

令和3年度
スマートシティ実装化支援事業
報告書

令和5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.....	3
(1) 大田区及び区域の課題.....	3
(2) コンソーシアムについて.....	4
2. 目指すスマートシティとロードマップ.....	6
(1) 目指す未来.....	6
(2) ロードマップ.....	8
(3) KPI.....	9
3. 実証実験の位置づけ.....	10
(1) 複数台・複数種類配送ロボット同時管制.....	11
(2) サブギガ帯 IoT 無線技術を活用した通信環境改善.....	12
(3) ロボット制御システムと複数エレベータ制御システムの連携.....	13
4. 実証実験計画及び結果.....	15
(1) 実証実験で検証を行う仮説.....	15
(2) 実証実験の全体像及び進め方.....	16
(3) トライアル実証の内容及び結果.....	18
(4) 本番実証の内容及び実験結果.....	42
(5) 考察.....	56
(6) サービスの実装可能な時期、実装に向けて残された課題.....	58
5. 横展開に向けて一般化した成果.....	60
(1) 得られた成果のポイント.....	60
(2) 横展開に向けて一般化した成果.....	62
(3) 大田区課題解決に向けた横展開への示唆.....	63
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.....	65

1. はじめに

(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 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 ✓ 人流センサー・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）

(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、当該ルールに係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。

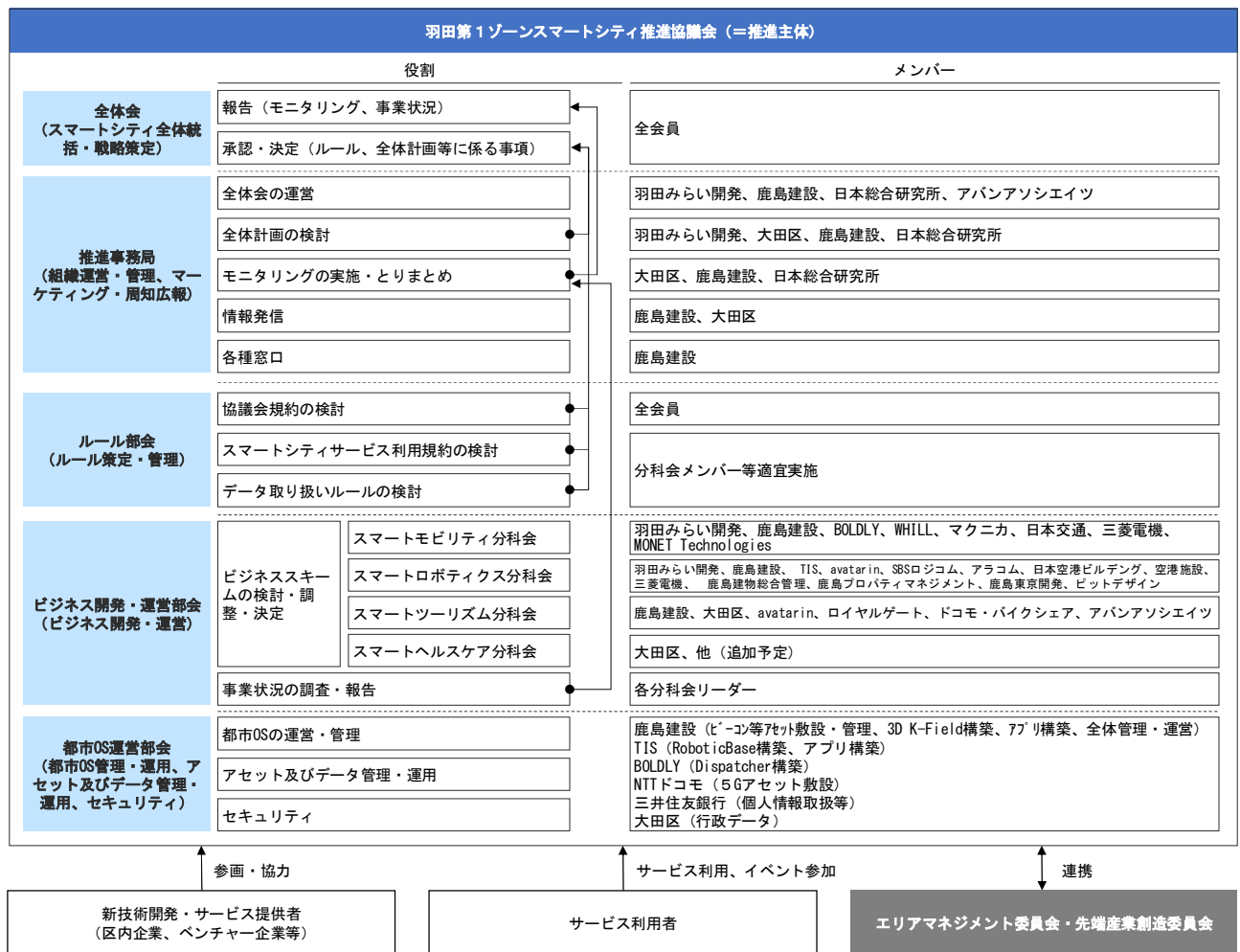
「ビジネス開発・運営部会」では、本スマートシティにおいて特に取り組む4分野の分科会を設置して、各分野でのスマートシティサービスの検討や開発の具体化、実証実験の検討・実施等を担う。

「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 羽田第1ゾーンスマートシティ推進協議会（＝推進主体）



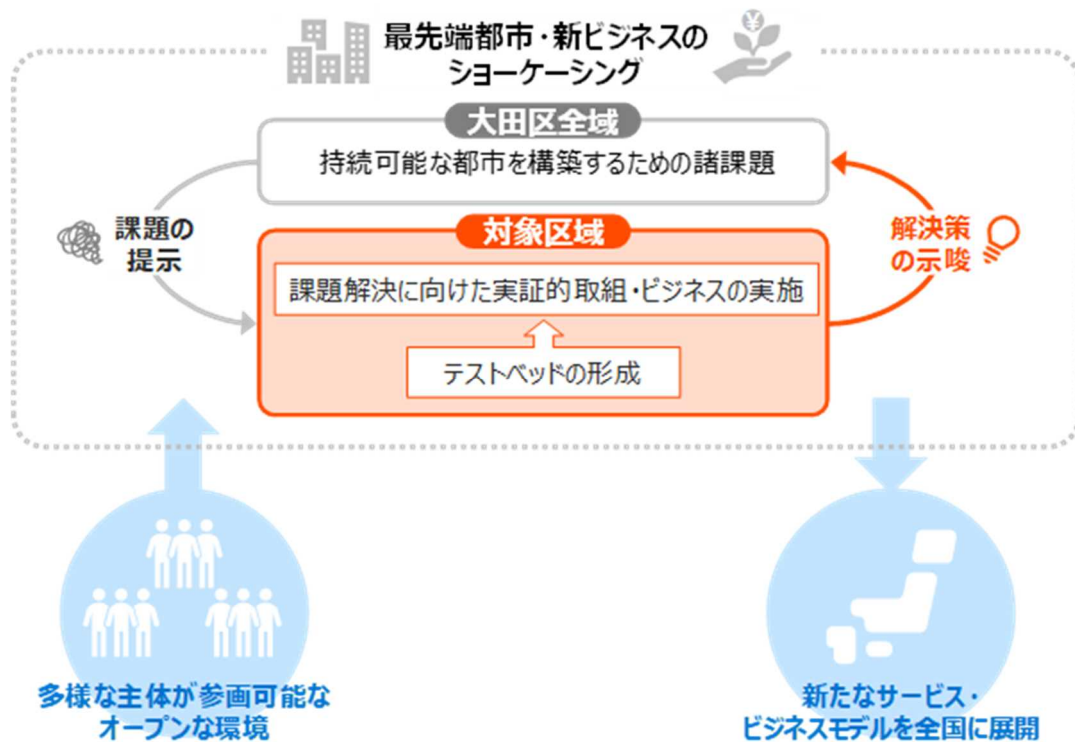
2. 目指すスマートシティとロードマップ

(1) 目指す未来

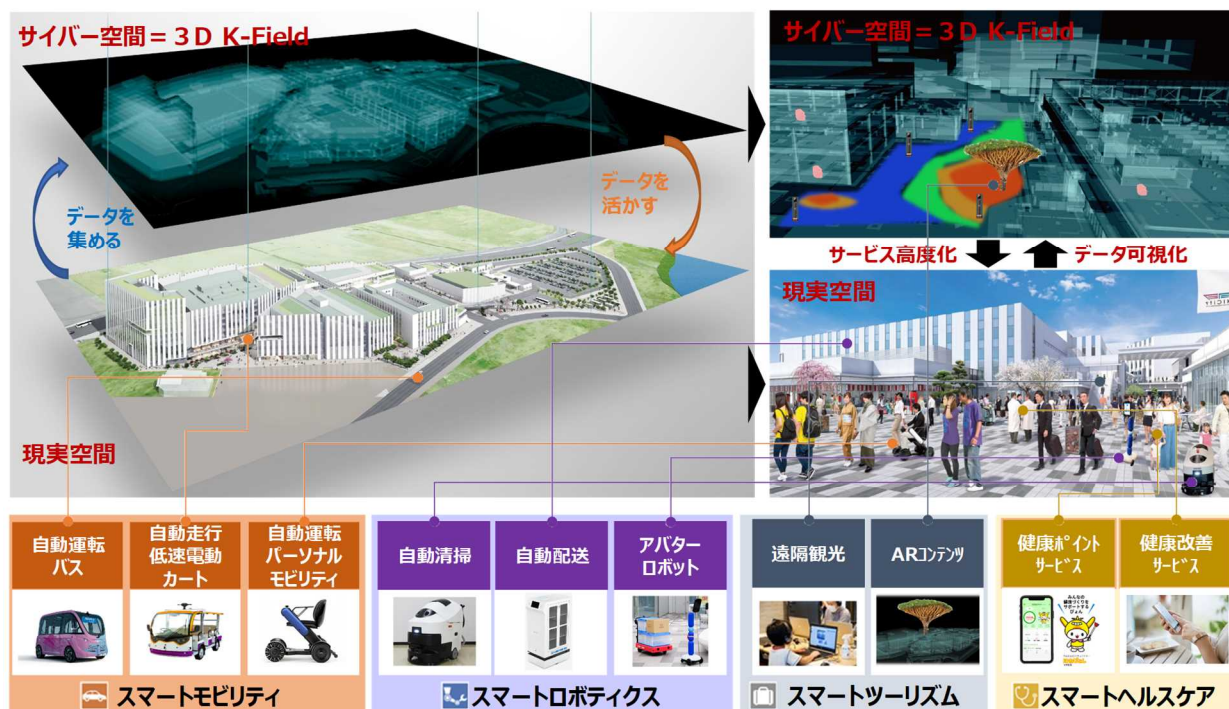
「持続可能都市おおた」の形成を支えるテストベッドとしてのスマートシティ

- ✓ 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り組み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り組みが可能なオープンな環境を構築

図表 2-1 目指す未来 1



図表 2-2 目指す未来 2



上記コンセプトを実現するため、以下の取り組み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ー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り組みの誘発

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) 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。

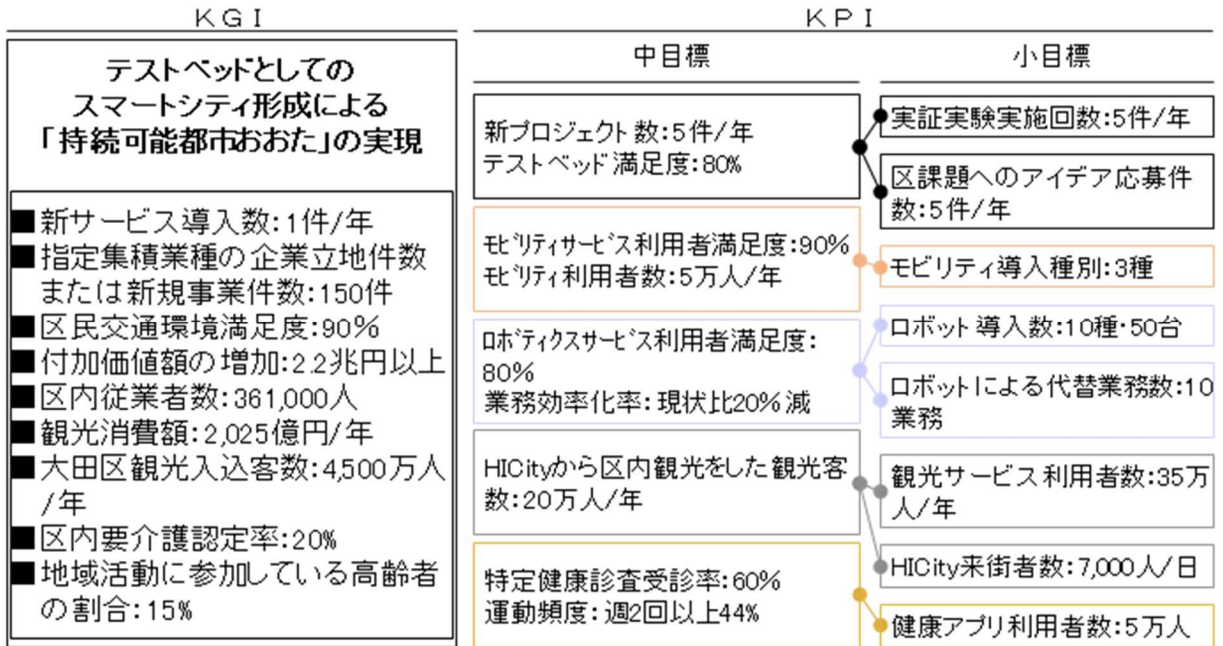
図表 2-3 ロードマップ

実施項目		2020年度				2021年度				2022年度				2023年度					
		10	20	30	40	10	20	30	40	10	20	30	40	10	20	30	40		
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	■API	■協議会外主体による実証実験				■実装									
横展開																	■区内横展開		
空間情報データ連携基盤構築	3D K-Fieldの構築			■構築															
	3D K-FieldとDispatcherのAPI接続				■API接続実装														
	3D K-FieldとRoboticBase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の実装	自動運転パーソナルモビリティの導入			■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		
		ロボット対応型エレベーターの導入				■実装													
		エレベーターシステムとRoboticBaseの接続					■実証											■実装	
	自動運転バスの拡張	走行領域の拡大								■縦移動実証								■縦移動実装	
		大田区他地域展開 (HiCity⇄羽田空港間の運行)				■HiCity内実装												■HiCity⇄羽田空港間の公	
		保安要員の削減								■HiCity内保安員無実証								■HiCity⇄羽田空港間の公	
	自動運転低速電動カートの実装				■実証												■実装		
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													
		配送ロボットの導入																■実証	
	ロボットと施設の連携	会議予約システムと連携																	■検討
		RoboticBaseの導入																	■実証
ロボットの統合管制	RoboticBaseとEVシステムの接続																	■実証	
	RoboticBaseによるロボット自動制御																	■実証	
	RoboticBaseと鹿島スマートBMの接続																	■実証	
スマートツールズ	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																■大田区町工場エリアとの連携実証	
	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																	■ARアプリ実証
		ARアプリによるエンタメ機能																	■検討 ■機能実証 ■ARアプリ実証 ■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 ■まちアプリによる実証 ■実装、データ種類拡張
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	
	健康データの収集・活用を通じた健康改善サービス展開	サービス検討																	■検討
		個人情報の取り扱い検討																	■検討
		健康改善サービス																	■サービス実証 ■実装

(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 2-4 2023 年度時点での目標値



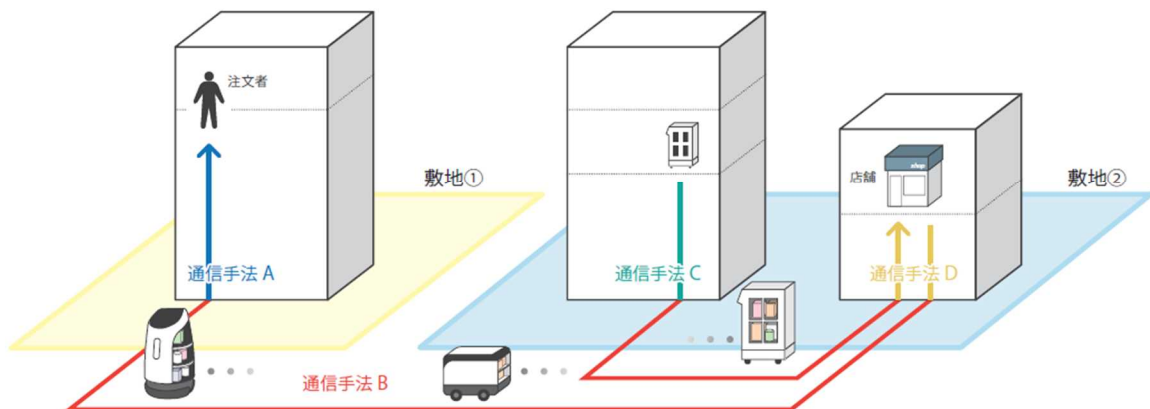
3. 実証実験の位置づけ

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において実装を目指す導入技術検証やサービス実証を実施することで、実装に向けた課題を把握し、取り組み内容の精査を行う。

本実証実験を踏まえ実現を目指す配送ロボットを活用したサービスの将来像について図 3-1 に示す。施設に導入された各種ロボットがエレベータ連携や様々な通信手法への対応により冗長性を確保することで、特定の施設や敷地に限定されずとあらゆるエリアでのロボットによるサービスの提供が可能となり、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 スマートロボティクス分野における配送ロボットを活用したサービスの将来像のイメージ



前述の将来像の実現に向けて、本年度は、①複数台・複数種類ロボット同時管制、②サブギガ帯 IoT 無線技術を活用した通信環境改善、③ロボット制御システムと複数エレベータ制御システムの連携といった各種サービスの拡充に必要となる実証実験を行った。

(1) 複数台・複数種類配送ロボット同時管制

i. 実証実験のロードマップ上の位置づけ

図表 3-2 実証実験のロードマップ上の位置づけ（複数台・複数種類配送ロボット同時管制）

	R2	R3	R4	R5
ロボットデリバリーサービスの実装				
配送ロボットの自動制御実証				
ロボット制御システムによる配送ロボット制御実証				
限定空間でのロボットデリバリーサービス実証				
ロボットデリバリーサービスのサービス提供空間の拡大				
拡大空間でのロボットデリバリーサービス実証				
施設内どこにいても途切れない通信環境の構築				
ロボット種類の拡大				
複数種類・複数台のロボット同時制御実証				

- ・ 令和2年度においては、ロボット制御システムと配送ロボットの連携を行い、ロボット制御システムからの指示に応じてロボットによる配送を行う技術的実証を実施した。
- ・ 令和3年度においては、令和2年度に実施した技術実証を踏まえ、実際の店舗とともに実証的にサービス実証を実施した。
- ・ 本実証実験では、ロボットデリバリーサービスの需要量に対応可能なよう、複数台・複数種類の配送ロボットを同時に稼働させ、サービス実装に必要な配送能力向上の検証を行う。

ii. ロードマップ達成に向けた課題

① 複数台・複数種類配送ロボット同時制御システムの構築

- ・ 令和3年度のロボットデリバリーサービス実証を通して、配送量の増大や食品以外のデリバリーに類する配送物の多様化、ロボットによるデリバリー以外の清掃・警備サービスの提供に類する機能の多様化により、ロボットデリバリーサービスの横展開可能性に関する示唆が得られている。
- ・ 前述の示唆に関する検証及び実現に向け、配送量増大及び配送物の多様化実現に必要な複数台ロボットの同時制御及び機能の多様化に必要な複数種類ロボットの同時管制システムの構築が求められる。

② 複数台・複数種類配送ロボット同時制御システムを活用したデリバリーサービスの確立

- ・ 複数台・複数種類ロボット同時制御システムの構築だけでなく、同システムを活用したデリバリーサービスの技術検証及びサービス提供を行う必要がある。

③ 大田区課題解決への活用

- ・ 複数台・複数種類ロボット同時管制システムを区の抱える課題の解決に活用する取り組みへの

横展開が必要。

iii. 課題解決に向けた本実証実験の意義・位置づけ

① 複数台・複数種類配送ロボット同時制御システムの構築

- ・ 既存のロボット制御システムにおいて、複数台及び複数種類のロボットの制御が可能になることで、必要な配送量の確保が可能となる。
- ・ ロボット制御システムとロボットのインタフェースを最適化することで、ロボットと制御システムの接続が容易化され、また、ロボット制御の効率化に資することが期待される。

