

令和5年度
スマートシティ実装化支援事業
報告書

令和6年3月

国土交通省 都市局
羽田第1ゾーンスマートシティ推進協議会

目次

1. はじめに	1
1-1. 大田区及び区域の課題.....	1
1-2. コンソーシアムについて.....	2
2. 目指すスマートシティとロードマップ	4
2-1. 目指す未来.....	4
2-2. ロードマップ.....	6
2-3. KPI	6
3. 実証実験の位置づけ	8
3-1. 目指す実装の姿.....	8
3-2. 実証実験を行う技術・サービスのロードマップ内の位置づけ.....	16
3-3. ロードマップ達成に向けた課題.....	19
3-4. 課題解決に向けた本実証実験の意義・位置づけ.....	19
4-1. 実証実験① 建物インフラを活用したロボット走行の安定性・安全性向上	20
4-2. 実証実験② AR技術及び空間情報を活用した新たな施設設備管理の実現	46
5. 横展開に向けて一般化した成果	73
5-1. 得られた成果のポイント.....	73
5-2. 横展開に向けて一般化した成果.....	74
5-3. 大田区課題解決に向けた横展開への示唆.....	75
6. まちづくりと連携して整備することが効果的な施設・設備の提案	77

1. はじめに

1-1. 大田区及び区域の課題

大田区の上位計画等を整理した結果、現時点において、下表の通り、大田区が特に解決すべき課題は「交通」「健康」「生産性向上」「観光・地域活性化」の分野があり、すべての分野が「産業」の課題につながると整理される。

なお、大田区の課題は時間経過とともに変化していくことも想定されるため、大田区から協議会に大田区の課題を継続的に提出することで、必要に応じて取り組む課題を更新していくことを想定している。

図表 1-1-1 大田区の課題

分野	大田区の課題	活用する主な先進的技術
産業	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 全国有数の中小企業集積地で高い技術力の維持発展、国際化への対応 ✓ ベンチャー・創業者支援、技術革新の促進 	—
交通	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 木造密集地域等における交通弱者の移動手段の確保 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 自動走行技術（自動運転バス等） ✓ 複数モビリティの遠隔統合管制プラットフォーム ✓ エレベータ制御システムと自動運転パーソナルモビリティ（PSM）の連携技術
生産性向上	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 生産年齢人口の減少、担い手不足への対応 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 自律型ロボット ✓ ロボット制御システム ✓ 建物維持管理データ分析 AI
観光・地域活性化	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 大田区の都市観光推進のための認知度向上 ✓ 「おおたのモノづくり」の観光資源化 ✓ 商店街活動等を通じた地域づくりの取組による賑わいの創出 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ アバターロボット ✓ AR アプリ ✓ 人流センサ・人流データ解析・可視化
健康	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 高齢化が進む社会における健康寿命の延伸や未病の取組 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ ICT を活用したインセンティブ付与アプリ（健康ポイント等）

1-2. コンソーシアムについて

大田区の持続可能な成長・発展に向けて、対象区域において大田区が抱える多様な課題解決に向けた実証的取組が可能な事業実施体制の構築を図るため、「官+民」が連携し、「羽田第1ゾーンスマートシティ推進協議会」を設立した。協議会はスマートシティの推進主体として位置付け、推進主体の機能として「全体会」「推進事務局」「ルール部会」「ビジネス開発・運営部会」「都市OS運営部会」を設置することとする。

協議会の運営にあたっては「全体会」を各種報告や重要事項の決定の場として全会員が参加してスマートシティ推進の承認や意思決定を行う。

「推進事務局」は会長輩出の羽田みらい開発及び副会長輩出の大田区、羽田みらい開発の代表企業である鹿島建設及び事務局機能を担う日本総合研究所を中心に、全体会の運営やスマートシティ実行計画等の計画検討及びモニタリングや情報発信等を行う。

「ルール部会」においては、スマートシティサービス等の具体化を行うビジネス開発・運営部会においてデータ等の取り扱い等のルールについて検討が必要となった際に、当該ルールに関係する会員にてルールの検討や全体会へのルール承認依頼等を行う。

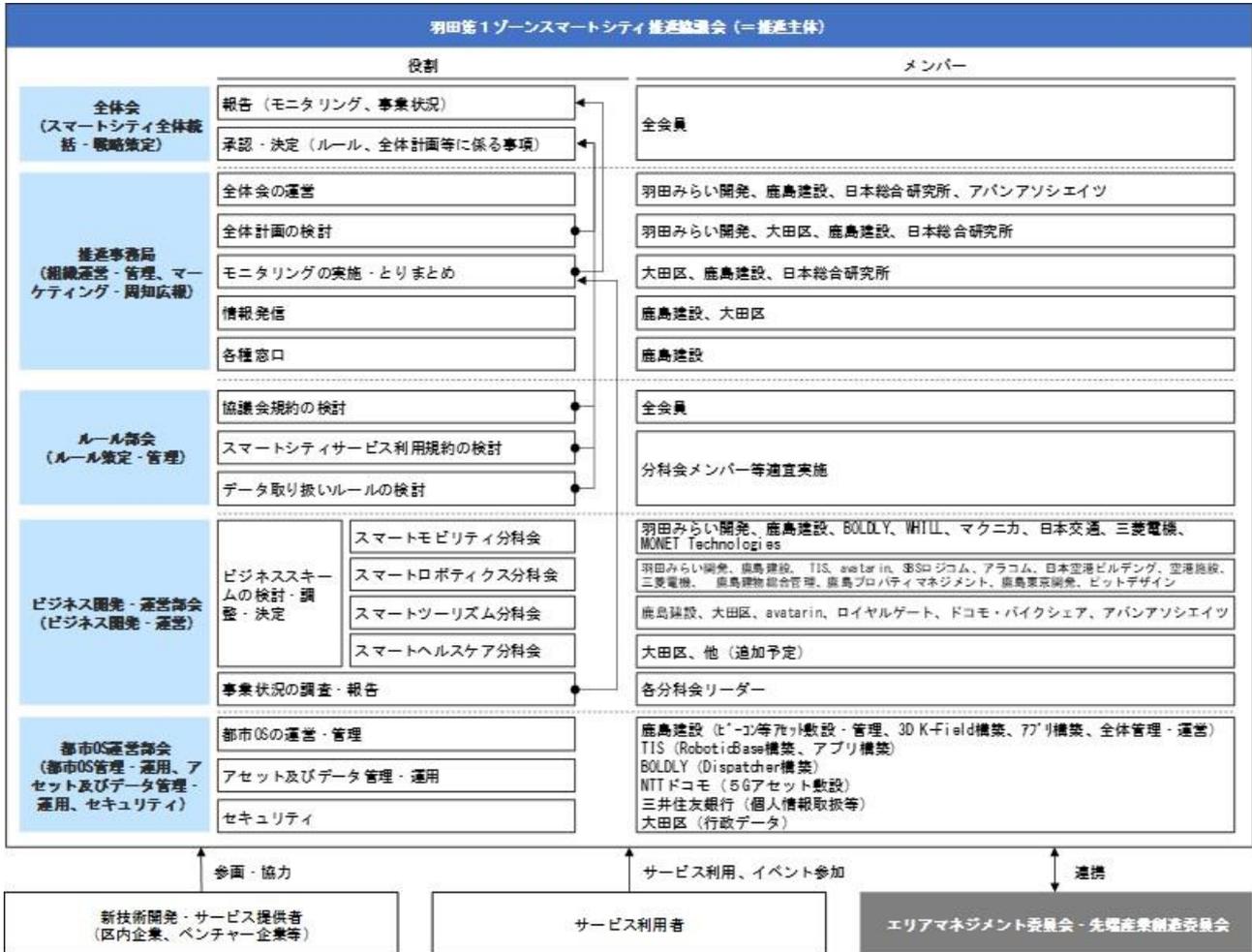
「ビジネス開発・運営部会」では、本スマートシティにおいて特に取り組む4分野の分科会を設置して、各分野でのスマートシティサービスの検討や開発の具体化、実証実験の検討・実施等を担う。

「都市OS運営部会」においては、都市OS構築者である鹿島建設を中心として都市OSの整備及び運営や機能拡張の検討・実装を担う。また、必要に応じてアセットの整備や情報の取り扱いに適した会員が参加することを想定する。

また、全体の事業推進にあたっては協議会内でクローズすることなく、エリアマネジメント委員会や先端産業委員会との連携を図るとともに、スマート協議会外の区内企業やベンチャー企業などの実証参画・協力の推進を可能とする体制の構築を目指す。

■コンソーシアムの体制

図表 1-2-1 羽田第1ゾーンスマートシティ推進協議会(=推進主体)



2. 目指すスマートシティとロードマップ

2-1. 目指す未来

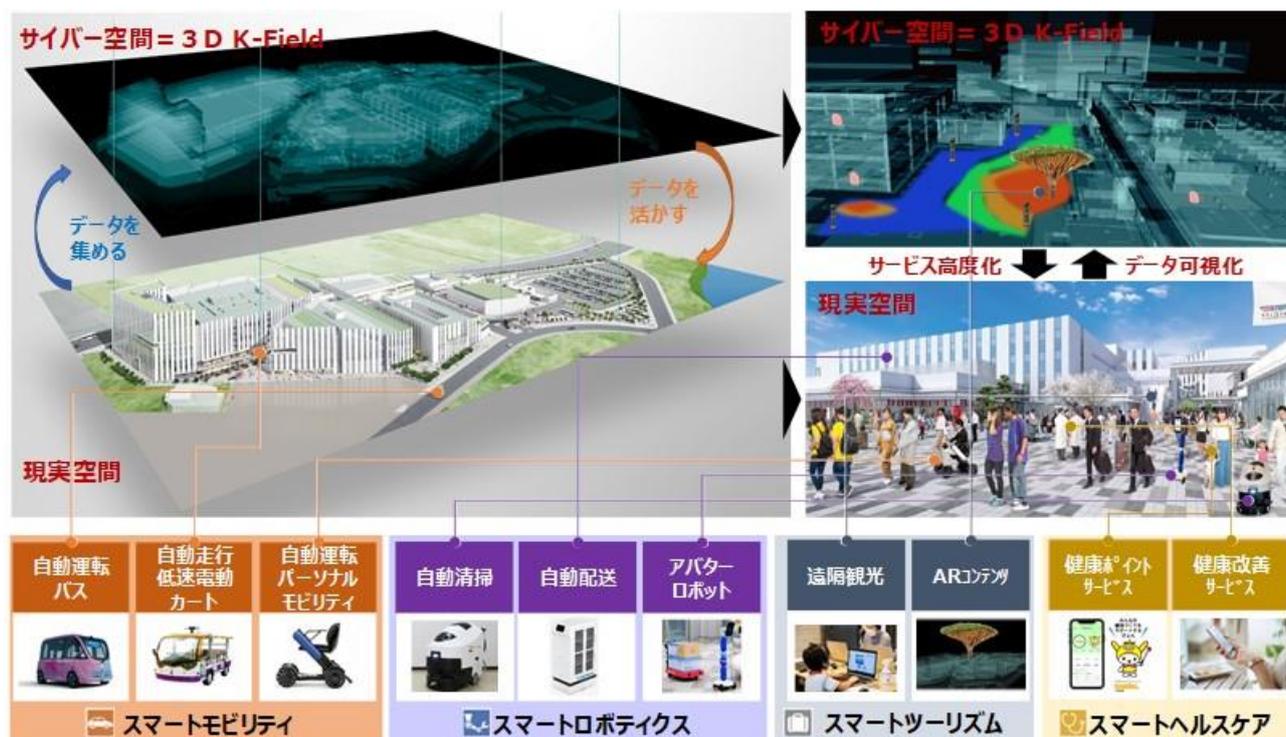
「持続可能都市おおた」の形成を支えるテストベッドとしてのスマートシティ

- 都市の様々なデータを収集・分析可能なデータ連携基盤を構築し、実証的取組に適したテストベッドとしてのスマートシティを形成
- 形成したテストベッドにおいて多様な実証的取組を展開し、大田区の課題解決に貢献。大田区が取り組む課題解決アプローチを同様の課題を有する全国自治体に展開
- 協議会会員企業はHICityにおける実証的な取組をショーケースとして発信し、新たなサービス・ビジネスモデルを大田区全域を始めとし、全国に展開。協議会外のプレーヤーも HICity の活用や大田区課題への取組が可能なオープンな環境を構築

図表 2-1-1 目指す未来1



図表 2-1-2 目指す未来2



上記コンセプトを実現するため、以下の取組を実施することを目指す。

■ 区内及び羽田第1ゾーンの課題解決に向けた取組の実証及び展開

区内課題に対応した先端的な実証的取組を羽田第1ゾーンで行い、その成果を区の多種多様な課題解決のための取組に還元することで、持続可能都市おたの形成を目指すとともに、羽田第1ゾーンへ実装することにより、新産業創造・発信拠点としての機能を高め、魅力的な空の玄関口としてのまちの形成を目指す。

■ 空間情報データ連携基盤の構築

まち全体を対象としたBIM上に対象地における様々なデータを統合・可視化・分析することが可能な「空間情報データ連携基盤」を構築する。加えて、グリーンフィールド型のまちづくりであることから、まちづくり当初よりセンサ等の機器を導入することにより、多様なデータ収集を可能とする仕組みを構築する。

これにより、データ活用の推進に寄与すると共に、協調領域として空間情報や時間情報を活用可能とし、先端技術の実証・実装を行う環境を整える。

■ 産業交流を促す実証的取組の誘発

構築した空間情報データ連携基盤や実証実験を実施可能なフィールドを提供することで、最先端技術の実証・実装を誘発し、先端産業創造発信拠点としてのプレゼンスを高める。また、収集したデータを一般に広く公開しユーザー自身がアプリケーションやサービスを追加・アップデートしていく成長型の区域を目指す。

2-2. ロードマップ

2020年7月のまちびらき以降、各分野での実証実験や実装を実施する。また、実証実験の結果を踏まえ、2023年度を目標として実装や実証実験のさらなる深度化を図る。図表 2-2-1 ロードマップ

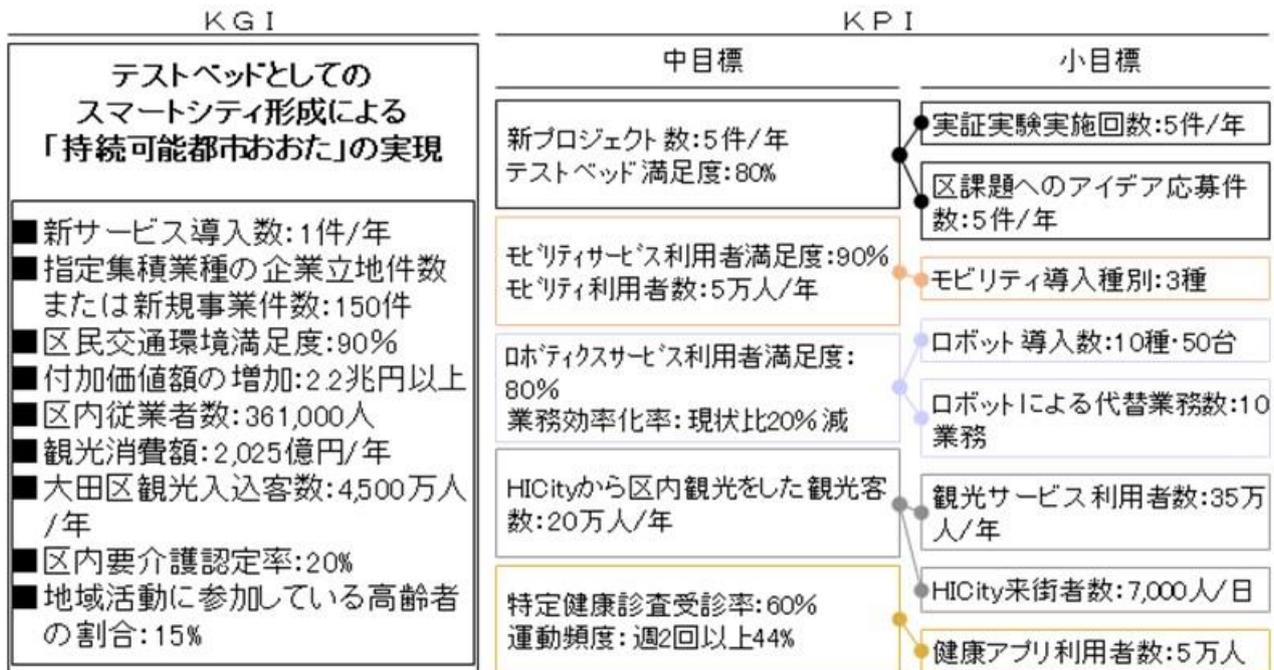
実施項目		2020年度				2021年度				2022年度				2023年度				2024年度				2025年度				
		1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	
マイルストーン			▲まちびらき												▲グランドオープン											
多様な主体の参画体制の構築			■検討			■協議会外主体による実証実験				■実装																
横展開																					■区内横展開検討					
空間情報データ連携基盤構築	3D K-Fieldの構築		■構築																							
	DispatcherとのAPI接続		■API接続実装																							
	ロボット統合管制システムとのAPI接続		■API接続実装																							
スマートモビリティ	自動運転パーソナルモビリティ実装		■自動運転パーソナルモビリティ実証							■自動運転パーソナルモビリティ実装																
	自動運転バスの拡張	大田区他地域展開 (HICity⇔羽田空港間の運行)	■HICity内実装				■HICity⇔羽田空港の公道保安員無実証			■HICity⇔羽田空港の公道保安員無実証			■HICity⇔羽田空港の公道でのレベル4実証	■HICity⇔羽田空港の公道でのレベル4実装												
	保安要員の削減					■HICity内保安員無実証																				
	自動運転低速電動カートの実装		■実証			■実装検討																				
スマートロボティクス	ロボットの導入	清掃ロボットの導入								■実装																
		警備ロボットの導入								■実装																
		物流ロボットの導入								■実装 (伴走あり)												■無人公道実証			■無人公道実装	
		配送ロボットの導入								■実証			■複数台実証	■配送能力向上実証	■デリバリーサービス実装											
	ロボット施設連携	ロボット対応型エレベーターの導入								■実装																
	ロボットの統合管制	統合管制システムの導入				■実証				■実装																
EVシステム連携・走行範囲拡大 (施設内)									■実証	■実装																
インシデント対応システム構築・連携													■実証		■機能拡張									■実装		
	建物インフラ連携・走行範囲拡大 (公道・準公道)														■実証									■実装		
スマートツルズム	アバター拠点機能	アバターロボット導入								■観光実証	■実装															
		アバタースポット整備																								
	ARコンテンツ開発・実証・実装	ARアプリの構築									■ARアプリ実証															
		ARアプリによる案内機能									■ビジ初実証			■実装												
		ARアプリによるエンタメ機能									■検討	■機能実証	■ビジ初実証	■実装												
		ARアプリによる施設管理高度化														■実証										■実装
		ARアプリ大田区他地域展開																				■実証			■実装	
		大田区はねびん健康ポイントスポットの設置									■実装															
データを活用したエリアマネジメント	人流データの可視化									■実証														■実装		
	データ活用によるエリアマネ施策									■検討			■実証											■実装		
スマートヘルスケア	大田区はねびん健康ポイントとの連携	ポイントの設置																						■実装		
		イベントとの連携																							■イベント実証	■実装
	健康データ収集・活用を通じた健康改善サービス展開	個人情報の取り扱い検討																						■検討		
		健康改善サービス																							■サービス検討	

2-3. KPI

課題解決に向けたスマートシティ戦略とその KGI・KPI 及び 2023 年度時点での目標値を以下のように

設定する。KPI の有効性については毎年度確認を行い、必要に応じて見直しを行うことで成果の検証方法についても改善していくことを想定する。

図表 2-3-1 2023 年度時点での目標値



3. 実証実験の位置づけ

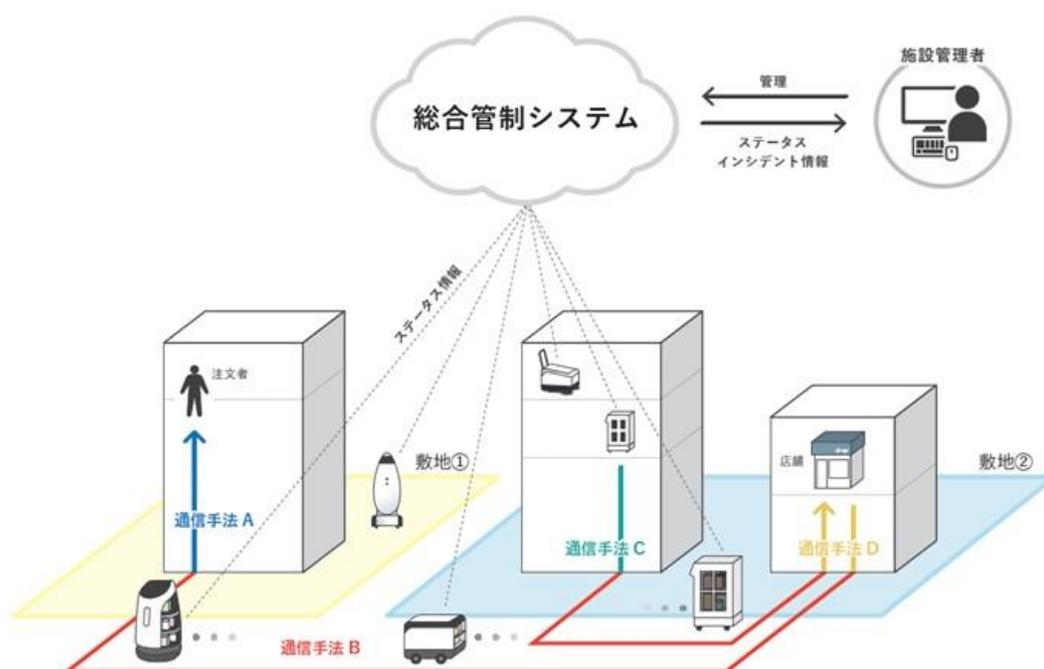
3-1. 目指す実装の姿

本事業の対象区域では、都市の様々なデータを収集・分析可能なデータ連携基盤を構築し、実証的取組に適したテストベッドとしてのスマートシティを形成することを目指している。また、形成したテストベッドにおいて多様な実証的取組を展開し、将来的に大田区内に横展開することで都市課題の解決に貢献することを目指している。

本年度は 2023 年度の対象区域のグランドオープン時に予定しているスマートシティの本格実装に向けた準備段階として位置付けており、本実証実験においては、スマートロボティクス分野の実装段階に必要な導入技術や導入システムの検証、施設管理業務の効率化に資する技術の検証、実装に向けた課題を把握し、取組内容の精査を行う。

本実証実験を踏まえ実現を目指すロボットを活用したサービスの提供を支えるロボット管制の将来像について図表 3-1 に示す。施設に様々なロボットが導入された際に、インシデント情報を含む各ロボットのステータスに関する情報を一元的に管理する統合管制システムが構築されることにより、様々な分野でサービス提供を行うロボットサービスの横断的な管理が可能となり、仕様が異なる異業種の個々のロボットの統合的な管理体制構築が実現される。また、統合的な管理体制構築に伴い、ロボットサービスを導入する施設管理者等のロボット管制に係る業務の効率化（業務負担の低減化）に資することが期待される。前述の取組より、ロボットによる生産性、業務代替性、利便性の向上により生産人口減少や担い手不足といった社会課題の解決を目指す。

図表 3-1-1 スマートロボティクス分野における統合管制システムを活用したロボット管制及びロボットサービス提供の将来像のイメージ

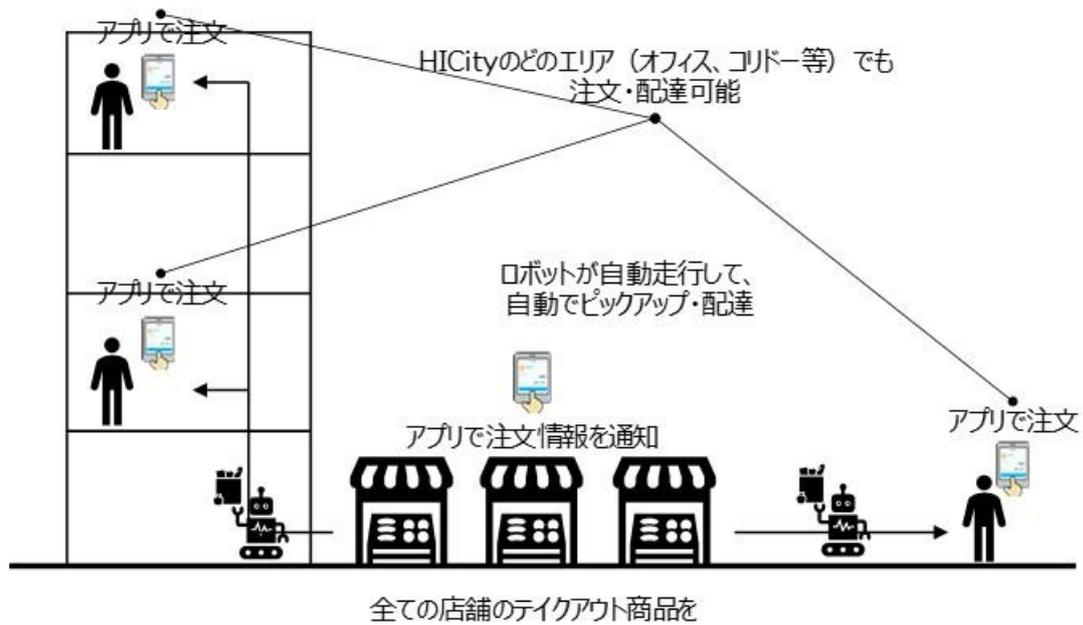


(1) 実装するサービス

① ロボットデリバリーサービス

HICity のどこからでも、アプリを利用することで施設内店舗のテイクアウトメニューを購入することが可能で、ロボットが店舗から HICity の任意の地点の注文者まで自動で配送するサービスを提供する。施設内店舗はアプリから注文情報を受け取り、商品を準備すると自動でロボットが商品を受け取りに来て配送する。

