

「産業DXのためのデジタルインフラ整備事業」 成果報告会

／ 3次元空間情報基盤に関する研究開発

／ 情報容量が可変するセマンティックデータ連携空間IDからなる3次元空間情報基盤構築と基盤を通じた二拠点でのドローン自律移動の安全・効率的な運行の実現

2025年4月23日

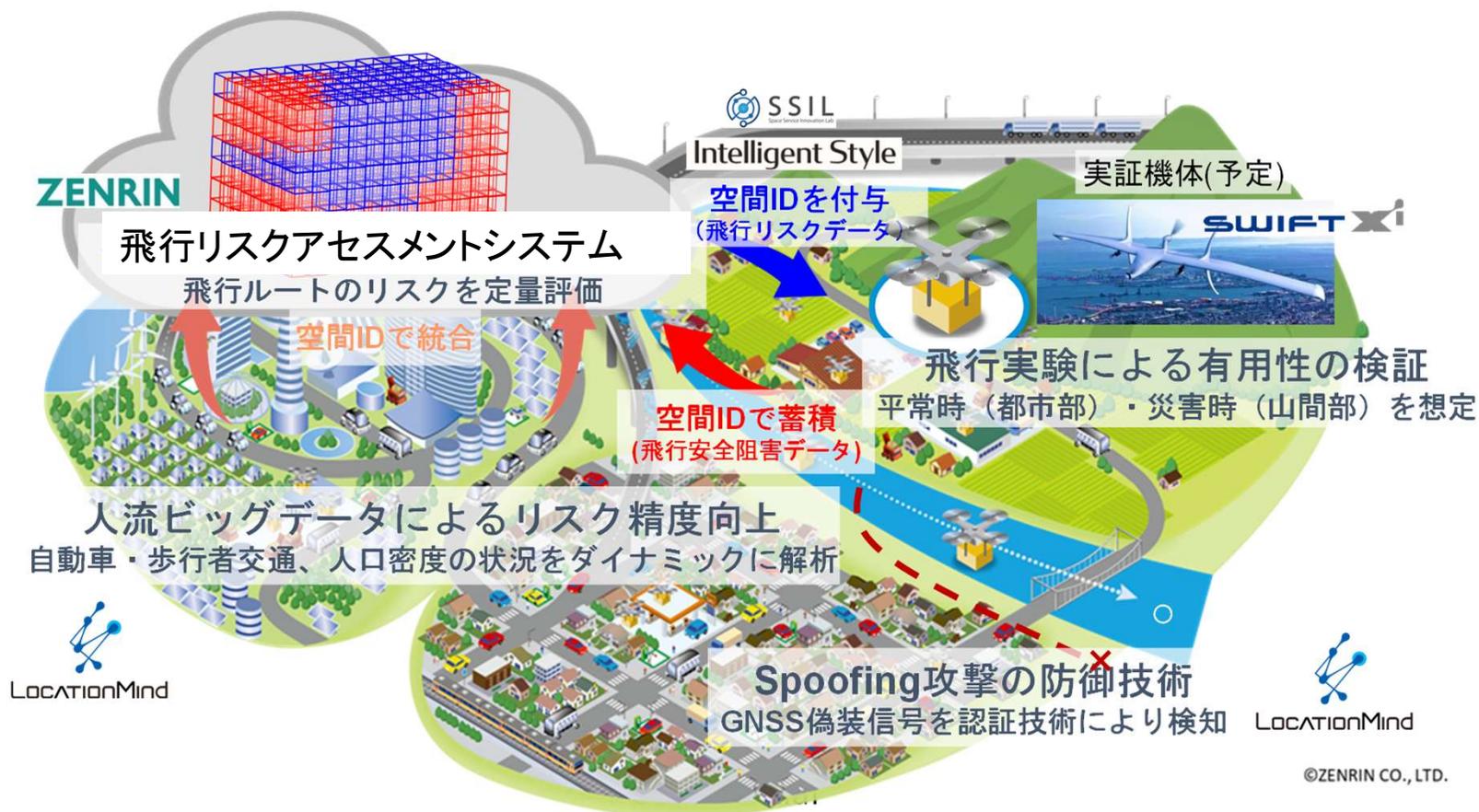
宇宙サービスイノベーションラボ事業協同組合 / 株式会社ゼンリン
／ LocationMind株式会社 / Intelligent Style株式会社
／ スウィフト・エクスアイ株式会社

本テーマの背景・目的



本テーマの概要 1

- NEDO事業「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／空間IDを活用した3次元空間情報基盤の開発」に採択



本テーマの概要 2

● 目標

空間IDを共通インデックスとした
4次元時空間情報基盤の構築

● 実施内容

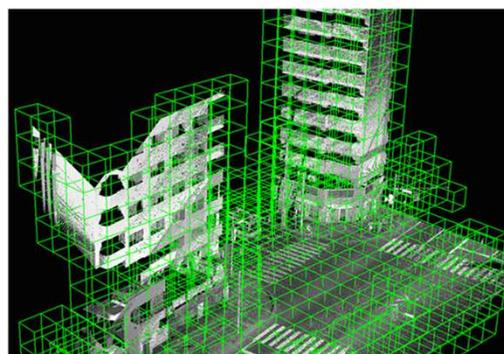
静岡県を対象とした4次元時空間情報基盤の構築

【本事業の特徴】

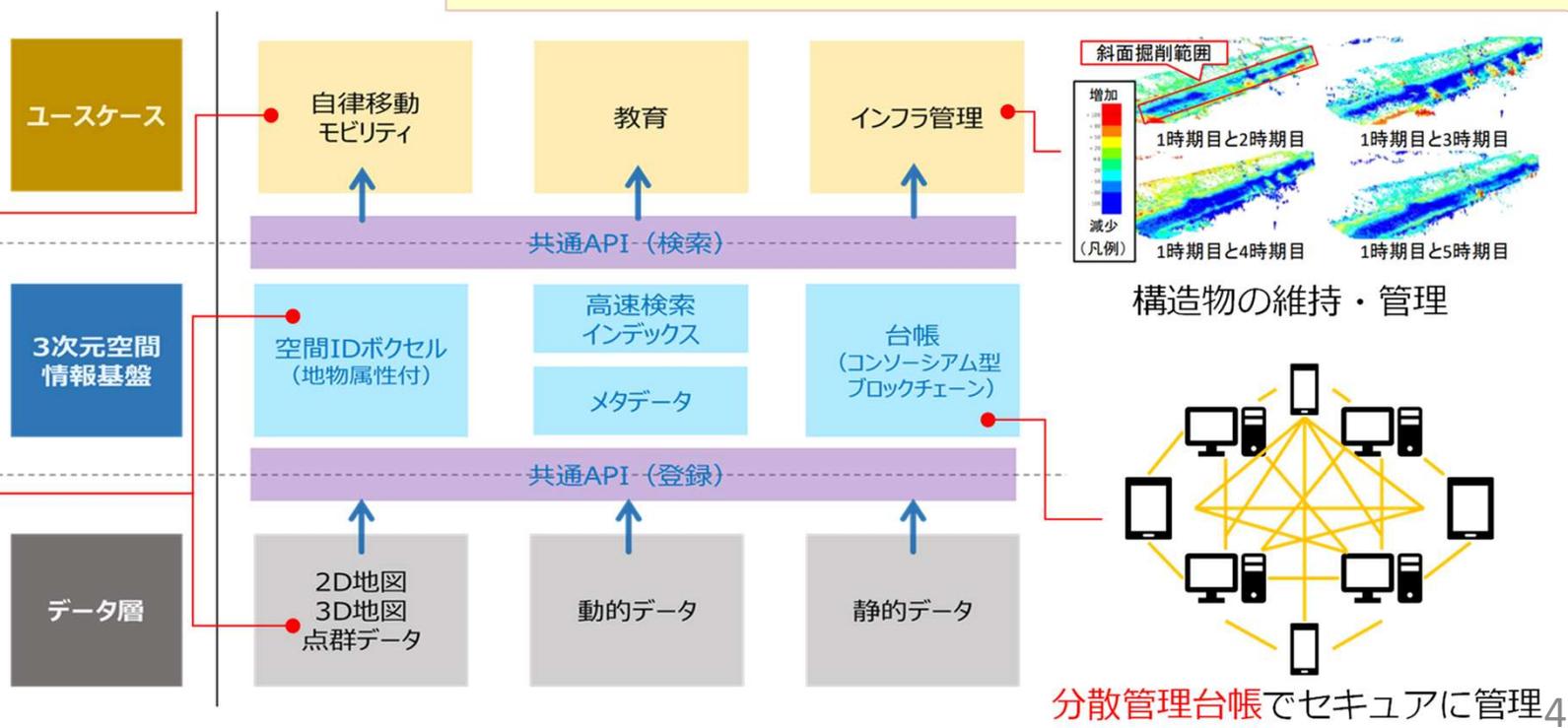
- データへのリアルタイムアクセス要求に対応するための**高速検索インデックス技術**を保有（**特許取得技術**）
- 各々で整備されたデジタル空間の**ボクセルを一体的な地物として参照**できる技術を保有（**特許取得技術**）
- 分散的に保有されている3次元空間データをセキュアに管理し、**改竄等を抑止するための分散協調管理台帳**（ブロックチェーン）技術を開発