② 複数台・複数種類配送ロボット同時制御システムを活用したデリバリーサービスの確立

- ・ 複数台・複数種類のロボットを活用したデリバリーサービスにおいて、商品作成から搭載までの店舗側のオペレーションの成立性や課題等を、アンケートを通して検証及び把握し、サービス実装に向けて実現性のあるサービススキーム構築を図る。

(2) サブギガ帯 IoT 無線技術を活用した通信環境改善

i. ロードマップ上の位置づけ

図表 3-3

実証実験のロードマップ上の位置づけ (サブギガ帯 IoT 無線技術を活用した通信環境改善)

	R2	R3	R4	R5
ロボットデリバリーサービスの実装				
配送ロボットの自動制御実証				
ロボット制御システムによる配送ロボット制御実証				
限定空間でのロボットデリバリーサービス実証				
ロボットデリバリーサービスのサービス提供空間の拡大				
拡大空間でのロボットデリバリーサービス実証				
施設内どこにいても途切れない通信環境の構築				
ロボット種類の拡大				
複数種類・複数台のロボット同時制御実証				

- ・ 令和2年度においては、ロボット同時制御システムと配送ロボットの連携を行い、ロボット同時制御システムからの指示に応じてロボットによる配送を行う技術的実証を実施した。
- ・ 令和3年度においては、令和2年度に実施した技術実証を踏まえ、実際の店舗とともに実証的にサービス実証を実施した。
- ・ 本実証実験では、令和3年度に実施したサービス実証で明らかとなった施設内における途切れないロボット通信環境の構築に有効な手法の検証を行う。

ii. ロードマップ達成に向けた課題

① 施設内どこにいても途切れない通信環境の構築

- 令和3年度に実施した実証実験において、普段は施設の通信環境が安定しているが、実証実験を行った日は来街者が多く、通信環境が断続的になる場面が多々あり、ロボットが応答不能になるケースが散見された。その際に、応答不能と判断するまでの時間（タイムアウト）を長めに定義することでこの問題は回避できる一方で、サービスレベルの低下になることが懸念される。
- こうした実証実験で明らかとなった成果から、普段の使用方法与ロボットに必要な通信環境は要件が異なると想定され、場所に影響されず途切れない通信環境の構築が必要となっている。

② 大田区課題解決への活用

- ロボットサービスを区の抱える課題の解決に活用する取り組みへの横展開が必要となっている。

iii. 課題解決に向けた本実証実験の意義・位置づけ

① ロボットデリバリーサービスに必要となる円滑なロボット稼働環境の確立

- サブギガ帯 IoT 無線技術を配送ロボットとロボット制御システム間の通信に導入することで、混雑環境下を含む施設内（エレベータ内を含む）におけるロボット制御システムとロボット間の通信の安定性が改善されることを確認する。
- これにより、ロボットデリバリーサービス実装の課題となっている安定したロボット通信環境を確立することが可能となり、ロボットデリバリーサービスの実装に大きく前進することが可能となる。

(3) ロボット制御システムと複数エレベータ制御システムの連携

i. ロードマップ上の位置づけ

図表 3-4 実証実験のロードマップ上の位置づけ
(ロボット制御システムと複数エレベータ制御システムの連携)

	R2	R3	R4	R5
ロボットデリバリーサービスの実装				
配送ロボットの自動制御実証				
ロボット制御システムによる配送ロボット制御実証				
限定空間でのロボットデリバリーサービス実証				
ロボットデリバリーサービスのサービス提供空間の拡大				
拡大空間でのロボットデリバリーサービス実証				
施設内どこにいても途切れない通信環境の構築				
ロボット種類の拡大				
複数種類・複数台のロボット同時制御実証				

- ・ 令和2年度においては、ロボット制御システムとロボットデリバリーシステムの連携を行い、ロボット制御システムからの指示に応じて、1フロア上におけるロボットによる配送を行う技術的実証を実施した。
- ・ 令和3年度においては、令和2年度に実施した技術実証を踏まえ、エレベータ制御システムとの連携を図ることでエレベータを活用した自動垂直方向の実現、ロボット自動制御領域を1フロアから複数フロアへ拡張を目指すもので、令和4年度でのロボットデリバリーサービス実装並びに提供空間拡張や複数ロボット・エレベータ連携に向けてより具体的な技術的課題、課題解決能力を把握した。
- ・ 本実証実験では、令和3年度実証により高いニーズがあることが明らかとなったオフィス従業員へのサービス提供が可能なるよう、ロボットと複数種類エレベータを連携させることでサービス提供範囲を拡大し、実装に向けたサービスレベルの向上を検証する。

ii. ロードマップ達成に向けた課題

① ロボットのエレベータによる縦移動範囲の拡大に資する連携可能エレベータの整備

- ・ ロボット制御システムと複数メーカーのエレベータ制御システムを連携させることで配送ロボットが施設内での行動範囲が拡大し、利用者ニーズに対応したサービスへのブラッシュアップが可能となる。

② 大田区課題解決への活用

- ・ 各種の自動制御ロボットの導入によりを区の抱える課題の解決に活用する取り組みへの横展開が必要。

iii. 課題解決に向けた本実証実験の意義・位置づけ

① ロボットのエレベータによる縦移動範囲の拡大に資する連携可能エレベータの整備

- ・ ロボット制御システムと複数メーカーのエレベータ制御システムを連携させることで配送ロボットが施設内でサービス提供可能な範囲が拡大することを確認する。また、拡大できない場所がある場合はその原因・課題を把握する。
- ・ サービス提供範囲が拡大することで、利用者の利便性が向上して利用者（特にオフィス利用者を想定）が増加することを確認する。また、利用者が増加しない場合はその原因・課題を把握する。

4. 実証実験計画及び結果

(1) 実証実験で検証を行う仮説

先端技術やサービスの将来的な実装に向けて、令和3年度実証実験で明らかとなった課題の解決のため、本実証実験では下記に示す各技術要素に紐づく仮説の検証を行うとともに、これらを活用したロボットデリバリーサービス実証を行い、実装に向けてサービス対象者の拡大やサービス対象者やサービス導入店舗などの利用者ニーズに対応した開発・改良が図られているか検証を行う。

i. 複数台・複数種類配送ロボット同時管制

将来的なロボットデリバリーサービスの実装に向けてはニーズに対応した必要な配送量の確保、途切れのないサービスの提供のために複数台の配送ロボットの導入が求められる。配送ロボットの複数台化に向けては、サービス面の改善のみならず、システム・ロボット導入面の効率化を図る必要がある。本実証実験では複数台・複数種類配送ロボット同時管制を実現するシステムの構築を行うことにより、下記に示す仮説の検証を行う。

【検証を行う仮説】

- ・ ロボット制御システムが複数台の配送ロボットを制御可能になることで、輸送量や提供時間が改善され、デリバリーサービスに必要な配送量の確保と途切れのないサービスの提供が可能となる。
- ・ ロボット制御システムと配送ロボットのインタフェースの最適化によりロボット制御システムが複数種類の配送ロボットを制御可能になることで、配送ロボットのメーカー等に依らずシステムとロボット間の接続・連携が容易に実現できるようになり、システム・ロボット導入に際する効率化が実現される。

ii. サブギガ帯 IoT 無線技術を活用した通信環境改善

将来的なロボットデリバリーサービスの実装に向けては、デリバリー対象区域の拡大が求められるところ、昨年度の実証ではロボット走行区域の一部でロボット制御とロボット間の通信が不安定となりロボットの走行が困難な箇所が存在することが明らかとなった。そのためロボットの導入を行う対象エリア内で通信が安定的に行われるように、冗長性確保の観点からも、複数種類の通信手法への対応が求められる。本実証実験では施設 Wi-Fi の代替となる通信手法として、新たに施設にサブギガ帯 IoT 無線技術：Wi-SUN を活用し、下記に示す仮説の検証を行う。

【検証を行う仮説】

- ・ 配送ロボットにサブギガ帯 IoT 無線技術を活用することで、場所に影響されず途切れのない通信環境が構築され、ロボット制御の連続性と行動範囲拡大が可能となる。

iii. ロボット制御システムと複数エレベータ制御システムの連携

将来的なロボットデリバリーサービスの実装に向けては、デリバリー対象区域の拡大のため、エレベータを活用した垂直方向の移動の実現が求められる。通常はエレベータのメーカー、ロボットのメーカー毎に連携のための調整・開発が求められるところ、本実証では複数エレベータ制御システムの開発のうえ、ロボット制御システムと連携を行うことで下記に示す仮説の検証を行う。

【検証を行う仮説】

- ・ 複数エレベータ制御システムを構築することにより、エレベータのメーカーに依らずロボット制御システムとの接続・連携が容易に実現できるようになる。
- ・ ロボット制御システムと複数メーカーのエレベータ制御システムを連携させることで配送ロボットが施設内での行動範囲が拡大し、店舗と異なる階に入居するオフィス従業者に対してサービスの提供ができるようになる。

(2) 実証実験の全体像及び進め方

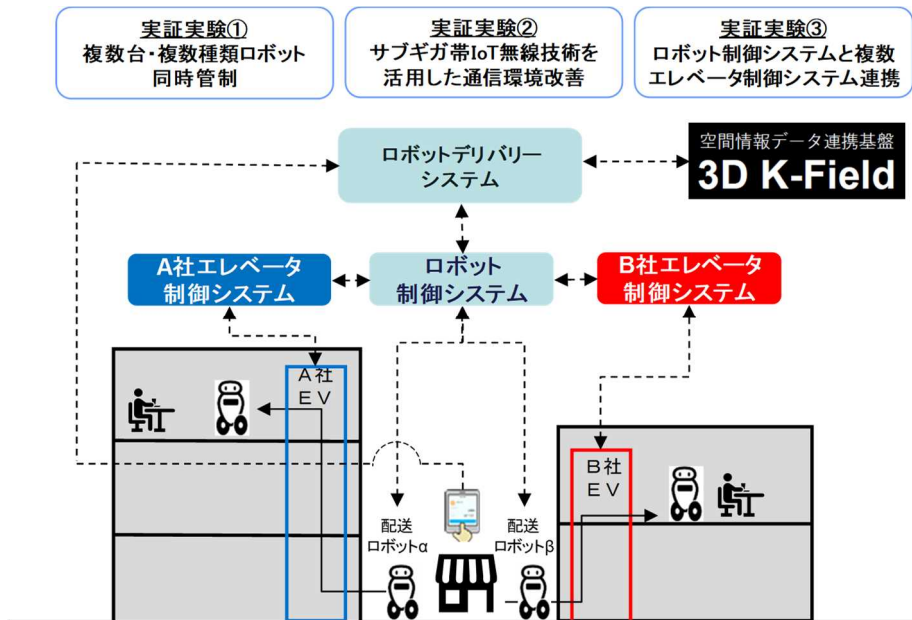
i. 実証実験の全体像

将来的なロボットデリバリーサービスの実装に向けて、本年度は①複数台・複数種類配送ロボット同時管制、②サブギガ帯 IoT 無線技術を活用した通信環境改善、③ロボット制御システムと複数エレベータ制御システムの連携といった各種サービスの拡充に必要となる実証実験を実施する。

令和3年度迄の実証事業において、ロボット制御システムを核にして、1機種1台の配送ロボット、1社のエレベータ制御システムとロボットデリバリーシステムとの連携が完了しているが、今年度はさらに、同一機種で追加1台、異なる機種で追加1台の配送ロボット、異なる会社のエレベータ制御システムとの連携を行うことで、配送量拡充、配送領域拡大といったサービス性能の向上を行う。また、街区内でのロボットの走行をより安定的にするため、ロボット制御システムとロボット間の通信環境の改善・冗長性の確保としてサブギガ帯 IoT 通信技術の活用も行う。

これらの実装に向けた取組の成果として、ロボットデリバリーサービスにおけるサービス性能改善効果の検証、社会受容性の把握を、ロボットデリバリーサービス実証を通じて行う。

図表 4-1 実証実験の全体像



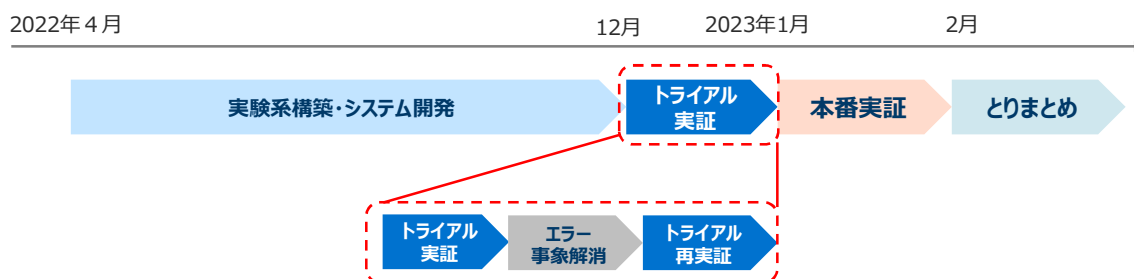
ii. 実証実験の進め方

本実証実験ではトライアル実証と本番実証の2段階の実験を実施する。

トライアル実証は、開発を行ったシステムの機能検証に加えて、サービス利用者に向けて実際にサービスを提供する本番実証を円滑に実施するために、サービス提供における一連の動作やオペレーションを想定したシナリオ検証を実施し、本番実証実施に際する課題点を事前に把握のうえ、必要に応じてシステムの改修やオペレーション方法の修正を行う。

本番実証は、実際にサービスを提供する実証実験を行うことで、仮説の実証に向けたサービスの効果や課題を把握することを目的に実施する。

図表 4-2 トライアル実証並びに本番実証の進め方のイメージ



(3) トライアル実証の内容及び結果

i. 複数台・複数種類配送ロボット同時管制

図表 4-1 に複数台・複数種類配送ロボット同時管制に関するトライアル実証の検証項目を示す。本番実証を円滑に実施するために、開発を行ったシステムの機能検証に加えて、デリバリーサービスにおける配送ロボットの一連の動作や店舗側のオペレーションを想定したシナリオ検証を実施し、本番実証実施に際する課題点を事前に把握のうえ、必要に応じてシステムの改修やオペレーション方法の修正を行う。また、配送能力については台数増加に係る効果を精緻に把握するため、トライアル実証において他の変動要因の影響を受けないように実施する。

図表 4-3 複数台・複数種類配送ロボット同時管制に係るトライアル実証検証項目

大項目	中項目	小項目	概要
システム開発	機能検証	同一種類複数台配送ロボット同時制御	メーカー α の配送ロボット（以下、「配送ロボット α 」という。）2台の同時管制が可能か検証を行う。
		複数種類複数台配送ロボット同時制御	配送ロボット α 1台とメーカー β の配送ロボット（以下、「配送ロボット β 」という。）1台の同時管制が可能か検証する。
シナリオ検証	動作検証	デリバリーサービスシナリオに基づくロボットの動作確認	デリバリーサービスシナリオに基づいて複数台の配送ロボットが遅滞なく一連の動作を実施することが可能か検証する。
	店舗オペレーション検証	デリバリーサービスアプリの操作、ロボットへの商品の搭載等、デリバリーサービスに係る店舗側のオペレーションの成立性の検証、課題の把握	技術的側面に限らず、デリバリーサービスの一連のオペレーションが各店舗の事業者から受け入れられる状態であるか検証する。
	配送能力検証	サービスの輸送可能量の比較（単数時や台数増加ごと）	配送ロボットが複数台になることによって、サービスの輸送可能量にどのように変化をもたらしているかを数値面から把握する。

① システム機能検証

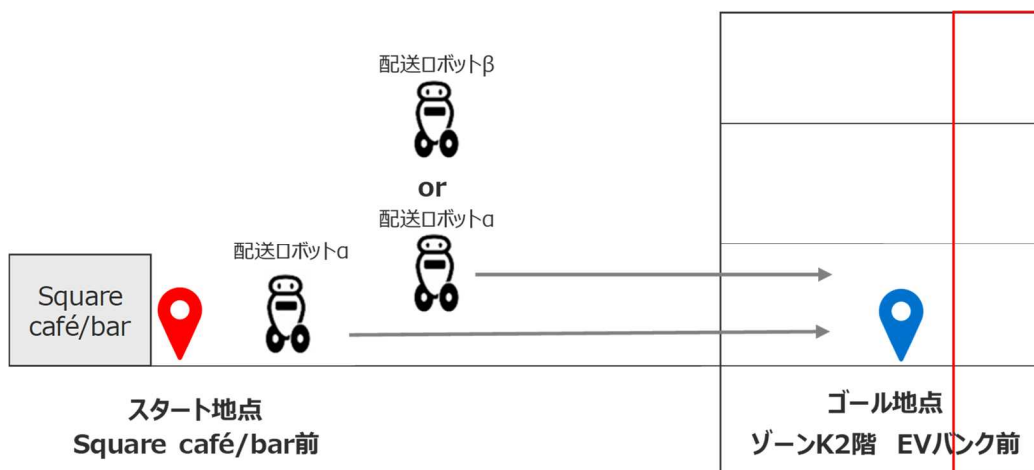
ア 仮説の検証に向けた調査方法

複数配送ロボット同時管制システムの機能検証として、①配送ロボット α 2 台、②配送ロボット α 1 台、配送ロボット β 1 台計 2 台の複数配送ロボットの走行試験を実施する。

図表 4-4 複数台・複数種類配送ロボット同時管制 機能検証 仮説検証に向けた調査方法

検証方法	<ul style="list-style-type: none"> 配送ロボット 2 台をスタンバイ状態でスタート地点に配置 ロボットデリバリーシステムよりオーダーを順次 2 件投入のうえ、ロボット制御システムより配送ロボット α へ転送された順次移動指令に基づき、配送ロボットがゴール地点まで移動できるかを検証する。 テスト回数 10 回予定
評価指標	<ul style="list-style-type: none"> 到着成功回数 配送時間
取得データ	<ul style="list-style-type: none"> 実験風景（ビデオ撮影） ロボット制御システムログ、ロボットログ
分析事項	<ul style="list-style-type: none"> ゴール地点までの走行が失敗した際には、異常要因を取得データを基に分析

図表 4-5 複数台・複数種類配送ロボット同時管制 機能検証 実験系



イ 実験結果

複数種類配送ロボットの走行試験の結果、制御システムによって配送ロボットのゴール地点までの円滑な移動が可能であることを確認した。

なお、机上検討やシミュレーション上は支障がないと確認をしていたものの、実機を用いたトライアル実証によりシステム連携に関するエラーが3件、ハードウェアに関するエラーが1件を確認した。当該エラーについては原因究明のうえ改修などを実施し、システムが正常に機能するように処置を行った。

② シナリオ動作検証

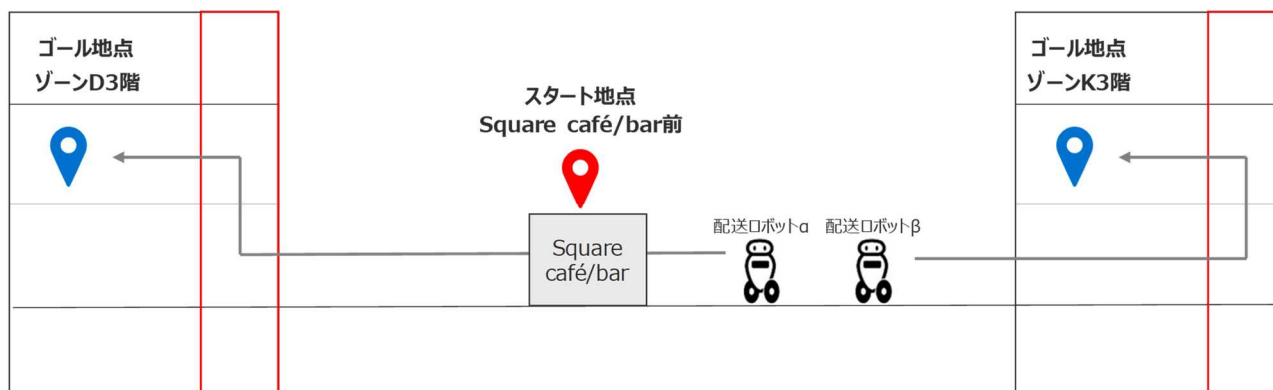
ア 仮説の検証に向けた調査方法

デリバリーサービスを想定したシナリオ通りに、配達ロボットがスタート地点からゴール地点まで走行可能か検証を行う。検証に際しては通信環境改善技術やエレベータ連携技術の動作検証も兼ねて行うものとする。