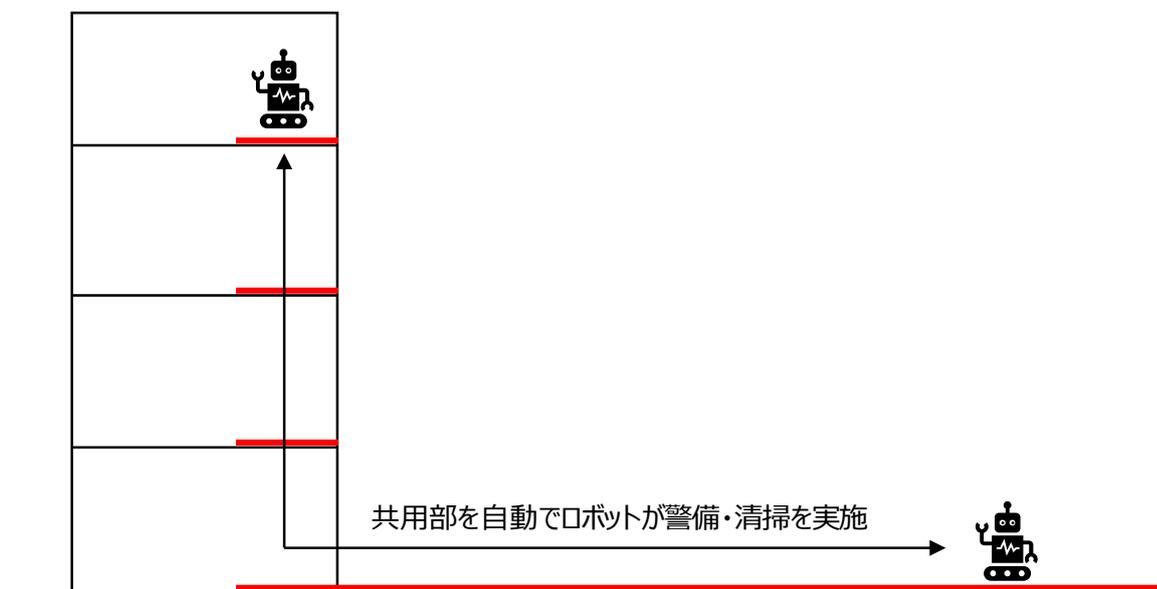
図表 3-1-2 ロボットが提供するデリバリーサービスのイメージ



② 警備・清掃ロボット

HICity 内の警備業務及び清掃業務にはロボットが導入されており、自動での哨戒業務や共用部の床清掃業務が実施する。

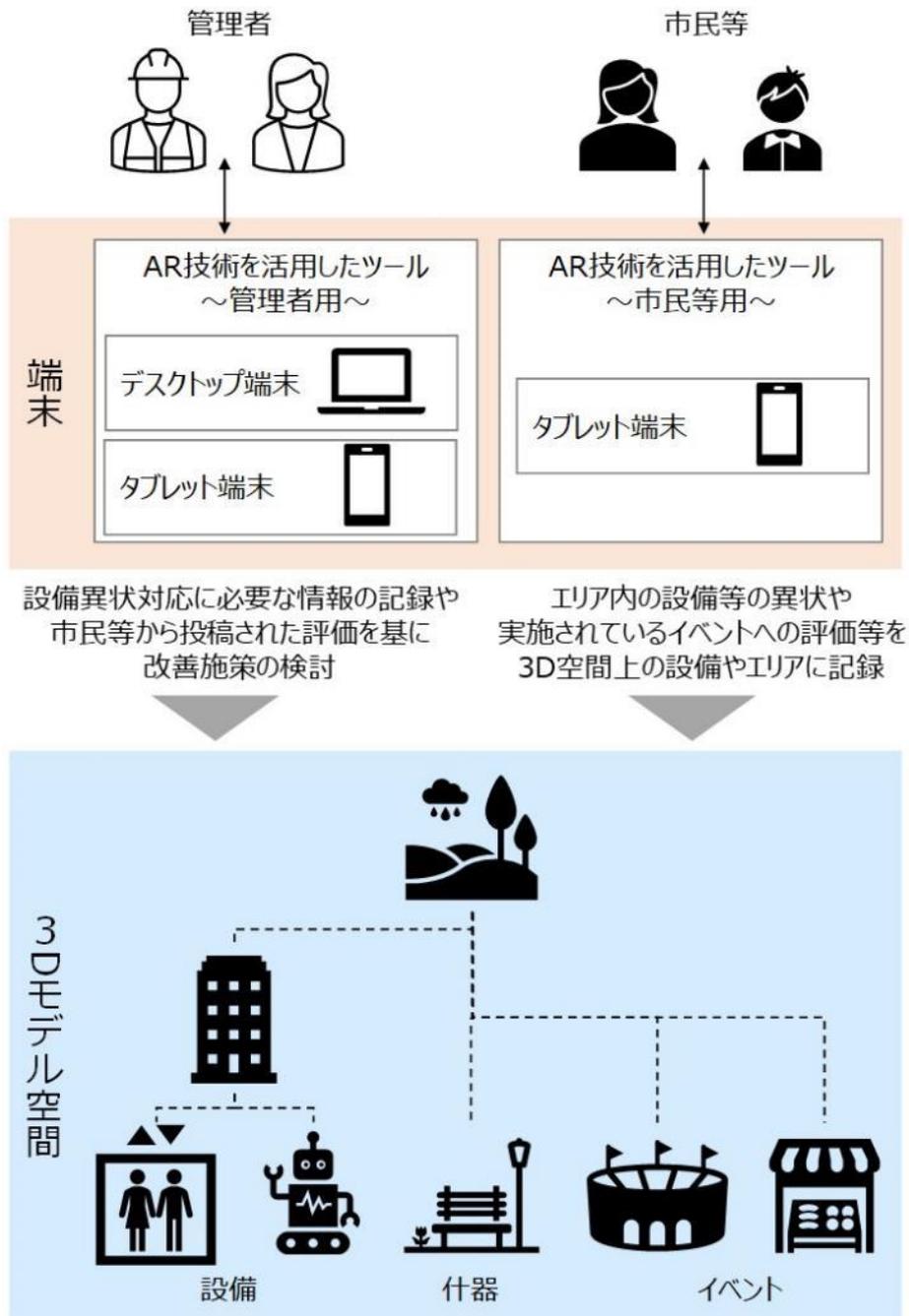
図表 3-1-3 ロボットが提供する警備・清掃サービスのイメージ



③ AR 技術を活用した空間マネジメント

3D モデル空間上に管理の対象となる施設やエリアを構築しており、この 3D モデル空間上の施設やエリアの任意の場所に、管理業務に用いる文字や画像情報等を自由に記録可能な AR 技術を活用したツールを用いて空間マネジメント業務を実施する。

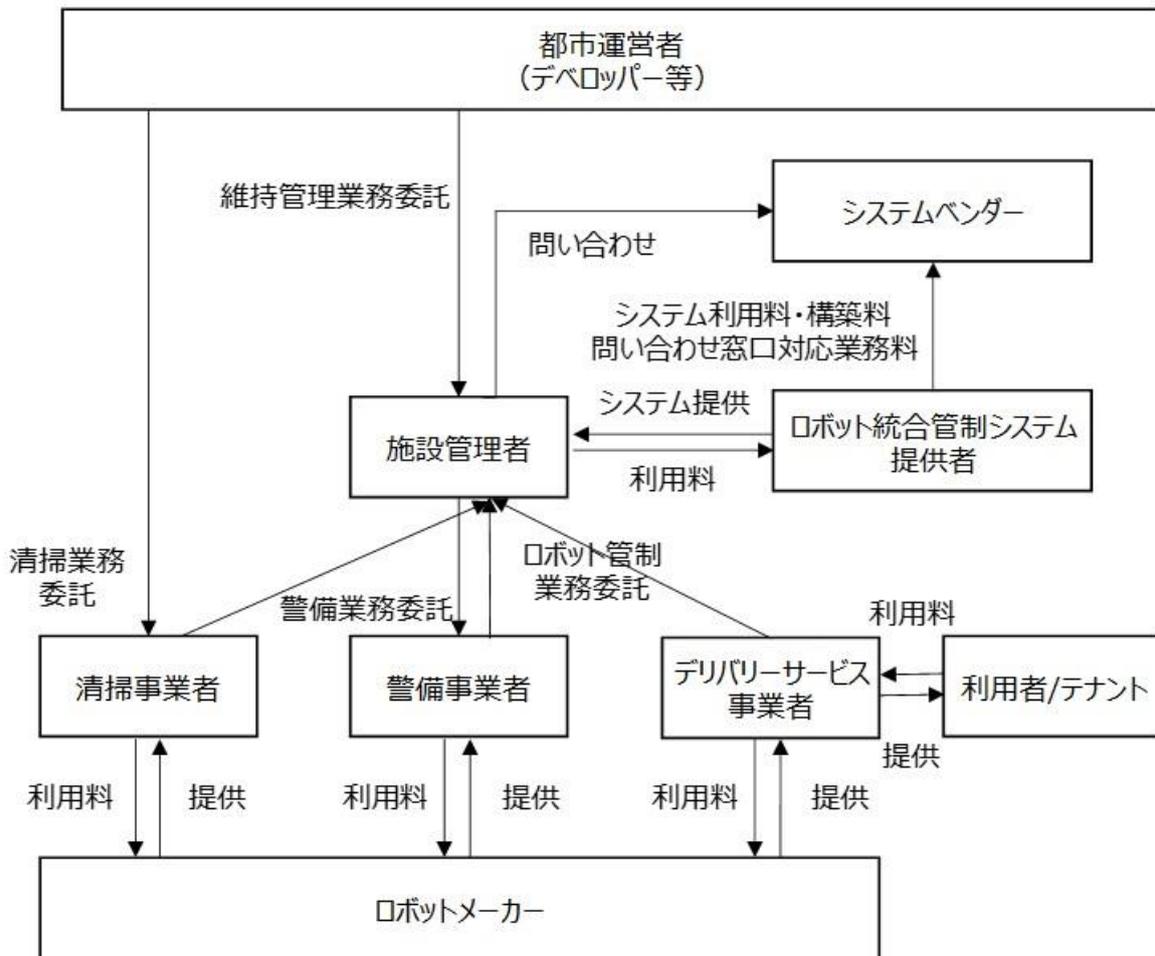
図表 3-1-4 AR 技術を活用した空間マネジメントサービスのイメージ



(2) 都市運営スキーム

ロボットサービスが効率的に運営されるためには、各都市の運営者がロボットの軽微な管理業務を担うことが望ましい。現在はロボットメーカーや個別のシステム開発者が管理を担うことが多いが、ロボット等の先端技術についても施設の有する設備として施設管理者が統合的に管理を担っていくことを目指す。

図表 3-1-5 ロボットサービスの運用スキームのイメージ



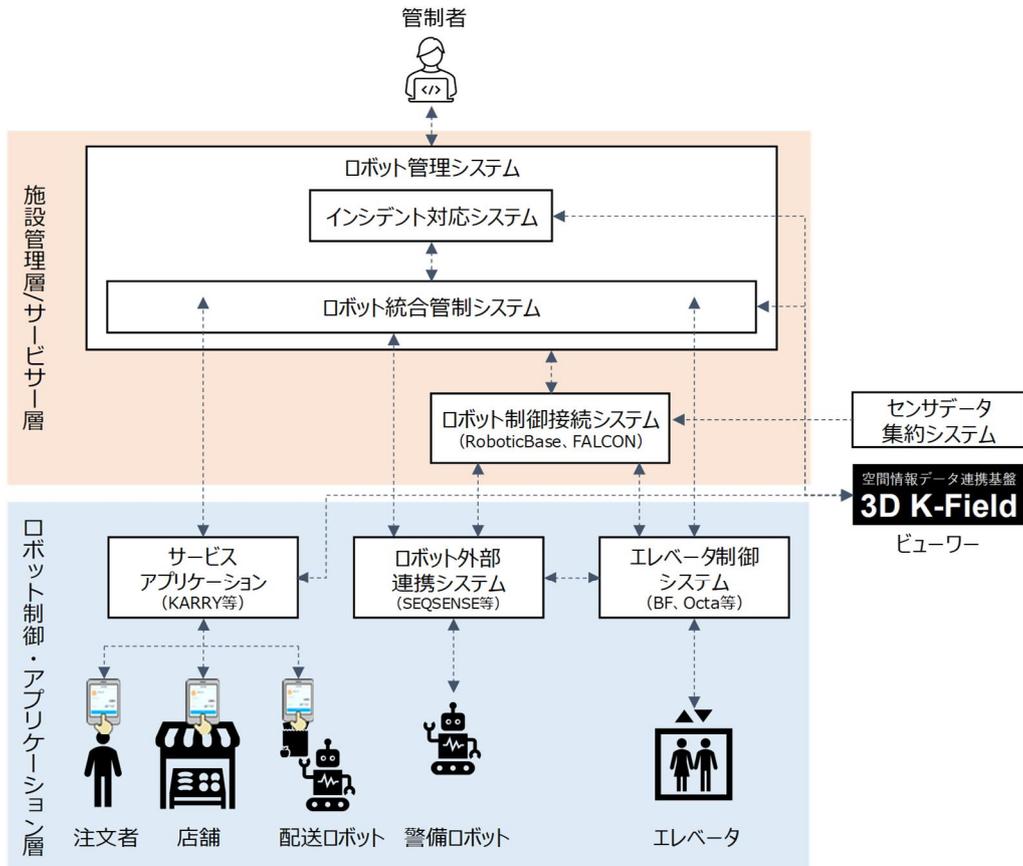
(3) システム

HICityにおける先進技術を活用したサービスを効率的に運用するとともに、柔軟に拡充・改善を可能とするシステムを構築する。

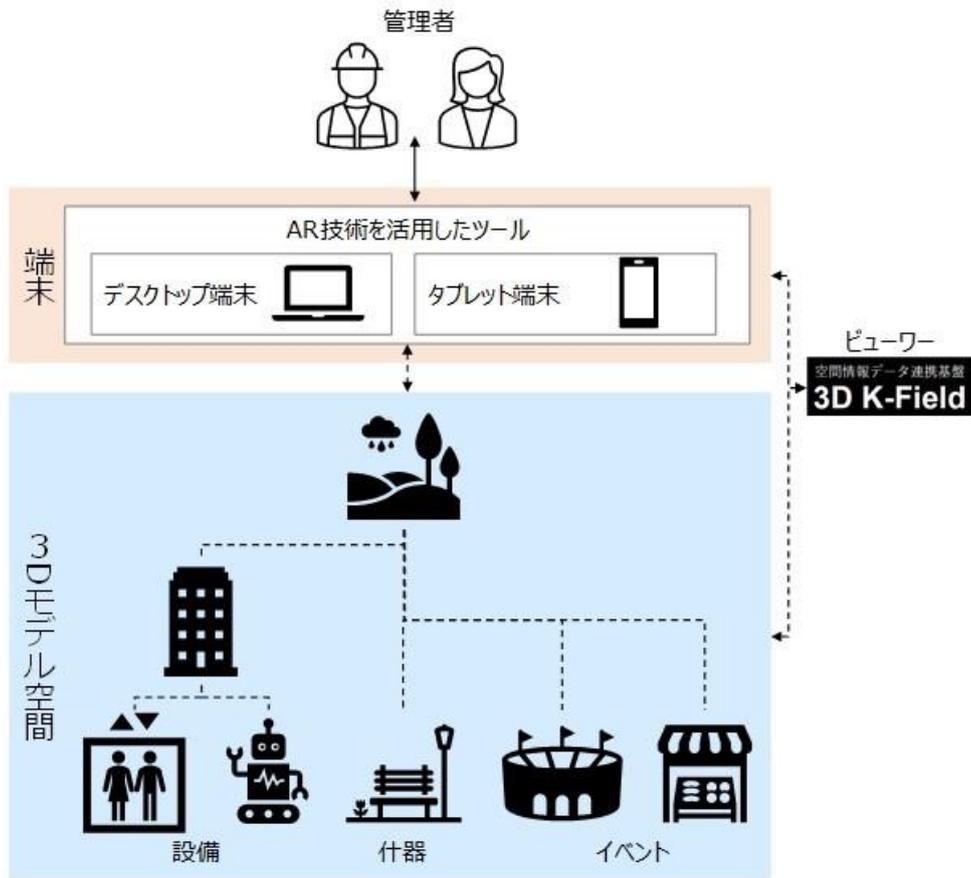
図表 3-1-6 システム構築の方針

ロボットサービスの拡張性の確保	柔軟にロボットやサービスを追加可能とするため、API 連携の容易性を確保。
ロボットサービスの導入コストの低減	ロボット技術の進展に応じて容易にロボットを導入可能なよう、実装に必要な作業を統一化。
ロボットサービスの管制業務の効率化	複数台・複数種類・複数業務のロボットの統合的に管制。 施設管理者がロボット管制業務を実施可能とする管制システムを構築。
3D K-Fieldを活用した位置情報の可視化	ロボットのステータスを3Dマップ上に可視化し、サービス利用者の満足度向上や管理者の業務実施容易性を向上させる。
建物インフラを活用した死角障害物検知	ロボットが障害物や接近物に衝突することなく安全・安心な走行を実現するために、建物インフラよりロボットの死角における接近物を検知し、ロボット管制システムに通達を行うシステムを構築
施設設備管理業務の効率化	空間マネジメントの実現に向けて、AR技術とデジタルツインを活用し、施設設備管理業務に関する情報やタスクの視認性を向上させ、業務の効率化・高度化を実現させる。

図表 3-1-7 ロボット管制に係るシステム構成イメージ



図表 3-1-8 空間マネジメントのシステム構成イメージ



3-2. 実証実験を行う技術・サービスのロードマップ内の位置づけ

(1) 先端技術を活用したサービスの提供

① ロボットデリバリーサービス

ロボットサービスの実装に向け、例えば、ロボットデリバリーサービスでは配達エリアや配送店舗数の充実等の提供するサービスの充実性だけでなく、デリバリーロボットの配達能力の向上やロボット走行における安定性・安全性の担保等の技術的な機能・環境整備が求められている。

今年度は、ロボットへの事物の近接を事前に検知・忌避する安定性・安全性を担保したロボット走行環境の整備に向けた実証を行った。

図表 3-2-1 提供するサービスに関するロードマップ上の位置づけ

		R2	R3	R4	R5	R6	R7	
サービス 実証・実装	テナント向け				実装*			
	来街者向け							
配達 エリア	コリドー							
	コリドー+ゾーンK							
	コリドー+ゾーンK+ゾーンD			実装				
	コリドー+ゾーンK, D+1 階公道エリア							
配送 店舗数	1店舗							
	2店舗		実装					
	全店舗 (●店舗)							
ロボット 配達能力	ロボット 種類	1種類・1台						
		1種類・複数台			実装			
		複数種類・複数台			実装			
	回収・配送 対象	1店舗・1地点						
		複数店舗・1地点				実装		
		複数店舗・複数地点				実装		
ロボット 走行安全性	建物インフラを活用した安全性向上							

※セキュリティの脆弱性への対応完了次第、サービス対象者を広く拡大する想定。

	過年度・他事業実証・実装事項
	本事業実証・実装事項
	次年度実証・実装・拡充事項

② 空間マネジメント

本スマートシティでは空間情報データ連携基盤 3D K-Field により、現実空間の情報を 3D モデル上へ記録・可視化を行うデジタルツインによる空間マネジメントにより、施設管理業務の効率化、提供サービスの品質の向上、エリアマネジメントの高度化・効率化を目指している。

今年度は汎用的な空間マネジメントツールとして、3D モデル空間上の施設やエリアの任意の場所に、文字や画像情報等を自由に記録可能な AR 技術を活用したツールを開発するとともに、当該ツールを活用した施設管理業務の効率化実証を行うことで、ツールの有用性並びに様々なユースケースへの横展開可能性等の社会受容性把握を行う。

図表 3-2-2 空間マネジメントに関するロードマップ上の位置づけ

		R2	R3	R4	R5	R6	R7
3D モデル・AR 技術を活用 した空間マ ネジメント	空間情報データ連携基盤構築	実装					
	AR アプリ構築						
	観光案内用途への活用可能性検証			実装			
	エンタメ用途への活用可能性検証			実装			

	過年度・他事業実証・実装事項
	本事業実証・実装事項
	次年度実証・実装・拡充事項

(2) システム

ロボットサービスの実装に至るためには、システムの観点からは、ロボットサービスの拡張性の確保、ロボットサービスの導入コストの低減、ロボットサービスの管制業務の効率化、ロボット走行の安全性の向上が求められる。また併せて、施設の正常稼働に係る維持管理業務の効率化が求められる。

これまでの実証実験においては、歩行空間におけるロボットの走行を行ってきたが、ロボットデリバリーサービスのサービス提供範囲の拡大、雨天時もサービス継続可能な走行ルートの拡充、施設内配送へのロボット適用に向けては、車路を含む空間でのロボット走行の実現が求められる。現状活用しているロボットは障害物検知機能として LiDAR を搭載しているが、検知範囲は狭く、自動車のように速い速度で接近する移動体や死角から進入してくる移動体を検知し、安全に衝突回避を行うことは困難だということが明らかとなっている。実装に向けて、今年度は接近する移動体を検知し、衝突回避を行い、ロボットの安全・安心な走行を実現する技術の導入に向けた実証を行った。

また、過年度の実証実験では、ロボットが施設の通路上で停止することで施設利用者の円滑な通行を

阻害することやロボットの転倒と共に施設の壁や床を損傷させる等、ロボットサービスの導入に伴い施設の通常稼働を阻害する事象の検知機能不足や発生回数の増加が見込まれる同事象への対処手法の効率化が必要であることが明らかとなった。したがって、施設の正常稼働を維持する手法の効率化にも取り組む必要がある。

図表 3-2-3 システムに関するロードマップ上の位置づけ

		R2	R3	R4	R5	R6	R7
ロボットサービスの実装							
ロボットサービスの拡張性の確保	ロボット管制システムの構築	実装					
ロボットサービスの導入コストの低減	ロボット管制システムの API 構築			実装			
ロボットサービスの管制業務の効率化	インシデント対応システムの構築			実装			
3D K-Field を活用した位置情報の可視化	インシデント情報の地図上での表示				実装		
ロボット走行の安全性向上	建物インフラによる死角障害物検知、ロボットの停止						
空間マネジメントの効率化に資する先端技術実装							
施設設備管理手法の効率化	AR 技術とデジタルツインを活用したツールの構築						

	過年度・他事業実証・実装事項
	本事業実証・実装事項
	次年度実証・実装・拡充事項

3-3. ロードマップ達成に向けた課題

(1) ロボット走行における安定性・安全性の向上

ロボットサービス実装に至るためには、ロボット配達能力の向上（迅速な配達）が必要であるが、令和4年度までに実施した実証実験では、ロボットの渋滞に伴うロボット同士の近接による緊急停止等の事象発生等により、ロボットの台数増加に伴う配達能力の向上効果は逡減することが確認された。そのため、ロボットサービスの実装に向けてはロボットへの事物の近接を事前に検知・忌避する安定性・安全性を担保したロボット走行環境の整備が課題となっている。

(2) 施設設備管理業務の高度化・効率化

ロボットサービス実装に至るためにはサービス充実性の向上だけでなく、サービス提供に必要な各種システムの不調等に起因するインシデントや施設の正常稼働を阻害する事象に対して迅速に復旧可能な体制や手法の確立が必要である。令和4年度までに実施した実証実験では、運用するロボットのインシデントは検知できるものの、ロボットが施設の通路上で停止することで施設利用者の円滑な通行を阻害することやロボットの転倒と共に施設の壁や床を損傷させる等、ロボットサービスの導入に伴い施設の通常稼働を阻害する事象の検知機能不足や発生回数の増加が見込まれる同事象への対処手法の効率化が課題であることが明らかとなった。

3-4. 課題解決に向けた本実証実験の意義・位置づけ

(1) ロボット走行における安定性・安全性の向上

ロボットが有するセンサで検知できない接近物等に対して施設内にLiDAR等のセンサを設置し、接近物等の情報をロボットと連携することで、ロボットへの事物の近接を事前に検知・忌避する安定性・安全性を担保したロボット走行環境を整備する。

(2) 施設設備管理業務の高度化・効率化

ロボットサービス実装時に施設の正常稼働を阻害する事象の発生回数増加を想定して、本実証では3D都市モデルとAR技術を活用したHICityのデジタルツインを構築することで、施設設備管理業務に用いる情報の視認性向上や情報の蓄積・分析を通じて、同事象への対処手法の高度化・効率化を実現する。

4. 実験計画

4-1. 実証実験① 建物インフラを活用したロボット走行の安定性・安全性向上

(1) 実験で実証したい仮説

HICityでは令和5年11月のグランドオープンに伴い、将来的な構内物流量の増加が見込まれている。構内物流業務の負担軽減、業務効率化に向けては当該業務への配送ロボットの導入に向け、物流事業者らと検討を進めているところである。

グランドオープンに伴い新たに追加された構内物流の配送ルートは横断歩道を含む車両の往来の多いルートとなっているが、当該ルートに配送ロボットを導入する際には歩行者や車両と衝突することのない安全・安心な走行を実現する必要がある。しかしながら、配送ロボットの障害物検知範囲は狭く、ロボットの機能だけでは、ロボットの走行ルートへ死角から進入する移動体や、遠方から高速で接近する移動体を検知し、安全に移動体を回避することは難しいことが明らかとなっている。

そこで本実証では建物インフラとしてLiDARとエッジコンピューティング技術を活用した建物インフラ障害物検知システムを構築のうえ、ロボット管制システムと連携を行い、ロボット走行の安定性・安全性が向上に関する信頼性及び社会受容性の仮説の検証を行った。

また建物インフラを活用した本システムはロボットの走行安全性向上のみならず様々なユースケースへの活用が想定される。本実証では当該インフラ及びインフラより取得するデータの横展開可能性についても検証を行った。

【検証を行う仮説】

- ・ 信頼性
 - 建物インフラで接近する移動体を検知のうえ、衝突することなく安全に回避する。
- ・ 社会受容性
 - 本システムが配送ロボットによる走行の安全性向上に寄与し、ロボット実装に際する課題解決に寄与する。
- ・ 汎用性
 - 本システムで取得する点群データが他のユースケースにも有用である。
 - 本システムの障害物検知機能が他のユースケースにも有用である。

(2) 実験内容・方法

本実証実験では、ロボット走行の安全性向上に向けて、建物インフラによる障害物検知機能並びにロボット管制システムとの連携による障害物回避機能の検証を行うとともに、ロボット導入を検討するユーザーへのヒアリングより、本実証実験で検証する機能の有用性や多用途への横展開可能性を把握する。

① 検証項目

図表 4-1-1 建物インフラを活用したロボット走行の安定性・安全性向上 検証項目

大項目	中項目	小項目	概要
実用性の検証 (実用化)	信頼性評価	検知能力検証	建物インフラの障害物検知能力並びにロボットへの通達機能について、ロボットの衝突回避に有効か検証し、導入に際する技術的な課題を明らかにする。
ビジネス モデル検証 (商用化)	社会受容性の 評価	配送ロボット導入に 際する課題解決への 効果把握	構内物流への配送ロボットの導入を検討する事業者ヒアリングを行い、本実証で検証するシステムが配送ロボット導入に寄与するか明らかにする。
	汎用性の評価	建物インフラ取得デ ータの他ユースケー ス活用可能性検証	建物インフラが取得する点群データについて、ロボット走行の安全性向上以外のユースケースへの利用可能性を検討する。
		建物インフラによる 障害物検知機能の他 ユースケース活用可 能性検証	建物インフラによる障害物検知機能について、ロボット走行の安全性向上以外のユースケースへの利用可能性を検討する。

