



ドローンの運航・交通管理シミュレーション

2020年 9月 29日 MATLAB EXPO

国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構 (JAXA)
航空技術部門 次世代航空イノベーションハブ

○久保 大輔、大瀬戸 篤司、原田 賢哉



A conceptual study of a high-altitude long endurance (HALE) UAS for a variety of missions such as disaster monitoring, maritime surveillance, and communication relay missions



R&D of small Unmanned Aerial Radiation Monitoring System (UARMS) for "Fukushima" in cooperation with the Japan Atomic Energy Agency (JAEA)

UAS Platform Technologies

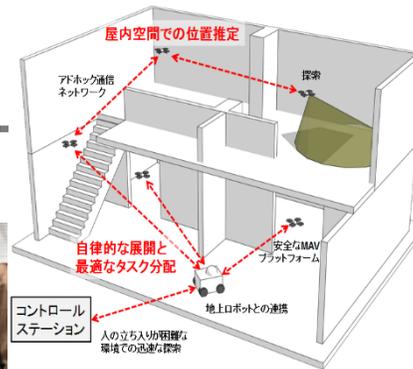


V/STOL aircraft technology for wider use of UAS – tilt wing configuration, tail sitter configuration, and ducted-fan configuration

MAV Technologies

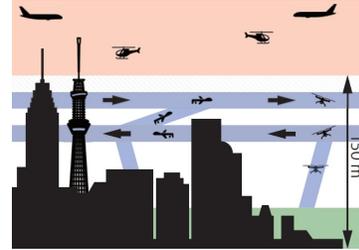


Palm-sized single ducted fan flying robot having high level of safety for harmless to ground objects and people



Cooperative operation of multiple micro aerial vehicle (MAV) for complex mission capabilities and experimental quadcopter platform

Basic researches for future UAS traffic management, such as gust tolerance performance evaluation



UAS Operation Technologies



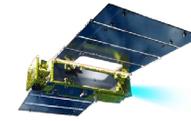
久保 大輔

垂直離着陸 (VTOL) 技術の研究におけるスケール模型実験から無人航空機技術に関わって以来、無人航空機を専門とする。75mmのMicroサイズの飛行体開発から、三重冗長飛行制御装置の開発、数十メートルの成層圏滞空型無人航空機の概念設計等、無人航空機に関連する幅広い研究テーマに従事。2017-2018年に客員研究員としてNASA Ames Research CenterにおいてUTM研究に従事。

- 空域 (Airspace) のおおまかなイメージ
- UTMとは？ ドローンのための自動化された運航管理システム
- UTMの基本的な概念、フローのイメージ
- UTMシミュレータSkale-RTの開発 (MATLAB利用)
- 仮想システムと物理システムの接続実験

空域 (Airspace) のおおまかなイメージ

~300 km



超低高度衛星

~20 km



極超音速

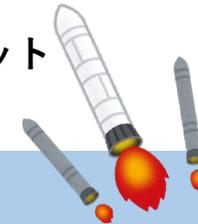


大気球

HAPS



ロケット



成層圏

~10 km



ジェット旅客機



管制空域

国内登録 約800機 (4000便/日)

~1000 m

空飛ぶクルマ



ジェネラルアビエーション

国内登録 約2,000機

~500 m



非管制空域



0~150 m

産業用ドローン



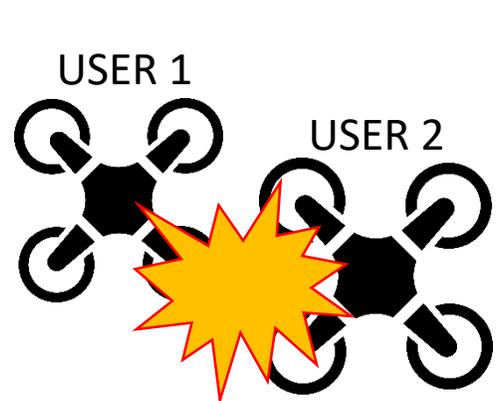
ホビードローン

UTMの空域

将来普及 数十万機! ?

