

ReAMoプロジェクト シンポジウム

実施者名：一般財団法人 先端ロボティクス財団

研究・調査開発項目 2

運航管理技術の開発

**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**

2025年5月16日

1.事業概要説明

1. 事業概要説明

1-(1). 研究開発の背景

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。



1. 事業概要説明

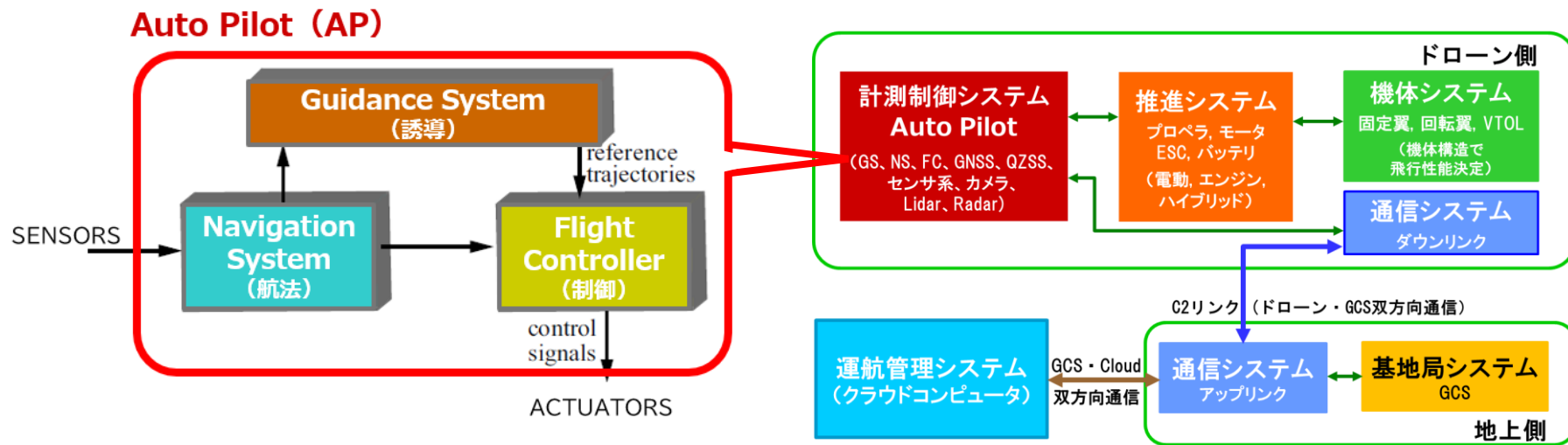
1-(2). 研究開発の目的

研究開発の目的

本研究開発は、ドローンのコア技術としての**オートパイロット**に着目したものである。

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。



Auto PilotのG, N, C機能

ドローンの5つの構成要素

1. 事業概要説明

1-(3). 研究開発の実施体制・実施計画



実施体制

一般財団法人先端ロボティクス財団

再委託：国立大学法人千葉大学、大学共同利用機関法人情報・システム研究機構国立情報学研究所（2022-24年度）

実施計画

	2022年度	2023年度	2024年度	2025年度	2026年度
(1)オートパイロット 国際標準化：ISO TC20/SC16 G,N,C7-キチカ提案・承認 ▲	冗長型AP ●	実証 ▲	知能型AP ●	冗長知能 統合型AP ●	拡張AP ●
(2)飛行関連基本AI機能	不時着地点探索 離隔距離制御など ●	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/協調 自律飛行制御 ●