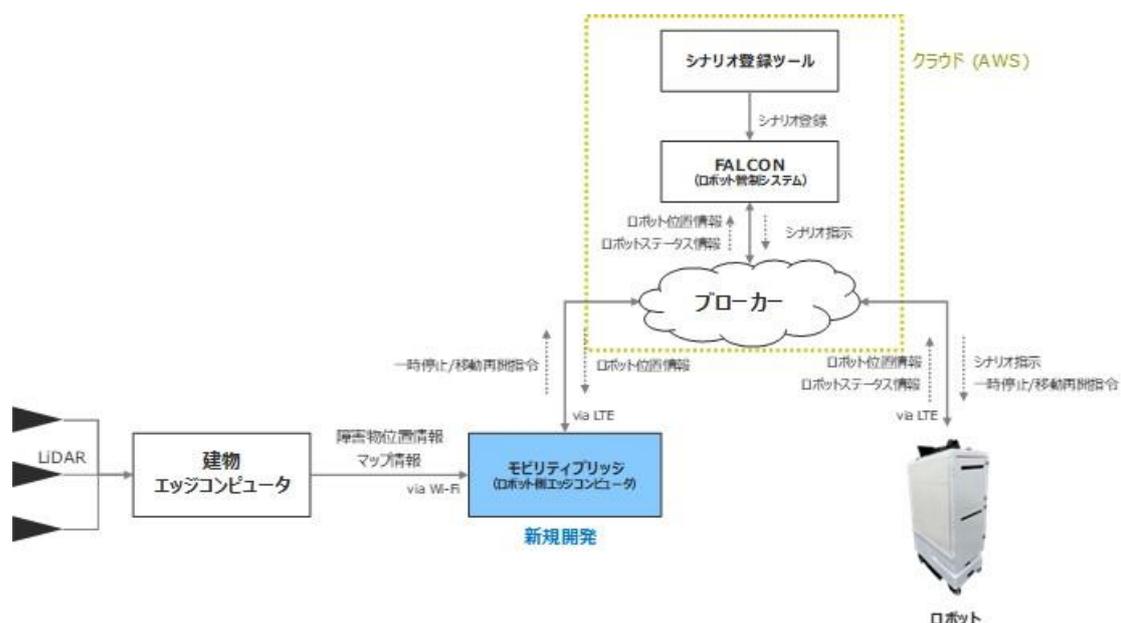
② 建物インフラ障害物検知並びにロボットの障害物回避に係るシステム系

本実証実験に係るシステム系を図表 4-1-2 に示す。

ロボットに搭載する LiDAR では検知できない移動体を検知するため、施設に複数の LiDAR を設置した。LiDAR から取得した障害物情報をロボット管制システムへ通達し、ロボット管制システムにてロボットの行うべきシナリオを判定、通達を行う場合、情報の伝達・処理に時間を要することから、安全に衝突回避を行うことができない恐れがある。本実証ではロボット走行の安全性を確保するため、情報の集約から走行指示を即座に実現するためにエッジコンピューティング技術を活用することとした。

LiDAR が取得した情報は建物エッジコンピュータに集約され、障害物の位置情報等が計算される。建物エッジコンピューティングで計算された障害物位置情報をロボット管制に活用するにあたり、モビリティブリッジというロボット側のエッジコンピュータの新規開発を行った。モビリティブリッジは建物エッジコンピュータより通達される障害物の位置情報とロボット管制システムからブローカーを経由して通達されるロボットの位置情報を基に、ロボットに対して一時停止/移動再開等の交通規制を経由して行う。

図表 4-1-2 建物インフラ障害物検知並びにロボットの障害物回避に係るシステム系



③ 歩道走行型ロボットの公道実証実験に係る許認可

ア 背景

構内物流業者が配送を行うルートは公道とみなされることから、歩道走行型ロボットを活用した実証実験の実施にあたっては、公道上の走行に関して警察と協議を行う必要がある。

令和4年4月1日の「道路交通法の一部を改正する法律」の施行により、一定の大きさや構造の要件を満たすロボットは届け出制により公道を走行することが可能となった。今回の実証で活用されるような配送ロボットは法律上で「遠隔操作型小型車」として定義され、走行場所を管轄する都道府県公安委員会に法令の規定に基づく届け出を行ったうえで法令を遵守して管理者が遠隔からロボットの操作する場合、ロボットを通行させている者が離れることなく1～2メートル程度の距離以内で操作を行ったうえで法令を遵守してロボットを走行させる場合（みなし歩行者型）は、公道を走行させる場合においても道路使用許可を取得する必要はないものと整理される。¹

今回は、実証実験期間も鑑み、都道府県公安委員会への届け出を行わないみなし歩行者型として実験を実施することとした。

イ 対応

本実証実験で活用するのは配送ロボットが「遠隔操作小型車」とみなされるように、規定される条件を満たすように改修を行った。

法第二条第一項第十一号の五
 遠隔操作型小型車 人又は物の運送の用に供するための原動機を用いる小型の車であって遠隔操作により通行させることができるもののうち、車体の大きさ及び構造が歩行者の通行を妨げるおそれのないものとして内閣府令で定める基準に該当するものであり、かつ、内閣府令で定める基準に適合

¹ 歩道走行型ロボットの公道実証実験に係る留意事項

(https://www.npa.go.jp/bureau/traffic/selfdriving/roadtesting/202307robot_shiryoku.pdf)

する非常停止装置を備えているものをいう。

府令第一条の六

法第二条第一項第十一号の五の遠隔操作型小型車の車体の大きさ及び構造に係る内閣府令で定める基準は、次に掲げるとおりとする。

一 車体の大きさは、次に掲げる長さ、幅及び高さを超えないこと。

イ 長さ 百二十センチメートル

ロ 幅 七十センチメートル

ハ 高さ 百二十センチメートル(センサ、カメラその他の通行時の周囲の状況を検知するための装置及びヘッドサポートを除いた部分の高さ)

二 車体の構造は、次に掲げるものであること。

イ 原動機として、電動機を用いること。

ロ 六キロメートル毎時を超える速度を出すことができないこと。

ハ 歩行者に危害を及ぼすおそれがある鋭利な突出部がないこと。

府令第一条の七

法第二条第一項第十一号の五の非常停止装置に係る内閣府令で定める基準は、次に掲げるとおりとする。

一 押しボタン(車体の前方及び後方から容易に操作できるものに限る。)の操作により作動するものであること。

二 前号の押しボタンとその周囲の部分との色の明度、色相又は彩度の差が大きいことにより当該押しボタンを容易に識別できるものであること。

三 作動時に直ちに原動機を停止させるものであること。

上記のような規定事項の確認及びロボットへの対応状況の調整のため、半年程の期間をかけて警察庁との確認・対応を行った。

④ 侵入物検知状況可視化システム

走行検証に際して、侵入物検知が正しく機能しているか、侵入物検知を受けて配送ロボットによる回避行動が行われているかを判定するために、建物エッジコンピュータが侵入物検知していることを目視で確認可能とするパトランプを用意した。設定された検知エリアへの侵入物の侵入を検知すると点灯し、検知エリアから侵入物が離脱すると消灯する仕組みとなっている。

当該侵入物検知状況可視化システムは構内物流業務で活用されるかご車などへ設置することで車両等の接近アラートを行うことが可能となり、荷物搬送時の配送業務員の安全性向上に寄与するものと考えられる。本実証では侵入物検知機能の汎用性検証として侵入物検知状況可視化システムの社会受容性についても検証を行うこととした。

図表 4-1-3 侵入物検知状況可視化システムが侵入物を検知してパトランプが点灯する様子



⑤ ロボット走行ルート並びに侵入物検知エリア

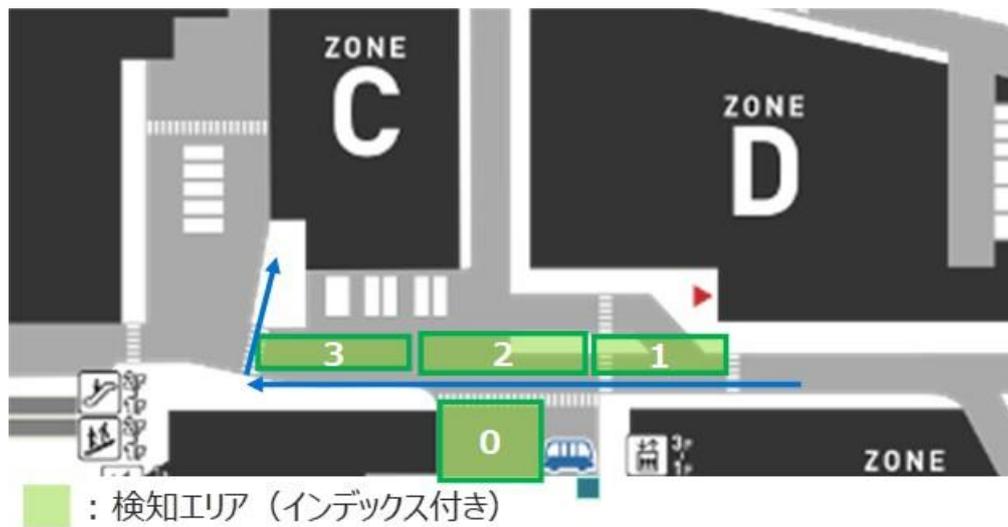
構内物流業務に配送ロボットを導入した際の走行安全性を検証するために、現在、構内物流業者が配送を行うルートをもとにロボット走行ルートを設定した。具体的には ZONE I 傍の荷捌き場から Zone C までの図表 4-1-4 の赤線で示すルートである。当該ルートは 2 つの横断歩道（緑楕円箇所）を経由する必要があるところ、横断歩道での車両との衝突回避の実現性について実証実験にて検証を行う。

図表 4-1-4 実証実験における配送ロボットの走行ルート



図表 4-1-4 に示す横断歩道での衝突回避に向けては、横断歩道通行前の配送ロボット走行停止要否の判断のために適切なエリア内への侵入物の有無を確認する必要がある。本実証では 2 つの横断歩道の走行に際する配送ロボット走行停止要否の判定に用いる侵入物検知の対象エリアとして図表 4-1-5 に示す 4 つのエリアを設定した。

図表 4-1-5 横断歩道通行前のロボット走行停止要否判定に係る侵入物検知対象エリア



⑥ LiDAR 設置場所

⑤に示した検知エリアの侵入物を検知するために図表 4-1-6 に示すように LiDAR を 6 カ所に 1～2 個ずつ設置した。

図表 4-1-6 LiDAR の設置状況



本実証では以下に示す 2 種類の LiDAR を採用した。

- ・ Livox Avia
 - 視野角 70° 程度。最大測定距離が 450m と長く、遠くのものを見ることが可能なタイプ。

・ **Robosense Bpearl:**

- 超広角測定視野 360° (horizontal)x90° (vertical)が可能で、測定距離は 100m 程度。
広い視野角でセンシング可能で、交差点の中心などの設置が有効なタイプとなる。

異なる視野角と測定距離を持つ 2 つの LiDAR を用いることで、各 LiDAR の強い部分を活かしつつ、お互いの弱い部分を補い合い、センシング範囲を広く、点群の密度を濃くセンシングできるように設置場所の検討を行った。

(3) 仮説の検証に向けた調査方法

① 実用性の検証

ア 信頼性評価：検知能力検証

図表 4-1-7 信頼性評価 仮説の検証に向けた調査方法

検証方法及び 検証事項	<p>ロボット走行ルート上に配送ロボットを走行させ、検知エリア内に移動体として台車を侵入させた際に下記に示す挙動を行うか確認を行う。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 二つ以上の検知エリアのうち、一つ以上のエリアで侵入物を検知した場合にロボットが横断歩道前で停止すること。また検知エリアから侵入物が離脱した際に移動を再開して横断歩道を通過すること。 ・ ロボット走行ルート上には侵入物検知エリアが複数設定されているが、ロボットの走行位置に応じて侵入物検知に活用する検知エリアを適切に選択できること ・ 横断歩道走行中は侵入物を検知してもロボットが一時停止しないこと <p>また、侵入物の検知情報が通知されてから、ロボットへの停止指示発行までに要する時間を計測し、進入物検知からロボット停止指示発行までの時間が実用に耐えうる範囲内であるか検証を行う。</p>
分析・検討事項	<ul style="list-style-type: none"> ・ 実装に向けた課題及び解決策 等

② ビジネスモデル検証

ア 社会受容性検証：配送ロボット導入に際する課題解決への効果把握

図表 4-1-8 社会受容性検証 仮説の検証に向けた調査方法

検証対象者	<ul style="list-style-type: none"> ・ HICity の構内物流事業者である SBS ロジコムの配送ロボット導入検討担当者
検証方法	<ul style="list-style-type: none"> ・ 信頼性検証にて実施する建物インフラによる障害物検知並びに配送ロボット障害物回避の様子を SBS ロジコム担当者に見学いただく ・ 見学後、建物インフラによる障害物検知並びにロボット管制システムと連携した障害物回避機能の有用性についてヒアリングを実施する。
ヒアリング 項目	<ul style="list-style-type: none"> ・ 配送ロボット導入にあたっての課題及び解決の方向性について ・ 建物インフラによる障害物検知機能の有用性について ・ 建物インフラによる障害物検知機能の他用途への活用可能性について
分析事項	<ul style="list-style-type: none"> ・ 配送ロボット導入にあたっての課題及び課題解決の方向性 ・ 建物インフラによる障害物検知機能の有用性並びに課題について

イ 汎用性検証：建物インフラ取得データその他ユースケース活用可能性検証

図表 4-1-9 建物インフラデータの汎用性検証 仮説の検証に向けた調査方法

検証対象者	<ul style="list-style-type: none"> ・ HICity の構内物流事業者である SBS ロジコムの配送ロボット導入検討担当者 ・ 建物インフラによる障害物検知システム構築事業者であるハイパーデジタルツイン
検証方法	<ul style="list-style-type: none"> ・ 信頼性検証にて実施する建物インフラによる障害物検知の様子を点群データのビューワーを通して確認いただき、当該データの活用方策についてヒアリングを実施する。
ヒアリング項目	<ul style="list-style-type: none"> ・ 建物インフラで取得するデータの活用方策について
分析事項	<ul style="list-style-type: none"> ・ 建物インフラで取得するデータが有用なユースケースの方向性

ウ 汎用性検証：建物インフラによる障害物検知機能の他ユースケース活用可能性検証

図表 4-1-10 建物インフラによる障害物検知機能の汎用性検証 仮説の検証に向けた調査方法

検証対象者	<ul style="list-style-type: none"> ・ HICity の構内物流事業者である SBS ロジコムの配送ロボット導入検討担当者 ・ 建物インフラによる障害物検知システム構築事業者であるハイパーデジタルツイン
検証方法	<ul style="list-style-type: none"> ・ 信頼性検証にて実施する建物インフラによる障害物検知並びに配送ロボット障害物回避の様子及び侵入物検知状況可視化システムを見学いただき、障害物検知機能の活用方策についてヒアリングを実施する。
ヒアリング項目	<ul style="list-style-type: none"> ・ 建物インフラによる障害物検知機能の活用方策について
分析事項	<ul style="list-style-type: none"> ・ 建物インフラによる障害物検知機能が有用なユースケースの方向性

(4) 実験結果・分析

① 実用性の検証

ア 信頼性評価：検知能力検証

【LiDAR 検知能力検証】

LiDAR で物体を検出できる範囲はセンシングした物体の点群の数に左右される。本検証では LiDAR で任意の大きさの物体を検出可能な範囲を推定するため、LiDAR 正面に対する距離と角度に対する点密度及び分解能の検証を行った。検証に際して、LiDAR は Livox Avia を使用した。点密度と分解能を算出にあたっては、LiDAR 正面に対する物体との距離と角度を変化させ、対象物の点群の数を測定する実験を行った。

本実証で活用する LiDAR では 30m 先の対象物の大きさが 0.2m 以上であれば検知を行うことが可能であることが分かった。ロボット安全走行検証に際しては車両の検知を行うエリア端と LiDAR 設置場所の距離並びに車両のサイズを想定の上、適切な高さ及び方向で設置することが求められる。なお、分解能の値は検知可能な対象物の大きさの最小値であり、検知精度を向上させるためには検知対象エリアの点群密度が高くなるように、LiDAR の台数を増加させることが望ましい。

【ロボット安全走行検証】

検知エリアにて侵入物を検知した際に、ロボットが下記に示す挙動を正確に行えるか検証をした。

- 図中「ロボットが一時停止しない場所」にロボットが存在する場合、侵入物を検知しても一時停止は行わない
- ロボットがそれ以外の場所に存在する場合、現在位置と検知エリアに応じて一時停止するか
 - ロボットが横断歩道 a の手前：検知エリア 0, 1, 2 いずれかへの物体侵入で一時停止
 - ロボットが横断歩道 b の手前：検知エリア 3 への物体侵入で一時停止

図表 4-1-15 ロボット安全走行検証においてロボットが一時停止しない場所



検証の結果、建物インフラ側のエッジコンピュータである建物エッジコンピュータにおいて侵入物を検知したエリアを特定できるとともに、ロボット側のエッジコンピュータであるモビリティブリッジにおいて配送ロボットの位置別に参照するべき検知エリアの情報を柔軟に選定することができることから、状況に応じた移動続/一時停止/移動再開の判断を行い、想定されたシナリオ通りに障害物回避行動を行うことを確認した。

図表 4-1-16 「ロボットが一時停止しない場所」に位置することから、

侵入物を検知しても一時停止は行わない様子

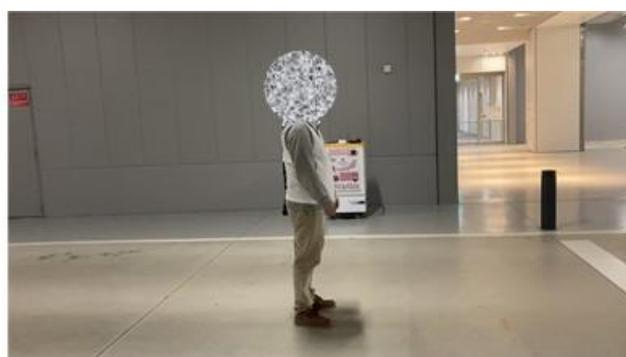


ロボットが横断歩道 (a) を横断中に、侵入物を検知しても一時停止せず走行する様子

図表 4-1-17 ロボットが横断歩道 a の手前で侵入物を検知して停止する様子



ロボットが横断歩道 (a) の手前で、検知エリア0に侵入物 (人) を検知して一時停止している様子

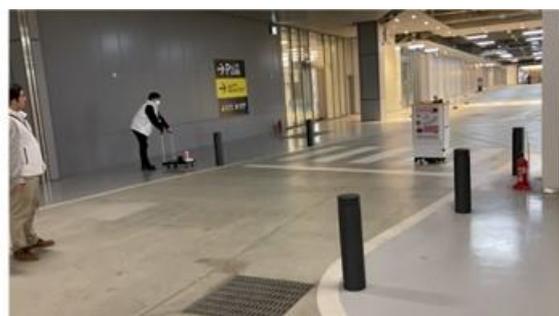


ロボットが横断歩道 (a) の手前で、検知エリア1に侵入物 (人) を検知して一時停止している様子

図表 4-1-18 ロボットが横断歩道 b の手前で侵入物を検知して停止する様子



ロボットが横断歩道 (b) 手前で侵入物 (人) を検知して一時停止している様子



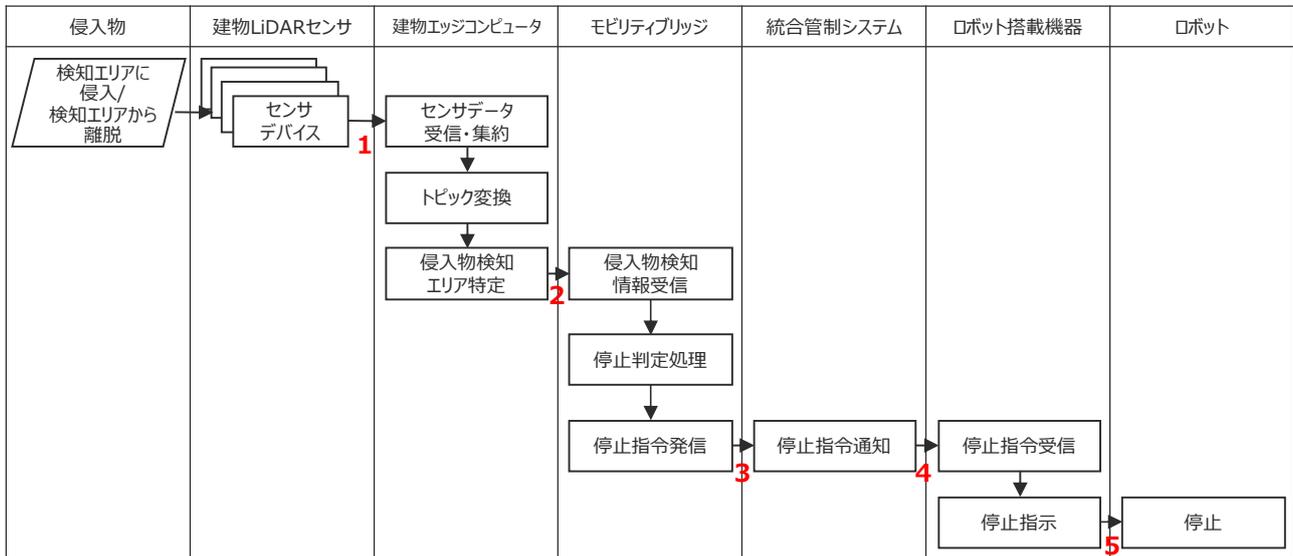
横断歩道 (b) を横断中に侵入物 (人) を検知しているが、横断歩道の横断を継続している様子
※アラート用ライトが点滅しているとおり、侵入物検知は正常に作動

【侵入物検知・停止指示通達速度検証】

今年度構築したシステムでは侵入物が検知エリアに侵入した際にLiDARよりセンシングデータを発信し、建物エッジコンピュータで検知エリア情報を計算のうえ、モビリティブリッジ (エッジコンピュータ) に発信を行う。モビリティブリッジは受信した検知エリア情報を基に、ロボットの停止判定処理を行い、停止を要する場合はロボット管制システム (FALCON) を経由してロボットに搭

載される制御機器に停止指示を通達。ロボット制御機器は受信した停止指示を基にロボットの走行停止を行う。

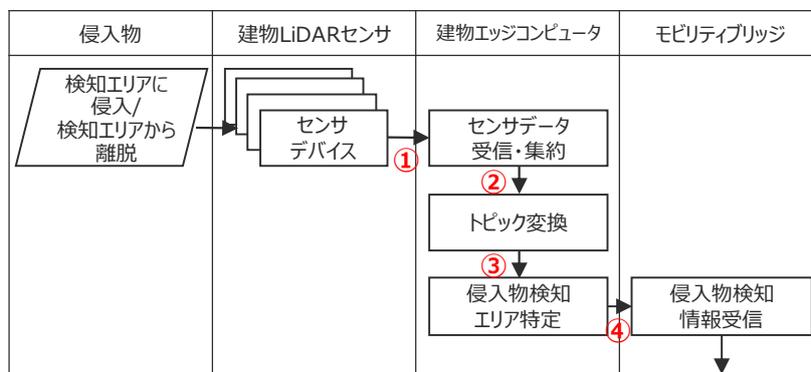
図表 4-1-19 侵入物検知からロボット走行停止までのシーケンスフロー



上記の情報検知・伝達フローにおいて、図中に示す1~2, 2~3, 3~4, 4~5, 2~5, 及びベンダーを横断した全体のシステム遅延である1~5のそれぞれにかかる時間を各種ログから算出・計測し、侵入物の検知情報が通知されてから、ロボットへの停止指示発行までの遅延がどの程度発生するかを検証した。なお、走行検証中のモビリティブリッジからの停止指令発信に対するロボット搭載機器側での停止指令受信率は100%であった。

- 1~2 : センサ情報発信~データ集約・侵入物検知特定~侵入物検知エリア情報発信に係る時間
当該区間の計測結果は建物エッジコンピュータ内の遅延特性を示すものである。

図表 4-1-20 侵入物検知から建物エッジコンピュータ処理に係るシーケンスフロー



計測にあたっては①センサデバイスから建物エッジコンピュータ内の集約モジュールにデータが届くまでの時間、②集約モジュールがデータを集約し保存するまでの時間、③トピック変換モジュールがデータを読み出し、侵入物検知モジュールにデータを送信するまでの時間、④侵入物検知モジュールが侵入物検知エリア内の侵入物の有無を検知し、その情報を発信するまでの時

間、のそれぞれを計測し、当該計測値を合算することとした。平均は 1.063 秒で、最大で 2.278 秒であった。①は集約モジュールの集約周期に依存し、本計測での集約周期は 0.11 秒であった。②～④の速度は計測した点群数に依存し、点群数が多いほど処理に時間を要する。

図表 4-1-21 ②～④に係る処理時間の最大値・最小値・平均値・中央値・標準偏差

シーケンス図内の番号	最大値 (s)	最小値 (s)	平均値 (s)	中央値 (s)	標準偏差 (s)
②	1.153	0.099	0.135	0.124	0.090
③	0.988	0.286	0.809	0.828	0.092
④	0.027	0.004	0.009	0.009	0.003

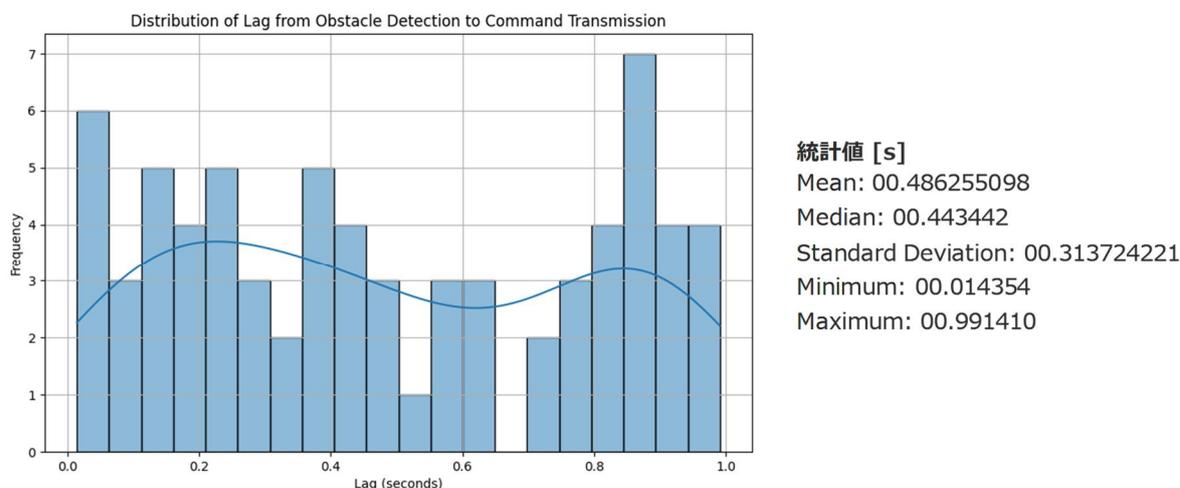
図表 4-1-22 計測点群数の最大値・最小値・平均値・中央値・標準偏差

最大値 (個)	最小値 (個)	平均値 (個)	中央値 (個)	標準偏差 (個)
23986	13950	23204.56	23660	1011.414

○ 2～3：検知エリア情報受信～停止指令発信に係る時間

当該区間の計測結果はモビリティブリッジ内の遅延特性を示すものである。平均は約 500 ミリ秒、最大値は 1 秒以内に収まっていた。計測結果はモビリティブリッジ内で状態確認を 1 秒間隔で実施していることに起因している。状態確認間隔は、短くするほど計算量が多くなり、機器のスペックや検知エリア数、接続するロボット数に応じて調整が必要となるため、最適値の算出は今後の課題となる。なお、分布の形状に特徴は見られず、試行回数を増やすと一様分布に近づくことが予想できる。