図表 4-6 複数台・複数種類配送ロボット同時管制 動作検証 仮説検証に向けた調査方法

検証方法	<ul style="list-style-type: none"> 配送ロボット2台（配送ロボットα1台、配送ロボットβ1台）をスタンバイ状態でスタート地点に配置 ロボットデリバリーシステムよりオーダーを順次2件投入のうえ、ロボット制御システムより配送ロボットαへ転送された順次移動指令に基づき、配送ロボットが固定のゴール地点まで移動できるかを検証する。 ゴール地点はゾーンK3階、ゾーンD3階の2パターンとし、それぞれ10回ずつテストを行う。
評価指標	<ul style="list-style-type: none"> 到着成功回数 .
取得データ	<ul style="list-style-type: none"> 実験風景（ビデオ撮影） ロボット制御システムログ、ロボットログ
分析事項	<ul style="list-style-type: none"> ゴール地点までの走行が失敗した際には、異常要因を取得データを基に分析

図表 4-7 複数台・複数種類配送ロボット同時管制 動作検証 実験系



イ 実験結果

走行試験において、Wi-SUN 通信環境下でのエレベータ移動を伴うシナリオ走行に際して、ロボットが走行不能となる事象が複数件発生した。事後解析の結果走行不能の原因としては制御システムとロボット間の通信のタイムアウトによるものと判明した。

中継器を活用した Wi-SUN 通信の場合、中継ポイントの切り替えに際して 1 分程度の通信不能時間が発生する。ロボットとエレベータの連携に際しては、制御システムとロボットの間で細かい情報の伝達が必要となるところ、エレベータによる階移動中に Wi-SUN 通信の中継器切り替えが発生すると、切り替え時間の長さによっては制御システムとロボット間の通信のタイムアウトとなり、結果としてロボットが走行不能となってしまうものと考えられる。

サービスシナリオに基づく走行試験を行った本トライアル実証の成果を踏まえ、サービス実証を行う本番実証では安定的な走行が求められることを鑑みて、新たに LTE 回線ベースの通信端末を改修のうえ配送ロボットに搭載し、当該機器による通信を採用することとした。

③ 店舗オペレーション検証

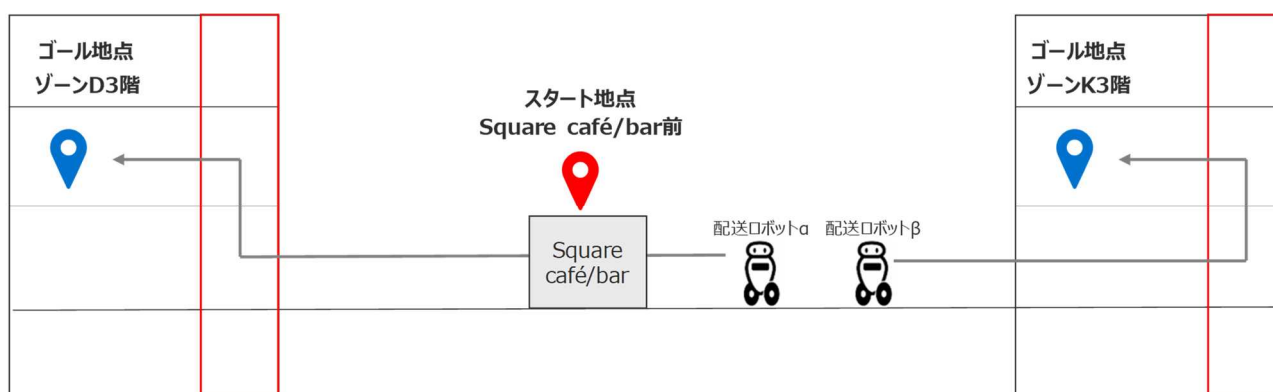
ア 仮説の検証に向けた調査方法

店舗アプリの操作、ロボットへの商品搭載等の店舗側のオペレーション方法について教育を行うとともに、事前に想定される課題を把握。必要に応じてシステムの改修やオペレーション方法の修正を行う。

図表 4-8 複数台・複数種類配送ロボット同時管制 店舗オペレーション検証
仮説検証に向けた調査方法

検証方法	<ul style="list-style-type: none"> 店舗スタッフへオペレーション方法を説明のうえ、ダミーオーダーに基づくオペレーションを複数回試行。 オペレーション検証後、オペレーションの実現可能性や課題点などについてアンケートを実施。
評価指標	<ul style="list-style-type: none"> 店舗アプリに関する課題（操作しやすいユーザーインターフェースであるか、通知がわかりやすいか 等） ロボットへの商品搭載が容易に行えるか 等
取得データ	<ul style="list-style-type: none"> 実証実験までに改修が求められる事項 実証実験を円滑に実施するために必要なオペレーションの改善点
分析事項	<ul style="list-style-type: none"> 店舗スタッフへオペレーション方法を説明のうえ、ダミーオーダーに基づくオペレーションを複数回試行。 オペレーション検証後、オペレーションの実現可能性や課題点などについてアンケートを実施。

図表 4-9 複数台・複数種類配送ロボット同時管制 店舗オペレーション検証 実験系



イ 実験結果

店舗オペレーションの結果、店舗担当者より店舗アプリケーションの通知音が小さいとの指摘があったことを受けて、本番実証に向けて音量の調整、店舗アプリケーションを内蔵したタブレットから店舗スタッフへの通知・リマインド方法について改修を行った。

④ 輸送量向上効果の検証

ア 仮説の検証に向けた調査方法

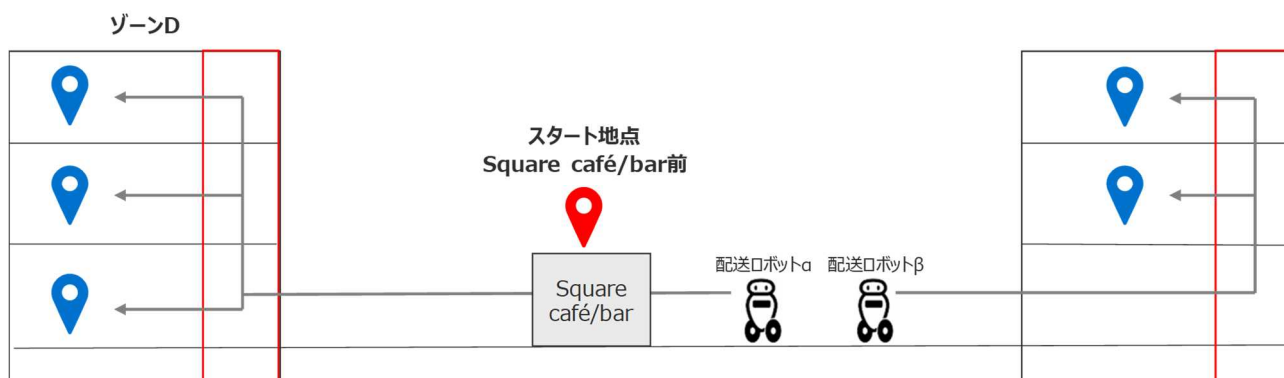
配送ロボットの台数増加に伴う輸送量向上効果の把握を目的に、配送ロボット台数を変数としたダミーオーダーに基づく走行試験を実施。

図表 4-10 複数台・複数種類配送ロボット同時管制 輸送量向上効果の検証

仮説検証に向けた調査方法

検証方法	<ul style="list-style-type: none"> 配送ロボットα1台、配送ロボットα1台+配送ロボットβ計2台、配送ロボットα2台+配送ロボットβ計3台の3パターンで実施。 スタンバイ状態の配送ロボットをスタート地点に配置後、ロボットデリバリーシステムよりオーダーを順次10件投入 ロボット制御システムより配送ロボットαへ転送された順次移動指令に基づき、配送ロボットのゴール地点までの配送時間を計測（ただし、実装を見据えた検証とするため、実証中に生じた運用に関するエラー等についても計測の対象とする）。 台数3パターン×各テスト回数10回＝合計30回実施を想定。
評価指標	<ul style="list-style-type: none"> 到着成功回数 配送時間
取得データ	<ul style="list-style-type: none"> 実験風景（ビデオ撮影） ロボット制御システムログ、ロボットログ
分析事項	<ul style="list-style-type: none"> ロボット台数と配送時間の相関関係 ゴール地点までの走行が失敗した際には、異常要因を取得データを基に分析

図表 4-11 複数台・複数種類配送ロボット同時管制 輸送量向上効果の検証 実験系



イ 実験・分析結果

10件の連続したデリバリーを完了させるまでに要した時間は配送ロボットの台数増加に伴い削減され、ロボット1台でのデリバリー体制に対する輸送能力向上効果は、配送ロボットを2台体制とした場合は143%、3台体制とした場合は238%となった。

なお、3台体制での走行試験中に3件のシステムエラーが発生し、各オーダーに基づくデリバリーに要した時間は、障害なくデリバリーできた際の時間よりかかったものの、10件のオーダー処理に要する時間については2台と比較して短時間でデリバリーを完了した。このことから

本サービスの輸送能力向上と併せて冗長性確保の観点からも配送ロボットの台数を増加させることが望ましいと考えられる。

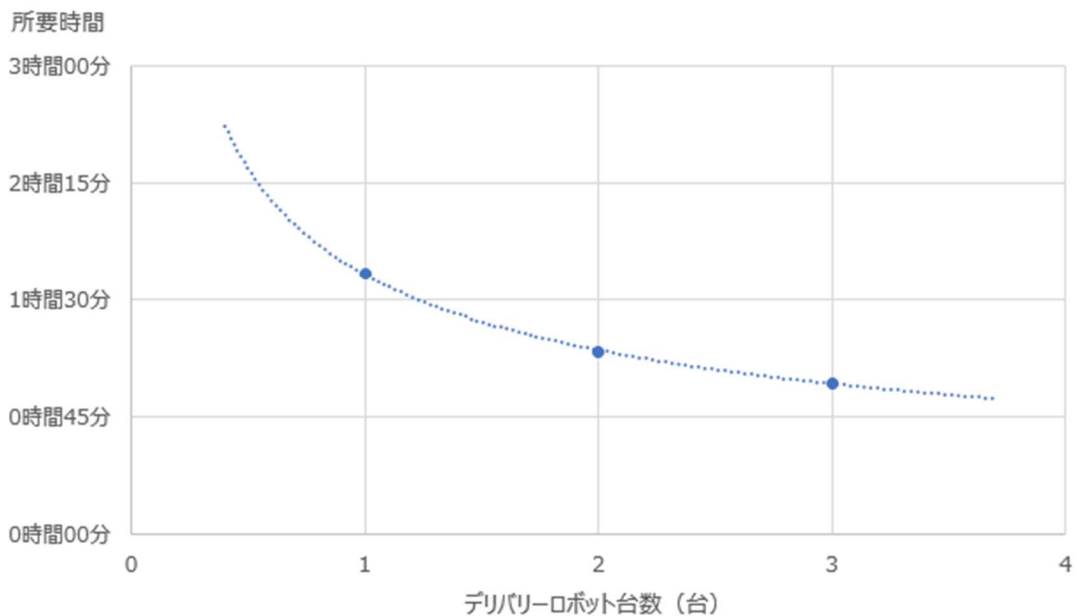
一方で配送時間削減効果は配送台数と比例関係に減少はせず、ある一定の台数以降は収束することが予想される。配送エリア、ロボット対応エレベータ数に応じて変動するものと推測されるが、導入に際しては輸送量向上効果に伴う売り上げの増加とロボット導入・維持管理に係るコストを勘案のうえ適切な台数を検討することが求められると考えられる。

図表 4-12 複数台・複数種類配送ロボット同時管制 輸送量向上効果の検証結果

配送ロボット台数	10 件のデリバリー完了までに要した時間	1 台体制と比較した時間削減率	1 台体制と比較した輸送能力向上効果
1 台 (配送ロボット α 1 台)	1 時間 40 分	—	
2 台 (配送ロボット α 1 台 + 配送ロボット β)	1 時間 10 分	30.0%	143%
3 台 (配送ロボット α 2 台 + 配送ロボット β)	0 時間 58 分	42.0%	238%

図表 4-13 複数台・複数種類配送ロボット同時管制 輸送量向上効果の検証結果

デリバリーするロボット台数と完了までの時間 (10件)



ii. サブギガ帯 IoT 無線技術を活用した通信環境改善

図表 4-14 にトライアル事象検証項目を示す。本番実証を円滑に実施するために、本事業にてロボット管制システムとロボット間の通信に適用させる Wi-SUN 通信技術、Wi-SUN 中継通信技術、Wi-Fi⇒Wi-SUN スイッチング技術の性能並びに動作の検証を行うとともに、同技術導入に際して施設・ハード側に課される諸条件についてとりまとめを行う。

図表 4-14 サブギガ帯 IoT 無線技術を活用した通信環境改善に係るトライアル実証検証項目

大項目	中項目	小項目	概要
システム開発	Wi-SUN による通信安定性改善効果	Wi-Fi 等通信不安定箇所の特定	Wi-SUN による通信環境改善が必要となる Wi-Fi や LTE で通信が安定しないエリア（エレベータ内等）やシーン（混雑時）を特定する。
		Wi-SUN による Wi-Fi 等通信不安定箇所における通信安定改善効果検証	特定した Wi-Fi 等通信不安定箇所において Wi-SUN を活用することで通信が安定するか検証する。
	Wi-SUN リレー通信によるカバーエリア拡大効果	Wi-SUN 中継器を活用したりレー通信により、あるアクセスポイントからどの程度通信カバー範囲が拡大するか把握する。	
	シームレスな Wi-Fi⇔Wi-SUN スイッチング	Wi-Fi の安定するポイントから不安定なポイントにロボットが移動した際にシームレスに Wi-SUN による通信に切り替わるか検証する。	
システム導入	Wi-SUN アクセスポイント・アンテナ設置に際する課題の把握	施設への Wi-SUN アクセスポイントの設置、ロボットへのアンテナ設置に際するハードルの有無について把握する。	
	Wi-SUN 中継技術導入に際する課題の把握	Wi-SUN 中継器によるリレー通信実現に際するハードルの有無について把握する。	
	Wi-Fi⇔Wi-SUN スイッチング技術導入に際する課題の把握	Wi-Fi⇔Wi-SUN スイッチング技術導入に際するハードルの有無について把握する。	

① Wi-SUN による通信環境改善効果

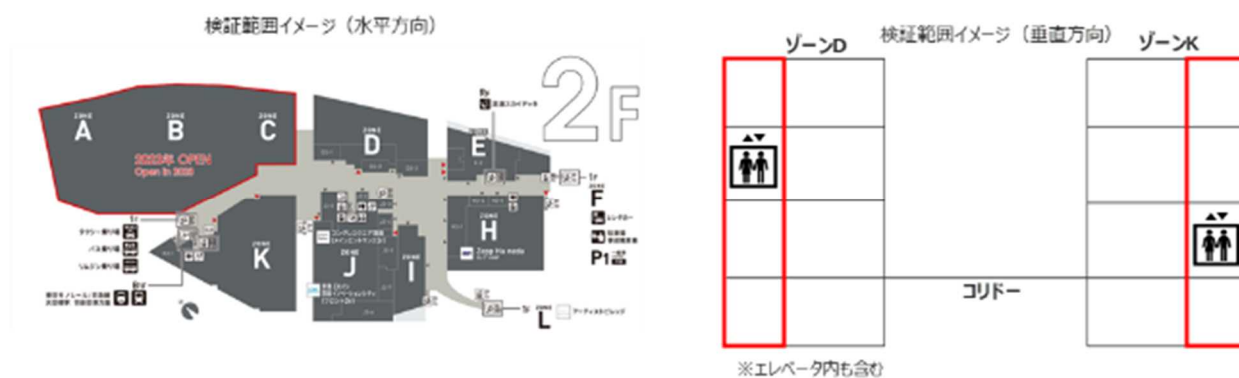
ア 仮説の検証に向けた調査方法

施設 Wi-Fi と新たに設置する Wi-SUN アクセスポイントを活用した際のロボットステータスの取得状況を比較し、Wi-SUN 技術を活用することによるロボット管制システムとロボット間の通信環境改善効果を把握する。

図表 4-15 Wi-SUN による通信環境改善効果 仮説検証に向けた調査方法

検証方法	<ul style="list-style-type: none"> 配送ロボット α から毎秒施設 Wi-Fi を使いロボット座標、時刻をクラウドへステータス通知を実施のうえ、配送ロボット α のロボットステータスが途切れる位置座標をログより取得し HICity の地図上にプロットし可視化する。配送ロボット α から Wi-SUN を使いロボット座標、時刻をクラウドへステータス通知を実施のうえ、施設 Wi-Fi の場合にステータスが途絶した位置座標でのデータ取得可否を把握するとともに、Wi-SUN の場合におけるロボットステータスが途切れる位置座標をログより把握し HICity の地図上にプロットし可視化する。
評価指標	<ul style="list-style-type: none"> ロボットステータスが途絶する位置座標
取得データ	<ul style="list-style-type: none"> 実験風景（ビデオ撮影） ステータスログ（ロボット座標、時刻）
分析事項	<ul style="list-style-type: none"> Wi-Fi を採用した際に途絶する要因、位置の特徴 Wi-SUN を採用したことによってステータスを手絶なく受信できるようになる位置の特徴 Wi-SUN でもステータスが途絶する要因、位置の特徴

図表 4-16 実証イメージ



イ 実験結果

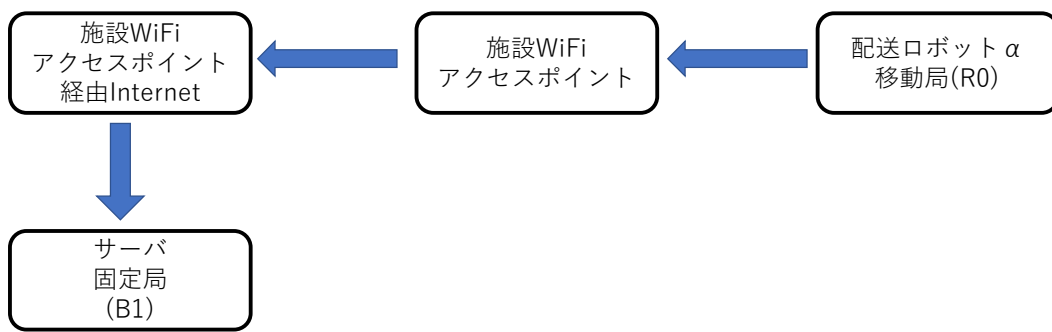
● 施設 Wi-Fi が安定しない場所の特定

Wi-SUN による通信環境の改善効果の有無を確認する場所として令和 3 年度の実証において課題となった施設 Wi-Fi での通信が安定しないエリアの特定を行った。

【計測方法】

移動ロボット（移動局）から、施設 Wi-Fi を経由しサーバ（固定局）へロボット座標ステータスを毎秒アップロードし、サーバへ到達しない座標を安定しない場所として特定する。

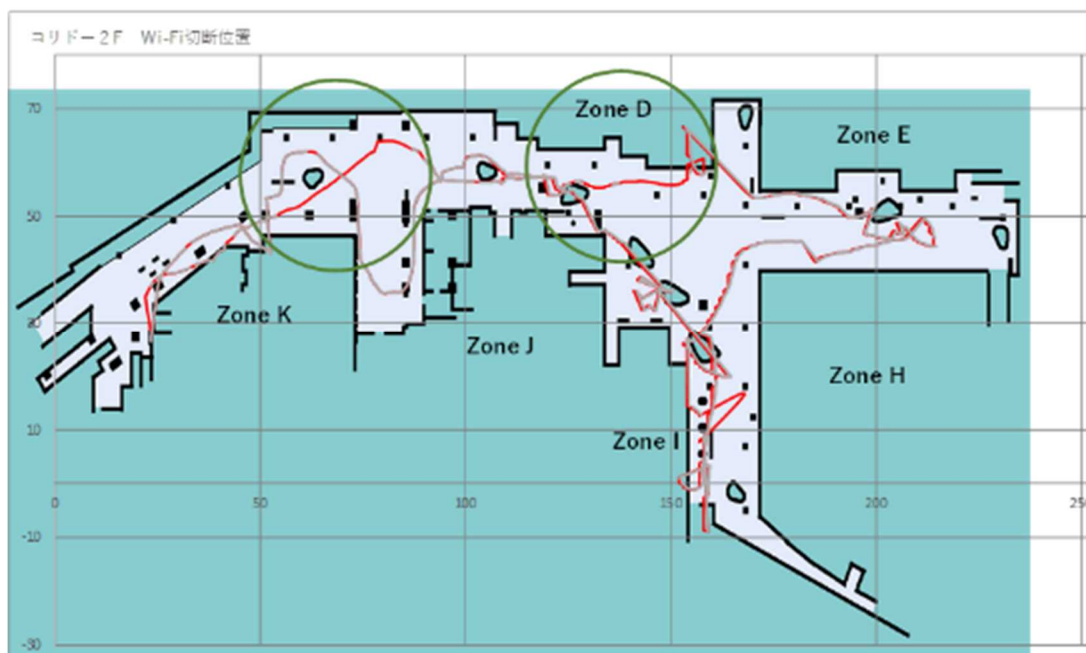
図表 4-17 施設 Wi-Fi 通信安定性検証システム図並びにロボット座標ステータスの流れ



