

自律移動ロボット将来ビジョン検討会 事務局提出資料

2022年6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)

第4回検討会における主な論点等

- 第3回までに、人間の作業の効率化に留まらない、社会的課題を解決しながら富の創出や人間の生活を豊かにすることを実現するようなユースケース及び施策の概要について検討してきた。
- これまでの検討内容をもとに机上検証や経済性分析、各施策の方向性等の検討を進めてきた。今後は、アウトカム・アウトプットも具体化しながら、その検証を行うことを想定している。
- 第4回では、これまでの検討を振り返りつつ、今後に検討すべき事項について、御意見を頂きたい。

ビジョン・ユースケース検討のイメージ

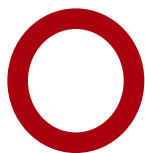
自動運転車やドローン、サービスロボットといった自律移動ロボットの活用にデジタル技術を援用することで、サイバー空間（仮想空間）とフィジカル空間（現実空間）の高度な融合を可能とし、**人間中心で社会的課題の解決と産業発展を同時に実現する将来ビジョンを描き、その実現に必要な取組を具体化する。**

社会的課題を解決しながら富を創出する取組を検討

自律移動ロボットとデジタルで



人間の作業の効率化



社会的課題を解決しながら

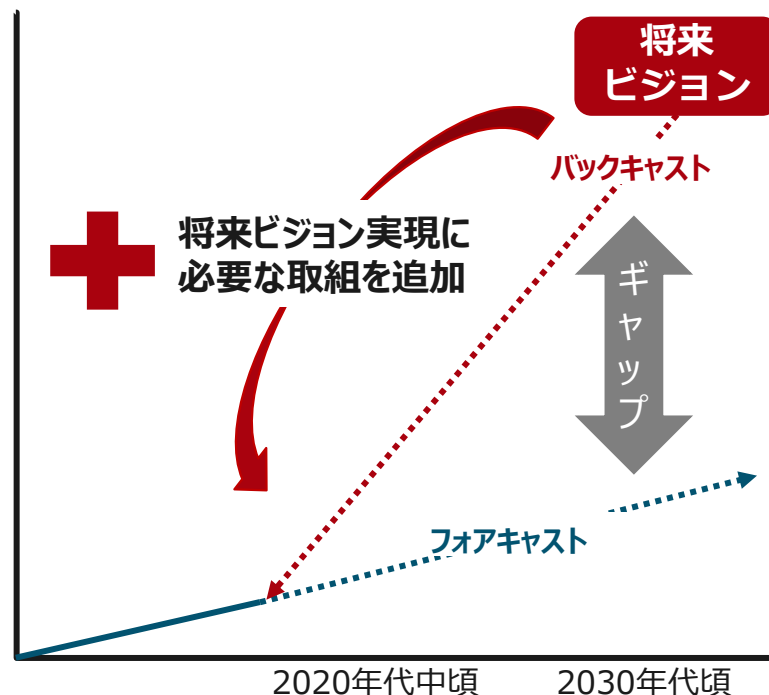
- ・ 富を創出
- ・ 人間の生活を豊かに

脱炭素の実現

少子高齢化の時代に対応

各個人が
最適な体験を享受

将来ビジョンからバックキャストして取組を検討



各章の関係性

2. ビジョン

2.1 コンセプト

実現する

2.2 ユースケース

導出する

2.3 経済性分析

アウトカム指標

3. アーキテクチャ

3.1 ストラテジービュー

実現する

ケーパビリティ

導出する

アウトプット指標

実現する

実現する

3.2 オペレーショナルビュー

実現する

オペレーション

3.3 サービスビュー

実現する

実現する

サービスレベル

実現する

3.5 ロードマップ

実現する

実現する

3.4 社会実装に向けた施策

実現する

3.6 残課題一覧

ユースケースの概観

※ …次ページ以降で詳述

	インフラ/公共						第一次産業			第二次産業		第三次産業						
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	
	災害対応*	警備	電気 ガス 水道	運輸	ごみ処理 清掃	環境 調査	農業	林業	水産業	鉱業	建設 製造業	医療 福祉	小売	宿泊	飲食*	生活	エンタメ	
運搬	避難所へ 物資輸送	貴重品の 輸送	バッテリー の運搬	点検資材 の運搬	ごみ・資源 回収		農作物の 輸送	木材の 輸送	海産物の 輸送	資材搬出	資材搬入	病室への 配膳	商品 搬入出	送迎	席案内	生活物資 輸送	バーチャル 旅行	
		資機材 の運搬	水の運搬	修繕資材 の運搬			農薬肥料 水散布				作業補助	薬・検体 の配送	手荷物 運搬	部屋への 案内	配膳	洗濯 代行	ペット散歩 代行	
調査	被害状況 把握	危険運転 検知追跡	鉄塔電柱 の点検	線路の 点検	不法投棄 監視	水量調査	生育状態 把握	生育状態 把握	生育状態 把握	鉱脈調査	作業状況 監視	遠隔診療	防犯	清掃	酔客検知	通学 見守り	トラブル 監視	
	要救助者 捜索	広域監視	電線点検	道路の 点検		人流調査		漁業被害 の検知	作業状況 監視	不審者 侵入検知					食い逃げ 追跡			
		巡回警備	下水道の 点検	橋梁の 点検		気象調査				不審者 侵入検知								
		見守り	発電設備 の点検			公害調査												
作業	電波中継	交通誘導		清掃	清掃		鳥獣対策	鳥獣対策	養殖池の 給餌			院内清掃 消毒	陳列	受付	調理	料理 代行	空撮	
	応急処置						収穫	植付け	養殖池の 清掃			遠隔診療 補助		ベッド メイク		清掃 代行	広告宣伝	
	要救助者 救助						種苗 植え付け	寒伏せ 雪払い	藻の除去							雪下ろし 代行	観光案内	
	避難誘導						土作り	間伐 伐採	梱包								ドローン ショー	