ドローンの自律制御



空間IDで点群データを管理



実施体制



実施項目ごとの目標と根拠

実施項目	概要	目標	根拠
①3次元空間情報基盤の開発	<ol style="list-style-type: none"> 1) アーキテクチャの実装モデルの定義 2) メタデータの製品仕様書の作成 3) 空間IDの高速検索インデックスの設計 4) 分散共有を可能とする頑健な3次元空間情報の管理手法の設計 5) データ登録・活用のAPI設計 6) 3次元空間情報基盤の開発 7) 3次元空間情報基盤に対応した可視化システムの開発 	<p>アーキテクチャを設計し、空間IDに関連付けて管理するメタデータを定義し、仕様書を策定する。既存データのない地点においても地物属性の補完手法を考案する。ユーザAPIのアルゴリズムを設計し、3次元空間情報基盤を構築する。</p>	<p>離散的な座標値の集合体である点群データを地物単位で扱えるように補完する技術と共にデータ登録・活用のAPI設計し、3次元空間情報基盤のプロトタイプを実現することにより、空間IDの可視化・利活用基盤を構築する。</p>
②ドローン等の自律移動モビリティに係る3次元空間情報基盤の開発	<ol style="list-style-type: none"> 1) 飛行計画のリスクアセスメントシステムの開発 2) 3次元空間情報基盤を用いたドローンの飛行実験による有用性の検証 3) 飛行計画のリスクマネジメントの高度化支援技術の開発 4) ドローン飛行へのSpoofing攻撃の防御技術等の有用性の検証 	<p>運航リスク評価Webシステムと人流・Spoofing攻撃などの動的なリスク情報を統合し、空間ID連携によるリスクアセスメントシステムを実現する。</p>	<p>航空機の安全性を決定づけるデータを空間情報基盤へ取り込み、各種リスクの有無による変動をマネジメントシステムの中でデジタルツイン化する。</p>
③自律移動モビリティ以外に係る3次元空間情報基盤の開発	<ol style="list-style-type: none"> 1) 空間IDに基づくデジタルツインを用いたデータサイエンティストの教育環境の構築 2) 点群データを用いたインフラモニタリングシステムの構築 3) 現地調査アプリIntelligent Survey Systemの空間ID対応化 	<p>都市環境デザイン工学科の学科目にて教育環境を構築し、試行・導入する。モデル地区で平常時・災害時における利用シーンの実証実験を実施して有用性を検証する。空間ID対応点検結果データベースの構築。</p>	<p>実践的な都市空間のデジタルツインを用いた育成環境を実現する。空間IDに基づくデータ処理による工数削減効果を明らかにする。</p>

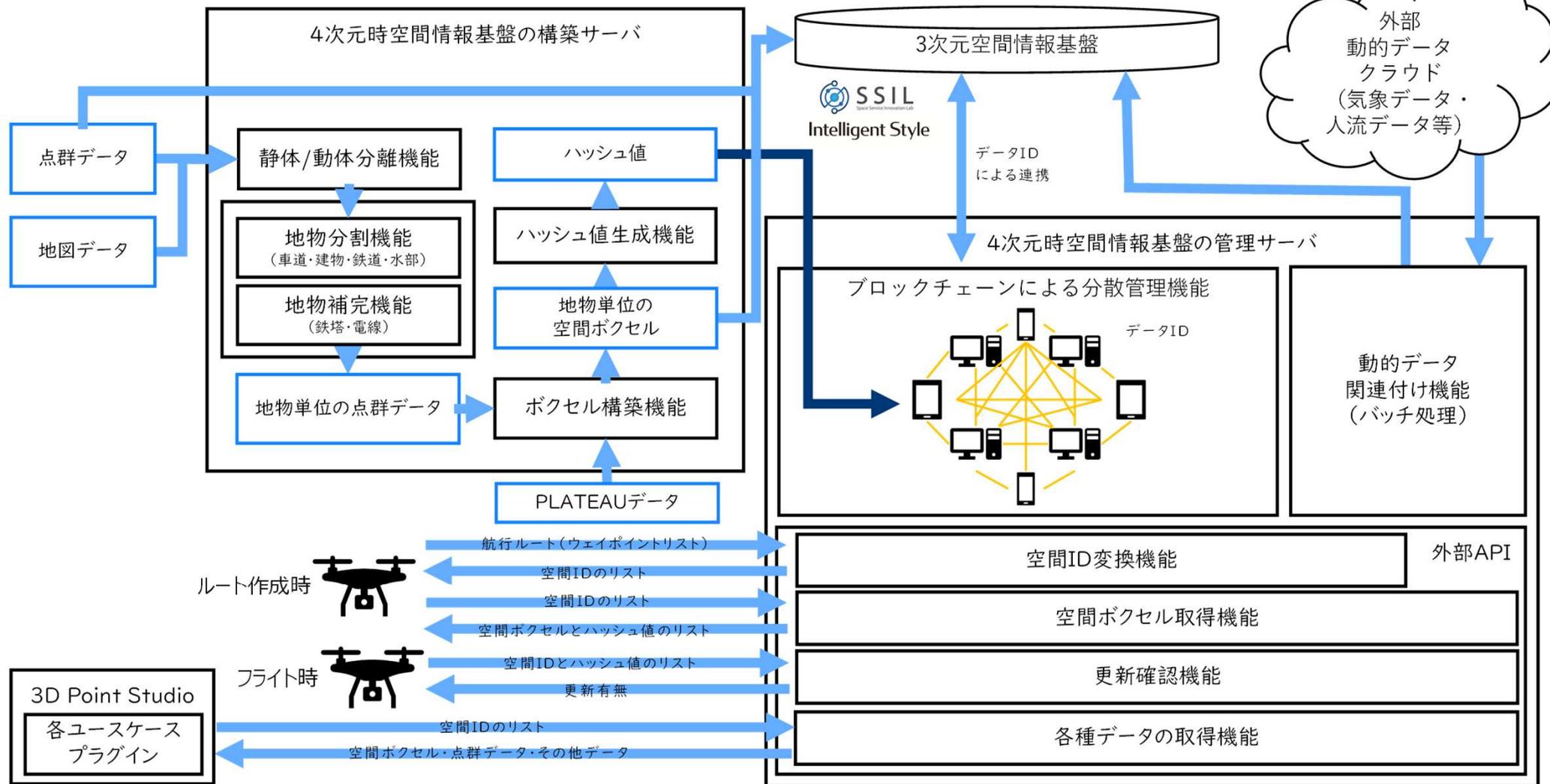
研究開発スケジュール

		'22-3Q	'22-4Q	'23-1Q	'23-2Q	'23-3Q	'23-4Q	'24-1Q	'24-2Q	'24-3Q	'24-4Q
①3次元空間情報基盤の開発	アーキテクチャの実装モデルの定義	フレームワーク決定									
	メタデータの製品仕様書の作成			メタデータ製品仕様書素案				メタデータ製品仕様書			
	空間IDの高速検索インデックスの設計	基本設計		既存資料から地物属性付与				資料なし地物属性付与			
	分散共有を可能とする頑健な3次元空間情報の管理手法の設計		コンソーシアム型ブロックチェーン環境の試作								
	データ登録・活用のAPI設計	共通API設計		データホルダーAPIアルゴリズム設計				ユーザーAPIのアルゴリズム設計			
	3次元空間情報基盤の開発		各種ソフトウェア、システムの実装					プロトタイプを構築			
	3次元空間情報基盤に対応した可視化システムの開発			空間ボクセル可視化の仕組み				空間ボクセルファイル流通の仕組み			
②ドローン等の自律移動モビリティに係る3次元空間情報基盤の開発	飛行計画のリスクアセスメントシステムの開発	リスクアセスメントシステムの設計		リスクアセスメントシステムの開発と各API連携				リスクアセスメントシステムの評価と改修			
	3次元空間情報基盤を用いたドローンの飛行実験による有用性の検証	実証飛行の評価方法		システムが出す飛行経路の分析・検証				実証飛行データの分析・検証			
	飛行計画のリスクマネジメントの高度化支援技術の開発	人流データ集計仕様検討		専用の集計仕様に基づく人流データベースの構築				空間情報基盤への人流データ連携APIの実装			
	ドローン飛行へのSpoofing攻撃の防御技術等の有用性の検証	既存装置の性能評価		ドローン用信号認証機能の開発と検証				ドローンへの実装及びSpoofing検知率の実証評価			
③自律移動モビリティ以外に係る3次元空間情報基盤の開発	空間IDに基づくデジタルツインを用いたデータサイエンティストの教育環境の構築			法政大学デザイン工学部で試行				同大学都市環境デザイン工学科で本格導入			
	点群データを用いたインフラモニタリングシステムの構築			静岡県の点群データに空間IDを付与				平常時・災害時を想定し有用性を検証			
	現地調査アプリIntelligent Survey Systemの空間ID対応化							空間ID対応点検結果データベースの構築			

実施項目ごとの目標達成状況

実施項目	目標	成果	達成度
①3次元空間情報基盤の開発	アーキテクチャを設計し、空間IDに関連付けて管理するメタデータを定義し、仕様書を策定する。既存データのない地点においても地物属性の補完手法を考案する。ユーザAPIのアルゴリズムを設計し、3次元空間情報基盤を構築する。	地図と点群データを用いることで、建物、鉄塔・高圧線、鉄道、水域、道路の3次元空間情報基盤を開発した。また、地図がない地域においてもAIによる地物識別AIを導入した。さらには、膨大な空間情報を高速に解析・配信できる空間ボクセル構造を考案し、外部APIを開発することで、各ユースケースにおける利活用基盤を構築できた。	目標通りの成果
②ドローン等の自律移動モビリティに係る3次元空間情報基盤の開発	運航リスク評価Webシステムと人流・Spoofing攻撃などの動的なリスク情報を統合し、空間ID連携によるリスクアセスメントシステムを実現する。	空間情報基盤連携により、衝突リスクの低減、計画工数の低減が実現できた。具体的には、不可視であった送電線との衝突リスクをドローン運航画面において、可視化を実現し、衝突リスクに加えて、パラメータ（操縦者、機体、運用体制等）設定により、より安全な実証飛行を実現した。また、ドローンの安全航行に寄与する特殊な人流データ集計仕様を定義し、空間IDへの接続APIを開発し、ドローン用の信号認証機能の開発、及びSpoofing検知の実証を行った。	目標通りの成果
③自律移動モビリティ以外に係る3次元空間情報基盤の開発	都市環境デザイン工学科の学科目にて教育環境を構築し、試行・導入する。モデル地区で平常時・災害時における利用シーンの実証実験を実施して有用性を検証する。空間ID対応点検結果データベースの構築。	実際に静岡県下や法政大学のデジタルツイン環境を構築した。そして、それらを活用した教育教材を作成し、学科目に導入した。これにより、ゼミナールにてデジタルツインに関する研究が進行した。また、空間IDに基づいたインフラモニタリングシステムを開発し、静岡県をはじめとする4県7団体に先行配布した。	目標通りの成果

