

自律協調するスウォームを活用した 動的監視網システムの構築

令和7年11月11日

陸上装備研究所 システム研究部
無人車両・施設器材システム研究室

0. 目次

1. 研究の概要
2. UxV群を活用した運用シナリオの創出
3. 動的監視網システムの機能
4. 動的監視網システムのGUI装置
5. 動的監視網システムのデモンストレーション
6. まとめ

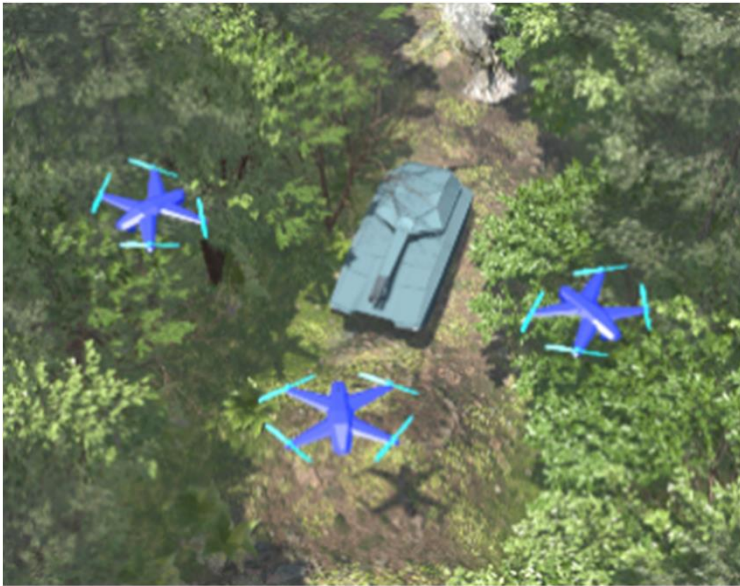
1. 研究の概要

研究の概要

複数のUxV¹を一人のオペレータにより管制する技術，特にHSI²技術とスウォーム制御技術にフォーカスを当て，その技術の確立と実証を通し，UxV群による従来装備品の機能分散化や動的監視能力の獲得といった領域横断的な新機能を実現する。

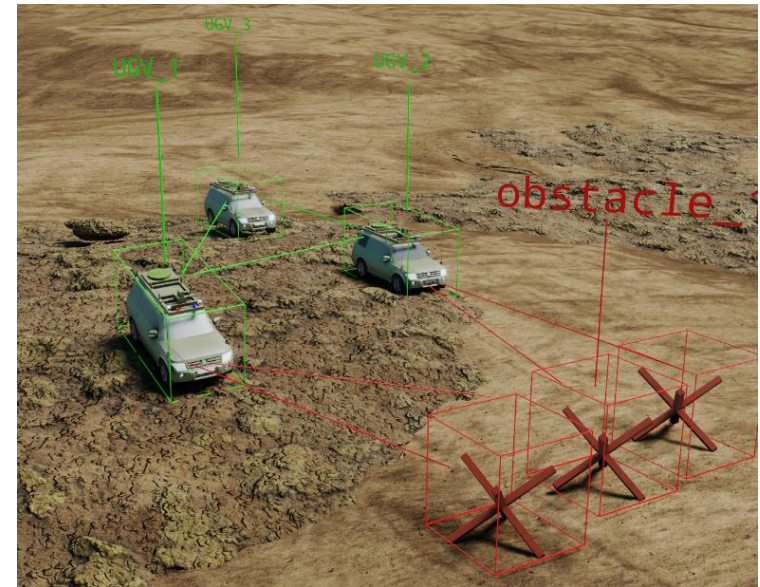
研究の目的

- ・ HSI技術とスウォーム制御技術について取り扱い，実証試験によってその有効性を確認する。
- ・ 複数のUxVを管制するためのGUI³を検討する。



1: UxV:ここではUGV, UAV, USVなど無人機全般を表す。

2: HSI(Human Swarm Interaction): 人間が複数のUxVと協調して行動するための技術。

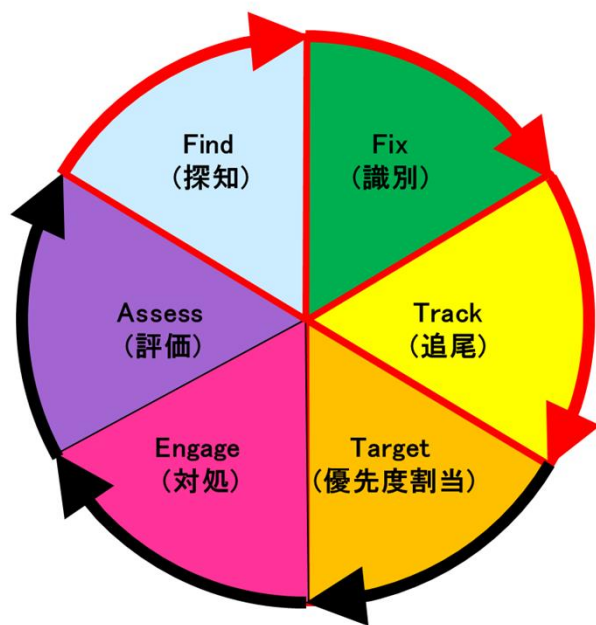


3:GUI Graphical User Interface: ユーザがコンピュータを扱うために使用する画像情報ベースの操作画面や操作方法。

2. UxV群を活用した運用シナリオの創出

多種多様なアセットを活用した監視網システムの全体構想

異種のUxV群を有効に活用すべく、分析と検討を実施し、侵入者に対する一般的なキルチェーンサイクルのうち、探知、識別、追尾を担うことを想定した“UxV群による動的監視網システム”を構想した。