災害対応に関するTo-Beユースケース

ロボットの活用により、**迅速かつ安全**に情報を収集・整理して、対策を講じることができる。



ユースケースの机上検証

中間報告書で提示した各分野のユースケースについて、以下の観点から各分野の関連事業者・団体にヒアリングを実施。全体を通じて、次のような御意見をいただいた。

妥当性	問い	ユースケースの実現性はどうか。実現あたっての障壁として、どのようなものが考えられるか
	御意見	<p>実現性</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 労務費の削減、効率化だけでなく、働く人や利用者の安心・安全、負担軽減も重要（インフラ・農業、医療） ○ AI、IoT機器、他のモビリティ等との連携により、さらなる価値が見込める（インフラ、農業、医療、生活） <p>実現の障壁</p> <p>運用面・技術面・コスト面の3点についての多くの御意見を頂いた</p> <ul style="list-style-type: none"> 運用面 <ul style="list-style-type: none"> ・平時と災害時のマルチユースでは、運用方法を関係者間で事前に整理しておく必要がある（災害） ・分野間のマルチユースでは、需要偏在への対応がポイントとなるだろう（インフラ、生活） 技術面 <ul style="list-style-type: none"> ・ペイロードが小さいため、他のモビリティ・ロボットとの役割分担が必要だ（農業、生活） ・ロボットが働きやすいインフラの整備が必要だ（農業、生活） コスト面 <ul style="list-style-type: none"> ・通信費の高さがネックとなっている（インフラ、農業、生活）
網羅性	問い	社会的・経済的に重要なユースケースが漏れていないか
	ご意見	考えられるユースケースは概ね記載されている（全分野）

経済性分析における便益算定対象とする項目

自律移動ロボットを通じて、単に既存事業を改善するのみならず、自律移動ロボットの強みを生かした新たな価値の創出、豊かで安全安心な社会への貢献の実現を目指す。

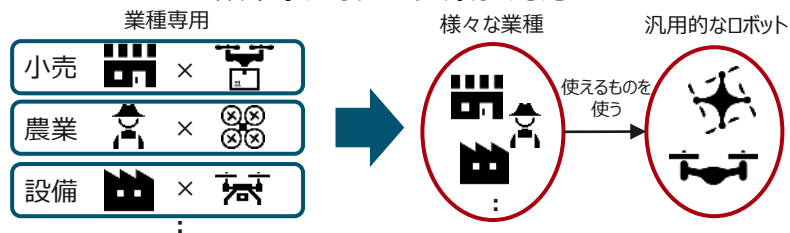
経済価値	既存事業の改善	収益増	ロボットを活用したCPSの実現で 業務効率を最適化	ロボットが24時間・自動で稼働し、 生産増・逸失利益減
		費用減	ロボットへの業務置換えにより 労務費を削減	自律“移動”ロボットの活用で 固定設備費を削減
	新たな価値	自動化	自動化によるコストメリット “安さ”ビジネス	顧客接点の増加 “いつでもどこでも”ビジネス
		空の活用	空路の活用 “早さ”ビジネス	空からの目の活用 “見つける”ビジネス
社会価値	安心安全	危険作業のロボット化で 労災を防止	ドローン等による精緻なリスク検知で 事件・事故を抑制	
	豊かな生活	自動化（時間・場所からの解放）で 人間はより価値ある活動を	災害・事故時にドローン等を活用し 被災から早期復旧	

経済性分析に当たっての前提（マルチモデルによるサービス運用）

迅速かつ適切に多様なニーズに応えながら、効率よく事業を運営するためには、**モビリティを多業種で利用できるようにするマルチドメイン、モビリティやインフラ、データを共同で利用するマルチパーパス、様々なモビリティで連携してミッションを遂行するマルチモーダル**のモデルを導入することが重要。

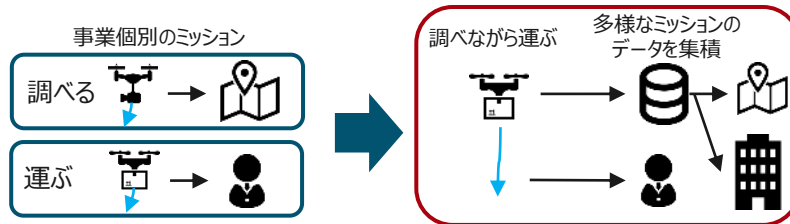
様々な業種やミッションへの対応（範囲の経済性）

マルチドメイン：多業種対応



参考：コンピュータにおける専用システム→共通・汎用化→クラウド化

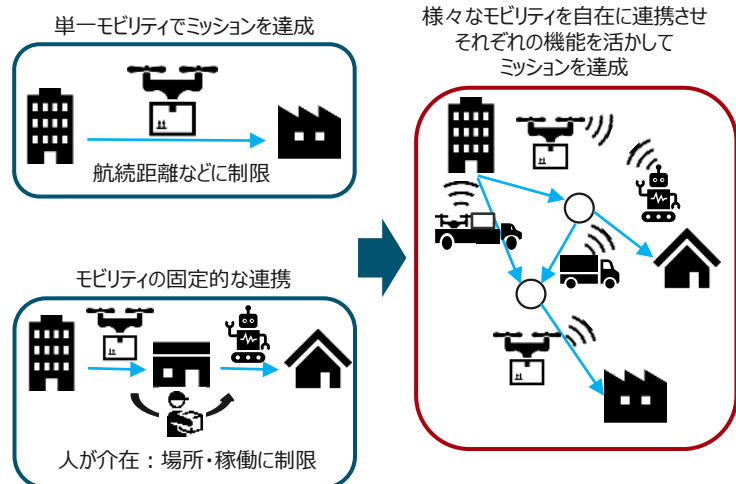
マルチパーパス：多目的対応



参考：コンピュータにおけるマルチプロセス化、ビッグデータ活用

多種多様な自律移動ロボットの組み合わせ

マルチモーダル：様々なモビリティの自在な連携



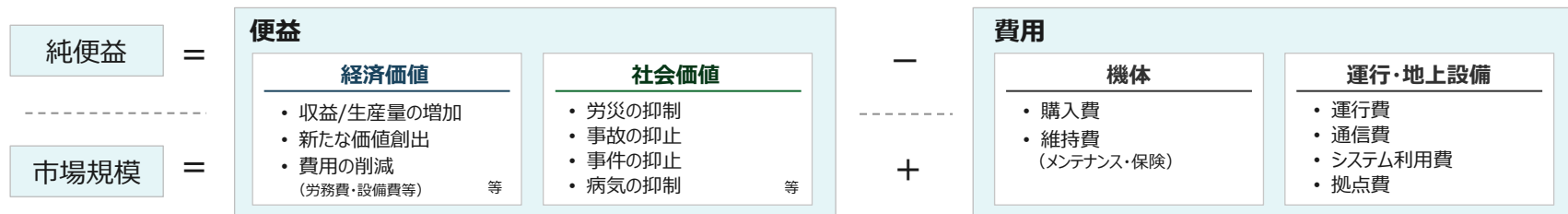
参考：コンピュータにおけるIoT(Internet of Things)

