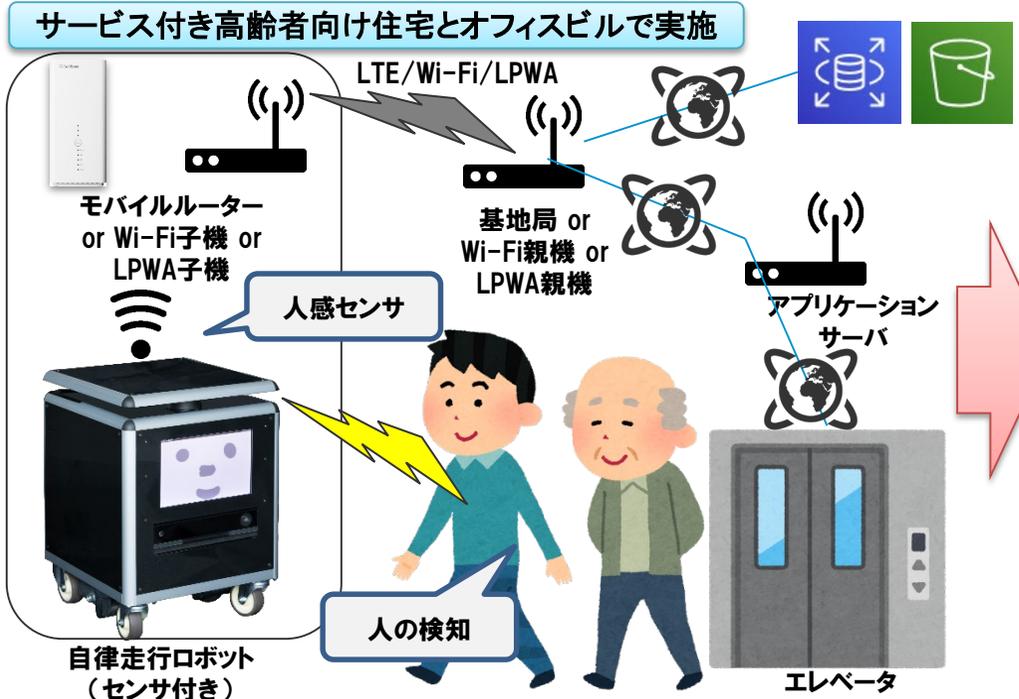


Wireless City Planning 株式会社

自律走行ロボットエレベータ連携実証事業

実施団体	Wireless City Planning株式会社、三菱電機株式会社、一般社団法人 竹芝エリアマネジメント
実施地域	東京都千代田区、神奈川県鎌倉市
事業概要	サービス付き高齢者向け住宅やオフィスビルにおいて、複数の通信規格に対応し、人感センサ等各種センサを搭載した屋内型自律走行ロボットがエレベータと連携して複数階を移動し、荷物の宅配、人の見守り等を代行することで、地域の労働生産性や生産力を向上させ、地域の活性化を図る。

実証内容



実証成果

電波伝搬に係る知見等

課題: カバレッジや電波干渉の影響による電波障害の発生

検証内容: 自律走行ロボット自身に複数の通信規格 (LTE, Wi-Fi, LPWA 等) のインターフェイスを備え以下の比較検証を実施

- カバレッジ
- 通信速度
- ロボット上で実現する各機能(ロボットの制御、監視、エレベータ等インフラとの通信、センサでの環境情報取得等)との適する組み合わせの検証

IoTサービスの効果(KPI)

- 屋内の電波不感・電波干渉等電波障害への対応
 指標: 実施施設における電波環境の計測値(カバレッジ、スループット)
 エレベータ内でRSSI(受信信号強度)の最低値-80dBm、通信障害の発生を確認し、対応
- ロボットの屋内自律走行技術の確立
 指標: 同一階内の移動の失敗回数及び失敗率: 同一階内では安定した動作を実現
 エレベータ移動の失敗回数及び失敗率: 86%(15/17)の成功率を達成
- ロボットサービスに対する施設管理者及び入居者の受け入れ
 指標: 施設利用者のサービスへの満足度
 宅配についておおむね好評、見守りについては厳しい意見も
 自律走行ロボットに対する心理的な受容性
 およそ好意的ながら、作業の邪魔になる局面もあり、課題が残った
- 自律走行ロボットの運用による業務の負担軽減
 配達タスクにおいて人の1/4程度の軽減効果を期待できると判明

Wireless City Planning 株式会社 自律走行ロボットエレベータ連携実証事業

地域名: 東京都千代田区
面積: 11.66km²
人口: 66,079人 (2020年2月1日)
地域特性: 都心でありオフィスビル多数



現地写真: 東急不動産ホームページより

警備業及び配送業の人手不足が深刻
(東京都の有効求人倍率より)

保安の職業	19.04倍
自動車運転の職業	4.14倍
全職業計	1.89倍

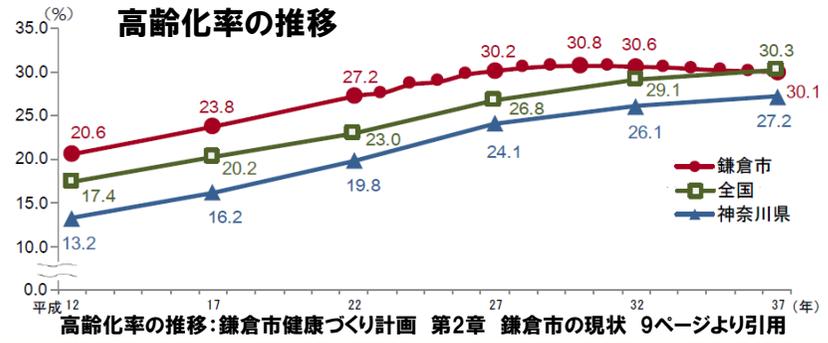
(東京都労働局 令和元年12月 求人求職バランスシートより)



