

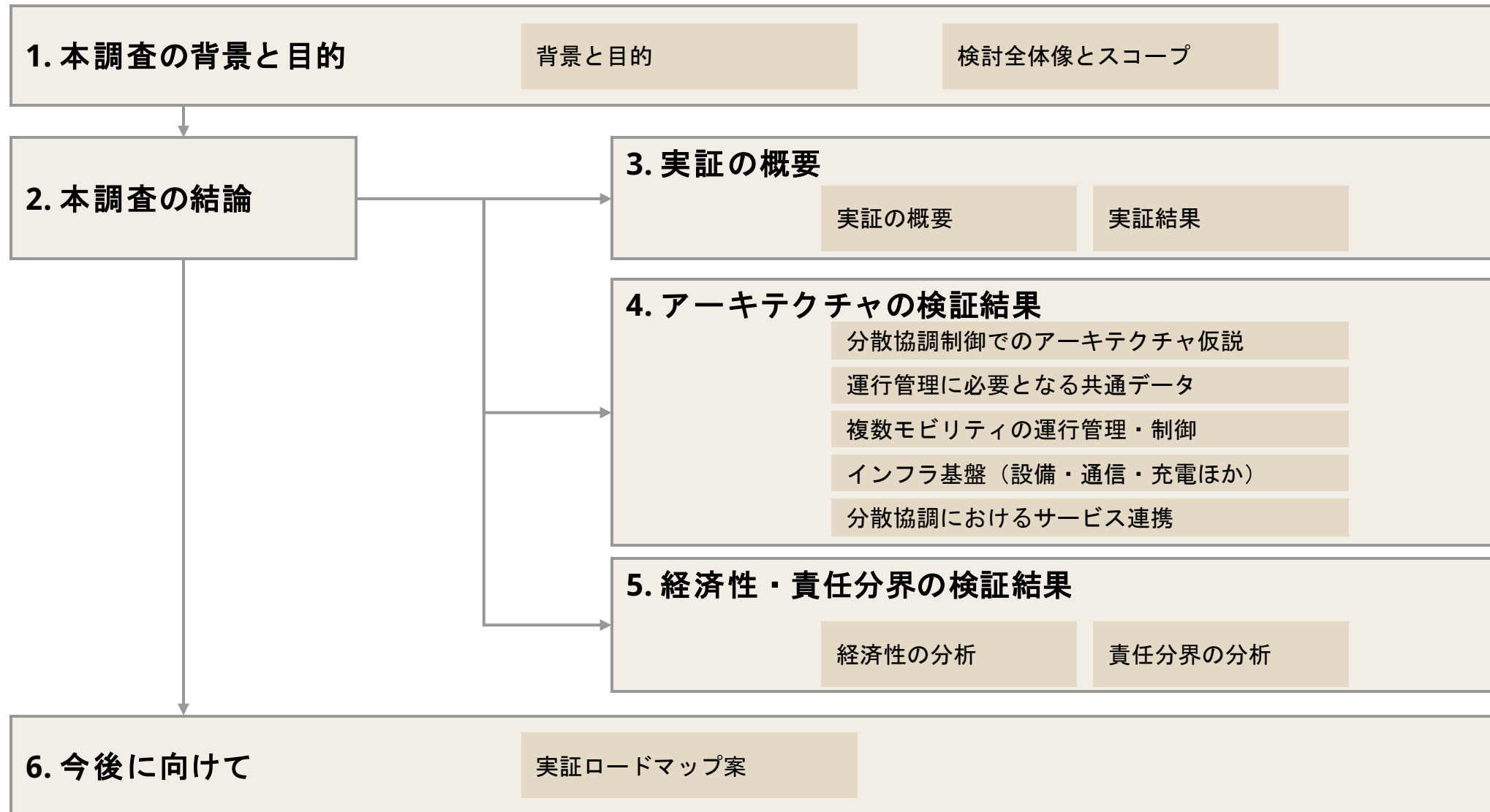
最終報告書（概要版）

複数のモビリティの協調運行に関する 実証調査研究

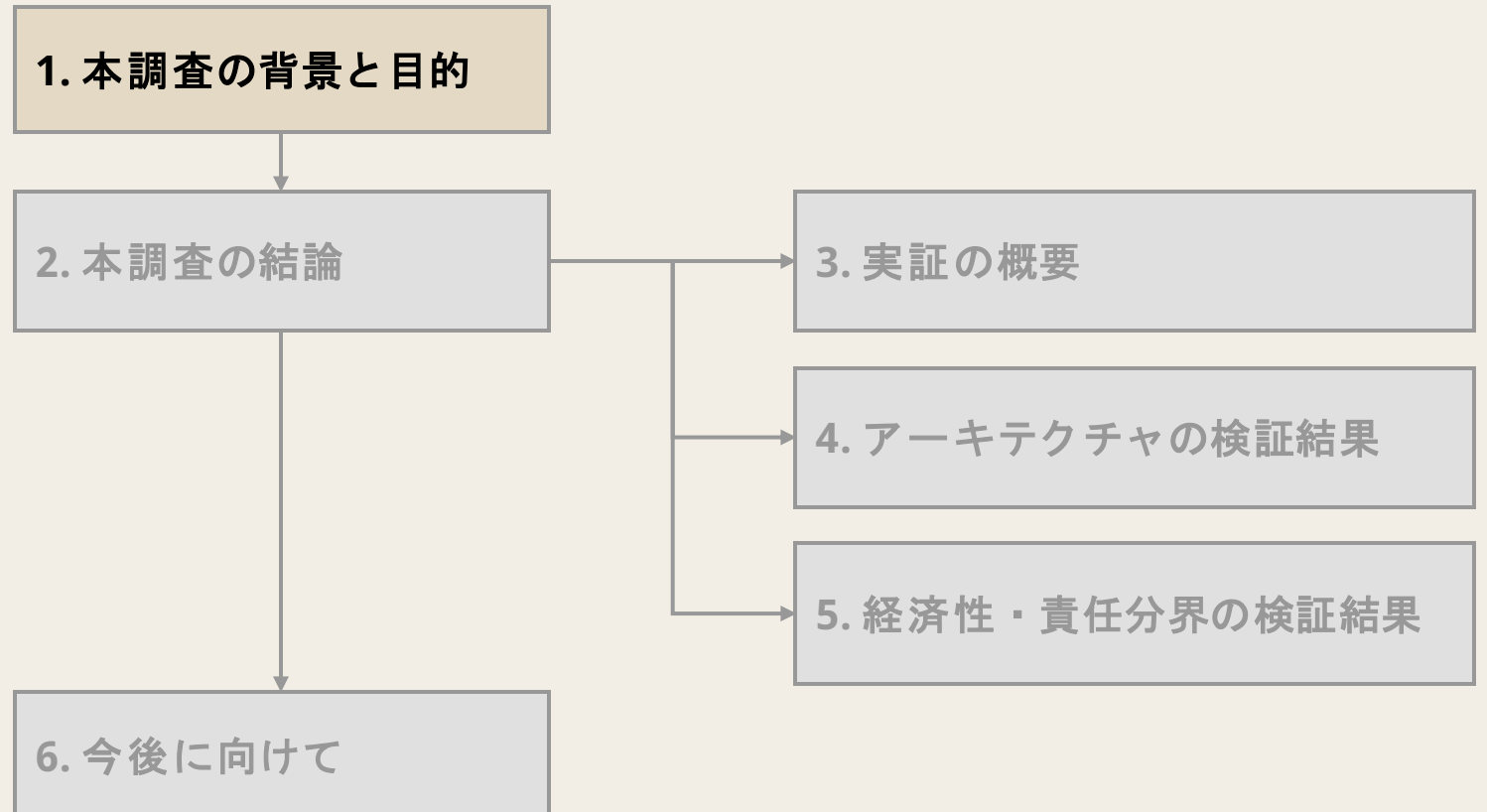
2024年3月

章	節	項
1. 本調査の背景と目的	1.1 背景と目的	5
	1.2 検討全体像とスコープ	7
2. 本調査の結論	2.1 本調査の結論	10
3. 実証の概要	3.1 実証の概要	22
	3.2 実証結果	28
4. アーキテクチャの検証結果	4.1 分散協調制御でのアーキテクチャ仮説	30
	4.2 運行管理に必要となる共通データ	31
	4.3 複数モビリティの運行管理・制御	33
	4.4 インフラ基盤（設備・通信・充電ほか）	35
	4.5 分散協調におけるサービス連携	37
5. 経済性・責任分界の検証結果	5.1 経済性の分析	42
	5.2 責任分界の分析	44
6. 今後に向けて	6.1 実証ロードマップ案	47

最終報告書（概要版）の全体像



1. 本調査の背景と目的



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

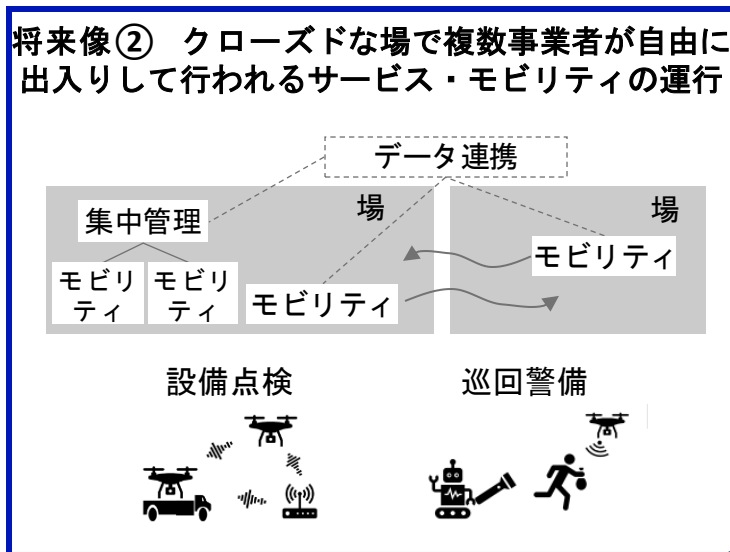
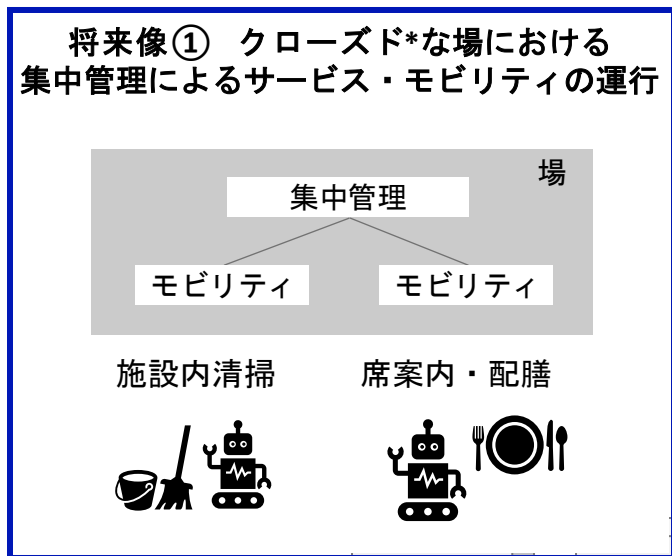
モビリティ運行による責任の集中や経済性といった課題に対して、複数モビリティが同じ空間において互いに連携しながら安全に運行され、かつサービスを組み合わせることで需要を集約することができる「分散協調」の仕組みが有効と考えられる

「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

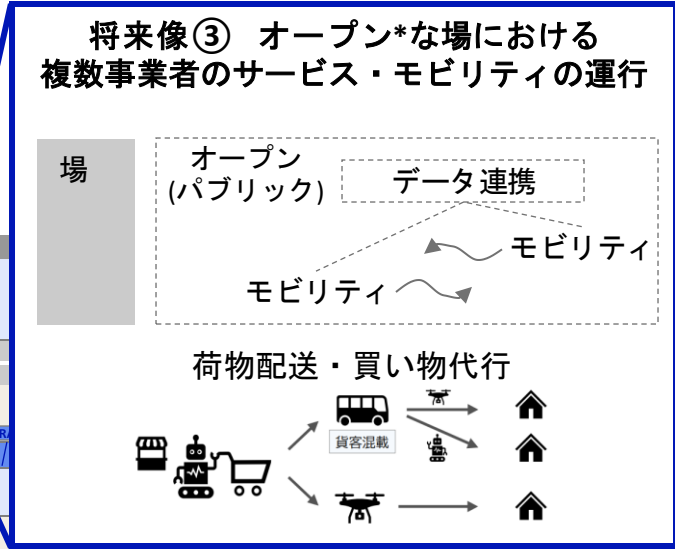
本調査では、共有された情報に基づく複数ベンダーロボットの自律的な運行に必要な分散協調におけるアーキテクチャ、また分散協調実現までのロードマップ案を検討する。主要な論点として共有すべき空間や設備の情報とその管理方法の実証を行う。併せて分散協調における経済性や責任分界の検討を行う

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



※クローズド・オープンとは物理的な空間閉鎖の有無よりも、場がプライベート・パブリックな管理がなされているかの意味合い



「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_autonomoumobilerobot_doc_detail_202208_1.pdf (2024年1月10日アクセス)

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証の枠組みの前提とする

分散協調の検証観点

サービス

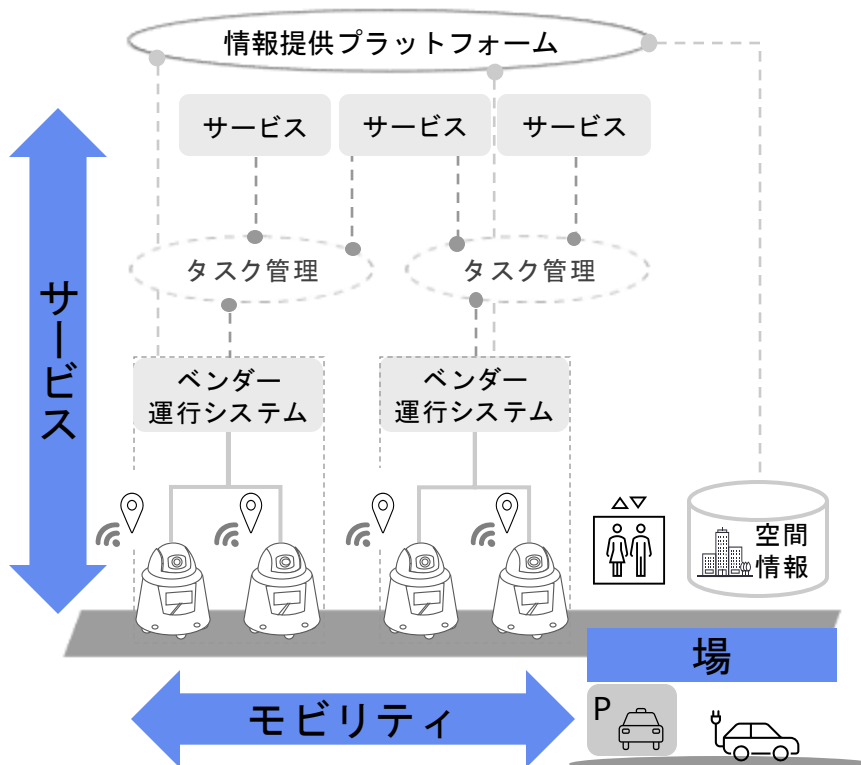
複数サービス提供者の依頼に基づき、マルチベンダーロボットを利用したサービス提供が依頼から運行まで完結できる