試算対象

7分野16ユースケースを対象に便益及び市場規模を算定し、その妥当性・将来性を検証する。

※ドローン、サービスロボット、自動車といった自律移動ロボットを活用したユースケースは数多あると想定されるが、本試算では、ドローンを中心に一部のユースケースを対象に試算を行った。また、試算結果に二次波及効果は考慮していない。なお、市場規模は理論値であり、実際のサービス等の売上とは異なる。

試算項目



試算対象ユースケース

■ 災害

[A-4] 早期状況把握

調査系

[A-8] ドローン基地局による無線中継

作業系

※「災害」は、人命救助・復興の観点から、便益と費用を単純比較することが必ずしも適当でないことから、経済規模の年次推移試算の対象外としています

■ 警備

[B-1] 施設警備

調査系

[B-2] 交通事故リスク検知

調査系

■ インフラ（電気・水道・ガス・運輸）

[C/D-8] 鉄塔点検

調査系

[C/D-8] 送電線点検

調査系

[C/D-9] 発電所点検

調査系

[C/D-8] 橋梁点検

調査系

■ 医療

[L-3] 薬・検査キットの配送

運搬系

■ 農業

[G-5] 農薬散布

作業系

[G-3] 上空からの生育状態把握

調査系

■ 小売・飲食・生活

[P-1] ラストワンマイル物流

運搬系

[P-2] 通学路見守りサービス

調査系

■ エンタメ

[Q-6] 空撮

[Q-7] VRバーチャルツアー

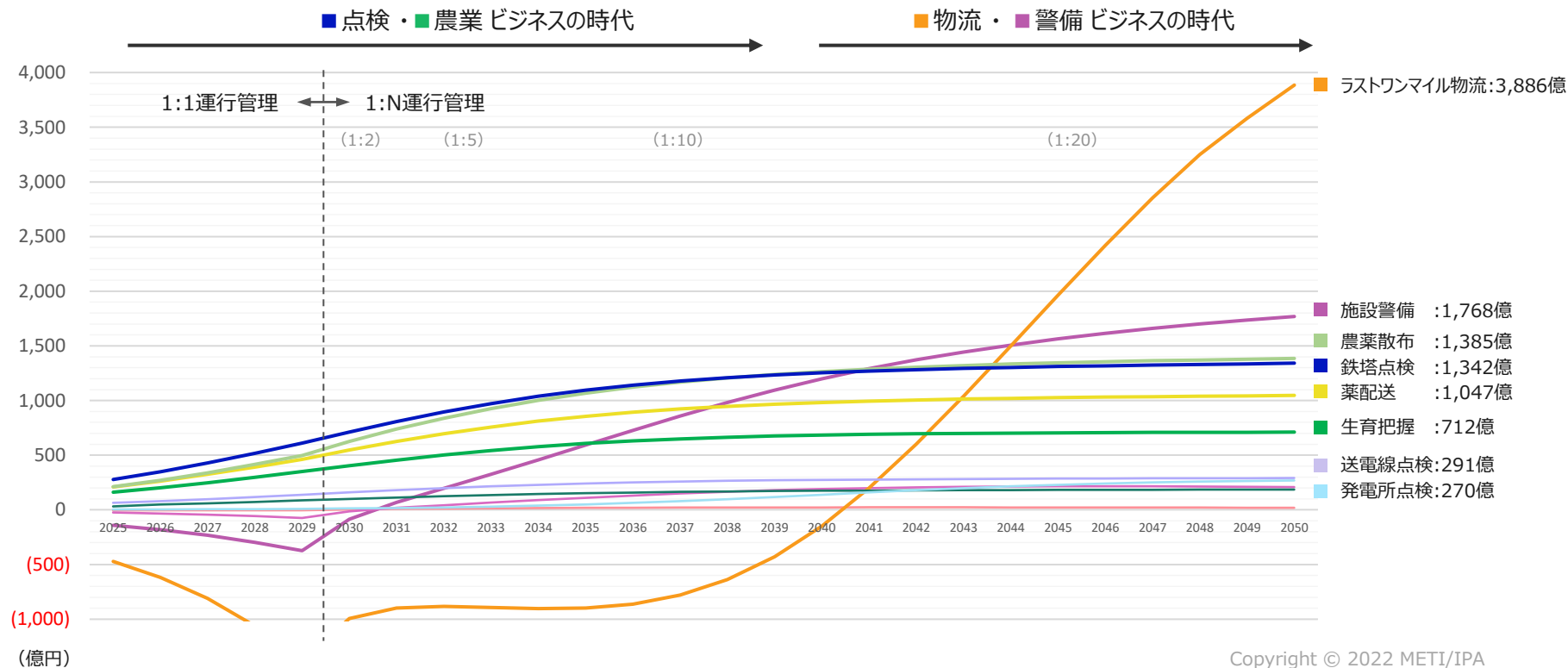
[Q-3] ショー

※「エンタメ」は、将来需要の見通しが不透明であることから、潜在的経済規模のみの算定としています

全体結果（ユースケース別純便益）

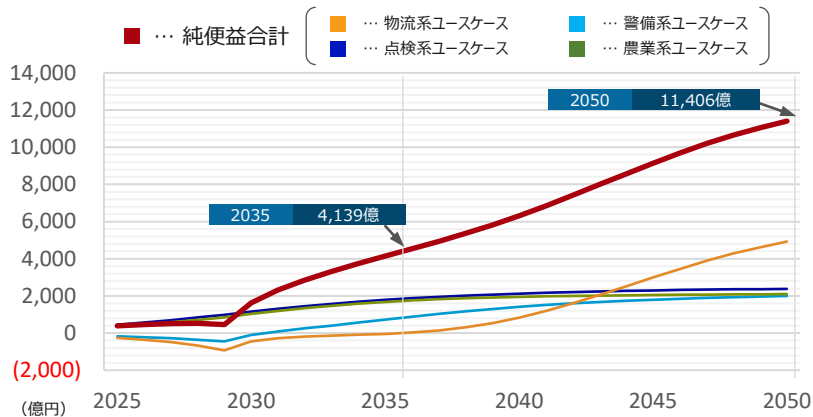
2020年代後半は点検・農業の分野を中心に自律移動ロボットの活用が進み、2030年代からは警備の分野が伸長し、2040年代には物流の分野での自律移動ロボットの活用が中心になると試算。