【計測結果】

図 4-18 に計測結果を示す。Wi-Fi 切断が発生した位置を赤線で示す。緑枠内で示すゾーン K 前、ゾーン D 前のエリアにおいて大きく切断が発生している。また建屋内に関しても切断される場所が確認されており、入居企業の Wi-Fi アクセスポイントの影響で切断が発生しているものと考えられる。

図表 4-18 施設 Wi-Fi 通信安定性検証結果 (コリドー2階)



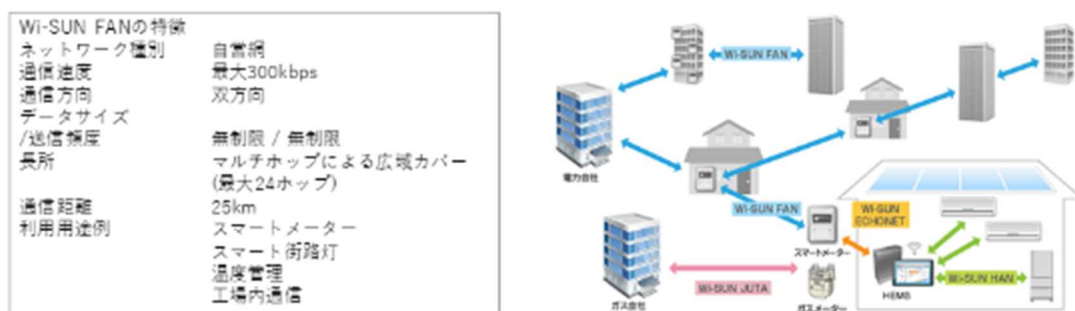
● Wi-SUN 通信環境改善効果検証

Wi-SUN による通信試験を行い。施設 Wi-Fi の通信が安定しないエリアにおいて Wi-SUN 通信が安定的に行われるか検証する。

【採用プロトコル】

屋外/屋内の広範囲通信カバーエリアとする為、Wi-SUN/FAN プロトコルを採用し通信の安定化実証を実施した。Wi-SUN/FAN は Field Area(屋外のような広い場所)でつなぐ通信プロトコルで、マルチホップメッシュネットワークがおもな特長となる。

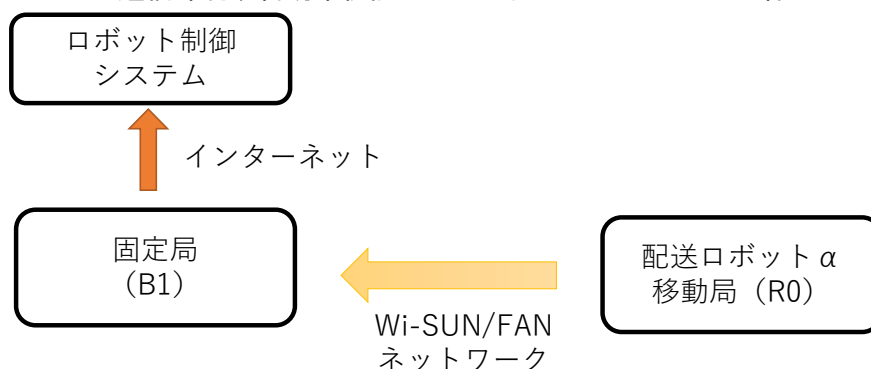
図表 4-19 Wi-SUN/FAN の特徴¹



【計測方法】

ゾーン K 3階とゾーン J 3階をつなぐ展望デッキ上に設置された固定局 (B1) と配送ロボットα (移動局) 間でWi-SUN/FAN ネットワークを形成のうえ、移動局から固定局へパケット通信、固定局からロボット制御システムへMQTT 通信²を実施のうえロボット座標ステータスを毎秒アップロードし、サーバへ到達しない座標を通信が安定しない場所として特定する。

図表 4-20 Wi-SUN 通信環境改善効果検証システム図並びにロボット座標ステータスの流れ



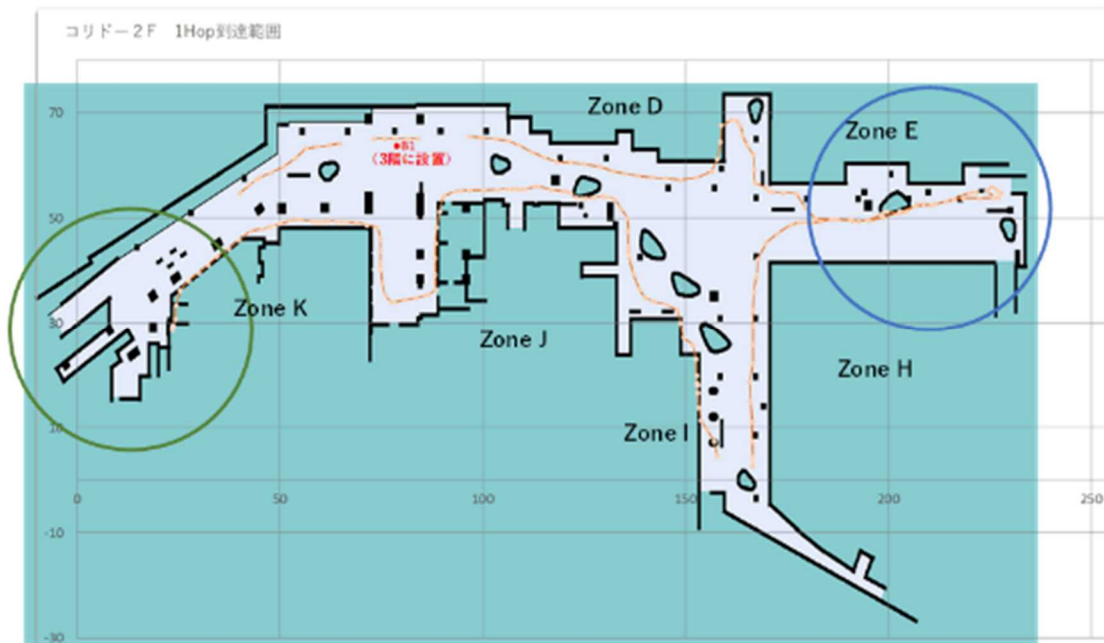
【計測結果】

図 4-21 に計測結果を示す。ロボットステータスがサーバへ到達できた座標を橙線で示す。施設 Wi-Fi で通信が安定しなかったゾーン K 及びゾーン D 前のエリアにおいても安定的にロボットステータスがサーバへアップロードされており、通信が安定的に行われていることが分かった。固定局 B1 からの通信限界となるエリアについては、見通しが良い場合には青色枠内で示す 150m 程度の距離まで接続が維持されることが分かった。一方で見通しが良くない場合には緑枠内に示すように 50m 程度の距離で接続が切断されることが分かった。

¹日新システムズ Web サイト Wi-SUN FAN って? (<https://www.co-nss.co.jp/blog/ep/ep001.php>)

² MQTT(Message Queuing Telemetry Transport : 短いメッセージを頻繁に送受信する通信プロトコルで、M2M や IoT に適している。

図表 4-21 Wi-SUN FAN 通信安定性検証結果（コリドー2階）



② リレー通信によるカバーエリア拡大効果

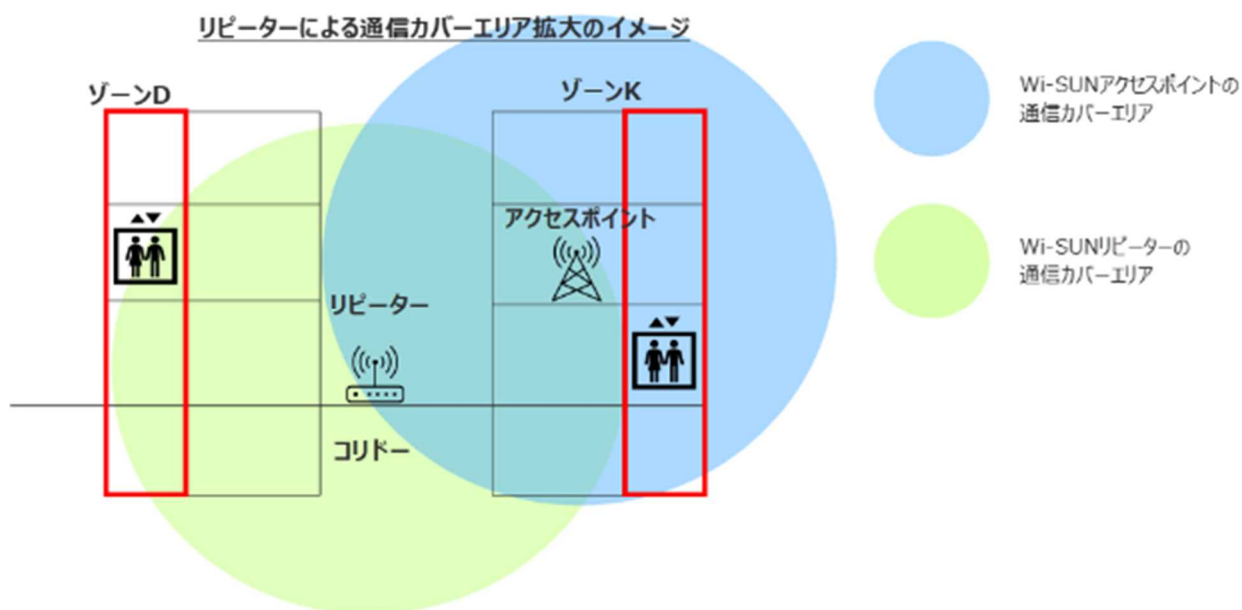
ア 仮説の検証に向けた調査方法

Wi-SUN の中継器を設置し、1つのアクセスポイントでは通信が不安定となったエリアにおける通信の安定性が向上し、Wi-SUN 通信のカバーエリアが拡大するか検証する。

図表 4-22 リレー通信によるカバーエリア拡大効果 仮説検証に向けた調査方法

検証方法	<ul style="list-style-type: none"> Wi-SUN アクセスポイントでの通信可能なカバーエリアの境界付近に中継器を設置し、Wi-SUN アクセスポイントではステータス情報が途絶するエリアで中継器を経由した通信によりステータス情報を取得。 中継器を経由した通信における配送ロボットαのロボットステータスが途切れる位置座標をログより取得し HICity の地図上にプロットし、拡大したカバーエリアを可視化する。
評価指標	<ul style="list-style-type: none"> 中継器経由の通信でロボットステータスが途絶する位置座標
取得データ	<ul style="list-style-type: none"> 実験風景（ビデオ撮影） ステータスログ（ロボット座標、時刻）
分析事項	<ul style="list-style-type: none"> 中継器による通信エリア拡大範囲の大きさ 施設全体をカバーするために必要な中継器数並びに施設規模と中継器数の相関関係

図表 4-23 実証イメージ



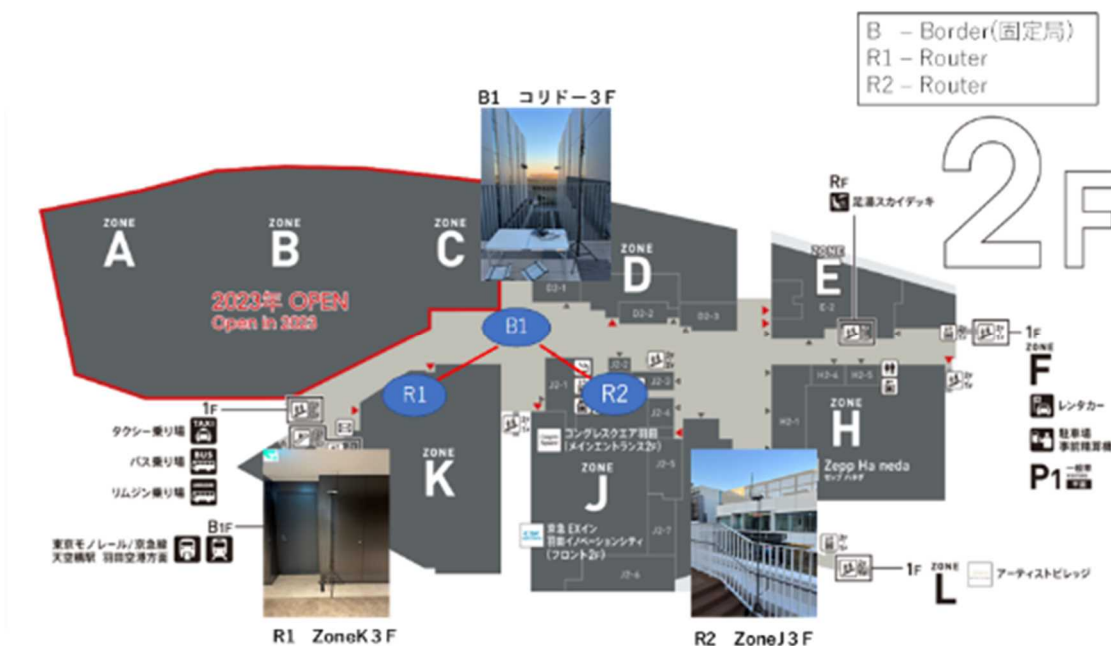
イ 実験結果

Wi-SUN/FAN ネットワークを構成する固定局が 1 つの場合、ロボットなどの移動局の位置によっては固定局から見通しが良くないエリアなどでの通信が途絶する。広範なエリアで通信の安定性をより高めるために中継器を活用したりリレー通信によるカバーエリア拡大効果を検証する。

【実験環境】

コリドー3階のスカイデッキ上に固定局 (B1) を設置、中継器をゾーン K3 階の建屋内とゾーン J 3 階の屋外に設置した。

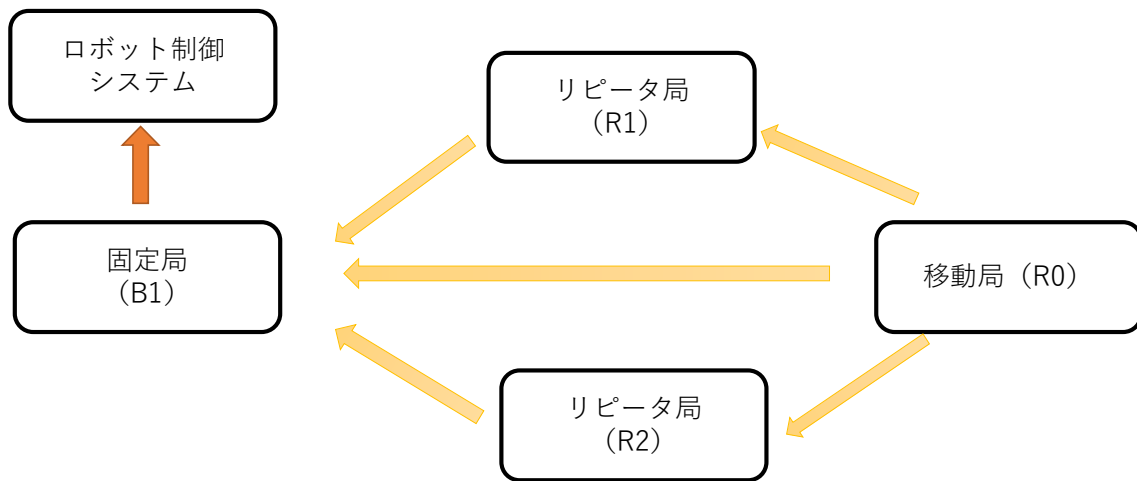
図表 4-24 固定局及び中継器の設置場所



【評価方法】

ゾーン K 3階とゾーン J 3階をつなぐ展望デッキ上に設置された固定局 (B1) と配送ロボット α (移動局) 間で Wi-SUN/FAN ネットワークを形成のうえ、移動局から固定局へパケット通信、固定局からロボット制御システムへ MQTT 通信を実施のうえロボット座標ステータスを毎秒アップロードする。固定局と移動局が直接ならない場合には中継器がパケットをリレーのうえ、ステータスを固定局へアップロードを行う。当該検証より、中継器を活用したリレー通信への切り替わりが実現可能か検証するとともに、ロボット座標ステータスがサーバへ到達しない座標を通信が安定しない場所として特定する。

図表 4-25 Wi-SUN 中継通信によるカバーエリア拡大効果検証システム図並びに
ロボット座標ステータスの流れ



【評価結果】

- コリドー及び建屋内 2 階

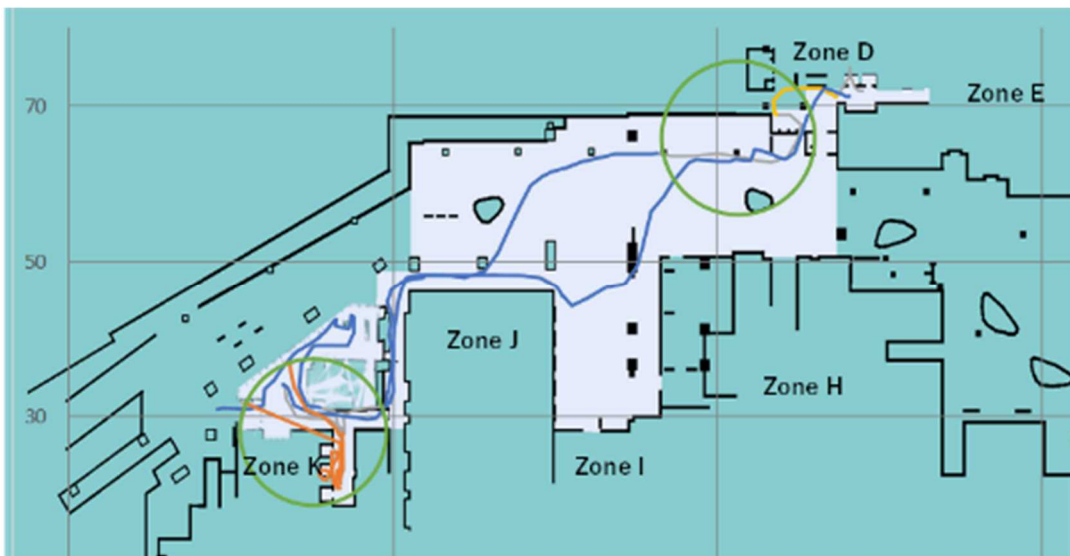
固定局と移動局が直接通信を行ったエリアを青線で示す。また、中継器を活用したリレー通信に切り替わったエリアを緑枠、中継器のうち R1 を経由して通信を行ったエリアを橙線、R2 を経由して通信を行ったエリアを黄線で示す。

ゾーン K 建屋内についてはエレベータホール前並びにエレベータ内は固定局との通信が安定せず、R1 を経由したリレー通信に切り替わっている。

ゾーン D 建屋内については建屋 2F へ入った段階で固定局から切断が発生し R2 を経由したリレー通信に切り替わっている。

なお、固定局との直接通信から中継器を活用したリレー通信の切り替わりに際しては、切り替え処理に起因する 1 分程度の通信途絶時間が発生しており、当該時間内におけるロボットが自律走行を行った軌跡をグレー線で示している。