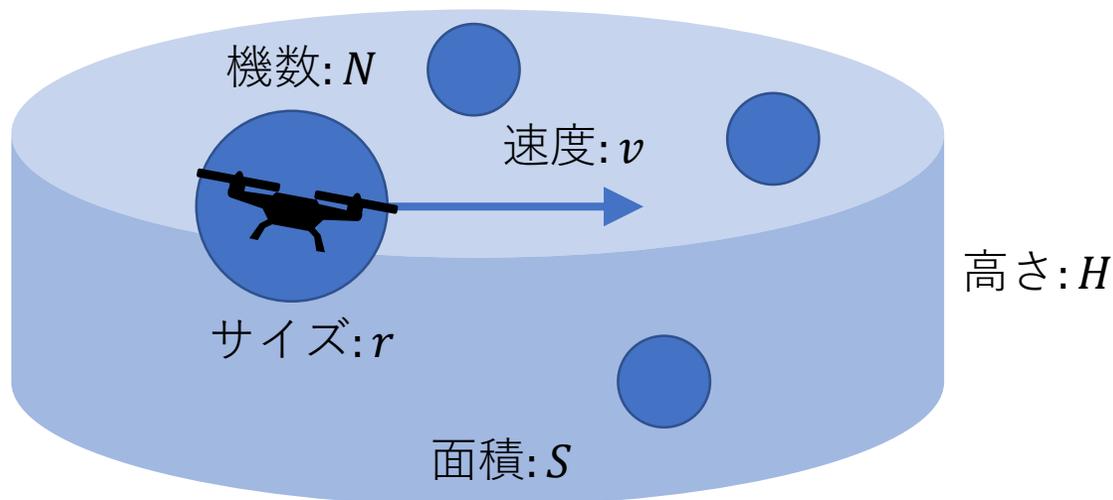


- なぜ運航管理が必要なのか？ 空中衝突の確率は？



支配的パラメータ

$$P \sim \frac{r^2 \times v \times N^2}{S \times H}$$



例えば、小型有人航空機（小型機、ヘリコプタ等）のそれに比してドローンの衝突確率は、

【仮定】

- ✓ 機体サイズが：1/20倍
- ✓ 速度：1/4倍
- ✓ 空域面積：1/4倍
- ✓ 空域高さ：1/10倍
- ✓ 機数：100倍



単純衝突リスク 250倍

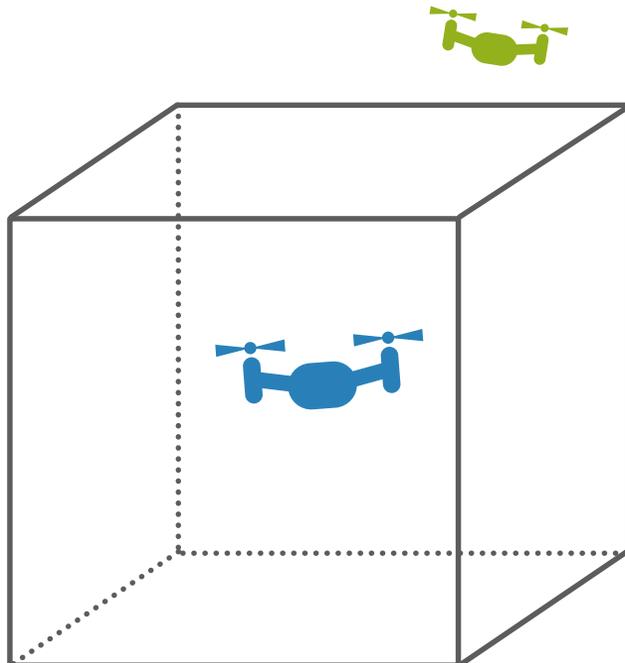
対策が必要（どんな対策？）

• 運航管理システム（UTM：UAS Traffic Management）

情報通信でネットワーク化された高度な自動化システムにより
目視外・高密度運航を実現

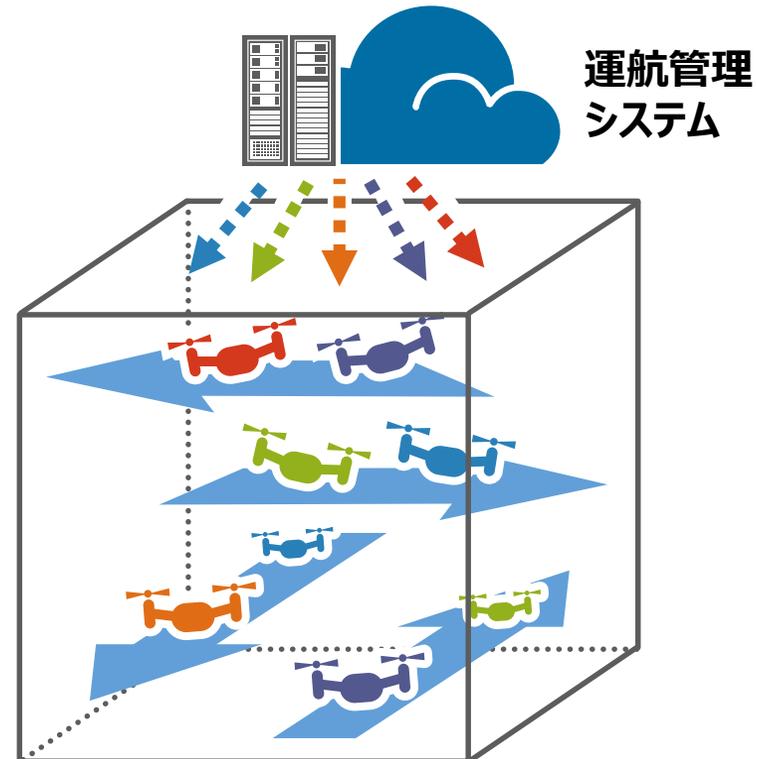
現状

安全のため、同じ空域で
同時に多くのドローンを利用することが難しい



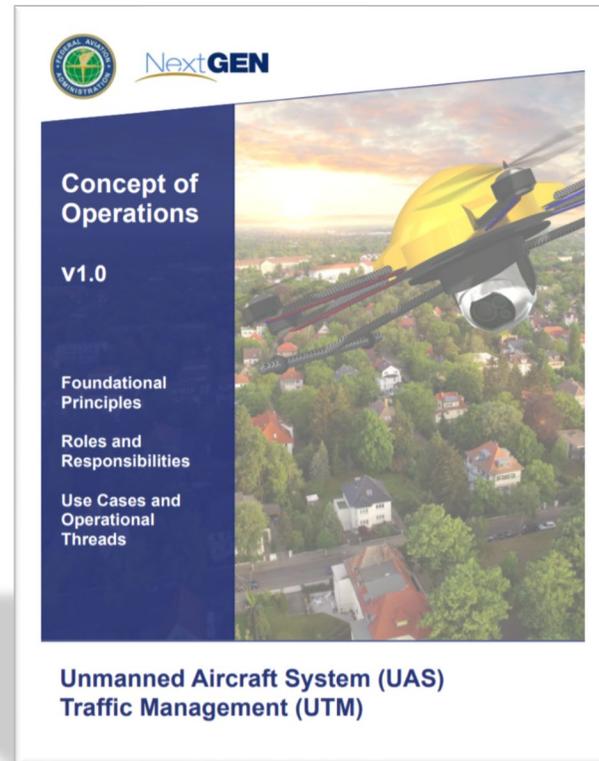
UTMによって接続される空

安全を確保しつつ、同じ空域で
同時に多くのドローンを利用することができる



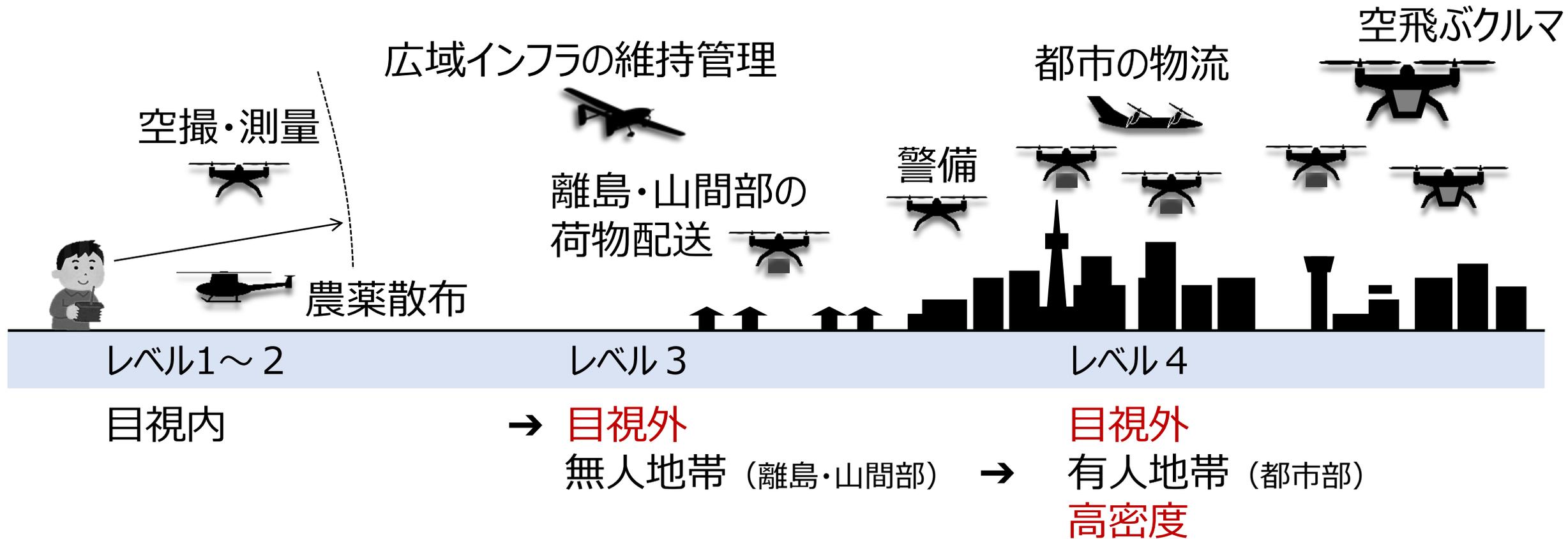
NASAがUTM概念を提案／米国の状況

- 2014年、NASA Ames研究所のParimal Kopardekar (PK) 博士が基本概念を提案
- 2018年、FAA（米連邦航空局）はUTM概念の文書をNASAとともに公開
 - 要素サービスの社会実装開始（LAANC等）
- 2020年同上更新等
 - 原則としてすべてのドローンがUTMに接続される方向
- **基本理念：**
 - **フレキシビリティとスケーラビリティ**
 - **協調的な情報共有**
 - **産業界が主導する分散システム**



