

最終報告書（詳細版）

複数のモビリティの協調運行に関する 実証調査研究

2024年3月

章		節	項	
1.	分散協調の概要	1.1	分散協調を検討する背景・目的	4
		1.2	検討全体像とスコープ	10
2.	本調査のサマリ	2.1	本調査の概要	15
		2.2	分散協調の主体	20
		2.3	本調査の成果とサマリ	26
3.	実機検証	3.1	実証ユースケース	37
		3.2	実証ユースケース×実証検討項目マッピング	44
		3.3	実証環境の全体像	50
		3.4	ユースケースA. 警備・清掃	54
		3.5	ユースケースB. 飲食運搬	73
		3.6	ユースケースC. 手荷物搬送／D. 施設内物流	93
		3.7	将来サービスユースケース	126
4.	検証結果詳細	4.1	分散協調制御でのアーキテクチャ仮説	140
		4.2	運行管理に必要となる共通データ	146
		4.3	複数モビリティの運行管理・制御	176
		4.4	インフラ基盤（設備・通信・充電ほか）	197
		4.5	分散協調におけるサービス連携	234
5.	経済性・責任の分析	5.1	サービスの経済性分析	312
		5.2	ロボット運行における責任分界	348
6.	終わりに	6.1	今後の社会実装に向けた検討・対応事項	398

1. 分散協調の概要

1.1 分散協調を検討する背景・目的

1.2 検討全体像とスコープ

1. 分散協調の概要

1.1 分散協調を検討する背景・目的

1.2 検討全体像とスコープ

本調査の背景・目的

複数モビリティが連携しながら同じ空間で安全に運行ができ、またサービスを組み合わせることで需要の集約が可能な「分散協調」の実現に向けて、そのアーキテクチャと実現のロードマップ案を検討する

背景

労働力不足やインフラ老朽化、人口減少・過疎化、物流の需要過多、移動の多様化の社会課題を理由にモビリティの活用が求められてきている

工場や倉庫等の民間の一部エリアではモビリティの社会実装が進んでいる。一方で公道等でのオープンな場での運行やモビリティ同士の連携は実装が進んでいない。また日常でのモビリティサービスはほとんど提供されておらず、モビリティの活用機会は限定的な状況と言える

活用が進まない課題としては、以下の課題が想定される

- 複数モビリティの協調制御の技術やインフラ基盤がない
- モビリティに関する制度／ルールの制定が進まず、事故や過失時の責任を負いきれない
- 個社での集約管理的なロボット運行では、投資に対するビジネスの収益性が見合わない

目的

モビリティ運行による責任の集中や経済性といった課題に対して、複数モビリティが同じ空間において互いに連携しながら安全に運行され、かつサービスを組み合わせることで需要を集約することができる「分散協調」の仕組みが有効と考えられる

「分散協調」の仕組みの実現には、協調制御に関する技術／基盤のみでなく、モビリティ運行のエコシステムにおける制度／ルールや事業者の収益性といった包括的な検証が求められる

本調査では、共有された情報に基づく複数ベンダーロボットの自律的な運行に必要な分散協調におけるアーキテクチャ、また分散協調実現までのロードマップ案を検討する。主要な論点として共有すべき空間や設備の情報とその管理方法の実証を行う。併せて分散協調における経済性や責任分界の検討を行う

モビリティの運行における分散協調のメリット

分散協調の実現によって汎用性・拡張性の獲得、責任集中の回避、共助による経済性の向上といったメリットを享受することができる

分散協調のメリット

汎用性・拡張性

最小限の共助機能を有する共通基盤を、多様なサービスの提供者が一定の責任のもと活用することにより、共通基盤・インフラ提供者／サービスの提供者双方の経済性を確保しながら、安全に対する責任や拡張性といった集中管理における課題への対処が可能となる

多様なモビリティが連携可能な汎用性の高い共通技術・インフラ基盤を活用することにより、多様なサービス・モビリティの乗り入れが容易

責任分散

分散協調のもと、サービスの提供者（モビリティ運行者）が一定の責任を担うことで共通基盤・インフラ提供者への責任集中を防ぐことが可能

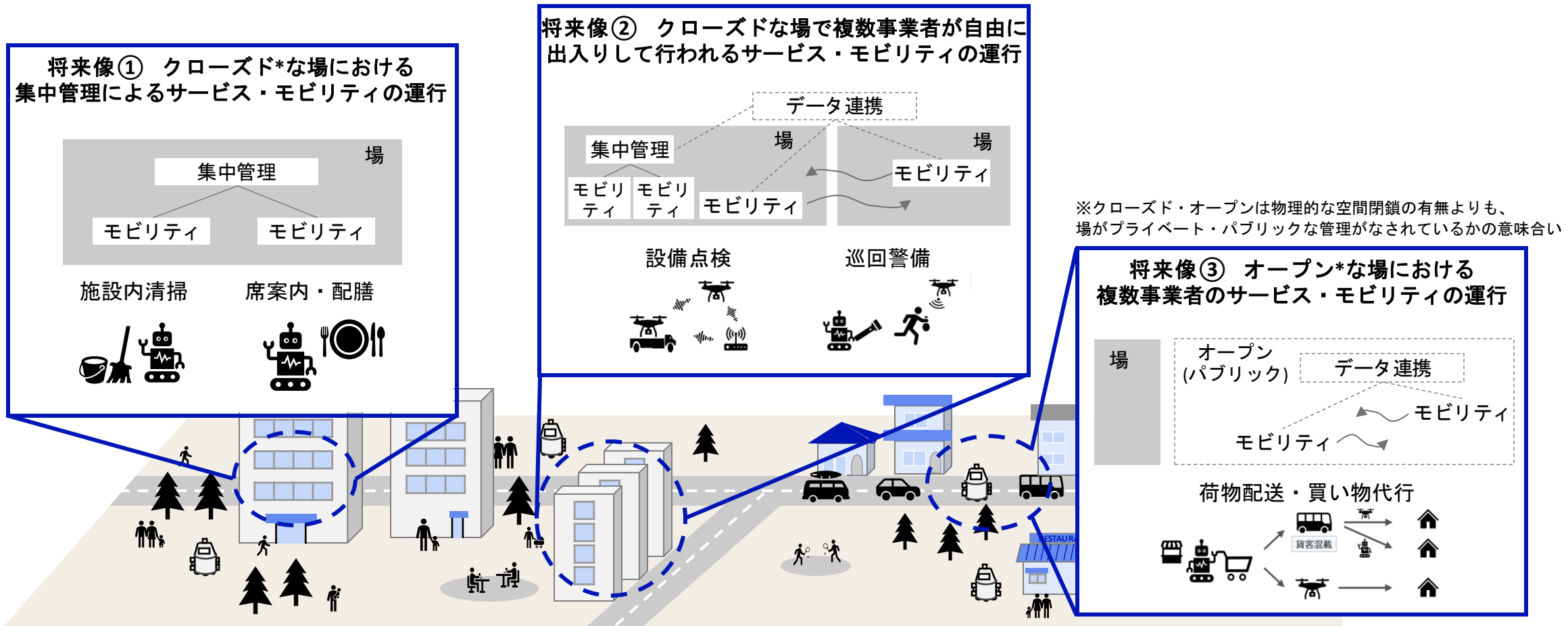
経済性

分散協調により、共通基盤・インフラへの機能依存度を低減することで、共助を最小化し、共通基盤提供者の投資を最小限に抑えることが可能

上記のメリットがある一方で、分散協調の仕組みにおいては、a) アーキテクチャの複雑性、b) 多様なI/Fの必要性、c) 集中管理としない認証の実現といった難しさがあると想定され、それら課題の解決に向けた検討が必要と考えられる

分散協調で実現するモビリティ活用の普及イメージ

分散協調の実現により①クローズドな場での活用だけでなく、複数事業者による②クローズドな場への自由な出入りや③オープンな場における運行が可能となり、日常的なモビリティ活用へと繋がる

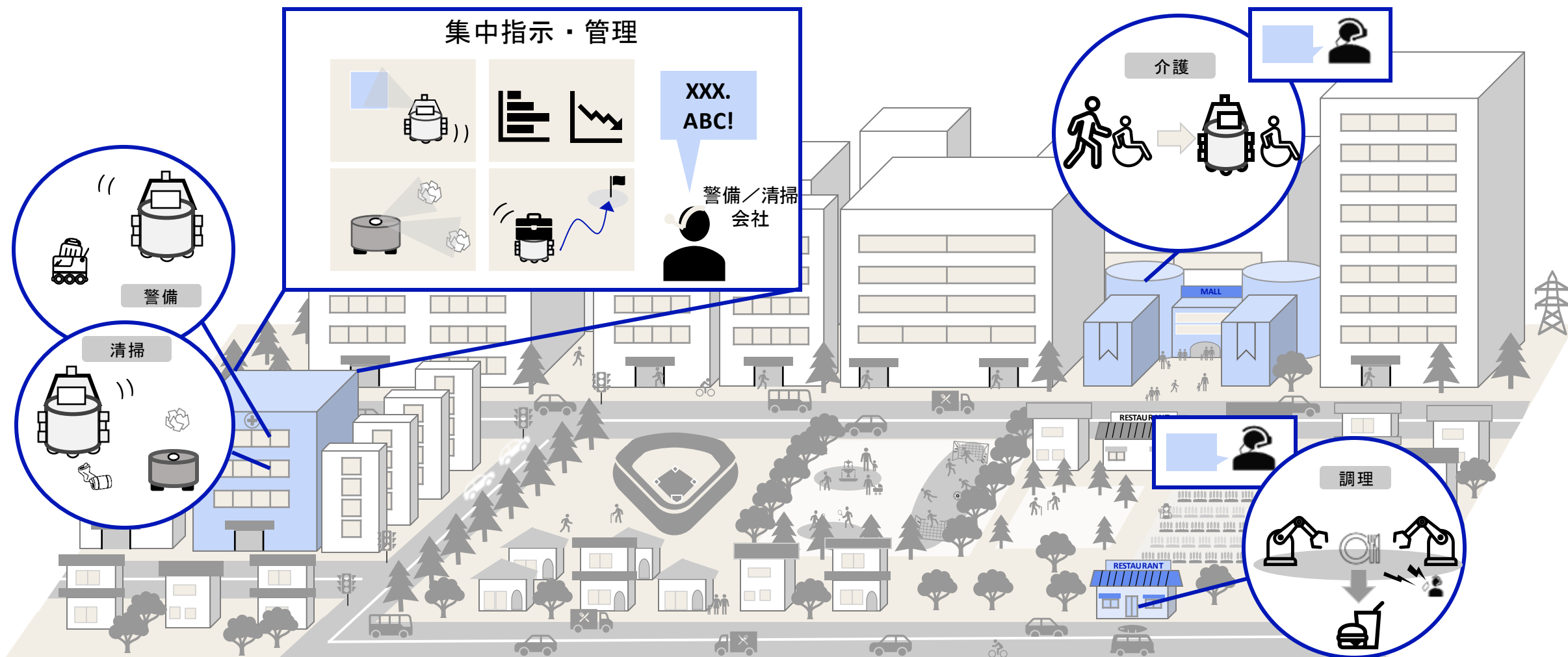


「自律移動ロボットアーキテクチャ設計報告書」、経済産業省/Digital Architecture Design Center

https://www.ipa.go.jp/digital/architecture/Individual-link/ps6vr7000000q38k-att/pj_report_autonomousmobilerobot_doc_detail_202208_1.pdf (2024年1月10日アクセス)

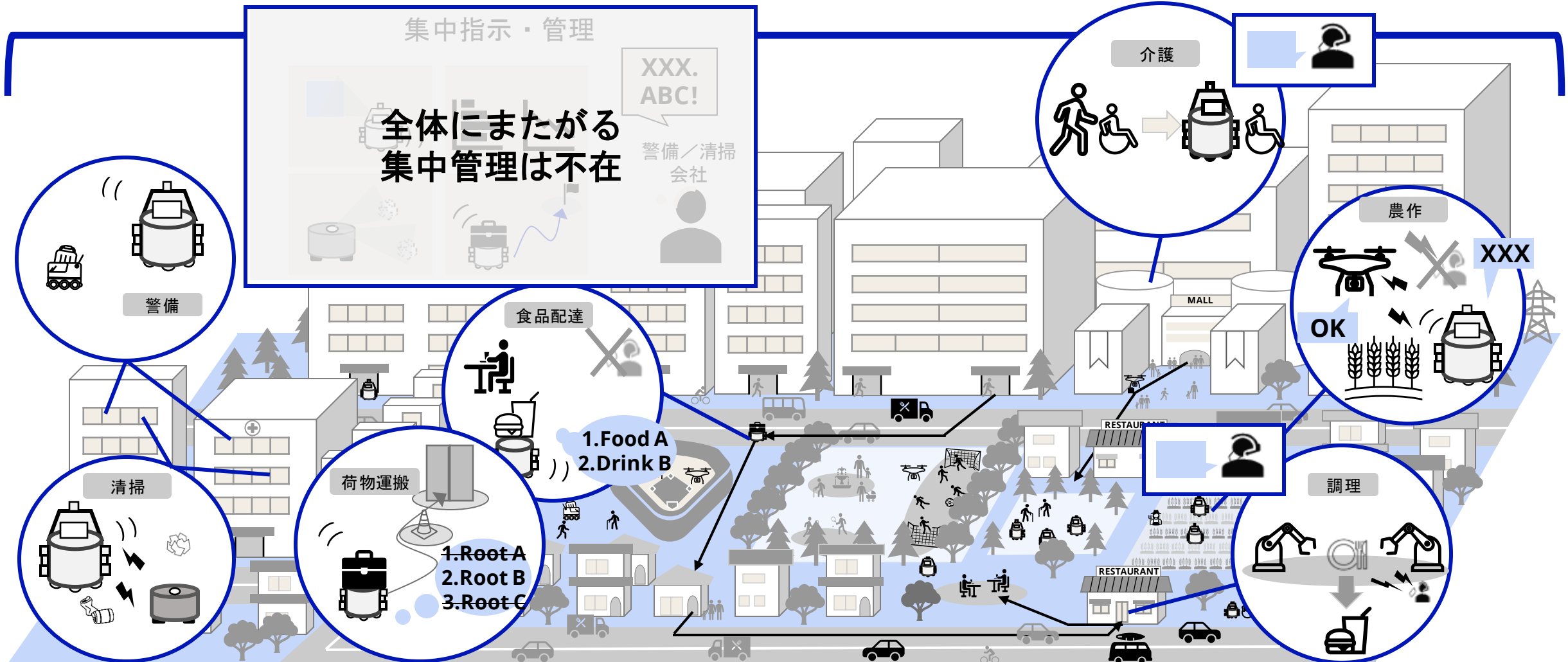
(参考) 導入期におけるモビリティサービスの社会実装イメージ

モビリティサービスの社会実装は、運行範囲と機体が限定されたクローズドな場において、集中的にタスクや機体の運行を管理する方式で当初は拡大していくと考える



(参考) 分散協調型のモビリティサービスの社会実装イメージ

モビリティサービスが成熟するにつれて、クローズドな場に限らず、公道等のオープンな場でも複数のモビリティ群が協調して集中管理者不在のサービスが提供されるようになると思う



1. 分散協調の概要

1.1 分散協調を検討する背景・目的

1.2 検討全体像とスコープ

分散協調検討の枠組み

分散協調の社会実装に向けて、分散協調を構成するモビリティやサービスといった検証の観点をもとに、場やサービスの広がりといった運行シナリオを広げていながら検証を進めることが必要となる

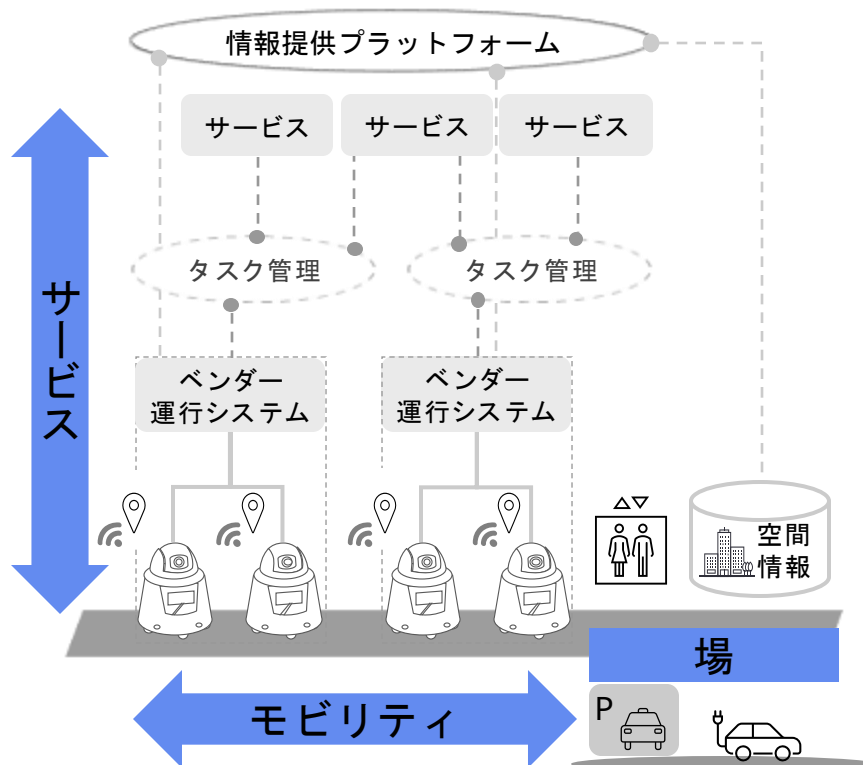
前提 分散協調運行として、建物内のみでなく屋外や複数の場をまたぐこと、特定ベンダーでなく複数ベンダーのモビリティが協調して運行すること、各モビリティが自律的にルールを守り運行することを検討の枠組みの前提とする

分散協調の検証観点

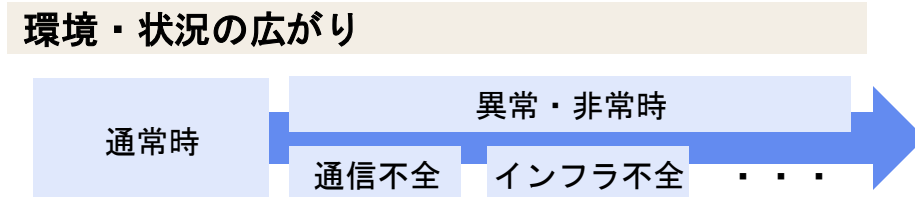
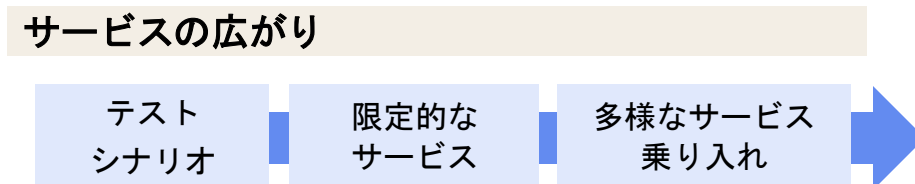
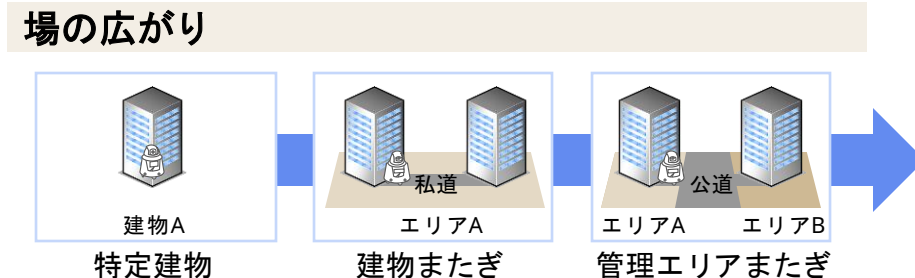
サービス
 複数サービス提供者の依頼に基づき、マルチベンダーロボットを利用したサービス提供が依頼から運行まで完結できる

モビリティ
 マルチベンダーのロボットが、空間情報や運行情報など共有情報を活用し、安全かつ効率的に運行できる

場
 分散協調運行に必要な場やインフラ、情報を提供する



運行シナリオの広がり



本調査における実証スコープ

本調査は、検討の枠組み中でも共有された情報に基づく複数ベンダーロボットの自律的な運行を実証の目的と定め、モビリティ観点での環境情報と運行情報の共有を通じた協調運行を優先的に検証する

スコープ設定の考え方 共有された情報に基づく複数ベンダーロボットの自律的な運行を実証の目的とし、モビリティ観点での環境情報や運行情報の共有、設備利用などの検証を特定の間（HICity）での実証を通じて検証することとした

分散協調の検証観点と主な論点

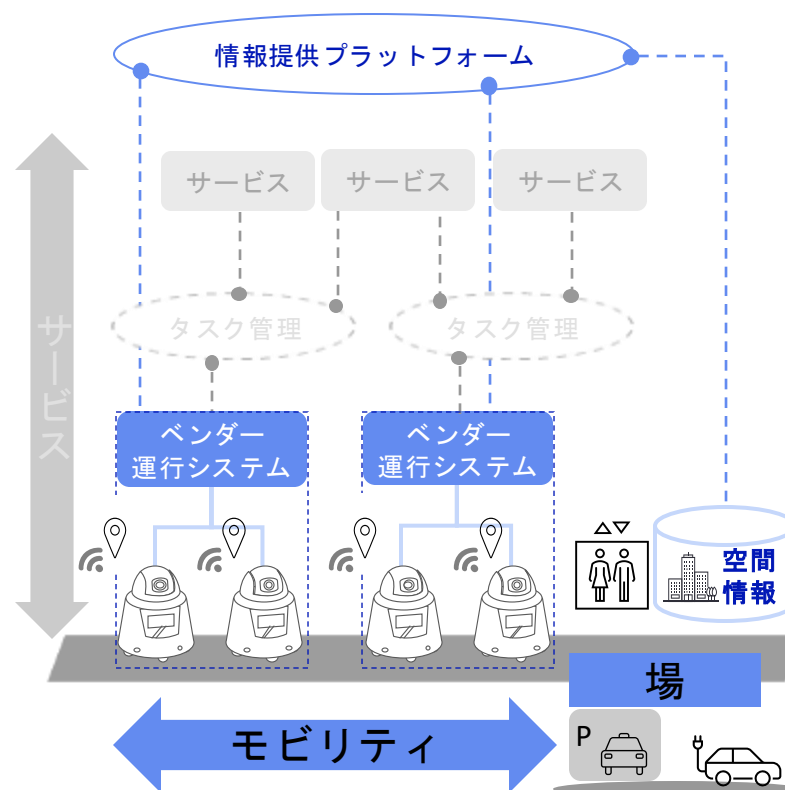
サービス

モビリティ

- 空間の環境情報
分散協調運行において、地図・ルールなど、どのような環境情報の共有が必要か？
- 空間の運行情報
分散協調運行において、機体の経路や位置など、どのような運行情報の共有が必要か？

場

- 設備利用情報
施設の運行や設備利用において、どのような設備情報が必要か？



運行シナリオの広がり

場所の広がり 実証スコープ

特定建物 → 建物またぎ → 管理エリアまたぎ

サービスの広がり

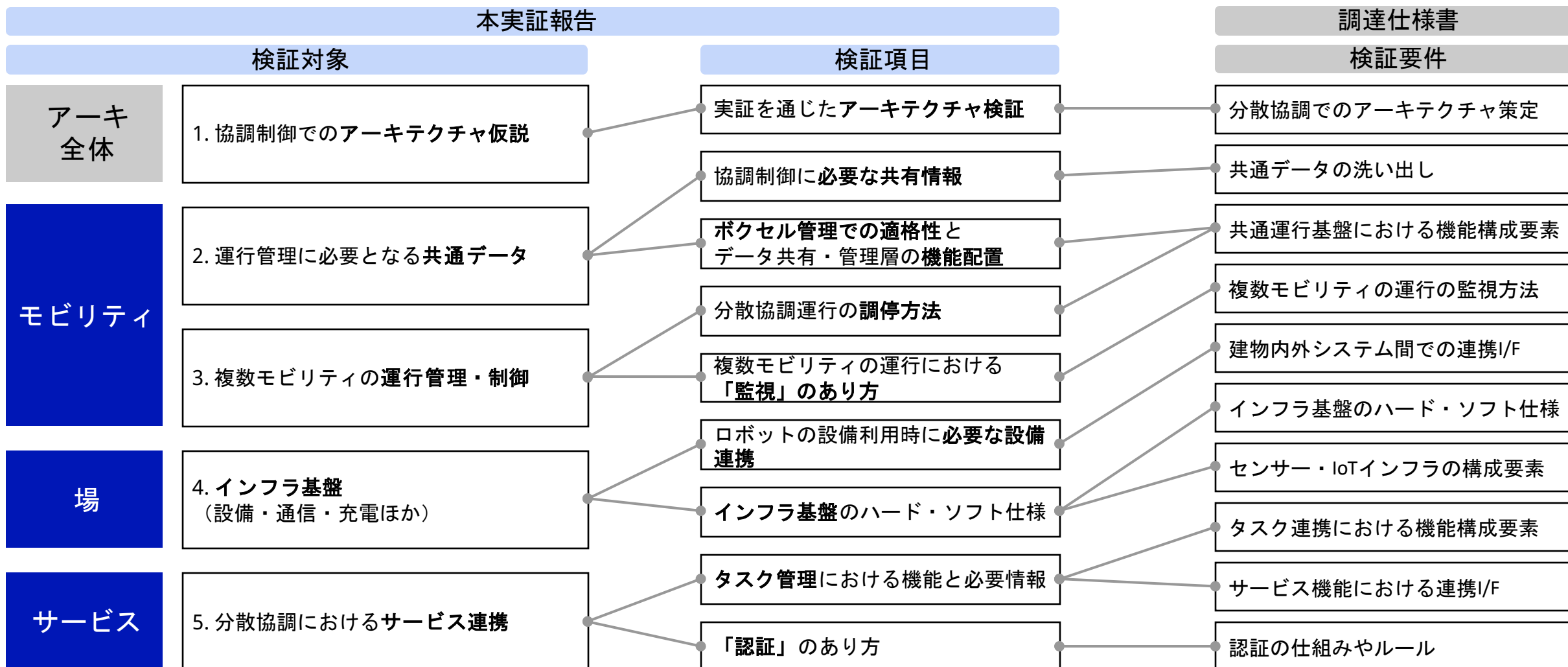
テストシナリオ → 限定的なサービス → 多様なサービス乗り入れ

環境・状況の広がり

通常時 → 異常・非常時 (通信不全, インフラ不全)

(参考) 調達仕様書記載の検証要件と検証項目のマッピング

本調査では、調達仕様書記載の分散協調制御を実施するために検討が必要な要件を検証対象として、共通基盤の構成・機能とその周辺I/Fにおける原案検討と検証内容整理を行った



2. 本調査のサマリ

2.1 本調査の概要

2.2 分散協調の主体

2.3 本調査の成果とサマリ

2. 本調査のサマリ

2.1 本調査の概要

2.2 分散協調の主体

2.3 本調査の成果とサマリ

本調査の概要：実証ユースケース

本調査では実証調査研究として複数ベンダーのモビリティ実機を利用し、検証で必要な観点を網羅できるようなシナリオを策定して調査を実施した

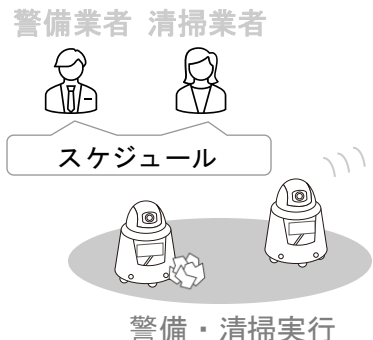
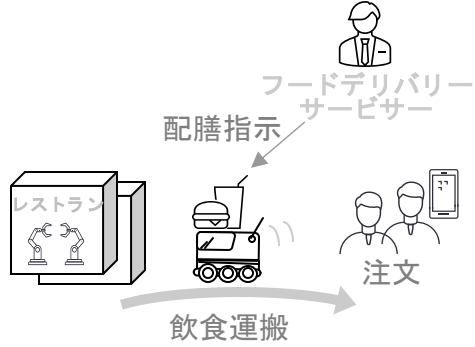
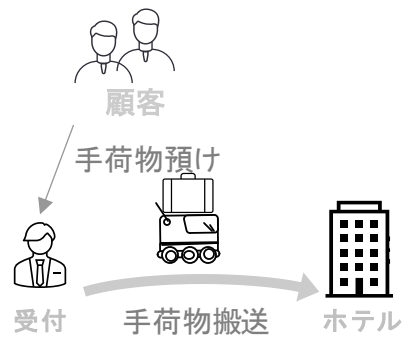
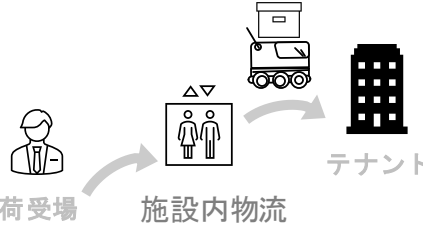
実証ユースケース策定の考慮点

本調査ではモビリティ実機を利用して実証を行う。本検証で必要な検証項目を網羅できるようにシナリオ策定を実施

【ユースケースが網羅した点】

- モビリティ運行者が単一もしくは複数
- 屋内、屋外を含む運行
- 設備等の連携要否

【4つの実証ユースケースのイメージ】

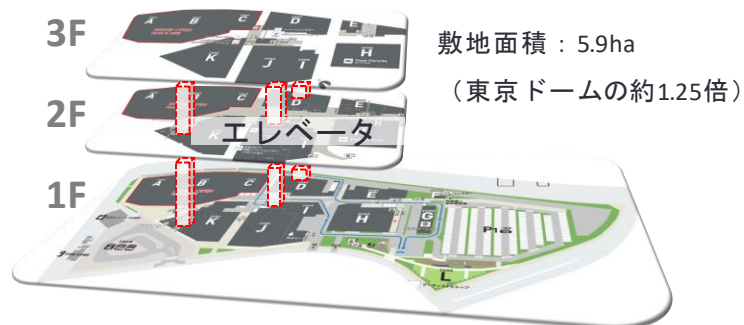
	A. 警備・清掃	B. 飲食運搬	C. 手荷物搬送	D. 施設内物流
ユースケース概要	<ul style="list-style-type: none"> • ロボットによる警備サービスを実施 • 一定時間後に同一ロボットのタスクを切り替えて、清掃サービスを実施 	<ul style="list-style-type: none"> • 施設内において客がアプリ経由で飲食を注文、ロボットによる調理・配達（運搬を実施） • 別サービスとして使用済み食器の配膳、下膳も並行して実施 	<ul style="list-style-type: none"> • 顧客（想定）から手荷物を預かり手荷物をロボットを積込する • ロボットが手荷物を施設内のホテルまで搬送 	<ul style="list-style-type: none"> • 配送業者（想定）から配達物を預かりロボットへ積込 • ロボットが配達物を受渡先である各テナントへ搬送
イメージ	<p>警備業者 清掃業者</p>  <p>スケジュール</p> <p>警備・清掃実行</p>	 <p>レストラン</p> <p>注文</p> <p>フードデリバリーサーバー</p> <p>配膳指示</p> <p>飲食運搬</p>	 <p>顧客</p> <p>手荷物預け</p> <p>受付</p> <p>手荷物搬送</p> <p>ホテル</p>	 <p>荷受場</p> <p>施設内物流</p> <p>テナント</p>

実証の概要：実証フィールド

実証フィールドとして、複数施設の往来や道路を模した通路の走行が可能で、実際の商業施設として一般の人の往来があることなどを考慮して羽田イノベーションシティを選定した

実証フィールド要件	実証フィールド 羽田イノベーションシティ（以降、HICity）
<ul style="list-style-type: none"> 安全性を考慮し、無人環境・クローズドなエリアから段階的に有人環境・オープンなエリア（既にサービスが提供されている公共性のある施設等）へ移行することに対応できること。また、オープンな有人環境においては、人の密集度・混雑度は複数のパターンを準備可能なこと エレベータを利用した運行等のビル設備との連携を含むこと （エレベータ連携の方式は問わない） 私有空間である建物内外を横断した運行を行うこと 移動距離は300m程度以上を確保すること 	<p>概要</p> <ul style="list-style-type: none"> 事業主体：羽田みらい開発株式会社 所在地：東京都大田区羽田空港一丁目1番4号 施設説明：「先端産業」と「文化産業」の2つをコアとする大規模複合施設。オフィス、ホテル、レストラン等の店舗、及び、ライブホール等を有する <p>選定理由</p> <ul style="list-style-type: none"> 夜間無人環境やオフィスエリアやバックヤードのクローズドなエリアを持つ レストラン、ホテル等の既サービスを有している イベント開催や、平日・休日の食事時間などで人流パターンが多様 クローズドエリアおよびオープンエリアのエレベータを保有し、ロボットとの連携実証に活用可能である 私有空間に建物外となるコリドーがある 建物内外において、300m程度以上の移動距離の確保可能である

【フィールドイメージ】



出所：「コンセプトブック」「ファシリティガイド」、羽田イノベーションシティホームページ、<https://haneda-innovation-city.com/>（2023年8月1日アクセス）

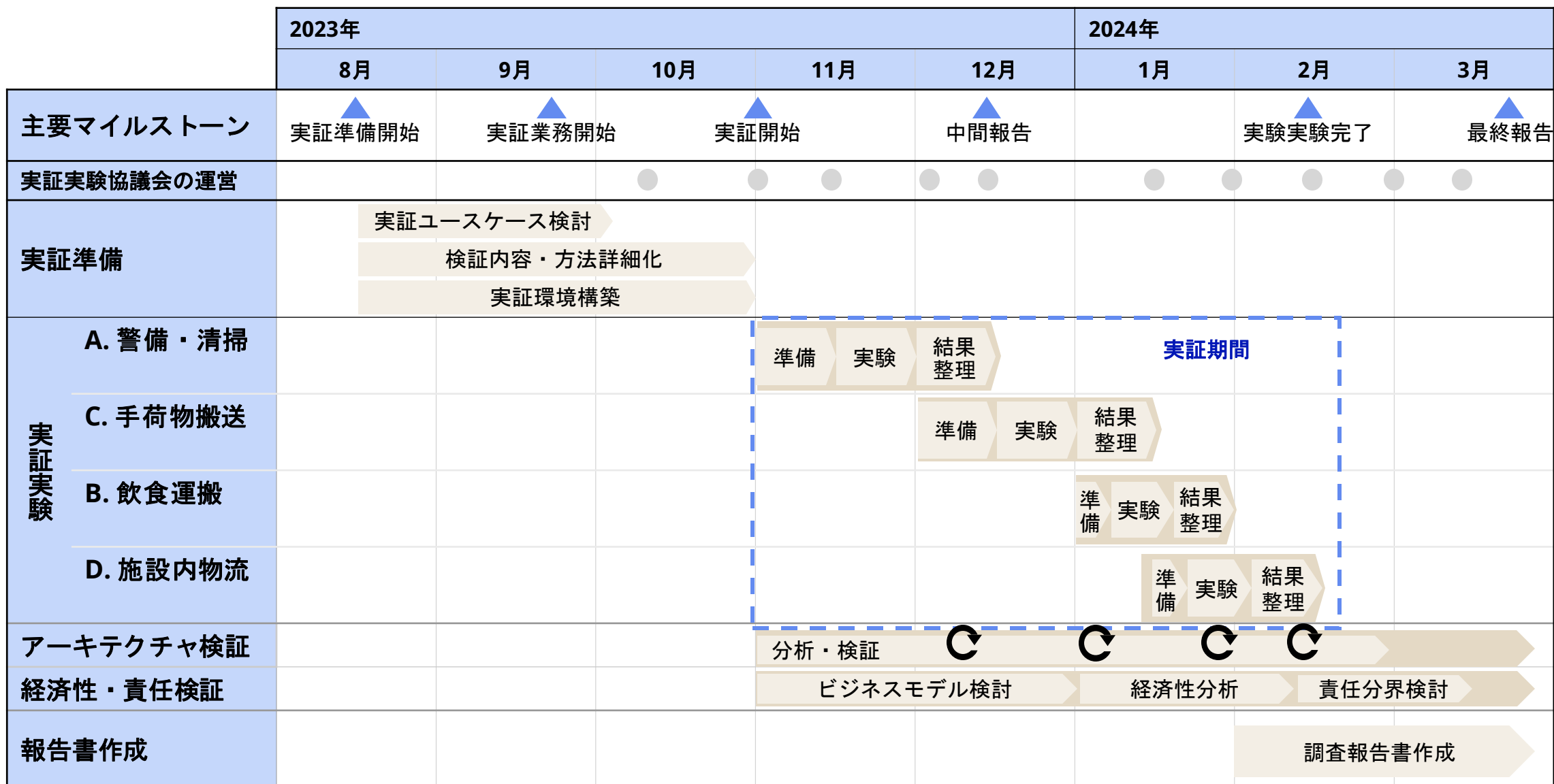
本調査の運営体制

本調査における役割		EY			
		鹿島建設*1	川崎重工業	デンソー*2	EY
		<ul style="list-style-type: none"> 実証フィールドの提供 実証環境の構築 実証の実施 インフラ基盤の検証 	<ul style="list-style-type: none"> 実証環境の構築 実証の実施 インフラ基盤の検証 	<ul style="list-style-type: none"> 実証環境の構築 実証の実施 アーキ、共通データ、運行管理の検証 	<ul style="list-style-type: none"> ユースケースの策定 サービス連携の検証 経済性・責任の検証
実証実験	ユースケースA. 警備・清掃	●	-	○	-
	ユースケースB. 飲食運搬	○	●	○	-
	ユースケースC. 手荷物搬送	-	-	●	-
	ユースケースD. 施設内物流	-	-	●	-
アーキテクチャ検証	分散協調制御でのアーキテクチャ仮説	○	○	●	-
	運行管理に必要となる共通データ	-	-	●	-
	複数モビリティの運行管理・制御	○	-	●	-
	インフラ基盤（通信・通信・充電ほか）	●	●	●	-
	分散協調におけるサービス連携	-	-	○	●
経済性と責任分界検証	経済性	-	-	-	●
	責任分界	-	-	-	●

凡例 ●：主担当、○：サポート

*1) 鹿島建設委託先のSolidSurfaceを含む
 *2) デンソー委託先のソフトバンクを含む

本調査のスケジュール



2. 本調査のサマリ

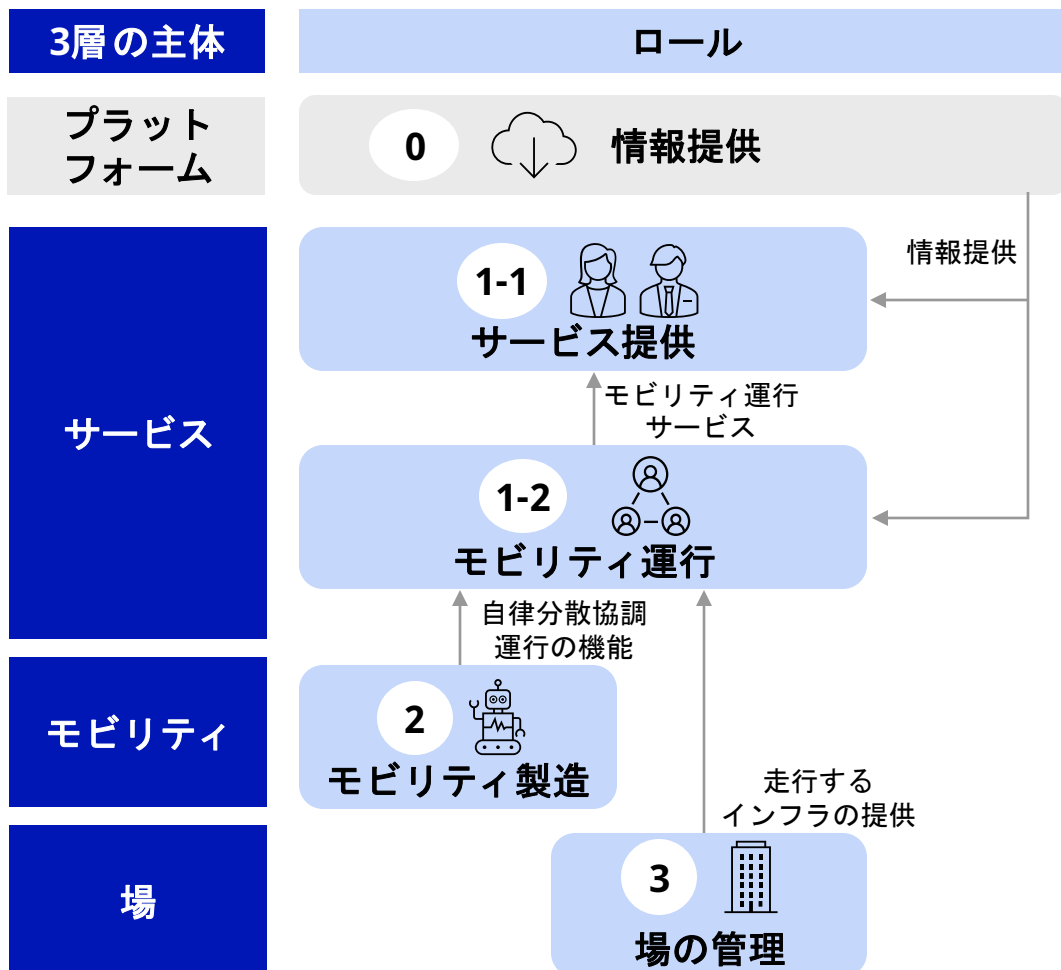
2.1 本調査の概要

2.2 分散協調の主体

2.3 本調査の成果とサマリ

分散協調を成立させる主体（ロール）

サービスの主体が切りかわれることで、モビリティの製造から運行までをモビリティ製造主導で行うだけでなく、サービスの事業者の参入が可能となり日常的なモビリティ活用に繋がると考える



背景	モビリティを利用した運行サービスを提供するサービス・モビリティ・場の組み合わせ方が広がるには、役割で主体（ロール）が切りわかれ、E2E*で主体同士が連携することが必要となる
----	--

ロール	定義
0. 情報提供	分散協調運行に必要な情報を収集・加工・提供する役割を指す
1-1. サービス提供	最終顧客にサービスを提供する
1-2. モビリティ運行	モビリティを活用した運行サービスを提供する
2. モビリティ製造	自律分散協調運行の機能（ベンダー運行システム+ロボット機体）を提供する
3. 場の管理	モビリティが走行するインフラ（場所、設備等）を提供する

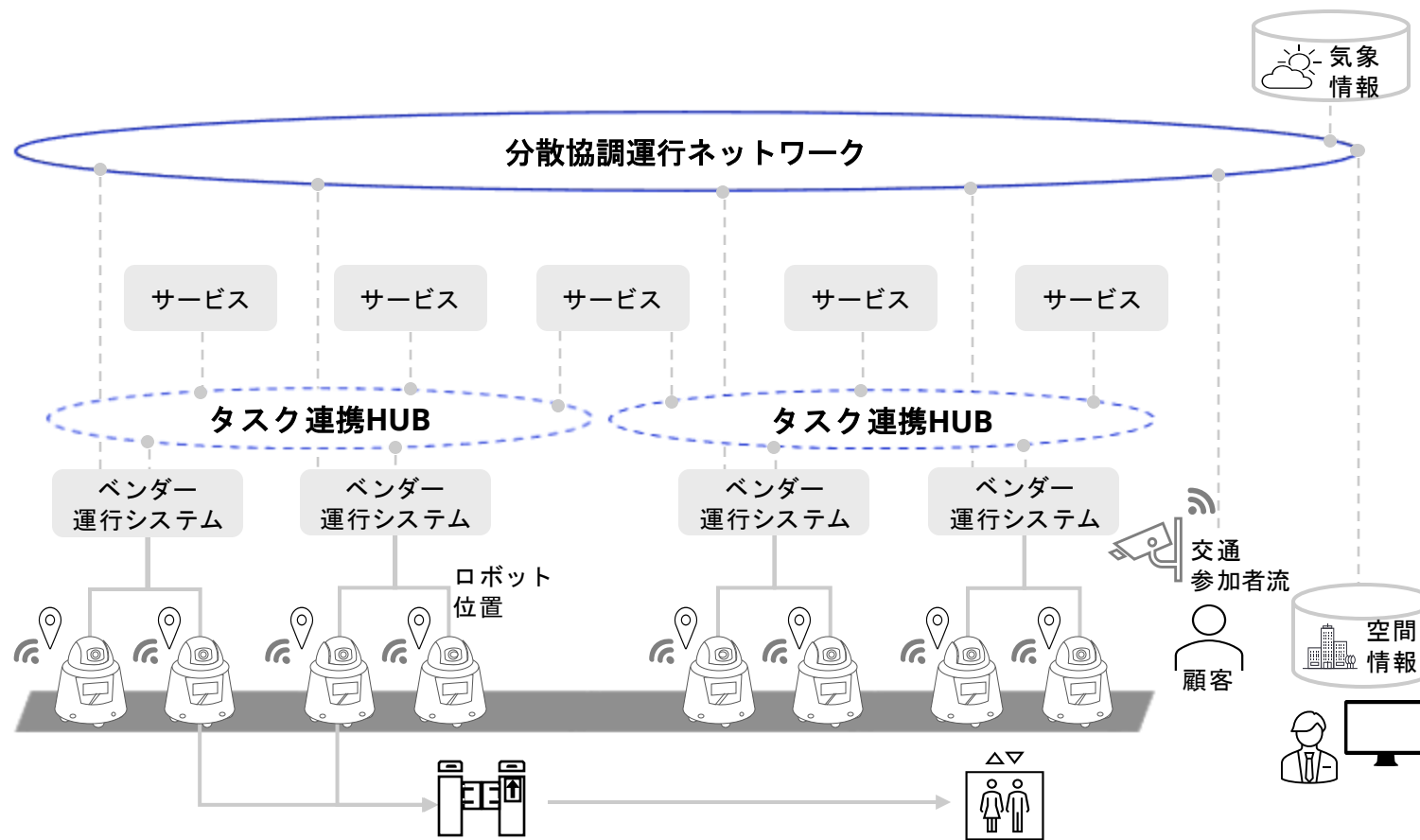
*E2E: end to endの略、提供される運行サービスの初めから終わりまでの意味

分散協調における将来アーキテクチャ概観

切りわかれた主体がE2Eで連携するために、分散協調運行NW*が協調制御のための情報共有を行い、タスク連携HUBがサービスとモビリティ間のタスク連携を行うアーキテクチャが必要になると想定する

将来アーキテクチャ概観

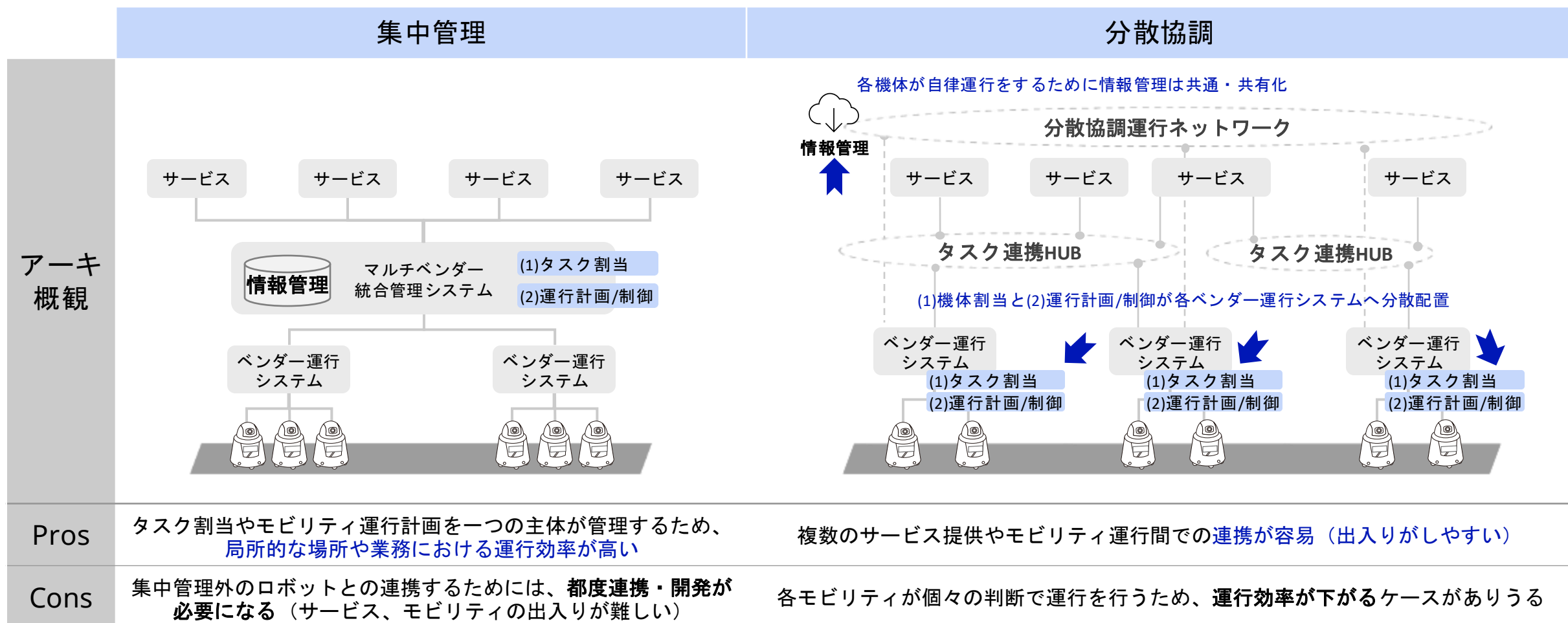
*NW：ネットワーク



名称	定義
分散協調運行ネットワーク	分散協調による運行を実現するために必要な情報の収集・加工などを担う
サービス	最終顧客から受注したタスクのモビリティ運行者側とのやり取りを担う
タスク連携HUB	複数のサービスシステムとベンダー運行システム間のタスクの中継を担う
ベンダー運行システム	タスク指示に基づき、ロボット機体を運行・制御する役割を担う

検証の前提：「分散協調」の定義

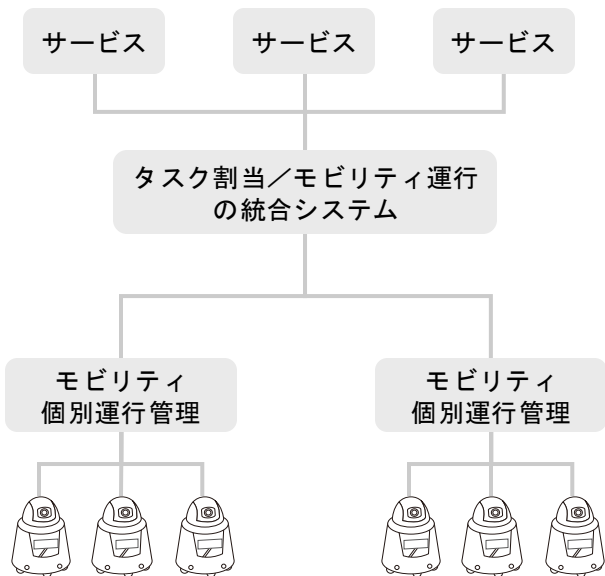
モビリティ運行における(1)モビリティ機体への機体割当、(2)モビリティの運行計画及び制御の二点に関して、集中的な管理でなく個社のベンダー運行システムに機能が分散配置されること



(参考) 分散協調の社会実装のイメージ

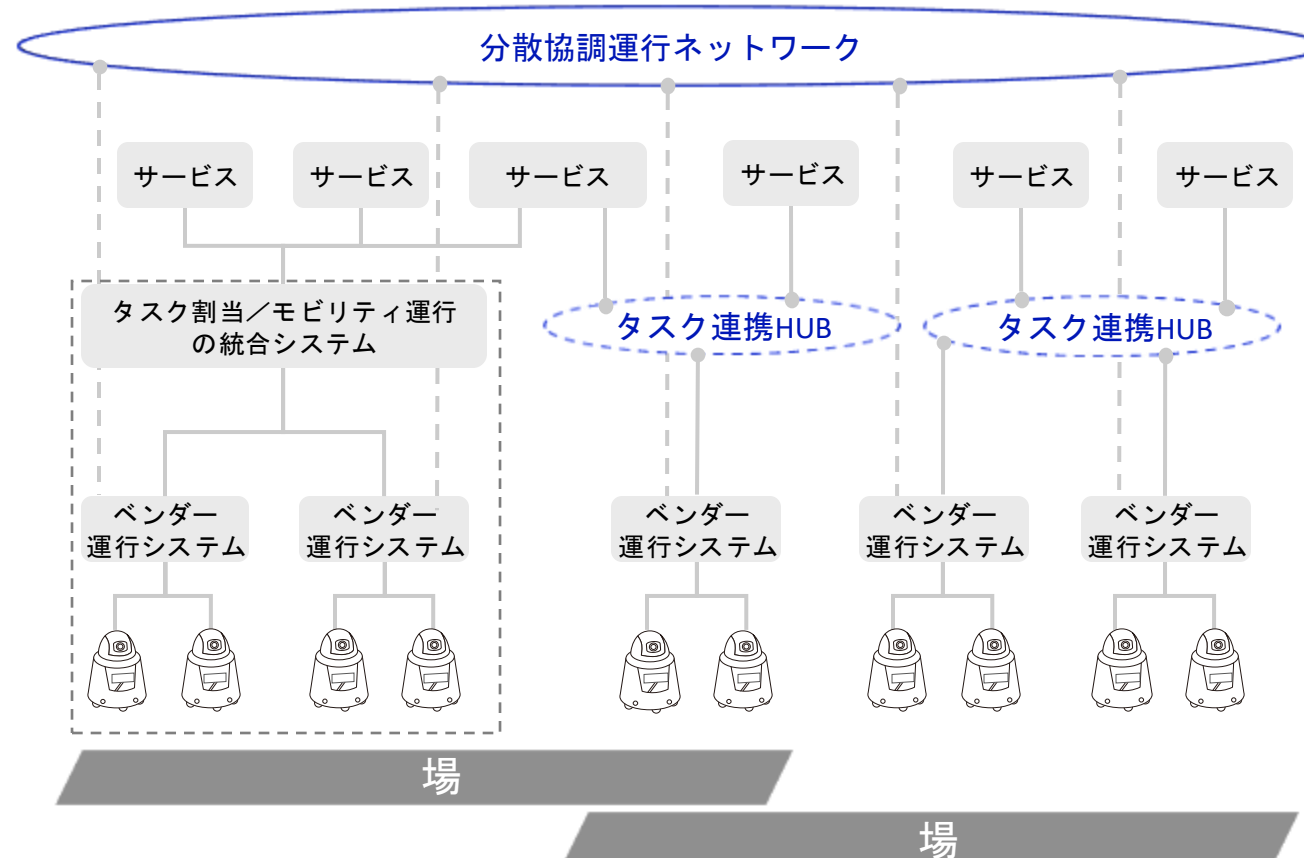
集中管理的な実装イメージ

概要
高い稼働効率が求められる場（工場など）や
出入り不可なセキュリティの高い場で実装される

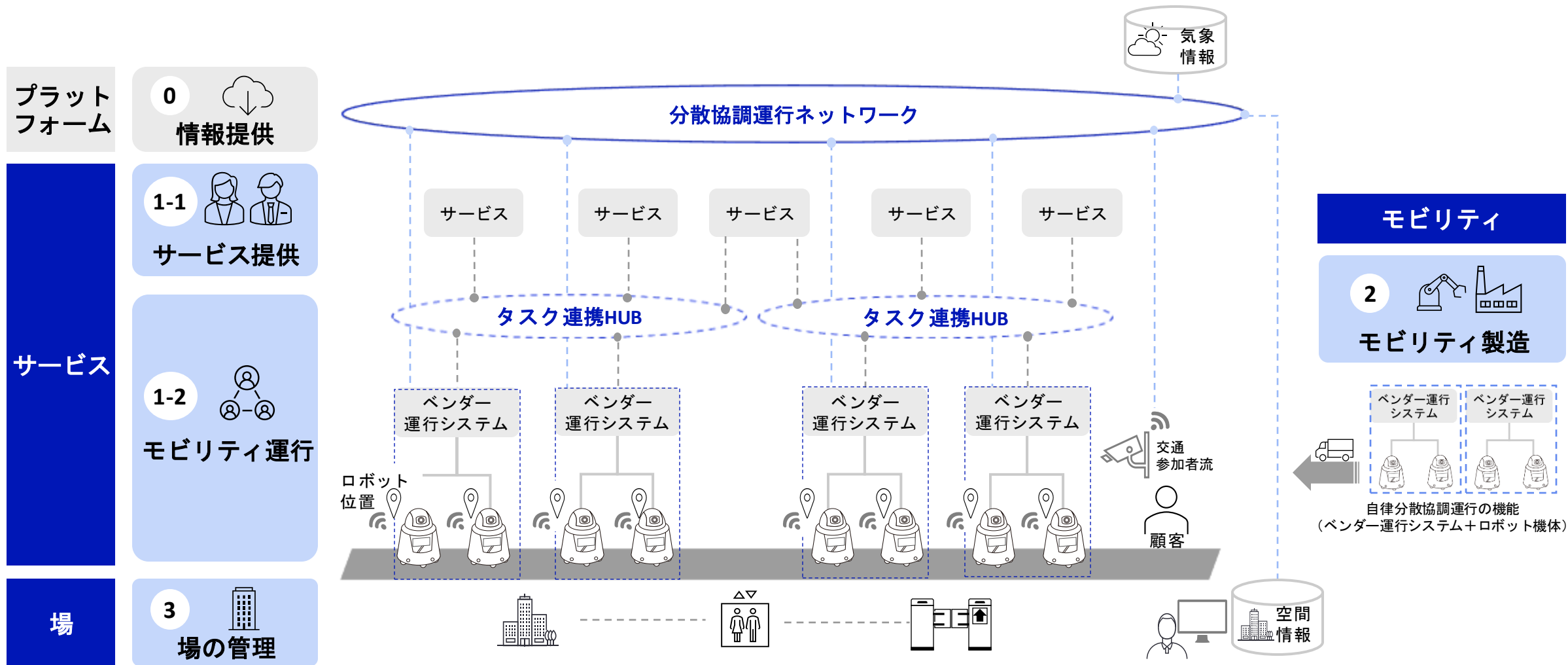


分散協調の社会実装イメージ

- 機体へのタスク割当はビジネス特性に応じて集中的管理かロボット自律の管理かが選択される
- タスク割当に関わらず、複数ベンダーロボットが分散協調運行できるように運行制御は分散される



(参考) アーキテクチャと3層の主体のマッピング



2. 本調査のサマリ

2.1 本調査の概要

2.2 分散協調の主体

2.3 本調査の成果とサマリ

主要論点に対する実証結果

複数ベンダーロボット間での自律的な運行を実現するには、走行環境地図などの環境情報、ロボット機体位置などの運行情報、設備利用情報の3つの情報種の共有が必要であることを実証を通じて確認した

論点		空間の環境情報	空間の運行情報	設備利用情報
集中管理における対応		統合的な運行管理システムにおいて一元的に情報が設定・管理される (ベンダーをまたいだ情報の共有は基本的に無し)		統合的な運行管理システムからビルOSを介して設備との連携を行う
実証結果	共有する情報	走行環境地図・運行管理地図など（静的情報） 走行環境地図、運行管理地図、建物内外結節点など 走行ルールなど（論理情報） 走行ルール、一時的進入禁止領域など	ロボット機体位置・経路占有など（動的情報） 各ロボット経路計画情報、各ロボット経路占有情報、各ロボット位置情報など	設備連携情報 設備利用に必要なAPI情報など
	共有しない情報	自己位置推定用地図 個社ベンダー運行システムが扱う自己位置推定の基準地図	N/A	N/A
	管理・共有の方法	情報提供のプラットフォームと空間ID活用 複数ベンダーのロボットに情報を共有するため、空間情報基盤の役割に近い情報提供プラットフォームが必要。またベンダーをまたぐ座標変換などの観点で空間IDの活用が有効	個社機体からの経路占有情報の共有 場が管理する運行管理地図（エッジとノードより構成されるトポロジカル・グラフ）に対して個社機体が占有申請を行い、経路占有情報を共有する	ビルOSを介した連携とAPIの標準化 設備利用における要件は集中管理とは大きく異ならないと想定され、各ロボット機体がビルOSを介して共有化されたAPIで連携を行う
分散協調実現における課題		情報種・目的に応じた情報基盤の使い分け 場をまたぐ情報やリアルタイム性の観点で「空間情報基盤」と「ビルOS」での管理基盤の使い分け検討が必要 情報提供プラットフォームの担い手と運用 協調運行に必要な共有情報の設定・提供の役割を担う事業参入に向けて、低負荷な立上げと運用が求められる	分散協調運行に必要な場の要件・運用基準の明確化 分散協調運行を前提とした、場の設備・環境の要件やスタックする際の管制等の運用の基準が必要となる 運行計画等の共有による運行効率の向上 運行計画や短期的軌道を共有することで、最適な経路選定や円滑な回避など運行効率の向上余地がある	インフラ連携に関する仕様の標準化 インフラ連携時に設備毎の対応をすることなくモビリティ運行者側が共通APIを利用できることが必要となる

協調制御に必要な共有情報

実証を通じて複数モビリティ間の安全な協調制御は走行する環境／ロボットの経路や位置情報、また設備利用は設備連携情報を共有することで可能となることが確認できた

【凡例】
 情報（黒色）：今回実証対象、
 情報（灰色）：今回実証対象外
 ✓：事業者間で共有される情報
 なし：事業者間での共有が難しい情報

		空間の環境情報 		空間の運行情報 		設備利用情報 	
		運行ルート策定するため		運行中に避ける・止まるため		運行中に設備を使うため	
		情報種	共有	情報種	共有	情報種	共有
物理 情報	静的	自己位置推定用地図	なし	N/A	N/A	N/A	N/A
		走行環境地図	✓				
		運行管理地図	✓				
		POI情報	✓				
		建物内外結節点（地図情報切替）	✓				
	電波情報	✓					
	準動的	一時的進入禁止領域	✓	各ロボット経路計画情報	✓	設備稼働情報 （エレベータ、ゲート、駐機駐車場、充電施設等）	✓
		混雑情報（人流／交通参加者流）	✓				
		気象情報	✓				
		路面状況（凹凸、凍結等）	✓				
工事／イベント情報		✓					
動的	N/A	N/A	各ロボット位置情報／ステータス	✓	N/A	N/A	
			人／交通参加者 位置	✓			
			災害情報	✓			
論理 情報	走行ルール（双方向／一方向、速度、勾配、段差、重量／高さ制限等）	✓	N/A	N/A	設備連携情報	✓	
	工事等のルール変更	✓					

空間の環境情報：実証で共有した情報と考察

走行環境地図や走行ルールなど多くの環境情報は基本的に複数ベンダー間で共有することが望ましい一方で、自己位置推定用地図は機体の特徴や走行環境によって要件が変わり共有が難しいと考察される

実証で共有した「空間の環境情報」一覧

		情報種	共有	空間ID	検証番号
物理情報	静的	自己位置推定用地図	なし	N/A	-
		走行環境地図	✓	N/A	①
		運行管理地図	✓	適格	-
		POI情報	✓	適格	-
		建物内外結節点（地図情報切替）	✓	適格	-
	準動的	電波	✓	-	-
		一時的進入禁止領域	✓	適格	②
		混雑（人流／交通参加者流）／気象 路面状況（凹凸、凍結等）／工事・イベント	✓	-	-
	動的	N/A	N/A	N/A	-
	論理情報	走行ルール（双方向／一方向、速度、勾配／段差）	✓	適格	③

地図情報共有可否のポイント

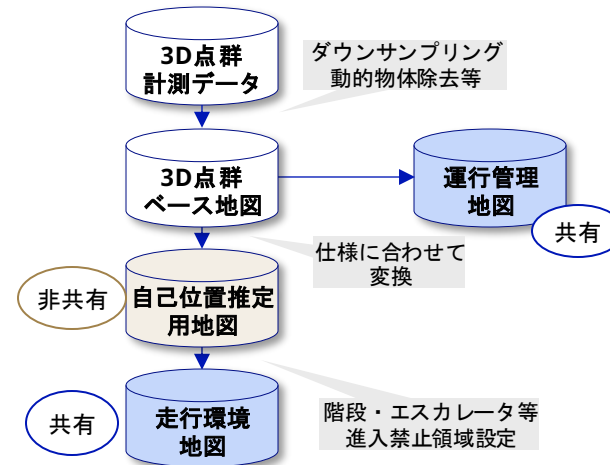
自己位置推定用地図を共有しない理由

- ロボットの特徴（センサの種類・搭載位置や自律移動ロジック等）や、走行環境によって要件が異なるため

走行環境地図が共有可能な前提

- 走行環境地図も自己位置推定用地図同様に、ロボットの特徴等により共有は困難だが、走行環境をバリアフリーの屋内に限定する場合は段差を考慮する必要がないため、壁面の形状・特徴点を抽出できるのであれば走行可能領域を示す地図を共有する可能性がある

地図生成フローのイメージ（例）



検証番号	検証内容	課題／デメリット	考察
①	走行環境地図の共有 ・ GNSS付きスキャナでベース3D点群地図を作成後、モビリティ製造各社の仕様に合わせ加工	・ ロボットの仕様により地図要件が異なる ・ 走行可能領域の設定は場の管理者の承認が必要となる ・ 地図品質（精度・鮮度）の担保が必要となる	・ ベース地図の統一により位置情報の誤差は抑制可能な一方、多様なロボット仕様を考慮したベース地図の要件規定は困難 ・ 場の管理者の責任の下、適切な設定が必要
②	一時的進入禁止領域の共有 ・ 空間情報基盤を通した一時的（準動的）な進入禁止領域の形状（空間IDにより示されるボクセル）を取得	・ 領域指定のためのツールが必要であり、また場の管理者がそれを扱える必要がある	・ 粒度に合わせたズームレベルでの設定が可能 ・ ボクセル形状だけでなく、空間IDによる多角形領域指定などの可能性も考えられる
③	走行ルールの共有 ・ RRIで定義されているトポロジカル・グラフに走行ルール属性を付与して共有 ※本実証では「双方向／一方向」のルールのみを複数ベンダーで共有	・ 各場やサービスにより多様なルールが必要となる ・ トポロジカル・グラフ作成はロボットの知見も必要となる ・ ロボット台数が増加すると、円滑に運行するためにトポロジカル・グラフのノード・エッジの設定が複雑化する	・ ルール設定は場の管理者が担う。公道などは公助が必要 ・ トポロジカル・グラフ作成はモビリティ運行者の協力が必要 ・ 走行ルールの追加によりトポロジカル・グラフの複雑化を抑えることは可能

空間の運行情報：実証で共有した情報と考察

ノード・エッジで構成されるトポロジカル・グラフ形式の運行管理地図とその占有情報を共有することで、複数ベンダー間で占有情報をもとにした経路調停が可能であることを実証より確認した

実証で共有した「空間の運行情報」一覧

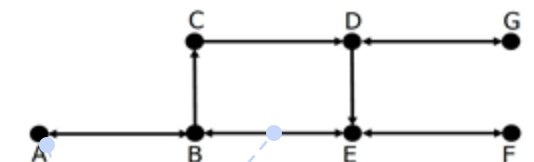
		情報種	共有	空間ID	検証番号
物理情報	静的	N/A	N/A	N/A	-
	準動的	各ロボット経路占有	✓	適格	①
		各ロボット経路計画	✓	△	-
	動的	災害	✓	-	-
		各ロボット位置／ステータス	✓	△	②
	人／交通参加者 位置	✓	なし	-	
論理情報		N/A	N/A	N/A	-

協調運行のポイント

経路調停と走行ルールの本実証での共有方法

- 複数ロボット間で、トポロジカル・グラフ形式（右図）のネットワーク地図とその占有情報を共有することで経路調停を行う
- データ共有・管理層側での調停が不要な先勝ち方式（ノード占有されている場合は手前で待機）にて調停を行う
- ノード占有の申請は調停ノードの1つ手前のノードとの距離6m以内に接近で行う
- ノード占有の解除は調停ノードの1つ先のノードに到着／経由で行う
（本実証環境における設定）

トポロジカル・グラフのイメージ



エッジ：「ノード」間の接続関係を表現する要素。ノード間を結ぶ通路を表現する

ノード：施設内のある場所を表す要素。自律移動ロボットの運用を考えた際に、出発点・目標点・移動時の経由点としたい場所に対して定義する

検証番号	検証内容	課題／デメリット	考察
①	各ロボット経路占有の共有 <ul style="list-style-type: none"> • 先勝ち方式で調停ノード接近時に占有を申請 • 占有したロボットの通行可。占有解除条件が成立次第、ロボットが通過できるように占有解除を申請 	<ul style="list-style-type: none"> • ノード占有申請／解除条件を複数ベンダー間で合わせずに実施した場合、占有条件が異なるため追越しが発生 • 経路占有の先勝ち方式について、複数台のロボットからの占有リクエストをFIFOで出し入れするキューイングに対応していないため、タイミングによっては追越しが発生 	<ul style="list-style-type: none"> • 複数ベンダー間で経路調停を行なうため、ノード占有／解除申請タイミングは場の共通ルールとして設定する必要がある • 対応策として台数制限／キューイングする等が考えられる • ノード占有の判定方式は責任分界や監視等の観点も考慮して決定する必要がある
②	各ロボット位置情報の共有 <ul style="list-style-type: none"> • 各ベンダー運行システムから位置情報を共通I/Fで送信 • 測位システムからベンダー運行システムを経由せず位置情報を送信 	<ul style="list-style-type: none"> • 各ロボットの自己位置推定精度 • 座標系の統一 • 上空視界制約時、測位システムの屋外GNSS測位精度 	<ul style="list-style-type: none"> • 走行速度等に基づいた位置精度やリアルタイム性が今後の検証と必要となる • ロボットからロボットへの荷物の受け渡しのようなケースでは、直接ロボット間の位置情報を把握する方法が有用と考えられる

設備利用情報：実証で共有した情報と考察

出入りするロボットに対して設備を利用するための共通APIが提供されることで、モビリティ運行者による場／設備毎の個別開発が不要となり、ロボットの施設利用が容易となると考察する

実証で共有した「設備利用情報」一覧

		情報種	共有	空間ID	検証番号
物理情報	静的	N/A	N/A	N/A	-
	準動的	設備稼働情報 (エレベータ、ゲート、駐機駐車場、充電施等)	✓	N/A	-
	動的	N/A	N/A	N/A	-
論理情報		設備連携情報	✓	N/A	①

設備情報のポイント

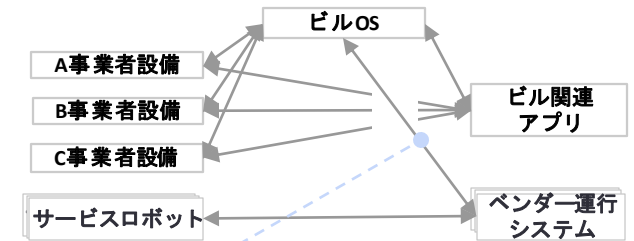
設備連携のAPIの仕様

- 設備毎にモビリティ運行者が対応が不要となるようにAPIの共通化が必要となる。設備のAPI提供事業者のAPIが契約等により提供が難しい場合には、代替として場の管理者がAPI提供することが妥当となる

常時のNW接続を前提としない設計

- エレベータの籠内は電波の不感知地帯であることが多いため、常時のNW接続を前提としないAPIの設計が必要となる

設備連携イメージ




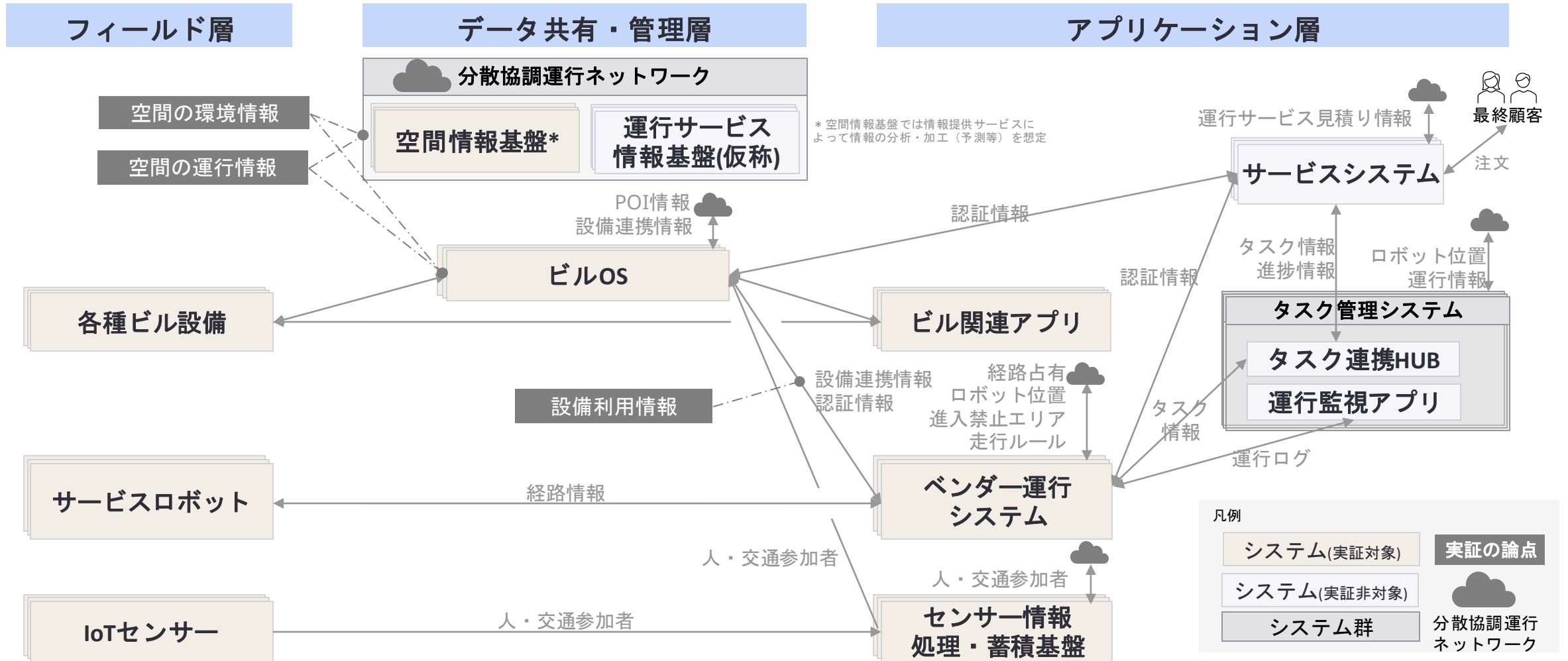
共通APIを利用することでモビリティ運行者側は設備毎の対応が不要となる

検証番号	検証内容	課題／デメリット	考察
①	設備連携情報（主にエレベータ連携情報）の共有 <ul style="list-style-type: none"> ロボットと連携が可能なエレベータは実証フィールドにおいて複数存在したが、異なるAPIを有していた それぞれのAPI提供者と場の管理者は契約関係にあり、モビリティ運行者が当該APIを直接利用することは契約違反に抵触する 実証では、場の管理者が複数の異なるエレベータAPIを包含した新たな共通のAPIを提供することで、モビリティ運行者のエレベータ利用を可能にした 	<ul style="list-style-type: none"> ロボットのエレベータ到着までの待機時間が発生した。待機時間の発生原因はエレベータメーカーが異なるエレベータ間で整合性を取るために実装した非同期処理のトレードオフにより発生している 	<ul style="list-style-type: none"> 分散協調アーキテクチャにおいては各エレベータAPIがなるべく共通仕様の下で作られていることが望ましい。ただし契約で場の管理者のみにAPI提供される場合、場の管理者がAPI提供を担うのが妥当であると考えられる ロボット専用運行の場合、ロボットのエレベータバンクへの到着よりも事前に呼出しを行うことで実質的な待機時間短縮の対策が可能となる 各エレベータ事業者が提供するAPIが共通の動作フローとなるよう業界標準規格に準拠する 常時のNW接続を前提としないAPI設計が必要である 各場の設備が共通仕様となる事を前提としつつ、様々な設備と連携するためには、場の管理者側で一貫性を持たせたI/Fの仕様を策定する必要がある

分散協調における将来アーキテクチャ仮説

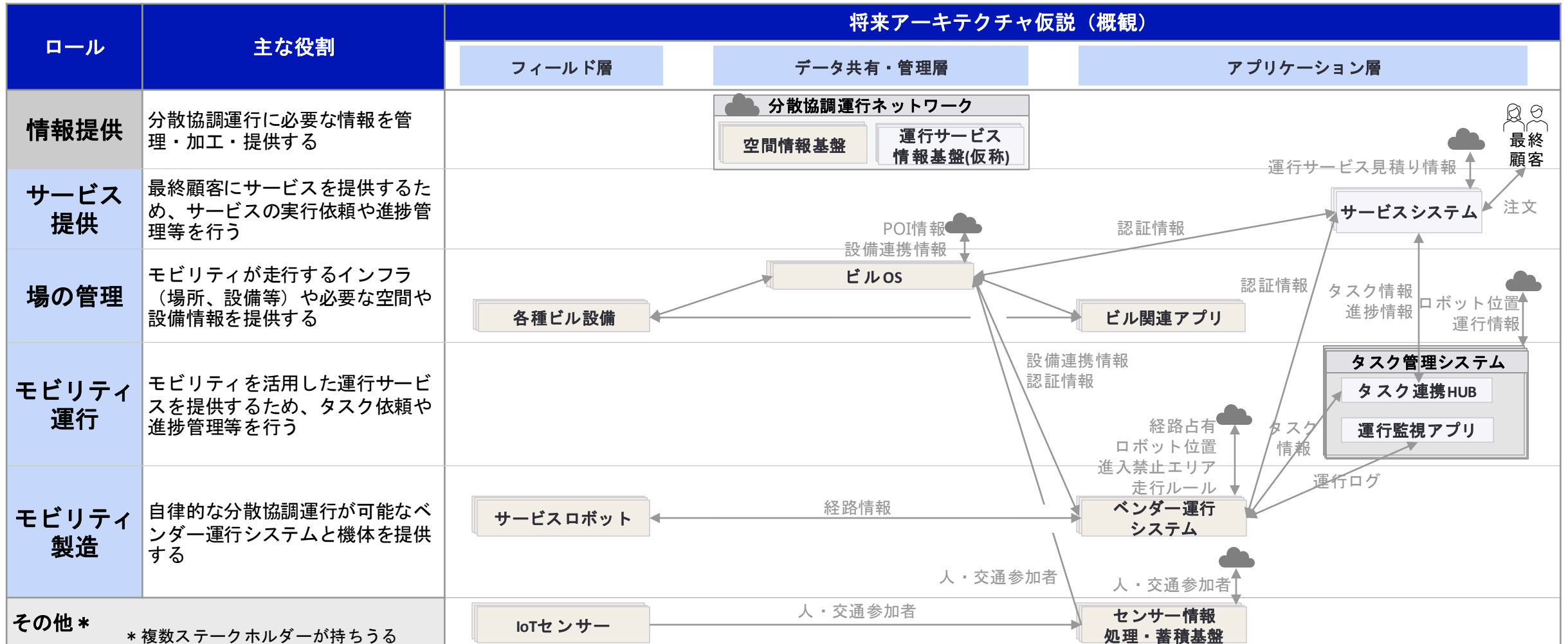
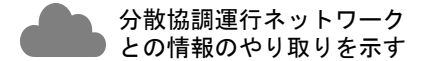
協調運行に必要な共有情報に関する実証とサービス連携に必要な機能・情報に関する検証を踏まえて、場を跨いだ協調運行に必要な将来アーキテクチャを仮説する

 分散協調運行ネットワークとの情報のやり取りを示す






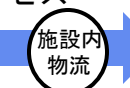






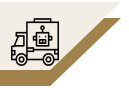

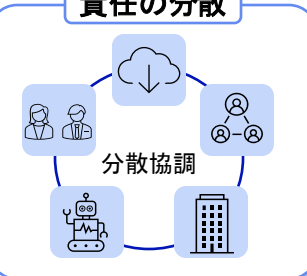
分散協調将来アーキテクチャとロールの関係性

分散協調将来アーキテクチャを成立させるためには、各ロールが役割に基づいた機能を管理すること、また協調運行や設備利用に必要な情報をそれぞれが設定・共有することが必要である

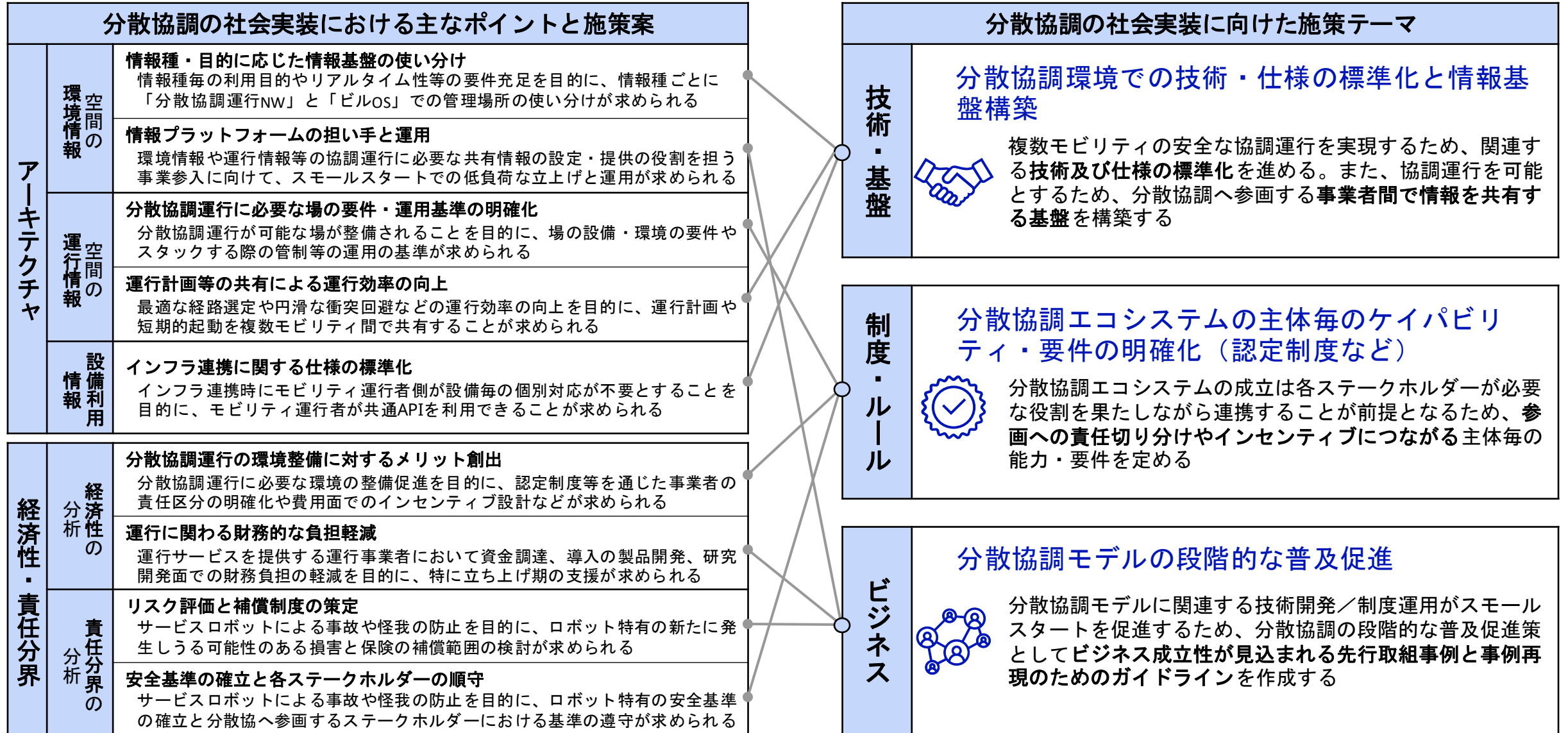


経済性・責任分界の検討報告

分散協調では、複数場での運行やサービス種類の展開によりロボット稼働率の維持が見込める。また、各ロールに責任が分散されるため、各機能間の相互接続性を担保する基準の明確化などが重要と考える

<p style="text-align: center;">経済性 責任分界 の検討</p>	<p style="text-align: center;">経済性：分散協調のロールの成立性</p> <p>モビリティ運行：複数場／サービス種類の展開による稼働率維持 集中管理と比較して分散協調は稼働率が劣る可能性はある。ただし複数の場での同一サービスの提供、また1つのロボットが提供するサービス種類を展開することで分散協調でも稼働率の維持が見込まれる</p> <p>場の管理：ロボット導入による場の賑わいや管理コスト低減 ユースケース関連の市場規模は拡大傾向にあり、自律移動ロボットの導入に関して「価値創出」「コスト削減」「資産効率向上」「将来価値向上」の観点から一定程度の妥当性を確認</p> <div style="text-align: center;"> <p>人手不足  RaaS市場の成長 </p> <p>分散協調型のロボット運行サービス</p> <p>モビリティ運行  ← 警備・清掃 → 調理・配膳 → 手荷物搬送 → 施設内物流 → </p> <p>場の管理        </p> <p>賑わい → コスト → 資産効率 → 将来価値</p> </div>	<p style="text-align: center;">責任分界：分散協調のステークホルダーの責任分界</p> <p>責任を分散するために、相互接続性の担保が重要 今回検証したアーキテクチャに基づく、特定の役割に責任が集中することなく、各ロールに責任が分散される。これは各機能間の相互接続性が担保されることが前提となるため、安全基準や認定制度といった基準の明確化が重要である。またモビリティ運行は運行の管理・監督を担う立場から、ほか役割よりも責任が一定重くなるため、保険による補償を確立することにより、責任の明確化と低減が必要となる</p> <div style="text-align: center;"> <p>エコシステム間の責任の明確化 責任の分散 </p> <p>責任履行の上で残存するリスク 相互運用性の確立</p> <p>リスクに対する対応策</p> <p>安全性に関わる課題 → 安全基準や技術要件の明確化</p> <p>補償に関わる課題 → 補償・保険制度への連動</p> </div>
	<p style="text-align: center;">分散協調実現における課題</p>	<p>運行に関わる財務的な負担軽減 モビリティ運行者の起業のタイミングにおいて、資金調達面／製品開発面／研究開発面での財務負担の軽減が必要となる</p> <p>分散協調運行の環境整備に対するメリット創出 分散協調運行に必要な環境を整備した事業者のメリットとなる仕組みにより環境整備の後押しが必要となる</p>

分散協調の社会実装に向けた施策



3. 実機検証

3.1 実証ユースケース

3.2 実証ユースケース×実証検討項目マッピング

3.3 実証環境の全体概要

3.4 ユースケースA. 警備・清掃

3.5 ユースケースB. 飲食運搬

3.6 ユースケースC. 手荷物搬送／D. 施設内物流

3.7 将来サービスユースケース

3. 実機検証

3.1 実証ユースケース

3.2 実証ユースケース×実証検討項目マッピング

3.3 実証環境の全体概要

3.4 ユースケースA. 警備・清掃

3.5 ユースケースB. 飲食運搬

3.6 ユースケースC. 手荷物搬送／D. 施設内物流

3.7 将来サービスユースケース

実証の概要：実証ユースケース

分散協調運行において連携・活用される3つの情報種（環境情報・運行情報・設備利用情報）を軸に、4つのユースケースのシナリオを設定して実機を用いた検証と課題の洗い出しを行った

		A. 警備・清掃	B. 飲食運搬	C. 手荷物搬送	D. 施設内物流
ユースケース概要		<ul style="list-style-type: none"> ロボットによる警備サービス実施 一定時間後に同一ロボットのタスクを切り替えて、清掃サービスを実施 	<ul style="list-style-type: none"> 施設内の別店舗からの注文に基づき、ロボットが調理・配膳を実施 別サービスとして使用済み食器の下膳も並行して実施 	<ul style="list-style-type: none"> 顧客（想定）から手荷物を預かり、手荷物をロボットへ積込 複数ロボットが手荷物を施設内のホテルまで搬送 	<ul style="list-style-type: none"> 配送業者（想定）から配達物を預かりロボットへ積込 複数ロボットが配達物を異なるフロアのテナントまで搬送
主な検証項目	空間の環境情報	N/A	N/A	<ul style="list-style-type: none"> ロボット地図情報や走行ルール、一時的進入禁止領域を共有 建物内外での地図情報の切り替え 	<ul style="list-style-type: none"> 空間情報基盤を介して進入禁止エリアを共有
	空間の運行情報	<ul style="list-style-type: none"> ロボット位置情報をDWHを利用して複数ベンダー間で連携 ロボット位置情報を可視化 	<ul style="list-style-type: none"> ロボット位置情報をDWHを利用して複数ベンダー間で連携 ロボット位置情報を可視化 	<ul style="list-style-type: none"> 複数ベンダー間でノード占有の共有による経路調停 複数ベンダーのロボット位置を同一可視化システムで可視化 インフラセンサによる人の位置情報の取得 	<ul style="list-style-type: none"> 複数ベンダー間でノード占有の共有による経路調停（待機判断） 人流情報を考慮したロボットのルート計画を生成
	設備利用情報	N/A	N/A	N/A	<ul style="list-style-type: none"> エレベータ連携APIを利用し、異なるロボットが複数のエレベータシステムと連携
イメージ					

実証ユースケースA. 警備・清掃：概要

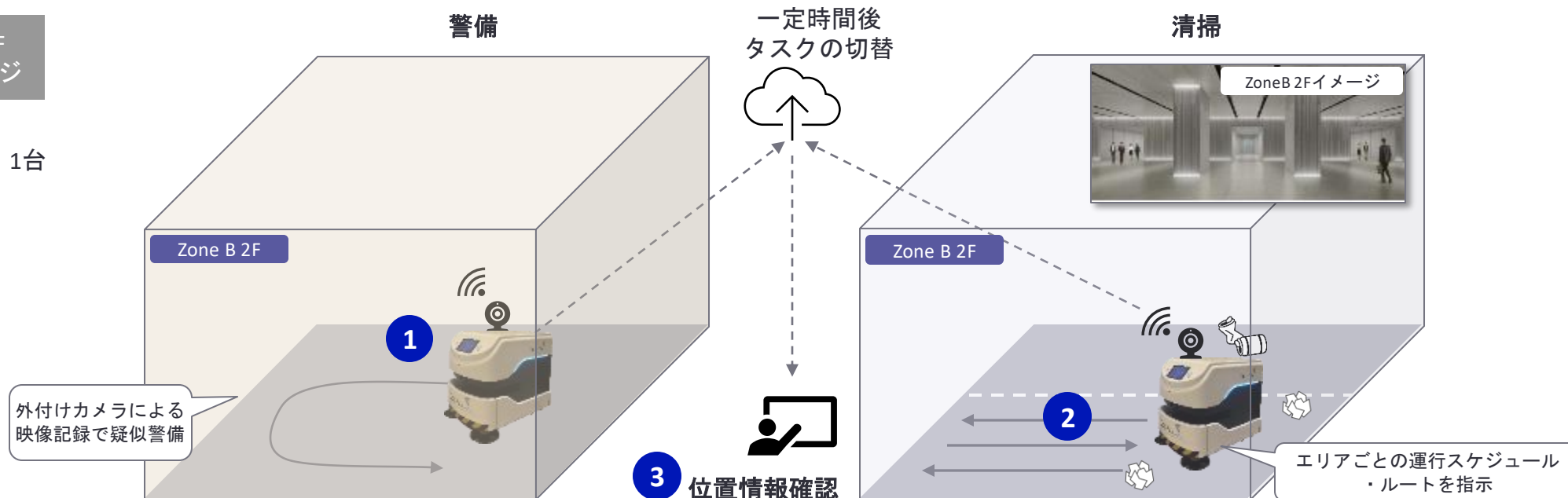
ロボットの位置情報の可視化を主な目的に、スケジュールされたロボットの運行およびその位置情報の確認を行う

実証の流れ

- ① 運行を管理するシステムでロボット毎の運行エリア・タスク内容・スケジュールを設定する。昼間タスクとして、警備業務を行う
- ② 設定されたスケジュールに則って、一定時間稼働後（疑似、夜間想定）になるとタスクを切り替えて清掃業務を実行する
- ③ ①及び②の運行においてロボット位置の取得・可視化を行う

HICity Zone B 2F
での実証イメージ

【利用ロボット】
警備・清掃ロボ：1台



出所：「MORE INFORMATION Pamphlet」、羽田イノベーションシティホームページ、https://haneda-innovation-city.com/office/assets/img/officece_pamphlet.pdf（2024年1月30日アクセス）

実証ユースケースB. 飲食運搬：概要

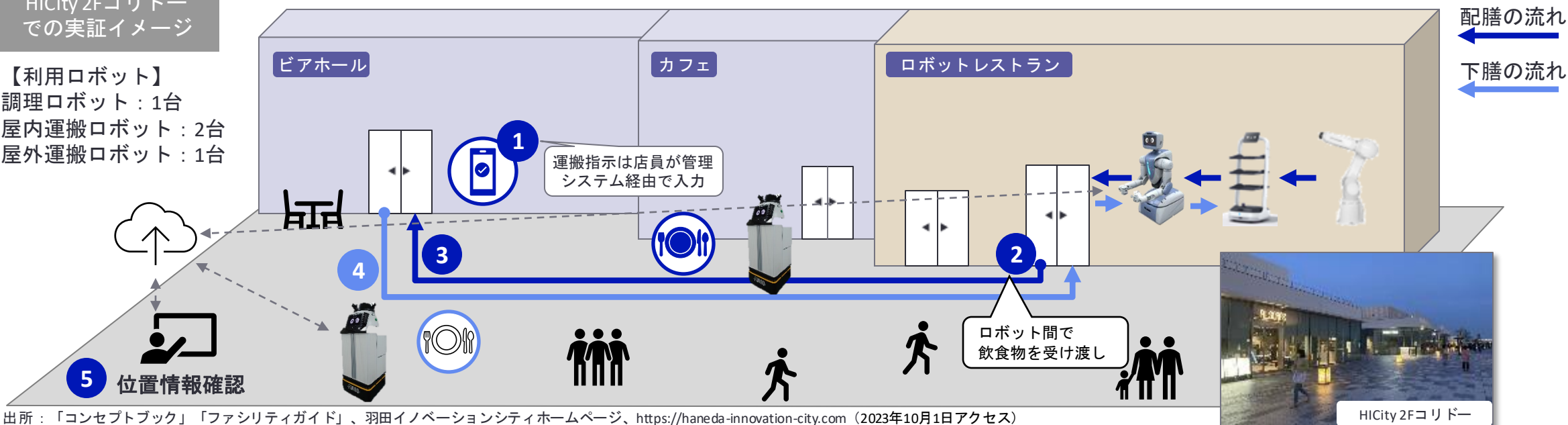
ロボットの位置情報の可視化を主な目的に利用客への飲食物の配膳及び下膳におけるロボットの運行およびその位置情報の確認を行う

実証の流れ

- ① 料理は利用者がアプリを通して注文。料理の運搬は、店員が運行管理システムを通じてスケジュールと運搬位置の指示を行う
- ② ロボットレストランにおいて、料理の調理を行い、屋外の運搬ロボットに料理を受け渡す
- ③ 運搬ロボットは指定された利用客位置まで料理を運ぶ
- ④ 店員の指示で運搬と同じルートを通り、運搬ロボが移動し、食事後のトレーや容器等を下膳する
- ⑤ 屋内外の運行においてロボットの位置の取得・可視化を行う

HICity 2Fコリドー
での実証イメージ

【利用ロボット】
調理ロボット：1台
屋内運搬ロボット：2台
屋外運搬ロボット：1台



実証ユースケースC. 手荷物搬送：概要

ロボット同士の経路調停を主な目的に、利用客の手荷物のホテルまでの運搬業務を運搬ロボットの運行で実施する

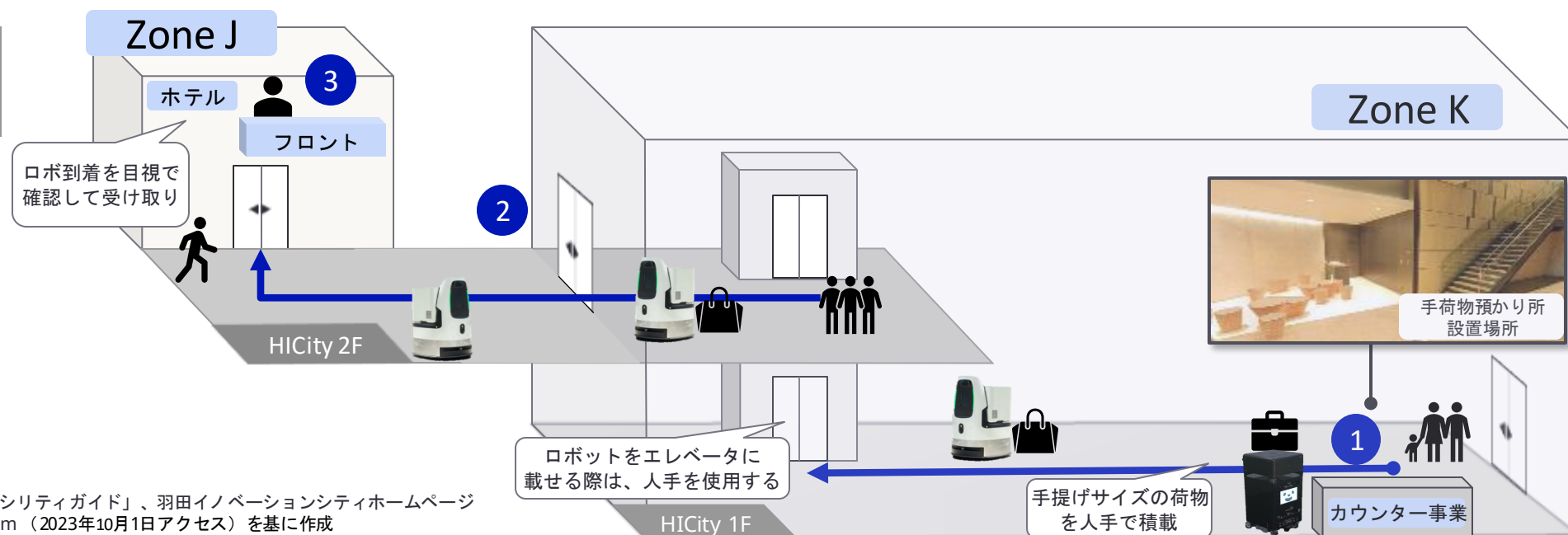
実証の流れ

- ① Zone K 1Fのカウンター事業において、利用客から手荷物を受け取る。担当者がロボットに手荷物を積み、運行管理システムより配送先指示を行う
- ② Zone K 2Fからホテル（Zone J）まで運搬する。適宜ほかの運行中ロボットと経路調停※を行い、専有されている経路を避けて運行する
- ③ ホテルに到着し、フロント担当が荷物を受け取る

※経路調停は、他ベンダー含むほかロボット機体の待機位置／経路占有状況を空間情報で確認し、先勝ち方式（先行者優先）で調停する方式を想定する

HiCity のZone K（1-2F）
/ ホテル（Zone J）
での実証イメージ

【利用ロボット】
運搬ロボット：2台
※経路調停を実施



出所：「コンセプトブック」「ファシリティガイド」、羽田イノベーションシティホームページ
<https://haneda-innovation-city.com>（2023年10月1日アクセス）を基に作成

実証ユースケースD. 施設内物流：概要

ロボット同士の経路調停やエレベータ連携を主な目的に、施設内におけるオフィスまでの荷物配送を運搬ロボットの運行で実施する

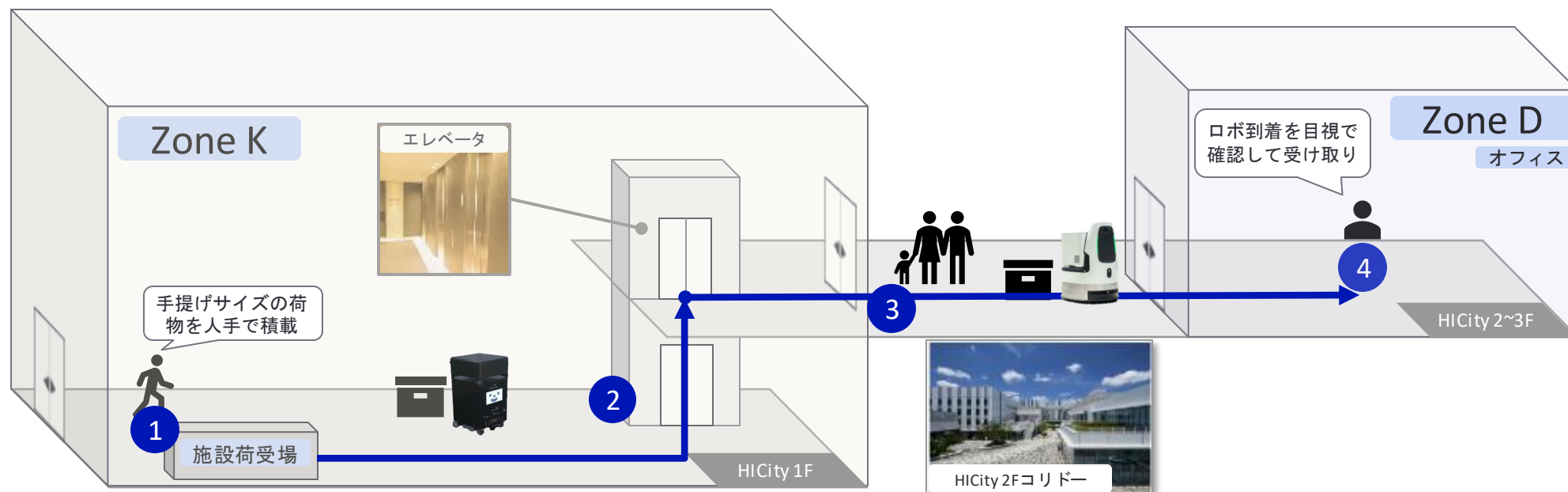
実証の流れ

- ① 1Fの仮施設荷受け場において、配送業者から預かった荷物を運搬ロボットに積載する
- ② ロボットは1Fから2Fへの移動においてエレベータと連携して、エレベータへの乗降を行う。ほかロボットが使用していれば待機※する
- ③ 2Fからコリドーを通りZone D（オフィス棟）まで移動し、エレベータと連携して3Fへ移動する。適宜ほかの運行中ロボットと経路調停※を行い、専有されている経路を避けて運行する
- ④ オフィスに到着し、担当者が荷物を受け取る

※待機及び経路調停は、他ベンダー含むほかロボット機体の待機位置／経路占有状況を空間情報で確認し、先勝ち方式（先行者優先）で調停する方式を想定

HICity Zone K（1-2F）
/ Zone D（2-3F）
での実証イメージ

【利用ロボット】
運搬ロボット：2台
※経路調停を実施



出所：「コンセプトブック」「ファシリティガイド」、羽田イノベーションシティホームページ、<https://haneda-innovation-city.com/facility/#/floor/>（2024年1月30日アクセス）を基に作成

(参考) 本調査における実証使用ロボット一覧

本調査では複数ベンダーのロボット実機を利用して実証実験を行った

メーカー	鹿島建設株式会社	川崎重工業株式会社			ソフトバンク株式会社 (株)デンソー委託先)	株式会社デンソー
名称	Tornado	FORRO	Pudu	Nyokkey	Cuboid	(試作機)
概要	掃除ロボット	配送ロボット	配送ロボット	双腕付き自律移動 ロボット	配送ロボット	配送ロボット
実証 ユース ケース	A	✓				
	B		✓	✓	✓	
	C				✓	✓
	D				✓	✓
イメージ						

3. 実機検証

3.1 実証ユースケース

3.2 実証ユースケース×実証検討項目マッピング

3.3 実証環境の全体概要

3.4 ユースケースA. 警備・清掃

3.5 ユースケースB. 飲食運搬

3.6 ユースケースC. 手荷物搬送／D. 施設内物流

3.7 将来サービスユースケース

実証実験における検証内容一覧

共有情報に基づく複数ベンダーロボットの自律的な運行を本実証の目的と定め、関連性の高い検証（運行管理に必要な共通データ／複数モビリティの運行管理・制御／インフラ基盤）を中心に検証を行った

検証対象		検証項目	主な検証内容	実証	本検証における主な論点
1	分散協調制御での アーキテクチャ仮説	実証を通じたアーキテクチャ検証	今回の実証結果を踏まえたアーキテクチャの策定と既検討内容（4次元時空間情報基盤アーキテクチャガイドライン及びスマートビルガイドライン）との照合	—	
2	運行管理に必要なとなる 共通データ	協調制御に必要な共有情報	分散協調の運行管理において場の管理者とモビリティ運行者間で必要となる共通データ	✓	空間の環境情報 空間の運行情報
		ボクセル管理での適格性と データ共有・管理層の機能配置	運行に必要な共通データを共有する基盤「空間情報基盤」と「ビルOS」の機能配置に関する考察	✓	
3	複数モビリティの 運行管理・制御	分散協調運行の調停方法	運行中（中期）の出入口・エレベータホール等の狭い場所での調停方法（交通整理）	✓	
		複数モビリティの運行における 「監視」のあり方	複数のサービス提供者・モビリティ運行者を横断した運行および自動運転車等他モビリティを横断した運行における「監視」のあり方	✓	
4	インフラ基盤（設備・ 通信・充電ほか）	ロボットの設備利用時に 必要な設備連携	ビルデータ連携及び建物外システムとの連携におけるI/Fの在り方	✓	設備利用情報
		インフラ基盤の ハード・ソフト仕様	駐機場・充電場／通信基盤／センサー・IoTインフラに求められる要件	✓	
5	分散協調における サービス連携	タスク管理における 機能と必要情報	複数のサービス提供者・モビリティ運行者が連携しながら、E2Eでサービス受注から完了（決済等）まで行うために必要な機能配置と連携／共有情報	—	
		「認証」のあり方	ロボットを活用したサービスに係る事業者間の連携において必要な認可認証における機能配置	—	

(参考) 実証ユースケースA. 警備・清掃における詳細確認項目

※実証環境のアーキテクチャは3.3節にて記載あり

検証対象	検証項目	検証内容	確認項目
運行管理に必要となる共通データ	協調制御に必要な共有情報	共通データの過不足	
		共有データ（地図）の共有可能性	
		屋内外横断運行時の地図情報乗り換え	
	ボクセル管理での適格性とデータ共有・管理層の機能配置	空間IDによる空間情報基盤とスマートビルのデータ共有・管理層におけるデータ管理との機能配置	
複数モビリティの運行管理・制御	分散協調運行の調停方法	分散協調運行の管理の仕組みと限界	
	複数モビリティの運行における「監視」のあり方	調停結果あるいは通行ルールに対する準拠の監視方法	<ul style="list-style-type: none"> ロボット運行管理システムから、ロボット管理ミドルウェア（データ連携・蓄積・分析：DWH）に位置情報を連携するAPIを利用し、異なるベンダーで役割分担することにより“分散協調”として機能すること DWHに上げられた位置情報をもとに、同一フロア上の各ロボットの位置が可視化できること
インフラ基盤（設備・通信・充電ほか）	ロボットの設備利用時に必要な設備連携	ビル設備とロボットの連携	
		インフラセンサ情報の価値	
	インフラ基盤のハード・ソフト仕様	ハードの設置と構成の要件	
		データの受け渡し・保管方法における課題	

(参考) 実証ユースケースB. 飲食運搬における詳細確認項目

※実証環境のアーキテクチャは3.3節にて記載あり

検証対象	検証項目	検証内容	確認項目
運行管理に必要な共通データ	協調制御に必要な共有情報	共通データの過不足	
		共有データ（地図）の共有可能性	
		屋内外横断運行時の地図情報乗り換え	
	ボクセル管理での適格性とデータ共有・管理層の機能配置	空間IDによる空間情報基盤とスマートビルのデータ共有・管理層におけるデータ管理との機能配置	
複数モビリティの運行管理・制御	分散協調運行の調停方法	分散協調運行の管理の仕組みと限界	
	複数モビリティの運行における「監視」のあり方	調停結果あるいは通行ルールに対する準拠の監視方法	<ul style="list-style-type: none"> 各ロボットに取り付けている位置情報測位デバイス*（ichimill/UWB）からロボット管理ミドルウェア（データ連携・蓄積・分析：DWH）に位置情報を上げる仕組み（API）が動作すること *運行管理システムを保有しないロボットへの対応として外付け実施 DWHに上げられた位置情報をもとに、レストラン／コリドー上にある各ロボットの位置情報を可視化出来ること
インフラ基盤（設備・通信・充電ほか）	ロボットの設備利用時に必要な設備連携	ビル設備とロボットの連携	
	インフラ基盤のハード・ソフト仕様	インフラセンサ情報の価値	
		データの受け渡し・保管方法における課題	

(参考) 実証ユースケースC. 手荷物搬送における詳細確認項目

※実証環境のアーキテクチャは3.3節にて記載あり

検証対象	検証項目	検証内容	確認項目
運行管理に必要となる共通データ	協調制御に必要な共有情報	共通データの過不足	<ul style="list-style-type: none"> 各ロボットが共通で使ったデータをリストアップ (4.2節にて詳細記載)
		共有データ (地図) の共有可能性	<ul style="list-style-type: none"> ロボット用地図情報 (トポロジカル・グラフなど) を共有し、走行ルール等や、静的データ (長期間不変) である進入禁止エリアを共有できること 経路調停するための共通情報として、RRI運行管理地図 (トポロジカル・グラフ) を共有した場合の、複数ロボットのすれ違い・待機の仕組みが動作すること
		屋内外横断運行時の地図情報乗り換え	<ul style="list-style-type: none"> ロボットに予め登録した建物出入口の結節点にて、ロボット用地図情報の切り替えができること
	ボクセル管理での適格性とデータ共有・管理層の機能配置	空間IDによる空間情報基盤とスマートビルのデータ共有・管理層におけるデータ管理との機能配置	
複数モビリティの運行管理・制御	分散協調運行の調停方法	分散協調運行の管理の仕組みと限界	<ul style="list-style-type: none"> トポロジカル・グラフを活用し、ノードの占有・非占有状態を複数ベンダーのロボットが共有することによる経路調停が機能すること
	複数モビリティの運行における「監視」のあり方	調停結果あるいは通行ルールに対する準拠の監視方法	<ul style="list-style-type: none"> 複数ベンダー／複数ロボットから、ロボット管理ミドルウェア (データ連携・蓄積・分析: =DWH) に位置情報が上がること 複数ベンダー／複数ロボットの位置情報が、同一可視化システム上で可視化できること
インフラ基盤 (設備・通信・充電ほか)	ロボットの設備利用時に必要な設備連携	ビル設備とロボットの連携	
	インフラ基盤のハード・ソフト仕様	インフラセンサ情報の価値	
		ハードの設置と構成の要件	<ul style="list-style-type: none"> 人流情報 (人の位置) を取得できること
		データの受け渡し・保管方法における課題	

(参考) 実証ユースケースD. 施設内物流における詳細確認項目

※実証環境のアーキテクチャは3.3節にて記載あり

検証対象	検証項目	検証内容	確認項目	
運行管理に必要なとなる共通データ	協調制御に必要な共有情報	共通データの過不足	<ul style="list-style-type: none"> 各ロボットが共通で使ったデータをリストアップ (4.2節にて詳細記載) 	
		共有データ (地図) の共有可能性	<ul style="list-style-type: none"> 空間情報基盤システムを介して、走行ルールを含む地図情報を共有できること 	
	屋内外横断運行時の地図情報乗り換え			
ボクセル管理での適格性とデータ共有・管理層の機能配置	空間IDによる空間情報基盤とスマートビルのデータ共有・管理層におけるデータ管理との機能配置	<ul style="list-style-type: none"> 経由地・目的地情報から目的地までに必要な地図情報 (トポロジカル・グラフ、ロボット用地図) を空間情報基盤を介して取得できること 空間情報基盤システムを介して、準動的データである進入禁止エリアを共有できること 		
複数モビリティの運行管理・制御	分散協調運行の調停方法	分散協調運行の管理の仕組みと限界	<ul style="list-style-type: none"> トポロジカル・グラフを活用し、ノードの占有・非占有状態を複数ベンダーのロボットが共有することによる経路調停がエレベータ待機位置で機能すること 	
	複数モビリティの運行における「監視」のあり方	調停結果あるいは通行ルールに対する準拠の監視方法		
インフラ基盤 (設備・通信・充電ほか)	ロボットの設備利用時に必要な設備連携	ビル設備とロボットの連携	<ul style="list-style-type: none"> 他実証で実施したエレベータ連携共通API (FALCON) の活用により、複数ロボットが異なるエレベータシステムと連携できること 	
	インフラ基盤のハード・ソフト仕様	インフラセンサ情報の価値	<ul style="list-style-type: none"> インフラセンサによる人流情報 (人の位置) を協調運行管理の仕組みに適用して、人が存在する場合にはロボットが待機して人との協調動作ができること インフラセンサによる人流情報をルート計画に利用して、人流の多い場所を避けたルートを生成できること 	
		ハードの設置と構成の要件		
		データの受け渡し・保管方法における課題	<ul style="list-style-type: none"> インフラセンサ (空間統合) とデータ連携システム (DWH等) 間のデータ送受信 	

3. 実機検証

3.1 実証ユースケース

3.2 実証ユースケース×実証検討項目マッピング

3.3 実証環境の全体概要

3.4 ユースケースA. 警備・清掃

3.5 ユースケースB. 飲食運搬

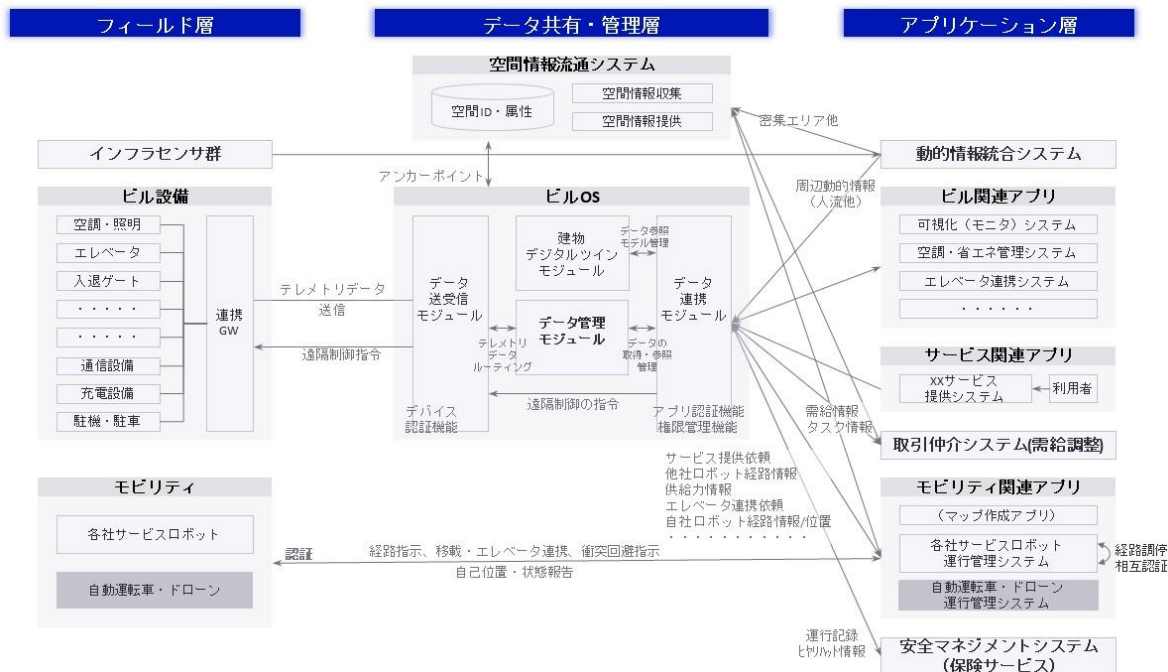
3.6 ユースケースC. 手荷物搬送／D. 施設内物流

3.7 将来サービスユースケース

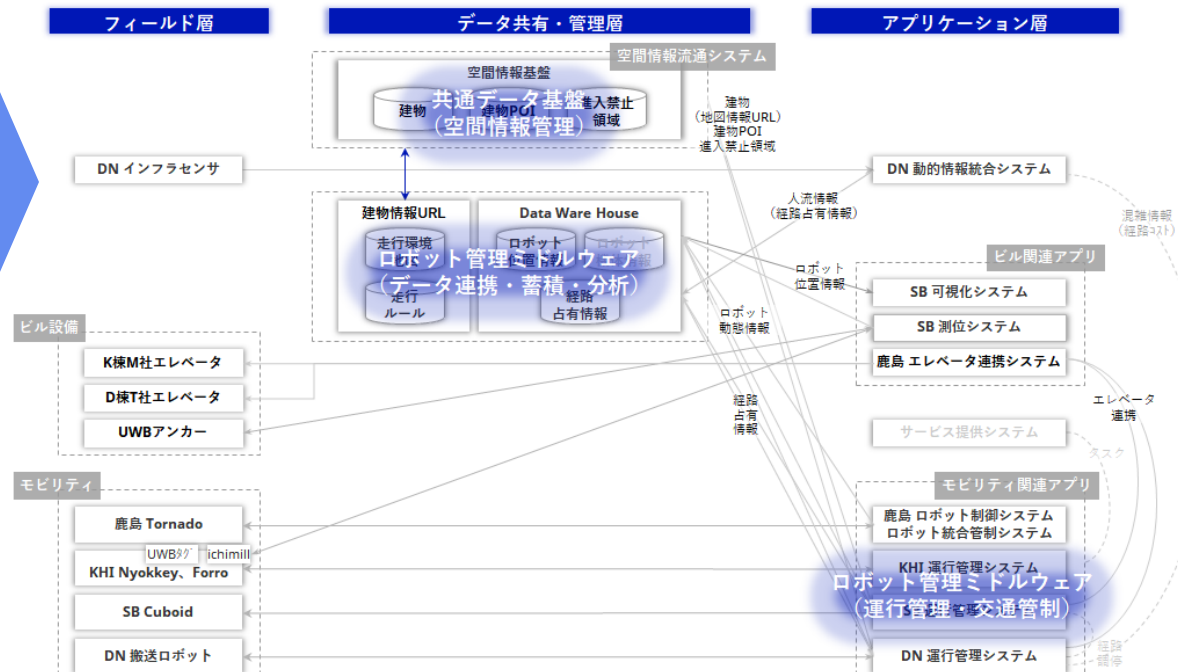
調達仕様書機能要件とアーキ仮説

4.1節にて述べる分散協調制御のアーキ仮説をベースに、既存／保有技術を活用しつつ、調達仕様書の機能要件である「空間情報管理」「データ連携・蓄積・分析」等の一部機能に対応した環境を構築

アーキテクチャ仮説 (4.1節参照)



実証実験環境の全体概要 (次頁)



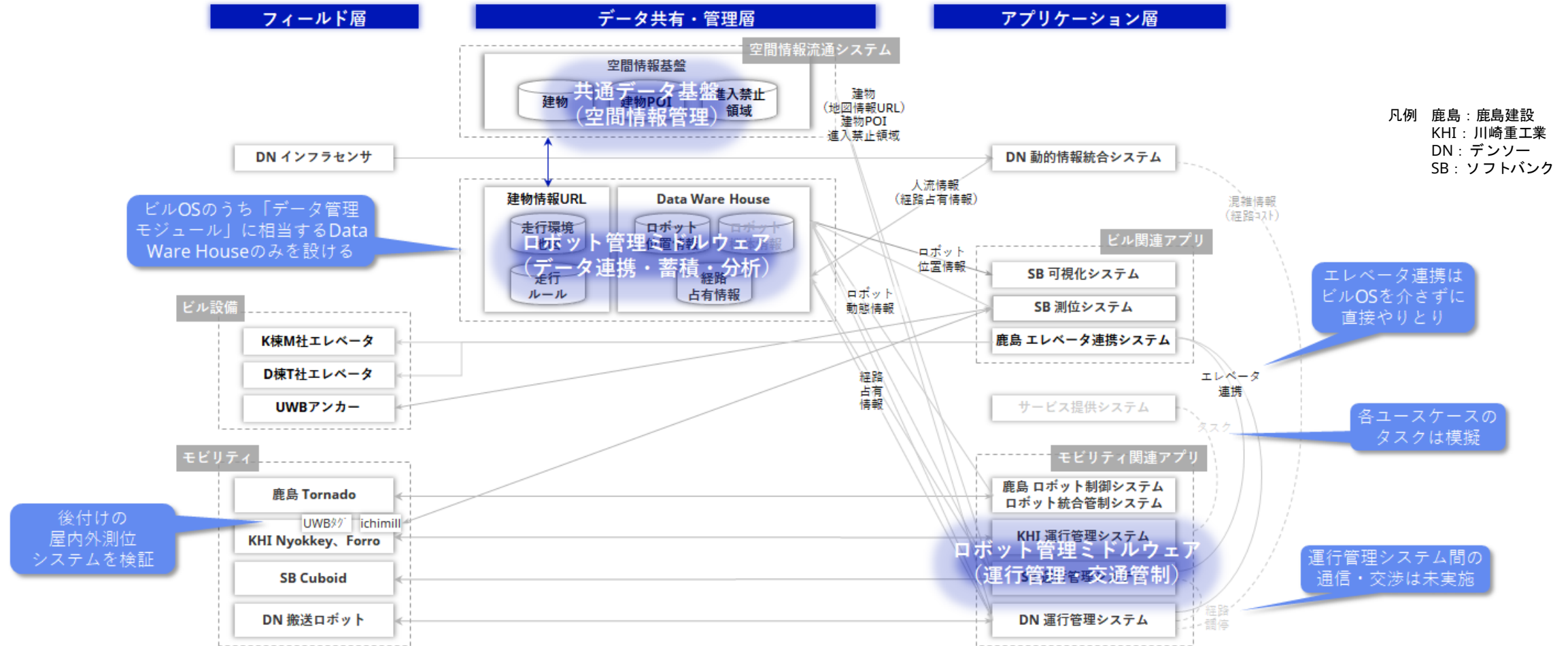
：調達仕様書における機能要件

凡例 鹿島：鹿島建設、KHI：川崎重工業、DN：デンソー、SB：ソフトバンク

実機検証環境の全体概要

DADCの既検討*の考えを統合した分散協調におけるアーキテクチャを仮説し、各社の既存システムで構築した実験環境を元に、既検討の考え方が分散協調への応用が可能か検証を行った

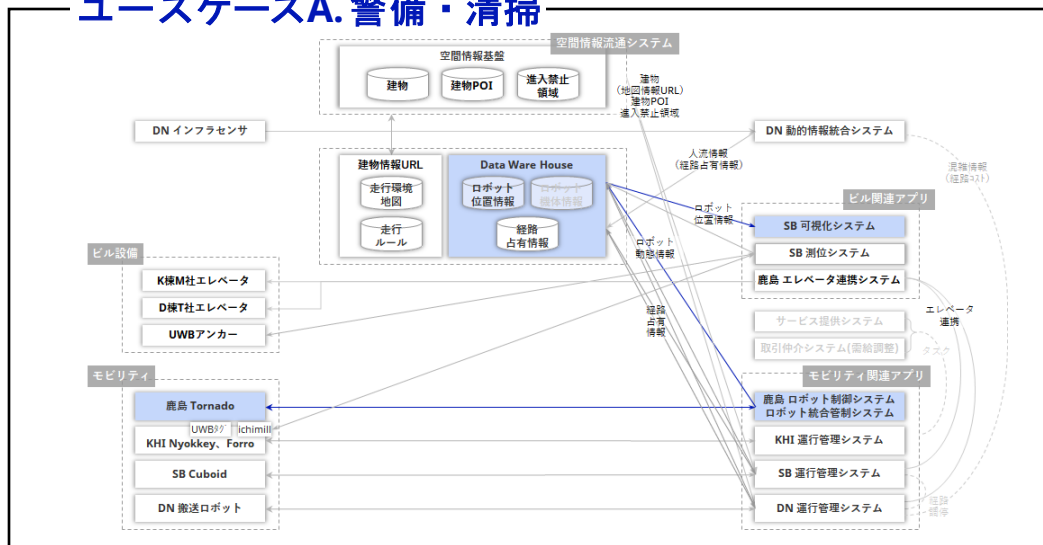
*DADC（デジタルアーキテクチャ・デザインセンター）の既検討：
「4次元時空間情報基盤アーキテクチャガイドライン（β版）」 「スマートビルシステムアーキテクチャガイドライン」 「自律移動ロボットアーキテクチャ設計報告書」



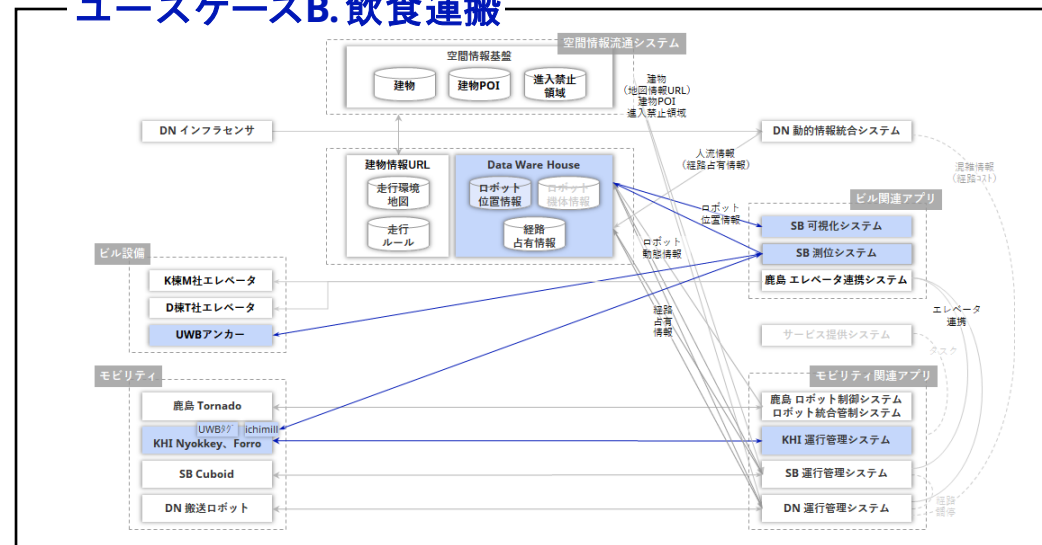
ユースケース毎の構成要素概要

※青塗り箇所が各ユースケースの実証実験で使用した環境

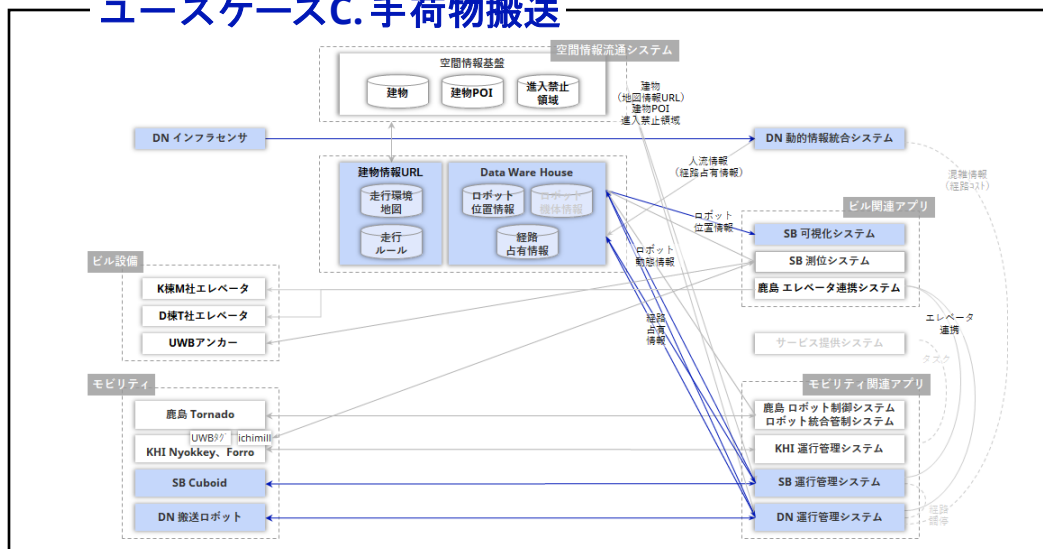
ユースケースA. 警備・清掃



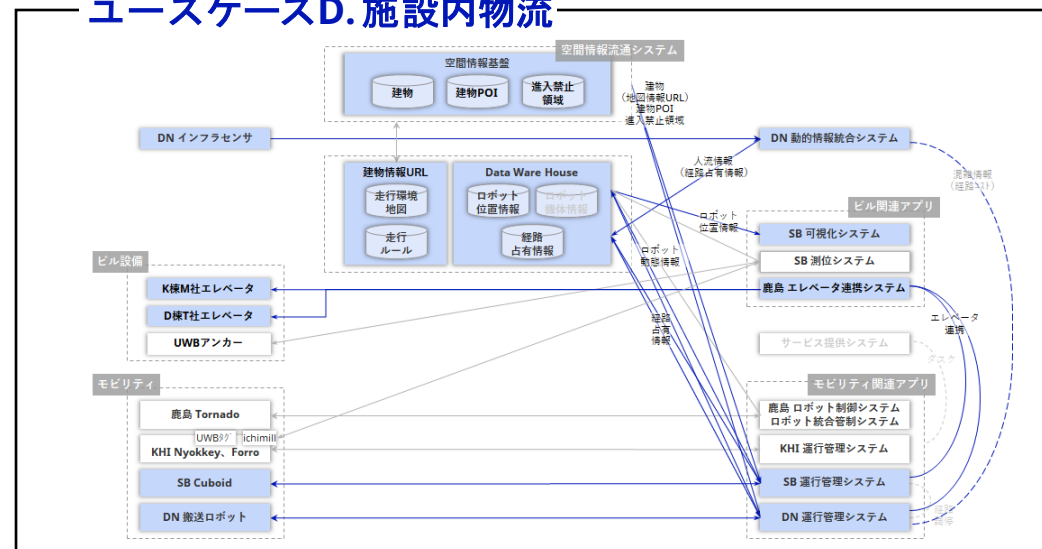
ユースケースB. 飲食運搬



ユースケースC. 手荷物搬送



ユースケースD. 施設内物流



3. 実機検証

3.1 実証ユースケース

3.2 実証ユースケース×実証検討項目マッピング

3.3 実証環境の全体概要

3.4 ユースケースA. 警備・清掃

3.5 ユースケースB. 飲食運搬

3.6 ユースケースC. 手荷物搬送／D. 施設内物流

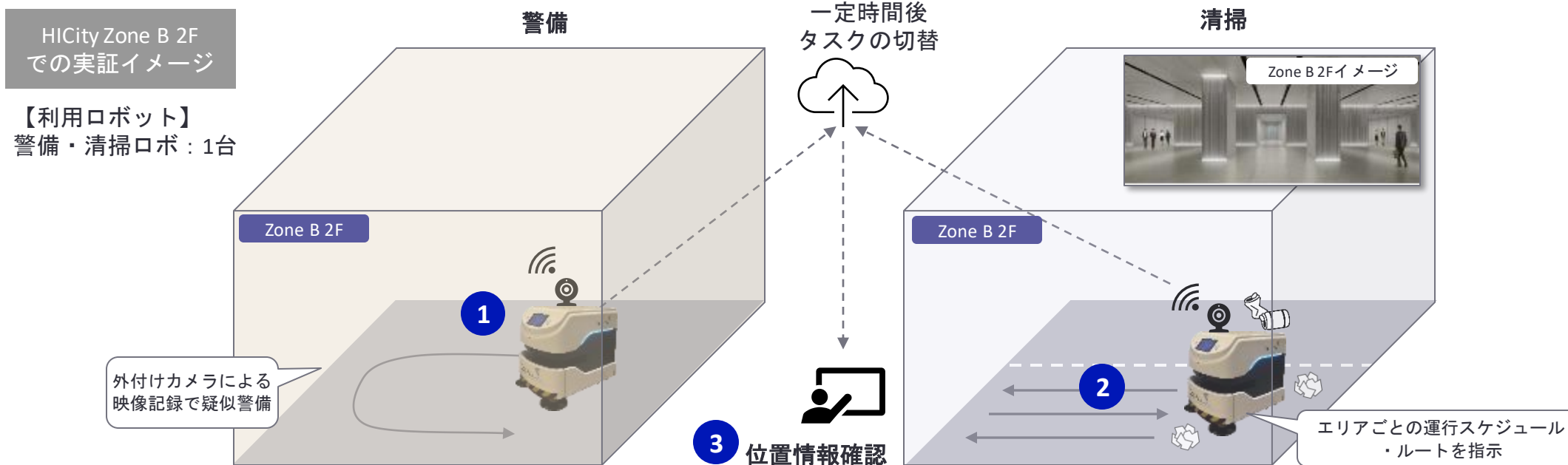
3.7 将来サービスユースケース

【概要】実証ユースケースA. 警備・清掃

警備・清掃のユースケースでは、ロボットの位置情報の可視化を主な目的に、スケジュールされたロボット運行およびその位置情報の確認を行います

<p>実証での 検証ポイント</p>	<p>空間情報を活用したロボットの 位置情報の可視化</p>	<p>実証の流れ</p>	<ol style="list-style-type: none"> ① 運行管理システムより、ロボットごとの運行エリア・タスク内容スケジュールの設定を行う。昼間タスクとして、警備業務を行う ② 設定されたスケジュールに則って、夜間になるとタスクを切り替えて清掃業務を実行する ③ 1,2番の運行においてロボット位置の取得・可視化を行う
------------------------	------------------------------------	--------------	---

実際は夜間ではなく
日中で時間帯を
分けて運行



ユースケースAの検証内容

ユースケースAの位置付け

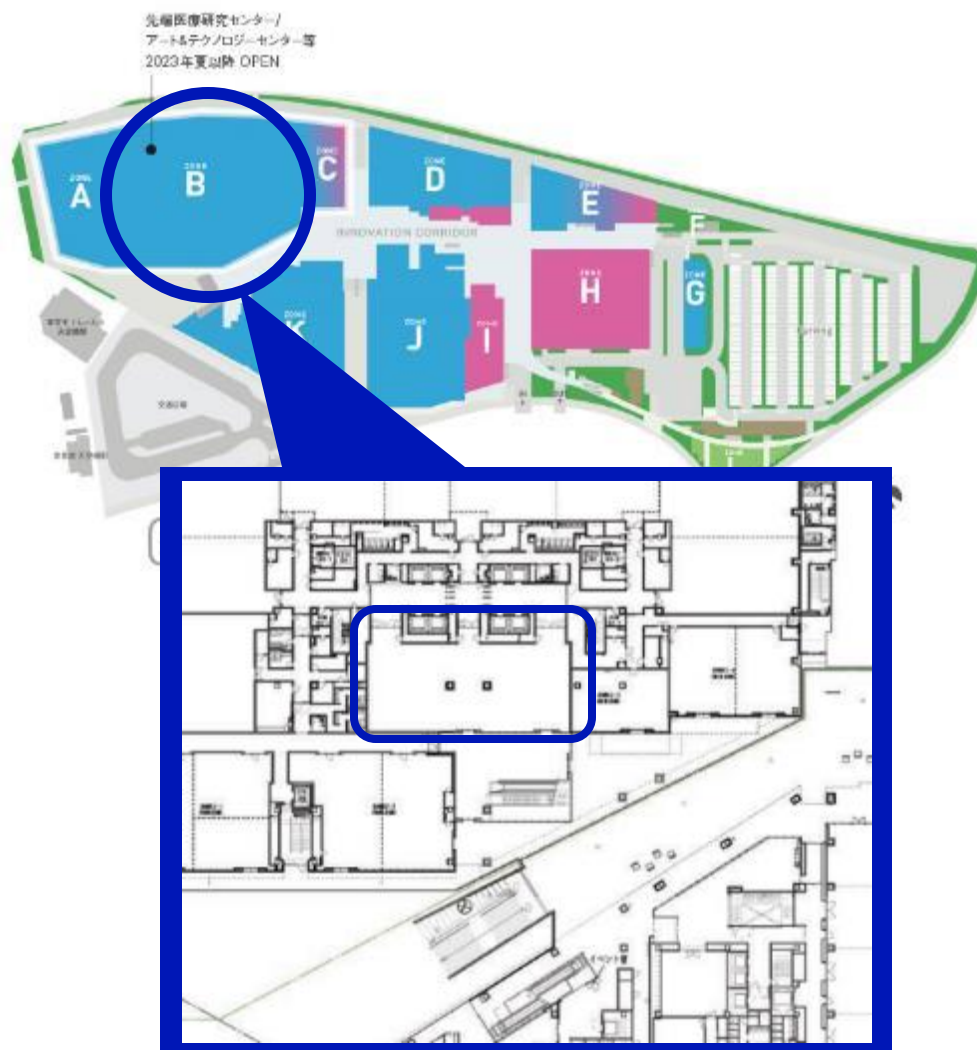
- 単一の集中管制システムによらずロボット位置情報を連携し可視化できる事を実証する
- その結果を基に、今後のユースケースにおける調停結果や通行ルールの管理方法、準拠状況可視化・アラート発報方法などを机上で考察する

検証論点

- 鹿島建設（以下、「ベンダーA」とする）所有ロボット運行管理システムから、SoftBank（以下、「ベンダーB」とする）所有ロボット管理ミドルウェア（データ連携・蓄積・分析：DWH）に位置情報を連携するAPIを利用し、異なるベンダーで役割分担することにより“分散協調”として機能する事を確認する

