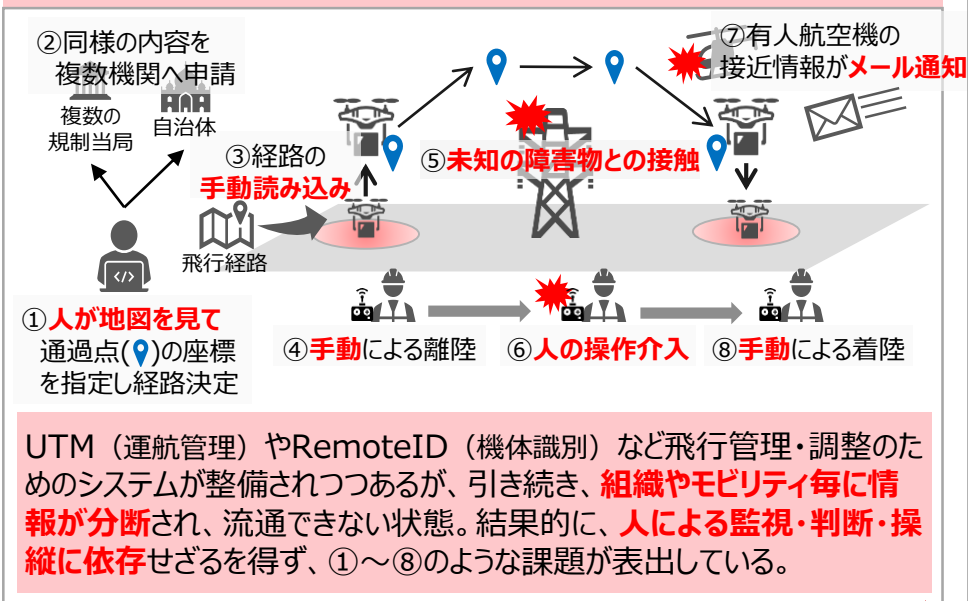


本プログラムの目的

人の判断を介在せずにデータで制御されるCPSの具体例として、**自律移動ロボット（ドローン）を対象**に設計を行う。特に、**インターネットの合理性を現実空間に持ちこむ**ことで、**高効率・拡張可能で安全なドローンの運航**を可能にし、**新たなサービス創出が容易なモビリティ基盤の整備**を目指す。

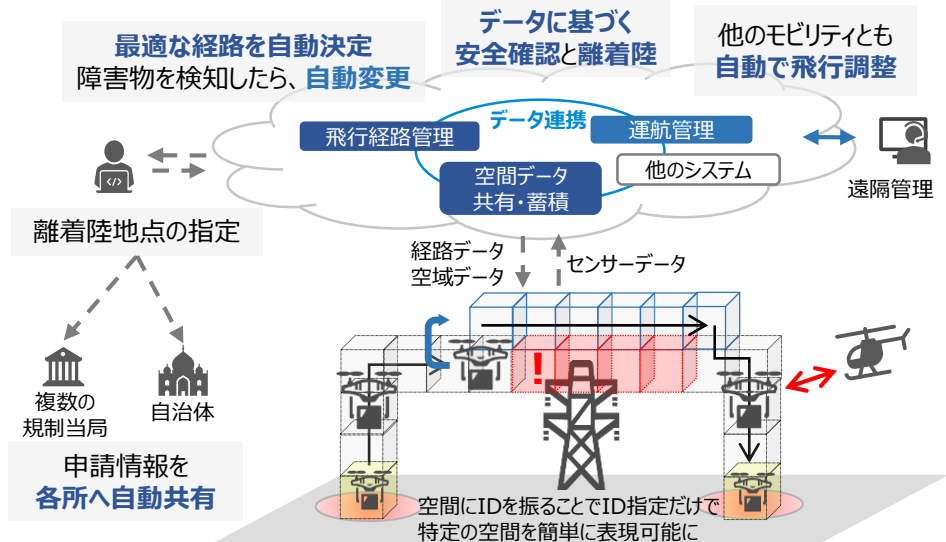
2020年度の成果

As-Is図：51社に対するヒアリングに基づく要求の整理結果



As-Isから導出される要求を元にTo-be像を検討

To-Be図：自律型CPSを実現したドローン運行の在り方



他の機体の現在位置や飛行予定の経路、飛行目的・属性情報（緊急車両か否か）等が、組織やモビリティを横断して流通し、加えて**気象や電波状況等の現実空間に関するデータと重ね合わせることで多角的な状況把握と判断が可能**に。結果、人の介入を最小限に抑えながら、**安全かつ効率的な、多数のドローンの同時運航**が実現。

