



経済産業省



Digital Architecture  
Design Center

# 第2回 自律移動ロボット将来ビジョン検討会 事務局資料

2022年2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)

# 報告書の構成案

## アーキテクチャ設計書（自律移動ロボット全体アーキテクチャ編 etc...）

### 1. 基本方針

### 2. ビジョン

#### 2.1 コンセプト

#### 2.2 ユースケース

##### 2.2.1 分野X（防災etc...）

###### 2.2.1.1 課題分析

###### 2.2.1.2 TO-BEユースケース

###### 2.2.1.2.1 全体像

###### 2.2.1.2.2 ユーザーエクスペリエンス

###### 2.2.1.2.3 ビジネスモデル

###### 2.2.1.2.4 机上検証

###### 2.2.1.3 先進事例

#### 2.3 経済性分析

### 4. 検討体制及びプロセス

### 3. アーキテクチャ

#### 3.1 要求事項

#### 3.2 アーキテクチャ

#### 3.3 社会実装に向けた施策

##### 3.3.1 施策X（運行管理 etc...）

###### 3.3.1.1 概要

###### 3.3.1.2 課題

###### 3.3.1.3 国内外の動向

###### 3.3.1.4 取組の方向性

#### 3.4 ロードマップ

#### 3.5 課題一覧

# 第1回検討会の「振り返り」と第2回検討会での「主な論点」

## 第1回検討会での「主なコメント」

- 公共利用やマネタイズ、ファイナンス、データ共有のルール化を含めて、インセンティブやエンフォースメントをしっかりと設計すべきではないか。
- 安心・安全とイノベーションを両立して実現するべく、集中的に社会実装の試行錯誤を行うパイロットプログラムを作り、アーキテクチャとルールを一体的に改革すべきではないか。



## 第2回検討会での「主な論点」

- 自律移動ロボットを集中的に社会実装・実証するモデルケース地域を設けることを念頭に、インセンティブやエンフォースメントも含めて、「アーキテクチャ」について仮説をお示しするので、御意見を頂きたい。

