

高密度飛行を目指したエッジとクラウドのAI・最適化 による衝突回避と運航管理の研究

(一財)先端ロボティクス財団

研究開発項目/調査項目②
運航管理技術の開発

2026年5月13日

事業概要説明

研究開発の背景

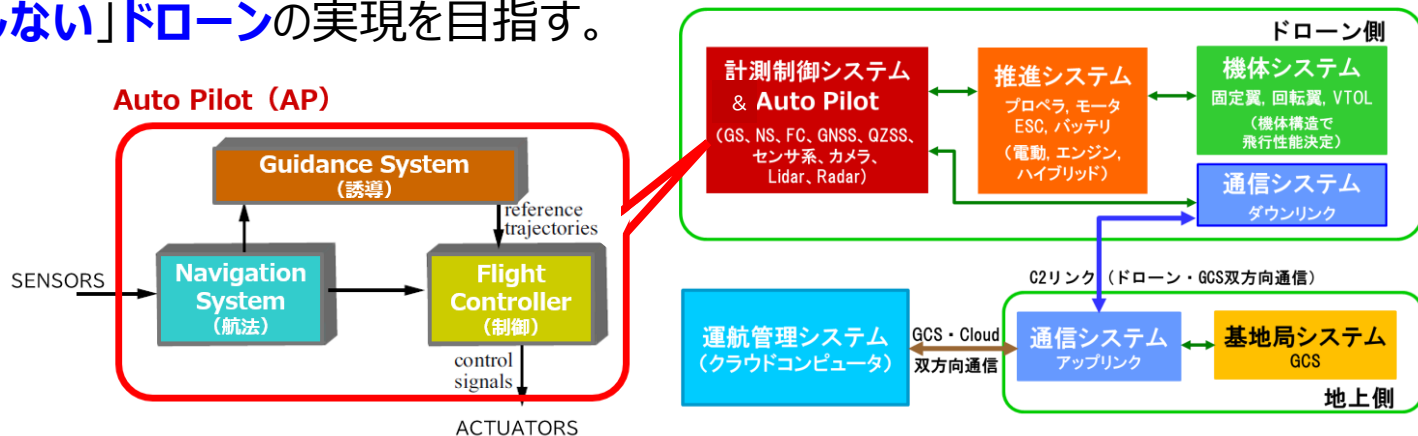
労働力不足や物流量の増加に伴う業務効率化が求められるなかで、ドローンや空飛ぶクルマなどの次世代空モビリティによる省エネルギー化や、人手を介さないヒト・モノの自由な移動が期待されている。その実現には次世代空モビリティの安全性確保を前提として、**運航の自動・自律化**による効率的な運航との両立が求められる。

本研究開発では、ドローンに代表される無人航空機が、より安全で効率的な飛行を実現可能とするための技術として、**大脳型の知能オートパイロット**の開発を中心に、次世代空モビリティの実現に必要な技術開発を行うことで、省エネルギー化と安全で効率的な空の移動を実現する。



研究開発の目的

現状の市販ドローンに搭載されているオートパイロットは、安全性・信頼性・機能などの観点で未だ発展途上であり、大幅な改善が必要なものである。このため、ドローンの**安全性・信頼性**を飛躍的に向上させることを目指して、「**冗長型**」の構成を備えたオートパイロットを開発する。また、**異常診断、障害物認識、衝突回避**など、さまざまな**自律化・知能化**を目指した機能の開発を行い、これらを統合した「**大脳型**」の**知能**オートパイロットを開発する。これにより、「**落ちない**」「**衝突しない**」ドローンの実現を目指す。



ドローンの構成要素と、Auto PilotのG, N, C機能

研究開発の実施体制・実施計画

委託:先端口ボティクス財団、再委託:千葉大学、システム研究機構国立情報学研究所

	2022年度	2023年度	2024年度	2025年度	2026年度
(1)オートパイロット		冗長型 実証	知能型 実証	冗長知能統合型 実証	
(2)飛行関連基本AI機能		不時着地点探索・ 離隔距離制御etc. 実証			
(3)冗長化対応飛行制御		One Fail Operative 飛行制御 実証			
(4)障害物認識・回避制御			障害物認識・ 回避飛行制御 実証		
(5)ダイナミックマップ 対応技術開発				最適飛行ルート 生成/飛行制御 実証	
(6)エッジ・クラウド協調 技術開発				協調AI型 自律飛行制御 実証	
(7)国際標準化					ISO TC20/SC16 G,N,C7-キータ案 提案・承認

本研究が目指す研究終了時の自律性レベル

自律性レベル	Level 0 No Autonomy	Level 1 Low Autonomy	Level 2 Partial Autonomy	Level 3 Conditional Autonomy	Level 4 High Autonomy	Level 5 Full Autonomy
人と機械の関与		 HITL	 HITL	 HOTL	 HOOTL	 HOOTL
操縦者	Trained & Skilled Pilot 	Trained Pilot 	Basic Pilot 	Operator Monitoring Onsite 	Remote Operator Monitoring 	No Operator 
説明	100%マニュアル操作による	操縦者による制御は維持 APは少なくとも1つの必須機能の制御を担う	操縦者は安全な飛行の責任を持つ ウェイポイント飛行をAPにより行う	操縦者は現場で非常時の意思決定を行う 殆どの制御機能は群制御を含めて自律化	操縦者1名が遠隔で現場以外から複数ドローンを監視 殆どのドローンはBVLOS(目視外)で飛行	AI技術による完全自律型ドローンが群飛行し、安全で革新的なドローン社会を創造