1. 事業概要説明

本研究が目指す研究終了時の自律性レベル



1. 事業概要説明



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

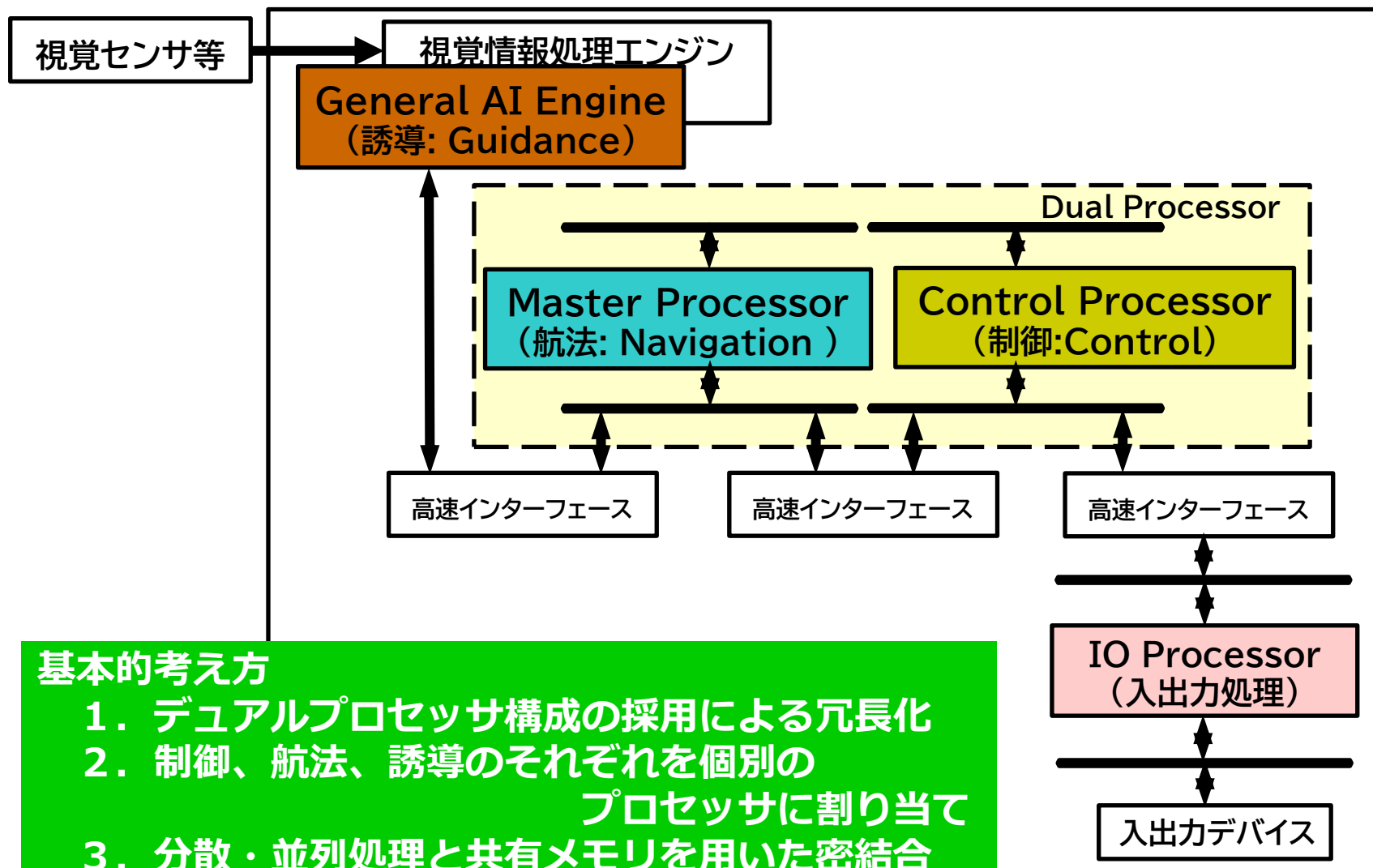
Stage-4

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

1. 事業概要説明

開発しているオートパイロットの概要



基本的考え方

1. デュアルプロセッサ構成の採用による冗長化
2. 制御、航法、誘導のそれぞれを個別のプロセッサに割り当て
3. 分散・並列処理と共有メモリを用いた密結合方式により通信オーバーヘッドを極小化

2.2024年度までの取組内容と成果

2. 2024年度までの取組内容と成果

1) 2022-23年度

事業内容	取組内容	2022~2023年度の成果
(1)冗長型オートパイロット 実施内容：冗長型APの設計・試作・試験・検証	密結合型 プロセッサ構成によるAPプロトタイプ版開発 (AP=オートパイロット)	GNC の各機能に対応した基板構成の モジュール型 ハード完、熱・ノイズ耐性確認完
(2)飛行中の異常診断機能 実施内容：方式検討・試作・検証 再委託：国立情報学研究所	正常飛行時データ特徴分析と想定異常時特徴データの強化学習	模擬異常データを用いた異常検出機能の動作確認
(3)異常時の不時着地点探索 実施内容：データ学習試験・検証 再委託：国立情報学研究所	実画像データを用いた強化学習、および実飛行による不時着地点探索・着陸検証	実飛行 による地上状態のセグメンテーションと不時着 実証 （人の認識・回避）
(4)天候急変への対応機能 実施内容：方式検討・試作・検証 再委託：国立情報学研究所	天候急変時データ特徴分析、天候正常時データ強化学習と模擬データでの機能試験	模擬天候データを用いた急変検知機能の動作確認
(5)複数機の離隔距離制御 実施内容：手法検討・試作・検証 再委託：千葉大学	制御方法策定、ソフト試作、シミュレーション及び実機による検証試験	離隔距離検出判断手法及び離隔距離制御に関する 実機 を用いた 検証
(6)冗長化ワフイルハ°ティブ制御 実施内容：手法検討・試作・検証 再委託：千葉大学	CPU間 フェイル検出手法 の策定および模擬異常による対応飛行制御ソフト検証	模擬異常データによる異常検出と、 タスク切替の実行 に関し机上試験により確認