ユースケースAの実証フィールド

HiCity Zone B 2Fロビー



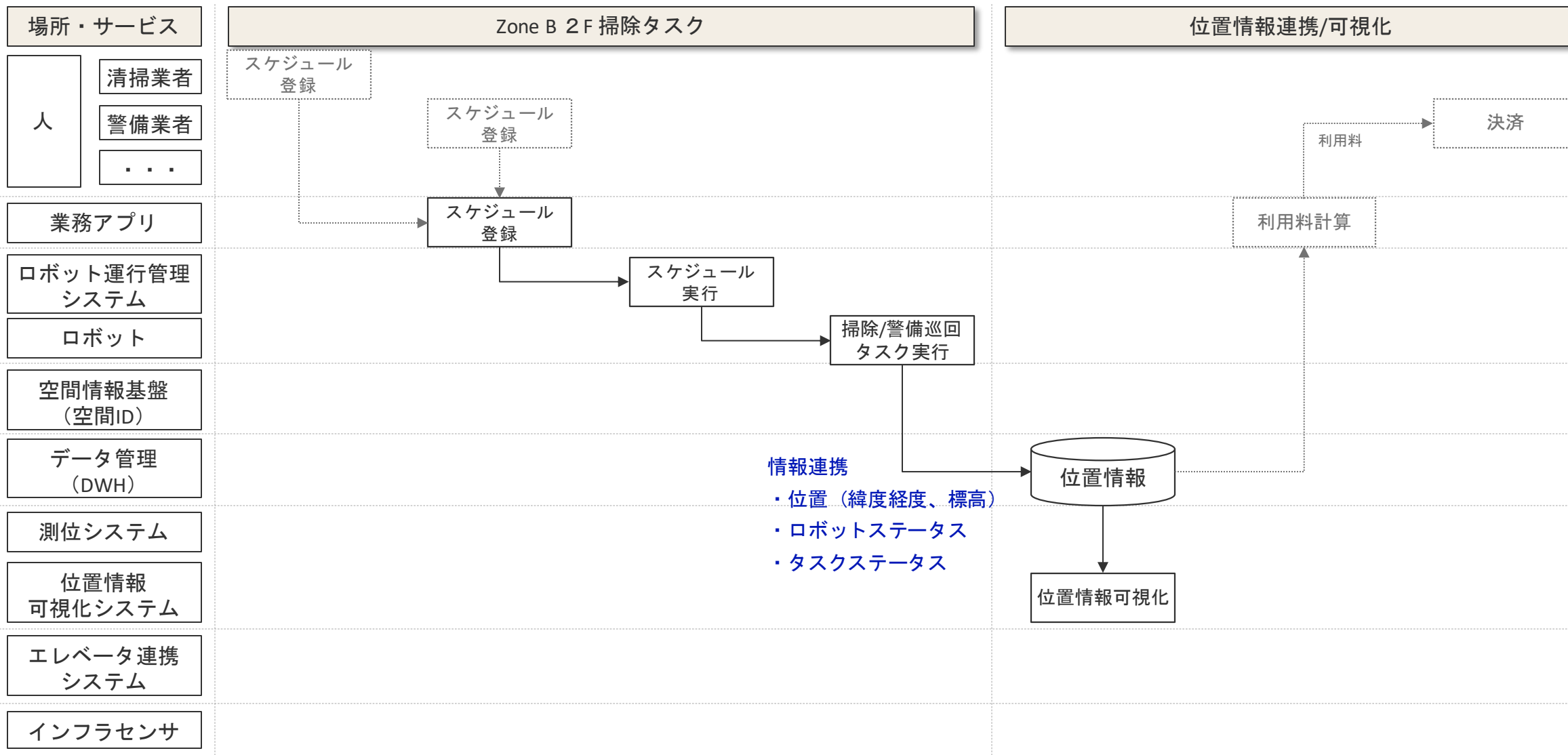
ユースケースAの使用ロボット



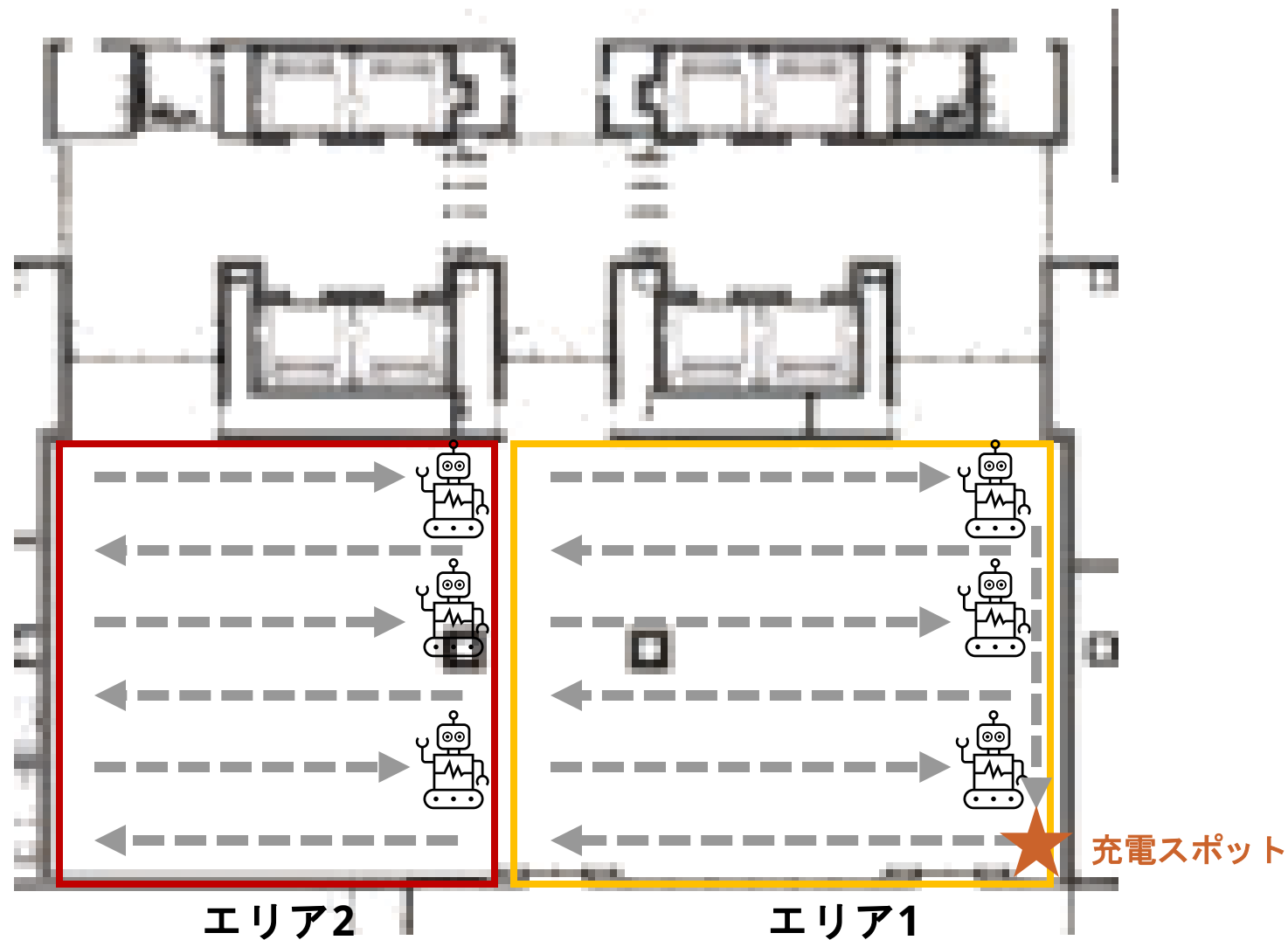
Tornado

- 事前に構築したマップを用いて、以下2種類のモードで動作が可能
 - 掃除モード
 - 指定されたエリアを往復運動によって掃除動作を行う
 - 巡回モード
 - 指定されたルートを順次移動する
- ✓ 作業完了後は自動で充電ポットに帰還し、充電を開始する

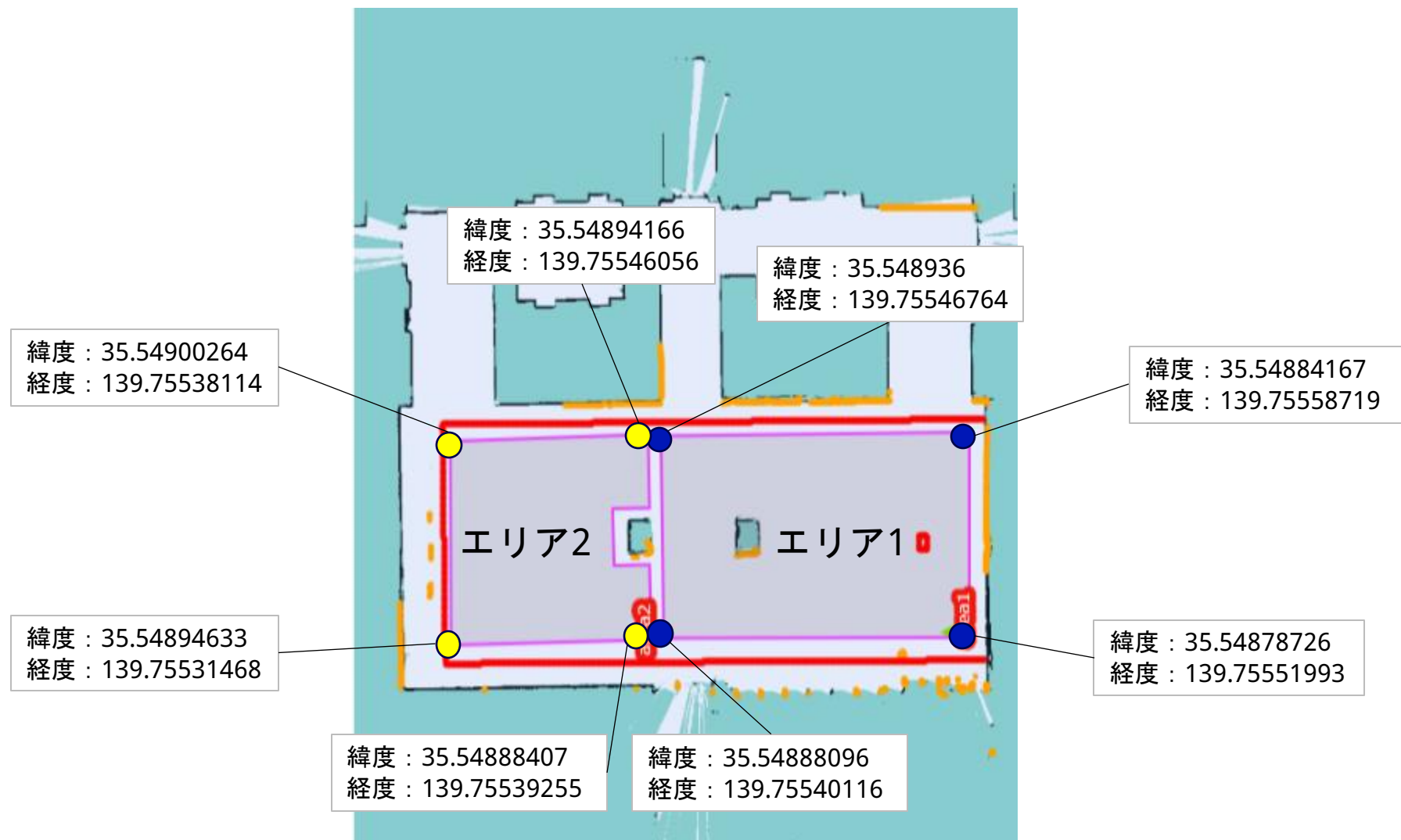
ユースケースAの実証フロー



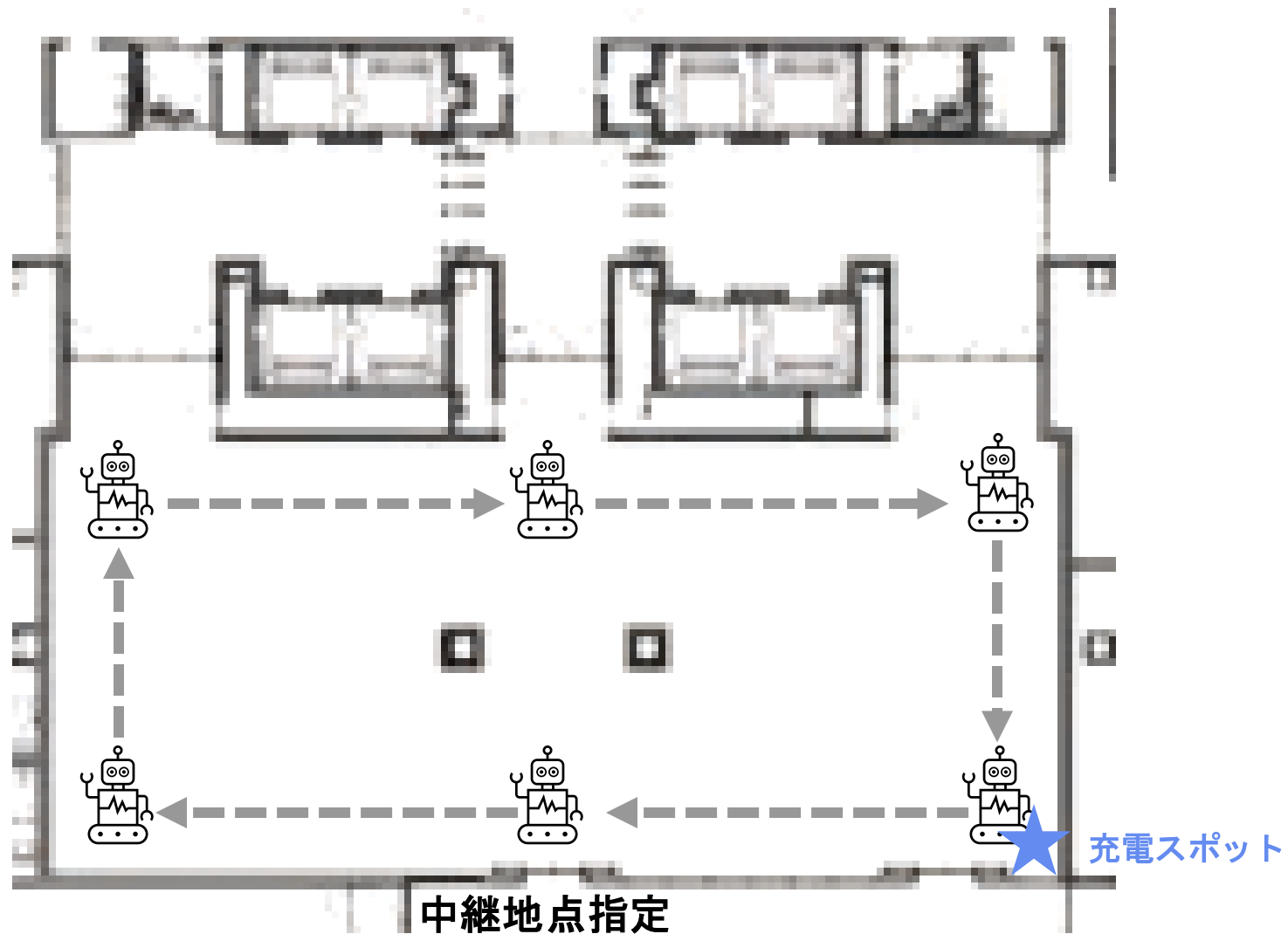
清掃ルート（フロアを2つのエリアに分割）



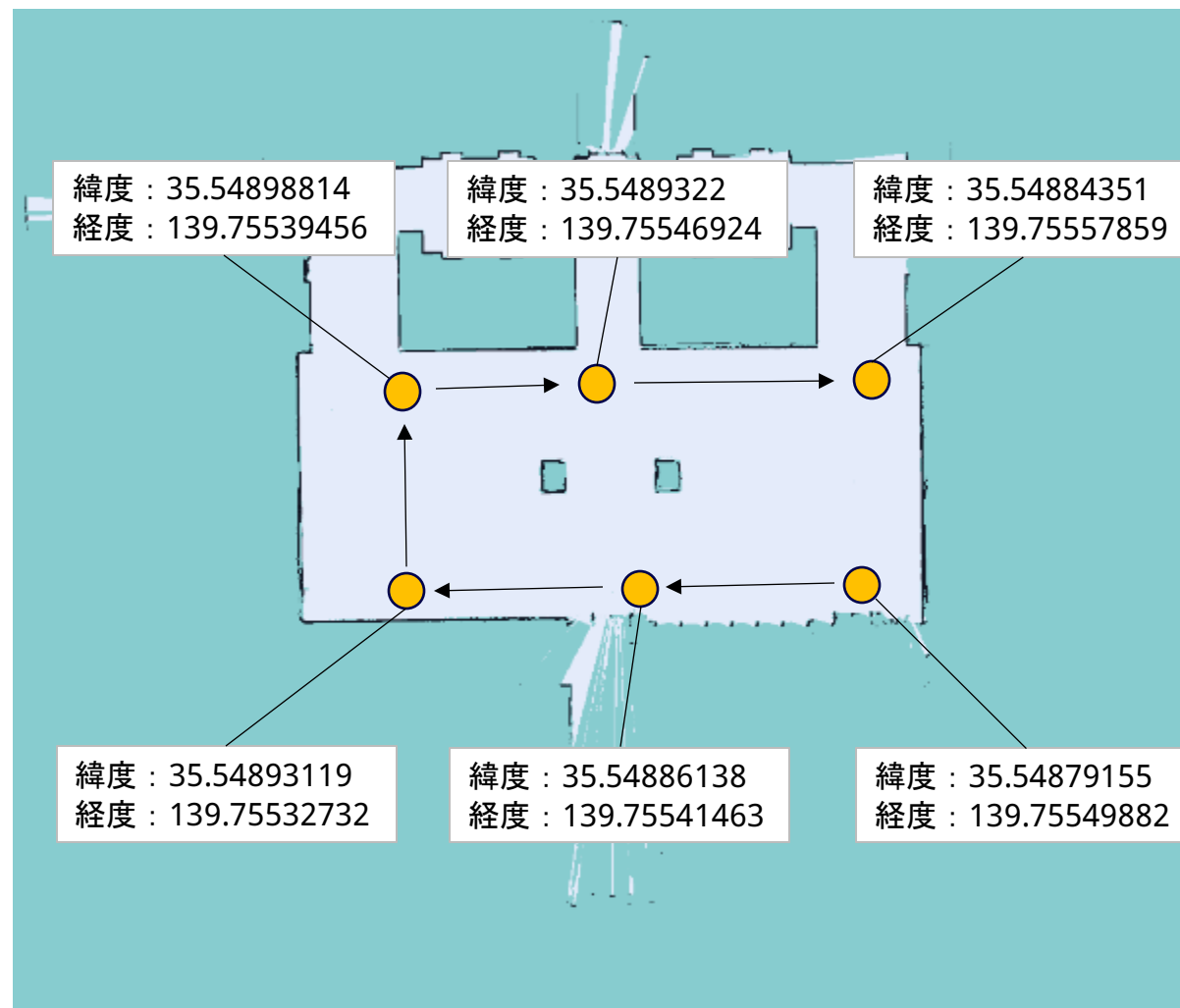
清掃エリア詳細設定値



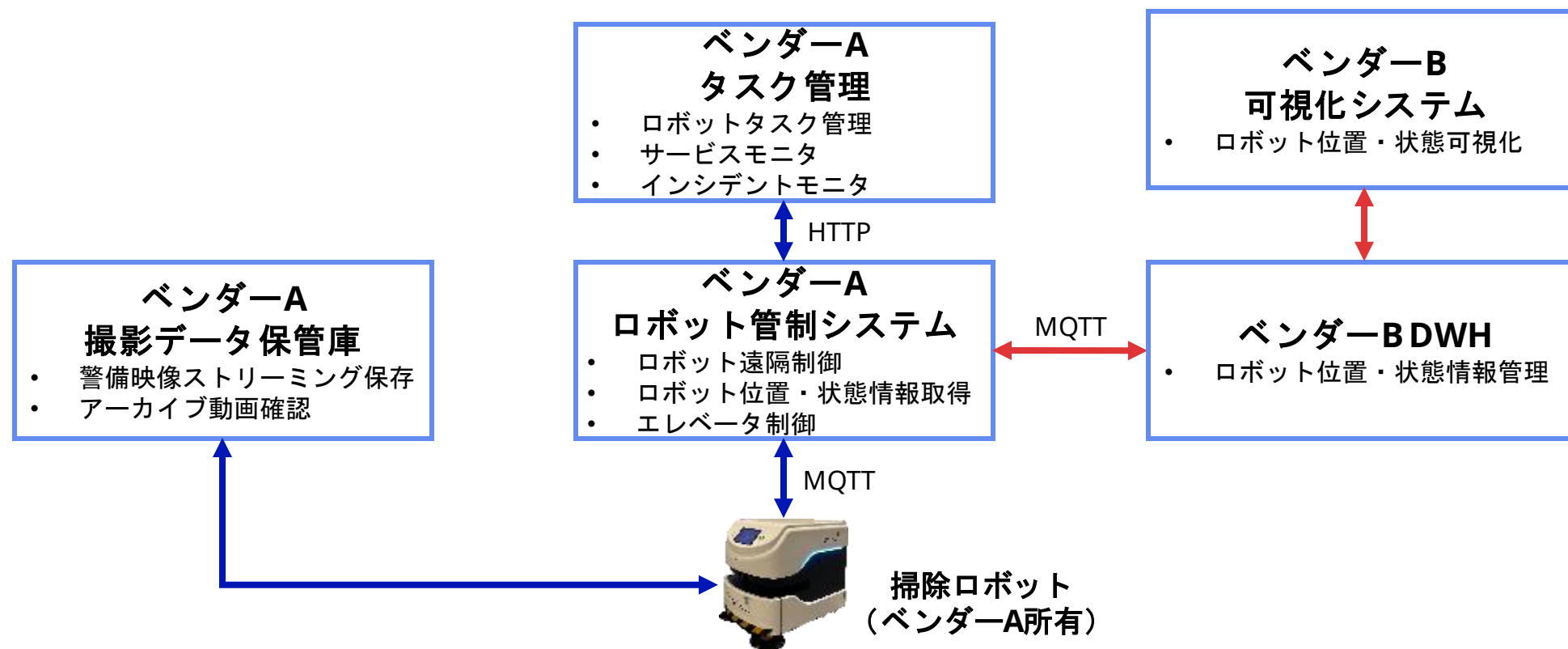
警備巡回ルート



中継地点の設定値詳細



ユースケースAの実機検証環境



タスク運行の実証スケジュール

日付	11/20	11/21	11/22	11/23 (祝日)	11/24
運行実績	10:42 警備 12:21 清掃 エリア1 13:13 警備 13:19 清掃 エリア1	10:30 清掃 エリア2 11:00 清掃 エリア1 13:00 警備 14:00 清掃 エリア1 15:00 警備 16:00 清掃 エリア2 17:00 警備	10:30 警備 11:00 清掃 エリア1 13:00 警備 15:00 清掃 エリア2 17:00 警備	N/A	13:00 警備 15:00 清掃 エリア2 17:00 警備 17:30 清掃 エリア1

11/20 作業詳細

11/20	11/21	11/22	11/23（祝日）	11/24
清掃／警備巡回モードそれぞれの位置情報が連携できることを確認	清掃モード時の位置情報可視化の確認と評価	警備巡回モード・清掃モード時の位置情報可視化の確認と評価	N/A	清掃モード時の塗りつぶし走行／警備巡回モード時の巡回走行の確認と評価

ベンダーAロボット管制システム（以下、「システムA」とする）とベンダーB DWH（以下、「システムB」とする）間でログを用いたデータの突合を行った。具体的には、以下それぞれの項目のデータ数、または割合を算出した。

1. システムAにもシステムBにも存在するデータ
2. システムAに存在するが、システムBに存在しないデータ
3. システムAに存在せず、システムBに存在するデータ

方針

- モードに関係なく、運用開始から終了までの静止状態を含む全てのデータに対して突合を行う
- 2,3の項目が0以外の値となった場合
 - 時間・座標・ロボット状態などの詳細な値を確認すると同時に、システムAとシステムBのログを確認することで原因究明に努める
- 初日で大きな問題が発生しなければ本作業は毎日実施

（突合方法の詳細は補足資料で解説）

(補足) システムAとシステムBのデータログ突合

全てのデータがシステムAからシステムBに正常にアップロードできていることを確認。また、システムB側でデータ捏造・改竄が行われていないことも確認した

システムAログ


 同じデータ種別の同じタイムスタンプのデータを比較する

システムBログ

```
[INFO] [2023-11-06
00:49:17.559]:[api] [pub] [hic/dwh/location-
adapter] {"device": {"device_id": "kajima_robot_01",
"location_timestamp": 1699264156559, "position":
{"position_type": 1, "latitude": 35.54878477,
"longitude": 139.75552619, "altitude": 35.35353,
"voxel_id": null}, "orientation": {"orientation_x":
null, "orientation_y": null, "orientation_z": null,
"orientation_w": null}, "floor_name": "2F"}}
```

```
[INFO] [2023-11-06
00:49:17.559]:[api] [pub] [hic/dwh/device-information-
adapter] {"device": {"device_id": "kajima_robot_01",
"device_information_timestamp": 1699264156559,
"battery_charge_remaining": 0, "device_status": 2,
"task_status": 0}}
```

```
{"id": "d9f6b725-b226-41ec-8e18-b456f855c5ae", "source": "spatialintegration", "type":
"MQTT.EventPublished", "time": "2023-11-06T00:49:17.581+00:00", "specversion": "1.0",
"subject": "hic/dwh/location-adapter", "EventProcessedUtcTime": "2023-11-
06T00:49:18.0446947Z", "PartitionId": 0, "EventEnqueuedUtcTime": "2023-11-
06T00:49:17.7600000Z", "data": "{\"device\": {\"device_id\": \"kajima_robot_01\",
\"location_timestamp\": 1699264156559, \"position\": {\"position_type\": 1, \"latitude\":
35.54878477, \"longitude\": 139.75552619, \"altitude\": 35.35353, \"voxel_id\": null},
\"orientation\": {\"orientation_x\": null, \"orientation_y\": null, \"orientation_z\":
null, \"orientation_w\": null}, \"floor_name\": \"2F\"}}"}}
```

```
{"id": "5da54654-081c-40a2-b65e-57a7cc676f61", "source": "spatialintegration", "type":
"MQTT.EventPublished", "time": "2023-11-06T00:49:17.632+00:00", "specversion": "1.0",
"subject": "hic/dwh/device-information-adapter", "EventProcessedUtcTime": "2023-11-
06T00:49:18.1033632Z", "PartitionId": 0, "EventEnqueuedUtcTime": "2023-11-
06T00:49:17.8380000Z", "data": "{\"device\": {\"device_id\": \"kajima_robot_01\",
\"device_information_timestamp\": 1699264156559, \"battery_charge_remaining\": 0,
\"device_status\": 2, \"task_status\": 0}}"}}
```

	11/20	11/21	11/22	11/23 (祝日)	11/24
双方のシステムに存在するデータ	100%	100%	100%		100%
システムAのみに存在するデータ	0%	0%	0%	N/A	0%
システムBのみに存在するデータ	0%	0%	0%		0%

11/21 作業詳細

11/20	11/21	11/22	11/23 (祝日)	11/24
清掃／警備巡回モードそれぞれの位置情報が連携できることを確認	清掃モード時の位置情報可視化の確認と評価	警備巡回モード・清掃モード時の位置情報可視化の確認と評価	N/A	清掃モード時の塗りつぶし走行／警備巡回モード時の巡回走行の確認と評価

ベンダーB可視化システムにおいて、清掃モード時にロボットの位置情報がリアルタイムに更新され、塗りつぶし走行している様子を確認する。
現在時刻を表示させた状態で可視化画面を画面録画することでエビデンス取得を行う（下貼付画像）。

エリア1



エリア2



11/22 作業詳細

11/20	11/21	11/22	11/23 (祝日)	11/24
清掃／警備巡回モードそれぞれの位置情報が連携できることを確認	清掃モード時の位置情報可視化の確認と評価	警備巡回モード・清掃モード時の位置情報可視化の確認と評価	N/A	清掃モード時の塗りつぶし走行／警備巡回モード時の巡回走行の確認と評価

ベンダーB可視化システムにおいて、警備巡回モード時にロボットの位置情報がリアルタイムに更新され、巡回走行している様子を確認する。

加えて、現在時刻を表示させた状態で可視化画面を画面録画することでエビデンス取得を行う。

警備タスク可視化画面キャプチャ



11/24 作業詳細

11/20	11/21	11/22	11/23 (祝日)	11/24
清掃／警備巡回モードそれぞれの位置情報が連携できることを確認	清掃モード時の位置情報可視化の確認と評価	警備巡回モード・清掃モード時の位置情報可視化の確認と評価	N/A	清掃モード時の塗りつぶし走行／警備巡回モード時の巡回走行の確認と評価

- 清掃モード時に指定されたエリアを塗り潰し走行しているか
- 警備巡回モード時に指定された中継ポイントを経由して巡回走行しているかを、地図上にロボットの位置情報や清掃エリア、中継ポイントを重ねてプロットすることによって確認した

清掃モード時の塗りつぶし走行の確認

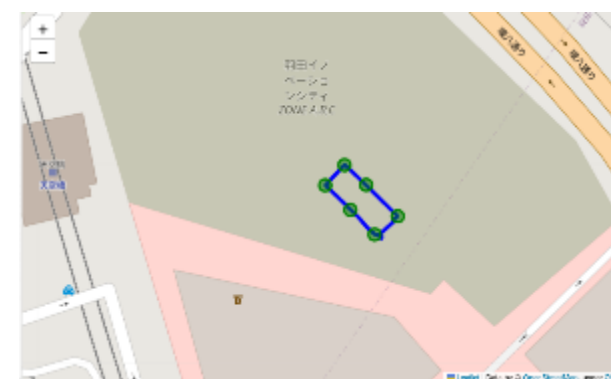
エリア1



エリア2



警備巡回モード時の巡回走行の確認



実証結果と考察

実証結果

- ロボットの「運行」と「可視化」を、異なるベンダーで役割分担することで“協調管理”を行なった
- ロボット運行ベンダー側から他ベンダーのDWHに位置情報と状態情報を共有し、可視化システム上で確認できた
- お互いのログを突合することにより、データの欠損や改竄が無いことを確認した

課題・考察

システム視点

- **異なるビルOS間でインタフェース/データモデルの共通化が必要**
 - スケーラビリティの欠如（次頁詳細）：ロボットベンダーの参入数が増え、かつそれらが様々なビルOSと連携する必要性が生じた場合、システムスケーラビリティに懸念点が残る

セキュリティ視点

- **ブロックチェーン技術等の耐改竄性・耐検閲性を備えたデータ共有の仕組みが必要**
 - データが誤っていた場合の責任範囲が曖昧
 - データ改竄・検閲などのリスクがある
 - 下記例において、
双方システムは外部からはブラックボックスなので、どちらに落ち度があるのかを第三者が証明することは不可能。
また、ベンダーBが意図的にデータを改竄している可能性も排除できない。
例) 可視化システムでおかしな挙動を発見
ベンダーAは「正しいデータを提供している」と主張
ベンダーBも「入力データをそのまま可視化している」と主張

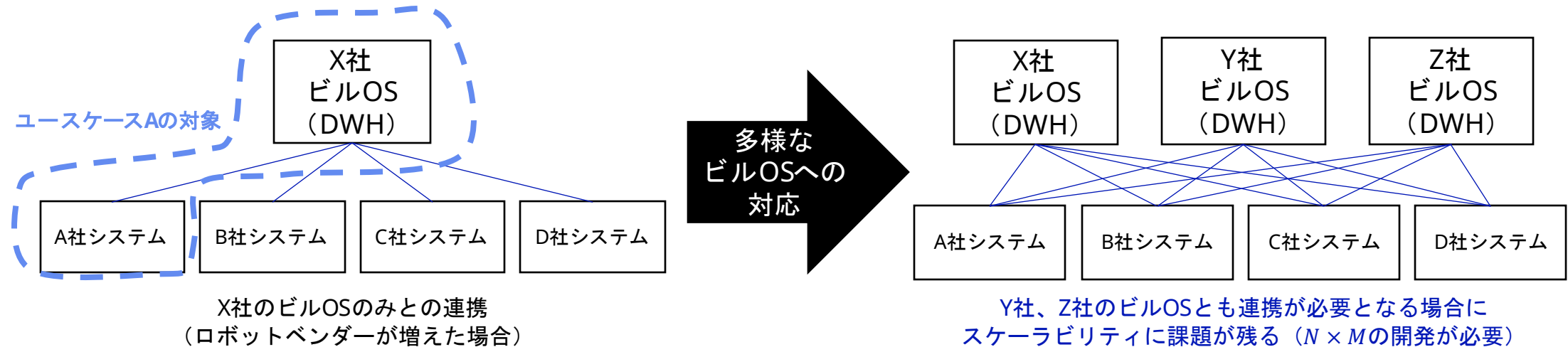
ビジネス視点

- モビリティ運航者と走行距離（集計）時間、距離による課金などによるビジネスモデルの変革
- 運行状況を連携する事による空いているロボットへの委託、別の事業者のロボット共同利用
- ロボットの異常停止位置（ゴミ満タンステータスなど）を連携する事で、他のシステムからゴミを引き取りにくるなど、ロボット間協調サービスの実現

(補足) 実証結果からの課題 (システム視点)

スケーラビリティの欠如

- ロボットベンダーの参入数が増え、かつそれらが様々なビルOSと連携する必要性が生じた場合、システムスケーラビリティに懸念点が残る



異なるビルOS間でインタフェース/データモデルの共通化が必要である

3. 実機検証

3.1 実証ユースケース

3.2 実証ユースケース×実証検討項目マッピング

3.3 実証環境の全体概要

3.4 ユースケースA. 警備・清掃

3.5 ユースケースB. 飲食運搬

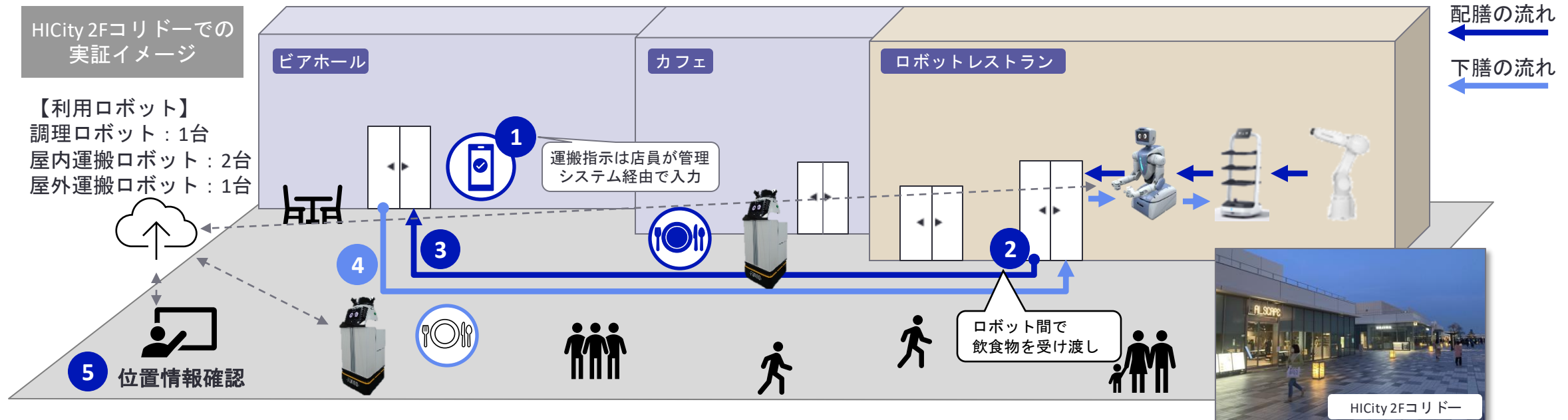
3.6 ユースケースC. 手荷物搬送／D. 施設内物流

3.7 将来サービスユースケース

【概要】 実証ユースケースB. 飲食運搬

飲食運搬のユースケースでは、ロボットの位置情報を可視化を主な目的に、利用客への配膳及び下膳におけるロボット運行およびその位置情報の確認を行う

<p>実証での 検証ポイント</p>	<p>空間情報を活用したロボットの位置情報の可視化</p>	<p>実証の流れ</p>	<ol style="list-style-type: none"> ①料理は利用者がアプリを通して注文。料理の運搬は、店員が運行管理システムを通じてスケジュールと運搬位置の指示を行う ②③ロボットレストランにおいて、料理の調理を行い、屋外の運搬ロボットに料理を受け渡し、運搬ロボットは指定された利用客位置まで料理を運ぶ ④店員の指示で運搬と同じルートを通り、運搬ロボットが移動し、食事後のトレーや容器等を下膳する ⑤屋内外の運行においてロボットの位置の取得・可視化を行う
-------------------------------	-------------------------------	---------------------	--



ユースケースBの検証内容

ユースケースBの位置付け

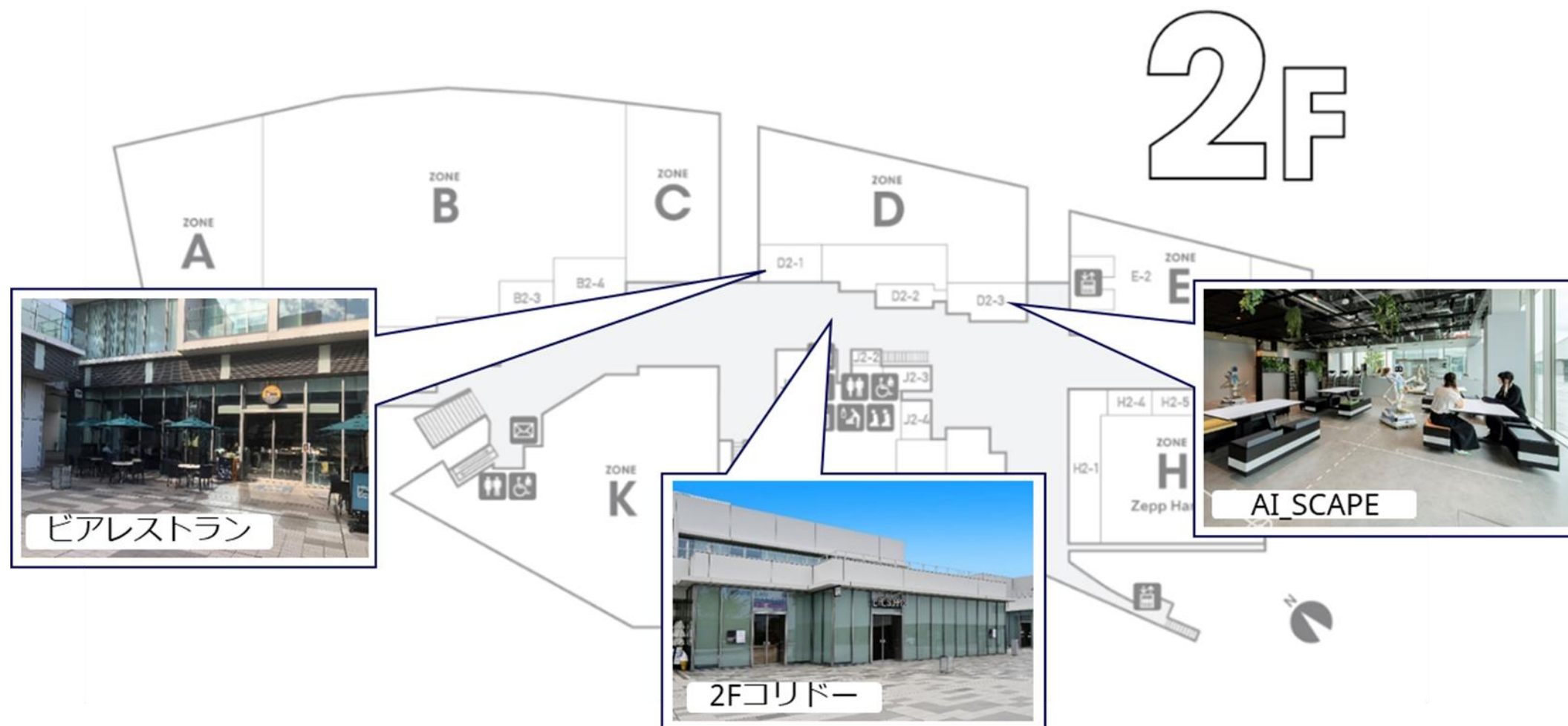
- 集中管理によらず、複数サービスのロボットの位置を同一システム上で可視化できるかを実証
- その結果を基に、複数サービス間のタスク連携、異なるシステムのロボット間でのタスク協調の方法などを机上で考察する

検証論点

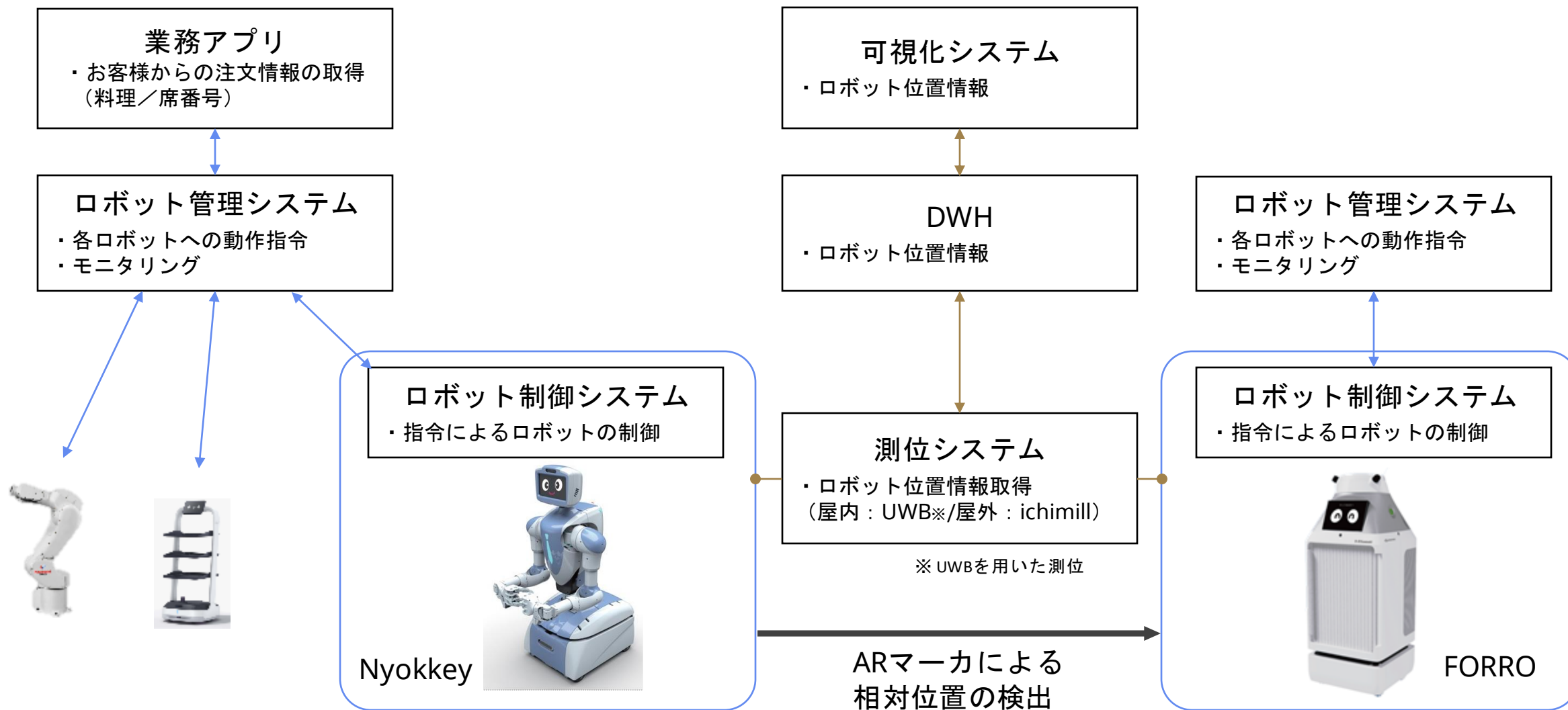
- 各ロボットに取り付けられた測位デバイス（外付けデバイス）からロボット管理ミドルウェア（DWH）位置情報を上げる仕組み（API）が動作することを確認する
- DWHに上げられた位置情報をもとにレストラン／コリドー上にある各ロボットの位置情報を可視化できる事を確認する。
特に、屋内／屋外間の移動でシームレスな位置情報の表示に注目する
- 飲食物配膳・下膳のユースケースを通して、複数のロボットを連携し一つのタスクを実行する

ユースケースBの実証フィールド

HANEDA INNOVATION CITY 2Fレストラン+コリドー (Zone D)



ユースケースBの実機検証環境



ユースケースBの実証スケジュール

1/22～1/25の実証期間で、合計8回検証を行った

	1/22	1/23	1/24	1/25
運行回数	3回	3回	レストラン定休日 (実施なし)	2回
運行時間帯	① 配膳 10:40～	④ 配膳 10:30～	N/A	⑦ 配膳 10:50～
	① 下膳 10:53～	④ 下膳 10:55～		⑦ 下膳 11:15～
	② 配膳 13:30～	⑤ 配膳 13:50～		⑧ 配膳 14:30～
	② 下膳 13:50～	⑤ 下膳 14:15～		⑧ 下膳 15:05～
	③ 配膳 14:50～	⑥ 配膳 15:25～		N/A
	③ 下膳 15:20～	⑥ 下膳 15:40～		

採用した測位デバイス（外付けデバイス）の概要

運行基盤に接続が難しいロボットに対して、位置情報の共有を行ううえでの外付けデバイスを採用した

	測位手法	測位精度[1]	留意点
屋外	単独測位	約10m	<ul style="list-style-type: none"> ・単独測位は1台の受信機を用いて、衛星から対象までの電波到達時間を距離に変換し測位を行う ・衛星の位置誤差や衛星からの電波が対流圏や電離層を通過するときの電波の遅れなどから、約10mの誤差が発生 正確な位置情報の把握には不適合と考える
	相対測位 (RTK測位)	数cm	<ul style="list-style-type: none"> ・相対測位は2台以上の受信機を使い、同時に4個以上の同じGNSS衛星を観測する ・RTK-GNSS測位では基準局と観測点で同時観測後に、基準局の位相データを観測点へ送信。 基準局から送信されたデータを解析し、各種の誤差要因を消去することから数cmで測位が可能 ・ロボット位置情報との正確な相対位置を把握するためにはセンチメートル級が適当と考える

[1] 出所：「GNSS測位とは」、国土交通省 国土地理院ホームページ、https://www.gsi.go.jp/denshi/denshi_aboutGNSS.html(2024年2月15日アクセス)を参照

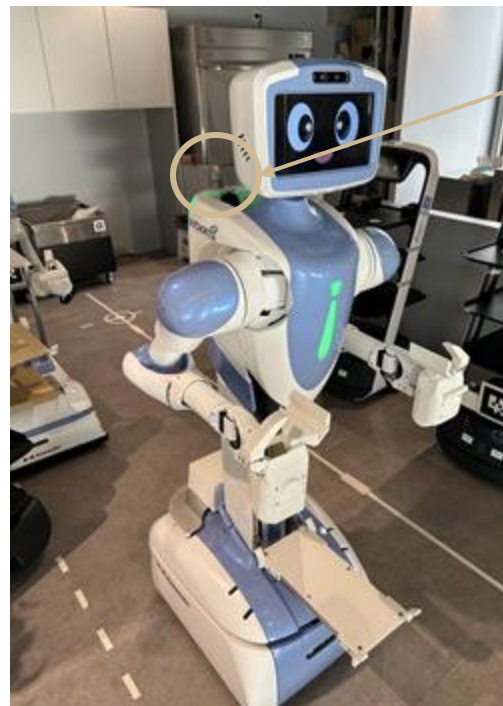
	測位技術	測位精度[2]	留意点
屋内	Wi-Fi	メートルレベル	<ul style="list-style-type: none"> ・屋内に設置された複数の無線LANアクセスポイントからの情報を基に位置を計測する ・ノイズや電波干渉などの影響を受ける周波数帯（2.4Ghz）を利用するため他の無線機器との干渉の可能性あり ・測位精度はメートルレベルの誤差が発生するため正確な位置把握には不向きと考える
	ビーコン	メートルレベル	<ul style="list-style-type: none"> ・BLE(Bluetooth Low Energy)はBluetooth規格の一つであり、BLE発信機からの信号を受信機で受信し位置計測をする ・Wi-Fi同様に2.4GHzを利用するため干渉による影響が発生する点は考慮が必要 ・測位精度はメートルレベルのため正確な位置把握には不向きと考える
	UWB	数cm	<ul style="list-style-type: none"> ・UWB(Ultra Wide Band) は幅広い周波数帯を利用した無線通信規格 ・短いパルス波を使うため、マルチパスなどの電波の干渉が少なく、正確な測位が可能 ・測位精度はセンチメートル級の高精度の位置把握が可能

[2] 出所：「2020 屋内位置情報ソリューションの可能性展望」（株式会社矢野総合研究所2019年12月27日）を参照

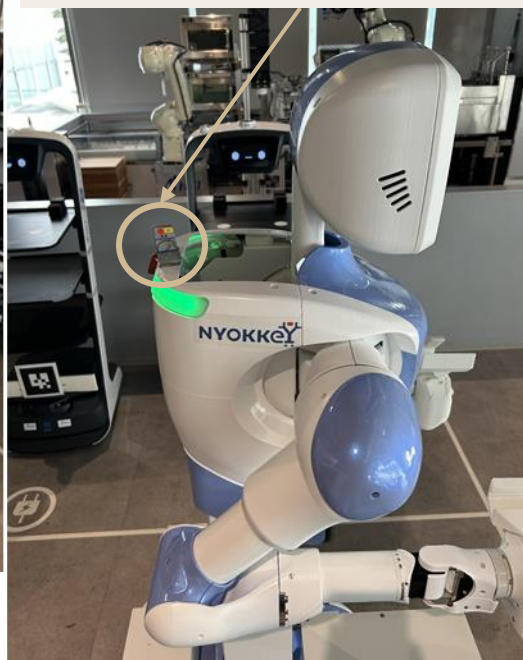
今回の実証実験で採用

測位デバイス（外付けデバイス）の各ロボットへの取り付け

Nyokkey



Nyokkeyは屋内移動のみのため
UWBタグ設置のみ



FORRO



UWBタグは無線のため
頭頂部に設置



GNSSは有線アンテナのため頭頂部設置が難しく
側面の金属板上にヘリカルアンテナ設置

測位デバイスのメリット

- ① 既存のシステムに対して、改造や追加が**不要**
- ② 位置の**測位精度が高い**（cm級での測位が可能）

測位デバイスのデメリット

- ① ステータス情報など、位置情報以外の情報を載せることができない

実証結果（1 / 2）

各検証項目の結果について以下の表でまとめる

検証項目	結果	検証方法
ロボットの位置の可視化可否	ロボット側のシステムを変更することなく、外付けデバイスにて、屋内外での位置情報を可視化できることを確認した（詳細を事項に提示）	実証
ロボット間連携	人手を介すことなく複数のロボットの連携により飲食物を搬送できることを確認した	実証
	ロボットの連携による飲食物（トレイ）の積み込み／下膳には相対位置を2cm以下に収める必要があり、ARマーカを用いた位置補正にて実現できることを示した	実証
	ロボットの連携における双方のロボットの位置の把握にDWHが有効であることを確認した <ul style="list-style-type: none"> 受渡時に相手方のロボットがいることを確認できる 精度的にはARマーカを認識できる位置（20cm程度）に収まる必要があるが、UWBによる測位システムにて適用可能 	机上考察



実証結果（2 / 2）

可視化システムの検証結果についての詳細を以下にまとめる。結果より、ロボットの位置情報の可視化ができることを確認した

検証項目	プロセス概要	検証項目概要	検証項目詳細	結果のサマリ
ロボットの位置の可視化可否	<p><飲食物運搬></p> <p>注文者からのオーダーを受け、調理ロボットが準備した飲食物を運搬（配膳）する</p> <ul style="list-style-type: none"> Nyokkeyが店内で受け取り、事前設定した指定位置でFORROへ飲食物を受け渡して搬送（配膳） 	<p>各ロボットに取り付けている測位デバイス(ichimill/UWBによる測位システム)から、ロボット管理ミドルウェア（データ連携・蓄積・分析）=DWHに位置情報を上げる仕組み（API）が動作することを確認する</p>	<p>検証用デバイス（ichimill/UWBによる測位システム）のデータ送信ログとDWH側に表示された受信ログを照合し、ichimill及びUWBによる測位システムから送られたデータをDWH側でデータ選択の最適化を行ったうえで、障害物等がない環境において実用上問題となるようなデータ飛びエラーなどが発生することがないことを確認する</p>	<p>検証用デバイス側の送信ログとDWH側の受信ログを照合し、データ飛びエラーなどがなかったことを確認した</p>
	<p>一連の動作におけるNyokkey及びFORROの位置情報を追加設置した位置情報デバイスにより取得する</p>		<p>測位デバイス（ichimill/UWBによる測位システム）の追加設置で、可視化システム上で各ロボットそれぞれが識別できることを確認する</p>	<p>測位デバイスの追加設置で、可視化システム上で各ロボットがそれぞれが識別できることを確認した</p>
	<p><飲食物回収></p> <p>利用済みの食器の回収（下膳）を行う</p> <ul style="list-style-type: none"> 事前設定した時間に、配膳時と逆のルートでFORROが食器を下膳 事前設定した指定位置でNyokkeyが受け取り店内指定位置へ下膳 	<p>DWHに上げられた位置情報をもとにレストラン/コリドー上にある各ロボットの位置情報を可視化出来る事を確認する</p>	<p>屋外にいる各ロボットの位置情報が可視化システム画面上で表示されている事を確認する</p>	<p>屋外にいる各ロボットの位置情報が可視化システム画面上で表示されていることを確認した</p>
	<p>一連の動作におけるNyokkey及びFORROの位置情報を追加設置した位置情報デバイスにより取得する</p>		<p>屋内にいる各ロボットの位置情報が可視化システム画面上で表示されている事を確認する</p>	<p>屋内にいる各ロボットの位置情報が可視化システム画面上で表示されていることを確認した</p>
			<p>屋外／屋内間のロボットの移動時にシームレスに位置情報がシステム画面上に表示されている事を確認する</p>	<p>屋外／屋内間のロボットの移動時にシームレスに位置情報がシステム画面上に表示されていることを確認した</p>
			<p>各ロボットの位置情報の軌跡から飲食物搬送の状況を確認する</p>	<p>各ロボットの位置情報の軌跡から飲食物搬送の状況を確認した</p>

実証結果からの課題（1 / 2）

実証実験から外付けの測位デバイスにおいて表示位置飛びや測位精度の課題が観測された。これらの課題に関しては、運用による影響軽減や設置位置のガイドライン等の対策が考えられる

【外付けの測位デバイスとしての課題】

- ① 屋外のGNSSの測位システム（SoftBank：ichimill）について、**屋内から屋外へ移動の際、衛星捕捉及び測位精度が十分に向上するまで数秒～の時間が必要**なため、その間は表示位置飛びが発生。

⇒ 対策：GNSS測位が安定するまで一時待機（運用で影響を軽減）

安定までの時間（参考値）：約十数秒～数十秒程度

（オープンスカイで周辺に遮蔽物/障害要因などがない環境の場合。
周辺環境や設置条件により変化）

※受信機の電源投入からのコールドスタートを想定した場合：約1~2分程度

- ② アンテナの配置により測位精度への影響が出る可能性があり、外付け機器の取り付けにあたっては、次のような要素への考慮が必要と考える。

- FORROのような上部の回転機構など可動部がある場合のアンテナ設置位置の制約
 - ロボット側面への設置によりアンテナからの仰角が一部遮蔽される
- ロボット本体からのノイズ等の影響の可能性
 - 電源やコネクタ/ケーブルあるいはロボットセンサ(LiDAR等)からのノイズによる測位信号への干渉

⇒ 対策：機器設計や筐体配置について外付けデバイス追加想定での対応を推奨（ガイドライン）



実証結果からの課題（2 / 2）

実証実験から屋外走行やロボット間連携の課題が観測された。これら課題には、センサの設置位置や共有情報・方法などの検討が必要と考えられる

【屋外走行での課題】

- ① 太陽光（直射日光）の入射角度によってLiDARの計測に影響を与え、走行できなくなる。

⇒ 対策：直射日光の影響を受けないセンサの配置検討

【ロボット連携に必要な機能としての課題】

- ① 搬送物の位置情報可視化システムでの可視化

- ・ 可視化システム上で搬送物そのものの位置は明示出来ていない

⇒ 対策：追加情報としてステータス情報が必要

- ② ロボット間の情報連携の方法

- ・ 分散協調制御として、積み込み完了などのステータスのやり取りをロボット間で実施する必要あり

⇒ 対策：ステータスの通信などの手段のルール化（今回の実証ではボタン操作）



(補足) 屋外測位デバイス: ichimill

安価な2周波対応のGNSS受信機を提供



受信機本体 (アンテナ内蔵)
129×90×50mm, 298g



外付け用追加アンテナ (付属品)
60×82×22.5mm

	機能
対応衛星・信号	2周波対応 QZSS L1/L2 GPS L1/L2 GLONASS G1/G2 Galileo E1/E5 BeiDou B1/B2
通信方式	LTE Cat.1
GNSSアンテナ	外付け or 内蔵
データ外部I/F	本体側 (出力) USB MicroB 付属ケーブル USB TypeA
電源	USB給電
簡易センサ	加速度 ジャイロ 気圧 (測位補間や制御等へのご利用は不可)
防水防塵対応	IP67

* 公益社団法人日本測量協会 GNSS受信機性能検査成績書 発行済

（補足）位置情報の共有（外付けデバイス）（1 / 3）

本項では外部デバイスを用いたデータ取得の運用方法について本実証での手法を踏まえ考察する

▼外付けデバイスを用いた位置情報の共有

- ロボットからの情報取得が難しい場合は外付けデバイスを用いる
- ロボットの場合、屋外だけでなく屋内の移動が想定されるため屋内外計測可能な手法の検討が必要
- 求められる位置精度や更新頻度に関しても、ロボットから直接取得するデータと可能な限り同一に調整すべきと考える

▼屋外測位システムと測位手法

- 屋外はGNSS測位システムにより測位を行ったが、本実証ではその中で相対測位であるRTK（リアルタイムキネマティック）方式を用いた
- RTK方式は、測位対象と基準点の両点で位相の測定を行い、両点の差分から誤差を演算し補正情報として配信することで数cmという高い精度での測位が可能となる
- 本実証ではRTK-GNSS測位方式を活用したSoftBank社提供のichimill（イチミル）を用いた。ichimillは、準天頂衛星「みちびき」などのGNSSから受信した信号を利用してRTK測位を行うことで、誤差数センチメートルの高精度な測位を可能にするサービス。一般的なGNSS（GPS）の単独測位では、測位誤差が5m～10m程度なのに対し、ichimillでは、ネットワークを介して「補正情報」を配信。GNSS受信機が受信した信号を活用してRTK測位演算することにより、誤差数センチメートルの測位が可能となる

▼屋内測位システムと測位手法

- 屋内測位の手法はビーコン測位をはじめRFID測位、Wi-Fi測位など様々な手法が存在する。本実証のように屋内外の位置情報を共有することを前提とするユースケースであれば、測位精度は屋外同様にセンチメートル級の精度の手法を用いた方が屋内外での精度誤差の影響が最小限に抑えられると考える
- 電波干渉の影響も考慮に入れる必要がある。屋内測位手法として一般的なビーコンやWi-Fiなどは2.4Ghzの周波数を利用しているため、電子レンジなどの家電との干渉の可能性がある
- 上記を考慮のうえ、本実証においてはUWB（Ultra Wide Band、超広帯域無線通信）による測位手法を採用した。
UWBは名前の通り広い周波数帯域を使うため、他の無線通信との干渉が少なく、システムに影響を与えることも少ないという特徴がある。
また、他の電波を使った方式よりマルチパスの影響を軽減でき、誤差10cm前後の高精度測位が可能である。
- 本実証では、SoftBankが開発を進めている、UWBを活用した屋内高精度測位ソリューションを用いた。屋内の壁や天井などにセンサー（アンカー）を複数設置し、ロボットにタグを装着することで、対象となるロボットの位置を測定することが可能となる。この技術では、ichimillの測位プログラムを応用することで、誤差最小10cmの高精度で測定することが可能となる

(補足) 位置情報の共有 (外付けデバイス) (2 / 3)

▼屋内外シームレス環境の構築

屋外における測位は、衛星測位によって衛星が発信する測位信号をスマホなど受信機側で受信し位置を特定する技術が主流である。それぞれの測位衛星が発信する位置と時刻の情報を用いて受信機と衛星との距離を算出し、それを基に受信機の現在位置を特定している。衛星測位システムによって特定される座標系は、緯度・経度で表現され、地球上のあらゆる場所を一意に識別できるため、共通のデータとして位置情報の共有が可能となる。

一方で、屋内においては、衛星からの電波が届かない、又は届いたとしても位置測定に必要な数の情報が受信できないため、屋内における座標系は周辺との位置関係を考慮しなくてもよい対象エリアごとに任意で原点を設定し表現されるローカル座標が用いられる。

本実証では、ロボットが屋内・屋外を走行する状況のナビゲーションのため、位置情報の共有を行った。そのため、屋内においても屋外同様に緯度・経度で座標を付与し、屋外から屋内に移動した際にもシームレスに位置情報を特定することが必要となる。

屋内・屋外を問わず目的地へ円滑に移動できる屋内外シームレスなナビゲーションを可能にするため、屋内の位置座標をローカル座標から緯度・経度に変換を行った。屋内は前項で述べた通り、UWBソリューションを利用し、屋内の壁や天井などに複数台のセンサー（アンカー）を設置した。その中の任意のセンサーを基準に屋外でも2点測量を行い、2点間の距離を正確/角度に計測し測るた上でことで、基準となるセンサーの位置を加えた3点の三角測量を行うことで、基準となるセンサーの絶対座標を特定し、緯度・経度を付与した。

上記によって、基準となるアンカーをベースに屋内位置の演算をする際に、ローカル座標から緯度・経度の変換の計算を行い、屋内についても屋外同様に緯度・経度での座標付与を可能にした。

なお、本実証における外付けデバイスからDWH側への位置情報データの配信において、更新頻度（周波数）は屋外/屋内共に通信環境などにより変動するが、1秒に1回（1Hz）を目安として設定をしている。

(補足) 位置情報の共有 (外付けデバイス) (3 / 3)

位置情報の取得方法に外付けデバイスを用いる場合、以下の点に注意が必要と考える。

▼測位デバイスの設置位置 (端末本体、アンテナ、付属機器など)

特に、屋外測位用のデバイスにおけるGNSSアンテナは一定の大きさがあり、設置位置によって測位性能に影響するためロボットのどの部分に設置が可能か検討する必要がある。

設置にあたっては、ロボットセンサーやカメラなどの障害になる位置を避けることや、走行中に外れる、または落下するなどの事故が起こらないよう固定することなど、ロボット運行上の安全確保にも十分配慮する必要がある。

▼測位デバイスへの給電方法

測位デバイスの動作に外部からの給電が必要である場合には、外付けバッテリーを用いるかロボット本体から給電を行うなどの対応が必要となる。また、UWBやRFID、ビーコンのようにタグなどの信号を受信するセンサーが必要な機器構成の場合には、その設置環境における電源の確保についても合わせて検討の必要がある。

(補足) ユースケースBの使用ロボット : Nyokkey

【主要スペック／機能】

項目	仕様
本体サイズ	(W)500×(L)600×(H)1100—1600 [mm]
本体重量	約80kg
アーム	軸数 : 7軸 可搬重量 : 2kg/1アーム
昇降	昇降1軸 (ストローク500[mm])
首部	2軸 (ヨー、ピッチ)
台車	メカナム4輪 (全方向移動)
段差乗り越し	15[mm]
主なセンサ	2D-LiDAR、カメラ(Realsense)
停止位置の調整	対象物にARマーカを貼り、それを認識し停止位置の精度を向上

NYOKKEY



(補足) ユースケースBの使用ロボット：FORRO

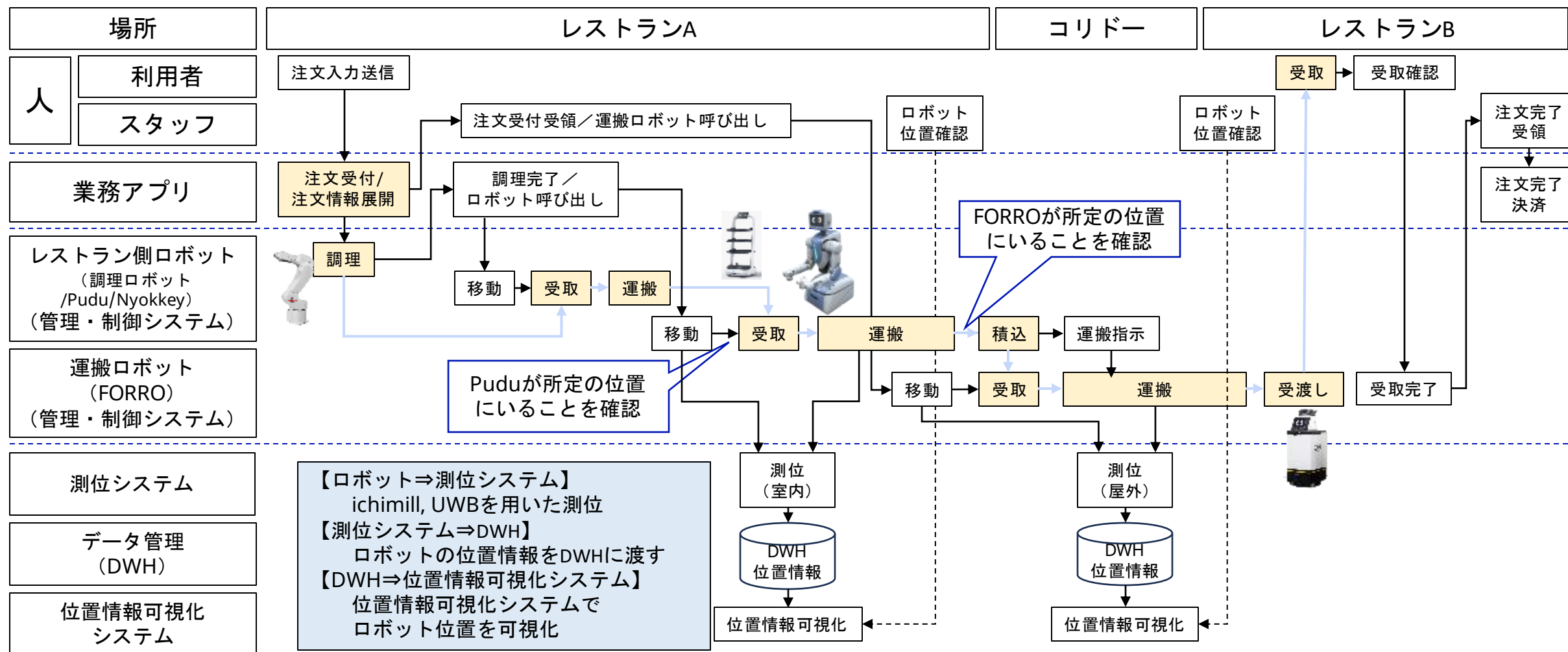
【主要スペック／機能】

項目	仕様
本体サイズ	(W)560×(L)570×(H)1400 [mm]
本体重量	約70kg (空荷状態)
荷室サイズ	100ℓ
可搬重量	30kg
台車	メカナム4輪 (全方向移動)
段差乗り越し	20[mm]

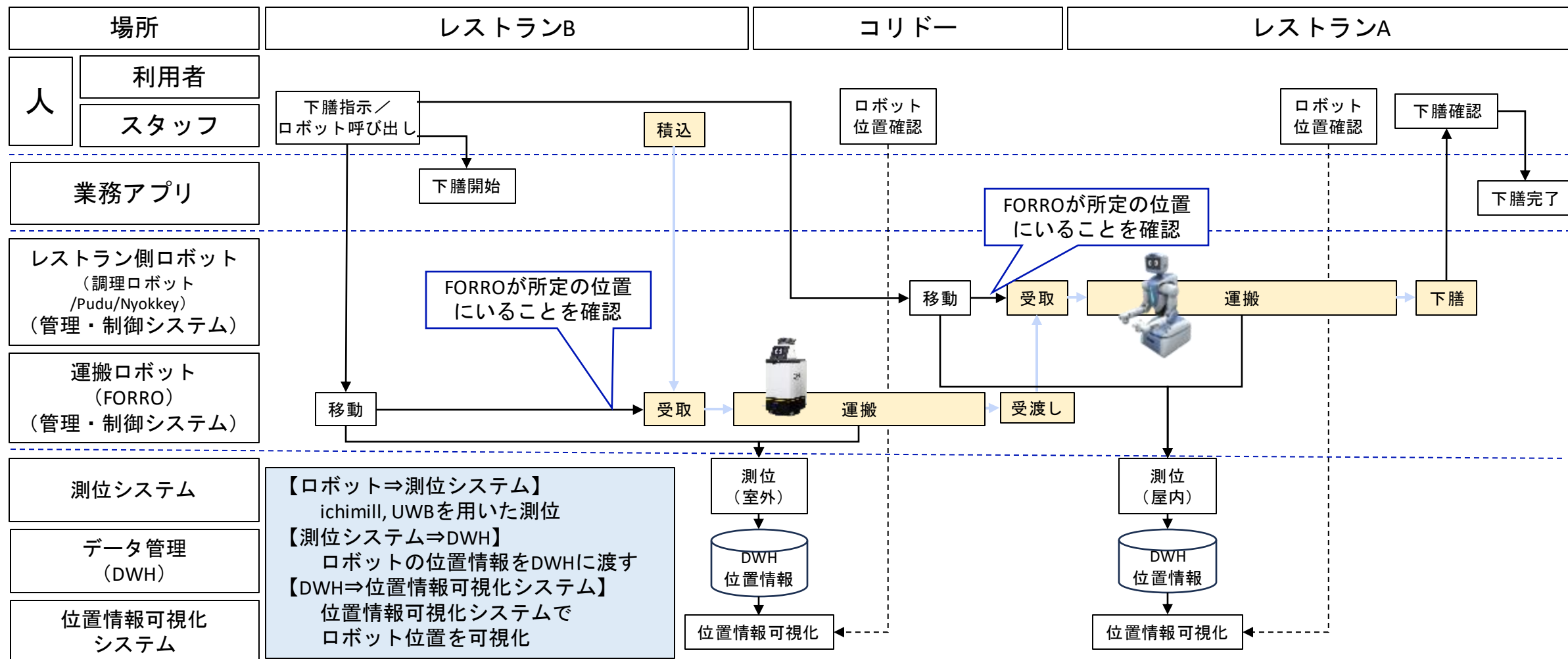
FORRO



(補足) ユースケースBの実証フロー：飲食運搬（配膳）



(補足) ユースケースBの実証フロー：飲食運搬（下膳）



3. 実機検証

3.1 実証ユースケース

3.2 実証ユースケース×実証検討項目マッピング

3.3 実証環境の全体概要

3.4 ユースケースA. 警備・清掃

3.5 ユースケースB. 飲食運搬

3.6 ユースケースC. 手荷物搬送／D. 施設内物流

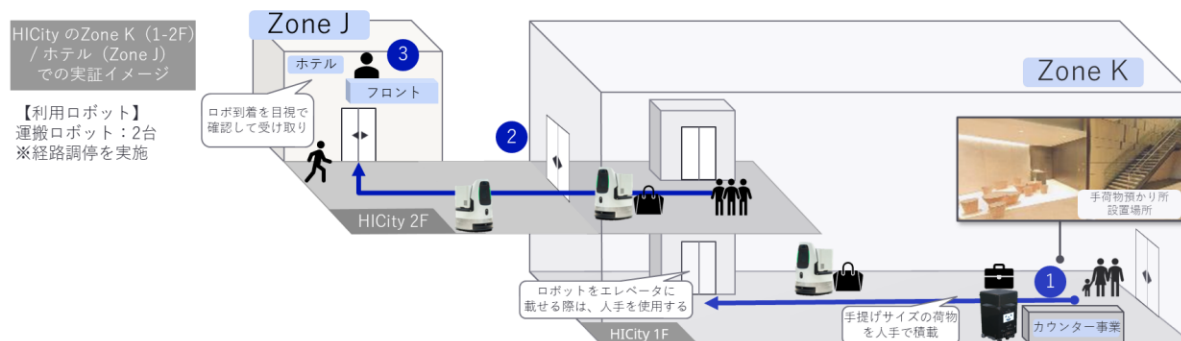
3.7 将来サービスユースケース

【概要】実証ユースケースC. 手荷物搬送／D. 施設内物流

ユースケースC. 手荷物搬送

ロボット同士の経路調停を主な目的に、利用客の手荷物のホテルまでの運搬業務を運搬ロボットの運行で実施する

実証の流れ	<ol style="list-style-type: none"> Zone K 1Fのカウンター事業において、利用客から手荷物を受け取る。担当者がロボットに手荷物を積み、運行管理システムより配送先指示を行う Zone K 2Fからホテル (Zone J) まで運搬する。適宜ほかの運行中ロボットと経路調停※を行い、専有されている経路を避けて運行する ホテルに到着し、フロント担当が荷物を受け取る <p>※経路調停は、他ベンダー含むほかロボット機体の待機位置／経路占有状況を空間情報で確認し、先勝ち方式（先行者優先）で調停する方式を想定する</p>
-------	--

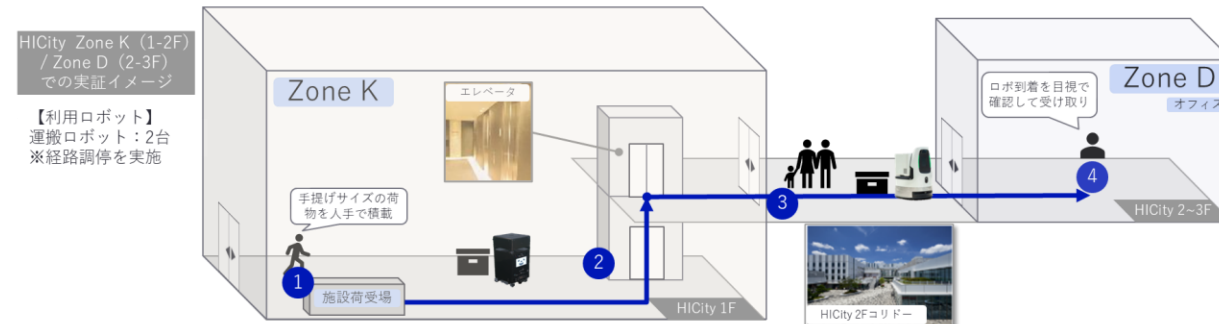


出所：「コンセプトブック」「ファシリティガイド」、羽田イノベーションシティホームページ、<https://haneda-innovation-city.com/>（2023年8月1日アクセス）を基に作成

ユースケースD. 施設内物流

ロボット同士の経路調停やエレベータ連携を主な目的に、施設内におけるオフィスまでの荷物配送を運搬ロボットの運行で実施する

実証の流れ	<ol style="list-style-type: none"> 1Fの仮施設荷受け場において、配送業者から預かった荷物を運搬ロボットに積載する ロボットは1Fから2Fへの移動においてエレベータと連携して、エレベータへの乗降を行う。ほかロボットが使用していれば待機※する 2Fからコリドーを通りZone D（オフィス棟）まで移動し、エレベータと連携して3Fへ移動する。適宜ほかの運行中ロボットと経路調停※を行い、専有されている経路を避けて運行する オフィスに到着し、担当者が荷物を受け取る <p>※待機及び経路調停は、他ベンダー含むほかロボット機体の待機位置／経路占有状況を空間情報で確認し、先勝ち方式（先行者優先）で調停する方式を想定</p>
-------	--



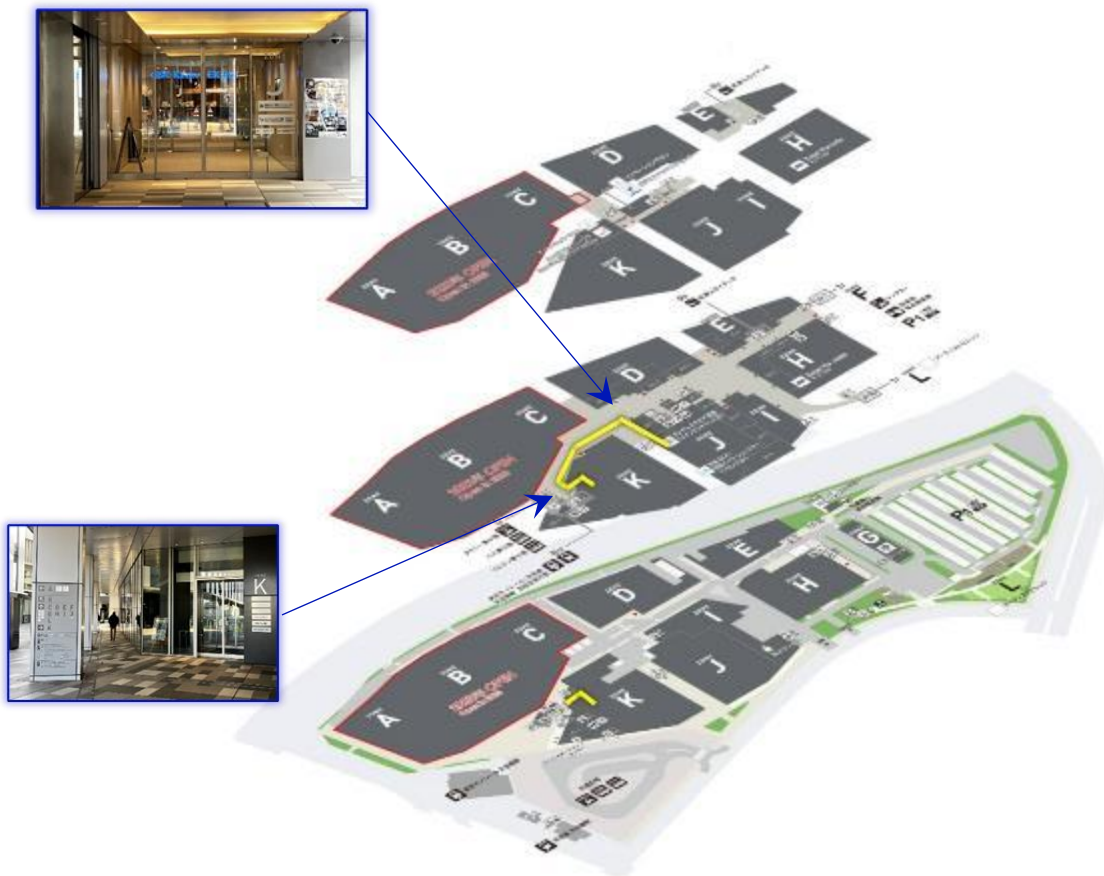
- ・ 実証期間：2023年12月14日～12月22日
- ・ SB&DNロボット延べ3台（開発評価/デモ除く）
- ・ 走行距離 ≒ 6km
- ・ 走行時間 ≒ 300分

- ・ 実証期間：2024年2月5日～2月9日
- ・ SB&DNロボット延べ4台（開発評価/デモ除く）
- ・ 走行距離 ≒ 6km
- ・ 走行時間 ≒ 480分

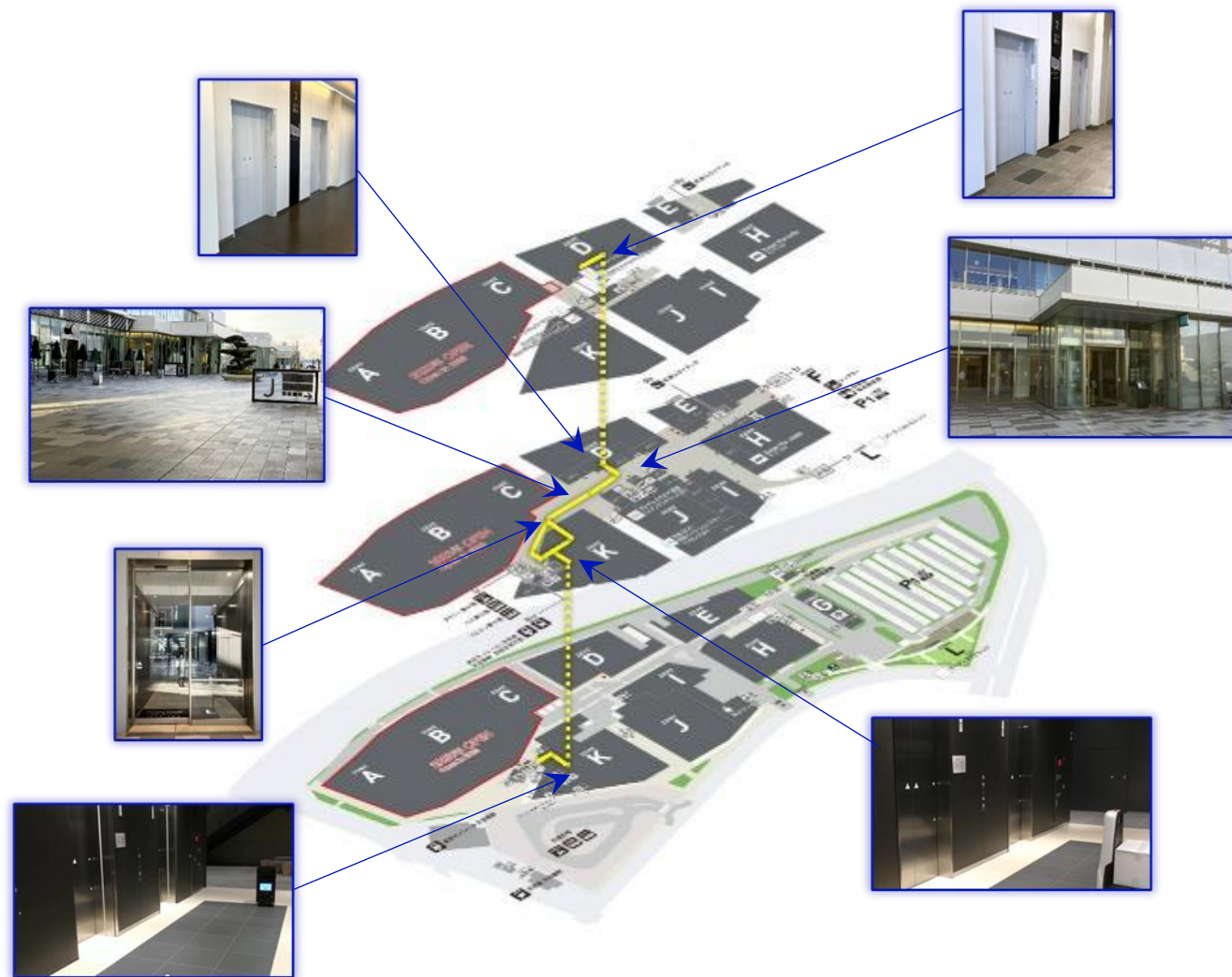
※SB：ソフトバンク、DN：デンソー

ユースケースC/Dの実証フィールド

ユースケースC. 手荷物搬送



ユースケースD. 施設内物流



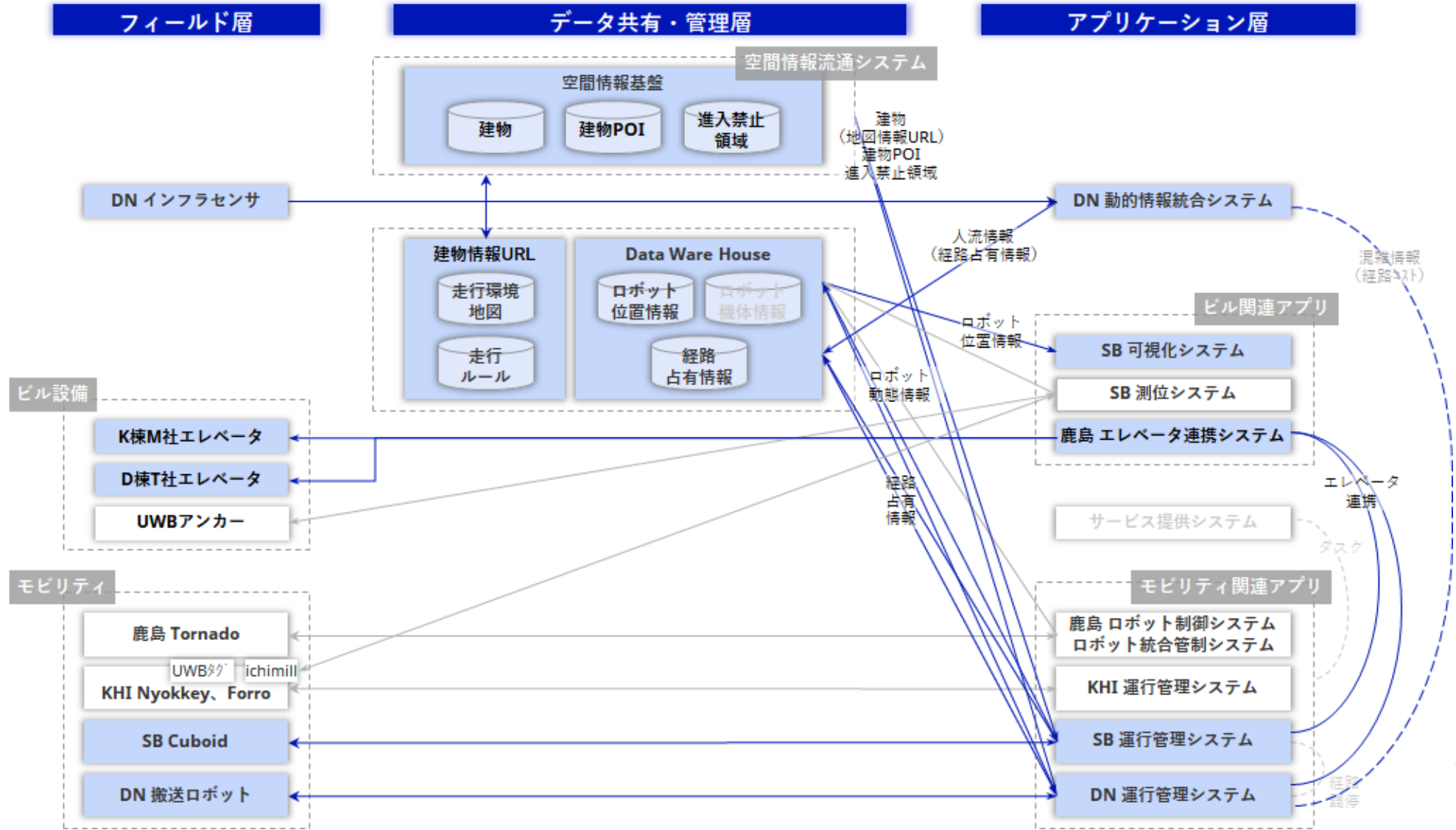
出所：「ファシリティガイド」、羽田イノベーションシティホームページ、
<https://haneda-innovation-city.com/facility/#floor> (2024年3月1日アクセス) を基に作成

実証ユースケース×実機検証項目マッピングと結果サマリ

大項目	小項目	ユースケースC.手荷物搬送	ユースケースD.施設内物流	実証実験結果サマリ
データ連携による協調運行	地図情報共有	本実証実験におけるロボット間での分散協調I/Fである、走行環境地図、トポロジカル・グラフを共有し、トポロジカル・グラフに設定された走行ルールに従って自律走行できることを確認	←	SB/DNともに、トポロジカル・グラフで定められた走行順路を遵守できることを確認した
	ルール（進入禁止等）共有	走行環境地図（走行可能領域）を介して、静的データ（長期間不変）である進入禁止領域を共有できることを確認	データ連携システムを介して、一時的データ（日単位で変化）である進入禁止領域を空間IDで共有できることを確認	SB/DNともに、データ連携システムを介して空間IDで設定した進入禁止領域を取得し、禁止領域にロボットが進入しないことを確認した
	位置情報共有	共通APIにより位置情報を送信し、複数ベンダー・複数ロボットの位置の可視化ができることを確認	←	<ul style="list-style-type: none"> SB/DNともに、ロボットの位置を可視化できることを確認した DWHとのデータ送受信データに抜け/化けがないことを確認した
	経路占有情報共有	トポロジカル・グラフのノードに関する占有情報を共有することによって、出入口での経路干渉を回避する仕組みの動作を確認	<ul style="list-style-type: none"> エレベータの呼び出し待機位置における、トポロジーグラフのノードに関する占有情報を共有することによる経路干渉を回避する仕組みの動作を確認 実証を通して経路干渉回避の仕組みの妥当性確認及び課題出し 	<ul style="list-style-type: none"> SB/DNともに、エレベータ呼び出し待機位置の占有情報を共有することで、順々に階層移動ができることを確認した 狭いエリアでロボットが密集する場合の課題を確認した
建物内外運行	地図情報等の乗り換え	ロボットに予め登録した建物出入口の結節点にて、走行環境地図の乗り換えができることを確認	データ連携システムを介して、走行環境地図、トポロジカル・グラフの取得・乗り換えができることを確認	SB/DNともに、データ連携システムを介して走行環境地図、トポロジカル・グラフを取得し、また結節点にて地図を乗り換えた建物内外の運行ができることを確認した
ビル設備連携	エレベータ連携	←	本実証実験におけるロボット・建物間での協調I/Fである、共通APIによりゾーンK（M社）及びゾーンD（T社）エレベータと連携	SB/DNともに、共通APIを利用してゾーンK,Dエレベータと連携し、ロボットの階層移動ができることを確認した
インフラセンサ連携	人流を考慮した経路	インフラセンサを設置し、人流情報（人の位置）を取得できることを確認	<ul style="list-style-type: none"> インフラセンサより検知した人流情報を考慮したルートを計画できることを確認 インフラセンサにより検知した人流情報より、ロボットと人の干渉回避の仕組みの動作を確認 	<ul style="list-style-type: none"> インフラセンサにより検知した人の位置情報をもとにした占有状態を考慮したルートを計画できることを確認した SB/DNともに、上記占有情報を共有することで、ロボットと人との干渉を軽減できることを確認した

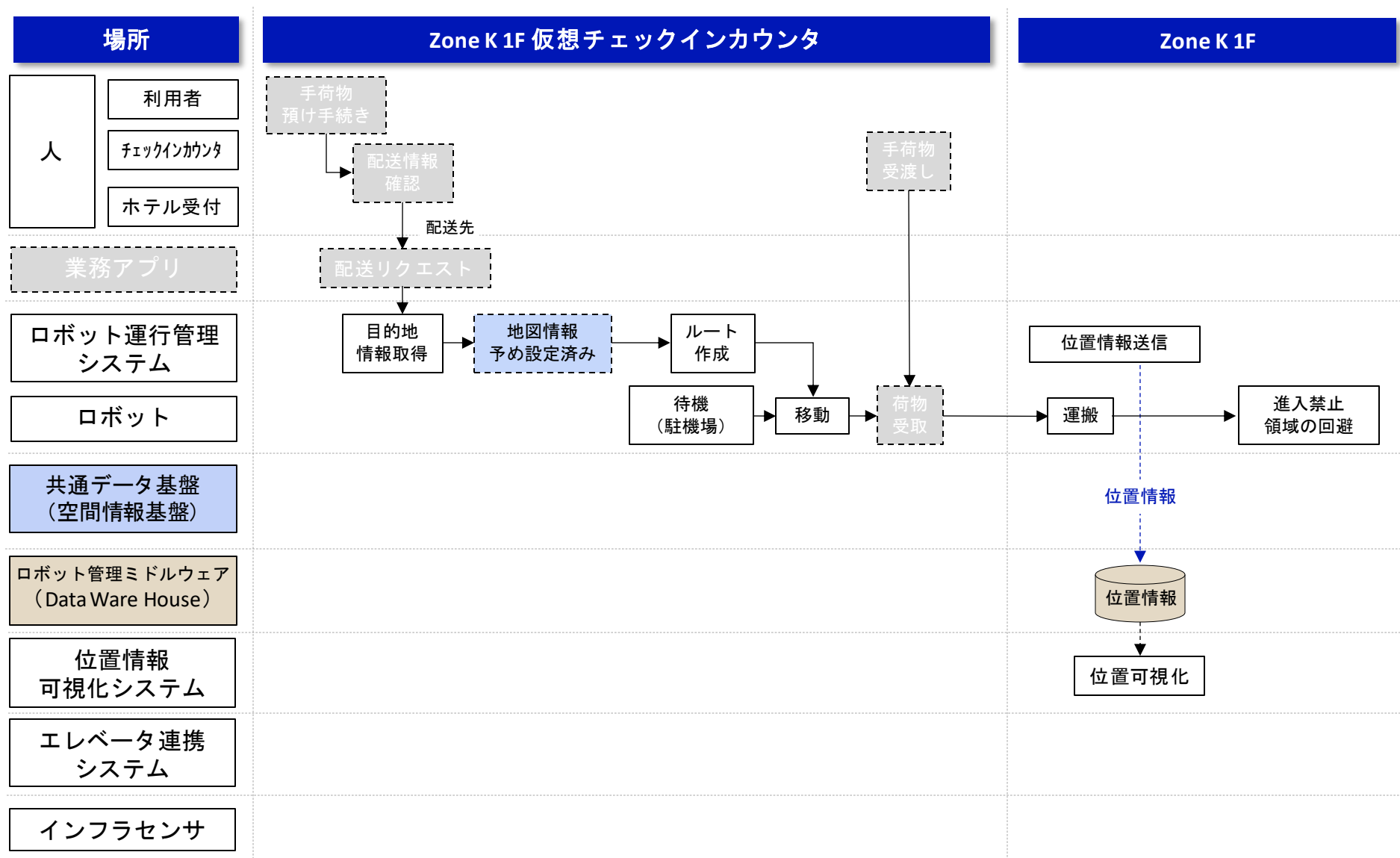
ユースケースC/Dの実機検証環境

■ : ユースケースC/Dにて使用する構成要素

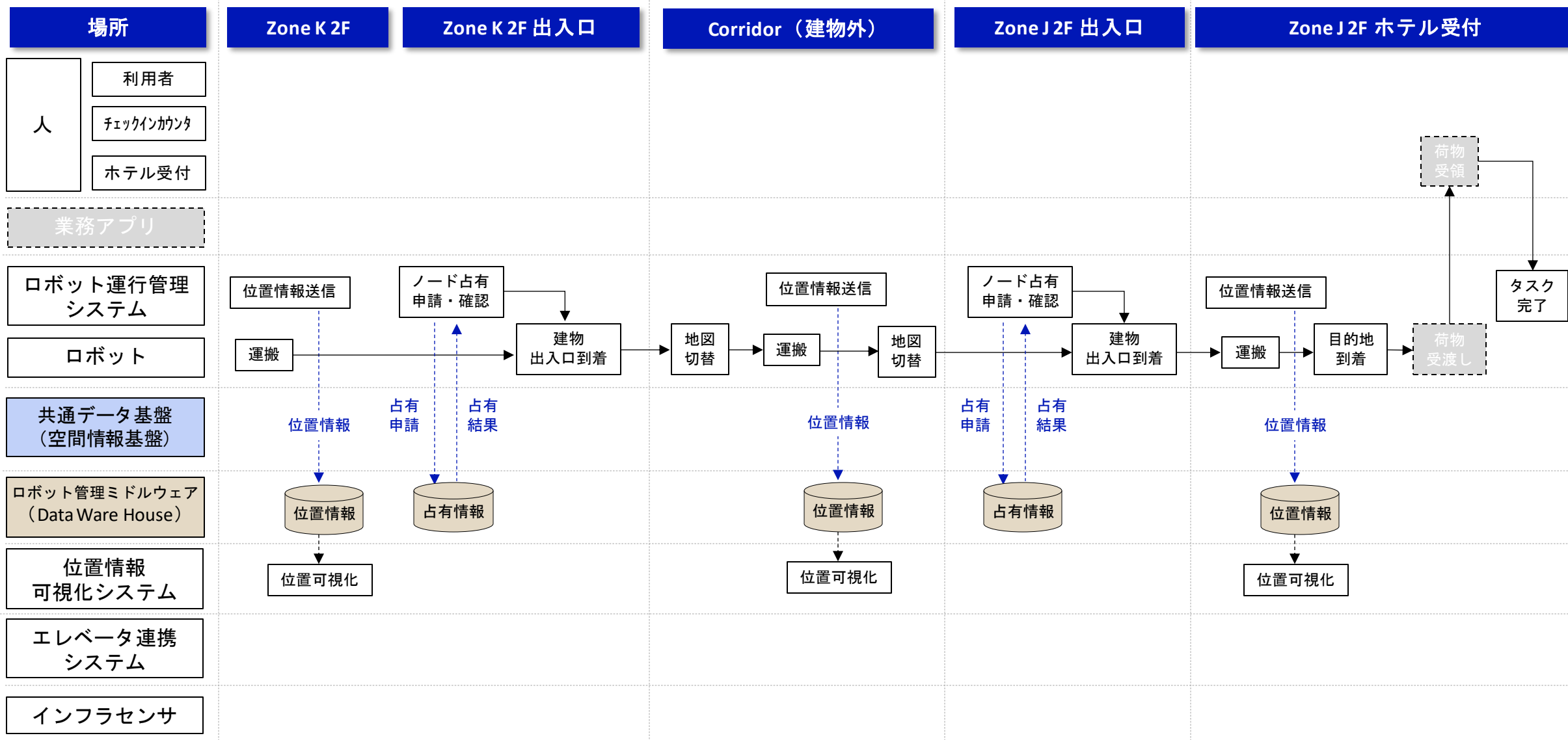


凡例 鹿島：鹿島建設
 KHI：川崎重工業
 DN：デンソー
 SB：ソフトバンク

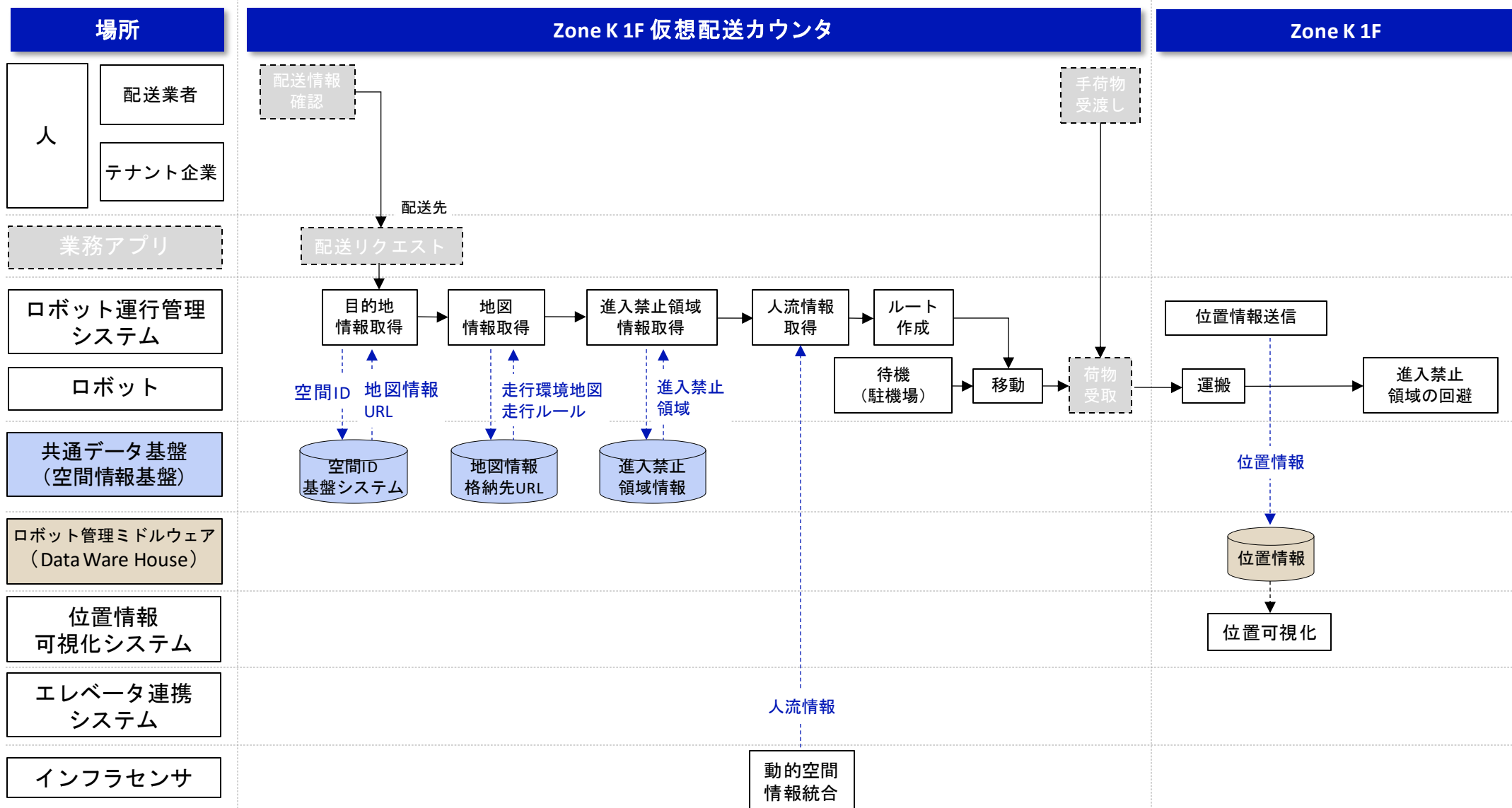
ユースケースCの実証フロー（1 / 2）



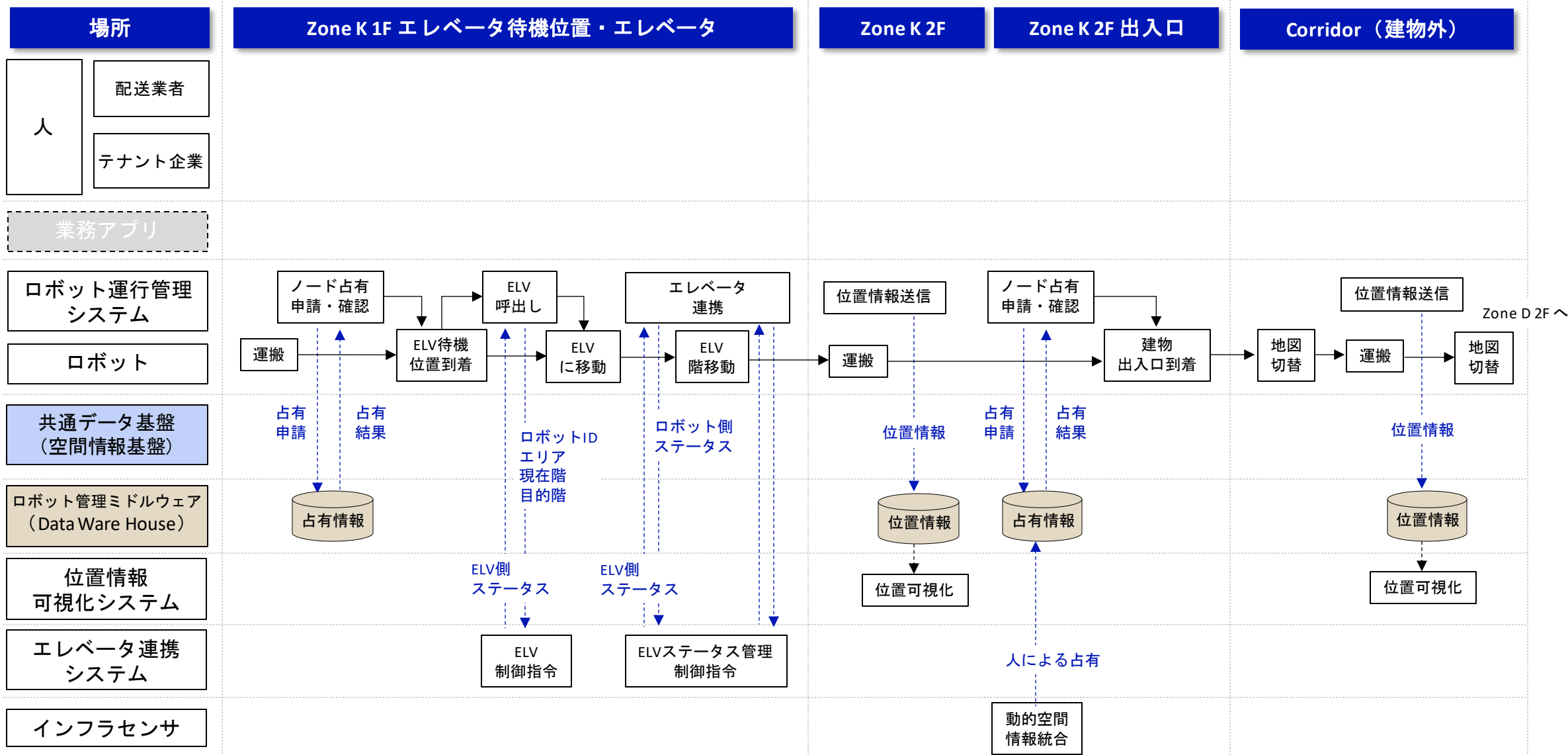
ユースケースCの実証フロー (2 / 2)



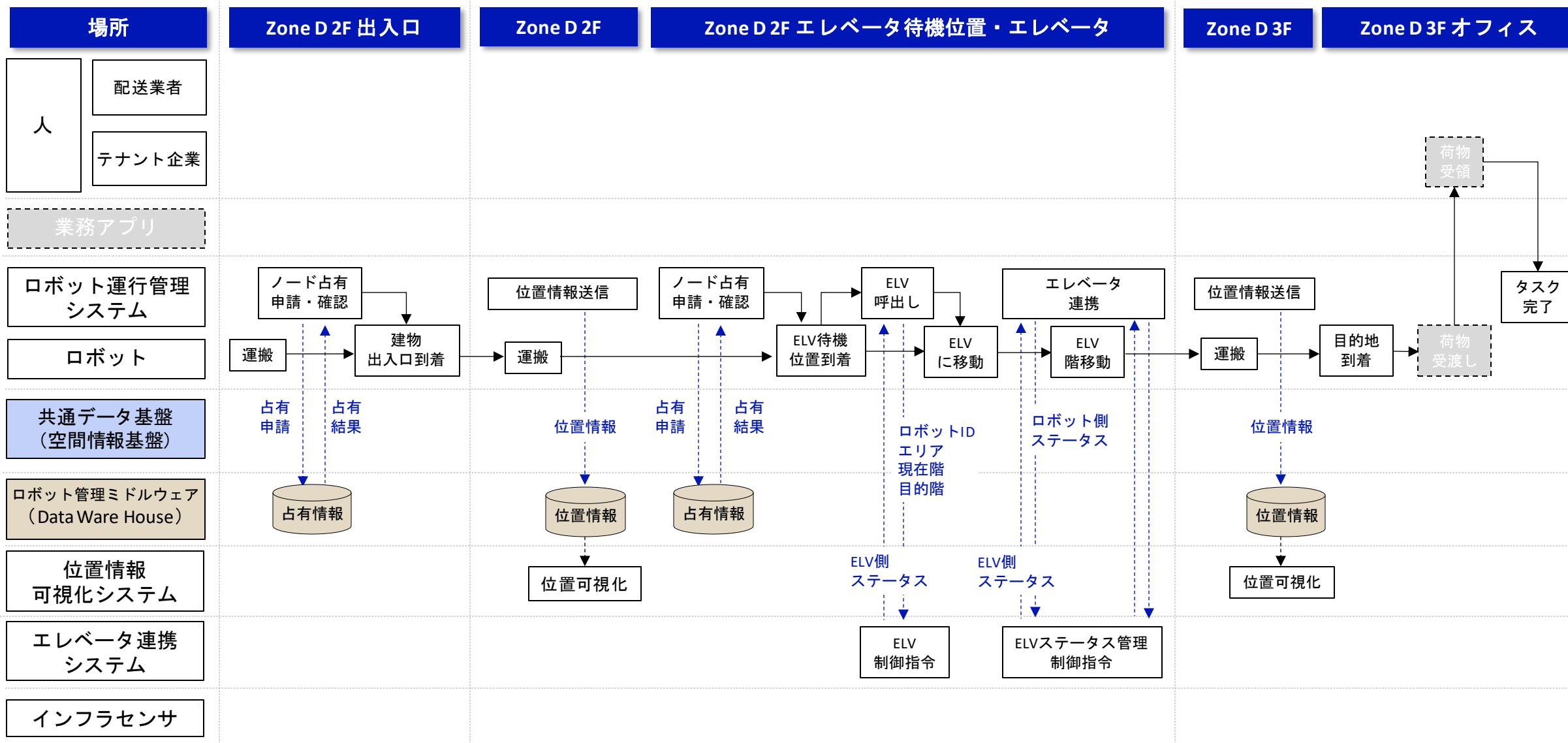
ユースケースDの実証フロー (1 / 3)



ユースケースDの実証フロー (2 / 3)



ユースケースDの実証フロー (3 / 3)



ユースケースC/Dの使用ロボット



SoftBank Cuboid

項目	仕様
車両寸法	370mm×370mm ×670mm
車両重量	33kg
最大積載重量	20kg
最大車速	3km/h



DENSO

項目	仕様
車両寸法	714mm×606mm× 1040mm
車両重量	80kg
最大積載重量	40kg
最大車速	6km/h

実機検証結果「地図情報共有@ユースケースC」

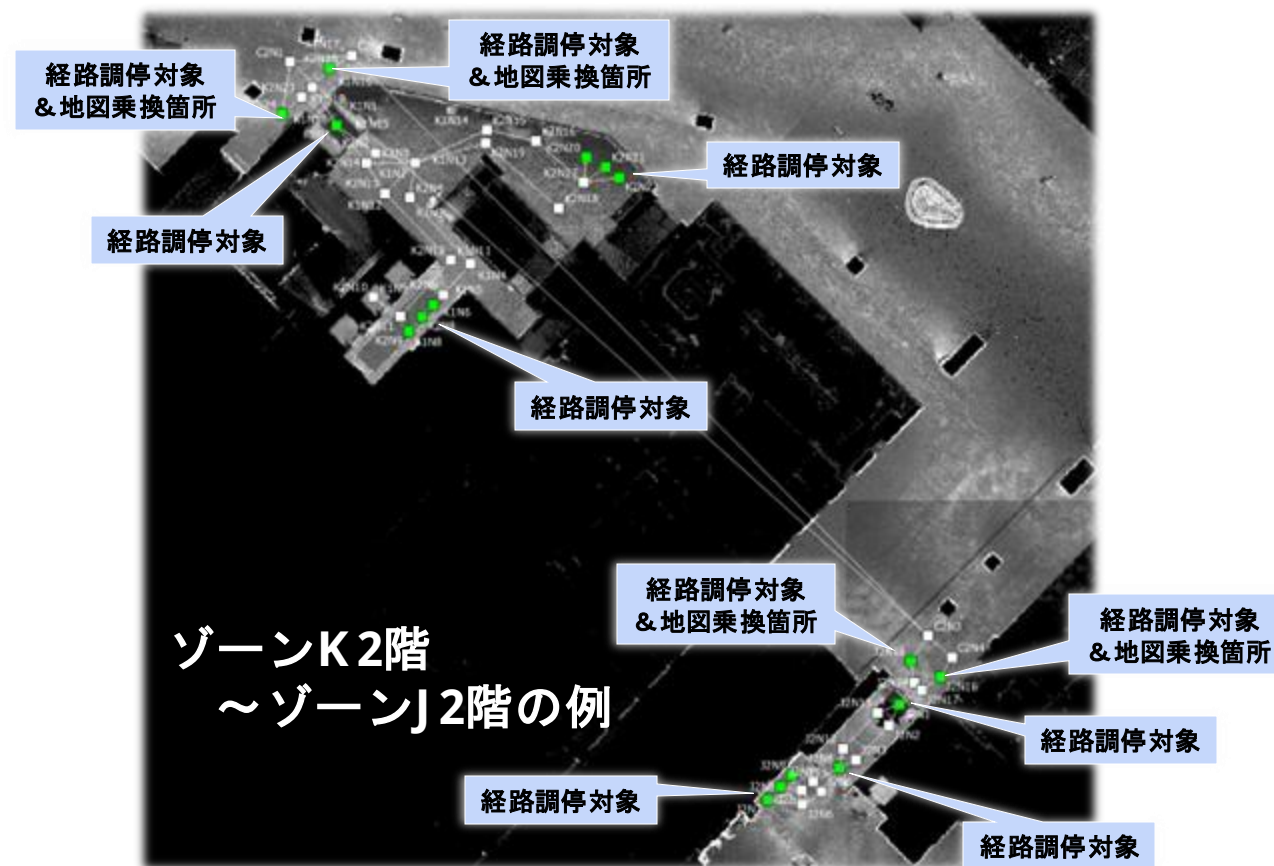
2種類のロボット用地図情報（走行環境地図、走行ルール含むトポロジカル・グラフ）を2社で共有した

エリア別にpgm形式の走行環境地図を共有



yaml形式のトポロジカル・グラフで以下の情報を共有

- 大まかな走行経路・走行方向
- 出入口・エレベータ前等での経路調停対象位置
- 地図乗り換え箇所



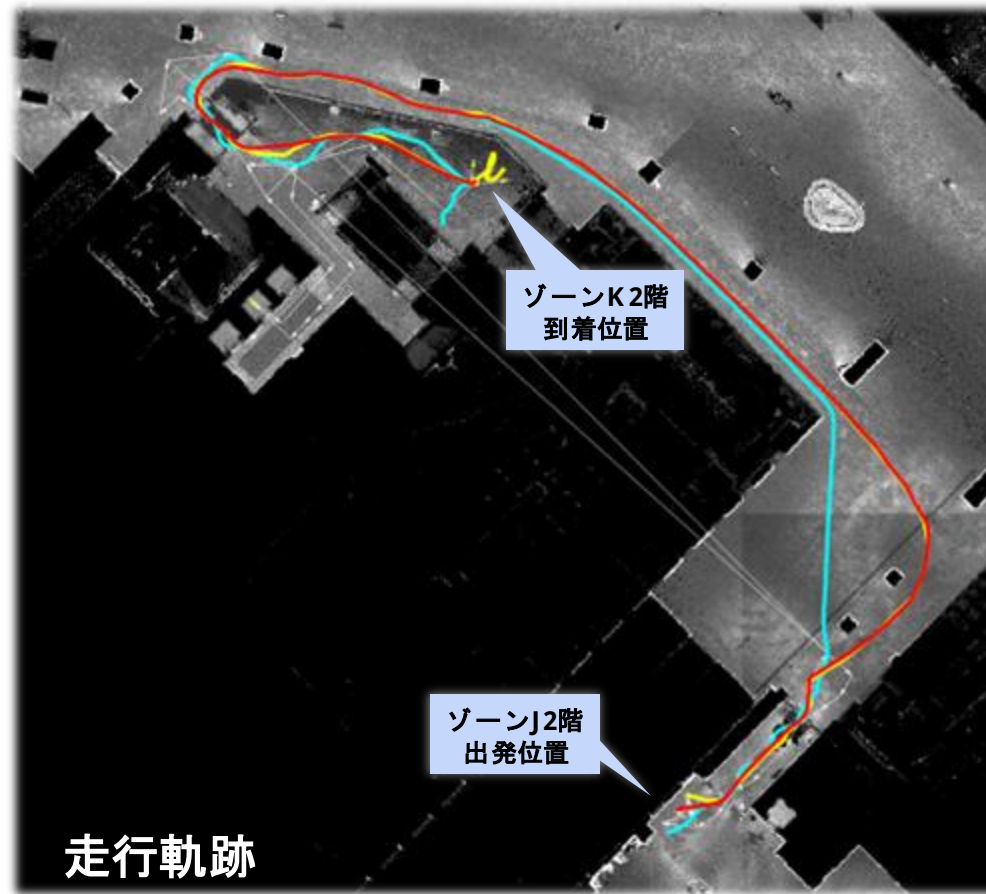
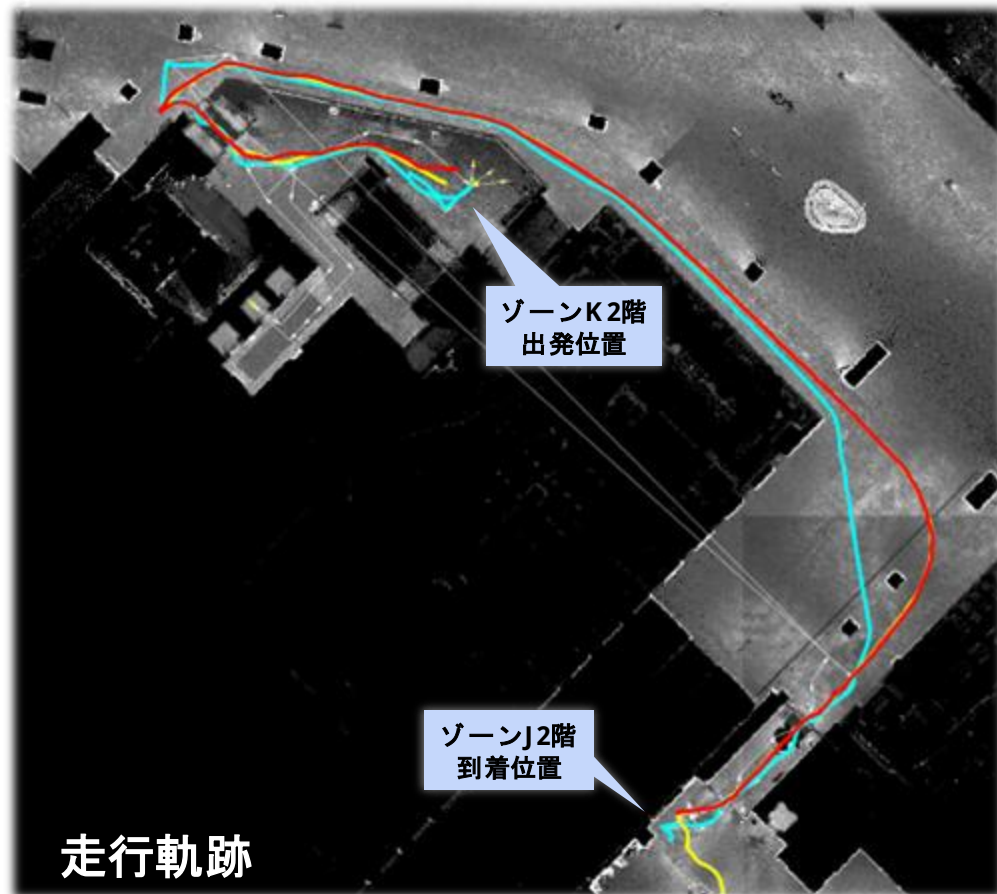
実機検証結果「地図情報共有@ユースケースC」

共有した走行環境地図、トポロジカル・グラフをもとに、自己位置推定しつつ走行ルールに従って走行することを確認した

- : SoftBankロボット
- : DENSO-2ロボット
- : DENSO-3ロボット

ゾーンK2階 ⇒ ゾーンJ2階（往路）

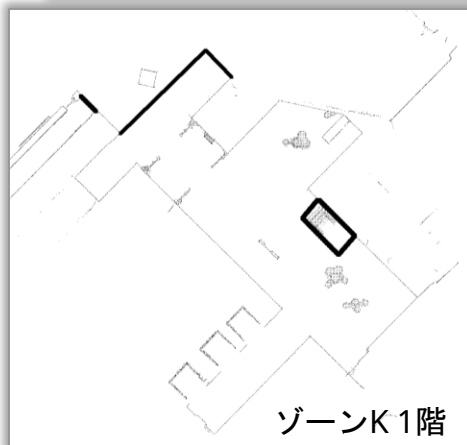
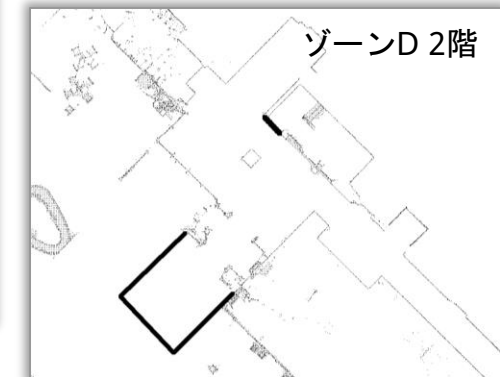
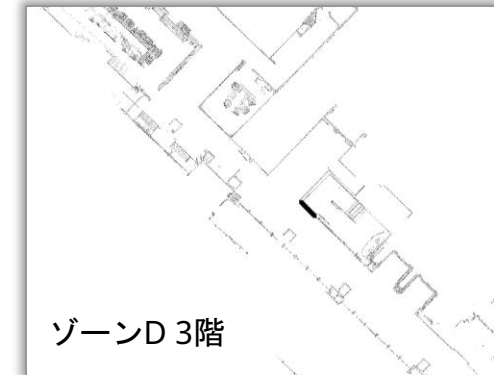
ゾーンJ2階 ⇒ ゾーンK2階（復路）



実機検証結果「地図情報共有@ユースケースD」

2種類のロボット用地図情報（走行環境地図、走行ルール含むトポロジカル・グラフ）を2社で共有した

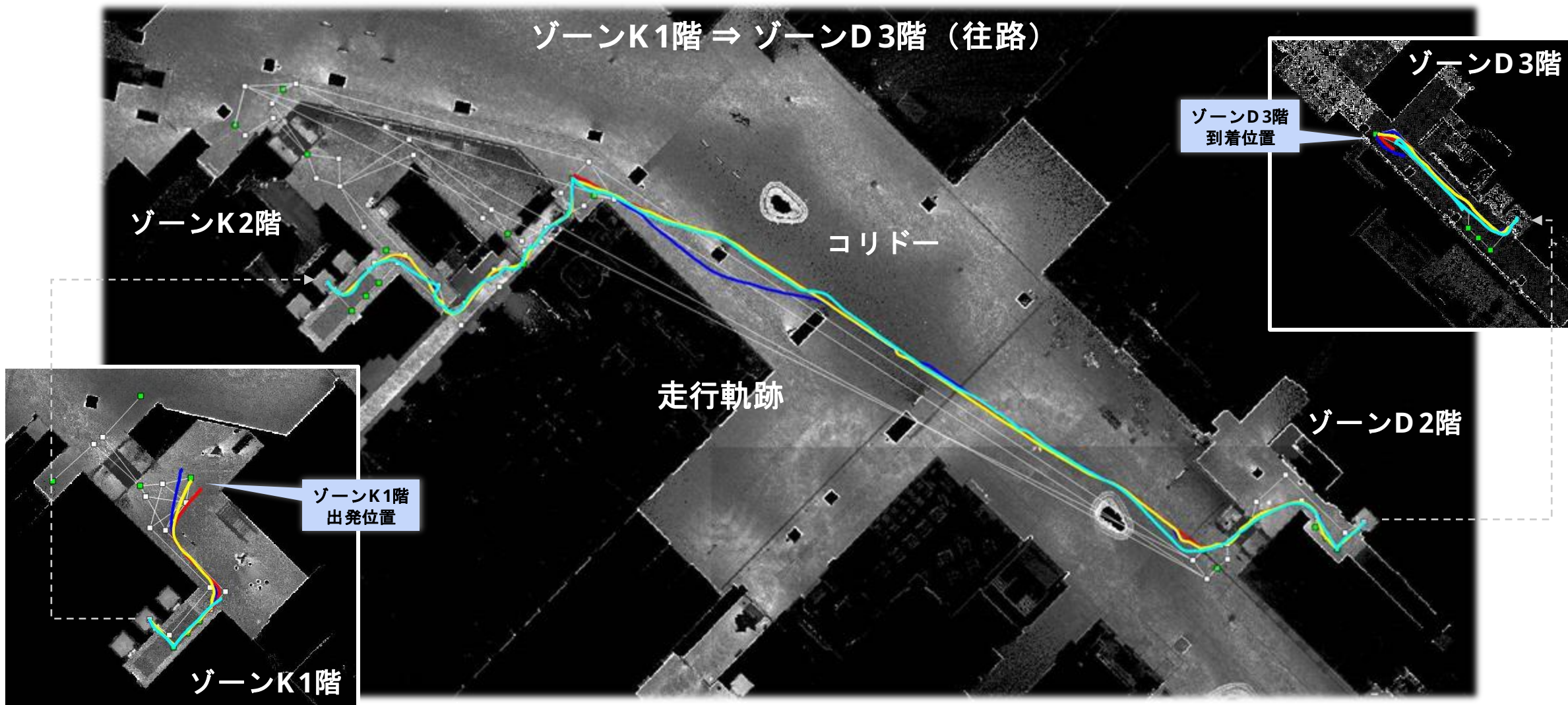
エリア別にpgm形式の走行環境地図を共有



実機検証結果「地図情報共有@ユースケースD」

共有した走行環境地図、トポロジカル・グラフをもとに、自己位置推定しつつ走行ルールに従って走行することを確認した

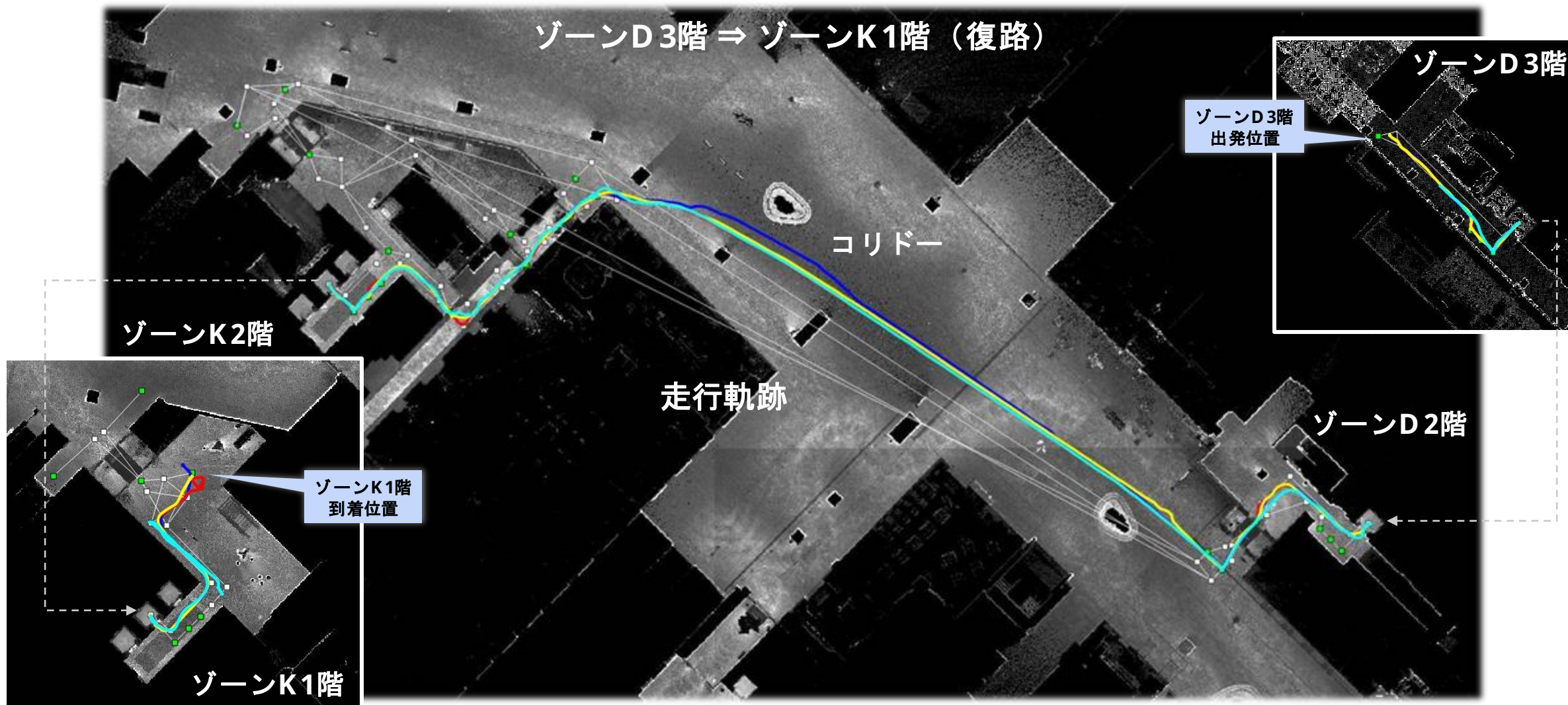
- : SoftBankロボット
- : DENSO-1ロボット
- : DENSO-2ロボット
- : DENSO-3ロボット



実機検証結果「地図情報共有@ユースケースD」

共有した走行環境地図、トポロジカル・グラフをもとに、自己位置推定しつつ走行ルールに従って走行することを確認した

- : SoftBankロボット
- : DENSO-1ロボット
- : DENSO-2ロボット
- : DENSO-3ロボット



実機検証結果「ルール共有(静的進入禁止領域)@ユースケースC」

走行環境地図に予め設定した静的進入禁止領域を共有し、進入しないことを確認した

- ロボット用地図に設定した進入禁止エリア
- センサ検出物
- ロボット



進入禁止領域を設定した走行環境地図を共有することで、
進路上に障害物が存在する場合であっても、
SB/DNともに進入禁止エリアへ進入しないことを確認

進入禁止領域
を示すテープ



障害物があっても
進入禁止エリアに
進入しない

進入禁止領域
を示すテープ



障害物があっても
進入禁止エリアに
進入しない

実機検証結果「ルール共有(一時的進入禁止領域)@ユースケースD」

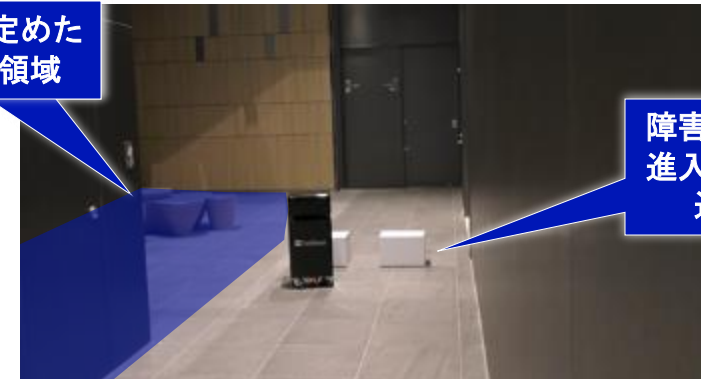
空間情報基盤より一時的進入禁止領域を取得し、進入しないことを確認した

SoftBankロボット

- 静的情報と一時的進入禁止領域をコストマップに反映した結果
- センサ検出物をコストマップに反映した結果
- SoftBankロボット



空間IDで定めた
進入禁止領域



障害物があっても
進入禁止エリアに
進入しない

DENSOロボット

- 静的情報と一時的進入禁止領域をコストマップに反映した結果
- センサ検出物
- DENSOロボット



空間IDで定めた
進入禁止領域

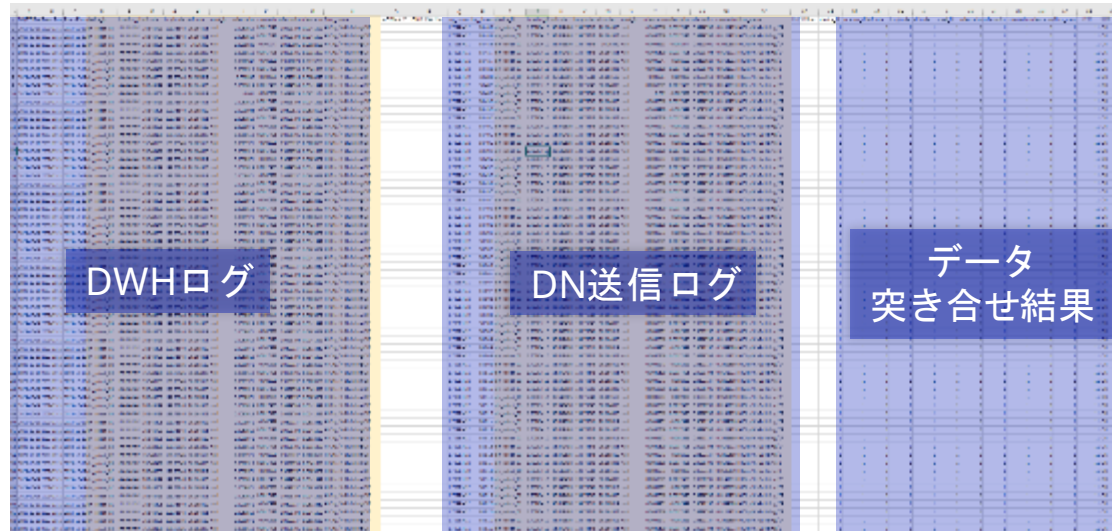


障害物があっても
進入禁止エリアに
進入しない

ズームレベル26の空間IDで設定された進入禁止領域を空間情報基盤より取得した。
進路上に障害物が存在する場合であっても、SB/DNともに進入禁止領域へ進入しないことを確認

実機検証結果「位置情報共有@ユースケースC/D」

共通APIにより位置情報をData Ware Houseに送信し、複数ベンダー・複数ロボットの位置の可視化ができることを確認した



The image shows three vertical panels of log data. The first panel is labeled 'DWHログ' (DWH Log), the second 'DN送信ログ' (DN Transmission Log), and the third 'データ突き合せ結果' (Data Synchronization Result). The logs consist of multiple columns of text, likely representing timestamps, coordinates, and status information for the robots.