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

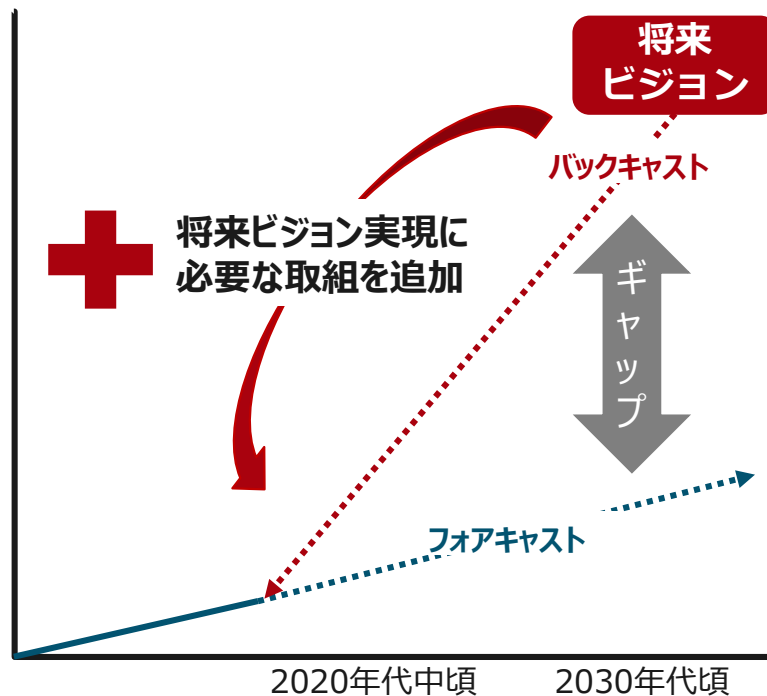
- ・ 富を創出
- ・ 人間の生活を豊かに

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



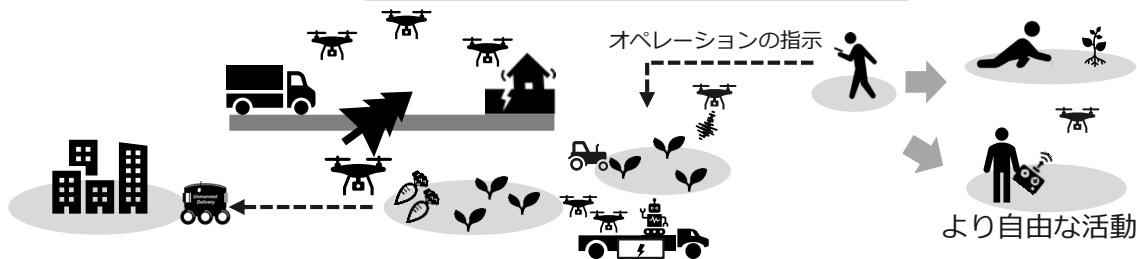
# 自律移動ロボットにより実現される社会

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

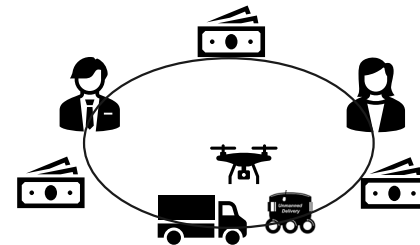


いつ・どこでも「コト」「モノ」を享受

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



収益の向上・共有

## 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

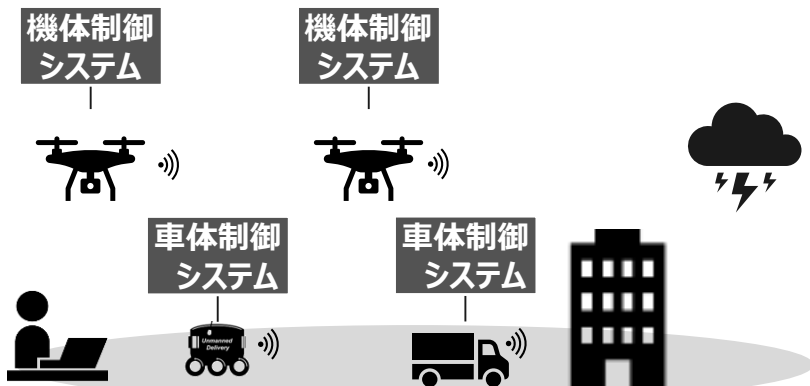
- ・ カーボンニュートラル
- ・ 感染症拡大

- ・ 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

# デジタル完結・自動化・全体最適化

日本を含め世界中で、多くの企業が自動運転車、ドローン、自動配送ロボット等の自律移動ロボットが個別に安全に運行するための開発競争を促進。これに加え、システム・データの連携基盤（業務システムとの連携を含む）の整備により、企業の壁を越え、自律移動ロボットの活躍によりデジタル完結・自動化・全体最適化して安全性・効率性・効果を飛躍的に高める社会システムを実現し、グローバルに展開する。

## 人間によるオペレーション・個別最適化



## デジタル完結・自動化・全体最適化

「自律・分散・協調的な仕組み」を基調としつつ、必要に応じて「集中的な仕組み」を部分的に含められるアーキテクチャを想定



# 自律移動ロボットが移動しやすい社会の構築

人間がモビリティを運転して移動する社会から、モビリティが自律的に移動する社会に変革するためには、**自律移動ロボット・関連システムが空間を空間的・時間的・意味的に広くデジタルの形で効率的かつ高品質に認識して判断・行動できる仕組みを整備していく必要がある。**

## 人間による運転

## モビリティの自律移動

空間情報

主体

- 人間が読みやすい情報

- 機械可読な情報も必要

空間

- 二次元方向の情報ベース

- 高さ方向への拡張

時間

- 現在の情報がベース

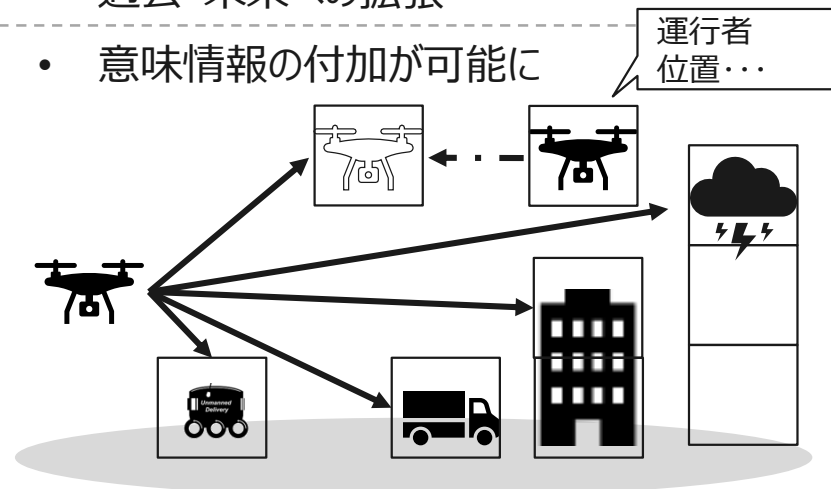
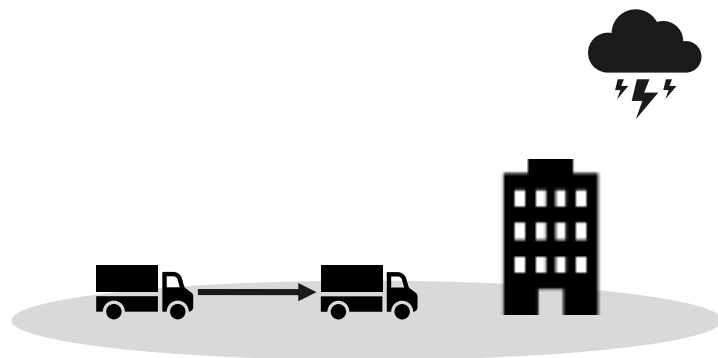
- 過去・未来への拡張