※マクロには便益がマイナスであっても、ミクロには便益がプラスになる場合もあることには要留意



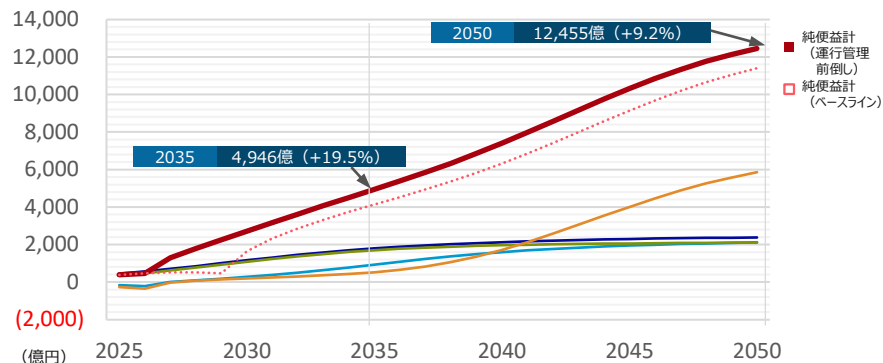
パラメータ変動が純便益に及ぼす影響

ベースライン



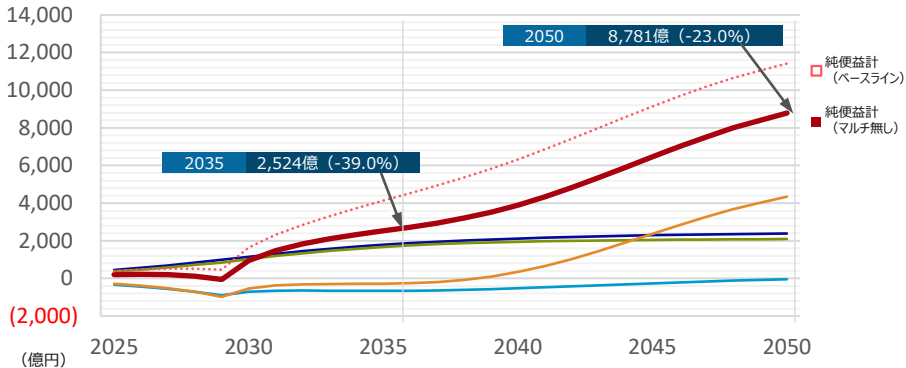
1:N運行管理開始が2027、2050年の運行管理機体数/人を25→50とした場合

物流・警備のブレークイーブンが前倒しになり、2030年を待たずにビジネス活性化



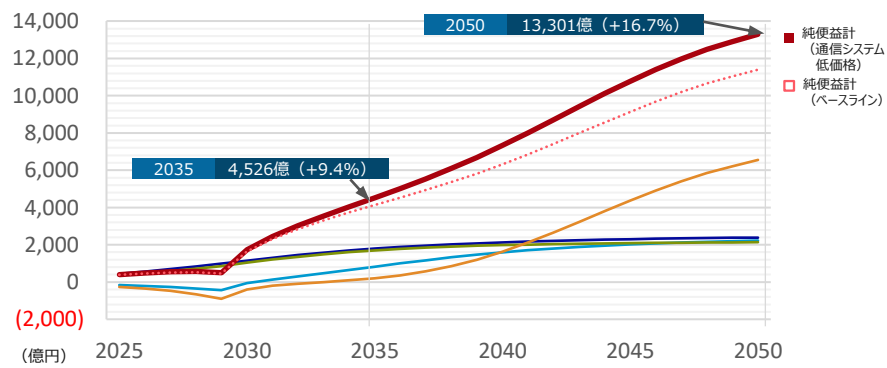
マルチユースとしない場合

マルチの恩恵が大きい公共用途 (見守り・危険運転監視等) を中心に便益が悪化



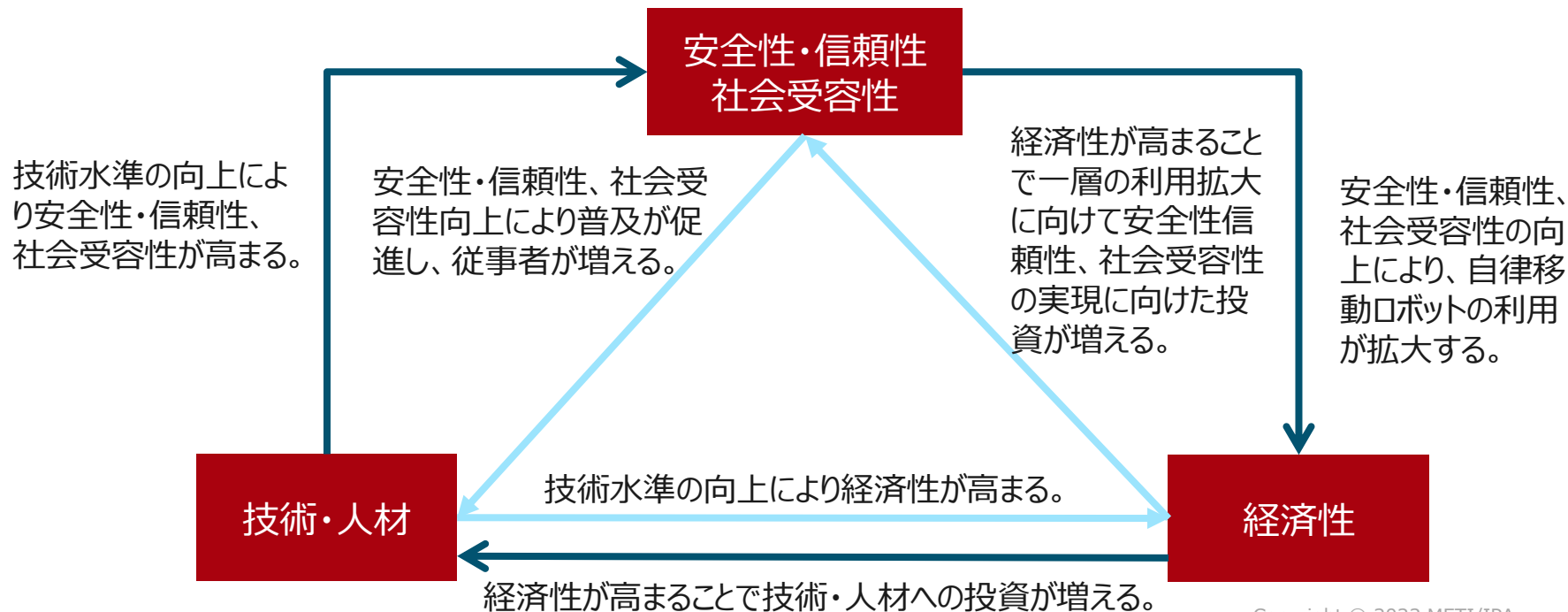
通信・システム費60万/年→50万/年、価格下落率2.5%/年→5%/年とした場合