今後の方針

- **To-Be図**を実現するためのデータ連携の基盤への要件を書き出し、**自律型モビリティのためのインフラとして具体的な設計に着手**
 - 更に、ベンチャーや他産業の事業者等の**新しい担い手が率先して参加**できるよう、ドローンを用いたサービス開発を支えるプラットフォーム（例えば物流・EC・エネルギーシステムとの連携ハブ等）や、他分野とのインフラの共同利用など、**インセンティブとなる施策の検討**
 - **デジタル前提の事故回避や検証の仕組み**や、**変化に迅速かつ柔軟に対応するガバナンス**の在り方など、**安心・安全な運航を実現する新たなルール**の検討
- 以上の取組を行う。



Digital Architecture
Design Center

IPA Better Life
with IT

自律移動ロボットプログラム 成果報告 補足資料

2021年7月

独立行政法人情報処理推進機構（IPA）
デジタルアーキテクチャ・デザインセンター（DADC）

自律移動ロボットプログラム設立の目的

- サイバー・フィジカルシステムが実現する**仮想空間と現実空間の高度な融合**による自律移動ロボットの**安全かつ最適な運用**の実現に向けた**アーキテクチャの設計**を目的とする
- 2020年度は、国内外で社会実装が進む**ドローンを自律移動ロボットの先行事例として取り上げ**、ドローンの利活用に関するアーキテクチャ設計に向けた将来ビジョン策定、ヒアリング、意見抽出、要求分析などを実施した

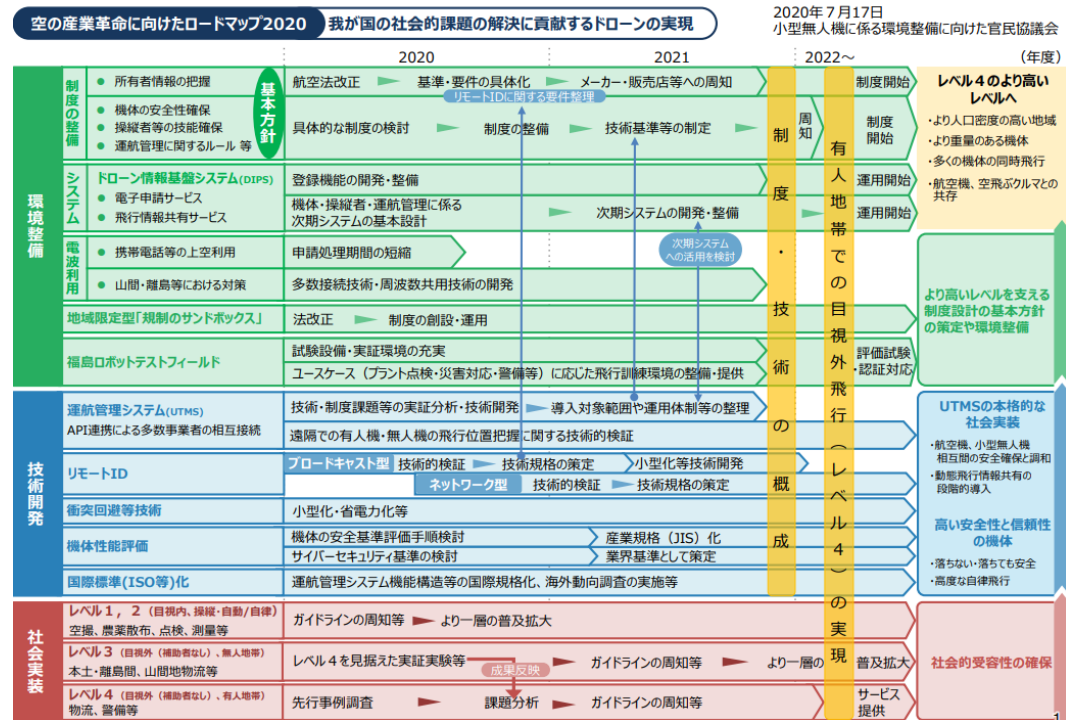
<ドローン関連の動向>

●空撮、物流、測量、点検、林業、農業などに活用

- 世界各国でドローンを開発・製造する事業、ドローンを管理・運用する事業、ドローンを利用したサービス事業およびこれらの周辺事業などが展開し、**緩やかに産業として成長**
- ドローンの機体、運用、安全性などに関する**デファクト/デジュール標準化**がそれぞれ進行