4次元時空間情報基盤のシステムアーキテクチャ



特徴1: 空間IDによるスケーラブルなデジタルツインの構築

■ 課題①

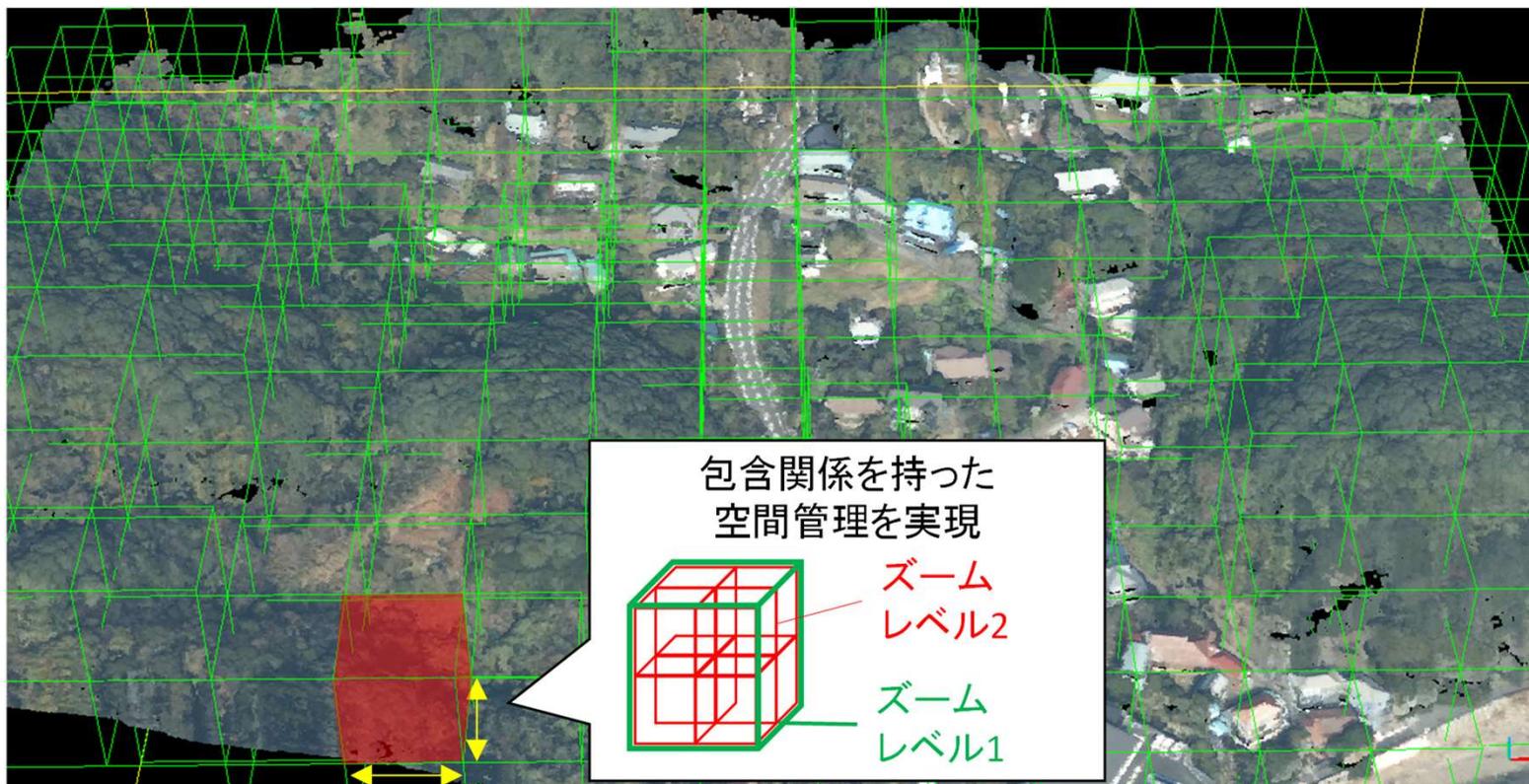
地物等の3次元的な位置を参照可能な環境が必要

■ 対応方法

空間をボクセルで表現

■ 技術的特徴

- 空間IDは、内包関係を持ったボクセルであるため、様々な粒度の属性データと現実空間とをスケーラブルに融合可能
- 空間ボクセルをベースとすることで、差分処理や衝突判定等の高速化が可能

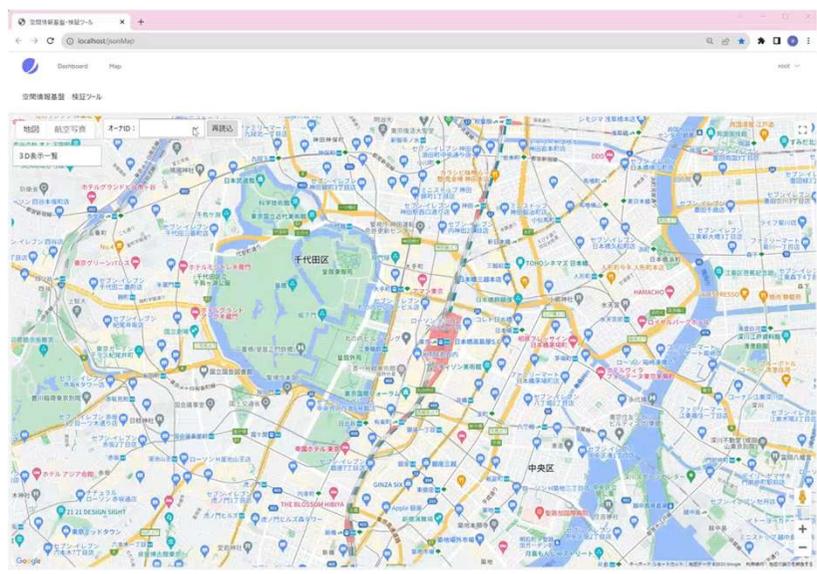
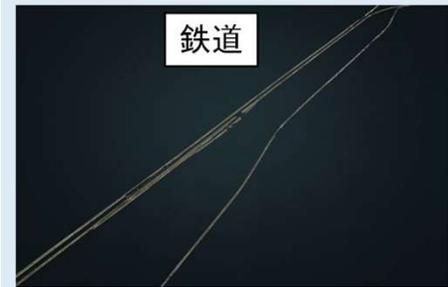
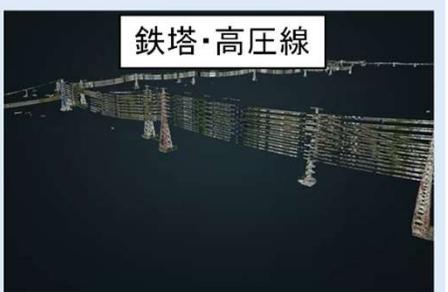
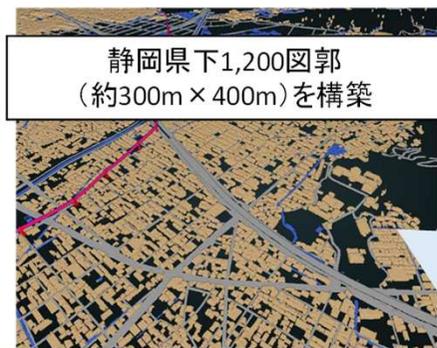


特徴2: 地物単位での空間ボクセルの自動構築技術の開発

■ 課題①
地物等の3次元的な位置を参照可能な環境が必要

■ 対応方法
地物の空間ボクセルを自動構築

- 技術的特徴
- 地図データを参照することで、**点群データさえあれば、全自動で構造物単位の空間ボクセルを生成**
 - 部分的に計測できていない**高圧線**や、地図に一部調製されていない**鉄塔位置を推定して補完可能**
 - 階層的に抽出することで**立体交差した道路にも対応**



特徴3: 高速にシミュレーション可能なデータ構造の定義

■ 課題③

空間解析には多くの時間が必要

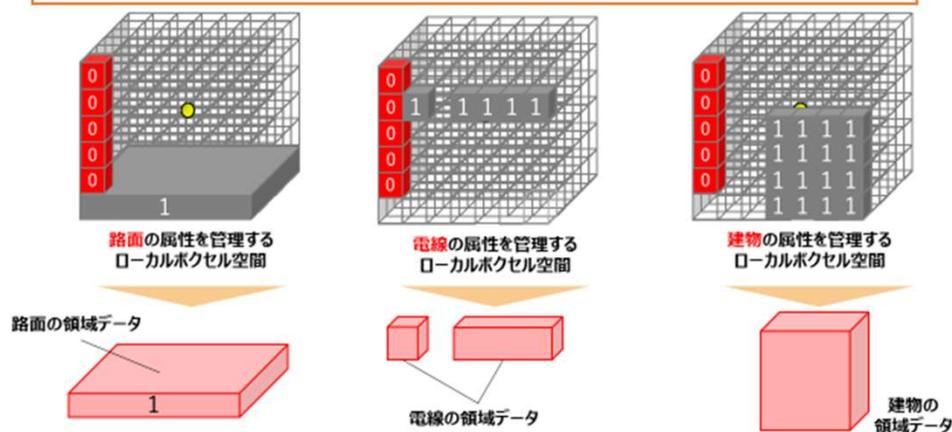
■ 対応方法

空間を0,1で表現し、高速にビット演算

■ 技術的特徴

- 空間を0,1のバイナリで表現することで、**データ量を圧縮**
- **利用用途に応じた地物の0,1空間を対象にビット演算することで高速処理**が可能（例：建物・鉄塔・電線を対象としたドローンの移動可能空間の抽出等）

空間における地物の有無を0,1で表現して蓄積



シミュレーションの利用用途に応じてAND/OR演算にてデータを自動生成例) ドローン等の飛行可能空間の算出

■ 評価対象

ドローンが飛行すると想定し、飛行ルート上の構造物の有無を判定する時間を計算

■ 対象範囲

静岡県全域東西南北約50Km四方(1,200図郭)

飛行ルート計算の速度比較



約1,000倍の高速化を実現!!