UTMとは？ ドローンのための自動化された運航管理システム

- 無人航空機（ドローン）の利用拡大シナリオ



経済産業省/NEDO

ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト

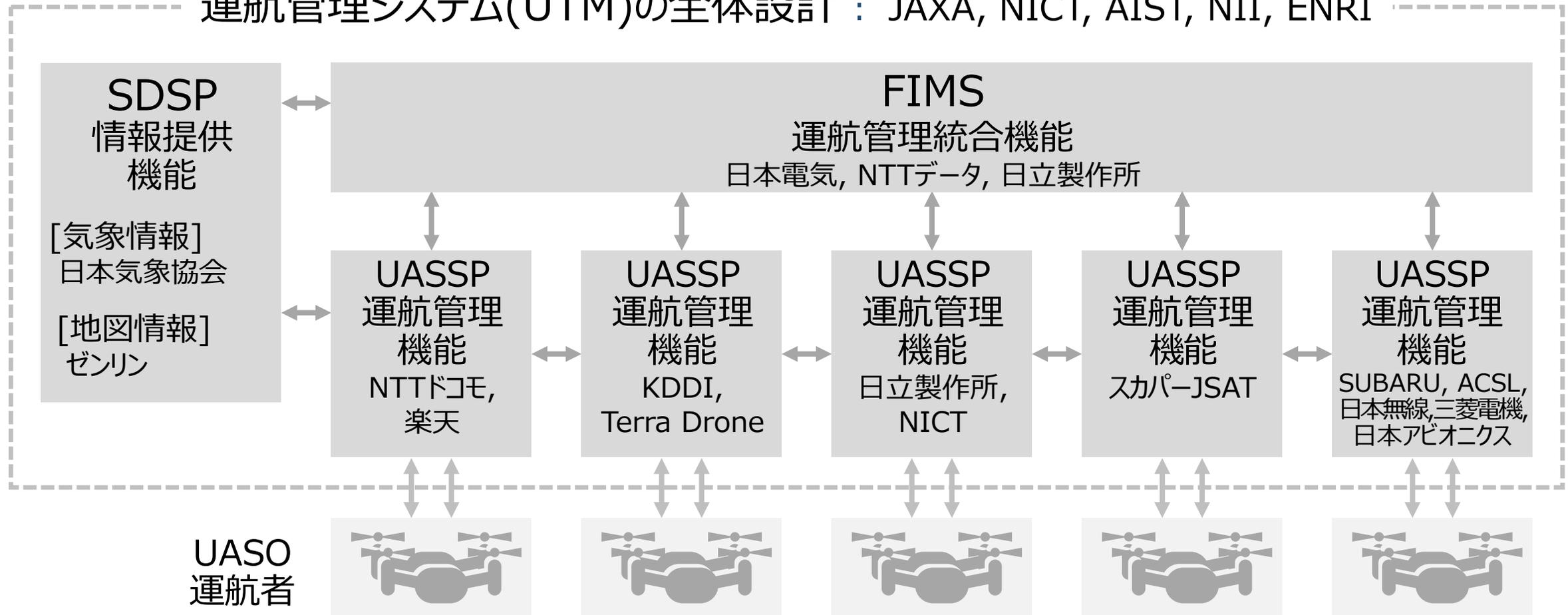
Drones and Robots for Ecologically Sustainable Societies (DRESS) project

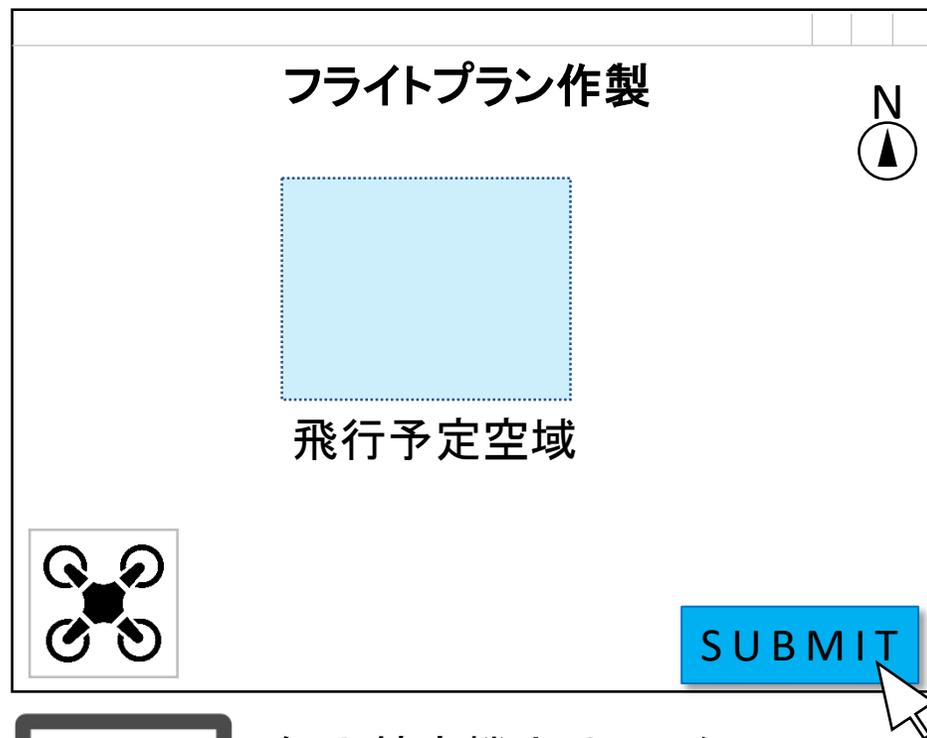
- 多数のドローンが同時に飛行し活躍する社会を実現するための運航管理(UTM)システムの研究開発を2017年度より3年間のプロジェクトとして開始。(2020-後継プロジェクト)
- JAXA等がUTMの全体設計を行い、物流や警備等にドローンを活用する民間企業等が運航管理に必要な各機能を分担して開発。福島ロボットテストフィールドで実験を行いながら、2022年～の社会実装を目指す。