2. 2024年度までの取組内容と成果

2) 2024年度

事業内容	取組内容	2024年度の成果
(7)知能型オートパイロット 実施内容：大脳型APの設計・試作・試験・検証	G,N,Cアーキテクチャ に基づくAPプロトタイプ版の開発 (AP=オートパイロット)	主要基板改良版の完成、 AI機能検証 用ハード試作、 知能化機能ソフト実装
(8)障害物認識/回避経路生成 実施内容：方式検討・試作・検証 再委託：国立情報学研究所	画像 を用いたAI深層学習による障害物認識手法の策定、 衝突回避経路生成手法検討	2カメラ 深度推定モデル 確立、 障害物移動経路予測 による衝突回避手法の検証
(9)衝突回避飛行制御 実施内容：方式検討・試作・検証 再委託：千葉大学	距離制御手法の一般化及び 実時間回避飛行制御手法の策定	衝突回避飛行制御手法定式化と、 飛行制御実験 による手法の検証
(10)国際標準化活動 実施内容：ISOにおけるドローンのAI化関連標準化提案	ISO TC20/SC16/AG6において UAS Autonomy Powered by AIに関する提案の実施	G,N,Cアーキテクチャ に関する日本提案の正式承認

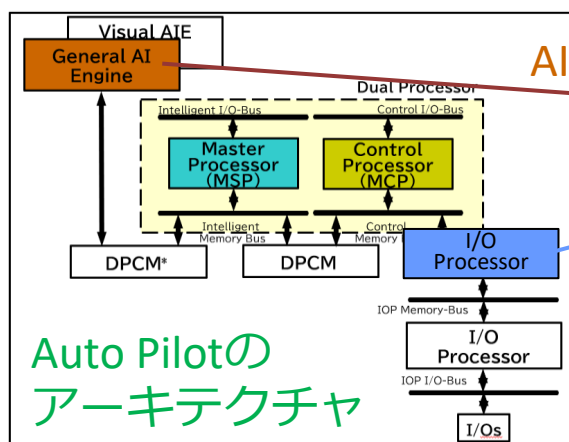
2. 2024年度までの取組内容と成果

2-(1). 知能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離するとともに、プロセッサ間を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。

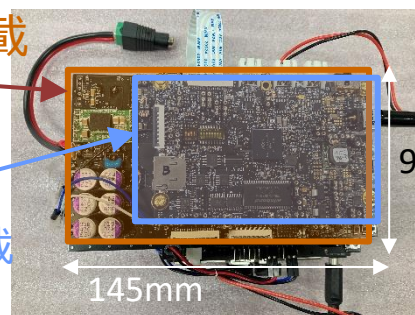
2024年度は、人間の**大脳**に対応するGuidance機能を備えた知能型オートパイロットの開発として、

- 1) 小型AIエンジン基板試作
 - 2) 主要基板の量産化対応設計
 - 3) 本アーキテクチャのコア部である共有メモリ部のオリジナルIC化に向けた試作
 - 4) 知能化に関する機能のソフトウェア実装と検証
- を行い、**大脳型オートパイロット**の基本版を完成した。