特徴4: ブロックチェーンによる共有と原本性保証の実現

■ 課題④

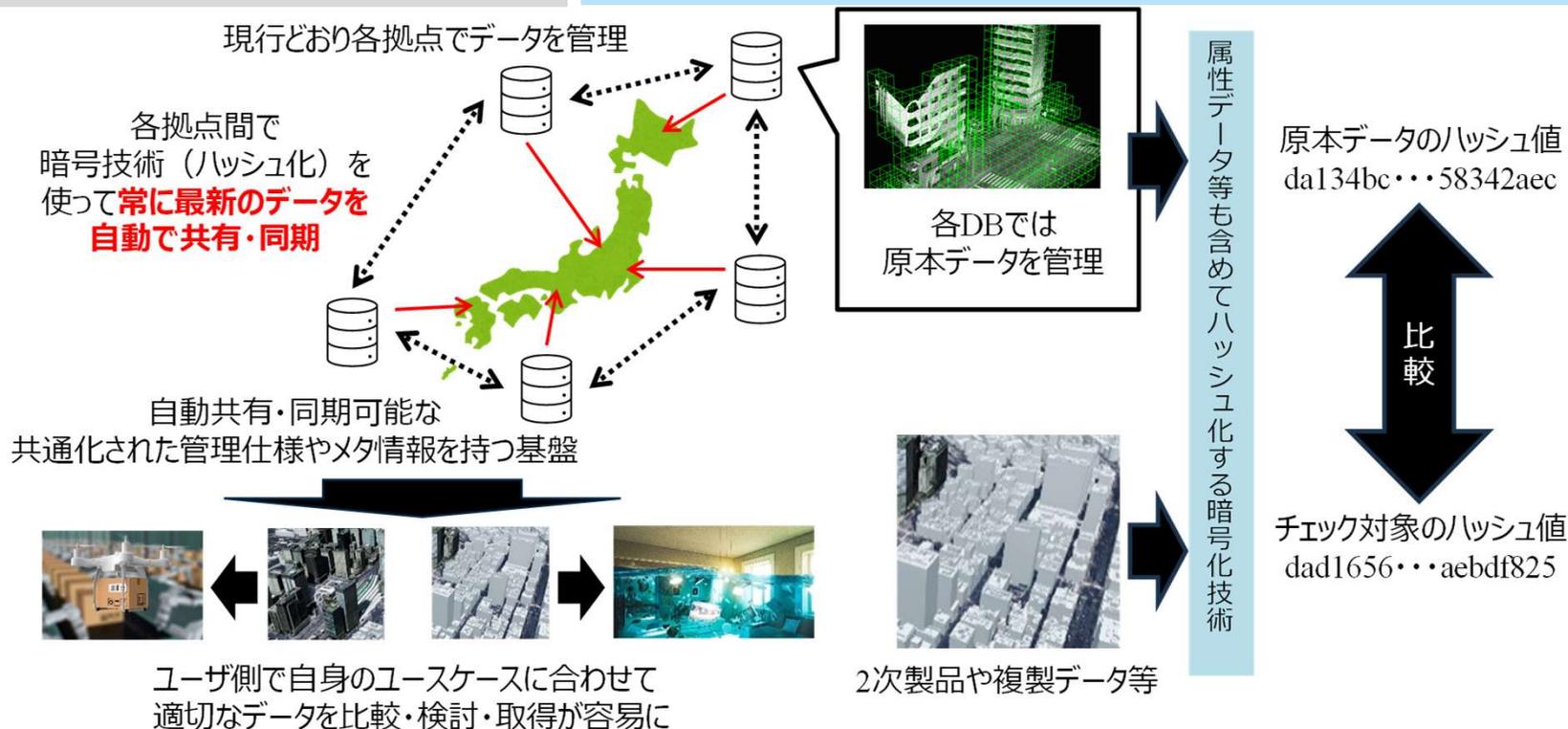
任意地点のデータの有無の即時把握が困難

■ 対応方法iv

ブロックチェーンにて空間情報を保持

■ 技術的特徴

- データの所在をブロックチェーンにて共通管理することで、**複数拠点に蓄積されているデータを網羅的に把握可能**
- ボクセル空間におけるデータの有無 (0,1) からハッシュ値を生成して比較することで、**更新や改竄を容易に把握可能**



ユースケース：自律移動モビリティ

株式会社ゼンリン
LocationMind株式会社

スウィフト・エクスアイ株式会社

ユースケース 自律移動モビリティ

● 目標

- ドローンの飛行安全性を向上する
4次元時空間情報基盤の開発

● 実施内容

- 静岡県での飛行実証による有用性の検証

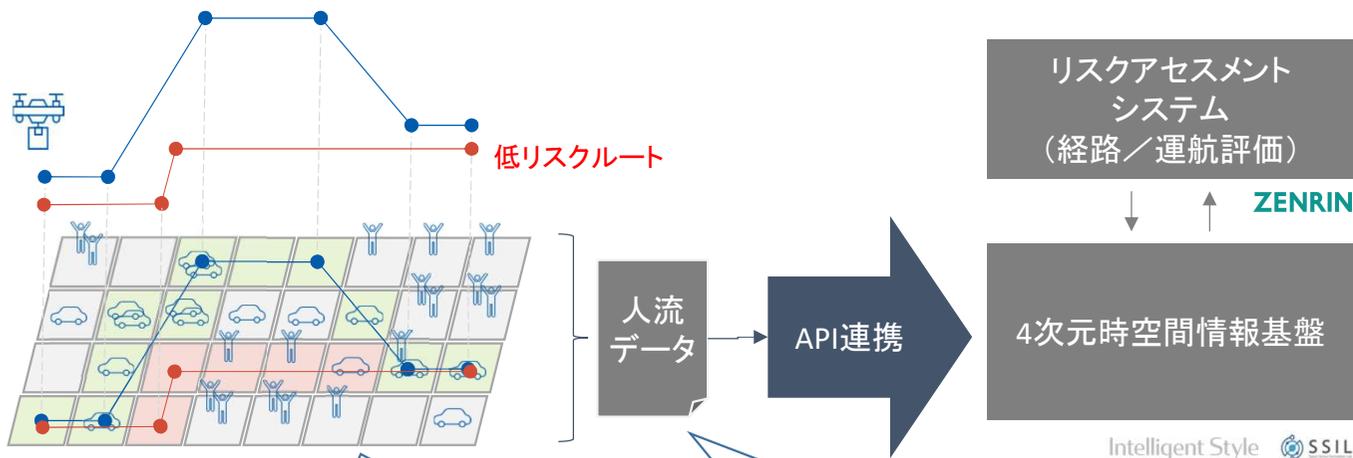
【本事業の特徴】

- ドローンの安全で効率的な運行を支援する **リスクマネジメントをSORA等のデ
ジュールを参照し基盤上に実装**
- 人流・交通流動やドローン自体に対する **Spoofing攻撃（なりすましの脅威）に
対する安全策をアセスに取り込み**
- **米国航空基準(FAA)で開発されたドローン・運用経験に基づき、国内実証飛行
を複数回実施し、リスクアセスメント方法の改善等に反映**