- システム構成 及びプロジェクト参加企業（2017-2020実施部分）

運航管理システム(UTM)の全体設計： JAXA, NICT, AIST, NII, ENRI



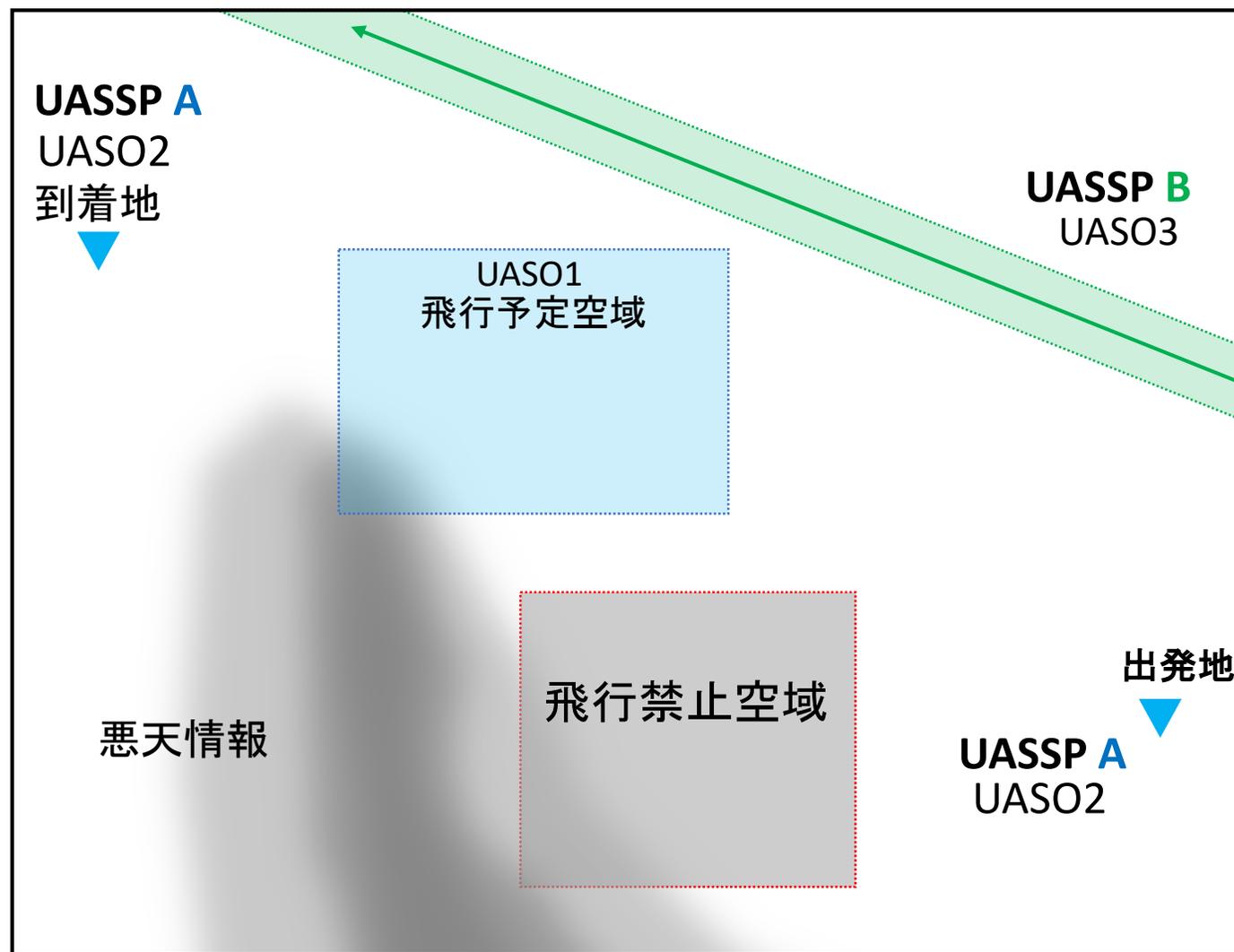
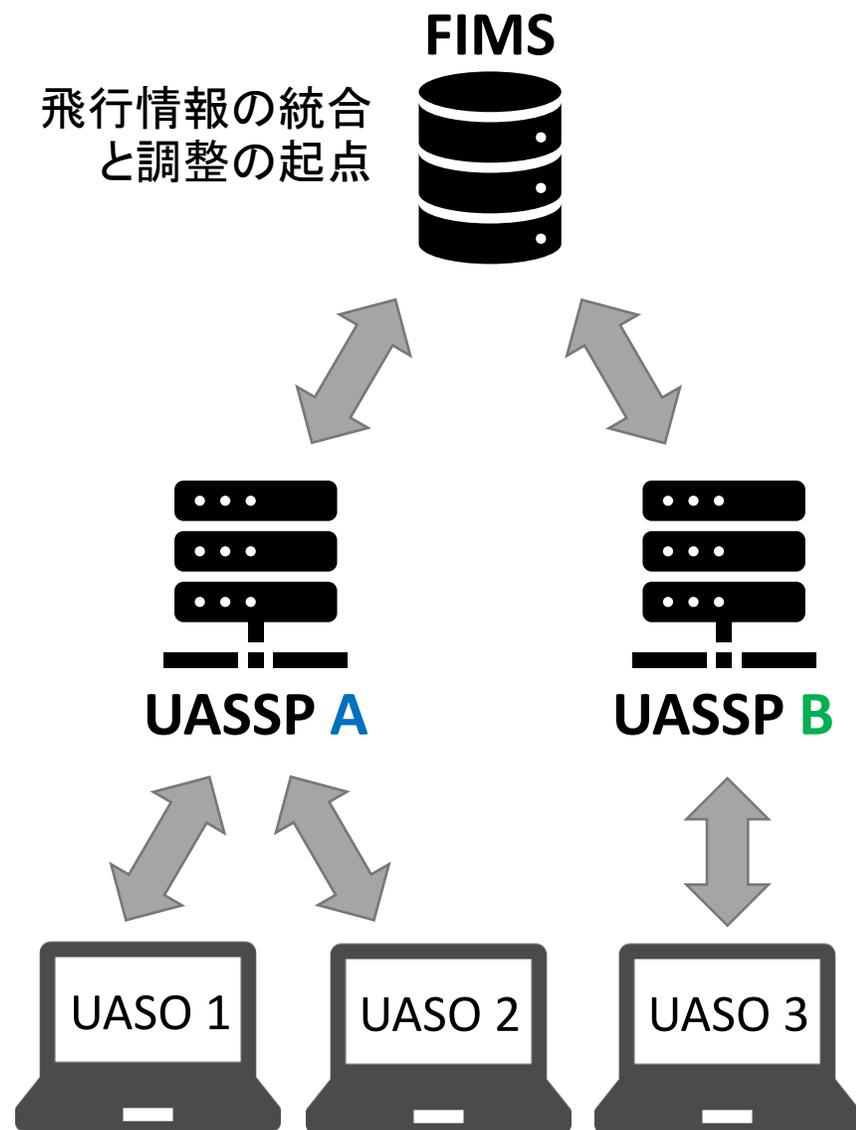


