大	〇点	〇	...	...
E008		飛行経路	障害物回避	飛行経路上の鉄塔・高層構築物・電線・電波塔に接触、損傷墜落する。	施設・設備	大	中	〇点	〇	...	...
E009				フェイルセーフの帰還高度が不適切で帰還中に障害物に接触・墜落する。	機体・運行システム	中	中	〇点	〇	...	...
E010		GPS等信号環境	GPS信号等のロスト	機体制御に必要なGPS信号等の受信数に満たず飛行できない。	事業遂行	小	中	〇点	〇	...	...
...	...			高層建物や谷合などでGPSが途絶し、不安定となり周囲構築物に衝突する。	施設・設備	大	中	〇点	〇	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
V001	機体	飛行時点検	操舵と機体挙動確認	...	機体・運行システム	...	...	...	...	...	...
V002		...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

※最大で約 300 のリスク評価項目を評価。上図はサンプル。

図 4-5-2 リスクアセスメントシート（イメージ）

⑦ 実地検証結果

本実証を活用して開発したリスクアセスメント手法（リスク低減対策を含む）により、K P Iである「保険の予定損害率 50%未満の達成（リスクアセスメント評価が基準を充足する水準までのリスク低減の実現）」および「事故発生率の低減」は達成（※）できた。

（※）各ユースケースの実証飛行において、リスクアセスメントシートの全評価項目のリスクが基準以下

その結果、リスクの高いレベル4等の飛行であっても空間IDを活用することにより、既存のドローン保険と同じ保険料で補償できるリスクと評価できることから、K G Iである「保険商品による社会受容性の向上」および「保険コストの削減」は達成可能と判断できる。

また、リスクアセスメントに必要となる現地サーベイを空間IDベースのサーベイに置き換えることによる工数削減と、空間IDからの情報を活用して安全性の高い航路設定を行い現地サーベイの確認項目を減らすことで、今回の実証飛行で実施したリスクサーベイの全体工数4～6人日を1人日まで削減できる見込みとなっている。K P Iである「現地サーベイの工数削減（3人/日⇒目標0.5人/日）」で想定している2.5人/日の削減幅を超過しており、K G Iである「リスクアセスメントコストの削減」は達成可能と判断できる。

⑧ 実証スケジュール

実証スケジュールについて表4-5-3に示す。

表4-5-3 実証スケジュール

実施時期	実証項目
2022 年度	<u>損害保険に係るリスクアセスメント手法の開発</u> ・アセスメント実施方法全般の検討（対象項目・リサーチ方法の確定） ・物資輸送・インフラ点検ユースケースでのアセスメントの実施
2023 年度	<u>損害保険に係るリスクアセスメント手法の見直し点の洗出しとその改善</u> ・アセスメント結果の見直し（実証実験への同行、前年度アセスメント結果の検証・修正）
2024 年度	<u>損害保険に係るリスクアセスメント手法の継続改善</u> ・アセスメント結果の見直し（実証実験への同行、前年度アセスメント結果の検証・修正）

⑨ アーキテクチャマップとの紐づけ

物資輸送ユースケース、送電設備点検ユースケース、橋梁点検ユースケースの各ユースケースパートに記載。（4.1 節、4.2 節、4.3 節参照）

4.6. 点検・防災・有人機連携ユースケース（株式会社トラジェクトリー）

① 実証の概要

本研究開発では、ドローン、ヘリコプター等の移動体、3次元都市モデル、地形データ、施設データ等、地理空間情報の活用に必要な実空間のデータを空間IDに紐付けて連携サー

ビスにあった形でデータを活用するデジタルインフラの事業化を想定して開発し、企業間連携（UTM-GCS(グランドコントロールステーション)間連携）につつき評価する。



図 4-6-1 取組概要

② 背景課題

システムを所有しない中小企業、自治体、住民等は空間利活用の敷居が高く、デジタル化から取り残されている状況があり、特に空間の利活用は特定層に閉ざされている。取り残されている原因として、情報連携時に必要なインターフェースの変換等の開発コスト、空間利用に係る情報のインプットにかかる多くの工数等が参加の障壁となっていることが挙げられる。このような背景から空のインフラ活用促進に向け、空間情報の提供をより身近なものにする仕組みの構築が必要である。本取組では、安全性を担保しながらドローン等の自律移動モビリティが空間を認識する為の 4 次元時空間情報基盤の社会実装を目指す。

③ アウトカム

本ユースケースが社会実装された際に創出されるアウトカムは以下の想定である。

表 4-6-1 アウトカム

観点	アウトカム
社会的価値	- データの品質及びドローン飛行の安全性の向上 - 法令遵守に係る懸念の解消 - 空間利活用の情報格差の解消
経済的価値	複数分野で自律移動ロボットを活用することによる自動化・効率化

④ KGI・KPI

基盤開発が主な取組なため、技術面の KPI を設定し実証に取り組む。内容については、4.7 節に記載する。

⑤ システムアーキテクチャ

システムアーキテクチャについて図 4-6-2 に示す。

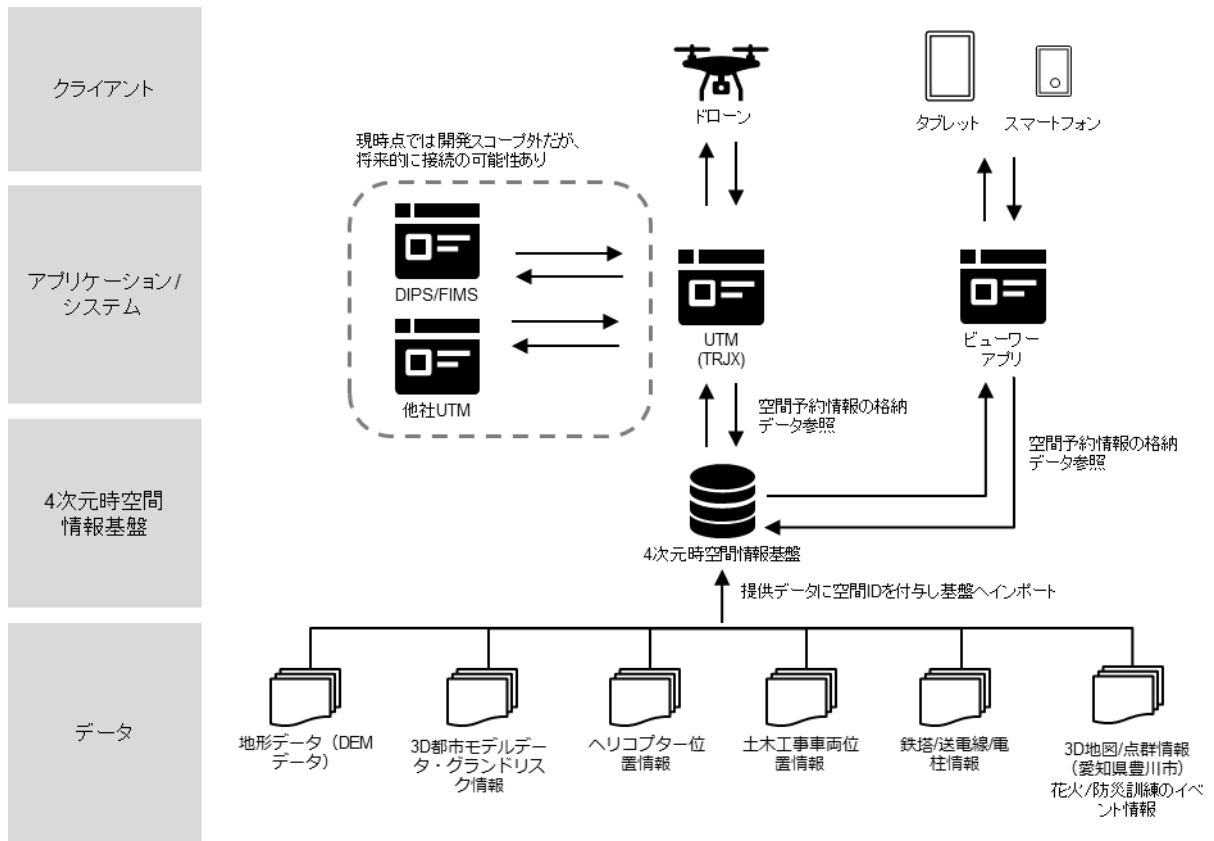


図 4-6-2 システムアーキテクチャ

⑥ 実地検証の内容、⑦実地検証結果、⑧実証スケジュール

主な取組となる基盤開発に関連する技術的な検証については、4.7 節 に記載する。

⑨ アーキテクチャにおける本実証の対象レイヤとプレイヤの役割

本実証の対象となるレイヤと関連するプレイヤをマッピングしたアーキテクチャマップを図 4-6-3 に示す。

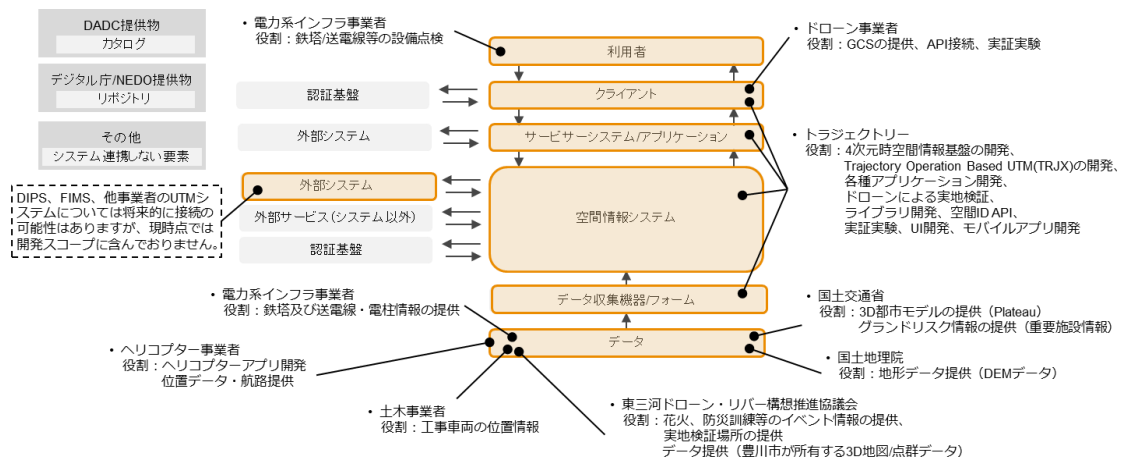


図 4-6-3 アーキテクチャマップ

4.7. 空間情報基盤の有用性に関する技術検証（株式会社トラジェクトリー）

※本実地検証については、4.6 節記載の点検ユースケースにて実施した検証である。

①実証の概要・②背景課題・⑤システムアーキテクチャ・⑨アーキテクチャにおける本実証の対象レイヤとプレイヤの役割の各項目については、点検ユースケースパートに記載。（4.6 節参照）

③ アウトカム

本ユースケースが社会実装された際に創出されるアウトカムは以下の想定である。

表 4-7-1 アウトカム

観点	アウトカム
経済的価値	簡単に利活用できる空間情報量の増加

④ KGI・KPI

基盤開発が主な取組なため、技術面の KPI を設定し実証に取り組む。本実証では表 4-7-2 に示す KPI 指標の達成状況を実地検証にて測定する。

表 4-7-2 KGI・KPI

観点	KGI	KPI
経済的価値	空間 ID 利活用によりドローンサービス事業者が空間情報を容易に利活用可能であること	- 空間 ID ライブラリに関して、実証エリア（1km²）の範囲の空間 ID の抽出、登録、更新時間：各 1 分以内 - データ登録に関して、実証エリア（1km²）の範囲についてデータ提供者から受領した構造物情報の空間 ID 化に係る時間：1 日以下

		・空間 ID 参照・登録クライアントに関して、利用者がスムーズに目的を達成可能な UI となっていること。：実証エリア（1km ² ）の範囲の空間情報表示 1 分以内 ※なお、プロジェクト関係者（東三河ドローンリバー構想推進協議会）へのアンケート調査等にて評価を行う。
--	--	--

⑥ 実地検証の内容

➤ 概要

開発段階に応じて、空間 ID 汎用ライブラリ、空間 ID 参照、登録 UI を試作、それらを用いた図 4-7-1 に記載の STEP1 から STEP7 までの実地検証を段階的に実施する。STEP1 から 5 については各種データの取込みや、情報連携の検証を行い、STEP6 でヘリコプター、複数のドローンをを用いた総合的な検証を行う。STEP6 の検証では、鉄塔の点検や道路の監視を実施中のドローンが複数存在する状況下で、ヘリコプターが接近、着陸する検証を行う。第一段階として、ヘリコプターが接近した場合にそれを周辺の関係者に通知し、周囲のドローンを着陸させる実証、第二段階としてヘリコプターが接近した場合に、周囲のドローンへヘリコプターを回避する推奨経路を通知し、ドローンが回避空間へ計画変更する実証を行う。STEP6 までを踏まえ、STEP7 では、4 次元時空間情報基盤を活用したビジネスモデルの検証として、ドローン事業者側が 4 次元時空間情報基盤を活用した場合の費用対効果や、事業者側が 4 次元時空間情報基盤を活用した新たなビジネス構築等について、複数の用途を想定し、検証を行う。

➤ 実地検証のゴール

- 【定量】同一エリアでヘリコプター1機、ドローン2機以上の飛行が可能であること。
- 【定性】ドローンの安全な飛行計画の立案が可能であること、空域の安全管理が可能であること。

➤ 測定項目・測定方法

飛行エリア周辺の地理情報、インフラ施設情報、飛行経路情報、ヘリコプター・車両・人流等の動的な移動体情報を、空間 ID フォーマットへ変換した後、下記の項目についてドローンのシミュレーターや実機飛行により評価を行い検証する。

- (1) 空間 ID 汎用ライブラリが充足し円滑に動作すること
- (2) 飛行エリア周辺の地理情報から取得した障害物やグラウンドリスクを回避し、他機と接触しない、リスクの低いルートが生成されること
- (3) ヘリコプター、車両、人流等の位置から動的なリスクを検知し、それらを回避するルートが生成されること
- (4) 上記で生成した飛行ルートについて、複数のシステム間（UTM-GCS）、ドローン間での API による連携を行い安全に飛行できること