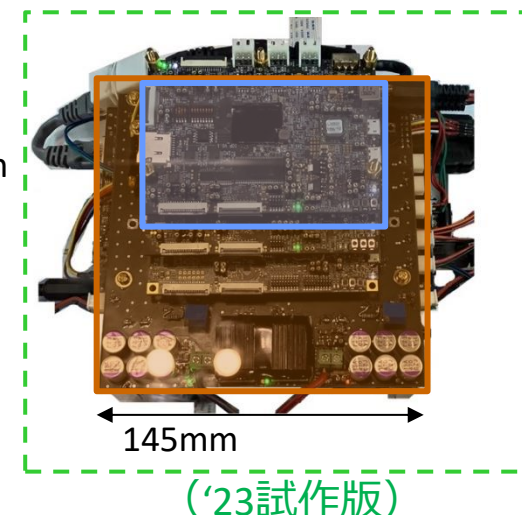


AI処理を搭載

AI処理に
対応した
制御を搭載



知能型Auto Pilotの
小型AIエンジン部および
ドローン専用IOP（'24版）

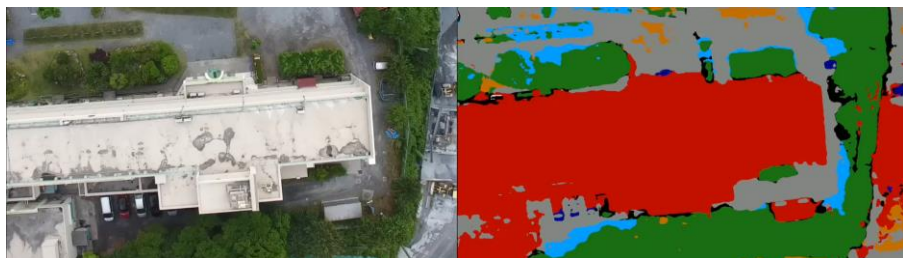


* DPCM: Dual Port Common Memory

2. 2024年度までの取組内容と成果

知能型オートパイロットに搭載した画像処理機能

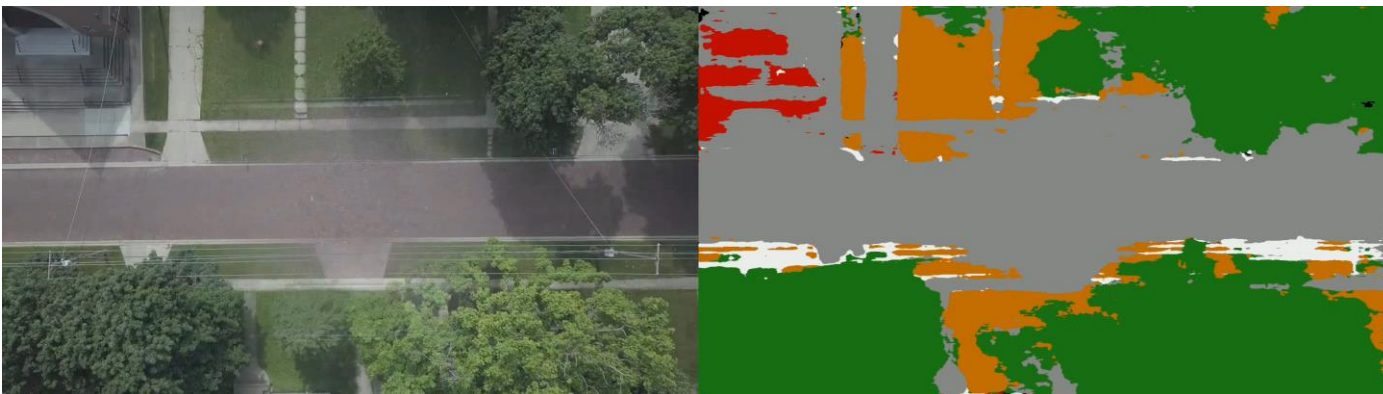
2023年度に開発した**セマンティックセグメンテーションアルゴリズム**を試作Auto Pilotに実装・搭載した。移植にあたり、データ圧縮、チャネル配列化、データ形式変換(FP16)、テンソルコアの活用などを行い、**18f/s**の高速処理性能を実現した。



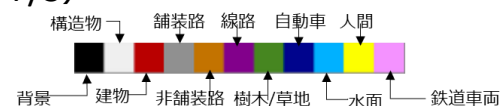
国立情報学研究所
オリジナルモデル
(NVIDIA使用、1 F/S)



開発したAIエンジン
(GAIE) 移植モデル
(2K_並列CH_A、18 F/S)



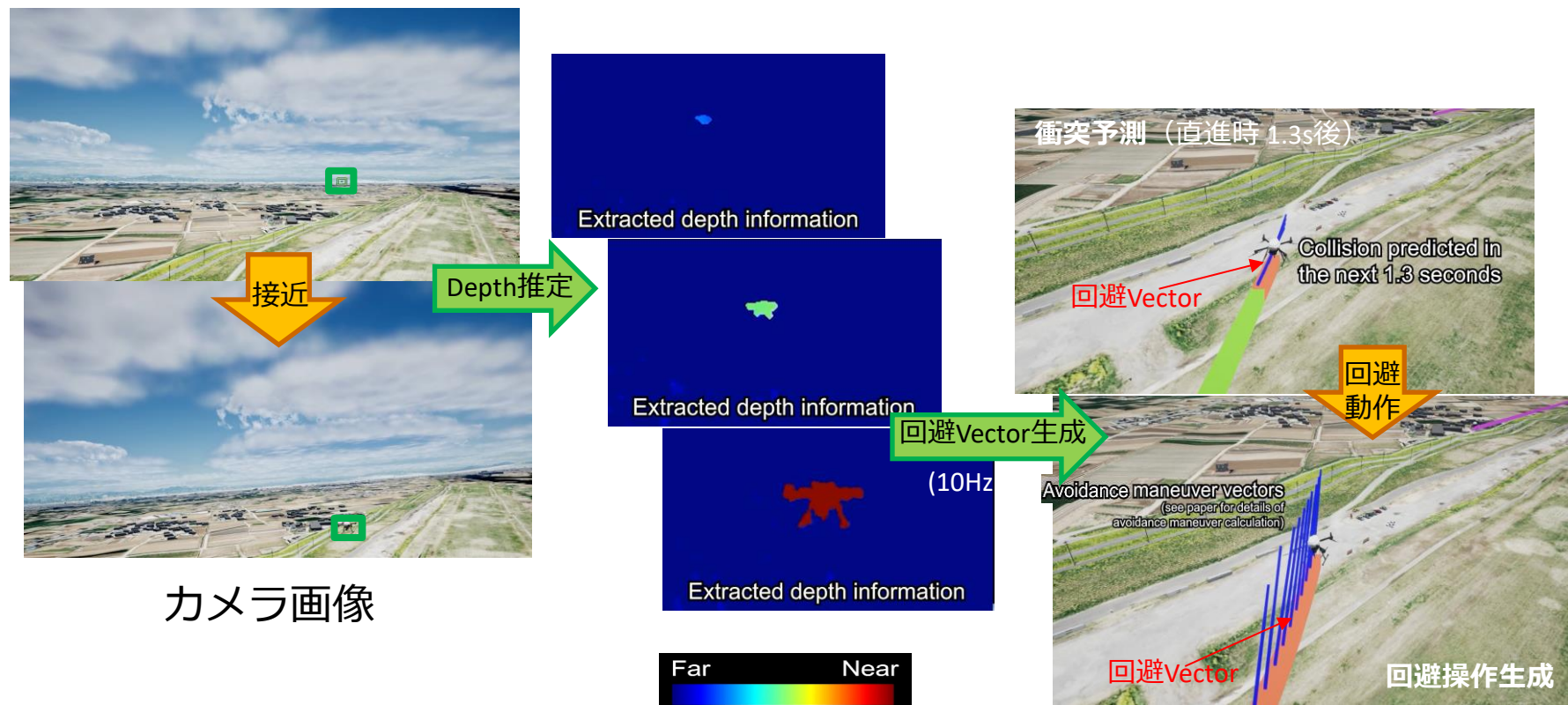
GAIE移植CNNモデル 未知環境 (18 F/S)