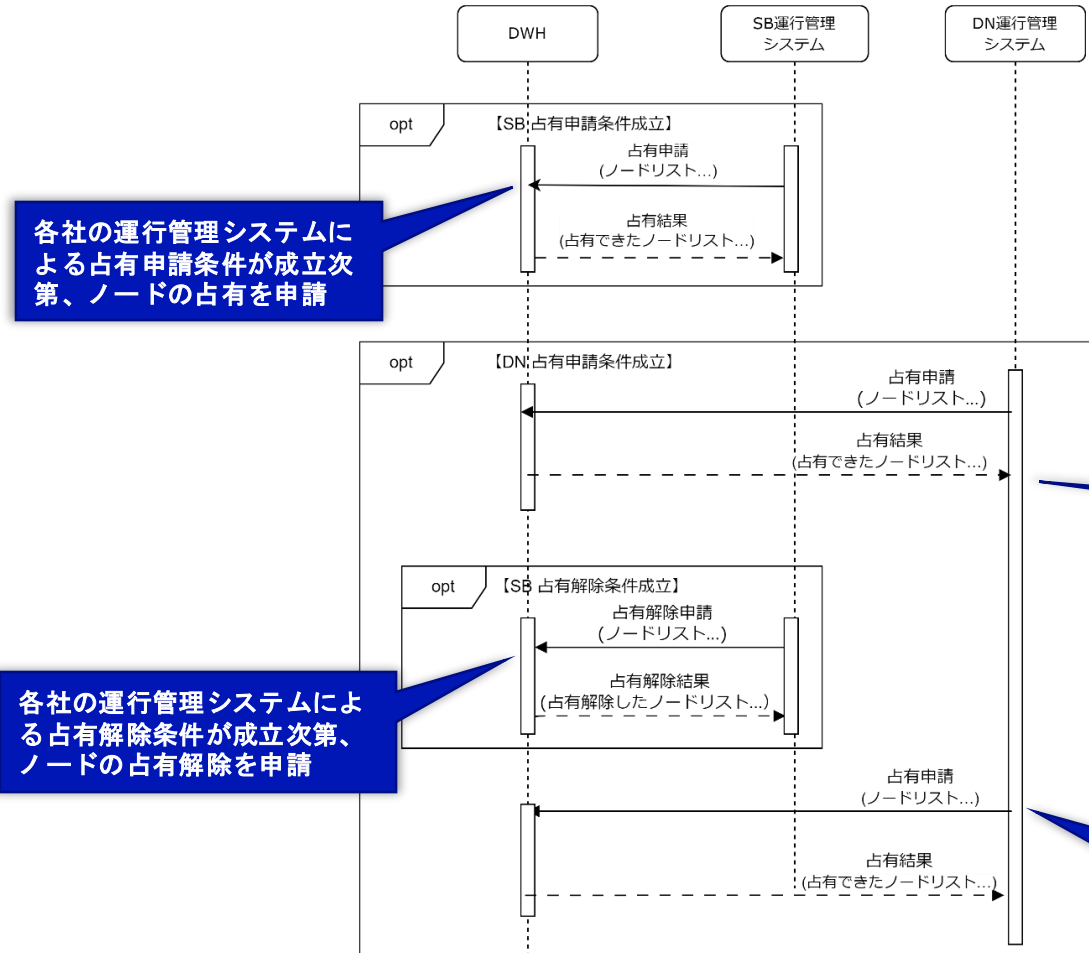
DWHとDN送信ログデータを突き合わせて確認し、データ抜け、データ化けがないことを確認



可視化システムより、SB/DNのロボットの位置情報を可視化できることを確認

実機検証結果「経路占有情報共有@ユースケースC/D」

トポロジカル・グラフのノードに対する占有情報を共有することによって、狭い空間における経路干渉を回避する仕組みの動作を確認した（詳細は4.3節を参照）



SB/DN間で共有した占有申請/解除条件

	条件
占有申請	調停ノード一つ手前のノードとの距離6m以内に接近※
占有解除	調停ノード一つ先のノードに到着/経由

※調停ノードが占有できなかった場合に、余裕を持って一つ手前のノードで減速/停止できると定めた

他社によってノードが占有されている場合は、DWHより空を返す

占有申請条件が成立しているが占有できないノードについては、各社の運行管理側より再び占有を申請

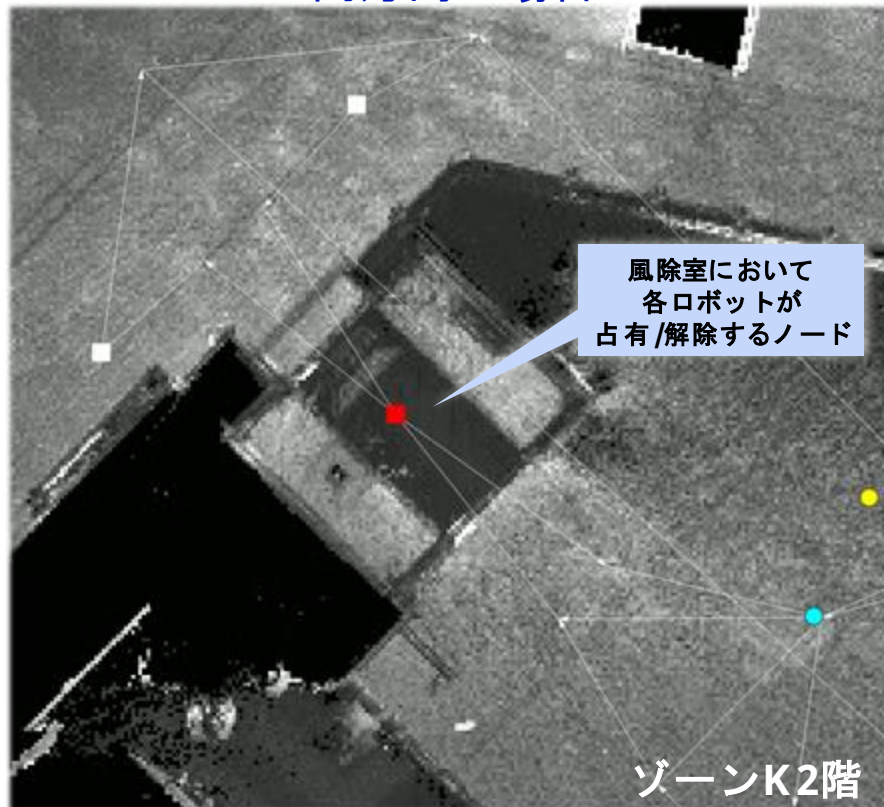
実機検証結果「経路占有情報共有@ユースケースC」

ゾーンK 2階の出入口における経路調停

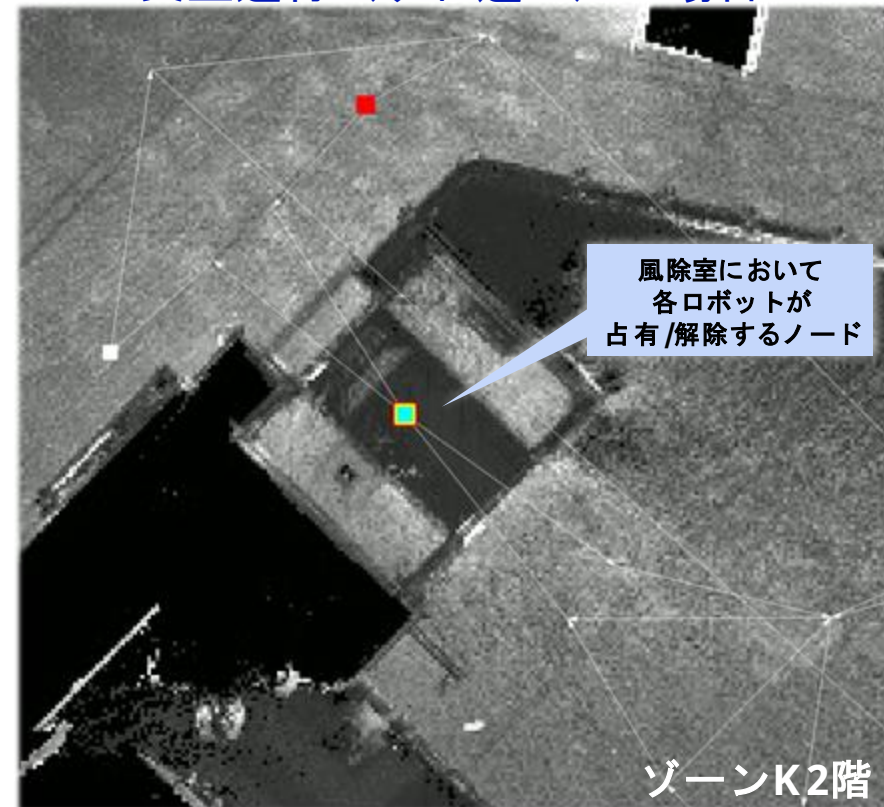
ロボットがすれ違いするには狭い風除室において各ロボットが前頁の条件でノードを占有/解除することでスタックすることなく走行できることを確認

- : SoftBankロボット ■ : SoftBankロボット占有ノード
- : DENSO-2ロボット ■ : DENSO-2ロボット占有ノード
- : DENSO-3ロボット ■ : DENSO-3ロボット占有ノード

同方向の場合



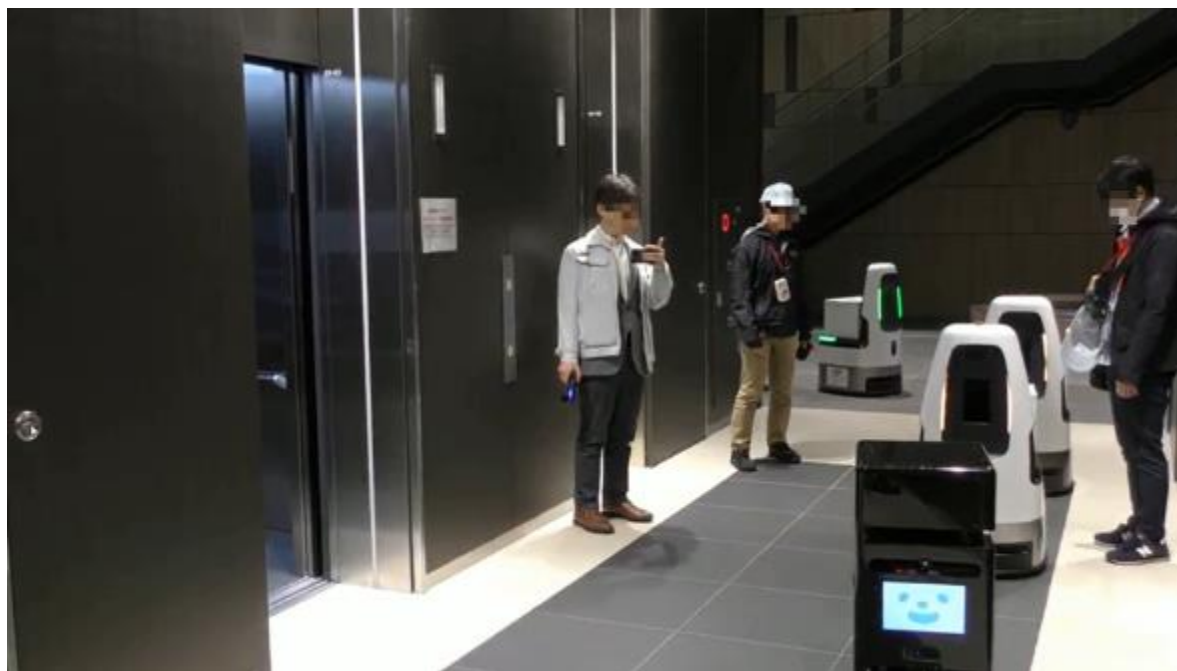
交互通行（すれ違い）の場合



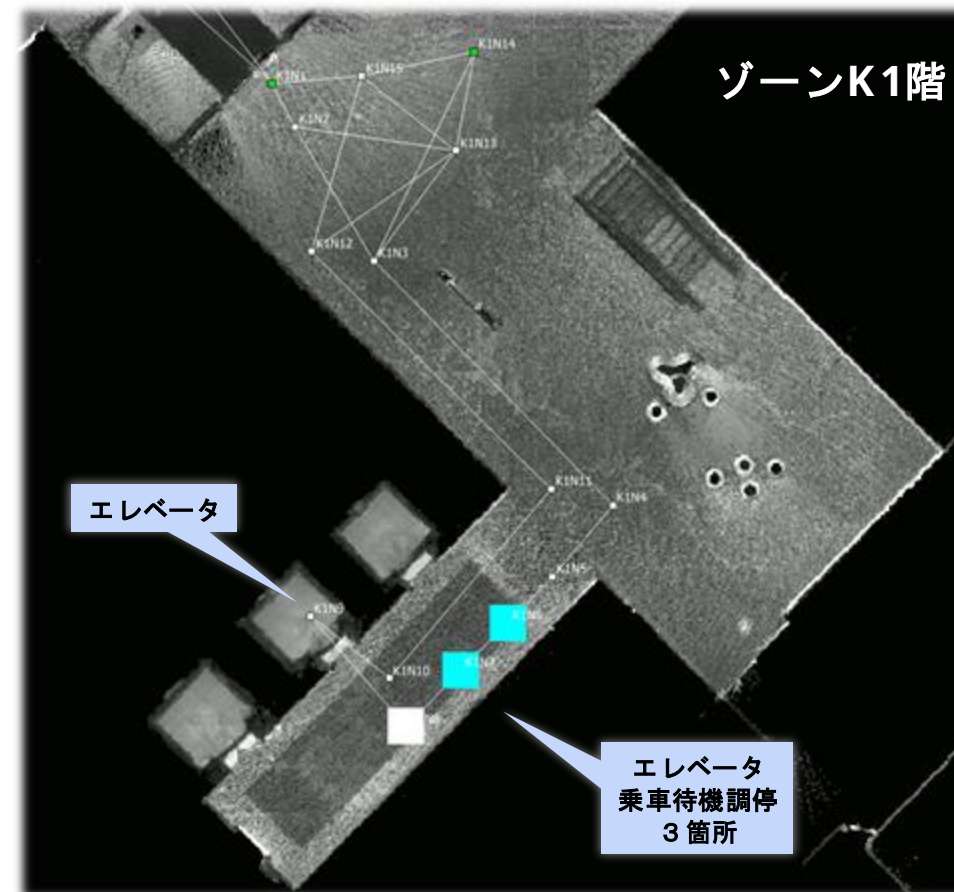
実機検証結果「経路占有情報共有@ユースケースD」

エレベータホールにおける待機場所の調停

ロボットが乗車待ちで集中するエレベータホールにおいて各ロボットが前々頁の条件でノードを占有/解除することでスタックすることなく待機することを確認

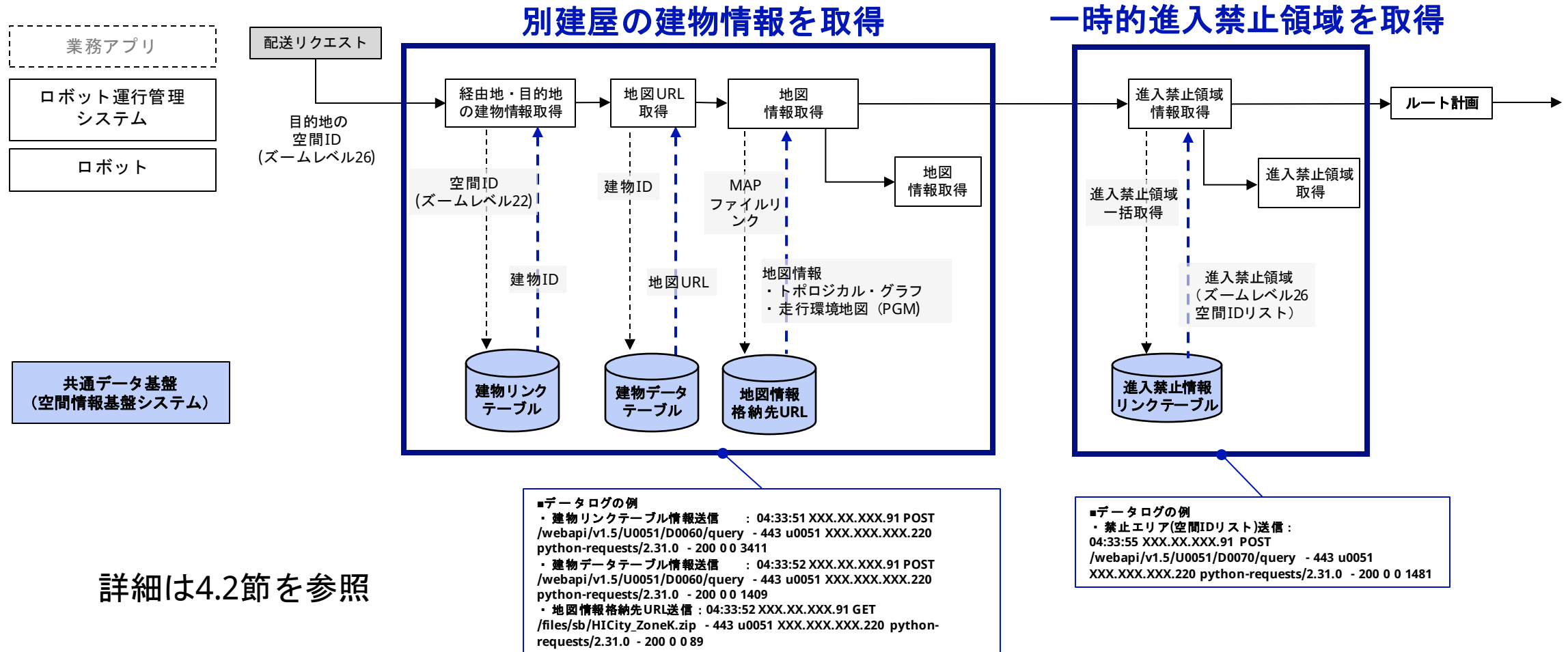


- : SoftBankロボット
- : DENSO-1ロボット
- : DENSO-2ロボット
- : DENSO-3ロボット
- : SoftBankロボット占有ノード
- : DENSO-1ロボット占有ノード
- : DENSO-2ロボット占有ノード
- : DENSO-3ロボット占有ノード



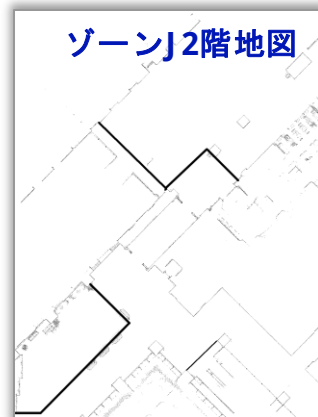
実機検証結果「建物内外運行@ユースケースD」

空間IDをインデックスとした目的地情報より、目的地を含む建物ボクセルを空間情報基盤より検索し、建物ボクセルに設定された地図情報格納先（URL）から、建物の地図情報を取得できることを確認した



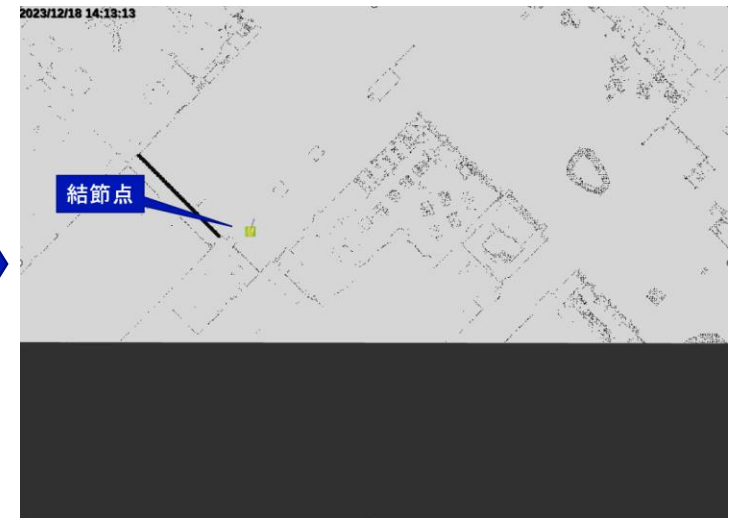
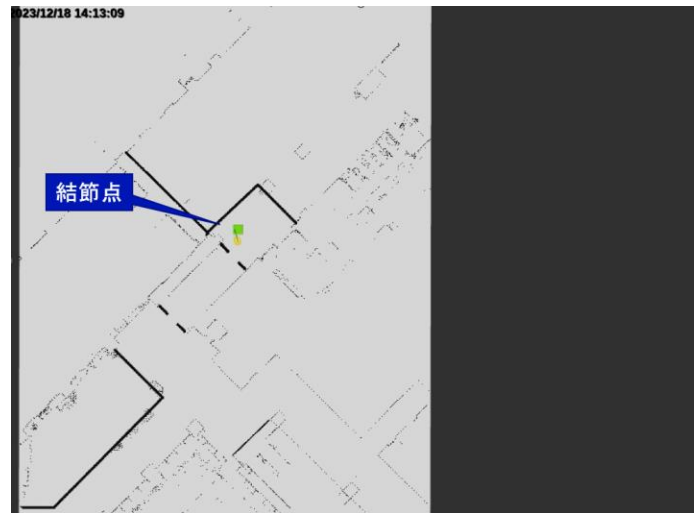
実機検証結果「建物内外運行@ユースケースC/D」

トポロジカル・グラフにて共有した建物出入口の結節点にて、走行環境地図の乗り換えができることを確認した



結節点にて、ゾーンJからコリドーの
走行環境地図へ乗り換え

■ 結節点
■ ロボット



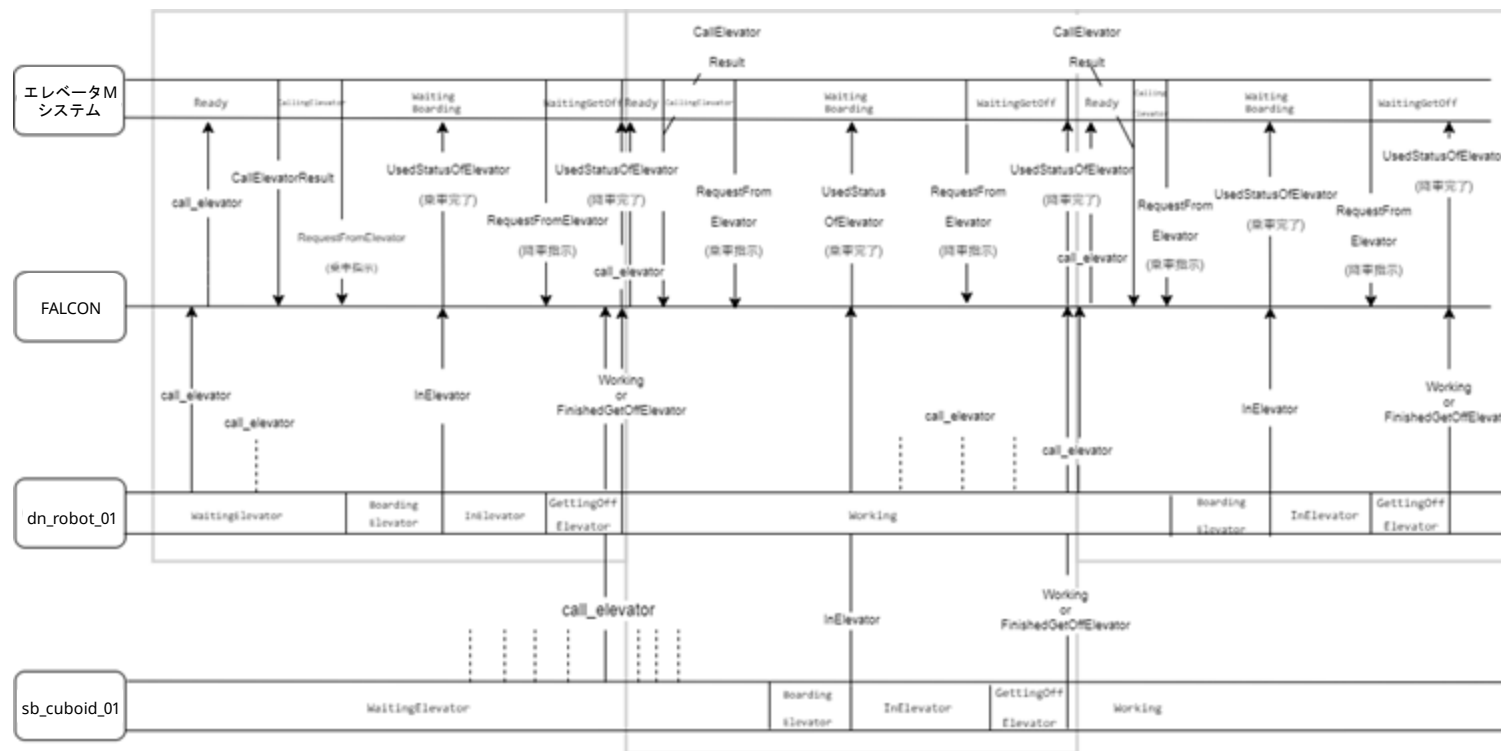
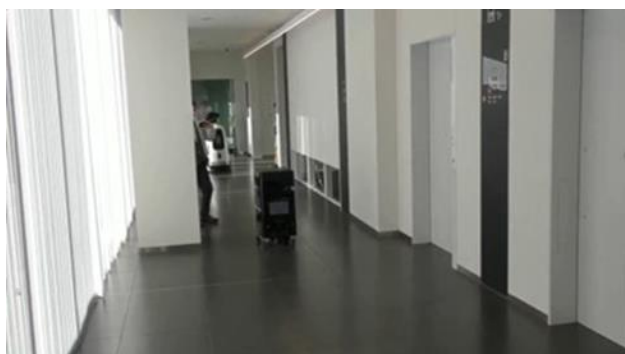
実機検証結果「エレベータ連携@ユースケースD」

共通API (Falcon) によりゾーンK (M社) 及びゾーンD (T社) のエレベータと連携して、ロボットがフロア移動できることを確認した

ゾーンK 1階



ゾーンD 3階



ゾーンKエレベータ連携実証試験時のログ

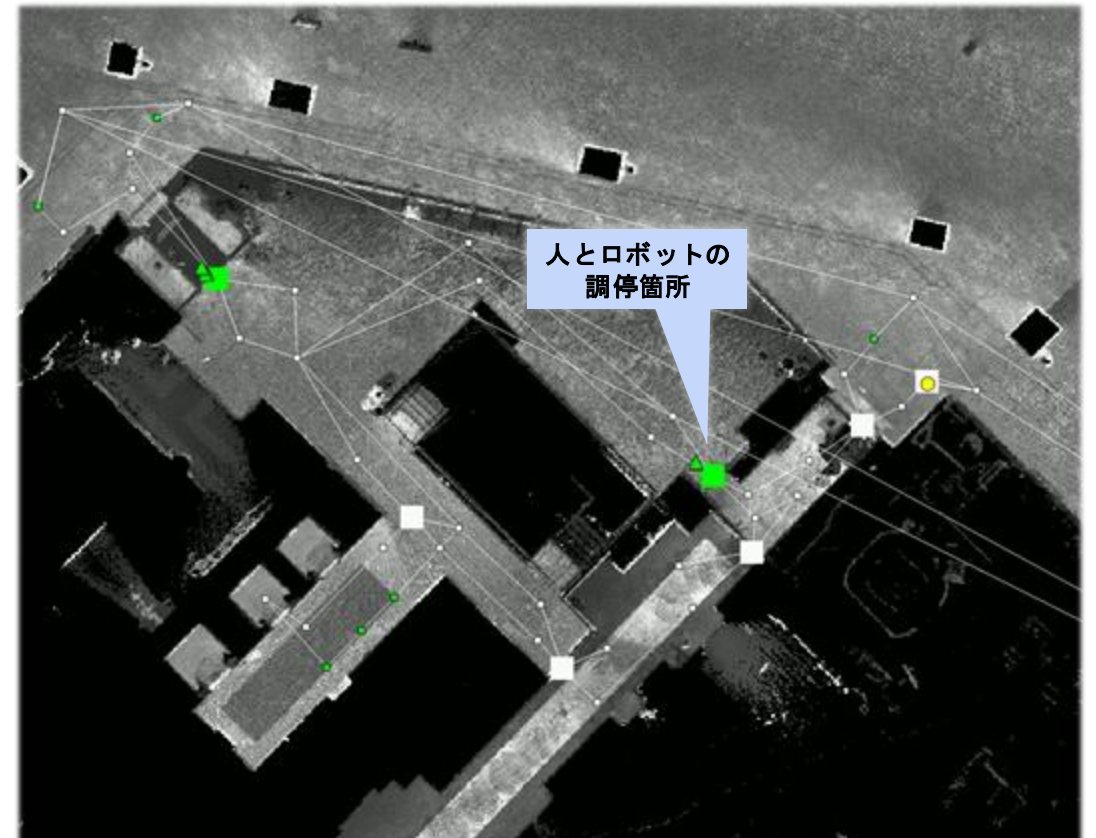
実機検証結果「インフラセンサ連携@ユースケースD」

インフラセンサによる占有情報を共有することで、ロボットと人との干渉を軽減できることを確認した

ゾーンK2階の出入口における通行人とロボットとの経路調停

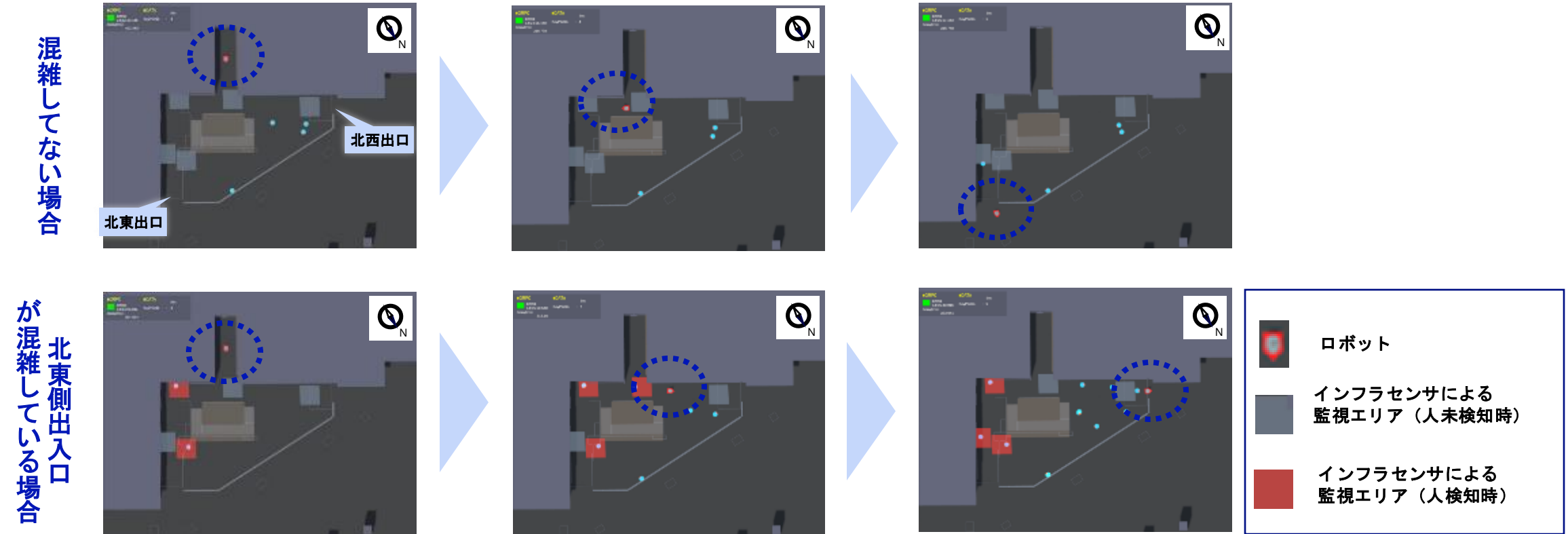
インフラセンサで認識した通行人情報に基づき、
インフラセンサ側から経路占有を申請/解除

- : SoftBankロボット
- : DENSO-3ロボット
- ▲ : インフラ情報（通行人）
- : SoftBankロボット占有ノード
- : DENSO-3ロボット占有ノード
- : インフラ占有ノード



実機検証結果「インフラセンサ連携@ユースケースD」

インフラセンサで検知した人の混雑度に応じたルートの変更ができることを確認した

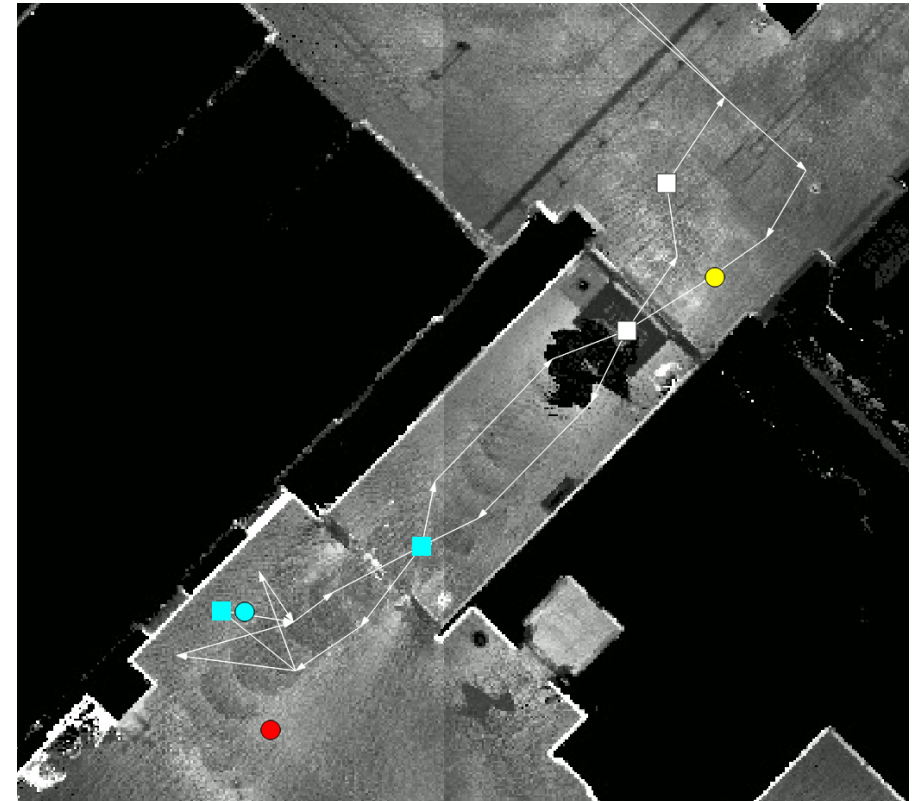


北東出口側（図左下側）の建物（ゾーンD）を目的地に設定

⇒ 各監視エリアの人検知状態が継続しているルートを回避できていることを確認

実機検証結果「課題@ユースケースC」

3台以上のロボットにおける経路占有の先勝ち方式について
複数台のロボットからの占有リクエストをFIFOで出し入れするキューイングに対応していないため、
リクエストタイミングによっては、後方車の追越しが発生した

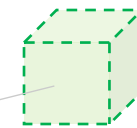


対策案：台数制限した上で、キューイング対応する等
が考えられる。

- : SoftBankロボット
- : DENSO-2ロボット
- : DENSO-3ロボット
- : SoftBankロボット占有ノード
- : DENSO-2ロボット占有ノード
- : DENSO-3ロボット占有ノード

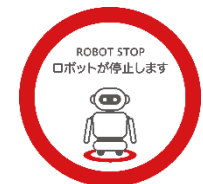
実機検証結果「課題@ユースケースC」

地図乗り換え地点に人が滞在すると、地図乗換地点へ到着できないため、地図乗り換えができずに停止を継続してしまう



結節点

シールの例



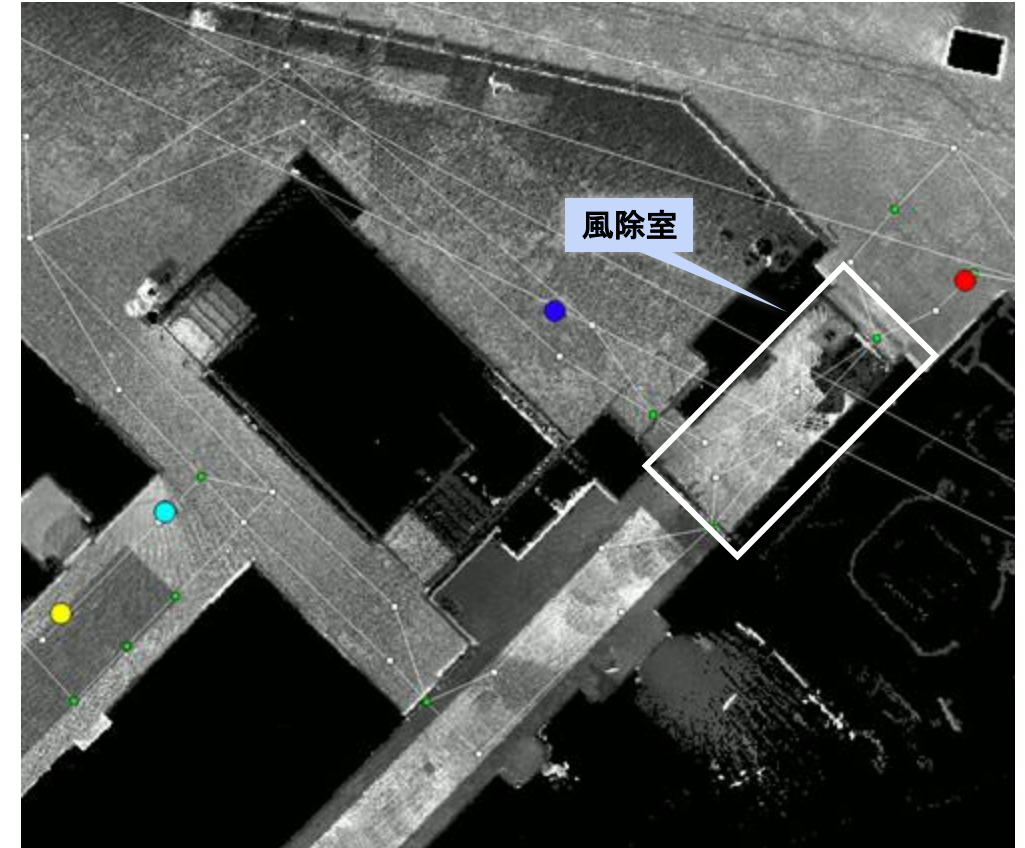
対策案：地図乗り換え地点にて人が滞在し続けることを防ぐために、床面にシールを貼ることや音声による通知が有効と思われる。あるいは、地図乗り換え地点を広く、または複数設定することも有効と思われる。

実機検証結果「課題@ユースケースD」

分散協調運行の限界：

風除室にてロボットが密集しスタックが発生した

- : SoftBankロボット
- : DENSO-1ロボット
- : DENSO-2ロボット
- : DENSO-3ロボット



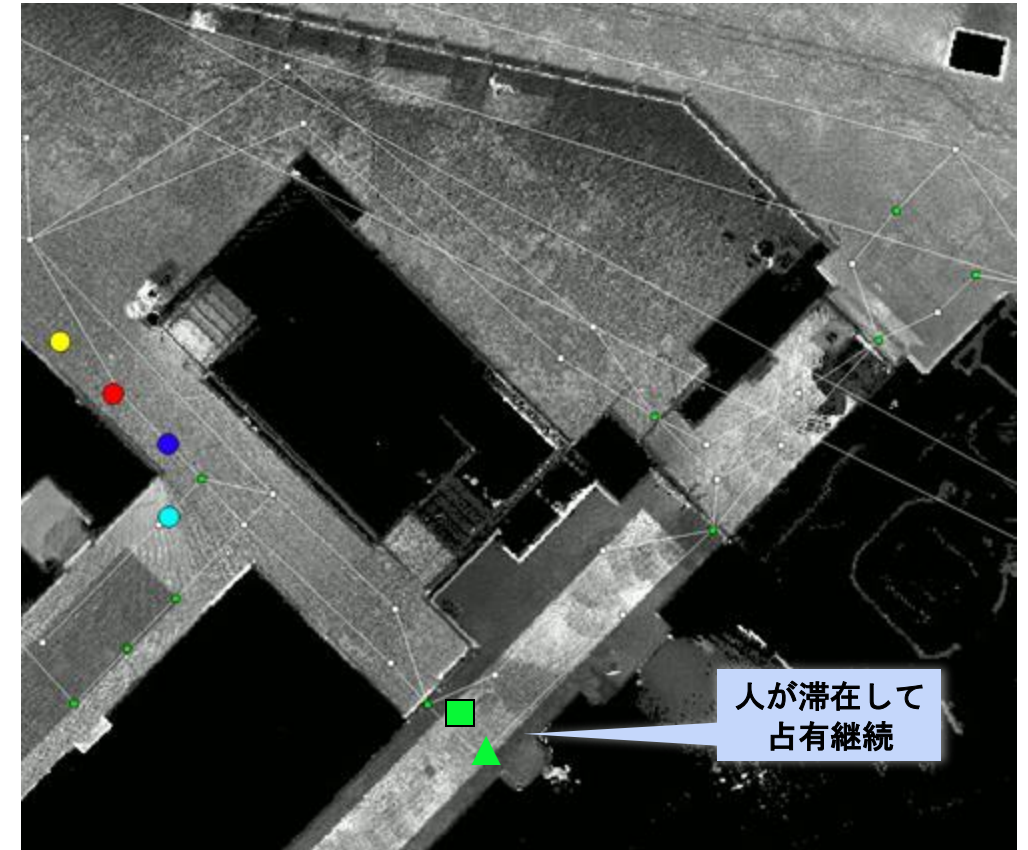
狭いエリアに複数方向からロボットが進入
⇒ 各ロボットが互いに走行を阻害し、ノードに到達できずにスタックが発生

実機検証結果「課題@ユースケースD」

分散協調運行の限界：

人による占有継続により、複数のロボットが待機位置（調停ノードの一つ手前）に密集し、他の人やロボットの走行を阻害した

- : SoftBankロボット
- : DENSO-1ロボット
- : DENSO-2ロボット
- : DENSO-3ロボット
- ▲ : 通行人



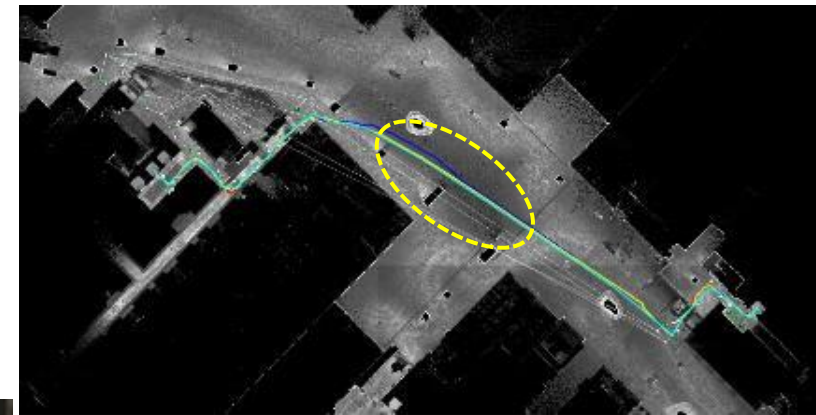
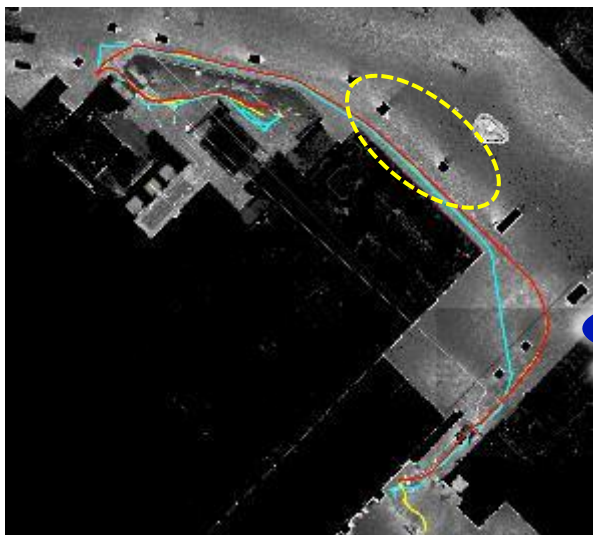
対策案：各社のロボットの仕様やノード位置の調整などで一定の改善余地の可能性はあるが、エリア（例えばゾーンK 1Fなど）ごとに台数制限を設けて対処することが有効と思われる

実機検証結果「課題@ユースケースD」

ロボット間で占有情報を共有せず運行を実施すると、ロボットが密集し周辺歩行者の移動の妨げやロボットのスタックによる渋滞が発生する可能性がある

対策案：
公道においても
ルール/占有状態の共有が必要と思われる

オープンエリアにおいても、狭いエリアでは占有情報を共有しないとロボットが密集し、周辺歩行者の移動の妨げや、ロボットのスタックが発生する可能性がある



スペースがあるエリアにおいても複数ロボットの最適経路が干渉する

3. 実機検証

3.1 実証ユースケース

3.2 実証ユースケース×実証検討項目マッピング

3.3 実証環境の全体概要

3.4 ユースケースA. 警備・清掃

3.5 ユースケースB. 飲食運搬

3.6 ユースケースC. 手荷物搬送／D. 施設内物流

3.7 将来サービスユースケース

将来サービスユースケース策定の目的

将来サービスユースケースを策定する目的は、アーキテクチャのサービス連携における必要な機能と情報の洗い出し、及び経済性の観点からロールの事業性を検証するためである

将来サービスユースケースの策定目的

アーキテクチャ（サービス連携）

サービス連携に必要な機能・情報の洗い出し

アーキテクチャに関する検証項目（4.5節 分散協調におけるサービス連携）について、将来サービスユースケースを通じて分散協調のサービス連携において必要な機能とその情報の洗い出し

経済性・責任分界の分析

モビリティ運行者／場の管理者のロールの事業性確認

将来サービスユースケースに基づき、ロボットのサービスとしての利用モデルの提供とその運行を担うモビリティ運行者と、ロボットが効率的に機能するためのインフラ提供・管理を担う場の管理者の事業性を確認

整理内容

整理①：将来サービス相関図

- 将来サービスユースケース別にロボットサービスに携わるロール間の商流を整理
- ロボットサービスを導入することに想定されるロールのメリットを整理
- 各ロールが属する場を整理

整理②：将来サービス業務フロー

- 将来サービスユースケース別にロボットサービスの将来サービスにおける業務フローを整理
- ロール間でI/F連携が発生するところ、及びアーキテクチャ上の机上検証項目となる業務プロセスを中心に整理

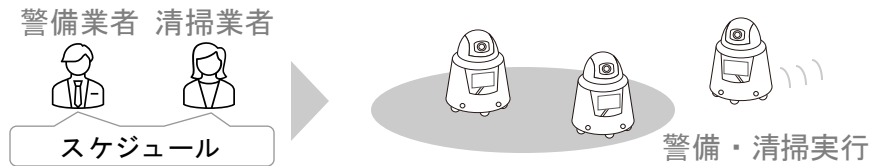
将来サービスユースケースの策定シナリオ

机上検討を行うため、近い将来に実証ユースケースがHICityにてサービス実装された将来シナリオとして、ロール毎に事業者が分かれる想定で4つの将来サービスユースケースを定める

A. 警備・清掃

分散協調ポイント：複数業務を横断してのロボット運行

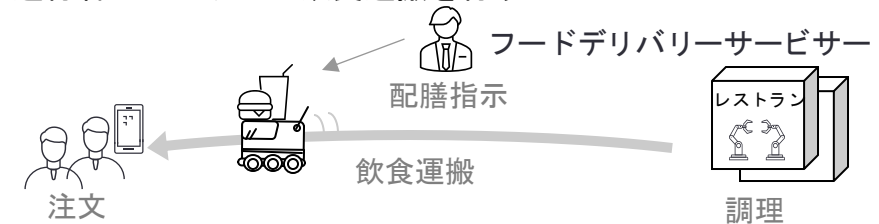
- HICityから委託を受けた警備・清掃のサービス提供者が同じく、HICityが委託したモビリティ運行者と協働して、警備・清掃業務を実施する
- 警備・清掃の各サービス提供者と場の管理者との契約に基づき、複数のロボットが協調してタスクを実行する



B. 飲食運搬

分散協調ポイント：サービス提供者とモビリティ運行者が異なる事業者

- HICity内の利用者がフードデリバリーサービスを通じてレストランの飲食の注文を行う。フードデリバリーサービスから依頼を受けたモビリティ運行者がロボットが飲食運搬を行う



C. 手荷物搬送

分散協調ポイント：複数モビリティ間の連携

- 利用者が飛行機利用の際に到着した羽田空港で荷物を預けて観光に出かけ、航空会社が宿泊先ホテルまでの荷物搬送をモビリティを活用して実施する
- 配送業者が荷物の配送先を指示することで、空港やホテルのモビリティが協調・連携して運行し、予定時刻に合わせて手荷物がホテルに自動で運搬される



D. 施設内物流

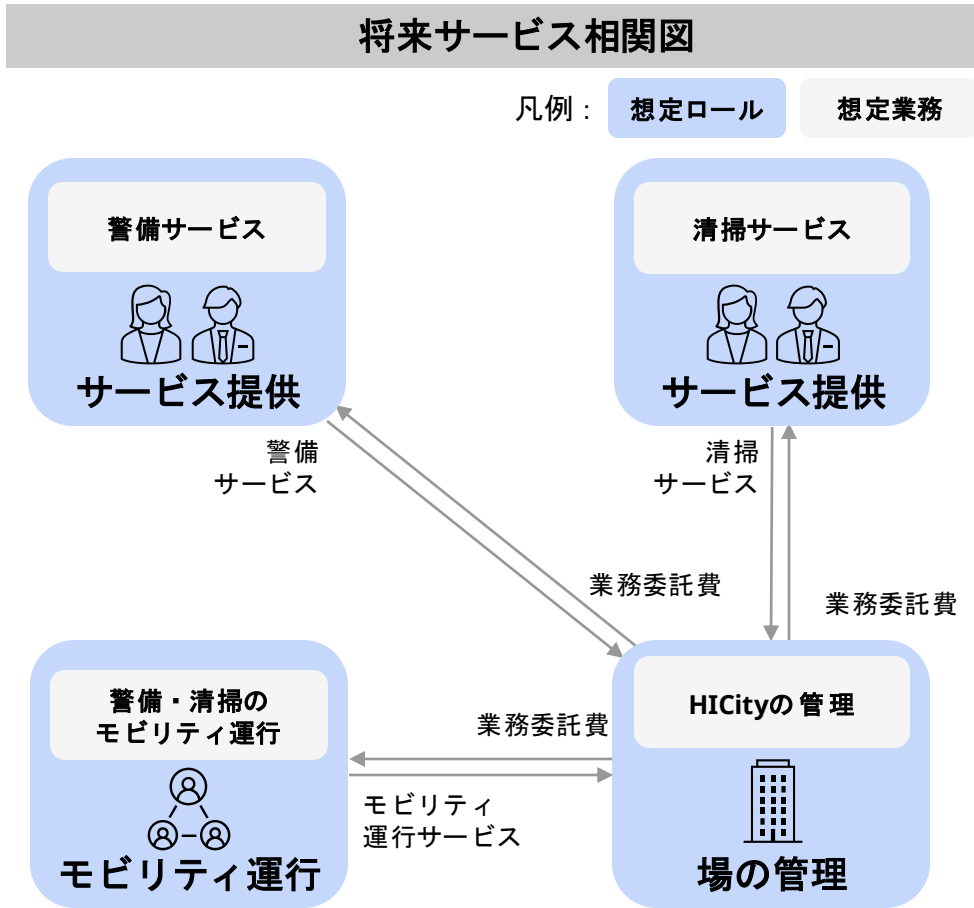
分散協調ポイント：複数ベンダーロボットの場への出入り

- 施設・ビル内の施設内物流を行う事業者がロボットに施設内の物流を共同で委託する
- ロボットが配送タスク指示に基づき、適宜ビルとの認証やエレベータ連携を行うことで不特定の場をまたいでタスクを実行する



将来ユースケースA：将来サービス相関図

ロボット導入の想定される狙いとして、施設管理の警備・清掃業務のロボット活用によるコスト削減及び労働人口減少への対応が考えられる



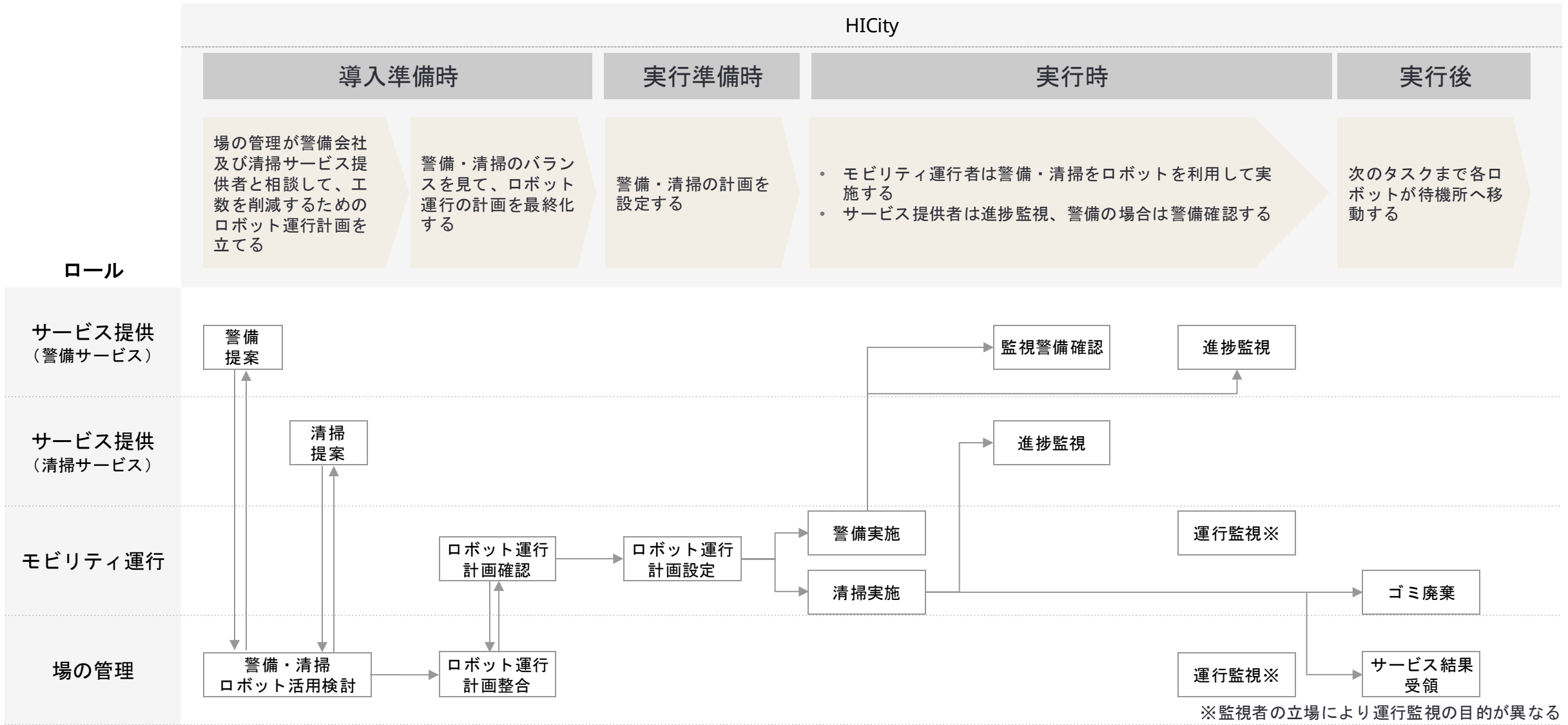
※モビリティ製造は、利用するロボットの販売の役割を担うと自明であるため、ロール関係図から記載を省略する

登場するロールの役割・メリット

ロール	役割	ビジネス上のメリット	場
サービス提供 (警備サービス)	HICityにて警備サービスを提供	人手不足の解消	HICity
サービス提供 (清掃サービス)	HICityにて清掃サービスを提供	人手不足の解消	HICity
モビリティ運行	タスクを受付して、警備・清掃のロボットを運行／管理	場の管理からの業務委託費（警備・清掃）	HICity
モビリティ製造	警備・清掃に利用するロボットを製造	ロボット販売による収益	HICity
場の管理	HICity内の設備や認証等の場を管理	場の管理コストの削減	HICity

将来ユースケースA：将来サービス業務フロー図

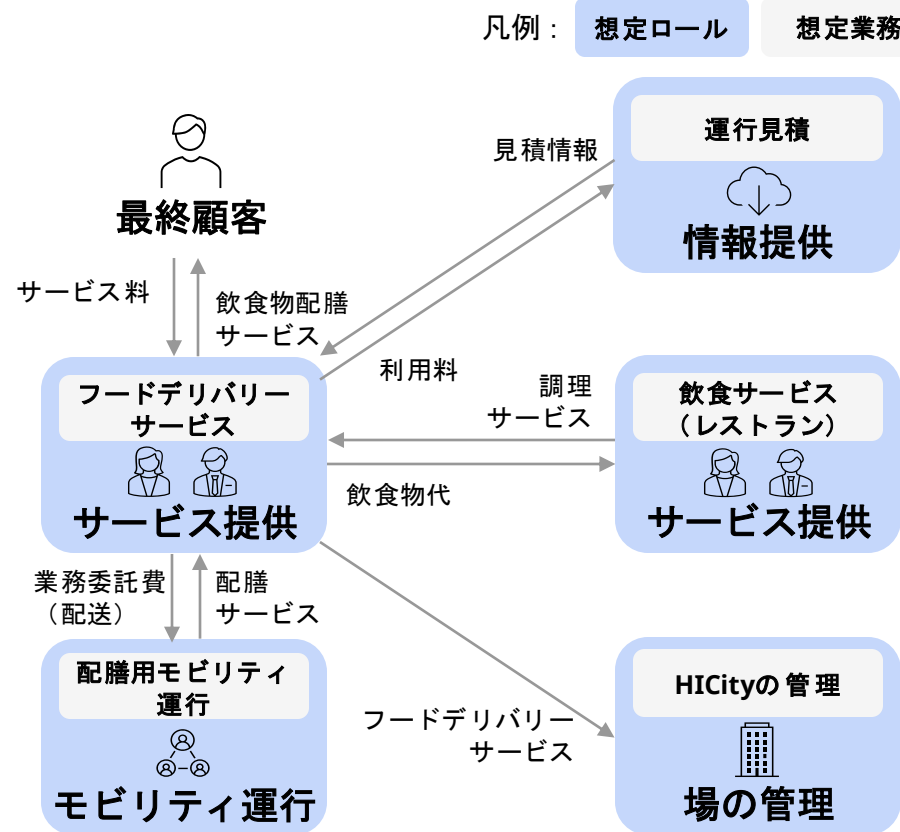
凡例： 業務フロー → 業務



将来ユースケースB：将来サービス相関図

ロボット導入の想定される狙いとして、飲食物の配膳におけるロボット活用による新規サービス創出及び労働人口減少への対応が考えられる

将来サービス相関図



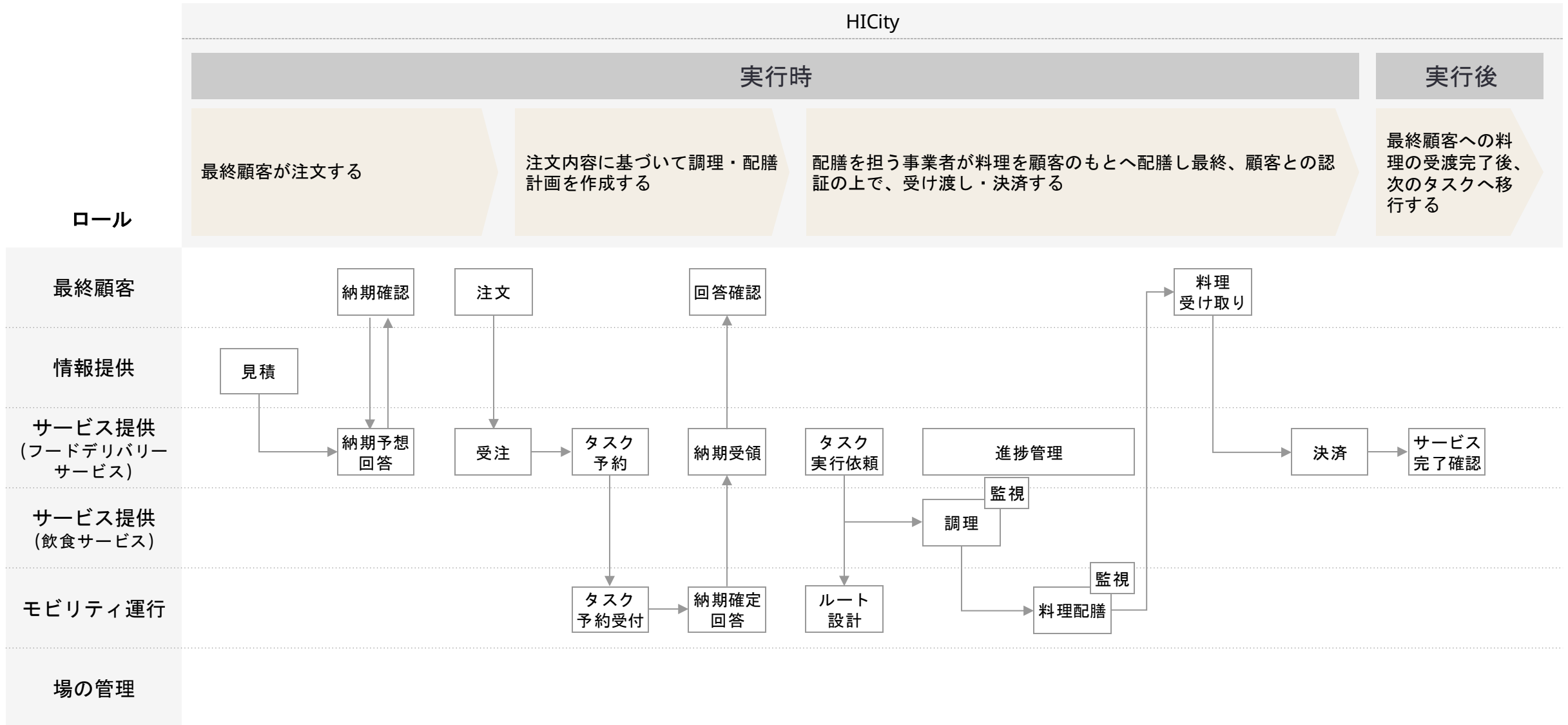
※モビリティ製造は、利用するロボットの販売の役割を担うと自明であるため、ロール関係図から記載を省略する

登場するロールの役割・メリット

ロール	役割	ビジネス上のメリット	場
情報提供	サービス情報を基に、運行見積情報を提供	サービス提供からの利用料	HICity
サービス提供 (フードデリバリーサービス)	最終顧客に食事の注文・決済のサービスを提供	最終顧客からのサービス料	HICity
サービス提供 (飲食サービス)	最終顧客に提供する食事の調理	飲食物調理の飲食物代	HICity
モビリティ運行	食事を配膳するロボットの運行管理	サービス提供からの業務委託費 (配送)	HICity
モビリティ製造	配膳に利用するロボットを製造	ロボット販売による収益	HICity
場の管理	HICity内の設備や認証等の場を管理	利便性向上による施設のバリューアップとテナント収入の増加	HICity

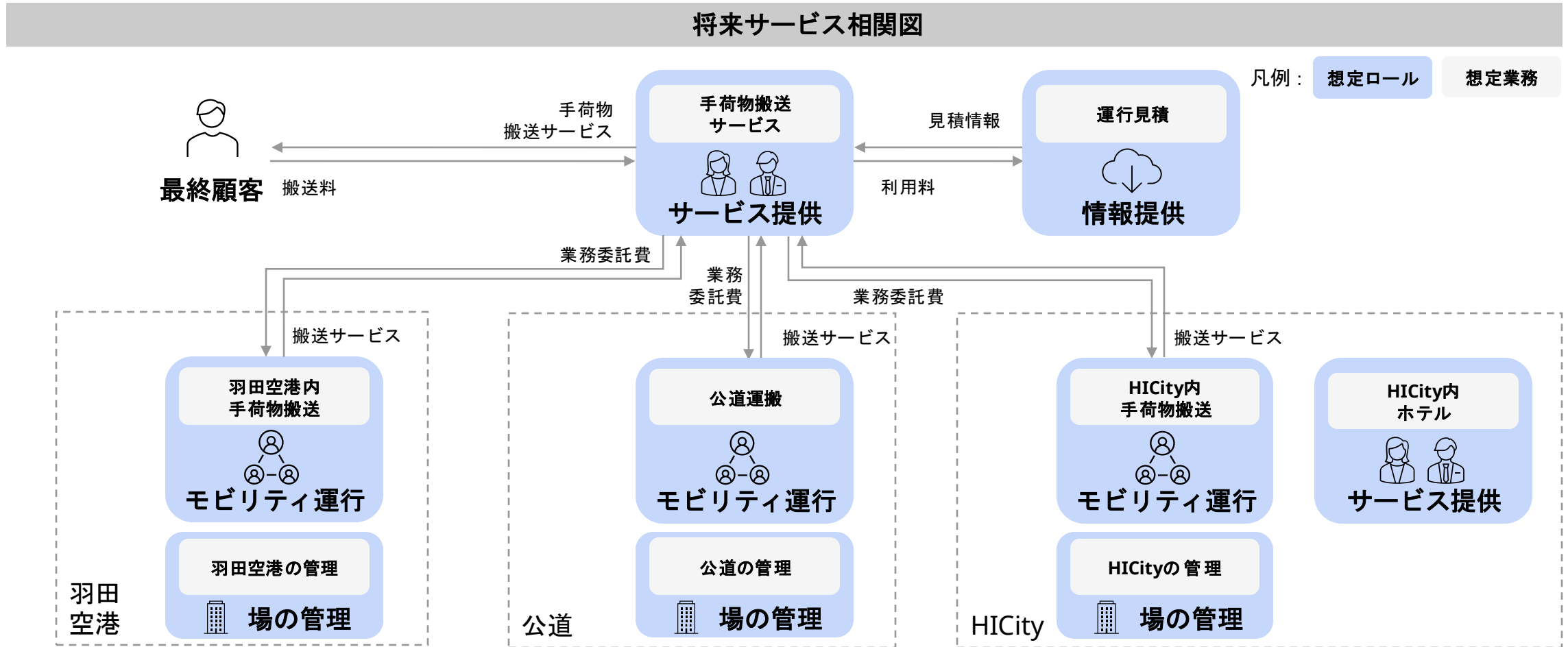
将来ユースケースB：将来サービス業務フロー図

凡例： 業務フロー → 業務



将来ユースケースC：将来サービス相関図（1 / 2）

ロボット導入の想定される狙いとして、手荷物搬送における自動運行ロボット活用によるコスト削減及び、労働人口減少への対応が考えられる



※モビリティ製造は、利用するロボットの販売の役割を担うと自明であるため、ロール関係図から記載を省略する

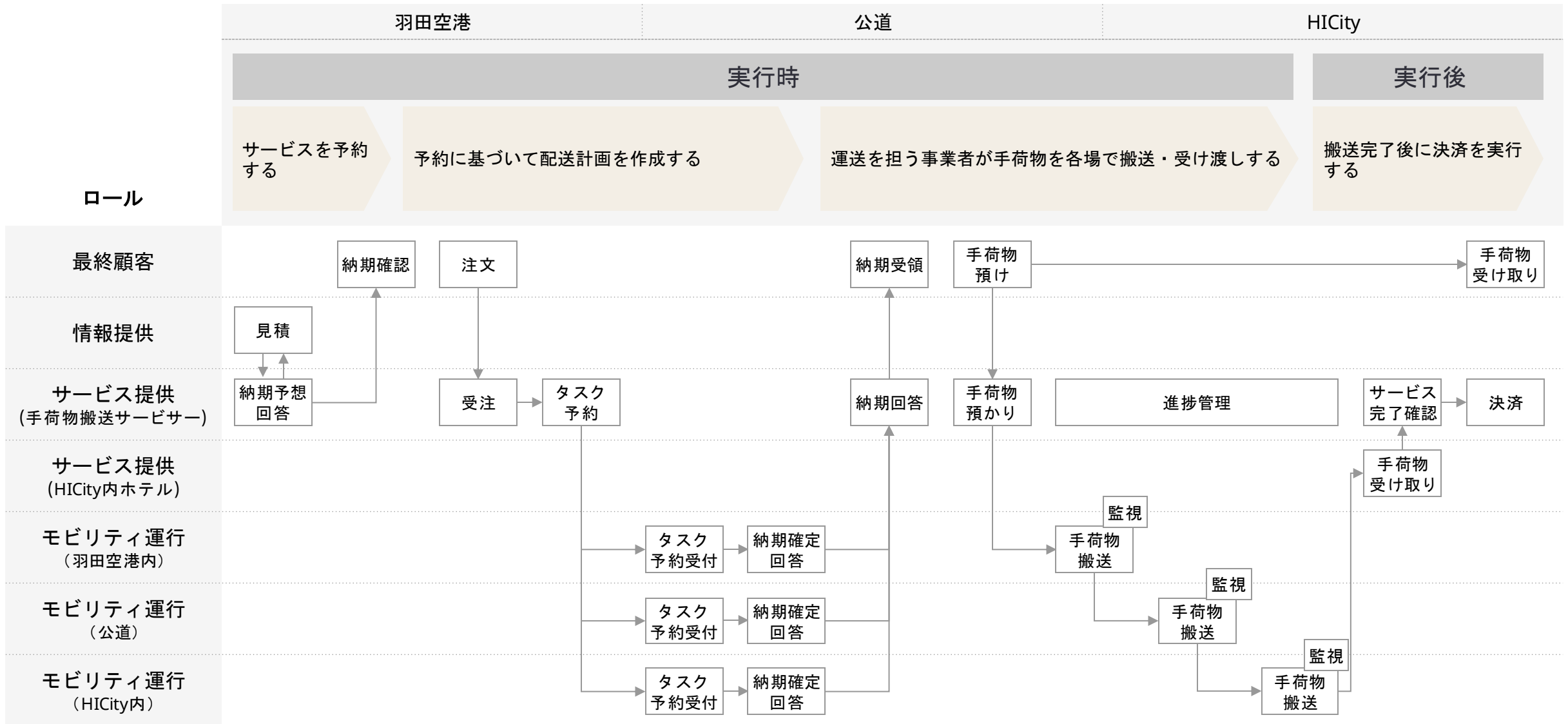
将来ユースケースC：将来サービス相関図（2 / 2）

登場するロールの役割・メリット

ロール	役割	ビジネス上のメリット	場
サービス提供 (手荷物搬送サービサー)	最終顧客に手荷物搬送サービスを提供	最終顧客からの搬送料	-
情報提供	サービス情報を基に、運行見積情報を提供	サービス提供からの利用料	-
モビリティ運行 (羽田空港内)	羽田空港内の搬送を担うロボットを運行	サービス提供からの業務委託費（搬送）	羽田空港
モビリティ製造	手荷物搬送に利用するロボットを製造	ロボット販売による収益	羽田空港
場の管理 (羽田空港)	羽田空港内の設備や認証等の場を管理	場の付加価値向上	羽田空港
モビリティ運行 (公道)	公道の搬送を担うモビリティを運行	サービス提供からの業務委託費（搬送）	公道
モビリティ製造	手荷物搬送に利用するモビリティを製造	モビリティ販売による収益	公道
場の管理 (公道)	公道内の設備や認証等の場を管理	利用者数の増加	公道
サービス提供 (HICity内ホテル)	最終顧客への手荷物引渡し	利便性向上による売上増加	HICity
モビリティ運行 (HICity内)	HICity内の搬送を担うロボットを運行	サービス提供からの業務委託費（搬送）	HICity
モビリティ製造	手荷物搬送に利用するロボットを製造	ロボット販売による収益	HICity
場の管理 (HICity)	HICity内の設備や認証等の場を管理	利便性向上による施設のバリューアップとテナント収入の増加	HICity

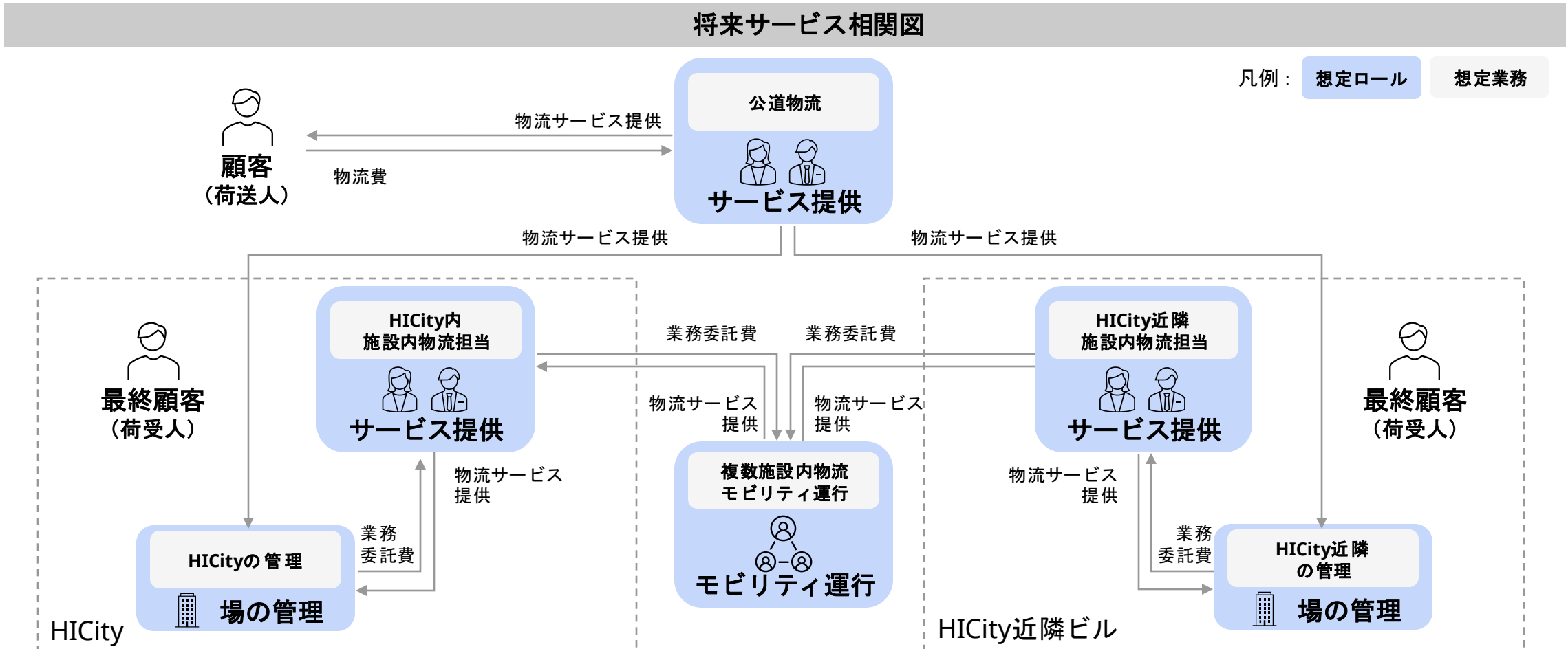
将来ユースケースC：将来サービス業務フロー図

凡例： 業務フロー → 業務



将来ユースケースD：将来サービス相関図（1 / 2）

ロボット導入の想定される狙いとして、ロボットを利用した人的工数削減による、コスト削減及び労働人口減少への対応が考えられる



※モビリティ製造は、利用するロボットの販売の役割を担うと自明であるため、ロール関係図から記載を省略する

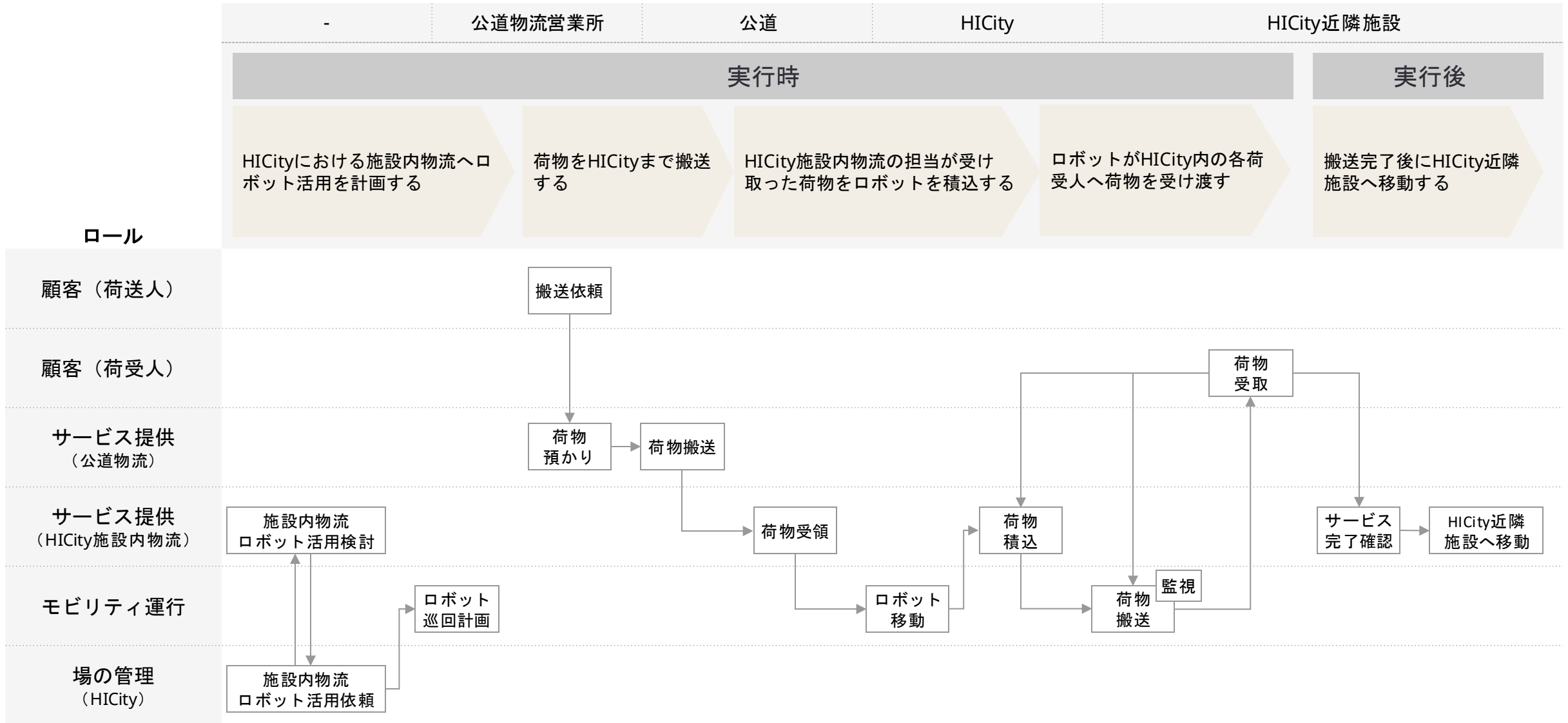
将来ユースケースD：将来サービス相関図（2 / 2）

登場するロールの役割・メリット

ロール	役割	ビジネス上の メリット	場
サービス提供 （公道物流）	搬送先のHICity及びHICity近隣ビルへ手荷物を搬送	-	-
サービス提供 （HICity施設内物流）	公道物流のサービス提供の事業者から受け取った手荷物を、HICity内物流を担うロボットへ積込	施設内物流における人件費削減	HICity
場の管理 （HICity）	HICity内の設備や認証等の場を管理	施設内物流における業務委託費削減	HICity
サービス提供 （HICity近隣施設内物流）	公道物流のサービス提供の事業者から受け取った手荷物を、HICity近隣施設内物流を担うロボットへ積込	施設内物流における人件費削減	HICity近隣施設
場の管理 （HICity近隣施設）	HICity近隣施設の設備や認証等の場を管理	管理費用の支払コスト削減	HICity近隣施設
モビリティ運行	HICity及びHICity近隣施設で施設内物流を行うためロボットを運行	サービス提供からの業務委託費	HICity/HICity近隣施設
モビリティ製造	施設内物流の搬送に利用するロボットを製造	ロボット販売による収益	HICity/HICity近隣施設

将来ユースケースD：将来サービス業務フロー図

凡例： 業務フロー → 業務



4. 検証結果詳細

- 4.1 分散協調制御でのアーキテクチャ仮説
- 4.2 運行管理に必要となる共通データ
- 4.3 複数モビリティの運行管理・制御
- 4.4 インフラ基盤（設備・通信・充電ほか）
- 4.5 分散協調におけるサービス連携

4. 検証結果詳細

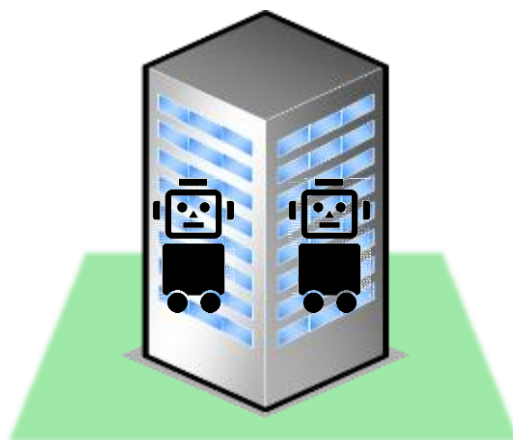
- 4.1 分散協調制御でのアーキテクチャ仮説
- 4.2 運行管理に必要となる共通データ
- 4.3 複数モビリティの運行管理・制御
- 4.4 インフラ基盤（設備・通信・充電ほか）
- 4.5 分散協調におけるサービス連携

分散協調制御でのアーキテクチャ仮説

分散協調制御による複数のサービスロボット、複数のサービス、複数の事業者を横断した運行のアーキテクチャ仮説に当たっては、以下のようにスコープを定義した

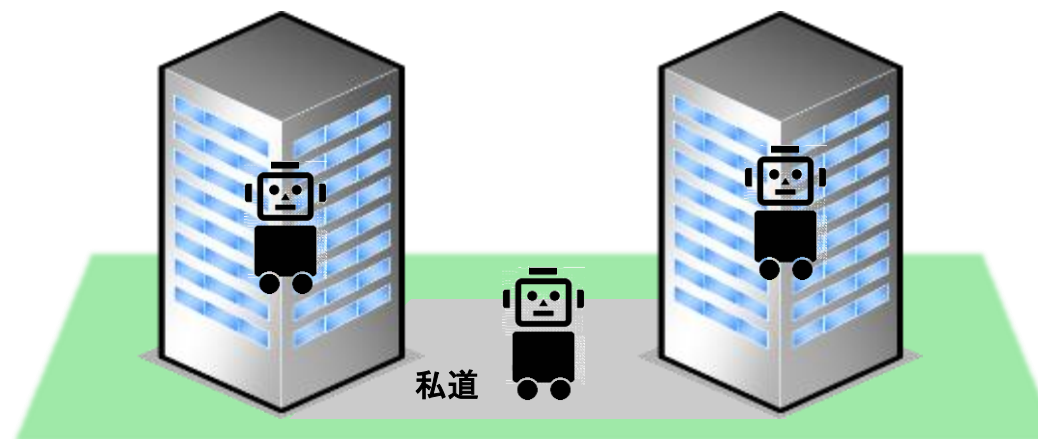
同一管理エリア内の、単一建物あるいは屋外（私道）を跨いだ建物間における複数ベンダー、複数ロボットの分散協調運行を想定する

建物内運用



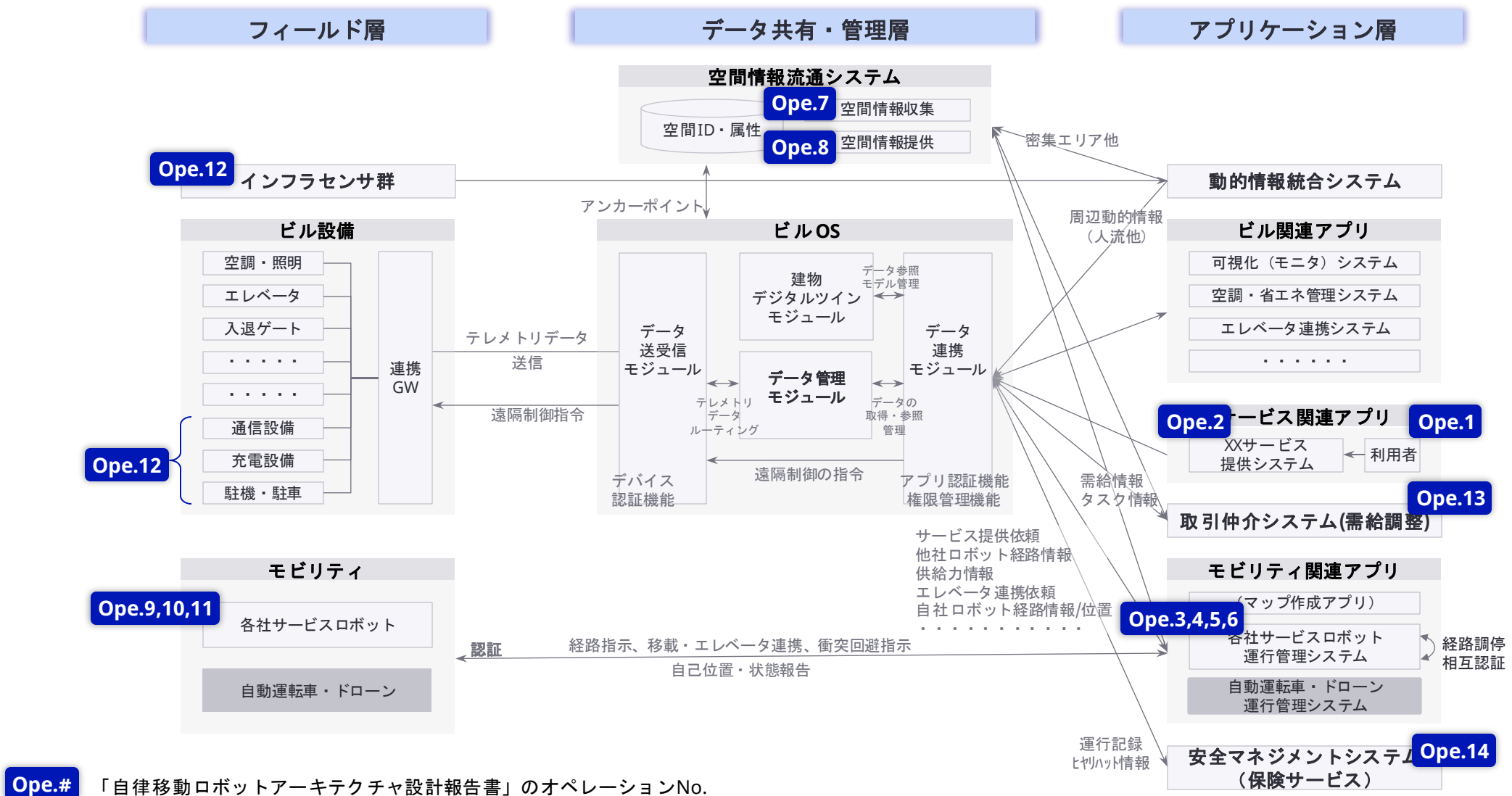
- 移動は建物内のみ
- 複数ベンダーの複数ロボットが建物内で運行
- 複数ベンダーの複数ロボットが建物設備を共有

建物内⇄私有地運用



- 複数ベンダーの複数ロボットが、複数の建物内で運行
- 屋内から屋外への移動あり
- 屋内、屋外とも管理者は同一（屋外は私道）

分散協調制御でのアーキテクチャ仮説



アーキテクチャ仮説におけるデータ共有・管理層の構成要素

「データ共有・管理層」においては、自律移動ロボットアーキテクチャ由来の「空間情報流通システム（空間ID）」と、スマートビルシステムアーキテクチャ由来の「ビルOS（データ管理モジュール）」の、2種類のデータ共有・管理機能を配置し、場の管理者、サービル事業者、ロボット運行事業者間にて共有が必要な情報（タスク、リソース等）は、これらのデータ共有・管理層を通じて共有・管理すると仮説した。

アプリケーション層にある「ビル関連アプリ」「サービス関連アプリ」「モビリティ関連アプリ」等は「ビルOS（データ管理モジュール）」を介して連携するが、さらに「空間情報流通システム（空間ID）」を介した連携も想定する。2種類のデータ共有・管理機能の機能配置については4.2節で述べる。

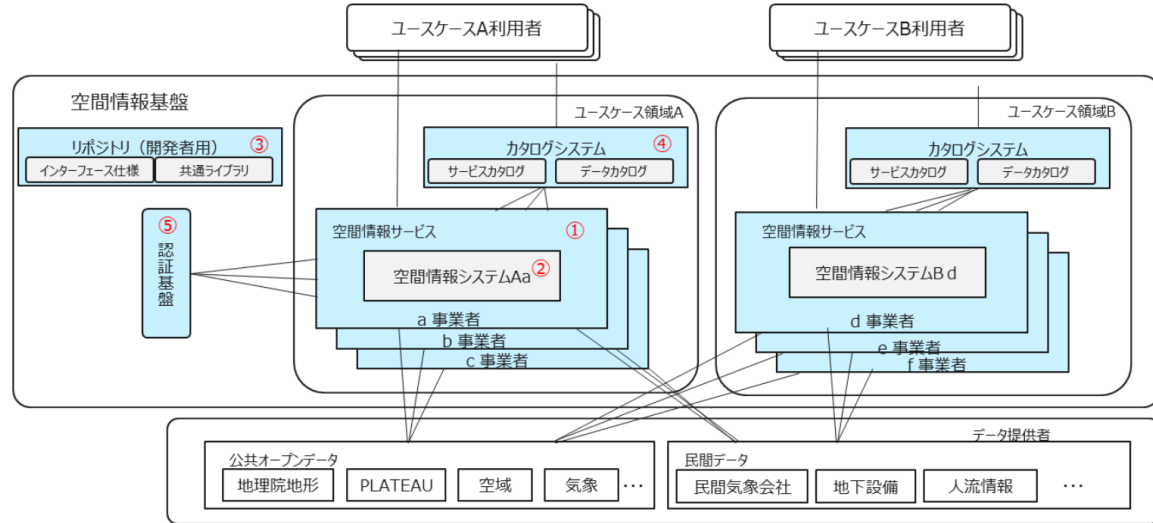
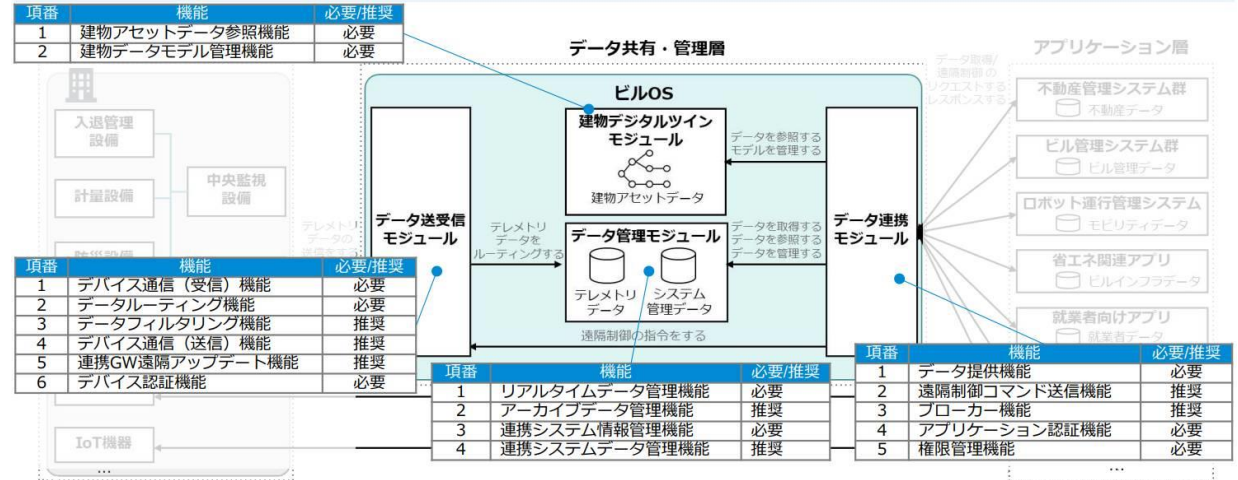


図 3-1 空間情報基盤の全体像

出所：4次元時空間情報基盤 アーキテクチャガイドライン（β版）
 2023年4月28日
 経済産業省/国土交通省/国土地理院/NEDO/IPA
https://www.ipa.go.jp/digital/architecture/Individual-link/ps6vr7000001gz5z-att/3dspatial_guideline.pdf
 (2024年3月1日アクセス)

ビルOSはフィールド層・アプリケーション層とのインタフェース機能を担うモジュールやテレメトリデータや建物アセットデータを管理するモジュールから構成される。これらのモジュールや内部構成は一例であるが、必要とする機能要件についてはいずれかのモジュールで当該要件を満足するように実装することが求められる。



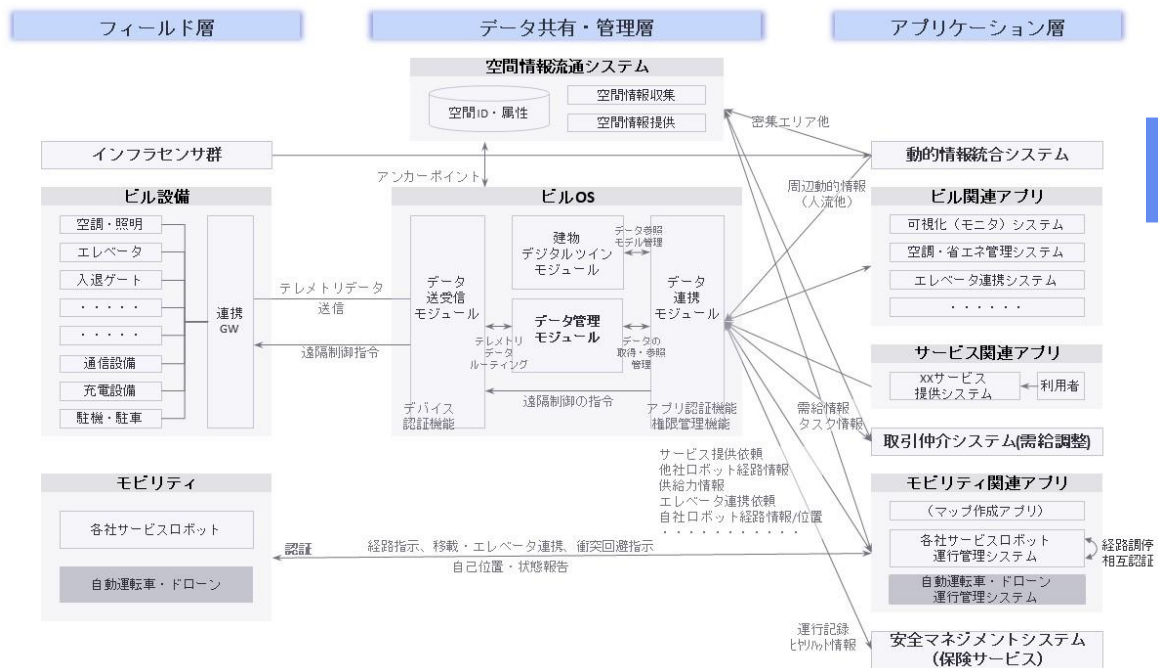
出所：スマートビルガイドライン 補足説明資料
 2023年6月9日
 独立行政法人情報処理推進機構（IPA）
 デジタルアーキテクチャ・デザインセンター（DADC）
https://www.ipa.go.jp/digital/architecture/Individual-link/ps6vr7000001x8o0-att/smartbuilding_guideline_appendix.pdf
 (2024年3月1日アクセス)

実証実験・検証結果を踏まえたアーキテクチャ仮説の検証

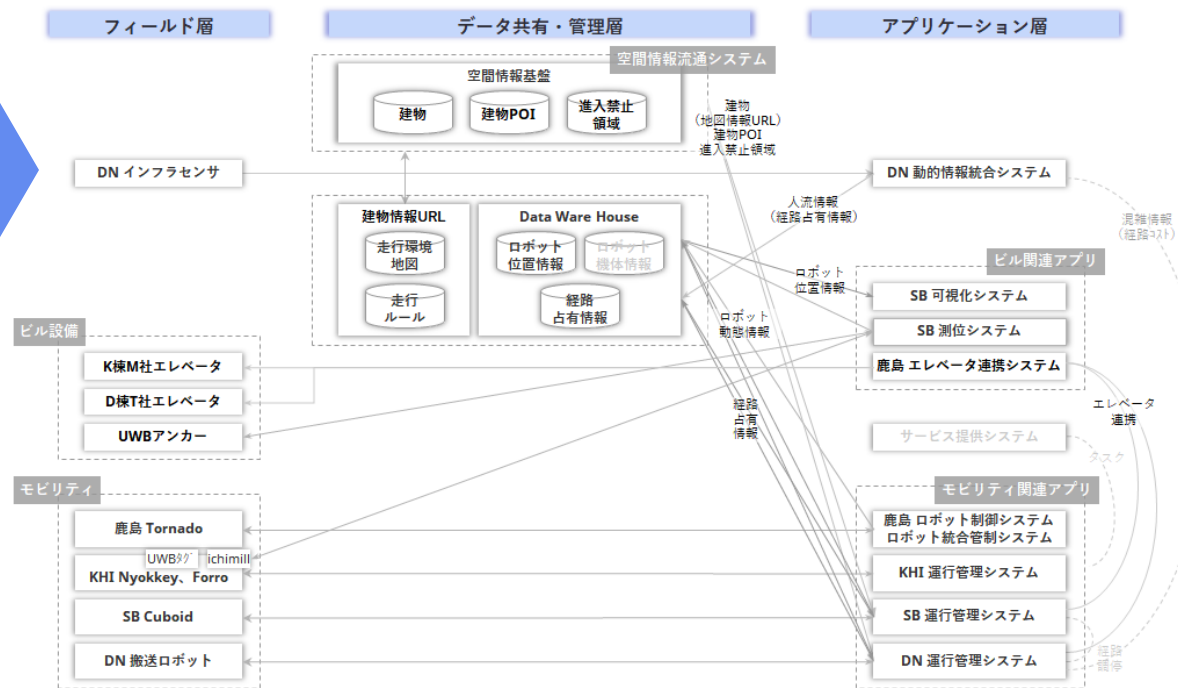
3章に示した実証実験（アーキ仮説をもとに実証実験環境を構築）、および4.2節～4.4節の検証結果を受けて、仮説からの差分は特に見出されなかった。

前提とする「自律移動ロボット将来ビジョン検討会」及び「3次元空間情報基盤アーキテクチャ検討会」と異なるのはスマートビルアーキの要素を追加したこと、すなわち空間情報基盤とビルOSの2つのデータ共有・管理層があることであるが、それらの機能分担については4.2節を参照。

アーキテクチャ仮説



実証実験環境の全体概要



凡例 鹿島：鹿島建設、KHI：川崎重工業、DN：デンソー、SB：ソフトバンク

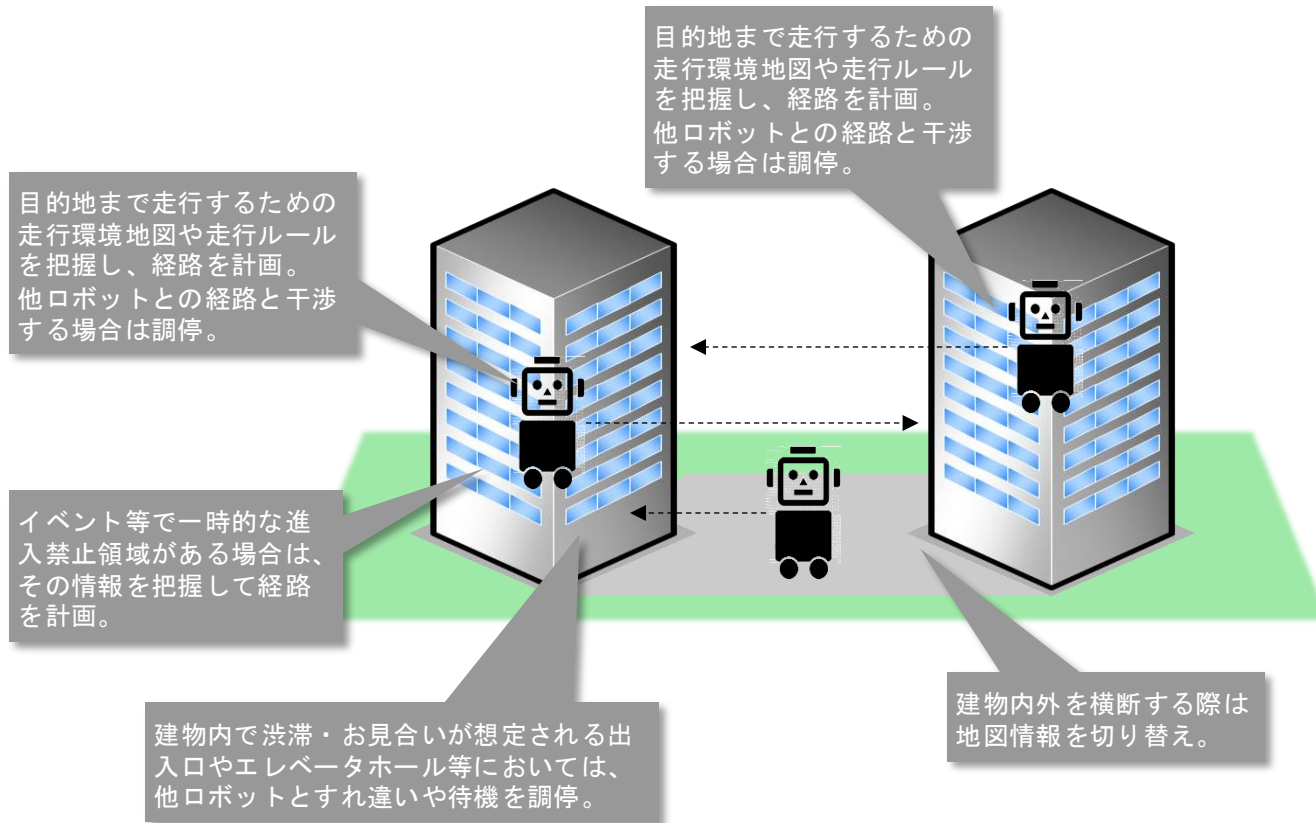
4. 検証結果詳細

- 4.1 分散協調制御でのアーキテクチャ仮説
- 4.2 運行管理に必要となる共通データ
- 4.3 複数モビリティの運行管理・制御
- 4.4 インフラ基盤（設備・通信・充電ほか）
- 4.5 分散協調におけるサービス連携

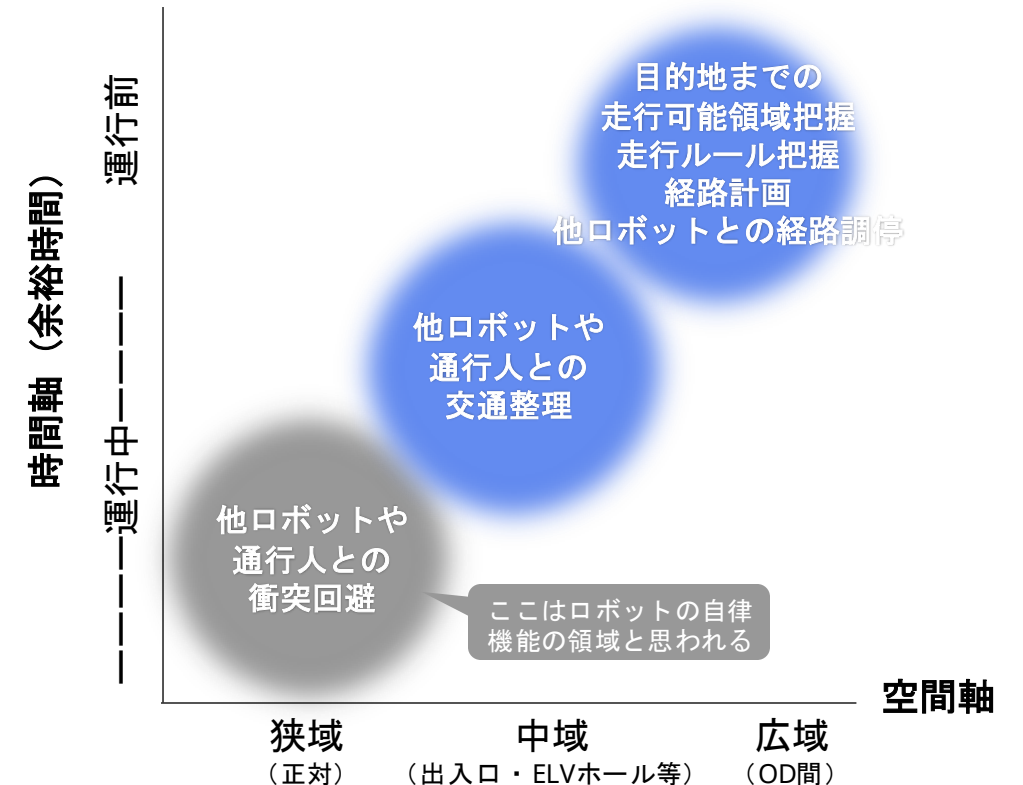
運行管理に必要となる共通データ

複数のサービスロボット、複数のサービス、複数の事業者を横断した運行における、共通データ（静的・準動的・動的データ等）を洗い出すにあたり、以下のような運行を想定した

- 複数ベンダーの複数ロボットが、建物内あるいは建物を跨いだ運行
- 屋内から屋外への移動あり



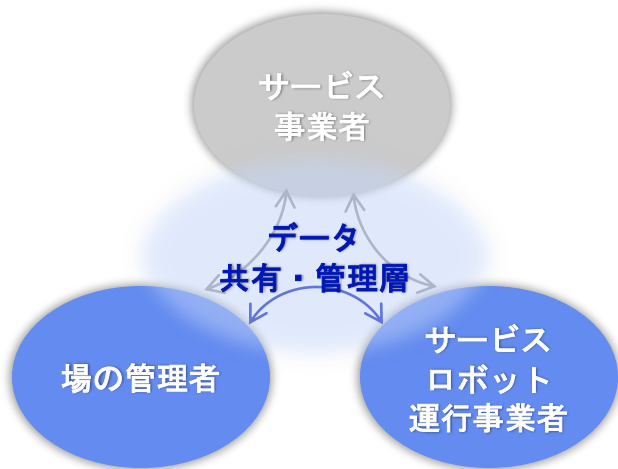
運行全般の時空間において
協調が必要と思われる領域



共通データの範囲とリファレンス情報

本項では、複数のサービスロボット、複数のサービス、複数の事業者を横断した、分散協調の運行管理において、主に**場の管理者とサービスロボット運行事業者間で必要となる共通データ**を範囲とし、タスク管理を含むサービス事業者との共通データについては、4.5節で述べる。

前項で示したアーキテクチャ仮説内の「データ共有・管理層」にて共有・管理される共通データとして、DADC「自律移動ロボットアーキテクチャ設計報告書」、経産省・国交省・国土地理院・NEDO・IPA「4次元時空間情報基盤 アーキテクチャガイドライン (β版)」で示された空間情報の例を参考に、前頁に示した範囲に対して、情報の種類（走行する空間・環境、使用する施設等）と、時間軸（静的・準動的・動的）に分けて、次頁に整理した。



本項で言及する共通データの範囲

ドローンの安全運航のための、空間情報の想定ユースケース

空間情報の更新頻度	要求される空間情報の精度・リアルタイム性		
	低	中	高
低	ルート設計時	巡航時	離着陸時
低	地物情報 (地図、3D都市モデル) 地形、地物との衝突回避 離着陸場等の位置確認	地形、地物との衝突回避 離着陸場等の位置確認	-
低	規制情報 (法的な飛行禁止エリア等) 計画段階での 規制エリアへの侵入回避	飛行中の規制エリアへの侵入回避 事件、事故、災害等による規制エリア変更への対応	
低	電波情報 (上空電波、GPS干渉等) 電波途絶の回避	(電波強度は自機で常時確認している想定)	
低	人流情報 (携帯位置情報、カメラ情報 等) 人流が多いエリアの回避	突発的な人流増への対応	離着陸場周辺の 人流確認
低	気象情報 (風、雲、霧等の情報) 悪天候の回避	気象急変への対応	離着陸場の 気象条件取得
低	経路計画情報 計画段階での 経路干渉回避・調整	飛行中の 経路干渉回避・調整	-
高	動態情報 (無人機・有人機の 現在地情報)	飛行中の 経路干渉回避・調整 不審機体の発見・監視	離着陸場空域の 混雑状況把握

利用空間	空	地上(屋内を含む)	地下
空間IDへ紐づけるデータ(例)	地物情報	地物情報	地形情報
	地形情報	地形情報	電力に係る地下埋設物
	規制情報(飛行禁止/制限空域)	規制情報(通行不可エリア)	ガスに係る地下埋設物
	緊急規制情報	BIM情報	上下水道に係る地下埋設物
	電波情報	POI情報(建物入り口等)	通信に係る地下埋設物
	気象情報	人流情報	占用事業者名
	飛行計画情報	災害情報	掘削後地形形状情報
	人流情報	気象情報	
空間IDを活用したユースケース実証	<ul style="list-style-type: none"> ドローン領域ユースケース 送電設備点検 橋梁点検 災害対応 物資輸送 	<ul style="list-style-type: none"> 掘削・GIS領域ユースケース ロボットによる屋内配線 ロボットによる建設現場支援 災害情報の3次元可視化 ARによる屋内ナビゲーション 空間エンターテインメント 	<ul style="list-style-type: none"> 地下埋設物領域ユースケース 地下埋設物情報の自動照会 ビューアーによる建機オペレータへの地下埋設物可視化

図 1-4 利用空間別に空間 ID に紐づけるデータとユースケース実証

出所：自律移動ロボットアーキテクチャ設計報告書 (p.184)

2022年7月

経済産業省/デジタルアーキテクチャ・デザインセンター (DADC)

https://www.digital.go.jp/assets/contents/node/basic_page/field_ref_resources/9f4e70e2-2335-4181-8293-258c12549d31/78a5c260/20220927_policies_mobility_report_02.pdf
(2024年3月1日アクセス)

出所：4次元時空間情報基盤 アーキテクチャガイドライン (β版)

2023年4月28日

経済産業省/国土交通省/国土地理院/NEDO/IPA

https://www.ipa.go.jp/digital/architecture/Individual-link/ps6vr7000001gz5z-att/3dspatial_guideline.pdf
(2024年3月1日アクセス)

運行管理に必要となる共通データ

場の管理者・ロボット運行事業者間でやりとりする共通データについて下表のように仮説し、黒太字の項目については実証実験にて検証した

		情報の種類		
		走行する空間	走行する環境	使用する施設
運行前	静的	走行環境地図（走行可能領域） （階段・エスカレータ等の恒久的進入禁止領域を含む） 走行ルール（トポロジカル・グラフ） （双方向/一方向、速度、勾配、段差、重要/高さ制限等） 建物内外結節点 （トポロジカル・グラフのノードに地図乗換用属性定義）	電波情報	エレベータ セキュリティゲート 駐機/駐車場 充電施設
	準動的	一時的進入禁止領域 他ロボット経路情報 人流情報（混雑領域）	温度・湿度 照明 天候	
運行中		他ロボット経路占有情報		
	動的	各ロボット位置情報/ステータス 交通参加者の位置情報	災害情報	エレベータ連携情報（乗降時）

以下の情報については、共有方法も含めて次頁以降にて考察する。

- ① 走行環境地図（走行可能領域）
- ② 走行ルール（トポロジカル・グラフ）
- ③ 位置情報
- ④ 一時的進入禁止領域

また、「建物内外結節点」を利用した屋内外横断運行時の地図乗り換えについてもこの節で述べる。

実証実験で検証した共通データに関する考察サマリ

走行可能領域、走行ルール、位置情報、一時的進入禁止領域に関する考察のサマリは下表の通り

実施項目	狙い/メリット	課題/デメリット	考察
走行環境地図（走行可能領域）の共有 <ul style="list-style-type: none"> GNSS付きスキャナでベース3D点群地図を作成後、DN/SBの仕様（センサ高さ）に合わせ加工 	<ul style="list-style-type: none"> ベースを同一とした地図情報を用いることで自己位置推定結果の相対的な誤差を抑制 新規施設にモビリティを導入する際に必要な地図作成の工程・コストを割愛することができる 	<ul style="list-style-type: none"> ロボットの仕様により地図要件が異なる 走行可能領域の設定は施設管理者の承認が必要 地図品質（精度・鮮度）の担保が必要 	<ul style="list-style-type: none"> ベース地図を合わせるにより位置情報の誤差抑制は可能となるが、多様なロボットの仕様を考慮したベース地図の要件の規定は困難 施設管理者の責任の元、適切な設定が必要
走行ルール（トポロジカル・グラフ）の共有 <ul style="list-style-type: none"> RRIで定義されているトポロジカル・グラフに走行ルール属性を付与 	<ul style="list-style-type: none"> 施設内の走行ルール情報を用いた、各ロボットシステムの協調運行が可能 	<ul style="list-style-type: none"> 各場やサービスUCにより多様なルールが必要 トポロジカル・グラフの作成はロボットの知見も必要 	<ul style="list-style-type: none"> 各場やサービスに応じたルール設定を施設管理者の元に設定が必要。公道などでは公助によりルール設定も必要 トポロジカル・グラフの作成はモビリティ事業者が共助として作成が必要
位置情報の共有 <ul style="list-style-type: none"> 共通I/Fを定義し、複数ベンダーの運行管理システムから位置情報を送信 ロボットに後付けした測位システムにより運行管理システムを経由せずに位置情報を送信 	<ul style="list-style-type: none"> 共通I/Fを通じて複数ベンダー・複数ロボットの位置情報を集約・可視化できることを確認 運行管理システム（監視機能）を持たないロボットへの対応検討 	<ul style="list-style-type: none"> 各ロボットの自己位置推定精度 座標系の統一 上空視界制約時の後付け測位システムの屋外GNSS測位精度 	<ul style="list-style-type: none"> 他ロボットの位置情報の把握および経路計画への反映は未検証であるが、ロボットの走行速度等に基いた位置精度やリアルタイム性の検証が必要 ロボットからロボットへの荷物の受け渡しのようユースケースにおいては、直接ロボット間の位置情報を把握する方法が有用
一時的進入禁止領域の共有 <ul style="list-style-type: none"> 空間情報基盤を通じた一時的（準動的）な進入禁止領域の形状（空間IDにより示されるボクセルによる）を取得 	<ul style="list-style-type: none"> 走行環境地図を随時更新することなく期間限定の走行制限領域等を指示可能 	<ul style="list-style-type: none"> 領域指定のためのツールが必要であり、また施設管理者がそれを扱える必要がある 	<ul style="list-style-type: none"> 今回はズームレベル26にて走行禁止領域を指定したが、より細かい粒度で設定したい場合にはより大きなズームレベルで設定することも可能 必ずしもボクセルの形状に沿った進入禁止領域として活用する必要はなく、空間IDによる多角形領域指定などの可能性も考えられる

走行環境地図（走行可能領域）の共有

サービスロボットが使用する地図情報としては、一般に以下の3種類がある[1]。

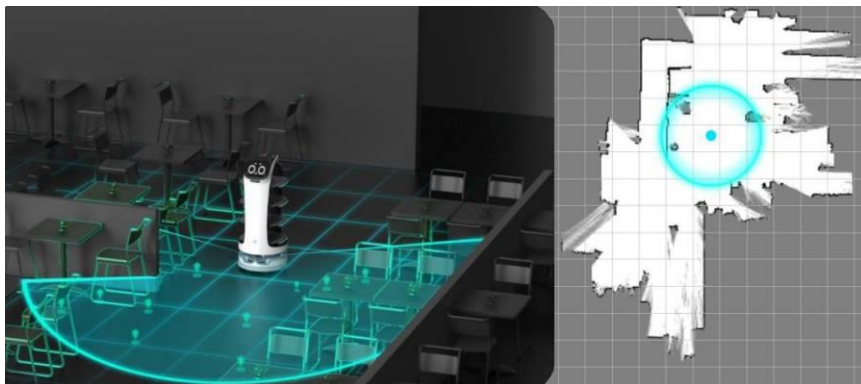
- 自己位置推定用地図：スキャンマッチング等の自己位置推定において基準となるラスタ地図
- 走行環境地図：走行可能領域を把握するためのラスタ地図（ROSではpgm形式で作成される）
- 運行管理地図：走行ルールや経路コスト情報を含む経路計画用のベクター地図（ネットワーク地図と呼ばれる）

[1] 出所：「運行管理機能インターフェース仕様書 Version 1.0」2023年6月
RRIロボットイノベーションWGソフトウェアアーキテクチャ調査検討委員会

走行可能領域把握や自己位置推定のためのラスタ地図に関しては、サービスロボットにおける周辺環境認識や自己位置推定のためのセンサの種類や設定位置、および処理アルゴリズムが様々であることから、それらの特徴に合わせて生成される走行環境地図や自己位置推定用地図の統一的な管理・共有は困難である。

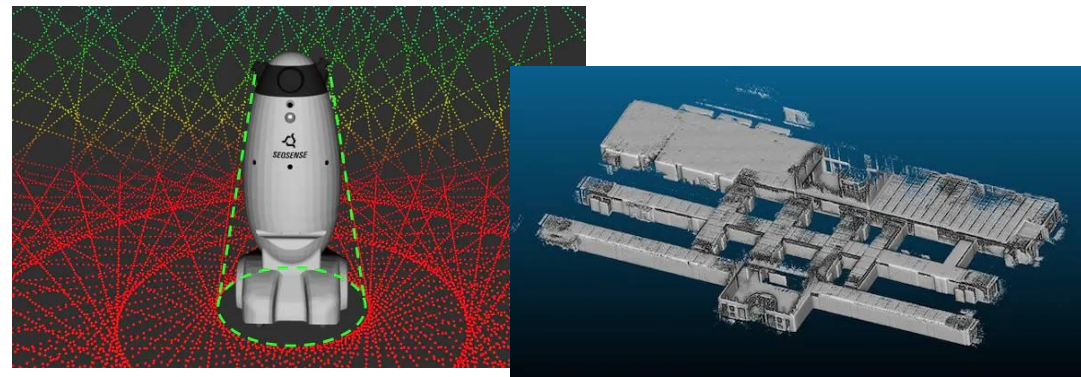
しかしサービスロボットが走行する建物内外の地物情報に対して、複数のサービスロボット運行事業者が個々に計測・地図生成する方法では、走行する場ごとに計測が必要となるため、場ごとのロボットのプラグ&プレイのような運用はコストがかかると思われる。そこで各サービスロボットの特徴に合わせる前のベースとなる地図を共通とする取組みが過去に検討されている。

2D LiDAR SLAMの例



出所：株式会社DFA Robotics資料
[BellaBot ネコ型配膳ロボット](#)（2024年3月1日アクセス）

3D LiDAR SLAMの例



出所：SEQSENSE株式会社ホームページ
[技術紹介 | SEQSENSE \(シークセンス\) | Security Robot System](#)（2024年3月1日アクセス）

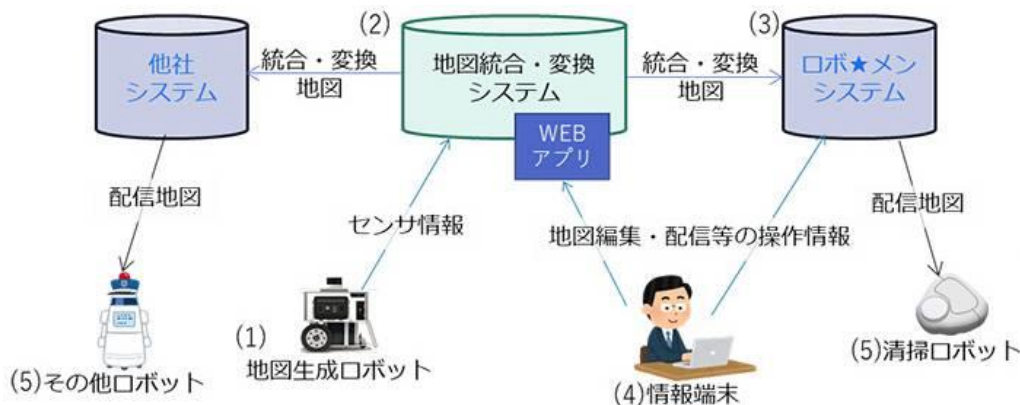
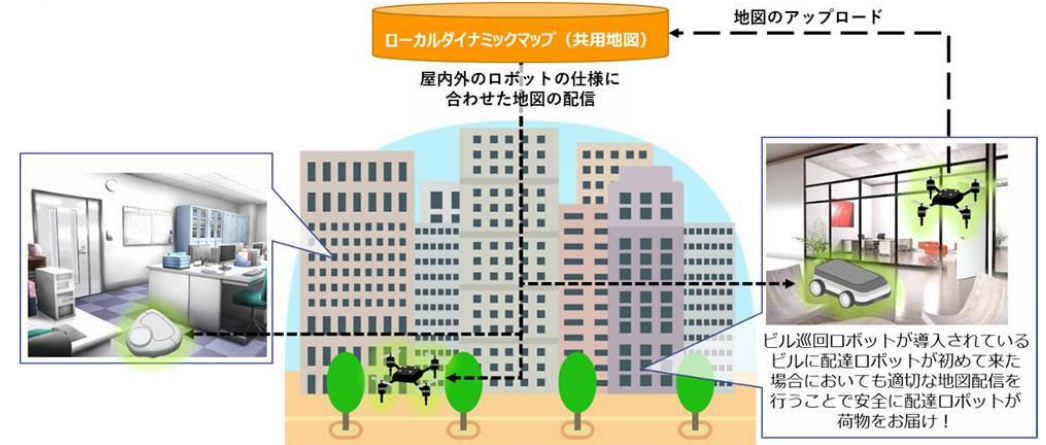
走行環境地図（走行可能領域）の共有

<目標>

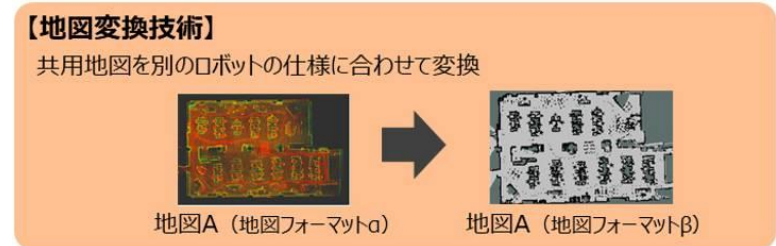
○地図シェアリング方式により他ロボットが生成した共用地図をロボット仕様に合わせて配信することで事前地図生成コストを削減

2022年7月21日に西日本電信電話株式会社・テルウェル西日本株式会社より発表された「異種ロボット間の地図シェアリングの実現に向けた共同研究」においては、サービスロボット毎の地図生成が必要となる従来の垂直統合型の地図生成・管理方式ではなく、様々なロボット間で地図を効率的に共用できる地図シェアリング方式に関する技術が示されている。

本研究では、異なる時間帯または異なるロボットで生成された隣接地図を一つの地図に統合する地図統合技術、および、ロボット仕様に合わせた地図に変換する地図変換技術に関する実証・評価が行われた。



(1)	点群計測 計測データ転送
(2)	計測データを用いた地図生成 地図統合・変換機能 WEBアプリ（地図編集等）
(3)	地図割り当て 清掃地図配信
(4)	地図編集、配信先等の設定
(5)	統合・変換地図配信先ロボット



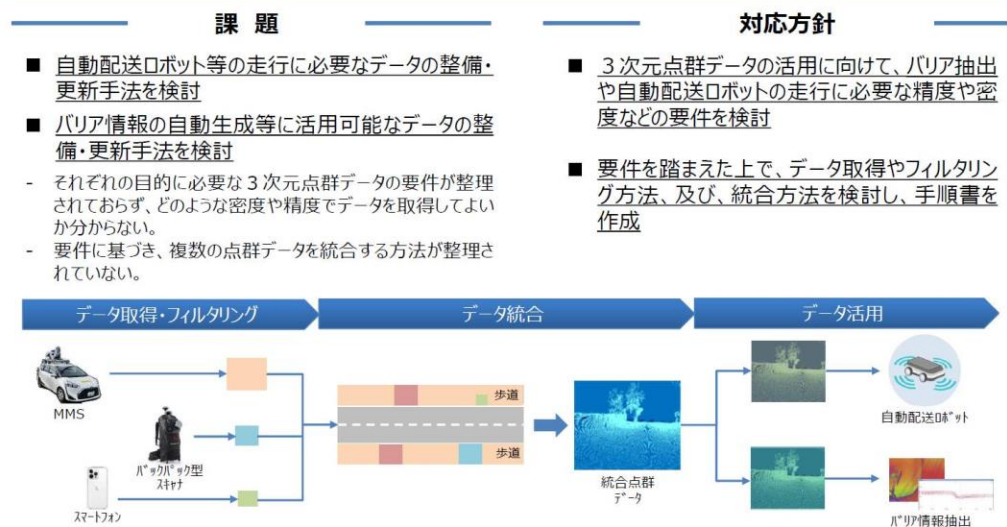
出所：【NTT西日本】異種ロボット間の地図シェアリングの実現に向けた共同研究を開始 ～労働力不足を解消する多様なロボットと共生する社会の実現～ (ntt-west.co.jp) (2024年3月1日アクセス)

走行環境地図（走行可能領域）の共有

また、国交省「人・ロボットの移動円滑化のための歩行空間DX研究会」の「歩行空間の3次元地図ワーキンググループ」にて、自動配送ロボットの走行に必要なデータと、バリア情報を含む歩行空間ネットワーク生成に必要なデータの、双方に活用可能な3次元点群データの要件が検討されている。

出所：総合的な交通体系を目指して：歩行空間の3次元地図ワーキンググループ-国土交通省 (mlit.go.jp) (2024年3月1日アクセス)

近年、各分野で3次元地図の整備が進んでおり、歩行空間においてもこれらのデータを活用して効率的にデータ整備を行える可能性がある。また、人だけでなくロボットに対しても、3次元地図を活用することで走行環境構築の支援を行える可能性がある。そこで、必要となる要件を整理し、データの取得・統合方法の手順書を作成する。



3次元点群データは、取得機器・方法とデータそのものの品質によって多様なデータが存在。自動配送ロボットの走行に必要なデータ整備・更新への活用性と、歩行空間NWデータ（バリア情報と針金データの抽出とそれらの統合）の自動生成への活用性の区分について検討。



出所：第1回「歩行空間の3次元地図ワーキンググループ」（令和5年6月21日開催）
資料5「3次元点群データ活用要件、取得・統合方法」
001618437.pdf (mlit.go.jp) (2024年3月1日アクセス)

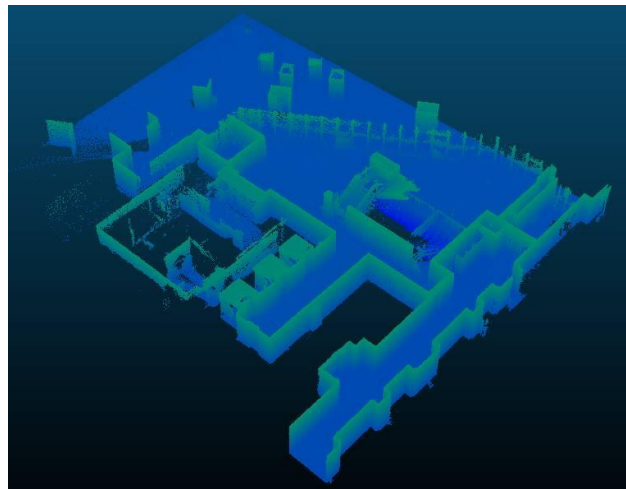
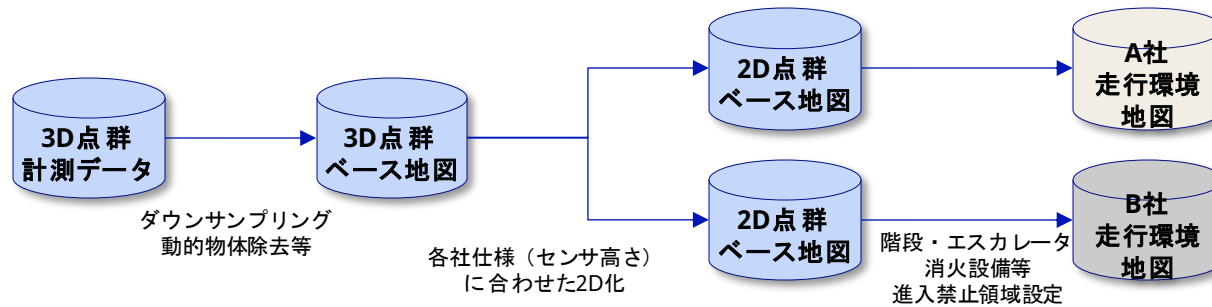
出所：第2回「歩行空間の3次元地図ワーキンググループ」（令和5年10月5日開催）
資料2「3次元点群データの区分案について」
001635166.pdf (mlit.go.jp) (2024年3月1日アクセス)

本例も前例と同じく、複数の方法により取得したデータを統合してベース地図を作成した後に用途に応じて変換するプロセスを想定しているが、データを整備する側としては取得機器・方法により絶対位置精度・相対位置精度・形状再現性・色情報有無・反射強度有無などが異なること、データを使う側としては自己位置推定に用いるセンサやその搭載位置・検知範囲、自己位置推定ロジック等により、データに対する要件が異なることから、ベース地図の仕様はまだ決まっていない。

しかし走行環境をバリアフリーの屋内に限定する場合は段差を考慮する必要がないため、壁面の特徴点を抽出できるのであれば地図共有の可能性があるとと思われる。

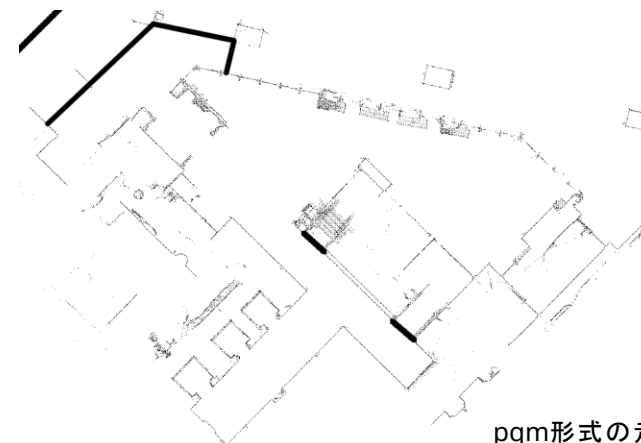
走行環境地図（走行可能領域）の共有

そこで今回の実証実験のユースケースC, D（複数ベンダー・複数ロボットによる搬送）においては、計測装置（GNSS付LiDARハンディスキャナ）を用いてベースとなる3D点群データを計測した。本実証実験の場所は床面が並行かつ壁面が垂直な条件だったので、3D点群データに含まれる各社ロボットのセンサ高さに合わせた2D点群をベースにして、走行環境地図を2社で共有した。自己位置推定用地図は各社で仕様が異なるが、ベース地図を合わせることにより、各社ロボットのスキャンマッチングによる自己位置推定結果の相対的な誤差を抑えるメリットがある。また経済的には地図作成コストの削減も考えられるが、自己位置推定や行動計画等の走行安全性に影響する情報であるため、ベースとなる地図の品質を担保する仕組みが必要である。



3D点群計測データの例

本実証実験では床面が水平 & 壁面が垂直等の環境条件により SoftBank/DENSO間で走行環境地図を共有



pgm形式の走行環境地図の例

走行ルール（トポロジカル・グラフ）の共有

次にネットワーク地図については、国交省のバリアフリープロジェクト等で標準化が検討されてきており、2022年からは歩行者用に加えて自動走行ロボットへの活用が検討されつつある。

国交省でのネットワーク地図に関する標準化検討事例
(すべて2024年3月1日アクセス)

国交省「高精度測位社会プロジェクト」(2014年～)

屋内地図/屋内測位環境構築の手引き (2022年3月)

https://www.mlit.go.jp/tochi_fudousan_kensetsugyo/content/001474873.pdf

国交省国土地理院「3次元総プロ」(2015年～2018年)

階層別屋内地理空間情報データ仕様書(案) (2019年3月一部修正)

<https://www.gsi.go.jp/common/000212574.pdf>

国交省「ICTを活用した歩行者移動支援の普及促進検討委員会」(2014年～)

歩行空間ネットワークデータ等整備仕様 (2018年3月)

<https://www.mlit.go.jp/common/001244374.pdf>

自動走行ロボット本実証の結果について (2023年3月)

<https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/soukou/content/001725559.pdf>

国交省「人・ロボットの移動円滑化のための歩行空間DX研究会」(2023年～)

歩行空間の移動円滑化データワーキンググループ

https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/soukou/sogoseisaku_soukou_fr_000048.html

- 「歩行空間ネットワークデータ」は、歩行空間の形状に合わせて配置するノード（点）とリンク（線）に対して、バリアフリーに関する情報を付与したデータ。
- データはオープンデータに適したフォーマット（CSV、GeoJSON、Shapefile）で整備。
- 歩行空間ネットワークデータを活用することで、歩行空間を移動する人（高齢者や障害者など）や物（自動配送ロボット）に対する移動支援（ナビゲーションなど）への展開が見込まれている。

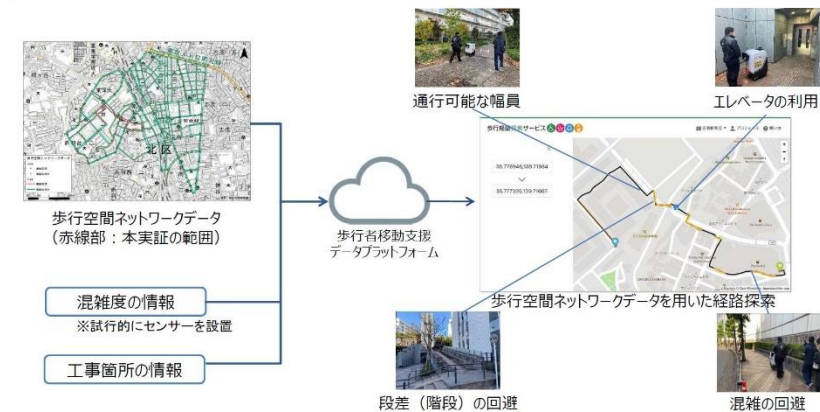


歩行空間ネットワークデータのイメージ



経路探索サービスのイメージ

- 自動走行ロボットの運行経路は、歩行空間ネットワークデータを用いた経路探索の結果に基づき設定。
- 経路探索は、「歩行者移動支援データプラットフォーム」を構築の上、WebAPIにて提供。
- 実証では、出発地と目的地、バリア（段差・縦断勾配・幅員等）、通行人により混雑した箇所、工事箇所の回避等を条件とし経路探索を実施し、その経路に基づいた運行を確認。



- 歩行空間ネットワークデータには、段差や勾配の情報、また視覚障害者用誘導ブロックなどのバリアフリー情報が属性として付与されている。

※第1層：経路の構造、経路の種類、幅員、縦断勾配、段差、歩行者用信号機の有無、誘導ブロックなどの有無、等

第2層：路面状況、水路の有無、バス停の有無、横断勾配、幅員最小値、縦断勾配最大値、段差最大値、等

出所：令和5年度第1回「歩行空間の移動円滑化データワーキンググループ」(令和5年6月23日開催)

資料5-1「歩行空間ネットワークデータ等整備仕様の改定検討」

<https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/soukou/content/001618409.pdf> (2024年3月1日アクセス)

出所：令和4年度第3回「ICTを活用した歩行者移動支援の普及促進検討委員会」(2023年3月6日開催)

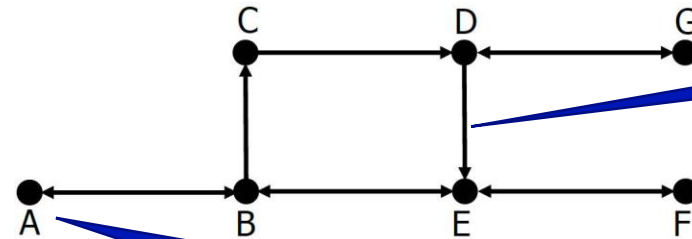
資料1「自動走行ロボット本実証の結果について」

<https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/soukou/content/001725559.pdf> (2024年3月1日アクセス)

走行ルール（トポロジカル・グラフ）の共有

またロボット用としては、ロボット革命・産業IoTイニシアティブ協議会（RRI）において、異なる種類および異なるメーカーの自律移動ロボットの運行管理機能（ルールの基づき各ロボットに対して指定地点への指示・誘導を行う）を管理・運用するための地図として、トポロジカル・グラフ形式の運行管理地図を定義している。これは国交省の「歩行空間ネットワークデータ」と同様に「ノード」と「エッジ（リンクに相当）」から構成されているが、「エッジ」に対して**走行方向・最高速度・高さ制限などの走行ルールが付与可能であるのに加え、「ノード」に対して進入可否の調停が可能**となっている。

そこで今回の実証実験のユースケースC/D（複数ベンダー・複数ロボットによる搬送）においては、RRIのトポロジカル・グラフ形式の運行管理地図をベースに、最小限のルールを設定したものを複数ベンダーで共有することで、走行ルールの共有および経路調停を検証した。（経路調停に関しては4.3項に記載）



ノード：施設内のある場所を表す要素。自律移動ロボットの運用を考えた際に、出発点・目標点・移動時の経由点としたい場所に対して定義する。

エッジ：「ノード」間の接続関係を表現する要素。ノード間を結ぶ通路を表現する。

エッジに付与する走行ルール例

- ・ 双方向/一方向
- ・ 左側通行/右側通行（双方向時）
- ・ 最高速度
- ・ 縦断勾配
- ・ 段差
- ・ 重量制限
- ・ 高さ制限
- ・ 進入可能台数

ノードに付与する走行ルール例

- ・ 進入可否制御対象/非対象

実証実験においては「双方向/一方向」のみ付与

実証実験においては「出入口」「エレベータホール」「待機場所」等のボトルネックと思われる箇所のノードに設定

- ✓ 建物の構造や人の流れによってルールの種類・内容が変わると想定される。
- ✓ ボトルネック箇所についても、ロボットの種類（清掃・警備・配送）により異なると想定される。
- ✓ ルールの情報源は施設管理者を想定するが、実際のトポロジカル・グラフ作成はロボット運行の知見をもった者が適切と思われる。

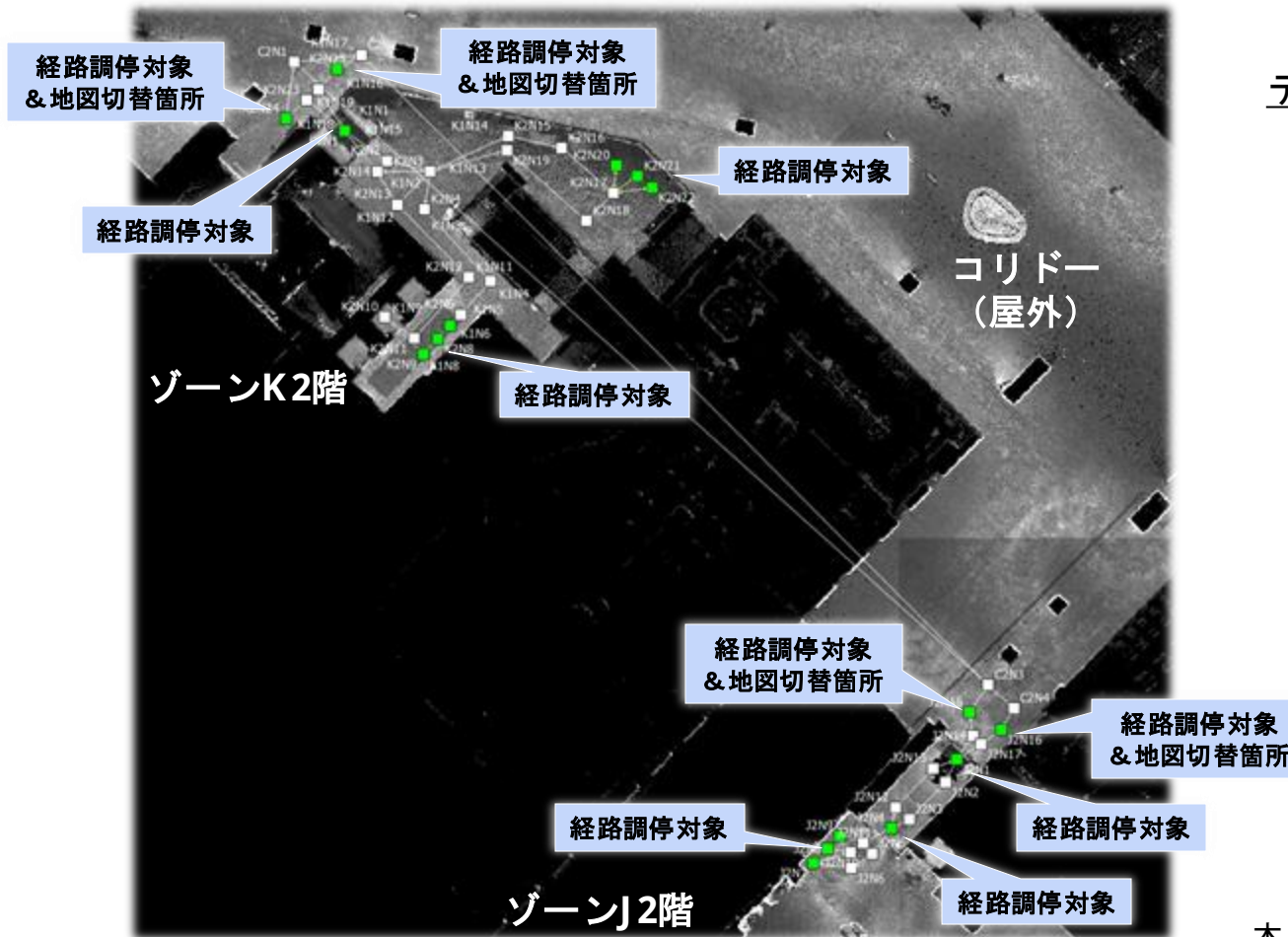
運行管理地図は、自律移動ロボットが最終的な目標点へと到達するための大局的な経路生成を行うために用いる地図である。

「自律移動機能」では、次の目標点を受け取る仕様となっているため、経路生成時には、最終的な目標点に到達するまでに通過する経由点の順序を生成する必要がある。このため、**運行管理地図は「ノード」と「エッジ」から構成されるトポロジカル・グラフ形式で定義する。**

出所：「運行管理機能インターフェース仕様書 Version 1.0」2023年6月
RRIロボットイノベーションWGソフトウェアアーキテクチャ調査検討委員会

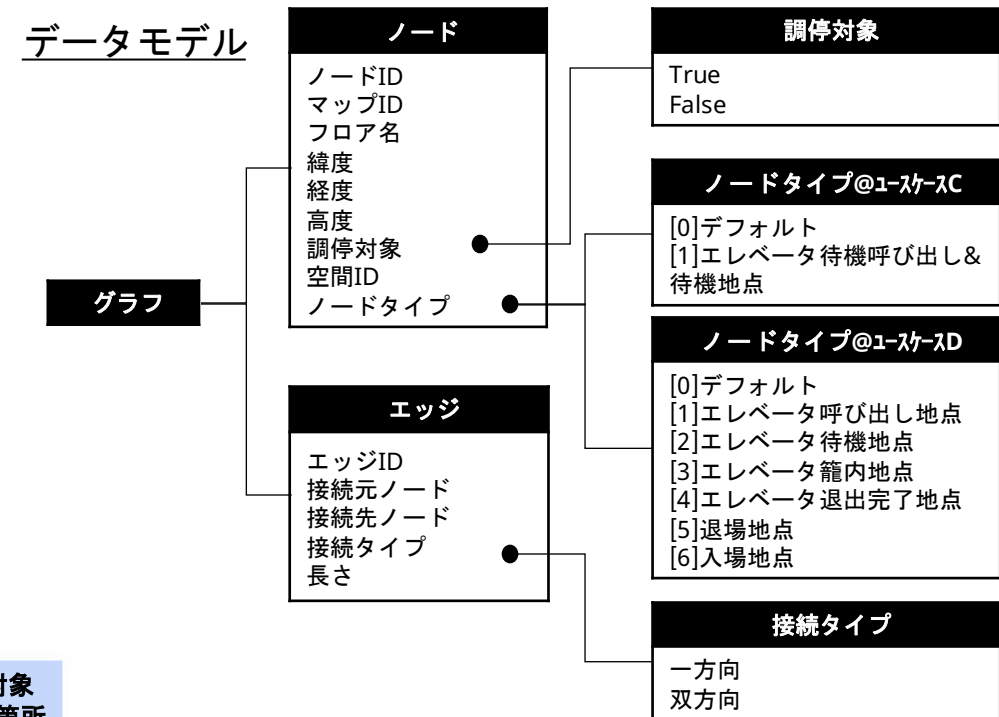
走行ルール（トポロジカル・グラフ）の共有

トポロジカル・グラフの作成事例



yaml形式のトポロジカル・グラフで以下の情報を共有

- 大まかな走行経路（接続関係）
- 走行ルール（双方向/一方向）
- 出入口・エレベータホール・駐機場での調停対象位置
- 地図乗換え箇所



ノード位置はズームレベル26の空間IDでも表現しており、その空間ボクセルの占有/解除による調停も実施している。

本トポロジカル・グラフを共有した複数ロボットの実証実験結果は3.6節を参照

走行環境地図・走行ルールの共有に関する考察

■地図情報（走行可能領域把握や自己位置推定のための地図）の共有に関して

- 走行可能領域把握や自己位置推定のための地図（2D/3D点群地図）の共有は、ロボットの特徴（センサの種類・搭載位置や自律移動ロジック等）や、走行環境によって要件が異なるため、難しいと思われる
- ただし走行環境をバリアフリーの屋内に限定する場合は段差を考慮する必要がないため、壁面の形状・特徴点を抽出できるのであれば走行可能領域を示す地図の共有可能性があると思われる
- 走行可能領域については、階段やエスカレータ等の物理的にロボットが走行できない領域の他に、消火・防火施設などもあるため施設管理者の承認を受ける必要がある
- 一時的な進入禁止領域については、走行環境地図を更新するのではなく、進入禁止領域を表す空間ボクセルを設定することを想定して検証した（詳細は後述）
- ベースとなる3D点群データを共有することにより、各社ロボットのスキャンマッチングによる自己位置推定結果の相対的な誤差を抑えるメリットがある。また経済的には各社毎で地図作成するコストの削減も考えられるが、実際の点群データ作成はロボット運行の知見をもった者が適切と思われる
- ベースとなる3D点群データの共有に際しては、自己位置推定や行動計画等の走行安全性に影響する情報であるため、品質を担保する仕組みが必要である
- 3D点群データをロボットベンダー毎に作成する場合であっても、複数のロボットが位置情報を共有して、荷物の受け渡し等の連携サービスをする場合においては、双方の位置精度を確保することが必要であり、そのためには双方のロボットが自己位置推定に使用する地図の位置精度を合わせておく必要がある。そのためには、建物内に共通の基準点を複数設けて、その基準点と地図を合わせこむこと等の事前作業が必要と思われる（特に歪みの補正が必要と想定される）