図 4-7-1 段階的な実証実験

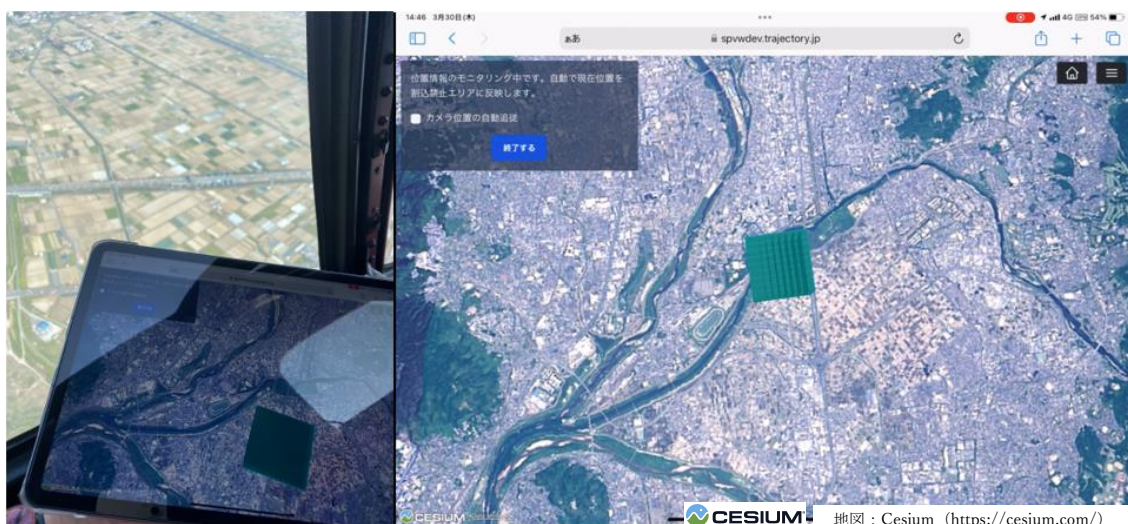
⑦ 実地検証結果

実地検証の結果について以下に示す。

- ・ 実施日 : 2023 年 3 月 7 日
- ・ 実施場所 : 愛知県豊川市御津町
- ・ 実証内容
 - 3D 都市モデル（国土交通省 都市局 PLATEAU）を取り込み、空間 ID を識別子として建物の形状及びグラウンドリスク値を紐づけて管理し、これらを踏まえた飛行経路を設計
 - 複数のシステム間（UTM-GCS）で、空間 ID を識別子とした飛行経路の情報を共有し、衝突しない飛行経路を設計
 - 送電設備点検を想定した実機飛行デモンストレーション
- ・ 実証結果
 - 3D 都市モデルが空間 ID として SDSP・UTM・GCS 上に登録されていることを確認した
 - 空間 ID を用いた UTM/GCS 間 API 連携により、ドローンの位置情報の共有、安全な飛行経路設計が可能となった



- 実施日 : 2023 年 3 月 30 日
- 実施場所: 京都府京都市伏見区
- 実証内容
 - 空間 ID ビューアの飛行禁止エリア機能を使用した iPad 端末をヘリコプターに搭載して飛行し、地上ドローン航行アプリケーション(TRJX Transponder-A)画面への接近検知メッセージを通知
 - 接近検知通知の運用限界と動作安定性の検証
- 実証結果
 - ヘリコプターに搭載した iPad アプリにより位置情報の共有が可能となることを確認した
 - 位置情報の更新間隔やヘリコプターの移動速度等の条件による運用限界を確認した



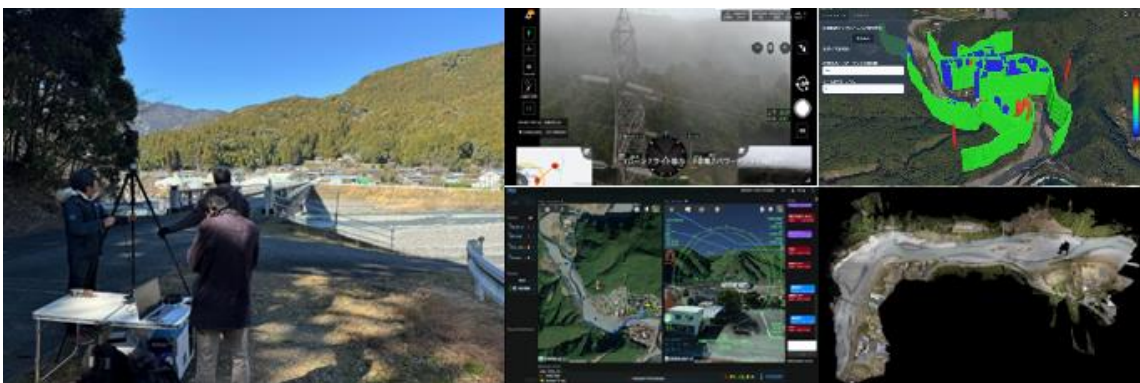
- 実施日 : 2023 年 10 月 12 日
- 実施場所: 愛知県豊川市東上町
- 実証内容
 - 複数機体を用いたシステム間 (UTM-GCS) 連携の確認
 - 機体ごとのセパレーションの違いによる空間占有状況の空間情報反映、複数機体間の航路設計
 - 自治体や民間事業者が所有する住宅や道路、河川敷や送電鉄塔といったグラウンドリスク情報の登録
 - ヘリコプター、複数のドローン (点検、物流、空撮用途) が存在する状況下で、ヘリコプターの接近情報を周辺の関係者に通知し、周囲のドローンが着陸や回避航路空間へ計画変更する等、危険回避の検証
- 実証結果
 - 複数機体を用いたシステム間 (UTM-GCS) 連携により、他機の航路を回避する航路設計が可能となることを確認した
 - 自治体が所有するグラウンドリスク情報が空間 ID として問題なく登録されるこ

とを確認した

- ヘリコプターの接近情報が SDSP からドローンに通知され、危険回避が可能となることを確認した

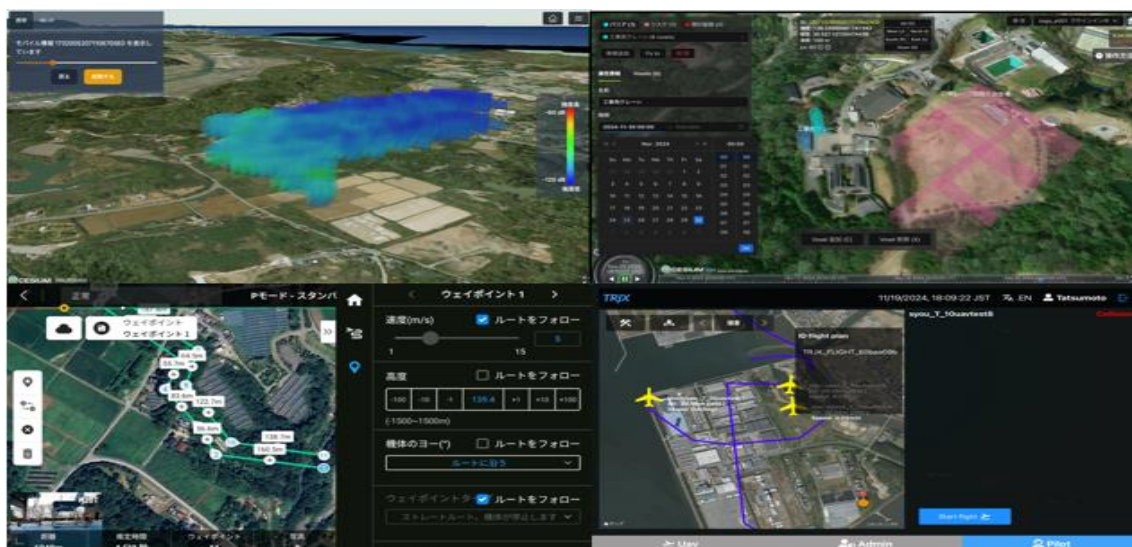


- 実施日 : 2024 年 3 月 26 日
- 実施場所 : 静岡県浜松市天竜区
- 実証内容
 - 河川上空において複数ユースケース（河川巡視、橋梁及び送電線点検）を想定した飛行ルートの整備と飛行実証
 - 自治体が保有する地表、構造物情報、地上カメラによる動的なグラウンドリスクなどの情報取得及び空間 ID への反映確認
 - 人や車両の通貨を地上カメラで検出し、ドローンのオペレーターに向け通知、ドローンを退避させる検証
- 実証結果
 - 空間 ID を活用することで複数ユースケースでの飛行が可能となることを確認した
 - 自治体が保有する構造物情報、動的なグラウンドリスク情報を取得し、空間 ID に反映されていることを確認した



CESIUM 地図 : Cesium (<https://cesium.com/>)

- 実施日 : 2024 年 11 月 28 日
- 実施場所 : 石川県加賀市山田町
- 実証内容
 - ドローンに LTE 通信品質を測定する機材を搭載し、地域の通信品質・通信強度を考慮した空間リスクを設定
 - 自治体（フィールド管理者）によるグラウンドリスクの登録
 - 空間リスク情報を参照したインタラクティブルートの作成検証
 - ADS-B を利用した有人機の位置情報共有
 - リモート ID、DJI cloudAPI を利用した複数組織間の位置情報共有
 - 空間サイズを考慮した安全かつ効率的なポート管理
 - 空間 ID を活用した複数機の衝突検知及び経路逸脱検知の機能検証
 - DJI cloudAPI を活用した映像蓄積機能の確認
 - 3 次元空間情報基盤を活用したドローンビジネスの費用対効果、参入のしやすさなどのビジネスモデルの検証
- 実証結果
 - 観測した通信強度、通信品質を空間リスクとして登録した
 - 自治体によるグラウンドリスク情報が問題なく登録されていることを確認した
 - 登録されたリスクを考慮したインタラクティブルートを作成した
 - ADS-B を利用した有人機の位置情報把握が可能なことを確認した
 - リモート ID、DJI cloudAPI を利用することで、UTM-GCS による接続工程が大幅に削減されることを確認した
 - 離発着地点のセパレーションを上空飛行中より小さくする事で、空間の効率的な利用を実現しながら安全性を担保できることを確認した
 - 空間 ID を活用し飛行中の衝突検知及び経路逸脱検知が可能なことを確認した
 - DJI cloudAPI により、撮影データがクラウド上に保存され、地図上で関連付けて保存されていることを確認した
 - 3 次元情報基盤を活用することで、ドローンビジネスへの参入障壁が下がることを確認した



CESIUM 地図 : Cesium (<https://cesium.com/>)、Apple マップ (<https://www.apple.com/jp/maps/>)

⑧ 実証スケジュール

実証スケジュールについて表 4-7-3 に示す。

表 4-7-3 実証スケジュール

実施時期	実証項目
2022 年度	STEP1: 地形・構造物情報の取込み検証 STEP2: 空間 ID を用いた UTM・GCS 間 API 連携実証 STEP3: ヘリコプターの位置情報提供実証
2023 年度	STEP4: 複数ドローンを用いたバリエーション検証 STEP5: 花火等を想定した準動的情報の登録検証 STEP6: ヘリコプター、複数ドローンを用いた総合検証
2024 年度	STEP7: 複数エリア、複数事業者によるビジネスモデル検証

※ 試作した空間 ID 汎用ライブラリ、空間 ID 参照・登録 UI を用いて実施する各段階の実証実験で得られた結果は、研究開発へフィードバックし、高速で PDCA サイクルを回し性能改善・品質向上を実施する。

4.8. 点検ユースケース（宇宙サービスイノベーションラボ事業協同組合、株式会社ゼンリン、LocationMind 株式会社、Intelligent Style 株式会社、スウィフト・エクスアイ株式会社）

① 実証の概要

現状のドローン運用では、飛行経路をオペレータの経験と勘で設計し、現地に赴き障害物や周辺の交通量等を調査することで最終的な飛行計画を決定しており、設計から計画決定、実際の飛行開始まで数日～数週間の時間を要している。また、2022 年 12 月の改正航空法の施行により、都市部における目視外飛行（レベル 4 飛行）が解禁され、今後、第三者上空を飛行するドローンが劇的に増加することが見込まれる。ドローン物流や災害時の物資輸送等の即時性や緊急性が求められる運航にあたっては、迅速に安全な飛行経路を設計することが重要となる。また、複数のドローンを同時に運航するような形態の場合、人手による飛行経路計画の作成には多大な労力が生じる。

本実証で開発する 4 次元時空間情報基盤を用いて、ドローンの安全飛行に係る空中・地上・地下の 3 次元空間における移動体（ドローンや自律移動ロボット等）やインフラ等の動的・静的かつ多種多様な空間情報を空間 ID との連携により統合し、計画した飛行経路の安全性を定量的に評価するシステムを開発する。評価結果は、様々な地図基盤へ API を介し、空間 ID を付与して提供することを可能とする。また安全性の評価は、ドローン運航に係るリスクアセスメントのガイドラインである JARUS「SORA (Specific Operation Risk Assessment)」を参考としつつ、地上リスクと空中リスクをより定量的に評価するため、地上のヒトやクルマの集積情報、車線数や幅、歩道の有無等の地理空間情報等を組み合わせる機能となる。安全性の評価結果は、様々な地図基盤へ API を介し、空間 ID を付与して提供することを可能とする。加えて、人流ビッグデータを用いて評価システムの算出結果の精度向上技術を開発・検証する。また、都市部・地方部の実フィールドによるドローン飛行を通じて、飛行経路の安全性と空間 ID の有用性を評価する。

② 背景課題

ドローンの飛行経路について既存では人力で勘と経験だよりにより地形や地物や気象、他の機体の経路等の様々な要因を考慮し経路設計を行うため人力で一定の品質を持った複数経路の作成が難しい。そのため様々な情報を加味した経路を作成し、複数台のドローンの経路を自動で計算する仕組みが必要である。重要なのは高さ情報なので、例えば空間ボクセルの地物(鉄塔・電線・アンテナ・木など)情報により飛行高度を計算できれば方向性が見えてくる。また作成した経路の安全性について定量的に評価する仕組みが必要である。

③ アウトカム

本ユースケースが社会実装された際に創出されるアウトカムは以下の想定である。

表 4-8-1 アウトカム

観点	アウトカム
社会的価値	- 効率的かつ安全なドローン運航 - ドローン運航区域/ルートの拡大や高頻度の運航
経済的価値	- ドローン活用のコスト低下 - ドローン適用可能な業務範囲の拡大

④ KGI・KPI

本実証では下記に示す KGI の達成を目標に、実地検証にて KPI 指標の達成状況を測定する。

表 4-8-2 KGI・KPI

観点	KGI	KPI
社会的価値	- 空間ボクセルの地物（鉄塔・電線・アンテナ・木など）の高さ情報により安全な飛行計画の立案 - 早期かつ広域にわたる被害情報を収集し、空間 ID に反映・連携させ、自衛隊や消防などの災害対応機関の進出・避難経路の確保に資するリスクマネジメントシステムの妥当性確認とフィードバック - フライトログ情報の更なる収集・蓄積	- 安全運航に係るデータの収集 a) 主要なフライトログ情報の選別・収集 b) 実証飛行データの結果からリスク・懸念等を洗い出し、リスク要因を分析。
経済的価値	- 点検工数（時間）の削減 - ドローン活用による総コスト削減	- 特定実証地を対象に空間情報基盤を構築 - 運航リスク評価 Web システムとデータ提供 API を実装 - ドローンの実験飛行及び他の地図基盤への空間 ID 連携によるデータ提供し、評価