●2022年度よりレベル4飛行を運用開始

- 人口が密集する「**都市部**」の「**第三者上空**」で、操縦者の「**目視外**」範囲に地上からの補助的にドローンを視認する「**補助者なし**」の状態で行う飛行を「**レベル4**」と定義（現在は禁止）
- 2022年度のレベル4飛行の運用開始に向けた**制度整備**と**技術検証**が進行



引用：「空の産業革命に向けたロードマップ2020」、2020年7月17日 小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会

中間報告書の概要

- Society5.0が実現した社会を想定した将来ビジョンを提示し、現状と将来に対するヒアリングを実施した。その結果を集約し、ステークホルダーを分類すると共にその要求を収集した。
- 主なユースケースである物流・点検・運行管理に絞り分析し、今後、競争領域・協調領域となり得る異なるユースケースに共通するニーズや要求を8属性に集約できた。また、ステークホルダーの分類と要求をSociety5.0 RAで整理し、「誰が」「どこに」「どのような要求」を持っているのか、整理できた。

● 2020年度の進捗

- ① Society5.0が実現した2030年頃の社会におけるドローン利活用に対する「将来ビジョン」を作成した。
- ② ステークホルダーから「要求」を把握・整理した。
 - ドローン利活用のステークホルダーを網羅的にツリー構造で25種に分類。それぞれの関係性を抽出し共通する5つに大別した。
 - ドローン利活用の現状と将来ビジョンに対する認識を把握するためにヒアリングを実施し、ステークホルダー51者より428件の意見を抽出した。ここから将来ビジョンに関する意見は次期ヒアリングの仮説に反映した。
 - また、要求のもととなった発言を改めて主なユースケースである物流・点検に絞り分析。共通するニーズや要求を8属性に集約し、Society5.0のリファレンスアーキテクチャに基づき展開し、「誰が（ステークホルダー）」「どこに（レイヤ）」「どのような要求」を持っているかで整理した。
- ③ 将来ビジョンと現状の要求を比較し、「共通事項と競合する論点」を一部整理した。

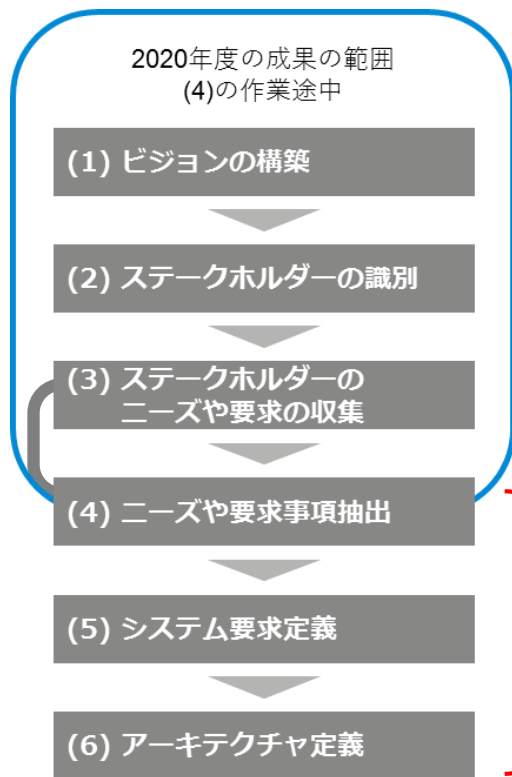
● 今後の方向性

- ① 課題を横断的に捉え、然るべきデータ連携と機能の発展を促すことで、段階的にデータ連携による安全で効率的な運用が可能となり、その実用化・商用化に繋がると考える。そこでデータ連携の基盤となる現実空間のデータ化、流通、蓄積し、検索可能とする社会インフラの将来ビジョンと現状からの要求事項の差を埋める「現実策」の刷り合わせのためにアーキテクチャ設計を進める。
- ② データ連携に基づくドローン運用の具体的な社会実装という観点から、ベンチャー等の新しい担い手やその他産業の事業者もデータ連携・流通に率先して参加できるような中立でオープンな体制の構築とインセンティブとなる施策に向けた戦略策定を先導する。
- ③ 新たな社会基盤で新たなドローン利活用を確立するため、新産業の創出と同様に新しい制度が必要と考える。所管官庁と連携し変化に迅速かつ柔軟に対応できる最適な制度設計を進めつつ、ステークホルダーである民間事業者等を巻き込めるよう、仮説と検証を繰り返すことを並行して行う。