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

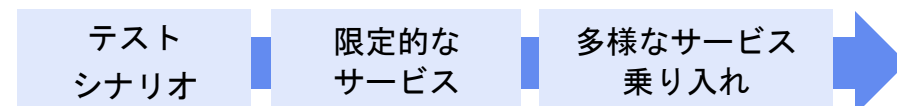


運行シナリオの広がり

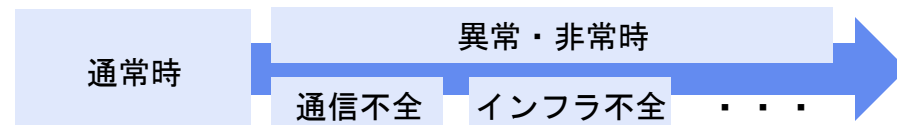
場の広がり



サービスの広がり



環境・状況の広がり



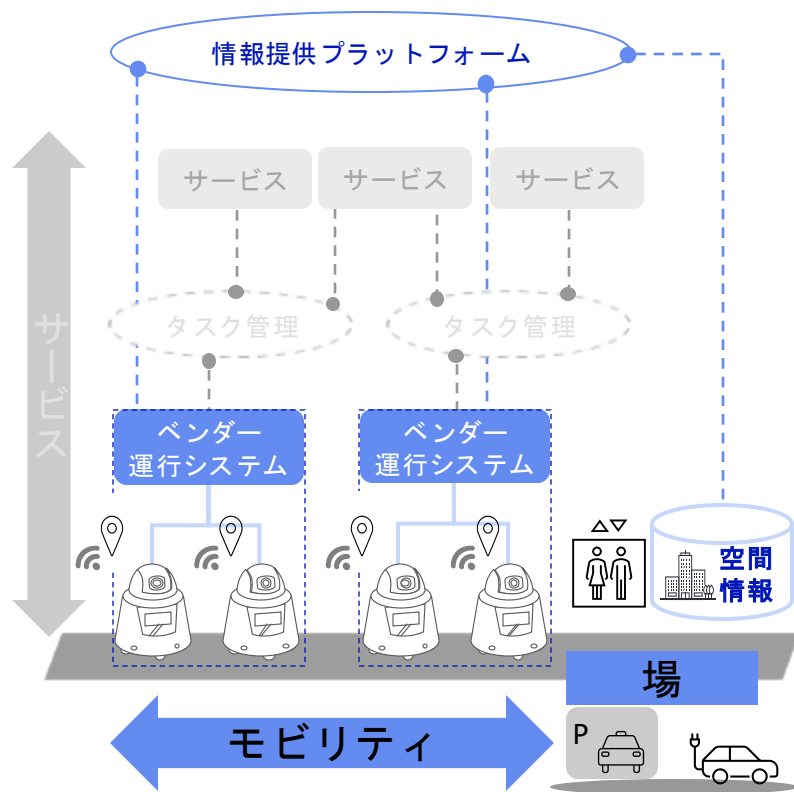
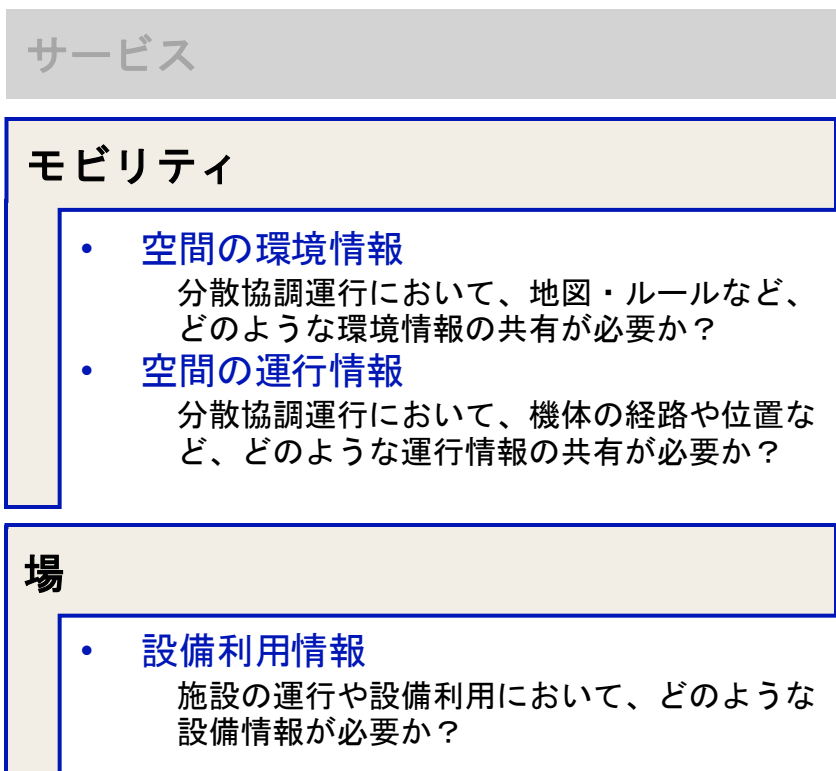
本調査における実証スコープ