一般的なキルチェーンのサイクル



異種UxV群による監視のイメージ

2. UxV群を活用した運用シナリオの創出

UxV群による動的監視網システム運用構想

複数のUAVを群として活用し，広範囲を効率的に監視する“動的監視網システム”を構築した。



取り組む技術的内容

- ①自律的なスウォーム管理技術およびヒューマン・スウォーム・インタラクション (HSI) 技術
- ②スウォームを扱うためのGUI装置の確立

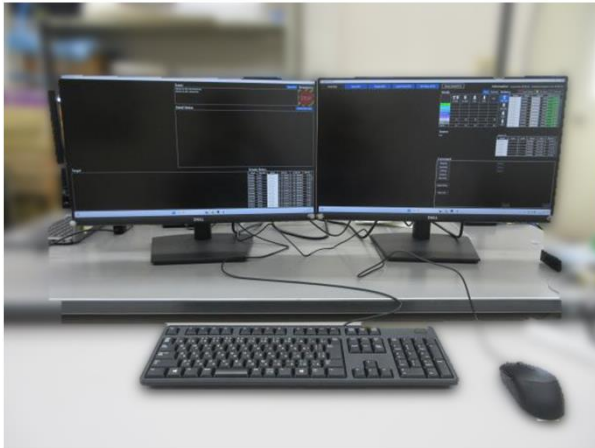
3. 動的監視網システムの機能

動的監視網システムの構成

- ・オペレータはGUI装置を見ながらUxV群を管制する。
- ・群制御装置は、各機体の制御、群制御、システム全体の監理を実施する。

GUI装置

- ・オペレータの操作
- ・GUIの生成



群制御装置

- ・群制御のための計算
- ・各無人機の制御のための計算
- ・システム全体の監理

ホスト計算機

スレーブ計算機

画像処理計算機

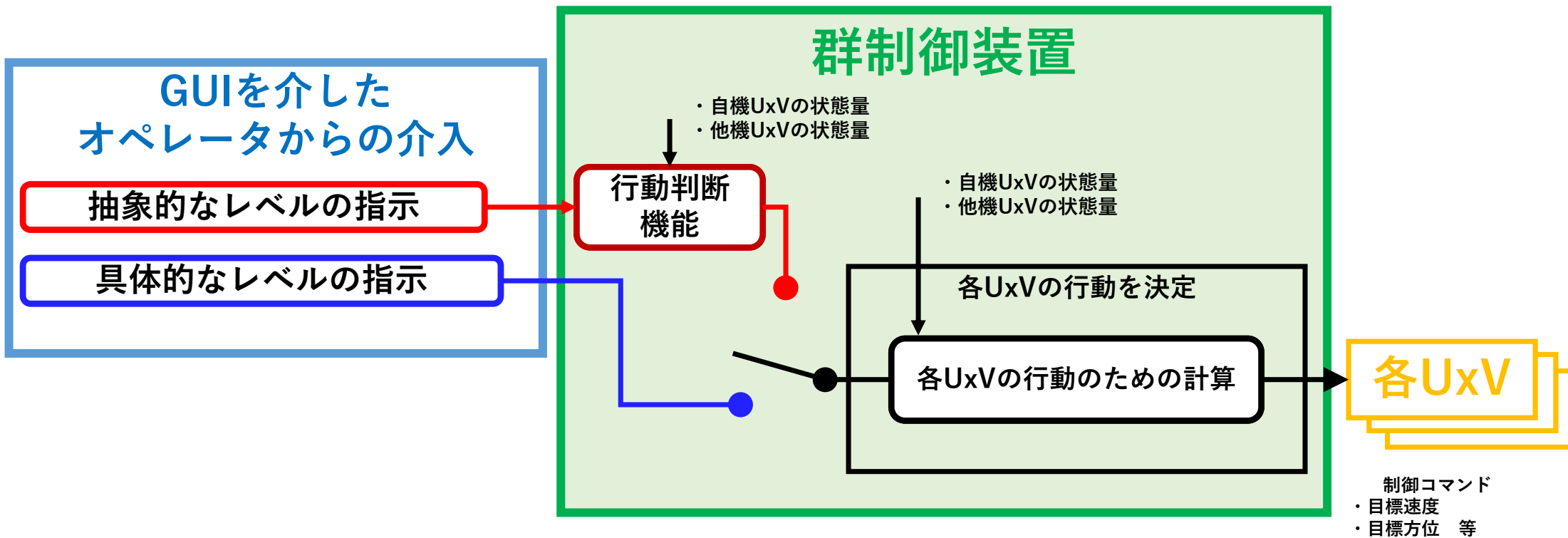
各UxV

仮想空間模 擬装置

3. 動的監視網システムの機能

動的監視網システムへの指示

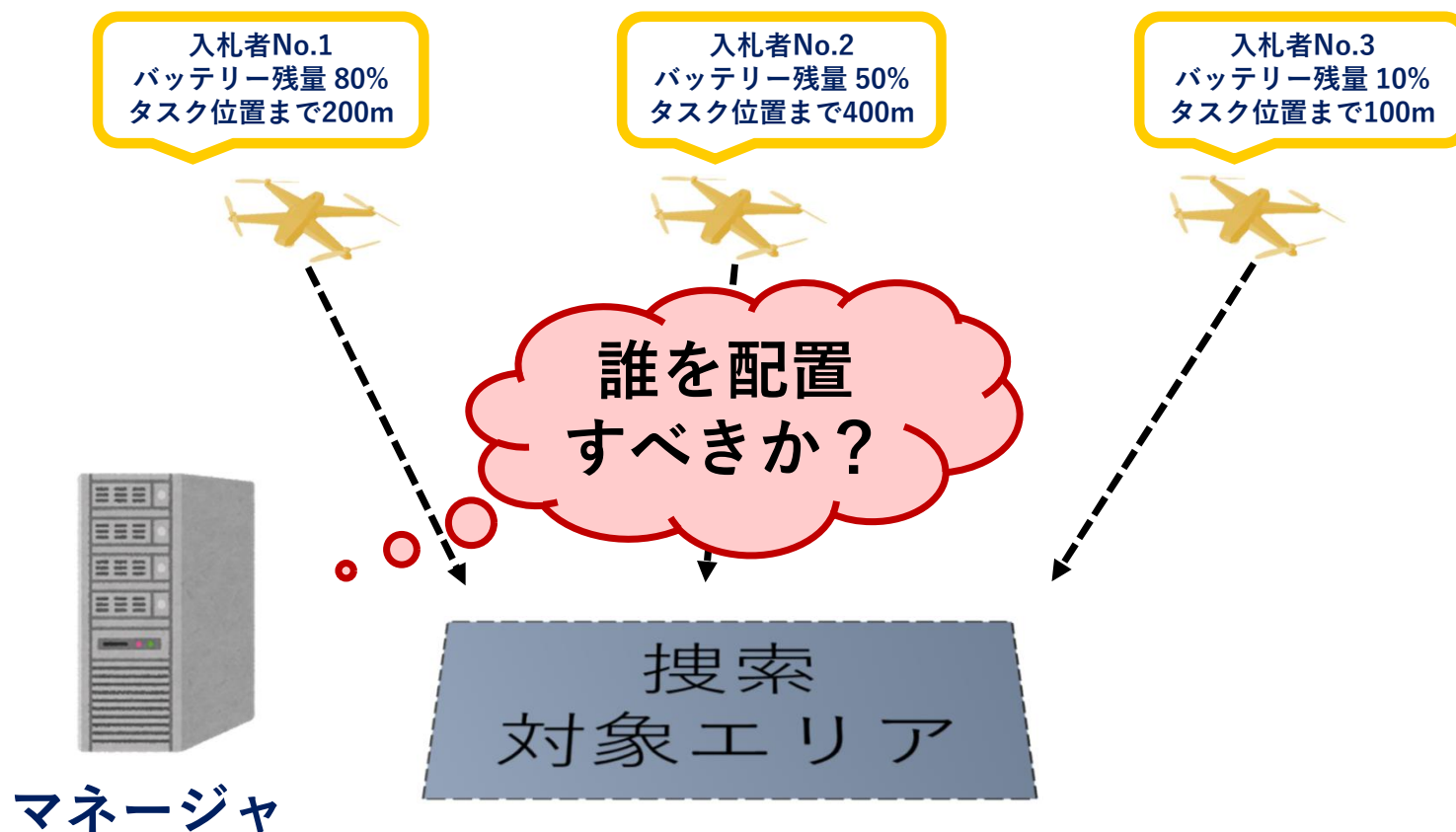
- ・オペレータは抽象度の異なる指示を与えることができる。
- ・“抽象的なレベルの指示”の場合、行動判断機能によって、各UxVの行動が決定される。