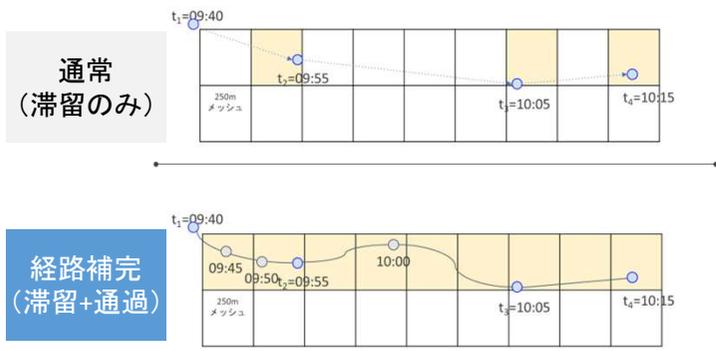


4次元時空間情報基盤への人流データの導入

地上の人流データを空間IDに連携し、ドローンの安全航行ルート選定に寄与



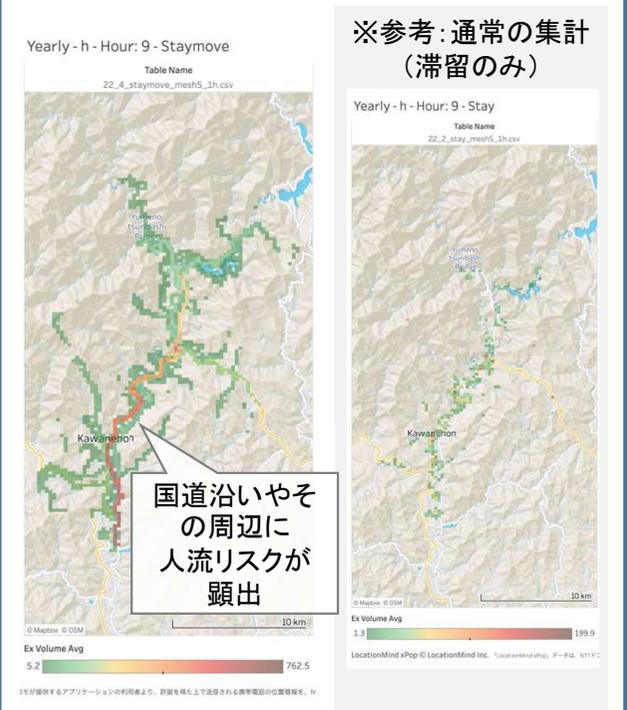
観測点以外の"通過"量を経路補完(内挿)してデータ化



特殊な統計加工処理した全国の人流データベースを整備



実地検証エリアの人流

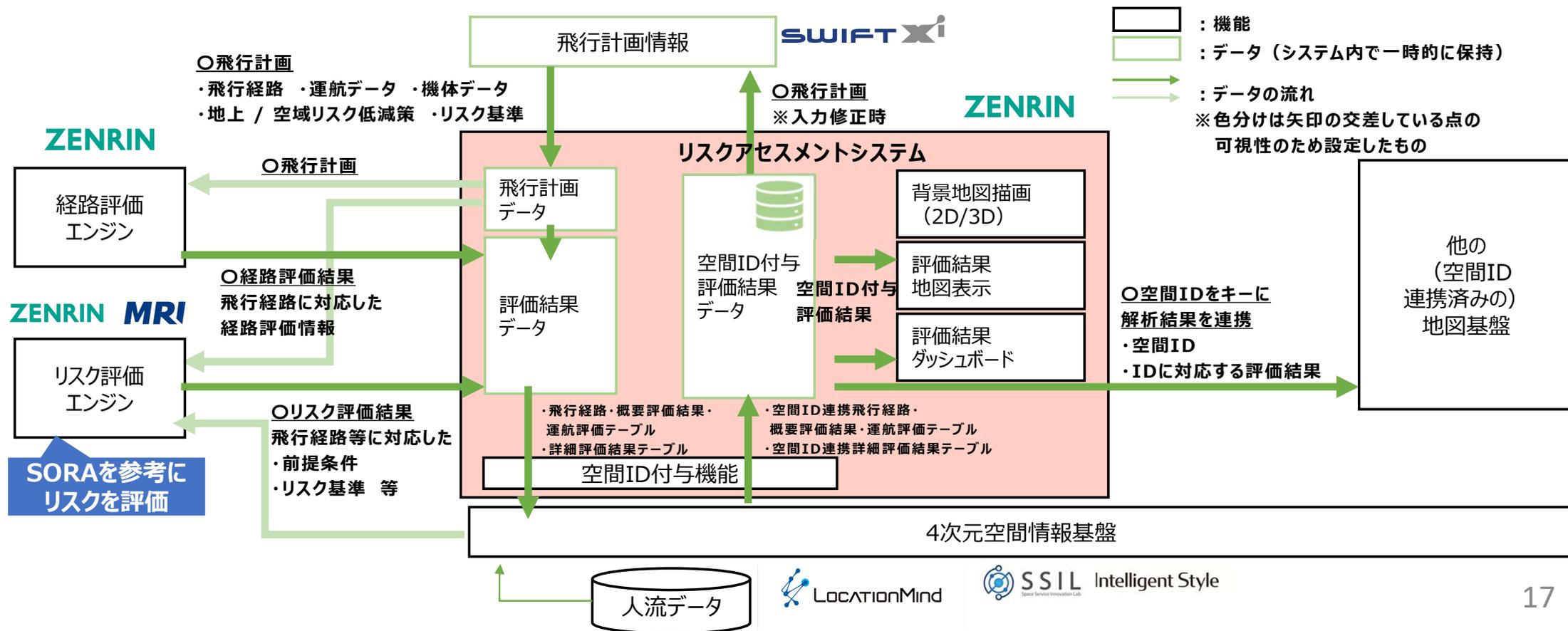


LocationMind xPop © LocationMind Inc.
「LocationMind xPop」データは、NTTドコモが提供するアプリケーションの利用者より、許諾を得た上で送信される携帯電話の位置情報を、NTTドコモが総体的かつ統計的に加工を行ったデータ。位置情報は最短5分毎に測定されるGPSデータ(緯度経度情報)であり、個人を特定する情報は含まれない。

4次元時空間情報基盤を活用したリスクアセスメントシステムの開発

飛行計画情報を元に、経路/運航評価により空間IDベースでリスクを定量・可視化するシステム

- 経路評価はゼンリンで開発済みエンジンを活用。リスク評価はSORAを参考に開発(ゼンリン/MRI共同開発)
- 経路評価・・・作成された飛行計画ルートに対し、地上リスクを中心に障害物からの距離や落下範囲を元に危険個所を判定
- リスク評価・・・地上/空域リスク低減策、リスク基準を元にSORAをベースにSAILを判定。人流データ等を用いて定量化



4次元時空間情報基盤を活用したリスクアセスメントシステムの開発

株式会社ゼンリン

経路の評価結果、横から見た飛行経路、運行携帯のリスク評価結果を1画面で表示
飛行計画のリスクを一目で把握できる様に表示を工夫

飛行計画情報アップロード テーブル出力 評価結果クリア 運行評価設定確認 ヘルプ

電線・鉄塔 NG結果 風向き

NG要因
①衝突
②建物離隔距離
③落下位置警告
④高度上限
※②と③の重複

■リスク基準データ

SORA SAIL (出所: SORA 2.0)	「SORA SAIL 0のレベル」
最終的な地上リスク	-2
最終的な空中リスク	b

■落下衝突死傷確率(X)

総合的な落下衝突死傷確率(X)	限りなく低い
車両への落下衝突死傷確率(Xa)	限りなく低い
歩行者への落下衝突死傷確率(Xb)	限りなく低い

※詳細は「運行評価設定確認画面」を参照ください

■SAILに基づくOSO

OSOのリスクレベル

操作者が必要とされる能力を持ち合わせている (及び/又は) それを証明できること

L 低 O 任意

の対処

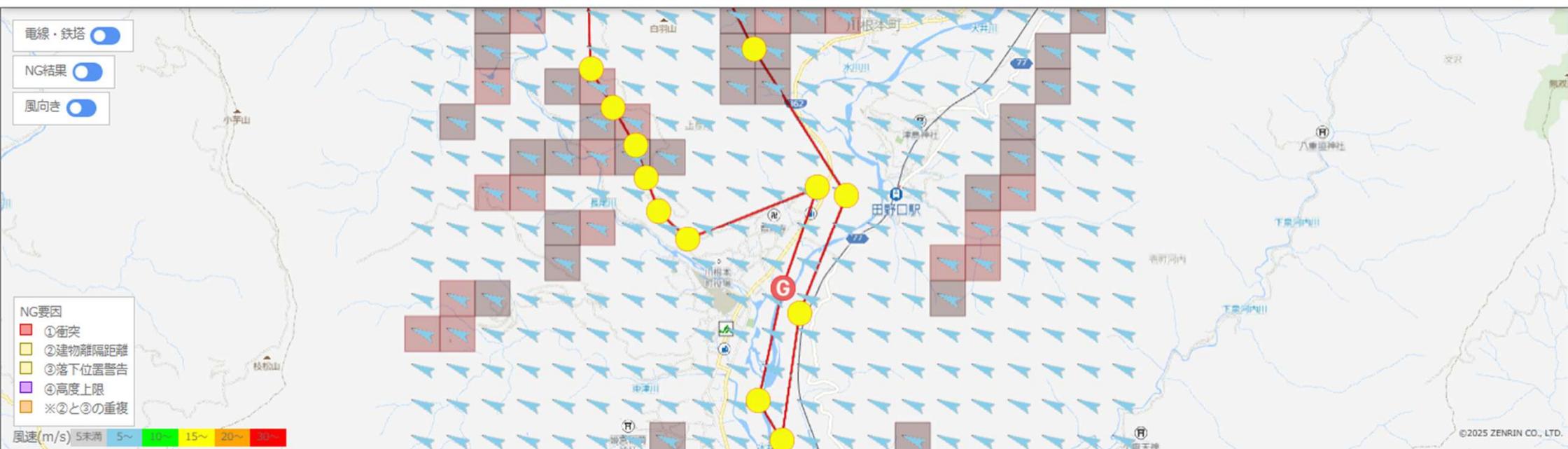
・ヒューマンエラーへの対処

・外部システムの不具合への対処

・有害な外的要因への対処

4次元時空間情報基盤を活用したリスクアセスメントシステムの開発

リスク評価を行い安全に飛行することが可能だったが、ドローン飛行の障害やリスクとなる風の情報と鉄塔・送電線の情報を空間IDをキーとしシステム上に表示し安全な飛行計画作成に寄与するようにした。



4次元時空間情報基盤を活用したリスクアセスメントシステムの開発

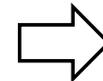
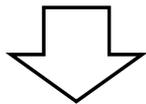
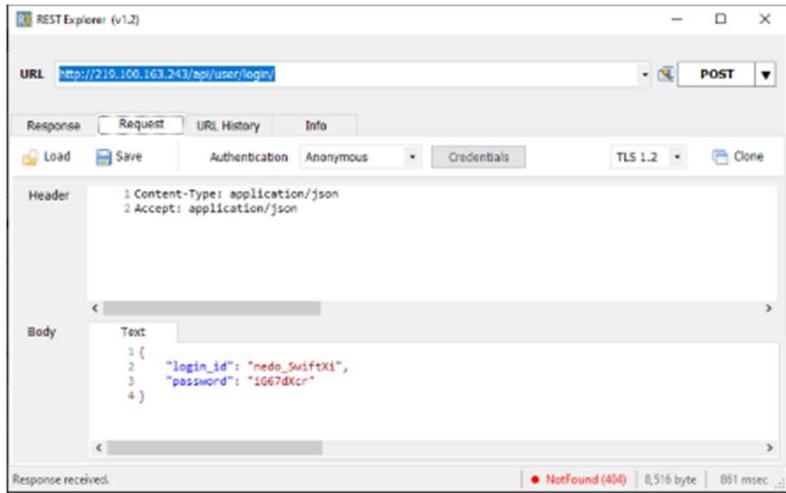
更新頻度:多くのオープンデータには、更新頻度に関する明確なルールや方針がないため、データが最新情報を表していない可能性がある。

網羅性:全国規模で整備されていることが理想だが、実際には自治体単位で整備されているため、利用できる地域が限定される可能性がある。

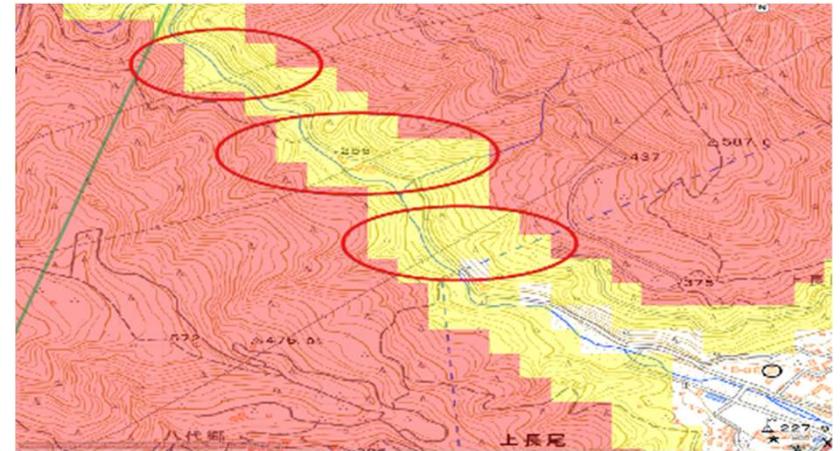
データフォーマット:多くのデータはCSVやシェープファイル形式で提供されており、地理空間情報としては利用しやすい一方で、交通量調査データが独自形式であることから追加の変換作業が必要になる可能性がある。

	民間（有償）データ	オープンデータ
更新頻度	○：基本毎年更新	×：明確なルールや方針がない
網羅性	○：全国データあり	△：各自治体でしか整備していないデータあり
鮮度	○：基本毎年更新	×：更新頻度が不明
精度	○：自社基準に基づき整備	△：出典が不明なため情報の正確性が担保されない
データフォーマット	○：多様なフォーマットに対応	△：独自形式などあり

