

自律移動ロボット・3次元空間情報基盤 に関するアーキテクチャ設計の検討状況

2022年5月27日

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 (DADC)

センター長 齊藤 裕

目次

- 1 アーキテクチャ設計の基本的な方向性
- 2 ビジョン・ユースケースの具体化に関する検討状況
- 3 自律移動ロボット・3次元空間情報基盤の設計の検討状況
- 4 社会実装・普及に向けた取組の検討状況

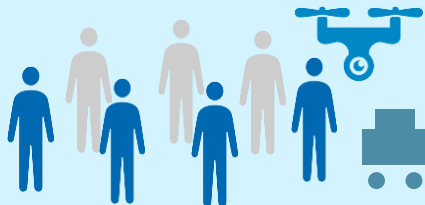
Society5.0にむけたアーキテクチャの必要性

Society5.0の特徴

- 人間中心であり、各個人が最適な体験を得られる
- 脱炭素や少子高齢化の時代にも対応が可能

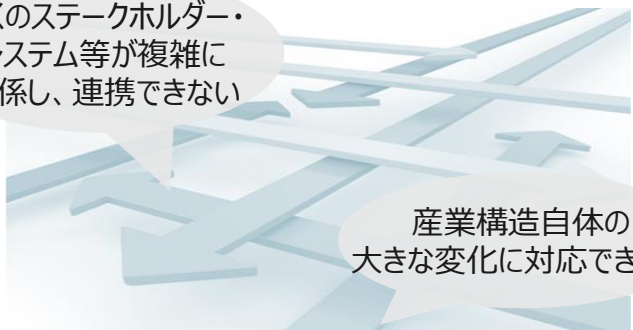
人の判断を
データ・AIが代替

UX=「コト」が中心



人とマシン
(AI・ロボット)が共存

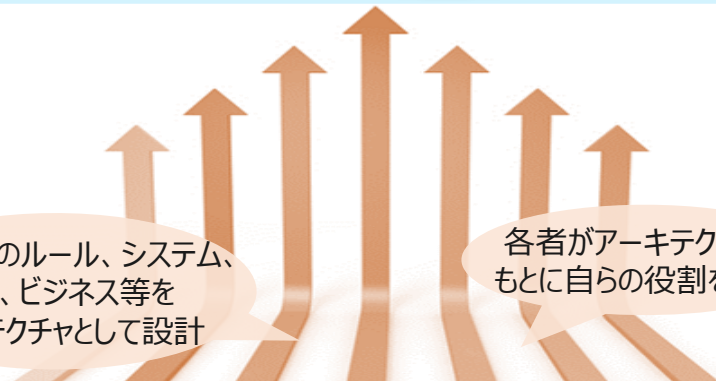
多くのステークホルダー・
システム等が複雑に
関係し、連携できない



産業構造自体の
大きな変化に対応できない

各者バラバラの取組では
Society5.0の実現は困難

社会全体のルール、システム、
技術、ビジネス等を
アーキテクチャとして設計



各者がアーキテクチャを
もとに自らの役割を遂行

社会全体のアーキテクチャを設計し、
各者の取組を社会実装することが重要

アーキテクチャ設計における主なポイント

1 顧客・社会目線でビジョン・ユースケースを具体化して必要機能を規定することが重要

ポイント ステークホルダーの共感（社会価値）とユースケースの事業性（経済価値）の両立

2 必要機能のシステムへの割当に際しては、レイヤー・モジュール構造を規定することが重要

ポイント 協調領域と競争領域の峻別

3 社会実装・普及に向けたインセンティブ・エンフォースメントの具体化が重要

ポイント 安全性・信頼性の確保とイノベーションの促進の両立

具体例

自律移動ロボット将来ビジョン検討会 中間報告書

https://www.ipa.go.jp/dadc/architecture/pdf/pj_report_autonomoumobilerobot_doc_20220328.pdf

3次元空間情報基盤アーキテクチャ 中間報告書

https://www.ipa.go.jp/dadc/architecture/pdf/pj_report_3dsatialinfo_doc_20220512.pdf