3. 動的監視網システムの機能

契約ネットプロトコルにより、タスク割り当ての最適化を実現。

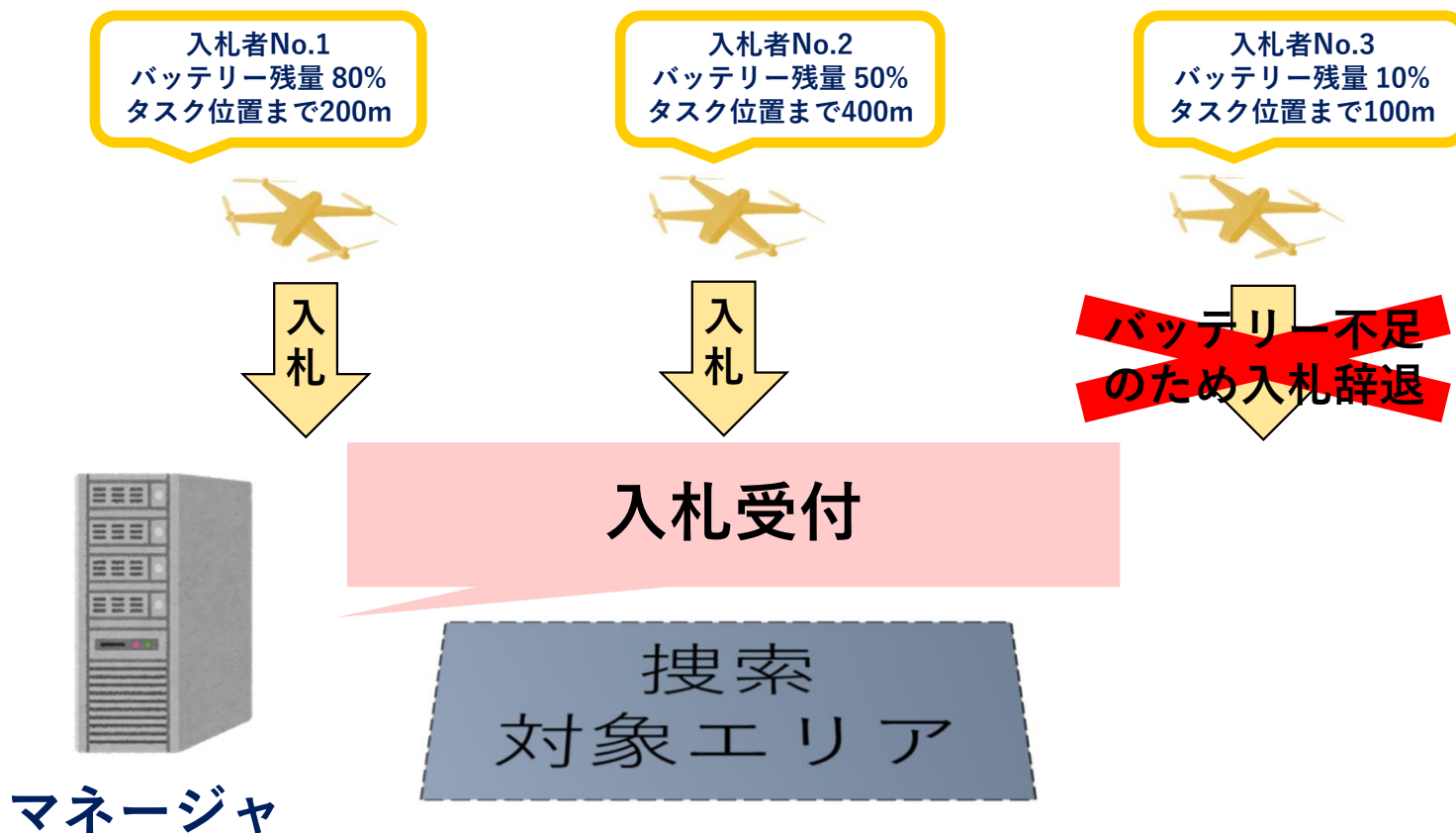
- 大規模なシステムでは、オペレータが各UxVに行動指示を出すのは現実的でない。
- スウォームに対して任務を与え、行動判断機能により、最適なタスク割り当て(行動指示)を決定する。



3. 動的監視網システムの機能

契約ネットプロトコルにより、タスク割り当ての最適化を実現。

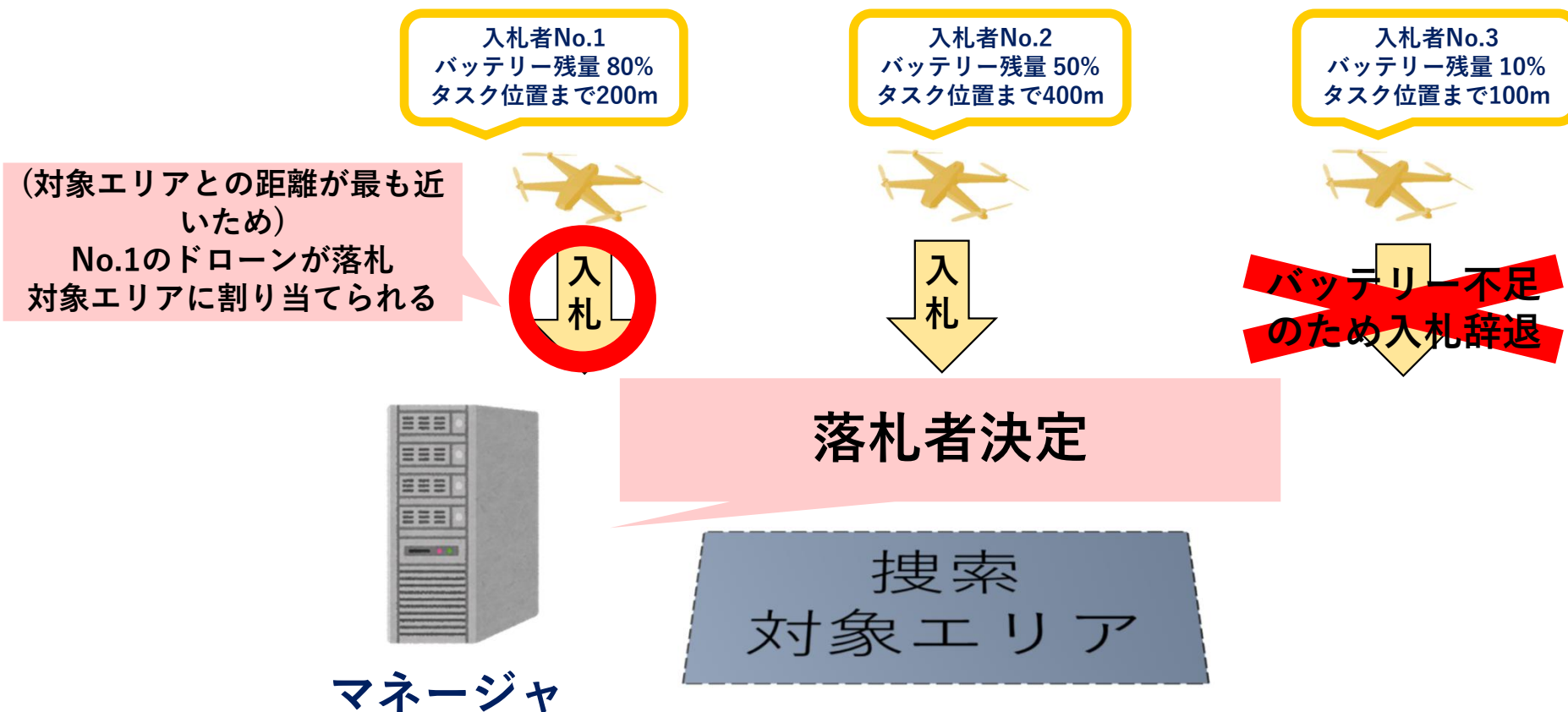
- 大規模なシステムでは、オペレータが各UxVに行動指示を出すのは現実的でない。
- スウォームに対して任務を与え、行動判断機能により、最適なタスク割り当て(行動指示)を決定する。