2. 2024年度までの取組内容と成果

2-(2). 障害物認識と回避経路生成

2つのカメラ画像から**深度**（障害物までの距離に相当）を**学習**する**モデル**を構築し、この結果に基づいて、**回避経路**を**生成**する**アルゴリズム**を構築した。
シミュレーションによりこれらの検証を実施するとともに、実機への組み込みを行い、飛行試験による機能の確認を実施した。



これにより、障害物を検知・認識し、衝突を回避して飛行する**自律型知能ドローン**を実現した。



2. 2024年度までの取組内容と成果

2-(4). 国際標準化活動

ISOTC20/SC16/AG6 第17回Plenary総会（2024年6月ワシントンDCにて開催）において、Guidance, Navigation, Control (G,N,C)に関する基本的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

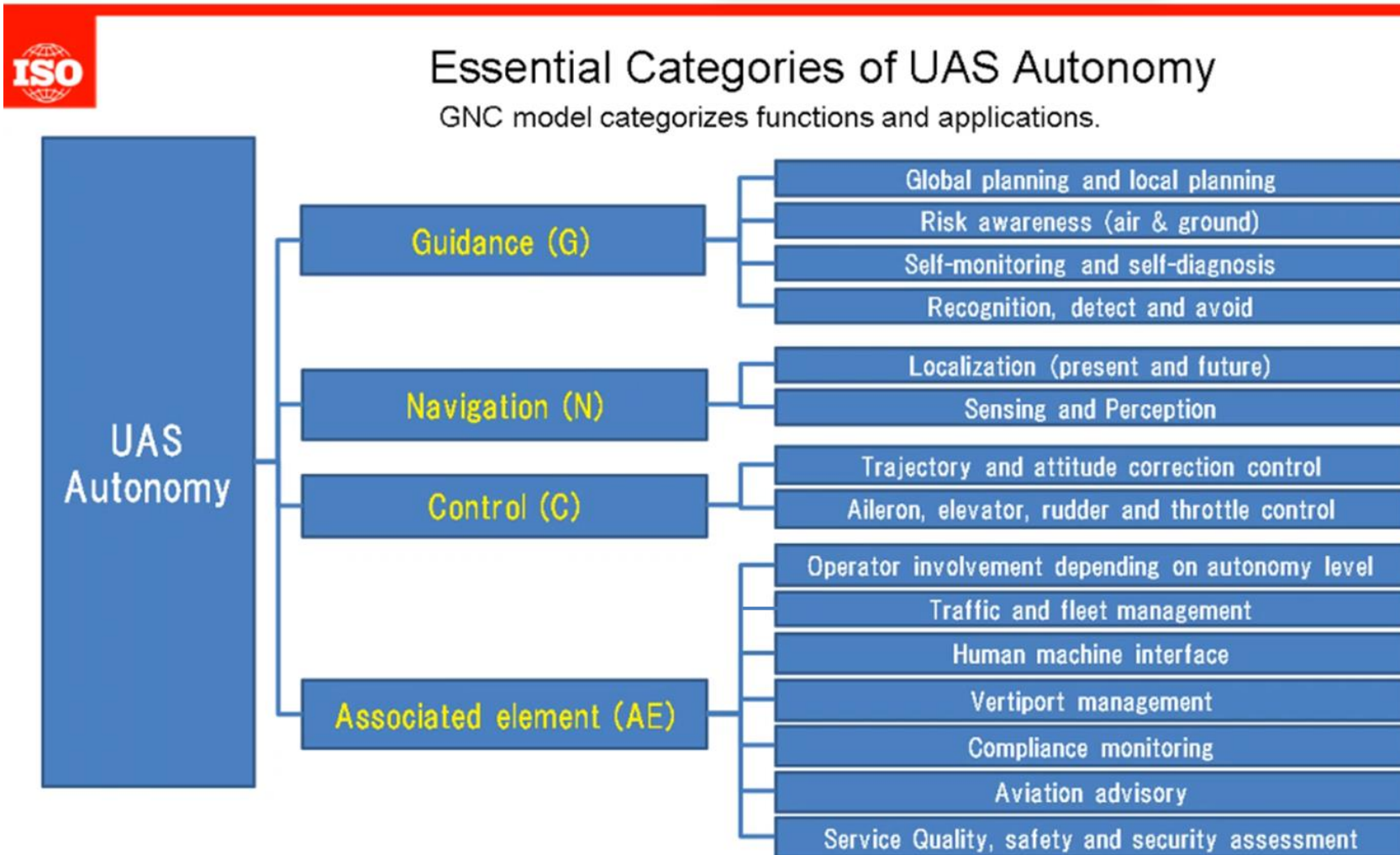
ISO/TC 20/SC 16 "Unmanned aircraft systems"
Secretariat: **ANSI**
Committee manager: **Carnahan Christopher Mr.**