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

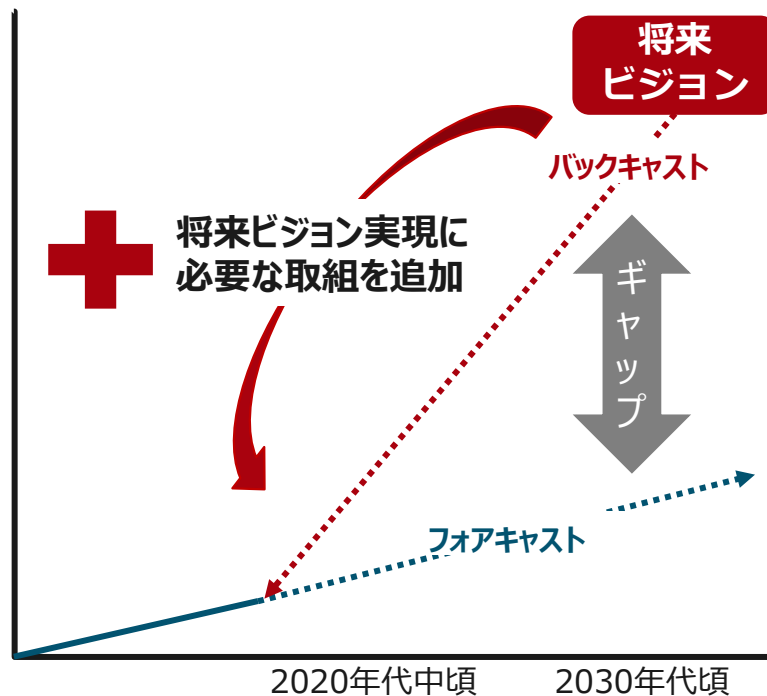
- ・ 富を創出
- ・ 人間の生活を豊かに

脱炭素の実現

少子高齢化の時代に対応

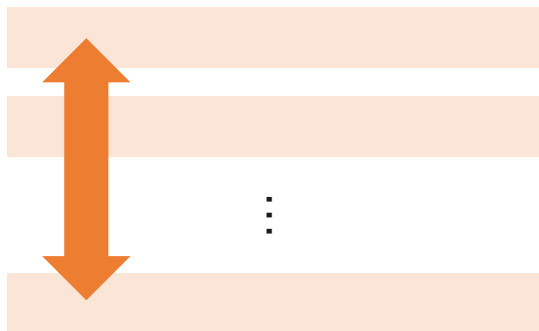
各個人が
最適な体験を享受

将来ビジョンからバックキャストして取組を検討



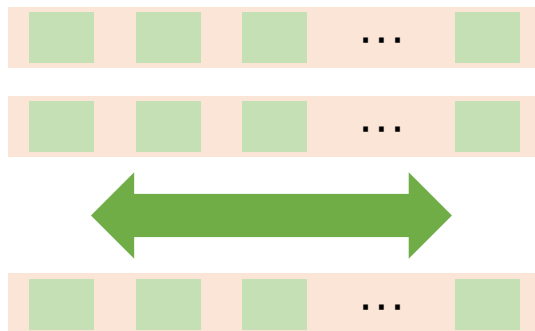
レイヤー・モジュール構造/インセンティブ・エンフォースメント設計のイメージ

縦の連携



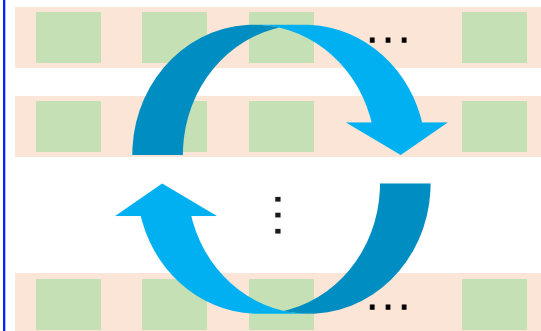
- データ流通やCPSの信頼性を確保し、変化への対応を柔軟にする**レイヤー構造の設計**
- 官民、省庁それぞれで開発するのではなく共通のレイヤーを設けることで、**社会全体のコストを抑制**

横の連携



- 各社が開発した**サービスの相互運用性を確保**するために、**モジュール化されたサービスの連携**を支援するアーキテクチャを定義し、サービス起ち上げの容易性を向上する
- サービスが多様になることで、**利用者には選択肢の多様性が提供**される

連携を実現するガバナンス



- サイバーとフィジカルの融合に際し**技術がもたらすリスクを管理**した上で、**イノベーションのもたらす自由を最大化**するガバナンス

目次

- 1 アーキテクチャ設計の基本的な方向性
- 2 ビジョン・ユースケースの具体化に関する検討状況
- 3 自律移動ロボット・3次元空間情報基盤の設計の検討状況
- 4 社会実装・普及に向けた取組の検討状況

自律移動ロボットのアーキテクチャ設計の推進体制（産学官連携）

司令塔 デジタル庁

主な役割

- ・関係省庁との調整
- ・政府のシステムに関わるルールを整備
- ・政府のシステムの開発や運用を実施

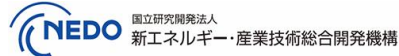
連携

主催省



主な役割

- ・産業に関わるルールを整備
- ・民間企業向けのシステムの開発や導入を支援
- ※NEDOと連携して実施



連携

関係省庁

- ・内閣官房
- ・警察庁
- ・総務省
- ・国土交通省
- ・国土地理院 等

情報処理の促進に関する法律
第五十一条第一項第八号
に基づく**依頼**

自律移動ロボットに関する
アーキテクチャ等を**提出**

自律移動ロボットに
関する検討を**支援**

Digital Architecture
Design Center
齊藤 裕
センター長
ファナック株式会社顧問

自律移動ロボットプログラム

報告

助言

検討会

【有識者 + 関係省庁】

自律移動ロボットに関する検討の具体化に
優れたリーダーシップ・専門性を有する人材が**参画**

民間企業 / 教育機関

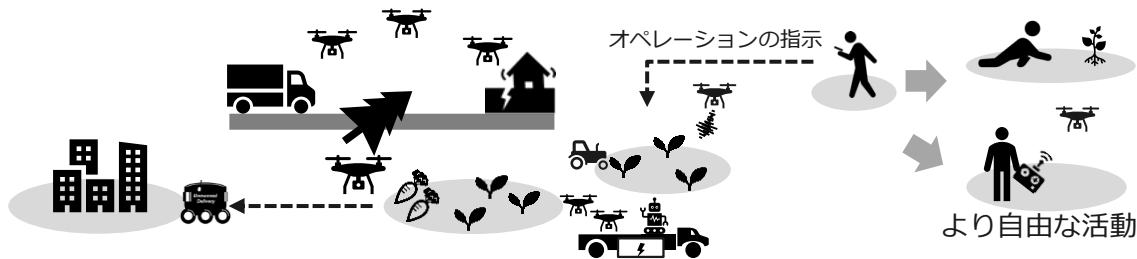
自律移動ロボットにより実現される社会

自律移動ロボットが活躍してデジタル完結・自動化・全体最適化が進む社会システムを構築し、人々は時間・場所の制約から解放されて価値ある活動に注力でき、エコシステム全体で成長して利益が適切に分配される社会を実現し、社会課題解決・産業発展につなげる。