アーキテクチャ設計プロセスと中間報告書の位置づけ

- アーキテクチャ設計では、設計プロセスを進めながら必要に応じて前のプロセスに戻り、より詳細に分析する。
- 2020年度は、(1) ビジョンの構築、(2) ステークホルダーの識別、(3) ステークホルダーのニーズや要求の収集、(4) ニーズや要求事項抽出、の4つのプロセスを行き来し、**要求をより詳細に抽出・分析**した。

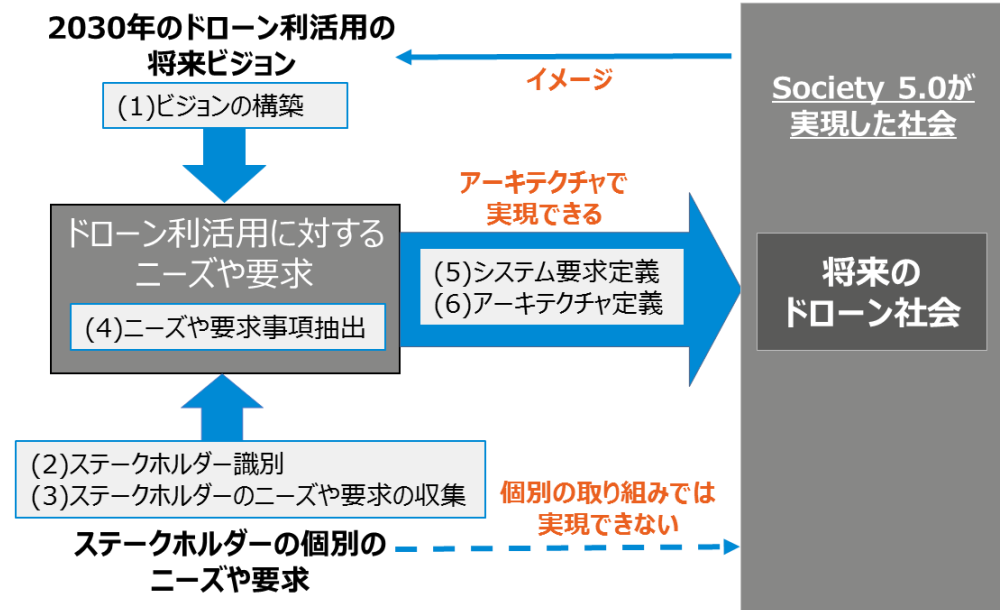
● アーキテクチャ設計プロセス



- 仮説となるサイバー・フィジカルシステムを実現するドローン利活用の姿を将来ビジョンとして構築
- ドローン利活用のステークホルダーを網羅的にツリー構造で25種に分類。それぞれの関係性を抽出し共通する5つに大別
- 現状と将来ビジョンの認識を題として、ステークホルダー51者より428件の意見から**要求を抽出**。
- **要求**を主なユースケースである物流・点検に絞り分析し共通する8群に集約

● 設計プロセスと将来ビジョン実現の関係性

※ステークホルダーと協働し、当該プロセスを継続的に回し、将来ビジョンを構築・改善



- **将来ビジョンからの要求と現状の要求を比較し、共通事項と競合する論点を整理**
- 共通事項と競合する論点に関し、**刷り合わせの可能性とそれに伴う新たな課題を整理**
- 洗練された要求などからシステム要求定義、アーキテクチャ定義を進め、**コスト面・技術面・運用面等からの合理性を分析した上でDADCが考えるデジタル社会基盤のアーキテクチャ**として提言

将来ビジョンの構築

- ドローン運用の**構成要素とその関係性を抽出し、現状とSociety5.0が実現した2030年頃の社会（仮説）を比較。**
- サイバー・フィジカルが高度に融合した社会のドローン運用シーンを想定した**将来ビジョンを構築**した。