⑤ システムアーキテクチャ

本ユースケースのシステムアーキテクチャについて図 4-8-1 に示す。

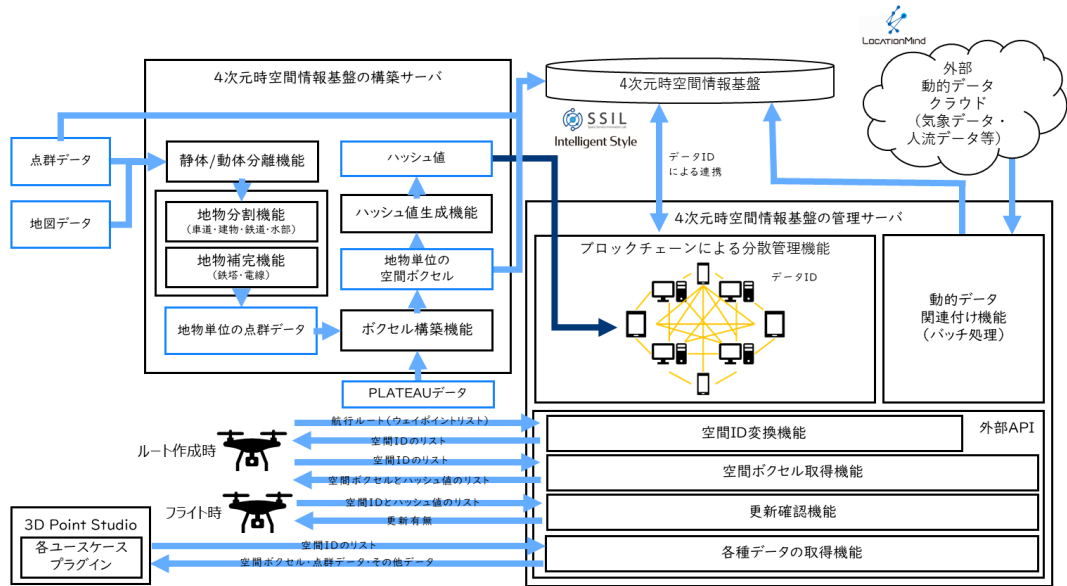


図 4-8-1 4次元時空間情報基盤の全体像

⑥ 実地検証の内容

2024 年 11 月 23 日に静岡県川根本町において、4次元時空間情報基盤と連携したリスクアセスメント・システムを活用し、ドローン飛行における空間 ID の有用性を検証する実証実験を行った。空間 ID を利用することにより、ドローンの安全な飛行経路計画を立案するための確認工数（時間）が短縮化され、災害時の第一次対応に有用なデータ収集が容易になるか否かを検証する。

⑦ 実地検証結果

4次元時空間情報基盤から、空間 ID を連携したリスクアセスメント・システムの活用により、飛行経路の地形や地物の高さ等によるリスクを、早急に把握することができた。従来の手作業で計画する場合より、短時間で安全な経路を策定することが可能となり、空間 ID の有用性が確認された。加えて、空間 ID 連携により、既存データでは圧縮により不可視であった地物との衝突リスクを把握でき、より安全な飛行経路を策定することが可能となった。

⑧ 実証スケジュール

実証スケジュールについて表 4-8-3 に示す。

表 4-8-3 実証スケジュール

実施時期	実証項目
2022 年度	運航リスク評価Webシステム等とのAPI 連携を想定した実証飛行の評価方法・シナリオを決定し、候補地・許認可機関との調整を行い、実現

	可能な実証飛行計画を具体化する。
2023 年度	試作段階の運航リスク評価 Web システム等から得た飛行経路と回転翼機運航の知見を活かした分析・検証を実施する。機体別に多くのデータ取得を目指す。
2024 年度	実証飛行データを分析し、社会実装に向けたリスク・懸念点等の洗出しを実施する。

⑨ アーキテクチャにおける本実証の対象レイヤとプレイヤの役割

本実証の対象となるレイヤと関連するプレイヤをマッピングしたアーキテクチャマップを図 4-8-2 に示す。

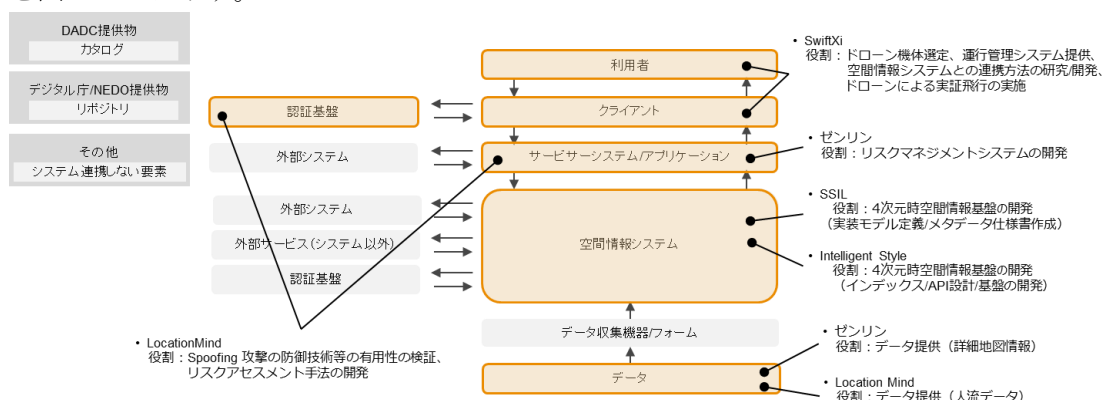


図 4-8-2 アーキテクチャマップ

4. 9. 信号認証技術による Spoofing 脅威の低減に関する技術検証 (LocationMind 株式会社)

※本実地検証については、4. 8 節記載の点検ユースケースにて実施した検証である。

① 実証の概要

本実証でドローンの飛行中のなりすましや飛行履歴の改ざん等の Spoofing 脅威への対策となる信号認証技術を開発・検証する。

② 背景課題

空間 ID の利活用においては、鉄塔・電線・アンテナ・樹木などの物理的に可視な要素だけでなく、電波のような「目に見えない情報」を格納することにも価値があると考えられる。例えば、妨害電波が発生しているエリアはドローンの飛行にとって危険となる可能性があるが、その情報をボクセルで表現することで、より安全な飛行計画を立案できることが期待される。

目に見えないリスク要因は多岐にわたるが、近年特に問題視されているのが、位置情報の偽装行為「Spoofing」である。Spoofing とは、本来の位置とは異なる場所にいるように位置情報を偽装・改ざんする技術であり、近年では世界各地の紛争地帯などで広範囲にわたる Spoofing 行為が確認されている。この影響で、無防備な端末の位置情報が狂い、ドロ

ーンや航空機の航行に支障をきたすケースも発生している。

Spoofing リスクは、発生する場所や時間が一定ではなく、常に変化する。このため、リスク対策としては、最新情報を迅速に更新・検索できることが不可欠であり、また変化するリスクに対応するには、情報を動的に管理できる仕組みが求められる。こうした観点からも、空間 ID 基盤との親和性が高いと考えられる。なお、下図のように、Spoofing リスクが存在するエリアをボクセル上に表現することを想定している。

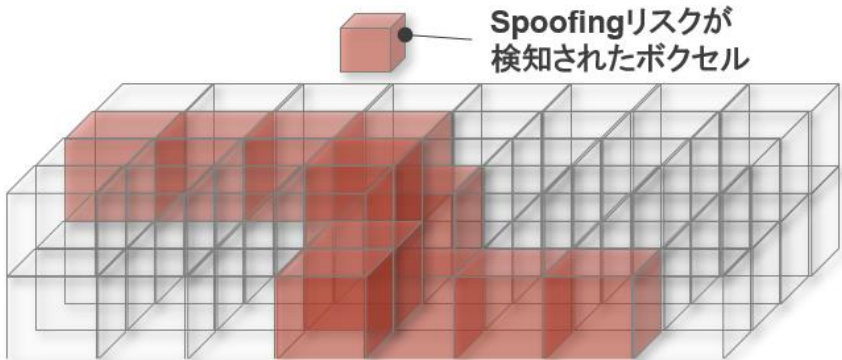


図 4-9-1 Spoofing リスクの可視化イメージ

一方で、Spoofing 信号は目に見えず、偽装行為自体も密かに行われるため、リスクの存在そのものを検知することが困難であり、確立された検知技術は存在しない。そこで本実証では、信号認証技術を用いた Spoofing リスク検知手法の有効性を検証した。具体的には、信号認証技術を搭載したドローンを開発し、Spoofing リスクの検知が可能か、またドローンが Spoofing を検知するセンサーとして機能するかどうかを検証した。これにより、将来的に 4 次元時空間情報基盤への連携可能性を検討するための示唆を得ることができる。

③ アウトカム

本ユースケースが社会実装された際に創出されるアウトカムは以下の想定である。

表 4-9-1 アウトカム

観点	アウトカム
社会的価値	• Spoofing 攻撃の対策によりドローン飛行の安全性を向上 • 位置情報記録を基にした実際の飛行経路の信頼性を担保

④ KGI・KPI

本実証では下記に示す KGI の達成を目標に、実地検証にて KPI 指標の達成状況を測定する。

表 4-9-2 KGI・KPI

観点	KGI	KPI
社会的価値	• Spoofing 攻撃に起因するドロー	• 測位可能な環境で衛星の信

	ン飛行の事故率の低減	号認証の成功率 ➤ [信号認証に成功した GNSS 衛星数] ÷ [信号認証に対応した、航法メッセージを受信できる GNSS 衛星数] ・ 信号認証された衛星に対応する Spoofing 信号の検知率 Spoofing 信号が存在する環境下における信号認証の成功率
--	------------	--

⑤ システムアーキテクチャ

本ユースケースのシステムアーキテクチャを図 4-9-1 に示す。

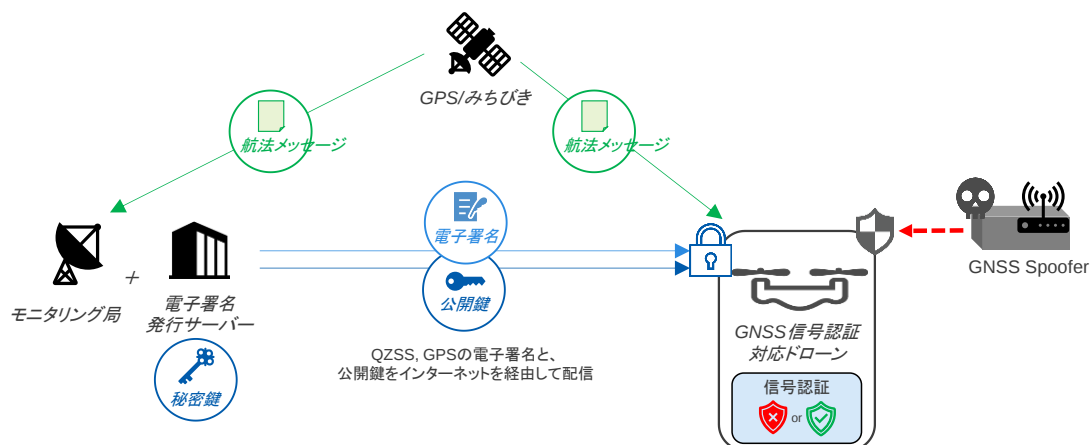


図 4-9-2 システムアーキテクチャ

⑥ 実地検証の内容

➤ 概要

ドローンに対する Spoofing 脅威を低減するために、根本的な対策の 1 つとなり得る信号認証の有用性を検証する。具体的には、前述のドローン地上実験や飛行実験において、Spoofing を実行（GNSS の偽装信号を発信）し、LocationMind 社が保有する信号認証技術の導入によって Spoofing を検知できることを実証する。準天頂衛星の試験放送が間に合えば準天頂衛星からの認証信号の利用実験を行う。これによりわが国とその周辺に関して認証技術がドローンの安全飛行や社会受容性の向上に適用できることを示す。

➤ 実地検証のゴール

Spoofing によりドローンの位置情報が偽装されることを確認する。更に、信号認証搭載のドローンを活用し、飛行ドローンに対する Spoofing 実験を通じて、対 Spoofing 性能となる Spoofing の検知成功確率を数値化することを目指す。

➤ 測定項目・測定方法

- 実験室・机上での検証

- ・ 概要：

実験室・机上で Spoofing リスクやその防御手段としての信号認証の効果、それらの活用によるリスク評価を行う。
- ・ 詳細：

ドローンに搭載されうる GNSS 受信機・慣性航法装置に対し実際に Spoofing を行い、Spoofing の実現可能性を検証すると同時に、飛行中のドローンに Spoofing が実際に起きた際のリスクシナリオの棚卸を行う。更に、信号認証技術を実装することで、Spoofing を実際に検知できることを検証する。また、列挙したリスクシナリオに基づき、実際の飛行時の Spoofing リスクを評価する。

ii. 屋外での実機検証

- ・ 概要：

屋外の飛行実験場にて、実際の飛行ドローンに対して Spoofing 及び信号認証実証を行い、耐 Spoofing 性能を検証すると同時に、飛行リスクマネジメントシナリオを検討する。
- ・ 詳細：

Spoofing のリスクシナリオをもとに Spoofing 及び信号認証の実証を行い、Spoofing の未然防止策、また発生した際の対応策について検討する。

なお、上述の実証検証においては、主に図 4-9-1 システムアーキテクチャで提示したインターネット経由での信号認証システムを活用したが、2024 年度から実装が始まった準天頂衛星システムでの信号認証の有用性の検証も実施した。

⑦ 実地検証結果

信号強度を変化させながら 複数回の Spoofing 及び信号認証の検証を行い、「信号認証の成功率」を数値化した上で、信号認証技術を活用した Spoofing 検知の実現可能性について検証した。

一般に Spoofing の影響を受けると、受信機が偽装された信号をもとに誤った位置情報を計測してしまう。これは、Spoofing 信号の強度が、正しい測位信号（GNSS 衛星から配信される信号）の強度よりも十分に大きくなった場合に発生する。一方で、信号認証は正しい測位信号を受信できている場合に成功するため、Spoofing 信号の影響が強くなると、信号認証は成功しなくなる。そのため、Spoofing 信号の強度を段階的に変化させながら、信号認証の成功率の推移を検証することで、Spoofing 信号の存在を検知できるかどうかを確認した。

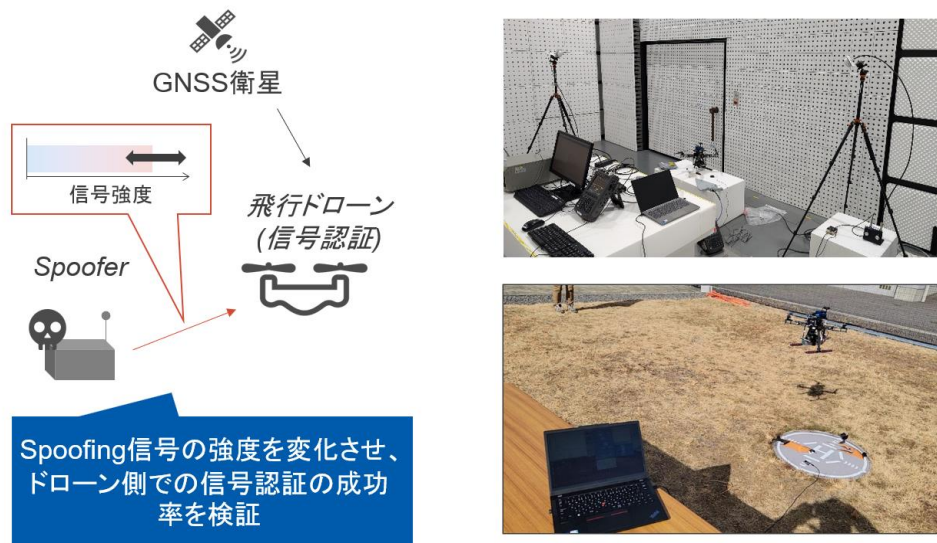


図 4-9-3 実証実験概要

実験の結果、測位可能な環境で信号認証の成功率は平均的に 95%と、ノイズの存在等を加味しても十分高い成功率を得られた。さらに、信号認証された衛星に対応する Spoofing 信号の検知率として、Spoofing 信号の強度が一定の閾値を超えると、信号認証の成功率が 10%程度まで下回ることが確認された。本実験環境では、Spoofing 信号と正しい測位信号（GNSS 衛星から配信される信号）の受信時の信号強度の差が 15dB 付近に達した時点で、信号認証の成功率が大幅に低下した。なお、一般的に、Spoofing によって位置が偽装されやすくなる信号強度は 30dB 以上とされており、本実験結果からも、Spoofing の影響を受ける前にその存在を検知できる可能性が示唆された。なお、今回の結果は本実験環境で得られた目安の値であり、実際には周辺環境、積分期間、送信電波の信号強度などによって変化する。

