

令和6年12月18日

F-REIロボット分野における研究開発の概要

F-REIロボット分野長

野波健蔵

ロボット分野のミッション＝過酷環境ロボティクス



		応用研究(応用研究 基盤研究 ユニット) (基盤研究ユニット)	廃炉ロボティクス 国際連携・廃炉遠隔技術	災害対応ロボティクス 災害対応技術高度化	森林作業ロボティクス 第2・第5分野との連携
高機動化技術	耐環境	耐放射線半導体 (委託研究)	●	●	●
		水素燃料電池 (内製化研究) 長距離高ペイロードドローン等	●	●	●
		スマートアクチュエータ (内製化予定研究)	●	●	●
高度知能	化学技術	自律化・知能化・群制御 (内製化研究)	●	●	●
	機能	感覚フィードバック・双方向 制御 (内製化研究)	●	●	●
災害科学	拡張技術	空間把握 (広域・局所) プラ ニング	●	●	●
	産業化	過酷環境ロボティクス(性能 評価・標準化、WRSの方向性)	●	●	●

燃料電池研究ユニット（内製化研究）



ユニットリーダー

飯山 明裕

【研究概要】

現在の燃料電池は自動車搭載が主流となっており、出力・重量共にドローン搭載に最適なものがない。長距離・高ペイロードを実現するため、小型、軽量で長時間動作を実現する燃料電池及び水素タンク等のドローン用燃料電池システム（出力5kW、重量10kg、稼働時間2時間）を開発する。

【研究方法（手法・方法）】

● ドローン用水素燃料電池システムの開発

高効率高耐久な触媒と電解質膜を用いた膜電極接合体（MEA）を開発し、軽量で熱伝達の良い冷却フィンと組み合わせて、小型で軽量な空冷燃料電池スタックを開発する。さらに、軽量な水素供給系（高圧タンクあるいは水素生成式）などを用いることで、世界トップレベルの軽量で高効率なドローン用燃料電池システムを開発する。

● 燃料電池の小型軽量化要素技術の研究開発

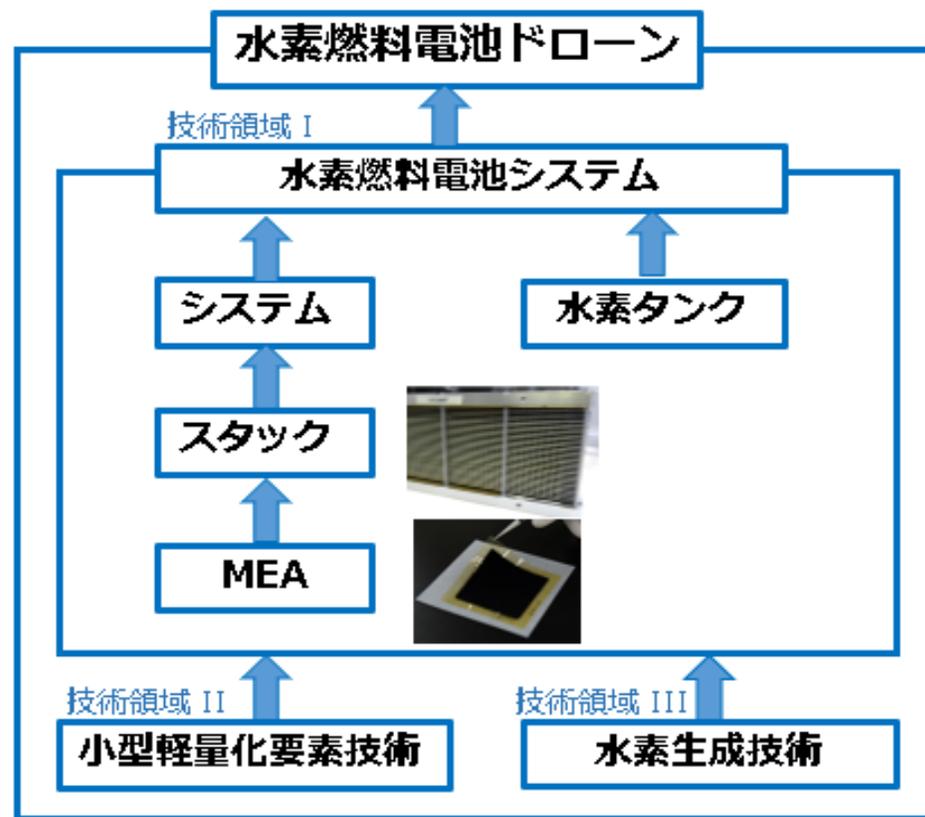
小型軽量化に有効な最新の軽量材料・部品・シール・接着技術を研究開発する。

● 小型軽量水素生成装置の開発

革新的な小型軽量水素生成装置技術を構築する。

【期待される研究成果】

- 災害時などの過酷環境下において、避難所支援や発災初期対応などが可能な、高機動性を有するドローンが期待できる。
- 燃料にグリーン水素を用いることで、脱炭素に貢献できるドローンが期待できる。