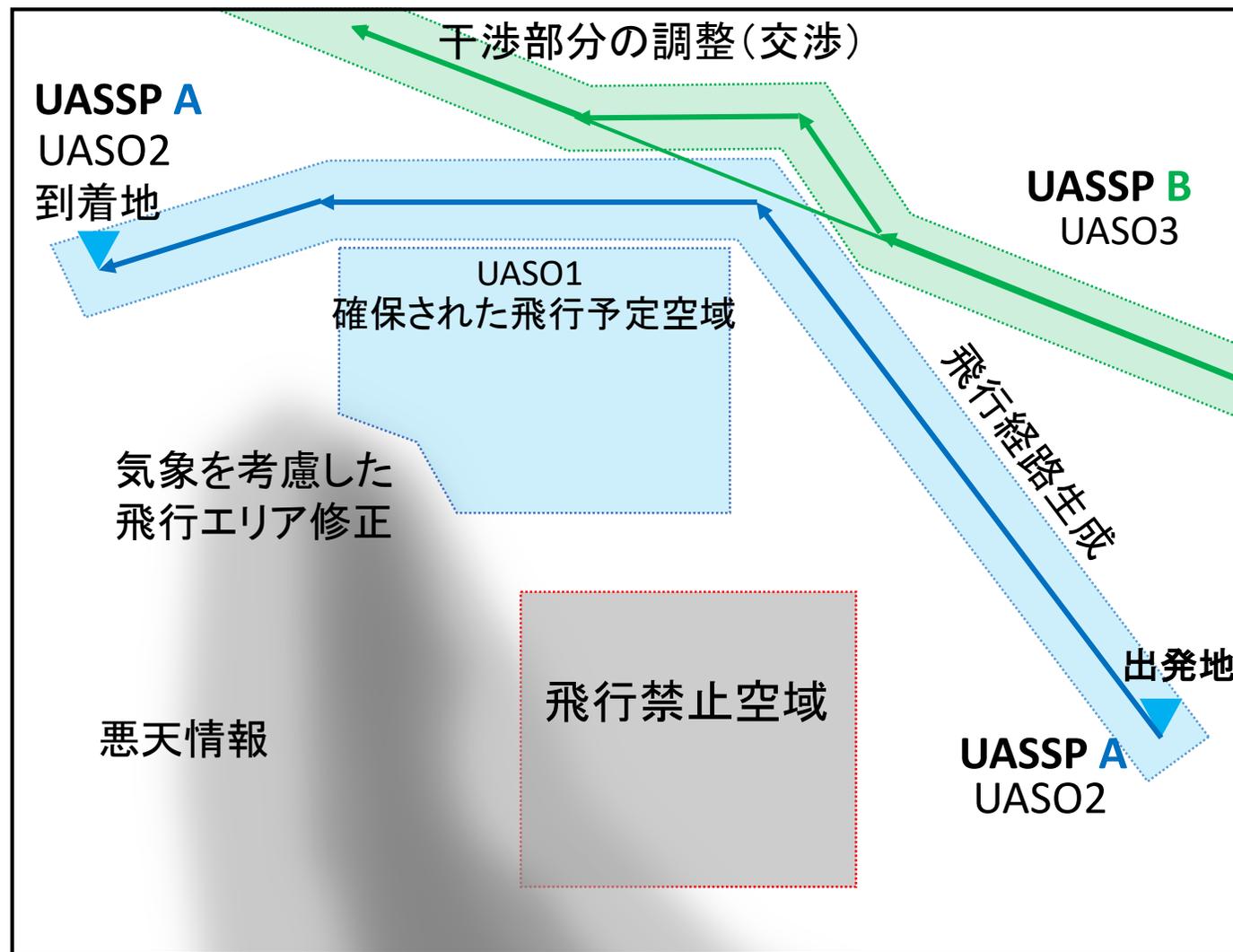
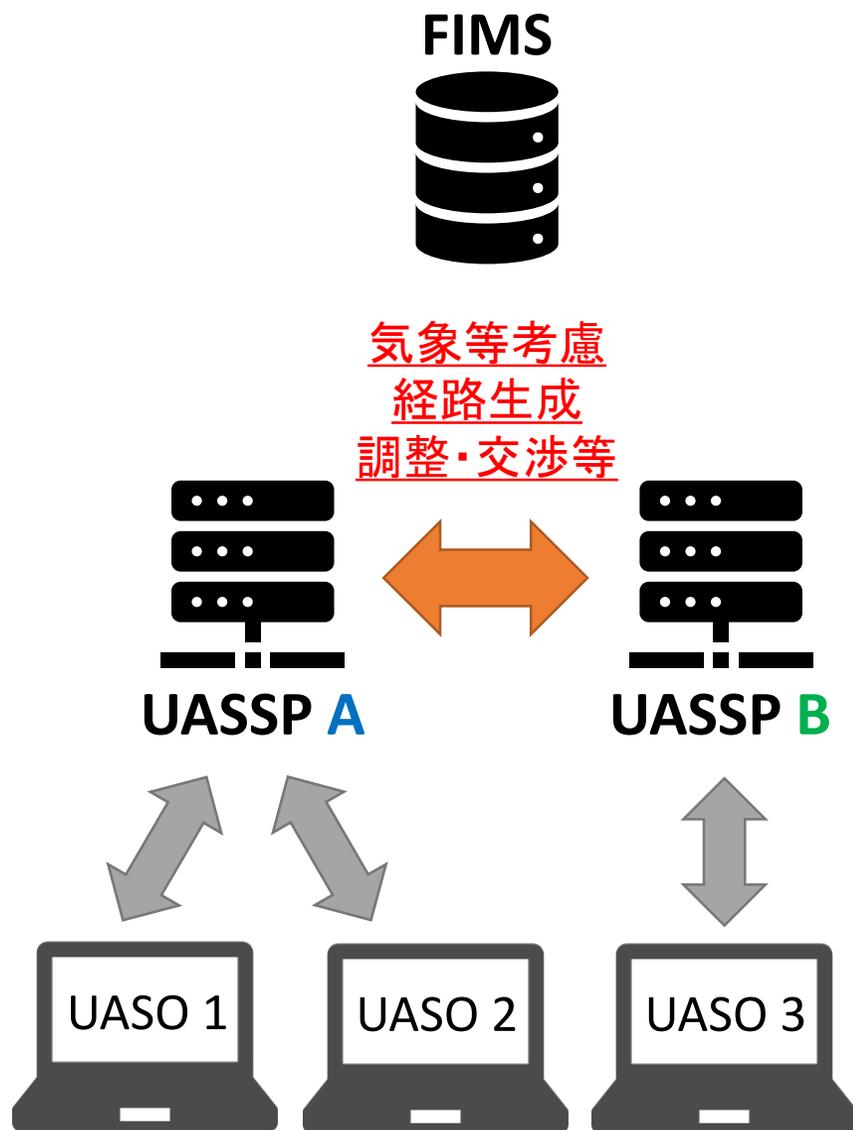
無人航空機オペレータ1
飛行意図：特定空域内での
空撮等のミッション



