

# 千葉市ドローン産業セミナー

2024年6月6日

## 産業用ドローンへのAI 実装動向と展望

—大脳型ドローンへの転換により空の産業革命は次のステージへ—

千葉大学名誉教授・F-REIロボット分野長  
(一社) 日本ドローンコンソーシアム会長  
(株) AutonomyHD 代表取締役CEO

野波 健蔵

# 産業用ドローンへのAI実装動向の俯瞰

## ◆ドローンの製造過程

- ・AIを用いた、量産型部品加工の品質チェックと品質管理、組立工程の品質管理や最終製品の品質検査

## ◆ドローンの自律飛行

- ・ドローンの自律飛行における知能化を実現するガイダンス機能（大脳型APで人間に代わるAI技術の全面的利活用、後述）

## ◆UTM (UAS Traffic Management System, 無人航空機運航管理システム)

- ・飛行許可を含む空域管理、衝突回避、離発着場管理、空域の気象管理、空域の混雑度管理、事故対応等

## ◆産業応用（AI実装は無限の可能性を秘めている）

- ・農業における精密農業での電子データによる生育場管理、圃場管理、収穫時期最適化
- ・インフラ点検における収集した膨大なデータのAI技術による迅速なデータ整理と異常箇所抽出処理  
外壁点検での事例紹介(後述)、橋梁、トンネル、送電線、下水道、風力発電、プラント、屋根等
- ・測量におけるレーザーを用いた公共測量、SfM(Structure from Motion)やBIM(Building Information Modeling)等のソフトウェア、オルソ画像を用いた経年変化の定量的差分解析など
- ・災害対応での道路寸断時の緊急車両ルート作成、ハザードマップ作成、ドローン等の最適化運用管理、日本全体の電子データ管理による災害発生予測と予防の可能性
- ・警備におけるドローン最適ルート策定や、不審車両、不審者の特定と追跡
- ・物流における物資搬送の最適運航化と飛行ルートの最適化、コスト最適化管理

# ドローンに関する国際標準化機関

ICAOが規定する国際標準・勧告と整合させながら各国航空局が法規制を策定する一方、FAAやEASAが標準化機関の規格を引用しながら法規制・MoCの策定を先行させている。  
ICAOにAAM Study Groupが設置され、ISO/TC20/SC16ではAAMがスコープに加わった。

ICAO: International Civil Aviation Organization: 国際民間航空機関



# EASA AI ロードマップ 2.0 2023年5月確定

AIのレベルを人の補助をするレベル1、人とチームを組むレベル2、自動的に意思決定・アクションするレベル3と設定している。

出所：“ARTIFICIAL INTELLIGENCE ROADMAP 2.0” EASA 2023年5月

## レベル1：人の補助

- レベル1A：人間拡張
  - 情報収集や分析の補助
- レベル1B：人間の支援
  - 意思決定と行動選択における人間の認知支援

## レベル2：人とAIのチーム

- レベル2A：人間とAIシステムの役割分担(事前設定)
  - 監視および上書き可能な自動意思決定
  - 監視および上書き可能なアクションの実施
- レベル2B：人間とAIシステムの協働(リアルタイム)
  - 監視および上書き可能な自動意思決定
  - 監視および上書き可能なアクションの実施

## レベル3：発展した自動化

- レベル3A：AIシステムによる上書き可能な意思決定・アクションの実施
  - スーパーバイザーとしての関与
- レベル3B：AIシステムによる上書き不可能な意思決定・アクションの実施
  - スーパーバイザーとしても関与なし



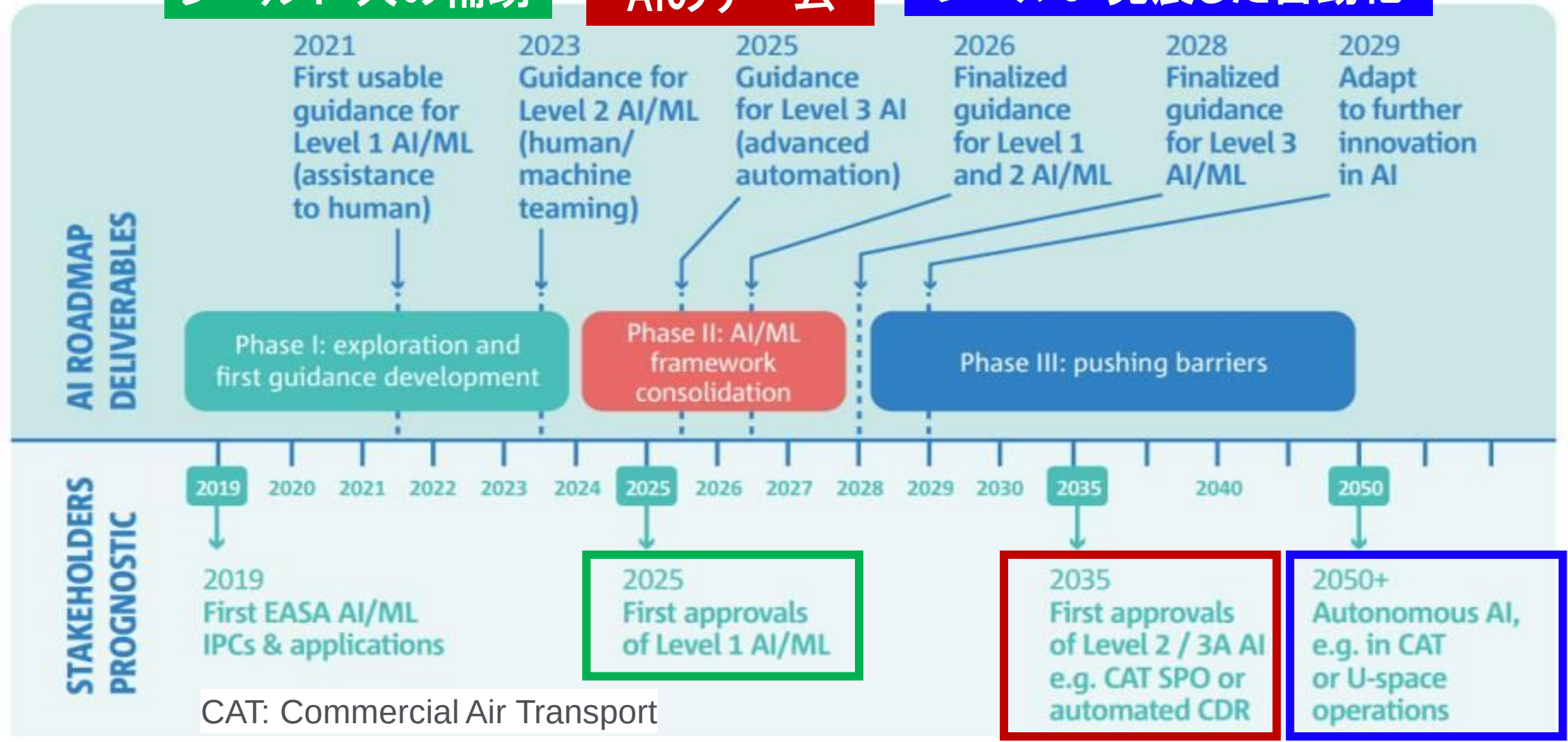
# EASA AI ロードマップ 2.0

AIのレベル毎にガイダンスを発表しつつ、2025年にはレベル1、2035年にはレベル2, 3AのAIを承認する計画となっている。

レベル1: 人の補助

レベル2: 人と  
AIのチーム

レベル3: 発展した自動化



# グライダーとカモメの相似な飛行と驚異的な相違点



## 1. 物理法則に逆らえない鳥とドローンの飛行原理

揚力はもちろん、鳥もドローンも飛行のための筋肉や駆動系は全重量の3割、降下速度も類似

## 2. 生物バイオエネルギー効率のリチウムイオンバッテリーの2倍の効率

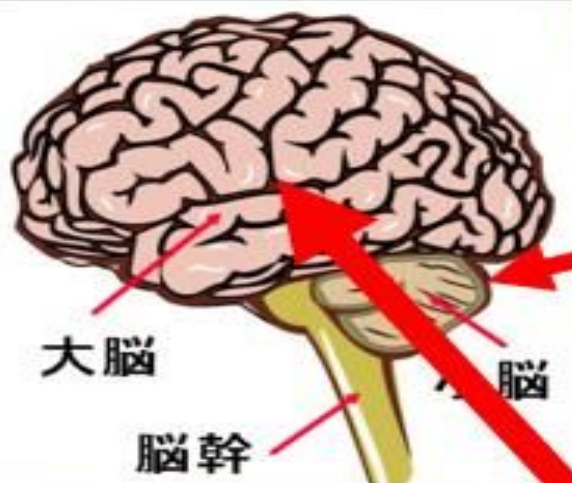
ハチドリ1時間のホバリングで、300Jのエネルギー、花蜜1gで1.8kJ, リチウムイオン0.3kWh/kg=1080J