【研究概要】

災害対応ではUAV (Unmanned Air Vehicles, 無人航空機)とUGV (Unmanned Ground Vehicles, 無人車両) の長所を利用して、UAVやUGV単独では達成が困難な方策を実施することが求められる。このため、自律制御・知能制御・群制御・協調制御をUAV/UGVロボット群に適用して世界トップレベルの知能型災害対応ロボットを実現する研究開発を行う。

【研究方法 (手法・方法)】

- **UAVとUGVロボット群の協調制御システムの研究開発**
UAVまたはUGV単体の既存の自律・知能制御の結果をUAVロボット群、UGVロボット群、UAV/UGVロボット群に拡張する。災害時には予告、避難誘導、被害状況の把握、救援、救助などの多様な対応に対して、UAV・UGV群が役割分担を行なって対応するシステムを実現する研究開発
- **UAV・UGVロボット群と人間の共同システムの研究開発**
すべてをロボットに任せるのではなく、UAV・UGV群と人間が協力して共同で災害に対処するのが現実的かつこれまでの災害対策の知見を活かす。これを安全にかつ効率的に実現させるために必要となるセンサー・画像処理技術を含めた知能化制御システムの研究開発
- **協調制御と共同システムを支援するAI技術の研究開発**
上記2つの課題についてはAI技術を駆使した支援が効果的である。AI技術をどのように利用するための研究を行う。

【期待される研究成果】

- 災害、救急などの緊急時にリアルタイムでの安全な救援活動を可能にし被害を最小に留めるロボットが期待される。
- ロボット群と人間を共同させることによりこれまで災害対応をしてきた人間の知見を活かしつつ、人手も格段に減らして2次災害をなくすことも期待できる。



遠隔操作研究ユニット（内製化研究）



ユニットリーダー

大西 公平

【研究概要】

過酷環境ロボティクス研究を特徴とするF-REIのロボット研究として、実際に触る感覚を伝送するリアルハプティクス技術などの新技術を活用して、操縦者と一体感のある遠隔側ロボットによって高放射線環境をはじめとする過酷環境においても実働に供与できる作業効率と信頼性を高めた遠隔操作システムの研究開発を行う。

【研究方法（手法・方法）】

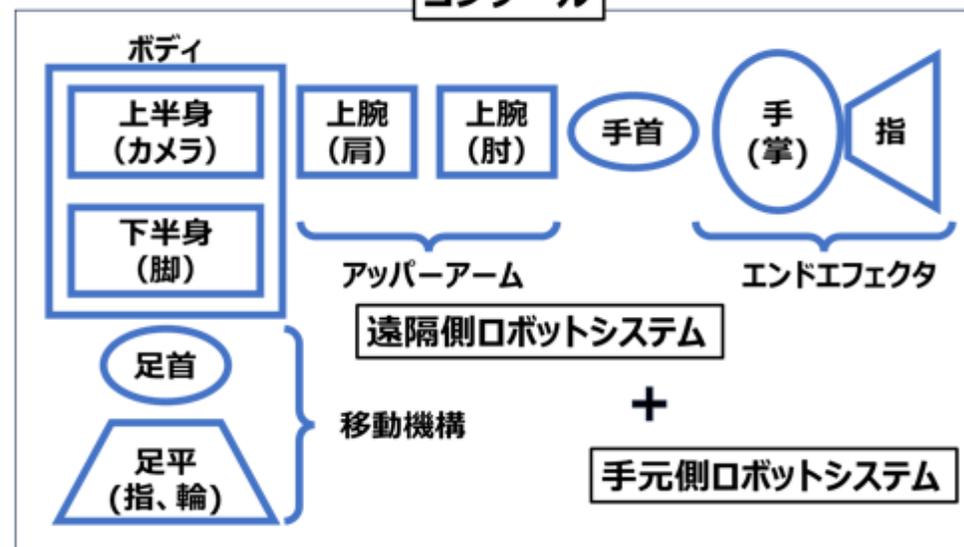
- **遠隔操作ロボットシステムの研究開発**
過酷環境において力触覚伝送機能を有し最小自由度にてミッションを達成する遠隔側ロボットと操縦者と一体で低負荷で動作する手元側ロボットを実現する研究開発
- **遠隔操作制御コンソールの研究開発**
手元側と遠隔側のロボットに対しサイバー空間と同期を取りながら作業スキルを移植することで安全で確実な動作指令を生成する智能化制御システムの研究開発
- **負担が少なく操作しやすい操縦システムの研究開発**
操作者やロボット間の協調により機能を分割して遠隔操作下においてミッションを達成する操縦システムの研究開発

【期待される研究成果】

- 災害、救急などの緊急時にリアルタイムでの安全な救援活動を可能にし被害を最小に留めるロボットが期待される。
- 遠隔側を自動化することで人手に頼る非定型作業を専らにする農林水産業、建設業、福祉介護などを含む様々な産業で人の代わりにするロボットシステムが期待できる
- 民生に転用することで高齢者や弱者等に物理的に寄り添いQOLを向上させるロボットが期待できる