デジタル完結・自動化・全体最適化

時間・場所の制約からの解放により、人間はより価値ある活動へ

デジタル田園都市構想の実現に向けて

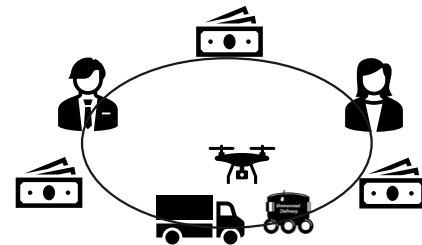


いつ・どこでも「コト」「モノ」を享受

産業の魅力向上・活性化

エコシステム全体で成長して利益を適切に分配

新しい資本主義の実現に向けて



社会・利用者・事業者の課題解決・便益向上


















- ・ 少子高齢化に伴う過疎化や労働力不足
- ・ 災害激甚化
- ・ インフラ老朽化

- ・ カーボンニュートラル
- ・ 感染症拡大

- ・ 海外プラットフォーマー依存
- ・ 相対的な生産性の低下
- ・ 国際競争力の低下

ユースケースの概観（本資料では災害対応のみ紹介）

■ …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	警察	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		バッテリーの運搬 水の運搬 ガスの運搬	点検資材の運搬 修繕資材の運搬 代替輸送	ごみ・資源回収		農作物の輸送 農薬肥料水散布	木材の輸送	海産物の輸送	資材搬出 作業補助	資材搬入	病室への配膳 薬・検体の配送 生活物資輸送	商品搬入出 手荷物運搬	送迎 部屋への案内 食事配膳	席案内 配膳	生活物資輸送 洗濯代行 ペット散歩代行	バーチャル旅行
	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	パトロール	電線点検 下水道の点検 発電設備の点検	道路の点検 橋梁の点検		人流調査 気象調査 公害調査 土地調査			漁業被害の検知	作業状況監視 不審者侵入検知	不審者侵入検知				食い逃げ追跡		
作業	初期消火		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								

災害対応に関する課題

ライフライン断絶時でも命を守るため、**強靱かつ柔軟な災害対策・被災者支援の仕組み**が必要。

ライフラインの断絶

交通網や通信網、電力網等が**機能不全**となり、避難所や医療現場、救助現場への救援物資輸送が滞ることを想定した備えが必要

【地震】

熊本地震では、熊本県内の緊急輸送道路約2千kmのうち50箇所で行き止まりが発生

【豪雨】

異常豪雨時に通行止めとなる事前通行規制区間は、直轄国道だけで全国に約200箇所

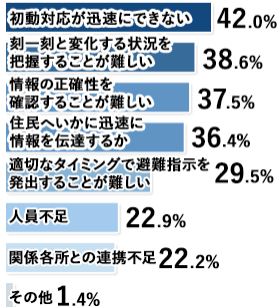
※1

首都直下地震では、発災後1週間で、食料約3,400万食、飲料水約1,700万Lの不足が見込まれ、**救援物資供給体制**に課題 ※2

情報不足

災害時は**正確な情報の把握が難しく**、迅速に適切な対策を判断することが困難

災害発生時に直面する課題は何ですか？（複数回答可）

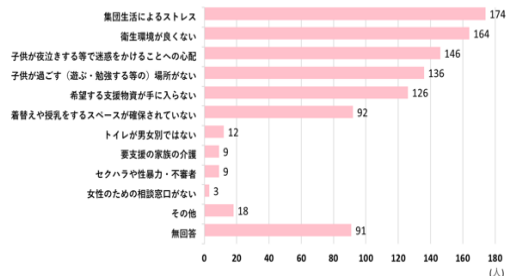


自治体の防災・災害担当者が考える課題 ※3

避難所生活での不安・不便

避難所生活は、衛生面・治安面のほか、娯楽が不足する等、肉体的だけでなく、**精神的負担も大きく、被災者への十分なケアが行えない**場面が存在

避難所での生活で不安・不便に感じたことは何ですか？（3つまで）



熊本地震で『育児中の女性』が避難所生活で不安に感じたこと ※4

空路やロボットの活用により、**ライフラインを途絶えさせない**仕組み

ロボットが迅速に被災地の情報を集め、**正確・迅速に判断**ができる仕組み

ロボットが**避難所での不安軽減**や**ストレス緩和**に貢献する仕組み


※1 国土交通省
※2 内閣府
※3 株式会社Spectre
※4 熊本市男女共同参画センターはあちこち

今後の災害・物流ネットワークについて
首都直下地震の被害想定と対策について（最終報告）～ 人的・物的被害（定量的な被害）～
【災害発生時の自治体の課題】防災・災害担当者の9割以上が「初動対応が重要」と回答するも、4割近くが「対策が不十分」
熊本地震を経験した「育児中の女性」へのアンケート報告書

<https://www.mlit.go.jp/common/001214462.pdf>
https://www.bousai.go.jp/jishin/syuto/taisaku_wg/pdf/syuto_wg_siry01.pdf
<https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000068.000016808.html>
http://harmony-mimoza.org/aboutus/report/docs/jishin_kuju_report.pdf

災害対応×自律移動ロボット 既存の取組

災害時に必要な、情報収集・意思決定・運行管理等のタスクを、一括管理/支援するソリューション提供が進む。加えて、ドローンによる空撮画像をAIにより画像処理し、救助者や対象物を検知する取組も存在。