地域名: 神奈川県鎌倉市
面積: 39.67km²
人口: 172,293人 (2020年1月1日)
地域特性: 歴史的遺産が多い古都



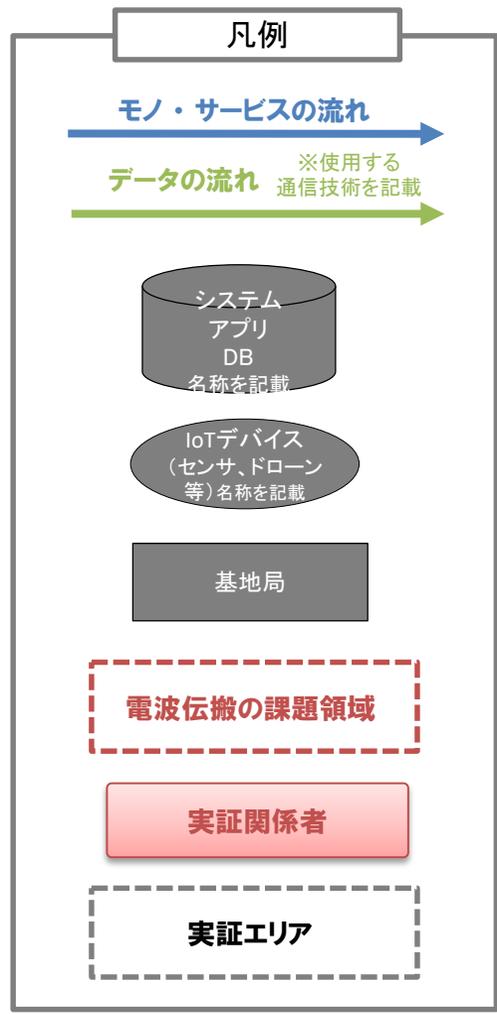
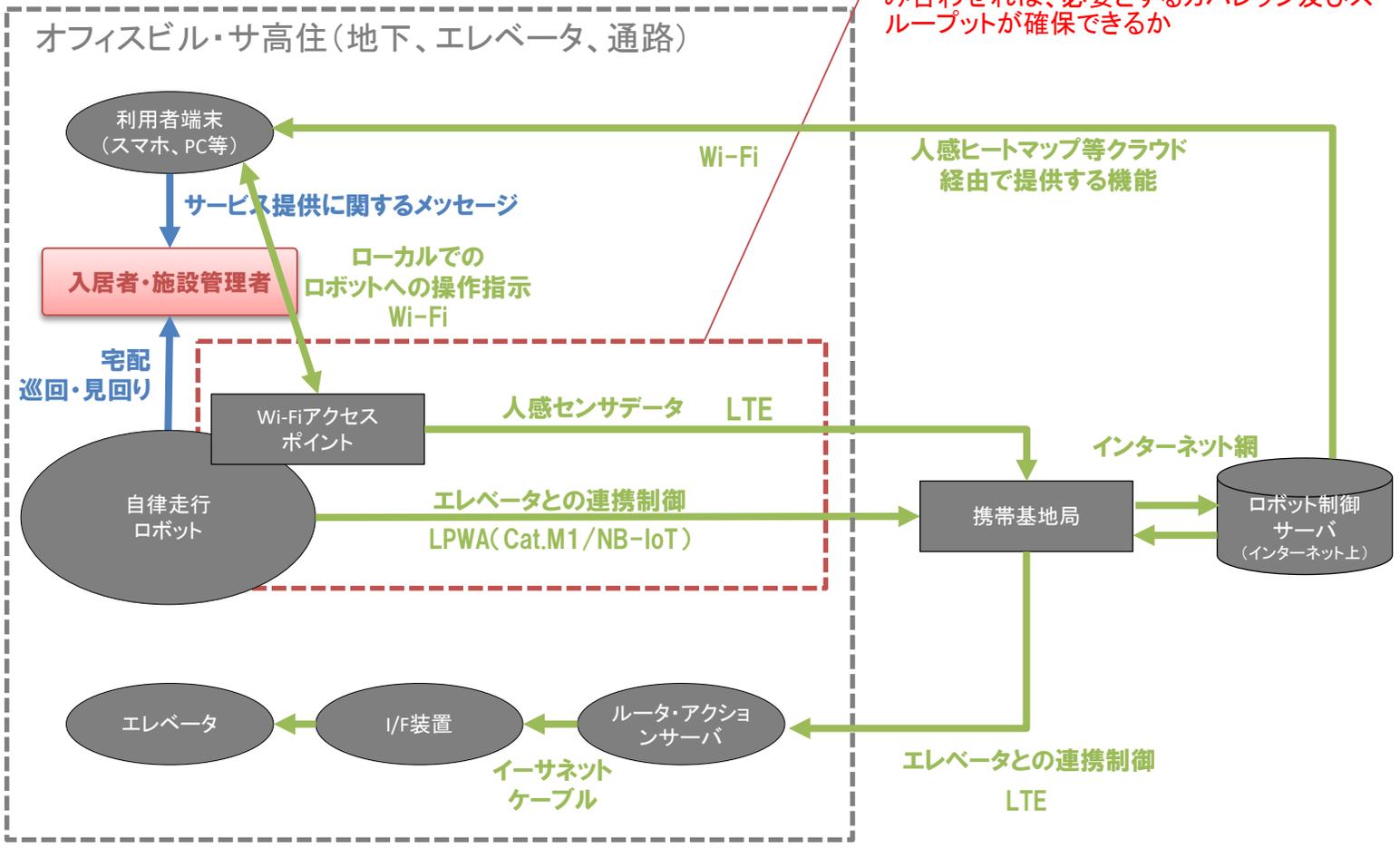
サービス付き高齢者向け住宅情報提供システム
サービス付き高齢者向け住宅の登録状況より