図表 4-26 Wi-SUN 中継通信によるカバーエリア拡大効果（コリドー及び建屋内 2 階）

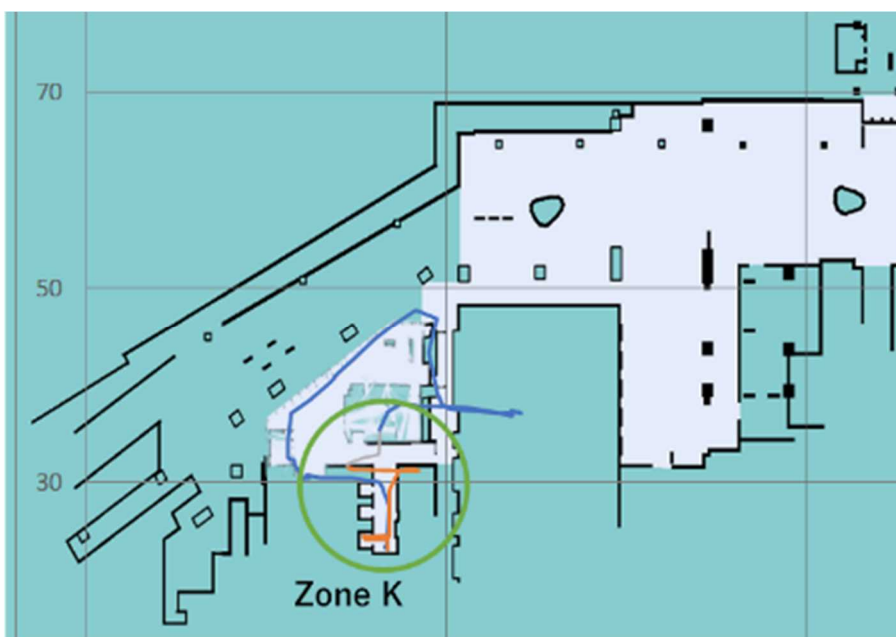


● ゾーン K 3 階

固定局と移動局が直接通信を行ったエリアを青線で示す。また、中継器を活用したリレー通信に切り替わったエリアを緑枠、中継器のうち R1 を経由して通信を行ったエリアを橙線で示す。

ゾーン K 3 階についてもエレベータホール前並びにエレベータ内は固定局との通信が安定せず、R1 を経由したリレー通信が行われており、エレベータホールを抜けたエリアでは固定局と移動局の直接通信が行われている。

図表 4-27 Wi-SUN 中継通信によるカバーエリア拡大効果（ゾーン K 3 階）

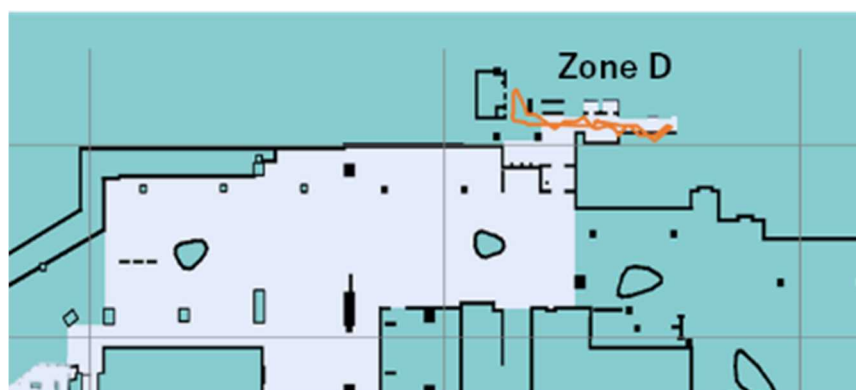


● ゾーン D 3 階

中継器のうち R2 を経由して通信を行ったエリアを橙線で示す。

ゾーン D 2 階から 3 階へエレベータを活用して移動したのちにゾーン D 3 階における通信安定性の検証を行った。ゾーン D 2 階の建屋 2F へ入った段階で固定局から切断が発生し中継器 R2 を経由した通信に切り替わっていることから、3 階についても中継器を活用したリレー通信の状態が継続されており、安定的にロボット位置情報ステータスのアップロードが実現されていることが確認された。

図表 4-28 Wi-SUN 中継通信によるカバーエリア拡大効果（ゾーン D 3 階）



③ Wi-Fi⇔Wi-SUN スイッチング検証

ア 仮説の検証に向けた調査方法

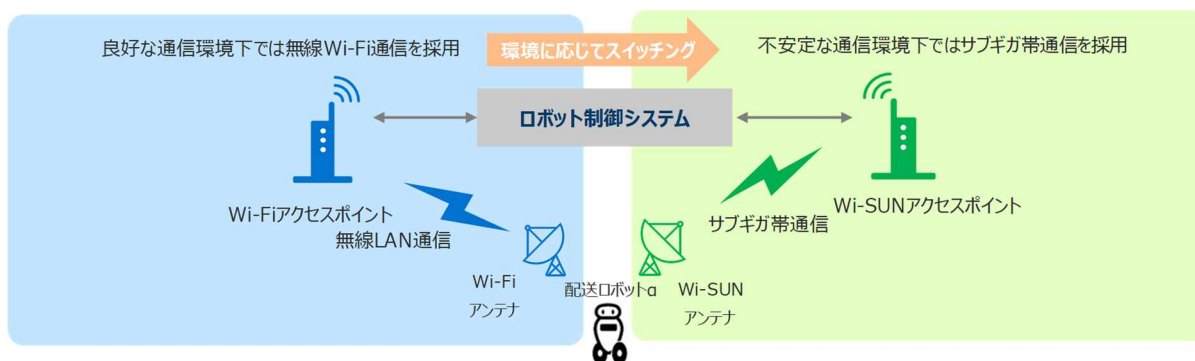
通信のスイッチング機能により Wi-Fi が不安定なエリアに進入した際に Wi-SUN にスイッチングを行い、途絶することなくロボット管制システムと配送ロボット間の通信が継続されるか検証を行った。

配送ロボット α を施設 Wi-Fi へ接続のうえ、コリドー 2 階を対象とした走行試験を実施。走行中の位置情報ロボットステータスを取得のうえ、Wi-Fi を採用した通信と Wi-SUN FAN を採用した通信が切り替わること及び切り替わりが発生するポイントを記録した。

図表 4-29 Wi-Fi⇔Wi-SUN スイッチング検証 仮説検証に向けた調査方法

検証方法	<ul style="list-style-type: none"> 配送ロボット α からロボット座標、時刻をクラウドへステータス通知を実施し Wi-Fi が切断される地域にて Wi-SUN に切り替わる事を確認 テスト回数 10 回予定
評価指標	<ul style="list-style-type: none"> 切り替えの有無 切り替えに要する時間
取得データ	<ul style="list-style-type: none"> 実験風景（ビデオ撮影） ステータスログ（ロボット座標、時刻）
分析事項	<ul style="list-style-type: none"> Wi-SUN への切り替えに失敗した際には異常要因をログより分析

図表 4-30 実証イメージ



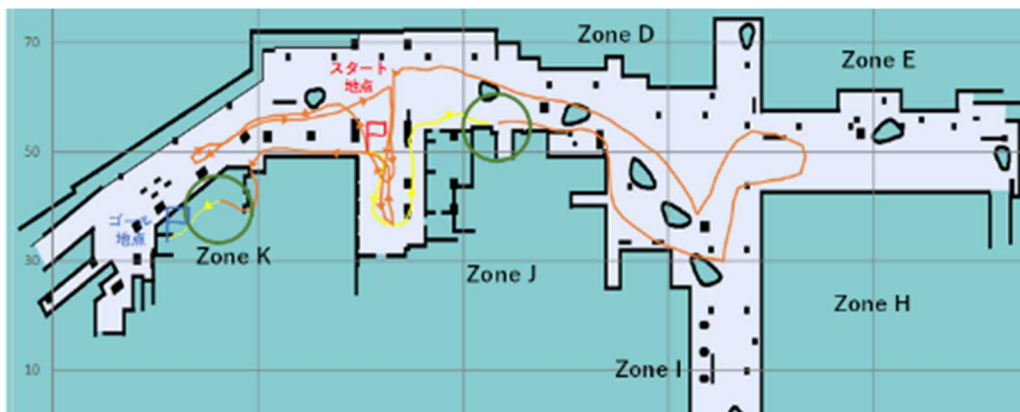
イ 実験結果

Wi-Fi 接続時のログ情報を黄線、Wi-SUN FAN 接続時のログ情報を橙線で示す。また Wi-Fi が切断され Wi-SUN 切り替えが発生したエリアを緑枠内で示す。

ゾーン K とゾーン J 間のポイントをスタート地点として Wi-Fi 接続状態で走行を開始し、ゾーン J 前のポイントで Wi-Fi が切断し Wi-SUN FAN 接続に移行した。その後コリドー内を Wi-SUN FAN 接続状態で走行を行い、ゾーン K 建屋内で Wi-Fi 通信の強度が安定したことから Wi-SUN FAN 接続状態から Wi-Fi 接続状態へ移行した。

コリドー2階並びにゾーン K 2階建屋内を対象にした走行試験において、Wi-Fi 通信が安定しないポイントで Wi-SUN FAN へスイッチングし、安定的な通信を継続することが可能であることが確認された。

図表 4-31 Wi-Fi/Wi-SUN スイッチング機能検証結果



④ 各種技術導入に際する課題の把握

ア 仮説の検証に向けた調査方法

Wi-SUN 通信技術、Wi-SUN 中継技術、Wi-Fi⇒Wi-SUN スイッチング技術の開発並びに導入に際するシステム、施設・ハードに係る課題について把握し、同技術導入に際する留意すべき事項としてとりまとめる。

図表 4-32 各種技術導入に際する課題の把握 仮説検証に向けた調査方法

検証方法	<ul style="list-style-type: none"> Wi-SUN 仕様書や設備仕様書などを基に、ロボット側、施設側への Wi-SUN 無線機器の設置仕様を明確にし、必要なハードウェア、ソフトウェアを整理するとともに、Wi-SUN 無線機器（アクセスポイント、中継器）設置に際して、施設側に要求される要件（設置場所、電源、ネット環境に係る事項など）をとりまとめる。 Wi-Fi⇒Wi-SUN へのスイッチングにかかる時間を計測する。
取得データ	<ul style="list-style-type: none"> Wi-SUN 技術仕様 設備の仕様
分析事項	<ul style="list-style-type: none"> 技術導入に際して施設側やロボット側に課せられる条件

イ 分析結果

サブギガ帯通信システムの構築にあたり、施設やロボットへの Wi-SUN 機器（アクセスポイント、中継器等）の設置に際して明らかとなったシステムに係る課題・問題点（電源、ネット網の整備要否等）は下記の通りであり、課題解決に向けたデバイスの開発が求められる。また施設側に対しては Wi-Fi 導入と同様に電源や通信回線の準備が求められる。

図表 4-33 分析結果

<ul style="list-style-type: none"> 移動体に Wi-SUN 機器を搭載する場合、個々の中継器とのセッションが切り替わるタイミングが発生する。切り替え時（1 分間程度）は通信が遮断される。 ロボットの位置によっては複数の接続先の中継器が存在し、再接続を繰り返す現象が確認され通信遮断時間が延びる。 Wi-Fi 相当の通信量を Wi-SUN で送信することができない。
--

iii. ロボット制御システムと複数エレベータ制御システムの連携

本番実証を円滑に実施するために、本事業にて構築を行う複数エレベータ連携システムに基づく配送ロボットの垂直方向移動実証を行うとともに、本システム導入に際して施設・ハードに課せられる課題について把握する。

図表 4-34 ロボット制御システムと複数エレベータ制御システムの連携に係る
トライアル実証検証項目

大項目	中項目	小項目	概要
システム開発	メーカーBのエレベータ制御システム（以下、「エレベータB制御システム」という。）とロボット制御システムの接続・連携	メーカーBのエレベータ（以下、「エレベータB」という。）を活用したロボットの自動垂直方向移動検証	エレベータB制御システムとロボット制御システムが正しく連携され、エレベータの呼び出し、エレベータへの乗降が問題なく動作するか確認する。
	複数エレベータ連携システムの構築	メーカーAのエレベータ（以下、「エレベータA」という。）、エレベータBを活用したロボット走行検証	1台の配送ロボットがエレベータAとエレベータBの2つを活用し、例えばゾーンK3階⇒ゾーン2階⇒ゾーンD2階⇒ゾーンD3階、と移動ができるか検証する。
		エレベータA、エレベータBの同時連携検証	2台の配送ロボットを活用のうえ、エレベータAを活用した自動垂直方向移動とエレベータBを活用した自動垂直方向移動を同タイミングで実施することができるか検証する。
システム導入	エレベータB制御システム	エレベータB制御システム導入に際するシステム、施設・ハード等の課題把握	エレベータB制御システムとロボット制御システムの接続に際する実務的課題や施設・ハード側の課題を把握する。
	複数エレベータ連携システム	複数エレベータ連携システム系の構築に際するシステム、施設・ハード等の課題把握	ロボット制御システムを核とした複数エレベータ連携システム構築に際する実務的課題や施設・ハード側の課題を把握する。
		複数エレベータ連携システム系の構築によるメリットの把握	ロボット制御システムを核とした複数エレベータ連携システム構築により享受されるメリットを把握する。※導入しなかった場合、別方式で構築した場合などの比較対象の設定が必要か。

① システム開発 エレベータ B 制御システム連携

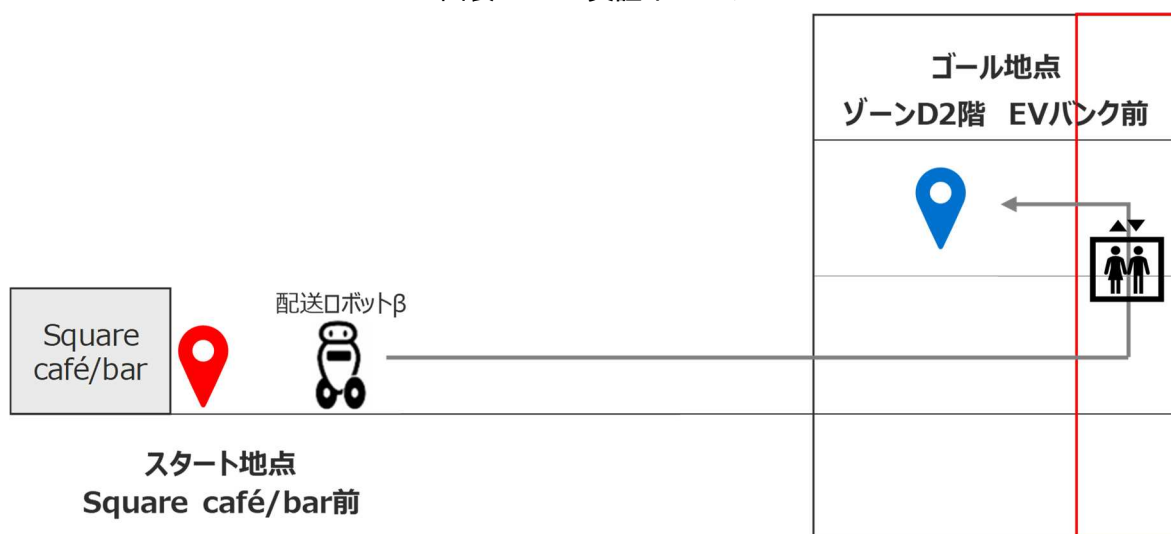
ア 仮説の検証に向けた調査方法

エレベータ B 制御システムとロボット制御システムの接続・連携の検証として、エレベータ B を活用した配送ロボットの垂直方向移動実証を実施。

図表 4-35 システム開発 エレベータ B 制御システム連携 仮説の検証に向けた調査方法

検証方法	<ul style="list-style-type: none">・ 配送ロボット配送ロボットβをスタンバイ状態でスタート地点に配置・ ロボットデリバリーシステムよりオーダーを投入のうえ、ロボット制御システムより配送ロボットαへ転送された順次移動指令に基づき、配送ロボットがゴール地点まで移動できるかを検証する。・ テスト回数 10 回予定
評価指標	<ul style="list-style-type: none">・ 到着成功回数・ 配送時間
取得データ	<ul style="list-style-type: none">・ 実験風景（ビデオ撮影）・ ロボット制御システムログ、ロボットログ
分析事項	<ul style="list-style-type: none">・ ゴール地点までの走行が失敗した際には、取得データを基に異常要因を分析

図表 4-36 実証イメージ



イ 実験結果

テスト回数 10 回のうち 9 回の成功が確認された。成功率は 90%であり、エレベータ B 制御システムとロボット制御システムの連携を実現できたことが確認された。

なお、失敗した 1 回については、取得データの分析の結果、ロボット制御システムからロボットへの移動指示がされなかったことが原因であることが分かったため、エレベータ B 制御システムとロボット制御システムの連携におけるエラーではないことが確認された。

② システム開発 複数エレベータ連携実証その1

ア 仮説の検証に向けた調査方法

2台の配送ロボットがエレベータAとエレベータBの2つを活用し、例えばゾーンK3階⇒ゾーンK2階⇒ゾーンD2階⇒ゾーンD3階、と移動ができるか検証する。

図表 4-37 システム開発 複数エレベータ連携実証その1 仮説の検証に向けた調査方法

検証方法	<ul style="list-style-type: none"> 配送ロボットα1台と配送ロボットβ1台をスタンバイ状態でスタート地点に配置する。 ロボットデリバリーシステムよりオーダーを順次2件投入のうえ、ロボット制御システムより配送ロボットαへ転送された順次移動指令に基づき、配送ロボットがゴール地点まで移動できるかを検証する。 テスト回数各ロボット10回ずつの予定
評価指標	<ul style="list-style-type: none"> 到着成功回数 配送時間
取得データ	<ul style="list-style-type: none"> 実験風景（ビデオ撮影） ロボット制御システムログ、ロボットログ
分析事項	<ul style="list-style-type: none"> ゴール地点までの走行が失敗した際には、取得データを基に異常要因を分析

図表 4-38 実証イメージ



イ 実験結果

配送ロボットαを活用したテスト回数10回のうち10回の成功が確認された。また、配送ロボットβを活用したテスト回数10回のうち10回の成功が確認された。いずれのロボットにおいても、成功率は100%であり、エレベータAとエレベータBの2つを活用した配送を実現できたことが確認された。

③ システム開発 複数エレベータ連携実証その2

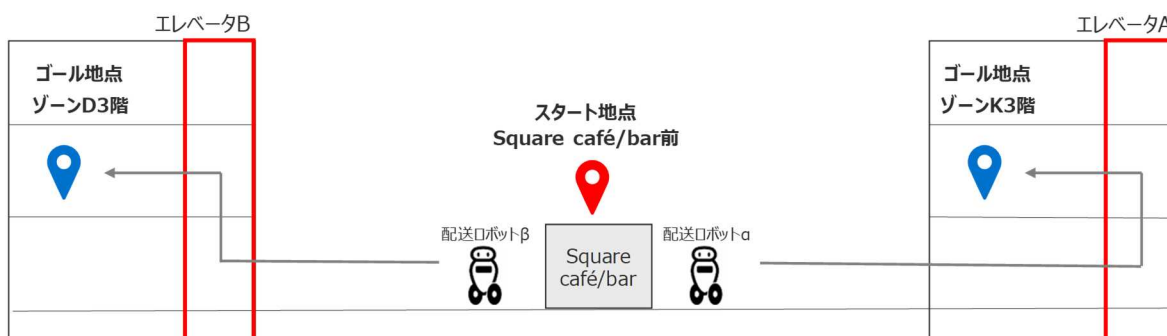
ア 仮説の検証に向けた調査方法

2台の配送ロボットを活用のうえ、エレベータAを活用した自動垂直方向移動とエレベータBを活用した自動垂直方向移動を同タイミングで実施することができるか検証する。

図表 4-39 システム開発 複数エレベータ連携実証その2 仮説の検証に向けた調査方法

検証方法	<ul style="list-style-type: none"> ・ 配送ロボットα1台と配送ロボットβ1台をスタンバイ状態でスタート地点に配置 ・ ロボットデリバリーシステムよりオーダーを順次2件投入のうえ、ロボット制御システムより配送ロボットαへ転送された順次移動指令に基づき、配送ロボットがゴール地点まで移動できるかを検証する。 ・ テスト回数10回予定
評価指標	<ul style="list-style-type: none"> ・ 到着成功回数 ・ 配送時間
取得データ	<ul style="list-style-type: none"> ・ 実験風景（ビデオ撮影） ・ ロボット制御システムログ、ロボットログ
分析事項	<ul style="list-style-type: none"> ・ ゴール地点までの走行が失敗した際には、取得データを基に異常要因を分析

図表 4-40 実証イメージ



イ 実験結果

テスト回数10回のうち9回の成功が確認された。成功率は90%であり、エレベータAを活用した自動垂直方向移動とエレベータBを活用した自動垂直方向移動を同タイミングで実現できたことが確認された。

なお、失敗した1回については、ロボットがエレベータバンクに移動する前にロボットの非常停止ボタンを押したところ、ステータスがエラーから復帰しなかったことが原因であることが分かったため、エレベータ制御システムとロボット制御システムの連携におけるエラーではないことが確認された。