コンソール



募集課題名	ロボット分野 令和5年度「廃炉向け遠隔技術高度化及び宇宙分野への応用事業」委託事業
研究実施者	金子 純一（廃炉ロボット・宇宙用耐放射線ダイヤモンドデジタル集積回路の要素技術開発コンソーシアム（国立大学法人 北海道大学（代表機関）、国立研究開発法人 産業技術総合研究所、大熊ダイヤモンドデバイス株式会社、国立高等専門学校機構 福島工業高等専門学校）
実施予定期間	令和11年度まで（ただし実施期間中の各種評価等により変更があり得る）

【背景・目的】

耐放射線性に優れたダイヤモンド半導体技術により、将来的に廃炉や宇宙環境で使用可能な、ダイヤモンド半導体を用いたマイクロプロセッサやメモリの開発の基礎となる要素技術開発を行う。

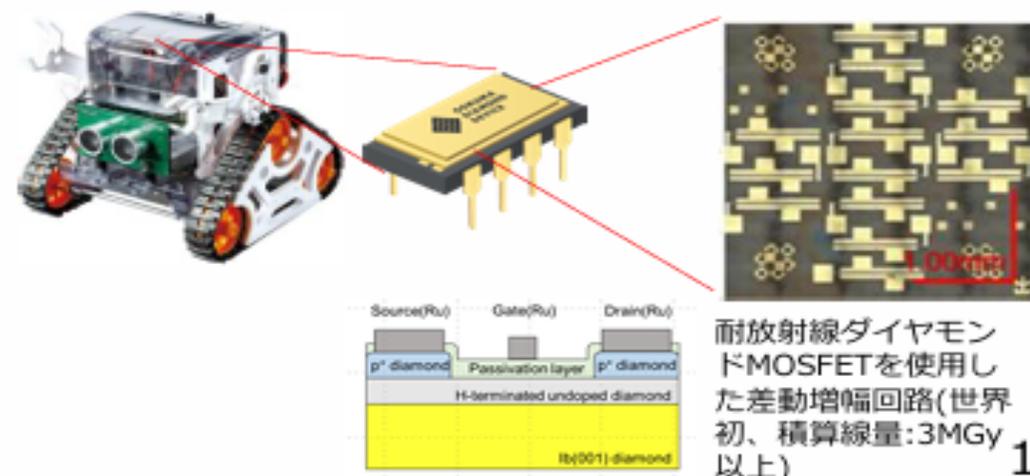
【研究方法（手法・方法）】

ダイヤモンド半導体による以下の要素技術開発を行う。

- ①ダイヤモンド半導体によるトランジスタの開発
- ②モノリシック抵抗・コンデンサの開発
- ③ダイヤモンドモジュールの開発
- ④イオン注入技術の開発
- ⑤各素子による電子回路の開発

【期待される研究成果】

- ・耐放射線が必要な廃炉環境、宇宙環境におけるロボットの制御等への応用
- ・高温下でも半導体の機能の発揮が必要とされる火力発電や宇宙環境等での応用。



耐放射線ダイヤモンドMOSFETを使用した差動増幅回路(世界初、積算線量:3MGy以上)

募集課題名	ロボット分野 令和5年度「廃炉向け遠隔技術高度化及び宇宙分野への応用事業」委託事業
研究実施者	黒木 伸一郎（ラドハードSiC集積回路研究開発コンソーシアム（国立大学法人 広島大学（代表機関）、国立研究開発法人 産業技術総合研究所、国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構）
実施予定期間	令和9年度まで（ただし実施期間中の各種評価等により変更があり得る）