費用に占める通信・システム費の割合が大きくなる2040年代以降の便益が大きく改善



自律移動ロボット普及のための戦略

多様な自律移動ロボットを分野横断・多用途で活用することで、**安全性・信頼性、社会受容性、経済性、技術・人材**を相乗的に高める**ポジティブループ**を回していくことが重要。この際、**ユースケースの検討を通じて得られた経済効果をドライバー**とすることで、**ポジティブループが回り始めていく**と考えられる。



安全性・信頼性・社会受容性を高めるアウトプットとケーパビリティ

安全性・信頼性・社会受容性を高めるアウトプット

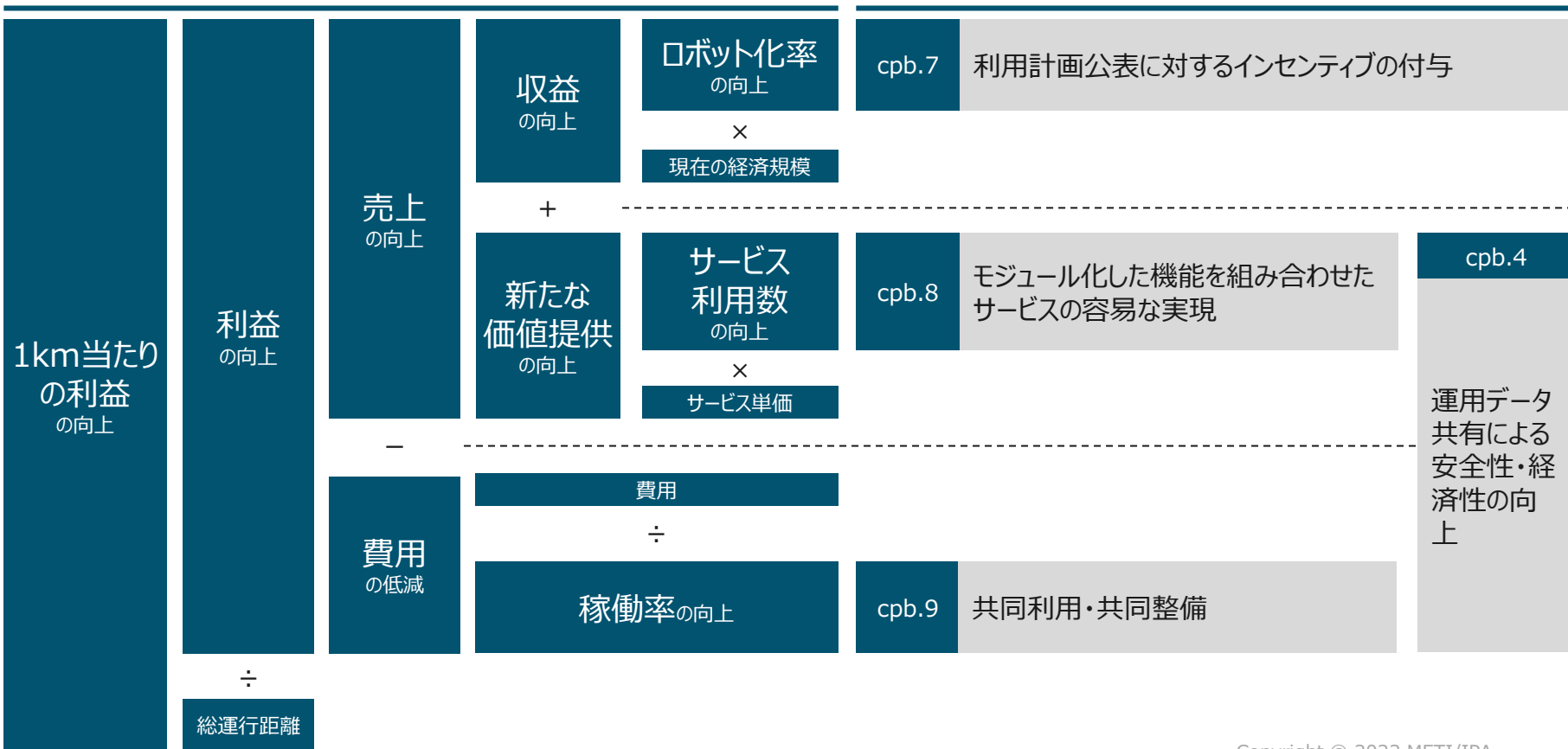
ケーパビリティ

事故率 の低減	年間の 事故件数 の低減	=	ヒヤリハット件数 の低減	÷ 300 (ハインリッヒの法則)		cpb.4	
		=	外的要因による 事故の低減	ハードウェア要因 (環境等)	cpb.1	外部リスク変化に応じた動的な運行	運用データ 共有による 安全性・経 済性の向 上
				ソフトウェア要因 (セキュリティ侵害等)	cpb.2	相互認証による信頼性の確保	
			内的要因による 事故の低減	ハードウェア要因 (設計ミス、経年劣化等)	cpb.3	ゴールベースの安全性の確保	
		ソフトウェア要因 (設計ミス、オペミス等)					
	÷		総運行距離				
苦情率 の低減	苦情件数の低減				cpb.5	不安の解消と価値の説明	
					cpb.6	事故時の迅速かつ十分な対応	
		÷	総運行距離				