実験結果：
Spoofing信号強度に対する信号認証の成功率

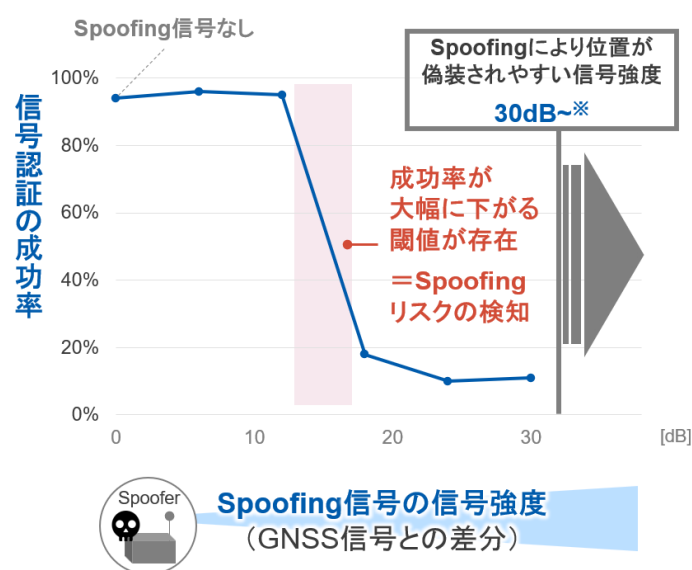


図 4-9-4 実験結果：Spoofing 信号強度に対する信号認証の成功率

⑧ 実証スケジュール

実証スケジュールについて表 4-9-3 に示す。

表 4-9-3 実証スケジュール

実施時期	実証項目
2022 年度	市販の GNSS 受信機や慣性航法装置等への Spoofing 攻撃実験を行い、リスクを評価する。
2023 年度	GNSS 受信機等への地上実験を通じて信号認証技術による防御可能性を実験的に評価する。同時に、防御されていないドローンの飛行リスクをリスクマネジメント手法に反映する。
2024 年度	ドローンの実験飛行により Spoofing 攻撃のリスクを評価し、リスクマネジメント手法に Spoofing リスク評価を実装する。準天頂衛星システムによる信号認証の有用性も検証する。

4.10. 教育ユースケース（宇宙サービスイノベーションラボ事業協同組合、株式会社ゼンリン、Intelligent Style 株式会社）

① 実証の概要

法政大学の「デジタルツインを用いた都市調査・解析に係わるデータサイエンティスト育成事業」と連携し、3D 都市モデル PLATEAU に空間 ID に基づく点群データや人流ビッグ

データを重畳・空間解析・可視化できる演習用のシステムを開発する。また開発した教材システムについては、同大学デザイン工学部の都市データサイエンスに係わる学科目に導入する。

② 背景課題

昨今の教学分野においては、産業 DX をけん引する高度専門人材育成が鋭意推進されている。空間 ID により多くのデータがリアルタイム連携できる環境を利用して様々な利活用を拡げるためには、人材育成についても大学での教育プログラムと一体となって展開する必要がある。

③ アウトカム

本ユースケースが社会実装された際に創出されるアウトカムは以下の想定である。

表 4-10-1 アウトカム

観点	アウトカム
経済的価値	—
社会的価値	産業 DX をけん引する高度専門人材の増加

④ KGI・KPI

本実証では下記に示す KGI の達成を目標に、実地検証にて KPI 指標の達成状況を測定する。

表 4-10-2 KGI・KPI

観点	KGI	KPI
経済的価値	—	—
社会的価値	産業 DX をけん引する高度専門人材の増加	導入科目数
		導入科目の受講者数

⑤ システムアーキテクチャ

事業者の意向で外部公開できないため、記載を省略。

⑥ 実地検証の内容

➤ 概要

法政大学市ヶ谷キャンパスをコアエリアとしたデータサイエンスの演習教材を作成し、同大学デザイン工学部都市環境デザイン工学科の学科目にて試行する。試行の上で本格導入し、導入後も継続して受講学生の声や要望を基に教材のブラッシュアップや 4 次元時空間情報基盤のアップデートを行い、教育環境をより充実させる予定である。

➤ 実地検証のゴール

データサイエンス教材を1科目以上導入し、50名以上の受講者数をゴールと設定する。

➤ 測定項目・測定方法

法政大学デザイン工学部都市環境デザイン工学科での導入科目数を計数し、また、受講者数は、最終成績評価時の受講者数を計数する。

⑦ 実証スケジュール

実証スケジュールについて表4-10-3に示す。

表4-10-3 実証スケジュール

実施時期	実証項目
2022年度	実証項目なし（2023年度より実証開始）
2023年度	法政大学デザイン工学部都市環境デザイン工学科の学科目にて試行
2024年度	同大学デザイン工学部都市環境デザイン工学科の学科目にて本格導入

⑧ 実地検証結果

2023年度は、図4-10-1のとおり、法政大学デザイン工学部都市環境デザイン工学科の測量実習（受講者約90名）において、同大学市ヶ谷キャンパスの屋内外の点群データの計測を行い、それら点群データを地物毎に空間IDを付与した。また、CAD実習において、点群データを活用した景観デザインを試行した。

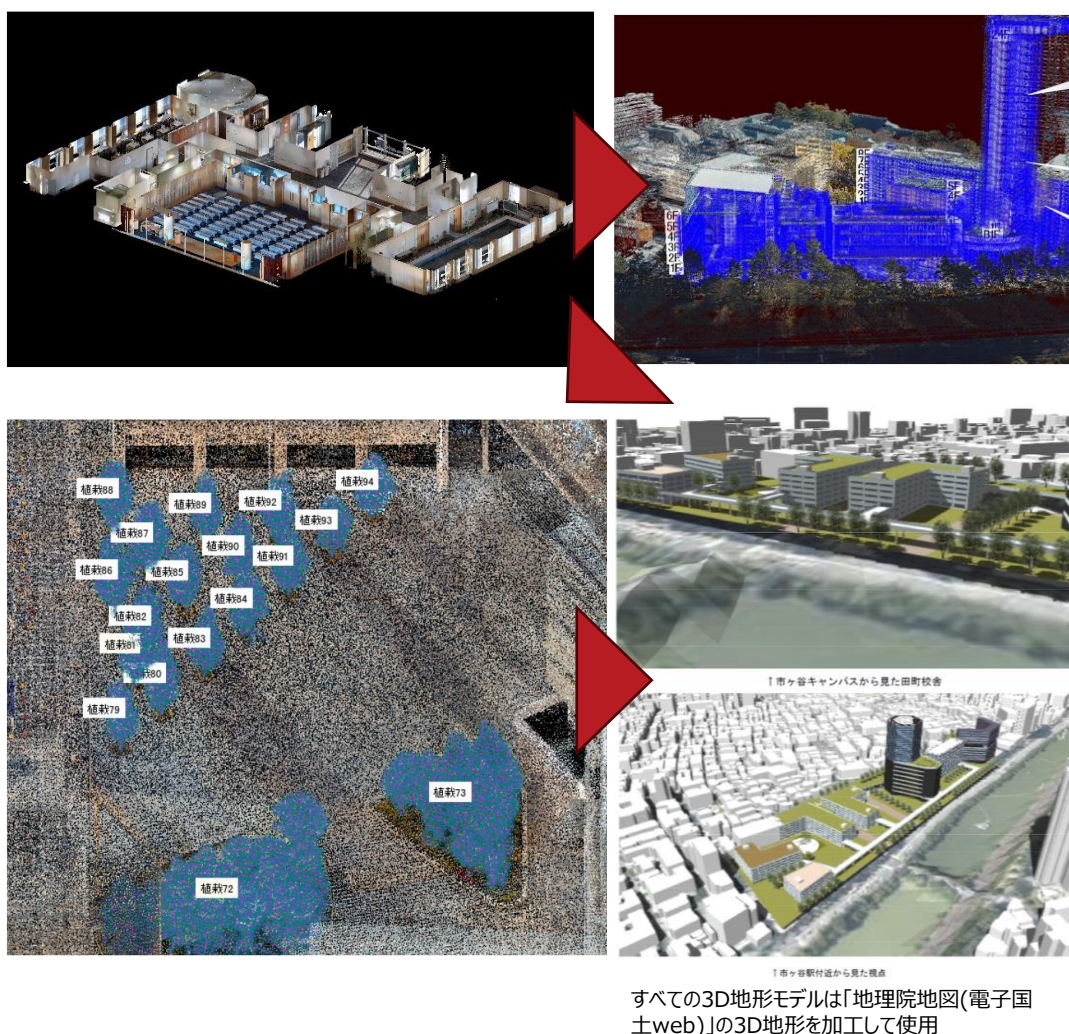


図 4-10-1 演習内容

2024 年度は、図 4-10-2 のとおり、法政大学デザイン工学部都市環境デザイン工学科の測量学演習 X・Y の第 13 回授業（1 月 20 日 2 限目に開講）に 4 次元時空間情報基盤を用いた教育教材を本格導入した。受講生 26 名はおおよその位置だけわかる地図と写真が与えられ、そこから 3 次元空間上でどこを点検した写真かを推測した。その後、法政大学キャンパス内を空間 ID で整備したデジタルツイン環境上で、それらの位置を確認し、空間 ID による空間把握の容易さを体験した。実際に、受講生がデジタルツイン環境上で空間 ID に点検写真を関連付けた例を図 4-10-3 に示す。



図 4-10-2 演習内容

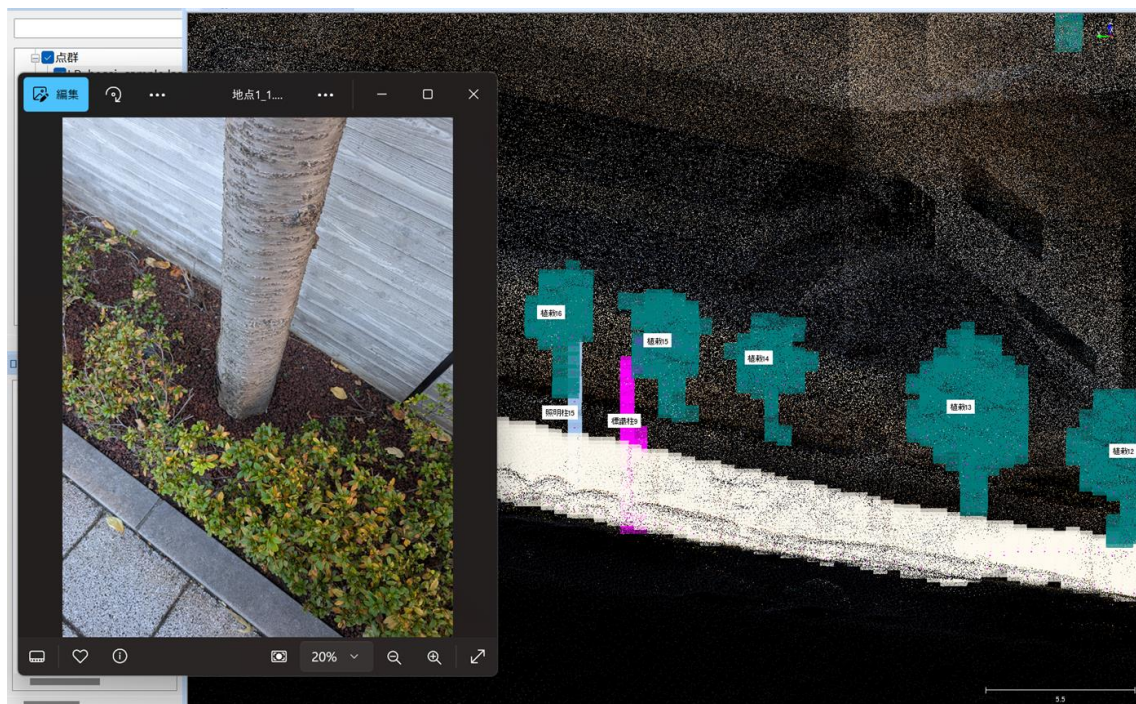


図 4-10-3 受講生の課題の提出結果例

⑨ アーキテクチャマップとの紐づけ

本実証の対象となるレイヤと関連するプレイヤをマッピングしたアーキテクチャマップを図 4-10-4 に示す。

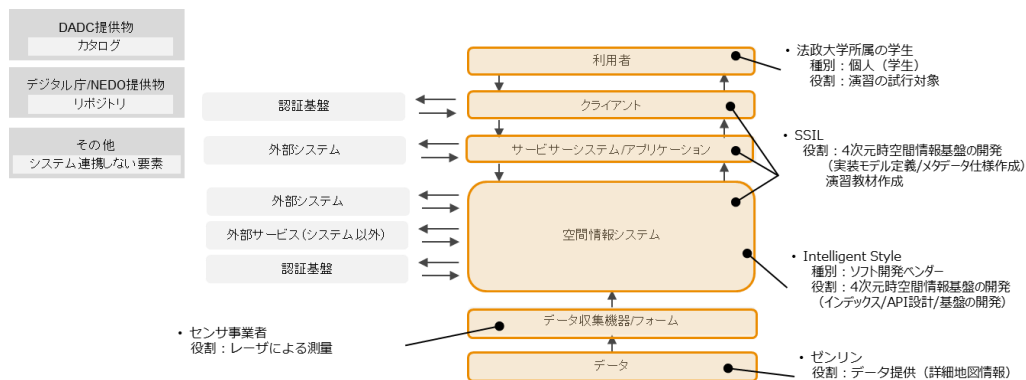


図 4-10-4 アーキテクチャマップ

4.11. インフラ管理ユースケース（宇宙サービスイノベーションラボ事業協同組合、株式会社ゼンリン、Intelligent Style 株式会社）

① 実証の概要

静岡県の点群データに空間 ID を付与したデジタルツインを構築し、そのデータ管理の安全性、地物の識別精度を確認する。そして、空間 ID に対応したインフラ管理システムとして、現地調査アプリおよび 3D Point Studio を改良する。さらに、平常時・災害時の利用シーンの実証実験を実施して有用性を検証する。特に、平常時は、点検時に計測した点群データをデジタルツインに反映し、変状を解析するインフラモニタリングを試行する。異常時は、前項のドローンの飛行実験の調査結果をデジタルツインに反映し、かつ点群データの空間解析による災害査定を試行する。