図表 4-1-23 検知エリア情報受信～停止指令発信に係る時間計測結果

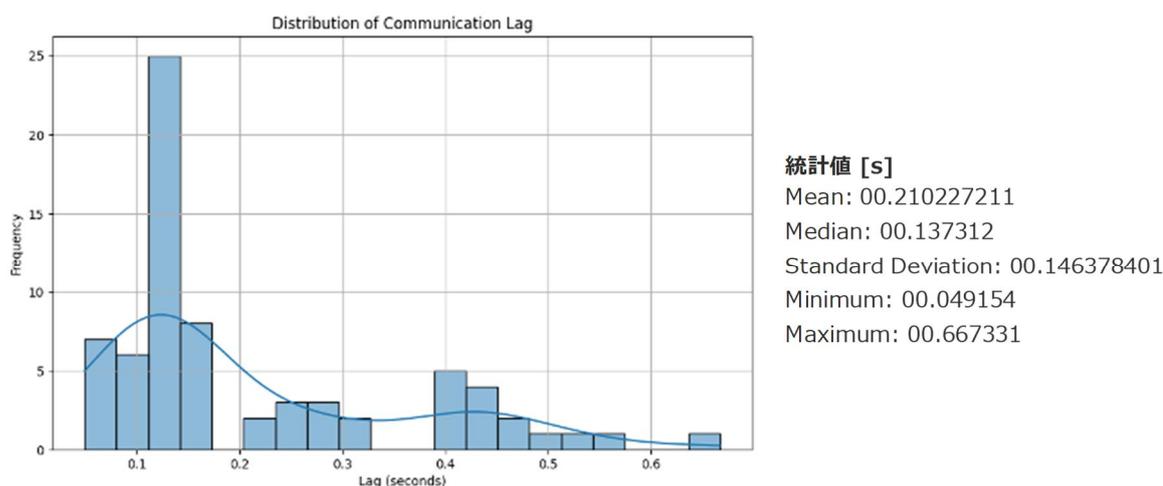


遅延のヒストグラム（実線はカーネル密度推定結果）

○ 3～4：停止指令発信～停止指令受信に係る時間

当該区間の計測結果はクラウドの通信遅延特性を示すものである。平均約 210 ミリ秒であるが、最大値も約 667 ミリ秒程度であり、移動速度 1m/s 程度のロボット視点では概ね問題無いが、横断歩道の直前で検知した際には侵入物回避できずに衝突する可能性も危惧される。本遅延は通信速度のみではなくマシン間の通信に採用される通信プロトコルである MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) の処理遅延も起因しているものと考えられる。5G や Beyond 5G/6G などの技術の導入で通信遅延は改善できる可能性があるが、MQTT に起因する遅延についてはリアルタイム処理に適したプロトコルの採用の検討が求められる。

図表 4-1-24 停止指令発信～停止指令受信に係る時間計測結果

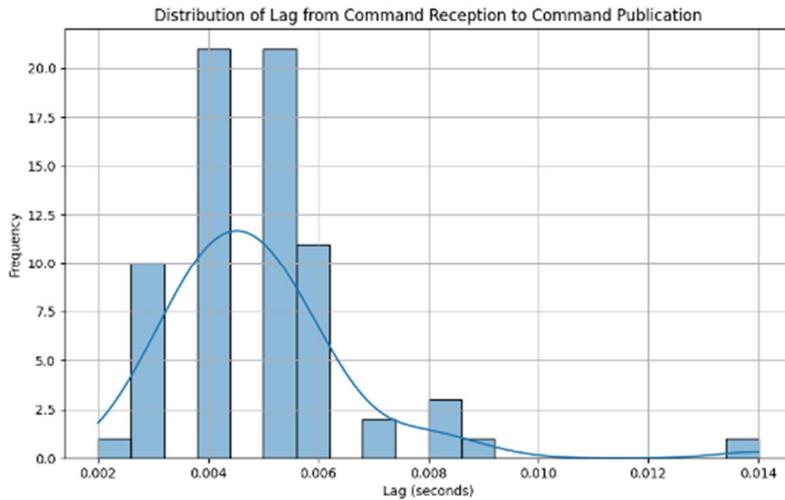


遅延のヒストグラム（実線はカーネル密度推定結果）

○ 4～5：停止指令受信～停止指示に係る時間

当該区間の計測結果はロボット搭載機器内の遅延特性を示すものである。平均約 5 ミリ秒と十分小さく、この部分での遅延は大きな問題にならないと考える。

図表 4-1-25 停止指令受信～停止指示に係る時間計測結果



統計値 [s]

Mean: 00.004901408
 Median: 00.005000
 Standard Deviation: 00.001741550
 Minimum: 00.002000
 Maximum: 00.014000

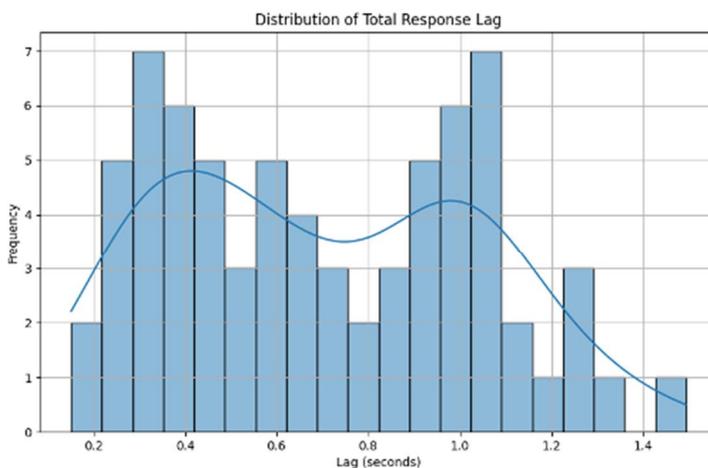
遅延のヒストグラム（実線はカーネル密度推定結果）

○ 2～5：検知エリア情報受信～停止指示に係る時間

当該区間の計測結果はモビリティブリッジ以降の処理遅延特性を示すものである。平均は約 700 ミリ秒と、ロボットが横断歩道の十分手前に存在する場合には許容できる反応時間であるが、横断歩道直前の場合は致命的である可能性もある。

また最大値は約 1.5 秒となった。これはモビリティブリッジ内遅延で 822 ミリ秒、クラウド通信遅延で 667 ミリ秒と悪条件が重なった結果となっている。このような悪条件の組み合わせるパターンをいかに減らしていくかが今後のシステム実装における課題となる。

図表 4-1-26 検知エリア情報受信～停止指示に係る時間計測結果



統計値 [s]

Mean: 00.701383718
 Median: 00.658070
 Standard Deviation: 00.338750919
 Minimum: 00.151743
 Maximum: 01.493658

遅延のヒストグラム（実線はカーネル密度推定結果）

○ 1～5：センサ情報発信～停止指示に係る時間

当該区間の計測結果は異なるベンダーが運用するシステムを横断した全体の遅延特性を示すものである。なお、これら異なるシステム間では時刻同期を行うことが技術的に困難であり、詳細な解析が不可能であることから、上記 1～2, 2～3, 3～4, 4～5, 2～5 の遅延解析結果からの総合的な考察のみに留める。

ここでは、建物エッジコンピュータ内の遅延とモビリティブリッジ以降の遅延の合算によって算定を行った。平均は約 1.8 秒、最大値としては双方システムの悪条件が重なった場合に約 3.8 秒となることが分かった。ロボットが毎秒 1m で移動している場合はその間に最大で 3.8m 進むことになるため、侵入物の衝突回避においては重大な遅延であると考えられる。本遅延特性を踏まえた、適切な LiDAR の設置要件を後段で議論する。

また、ここでの遅延は建物エッジコンピュータとモビリティブリッジ間を繋ぐ Wi-Fi による通信遅延が含まれていない。周辺の障害物の有無や、システム間の物理的な位置関係、他システムからの電波干渉などにより、空間・時間に依存した遅延が実装の際には付加されると考えられ、採用する無線通信規格は適切に選定されるべきである。

② ビジネスモデル検証

ア 社会受容性検証：配送ロボット導入に際する課題解決への効果把握

【構内物流事業者の業務内容】

構内物流として各建屋内の配送に加えて、荷捌き場から Zone C までの片道約 250m をかご車による運搬を午前と午後 2 回ずつ人力にて行っている。令和 5 年 11 月のグランドオープンにより、今後は 2 期開発区画である Zone A 及び B への配送量の増加に伴い、荷捌き場から Zone C までの運搬量並びに往復回数も増加することが予想されている。

図表 4-1-27 構内物流業務における配送コース



図表 4-1-28 構内物流に活用するかご車



【配送ロボット導入に向けた課題及び解決の方向性】

配送ロボットの導入に向けての課題としては、主に公道走行に伴う許認可やロボットサイズの制限、ロボットの屋外走行対応、安全・安心な走行の3点が挙げられた。

公道走行に際する課題としては、道路使用許可やナンバー取得の申請が発生すること、監視者等の配置に伴う人的負担の増加が懸念事項として挙げられた。また現状の配送ロボットに課せられるサイズの制限では、現在業務に活用しているかご車相当の積載量を持つロボットの導入はできない状況にある。代わりに小型の配送ロボットを導入した際には積み下ろし作業の回数が増加するため、人的負担の軽減効果は限定的になることが懸念されていた。監視者配置、配送ロボットサイズに関する規定の緩和などが求められるものと考えられる。

配送ロボットの屋外対応も課題として挙げられた。現在の市場に流通するAGVは屋内向けのものが多く、屋外対応の配送ロボットの種類は限定的かつ価格も効果となっている。屋内向けロボットは屋外対応のロボットと比較して、雨天時の走行ができない点、防塵性が低く埃・チリなどの影響による故障が発生する点が危惧されている。屋外の走行を想定することから、配送ロボットの屋外対応化、流通価格の低廉化が求められる。また導入に際する価格に関して、配送ロボットの導入によって人員の負担軽減は期待できるが、積み下ろしの作業が発生することから人員の削減の実現は困難との見解が示された。そのため、人件費と比較した配送ロボットの減価償却費の多寡が導入の基準であると考えていたころ、想定以上の価格の低廉化、もしくは積み下ろし作業が発生しないようにエンドユーザーまでの配送の自動化等が求められると想定される。

配送ロボットの導入に際しては歩行者や車両と接触することなく安全な配送を行えることが前提であり、走行の安全性が導入に際する大きな判断基準となる。安全性担保のために常時監視などが求められる一方で、常時監視員配置による人的負担の増加が懸念されている。解決策としては、本スマートシティで取り組まれているインシデント対応システムが有効であると考えられる。同システムはロボット管制システムで管理されるロボットステータスよりインシデントを自動で検知

し、関係者への通知・対応指示の提示までをシステムで完結するものである。同システムを活用することにより常時監視員をロボット導入者で配置することなく、通常業務を行いながら通知を受け取った際に適時・適切な対応が可能となることから、想定される人的負担の発生を低減しながらロボット導入の実現に寄与するものと考えられる。その他は、エンドユーザーへの配送が確実に行えたかの確認、配送中の盗難防止のために、ドライブレコーダー機能をロボットへ搭載することが望ましい、という意見が挙げられた。

図表 4-1-29 配送ロボット導入に向けた課題及び解決の方向性

課題	概要および解決の方向性
公道走行に伴う警察許可の要否、配送ロボットのサイズの制限	<p>【概要】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 荷捌き場から Zone C 迄の荷物の運搬で活用しているかご車相当の積載量を有するロボットの導入が望ましい一方で、サイズが大きいと車両として取り扱う必要が発生する。 ・ 車両として取り扱う場合、運行管理者を配置する必要がある、人的負担軽減効果が期待できなくなることを危惧している。 ・ 遠隔操作小型車として認められるサイズのロボットの場合、往復回数の増加に伴い、荷物の積み替え作業が発生し、人力でかご車の運搬を行う場合より人的負担が多くなることが懸念される。 <p>【解決の方向性】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 期待する人的負担軽減を実現するためにはかご車相当の積載量を持つロボット導入に係る規制緩和が求められる。
配送ロボットの屋外対応	<p>【課題の概要】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 対話を行っている AGV メーカーの取り扱っているロボットのほとんどは屋内用で屋外対応の取り扱いは限定的となっている。屋外走行にあたっては雨天対応や防塵対応等が求められる。 <p>【解決の方向性】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ HICity 内での利用に際しては屋外での走行シーンも想定している。屋外利用シーンを考慮した配送ロボットの開発・導入が求められる。
安全・安心なロボット配送の実現	<p>【課題の概要】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 人や車両との接触なく安全に走行することが前提となるため、障害物検知や回避が確実にできる必要がある。 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 遠隔リアルタイム監視のもと、危険な場合に遠隔より停止などの指示を送る場合は、当該人件費がかかることが懸念される。 ・ 人との接触回避のためにロボットが走行していることを周知する必要がある。アラートが必要である。 ・ 配送の確実性の担保は必要である一方で、常時監視を行うことは人的負担の観点で難しい。 <p>【解決の方向性】</p>

	<ul style="list-style-type: none"> ・ 衝突回避に係る指示のシステム化によるリアルタイム遠隔監視に係る人的負担の削減 ・ ロボットの接近を周知するためのアラート機能のロボットへの搭載。 ・ 本スマートシティで検討している複数ロボットの同時監視及びインシデント通知システムの活用による、常時監視のシステム化によるロボット利用者の負担軽減 ・ 配送物に触れるタイミング等で起動するドライブレコーダーのような撮影機能の搭載。
--	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

【建物インフラによる障害物検知の有用性】

構内物流業務にて配送を行う荷捌き場から Zone C までの配送ルート上で、配送ロボットの走行検証を行い、侵入物の検知・衝突回避機能を確認いただいたのちに、本機能の有用性についてヒアリングを行った。

安全性については想定される車両などとの衝突シーンで適切な回避行動ができていたとして、導入に際する判断基準をクリアできる、という見解を得られた。また検知から停止までをシステムで完結することが可能であることから、遠隔常時監視者による人力での停止指示発行を必要としないため、人件費の削減も期待されるとの見解が得られた。

導入に際しては当該インフラの整備・維持管理費用を構内物流事業者単独で負担することは困難であるとし、インフラに係る費用負担の在り方が課題として挙げられた。当該インフラより取得されるデータや検知機能の他ユースケースへの活用方策を検討し、当該ユースケース等の受益者で費用を分担する等の方針が費用負担の在り方として想定される。

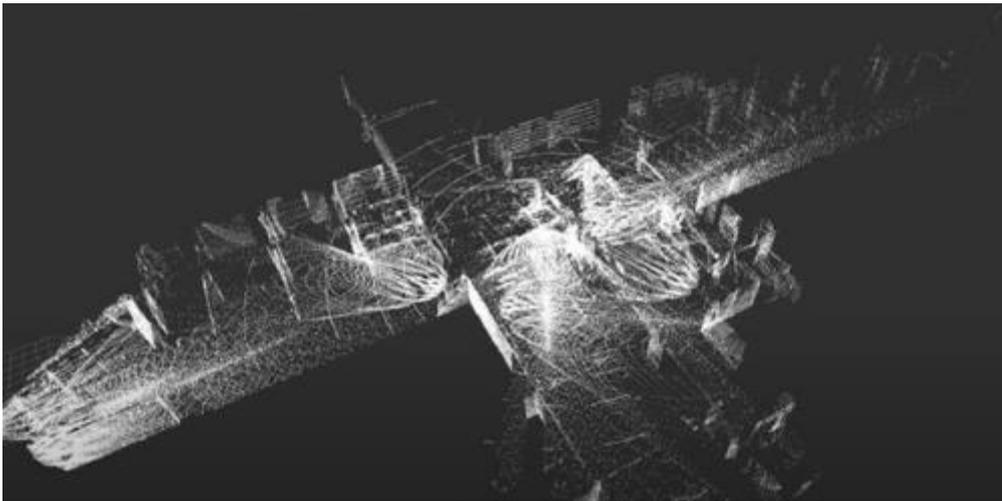
図表 4-1-30 建物インフラによる障害物検知の有用性

有用性・課題	概要
有用性	<ul style="list-style-type: none"> ・ 車両や歩行者検知に伴うロボットの走行停止・移動開始が適切に行えており、安全性は満足できるものと考えられる。 ・ 障害物検知から走行停止までをシステムで完結するため、リアルタイム遠隔監視を行う場合と比較して人的負担軽減に寄与することが期待される。
課題	<ul style="list-style-type: none"> ・ 当該インフラの整備・維持管理費用を物流事業者単独で負担することは困難である。他ユースケースへ横展開し、インフラに係る費用の負担が望ましい。

イ 汎用性検証：建物インフラ取得データの他ユースケース活用可能性検証

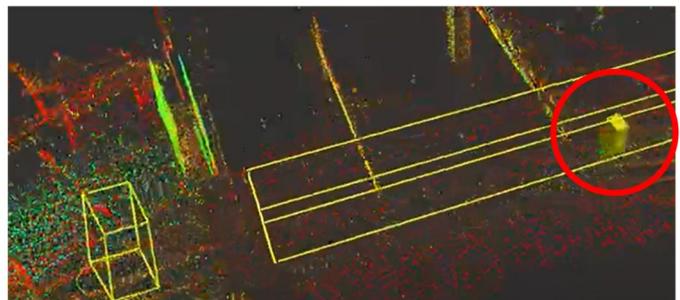
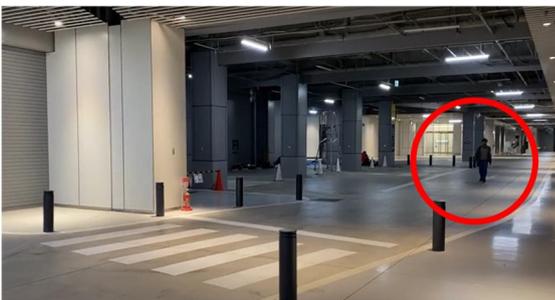
本検証で設置した複数台のLiDARより取得したデータを統合することにより実験対象エリア全体の点群データを俯瞰的に確認することが可能となった。

図表 4-1-31 設置した LIDAR から統合した HICity 1F の 3D 点群データ



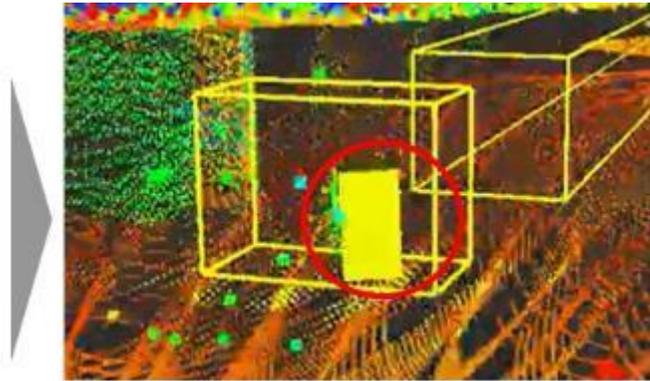
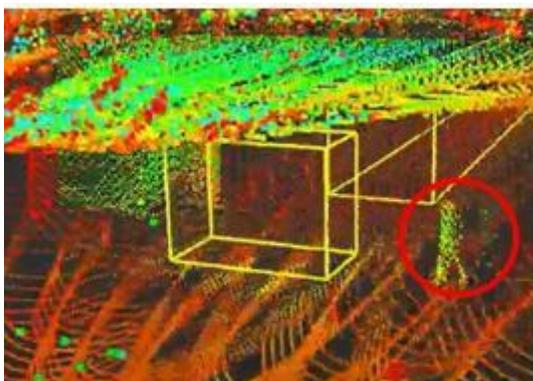
この俯瞰的なビューワーを活用することにより、実験対象エリアへの侵入物の検知を俯瞰的に行うことが可能となるものと考えられる。

図表 4-1-32 設定された侵入物検知エリアに人が侵入した際のビューワーの様子



また本ビューワーでは侵入物の移動経路も確認することが可能であり、侵入物の動態把握を点群データ取得エリア内で俯瞰的に行うことも可能である。

図表 4-1-33 点群データ取得範囲内の移動体が検知エリアに侵入する様子



本スマートシティでは過去に監視カメラを活用した人流把握検証を行ったが、各カメラで取得したデータを統合的に連携するが困難であることから、エリア内の特定の人物のカウントが重複する、広範なエリアでの動態把握が難しい等の課題が挙げられた。一方で本検証に際して構築したシステム系では設置したLiDARから取得した点群データを統合的に管理することで、検証対象エリアを広範に設定することが可能となるとともに、当該検知エリアの侵入物数並びに動態データをより正確に取得することが可能となった。

本技術を活用して取得した広範な検知対象エリア内の侵入物数及び侵入物の動態データについては、以下のユースケースへの活用が想定される。

○人流把握・解析によるイベント効果等の把握

HICity 2階コリドー部分のように来街者の回遊が想定されるエリアに導入することで、来街者数並びに来街者の動態を把握することが可能となる。同ユースケースによって、街区内のイベントの有無による動態の変化、イベントによる回遊性への影響を把握することが可能となり、イベント検討やテナント誘致といった効果的回遊性向上施策の検討に資することが期待される。

○駐車場などの満空情報の把握

検知エリアを駐車場全体に拡大することで駐車場の車両数をカウントし、駐車場の満空情報を把握することが可能となる。同ユースケースによって、駐車場出入口付近で発生する渋滞の緩和、誘導のための警備員の人件費削減が期待される。

ウ 汎用性検証：建物インフラによる障害物検知機能の他ユースケース活用可能性検証

本実証での検知精度を踏まえ、建物インフラによる障害物検知機能の他のユースケースへの横展開可能性を検討した。

○駐車場などの交通整理への活用

駐車場に侵入物検知機能を導入し、駐車場への車両の侵入を周辺の歩行者などに通知、駐車場を走行する車両へ歩行者などの車道への侵入注意喚起情報を通知することで、駐車場に出入りする車両や駐車場内を走行する車両の交通整理、事故発生防止の注意喚起を行う。

【期待される効果】

- ・ 車や建物の死角から現れる歩行者や自転車との接触などの事故の防止
- ・ 駐車場出入口付近で発生する渋滞の緩和
- ・ 誘導のための警備員の人件費削減

【システム拡張の必要性】

- ・ 侵入物検知機能は本実証で使用したバージョンで利用可能。
- ・ 交通制御のための通知や制御を行うシステムの開発が必要。
- ・ 周辺道路の信号情報とリアルタイムに連携することでよりスムーズな誘導が可能となる。

○交差点で発生する事故・事件等の状況把握への活用

【概要】

交差点内で発生する事故や人の転倒、非常事態による人だかりなどを異常として検知する。異常を検知したタイミングで消防や警察に通知し、遠隔での状況確認や記録の確認、出動可否の判断材料に活用することも期待される。

サイネージなどを使って交差点内の状況(サイネージの視認可能エリアに何人入っているか、など)に応じた広告の切り替えを行うなど広告宣伝効果の向上も期待される。

【期待される効果】

- ・ 通報が来るよりも先に現地の状況を把握できる。
- ・ 普段はカメラでの記録は行わず、異常を検知してからカメラでの録画を開始することが可能。そのためプライバシーに配慮しながらひき逃げ事故などの重要な記録はカメラでの記録を残せる。

○工事現場等における危険予測・事故防止への活用

【概要】

死角がしやすい大きな工事車両の移動経路や重機の死角をケアするために侵入物検知エリアを導入し、人間の目で把握しづらい状況で発生する危険を検知できるようになる。

工事現場の出入り口付近での事故予防や重機が稼働している場合に特定のエリア内に人や他の機械などが入らないように制御する。

【期待できる効果】

- ・ 工事現場付近および工事現場内の事故を予防できる。
- ・ 誘導のための警備員の人件費を削減できる。

【システム拡張の必要性】

- ・ 侵入物検知エリアはHICity1階の実験で使用したバージョンで利用可能。
- ・ 交通制御や場内の人への通知や制御を行うシステムの開発が必要。
- ・ 周辺道路の信号情報とリアルタイムに連携することでよりスムーズな誘導が可能。

(5) 考察

① 建物インフラによるロボット走行安全性向上

ア エッジコンピュータ活用の有用性

本実証で構築した建物インフラでの侵入物検知による配送ロボットの侵入物衝突回避機能により、HICity 1階の構内物流配送コースにおける車両等の侵入を正しく検知し、配送ロボットに対して適切な走行・停止指示を通達し、侵入物との衝突を回避する安全な走行が行えることを確認した。また本実証では建物インフラのデータを集約及び処理を行うエッジコンピュータとして建物エッジコンピュータを導入しているが、当該エッジコンピュータにより、侵入物を検知したエリア、対象物、進行方向、数などを判別することが可能となるとともに、ロボット側のエッジコンピュータにより建物エッジコンピュータから取得した情報について、ロボットの位置及び進行方向毎に参照すべき情報を取捨選択することが可能となり、想定されたシナリオに基づいて適切な停止や走行継続を行うことができた。これらのエッジコンピュータが導入されることにより、将来的に複数

台のロボットが同一空間を走行する場合においても、ロボット毎に必要な検知エリアの情報をエッジコンピュータにて適切に取捨選択することが可能となり、必要な情報のみを参照して適切な停止や走行継続を実現することが可能となる。

イ ロボットデリバリーサービスへの適用

本機能による配送ロボットの走行安全性の向上効果については、将来的な配送ロボット活用事業者として想定される構内物流事業者からもロボット導入に際する安全面の課題解消に寄与するものと評価された。また、実証を行ったコースは雨天時においても雨の影響を受けないコースであることから、別途当該区で実証を行っているロボットデリバリーサービスの走行コースに含めることで雨天時においてもサービスを継続させることが可能となる。本実証での成果を活用することによりロボットデリバリーサービスの雨天時のサービス継続性確保により、さらなる売上創出効果の拡大が期待される。