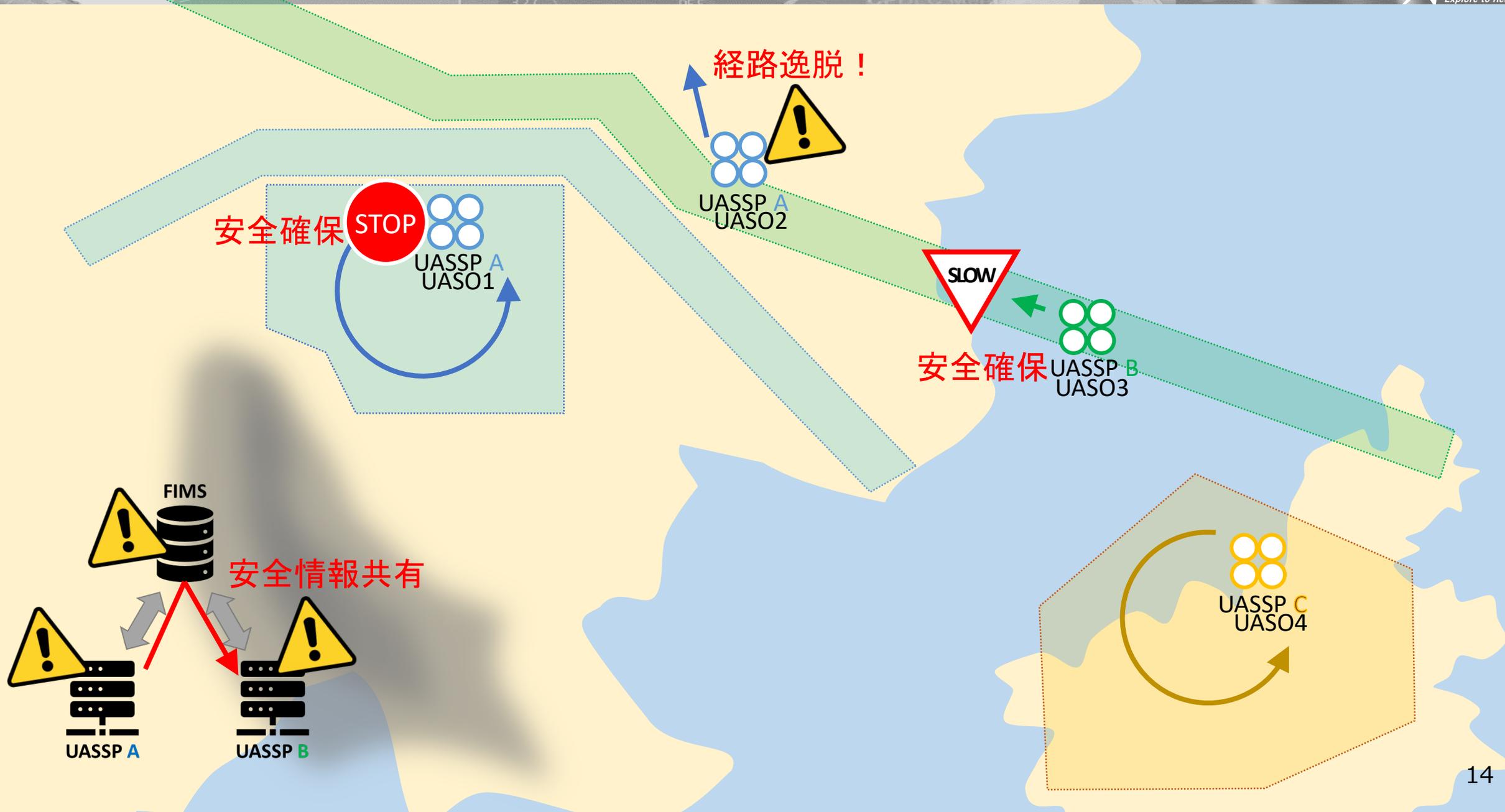
無人航空機オペレータ2
飛行意図：出発地から到着
地への最短時間での移動

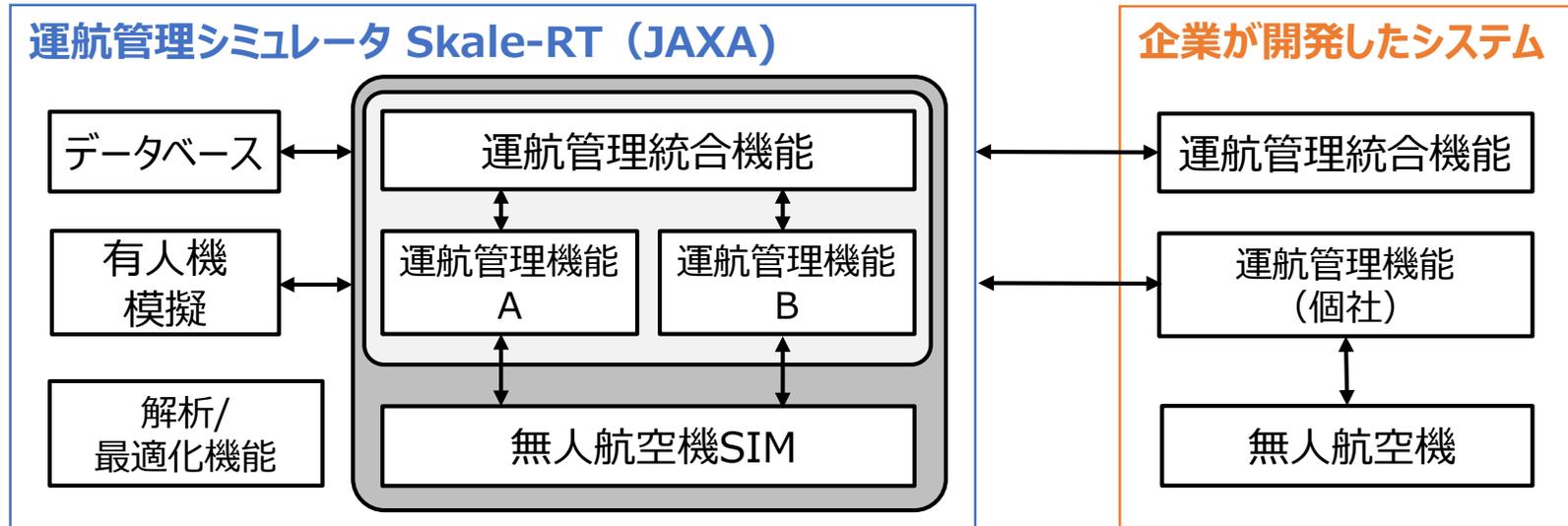
UTMの基本的な概念、フローのイメージ





UTMの基本的な概念、フローのイメージ





目的1：シミュレータ単独で運航管理方法を検討する

シミュレータ内にある都市を模擬し、そこで多数のドローンを動力学、風を考慮させながら飛行させる。風やドローンのモデルを変化させながら、安全なドローンの管理方法、管理アルゴリズムについて検討する。

目的2：企業が開発したシステムと接続して評価する

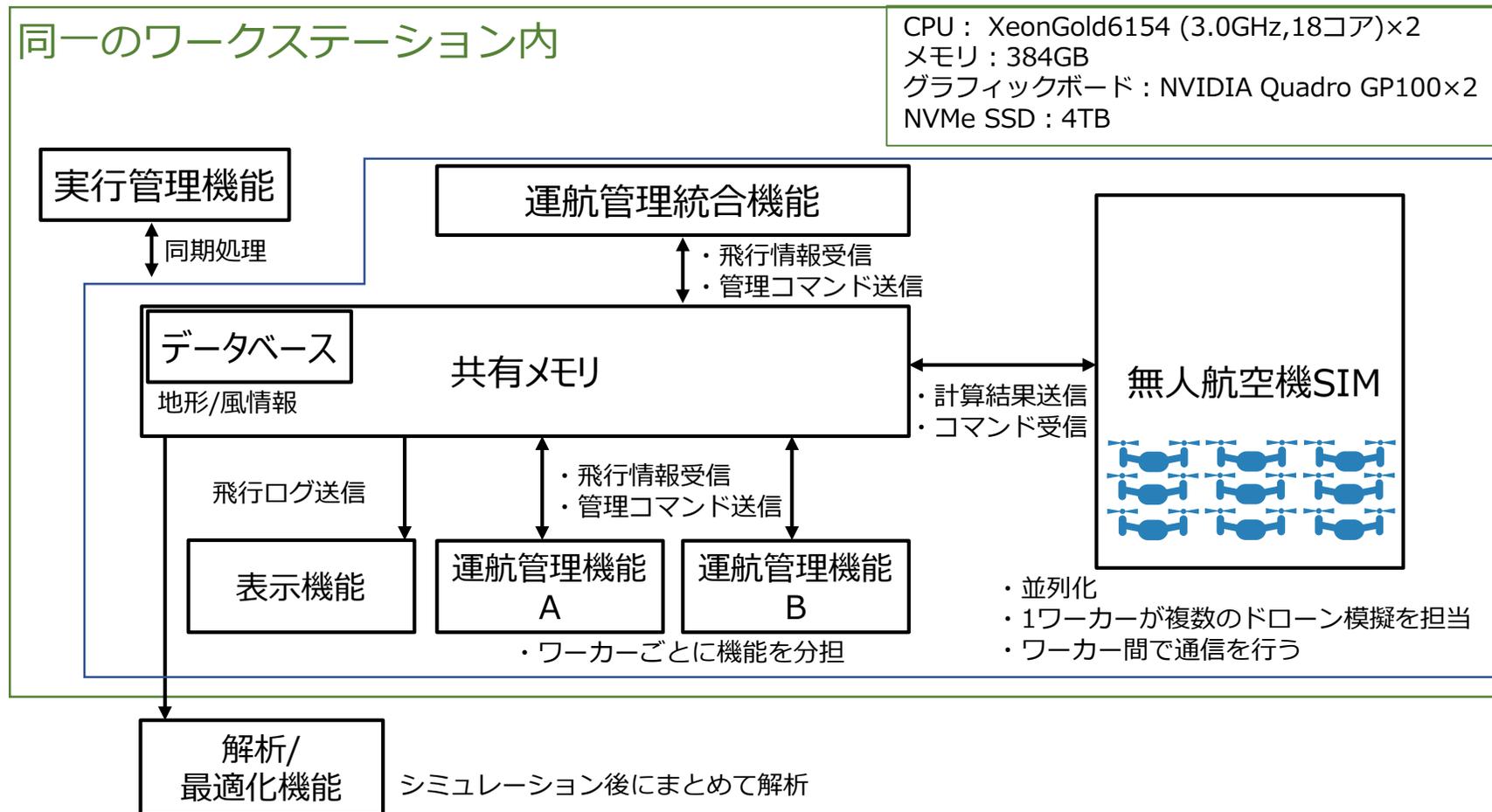
実際の空間で行うことが難しい、多数のドローンの飛行や野良ドローンの接近などをシミュレータで模擬するところで、企業が開発したシステムが想定通り動作しているか、安全かを評価する。

Skale-RTの開発には主にMATLABおよびツールボックス群を用いている。



シミュレータ開発で複数ユーザーが使用	
ソフト名	目的
MATLAB本体	シミュレータ開発、デバッグ、GUIなど
Mapping toolbox	地形データ連携、地形データの読み込み等
Parallel computing toolbox	動力学計算、運航管理処理の並列化
MATLAB Compiler	各機能モジュールのexe化
git	MATLABソースコードのバージョン管理
C/C++	共有メモリに関わる機能の開発
研究のため一部ユーザーが使用	
Statistics and Machine Learning Toolbox	・ 大量の飛行ログデータの解析 ・ 機械学習を用いたドローンの運航管理方法の研究 ・ パラメータ最適化など
Global Optimization Toolbox	
Deep Learning Toolbox	
Curve fitting Toolbox	・ 空力データの近似など