## 3. 生物進化で獲得した環境認識能力と判断力の決定的相違点



# 知能型(大脳型)ドローンと生物型飛行の未来

## 自律制御



### 運動

把持・飛翔

これまでの飛行は  
小脳での飛行



これからの飛行は  
小脳・大脳での飛行



### 知能

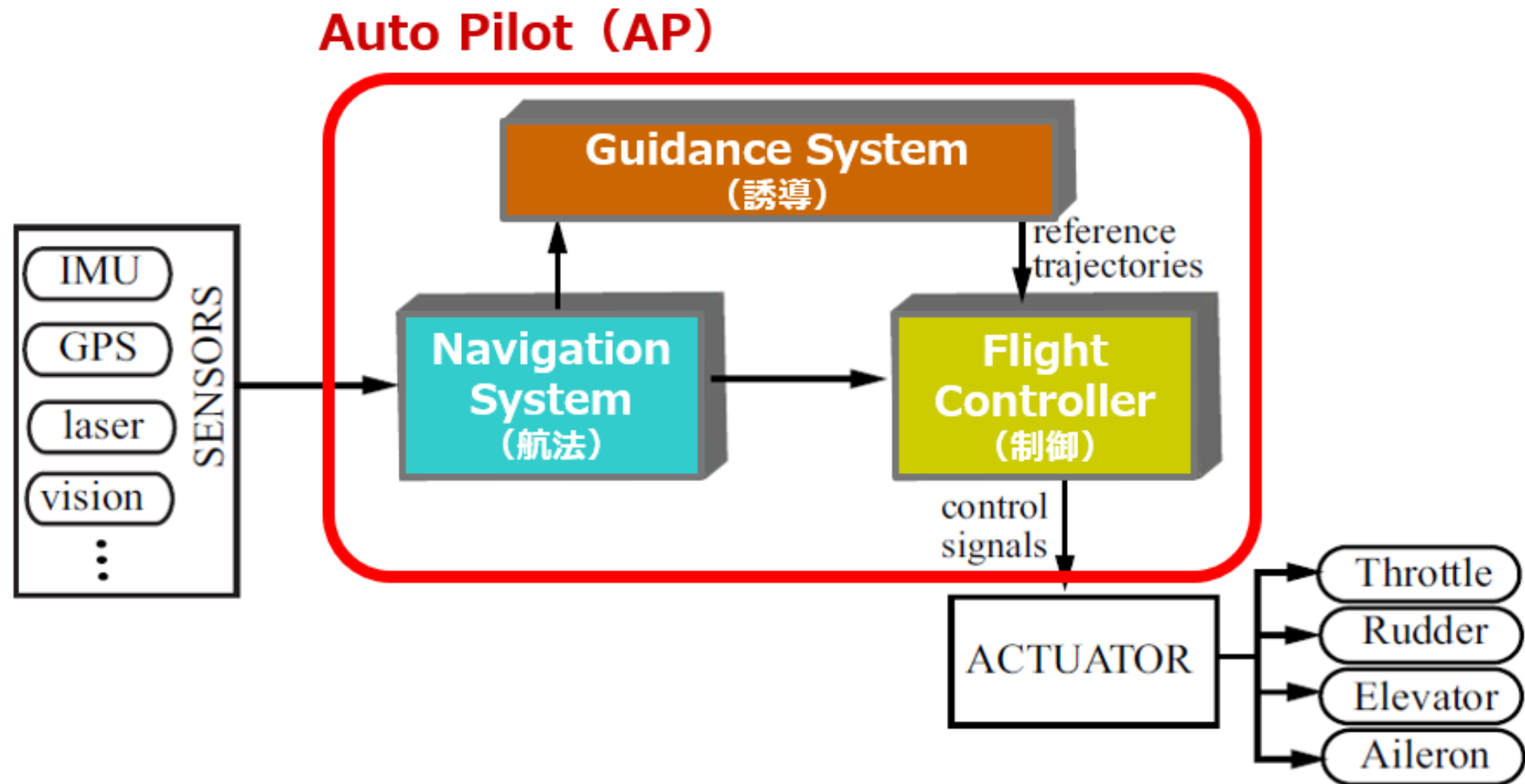
判断・制御

### 認識

視覚・触覚

## AUTONOMOUS CONTROL

# 経済安全保障の観点からの国産(大脳型)オートパイロットの必要性



**現状技術：Auto Pilot=Navigation System＋Flight Controllerで、  
Guidance Systemが実装されていない**



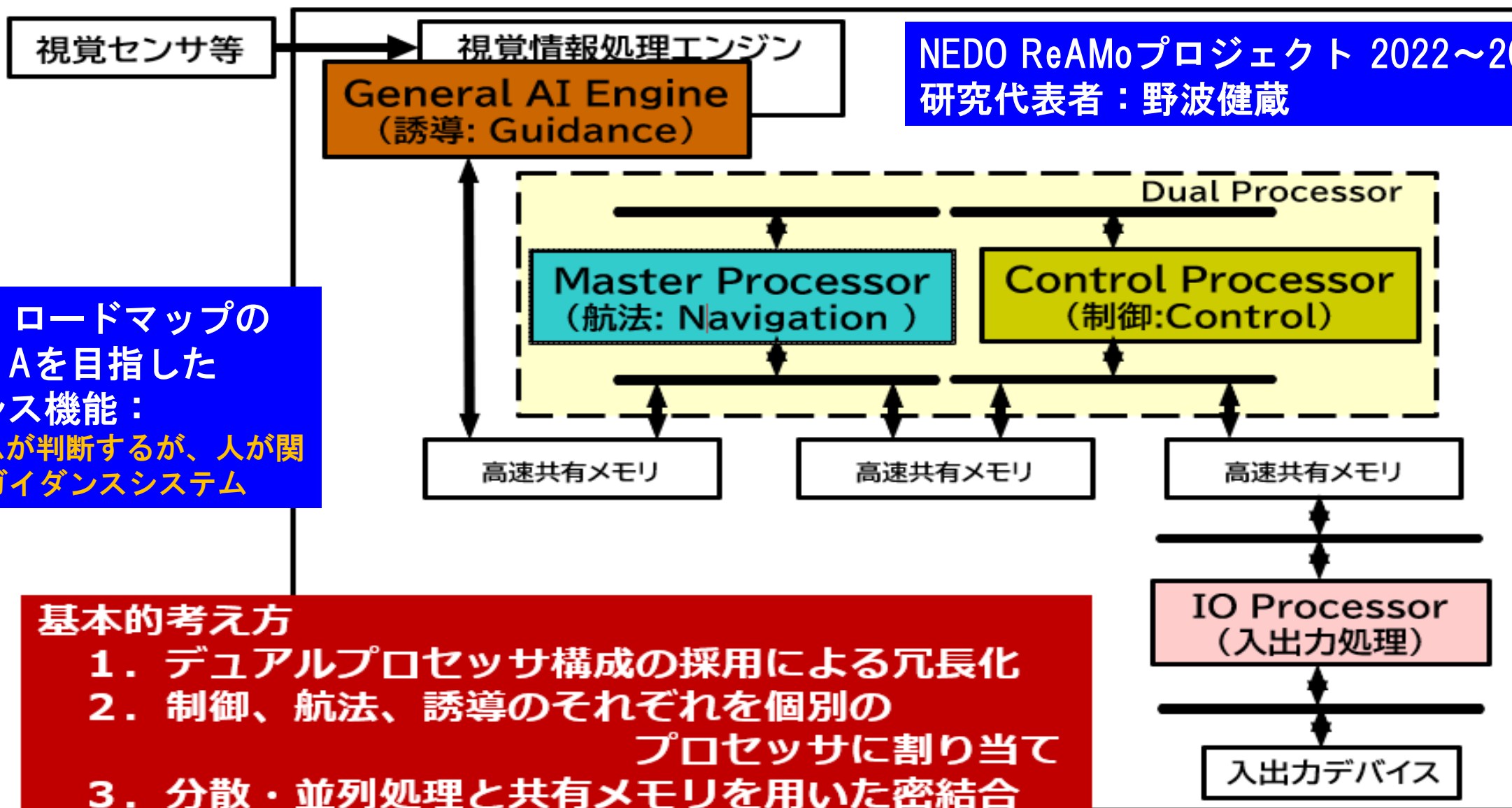
# 開発中の次世代オートパイロットのアーキテクチャー

NEDO ReAMoプロジェクト 2022～2026  
研究代表者：野波健蔵

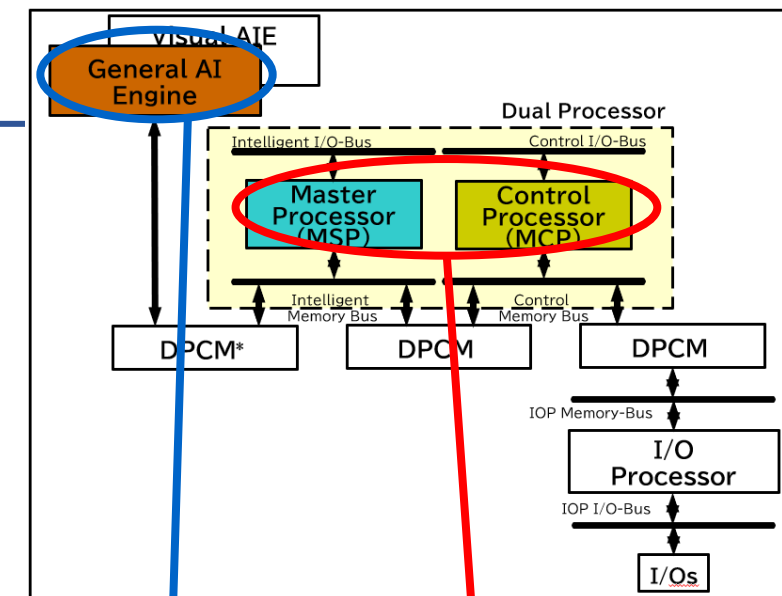
EASA AI ロードマップの  
レベル3Aを目指した  
ガイダンス機能：  
AIシステムが判断するが、人が関  
与可能なガイダンスシステム

