



経済産業省



Digital Architecture
Design Center

第1回 自律移動ロボット将来ビジョン検討会 事務局資料

2021年12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)

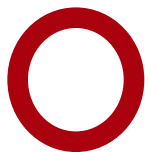
自動運転車やドローン、サービスロボットといった自律移動ロボットの活用にデジタル技術を援用することで、サイバー空間（仮想空間）とフィジカル空間（現実空間）の高度な融合を可能とし、**人間中心で社会的課題の解決と産業発展を同時に実現する将来ビジョンを描き、その実現に必要な取組を具体化する。**

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



人間の作業を代替



社会的課題を解決しながら

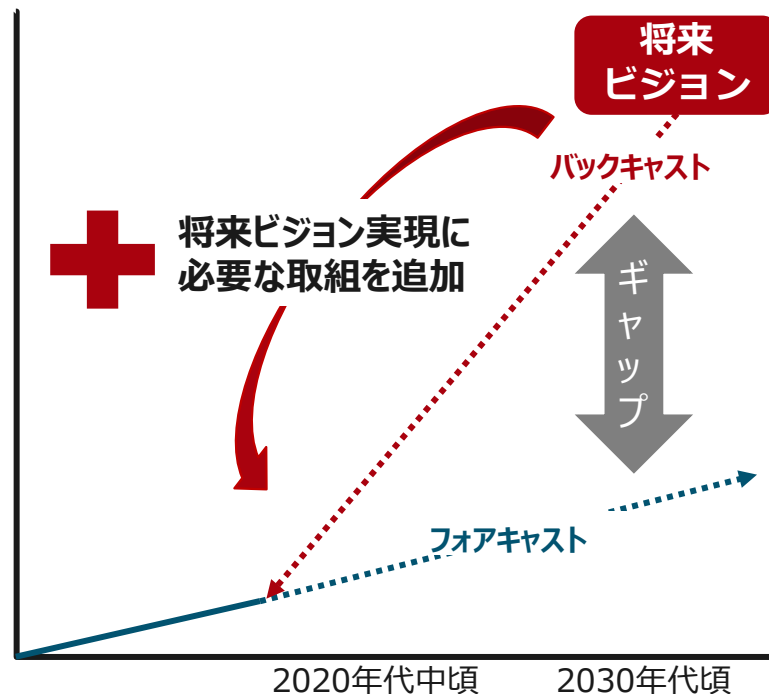
- ・ 富を創出
- ・ 人間の生活を豊かに

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



- 1 将来ビジョンの内容や具体的なユースケースについてご意見を頂きたい。**

※本資料で例示しているTo Be像は、現在の先進的な取組も踏まえ、ユースケースに関するコンセプトを仮説として事務局が収集したものである。従って、すでの実現できている部分的なユースケースも含まれている。他方、詳細を具体化する過程で、実現が困難であると判明するケースも含まれ得る。本日の議論を踏まえ、今後、実現可能性等の検証を進めながらブラッシュアップすることで、より具体化したユースケースを仮説として取りまとめる予定である。
- 2 自律移動ロボットが活躍するために設けるべき協調領域やその担い手の在り方についてご意見を頂きたい。**
- 3 自律移動ロボットプログラムの各プロジェクトの進め方についてご意見を頂きたい。**

人間が行う作業を自律移動ロボットで代替することの限界

農業：圃場管理や農作業の代替



出典：photoAC

インフラ保守：人間による点検の代替



出典：IBERDROLA

物流：既存物流網の補完

離島・山間部にニーズはあるが需要量は限定的



出典：ups

出典：Starship Technologies公式YouTube

大量かつ高密度の移動は発生しない

現在の延長線上で制度・技術改善を続ければ十分に対応可能

大量かつ高頻度のニーズはない

大きなビジネスが成立しない

現在のニーズをもとに人間の作業を自律移動ロボットで代替するという発想では、
自律移動ロボットが活躍する場は限定的

➡ 自律移動ロボットが大量・高密度・高頻度に活躍する将来ビジョンは描く必要があるのか、必要があるとしても具体的に描くことが可能か。

イノベーションが生活や働き方を一新してきた歴史

これまで、我が国においては、現在の生活や働き方のビジョンを牽引しながら主導的に実現するような牽引者・担い手が出現しておらず、生活や企業活動は外国の製品やサービスが前提となっている。その結果として、我が国産業は、どれだけ働いても富むことができない「デジタル小作人」となってしまったのではないか。



スマートフォンは
便利そうではあるが、
ガラケーで十分だろう。



iPhone
Google Pixel
...

**スマートフォン
がないと
生活できない。**



クラウドはセキュリティが不安
大企業はオンプレミス
だろう。



AWS
Google Cloud
Microsoft Azure
...

**政府も大企業も
クラウドを導入
している。**



海外で実現した便利なイノベーションを輸入して、
外国のドローンや自動走行車ばかりを利用

又は

少子高齢化に伴う人手不足のため、
物流等が経済成長の足枷になるおそれ



出典：Tesla

Teslaの自動運転車



出典：Amazon

Amazon Prime Air



出典：Starship Technologies

Starshipの配送ロボ



人手不足で
十分にモノを
運べない。

日本の空も地上も
外国のドローンや車
ばかりで、ルールや
インフラまで外国企
業が提供している。



配送料が高い！
配送が遅い！



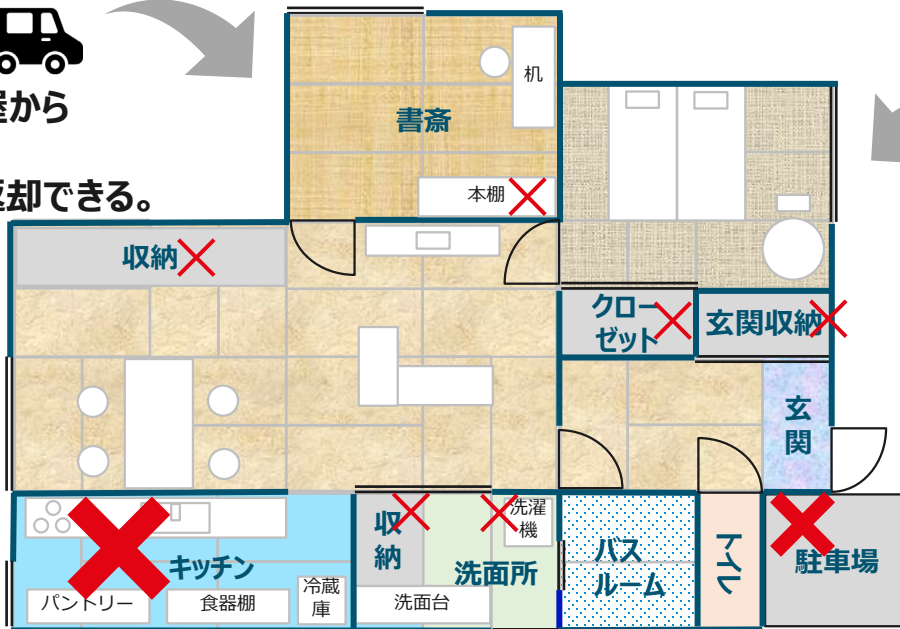
例えば、生活シーンを考えると・・・

1km先のモノが1分で手元に

モノの所有からの解放（モノのサービス化/クラウド化）
⇒消費の激増が期待できるか。



読みたいときに図書館・本屋から
すぐに本を取り出せ、
読み終わったらその場から返却できる。



外出の際に、お店から
すぐに服を取り出せ、
帰宅後、即時にクリーニングへ。



食べたいときにレストランから**食事がすぐに届き**、
食べ終わったらその場から返却できる。

地方であっても、災害時であっても、
支援物資など、必要なものが即時に入手。

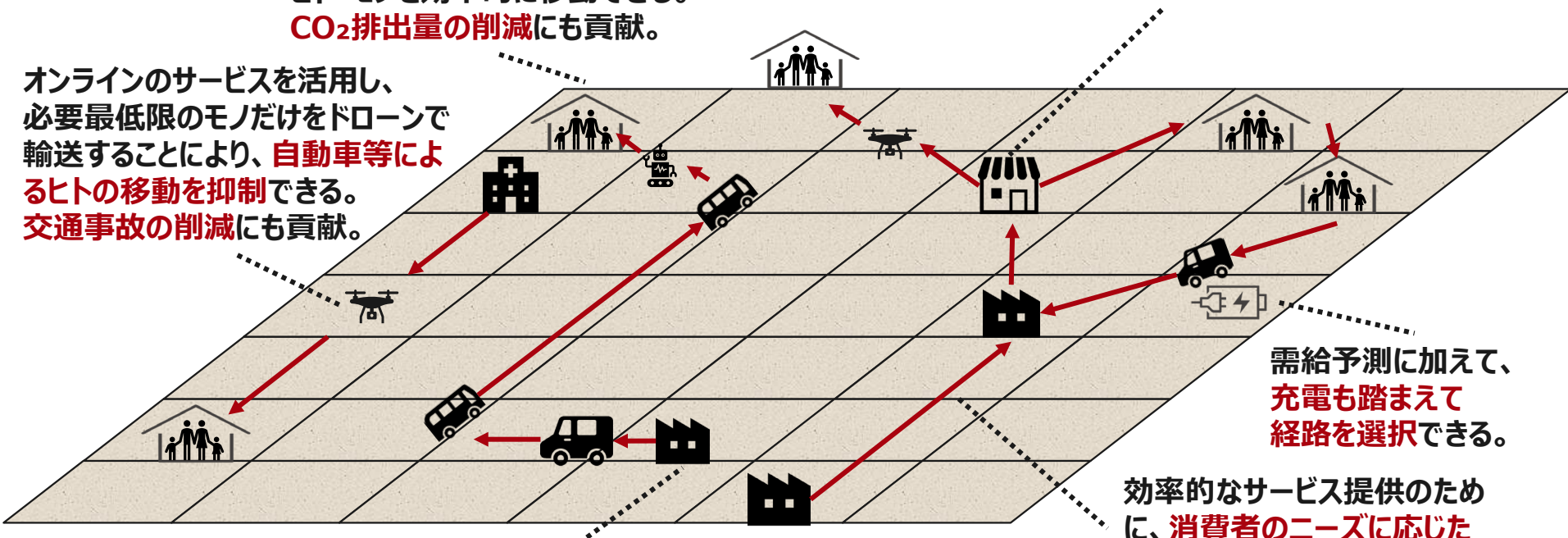
例えば、生産・物流の観点で考えると・・・

サイバーで全体最適化した生産・物流をフィジカルで実現

様々な移動オプションの中から、
最適なモビリティやルートを選択し、
ヒト・モノを効率的に移動できる。
CO₂排出量の削減にも貢献。

街中の小売店等から直接配送することで
倉庫等の規模や数を抑制（最適配置）できる。

オンラインのサービスを活用し、
必要最低限のモノだけをドローンで
輸送することにより、自動車等による
ヒトの移動を抑制できる。
交通事故の削減にも貢献。



精緻な将来需要見通しを踏まえて供給を計画できる。

効率的なサービス提供のため
に、消費者のニーズに応じた
製造拠点の最適配置が進む。

自律移動ロボットが活躍する将来ビジョンを描くことは可能か

無人で移動する自律移動ロボットを用いることで、輸送に関する**限界コスト（サービス等を1単位増やすために要する費用）は0円近くになるため輸送量が一定水準を超えると収益性が格段に高まる、という産業構造**が実現できる可能性。自律移動ロボットを前提にした仕組みと人間による輸送を前提にした現在の仕組みの収益性を比較して、自律移動ロボットの産業インフラのあり方を検討してみてはどうか。

現行のフードデリバリーの顧客支出の構造

配達料金	配達報酬
受発注システム利用料 (配送依頼者→PF)	アプリ利用料
受発注システム利用料 (店舗からPFに支払う利用料は、売上の30%~40%が相場)	商品価格としての表示
商品の価格	

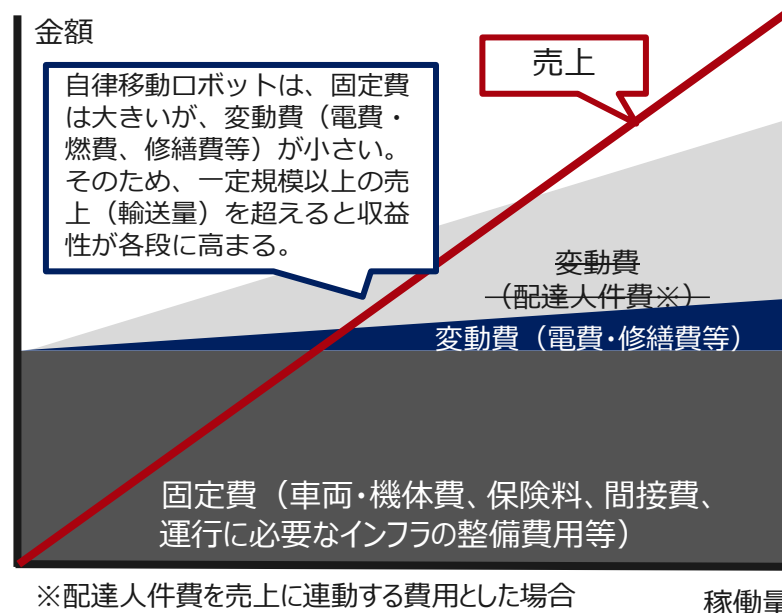
ロボット配送による「モノの所有からの解放」の損益分岐

- モノの所有コスト：約6.3万円/月
- 占有面積家賃：61,509円^[1]
 - 水道代：671円^[2]
 - 家電購入費：1,333円^[3]



- 消費者から見た損益分岐
約6.3万円÷100回※ = 約630円/回
- ※以下のとおり仮定
- 食事を2回/日=60回/月移動
 - 衣服を1回/日=30回/月移動
 - 物品を10回/月移動

移動の限界コストが0円近くに！？



[1]東京都統計局：主要品目の東京都区部小売価格(2021/9)における都内の民営家賃平均:8,787円/坪をもとに、台所2坪、収納1坪、車庫4坪と仮定して計算

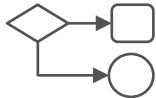
[2]東京都水道局：一般家庭水使用目的別実態調査における、2人暮らしの月使用料平均15.9㎡、水道利用用途における炊事・洗濯の合計33%をもとに、メータ口径20mmにおける23区内水道料金で計算