■地図情報（走行ルールを含むネットワーク地図）の共有に関して

- ノード・エッジで構成されるトポロジカル・グラフ形式の地図に走行ルールを設定し、このトポロジカル・グラフ地図自体を共有することで、走行ルールを共有可能とする方法を検証した
- エッジに対しては、双方向/一方向、左側通行/右側通行（双方向時）、最高速度、縦断勾配、段差、重量/高さ制限、進入可能台数等のルールが設定可能である
- ノードに対しては、進入可否制御対象/非対象等のルールが設定可能であり、本実証実験においては「出入口」「エレベータホール」「待機場所」等のボトルネックと思われる箇所のノードを進入可否制御対象とした
- これらのルールは建物の構造や人の流れによって変わるため、施設（建物）毎にルールがある想定される。よって施設（建物）毎にルール（ネットワーク地図）を取得する必要がある。またロボットの種類（清掃・警備・配送等）により適用が異なる場合は、ロボットの種別毎に取得することも想定される
- これらのルールの設定者は施設管理者を想定するが、実際のトポロジカル・グラフ作成はロボット運行の知見をもった者が適切と思われる

■共通の課題

- 走行環境地図・走行ルールの共有（受信）は、建物出入口に地図乗換用の結節点を設けて、その位置にて受信することを想定し、検証した（詳細は後述）
- 走行環境地図・走行ルールの更新頻度については、施設（建物）毎で異なると想定されるため、今後検討が必要であると考えられる

位置情報の共有

位置情報の共有に関する考察

複数ベンダーの複数ロボットの位置情報を共有する用途としては監視や経路調停が考えられるが、本実証実験ではまず「複数ベンダーの複数ロボットの位置情報が一元管理できること」を検証した。

ロボットの位置情報は、以下の2種類を検証

- ①各ロボットの自己位置推定結果
- ②ロボットに後付けした測位システム（屋外はGNSS、屋内はUWB）

位置情報の集約方法について

- ①については、各ロボットの運行を管理している運行管理システムがビルOS（DWH）に送信（MQTT）
- ②については、測位システムがビルOS（DWH）に送信

位置情報のデータ定義について

今回は屋内外横断運行もあるため、建物内相対座標ではなく、緯度経度（グローバル座標）とした。

緯度経度から算出可能な空間IDのフィールドも用意したが、位置情報を把握する用途（必要とする空間分解能）により使い分けが可能である。

位置情報以外には、向き情報を送信した。機体ステータスやタスクステータスのフィールドを設けたが内容は未定義。

（詳細はインターフェース仕様書を参照）

位置情報の共有（他ロボットの位置情報の把握）については未検証だが、用途により位置精度や取得頻度の要件が異なると思われる。

複数ベンダー・複数ロボットの位置精度を担保するためには、自己位置推定あるいは測位システムの精度を確保する必要がある。

スキャンマッチングによる自己位置推定の場合は、マッチング先となる地図の精度確保が必要である。

ロボットからロボットへの荷物の受け渡しのようなユースケースにおいては、直接ロボット間で位置情報を共有する方法も考えられる。

ユースケースBの実証実験においては、一方のロボットにARマーカを貼付し、もう一方のロボットがARマーカを認識して受け渡しの位置を調整した。

（詳細は3.5節を参照）

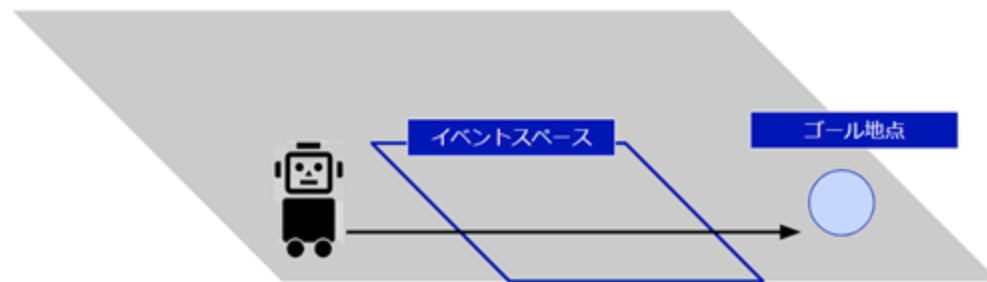
一時的進入禁止領域の共有

一時的進入禁止領域情報の共有のため、空間情報基盤の構成要素として「進入禁止情報検索用データベース」を用意し、領域情報を空間IDで表し格納した

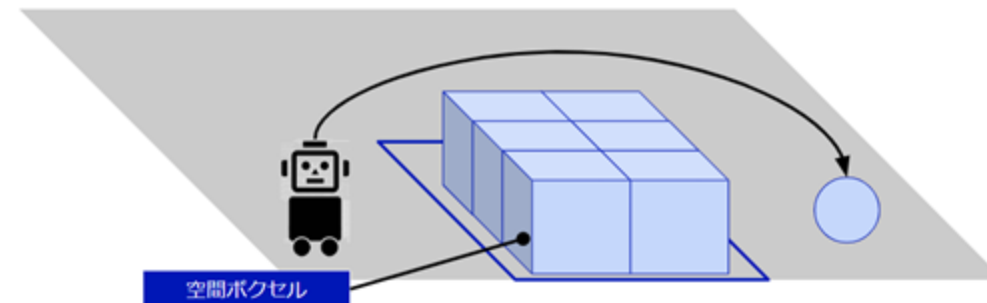
前述の通り、本実証実験においては共有するラスタ地図情報として静的な進入禁止情報を含めており、静的な進入禁止領域としては階段・エスカレータ等の恒久的進入禁止領域を想定している。これに対し、施設内で一定期間障害物が配置されていたり、イベント等により空間が占有されているようなケースにおいて施設管理者がそれらの領域へのロボットの進入を防ぐために、一時的（準動的）な進入禁止領域を設定したい状況が考えられる。本実証実験においては、一時的な進入禁止領域の共有方法として、空間データベースを介した空間IDによる一時的進入禁止領域情報の共有を実施した。

一時的進入禁止領域情報の共有を実現するため、データベースとして「進入禁止情報検索用データベース」を事前に用意した。一時的に進入禁止指定としたい施設内の領域をズームレベル26のボクセル群で表し、それらの空間IDをデータベースに格納した。データベースは禁止領域の期間や禁止対象モビリティの種類も可能な設計となっているが、今回の実証においては指定されたボクセル全てを一律で進入禁止対象領域とした。また、実際の領域としてはボクセル底辺を構成する4つの頂点で囲われたエリアを進入禁止領域とした（次頁）。データベースの詳細については「ロボットサービス運行基盤の仕様解説」を参照されたい。

モビリティは施設へ進入する際、待機状態から移動を開始する際、そして施設内で地図を乗り換える際に、上述のデータベースより空間ID情報を取得し、走行マップの進入禁止領域並びにルート設計に反映した。



モビリティは通常事前に与えられた壁や障害物の情報を元にゴール地点までの最短経路を設計する

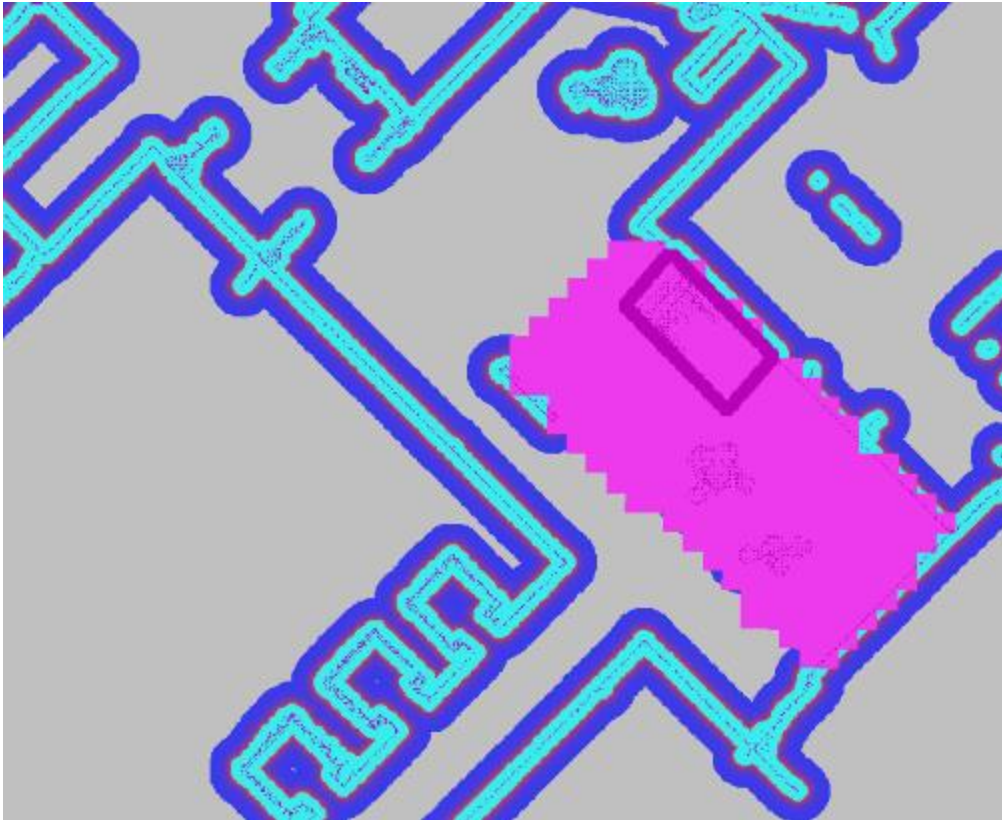


事前に領域を覆う（囲む）ような空間ボクセルのIDをデータベースに格納
モビリティはこれを取得、展開し、迂回する経路でゴール地点まで走行

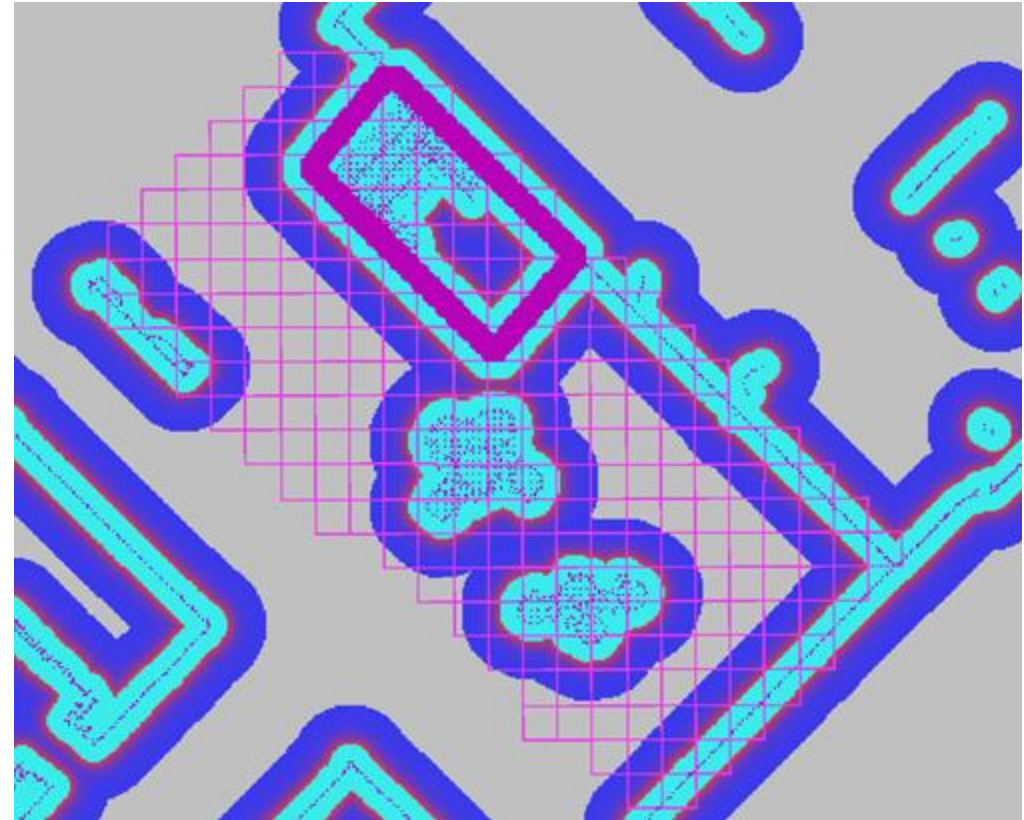
一時的進入禁止領域の共有

空間IDの示すボクセルにより指定された一時的進入禁止領域情報の設定例

モビリティは領域を壁や障害物と同様に扱い、設定された領域内を通過する経路を計画しない



ボクセルで指定された一時的進入禁止領域例
(ピンク塗りつぶし領域)



同左の格子表示

一時的進入禁止領域の共有

空間IDを介した一時的進入禁止領域情報の共有についての考察

■地図情報（一時的進入禁止領域情報）の共有に関して

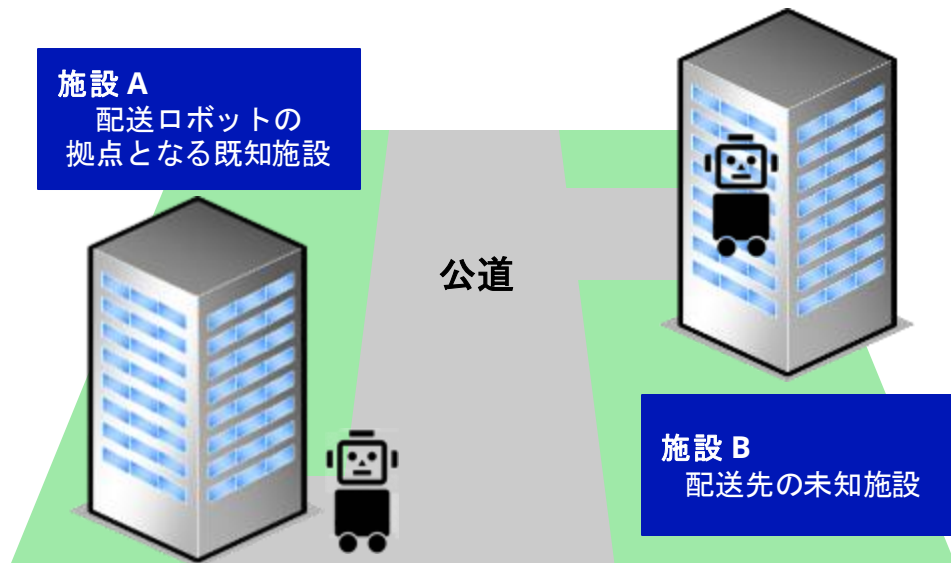
- 一時的進入禁止領域の指定方法の1つとして空間IDの示すボクセルの頂点座標を利用した領域設定を検証した
- また、この情報を共有するための空間情報データベースとして「進入禁止情報検索用データベース」を用意し、各社のモビリティの運行管理システムがこれにアクセスすることで現在設定されている領域が空間ID群として取得し共有できることが確認できた
- 本実証実験においては、空間IDにより指定されるボクセルの底面の頂点座標を元にその底面領域をそのまま一時的進入禁止領域として扱った
- ボクセルのサイズについては今回はズームレベル26（底面一辺約60cm）で統一した上で活用したが、場所によってはボクセルの位置が適切ではなく、当ズームレベルでは十分な粒度で領域を指定することができない場面も考えられる
- 上記のような場合においては、よりズームレベル27（底面一辺約30cm）のボクセルを用いてより細やかな領域指定が可能である（ボクセルの適格性については別検証項目にて議論）
- モビリティの運行管理システム内の領域指定においては機械的に領域を決定することができ、ボクセルのズームレベルに依存せずに用いることができる
- ダウンロードした空間IDは緯度と経度と高度情報に直し、それをまたローカル座標に戻しているため、初めから空間IDではなく緯度経度高度（フロア名）の組み合わせで一時的進入禁止領域を与える手法も考えられるが、そのような手法を用いる場合は1つの地点を示すのに必要なパラメータ数が増えてしまい、単一インデックスとして用いることのできる空間IDと比して、データベース構成の柔軟性が下がる
- 施設のフロア名については、システムによって管理のされ方が異なる場合があり（例：“ZoneK_1F” or “1F” or “1”）、絶対座標である高度情報を用いるのが望ましく、空間IDには当該情報が含まれているため、適切といえる
- 一時的進入禁止領域の施設管理者による更新タイミングは自由であるべきであり、モビリティはなるべく即時に当該更新に対応できるように、原則として待機状態から稼働状態に移行するタイミングや地図情報を切り替えるタイミング（例：施設内への移動、エレベータ利用によるフロア切替）などで同時に領域情報を更新するのが望ましい
- 一時的進入禁止領域の更新には適切なGUIツールが必要であり、施設管理者による利用が容易なものが望まれる

屋内外横断運行時の地図情報乗り換え

本検証項目では、前述した施設内で完結するスコープを拡張し、公道を含む屋内外を横断して運行する配送モビリティを想定した場合の施設地図情報の乗り換え手法や課題について検討する

特定施設内を走行するモビリティの場合は、走行領域全てについてのラスタ・ベクター地図情報をモビリティベンダー側システム内で管理しているのが慣例となっており、それらの情報は自システム内で管理できる分量であると言える。これまでに述べた共通データに関しては特定施設内を運行する場合はモビリティ運用開始前にモビリティの自システム内に組み込まれることが望ましい。それに対し、特定広域内の複数の施設に対して配送を実施するモビリティを仮定したとき、行き先となりうる全ての施設に関する地図情報を自システム内で管理しきことは分量やメンテナンス等の観点から現実的であるとは言えず、これまでに述べたような共通データをいかに共有して活用するかがよりいっそう重要となる。本検証項目においては、これまでの議論のベースとなったスコープを以下の図のように「公道を含む屋内外横断、既知施設から未知施設への移動」へと拡張した場合の地図の乗り換えについて議論する。実際の実証実験に当たっては、施設の私有エリアを公道とみなし、ある建物から別の建物への移動を既知施設から未知施設への移動とみなした上で空間情報データベースから取得した未知施設の地図への地図情報乗り換えを実践した。

建物内⇄公道⇄未知建物内運用



屋内外横断運行時の地図情報乗り換えに関わる論点

- > 共有地図情報取得のためのデータベースと空間IDを介したデータ取得の在り方
- > 地図情報の乗り換え位置の取り決め
- > 未知施設内運行にあたり共有地図情報乗り換え以外に必要な仕組み

屋内外横断運行時の地図情報乗り換えに関する考察・サマリ

共有地図情報取得のためのデータベースと空間IDを介したデータ取得の在り方

- 本実証実験においては、空間IDを介した地図情報の取得と地図情報乗り換えを実現した
- データベースとしては、不動産（施設）情報を管理する公的なDBの存在を仮定し、実証実験用のデータベースを通して施設情報とそれに紐づいたラスター地図並びにベクター地図情報を取得した
- データベースにおいて施設形状はズームレベル22の空間IDによって表されていると仮定したが、隣接する施設間を跨ぐようなボクセルの扱いには注意を払う必要がある（ボクセルの適格性については該当検証項目参照）
- 施設の地図情報等も併せて管理可能な公的不動産管理データベースについては現状利用できるものがなく、将来的に屋外配送モビリティが普及し、今回用いたような仕組みが必要とされる場合は国が主幹となって整備するのが望ましいか
- 本実証実験においては、空間IDによって配送先地点を指定しており、これはアプリケーションによらないグローバルなインデックスとしての空間IDの考えに沿った指定方法と言える
- また、空間IDで示されるボクセルの特性（親ボクセルの存在）を生かし、粒度の小さなボクセルでの指定が求められる配送先情報と粒度の大きなボクセルでの指定が適切な建物形状情報との連携が簡便となっている

地図情報の乗り換え位置の取り決め

- 地図情報乗り換えについては通行の妨げにならない位置を施設管理者が決定し、施設の共有地図情報内に含まれている必要がある
- 本実証においては、共有されたトポロジカル・グラフの各ノードに付与された属性情報を参照し、施設の出入口属性を付与されたノードにおいて各モビリティが地図の乗り換えを実施するように取り決め、これを実現した
- 出入口属性を持つノードが複数存在する建物においては、施設内外のトポロジカル・グラフのエッジ情報を参照し、最短で目的地に到達するための出入口属性ノードを選択した
- また、この他に後述するインフラセンサ情報との連携を通して人の滞留情報に応じて目的地となる出入口属性ノードを選択して経路を設計する仕組みを実践した

未知施設内運行にあたり共有地図情報乗り換え以外に必要な仕組み

- 本検証においては地図情報の乗り換えのみを実施したが、未知施設内を運行するにはこの他にエレベーターや自動ドアなどのインフラシステムと連携する手法や施設管理者に対して施設内モビリティの位置情報を通知するシステムとの連携を新規で自律的に確立する仕組みが必要である
- いずれの出入口についても、付近に人や障害物が滞留していた場合に、どの程度の範囲を地図情報乗り換え地点として許容するかなどの考慮が必要であり、公道と隣接した出入口ノード位置については前述の歩行空間ネットワークにおいて定義されるノードとの連携を前提とするべきか

空間IDを介した施設地図情報の共有

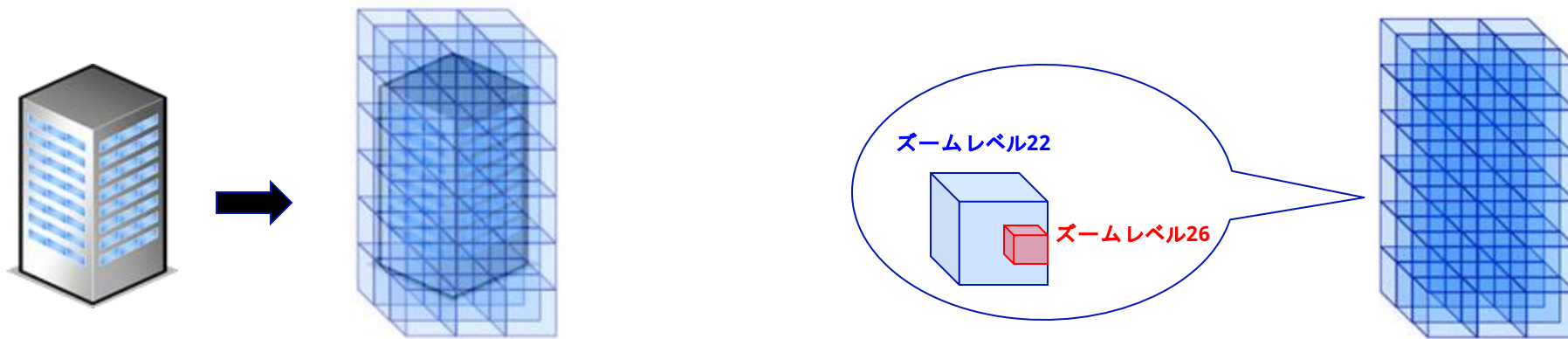
空間IDによって建物情報を検索できる「建物検索用データベース」を用意し、目的地となる地点の空間IDを基にその地点の含まれる建物情報を取得する手法を考える

本実証実験においては、地図情報共有のため、空間情報データベースとして「建物検索用データベース」を事前に用意しモビリティからのアクセスを実施した。実験の準備として事前におおよその施設形状をズームレベル22のボクセルで表し、その全ての空間IDを施設情報と紐づけてデータベースに格納した。施設情報としては施設の名称の他、地図情報の格納先リンクを格納し、地図情報としては今回利用可能であったラスタ地図情報とベクター地図情報をリンク先の格納物として用意した。格納物とデータベースの詳細については「ロボットサービス運行基盤の仕様解説」を参照されたい。

モビリティは配送を行う際に、配送先としてズームレベル26の空間IDを指定され、同空間IDを元に、該当地点の属する未知施設を検索、情報を取得し、屋外配送ルート構築と未知施設内の走行ルールに沿った走行を行った。

【利用手順概略】

- 検索対象空間ID（配送先を示すズームレベル26の空間IDを想定）をズームレベル22のものに変換（対象ボクセルの属する親ボクセルの算出に相当）
- 変換後の空間IDを用いてデータベースを検索し、該当する施設情報を取得
- 施設情報に含まれるリンク先に格納された地図情報を取得
- 地図情報内の出入口情報を元に屋外走行を実施し、新規施設到着後にマップを展開（初期位置ローカル座標は緯度経度より算出可能）



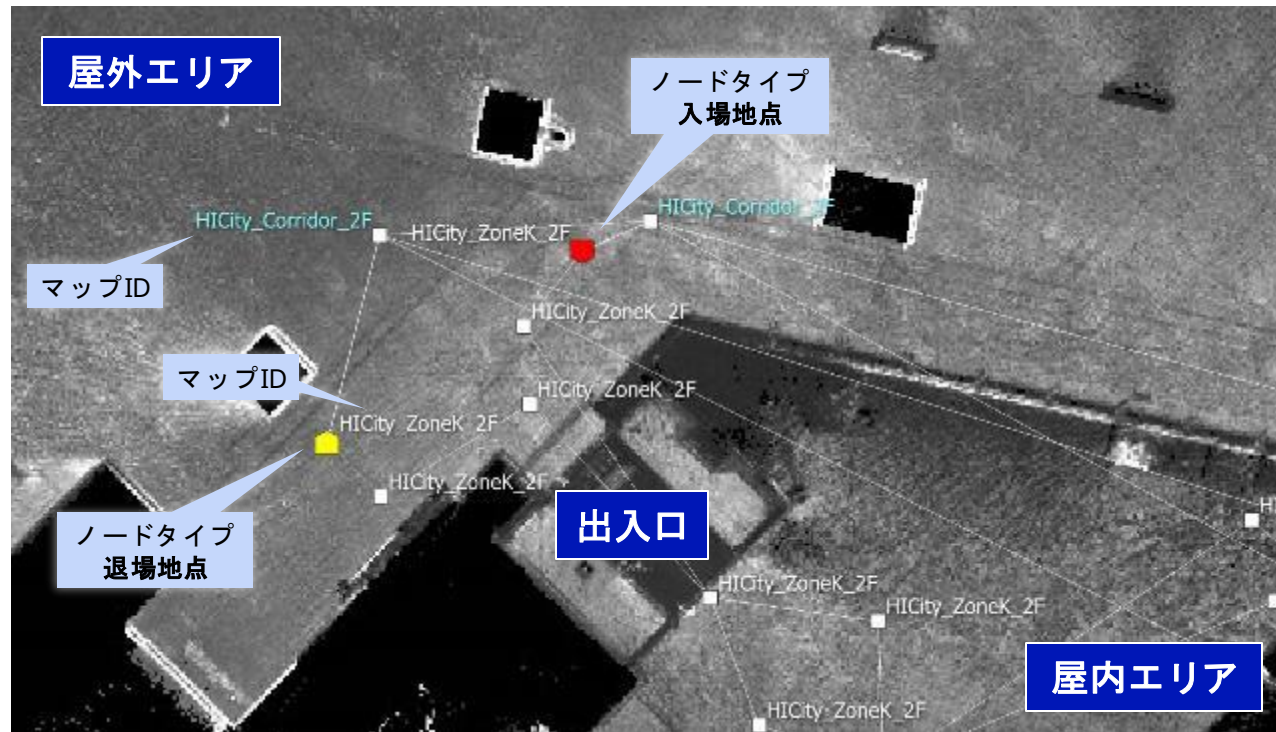
データベース準備者は事前に、施設形状をズームレベル22のボクセルで覆い、これらすべてのボクセルを施設情報と紐づける

データベース利用者は検索対象ボクセルを含むズームレベル22のボクセルが含まれる施設を検索する

地図情報乗り換え地点の取り決め

地図情報の乗り換え地点として適切な施設内の出入口地点を決定し、該当地点をトポロジカル・グラフ中のノードに設定、出入口属性を事前に付与しておく

地図情報乗り換え地点については、乗り換えに多少の時間を要しても通行の妨げとならない安全な地点を事前に取り決めておく必要がある。前述した共有地図における、トポロジカル・グラフを活用した走行を実施する場合、事前に取り決めた位置をノードとして組み込み、それらノードに「入口ノード」「出口ノード」といった属性を付与することで、その情報を参照しモビリティは地図情報乗り換え地点を判断することができる※。施設形状によっては複数の出入口ノードが存在しうるが、モビリティは原則として各ノードまでの距離をエッジ情報から算出し、最短となるノードを選択する。また、インフラセンサ情報などを通して、出入口付近の混雑度を推測することができる場合はノード選択に生かすことができる（別検証項目参照）。



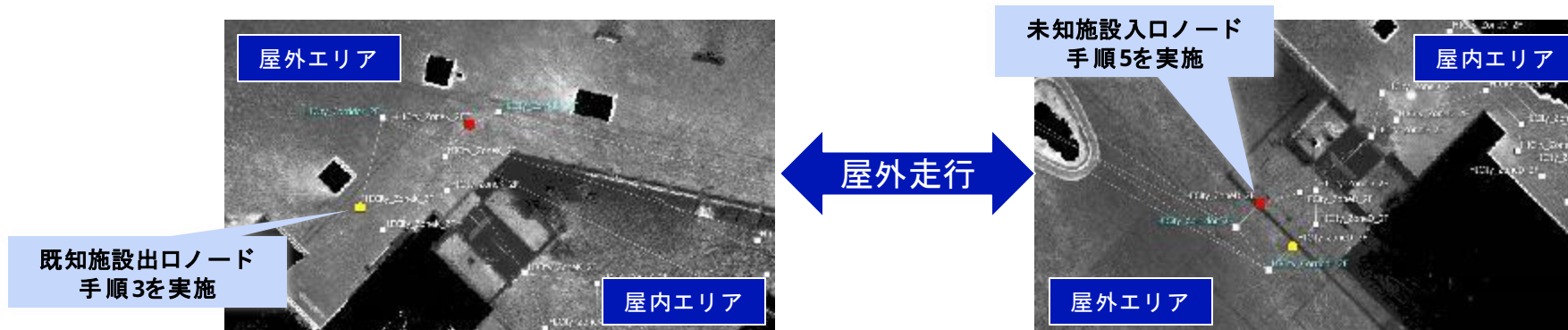
※ノードには「マップID」も割り当てられており、地図乗り換え地点を「マップID」が変化したことを基に判断することも可能であるが、実装容易性の観点より、ノードに「入場地点」「退場地点」といった「ノードタイプ」属性を付与した。

本実証実験で用いたトポロジカル・グラフにおける出入口ノード位置の例

モビリティにおける地図情報乗り換え実施の流れ

トポロジカル・グラフ中のノード属性を参照し、地図情報乗り換えを実施した以下に【既知施設 ⇒ 屋外 ⇒ 未知施設】への配送モビリティの移動の手順例を示す

1. 配送先未知施設の決定と地図情報の取得
 - ・ 配送先として与えられた目的地空間IDを元に施設を検索し、前述した仕組みに則り施設の建物情報をダウンロード
2. 既知施設出口への移動
 - ・ 施設内において最短かつ到達可能な出口属性を持つノードを選択して目的地として設定（※1）
 - ・ 既知施設のトポロジカル・グラフに則ったノードとエッジを經由した走行により、選択ノードまで移動
3. 屋外地図情報への乗り換え
 - ・ 屋外エリア走行のための屋外地図へと乗り換え、乗り換え完了後に出口属性ノードを出発（※2）
4. 未知施設入口への移動
 - ・ 手順1にてダウンロードした未知施設の地図情報を参照し、最短かつ到達可能な出口属性を持つ同施設のノードを目的地として選択し移動（※1）
5. 未知施設地図情報への乗り換えと最終目的地への移動
 - ・ 手順1にてダウンロードした未知施設の地図情報へと乗り換え、入口属性ノードを出発、最終目的地となる未知施設内の配送先へと移動



（※1）インフラセンサとの連携を実施したモビリティにおいては人の滞留情報を考慮に入れてノードを選択した（別検証項目参照）

（※2）本実証実験の実機検証においては、既所持の2次元地図を用いた屋内と同様の走行環境地図、トポロジカル・グラフを用いた仕組みでの走行を実施しており、実際の公道走行の場合の詳細については未検討である

未知施設内運行に必要なその他の仕組み（1 / 2）

これまでに未知施設への移動を想定した地図情報乗り換えの実現例について述べたが、配送モビリティが未知施設内へ運行するにはこれ以外にも考慮すべき要素が存在する

管制システムとの新規自動連携手法の確立

本実証実験においては、分散協調の枠組みとして4.3節で述べるような、協調運行管理の仕組みと監視を実施した。これらの枠組みは原則として特定施設内において完結しているものであり、施設毎に監視者並びに監視システムが存在するものと考えられる。モビリティが未知の施設に到着した際には、施設管理者の要請に応じてこれらのシステムへアクセスして自身の情報を発信できるような仕組みを整えるのが望ましい。このためには施設のマップ情報と共に、監視システムへのアクセスに必要な情報（占有情報管理並びに位置情報管理システムのアクセス先、認証情報など）を何かしらの形で付与する必要がある。自律移動モビリティの未知施設走行を見据えた場合、この手法の規格化も推進しなくてはならない。（関連検証項目：4.3節複数モビリティの運行における「監視」のあり方）

インフラ（エレベータ、セキュリティゲート）連携の簡略化

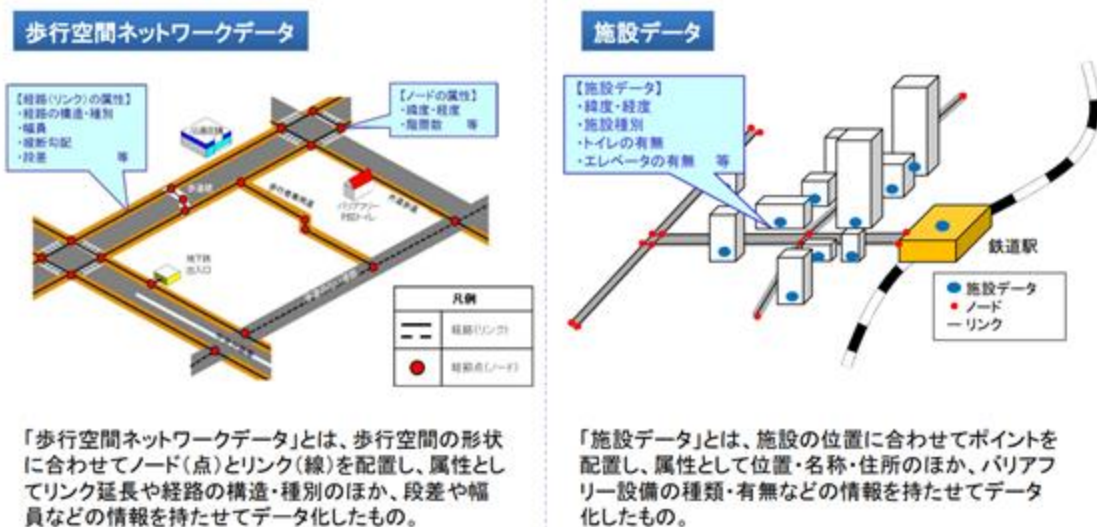
本実証実験においては、3.6節で述べたように、共通APIを通したエレベータとの連携を実施した。これは、モビリティが施設情報として「どのAPIを利用し」「どのIDを持つエレベータカゴを呼び出せばいいか」を既知とした前提での実験であった。地図情報の乗り換えが必要となるような、施設がモビリティにとって未知のものであるケースにおいては、インフラとの連携のためにはどのようなスコープの情報が 필요한のか、また同時にモビリティ側は事前にどこまでのソフトウェア構成を用意していればいいのかを検討する必要がある。モビリティベンダー側が事前に乗りうる全ての種類のエレベータ連携を自前で実施する必要がなく、共通のソフトウェアでインフラないしはインフラ管理連携システムにアクセスできるような枠組みが求められる。（関連検証項目：4.4節ロボットの設備利用時に必要な設備連携）

未知施設内運行に必要なその他の仕組み（2 / 2）

これまでに未知施設への移動を想定した地図情報乗り換えの実現例について述べたが、配送モビリティが未知施設内へ運行するにはこれ以外にも考慮すべき要素が存在する

屋外トポロジカル・グラフとの接続

前述の通り、本実証実験においては実際の公道走行を行わなかったため、本来想定しているタイミングでの地図情報乗り換えは実施していないと言える。公道からの地図情報乗り換えについては、屋外についてもトポロジカル・グラフがある前提に立ち、屋内と同様の扱いができることが望ましい。先行事例としては国土交通省が主導する「歩行空間ネットワークデータ」「施設データ」の取り組みが挙げられ、歩行者と同じ空間を走行する遠隔操作型小型車へのこれらの利用可能性について実証実験が行われている[1]他、歩行空間の3次元地図ワーキンググループが主体となってこれらの運用にまつわる仕組みづくりを検討している[2]。



歩行空間ネットワークデータ、施設データ概要図 [3]

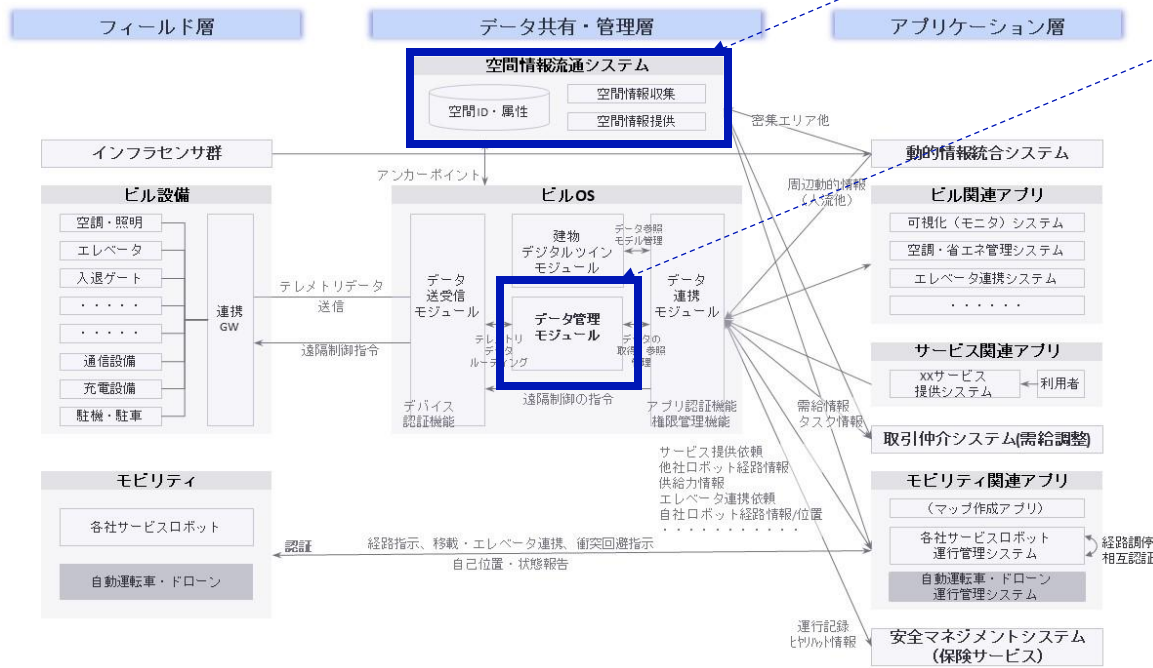
- [1] 「物流の人手不足を解消する自動配送ロボットはいつ街を走るようになる？ ティアフォーの岡崎さんに聞いてみた」、人・ロボットの円滑移動化のための歩行空間DX研究会ホームページ、<https://www.walkingspacedx.go.jp/post-197/> (2024年3月1日アクセス)
- [2] 「歩行空間の3次元地図ワーキンググループ」、国土交通省ホームページ、https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/soukou/sogoseisaku_soukou_fr_000052.html (2024年3月1日アクセス)
- [3] 「『歩行空間ネットワークデータ』『施設データ』の概要」、国土交通省ホームページ、<https://www.mlit.go.jp/common/001228386.pdf> (2024年3月1日アクセス)

アーキテクチャ仮説内における共通データの配置について

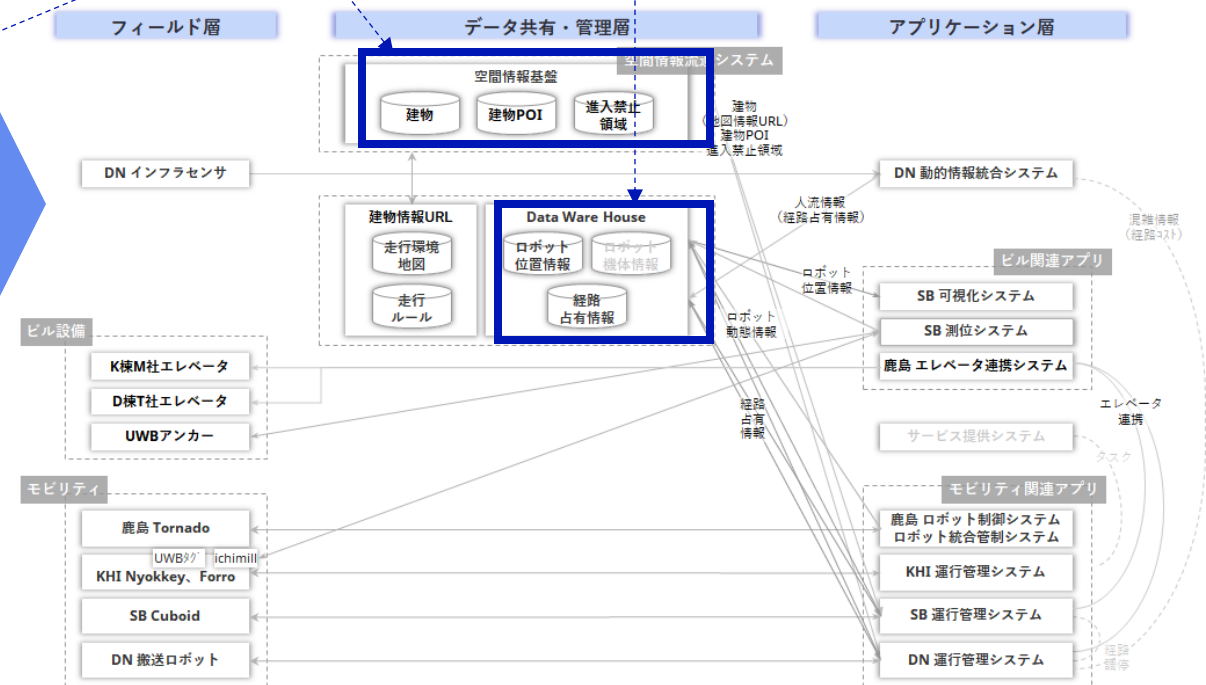
4.1節のアーキテクチャ仮説においては、「データ共有・管理層」は、自律移動ロボットアーキテクチャ由来の「空間情報流通システム（空間ID）」と、スマートビルシステムアーキテクチャ由来の「ビルOS（データ管理モジュール）」の、2種類のデータ共有・管理機能を配置し、場の管理者、サービル事業者、ロボット運行事業者間にて共有が必要な情報（タスク、リソース等）は、これらのデータ共有・管理層を通じて共有・管理すると仮説した。

4.2節で述べてきた共通データの内容に基づき、データ共有・管理層における、空間IDによる空間情報基盤と、ビルOSのデータ管理モジュールの機能配置について（屋内環境におけるボクセル単位での管理の適格性の考察も含む）、次頁以降で述べる。

アーキテクチャ仮説



実証実験環境の全体概要



凡例 鹿島：鹿島建設、KHI：川崎重工業、DN：デンソー、SB：ソフトバンク

空間情報のボクセル管理及び機能配置に関する考察

データ共有・管理層の機能配置、屋内環境におけるボクセル管理での適格性についての考察・サマリ

<p>考察対象の空間情報</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・建物POI（目的地、経由地、エレベーター等） ・進入禁止エリア ・屋内外結節点（地図乗り換え用） ・ロボット経路（ノード・エッジの管理） ・ロボットすれ違い時の待機位置 ・ロボット位置情報（動態情報） 	
実施項目	観点	各空間情報についての評価/考察
<p>ボクセル管理の適格性について</p>	<p>空間IDの規格としての性質、位置付け</p> <ul style="list-style-type: none"> ・一意な位置指定のための共有概念 ・有意な大きさを持つ概念 	<p>適格性あり：建物POI、進入禁止エリア、結節点、ロボット待機位置・経路(調停ノード管理)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ロボットの走行環境に関する情報については、主に一意な概念による情報共有の有用性が高いと考え、空間ID管理の適格性ありと考察した <p>適格性低：ロボット経路、ロボット位置情報</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ピンポイントな位置指定を想定した場合、主に精度に関する要求から空間ID管理の適格性は低いと考察した
<p>データ共有・管理層の機能配置について</p>	<p>技術的観点での実装課題など</p> <ul style="list-style-type: none"> ・リアルタイム要求 ・更新頻度 ・検索性 ・管理の容易性 	<p>空間IDシステム管理：建物POI、進入禁止、結節点、待機位置 別システム管理要：ロボット経路(調停ノードの状態)、ロボット位置情報</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ロボット経路及び位置情報はリアルタイム要求、更新頻度とも高いと想定 本実証で提供する空間IDの基盤システムの応答性や登録情報更新速度を踏まえ空間IDによる空間情報基盤とは別システムでの管理が適切であると評価 ▶本実証では、リアルタイム性要求及び更新頻度の高い情報の管理についてはビルOSとして想定したデータ管理モジュール(DWH)での管理が適切と評価 ・上記によらず、小さなボクセルかつ広いエリアを扱う際等の情報検索については考慮が必要と考える（効率的な検索手法、管理手法など）

各空間情報についての検証／考察の方向性

データ共有・管理層における、空間IDによる空間情報基盤と、ビルOSのデータ管理モジュールの機能配置について（屋内環境におけるボクセル単位での管理の適格性の考察も含む）

複数モビリティの運行管理・制御のための、情報管理・機能構成について考察を行う
 対象とする空間情報要素の確認と、整理観点（考察要素）の確認

考察対象：本実証にてモビリティ間で共有を行った（共有を想定していた）空間情報

- ・建物POI（目的地、経由地、エレベーター等）
- ・進入禁止領域
- ・屋内外結節点（地図乗り換え用）
- ・ロボット経路（ノード・エッジの管理）
- ・ロボットすれ違い時の待機位置
- ・ロボット位置情報（動態情報）

これら空間情報について以下に関する考察、検討を行う

- ①ボクセル（空間ID）管理の適格性
- ②自律分散/協調運行を行うにあたっての機能配置

<p>考察要素1：屋内環境</p>	<p>代表的例として、出入口幅及び廊下幅やELVカゴの幅を考慮し要求される精度/スケールを想定 →具体数値についてはロボットが動作しやすいとされる、ロボフレレベルAより引用 （出入口幅：1.2m～、通路幅：1.2m～、ELVかご幅：1.4m～）</p>
<p>考察要素2：空間IDの特性</p>	<p>特性/特徴から適格性を評価（一意に3次元的な位置を指定、有意な大きさ、大きさ可変） (1)一意な空間概念で配信、共有されるべき情報か（複数モビリティで共通理解/認識） (2)精度感、大きさの概念が適する情報かどうか（点ではなく面あるいは空間）</p>
<p>考察要素3：実装上の課題</p>	<p>現段階で想定しうる実装上の課題などから適格性を評価、機能配置に関する示唆につなげる</p> <ul style="list-style-type: none"> ・情報更新頻度、リアルタイム性 ・データ管理観点（量に対する検索性能、カタログシステムの必要性など） ・ズームレベルごとの情報の性質（情報の性質が変わるケース、検索手法や管理手法など）

各空間情報のボクセル管理適格性に関する考察

ロボット協調運行のために用いる空間情報の、屋内環境におけるボクセル単位での管理の適格性については求められる管理精度の観点が重要と考えられる

	ボクセル管理の適格性	
空間情報	精度	一意な位置指定（共通概念化）
建物POI（目的地、経由地、エレベータ等）	適している（数十cm～1m） ・ 停止の際の向き、進入方向等については要検討	適している
進入禁止領域	適している（数十cm～1m） → 実機で確認（サイクル4）	適している
屋内外結節点（地図乗り換え用）	適している（数十cm～1m） → 実機で確認	適している
ロボット経路（ノード・エッジの管理）	最小サイズのボクセルにて、実機でノード管理動作を確認 ノードの設定に一定の配慮（ノード間の距離など）が必要だが、 運用上許容できる 経路そのものはcm級が必要か？	空間の使用(占有)状況共有には適している(実機実証) ・ 経路計画そのものは不要あるいは困難か
ロボットすれ違い時の待機位置	要検討 ・ ピンポイント位置には不適 ・ 利用の場合は数十cmでの位置指定を許容する位置設計要	適している
ロボット位置情報（動態情報）	不適（要検討） 解像度が失われるため、座標で共有が望ましい	共有手段としては考慮の余地があるが、唯一の共通概念ではない 一定の広さを持つエリアの統計量などには適する

空間IDの性質から適格性を考察

性質/位置付け

- ・ 一意な位置指定のための共有概念
- ・ 有意な大きさを持つ概念

共通の位置概念による情報共有という観点からは、動作環境に関する情報や運行ルール、他のモビリティの運行に影響するような自己の運行情報等については、空間IDを共通の位置概念とした情報共有が有用と考える。

一方、概念として有意な大きさを持つものであることより、ピンポイントな位置指定あるいは情報共有を意図するものには、精度観点から不向きであると考えられる。

各空間情報の機能配置に関する考察

各空間情報に対する要求と現状の技術的な実装課題などを照らし合わせて、その機能配置に関する考察を行う

	機能配置に関する示唆			
空間情報	リアルタイム性	情報/ステータス更新頻度	検索性への影響要素	情報管理
建物POI (目的地、経由地、エレベータ等)	基本的にはリアルタイム要求は高くない	高くはないが、空間名称(部屋番号、店舗名称など)の一定期間でのメンテナンスは必要	・ボクセルサイズ：最小	子ボクセル/親ボクセルで連携した管理が望ましい
進入り禁止エリア	基本的にはリアルタイム要求は高くない	秒単位の頻度での発生想定はなく、1日で数回程度を想定		エリアに適したサイズのボクセルを組合せて利用できると良い
屋内外結節点(地図乗り換え用)	基本的にはリアルタイム要求は高くない	低い	・エリア毎に1箇所程度 ・ボクセルサイズ：最小	
ロボット経路 (ノード・エッジの管理)	1/10~1秒程度のリアルタイム性が必要	高い	・ボクセルサイズ：最小	詳細な行動計画や経路情報は限定的な範囲で管理されるべき
ロボットすれ違い時の待機位置	基本的にはリアルタイム要求は高くない	低い	・ボクセルサイズ：最小	
ロボット位置情報(動態情報)	1/10~1秒程度のリアルタイム性が必要	高い	・ボクセルサイズ：最小	建物内の詳細位置や動作状態は限定的な範囲で管理されるべき

観点：リアルタイム性/更新頻度

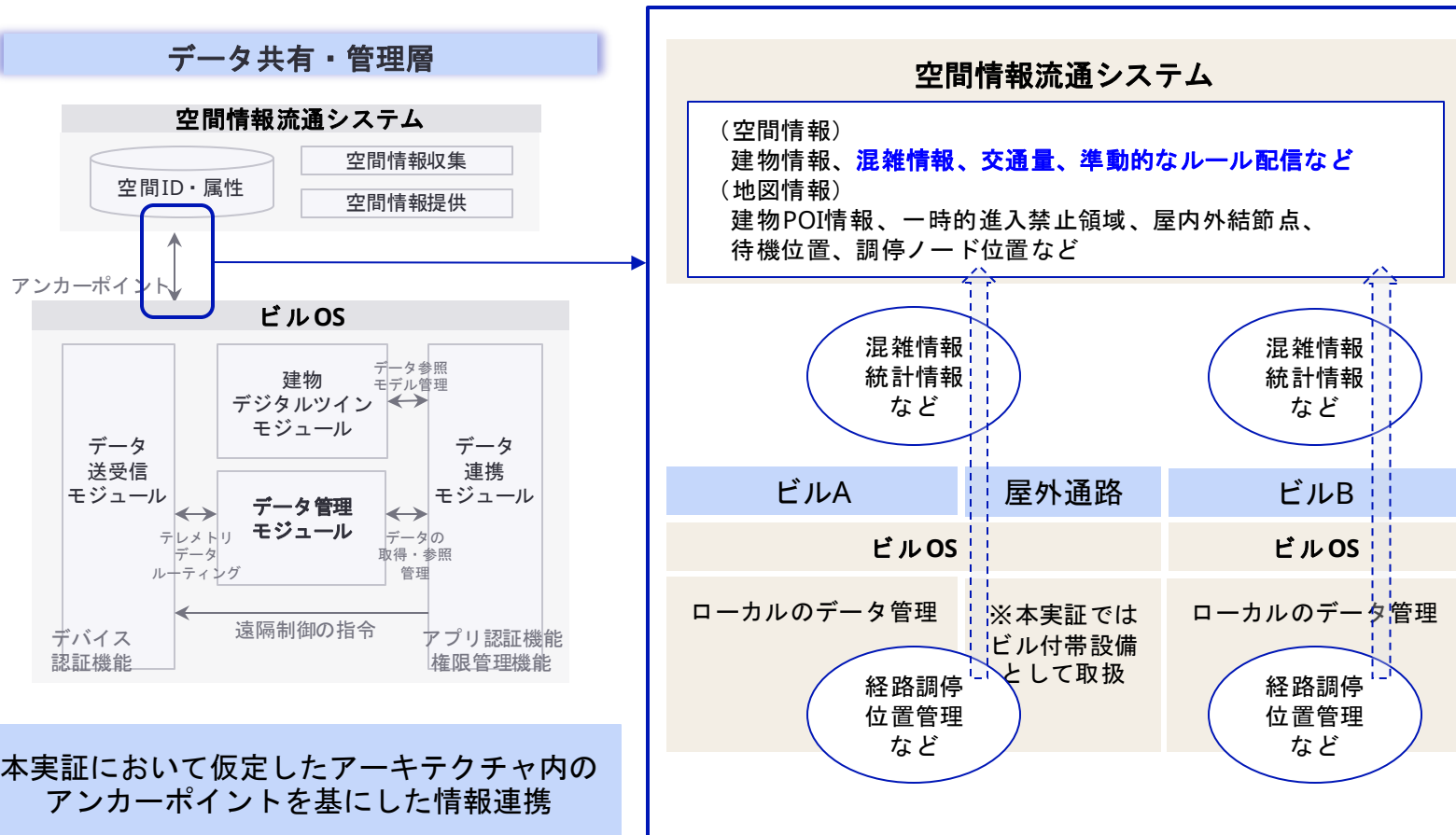
- ❑ 遅延なく反映が必要、あるいは高頻度に更新が必要な情報については高速/高レスポンスなに処理を実行可能なシステムにて管理されることが望ましい
- ❑ 本実証では広域な情報管理を行うと想定した空間情報流通システムよりも、ビルOS側での管理が適していると考えられる

観点：検索性/情報管理

- ❑ ボクセル数の増加(小サイズ/広エリア)に従い検索性能についても一定の考慮が必要となる点に注意する
- ❑ 検索方法についても、ボクセルの入れ子構造を活用する手法など空間IDの性質を利用した工夫が検討課題である
- ❑ 情報の性質として限定的な空間に閉じるべきものは、広域な情報管理を行うと想定した空間情報流通システムよりも、ビルOS側での管理が適していると考えられる

空間情報流通システムで取り扱う情報に関する示唆

空間IDの特性や期待される技術的役割を踏まえ、将来的な各空間情報の共有に関する機能配置案、示唆を行う



本実証において仮定したアーキテクチャ内のアンカーポイントを基にした情報連携

空間情報流通システムでの情報共有

各ビルOSでローカル管理される「点」の情報や粒度の細かい情報を、アンカーポイントを設けることで空間情報流通システムへ共有できる。

これらの情報が分散協調のために加工(統計/集計など)されたものを、空間情報流通システムから配信/共有するような機能配置も考えられる。

本実証でのビルOSへの機能配置

リアルタイム性/更新頻度の高い動的情報(経路調停(ノード状態)、位置情報)を、本実証ではビルOS管理(ローカル管理)とすることで異メーカーロボット間で協調運行を実現。

ロボットの位置情報管理に関する機能配置については今回ビルOS内に設定したが、監視等の観点も含めて検討の余地がある。

将来的には、特定ビル内のみなど限定した範囲/空間での情報共有を行うケースにおいてはローカルな情報管理手法の一つとしてのローカル空間IDの活用も考えられる。

4. 検証結果詳細

- 4.1 分散協調制御でのアーキテクチャ仮説
- 4.2 運行管理に必要となる共通データ
- 4.3 複数モビリティの運行管理・制御
- 4.4 インフラ基盤（設備・通信・充電ほか）
- 4.5 分散協調におけるサービス連携

複数モビリティの運行管理・制御

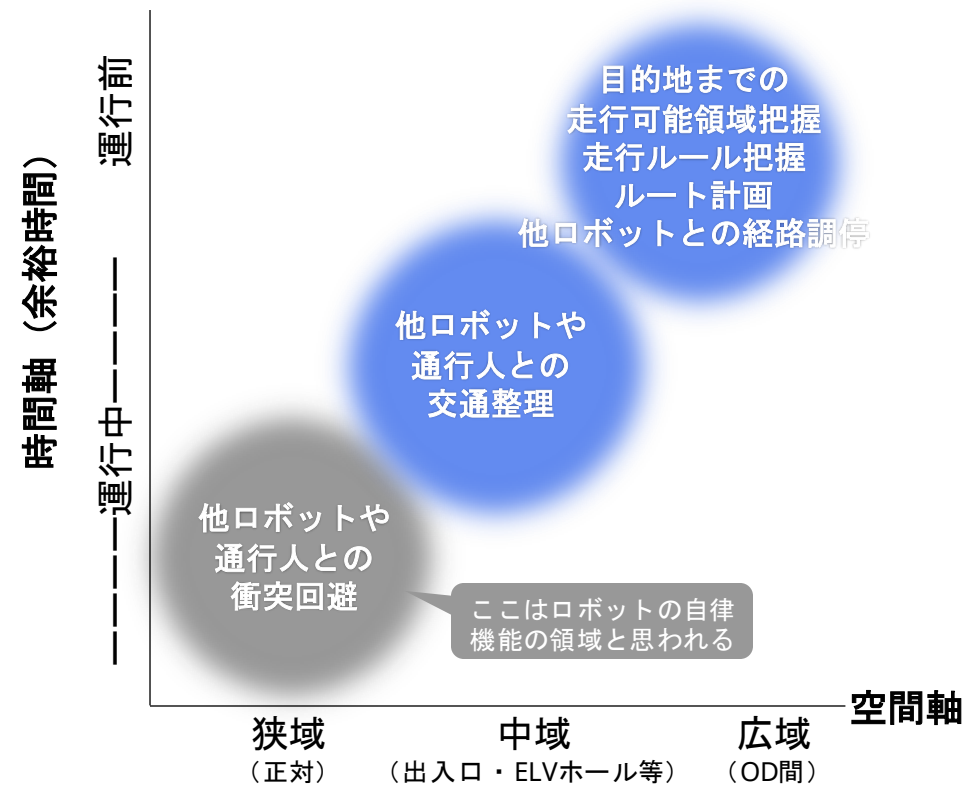
本節では、前節で述べた共通データ（施設設備連携は4.4節で述べるため、ここでは主に空間情報関連の共通データ）を複数ベンダー・複数ロボットで共有することによる分散協調運行について述べる

分散協調運行における共通データ

		走行する空間
運行前	静的	走行環境地図（走行可能領域） （階段・エスカレータ等の恒久的進入禁止領域を含む） 走行ルール（トポロジカル・グラフ） （双方向/一方向、速度、勾配、段差、重要/高さ制限等） 建物内外結節点 （トポロジカル・グラフのノードに地図乗換用属性定義）
	準動的	一時的進入禁止領域 他ロボット経路情報 人流情報（混雑領域）
運行中	動的	他ロボット経路占有情報 各ロボット位置情報/ステータス 交通参加者の位置情報

これらの共通データを共有することでの、
 運行前から運行中にかけての具体的なシナリオを次頁に示す。

運行全般の時空間において 協調が必要と思われる領域



運行前から運行中にかけての具体的なシナリオ

長期（運行前）：

- ロボット運行事業者が目的地が含まれる施設を把握し、当該施設の走行環境地図（走行可能領域）・走行ルール（トポロジカル・グラフ）を取得し、目的地までのルートを計画する
- イベント等による一時的な進入禁止領域や、人の滞留箇所があれば、それらを避けるルートを計画する
- 計画したルートをロボットに指示する
- 他ロボットのルートと干渉する場合は、時間的・空間的に干渉しない経路を計画、あるいは優先度に基づいた調停を実施するが、下記理由により本実証では未検証
 - 全く異なる通路を通ることによる空間的調停については、本実証フィールドにおいては出発地から目的地までの完全な別経路が存在しない
 - 経路を分割したうえで通過時間をずらすことによる時間的調停については、他の交通参加者（人混み等）との干渉による減速・停止、エレベータ乗降待ち等の要因により、何時を何処を通過するかのコントロールが困難と想定
 - 複数のロボット運行事業者間での経路調停のための通信・交渉プロトコルについて未検討

中期（運行中）：

- 建物内外を横断する際は、共有されたトポロジカル・グラフの、建物出入口属性が付与されたノードの場所において、走行に用いる地図を乗り換える
- 経路前方に十分なスペースがない場合は、以下のような時間的調停を図る
 - エレベータホールにおいてエレベータ待ちのロボットで先がつかまっていたら手前で待機する
 - すれ違いが困難な出入口においては片方が手前で待機する
 - 出入口において人の通行をインフラセンサが認識した場合は手前で待機する

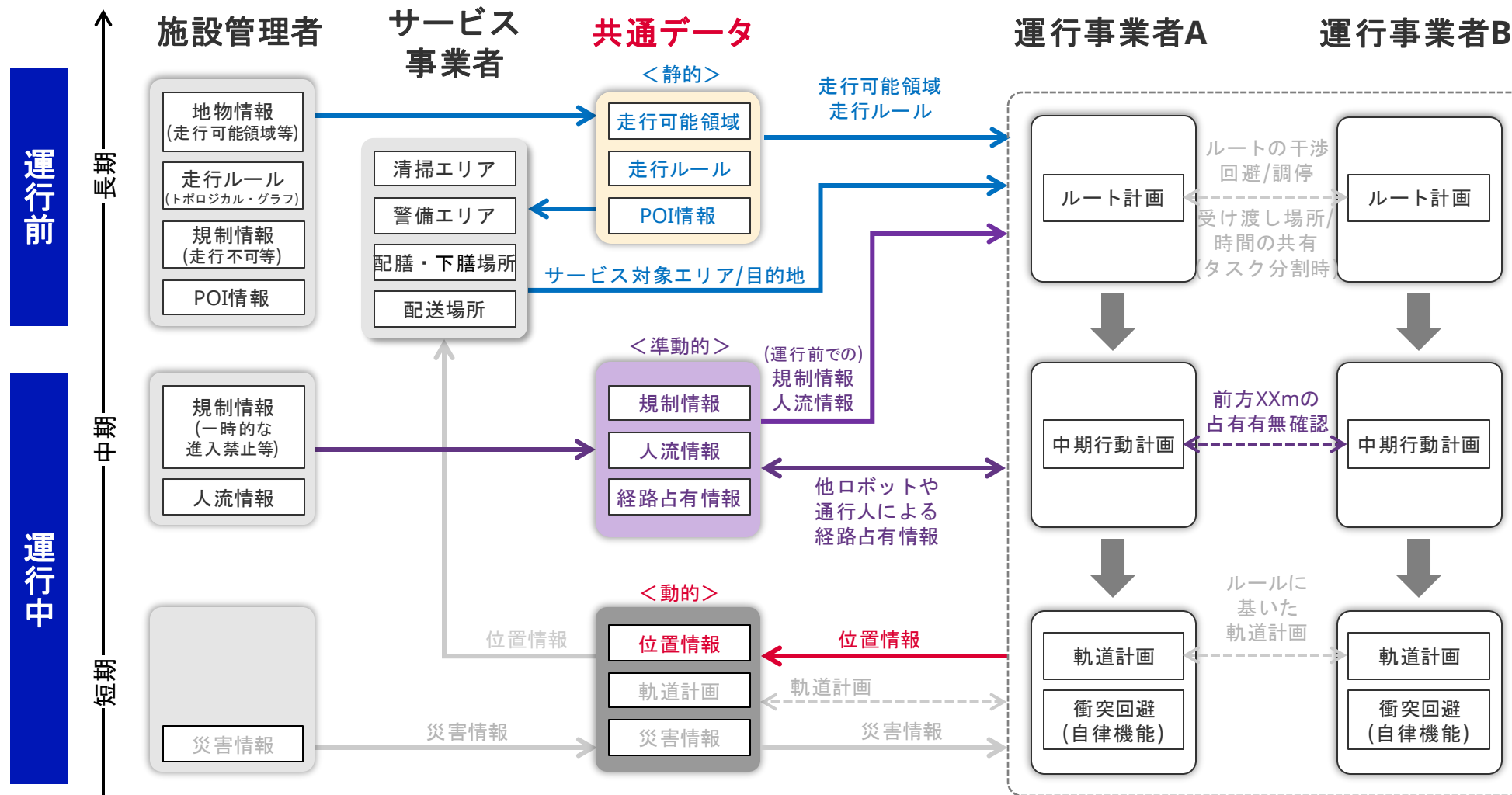
本実証実験においては、当該箇所にトポロジカル・グラフのノードを配置し、先にそのノードを占有したほうが進行し、占有できなかったほうは手前で待機する「先勝ち方式」を検証した。（ロボット運行事業者間での交渉ではなく、押しボタン式信号のボタンを押して他ロボットが通行するのを待つイメージ）

短期（運行中）：

- 他の交通参加者や他ロボットと正対した場合は、ロボットの自律機能により衝突回避する
- 相手が他ロボットの場合、お互いの軌道計画（位置・方向）を共有することで、事前に減速あるいはすれ違い可能な軌道への変更が可能と思われるが、本実証では未検証
- 災害/事故等の有事に安全位置での停止や、避難ルートの障害場所からの回避移動制御を行う（詳細は後述の「監視のあり方」にて机上検討）

運行前から運行中にかけての具体的なシナリオ

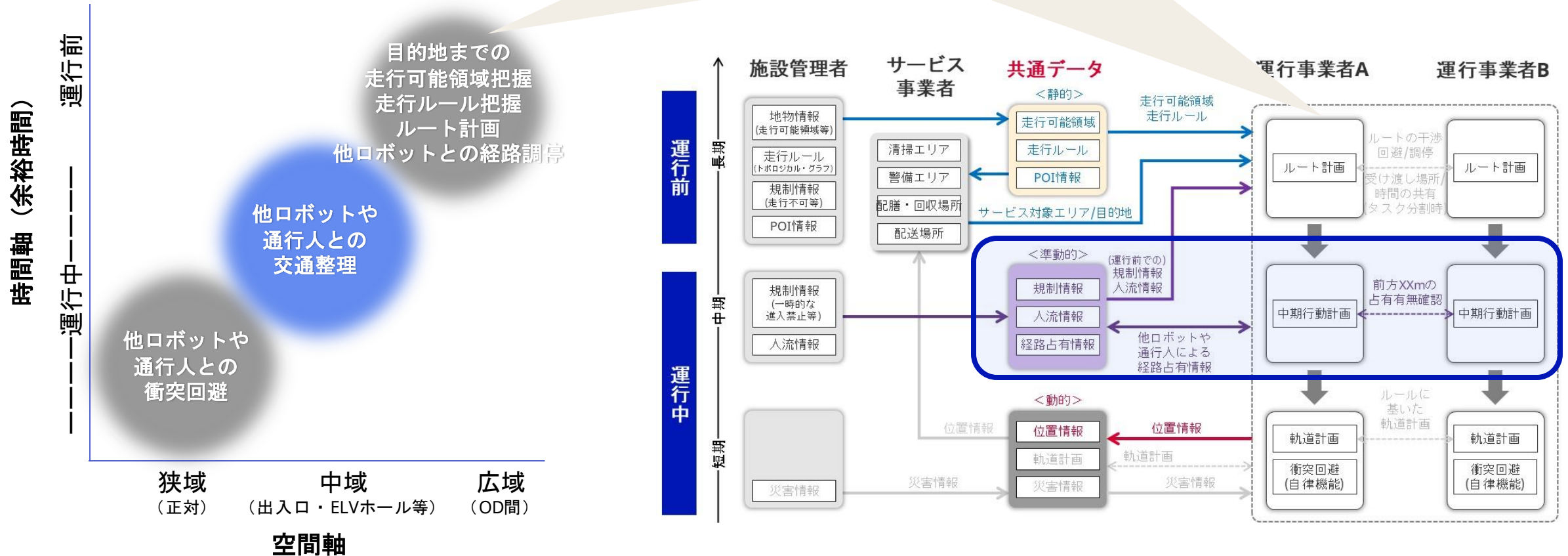
前頁にて述べたシナリオの概略を図示すると、下図のようになる



本実証における複数運行事業者・複数ロボット間の調停の対象

運行中（中期）の出入口・エレベータホール等の狭い場所での調停（交通整理）を対象として既存技術を活用して検証し考察する

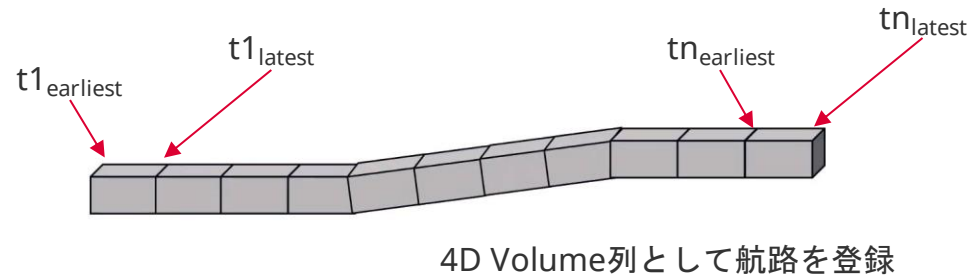
経路を分割したうえで通過時間をずらすことによる時間的調停については、他の交通参加者（人混み等）との干渉による減速・停止、エレベータ乗降待ち等の要因により、何時を何処を通過するかコントロールが困難と想定。（次頁の参考情報参照）



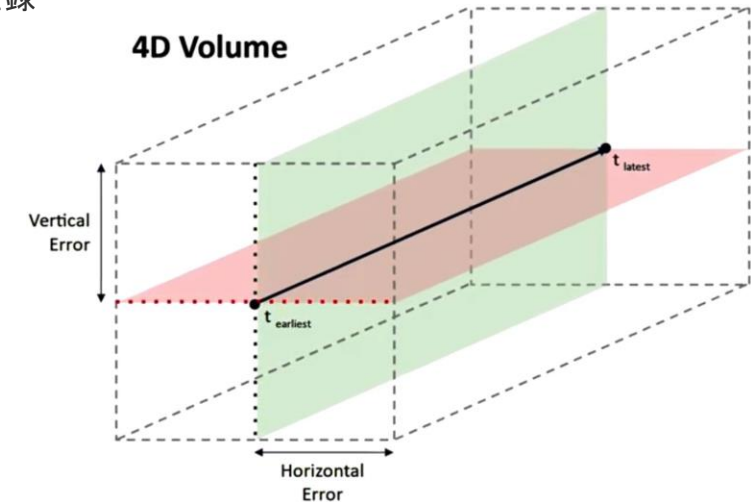
【参考】無人航空機（ドローン）と屋内搬送ロボットの違い

無人航空機の場合：

- ✓ 移動速度が速く、飛行中に衝突回避することが困難であるため、飛行前に目的地までの航路が干渉しないように調停
- ✓ 航路は飛行不可空域を避けて「3次元空間+時間」内で設定
- ✓ 運航（航路外れ・通過時間ズレ）に影響する要因は主に天候（風）
- ✓ 他航空機との衝突を避けるため、航路に対して前後（時間）・上下・左右にマージンをとって占有登録



出所：MIKE GLASGOW、「Drone Standards Series: Operational Intents」、YouTube、
<https://www.youtube.com/watch?v=IS6tTQImVO4>
 (2024年3月1日アクセス)



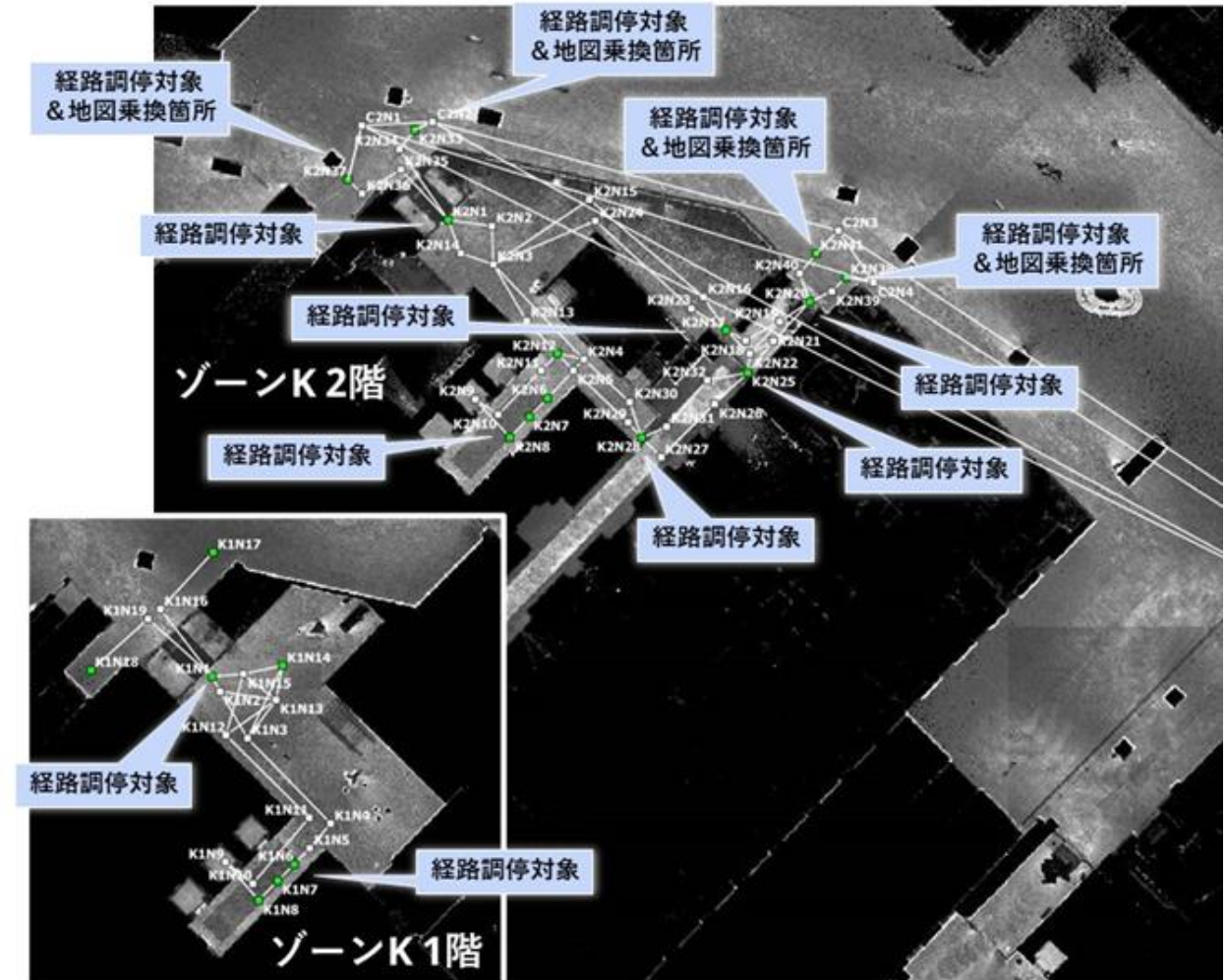
屋内搬送ロボットの場合：

- ✓ 走行するのは主に通路=2次元空間かつ狭い通路であり経路の自由度が小さい
⇒狭い通路に対してボクセルでの経路占有状態管理は適さない
- ✓ 通路は歩行者や他ロボットも使用するため、迂回や減速・停止が頻繁に発生する
- ✓ 走行開始前に、目的地までの経路（通路）を算出できるが、経路各所の通過時間が予測できないため、時刻毎の占有区間登録が困難（あるいは経路全区間を占有することになる）
(障害物（歩行者・他ロボット等）による減速・停止・迂回、またエレベータによる上下移動時の待ち時間が予測できないため)

⇒「無人航空機（ドローン）と同様の航路登録およびそれに従った航路調停の仕組み」の適用は困難と推察

協調運行管理の仕組み（占有情報の共有、調停方法）

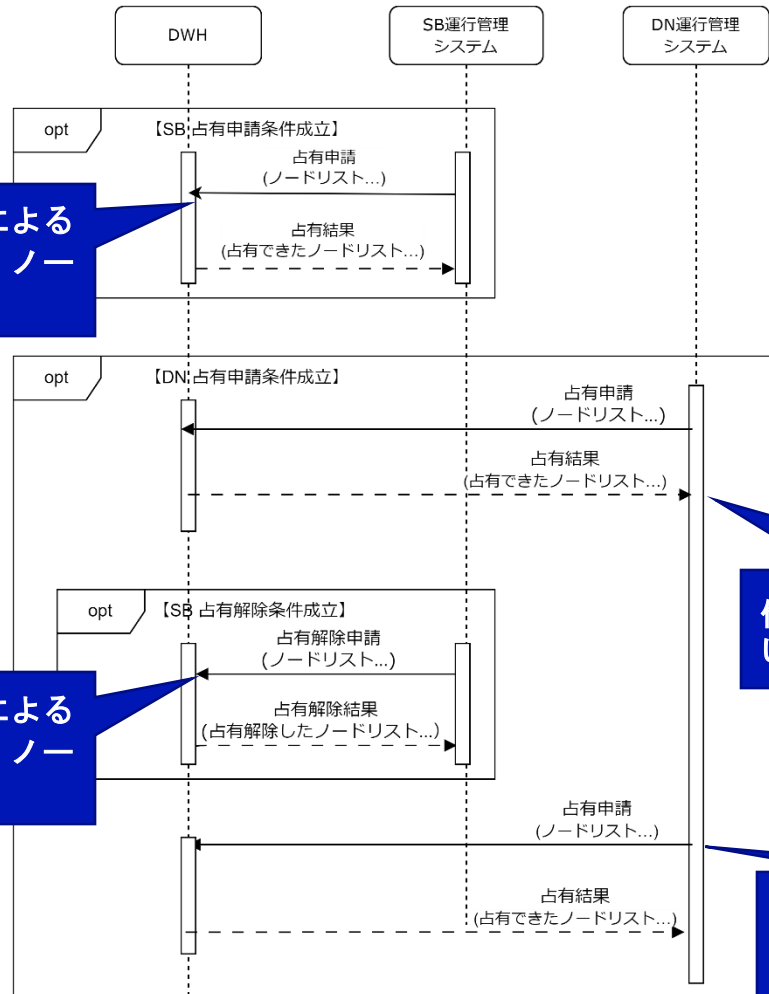
- ▶ 渋滞やお見合いが想定される狭い空間リソースの表現形式としては、ボクセル/ポリゴン/トポロジカル・グラフ形式等があるが、本実証では走行ルールの共有に用いたトポロジカル・グラフのノードを占有/解除する方法を試行
- ▶ トポロジカル・グラフのノード（右図■）の占有/解除（進入可否）状態を共有することで、出入口でのすれ違い、エレベータ前待機等を調停する
- ▶ 先にノードを占有したほうが進行し、占有できなかったほうは手前で待機する
- ▶ ロボット運行管理システム間の交渉ではなく、押しボタン式信号のボタンを押して他ロボットが通行するのを待つ



トポロジカル・グラフの例

協調運行管理の仕組み（占有情報の共有、調停方法）

RRI「運行管理機能インターフェース仕様書 Version 1.0」の「航空管制型調停」を参考に、管制が不要な「先勝ち方式」を検討する（押しボタン式信号のボタンを押して他ロボットの通行を待つ方式）



各社の運行管理システムによる占有申請条件が成立次第、ノードの占有を申請

各社の運行管理システムによる占有解除条件が成立次第、ノードの占有解除を申請

他社によってノードが占有されている場合は、DWHより空を返す

占有申請条件が成立しているが占有できないノードについては、各社の運行管理側より再び占有を申請

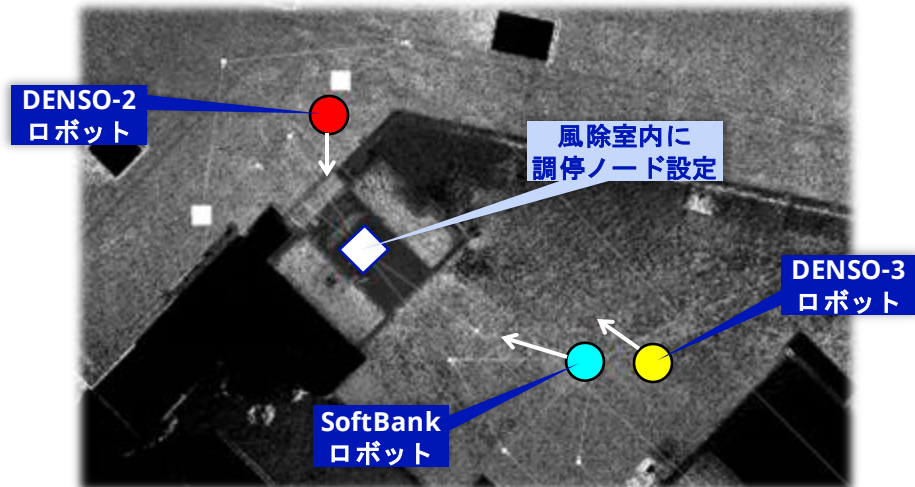
SB/DN間で共有した占有申請/解除条件

	条件
占有申請	調停ノード一つ手前のノードとの距離6m以内に接近※
占有解除	調停ノード一つ先のノードに到着/経由

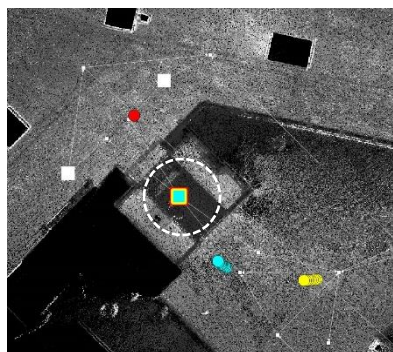
※調停ノードが占有できなかった場合に、余裕を持って一つ手前のノードで減速/停止できると定めた

協調運行管理の仕組み（占有情報の共有、調停方法）

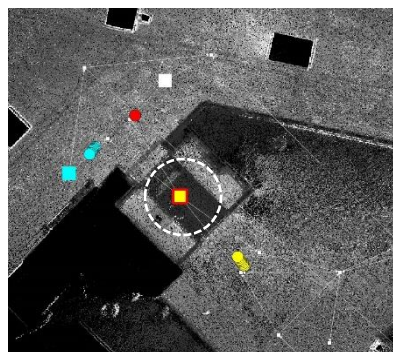
ゾーンK 2階北西の出入口でのすれ違い時の協調運行の事例を示す



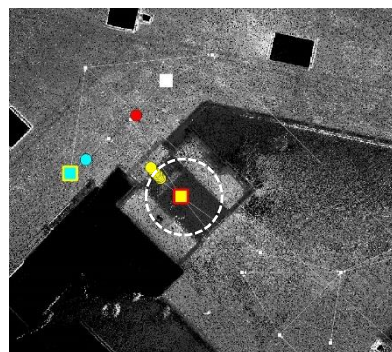
- : SoftBankロボット
- : DENSO-2ロボット
- : DENSO-3ロボット
- : SoftBankロボット占有ノード
- : DENSO-2ロボット占有ノード
- : DENSO-3ロボット占有ノード



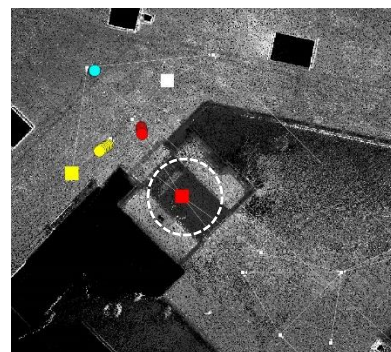
①ノードはSBロボットが占有しており、DN-2ロボットとDN-3ロボットが占有申請している。占有できるまでは手間のノードで待機



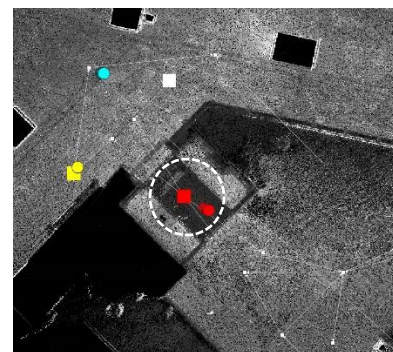
②SBロボットが通過して占有を解除した後、DN-3ロボットが占有し、DN-2ロボットは占有申請を継続



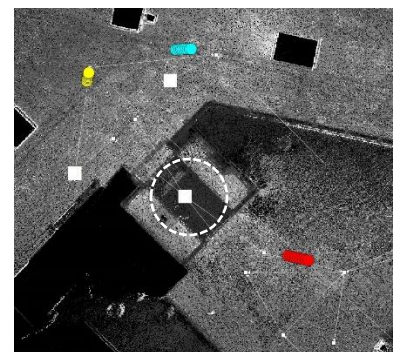
③DN-3ロボットがノードを通過



④DN-3ロボットが通過して占有を解除した後、DN-2ロボットが占有



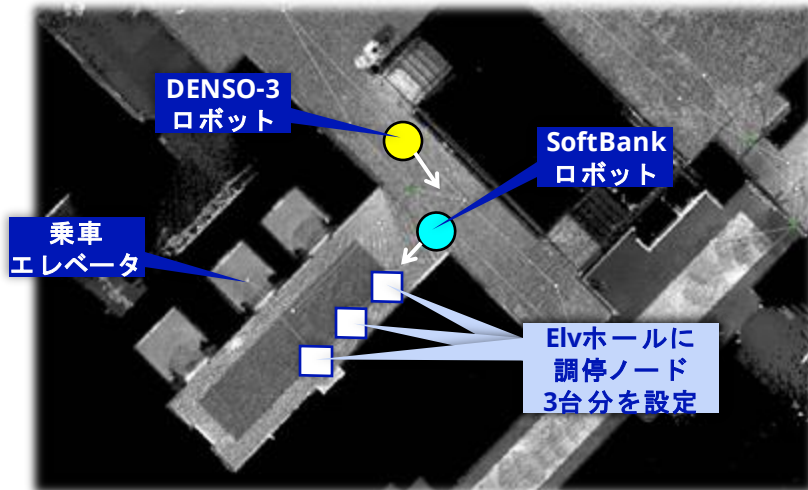
⑤DN-2ロボットがノードを通過



⑥DN-2ロボットが通過したのちに占有を解除

協調運行管理の仕組み（占有情報の共有、調停方法）

ゾーンK 2階エレベータホールでのエレベータ待機時の協調運行の事例を示す



- : SoftBankロボット
- : DENSO-3ロボット
- : SoftBankロボット占有ノード
- : DENSO-3ロボット占有ノード



①SBロボットが一番奥のノードまで占有して進行。この時点でDN-3ロボットは一番手前のノード占有を申請



②SBロボットが一番奥のノードまで進行し、一番手前のノード占有を解除。DN-3ロボットは一番手前のノードを占有し、2番目のノードの占有を申請



③SBロボットはエレベータ乗車を待機。DN-3ロボットは2番目のノードを占有して進行



④SBロボットがエレベータに乗車



⑤DN-3ロボットが一番奥のノードを占有して進行



⑥DN-3ロボットがエレベータに乗車し、ノードの占有を解除

ノード占有情報共有による調停の課題 (1 / 2)

3.6節のユースケースDの実証実験で出た課題を分析し、本実証実験の協調運行管理の仕組み（ノードの占有/解除でのすれ違い交通整理）の課題を考察する

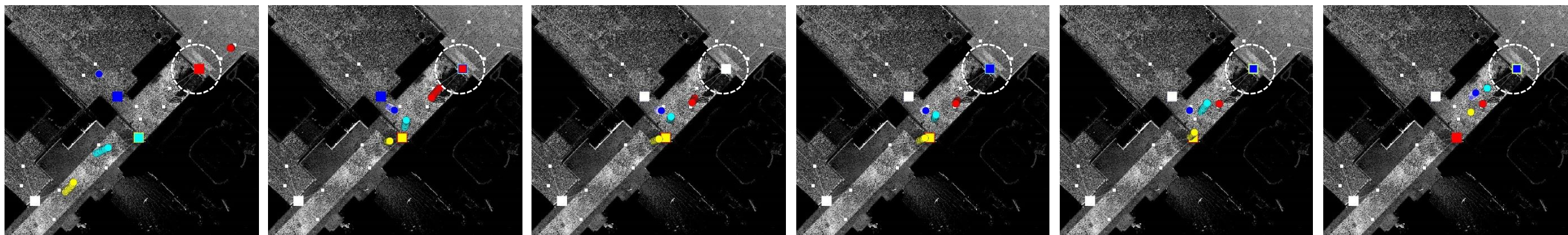
実機検証結果「課題@ユースケースD」
 分散協調運行の限界：
 風除室にてロボットが密集しスタックが発生



狭いエリアに複数方向からロボットが進入
 ⇒ 各ロボットが互いに走行を阻害し、ノードに到達できずにスタックが発生

DENSO-2ロボット（赤）が入場
 他の3台が退場するケース

- : SoftBankロボット
- : DENSO-1ロボット
- : DENSO-2ロボット
- : DENSO-3ロボット
- : SoftBankロボット占有ノード
- : DENSO-1ロボット占有ノード
- : DENSO-2ロボット占有ノード
- : DENSO-3ロボット占有ノード



①SB, DN-1, DN-3ロボットが風除室に向かう。出入口のノード（○印）はDN-2ロボットが入場のために占有

②SB, DN-1ロボットが風除室に進入し、出入口のノードの占有を申請（DN-2ロボットの解除待ち）

③DN-2ロボットが出入口のノードの占有を解除

④SB, DN-1ロボットが出入口のノード占有を申請するが、DN-1ロボットが先勝ちして占有

⑤SBロボットは占有申請を継続しつつ、出入口のノードの手前ノードに移動

⑥DN-1も出入口のノードに向かうが、他ロボットが密集して、出入口のノードに到達できず

ノード占有情報共有による調停の課題（2 / 2）

出入口のノードの占有/解除のログより、課題を考察する

time	device_id	status
2024-02-09 10:33:49.259	dn_robot_01	request occupation
2024-02-09 10:33:49.268	dn_robot_01	cannot occupy
2024-02-09 10:33:49.917	sb_cuboid_01	request occupation
2024-02-09 10:33:49.928	sb_cuboid_01	cannot occupy
2024-02-09 10:33:49.990	dn_robot_01	request occupation
2024-02-09 10:33:49.998	dn_robot_01	cannot occupy
2024-02-09 10:33:50.903	sb_cuboid_01	request occupation
2024-02-09 10:33:50.914	sb_cuboid_01	cannot occupy
2024-02-09 10:33:51.232	dn_robot_01	request occupation
2024-02-09 10:33:51.242	dn_robot_01	cannot occupy
2024-02-09 10:33:51.939	dn_robot_01	request occupation
2024-02-09 10:33:51.947	dn_robot_01	cannot occupy
2024-02-09 10:33:52.110	sb_cuboid_01	request occupation
2024-02-09 10:33:52.121	sb_cuboid_01	cannot occupy
2024-02-09 10:33:53.164	sb_cuboid_01	request occupation
2024-02-09 10:33:53.173	sb_cuboid_01	cannot occupy
2024-02-09 10:33:53.228	dn_robot_01	request occupation
2024-02-09 10:33:53.240	dn_robot_01	cannot occupy
2024-02-09 10:33:53.263	dn_robot_02	request release
2024-02-09 10:33:53.275	dn_robot_02	released successfully
2024-02-09 10:33:53.941	dn_robot_01	request occupation
2024-02-09 10:33:53.948	dn_robot_01	occupied successfully
2024-02-09 10:33:54.266	sb_cuboid_01	request occupation
2024-02-09 10:33:54.273	sb_cuboid_01	cannot occupy
2024-02-09 10:33:55.363	sb_cuboid_01	request occupation
2024-02-09 10:33:55.370	sb_cuboid_01	cannot occupy
2024-02-09 10:33:55.968	dn_robot_03	request occupation
2024-02-09 10:33:55.975	dn_robot_03	cannot occupy
2024-02-09 10:33:56.395	sb_cuboid_01	request occupation
2024-02-09 10:33:56.399	sb_cuboid_01	cannot occupy
2024-02-09 10:33:56.708	dn_robot_03	request occupation
2024-02-09 10:33:56.714	dn_robot_03	cannot occupy
2024-02-09 10:33:57.541	sb_cuboid_01	request occupation
2024-02-09 10:33:57.559	sb_cuboid_01	cannot occupy
2024-02-09 10:33:58.110	dn_robot_03	request occupation
2024-02-09 10:33:58.117	dn_robot_03	cannot occupy
2024-02-09 10:33:58.601	sb_cuboid_01	request occupation
2024-02-09 10:33:58.607	sb_cuboid_01	cannot occupy

出入口のノードはDN-2ロボットが入場のために占有しており、SBロボット、DN-1ロボットは占有を申請するも、占有できない状態（前頁②の状態）

DN-2ロボットが占有を解除（前頁③の状態）

SBロボットとDN-1ロボットが占有を申請したが、DN-1ロボットが先勝ちして占有（前頁④の状態）

SBロボットは、DN-1ロボットが占有を解除するまで、占有申請を継続（前頁⑤の状態）

DN-1ロボットは、出入口のノードに到達できないため、占有を解除できない状態が継続（前頁⑥の状態）

課題 1 :

占有申請条件を満足する領域に複数ロボットが存在する場合、複数ロボットが同時に占有を申請できるが、占有できるのは申請のタイミングによる。

対応案 :

複数台のロボットからの占有リクエストをキューイングしてFIFOで占有させる方法が考えられる。

課題 2 :

ノードを占有したロボットがノードに到達・通過しないと、占有を解除しないため、ノード手前の障害物（他ロボットや通行人）でスタックした場合、ノードを占有した状態が継続することとなり、他ロボットも進めない状態となる。

対応案 1 :

出入口の風除室等の狭い場所における、占有調停ノードの配置に際しては、手前で占有解除を待つロボットが停滞しても、走行に支障がないスペースが確保できるかを考慮する。

対応案 2 :

風除室のような狭い場所に進入するロボットの台数を制限する（トポロジカル・グラフのエッジに進入可能台数を設定する等）。

ノード占有情報共有による調停の限界

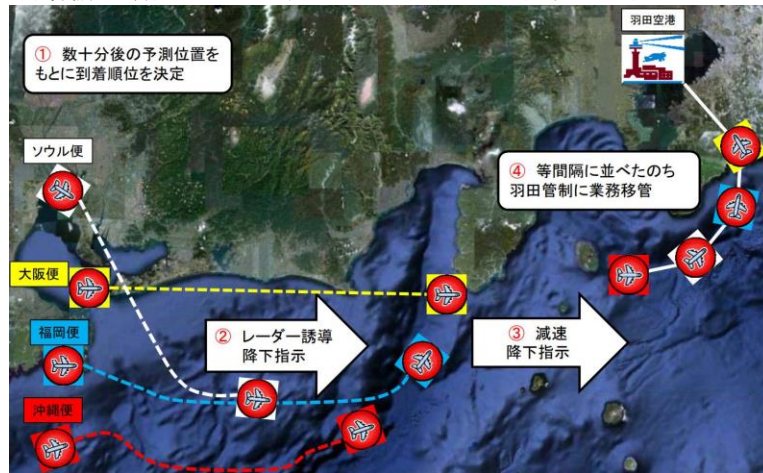
仮説：「先がつまっていたら待機」とすると、待機場所が団子状態になってしまう。つまりそのような領域の手前で速度を制限し、等間隔に並べるような管制（集中管理）が必要と考えられる

航空交通においても、空港周辺において着陸機が集中/混雑して空中での旋回待機が発生するため、航空交通流管理（ATFM：Air Traffic Flow Management）という管理が行われている。

「航空交通流管理：交通状況や気象状況に応じた円滑な交通の流れを形成するために、航空機が飛行計画において使用する経路（通過地点や航空路の組み合わせ）に関して、航空機運航者や管制機関と調整を行うほか、管制空域や空港の処理能力（処理容量）を超える交通の集中が予測される場合には、問題となる空域や空港への交通の流れを制御すること（交通流制御）によって、管制官の過負荷の発生を防止して安全を確保するとともに、混雑による空中待機など非効率な運航の発生を抑制します。交通流制御は、主に混雑が予測される空域や空港へ向かう航空機の出発時間や飛行中の通過予定地点における通過時間などを制限或いは調節することにより行います。」

出所：「航空交通の総合的な管理に向けて（ATMセンターの設立）」、港湾空港総合技術センター
<https://www.scopenet.or.jp/main/products/scopenet/vol37/ss/ss2.html#:~:text=%EF%BC%88%EF%BC%92%EF%BC%89%E8%88%AA%E7%A9%BA%E4%BA%A4%E9%80%9A%E6%B5%81%E7%AE%A1%E7%90%86.%E3%81%AE%E6%B5%81%E3%82%8C%E3%82%92%E5%88%B6%E5%BE%A1%E3%81%99%E3%82%8B>（2024年3月11日アクセス）

到着機の順位付け・整流イメージ（羽田空港行きの例）



出所：「航空管制業務について」、国交省
<https://www.mlit.go.jp/common/000164767.pdf>（2024年3月11日アクセス）

考察：

エリアによって台数制限する対策については前述したが、制限を超えた台数のロボットを運用する場合は、出入口の狭小エリアやエレベータホールでの待機により渋滞が想定されるため、渋滞を成長させないように、渋滞領域以外のロボットも含めた全体の交通流を制限する必要があると思われる。

そのためには、運用されている全ロボットの経路・位置・速度を把握したうえで、経路変更や速度制御（出発前であれば出発時刻変更）等の手法を用いて容量超過を防ぎ、適切な交通流を形成する必要があり、集中管制が必要と思われる。

分散協調制御に関する課題・考察

本実証で適用した分散協調運行の概要及び課題と考察のサマリを示す

項目	概要	課題	考察
ノード占有／解除フロー	<ul style="list-style-type: none"> 本実証ではデータ共有・管理層側での調停が不要な先勝ち方式を試行 調停ノードへの接近時（本実証での条件「調停ノードの1つ手前のノードとの距離が所定以内に接近」）にノード占有を申請 占有したロボットのみノードを通行可。先に占有されていた場合、他ロボットの占有が解除されるまで手前で待機 調停ノード通過後に、占有解除条件が成立次第（本実証での条件「調停ノード一つ先のノードに到着/経由」）、ノードの占有解除を申請 	<ul style="list-style-type: none"> 本実証の事前確認段階でノード占有申請／解除条件を複数ベンダー間で合わせずに実施した場合、ノード占有条件が異なるため、後方車の追越しが発生 経路占有の先勝ち方式について、複数台のロボットからの占有リクエストをFIFOで出し入れするキューイングに対応していないため、リクエストタイミングによっては、後方車の追越しが発生 	<ul style="list-style-type: none"> 複数ベンダーのロボット間で適切に経路調停を行なうためには、ノード占有タイミング等のルールを合わせておく必要がある 課題に対しては、台数制限した上で、キューイング対応する等が考えられる ノード占有／解除の判定は様々な方式が考えられるが、責任分界や監視等の観点も考慮して決定する必要がある
走行ルール（トポロジカル・グラフ）の粒度	<ul style="list-style-type: none"> 本実証では最小限のルールを設定したものを複数ベンダーで共有（付与したルールは「双方向／一方向」のみ） 出入口やエレベータ待機場所等の複数台通行で課題となる場所を調停ノードと設定 	<ul style="list-style-type: none"> ロボット台数が増加すると、円滑に運行するためにトポロジカル・グラフのノード・エッジの設定が複雑化 	<ul style="list-style-type: none"> 走行ルールの追加（左寄り通行等）によりトポロジカル・グラフの複雑化を抑えることは可能と考えられる（ロボット側仕様の高高度化とトレードオフ） 中期的調停のみではロボット台数が増加すると破綻してしまうため、複数のロボット運行管理システム間で運行前ルート計画時の長期的調停も必要と考えられる
建物出入口	<ul style="list-style-type: none"> 地図乗換を考慮して、建物出入口には退出側と入場側を分けて調停ノードを設置 	<ul style="list-style-type: none"> 建物出入口にある風除室では、狭いエリアに複数方向からロボットが進入⇒各ロボットが互いに走行を阻害し、ノードに到達できずにスタックが発生 	<ul style="list-style-type: none"> 課題に対しては、エリア（例 ゾーンK 1F）毎に台数制限を設けて対処することが有効と思われる 局所的に密度が高くなるエリアにおける集中制御の要否の検討が必要（次項を参照）
エレベータ	<ul style="list-style-type: none"> エレベータ呼出し待機位置及び手前の待機位置を設けて、全てトポロジカル・グラフの調停ノードとして設定 エレベータ内にノードを設けて、エレベータ呼出し待機位置の占有を解除 	<ul style="list-style-type: none"> 本実証で運行した最大ロボット台数（4台）では問題なく運行することができた。但し、同じ空間にそれ以上の多数のロボットが密集する場合、待機場所が団子状態になり、歩行者や他のロボットの通行の妨げになってしまふことが考えられる 	<ul style="list-style-type: none"> 台数制限や局所的に密度が高くなるエリアにおける集中制御の要否の検討が必要（次項を参照）
建物間移動	<ul style="list-style-type: none"> 本実証では、建物外はトポロジカル・グラフの管理外としているため、単純に建物の出入口ノード同士を接続 	<ul style="list-style-type: none"> オープンエリアにおいても、狭いエリアではロボットが密集し、周辺歩行者の通行の妨げや、ロボットのスタックが発生する可能性がある 	<ul style="list-style-type: none"> 私道・公道（オープンスペース）においてもルール/占有状態の共有が必要と思われる

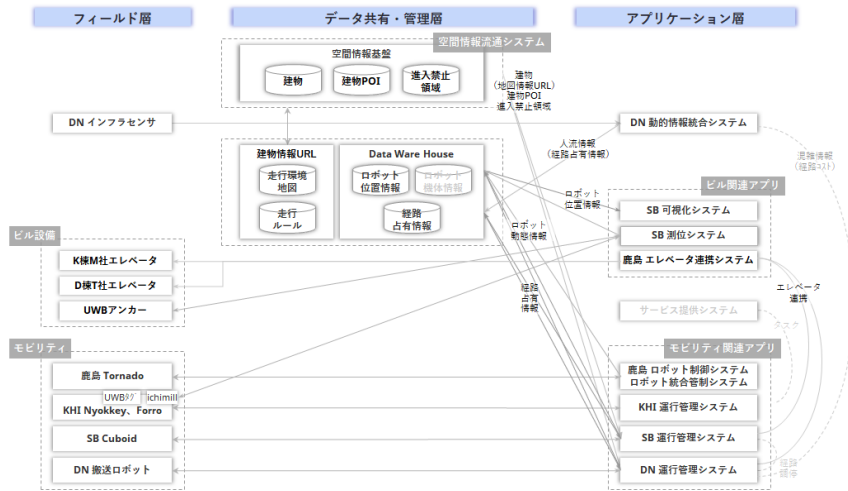
複数モビリティの運行における「監視」のあり方

次頁以降で述べる「監視」のあり方、監視機能を実現するための手法についてサマリ・考察を示す

実施項目	狙い	課題	考察
ユースケースにおける、各社運行管理システムの自助による稼働中ロボットの監視に加えて、インフラセンサや人間による監視の可能性を机上で考察	<ul style="list-style-type: none"> インフラセンサなど施設側の支援が受けられる際には運行管理側の負担が軽減される 	<ul style="list-style-type: none"> 公道走行から施設内への移行タイミング 遠隔操作装置・遠隔監視装置との連携については検討不十分 	<ul style="list-style-type: none"> 公道と施設内では法律上含めて求められる監視のレベルが異なるため、移行タイミングは重要 公道走行前提の運行システムと施設側システムとの連携は今後業界としても議論が必要
ユースケースにおける、単一サービスを複数事業者で実行している場合の、ロボット稼働状態の相互確認等、協調運行している場合の稼働状況共有の方法を机上で考察	<ul style="list-style-type: none"> サービス事業者が複数事業者のモビリティの現在位置、状況などを取得するための要件を考察 	<ul style="list-style-type: none"> モビリティのタスク情報内にサービス事業者の情報が必要 利用者ごとに適切なアクセス権限・フィルタ設定が必要 	<ul style="list-style-type: none"> 施設内での詳細な位置や状況把握には施設の支援が必要で、サービス事業者も施設側のシステムを介して取得する形はありうる 適切なデータ設計と権限の設定が必要
災害/事故等の有事に安全位置での停止や避難ルートの障害場所からの回避移動制御方法を机上で考察する。また、自助監視から集中監視切替のタイミングについても机上で考察	<ul style="list-style-type: none"> 災害時のロボットのふるまいとそれを可能にする施設・システム側の要件を考察 	<ul style="list-style-type: none"> 施設側には災害発報、モビリティ側には災害時のミニマルリスクマニューバ（MRM）が必要 施設側が災害時のルール設定する必要があり、負担が増大 	<ul style="list-style-type: none"> 災害時にはMRMを介したミニマルリスクコンディション（MRC）への移行が基本 防火扉など停止できない場所のルール化・マップ化が必要 運行事業者からのコントロールが失われた場合には集中に移行か

複数モビリティの運行における「監視」のあり方

監視機能を実現するための手法



実機検証環境の全体概要 (再掲)



遠隔操作型小型車の遠隔操作システムの操作画面イメージ

出所：第7回 自動走行ロボットを活用した配送の実現に向けた官民協議会

資料7 ロボット搬送ソリューション取組紹介 (パナソニックホールディングス株式会社)

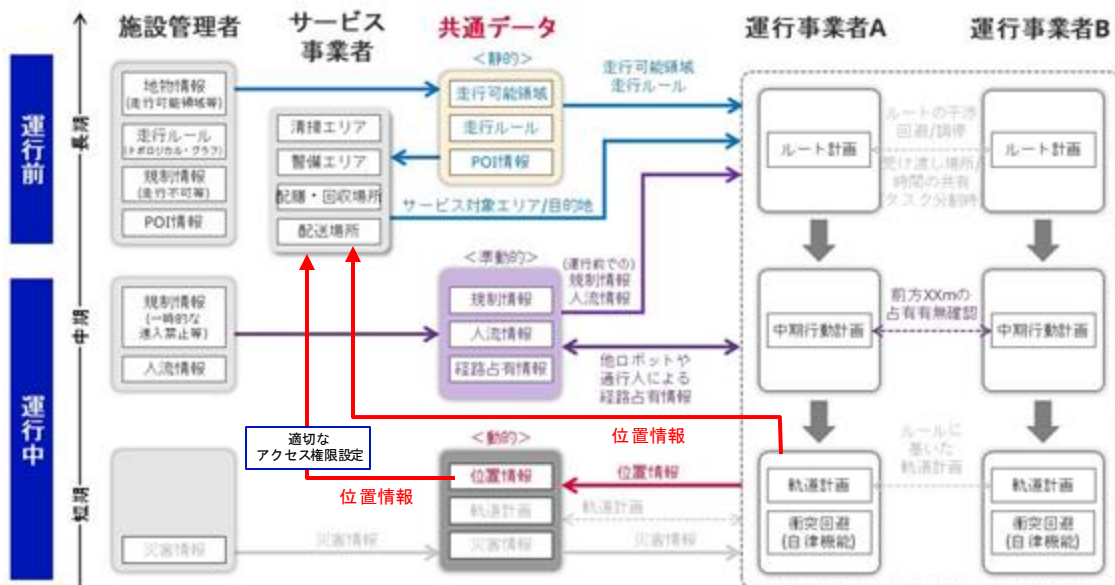
https://www.meti.go.jp/shingikai/mono_info_service/jidosoko_robot/pdf/007_07_00.pdf

(2024年3月1日アクセス)

- 今回の実証においては、ビルOS機能のうち「データ管理モジュール」相当のDataWare House (DWH) に複数社のモビリティから位置情報を集約し、可視化および分散協調のために利用した
- 施設管理上の必要から、施設管理者側がこの様な集約された情報を用いてモビリティを監視し、管理上の必要に応じて停止・移動させるといった対応を行うことには、運行事業者にも自助監視の負担軽減となり、メリット
- この際すべて有人での監視は負担が過大であるため、インフラセンサの利用や、エレベータなどの設備連携時のエラーなど必要な際にのみ人間の監視・支援を受けるような、自動化された手法が必要
- モビリティが公道から施設内に進入する場合、監視モードを切り替えるにあたっては、私有地内の結節点 (屋内外のマップを切り替える箇所) に到達し、ビルOSと接続した時点が移行のタイミングとなりうる
- 公道を走行するモビリティは左に示すような自助での遠隔操作装置・遠隔監視装置を備えており、これが施設内での監視・設備と連携する方法の標準化については今後業界団体等での議論も必要

複数モビリティの運行における「監視」のあり方

監視情報の共有・連携



運行前から運行中にかけての具体的なシナリオ（再掲）と
 その中でのサービス事業者への監視（位置）情報の共有ルート

- 単一サービス事業者と複数のモビリティ事業者の組み合わせの場合、サービス事業者は顧客に対して自サービスを提供中の各モビリティの現在位置、状況などを通知したい場合がある
- 施設外では各運行事業者が独自の監視システムから状況を提供し、サービス側で集約することになるが、施設内ではGPSなど屋外向けの自己位置測定手法が利用できず、モビリティ運行事業者が個々の施設内の地図等を管理することも負担がある一方、施設側システムではインフラセンサ等の追加支援も利用してモビリティの監視・状況把握を行う事が可能
- 従って、施設に進入後のモビリティ稼働状態については、施設側・ビルOSが最も多くの情報を持つため、サービス事業者がビルOSから運行事業者をまたいで自社サービスを提供中のモビリティの情報を取得する形もありうる
 - 施設内に閉じたサービス・運行事業者の場合には移動全行程にわたって施設側・ビルOS機能を利用する形もありうる
- このような外部連携の場合、分散協調運行NW・ビルOS上での各モビリティ情報には以下の項目と、取得可能な範囲の適切な権限設定が必要と思われる
 - 運行事業者
 - 提供中のサービス事業者・あるいは空車（待機中）のステータス

複数モビリティの運行における「監視」のあり方

集中（共助）監視が必要となるケース

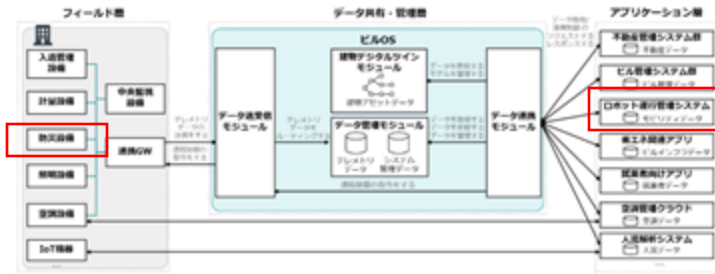


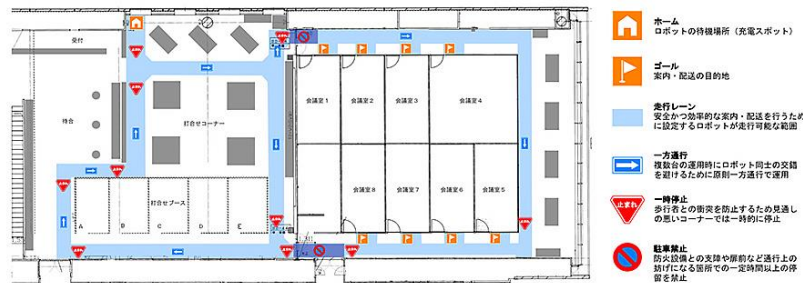
図2 スマートビルのシステム構成図

出所：スマートビルシステムアーキテクチャガイドライン 2023年5月31日 第1版
 独立行政法人情報処理推進機構 デジタルアーキテクチャ・デザインセンター、
https://www.ipa.go.jp/digital/architecture/individual-link/ps6vr70000016bq2-att/smartbuilding_system-architecture_guideline.pdf (2024年3月1日アクセス)

6.2 災害時のロボットのふるまい

- a) 災害時は人の避難を最優先とし、扉の通過は先着順ではなく人を優先させる。
- b) ロボットが人の避難を妨げないよう災害時の動作を施設管理者、または施設管理者からロボットの運用管理の委託を受けたものとロボットシステム供給者の間で予め決めておく必要がある

RFA ロボット・セキュリティ連携ガイドライン RFA GL B 0101:2023 より引用



駐車禁止エリア設定の事例

出所：「ロボットフレンドリービルディングに向けた実証実験
 ～ビルをロボット活用に最適な環境へ～」、日立建設

https://www.nikken.co.jp/ja/news/news/2021_07_30.html (2024年3月1日アクセス)

- 災害/事故等の有事に安全位置での停止や避難ルートの障害場所からの回避移動制御を行うには、前提として、災害/事故の発報をモビリティに伝達する機能が施設側に必要（スマートビルのシステム構成において、防災設備が連携されており、有事の発報がモビリティに対して配信されていること）
 - RFAにおいてもセキュリティ連携TC・群管理TCなどで災害時の情報配信およびロボットのふるまいについて検討されている
- 運用者の責任で監視されている各モビリティが、施設に登録している状況でその施設から発報を受けた場合には有事モードに移行する形になると考えられる
- 有事においては各モビリティがMRC（ミニマルリスクコンディション）に移行するための、MRM（ミニマルリスクマヌーバ）を取る事が基本となる
 - MRCおよびMRMはモビリティの性質・環境によって異なり、例えば施設内で小型・軽量のモビリティであれば、停止した上で避難する利用者や施設管理者が押して動かせる状態になる事がMRCであろうし、重量のあるモビリティが斜面を走行している場合においては、決められた平坦な場所まで移動することがMRMとなりうる。
- 施設管理者には、運行事業者と協議の上で、人に対する避難計画と類似したモビリティのMRC・MRMを策定し、走行ルールと同様に提供する必要がある、モビリティ開発側にはモビリティの重量・性能などに応じて求められるMRC（非常停止時に駆動輪フリーのモードを持つなど）およびMRMを実装する必要が出てくると思われる
 - 一般的に狭隘部が多い調停ノードからはMRMで退避させる（発報時に調停ノードにいた場合は走り切って占有を解除）
 - 防火扉や出入口前での駐車禁止（通常ノード、調停ノード、駐車禁止ノード/エリアの様な概念が必要と思われる）を設定する など
- 基本的には施設と連携して運行事業者が対応だが、運行事業者からのコントロールが失われた場合には施設側での集中監視に移行することも考えられる

複数モビリティの運行における「監視」のあり方

レスキューの役責の所在：機体のレスキューを、集中（共助）で行うか、分散（各運行管理会社による自助）で行うか机上で考察する

これまでの考察の通り、サーボロボット運行時の監視は運行事業者が責任を負うことから、故障時のレスキュー対応については運行事業者が責任を持つのが妥当と思われる（各運行管理会社による自助）。将来的なオペレーションとしては自動車のロードサービスの保険とセットで専門のレスキュー事業者が対応する形になることも考えられる。

公道を走行する「遠隔操作型小型車」の場合は、道路交通法にて下記のように決められていることを参考にすると、施設内においてレスキュー対応到着前で急を要する場合は、施設管理者（実際には警備員等が想定される）が警察官相当の役目を担い、サービスロボットを停止させ、手押しで移動させることを可能とする必要があると思われる。

その場合は、施設管理者と運行事業者の間で、どういう事象にて停止・移動させるのかを取り決めておくとともに、停止・移動後の連絡手段をあらかじめ設定し（ロボットに連絡先を記載等）、移動後に速やかに運行事業者が回収・再起動/復帰などの現地対応をすることが望まれる。

出所：道路交通法（昭和三十五年法律第五号）、2023年7月1日施行
<https://elaws.e-gov.go.jp/document?lawid=335AC0000000105>（2024年3月1日アクセス）

（歩行者と遠隔操作型小型車との関係）

第十四条の二 遠隔操作型小型車は、遠隔操作により道路を通行する場合において、歩行者の通行を妨げることとなるときは、当該歩行者に進路を譲らなければならない。

（遠隔操作型小型車の遠隔操作を行う者の義務）

第十四条の三 遠隔操作型小型車（道路を通行しているものに限る。）の遠隔操作を行う者は、当該遠隔操作型小型車について遠隔操作のための装置を確実に操作し、かつ、道路、交通及び当該遠隔操作型小型車の状況に応じ、他人に危害を及ぼさないような速度と方法で通行させなければならない。

（通行方法の指示）

第十五条 警察官等は、第十条第一項若しくは第二項、第十二条若しくは第十三条の規定に違反して道路を通行している歩行者又はこれらの規定若しくは第十四条の二若しくは第十四条の三の規定に違反して道路を通行している遠隔操作型小型車の遠隔操作を行う者に対し、当該各条に規定する通行方法によるべきことを指示することができる。

（罰則 第二百一十一条第一項第七号）

（遠隔操作型小型車に対する危険防止等の措置）

第十五条の二 警察官等は、遠隔操作により道路を通行している遠隔操作型小型車が著しく道路における交通の危険を生じさせ、又は交通の妨害となるおそれがあり、かつ、急を要すると認めるときは、道路における交通の危険を防止し、又は交通の妨害を排除するため必要な限度において、当該遠隔操作型小型車を停止させ、又は移動させることができる。

外付け機器による監視機能提供に関する考察

運行管理システム（監視機能）をもたない、または連携ができないロボット対応として、ドローンで用いられるリモートIDを参考に考察を行う

- ・ドローン用の手段と比較するにあたり、ロボットの特性として屋内移動する際の位置測位手段が必要な点に留意

<p>リモートIDの概要</p> <p>ドローンで搭載が義務付けられる(2022/6以降)、登録番号、自己位置などを発信するデバイスあるいはその仕組み</p> <p>送信情報：登録番号、製造番号、位置情報、時刻、認証情報 送信方法：1秒に1回の間隔で機体周辺に対して無線(Bluetooth 5.X, Wifi Aware, Wifi Beacon)を使用して情報を発信</p>	<p>本実証での実現手段</p>	<p>屋外測位デバイス、屋内測位デバイスを組み合わせて利用</p> <p>屋外測位：ichimill（GNSS信号及びその補正信号を活用した高精度位置測位） 屋内測位：UWBを用いた位置測位（Ultra Wide Band周波数帯を利用した高精度測位）</p> <p>上記の屋外/屋内測位結果データをデータ統合システムにて処理の上、ロボット管理ミドルウェアへ送信することで運行管理システム（監視機能）を持たないロボット位置の可視化を行った</p>
<p>ビルOS</p> <p>データ管理モジュール</p> <p>データ連携モジュール</p> <p>監視</p> <p>外付け機器 (位置通知のみ)</p> <p>直接連携</p> <p>単体連携不可</p>	<p>考察観点①</p> <p>送信情報</p>	<p>ロボットの位置情報及び時刻のみ送信する形となったが、他の位置情報共有が可能なロボットと同じシステム上で現在位置を確認できることにより、本実証における監視のための最低限の情報共有としては機能したと考える。</p> <p>将来、ドローンと同様に登録/認証制度が整備され、機体認証や製造番号の送信が必要になった場合には専用デバイス化も含めた検討が必要と考えるが、その際には形状や取り付け位置への一定の配慮などを含めた検討とすべきである。</p>
<p>本実証における試行イメージ</p>	<p>考察観点②</p> <p>送信方法</p>	<p>リモートIDがデバイス本体から直接情報発信することに比べ、本実証の仕組みでは屋外/屋内システムから直接ロボット管理ミドルウェアへのデータ送信を行う。</p> <p>そのため、ロボット位置情報の共有は関係者に閉じるが、監視には管理者がロボット位置を確認することで足りるため、目的を果たすには十分であったと考える。</p> <p>より広い範囲（第三者への通知等）に共有が必要となる際には、そのための仕組みや送信ルールについて標準化を含む議論、検討のうえ策定されることが望ましい。</p>

調停結果あるいは通行ルールに対する準拠の監視方法について

協調運行において、多様なステークホルダーの多様な監視の在り方を要求される。
これに向けて、より多種の情報の共通化/フォーマット化が望ましいと考えられる。

取得データ	データ概要	実装	実現可能な監視	ステークホルダー(アラート先)
位置情報	緯度経度及び高度	○	立ち入り禁止エリアへの入退場監視	建物管理者、ロボット監視業務委託者
			制限速度遵守監視	建物管理者、ロボット監視業務委託者
			不審挙動監視	建物管理者、ロボット監視業務委託者
姿勢/方位情報	本実証ではデータは四元数をフォーマットとしているが、原則方位(真東0)で送信	○	転倒等姿勢異常監視	ロボット監視業務委託者、ロボットベンダ
機体ステータス	停止中、稼働中、測位不可、充電中等のステータス情報(本実証では共通化不可)	△	機体状態異常監視	
占有情報	ノードを占有しているロボットのID一覧	○	不要な占有(占有ルールの準拠、長時間の占有)監視	建物管理者
タスク情報	[想定]遂行中のタスクの内容、優先度、進行度等の情報	×	ロボットROI管理/監視 (単位時間あたりのタスク遂行数)	ロボット導入事業者
			マルチドメイン: ロボットがどのサービス事業者 に利用されているか	ロボット導入事業者 サービス事業者
			マルチパーパス: 複数タスクを遂行可能なロボッ トにおいて、どのタスクを実行しているか	ロボット導入事業者 サービス事業者
センサー情報	[想定]CO2濃度や温度など、ロボットに搭載されたインフラセンサの情報	×	-	建物管理者
映像情報	[想定]カメラを搭載したロボットの映像情報	×	映像によるドライブレコーダー的監視	建物警備事業者

4. 検証結果詳細

4.1 分散協調制御でのアーキテクチャ仮説

4.2 運行管理に必要な共通データ

4.3 複数モビリティの運行管理・制御

4.4 インフラ基盤（設備・通信・充電ほか）

- ロボットの設備利用時に必要な設備連携
- インフラ基盤のハード・ソフト仕様
（駐機場・充電場／通信基盤／ロボット専用通路／センサー・IoTインフラ）

4.5 分散協調におけるサービス連携

分散協調制御におけるビルOS・ビルアプリ・ビルシステムの定義と役割・機能

各システムの定義

ビルOS	<ul style="list-style-type: none"> ビル設備や建物情報などに関する「ビルデータ」を提供するためのインタフェースを提供する
ビルアプリ	<ul style="list-style-type: none"> ビルOSのインタフェースを利用したアプリケーション 場の管理者が提供することもあれば、外部ベンダーが提供することも可能である
ビルシステム	<ul style="list-style-type: none"> ビル設備、ビルOS、ビルアプリを包含したものの総称

ビルシステムの役割・機能※

※自律移動モビリティの分散協調制御においてビルシステムが担う主な役割・機能

データ提供	<ul style="list-style-type: none"> 建物情報などの静的情報や通行止めエリア情報（運行ルート情報）などモビリティの運行に必要なビルデータの提供を行うデータの提供を行う
ビルシステムの制御	<ul style="list-style-type: none"> 場の管理者が認証したロボット運行業者に対してエレベータ利用や自動扉等のビル設備制御用APIを提供する（一般の侵入が不可能なエリアへの一時的な通行許可を行う）
建物管理者へのインシデント通知	<ul style="list-style-type: none"> ロボットが異常停止するなどのインシデント発生時に建物管理者へ通知を行う

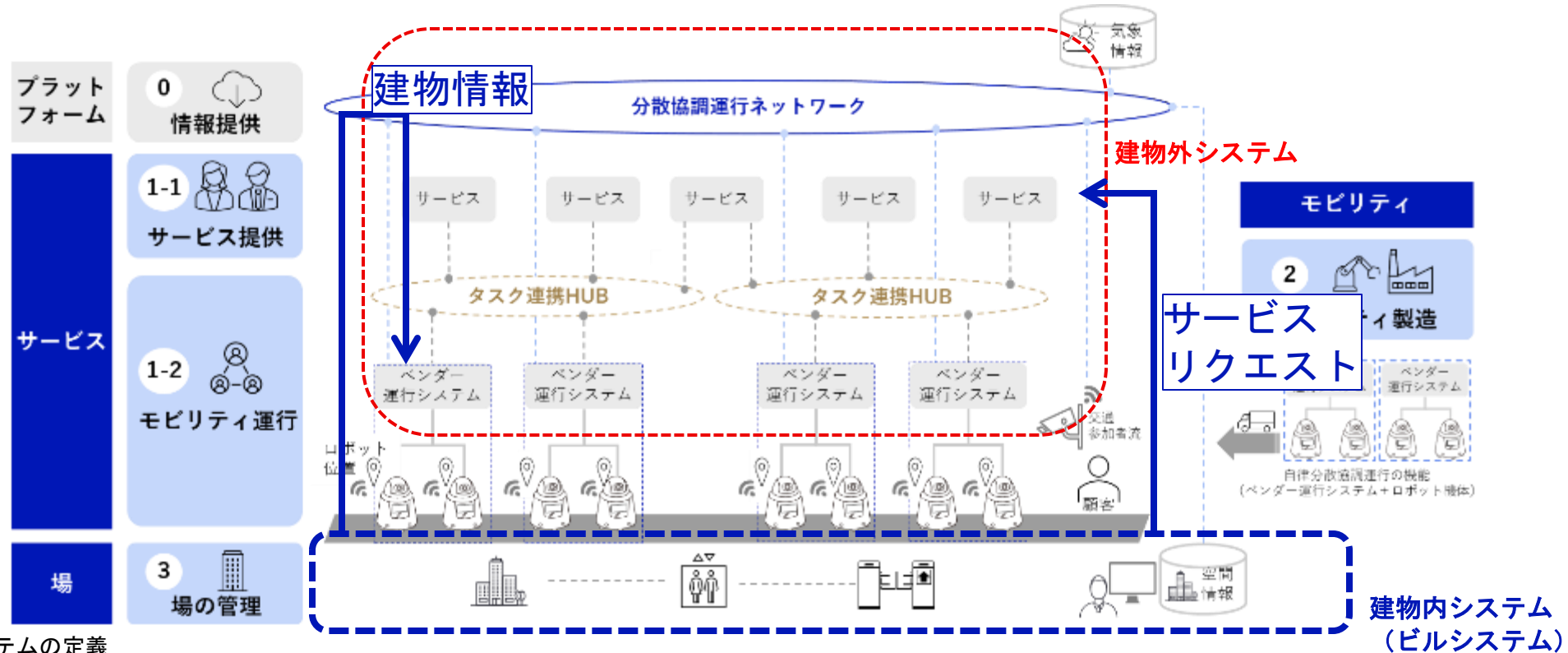
ビルデータと建物外システムとの連携方法（1 / 2）

ビルシステムが建物外システム※と共有する情報の種別、並びに情報の連携方法について検討する

ビルシステム⇄建物外システム間にてやり取りされる情報の種類

- ・ 建物状況に基づくサービスリクエスト（清掃、配送など）
- ・ 建物の経路データ、センサーから取得された人口密度、人流

これらデータは分散協調アーキテクチャにおいては、ビルシステムから分散協調運行NWを介して、或いはサービスに直接アクセスすることで共有を行うこととなる



※建物外システムの定義

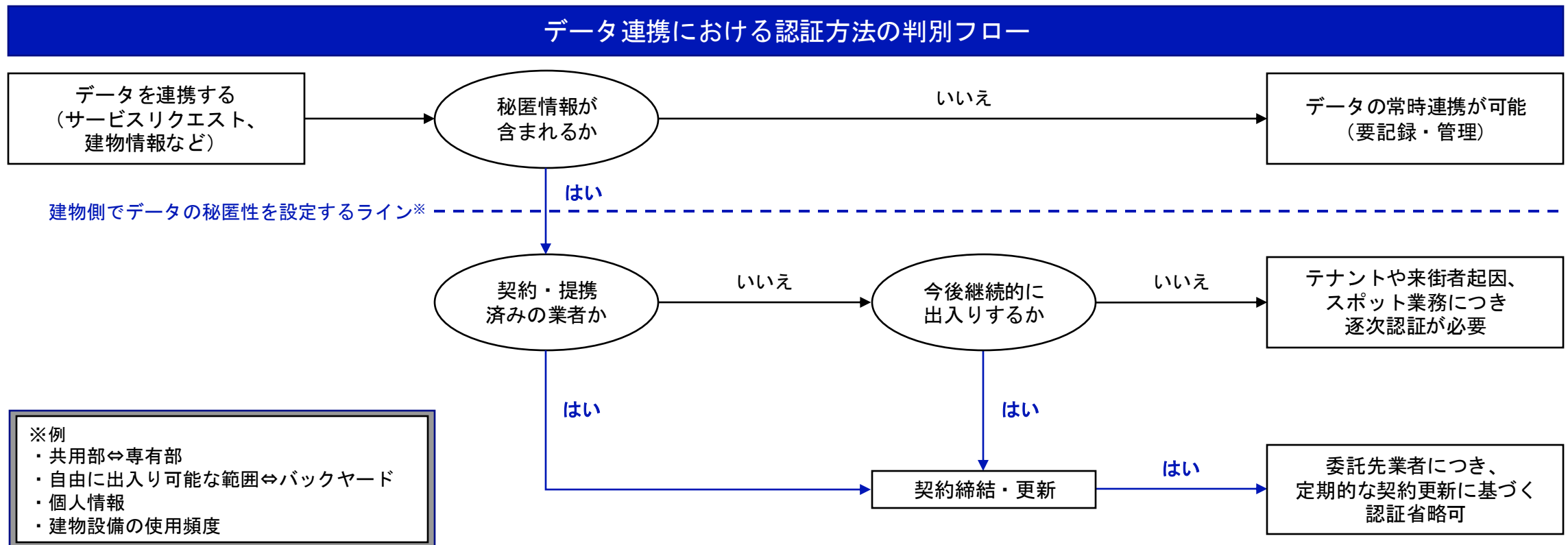
建物・ビルデータとして収集する情報或いはビル側で整備したシステム以外のもの
敷地外から入ってくる配送・配達ロボット、スポットの清掃業務を行うロボットなど

ビルデータと建物外システムとの連携方法（2 / 2）

提供するビルデータの機密性及び事業関係の実態を踏まえ、場の管理者と建物外システムベンダー間での認証要否が異なり、その基準を検討した

ビルシステム⇄建物外システム間にてやり取りされる情報の種類（再掲）

- ・ 建物状況に基づくサービスリクエスト（清掃、配送など）
- ・ 建物の経路データ、センサーから取得された人口密度、人流



ビルシステムとのネットワーク通信方式の種別（1 / 2）

ビルシステムと建物外システムの間での利用が想定されるネットワーク通信方式の候補について調査を行った

ビルシステムのインターフェースが提供するネットワーク通信方式として、以下の4つの方式が考えられる。

<pre> graph TD Client[Client] -- Request --> Server[Server] Server -- Response --> Client </pre>	<p>リクエスト/レスポンス (Req/Res) 方式 (あるいは「リクエスト/リプライ (Req/Rep) 方式」とも呼ばれる)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ クライアントがサーバーに要求（リクエスト）を送信し、サーバーがそれに対応（レスポンス）する通信パターン ➤ クライアントとサーバーの対一通信に適している ➤ Webアプリケーションで広く採用されているHTTPプロトコルを用いたREST APIが代表例
<pre> graph TD Pusher[Pusher] -- Message --> Puller1[Puller] Pusher -- Message --> Puller2[Puller] Pusher -- Message --> Puller3[Puller] </pre>	<p>プッシュ/プル (Push/Pull) 方式</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 一方のノード（Pusher）がデータをもう一方のノード（Puller）へ送信する ➤ 非同期的な情報の配信に適している ➤ WebSocketが代表例
<pre> graph TD Publisher[Publisher] -- Message --> Broker((Broker)) Broker --> Subscriber1[Subscriber] Broker --> Subscriber2[Subscriber] Broker --> Subscriber3[Subscriber] </pre> <p style="text-align: right; font-size: small;">ブローカー型を記載</p>	<p>パブリッシュ/サブスクライブ (Pub/Sub) 方式</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 発行者（パブリッシャー）がメッセージを発行し、購読者（サブスクライバー）がそれを受け取る ➤ ブローカーを配置する一極集中型のアーキテクチャと、ブローカーレスで分散型のアーキテクチャがある ➤ ブローカー型ではMQTT、ブローカーレス型としてはROS2 (Robot Operating System 2) でも採用されているDDS (Data Distribution Service) が代表例
<pre> graph TD Surveyor[Surveyor] -- Request --> Respondent1[Respondent] Surveyor -- Request --> Respondent2[Respondent] Surveyor -- Request --> Respondent3[Respondent] Respondent1 -- Response --> Surveyor Respondent2 -- Response --> Surveyor Respondent3 -- Response --> Surveyor </pre>	<p>サーベイ (Survey) 方式</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 一つのノード (Surveyor) が多数のノード (Respondents) に対してリクエストをブロードキャストし、それらから応答を集約する ➤ 複数デバイスの情報収集や状態監視、集合的意思決定に利用される ➤ Survey方式を実装した技術はNanomsgやNNG (Nanomsg Next Generation) があるが、Pub/Sub方式とReq/Res方式あるいはPush/Pull方式の組合せなどでも実現可能

ビルシステムとのネットワーク通信方式の種別（2 / 2）

用途ごとに適材適所でネットワーク通信方式を選定する必要がある

ビルシステムのI/Fが標準で対応すべきネットワーク通信方式についての指針を用途ごとに記載する。なお、以下の視点で方式の選定を行っている。

- ・ 情報提供のタイミング（ビルシステムがトリガーとなるか、建物外システムがトリガーとなるか）
- ・ 情報が流通する方向（情報送信者がビルシステムと建物外システムのどちらになるか）
- ・ 複数建物外システムへ、または複数建物外システムからの一斉送信の必要性の有無

また、「事例」の列では「5.2 運行管理に必要となる共通データ」に基づいた情報の流通方法に言及している。

用途	方式	選定基準	詳細	事例
ビルシステムへの認証	Req/Res方式	トリガー：建物外システム 送信者：ビルシステム 一斉送信：無	ビルシステムに認証リクエストを送信し、レスポンスとして認証情報（アクセストークンやAPIキーなど）を受け取る	ビルアプリを利用するための認証
ビルシステムから情報の取得	Req/Res方式	トリガー：建物外システム 送信者：ビルシステム 一斉送信：無	ビルシステムにリクエストを送信し、レスポンスとして情報を受け取る	地図情報や走行ルール、一時的侵入禁止領域などのビルデータの取得
ビルシステムから情報の通知	Pub/Sub方式 あるいは Push/Pull方式	トリガー：ビルシステム 送信者：ビルシステム 一斉送信：有	ビルシステムがパブリッシュ/プッシュし、他システムがサブスクライブ/プルする	静的/準動的データの更新情報、災害情報の配信
ビルシステムに情報を通知	Pub/Sub方式	トリガー：建物外システム 送信者：建物外システム 一斉送信：無	ビルシステムがサブスクライブしているトピックをベンダー運行システムからパブリッシュする	ロボット位置情報・ステータス情報の登録
ビルシステムにサービスリクエスト	Req/Res方式	トリガー：建物外システム 送信者：ビルシステム 一斉送信：無	ビルシステムにリクエストを送信し、サービス提供結果をレスポンスで返す	ビル設備（エレベータなど）の利用
ビルシステムからサービスリクエスト	Survey方式	トリガー：ビルシステム 送信者：建物外システム 一斉送信：有	ビルシステムが他システムに対して一斉にリクエストを送信し、それぞれが結果を応答する	ビルシステム側からの緊急の要請

ビルシステムが採用するデータモデルの選定

前項までで検討したビルシステムと建物外システム間のネットワーク通信方式を用いて送受信を行うデータの表現方式として、既存のデータモデルを基に設計指針を提示する

文献 [1] では、Web of Things (WoT) [2] で定義されている「Thing Description」が空間や物体の特性表現、またIoT機器の制御インタフェースとして検討されている。

一方で、OSSの都市OS向けミドルウェア「FIWARE」の主導団体FIWARE Foundationを含む複数の機関により策定されている Smart Data Models [3] という標準データモデルも存在する。

以下に、それぞれの特徴を記載する。

WoT Thing Description

- 異なるプロトコルの橋渡しになり、様々なビル設備の相互運用性が向上
- 一般的で広範なデータ概念の表現が難しい

Smart Data Models

- スマートシティやスマートロボティクス、スマートエナジーなど、複数のアプリケーションドメイン間でサービスの相互運用性が向上
- FIWAREとの高い親和性
- 公開されているデータモデルがすべてのケースをカバーしておらず、特定の要件に対応するためにカスタムモデルが必要となる

[1] IPA DADCスマートビルプロジェクト「スマートビルシステムアーキテクチャガイドライン第1版」、2023年5月31日、https://www.ipa.go.jp/digital/architecture/Individual-link/ps6vr70000016bq2-att/smartbuilding_system-architecture_guideline.pdf（2023年2月29日アクセス）

[2] W3C「Web of Things (WoT) Thing Description 1.1」、2023年12月5日、<https://www.w3.org/TR/wot-thing-description11/>（2023年2月29日アクセス）

[3] 「Smart Data Models」、<https://smartdatamodels.org/>（2023年2月29日アクセス）

Smart Data Modelsをベースとしたデータモデルの指針

「Smart Data Models」は世界的な標準フォーマットであるNGSI-v2, NGSI-LDに準拠し、多くのビルOS・都市OSで採用実績のあるFIWAREとの親和性も高いため、Smart Data Modelsを標準データモデルとして採用することで既存のエコシステムとの互換性が担保される。ここでは、Smart Data Modelsを採用した場合のデータモデルの設計指針を記載する。