意味

- 人間が見て解釈できる情報がベース

- 意味情報の付加が可能に

運行者  
位置…



# ユースケースの概観

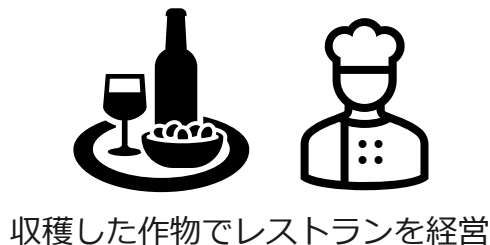
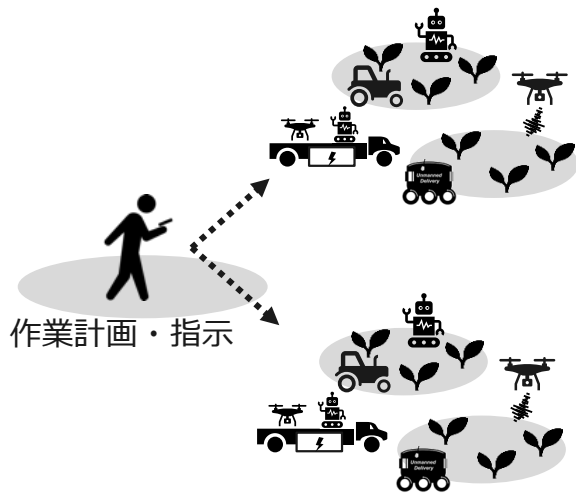
	インフラ/公共						第一次産業			第二次産業		第三次産業					
	災害対応*	警察	電気 ガス 水道	運輸	ごみ処理 清掃	環境 調査	農業*	林業	水産業	鉱業	建設 製造業	医療 福祉	小売	宿泊	飲食	生活	エンタメ
運搬	避難所へ 物資輸送		バッテリー の運搬  水の運搬  ガスの 運搬	点検資材 の運搬  修繕資材 の運搬	ごみ・資源 回収		農作物の 輸送  農薬肥料 水散布	木材の 輸送	海産物の 輸送	資材搬出	資材搬入  作業補助	病室への 配膳  薬・検体 の配送  生活物資 輸送	商品 搬入出  手荷物 運搬	送迎  部屋への 案内  食事配膳	席案内  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
調査	被害状況 把握  要救助者 捜索	危険運転 検知追跡  バト ロール	鉄塔電柱 の点検  電線点検  下水道の 点検  発電設備 の点検	線路の 点検  道路の 点検  橋梁の 点検	不法投棄 監視	水量調査  人流調査  気象調査  公害調査  土地調査	生育状態 把握	生育状態 把握	生育状態 把握  漁業被害 の検知	鉱脈調査	作業状況 監視  作業状況 監視  不審者 侵入検知	遠隔診療	防犯	清掃	酔客検知  食い逃げ 追跡	通学 見守り	トラブル 監視
作業	初期消火  応急処置  要救助者 救助  避難誘導				清掃		鳥獣対策	鳥獣対策	養殖池の 給餌  養殖池の 清掃  藻の除去			院内清掃 消毒  遠隔診療 補助	陳列  ベッド メイク	受付  調理	料理 代行  清掃 代行  雪下ろし 代行	料理 代行  清掃 代行  観光案内	空撮  広告宣伝



# 農業に関するTo-Beユースケース

自律移動ロボットの**オペレーション機能のモジュール化**を図り、プラットフォームを介して組み合わせることで**費用対効果の高い農業サービス**を実現し、**オペレーターが相応の対価**を得ながら、**利用者は遠隔で多くの圃場管理や事業開発・経営等に専念**することができる。

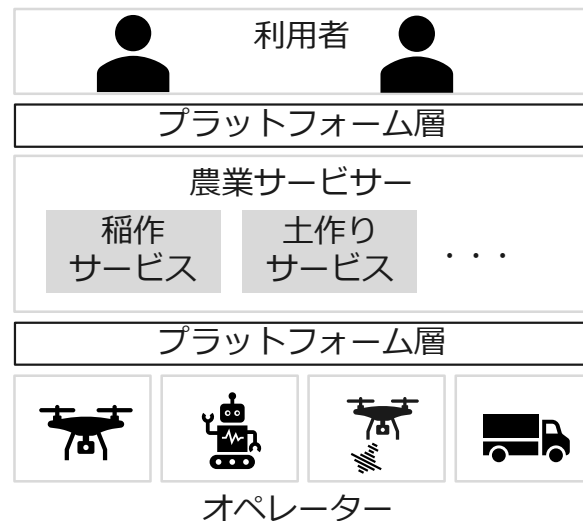
時間・場所の制約からの解放により、人間はより価値ある活動へ



遠隔で多くの圃場管理を実現

農業を行いながら様々な活動を実現

エコシステム全体で成長して  
利益を適切に分配

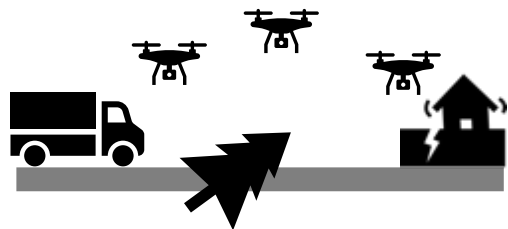


最適な相手と直接的に取引

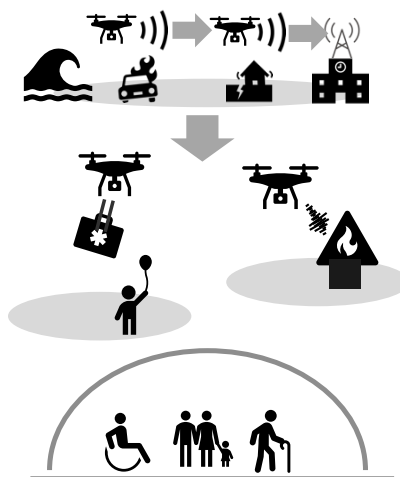
# 災害対応に関するTo-Beユースケース

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、物資輸送等に利用することで、**早期の避難・救助・復旧等が可能**となり、**人は被災者のケア・支援等に時間を使う**ことができる。