【背景・目的】

高い耐放射線性を有するシリコンカーバイド半導体（SiC）によるイメージセンサの研究開発を行う。

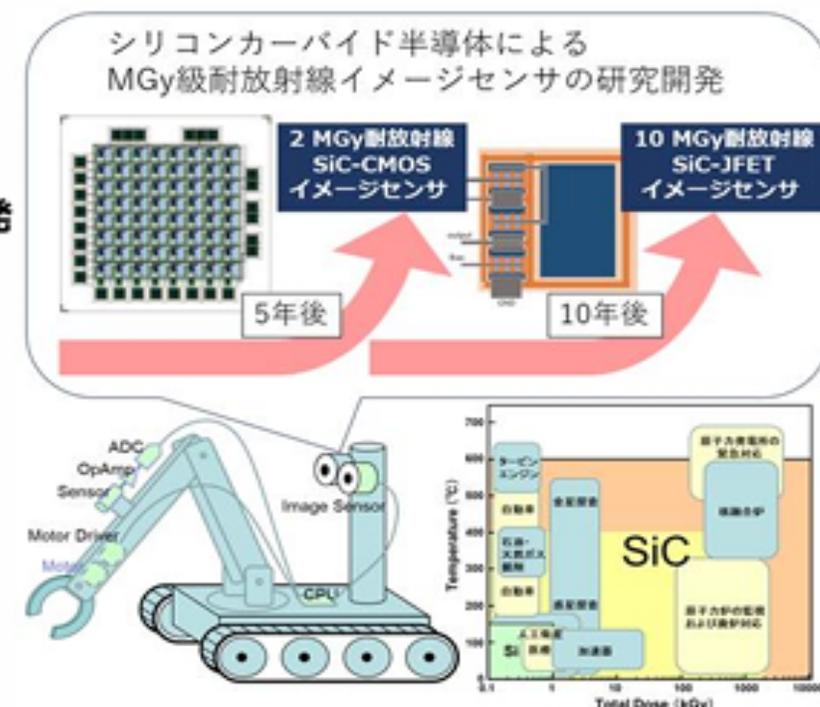
【研究方法（手法・方法）】

本研究チームでは小型・軽量の耐放射線SiCイメージセンサ開発に向け、以下の研究を実施する。

- ① 2MGy級耐放射線4H-SiC※ CMOSイメージセンサと周辺回路の開発（10万画素4H-SiC 耐放射線CMOSデジタルカメラの実現）
- ② 10MGy級耐放射線4H-SiC JFET型アクティブピクセルセンサ（APS）の研究開発
- ③ 4H-SiCイメージセンサの耐放射線性評価

【期待される研究成果】

- ・ 耐放射線性能が必要な廃炉環境における撮像素子への適用。
- ・ 高温下、高放射線環境下でも性能の発揮が期待できるため、宇宙等の極限環境での撮像素子としての適用。



SiC極限環境エレクトロニクスによる
廃炉向け遠隔技術高度化及び宇宙分野への応用

※4H-SiC：シリコンカーバイド半導体で、4Hは結晶構造（ポリタイプ）型を示す。
高温、高電圧、高放射線環境などの厳しい条件下での利用に優れた特性を持つ。

目的

- ・ 災害対応やインフラ点検などで活躍するフィールドロボットの社会実装と普及のため、市場化・産業化を意識した性能の評価手法の標準化や法制度整備に貢献する評価手法の検討・開発が必要
- ・ 2025年にフィールドロボットの国際競技会を福島で開催し、これらの評価手法を競技ルールなどに反映させることで、多くの参加者が使用することによるデファクトスタンダード化を図る

実施者等

- ・ 実施体制：日刊工業新聞社
- ・ 実施予定期間：最長3年間（ただし実施期間中の各種評価等により変更があり得る）

（令和5年度の実施と目標成果）

競技設計(ルール)の策定

前回競技会の再検証を行い、2025年の国際競技会に向けた競技ルールの検討を行う



トライアルの開催

競技設計の妥当性を確認し、2025年の国際競技会開催に必要な運用検証を実施する



広報・PR活動

本競技会及びF-REIの国際的な認知度の向上を図るため、HPや各種展示会等での広報活動を展開する



事業概要

2025年のフィールドロボットの国際競技会開催に向け、必要な技術検証(競技検証)と開催に必要な運用検証を実施し、課題を抽出

募集課題名	ロボット分野 令和5年度「困難環境下でのロボット・ドローン活用促進に向けた研究開発事業」委託事業 テーマ（1）災害現場など困難環境での活用が見込まれる強靱なロボット・ドローン技術の研究開発
研究実施者	田所諭（空間エージェント網研究コンソーシアム（東北大学（代表機関）、情報通信研究機構、広島大学、筑波大学、制御システムセキュリティセンター））
実施予定期間	令和11年度まで（ただし実施期間中の各種評価等により変更があり得る）

【背景・目的】

災害等の困難環境においては、単体のロボット・ドローンだけでは必要とされる機能を発揮できない場面が多い。様々な機能エージェントが多数で協力して困難課題を解決する「空間エージェント網（Spatial Agents Web）」という概念を実現し、多様なロボット・ドローンが困難環境下で機能を発揮するための基盤を構築する方法を研究する。

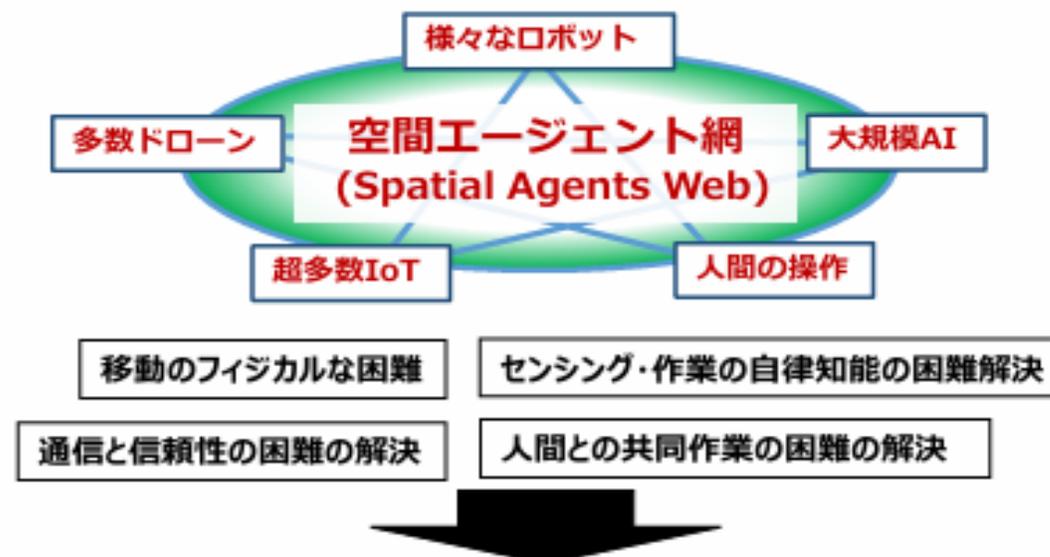
※エージェント：人間の代理として働くAI。環境や状況の理解に基づいて最適な行動を行う知能体。