HITL : Human In The Loop
HOTL : Human On The Loop
HOOTL : Human Out Of The Loop

現状  目標

<https://droneii.com/drone-autonomy> を基に作成

本開発の4つのStageと技術キーワード

Stage-1

- ・ 飛行中の機体の異常をAIヘルスチェックにより検知
- ・ 局所的な突発的**天候異変**をAIにより判断
- ・ 異常発生時に**着陸可能地点**をAIにより認識、誘導して**不時着**
- ・ 異常発生時の飛行継続(**One Fail Operative Control**)を**冗長系**により実現
- ・ 離着陸制御・姿勢安定化制御・**複数機の離隔距離制御**
- ・ レベル4に向けた**第一種型式/機体認証**のための**AI実装型冗長高信頼AP**

Stage-2

衝突回避 (DAA)
有人機、無人機、
物件、鳥、送電線、樹木
(AI深層学習により
日々賢くなる飛行)
国際標準化活動開始

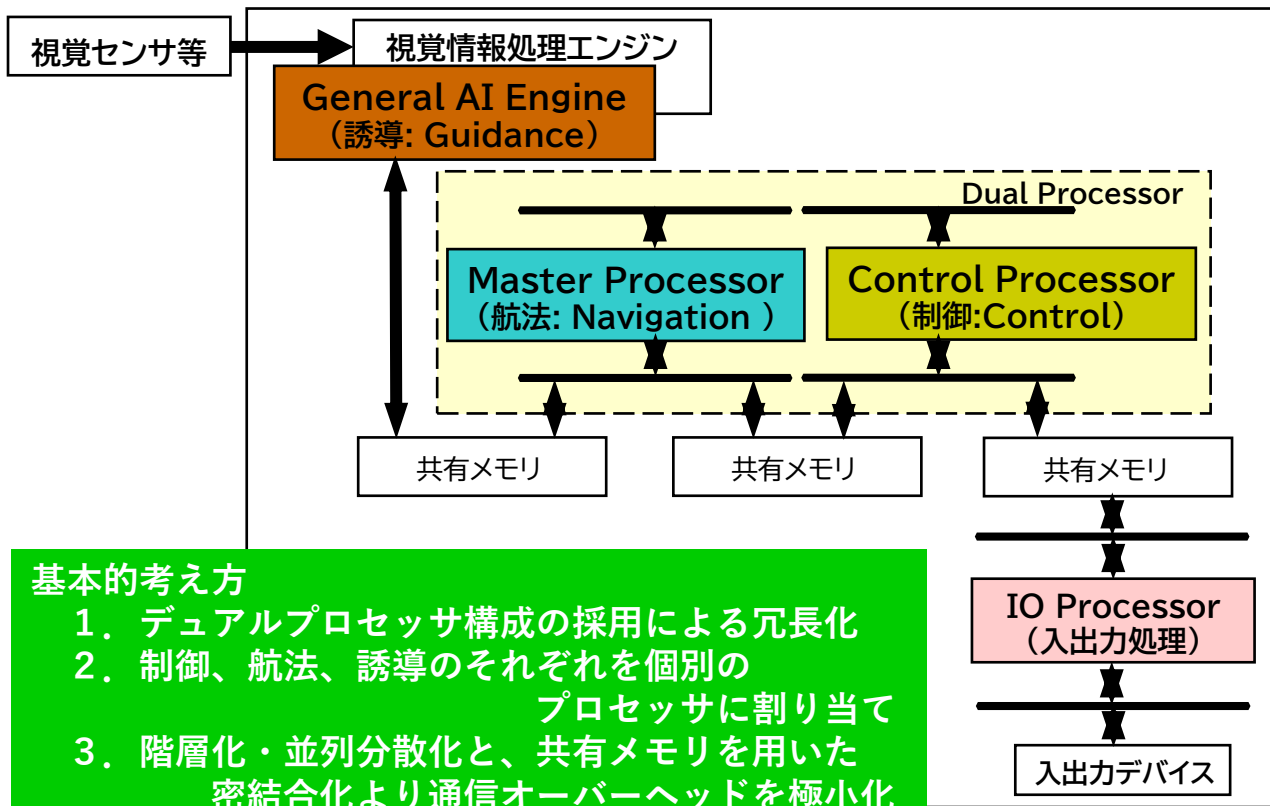
Stage-3

飛行ルート自動生成と
最適ルートの探索
送電線等を含むダイナミック
マップからの経路自動生成
(エネルギー最適化ルート探索)
国際標準化活動

Stage-4

エッジ・クラウド
協調型最適化
運航管理システム
(GCS-クラウド双方向通信による
高密度飛行の実現)
国際標準化活動

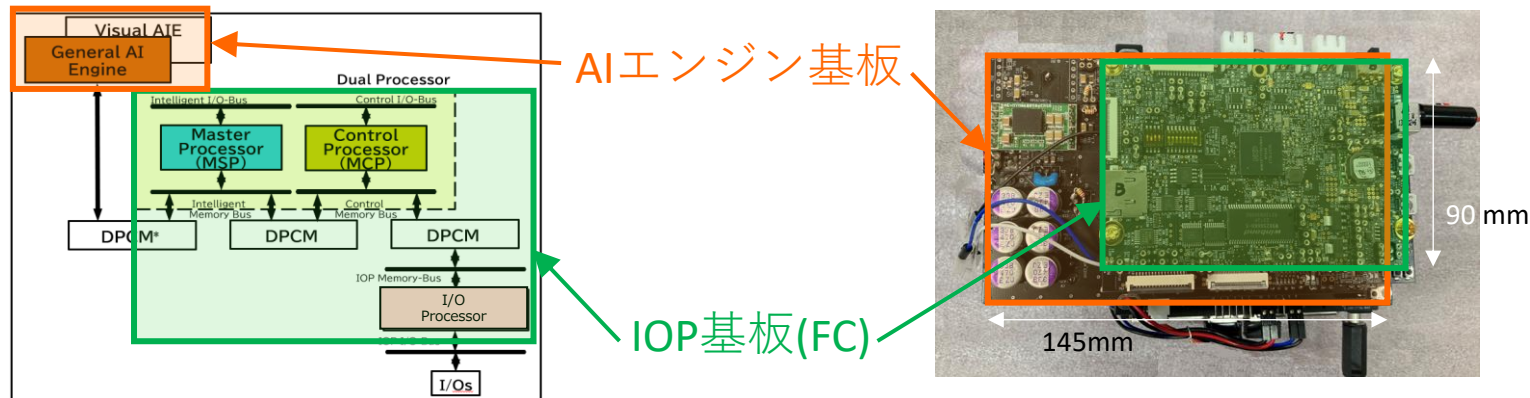
開発しているオートパイロットの概要



2025年度までの取り組み内容と成果

冗長知能統合型オートパイロット

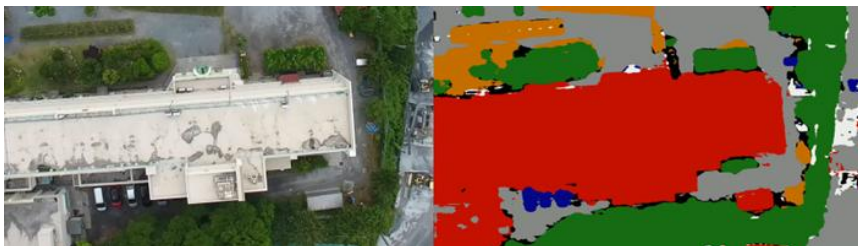
Guidance(誘導)、**Navigation(航法)**、**Control(制御)**の階層型アーキテクチャを念頭に、各機能をプロセッサ単位に分散化するとともに、プロセッサ間を共有メモリにより密結合したマルチマイクロプロセッサ型オートパイロットの開発を行っている。2025年度は、冗長性と知能とを統合した**大脳型オートパイロット**を開発した。特に、**AI機能を前提とした冗長化**を取り入れることで、AIによる判断に伴う不確実性を低減し、高信頼性を備えたオートパイロットを実現した。



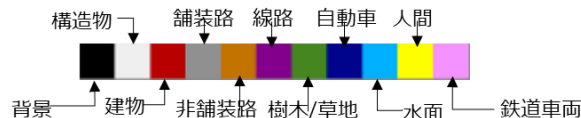
Auto Pilotのアーキテクチャと、小型AIエンジンおよびドローン専用IOP部

画像処理機能(不時着地点の判別)

ドローンから見た地上の画像に基づいて、セマンティックセグメンテーションにより、不時着が可能な地点の判別を行うアルゴリズムを試作Auto Pilotに実装・搭載した。並列処理化、テンソルコア活用などにより、**18f/s**の高速処理性能を実現した。