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

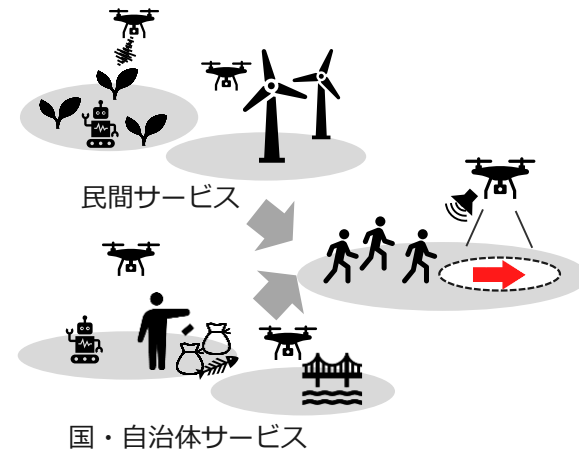


被災地への迅速な物資配送の実現



人は被災者のケア・支援を実施

エコシステム全体で成長して  
利益を適切に分配

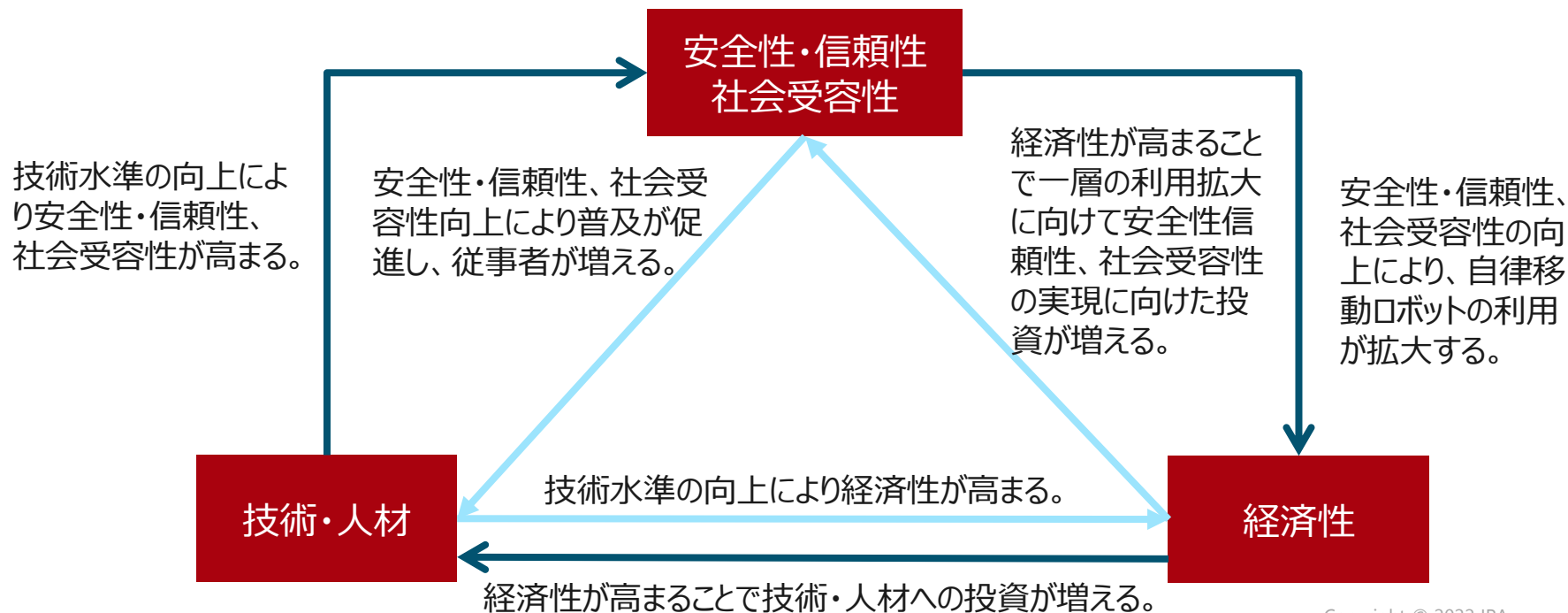


平時に利用しているロボットの活用

## 要求事項の概観

### 3.1 要求事項

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大きな経済性を確保できる可能性を高めることで、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・信頼性に関する要求事項

## ユースケース実現に向けた課題

### ルールベースの規律

- イノベーションが早く、ルール設定者と事業者の間で情報の非対称性が広がり、網羅的に適切な行為規律を設定して認証することが困難になるおそれ。

### 静的な一律の規律

- 自律移動ロボットが大量・高頻度・高密度に運行する場合には、第三者と接触するリスクや墜落時に危害を与えるリスクが高くなるおそれ。
- 他方で、時間的・空間的に一律に規律すると、自律移動ロボットの活用を阻害するおそれ。

### システムオブシステムズの信頼性確保が困難

- 多数のシステムが連携する中において、信頼できないシステムの存在が全体システムの信頼性を脅かすおそれ。

## ユースケースを実現する要求機能

### ゴールベースの規律

- 運用パフォーマンス（距離に応じた墜落件数等）を常時モニタリングする機能
- パフォーマンスに応じて対策を講じる機能

### 動的なリスクベースの規律

- 接触・危害のリスクに応じて、時間的にダイナミックに、空間的に細かい粒度でリスクを設定する機能
- 設定したリスクに応じて自律移動ロボットが運行する機能

### システムオブシステムズの信頼性を確保

- サブシステム毎に、その機能性、安全性、セキュリティを自動認証する機能
- サブシステム同士が相互認証する機能
- 技術・システムの悪用、データの流出を防止するなど経済安全保障を確保する機能

# 社会受容性に関する要求事項

## ユースケース実現に向けた課題

### 外部環境に悪影響を与える運行

- 環境被害（騒音、景観悪化等）やプライバシー侵害への懸念から周辺住民の理解が得られないおそれ。
- 周辺住民が不安や被害に関する相談ができずに不審を抱くおそれ。

### 安全性・信頼性に対する不安

- 自律移動ロボットが大量・高頻度・高密度で運行することにより、事故等の発生に対して、周辺住民が不安を抱くおそれ。

### 事故時の対応に対する不安

- 自律移動ロボットによる事故が発生した際に、迅速かつ必要十分に損害の回復がなされない可能性に対して周辺住民が不安を抱く。

## ユースケースを実現する要求機能

### 外部環境に配慮した運行

- 運行に対して責任を持つ主体を具体化・明示する機能
- 同主体が周辺住民、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・時間で運行する機能

### 安全性・信頼性に関するアカウントビリティ

- 運行場所・運行者や事故情報・ヒヤリハット情報を含む運行に関する情報を共有する機能
- 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する機能
- 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する機能