[3]洗濯機・冷蔵庫を対象とし、それぞれの購入費を10万円、6万円とし、洗濯機・冷蔵庫の買い替えサイクルをそれぞれ10年と仮定して月額を計算

各者が個別に自律運行に必要なサービスインフラを整備することは困難

社会全体で取り組むべきアーキテクチャを設計し、各者が役割を担うことが成功の鍵

運行支援基盤 情報基盤



長期・多額の
投資が必要

IoTインフラ



認証



責任ルール



新しい
ガバナンスが
必要

リスクマネジメント



コミュニケーション



1 ビジョン実現に必要な機能を具体化

2 協調領域と競争領域に機能を分類

3 機能の担い手や関係性をデザイン

4 必要な環境整備に関する取組を具体化

5 各担い手が自らの役割を遂行

1km先のモノが
1分ですぐに届く

移動の限界コストが
0円近くになる

現時点、様々な制約があるため非現実的との主張もあり得るが、
いつか必ず実現可能となる、
との仮説を立案し、将来ビジョンを具体化してみてはどうか。

そして、エコシステムやサービス、デジタル技術、IoTインフラ、ガバナンスなどの観点から将来ビジョン実現のアーキテクチャを設計することで、実現に向けたアクションを少しでも早く選択し、効率的な実行を目指すべきではないか。

情報処理の促進に関する法律に基づき、デジタル庁からDADCに対して、自律移動ロボットのアーキテクチャ設計について検討を依頼。当該依頼を踏まえて、DADCは、経済産業省の支援のもとで、検討体制を構築して、検討を進めていく。

- **自律移動ロボットのうち無人航空機及び車両（以下「無人航空機等」という。）について**、我が国において中長期的には年間500万フライトを上回るなど活用され、**社会的課題の解決や産業の発展につながる将来像を具体化**し、その実現に必要なベース・レジストリ、三次元空間地図、運行管理システム、飛行・運転制御システム、機体等状態管理システム、取得情報分析システムなど、**運用及び管理を行う者が異なる複数の関連する情報処理システムとの連携の仕組み（アーキテクチャ）を描いて令和4年7月までに提出**し、その後、整備すべきデータ連携基盤の具体的な仕様を作成すること。
- その際、①**無人航空機等及び周辺環境に関するデータの収集及び伝達の仕組み**（三次元空間地図を相互にリファレンス可能とするために必要な基準の設定、三次元空間地図のリアルタイム性の確保やリアルタイム性を確保できない場合の代替となる仕組み、自律移動ロボットの利用者や所有者を認証する仕組み、自律移動ロボットが互いを認識するためのID等の仕組み、鳥や有人機等のリアルタイムでの飛行情報を把握する仕組み、様々な運行システムの運用を前提とした際に必要な標準通信規格の特定、APIやデータフォーマットの仕様の具体化、脆弱性情報、飛行禁止・停留可能区域情報、障害物情報（信号機、標識、電柱・電信柱の位置・形状、送配電線など）、通信環境情報（ある空間においてLTEが使用できるかどうか等）、運行者情報、資格情報、機体情報（空間座標、機種、ソフトウェアバージョン、電池残量、LTE通信（操縦・映像伝送）の可否など）、インフラメンテナンス関連情報（点検・修繕の計画・報告・修繕に関する情報など）、農業関連情報（播種、施肥、農薬散布、害獣監視、生育状況、収穫量に関する情報など）、物流関連情報（集荷、配達、所要時間に関する情報など）のデータ収集・伝達の仕組み等）**を含めた無人航空機等を利用するためのデジタルインフラ**、
- ②自律移動ロボットを取り巻く環境の変化に柔軟にデータ連携基盤を対応させるために必要な、**環境・リスク分析、ゴール設定、システムデザイン、運用、評価、改善といったサイクルを、マルチステークホルダーで継続的かつ高速に回転させていくための仕組み**、
- ③既に存するデータやシステムの実態を踏まえデータ入力・連携を可能な限り簡易に行えるようにするとともに、データ連携基盤を通じた運用がタイムラグなどを生じずに軽快に行えるようにするなど、データ連携基盤を使用するユーザーの**ユーザービリティを向上するための仕組み**、
- ④**プライバシーやサイバーセキュリティを確保**（機微な情報の漏えい防止、データの悪用防止、データ改ざん等によるシステム全体への影響の防止等）するための仕組みについても検討を行うこと。
- また、無人航空機等に関するISO規格や米国ASTM規格など**国際基準・標準の動向を把握し、整合を図ること**。

産学官の叡智を結集して取組を推進するための全体スキーム

司令塔 デジタル庁

デジタル臨時行政調査会

【総理大臣 + 関係閣僚 + 有識者】

モビリティに関するWG

【有識者 + 関係省庁】

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



経済産業省

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



国立研究開発法人
新エネルギー・産業技術総合開発機構

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

全体

将来ビジョン

デジタル技術を活用し、産業構造を変革して産業発展と社会的課題解決を実現する将来ビジョンをモビリティ横断で描きながら、
①**全体アーキテクチャ**や②**取組のロードマップ**、③**ユースケース**、④**要求事項**や⑤**各レイヤーの整合性・妥当性の確認**等を行う。

ガバナンス

ガバナンス

システム全体の安全性・信頼性の向上とイノベーションを両立するガバナンスを実現するべく、**データ管理、トラスト、民事責任、保険、刑事責任等の在り方**も含めて、ガバナンスに関するアーキテクチャを設計する。

運行

ドローン

サービスロボット

その他モビリティ

関係するシステム間の相互運用性を担保しながら、
多数のモビリティが安全かつ効率的に運行できる仕組みのアーキテクチャの設計を行う。

共通データ

3次元空間情報基盤

自律移動ロボットの普及を見据え、移動やインフラ整備等の効率化を図るべく、①空間情報の共通の基準としての**空間ID**を通じて、②**利用者が活用しやすい形であらゆる空間情報を簡単に取得できる仕組み**のアーキテクチャを設計する。

政府保有データ

民間保有データ

利用者のニーズを踏まえて、分散して存在する空間情報を配信しやすい形で共通基準に沿って**順次デジタル化**

IoT インフラ

IoTインフラ

駐機場、通信設備、充電設備等のインフラの整備についてアーキテクチャを設計する。

全体

将来ビジョン @ ビジョン検討会 ※自律移動ロボット将来ビジョン検討会
※以下の3つの検討会での検討内容はビジョン検討会に報告する。

ガバナンス

ガバナンス @ ガバナンス検討会
※システム オブ システムズの安全性・信頼性確保に向けたガバナンス検討会

運行

ドローン @ ドローンアーキテクチャ検討会

サービスロボット
※ビジョン検討会で議論

その他モビリティ
※ビジョン検討会で議論

共通データ

3次元空間情報基盤 @ 3次元空間情報基盤アーキテクチャ検討会

政府保有データ
※3次元空間情報基盤アーキテクチャ検討会で議論

民間保有データ
※3次元空間情報基盤アーキテクチャ検討会で議論

IoT
インフラ

IoTインフラ
※ビジョン検討会で議論

自律移動ロボットプログラムの主なスケジュール

- ステークホルダと議論を積み重ねながら、プロトタイプ開発、中長期的な実証、社会実装まで見据えて、アーキテクチャ設計を進めていく。
- デジタル庁からのアーキテクチャの設計依頼に対しては、**2022年7月までに報告書を取り纏めて提出し**、その後は、社会実装に向けて、継続して検討を深めていく。

2021年度

2022年度

2023年度～

▲
2022年3月
検討内容の中間報告

▲
2022年7月
報告書提出

アーキテクチャ設計

- 1 ビジョン実現に必要な機能を具体化
- 2 協調領域と競争領域に機能を分類
- 3 機能の担い手や関係性をデザイン

社会実装

- 4 必要な環境整備に関する取組を具体化
- 5 各担い手が自らの役割を遂行

1 **エコシステム**

2 サービス

3 運行基盤

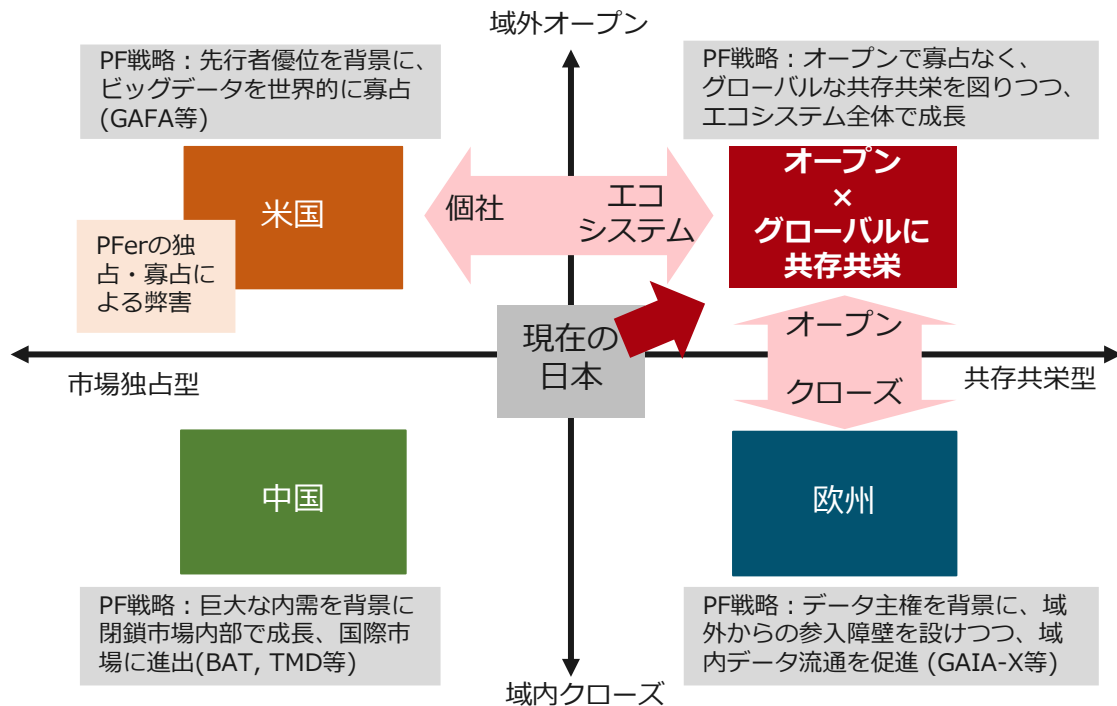
4 情報基盤

5 IoTインフラ

6 ガバナンス

特定の国や企業が利益を独占することなく、地域内外の国・企業等のプレイヤーが、デジタルインフラ（後述）の上で、ニーズに応じた提供価値を磨き、自由に最適な相手と取引して価値提供することで、**中小規模のプレイヤーも含めて皆が「公正に利益を享受して共存共栄」しながら、高い水準で「社会的課題の解決・経済発展」を実現するような価値共創型のエコシステム**をグローバルに構築することが重要ではないか。

欧州	<p>国を跨ぐ巨大な欧州の経済圏を統合した上で、官主導で、社会的課題にフォーカスしたテーマを設定し、域内企業に有利なルール(デジュール・スタンダード)を設定することで、米中に対抗している。</p>
米国	<p>国内外で市場原理を徹底して追求する、という過程で成長したグローバル巨大資本企業が市場を寡占。</p>
中国	<p>巨大な内需とコスト安を背景に、官によって統制・保護しながら民間企業を育て、外需獲得を目指している。</p>



1 社会、消費者、事業者の全ての課題解決や便益向上を実現

- 1 脱炭素や少子高齢化に伴う社会的課題を解決する
- 2 個別最適化された“コト”を「いつでも」「どこでも」「誰でも」享受できる
- 3 ニーズを叶える提供価値を大きく増やししながら、フィジカルでのコストを劇的に減らす

2 企業の壁を越えてエコシステム全体で成長し、貢献した事業者が適切に利益を享受

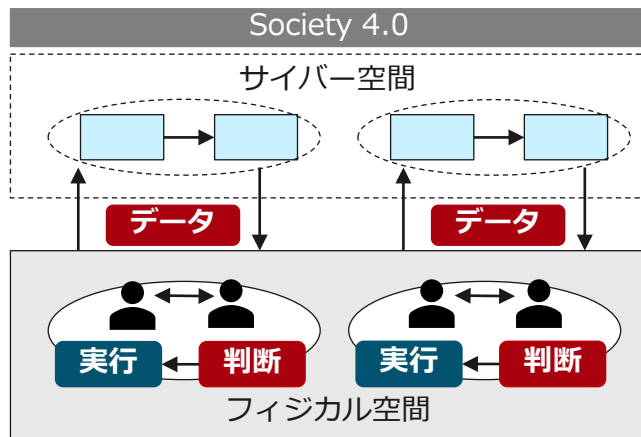
- 1 取引や提供機能の情報規格を統一するなどして各機能をモジュール化する
- 2 顧客と提供者を繋ぐプラットフォームを様々な企業が切磋琢磨しながら担う
- 3 機能を組み合わせた新しいサービスの迅速提供や最適な相手との直接取引を実現

3 ステークホルダーのニーズを満たす最適なフィジカルの動きをサイバー上で導き実現

- 1 フィジカル情報を統一の情報規格（ID・属性等）でデジタル化してデータスペースを整備
- 2 データの入出力・参照を通じて実世界の取引や行為を制御するデジタルインフラを整備

As-Is

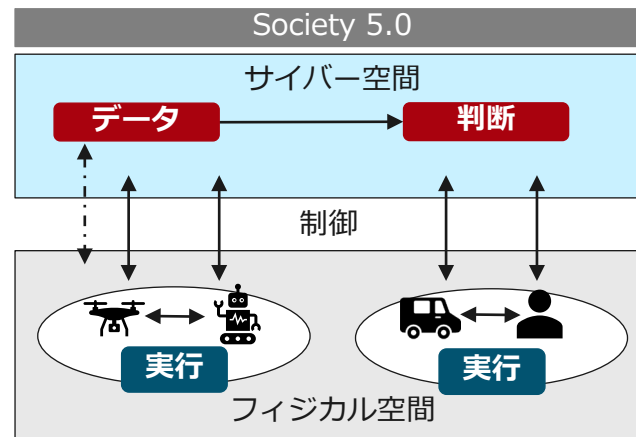
- (A) 少子高齢化による、**商圏（需要）と産業（供給）のギャップ発生**に伴い、社会的なインフラが非効率化
- (B) **規模の経済等を活かした低コスト化が産業競争の基調**であり、消費者は画一的な“モノ”を享受
- (C) **オペレーションの精度向上に多大な労力**を払って付加価値を向上