学習画像の例

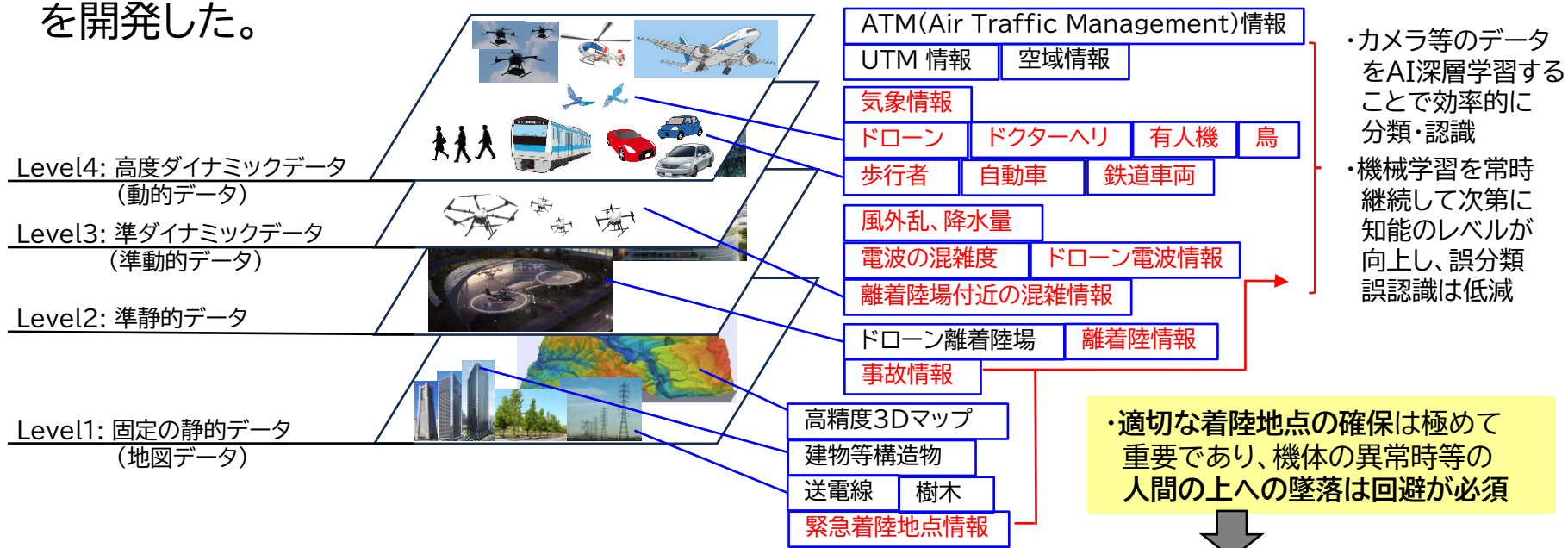


未知環境の
実時間認識例

これまでの取り組み内容と成果

ダイナミックマップ対応飛行ルート生成・制御

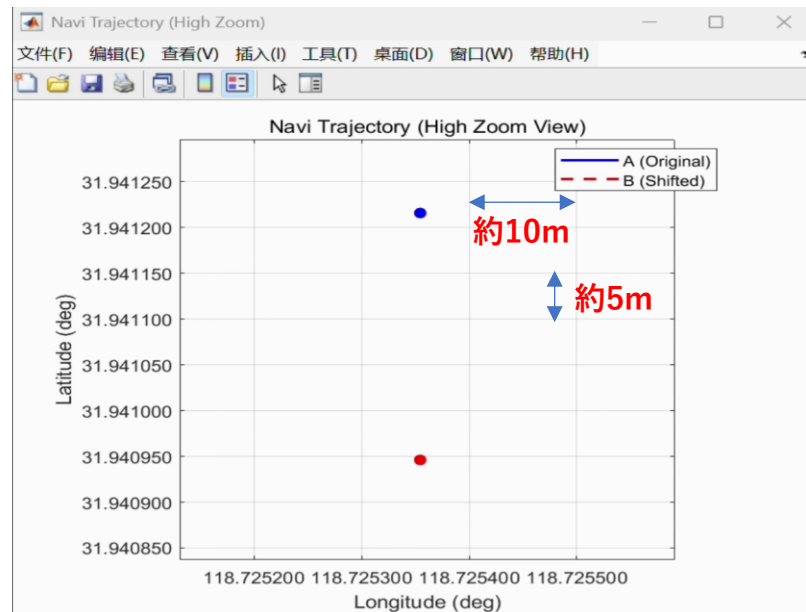
変化する状況に対応して、人間や走行する車両の直上等を極力避け**最適飛行ルート**の探索・生成を行うAI機能、飛行ルートの変化にも柔軟に対応可能な**飛行制御手法**を開発した。



飛行中のGRC(Ground Risk Class)、ARC(Air Risk Class)の実時間推定

ダイナミックマップ対応飛行ルート生成・制御

ダイナミックマップのLevel3(準動的データ:ホバリングしているドローン)およびLevel4(動的データ:接近してくるドローン、前方を横切るドローン)など、複数のLevelの障害物を考慮した**回避ルートの生成**と**飛行制御**を行うシステムを開発



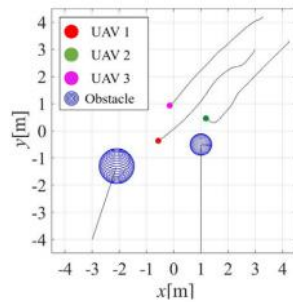
ダイナミック マップを
考慮した軌道生成
(LSTM:長短期メモリ
による未来軌道予測)

ダイナミックマップ対応飛行ルート生成・制御

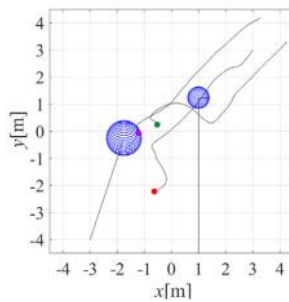
ダイナミックマップのLevel3(準動的データ:ホバリングしているドローン)およびLevel4(動的データ:接近してくるドローン、前方を横切るドローン)など、複数のLevelの障害物を考慮した**回避ルートの生成**と**飛行制御**を行うシステムを開発



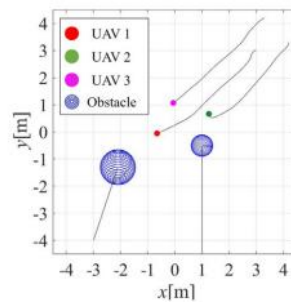
ダイナミックマップ対応飛行ルート生成・制御



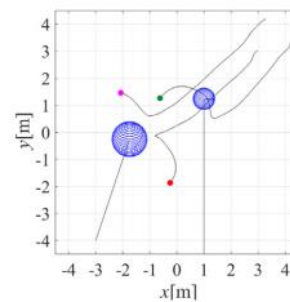
(a) $t = 9.0\text{s}$



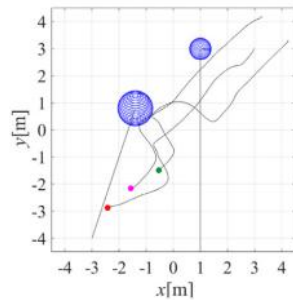
(b) $t = 12.5\text{s}$



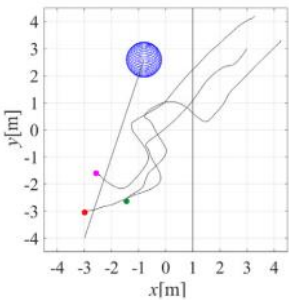
(a) $t = 9.0\text{s}$



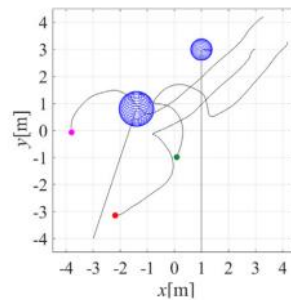
(b) $t = 12.5\text{s}$



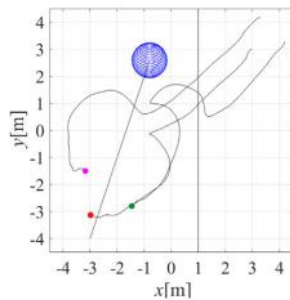
(c) $t = 16.0\text{s}$



(d) $t = 22.0\text{s}$



(c) $t = 16.0\text{s}$



(d) $t = 22.0\text{s}$

LSTM(長短期メモリ)を用いた未来軌道の予測
(左:従来手法、右:CCMPC=確率制約条件付モデル予測制御)