ウ 侵入物検知からロボット走行停止に係る遅延時間

侵入物検知～停止指示に係る時間については、最大で3.8秒かかりうることが確認された。この場合、例えば侵入物の検知から配送ロボットの走行停止を即座に行う必要のあると考えられる横断歩道(a)付近の走行シーンでは、遠隔操作型小型車で許容される最大速度の時速6.0kmで走行している場合、侵入物検知～停止指示までの3.8秒の間に配送ロボットは約6.3mの距離を進行してしまうことから、侵入物衝突までに正しく停止行動を行えない恐れがある。実装に向けてはロボットの走行速度、侵入物の走行速度、横断歩道の長さ、検知エリア情報受信～停止指示に係る時間を踏まえた侵入物検知～検知エリア端から横断歩道までの距離の設定および当該検知エリア範囲を満たすためのLiDARの設置を行うとともに、検知エリア情報受信～停止指示に係る時間の短縮に向けたシステム及び通信環境の改善を両輪で行うことが求められる。

エ 遠隔操作者負担軽減の可能性

本実証で構築したシステムは侵入物の検知、配送ロボットの停止要否の判断、配送ロボットへの停止指示を人の手を介さずシステムのみで完結させるものであることから、遠隔操作型小型車と整理される配送ロボットの導入に際して現在の道路交通法で想定される遠隔監視者による操作の負担軽減に寄与することが期待される。公道への配送ロボットの導入にあたっては遠隔監視者による監視・操作に係る人件費もランニングコストとして発生することから、実装に際しては将来的には遠隔監視者の負担軽減効果の最大化が求められる。システム精度向上によるシステム不具合に伴う遠隔操作の発生件数の削減や、複数種類・複数台数のロボット同時管制システムとの連携等によって、ロボット1台あたりの遠隔監視・操作に係るコストの削減等が考えられる。将来的なロボットの遠隔監視体制については道路交通法の規定も踏まえ、警察との協議のもと、実現可能性の高い体制を構築していくことが求められる。

② ロボット走行安全性向上を想定した建物インフラの設置要件

本実証ではK-C間の横断歩道から右側60mの範囲をLiDAR検知エリア端になるように建物インフラの設置を行った。本実証を通じて侵入物検知からロボット走行停止までにかかる遅延時間が

明らかになったが、当該遅延時間を考慮したうえでの、ロボット走行の安全性について考察する。

以下では、走行車両とロボットの衝突条件を算出している。 V を車の移動速度、 X がLiDARの検知エリア端から横断歩道までの距離、 Y をロボット初期位置（横断歩道までの距離）、 Z を横断歩道の長さ、 v をロボット移動速度とすると、車両が横断歩道に到達する時間 T_V 、ロボットが横断歩道を渡り始める時間と渡り終える時間 T_{Rs}, T_{Re} はそれぞれ以下のように計算できる。

$$T_V = X/V$$

$$T_{Rs} = Y/v$$

$$T_{Re} = T_{Rs} + Z/v$$

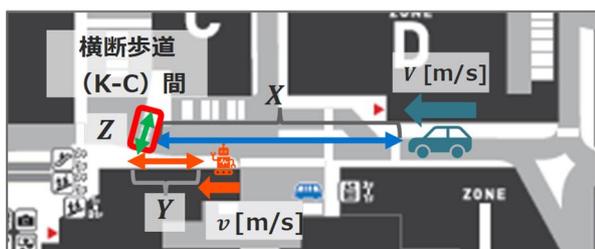
これらを用いて、車とロボットが衝突する条件は以下のように表せる。

$$T_{Rs} \leq T_V \leq T_{Re}$$

以下の考察では、 V, X, Z, v は固定値とし、上記条件を満たす Y を算出している。

○横断歩道（K-C間）

図表 4-1-34 横断歩道(K-C間)横断を想定した机上検証パラメータ



固定パラメータ

- V : 車の移動速度 : 2.22 m/s
(1階の最大制限速度 8km/hを想定)
- X : LiDARの検知エリア端～横断歩道までの距離 : 60 m
- Z : 横断歩道の長さ 5 m

可変パラメータ

- Y : ロボット初期位置（横断歩道までの距離） [m]
- v : ロボットの移動速度 [m/s]

建物インフラによる侵入物検知機能を活用せず、ロボット移動速度が 1.0m/s で走行するシーンを想定する。上記衝突条件式より、車両が検知エリア端に到達した際に、横断歩道から 22.0～27.0m の範囲を走行し、そのまま走行を継続した場合、侵入してきた車両と配送ロボットが横断歩道上で衝突することが想定される。なお、本検証で明らかとなった遅延時間分だけロボットが走行をし続けても、横断歩道より十分手前の位置で停止することが可能であるため、侵入物との衝突回避を安全に実施できるものと想定される。

○横断歩道（K-I 間）

図表 4-1-35 横断歩道(K-I 間)横断を想定した机上検証パラメータ



固定パラメータ

- V : 車の移動速度 2.22 m/s
(1階の最大制限速度 8km/hを想定)
- X : LiDARの検知エリア端～横断歩道までの距離 15 m
- Z : 横断歩道の長さ 10 m

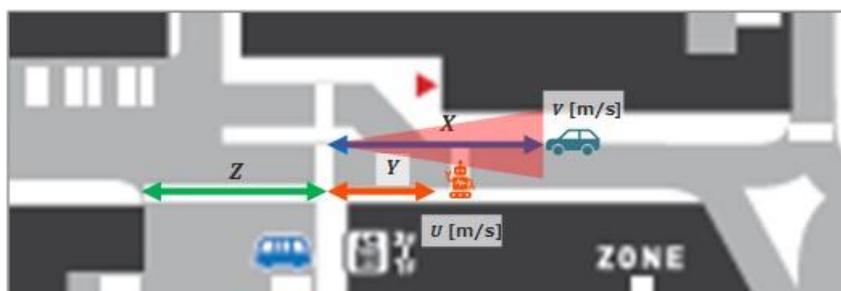
可変パラメータ（探索対象）

- Y : ロボット初期位置（横断歩道までの距離）[m]
- v : ロボットの移動速度 [m/s]

建物インフラによる侵入物検知機能を活用せず、ロボット移動速度が 1.0m/s で走行するシーンを想定する。上記衝突条件式より、車両が検知エリア端に到達した際に、横断歩道内及び横断歩道から 0～6.8m 以内の範囲を走行し、そのまま走行を継続した場合、侵入してきた車両と配送ロボットが横断歩道上で衝突することが想定される。本検証で明らかとなった遅延時間分だけロボットが走行をし続けた際には、車両との衝突することが予想されることから、当該遅延時間を考慮した建物インフラの検知範囲を検討する必要がある。

○侵入物検知・ロボット走行停止までの遅延時間を考慮したインフラの設置要件

図表 4-1-36 インフラ設置要件検討に係るパラメータ設定



固定パラメータ

- V : 車の移動速度 2.22 m/s (1階の最大制限速度 8km/hを想定)
- v : ロボットの移動速度 1.00 m/s
- Z : 横断歩道の長さ 10 m

可変パラメータ（探索対象）

- X : LiDARの検知エリア端～横断歩道までの距離
- Y : ロボット初期位置

侵入物検知・停止指示通達速度検証によって、侵入物を検知してからロボットが停止するまで最大で 3.8 秒かかるケースが発生しうることが明らかとなった。この場合、侵入物を検知してからロボットは $v \times 3.8 \text{ s} = 3.8 \text{ m}$ の距離を停止することなく進むこととなる。

ロボットの初期位置 $Y > 3.8 \text{ m}$ の場合は、ロボットが横断歩道に侵入する前に停止するため、

侵入する車両との衝突を回避することは可能となる。

ロボットの初期位置 $Y \leq 3.8 \text{ m}$ の場合は、侵入物を検知してから停止するまでに横断歩道に侵入することが想定される。本実証では横断歩道に侵入した際には走行を継続するシナリオとしたが、より安全を期するためには車両が横断歩道に到達するまでにロボットが横断歩道を渡り終えることが望ましい。ロボットが初期位置から横断歩道を渡り終えるまでの時間 t_1 は、

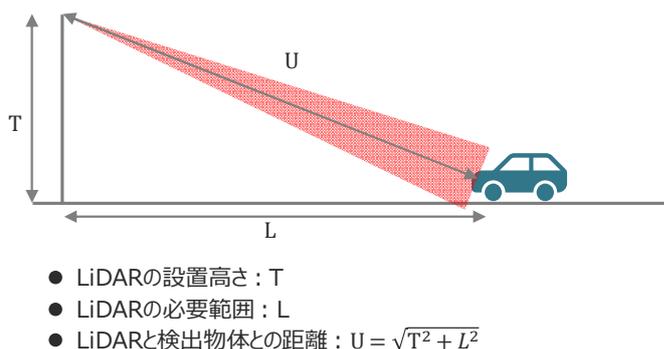
$$t_1 = \frac{Y + Z}{v}$$

となるが、車両が LiDAR の検知エリアに侵入してから t_1 の間走行しても横断歩道に到達しなければ、ロボットと車両が衝突することはない。つまり、車両が t_1 の間走行し続ける距離より LiDAR で車両を検知する必要がある範囲 L が長ければ、ロボットは車両と衝突することなく安全に走行することが可能となる。

$$L > V \times t_1 = V \times \frac{Y + Z}{v}$$

$Y = 3.8 \text{ m}$ とすると、 $L > 30.636 \text{ m}$ となる。

図表 4-1-37 LiDAR の必要範囲、LiDAR 設置高さ、検出物体との距離の関係性



LiDAR と検出物体との距離 U は LiDAR の設置高さ T によって変動する。今回は 3.0 m と 3.5 m の 2 パターンで設置を行った。各パターンにおける U の値は

$$U_{(3.0\text{m})} = \sqrt{3.0^2 + 30.63^2} \approx 30.80 \text{ m}$$

$$U_{(3.5\text{m})} = \sqrt{3.5^2 + 30.63^2} \approx 30.83 \text{ m}$$

となり、 L の値が大きいことから、各パターン U については大きな差は生じなかった。各 U における分解能はレーザー光の入射角度によって変動するが、本実証で活用した LiDAR については入射角度が $10 \sim 30$ 度の場合は最大で約 0.2 m 程度であると考えられる。よって、本実証で活用した性能の LiDAR であれば、交差点に侵入物の方向に向けて 1 台設置すると、 U だけ離れた距離の 0.2 m の大きさのものを検知することが可能であることがわかる。本検証における検知対象物は車両となるため、LiDAR の設置台数は 1 台で、設置高さは 3.0 m と 3.5 m の場合のいずれも十分に検知可能であると考えられる。

仮に、設置する LiDAR の分解能が本検証で活用したものより低い場合は、検知エリアの点群密度が増加するように LiDAR の設置台数を増やす、もしくは LiDAR で車両を検知する必要がある範囲 L が短くなるように、交差点より侵入物が進入するエリア寄りに LiDAR を設置することが求められる。

本実証で検証した侵入物検知によるロボット走行安全性向上を行うためには、侵入物検知・停止指示通達速度に応じて、LiDAR で車両を検知する必要がある範囲を特定し、その範囲の検知が可能となるように LiDAR の設置を行うことが求められる。また、安全性を担保するためにはシステム系の冗長性を確保するため、最低限必要台数より多く LiDAR を設置することが望ましいと考えられる。

③ 建物インフラの他ユースケース活用可能性

カメラを活用した人流把握検証の場合、各カメラで取得したデータを統合的に連携するが困難であることから、エリア内の特定の人物のカウントが重複する、広範なエリアでの動態把握が難しい等の課題が挙げられる。一方で本検証に際して構築したシステム系では設置した LiDAR から取得した点群データを統合的に管理することで、検証対象エリアを広範に設定することが可能となるとともに、当該検知エリアの侵入物数並びに動態データをより正確に取得することが可能となった。また、カメラでは個人情報の保護が課題となるような場面での利用も可能であり、セキュリティカメラの代替や施設への来場者/来場車数のカウント、人流・交通量の把握などにも利用できる可能性がある。

(6) 技術の実装可能な時期、実装に向けて残された課題

① 技術の実装可能な時期

実装に向けた課題として挙げられる侵入物検知から停止指示までに係る通信の遅延を解消したうえで、今回実証を行った HiCity 1 階のコースをロボットデリバリーサービスの雨天時の配送経路として令和 6 年度中に試験的に導入することを目指す。ロボットデリバリーサービスへの試験的導入に際しては、本技術の運用を通じて実装に向けた課題の洗い出し及び課題解消を継続的に実施する。

一方で、公道における遠隔操作型小型車の走行に際しては、公安委員会への申請に基づく遠隔操作もしくはみなし歩行者型の運用が求められる。本実証ではみなし歩行者型での検証を行ったが、事業持続性を勘案した運用体制の構築にあたっては、遠隔監視・操作体制への移行に向けた検討を継続する必要がある。

② 実装に向けて残された課題

ア 遠隔操作型小型車の公道走行に向けた警察との協議

「遠隔操作型小型車」の公道での走行にあたっては、①公安委員会に遠隔操作の届け出を行う場合と②監視員が帯同してロボットをみなし歩行者として行う場合が想定される。人的負担軽減のためには①の実現に向けて、複数種類・複数台数のロボットの同時管制を目指す分野横断型ロボット統合管制システムを活用した遠隔監視体制の構築に向けた検討・警察との調整を進めていくことが求められる。

また構内物流業務への配送ロボットの活用に際しては「遠隔操作型小型車」に区分されるロボットの積載量では、積み下ろし作業が増加し、人的負担軽減効果が発揮されないことが危惧される。構内物流業務へのロボットの活用に際しては、道路使用許可を伴わない形式でかつ積載量を確保できるロボットの導入に向けて規定緩和に向けた調整・対話を行っていくことも求められる。

イ 検知エリア情報受信～停止指示に係る遅延の解消

モビリティブリッジの定期実行プログラムの実行間隔に依存した遅延が、全体の遅延にも影響を及ぼすことが分かった。また、LTE を介しクラウド上で実行される MQTT 処理を含んだフローで遅延が付加され、上記プログラムの定期実行間隔に起因する遅延との悪条件が重なると約 1.5 秒の遅延が発生することが明らかとなった。実装に向けては MQTT 以外のリアルタイム処理に適した通信プロトコルの採用と、定期実行間隔の最適化が求められる。

ウ 通信安定性の向上

本実験では建物エッジコンピュータと Wi-Fi 接続されたモビリティブリッジを介してロボットへの指令出しを行ったが、実装の際は建物エッジコンピュータに直接ロボットが無線通信で接続する形式も考えられる。現状のまま Wi-Fi を採用するとなると、接続確立遅延、通信範囲、接続端末数、通信速度、電波干渉などの課題が考えられる。これらの課題の解消に向けては LPWA やローカル 5G 等の自営網との併用、将来的には 2030 年以降の利用が期待できる Beyond 5G (B5G)/6G の活用が望ましいものと考えられる。

エ ビル OS/都市 OS との連携による地図情報や走行ルールの共用

本実証に際して横断歩道の位置や一時停止禁止エリアの情報と地図情報の突合・設定を行った。将来的な複数種類・複数台数のロボットへの展開に際して、このような情報は、ロボット導入に際して毎度検討・構築するのではなく、ロボット間で共通で採用される情報として都市 OS やビル OS より提供されることが望ましいと考えられる。ロボット走行に際する一時停止禁止エリアなどの設定にあたっては空間 ID による属性情報管理等の手法が有効であると考えられる。

オ マルチベンダー対応の管制制御

将来的に複数業者・複数種類のロボットで建物インフラによる侵入物検知及び侵入物回避機能を活用する際には、各ロボットやベンダー所有の制御システムごとに異なる仕様への対応が課題となる。本課題解決のためにも、異なるシステム間の共通インターフェースとして機能する分野横断型ロボット管制システムが必須であると考えられる。

4-2. 実証実験② AR 技術及び空間情報を活用した新たな施設設備管理の実現

(1) 実験で実証したい仮説

異業種・複数台のロボットの導入による利便性向上・業務代替の実現は、様々なロボット、エレベータ、サービスシステムとの連携により実現されることが見込まれるが、その連携するロボットやシステムの数等が増加するとともに、各種システムの不調などに起因するインシデントの発生数やロボットがサービスを提供する場である施設の正常稼働を副次的に阻害する回数が増加することが予測される。ロボットによる業務代替に係る将来的な本格実装に向け、インシデントが発生した際にも速やかな復旧が可能な体制を確立すると共に、施設の正常稼働を効率的に維持する手法を構築し、ロボットによる業務が円滑に実施される環境を整備することが求められる。

令和 4 年度の実証実験では、ロボット等におけるインシデント発生有無やその詳細等の情報を一元的

に管理ができる、そしてその対応方法を示すことのできるインシデント対応システムを構築した。また、同システムを用いて、インシデント対応の迅速化とともに、専門業者でなくても初期対応が可能となる（施設維持管理者が運用可能になる）等の仮説に対する検証を併せて実施した。今年度は、インシデント対応の高度化または効率化に資することが見込まれるインシデント対応システムの機能改善やインシデントへの対応に係る役割分担の整理等、インシデントが発生した際にも速やかな復旧が可能な体制確立に関する検証を別途実施している。

本実証実験では施設の正常稼働を効率的に維持する手法の構築に焦点を当て、施設の正常稼働の維持のための施設管理業務の高度化または効率化に資することが見込まれる AR 技術を活用したツール（以下、「ツール」という。）を開発することにより、下記に示す仮説の検証を行う。

【検証を行う仮説】

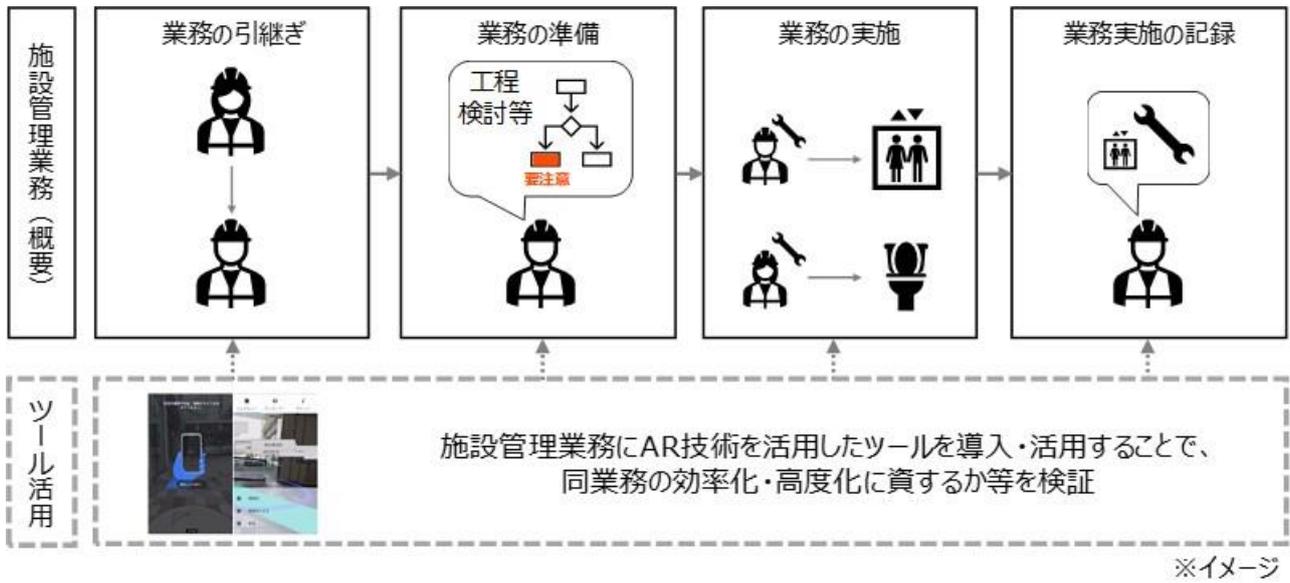
- ・ 信頼性
 - 事前に想定したツールの利用方法に対してツールが正常に稼働する。
- ・ ツール活用による効果
 - 施設管理業務に必要な情報を AR 空間上に表示することができるツールを開発し、同業務に活用することで業務の効率化に有用である。
 - 施設管理にあたって現場で活用されている情報の分析・利活用により、安定的な設備の管理（設備の不具合や点検ミスを誘発しにくい等）に有用である。
- ・ 汎用性
 - 本実証で開発したツールは AR 空間上への情報表示機能を有しており、同機能は施設管理等のメンテナンス分野だけでなく、他分野へ活用・応用が可能である。
- ・ 社会受容性
 - ツールの信頼性や利用効果等の観点で、ツールは施設管理業務に有用である。

（２）実験内容・方法

① 検証概要

本実証実験では、施設の正常稼働を効率的に維持する手法の構築に焦点を当て、ツールの開発及びロボットの導入に伴って生じることが見込まれる施設の正常稼働の維持のための施設管理業務の高度化・効率化を目指した実証実験を実施する。開発したツールを活用した施設管理業務等を通じて各種検証を実施する。

図表 4-2-1 実証実験の全体像



② 検証項目

図表 4-2-2 検証項目 (AR 技術及び空間情報を活用した新たな施設設備管理の実現)

大項目	中項目	小項目	概要
実用性の検証 (実用化)	信頼性の検証	システムの正常稼働	信頼性を有するツール提供に向け、位置情報のズレ等のシステムに関する不具合事象等を記録し、原因究明及び解消方法を検討する。
ビジネスモデル検証 (商用化)	ツール活用による効果の検証	点検業務の効率化効果	ツール上の情報を活用する／しないケースにおいて、日常点検や点検準備等における効率化効果が見込まれる事項を調査する。
		技術伝承への活用可能性	ツール上の情報活用により、未熟者でも単独で点検業務が実施可能となることが見込まれるか調査する。
		安定的な設備管理への寄与	ツール上に蓄積される仮の情報を例示的に集計・分析し、設備の不具合や点検ミスのない安定的な設備管理の実現に情報の利活用が寄与し得るか等を調査する。
	汎用性の検証	他分野への活用可能性	屋外のみを構築したツールの他分野への応用に向け、応用が見込まれる分野や応用のために追加的に必要な機能等を調査する。
	社会受容性の調査	課題・利用意向・利用者満足度の把握	備えるべき機能・情報等のツールの改善点やツールを用いた業務実施に係る運用上の課題を調査する。また、ツールの利用意向や満足度等を把握する。

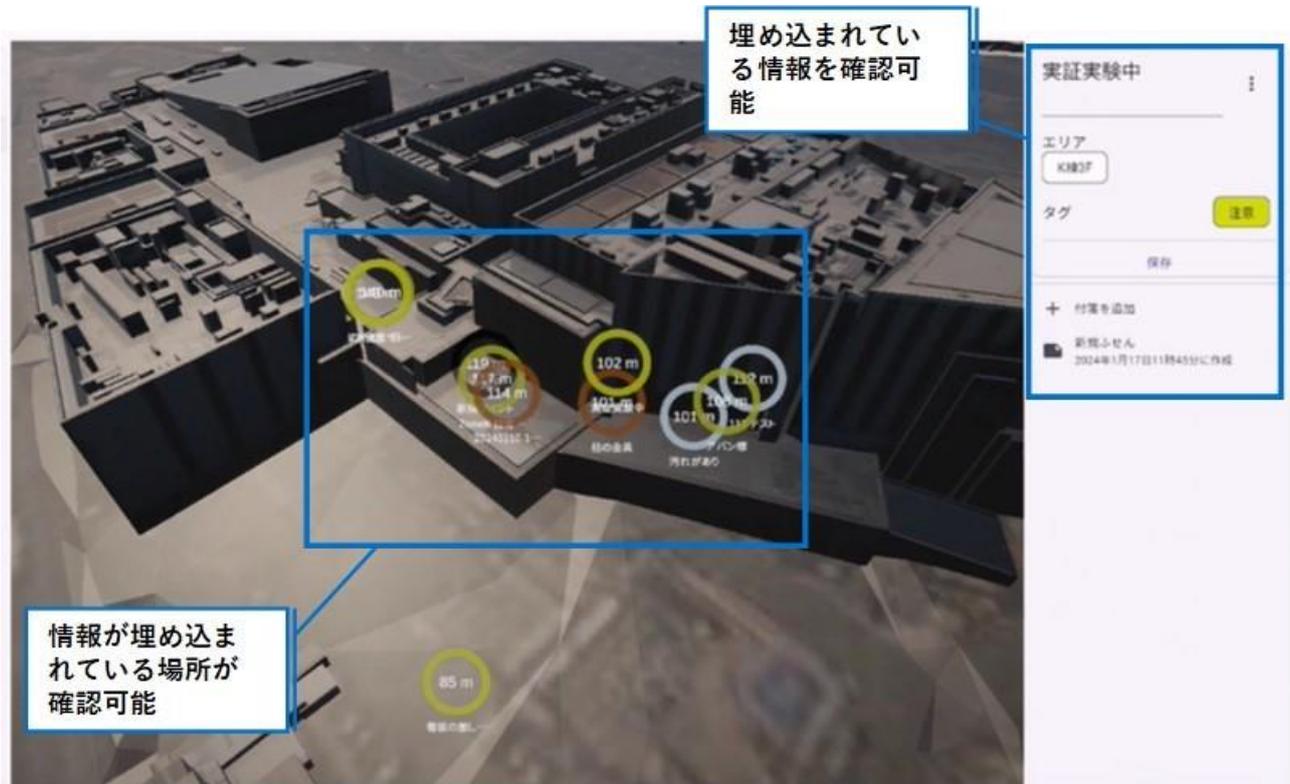
③ AR 技術を活用したツールの概要

本実証で構築するツールは、HICity を 3D モデル空間上に構築し、3D モデル空間と AR 技術を活用した AR 空間を対応付けする。対応付けした両空間内へは、文字や画像データを自由に貼付することができ、また、閲覧についても両空間から可能である。

図表 4-2-3 ツールのイメージ(モバイル端末)