●ドローン運用の仮説：現状と2030年

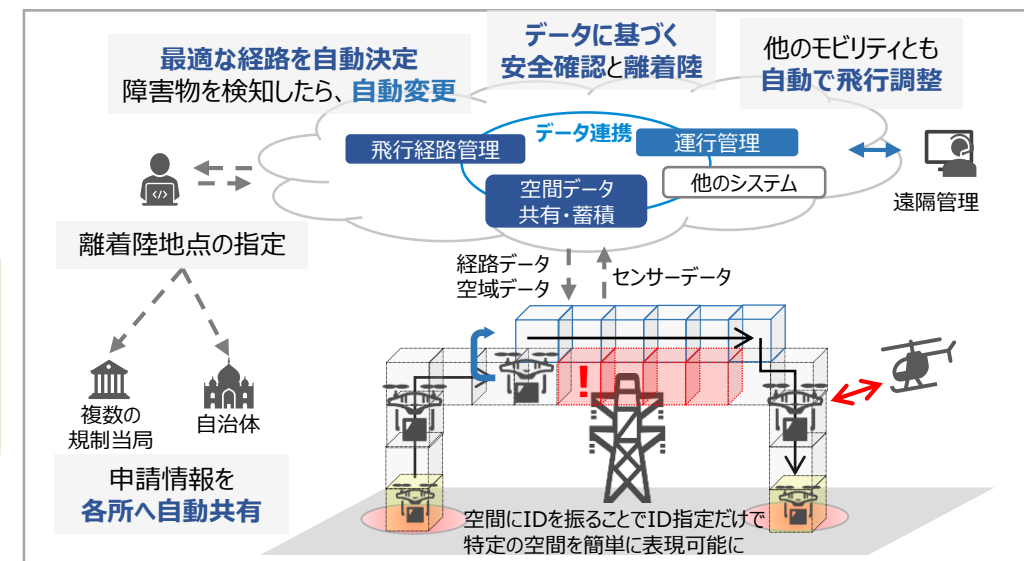
現状は過疎地等で承認を受けた飛行経路・エリアで飛行、農業・測量・空撮等の特定用途に限られる。
2030年には都市部で、物流・点検・警備・巡視等の広域サービスに自律飛行ドローンが高頻度に運用される。

●構築した将来ビジョン

機体（位置、移動方向、速度等）や周辺の空間・環境（気候、電波、他の航空機）等のデータが仮想空間へ写像（デジタルツイン）。
仮想空間に蓄積・共有された現実空間のデータを用い、仮想空間の機能が全体で最善となるよう調整することで、秩序が形成され、安心・安全・効率的な運用を実現。

他の機体の現在位置や飛行予定の経路、飛行目的・属性情報（緊急車両か否か）等が、組織やモビリティを横断して流通し、加えて**気象や電波状況等の現実空間に関するデータと重ね合わせることで多角的な状況把握と判断**が可能に。結果、人の介入を最小限に抑えながら、**安全かつ効率的な、多数のドローンの同時運行**が実現。

大分類	構成要素	現状	2030年
運用の想定	飛行する地域	過疎地	過疎地+地方都市+大都市
	飛行する空域	承認を受けた飛行経路、エリア	第三者上空の自由な飛行
	空域の共有 ※高度150m以下想定	空域を分離 空港周辺等では個別の許諾	低高度を飛行する空飛ぶクルマとの空域共有
	ドローンの飛行密度	低密度	高密度 (1平方km1時間100フライト想定)
社会的受容性	セーフティ	安全性の確保	安全性が担保される 耐空性確保、被害軽減、高密度通航管理
	セキュリティ	セキュリティの確保	セキュリティが担保される
	プライバシー	プライバシー情報の漏えい防止	プライバシーが保護される
産業振興	産業戦略	実証フェーズから過疎地での運用開始	日本全国、海外展開
	ドローンサービス	過疎地域での物流 農業、点検、測量、災害調査等 ※管理された空域での飛行	都市部物流 広域の農業、点検、測量、災害調査、 警備、巡視等 ※第三者上空、目視外、自律飛行
	ドローンインフラ	LTE上空利用、リモートID	航路、ポート、5G活用、通航管理