④ システム導入 各種技術導入に際する課題の把握

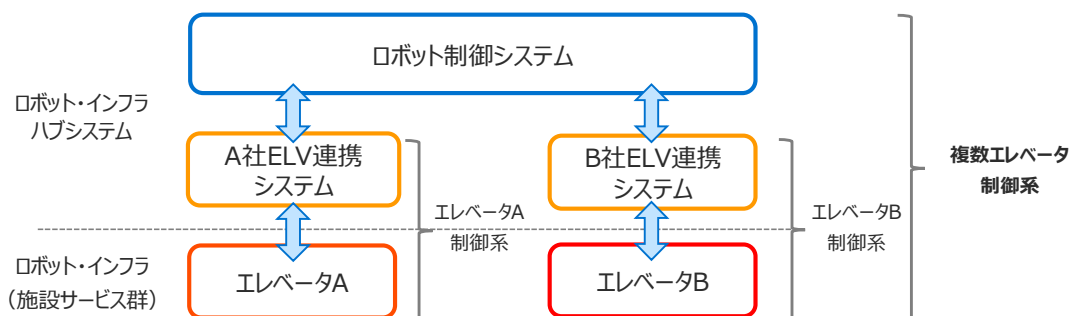
ア 仮説の検証に向けた調査方法

エレベータ B 制御システムとの連携、複数エレベータ連携システム構築にあたって施設・ハードに係る課題について把握し、同技術導入に際する留意すべき事項としてとりまとめる。

図表 4-41 システム導入 各種技術導入に際する課題の把握 仮説の検証に向けた調査方法

検証方法	<ul style="list-style-type: none"> 各種仕様などを基にシステム構築に際して課題となる点を取りまとめる。 各種仕様を比較のうえ、複数エレベータ連携システム構築のメリット・デメリットを取りまとめる。
取得データ	<ul style="list-style-type: none"> 各種システムの仕様 設備の仕様（電源、ネット環境等）
分析事項	<ul style="list-style-type: none"> 技術導入に際して施設側やロボット側に課せられる条件 ロボット制御システムを核とした複数エレベータ連携システム構築により享受されるメリット。

図表 4-42 実証イメージ



イ 分析結果

複数エレベータ連携システム構築にあたり、明らかとなった課題・問題点や施設側が備えておくべき機能、仕様等の条件は下記の通り。

図表 4-43 システム構築に際してのソフト面での課題となる点

課題・問題点	対応内容及び次年度以降に改良が必要となる事項
エレベータに関するロボット制御システムの開発工数が複雑	1 種類のロボットの対応にロボット制御システム/ロボットメーカー双方の対応が必要
ロボット制御システム側の情報開示が少ない。	実証実験を行う中でロボット制御システムの構造上、途中から開始する・リトライを行うなどの柔軟性に欠けている。

図表 4-44 システム構築に際してのハード面での課題となる点

課題・問題点	対応内容及び次年度以降に改良が必要となる事項
エレベータ入口の隙間が広いとロボットの車輪がとられる恐れがある	ロボットの走行速度の調整が必要となる。
エレベータ制御に際して、呼び出しが人によるものかロボットによるものかの切り分けが必要。	本実証で採用したエレベータ制御システム B の方が呼び出しの切り分けが容易であり、当該システムを基調とした導入が望ましい。

図表 4-45 複数エレベータ連携システム構築のメリット

メリット	対応内容及び次年度以降に改良が必要となる事項
構築プロセスに係る人工の削減	ロボット制御システムを核とすることで、ロボット制御システムとロボット間の API 仕様を策定すれば汎用的にどのエレベータでも対応可能である。
複数ロボットメーカーの対応	通信シーケンスの違いをロボット制御システムで吸収するので、複数ロボットメーカー対応は行いやすい。

図表 4-46 複数エレベータ連携システム構築のデメリット

デメリット	対応内容及び次年度以降に改良が必要となる事項
ロボット制御システムが通信できないとエレベータに乗れない	何らかの原因でロボット制御システムを介する部分に問題があるとエレベータに乗降できない。
ロボット制御システムの仕様に柔軟性が欠けている	現状のロボット制御システムの仕様で、通信内容がロボットとロボット制御システムのシーケンスが齟齬になった時にシステムの再起動しか復旧方法がない。

図表 4-47 複数エレベータ制御システムを横展開する際に留意すべき事項

<ul style="list-style-type: none"> トライアル事象に際して複数エレベータ連携システムの構築と併せて、ロボット制御方式に依るエレベータ連携の安定性の検証を行った。本実証ではロボット制御システム主導の制御方式（配送ロボット α）とロボット主導（配送ロボット β）の制御方式の 2 つの制御方式について、エレベータ連携に際する安定性の比較を行った。その結果、ロボット主導方式のほうがより安定的なエレベータへの乗降が可能となるものと考えられた。理由としてはエレベータに搭乗中にロボットにエラーが発生した際に、ロボット制御システム主導方式の場合は復旧まで時間を要し、例えばエレベータの階到着時に走行不能状態に陥る可能性がある一方で、ロボット主導方式の場合はロボットが自らエラー復旧を行うことでエレベータ動作の最中にエラー復旧を完了させられる可能性がある事から、より安定的な乗降が可能となるものと考えられる。
--

図表 4-48 その他

<ul style="list-style-type: none"> セキュリティゾーンの自動ドアを含めた ELV 連携を来年度以降実証する価値があるのではないかと考える。

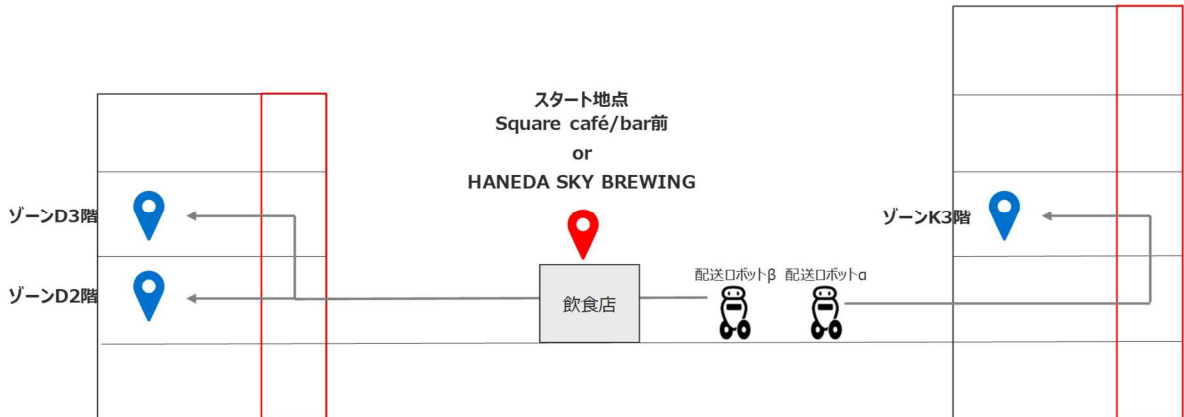
(4) 本番実証の内容及び実験結果

i. 本番実証実験系

ゾーンK並びにゾーンD入居オフィス従業者を対象にロボットデリバリーサービス実証を実施。

実証実験期間中に発生した不具合事象の解消方法の検討を行うとともに、サービス利用者並びに店舗へのアンケートに基づく利用者満足度等の社会受容性の把握や、エレベータ連携に伴う売り上げ向上効果の把握を目的とする。

図表 4-49 実証実験系イメージ



ii. 実験実施概要

図表 4-50 実証実験概要

項目	概要
実施期間	<ul style="list-style-type: none"> 前半：2022年12月5日～12月9日 後半：2023年1月17日～1月27日（平日のみ）
実施時間	<ul style="list-style-type: none"> 各日10～17時頃
実施場所	<ul style="list-style-type: none"> ゾーンD2～3階ゾーンK3階、5階※5階は後半のみ .
使用ロボット	<ul style="list-style-type: none"> 2台（配送ロボットα、配送ロボットβ）

iii. 検証項目

実証実験期間中に発生した不具合事象の解消方法の検討を行うとともに、サービス利用者並びに店舗へのアンケートに基づく利用者満足度等の社会受容性の把握や、エレベータ連携に伴う売り上げ向上効果の把握を実施する。

図表 4-51 検証項目

大項目	中項目	小項目	概要
不具合事象モニタリング			実証実験期間中において不具合が発生したか、不具合から復旧できたかをモニタリングする。不具合が発生した際には不具合の原因を特定のうえ、解消方法を検討する。
事業モデルの検討・実装に向けた課題把握	社会受容性の把握	利用者満足度・利用意向・課題の把握	来街者・オフィス従業者などのサービス利用者にアンケート調査を実施のうえ、階移動を伴うロボットデリバリーサービスに対する満足度を把握する。
		店舗側満足度・利用意向・課題の把握	店舗側にアンケート調査を実施のうえ、階移動を伴うデリバリーサービスに対する満足度や将来実装された際の利用意向、実証期間におけるオペレーションに関する課題点等を把握する。
	売上向上効果の把握	来街者・オフィス従業者などのサービス利用者にアンケート調査を実施のうえ、将来的にサービスが実装された際の利用意向を基に、売り上げ向上効果を試算する。	

iv. 検証方法及び実験結果

① 不具合事象モニタリング

ア 仮説の検証に向けた調査方法

アンケート調査により、不具合事業の内容について把握する。

図表 4-52 アンケート概要

項目	概要
対象者	・ 各社（TIS、ECTR、QBIT、アジアクエスト）の実証実験担当者
実施タイミング	・ ECTR 様にて実証実験期間中に不具合事象をモニタリング。 ・ 不具合事象発生時に発生内容及び対処方法を記録。 ・ 後日必要に応じて関係各社の協力のもとアンケート項目について回答。

図表 4-53 アンケート項目

大項目	小項目
不具合内容	・ 実証時に発生した不具合及びその原因について ・ 不具合への対処内容について ・ 実装に向けて検討・改善が必要な事項について

イ 実験結果

本番実証期間中、システムに関連するエラーが7件、ハードに関するエラーが1件発生した。いずれのエラーについても現場スタッフが一時対応するとともに実証期間中に原因を究明のうえシステム改修を実施し、サービス実証を中断することなく実施した。

● 実装に向けて改善が必要な事項・課題

ロボットデリバリーシステムの実装に向けて実証を通じて明らかとなった課題や改善が必要な事項は下記の通り。

図表 4-54 実装に向けて改善が必要な事項・課題

観点	課題
システムに関して	<ul style="list-style-type: none"> ・ ロボットデリバリーシステムが店舗やサービス利用者の意思決定を行う媒体となるため、ロボット制御システム側で注文キャンセルなどの処理を行わないような連携等の仕組みが必要。 ・ 飲食物の受け取りに際して、サービス利用者側でアプリとロボットの操作が必要なうえに、操作順序を間違えるとシステムエラーが発生するため、サービス利用者側の操作をアプリに統一するといったような簡便化する必要がある。
ロボットに関して	<ul style="list-style-type: none"> ・ 配送ロボットの位置ずれが頻発することから施設に合致した機体選定を行うことや、ロボット座標と制御システム等の座標の共通仕様の策定が求められる。 ・ ロボットの扉自動開閉機能とシステムを連携させると、ハード故障のリスクも高まる。
アプリに関して	<ul style="list-style-type: none"> ・ 店舗側アプリ：オーダー処理を確実にするために、通知音を大きくするとともに対応するまで音を鳴らし続けるなどの仕組みが望ましい。
安全面に関して	<ul style="list-style-type: none"> ・ エレベータ連携に際して、エレベータが、ロボットが呼び出したものか、施設利用者が呼び出したものか施設利用者側で判別がつかないため、ロボットが活用するエレベータに誤って施設利用者が搭乗する可能性がある。ロボットまたはエレベータからロボット専用モードであるエレベータを施設利用者に通知する等の仕組みが必要。
通信環境に関して	<ul style="list-style-type: none"> ・ 安定的なサービス提供の観点を重視し、Wi-SUN通信の採用を見送ったが、将来的な実装に際してはイニシャルコストやランニングコストの観点で既設の施設Wi-Fiを基調とし、Wi-SUNで補う通信手法の活用が望ましい。Wi-Fi⇔Wi-SUNのハイブリット方式実装に向けた更なるデバイスの改修が求められる。
施設構造に関して (通路幅、死角、自動ドア等)	<ul style="list-style-type: none"> ・ ゾーンD2階施設内通路が狭く位置ずれが発生した際に、施設利用者の通行スペースが確保できず衝突の恐れがある。通路幅の最低値を設定するとともに、施設の人流情報を踏まえた衝突回避可能性の低い安全なルート作成・設定が必要。 ・ ロボットがLiDARによる自己位置推定を行う際には特徴的な地物が必要となる。コリドー2階は特徴的な地物が少ないことから位置ずれ発生リスクが高く、安定的な走行のためには地物の設置などが必要。

② 社会受容性把握 | サービス利用者

ア 仮説の検証に向けた調査方法

アンケート調査により、サービス利用者の階移動を伴うロボットデリバリーサービスに対する満足度を把握する。

図表 4-55 アンケート概要

項目	概要
対象者	・ 実験参加者（1グループ複数人で参加する場合は各人を対象とする）
使用ツール	・ Google フォーム
実施タイミング	・ 実証実施時
回答方法	・ 専用端末内蔵アプリで注文後にアンケート回答画面に移行 ・ 専用端末を用いてサービス参加者が回答

図表 4-56 アンケート項目

大項目	小項目
属性	・ 属性（年齢・性別・職業）
注文の基本情報	・ 注文 ID（先頭 5 桁） ・ 注文日時 ・ 受取日時 ・ 注文商品 ・ 受取場所
ユーザビリティ・満足度	・ サービス全体に対する満足度 ・ アプリの操作性 ・ 待ち時間に対する満足度
利用意向	・ 有償の場合の利用意向 ・ 利用したい場面
課題	・ サービスの課題・意見

イ 分析結果

● デリバリーサービス注文状況

【注文件数・金額】

- ・ 前半・後半の全期間を通して計 130 件、205,800 円の注文があり、1 件あたりの注文金額の全期間の平均は 1,583 円であった。
 - 前半の 5 日間で計 57 件、77,780 円の注文があり、1 件あたりの注文金額は 5 日間平均で 1,365 円であった。
 - 後半の 9 日間で計 73 件、128,020 円の注文があり、1 件あたりの注文金額は 9 日間平均で 1,754 円であった。

図表 4-57 デリバリーサービス注文件数・金額 1

	12月5日 (月)	12月6日 (火)	12月7日 (水)	12月8日 (木)	12月9日 (金)	計
注文件数 (件)	14	13	12	11	7	57
注文金額 (税 抜) (円)	18,510	13,760	17,050	18,880	9,580	77,780
1 件あたり注文 金額 (税抜) (円)	1,322	1,058	1,421	1,716	1,368	1,365

図表 4-58 デリバリーサービス注文件数・金額 2

	—	1月17日 (火)	12月18日 (水)	1月19日 (木)	1月20日 (金)	
注文件数 (件)	—	5	9	7	10	
注文金額 (税 抜) (円)	—	7,660	14,900	17,080	15,180	
1 件あたり注文 金額 (税抜) (円)	—	1,532	1,656	2,440	1,518	
	1月23日 (月)	1月24日 (火)	1月25日 (水)	1月26日 (木)	1月27日 (金)	計
注文件数 (件)	7	10	9	11	5	73
注文金額 (税 抜) (円)	12,940	21,460	11,700	20,720	6,380	128,020
1 件あたり注文 金額 (税抜) (円)	1,849	2,146	1,300	1,884	1,276	1,754

【注文内容】

- ・ 注文商品は前半・後半を通して合計 302 品で、そのうち 82 個がフード、218 個がドリンク、2 個がトッピングであった。
 - 前半の期間が計 103 品で、そのうち 35 個がフード、67 個がドリンク、1 個がトッピングであった。
 - 後半の期間は計 199 品で、そのうち 47 個がフード、151 個がドリンク、1 個がトッピングであった。
- ・ 11～13 時の時間帯にフードとドリンクのセットの注文が、13 時以降の時間帯にドリンクの注文が多かった。

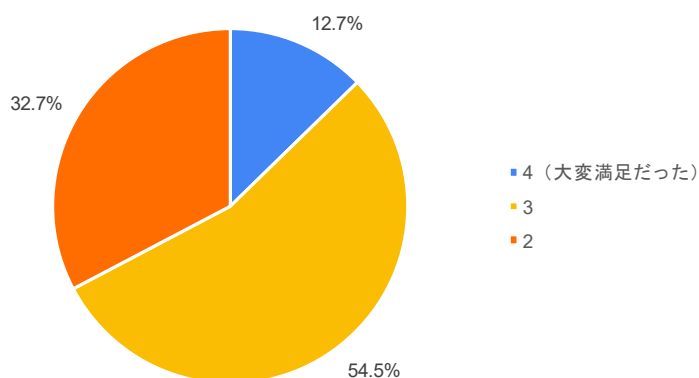
● サービス利用者アンケート調査結果

【回答数】 55 件

【サービス前提に対する満足度 (N=55)】

- ・ 「大変満足だった」(4)～「大変不満だった」(1)の4尺度を設定
- ・ 3, 4 を選択した回答者が計 67.2 %、全回答者の満足度の平均点は 2.8 点(4 点満点)であり、満足度はやや高いと評価された。
- ・ 2 を選択した回答者が不満に感じた点としては、「配送に時間がかかった」、「システムエラー等によるキャンセルが発生した」、「受け取り時間の確認ができない、受け取り場所の確認ができない等ユーザーインターフェースが不親切」などが挙げられた。

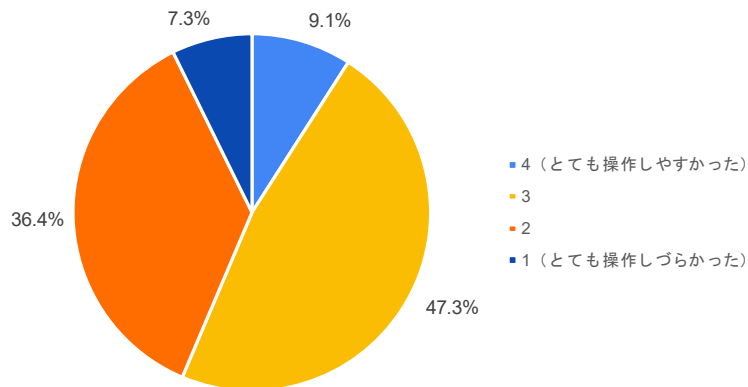
図表 4-59 Q. サービス全体に対する満足度はいかがでしたか。



【アプリの操作性 (N=55)】

- ・ 「とても操作しやすかった」(4)～「とても操作しづらかった」(1)の4尺度を設定
- ・ 3, 4 を選択した回答者が計 56.4%、全回答者の満足度の平均点は 2.6 点(4 点満点)であり、評価は半々に分かれた。
- ・ 2 を選択した回答者が不満に感じた点としては、「アプリの操作方法がわかりづらい」、「3D マップではなく簡易な 2D マップの方が良い」、「配達予定時間と実際の配達時間に乖離がある」、「配達の進捗がわかるようにマップ上にロボットの位置を表示できるようにしてほしい」などが挙げられた。

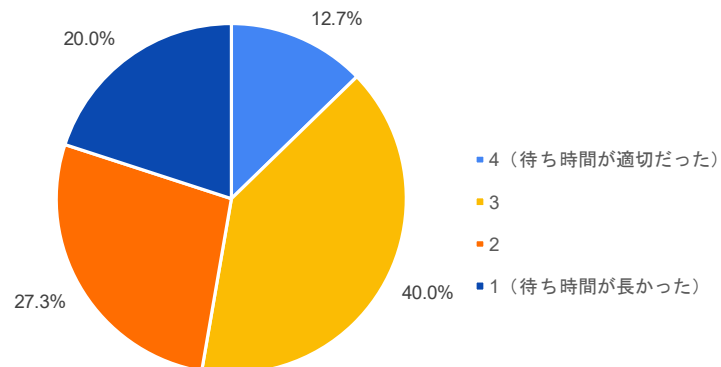
図表 4-60 Q. アプリは操作しやすかったですか。



【商品が届くまでの待ち時間 (N=55)】

- ・ 「待ち時間が適切だった」(4) ～ 「待ち時間が長かった」(1) の 4 尺度を設定
- ・ 3, 4 を選択した回答者が計 52.7%、全回答者の満足度の平均点は 2.5 点 (4 点満点) であり、評価は半々に分かれた。