Wireless City Planning 株式会社

自律走行ロボットエレベータ連携実証事業

屋内の地下、エレベータ、通路において、どのように複数の電波の種類・通信技術を組み合わせれば、必要とするカバレッジ及びスループットが確保できるか



■ 活用するデータと状況

センシング対象	データの種類	データの収集手法	データの量	データの活用方法と効果
エレベータ状況、エレベータの呼び出し要求	エレベータを呼び出す階の情報、エレベータの状況、扉の開要求など	エレベータ制御装置からはLTE、ロボットからはLPWAを利用し、データをクラウド上で同期	1メッセージ数百バイト×数十回:1回の移動でトータル10kB程度	クラウド経由で自律走行ロボットと連携可能なIoTエレベータとして、実証の核として活用。自律走行ロボットの階間の移動が可能となり、提供可能なサービスが大きく広がる。
協力頂ける施設利用者	巡回時の人の位置	ロボット搭載の人感センサでの検知、LTE経由でクラウドに蓄積	検知1データあたり約150バイト	蓄積したヒートマップは利用者の行動予測、見守りサービス、立ち入り検知での保安サービスなどへの活用が考えられ、自律走行ロボットによる人の巡回を代替する効果が見込める。
実証施設の電波状況	電波状況の評価に一般に用いられるRSSI(受信信号強度) RSRP・RSRQ(基準信号受信強度・品質) SINR(雑音干渉比)等の指標	ロボット搭載のLPWA通信モジュールより手動操作で読み取り	約30バイト×測定地点数	電波干渉を未然に防ぐ基礎データとして、通信事業者としてエリア設計に活用が可能。電波検証に自律走行ロボットを活用することにより、計測の自動化・省力化も期待できる。
周囲環境・障害物	ロボットと周囲の壁・障害物との距離・形状	ロボット上のLiDAR(レーザーを用いた測距センサ)及び3Dカメラで検出	数百kB～数MB(マップの大きさによりデータ量が変わる。)	取得した地図、障害物などの情報は、自律走行ロボットの動作のために随時利用、またロボット上に蓄積したデータは操作用タブレットへの提示に利用され、物品の宅配や巡回といったアプリケーションの基盤として活用される。
ロボットへの操作指示	ユーザ指定の目的地・動作指示等	操作用タブレットより手入力、Wi-Fi経由でロボットに通信	数百バイト～数十kB(指示内容、指定した階数などでデータ量は異なる。)	ロボット上に蓄積され、周辺状況、地図情報及びエレベータ状況の情報と組み合わせることで、ロボットの動作に活用する。

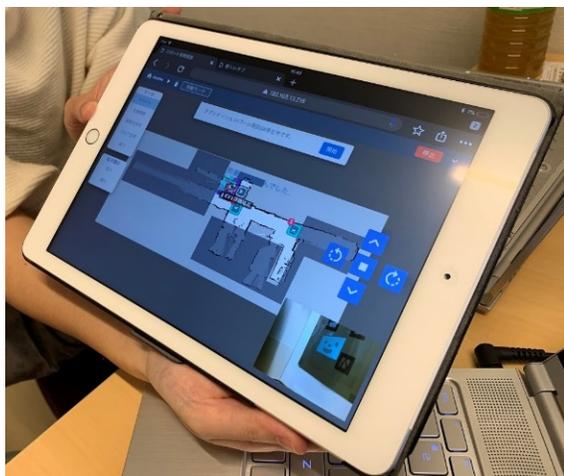
■ 実証地域の様子



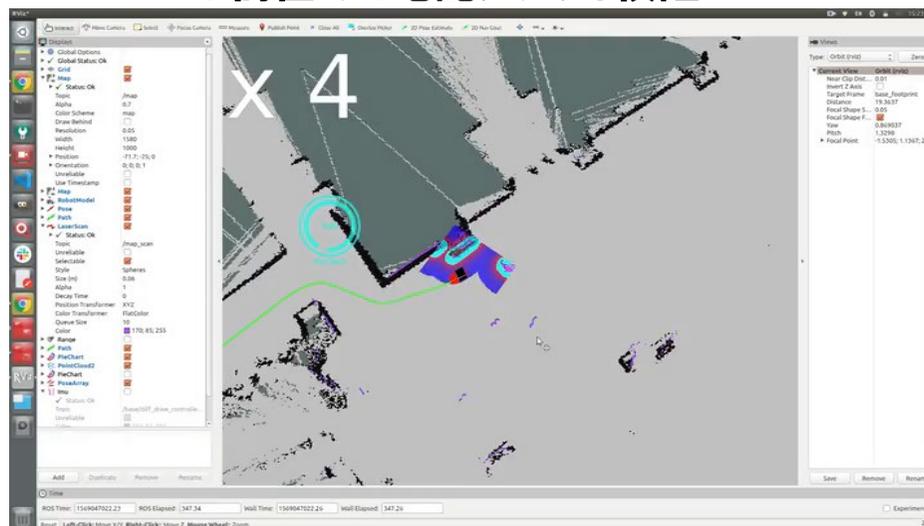
オフィスビルでの走行



サ高住での宅配シナリオ検証



タブレットから操作可能なインターフェイス開発



オフィスビルでの走行時のロボットセンサ情報・マップ切り替え機能(動画)