これまでの取り組み内容と成果

ダイナミックマップ対応飛行ルート生成・制御

対面飛行衝突回避 地上



LSTM(長短期メモリ)を用いた実験動画

これまでの取り組み内容と成果

ダイナミックマップ対応飛行ルート生成・制御

対面飛行衝突回避 上空



LSTM(長短期メモリ)を用いた実験動画

これまでの取り組み内容と成果

ダイナミックマップ対応飛行ルート生成・制御



The screenshot displays a drone control application interface. At the top, a status bar shows: 切断 (Off) with a green dot, デバイス状態正常 (Device status normal), 飛行時間 04:23 (Flight time 04:23), 飛行モード 準備 (Flight mode 準備), 衛星数 28 (Satellite count 28), バッテリー 84.3% / 24.3V (Battery 84.3% / 24.3V), 電波 (Signal strength), and 送信機 84% (Transmitter 84%). Below this is a horizontal progress bar with a red-to-green gradient and a timer showing 40:11. The main area is a satellite map with a red flight path and a drone icon. On the right, there are camera and display controls, including a button labeled 表示 (Display). At the bottom, there are control buttons: 離陸 (Takeoff), 着陸 (Land), 帰還 (Return), and 停止 (Stop). A data panel at the bottom center shows:

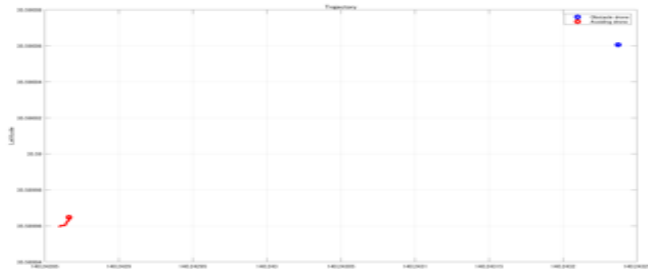
高度(E/A)	距離	速度	写真数
-1.3 m	0.0 m	0.0 km/h	0
0.0 m	0.0 m	0.0 m/s	