4次元時空間情報基盤と連携したドローンの自律航行

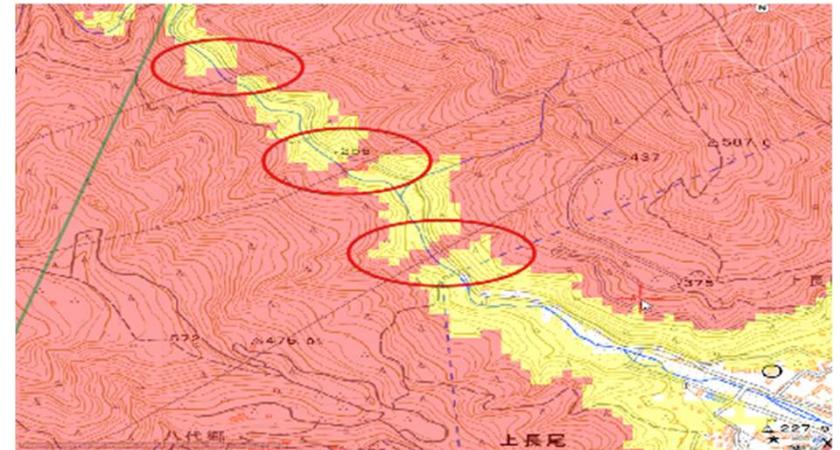


○従来データ



国土地理院発行2.5万分1地形図を加工して作成

○空間ID



国土地理院発行2.5万分1地形図を加工して作成

4次元時空間情報基盤と連携したドローンの自律航行

リスクアセスメントシステムの評価結果（リスクがある場合）

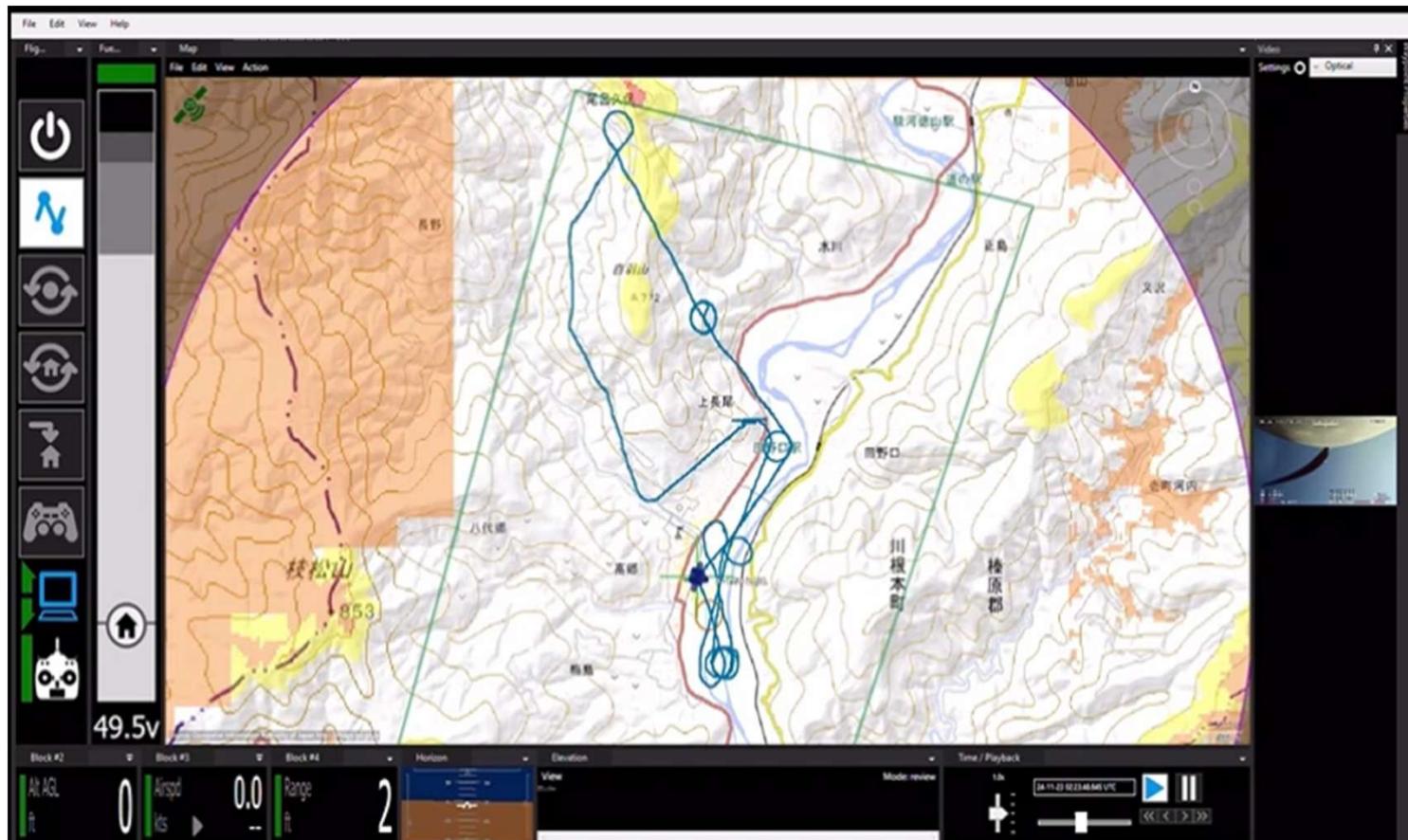
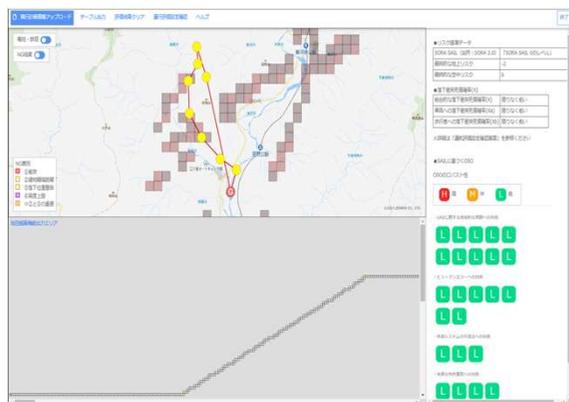


4次元時空間情報基盤と連携したドローンの自律航行

GCS (Ground Control System) 実証機体 Swift Crane 運用システム

リスクアセスメントシステム評価結果

※リスクがない場合



国土地理院発行2.5万分1地形図を加工して作成

Spoofing攻撃の防衛技術の有用性の検証

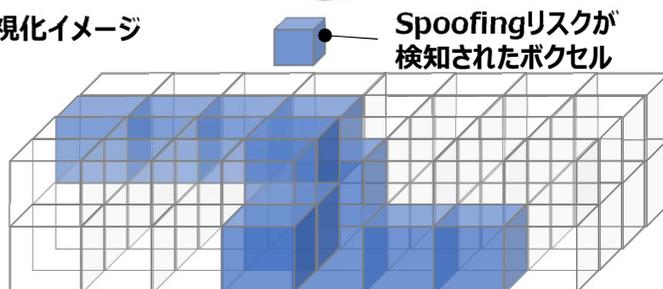
背景

近年、位置偽装（Spoofing）の被害が顕在化



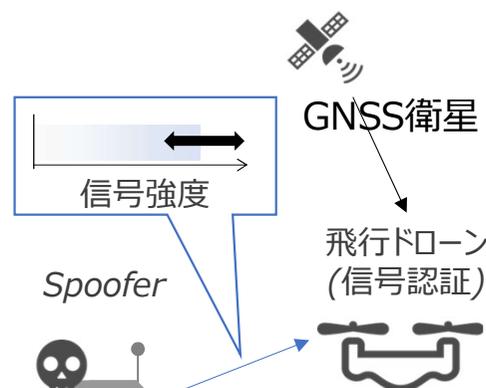
空間IDは、Spoofingのような“見えないリスク”の可視化にも有効

※可視化イメージ



実施内容

信号認証技術を活用し、Spoofingリスクの検知の実現性を検証した



Spoofing信号の強度を変化させ、ドローン側で信号認証の成功率を検証



今後の発展性

1. Spoofingリスクの、空間ID連携の方法論の検討

- どの範囲をリスクとするか？
- どの程度の時間、リスクとするか？
- 推定される原因は？
- etc.

2. その他の“見えない”リスクの空間ID連携



通信環境



電波妨害

ユースケース:教育

Intelligent Style株式会社

ユースケース 教育

● 目標

- 都市経営を担える「デジタル×都市」のデータサイエンティストの輩出

● 実施内容

- 演習教材となる空間IDに基づくデジタルツインの構築および教育プログラムの開発
 - 複数大学※の学科目への導入
- ※ 法政大学、大阪経済大学、摂南大学 等

【本事業の特徴】

- 空間IDに基づくデジタルツインを用いた空間解析や人流データ分析ができるデータサイエンティストを育成
- 大学の教育プログラムと一体となって展開し、長期的な産業・人材競争基盤の強化にも貢献