### 事故時の迅速かつ必要十分な対応

- 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

# 経済性に関する要求事項

## ユースケース実現に向けた課題

### 個別のシステム毎の個別最適化

- 自律移動ロボットや業務システムが個別のユースケースに特化して独立しており、連携が難しいため、市場ニーズに応じたサービスを迅速かつ安価に提供ができないおそれ。

### 利用しにくいロボット

- ユースケースの高度化に伴い、自律移動ロボットを所有・運用するコストが高くなり、その利用が進まず、加えて、サービスの種類・品質・使い勝手が低迷するおそれ。

### 低い投資効率

- 需要の見通しが立たない中で、IoTインフラやデータ・システム等の整備に回収リスクの高い長期・多額の投資が必要となるため、その整備が進まないおそれ。

## ユースケースを実現する要求機能

### システム オブ システムズでの全体最適化

- 異なる事業者が所有・運用する自律移動ロボットや業務システム同士を連携して利用できるようにする機能

### 利用しやすい“Robot as a Service”

- 自律移動ロボットの所有・運用者がノウハウ蓄積・規模の経済性の向上を図る機能
- 利用者が豊富な種類の中からニーズにマッチした品質のサービスを使い勝手よく安価に利用できるようにする機能

### 高い投資効率

- 大口の利用者が中期的な利用・整備を計画して公表する機能
- IoTインフラやデータ・システム等を共用して稼働率を高める機能

# 技術・人材に関する要求事項

## ユースケース実現に向けた課題

### 新しい技術の導入が困難

- 一度構築したシステムを変更するコストが大きく、新たな技術革新を導入できなくなるおそれ。
- 技術がサイロ化して、全体を俯瞰して新しいアーキテクチャを設計できなくなるおそれ。

### 人材不足

- 現状のままでは、ビジネスプロデューサー、エンジニア、マーケターをはじめとして多岐の分野に亘って、質・量ともに人材の不足が継続するおそれ。

### 技術・人材への投資不足

- 自律移動ロボットの分野における技術・人材に対する事業者等の投資が不足するおそれ。

## ユースケースを実現する要求機能

### 新しい技術の導入を促進

- 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機能
- 常に全体のアーキテクチャを見直す機能

### 人材充実

- 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・専門学校等で人材を育成する機能

### 技術・人材への投資の拡充促進

- 自律移動ロボットの分野における技術・人材に対する投資を促す機能

## 要求機能

## デジタルシステム

安全性・信頼性

ゴールベースの規律

動的なリスクベースの規律

システムオブシステムズの信頼性を確保

社会受容性

外部環境に配慮した運行

安全性・信頼性に関するアカウントビリティ

事故時の迅速かつ必要十分な対応

経済性

システムオブシステムズでの全体最適化

利用しやすい“Robot as a Service”