3. 動的監視網システムの機能

契約ネットプロトコルにより、タスク割り当ての最適化を実現。

- ・大規模なシステムでは、オペレータが各UxVに行動指示を出すのは現実的でない。
- ・スウォームに対して任務を与え、行動判断機能により、最適なタスク割り当て(行動指示)を決定する。



4. 動的監視網システムのGUI装置

群制御装置のGUI画面

- オペレータはGUIを見ながら、キーボード及びマウスでスウォームを一人で操作する。



The screenshot displays the GUI of the dynamic monitoring network system, divided into several functional areas:

- マップ表示エリア (Map Display Area):** Located in the top left, showing a 3D model of the system components.
- イベント表示エリア (Event Display Area):** Located in the top center, displaying a log of system events.
- 事前マップおよびUxV選択エリア (Pre-map and UxV Selection Area):** Located in the top right, showing a map and a list of UxV units for selection.
- UxV状況把握エリア (UxV Status Overview Area):** Located in the middle right, displaying a table of UxV status information.
- 追跡画像表示エリア (Tracking Image Display Area):** Located in the bottom left, showing a camera feed of the tracked UxV.
- 全UxV簡易ステータス表示エリア (All UxV Simple Status Display Area):** Located in the bottom center, displaying a table of UxV status information.
- 選択UxV詳細ステータス表示エリア (Selected UxV Detailed Status Display Area):** Located in the bottom right, displaying a detailed status for the selected UxV.
- 動的監視網システムのGUI (Dynamic Monitoring Network System GUI):** The overall interface, including the map and status tables.
- UxV指示選択・追加エリア (UxV Instruction Selection and Addition Area):** Located in the middle right, displaying a table of UxV instructions.
- Target UxV状態即時表示エリア (Target UxV Status Real-time Display Area):** Located in the bottom right, displaying the real-time status of the target UxV.