## 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

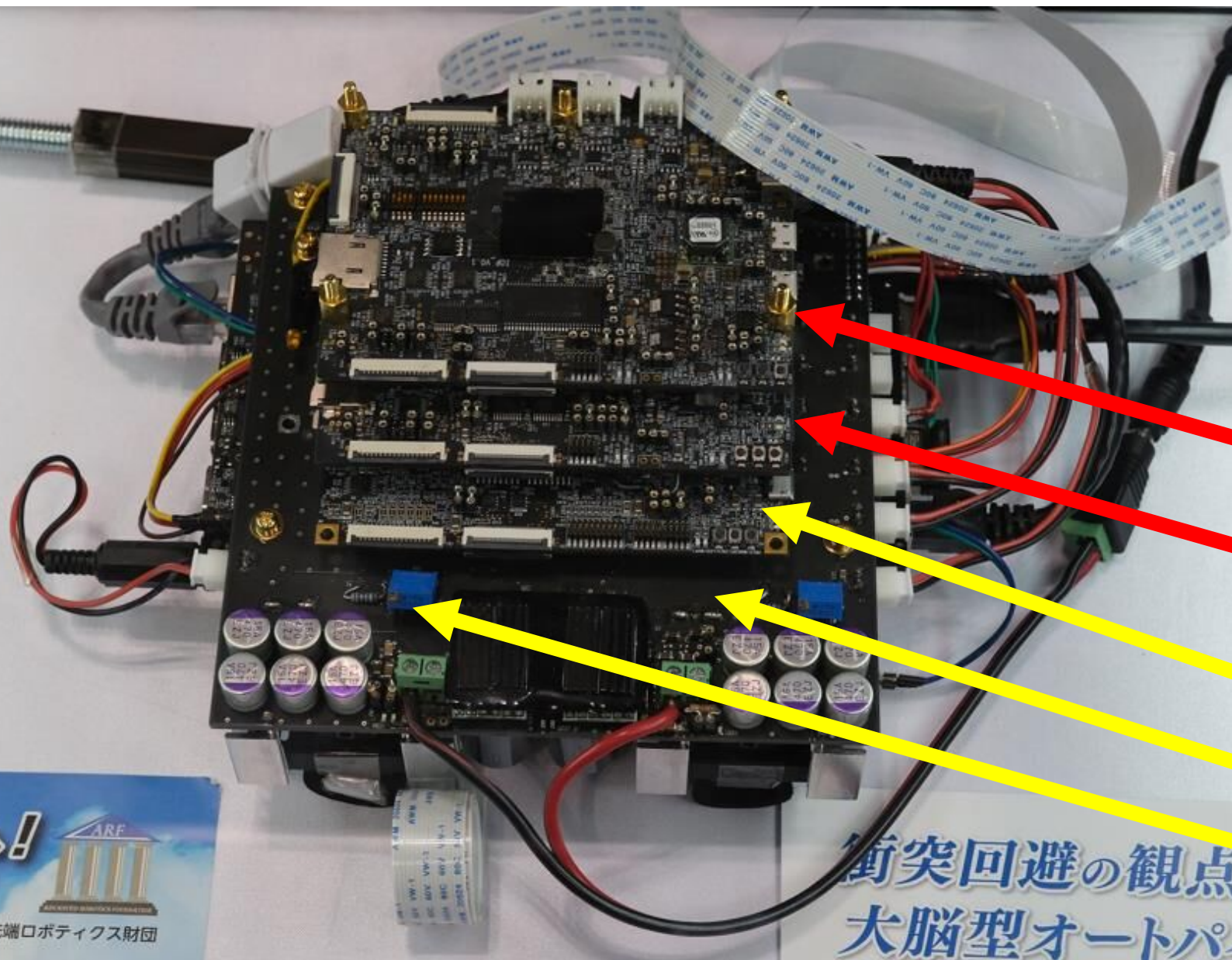


# NEDO ReAMo（次世代空モビリティの社会実装に向けた 実現プロジェクト）に採択：（小脳部と大脳部の俯瞰）



マスタプロセッサ  
(MSP)  
**自律神経  
小脳**

汎用AIエンジン  
(GAIE)  
**前頭葉  
大脳（右脳・左脳）**



# 様々なロボット（飛行ロボット、地上・水中ロボットの頭脳

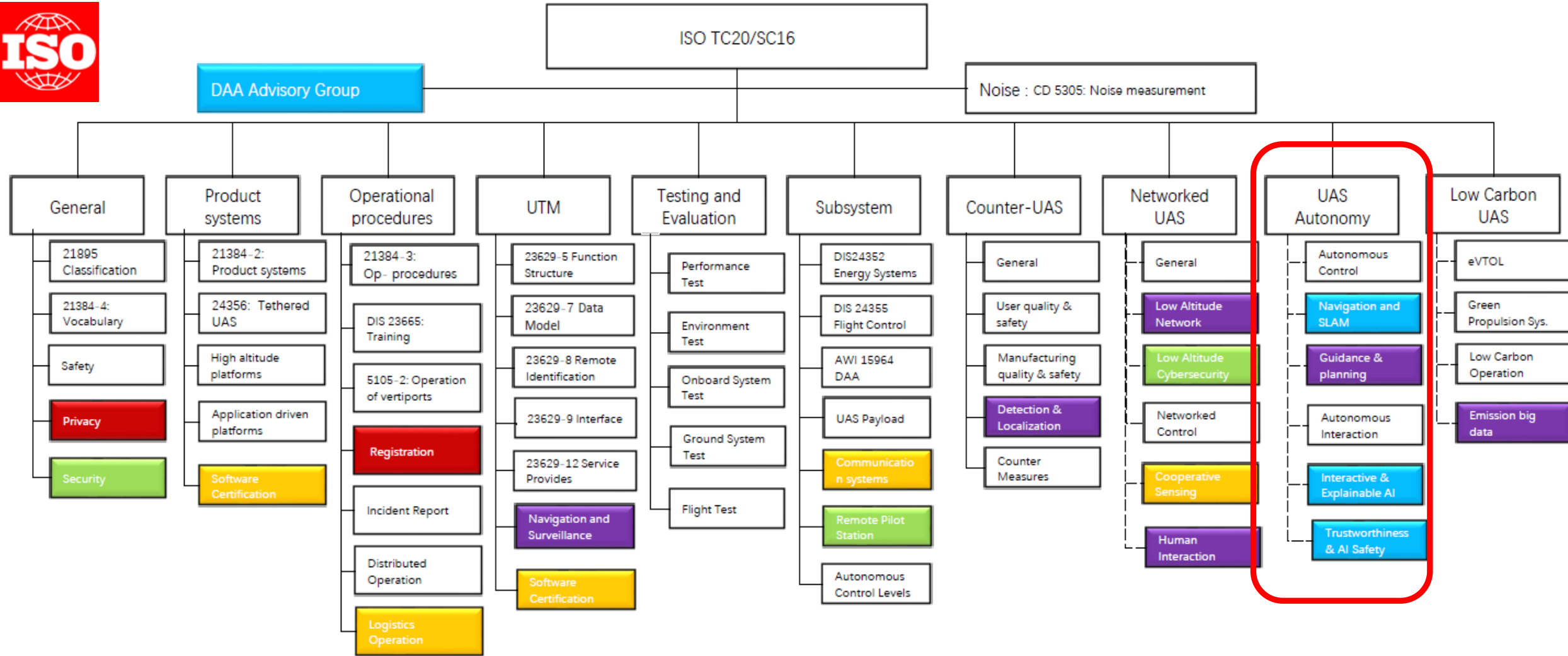


EASA AI ロードマップのレベル3 Aを目指したガイダンス機能：  
AIシステムが判断するが、人が関与可能なガイダンスシステムで、地上ロボット等でも活用可能