人からアクセスしてサービス・情報を取得し、人による判断でオペレーションを行う。

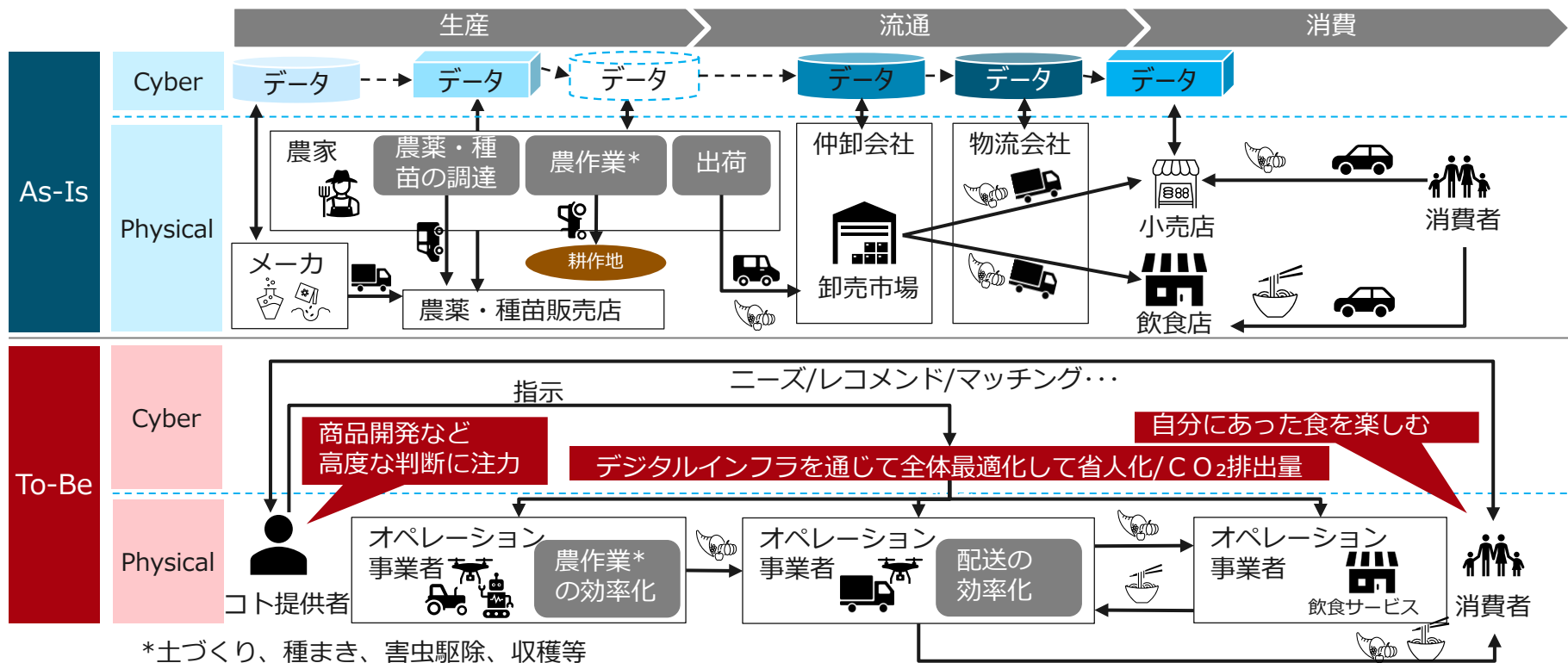
To-Be

- (A) 人の制約を受けずに、**ロボットやAIを大きく活用しながら社会システム全体を効率化**して、脱炭素や少子高齢化といった社会課題を解決する
- (B) **マッチング精度を産業競争の基調**として、個別最適化された“コト”を「いつでも」「どこでも」「誰でも」享受
- (C) **オペレーションを自動化して高度な判断に注力**することで、提供価値を増大させながら、フィジカルでのコストを削減する



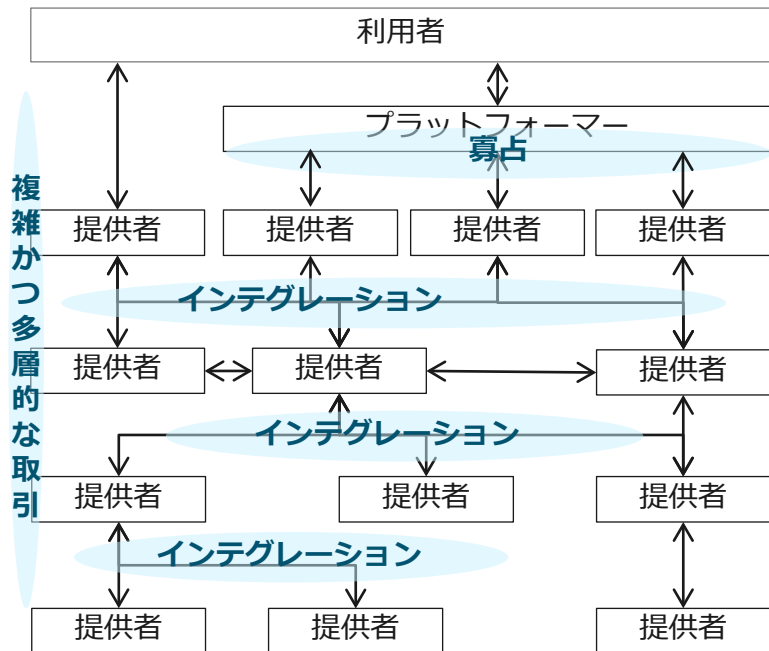
フィジカル空間の状況をサイバー空間上で把握して判断を行い、サイバー空間上でコミュニケーションを行いながら、フィジカル空間へ反映。

個別の配送や農作業を単に自律移動ロボットへ置き換えるだけでは効率的でない場合が多いが、「**自分にあった食を楽しむ**」ということを実現するための最適な形として、商流をダイレクトに結んだ上で、自動車やドローン、配送ロボット等を適切に組み合わせることで、**供給網全体として圧倒的にパフォーマンスを上げるという発想**を採用してはどうか。



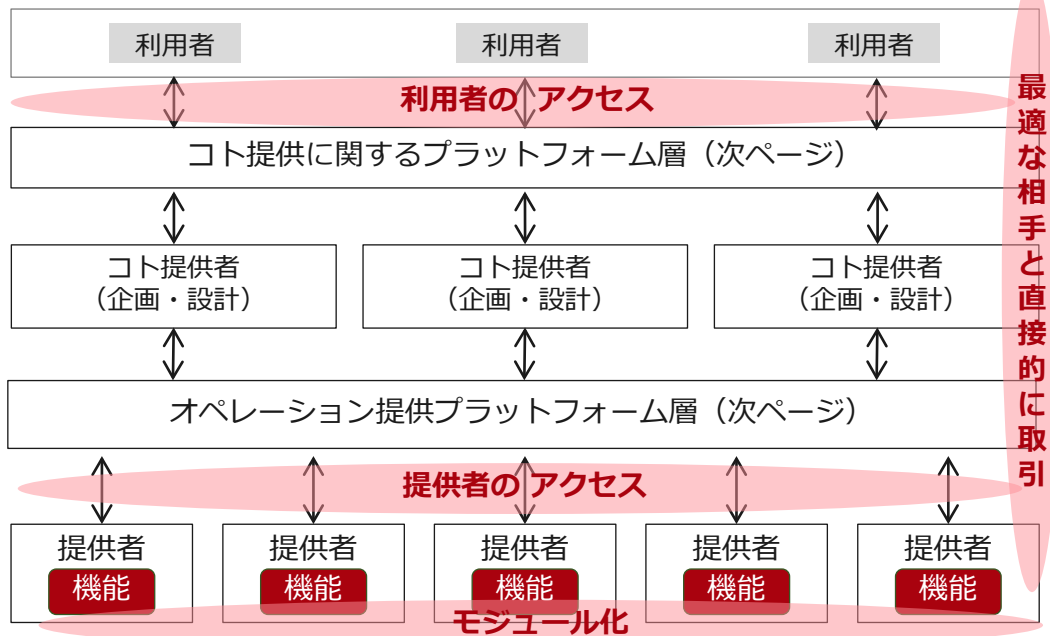
As-Is

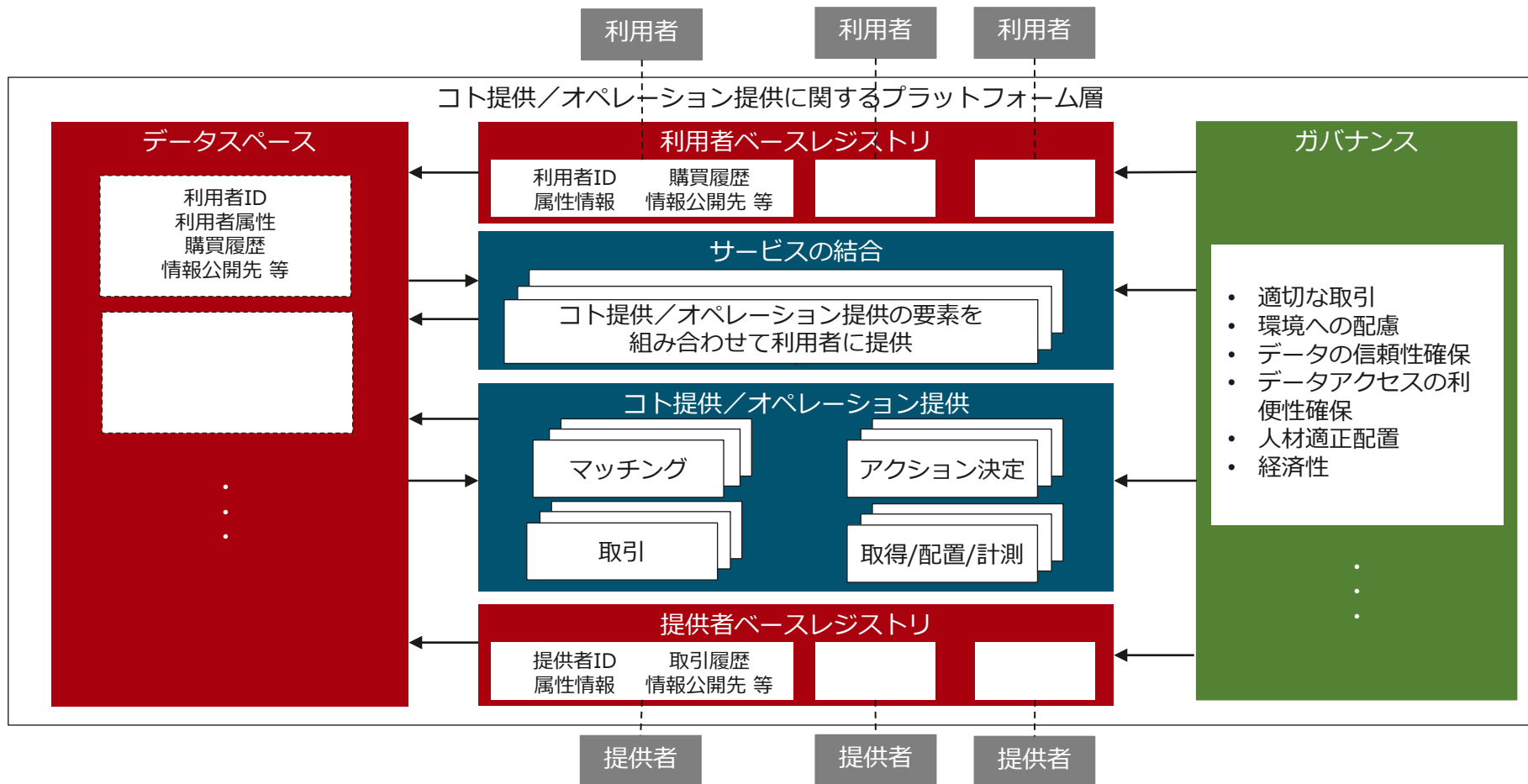
- (A) **機能のインテグレーションの労力**が大きく、個社で商品・サービスを開発・提供
- (B) **ネットワーク効果を活かして**、プラットフォーマーが寡占
- (C) **複雑かつ多層的な取引関係**で下請けが不利な状況



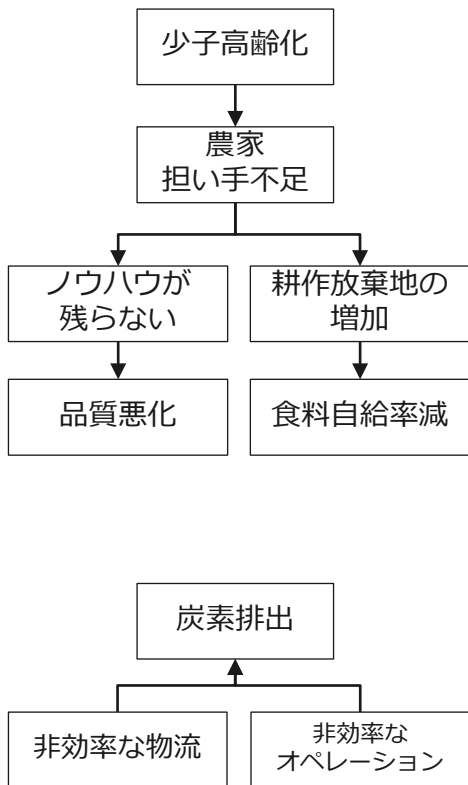
To-Be

- (A) **機能のモジュール化**により、企業同士が強みを連携させて商品・サービスの開発・提供におけるイノベーションを加速
- (B) 同意の上で、**どの利用者・提供者にもアクセス可能とすることでネットワーク効果を薄めて**寡占を抑制し、プラットフォーマー間の競争を促進
- (C) **最適な相手と直接的に取引**できるようにし提供者が適切に利益を享受