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

2. 2024年度までの取組内容と成果 国際標準化活動における提案の概要



2. 2024年度までの取組内容と成果

(参考) 国際標準化活動で提案した自律性レベル一覧



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
Control	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
	AE Autonomy	N/A	N/A	Monitoring	Advisory and Alert	Conformance Automation	Full Automation

2. 2024年度までの取組内容と成果 (参考) 国際標準化活動における提案内容の担当WG



Standardization items regarding UAS Autonomy

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

UAS Autonomy	Standardization Items		WGs
	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.

3.今年度(2025年度)以降の取組内容

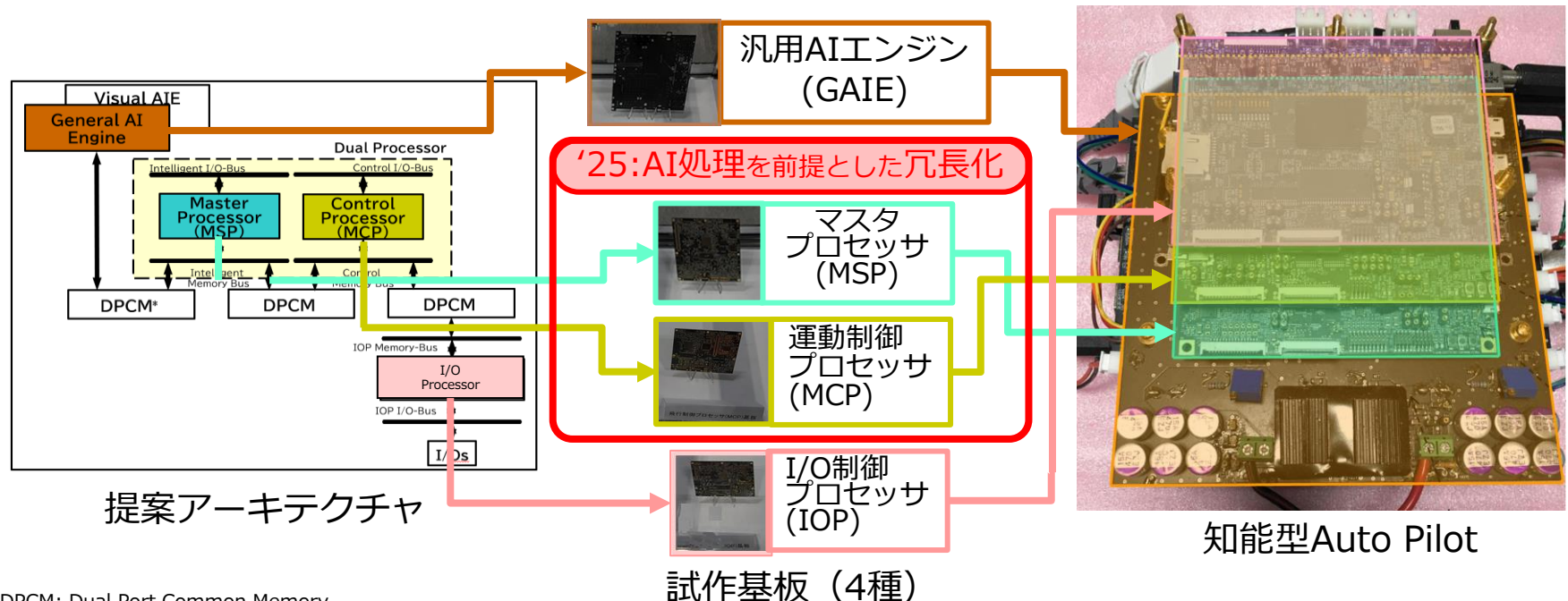
3. 今年度(2025年度)以降の取組内容

3-(1). 冗長知能統合型オートパイロット

2024年度に開発した知能型Auto Pilotをベースに、**冗長性**と**知能**とを兼ね備えた**統合型**Auto Pilotを開発する。

ハードウェアに関しては、本アーキテクチャのコア技術である「**共有メモリ型密結合** (DPCM: Dual Port Common MemoryによりProcessorを結合する方式)」について、共有メモリ制御回路の専用チップ化を行い、高信頼・低コスト化を図る。