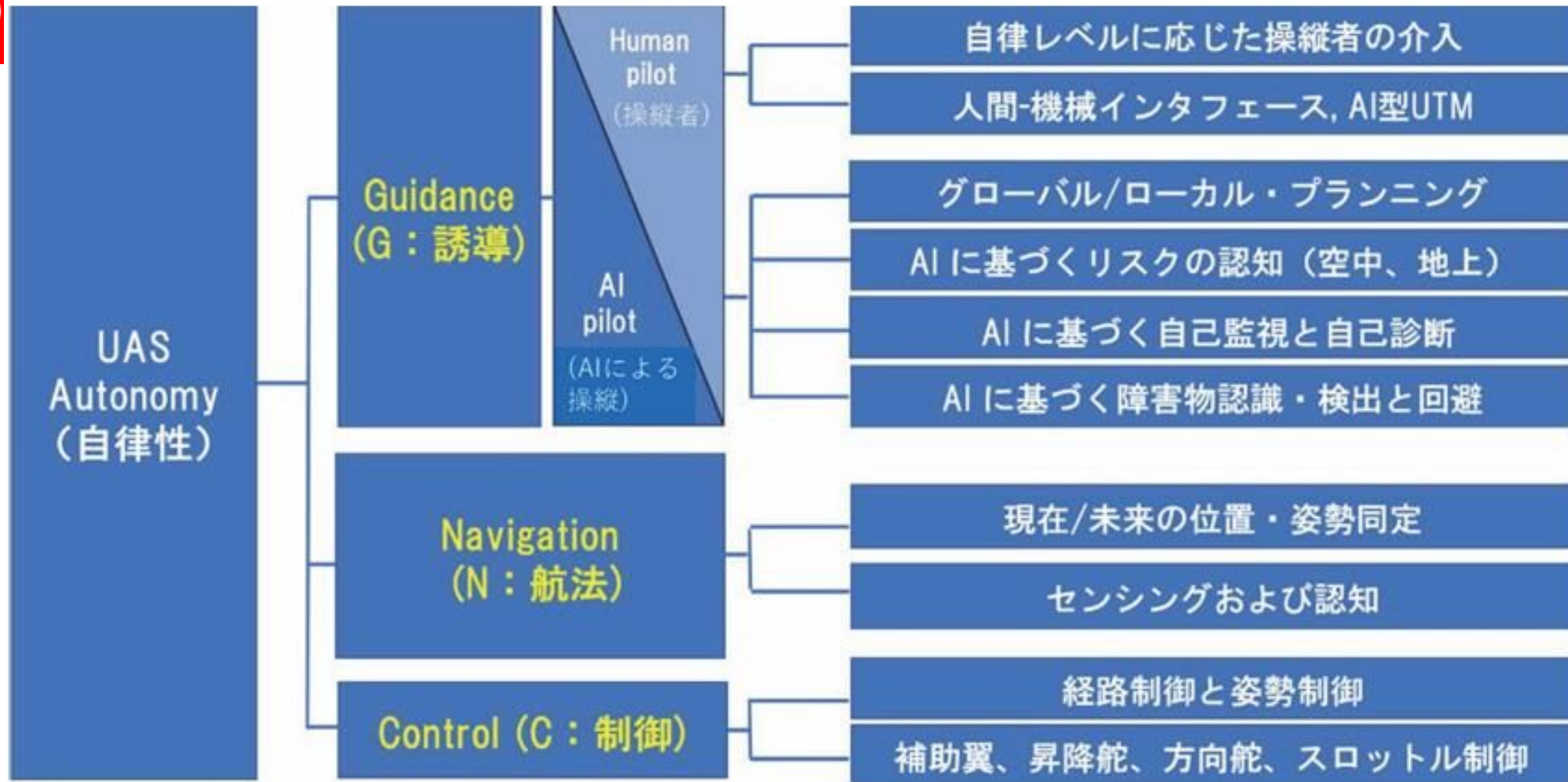
# 大脳型APの国際標準化へ向けて(UAS Autonomy議長:野波)

## 2023年6月20日～22日のISO TC20/SC16/AG6 第15回Plenary総会(韓国ソウル)で決定





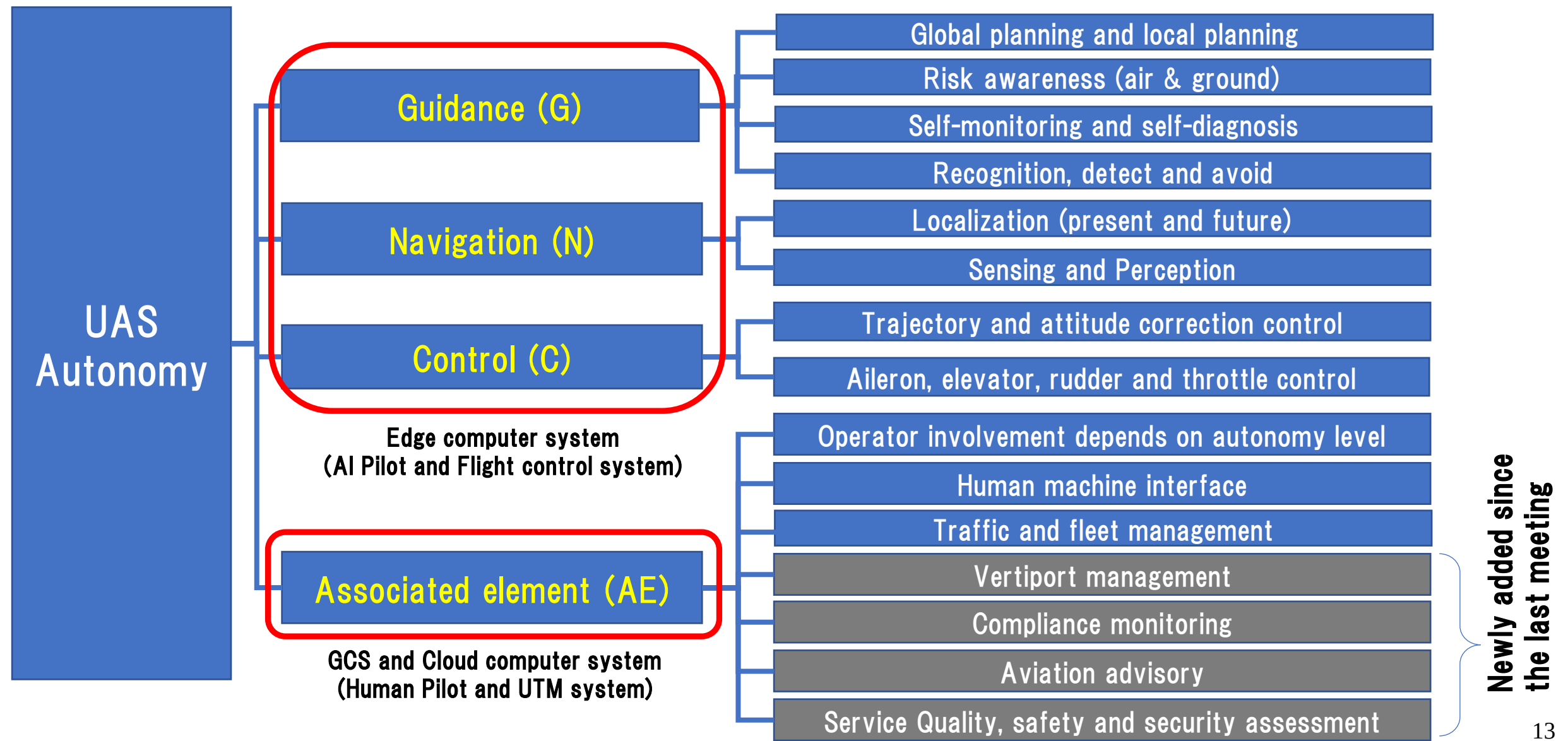
# 知能型(大脳型)ドローンとGuidance, Navigation and Control (GNC)





# Essential Categories of UAS Autonomy (6月18日～20日のワシントンDC総会で承認)

GNC model categorizes functions and applications.



# UAS Autonomy Levels — Temporary understanding in this report



Guidance

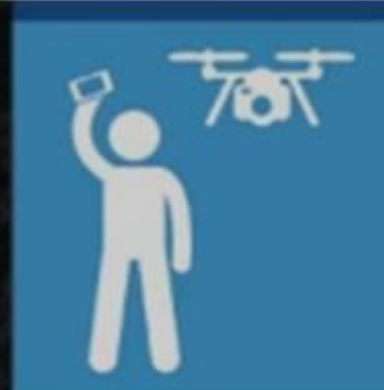
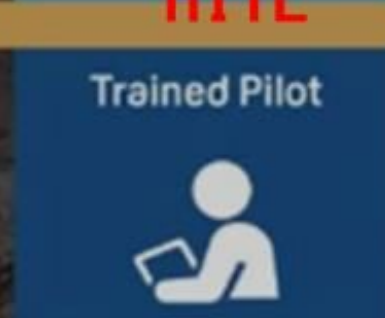
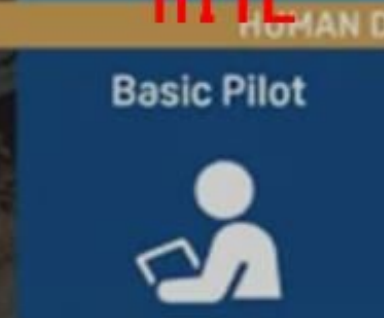
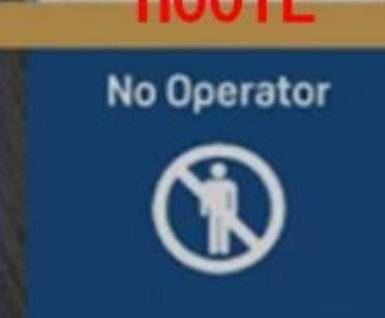
Navigation