高い投資効率

空間情報を流通させるシステム

運行経路を決めるシステム

リスクをマネジメントするシステム

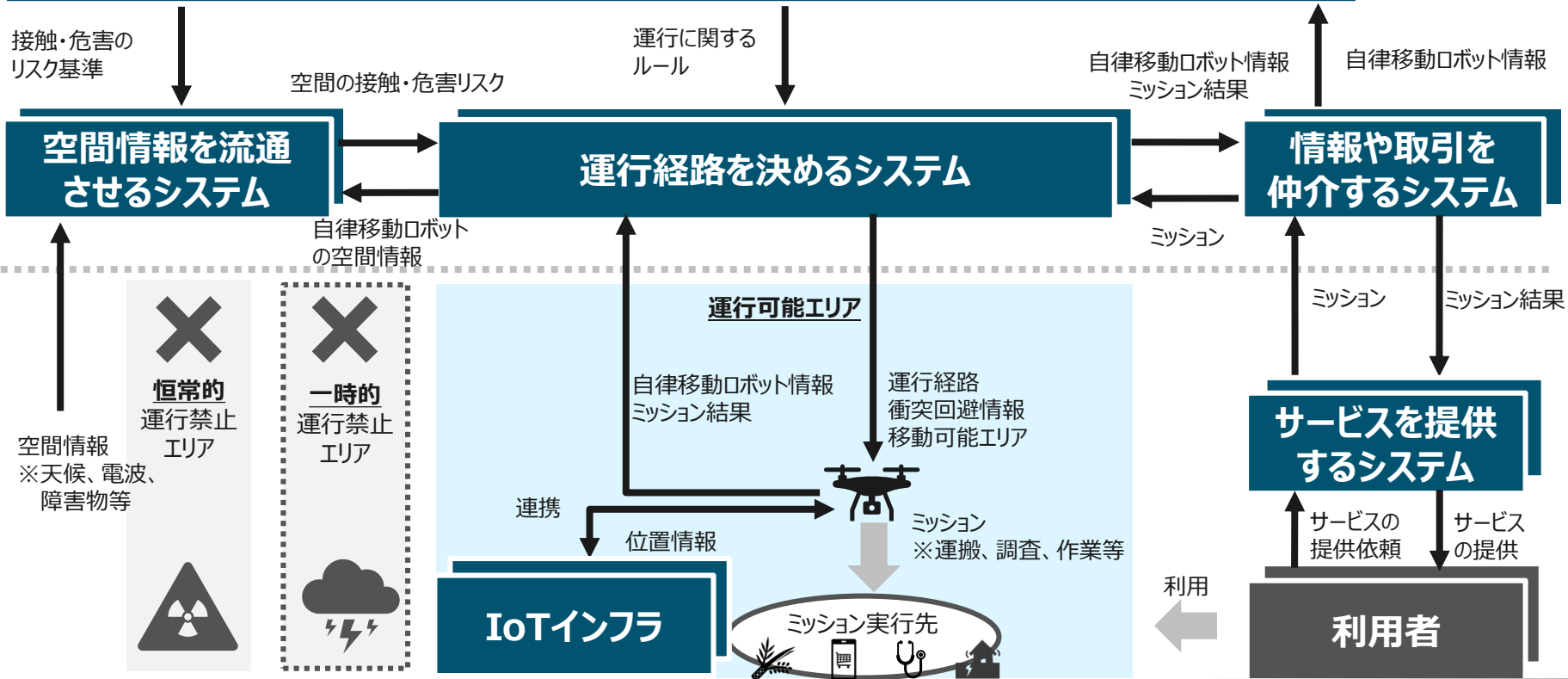
IoTインフラ

情報や取引を仲介するシステム

サービスを提供するシステム



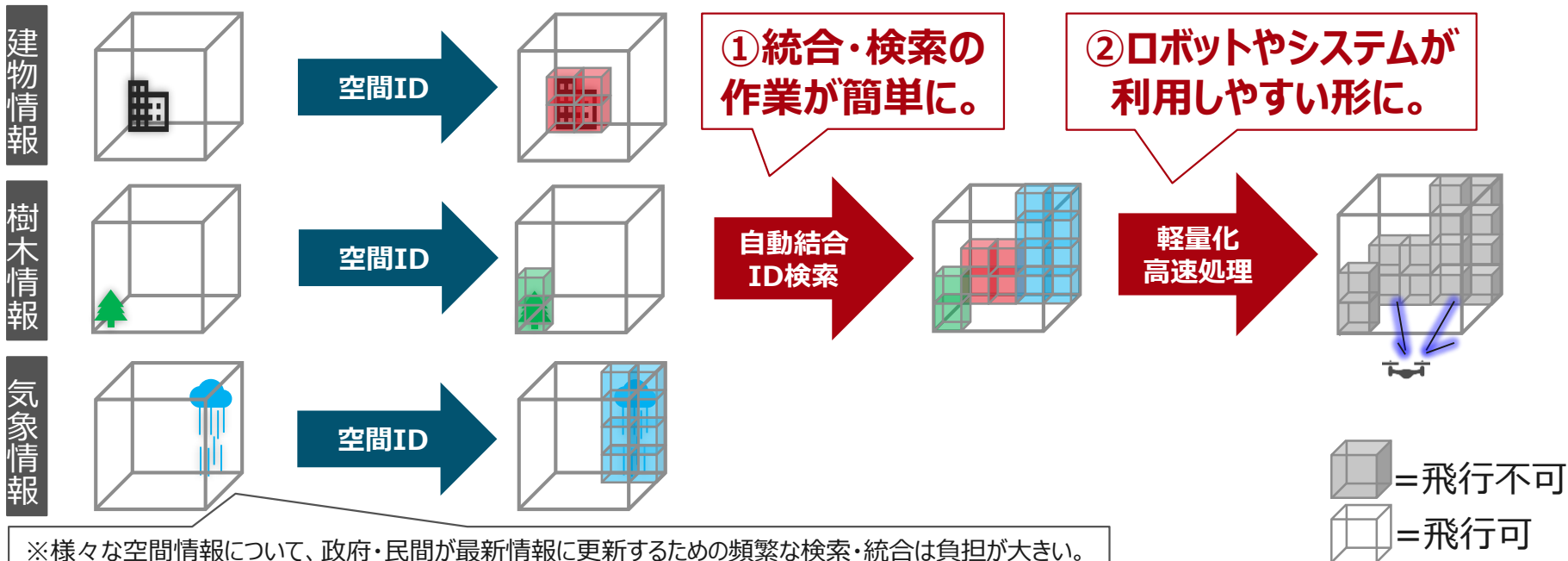
## リスクをマネジメントするシステム



# デジタルアーキテクチャ（例：空間情報のデータ連携）

新たな自律移動システム（ドローンや自動配送ロボットなど）の社会実装には、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が必要（※）。そこで、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）を検索キーとして導入し、

- ①鮮度の高い様々な空間情報を自動的に結合できたり、簡単に検索できるようにするとともに、
- ②情報量・計算量を軽量化してロボット・システムによる高速処理を実現する。