■ 実証事業の成果

■ ロボットの屋内自律走行技術の確立

- 同一階内の移動の失敗回数及び失敗率

夜間の人がないオフィスビル及びサービス付き高齢者向け住宅で人があまりいない状態においては、100%指定地点にたどり着いた。

- ロボットの待機地点に設置したタブレットから操作し部屋番号を指定すると(①)、エレベータ前まで移動し(②~④)、エレベータに乗降して(⑤~⑦)、お部屋の前まで運ぶ(⑧)。配達が終了したら利用者に配達完了ボタンを押してもらい、待機地点に戻る、との一連の動作を開発、実証した。



- エレベータ移動の失敗回数及び失敗率

エレベータの昇降を行い、待機地点からお届けして戻るまでの往復の成功率 **88%(15/17)**

■ ロボット運用の障害となる屋内の電波不感・電波干渉等電波障害への対応

- Wi-fi、LTE、LPWAによる複数の電波比較を行った結果、エレベータ制御にはLPWA(CAT-M1)を用いたが、通信途絶が起こったため実施施設における電波環境の計測を行ったところ、RSRP-110dBm、SINR -5dBの状況で通信途絶を起こすことが判明した。そのため、再送処理の機能を追加することにより、実証終了時には通信成功率が100%となった。
- エレベータとの連携では約10kBのデータ送受信を行い、これは最もスループットが低速のLPWA(300kbps)でも十分な速度だった。

■ 自律走行ロボットの運用による業務の負担軽減効果の検証

- ロボットと人が行った場合の配達完了にかかる平均時間

	オフィスビル	サ高住
人の配達平均時間	2分56秒	1分43秒
ロボットの平均配達時間	10分27秒	7分25秒

- 人の3~4倍の時間が掛かっており、ロボット1台で1人が行う配送業務の1/4程度の代替効果が見込めると判明した。

Wireless City Planning 株式会社

自律走行ロボットエレベータ連携実証事業

■ 実証事業の全体構造(ロジックツリー)

事業の目指す姿	「目指す姿」を実現するための課題	課題ごとの解決策	解決策の評価							
			評価方法	モニタリングする指標 (KPI)	実証前の値 (測定年(月日))	現状の値 (測定年(月日))	実証終了後の値 (測定年(月日))			
オフィスビル及びサ高住におけるロボットによる省人化 (宅配、巡回及び見回りにて実証)	屋内の電波不感・電波干渉等電波障害への対応	複数の電波の種類・通信技術を組み合わせた通信安定性の確保	実証施設における電波環境の計測	カバレッジ	データ無し	RSSI(受信信号強度)の最低値-80dBmをサ高住エレベータ内にて観測(2019年10月)	RSSI(受信信号強度)の最低値-80dBmをサ高住エレベータ内にて観測(2019年10月)			
				スループット	データ無し	試行3回中の1回でLPWA通信のエラーを観測した。(2019年10月)	LPWA通信での障害の発生に再送処理の追加にて対応(2020年1月)			
	ロボットの屋内自律走行技術の確立	屋内走行環境に関する事前の情報取得	生成したマップ情報の精度	自己位置推定結果と実位置との比較	同一階内の移動の失敗回数・率	データ無し	現時点で8回中6回の成功(2019年10月)	夜間のオフィスビル・人通りの少ないサ高住においては、同一階内での走行で成功率100%を達成(2020年1月)		
					取得済走行環境情報とのリアルタイム・マッチング	エレベータ制御系との通信、マップ切り替え機能の検証	同一階内の移動の失敗回数・率	データ無し	障害物の誤検知で停止の事例が2件発生(2019年9月)	夜間のオフィスビル・人通りの少ないサ高住においては、同一階内での走行で成功率100%を達成(2020年1月)
					エレベータ等インフラとの連携	エレベータ移動の失敗回数・率	データ無し	不具合が3試行中1回で発生、再送処理追加後は再発せず(2019年10月)	エレベータでの再送処理追加後は88%の成功率(15/17)を達成(2020年1月)	
	ロボットサービスに対する施設管理者及び入居者の受け入れ	導入目的やサービス内容に関する施設管理者及び入居者への説明	実証参加者に対する聞き取り調査	実証参加者に対する聞き取り調査	サービスに対する満足度	データ無し	サービス構築中(2019年10月)	宅配サービスはインターフェイスなど好意的な評価の一方スピードに不満、見守りサービスについては現行実装への厳しい意見(2020年1月)		
					サービス利用時の施設管理者・関連事業者・入居者との連携	ロボットに対する心理的な受容性	データ無し	好意的な反応(2019年10月)	コンパクトさ、静粛性などおおよそ好意的な反応だったが、人の作業の邪魔となる場合もあった(2020年1月)	
					ロボットの外観やインターフェース機能面の工夫	実証成果を踏まえ、前提条件を設定した上での試算	導入・運用コスト	データ無し	現在評価中(2019年10月)	初期費用ロボットエレベータ改修 計数百万円、運用は通信・保守にて月額1万円程度を想定
	施設管理者が妥当と考えるロボット導入・運用コスト及び価値の提供	該当業務スタッフの業務負荷の軽減	データ無し	現在検討・評価中(2019年10月)	配達タスクにおいては人の4倍程度の時間を要することから、1/4人/台程度の軽減効果を期待					
	施設管理者等とのサービスレベルアグリーメントの締結	実証成果を踏まえた導入・運用コストの試算	実証成果を踏まえ、前提条件を設定した上での試算	実証成果を踏まえ、前提条件を設定した上での試算						