Control

|                                            | 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 |
| Global Planning and Local planning         | 人             | 人                | 人                  | 人とAI<br>(レベル1～2A)      | AI(レベル2B～3A) とUTM、<br>最悪時に人 | AI(レベル3B)       |
| Risk Awareness(air & ground)               | 人             | 人                | 人                  | 人とAI<br>(レベル1～2A)      | AI(レベル2B～3A) とUTM、<br>最悪時に人 | AI(レベル3B) とUTM  |
| Self-monitoring and Self-diagnosis         | 人             | 人                | 人                  | 人とAI<br>(レベル1～2A)      | AI(レベル2B～3A) と人             | AI(レベル3B)       |
| Recognition, Detect and Avoid              | 人             | 人                | 人                  | 人とAI<br>(レベル1～2A)      | AI(レベル2B～3A) とUTM           | AI(レベル3B) とUTM  |
| Present and Future Localization            | 人             | 人と<br>フライトコントローラ | フライトコントローラ<br>と人   | フライト<br>コントローラ         | フライト<br>コントローラ              | フライト<br>コントローラ  |
| Trajectory and Attitude Correction Control | 人             | 人と<br>フライトコントローラ | フライトコントローラ<br>と人   | フライト<br>コントローラ         | フライト<br>コントローラ              | フライト<br>コントローラ  |
| AE Autonomy                                | N/A           | N/A              | Monitoring         | Advisory and Alert     | Conformance Automation      | Full Automation |



# 自律性の進化と知能型(大脳型)ドローンの未来

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

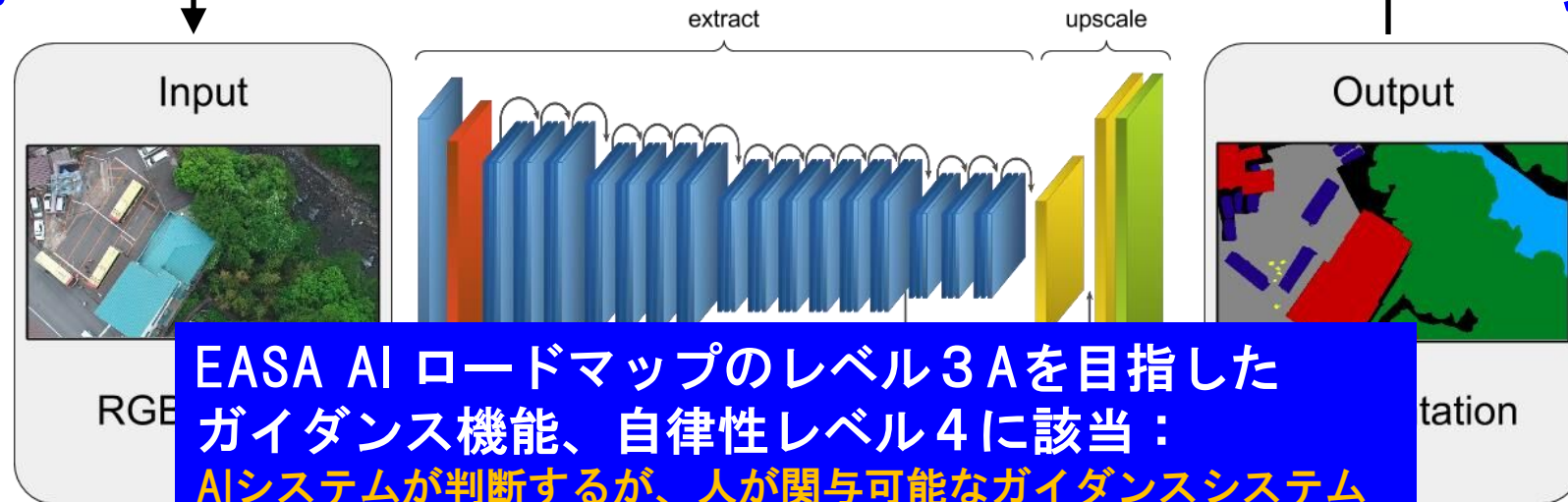
# 中間層50層のCNNによる機械学習結果を用いた不時着地点の分類

- セマンティック・セグメンテーション
- ビデオストリームピクセルベースのラベリング

ビデオ入力



FCN ResNet-50 with skip connections



環境認識出力  
(対象物分類)