図表 4-61 Q. 商品が届くまでの待ち時間はいかがでしたか。

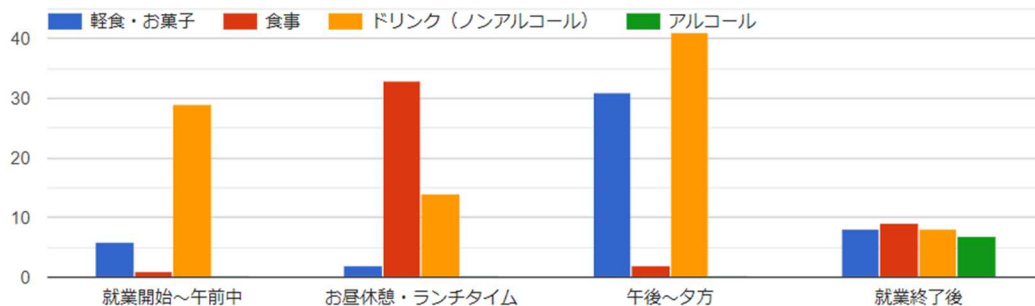


【利用ニーズ】

- ・ オフィス就業時間を就業開始～午前中、お昼休憩・ランチタイム、午後～夕方、就業終了後に区分のうえ軽食・お菓子、食事、ドリンク (ノンアルコール)、アルコールの選択肢を設定のうえ利用ニーズを調査。
- ・ 食事の利用ニーズはお昼休憩・ランチタイムの時間帯が最も高かった。
- ・ ドリンク (ノンアルコール) の利用ニーズは就業時間を通して確認され、午後～夕方 (回答数 41)、午前中 (回答数 29)、お昼休憩・ランチタイム (回答数 14) の順でニーズが高い。
- ・ 軽食・お菓子については午後～夕方の時間帯での利用ニーズが高い (回答数 31)。
- ・ 他の時間に対して回答数は低いものの、就業終了後の時間帯においても一定の利用ニ

ズが確認された。

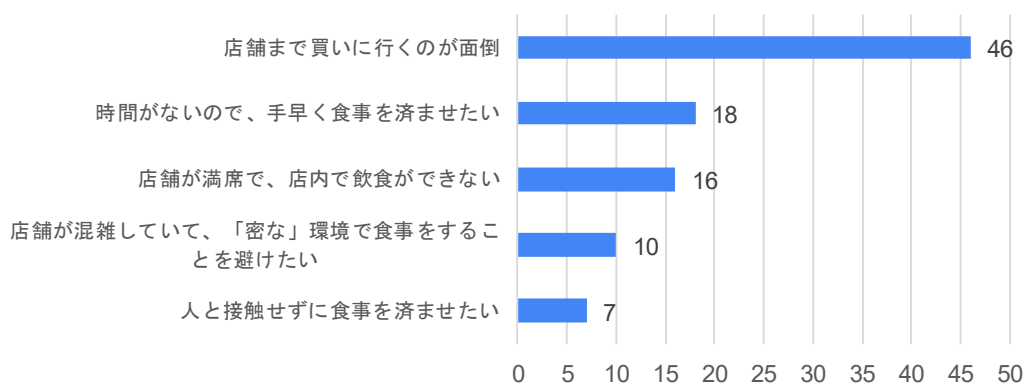
図表 4-62 Q. オフィス等での就業中どのようなタイミングで
どのようなものを注文するために利用したいと思いますか。



【利用したい理由 (複数回答) (N=55)】

- ・ 「店舗まで買いに行くのが面倒」の回答数が 46 件で最も多く、次いで「時間がないので、手早く食事を済ませたい」が 18 件、「店舗が満席で、店内で食事ができない」が 16 件となった。
- ・ 「時間がないので、手早く食事を済ませたい」については令和 3 年度に実施した来街者を対象としたデリバリーサービス実証におけるアンケート結果では回答数が低かったため、今回の実証対象者であるオフィス従業者特有の利用ニーズであると考えられる。
- ・ コロナ禍を踏まえたニーズ（「密」や接触を避けたい）よりもコロナ禍以前からあるニーズの方が優位であるものと考えられる。

図表 4-63 Q. どのような理由からロボットデリバリーサービスを利用してみたいと思いますか。



【改善点等 (自由回答)】

サービス全般に関する意見・改善点

- ・ 仕事をしながら待っていれば近くまで商品が来るというのは結構うれしい。
- ・ 注文が勝手にキャンセルされた場合の補填を検討してほしい。
- ・ ランチタイムは待ち時間がもたないないので、お届け時間の予約ができるといい。

- ・ 複数店舗のオーダーが同時にできるといい。
- ・ 商品受取後の手順が分かりにくいと感じた。

アプリに関する改善点

- ・ アプリの応答が遅いときがあるため修正されればより使いやすい。
- ・ 再通知のタイミングを簡単に設定できるようになるとよい。
- ・ 施設の構造を熟知していなくても受け取り場所が分かるようになっているとよい。また、受け取り地点の〇m 手前になったら通知が行く等、ユーザーの待ち時間を少なくする工夫は必要。
- ・ 到着予測が正確になってほしいです
- ・ 仕事中はずっとスマホをウォッチしてられないので、到着したら通知が欲しい。

ロボットに関する改善点

- ・ 飲み物を取るドアはスライド式にすれば振動が減ると思います。
- ・ 箸、スプーン等を取り出し忘れた際にロボットの扉を再度開けるようにしてほしい。
- ・ ロボちゃんに名前があると利用者にも愛着が出てくると思いました。
- ・ 運ばれている途中に誰かが悪戯出来そうな感じがして不安。

サービス横展開に関するご意見

- ・ 入院病棟や介護施設、機内食の食事配送に活用できないか。
- ・ 山間部や過疎地において、障害を持つ方や独居老人向けの食事配送に活用できないか。
- ・ 慢性的な人手不足で老々介護になりがちなエリアでは活躍が期待できると思う。

③ 社会受容性把握 | 店舗

ア 仮説の検証に向けた調査方法

アンケート調査により、階移動を伴うデリバリーサービスに対する満足度や将来実装された際の利用意向、実証期間におけるオペレーションに関する課題点等を把握する。

図表 4-64 アンケート概要

項目	概要
対象者	・ 店舗担当者（可能であればオペレーションに携わった方全員）
実施タイミング	・ 実証実施前にアンケートを配付 ・ 実証実験期間中に回答 ・ 実証実施後に回収

図表 4-65 アンケート項目

大項目	小項目
オペレーション	<ul style="list-style-type: none"> ・ 1注文あたりの所要時間・人数（飲み物、食べ物それぞれ等） ・ 1時間あたりの受付可能注文数の想定（昼時、それ以外） ・ オペレーションにおける課題（注文受付時、商品準備時、配達準備時） ・ 発生したトラブルとその対応
アプリ	<ul style="list-style-type: none"> ・ アプリの操作性 ・ アプリの課題
利用意向	<ul style="list-style-type: none"> ・ 実装された場合の利用意向 ・ 店舗にとってのメリット

イ 実験結果

● 店舗アンケート調査結果

【注文受付～ロボットへの搭載に係る時間と必要なスタッフの人数】

食べ物・飲み物両方の注文があった場合

- 所要時間：10分程度
- 人数：食べ物調理1人、ドリンク対応・包装1人、計2人

食べ物だけの注文があった場合

- 所要時間：10分程度
- 人数：食べ物調理1人、ドリンク対応・包装1人、計2人

飲み物だけの注文があった場合

- 所要時間：5分程度
- 人数：ドリンク対応・包装1人、計1人

【オペレーションで発生したトラブルと対応策】

- ・ ロボットの到着が遅く、準備した商品が冷めてしまう。

【アプリの操作性について】

- ・ アプリの通知音が小さくオーダーに気づかなかった。

【店舗での導入意向、メリット・デメリット】

導入意向については導入したい、導入したくないに分かれた。なお、導入したくないと回答した店舗は今回発生した課題が解決されれば導入したいと回答している。また導入した際のメリットやデメリットについては下記の通り。

メリット

- ・ 店舗価格より単価の増額が見込める。
- ・ 新たな売り上げが見込める。

デメリット

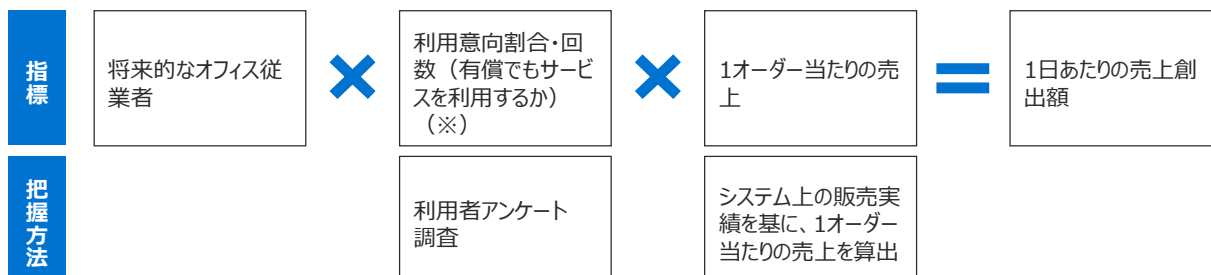
- ・ オペレーション、人員配置を調整する必要がある。混雑時に対応できるかが課題。

④ 売り上げ創出効果

ア 仮説の検証に向けた調査方法

- ・ 来街者・オフィス従業者などのサービス利用者に対するアンケート調査により、将来的にサービスが実装された際の利用意向を基に、下記の算定式により売り上げ向上効果を試算する。

図表 4-66 売り上げ創出効果



※売上の純粋な増加額を把握するため、選択肢として
①実店舗では購入しないが、デリバリーサービスがあれば購入する
②実店舗でも購入するが、デリバリーサービスがあればデリバリーサービスで購入する
③利用しない
を提示し、①の割合を採用

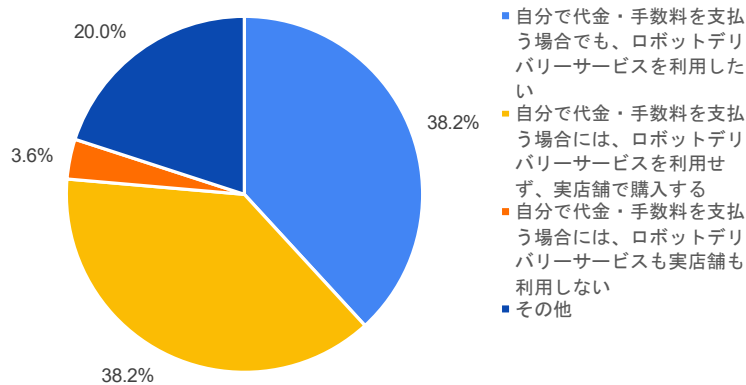
イ 分析結果

- 1日あたりのサービス利用総数

【参照データ】

- オフィス就業者数
 - ・ 本街区のI期区画のオフィスの就業者数1,900人を基に試算を行う。
- 利用者意向割合
 - ・ サービス実証参加者に対して、ロボットデリバリーサービスが本格実装された際の利用意向についてアンケート調査を実施。
 - ・ 「自分で代金・手数料を支払う場合でもロボットデリバリーサービスを利用したい」という回答は全体の38.2%を占めた。
 - ・ またその他と選択した参加者からは、「手数料次第で判断する」「課題が解決されれば利用する」と条件次第では利用するという意見が挙げられている。

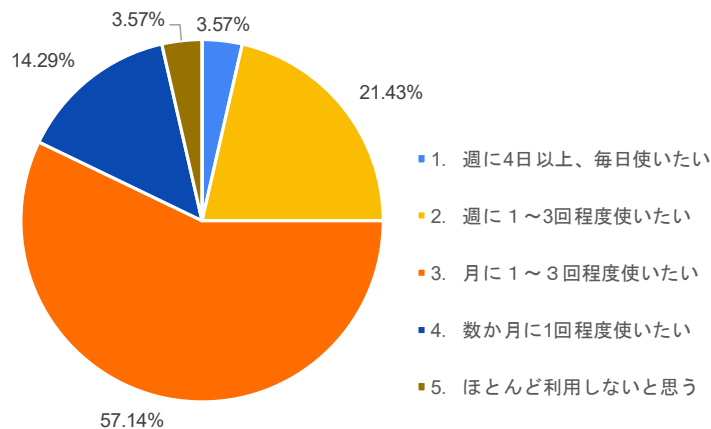
図表 4-67 Q. ご自身で商品の代金・手数料を支払う場合、
利用のご意向についてお聞かせください。



○ 利用頻度・1日あたりの利用回数

- ・ 「自分で代金・手数料を支払う場合でもロボットデリバリーサービスを利用したい」と回答した回答者のうち、ロボットデリバリーサービスの利用頻度を調査。
- ・ ロボットデリバリーサービスの利用頻度は「月に1～3回程度使いたい」が57.1%、「週に1～3回程度使いたい」が21.43%となった。

図表 4-68 Q. ロボットデリバリーサービスが利用できる場合、
どの程度の頻度で使いたいと思いますか



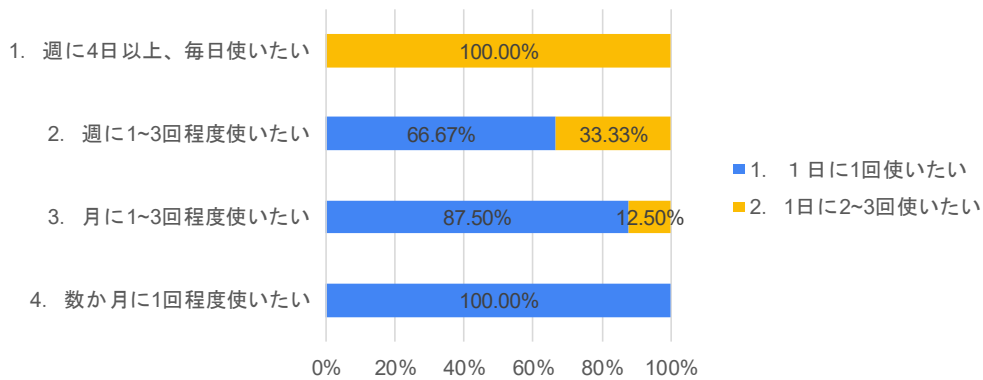
- ・ 利用頻度より「特定のある日に利用している確率」を算定。「特定のある日に利用している確率」は以下の通り仮定。

図表 4-69 特定のある日に利用している確率

アンケートにおける 利用頻度の回答	利用頻度の過程	特定のある日に 利用する人の確立
週に4日以上、毎日使いたい	毎日	100%
週に1~3回程度	3日に1回	33.3%
月に1~3回程度	15日に1回	6.7%
数か月に1回程度	60日に1回	1.7%
ほとんど利用しない	300日に1回	0.3%

- 「自分で代金・手数料を支払う場合でもロボットデリバリーサービスを利用したい」と回答した回答者のうち、ロボットデリバリーサービスの利用頻度別に、1日あたりの利用希望回数を集計。

図表 4-70 1日あたりの利用希望回数



○ 1日あたりのサービス利用総数

- 本街区におけるオフィス従業者数に、利用意向として「自分で代金・手数料を支払う場合でもロボットデリバリーサービスを利用したい」と選択した回答者比率、利用頻度比率、特定のある日に利用する確率、利用頻度別1日の利用希望回数を乗じて、1日あたりのサービス利用総数を算定する。
- オフィス従業者数による1日あたりのサービス利用総回数は178回と試算される。

図表 4-71 オフィス従業者数による1日あたりのサービス利用総回数の試算

オフィス従業者数	×	利用意向	×	利用頻度	×	特定のある日に 利用する確率	×	1日あたりのサー ビス利用回数	=	1日あたりのサー ビス利用総数
1,900		38.2%		週に4日以上、毎日使いたい 3.6%		100%		2.5回		65
				週に1~3回程度 21.4%		33.3%		1.5回		78
				月に1~3回程度 57.1%		6.7%		1.19回		33
				数か月に1回程度 14.3%		1.7%		1回		2
				ほとんど利用しない 3.6%		0.3%		1回		0
										計178回

- 1日あたりの売上創出額の算出
 - ・ オフィス従業者数を対象としたロボットデリバリーサービスが本格実装された場合、1日あたり28万1,788円の売り上げ創出が期待される。

図表 4-72 本格実装時の1日あたりの売り上げ創出額

1日あたりのサービス 利用総回数	×	1注文あたりの 平均売上	=	1日あたりの 売り上げ創出額
178回		1,583円		281,788円

- 将来的な売上額の予測
 - ・ 本街区は2023年にⅡ期開発が完了し、新たなオフィスビルが設立され、将来的には約2,160人の就業者数の増加が見込まれる。
 - ・ Ⅱ期開発完了後、ロボットデリバリーサービスが本格実装された際のⅡ期開発区画のオフィス従業者による1日あたりのサービス利用総回数は202回と試算される。

図表 4-73 本格実装時の1日あたりのサービス利用総回数の試算

オフィス従業者数	×	利用意向	×	利用頻度	×	特定のある日に 利用する確率	×	1日あたりのサー ビス利用回数	=	1日あたりのサー ビス 利用総回数
2,160		38.2%		週に4日以上、毎日使いたい 3.6%		100%		2.5回		74
				週に1～3回程度 21.4%		33.3%		1.5回		88
				月に1～3回程度 57.1%		6.7%		1.19回		38
				数か月に1回程度 14.3%		1.7%		1回		2
				ほとんど利用しない 3.6%		0.3%		1回		0
										計202回

- ・ よってⅡ期開発区画のオフィス従業者がロボットデリバリーサービスを活用した際、31万9,782円の売り上げ創出が期待される。

図表 4-74 オフィス従業者がロボットデリバリーサービスを活用した際の売り上げ創出額

1日あたりのサー ビス 利用総回数	×	1注文あたりの 平均売上	=	1日あたりの 売り上げ創出額
202回		1,583円		319,782円

- ・ 将来的な本街区におけるオフィス従業者によるロボットデリバリーサービスを活用することによる1日あたりの売り上げ創出額は合計で60万1,570円と試算される。

(5) 考察

本実証実験は、令和3年度調査において明らかとなったロボットデリバリーシステム実装に向けた課題である i ニーズへの適応力の強化、ii シームレスな移動の実現に向けた環境整備の解消に向けた仮説検証を目的に実施した。各課題に係る仮説検証に向けた本実証の成果に加えて、サービス実証を通じて検証を行った iii 社会受容性について考察を行う。

i. ニーズへの適応能力の強化

本実証ではニーズへの適応能力の強化という課題解決に向けて、必要な配送量の確保と途切れのないサービス提供のための複数台・複数種類配送ロボット同時管制を実現するシステムの構築並びに機能検証を実施した。

本実証を通じて配送ロボット α と配送ロボット β の異なるロボットメーカーの配送ロボットとロボット制御システムの連携を行い、ロボット制御システムを通じた複数台の配送ロボットの同時管制が可能となった。また、ロボットデリバリーシステムで受け付けた配送指示を、ロボット制御システムを通じて配送ロボットに振り分けることで、ロボットの配送が連続的に実施され途切れのないサービス提供ができることを確認した。

また、複数台の配送ロボットによる輸送量向上効果検証を実施し、台数の増加の伴い、連続で注文されるオーダーに係る配送に要する時間が削減され、輸送量向上効果が確認された。しかしながら、輸送量向上効果はエレベータの順番待ち、台数増加に伴うシステムエラーの発生回数増に伴い、ある一定の台数で収束することが予測される。さらに輸送量を向上させるためには、1度に複数オーダーの配送を行う、店舗買い回りを行うなどの高度化が求められるものと考ええる。

ii. シームレスな移動の実現に向けた環境整備

本実証ではシームレスな移動の実現に向けた環境整備という課題解決に向けて、場所に影響されず途切れのない通信環境を構築するためのサブギガ帯 IoT 無線技術を活用した通信環境改善、ロボット行動範囲拡大に向けたロボット制御システムと複数エレベータ制御システムの連携に係る検証を実施した。

① サブギガ帯 IoT 無線技術を活用した通信環境改善

本実証を通じてサブギガ帯 IoT 無線技術を活用した Wi-SUN FAN 通信環境を構築し、サービス実証におけるロボット走行エリアを中心に通信環境の改善効果を検証した。施設 Wi-Fi では通信が安定しない施設前やエレベータホール・エレベータ内についても、Wi-SUN 通信により、ロボットと制御システム間の無線通信が安定的に行われることを確認した。また施設内の Wi-SUN 通信については、施設内の場所によって中継器の切り替えが発生することから、施設内で安定的な通信環境を確保するためには中継器によるリレー通信を活用することが求められるものと考えられる。一方で中継器の切り替えに際しては通信が途絶する時間が1分程度発生することも明らかとなり、サービス実装に向けた課題が残った。