Wireless City Planning株式会社 自律走行ロボットエレベータ連携実証事業

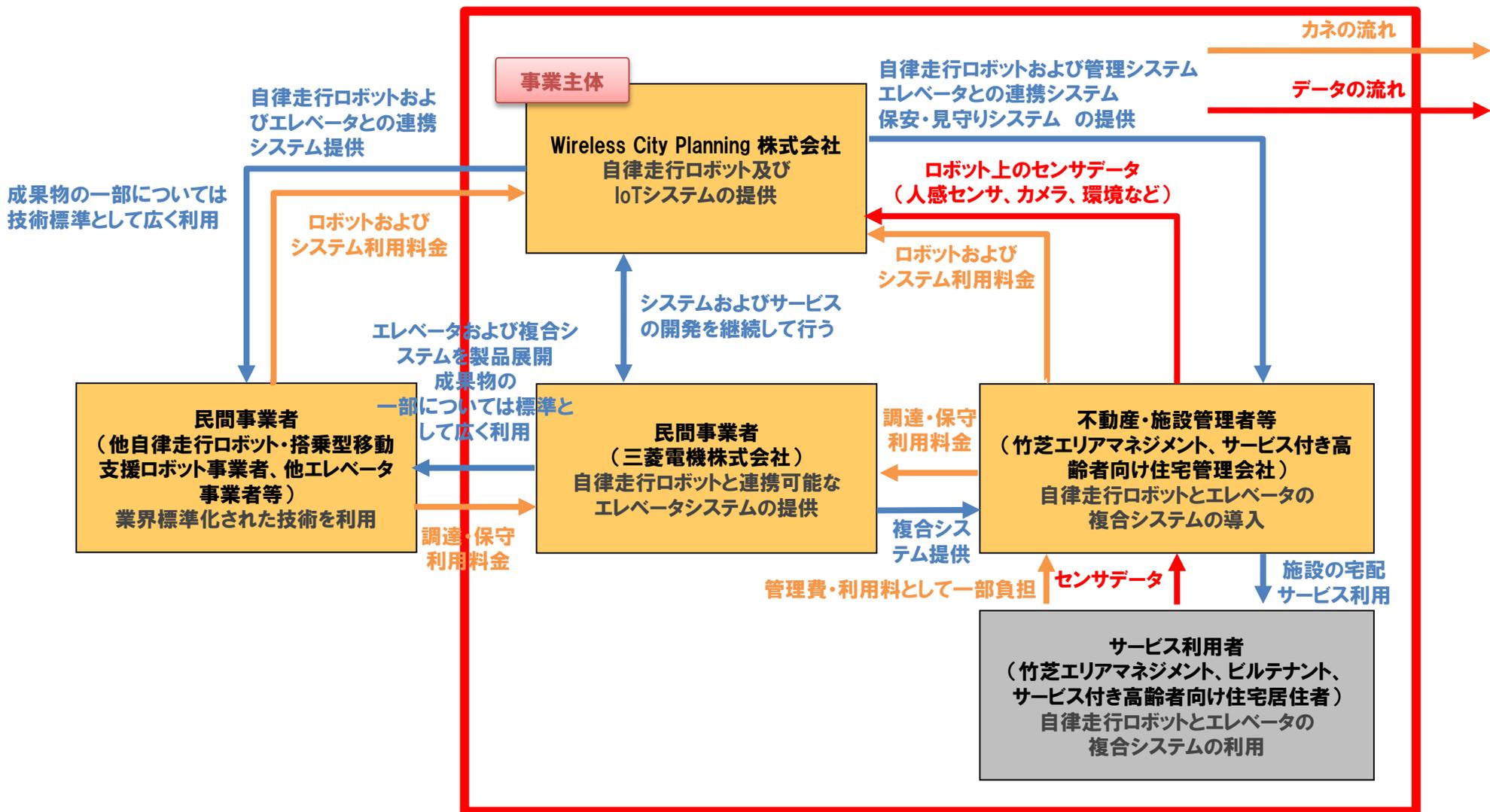
実装モデル

赤枠内のスキームにて実証後、同技術の普及を目指す

モノ・サービスの流れ

カネの流れ

データの流れ



■ 今後の取組

■ 収益モデル

導入施設の付加価値サービスとして、初期コストは施設運営・管理者が負担、施設運営・管理者は運用コストを人件費の削減と相殺しつつ、不足分は利用するテナント、入居者などが支払う管理費・利用料などから回収するモデルを想定