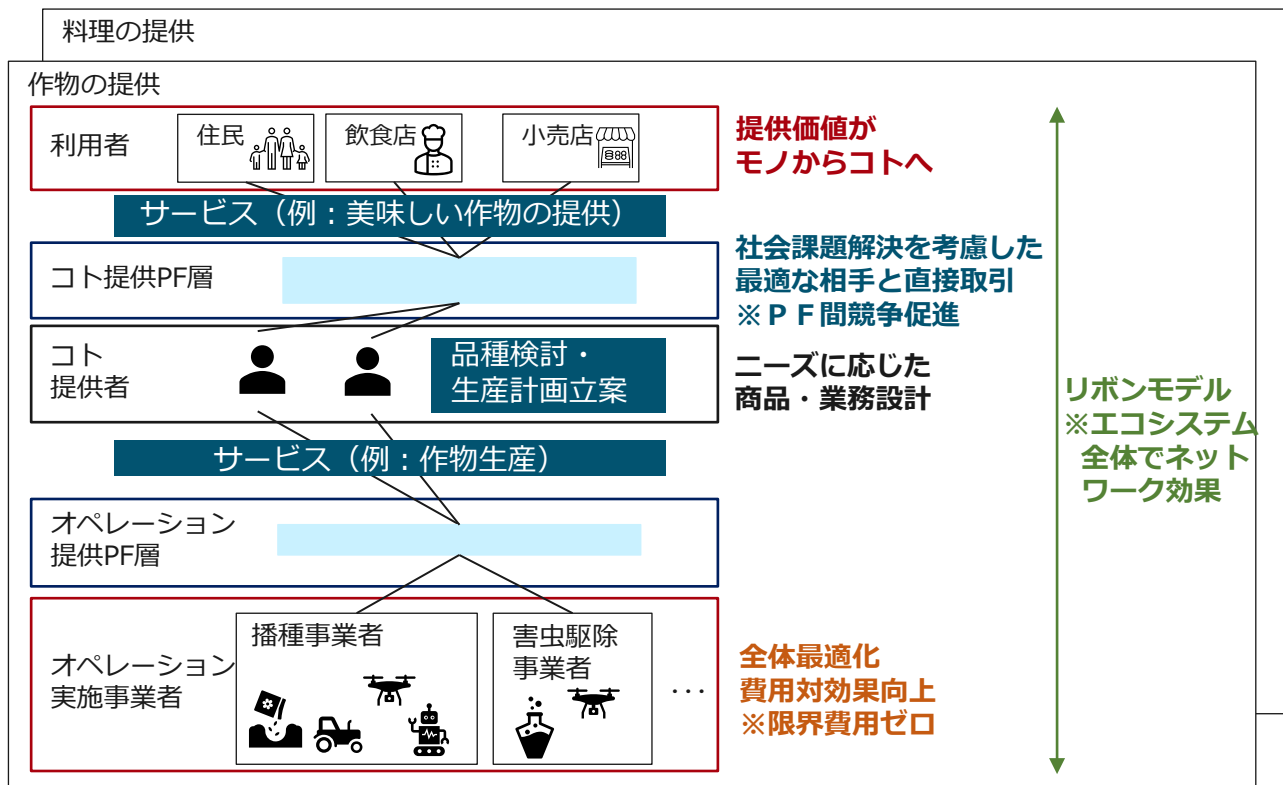




社会課題

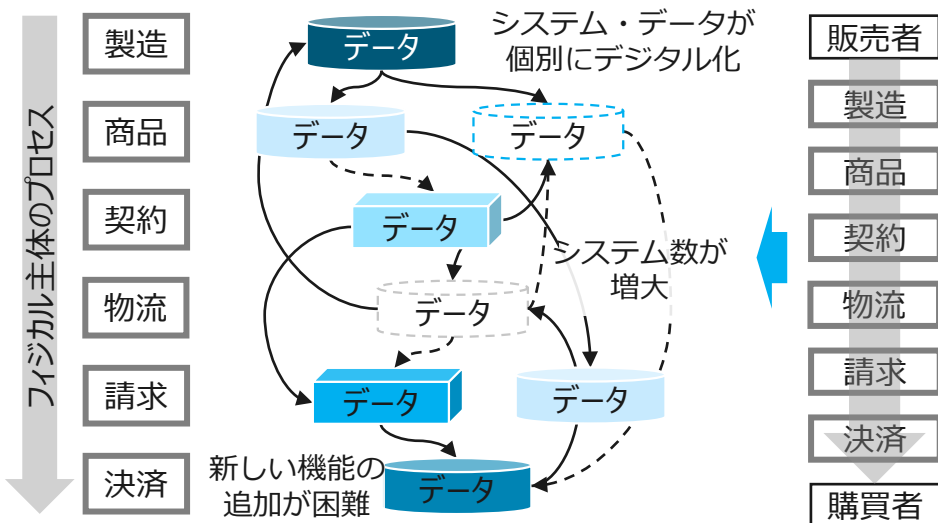


実現の仮説

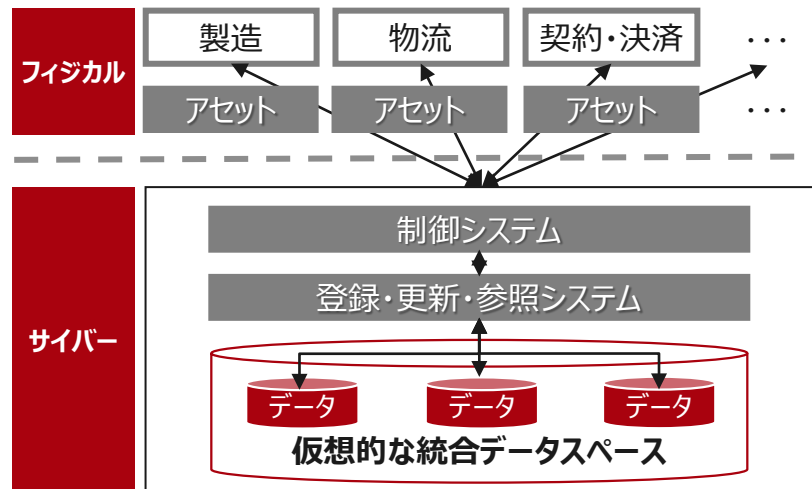


- ・ フィジカルとサイバーを融合させてSociety5.0を社会実装する際に、実世界での取引や行為をIT(デジタル)に置換していると、システム連携のための連携労力が大きく、データ・スペースの実現は難しい。
- ・ ヒト、モノ、空間等のデータ化における情報規格(ID・属性等)を統一する等して、インターネットのような**仮想的な統合データスペース**を設計し、データの入出力・参照を通じて実世界の取引や行為を制御するデジタルインフラを整備し、データ・スペースを活用した**社会全体のデジタル化**を実現してはどうか。

現状： フィジカルをデジタルに置換



目指す将来像： サイバーとフィジカルの高度な融合



フィジカルでの最適な活動をサイバー上で導き実現（参考例）

ID/属性情報※等	
法人/個人	モビリティ
モノ	地物

※法人等の口座情報、位置情報・通行可否・通信状況、モビリティの配送空き情報・充電情報、モノの品番・スペック・単価・数量等

分析・アクション決定	
検索/推奨	経路決定
取引	取得/配置/計測

④時間、金額、距離、CO₂排出量等の指標についての選好に応じて判断する仕組みが必要か。

①自律・分散・協調したデータの登録・更新・参照を行う仕組みが必要か。

②セキュリティの担保のために常時監視やシステム・データの分散・隔離の仕組みが必要か。

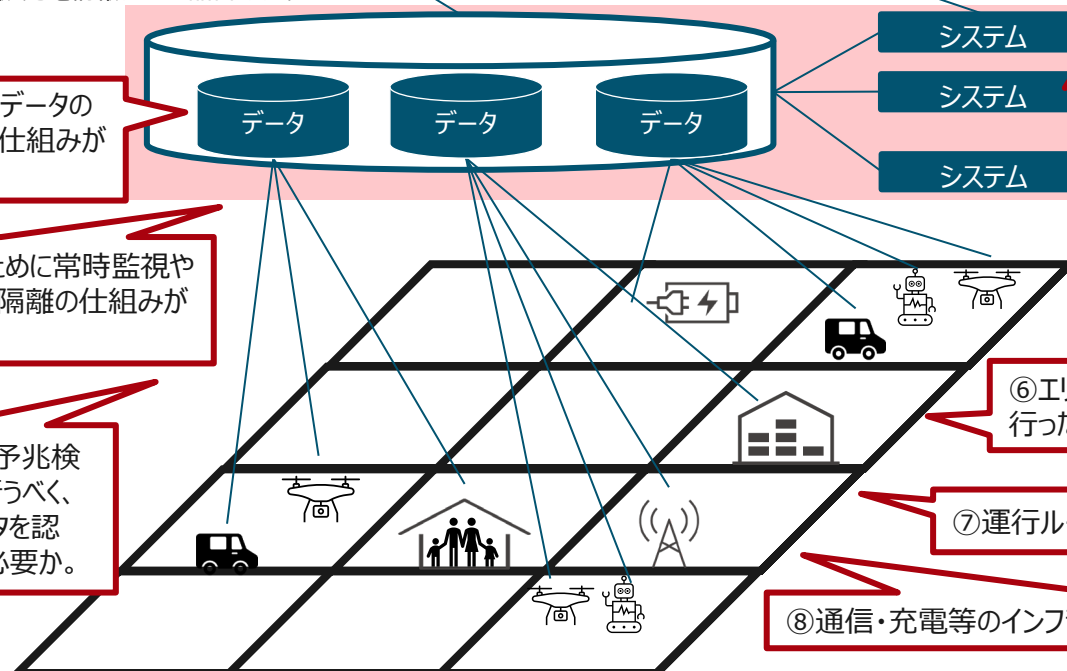
③安全性確保のための予兆検知や事故原因究明を行うべく、第三者がシステム・データを認証・把握する仕組みが必要か。

⑤空間情報を全て把握できるようにした上で、運行ルールを定めて、同一エリアの多数のモビリティを異なるシステムであっても、安全かつ効率的な運行を管制する仕組みが必要か。

⑥エリアを区切って、その中での全体最適を行った方が良いのか。

⑦運行ルールはエリア毎に設定が必要か。

⑧通信・充電等のインフラは協調領域として整備が必要か。



1 エコシステム

2 サービス

3 運行基盤

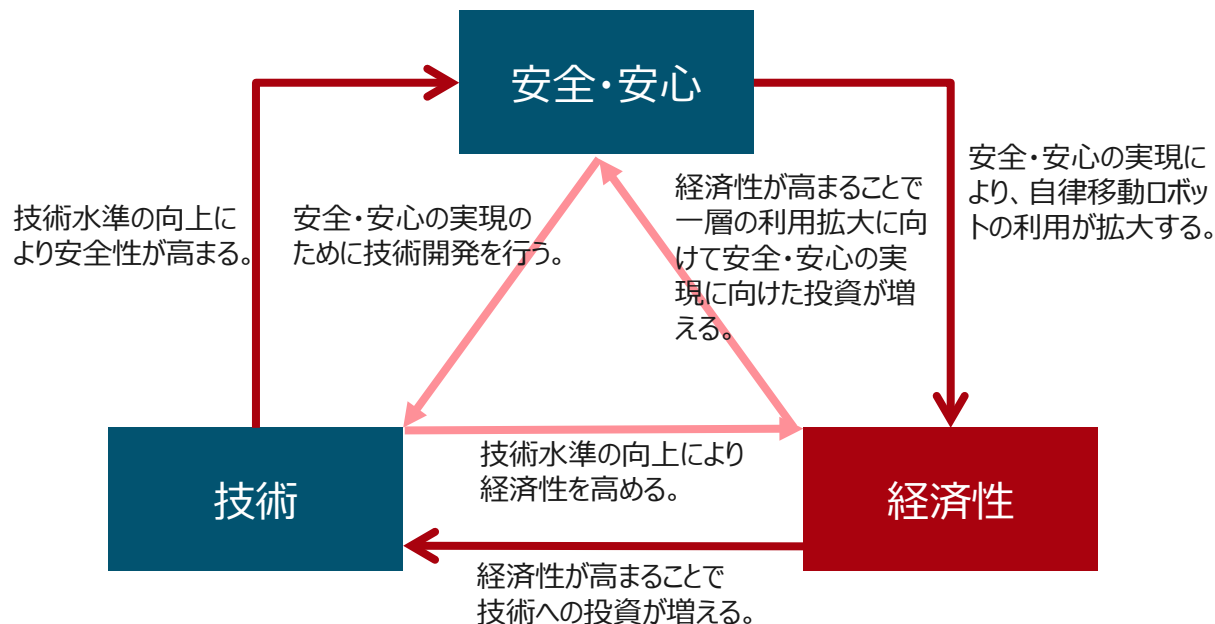
4 情報基盤

5 IoTインフラ

6 ガバナンス

多様な自律移動ロボットの分野横断・多用途な活用により、安全・安心で経済性があり、技術が相乗的に高まるようなポジティブループを実現することが重要ではないか。この際、ユースケースを検討することで、より大きな経済性の確保に関する可能性を高められるため、ポジティブループが回り始めていくと考えられる。

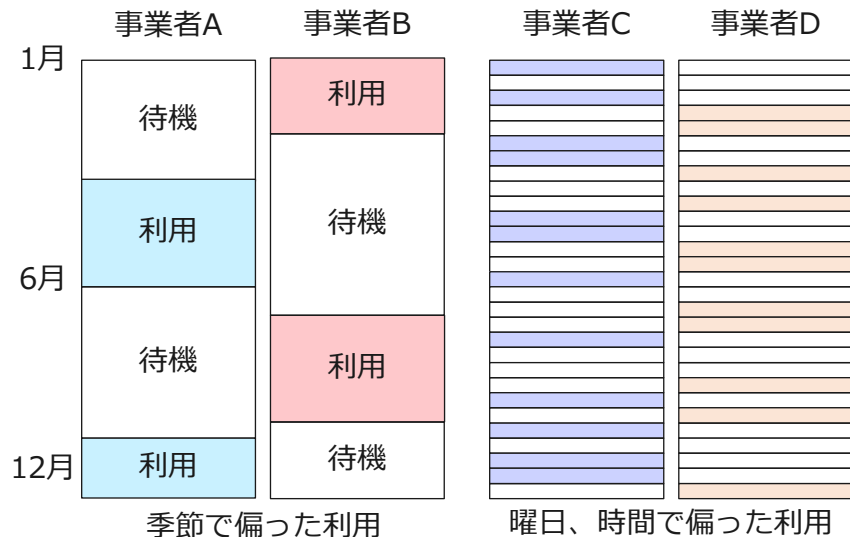
安全・安心、経済性、技術を相乗的に高めるポジティブループ



- 自律移動ロボットの稼働率を上げて経済性を向上するとともに、災害時等の有事であっても迅速に十分な量の自律移動ロボットを利用できるようにするために、自律移動ロボットを事業者横断でマルチドメインにおいて活用していくことを目指してはどうか。
- そのためには、利用事業者が各々で自律移動ロボットを保有する産業構造から、自律移動ロボットの利用をサービスとして提供する事業者が存在する産業構造に転換する必要があるのではないか。