LSTMによる実験動画

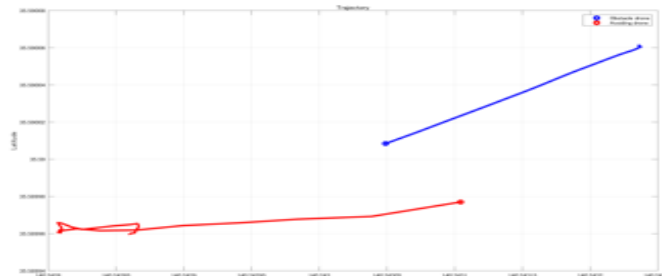
ダイナミックマップ対応飛行ルート生成・制御

対面衝突回避経路

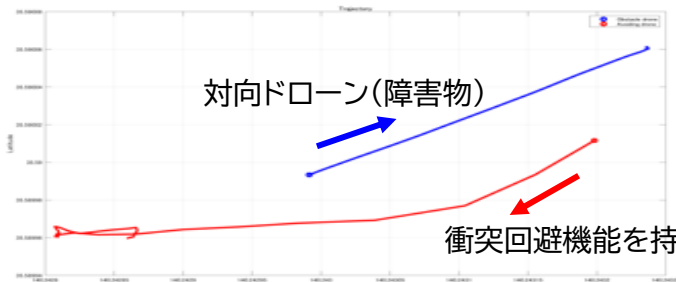
1



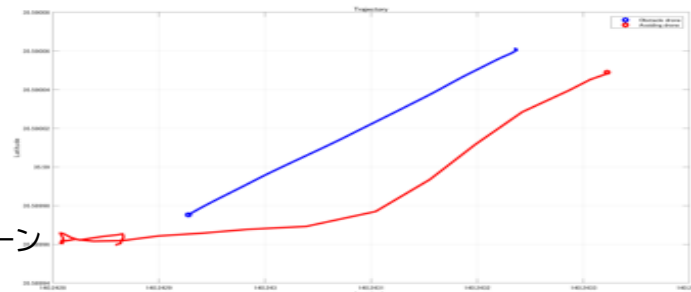
2



3



4



LSTM（長短期メモリ）を用いた未来軌道の予測

これまでの取り組み内容と成果

ダイナミックマップ対応飛行ルート生成・制御

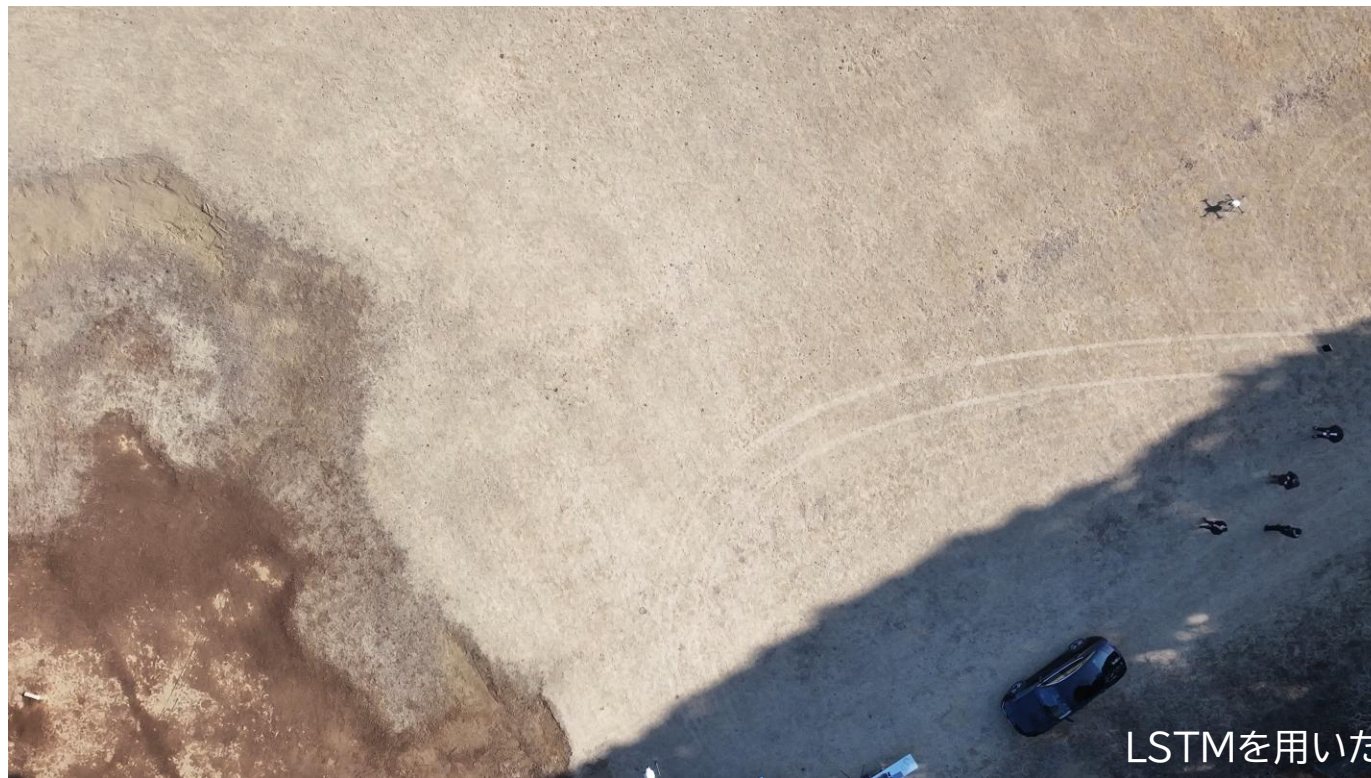
直角対面飛行 地上



LSTM(長短期メモリ)を用いた実験動画

ダイナミックマップ対応飛行ルート生成・制御

直角対面飛行 上空



LSTMを用いた実験動画

これまでの取り組み内容と成果

ダイナミックマップ対応飛行ルート生成・制御

直角対面飛行 AI認識

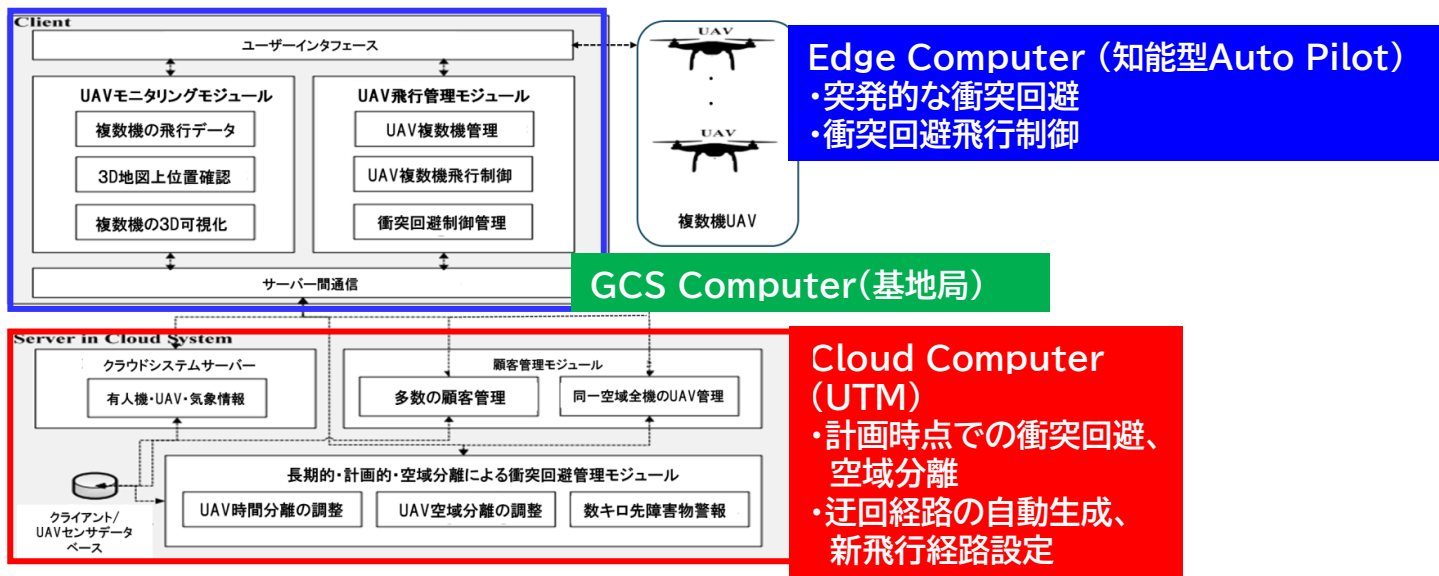