【研究方法（手法・方法）】

- 瓦礫等の災害環境の狭い空間等の移動困難な環境下でのロボットの高い運動性能の実現
移動面での物理的な障害を解決し、瓦礫内協調探査や狭い空間に進入することを可能にする、ロボットやドローンの改良研究
- 災害等の環境下での遠隔自律知能研究
センシング・作業を自律的に実施するための、空間での能動的情報検索を可能にする研究、デジタルツインの研究、及び被災プラント等の困難空間の理解・データ化の研究
- 通信と位置推定の課題克服
通信と位置推定の信頼性を確保するための、電波位相マッピング技術によるロボットの最適行動の研究

【期待される研究成果】

- 困難空間内で必要な救助等の災害対応活動を可能にする。



多様なロボット・ドローンが困難環境下で機能を発揮するシステム

目的

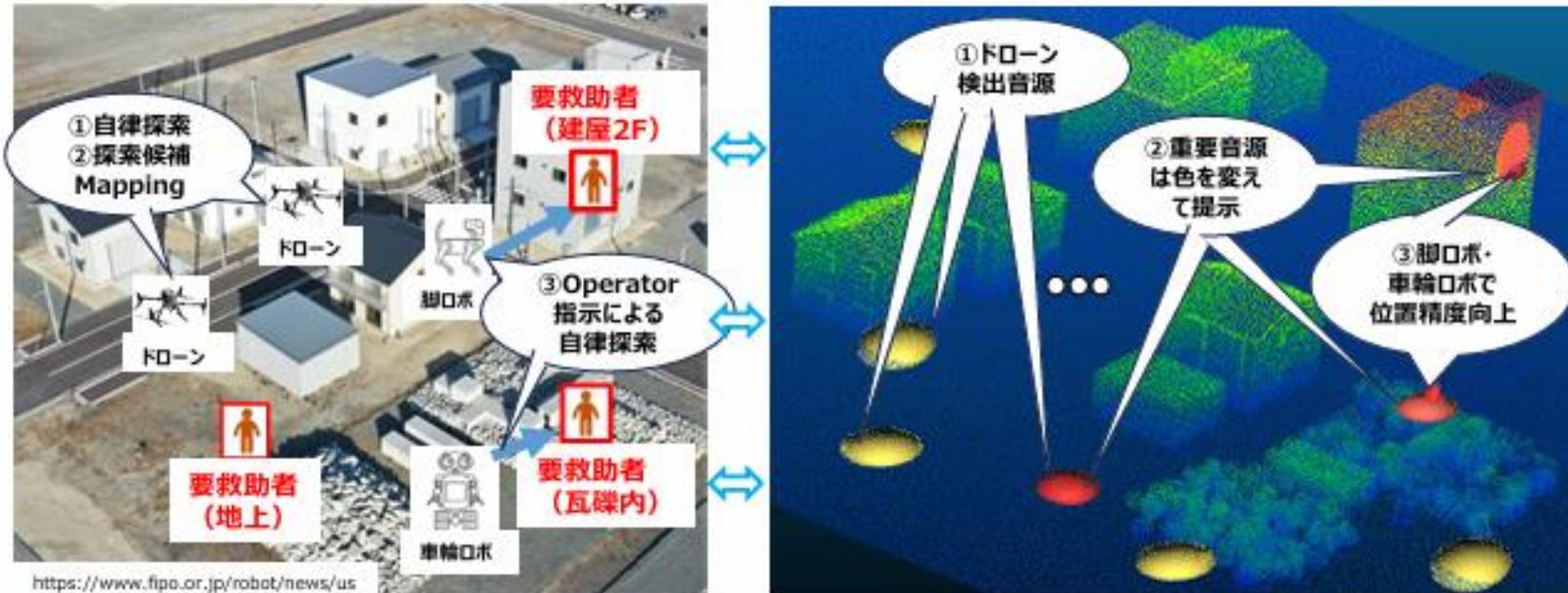
- 本事業では、複数ロボット・ドローンアクティブ聴覚技術(swarm active audition system with robots and drones (SAAS-RD))により、災害現場で活用可能な、要救助者の声から要救助者の位置を効率的かつ高精度に探索する技術の構築を目指す。