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

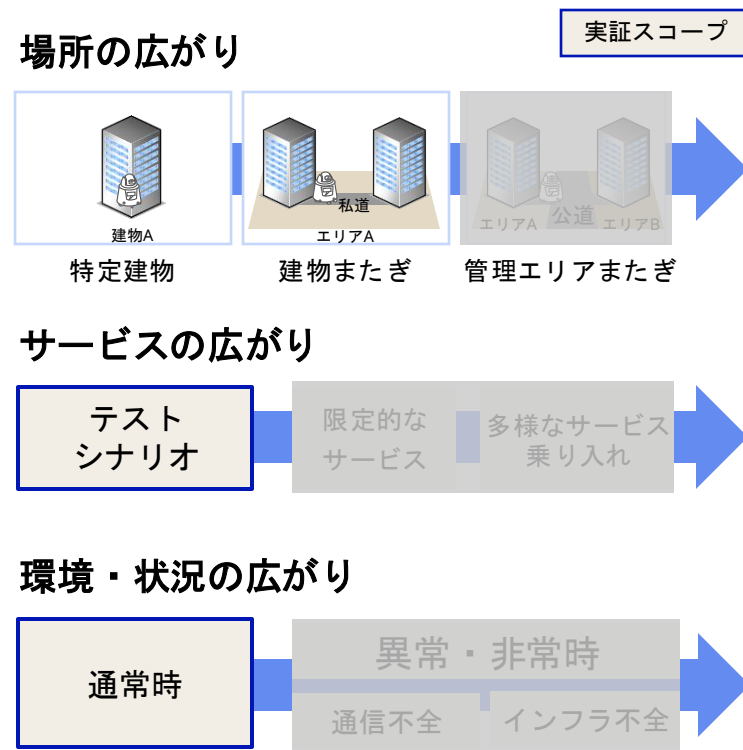
スコープ設定の考え方

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

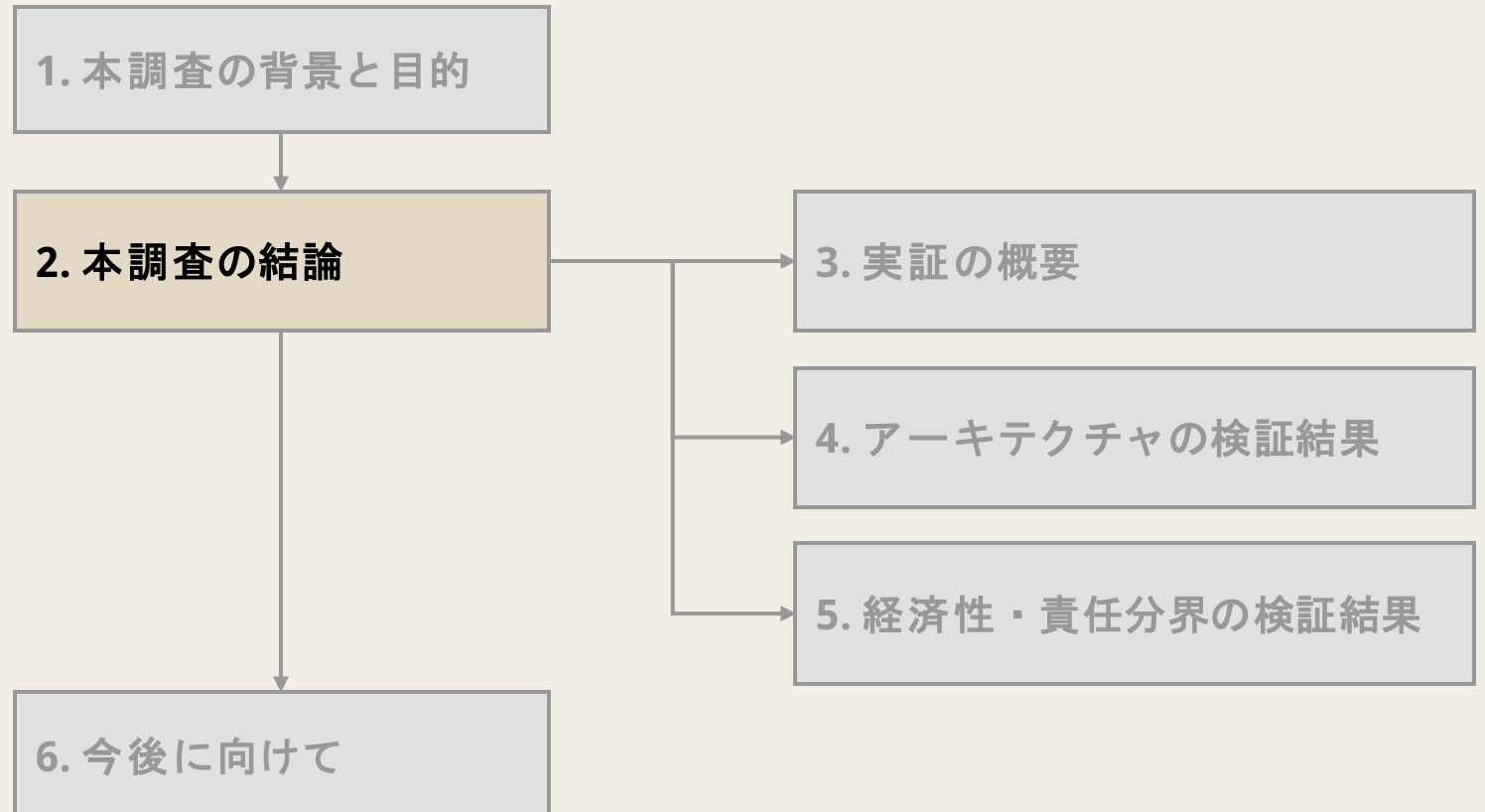
分散協調の検証観点と主な論点



運行シナリオの広がり

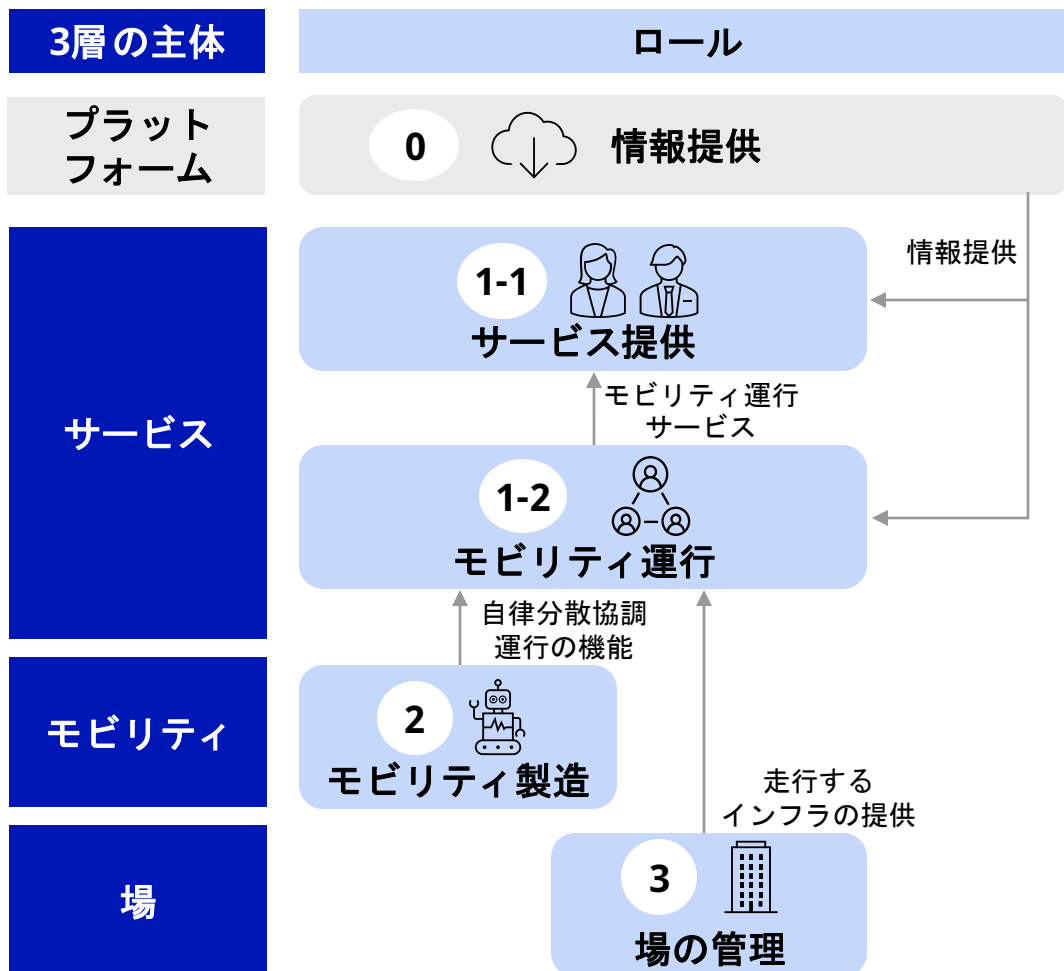


2. 本調査の結論



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

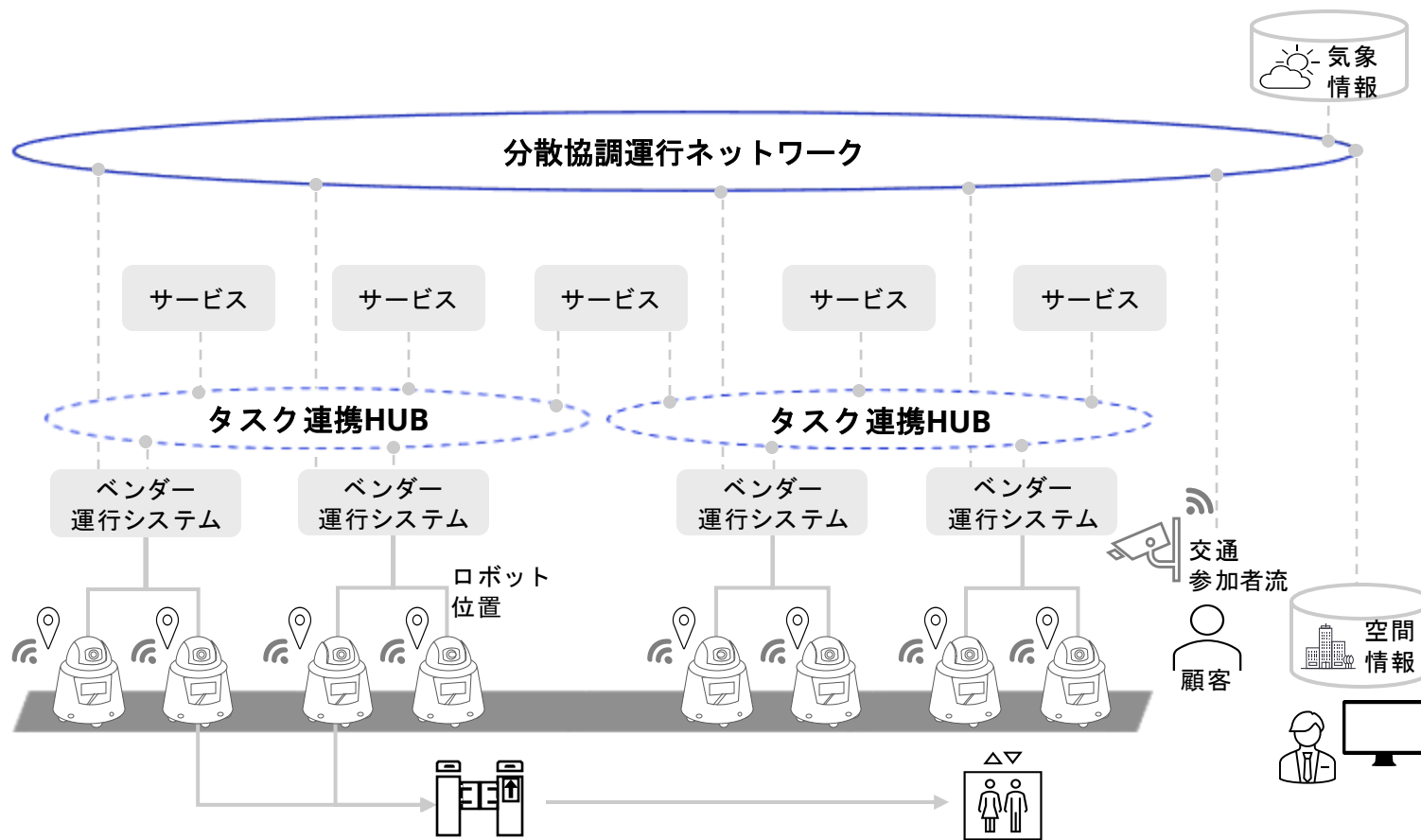
*E2E: end to endの略、提供される運行サービスの初めから終わりまでの意味

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

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

(参考) 分散協調運行に必要な共有情報

【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）	✓		各ロボット経路占有情報		
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

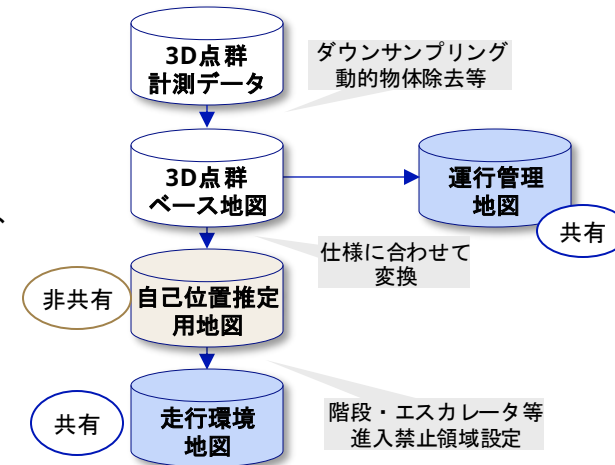
自己位置推定用地図を共有しない理由

- ロボットの特征（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、ロボットの特征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

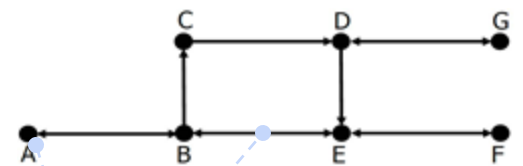
		情報種	共有	空間ID	検証番号
物理情報	静的	N/A	N/A	N/A	-
	準動的	各ロボット経路占有	✓	適格	①
		各ロボット経路計画	✓	△	-
	動的	災害	✓	-	-
		各ロボット位置／ステータス	✓	△	②
	人／交通参加者 位置	✓	なし	-	
論理情報		N/A	N/A	N/A	-

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

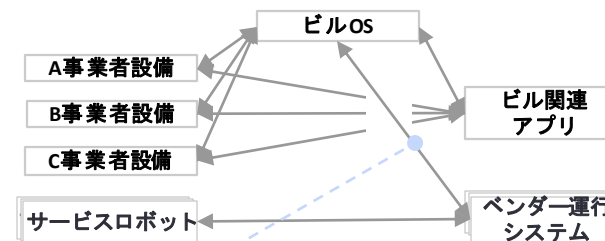
設備連携のAPIの仕様

- 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



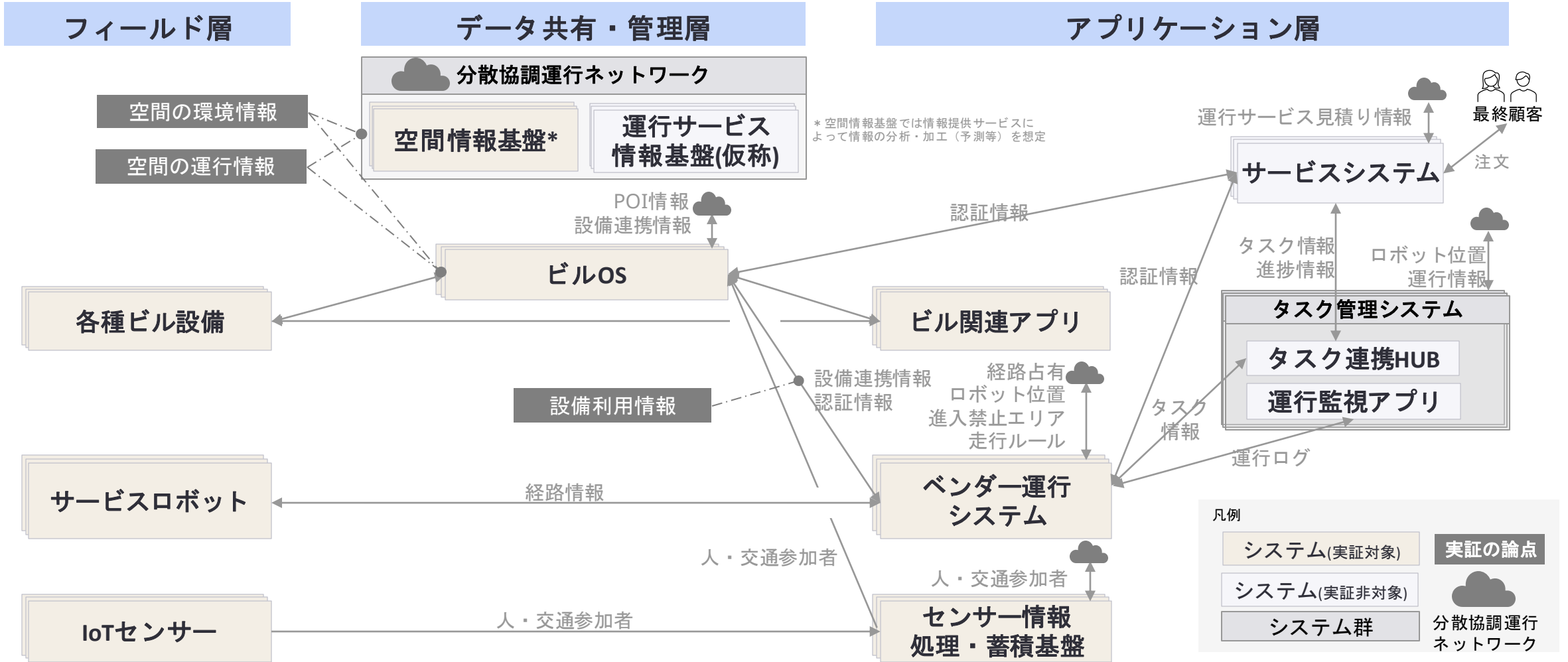
共通APIを利用することでモビリティ運行者側は設備毎の対応が不要となる

検証番号	検証内容	課題／デメリット	考察
①	<p>設備連携情報（主にエレベータ連携情報）の共有</p> <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

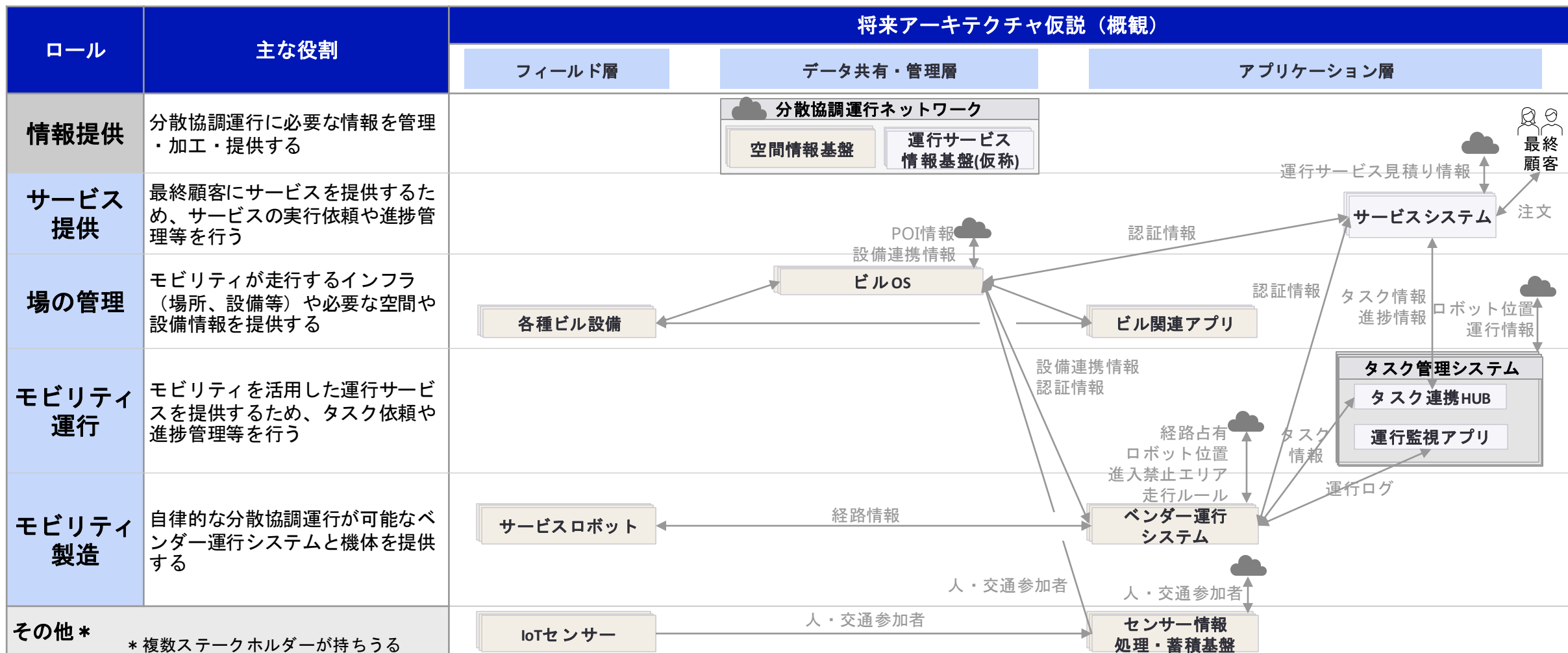
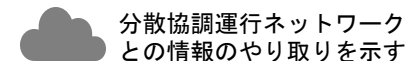
協調運行に必要な共有情報に関する実証とサービス連携に必要な機能・情報に関する検証を踏まえて、場を跨いだ協調運行に必要な将来アーキテクチャを仮説する