状況表示用画面

操作指示用画面

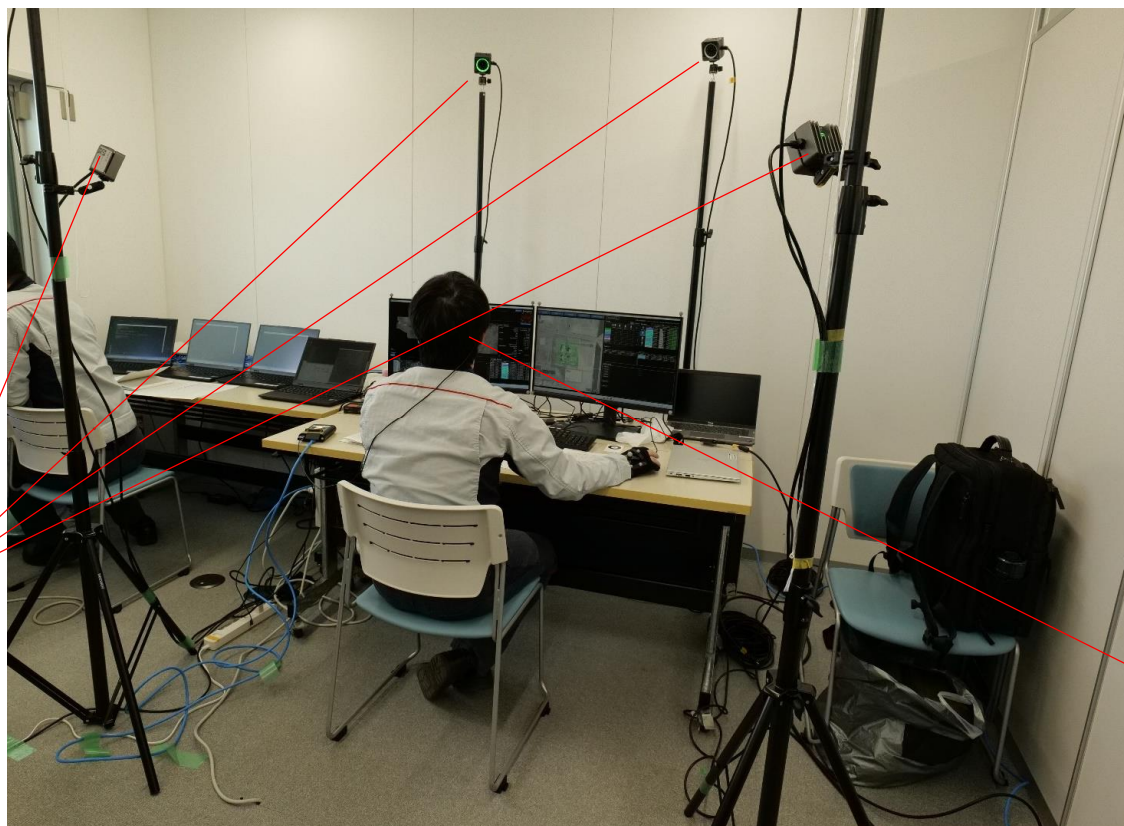
4. 動的監視網システムのGUI装置

GUI装置上の視線解析について

- 視線解析及びモーショントラッキング装置により、画面の注視点を抽出。



モーションキャプチャ装置



視線解析装置

視線解析装置およびモーションキャプチャ装置 ワークロード評価及びGUI装置の評価の様子

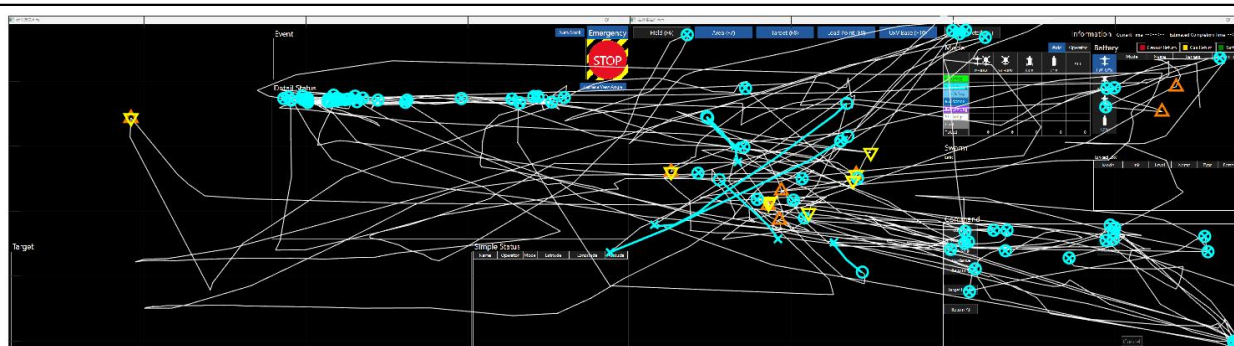
4. 動的監視網システムのGUI装置

GUI上のカーソル移動量の違いについて

- HSI技術の有効性を確かめるため、カーソル移動量に違いが出るかを比較した。

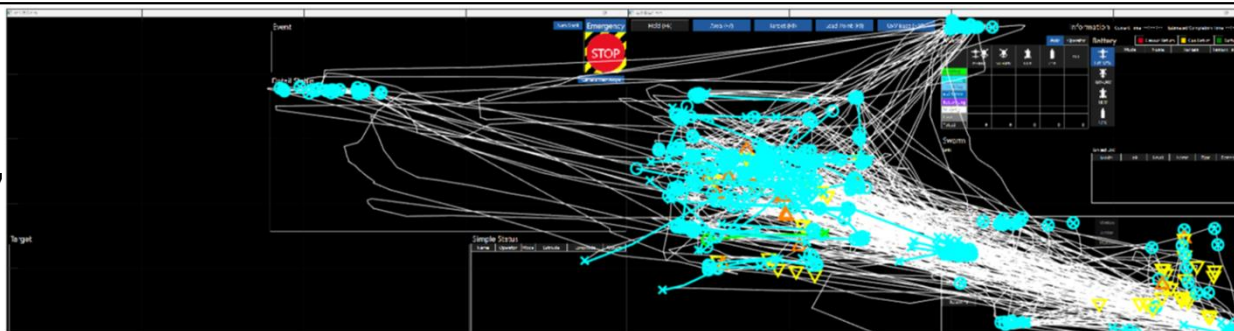
➤ ケースA(HSI:高)

“抽象的なレベルの指示”
及び
“具体的なレベルの指示”
を選択できる場合



➤ ケースB(HSI:低)

“具体的なレベルの指示”
のみ選択できる場合



凡例

- カーソル軌跡
- 左クリックON
- ✕ 左クリックOFF
- 左ドラッグ軌跡
- 右クリックON
- ✕ 右クリックOFF
- 右ドラッグ軌跡
- △ ホイール回転 (奥)
- ▽ ホイール回転 (手前)

➤ 考察

ケースA、ケースBの際のカーソルの移動量

- ケースA(HSI:高)では、状況表示用画面、操作指示用画面の両画面で満遍なくカーソルが動いている。
- ケースB(HSI:低)では監視対象の確認よりも、UAVの移動に操作の重点が置かれている。

4. 動的監視網システムのGUI装置

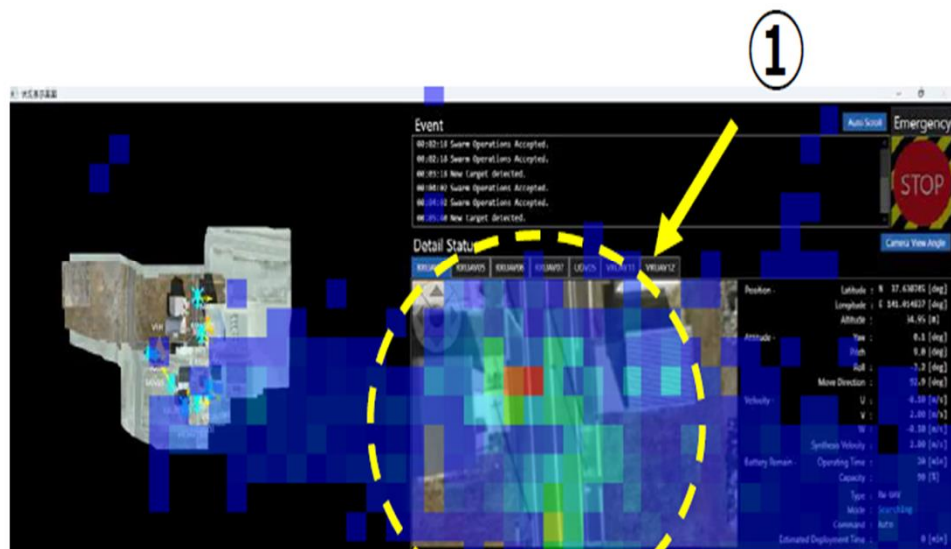
GUI装置上の視線解析について

- 視線解析及びモーショントラッキング装置により、画面の注視点を抽出。

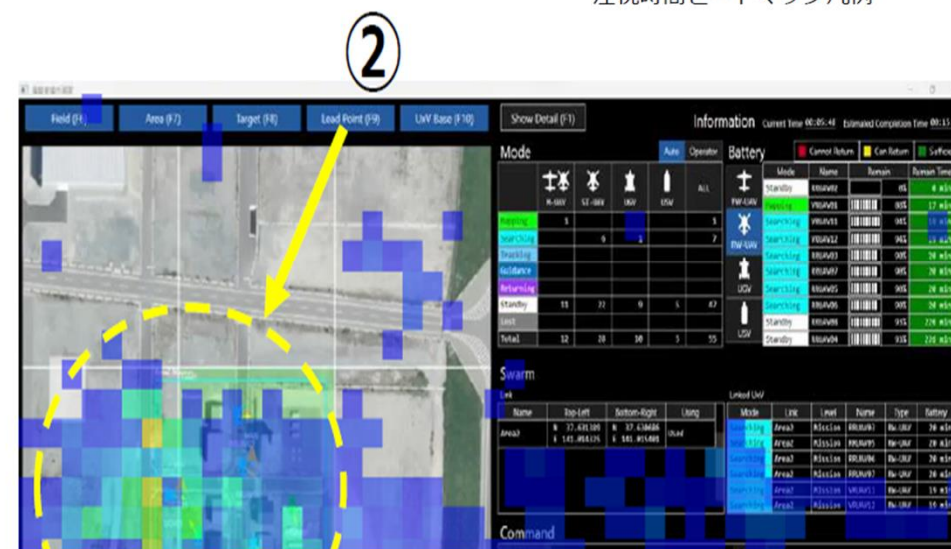
➤ 搜索任務実行時の場合

0.0 1.2 2.5(秒)