実施者等

- 実施体制：ドローン聴覚コンソーシアム(東京工業大学(代表機関)、熊本大学、産業技術総合研究所)
- 実施予定期間：令和6年10月頃まで

事業概要

構築するSAAS-RDシステムを用いた要救助者発見タスクのイメージ



<https://www.fipo.or.jp/robot/news/user/post-11286>

聴覚機能を備えた複数のドローン・ロボットの連携により、以下のステップで要救助者の位置を効率的かつ高精度に探索する。

- ① 複数ドローンにより、大まかに広範囲を三次元複数音源探査を実施。
- ② 音源を種類ごとに異なる色の楕円体(径は誤差に対応)として三次元地図上に探索候補として表示。
- ③ オペレータ指示を契機に車輪ロボ(フィールド)、脚ロボ(建物内)が自律で現場に赴き詳細探索し、高精度に位置を同定(定位結果がより小さい楕円体になる)。

募集課題名	ロボット分野 令和5年度「防災・災害のためのドローンのセンサ技術研究開発」委託事業
研究実施者	照月大悟（嗅覚ロボットコンソーシアム（信州大学（代表機関）、千葉大学、慶應義塾大学））
実施予定期間	令和6年度末まで

【背景・目的】

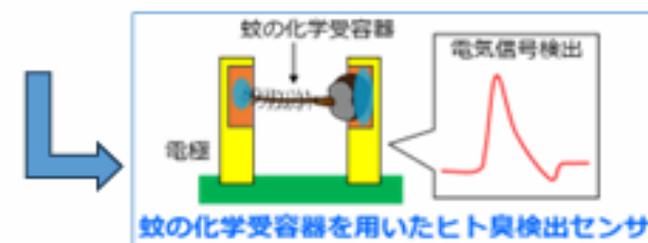
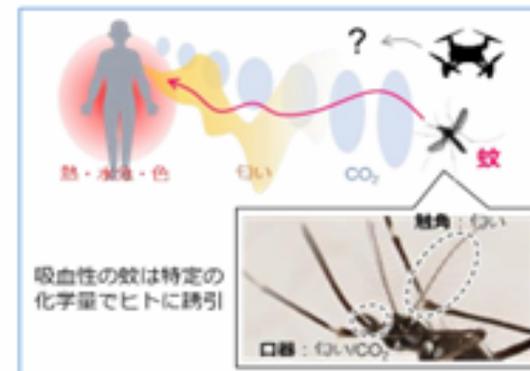
災害下の情報収集や要救助者探査において利用可能なセンサシステムの開発を目指し、生物嗅覚を利用した匂いセンサと小型風向風速センサを統合した「化学・物理量センサ」を開発し、ヒト臭の検出と匂い源の方向推定が可能な匂いセンサシステムを実現する。

【研究方法（手法・方法）】

- 昆虫の化学受容器（触角など）の応答を電気信号として検出するEAG（触角電図）を応用した、蚊の化学受容器を用いたヒト臭検出センサの開発
- 開発した上記のセンサを小型風向風速センサと統合することによる匂い源方向推定精度の向上
- 福島RTFにおける災害環境情報の収集等による、センサ運用環境の明確化

【期待される研究成果】

- ① 蚊の化学受容器を利用した災害下の要救助者探査センサの実現
- ② 開発センサを有効活用可能な災害環境の明確化・運用シナリオの作成



目的

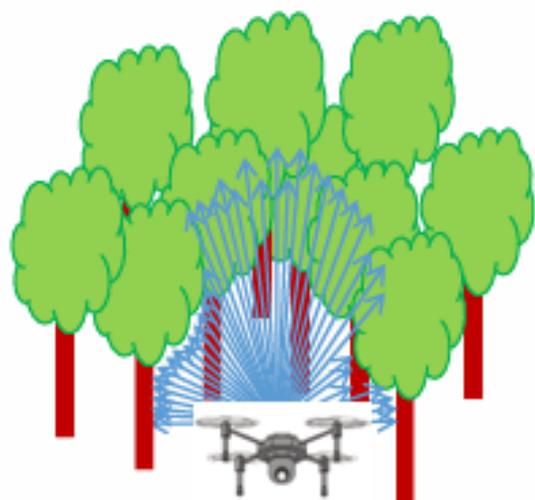
- 急峻な傾斜地が多く林道なども整備が十分でない日本の森林環境では、森林環境での作業をロボット等の利用により自動化することに多くの課題がある。本事業では、障害物が多く、正確なGPS情報の取得も難しい森林内で飛行可能なドローンを開発するとともに、ドローンに木材資源量や放射線量の把握が可能な計測機器を搭載することで高効率で3次元マップを作成できるシステムを構築する。森林環境を3次元マップでデータ整備することで、森林環境でのデジタルツイン実現などDX化の推進により、森林環境での作業自動化に貢献することを目指す。