経済性を高めるアウトプットとケーパビリティ

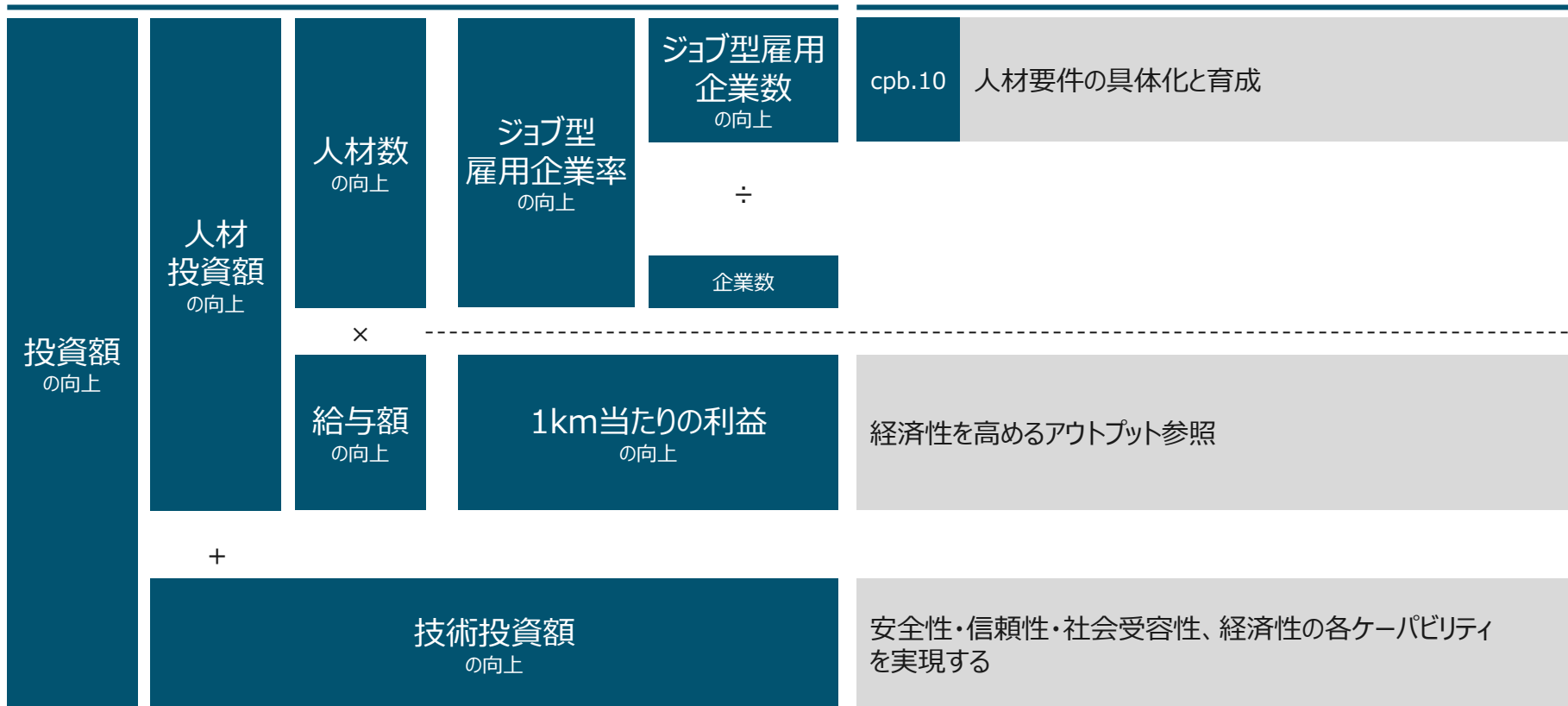
経済性を高めるアウトプット

ケーパビリティ



技術・人材水準を高めるアウトプット

ケーパビリティ



ケーパビリティ

要求事項

cpb.1

外部リスク変化に応じた動的な
運行

- 接触・危害のリスクに応じて、時間的に動的に、空間的に細かい粒度でリスクを設定
- 設定したリスクに応じて自律移動ロボットが運行
- 運用データの分析等により継続的にルールを改善

cpb.2

相互認証による信頼性の確保

- システム同士の相互認証によりなりすまし、データ改ざん、アクセス権の侵害を防止
- 技術・システムの悪用、データ流出などを防止することで犯罪や経済安全保障に対応

cpb.3

ゴールベースの安全性の確保

- 設計プロセスにとらわれず、結果に基づいて安全性を論証
- 安全性が適切なレベルであることを示すために、シミュレータによるバーチャルテストを活用

cpb.4

運用データ共有による安全性・
経済性の向上

- 運用パフォーマンス（運行時間・距離に応じた事故件数等）を常時モニタリングし、パフォーマンスに応じて対策を実施
- ヒヤリハット情報を共有し、社会全体で安全性を向上
- 運用を監視し、故障時の原因特定・切り離しを行い、他システムへの影響を最小限化

cpb.5

不安の解消と価値の説明

- 運行に対して責任を持つ主体、運行に関する情報を明示し、周辺住民、自治体などマルチステークホルダーとの対話を通じて、周辺住民の理解を得たエリア・時間で運行
- リスクマネジメントに関する判断基準・取組事項・パフォーマンスを共有し、ステークホルダーとの対話も踏まえて、取組・パフォーマンスを改善

cpb.6

事故時の迅速かつ十分な対応

- 事故時の責任関係や対応を明らかにする機能
- 事故時の責任を迅速かつ着実に履行する機能

経済性、技術・人材に関する要求事項

ケーパビリティ

要求事項

cpb.4

運用データ共有による安全性・経済性の向上

- 運用データをより価値のある製品・サービスの企画/設計や、効率的なインフラの配置に活用

cpb.7

利用計画公表に対するインセンティブの付与

- 大口の利用者が中期的な利用・整備を計画して公表・履行

cpb.8

モジュール化した機能を組み合わせたサービスの容易な実現

- 個別機能のモジュール化やインターフェースにおけるデータモデルの標準化等を行うことで、全体のシステムを変更しなくともモジュール単位で新たな技術を導入できるようにする。
- サービス提供者が豊富な種類の中からニーズにマッチした品質の自律移動ロボットサービスを使い勝手よく安価に利用できるようにする。

cpb.9

共同利用・共同整備

- IoTインフラやデータ・システム等を共用して稼働率・稼働範囲を高める。

cpb.10

人材要件の具体化と育成

- 人材要件を具体化する機能
- 経験や意欲を有する人材を獲得する機能
- 企業、自治体、大学、中・高・高専、専門学校等で人材を育成する機能

2022年度の検討事項の概要

(アーキテクチャの検証・具体化)

- ① **実証・研究開発事業の取組内容を把握・フィードバック**を通じてアーキテクチャの具体化を図る。
- ② **関係組織との共同検討やコミュニティ形成、広報活動**によりアーキテクチャの具体化・普及を図る。

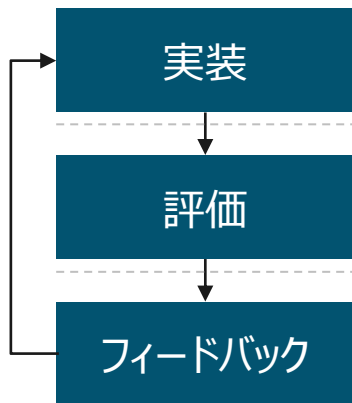
(検討スコープの拡大)