- 各機能はMATLABで開発しexe化されており独立で動作する。
- 各機能間の通信は共有メモリを経由して行う。
- 独立性が高い機能はParallel computing toolboxで並列化。
- 全機能を同一の計算機に実装している。



UTMシミュレータSkale-RTの開発（MATLAB利用）

2025/04/15
08:00:00



シミュレーションはMATLABで実施。表示系はCesiumで開発したソフトを使用。

・ 災害発生などの緊急時における沿岸監視

- ✓ 地震により津波が発生し、南相馬市から広域施設の運営者に沿岸部の状況確認を要請した想定で実証実験を実施。
- ✓ 広域施設内を巡回していたドローンのルートを変更して沿岸部に急行し、逃げ遅れた人がいないか確認。あわせて、6km離れた市役所庁舎からも沿岸部の状況が把握できることを確認。
- ✓ JAXAは運航管理シミュレータによって他の事業者によるドローンの運航を模擬し、運航管理システム間の情報共有にもとづく飛行計画の調整や飛行中の操作によって相互の接近・衝突を防止できることを確認。

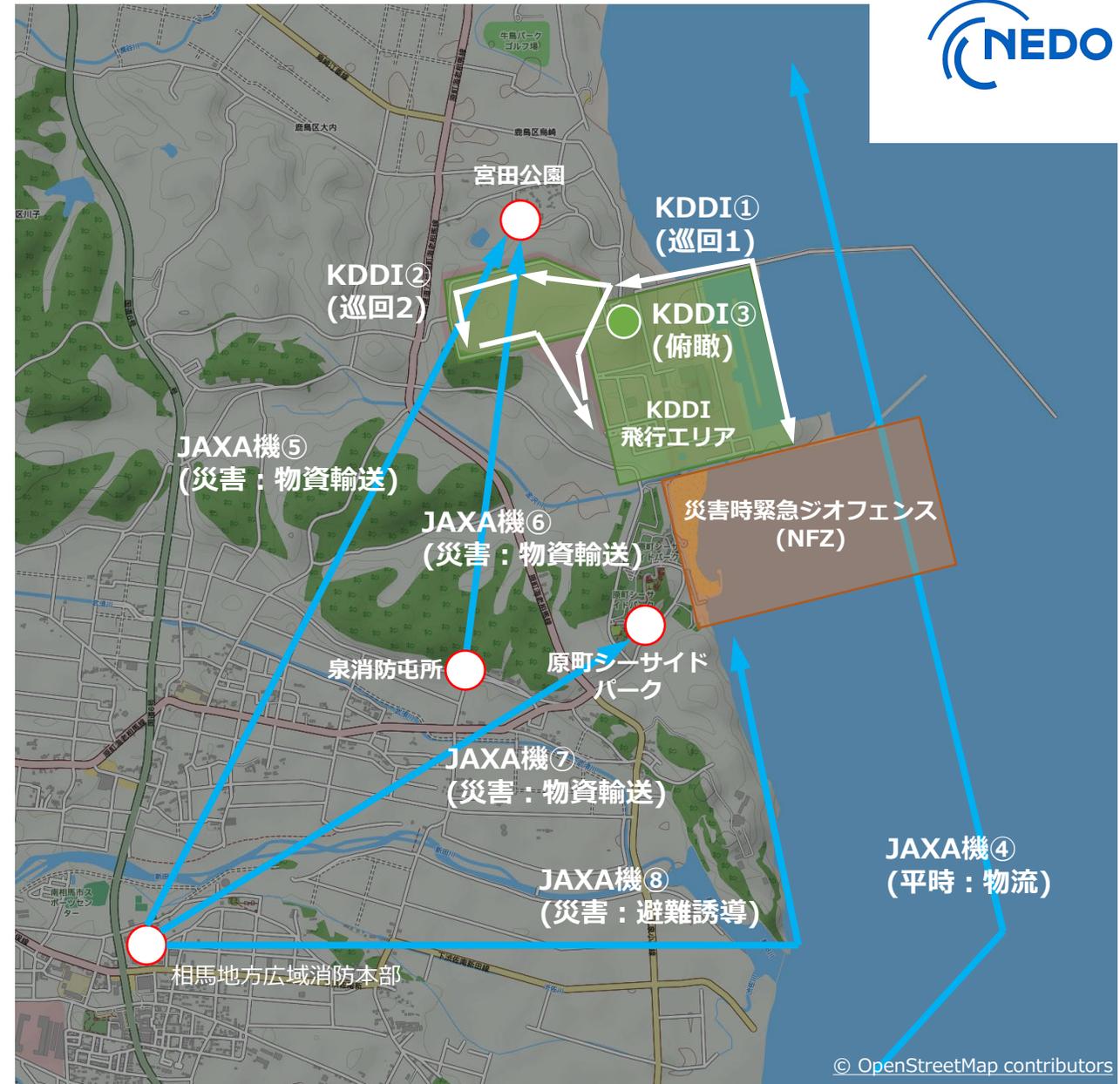


KDDIプレスリリース：

<https://news.kddi.com/kddi/corporate/newsrelease/2020/03/19/4322.html>

緊急災害対応のシナリオを想定

1. 複数企業のドローンが同一エリアを運航中に、地震が発生する。
 - ・民間企業①-③：警備（俯瞰、巡回）
↑実機の実飛行
 - ・民間企業④：物流（長距離）
↑JAXA仮想機で模擬
2. 巡回警備機①（実機）が沿岸部海水浴場周辺の状況確認を実施する。
3. その空域に緊急災害対応の仮想機が到着。
4. 仮想機は緊急物資輸送（二ヶ所の津波避難所）と、沿岸部での避難誘導が任務。
5. UTMを介した情報共有と飛行調整により異常接近や衝突を防ぐ。