実施者等

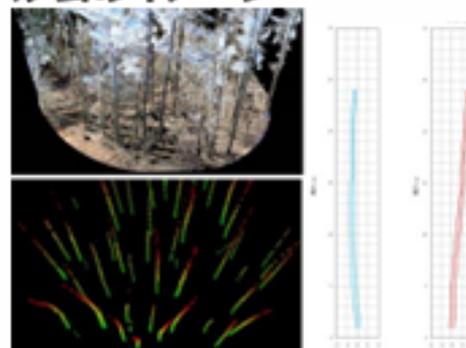
- 実施体制：DXを加速させる革新的森林内飛行と3次元解析技術の確立コンソーシアム
(千葉大学（代表機関）、日本分析センター)
- 実施予定期間：令和5年度末まで

事業概要

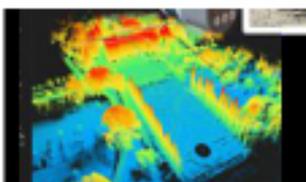
ドローンによる森林内環境の3次元マップ作成システムのイメージ



森林内飛行が可能なドローンの開発



木材資源量マップ(イメージ)



線量を付加した3Dマップ (イメージ)

森林内飛行が可能なドローンを開発し、森林内環境を計測して、効率的にマップを作る。

- ① 障害物が多く、なおかつ正確なGPS情報取得が困難な森林内でも飛行可能な、軽量化・小型化されたドローンを開発する。
- ② ドローンにレーザーを搭載して、森林の高精細な3次元マップを作成し、立木の直径などを誤差5%以内で計測する。
- ③ ドローンに線量計を搭載して、森林内の放射線量を測定し、線量分布マップを作成する。

募集課題名	ロボット分野 令和5年度「困難環境下でのロボット・ドローン活用促進に向けた研究開発事業」委託事業 テーマ(3) 湖沼、森林内などでの調査に対応するロボット・ドローンの研究開発
研究実施者	高橋隆行(国立大学法人 福島大学)
実施予定期間	令和11年度まで(ただし実施期間中の各種評価等により変更があり得る)

【背景・目的】

湖沼の環境放射能動態調査のための水中ロボットを開発することにより、環境放射能の動態把握の効率化を実現する。

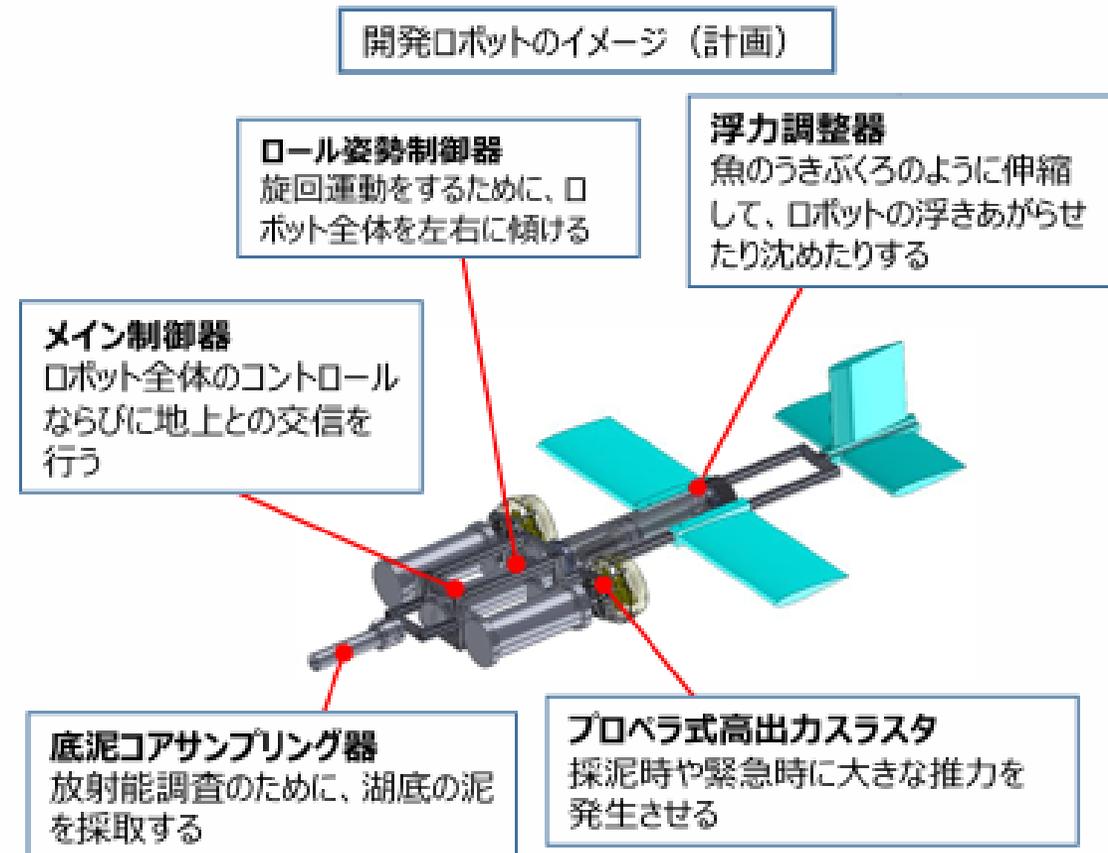
【研究方法(手法・方法)】

環境放射能動態調査のための水中ロボットに必要な、次のような技術要素について検討・開発を行う。

- ① 水中ロボットの移動のための基本的なハードウェアの開発
- ② 水中ロボットの制御系の開発のための調査
- ③ 浮力調整器のキーデバイスに用いる材料の加工技術の検討
- ④ 水中高速通信システムの調査