② 背景課題

道路や河川など公共構造物の管理の高度化を図るために、航空機や車両に搭載したレーザで測量した点群データが活用されている。具体例として、静岡県では、県内全域を対象に航空レーザ測量を実施し、点群データに基づくデジタルツイン環境を構築されている。現在は、デジタルツインの平常時（インフラモニタリング）や異常時（災害査定等）への活用方策が検討されている。このデジタルツインに空間 ID を適用することにより、各活用方策に加えて、点群データの更新サイクルに応じたデータ管理の効率化等が期待できる

③ アウトカム

本ユースケースが社会実装された際に創出されるアウトカムは以下の想定である。

表 4-11-1 アウトカム

観点	アウトカム
社会的価値	● 空間 ID に基づいたデジタルツイン環境を構築 ● デジタルツイン環境をインフラ管理業務にて活用可能なツールの構築
経済的価値	● ブロックチェーンに基づいたセキュアなデータ管理の仕

	組みを実現 ● 任意の空間への点検結果等の紐づけとそれらの高速な空間検索を実現
--	--

④ KGI・KPI

本実証では下記に示す KGI の達成を目標に、実地検証にて KPI 指標の達成状況を測定する。

表 4-11-2 KGI・KPI

観点	KGI	KPI
社会的価値	- 空間 ID に基づいたデジタルツイン環境の構築 - 空間 ID 対応版現地調査アプリの構築	- 地物を識別した空間 ID の数 - デジタルツイン環境の構築時間
経済的価値	- 任意の空間、地物への点検結果等の紐づけとそれらのセキュアな管理と高速な空間検索の実現 - 空間 ID 対応点検結果データベースの実現	- インフラ点検データの検索時間 - 現地調査アプリとの連携可否

⑤ システムアーキテクチャ

本ユースケースのシステムアーキテクチャを図 4-11-1 に示す。

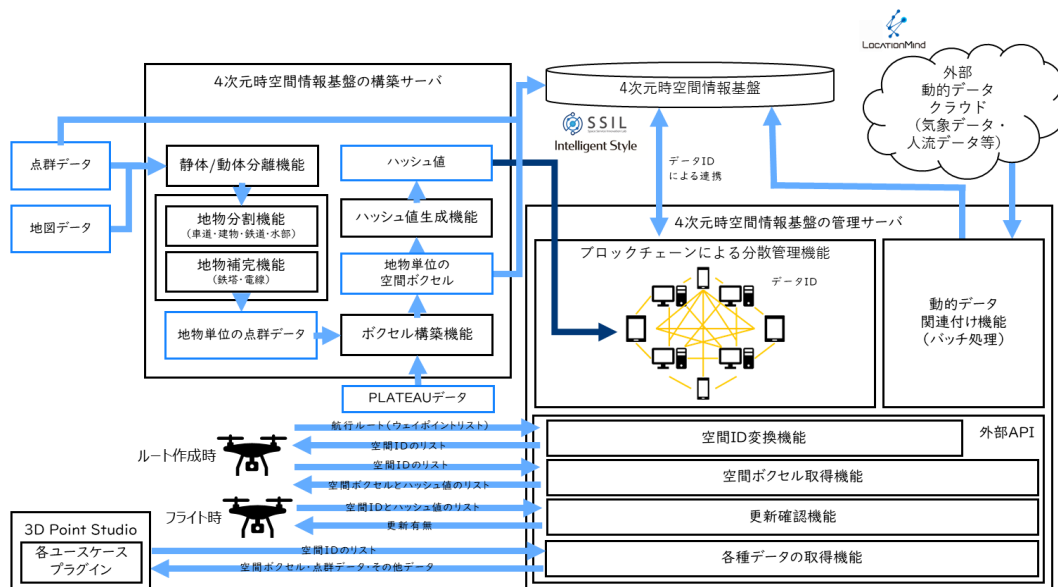


図 4-11-1 4次元時空間情報基盤の全体像

⑥ 実地検証の内容

【空間情報の原本性保証・トレーサビリティ確保の評価】

➤ 概要

本評価では、4次元時空間情報基盤上に蓄積されたデータをブロックチェーンを用いてセキュアに管理できているか確認するため、空間IDごとに分割された点群データから生成したハッシュ値（原本ID）を用いて、基盤上のデータの原本性が外部で流通しているデータで失われていないかを検証する。このとき、原本IDは空間IDと紐づけてブロックチェーンを用いた分散協調台帳上で管理しており、外部からの改ざんができないものとする。

➤ 実地検証のゴール

空間IDを付与した静岡県下のデジタルツイン環境上で、原本となる点群データ、原本と同一の点群データと原本に変化を加えた点群データのそれぞれから発生させた原本IDを比較することで原本性を保証可能とすることをゴールと設定する。

➤ 測定項目・測定方法

本評価では、一般財団法人日本建設情報総合センターの社会基盤情報標準化委員会に設置された「点群データ等の3次元情報のオープン化に関わる標準化検討小委員会」（以下、点群データ等の3次元情報のオープン化に関わる標準化検討小委員会）で検討されている仕様に基づいて、原本性を保証できているかを確認する。ハッシュ値の生成の際には、下図に示すように、点群データ全体を囲む空間IDのボクセルを8分割し、そのボクセル内の点の有無を確認する。このとき、ボクセル内に点が含まれるボクセルは更に8分割し、含まれないボクセルはそれ以上細分化しない。これを指定された空間IDのズームレベルまで分割するまで繰り返す。そして、ズームレベルごとにボクセル内の点の有無を文字列化する。最後に、この文字列からハッシュアルゴリズムを用いて原本IDを生成する。このとき、利用するハッシュアルゴリズムは、CRYPTRECで公開されている電子政府推奨暗号リストを参考にSHA256を用いるものとし、原本IDを比較するズームレベルは28とした。この原本IDが点群データ間で同一の場合は原本のままのデータ、異なる場合は原本性が失われたデータと判断する。

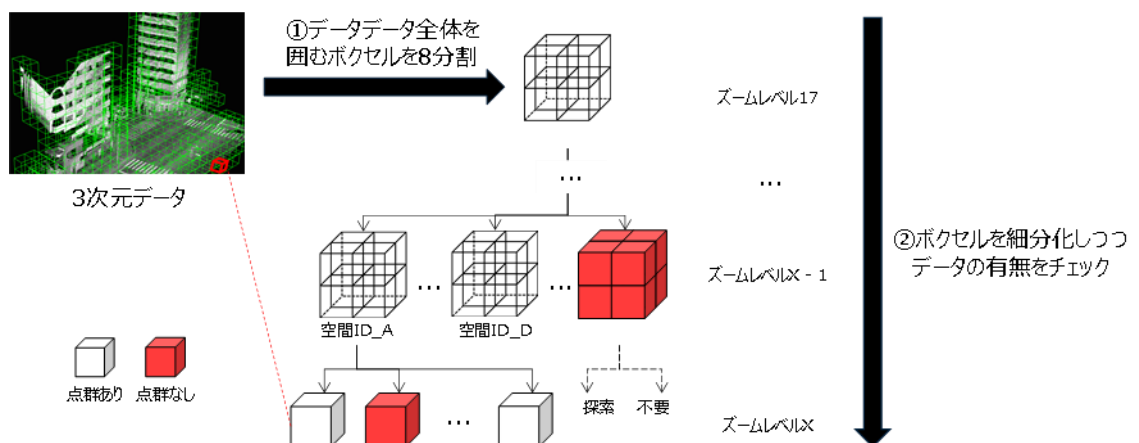


図 4-11-2 点群データからのハッシュ値（原本 ID）の生成方法

【4次元時空間情報基盤の地物識別精度の評価】

➤ 概要

4次元時空間情報基盤は、点群データをゼンリン地図およびAIに基づいて地物識別し、地物ごとの構築された空間ボクセルにより構築されている。本事業では、点群データとゼンリン地図を重畳することで、地物を識別する技術と、AIに基づいて点群データのみから地物を識別する技術を開発した。前者の技術により構築した高精度な地物ごとの点群データに基づいてAIを学習することで、ゼンリン地図に依存しない汎用的な識別技術の構築が可能である。

そこで、本評価では、4次元時空間情報基盤の土台となるゼンリン地図に基づいた地物識別結果についてその精度を確認する。

➤ 実地検証のゴール

空間IDを付与した静岡県下のデジタルツイン環境の構築をゴールと設定する。

➤ 測定項目・測定方法

デジタルツイン環境の構築においては、自動での地物識別によるデジタルツインの空間IDの数や、その構築時間を計数する。また、ランダムサンプリングした図郭における地物識別精度を手動の結果と比較することで、適合率・再現率・F値を評価する。

【4次元時空間情報基盤を活用したインフラ管理システムの評価】

➤ 概要

本評価では、点検時に計測した点群データをデジタルツインに反映し、変状を解析するインフラモニタリングを試行する。本事業では、4次元時空間情報に蓄積された地物ごとの空間ボクセルを可視化するための空間ID対応版3D Point Studioを開発した。さらに、空間IDに対応した現地調査アプリを構築した。現地調査アプリを用いることで、現地にてシームレスに空間IDにアクセスし、点検結果を関連付けることができ、それらを空間ID対応版3D Point Studioにて閲覧することができる環境を実現した。

➤ 実地検証のゴール

空間ID対応版3D Point Studioやそれらと連携した現地調査アプリによるインフラ管理システムの実現と、点検業務の効率化をゴールと設定する。

➤ 測定項目・測定方法

静岡県において、実際の法面の点検業務をインフラ管理システムにより実施し、インフラ点検従事者を対象としたヒアリングにより、本システムの有用性を評価する。

⑦ 実証スケジュール

実証スケジュールについて表4-11-3に示す。

表 4-11-3 実証スケジュール

実施時期	実証項目
2022年度	実証項目なし（2023年度より実証開始）
2023年度	静岡県の点群データに空間IDを付与したデジタルツインの構築
2024年度	平常時・災害時における利用シーンの実証実験を実施し有用性を検証

⑧ 実地検証結果

【空間情報の原本性保証・トレーサビリティ確保の評価】

原本データと細かなノイズが除去されたり、一様間引きされ、原本性が失われたデータと、異なるソフトウェアで保存され、点列の保存順序が異なるものの位相は同一の原本性のあるデータの3種類を対象に評価した結果を下図に示す。



図 4-11-3 ハッシュ値を用いた原本性の確認

図を確認すると、原本性が失われた点群データでは、異なる原本 ID が生成され、保存順序が異なるものの位相は同一な点群データでは、同一の原本 ID が生成されていることがわかる。本原本 ID は空間 ID に紐づけてブロックチェーン上で管理されており、改ざんができないものとなっている。そのため、4 次元空間情報基盤上のインフラデータの更新の要否の判断や、外部で流通している基盤発祥のインフラデータの信頼性の確認の際に、本原本 ID を用いて照合することで、原本性を保証可能なものとなっており、「点群データ等の 3 次元情報のオープン化に関わる標準化検討小委員会」で検討されている仕様に基づいて、原本性を保証できていることがわかった。以上のことから、ブロックチェーンと原本 ID の仕組みを導入することで本基盤上でセキュアにインフラデータを管理できることを確認できたといえる。

【4 次元時空間情報基盤の地物識別精度の評価】

ゼンリン地図に基づいた地物識別技術を開発し、図 3-2-4 のとおり、静岡県静岡市において空間 ID レベル 17 で約 2,000 空間（東京ドーム約 3,000 個分）を対象に、約 4 日で建物・鉄道・水部・鉄塔・電線・道路の 6 地物の空間 ID を整備した。これにより、図 3-2-5 のように任意の地物空間に対して、データの紐づけや、高速な検索が可能な環境を実現した。

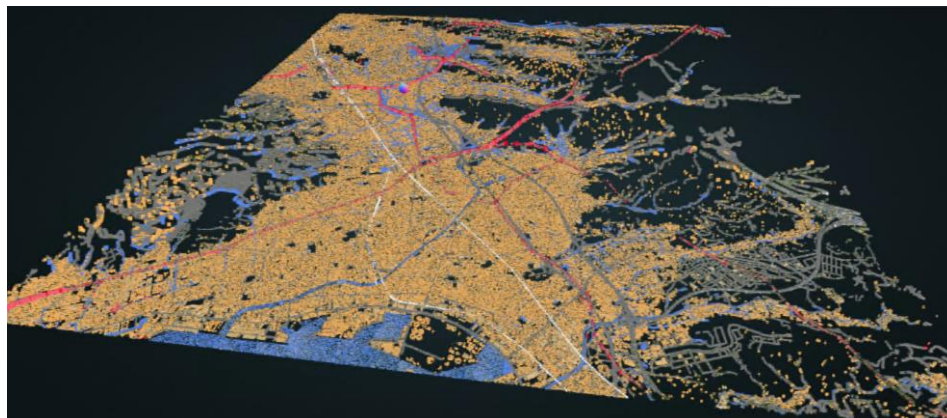
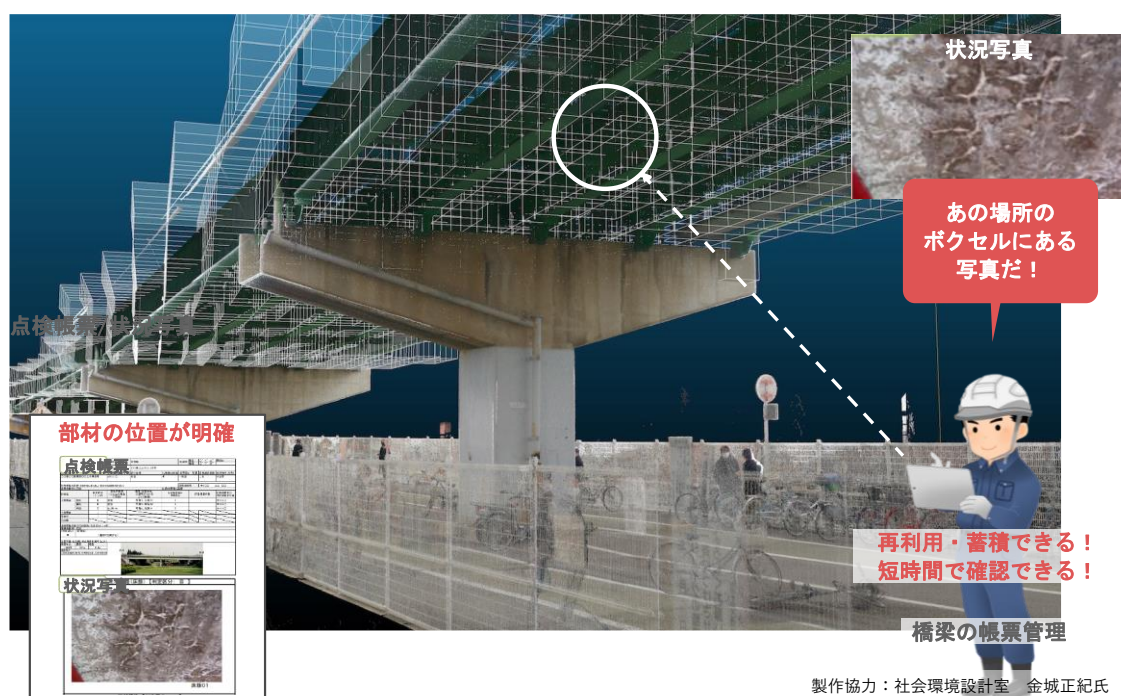