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

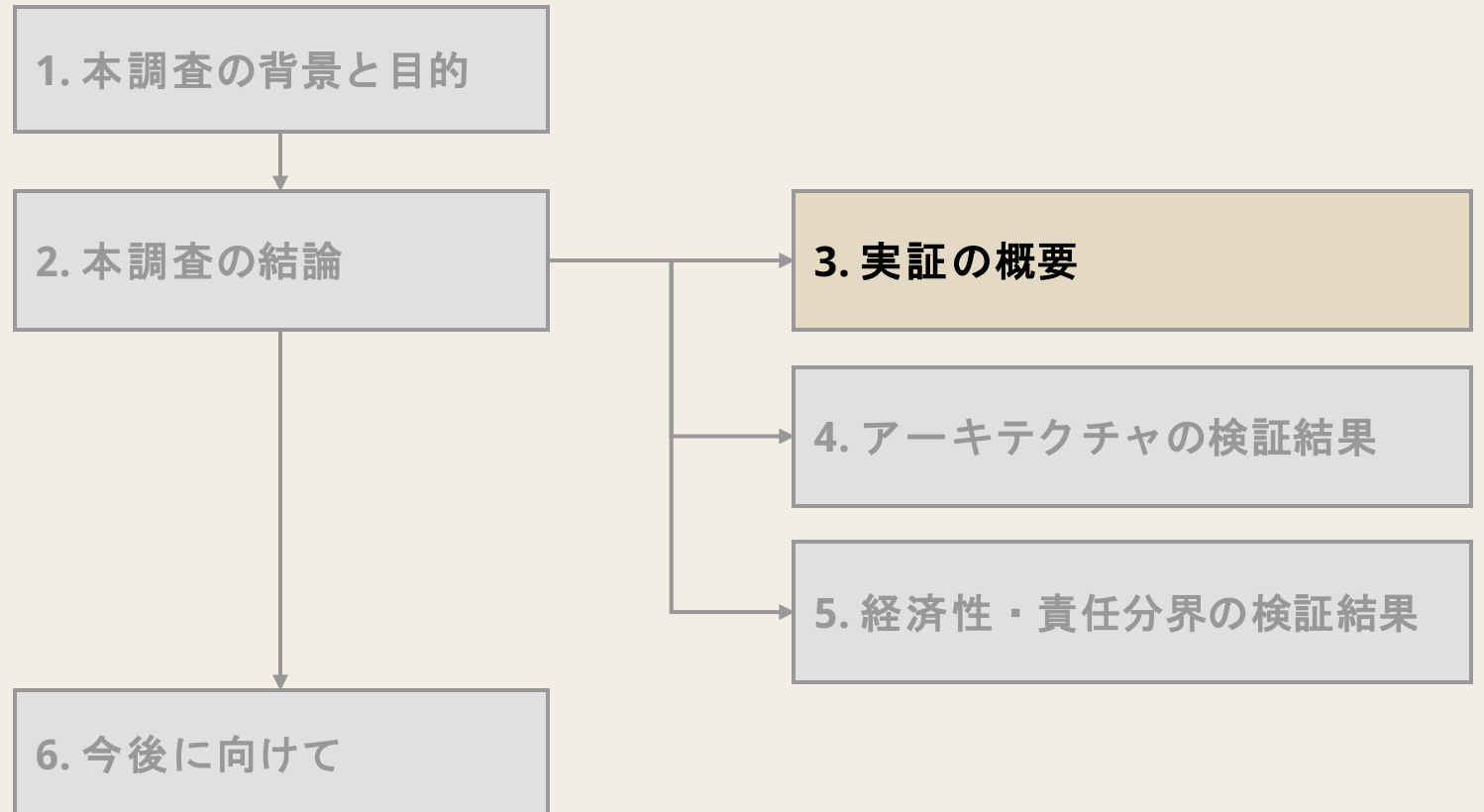
<p>経済性 責任分界 の検討</p>	<p>経済性：分散協調のロールの成立性</p> <p>モビリティ運行：複数場／サービス種類の展開による稼働率維持 集中管理と比較して分散協調は稼働率が劣る可能性はある。ただし複数の場での同一サービスの提供、また1つのロボットが提供するサービス種類を展開することで分散協調でも稼働率の維持が見込まれる</p> <p>場の管理：ロボット導入による場の賑わいや管理コスト低減 ユースケース関連の市場規模は拡大傾向にあり、自律移動ロボットの導入に関して「価値創出」「コスト削減」「資産効率向上」「将来価値向上」の観点から一定程度の妥当性を確認</p>	<p>責任分界：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>
	<p>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

分散協調の社会実装における主なポイントと施策案	
アーキテクチャ	環境情報 空間の 情報種・目的に応じた情報基盤の使い分け 情報種毎の利用目的やリアルタイム性等の要件充足を目的に、情報種ごとに「分散協調運行NW」と「ビルOS」での管理場所の使い分けが求められる 情報プラットフォームの担い手と運用 環境情報や運行情報等の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、スモールスタートでの低負荷な立上げと運用が求められる
	運行情報 空間の 分散協調運行に必要な場の要件・運用基準の明確化 分散協調運行が可能な場が整備されることを目的に、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求められる 運行計画等の共有による運行効率の向上 最適な経路選定や円滑な衝突回避などの運行効率の向上を目的に、運行計画や短期的起動を複数モビリティ間で共有することが求められる
	設備利用 情報 インフラ連携に関する仕様の標準化 インフラ連携時にモビリティ運行者側が設備毎の個別対応が不要とすることを目的に、モビリティ運行者が共通APIを利用できることが求められる
経済性・責任分界	経済性の分析 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の整備促進を目的に、認定制度等を通じた事業者の責任区分の明確化や費用面でのインセンティブ設計などが求められる 運行に関わる財務的な負担軽減 運行サービスを提供する運行事業者において資金調達、導入の製品開発、研究開発面での財務負担の軽減を目的に、特に立ち上げ期の支援が求められる
	責任分界の分析 リスク評価と補償制度の策定 サービスロボットによる事故や怪我の防止を目的に、ロボット特有の新たに発生しうる可能性のある損害と保険の補償範囲の検討が求められる 安全基準の確立と各ステークホルダーの順守 サービスロボットによる事故や怪我の防止を目的に、ロボット特有の安全基準の確立と分散協へ参画するステークホルダーにおける基準の遵守が求められる

分散協調の社会実装に向けた施策テーマ	
技術・基盤 	分散協調環境での技術・仕様の標準化と情報基盤構築 複数モビリティの安全な協調運行を実現するため、関連する 技術及び仕様の標準化 を進める。また、協調運行を可能とするため、分散協調へ参画する 事業者間で情報を共有する基盤 を構築する
制度・ルール 	分散協調エコシステムの主体毎のケイパビリティ・要件の明確化（認定制度など） 分散協調エコシステムの成立は各ステークホルダーが必要な役割を果たしながら連携することが前提となるため、参画への 責任切り分けやインセンティブ につながる主体毎の 能力・要件 を定める
ビジネス 	分散協調モデルの段階的な普及促進 分散協調モデルに関連する技術開発／制度運用がスモールスタートを促進するため、分散協調の段階的な普及促進策として ビジネス成立性が見込まれる先行取組事例と事例再現のためのガイドライン を作成する

3. 実証の概要



実証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

調達仕様書記載の検証要件	検証対象	検証項目	主な検証内容	実機検証	本検証における重要な論点	
分散協調でのアーキテクチャ策定	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	—		
共通データの洗い出し		2	分散協調制御でのアーキテクチャ仮説	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	—	
共通運行基盤における機能構成要素	2	運行管理に必要な共有情報	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
複数モビリティの運行の監視方法		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	✓		
インフラ基盤のハード・ソフト仕様	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）	✓	
センサー・IoTインフラの構成要素			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の他モビリティを横断した運行における「監視」のあり方	✓	
建物内外システム間での連携I/F	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
タスク連携における機能構成要素			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	✓	
サービス機能における連携I/F	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	—	
認証の仕組みやルール			「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	—	

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

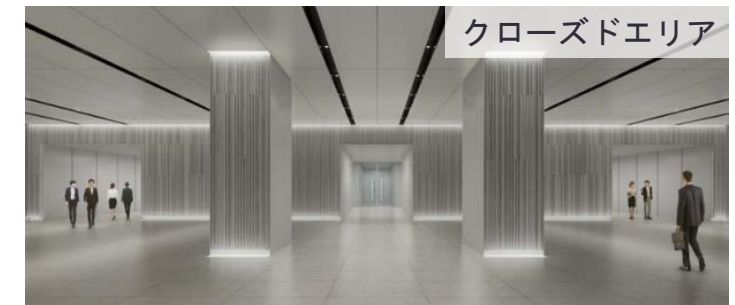
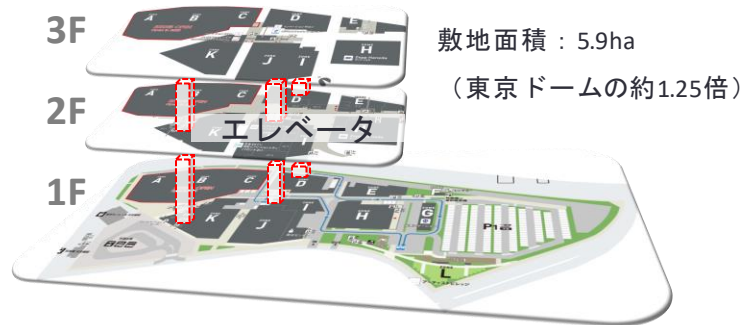
		A. 警備・清掃	B. 飲食運搬	C. 手荷物搬送	D. 施設内物流
ユースケース概要		<ul style="list-style-type: none"> ロボットによる警備サービス実施 一定時間後に同一ロボットのタスクを切り替えて、清掃サービスを実施 	<ul style="list-style-type: none"> 施設内の別店舗からの注文に基づき、ロボットが調理・配膳を実施 別サービスとして使用済み食器の下膳も並行して実施 	<ul style="list-style-type: none"> 顧客（想定）から手荷物を預かり、手荷物をロボットへ積込 複数ロボットが手荷物を施設内のホテルまで搬送 	<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】



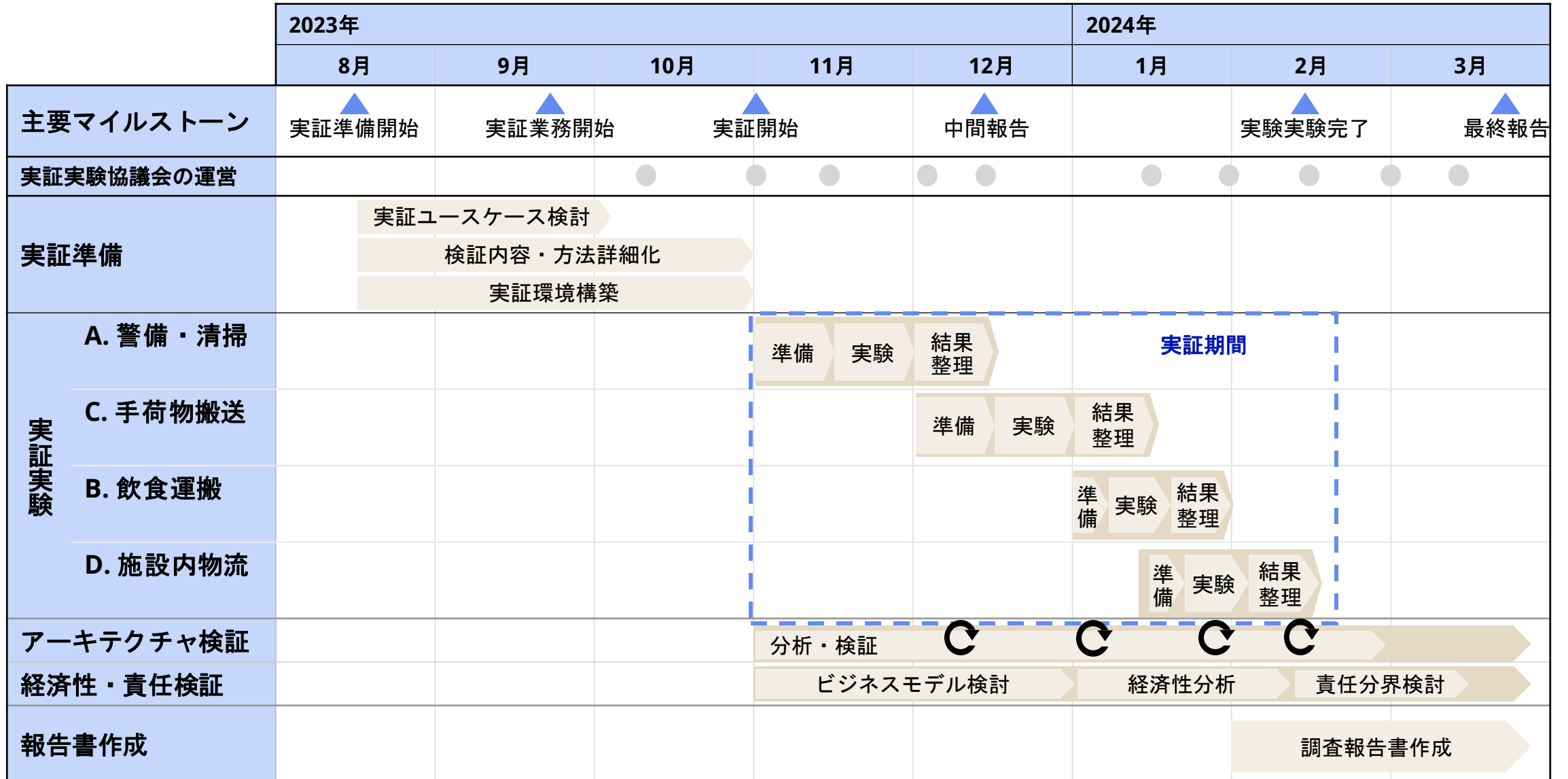
出所：「コンセプトブック」「ファシリティガイド」、羽田イノベーションシティホームページ、<https://haneda-innovation-city.com/>（2023年8月1日アクセス）

本調査の運営体制

		EY			
		<ul style="list-style-type: none"> 本調査の統括 報告書のとりまとめ 			
		凡例 ●: 主担当、○: サポート			
本調査における役割		鹿島建設*1	川崎重工業	デンソー*2	EY
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	-	-	-	●