- ③ アーキテクチャを踏まえた実証・開発段階に留まらず、**運用・普及段階の検討を本格化**する。
- ④ 国内の取組を中心に検討してきたが、**標準化含め海外展開についても検討を本格化**する。
- ⑤ 空のモビリティを中心に検討してきたが、**地上のモビリティについても検討を本格化**する。

①アーキテクチャに基づいたシステム調達の国内事例

デジタル庁及び経済産業省の関係事業において、DADCで設計したアーキテクチャに基づいた調達を実施している。その際には、アーキテクチャに基づいて実装すること、有効性検証を実施すること、アーキテクチャへのフィードバックを実施することとしている。

産業DXのためのデジタルインフラ事業の基本計画・公募要領抜粋



研究開発項目①では、DADCが設計したアーキテクチャに基づき、空間IDを活用した3次元空間情報基盤に関する研究開発を実施する。具体的には、以下のとおり。

※1

本事業では、DADCが設計した空間ID（図1参照）及び3次元空間情報基盤（図2参照）に関するアーキテクチャ^(※1)に基づき、ユースケース毎に、空間IDに紐付く種々属性データの規定、空間IDに紐付いた属性データ処理・流通機能を保有する情報基盤の構築・有効性検証を行うことに

※2

施策8を参照して、本事業は、DADC設計のアーキテクチャに基づくものとします。ただし、同アーキテクチャに即することが適切ではないなど合理的な理由がある場合には、NEDO及びDADCと協議の上で、対応する範囲の限定化や対応内容の変更等を行うことは可能です。