図 4-11-4 静岡県下のデジタルツイン環境



製作協力：社会環境設計室 金城正紀氏

図 4-11-5 デジタルツイン環境を活用した点検時のデータ検索イメージ

ランダムサンプリングした図郭における地物識別精度を確認すると、道路、水部、鉄塔・電線は確実に抽出できることがわかった。しかし、建物はF値が0.99と高精度に抽出できるが、抽出漏れがあり再現率が0.98とわずかに低下している。この原因を確認すると、図4-11-6に示すとおり、地図に建物が記載されていないことに起因したものであった。このことから、地図データが正確であれば、確実に地物を抽出できることがあきらかとなった。



図 4-11-6 4次元時空間情報基盤の構築範囲

【4次元時空間情報基盤を活用したインフラ管理システムの評価】

空間 ID 対応版 3D Point Studio の開発結果を図 4-11-7 に示す。本システムは、点群データのみならず、4 次元時空間情報基盤からネットワークを経由して任意領域の空間ボクセルをインポート及び可視化できる。また、任意の空間ボクセルに対してファイルに関連付けたり、関連付いたファイルを開覧できる。図 4-11-7 は、静岡県内の谷口橋のデジタルツイン環境の閲覧結果である。

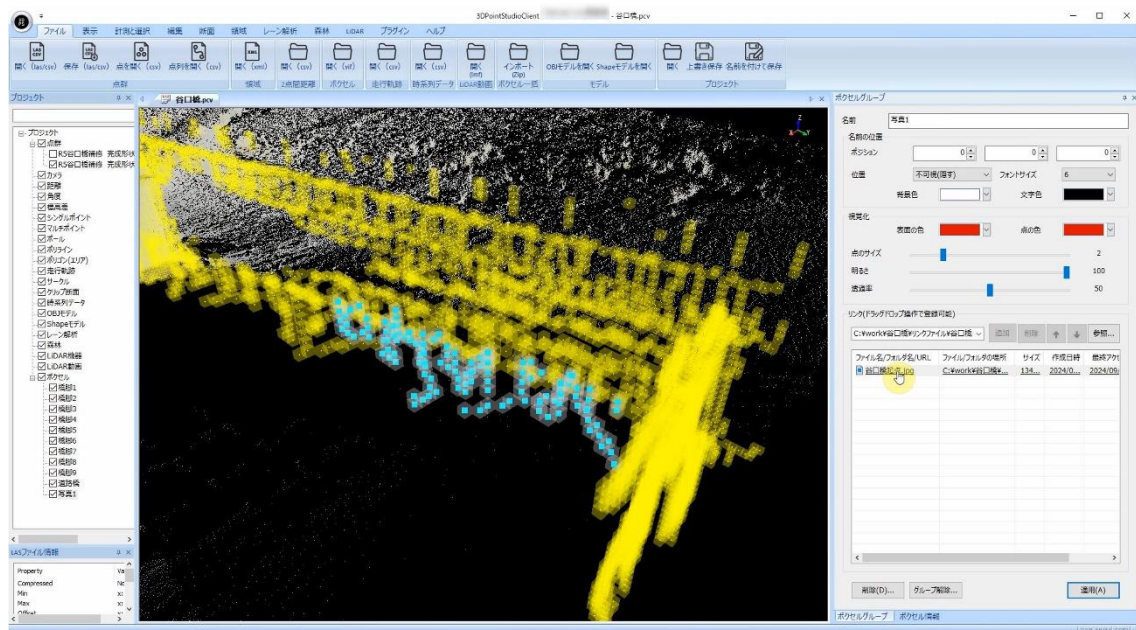


図 4-11-7 4次元時空間情報基盤の構築範囲

空間調査アプリの改良結果を図 4-11-8 に示す。本システムは、タブレットを用いて簡易に点検し、その結果を空間 ID にシームレスに関連付けることができる。本システムの点検結果は、空間 ID を軸として空間 ID 対応版 3D Point Studio で閲覧することができる。



図 4-11-8 現地調査アプリ

本評価では、図 4-11-9 のとおり、静岡県において現場試行を実施した。点検実務者からは、以下のような意見が得られ、インフラ管理システムの有用性が明らかとなった。

- クラック等の大きさを図るのに便利
- パトロール時に点検項目を画像主体でサクッと使える上、詳細に取りたいければ点群が計測できるのは現場に合っている
- 災害復旧事業においては、点群から土砂堆積量が取れれば、測量作業が不要にできる
- 屋外で iPhone/iPad LiDAR の 5-10m の測距距離では予想以上に対象部位まで届かないときがあった



図 4-11-9 現地試行の様子

【デジタルツインにおける空間 ID 活用の有用性】

以上の実地検証から、デジタルツインにおける空間 ID 活用の有用性を評価した。デジタルツインを形成するデータとして点群データ、独自ボクセル、空間 ID の特徴をそれぞれ整理した結果を表 4-11-4 に示す。また、多様なデータを融合して提供するデジタルツイン環境を整備する観点で位置参照方式としての空間 ID の特徴を整理した結果を表 4-11-5 に示す。

表 4-11-4 点群データ・独自ボクセル・空間 ID の特徴整理

項目	点群データ	(独自) ボクセル	(空間 ID) ボクセル
取得・生成方法	レーザスキャナにより取得、SfM/MVS により画像から生成	点に基づき定義した直方体	緯経度・ズームレベルに基づき定義した直方体
データサイズ	△ 重い	○ 軽い・任意で調整可	
位置精度	△ 計測機器の精度に依存	△ ボクセルサイズ/ズームレベルに依存	
データの分布	△ ランダム	○ 整列	
形状表現	○ エッジを含めて再現可能	× エッジの表現が不可能	
偏り	△ 点の偏りに意味がある	○ なし（一様）	
定義基準	△ 緯経度・標高や XYZ	△ 基準なし (作り方に依存)	◎ 基準あり
階層構造	× なし	○ あり： 解析対象の点群に依る	◎ あり： 包含関係を有する

表 4-11-5 住所・緯度経度標高・空間 ID の特徴整理

項目	地理識別子（住所等）	緯度経度標高	空間 ID
位置参照の精度	× 区画に基づいた位置参照	○ 点による位置参照	△ ボクセルでの位置参照
データの関連付け	◎ 区画の粒度のため容易	△ 計測値の誤差により難しい	○ ボクセルの幅があり容易
既存システムとの連携可能性	○ すでに多くのシステムで採用されており、変換が不要		× 新たな考え方であるため、緯度経度からの変換が随時必要

データ解析 (時系列での差分抽出等)	× 区画ごとに大きさが異なるため、画一的な処理が困難	△ ランダム分布であり対応点探索など高負荷な解析処理が必要	○ 整列されているため、高速な解析が可能
任意精度へのデータ変換	○ 都道府県市区町村に変換可能	△ データ変換には非対応	○ 包含関係を維持した変換が可能
情報公開時の精度設定（地下埋設物の位置等）	○ セキュリティを考慮して、任意の精度に変換して公開可能	× 座標値そのものでの公開	○ セキュリティを考慮して、任意の精度に変換して公開可能

⑨ アーキテクチャにおける本実証の対象レイヤとプレイヤの役割

本実証の対象となるレイヤと関連するプレイヤをマッピングしたアーキテクチャマップを図 4-11-10 に示す。

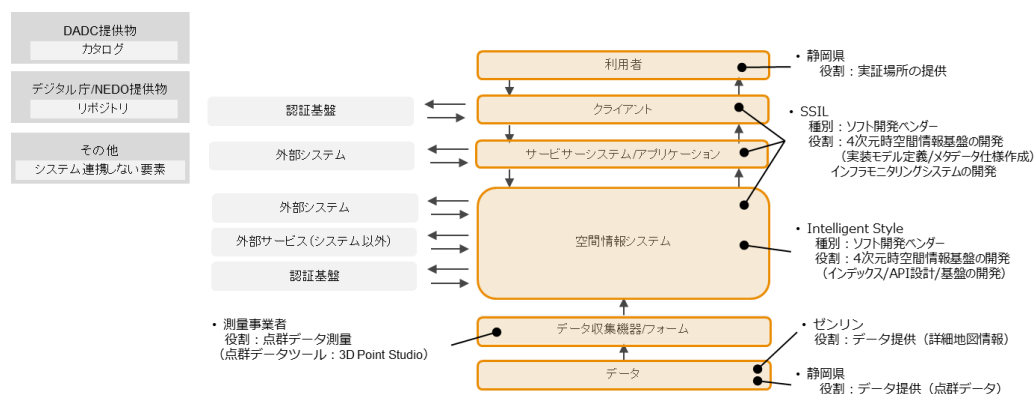


図 4-11-10 アーキテクチャマップ

4. 12. 建設現場アプリユースケース（株式会社竹中工務店、NTT コミュニケーションズ株式会社）

① 実証の概要

空間 ID を軸として、人・設備・機材・資材の調達計画を効率化し、その結果を施工管理者・作業員・ロボット等に連携できる空間調整プラットフォームの構築と、その効果検証を実施する。効果検証では、実際の建設現場及び建築物に導入することで、作業員・管理者からアンケート等による効果測定と改善に向けたフィードバックを得る。空間を軸とした工程管理システムの導入により、品質向上、コスト削減、安全性向上を見込む。また、外部システムとの容易な連携や、空間情報の判定、応用による業務効率化を見込む。図 4-12-1 に実証の概要イメージを示す。

概要イメージ

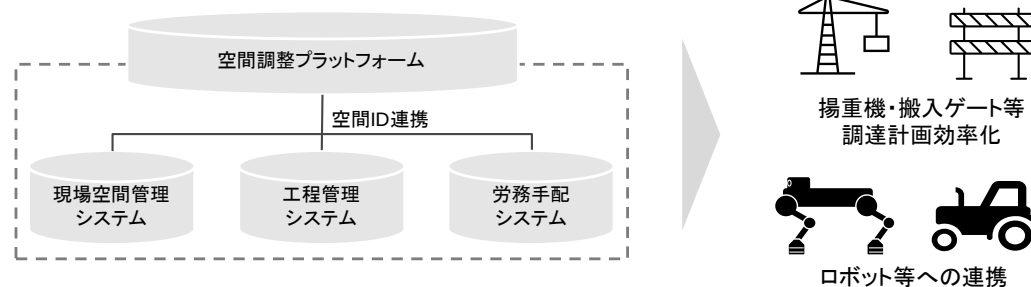


図 4-12-1 概要イメージ図

② 背景課題

人手不足やコロナ禍の影響に伴う人流減、物流・情報流増が進む中において、Society5.0の実現に向け、機械（モビリティ等）やシステムが自律制御を行うための、高速処理に適したデジタルインフラの必要性が高まっている。建設業界においては相互にデータやシステムを連携するためのルールや標準が存在しないことから、横串でのデジタル市場のインフラ整備が遅れ、新しいデジタル活用やサービスの開発が困難な状況に陥っている。特に一大規模な建設現場では、多様な工事工程や資材の管理、関連会社同士の連携等が煩雑であることが大きな課題となっている。この課題を解決するために、複数の管理システム間の連携が求められるが、複数のシステムを連携するにあたり、空間情報を表す上での標準の概念がないため、システム間連携には個々のシステム同士で調整が必要であり、複数のシステムが連携するには容易性・正確性に課題がある。

③ アウトカム

本ユースケースが社会実装された際に創出されるアウトカムは以下の想定である。

表 4-12-1 アウトカム

観点	アウトカム
経済的価値	<u>ツール導入・デジタル化による効率化</u> - 現場の作業調整・段取り手配効率化 - 現場の手戻り作業削減
	<u>現場データ統合による効率化</u> - 統合された現場データによる業務効率化 - 空間効率評価による生産効率の可視化・改善 - リソース稼働効率の可視化・最適配置による稼働効率化

※外部連携の観点でのアウトカムについては表 4-14-1 参照。（連携対象としてロボットを想定したアウトカムを記載）

④ KGI・KPI

本実証では下記に示す KGI の達成を目標に、実地検証にて KPI 指標の達成状況を測定する。

表 4-12-2 KGI・KPI

観点	KGI	KPI
経済的価値	・人件費の削減 ・追加発生工数の削減 ・空間効率の可視化 ・リソース稼働効率の可視化	・現場の作業調整・段取り手配工数、削減率 ・現場の手戻り作業工数、削減率 ・新しい生産効率指標の導入件数