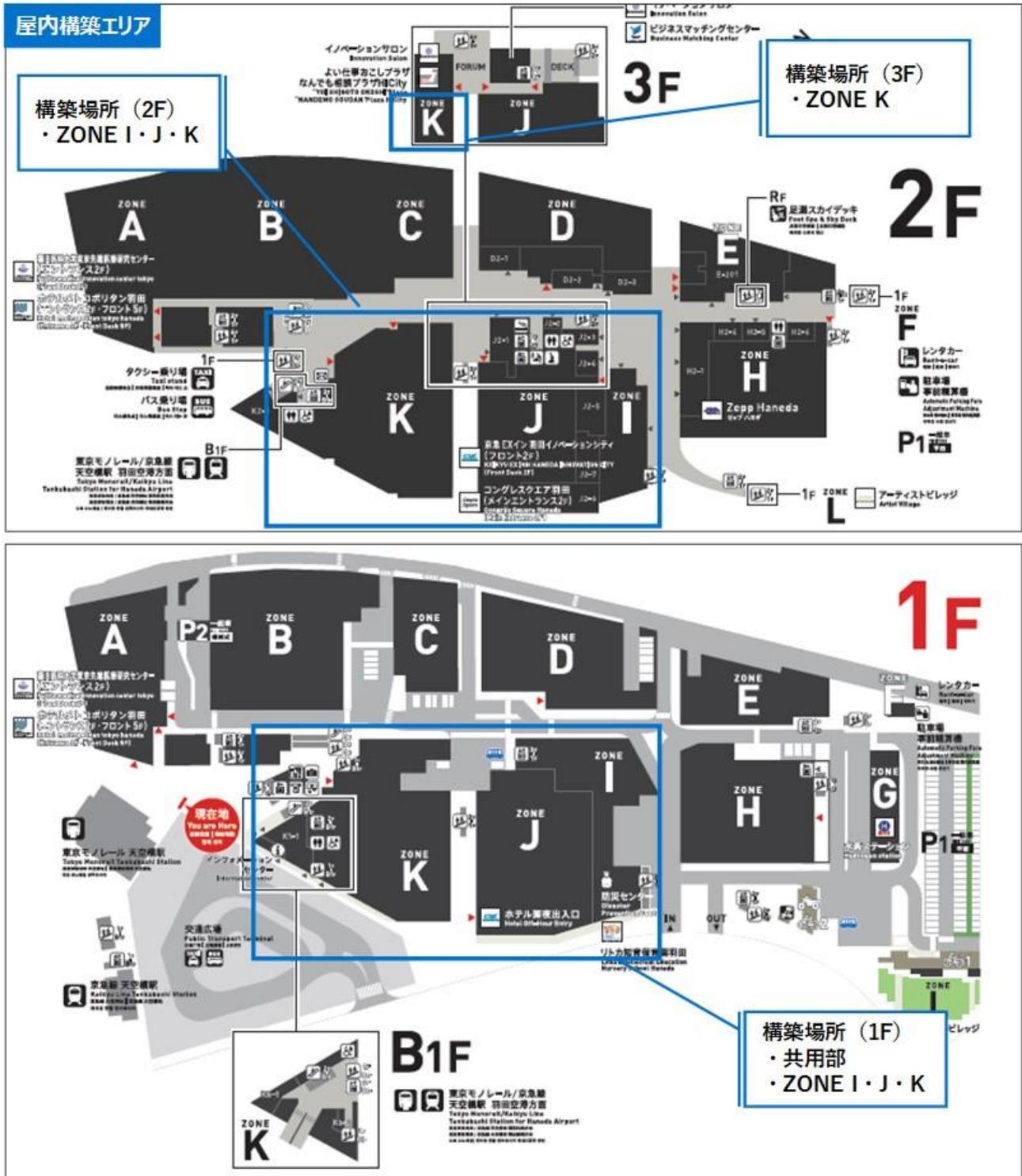


図表 4-2-4 ツールのイメージ(デスクトップ端末)

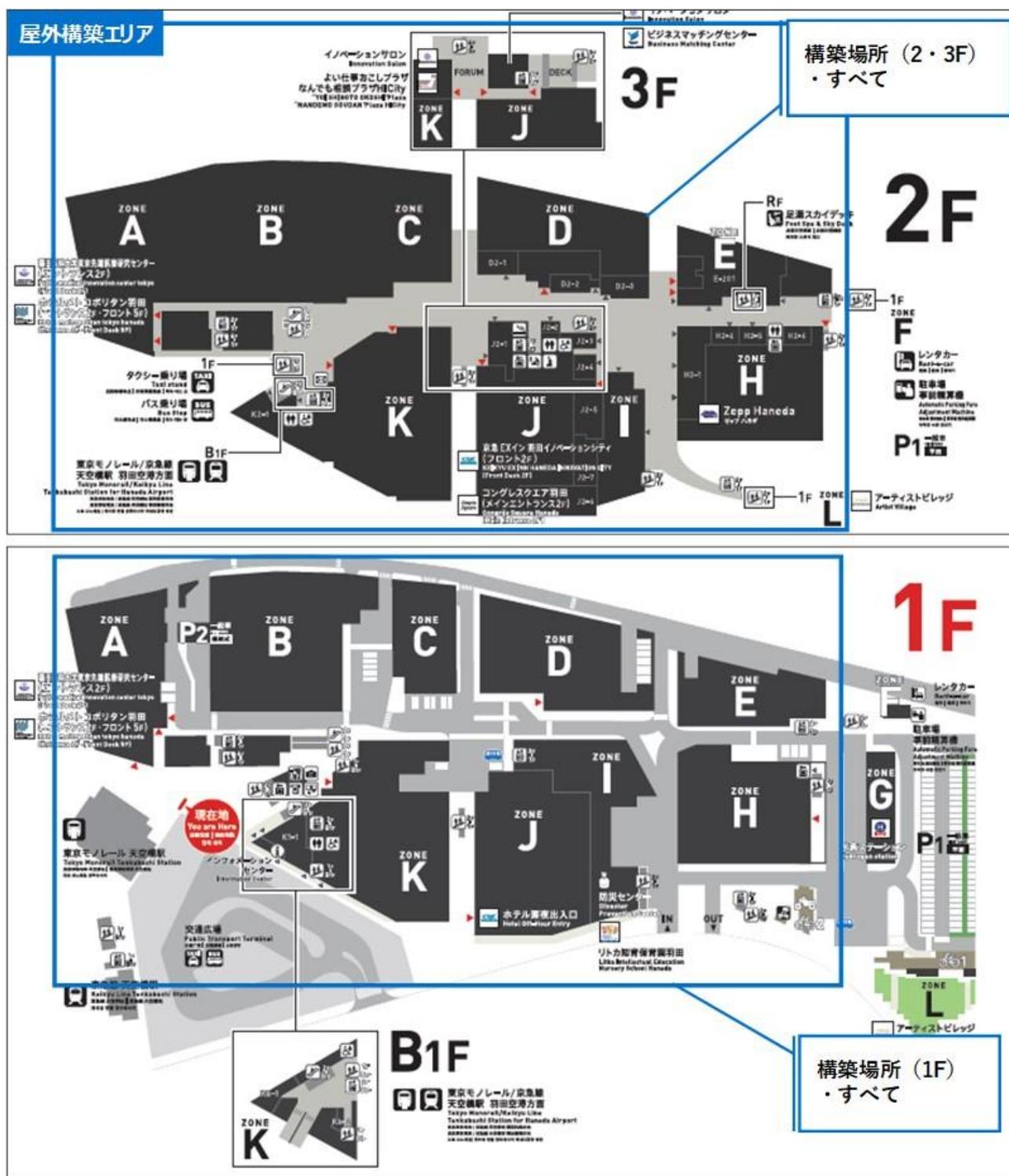


本実証で構築する HICity の 3D モデルは、屋内は 1F（共用部及び Zone I・J・K）、2F（Zone I・J・K）、3F（Zone K）となる。屋外については HICity の敷地すべてとなる。

図表 4-2-5 構築する HICity の 3D モデル(屋内)

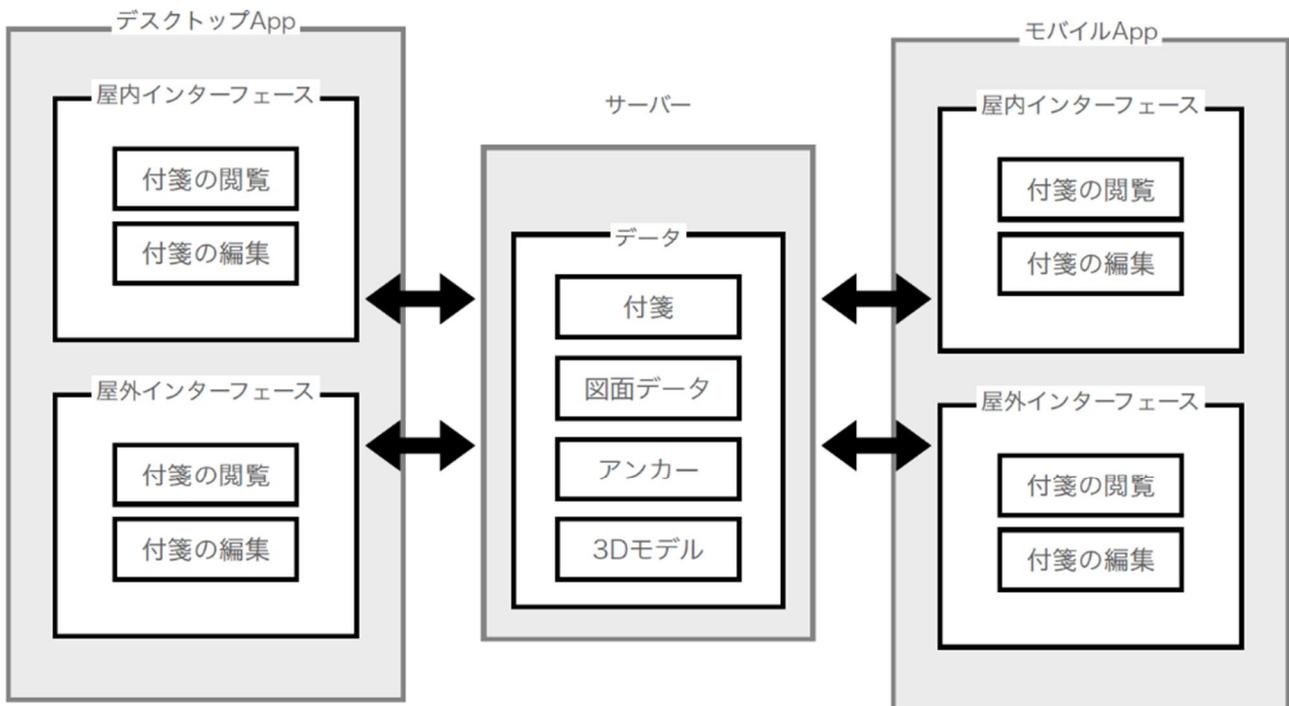


図表 4-2-6 構築する HICity の 3D モデル(屋外)

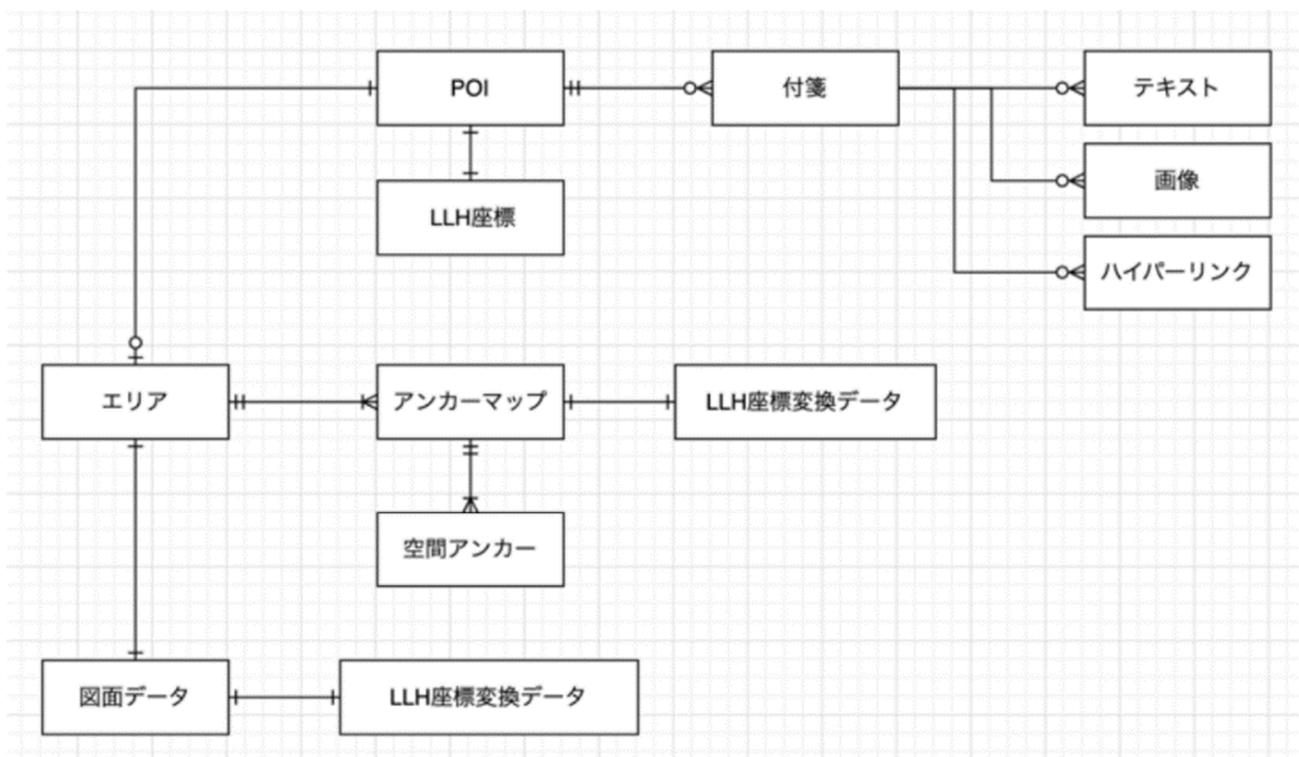


ツールのシステム及びデータの構成図については以下である。

図表 4-2-7 ツールのシステム全体イメージ



図表 4-2-8 ツールのデータモデル



(3) 仮説の検証に向けた調査方法

① 実用性の検証（実用化）

ア 信頼性の検証：システムの正常稼働

ツールを活用した施設管理業務等を通じて確認された、保存した付箋の意図しない情報の削除の発生有無の調査等のシステムの正常稼働に関する調査を実施する。

図表 4-2-9 システムの正常稼働 仮説の検証に向けた調査方法

検証対象者及び期間	<ul style="list-style-type: none"> HICityの施設管理者である鹿島建物総合管理株式会社の実証実験担当者 <ul style="list-style-type: none"> ➤ 2024年1月10日（水）～1月21日（日） ツールの構築者である株式会社GATARIの実証実験担当者 <ul style="list-style-type: none"> ➤ 2024年1月10日（水）～1月21日（日）
検証方法	<ul style="list-style-type: none"> ツールを用いて施設管理業務を実施する。 施設管理業務の実施後、ツールの稼働状況やツールの安定稼働に求められる事項等についてアンケートを実施する。 施設管理業務については施設管理者が実施する。 システムの正常稼働に係るアンケートについては、ツールを使用する施設管理者及びツールの構築者が回答する。
アンケート項目	<p>【ツールの稼働状況】</p> <ul style="list-style-type: none"> ツールの不具合の有無 （不具合があった場合）不具合の詳細 <p>【ツールの安定稼働に求められる事項】</p> <ul style="list-style-type: none"> ツールの構築・安定稼働に必要なデータ 等
分析事項	<ul style="list-style-type: none"> 安定的なツールの稼働に向けた改修事項 等

② ビジネスモデル検証（商用化）

ア ツール活用による効果の検証：点検業務の効率化効果

ツールを活用して施設管理業務等を実施し、発現された施設管理業務の効率化効果や効率化が見込まれた事項等を検証する。

図表 4-2-10 点検業務の効率化効果 仮説の検証に向けた調査方法

検証対象者及び期間	<ul style="list-style-type: none"> HICityの施設管理者である鹿島建物総合管理株式会社の実証実験担当者 <ul style="list-style-type: none"> ➤ 2024年1月10日（水）～1月21日（日）（アンケート調査） ➤ 2024年1月26日（金）（ヒアリング調査）
検証方法	<ul style="list-style-type: none"> ツールを用いて施設管理業務を実施する。 施設管理業務の実施後、点検業務等の施設管理業務の効率化効果や効率化が見込まれた事項等についてアンケートやヒアリングを実施する。 施設管理業務については施設管理者が実施する。 点検業務の効率化効果に係る調査については、ツールを使用する施設管理者が回答する。
調査項目	<p>【効率化効果】</p> <ul style="list-style-type: none"> 施設管理業務における効率化効果（もしくは、効率化が見込まれた事項） 効率化効果の発現や本格実装のために必要な機能 等
分析事項	<ul style="list-style-type: none"> ツール活用に伴う施設管理業務の更なる高度化・効率化に資する事項

イ ツール活用による効果の検証：技術伝承への活用可能性

新人技術員の習得時間の短縮や熟練技術員による指導時間の削減等、ツールが技術伝承への活用
に有用か、ツールを活用した施設管理業務等を通じて調査する。

図表 4-2-11 技術伝承への活用可能性 仮説の検証に向けた調査方法

検証対象者及び期間	<ul style="list-style-type: none"> HICityの施設管理者である鹿島建物総合管理株式会社の実証実験担当者 ➤ 2024年1月10日(水)～1月21日(日)
検証方法	<ul style="list-style-type: none"> ツールを用いて施設管理業務を実施する。 施設管理業務の実施後、新人技術員の習得時間の短縮や熟練技術員による指導時間の削減等の技術伝承に有用か等についてアンケートを実施する。 施設管理業務については施設管理者が実施する。 技術伝承への活用可能性に係るアンケートについては、ツールを使用する施設管理者が回答する。
アンケート項目	<p>【ツールの機能】</p> <ul style="list-style-type: none"> 有用な技術伝承に必要なツールの機能 <p>【技術伝承への活用可能性】</p> <ul style="list-style-type: none"> 技術伝承への活用可能性
分析事項	<ul style="list-style-type: none"> 技術伝承に有用なツール構築に係る改善事項

ウ ツール活用による効果の検証：安定的な設備管理への寄与

ツールを活用した施設管理業務等を通じてツール上に保存され得る付箋等の情報を分析し、不具合や点検ミス等が生じやすい設備等の傾向を得ることができるか、安定的な設備の管理に資する示唆獲得に有用であるかを調査する。

図表 4-2-12 安定的な設備管理への寄与 仮説の検証に向けた調査方法

検証対象者及び期間	<ul style="list-style-type: none"> HICityの施設管理者である鹿島建物総合管理株式会社の実証実験担当者 ➤ 2024年2月16日(金) ツールの構築者である株式会社GATARIの実証実験担当者 ➤ 2024年1月10日(水)～1月21日(日)
検証方法	<ul style="list-style-type: none"> ツールに保存され得る付箋等のデータや情報の種類をリスト化する。 リスト化されたデータ等の種類がツール上に十分蓄積されている前提で、安定的な設備管理への寄与を目的にデータ分析を実施する。(本実証期間内では示唆出しに十分なデータ数が蓄積されないことが見込まれるため、仮の情報を用いて分析を実施する) データ等の分析・利活用が安定的な設備管理へ有用であるかヒアリングする。 データや情報の種類のリスト化はシステム構築者が実施し、安定的な設備管理への寄与に係るヒアリングはツールの利用者及び施設管理を実施している施設管理者を対象とする。
ヒアリング項目	<p>【安定的な設備管理への有用性】</p> <ul style="list-style-type: none"> 現在のデータの利活用状況 データ利活用に係る現在の課題 課題解決により期待する効果 ツール上に蓄積されるデータを用いた分析の有用性 等

分析事項	・ ツール上に蓄積されるデータの利活用方策
------	-----------------------

ア 汎用性の検証：他分野への活用可能性

ツールの利用を通じて、施設管理以外の他分野への活用可能性について調査する。

図表 4-2-13 他分野への活用可能性 仮説の検証に向けた調査方法

検証対象者及び期間	<ul style="list-style-type: none"> ・ HICity の施設管理者である鹿島建物総合管理株式会社の実証実験担当者 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 2024年1月10日（水）～1月21日（日） ・ HICity を含めたエリアマネジメントを実施している株式会社アバンアソシエイツ及び鹿島建設株式会社の実証実験担当者 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 2024年1月12日（金） ・ ツールの構築者である株式会社 GATARI の実証実験担当者 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 2024年1月10日（水）～1月21日（日）
検証方法	<ul style="list-style-type: none"> ・ ツールを用いて施設管理業務等を試験的に実施する。 ・ ツールの利用後、ツールが施設管理業務以外の他分野への活用可能性等についてアンケートを実施する。 ・ ツールの利用者及びアンケートの対象者は、様々な分野や業務に精通している事業者であることが望ましいため、業務範囲が多岐にわたるエリアマネジメントを実施している事業者が主に実施する。
アンケート項目	<p>【他分野への活用可能性】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 活用が見込まれる分野や業務 ・ 具体的な活用イメージや利用フロー ・ 他分野への活用に当たって追加で実装すべき機能 等
分析事項	・ 他分野へ活用するために必要な機能や改善方策

イ 社会受容性の調査：課題・利用意向・利用者満足度の把握

施設管理業務を実施するうえで、具備すべき機能・情報等のツールの改善点を調査すると共に、ツールに対する満足度等を把握する。

図表 4-2-14 課題・利用意向・利用者満足度の把握 仮説の検証に向けた調査方法

検証対象者及び期間	<ul style="list-style-type: none"> ・ HICity の施設管理者である鹿島建物総合管理株式会社の実証実験担当者 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 2024年1月10日（水）～1月21日（日）
検証方法	<ul style="list-style-type: none"> ・ 本実証を通して、施設管理業務に追加で必要な情報や機能等のシステムの改善点等を調査する。 ・ 調査はツールの利用者及び施設管理を実施している施設管理者へのアンケートにて実施する。
アンケート項目	<p>【ツールに対する意見】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 施設管理業務を実施するにあたってツールに追加で必要な情報や機能 ・ ツールのユーザーインターフェースに対する意見・要望 等
分析事項	・ 利用者満足度の高いツールを構築するための改善策

(4) 実験結果・分析

① 実用性の検証（実用化）

ア 信頼性の検証：システムの正常稼働

施設管理者がツールを用いた施設管理業務を実施し、同検証期間中に確認されたツールの不具合等についてアンケートやログ等により調査のうえ、システムの信頼性に係る課題を抽出した。

施設管理者による検証期間中に全3種類の不具合事象の発生が確認された。うち、レイアウトに関する不具合は2種類発生し、その他、付箋等の位置が指定した位置と異なるという記録位置の齟齬に関する不具合が確認された。

レイアウトに関する不具合は2種類とも、文字の折り返しの設定がなされていなかったことが原因となっている。また、付箋等の記録位置の齟齬については、ユーザーの現在位置からの相対的な位置に付箋等が記録される仕様となっているため、ツールが取得した現在位置に関する情報が正確でないと、付箋等の記録位置についても齟齬が生じることが明らかとなった。

図表 4-2-15 システムの不具合事象
(検証対象者へのアンケートより)

主な不具合事象		主な原因
レイアウト	ポイントの名前が非常に長いときに、付箋の一覧表示する際のレイアウトが崩れる。	ポイントの名前の長さに応じて、ポイント名の表示が無制限に横に長くなるように設定されていた。
	付箋の文字入力枠に長文を入力すると、文字が折り返しされずに溢れる。	テキスト表示の設定に長いテキストの想定がされていなかったため、折り返し等の表示設定をしていなかった。
位置情報	ポイントや付箋を記録した位置から異なって表示される。	現在位置の情報を正確に取得できないことに起因し、付箋の記録位置が異なって表示される。

不具合のない、安定的に稼働するツールの構築に向けて、今後、解決すべき課題やツール構築に係る留意事項は以下が得られた。付箋貼付の際に重要となる座標系に関する課題や留意事項が主になっており、特に、屋内でツールを用いる際にユーザーに求められる精度で現実空間とツール上の位置情報を合致させることの難しさが課題として挙げられている。

図表 4-2-16 ツールの安定稼働に向けた課題・留意事項に関する意見
(検証対象者へのアンケートより)

課題・留意事項		対策
課題	屋内外のデータを共通の緯度経度高さのグローバル座標系で表現するためには、屋内についても正確な緯度経度高さを取得する必要がある。しかし、屋内の測量データは整備されていないため、屋外の基準点と設計時のデータから座標を推定する必要があるが、その推定精度は屋内でツールを使用する際に求めら	屋内の正確な緯度経度高さのグローバル座標データを整備する。

	れる“cm”オーダーでの精度が求められるが、その実現は容易でない。	
	モバイル端末で作成・保存したタグ情報がデスクトップ端末上で、正しい位置に表示されない。	屋内の座標系の位置合わせに利用するアンカーの緯度経度高さ座標に正確なデータを利用する。
留意事項	電波状況が悪い場所・空間では、データ登録の際にエラーが発生する場合がある。	施設内の電波環境の改善やキャリアのSIMを活用等の環境整備が必要となる。
	地理座標系と Unity（ゲームエンジン）座標系の変換手法に誤りがあり、想定しない変換齟齬が発生した。	Unity 座標系から ENU 座標系・ECEF 座標系・地理座標系に変換を効率的に行うライブラリを別途作成する必要がある。
	表示されているオブジェクトがどのポイントに対応しているのかが明確でなかった。	ポイントの名前をラベルとして表示する等、ユーザーが理解しやすい、直感的に使用できる UI となるような仕様とする必要がある。

また、安定的に稼働するツールを構築するために解決する必要がある課題に対して、どのようなデータがあれば解決できる等の課題解決に資するデータやツールの更なる利便性向上のために必要なデータ等について、検証対象者にアンケート調査を実施した。

その結果、現実空間とツール上の位置情報の精緻な整合のためには、屋外を構築する際に使用したグローバル座標データと同様に、屋内のグローバル座標データが必要である、という見解が得られた。ただし、当該データは基本的には公開されておらず、屋内のグローバル座標データの活用には施設管理者（所有者）と活用に係る協議が都度発生することが懸念されている。

ツールの更なる利便性向上に資するデータについては、施設の内装データや建築物の意味データ（セマンティクス）、屋内の緯度経度高さのデータが挙げられている。施設の内装データを活用することで、デスクトップ端末からでも、屋内施設のどこに付箋が貼付されたかを 3D の屋内施設モデルを用いて容易に確認することが可能となる。その他、建築物の意味データ（セマンティクス）は建築物のタグ付けが容易になることやソート・データ分析への活用が見込まれること、屋内の緯度経度高さのデータについてはロボット等の他の設備の位置情報連携が可能になることが見込まれるが、いずれも現時点では一般化されていないデータであるため、取得に係るコストは膨大になるという課題がある。

**図表 4-2-17 ツールの安定稼働に必要なデータに関する意見
（検証対象者へのアンケートより）**

分類	必要なデータ	理由	課題及び要望
課題解決に資するデータ	施設のグローバル座標データ	位置情報取得時の座標のズレが発生しなくなるため。	基本的にデータが公表されておらず、施設ごとに施設の所有者等との協議が必要となる。したがって、データの公開及びデータ提供に係る業務負荷の軽減を望む。
利便性向上に資するデータ	施設の内装データ	屋内情報をデスクトップ端末で確認する際、本実証では図面を利用・参照しているが、3次元データがあれば設備の詳細がデスクトップ上でわかりより直感的になる。	屋内の内装データは複数のテナントや事業者が別々に管理しているケースが多く、データ収集に係るコストが高くなる傾向にある。したがって、内装データの提供に関する事

		前の取り決め等を望む。
建築物の意味データ	建築物に対するタグ付け及びカテゴリ分けが容易になることや、データのソート・分析に活用できることが見込まれる。	一般化されていないデータであるため、一般的な普及を望む。
屋内の緯度経度高さのデータ/空間 ID	屋内の位置推定に利用するローカルマップをグローバル座標系と接続することが可能になり、ロボットやソフトウェアなど様々なエージェントの位置管理の一元化を実現しうる。	一般化されていないデータであるため、一般的な普及を望む。