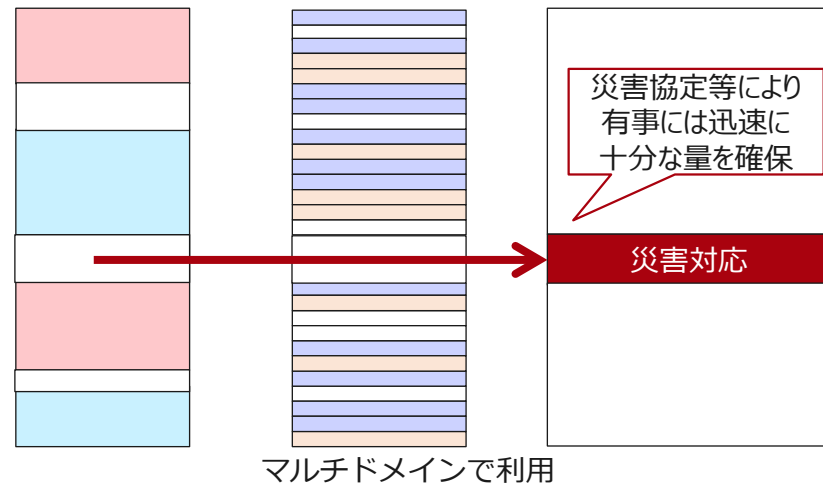
As-Is

利用事業者が各々で自律移動ロボットを所有して運用すると、用途に限りがあるため稼働率が十分に上がらない。



To-Be

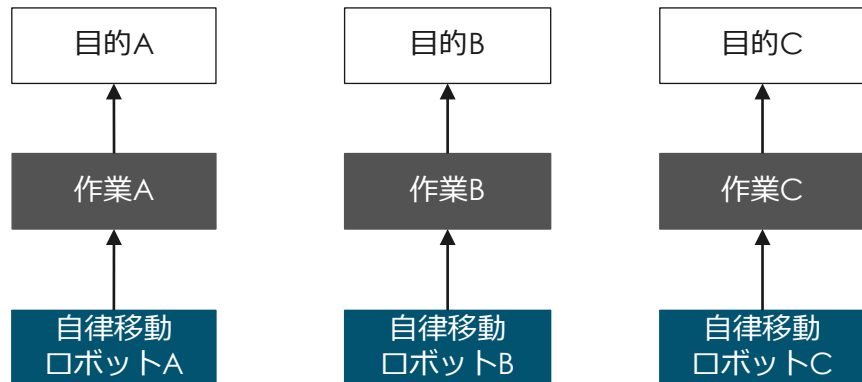
事業者横断でマルチドメインで自律移動ロボットを活用することで稼働率を上げつつ、有事の際に機動的に自律移動ロボットを確保できる。



- 同一の運行経路で行う作業については、異なる自律移動ロボットでそれぞれ行うのではなく、1つの自律移動ロボットによる**1度の運行で各目的を達成するために必要な作業**を行うことで、自律移動ロボットの稼働率を上げて経済性を向上する（センシングしたデータを各目的のために様々な事業者に共有等）ことを目指してはどうか。
- 特に災害時など大量の自律移動ロボットが運行する場合には、**撮影した画像等を政府、自治体、インフラ会社、保険会社等の関係者に共有**することで、**運行数を減らして安全性を高めるとともに、災害対応に必要な情報を迅速に共有することも可能**になるのではないかと。

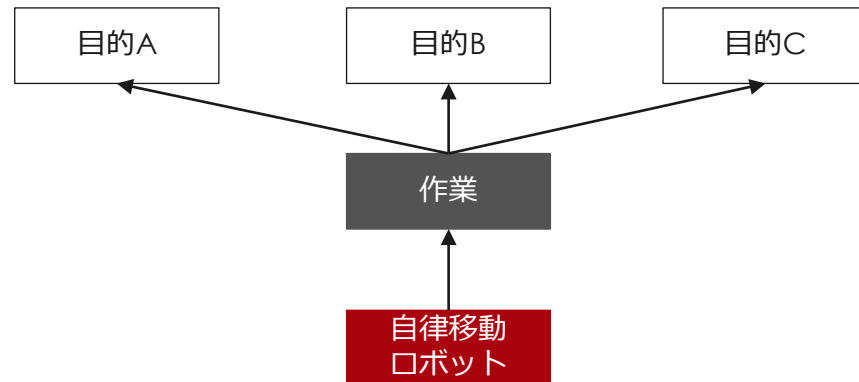
As-Is

各目的を達成するために、各事業者が作業毎に自律移動ロボットを所有して運用している。



To-Be

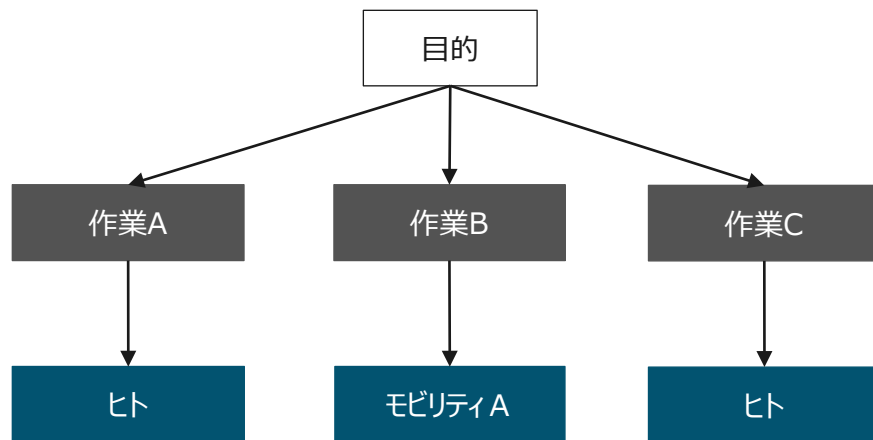
1度の運行で様々な目的を達成することで安全かつ迅速、効率的に作業を実施できる。



ドローン、サービスロボット、自動車を含めて、**複数の自律移動ロボットをシームレスに接続・連携させることにより、人間を介在せずに事業の目的を費用対効果が高い状態で実現**することを目指してはどうか。

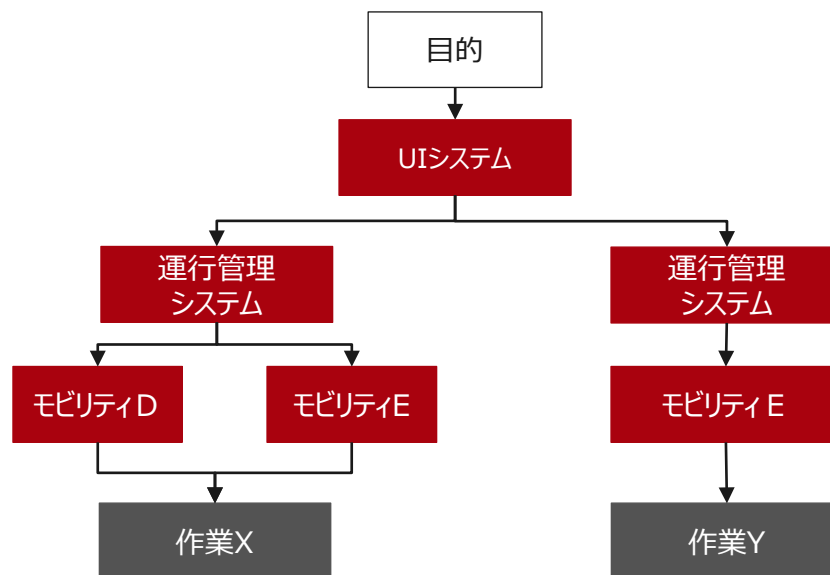
As-Is

人間が行うことが前提で組み立てられた目的達成のための作業の一部を自律移動ロボットが実行する。









To-Be

自律移動ロボットやA Iを前提に目的達成のための作業を構築し、その実現のために複数のモビリティをシームレスに接続・連携して作業を行う。



自律移動ロボットを活用するユースケースの概観

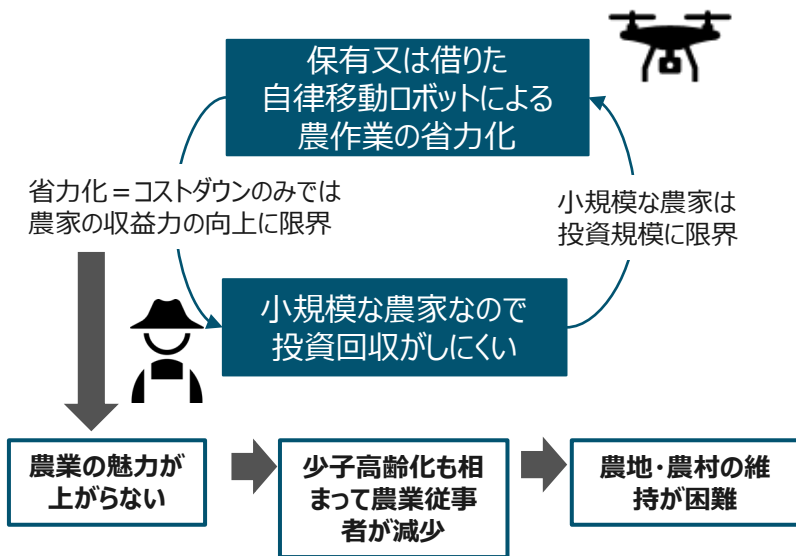
	農林水産業	エネルギー	公共安全	エンタメ	物流	旅客移動	建設	通信	防災・気象
空撮・ 監視・ 点検									
	圃場監視	プラント点検	民間警備	映像撮影	渋滞監視		建設監視	鉄塔点検	天候監視
	藻場監視	送電線点検	警察	生中継	事故調査		土地調査	通信網点検	河川監視
	森林監視		海上保安		道路・線路・橋梁点検		建物調査		大気監視
空撮・ 監視・ 点検 以外の 作業	農薬散布			広告	空港内のGSE作業		資材運搬	電波提供	避難誘導
	種苗作業			競技	郵便配送	自家用			物資運搬
	収穫作業			観光地誘導	EC配送	公共交通			搜索救助
	出荷作業				出前配送	アバター			消火活動
	資材運搬				貨物配送				救急搬送

農業分野における将来のユースケースの例

自律移動ロボットやデジタルの活用により、「**農作業をサービスとして利用**」できるようにすることで、あらゆる農家が**安価に高い品質の農作業を実現して収益力を高められる**ようになり、社会課題の解決や産業発展を実現することはできるか。

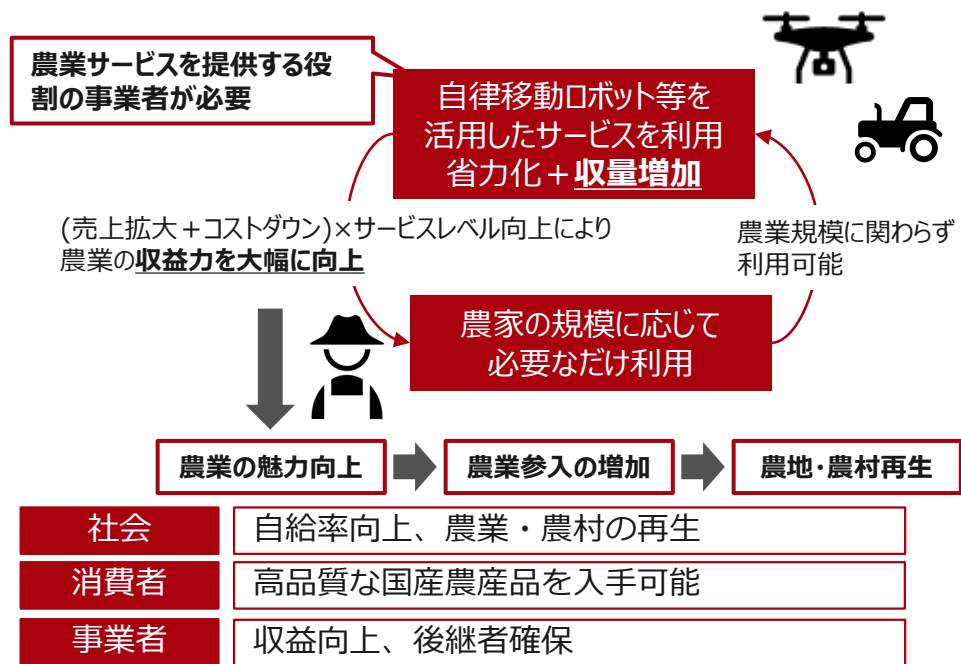
As-Is

- 各農家が個別に設備等を確保して、蓄積したノウハウを活用しながら農作業を実施



To-Be

- 農家は、安価に高い品質の農作業を行い収益力を高めることができる。
- 農作業サービスを提供する事業者が、規模の経済や学習効果を活かして、効率化及びサービスレベルの向上を図る。



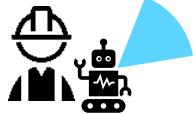
インフラ分野における将来のユースケースの例

自律移動ロボットやデジタルの活用により、**無人で高速に点検を行うことにより「止まらないインフラ」を実現し、インフラ事業者の収益力を強化**するとともに、**災害時を含めて国民・企業が安心して安価に利用できる社会インフラ**を実現することを検討してはどうか。

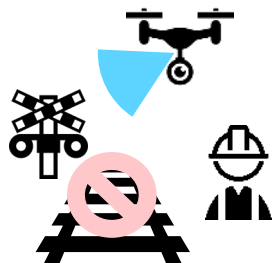
As-Is

人間による点検作業をドローンに置き換えるだけでは、人件費削減効果に限られて、収益力の向上への寄与は限定的

点検中は作業員の安全確保のため設備停止



人が随伴するオペレーションでは人の移動に関する物理的制約により時間を要する



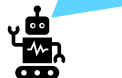
サービス稼働時間

停止時間

To-Be

無人・高速点検により、設備稼働率を限界まで向上させることで「止まらないインフラ」を実現すれば、事業者の収益力向上に大きく寄与することに加えて、災害時含めて安定的に生活・産業のインフラを提供可能

例：作業員がいないので設備停止不要



例：人に起因した物理的制約の回避による点検時間短縮

サービス稼働時間

収益増加
安定的なサービス提供

社会

減災、環境負荷低減

消費者


安定かつ安価なインフラサービスの享受

事業者

収益力や労働環境の向上

自律移動ロボットやデジタルの活用により、広告やエンターテインメントなどの需要を喚起することで、**空間に新たな利用価値を提供し、事業機会の創出、地方の活性化**を図ってはどうか。