- ①イニシャルコスト: ロボット製作費: 約200万円/台、エレベータ改修工事費: 約数百万円/基(※機種等により変動あり)、Wi-Fi等通信環境構築費: 数万円程度 **総額数百万円**
- ②ランニングコスト: 通信費(LTE及びLPWA利用料) + クラウドサービス利用料 **総額6,300円/月・台～**、ロボットの保守・点検費: 5万円/年・台～(短寿命部品の交換を想定) **総額約10,500円/月・台～**
- ③サービス利用料 0円(人件費の削減で相殺の場合)～3,000円/月・入居者(ロボット1台で30入居者をカバーし、ランニングコスト+60ヶ月でイニシャル回収の場合)
- ④資金の流れ等 入居者・利用者→施設運営・管理者(+人件費削減メリット)→ロボット・管理システム提供事業者

■ 展開シナリオ

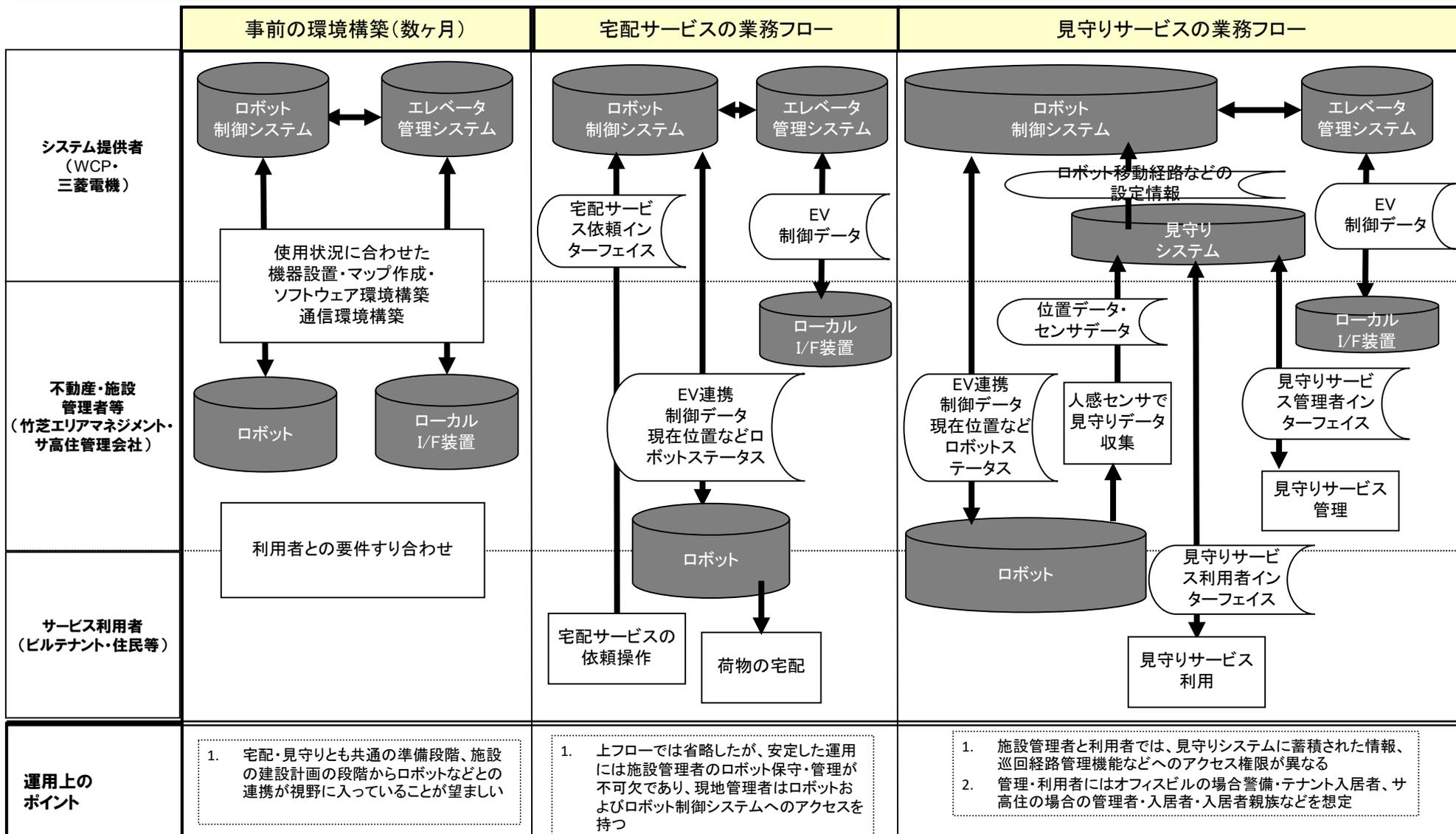
- ・展開主体及び体制: Wireless City Planning及びグループ企業であるソフトバンクがロボット・管理システムを提供、エレベータ事業者・不動産事業者等と連携して展開する。
- ・展開方法: ロボットとの連携に対応したエレベータを導入する、ビル・施設等の主に新規開発案件に向けて展開する。
- ・展開先: 不動産、商業、住宅等の新規開発施設及びその運営・管理事業者
- ・スケジュール: 2020年度内に試験的な導入を開始、エレベータ事業者の技術開発と歩調を合わせて検証を重ね、随時展開していく。
- ・展開における留意点: 既存のエレベータを改修して連携機能を追加する場合には、エレベータへの機器追加作業を始め、建物内の通信配線の敷設、ロボットとの連携用のサーバ設置や外部との通信回線との接続等様々な準備が必要となる。またエレベータの改修は行えたとしても、防火扉やセキュリティゲート、段差など現状ロボットでは通過が困難な構造上の問題は解決が難しい。従って、施設の計画段階から、ロボットの導入を前提としてエレベータの設計、導線の確保、フロアの電波環境確保、コストの回収方法等の検討が必要と思われる。