EASA AI ロードマップのレベル3 Aを目指した  
ガイダンス機能、自律性レベル4に該当：  
AIシステムが判断するが、人が関与可能なガイダンスシステム

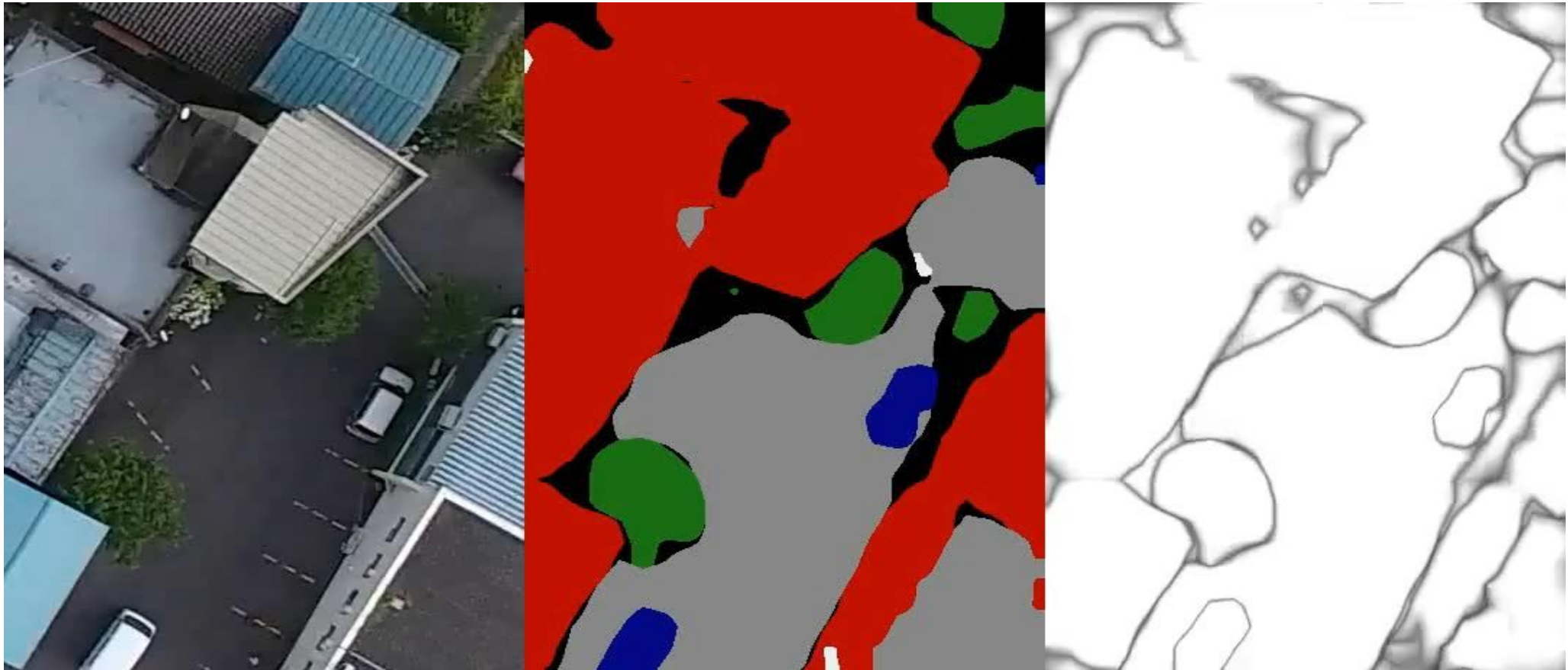


# 中間層50層のCNNによる機械学習結果を用いた不時着地点の分類

ビデオ画像

対象物の分類

信頼性



GPUチップ



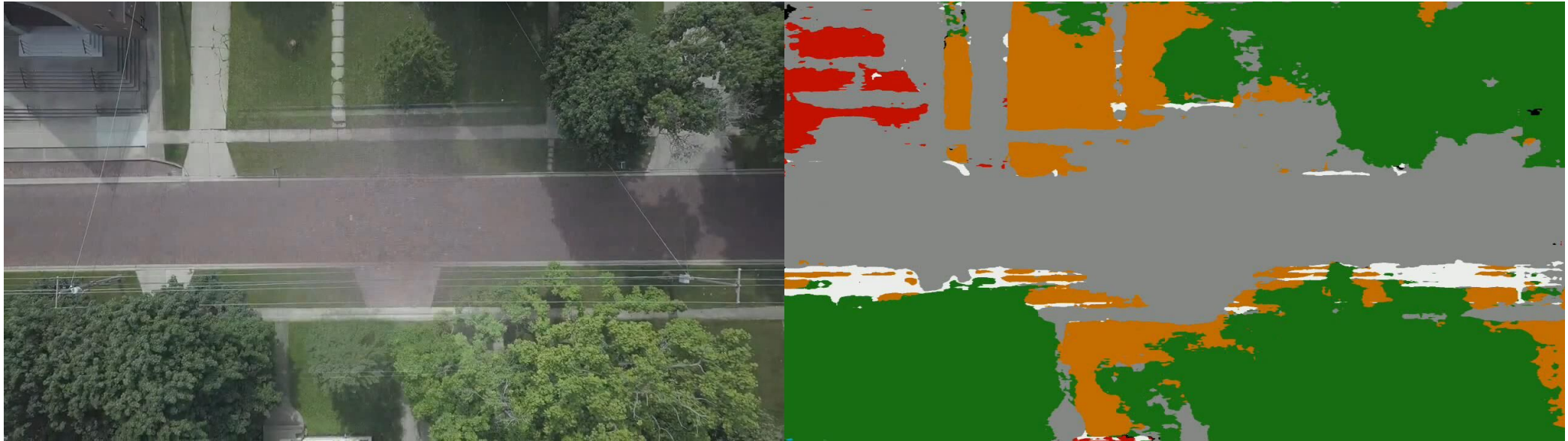
NVIDIA Jetson TX1  
カードサイズチップ(1TFLOP/s)

白は100%信頼性あり  
灰色は信頼性が低下

# 開発AIエンジン（GAIE）による地上特徴分類CNN

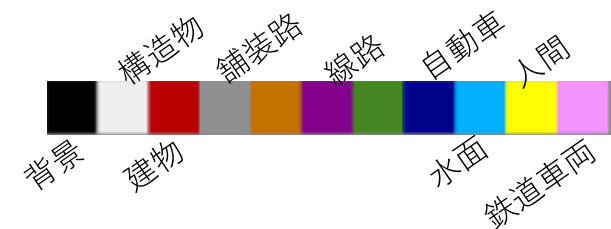
## ■ 未知環境に対するモデル検証

EASA AI ロードマップのレベル3 Aを目指した  
ガイダンス機能、自律性レベル4に該当：  
AIシステムが判断するが、人が関与可能なガイダンスシステム



GAIE移植CNNモデル  
未知環境\_A  
(18 F/S)

(2024年度分先行着手)





# 本研究で実施する4つの研究ステージと技術キーワード（NEDO ReAMo）

EASA AI ロードマップのレベル3 Aを目指したガイダンス機能、自律性レベル4に該当：

## 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

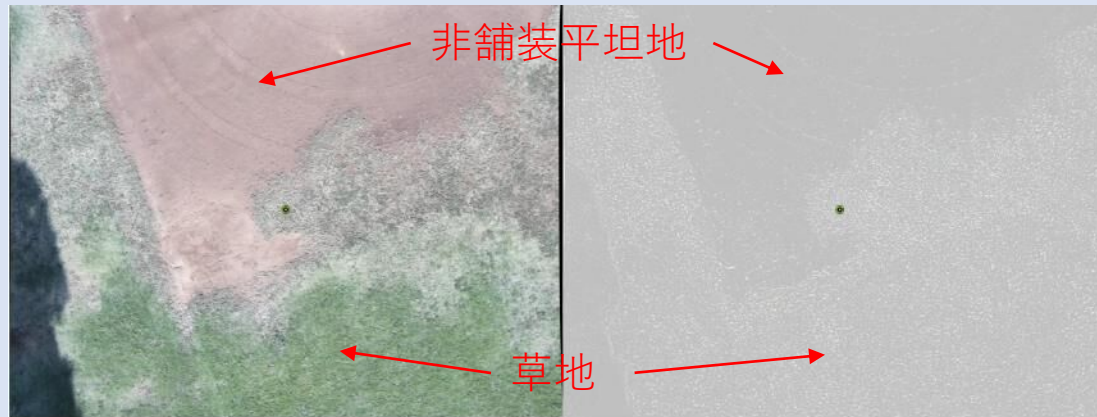
# 2023年度の成果

EASA AI ロードマップのレベル3 Aを目指したガイダンス機能、  
自律性レベル4に該当：AIに基づく自己監視と自己診断機能実装

## 成果 異常時における不時着地点の探索

### 具体的内容

- 不時着地点判定ソフトウェアを実装したマルチコプタにより飛行試験を実施し、AI画像処理により地上の特徴分類と着陸可能場所の判定が行えることを確認



- 平坦な草地、非舗装地面を着陸可能領域として認識



- 地上の障害物を正確に認識

(23/12 千葉県農政センター)

## 成果

## 異常時における不時着の実行

### 具体的内容

- AIを用いた不時着地点判定ソフトウェアを搭載したマルチコプタにより飛行試験を実施、着陸可能場所を判定し、障害物を避けて安全に不時着できることを確認

## NEDO ARF Project Emergency Landing

2023-12-05

Prendinger Lab

**NII** 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  
National Institute of Informatics

 **CHIBA**  
UNIVERSITY

**ARF**

- 自動車の直上30m の位置から不時着を開始し、自動車から3.6m 離れた位置に自動着陸

(23/12 千葉市農政センター)



# 動物のスウォーム条件・定義と特徴・特性 & 人間社会のスウォーム集合



## スウォームの条件と集合が有する特徴・特性

### スウォームの条件と定義

1. 高度な自律性を有する個体の集合
2. 集合内に個体間相互作用が存在する
3. 集合が秩序的な挙動をする
4. 集合全体がある機能、目的を有している

### 集合が有する特徴・特性

1. 自律分散性
2. 集団的拡張性
3. 冗長性
4. 柔軟性
5. 耐故障性・頑強性

### 人間社会のスウォーム集合

1. 会社組織・集団組織
2. 人は社会的動物・・・

# ドローンショーのプログラム飛行とスウォーム飛行の違い



左図の東京オリンピックのドローンショー・「Shooting Star」システムはGPSとRTKで位置決めを行うプログラム飛行で、事前に飛行パターンと発光パターンを入力して飛ばす方式で、ドローン自身の自己判断能力はない。オペレータは一般に1名である。

下図のドローン・スウォーム(ドローンの群れ)戦術とは、単にドローンの数が多いというだけの意味ではない。これらが高度に自律飛行しており、お互いを認識している飛行である。ミツバチの群れ飛行と同様である。したがって高度なAI機能を実装している。



スウォーム飛行が戦場に投入された場合は革命的な変化をもたらすことになる。各国は目下、水面下で研究開発を行っている。

群れ全体が一つの生き物のように考えながら行動する未来の兵器となる。しかし自律戦闘型ドローンは敵と味方と非戦闘員を識別して戦闘を行うには高度な人工知能を完成させる必要があるので、実用化はまだ先の話である。







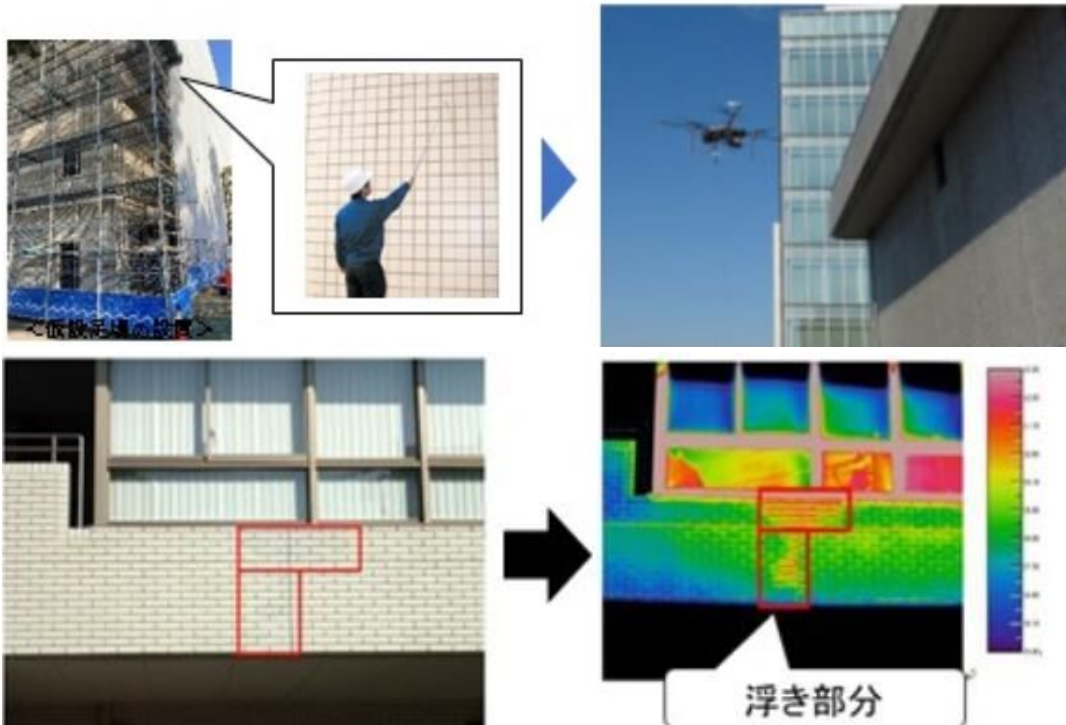
# 自律飛行ドローン×AI解析システムによる 外壁点検ソリューション

EASA AI ロードマップ2.0 レベル2 B  
(人間とAIシステムの協働) 実装へ

# 外壁点検業務(インフラ点検等)における課題

- インフラ点検や外壁点検においては人手による作業がまだまだ一般的であり、一部企業等ではドローンやサーモカメラでの効率化施策が取り組まれつつある状況
- 一方で、部分的にドローンやサーモカメラといったソリューションを導入したものの、点検観点への考慮が足りない調書作成などの課題が散見されているのが実情