都会上空での移動するアートや広告



出典：T2R

出典：T2R

出典：Intel

大きいので目をひく！

効率的に移動する広告

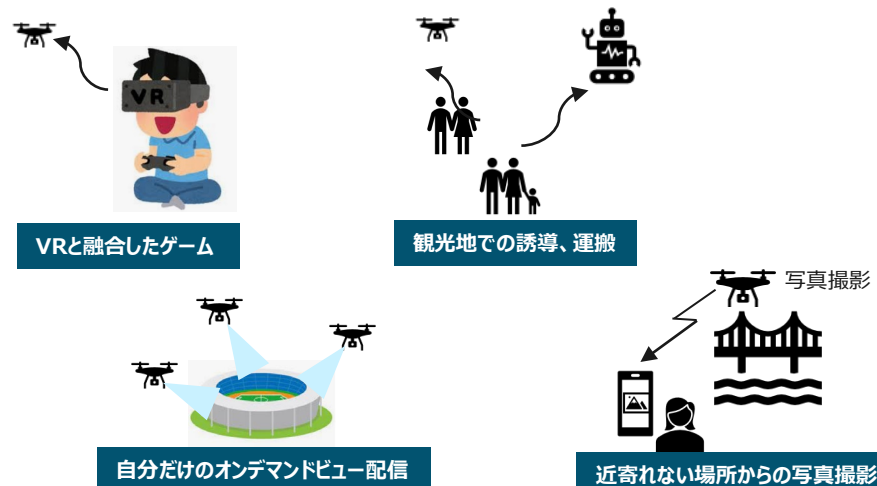
場所・時間に合わせ広告を変更

多数のドローンでアート

広告付き移動式屋根

社会	新しい空間の活用
消費者	大きいアートの魅力を楽しむ 趣向にあった情報の獲得
事業者	効果的な広告活動の実現

エンターテインメントでの活用



VRと融合したゲーム

観光地での誘導、運搬

写真撮影

自分だけのオンデマンドビュー配信

近寄れない場所からの写真撮影

社会	エンターテインメント・観光の活性化
消費者	新しいサービスの享受
事業者	事業機会の創出

1 エコシステム

2 サービス

3 運行基盤

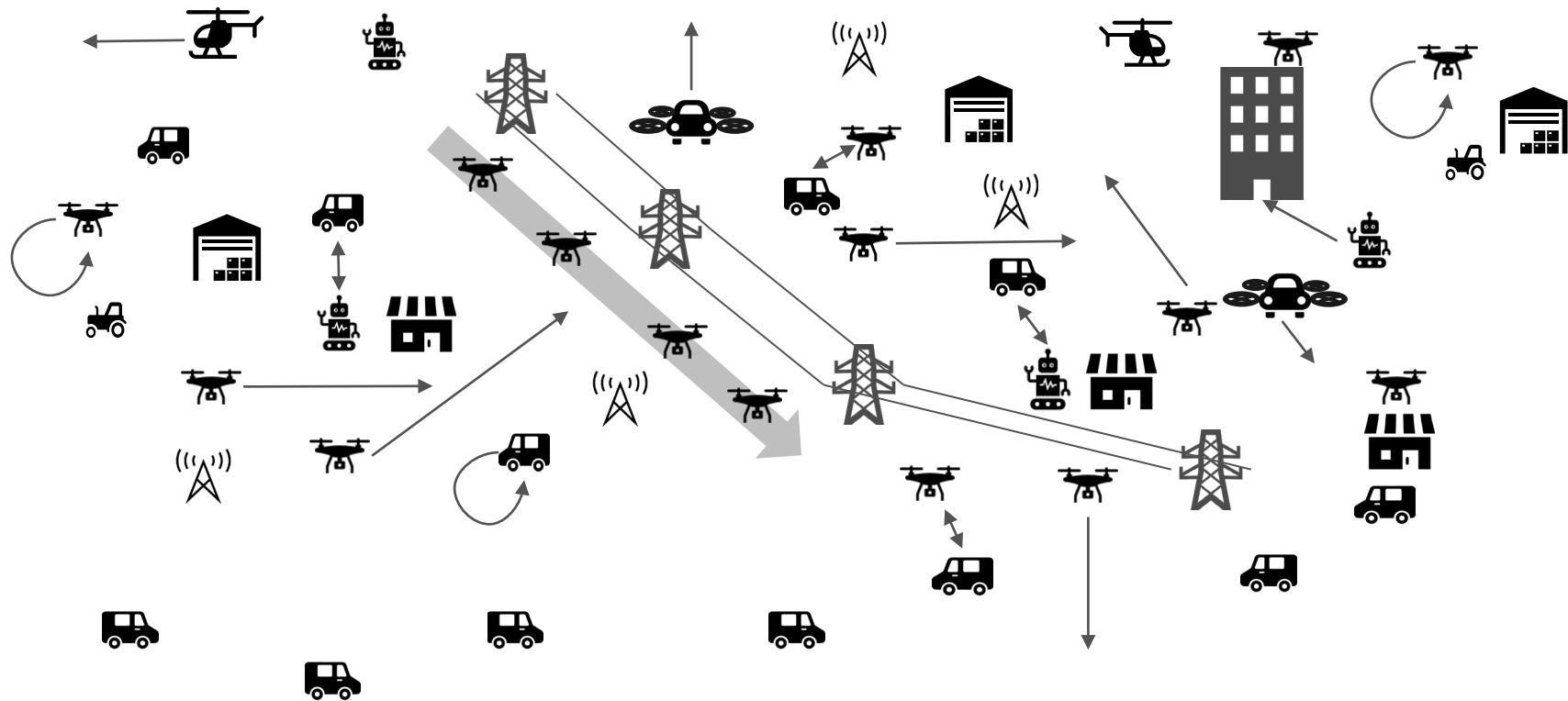
4 情報基盤

5 IoTインフラ

6 ガバナンス

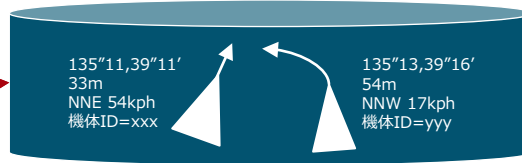
多数の自律移動ロボットが運行する場合の課題

多数の自律移動ロボットが連携しながら安全かつ効率的に運行するためには、適切な運行のルールを定めた上で、異なる自律移動ロボットを自動的に制御する仕組みを検討していくことが必要ではないか。



- ① **機体の把握** : サイバー空間でフィジカルの機体情報を統合的に把握する機能
- ② **衝突の回避** : 自律移動ロボットの衝突リスク (有人機、建築物、ドローン等) を検知して衝突を回避する機能

① サイバー空間でフィジカルの機体情報を統合的に把握する機能



UTM

USSの目的は
「UASOの飛行目的達成の支援」
(地理空間情報集約、最適化支援等)

動態情報送信
(ネットワーク型RemoteID)



② 自律移動ロボットの衝突リスク (有人機、建築物、ドローン) を検知して衝突を回避する機能

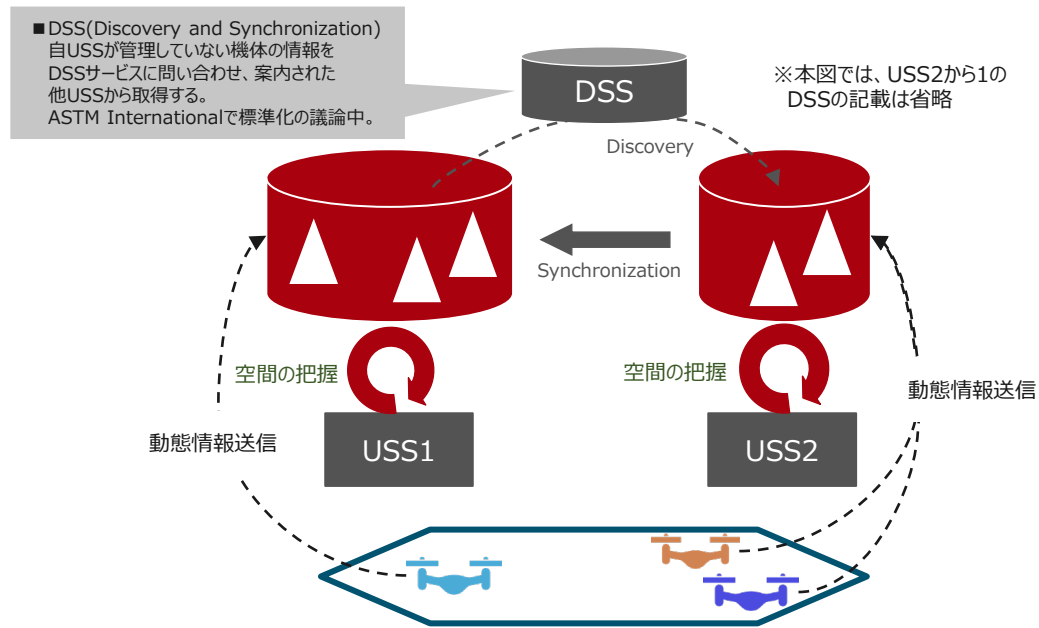
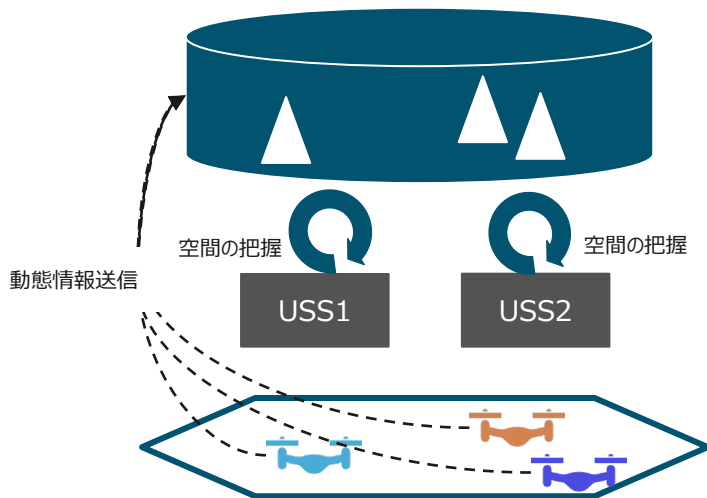
UTM : UAS Traffic Management(無人機運航管理)
UAS : Unmanned Aircraft System(無人機)
USS : UAS Service Supplier(無人機管理サービス提供者)
UASO : UAS Operator(無人機運用者)
GCS : Ground Control Station(無人機用地上局)

集中管理：特定の空間内の全ての機体を一括管理

- Pros：リアルタイム処理
- Cons：スケーラビリティ(機体増・情報増への対応)に限界空間が重複した場合の対応の検討が必要
※空間情報を集中的に管理する主体が必要

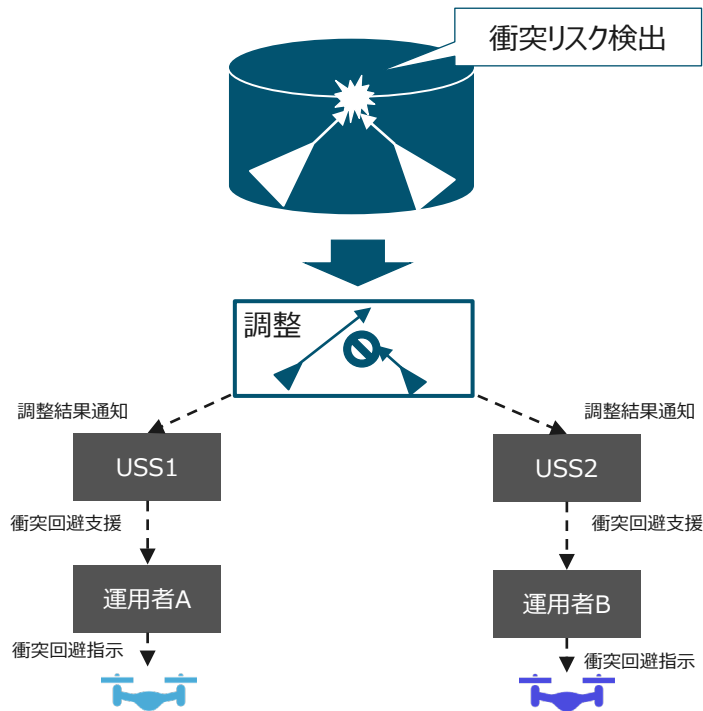
分散管理：特定の空間内の機体を複数のUSSが分散して管理

- Pros：スケーラビリティ(機体増・情報増への対応)がある。
- Cons：信頼できないUSSがあるとシステム全体が破綻する。
リアルタイム処理が難しい。
※USS間で情報共有する仕組みやルール（DSS等）の検討が必要



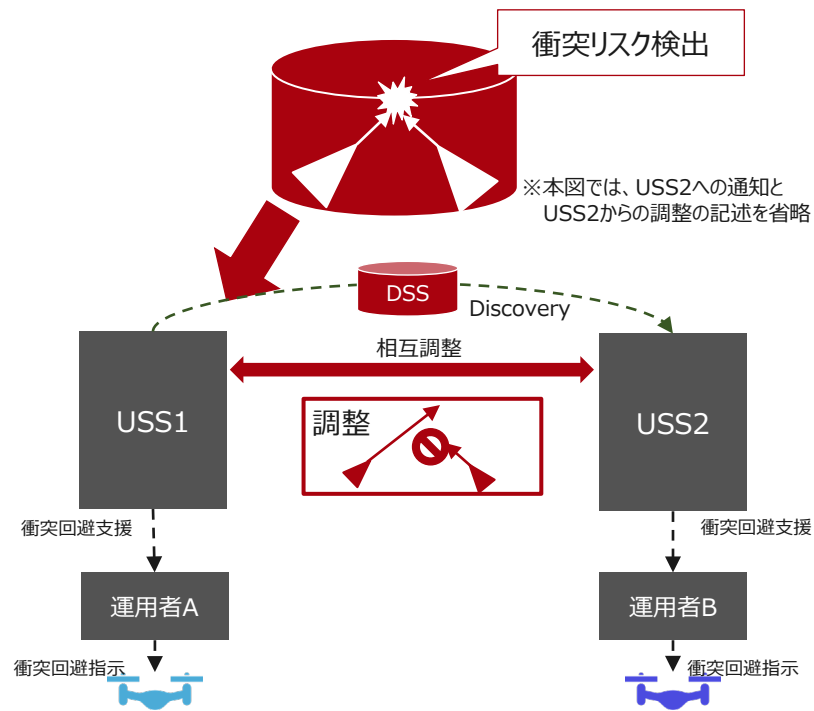
集中管理：統合システムで一括して特定の空間内の調整

- Pros：空間全体にとって最適な調整
調整が容易 (リアルタイム性の確保が可能)
- Cons：個々の事業者にとって最適な調整が困難
※空間全体を調整する主体を検討する必要



分散管理：複数のシステムが特定の空間内の機体の調整を個別に実施

- Pros：個々の事業者にとって最適な調整
- Cons：空間全体にとって最適な調整が困難
調整が複雑 (リアルタイム性の確保が困難)
※調整ルールの検討が必要



空間を用途で分類し、集中・分散を適時・適所で使い分ける、担い手、運用ルールなどを含めたアーキテクチャを検討する必要があるのではないか。

集中型(集中管理・集中調整)：特定の空間で多数の機体が集中的に移動する際に適切か。

管理者が特定の空間の運行管理を集中的に行う。

- 機体は特定の運行ルールの下で移動し、速度や高度調整などは空間利用の全体最適化を優先して調整する。
- 管理する対象の空間が限られていることや全体最適化により調整の頻度が低下することから、スケーラビリティの限界という集中型の欠点が出表する。