ユースケース	初動対応	物資輸送	物資輸送	情報収集
ユースケース	<ul style="list-style-type: none"> 避難者捜索 映像のリアルタイム配信 医療物資輸送  <p>※1</p>	<p>複数のモビリティを、平時は物流手段として、災害時は緊急物資供給に活用</p>  <p>※2</p>	<p>可搬型ドローンポートとクラウドを連携させ、必要な情報を一元管理</p>  <p>※3</p>	<p>ドローンやヘリコプター等、複数機体を統合運航管理</p>  <p>※4</p>
フィールド	<p>沖縄県南城市 (沖縄県総合防災訓練)</p>	<p>埼玉県秩父市</p>	<p>大分県日田市</p>	<p>全国13地域 (三重県志摩市等)</p>
サービス提供	<p>NTTドコモ</p>	<p>西武ホールディングス JP楽天ロジスティクス</p>	<p>Blue Innovation</p>	<p>KDDI ウエザーニューズ(監視システム)</p>
運航管理	<p>NTTドコモ(通信) イームズロボティクス(操縦)</p>	<p>ゼンリン アズコムデータセキュリティ</p>	<p>Blue Innovation・ 京セラ・NTTドコモ</p>	<p>JAXA(シミュレータ) 国際航業(解析)</p>
機体メーカー	<p>イームズロボティクス</p>	<p>JP楽天ロジスティクス (機体提供)</p>	<p>ACSL</p>	<p>複数</p>

※1 NTTドコモ お知らせ
 ※2 ドローンジャーナル
 ※3 ドローンジャーナル
 ※4 国際航業ニュースリリース

沖縄県総合防災訓練にて、セルラードローンを用いた物資輸送、および映像伝送の実証実験に成功
 秩父市生活交通・物流協働推進協議会、複数モビリティを融合した配送実験に成功
 ブルーイノベーション、「災害用ドローンポートシステム」の実証実験を大分県日田市で実施
 全国13地域をつなぐ運航管理システムのもと、複数のドローンによる災害調査の実証実験を実施

https://www.nttdocomo.co.jp/info/notice/kyushu/page/181011_00.html
<https://drone-journal.impress.co.jp/docs/news/1183914.html>
<https://drone-journal.impress.co.jp/docs/news/1183496.html>
<https://www.kkc.co.jp/cms/detail/news/20211124>

災害対応に関するTo-Beユースケース

平時に物流・点検等のサービスを行なっている自律移動ロボットを災害時に集中管理して被害状況把握、避難誘導、物資輸送に利用することで、**早期の避難・救助・復旧が可能**となり、**人は被災者のケア・支援などに時間を使うことができる。**

地震発生

数時間後

翌日以降

運搬

■ ロボットの集中管理

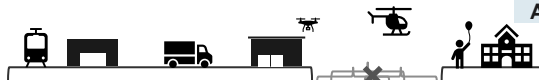
A-1



各事業者の持つロボットを集中管制下に置き、**災害対応に最優先で充当**

■ 円滑な支援物資供給

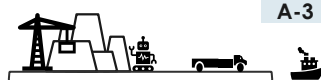
A-2



全国からの物資が避難所や罹災箇所**シームレスかつ自動的に最適な供給**

■ 早期復興

A-3



24時間フル稼働で瓦礫・資機材を運搬

調査

■ 情報の一元管理（被害箇所・被災者等）

A-4

衛星やIoT機器も活用し
広範囲に状況を把握



収集される**全ての情報をステークホルダーで共有**

■ 詳細な被害情報収集

A-5



狭隙箇所 高所・危険箇所 水中 磁気による埋設物検知
高機能特殊ロボが活躍し、**人手不足・労災を緩和**

■ 迅速な被害額査定

A-6



被災前に収集したデータと比較することで、**即日査定**

作業

■ 危険な救援作業を人にさせない

A-7



情報提供と
避難呼びかけ

医療物資や
ロープの投下

消火剤の
散布

被災した通信
基地局の代替

初動対応が**AIにより最適化**されて**自動実施**

■ 避難所支援・周辺警備

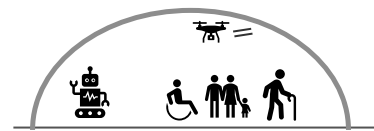
A-8

○安全の確保

- ・安否確認
- ・離れた家族との会話
- ・要配慮者数の人数確認
- ・巡回警備

○生活の支援

- ・救援物資のニーズ調査・配布
- ・ゴミの回収
- ・通信環境の提供（基地局の代替）
- ・娯楽の提供（プロジェクター代替等）



ロボットが避難所を支援

災害分野におけるアウトカム・効果指標例

課題・ユースケースから**社会価値（少子高齢化、災害・感染症、生活の質）、経済価値（収益増加、安全性向上、労務費削減、設備費削減）**の視点でアウトカムを整理。**自律移動ロボット・デジタルシステムを活用しながら、その他のあらゆる手段も組み合わせることでアウトカムの指標を改善する方法を具体化する必要。**