*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



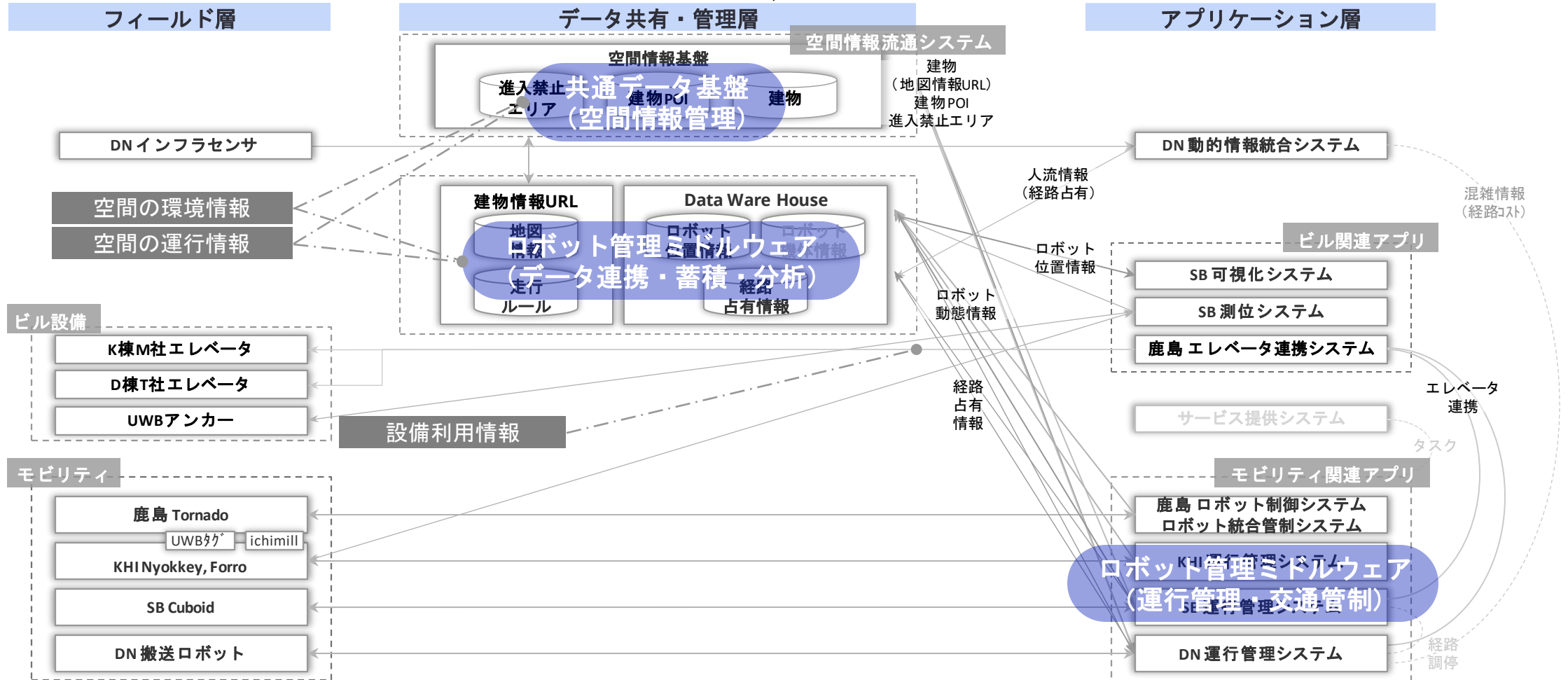
実証における実験環境

構成要素* データベース* 実証の論点

*グレーアウトは実証対象外

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」



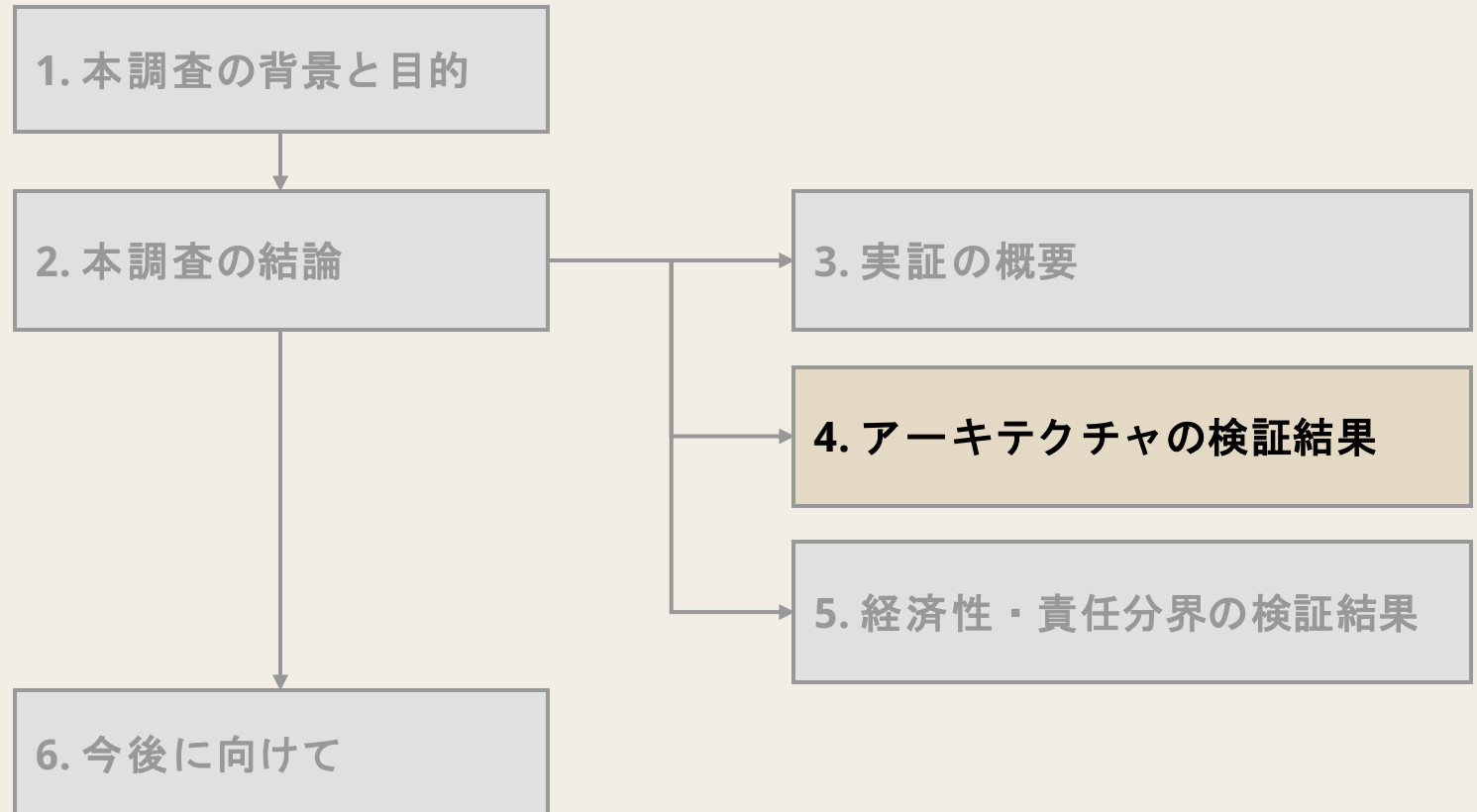
凡例 鹿島：鹿島建設、KHI：川崎重工業、DN：デンソー、SB：ソフトバンク

実証から得られた考察の事例

人流情報を踏まえたルート計画／運行やノード占有の共有による経路調停の実証の結果、複数ベンダーのモビリティ間で地図や位置情報を共有してルート計画、経路調停ができることを確認できた

実証内容	結果・考察	実証の様子
<p>人流情報を踏まえたルート計画／運行</p> <ul style="list-style-type: none"> 共通データ基盤を介して、ロボット用の地図情報の取得・切り替えを行う 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を行う インフラセンサで検知した人流情報を考慮してルート計画／運行を行う 	<p>結果</p> <ul style="list-style-type: none"> 建物内外の横断時に、共通データ基盤を介しロボット用地図情報を切替えることで場を跨いだ運行ができることを確認 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することを確認 <p>考察</p> <ul style="list-style-type: none"> 人によるノード占有時に複数のロボットが待機位置（調停ノードの1つ手前）に密集し、ほかの交通参加者の通行を阻害しないためのルール・仕組み作りが必要 	<p>実証の様子</p> 
<p>ノード占有の共有による経路調停</p> <ul style="list-style-type: none"> 走行ルールを付与したロボット用の地図情報を共有する 共通データ基盤を介し進入禁止エリアを空間IDで共有する ロボット同士が互いにエリアの占有情報を共有することで経路干渉を回避する 共通APIにより位置情報を送信し、複数ベンダーロボットの位置を可視化する 	<p>結果</p> <ul style="list-style-type: none"> 空間IDで設定した進入禁止エリアを各ロボットが取得し、禁止エリアに進入しないことを確認 複数ベンダーのロボットが位置情報・経路占有情報を共有・可視化し経路調停を行うことを確認 <p>考察</p> <ul style="list-style-type: none"> 複数ロボットの最適経路が干渉し、ロボットのスタックの発生を防ぐために占有状態の共有などルール・仕組み作りが必要 	

4. アーキテクチャの検証結果

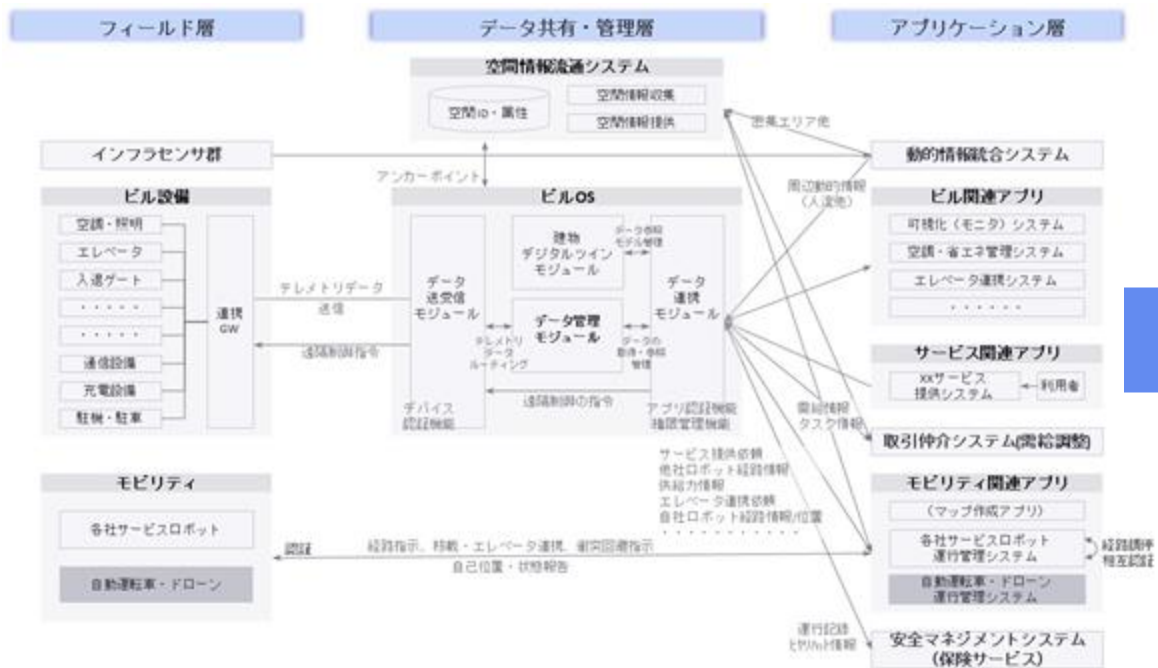


実証を通じたアーキテクチャ検証

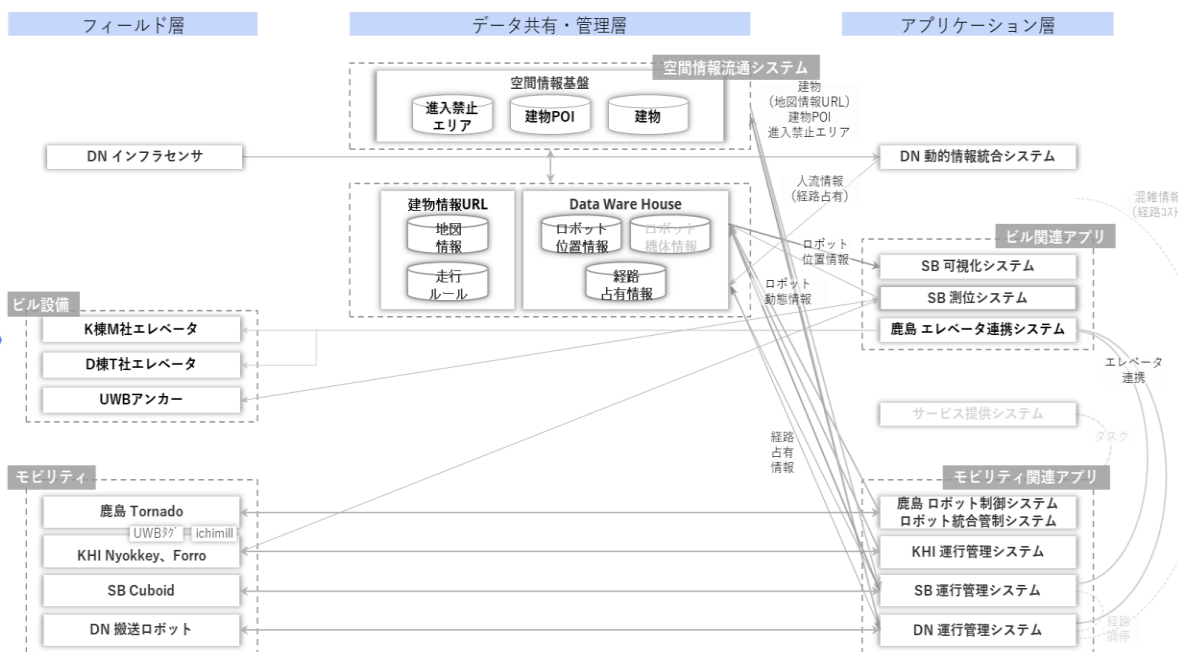
DADCの既検討*の考えを統合した仮説アーキテクチャを実証環境で検証した結果、複数ベンダーロボットが同一基盤で情報共有することで、協調運行を実現するアーキテクチャが構成できると考える

*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」

既検討を受けた初期仮説



実証環境



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（γ版）」、経済産業省、国土交通省、国土院、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構、独立行政法人情報処理推進機構、2024年2月
<https://www.ipa.go.jp/digital/architecture/guidelines/4dspatio-temporal-guideline.html>、(2024年3月1日アクセス)

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」、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、2023年5月31日 第1版、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)

出所：「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、デジタルアーキテクチャ・デザインセンター（DADC）、2022年7月
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)

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	✓					

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

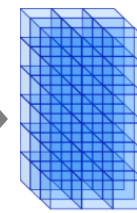
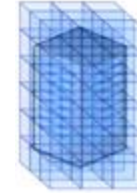
建物POI情報などのリアルタイム性及び更新頻度が高くない情報種は、空間情報基盤での空間IDを用いたデータ共有・管理が適切と評価した

空間ID活用のポイント

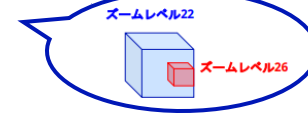
- 空間IDとは空間に関する空間情報基盤にて空間領域を一意に識別する情報である
- 本実証では、空間IDを介した地図情報の取得と地図情報乗り換えを実現した
- 空間IDはアプリケーションに依らないグローバルな検索キー、また空間IDで示されるボクセルの特性（親ボクセルの存在）を生かし、粒度の小さなボクセルでの指定が求められる配送先情報と粒度の大きなボクセルでの指定が適切な建物形状情報との連携が簡便となっている

空間IDによる施設情報索引のイメージ

施設情報の設定



子ボクセルをキーに親ボクセルが属する施設情報を検索



主な空間情報種

建物POI	立入禁止エリア	建物内外結節点 (地図情報切替)	各ロボット経路情報	各ロボット位置情報
-------	---------	---------------------	-----------	-----------