⑤ システムアーキテクチャ

システムアーキテクチャについて図 4-12-2 に示す。

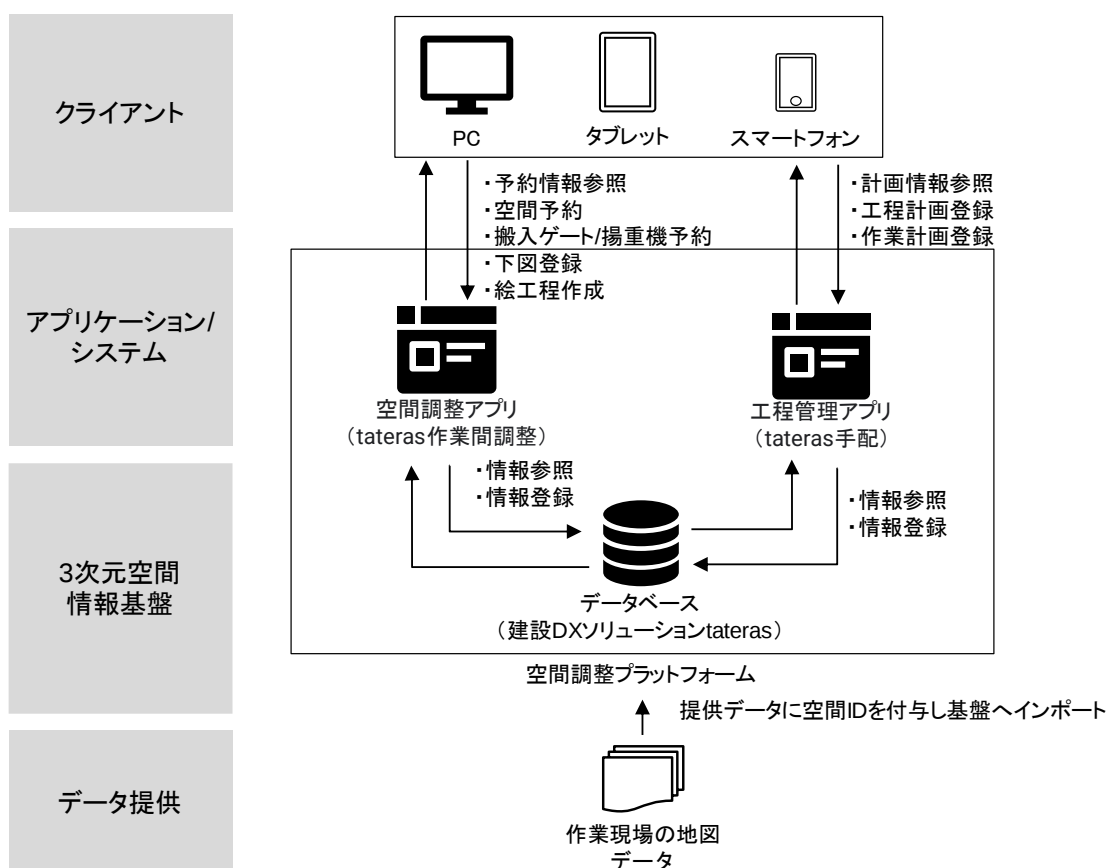


図 4-12-2 システムアーキテクチャ

⑥ 実地検証の内容、⑦実地検証結果、⑧実証スケジュール

主な取組となる技術的な検証については、4.13 節 に記載する。

⑨ アーキテクチャにおける本実証の対象レイヤとプレイヤの役割

本実証の対象となるレイヤと関連するプレイヤをマッピングしたアーキテクチャマップを図 4-12-3 に示す。

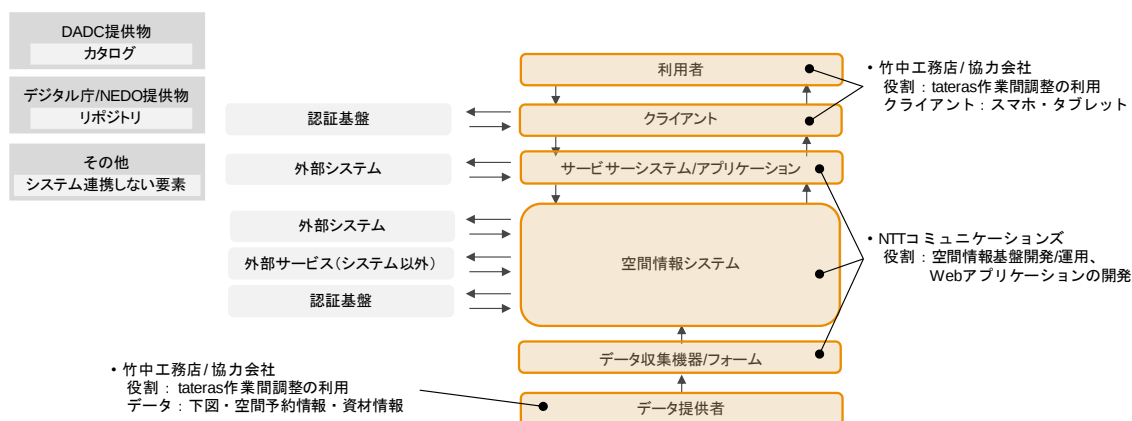


図 4-12-3 アーキテクチャマップ

4.13. 建設現場アプリに関する技術検証（株式会社竹中工務店、NTT コミュニケーションズ株式会社）

※本実地検証については、4.12 節記載の建設現場アプリユースケースにて実施予定の検証である。

①実証の概要・②背景課題・⑤システムアーキテクチャ・⑨アーキテクチャにおける本実証の対象レイヤとプレイヤの役割の各項目については、建設現場アプリユースケースパートに記載。（4.12 節参照）

③ アウトカム

本ユースケースが社会実装された際に創出されるアウトカムは以下の想定である。

表 4-13-1 アウトカム

観点	アウトカム
技術面	・多様なアプリケーションのデータ集約・統合管理による建設現場データの高付加価値化

④ KGI・KPI

本実証では下記に示す KGI の達成を目標に、実地検証にて KPI 指標の達成状況を測定する。

表 4-13-2 KGI・KPI

観点	KGI	KPI
技術面	・現場で扱う様々なデータのうち統合可能な種類の増加（データの種類例：空間予約、作業計画、安全管理）	・外部アプリとの連携数（連携数を増やすことで取り扱うことができるデータ種類の増加に寄与）

⑥ 実地検証の内容

➤ 概要

実際の建設現場にて、本実証で開発した空間調整プラットフォームを試験導入する。
初回の実地検証では、開発した UI や機能の技術的な検証と使用感の確認を目的に、現場の施工管理者、職長にヒアリングをすることで効果測定を実施する。

➤ 実証時期

2025 年 1 月

➤ 実証場所

施工中の竹中工務店管轄の建設現場

➤ 測定項目・測定方法

実地検証では、本実証で開発した空間調整プラットフォームを試験導入し、使用者にヒアリングを行う。初回は、技術的検証点の検証を中心に実施し、実地検証結果を踏まえ、社会的・経済的観点での実証を検討・実施する。検証の観点は、表 4-13-3 に示す。

表 4-13-3 検証観点

観点	検証内容	詳細
技術的検証点（情報の登録・管理）	空間 ID と紐づけた情報登録・管理	空間の予約情報を空間 ID と紐づけて登録・管理可能か検証する。 ※円、扇、三角形、四角形、多角形、スタンプ形状、揚重機、搬入ゲート情報など。
技術的検証点（UI・UX）	UI・UX の検証	開発した空間調整プラットフォームの UI・UX を実際に建設現場の方に使用して頂き使用感をヒアリングする。
経済的検証点（生産効率指標）	空間 ID から取得できる情報を活用した生産効率可視化	空間 ID と、tateras 上に登録される作業予約情報や重機・車両情報などを紐づけ、現場の生産効率などを一定の指標に沿って可視化する。 当指標の活用可能性を現場へのヒアリングにより検証する。

⑦ 実地検証結果

実地検証については 2025 年 1 月に実施し、検証結果を取りまとめ予定。

⑧ 実証スケジュール

実証スケジュールについて表 4-13-4 に示す。

表 4-13-4 実証スケジュール

実施時期	実証項目
2022 年度	UI 設計、ヒアリング UI 改善、開発
2023 年度	UI 改善、開発

	実証①(プロトタイプでの開発) 実証②(改善版システムでの開発)
2024 年度	実証③(改善版システムでの実証) 実証④(統合開発・実証)

4.14. 建設ロボットユースケース（株式会社竹中工務店）

① 実証の概要

本ユースケースでは、特定の敷地における施設内部（資材倉庫を想定）とその周辺の一定範囲に空間 ID を付与し、当該施設内外及び 3 次元方向での建設ロボットの移動制御を行う。施工管理において、従来では、現場職員や施工管理者が直接移動し、資材倉庫等で資材の目視確認及び撮影をしていた。本実証のロボットを活用することで、現場職員や施工管理者が直接移動することなく、ロボットが代わりに目的地まで移動し資材を撮影する。撮影した映像及び写真は現場職員や施工管理者に送信される。これにより、従来人手で実施していた業務をロボットで代替することで、労務費削減、人手不足解消、安全性の向上を見込む。また、空間 ID を活用することにより、ルート設計の精度向上やシステム整備に係るコストの削減を見込む。図 4-14-1 に実証の概要イメージを示す。

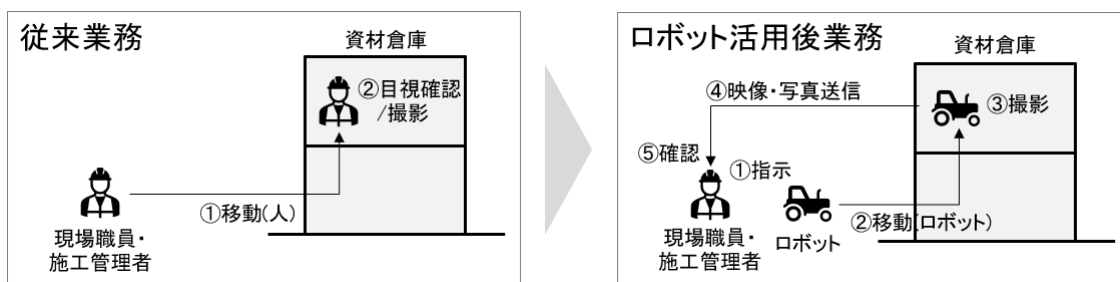


図 4-14-1 概要イメージ図

② 背景課題

建設業界では、将来的に建設現場要員の不足が見込まれている。また、人間が建設現場に出入りすることによる事故リスクが高いため、安全性が求められている。そういった背景から、人間の業務で代替可能な業務についてはロボットの活用が進められている。ロボットを活用する際の課題として、屋内外を統一管理する座標系が無いことにより屋内外を行き来する自律移動が困難である点や、建設現場において重要となる高さ方向の座標指定が難しい点が挙げられる。また、自律移動には、事前に建物全体の精緻な MAP の取得が必要であり、整備コストが高い点においても課題がある。

③ アウトカム

本ユースケースが社会実装された際に創出されるアウトカムは以下の想定である。

表 4-14-1 アウトカム

観点	アウトカム
社会的価値	- 建設作業時のヒューマンエラー抑制による安全性向上 - 建設現場への人の立ち入りを削減することによる安全性向上 - 現場職人の安全性意識向上 (長期的に)人口減による人手不足解消
経済的価値	- 現場管理者・現場作業員の労務費削減 - 現場作業効率増大 - 現場作業量の増大

④ KGI・KPI

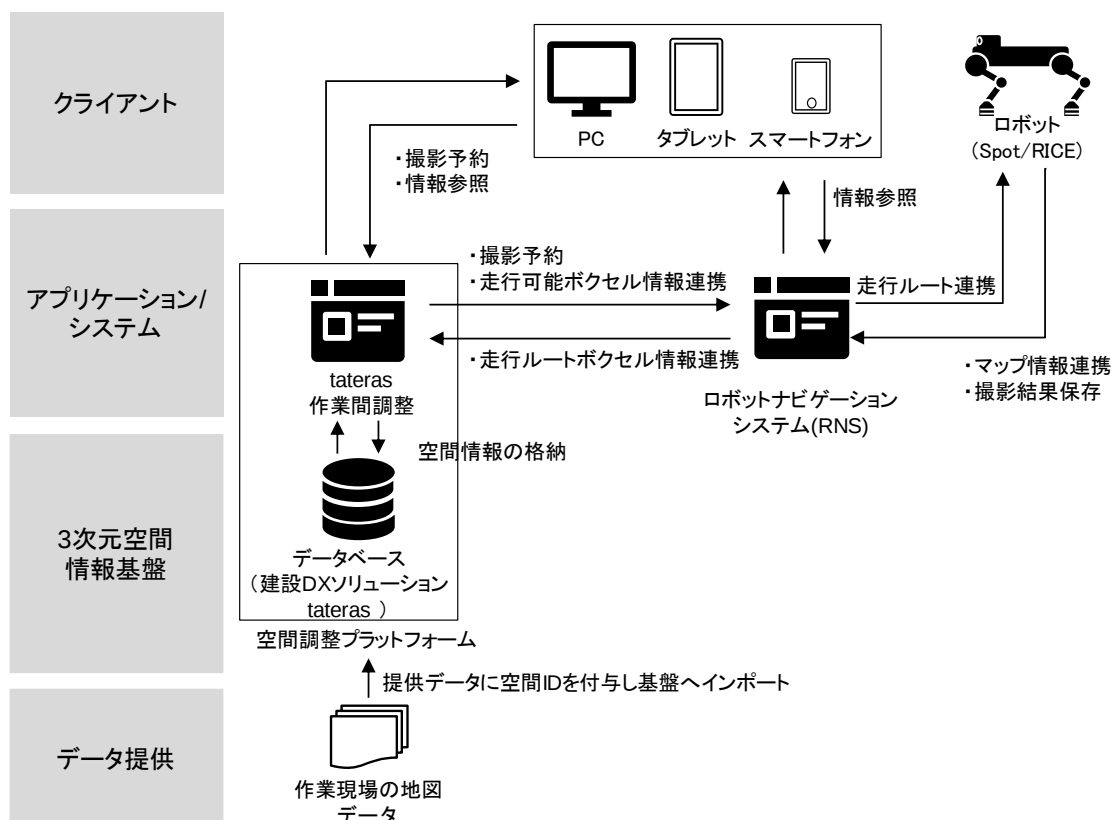
本実証では下記に示す KGI の達成を目標に、実地検証にて KPI 指標の達成状況を測定する。

表 4-14-2 KGI・KPI

観点	KGI	KPI
社会的価値	ロボットへの業務代替割合	- 現場滞在の時間・移動距離、歩数・業務種類の削減率 - ロボットの稼働時間・稼働率 - ロボットへの代替業務種別数
経済的価値	現場作業員の労働生産性	- 時間当たり作業量の増加率 - 工程進捗の短縮率

⑤ システムアーキテクチャ

システムアーキテクチャについて図 4-14-2 に示す。

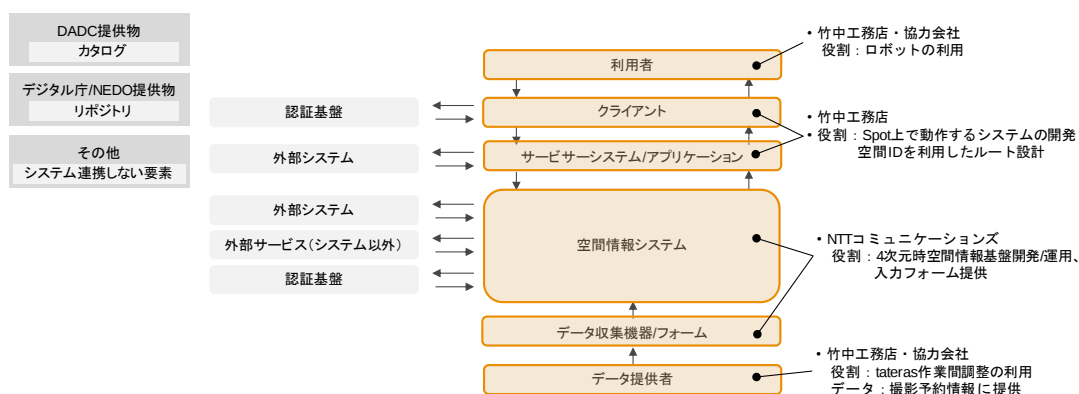


⑥ 実地検証の内容、⑦実地検証結果、⑧実証証スケジュール

主な取組となる技術的な検証については、4.15 節 に記載。

⑨ アーキテクチャにおける本実証の対象レイヤとプレイヤの役割

本実証の対象となるレイヤと関連するプレイヤをマッピングしたアーキテクチャマップを図 4-14-3 に示す。



4.15. 建設ロボットに関する技術検証（株式会社竹中工務店）

※本実地検証は、4.14 節記載の建設ロボットユースケースにて実施。

①実証の概要・②背景課題・⑤システムアーキテクチャ・⑨アーキテクチャにおける本実証の対象レイヤとプレイヤそれぞれの役割項目については、建設ロボットユースケースパートに記載。（4.14 節参照）

③ アウトカム

本ユースケースが社会実装された際に創出されるアウトカムは以下の想定である。

表 4-15-1 アウトカム

観点	アウトカム
技術面	・ 3 次元的な屋内・屋外での移動 ・ 処理負荷軽減による様々なロボット及びロボット制御端末での利用 ・ ロボットのルート設計処理簡略化 ・ インターフェースの統一による連携システム毎の個別開発からの脱却