LSTMを用いた実験動画

これまでの取り組み内容と成果

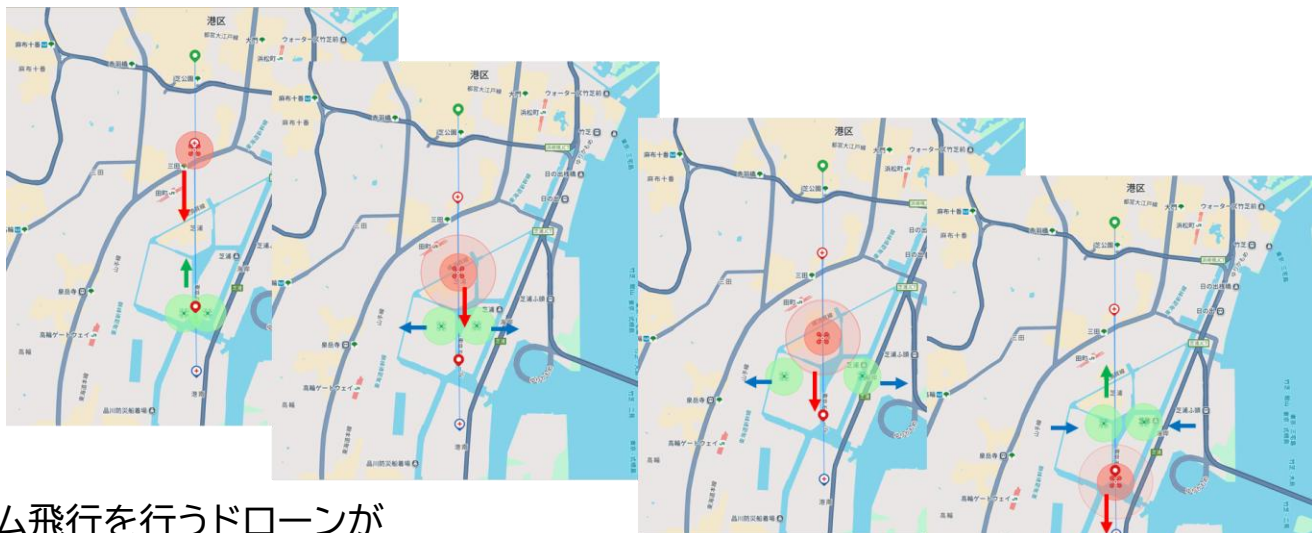
エッジ・クラウド協調運航管理要素技術

ダイナミックマップに対応した各レベルの障害物や第三者を回避するための経路生成と飛行制御について、**グローバル**な行先・経路指定(**クラウド**レベル)と**ローカル**な経路変更(**エッジ**レベル:先行機を自律的に回避)の連携による安全運航状況、条件の抽出、多様な知能レベルのドローン混在に対応する運航管理システムの簡易シミュレーションを実施した。



エッジ・クラウド協調運航管理要素技術

ダイナミックマップに対応した各レベルの障害物や第三者を回避するための経路生成と飛行制御に関して、スウォーム飛行を取り上げ、**クラウドレベル**(**グローバル**な行先・経路指定)と、**エッジレベル**(**ローカル**な経路変更)の連携による安全運航、飛行状況のシミュレーション検討(**スウォーム飛行ドローン群**と他ドローンとの**衝突回避状況**)