ソフトウェアに関しては、**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、高信頼性を備えた冗長知能統合型Auto Pilotを実現する。

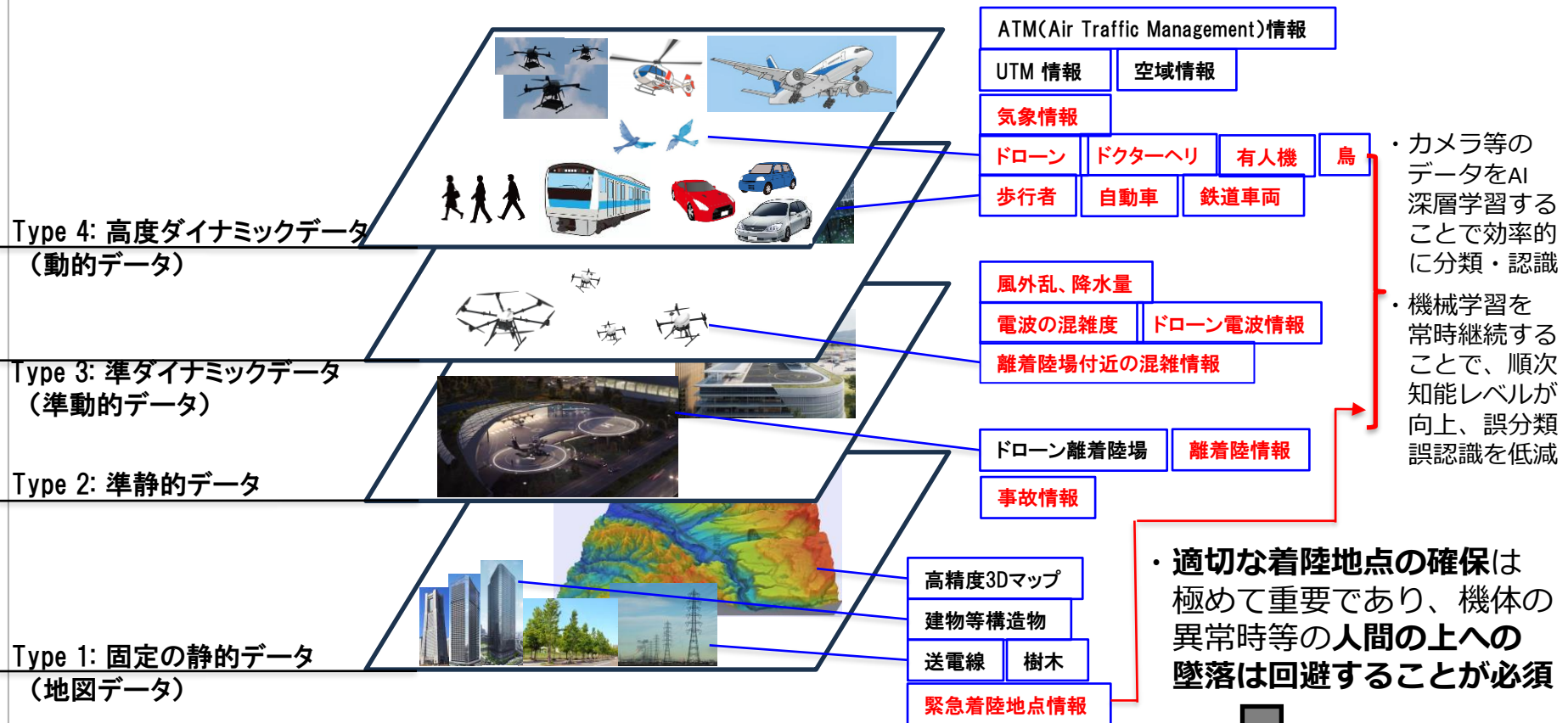


* DPCM: Dual Port Common Memory

3. 今年度(2025年度)以降の取組内容

3-(2). ダイナミックマップ対応ルート探索・生成および飛行制御

時々刻々 **変化する状況に対応**し、人や走行する車両の直上などを極力避けて最適飛行ルートの探索と生成を行う機能、ならびに**最適飛行ルート**の変化にも柔軟に対応可能な飛行制御手法の開発を行う。