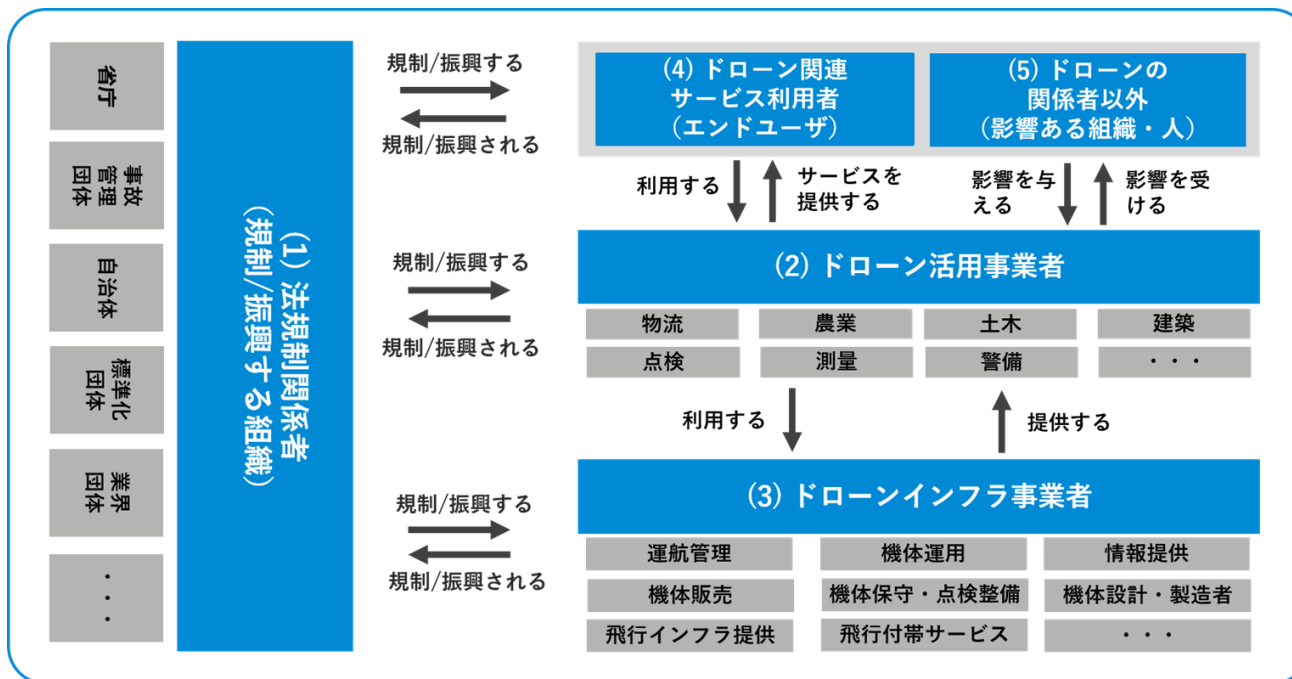
現状把握 ～ステークホルダーの分類～

- アーキテクチャ設計ではステークホルダーの役割を分類することで、**検討の範囲を明確**にしなければならない。
- ドローン利活用のアーキテクチャ設計に関わるステークホルダーは、**論理的かつ網羅的に5つのグループに大別**できると共に、その**関係性を明らかに**できた。

●ステークホルダー分類結果

- (1)法規制関係者：ドローンを規制する省庁、事故管理団体など
- (2)ドローン活用事業者：物流、点検などのサービス提供者
- (3)ドローンインフラ事業者：運航管理、機体、通信などのドローンのインフラ提供者
- (4)ドローン関連サービス利用者：物流、点検などのドローンサービスの利用者
- (5)ドローンの関係者以外：ドローンが上空を飛ぶ土地の管理者など

●ステークホルダーの関係性



現状把握 ～ステークホルダーのニーズや要求の収集と分析～

- 51組織のステークホルダーに対して「産業振興」「安心安全の確立」を論点とするヒアリングを実施。
- ヒアリングから要求を抽出し、「誰が」「どこに」「どのような要求」を持っているかを明らかにするために、ステークホルダーの分類と合わせてSociety5.0のリファレンスアーキテクチャ上で整理した。