現状のSmart Data Modelsでは分散協調のアーキテクチャについては考慮されていないため、独自の修正と拡張が必要となる。具体的には以下の対策が必要となる。

- 空間IDやトポロジカル・グラフの概念が採用されていないため新たに追加する
- 他ベンダーと共有するには冗長な項目もあるため、元々必須であった一部の項目については任意項目とする

また、データ間の関係性表現の柔軟性からNGSI-LDをベースとし、基本的には全てのデータモデルが「エンティティ」となるように一意のIDを設定する。

データモデルをOSSとして公開することで、常に最新の仕様にアクセスできるようにすることが望ましい。本報告書では一部のサンプルのみを記載するに留める。

- [Cross Sector](#)
- [Smart Agrifood](#)
- [Smart Cities](#)
- [Smart Energy](#)
- [Smart Environment](#)
- [Smart Sensoring](#)
- [Smart Water](#)
- [Smart Destination](#)
- [Smart Aeronautics](#)
- [Smart Robotics](#)
- [Smart Health](#)
- [Smart Manufacturing](#)
- [Smart Logistics](#) (Just opened)

Smart Data Modelsが対応している
アプリケーションドメイン（2024年2月29日現在）^[1]

[1] 「smart-data-models/data-models: Data Models in common use based on real world use-cases. These definitions underpin a digital market of interoperable and replicable smart solutions.」、<https://github.com/smart-data-models/data-models>（2024年2月29日アクセス）

ロボットの機体情報を表すデータモデルサンプル

- Smart Data ModelsのDevice型[1]をベースにロボット向けに修正
- NGSI-LDに準拠し、“id”は“urn:ngsi-ld”から始まり、“type”の値、一意の識別子（ベンダー名+ロボット種別+番号）の形式とする
- “refLatestState”は別で定義されるロボットのステータス情報の最新値への参照
- “robotCategory”はロボットが対応しているサービスのカテゴリで、“delivery”、“cleaning”、“patrol”などが考えられ、複数の組合せも可能
- “refDeviceModel”は別で定義されるロボットのモデル情報への参照

【データモデルサンプル】

```
{
  "id": "urn:ngsi-ld:Robot:VendorA:DeliveryRobot:01",
  "type": "Robot",
  "refLatestState": "urn:ngsi-ld:StateMessage:Robot:VendorA:DeliveryRobot:01:2024-01-01T08:39:40.064+09:00",
  "robotCategory": ["delivery"],
  "mcc": "440",
  "mnc": "20",
  "owner": ["https://www.digital.go.jp/"],
  "refDeviceModel": "urn:ngsi-ld:RobotModel:VendorA:DeliveryRobot",
  "serialNumber": "9845A",
  "value": "on",
  "@context": ["https://smartdatamodels.org/context.jsonld"]
}
```

[1] 「smart-data-models/dataModel.Device」、<https://github.com/smart-data-models/dataModel.Device/blob/master/Device/README.md>、（2024年2月29日アクセス）

ロボットステータスを表すデータモデルサンプル

- Smart Data ModelsのAutonomousMobileRobot向けのStateMessage型をベースとしつつ、エンティティ形式となるように修正
- NGSI-LDに準拠し、“id”は“urn:ngsi-ld”から始まり、“type”の値、一意の識別子（ロボットのID+時刻情報）の形式とする
- “issuedBy”はこのメッセージの発信元を表しており、この場合は別のエンティティとして定義されるロボットの識別子となっている
- 元のモデルで必須項目であった“accuracy”は秘匿情報にもなり得るので、分散協調のコンテキストでは削除とした
- 異なるシステム間での連携という観点で、“pose”項目は地理座標系“geographicPoint”による共通座標系での表現を必須とする
 - 方向を表す情報“orientation3D”は必須としない
- トポロジカル・グラフ上の移動を前提に、元のモデルに存在する“destination”に加え、出発元のノードを表す“source”項目を追加
 - これらは空間ID“spatialId”により指定する
 - “source”と“destination”のセットでトポロジカル・グラフ上のエッジを特定可能

【データモデルサンプル】

```
{
  "id": "urn:ngsi-ld:StateMessage:Robot:VendorA:DeliveryRobot:01:2024-01-01T08:39:40.064+09:00",
  "type": "StateMessage",
  "commandTime": "2024-01-01T08:39:40.064+09:00",
  "issuedBy": "urn:ngsi-ld:Robot:VendorA:DeliveryRobot:01",
  "mode": "navi",
  "errors": [],
  "pose": {
    "geographicPoint": {
      "altitude": 45.32,
      "latitude": 35.68948234,
      "longitude": 139.69295847
    },
    "orientation3D": {
      "pitch": 0.0,
      "roll": 0.0,
      "yaw": 0.0
    }
  },
  "source": {
    "spatialId": "26/36/59607690/26431905"
  },
  "destination": {
    "spatialId": "26/36/59607689/26431900"
  },
  "battery": {
    "remainingPercentage": 75.4
  },
  "rssi": { "dBm": -67 },
  "refTask": [
    "urn:ngsi-ld:Task:DeliveryTask:05708116-d43d-45ca-a075-4c96511ecab8"
  ],
  "@context": ["https://smartdatamodels.org/context.jsonld"]
}
```

[1] 「smart-data-models/dataModel.AutonomousMobileRobot」、[dataModel.AutonomousMobileRobot/StateMessage at master · smart-data-models/dataModel.AutonomousMobileRobot \(github.com\)](https://github.com/smart-data-models/dataModel.AutonomousMobileRobot)（2024年2月29日アクセス）

エレベータ呼出しを表すデータモデルサンプル

- Smart Data ModelsのAutonomousMobileRobot[1]向けのCommandMessage型を参考にしつつ、エンティティ形式となるように作成
- インタフェースは文献[2]をベースにしている
- “type”は“ElevatorControl”とし、“command”で“CallElevator”を指定することでエレベータ呼出しと認識される
- “targetElevator”は別のエンティティとして定義されるエレベータのIDとする
- “origination”, “destination”, “direction”の定義は文献[1]に準ずる

【データモデルサンプル】

```
{
  "id": "urn:ngsi-ld:ElevatorControl:Robot:VendorA:DeliveryRobot:01:2024-01-01T08:39:40.064+09:00",
  "type": "ElevatorControl",
  "issuedBy": "urn:ngsi-ld:Robot:VendorA:DeliveryRobot:01",
  "commandTime": "2024-01-01T08:39:40.064+09:00",
  "command": "CallElevator",
  "targetElevator": "urn:ngsi-ld:Elevator:BuildingA:BankA:01",
  "origination": 1,
  "destination": 4,
  "direction": 2,
  "@context": ["https://smartdatamodels.org/context.jsonld"]
}
```

[1] 「smart-data-models/dataModel.AutonomousMobileRobot」、[dataModel.AutonomousMobileRobot/StateMessage at master · smart-data-models/dataModel.AutonomousMobileRobot \(github.com\)](https://github.com/smart-data-models/dataModel.AutonomousMobileRobot)（2024年2月29日アクセス）

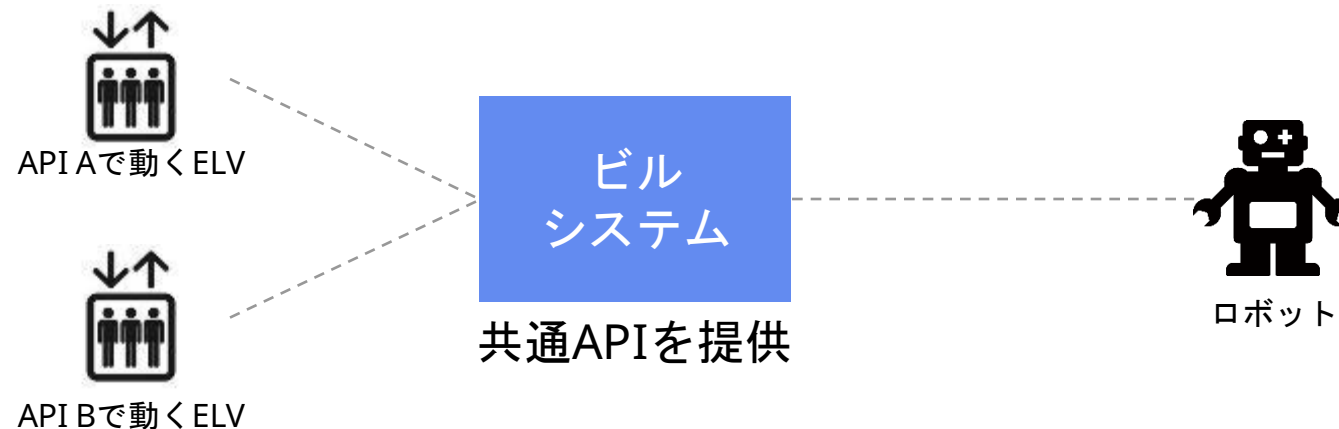
[2] RFA「ロボット・エレベータ連携インタフェース定義 RFA B 0001 :2022」 2022年11月14日

ビル設備とロボットの連携：エレベータ利用

実証実験におけるエレベータ利用方法と課題

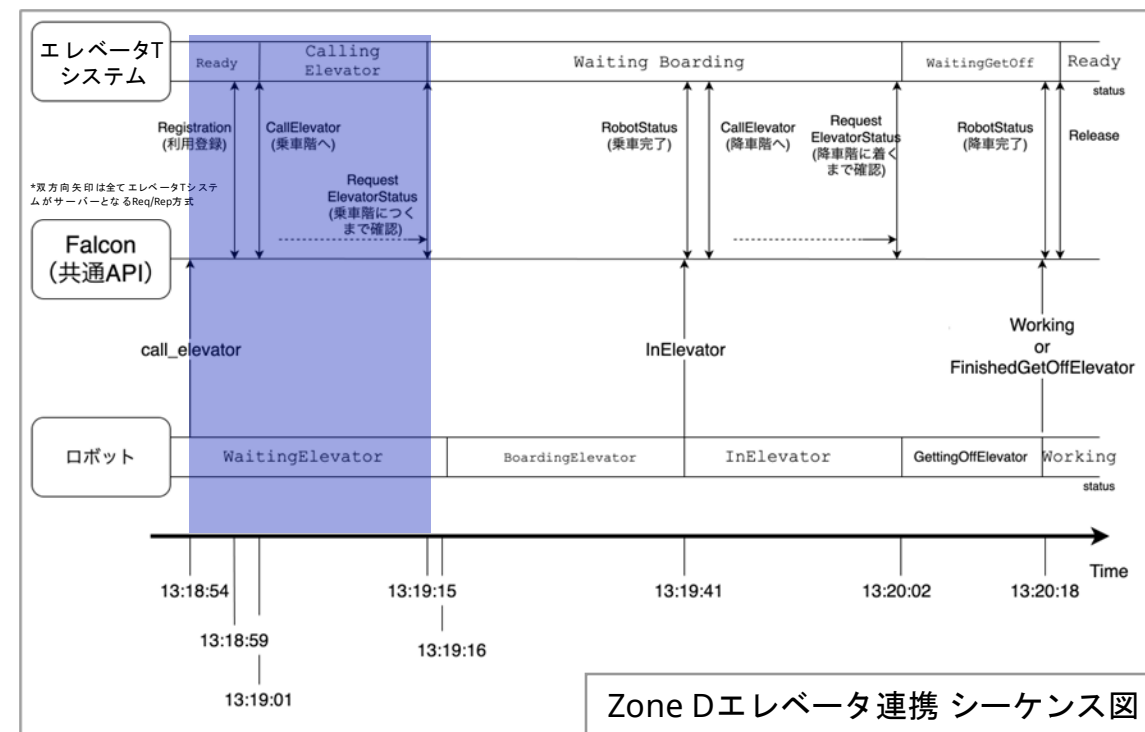
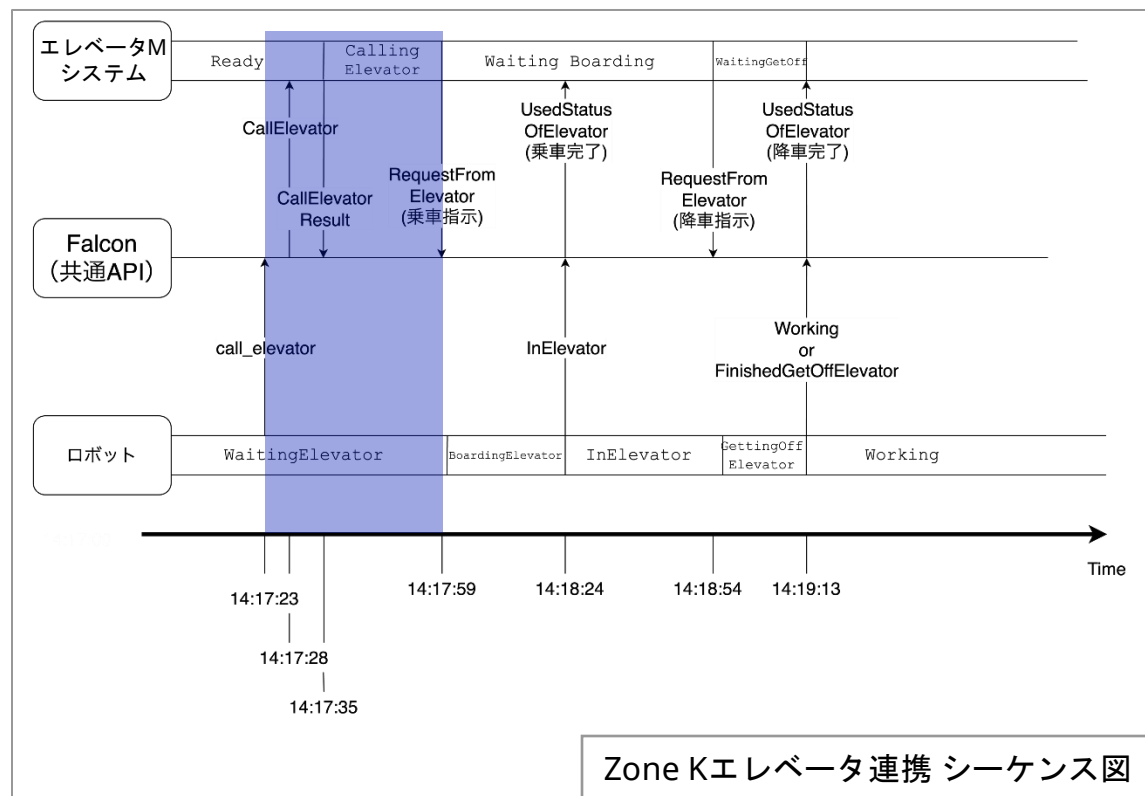
ロボットと連携が可能なエレベータは実証フィールドにおいて複数存在したが、それぞれ異なるAPIを有していた。それぞれのAPI提供業者と場の管理者は契約関係にあり、他のロボットベンダーが当該APIを直接利用することは契約違反に抵触する。そのため、ユースケースDの実証実験では、場の管理者が複数の異なるエレベータAPIを包含した新たな共通のAPIを提供することで、ロボットベンダーがエレベータを利用することを可能とした。

分散協調制御のアーキテクチャにおいては各エレベータAPIがなるべく共通仕様の下で作られていることが望ましいとしているが、契約関係で場の管理者のみにAPIが提供されている場合、ビルシステム（ビルアプリ）が担うのが妥当であると考えられる。



ユースケースにおけるエレベータ連携時の課題

ロボットのエレベータ呼出し時の待機時間が冗長と感じられるケースがあった



エレベータ呼出し（call_elevator）から搭乗可能になるまでの時間の比較

- Zone Kでは約36秒
- Zone Dでは約21秒

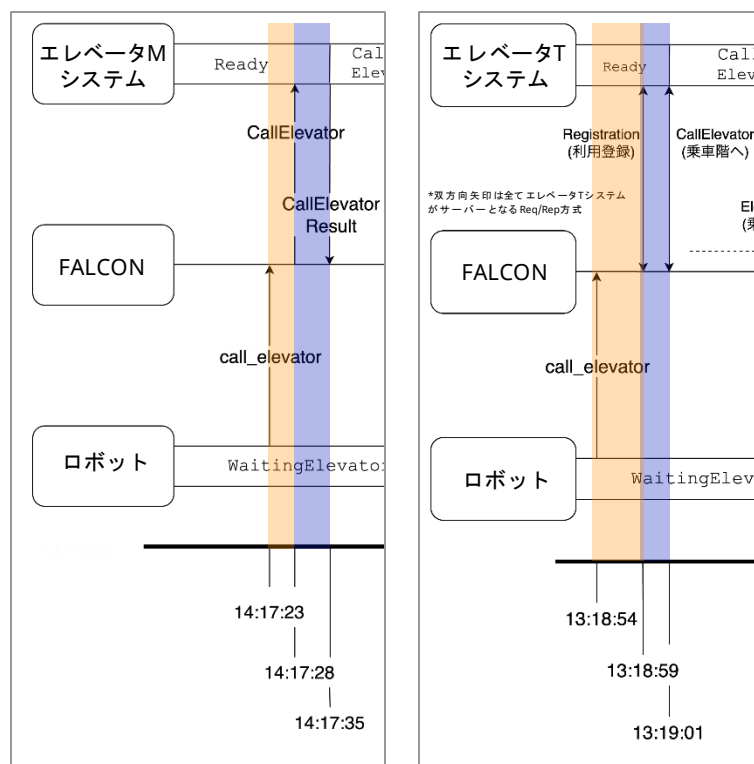
➤ ただし、エレベータ呼出し中 (CallingElevator) は実質エレベータの移動時間に相当するため不可避 (Zone Kで約24秒、Zone Dで約14秒)

※Zone K/Dのエレベータは其々異なるメーカー製

エレベータ待機時間の詳細解析

共通APIは異なる仕様のエレベータAPIを統合できている一方で、弊害として若干の待機時間が発生した

エレベータ連携シーケンス図 (エレベータ呼出しフローのみを抜粋)



エレベータ呼出し (call_elevator) から実際にエレベータ呼出し状態 (Calling Elevator) に切り替わるまでの時間を計測

- ZoneKは約12秒、うちエレベータAPI側の処理遅延が約7秒 (左図の青色での塗り潰し箇所)
- ZoneDは約7秒、うちエレベータAPI側の処理遅延が約2秒 (左図の青色での塗り潰し箇所)

ここで、各Zoneで共通して発生しているFalconにおける約5秒の遅延 (左図のオレンジ色での塗り潰し箇所) は、異なるエレベータ間で整合性を取るために実装した非同期処理のトレードオフにより発生している

解決策として以下の2つが考えられる。

- ロボット専用運転の場合、エレベータバンクへの到着よりも事前にかごの呼出しを行うことで実質的な待機時間短縮を図る
 - 但し、早期のロボット専用運転への切り替えはロボットによるかごの専有時間が長くなるため、かごの拘束時間を考慮した検討が必要。また人との乗り合いが普及した場合は人を待たせることになるため、混雑状況を踏まえる仕様などの検討も必要
- 各エレベータ事業者が提供するAPIが共通の動作フローとなるよう、業界標準規格^[1]に準拠する
 - ベースとなるビル設備側のエレベータ連携フローが各社で共通化されれば、共通API (Falcon) で特別な処理が不要となるため、上述した遅延は解消される見込み

[1] RFA「ロボット・エレベーター連携インタフェース定義 RFAB 0001:2022」2022年11月14日

RFA発行のAPI仕様とユースケースで利用したAPIの比較

ユースケースで利用するためFalconに実装したAPI仕様（以下、「**共通API**」）と、RFA「ロボット・エレベータ連携インタフェース定義 RFA B 0001:2022」で定められた仕様（以下、「**RFA仕様**」）には大きく以下の特徴や違いがある。但し、両者はユースケースや建物設備・システム等の前提条件が異なるため、以下の検討は互いの優劣を比較するものではない点に留意。

ロボットによるエレベータの状態取得方式は双方共にポーリングベース

- ロボットのエレベータ呼出し後やエレベータ降車時に必要となるエレベータ状態の確認（所望のフロアに到着したかどうか、など）は、双方のAPI共にロボットを主体としたポーリングベース（ロボットがクライアントとなるReq/Res方式の通信を一定間隔で実行）の実装となっている

APIのコマンド名やデータフォーマットは異なる

- ユースケース実証においてはRFA仕様に準拠する時間的猶予が無く既存の資産を流用することで開発期間の短縮を図る必要があったため、独自で定義したコマンド体系を利用している
 - 理想的には公知されたRFA仕様に準拠すべきと考えられる

共通APIではRFA仕様と比べて処理フローの更なる簡略化を行っている

- RFA仕様では、エレベータ呼出しに際し、直前にエレベータ利用登録を行うことで割り当てられたカゴIDを取得し、その後呼出しを行う二段階のフローが定義されているが、共通APIでは一回のフローでエレベータ呼出しを行っている
- 乗降時の開扉の継続要求はFalconが担うことで、RFA仕様でロボット側で必要としている手続きを省略した

共通APIではエレベータ状態情報の透明性を向上

- RFA仕様では、自身に割り当てられたカゴのみしかエレベータ状態情報は取得可能でなかったが、一方、分散協調にあたって効率的なルート計画や衝突・混雑回避のための行動調整に役立つよう、共通APIでは全てのカゴの状態情報を取得できるようにした
 - 情報へのアクセス権限は設定されるべきであり、実運用の際には適切な認証プロトコルの導入が必須である

分散協調アーキテクチャにおけるビルシステムI/Fの要件

前頁までのエレベータ連携APIを例とする検証内容を踏まえ、ビルシステムが備えるI/Fの要件について検討する

常時のネットワーク接続を前提としない

- 既存の一部のエレベータAPIはエレベータの籠の中でも無線通信による接続を必須とした動作フローとなっているが、エレベータの籠の中は大抵電波の不感地帯である
 - 常時のネットワーク接続を前提としない、つまりネットワーク切断後の復旧時に動作フローを途中から再開できるようなAPI設計が必要である
 - ✓ ビルシステム側がトリガーとなるイベント駆動で動作フローを設計すると、ネットワーク切断時にトリガー情報の欠落によりフローが中断される可能性があるため、可能な限りロボット側がトリガーとなるポーリングベースで設計することが望ましい

様々なビル設備と連携可能な一貫性のあるI/F策定

- 分散協調を実現するためにはエレベータAPIが共通仕様化されており、かつ連携に必要なドキュメントが公開可能となっている状況により、連携先のシステム問わず改修が最小限となっていることが望ましい
- 一方、ビル設備業者が情報の開示先を限定している場合、ビル設備のAPIをそのまま第三のベンダーに提供することが困難であるため、必然的にビルシステム側でAPIを用意する必要が生じる
- エレベータや自動扉等、ビル設備でも異なる製造業者のものを組み合わせて建物は建設されるため、また敷地を跨げば同種の設備でも異なる製造者になるため、多様な設備との連携は必須になる
 - 各設備システムが共通仕様下で作られることを前提としつつ、様々なビル設備と連携するためには、ビルシステム側で一貫性を持たせたI/Fの仕様（例：ビルOS）を策定する必要がある
 - ✓ オープンソース化することで、採用する側は開発期間を短縮できるインセンティブが働くため、広く普及させるための手段としても有効である

4. 検証結果詳細

4.1 分散協調制御でのアーキテクチャ仮説

4.2 運行管理に必要な共通データ

4.3 複数モビリティの運行管理・制御

4.4 インフラ基盤（設備・通信・充電ほか）

- ロボットの設備利用時に必要な設備連携
- インフラ基盤のハード・ソフト仕様
（駐機場・充電場／通信基盤／ロボット専用通路／センサー・IoTインフラ）

4.5 分散協調におけるサービス連携

分散協調の運行拠点となる駐機場・充電場の設計

分散協調運行の持続可能性を高めるためには、ロボットの活動拠点となる共用の駐機場、及び充電場の整備が必要である。そのため、共用駐機場・充電場に求められる要件を検討する

自律的な分散制御を実現するには、アイドル状態（タスクを受け持っていない状態）のモビリティが駐留可能な駐機場が必要となる。また、これら駐機場では同時にロボットの充電も可能となることで、自律的な長期運用が可能となる。

共用の駐機場・充電場に求められる要求事項

安全性	ロボットや人間の安全が確保できること、万が一の異常事態に備えた対策が練られていること
アクセシビリティ	タスクの合間に利用できる、あるいはロボットが拠点間を移動する中間に位置するなど、アクセスしやすい存在であること
多様なロボットへの対応	製造ベンダーや種類が異なるロボットであっても充電可能であること
混雑の回避	複数のロボットが集中して同時間帯に利用できない仕組みが備わっていること
悪用防止	不正に利用されない仕組みが備わっていること

共用駐機場・充電場のサービスモデル

共用インフラとしての駐機場・充電場のサービス提供を可能とするには、前提として駐機場・充電場は主に共用部に設置されることとなり、その場所は場の管理者が指定・認可を行う。その上で、サービスを提供する方式として以下の二つのモデルが考えられる。

1. 場の管理者がサービスを提供するモデル

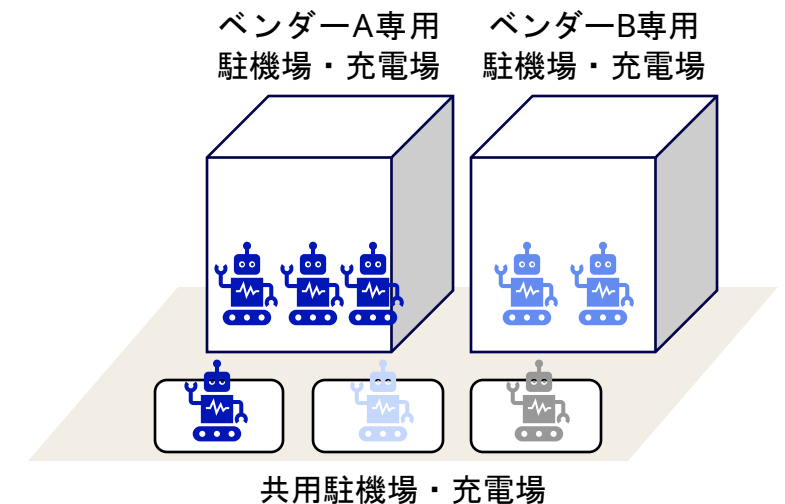
場の管理者が共用の駐機場・充電場を整備する

2. 専用事業者がサービスを提供するモデル

駐機場・充電場を展開する専用のサービス事業者が参入し、各所にそれらが整備され、運営事業者は料金を支払うことで利用可能となる

- サービス事業者が場の管理者に場の利用料を支払い、駐機場・充電場を整備することが求められる
- 公共の場では自動車のガソリンスタンドやコインパーキングに相当するような公共充電サービス事業者も必要となる

また、共用のものとは別に、ベンダーごとに専用の駐機場・充電場を場の管理者と契約し整備するような形態も考えられる。



共用駐機・充電インフラ整備に向けた要件

技術・ビジネスの観点から、共用駐機場・充電場サービスを展開するためには、「充電コネクタ規格の統一」や「駐機場・充電場の認証機能」などの要件が求められると考えられる

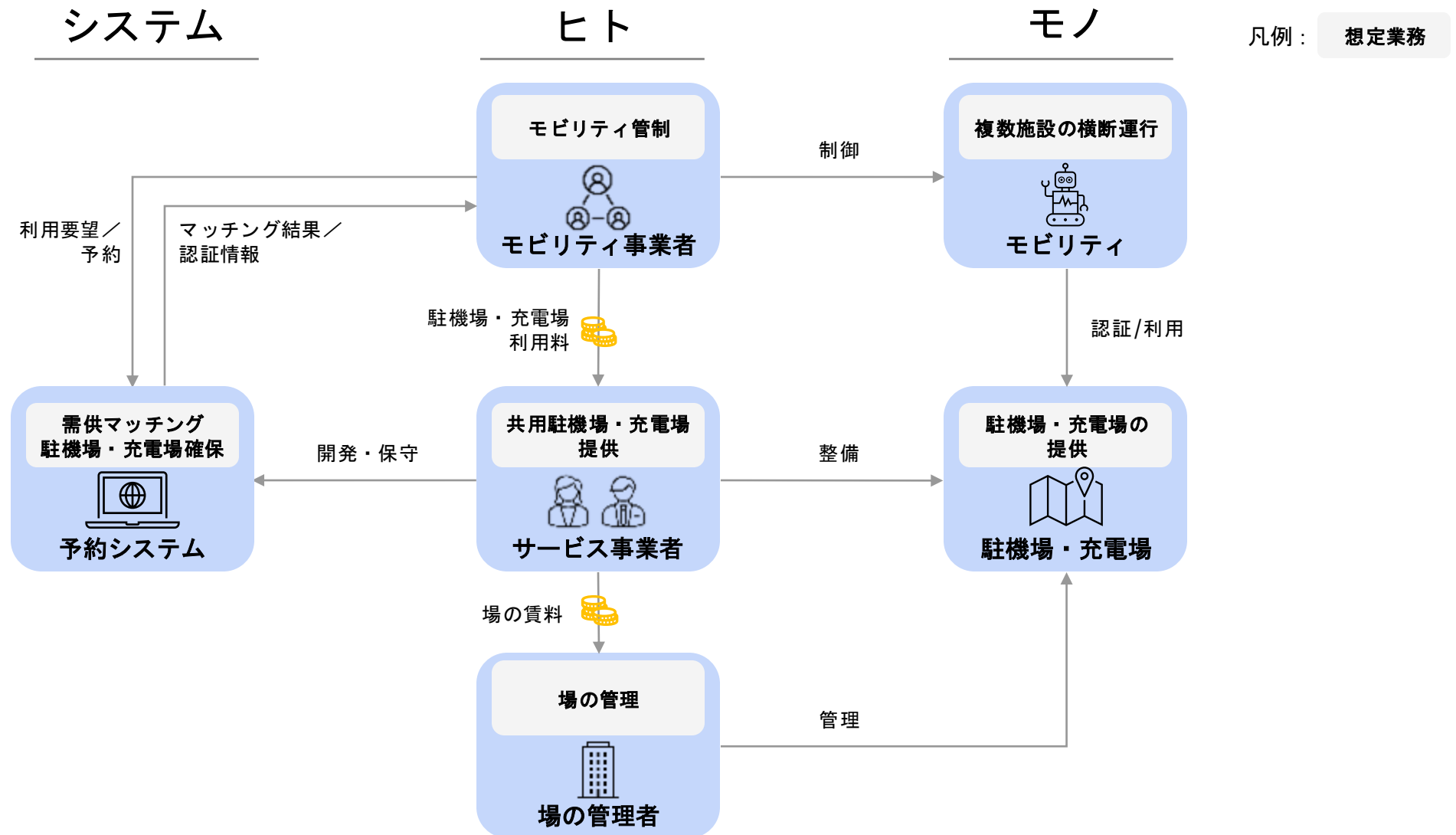
技術観点

- **ロボットの充電コネクタの規格統一**
異なるロボット間での充電コネクタの規格（形状、電圧など）が統一されている必要がある
 - 無線給電方式を標準とすることも共用充電インフラ普及の一助になりえる
- **予約システムの提供**
充電場・駐機場の位置情報や空き時間帯、充電能力、充電コストなどの情報を提供し、モビリティ運行事業者がリクエストする条件とのマッチングを自動で行えるシステムが必要
- **駐機場・充電場の認証機能**
駐機場・充電場の悪用防止のため、認証により利用が可能な仕組みを導入するなどの対策が必要である
 - 予約システムは、予約が完了したモビリティ事業者のみが利用可能な認証情報を提供すべきである

ビジネス観点

- **コストと負担の明確化**
サービスの利用に伴うコスト負担は事前に明確に取り決める必要がある
 - ロボット事業者側は充電サービス利用料金を支払い、サービス事業者は設置費用、電気利用料金、場所利用料などを負担するといったモデルが考えられる
- **責任範囲の明確化**
異常事態発生時の責任の所在を明確化しておく必要がある
 - 充電の失敗時に誰がどのように補償を行うかなどの検討が必要となる
 - 充電スタンドの故障や最悪の場合には火災なども考えられ、充電サービスを対象とした保険も必要となりえる
- **サービス事業者と場の管理者との提携**
専用のサービス事業者が参入する場合は、場の管理者と提携した活動が求められ、ビル側で電力利用料・混雑度などの把握のためにサービス利用状況を適宜ビルシステムに連携する必要があると考えられる

専用業者が参入した場合のサービス相関図



4. 検証結果詳細

4.1 分散協調制御でのアーキテクチャ仮説

4.2 運行管理に必要な共通データ

4.3 複数モビリティの運行管理・制御

4.4 インフラ基盤（設備・通信・充電ほか）

- ロボットの設備利用時に必要な設備連携
- **インフラ基盤のハード・ソフト仕様**
（駐機場・充電場／通信基盤／ロボット専用通路／センサー・IoTインフラ）

4.5 分散協調におけるサービス連携

分散協調における通信基盤に求められる要件

通信基盤に求められる要件の考察として、現状の通信環境と課題から分散協調におけるロボットの通信要件について検討する

- ・ロボットの通信について現状調査のため、コンソーシアム各社に通信環境をヒアリング
- ・コンソーシアム各社の通信環境と課題を以下に示す

▼通信環境ヒアリング(コンソーシアム各社)

ロボット通信			
	運行前	運行中	運行後
通信内容	行先・作業内容指示、地図ダウンロード(初回のみ)	位置情報、経路調停、施設連携、ロボットステータス、映像等	作業終了通知
最低限必要な通信	行先・作業内容指示	経路調停、施設連携	作業終了通知

通信切断時のロボット動作
そのまま自律移動を継続し、次の指令待ちで停止

現状の通信環境、課題と通信環境に対しての要望	
通信回線	モバイル回線(屋内外走行ロボット)、Wi-Fi(屋内走行ロボットのみ、映像のみ)
1日あたりの通信容量(上り下り合計のおおよそMB)	10~64,000MB/ロボット
通信プロトコル	MQTT/TCP、HTTP
セキュリティ	固定IP接続によるアクセス制限、相互TLS認証
現状の通信回線にした理由(屋内外走行ロボット)	Wi-Fiはロボットの移動時にアクセスポイントの切り替え時にセッション断が発生して、通信内容が一部ロストするためモバイル回線にした
通信が繋がらない、繋がりにくい場所	エレベーター付近、かご内(モバイル回線)
現状の通信環境の課題	エレベータかご内など通信品質が悪いエリアの存在、通信遅延の発生、一時的な途絶の発生(モバイル回線)
分散協調での通信環境に対しての要望	分散協調を実現するため外部システムと通信を行いながら走行する必要がある 通信が必要な地点において安定的な通信が行えると、円滑で効率的な運行が可能になる

分散協調における通信基盤に求められる要件(推奨)

分散協調における通信要件としては、ロボットが通信する屋内外の通信カバーエリアが広いことと、ロボットが移動してアクセスポイント切替時にセッション切断なくハンドオーバーできることが望ましい

- ・ 主回線としては、モバイル回線を推奨する
- ・ 現状の課題を以下に示す

▼分散協調における通信要件(推奨)

分散協調の通信環境

通信回線	モバイル回線 ※屋内の狭いエリア限定であればWi-Fiの選択もある
ネットワークがカバーすべき範囲	屋内および屋外でロボット通信が必要な場所(運行前、運行中、運行後)のエリアをカバー
通信速度	1Mbps程度 ※上り(ロボット→ロボット運行管理システム)の通信については下りより帯域が狭いため、同時接続数など留意が必要
通信遅延(回線部分)	概ね100~500ms ※通信品質が悪いエリア、混雑したエリアでは500ms以上の遅延が発生する可能性がある
セキュリティ	公開鍵を使った認証方式

コンソーシアム各社に通信環境をヒアリングした結果より策定

▼現状の課題

モバイル回線の課題

モバイル回線の課題	屋内(ビル)の特定の場所で通信品質が悪化して、ロボットが通信ができず経路調停や施設連携(エレベータ呼び出しなど)に支障をきたすことがある 理想は屋内全エリアカバーだが、通信対策が困難なエリアがある
通信対策が困難なエリア	エレベータかご内、バックヤード、地下、高層階の屋外などの通信対策が困難である エリア対策をすると非常に高額となる

分散協調における通信基盤に求められる要件(対策)

分散協調における通信基盤の構築方法

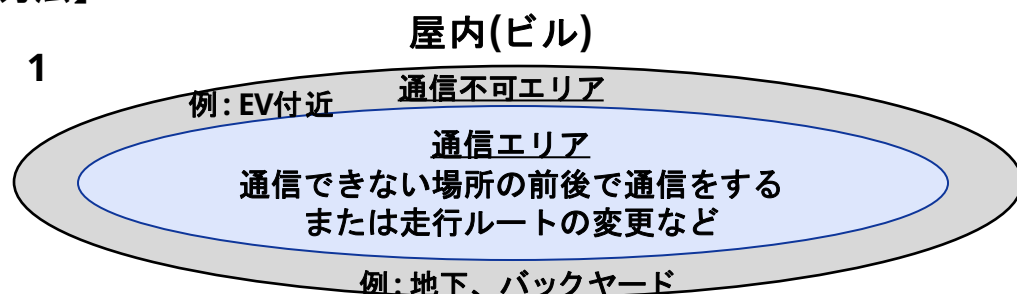
- ・ 通信環境を事前に確認できる仕組みが必要
RFA規格で施設側の通信接続についてのロボフレレベルを開示するなど
- ・ 通信インフラのコスト観点で屋内および屋外でロボット通信が最低限必要な場所のエリア対策をする
安全第一に通信ができない場所でロボットに異常があり停止したときは、人間がサポートすることを前提とする
- ・ モバイル回線の通信対策が困難なエリアについては、以下の対策方法が考えられる

▼ 対策方法

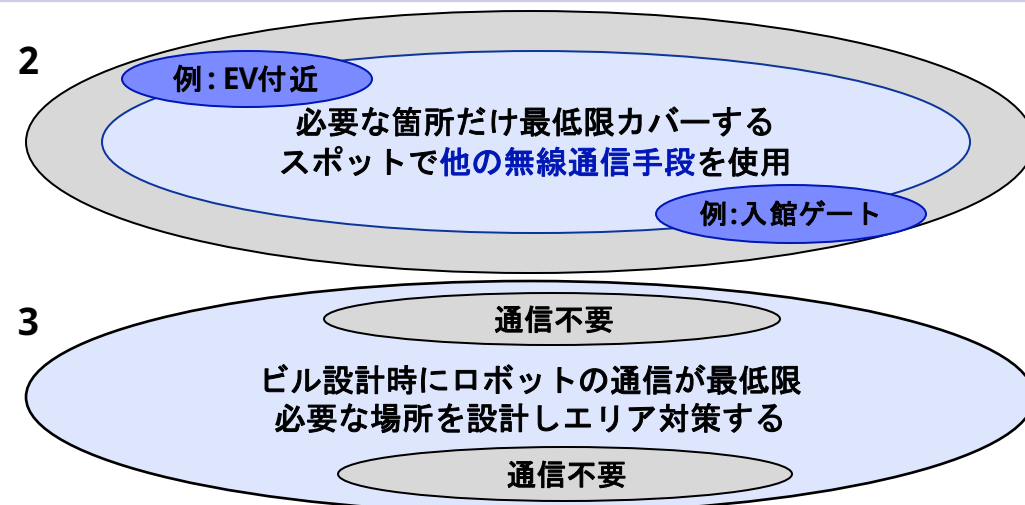
モバイル回線の通信対策が困難なエリアの対策方法

対策方法1	通信できない場所については、通信が発生しない工夫をする 事前にロボット側で通信ができないエリアを把握して、通信ができるエリアに必要な通信をする、またはロボット走行ルートの変更など
対策方法2	エレベータ付近など必要な箇所だけ最低限カバーする スポットでモバイル回線以外の無線通信手段を施設側で設置してロボットと通信する(例としてBluetoothの近距離無線など)
対策方法3	ビル設計時にロボットの通信が必要な場所を設計し、通信できない場所を極力少なくするようエリア対策する 通常は後工程になる通信設備の対策を建設会社、ロボット事業者、通信回線事業者が連携してビル設計時から反映する

【対策方法】



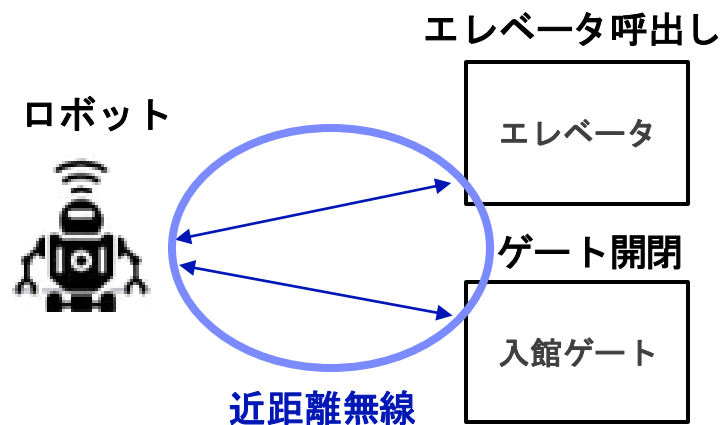
ロボット側で通信不可エリアを把握する方法の一つとして、データ共有・管理層(空間IDなど)に通信不可エリアを登録して情報共有する



（参考）分散協調における通信基盤に求められる要件

対策方法2 近距離無線での通信例

モバイル通信が切断したときに確実に通信できる近距離無線を使ってM2Mで通信する



実現方法として現状のエレベータなどに対しては、NICTが開発したような近距離無線(Bluetooth)を使った小型IoT機器を後付けしてボタンを押す方法がある
将来的にはロボット専用に近距離無線M2M通信を標準規格化してロボット、エレベータなどに搭載する方法が考えられる

近距離無線での実証実験事例

NICTが開発したエレベータ移動支援システム

小型のIoTボタン押下デバイス（WiWi-Finger）を開発しました
WiWi-Fingerは、BLEによる通信機能、及びモーターによるボタン押下機構を備える小型デバイスで、エレベータ外の呼出しボタン、及びエレベータ内の行き先フロアボタンに被せるように設置して利用します（図1参照）
WiWi-Fingerは、ロボット側のBLE通信モジュールからボタン押下コマンドを受信すると、ボタン押下機構により物理的にボタンを押下し、一定時間経過後に自動的にボタンを離します



図1 IoTボタン押下デバイスWiWi-Finger設置の様子
（左:エレベータ外、右:エレベータ内）

出所:「人とロボットの協調活動を実現する非接触エレベータ移動支援システムを開発」国立研究開発法人情報通信研究機構（NICT）ホームページ
<https://www.nict.go.jp/press/2020/10/20-1.html>

（参考）分散協調における通信基盤に求められる要件

RFA規格ロボフレレベル定義一覧

施設の廊下や部屋内でロボットが円滑に稼働できる物理環境（段差、通路幅、床・壁材、照度、通信環境等）の評価指標

項目	概要	レベルA レベルBよりさらにロボットの移動性を高める。 留意レベル	レベルB 建設改善なしでもロボットが稼働可能なレベル	レベルC 構造改善、設備の整備などにより ロボットが稼働可能なレベル	指標・検測内容
a) 斜度 (上り下り方向)	進行方向に対して上り下り方向の傾斜を設定する。	1/12以下	—	1/12超	1/12(4.76%)はバリアフリー法を基準とした。
b) 段差	建物の高差を除く。	6mm以下	—	6mm超	JIS T 0251(建築用面用滑り止材の突起の形状・寸法及びその配列に関する規定)及びJIS A 4301(エレベーターの出入口の構造)を参考とした。 キースターが溝に落ちるが、キースターの落ち込みが5mmとなることを基準とした。
c) 溝	幅はロボットより十分広く、車輪の滑脱を想定し、幅方向と深さ方向について設定する。	幅：10mm未満 深さ：—	幅：10mm以上20mm未満 または 深さ：5mm以下	幅：20mm以上 かつ 深さ：5mm超	JIS S 1038:1994(事務用キースター)、JIS B 8923:2015(建築用キースター)における最小キースター幅は20mm。滑り止材のRがあることから、ロボフレレベルBでは溝方向にキースターが落ちる可能性がある。ロボフレレベルAは建物のレーシングを参考に設定した。
d) 通廊幅	通過の姿勢を直進姿勢とし、幅方向について設定する。	1.8m以上	1.2m以上 1.8m未満	1.2m未満	1.2mはバリアフリー法の円滑化基準を踏まえ、サービスロボットが入るが狭い場合に必要と想定した。 1.8mはバリアフリー法の円滑化基準を踏まえ、ロボットがすれ違いのために必要と想定した。円滑化基準では出入口フェリターゲートなどの有効寸法が900mmである。
e) 建具幅・仕様	扉等が開きロボットが通過する際の有効幅と自動で開閉可能な仕様等について設定する。	建具幅：0.9m以上 かつ 仕様：自動で開閉可能	建具幅：0.8m以上、0.9m未満 かつ 仕様：—	建具幅：0.8m未満 または 仕様：—	有効幅は0.8mはバリアフリー法の円滑化基準を踏まえ、0.9mは円滑化基準を基準とした。建具幅0.8mはバリアフリー法の円滑化基準を踏まえ、0.9mは円滑化基準を基準とした。
f) エレベーターの幅と昇降口の有効幅	幅の幅や通行向き昇降口の有効幅について設定する。	幅の幅：1.8m以上 かつ 昇降口	—	—	35m、昇降口0.8mはバリアフリー法を基準とした。 は1台とし、人と同時することを想定している。 有効幅幅についてはJIS A 4301:1993(エレベーターの幅)を参考とした。
g) エレベーターがごとホールとの間の溝	と溝に準ずる。	30mm	—	—	通行向きを参考とした。 通行向きを参考とした。
h) 床面の滑り	静止状態からの移動するための滑り抵抗について設定する。	CSR0.4以上	—	CSR0.4未満	CSR0.4はバリアフリー法を基準とした。 同一の経路において滑り抵抗係数CSRが大きな差(0.2以上)がある場合、つまり滑り抵抗係数の異なるロボットでは滑り抵抗係数の異なる条件となる。
i) 床面の光沢	センシングに与える影響を想定し、光沢の有無や反射・透過について設定する。	光沢がない かつ 反射が透過しない	—	光沢がある または 反射が透過する	—
j) 天井	天井マーカー方式の採用を想定した場合の天井高および仕様について設定する。	天井高：4m以下 かつ 仕様：形状が平滑である	—	天井高：4m超 または 仕様：形状が凹凸である	—
k) 壁面	センシングに与える影響を想定し、光沢の有無や反射・透過について設定する。	光沢がない かつ 反射が透過しない	—	光沢がある または 反射が透過する	—
l) 直射日光	センシングに与える影響を想定し、直射日光の有無について設定する。	なし	—	あり	直射日光は避けたい。 ロボットが使用する光学式センサー(カメラ、LiDAR)に直射日光が入ると動作が不安定になる。
m) 照度	マーカー読み取り方式のLiDARの採用を想定した場合に設定する。	1lx以上	マーカー読取で1lx未満	マーカー読取で1lx未満	文献情報はない。 照度の測定方法はJIS C 7612(照度測定方法)に準ずる。 自己位置測定のためにマーカー(2次元コード等)を利用するLiDARの場合、読み取りに影響する。 マーカーはコントラストが低い形状が好まれるため、1lxでも十分に照度である。ただし、カメラ(照明)露出調整やHDR機能が必要になる。 文献情報は無い。
n) 通信環境	有線について設定する。	あり	—	なし	インターネット接続への要求(Wi-Fi、Bluetooth等)、利用する無線の周波数帯域・方式がロボフレに異なる。
o) 通行路の障害物	障害物は施設運営で日常的に移動する、または避けることが可能な仕様品類について設定する。	なし	認識できる形状 かつ 回避できる経路・スペースがある	認識できない形状 または 回避できる経路・スペースがない	通行可能な設定された領域の障害物を認識できるのは、LiDARが利用するセンサと認識ソフトウェアに依存する。一般的に、重い物、薄い物、透明な物は認識しにくい。LiDARの場合は、オーバーハンクなど、検出可能な範囲の上下に突き出した形状は検出できない。

本定義一覧は、「サービスロボットの移動の円滑化 — 物理環境の分類と指標 — 建築物およびその敷地内 RFA B 0003 : 2024」の附属書Gであり、出所に示したURLよりダウンロード可能 (2024年3月8日時点)

出所:
「サービスロボットの移動の円滑化 — 物理環境の分類と指標 — 建築物およびその敷地内 RFA B 0003 : 2024」
、ロボットフレンドリー施設推進機構ホームページ
<https://robot-friendly.org/publication/rfa%E8%A6%8F%E6%A0%BC%E3%82%B5%E3%83%BC%E3%83%93%E3%82%B9%E3%83%AD%E3%83%9C%E3%83%83%E3%83%88%E3%81%AE%E7%A7%BB%E5%8B%95%E3%81%AE%E5%86%86%E6%BB%91%E5%8C%96-%E2%80%95-%E7%89%A9%E7%90%86%E7%92%B0/>
(2024年3月8日アクセス)

4. 検証結果詳細

4.1 分散協調制御でのアーキテクチャ仮説

4.2 運行管理に必要な共通データ

4.3 複数モビリティの運行管理・制御

4.4 インフラ基盤（設備・通信・充電ほか）

- ロボットの設備利用時に必要な設備連携
- インフラ基盤のハード・ソフト仕様
（駐機場・充電場／通信基盤／ロボット専用通路／センサー・IoTインフラ）

4.5 分散協調におけるサービス連携

ロボット専用通路の要否 検証項目

ユースケースにおいて、人との共存を考慮した場合にロボットの専用通路が必要となるか考察する

課題

- 安全性（人に危害を加えない）と運用の効率性（人混みの中では走行できず、運用効率が下がる）の両立
- 場所の有効活用（ロボットの専用通路を設けると場所が有効に活用できない）



人流の中での走行
(安全性の確保が必要な一方、走行速度は低下)



狭い通路
(専用通路を設定すると人流に影響)

ロボット専用通路の要否 検討サマリ

運行するロボットの台数や運行フィールドの特性を考慮したメリットとデメリットを比較して、ロボット専用通路の要否は検討されると考えられる

- ロボットの専用通路については、運行台数や運行フィールドの特性（スペース、人流の多さ等）を考慮し検討することが望ましい
- 専用通路を設ける場合には、安全性、運行するロボットの特性によって通路を設計することが望ましい
- 専用通路を設けない場合についても、人と共存する中での一定の走行ルールを設けることが望ましい

▼専用通路の設計で考慮すべき点の例（今後の論点）

設計要件	
安全性の確保	通路は人などとの接触を回避するため、安全柵やセンサ／非常停止装置の設置の要否
通路幅の確保	RFA規格ロボフレレベル定義一覧[1]においては、1.8m以上が望ましいレベル （ただし、それよりも幅が狭い通路においては、経路調停によりそれを回避する方法もあり） 走行の障害となる障害物はないことが望ましい。認識できる形状かつ回避できる経路スペースがあることで許容（センサに依存）
床面の仕様	RFA規格ロボフレレベル定義一覧[1]においては、床面の滑り抵抗係数（CSR）0.4以上が望ましいレベル また、センシングに与える栄光を考慮し、光沢がなくかつ反射や透過のないことが望ましい
通信	ロボットの運行や動作に合わせた通信環境

▼人との共存時の走行ルールの例（今後の論点）（4.2 運行管理に必要となる共通データ、4.3複数モビリティの運行管理・制御の項も参照）

走行ルール	
走行方向	一方向か双方向か、双方向の場合には左側通行か右側通行かを通路の状況等によって決定
最高速度	通行量、通路の幅、見通しの良否等によって決定
進入可能台数	通行量、通路の幅、見通しの良否等によって決定

[1] 出所:「サービスロボットの移動の円滑化—物理環境の分類と指標—建築物およびその敷地内 RFA B 0003: 2024」、ロボットフレンドリー施設推進機構ホームページ
<https://robotfriendly.org/publication/rfa%E8%A6%8F%E6%A0%BC%E3%82%B5%E3%83%BC%E3%83%93%E3%82%B9%E3%83%AD%E3%83%9C%E3%83%83%E3%83%88%E3%81%AE%E7%A7%BB%E5%8B%95%E3%81%AE%E5%86%86%E6%BB%91%E5%8C%96-%E2%80%95-%E7%89%A9%E7%90%86%E7%92%B0/>（2024年3月8日アクセス）

ロボット専用通路の要否 検討詳細

ロボット専用通路を設置することで安全性や効率などのメリットが得られると想定される。一方で物理的環境構築のコストがかかるデメリットなども考えられる

メリット

運行するロボットの台数が多い場合にはよりメリットが大きくなる

- ・ 人との動線を完全に分離することができることによるメリット
 - ① 人との接触を回避できることによる安全性の向上
 - ② 人流や障害物を回避することによる走行速度の低下、経路延長の発生がないことによる効率的な運行
 - ③ 経路計画の単純化・安定化（人流や障害物による経路変更の必要性がない）

デメリット

運行するロボットの台数が少ない場合にはデメリットが大きくなる

- ・ ロボット専用通路では、ロボットが走行できる物理的環境を構築する必要がありコストがかかるとともに、運行台数が少ない場合、設備を有効に活用しきれず無駄が生じる
 - ① ロボットのサイズや形状に合わせた通路幅の確保、通路仕様
 - ② 床面仕様（滑りにくさ、耐久性、ロボットへのダメージ等を考慮）
- ・ 人との接触を回避するための安全対策を実施する場合にはコストがかかる
 - ① 人や障害物の侵入を防止するための柵の設置
 - ② 人や障害物の侵入を検知するためのセンサおよび非常停止装置の設置

（参考）道路交通法の一部を改正する法律

（自動配送ロボットの公道走行時に適用）

(1) 最高速度、車体の大きさ

- ・ 最高速度：6km/h
- ・ 車体の大きさ：長さ120cm × 幅70cm × 高さ120cm ※現行の電動車椅子相当

(2) 通行方法

- ・ 通行場所：歩行者と同じ
（歩道、路側帯、道路の右側端）
- ・ 歩行者相当の交通ルールに従う
（信号や道路標識等に従う、横断歩道の通行等）
- ・ 歩行者に進路を譲らなければならない



歩道



路側帯の設置された道路



歩車道の区別のない道路

(3) 届出制

- ・ 遠隔操作型小型車を通行させようとする場所を管轄する都道府県公安委員会への事前届出を義務化
（届出事項：使用者の氏名等、通行する場所、遠隔操作を行う場所、非常停止装置の位置、ロボットの仕様等）

(4) 行政処分等

- ・ 警察官等は、危険防止等のため、遠隔操作型小型車を停止又は移動させることができる
- ・ 都道府県公安委員会は、使用者が法令に違反したときは、必要な指示（措置をとるまでの間の通行停止を含む）を行うことができる



経済産業省「第5回自動走行ロボットを活用した配送の実現に向けた官民協議会」、2022年2月28日、警察庁、
https://www.meti.go.jp/shingikai/mono_info_service/jidosoko_robot/pdf/005_05_00.pdf

4. 検証結果詳細

4.1 分散協調制御でのアーキテクチャ仮説

4.2 運行管理に必要な共通データ

4.3 複数モビリティの運行管理・制御

4.4 インフラ基盤（設備・通信・充電ほか）

- ロボットの設備利用時に必要な設備連携
- インフラ基盤のハード・ソフト仕様
（駐機場・充電場／通信基盤／ロボット専用通路／センサー・IoTインフラ）

4.5 分散協調におけるサービス連携

センサー・IoTインフラの構成要素（機能）

仮説に基づいて必要な機能を想定し、保有技術を活用した実証システムを構成して検証した

仮説

- 人とロボットが共存するエリアにおいて、複数のサービス、複数の事業者が協調制御をおこなうためには、ロボットだけではなく、人の位置を把握した上で、それぞれのロボットと交通整理、経路調停をおこなう必要がある。
- ロボットと交通整理、経路調停を実施するにあたって、通路上の人の混雑度（人数）が分かれば、それに応じた経路コストを設定することで、交通整理、経路調停を実現することができる。
- モビリティがない通路上の混雑度を把握する場合、場に設置された共助のインフラセンサを活用する方法が考えられる。
- 共助インフラセンサの情報は、複数のシステムで利用されることが想定されるため、利用者間で共通の情報通信仕様（たとえば空間IDなど）を使って情報配信できることが望ましい。

インフラセンサに必要な機能

- 各インフラセンサに共通で必要となる機能として、以下が考えられる
- 検出物が人であることを判別し、その位置を検出する機能
 - 複数のインフラセンサが同一人物を観測した場合、出力された複数の認識結果を統合し、それが同一の人であると判断できる機能
 - センサ出力、または複数センサの統合結果がデータ連携基盤に集約されるため、それらは時刻同期され、かつ共通の空間情報に紐づいて情報伝達されることが望ましい

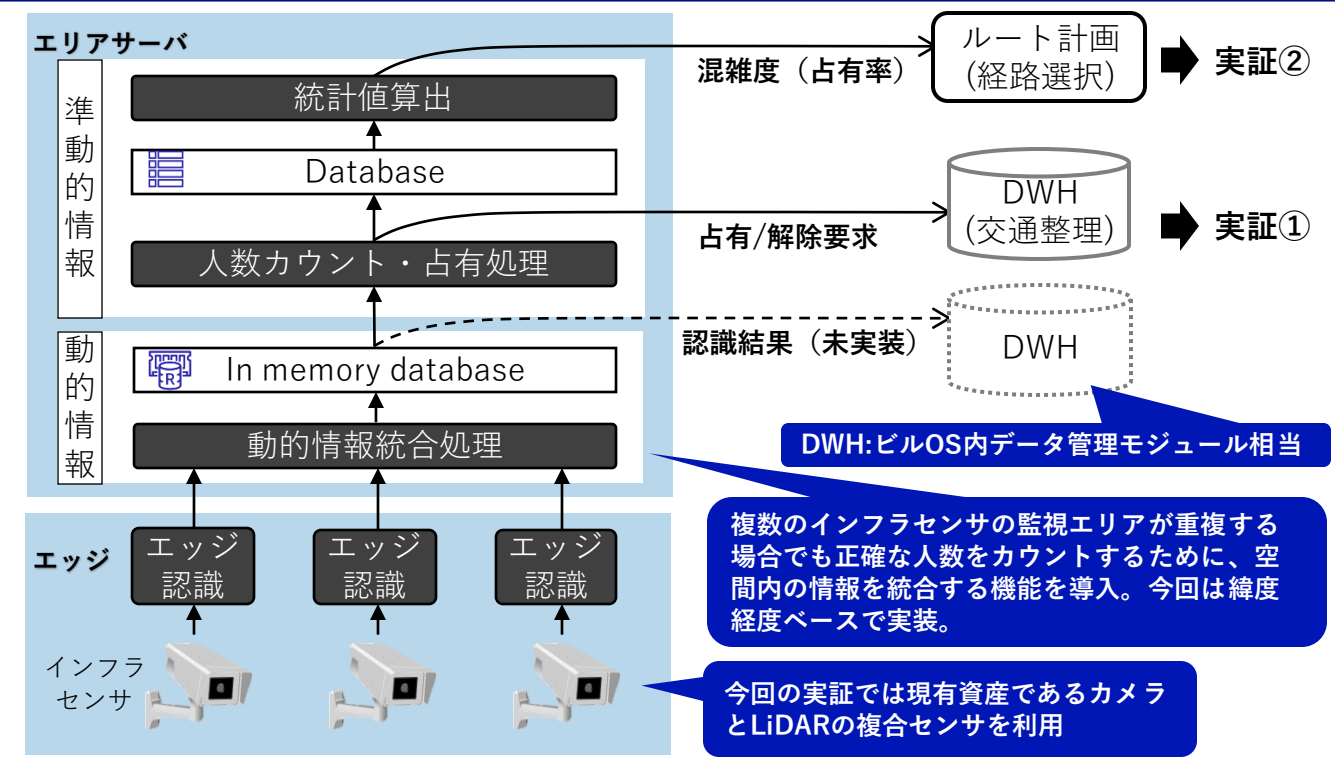


仮説の検証

人を認識できるインフラセンサ（共助）を複数設置し、ロボットの運行を調停する仕組みの中にを取り入れることで、以下を検証する

- ①交通整理：インフラセンサで人を検知することで各社ロボットと人との接触を回避できる
- ②経路調停：インフラセンサで検出された人流（混雑度）に応じて最適な経路を選択できる

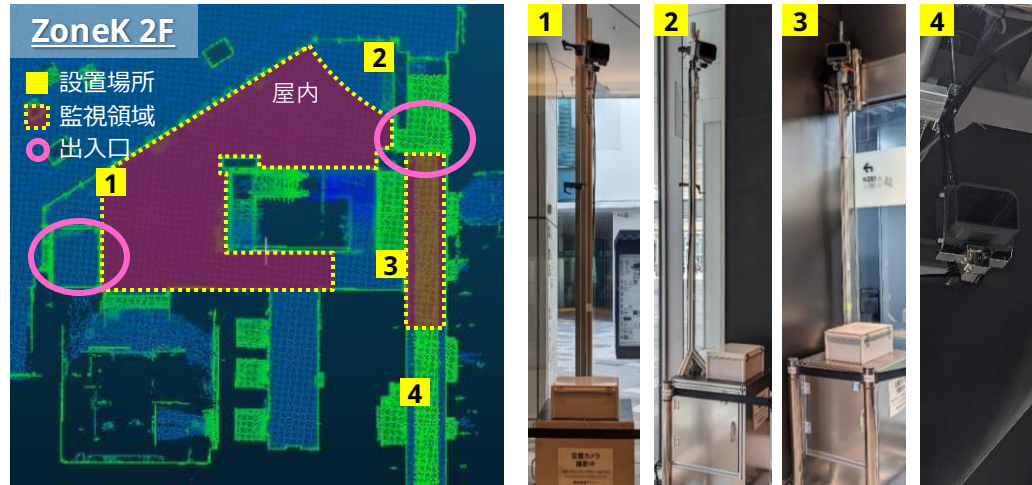
本実証におけるシステム構成



センサー・IoTインフラの実証実験結果と考察

本実証の実現手段

- 実証のフィールドとなるHICity ZoneK 2Fにインフラセンサを4台設置し、狭い通路や、出入口の自動ドア付近の人を監視する（インフラセンサ1と2、1と3の監視エリアの一部があえて重複するように設置）



実証

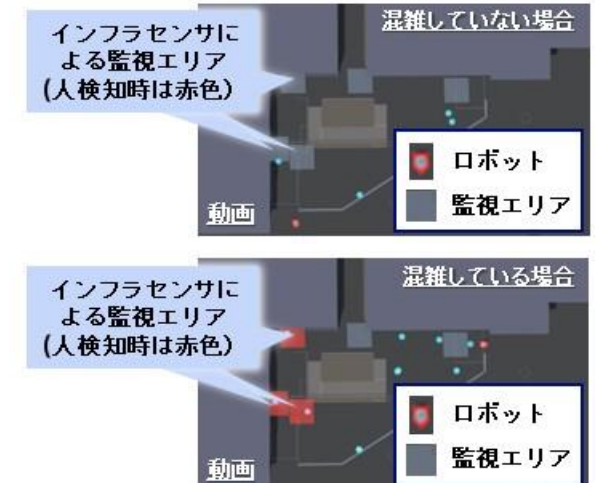
①交通整理（狭いエリアでの接触回避）

インフラセンサで認識した通行人情報に基づき、インフラセンサ側から経路占有を申請/解除することで、ロボットと人との干渉を軽減できることを確認



②経路調停（人の多い場所を通らない）

インフラセンサで検知した人の混雑度に応じたルート計画ができることを確認



考察

実証を通して得られた知見

- インフラセンサによる占有情報を共有することで、ロボットと人との干渉を軽減できることを確認
- 出入口付近などの狭いエリアにおいて、人による占有が継続するルートを回避する仕組みを採用することで、混雑度に応じたルート計画ができることを確認
- 共助インフラセンサにおいて、管理主体が複数ある場合、センシングエリアの重複が発生する可能性があることから、共助インフラセンサの情報をデータ連携基盤に送るケースでは、集約した認識結果を統合する機能が必須になると考えられる。また各センサからの認識結果を正しく統合するためには、各インフラセンサの認識結果の時間的・空間的誤差が一定の水準に収まっている必要がある。
- 本実証では共助インフラセンサからの認識結果は緯度経度で伝達したが、混雑度を計測した試験においては、面で情報を集約する必要があった。面と点で情報を管理でき、かつ使う側が任意の粒度で情報を取得できるような仕組み（例えば空間IDなど）があると、共助情報の利便性が向上する可能性がある。

センサー・IoTインフラのデータの受け渡し・保管方法の課題

将来的に多様なベンダが、多様なインフラセンサを開発/活用することが想定されることに對し、データの受け渡し・保管方法において、下表の小カテゴリのような課題について考察する

カテゴリ	小カテゴリ	課題
データ受け渡し	認証	インフラデータの活用は、その時点での有要/不要だけでなく、ビッグデータの一環として、より多様なデータを収集し、それらから分析を以て価値創造することが真価であると考えられる。この観点から、データ保管サーバへのアクセスを、「データ送信」「データ閲覧」と二分した際に、「 データ送信 」のハードルを下げ、 多様な機器からのデータを受け入れられる設計が適している と考えられる
	通信方式	上記の通り、データの提供のハードルはで居る限り下げの方が、将来的なメリットが大きいと想定される。通信方式についても、この世界観に寄与するために、 汎用性を重視した方式を採用すべき であると考えられる。
	運用	どのようなデータでも収集する、という前提を考えた際に、その内容に関する保証を考慮する必要がある。つまり、誤ったデータや、意図的に改ざんされたデータを受信してしまい、それを誤ったまま活用してしまう事が想定される。これらとデータ活用拡大を両立させるために、 データの正常性を監視/運用する体制も重要 になると考えられる。
	フォーマット	将来的に、より多様なセンサー等情報を取得可能なロボット/IoTセンサが、施設内に多数設置されるような状況を想定すると、フォーマット含め 汎用的な設計が求められる と想定される。
保管	セキュリティ	保管されるインフラデータは、それぞれに求められるセキュリティレベルが異なると考えられる。例えば、監視カメラの映像データには、個人情報等を含む可能性や、警備情報に近い情報であるため、攻撃者がセキュリティホールを発見するリスク等があると考えられるのに対し、温度や湿度データには大きなリスクがあるとは想定しにくい。これらのデータ全てに対して、最も強いセキュリティを求めることはコスト面から、データ活用拡大の障壁になると考えられ、 求められるセキュリティレベルの定式化を行うことで、持続可能なデータ連携システムの構築が実現できる と考えられる。
	ロケーション	一部のデータは、相当なセキュリティレベルで保護される必要がある場合が想定される。このような場合、 データ保管のロケーションも、セキュリティレベル内部で定義される必要がある 。例えば、建物内のローカルサーバ/MECのような、外部アクセスを物理的に不可能な場所に保管すべき場合と、AWS/Azure/GCPに代表されるクラウドへ保管しても良い場合が想定される。
	アクセス制限	保管されたデータに対して、適切な権限付与を行うことも、セキュリティ及び活用の観点から重要であると考えられる。これに向けて、 ロボット、システム、施設、事業者等のステークホルダーの、活用/管理/運用等のロールをデータの閲覧/編集等の権限から定義し、必要なデータ参照し、活用できる体制を構築することが重要 であると考えられる。

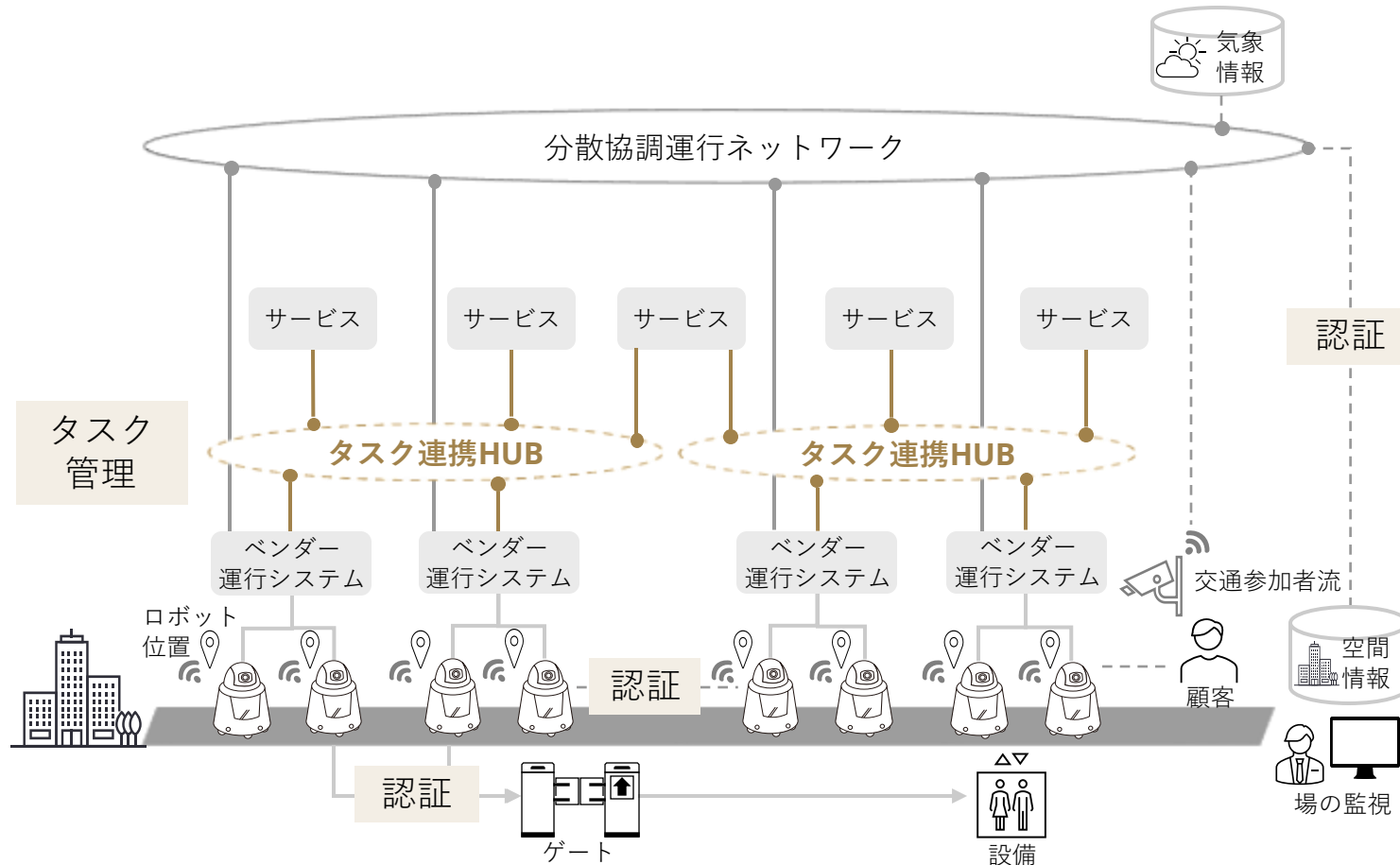
4. 検証結果詳細

- 4.1 分散協調制御でのアーキテクチャ仮説
- 4.2 運行管理に必要な共通データ
- 4.3 複数モビリティの運行管理・制御
- 4.4 インフラ基盤（設備・通信・充電ほか）
- 4.5 分散協調におけるサービス連携
 - タスク管理（サマリ／検討詳細）
 - 認証（サマリ／検討詳細）
 - 将来アーキテクチャ仮説

分散協調におけるサービス連携の検証項目

分散協調におけるサービス連携の節では、「タスク管理」「認証」の2つの検証項目を対象とする

将来アーキテクチャ概観



検証項目

検証項目の概要

分散協調におけるサービス連携

タスク管理

複数のサービス提供者・モビリティ運行者が連携しながら、E2E*でサービス受注から完了（決済等）まで行うために必要な情報の連携フロー、必要な情報抽出し、機能配置と連携／共有情報を検討

認証

ロボットを活用したサービスに係る事業者間の連携において必要な認可認証を抽出し、そのフローから機能配置を検討

*E2E : End to End

4. 検証結果詳細

- 4.1 分散協調制御でのアーキテクチャ仮説
- 4.2 運行管理に必要な共通データ
- 4.3 複数モビリティの運行管理・制御
- 4.4 インフラ基盤（設備・通信・充電ほか）
- 4.5 分散協調におけるサービス連携
 - タスク管理（サマリ／検討詳細）
 - 認証（サマリ／検討詳細）
 - 将来アーキテクチャ仮説

分散協調におけるサービス連携の検証項目「タスク管理」

検証項目	検証項目の概要
分散協調におけるサービス連携 タスク管理	複数のサービス提供者・モビリティ運行者が連携しながら、E2Eでサービス受注から完了（決済等）まで行うために必要な情報の連携フロー、必要な情報抽出し、機能配置と連携／共有情報を検討
認証	ロボットを活用したサービスに係る事業者間の連携において必要な認可認証を抽出し、そのフローから機能配置を検討

タスク管理における検証

本検証項目では、複数のサービス提供者とモビリティ運行者間での柔軟な連携を前提に、集中的なタスク割当制御を行わないタスク管理を実現する機能配置と必要な共有データを検証する

タスク管理の 検証の観点

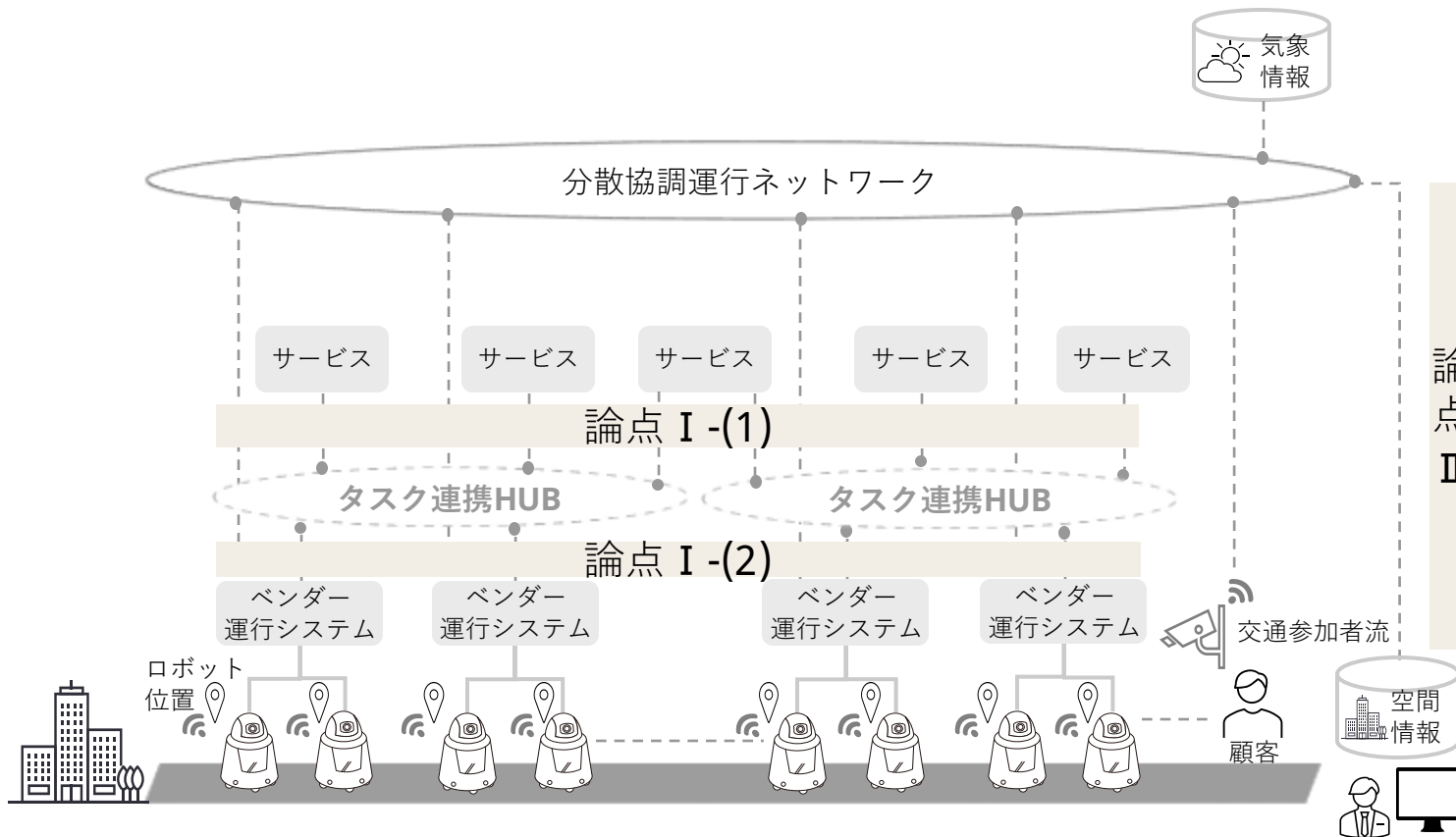
- I. 複数のサービスロボット／サービス／事業者を横断した運行および自動運転車等の他モビリティを横断した運行等にまつわるタスク管理における機能構成要素と機能配置
- II. 運行以外のサービス機能（受発注・決済サービス等）に繋がる機能間で共有すべき情報

#	タスク管理の分散協調における前提
1	タスク管理において集中管理は行わない
2	タスク管理に対する機能ごとにルールが明確に分かれている
3	複数のサービス提供者、複数のモビリティ運行者が存在した場合に、あらゆる組み合わせが可能である

タスク管理の論点

サービスを受けてからその実行を担うロボットまでの連携における2つの連携ポイントの機能配置と、その機能間の情報共有をタスク管理における主要論点と設定する

分散協調におけるアーキテクチャ概観



論点抽出の観点

- タスク管理を構成する3つの要素と役割

要素	役割
サービスシステム	最終顧客から受注したタスクのモビリティ運行者側とのやり取りを担う
タスク連携HUB	複数のサービスシステムとベンダー運行システム間のタスクの中継を担う
ベンダー運行システム	タスク指示に基づき、ロボット機体を運行・制御する役割を担う

- 上記システムの連携において、以下が大きな論点となる
 - どのような機能配置となるか
 - どのような情報が共有されるか

検証論点

I. 機能構成要素と機能配置

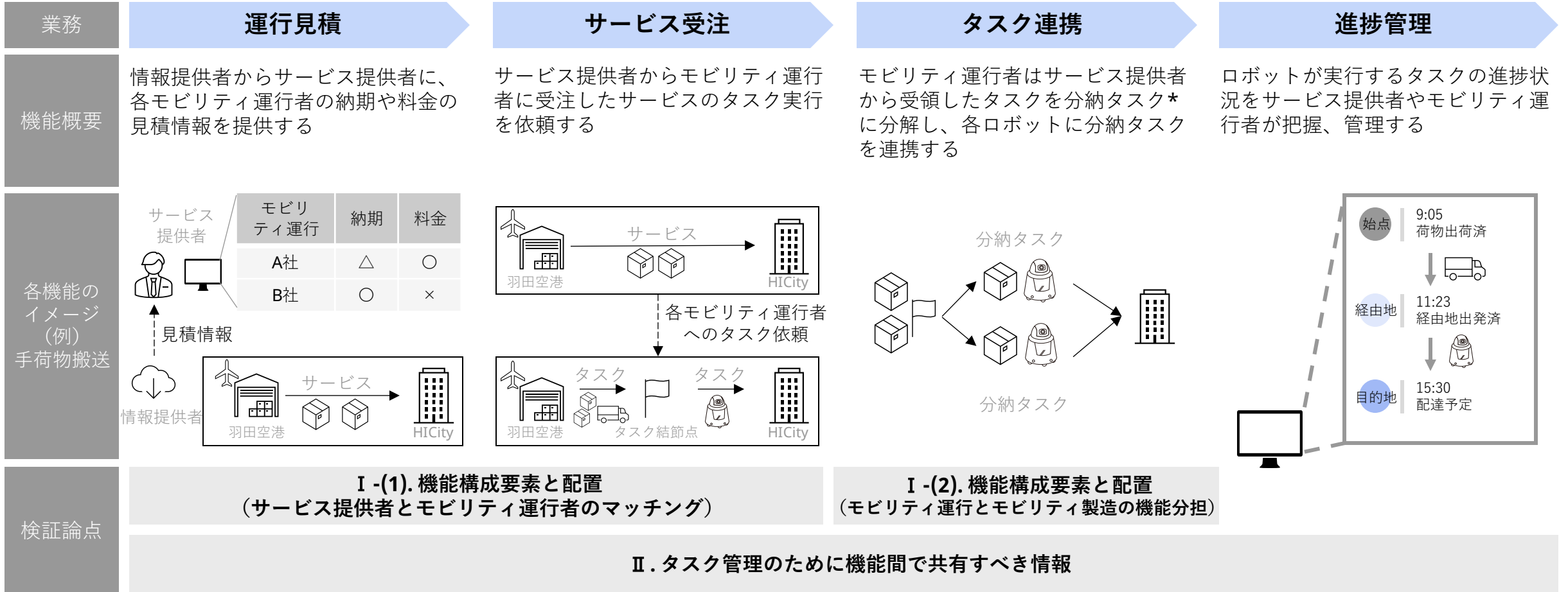
- I-(1). サービス提供者とモビリティ運行者のマッチング
- I-(2). モビリティ運行とモビリティ製造の機能分担

II. タスク管理のために機能間で共有すべき情報

タスク管理の対象機能概要と論点

タスク管理は運行見積、サービス受注、タスク連携、進捗管理の4つの主要業務をスコープとし、各業務に対して機能構成要素とその配置、機能間の連携に必要な共有情報を検証する

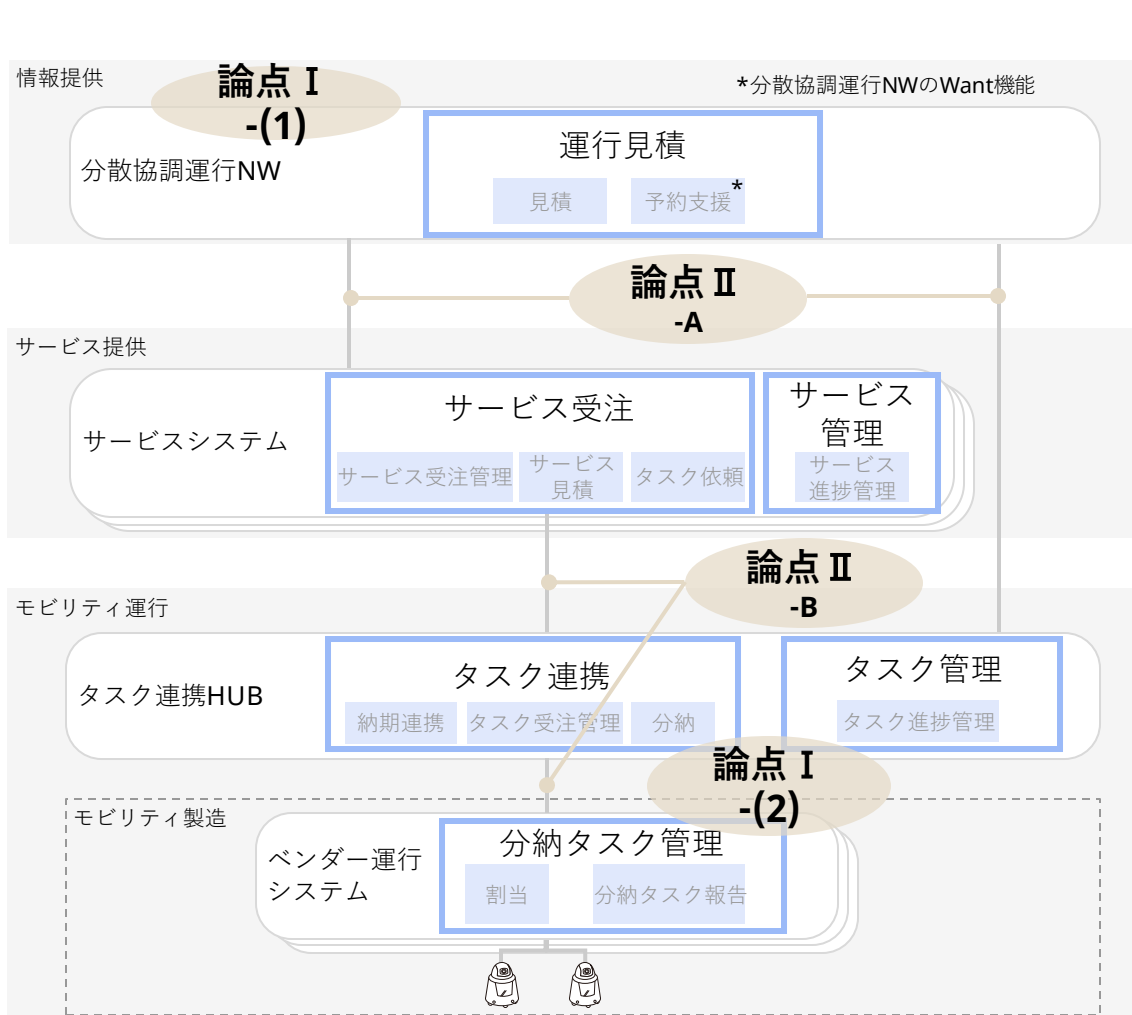
【業務フローと論点】



*1台のモビリティが実行可能な単位に分解したタスク

タスク管理のサマリ

サービス提供者は情報提供者からの納期見込み情報等を活用してタスク依頼先を選定すると想定する。
タスク連携HUBがタスク管理し、ベンダー運行システムが機体割当を担う自律的な機能配置を考える



検証論点	分散協調におけるタスク管理の結論
<p>I. 機能構成要素と機能配置</p> <p>I -(1). サービス提供者とモビリティ運行者のマッチング</p>	<p>情報提供者がサービス提供者とモビリティ運行者のマッチングを支援</p> <p>サービス提供者は情報提供者を利用して需給調整に必要な納期見込みの情報を受領する</p>
<p>I -(2). モビリティ運行とモビリティ製造の機能分担</p>	<p>ベンダー運行システム（モビリティ製造）による機体割当</p> <p>タスク連携HUBが共有する分納タスクの中からベンダー運行システムが機体割当を行う</p> <p>※ただし、マルチベンダー運行管理システム（タスク連携HUB+割当機能）が割当を担うことで稼働効率の向上の可能性あり。詳細は、論点 I -(2)に記載</p>
<p>II. タスク管理のために機能間で共有すべき情報</p>	<p>サービス依頼時の納期見込みの情報とサービス実行中のタスク進捗の情報</p> <p>各システム間で主に以下の情報が連携される</p> <p>A) 納期見込み：分散協調運行NWのデータ活用</p> <p>B) 進捗管理：トランザクションのI/F連携</p>

I-(1). サービス提供者とモビリティ運行者のマッチング

サービス提供者とモビリティ運行者間でのM:Nの連携を前提とした場合、需要にあった供給の選択、供給状況を踏まえた需要調整の実施で、全体としてモビリティの稼働向上に向かうと考察する

凡例：

ロール

システム

【機能Lv.2】
・機能Lv.3

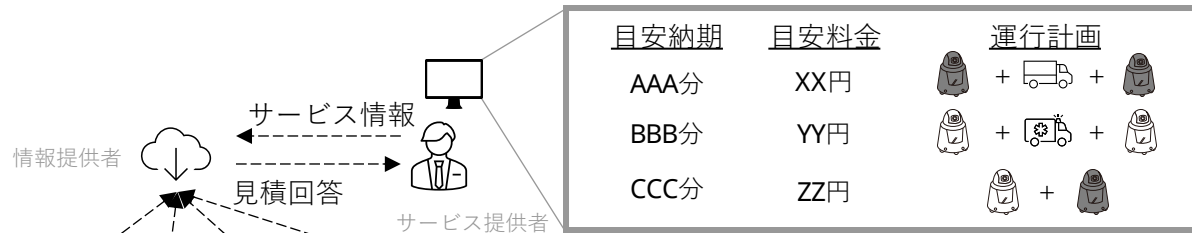
運行見積機能の概要

目的

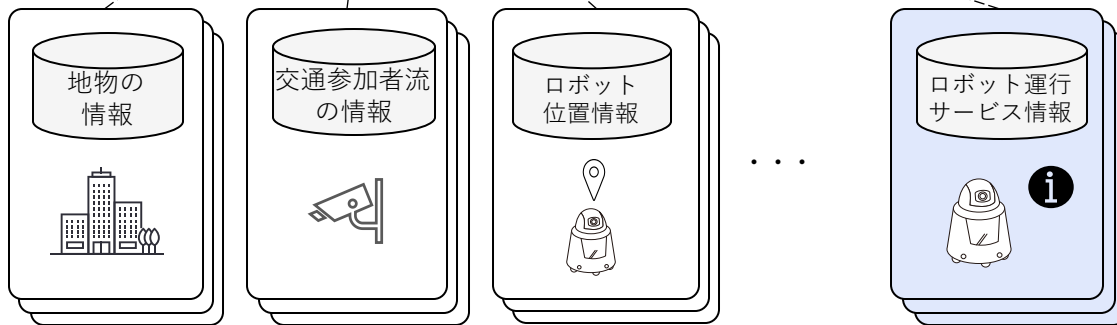
- サービス提供者とモビリティ運行者がM:Nとしたときの、
 - 需給のバランス調整を支援すること
 - サービスを運行するモビリティ運行者の組み合わせを決めるための情報を提供すること

要件

- 複数のモビリティ運行者の**目安納期**や**目安料金**を提供できること
- マルチモビリティの選択肢から適した組み合わせ（**運行計画**）を提供できること

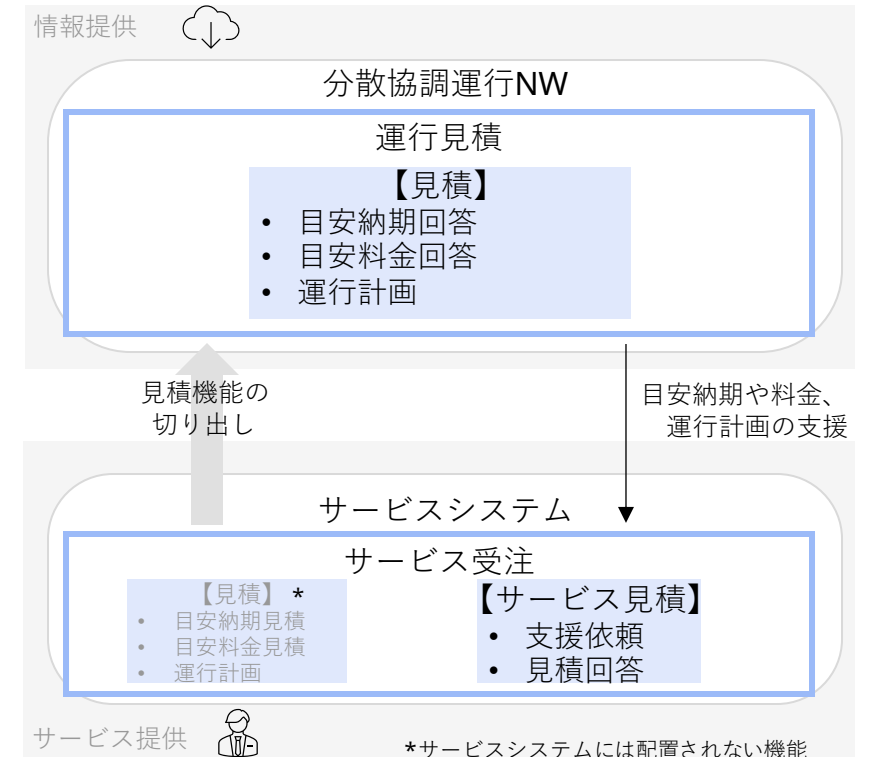


多様な情報種を複数の情報元から取得する必要



機能配置詳細

見積機能は各サービス提供者に共通して必要かつ高負荷な機能であるため、分散協調運行NWの機能とする



サービス提供

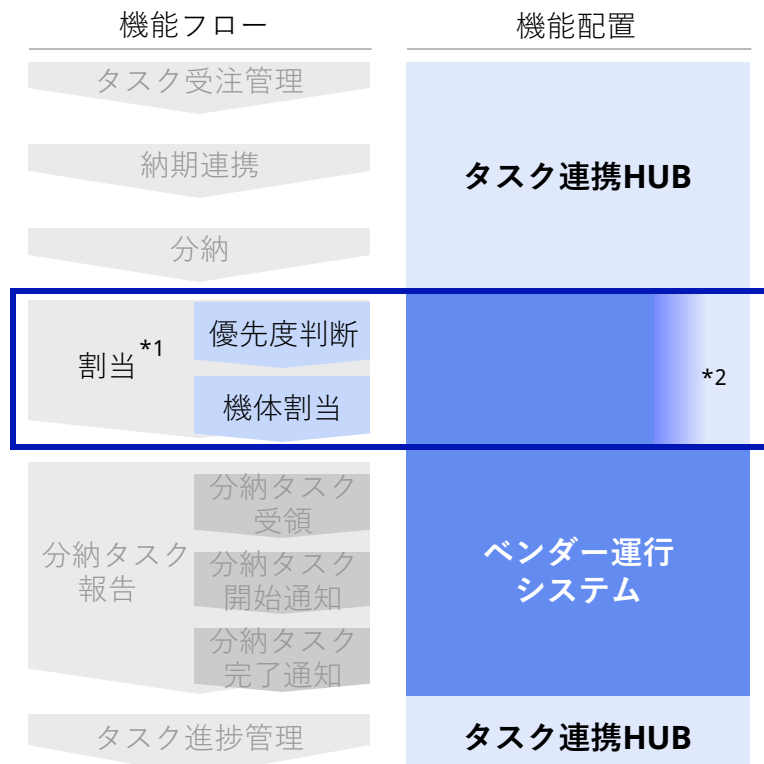
*サービスシステムには配置されない機能

I-(2). モビリティ運行とモビリティ製造の機能分担

割当機能の配置が、モビリティ運行（タスク連携HUB）とモビリティ製造（ベンダー運行システム）の機能配置の論点となる。連携の柔軟性を重視する場合は、ベンダー運行システムが担う機能と考える

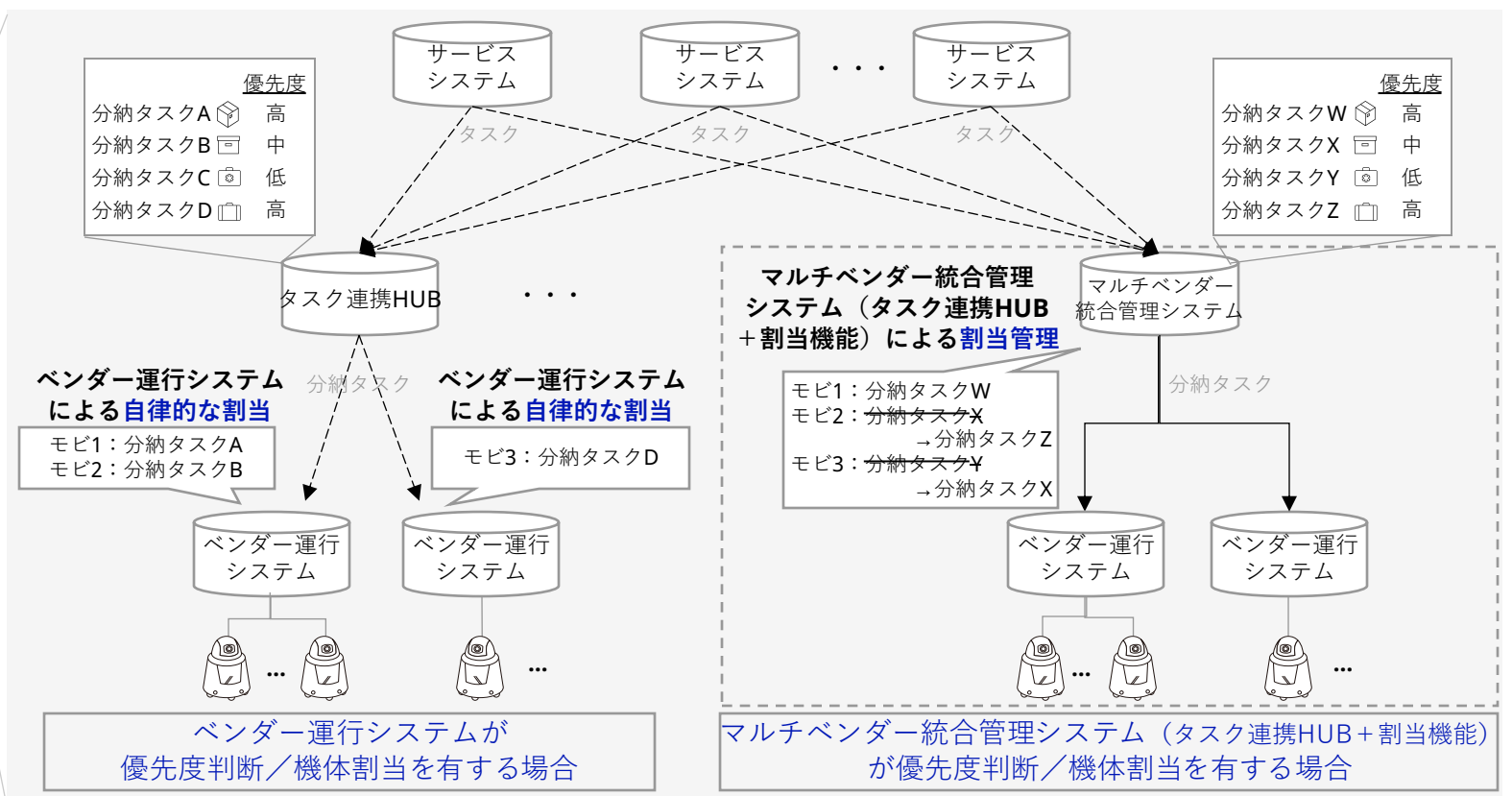
凡例： 機能Lv.2 機能Lv.3

モビリティ運行者とモビリティ製造者の機能



*1) ベンダー運行システムに配置する事が好ましいが、集中的な管理により稼働効率が向上する可能性があるため、モビリティ運行のビジネス判断によってはマルチベンダー統合管理システム（タスク連携HUB+割当機能）に配置する可能性もあり
 *2) タスク連携HUBに割当機能を配置した場合、集中管理型のシステムとなり、マルチベンダー統合管理システムと呼ぶ

機能配置詳細図



II. タスク管理のために機能間で共有すべき情報

タスク管理の機能の実行にあたり、A) 情報提供サービスを活用した納期回答のための情報やB) 受注後の各システム間のトランザクション連携でのタスク進捗管理の情報が機能間で共有すべき情報と考える

凡例：

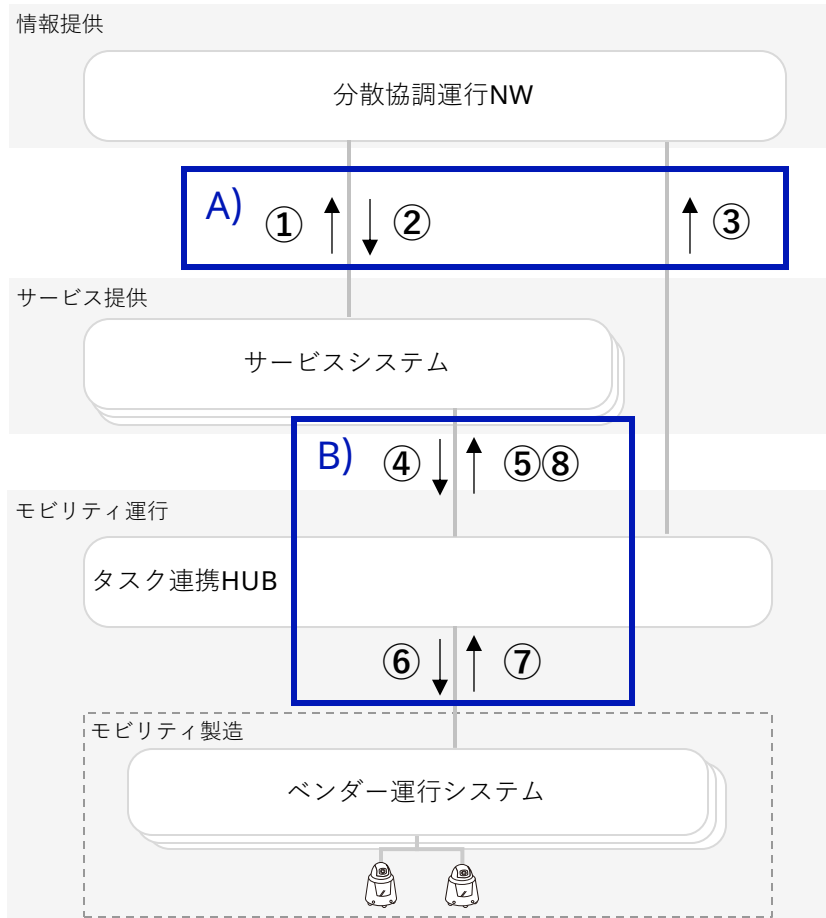
情報分類

ロール

システム

*1) 納期見込みには、地物や交通参加者流などの情報も必要になると考えられるが、活用する情報は情報提供者に依存する

*2) 異なるサービスのタスクを1台のロボットで同時に実行する際に使用する



情報分類	連携目的	#	主な情報	主なデータ項目
A) ^{*1} 納期見込み	サービス提供者が納期や料金、運行計画の見積情報を把握するため	①	サービス情報	サービスID、荷物ID、出発地、目的地、納期
		②	納期予想情報	サービスID、目安納期時間、目安費用、運行計画結果
		③	モビリティ運行サービス情報	稼働台数、稼働予定、運行エリア、料金体系、サービス内容（ロボット種類）、営業時間
B) 進捗管理	受注したサービス／タスクの進捗状況を管理し、最終顧客へのサービス提供者の説明責任を果たすため	④	タスク情報	タスクID、荷物ID、出発地、目的地、納期
		⑤	納期確定情報	タスクID、確定納期、費用、予約可否
		⑥	分納タスク情報	運行タスクID、 ^{*2} 分納タスクID、出発地、目的地、納期
		⑦	分納タスク進捗情報	運行タスクID、分納タスクID、分納タスクステータス
		⑧	タスク進捗情報	運行タスクID、分納タスクID、タスクID、分納結果、分納タスクステータス、タスクステータス

(参考) 各事業者のサービスの提供エリアイメージ

複数の場を跨ぐサービスにおける各ロール（事業者）のサービスの提供エリア例

各事業者がサービスを提供しているエリアに基づいて、複数の選択肢の中からサービスを運行する際の事業者の組合せが決定される

凡例：

ロール

システム



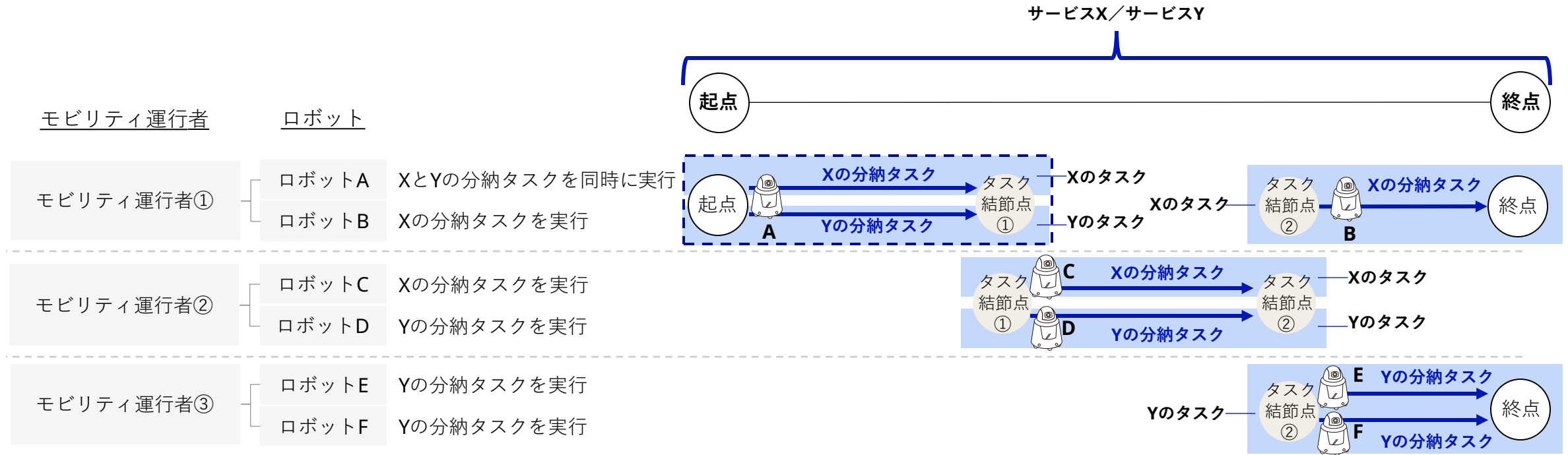
4. 検証結果詳細

- 4.1 分散協調制御でのアーキテクチャ仮説
- 4.2 運行管理に必要な共通データ
- 4.3 複数モビリティの運行管理・制御
- 4.4 インフラ基盤（設備・通信・充電ほか）
- 4.5 分散協調におけるサービス連携
 - タスク管理（サマリ／検討詳細）
 - 認証（サマリ／検討詳細）
 - 将来アーキテクチャ仮説

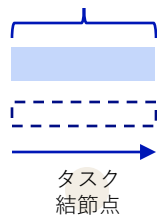
用語の定義

<場面設定>

サービス提供者は2つのサービス (X,Yとする) を受注し、各タスクをモビリティ 運行者①～③に依頼



<サービス・タスクを構成する用語の定義>

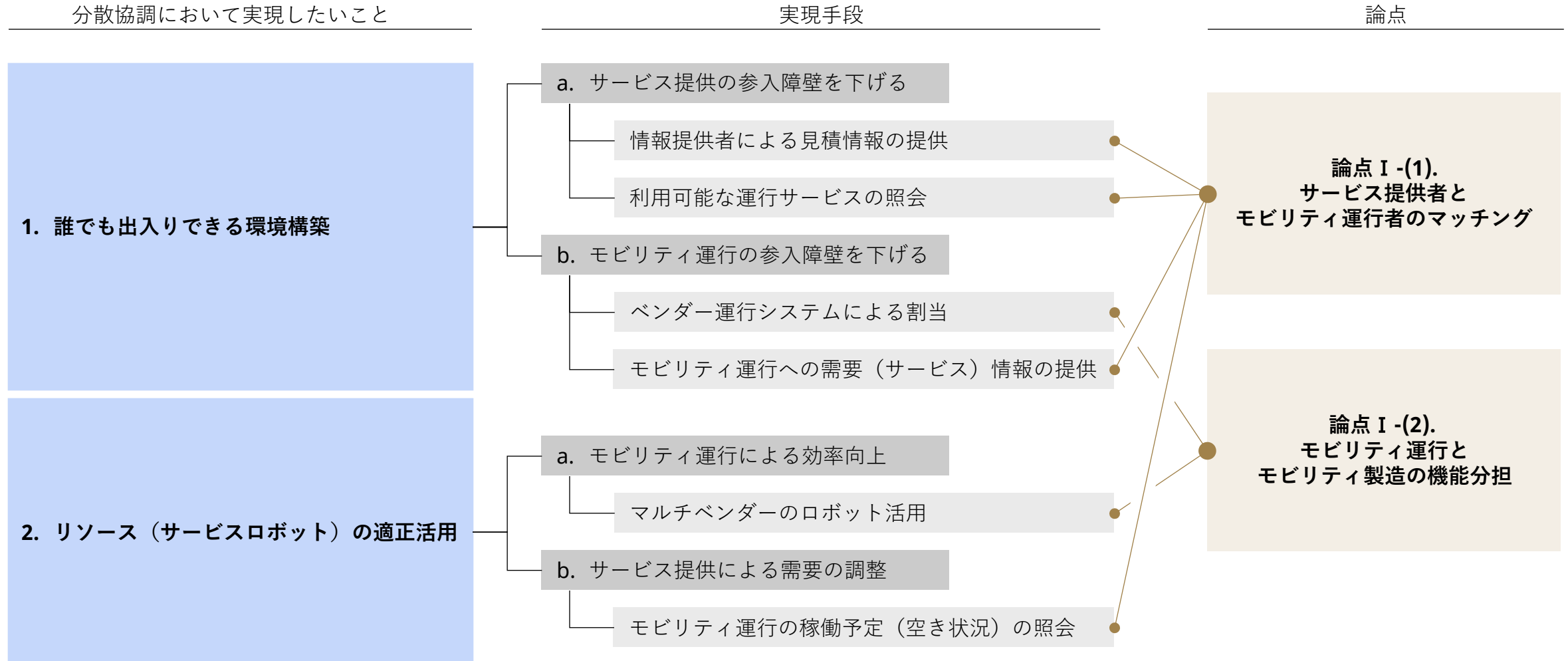


- : サービス
- : タスク
- : 運行タスク
- : 分納タスク
- : タスク結節点

- サービス提供者が最終顧客から受注した総業務量 (起点から終点までのタスク)
- 1つのサービス内でロボットの乗り換えを要する場合に、乗り換えるモビリティ運行サービスごとにサービスを分解した業務量
- 1台のロボットが複数サービスの分納タスクを一度の運行で実行する際の業務量
- 1つのタスクをモビリティ単位に分解したときの業務量
- 1つのサービス内で異なるロボットへと乗り換える (連携する) ために、ロボット同士が連携する地点

(参考) 分散協調の社会実装に向けた論点 I の位置づけ

分散協調運行の社会実装を実現するために、「誰でも出入りできる環境構築」と「リソース（ロボット）の適正活用」を考慮したタスク管理の検証を行う



(再掲) サービス提供者とモビリティ運行者のマッチング

論点1-(1)では、サービス提供者とモビリティ運行者のM:N連携を前提とした場合における、サービス提供者とモビリティ運行者のマッチングに必要な機能（運行見積）を検証する

凡例： ロール システム 【機能Lv.2】
・機能Lv.3

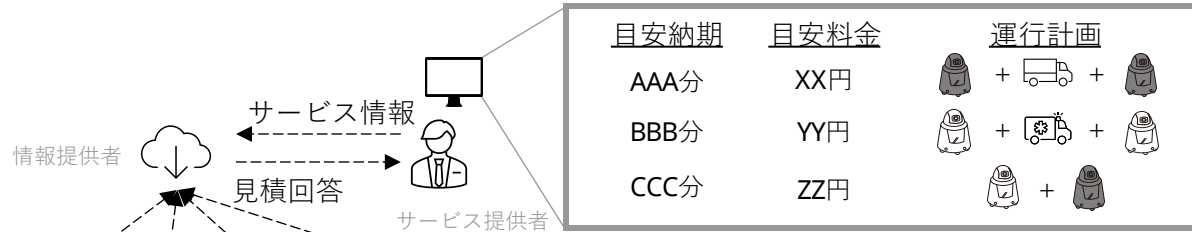
運行見積機能の概要

目的

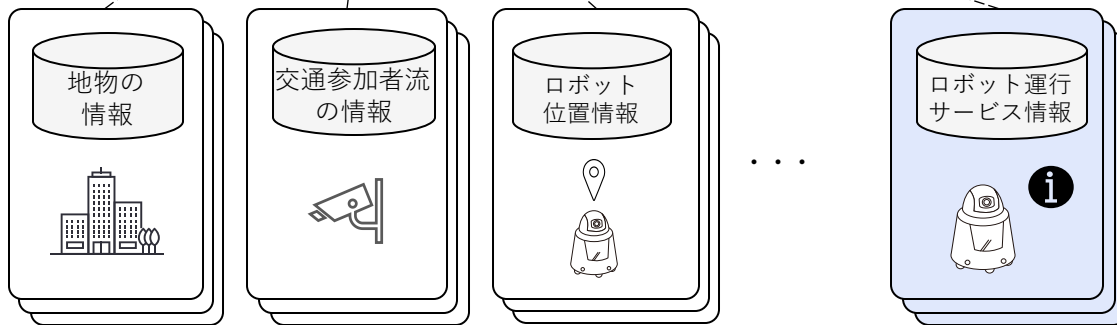
- サービス提供者とモビリティ運行者がM:Nとしたときの、
 - 需給のバランス調整を支援すること
 - サービスを運行するモビリティ運行者の組み合わせを決めるための情報を提供すること

要件

- 複数のモビリティ運行者の**目安納期**や**目安料金**を提供できること
- マルチモビリティの選択肢から適した組み合わせ（**運行計画**）を提供できること

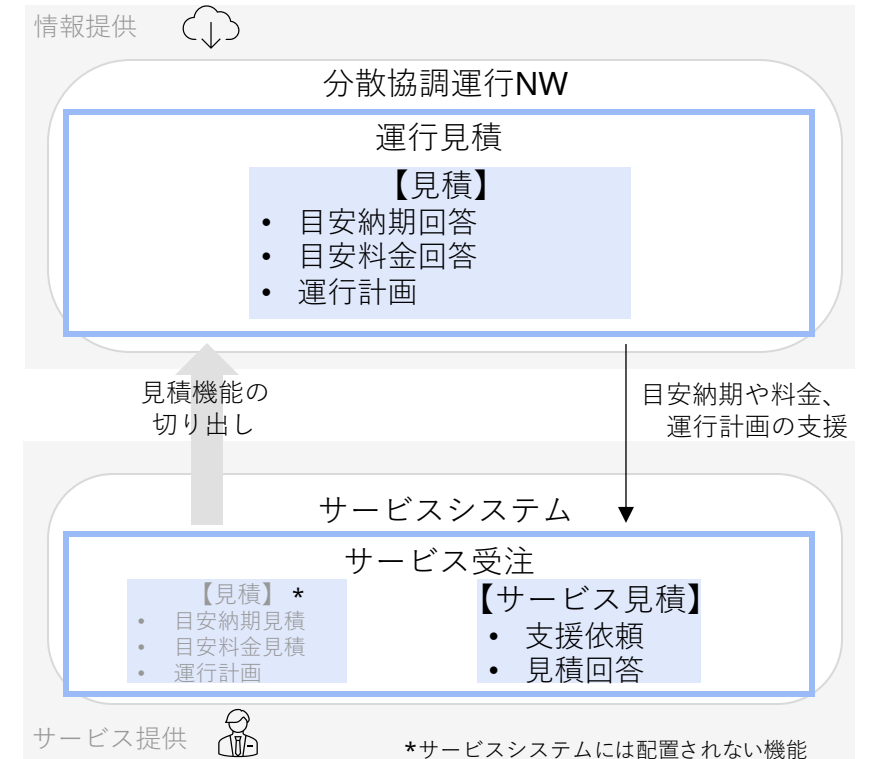


多様な情報種を複数の情報元から取得する必要



機能配置詳細

見積機能は各サービス提供者に共通して必要かつ高負荷な機能であるため、分散協調運行NWの機能とする



詳細検討：共通化する見積機能の一覧

「目安納期回答」、「目安料金回答」、「運行計画」の機能は、サービス提供者とモビリティ運行者のマッチングを支援する共通機能として情報提供者（分散協調運行NW）が有すると考える

凡例： ロール システム 機能Lv.1 【機能Lv.2】
・機能Lv.3

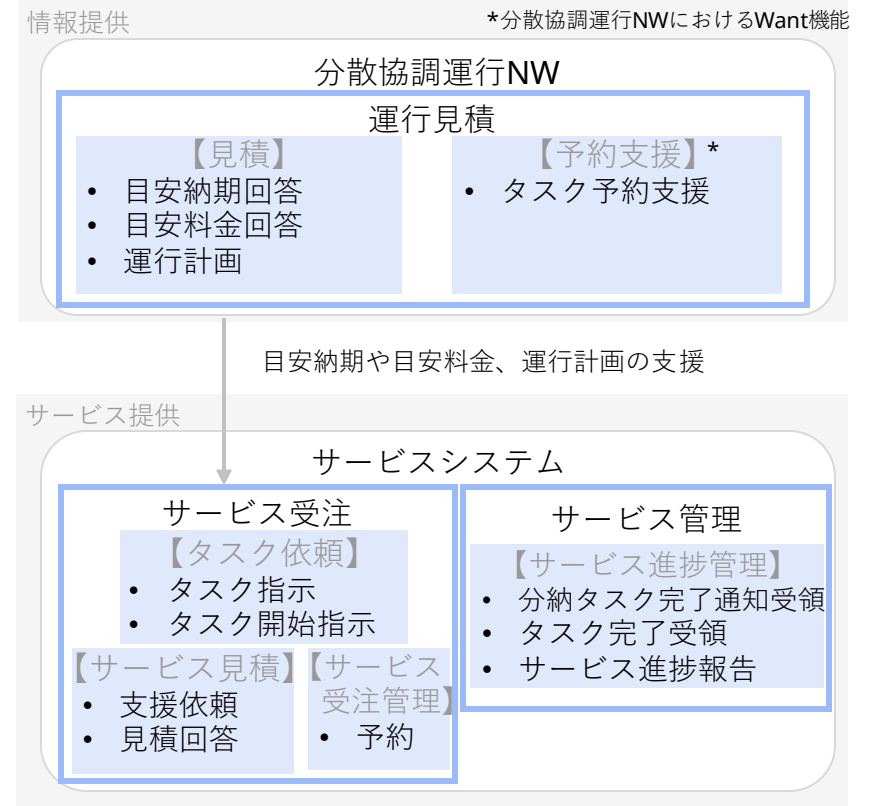
分散協調運行NWの機能

機能Lv.2	機能Lv.3	Must/Want	機能Lv.3概要
見積	目安納期回答	Must	モビリティ運行者やサービス提供者から共有される情報（ロボット運行サービス情報やサービス情報）から予測したサービスの所要時間をサービス提供者に回答する
	目安料金回答	Must	モビリティ運行者の料金体系から、サービス情報（荷物の大きさや重さなど）に対応できるモビリティ運行者の目安料金をサービス提供者を抽出する
	運行計画	Must	モビリティ運行者に目的地までどのように運んでもらうかの算段を立てるために、サービスをタスクに分解することで複数の運行経路案を算出する
予約支援	タスク予約支援	Want	サービス提供者がタスク予約できるように、各モビリティ運行者の予約方法を案内する

結論

分散協調運行NWは「目安納期」「目安料金」「運行計画」の情報の提供を通じて、サービス提供者に対して見積を支援する

サービスシステムと分散協調運行NWの機能配置



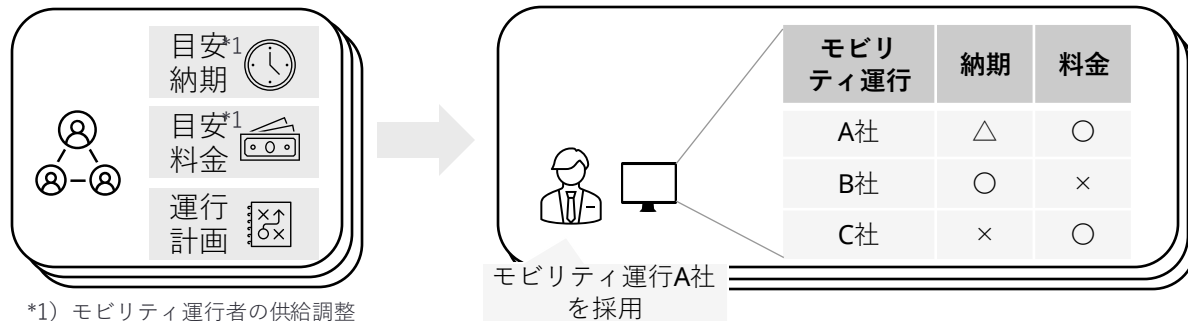
詳細検討：見積機能を情報提供者が有する理由

情報提供者（分散協調運行NW）が、需要に合った供給の選択や供給状況を踏まえた需要調整を支援することでサービス提供者やモビリティ運行者の参入障壁が下がるため、見積機能を有すると想定される

マッチング（依頼するモビリティ運行の選定）の業務内容

サービス提供者が複数のモビリティ運行者の選択肢の中から依頼先を選定する際には、以下を考慮して判断する

- 目安納期や目安料金、運行計画からモビリティ運行者を検討する
- 需要トレンドやロボット運行サービス情報からより費用効率の良い運行方法を検討する



*1) モビリティ運行者の供給調整
(時間はかかるが料金減の案を提示)
も考えられる

マッチングに必要な機能を情報提供者が有する理由

以下の理由から、情報提供者が見積情報の提供者となり、サービス提供者とモビリティ運行者のマッチングをすることが想定される

サービス提供

- 見積情報は各サービス提供者で共通して必要となる情報である
- 「目安納期回答」「目安料金回答」「運行計画」のためには、多様な情報種を様々なモビリティ運行者などの情報の提供元から収集/加工/分析する必要があり、サービス提供者にとって高負荷である

モビリティ運行

- 情報提供者がサービス提供者とモビリティ運行者のマッチング支援を担うことで、情報の連携先が限定されるためI/Fが少なくなる
- ※モビリティ運行者の空き状況を情報提供者に共有することで、複数のサービスに対して一括してモビリティ運行者に対する供給の調整が可能となり、モビリティ運行者のリソースの適正化に繋がる

見積機能の目的

サービス提供者が利用するモビリティ運行者の組み合わせを決めるための情報を提供する

見積機能の要件

- 複数のモビリティ運行者の目安納期や目安料金を提供できること
- マルチモビリティの選択肢から適した組み合わせ（運行計画）を提示し、サービス提供者が配送方法を判断できること
- ※ロボットがリレーしてサービスを実行する場合
- ※タスク実行後の納期情報更新は、サービス提供者とモビリティ運行者のマッチングには関係ないため、情報提供者は介さずモビリティ運行者とサービス提供者が直接連携する

詳細検討：見積機能（目安納期回答：機能Lv.3）



情報提供者は、サービス提供者に各モビリティ運行者がサービスを実行する際の納期の見積情報を提供することで、サービス提供者の依頼先の選定・判断を可能にする

目安納期回答機能の目的

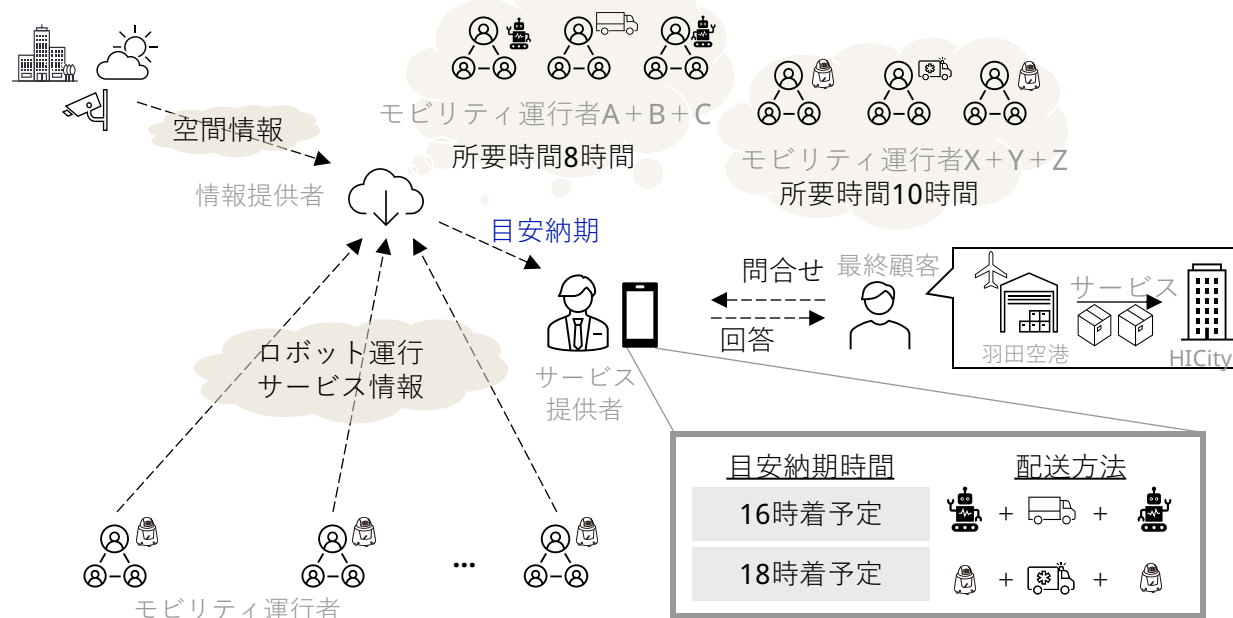
サービス提供者に各モビリティ運行者に依頼した際の目安納期時間を提供する

目安納期回答機能の要件

タスクを実行するモビリティ運行者の目安納期を算出できること

将来ユースケースCでの実装イメージ

場面：羽田空港からHiCityのホテルまでの手荷物搬送サービスを必要とする最終顧客に対して、サービス提供者は情報提供からの目安納期情報を基に搬送可能時間帯を把握し、最終顧客に回答する



目安納期回答支援に必要な主な情報

- タスクを依頼した場合の各モビリティ運行者の納期を見積るためには、以下のような情報が最低限必要になると考える

主な情報	主なデータ項目	提供元
空間情報	<ul style="list-style-type: none"> 地物 気象情報 交通参加者流 	各情報取得者
ロボット運行サービス情報	<ul style="list-style-type: none"> 稼働台数 稼働予定（空き状況） サービス内容（ロボット種類） 運行エリア 	モビリティ運行

- モビリティ運行者が定期巡回型の運行サービスを行う場合、時間幅のある空き状況の情報を提供することでモビリティ運行者として需要調整をすることが可能

	配送時間帯	モビリティ運行X	受付締切時間
モビリティ運行者から情報提供者に共有する稼働予定情報	8:00-12:00	空きあり	前日20:00
	12:00-16:00	空きあり	当日10:00
	16:00-20:00	空きなし	当日14:00

- 都度実行型の運行の場合は、タイムリーな空き状況の情報を提供する

詳細検討：見積機能（目安料金回答：機能Lv.3）



情報提供者は、サービス提供者に各モビリティ運行者がサービスを実行する際の料金の見積情報を提供することで、サービス提供者の依頼先の選定・判断を支援する

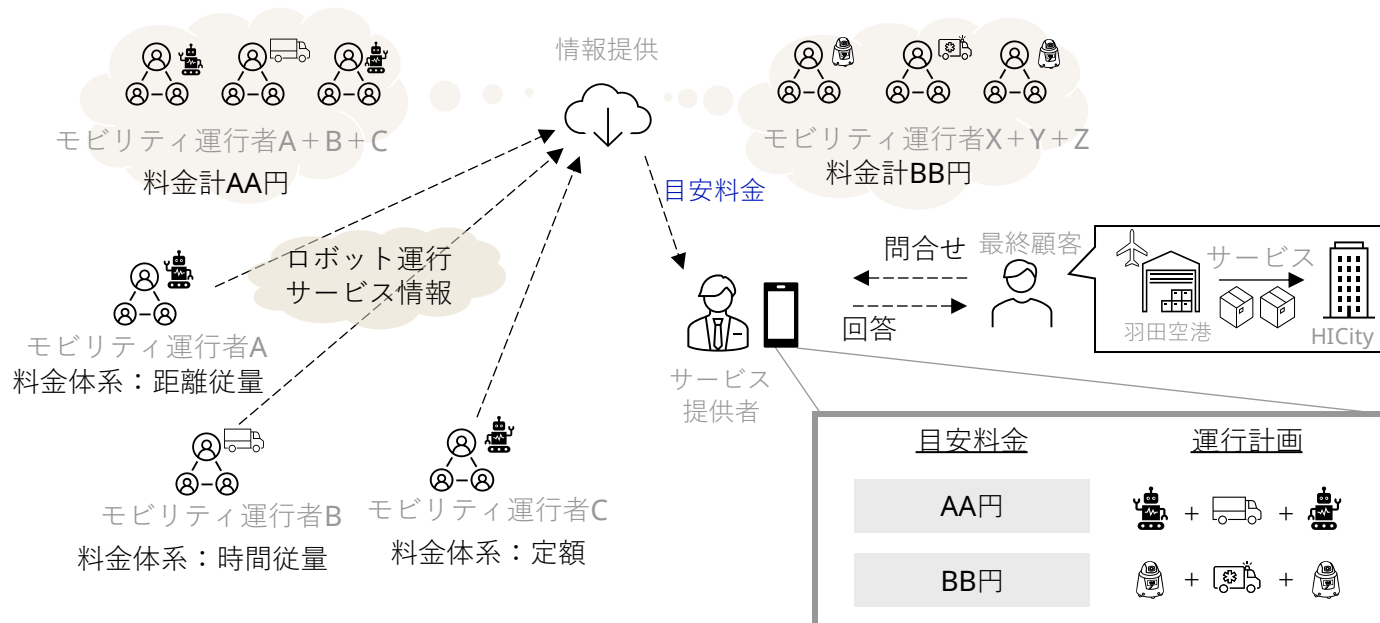
- 目安料金回答機能の目的
- 目安料金回答機能の要件

サービス提供者に各モビリティ運行者に依頼した際の目安料金を提供する

タスク内容に応じた各モビリティ運行者の費用を見積り、サービス提供に回答すること

将来ユースケースCでの実装イメージ

場面：羽田空港からHICityのホテルまでの手荷物搬送サービスを必要とする最終顧客に対して、サービス提供者は、情報提供者からの目安料金情報を基に費用見積を把握し、最終顧客に回答する



目安料金回答支援に必要な主な情報

タスクを依頼した場合の各モビリティ運行者の料金を見積るためには、以下のような情報が最低限必要になると考える

主な情報	主なデータ項目	提供元
サービス情報	<ul style="list-style-type: none"> サービスID 出発地 目的地 希望納期 	サービス提供
ロボット運行サービス情報	<ul style="list-style-type: none"> 料金体系 	モビリティ運行

詳細検討：見積機能（運行計画：機能Lv.3）



モビリティ運行者の運行エリアなどの要素によっては、複数のモビリティを切り替えながらサービスを提供する必要がある。その際、情報提供者が運行計画の候補を情報として提供すると見込まれる

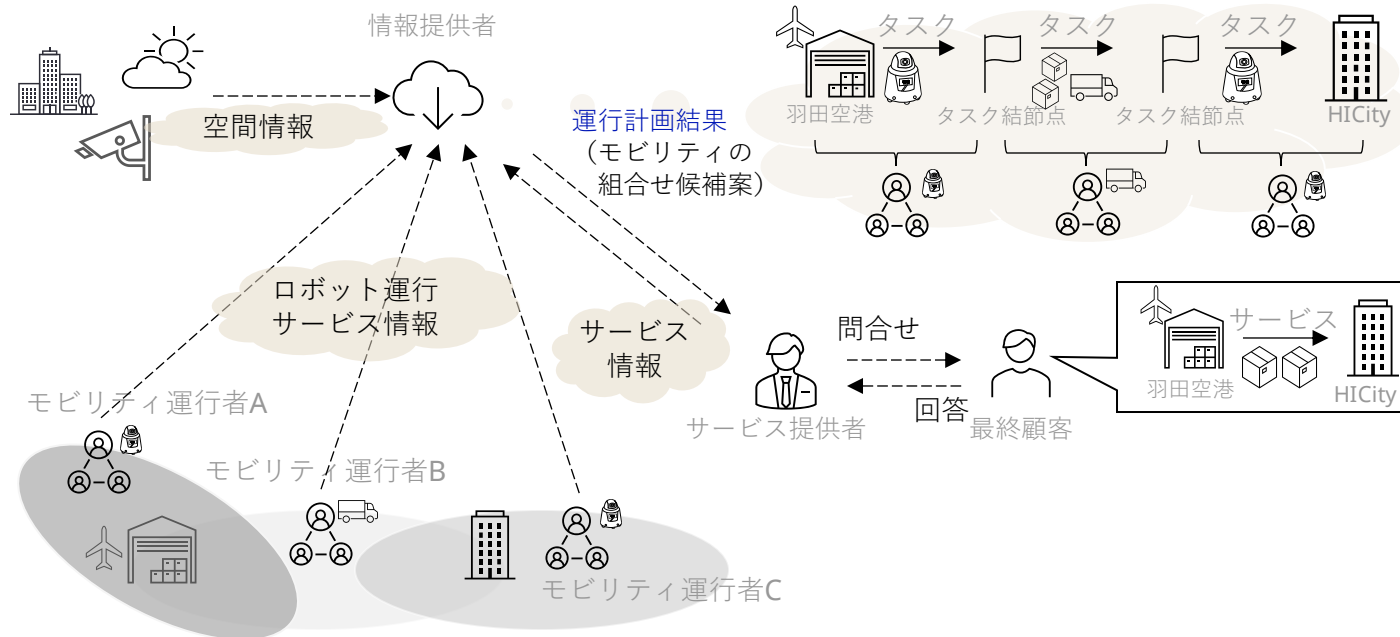
- 運行計画機能の目的
- 運行計画機能の要件

サービスをどのモビリティ運行者に担ってもらうかの候補者をリストアップする

- 各モビリティ運行者の運行可能エリアを基に、サービスをタスクに分解できること
- モビリティ運行者の組み合わせ候補をサービス提供者に提示すること

将来ユースケースCでの実装イメージ

場面：羽田空港からHICityのホテルまでの手荷物搬送サービスを必要とする最終顧客に対して、サービス提供者は、情報提供からの運行計画の結果情報を基に配送方法の候補を把握し、最終顧客に回答する



運行計画に必要な主な情報

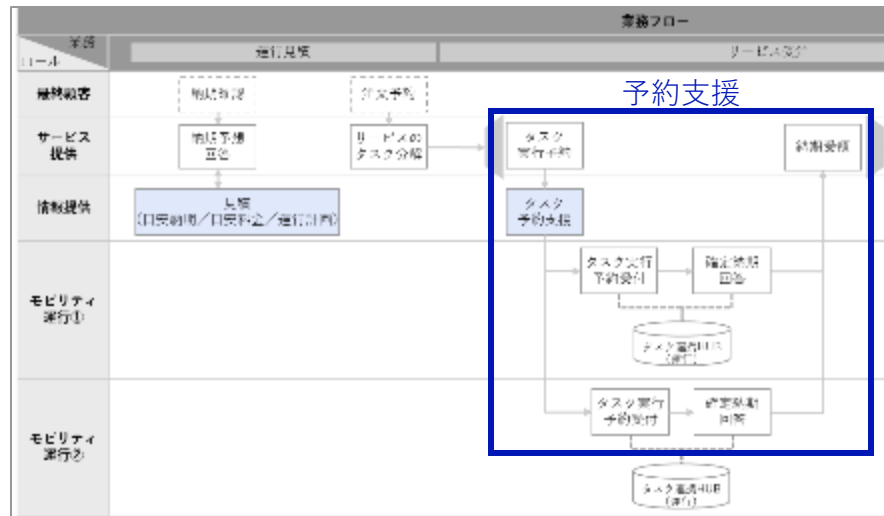
サービスをタスクに分解し運行計画を立てるためには、以下のような情報が最低限必要になると考える

主な情報	主なデータ項目	提供元
サービス情報	<ul style="list-style-type: none"> サービスID 出発地 目的地 希望納期 荷物高さ 荷物幅 荷物奥行 荷物重量 荷物数量 	サービス提供
空間情報	<ul style="list-style-type: none"> 地物 交通参加者流 	各情報取得者
ロボット運行サービス情報	<ul style="list-style-type: none"> 運行エリア 営業時間 サービス内容（ロボット種類） 	モビリティ運行

(補足) 分散協調運行NWによる予約支援

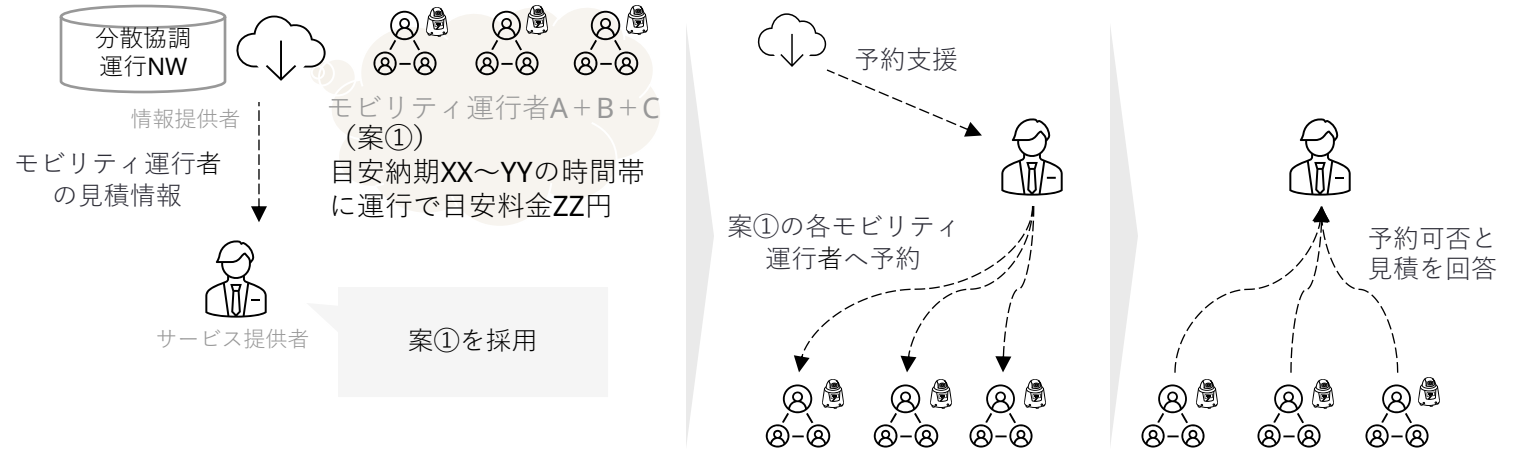
サービス提供者がモビリティ運行者に対して未来予定のタスクを依頼する場合、予約（スケジュール）登録方法・予約フォーマット等も見積情報と合わせてサービス提供に共有されることが望ましい

業務フローにおける「予約支援機能」該当箇所



将来ユースケースCでの実装イメージ

場面：サービス提供者は情報提供者の見積情報を基に羽田空港からHICityのホテルまでの手荷物搬送の依頼先を選定した。選定したモビリティ運行者に搬送予約をかけるために、分散協調運行NWが各モビリティ運行者の予約方法などをサービス提供者に共有（予約支援）する