概要	観点	考察	主な空間情報種	
ボクセル管理の適格性について	空間IDの規格としての性質、位置付け <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 	<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 • 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 	適格性	
			高	低
データ共有・管理層の機能配置について	技術的観点での実装課題など <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 	<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 • 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のビルOSでの管理が適切 <ul style="list-style-type: none"> • 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 • 上記によらず、小さなボクセルかつ広いエリアを扱う際の情報検索については考慮が必要（効率的な検索手法、管理手法等） 	管理層	
			空間情報基盤	ビルOS

分散協調運行の調停方法

経路占有情報の共有による経路調停の実証を通じて、出入口等の局所的に密度が高くなる場ではロボットの渋滞・スタックを避けるために交通流を制限する局所的な集中管理が必要な場合があると考察する

時間軸		実証シナリオ	考察
運行前	長期	<ul style="list-style-type: none"> ロボット運行者が目的地が含まれる施設を把握し、当該施設の地図情報（走行可能領域・走行ルール）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 	<ul style="list-style-type: none"> 全く異なる通路を通る空間的解決による調停は可能である 同じ通路の通過時間をずらす時間的解決は、外乱（人混み、エレベータ乗降待ち等）があるため困難と想定する
	中期※	<ul style="list-style-type: none"> 建物内外を横断する際は、結節点にて地図情報を切り替える 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な調停を図る <ul style="list-style-type: none"> 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 	<ul style="list-style-type: none"> 複数ロボットからの占有リクエストをキューイングしてFIFOで占有させることで、占有を制御することができる ノード占有したロボットがノードに到達しないと、占有を解除しないため、ノード手前の障害物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。そのためスペース確保や台数制限が必要となる
運行中	短期	<ul style="list-style-type: none"> 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、災害／事故等の有事に安全位置での停止や、避難ルートの阻害場所からの回避移動制御を行う 	<ul style="list-style-type: none"> すれ違い可能な空間があれば、2者間でのお互いの軌道計画を共有したすれ違いの空間的解決が可能と想定する

※本実証では、トポジカル・グラフのノード占有情報の共有による先勝ち方式にて、運行中（中期）の出入口等の狭い場所での調停方法について実機を用いて検証した

ノード占有情報共有による調停の限界

出入り口やエレベータホールの待機場などではロボットの密度が高くなり、渋滞やスタックが発生する可能性がある
従って、渋滞やスタックの発生を未然に防ぐ、もしくは解消するための速度制限や経路変更などの**局所的な集中管理が必要**となる場合がある

複数モビリティの運行における監視のあり方

インフラセンサから取得した情報を場の管理者からモビリティ運行者へ共有することで、有人監視業務は常時対応から異常・非常時のみの対応となり、運行管理・制御の負荷軽減に繋がりと考察される

場の管理者による監視支援

インフラセンサなど場の管理者の支援が受けられる際にはモビリティ運行者側の負担が軽減されるため、各社運行システムの自動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検証

協調運行における稼働状況共有

サービス提供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、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検証

(課題)

- 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

(考察)

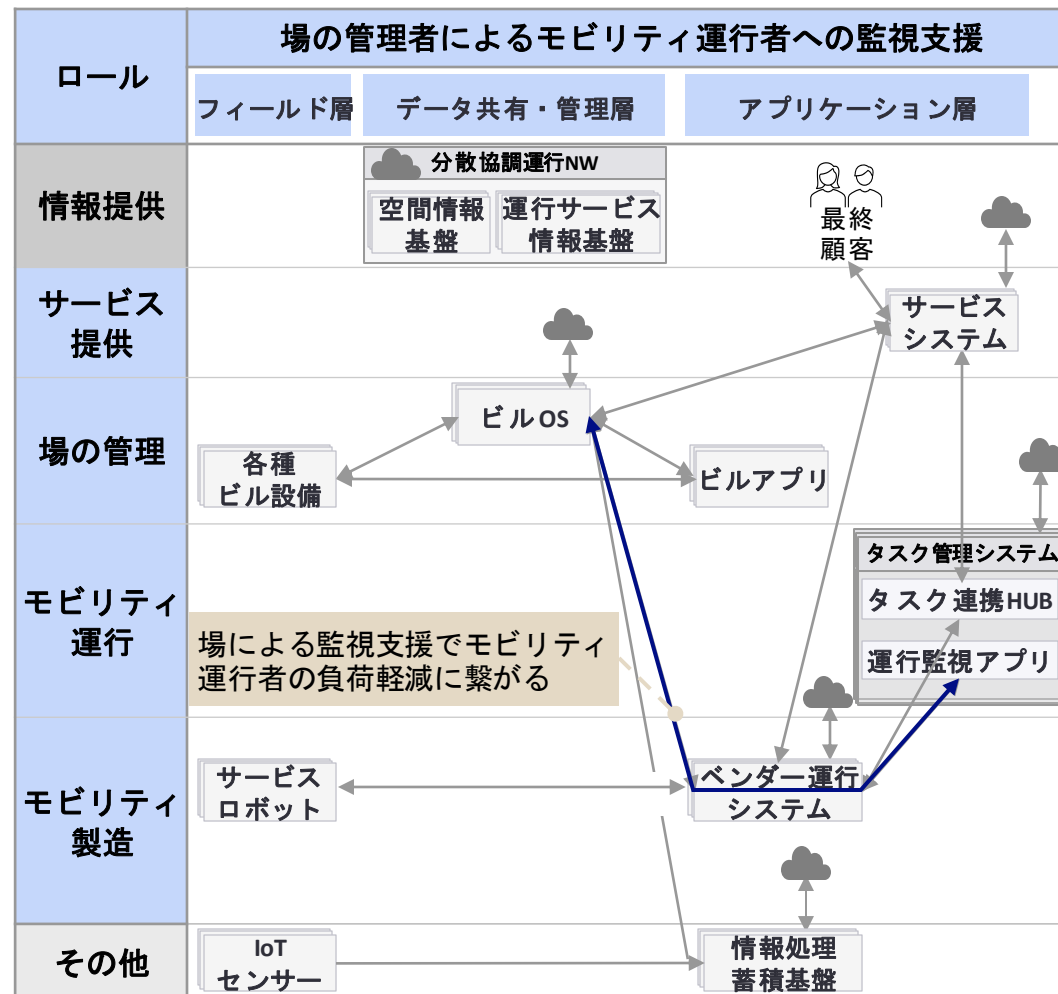
- 公道と施設内では法律上含めて求められる監視のレベルが異なるため、移行タイミングは重要
- 公道走行前提の運行システムと施設側システムとの連携は今後業界としても議論が必要

(課題)

- モビリティのタスク情報内にサービス提供者の情報が必要
- 事業者／利用者ごとに適切なアクセス権限・フィルタ設定が必要

(考察)

- 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

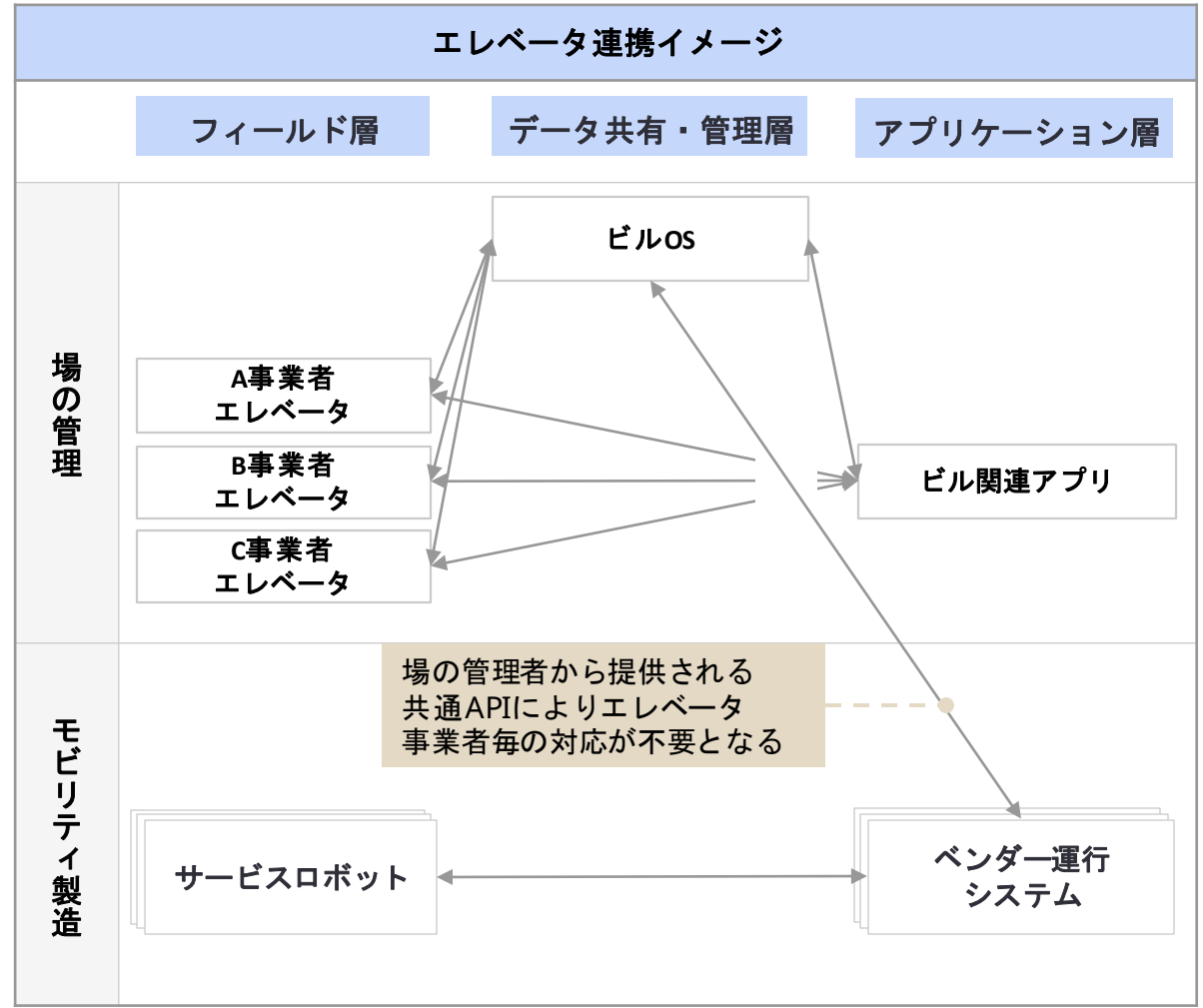


ロボットの設備利用時に必要な設備連携

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になると考察する




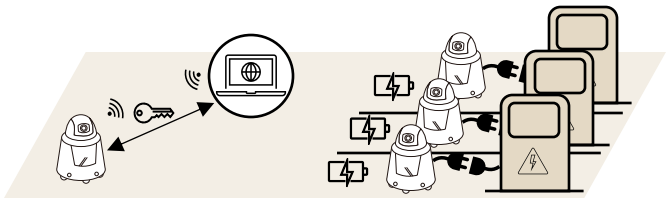

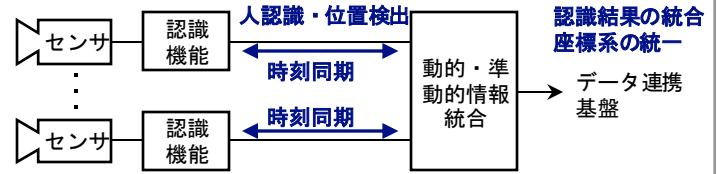
エレベータ連携の要件	
<p>常時のネットワーク接続を前提としない エレベータの籠内は電波の不感知地帯であることが多いため、常時のNW接続を前提としない設計が必要となる。NW復旧時に動作フローを途中から再開できる設計が求められることから、ロボット側がトリガーとなるポーリング設計が望ましい</p>	
<p>様々なビル設備と連携可能な標準的なI/F ロボットが複数の場に容易に出入りするため、連携時の設備毎の個別対応を最小限とするような設備連携APIの標準化が必要になると考えられる</p>	
<p>場の管理者によるAPI提供 場の管理者とエレベータのAPI提供事業者は契約関係にあり、モビリティ運行者がAPIを直接利用することは契約上認められていない事がある。そのため、場の管理者がモビリティ運行者に対して代替となるAPIを担うのが妥当であると考え</p>	
<p>エレベータ状態情報の共有 エレベータの状態情報を共有することで、効率的なルート計画や衝突・混雑回避等の安全な運行に繋がると想定される</p>	

課題	考察
<p>呼出時の待機時間 エレベータの個社毎の整合性を取るために実装した非同期処理によりエレベータ連携時の待機時間が発生する</p>	<p>事前のエレベータ呼出の実行 ロボット専用運転の場合、エレベータ到着前に事前に呼出を実施することで待機時間の短縮に繋がる</p> <p>エレベータAPIの業界標準規格への準拠 ビル設備側のAPIにおけるエレベータ連携フローが各社で共通化されることにより、場の管理者がモビリティ運行者に提供するAPIでのビル設備毎の差異を考慮した処理が不要となる</p>