Wireless City Planning株式会社

自律走行ロボットエレベータ連携実証事業

業務フローモデル

- 事前の環境構築が重要であり、そこで十分に検討が行われれば各業務のフロー自体は比較的簡潔



ガイドライン作成に向けた整理

①実際の電波伝搬特性と各電波の課題

エレベータ内を含む建物複数階を移動する自律走行ロボットでの利用について、通常のWi-Fiの利用は移動範囲等の制約が生じるものと思われる。そのため、セルラー系のLTE、LPWA(Cat.M1)といった技術・電波の利用が適すと考えるが、電波測定器を使用した計測で電界強度に余裕があっても、エレベータ内では扉の開閉、階の移動等の環境の変化が大きく、干渉が発生することも考えられる。故に、ロボットのソフトウェア側による再送処理や安全な停止・退避など電波を使用しない方法による課題解決の検討も必要と考えている。

②機器の効率的配置、設定、セキュリティ上の知見

実証環境の様に、利用者向けのWi-Fiサービスを提供しているオフィスや住宅が多いため、セキュリティ上の問題からロボットの制御に係る通信及び利用者が使うWi-Fiの通信は分離する方が望ましいと感じた。

自律走行ロボットへ設置するセンサについては、ロボットが任意の場所に移動可能というメリットがあるため、温度や気圧等用途によりセンサーを変更することや、人手では困難な計測地における反復的な電波伝搬特性の計測を行う等、プラットフォームとしての利用で他サービスへの展開も可能なものとする。

③コスト(イニシャルコスト、ランニングコスト)

イニシャルコスト: ロボット製作費: 約200万円/台、エレベータ改修工事費: 約数百万円/基(※機種等により変動あり)

Wi-Fi等通信環境構築費: 数万円程度 総額約数百万円

ランニングコスト: 通信費: LTE(月3,000円程度)、LPWA(月300円～)、クラウドサービス利用料: 月3,000円程度 通信費総額6,300円/月

ロボットの保守・点検費: 5万円/年・台～(短寿命部品の交換を想定) 総額約10,500円/月

④①～③を踏まえた上で考えられる適切なIoT利用環境整備のあり方

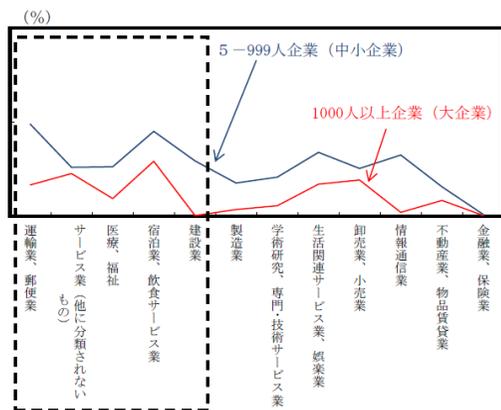
オフィスや共同住宅など人と同じ空間で稼働する自律走行ロボットについては、環境毎の電波干渉を避けることは難しいことから、他システムとの連携・管理・制御のためにWi-Fi、LTE及びLPWA等複数の電波や通信方式に対応可能なものであることと共に、災害時など通信が途絶することも想定し、通信に頼らず安全な停止・退避などを行う機能も持つべきと考えられる。

一方で、ヒアリングを通じて巡回や点検など、即時性や高精細画像が必要な自律走行ロボットのアプリケーションへの要望が聞かれ、これに応えるには5G通信機能の搭載も将来的には検討した方が良いと考える。

日本の人手不足問題

- ✓ 我が国の人手不足問題は多くの産業に広がっており、その中でも、運輸・郵便業、医療・福祉、宿泊・飲食サービス業、建設業において深刻であり、特に中小企業において人手不足が顕著である。

産業別・企業規模別欠員率(2016年)



出所)厚生労働省職業安定局資料(平成30年6月)

サービス付き高齢者向け住宅

- ✓ 平成23年10月創設の「サービス付き高齢者向け住宅の登録制度」により短期間で一定程度普及し、令和元年9月末時点で、7,425棟で247,644戸数が登録されている。
- ✓ バリアフリー構造等のハード面の基準を満たし、安否確認・生活相談サービスの提供が必須とされている(このほか、食事の提供、清掃・洗濯等の家事援助がなされるところもある)。

自動走行ロボットによる物流サービス

- ✓ ECの発達による宅配便や再配達の輸送需要の急激な増加、運輸業界における人手不足、自動運転技術の発展などを背景に、国内外において多くの自動走行ロボットの実証実験や実導入が盛んに行われつつある(下表に例示)。

企業・製品名称	実施内容
株式会社ZMP・宅配ロボット「CarriRo® Deli(キャリロデリ)」	<ul style="list-style-type: none"> • 2019年1月、日本郵便と協業し、福島県双葉郡浪江町にて「配送ロボットの物流分野への活用実現に向けた実証実験」を実施。 • カメラやレーザセンサで周囲環境を認識しながら最大時速6kmで自動走行、積載量は最大50kg。
米国Marble Robot社	<ul style="list-style-type: none"> • 2019年5月、三菱地所は、丸の内オフィス街にてマーブル社のロボットを用いた実証実験を実施。 • LiDAR(Light Detection and Ranging)と複数カメラで外部環境のマッピングを行い、屋内外双方での自律走行を実現。
米国Saviok社・デリバリーサービスロボット「Relay」	<ul style="list-style-type: none"> • 2018年9月、渋谷ストリーム エクセルホテル東急は、Relayの導入を発表し、現在、実導入されている。 • 各種センサを用いて、フロントから宿泊客の部屋まで求められたアメニティや貸出備品を届ける。障害物を察知し、人との衝突も回避、自らエレベータの乗降もこなす。