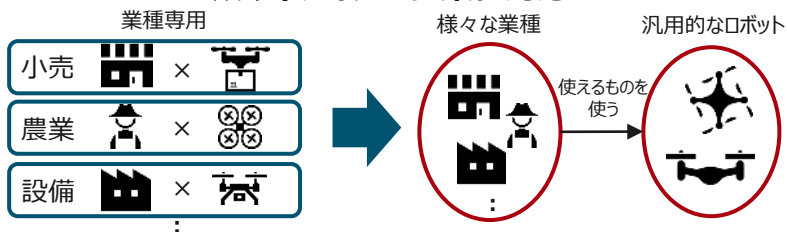
		課題	対策	アウトカム	効果指標	関連ユースケース			
		ライフライン復旧の遅延		収益増加	ライフラインの早期復旧	ライフライン復旧日数	A-1 A-3		
		ライフライン復旧の人手不足	自律移動ロボットを	労務費削減	作業員の低減	作業員数 ロボット化率			
社会価値	避難の遅れによる人命喪失	自律移動ロボットを活用した避難誘導	災害・感染症	逃げ遅れの防止 避難方向の間違い防止	避難完了時間 避難所到着者数	設備費削減	足場等の設備費の低減	足場等の設備費の削減率	A-5
	救助の遅れによる人命喪失	自律移動ロボットを活用した捜索支援	災害・感染症	捜索遅れによる死亡者の低減	72時間以内の救助率	安全性向上	二次災害件数の低減	復旧による二次災害件数	A-1 A-7
	情報収集の遅れによる意思決定・対応の遅延	自律移動ロボットによる迅速な被災情報の収集	災害・感染症	迅速な情報収集による早期復旧	ライフライン復旧日数	労務費削減	被害調査時間・コストの削減	被害調査時間 被害調査人員数	A-1 A-4 A-5 A-6
	ライフライン断絶による救援物資供給の遅れ	自律移動ロボットを活用した救援物資輸送	災害・感染症	避難所へ必要な物資の迅速な供給	物資取得までの時間 必要な物資の取得率				A-1 A-2
	避難時の空き巣被害	自律移動ロボットを活用した監視	災害・感染症	避難時の空き巣被害の低減	避難時の空き巣被害件数				A-8

ユースケースの分析から得られる示唆の例：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。

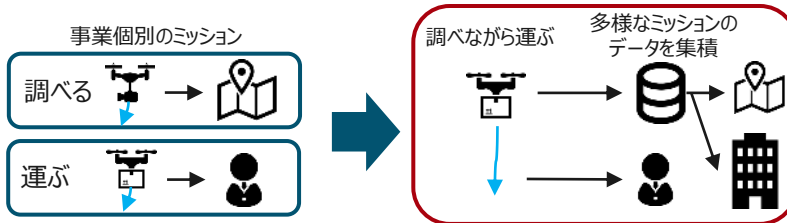
様々な業種やミッションへの対応（範囲の経済性）

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

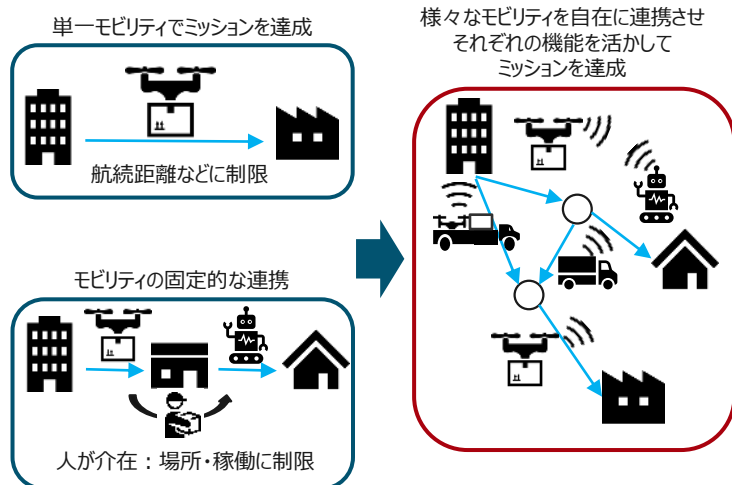
マルチパーパス：多目的対応



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



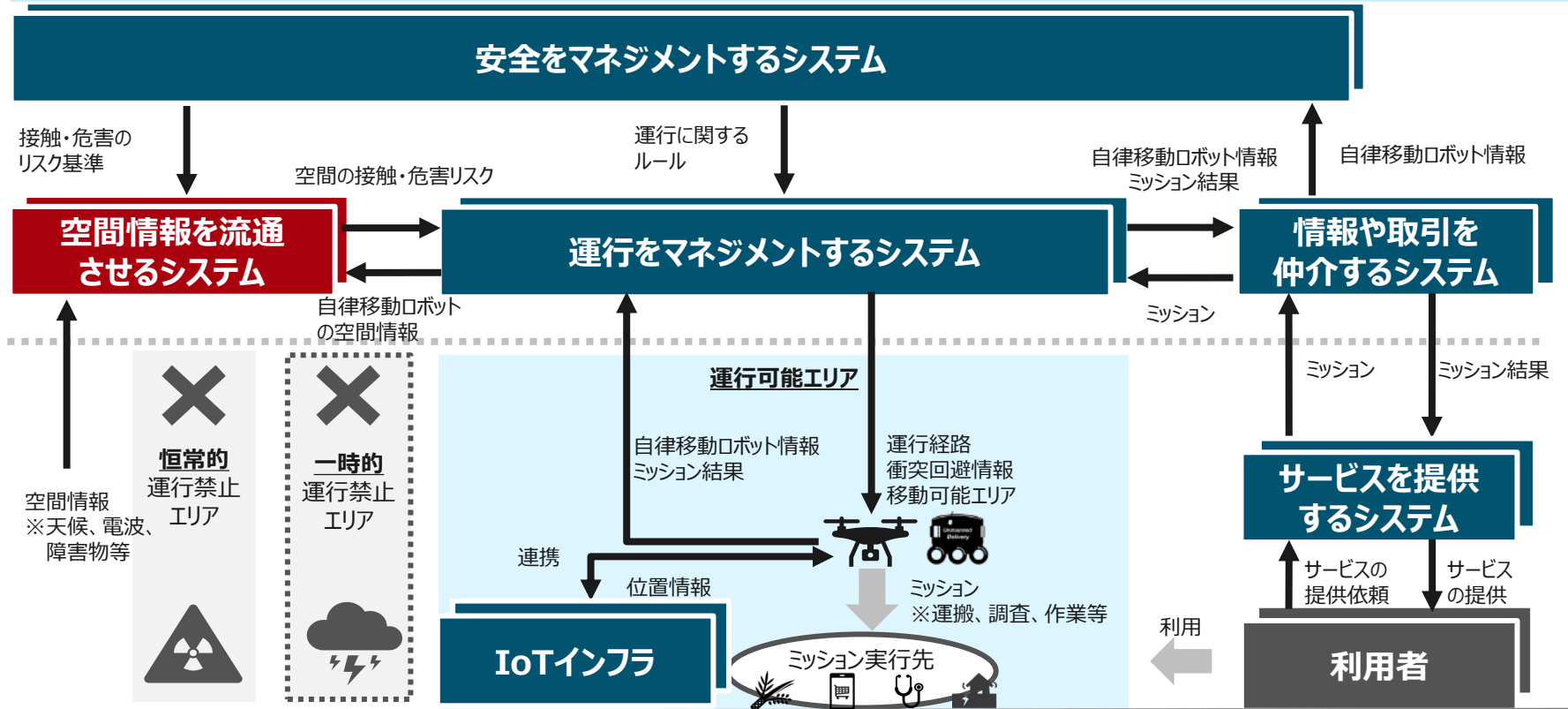
参考：コンピュータにおけるIoT(Internet of Things)