今までの一般的な手法



- ドローンを手動操作し撮影する場合においては、ドローンパイロットが必ずしも外壁点検観点を熟知しているとは限らない  
⇒ 結果として取得データが点検に足るものでないリスク
- 属人的な判断 (定量的でない) となりがち
- 画像の仕分けなどに 膨大な手作業が発生  
⇒ 結果的に作業効率化に至っていない
- 部分的なソリューション導入により、他の業務や調整で結果的に 負荷が上がる といった傾向

# Autonomyソリューションによる課題解決の方向性

- 自律飛行ドローンでのデータ取得により、効率的に正確な業務が行える
- 撮影データはAIを含むシステムでの解析により、俗人化を防止するとともに、これまでの煩雑な手作業を削減

## Autonomyでのアプローチ



- ドローンでのデータ取得から解析まで連動させること  
によって、局所的な効率化ではなく、業務プロセス全体を通した全体最適化(工期圧縮)
- システムでの処理を行うことにより判断基準が明  
確となり、作業品質の向上と安定化が行える
- ドローン撮影、調書作成などを自動化し、人の関  
与を限定することによるコスト削減が可能





# 参考. 従来のドローン点検手法との比較イメージ

## ドローン 機体

### 今までの一般的なドローン点検手法

- 海外製であると撮影データの漏洩リスクがある
- メーカー側が詳細開示しないドローンであると、撮影データを用いたシステム開発をしたくても難易度が高くなる
- 手動での撮影ではパイロットのスキルレベルに品質が依存されてしまう

### Autonomyでのアプローチ

- 国産のフライトコントローラーであるためセキュアに対応が可能
- 後続業務の効率化に合わせてドローン側で調整を掛けることが可能
- 自律飛行での撮影により正確なデータ取得が可能となる

## 解析 システム

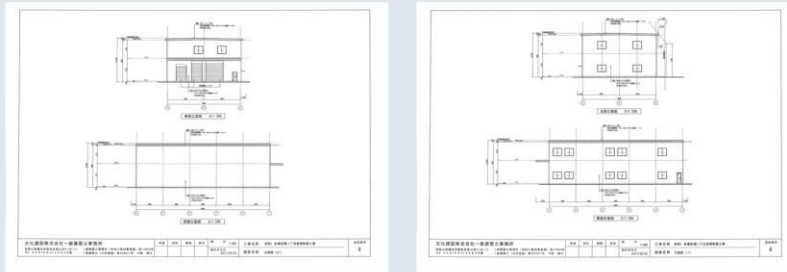
- 出力できるファイル形式が限定されてしまいシステムでの解析に不向き
- 温度解析のツール、タイル計算のツール、...と個別ツールを併用する手法では間のデータ連携は手作業
- 特定のドローンでのみ動作するシステムで汎用性がない

- 出力ファイル形式が柔軟であるため、解析処理プログラムの対応がしやすい
- 温度解析のみでなく、  
ー 調書用画像の選定  
ー 補足メモの設定  
ー マスキング作業  
など、付随する業務も含めて効率化が可能
- 全体効率化を図る目的で設計されており汎用性が高い



# ドローン飛行ルート、撮影条件をシステムで生成

外壁点検ソリューション  
検査対象の立面図



ドローンソリューション  
プロポ及びGCSにて図面を読み込み、  
飛行経路の設定



飛行データを送信

※一部開発中機能を含む



# 自動撮影で漏れなくダブリなくデータ取得



# 現場作業サポート機能

XX/XX XX:XX時点 対象:〇〇ビル 東側



- 図面を元に撮影ルートがセットされるため、現場での撮影中は現在どこまでの作業が完了しているかを専用アプリ(タブレット/スマホ)でその場で確認が可能

- 撮影中に気になる箇所があった場合はチェックマークを付けて後から確認しやすくするといった機能を搭載

※サンプルイメージのため実際の撮影ルートは横方向/縦方向に設定が可能  
※開発中アプリのサンプルイメージのため実際の画面とは異なる場合があります

# ダッシュボード機能

## THERMOPLORER

[トップページへ戻る](#)

- ✓ 東京都中央区外壁点検PJT
- ✓ 第六日本橋ビルディング
- ✓ 北東面

上層 (12F~18F)

中層 (5F~11F)

下層 (1F~4F)

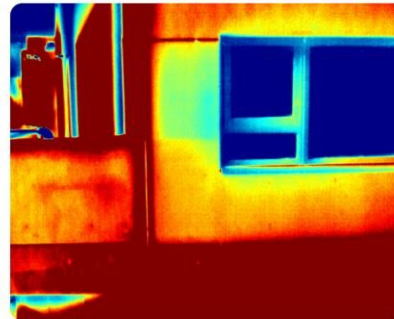
絞り込みオプション

異常検知箇所あり

異常なし

59枚の画像があります

 複数選択  削除

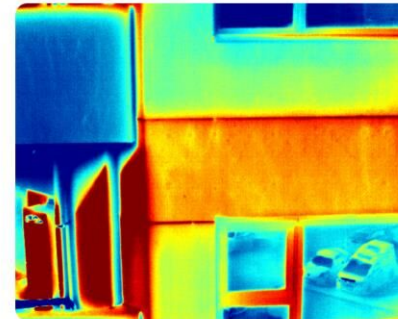


DR019\_0001.jpg

2022-10-03 09:28:04 (UTC)

異常検知箇所あり

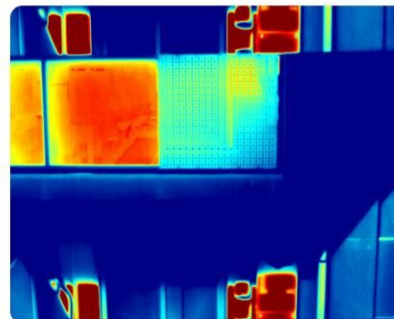
✓ 調書作成済み



DR019\_0002.jpg

2022-10-03 09:28:23 (UTC)

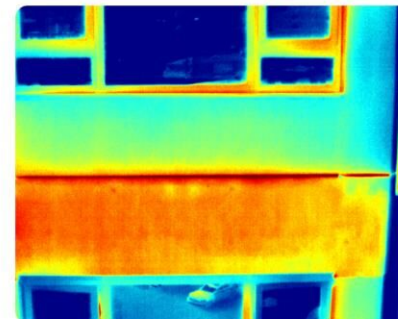
異常なし



DR019\_0003.jpg

2022-10-03 09:28:42 (UTC)

異常なし



DR019\_0004.jpg

2022-10-03 09:28:55 (UTC)

異常検知箇所あり



# サーモ解析機能

## THERMOPLORER

[トップページへ戻る](#)

- ✓ 東京都中央区外壁点検PJT
- ✓ 第六日本橋ビルディング
- ✓ 北東面
- ✓ 上層 (12F~18F)

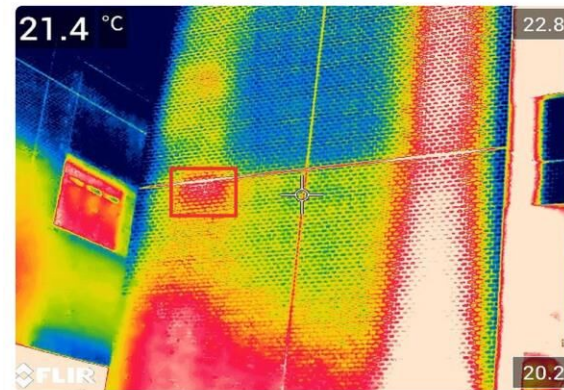
DR019\_0001.jpg

2022-10-03 09:28:04 (UTC)

異常検知箇所あり

[戻る](#)