●ステークホルダーの要求（例）

- ①法規制関係者、②ドローン活用事業者、③ドローンインフラ事業者、④ドローン関連サービス利用者、⑤ドローンの関係者以外

「戦略・政策」

- 国際競争力（③④⑤）
 - 日本が強みを有する技術の開発支援など
- 国による免責（③）
 - 墜落時の免責等の国のサポート制度など

「ルール」

- 運用・管理ルールの見直し（①②③④⑤）
 - 谷間飛行、各種現運用ルールの見直しなど
- 各所への申請・許可取得の効率化（①②③④）
 - 簡易化、ワンストップ化など

「データ/データ連携」

- 情報インフラの整備
 - 動態管理機能、上空電波環境整備、3次元座標整備など

セキュリティ・認証	機体における認証基準の策定 ②③④	戦略・政策	戦略・政策の明示 ①②③④	人材育成 ①②③④	個別の業界振興 ①②③④	普及啓発 ①②③⑤	技術開発 ③④⑤
		ルール	国際競争力 ③④⑤	社会的受容性 ①②③	地域振興 ②③⑤	テストフィールド整備 ③	安全性 ③④⑤
		組織	カウンタードローン ③④	国による免責 ③	特区活用 ③⑤	スタートアップ支援 ③	ユーザーズと技術のギャップ解消 ③
		ビジネス	各所への申請・許可取得の効率化（簡易化、ワンストップ化、等） ①②③④	各種標準化（機体IF、機体-運航管理間IF、運航管理間IF、データフォーマット等） ①②③④	運用・管理ルールの見直し（谷間飛行、各種現運用ルールの緩和、等） ①②③④⑤	ガイドライン策定（プライバシー保護、サイバーセキュリティ） ①②③④	ドローン利活用への参入意欲が減退されないような制度・ルール整備 ③
		機能	自治体の役割・裁量の拡大 ①②③④	許認可の権限を持つ中立的組織の構築 ②③	運用体制の整備 ④⑤		
		データ	事故時の保険スキームの構築 ③④	経済合理性とのバランスのとれた機体の安全基準の整備 ①②③	ドローンの機体・部品の廃棄物処理の仕組み ④	コモディティ化（機体、試験・認証ビジネス） ②③④	個別の業界における付加価値の高いサービスの提供 ①②③④
		データ連携	適正な運用コストの実現 ③	機体生産に関わる産業振興 ③⑤	ドローン活用のリスク対効果明確化 ③		
		アセット	上空電波の把握（情報取得、リアルタイム把握、等） ③④	機体の機能向上（衝突回避、防塵、操作性、パラシュート、冗長性等） ③④⑤	各種ドローン/自律移動ロボを含めた運航・運行管理機能の構築・向上 ②③④		
		データの連携のあり方の策定（政府管理デフォルト化、有人機連携、等） ①②③④⑤	情報インフラの整備（動態管理機能、上空電波環境整備、3次元座標整備、地形/気象/高度情報の向上、離着陸補助情報の整備、等） ①②③④⑤				
		通信の改善（帯域の拡充・強化、不感地帯解消等） ③④⑤	機体性能向上（長距離飛行、悪天候対応、小型軽量、防塵、コスト、産業特化） ①②③④⑤	ドローンポートの整備（離着陸・充電、避避場所、都市部） ①③④⑤	ドローン航路の整備（様々な機体タイプの考慮、電波灯台） ②③④	海外認証可能なデバイスの整備 ④	

※ ニーズや要求に関する意見をしたステークホルダーの分類

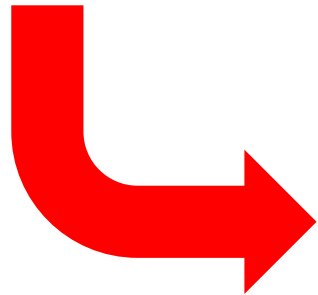
- ① 法規制関係者（規制/振興する組織）
- ② ドローン活用事業者
- ③ ドローンインフラ事業者
- ④ ドローン関連サービス利用者（エンドユーザ）
- ⑤ ドローンの関係者以外（影響ある組織、人）

現状把握 ～異なるユースケースで共通する要求の抽出～

- ドローン利活用サービスで**共通する要求は競争領域または協調領域になる**と仮定し、要求を抽出した。
- ステークホルダーから得られた428件の意見を、主なユースケースである物流と点検、運航管理システムを分析したところ、**共通する要求を8属性に整理**できた。