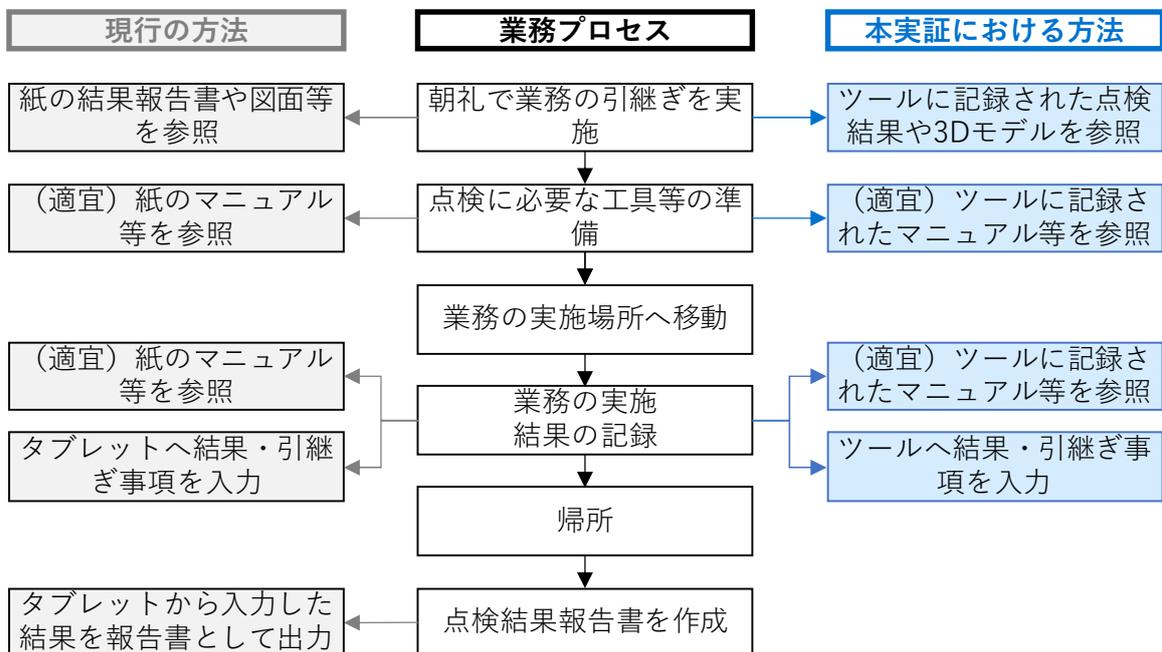
② ビジネスモデル検証（商用化）

ア ツール活用による効果の検証：点検業務の効率化効果

施設管理者によるツール活用に伴う施設管理業務に対する効率化効果等について調査した。

効率化効果の検証にあたって、現行の業務プロセスと本実証におけるプロセスについて整理した。また、日常的に実施する施設管理業務を対象に検証を実施した。現行の方法では、紙の図面等を用いて引継ぎ等を実施しているが、現地の状況をイメージしにくいいため引継ぎに時間を要している等の課題があることが事前に分かっている。本実証では、ツールを介して 3D モデルと共に点検結果や異状画像等を参照できる仕様とすることで、効率化を実現することを企図している。

図表 4-2-18 施設管理業務のプロセスの比較



施設管理者が実施する施設管理業務の実施に要した時間について、ツールを使用しなかった場合と使用した場合で比較検証した結果、以下の結果が得られた。

施設管理業務のうち、「点検に必要な工具等の準備」については、ツールの使用の有無で時間的な効率には変化がなかった。一方、「朝礼での業務の引継ぎ」や「点検業務の実施と記録」については、

ツールを使用した場合、現行の方法よりも約2倍の時間を要してしまうことが明らかとなった。

図表 4-2-19 施設管理業務のプロセス及び時間的な効率化効果
(検証対象者へのアンケートより)

施設管理業務のプロセス		ツールを使用 しなかった場合	ツールを使用 した場合
業務の引継ぎ	朝礼での業務の引継ぎ	0.5分/件	1.0分/件
業務の準備	点検に必要な工具等の準備	1.0分/件	1.0分/件
業務の実施	点検業務の実施と記録	9.9分/件	19.1分/件

※ 回答に対する平均時間を記載

本実証で構築したツールに対して、現行の施設管理業務で用いているツールと比較した意見や、施設管理業務の効率化、もしくは、本格導入に必要な機能については以下の意見が得られた。

業務の引継ぎや準備段階においては、屋内を参照する際に3Dのモデルの表示が求められた。また、現行の施設管理業務のうち、設備状態の確認や確認事項の記録に対しては「ツールによる指針の自動読取・記録機能」、記録内容を報告書として出力することに対しては「ツールからの報告書出力機能」等が、効率化もしくは本格導入にあたって必要な機能であることが明らかとなった。その他、貼付した付箋をタスクとして扱った際のタスク管理機能の付与や、点検や目視が容易でない設備に対する業務を簡易化させる活用方法に関する意見も得られた。

図表 4-2-20 施設管理業務の効率化・本格導入に関する意見
(検証対象者への調査より)

業務の区分	意見カテゴリ		意見
業務の引継ぎ	現行の業務・ツールとの比較		・ 操作に慣れていないため現行の方法より時間がかかる。
	効率化・本格導入に必要な機能		・ デスクトップ端末から屋内情報にアクセスすると、2D図面が表示されるため、3Dのモデルを構築してほしい(屋外は3Dとなっている)。
業務の準備	現行の業務・ツールとの比較		・ 施設管理者で現在使用しているツールとの差異はあまり感じない。
	効率化・本格導入に必要な機能		・ デスクトップ端末から屋内情報にアクセスすると、2D図面が表示されるため、3Dのモデルを構築してほしい(屋外は3Dとなっている)。
業務の実施	現行の業務・ツールとの比較		・ 現状使用している端末やツールよりも時間がかかる。特に、点検実施前のアンカーのスキャンに移動の時間と手間が生じた。
	効率化・本格導入に必要な機能	指針等の自動読取・記録機能	・ ツールに圧力計等の計器類の指針を自動で読み取る機能、そして、点検表への自動記録機能があるとよい。 ・ 計器の写真の撮るだけで、数値を取り込めるようにしてほしい。
		報告書等の出力機能	・ 点検票への入力と顧客へ提出するための帳票出力等を現行の業務で行っているため、同機能がツールに必要。もし

			<p>くは、現行の施設管理者のツールと連携していないと実用するにはハードルがあると思う。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 業務実施後の報告書作成機能が必要 ・ 点検結果等の報告書を Excel 等で出力できるようにしてほしい。
		ソート機能	<ul style="list-style-type: none"> ・ 現状、付箋が全て表示されるので、ゾーン／階層／タグ等でソートする機能が必要。 ・ 貼付した付箋に対するタスクの完了／未完了を管理できる機能の他、ソート機能として、ツールをかざした時に表示される付箋のうち、画面上に残したいものを選択できる機能があると、注意しておくべき事項が分かりやすく誰にでも周知され、活用用途はあると思われる。
		その他	<ul style="list-style-type: none"> ・ 目視が容易でない天井内や障害物に隠れた機器等を表示させられるのであれば効率化に資すると思う。 ・ BIM を使って配線やバルブがどこにあるか等が分かる取組が既にあるが、情報量が多すぎると感じ、また更新が大変。

また、ツールを利用するためには施設管理者社内の審査が必要であることが確認された。

**図表 4-2-21 施設管理業務への本格導入に必要な手続き
(検証対象者へのヒアリングより)**

<ul style="list-style-type: none"> ・ ツールのセキュリティ審査のために、アプリケーションが公開されている AppStore 上のリンクとツールの使い方を IT 部門へ提示する。その後、IT 部門が審査する。審査対象となるツールがクラウドサービスを利用している場合は、IT 部門が指定している形式に沿ってツールの利用目的や管理体制等を示した資料を提示する必要がある。 ・ 実証実験等の短期でしか使用しないアプリケーションでも同様の手続きが必要である。また、申請から利用開始に至るまでの期間は、クラウドサービスを利用するケースでは長くなる傾向にあるが、約 1 か月である。

イ ツール活用による効果の検証：技術伝承への活用可能性

施設管理者がツールを用いた施設管理業務を実施し、技術伝承に有用とされる機能やツールの有用性等を調査し、技術伝承への活用可能性等について検証した。

効率的な技術伝承へのツールの活用に係る意見については、経験できる機会が少ない緊急対応業務等を技術伝承のケースとすることへの有用性や、対象者の理解が促進する等の効率面でメリットがある等の意見が得られた。

一方で、現在のツールでは技術伝承に必要な情報が不足していること等、懐疑的な意見も一部得られた。

図表 4-2-22 効率的な技術伝承へのツールの有用性に対する意見
(検証対象者へのアンケートより)

分類	回答内容
有用	<ul style="list-style-type: none"> ・ 緊急対応等を技術伝承の対象ケースとする場合、通常発生しにくい業務を経験できる回数も少ないため、有用なのではないか。 ・ 突発的な不具合への対応履歴もあると一層有用である。 ・ 対象者が理解しやすいマニュアル等が作成しやすくなるため、有用である。 ・ 効率や安全面でのメリットが大きいと感じた。 ・ 今後、機能追加されることも含め、有用であることが想定される。
要改善	<ul style="list-style-type: none"> ・ 技術伝承のためにはツールに蓄積されている情報量が不足している。
判断できない	<ul style="list-style-type: none"> ・ ツールを活用する場合、技術伝承なのか点検業務の効率化なのか、目的を絞った方がよい。

また、効率的な技術伝承に必要と思われる機能については以下の回答が得られた。本実証で構築したツールに既に具備されている4つの機能のうち、3つの機能（AR空間上への文字情報の表示機能、AR空間上への画像情報の表示機能、有人同士での文字情報の共有機能）については、効率的な技術伝承にも必要な機能であるという回答が多数示されたことから、機能面においては効率的な技術伝承へツールを活用できる可能性の素地があることが確認された。

ツールが既に具備している有人同士での画像情報の共有機能についても、技術伝承に必要であるという回答が一定数、得られている。他方、本実証で用いたツールに具備されていない機能だが、有人同士での視野の共有機能については、効率的な技術伝承に必要であるとの回答も多く得られた。

図表 4-2-23 効率的な技術伝承の実現に必要な機能
(検証対象者へのアンケートより)

機能	効率的な技術伝承に必要な機能	(参考) ツールに具備されている機能
AR空間上への文字情報の表示機能	◎	✓
AR空間上への画像情報の表示機能	◎	✓
AR空間上での音声の再生機能	×	—
AR空間上への動画の再生機能	○	—
有人同士での文字情報の共有機能	◎	✓
有人同士での画像情報の共有機能	○	✓
有人同士での通話機能	○	—
有人同士での動画の共有機能	×	—
有人同士での視野の共有機能	◎	—
有人同士での通話の録音機能	○	—
有人同士での共有した視野の録画機能	×	—

※ 有効回答数に対して必要と示された回答数の割合と記号

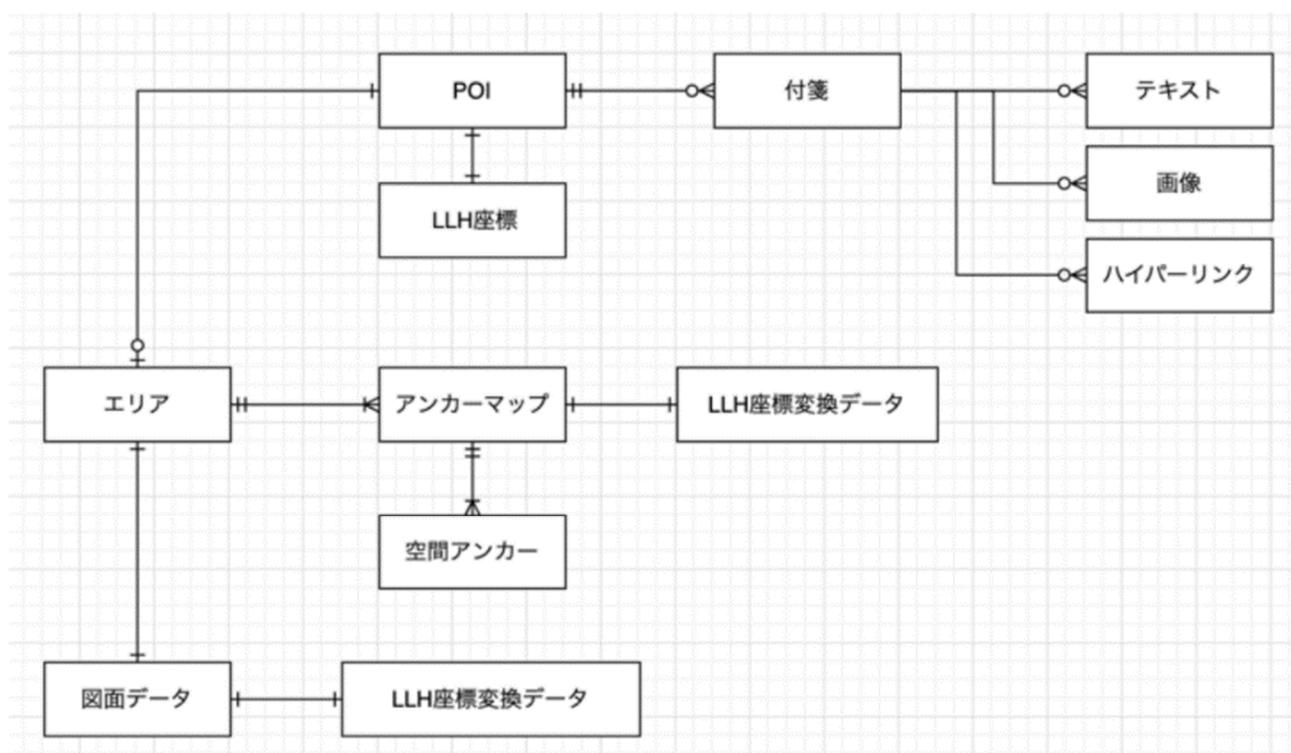
◎：8割以上、○：6割以上8割未満、△：4割以上6割未満、×：2割以上4割未満（2割未満については該当なし）

ウ ツール活用による効果の検証：安定的な設備管理への寄与

本実証で構築したツールに保存される付箋等のデータを分析することで、施設の異状が発生しにくい安定的な設備の管理に資する示唆の獲得が見込まれるか、施設管理者を対象に調査した。

調査に先立ち、ツールに保存されるデータの種類とそれぞれの関連性を以下に示す。ツールのユーザーが自由に記録・編集できるデータはエリアと対応付けされている POI から付箋（テキスト、画像、ハイパーリンク）が主となる。

図表 4-2-8 (再掲) ツールに保存されるデータとその関連



ツール上に保存可能なデータやその関連性を基に、安定的な設備の管理に資する示唆の獲得が見込まれるか調査した。

データの分析を通して、安定的な設備管理に資する示唆の獲得が期待されたケースは以下の4つのケースが得られた。施設異状の発生抑止や業務ミスの未然防止については、本実証で構築したツールに記録可能なデータで実施可能であることに加え、すぐにでも施設管理者で実施すべき事項である等の意見が得られた。

その他、業務の効率化・高度化に資するデータの活用方策については、ツールに記録できるデータ以外に、来街者等の誰でもツールに付箋を投稿できる機能を新たに開発して、来街者の目(付箋)も巡回の一部として活用することで、迅速な施設異状の検知等の業務の効率化に資することが見込まれた。ただし、問い合わせ件数が増加することも見込まれるため、来街者から投稿された付箋に対して重要度や担当者を自動で判別して、従来以上の業務負荷とならない対策も必要であることが確認された。また、補修・修繕前後の画像をAIに学習させることで、誰でも補修・修繕の要否を判定できるようになることや補修・修繕の要否に係る重要度を踏まえた業務計画の自動作成により、

業務負荷の軽減も期待された。

以上の調査結果より、ツール上に保存されるデータを分析することで、安定的な設備管理の実現に資することが確認された。加えて、AI等の技術等も組み合わせることで、データ活用が広範になることも明らかとなった。

図表 4-2-24 安定的な設備管理に期待する事項とデータの活用方策
(調査対象者へのヒアリングより)

分類	分析に用いるデータ	新たに整備が必要なデータ・技術	データの活用方策及び期待効果
施設異状の発生抑止	補修・修繕が必要と判断された際の対象設備の文字・画像データ	—	補修・修繕前の画像データを比較することで、暗黙知が形式知化され、新人技術員でも補修・修繕の要否を判断できるようになる。また、補修・修繕が必要となる条件や様相が明らかとなり、施設異状の発生を抑止できることが見込まれる。
業務（点検）ミスの未然予防	設備に貼付されている注意喚起・留意事項の付箋データ	—	注意喚起に関する付箋を抽出し、その注意喚起内容や設備の特徴等を明らかにすることで、ミスが生じやすい業務内容や設備を明確にできる。これにより、ミスに対する啓蒙や未然防止の実現が期待される。
業務の効率化・高度化	補修・修繕が必要と判断された際の対象設備の文字・画像データ	来街者等、誰でもツールに付箋を投稿できる機能	来街者からも異状を報告できる仕組みを構築して、施設管理者だけでなく来街者等の目も巡回の一部として活用することで、迅速な施設異状の検知が可能となることや利用者満足度の高い施設を維持できることが見込まれる。 ただし、問い合わせ件数が増えることが見込まれるため、来街者が投稿する付箋に併せて問い合わせ内容のカテゴリを選択させる、もしくは、投稿文等をAIが分析して、担当事業者に自動的に振り分ける機能等の開発が追加が必要となることが見込まれる。
	補修・修繕が必要と判断された設備の補修・修繕前後の画像データ	AI	補修・修繕前後の画像データをAIに学習させることで、新人技術員でも補修・修繕の要否を自動で判定できるようになる。また、判定結果を踏まえて、業務の実施計画もAIが自動で作成できるようになる。この判定業務を自動化することで、技術員のリソースを、人間による対応が必要な業務に十分に割り当てることが可能となることが見込まれる。

**図表 4-2-25 安定的な設備管理のためのデータ分析への意見
(調査対象者へのヒアリングより)**

- ・ データの活用方策は有用と感じている。特に、補修・修繕前の画像データを比較して暗黙知を形式知化するためのデータ分析や、注意喚起に関する付箋を抽出してミスが生じやすい業務内容や設備に対する対策はすぐにでも実行できる（すべき）と認識している。
- ・ 来街者からも異状を報告できる仕組みを用いて、異状監視の目を増やすことは利用者満足度に寄与すると認識しており特に有用である。ただし、問い合わせ件数が増えることが見込まれるため、来街者が投稿する際に併せて問い合わせ内容のカテゴリを選択させて担当事業者に自動的に振り分ける機能や、投稿文等をAIが分析して担当事業者に自動的に振り分ける機能等の開発が必要となることが見込まれる。

エ 汎用性の検証：他分野への活用可能性

エリアマネジメントを実施している事業者等に対して、ツールが有している機能の説明や試験利用を通して、施設管理以外の分野や業務へのツール活用可能性に関する意見やユースケース、他分野への活用にあたって追加開発が必要な機能等について調査した。

ツールの活用が見込まれる他の分野やその活用方法等のユースケースについては、賑わい創出等のイベント誘致の際の施設利用やイベント実施のイメージ化、イベント実施中の問題・異状を具体的な情報と合わせて来街者から収集すること、イベント実施後は来街者から得られた問題・異状等を今後の改善事項として活用する等、イベント実施のための提案・準備段階から実施後の改善対策まで一貫して活用可能性があることが得られた。

また、他分野への展開にあたって追加開発が求められる機能等については、市民や来街者がデジタルツイン上に自由に付箋等の情報を貼付できる、または、自由に貼付した付箋等の情報を閲覧できる仕組みを構築した場合、付箋等の情報のフィルタリングやユーザーによる投稿・閲覧権限の設定等の情報の適切さを担保するための仕組み・機能が必要との意見が得られた。

**図表 4-2-26 他分野への活用可能性に関する意見
(検証対象者へのヒアリング・アンケートより)**

ツールの導入が期待される分野・ケース	具体的にどのように活用できそうか (使用するイメージ)	他分野への導入にあたって追加することが望ましい機能
イベント等の誘致の際の提案支援	イベント等の実施場所を検討している潜在顧客に対してイベント誘致のための営業やプレゼンテーションのために、過去のイベントの種類や利用実績等のデータとともに、過去に実施したイベント等の実施の様子がツールを介して紹介することができれば、潜在顧客に利用のイメージを示すことができると考える。(ターゲットを外国人とする場合、外国人はまちの散策と親和性が高く、まちの魅力・情報発信のツールとしても活用できると相乗効果が期待される)	施設やまちなかのおすすめの魅力スポットをツールがガイドする機能。(例えば、道順を示す、施設やスポット情報を説明する)
イベント等の準備・運営の支援	イベントの実施にあたって、準備から当日運営、イベント実施後に必要な業務へツールを活用する。準備段階では、イベント会場のレイアウト変更前の什器等の配置をツールに記録し、什器等の原状復帰に活用する。イベント運営中は、来街者や関係者等によって確認・発見された問題・異状事項がツールを介し	情報のアップロード・閲覧可否に係るユーザーごとの権限を付与する。(例えば、来街者からの報告につ

	て報告する仕組みとする。イベントの実施を通じて得られた課題点等の記録は当日実施しつつ、イベント実施後にまとめてPC上で整理し、今後の改善事項として対策検討に活用する。	いては、自由にアップロードできる仕様としつつ、閲覧はできないデータレイヤーを実装する)
まちの魅力・ 情報発信	にぎわい創出等を企図しているまちをデジタルツイン上に構築し、一般ユーザーからおすすめの魅力スポットや改善すべき場所・課題に関する意見やコメントをデジタルツイン上のまちに直接付箋を貼付していただく活用方法が想定される。貼付いただいたおすすめの魅力スポットについては他の一般の方に公表することで、来訪促進施策に資するだろう。また、改善すべき場所・課題に関する意見やコメントについては、エリアマネジメント業務を通じて、改善方策を検討することに活用できるだろう。	付箋情報に対してフィルタリング等の適切な情報が提供されるような仕組みが必要。(例えば、おすすめの魅力スポットに関する情報は、情報と季節感が合致している必要があることや、最新情報が提供されている必要がある)
まちづくり・ 都市開発企画用の 現地調査	企画検討の前段階や企画実施の途中で敷地周辺の現地調査を行う。その際の写真や所見を記録するためにツールを活用したい。	ツールへのアップロードのために、写真・動画撮影機能があるとよい。(アプリ内から直接撮影できるとよい)

また、ツールの活用が見込まれる他の分野以外の意見として、既に普及しているツールとの連携や普及と深く連関している使いやすさ (UI) の検証・改善を実施する必要性等、ユーザーにとって使いやすいツールを構築するために、そして、一般的にツールを普及させる (利用される) ために必要な取組に関する意見が主に得られた。

**図表 4-2-27 他分野への活用可能性に関するその他意見
(検証対象者へのヒアリング・アンケートより)**

<ul style="list-style-type: none"> ・ おすすめの魅力スポットを提供するツールとして構築すると、その目的を達成するためのユーザーだけが利用することになり、一定のユーザーしか利用しないだろう。したがって、利用のハードルを下げる仕組みが必須である。例えば、LINE のように日常的に利用されるような他の複数の機能を含めたツールにする、もしくは、LINE のスーパーアプリのように、日常的に利用されるツールに組み込む等が想定される。 ・ UI はツールの使い勝手や普及に対して非常に重要であるため、今後より細かく検討をした方がよい。 ・ ツール上に蓄積されたデータの整理やフィルタリングに使用する分類項目は可視化アプリ (ツール) で予め指定するのではなく、自由に編集できる仕組みにした方が汎用性が高くなる。

その他、ツールの構築者を対象に、技術的な視点でツールを他分野へ横展開する際の留意事項について調査した。

まず、ツールの横展開先を開拓するにあたっては、汎用的な UI とした試験環境を構築し、ユーザーに新たな使い方や横展開可能なユースケースを発見してもらうような機会を設けることが望ましいとの意見が得られた。次いで、ツールの構築にあたっては、フラットデザインと 3D オブジェク

トを組み合わせたUIは一般的でないため横展開先のユーザーごとに使いやすいUIを追求する必要があること、屋内施設のデジタルツインの構築には測量等の一定のリソースを費やす必要があることに留意する必要があるとの意見が得られた。最後に、横展開先でツールを実装・自走させるためには、横展開先のツール提供者でもツールを自由にカスタマイズできるようにする等、利用者自身で使いやすいツールに改善できる環境を整備することが望ましいとの意見が得られた。

**図表 4-2-28 他分野へ横展開する際の留意事項
(検証対象者へのアンケートより)**

分類	留意事項等	今後の対応方針案
ツールの横展開先開拓	今回は、設備管理業務を一つのユースケースとして、データの蓄積・整備が可能なツールを開発したが、他のユースケースを探索する場合には汎用的かつデータの蓄積・整備が簡単UIを用意し、ユーザーに新たな使い方や活用可能なユースケースを発見してもらうような機会が必要である。	本実証で構築したツールとは別の試験環境を用意し、ユーザーが簡易的にデータ蓄積・整備できるようなUIを設計し、検証する。
ツールの構築	フラットデザイン(画面に表示するボタンやメニューなどのUI要素を非常に平坦な見た目にするという表現手法)と3Dのオブジェクトを組み合わせたUIはまだ一般的ではないため、ユーザーが使いやすい・理解しやすいデザイン・UIの検証が必要である。	展開先のユーザーごとに試験運用及びヒアリング等を実施し、デザイン・UIの検証及び改善を図る。
	本ツールでは屋内外問わず、ユーザーの現在位置を地理座標系で取得できるようになったが、これを汎用化するためには屋内座標の推定が必要となる。HICityでは屋内の詳細なデータ測量は行われていなかったが、参考として基準点の座標データがあったため、屋内座標を推定することができた。他施設でも屋内の座標データもしくは基準点が必要となる。	横展開の際は屋内の測量を行う、もしくは、設計時データについて提供を受ける必要がある。
横展開先でのツールの実装・自走	施設管理に必要なデータを蓄積・整備するために、本実証ではツールを構築・検証利用したが、ツールやシステムを自走させるためにはツールを構築者だけがデータを蓄積・整備できる環境を整えるのではなく、クライアントも実施できるようにする必要がある。	データの蓄積・整備のためのツールの取扱ドキュメントの整備やワークショップを実施することで、クライアントのシステム等に対する理解を促進させる。

オ 社会受容性の調査：課題・利用意向・利用者満足度の把握

施設管理者がツールを用いた施設管理業務を実施し、検証期間中に感じたツールのユーザーインターフェース(UI)や機能等の課題、利用意向等について調査した。

ツールのUIについては、ツールの使い方がわかりにくいことやシンプルな操作方法とすることへの意見や要望が得られた。そのうえで、記録したポイントや付箋の位置がわかりにくいことや文字サイズが小さい等の視認性に関する課題や、付箋の表示順が不規則であることに起因する検索性に対する課題、位置情報の取得に時間を要する等の円滑性等に関する課題が得られた。