目次

- 1 アーキテクチャ設計の基本的な方向性
- 2 ビジョン・ユースケースの具体化に関する検討状況
- 3 自律移動ロボット・3次元空間情報基盤の設計の検討状況
- 4 社会実装・普及に向けた取組の検討状況

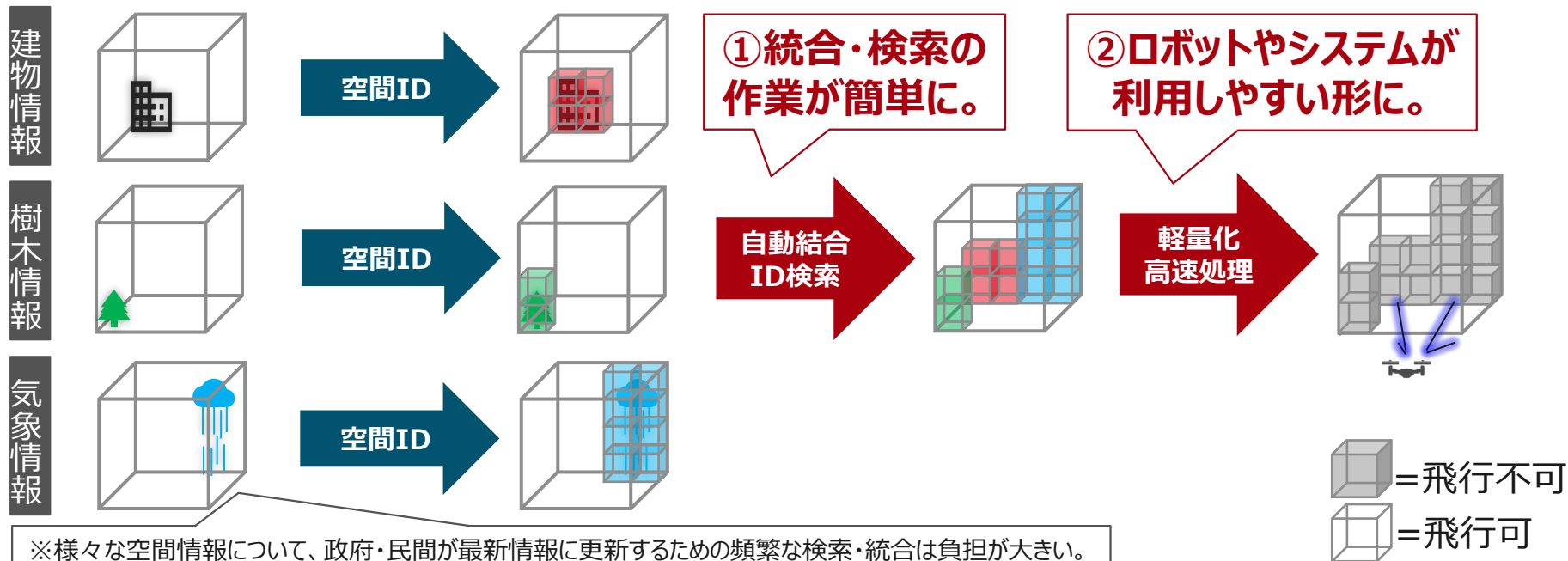
デジタルアーキテクチャの概観（本資料では空間情報を流通させるシステムのみ紹介）

マルチモデルの実現に当たって、様々な機能やデータを自在に組み合わせ、サービス提供やデータ分析に利用できるようにするため、レイヤー・モジュール構造やそれら繋ぐインターフェースの在り方を具体化。



空間情報を流通させるシステム（3次元空間情報基盤）の概要

デジタル完結・自動化・全体最適化を実現し、自律移動ロボットの社会実装を進めるため、自律移動ロボット・システムが異なる種類の空間情報を簡易に統合・検索したり、軽量に高速処理できる仕組みとして、異なる基準に基づいた空間情報であっても一意に位置を特定できる3次元空間ID（点ではなく荒い区切りの箱状のグリッドで定義）を検索キー（インデックス）として導入し、**鮮度の高い様々な空間情報（時間情報含む）を高速に自動的に結合できたり、簡単に検索できるようにする技術開発・標準化**を行う必要がある。