デリバリーサービスのシナリオを想定した走行試験においては、問題なく走行できるケースもある一方で、制御システムとロボット間の通信を頻繁に行うエレベータへの乗り降りのタイミングと中継器の切り替えに伴う通信の途絶が重なると、制御システムとロボット間の通信がタイムアウト

し、ロボットが走行不能となるケースも確認された。

② ロボット制御システムと複数エレベータ制御システムの連携

本実証を通じてロボット制御システムと複数エレベータ連携システムを連携させることで、配送ロボットが昨年度実証を行ったメーカーと異なるエレベータにも搭乗が可能となることを確認した。当該システムの構築によりゾーン K のみならずゾーン D のエレベータにも搭乗が可能となり、ロボットの行動範囲が拡大された。また、ロボットの行動範囲拡大に伴いロボットデリバリーサービスにおける配送可能エリアが拡大された結果、当該エリアに含まれるオフィスの入居者に対してサービスの提供を行うことが可能となった。このことを受けてロボット行動範囲に含まれるオフィス入居者を対象にサービス実証を実施することができた。

iii. ロボットデリバリーサービスの社会受容性

① サービス利用者社会受容性

サービス利用者については、ロボットの安定的な配送、配送時間の長さ、アプリなどのユーザーインターフェースに関して課題があると評価をされた。

ロボットの安定的な配送についてはロボット制御システムとロボットデリバリーシステム間の連携といった、システム全体での最適化を図ることが求められる。

配送時間の長さについては配送ロボット台数を増やすことや、前述の通り 1 度に複数オーダーの配送を行う、店舗買い回りを行うなどの配送効率向上による解決が求められる。利用ニーズ調査の結果、ロボットデリバリーサービスを使う理由として「時間がないので、手早く食事を済ませたい」と回答している参加者も多く、ユーザーの想定する時間内の配送が強い要望であると考えられる。そのため、配達時間をあらかじめ指定が可能な予約機能などの付加することにより更なるユーザー利便性の向上が期待される。また今回はアプリで表示される配送予定時間が実際の店舗側の作業状況をリアルタイムに反映するものではなかったため、表示時間のアルゴリズムの改善等といったユーザーインターフェースの改善による問題解消も期待される。

アプリなどのユーザーインターフェースについては 3D K-Field をマップとして採用しているところ、その操作性の改善と 3D マップ上へのロボット位置座標のリアルタイム表示などの改善が求められる。

上記のような開発段階における課題の指摘があった一方で、サービスが実装された際の利用意向は手数料を支払っても利用したいと選択した回答者は 38.2%おり、利用ニーズがある事を確認した。実証参加者へのアンケート調査の分析の結果、将来的にロボットデリバリーサービスが本格実装された際には、1 日あたり 60 万 1,570 円の売り上げ創出効果が期待されることが明らかとなった。

② 店舗社会受容性

店舗については現状の課題が解決されれば導入したいという意向を確認できた。なお、ロボットデリバリーサービスを行う際にはロボットへの飲食物の搭載、アプリの操作などの通常と異なるオペレーションが発生するため、店舗側でも最適なオペレーション体制を構築することが今後の課題となる。また、ロボットやシステムのエラーによって配送が困難となった際に即時対応できるよう

インシデント管理のシステムの活用や、即時のインシデント対応が可能なロボット運用体制を別途設けることが必要だと考える。

(6) サービスの実装可能な時期、実装に向けて残された課題

i. サービスの実装可能な時期

- ・ 本実証事業を通じて個々の技術やシステムが接続され連携した際の基本的な動作が確認できたため、技術的には実装可能な見通しが立った。一方、ユーザー満足度を向上させるための利便性向上、実装された際の運営体制については検討が不十分であり、また各店舗の売上に対する影響の検証に必要なデータ取得体制が整っていないため、リリースに向けこれら課題に対応する必要がある。
- ・ ロボットの導入費用は依然としてイニシャルコストが高く、各社で独自に製作されていることにより基本機能の開発段階で競争が留まってしまっている。早々に共通の仕様や導入機能の最低ラインを示す基準を定め、各社の製品が最低限の機能を確保した上でそれ以上の機能開発で競争される環境が望まれる。
- ・ 上述の課題に対する解決策が実装され、且つ運用体制の構築が完了すれば、ロボットを運用するためのインフラについて初期段階の実装が 2023 年度中に実装可能と考えられる。

ii. 実装に向けて残された課題

・ 配送ロボットの有効活用促進

配送ロボットによる途切れのないサービス提供の実現可能性については検証できたものの、将来的な事業化に際する事業採算性の面では、更なる配送能力の強化が必要となる。

配送能力の強化に向けては 1 台の配送ロボットで複数店舗の買い回りが可能となる、複数の利用者へ配送が可能となる等の有効活用方策の実現に向けたシステムやロボットの改修が求められる。

・ ユーザーフレンドリーなアプリの改修

本実証を通じて店舗側、サービス利用者側のアプリ双方について複数の改善点が挙げられた。サービスの実装に向けてはこれらの課題の解消に向けたロボットデリバリーシステムやアプリの改修が求められる。

・ より安定した通信環境の構築

今回の実証では Wi-SUN の中継器を活用したリレー通信を採用した際に、中継器の切り替えのタイミングで 1 分程度通信が途絶することが明らかとなった。このタイミングで制御システムとロボットの必要な通信が正常に行わない場合、制御システムとロボット間の通信がタイムアウトとなり、ロボットが走行不能となるケースが発生する恐れがある。将来的なサービスでの活用を想定した際にはより安定性の向上を図るため、中継器の切り替えに伴う途絶時間の短縮や、特に制御システムとロボット間の通信が頻発するエレベータ乗り降りのタイミングにおける中継器の切り替え回数を最小限にするための中継器配置の最適化が求められる。

・ 配送ロボットの走行可能領域の拡大並びに適正ルートを選定

配送先のオフィスによってはセキュリティゲート等により専用部分への進入ができないため、ユーザーニーズによってはオフィスのセキュリティゲートとの連携をするなど、専用部分へ配送ロボットが進行できるよう調整が必要となる。

エレベータ連携に際してはロボットがエレベータを活用する際に当該エレベータを施設利用者が使用できなくなるため、施設利用者の移動の多い時間帯についてはロボットのエレベータ利用に対して苦情などが出る可能性がある。施設利用者とロボット混載に改修や取決めを設けることや、施設利用者とロボットの混載を避けるルートを選定するなどの検討が求められる。

5. 横展開に向けて一般化した成果

(1) 得られた成果のポイント

i. 複数台・複数種類ロボット同時管制

① 取り組みの特徴

- ・ ロボットデリバリーサービスの実装に向け、同サービスにおける輸送能力の向上という課題に対して、同一種類の配送ロボット複数台同時管制対応、メーカーの異なる複数種類の配送ロボット同時管制対応に向けたロボット制御システムの機能改修を行い、複数台・複数種類の配送ロボットの同時管制実現に係る技術検証、複数配送ロボットによる同時並行オーダー処理により輸送能力向上効果の検証を実施し、実装に向けた課題及び改善点を把握した。

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

- ・ 配送ロボットの台数増加に伴い、複数台の配送ロボットによる同時並行のタスク処理が可能となり、一定数のオーダー処理に要する時間が削減されたことから、輸送能力の向上効果が確認された。
- ・ 一方で、エレベータ連携に際しては、現状エレベータ1台につき配送ロボット1台が割り当てられるとともに、同タイミングでロボットに割り当てられるエレベータ台数はゾーンK並びにゾーンDで1台ずつであることから、配送ロボット台数の増加に伴い、エレベータ待機の時間が増加する。このような事象が要因となり、配送ロボット台数増加に伴って得られる輸送能力向上効果は一定台数以上で収束することが予想される。
- ・ ロボットデリバリーサービスはシステムが多層的に連携されているところ、ロボットのインシデントが発生した際、他システムの制御権限が与えられていない場合はリセット等による復旧処理ができないケースがあることが確認された。インシデント発生時に迅速に復旧を行いサービスの安定性や継続性を担保するためにも、関係各社と連携可能なインシデント対応体制の構築が求められる。
- ・ 配送ロボットが走行不能となるケースの1つとして、反射吸収素材などの外壁はLiDARで検知できず自己位置を推定できないことが新たに明らかとなった。

ii. サブギガ帯IoT無線技術を活用した通信環境改善

① 取り組みの特徴

- ・ 令和3年度に明らかとなった施設Wi-Fiやキャリア通信網によるロボットの無線通信が安定しないという課題に対して、新たにサブギガ帯通信技術としてWi-SUNを導入するとともに、中継器を活用したりレー通信を行うことで、街区におけるロボットとロボット制御システム間の無線通信の安定性、カバー範囲の拡大効果について検証を行い、実装に向けた課題及び改善点を把握した。
- ・ Wi-SUNを活用することにより配送ロボットの走行ルートを含む施設2~3階のエリアについて、施設Wi-Fiでは通信が不安定な箇所においても安定的な通信を行うことが可能となった。また、中継器を活用したりレー通信により、建屋内外のエリアにおける通信の安定性が向上しカバー範囲の拡大が可能であることが明らかとなった。

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

- ・ 今回の実証実験では、移動局となる配送ロボットと中継器間の通信に Wi-SUN/FAN プロトコルを採用したところ、リレー通信に採用する中継器の切り替えに際して、ロボット制御システムと配送ロボット間の無線通信が遮断される時間(約1分間)が発生することが明らかとなった。
- ・ また接続先の中継器を能動的に切り替えができないため、ロボットの位置によっては複数の接続先の中継器が存在し、再接続を繰り返す現象が確認され通信遮断時間が延びる事が確認された。
- ・ 時間を置くことで中継器と自動的に再接続され管制システムとの連携が途切れる事はないと考えられるが、将来的な本格実装に向けては、中継器の切り替え回数が最小限となるような最適配置の精査などが求められる。

iii. ロボット制御システムと複数エレベータ制御システムの連携

① 取り組みの特徴

- ・ 令和3年度に実施した実証実験の結果明らかとなった、ロボットデリバリーサービスの配送需要が高いオフィスエリアに対して配送が可能となるよう、施設に存在する複数のエレベータとロボットを連携させることが必要となる。
- ・ エレベータ制御システムと連携を行う際にはロボットの台数・種類ごとに改修が発生するが、本実証では、複数のエレベータ制御システムを、ロボット制御システムを中心に連携させるシステム系を新たに提案・構築することにより、エレベータ制御システムを新規で連携する際の作業工数・コストの低減効果検証、複数のエレベータを活用することによるロボットの走行可能領域拡大効果検証を実施し、実装に向けた課題及び改善点を把握した。

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

- ・ エレベータとロボットの連携をエレベータ制御システムとロボット制御システムを連携させることにより行うことで、ロボット毎にエレベータとロボット制御システムとの連携を開発する工数に比べ、必要となる開発の工数を削減することが可能であることが明らかとなった。
- ・ 一方で、ロボット制御システムにエラーが発生すると復旧に時間を要することが明らかとなった。このことから、特にエラーの起きやすいロボットとエレベータの連携においては、エレベータ乗降時にはロボット制御システムではなく、個別のロボット主導による制御方式を適用するよう、移動プロセスごとに適切に役割分担をすることが望ましいことが明らかとなった。

(2) 横展開に向けて一般化した成果

i. 複数台・複数種類ロボット同時管制

- ・ 多層的に連携されているシステムを採用する際、連携されている他システムの制御権限が与えられていない場合、発生したインシデントへの対応が行えず、結果としてサービスが復旧されず安定的なサービス提供に支障をきたす可能性がある。今後、清掃・警備ロボット等の多様なロボットとの連携や、連携するロボットの台数拡大した際には、さらにインシデントの発生件数の増加が見込まれる。その際にインシデントへの対応が迅速に行われず、復旧に時間を要する場合、ロボットによるサービスの安定的な提供が行えないことが危惧される。したがって、連携されるシステム及びロボット数が増えたとしても、あらゆるインシデントへ対応可能な体制構築が求められる。
- ・ LiDAR によるロボットの自己位置推定に際して反射吸収素材などの外壁がある場合支障をきたすことが明らかとなった。街区内の施設や構造物の配置・素材を勘案のうえ、ロボットの自己位置推定方式の選定を行う必要がある。
- ・ 配送ロボットの台数増加に伴い、一定数の配送オーダー処理に要する時間は削減され、輸送能力向上効果は確認されたものの、ある一定台数以上の導入に際しては当該効果はいずれ収束するものと予測されるため、施設規模や設備を踏まえて適切なロボットの導入台数を検討する事が求められる。

ii. サブギガ帯 IoT 無線技術を活用した通信環境改善

- ・ ロボットの導入を前提としない施設設計のエリアにおいて、サブギガ帯通信技術を導入することでロボットデリバリーサービス等に要するロボット制御システムとロボット間の無線通信を安定的に継続可能とすることが期待できる。
- ・ なお建物の見通しが良くない場所は固定局からの電波が安定的に到達できないため、建物が多い区域へ導入する際には中継器を多く置く設置することにより通信環境の改善効果が期待される。
- ・ なお中継器の設置にあつては電波テストを入念に実施のうえ、設置位置を正確に設計する必要がある。また、設備として導入する場合の機器電源等の選定が必要でありメーカーへの依頼が必要となる。

iii. ロボット制御システムと複数エレベータ制御システムの連携

- ・ ロボット制御システムを核としてロボット制御システムがロボットとエレベータ制御システムとの連携をまとめて実施するシステム系を採用することで、ロボットとエレベータが連携するために必要となるシステム開発コストを削減することが期待される。特に複数種類のエレベータが設置されている大規模複合施設や複数施設によって構成されるエリア単位でのロボット導入には有効であると考えられる。
- ・ 一方で、単一のロボット制御システムがロボットの挙動のすべてをコントロールすると、ロボット制御システムのエラーによりエレベータからの乗降など安全性に関わる部分までエラーからの復旧が難しくなる可能性がある。そのため、すべてをロボット制御システムがコントロールするのではなく、プロセスの一部はロボット主導の制御方式を組み合わせるなど、システムの特性和安全性の確保の観点から適切な役割分担を検討することが求められる。

(3) 大田区課題解決に向けた横展開への示唆

i. サービス横展開の可能性

本実証実験を踏まえ、ロボットデリバリーサービスを都市に実装するための課題解決の方策や新たな課題が整理された。

大田区の課題解決に向けては、例えば配送ロボットの導入により人手不足等の課題へ対応することが想定される。面的に広がる既存市街地でロボットを導入する場合には、エリア単位でのロボットの導入により配送ロボットで配送可能な商品等のサービス内容の拡充や配送範囲の拡張が可能となる。その際、市街地は複層の建物で構成されることが多いため、仕様が異なる多様なエレベータとロボットの連携が必要となるが、一つのロボット制御システムをエリア単位で導入することにより、ロボットとエレベータの連携を効率的に実現することが可能となる。そのため、ロボットデリバリーサービスの横展開に当たっては、エリア単位で導入計画を検討していくことが望ましい。

導入計画の検討にあたって、長期的な視点では都市・地域の更新・再開発等により新規開発（建設）されるビルや施設等へのロボットデリバリーサービスを横展開することが望ましい。現段階においてはロボットデリバリーサービスに求められる仕様や課題等の抽出フェーズにある。この状況下での当該システム等の本格開発については、本格開発後にロボットデリバリーサービスに求められる仕様が大きく変遷する可能性があり、結果的に多量の開発コストを費やすことが懸念される。

また、当該のサービス導入にあたっては、システム開発の過渡期であることから一定の開発及び導入コストが生じる。また、既存施設への導入にあたっては、施設側での導入に係る追加費用（予算）の確保が求められることが想定され、導入に係る一定の障壁が生じることが想定される。これらの障壁に対して、新規開発（建設）されるビルや施設等の基礎設備として導入することで、一定程度の障壁の低減化が期待される。

短・中期的には導入施設等に合わせ機能を分割して限定的に実装できるサービス開発と共に、区内の多様な施設への横展開を検討することが望ましい。複数の軽い実装例を経て得られたロボットデリバリーサービスに求められる仕様や課題等は成熟していることが想定される。これらの仕様や課題等をユースケースごとの整理等を実施し、低水準・廉価版から高水準・高価版等の導入施設等に合わせたサービス開発への需要応答により、区内の多様な施設への横展開の実現を目指す。

ii. 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り組み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り組みが推進された。
- ・ 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 5-1 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
複数台・複数種類ロボット同時管制	<ul style="list-style-type: none"> ・ 本実証は HiCity と限られたエリア内でのロボット走行であるが、大田区全域への展開により、配送ロボットにおいては買い物利便性の向上、警備ロボットにおいては防犯への寄与、清掃ロボットにおいては街の景観改善等、様々な観点で区民満足度の向上に資することが期待される。 ・ また、食品の配送だけでなく、業務に必要な備品等の配送への拡張や清掃業務、警備業務の代替などに機能が拡張されることで、病院、介護施設等の人手不足に直面しているエッセンシャルワーカーの業務効率化などに資する取り組みとなることが期待される。 	<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
サブギガ帯 IoT 無線技術を活用した通信環境改善	<ul style="list-style-type: none"> ・ サブギガ帯 IoT 無線技術を活用することにより、通信安定性の向上、冗長性の確保が実現され、ロボットの安定的な走行可能領域の拡大されることが明らかとなった。 ・ 大田区においては、現状無線通信環境が整っていない箇所が存在する施設やエリアにおいて当該技術が導入されることにより、上記エリアにおけるロボットによる業務効率化等の実現が期待される。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 付加価値額の増加 ・ 新サービス導入数 	<ul style="list-style-type: none"> ・ ロボット導入数 ・ ロボットによる業務代替数 ・ ロボットティクスサービス利用者満足度 ・ 業務効率化率
ロボット制御システムと複数エレベータ制御システムの連携	<ul style="list-style-type: none"> ・ ロボット制御システムと複数エレベータシステムを連携することで、効率的にロボットが導入可能になると共に、より広範囲にサービスを提供できるようになることが明らかとなった。 ・ 複数種類のエレベータで構成されることが想定される大規模病院、駅ビル等の複合施設や複数棟に分散して居る庁舎等の公共施設への横展開により、人手不足に直面している業種の業務効率化などに資する取り組みとなることが期待される。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 付加価値額の増加 ・ 新サービス導入数 	<ul style="list-style-type: none"> ・ ロボット導入数 ・ ロボットによる業務代替数 ・ ロボットティクスサービス利用者満足度 ・ 業務効率化率

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
複数台・複数種類ロボット同時管制	<ul style="list-style-type: none"> ・ ガラス素材、反射吸収素材などの外壁などの構造物がある地点、細い通路等においては、ロボットが停止状態となる可能性がある。
サブギガ帯IoT無線技術を活用した通信環境改善	<ul style="list-style-type: none"> ・ ロボットの走行を想定する場合、ロボット走行区域においては、自己位置推定に支障をきたすガラス素材、反射吸収素材などの外壁を採用しないよう留意する。 ・ 細い通路の場合、ロボットの自己位置推定の精度・ずれの影響が大きくなるため、幅の広い動線を設けることが望ましい。
ロボット制御システムと複数エレベータ制御システムの連携	<ul style="list-style-type: none"> ・ 建物の見通しが良くない場所は固定局からの電波が安定的に到達できないため、建物が多い区域へ導入するには中継器を多く置く設置することが必要。 ・ 固定局や中継器設置箇所を柔軟に設定できるよう、電源及び通信回線の確保が必要。
ロボット制御システムと複数エレベータ制御システムの連携	<ul style="list-style-type: none"> ・ オフィスなどのセキュリティエリアへの配送を実施する場合、一般エレベータは共用部分までしか到達できないため、セキュリティゲートを通過できる仕組みやバックヤードのエレベータを使用するなどの区分が必要。 ・ 混雑時間帯において、一般エレベータを使用すると人とロボットが同時にエレベータを使用することとなり、移動に不便が生じる可能性があることから、配送ロボットは一般エレベータとは別のエレベータを使用することが望ましい。 ・ 特にオフィスのようなセキュリティエリアがある施設や時間帯によって人の移動が集中する施設においては、配送ロボットは一般のエレベータとは別にバックヤードのエレベータを使用するなど、利用するエレベータを一般利用と区分することが望ましい。

以上

令和3年度 スマートシティ実装化支援事業
報告書

令和5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