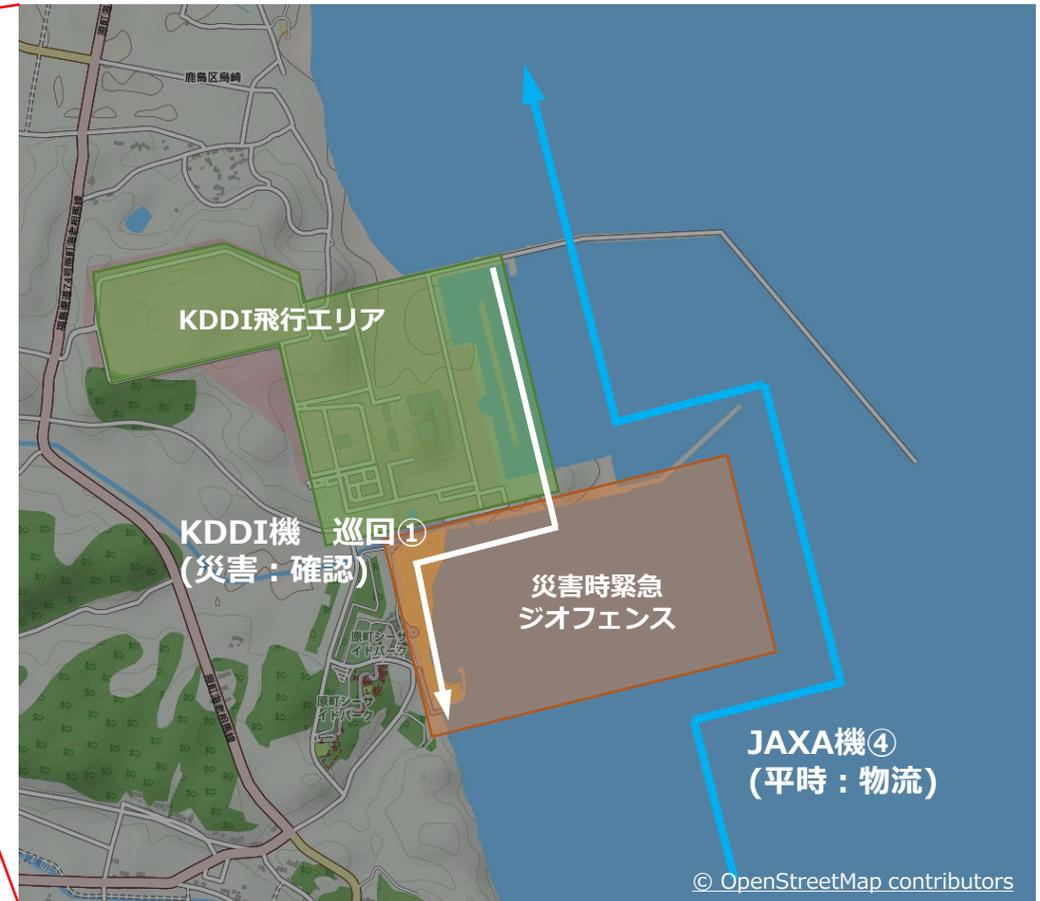


シナリオA：非常時の緊急エリア設定と進入回避



警備業務（実機）：施設警備巡回 → 緊急状況確認（優先度が高い仮定）

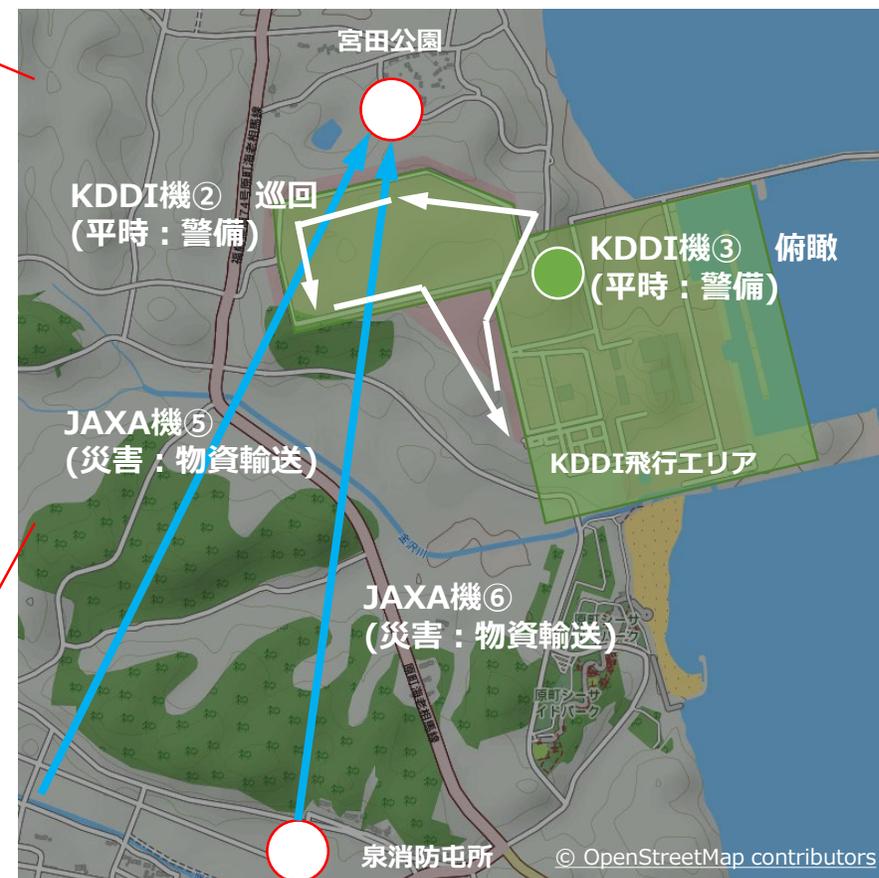
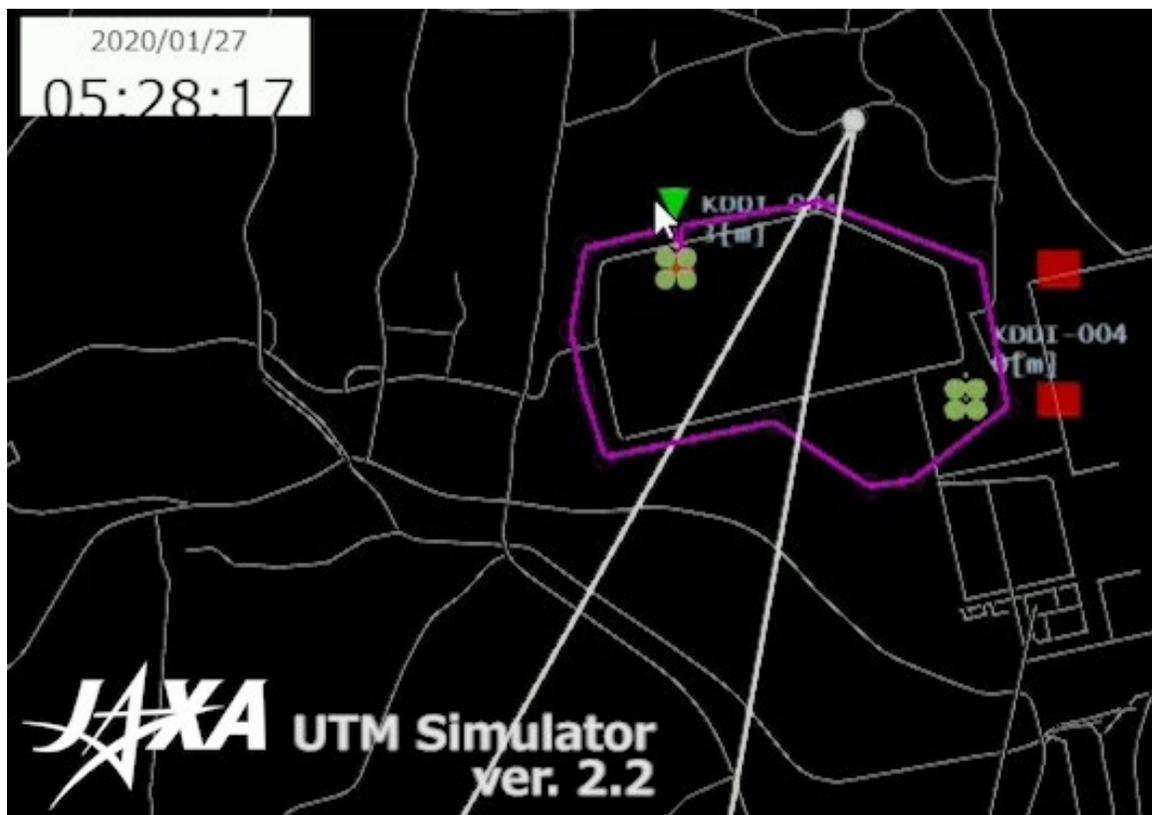
物流業務（仮想機）：飛行を継続するが、緊急任務の機体を優先させる



シナリオB：緊急物資輸送機（優先機）との干渉回避

警備業務（実機）：施設警備巡回

緊急物資輸送（仮想機）：商用警備機が飛行するエリアを通過して目的地に物資輸送



• ドローン運航管理システム (UTM: UAS Traffic Management)

- ✓ 将来のドローン高密度飛行の衝突リスク低減のためのUTMの研究開発が進んでいる。
- ✓ UTMは従来の管制官（人）が中心のシステムではなく、情報通信でネットワーク化された自動化システムを目指す。

• UTMの研究開発 in NEDO DRESSプロジェクト

- ✓ JAXAは同プロジェクト内でUTMシミュレータ (Skale-RT) を開発し、UTMのアーキテクチャ検討
その他研究開発に貢献。

• UTMシミュレータ *Skale-RT*

- ✓ 空域リスク評価、飛行ルール検討、実システムと接続した各種の実験を実施。
- ✓ *Skale-RT*はMATLABとツールボックスを効率的に利用し開発された。
- ✓ 今後のUTM分野の研究開発・実証試験における重要なツールとなる。