※2

指定したアーキテクチャに基づいて設計する旨を明記

有効性検証を行う旨を明記

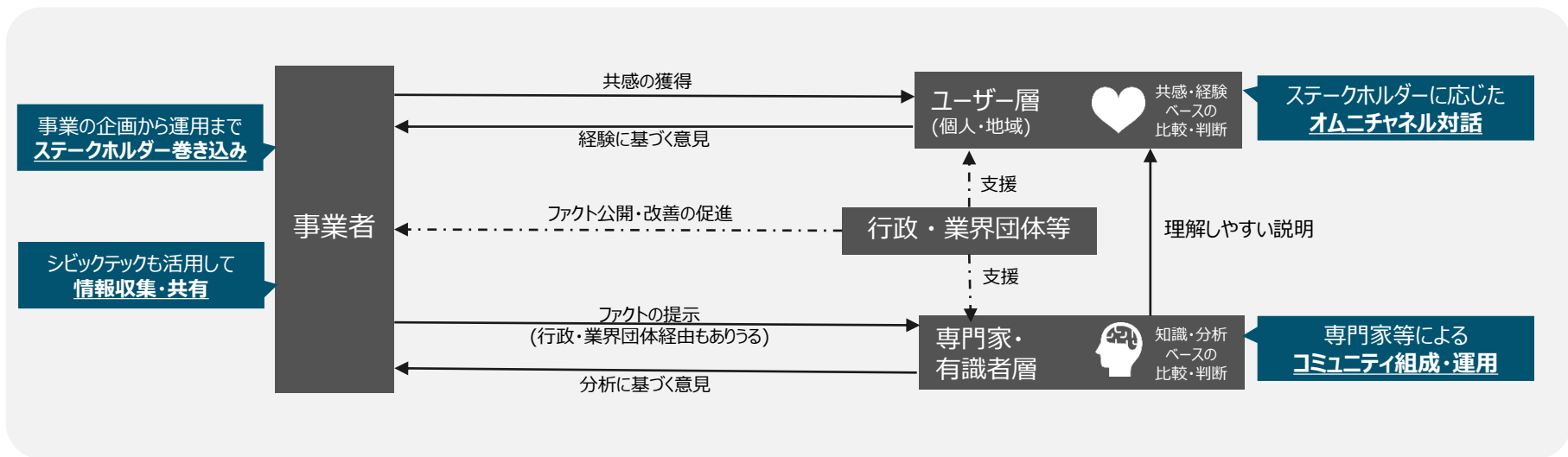
フィードバックを踏まえて、アーキテクチャを変更する場合もあることを明記

※1 <https://www.nedo.go.jp/content/100946226.pdf>

※2 <https://www.nedo.go.jp/content/100946229.pdf>

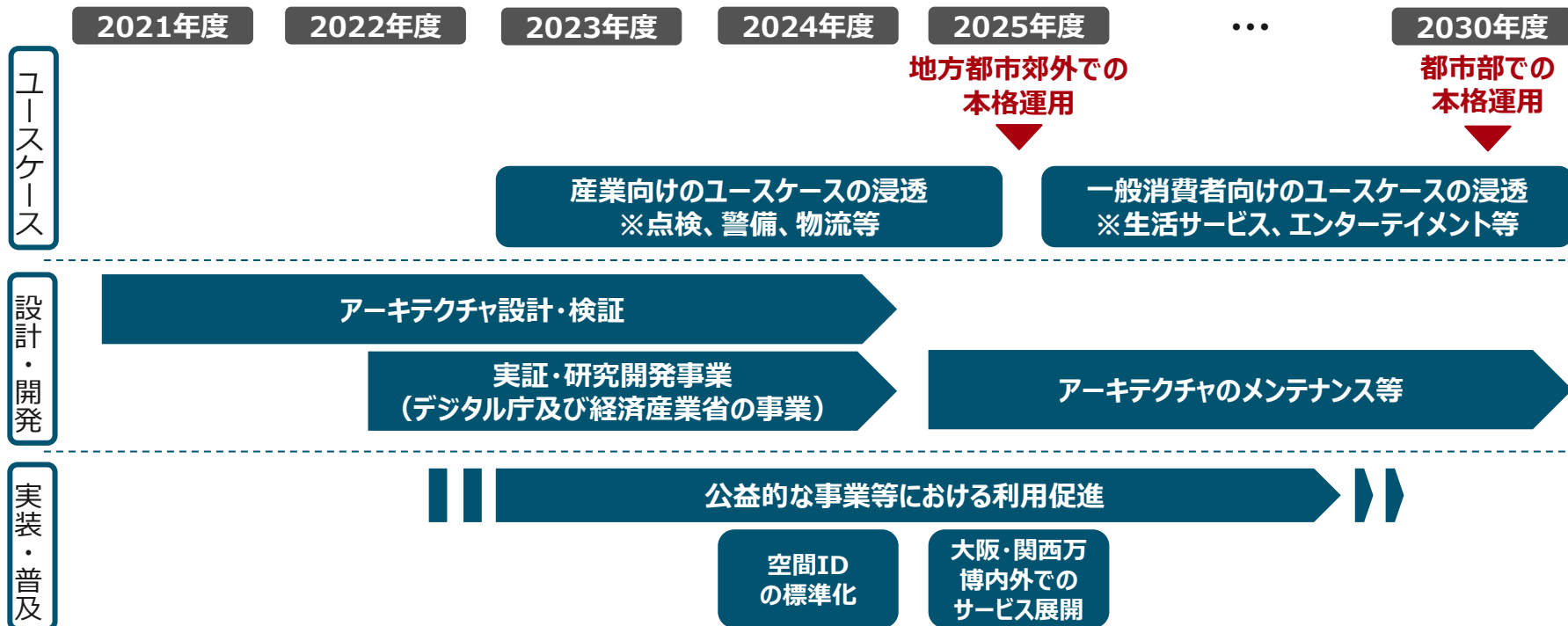
②ステークホルダーとの信頼関係構築における取り組みの方向性

ユーザー層からの「共感獲得」とファクトに基づく「リスク評価」の2つの目標を実現するために、事業へのステークホルダーの巻き込み、事業者による情報収集・共有、ステークホルダーとのオムニチャネルでの対話、専門家等のコミュニティによるリスク分析といった仕組みを構築する。



③ 社会実装・普及に向けたロードマップの概要

2025年度までに地方都市郊外で、2030年度までに都市部で、自律移動ロボットが本格的に使われる社会を実現するべく、ユースケースの具体化、設計・開発、実装・普及に取り組むことを想定。



2021年度はドローンを中心にアーキテクチャを設計し、2022年度からは地上モビリティのアーキテクチャ設計も進めていく。また、土地系ベースレジストリや3D都市モデル（PLATEAU）や地理院タイル、ビルOS、次世代取引基盤等の関連分野との連携も継続的に深めていく。

④空間IDの普及・社会実装に向けた標準化の進め方

- 空間IDの標準化戦略において、国内外での**デジュールスタンダードの獲得と並行して、よりスピード感のある、デファクトスタンダードを確保することが重要。**
- そのため、まずはデファクトスタンダードの実現に向け、ステークホルダーを巻き込んだ実証実験を進めつつ、並行して**国内外のサービスや標準化の動向やユースケース等を見据え、諸外国に対して積極的に情報発信**を行う。その上で、デジュールスタンダードの確実な獲得を目指す。

デファクトスタンダード

市場での普及を通じての事実上の標準

ステークホルダーを巻き込んだデファクトスタンダード化

- 1) 規格検討段階からの関係企業・省庁との共同検討
- 2) 実証・研究開発段階からのユースケースを想定した開発
例) 自律移動するモビリティの運行管理支援
GISにおける3次元地理空間情報の重畳の簡易化
地下埋設物の照会や建設機械の掘削支援 等

デジュールスタンダード

公的な標準化組織が開発する標準規格

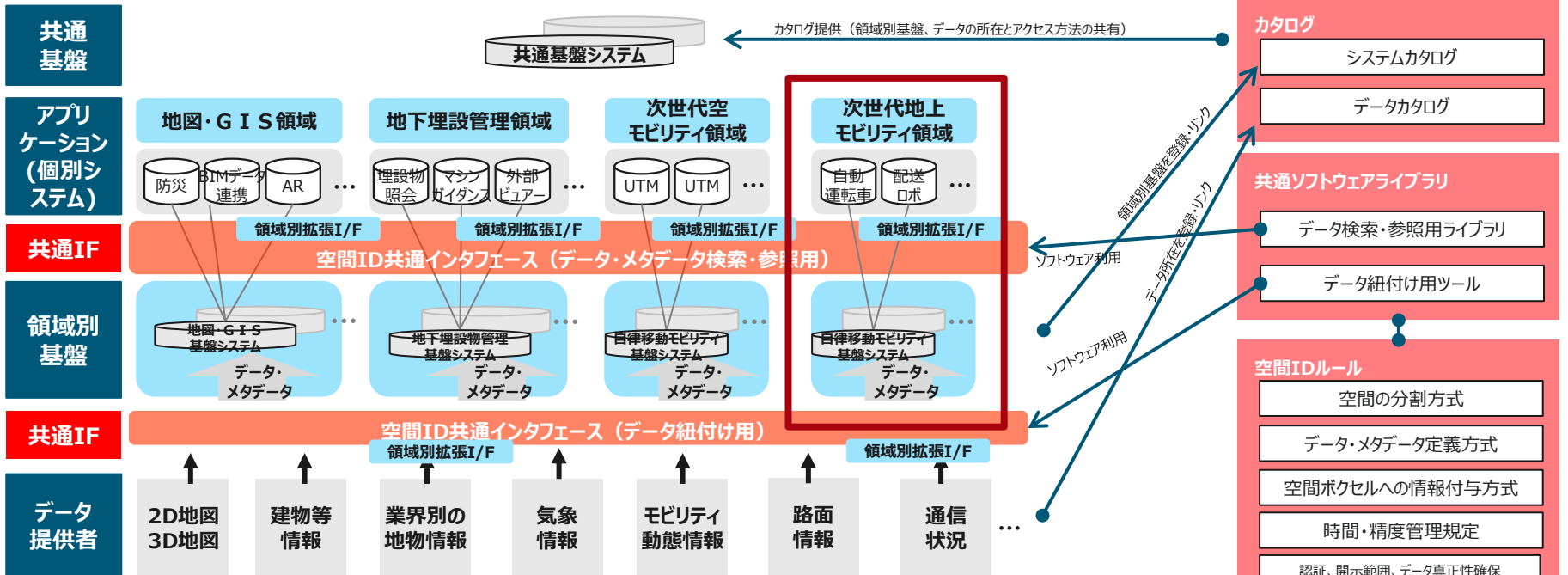
国内外のサービスや標準化の動向把握及びデジュールスタンダードの獲得

- 1) 国内外のサービスや標準化の動向把握、実証結果を踏まえたユースケースの整理、情報発信及び諸外国との仲間作り
- 2) ISO等に対する国際標準の提案

⑤ 3次元空間情報基盤の基本的な設計

データ提供からデータ活用までレイヤーを整理し、機能をモジュール化して**インターフェース**や**モビリティのID**、**空間のIDを標準化**することで、異なる者が運用する多数のシステムで構成される分散型の基盤を構築して、膨大な空間情報を効率的に流通・活用できるようにする。

分散型の基盤システムアーキテクチャ



領域別の協調領域については実証等を踏まえて各領域で整理



経済産業省

Ministry of Economy, Trade and Industry



Digital Architecture
Design Center