●共通する要求の例（運航管理）

- 飛行に**必要な情報が提供**されること（地図、気象、電波等）
- 飛行計画（飛行前調整、飛行中の調整）が管理・共有**されること
- 空域情報（地図、気象、電波、NFZ）が管理・共有**されること
- 動態情報（機体の情報、アラート）が管理**されること
- 動態情報（機体の情報、アラート）を**交換できる**こと
- ドローンを飛行させられる**こと（経路指示による自律飛行、パイロットによる操縦）
- 飛行完了が報告、管理**されること
- 飛行実績が管理**されること



ドローン利活用に共通する要求を満たすシステム・インフラを共通基盤として整備することが、ドローン利活用の成長をあと押しできるだけでなく、制度設計や安全性の確保に影響することを示唆。

要求の属性
ドローン活用サービスに応じたこと（物流、点検等）
保険に関すること（損害賠償、機体損害等）
ID管理のためのこと（機体情報、操縦者情報等）
運航管理のためのこと（測位情報、地図情報等）
異常に対応すること（衝突の回避等）
事故に対応すること（事故後の調査、再発防止等）
インフラに対すること（通信、クラウド等）
機体整備に関すること（修理、整備、記録等）

論点の抽出とアーキテクチャ設計による試行

- 合理的かつ必要に見える施策は、**個々に検討される限り全体最適となり難い**。また、両立が難しい施策間の調整や、同じ対応を目的ごと繰り返すなど、**無理・無駄や非効率**が生じる。
- ドローン利活用の全体を俯瞰した**アーキテクチャ設計で全体最適や全体調和を実現する方策**を提言していく。

●アーキテクチャ設計による論点の抽出と解決策の試行

- 個々の検討が出発点であるため、目指すべき方向も個々の施策や技術を起点としたものにならざるを得ない（同時に成立させるような全体を俯瞰するビジョンがない）。
- 将来ビジョンを踏まえ、**産業全体の要求を抽出**、具体的な**システム要求を分析**、**機能に対してその役割を担うシステムの割り当てる**、というビジョンから**施策・機体や機器の設計のあり方までを構造化された手順**でアーキテクチャ設計することで、論点に対する解決策を試行できる。

●論点の具体例：飛行に係る手続き

飛行許諾・申請・届出に係る論点

省庁：法令等に則り情報やデータの提供を求める（例：計画、運行情報、飛行方法等）。

機体メーカー：法律やルールで義務化されたもの以外の情報やデータは運用者の選択肢として提供。機体の動態情報（現在位置、進行方向、速度など）などは提供しない（ソフトウェア開発によって取得は可能）。

運用者：状況に応じて求められる情報やデータをバラバラに提供。自らは飛行記録を管理しなければならない。一元化できるものが一元化されず過剰な負担となっている。

現状に対する対応策の一例：手続きを代行するアプリやWebサイト

機能：ユーザの代わりに必要なデータを必要なステークホルダーへ提供

ステークホルダー：省庁、運用者、機体メーカー、土地管理者（所有者）

想定される課題：データ取得・提供方法の有無。すべてのステークホルダー（土地の所有者等）への対応。ルールや記載内容変更の対応。

個々に議論される限り
全体最適・全体調和とはならない

全体を捉える視点

将来ビジョンに基づく産業全体の要求を俯瞰した解決

機体および運用の要求（重量、用途、安全対策等）を分析。機体識別のための機能追加ではなく、ドローン運用に関わるドローンの機能を通信・識別・管理等で整理し、**機体仕様と利用実態に適した機能割り当て（アーキテクチャ設計）**による解決方法の試行。

将来ビジョン：デジタルツイン

ドローンや運用者、他の航空機を含む現実空間の状態が常にデータ化し、蓄積・共有できる世界観。**ドローン運用に必要な機能はすべて仮想空間内で網羅的に実装**できる。加えて、仮想空間で現実空間を把握できることから、現実空間の秩序形成に向けた支援や、全体調和・最適となるような調整、制御も可能となる。

2021年度のスケジュール

- アーキテクチャの設計は、予め定めた設計対象を少しずつ広げていき、全体像を網羅していく作業である。
- ドローンから始まった自律移動ロボットプログラムのアーキテクチャ設計は、**その成果に基づく社会実装を目指す取り組み**に繋げると共に、**この取り組みで得られた知見や経験を、他の産業に展開していく**ことを目指す。