① 国土基盤の整備・管理

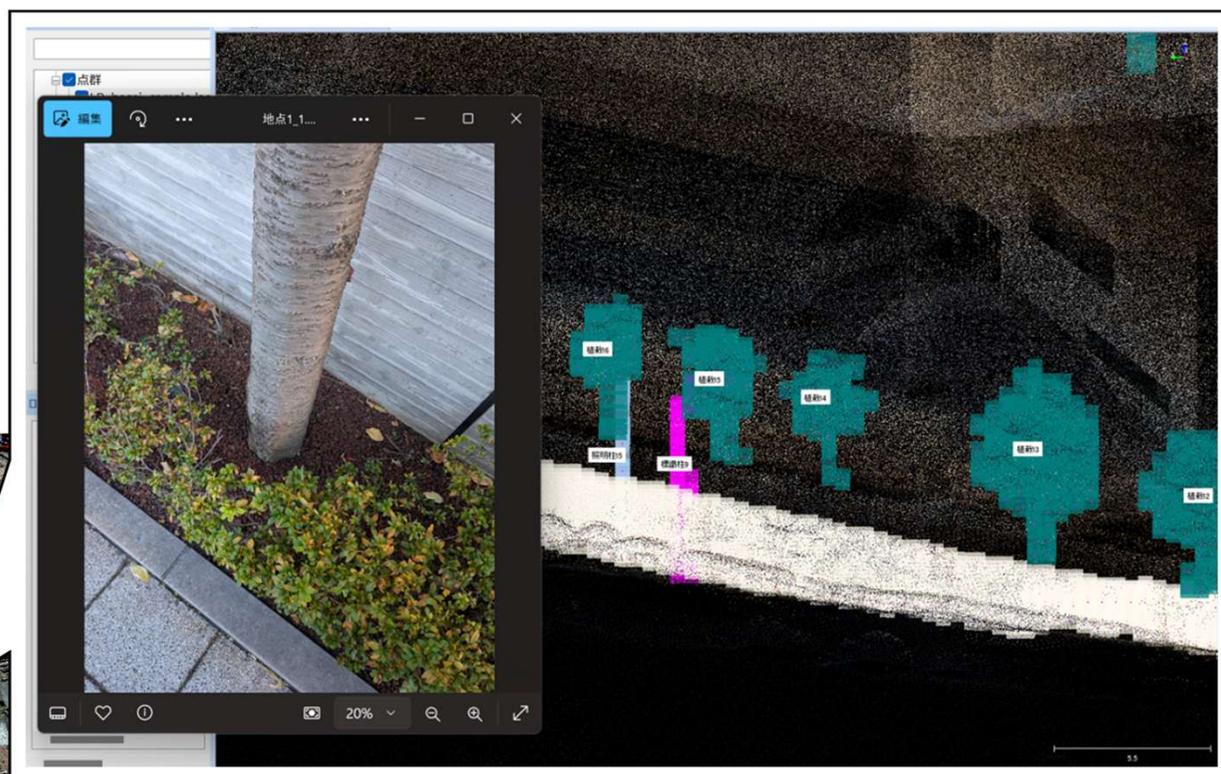
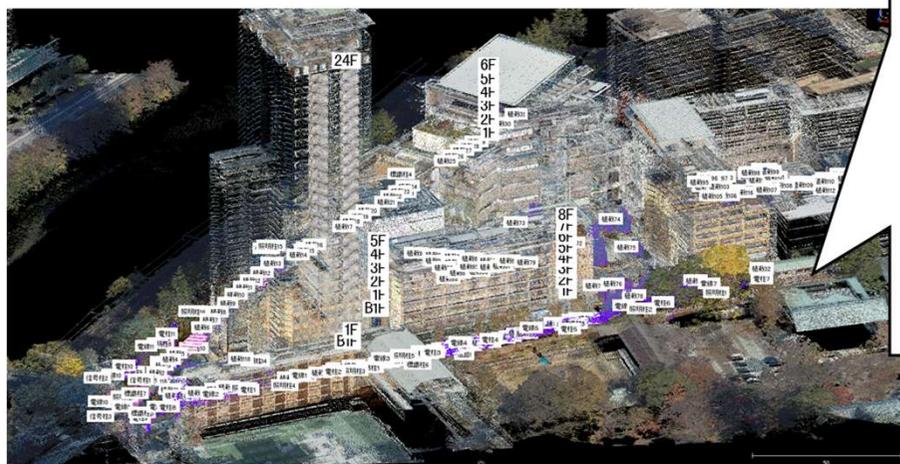
② 都市調査・解析



実践的な都市空間のデジタルツインを用いたデータサイエンティストの育成

デジタルツインを用いたデータサイエンティストの教育環境の導入

- 測量学演習にて、空間IDによるデジタルツイン環境の利点を体験
 - 従来の方法だと点検写真の位置把握が難しく、空間IDによりどのくらいそれが効率化されるかを体験



デジタルツインを用いたデータサイエンティストの教育環境の導入

教育の実施効果

• ゼミナールの授業にてデジタルツインに関する研究を実施

① 空間IDに基づくドローンの航路計算

- 取組内容
 - 空間IDのユースケースの一つとして、空間IDに基づいてドローンの航路を自動計算
 - 空間IDに地物情報と人口密度情報を関連付け、地物と人口密度から空間の重みを設定
 - 重みを考慮しながら適切なドローン航路を自動算出

② 撮影対象の空間ID化

- 背景: インフラ設備の点検作業では、地物の状況を写真として記録するが、被写体ごとの管理が困難
- 取組内容: 画像から被写体までの距離をAIにより推測し、GNSSの撮影位置を加味することで、被写体の位置を推定し、画像を空間IDに集約する技術を開発

③ 日常巡視でのドラレコ映像の活用

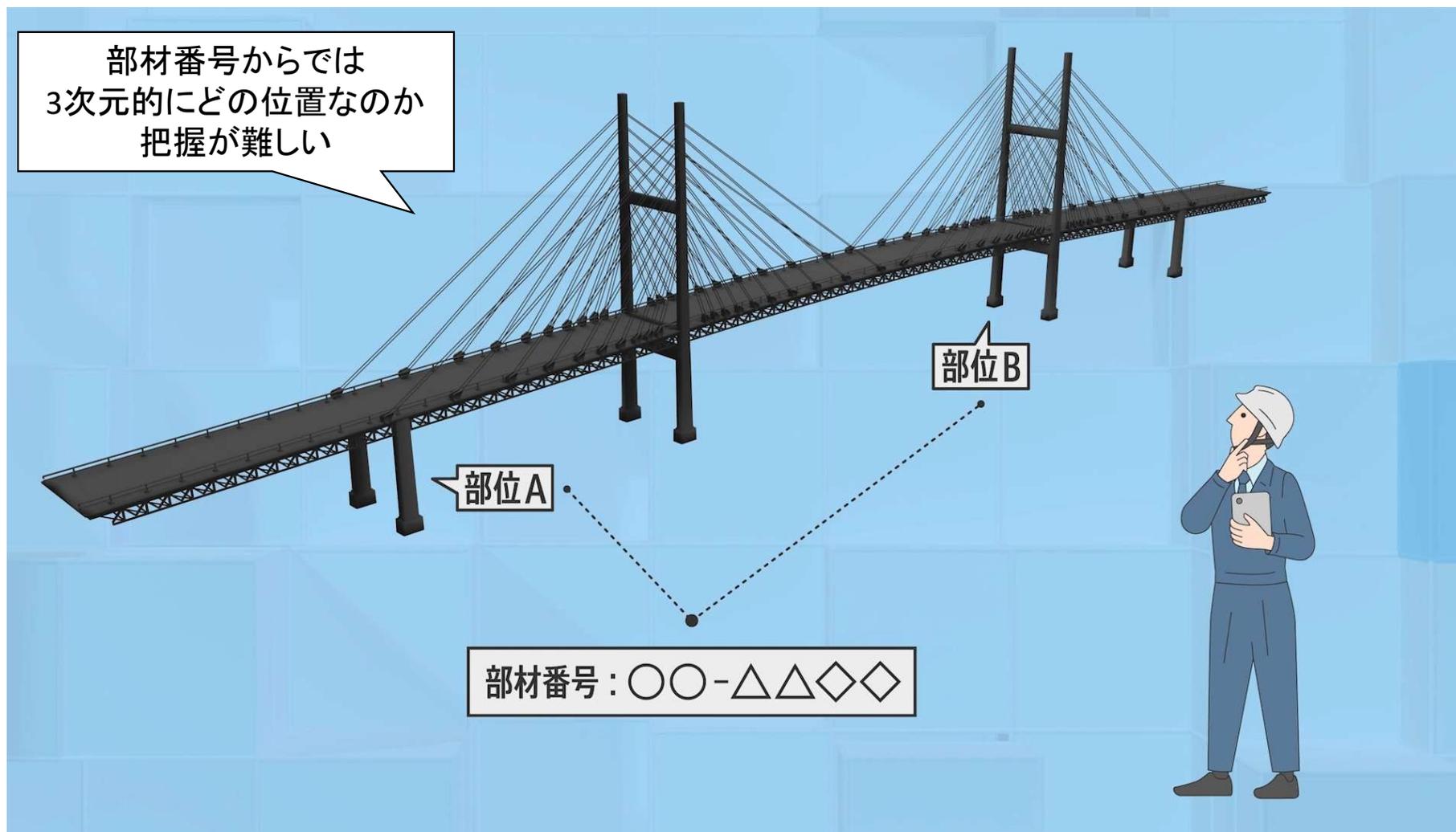
- 背景: 道路点検の日常巡視では、パトロールカーに搭乗して行われるが、そのドライブレコーダー映像は膨大であり、目的の地物が映る画像を探すのは手間
- 取組内容: ドライブレコーダーに映り込む道路地物の画像を、地物の位置を示す領域データに自動で関連付ける技術を開発

ユースケース：インフラ管理

宇宙サービスイノベーションラボ事業協同組合
Intelligent Style株式会社

4次元時空間情報基盤を用いたインフラモニタリングシステムの構築

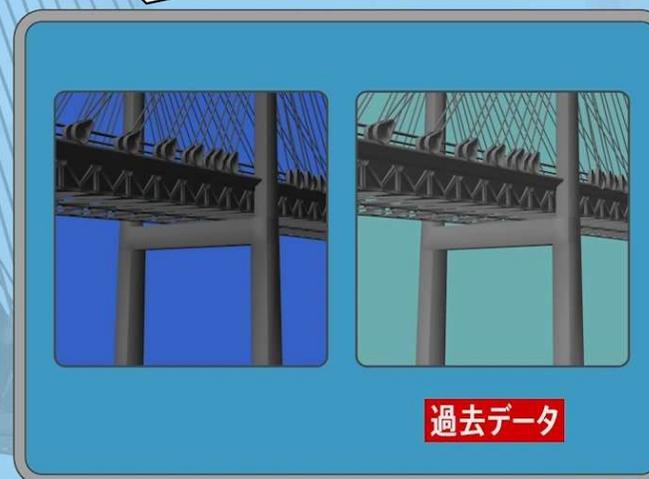
- 私達の生活を支える社会インフラの維持管理の課題



4次元時空間情報基盤を用いたインフラモニタリングシステムの構築

• 未来のインフラ点検技術の提案

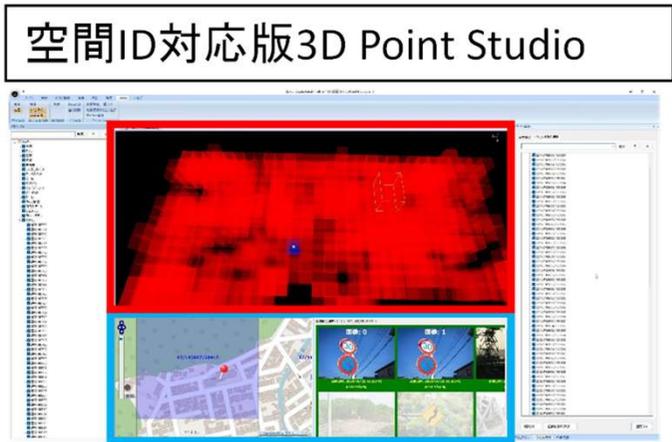
点検箇所の直感的な確認や、
分野横断的なデータの統合を実現



点検箇所を空間IDで3次的に把握し、
空間IDに点検結果を蓄積していくことで、
点検情報をシームレスにアクセス・追加する仕組みを提案

4次元時空間情報基盤を用いたインフラモニタリングシステムの構築

システムの全体像



空間IDに基づいて、
地物情報や点検情報を
統合して蓄積し、
解析に活用可能

点検情報

空間ID(位置情報)に基づいて連携

地物情報
(空間ボクセル)