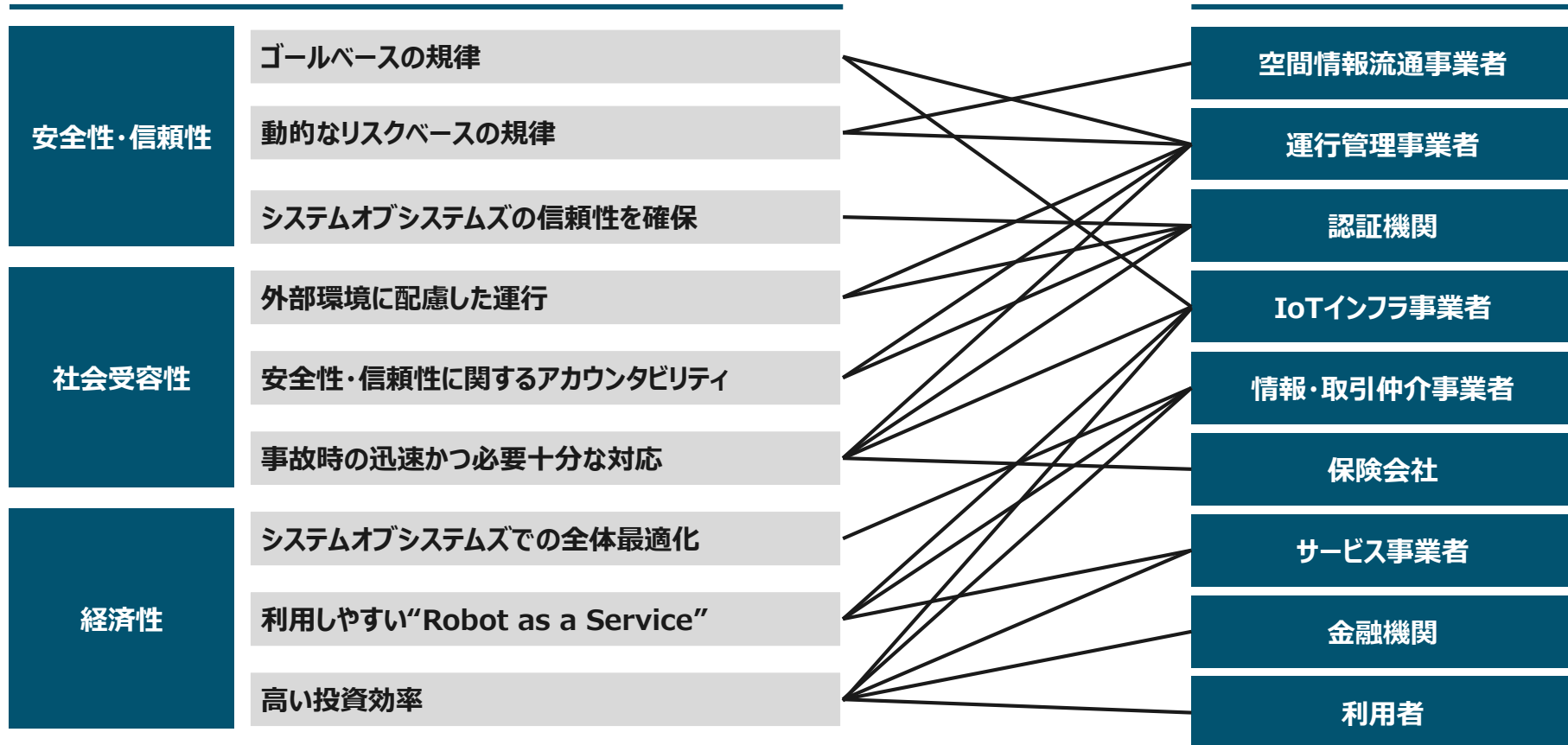


※様々な空間情報について、政府・民間が最新情報に更新するための頻繁な検索・統合は負担が大きい。また、人間が読む前提の空間情報は、情報量が多く、ロボット・システムによる高速処理が難しい。

# 要求機能の組織への割り当て

## 要求機能

## 組織



# ビジネスアーキテクチャ（ステークホルダー関係図）

品質、安全性・信頼性、価格に優れておりニーズにマッチした多種多様なサービスが提供・利用されるためには、どのように組織・システムの認証、インセンティブ・エンフォースメント、投資の促進、デファクト・デジュールスタンダード戦略を進めるべきか。また、どの組織・システムを協調領域として設定すべきか。

認証機関

金融機関

どの組織・システムを認証すべきか。

どのように投資を促すべきか。



どのようにインセンティブとエンフォースメントを設定すべきか。

どのインターフェースについてデファクト化又はデジュール化を目指すべきか。

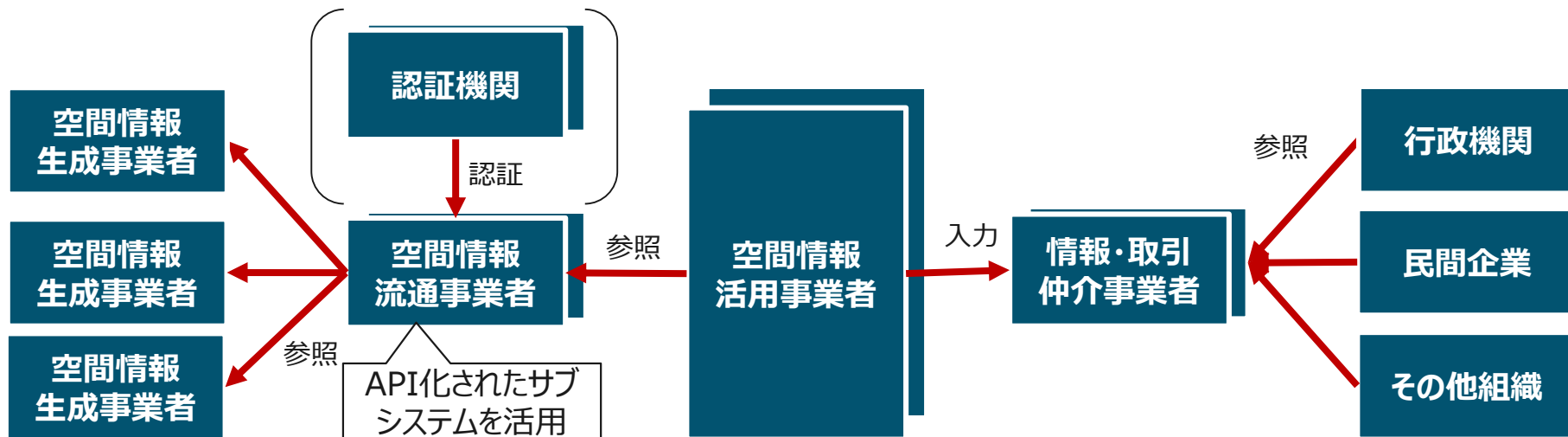
政府・自治体・業界団体等

## 空間情報の流通の促進

- 空間IDを構成するサブシステムについては原則としてAPI連携することで、広く民間企業が活用できるようにしてはどうか。その場合は、APIをメンテナンスする組織が必要。
- 他方で、自律移動ロボットでの空間情報の活用のように、空間情報に安全性・信頼性が求められる場合には、その信頼性を担保する認証に関する仕組みが必要となるのではないか。その場合は、認証機関が必要。