※様々な空間情報について、政府・民間が最新情報に更新するための頻繁な検索・統合は負担が大きい。
また、人間が読む前提の空間情報は、情報量が多く、ロボット、システムによる高速処理が難しい。

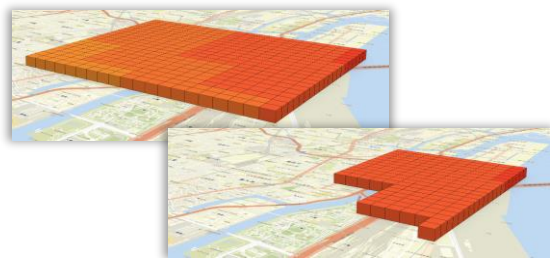
空間情報を流通させるシステム（3次元空間情報基盤）の具体的なイメージ

プロトタイプを構築してユースケース側からのフィードバックを得ながら、アジャイルにアーキテクチャ設計を実施。

気象データとの紐付け



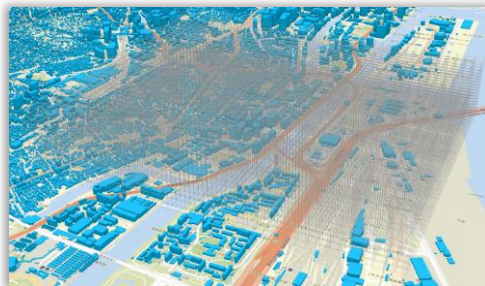
GSI, Esri, HERE, Garmin, GeoTechnologies, Inc., METI/NASA, USGS



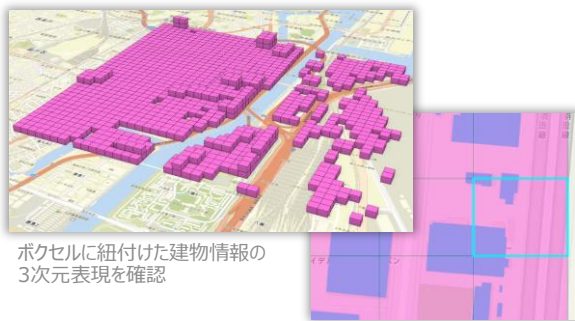
紐付けた風速の条件によるエリア抽出の実現性の確認

(風速 5m/s 以上のエリアの抽出)

建物データ (PLATEAU) との紐付け



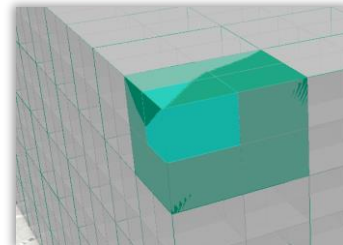
GSI, Esri, HERE, Garmin, GeoTechnologies, Inc., METI/NASA, USGS