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

3. 今年度(2025年度)以降の取組内容

ダイナミックマップ対応：深層学習による多数の人の同時検知と認識

時々刻々**変化する状況に対応**し、人や走行する車両の直上などを極力避けて最適飛行ルート探索と生成を行う機能、ならびに**最適飛行ルート**の変化にも柔軟に対応可能な飛行制御手法の開発を行う。



- Trained on resized images (512x512) for 20K iterations
- Single Shot MultiBox Detector (SSD) 72.3% mean Average Precision (mAP)

3. 今年度(2025年度)以降の取組内容

3-(3). エッジ・クラウド協調運航管理機能

従来型ドローンや大脳を備えたドローンなど、**多様な知能レベルのドローン（＝エッジ）**が混在する場合の運航管理システム（＝クラウド）について、知能レベルの相違に対する対応可能性を検討するためのマイクロ版運航管理システムを試作する。エッジとクラウドの協調・連携に関するシミュレーションを通して、課題の明確化と解決方法を検討する。



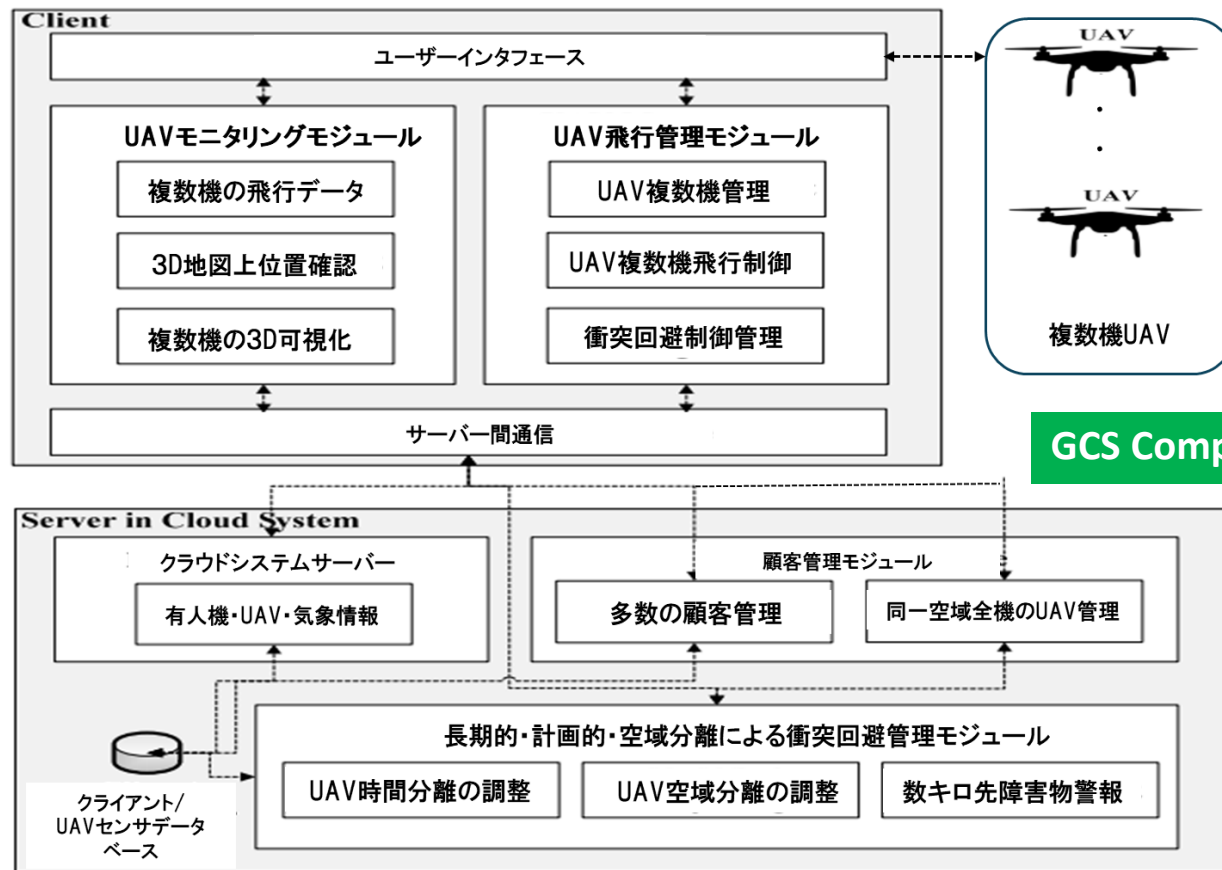
UTMのUI画面イメージ

<https://arf-drone-monitor.web.app>

3. 今年度(2025年度)以降の取組内容

3-(3). 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**）に関する検討を目的として、2025年度は課題の抽出と対応のための要素機能開発を行う。2026年度は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、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
- ・元の経路への復帰制御

GCS Computer (基地局)

Cloud Computer (UTM)

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