Want機能 - 予約支援の概要

予約支援機能の目的

情報提供者が提示したモビリティ運行者の候補の中から、サービス提供者が、モビリティ運行者に対して未来時刻のタスクの実行予約を行うための支援をする

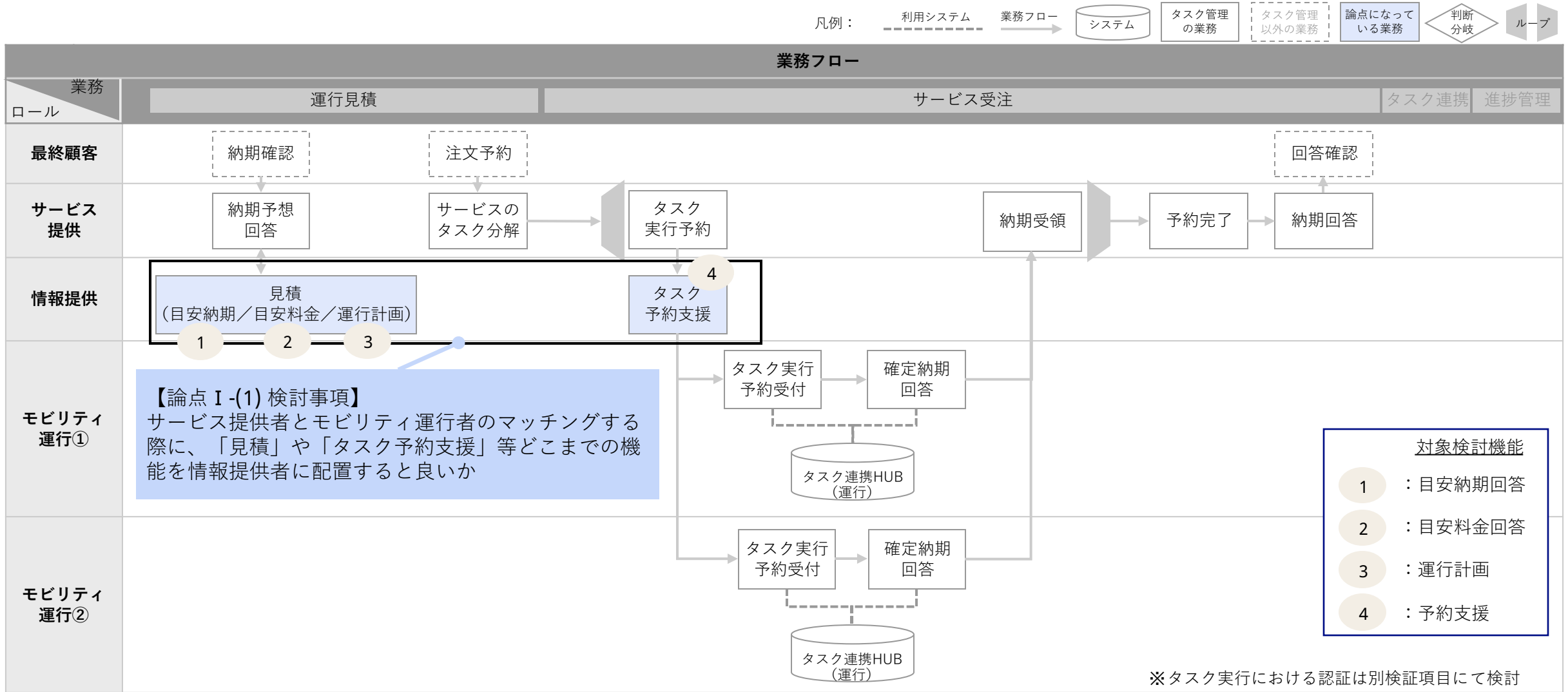
予約支援機能の要件

モビリティ運行者の予約登録の方法や予約フォーマットをサービス提供者に共有する
 ※予約はサービス提供者が直接実施する

分散協調運行NWに配置するメリット

情報提供者が提案したモビリティ運行者候補の中から選定する場合、情報提供者が予約まで支援することで、サービス提供者の工数が減る
 ※予約機能は、サービス提供者で共通して必要となる

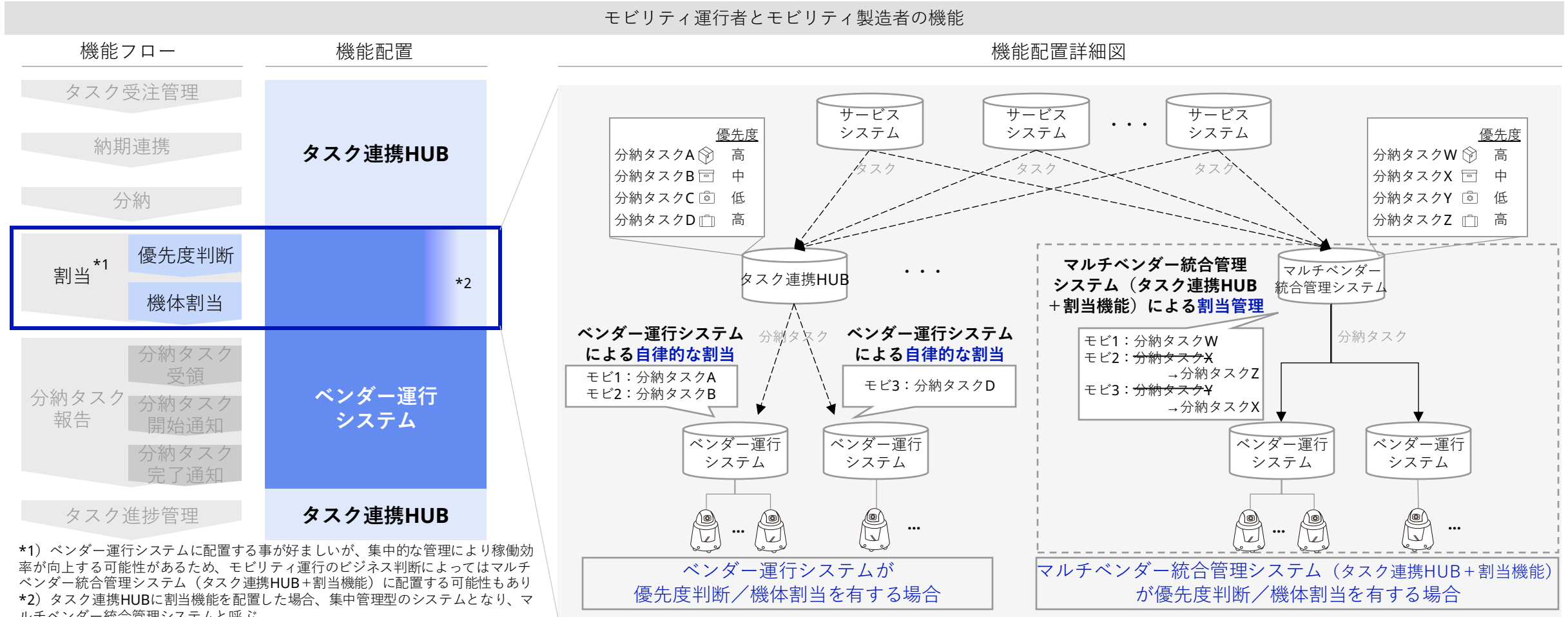
(補足) 検証の対象業務機能と論点



I-(2). (再掲) モビリティ運行とモビリティ製造の機能分担

論点 I-(2)では、モビリティ運行者がマルチベンダーのロボットを使用する場合における、ベンダー運行システムが持つべき機能を検証する

凡例： 機能Lv.2 機能Lv.3



*1) ベンダー運行システムに配置する事が好ましいが、集中的な管理により稼働効率が向上する可能性があるため、モビリティ運行のビジネス判断によってはマルチベンダー統合管理システム (タスク連携HUB+割当機能) に配置する可能性もあり
 *2) タスク連携HUBに割当機能を配置した場合、集中管理型のシステムとなり、マルチベンダー統合管理システムと呼ぶ

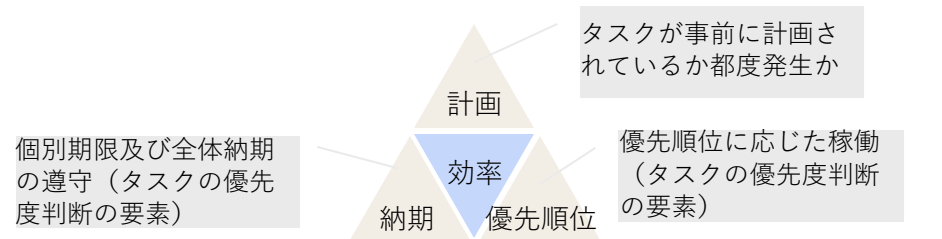
I -(2). 詳細検討：割当機能の配置に関する判断ポイント

サービスのタスク条件によっては、割当を集中的に管理することで稼働効率が向上する可能性がある。そのため、割当機能の配置は、モビリティ運行者のビジネス判断によって変わることが想定される

モビリティ運行者とモビリティ製造者の機能分担で目指す姿

- 複数ベンダーのリソース（ロボット）を適正活用（ある程度の効率を維持）しながら、各ロボットが自律的に判断しサービスを運行することのできる機能配置
- ※進捗報告は実行者が回答すると想定し、「フィルタリング」～「機体割当」の機能配置を論点とする

効率と自律度のバランス寄与要素



※稼働効率と自律度のバランスは、タスクに含まれる計画／納期／優先順位が寄与する

将来ユースケースのタスクの特長

	計画	納期	優先順位
将来ユースケースA 警備・清掃	事前	有	-
将来ユースケースB 飲食運搬	都度	-	有
将来ユースケースC 手荷物搬送	都度	有	有
将来ユースケースD 施設内物流	都度	-	-

タスク条件と効率の関係

※マルチベンダーのロボットを運行する場合、各ベンダー運行システムが全体効率を考慮してロボットとタスクの組合せを変更することは困難

計画分類	事前	都度
事前	<p>自律的な割当による運行が望ましい</p> <ul style="list-style-type: none"> • 事前に計画されたタスクを可能なタイミングで実行する • 事前に設定した稼働計画で運行するため稼働効率は一定と想定 	<p>集中的な割当管理による運行が適する</p> <ul style="list-style-type: none"> • 事前に計画されたタスクを、事前設定し予定通り実行する • ロボットとタスクの組み合わせをモビリティ運行者が集中的に管理することで複数のベンダーシステム間で稼働効率向上の余地あり
都度	<p>自律的な割当による運行が望ましい</p> <ul style="list-style-type: none"> • 都度発生したタスクを順次実行する • タスク量で効率変動するが、各ロボットのスケジューリングの調整は不要 	<p>自律的な割当による運行が望ましい</p> <ul style="list-style-type: none"> • 都度発生したタスクを優先度の高いものから実行する • ロボットとタスクの組み合わせをモビリティ運行者が集中的に管理することで複数のベンダーシステム間で稼働効率向上の余地あり

無 有
タスクの優先度（納期・優先順位）

I -(2). 詳細検討：割当機能の配置に関する将来ユースケース検証

*1) マルチベンダー統合管理システム：タスク連携HUBに割当機能を持たせた集中管理システム

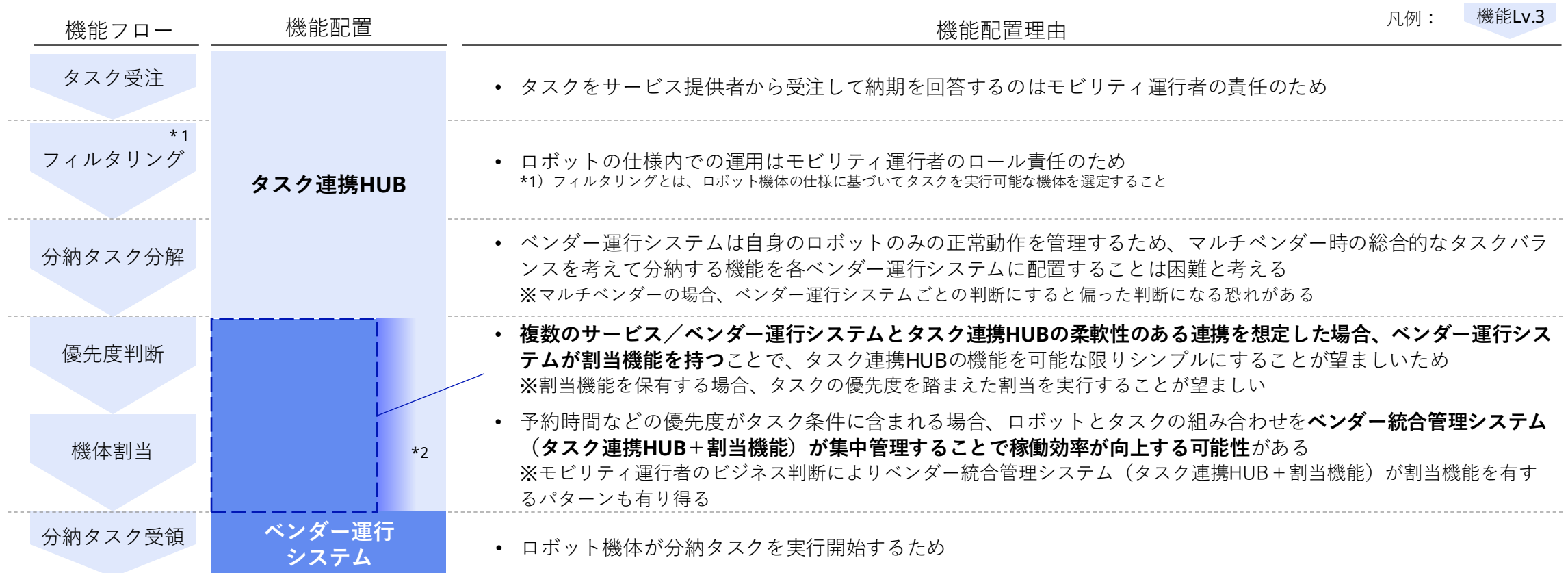
	タスクの特長			割当機能配置	
	計画	納期	優先順位	割当主体	配置理由
将来ユースケースA 警備・清掃	事前	有	-	*1 マルチベンダー 統合管理システム	<ul style="list-style-type: none"> タスクの内容（エリアや納期）が事前に計画されるため、効率性を考慮した場合には割当を集中的に制御することが望ましいと考えられる ※ただし、運行するロボット台数が少ない場合には、ベンダー運行システムに直接設定することも考えられる
将来ユースケースB 飲食運搬	都度	-	有	ベンダー運行システム ／マルチベンダー 統合管理システム	<ul style="list-style-type: none"> 複数のサービス／ベンダー運行システムとタスク連携HUBの柔軟性のある連携を想定した場合、タスク連携HUBの機能を軽くすることを優先すると、ベンダー運行システムが割当機能を有することが望ましいと考えられる ※分散協調では、ロボットが複数のサービスを運行することでリソース活用の適正化を図ることが想定される
将来ユースケースC 手荷物搬送	都度	有	有	ベンダー運行システム ／マルチベンダー 統合管理システム	<ul style="list-style-type: none"> ※ただし、都度発生するタスクに優先度（納期、優先順位）が含まれる場合は、マルチベンダーのロボットとタスクの組合せをコントロールすることにより、稼働効率を向上できる可能性が出てくる。そのため、モビリティ運行者のビジネス判断によっては、マルチベンダー統合管理システム（タスク連携HUB+割当機能）が機体割当を集中的に管理することも想定される
将来ユースケースD 施設内物流	都度	-	-	ベンダー運行システム	<ul style="list-style-type: none"> 各テナントへの配送は、ロボットに荷物を積載時に都度サービス提供者からベンダー運行システムに設定すると想定する。そのため、ベンダー運行システムが割当機能を有することが望ましいと考えられる ※想定として、ロボットは一度に運ぶ荷物は2～3個の限られた数とする。また、サービス提供者が効率を考えた荷物の差配を行わないとする。

I -(2). 詳細検討：タスク連携HUB・ベンダー運行システムの機能

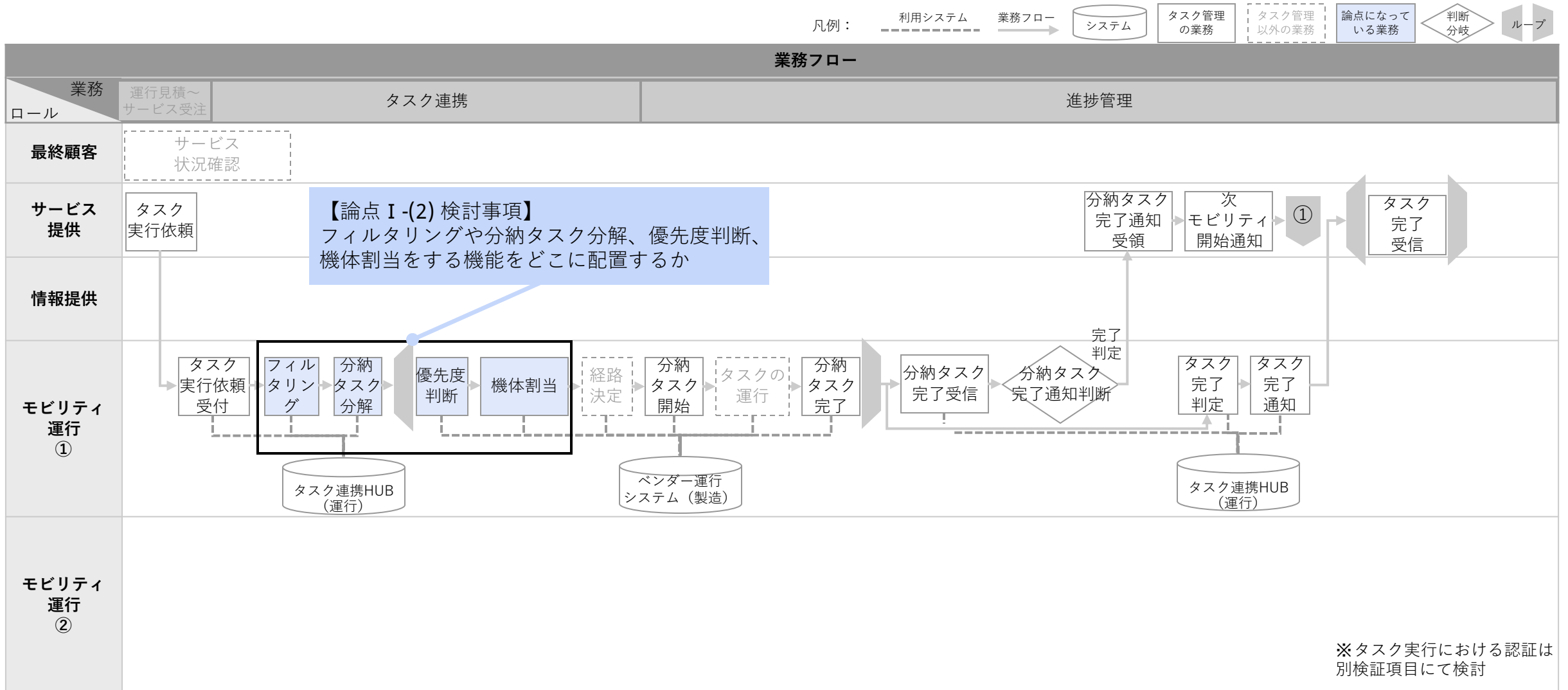
分散協調において、タスク連携HUBを通じて複数のベンダー運行システムと簡便に連携できる仕組みを作るためには、タスク連携HUBの機能をなるべくシンプルにすることが望ましいと考えられる

*2) タスク連携HUBに割当機能を配置した場合、集中管理型のシステムとなり、マルチベンダー統合管理システムと呼ぶ

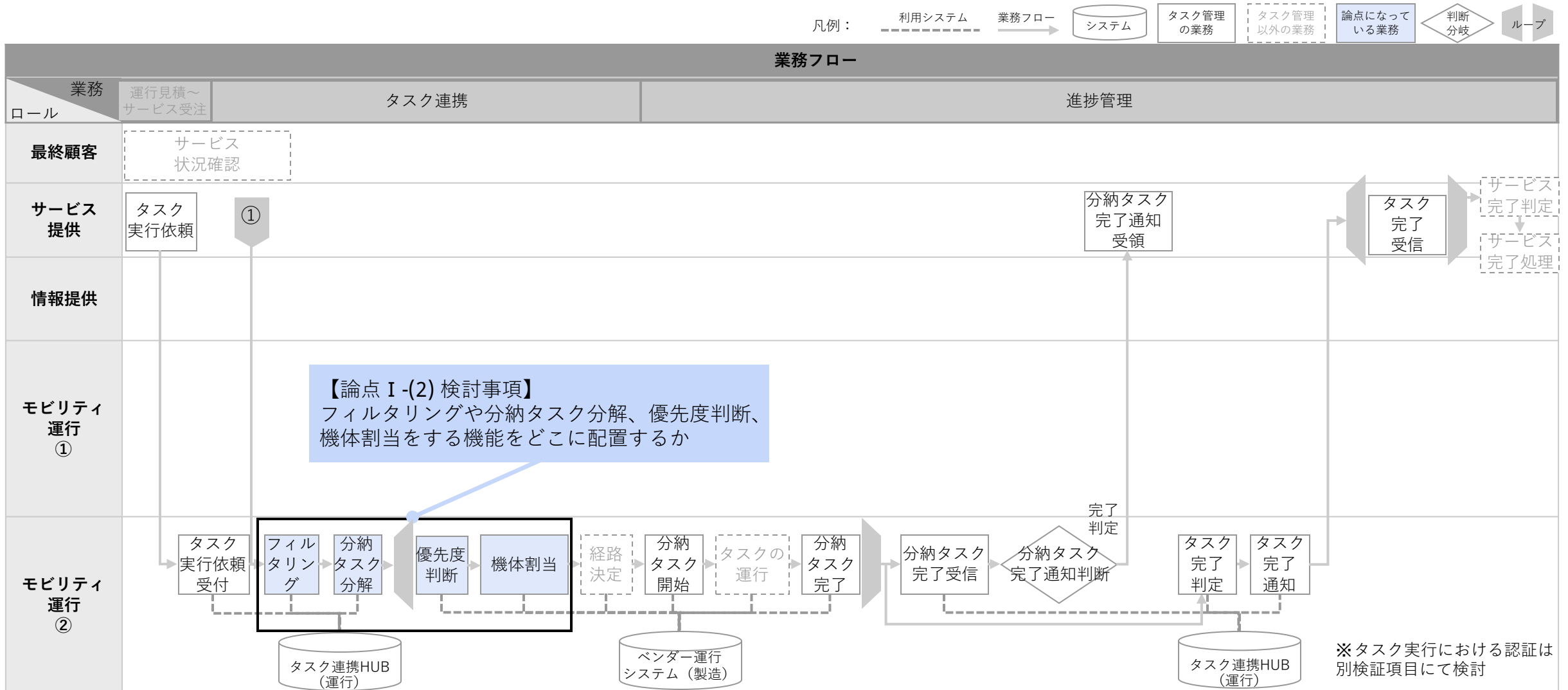
モビリティ運行者とモビリティ製造者の機能配置



I -(2). (補足) 検証の対象業務機能と論点 (1 / 2)



I -(2). (補足) 検証の対象業務機能と論点 (2 / 2)



Ⅱ. (再掲) タスク管理のために機能間で共有すべき情報

論点Ⅱでは、各システムで判断や進捗管理を行い、受注から決済までのE2Eのデータフローが成立するか確認するために、システム間で連携する情報を検証する

凡例：

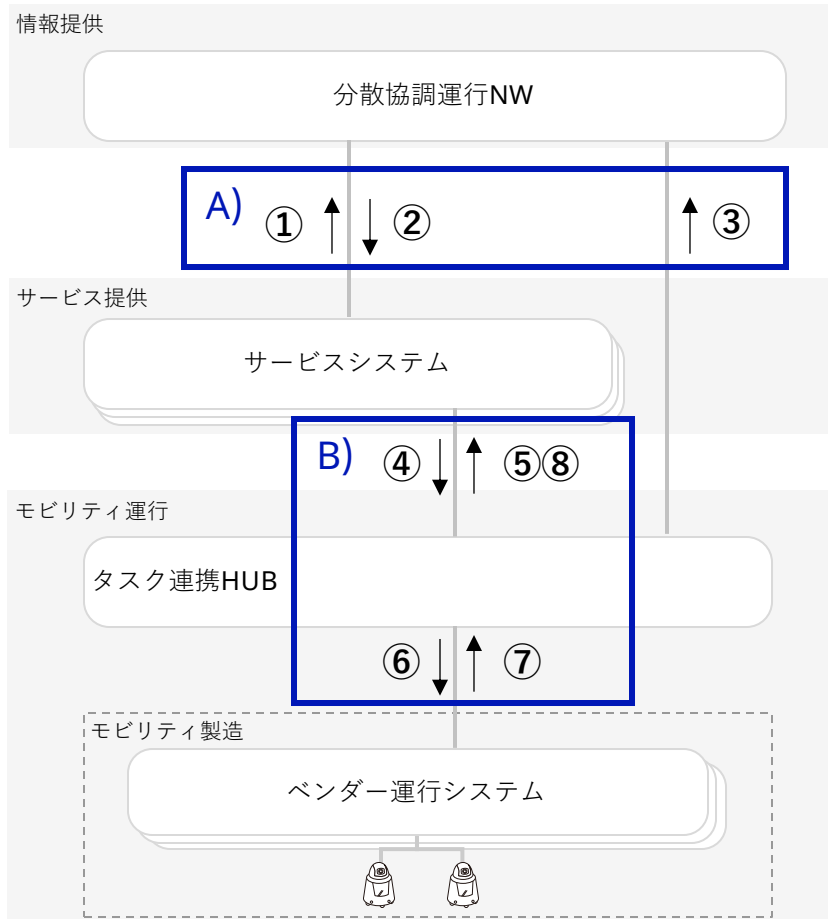
情報分類

ロール

システム

*1) 納期見込みには、地物や交通参加者流などの情報も必要になると考えられるが、活用する情報は情報提供者に依存する

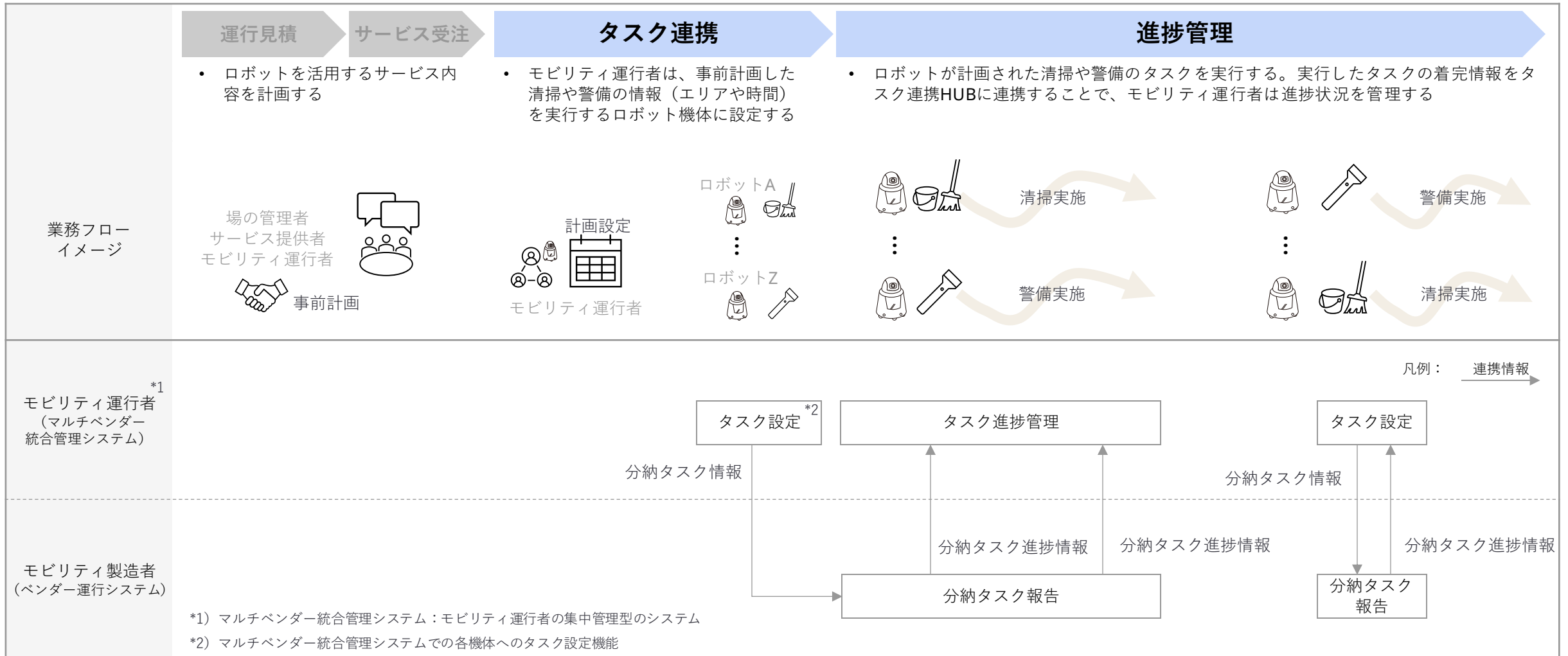
*2) 異なるサービスのタスクを1台のロボットで同時に実行する際に使用する



情報分類	連携目的	#	主な情報	主なデータ項目
A) ^{*1} 納期見込み	サービス提供者が納期や料金、運行計画の見積情報を把握するため	①	サービス情報	サービスID、荷物ID、出発地、目的地、納期
		②	納期予想情報	サービスID、目安納期時間、目安費用、運行計画結果
		③	モビリティ運行サービス情報	稼働台数、稼働予定、運行エリア、料金体系、サービス内容（ロボット種類）、営業時間
B) 進捗管理	受注したサービス／タスクの進捗状況を管理し、最終顧客へのサービス提供者の説明責任を果たすため	④	タスク情報	タスクID、荷物ID、出発地、目的地、納期
		⑤	納期確定情報	タスクID、確定納期、費用、予約可否
		⑥	分納タスク情報	運行タスクID、 ^{*2} 分納タスクID、出発地、目的地、納期
		⑦	分納タスク進捗情報	運行タスクID、分納タスクID、分納タスクステータス
		⑧	タスク進捗情報	運行タスクID、分納タスクID、タスクID、分納結果、分納タスクステータス、タスクステータス

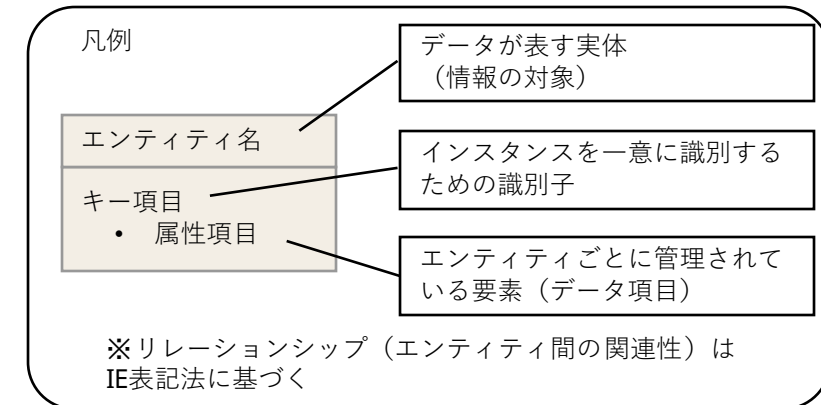
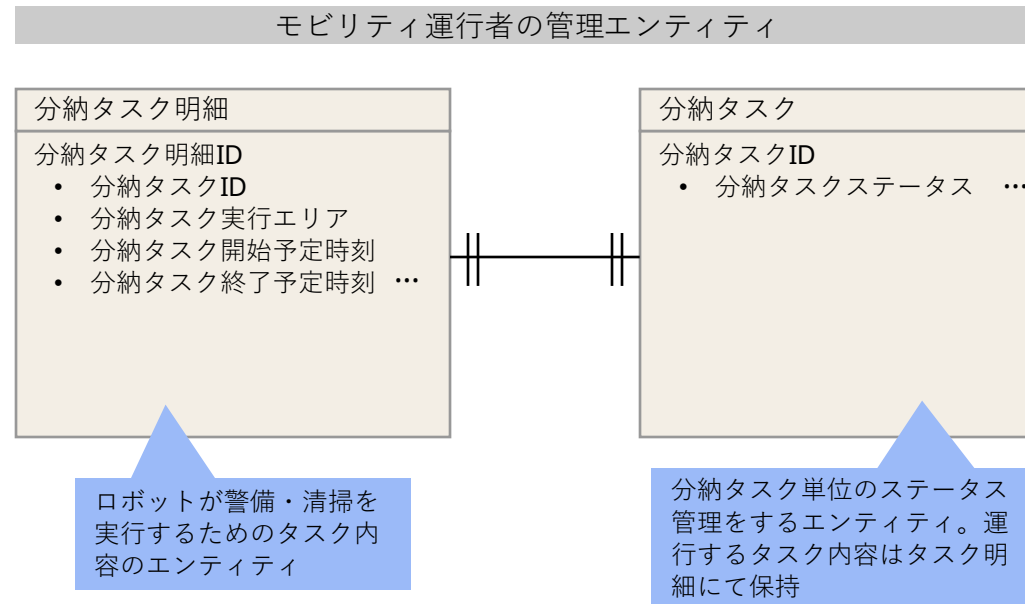
II. 詳細検討：将来ユースケースAのタスク管理の機能フロー概要

将来ユースケースAでは事前契約に基づいてモビリティ運行者が清掃と警備のタスクを実行する。計画通りの運行の為、マルチベンダー統合管理システムが集中的に分納タスクの進捗を管理する



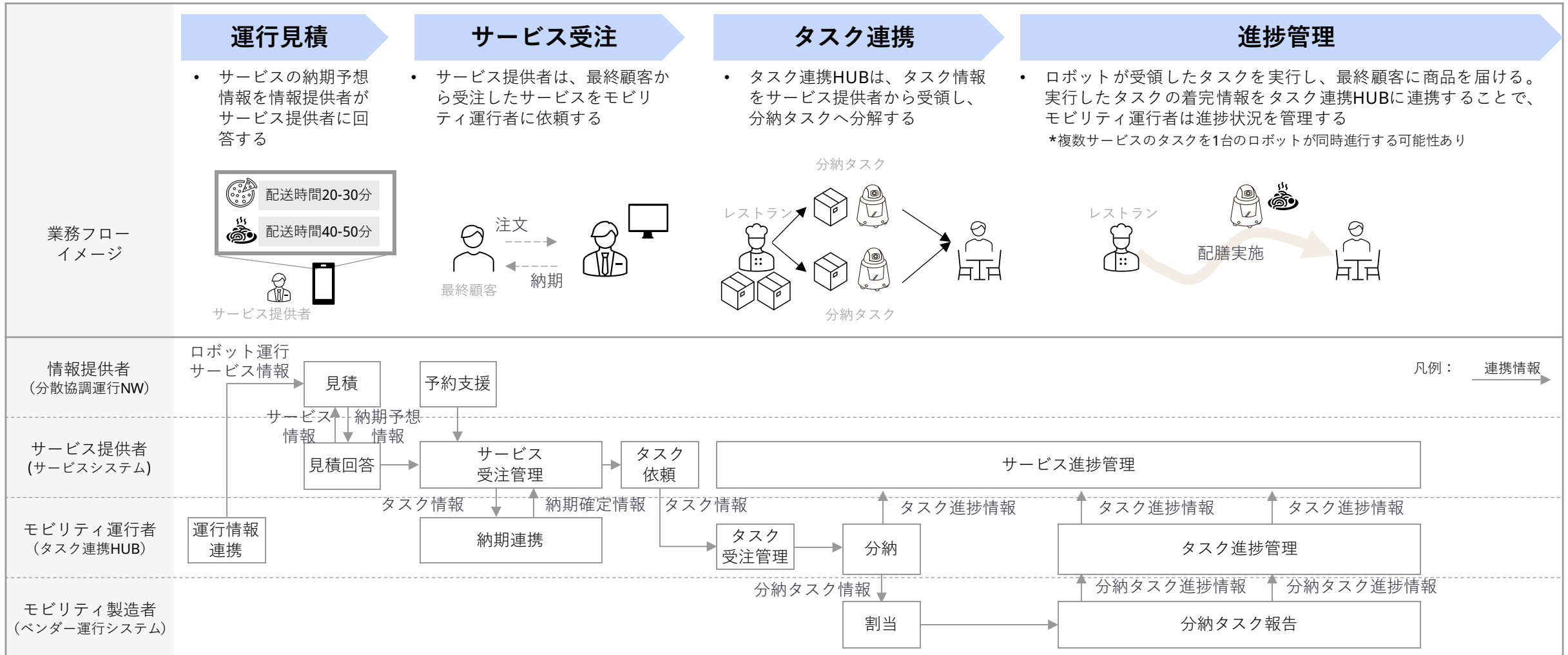
II. 詳細検討：将来ユースケースAのタスク管理のデータ構造

警備・清掃では、事前に計画・設定されたタスクを実行するため、タスクの構造は簡易的になると考えられる



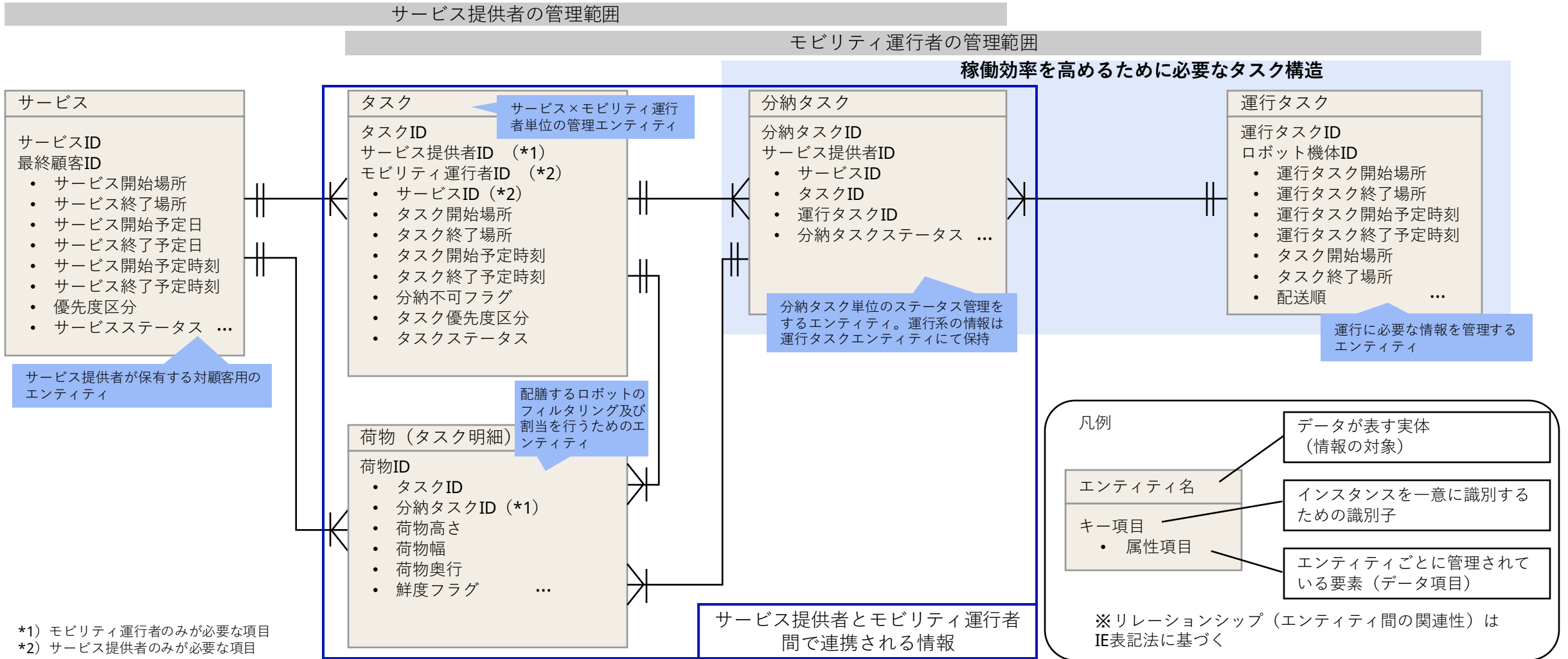
II. 詳細検討：将来ユースケースBのタスク管理の機能フロー概要

将来ユースケースBでは受注したサービスのタスク情報をモビリティ運行者に都度連携する。モビリティ運行者はタスク情報を基に運行サービスを行い、タスク完了情報に基づき決済が実行される



II. 詳細検討：将来ユースケースBのタスク管理のデータ構造

モビリティ運行者がロボットの稼働効率を高めるために、1台のロボットが複数のサービスの分納タスクを同時に運行（配膳）することが可能なタスク構造となると想定される



*1) モビリティ運行者のみが必要な項目
 *2) サービス提供者のみが必要な項目

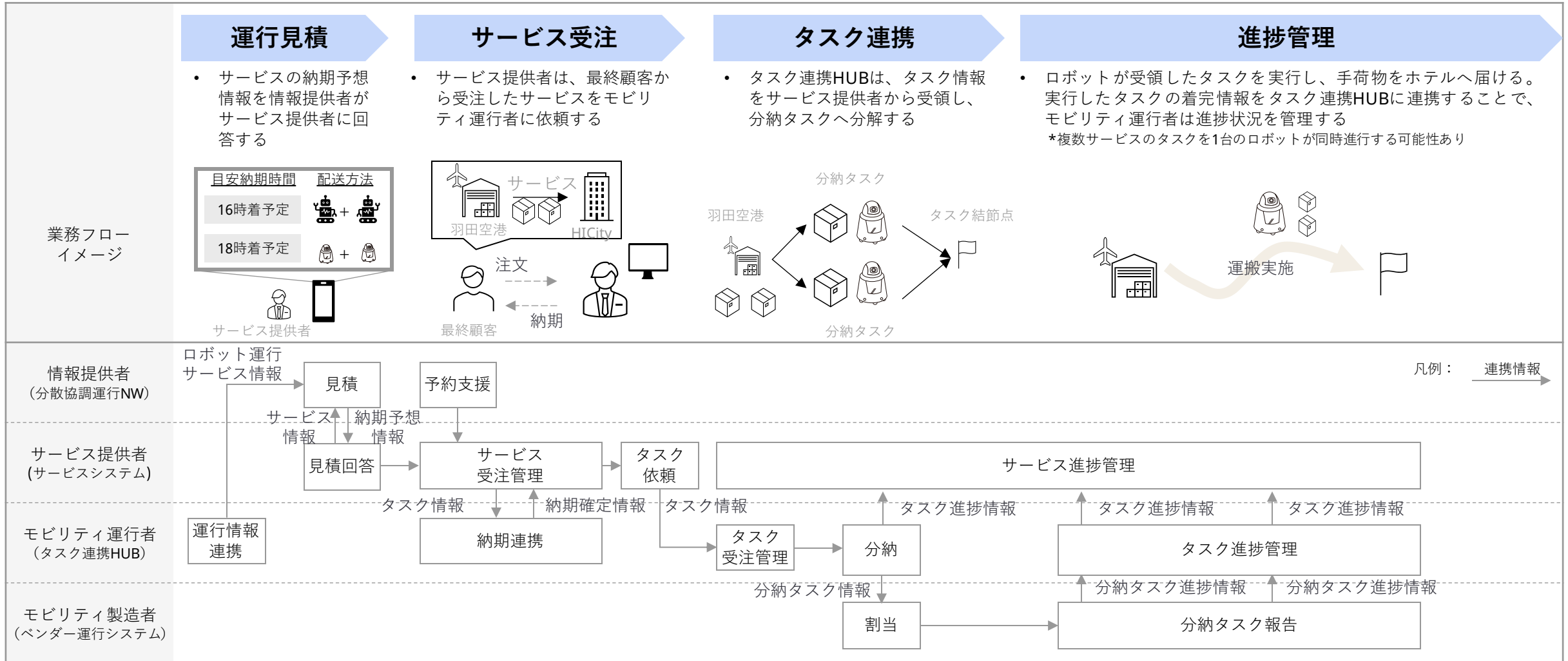
凡例

- データが表す実体 (情報の対象)
- エンティティ名
- インスタンスを一意に識別するための識別子
- キー項目
 - 属性項目
- エンティティごとに管理されている要素 (データ項目)

※リレーションシップ (エンティティ間の関連性) は IE表記法に基づく

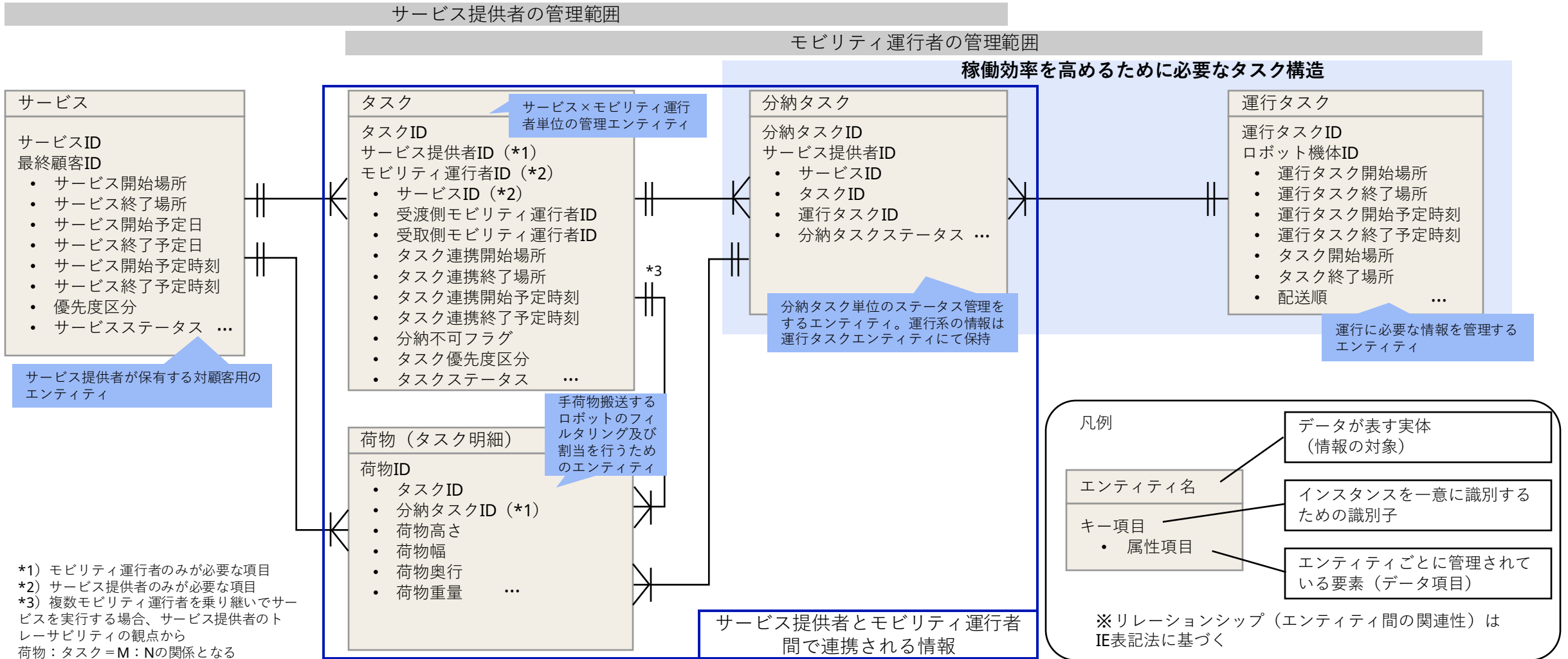
Ⅱ. 詳細検討：将来ユースケースCのタスク管理の機能フロー概要

将来ユースケースCでは、情報提供者から納期予想情報を受領することでモビリティ運行者を選定する。受注したサービスのタスク情報はモビリティ運行者に連携される。タスク完了情報に基づき決済となる。



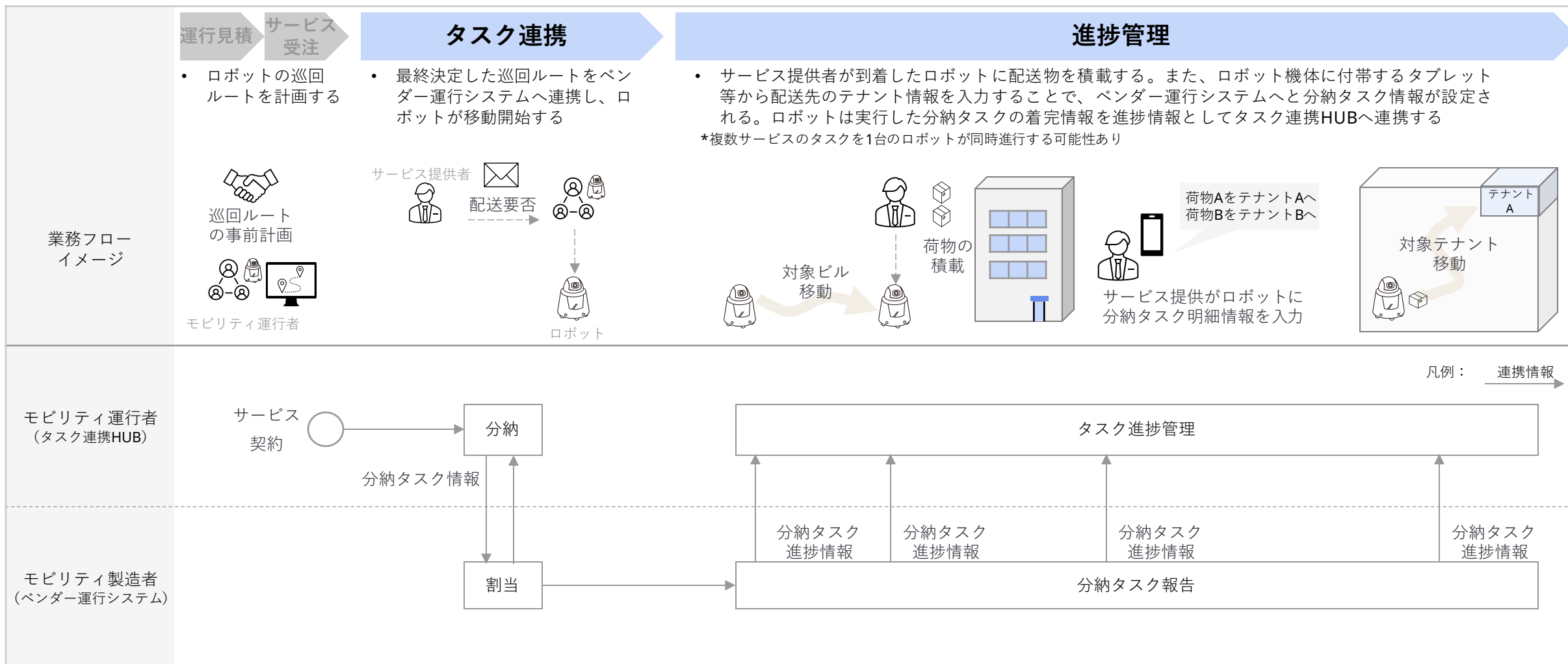
II. 詳細検討：将来ユースケースCのタスク管理のデータ構造

モビリティ運行者がロボットの稼働効率を高めるために、1台のロボットが複数のサービスの分納タスクを同時に運行（手荷物搬送）することが可能なタスク構造となると考えられる



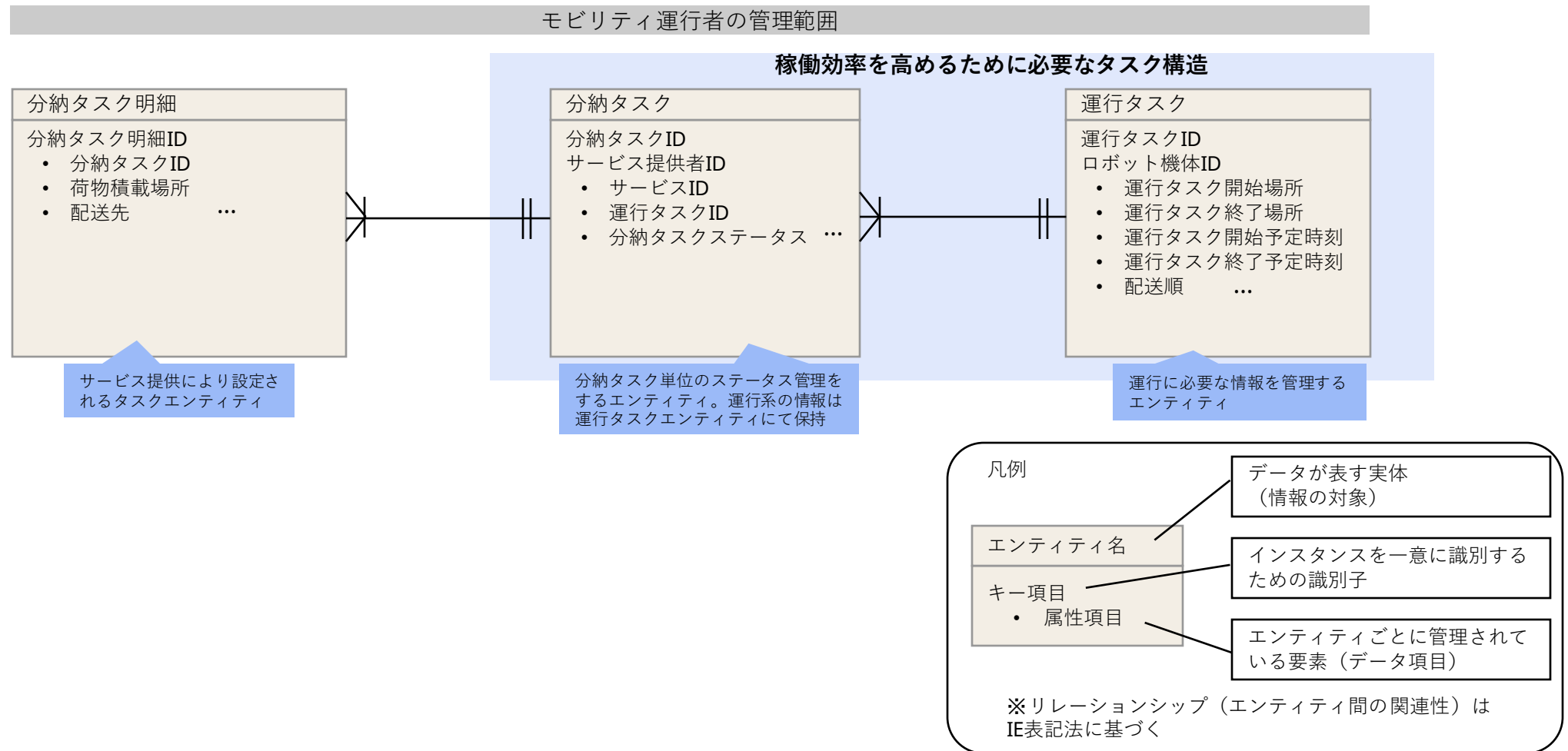
II. 詳細検討：将来ユースケースDのタスク管理の機能フロー概要

将来ユースケースDでは事前に計画されたルートを巡回する。各ビルでロボット機体はサービス提供者が載せた荷物を各テナントへ順次配送する



II. 詳細検討：将来ユースケースDのタスク管理のデータ構造

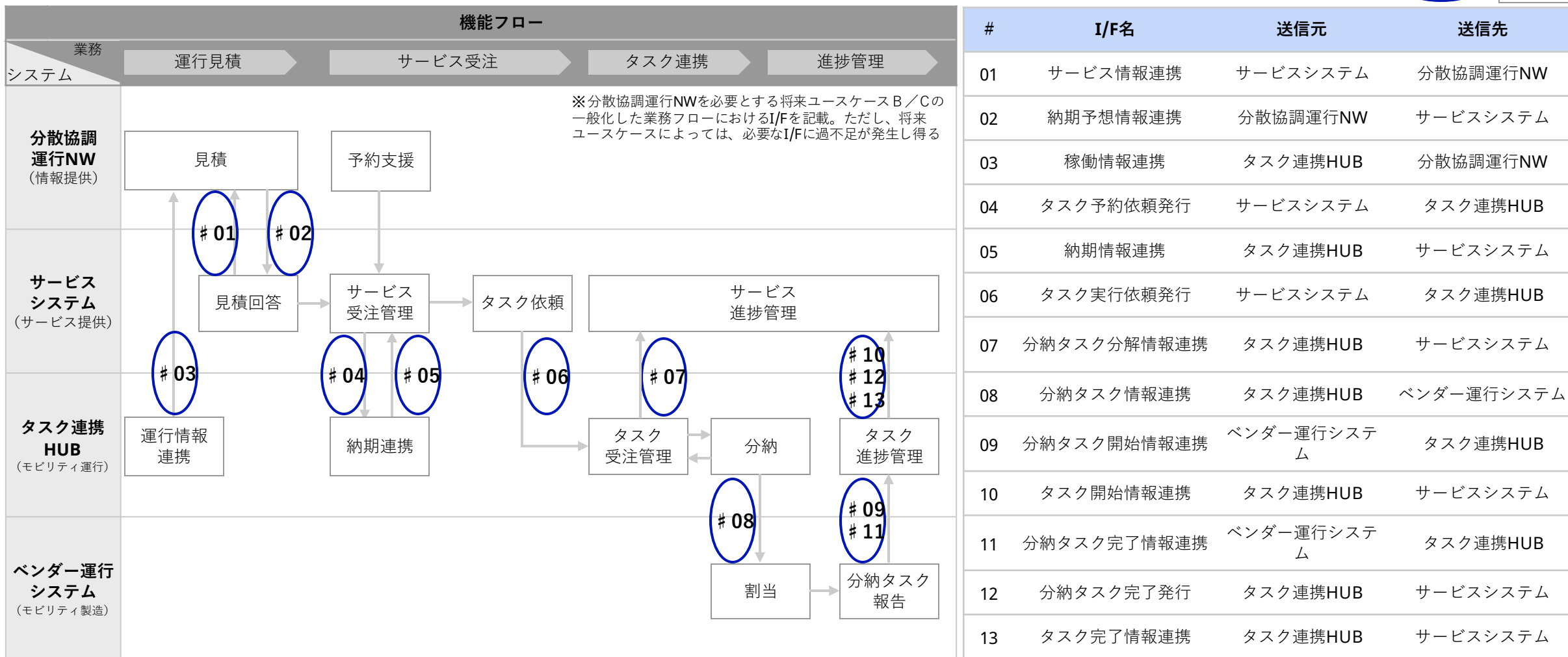
モビリティ運行者がロボットの稼働効率を高めるために、1台のロボットが複数のサービスの分納タスクを同時に運行（荷物配送）することが可能なタスク構造となると想定される



II. 詳細検討：タスク管理における連携I/Fの整理

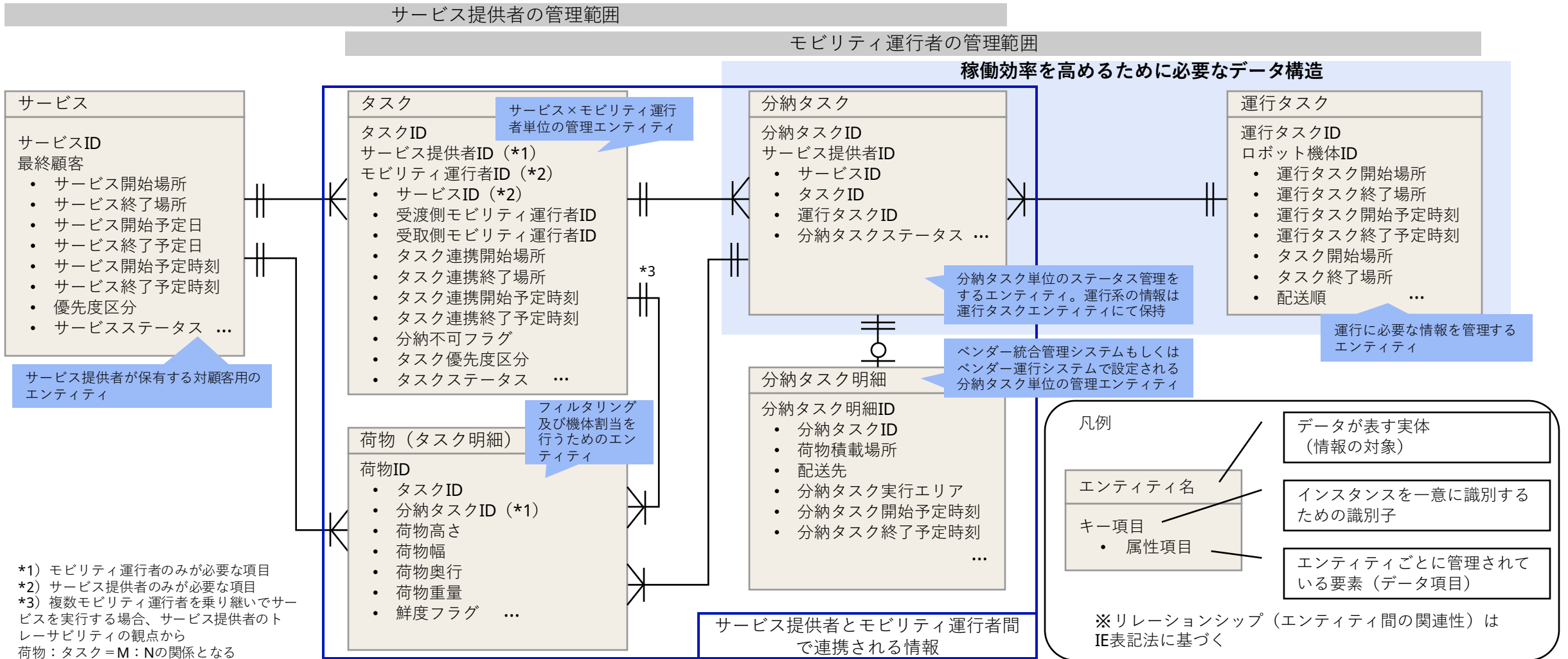
検証の結果から一般化した機能配置と機能フローから、タスク管理に最低限必要なI/Fは13本となる。
 また、各システム間の連携I/Fを標準化することが求められると考察する

凡例： I/F 機能



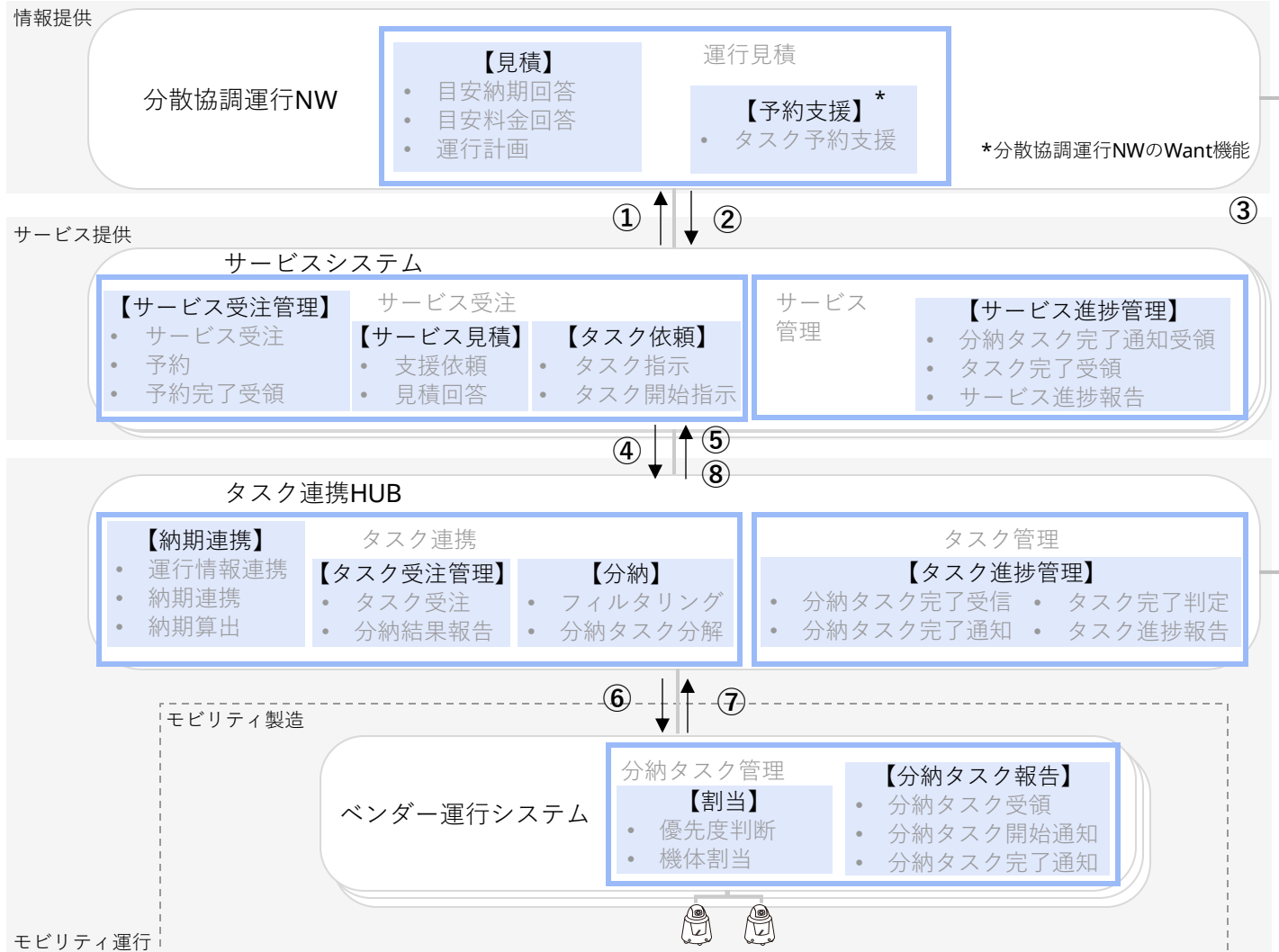
II. 詳細検討：稼働効率を高めるためのタスク管理のデータ構造

モビリティ運行者がロボットの稼働効率を高めるために、1台のロボットが複数のサービスの分納タスクを同時に実行することが可能なデータ構造となると考えられる



II. 詳細検討：機能配置と主な共有すべき情報

凡例： ロール システム 機能Lv.1 【機能Lv.2】
・機能Lv.3



#	主な情報	主なデータ項目
①	サービス情報	サービスID、荷物ID、出発地、目的地、納期
②	納期予想情報	サービスID、目安納期時間、目安費用、運行計画結果
③	モビリティ運行サービス情報	稼働台数、稼働予定、運行エリア、料金体系、サービス内容（ロボット種類）、営業時間
④	タスク情報	タスクID、荷物ID、出発地、目的地、納期
⑤	納期確定情報	タスクID、確定納期、費用、予約可否
⑥	分納タスク情報	運行タスクID、分納タスクID、出発地、目的地、納期
⑦	分納タスク進捗情報	運行タスクID、分納タスクID、分納タスクステータス
⑧	タスク進捗情報	運行タスクID、分納タスクID、タスクID、分納結果、分納タスクステータス、タスクステータス

(補足) タスク管理の機能一覧 (1 / 2)

分散協調運行NWとサービスシステムに配置するタスク管理の機能

- *1) 各システムが持つ役割・目的ごとの区分
- *2) 体系全体の見通しをよくするためのLv.1とLv.3をつなぐ区分
- *3) システムを構成する基本的な単位区分
- *4) 分散協調運行NWにおけるWant機能

システム	機能Lv.1 *1	機能Lv.2 *2	機能Lv.3 *3	機能概要	
分散協調運行NW	運行見積	見積	目安納期回答	モビリティ運行者やサービス提供者から共有される情報（ロボット運行サービス情報やサービス情報）から予測したサービスの所要時間をサービス提供者に回答する	
			目安料金回答	モビリティ運行者の料金体系から、サービス情報（荷物の大きさや重さなど）に対応できるモビリティ運行者の目安料金をサービス提供者を抽出する	
			運行計画	モビリティ運行者に目的地までどのように運んでもらうかの算段を立てるために、サービスをタスクに分解することで複数の運行経路案を算出する	
			予約支援	タスク予約支援 *4	サービス提供者がタスク予約できるように、各モビリティ運行者の予約方法を案内する
サービスシステム	サービス受注	サービス受注管理	サービス受注	サービスを最終顧客から受注する	
			予約	タスクの実行をモビリティ運行者（タスク連携HUB）に依頼予約する	
			予約完了受領	モビリティ運行者（タスク連携HUB）へのタスクの予約完了を受領する	
			サービス見積	支援依頼	サービスの納期や料金を情報提供者（分散協調運行NW）に算出依頼する
	タスク依頼		見積回答	サービスの納期や料金の見積情報を最終顧客に回答する	
			タスク指示	モビリティ運行者（タスク連携HUB）にタスクの実行依頼をする	
	サービス管理	サービス進捗管理		タスク開始指示	モビリティ運行者（タスク連携HUB）に次タスク開始の指示をする
				分納タスク完了通知受領	タスクの進捗を管理するために、分納タスクの完了通知をタスク連携HUBから受領する
				タスク完了受領	タスクの進捗を管理するために、タスクの完了通知をタスク連携HUBから受領する
				サービス進捗報告	最終顧客が常にサービスの進捗状況を把握できるよう、適当なタイミングでロボットの位置等を最終顧客に報告する

(補足) タスク管理の機能一覧 (2 / 2)

タスク連携HUBとベンダー運行システムに配置するタスク管理の機能

*ベンダー運行システムの配置が望ましいが、タスク連携HUBに配置する可能性もある

システム	機能Lv.1	機能Lv.2	機能Lv.3	機能概要
タスク連携HUB	タスク連携	納期連携	運行情報連携	ロボット運行サービス情報（稼働台数など）を分散協調運行NWに回答する
			納期連携	受注したタスクの納期をサービスシステムに回答する
			納期算出	受注したタスクの確定納期を算出する
		タスク受注管理	タスク受注	サービスシステムからタスクを受注する
			分納結果報告	タスクを分納タスクに分解した結果をサービスシステムに回答する
			分納	フィルタリング
	分納タスク分解	ロボットに分納タスクを割り当てるために、タスクを分納タスクに分解する		
	タスク管理	タスク進捗管理	分納タスク完了受信	分納タスクの進捗状況を管理するために分納タスクの完了通知をベンダー運行システムから受領する
			分納タスク完了通知	分納タスクの完了をサービスシステムに通知判断し報告する
			タスク完了判定	タスクの進捗状況を管理するために、分納タスクの進捗から受注したタスクの完了を判定する
タスク進捗報告			タスクの進捗状況（完了通知）をサービスシステムに報告する	
ベンダー運行システム	分納タスク管理	割当 *	優先度判断	タスク優先度の情報に基づいて分納タスクの優先度を判断する
			機体割当	分納タスクを実行するロボット機体に割り当てる
		分納タスク受領	タスク連携HUBから分納タスクを受領する	
		分納タスク報告	分納タスク開始通知	ベンダー運行システムに分納タスクの開始を通知する
			分納タスク完了通知	ベンダー運行システムに分納タスクの完了を通知する

(補足) タスク管理のシステム間で共有する情報一覧

※アンサーバックの有無は設計思想にもよるため、詳細検討外とする

情報分類	#	主な情報	連携目的	I/F名	送信元	送信先
納期見込み	①	サービス情報	分散協調運行NWにサービスの情報を連携し、分散協調運行NWが運行見積をするため	サービス情報連携	サービスシステム	分散協調運行NW
	②	納期予想情報	サービスシステムにサービスの目安納期や目安料金、運行計画の結果情報を連携し、サービス提供者が納期見込みを把握するため	納期予想情報連携	分散協調運行NW	サービスシステム
	③	ロボット運行サービス情報	分散協調運行NWにロボット運行サービス情報を連携し、分散協調運行NWが運行見積をするため	稼働情報連携	タスク連携HUB	分散協調運行NW
進捗管理	④	タスク情報	タスク連携HUBにタスクの予約依頼を発行し、モビリティ運行者に未来日のタスクを予約するため	タスク予約依頼発行	サービスシステム	タスク連携HUB
			タスク連携HUBにタスクの実行依頼を発行し、モビリティ運行者のタスクを開始するため	タスク実行依頼発行	サービスシステム	タスク連携HUB
	⑤	納期確定情報	サービスシステムにタスクの納期確定情報と予約可否を連携し、納期を確定するため	納期情報連携	タスク連携HUB	サービスシステム
	⑥	分納タスク情報	ベンダー運行システムに分納タスクの情報を連携し、モビリティ運行者が分納タスクを実行するため	分納タスク情報連携	タスク連携HUB	ベンダー運行システム
	⑦	分納タスク進捗情報	タスク連携HUBに分納タスクの開始情報を連携し、モビリティ運行者が分納タスクの開始を把握するため	分納タスク開始情報連携	ベンダー運行システム	タスク連携HUB
			タスク連携HUBに分納タスクの完了情報を連携し、モビリティ運行者が分納タスクの完了を把握するため	分納タスク完了情報連携	ベンダー運行システム	タスク連携HUB
	⑧	タスク進捗情報	サービスシステムに分解した分納タスクの情報を連携し、サービス提供者が分納タスクの進捗を把握するため	分納タスク分解情報連携	タスク連携HUB	サービスシステム
			サービスシステムにタスクの開始情報を連携し、サービス提供者がタスクの開始を把握するため	タスク開始情報連携	タスク連携HUB	サービスシステム
サービスシステムに分納タスクの完了通知を発行し、サービス提供者が分納タスクの完了を把握するため			分納タスク完了発行	タスク連携HUB	サービスシステム	
サービスシステムにタスクが完了した情報を通知し、サービス提供者がタスクの進捗を把握するため			タスク完了情報連携	タスク連携HUB	サービスシステム	

4. 検証結果詳細

- 4.1 分散協調制御でのアーキテクチャ仮説
- 4.2 運行管理に必要となる共通データ
- 4.3 複数モビリティの運行管理・制御
- 4.4 インフラ基盤（設備・通信・充電ほか）
- 4.5 分散協調におけるサービス連携
 - タスク管理（サマリ／検討詳細）
 - 認証（サマリ／検討詳細）
 - 将来アーキテクチャ仮説

分散協調におけるサービス連携の検証項目「認証」

検証項目	検証項目の概要
分散協調におけるサービス連携 タスク管理	複数のサービス提供者・モビリティ運行者が連携しながら、E2Eでサービス受注から完了（決済等）まで行うために必要な情報の連携フロー、必要な情報抽出し、機能配置と連携／共有情報を検討
分散協調におけるサービス連携 認証	ロボットを活用したサービスに係る事業者間の連携において必要な認可認証を抽出し、そのフローから機能配置を検討

認証における論点

本検証項目では、事業者間での連携時、相手が正しい相手かつ権限を有しているかを担保した上で連携するために、求められる認証の機能と機能配置のあり方について検証する

本検証の論点

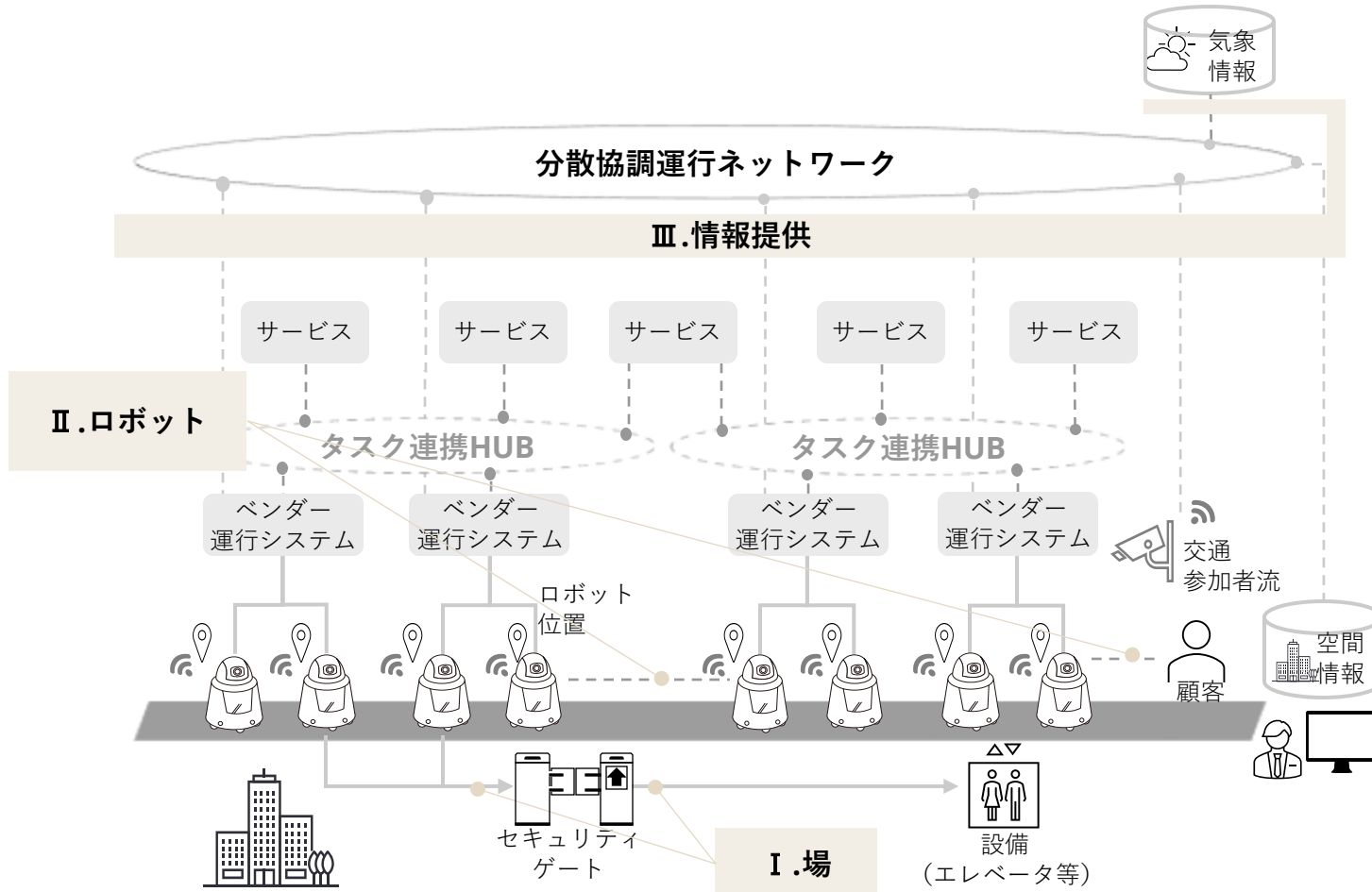
ロボットを活用する事業者間でのタスクや情報の連携時、相手が正しい相手かつ権限を有しているかを担保した上で連携するために、**求められる認証の機能と機能配置のあり方**

#	認証管理における検証の前提
1	サービス／ロボット／場／人／情報提供が連携する際に連携相手が正しいか確認する行為を「認証」とする
2	認証に使用するキー情報の仕様や規格についてはスコープ外とする
3	セキュリティは「ビルシステムにおけるサイバー・フィジカル・セキュリティ対策ガイドライン第2版」が策定されているため検証対象外とする

認証の検証対象

認証の検証では、認証者の観点から「Ⅰ.場」「Ⅱ.ロボット」「Ⅲ.情報提供」の3つの認証のあり方を検証対象とする

分散協調におけるアーキテクチャ概観



検討対象の観点

観点

ロボットを活用する事業者間の認証において、認証者となりうる3種類の認証

認証者

認証の概要

Ⅰ.場

場への入退場や設備利用

セキュリティで制限されている場でのロボットの入退場やエレベータ等の設備を利用するための認証
(場 × サービス × ロボット)

Ⅱ.ロボット

ロボット・人へのタスク連携

ロボット同士や人とロボット間での荷物の受け渡し等、タスクを連携するための認証
(ロボット × ロボット、ロボット × 人)

Ⅲ.情報提供

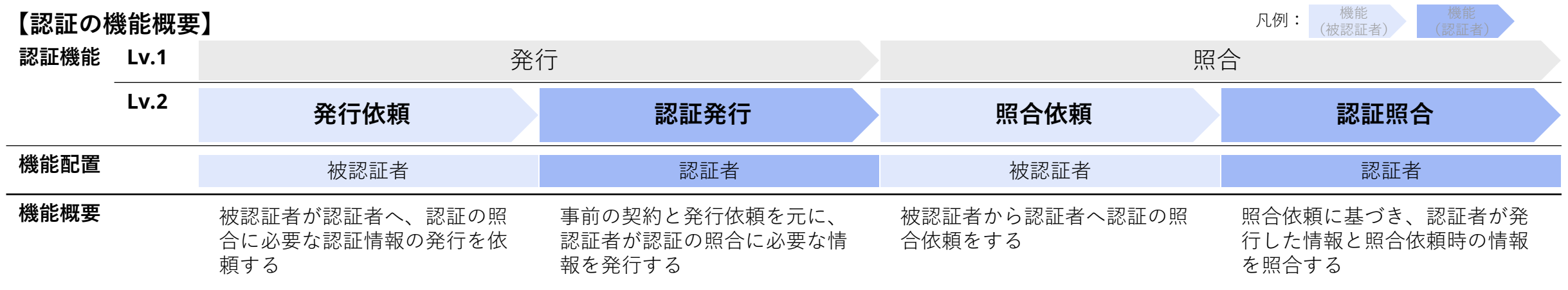
空間情報の取得/提供

ロボットの運行やサービスに必要な空間情報を取得/提供するための適切な事業者であるかを識別するための認証
(情報提供 × 取得元、情報提供 × 活ユーザー)

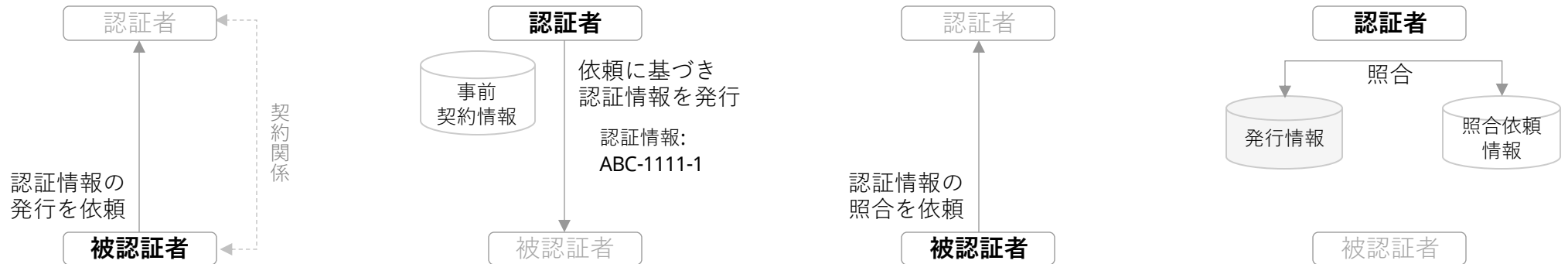
認証の機能概要

検証内容として、認証の4つの機能「発行依頼／認証発行／照合依頼／認証照合」のあり方と機能配置を検証する

【認証の機能概要】



機能イメージ

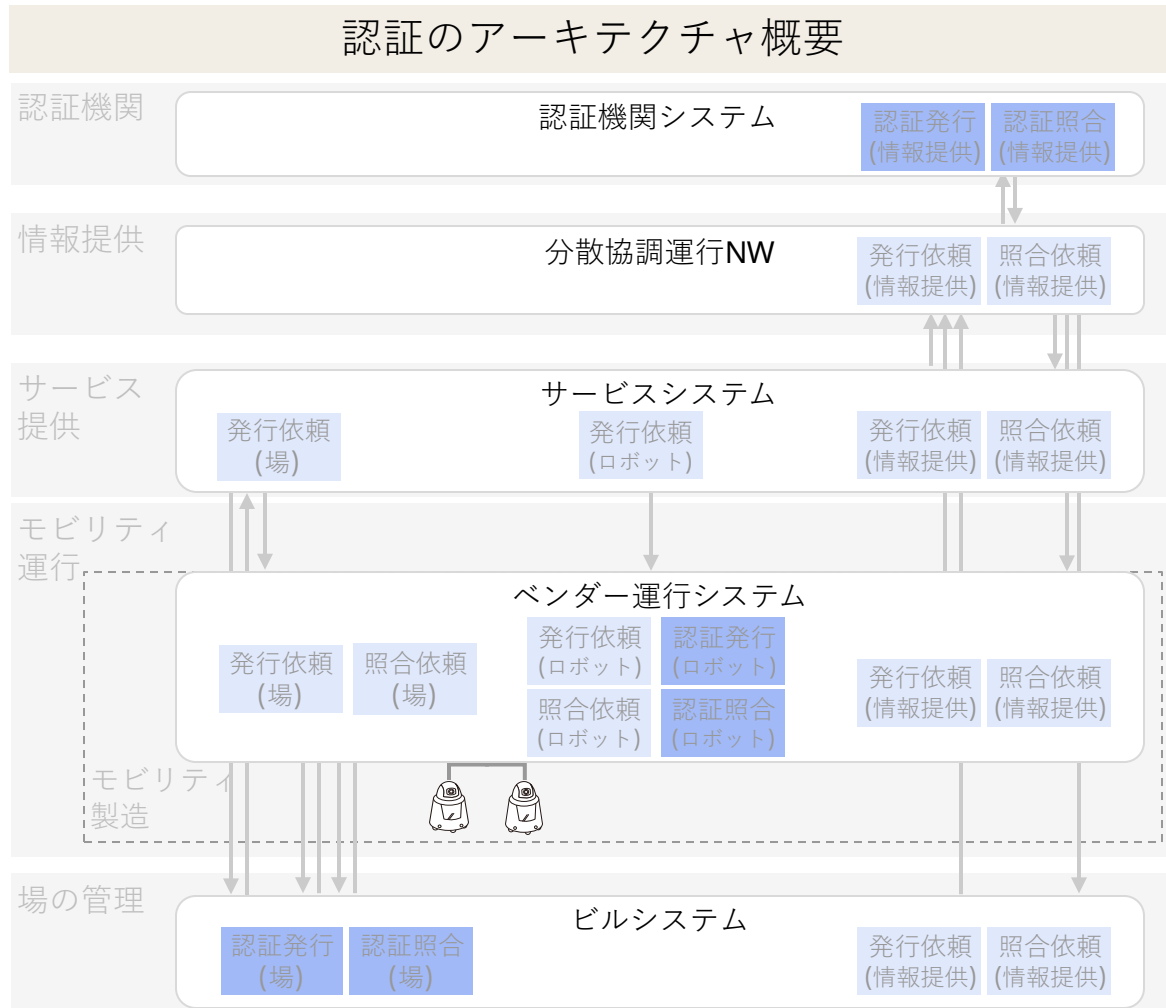


- 認証者 - 認証する人。認証される対象者が事前契約した人／組織であることを確認する人／組織
- 被認証者 - 認証される人。認証する者に対して、自身が事前に契約してあることを主張する人／組織
- ※認証と被認証者は、事前に事業者で契約を結んでいることを前提とする

認証の検証サマリ

凡例：
ロール
システム
機能 (被認証者)
機能 (認証者)


システムで情報管理粒度が異なるため、認証はサービスシステムが取引単位で発行した認証情報をベンダー運行システムが引き継ぎ、タスク実行する機体単位で発行・照合を行う段階的な仕組みを想定する



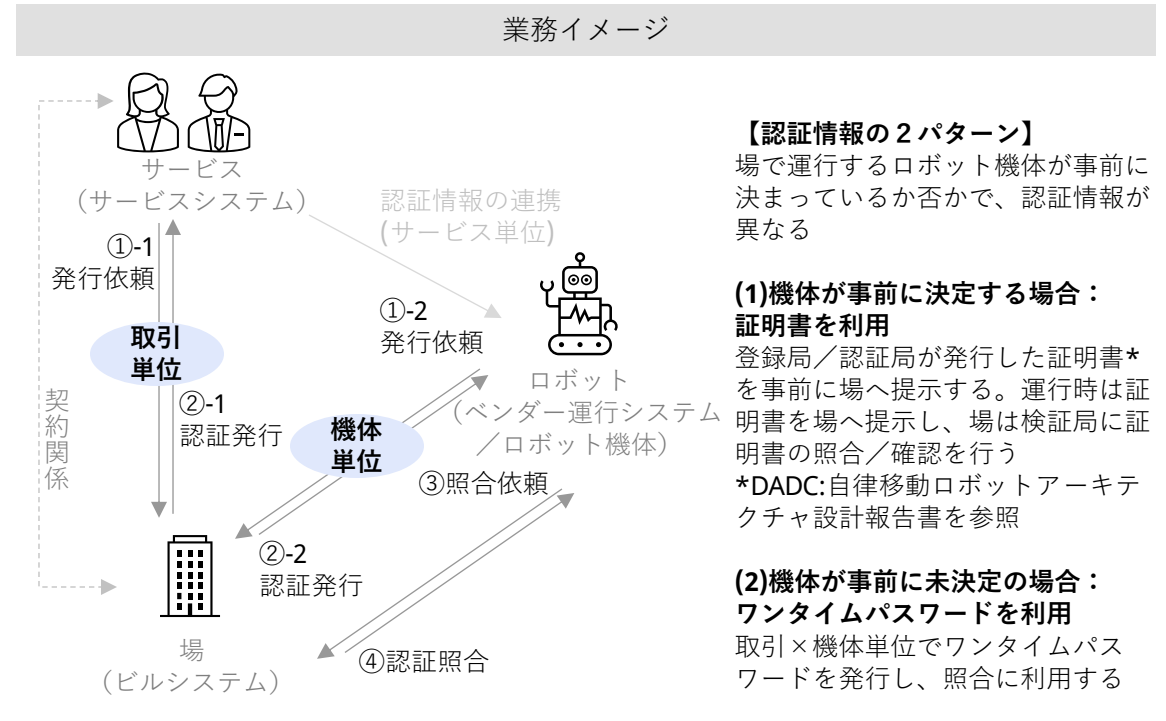
認証者	サマリ
I.場	認証情報の発行依頼は、ベンダー運行システムが担う 場の認証における発行依頼機能は、タスク実行する機体を把握するモビリティ製造者のベンダー運行システムが担う
II.ロボット	認証情報の発行依頼は、ベンダー運行システムが担う ロボットの認証における発行依頼機能は、I.場の認証と同様にモビリティ製造者のベンダー運行システムが担う
III.情報提供	
(1)情報提供 の情報の取得	情報の取得時、認証発行及び照合は、認証機関システムが担う 情報提供者と情報の取得元が連携相手毎に認証する手間を簡易化するため、事業者単位で認証機関が認証を担う
(2)情報提供 の情報の提供	情報の提供時、認証発行及び照合は、情報提供者が担う 認証情報の発行及び照合機能は、活用目的に応じた情報のみ提供できるよう情報提供の分散協調運行NWが担う

I. 場の認証における機能配置

場の認証における発行依頼機能は、ロボット機体単位で認証情報を発行する必要があるため、機体割当を行うベンダー運行システムがサービスシステムからの認証情報を元に担う機能配置となりうる





<p>対象の認証</p> <p>場×サービス×ロボット</p> 	<p>場への入退場や設備利用</p> <p>セキュリティで制限されている場でのロボットの入退場やエレベータ等の設備をロボットが利用するための認証</p>
<p>求められる認証・認可</p>	<p>事前に場と契約をしたサービスを実行するロボット機体かを確認する必要がある</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 認証の発行では、場と契約したサービスを実行するロボット機体のための発行依頼かを確認の上、発行する ・ 認証の照合では、認証情報を発行したロボット機体かを確認の上、照合する

機能配置		
機能フロー	機能配置	機能配置理由
①-1発行依頼	サービスシステム	<ul style="list-style-type: none"> ・ 場と契約するのはサービスのため
②-1認証発行	ビルシステム	<ul style="list-style-type: none"> ・ 場への入退場や設備利用の許可が可能なのは場のため（テナント含む）
①-2発行依頼	ベンダー運行システム	<ul style="list-style-type: none"> ・ タスク実行するロボット機体を把握するのは、ロボット側のため
②-2認証発行	ビルシステム	<ul style="list-style-type: none"> ・ オフィス等での人の入場と同様に、場が認証発行したロボット機体か判別可能とするため
③照合依頼	ベンダー運行システム / ロボット機体	
④認証照合	ビルシステム	



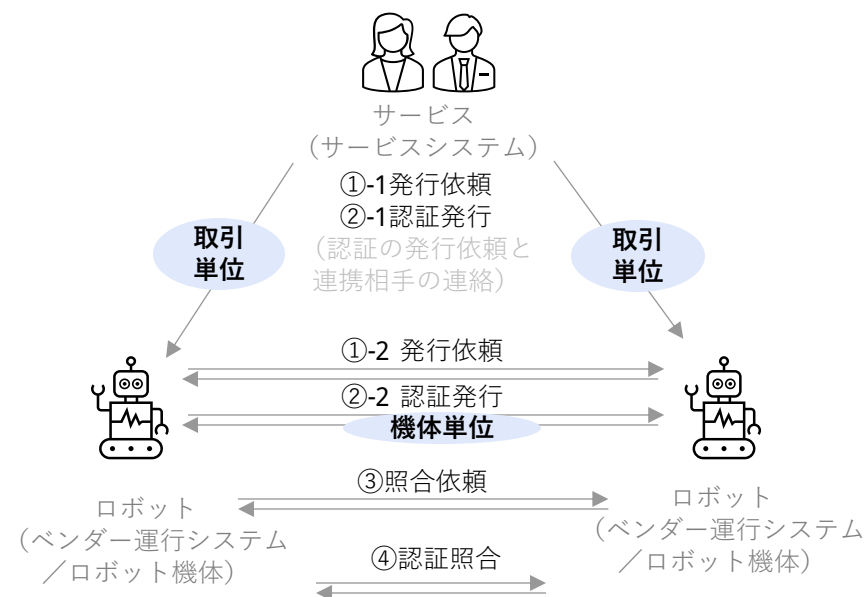
II. ロボットの認証における機能配置

ロボットの認証における発行依頼の機能配置は I. 場の認証と同様にベンダー運行システムが担い、サービスシステムはベンダー運行システムへタスク連携相手を共有する役割が想定される

対象の認証		ロボット・人へのタスク連携 ロボット同士や人とロボット間での荷物の受け渡し等、タスクの連携をするための認証
ロボット×ロボット  × 	ロボット×人  × 	
求められる認証・認可		タスクの連携時、同じタスクを実行する正しい連携相手かを識別できる必要がある ・ 認証の発行では、連携相手を一意に識別できる情報を発行する ・ 認証の照合では、同じタスクを実行する連携相手であることを確認した上で、認証情報を受け渡しする

機能配置		
機能フロー	機能配置	機能配置理由
①-1発行依頼	サービスシステム	<ul style="list-style-type: none"> タスクの連携元先を把握しているのは、サービス側のため
②-1認証発行		
①-2発行依頼	ベンダー運行システム	<ul style="list-style-type: none"> タスクを連携を行うロボット機体を把握しているのは、ロボット側のため
②-2認証発行		
③照合依頼	ベンダー運行システム / ロボット機体	<ul style="list-style-type: none"> タスクの連携相手を識別し、認証情報を受け渡しするため
④認証照合	ベンダー運行システム	<ul style="list-style-type: none"> ロールを跨ぐI/F連携が不要なため

業務イメージ



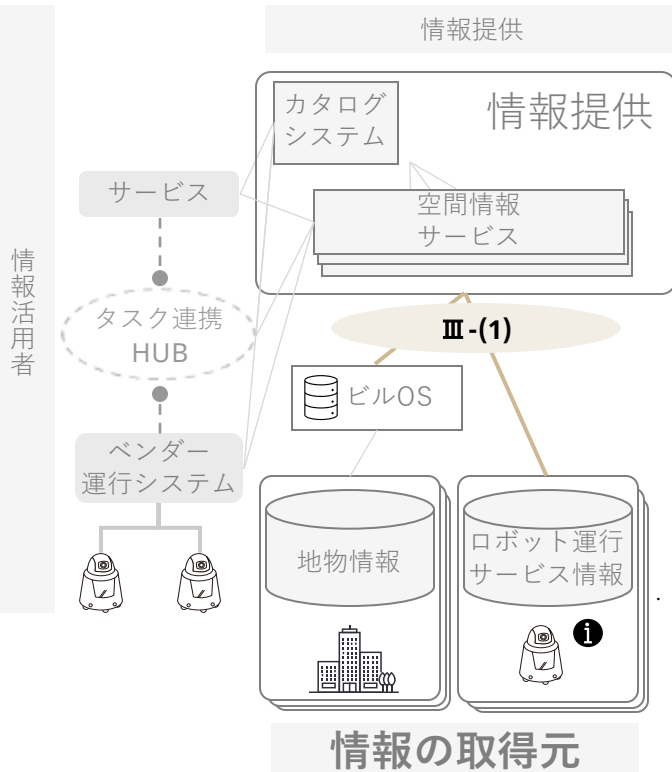
Ⅲ-(1).情報の取得において求められる認証

限定公開情報の取得を行う場合、事業者が連携相手毎に事業者を評価／認証する手間を簡易化することを目的に、情報提供者と取得元の両者を認証機関が事業者単位で認証することが妥当と考える

対象の認証

情報提供者の空間情報の取得

情報提供者が空間情報を取得するための認証・認可



求められる認証・認可

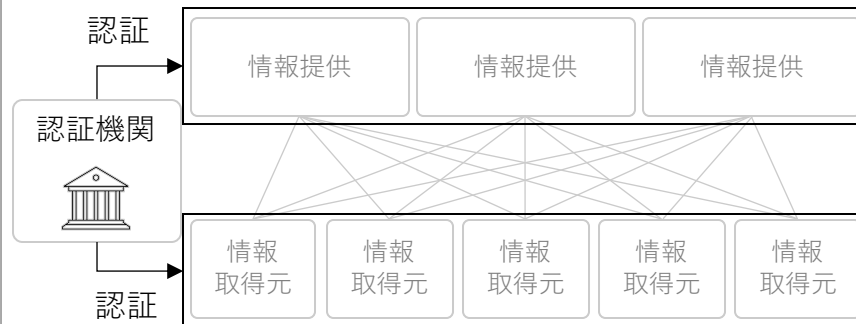
ロボ位置や地図情報等の限定公開情報を取り扱う場合、以下の認証が求められる

- 情報提供者には、機密情報としてデータ管理が可能か
 - 情報の取得元には、信頼性のある情報を情報提供者へ空間情報を提供することが可能か
- ※ただし、情報に求められるセキュリティレベルによって、認証・認可は不要となる場合がある

認証機関利用によるメリットと必要なこと

- メリットとして、認証機関が「情報提供者」と「情報の取得元」それぞれの事業者を認証することにより、**事業者が連携相手毎に個別に事業者を評価／認証する手間を簡易化**することができる
- 必要なこととして、認証機関には事業者としての信頼性を担保できるような認証基準及び認証プロセスが必要となる

【認証機関を利用した認証イメージ】



認証・認可が必要と想定される情報種

認証は情報種毎に求められる信頼性以上を担保する必要がある

主な情報種	求められる信頼性
地物情報	ロボットの運行や計画に利用できるように、実際の物理的な地物の配置や大きさが反映されている
設備連携情報	ロボットが運行で設備利用可否が判断できるように、場の設備の利用条件が反映されている
ロボット位置情報	ロボットが運行計画の立案や監視に利用できるように、他ロボットの計画していないしは現時点の位置情報が反映されている

認証・認可が不要と想定される情報種の例

- 天候情報／気象情報
- 公道等のパブリックな道の路面状況や工事・イベント・リソース占有情報

認証・認可が不要と想定される理由

- 既にパブリックに公開されている情報
- 個人や組織の機密性の高い情報が含まれていない情報

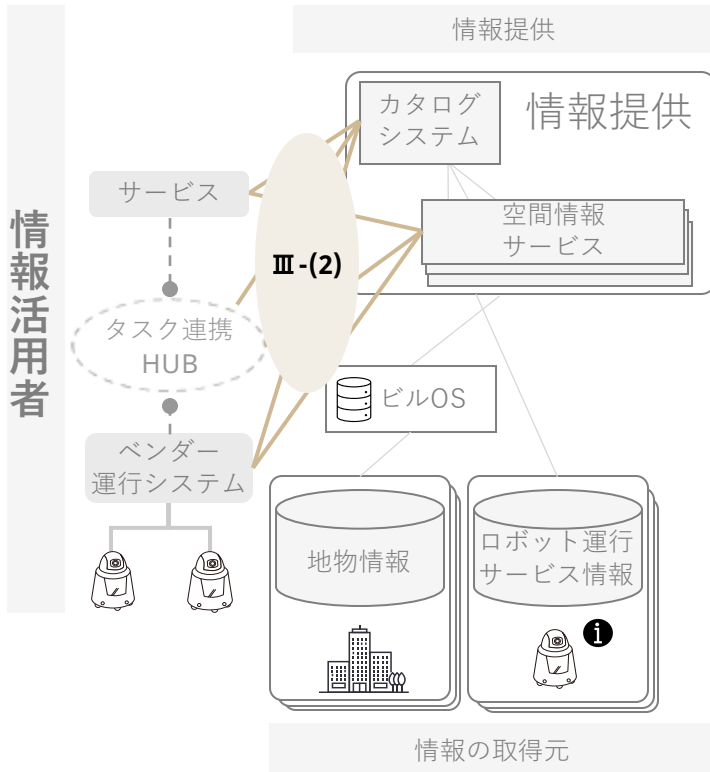
Ⅲ-(2). 情報の提供において求められる認証

空間情報の提供時、情報提供者は情報活用者との契約・商取引に基づき活用目的に応じた情報のみを提供できるように、認証情報の発行及び照合の機能を担う必要がある

対象の認証

情報提供者の空間情報の提供

情報提供者が空間情報を提供するための認証・認可



求められる認証・認可

- 付加価値を高めた情報を提供するため取引関係や情報保護を目的とし情報提供者と情報活用者に**契約・商取引が発生する**
- 空間情報の活用者からの提供依頼に対して、事前に契約した相手であることを認証する
 - 活用目的に応じた空間情報のみを提供するため、認可として活用者毎に提供する情報の権限管理を行う

情報提供に求められる情報の管理

情報提供者は、**活用目的に応じた情報のみ提供できるように認証情報の発行及び照合を担う事が必要と考えられる**

情報活用者	情報の活用目的	必要な主な情報種	開示されるべきでない主な情報種
サービス提供	最終顧客に対して契約通りのサービスを提供するためサービスの進捗状況を管理する	<ul style="list-style-type: none"> • サービスを提供するロボットの位置情報 	<ul style="list-style-type: none"> • 他サービス提供者のロボット機体の位置情報
モビリティ運行	依頼通りにロボットを運行し、運行する場のルールに遵守しているかを確認するため、運行するロボットの進捗管理及び運行監視する	<ul style="list-style-type: none"> • 運行するロボットの位置情報 • 人／交通参加者流及び位置 • 走行ルール 	<ul style="list-style-type: none"> • 運行に関係ない場のロボットの位置情報や人／交通参加者流
モビリティ製造	ロボットのルート／経路を決定し、ロボットの自律分散での運行を可能とする	<ul style="list-style-type: none"> • 地物情報 • 走行ルール • 占有情報 	<ul style="list-style-type: none"> • 運行に関係ない場の地物情報や占有情報
場の管理	管理している場の状態を正常に維持するため、場の使用状況を監視する	<ul style="list-style-type: none"> • 場で運行するロボット位置 • 人／交通参加者流及び位置 	<ul style="list-style-type: none"> • 管理外の場を運行するロボット位置や人／交通参加者流

4. 検証結果詳細

- 4.1 分散協調制御でのアーキテクチャ仮説
- 4.2 運行管理に必要な共通データ
- 4.3 複数モビリティの運行管理・制御
- 4.4 インフラ基盤（設備・通信・充電ほか）
- 4.5 分散協調におけるサービス連携
 - タスク管理（サマリ／検討詳細）
 - 認証（サマリ／検討詳細）
 - 将来アーキテクチャ仮説

認証管理における検証事項

認証者	認証の概要	検証事項
I.場	場への入退場や設備利用 セキュリティで制限されている場でのロボットの入退場やエレベータ等の設備をロボットが利用するための認証	I-① 場の認証において認証情報の発行依頼機能の機能配置はどうあるべきか
II.ロボット	ロボット・人へのタスク連携 ロボット同士や人とロボット間での荷物の受け渡し等、タスクの連携をするための認証	II-① ロボット×ロボットのタスク連携における認証の機能配置はどうあるべきか II-② ロボット×人（作業人・顧客）間のタスク連携における認証の機能配置はどうあるべきか
III.情報提供	空間情報の取得／提供 (1)情報提供の情報の取得 情報提供者の空間情報の取得にて、情報提供者と情報の取得元が適切な事業者かつ、権限を有しているかを識別する認証 (2)情報提供の情報の提供 情報提供者の空間情報の提供にて、情報提供者と情報の活用者が適切な事業者かつ、権限を有しているかを識別する認証	III-(1)-① 情報提供者の情報の取得における認証発行及び照合の機能配置はどうあるべきか III-(2)-① 情報提供者の情報の提供における認証について、認証発行及び照合はどうあるべきか

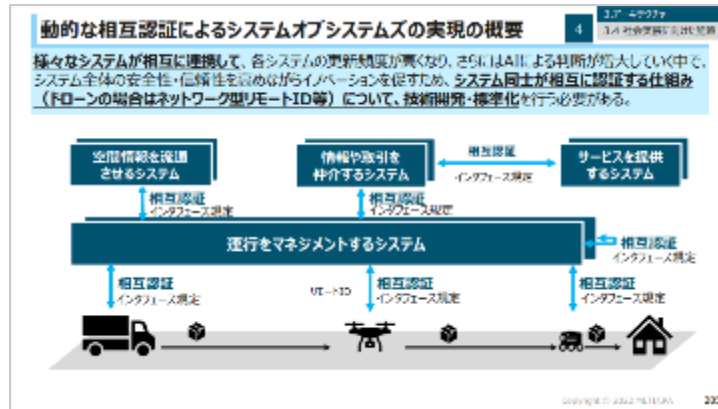
自律移動ロボットの認証における既検討

既検討の概要

経済産業省／デジタルアーキテクチャ・デザインセンター（DADC）では、自律移動ロボットが次の成長産業への期待を背景に、自律移動ロボットのアーキテクチャ設計の検討を2022年7月頃実施した。認証に関する既検討として「1. 動的な相互認証におけるシステムオブシステムズ」及び「2. 自律移動ロボットの証明書を利用した相互認証」の2つがあげられる

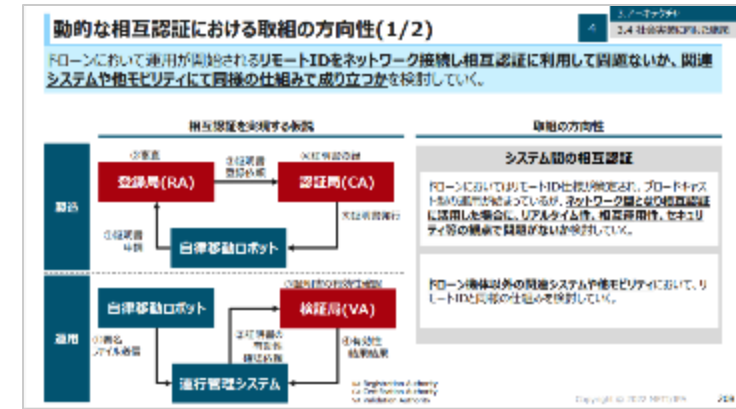
1. 動的な相互認証によるシステムオブシステムズ

システム同士が認証する仕組みが求められる



2. 自律移動ロボットの証明書を利用した相互認証

ドローンにおけるリモートIDを自律移動ロボットにも適用



既検討の内容

I. 場の認証及びII. ロボットの認証へ適用

本検証ではI. 場の認証、II. ロボットの認証において既検討を扱う。場やサービス等の1つの主体のみで認証を担う事はなく、認証者-被認証者が直接認証することを前提とする（III. 情報提供の認証においては認証機関が担う場合も想定）

I. 場の認証における認証情報：証明書利用パターン

本検証において、事前に場で運行するロボットが決まっているような運行形態の場合、ロボットの証明書の利用を検討する。本検証ではI. 場の認証に既検討を扱う

本検証への反映点

I. 場の認証アーキテクチャ

発行依頼の機能配置は、サービスシステムとベンダー運行システムを疎結合な関係とする、かつ情報の機密性担保の観点から、サービスシステムではなくベンダー運行システムが保持することが考えられる

検証事項 I -①

場の認証において認証情報の発行依頼機能の機能配置はどうあるべきか

凡例：

ロール

システム

機能
(被認証者)

機能
(認証者)

「発行依頼」機能の機能配置パターンの比較

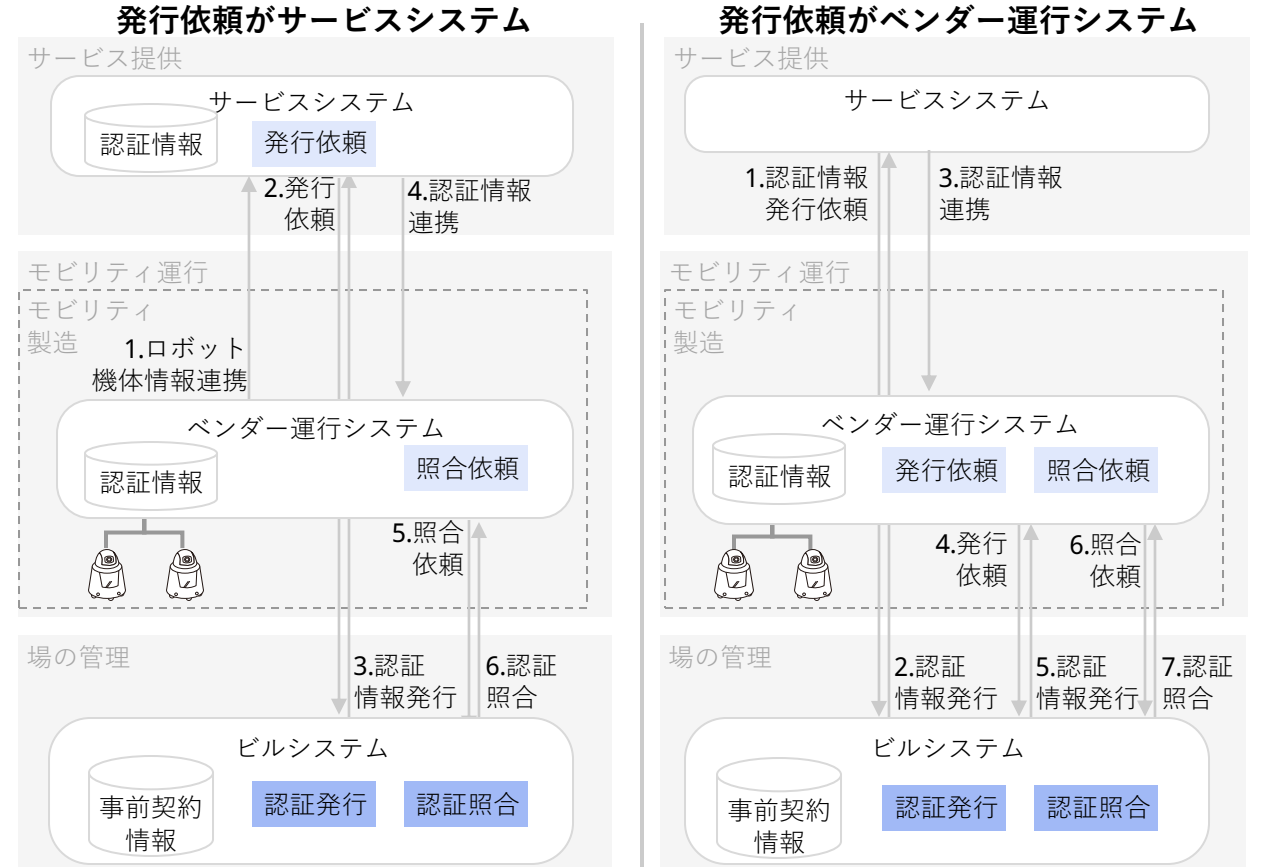
	サービスシステムの場合	ベンダー運行システムの場合
Pros	<ul style="list-style-type: none"> サービスシステムが認証情報の発行依頼を一括に行うため、サービスシステムからベンダー運行システムへと段階的な発行が不要な簡易な仕組みとなる（サービスシステムで発行が完結） 	<ul style="list-style-type: none"> ロボット機体情報のサービスシステムへの連携が不要となる サービスシステムが認証情報を保持しないため、認証情報の所持者が最小となりセキュリティとして情報の機密性が損なわれにくい
Cons	<ul style="list-style-type: none"> ロボット機体情報を本来保持不要なサービスシステムが保持する必要がある 認証照合に関係ないサービスシステムが認証情報を保持するため、セキュリティとして情報の機密性が損なわれるリスクが生じる 	<ul style="list-style-type: none"> 段階的な認証発行が必要となる。（サービスシステム及びベンダー運行システムからの2つのシステムから場に対しての発行依頼が必要となる）

結論

発行依頼の機能配置はベンダー運行システムが保持する
 理由A：サービスシステムで機体情報を管理せず、システム間を疎結合とする
 理由B：サービスシステムに認証情報を保持させず情報の機密性を高める

ただし、場の認証に求められるセキュリティレベルや機体情報の管理が必要なサービス等の場合に応じては、サービスシステムが保持することもありうる

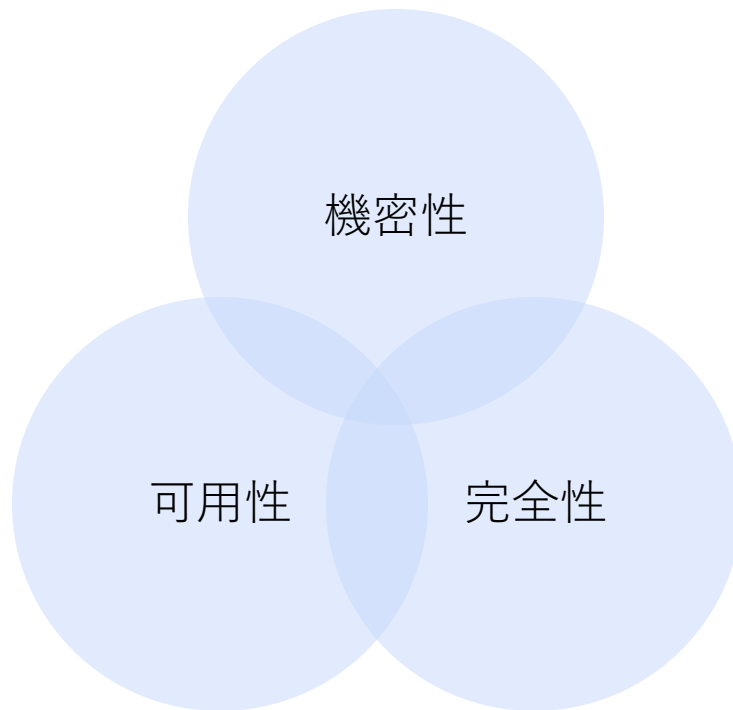
認証のアーキテクチャパターン



(参考) 情報セキュリティの三要素

「機密性」は、情報セキュリティとして維持すべき三要素の一つとして日本産業規格で定義されている

情報セキュリティとして維持すべき要素



要素	定義	ロボットの運行にてセキュリティが損なわれる例
機密性	認可されていない個人、エンティティ※又はプロセスに対して、情報を使用させず、また開示しない特性	情報にアクセスするためのIDやパスワードが関係のない第三者に流出する
可用性	認可されたエンティティ※が要求したときに、アクセス及び使用が可能である特性	自身の運行に関連するロボットの現在位置情報を確認できない等、情報のアクセス権があるのにアクセス／利用できない
完全性	正確性及び完全さの特性	ロボットの現在位置情報が1日前の情報で本来の位置と1km離れている等、情報の正確かつ最新の情報に保たれていない

※エンティティとは、実体や主体などを指す。情報セキュリティの文脈では、情報を使用する組織及び人、情報を扱う設備、ソフトウェア及び物理的媒体等を意味する

出所：「JIS Q 27000：2019 情報技術—セキュリティ技術—情報セキュリティマネジメントシステム—用語」
(<https://kikakurui.com/q/Q27000-2019-01.html>、(2024年1月10日アクセス)を基に作成)

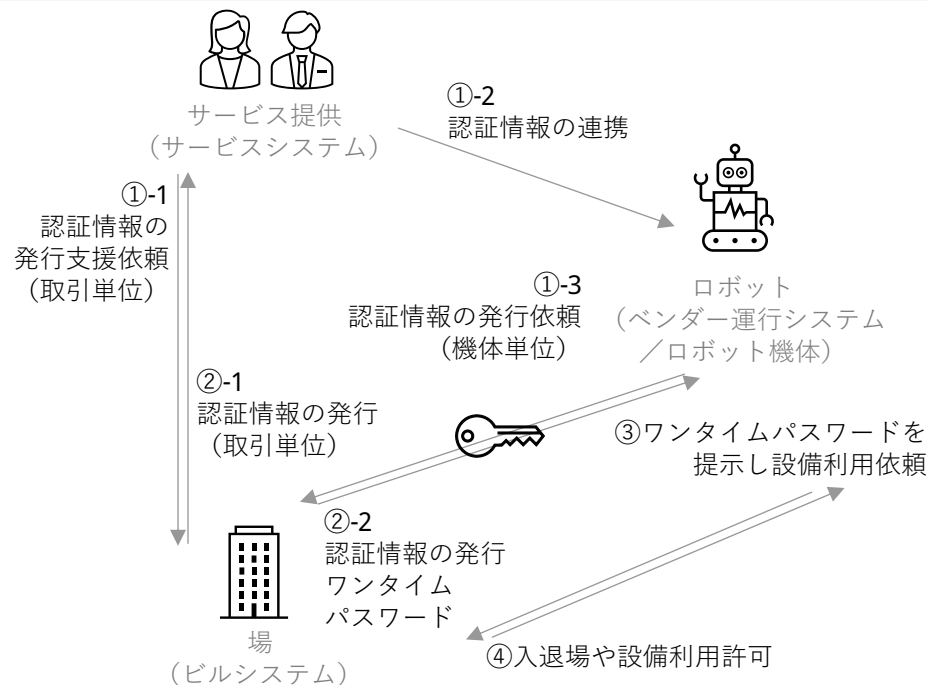
I .運行形態別の場の認証情報

場の認証における認証情報は、取引×機体単位のワンタイムパスワードが考えられる。ただし、事前に場で運行するロボットが決まっている運行形態の場合には機体の証明書の利用も想定される

ワンタイムパスワードの場合

サービスを実行する**ロボット機体が事前に決まっていない場合**
取引*×機体単位でロボット機体のワンタイムパスワードを利用する
(*1つのトランザクション単位に相当)

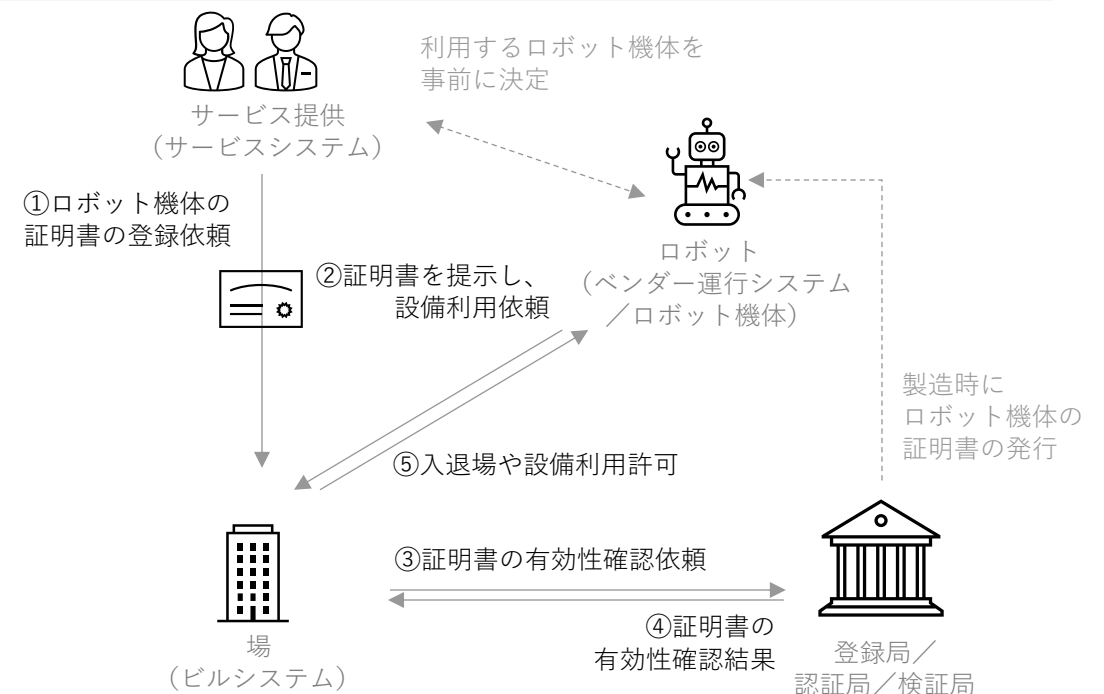
該当将来ユースケース：B. 飲食運搬



証明書の場合

サービスを実行する**ロボット機体が事前に決まっている場合**
場との取り決めに応じた期間でロボット機体の証明書を利用する
(*DADCの自律移動ロボットアーキテクチャ設計報告書の考え方参照)

該当将来ユースケース：A. 警備・清掃、C. 手荷物搬送、D. 施設内物流

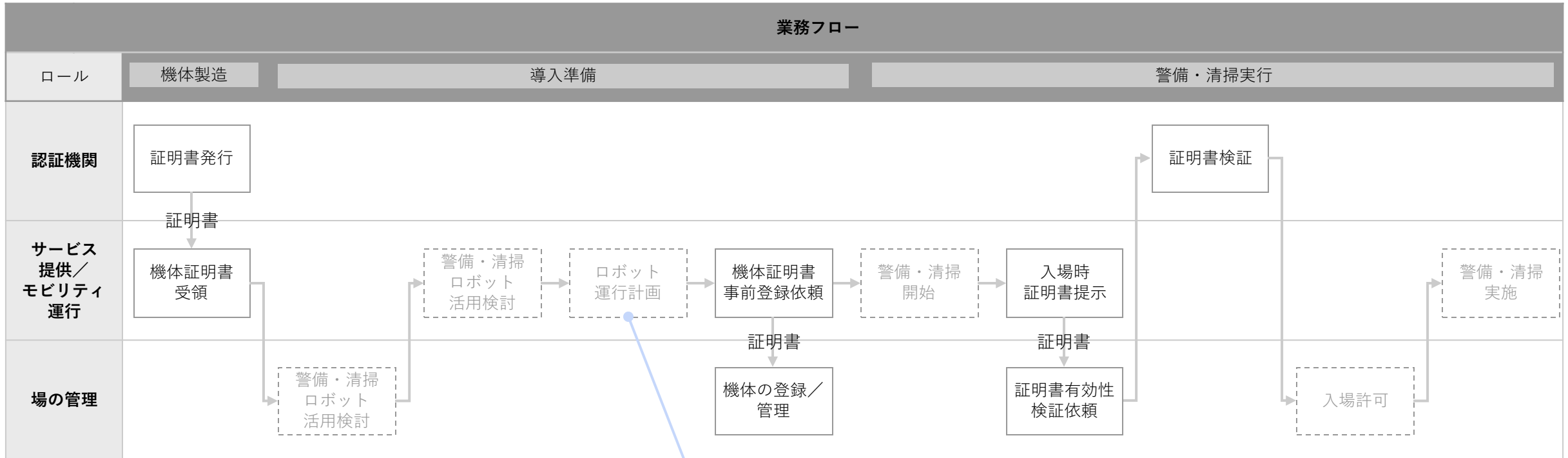


I. 将来ユースケースAにおける場の認証

ワンタイム
パスワードクライアント
証明書

計画に基づきロボット機体が事前に決定される。計画に基づいた期間で有効な証明書を事前登録し、サービスの実行時に証明書を提示する認証となる

凡例： 業務フロー 認証の業務 認証以外の業務



【ロボット機体の決定タイミング】

場へ入退場、設備利用する機体は、事前の計画時に決定される

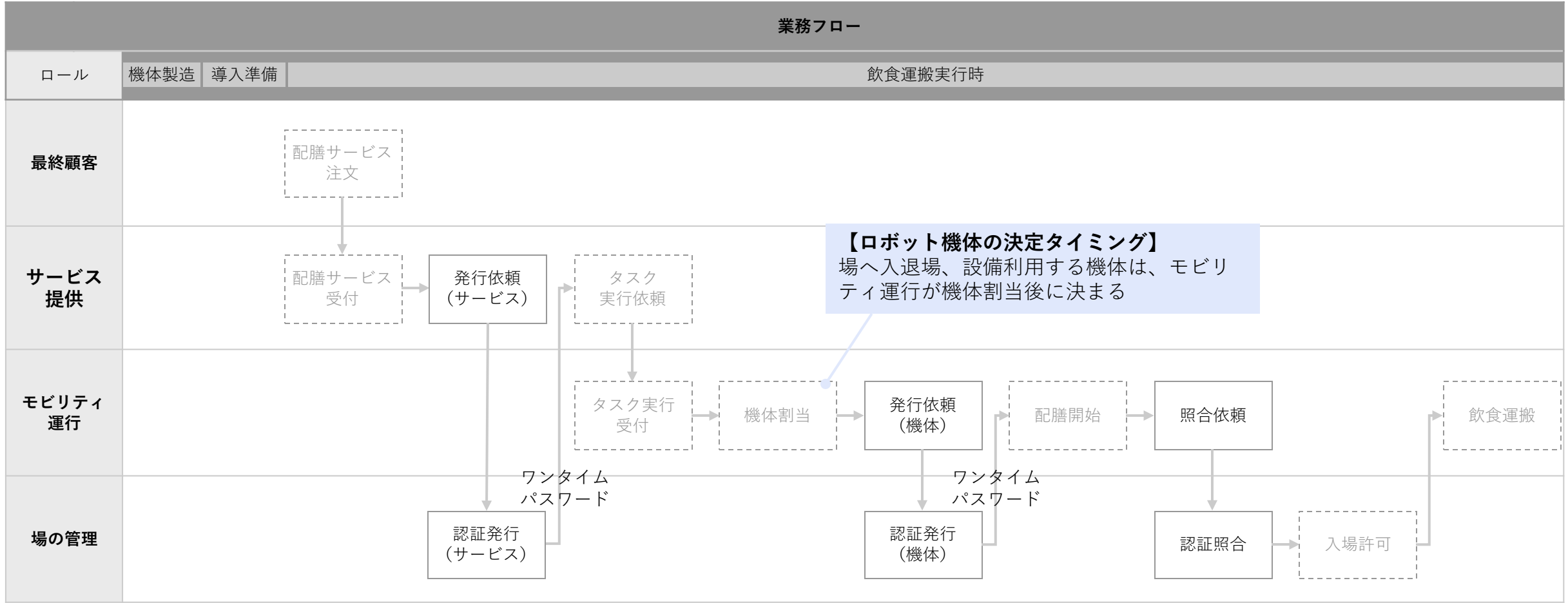
I. 将来ユースケースBにおける場の認証

ワンタイム
パスワード

クライアント
証明書

受注したサービスをモビリティ運行者へ連携後、場で運行するロボットが決まるため、ワンタイムパスワードでの認証となる

凡例： 業務フロー 認証の業務 認証以外の業務

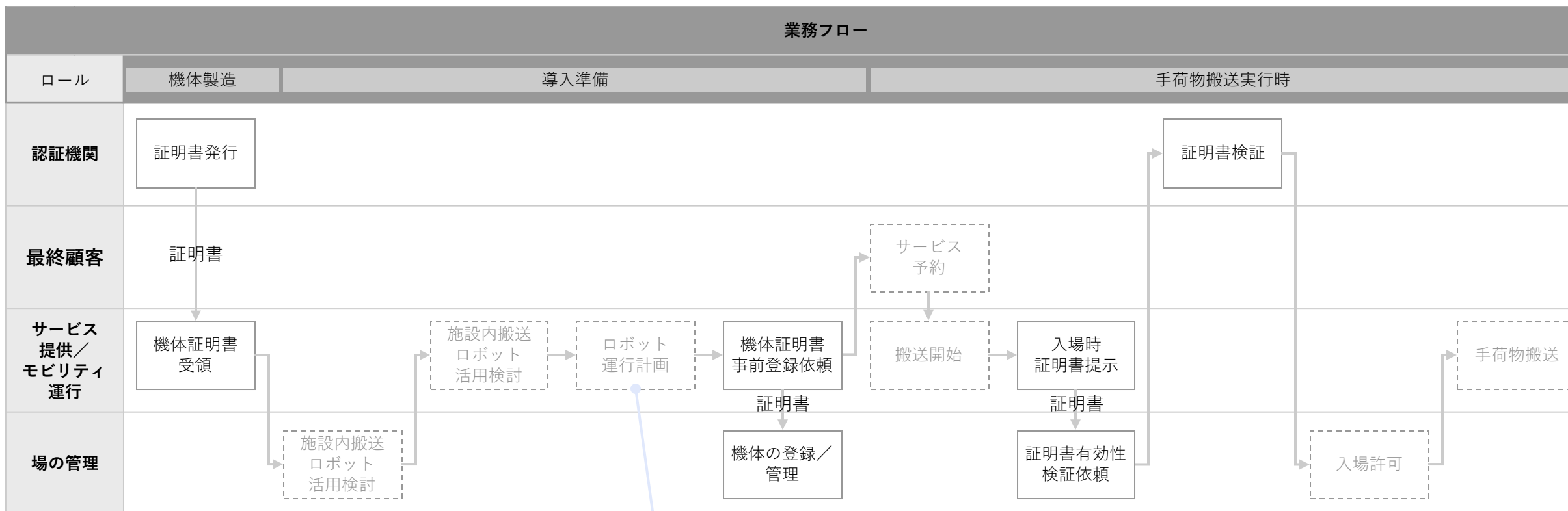


I. 将来ユースケースCにおける場の認証

ワンタイム
パスワードクライアント
証明書

計画に基づきロボット機体が事前に決定される。計画に基づいた期間で有効な証明書を事前登録し、サービスの実行時に証明書を提示する認証となる

凡例： 業務フロー 認証の業務 認証以外の業務



【ロボット機体の決定タイミング】

場へ入退場、設備利用する機体は、事前の計画時に決定される

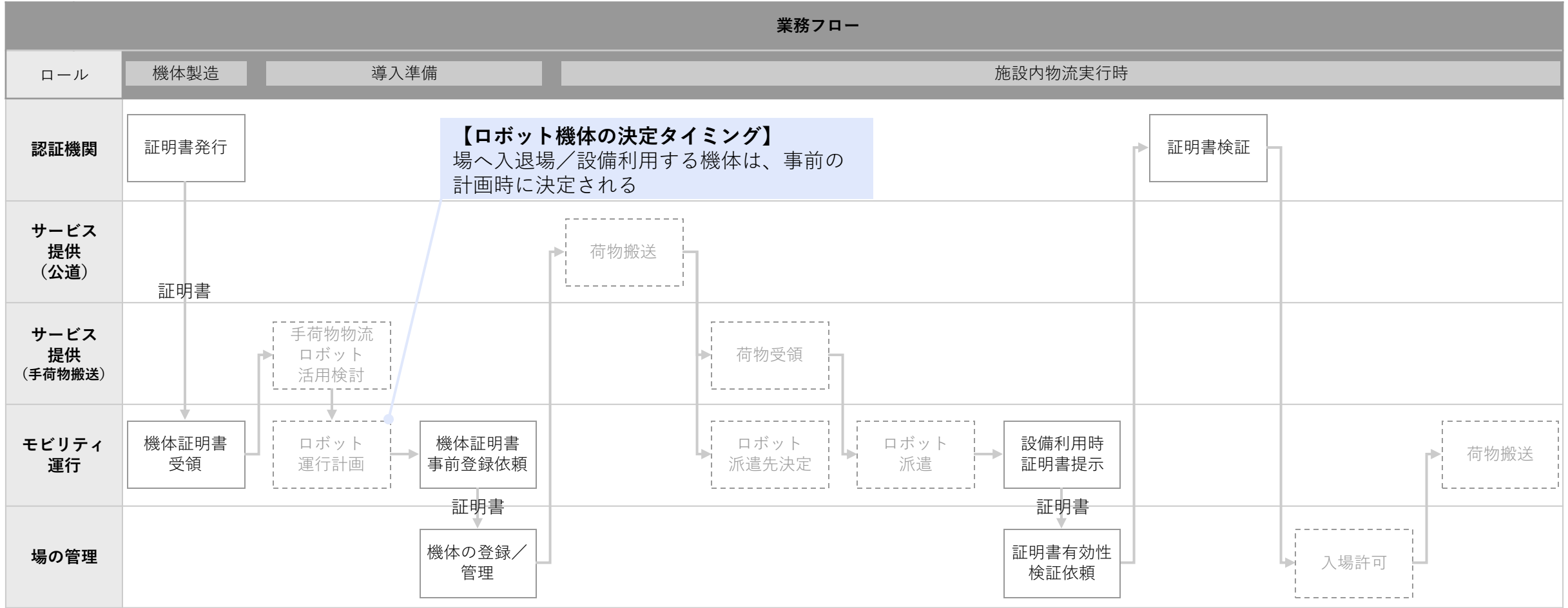
I. 将来ユースケースDにおける場の認証

ワンタイム
パスワード





クライアント
証明書

計画に基づきロボット機体が事前に決定される。計画に基づいた期間で有効な証明書を事前登録し、サービスの実行時に証明書を提示する認証となる

凡例： 業務フロー 認証の業務 認証以外の業務



I. 将来ユースケースにおける認証情報の検証

将来ユースケース	運行機体の決定 タイミング	特徴	場の認証における 認証情報※
A 警備・清掃	事前	場の管理側との運行計画に基づき、事前に警備・清掃するロボット機体が計画される	クライアント 証明書 
B 飲食運搬	都度	最終顧客からサービスを受注し、ロボット側で機体割当する段階で場で運行するロボットが決定される	ワンタイム パスワード 
C 手荷物搬送	事前	場の管理側との手荷物搬送サービスの場への導入及び運行計画に基づき、事前にロボット機体が計画される	クライアント 証明書 
D 施設内物流	事前	場の管理側との施設内物流サービスの場への導入及び運行計画に基づき、事前にロボット機体が計画される	クライアント 証明書 

※ビジネス特性や認証に求められるセキュリティレベルによっては、いずれの認証情報も可能性としてはありうる
本検証では、ユースケース毎の運行形態に基づき、妥当と思われる認証情報を記載している

Ⅱ. ロボット認証における検討対象

将来ユースケースに基づき、ロボット認証の検討対象は「ロボット間（ロボット×ロボット）」と「ロボット×人」の2つのタスク連携とする

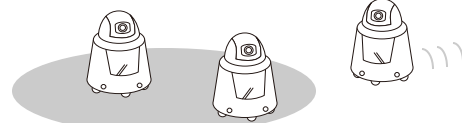
連携の凡例

ロボット
×ロボットロボット
×人モビリティ
連携ではない

将来ユースケースA. 警備・清掃

(ロボットを認証実施者としたタスクの連携はない)

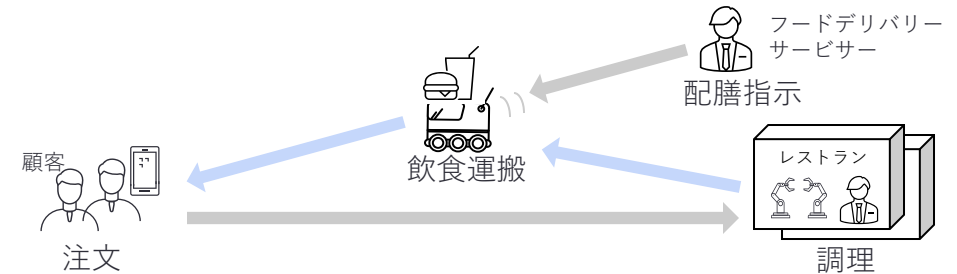
モビリティ運行業者

タスクエリア・
スケジュール設定

自律的に警備・清掃実行

将来ユースケースB. 飲食運搬

レストランで調理された料理を載せ、フードデリバリーサービサーによって配膳指示を与えられたロボットが注文者へ料理を運搬する

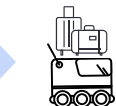


将来ユースケースC. 手荷物搬送

空港で預かった顧客の荷物を、施設内・公道を走行可能な複数のロボットを経由してホテルまで運搬する



荷物預かり



施設内運搬



公道運搬



施設内運搬



ホテル受渡

複数ロボットの連携

将来ユースケースD. 施設内物流

受領した荷物をロボットが該当の建物でエレベータ等の施設を運搬し、各建物内で別のロボットに積み替えてテナントまで運搬する



II. ロボットの認証アーキテクチャ (ロボット間)

「発行依頼～認証発行」の機能配置は、サービスシステムとベンダー運行システムを疎結合な関係とする、かつ情報の機密性担保の観点から、ベンダー運行システムが保持することが考えられる

検証事項 II -①

ロボット×ロボットのタスク連携における認証の機能配置はどうあるべきか

凡例： ロール

システム

機能
(被認証者)

機能
(認証者)

「発行依頼～認証発行」の機能配置パターンの比較

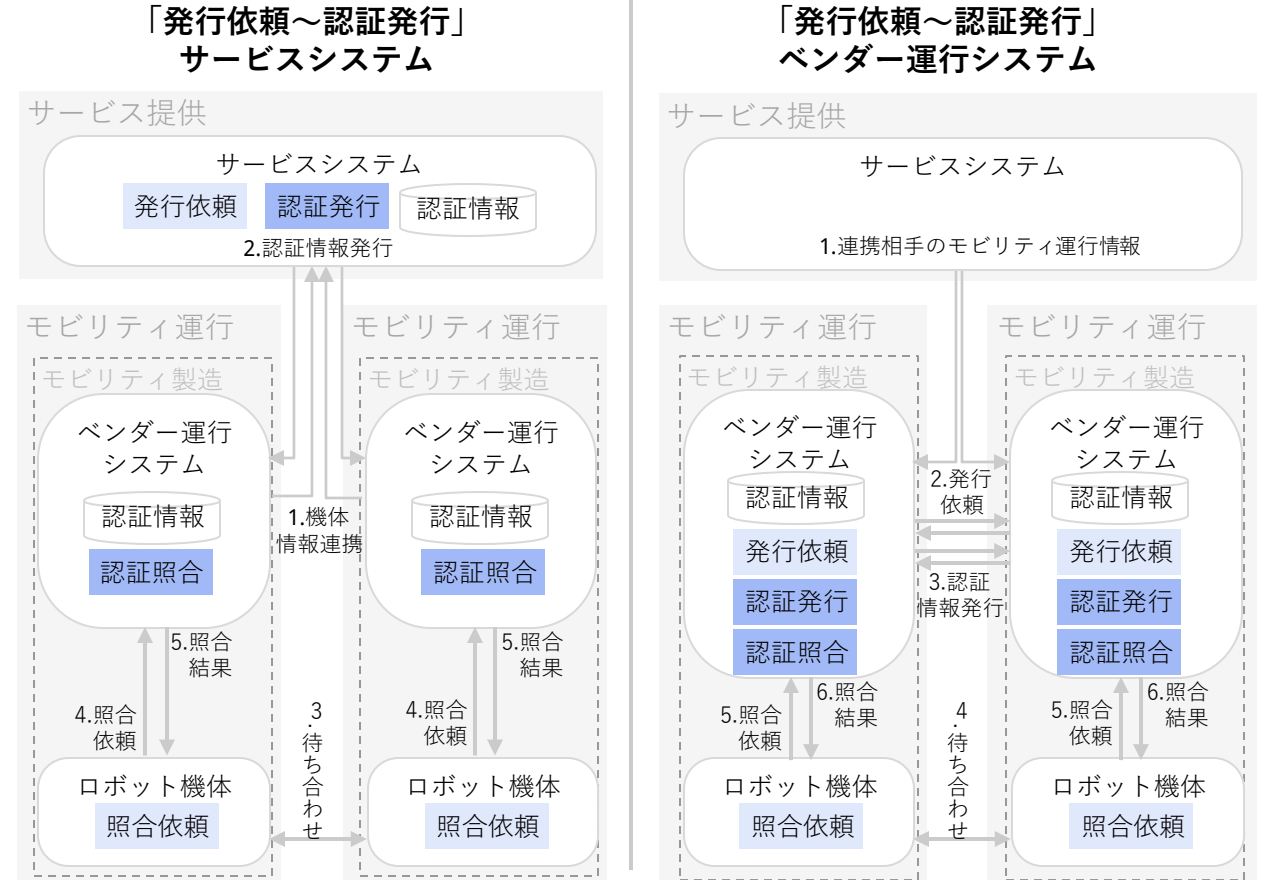
	サービスシステムの場合	ベンダー運行システムの場合
Pros	<ul style="list-style-type: none"> サービスシステムが認証情報の発行依頼を介在するため、ベンダー運行システム間の認証発行のI/Fが不要な簡易な仕組みとなる 	<ul style="list-style-type: none"> ロボット機体情報のサービスシステムへの連携が不要となる サービスシステムが照合に利用する認証情報を保持しないため、セキュリティとして情報の機密性が損なわれにくい
Cons	<ul style="list-style-type: none"> ロボット機体情報をベンダー運行システムからサービスシステムへ連携する必要がある 認証照合と関係ないサービスが認証システム証明情報を保持するため、セキュリティとして情報の機密性が損なわれるリスクが生じる 	<ul style="list-style-type: none"> ベンダー運行システム間での認証情報の発行のI/F必要となるため、複雑な仕組みとなる