注視時間ヒートマップ凡例



状況表示用画面



操作指示用画面

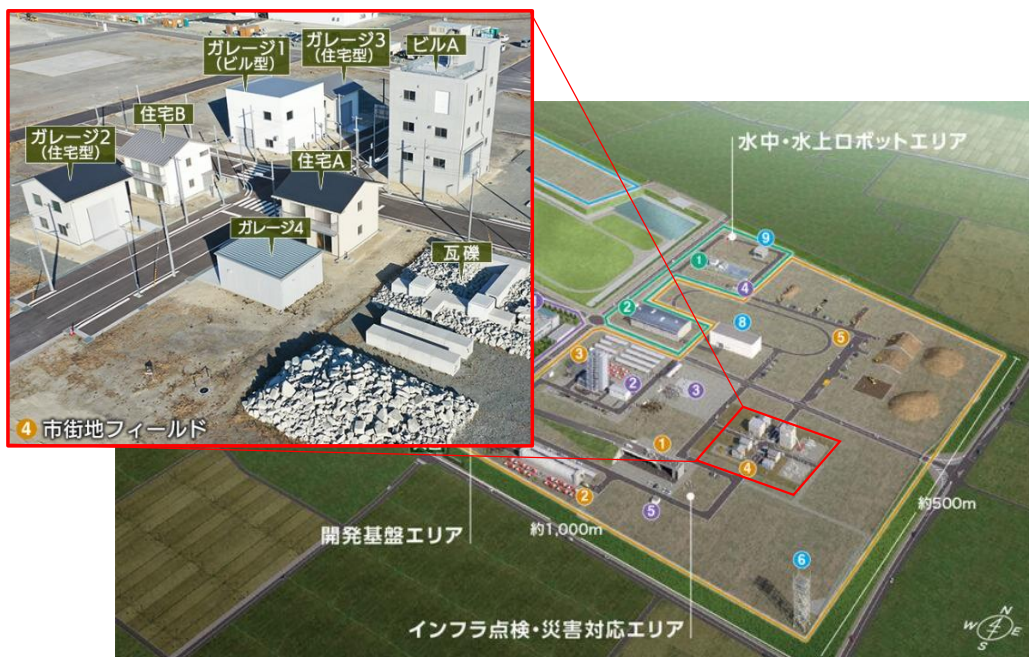
➤ 考察

- ✓ ①②に注視時間が長い箇所がある。①では、監視対象の確認を行うためにUxVの可視画像に注目していたことが考えられる。②では、UxVや監視対象候補の位置を確認し、可視画像を確認すべきUxVを選定していたと考えられる。

5. 動的監視網システムのデモンストレーション

動的監視網システムの技術実証

- ・ 福島ロボットテストフィールドの市街地フィールドにて実機UAV＋バーチャル空間による技術実証を実施。
- ・ デジタルツイン(仮想空間模擬装置)を併用し、実機のUAV10機＋仮想のUAV70機で検証を実施。
- ・ 監視対象として小型のRCカーを市街地フィールドへ侵入。