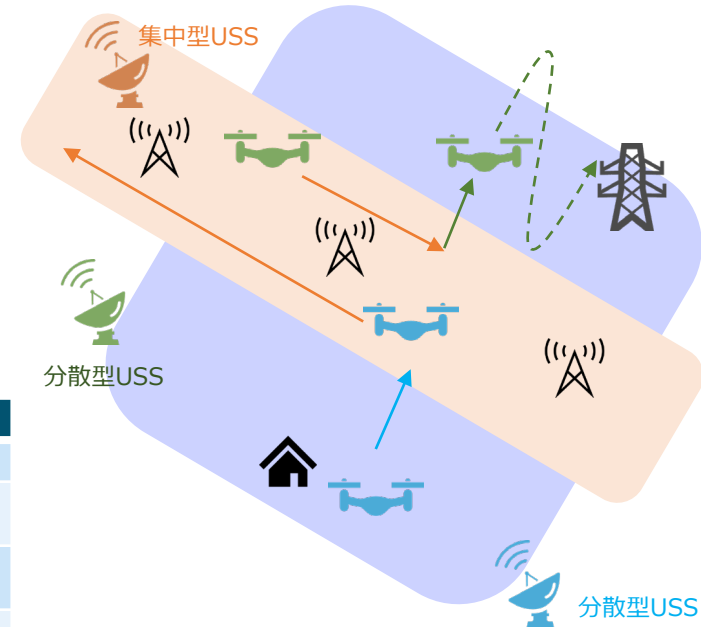
分散型(分散管理・分散調整)：特定の空間で少数の機体が分散的に移動する際に適切か。

移動や調整に関する基本的なルールを定めた上で、各事業者がそれぞれの目的に応じて移動する空間を定める。

- 各事業者の飛行目的の実現を優先し、USS同士の交渉により調整を行うことで個別最適を実現する。
 - 相対的に機体が低密度・低速度であることから、分散型の欠点であるリアルタイム処理の難易度は低下する。なお、空間を4次元のメッシュとして捉えることで調整頻度を一層下げることができる。
 - USSの信頼性を確保するための認証の仕組みを整備する必要がある。
 - データ共有・移動・調整に関する基本的なルールの検討が必要がある。
- 例) 「早い者勝ち」「Real Time Biddingのような空間オークション」「緊急飛行の優先」等

※空間毎に扱いを変える場合には他の空間との往来に当たっての管理の受け渡し方法の検討が必要

図は2次元で書いているが、3次元空間を想定。利用状況による見直しのほか、時刻(業務時間内外)や状況(平時/工事/イベント/災害時)による動的変更も考えられる。



		集中	分散
情報管理	Pros	<ul style="list-style-type: none"> リアルタイム処理 	<ul style="list-style-type: none"> 空間の広さに制約がない(スケーラビリティ)
	Cons	<ul style="list-style-type: none"> 空間管理者の定義が必要 空間の広さに制約がある(スケーラビリティ) 	<ul style="list-style-type: none"> USSの信頼性 リアルタイム処理
調整	Pros	<ul style="list-style-type: none"> 全体最適 調整フローはシンプル 	<ul style="list-style-type: none"> 飛行目的の達成 空間の広さに制約がない(スケーラビリティ)
	Cons	<ul style="list-style-type: none"> 空間管理者の定義が必要 空間の広さに制約がある(スケーラビリティ) 飛行目的の阻害 	<ul style="list-style-type: none"> 相手が多いと調整が困難 調整の共通ルールが必要 リアルタイム処理

1 エコシステム

2 サービス

3 運行基盤

4 情報基盤

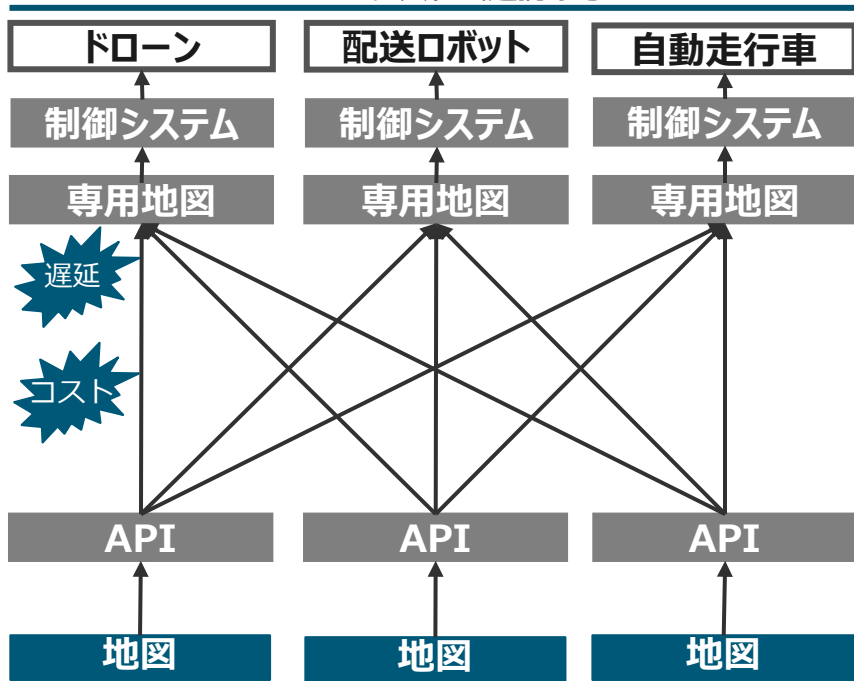
5 IoTインフラ

6 ガバナンス

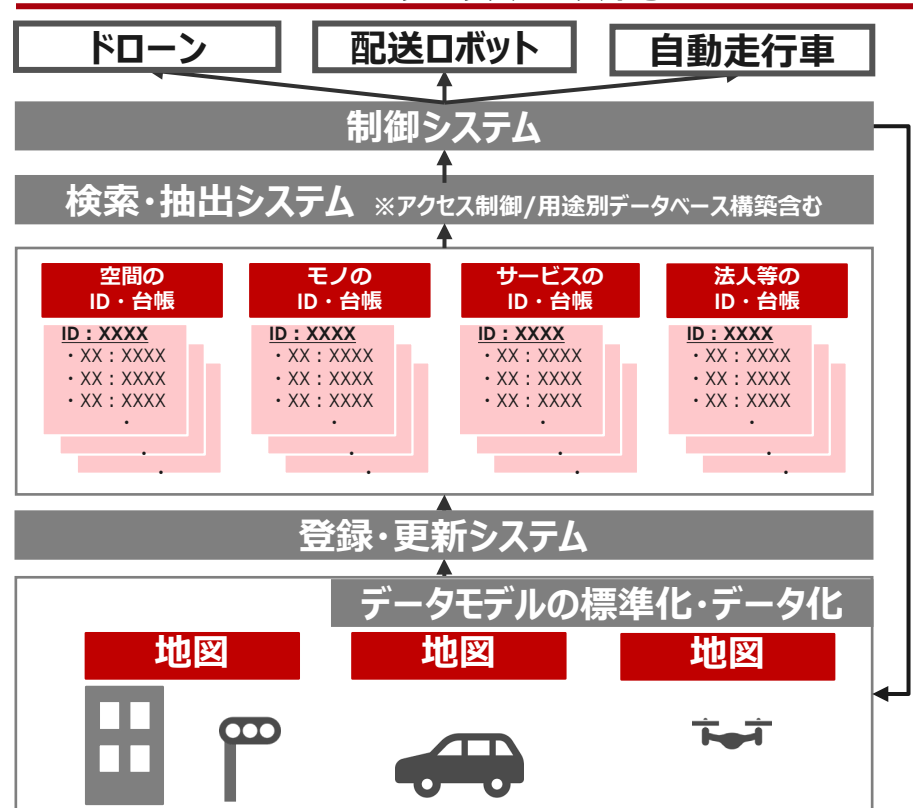
空間IDを含めた三次元空間情報基盤の整備概要

自律移動ロボットの普及を見据え、分散して存在する空間情報のデジタル化を進め、共通の基準を用いてあらゆる空間情報を「簡単に」「安く」「早く」「利用しやすい形式・内容・容量」「必要十分な範囲・粒度・項目」で取得できる仕組みを構築することで、移動やインフラ整備等の効率化を図れるのではないかと。

As-Is システム連携中心

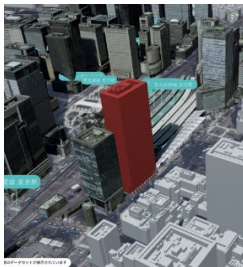


To-Be データスペース中心

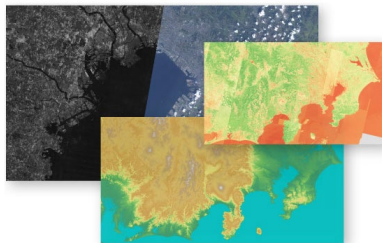


空間情報の例

建物 (Plateau)



衛星情報 (Tellus)



気象情報 (気象庁/ウェザーニューズ)



交通情報 (VICS)



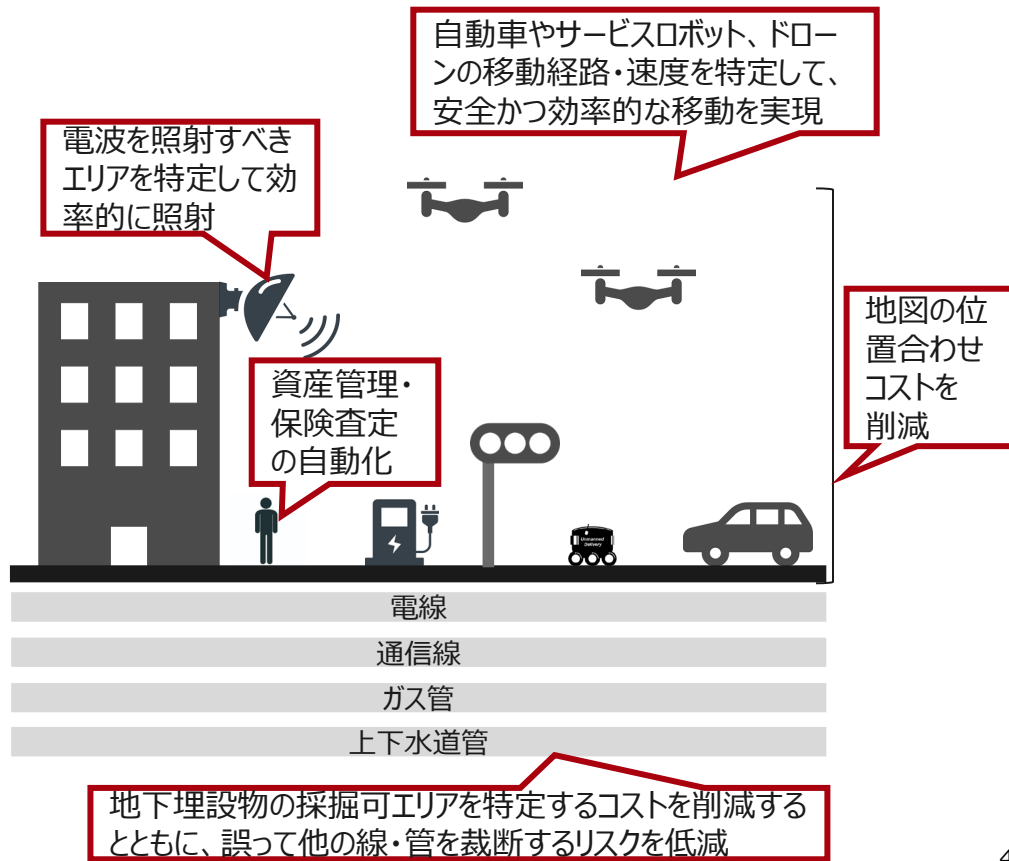
道路情報 (ダイナミックマップ基盤)



鉄塔・電柱 (データ化未了)

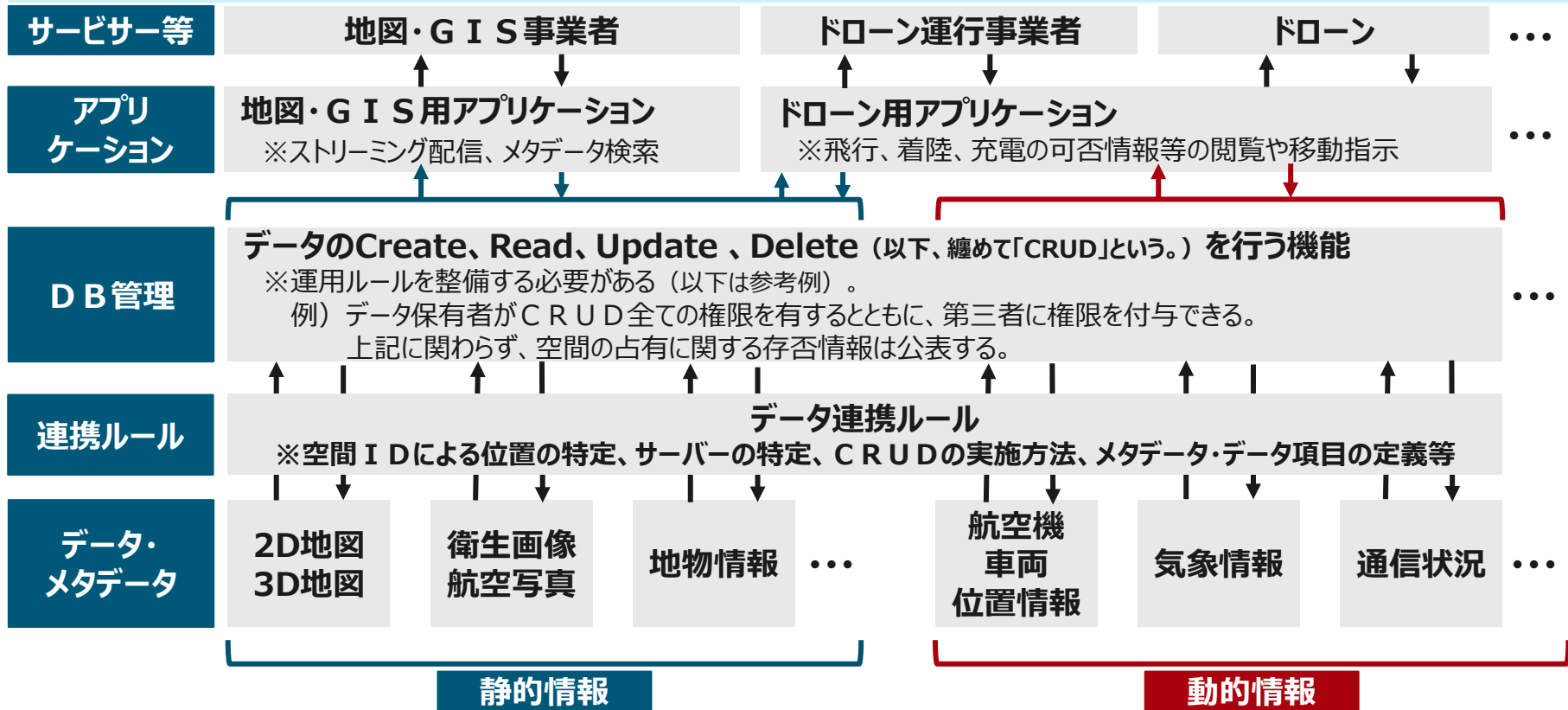


ユースケースの例



三次元空間情報基盤に必要な主たる機能

目的を整理した上で必要となる機能を洗い出して、その配置を具体的に検討し、ユーザーエクスペリエンスやセキュリティ、産業振興等の観点にも留意しながら、システムやデータ・メタデータ、ルール等の作成・運営を行う主体やビジネスモデルについても併せて検討すべきではないか。