現地調査アプリ

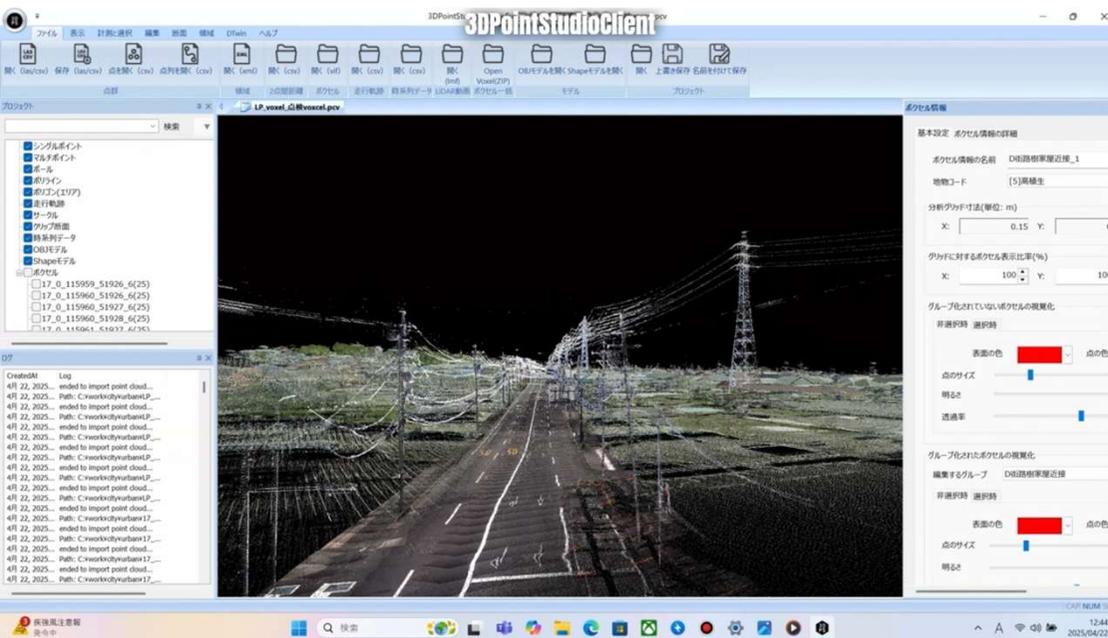
既存システム

4次元時空間情報基盤

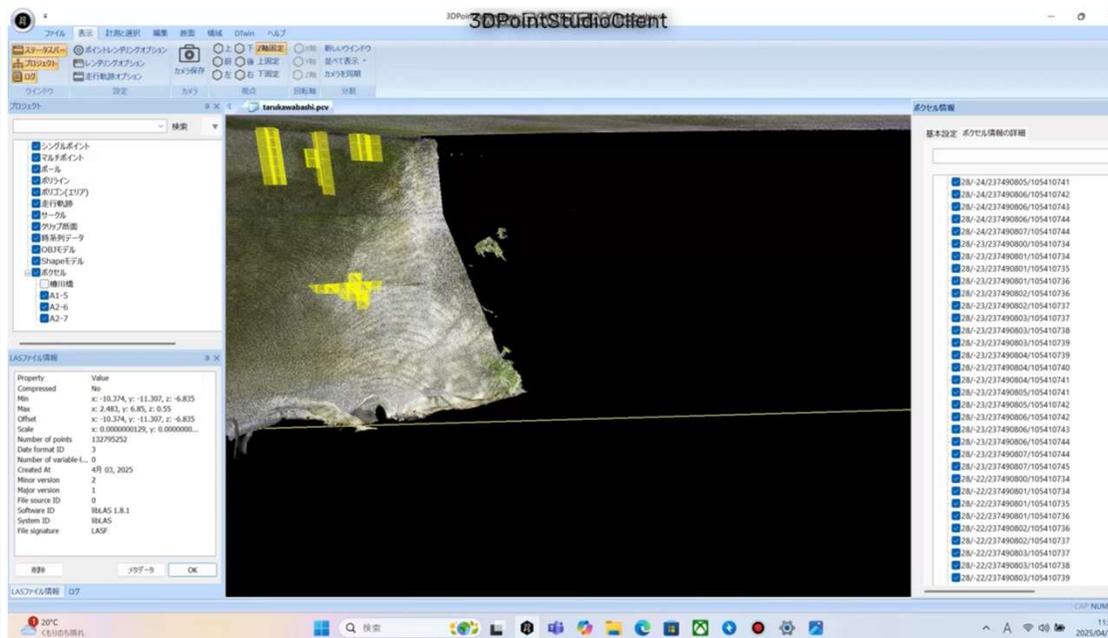
Intelligent Style社が保有する3D Point Studioと
現地調査アプリに対して、空間IDに対応するための機能を追加実装

空間ID対応版3D Point Studioの概要

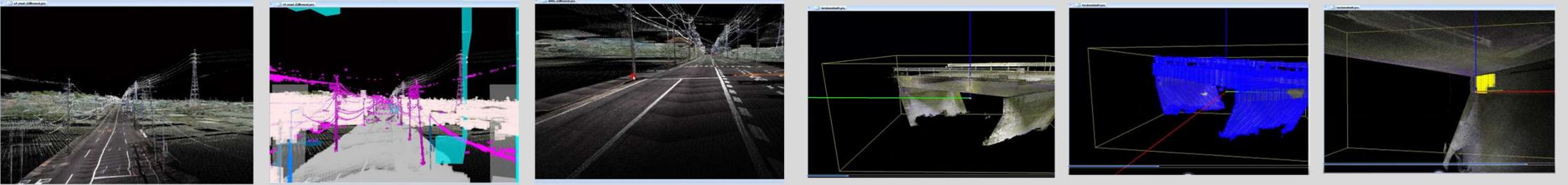
宇宙サービス
イノベーションラボ事業協同組合/
Intelligent Style 株式会社



都市部のデジタルツイン環境



橋梁のデジタルツイン環境



ダイジェスト画像

現地調査アプリの概要

点検モードの主な機能

点検モード

地点選択

動画像の
登録

点群データ
の登録

点検結果
の登録

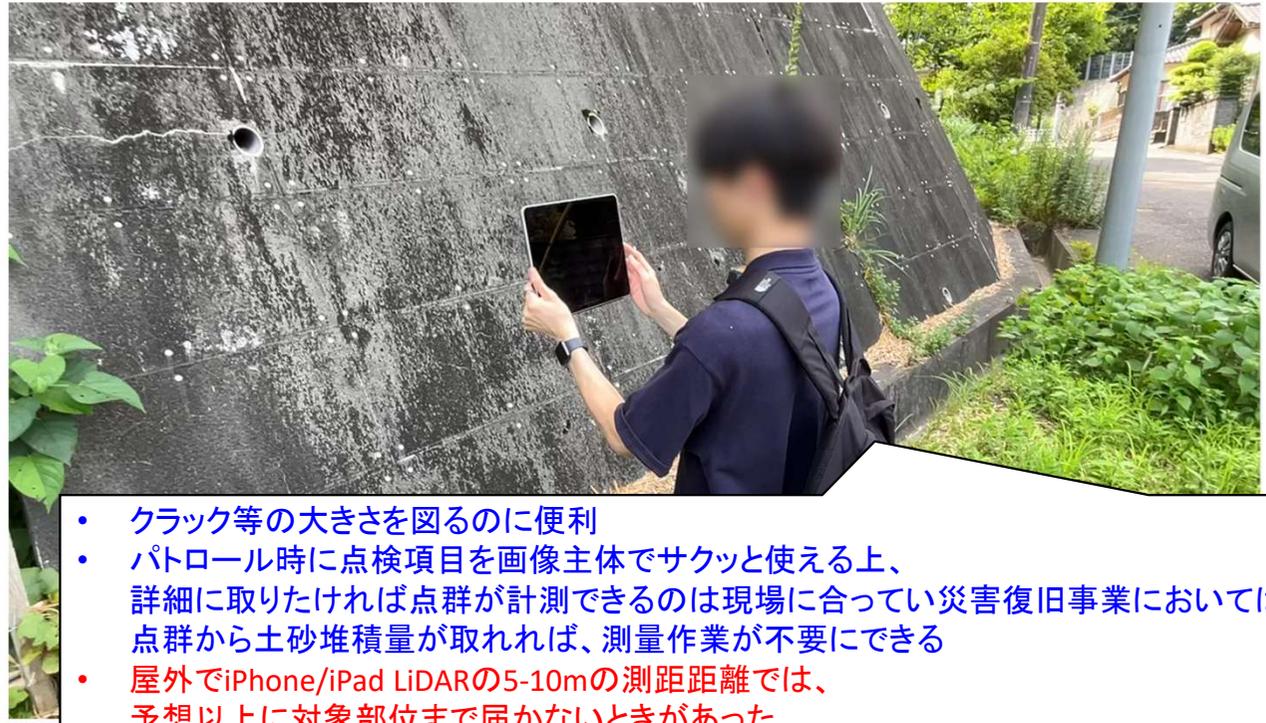


端末のGPSにより、**点検箇所**の位置が地図上に表示
地点が正しいことを確認し、**“地点更新”**をタップ

4次元時空間情報基盤を用いたインフラモニタリングシステムの実践

• 現地調査ツールおよび空間ID対応版3D Point Studioの先行配布

- Intelligent Style社が保有する3D Point Studioと現地調査アプリに対して、空間IDに対応するための機能を追加実装
- 4次元時空間情報基盤を構築し、4県7団体(静岡県、静岡市、裾野市、伊豆の国市、香芝市、埼玉県、豊田市)に本環境を先行配布
- 4次元時空間情報基盤を用いた次世代のインフラ点検を、地方公共団体の実務担当者と協働しながら試行



- 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、詳細に取りたければ点群が計測できるのは現場に合ってい災害復旧事業においては、点群から土砂堆積量が取れば、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

4次元時空間情報基盤を用いた未来のインフラ管理

- 自律型ロボット等の活用による点検結果のデジタルツインへの関連付け
 - 空間IDを活用して、上部工(路面損傷)と下部工の状態を管理

路面 (上部工)

床版下・桁 (下部工)

状況写真

あの場所のボクセルにある写真だ!

部材の位置が明確

点検帳票

状況写真

再利用・蓄積できる!
短時間で確認できる!

橋梁の帳票管理

【出典】 <https://techshare.co.jp/product/patrobot/>