福島ロボットテストフィールド及び市街地フィールド



実UAV及び着陸ベース

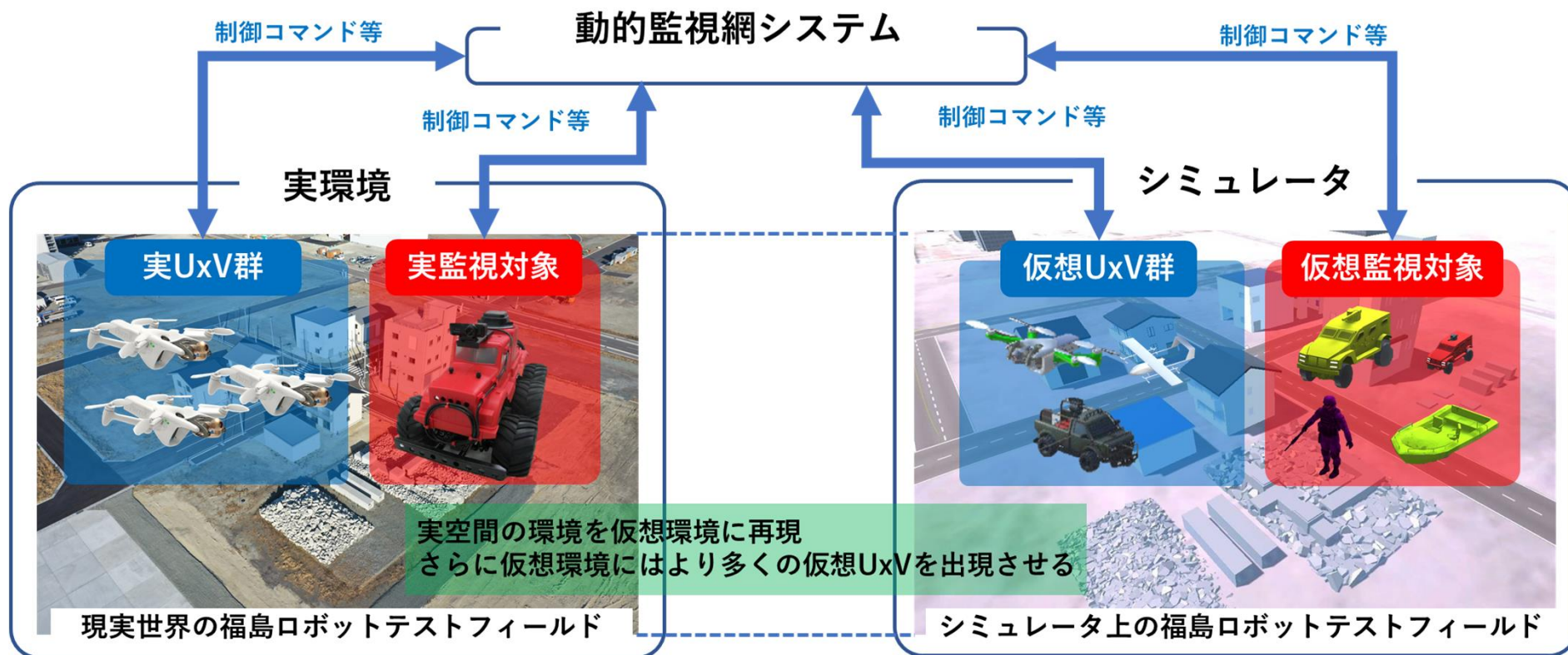


監視対象

5. 動的監視網システムのデモンストレーション

仮想空間模擬装置について

- 実環境と、実環境を模擬した仮想空間を織り交ぜた環境で実施し、より大きなシステムを検証した。
- UAVの他にUGVやUSVも登場する。

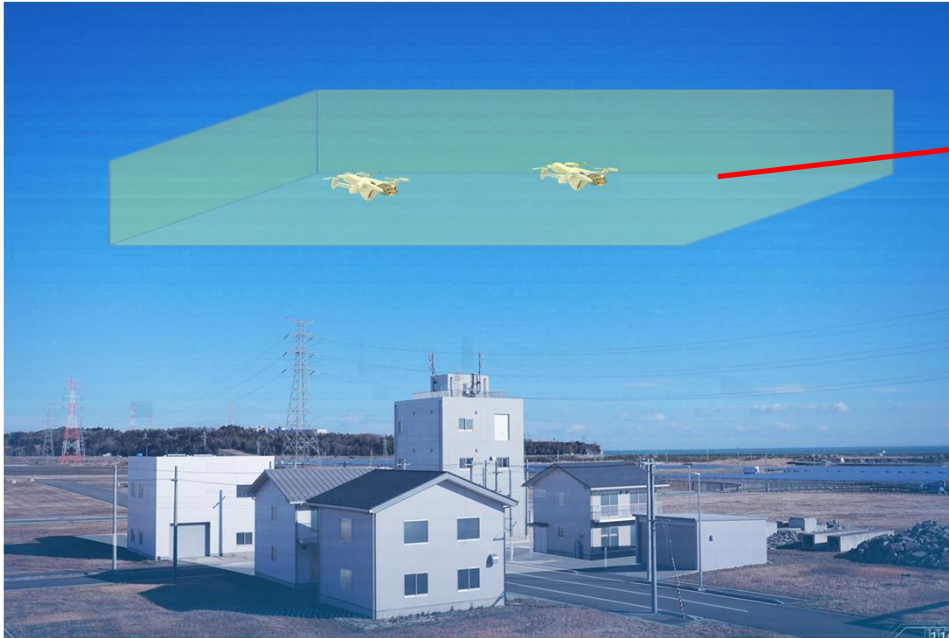


福島ロボットテストフィールドでのデモンストレーションのイメージ

5. 動的監視網システムのデモンストレーション

実証試験におけるシナリオについて

- ・ 高空層及び中空層にそれぞれUAV群を展開し、不審車両を捕捉する。
- ・ 離れたところにいるオペレータが1人ですべてのUAVを管制する。



デモンストレーション時のシナリオ時のシナリオ

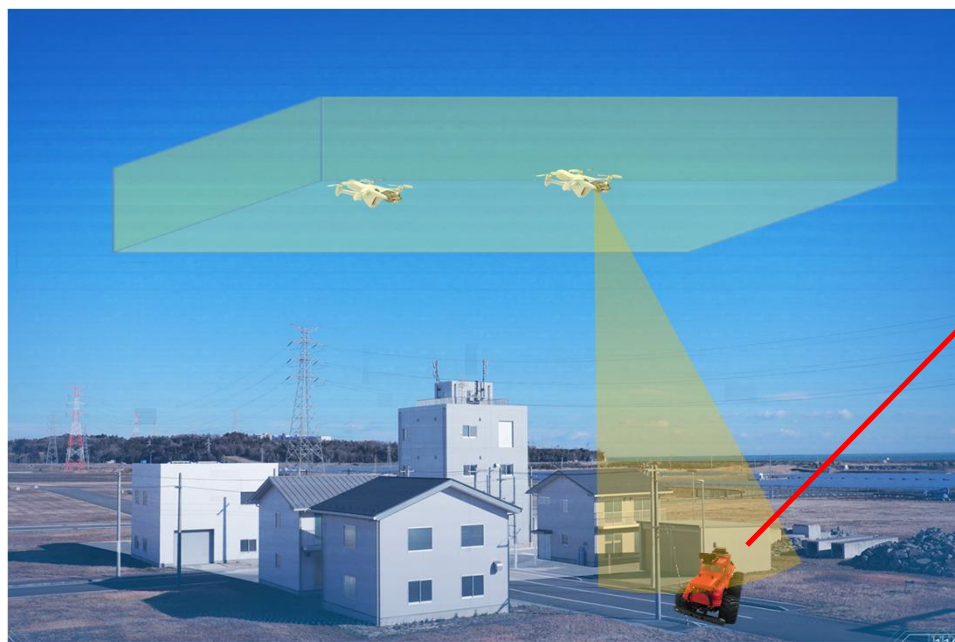
- ① 高空層レイヤにUAV群を展開。監視を実施。
- ② 高空層UAV群が地上に不審な車両を発見。
- ③ 中空層レイヤにUAV群を展開。より詳細な搜索を開始。
- ④ 中空層UAV群が不審車両を捕捉。追尾を開始。

福島ロボットテストフィールドでのデモンストレーションのイメージ

5. 動的監視網システムのデモンストレーション

実証試験におけるシナリオについて

- ・ 高空層及び中空層にそれぞれUAV群を展開し、不審車両を捕捉する。
- ・ 離れたところにいるオペレータが1人ですべてのUAVを管制する。



デモンストレーション時のシナリオ時のシナリオ

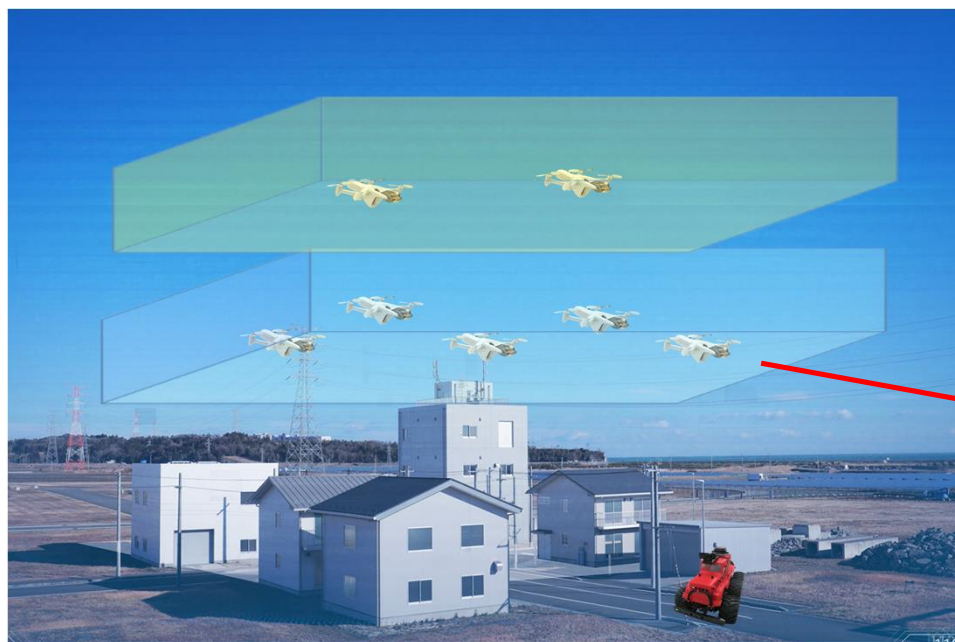
- ① 高空層レイヤにUAV群を展開。監視を実施。
- ② 高空層UAV群が地上に不審な車両を発見。
- ③ 中空層レイヤにUAV群を展開。より詳細な搜索を開始。
- ④ 中空層UAV群が不審車両を捕捉。追尾を開始。