例1:
スウォーム飛行を行うドローンが
編隊を解消して救急ドローンを通り待ち

エッジ・クラウド協調運航管理要素技術



例2:
スウォーム飛行を行うドローン
が編隊を維持して待機し、救急
ドローンを通過待ち

例3:
スウォーム飛行を行うドローン
が編隊を維持して迂回し、救急
ドローンを回避

国際標準化活動

ISO TC20/SC16/AG6 第17回Plenary総会(2024年6月ワシントンDC)にて、Guidance, Navigation, Control (G,N,C)に関する基本アーキテクチャの提案を行い、日本提案が承認され**正式決定**した。



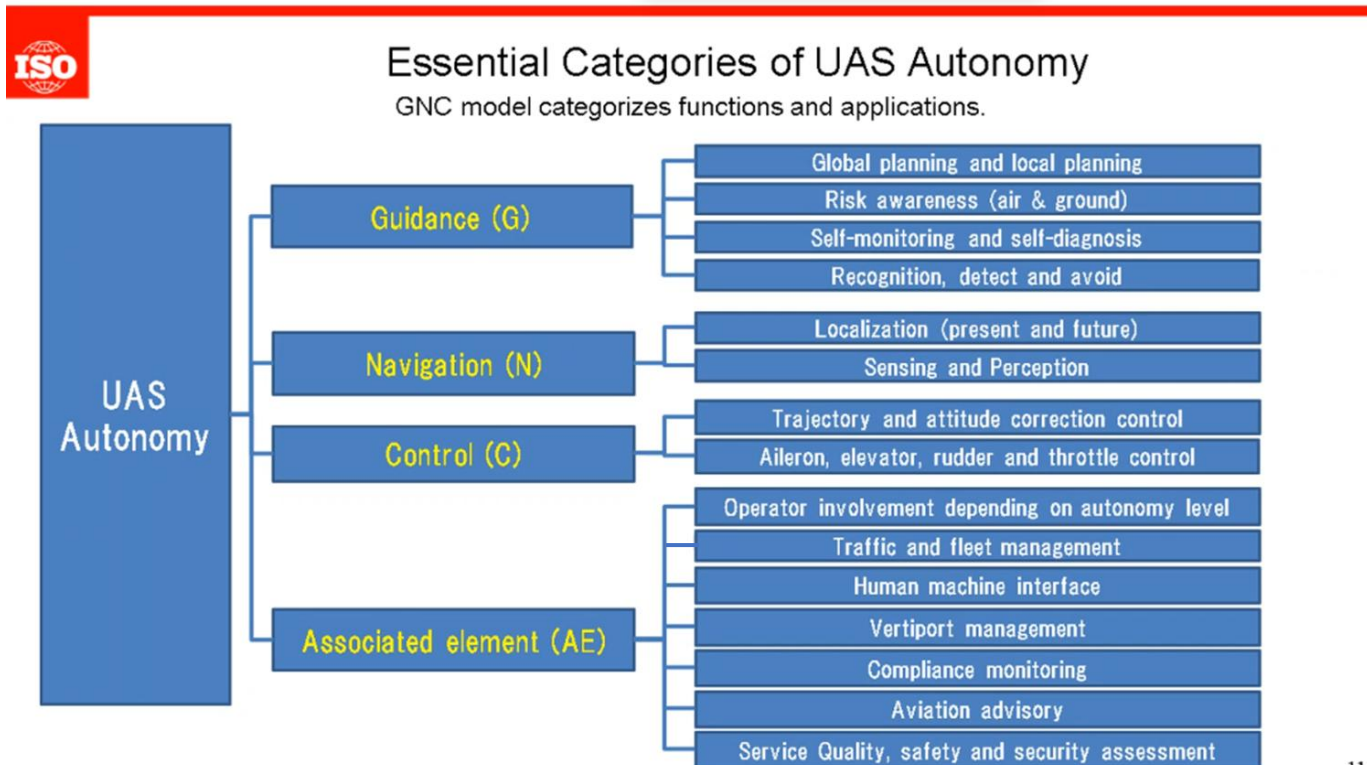
ISO/TC 20/SC 16 N 743

ISO/TC 20/SC 16 "Unmanned aircraft systems"
Secretariat: **ANSI**
Committee manager: **Carnahan Christopher Mr.**