出所)インターネット公開資料より作成

現状の課題

- ✓ 上記以外にも自動走行ロボットは、英国、ドイツ、中国等で実証実験や実導入が始まりつつあり、海外メーカーとの競争も激しくなっている。本事業では、自律走行ロボットと通信を組み合わせ様々なサービスのプラットフォームとする際の、屋内電波障害への対応、オープンな技術ベースでのエレベータとのスムーズな連携、オフィスビル・サ高住におけるサービスモデルの確立が課題である。

■ 実証事業の進捗概要

実証内容

①実証場所におけるロボット実機での事前検証

現地課題の洗い出し
実機による走行検証
フィードバック

②自律走行ロボットのエレベータ連携に関する実証

シミュレーションでのエレベータ連携開発・検証
複数階移動の開発・実証
エレベータ改修工事

③自律走行ロボットの实証場所におけるニーズの調査

オフィスビルの管理者及びサービス付き高齢者住宅(以下サ高住)の従業員及び施設利用者にヒアリングを実施

実施状況

①実証場所におけるロボット実機での事前検証

オフィスビル及びサ高住にて実機での走行試験を行い課題の洗い出しを行った。

LTE及びLPWA電波状況の計測手法の検討、自動ドアの通り抜け、ロボットによるサ高住及びオフィスビルの地図の作成、他階へ移動した際の地図の切り替え、全面ガラス張りの壁の障害物検知等の検証を行った。その結果、複数センサの利用によるガラスの検出、複数階にまたがるロボット移動ルート生成、地図管理インターフェイス等の開発成果が得られる一方、頻度は低いながら障害物の誤検知、ユーザー側からの操作インターフェイスの開発が必要といった課題が残った。

②自律走行ロボットのエレベータ連携に関する実証

エレベータ実機の動作以外のシステム全体の連携を確認した。

エレベータ内外の無線環境を測定し、エレベータ内で通信途絶の影響があったが、ロボットに通信の再送機能を追加することで、課題を解決出来るようになった。

サ高住においてエレベータ操作を人が行う形で1階から2階、3階への自律移動を実施、エレベータ内の通信途絶の影響で途中で動作が止まる等の現場でしか分かりえない課題も発見した。(2019年10月23日～25日)

エレベータ実機の改修について発注手続きを行った。

③自律走行ロボットの实証場所におけるニーズの調査

オフィスビルの管理者及びサ高住の従業員及び施設利用者にロボットのニーズをヒアリングした。

ヒアリング:オフィスビル(9月13日(金))、サ高住(10月16日(水))実施

オフィスビル:郵便物の配達、夜の巡回や点検

サ高住:買い物への付き添い、荷物の運搬(買い物の商品、洗濯物、引っ越しの荷物)

■ 実証の気付きと今後の予定

①複数階を移動する自律走行ロボットに適した通信方式の知見

(気付き)

本実証では建物内で階を移動する自律走行ロボットを用いるため、Wi-Fiについては利用可能な範囲が限られると予想していたが、エレベータ内・またWi-Fiアクセスポイントから複数階を挟んだ状況における電波損失は想定通り大きいものであり、通信が困難となることからセルラー系の通信方式の優位性が示された。

(今後の予定)

LTE及びLPWA(Cat.M1)を用いた自律走行ロボットとエレベータとの連携、そしてサービス提供について実証を進め、サービスと通信方式の適した組み合わせについて知見を得ていきたい。

②実環境ならではの電波干渉事例の発見

(気付き)

扉を閉じたエレベータ内での電波干渉は当初より懸念しており、上の通りWi-Fiは利用困難と判明したが、LPWA(Cat.M1)による検証中、電波測定器の計測上によれば通信に問題ないはずの電波状況でありながら、ロボットが実際にエレベータ内で扉の閉じた状況で通信に失敗する事象がみられた。短時間による電界強度の大きな変化と通信のタイミングが重なったなど原因はいくつか考えられるが、実サービスとして展開する際にも発生が想定される干渉事例を先んじて検証できた。

(今後の予定)

再送処理の追加で今回の実証環境においては対処することができたが、災害による基地局の障害の発生も想定可能なため、自動的にドアの開いた階で降りる、待機階・位置に戻るなど、自律走行ロボットの動作との組み合わせによる対処を実サービスに向けて検討していきたい。

③自律走行ロボットの実サービス投入に向けた様々なご意見

(気付き)

近年、家庭にも掃除機ロボットが普及し、公共施設などにおいては警備ロボットも見られるが、オフィスや共同住宅などで人と同じ空間で活躍するような、配達・配膳、案内・告知、移動支援などを行うロボットの普及にはまだ伸びしろがある。今回の実証でサ高住・オフィスの方々より有益なフィードバックを頂くことができた。

(今後の予定)

自律走行ロボットは自身がセンサ・通信の塊であるが、温度、湿度、気圧、騒音、紫外線及び照度などのセンサを追加することによる高度な環境センシング、また画像認識・AI技術と組み合わせたサービス、さらにはそれらをインフラ・地域と連携したスマートビル・スマートコミュニティなどといった高度なサービスのプラットフォームとなる可能性があり、関係する企業等と協力の上、価値のあるサービスを提供していきたい。