福島ロボットテストフィールドでのデモンストレーションのイメージ

5. 動的監視網システムのデモンストレーション

実証試験におけるシナリオについて

- ・ 高空層及び中空層にそれぞれUAV群を展開し、不審車両を捕捉する。
- ・ 離れたところにいるオペレータが1人ですべてのUAVを管制する。



デモンストレーション時のシナリオ時のシナリオ

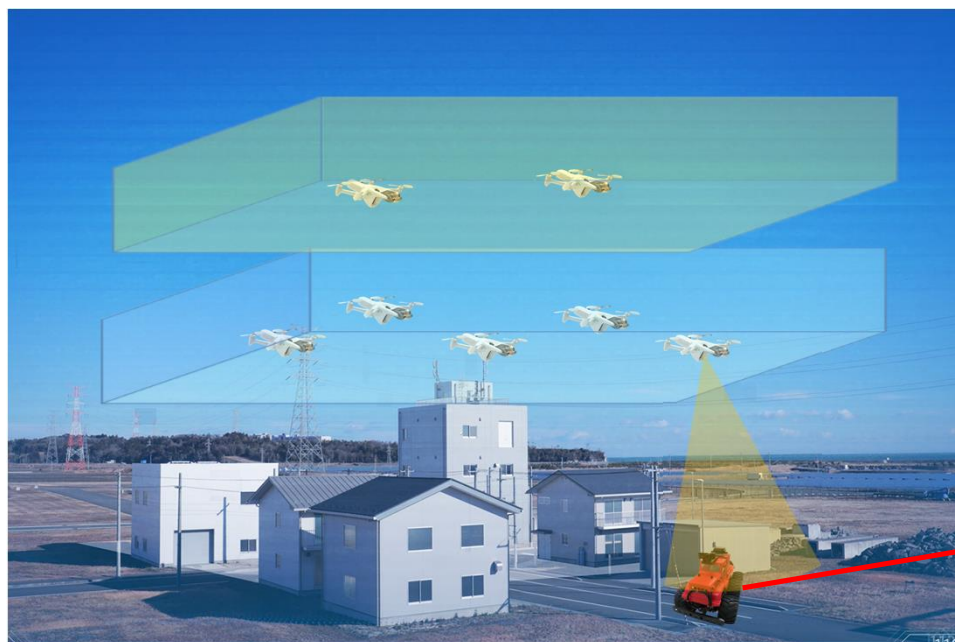
- ① 高空層レイヤにUAV群を展開。監視を実施。
- ② 高空層UAV群が地上に不審な車両を発見。
- ③ 中空層レイヤにUAV群を展開。より詳細な搜索を開始。
- ④ 中空層UAV群が不審車両を捕捉。追尾を開始。

福島ロボットテストフィールドでのデモンストレーションのイメージ

5. 動的監視網システムのデモンストレーション

実証試験におけるシナリオについて

- ・ 高空層及び中空層にそれぞれUAV群を展開し、不審車両を捕捉する。
- ・ 離れたところにいるオペレータが1人ですべてのUAVを管制する。

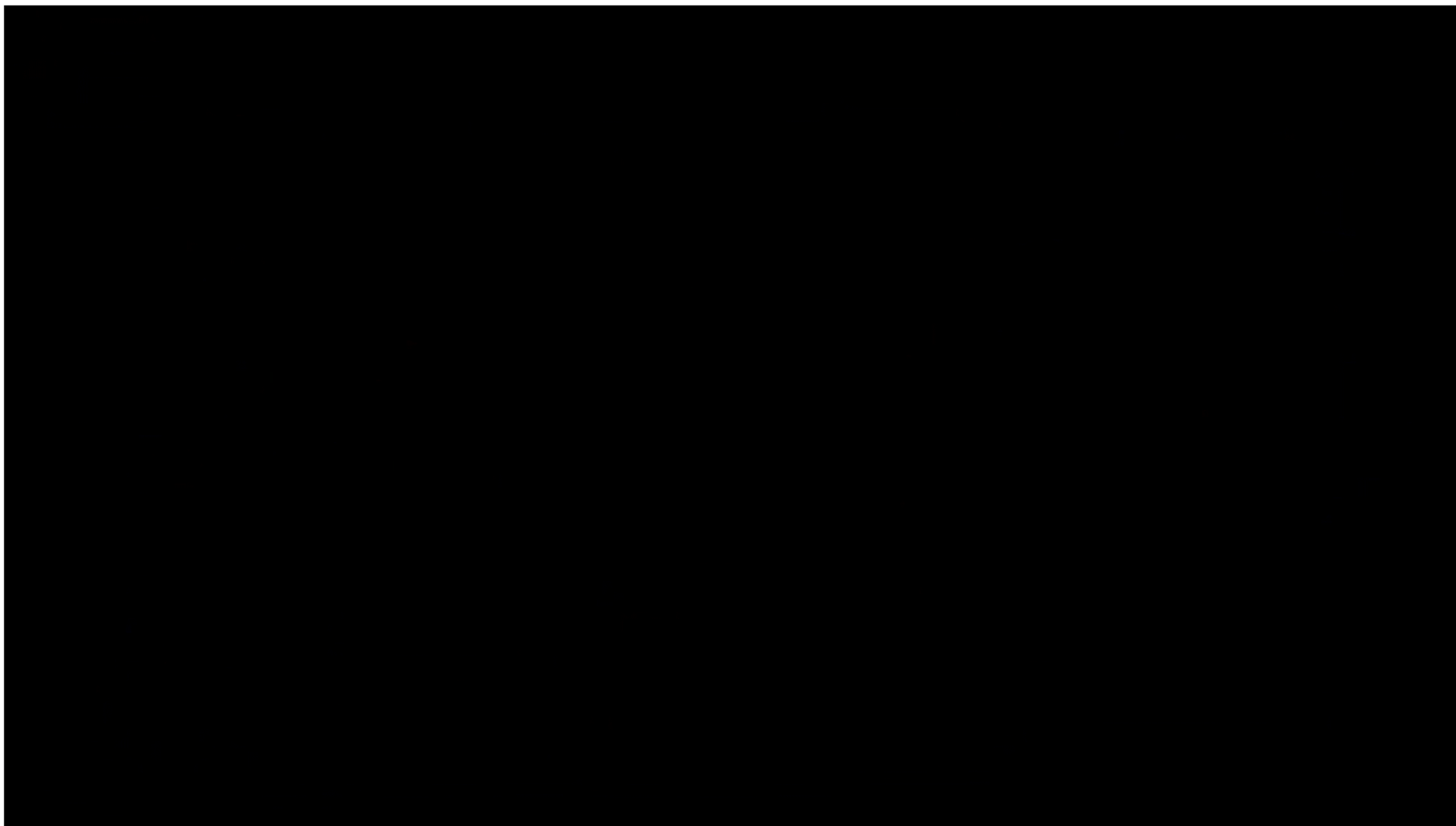


デモンストレーション時のシナリオ時のシナリオ

- ① 高空層レイヤにUAV群を展開。監視を実施。
- ② 高空層UAV群が地上に不審な車両を発見。
- ③ 中空層レイヤにUAV群を展開。より詳細な搜索を開始。
- ④ 中空層UAV群が不審車両を捕捉。追尾を開始。

福島ロボットテストフィールドでのデモンストレーションのイメージ

5. 動的監視網システムのデモンストレーション



6. まとめ

まとめ

- 多種多様なUxVの領域横断的な連携により，従来アセットや単一のUxVではなし得なかった新機能を模索，“UxV群による動的監視網システム”を構想した。
- 複数UxVの管制技術のうち，HSI技術，スウォーム制御技術について取り扱い，実証試験により，その有効性を確認した。
- 動的監視網システムのうち，GUI装置について構築及びその評価を実施した。

今後

- 複数無人機が連携する場合，特に異種無人機の機能分散や，複数無人機による偵察任務等のシナリオを検討する際に，本事業で得た知見を利用する。