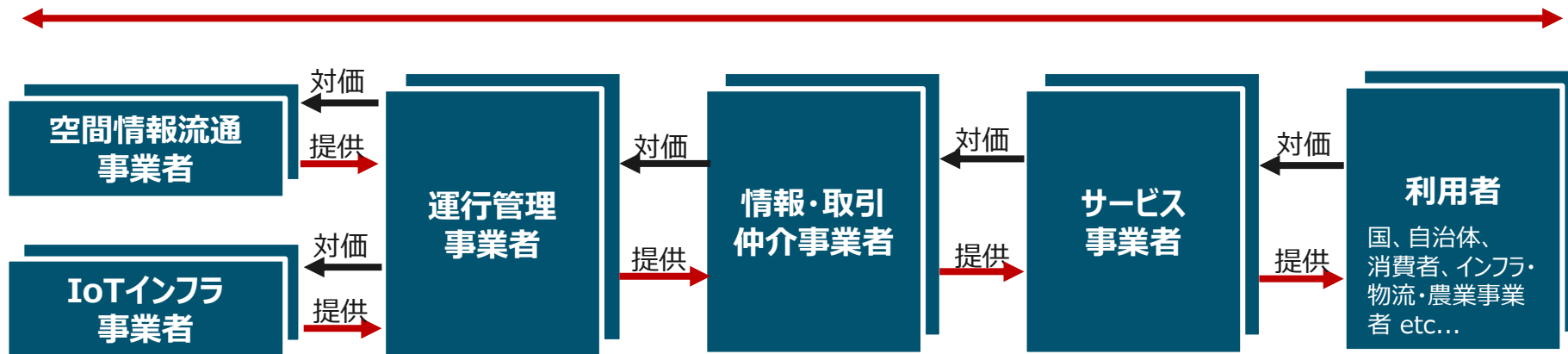
## サービス利用の観点からの標準化戦略

- 公共的な目的での情報共有に当たっては、空間IDの規格に即したデジタルデータを参照系・更新系APIを通じて共有することをルール化してはどうか。
- 空間情報の流通に関わる事業者のサービスへの空間IDの規格の実装を促してデファクト化してはどうか。
- グローバル展開も見据えて、既存の国際標準規格を参考に整備し、空間ID規格を国際標準化してはどうか。



## 高い投資効率

リボンモデルのエコシステム全体での  
規模の経済性やネットワークの経済性



## システム オブ システムズでの全体最適化

全体最適化による安全性・効率性の向上

## 利用しやすい“Robot as a Service”

サービス需要の喚起  
提供者の習熟の経済性や規模の経済性

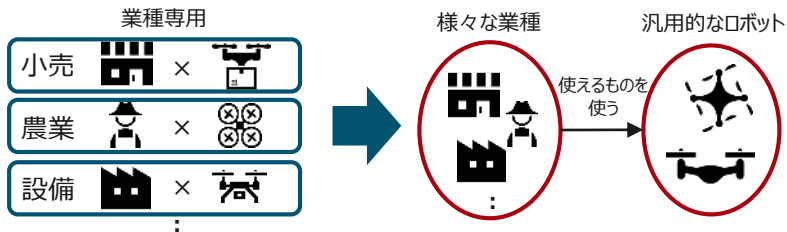
# ビジネスアーキテクチャ（事業経済性②）

高い投資効率

利用しやすい“Robot as a Service”

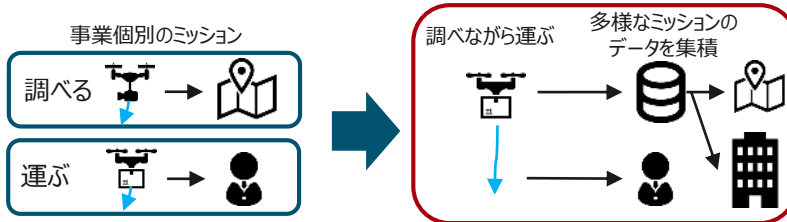
様々な業種やミッションへの対応（範囲の経済性）

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

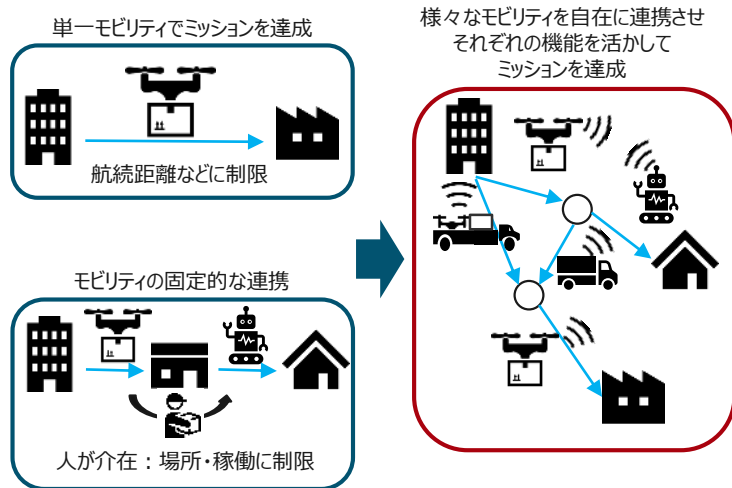


参考：コンピュータにおけるマルチプロセス化、ビッグデータ活用

システム オブ システムズでの全体最適化

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)

様々なシステムが相互に連携して、各システムの更新頻度が高くなり、さらにはAIによる判断が増大していく中で、安全性・信頼性を高めながらイノベーションを促すガバナンスを実現するためには、結果責任と行為責任をどのように設定すべきか。また、様々な知見や利害関係を持つステークホルダーが対話しながらルールを形成するためには、どのような仕組みが必要となるか。