図表 4-2-29 ツールのユーザーインターフェースや機能に関する意見
(検証対象者へのアンケートより)

項目	回答内容
操作性	<ul style="list-style-type: none"> それぞれのボタンがどのような機能を有しているかわからなかったため、ボタンをタップすると機能が表示されるようにしてほしい。 シンプルで誰でも理解しやすい操作方法にしてほしい。 削除操作の際、誤って削除しないように最終的に Yes、No を問うようなフローにしてほしい。 保存した後に、「保存しました」等の表示があった方がわかりやすい。
ポイントのわかりやすさ	<ul style="list-style-type: none"> ポイント等の登録箇所がわかりにくい。 ポイントの色が茶色等の暗い色しかないので、明るい赤色や青色にしてほしい。
文字サイズ	<ul style="list-style-type: none"> 文字サイズを大きくしてほしい。
情報のソート	<ul style="list-style-type: none"> 登録ポイント内の付箋の表示順に規則性がない（日付順にしてほしい）。 付箋等を検索するのに時間がかかったため、ソート機能が欲しい。 ポイント確認時の付箋の並び順に統一性がないので、登録日付順でソートしてほしい。 屋内モードでエリアを選択すると、他のエリアのポイントも表示されるため、選択したエリアのポイントのみ表示してほしい。
位置情報取得	<ul style="list-style-type: none"> 現在位置の情報取得に時間がかかる。 現在の位置情報が取得できず、点検結果を入力できなかったことがあった。
電波	<ul style="list-style-type: none"> ツールを使用する端末の電波が弱い時は、入力した情報が保存されない場合がある。 電波状況が悪いと、ツールを使用できない。
その他	<ul style="list-style-type: none"> 屋内外のモード切替に時間を要する。

また、検証を通して得られたツールの利用意向等については、以下の評価が得られた。技術伝承への有用性においては、現場での教育等に対する安全性や、ツールを用いることで一度に多くの人数を対象に指導・教育できるという効率面でメリットがある等、ツールが技術伝承に有用であることが見込まれる意見が多く得られた。その他、本実証の特徴である屋内外のシームレスな統合については、屋内外の統合は必要である旨の回答が多く得られた。

一方で、ツールの信頼性や使いやすさでは改善要望に関する意見が多く得られた。

図表 4-2-30 ツールの利用意向・満足度に関する意見
(検証対象者へのアンケートより)

評価ポイント	ツールの利用意向	回答
ツールの信頼性	利用したい	(該当する回答なし)
	改善が必要である	<ul style="list-style-type: none"> 日常業務ではあまり使用できない気がする。 巡回点検に活用するうえでは、かえって時間がかかる。
業務効率化への有用性	利用したい	<ul style="list-style-type: none"> 点検すべき機器等、目印（付箋等）を付けた対象物を探すのに役立つ。
	改善が必要である	<ul style="list-style-type: none"> 日常的な業務の内容にマッチしていない。 既に使用している他のツールがある。
技術伝承への有用性	利用したい	<ul style="list-style-type: none"> 緊急対応等を技術伝承の対象ケースとする場合、通常発生しにくい業務を経験できる回数も少ないため、有用なのではないか。 突発的な不具合への対応履歴もあると一層有用である。

		<ul style="list-style-type: none"> 対象者が理解しやすいマニュアル等を作成しやすくなるため、有用である。 効率や安全面でのメリットが大きいと感じた。 今後、機能追加されることも含め、有用であることが想定される。
	改善が必要である	<ul style="list-style-type: none"> 技術伝承のためにはツールに蓄積されている情報量が不足している。 ツールを活用する場合、技術伝承なのか点検業務の効率化なのか、目的を絞った方がよい。
ツールの使いやすさ	利用したい	<ul style="list-style-type: none"> 操作方法を理解し、慣れたら効率化に資すると思う。 慣れれば使い方に関する課題は解決することが見込まれる。
	改善が必要である	<ul style="list-style-type: none"> 現状では使いにくいと感じる。 テキストが入力しにくい。 ポイント一覧のソート等、UI を改善してほしい。
屋内と屋外のツールが別々となっていた場合	それでも利用したい	<ul style="list-style-type: none"> 屋内・屋外、それぞれの設備を対象とした施設管理業務はあるため。
	屋内外の統合が必要である	<ul style="list-style-type: none"> 更に使用しにくくなるため、屋内外が統合されている方が望ましい。 今後、記録できるポイント場所が増えれば導入が見込める。 ツールが屋内外一つにまとめればわかりやすくよい。 別々だと使用はできないと思う。

(5) 考察

① ツール活用による施設管理業務の効率化

施設管理業務の一つである日常点検業務にツールを導入し、施設管理業務の効率化について・検証を実施した。技術伝承へのツールの活用性については、効率的な技術伝承に有用とされる4つの機能のうち、3つは本実証で用いたツールに既に具備されているという結果が得られている。また、緊急的な事象への対応等の経験する機会が少ない業務を教材に用いることは有用であることや、従来の技術伝承の方法と比較した際、対象者の理解促進に有用である等の意見が得られている。したがって、技術伝承への活用というユースケースでは効率化に資する結果であることが明らかとなった。

また、現行の施設管理業務の区分ごとに（業務の引継ぎ、業務の準備、業務の実施）、業務の効率化、もしくは、本格導入に向けて必要な機能について調査した結果、「業務の実施」に関する意見について特に多く得られた。「業務の実施」段階における現行の施設管理業務では「設備状態の確認」、「確認事項の記録」、「記録内容を出力」の3つに業務内容が大別され、それぞれの業務の効率化に資することが見込まれる、「ツールを用いた計器類等の指針の自動読取・記録機能」、「ツールからの報告書出力機能」等の機能が必要であることが確認された。その他、貼付した付箋をタスクとして扱った際のタスク管理機能の必要性や、目視確認が容易でない天井内や配線・バルブ等についてBIM等を用いて設備情報の構築や設備情報の検索・参照、情報更新に係る業務負荷に比べて、本実証で構築したツールを介して容易に確認できると業務の効率化に資する可能性があるとの意見も得られた。

他方で、時間的な効率化効果は発現されなかった。その要因としては、①ツールの利用が不慣れだったこと、②ツールが使いやすい仕様になっていないことであったことが明らかとなった。ツールの利用に慣れる早さについては、ツールの使いやすさにも関連することが推察される。ツールの使いやすさについては、検索性や視認性が低いこと、操作性が低い等の意見が得られており、ツ

ルの利用に対する早期な慣れを阻害する要因の一つであることが想定される。ただし、現行の施設管理業務では、紙の報告書や図面、マニュアル等を用いて業務を実施していることから印刷作業や書類整理・保管、参照の際は保管場所や記載箇所の検索等が必要であることが想定される。本実証で構築したツールを用いることで、書類に関連する前述の業務は撤廃、もしくは、大幅に効率化されることが見込まれる。

以上より、3Dモデル・AR空間内の施設上に施設管理業務に必要な情報を記録・参照できるツールは技術伝承への活用可能性及び技術伝承業務の効率化効果が見込まれたことに加え、施設管理業務へツールを本格導入するために追加で構築が必要な機能、ないしは、ツールを施設管理業務へ導入するための課題等が明らかとなった。実装に向けて、施設管理業務に求められる機能の追加構築に加え、UIに関する改善を実施が必要であるとともに、対象のユーザーがツールの利用に慣れることができる検証体制を構築する必要があるが、技術改善に伴って得られる効果と改善に係る費用、運用面での対応可否等を比較したうえで、実装方法を取捨選択する必要がある。

② 施設管理業務で必要となる情報を用いた分析の有用性

ツールに記録され得るデータを分析することで、施設異状の発生抑止、業務ミスの未然防止、業務の効率化・高度化に資する示唆を得られることが見込まれたことから、施設管理業務で必要となる情報を用いたデータ分析は、安定的な設備管理の実現に寄与することが明らかとなった。特に、施設異状の発生抑止や業務ミスの未然防止に資するデータの活用方策については、本実証で構築したツールに記録可能なデータで実施可能であることに加え、すぐにでも施設管理者で実施すべき内容である等の意見も得られた。また、業務の効率化・高度化の実現においても、データ分析は有用であるとの結論が得られているが、来街者等の誰でもツールに付箋を投稿できる機能の具備や、AIの活用等の新たな機能開発も求められた。

以上より、短期的には施設異状の発生抑止や業務ミスの未然防止の実現に向けてデータを活用しつつ、中長期的には新たな機能開発や技術活用を実現し、業務の効率化・高度化に資する示唆獲得を目指す。

③ ツールの他分野への活用可能性

施設管理等のメンテナンス分野以外への横展開については、計4つのユースケース（イベント実施支援2件、まちの情報発信1件、現地調査1件）へ横展開が見込まれ、いずれもまちづくりやエリアマネジメントの分野であることが確認された。したがって、モデル空間上への付箋等の情報付与機能については、汎用性があると結論付けることができる。

横展開に資する4つのユースケースのうち2件については、市民や来街者がデジタルツイン上に構築された施設や設備へ自由に付箋等の情報を貼付できる、または、自由に貼付された付箋等の情報を閲覧できる等、市民や来街者等を巻き込んだ取組・仕組みとすることを前提としていた。自由に情報を投稿できる仕組みを採用する場合、表示される情報の適切さを担保するため、付箋等の情報をフィルタリングする機能やユーザーごとに投稿・閲覧の権限を設定できる機能開発が必要という意見が得られた。

また、より多くの分野や業務へ横展開の可能性を模索するためには、ツールの構築者や提供者側だけで横展開が見込まれるユースケースを検討するのではなく、汎用的な機能やUIを整備した試

験的なツールを別途構築し、多くのユーザーに新たな使い方を発見してもらうような機会を設け、横展開先やユースケースアイデアを得ることが望ましいとの意見が得られている。そのうえで、ターゲットとする横展開先やユースケースをいくつか定め、ツール利用が想定されるユーザーへの機能や UI 等の検証と改善を繰り返し、ターゲットとした横展開先へ実装・自走することが望ましいとされた。横展開先での実装・自走にあたっては、ツールの構築者や提供者だけがツールやシステムをカスタマイズできる仕様とするのではなく、横展開先でのツールの利用者も利用の実態に応じてカスタマイズできる環境を整備することが必要とされた。

以上のことから、本実証で構築したツールについては複数の横展開に資するユースケースが確認されたものの、その分野・業務で活用する際は各ユースケースに合わせて追加での機能開発等が必要となることが確認された。

また、横展開にあたっては、多くのユーザーから新たな使い方や横展開先・ユースケース等のアイデアを得たうえでターゲットとする横展開先やユースケースをいくつか定め、想定されるユーザーへの機能や UI 等の検証と改善を繰り返し、実装・自走させることが必要とされた。

本検証で得られたユースケースへの実装に向けて、引き続き、必要な機能の開発と検証・改善を繰り返すとともに、並行して他の横展開先やユースケースの模索、横展開先で求められる機能や UI 等の検証・改善、実装・自走に向けた環境整備が求められる。

(6) 技術の実装可能な時期、実装に向けて残された課題

① サービスの実装可能な時期

本実証での検証結果より、ツールの UI に対する改善要望事項が多く得られたことに加え、ツールの想定ユーザーが求める技術的な精度も不足していることが確認された。したがって、引き続き、想定されるユーザーを対象に UI 及び技術の両面から、実装に向けて検証と改善を繰り返す必要がある。

また、前述の結果については、施設管理業務を一つのユースケースとして UI や技術等の検証を実施した。一方で、他の分野やユースケースへの横展開にあたっては、横展開先での想定されるユーザーを対象とした UI や技術等の検証は未実施であることから、横展開先のユーザーを対象に検証を実施する。

上記を踏まえると、サービスとしての実装可能な時期については、2025 年度以降の実装とすることが見込まれる。

② 実装に向けて残された課題

ア 基本機能の不具合及びユーザーインターフェースに関する改修対応

本実証を通して、ツールのレイアウトが正しく表示されない、記録した付箋等の情報が意図せず消える、記録した位置と異なる場所に付箋等が記録される等、基本機能の不具合に関する課題が得られた。また、検索性や視認性、操作性等の UI に関する改善要望も多く得られた。基本機能の不具合や使いにくい UI が解消されないままでは、効率化効果等の他の検証が精緻に実施できない可能性があるため、早期に改修対応を実施する。

イ 施設管理業務をユースケースとした新たな機能構築

施設管理業務へツールを本格導入するためには、ツールを用いた計器類等の指針の自動読取・記録機能やツールからの報告書出力機能、タスク管理機能等を追加で構築する必要があることが明らかとなった。特に施設管理業務をユースケースとした際のタスク管理機能については、巡回時に施設異状を発見した際は、異状箇所発見に関する付箋、異状対応に係るタスク管理に関する付箋、対応完了及びその内容の記録に関する付箋等のように、多様な機能・役割が付箋に求められることに加え、同機能については汎用性の検証で得られたエリアマネジメント分野においても活用可能性があることが見込まれる。ただし、本実証で構築したツール及び付箋においては、異状箇所発見に関する付箋と異状対応に係るタスク管理に関する付箋と対応完了及びその内容の記録に関する付箋を対応付ける機能や、更新された情報をトレースできるようなタスク管理に資する機能を有していない。したがって、一つのユースケースである施設管理業務ではツールの本格導入・実装に向けて、異状発見から対応完了までに必要なタスク管理機能やワークフロー機能を新たに構築する。

汎用性の検証では、市民や来街者等の誰もがデジタルツイン上に自由に文字や画像情報を貼付できる、または、他者が自由に貼付した情報を閲覧できる機能が複数のユースケースで求められた。同機能については、特定施設への来街者等がその施設の異状等を発見した際に、異状が発生している正確な位置や画像付きの詳細な不具合状況と共に施設管理者へ通報される仕組みとして、施設管理業務（特定のエリアを対象とする場合はエリアマネジメント業務）への活用可能性が見込まれ、結果として来街者等も含めた施設異状の監視・通報により異状検知までの迅速化、異状の正確な位置や詳細な不具合事象等が付された通報により初動対応の効率化、来街者等の快適性向上及びエリア価値向上等に資することが期待される。したがって、同機能についても新たに機能を構築するが、同機能の実装にはアップロードを受け付けるデータベースの定義・構築、アップロードされた情報を関係者以外から閲覧できないデータレイヤーの構築や閲覧・編集権限の設定機能についても併せて構築する必要がある。

ウ 横展開に向けた検証の推進

本実証で実施した他分野への活用可能性に係る検証では、エリアマネジメント分野等への活用が見込まれた。ただし、同分野への展開にあたっては、市民や来街者がデジタルツイン上に構築された施設や設備へ自由に付箋等の情報を貼付できる、または、自由に貼付された付箋等の情報を閲覧できる等、市民や来街者等を巻き込んだ取組・仕組みの構築が求められた。また、本実証で実施した横展開が見込まれるユースケースの検討については、一部の事業者を対象とした検証に留まっていること、横展開先での想定されるユーザーを対象とした UI や機能等の検証については未実施であることに留意する必要がある。

したがって、エリアマネジメント分野への横展開にあたっては市民や来街者等を巻き込んだ仕組みを構築したうえで、UI や機能等の検証を実施する必要がある。また、その他の分野への横展開にあたっては、横展開先として想定される他の地域や施設にてツールの利用が想定される多くのユーザーを対象に、ツールの新たな使い方や横展開に資するユースケースについて調査する。その際、横展開先の想定ユーザーの課題解決に資する機能についても追加構築し、ツールの試験利用を通して、その機能や UI 等についても検証する。

5. 横展開に向けて一般化した成果

5-1. 得られた成果のポイント

(1) 建物インフラを活用したロボット走行の安定性・安全性向上

① 取組の特徴

公道上の走行を伴う配送ロボットの導入に際しては、歩行者のみならず車両の進入を検知し衝突回避行動による安全性の確保が必須となる。

現状のロボットの性能では検知範囲の狭さから、遠方から速い速度で接近する移動体や死角から接近する移動体を検知して安全に衝突回避を行うことは困難である。

本実証では障害物検知のために施設に設置したLiDARを活用するとともに、より万全な衝突回避を実現するために、クラウド上のシステムでの制御ではなく、インフラ近傍にエッジコンピュータを設置し、センサのデータとエッジコンピューティング技術を活用したロボットの走行停止・移動再開指示が、適切に行えるか検証をした。

② 実証実験のプロセスにより明らかとなった特徴的な成果

本実証で構築したシステムが想定した走行シーンにおける衝突回避に有効であることが確認された。エッジコンピューティング技術を活用することにより建物インフラから取得した情報の柔軟な取捨選択が可能となり、ロボットの走行位置や走行方向に基づく最適な検知エリアの選択により、適切なロボットの停止や走行継続の実現に寄与することが明らかとなった。当該技術を活用することによりロボットを複数台導入した場合においても、各ロボットに対して最適な検知エリアに基づく情報が提供され、適切な走行判断を行うことが可能となる。

衝突回避には検知からロボットへの通知に係るシステム処理の時間の短縮化が課題となる。本実証ではクラウド通信における時間が最も長く、より安全な走行実現に向けては当該時間の短縮が求められることが明らかとなった。

(2) AR技術及び空間情報を活用した新たな施設設備管理の実現

① 取組の特徴

サービスの提供者、または、享受者の利便性向上や業務の代替の実現には、多様なロボットの導入、そして、ロボットやエレベータ、サービスシステム同士の連携が求められる。一方、導入されるロボットの数の増加や連携されるシステムの数が増えると、例えば、ロボットの転倒により施設を損傷させる等のロボットがサービスを提供する場である施設の正常稼働を副次的に阻害する回数も増加することが予見される。したがって、効率的に施設の正常稼働を維持する手法を構築し、サービスの提供者、または、享受者の利便性の向上等を実現することが求められる。

本事業では、3Dモデル空間上、または、AR空間上のHICityに、施設管理業務に用いる文字や画像情報を詳細な位置情報とともに自由に記録可能なツールを構築し、施設管理業務の効率化に資するか等の有用性の検証や実装に向けた課題の抽出、他分野へのツールの活用可能性に関する検証等を実施した。

② 実証実験のプロセスにより明らかとなった特徴的な成果

3Dモデル（AR）空間上の施設に直接文字や画像情報を貼付することが可能なツールを用いることで、現場での教育等に対する安全性や一度に多くの人数を対象に指導・教育できるという効率面等の観点で、施設管理業務の一つである技術伝承へ有用であるという結果が得られている。また、施設管理業務へツールを本格導入するために必要な機能が明らかとなったこと、特に施設管理業務における業務実施段階では「ツールを用いた計器類等の指針の自動読取・記録機能」、「ツールからの報告書出力機能」等の機能が必要であることが得られた。その他、貼付した付箋をタスクとして扱う際のタスク管理機能が必要であることが得られた。

ツールの他分野への横展開の可能性については、イベントの実施に係る支援やまちの魅力・情報発信等のエリアマネジメント分野等への活用可能性が見込まれたことに加え、3Dモデル（AR）空間上の施設やエリアに直接文字や画像情報を貼付する機能は汎用性を有することが確認された。また、同分野への展開にあたっては、エリアマネジメントは市民や来街者等も含めた取組とすることが主となっていることから、誰もが3Dモデル（AR）空間上に自由に文字や画像情報を貼付できる、または、他者が自由に貼付した情報を閲覧できる機能が必要であることが明らかとなった。

5-2. 横展開に向けて一般化した成果

（1）建物インフラを活用したロボット走行の安定性・安全性向上

本実証を通じて建物インフラの検知能力や建物インフラが提供する情報の汎用性及び、他地域への横展開や他のアプリケーションへの応用の可能性を見出した。

具体的には、建物インフラの情報を集約するエッジコンピュータである建物エッジコンピュータ側で検知対象とするエリアを柔軟に設定すること、侵入物の位置情報やサイズ、数、検知されたエリア等の情報を提供することが可能であるため、将来的に建物インフラを活用した侵入物検知及び侵入物回避機能を活用するロボットの導入数を増やす場合においても、ロボット側のエッジコンピュータで情報を取捨選択でき、必要な情報のみを用いて一時停止あるいは移動継続かの判断を行うことが可能となる。この特性は、複数のロボットが公道で走行するようなユースケースにおいて有用であると考えられる。

また、カメラでは個人情報の保護が課題となるような場面での利用も可能であり、セキュリティカメラの代替や施設への来場者/来場車数のカウント、人流・交通量の把握などにも利用できる可能性がある。

（2）AR技術及び空間情報を活用した新たな施設設備管理の実現

今後、エリアや都市単位でも多様なロボットの導入や多数のシステム連携が見込まれる。エリアや都市の正常稼働をロボット等により妨げられた際にも、同様に迅速な処置対応が求められる。管理対象となる範囲が特定の施設（HiCity）からエリアや都市へ広がったケースにおいても、ツールの導入により、異状への処置に係る管理業務（エリアマネジメント業務）の迅速化等の効率化に資することが期待される。

また、3Dモデル（AR）空間上に情報を貼付する機能については施設管理業務だけではなく、イベントの実施に係る支援やまちの魅力・情報発信等へも活用が見込まれた汎用的な機能である。したがって、

同機能については多様な分野や業務への横展開が期待される。

5-3. 大田区課題解決に向けた横展開への示唆

(1) サービス等横展開の可能性

① LiDAR 等建物インフラの横展開可能性

本実証で検証した建物インフラはロボットの走行安全性向上に寄与する。街区内にロボットを導入する際にも歩行者や車両などの衝突回避において有用であることが考えられる。

建物インフラを車両などの検知に活用することにより、高齢者、視覚障害者等の歩行者の歩行支援やパーソナルモビリティの走行支援に寄与することも期待される。その結果、交通弱者への交通手段の提供、回遊性向上による賑わい創出や、歩行などの運動機会の増加に伴う健康寿命の延伸や未病の取組といった健康に関する課題解決に寄与することが期待される。

また建物インフラを車道への歩行者などの侵入検知に活用すれば、自動車の安全運転支援や将来的には自動運転車の走行を支援するインフラとしての活用も想定される。自動運転車の導入の促進に寄与することにより、移動手段の多様化や生産年齢人口の減少、担い手不足の解消も期待される。

更に建物インフラで検知した情報により、検知対象エリアの侵入物数のカウントや動態把握が可能となることから、人流及び交通流分析による回遊性向上施策の検討・効果検証等のエリアマネジメント高度化に資することが期待される。

加えて、ロボット、パーソナルモビリティから自動運転の走行支援や公共空間の人流・交通流情報把握に活用可能なインフラを整備することで、当該インフラを活用した先端技術・サービスの導入に向けたイノベーションの促進といった産業振興に寄与することも期待される。

なお、民地外の公共空間へのセンサ・インフラの設置にあたっては、設置場所に関して地権者調整や道路占有・使用許可に関する自治体・警察協議、設置方法については景観対策や強度基準クリアに向けた検討、電源工事、通信工事といった各種調整が発生する。そのため、短中期的には民地内での整備を検討することが望ましいと考える。公共空間への整備にあたっては大田区への課題解決への貢献度に鑑みて、官民連携で調整・整備を進めることが望ましいと考える。

② AR 技術及び空間情報活用の横展開可能性

本実証で構築した 3D モデル (AR) 空間上に情報を貼付できるツールは、新人技術員への技術伝承が効率化されることや日常的な点検業務の高度化に資する等、設備管理業務に有用であることが明らかとなった。特定施設内の設備に限らず、大田区が管理者となっている道路等のインフラ等の管理業務に本実証で構築したツールを用いることで、管理に係る業務の効率化及び業務負荷の軽減等を通して生産年齢人口の減少や担い手 (職員) 不足への対応に資することが期待される。また、ツールが有する機能 (3D モデル空間上に文字等の情報を貼付) の観点においては施設管理業務だけでなく、イベント実施の支援やまちの魅力・情報発信等のエリアマネジメント業務への活用可能性も見込まれた。エリアマネジメント業務への活用にあたっては一部追加での機能開発が求められたものの、ツールを用いたイベント実施支援やまちの魅力・情報発信等を通して地域の賑わいの創出や大田区の観光資源の認知度向上の実現に寄与することが見込まれる。

以上が、本検証から得られた大田区の課題解決に向けたサービスの横展開可能性となるが、い

ずれも 3D モデル (AR) 空間上に構築する施設や設備のデータが必要となる。施設によっては大田区のみがデータを有しているケースも見込まれるため、民からはソリューションの提供、官からはデータの提供等、官民双方で連携してサービスの構築を推進することが望ましい。

(2) 課題解決への示唆

本実証実験によりスマートシティサービスの実装に向けた取組を進めたことにより、大田区の抱える課題の解決に向けた取組が推進された。

特に、大田区の課題解決を図るための横展開に向けた示唆と本実証実験を踏まえてサービス実装が実現された際の効果として関連する KPI・KGI は下表の通りまとめられる。

図表 5-3-1 大田区の課題解決への横展開への示唆

大田区の課題解決への横展開への示唆		本取組の効果が期待される指標	
		KGI	KPI
建物インフラを活用したロボット走行の安定性・安全性向上	ロボットの導入に際して懸念される走行安全性確保に寄与する取組であり、本技術を活用することによりロボットの導入が円滑に進み、区民の利便性向上の実現を促進するものと考えられる。また、センサによる障害物検知は歩行者などへの危険通知にも活用することが可能であると考えられる。高齢者や子供、視覚障害者に危険通知機能を活用いただくことで、事故発生件数の減少や視覚障害者に対しては歩行時間の増大に伴う健康増進効果等が期待できるものと考えられる。	<ul style="list-style-type: none"> ・ 区民の利便性向上 ・ 大田区内の犯罪率減少 ・ 区民の満足度の向上 	<ul style="list-style-type: none"> ・ ロボット導入数 ・ ロボット導入種類数
AR 技術及び空間情報を活用した新たな施設設備管理の実現	本実証は HICity と特定の施設の施設管理業務に関する効果検証であったが、大田区内の各エリアでのエリアマネジメント業務の効率化や高度化に資することが期待される。		

6. まちづくりと連携して整備することが効果的な施設・設備の提案

本実証実験で得られた知見より、スマートシティの取組を実施する場合には、以下に示すような施設・設備を整備することが望ましいと考えられる。

図表 6-1 まちづくりと連携して整備することが望ましい施設等について

本実証実験で得られた知見	望ましい施設・設備のあり方
建物インフラを活用したロボット走行の安定性・安全性向上	<ul style="list-style-type: none"> ・ 安全な侵入物回避のためには、侵入物検知からロボットの走行停止に係る情報伝達・処理の時間削減が求められる。 ・ 侵入物の走行速度、ロボットの走行速度、横断歩道の長さ等を踏まえて侵入検知エリアの範囲及び点群密度の設定、当該設定値を満たすLiDARの設置が必要。
AR技術及び空間情報を活用した新たな施設設備管理の実現	<ul style="list-style-type: none"> ・ 施設整備の際にグローバル座標データの取得・整備をする。