結論

発行依頼～認証発行の機能配置はベンダー運行システムが保持する
 理由A：サービスシステムで機体情報を管理せず、システム間を疎結合とする
 理由B：サービスシステムに認証情報を保持させず情報の機密性を高める

※求められるセキュリティレベルや機体情報の管理が必要なサービスの場合には、サービス提供者とモビリティ運行者の取り決めによりサービスシステムが保持することもありうる

認証のアーキテクチャ



II. ロボットの認証アーキテクチャ (ロボット×人)

「発行依頼～認証発行」の機能配置は、ロボット間の認証と異なる機能配置とし機能重複が発生することを防ぐため、ロボット間認証同様にベンダー運行システムが担うと想定される

検証事項 II -②

ロボット×人 (作業人・顧客) のタスク連携における認証の機能配置はどうあるべきか

凡例: ロール

システム

機能 (被認証者)

機能 (認証者)

「発行依頼～認証発行」の機能配置パターンの比較

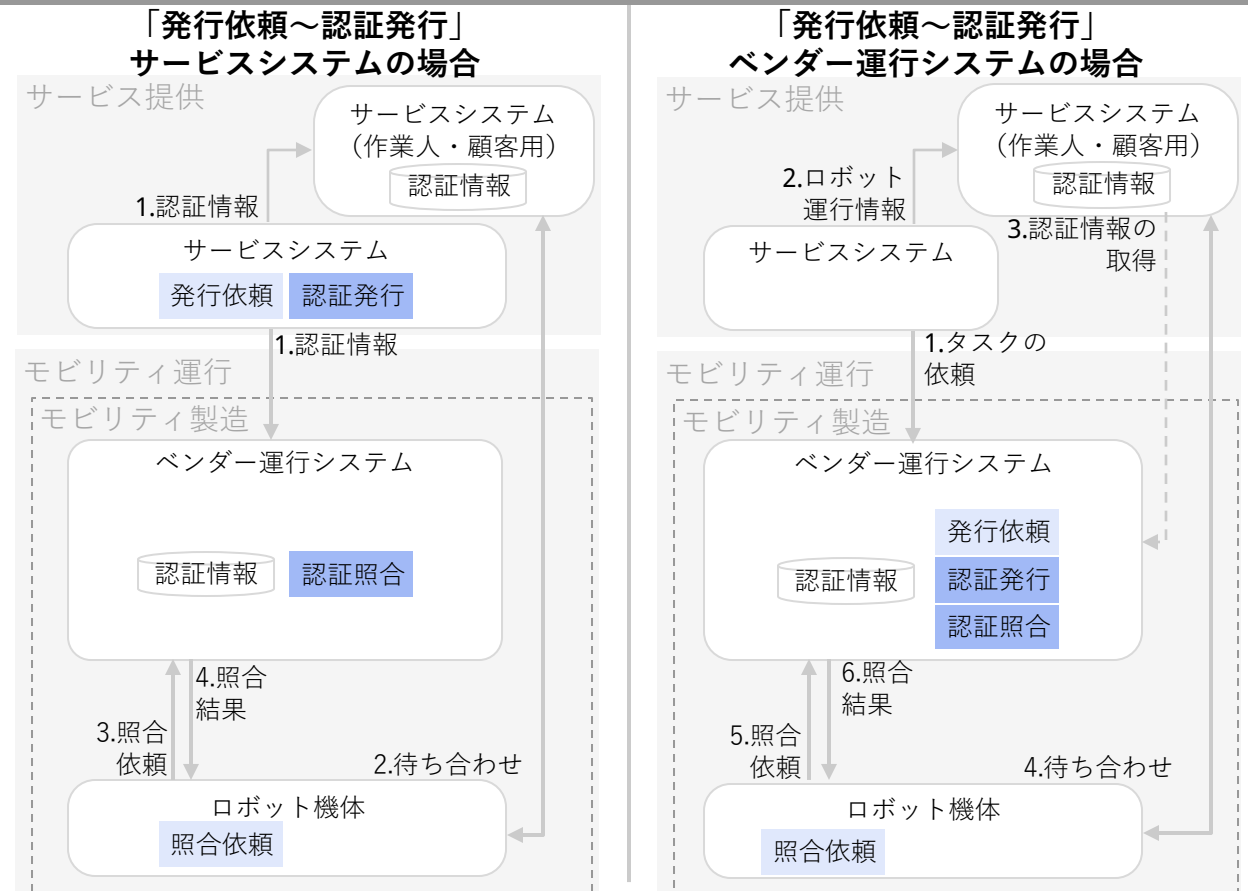
	サービスシステムの場合	ベンダー運行システムの場合
Pros	<ul style="list-style-type: none"> サービスシステムが認証発行し作業人・顧客へ連絡するため、作業人・顧客がモビリティ運行側のシステムを利用して認証情報を取得する手間が不要 	<ul style="list-style-type: none"> ロボット間の連携と同様の機能配置となる サービスシステムが照合に利用する認証情報を保持しないため、セキュリティとして情報の機密性が損なわれにくい
Cons	<ul style="list-style-type: none"> 認証照合に関係ないサービスシステムが認証情報を保持するため、セキュリティとして情報の機密性が損なわれるリスクが生じる 	<ul style="list-style-type: none"> 作業人・顧客が認証情報を取得するため、モビリティ運行のシステムを利用して情報を取得する手間がかかる (ロボット側システムが個人情報を保持しない想定)

結論

発行依頼～認証発行の機能配置は、ベンダー運行システムが保持する
 理由A: ロボット間の認証と同様の機能配置となる
 理由B: サービスシステムが認証情報を保持すると情報の機密性が失われる

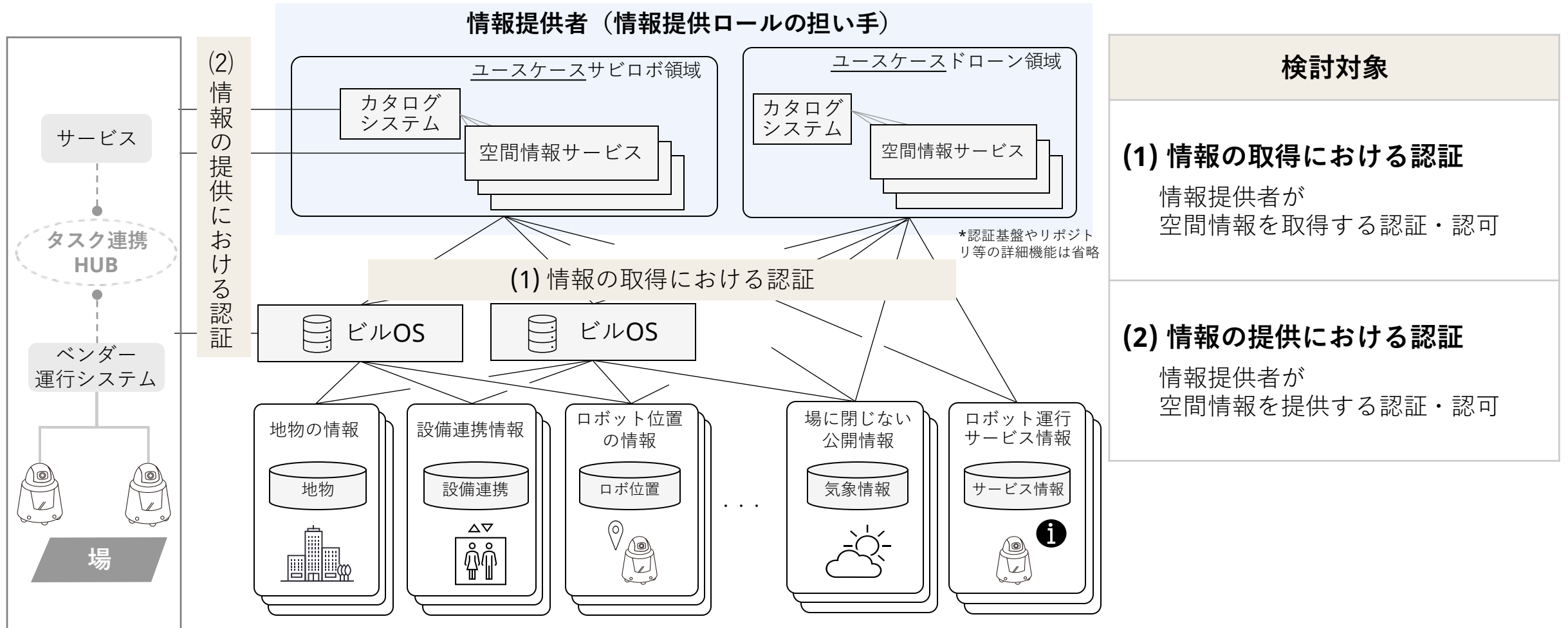
※求められるセキュリティや機体情報の管理が必要なサービスの場合には、サービス提供者とモビリティ運行者の取り決めによりサービスシステムが保持することもありうる

認証のアーキテクチャ



Ⅲ. 情報提供の認証における検討対象

Ⅲ. 情報提供の認証に関する検討対象は、(1) 情報提供者の情報の取得における認証、(2) 情報提供者の情報の提供における認証、2種類とする



Ⅲ-(1).情報の取得において求められる認証

限定公開情報の取得を行う場合、各事業者が連携相手の事業者を個別に評価／認証する手間を簡易化することを目的に、認証機関が情報提供者と取得元の両者を事業者単位で認証を行う可能性がある

検証事項Ⅲ-(1)-①

情報提供者の情報の取得における認証発行及び照合の機能配置はどうあるべきか

求められる認証・認可

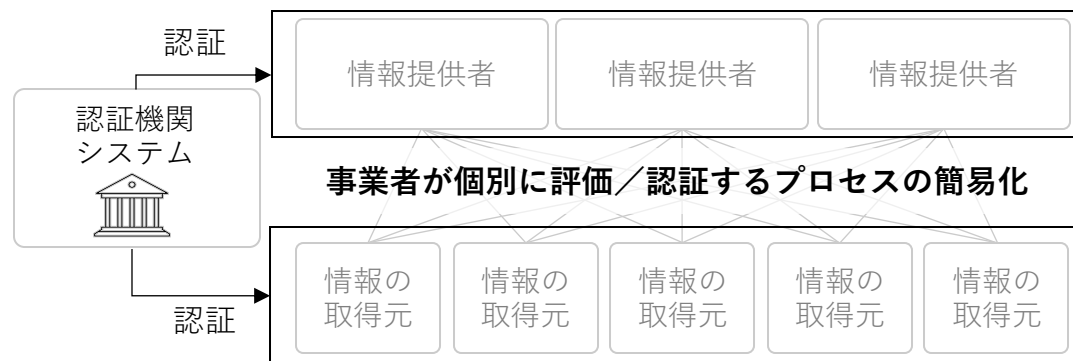
ロボ位置や地図情報等の限定公開情報を取り扱う場合、以下の認証が求められる

- ・ 情報提供者には、機密情報としてデータ管理が可能であること
 - ・ 情報の取得元には、信頼性のある情報を情報提供へ提供することが可能であること
- ※取得する情報に求められるセキュリティレベルによって、認証・認可は不要となる

認証機関利用によるメリットと必要なこと

- ・ メリットとして、認証機関が「情報提供者」と「情報の取得元」それぞれの事業者を認証することにより、**事業者間で個別に事業者を評価／認証するプロセスを簡易化**することができる
- ・ 認証機関の利用に際して必要なこととして、認証機関には事業者としての信頼性を担保できるような認証基準及び認証プロセスが必要となる

【認証機関を利用した認証イメージ】



認証・認可が必要となりうる情報種

認証は情報種毎に求められる信頼性以上を担保する必要がある

主な情報種	求められる信頼性
地物情報	ロボットの運行や計画に利用できるように、実際の物理的な地物の配置や大きさが反映されている
設備連携情報	ロボットが運行での利用可否が判断できるように、場の設備の利用条件が反映されている
ロボット位置情報	各ロボットが運行計画の立案や監視に利用できるように、他ロボットの計画ないしは現時点の位置情報が反映されている

認証・認可が不要と想定される情報種の例

- ・ 天候情報／気象情報
- ・ 公道等のパブリックな道の路面状況や工事・イベント・リソース占有情報

認証・認可が不要と想定される理由

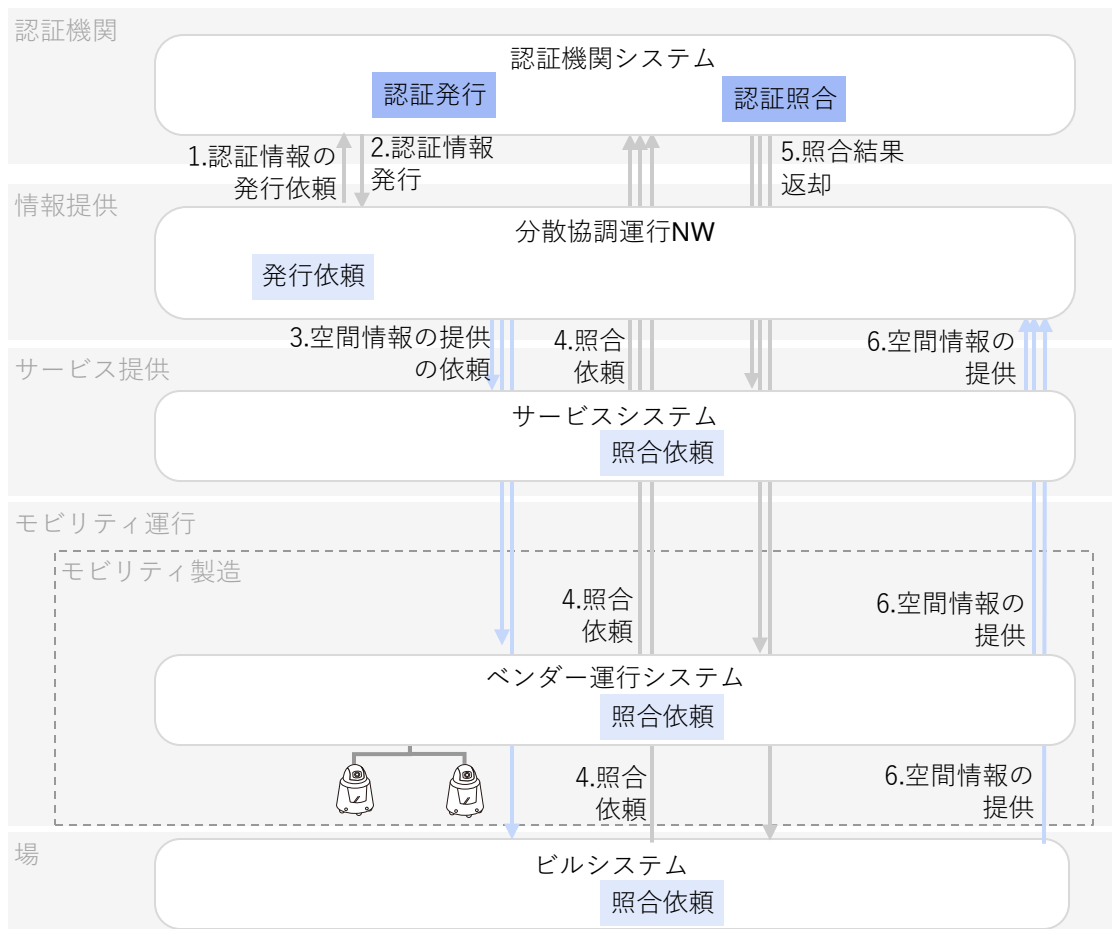
- ・ 既にパブリックに公開されている情報
- ・ 個人や組織に関する機密性の高い情報が含まれていない情報

Ⅲ-(1).情報の取得におけるアーキテクチャ

凡例： ロール システム 機能 (被認証者) 機能 (認証者) 認証I/F 空間情報 I/F

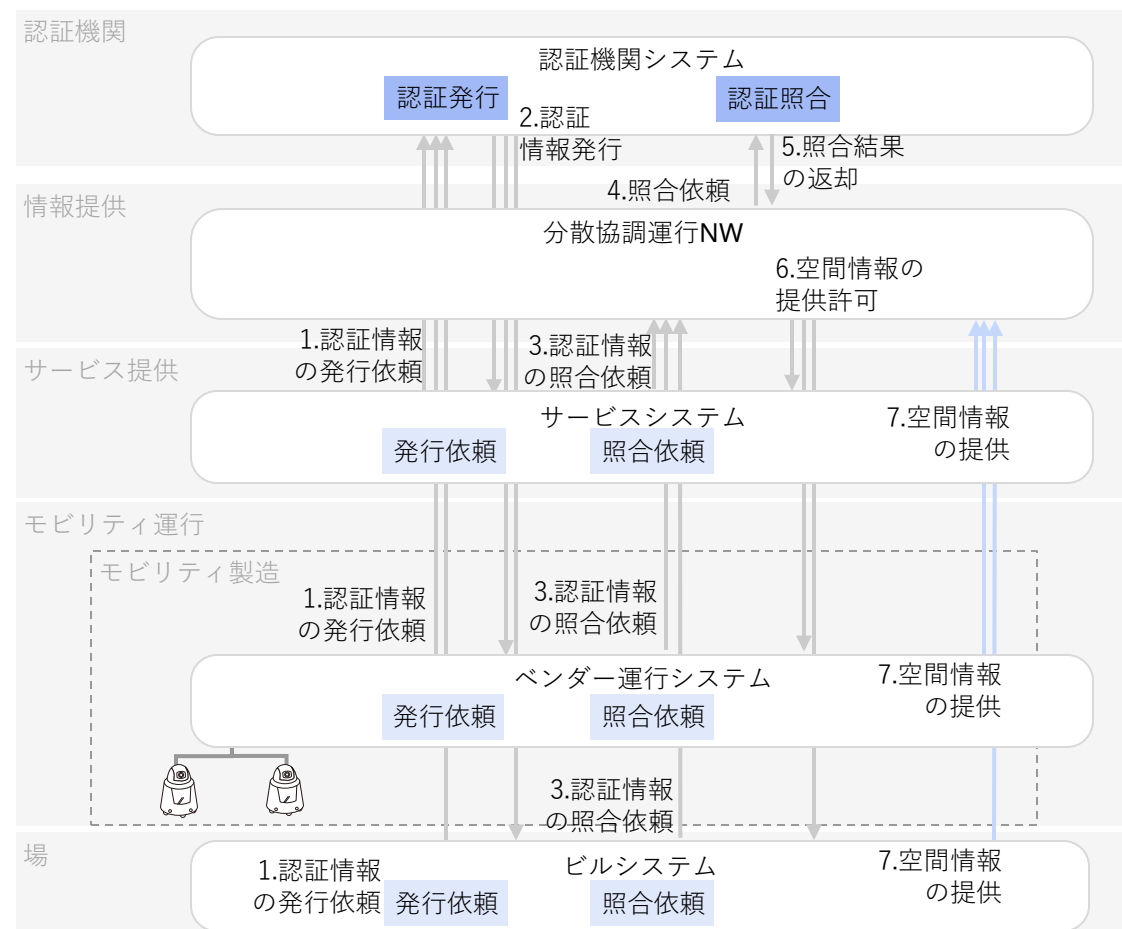
Pull型の取得

情報提供者からの依頼に基づき、情報の取得元から空間情報が提供される



Push型の取得

情報の取得元から能動的に空間情報が提供される



Ⅲ-(2).情報の提供において求められる認証

空間情報の提供時、情報提供者は情報活用者との契約・商取引に基づき活用目的に応じた情報のみを提供できるように、認証情報の発行及び照合の機能を担うことが必要となる

検証事項Ⅲ-(2)-①

情報提供者の情報の提供における認証について、認証発行及び照合はどうあるべきか

求められる認証・認可

情報分析・加工を行い付加価値を高めた情報を提供するため、取引関係形成や情報保護を目的とし、**情報提供者と情報の活用者で契約・商取引が発生する**

- 認証として、空間情報の活用者からの提供依頼に対して、事前に契約した相手であることを認証する
- 認可として、活用目的に応じた空間情報のみを提供するように活用者毎に提供する情報の権限管理を行う

情報提供に求められる情報の管理

情報提供者は、**活用目的に応じた情報のみ提供できるように認証情報の発行及び照合を担う事が必要と考えられる**

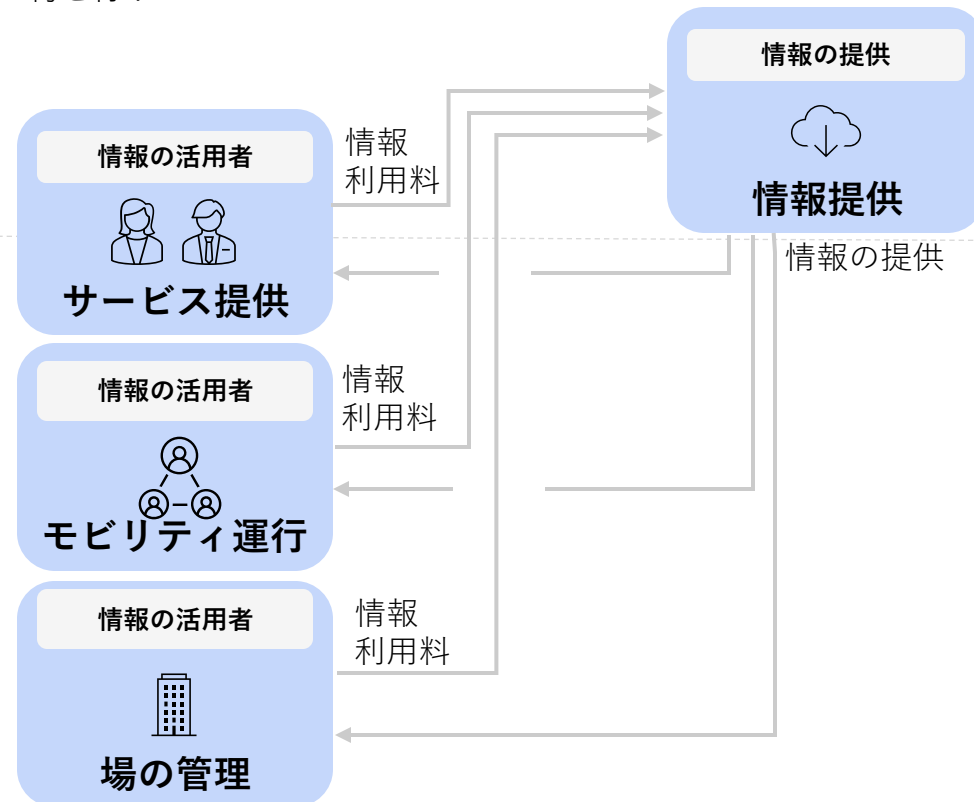
情報の活用者	情報の活用目的	必要な主な情報種	開示されるべきでない 主な情報種
サービス提供	最終顧客に対して契約通りのサービスを提供するためサービスの進捗状況を管理する	<ul style="list-style-type: none"> • サービスを提供するロボットの位置情報 	<ul style="list-style-type: none"> • 他サービス提供のロボット機体の位置情報
モビリティ運行	依頼通りにロボットを運行し、運行する場のルールに遵守しているかを確認するため、運行するロボットの進捗管理及び運行監視する	<ul style="list-style-type: none"> • 運行するロボットの位置情報 • 人／交通参加者流及び位置 • 走行ルール 	<ul style="list-style-type: none"> • 運行に関係ない場のロボットの位置情報や人／交通参加者流
モビリティ製造	ロボットのルート／経路を決定し、ロボットの自律分散での運行を可能とする	<ul style="list-style-type: none"> • 地物情報 • 走行ルール • 占有情報 	<ul style="list-style-type: none"> • 運行に関係ない場の地物情報や占有情報
場の管理	管理している場の状態を正常に維持するため、場の使用状況を監視する	<ul style="list-style-type: none"> • 場で運行するロボット位置 • 人／交通参加者流及び位置 	<ul style="list-style-type: none"> • 管理外の場を運行するロボット位置や人／交通参加者流

Ⅲ-(2).情報の提供におけるアーキテクチャ

凡例： 想定ロール 想定業務

情報の提供の認証におけるロール相関図

- 情報分析・加工を行った情報を提供するため、商取引や情報保護を目的とし、**情報提供者と情報の活用者で契約・商取引が発生する**
- 空間情報サービスの事業者と情報の活用者の事業者間で契約を行う

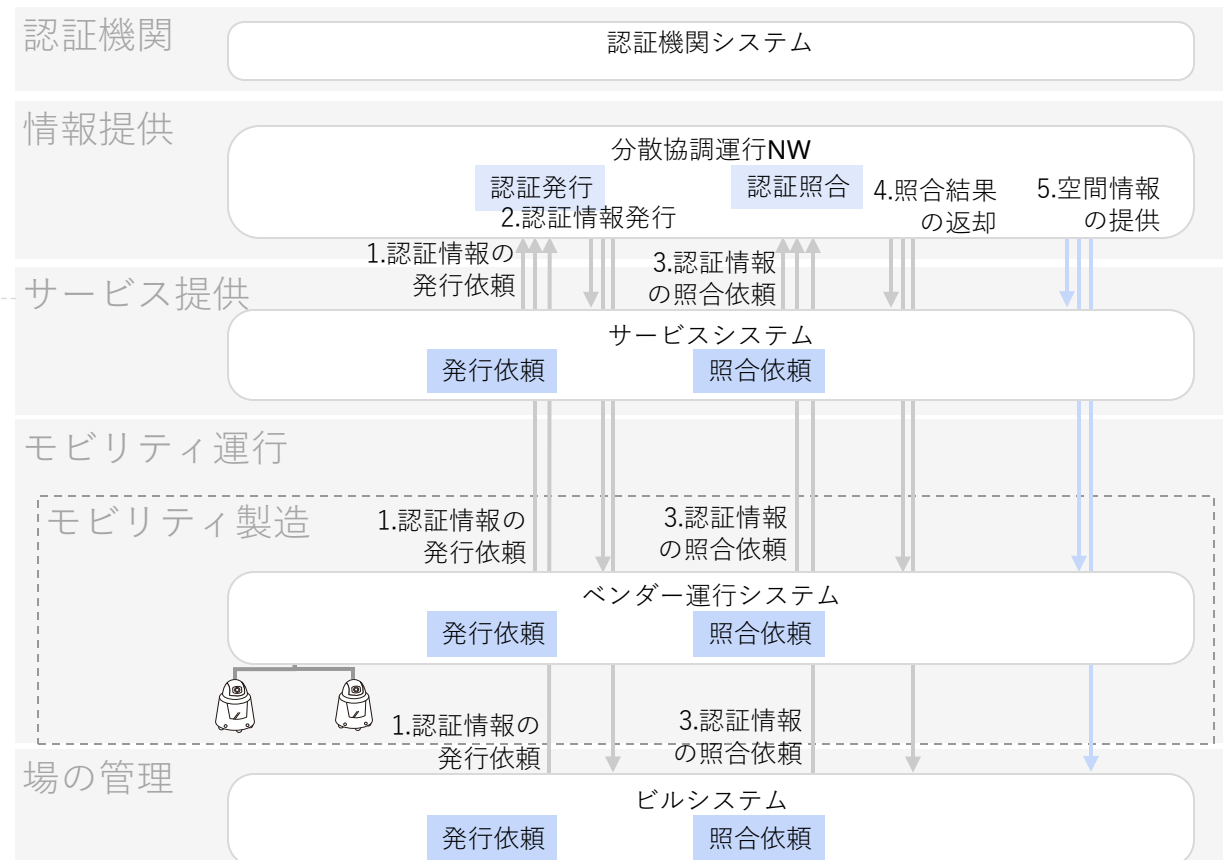


凡例： ロール システム 機能 (被認証者) 機能 (認証者) 認証I/F 空間情報 I/F

情報提供におけるアーキテクチャ

情報提供者が空間情報の提供をする際の認証

※認証機関が認証情報の発行及び照合を行うこともありうる




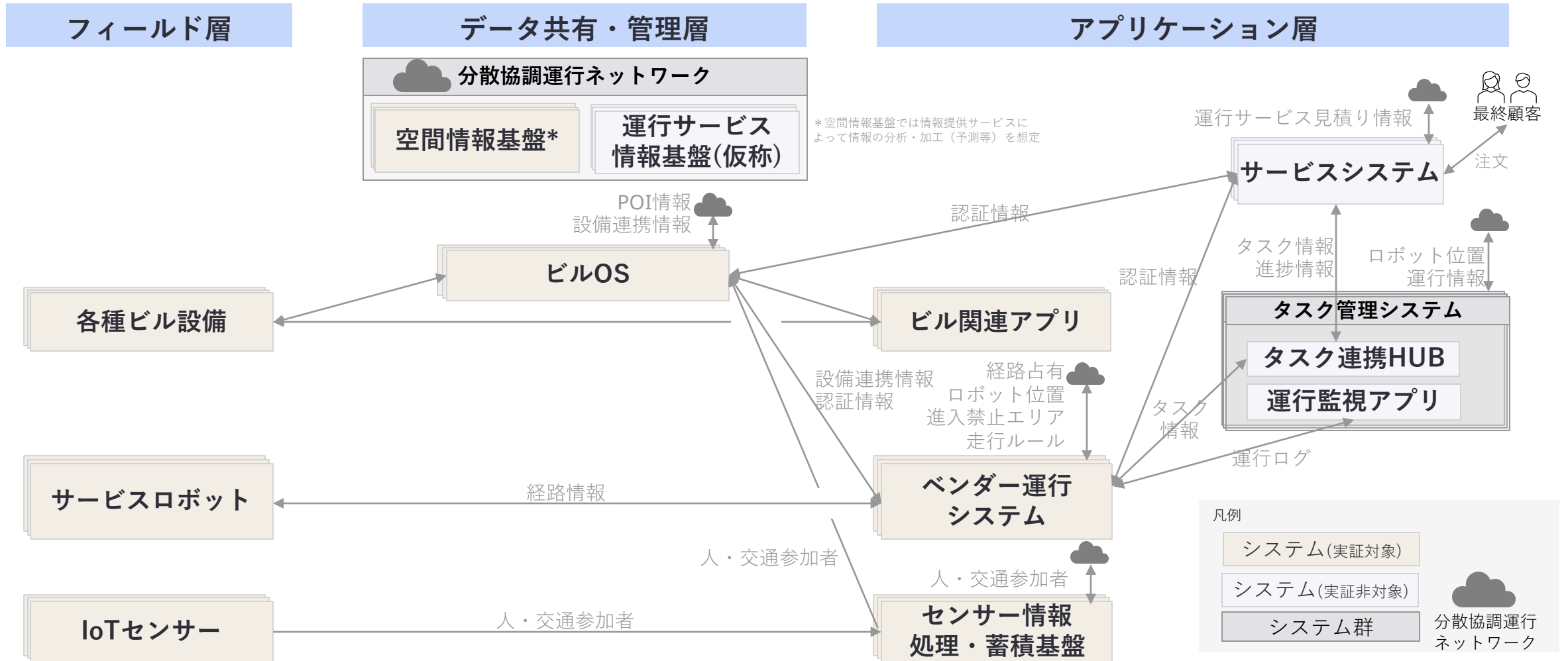
4. 検証結果詳細

- 4.1 分散協調制御でのアーキテクチャ仮説
- 4.2 運行管理に必要な共通データ
- 4.3 複数モビリティの運行管理・制御
- 4.4 インフラ基盤（設備・通信・充電ほか）
- 4.5 分散協調におけるサービス連携
 - タスク管理（サマリ／検討詳細）
 - 認証（サマリ／検討詳細）
 - 将来アーキテクチャ仮説

(再掲) 分散協調における将来アーキテクチャ仮説

協調運行に必要な共有情報に関する実証とサービス連携に必要な機能・情報に関する検証を踏まえて、場を跨いだ協調運行に必要な将来アーキテクチャを仮説する

 分散協調運行ネットワークとの情報のやり取りを示す



(参考) ロールとシステム構成要素の関係性

ロール	将来アーキテクチャ仮説			システム構成	
	フィールド層	データ共有・管理層	アプリケーション層	構成要素	役割
情報提供				空間情報基盤	空間IDを利用して空間や設備情報をベンダー間で共有するための仕組み
サービス提供				サービスシステム	最終顧客との納期管理やモビリティ運行へタスク依頼するシステム
場の管理	各種ビル設備	ビルOS	ビル関連アプリ	ビルOS	ビル設備や建物情報などに関する「ビルデータ」を提供するためのI/Fを提供するシステム
モビリティ運行				タスク連携HUB	複数のサービスシステムとベンダー運行システム間のタスクの中継を担うシステム
				運行監視アプリ	ロボットの運行状況監視や進捗管理を行うアプリ
モビリティ製造	サービスロボット			ベンダー運行システム	サービスロボットの自律移動制御を行うシステム
				サービスロボット	3つの技術要素（センサ系／駆動系／知能系）を満たす機械システム
その他*	IoTセンサー			センサー情報処理・蓄積基盤	IoTセンサーで取得したデータを処理・蓄積する仕組み
				IoTセンサー	人やロボットの位置情報の取得を目的に動きや位置を検知するセンサ

*複数のステークホルダーが持ちうる

5. 経済性・責任の分析

5.1 サービスの経済性分析

5.2 ロボット運行における責任分界

5. 経済性・責任の分析

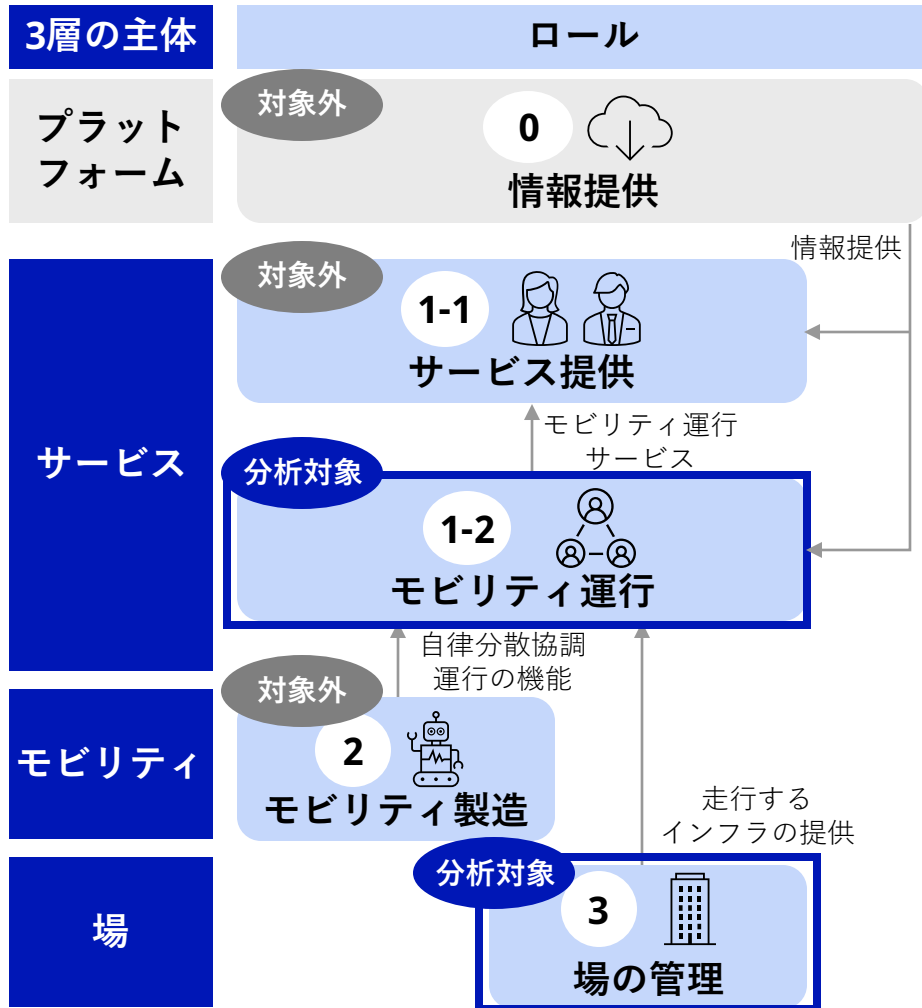
5.1 サービスの経済性分析

- サマリ
- 社会課題とサービスロボット市場の理解
- サービスロボットの普及に係る検討
- モビリティ運行者の事業性の評価
- 場の管理者の事業性の評価

5.2 ロボット運行における責任分界

経済性分析の対象範囲と考え方

分散協調において、ロボットのサービスとしての利用モデルの提供とその運行を担うモビリティ運行者と、ロボットが効率的に機能するためのインフラ提供・管理を担う場の管理者を対象に分析を行った



経済性分析の対象と考え方

モビリティ運行（分析対象）

- 従来の購入モデルからロボットのサービスとしての利用モデルへの移行を示しており、このビジネスモデルの経済性を分析することにより、市場の成長潜在性や事業の実行可能性を検証し、分散協調モデルの成立性を確認する

場の管理（分析対象）

- サービスロボットが効率的に機能するために必要なインフラの提供や管理を担う。これには通信ネットワークや電源・駐機の提供、空間情報やエレベータとの連携などが含まれる。これらの投資コストと受益性について検証する

情報提供／サービス提供／モビリティ製造（分析対象外）

- 情報提供：4次元時空間情報基盤にて検討が進められていることからこれを除外する
- サービス提供：その内容が顧客のニーズによって大きく変わるため、一般化して経済性を分析することが困難であることからこれを除外する
- モビリティ製造：従前のビジネスモデルに従い経済的にある程度成立性が自明であることからこれを除外する

分析の考え方と方法について

- 社会課題（ニーズ）とサービスロボットの市場規模・動向の把握を目的とした市場調査や、モビリティ運行者ならびに場の管理者に関連するビジネスモデルなどの既存の情報を基にした定性的評価に重点を置く
- 現在、実証実験段階にあることなどから、タイミング的に入手困難である実際の運用データに基づく投資対効果予測などの定量的な分析の実施などは、今回は対象外とする

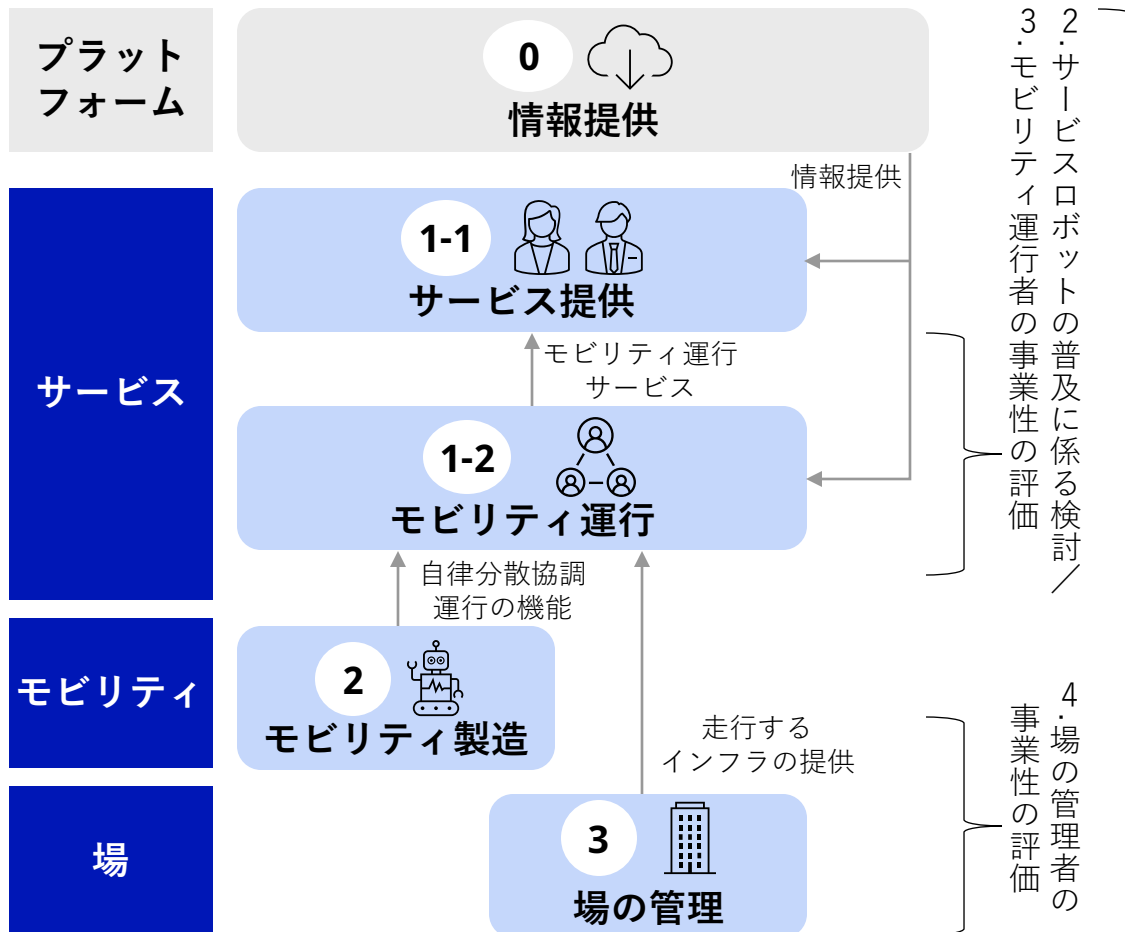
経済性分析
の対象範囲

分析方法に
ついて

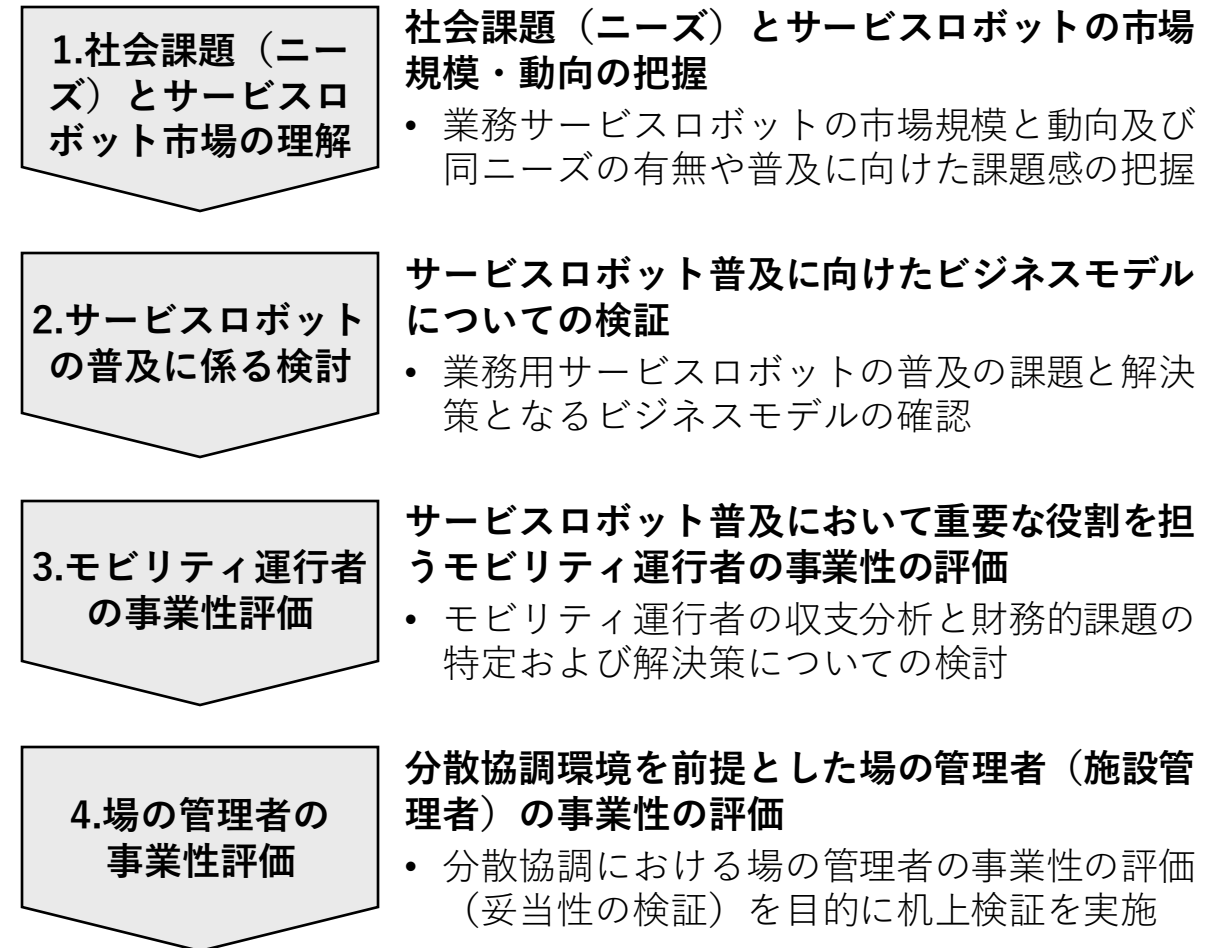
経済性分析の進め方

サービスロボット市場の分析を全体的な視点とし、分散協調環境でのロボット普及に寄与する立場となるモビリティ運行者と、誘致する立場となる場の管理者の事業性についてそれぞれ評価を行った

サービスロボットの社会実装に係るロールと検証対象



分散協調環境における社会実装に係る経済性分析の論点



経済性分析結果の要約（課題と対応方針案）

ロボットの普及に係る検討領域では、セキュリティや安全対策に関わる基準の必要性が確認された。また、モビリティ運行者の事業性評価では、財務的課題への対応が必要であることが確認された

分析アプローチ	分析結果の要約	課題と対応方針（案）	
2. サービスロボットの普及に係る検討	<ul style="list-style-type: none"> ロボットのサブスクリプションでの利用形態（RaaS）が普及しつつある。将来的には、分散協調環境を意識した複数モビリティの運行管理・制御モデルへの移行と場の管理者との共通データの洗い出しと標準化などが課題となる 	<p>複数モビリティの運行管理・制御のためのルール等整備</p>	<p>共助・公助</p> <ul style="list-style-type: none"> 複数モビリティや事業者間での横断的利用を想定した共通データ（地図情報、走行ルール、進入禁止・人流、経路占有・位置情報等）の特定や連携を含むルール整備対応（公道などでは公助によりルール設定する等）
3. モビリティ運行者の事業性評価	<ul style="list-style-type: none"> 国内でもモビリティ運行（RaaS）に係る新規事業者は出現しつつあるが主に起業のタイミングでの財務的な課題が確認された <ul style="list-style-type: none"> スタートアップ段階での融資やリース契約などによる利息や手数料の財務的な負担（資金調達面） 	<p>分散協調環境を支える新しい事業モデルの普及促進</p>	<p>自助・共助</p> <ul style="list-style-type: none"> サービスロボットを活用した地域住民の生活の質の向上などを目的とした官民連携によるイノベーション型の社会的プロジェクトの立ち上げ（持続的な投資資金確保と地域課題解決のバランス）
	<ul style="list-style-type: none"> <ul style="list-style-type: none"> ロボットや関連機器、ソフトウェアの購入やリースに関する費用などの負担（製品開発面） 	<p>持続的な実証研究のための産学横断的な協力体制の確立</p>	<p>共助</p> <ul style="list-style-type: none"> 実証で検討を行った「空間情報に関する実装課題」や、「運行における多様な監視のあり方・方法」などの持続的な研究が必要なテーマに関して、産学（官）連携での持続的な研究・実証体制・環境（地域＋住民）の整備
	<ul style="list-style-type: none"> <ul style="list-style-type: none"> 特許取得済みの技術やソフトウェアの使用に関連するライセンス料は、技術革新を推進するRaaS企業にとっては大きな負担（研究開発面） 	<p>通信プロトコル等の共通化（技術的なロックインの回避）</p>	<p>共助</p> <ul style="list-style-type: none"> 柔軟性とスケラビリティの観点から、異なるベンダーのロボットの同一施設内での協調運行だけでなく、異なる施設への展開も容易にするような相互運用性に関わるインフラ技術や通信プロトコル等の共通化
4. 場の管理者の事業性評価	<ul style="list-style-type: none"> ユースケース関連市場は拡大傾向にあり、ロボット導入に関しても一定程度の妥当性が確認された ロボットが効率的に機能するためのインフラ整備に関して、ロボット運行機能切り出しや協調部分での標準化等の取組みは、将来価値向上の観点からも重要性が高い 	<p>インフラ整備の対象と対象の事業化を含むモデル（案）の検討</p>	<p>自助・共助</p> <ul style="list-style-type: none"> 場に対するロボットサービスの相互乗り入れを実現するための協調領域と競争領域の切り分け、ならびに協調領域における仕様共通化等の取組み 今後の評価に関しては、場の管理の公共性から財務的なりターンの最大化だけでなく、社会的または環境的な価値の創出についても評価実施

5. 経済性・責任の分析

5.1 サービスの経済性分析

- サマリ
- 社会課題とサービスロボット市場の理解
- サービスロボットの普及に係る検討
- モビリティ運行者の事業性の評価
- 場の管理者の事業性の評価

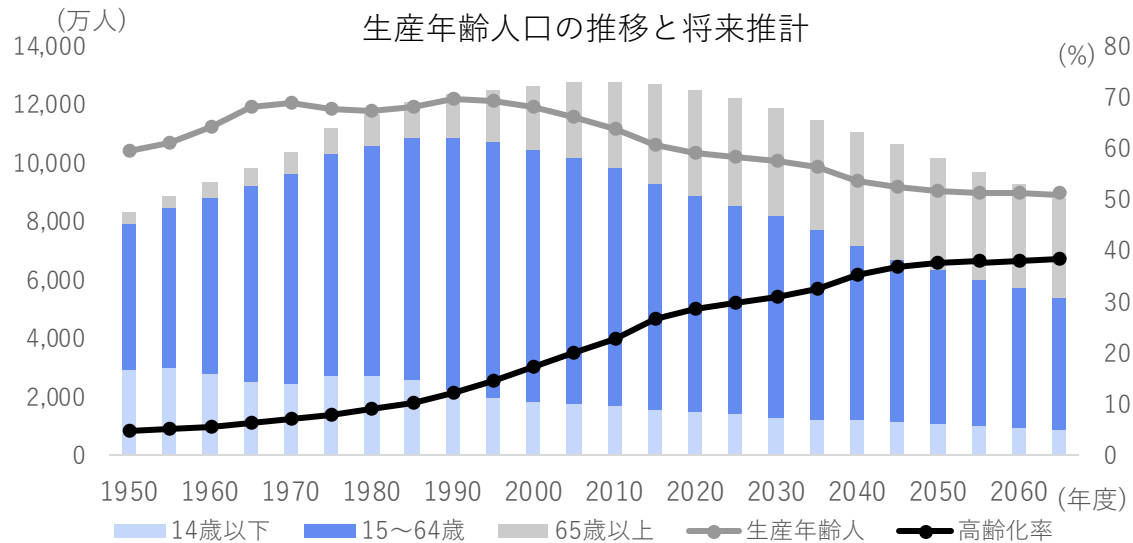
5.2 ロボット運行における責任分界

社会課題と普及に向けた課題

自律型サービスロボットの活用は、労働人口の減少と高齢化によって生じる課題である人手不足の問題や、生産性の低下に対処する上で効果的であることが想定される

生産年齢人口の推移と将来推計（白書より）

- 少子高齢化の進行により、我が国の生産年齢人口（15～64歳）は1995年をピークに減少。2050年には5,275万人（2021年から29.2%減）に減少する見込み
- 生産年齢人口の減少により、労働力の不足、国内需要の減少による経済規模の縮小など様々な社会的・経済的課題の深刻化が懸念される

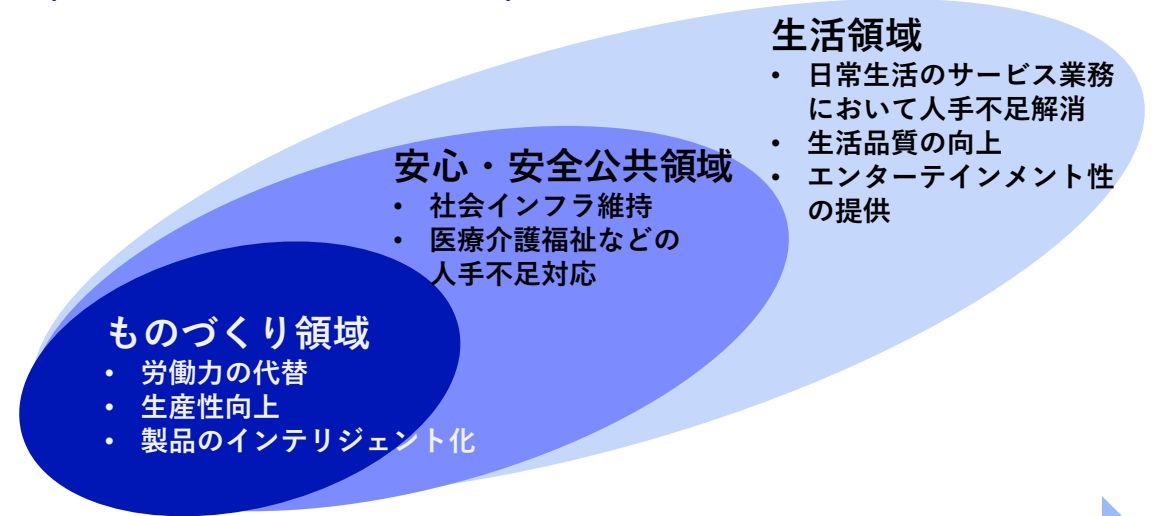


出所：「令和4年版 労働経済の分析」、厚生労働省
<https://www.mhlw.go.jp/content/12602000/000981627.pdf>(2024年2月21日アクセス)を基に作成

ロボット技術（RT）の普及と課題

- 労働力不足などを背景にロボット市場は、市場規模は2025年までに5.3兆円、2035年までに9.7兆円になると予測されている（経済産業省）
- 一方、「技術開発と適応性」、「人との協働」、「社会的受容性と倫理的考慮」、「コストと投資回収等」などの普及に向けた課題を克服することが必要となる

← 主に産業用ロボット → ← 主に自律型サービスロボットの領域 →



経済効果と社会維持の観点から効果が出やすい分野からロボットの普及が進む

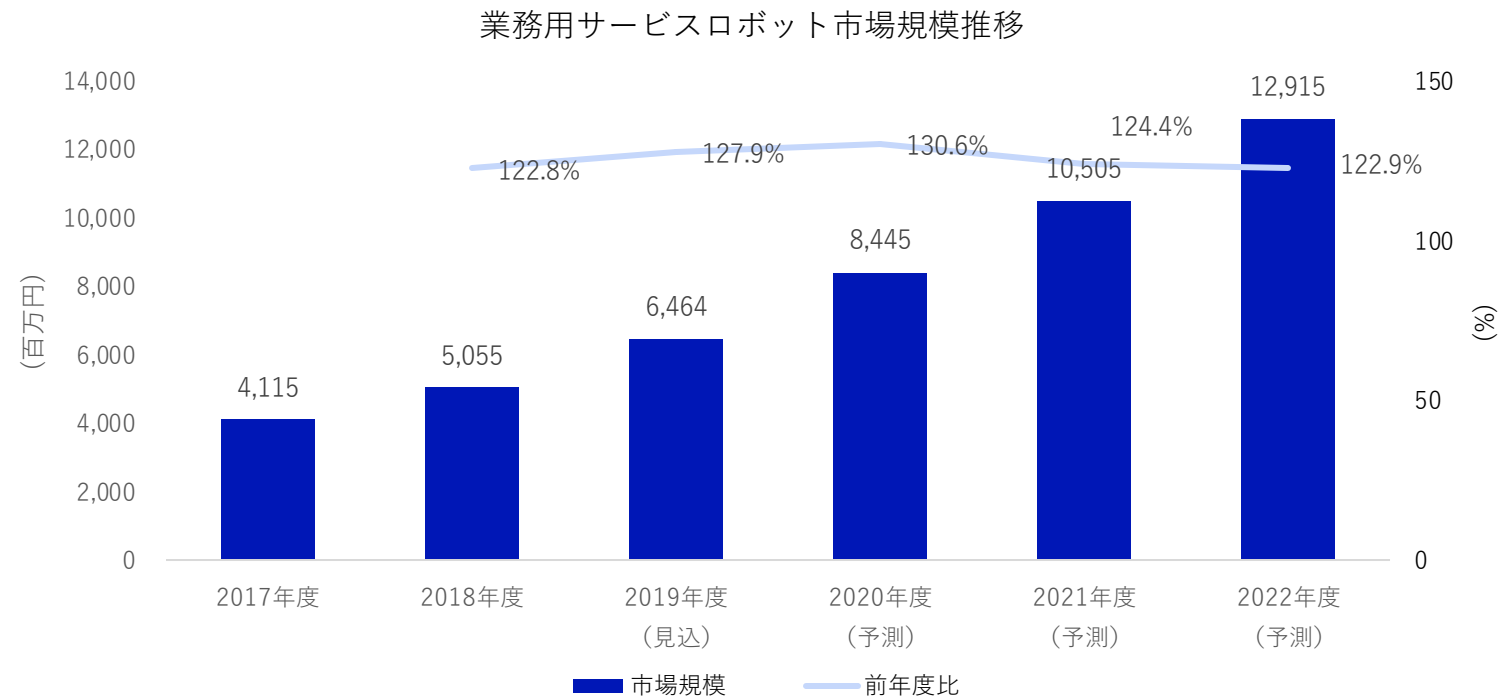
出所：(「RT（ロボットテクノロジー）による産業波及効果と市場分析に関する調査」、財)機械振興協会 経済研究所
https://staff.aist.go.jp/h.arai/robotics/rt_08summary.pdf(2024年2月21日アクセス)を基に作成

サービスロボットの市場規模

サービスロボットの市場規模は拡大傾向にある。人手不足などによる市場ニーズの高まりや、低価格化により需要の開拓が進む。一方、搬送用ロボットは、高額な製品も多く、普及には課題が残る

サービスロボットの市場規模と動向

人による作業を代替し、作業効率を向上することで、結果的に労働力補完につながる点がメリットとして挙げられる。サービス産業は労働力不足という課題に直面していることからサービスロボットの需要は拡大し続けることが想定される



出所：矢野経済研究所「業務用サービスロボット市場に関する調査（2020年）」（2020年4月22日発表）を基に作成

業務用サービスロボット：製造工程で使用する産業用ロボットと一般家庭用ロボットを除いた、業務用途でのサービスの提供手段として使用されるロボット（搬送、掃除、PAS、レジ、検査点検、警備の6タイプ*コミュニケーション用途と介護用途は含まない）

5. 経済性・責任の分析

5.1 サービスの経済性分析

- サマリ
- 社会課題とサービスロボット市場の理解
- サービスロボットの普及に係る検討
- モビリティ運行者の事業性の評価
- 場の管理者の事業性の評価

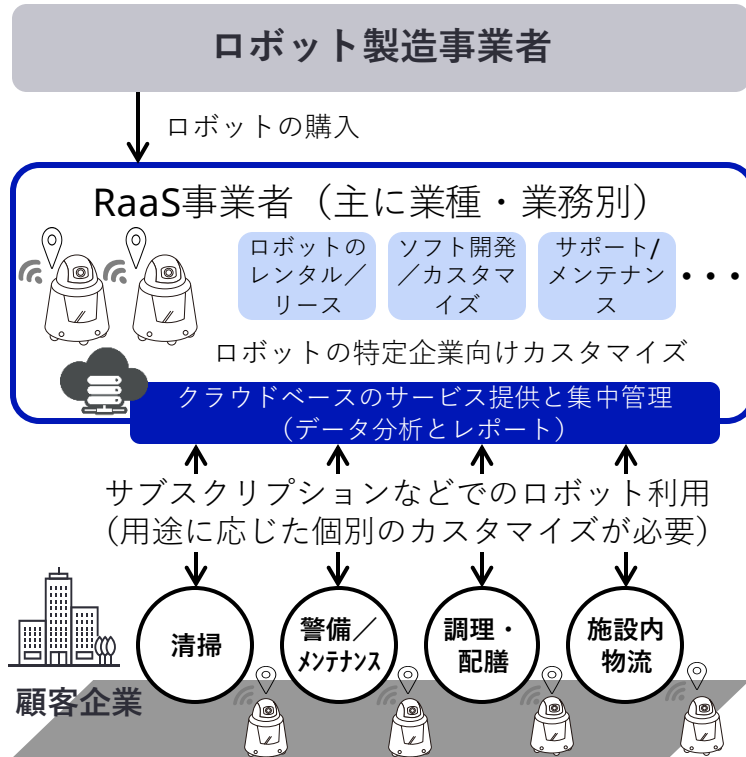
5.2 ロボット運行における責任分界

サービスとしてのロボット利用モデル

現行のRaaSモデルでは、その目的をロボットの低コスト（初期費用）での利用促進に限られており、将来的には分散協調環境を意識したモデルへの移行が望ましい

現状のRaaS（Robot as a Service）のモデル

- ロボットの利用企業は、ロボットを購入するのではなく、クラウドベースのサブスクリプションにアクセスすることで、ロボットをレンタルし、その利用のメリットを享受することができるが、多くの課題も残る



- （メリット）
- 低コストでのロボット導入が可能
 - 利用者（企業）のニーズや需要に応じてより迅速かつ容易に導入の拡大・縮小が可能
 - 管理のためのシステムの開発が不要

- （課題）
- 特定のニーズを企業向けのハードウェアのカスタマイズが必要
 - ロックインの可能性と長期的なコスト負担
 - セキュリティとプライバシーの懸念
 - サービスの中断リスク

ロボットの所有から利用へ（レンタル・RaaS）

- サービスロボットの性能、利用範囲、運用方法などを実際に確かめるためにレンタルを行うケースが多い
- 欧米では、ロボットをサービスとして提供するビジネスモデル（RaaS）が広がりつつある

レンタル・Robot as a Serviceモデルによるロボットの利用へ

ロボットレンタル（レンタル・リース）			
リース企業などが行うロボットのレンタルモデルで、リース企業の資本力を生かした大量購入低価格貸出モデル			
定額利用モデル （サブスクリプション）	業務請負モデル （マネージドサービス）	従量課金モデル （リカーリング）	成功報酬モデル
ロボットの定額利用モデル 本体・付属品のレンタル費用、クラウドサービスの利用料、定期メンテナンスとヘルプデスクなど定額料金を支払う	ロボットを活用した業務請負モデル 様々なロボットメーカーの製品を組み合わせ、導入サポート、導入、運用・保守までを一貫して請け負う	ロボットの利用料に応じて料金を支払うモデル 初期費用はゼロ、ロボットの利用料（依頼した作業量）に応じて、利用料金を支払う	ロボットが出した成果に対して料金を支払うモデル ユーザーの仕事・課題を解決することで報酬が支払われる

出所：安藤 健 「IoTデータが変えるロボットのビジネスモデル【第6回】図1：ロボット業界におけるビジネスモデルの転換」 <https://dcross.impress.co.jp/docs/column/column20200701/001951.html> (2024年2月21日アクセス)を基に作成

分散協調環境を前提としたRaaSモデル

ロボットの普及に関しては、導入企業の負担軽減の意味合いでRaaS企業の役割が大きい。将来的な分散協調環境では、プラットフォーム等の整備が必要となるが、標準化など業界全体の協力が不可欠となる

RaaS非利用：現状 (購入)

RaaS利用：現状 (サブスクリプション)

RaaS利用：分散協調環境 (サービスとしての利用)

コスト負担／ 維持・管理

- 初期投資が高く、技術的な故障やオブソリート（陳腐化）などのリスクを購入者が負担

- サブスクリプション等による初期投資負担を低減させたモデルで、メンテナンスを委託可能

- サービスとしてのロボットの利用料支払いモデル（ロボットの導入を意識しない）

スケーラビリティ と拡張性

- 事業成長や需要の変動に応じて迅速に拡大や縮小を行うことが困難

- 需要の変動に応じてロボットリソースを柔軟に調整は可能だが、カスタマイズ等により限定的

- タスクの量や複雑さに応じて、ロボットを柔軟に増減が可能

データ共有と分析

- 自社で導入したロボットや、提供企業による限定的な分析とアルゴリズムの改善

- 全体のデータの分析が集中的に行え、ロボットの学習や、アルゴリズム改善に大きく寄与

- 空間情報やロボット機体の運行情報などを共通基盤に共有することで自律的な運行が可能

セキュリティと プライバシーの 確保

- 自己責任におけるセキュリティ対策とデータ保護に加え、メンテナンスと更新や緊急対応

- セキュリティポリシーやデータ保護措置は、サービスを提供するRaaS企業が対処

- 複数モビリティや事業者間での横断的利用を想定した共通データ（地図情報、走行ルール、進入禁止・人流、経路占有・位置情報等）の特定や連携を含むルール整備対応が必要（公道などでは公助によりルール設定する等）

倫理・安全性の 考慮

- ロボットは特定のタスクに特化し、人間の労働者との直接的な相互作用は限定的

- 人間との相互作用が多いため、予測不可能な行動に対応する（緊急停止等）安全機構が必要

5. 経済性・責任の分析

5.1 サービスの経済性分析

- サマリ
- 社会課題とサービスロボット市場の理解
- サービスロボットの普及に係る検討
- モビリティ運行者の事業性の評価
- 場の管理者の事業性の評価

5.2 ロボット運行における責任分界

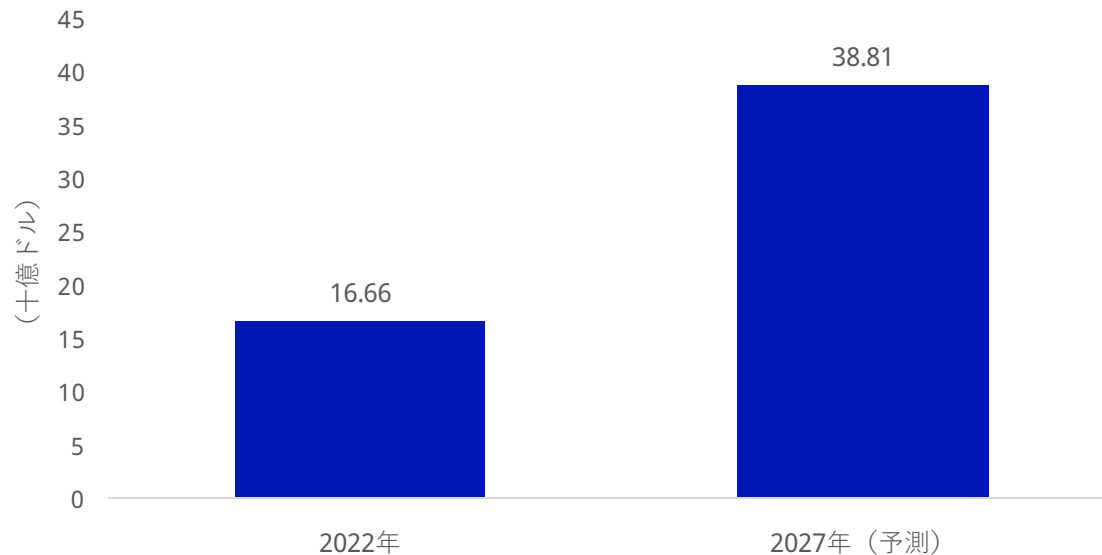
モビリティ運行のスケラビリティ性

省人化、自動化などの需要を背景にRaaS事業者は、世界市場で約2兆円に達しており、今後も市場は拡大すると予想される。一方、新規参入事業者では、先行コストなどが嵩む傾向にある

現状のRaaS（Robot as a Service）のモデル

自動化に対する需要の高まりなどを背景に、世界のRaaS（Robotics as a Service）市場は、2022年の166億6,000万米ドルから2027年には388億1,000万米ドルに達すると予想されている

RaaS世界市場推移

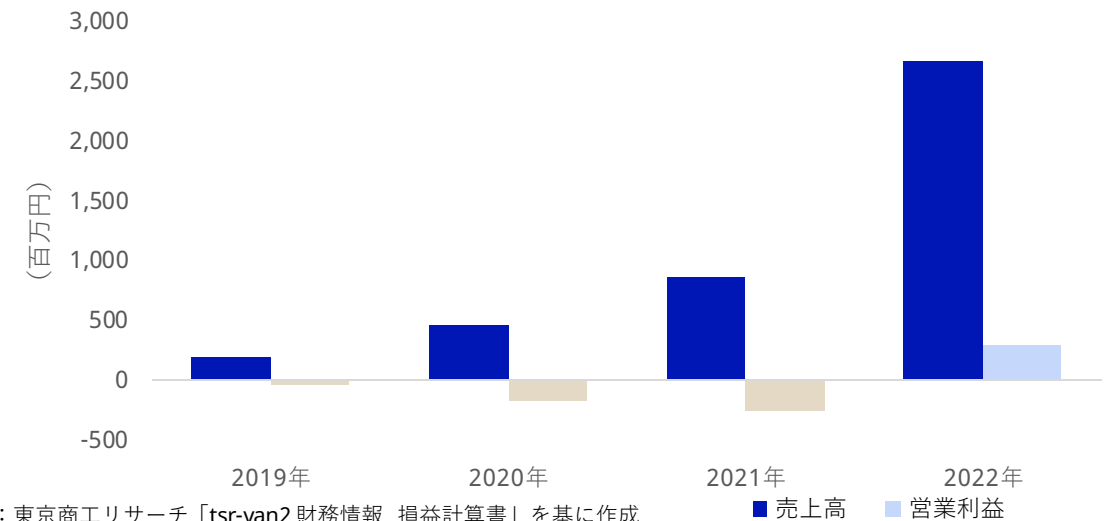


出所：MarketsandMarkets社「RaaS（Robotics as a Service）の世界市場レポート 2023年」（2023年）を基に作成

物流系RaaS事業者の例（スケラビリティ性）

市場の拡大も相まって、高い売上成長率（2023年：213.17%）を示している。また、3ヵ年での営業利益黒字化を達成しているものの、費用の増加率が高く（ロボットやソフトウェア開発とそれに伴う人件費）、新規事業者に関してはスケラビリティの観点からの支援が（融資プログラムや助成金・補助金等）必要であることが考えられる

物流系RaaSの事業立ち上げ時の売上利益推移



出所：東京商工リサーチ「tsr-van2財務情報 損益計算書」を基に作成

RaaS（Robot as a Service）事業を営む企業の実績値を利用。このビジネスモデルでは、顧客はロボットを所有するのではなく、必要に応じてロボットの機能やサービスを利用することができる

モビリティ運行者の費用構造（1 / 3）

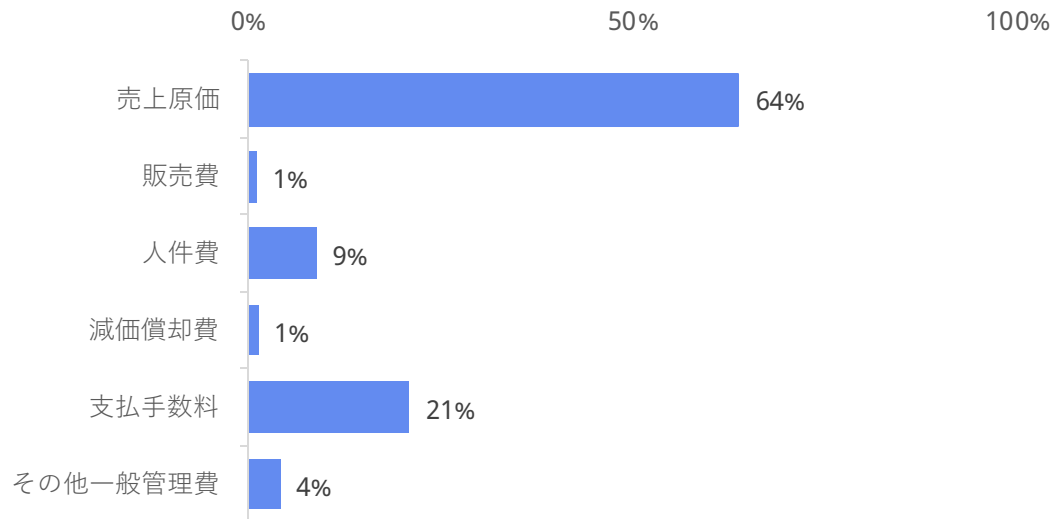
RaaS事業者の費用構造を確認すると、サービス提供用のソフトウェアの開発に関わるシステムインテグレーション費用や、システム関連手数料などの定常的に発生する運用費が積み上がる構造となっている

モビリティ運行者の収益構造（物流系RaaS事業者の例）

事業固有の費目として現れるのが、原価（主に関連ソフトウェアの開発に係る費用）、次いで、間接人件費（9%）、減価償却費（1%）ならびに支払手数料（21%）となる

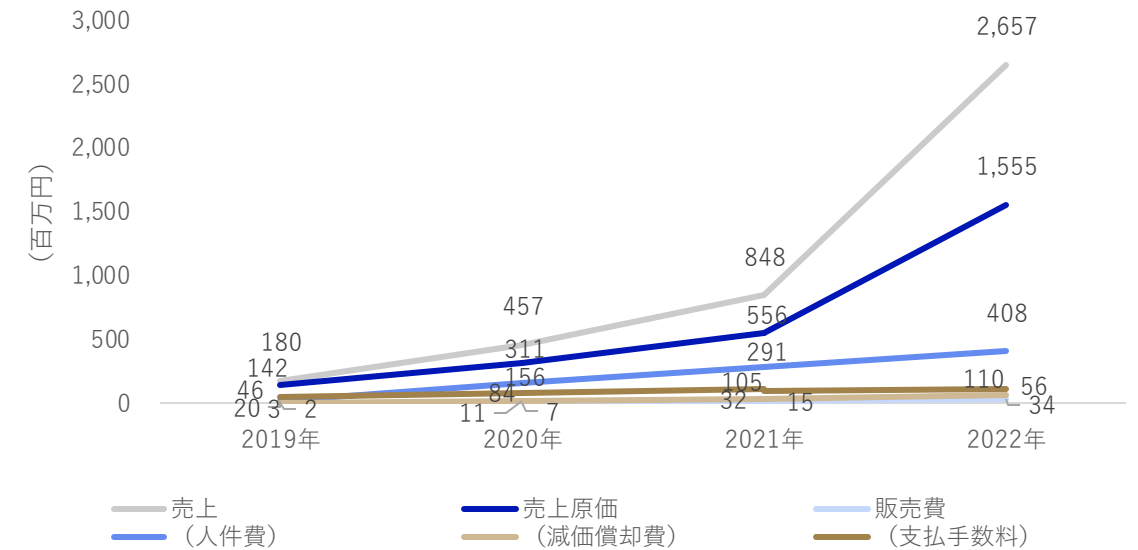
- ロボット台数の確保（減価償却費）だけではなく、多様な顧客向けにサービス提供を行うためのソフトウェアの開発に関わるシステムインテグレーション費用（主に原価に算入される部分でのライセンス料、技術料、人件費）が嵩む

コスト内訳（COGS+SGA）



出所：東京商工リサーチ「tsr-van2 財務情報 損益計算書」を基に作成

事業立ち上げ時からの収支トレンド

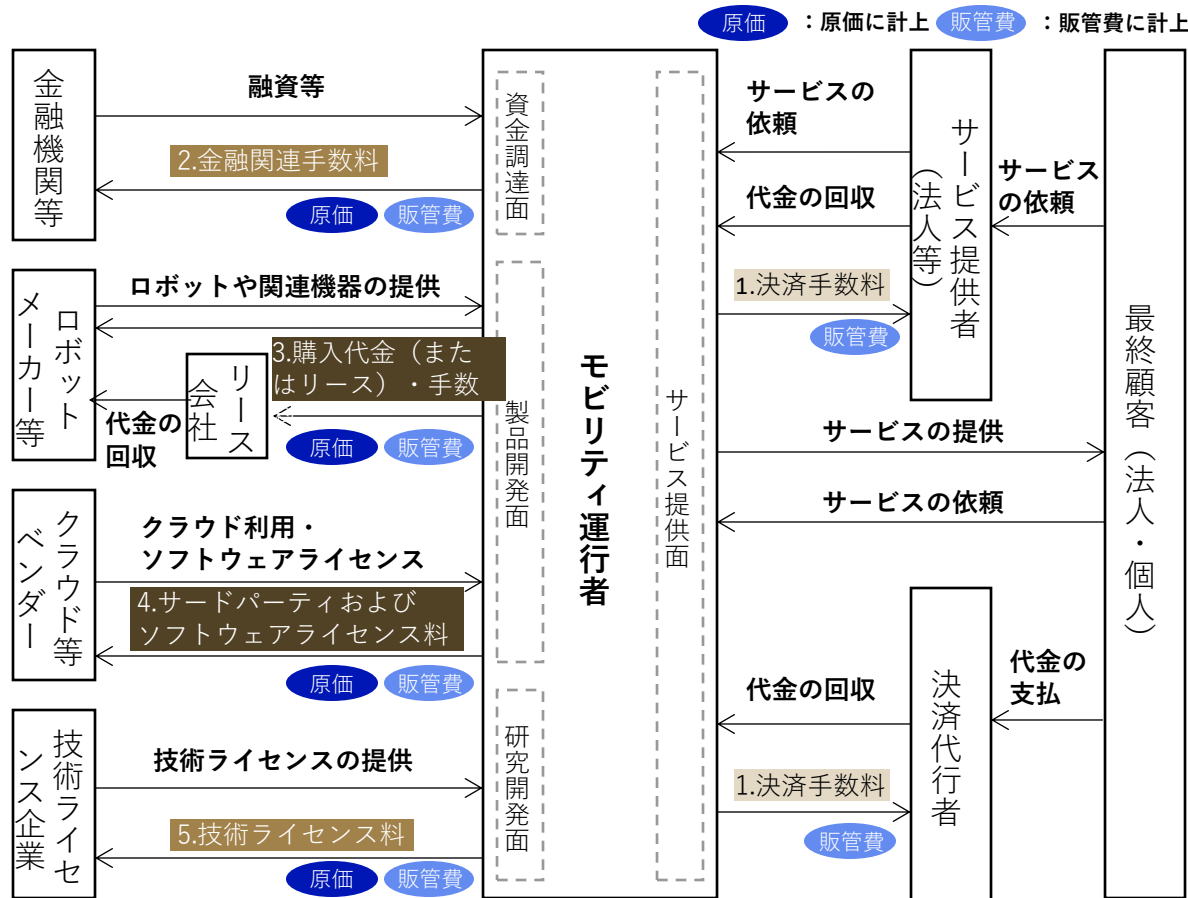


出所：東京商工リサーチ「tsr-van2 財務情報 損益計算書」を基に作成

モビリティ運行者の費用構造（2 / 3）

RaaS事業者の主な収支構造について整理を行った。「2. 金融関連手数料」、「3. 購入代金（またはリース）・手数料」、「5. 技術ライセンス料」などの負担が重く、財務的な課題として識別される

モビリティ運行者の収支構造（想定）



主な支出と財務的課題

支出負荷（重み付け）：重くない やや重い 重い

費用項目	内訳	課題領域
1. 決済手数料 (サービス提供者・決済代行)	顧客からの支払いを処理するために、クレジットカード会社やオンライン決済サービスに支払う手数料で定常的な支払手数料となる	重くない
2. 金融関連手数料 (金融機関・リース会社)	融資やリース契約などの金融サービスに関連する手数料。これには、利息支払いやローンの手数料が含まれる	やや重い
3. 購入代金（またはリース）・手数料 (ロボットメーカー)	ロボットや関連機器、関連ソフトウェアの購入、またはリースに関連する手数料。ライセンス料やメンテナンス料が含まれる	重い
4. サードパーティおよびソフトウェアライセンス料 (クラウドサービス/ソフトウェア企業)	クラウドサービスなど、サードパーティの提供するサービスに関連するものと、主に運行管理システム等の開発に関わるソフトウェアライセンス料が含まれる	重い
5. 技術ライセンス料 (技術ライセンスを保持・提供する企業)	特定の技術や特許を使用するために支払うライセンス料で特定の特許技術やソフトウェアを利用する場合に発生するものが含まれる	やや重い

モビリティ運行者の費用構造（3 / 3）

市場規模が拡大すれば、汎用化により一定のコスト低減とそれに伴う価格の低下は見込める。一方、技術ロックインによるライセンス料の負担は、オープン技術の採用等により回避することが望ましい

モビリティ運行者が直面する主要な財務的な課題と対応方針（案）

支出負荷（重み付け）：重くない やや重い 重い

主要な財務的な課題への対応方針案

費用項目	課題領域	財務的課題
1. 決済手数料 （サービス提供者・決済代行者）	重くない	サブスクリプションモデルでは一般的なコストだが、通常全体の経費に占める割合は小さく最適化が可能
2. 金融関連手数料 （金融機関・リース会社）	やや重い	特にスタートアップ段階での融資やリース契約は、利息や手数料が大きな財務負担となり、資金調達に支障をきたす可能性
3. 購入代金（またはリース）・手数料 （モビリティ製造）	重い	ロボットや関連機器、ソフトウェアの購入やリースに関する費用は、モビリティ運行者にとって大きな初期投資が負担
4. サードパーティおよびソフトウェアライセンス料 （クラウドサービス／ソフトウェア企業）	重い	クラウドサービス利用料や開発関連のソフトウェアライセンス料はモビリティ運営において必須だが、サービスプロバイダー選定やパッケージの最適化によりコスト管理が可能
5. 技術ライセンス料 （技術ライセンスを保持・提供する企業）	やや重い	特許取得済みの技術やソフトウェアの使用に関連するライセンス料は、技術革新を推進するRaaS企業にとっては大きな負担

自助領域

共助を中心とした取り組み領域

分散協調環境を支える新しい事業モデルの普及促進支援

サービスロボットを活用した地域住民の生活の質の向上などを目的とした官民連携によるイノベーション型の社会的プロジェクトへの支援

- 社会インパクトを目的とした技術革新や研究開発に焦点を当てたプロジェクトに対する支援
- ソーシャルインパクトやPFS等の成果報酬型での社会的プロジェクト支援プログラムの採用

持続的な実証研究のための産学横断的な協力体制の確立

実証を持続的な取り組みにするための体制と場の構築

- 実証で検討を行った、「空間情報に関する実装課題」や、「運行における多様な監視のあり方・方法」などの持続的な研究が必要なテーマに関して、産学（官）連携での持続的な研究・実証体制・環境（地域＋住民）の整備が必要

通信プロトコル等の共通化（技術的なロックインの回避）

通信プロトコル／外部連携方式に関わる技術的ソリューションのライセンス費用の負担回避

- ロボット間の情報交換と協調動作を可能にする通信プロトコルなどの共通化を図ることで、コスト負担や連携の柔軟性を確保

5. 経済性・責任の分析

5.1 サービスの経済性分析

- サマリ
- 社会課題とサービスロボット市場の理解
- サービスロボットの普及に係る検討
- モビリティ運行者の事業性の評価
- 場の管理者の事業性の評価

5.2 ロボット運行における責任分界

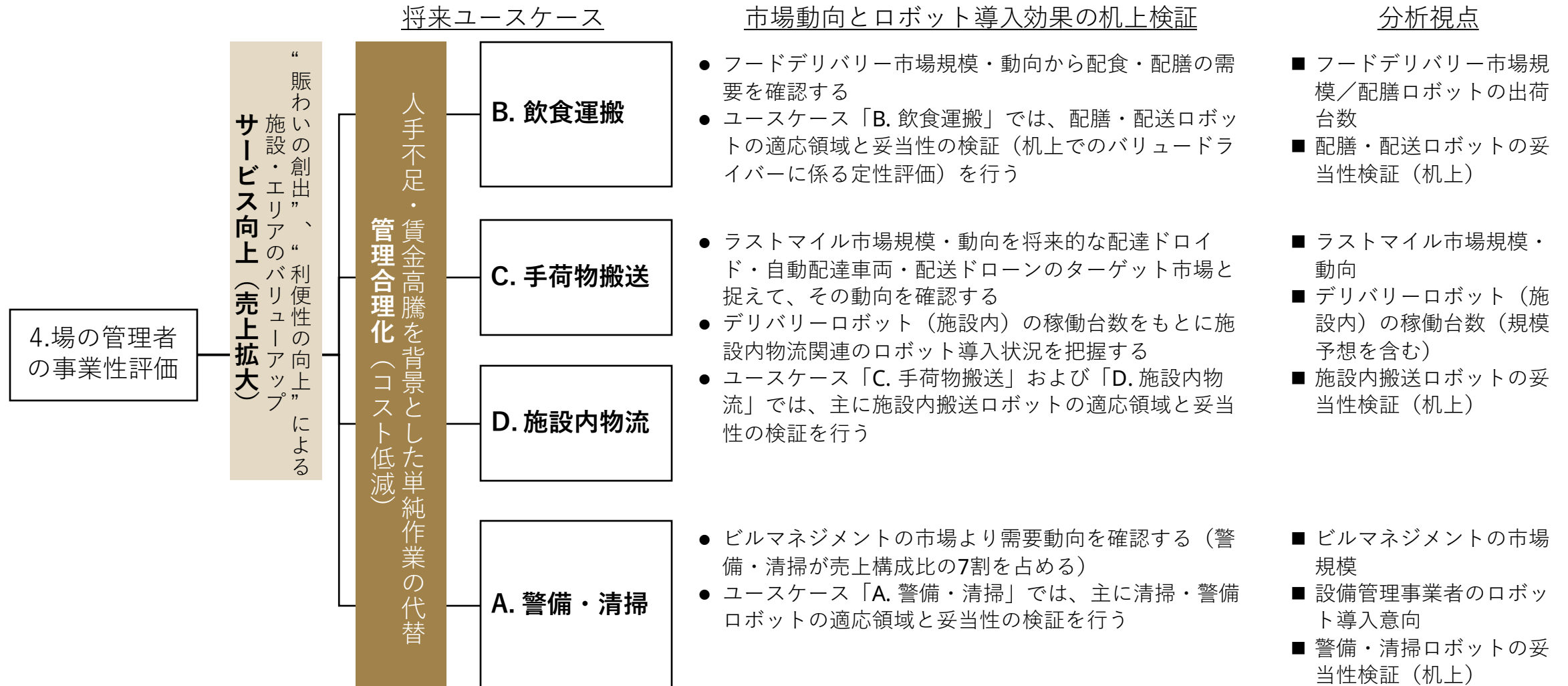
場の管理者の事業性の評価（考え方）

サービスロボットの導入に関する影響を“価値創出”、“コスト削減”、“資産効率の向上”の観点で机上での検証し、場の管理に関わる様々なステークホルダーとの間に受益や負担について把握する

場の管理者の事業性の評価の視点		関係者の影響有無			
		デベロッパー ／オーナー	ビルメンテナ ンス	テナント／入 居者（事業）	顧客（入居者 ／来場者）
価値創出の視点	<ul style="list-style-type: none"> ユースケース（サービス）ごとの需要動向の把握と、分散協調における場の管理者の事業性の評価（妥当性の机上検証）を行う 	影響あり	影響あり	影響あり	影響あり
コスト削減の視点	<ul style="list-style-type: none"> 場の管理者（のうちビルメンテナンス事業者）の視点で、主に施設管理に関する財務的課題と解決策としてのロボットの導入ニーズを確認する 	影響あり	影響あり		
資産効率向上の視点	<ul style="list-style-type: none"> サービスロボット導入の観点から、インフラ整備の要件（負荷として）と、整備後の資産の有効活用について検討する 	影響あり		影響あり	
将来価値向上の視点	<ul style="list-style-type: none"> ロボット（サービス）ならびにインフラの有効活用に関して、制約の生じる可能性と同回避の方向性による価値創出に関して検討する 	影響あり		影響あり	影響あり

ユースケースごとの妥当性の検証の流れ

ユースケース（サービス）ごとの需要動向の把握と、分散協調における場の管理者の事業性の評価（妥当性の検証）を行う



フードデリバリー市場からみる需要動向：B. 飲食運搬

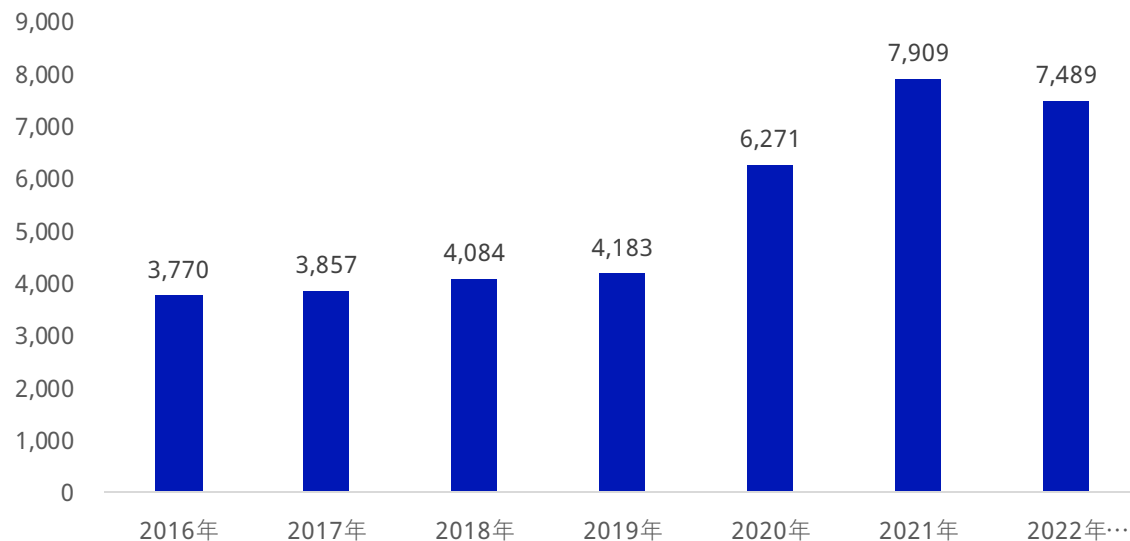
価値創出の視点

フードデリバリー市場規模では、アフターコロナでのイートイン回帰がみられるが、サービス提供としてのフードデリバリー・プラットフォームの利用浸透などから、市場は拡大する見通し

フードデリバリー全体の市場規模

アフターコロナで、外食（イートイン）への回帰が一定程度進んだことから、フードデリバリーの需要はやや鈍化。一方、コロナ下で成長したフードデリバリー・プラットフォーム事業者（サービス提供）の利用が浸透しつつあり、今後も利用は拡大することが見込まれる

フードデリバリー市場規模推移（億円）

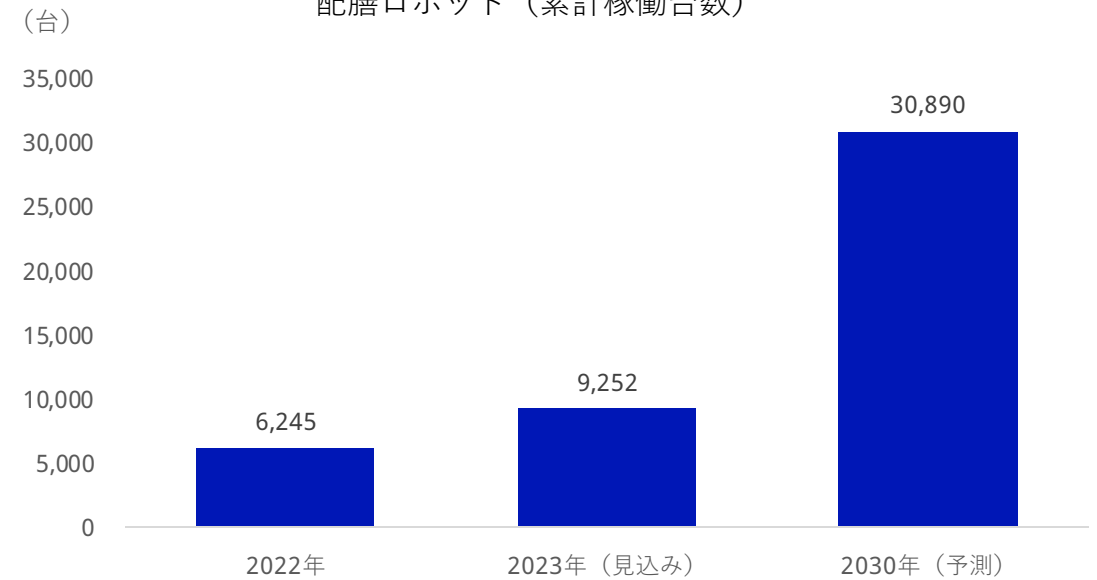


出所：「<外食・中食調査レポート>2022年」、NPDJapan, エヌピーディー・ジャパン
https://www.npdjapan.com/press-releases/pr_20221124/ (2024年2月21日アクセス)を基に作成

配膳ロボットの出荷台数

- 大手外食チェーンなどでの大規模な導入により、2022から2023年で配膳ロボットの稼働台数は148%となっており、市場は伸張している
- 既に導入済みの施設や飲食店における更新需要が2025年頃から本格化することから市場拡大が見込まれている

配膳ロボット（累計稼働台数）

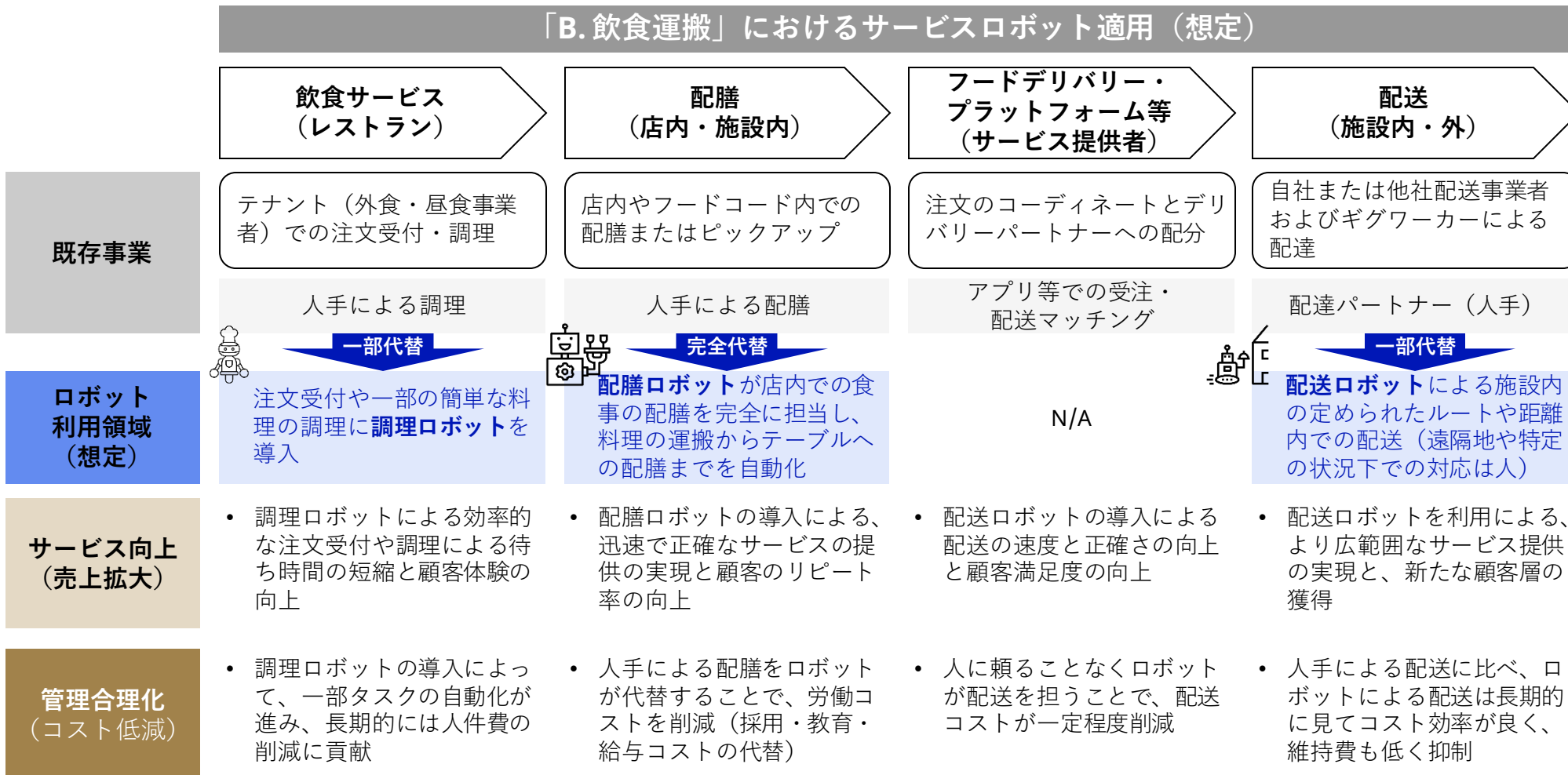


出所：「配膳ロボットや業務用清掃ロボットなどサービスロボットの国内市場を調査2030年国内市場予測(2022年比)」、富士経済レポート、<https://www.fuji-keizai.co.jp/press/detail.html?cid=23039> (2024年2月21日アクセス)を基に作成

ロボット導入に係る妥当性検証：B. 飲食運搬（1 / 2）

「B. 飲食運搬」における配膳ロボット等の既存業務領域での代替と効果が見込まれる。特に施設内配膳（フードコートやオフィス、ホテル）においては、施設内での新たな需要獲得につながる

「B. 飲食運搬」におけるサービスロボット適用（想定）



HICity（場の管理者）視点の効果

- (サービス向上面)**
- 顧客は迅速かつ正確なサービスを受けられるようになる。これにより、施設全体の顧客満足度が向上し、再訪意欲の増加や施設の評判向上に貢献
 - ピーク時間帯の効率の大幅な向上や、拡販による施設全体のサービスキャパシティの拡大に寄与
- (コスト削減面)**
- 継続的なロボット利用の効率的なエネルギー使用等により、施設全体の運営コストを低減

ロボット導入に係る妥当性検証：B. 飲食運搬（2 / 2）

B. 飲食運搬の効果は「顧客満足の上昇」や、人手による作業の代替による「効率化」などで、主な受益者は、テナント／入居者、顧客（入居者／来場者）が想定される

#	業務プロセス		代替	ロボット利用領域 (想定)	サービス向上 (売上拡大)	想定効果	管理合理化 (コスト低減)	想定効果	
1	飲食サービス (レストラン)	テナント(外食・屋食事業者)での注文受付・調理	人手による調理	一部	注文受付や一部の簡単な料理の調理に調理ロボットを導入	調理ロボットによる効率的な注文受付や調理による待ち時間の短縮と顧客体験の向上	<ul style="list-style-type: none"> 新規顧客の獲得 既存顧客の継続／成長 	調理ロボットの導入によって、一部タスクの自動化が進み、長期的には人件費の削減に貢献	<ul style="list-style-type: none"> 間接機能の効率化 人的資源の活用
2	配膳 (店内・施設内)	店内やフードコート内での配膳またはピックアップ	人手による配膳	完全	配膳ロボットが店内での食事の配膳を完全に担当し、料理の運搬からテーブルへの配膳までを自動化	配膳ロボットの導入による、迅速で正確なサービスの提供の実現と顧客のリピート率の向上	<ul style="list-style-type: none"> 新規顧客の獲得 既存顧客の継続／成長 	人手による配膳をロボットが代替することで、労働コストを削減(採用・教育・給与コストの代替)	<ul style="list-style-type: none"> 間接機能の効率化 人的資源の活用 物流効率の向上
3	フードデリバリー・プラットフォーム等 (サービス提供者)	注文のコーディネートとデリバリーパートナーへの配分	アプリ等での受注配送マッチング	N/A		配送ロボットの導入による配送の速度と正確さの向上と顧客満足度の向上	<ul style="list-style-type: none"> 新規顧客の獲得 既存顧客の継続／成長 	人に頼ることなくロボットが配送を担うことで、配送コストが一程度削減	<ul style="list-style-type: none"> 間接機能の効率化 人的資源の活用 物流効率の向上
4	配送 (施設内・施設外)	自社または他社配送事業者およびギグワーカーによる配達	配達パートナー(人手)	一部	配送ロボットによる施設内の定められたルートや距離内での配送(遠隔地や特定の状況下での対応は人)	配送ロボットを利用による、より広範囲なサービス提供の実現と、新たな顧客層の獲得	<ul style="list-style-type: none"> 新規顧客の獲得 既存顧客の継続／成長 	人手による配送に比べ、ロボットによる配送は長期的に見てコスト効率が良く、維持費も低く抑制	<ul style="list-style-type: none"> 間接機能の効率化 人的資源の活用 物流効率の向上

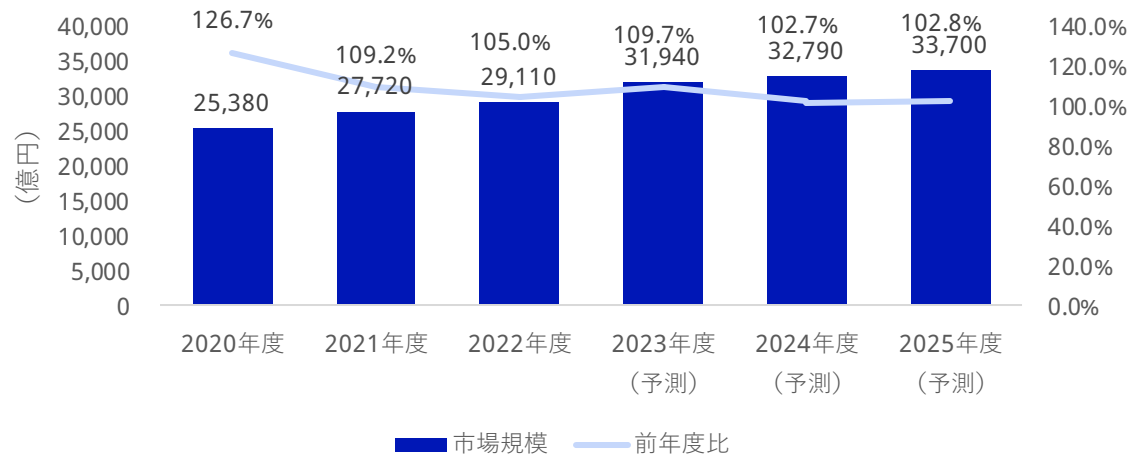
ラストマイル市場からみる需要動向

ラストマイル市場を配達ドロイド・自動配達車両のターゲットとして捉える。ECを背景とした、荷物の小口化、配送頻度の増加などから今後も市場は拡大する

ラストマイル市場規模・動向

コロナ禍における需要の急増等がなくなったことで伸び率は緩やかになったものの、市場は好調に推移している。その背景として、荷物の小口化、配送頻度の増加などから今後も市場規模は拡大する想定

ラストマイル市場規模



注1.配送料（宅配関連サービスを含む）ベース

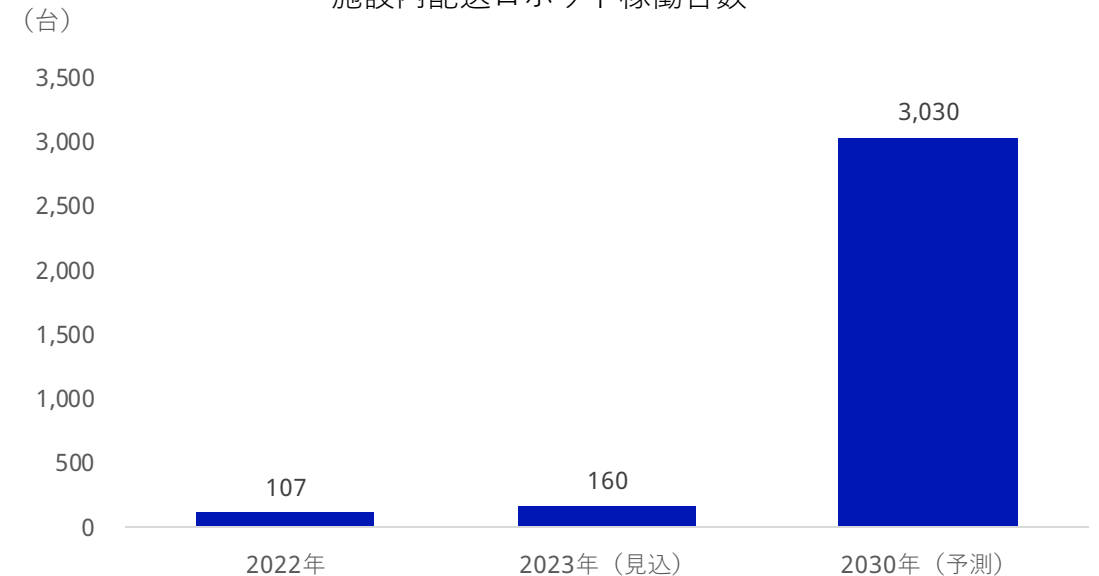
注2.市場規模は①通信販売、②ワンタイム型デリバリー、③定期販売型デリバリー、④個人間宅配の4分野の合計値。なお、事業者間（BtoB）向けのラストワンマイル物流（施設や店舗向け配送など）、及び引越しサービス、置き配・宅配ボックス、配達ロボット、メール便、ドローンは対象外とする。

出所：「ラストワンマイル物流市場に関する調査を実施（2023年）」矢野経済研究所（2023年8月28日発表）を基に作成

デリバリーロボット（施設内）の稼働台数

小売店、宿泊施設、病院で採用が進んでいる。配送業務をロボットに代替させ、店舗やホテルスタッフ、医療従事者が本来の作業に集中できることが可能となるため、導入が進むと予想される

施設内配送ロボット稼働台数



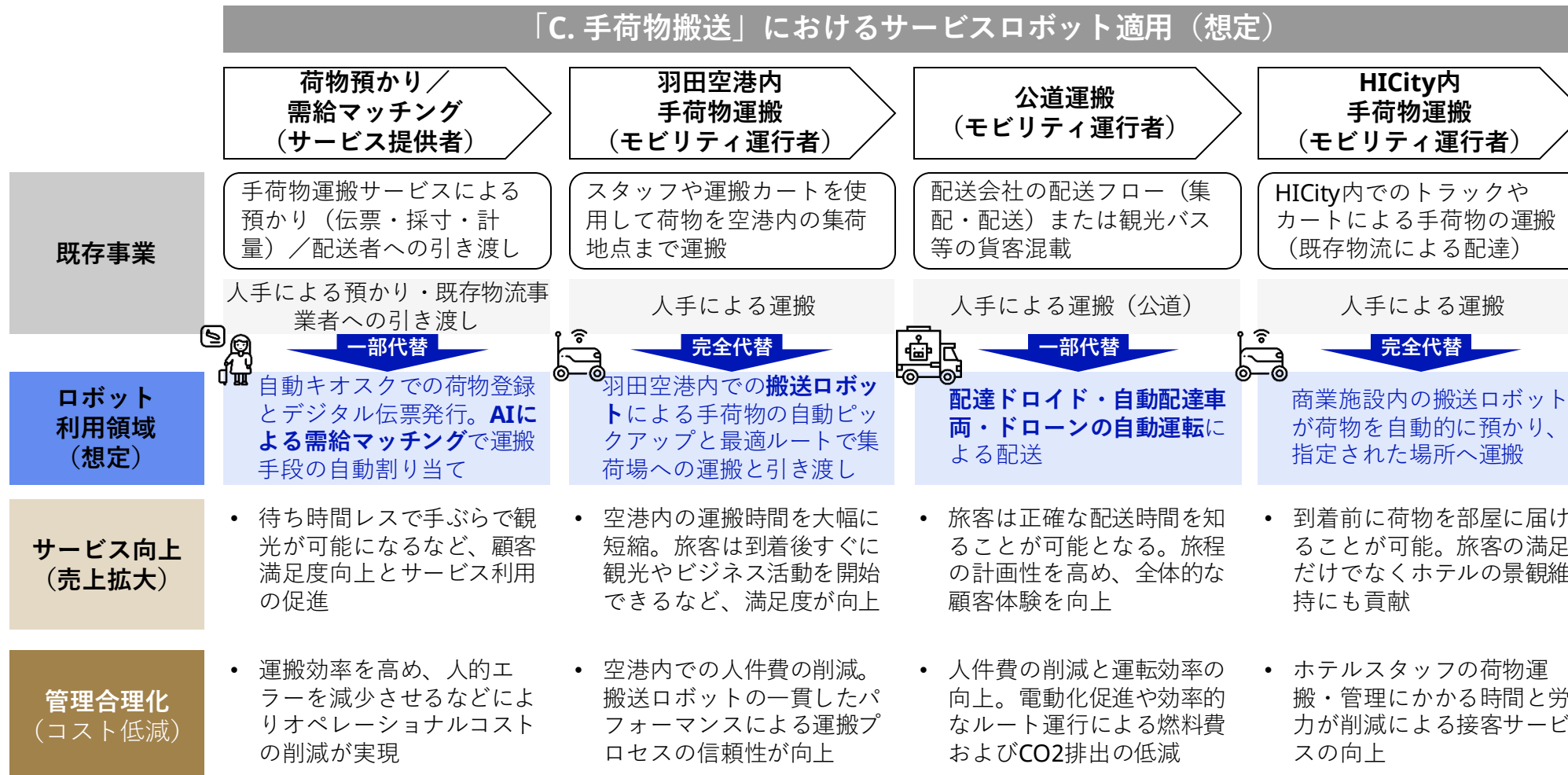
出所：「配膳ロボットや業務用清掃ロボットなどサービスロボットの国内市場を調査2030年国内市場予測(2022年比)」、富士経済レポート <https://www.fuji-keizai.co.jp/press/detail.html?cid=23039> (2024年2月21日アクセス)を基に作成

ロボット導入に係る妥当性検証：C. 手荷物搬送（1 / 2）

価値創出の視点

C. 手荷物搬送では、到着前の手荷物の部屋への届けなどによる利用者の満足度向上や、施設内のホテルなどの負担軽減が想定される

「C. 手荷物搬送」におけるサービスロボット適用（想定）



HICity（場の管理者）視点の効果

（サービス向上面）

- 訪れる旅行者に対して、到着時からチェックインまで手荷物を気にすることのない体験を提供する。この体験は、顧客満足度の向上に直結し、施設全体の魅力が向上する

（コスト削減面）

- ロボット運搬の導入はHICity全体の物流インフラの負担を軽減し、長期的な設備投資の削減につながる。また、スペースの有効活用が可能になり、より多くの商業スペースを顧客サービスに充てることが可能となる

ロボット導入に係る妥当性検証：C. 手荷物搬送（2 / 2）

価値創出の視点

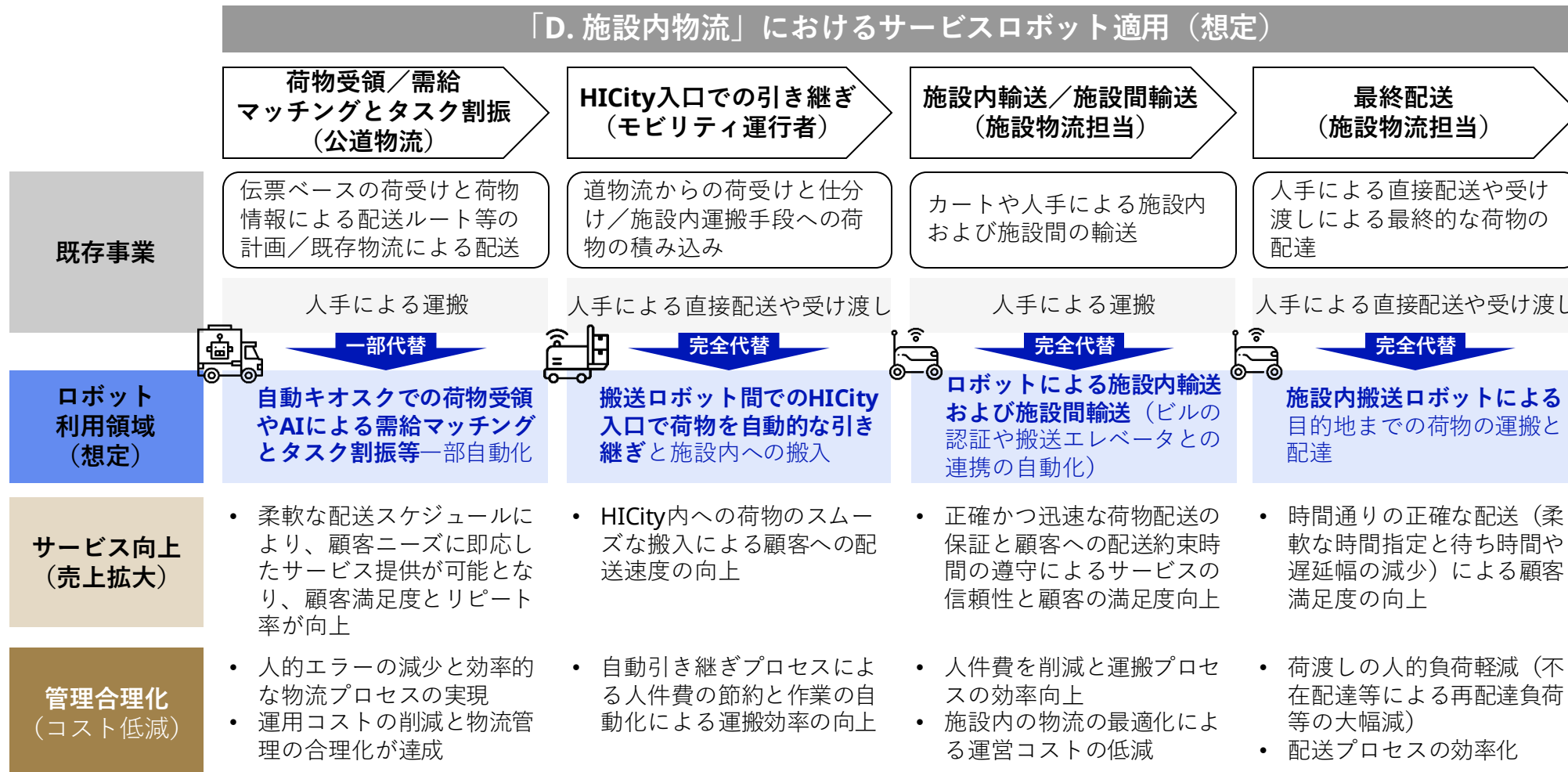
C. 手荷物搬送の効果は「顧客満足の上昇」や、既存の人手による搬送・配送の代替によるもので、主な受益者は顧客（入居者／来場者）が想定される

#	業務プロセス		代替	ロボット利用領域 (想定)	サービス向上 (売上拡大)	想定効果	管理合理化 (コスト低減)	想定効果	
1	荷物預かり／ 需給マッチング (サービス提供者)	手荷物運搬サービスによる預かり／ 配送者への引き渡し	人手による預かり・ 既存物流事業者への引き渡し	一部	自動キオスクでの荷物登録とデジタル伝票発行。AIによる需給マッチングで運搬手段の自動割り当て	待ち時間レスで手ぶらで観光が可能になるなど、顧客満足度向上とサービス利用の促進	• 既存顧客の継続／成長	運搬効率を高め、人的エラーを減少させるなどによりオペレーショナルコストの削減が実現	• 顧客接点の効率化
2	羽田空港内 手荷物運搬 (モビリティ運行者)	スタッフや運搬カートを使用して荷物を空港内の集荷地点まで運搬	人手による運搬	完全	羽田空港内での搬送ロボットによる手荷物の自動ピックアップと最適ルートで集荷場への運搬と引き渡し	空港内の運搬時間を大幅に短縮。旅客は到着後すぐに観光やビジネス活動を開始できるなど、満足度が向上	• 既存顧客の継続／成長	空港内での人件費の削減。搬送ロボットの一貫したパフォーマンスによる運搬プロセスの信頼性が向上	• 人的資源の活用 • 物流効率の向上
3	公道運搬 (モビリティ運行者)	配送会社の配送フローまたは観光バス等の貨客混載	人手による運搬 (公道)	一部	配達ドロイド・自動配達車両・ドローンの自動運転による配送	旅客は正確な配送時間を知ることが可能となる。旅程の計画性を高め、全体的な顧客体験を向上	• 既存顧客の継続／成長	人件費の削減と運転効率の向上。電動化促進や効率的なルート運行による燃料費およびCO2排出の低減	• 人的資源の活用 • 物流効率の向上
4	HICity内 手荷物運搬 (モビリティ運行者)	HICity内でのトラックやカートによる手荷物の運搬	人手による運搬	完全	商業施設内の搬送ロボットが荷物を自動的に預かり、指定された場所へ運搬	到着前に荷物を部屋に届けることが可能。旅客の満足だけでなくホテルの景観維持にも貢献	• 既存顧客の継続／成長	ホテルスタッフの荷物運搬・管理にかかる時間と労力が削減による接客サービスの向上	• 顧客接点の効率化 • 人的資源の活用 • 物流効率の向上

ロボット導入に係る妥当性検証：D. 施設内物流（1 / 2）

D. 施設内物流では、施設内および施設間を跨いだ、製品や荷物の迅速な受け取りと配送や、効率的な物流サービスの実現により、在庫管理や補充作業のコストを削減が見込まれる

「D. 施設内物流」におけるサービスロボット適用（想定）



HICity（場の管理者）視点の効果

（サービス向上面）

- 製品や荷物の迅速な受け取りと配送を通じて、顧客サービスの質を向上させることができる。これにより、顧客の満足度が高まり、リピート率の向上や新規顧客を獲得

（コスト削減面）

- ロボットによる効率的な物流サービスにより、在庫管理や補充作業のコストを削減
- 施設内物流に関連する作業の自動化が進み、作業ミスによる損失や緊急時の追加コストが削減

ロボット導入に係る妥当性検証：D. 施設内物流（2 / 2）

価値創出の視点

D. 施設内物流の効果は「顧客満足の上昇」や、既存の人手による搬送・配送の代替によるもので、主な受益者は、顧客（入居者／来場者）が想定される

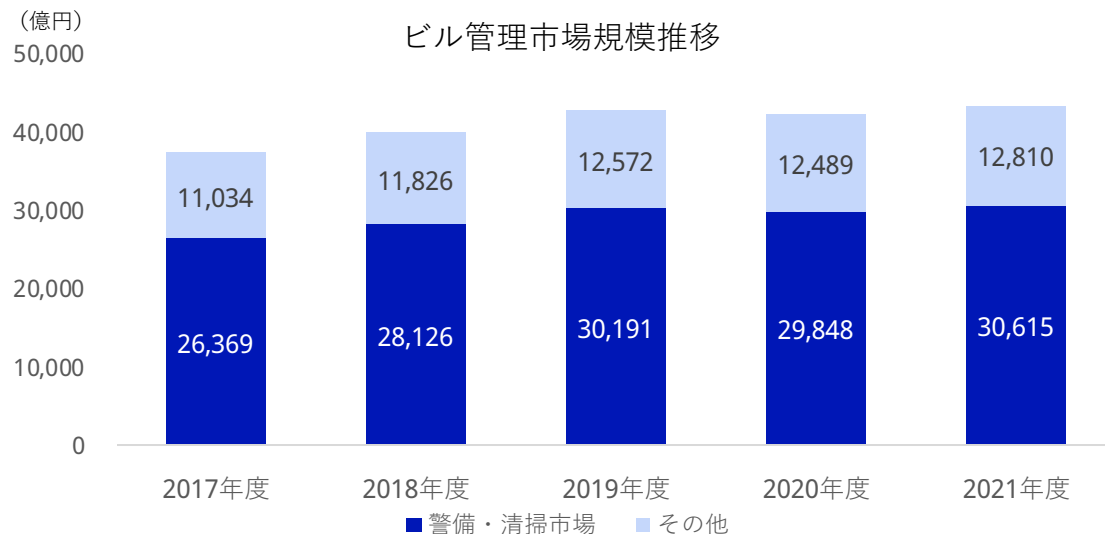
#	業務プロセス		代替	ロボット利用領域 (想定)	サービス向上 (売上拡大)	想定効果	管理合理化 (コスト低減)	想定効果	
1	荷物受領／需給 マッチングとタ スク割振（公道 物流）	伝票ベースの荷 受けと荷物情報 による配送ルー ト等の計画／既 存物流による配 送	人手による運搬	一部	自動キオスクでの荷物 受領やAIによる需給 マッチングとタスク割 振等一部自動化	柔軟な配送スケジュー ルにより、顧客ニーズ に即応したサービス提 供が可能となり、顧客 満足度とリピート率が 向上	<ul style="list-style-type: none"> 既存顧客の継 続／成長 	人的エラーの減少と効 率的な物流プロセスの 実現 運用コストの削減と物 流管理の合理化が達成	<ul style="list-style-type: none"> 顧客接点の効率 化 物流効率の向上
2	HICity入口での引 き継ぎ (モビリティ運 行者)	道物流からの荷 受けと仕分け／ 施設内運搬手段 への荷物の積み 込み	人手による直接 配送や受け渡し	完全	搬送ロボット間での HICity入口で荷物を自 動的な引き継ぎと施設 内への搬入	HICity内への荷物のス ムーズな搬入による顧 客への配送速度の向上	<ul style="list-style-type: none"> 既存顧客の継 続／成長 	自動引き継ぎプロセス による人件費の節約と 作業の自動化による運 搬効率の向上	<ul style="list-style-type: none"> 人的資源の活用 物流効率の向上
3	施設内輸送／施 設間輸送 (施設物流担当)	カートや人手に よる施設内およ び施設間の輸送	人手による運搬	完全	ロボットによる施設内 輸送および施設間輸送 (ビルの認証や搬送エ レベータとの連携の自 動化)	正確かつ迅速な荷物配 送の保証と顧客への配 送約束時間の遵守によ るサービスの信頼性と 顧客の満足度向上	<ul style="list-style-type: none"> 既存顧客の継 続／成長 	人件費を削減と運搬プ ロセスの効率向上 施設内の物流の最適化 による運営コストの低 減	<ul style="list-style-type: none"> 人的資源の活用 物流効率の向上
4	最終配送 (施設物流担当)	人手による直接 配送や受け渡し による最終的な 荷物の配達	人手による直接 配送や受け渡し	完全	施設内搬送ロボットに よる目的地までの荷物 の運搬と配達	時間通りの正確な配送 (柔軟な時間指定と待 ち時間や遅延幅の減 少)による顧客満足度 の向上	<ul style="list-style-type: none"> 既存顧客の継 続／成長 	荷渡しの人的負荷軽減 (不在配達等による再 配達負荷等の大幅減) 配送プロセスの効率化	<ul style="list-style-type: none"> 人的資源の活用 物流効率の向上

施設管理市場からみる市場動向：A. 警備・清掃

施設管理市場規模は4兆円規模と大きく、労働集約型の産業である。業界の喫緊の課題としては慢性的な人手不足や賃金高騰などがあり、大型の施設だけでなく、地方や中規模での採用増が見込まれる

施設管理市場からみる需要動向

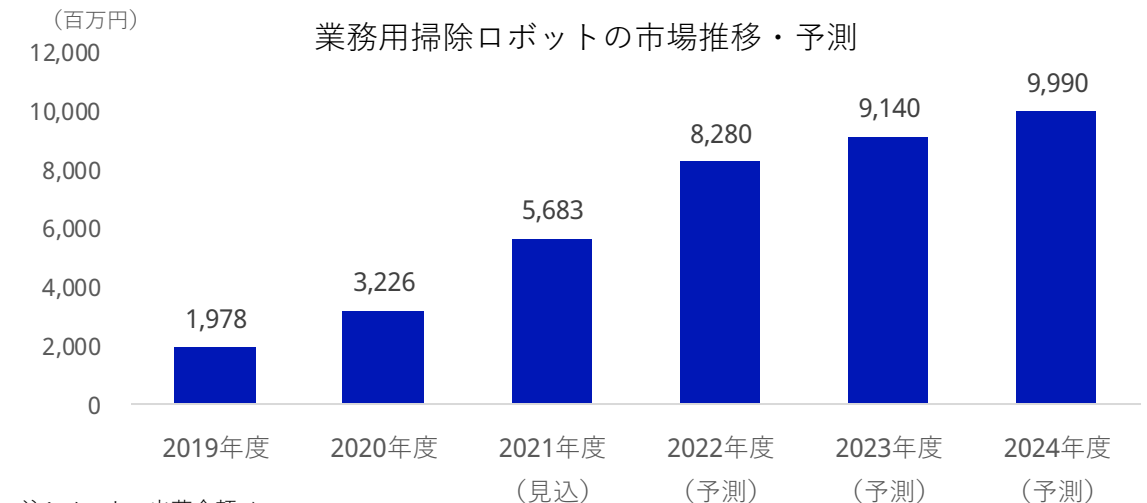
- ビルメンテナンスの市場規模は、2021年に約4.3兆円となっており、業務別の売上構成をみると、一般清掃が6割程度と最も高い比率であり、警備が1割未満で、全体で7割程度を占める
- 諸経費の割合は、直接人件費、間接人件費、外注費など人的コストが約8割を占める上、賃金上昇などで、負担が嵩む実態がある



出所：「ビル管理市場に関する調査を実施（2021年）」矢野経済研究所(2021)を基にEYストラテジー・アンド・コンサルティングが算出、作成

設備管理事業者のロボット導入意向

主に床拭きロボットが市場をけん引することで、2024年度の業務用清掃ロボットの市場は100億円規模での成長が予測される。大空間対応などの機能が装備され、作業効率化や人件費の削減、など、大型商業施設だけでなく、地方や中規模でのビルメンテナンス事業者での採用増が見込まれる



注1.メーカー出荷金額ベース

注2.2021年度は見込値、2022年度以降は予測値

注3.業務用途の掃き掃除（除塵）、洗浄、拭き取り等の清掃機能を有するものを指す。

センシング・自己制御・駆動（走行）機能を有するものとするが、全てを有さなくても、作業環境がよくない中で、人手による作業の代わりができるものを含む。なお、いずれも製品として外販しているものを対象とし、自社設備の清掃作用を除く。

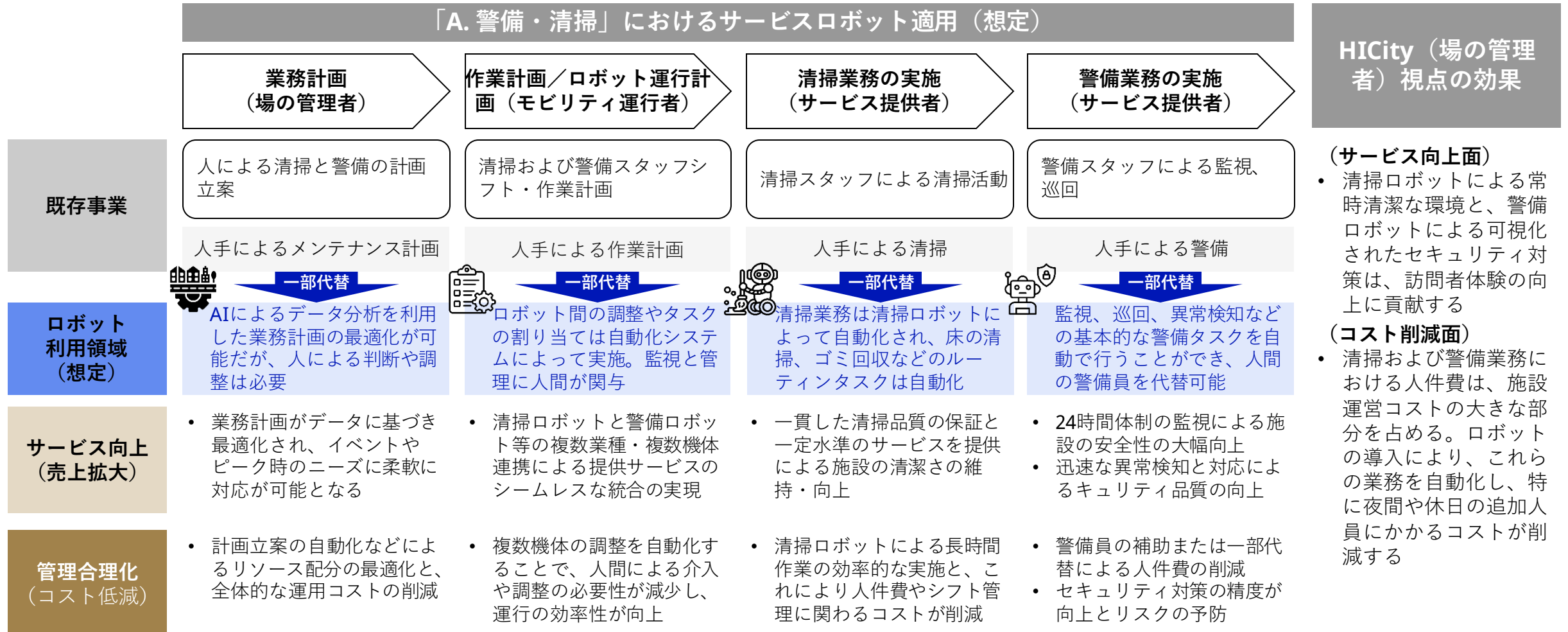
出所：「業務用掃除ロボット市場に関する調査を実施（2021年）」矢野経済研究所、(2022年4月12日発表)を基に作成

ロボット導入に係る妥当性検証：A. 警備・清掃（1 / 2）

価値創出の視点

A. 警備・清掃においては、人手不足や人件費高騰が喫緊の課題となっており、ロボットの導入により、これらの業務を自動化することで、人員不足への対応やコスト削減につながる事が想定される

「A. 警備・清掃」におけるサービスロボット適用（想定）



ロボット導入に係る妥当性検証：A. 警備・清掃（2 / 2）

価値創出の視点

A. 警備・清掃の効果は、ウェルネス向上に伴う「顧客満足の上昇」が主な効果としてあげられる。合理化目線では、ロボット導入に伴う業務「間接機能の効率化」や、「人的資源の活用」が想定される

#	業務プロセス		代替	ロボット利用領域 (想定)	サービス向上 (売上拡大)	想定効果	管理合理化 (コスト低減)	想定効果	
1	業務計画	人による清掃と警備の計画立案	人手によるメンテナンス計画	一部	AIによるデータ分析を利用した業務計画の最適化が可能だが、人による判断や調整は必要	業務計画がデータに基づき最適化され、イベントやピーク時のニーズに柔軟に対応が可能となる	<ul style="list-style-type: none"> 既存顧客の継続／成長 	<ul style="list-style-type: none"> 計画立案の自動化などによるリソース配分の最適化と、全体的な運用コストの削減 	<ul style="list-style-type: none"> 間接機能の効率化 人的資源の活用
2	作業計画／ロボット運行計画 (モビリティ運行者)	清掃および警備スタッフシフト・作業計画	人手による作業計画	一部	ロボット間の調整やタスクの割り当ては自動化システムによって実施監視と管理に人間が関与	清掃ロボットと警備ロボット等の複数業種・複数機体連携による提供サービスのシームレスな統合の実現	<ul style="list-style-type: none"> 既存顧客の継続／成長 	<ul style="list-style-type: none"> 複数機体の調整を自動化することで、人間による介入や調整の必要性が減少し、運行の効率性が向上 	<ul style="list-style-type: none"> 間接機能の効率化 人的資源の活用
3	清掃業務の実施 (サービス提供者)	清掃スタッフによる清掃活動	人手による清掃	一部	清掃業務は清掃ロボットによって自動化され、床の清掃、ゴミ回収などのルーティンタスクは自動化	一貫した清掃品質の保証と一定水準のサービスを提供による施設の清潔さの維持・向上	<ul style="list-style-type: none"> 既存顧客の継続／成長 	<ul style="list-style-type: none"> 清掃ロボットによる長時間作業の効率的な実施と、これにより人件費やシフト管理に関わるコストが削減 	<ul style="list-style-type: none"> 間接機能の効率化 人的資源の活用
4	警備業務の実施 (サービス提供者)	警備スタッフによる監視、巡回	人手による警備	一部	監視、巡回、異常検知などの基本的な警備タスクを自動で行うことができ、人間の警備員を代替可能	24時間体制の監視による施設の安全性の大幅向上 迅速な異常検知と対応によるセキュリティ品質の向上	<ul style="list-style-type: none"> 既存顧客の継続／成長 	<ul style="list-style-type: none"> 警備員の補助または一部代替による人件費の削減 セキュリティ対策の精度が向上とリスクの予防 	<ul style="list-style-type: none"> 間接機能の効率化 人的資源の活用

場の管理者視点での評価のまとめ

ユースケースごとの市場動向に関しては、概ね拡大の傾向にあり追い風。施設でのロボット利用に関しては、一定の効果が得られることが想定される

	市場性評価	ユースケースごとのロボット代替効果（想定）			
		サービス向上（売上拡大）	主な受益者	管理合理化（コスト低減）	主な受益者
B. 飲食運搬	<ul style="list-style-type: none"> ・ イートインへの回帰から需要はやや鈍化 ・ 一方、配膳ロボットの市場は大幅に伸張が予想 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 施設全体の顧客満足度の向上とサービス拡大 #新規顧客の獲得 #既存顧客の継続／成長 	デベロッパー ／オーナー／ テナント／顧客	<ul style="list-style-type: none"> ・ 施設全体の運営コストの低減 #間接機能の効率化 #人的資源の活用 	デベロッパー ／オーナー／ テナント
C. 手荷物搬送	<ul style="list-style-type: none"> ・ EC等を背景とした荷物の小口化、配送頻度の増加などから今後も市場規模は拡大する想定 ・ 配送業務をロボットに代替させるなどの用途で、小売店、宿泊施設、病院で採用が進んでおり、今後も導入が進むと予想 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 旅行者（来場者）の顧客満足向上 #既存顧客の継続／成長 	デベロッパー ／オーナー／ テナント／顧客	<ul style="list-style-type: none"> ・ 施設内物流インフラの負担の軽減 #人的資源の活用 #物流効率の向上 	デベロッパー ／オーナー／ テナント
D. 施設内物流	<ul style="list-style-type: none"> ・ 配送業務をロボットに代替させるなどの用途で、小売店、宿泊施設、病院で採用が進んでおり、今後も導入が進むと予想 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 配送を通じた顧客サービスの質の向上 #既存顧客の継続／成長 	デベロッパー ／オーナー／ テナント／顧客	<ul style="list-style-type: none"> ・ インフラの負担の軽減、在庫関連コストの削減 #人的資源の活用 #物流効率の向上 	デベロッパー ／オーナー／ テナント
A. 警備・清掃	<ul style="list-style-type: none"> ・ ビルメンテナンスの市場規模は、2021年に約4.3兆円 ・ 事業者の将来でのロボット導入の意向は6割強と高い 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 常時清潔な環境と視化されたセキュリティによるウェルネス向上 #既存顧客の継続／成長 	デベロッパー ／オーナー／ テナント／顧客	<ul style="list-style-type: none"> ・ 人手不足や賃金高騰への対応 #間接機能の効率化 #人的資源の活用 	ビルメンテナ ンス

場の管理者の費用構造（1 / 2）

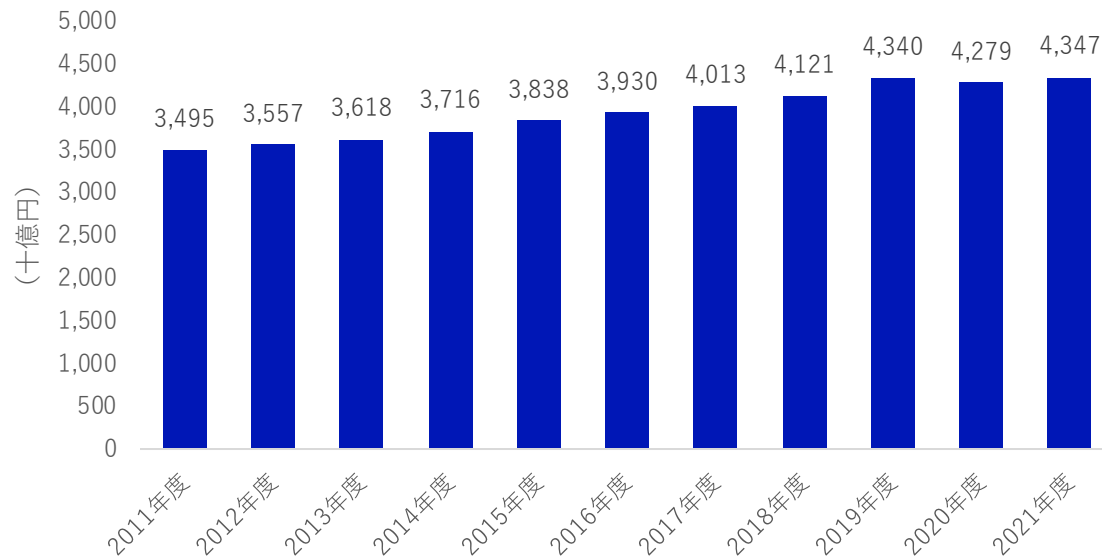
コスト削減の視点

施設管理市場は4兆円規模と大きく、事業者の諸経費のうち人的コストが約8割を占める労働集約型の産業である。人手不足や賃金上昇が経営を直接圧迫する業態であり、ドローンやロボットの活用が進む

ビルメンテナンス市場

ビルメンテナンスの市場規模は、2021年に約4.3兆円となっており、業務別の売上構成をみると、清掃・警備・施設管理で全体で7割程度を占める

ビルメンテナンス売上高推移

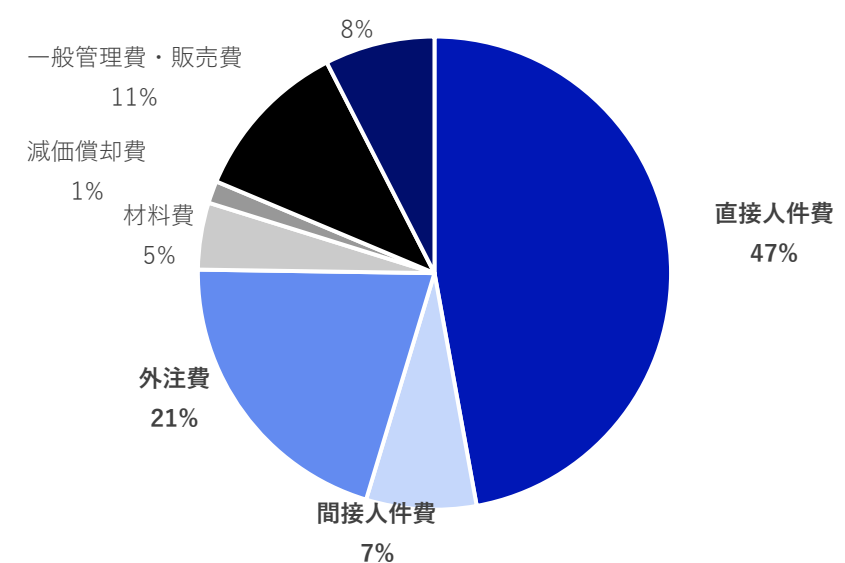


出所：「ビルメンWEB 歴年の業界の総売上げ」、公益社団法人全国ビルメンテナンス協会
<https://www.j-bma.or.jp/data/185> (2024年2月21日アクセス)を基に作成