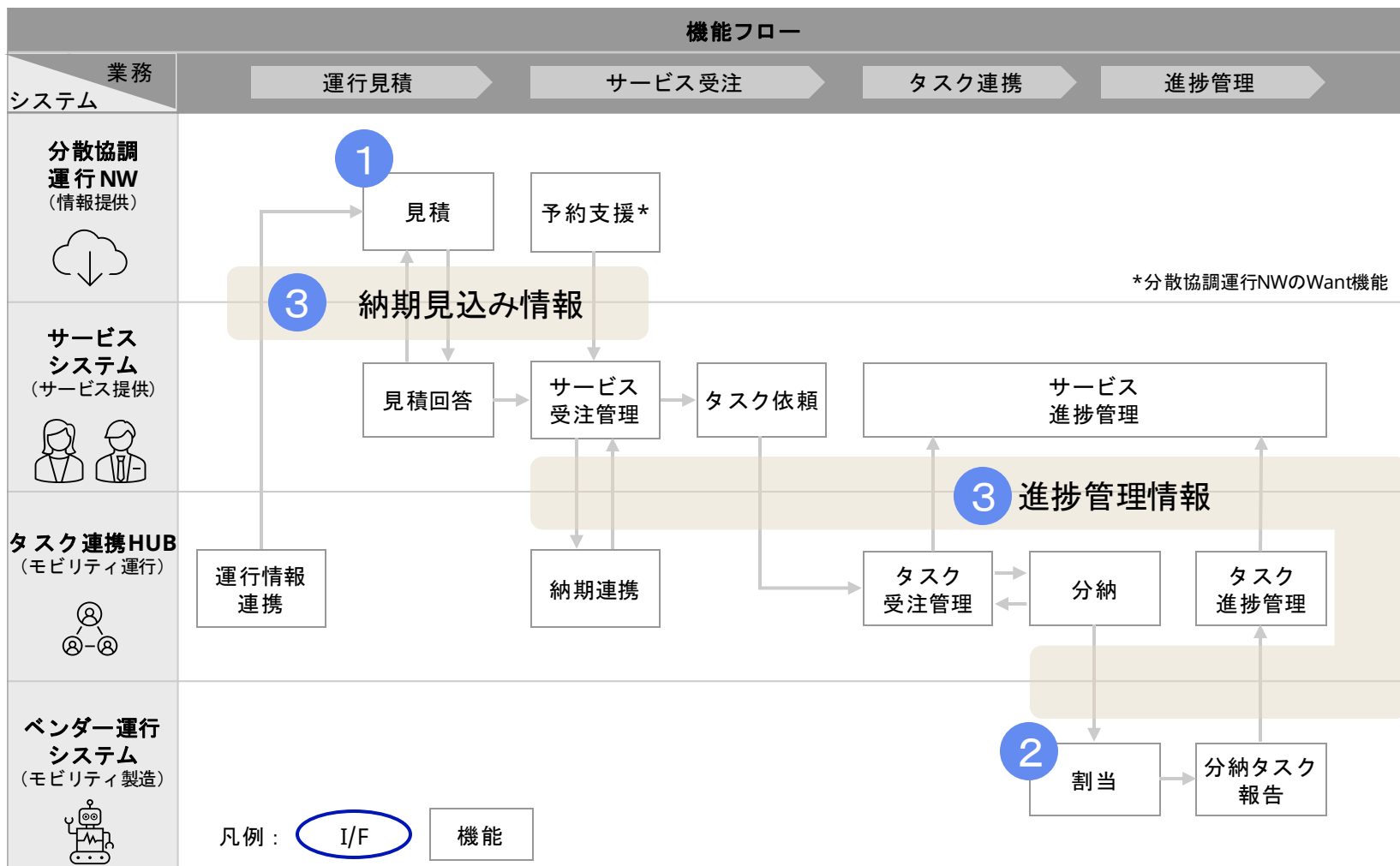
インフラ基盤のハード・ソフト仕様

モビリティの種類を問わず駐機・充電をはじめとしたインフラ基盤は運行上不可欠であり、本実証を通じて分散協調下でのインフラ基盤に求める推奨要件の検証を行った

	駐機・充電 	通信 	センサ・IoT 
検討論点	<p>インフラ設備（駐機場や充電場）を複数の事業者の共有の場としてサービス展開するためのインフラ設備の要件</p>	<p>複数の事業者がロボットを分散協調運行するための通信環境の要件</p>	<p>人とロボットが共存するエリアにおいて、人流情報を取得するためのインフラセンサおよび、その構成システムの要件</p>
要件（推奨）	<p>ロボット充電コネクタの規格統一 複数事業者の自由な場の出入りが可能な将来像を仮説するため、複数ベンダー間での充電コネクタの規格が統一されている必要がある</p> <p>予約システムの提供 分散制御を実現するには、アイドル状態のロボットが自律的に利用できる充電・駐機場が必要（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する予約システム）</p> <p>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</p> 	<p>通信回線・カバレッジ 屋内外の通信カバーエリアが広いことと、運行中の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ため、モバイル回線を推奨する</p> <p>通信遅延・速度 各ロボットの安全な運行を実現するため 遅延（回線）：概ね100～500ms 速度：1Mbps程度</p> <p>セキュリティ 機密性や完全性、可用性などの観点から公開鍵を使った認証方式を利用する</p> 	<p>検出・判別 各ロボットが安全かつ自律的に運行するため、インフラセンサは、人の位置を検出し、同一人物であることを判別できる</p> <p>情報集約・同期 各ロボットが安全に運行するため、複数のインフラセンサと、その認識結果の集約先との間で時刻を同期する</p> <p>座標系の統一 複数の事業者のロボットが協調運行するため、複数のインフラセンサから得られた情報の座標系は、グローバルなもの（空間IDなど）に統一される</p> 

タスク管理における機能と必要情報

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



分散協調におけるタスク管理の結論

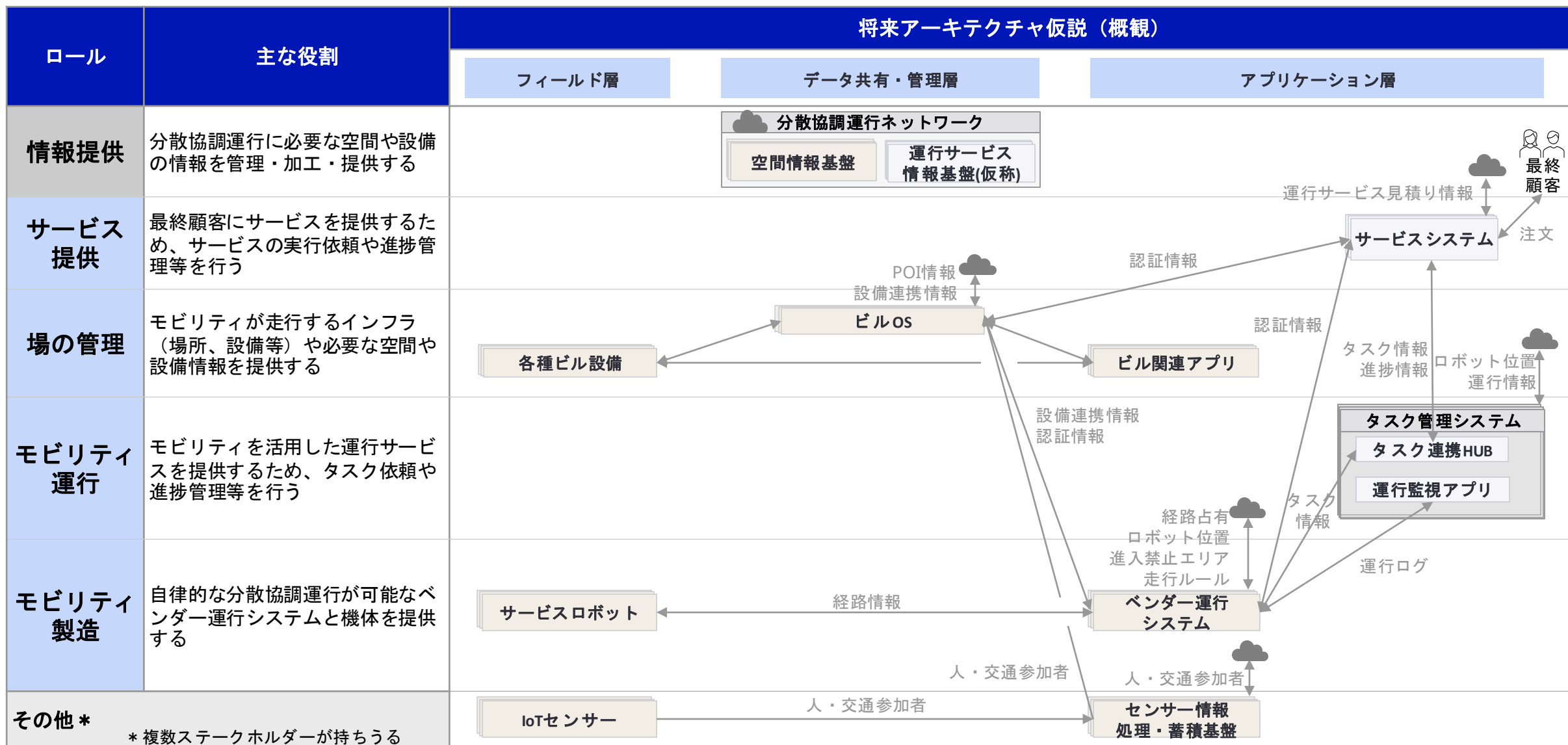
- ① 情報提供者がサービス提供者とモビリティ運行者のマッチングを支援**
 サービス提供者は情報提供者を利用して需給調整に必要な納期見込みの情報を受領すると想定
- ② ベンダー運行システム（モビリティ製造）による機体割当**
 タスク連携HUBが共有する分納タスクの中からベンダー運行システムが機体割当を行うと想定
 ※ただし、マルチベンダー運行管理システム（タスク連携HUB+割当機能）が割当を担うことで稼働効率を向上できる可能性あり
- ③ サービス依頼時の納期見込みの情報とサービス実行中のタスク進捗の情報を連携**
 各システム間で主に以下の情報が連携される想定
 A) 納期見込み：分散協調運行NWのデータ活用
 B) 進捗管理：トランザクションのI/F連携

「認証」のあり方

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

	場の認証	モビリティの認証	情報の取得／提供の認証	
認証概要	<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利用するための認証</p>	<p>ロボット・人へのタスク連携</p> <p>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</p>	<p>空間情報の提供／取得</p> <p>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</p>	
結論	<p>認証情報の発行依頼は、モビリティ製造者が担う</p> <p>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</p> <p style="text-align: right;">凡例： システム 連携 →</p>	<p>認証情報の発行依頼は、モビリティ製造者が担う</p> <p>ロボットの認証における発行依頼機能は、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</p>	<p>情報の取得時、認証発行及び照合は、認証機関が担う</p> <p>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</p>	<p>情報の提供時、認証発行及び照合は、情報提供者が担う</p> <p>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に情報提供の分散協調運行NWが担う</p>
連携イメージ	<p>ロボットの場への認証</p>	<p>ロボット間連携の認証</p>	<p>情報提供者の空間情報の取得の認証</p>	<p>情報提供者の空間情報の提供の認証</p>

(再掲) 分散協調将来アーキテクチャとロールの関係性

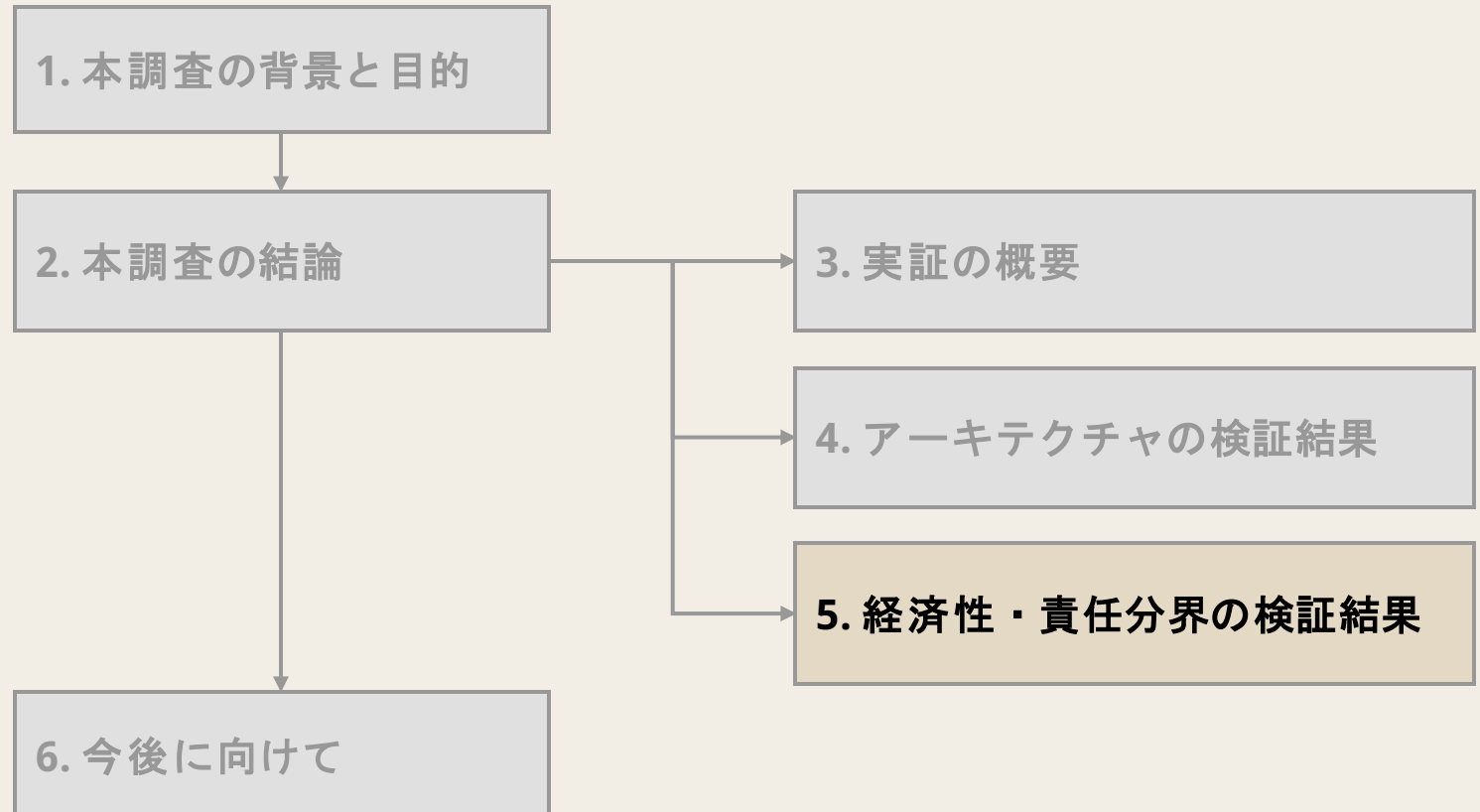


(参考) ロールとシステム構成要素の関係性

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				運行サービス情報基盤 (仮称)	モビリティ運行サービスに関する運行エリア・費用/見積り/稼働状況等の情報を共有するための仕組み
場の管理				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
モビリティ運行				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
				各種ビル設備	エレベータやゲート等のビル設備
モビリティ製造				ビル関連アプリ	ビルOSのI/Fを利用したアプリケーション
				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
その他*				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
				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
				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