④ KGI・KPI

本実証では下記に示す KGI の達成を目標に、実地検証にて KPI 指標の達成状況を測定する。

表 4-15-2 KGI・KPI

観点	KGI	KPI
技術面	・ ルート設計処理の短縮率 ・ システム開発時の工数削減率 ※空間 ID を利用しなかった場合の概算との比較となる想定	・ ルート設計時の処理負荷軽減率 ・ ルート設計機能開発の工数削減率 ・ 対応可能ロボット数 ・ MAP 作成機能の開発工数削減率 ・ 外部システム連携の開発工数削減率 ・ 対応可能な外部システム、ロボット数

⑥ 実地検証の内容

➤ 概要

開発したシステムを建設現場に実導入し、機能が正常に動作することを検証する。
また、業務上・運用上の課題を発見することを目的に実施する。竹中工務店管轄の建設現場にて、本実証にて開発したロボット管理システムを試験導入し、その使用感をヒアリングする。

➤ 実証時期

2024 年 12 月

➤ 実証場所

- ・屋内・屋外移動の検証：協力会社保有の工場の建屋及び周辺エリア
- ・現場空間管理アプリとの連携検証：施工中の竹中工務店管轄の建設現場

➤ 測定項目と測定方法

実地検証では、竹中工務店管轄の現場にて建設実証用ロボットを配置し、機能のテスト、業務プロセスの代替検証を行う。屋内・屋外移動の検証と、現場空間管理アプリとの連携検証は別々の現場にて、表 4-15-3 に示す観点で検証を実施する。技術的検証点の検証を中心とした検証結果を踏まえ、社会的・経済的観点での実証を検討・実施する。

表 4-15-3 検証観点

観点	検証内容	詳細
技術面（ルート設計）	ロボットナビゲーションシステムでのルート設計	Spot に取り扱える形でルート的设计ができるか、データ形式、ロジック、実用性を検証する。
	グローバル空間 ID→ロボット座標系への変換	緯度・経度・標高をベースとしたグローバル空間 ID からロボットの座標系へ変換可能か、変換精度を検証する。
技術面（屋内外の移動）	屋内移動	下記の条件で屋内空間を指定したルート通りにロボットが移動可能か検証する。併せてズームレベルの適切さを検証する。 <u>移動時の条件</u> ・指定したルートを走行すること。 ・走行ルート以外のエリアに立ち入らないこと。
	屋外移動	下記の条件で屋外空間を指定したルート通りにロボットが移動可能か検証する。併せてズームレベルの適切さを検証する。 <u>移動時の条件</u> ・指定したルートを走行すること。 ・走行ルート以外のエリアに立ち入らないこと。
技術的検証点（写真撮影）	Spot 実機による工事写真の撮影	施工管理に扱える水準での写真撮影が可能か検証する。

⑦ 実地検証結果

2023 年度は以下の検証ポイントを軸に実証を行い、概ね期待通りの結果を得られた。

表 4-15-4 検証結果

検証ポイント	実証項目	結果
統合マップ作成	4 次元時空間情報基盤に位置する「tateras」から、現場図面と地	「tateras」からの現場図面及び地理座標情報と、ロボットが

	理座標情報を連携し、「ロボットナビゲーションシステム」側で統合マップとして管理を行う。	SLAM により生成した環境地図を紐づけることにより、統合マップの作成・管理を実施した。
空間 ID による情報連携に基づいたルート設計	「tateras」に登録された空間予約情報を、空間 ID に紐付けてロボットナビゲーションシステムへ連携し、ロボットの走行ルートの設計を行う。(今年度は走行ルートは自動ではなく作業者により作成)	「tateras」から連携された空間 ID に紐づけられた空間予約情報、及び統合マップの情報を元に、ロボットナビゲーションシステム側でルートの設計を実施した。
自律移動	建設現場にて、作成したルート(階移動、及び屋内外移動を含む)に基づく自律走行を実施する。	指定されたルートを想定通りの挙動で走行した。

2024 年度実施の最新の検証結果は 2024 年度末時点で取りまとめ、数値化する予定。

⑧ 実証スケジュール

実証スケジュールについて表 4-15-5 に示す。

表 4-15-5 実証スケジュール

実施時期	実証項目
2022 年度	要件定義 ロボット選定
2023 年度	実証① 空間 ID でロボットのルート設定を行うシステムに関する開発・実装・実証、現場空間管理アプリとロボットの空間 ID を使った連携・実証
2024 年度	実証② 現場空間管理アプリとロボットの空間 ID を使った連携・実証、複数異種ロボットの空間 ID を使った制御

4.16. 空間エンタメユースケース（株式会社竹中工務店、東京大学生産技術研究所 豊田啓介研究室）

① 実証の概要

本ユースケースでは、多種センサのリアルタイム空間情報を活用した新しいエンタメ体験の創出のためのシステムを構築する。本システムでは、アニメ制作会社の 3D アバターやバーチャルキャラクターを用いたエンタメ経験をローカルなサブプラットフォームの構築によって実装し、空間 ID との接続・連携の可能性を検証する。図 4-16-1 に実証の概要イメージを示す。

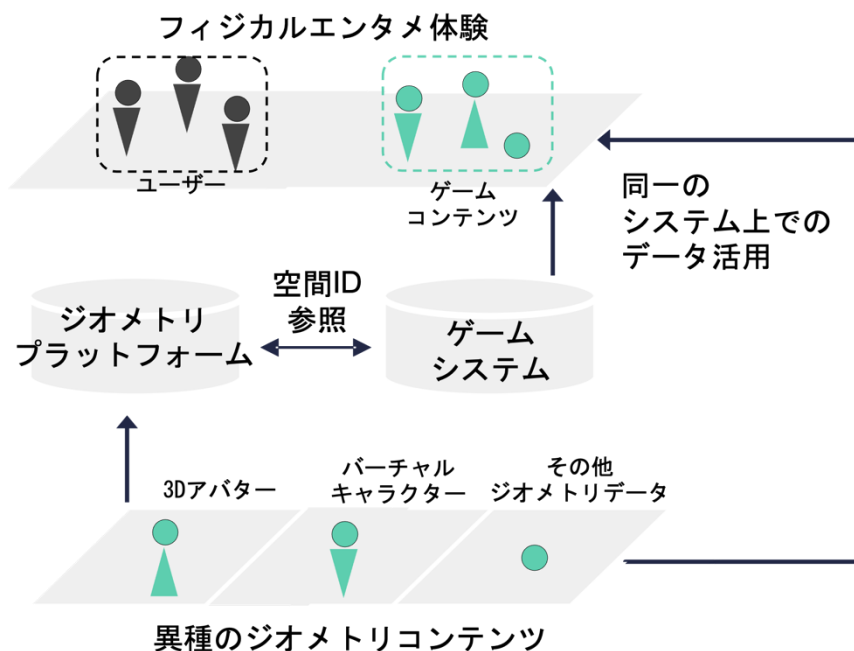


図 4-16-1 概要イメージ図

② 背景課題

エンタメ領域では、システムを繋ぐ統一基準がなく、システム間・データ間の連携が進んでいない。そこで本実証では空間情報を活かしたエンタメプラットフォームを構築する。本プラットフォームにより空間 ID を介して現実空間とデジタル空間を連携することで、様々な地点で空間を活用したエンタメ事業の展開を可能とする。

③ アウトカム

本ユースケースが社会実装された際に創出されるアウトカムは以下の想定である。

表 4-16-1 アウトカム

観点	アウトカム
社会的価値	• まちの魅力向上
経済的価値	• 建築物やまちの集客力向上 • 新しいエンタメビジネスの創出

④ KGI・KPI

空間情報の活用や連携が空間 ID により増加することで、新たなエンタメコンテンツやまち・建物の活用方法が創出されることを想定し、KGI/KPI を設定するが、具体的な KPI/KGI は、実証コンテンツの開発とともに空間 ID の技術検証を行ったうえで、設定を予定。

⑤ システムアーキテクチャ

現在想定しているシステムアーキテクチャについて図 4-16-2 に示す。

※実証内容やシナリオは計画時の内容のため、変更の可能性あり。

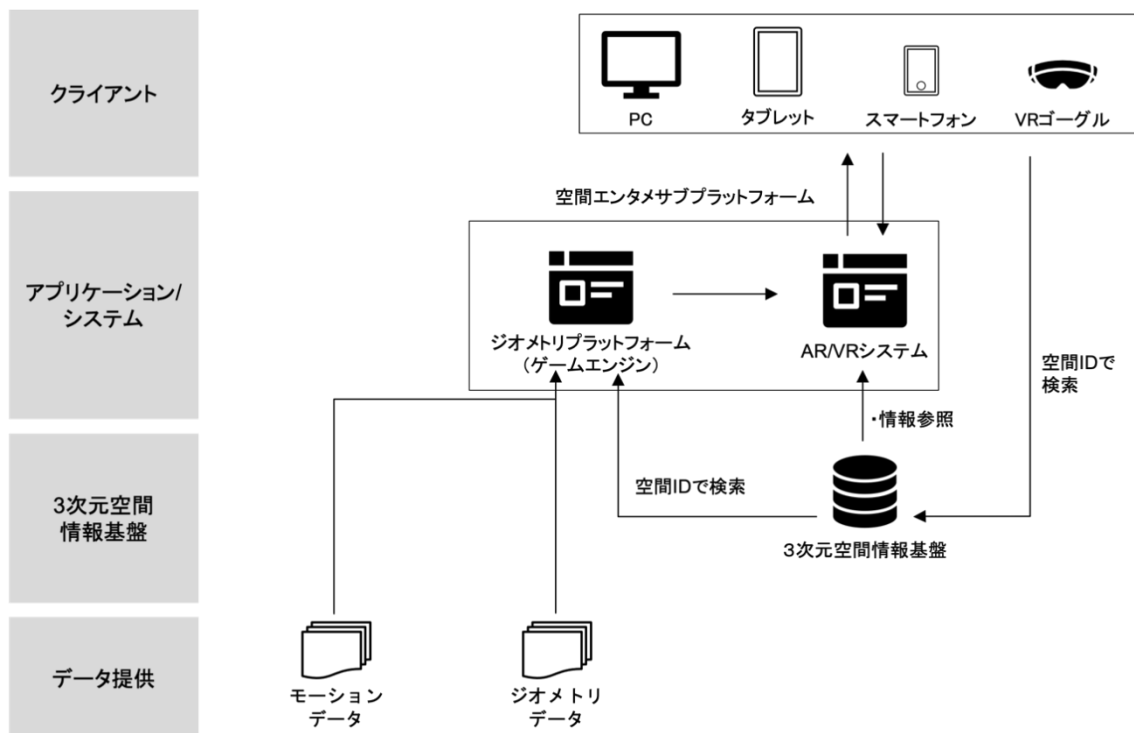


図 4-16-2 システムアーキテクチャ

⑥ 実地検証の内容、⑦実地検証結果、⑧実証スケジュール

主な取組となる技術的な検証については、4. 17 節 に記載する。

⑨ アーキテクチャにおける本実証の対象レイヤとプレイヤの役割

本実証の対象となるレイヤと関連するプレイヤをマッピングしたアーキテクチャマップを図 4-16-3 に示す。

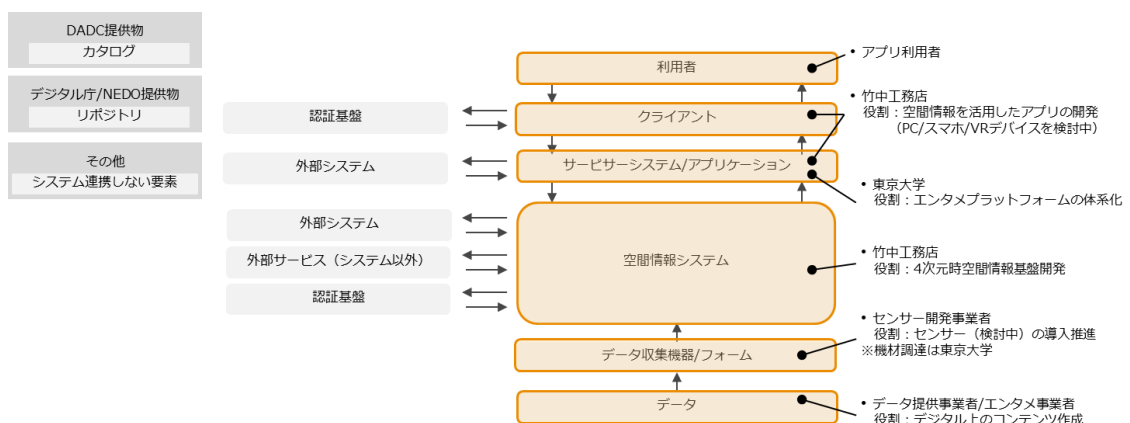


図 4-16-3 アーキテクチャマップ

4.17. 空間エンタメに関する技術検証（株式会社竹中工務店、東京大学生産技術研究所 豊田啓介研究室）

※本実地検証については、4.16 節記載の空間エンタメユースケースにて実施予定の検証である。

①実証の概要・②背景課題・④KGI・KPI・⑤システムアーキテクチャ・⑨アーキテクチャにおける本実証の対象レイヤとプレイヤの役割の各項目については、空間エンタメユースケースパートに記載。（4.16 節参照）

③ アウトカム

本ユースケースが社会実装された際に創出されるアウトカムは以下の想定である。

表 4-17-1 アウトカム

観点	アウトカム
技術面	・公開仕様である空間 ID を活用することで、他の場所への横展開が容易 ・センサ類の ID 識別だけでなく、位置・移動に関する情報を取得可能 ・サブプラットフォームを構築することで、狭域かつ更新性が必要なエンタメ体験と接続・連携できる可能性

⑥ 実地検証の内容

➤ 概要

アニメ制作会社の 3D アバターやバーチャルキャラクターを用いたエンタメ経験を、ローカルなサブプラットフォームを構築することで実装し、空間 ID との接続・連携の可能性を検証する。

➤ 実証時期

2025 年 1 月～3 月

➤ 実証場所

東京大学 生産技術研究所、代々木公園

➤ 実地検証のゴール

現在検討中。

➤ 測定項目・測定方法

現在検討中。

⑦ 実地検証結果

実地検証については 2025 年 3 月までに実施し、検証結果を取りまとめ予定。

⑧ 実証スケジュール

実証スケジュールについて表 4-17-2 に示す。

表 4-17-2 実証スケジュール

実施時期	実証項目
2022 年度	・ 4 次元時空間情報基盤システム要件検証 ・ 機器選定 ・ 実施計画策定
2023 年度	・ 実証①（サブプラットフォームの構築、空間 ID への提言とりまとめ）
2024 年度	・ 実証②（スプリント 2-1 のローカル空間 ID の技術及び価値の検証） ・ 実証③（スプリント 2-2 の提言を反映した空間 ID との接続・連携の検証）

スプリント 2-1：グローバル空間 ID とローカル空間 ID の連携を想定したコンテンツの作成を実施。当コンテンツ内で、エンタメコンテンツの検索や天気等の外部情報の反映を模擬的に行う予定。ローカル空間 ID のあり方及び価値の検証を行う。

スプリント 2-2：空間 ID のボクセルを使用した AR コンテンツを実施する。位置合わせの必要なコンテンツに対し、市販のデバイスを用いて AR コンテンツの体験を行なった際のボクセルの位置のずれを検証し、ローカル空間 ID の粒度の妥当性を検討する。