異常検知箇所あり 1箇所 で変温を検知しました

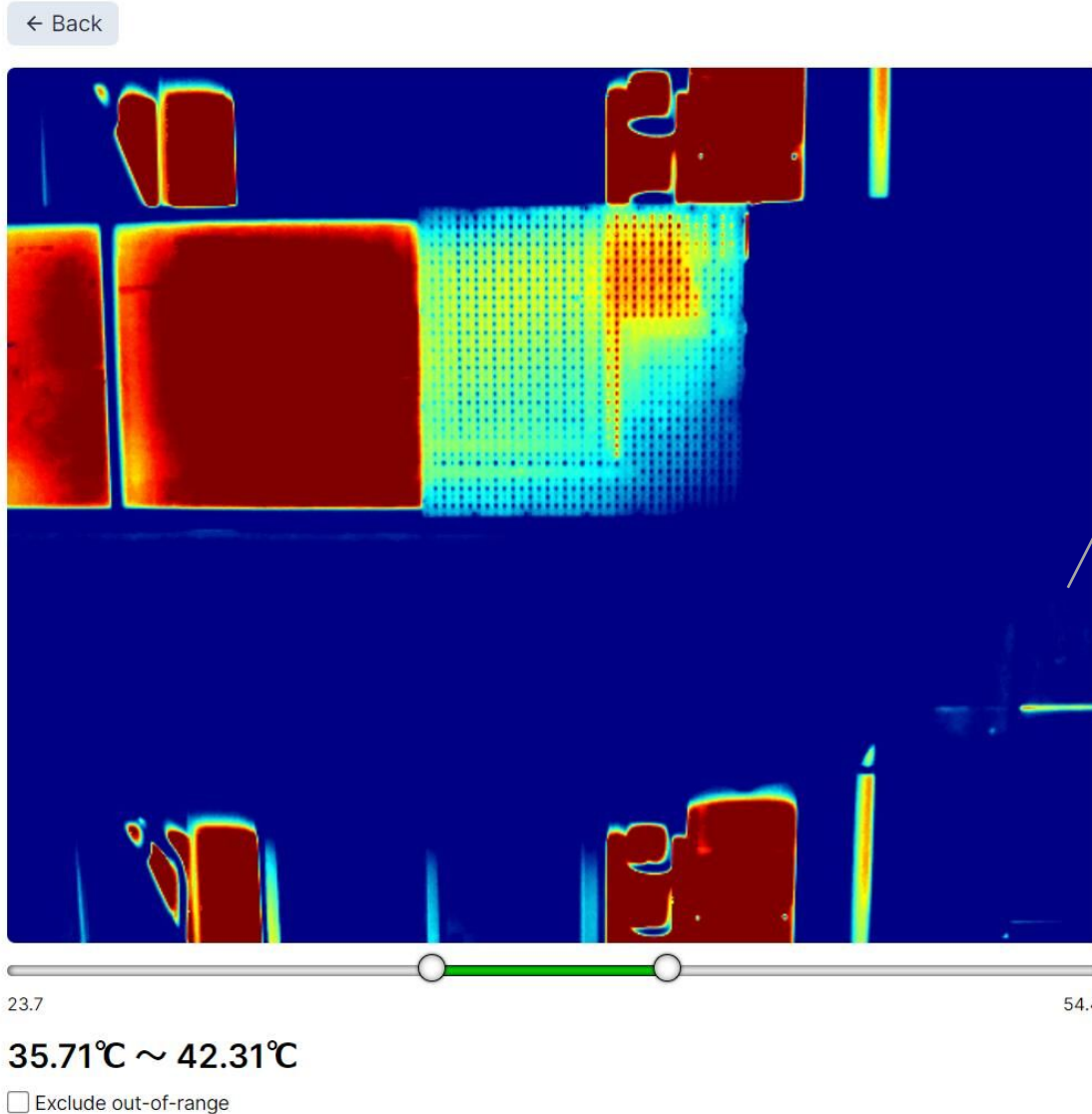


調査作成対象に追加

コメント/メモ

変温部あり。  
ノイズの可能性は除去したが、  
変温している為浮いていると考えられる。

# 参考. システム処理と専門家作業のハイブリッド型



- AIによる自動閾値設定の後に専門家  
チェックのために、温度帯の調整作業が  
簡単に行える機能も組み込み

# 点検調書作成機能

## THERMOPLORER

[トップページへ戻る](#)

- ✓ 東京都中央区外壁点検PJT
- ✓ 第六日本橋ビルディング
- ✓ 北東面
- ✓ 上層 (12F~18F)

DR019\_0001.jpg

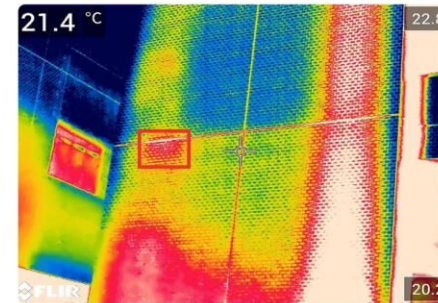
2022-10-03 09:28:04 (UTC)

異常検知箇所あり

[< 戻る](#)

### 調書に所見を追加

サーモ画像



可視光画像



コメント/メモ

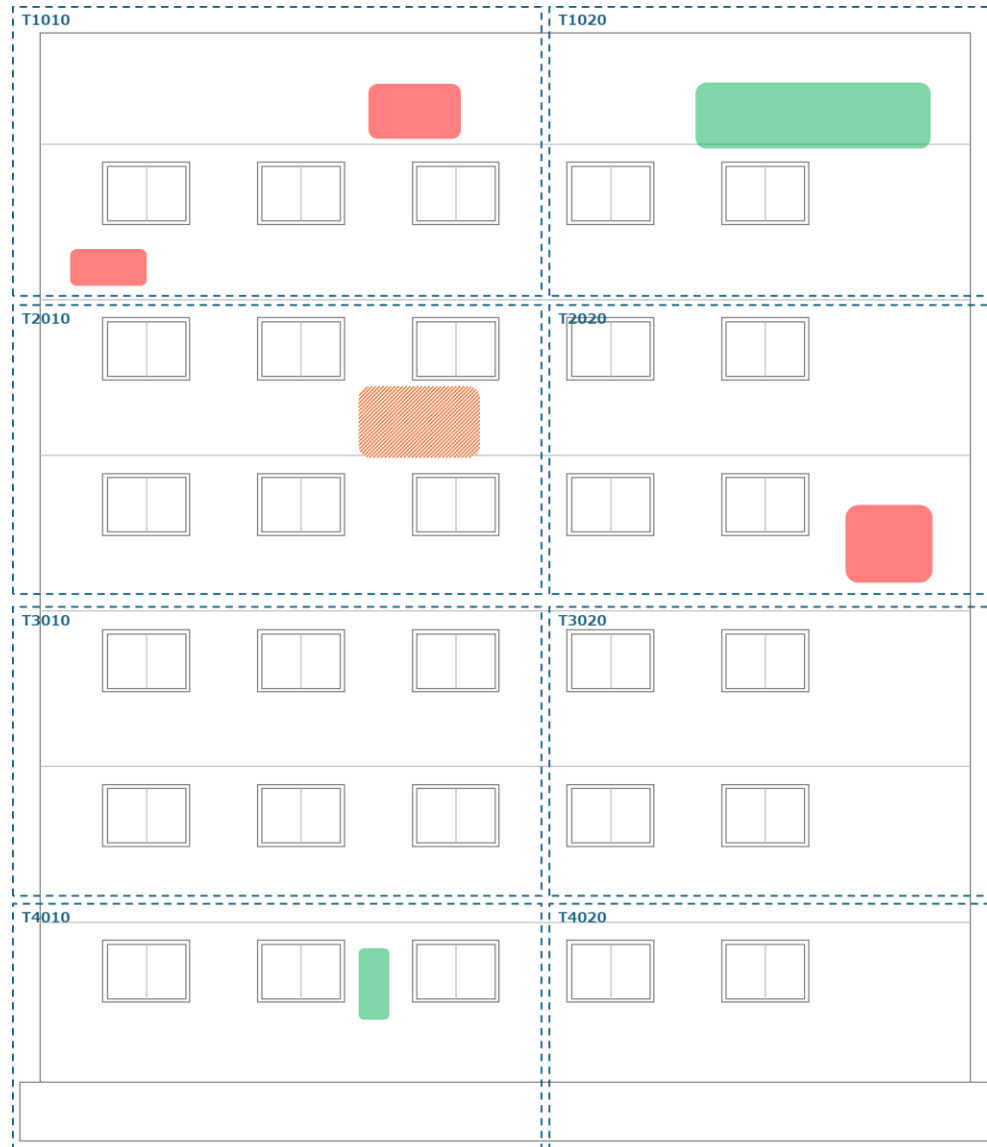
変温部あり。  
ノイズの可能性は除去したが、変温している為浮いていると考えられる。

調書を作成





# 点検結果一覧機能



- 浮き (タイル)
- 浮き (下地)
- ヒビ・クラック
- 欠け
- 要確認

# その他機能 ※一部抜粋

実現場での利便性向上につながる様々な機能を整備中

- タイル計算機能
  - ノイズ除去機能
  - 修繕見積サポート機能
  - 看板、表札、人などのマスキング機能
- など



**ドローン機体の性能向上、AI精度向上に加え、  
実現場での利便性向上につながる機能を追加することで  
より良い外壁点検ソリューションへとアップデート**



# EASA AI レベル2B 人間とAIシステムの協働

Arubito Termoplorer

s.morimiya@arbito.co.jp

.....

Sign In



ご清聴、ありがとうございました。