17th Plenary Resolutions

Document type	Related content	Document date	Expected action
Resolution 290-308/2024	Meeting: Arlington (United States) 18 Jun 2024	2024-06-12	17th Plenary Resolutions

国際標準化活動:提案の概要



国際標準化活動: 提案した自律性レベル一覧

ISO UAS Automation Levels – Temporary understanding in this report

	Level 0	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	Level 5	
Operation	No Automation	Pilot Assistance	Partial Automation	Conditional Automation	High Automation	Full Automation	
Guidance	Global Planning and Local planning	Human pilot	Human pilot	Human pilot	Human pilot and AI (Level 1~2A) pilot	AI (Level 2B~3A) pilot or UTM	AI (Level 3B) pilot
	Risk Awareness (air & ground)	Human pilot	Human pilot	Human pilot	Human pilot and AI (Level 1~2A) pilot	AI (Level 2B~3A) pilot or UTM	AI (Level 3B) pilot
	Self-monitoring and Self-diagnosis	Human pilot	Human pilot	Human pilot	Human pilot and AI (Level 1~2A) pilot	AI (Level 2B~3A) pilot or Human pilot	AI (Level 3B) pilot
	Recognition, Detect and Avoid	Human pilot	Human pilot	Human pilot	Human pilot and AI (Level 1~2A) pilot	AI (Level 2B~3A) pilot or UTM	AI (Level 3B) pilot
Navigation	Present and Future Localization	Human pilot	Human pilot and Flight control system	Flight control system and Human pilot	Flight control system	Flight control system	Flight control system
	Trajectory and Attitude Correction Control	Human pilot	Human pilot and Flight control system	Flight control system and Human pilot	Flight control system	Flight control system	Flight control system
Control	AE Autonomy	N/A	N/A	Monitoring	Advisory and Alert	Conformance Automation	Full Automation

国際標準化活動: 提案内容の担当WG



Standardization items regarding UAS Autonomy

The following table lists the standardization items and their proposed potential and tentative assignment to WGs.

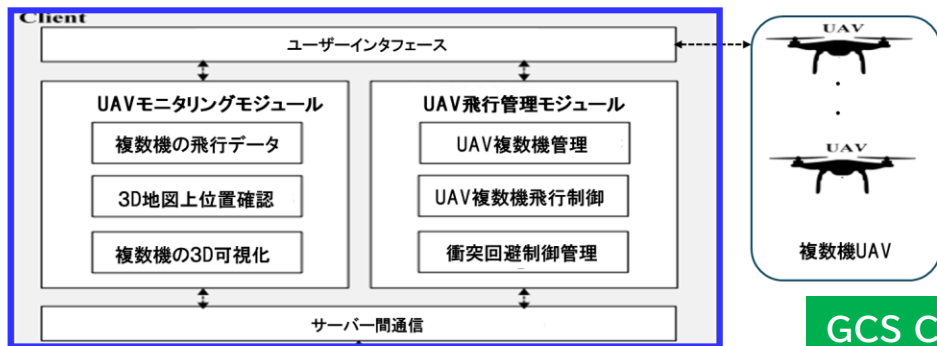
		Standardization Items	WGs
UAS Autonomy	Guidance	Global planning and local planning	WG4
		Risk awareness (air & ground)	WG4
		Self-monitoring and self-diagnosis	WG2, WG6
		Recognition, detect and avoid	WG2, WG6, WG4
	Navigation	Localization (present and future)	WG2, WG6
		Sensing and perception	WG2, WG6
	Control	Maneuver (6DoF) control with aileron, elevator, rudder and throttle	WG2, WG6
		Trajectory and attitude correction	WG2, WG6
	Associated Element (AE)	Operation involvement depending on automation level	WG1, WG3
		Traffic and fleet management	WG4
		Human Machine Interface	WG6, WG4
		Vertiport Management	New JWG (tbd), WG4
		Compliance monitoring	WG4
		Aviation advisory	WG2, WG4
	Quality, safety and security of services	JTC1 (tbd)	

Note: "testing" is applicable all items and could be allocated to WG5 or each WG develops relevant requirements. JTC1 SC42 AI could cover some of the items in the list.

今後の取り組み

エッジ・クラウド協調運航管理機能

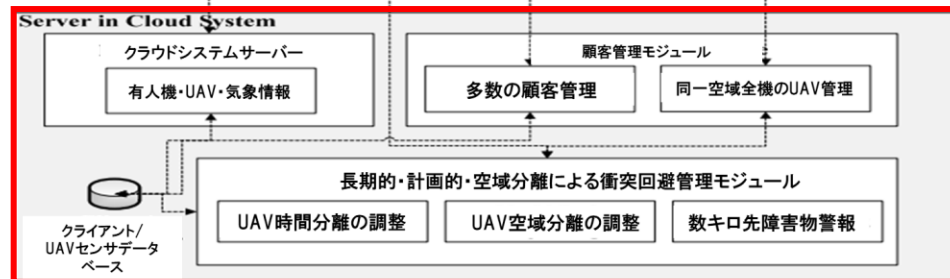
多様な知能レベルのドローン(=エッジ)に対応可能な運航管理システム(=クラウド)に関して、エッジとクラウドの協調による運航管理のための手法の提案と検証を行う。



Edge Computer (知能型Auto Pilot)

- ・突発的な衝突回避
- ・衝突回避飛行制御

GCS Computer(基地局)



Cloud Computer (UTM)

- ・計画時点での衝突回避、空域分離
- ・迂回経路の自動生成、新飛行経路設定

エッジ・クラウド協調飛行制御

クラウド側の運航管理システムと連携しつつ、AIを用いた経路探索・生成、ならびにその結果に基づいて飛行制御を行う機能を有するエッジ側システムの検証を行う。