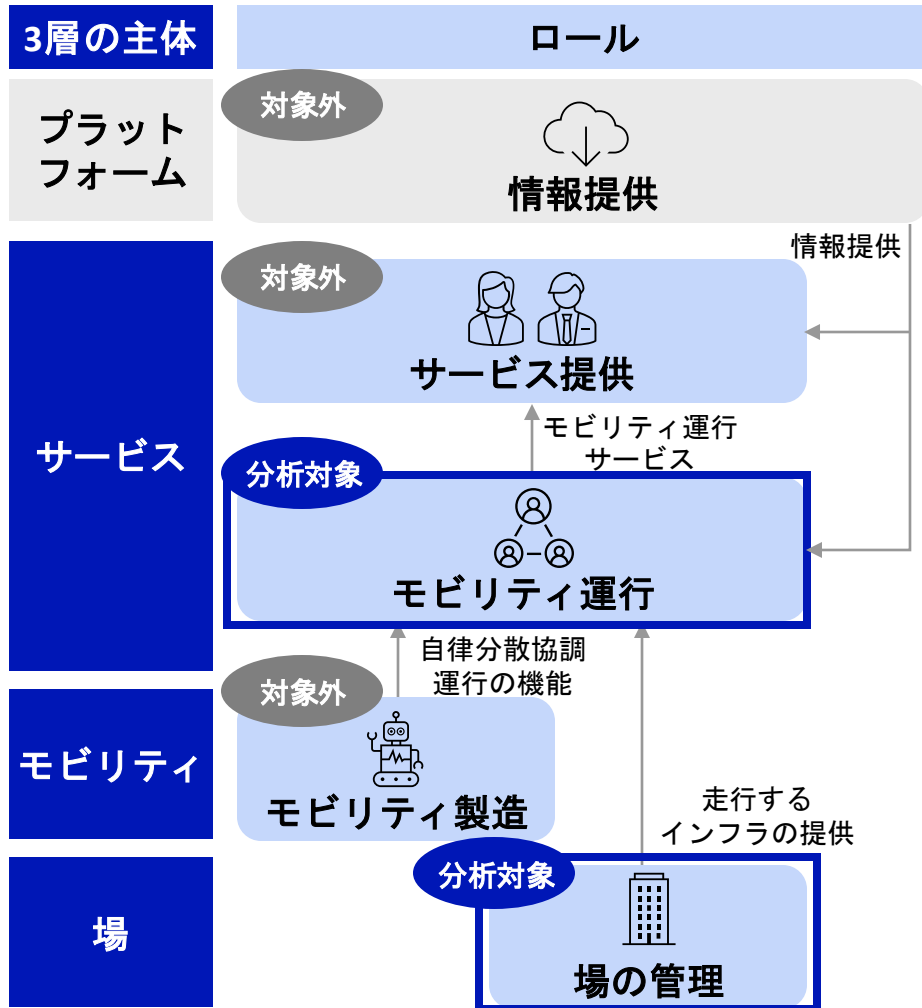
その他*
*複数のステークホルダーが持ちうる

5. 経済性と責任分界の検証結果



本調査における経済性検討の前提

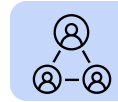
分散協調において、ロボットのサービスとしての利用モデルの提供とその運行を担うモビリティ運行者と、ロボットが効率的に機能するためのインフラ提供・管理を担う場の管理者を対象に分析を行った



経済性分析の対象範囲

モビリティ運行／場の管理（分析対象）

- 分散協調環境でのロボットの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検証対象とする



ロボットをサービスとしての利用モデル（Robot as a Service）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から分散協調型のロボット運行サービスの事業性を評価する



通信ネットワークや電源・駐機の提供、エレベータとの連携など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投資コストと受益性からインフラ提供の事業性を評価する

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：DADCの4次元時空間情報基盤にて検討されているため除外する
- 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ため除外する

社会課題（ニーズ）とサービスロボットの需要

- 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
- 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に対処する上で効果的である
- サービスロボットの市場規模は拡大傾向にある。搬送ロボット、PAS、掃除ロボットが人手不足などによる市場ニーズの高まりや、低価格化などにより需要の開拓が進む

前提

経済性の検討報告

分散協調におけるモビリティの稼働率は集中管理と比較して劣る可能性があるものの、複数の場での同一サービス展開や一つの場での多様なサービス展開によって稼働率の維持が見込まれる



- 1つの主体が運行計画などを管理する集中管理と比較して分散協調は運行効率が劣る可能性はある。一方、**複数の場に渡って同一サービスを提供することや、一つの場で多様なサービスを提供することによって経済性の成立が見込まれる**
- 事業性をみると「金融関連手数料」「購入代金・手数料」「技術ライセンス料」などのコストが嵩むことが想定される。各手数料は、マーケットボリュームが大きくなれば汎用化によりコスト負担の低減が望める。技術ライセンスは、独自技術によるロックインが想定され、**連携の柔軟性の確保**などの対応が望まれる
- サービスロボットの活用先として期待されるフードデリバリー市場やラストマイル市場、施設管理市場の伸びとその市場に伴うデリバリーロボットや掃除ロボットの稼働台数の伸張が予想されており、サービスロボット導入は、“賑わいの創出”や“利便性の向上”による**場の価値向上／人手不足・賃金高騰を背景とした“単純作業の代替”による管理コスト削減の効果が**見込める
- 場の管理者ないしは、外部のサービス事業者（テナントなど）に関わらず、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、適切な充電ステーション、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

本調査における責任分界検討の前提

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

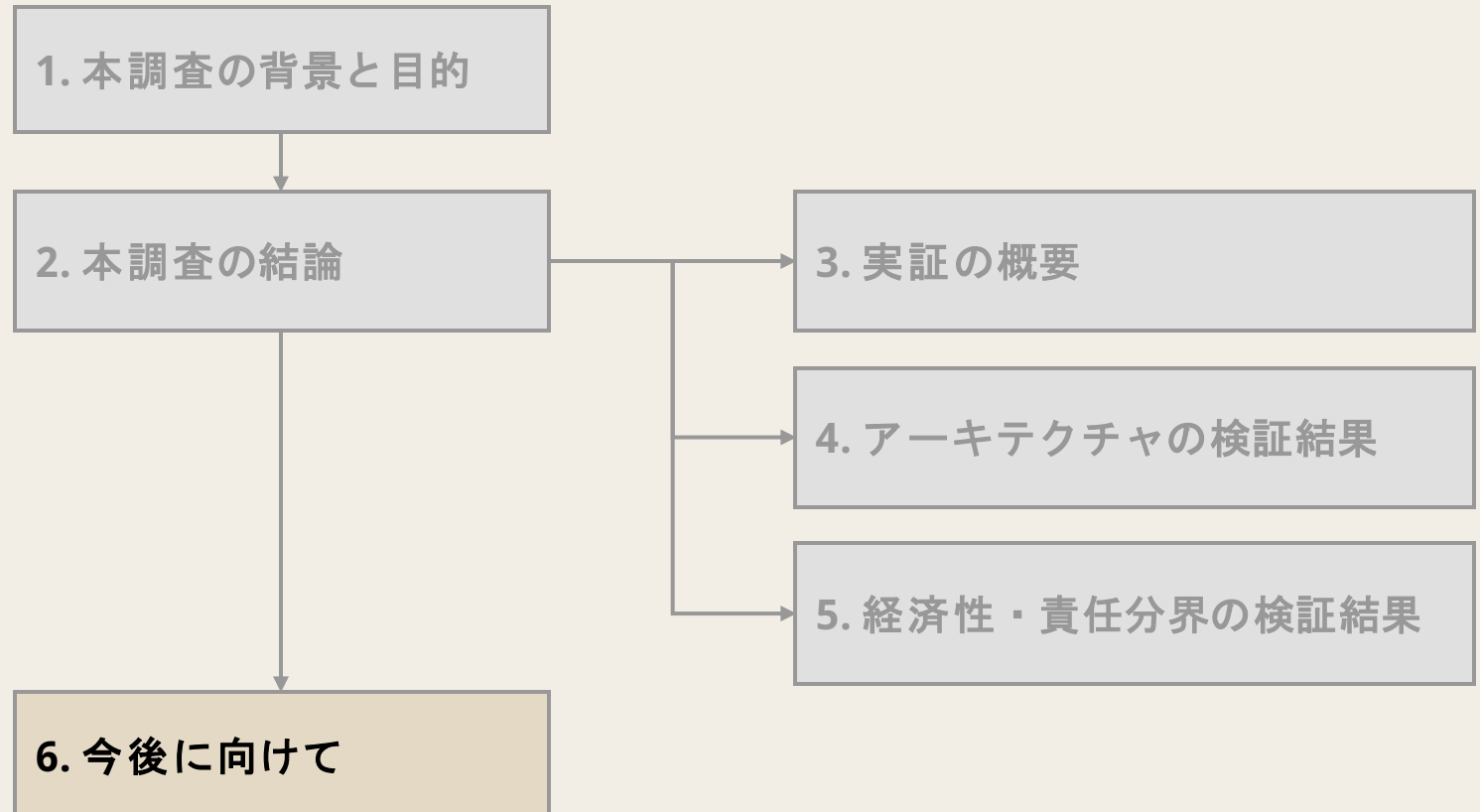
残存するリスクに係る課題

- 相互運用性に関わる課題**
 - 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する組織間での連携が必要となる
- 安全性に関わる課題**
 - 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
- 補償に関わる課題**
 - 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

課題対応の方向性

- 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**
 - 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
- 安全基準と認定制度の確立**
 - 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
- 補償・保険制度への連動**
 - 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

6. 今後に向けて

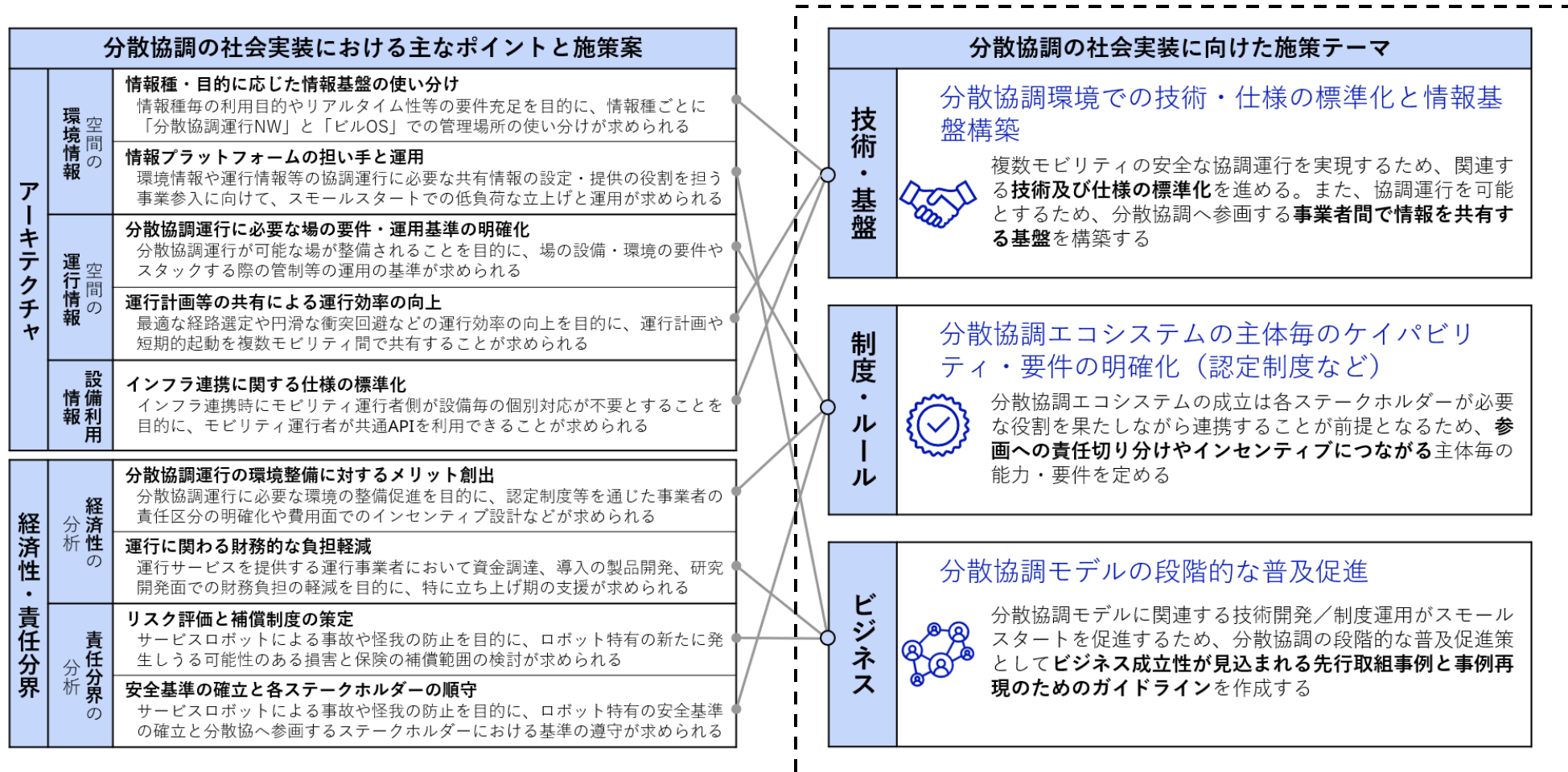


本年度実証の課題と施策テーマ

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

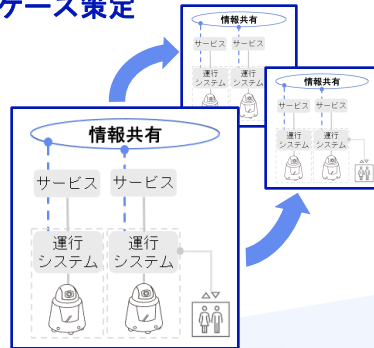
分散協調エコシステム参画の指針
(制度・ルール案)

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

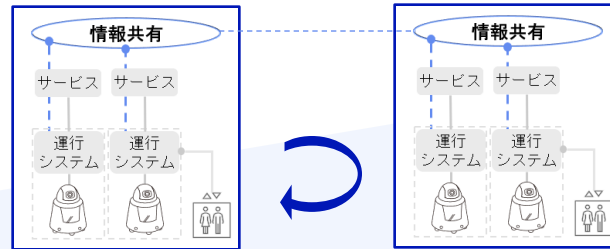
イメージ

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

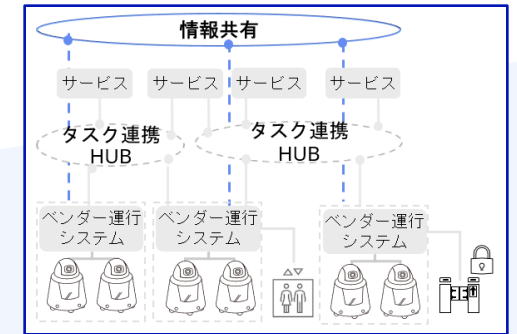


場(管理エリア)

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

語句（五十音順）	定義・説明
インフラセンサ	本実証で使用した機器の1つ。人の位置を検知する、場に設置されたセンサ
エレベータ連携システム	本実証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
共通データ基盤 （空間情報管理）	本実証で構築したシステムの1つ。本実証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
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
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
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
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
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
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
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
ロボット管理ミドルウェア	本実証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