ボクセルに紐付けた建物情報の3次元表現を確認

複数の建物を含むボクセルへの紐付け方法の検討

IDによる親子ボクセルの特定



親ボクセルID

5339352900_400



子ボクセルID

533935290000_400

533935290000_450

533935290001_400

533935290001_450

533935290010_400

533935290010_450

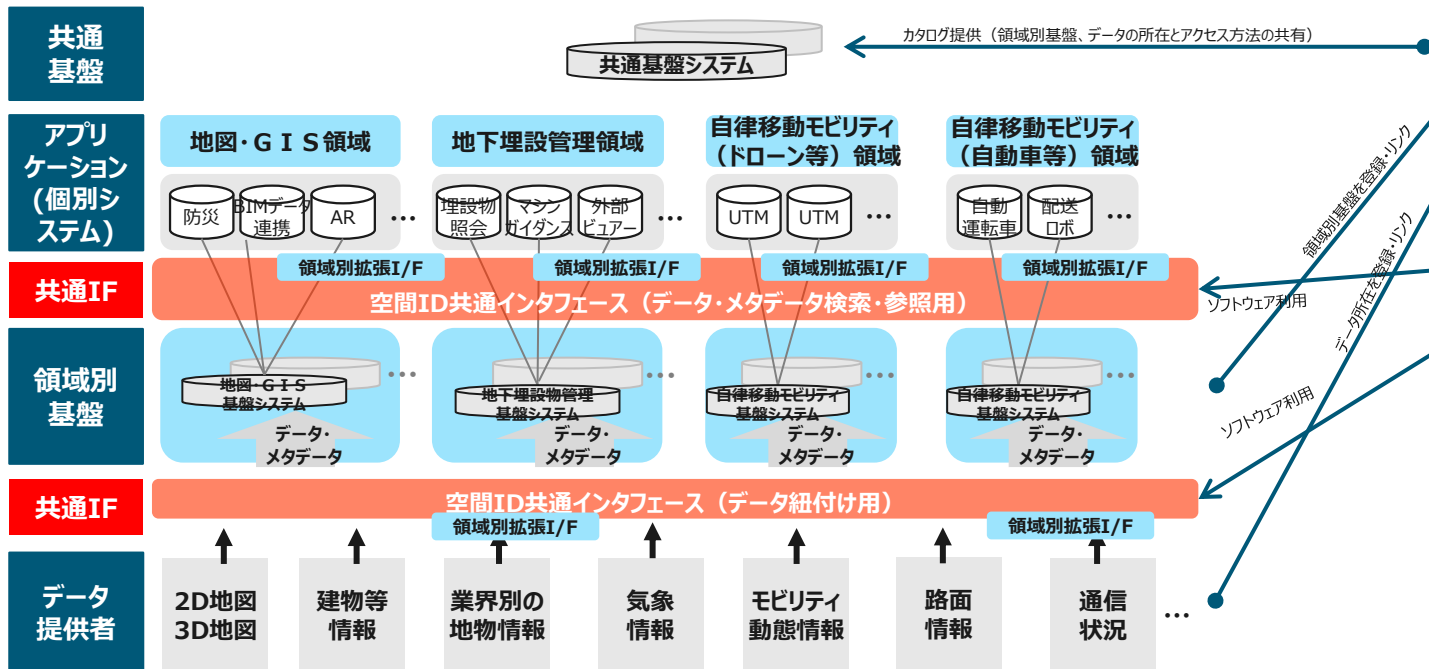
533935290011_400

533935290011_450

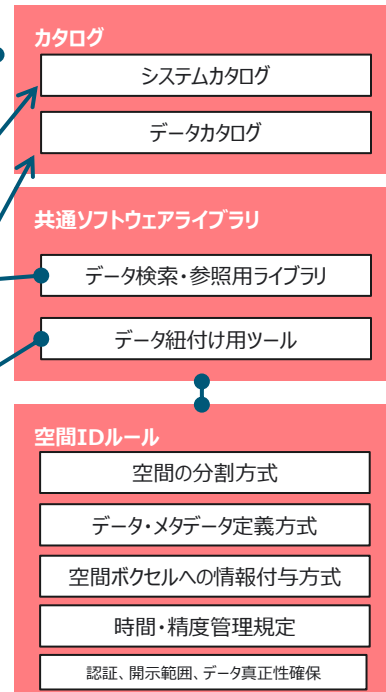
3次元空間情報基盤の基本的な設計

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。例えば、平時には、**利用者や社会のニーズやを踏まえた最適なモビリティの運行を行うなどMaaS、ひいてはスマートシティの実現**に繋げ、災害時には、**多数のモビリティが協調して対応することで、タイムリーな被害状況の把握・共有や物資配送などの実現**に繋げる。

分散型の基盤システムアーキテクチャ



協調領域の機能案



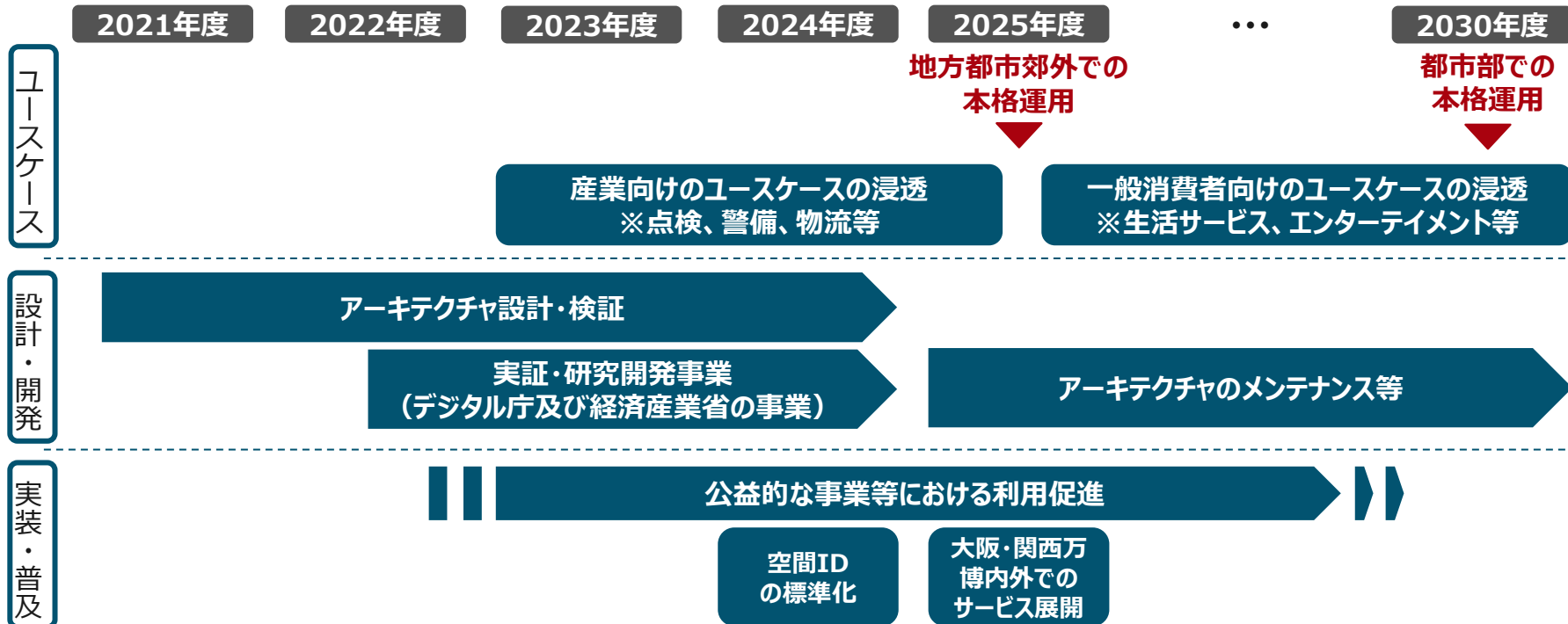
領域別の協調領域については実証等を踏まえて各領域で整理

目次

- 1 アーキテクチャ設計の基本的な方向性
- 2 ビジョン・ユースケースの具体化に関する検討状況
- 3 自律移動ロボット・3次元空間情報基盤の設計の検討状況
- 4 社会実装・普及に向けた取組の検討状況

社会実装・普及に向けた取組

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。