1 エコシステム

2 サービス

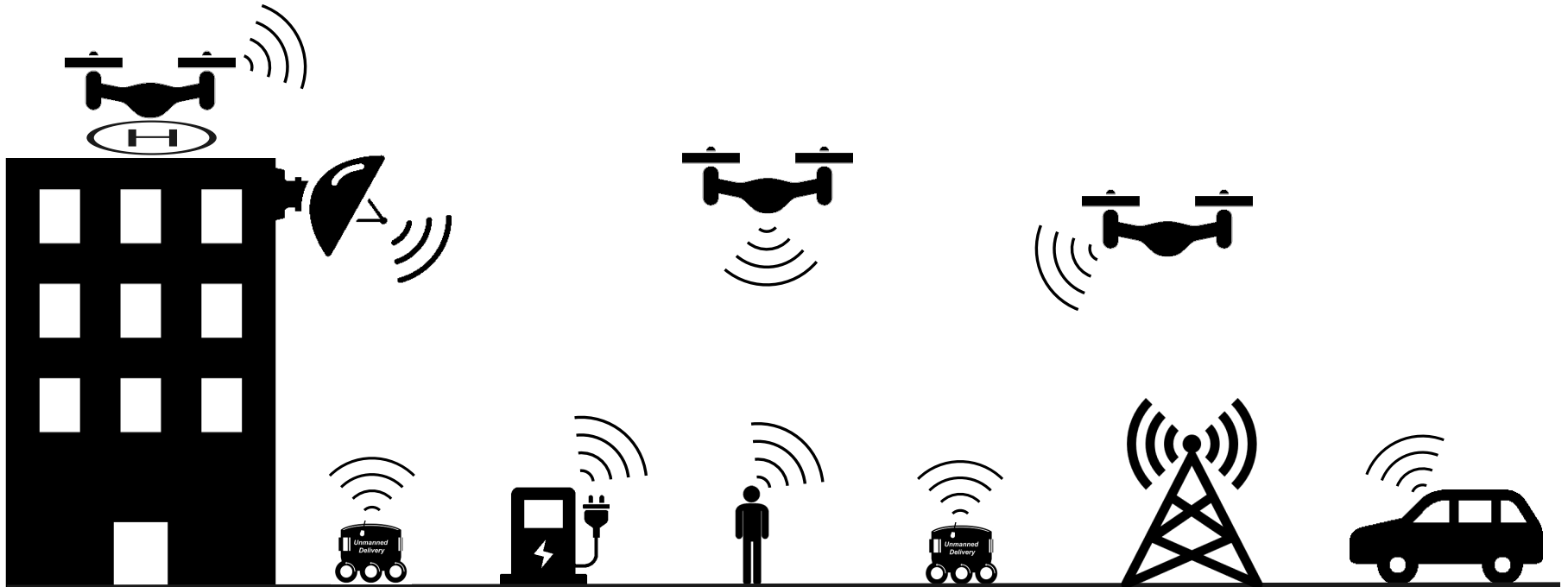
3 運行基盤

4 情報基盤

5 IoTインフラ

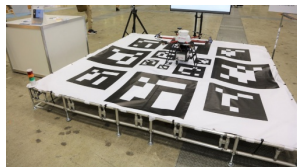
6 ガバナンス

- 多数の自律移動ロボットが安全かつ効率的に運行するためには、IoTインフラを整備した上で、相互に通信を通じて連携する仕組みを整備していくことが重要である。
- その際には、IoTインフラの設置や一意での特定（IDの仕組み）の在り方や、認証方法、セキュリティ確保、プライバシー保護の在り方などについて、検討していく必要があるのではないか。



駐機

駐機場



緊急避難着陸場

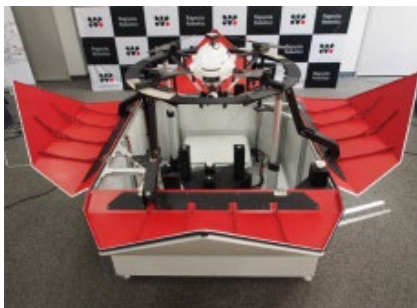


通信基地局



通信等

格納庫



RTK



データセンター



充電器



充電

装備品



事業

バッテリー



運搬物資



出所 (株) 日経BP、日経XTECH、2021年11月25日取得、URL: <https://xtech.nikkei.com/atcl/rxt/column/18/00001/01397/>、
<https://xtech.nikkei.com/dmy/atcl/mag/15/39808/020900128/>、
livedoorNEWS、2021年11月25日取得、URL: <https://news.livedoor.com/article/detail/21196684/>、
OTONA LIFE、2021年11月25日取得、URL: <https://otona-ife.com/2021/04/04/60104/>、
DJI、2021年11月25日取得、URL: <https://www.dji.com/jp/d-rtk-2>、
(株) アイネット、2021年11月25日取得、URL: <https://www.inet.co.jp/product/cloud/ngcc/datacenter.html>

MAZEX、2021年11月25日取得、URL: <https://mazex.jp/product/tobisukedx-lipo-battery>、
DENGKI HOBBY WEB、2021年11月25日取得、URL: <https://hobby.dengeki.com/news/291803/>、
uAvionix、2021年11月25日取得、URL: <https://uavionix.com/uavionix-announces-new-micro-ads-b-receiver-for-small-drone-collision-avoidance/>、
ひこ旅、2021年11月25日取得、URL: <https://hikotabi.jp/20191029/6831>

設備インフラの設置に関する考え方

- 自律移動ロボットの**需要密度に応じて設備インフラの配備の在り方を検討**することが重要である。その際には、地域特性やニーズに応じて、多数のモビリティが運行の起点とすることができるような**モビリティステーションを設置して、設備インフラを集中的に配備**するというオプションも含め、既存の通信・電力等のインフラの状況も踏まえながらの検討が必要ではないか。
- また、**設備インフラを整備する担い手の在り方**、**長期かつ多額の投資を促す仕組み**についても併せて検討する必要があるのではないか。

モビリティステーション



個別に配備



1 エコシステム

2 サービス

3 運行基盤

4 情報基盤

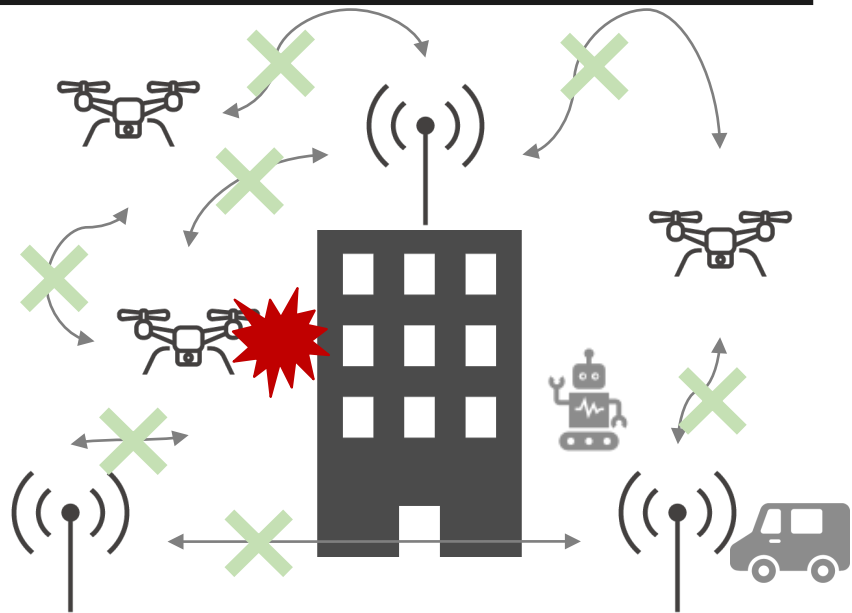
5 IoTインフラ

6 ガバナンス

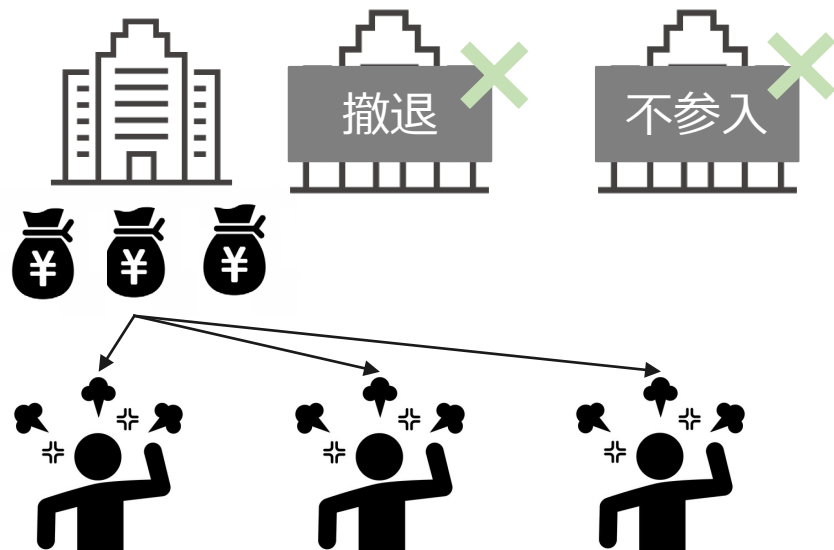
自律移動ロボットの安全性・信頼性確保に当たっての主な課題

- 多数の自律移動ロボット及びシステムが接続する場合、事故が発生した際には、その原因を特定して解決策を講じるまでの間に、全てのシステムを停止させることになり、**消費者や企業の経済活動に重大な影響を与え、事故原因の企業が莫大な損害賠償を担うことになる可能性**がある。
- そのため、企業が事業展開を萎縮するとともに、社会的受容性が低下し、ドローンを活用した社会的課題の解決や産業発展が遅れてしまい、わずかな事故で社会全体の効用が低下するおそれがある。

1つの事故により、関係する可能性のある全システムを停止



事故時のリスクが大きく、事業を展開する企業が減少、社会的受容性が低下し、イノベーションが停滞



- 自律移動ロボットが普及するに当たっては、システムが複雑に相互接続しながら早いサイクルで更新され、AIにより自動的にアルゴリズムが生成される中であっても、事故の発生予防や事故時の対応含めて、システム全体の安全性・信頼性を高めながら、イノベーションも促すようなガバナンスを実現する必要があるのではないか。

異なるシステムの複雑な相互接続

早いサイクルでのシステム更新

AIによるアルゴリズム生成

SoSを適切にガバナンスすることで
安全性・信頼性の向上とイノベーションを達成

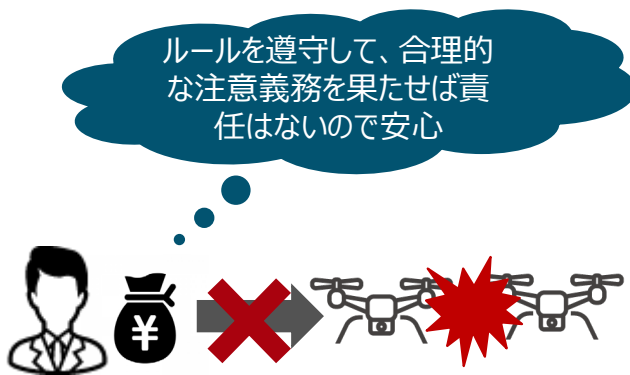
- 1 迅速かつ必要十分な事故の発生予防及び損害回復によりドローン運行等の**安全性の向上**を図る。
- 2 ステークホルダーと双方向の対話を行い必要十分な対策を講じることで社会の**安心感及び納得感の醸成**を図る。
- 3 迅速かつ必要十分な損害賠償により**被害者の保護**を図る。
- 4 事故時の責任範囲を明確化することで企業の**事業リスクを低減して事業参入**を促す。
- 5 インパクトベースの目標と因果関係を持つ指標を設定し、ステークホルダーによる**合理的な判断及び取組**を促す。

- 安心を確保しながらイノベーションを促すための事故に対する責任の在り方・分担やリスクに備える保険の在り方、そして、様々なステークホルダーが適切にリスクマネジメントを行うためのデータやソフトウェアの共有・認証等の在り方も含めて、ガバナンスのアーキテクチャについて検討が必要ではないか。

故意又は過失による損害に責任を負う過失責任

ルール

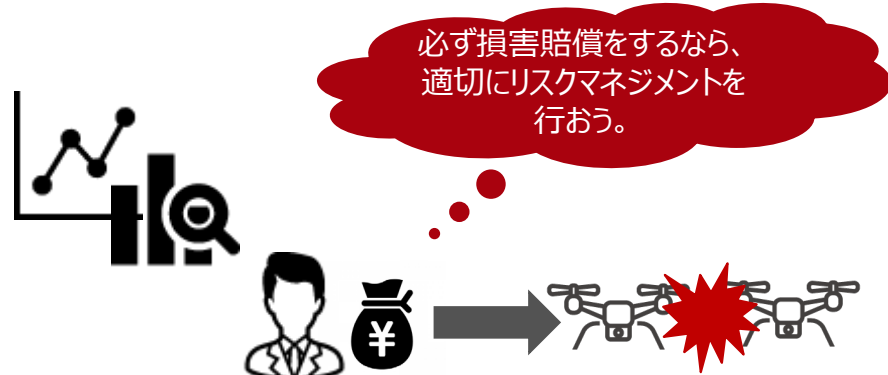
- ×××××
- ×××××
- ×××××
- ×××××



イノベーションが早く、ルール設定者と事業者との間で情報の非対称性が広がる中で、**網羅的に適切なルールを設定できるのか！？**

→網羅的に適切なルールを設定するのは困難

損害があれば必ず責任を負う厳格責任



事故の影響が大きい可能性があるなど、**リスクが高すぎると事業参入が困難になってしまうのではないか！？**

→事業者の厳格責任と責任上限をセットで議論