経費内訳

- 総収入に占める諸経費の割合は、直接人件費、間接人件費、外注費など人的コストが約8割を占める労働集約型の事業である
- 人的コスト負担や、人手不足（次頁）などの課題があり、省人化や業務効率化を目的に、ドローンやロボットの活用が進む（次頁）

経費構成および営業利益 (%)



出所：「ビルメンテナンス情報年鑑2018 第48回実態調査報告【公開版】」、公益社団法人全国ビルメンテナンス協会
https://www.j-bma.or.jp/pdf/2018_bmiy48_report.pdf (2024年2月21日アクセス)を基に作成

場の管理者の費用構造（2 / 2）

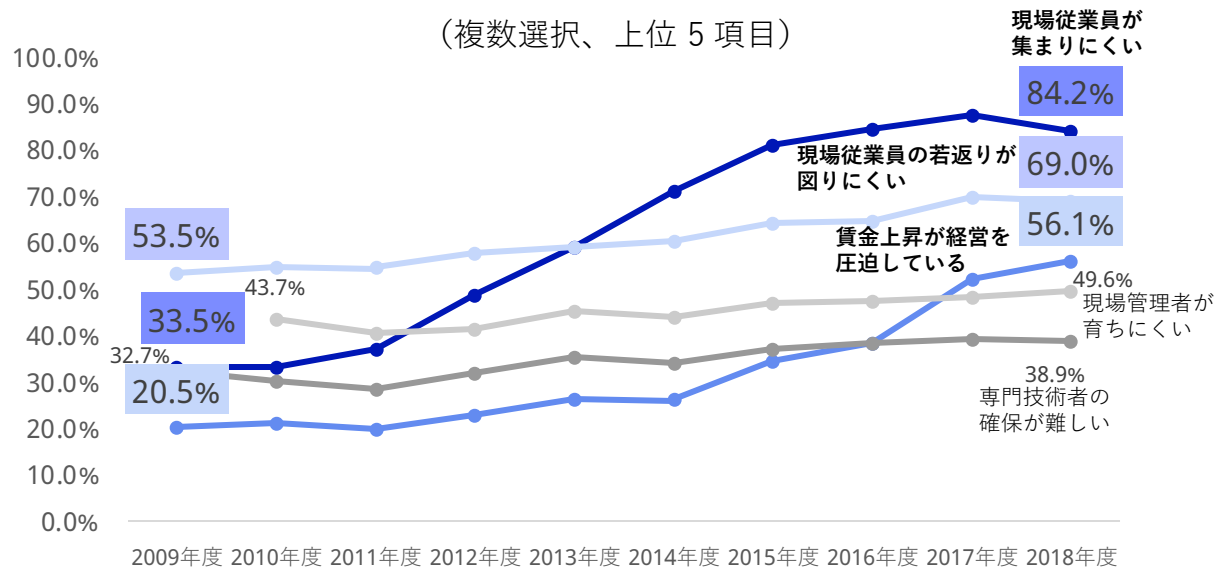
コスト削減の視点

慢性的な人手不足や賃金高騰からくる人的コストの重さゆえに、近年は省人化や業務効率化を目的に、保守点検用のドローンや清掃ロボットなどのメンテナンスロボットやサービスロボットの導入が進む

ビルメンテナンス業務の悩みごと推移（複数選択、上位5項目）

全国ビルメンテナンス協会員向けのアンケート結果の推移をみると「現場従業員が集まりにくい」が過去10年で151%の増加となるなど、人手不足が切迫した課題になっている。現場従業員の高齢化や、賃金高騰も同様に大きく上昇しており、人の確保がより困難になってきている

ビルメンテナンス業務の悩みごと推移
(複数選択、上位5項目)

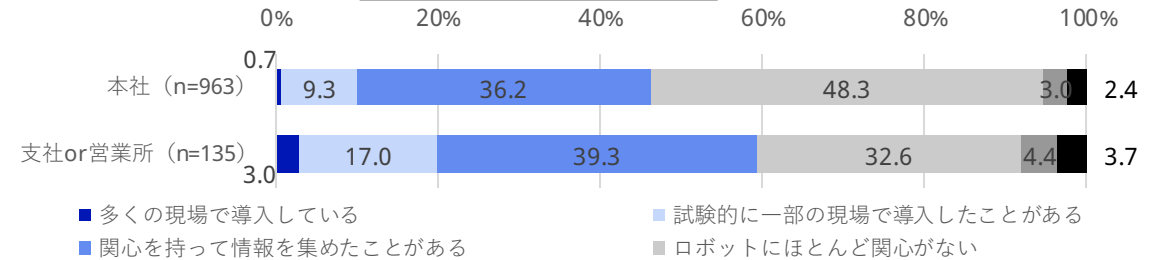


出所：「全国ビルメンテナンス協会 ビルメンテナンス情報年鑑2018ビルメンテナンス業務の悩みごと推移（複数選択、上位5項目）」、公益社団法人全国ビルメンテナンス協会(2019年)を基に作成

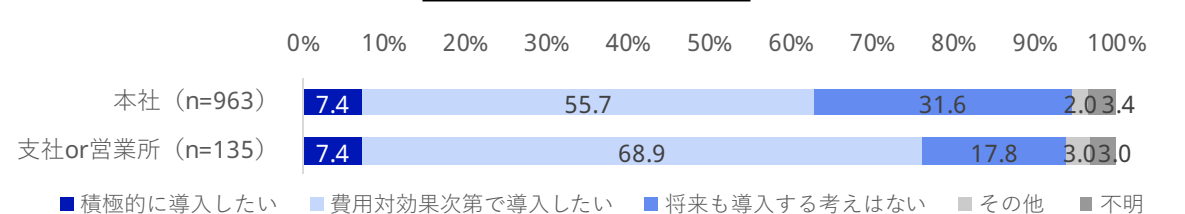
設備管理事業者のロボット導入意向

現状のロボットの導入状況については、2割程度であるが、人手不足や賃金高騰などの喫緊の課題への対応などもあり、導入意向あり計は63.0%と高い

現状のロボットの導入状況



将来のロボット導入意向



出所：「ビルメンテナンス業者のロボットの導入状況及び今後の導入意向と課題」、AreaManager Professional
<https://areamanager.jp/2022/04/11/%E3%83%93%E3%83%AB%E3%83%A1%E3%83%B3%E3%83%86%E3%83%8A%E3%83%B3%E3%82%B9%E6%A5%AD%E8%80%85%E3%81%AE%E3%83%AD%E3%83%9C%E3%83%83%E3%83%88%E3%81%AE%E5%B0%8E%E5%85%A5%E7%8A%B6%E6%B3%81%E3%81%A8%E4%BB%8A/> (2024年2月21日アクセス)を基に作成

サービスロボット導入のインフラ整備の要件

ロボットが効率的に機能し、テナントや顧客に対して最大限の価値を提供するためには、充電ステーション、通信インフラ、駐機スペースなどの基盤整備が必要となる

商業施設側（デベロッパー／オーナー）の設備投資が必要となる範囲（想定）



物理的環境 の整備

- ・ ロボットが効率的に動作できるように床の平坦性、通路の広さ、障害物の配置など、場の物理的環境を最適化
- ・ ロボットの視覚センサー機能の最適化を目的とした照明条件を均一かつ適切な維持



技術インフラ の整備

- ・ ロボット間およびロボットと制御システム間の通信を可能にするために、安定した無線通信ネットワーク（Wi-Fi、5G等）の整備
- ・ センサーやゲートを設置や不正アクセスを防ぐための適切な認証メカニズムとセキュリティ対策



ロボットの サポート設備

- ・ 充電ドックの設置（設置場所の選定や台数、最適な充電技術、充電ステーションの使用状況を管理など）
- ・ 使用していないロボットを安全かつ効率的に保管するための待機スペースの確保



ビル管理 システム等 との連携

- ・ ロボット間の相互運用性を確保するための通信プロトコルやデータフォーマットの標準化や、空間情報などのデータベースの整備
- ・ エレベータとの連携、自動ドアの制御、環境モニタリングなどロボットとビル・建物OSとの連携に関するシステムカスタマイズ

配慮すべき事項

- ・ 建築基準法や地方自治体の条例が定める安全基準を遵守
- ・ アクセシビリティやバリアフリー設計への配慮
- ・ 無線通信ネットワークの設置の際の電波法に基づく規制
- ・ データ保護と情報セキュリティに関する法規制の遵守
- ・ 電気設備の技術基準や安全基準の遵守
- ・ 土地利用計画や建築規制に関する地方自治体の条例の確認
- ・ 建築物の環境衛生管理に関する基準やガイドラインの考慮
- ・ 省エネ法に基づくエネルギー消費効率の基準などの考慮

インフラ整備に関する資産の有効活用（案）

設備投資の副次的ビジネスに係る検討は、ロボット導入に伴う初期投資の回収を加速させるだけでなく、商業施設のサービス価値を高め、長期的な収益の安定化に寄与することが想定される。

充電ステーションの有料化

充電ステーションの施設内外のロボットオーナーに対する有料提供

（モデルの概要）

- ロボットの運用に不可欠な充電インフラを商業施設内に設置し、利用料金を設定することで直接的な収益獲得が可能
- 高速充電オプションやプレミアム充電サービスを提供することで、さらなる収益向上が想定

（ROI向上視点）

- 既存の充電インフラを活用し、充電サービスの利用料金を通じて直接的な収益を得ることが可能

駐機スペースのレンタルサービス

ロボットの駐機スペース施設内外のロボットオーナーに対する有料提供

（モデルの概要）

- ロボットの一時保管や待機に必要な駐機スペースを提供し、その利用に対して料金を徴収することで収益を獲得
- 特に、複数のテナントがロボットを利用している大規模施設では、この需要は一層高まることが想定

（ROI向上視点）

- 駐機スペースのレンタル料金を通じて直接的な収益を得ることが可能
- 施設内でのロボットの活用が増加する直接的要因

ロボットメンテナンスサービス

駐機スペースなどに併設した、定期的なメンテナンスや緊急修理サービスの提供

（モデルの概要）

- 駐機スペースなどにメンテナンスドックを設けるなど、商業施設内で稼働するロボット向けに、定期的なメンテナンスや緊急修理サービスを提供

（ROI向上視点）

- 専門的な技術と人材が必要ですが、ロボットの利用が増えるにつれて需要が見込まれる
- メンテナンスサービス料金や修理費用を通じて収益を得ることが可能

データ分析サービス

ロボット設備やその他のセンサーから収集されるデータを活用したテナント等への分析サービス

（モデルの概要）

- ボット設備やその他のセンサーから収集されるデータを活用して、施設内の人流分析、顧客行動分析、設備の利用状況分析などを行い、これらのインサイトをテナントへのコンサルティングサービス等に活用

（ROI向上視点）

- 分析サービスによる直接的な収益やテナントの満足度向上
- マーケティングデータとしての分析結果等の外部販売

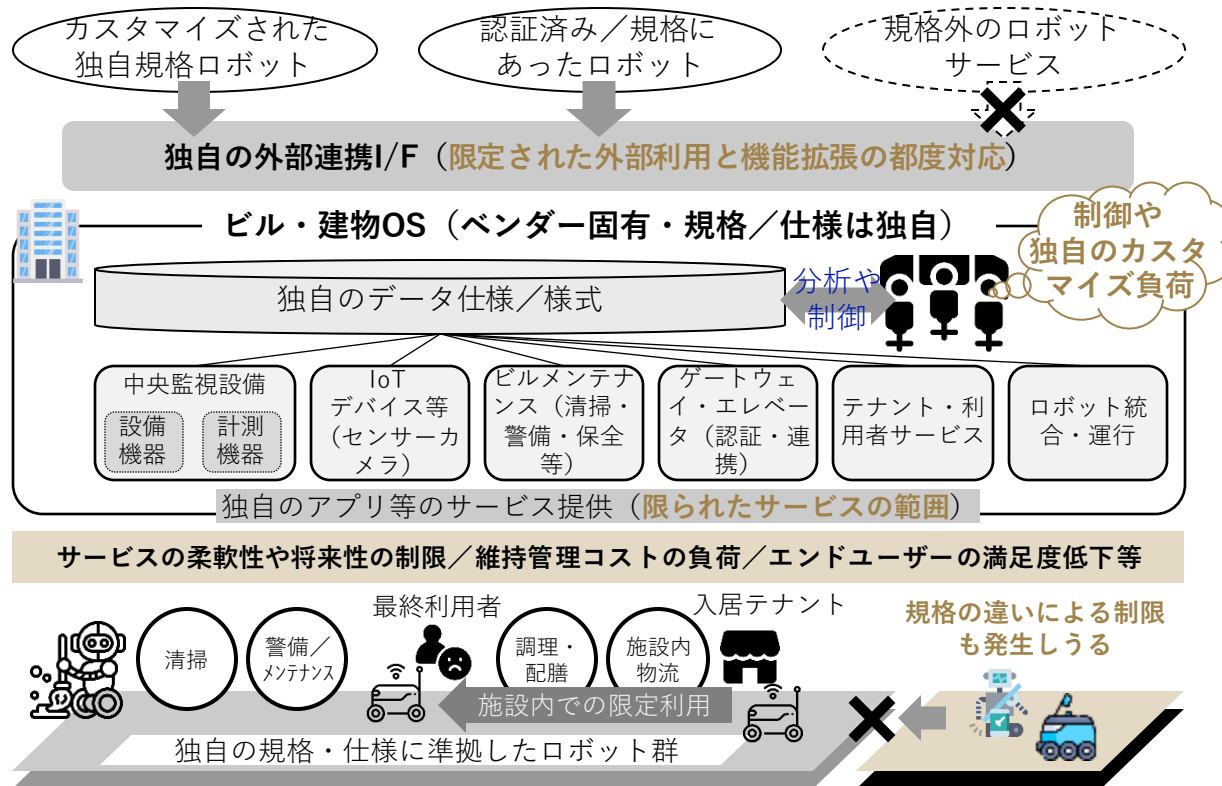
将来価値向上
の視点

制約回避による将来価値向上（エコシステムへの統合）

施設ごとの独自のビル・建物OSによるロボット運行（ロックイン）は、アクセスフリーなロボットの利用を妨げる可能性がある

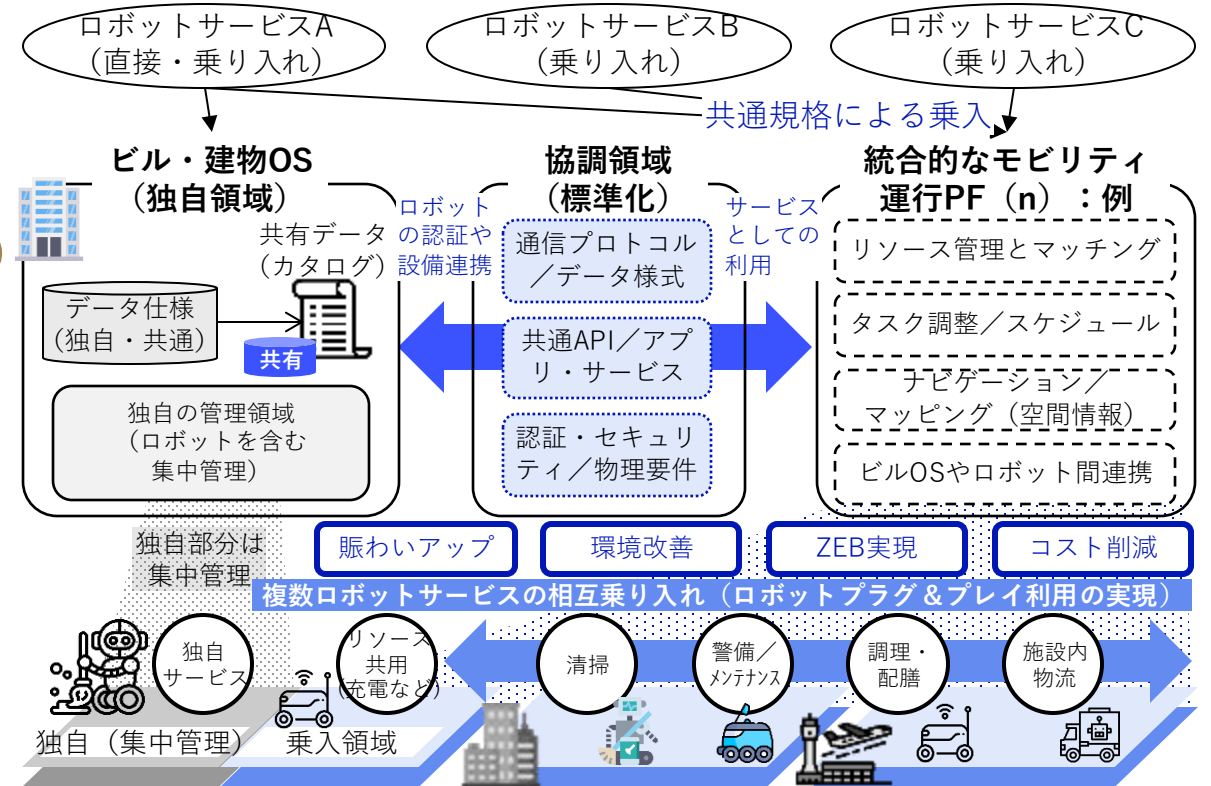
ロボット導入・運用負荷大シナリオ（独自OSによるロックイン）

ビル・建物OSの独自機能による制約は、施設ごとの投資・管理・運用負荷を増加させ、ロボットの相互利用にも制限がかかる可能性がある



相互乗り入れ実現による価値向上シナリオ（運行機能の切り出し）

協調領域での共通規格やデータ様式等の策定とロボット運行の機能的な切り出しは、「ロボットプラグ&プレイ利用の実現」への寄与が想定される



場の管理者の事業性の評価（検証結果のまとめ）

ロボットサービスの相互乗り入れを実現するための協調領域と競争領域の切り分け、ならびに協調領域における仕様共通化等の取組みが必要と考えられる

机上検証結果のまとめ

課題や取り組むべきテーマなど

場の管理者の 事業性の評価 (まとめ)

価値創出の視点

コスト削減の視点

資産効率向上の視点

将来価値向上の視点

- ユースケースベースでの机上検証の結果、関連市場規模は拡大傾向にあり、ロボットの導入に関しても一定程度の妥当性を確認
- ロボットを効率的に運行・機能させるためのインフラ整備に関しては、外部のサービス提供利用の有無に関わらず整備が必要である。モビリティ運行機能切り出しや協調部分での標準化取組みなどは、将来価値向上の観点からも重要が高いと想定
- 4ユースケース共に関連市場の規模は拡大傾向にありサビロボのニーズは高い。ユースケースレベルでのサービスロボットへの代替効果は、サービス向上・管理合理化の両面から妥当性があると判断可能
- ビルメンテナンス視点では、事業者の諸経費のうち人的コストが約8割を占める労働集約型である。人手不足や賃金高騰を背景に人的コスト削減を目的したロボットの導入が進展しており、導入ニーズは高い
- 外部サービスの利用の有無に関わらず、ロボットが効率的に機能するためには、充電ステーション、通信インフラ、駐機スペースなどのインフラ整備が必要となる
- ロボットサービスの相互乗り入れの実現には、関連規格やデータ様式の標準化およびロボット運行の機能的な切り出しが必要となる
- 一方、施設の価値向上に寄与することが想定される

- ロボットサービスの相互乗り入れを実現するための協調領域と競争領域の切り分けや、リターンを意識したインフラ構築の事業実現案の具体化
- 財務的なリターンを最大化だけでなく、社会的または環境的な価値の創出についても評価モデルを作成の上、定量での評価実施
- 現レベルの検証では障壁などは確認されない。今後、ユースケース実証の数値ならびに深度のある市場ニーズの確認を行う必要がある
- 導入の対象となるより詳細な作業対象の定義とロボットによる代替可・不可の検証（机上・実地）と、その上でのコスト算定効果の測定
- 分散環境を想定したインフラの整備に関しては、外部サービスの利用可能の如何に関わらず、社会実装に向けた具体的な整備取組み案の策定
- ロボットサービスの相互乗り入れを実現するための協調領域と競争領域の切り分けを明確にしつつ、将来価値最大化に資する目指すべき姿の策定

5. 経済性・責任の分析

5.1 サービスの経済性分析

5.2 ロボット運行における責任分界

- サマリ
- サービスロボットに適用される安全基準
- サービスロボットの運行と人との責任分界
- リスクアプローチによる責任分界の検討
- リスク分類に応じた保険の状況整理等

責任分界検討の進め方

分散協調環境での責任分界を検討するにあたっての主要論点ごとに関連するリスク定義し、リスクシナリオによる責任分界の検討を行った

責任分界の机上検討のアプローチ

サービスロボットに適用される安全基準等の確認 (前提)

サービスロボットの安全規格 (ISO等) の確認

- サービスロボットに係る安全規格や、自動配送ロボットの公道走行 (改正道路交通法) の状況を整理し、サービスロボットと人との責任分界などについて確認する

各主体の役割とリスク分類との関連性

各主体における役割定義とリスクとの関係整理

- 各主体の役割の確認と、サービスロボットの運行で影響が想定されるリスクの特定と各主体との関連性について整理し、ユースケースを基に想定されるリスクシナリオを定義する

リスクシナリオでの責任範囲の机上検討

リスクシナリオでの責任分界の机上検討

- 分散協調環境の責任分界を検討するにあたっての統合的なガバナンスに関わる主論点 (相互運用性、安全性、コンプライアンス) ごとにリスクシナリオを設定し、シナリオでの責任範囲の検討を行う

リスク分類に応じた保険の状況整理等 (補足)

リスク分類の保険の状況整理など

- リスク発生時の補償への対応策としての保険の整備状況について確認する
- 予防策としての安全基準や認定制度案について検討する

責任分界検討論点と前提

責任分界の机上検討の目的と方法

- 分散協調環境における統合的なガバナンスの論点 (「1. 組織とシステムの相互運用性」、「2. エコシステムでの一貫した安全性」、「3. 組織間を跨ぐコンプライアンス」) から、関連するリスクシナリオを特定し、同シナリオにて責任範囲とリスクへの対応について検討する
- リスクシナリオは、リスク種類ごとに発生シナリオを定義し、机上にて、その原因における責任の所在と対処および、残存リスクへの対応と補償について検討する
- 参考情報として、各主体別の責任スコア (発生確率 × 影響 × 責任点数 (100)) にて、各主体のリスクと責任の負担度合いを測り、効果的な協働を実現するための方針等の検討につなげる

前提など

- 公道での事故に関連するリスクは「対人・対物リスク」の一部として一般的に扱いに留める (※公道での事故や関連法令に関する複雑な検討を避け、リスクと責任分界を可能な限りシンプルに整理することを優先)
- 本フェーズでは、関係者間のリスク発現後の責任所在や補償主体への合意は求めない。あくまで先行事例などをもとにした、基本的な考え方の整理の位置づけとする

責任分界の検討報告

残存するリスクへの対応として、エコシステムを跨いだ相互運用のための組織制度の設計、実務レベルでの安全基準の整備および認定制度と保険制度との連動などが必要であることが確認された

各ロール	各ロールに係る主な責任範囲
0. 情報提供	<ul style="list-style-type: none"> データの完全性、プライバシーとセキュリティ確保、リアルタイムのデータ処理、共有データのレイヤー間の調整などの役割を担う すべてのロールがロボットサービス遂行のために必要とする「リアルタイムで正確なデータ」の保全と提供に責任を負う
1-1. サービス提供	<ul style="list-style-type: none"> サービスの信頼性、サービスリクエストの効率的な処理などの役割を担う エンドユーザーと直接接し、サービスリクエストへの対応とタスク実行のためのモビリティ運行への正確な情報の伝達に責任を負う
1-2. モビリティ運行	<ul style="list-style-type: none"> タスクのスケジューリングと管理、リアルタイムの需要と運行状況に基づくロボットの動的なルーティングと配備などを担う サービスロボットの配備と運行、タスク実行と管理、サービスリクエストの効率的かつ効果的な実行に責任を負う
2. モビリティ製造	<ul style="list-style-type: none"> 機体の継続的なメンテナンスおよび安全性と規制への準拠を担う サービスロボットの設計、製造、保守を行い、ロボットが目的とするタスクに必要な機能を備え、安全基準などの規制に準拠していることを保証する
3. 場の管理	<ul style="list-style-type: none"> ロボット運用のためのインフラ準備、共有スペースにおける人間とロボットの共存のための安全プロトコルの開発、環境上の課題や制約に対処するためのモビリティ運行との調整を担う ロボットの運行に適した物理的環境の整備に一定程度の責任を負う

責任の履行によっても一定程度リスクが残存する

残存するリスクに係る課題	課題対応の方向性
<p>相互運用性に関わる課題</p> <ul style="list-style-type: none"> 新しいロボットの導入や既存のシステムとの連携など、新しい技術やシステムを統合する際に相互運用性の問題が生じ遅延、非効率、エラーのリスクの増加につながる事が想定される システム間だけでなく、通常または有事の際の運行に関しての組織間での連携が必要となる 	<p>エコシステム内でのより包括的な相互運用制度の実現を目指す</p> <ul style="list-style-type: none"> ロボットおよびシステムが、新しいデバイスやソフトウェアを自動的に認識し、統合できるような環境の構築を目指す 運営面においても包括的な相互運用性を実現するために共同でのガバナンス体制を確立し、複数の組織間での共通の目標、基準、ルール等を整備し、遵守する
<p>安全性に関わる課題</p> <ul style="list-style-type: none"> ソフトウェアの誤作動、ハードウェアの故障、あるいは人間の行動をロボットが誤って解釈した場合、危険な状況につながる可能性がある。公共の場での事故を防ぐための高い安全基準の開発と維持が課題となる 	<p>安全基準と認定制度の確立</p> <ul style="list-style-type: none"> 国際的な安全基準の遵守に加え、業界業種別の固有のリスクを考慮した安全基準やガイドラインの開発と遵守および組織間横断での同基準による評価を実施する ロボットの安全基準認定制度や、運行者に対する資格認定制度を設置する
<p>補償に関わる課題</p> <ul style="list-style-type: none"> 分散協調環境で発生する多様なリスクは、重大な財務負担をもたらす可能性がある。例えば、データ漏洩、通信障害それに伴うサービス停止などは、金銭的損失、物的損害、人身傷害を発生または被る可能性がある 	<p>補償・保険制度への連動</p> <ul style="list-style-type: none"> 安全性や信頼性、運用環境などのリスク要因の評価や、認定制度に基づく保険料の設定 一般責任保険に加え、サイバーリスク保険やロボット運行に特化した保険を含む包括的な商品開発の保険業界への要求

5. 経済性・責任の分析

5.1 サービスの経済性分析

5.2 ロボット運行における責任分界

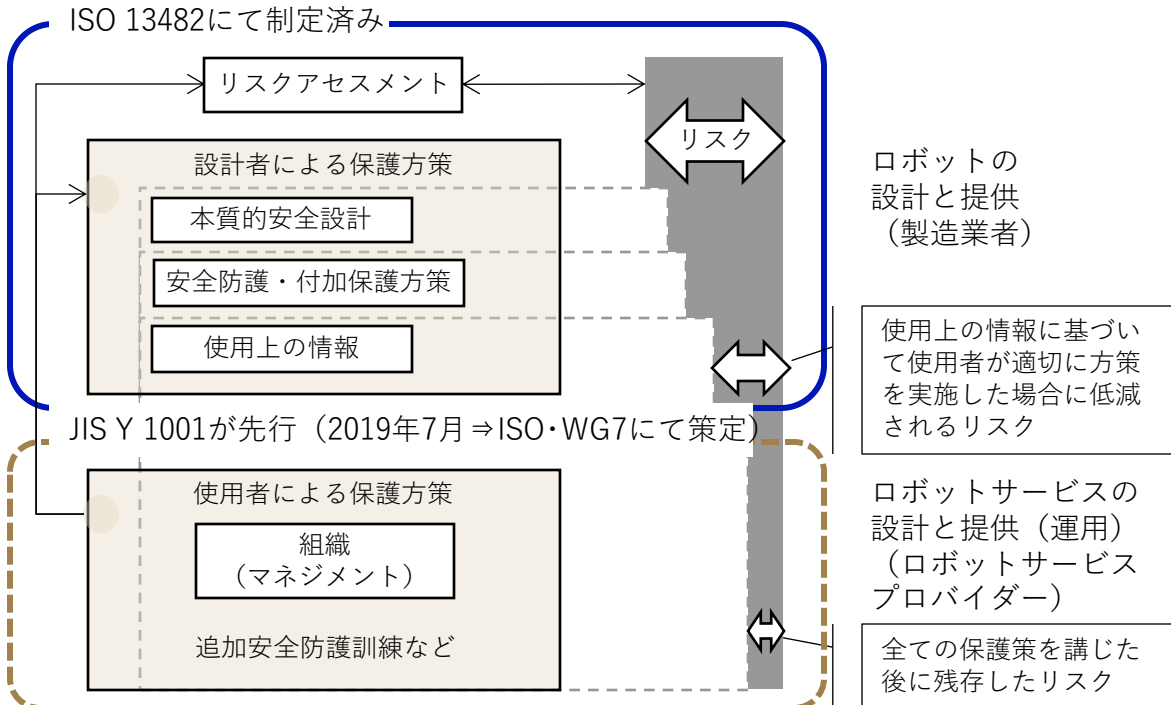
- サマリ
- サービスロボットに適用される安全基準
- サービスロボットの運行と人との責任分界
- リスクアプローチによる責任分界の検討
- リスク分類に応じた保険の状況整理等

サービスロボットに適用される安全基準

国際規格（ISO）においてサービスロボットの安全運用規格（ISO 31101）が正式に発行されたことで、ロボットサービスの提供に係る残存リスクのさらなる低減が可能となった

ISOでのサービスロボットに関する安全性規格

- サービスロボットの製品安全規格と安全運用規格との位置づけについては、以下の通り、「設計者による保護方策」までが、製品安全規格の適用範囲であり、安全運行に関する規格が未制定となっていた



出所：国立研究開発法人産業技術総合研究所ロボットサービスの安全に関する国際規格案の審議が開始（2020/09/02）などを基に作成

サービスロボットの運用時に係る安全規格

- サービスロボットのサービスプロバイダー（モビリティ運行に相当）が実施する安全運用規格についても2023年11月10日に正式に発行された
- これにより機体（モビリティ製造領域）だけでなく、運用に関する安全管理についても保護策が定義され、製造業者（モビリティ製造）とロボットサービスプロバイダー（モビリティ運行）の両面からのリスクの低減が実現可能となった

対象分野	ロボット本体（機械）の安全基準	ロボット運用時の安全基準
産業用ロボット	ISO 10218/JIS B 8433	ISO 45001/労働安全衛生法
サービスロボット	ISO 13482/JIS B 8445/及び JIS B 8446-1~3	ISO 31101:2023が新たに制定／国内新規格：JIS Y 1001(ロボットサービスの安全マネジメントシステム)

出所：国立研究開発法人産業技術総合研究所ロボットサービスの安全に関する国際規格案の審議が開始（2020/09/02）などを基に作成

5. 経済性・責任の分析

5.1 サービスの経済性分析

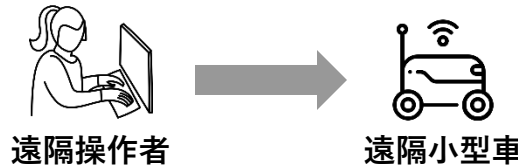
5.2 ロボット運行における責任分界

- サマリ
- サービスロボットに適用される安全基準
- サービスロボットの運行と人との責任分界
- リスクアプローチによる責任分界の検討
- リスク分類に応じた保険の状況整理等

サービスロボットの運行と人との責任分界（1 / 2）

改正道路交通法（2023年4月1日）により自動配送ロボットの公道走行が、届出制により参入が容易に可能となった。見守る保安要員は不要になり、遠隔操作で走行（自動操縦可）が可能となる

- 遠隔操作者がモニタリングしていることで自動操縦による走行が可能
- 公道走行が認可制から届出制になり事業者の参入が容易になる



- 人優先で歩行者相当のルールに従って、歩道、路側帯、道路の右側側を通行（ロボット同士のすれ違いや、ロボット同士の事故などについては、課題が残る）

	法令等	解釈および課題等
自動配送ロボットは遠隔小型車に分類・定義	「車から離れた場所から当該車に電気通信技術を用いて指令を与えることにより当該車の操作をすること（自動衝突防止を含む）」をいい、自動操縦を含まない。遠隔操作者は人間であることが想定されている	いつでも遠隔操作できる状況にあれば、自動操縦させてもよいと解釈できる
機体サイズは電動車いす相当／標識や非常停止装置が義務化	長さ120cm以下、幅70cm以下、高さ120cm以下のサイズで、最高速度6km/hを超える速度を出すことができない 遠隔操作型小型車であることがわかる一定様式の標識を取り付け非常停止装置の搭載も義務付け	歩行人等が必要なく非常停止ボタンを押した場合には、刑法上の威力業務妨害罪に問われる可能性もある
歩行者相当のルールに従う	自動配送ロボットは他の歩行者の進路を妨げてはならず、他人に危害を及ぼさない速度と方法で通行させなければならない	歩行者相当のルールに従って、歩道、路側帯、道路の意義側を通行する。 歩行者には進路を譲らなければならない ※すれ違いのできない幅の歩道は、事実上通行対象外 ※自動配送ロボット同士の優先順位やすれ違いに関する規定はない
自動配送ロボットによる交通事故	歩行者や自動車等との接触事故も想定される。歩道上で歩行者に接触した場合、歩行者優先義務に照らし、自動配送ロボット側が原則として全面的な法的責任を負う（自動配送ロボットと歩行者の事故は自賠責保険の対象にならない）	※「みなし歩行者」とされるシニアカーや移動用小型車との接触事故も同様に解してよいかについては、課題が残る ※自動配送ロボット同士が歩道上で接触事故を起こした場合の責任分配についても未検討
認可制から届け出制に変更	遠隔操作型小型車を通行させようとする場所を管轄する都道府県公安委員会への事前届出を義務化（届出事項：使用者の氏名等、通行する場所、遠隔操作を行う場所、非常停止装置の位置、ロボットの型式・仕様等）	事前審査は、ロボットデリバリー協会が担い、業界における自主基準に適合しているか否かを判断する

サービスロボットの運行と人との責任分界（2 / 2）

歩行者に接触した場合、歩行者優先義務に照らし、配送ロボット側が全面的な法的責任を負う。一方、通行人等もロボットの運行を妨げてはならず、普及にはガイドラインの整備や教育・啓蒙が必要

改正道交法を例とした、配送ロボットと人の責任分界（例）

- 遠隔操作型小型車であることがわかる一定様式の標識を取り付け非常停止装置の搭載も義務付け
- 歩行者相当のルールに従って、歩道、路側帯、道路の意義側を通行する。歩行者には進路を譲る
- 歩道上で歩行者に接触した場合、歩行者優先義務に照らし、自動配送ロボット側が原則として全面的な法的責任を負う
- ※ 遠隔操作型小型車には、保安基準が適用されないため、安全確保については、産業界側での自主的な安全確保にゆだねられている

- 一方、通行人等が必要なく非常停止ボタンを押した場合には、刑法上の威力業務妨害罪に問われる可能性もあるが、共存のためには、利用者だけでなく、広く啓蒙活動が必要となる
- ※ 歩行者等の私人は、改正道交法上、危険等防止のため遠隔操作小型車を停止または移動させることができる主体として規定されていない



安全確保に係る課題

- 「みなし歩行者」とされるシニアカーや移動用小型車との接触事故
- 自動配送ロボット同士の優先順位やすれ違いに関する規定
- 自動配送ロボット同士が歩道上で接触事故を起こした場合の責任分配

人とロボットとの共存に関わる論点

安全意識の向上（啓蒙活動）

- 歩行者や一般利用者に対するサービスロボットの適切な利用方法や安全上の注意点についての情報の提供と教育

規則とガイドラインの明確化

- ロボットとの安全な距離の保持、ロボットへの接触禁止など、明確な規則とガイドラインなどの設定（行政等による）

適切な標識と情報提供

- ロボット運用エリアや動作に関する情報を、適切な標識やデジタルメディアを通じて提供し、歩行者が予測可能な行動をとれるように支援

指示・案内等の遵守や干渉回避

- 運営者や施設管理者からの安全に関する指示や案内の遵守すると同時に、ロボットの運行に対する意図的な干渉を避け、ロボットの機能実行を妨げないようにする

緊急時の対応

- 緊急時には迅速に安全な場所に移動し、運営者の指示に従うことで、混乱を避け、安全確保に寄与することが求められる

法的枠組みの整備

- ロボット（対歩行者、対みなし歩行者、対ロボット等）による事故やインシデント発生時の責任所在の明確化

5. 経済性・責任の分析

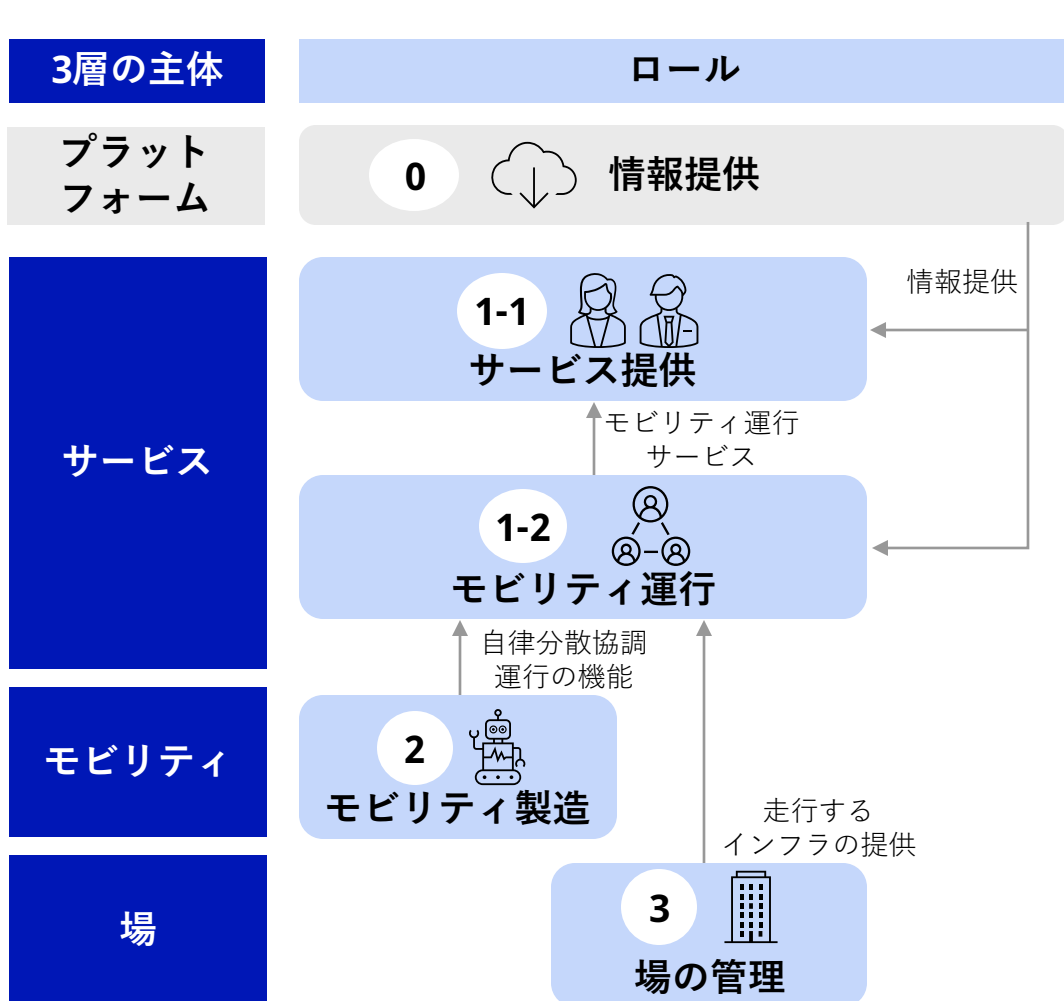
5.1 サービスの経済性分析

5.2 ロボット運行における責任分界

- サマリ
- サービスロボットに適用される安全基準
- サービスロボットの運行と人との責任分界
- リスクアプローチによる責任分界の検討
- リスク分類に応じた保険の状況整理等

(再掲) 分散協調を成立させる主体 (ロール)

サービスの主体が切りわかれることで、モビリティの製造から運行までをモビリティ製造主導で行うだけでなく、サービスの事業者の参入が可能となり日常的なモビリティ活用に繋がると考える

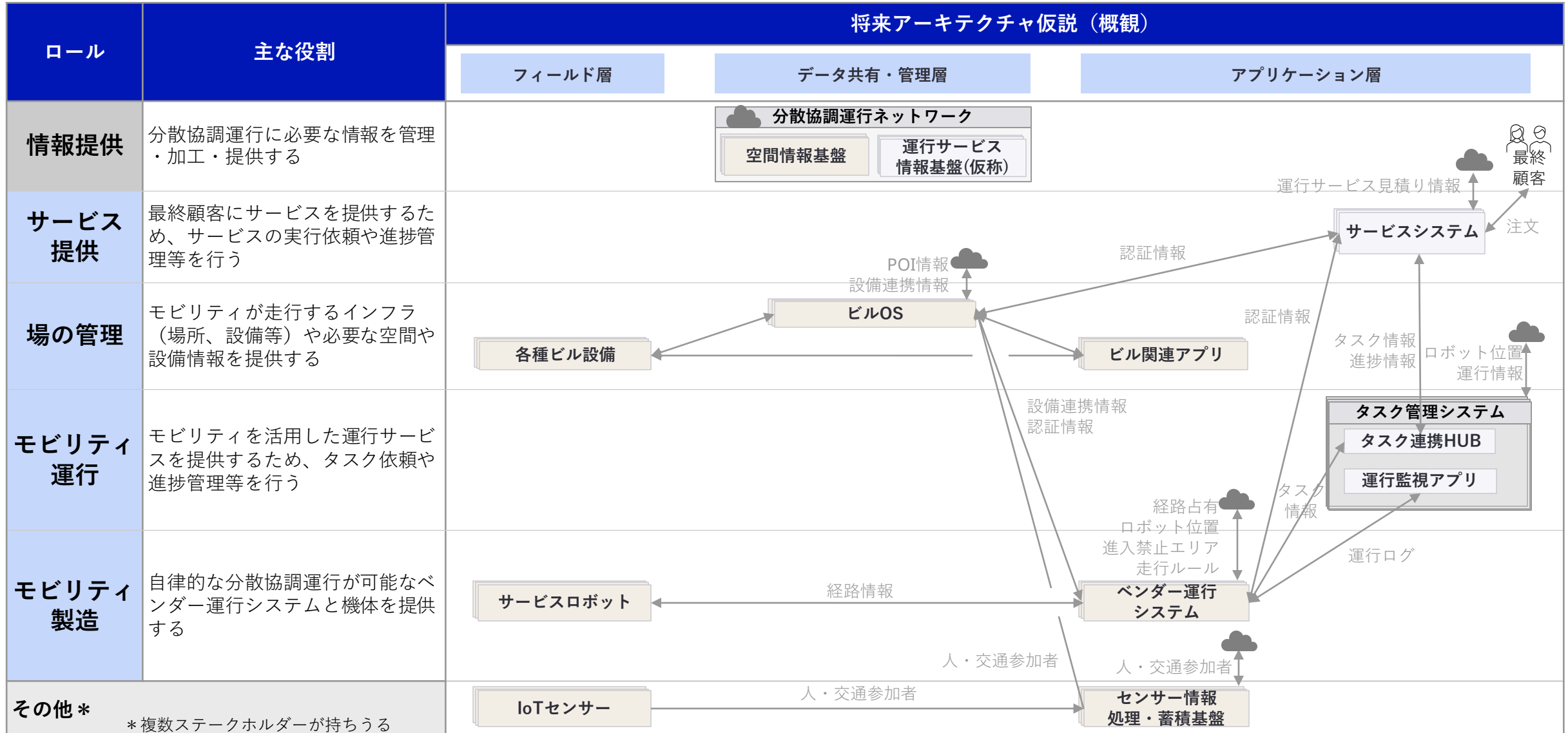


背景
 モビリティを利用した運行サービスを提供するサービス・モビリティ・場の組み合わせ方が広がるには、役割で主体（ロール）が切りわかれ、E2E*で主体同士が連携することが必要となる

ロール	定義
0. 情報提供	分散協調運行に必要な情報を収集・加工・提供する役割を指す
1-1. サービス提供	最終顧客にサービスを提供する
1-2. モビリティ運行	モビリティを活用した運行サービスを提供する
2. モビリティ製造	自律分散協調運行の機能（ベンダー運行システム＋ロボット機体）を提供する
3. 場の管理	モビリティが走行するインフラ（場所、設備等）を提供する

*E2E: end to endの略、提供される運行サービスの初めから終わりまでの意味

(再掲) 分散協調将来アーキテクチャとロールの関係性



分散協調における各主体の責任範囲

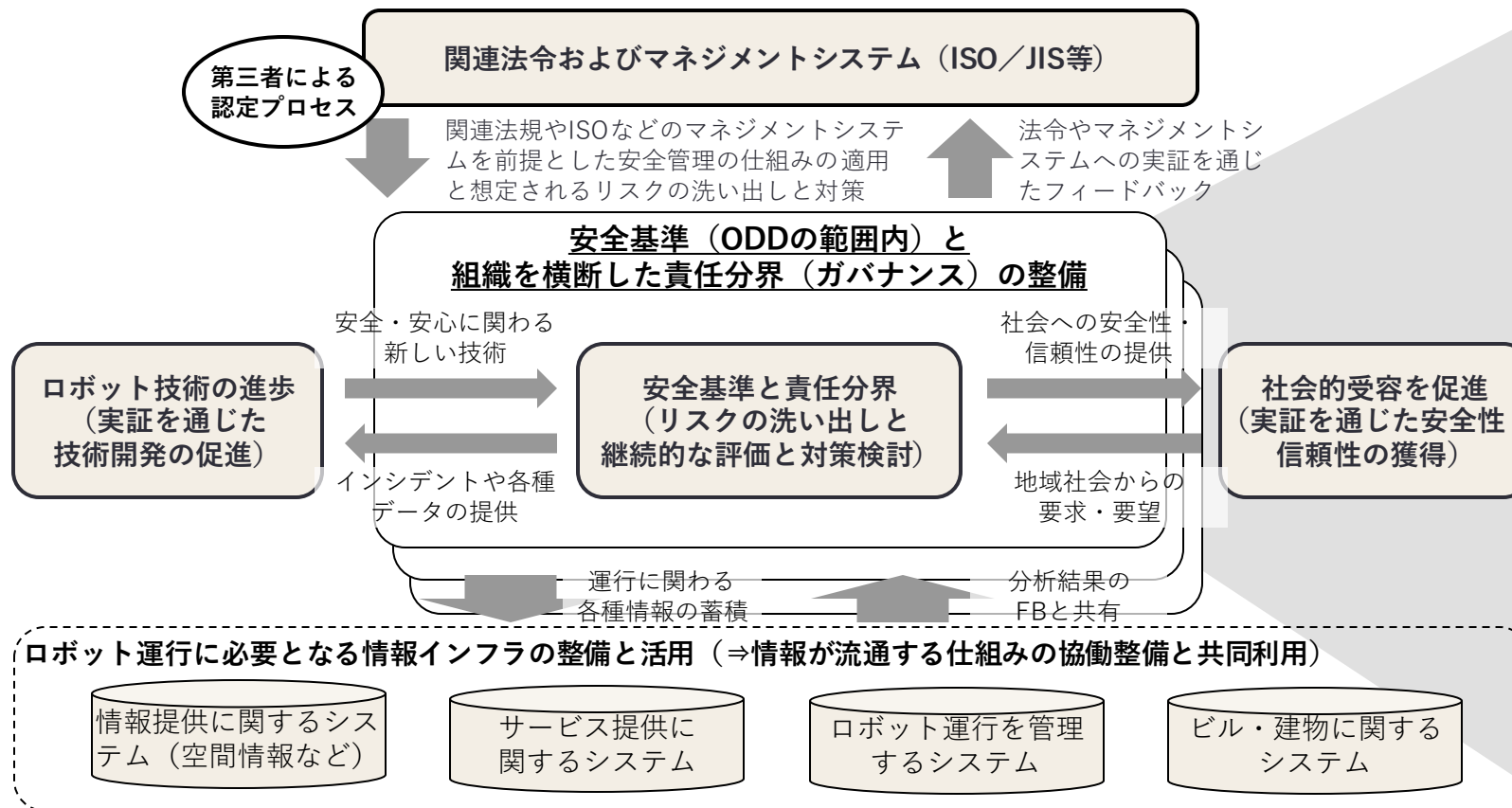
各主体の役割とそこから想定される責任範囲を定義することで、リスクシナリオによる机上検討にあたっての前提の確認とする

ロール	主な役割	責任の範囲	補償の範囲
情報提供	分散協調運行に必要な空間や設備の情報を管理・加工・提供する	<ul style="list-style-type: none"> データの正確性、タイムリーな更新、不正アクセスや漏洩からの保護などを含む、共有データの完全性、信頼性、可用性の維持に責任を持つ 	<ul style="list-style-type: none"> 主に空間や設備の情報に関して、データ漏洩、誤報、および他のロールの業務に影響するようなシステムのダウンタイムに対して責任を負う
サービス提供	最終顧客にサービスを提供するため、サービスの実行依頼や進捗管理等を行う	<ul style="list-style-type: none"> ユーザーのプライバシーとデータ保護を確保しつつ、ユーザー要求と利用可能なサービスを効率的なマッチングの実現等に責任を持つ 	<ul style="list-style-type: none"> サービスのミスマッチ、請求エラー、ユーザーのプライバシー侵害に関して責任を負う
場の管理	モビリティが走行するインフラ（場所、設備等）や必要な空間や設備情報を提供する	<ul style="list-style-type: none"> インフラ管理、安全基準の遵守、施設等の特有の制約や課題への対処など、ロボットの運行に最適な環境の整備に一定程度の責任を持つ 	<ul style="list-style-type: none"> 施設整備場の不備から生じた事故、操作の中断、安全違反などのあらゆるインシデントに責任を負う
モビリティ運行	モビリティを活用した運行サービスを提供するため、タスク依頼や進捗管理等を行う	<ul style="list-style-type: none"> タスクの割り当て、リアルタイムのナビゲーション、緊急時の対応などを含む、ロボットの安全かつ効率的な運行に責任をもつ 	<ul style="list-style-type: none"> 運用上の障害（対人、対物への衝突など）、その他運行上の事故、法令や規制の不遵守について、直接的な責任を負う
モビリティ製造	自律的な分散協調運行が可能なベンダー運行システムと機体を提供する	<ul style="list-style-type: none"> タイムリーなシステムアップデートの提供や適切なメンテナンスならびに製造上の不具合への対応などの高い品質と安全基準に従ったロボットの設計、製造、保守に責任をもつ 	<ul style="list-style-type: none"> 製造上の問題に起因する不具合、故障、安全事故の責任を負う

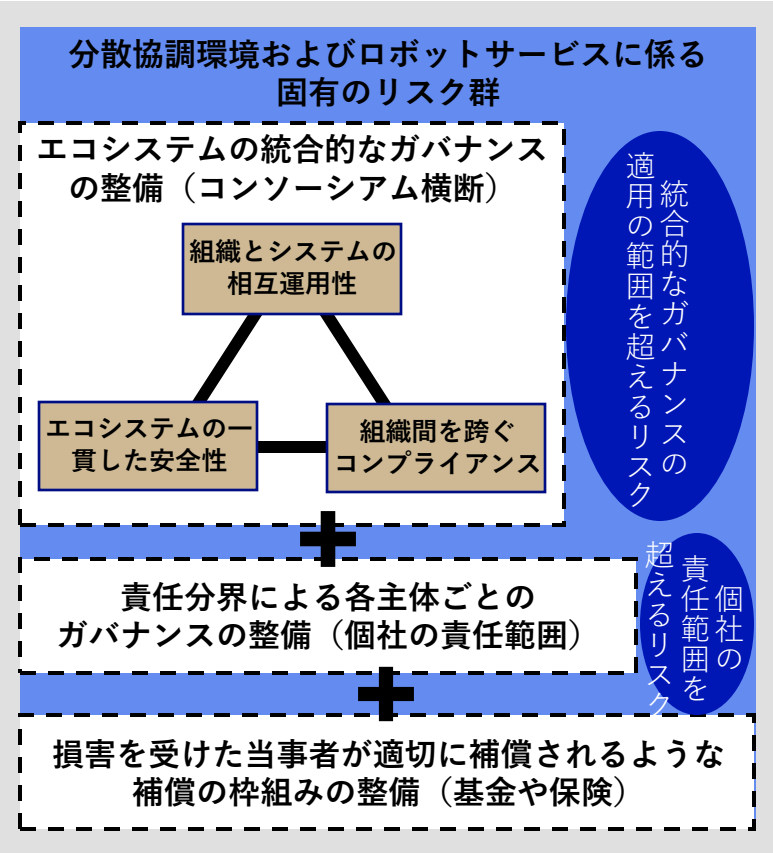
分散協調環境における責任分界の考え方

サービスロボットに係る社会的受容性を促進は、安全性等に関わる国際規格や関連法令適応後でも残存するリスクに対して、組織横断的なガバナンスと補償の枠組みを整備し、適用することで実現する

サービスロボットの運用環境に即した安全基準と責任分界



分散協調環境におけるガバナンスのあり方



検討対象となるリスク

分散協調環境における統合的なガバナンス観点から、エコシステムの運営を脅かすリスクを特定し、リスク毎のシナリオに基づいた責任分界（責任範囲と分担および限界）について検討する

分散協調環境における統合的なガバナンスの観点

検討対象となるリスク

1. 組織とシステムの相互運用性	共同でのガバナンスと運営フレームワーク	<ul style="list-style-type: none"> 複数の異なる自律型ロボットや、各ロールが持つ異なるシステムは、エコシステム内で共に協調的に動作しなければならない。そのため相互運用性においては、エコシステムの技術的構成要素がシームレスに連携して機能することを保証することが求められる 	<ul style="list-style-type: none"> ① 通信障害リスク ② 相互運用性リスク ③ キャパシティリスク ④ 外部依存リスク
	システムのシームレスな統合と互換性	<ul style="list-style-type: none"> 相互運用性を支えるガバナンス構造（データ共有、セキュリティプロトコル、共同運営への合意）を確立することと、異なる組織が効果的に協働できるような枠組み（コンソーシアム、アライアンス、パートナーシップなど）を構築することが求められる 	
2. エコシステムの一貫した安全性	人との共存	<ul style="list-style-type: none"> 自律型サービスロボットは多くの場合、人と共存する環境で運行・動作するため、人への危害や財産への損害を防ぐためには、安全性の確保が最も重要であり、安全プロトコルと基準の策定と遵守が求められる 	<ul style="list-style-type: none"> ⑤ SW/HW障害リスク ⑥ 人とロボット間のリスク ⑦ 環境不確実性リスク
	信頼と社会受容	<ul style="list-style-type: none"> 安全性に関する事故が発生すれば、信頼を損ね、ロボットサービスの社会実装が遅れる可能性がある。サービスロボットによる包括的な社会の実現のためにも、安心、安全なロボットサービスを提供することは、社会の信頼と受容を得るために重要な要素となる 	
3. 組織間を跨ぐコンプライアンス	規制遵守と倫理的配慮	<ul style="list-style-type: none"> サービスロボットの設計、配備、運用が、安全性、プライバシー、サイバーセキュリティ等に関する既存の規制や基準に準拠していることが求められる また、意思決定プロセスに関する透明性を維持し、その運用における説明責任を確保することが求められる 	<ul style="list-style-type: none"> ⑧ データ漏洩リスク ⑨ サイバーセキュリティリスク ⑩ コンプライアンスリスク
	複雑な責任範囲	<ul style="list-style-type: none"> 自律型サービスロボットの事故に対する責任と補償は、複数の主体の関与や、技術的要因、外的要因、不測の事態など様々な理由で発生するため、複雑になる可能性がある。損害を受けた当事者が適切に補償されるような補償の枠組みの整備が求められる 	

責任分界に関わるリスク（1 / 2）

リスク	リスク評価（想定）		リスクの定義	主な影響	リスクシナリオ
	発生率	影響			
①通信障害リスク	中	中	<ul style="list-style-type: none"> • ロール間の通信障害は、広範囲な運行上の障害（サービス遅延等）につながる 	<ul style="list-style-type: none"> • サービスの中断、事故、タスク実行での障害等 	<ul style="list-style-type: none"> • 運行ピーク時に通信がネットワークの輻輳により断続的に障害を起こす。その結果、タスク割り当てが遅延し、サービスの大幅な遅延が起こる
②相互運用性リスク	中	中	<ul style="list-style-type: none"> • ロール間の標準化されたプロトコルやインターフェースの欠如に伴うリスク 	<ul style="list-style-type: none"> • システムの柔軟性の低下、統合コストの増大等 	<ul style="list-style-type: none"> • 新しいロボット群の導入において、既存のタスク管理システムとの互換性に問題があり、配備が遅れる
③キャパシティリスク	低	中	<ul style="list-style-type: none"> • 需要増大時などのシステムダウンにつながるような拡張性に関わるリスク 	<ul style="list-style-type: none"> • サービス提供機会の逸失や顧客満足度の低下 	<ul style="list-style-type: none"> • イベントの開催中に需要が急増し、既存のインフラおよび機体台数のキャパシティを超え、システム遅延が発生する
④外部依存リスク	中	大	<ul style="list-style-type: none"> • 外部依存による、サービス停止やサービス条件変更など、脆弱性が生じるリスク 	<ul style="list-style-type: none"> • 外部依存によるサービスの中断、データの逸失等 	<ul style="list-style-type: none"> • クラウドサービスが災害等により長時間の停止となり、システム全体に障害が発生し、ロボットサービスが長期間にわたって停止する
⑤SW/HW障害リスク	中	大	<ul style="list-style-type: none"> • 安全事故や運行障害につながるようなシステム障害や、ハードウェア故障等 	<ul style="list-style-type: none"> • 対人・対物被害およびサービス停止 	<ul style="list-style-type: none"> • ソフトウェアアップデートに重大なバグがあり、ロボットの一部分が誤動作し、商業施設で衝突事故が発生する
⑥人とロボット間（HRI）のリスク	低	中	<ul style="list-style-type: none"> • 人との間でロボット状況誤認や結果の動作が安全基準と一致しない場合のリスク 	<ul style="list-style-type: none"> • 安全に関わる事故、顧客満足度の低下等 	<ul style="list-style-type: none"> • 商業施設でサービスロボットが子供の行動を障害物回避タスクと誤認し、不規則なナビゲートにより事故を起こす
⑦環境不確実性リスク	低	中	<ul style="list-style-type: none"> • 設計時に考慮されていなかった予測不可能な環境要因や運行シナリオによる予期せぬリスク 	<ul style="list-style-type: none"> • 不適切なサービス対応、または事故 	<ul style="list-style-type: none"> • 予期せぬ気象条件がロボットのナビゲーションシステムに影響しサービスの中断につながる

責任分界に関わるリスク（2 / 2）

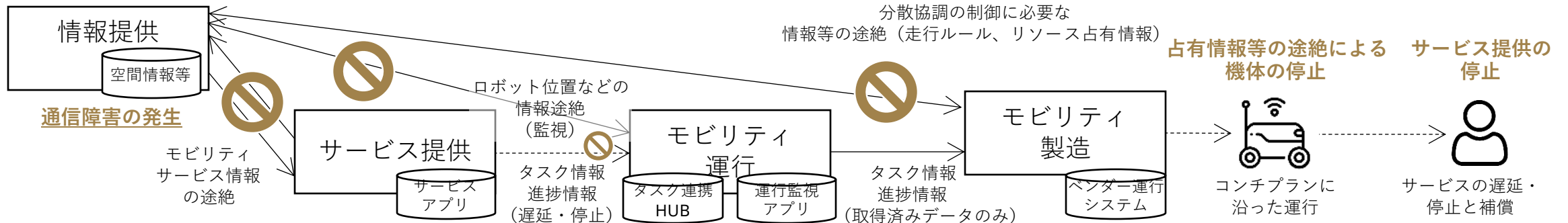
リスク	リスク評価（想定）		リスクの定義	主な影響	リスクシナリオ
	発生率	影響			
⑧データ漏洩リスク	中	大	<ul style="list-style-type: none"> データ漏洩等の事故につながるような機密情報への不正アクセス等 	<ul style="list-style-type: none"> 機密情報の流出等による法的責任、業務の制限等 	<ul style="list-style-type: none"> 情報提供側のAPIの脆弱性がハッカーに悪用され、業務上の機密情報が漏洩する
⑨サイバーセキュリティリスク	高	中	<ul style="list-style-type: none"> システム全体が、マルウェア、ランサムウェア、DDoS攻撃等の脅威にさらされるリスク 	<ul style="list-style-type: none"> サービス中断、データ損失、対策に関する負荷 	<ul style="list-style-type: none"> サーバーを標的とした組織的なDDoS攻撃が発生し、サービス予約に関わる機能が数時間停止する
⑩コンプライアンスリスク	中	中	<ul style="list-style-type: none"> コンプライアンスを遵守によるシステムの見直し負荷や、不備に関わるリスク 	<ul style="list-style-type: none"> 財務的負担、業務上の制限等 	<ul style="list-style-type: none"> 新たな規制によりロボットの安全プロトコルの強化が求められるが、即時対応が難しくサービスが制限される

リスクシナリオ①通信障害リスク

1. 組織とシステムの相互運用性

リスクシナリオ ①通信障害リスク

- 運用のピーク時に、情報提供とサービス提供間で通信リンクがネットワークの輻輳により断続的に障害を起こす。その結果、ロボットへのタスクの割り当てが遅れ、サービスの大幅な遅延や、サービスロボットの一時停止などが発生する



責任の所在 (分界点)	
<ul style="list-style-type: none"> 情報提供は、様々なロール間の相互運用に不可欠な情報（空間、リソース占有など）を含むデータ交換に一定の役割と責任を負うが、通信障害に対する直接的ですべての責任を負うわけではない 一方、サービス提供やモビリティ運行ならびにモビリティ製造においても通信途絶時のサービス継続性の確保、通信障害の影響を緩和するための単機での自動運行など付随的な責任を負う 	

責任への対処	
<p>ネットワークインフラの管理：ピーク時の大量のデータ処理などを想定したネットワークパフォーマンスの維持に関わる保証</p> <p>データ・トラフィックの最適化：通信障害につながるボトルネックを防ぐためのトラフィックのコントロール</p> <p>冗長性の確保：十分な冗長性を持たせることで、需要増加や潜在的な障害が発生した場合でもサービスの継続性を維持する</p>	

残存リスク対応と補償	
<p>コンティンジェンシープランの実施：通信障害が発生した場合に起動できるロール間を跨いだコンティンジェンシープランの策定（バックアップ通信チャネルへの切り替えや、マニュアル・オーバーライドなど）</p> <p>ネットワークの冗長性と信頼性：通信ネットワークが高水準の冗長性と信頼性に準拠し、大幅な性能低下なしに需要の急増に耐えられるようにする</p> <p>顧客への補償対応：通信障害がサービスの大幅な遅延や停止につながった場合の顧客への補償対応</p>	

リスク・責任 スコア (参考)	0. 情報提供		1-1. サービス提供		1-2. モビリティ運行	
	スコア	責任	スコア	責任	スコア	責任
	220		160		240	
	2. モビリティ製造		3. 場の管理		その他 (人など)	
	120					

スコア内訳①通信障害リスク（1 / 2）

全体として、各役割の責任は、通信障害を管理するための協調的なアプローチ（障害の切り分けやコンチの協働実行）が必要とされる。そのため、責任が情報共有に一極で集中するわけではない

(1)リスクスコア	4	=	[内数]発生率	⊗	[内数]影響度
			中 (2)		中 (2)

ルール	リスク・責任スコア (1)×(2)	責任の考え方	(2)責任スコア	[内数]責任スコア			
				a.直接の影響度	b.管理・監督責務	c.予防措置と対策	d.影響範囲と回復力
情報提供	220	情報提供は、様々なルール間の相互運用に不可欠な情報（空間、リソース占有など）を含むデータ交換に一定の役割と責任は負うが、通信障害に対する直接的ですべての責任は負わない	55	20	15	10	10
サービス提供	160	サービス提供は、顧客とロボットサービスの仲介機能の提供役として、通信システムに依存はするが、その責任は、通信障害時のサービス継続のためのコンティンジェンシープランの策定と実行に限定される	40	15	10	5	10
モビリティ運行	240	ロボットの運行面で、通信障害の影響を直接受ける。サービス提供と連携して、コンティンジェンシープランの策定と実行の役割を担う。また、安全性の面から機体の緊急停止などの判断には、一定の責任を負う	60	20	15	10	15
モビリティ製造	120	ネットワークに問題が発生してもロボットが必要な機能を維持できるような設計をする（安全確保による緊急停止や、継続運行等）ことと、通信途絶時のコンティンジェンシープランの実行において一定の責任を負う	30	10	5	5	10

スコア内訳①通信障害リスク（2 / 2）

責任の範囲	情報提供	サービス提供	モビリティ運行	モビリティ製造
a.直接の影響度	20	15	20	10
①リスク発生に直接関与	5	5	5	5
②即時対応の関与	10	5	10	0
③潜在的な動作や状況の制御	5	5	5	5
b.管理・監督の責務	15	10	15	5
①リスク評価と監視の実施	5	5	5	5
②安全規制と標準への準拠	5	0	5	0
③品質管理と改善	5	5	5	0
c.予防措置と対策の可能性	10	5	10	5
①リスク識別と評価	5	5	5	5
②予防措置と対応策	5	0	5	0
d.影響範囲と回復力	10	10	15	10
①影響範囲の管理	5	5	5	5
②回復プロセスと計画	5	5	10	5
(2)責任スコア計	55	40	60	30

リスクシナリオ②相互運用性リスク

1. 組織とシステムの相互運用性

リスクシナリオ ②相互運用性 リスク

・新しいロボット群の導入において、既存システム等との互換性に問題があり、配備が遅れる。このリスクは、エコシステム内で相互運用性に関わる組織的、制度的、システムの対応が不十分であったため生じた問題である



得られたはずの生産性・効率性を逃したロス

新しいサービス導入の遅れに伴う経済的ロス

責任の所在 (分界点)

- データ交換とシステム統合の点で、分散協調環境における相互運用性の問題に取り組む責任は、情報共有にある
- モビリティ運行は、機体の運行に直接関わるため、運行システムと新しいロボット群との連携が可能であることを保証する責任を負う
- モビリティ製造は、ロボットのハードウェアとソフトウェアの設計が相互運用性に関連する標準的な規格への準拠に責任をもつ

責任への対処

標準化とオープンプロトコル：標準化されたオープンな通信プロトコルの使用を優先し、新しいロボットと既存のシステムが容易に連携（情報やコマンドの交換）できるように設計・開発する

共同テストと検証：新機体の配備前に相互運用性の問題を特定し解決するために、モビリティ製造とモビリティ運行間で共同テスト等の検証プロセスを確立する

残存リスク対応と補償

相互運用性を妨げる問題の特定と対処：相互運用性の問題を迅速に特定し、新機体（技術）と既存システムの統合を促進するための調整や一時的な回避策の実施

定期的な相互運用性テストの実施：継続的な相互運用性テストを実施し、新機体の導入やシステムのアップデートが新たな互換性の問題を引き起こさないよう対処する

保険加入：相互運用性の問題に起因する損失または債務に対する備えを含む包括的な保険を維持することで、運用の遅延や中断、潜在的な安全事故に関する金銭的影響を緩和する

リスク・責任 スコア (参考)	0. 情報提供	200	1-1. サービス提供		1-2. モビリティ運行	220
	2. モビリティ製造	140	3. 場の管理	80	その他 (人など)	

スコア内訳②相互運用性リスク（1 / 2）

相互運用性のリスクへの対処は、コンソーシアムなどのエコシステム内での協力関係を前提とした、標準化と技術的な相互の適応性に対して、各ロールが協調的かつ主体的に取り組む必要がある

(1)リスクスコア	4	=	[内数]発生率	×	[内数]影響度
			中 (2)		中 (2)

ロール	リスク・責任スコア (1)×(2)	責任の考え方	(2) 責任スコア	[内数]責任スコア			
				a.直接の影響度	b.管理・監督責務	c.予防措置と対策	d.影響範囲と回復力
情報提供	200	情報提供は、シームレスなデータ交換を促進するためのエコシステム内での標準化の推進や、新規導入機体や関連デバイスおよび新旧システムを支援できる適応性の高いインターフェースを整備する責任がある	50	15	15	10	10
モビリティ運行	220	モビリティ運行は、機体の運行に直接関わるため、相互運用の問題に直接影響を受ける。運行プロトコルや関連システムが最新（採用技術に適合）であり、新しいロボット群との連携が可能であることを保証する責任を負う	55	20	15	10	10
モビリティ製造	140	既存のシステムとの相互運用が可能なロボットの設計と相互運用性の要件の関係者間での調整に関して一定の責任を負う。一方、新機体の関係者からのリクエストに応じて、新機体の開発と提供を行う役割であるため、責任の範囲は限定的	35	10	15	5	5
場の管理	80	場の管理は、相互運用性の技術的側面から見ると責任の範囲は限定的であるが、ロボットの運行に適した環境を作る上で一定の責任を負う（5Gや、Wi-Fiネットワークなどの施設の通信環境など新機体が搭載する技術に適合させるなど）	20	5	10	5	0

スコア内訳②相互運用性リスク（2 / 2）

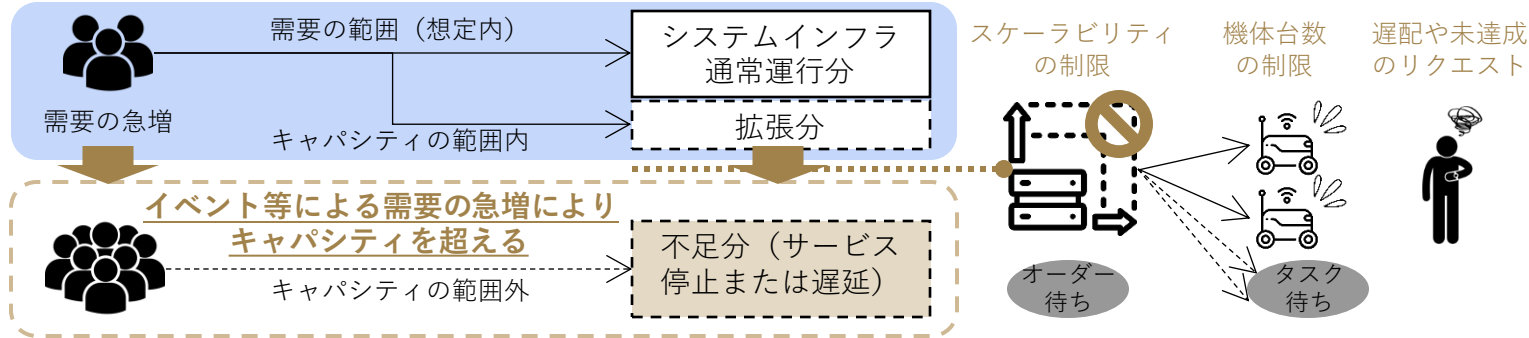
責任の範囲	情報提供	モビリティ運行	モビリティ製造	場の管理
a.直接の影響度	15	20	10	5
①リスク発生に直接関与	5	10	5	0
②即時対応の関与	5	5	0	0
③潜在的な動作や状況の制御	5	5	5	5
b.管理・監督の責務	15	15	15	10
①リスク評価と監視の実施	5	5	5	5
②安全規制と標準への準拠	5	5	5	0
③品質管理と改善	5	5	5	5
c.予防措置と対策の可能性	10	10	5	5
①リスク識別と評価	5	5	5	
②予防措置と対応策	5	5	0	5
d.影響範囲と回復力	10	10	5	0
①影響範囲の管理	5	5	5	5
②回復プロセスと計画	5	5	0	0
(2)責任スコア計	50	55	35	20

リスクシナリオ③キャパシティリスク

1. 組織とシステムの相互運用性

リスクシナリオ ③キャパシティ リスク

・ イベントの開催中に需要が急増し、既存のインフラおよび機体台数のキャパシティを超え、システム遅延が発生する。その結果、来場者やその他の利用者は長い待ち時間を経験し、多くのサービス要求が満たされず、サービスの信頼性が損なわれる



- ・ 未達成のリクエストの補償
- ・ サービスの評判を落とす

責任の所在 (分界点)

- ・ 不十分なスケラビリティによる予期せぬ需要の急増に対処する主な責任は、エコシステムの顧客対応フロントとして機能するサービス提供にある
- ・ モビリティ運行においても需要増時のタスクの割り当て割り当てや、ロボットの調整などスケラビリティの課題への対応が求められる
- ・ また、情報提供も需要の大幅な変動などに対応可能なようにシステムを構築することに一定の責任を負う (但し、システムが逼迫するようなデータ・トランザクションの発生は想定し難い)

責任への対処

システム・アーキテクチャと設計：パフォーマンスを大幅に低下させることなく、需要、データ量、複雑性の増加に対応できるスケラブルなシステム・アーキテクチャを設計する

パフォーマンスの最適化：予期せぬ需要増時などの負荷増加に対応するため、システムのパフォーマンスを継続的に監視・最適化し、スケラビリティがシステム機能やユーザー体験を損なわないようにする

残存リスク対応と補償

迅速なリソース配分：緊急事態に対処するため、追加リソースを迅速に割り当てるためのプロトコルの整備 (冗長化サーバー、迂回やキューイングなどの負荷分散等)

中核機能の維持や緊急プロトコル整備：安全性とセキュリティに関連する機能が、高負荷状態でも維持されるようにし、負荷により遅延や障害発生が連鎖するのを防ぐ

サービス・レベル・アグリーメント (SLA) の履行と補償：SLAによるユーザー補償範囲の規定とスケラビリティの問題によって影響を受けたユーザーまたは顧客からの補償請求への対応

リスク・責任 スコア (参考)	0. 情報提供	60	1-1. サービス提供	200	1-2. モビリティ運行	120
	2. モビリティ製造		3. 場の管理		その他 (人など)	

スコア内訳③キャパシティリスク（1 / 2）

エコシステムが需要の変動に対応できるように、エコシステム全体のキャパシティの継続的な測定と、需要変動の予測とのバランスをモニタリングし、システムや機体への適切な投資を行う必要がある

(1)リスクスコア		2	=	[内数]発生率	×	[内数]影響度			
				低 (1)		中 (2)			
ルール	リスク・責任スコア (1)×(2)	責任の考え方	(2)責任スコア	[内数]責任スコア					
				=	+	+	+		
				a.直接の影響度	b.管理・監督責務	c.予防措置と対策	d.影響範囲と回復力		
情報提供	60	情報提供は、需要の大幅な変動などに対応可能なようにシステムを構築することに一定の責任を負う（クラウド・ソリューションなどの拡張可能なアーキテクチャなど、ピーク時の業務継続性の維持に対応できるシステムの構築）	30	5	15	10	0		
サービス提供	200	サービス提供は、エコシステムの顧客対応フロントとして機能し、ユーザーや他のエコシステム・パートナーとの契約（SLAなど）が、ピーク時の現実的なサービスの期待を反映していることに責任をもつ	100	30	30	20	20		
モビリティ運行	120	機体の効率的な運行は、需要ピーク時などにおいて、タスクを効果的に管理し割り当てる等の効率的な運行に一定の責任を負う。一方、仮に最適な差配を行ったとしても機体のキャパシティへの動的対応に関しては限界がある。コンソーシアムやアライアンスの中での機体の確保数に関しては、モビリティ運行の責任の範囲は限定される	60	25	5	15	15		

スコア内訳③キャパシティリスク（2 / 2）

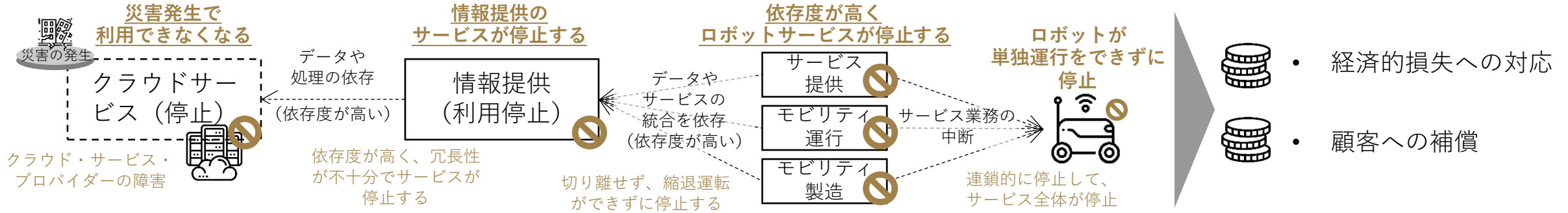
責任の範囲	情報提供	サービス提供	モビリティ運行
a.直接の影響度	5	30	25
①リスク発生に直接関与	5	10	5
②即時対応の関与	0	10	10
③潜在的な動作や状況の制御	0	10	10
b.管理・監督の責務	15	30	5
①リスク評価と監視の実施	5	10	10
②安全規制と標準への準拠	5	10	10
③品質管理と改善	5	10	5
c.予防措置と対策の可能性	10	20	15
①リスク識別と評価	5	10	5
②予防措置と対応策	5	10	10
d.影響範囲と回復力	0	20	15
①影響範囲の管理	0	10	5
②回復プロセスと計画	0	10	10
(2)責任スコア計	30	100	60

リスクシナリオ④外部依存リスク

1. 組織とシステムの相互運用性

リスクシナリオ ④外部依存リスク

・クラウドサービスが災害等により長時間の停止となり、システム全体に障害が発生し、ロボットサービスが長期間にわたって停止する。このリスクは、外部またはプラットフォーム（情報共有）への依存度が高く、且つフォールバック等のコンティンジェンシープランの欠如から生じた問題である



責任の所在（分界点）

- このケースでは、外部サービスへの依存に関連するリスクを管理する主な責任は、情報共有にある。（※その他のロールにおいても、多くの場合、クラウドストレージ、データ処理、通信ネットワークなどの何らかの外部サービスに何らかの形で依存している場合は、それぞれが責任を負う）
- 他のロールにおいても、外部サービスの中断が自己の責任範囲でなくとも中断時にサービスの継続性を維持するための運用プロトコルの策定・実装などで一定の責任を負う

責任への対処

サービスプロバイダーの選定と管理：外部サービスプロバイダとの関係を慎重に選択・管理し、信頼性と稼働率の基準を満たすようにする

リスクアセスメントとコンティンジェンシープラン：サービス停止の潜在的影響を理解するためのリスクアセスメントとサービス停止中のオペレーションを維持するためのコンティンジェンシープランの策定

レジリエンスのためのシステム設計：外部サービス障害の影響を最小化する目的で、分散システム環境において可用性を高めるためのシステム設計を採用する

残存リスク対応と補償

緊急時対応計画の策定と発動：緊急時および事業継続計画の策定（代替サービスプロバイダーへの切り替え、バックアップシステムの利用、リソースの制限や調整等）

データ保護および復旧基準の策定と遵守：すべての外部サービスに関連するデータ保護および復旧基準の策定と準拠（エコシステム全体での策定）

保険加入：外部サービスの停止による大幅な業務停止とそれに伴う損失に対する経済的なセーフティネットとしての包括的な保険の契約と維持

リスク・責任スコア（参考）	0. 情報提供	390	1-1. サービス提供	330	1-2. モビリティ運行	450
	2. モビリティ製造	180	3. 場の管理		その他（人など）	

スコア内訳④外部依存リスク（1 / 2）

情報提供を中心とした複数ロール間での継続計画や、モビリティ運行では、サービス停止時でも運行可能なシステムと機体の継続運行機能を整備するなど、障害に対してサイト横断での計画を策定する必要がある

(1)リスクスコア	6	=	[内数]発生率	×	[内数]影響度
			中 (2)		大 (3)

ロール	リスク・責任スコア (1)×(2)	責任の考え方	(2)責任スコア	[内数]責任スコア			
				a.直接の影響度	b.管理・監督責務	c.予防措置と対策	d.影響範囲と回復力
情報提供	390	情報提供は、外部依存のリスクに対して、冗長性、フェイルオーバーシステム、バックアップ・ソリューションの導入など、SLAなどで委託先のサービスレベルを評価・管理し、そのリスクを軽減し、障害に対する運用の継続性と回復手段を確保する責任がある	65	20	20	15	10
サービス提供	330	サービス提供は、外部サービス停止時のサービス継続性と顧客とのコミュニケーションを維持する責任を負う	55	20	15	10	10
モビリティ運行	450	モビリティ運行は、情報提供やクラウド等の外部委託先システムから独立して動作するフォールバックシステムを備える等、手動によるオーバーライドや分散化された意思決定を可能にするような仕組みを持つ必要がある	75	25	20	10	20
モビリティ製造	180	モビリティ製造は、サービス停止時などの状況において、独立して動作（タスク遂行や緊急停止など）するロボットを設計するなどの責任がある	30	10	10	5	5

スコア内訳④外部依存リスク（2 / 2）

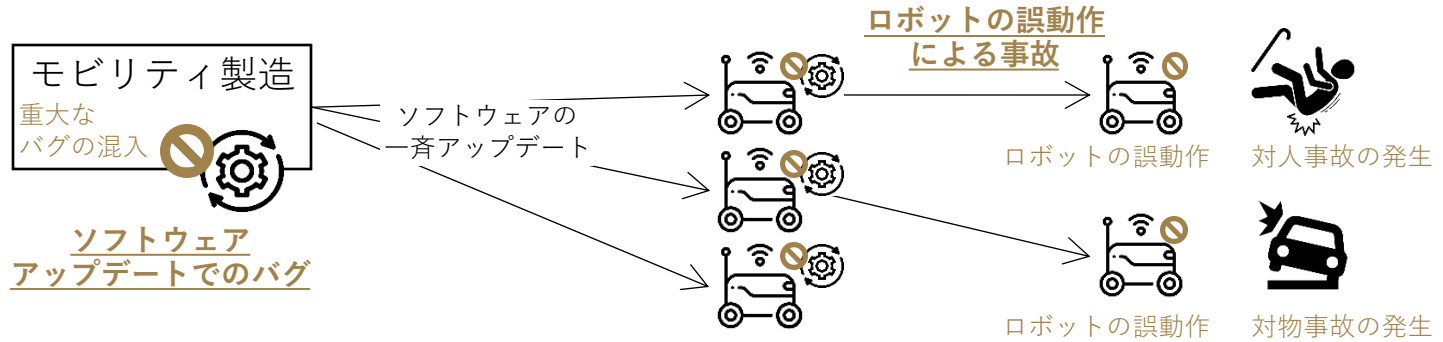
責任の範囲	情報提供	サービス提供	モビリティ運行	モビリティ製造
a.直接の影響度	20	20	25	10
①リスク発生に直接関与	10	5	10	5
②即時対応の関与	5	10	10	0
③潜在的な動作や状況の制御	5	5	5	5
b.管理・監督の責務	20	15	20	10
①リスク評価と監視の実施	10	5	10	5
②安全規制と標準への準拠	5	5	5	0
③品質管理と改善	5	5	5	5
c.予防措置と対策の可能性	15	10	10	5
①リスク識別と評価	10	5	5	0
②予防措置と対応策	5	5	5	5
d.影響範囲と回復力	10	10	20	5
①影響範囲の管理	5	5	10	0
②回復プロセスと計画	5	5	10	5
(2)責任スコア計	65	55	75	30

リスクシナリオ⑤SW/HW障害リスク

2. エコシステムでの一貫した安全性

リスクシナリオ
⑤SW/HW障害
リスク

- ソフトウェアアップデートに重大なバグがあり、ロボットの一部分が誤動作をし、商業施設で衝突事故（対人または対物）が発生する



- 物的損害・人的被害への補償
- サービスの停止（一時または一定期間）

責任の所在（分界点）

- ソフトウェアとハードウェアの不具合に起因する不具合に対処する責任の所在はモビリティ製造にある
- 一方、モビリティ運行においても、故障への即時対応や定期的なメンテナンスの実施およびソフトとハードアップデートなど、運行中のロボットを管理する責任をもつ
- 場の管理は、機体の故障に対する直接的な責任はないが、商業施設などロボットが稼働する環境において、ロボットの故障に迅速に対応できるインフラを確保するなどの役割を担う

責任への対処

品質の保証：ソフトウェアアップデートとハードウェアコンポーネントが、展開される前に確実にテストされ、重大なバグや欠陥がないことを確認する

アップデートの展開と管理：ソフトウェアアップデートの展開プロセスを管理と既存システムとの互換性を確保など

導入後のサポート：不具合が発生した場合、迅速なバグフィックス、パッチ、リコールなど、タイムリーなサポートと改善策を提供する

残存リスク対応と補償

安全規則の遵守：すべてのロボットシステムとその構成部品が関連する安全基準と規制に準拠していることを確認し、事故につながる誤作動のリスクを最小限に抑える

物的損害・人的被害への補償対応：被害に対する責任の所在の特定と評価（法律的评价を含む）を行い、責任の所在と法律的な義務に基づく被害者に対する補償や賠償の実施

保険への加入：ソフトウェアやハードウェアの故障から生じる潜在的な損害や責任をカバーする包括的な保険契約への加入と維持

リスク・責任 スコア（参考）	0. 情報提供		1-1. サービス提供		1-2. モビリティ運行	450
	2. モビリティ製造	390	3. 場の管理	270	その他（人など）	

スコア内訳⑤SW／HW障害リスク（1／2）

全体として、ソフトウェアやハードウェアの故障に対する直接的な責任はモビリティ製造にあるが、故障時の即時的な回復や、安全を確保およびサービスの継続性を維持する上で、各ロールにも役割と責任がある

(1)リスクスコア	6	=	[内数]発生率	×	[内数]影響度
			中 (2)		大 (3)

ロール	リスク・責任スコア (1)×(2)	責任の考え方	(2)責任スコア	[内数]責任スコア			
				a.直接の影響度	b.管理・監督責務	c.予防措置と対策	d.影響範囲と回復力
モビリティ運行	450	モビリティ運行は、機体の故障に関する責任は限定的であるものの、故障の監視や、安全上のリスクやサービスの中断を最小限に抑えるための迅速な対応の責任を負う。故障したロボットの遠隔操作での緊急停止や、影響を受けていないユニットにタスクを迂回などに加えて、問題を解決するためにモビリティ製造やサービス提供との調整する役割を担うなどが想定される	75	25	20	15	15
モビリティ製造	390	モビリティ製造は、ロボットのソフトウェアとハードウェアの品質と信頼性に主たる責任を負う。潜在的なバグを把握し、既存のシステムとの互換性を確保するために、リリース前にソフトウェアのアップデートを厳密にテストするなどの役割を担う	65	20	20	15	10
場の管理	270	場の管理は、機体の故障に対する直接的な責任はないが、商業施設などロボットが稼働する環境において、ロボットの故障に迅速に対応できるインフラを確保するなどの役割を担う（例えば、人が介入するための緊急プロトコル、誤動作したロボットを安全に収容できる場所や、商業施設の来場者や関係者への告知など）	45	15	10	10	10

スコア内訳⑤SW／HW障害リスク（2／2）

責任の範囲	モビリティ運行	モビリティ製造	場の管理
a.直接の影響度	25	20	15
①リスク発生に直接関与	10	10	5
②即時対応の関与	10	5	5
③潜在的な動作や状況の制御	5	5	5
b.管理・監督の責務	20	20	10
①リスク評価と監視の実施	10	10	5
②安全規制と標準への準拠	5	5	5
③品質管理と改善	5	5	0
c.予防措置と対策の可能性	15	15	10
①リスク識別と評価	10	10	5
②予防措置と対応策	5	5	5
d.影響範囲と回復力	15	10	10
①影響範囲の管理	10	5	5
②回復プロセスと計画	5	5	5
(2)責任スコア計	75	65	45

リスクシナリオ⑥人とロボット間のリスク

2. エコシステムでの一貫した安全性

リスクシナリオ ⑥人とロボット間 (HRI) のリスク

- 商業施設でサービスロボットが子供の行動を障害物回避タスクと誤認し、不規則にナビゲートさせ、事故を起こす



責任の所在（分界点）

- 人とロボットとの関わり（HRI）の問題で、サービスロボットが人間の行動を誤って解釈し、潜在的な安全上の危険につながる問題に対処する責任は、機体およびソフトウェアの設計を行うモビリティ製造にある
- 一方、運行上は、モビリティ運行が人とロボットの安全で効果的な関係を促進するような運行プロトコルを実装し、運行中に発生するHRIの問題に対処する必要がある

責任への対処

機体による行動認識と反応：ロボットが人間の様々な行動を正確に認識し、適切に対応できるよう設計し、継続的に学習（AI・ML）させる

安全プロトコルの実装：ロボットの設計に高度な安全プロトコルを組み込むことで、不規則な行動を防ぎ、ロボットの周辺にいる人間の安全を確保する

継続的な学習と適応（AI・ML）：ロボットが人との相互作用から学習し、時間の経過とともにより良い反応をするように行動モデルを改善するメカニズムを実装する

残存リスク対応と補償

緊急停止プロトコル：ロボットが危険な行動をとった場合に緊急停止機構を備えていることや、オペレーターの介入による遠隔監視などでのロボットの制御

HRI安全ガイドラインの開発と遵守：人とロボットの相互作用に関する確立された安全ガイドラインを策定し、遵守することで、特に子供のような弱い立場の人々が頻繁に訪れる環境において、ロボットが安全性を最優先して設計されていることを保証する

ロボット運行に係る保険：ロボットによる潜在的な損害や怪我をカバーする包括的な保険への加入

リスク・責任 スコア（参考）	0. 情報提供		1-1. サービス提供		1-2. モビリティ運行	90
	2. モビリティ製造	160	3. 場の管理	120	その他（人など）	

スコア内訳⑥人とロボット間のリスク（1 / 2）

モビリティ製造が、提供する機体が、安全な運行を実現するための高度なセンサーやアルゴリズムを備えていることを保証する責任を負う。一方、場の管理においても安全な環境の整備において一定の責任を負う

(1)リスクスコア	2	=	[内数]発生率	⊗	[内数]影響度
			低 (1)		中 (2)

ルール	リスク・責任スコア (1) × (2)	責任の考え方	(2) 責任スコア	[内数]責任スコア			
				a. 直接の影響度	b. 管理・監督責務	c. 予防措置と対策	d. 影響範囲と回復力
モビリティ運行	90	モビリティ運行は、日々の運行管理において、ロボットの行動をリアルタイムで監視し、ロボットが異常な行動をとった場合に介入するなど、あらゆる問題に対応する直接的な責任を負う	45	15	10	10	10
モビリティ製造	160	モビリティ製造は、ロボットが人間の行動を正確に把握・解釈し、混雑した環境において安全にナビゲートできる高度なセンサーとアルゴリズムを備えていることを保証する主たる責任を負う（人間とロボットの相互作用における潜在的な誤解を予測し、緩和するためのAI等の機能や、多様な実シナリオにおける実証などを行う必要がある）	80	25	25	15	15
場の管理	120	場の管理は、施設などにおいてのロボットと人間が相互に作用する物理的環境の整備に、一定程度の責任を持つ（具体的には、ロボットのセンサーやアルゴリズムが混乱する可能性を最小限に抑えるような空間の設計・整備など）。また、インシデントが発生した場合の状況管理と被害者などの影響を受けた人を支援するための緊急プロトコルを具備する必要がある	60	20	15	10	15

スコア内訳⑥人とロボット間のリスク（2 / 2）

責任の範囲	モビリティ運行	モビリティ製造	場の管理
a.直接の影響度	15	25	20
①リスク発生に直接関与	5	10	5
②即時対応の関与	10	5	10
③潜在的な動作や状況の制御	0	10	5
b.管理・監督の責務	10	25	15
①リスク評価と監視の実施	5	10	5
②安全規制と標準への準拠	0	10	5
③品質管理と改善	5	5	5
c.予防措置と対策の可能性	10	15	10
①リスク識別と評価	5	10	5
②予防措置と対応策	5	5	5
d.影響範囲と回復力	10	15	15
①影響範囲の管理	5	10	10
②回復プロセスと計画	5	5	5
(2)責任スコア計	45	80	60

リスクシナリオ⑦環境不確実性リスク

2. エコシステムでの一貫した安全性

リスクシナリオ ⑦環境不確実性 リスク

- 予期せぬ気象条件がロボットのナビゲーションシステムに影響しサービスの中断につながる



責任の所在（分界点）

- 環境と運用の不確実性、特に大雪のような予期せぬ天候から生じる不確実性に対しては、実環境におけるサービスロボットの配備と運用に直接関与するモビリティ運行にある（情報の能動的な取得と最終的な判断はモビリティ運行にある）
- モビリティ製造においても、悪天候などさまざまな環境条件に適應するロボットの設計・製造において責任を負う

責任への対処

- 運用適応性**：サービスロボットとその運用が、様々な環境条件や予期せぬ運用上の課題に適應できるように対処する
- 安全性とコンプライアンス**：環境やオペレーション上の不確実性にもかかわらず、安全基準と規制コンプライアンスを維持する
- コンティンジェンシープラン**：多様で不測の事態が発生した場合でも、事業継続性を維持するための効果的な緊急時対応計画を策定し、実施する

残存リスク対応と補償

- 迅速な評価と意思決定**：環境事象が運行に及ぼす影響を迅速に評価し、安全を確保するために、ロボット運行の継続、変更、一時停止について、意思決定を行う
- 環境安全ガイドラインの策定と遵守**：ロボットと運用方法の両方が、関連する環境安全ガイドラインと基準に準拠していることを定期的な訓練などで確認し、悪条件下での運用に関連するリスクを最小限に抑える
- 環境および運行上のリスクに対する保険**：環境上の事象や、それに伴う運行の停止から生じる損害や責任を含む包括的な保険への加入

リスク・責任 スコア（参考）	0. 情報提供		1-1. サービス提供		1-2. モビリティ運行	140
	2. モビリティ製造	80	3. 場の管理	60	その他（人など）	

スコア内訳⑦環境不確実性リスク（1 / 2）

モビリティ運行が環境条件に基づいたタスクの割り当てや運行の優先順位の調整などで責任を負う。一方、場の管理においても物理的環境がロボット運行に適していることを保証する直接的な役割を担う

(1)リスクスコア		2	=	[内数]発生率	×	[内数]影響度	
				低 (1)		中 (2)	
ルール	リスク・責任スコア (1)×(2)	責任の考え方	(2)責任スコア	[内数]責任スコア			
				a.直接の影響度	b.管理・監督責務	c.予防措置と対策	d.影響範囲と回復力
モビリティ運行	140	モビリティ運行は、環境条件に基づいてタスクの割り当てや運行の優先順位を調整するなど、ロボットのリアルタイムでの管理と運行に責任を持つ。具体的には、天候の影響を考慮した最適かつ動的な経路探索アルゴリズムや、状況に安全へのリスクがある場合に運行を停止するための緊急プロトコルなどの体系的な整備を行う必要がある	70	25	20	15	10
モビリティ製造	80	モビリティ製造は、ロボットが様々な環境条件に適応できるように設計されていることを保証する主な責任がある。環境の変化を検出して対応できるセンサーなどの機能への組み込みや、様々な天候や、地形および条件下で動作可能なナビゲーションシステムなど機体の設計・開発に関して一定程度の責任を負う	40	15	10	10	5
場の管理	60	場の管理は、物理的環境がロボット運行に適していることを保証する直接的な役割を担っている。これには、大雪のような運行に影響のある情報のビルOS側での運行不可区域の設定とリアルタイムでの提供などが含まれる	30	10	5	10	5

スコア内訳⑦環境不確実性リスク（2 / 2）

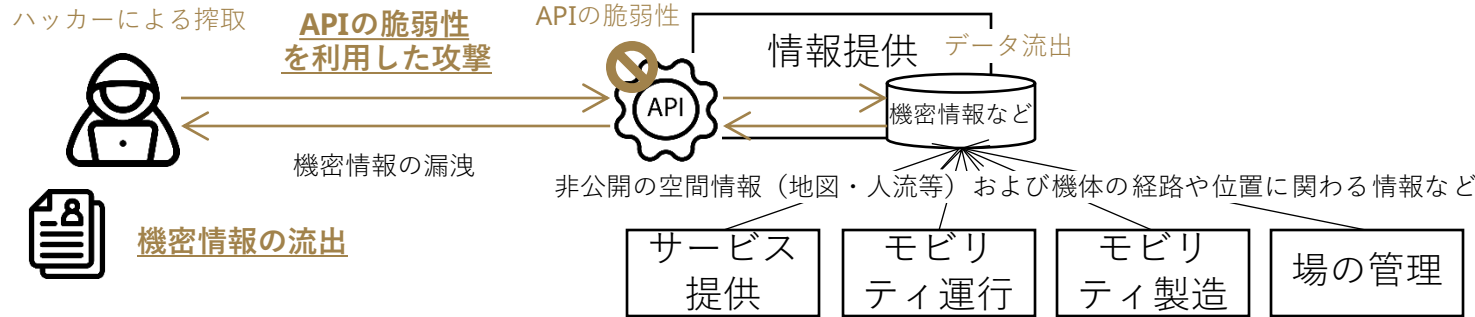
責任の範囲	モビリティ運行	モビリティ製造	場の管理
a.直接の影響度	25	15	10
①リスク発生に直接関与	10	5	0
②即時対応の関与	10	5	5
③潜在的な動作や状況の制御	5	5	5
b.管理・監督の責務	20	10	5
①リスク評価と監視の実施	10	5	5
②安全規制と標準への準拠	5	0	0
③品質管理と改善	5	5	0
c.予防措置と対策の可能性	15	10	10
①リスク識別と評価	10	5	5
②予防措置と対応策	5	5	5
d.影響範囲と回復力	10	5	5
①影響範囲の管理	5	0	5
②回復プロセスと計画	5	5	0
(2)責任スコア計	70	40	30

リスクシナリオ⑧データ漏洩リスク

3. 組織間を跨ぐコンプライアンス

リスクシナリオ
⑧データ漏洩リスク

- 情報提供側のAPIの脆弱性がハッカーに悪用され、運行に関わる非公開の空間情報やその他の業務上の機密情報が漏洩する



- 法的措置
- 金銭的罰則や補償など
- ユーザーの信頼の喪失

責任の所在（分界点）

- サービスロボットが関与する分散協調環境におけるデータ漏洩とプライバシーの懸念に関する主な責任は情報提供にある
- その他、サービス提供やモビリティ運行においては、トランザクション中の非公開の空間情報（地図・人流等）および機体の経路や位置に関わる情報等の機密情報の安全な取り扱いを保証する必要がある

責任への対処

データ・セキュリティの確保：不正アクセスや侵害からデータを保護するための強固なセキュリティ対策の実施と維持

APIセキュリティの確保：データ交換に重要なAPIが安全で、悪用されにくいことを保証する

コンプライアンスとプライバシー対応：データ保護とプライバシーに関連する法律や規制の要件を遵守することで、法的な影響や関連するリスクの発現を未然に防ぐ

残存リスク対応と補償

攻撃の検出と対応：サイバー攻撃の兆候検出と特定および利害関係者間を跨いだ対応の実施（ロール間を跨いだ脅威に対する連携や対応組織の設置が必要）

情報漏洩による経済的被害に対する補償：漏洩の事実とそれによる損害の因果関係、および損害の範囲の評価と損害賠償責任への対応

サイバーリスクに対する保険への加入：データ侵害に関連する費用をカバーするサイバー賠償責任保険への加入と維持

リスク・責任スコア（参考）	0. 情報提供	420	1-1. サービス提供	270	1-2. モビリティ運行	360
	2. モビリティ製造	180	3. 場の管理	210	その他（人など）	

スコア内訳⑧データ漏洩リスク（1 / 2）

データ漏洩の懸念に対処するには、エコシステム内での責任の相互関連性に基づくセキュリティ対策や、同定期的なリスク評価、脅威に対するシステムの回復力を高めるための透明性と協力の文化が必要とされる

(1)リスクスコア	6	=	[内数]発生率	×	[内数]影響度
			中 (2)		大 (3)

ルール	リスク・責任スコア (1)×(2)	責任の考え方	(2)責任スコア	[内数]責任スコア			
				a.直接の影響度	b.管理・監督責務	c.予防措置と対策	d.影響範囲と回復力
情報提供	420	情報提供は、不正アクセスや漏洩を防ぐため、空間情報や経路情報を含む運行関連データの完全性や機密性などの確保に責任を負う	70	25	20	15	10
サービス提供	270	サービス提供は、情報漏洩に直接の責任はないものの、サービスの提供への影響を管理し、サービスの継続性とユーザーとの信頼関係を維持する責任を負う	45	15	10	10	10
モビリティ運行	360	タスク管理に必要となる運行データを情報提供に依存しているため直接的な影響を受ける。運行を維持または停止するための影響範囲の切り分けと継続計画の適用などの責任を負う	60	20	15	15	10
モビリティ製造	180	ロボットが侵害による悪用の媒介となるのを防ぐため、自社のロボットが安全なデータ通信と保存機能を備えていることに責任を負う	30	5	10	10	5
場の管理	210	情報漏洩の直接の影響を最も受けにくいだが、特に業務上の混乱や安全上の懸念など、施設内での影響を管理することに一定の責任を負う	35	5	10	10	10

スコア内訳⑧データ漏洩リスク（2 / 2）

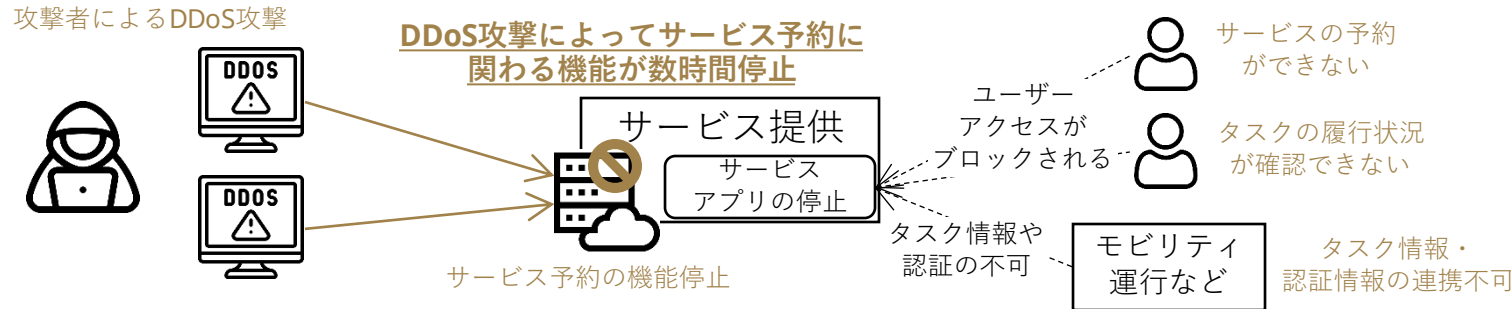
責任の範囲	情報提供	サービス提供	モビリティ運行	モビリティ製造	場の管理
a.直接の影響度	25	15	20	5	5
①リスク発生に直接関与	10	5	10	0	0
②即時対応の関与	10	5	5	5	5
③潜在的な動作や状況の制御	5	5	5	0	0
b.管理・監督の責務	20	10	15	10	10
①リスク評価と監視の実施	10	5	5	5	5
②安全規制と標準への準拠	5	5	5	5	5
③品質管理と改善	5	0	5	0	0
c.予防措置と対策の可能性	15	10	15	10	10
①リスク識別と評価	10	5	5	5	5
②予防措置と対応策	5	5	10	5	5
d.影響範囲と回復力	10	10	10	5	10
①影響範囲の管理	5	5	5	0	5
②回復プロセスと計画	5	5	5	5	5
(2)責任スコア計	70	45	60	30	35

リスクシナリオ⑨サイバーセキュリティリスク

3. 組織間を跨ぐコンプライアンス

リスクシナリオ ⑨サイバーセキュリティリスク

- サービス提供のサーバーを標的とした組織的なDDoS攻撃が発生し、サービス予約に関わる機能が数時間停止する。サービス停止中、ユーザーはサービスをリクエストできず、業務停止とそれに伴う経済的損失が発生する



- サービスの停止（一時または一定期間）
- 運用停止に伴う経済的な損失
- ユーザーへの補償

責任の所在（分界点）

- サービス提供がフロントエンドとなるため、DDoS攻撃によりサービス停止を引き起こすとエコシステム全体がサービス停止につながる可能性が高い。顧客からの受注・決済等のトランザクション・セキュリティや、ユーザーデータの保護など、ユーザーと接するセキュリティ面を管理する上で、すべての責任を負う
- 他のロールにおいては、サイバー攻撃の間接的影響に備える責任が一定程度ある

責任への対処

- サイバーセキュリティ・フレームワークの開発と維持：**脅威の検知、予防、対応のプロトコルを包含する包括的なサイバーセキュリティ・フレームワークを開発し、維持する
- データ保護：**システム内のデータの完全性、機密性、可用性を確保し、暗号化、アクセス制御、安全な通信プロトコルの実装
- インシデント対応とリカバリー計画：**サイバー攻撃の影響を緩和し、システムの復旧を促進するための効果的なインシデント対応ならびに復旧計画の策定

残存リスク対応と補償

- インシデントの検出と対応：**DDoS攻撃を示す異常なトラフィックパターンやサーバー負荷の検出と攻撃を軽減するための対応プロトコル等による対応
- サイバーセキュリティフレームワークの遵守：**NISTやISOが提供するような確立されたサイバーセキュリティのフレームワークなどの標準の遵守
- ユーザーへの補償：**サイバー攻撃によるサービス停止の影響を受けたユーザーに対するサービス延長、割引、または重大な損失に対する直接的な金銭的補償などの実施

リスク・責任 スコア（参考）	0. 情報提供		1-1. サービス提供	600	1-2. モビリティ運行	180
	2. モビリティ製造	180	3. 場の管理		その他（人など）	

スコア内訳⑨サイバーセキュリティリスク (1 / 2)

サイバー攻撃の脅威への対応は、エコシステム内で、サイバーセキュリティ対策に一定の基準を設けることと、攻撃を受けた場合の対応と回復プロトコル等について共通のガイドラインを整備するなどが求められる

(1)リスクスコア	6	=	[内数]発生率	×	[内数]影響度
			高 (3)		中 (2)

ロール	リスク・責任スコア (1)×(2)	責任の考え方	(2)責任スコア	[内数]責任スコア			
				a.直接の影響度	b.管理・監督責務	c.予防措置と対策	d.影響範囲と回復力
サービス提供	600	サービス提供は、本シナリオでは、DDoS攻撃などのサイバー攻撃の脅威からデジタル・インフラを保護する第一の責任を負う。具体的には、高度なDDoS防御システム、ファイアウォール、侵入検知システムなど、強固なサイバーセキュリティ対策を整備する責任がある	100	30	30	20	20
モビリティ運行	180	モビリティ運行は、サイバー攻撃の間接的影響に備える責任がある。情報提供やサービス提供などの主要なプラットフォームが侵害された場合でもサービスを継続できるような運用上の危機管理計画整備などが含まれる	30	5	5	10	10
モビリティ製造	180	モビリティ製造は、ロボットがDDoS攻撃などのサイバー攻撃に乗っ取られたり、使用されたりする脆弱性がないようにする責任がある	30	5	10	10	5

スコア内訳⑨サイバーセキュリティリスク（2 / 2）

責任の範囲	サービス提供	モビリティ運行	モビリティ製造
a.直接の影響度	30	5	5
①リスク発生に直接関与	10	5	0
②即時対応の関与	10	0	0
③潜在的な動作や状況の制御	10	0	5
b.管理・監督の責務	30	5	10
①リスク評価と監視の実施	10	5	5
②安全規制と標準への準拠	10	0	5
③品質管理と改善	10	0	0
c.予防措置と対策の可能性	20	10	10
①リスク識別と評価	10	5	5
②予防措置と対応策	10	5	5
d.影響範囲と回復力	20	10	5
①影響範囲の管理	10	5	0
②回復プロセスと計画	10	5	5
(2)責任スコア計	100	30	30

リスクシナリオ⑩コンプライアンスリスク

3. 組織間を跨ぐコンプライアンス

リスクシナリオ ⑩コンプライアンス リスク

- 新たに発行された規制によりロボットの安全プロトコルの強化が求められるが、エコシステム全体を包括したシステム構成図が存在せず、コストと時間のかかるシステムのソフトウェア的なオーバーホールを余儀なくされ、サービスの提供が一定期間において制限される

新しい安全規制の発行

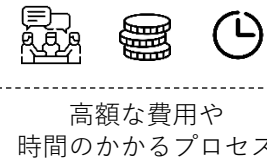
新しい安全規制への対応が要求される



システムおよびシステム間が構造化されておらず適合性の確認に時間がかかる

複数の組織間をまたぐシステムマップの不在

現在のシステム構成図がない

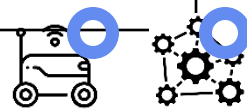


高額な費用や時間のかかるプロセス

組織間を跨いだシステム・オーバーホールの発生

分散協調環境ゆえの規制適合の難しさ

複数組織間をまたいだ規制対応



規制への暫定措置（一部サービス停止など）



金銭的負担増



一定期間のサービスレベル低下

責任の所在（分界点）

- 情報共有は、情報管理・共有に関連するデータ保護、プライバシー規制、標準の遵守を保証する責任を負う。また、データ関連のコンプライアンスに重点を置くが、サービス提供と連携し、ユーザーとのやり取りやトランザクションにおけるE2Eでのコンプライアンスを確保などが求められる
- モビリティ製造は、ロボットの設計、製造、安全規制、ロボット製品に適用される特定の法的要件に準拠していることを保証する必要がある

責任への対処

- 規制遵守**：公共スペースに適用される最新の安全規制等に、すべてのオペレーションとロボットの機能が準拠していることを保証する
- 適応性と柔軟性のあるシステム設計**：大規模なオーバーホールを行うことなく、新しい規制等への迅速な適合を可能にするような適応性と柔軟性の高いシステムの設計と維持
- 利害関係者の調整**：モビリティ運行と協力し、ロボット操作のあらゆる側面における包括的なコンプライアンスの確保を行う

残存リスク対応と補償

- 規制対応への暫定措置**：コンプライアンス違反がもたらす当面のリスクを軽減するために、特定のエリアにおけるロボット操作の一時的な制限や、公共の安全を確保するための手動監視などの暫定措置の実施
- 継続的な安全評価**：規制の導入に関わらず、継続的な安全評価と改善のための体制を構築・維持し、常に高い安全基準を遵守する
- 法的・財務的責任理解**：規制違反に関連する法的および財務的責任を理解し、潜在的な罰金や賠償請求をカバーする保険契約等を検討する

リスク・責任 スコア（参考）	0. 情報提供	180	1-1. サービス提供	300	1-2. モビリティ運行	320
	2. モビリティ製造	260	3. 場の管理	200	その他（人など）	

スコア内訳⑩コンプライアンスリスク（1 / 2）

サービスロボットに対する新しい安全規制がエコシステム全体に与える影響の特定と、特定後に各ロールが、機体、業務、システムを新基準に適合させる横断的な計画立案などの対応が必要となる

(1)リスクスコア		4	=	[内数]発生率	×	[内数]影響度	
				中 (2)		中 (2)	
ロール	リスク・責任スコア (1)×(2)	責任の考え方	(2) 責任スコア	[内数]責任スコア			
				a.直接の影響度	b.管理・監督責務	c.予防措置と対策	d.影響範囲と回復力
情報提供	180	情報提供は、安全プロトコルやコンプライアンス情報を含むロボット運行に関連するすべてのデータ交換が安全かつ効率的に処理されるよう対応することに一定の責任を負う	45	10	15	10	10
サービス提供	300	サービス提供は、自社のサービスの中で利用されるロボットが新しい規制に準拠していることを確認する責任がある	75	20	25	15	15
モビリティ運行	320	モビリティ運行は、新しい規制などの安全基準を満たすためにシステムと業務をオーバーホールすることに主な責任がある。影響度評価や、運行プロトコルおよびシステムの再設計などが含まれる	80	25	25	15	15
モビリティ製造	260	モビリティ製造は、ロボットが新しい安全基準を満たすことを保証する責任を負う。既存モデルの再設計や、規制に適合する新技術の開発などに一定の責任を負う	65	20	20	15	10
場の管理	200	場の管理は、敷地が新規制に準拠したロボットの安全な運行に適していることを確認し、設備やビルOS等の関連システムの改修を行う必要がある	50	15	15	10	10

スコア内訳⑩コンプライアンスリスク（2 / 2）

責任の範囲	情報提供	サービス提供	モビリティ運行	モビリティ製造	場の管理
a.直接の影響度	10	20	25	20	15
①リスク発生に直接関与	0	5	10	5	5
②即時対応の関与	5	10	10	10	5
③潜在的な動作や状況の制御	5	5	5	5	5
b.管理・監督の責務	15	25	25	20	15
①リスク評価と監視の実施	5	10	10	5	5
②安全規制と標準への準拠	5	10	10	10	5
③品質管理と改善	5	5	5	5	5
c.予防措置と対策の可能性	10	15	15	15	10
①リスク識別と評価	5	5	10	5	5
②予防措置と対応策	5	10	5	10	5
d.影響範囲と回復力	10	15	15	10	10
①影響範囲の管理	5	10	10	5	5
②回復プロセスと計画	5	5	5	5	5
(2)責任スコア計	45	75	80	65	50

5. 経済性・責任の分析

5.1 サービスの経済性分析

5.2 ロボット運行における責任分界

- サマリ
- サービスロボットに適用される安全基準
- サービスロボットの運行と人との責任分界
- リスクアプローチによる責任分界の検討
- リスク分類に応じた保険の状況整理等

サービスロボットに適用される保険

ロボットが原因で発生する可能性のある損害や事故に関して一定の網羅性をもって保険商品が提供されている

サービスロボットの運用リスクに沿った保険の整備状況（商業施設分野）

リスク	保険
物損害リスク 火災、自然災害や不測、突発的な事故による財物への損害等	動産総合保険
賠償リスク 生産物賠償、施設賠償、業務遂行上の瑕疵による賠償等	施設/請負賠償責任保険 PL保険 受託者賠償責任保険 リコール費用保険
休業リスク 事故により休業した際の喪失利益や、営業継続のため費用等	利益保険 営業継続費用保険
障害・労災リスク 業務中の労働災害による、死亡、後遺障害、入院、手術、通院等	傷害総合保険 労災総合保険

損害を受ける者 保険を手配すべき者	人のケガやモノの損壊				その他 ユースケースに合わせたオプション補償
	ロボット	施設事業者	従業員	第三者	
想定リスク	<ul style="list-style-type: none"> 製造・販売したロボットの回収費用（設計不備により人身事故を発生させるおそれがあるケース等） 	<ul style="list-style-type: none"> ロボットに起因（接触、衝突等）する施設の財物破損 ロボットに起因する休業等の利益逸失 	<ul style="list-style-type: none"> ロボットに起因（接触、衝突、押しつぶし、巻き込み等）する従業員の人身事故 	<ul style="list-style-type: none"> ロボットに起因（接触、衝突、押しつぶし、巻き込み等）する第三者の人身事故 	<ul style="list-style-type: none"> 他人の身体障害・財物損壊を伴わない純粹経済損害（サイバー/他人の財物の使用不能損害等）
モビリティ製造	リコール費用保険	生産物賠償責任保険（PL保険） （納入・引渡し後のロボットに起因する人身事故・物損事故への損害賠償）			サイバー保険
施設事業者、モビリティ運行		動産総合保険（ロボットの修理費用） 利益保険 営業継続費用保険	傷害総合保険 労災総合保険	施設賠償責任保険	業務過誤賠償責任保険
モビリティ運行等		施設/請負賠償責任保険（設置等の業務中の対人・対物事故に対する損害賠償） 生産物賠償責任保険（通称・PL保険） 受託者賠償責任保険（受託物の損壊・紛失等に対する損害賠償）			

大手保険会社等でロボット保険が存在する（左記の領域はカバーされており、ユースケース固有のリスクはオプションとして個別設計にて提供される）

出所：ロボット革命・産業IoTイニシアティブ協議会（ロボット利活用推進WG）ロボット利活用推進WG「損害保険の整理【適用分野・アクター別】」の公開（2019年5月14日）を基に作成

補償・保険に係る課題

分散協調環境では、責任の所在の切り分けが難しく、「安全基準と認定制度の確立」やユースケース別の「責任分界に関するガイドライン等の整備」等が望まれる

補償・保険に関わる課題

責任の所在の曖昧さ

- サービスロボットや分散協調環境に関連するシステムが引き起こす損害に対して、情報提供、モビリティ製造、モビリティ運行、あるいは場の管理のいずれが責任を負うべきかの明確な基準が存在しない

製品欠陥の定義の困難さ

- 製造物責任法（PL法）の下で製造者の責任を明確にするためには、製品（ロボット）の欠陥を証明する必要があるが、自律的に動作するロボットの複雑なアルゴリズムやソフトウェアを評価することが困難

保険の適用範囲

- 現在の保険商品が（分散協調環境における）自律的なロボットによって引き起こされる様々なリスクを十分にカバーしているかどうか課題となる

新しいリスクの出現

- サービスロボットの使用が拡大するにつれて、これまでにない新しい種類のリスクが出現する可能性があり、これらのリスクに対応するための安全基準等のガイドラインや、保険商品の開発が必要になる

データプライバシーとセキュリティ

- サービスロボットは大量のデータを収集・処理する可能性があり、データ漏洩やサイバーセキュリティの問題が広範囲で生じるリスクがあり、対する補償が保険商品でカバー範囲を超える可能性がある

対応案

安全基準と認定制度の確立

- ロボットの安全性を保証するためのISO/JIS等をベースとした安全基準の開発と、それに基づく認定制度を導入することが有効な対策として想定

サービスロボットの責任分界に関する基準やガイドラインの策定

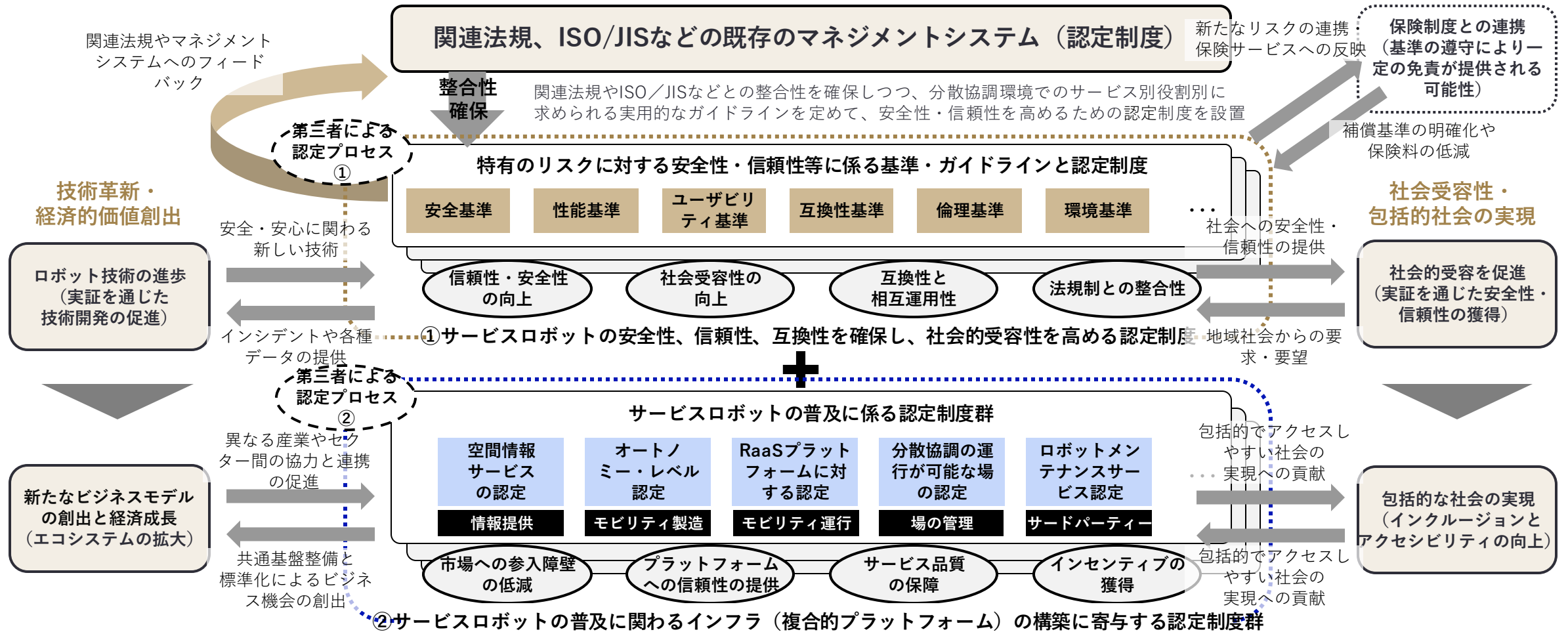
- 安全性を保証し、責任の所在を明確にするためのサービスロボットの責任分界に関するガイドラインの整備（製品欠陥の定義、責任範囲、保険適用範囲等）

連続的なリスク評価と補償の範囲との調整

- リスク評価を継続的に行うための制度・仕組みづくり
- サービスロボットによって新たに引き起こされる可能性のある損害と保険の補償範囲と限界を継続的な調整

(補足) 安全性を保証するための認定制度案

リスクに対する安全性等の認定制度 (①) を設けることで、ロボットの社会実装が促進される。普及を支えるプラットフォームの整備に寄与する認定制度群 (②) の整備も同様に重要と考えられる



6. 終わりに

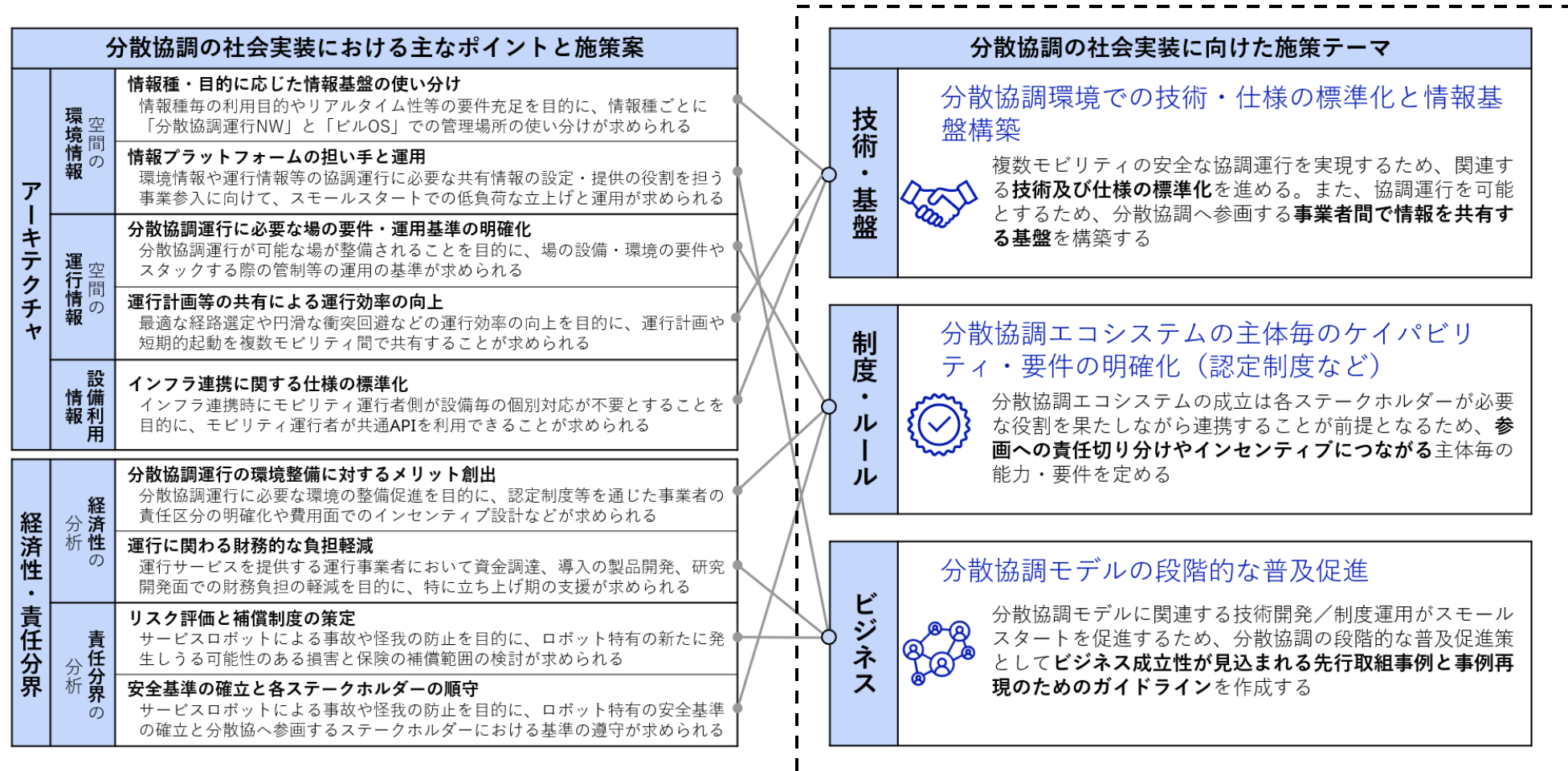
6.1 今後の社会実装に向けた検討・対応事項

本年度実証の課題と施策テーマ

本年度の実証を通じて得られた課題および対応策をもとに、次年度以降の取組の中で技術・基盤、制度・ルール、ビジネスといった観点で実証の成熟度を高めていくことが必要である

(第2章 本調査の結論より再掲・編集)

今後の実証における主なテーマ



分散協調の基盤構築に向けた実証ロードマップ案

短期(1年)

中期(3年)

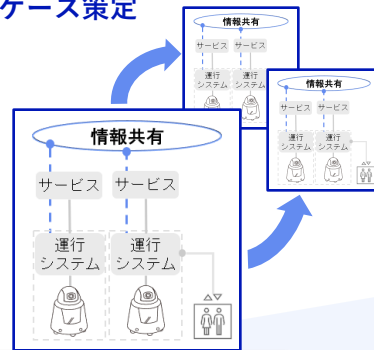
長期(5年)

	Quick-win 特定サービス実証	中期施策 場をまたぐサービス	長期施策 複数サービス乗り入れ
目指す状態 (KGI)	特定の場において分散協調運行の 横展開可能なモデルケース構築	複数の場(場をまたぐ) を対象に、 分散協調運行の サービスエリア拡大	複数事業者のタスク を連携・分配し、 分散協調運行の 対象サービス拡大
主なマイルストーン	分散協調エコシステム参画の指針 (制度・ルール案)		分散協調運行ガイドラインの公開 (技術・基盤の規格・運用案)

実証
ロード
マップ

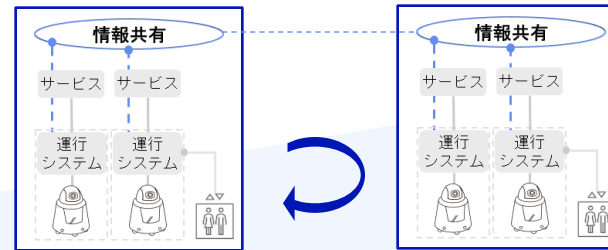
イメージ

横展開可能な
モデルケース策定



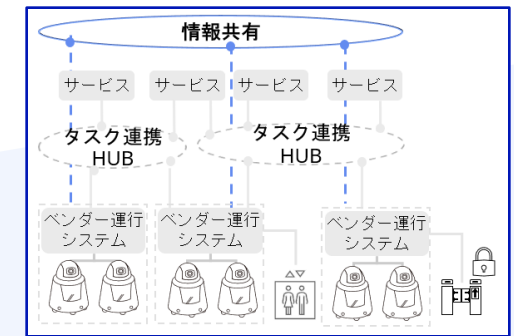
場(管理エリア)

情報共有が連携・拡大
場を跨いだサービスが可能に



場(管理エリア) 公道 場(管理エリア)

利用する事業者・サービスが拡大
複数のサービス・ロボ間の需給マッチング



場 公道 場

技術・基盤

特定の場を前提とした情報の共有、サービス受注に基づく協調運行の実装

協調運行に求める安全基準やシステム間連携等の技術のスタンダード策定

サービスとモビリティ間の柔軟なサービス受注を前提としたタスク連携基盤やインフラ設備の実装

KSF 制度・ルール

分散協調エコシステムの参画に求める主体毎の
ケイパビリティや要件の明確化

複数の場や公道における性能基準や場の認定基準の妥当性評価

複数事業者の乗り入れに伴う、事業者や情報提供に求める規格・認定の策定

ビジネス

顧客サービス提供を通じたビジネスモデル・経済性の評価



エリア拡大に伴う事業のスケラビリティの検証と新規参画に向けた手引き

対象サービスの拡大に伴う、新たなビジネスモデルや経済性の検証

本年度実証を踏まえた次年度取り組み案

KGI Quick-Win(特定サービス実証) 特定の場において分散協調運行によるサービス提供の**横展開可能なモデルケース構築**

KSF 技術・基盤 : 特定の場を前提としたサービス受注に基づく情報共有・協調運行の実装
 制度・ルール : **分散協調エコシステムの参画に求める主体毎のケイパビリティ・要件案を策定**
 ビジネス : 顧客サービス提供を通じたビジネスモデル・経済性の評価

KPI	構成要素の充足率 		運行シナリオの充足率 			
		本年度の実証内容	次年度の実証内容		本年度の実証内容	次年度の実証内容
サービス		N/A (連携せず)	サービス連携を含めた 横展開可能なアーキテクチャ	場の広がり	同一管理エリアの特定建物及び屋外（私道）を跨いだ建物跨ぎ	変更なし (一部公道での テスト運行含む)
モビリティ		安全性を考慮した、分散協調運行における共有情報と調停方法の検証	実サービス提供を前提とした、 安全性・効率性の向上	サービスの広がり	N/A (テストシナリオ)	分散協調の需要が想定される 特定の実サービス
場		複数ベンダーロボットによる複数メーカー設備との連携	実サービス提供を前提とした、 設備利用の効率向上	環境・状況の広がり	通常時 (比較的混雑度が低い安全な時間帯)	通常時 人・ロボットの 混雑度が高い環境を含む

次年度検証論点（案）

本年度実証の課題および次年度の横展開可能なモデルケース構築を見据えて、実サービスとの連携を通じて、モビリティや場の情報共有による安全性・運行効率の向上が主な実証論点となると想定される

KPI		次年度の実証内容	次年度の実証論点（案）
構成要素	サービス	サービス連携を含めた 横展開可能なアーキテクチャ	サービスとモビリティが疎結合なアーキテクチャ サービスに対して複数のモビリティ製造のロボットの組み合わせがとりうる疎結合なアーキテクチャ
	モビリティ	実サービス提供を前提とした情報共有による 安全性・効率性の向上	位置情報などを活用した効率的な衝突回避運行（短期軌道計画） 各ロボットの位置情報を共有することでより運行効率の高い経路策定や衝突回避等の安全性の向上を実現 運行計画などの共有による混雑回避・運行効率の高い経路策定 各ロボットの運行計画を共有することで混雑を避けた安全性を高めるとともに運行効率の高い経路策定を実現 環境に応じた走行ルール設定・共有による安全性向上 場の環境やサービスの特性に応じた走行ルールを設定・共有することで、さらなる場のロボット運行の安全性向上を実現
	場	特定の場を前提とした分散協調 運行の管理・運用	緊急時の遠隔操作や施設内監視等に求められる運行管理 必要に応じて運行者が監視・支援を受けるためのロボット遠隔操作・監視装置と施設内インフラセンサ等との標準的な連携 混雑環境における経路調整等の局所的な集中管理の要否 人やロボットによって混雑している環境における複数ロボットの調停方法及び集中管理の要否 空間情報基盤とビルOSにおける情報共有の運用 一つの場に閉じて協調運行に携わる各事業者へ情報の設定及び提供を可能とする基盤のモデルを構築し運用
	場	複数ベンダーロボットによる複数メーカー 設備との連携	稼働／混雑情報共有による効率的な設備割当 設備の稼働情報や混雑状況の共有による、人とロボットを含む効率的なルート計画に利用する設備の割当管理 エレベータの柔軟な号機指定 ロボットが利用可能なエレベータの号機情報共有による、ロボット側が籠・号機の直接指定を不要とした稼働状況に応じた柔軟な号機指定

本報告書内で使用している語句（1 / 3）

語句（五十音順）	定義・説明
HICity	HANEDA INNOVATION CITY（羽田イノベーションシティ）の略称。今回報告する実証実験を実施した施設
ichimill	本実証実験で使用した屋外測位ソリューションの名称。GNSS（衛星測位システム）信号及びその補正信号を活用したソフトバンク株式会社の提供する高精度位置測位ソリューション
UWBを活用した屋内測位ソリューション	本実証実験で使用したソフトバンク株式会社で開発を進めている超広帯域無線（Ultra Wide Band）周波数帯を利用した屋内高精度測位ソリューション
安全マネジメントシステム	分散協調におけるアーキテクチャ構成要素の1つ。事故／ヒヤリハット情報を蓄積・分析する等、運用データに基づき安全性向上を図るシステム
インフラセンサ	本実証実験で使用した機器の1つ。人の位置を検知する、場に設置されたセンサ
運行タスク	タスク管理における業務量の定義の1つ。1台のロボットが複数サービスの分納タスクを一度の運行で実行する際の業務量を指す
エレベータ連携システム	本実証実験で構築したシステムの1つ。本実証実験で使用したエレベータとロボット管理ミドルウェア（または分散協調アーキテクチャにおけるベンダー運行システム）を連携するためのI/Fを提供するシステム
可視化システム	本実証実験で構築したシステムの1つ。ロボットの運行位置情報の可視化を目的に、地図上でロボットの現在位置を表示するシステム
空間ID	経済産業省とデジタル庁が共通規格として提唱し、現在整備に向けた取り組みが進められている空間を一意に識別するための識別子。本実証実験では空間IDを用いて特定の場所や地物情報などを一意に指定する識別子として用いた
共通データ基盤（空間情報管理）	本実証実験で構築したシステムの1つ。本実証実験で使用した建物情報、地図情報、一時的進入禁止領域情報、建物POI等空間の情報を管理するシステム
分散協調運行NW	分散協調におけるアーキテクチャ構成要素の1つ。分散協調によるロボットの運行を実現するために必要な情報の収集・加工・提供などを担うシステム
サービス	タスク管理における業務量の定義の1つ。サービス提供者が最終顧客から受注した総業務量を指す

本報告書内で使用している語句（2 / 3）

語句（五十音順）	定義・説明
サービス提供	分散協調の将来仮説において定義される役割の1つ。最終顧客にサービスを提供する役割を指す
情報提供	分散協調の将来仮説において定義される役割の1つ。分散協調運行NWを所有し、情報を収集・加工・提供する役割を指す
将来（サービス）ユースケース	実機を用いない検証において設定したユースケース。実証ユースケースとして設定した4つのユースケースがサービス実装された際の将来シナリオとして設定した
実証ユースケース	実機を用いた検証において設定したユースケース。今回報告する実証実験では、A「警備・清掃」、B「飲食運搬」、C「手荷物搬送」、D「施設内物流」の4つを設定した
測位システム	本実証実験で構築したシステムの1つ。ロボットの運行位置情報の取得を目的に、複数の測位技術を統合し、ロボット管理ミドルウェアと直接連携できないロボットの現在位置を測位／共有するシステム
タスク	タスク管理における業務量の定義の1つ。1つのサービス内でロボットの乗り換えを要する場合に、乗り換えるモビリティ運行サービスごとにサービスを分解した業務量を指す
タスク結節点	タスク管理において、1つのサービス内で異なるロボットへと乗り換える（連携する）ために、ロボット同士が連携する地点
タスク連携HUB	分散協調におけるアーキテクチャ構成要素の1つ。複数のサービスシステムとベンダー運行システム間のタスクの中継を担うシステム
動的情報統合システム	本実証実験で構築したシステムの1つ。複数のインフラセンサから取得した動的情報を統合処理するシステム
場の管理	分散協調の将来仮説において定義される役割の1つ。モビリティが走行するインフラ（場所、設備等）を提供する役割を指す
ビルOS	分散協調におけるアーキテクチャ構成要素の1つ。ビル設備や建物情報などに関する「ビルデータ」を提供するためのI/Fを提供するシステム
ビルアプリ	分散協調におけるアーキテクチャ構成要素の1つ。ビルOSのI/Fを利用したアプリケーション

本報告書内で使用している語句（3 / 3）

語句（五十音順）	定義・説明
ビルシステム	ビル設備、ビルOS、ビルアプリを包含したものの総称
フィルタリング	タスク連携HUBに配置される機能の1つ。タスクの実行が可能な機体の候補をロボット機体の仕様に基づいて選定する機能を指す
分納タスク	タスク管理における業務量の定義の1つ。1つのタスクをモビリティ単位に分解したときの業務量
ベンダー運行システム	分散協調におけるアーキテクチャ構成要素の1つ。タスク指示に基づき、ロボット機体を運行・制御する役割を担うシステム
マルチベンダー統合管理システム	集中管理のアーキテクチャにおいて、複数のベンダー運行システムをまとめて管理し、タスクの割当や運行計画／制御を行うシステム
モビリティ	自動走行車両、ドローン、ロボットなどの交通領域において、人やもの、ことを空間的に移動させる能力、あるいは機構
モビリティ運行	分散協調の将来仮説において定義される役割の1つ。モビリティを活用した運行サービスを提供する役割を指す
モビリティ製造	分散協調の将来仮説において定義される役割の1つ。自律分散協調運行の機能（ベンダー運行システム＋ロボット機体）を提供する役割を指す
ロボット	3つの技術要素（センサ系／駆動系／知能系）を満たす機械システム。本検討では、サービス業で使用するサービスロボットを対象とする
ロボット管理ミドルウェア	本実証実験で構築したシステムの1つ。ロボットの運行管理や交通管制、また、データの連携・蓄積・分析を担うシステムの総称

本実証に参加したコンソーシアム・協力企業一覧

本実証に参加したコンソーシアム企業名（五十音順）

EYストラテジー・アンド・コンサルティング株式会社

鹿島建設株式会社

株式会社デンソー

川崎重工業株式会社

本実証における協力企業名（五十音順）

SolidSurface株式会社（鹿島建設株式会社委託先）

ソフトバンク株式会社（株式会社デンソー委託先）

デジタル庁
Digital Agency