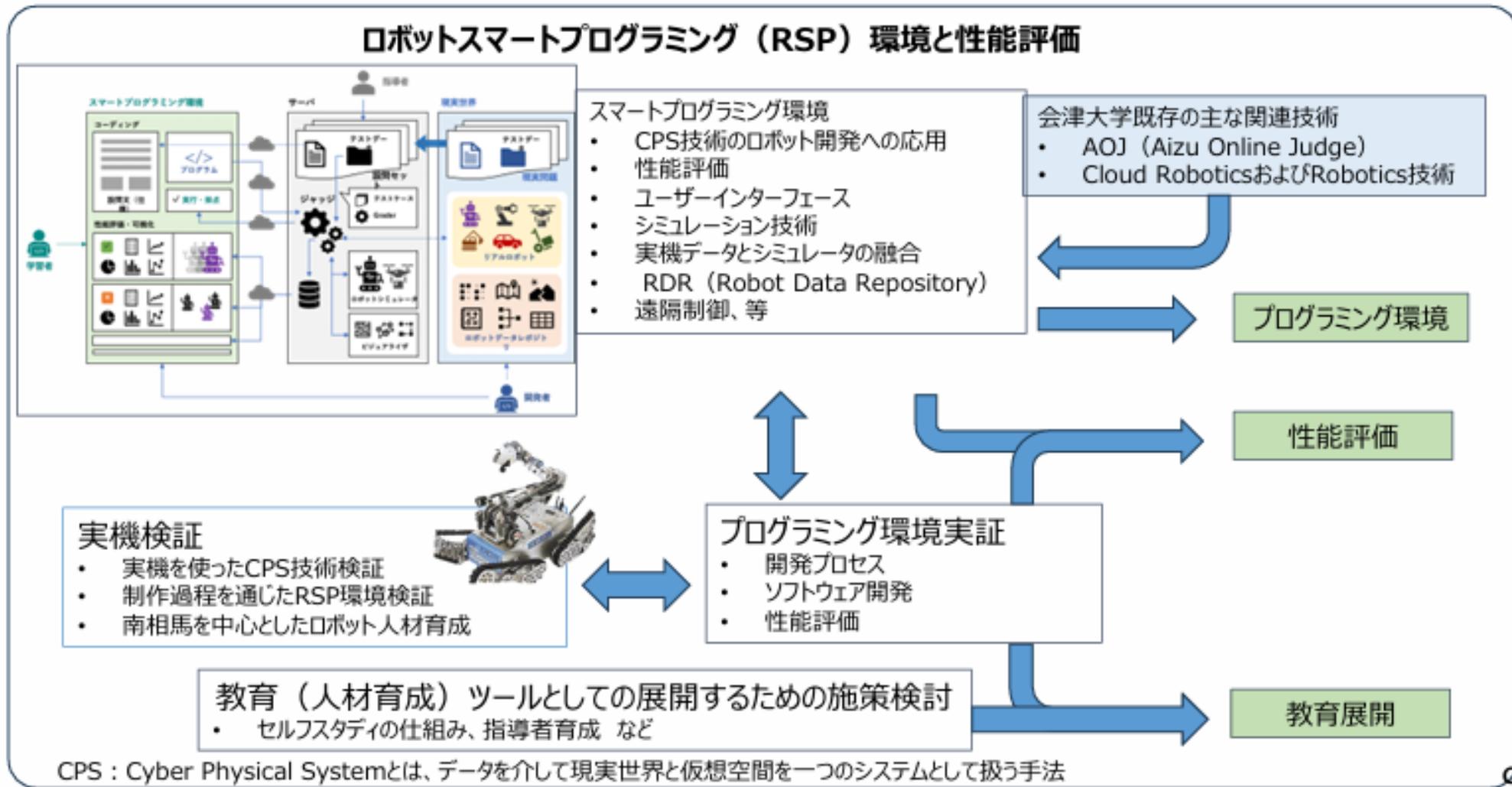
【期待される研究成果】

- ・水中ロボットによる湖沼の環境放射能測定の実用化
- ・湖岸から投入しての運用が可能な水中ロボットの実用化
- ・エネルギー効率の高い浅水域でのグライダー方式の確立



事業概要:

本事業では、ロボット開発のためのスマートプログラミング環境およびロボットの性能評価手法の研究を行い、実機での検証も含めたロボットスマートプログラミング環境を構築し、ロボットソフトウェア開発及び性能評価へ本手法が有効である事を実証するとともに、ロボット関連人材育成のために教育ツールとしても展開するため必要な施策検討を行う。



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

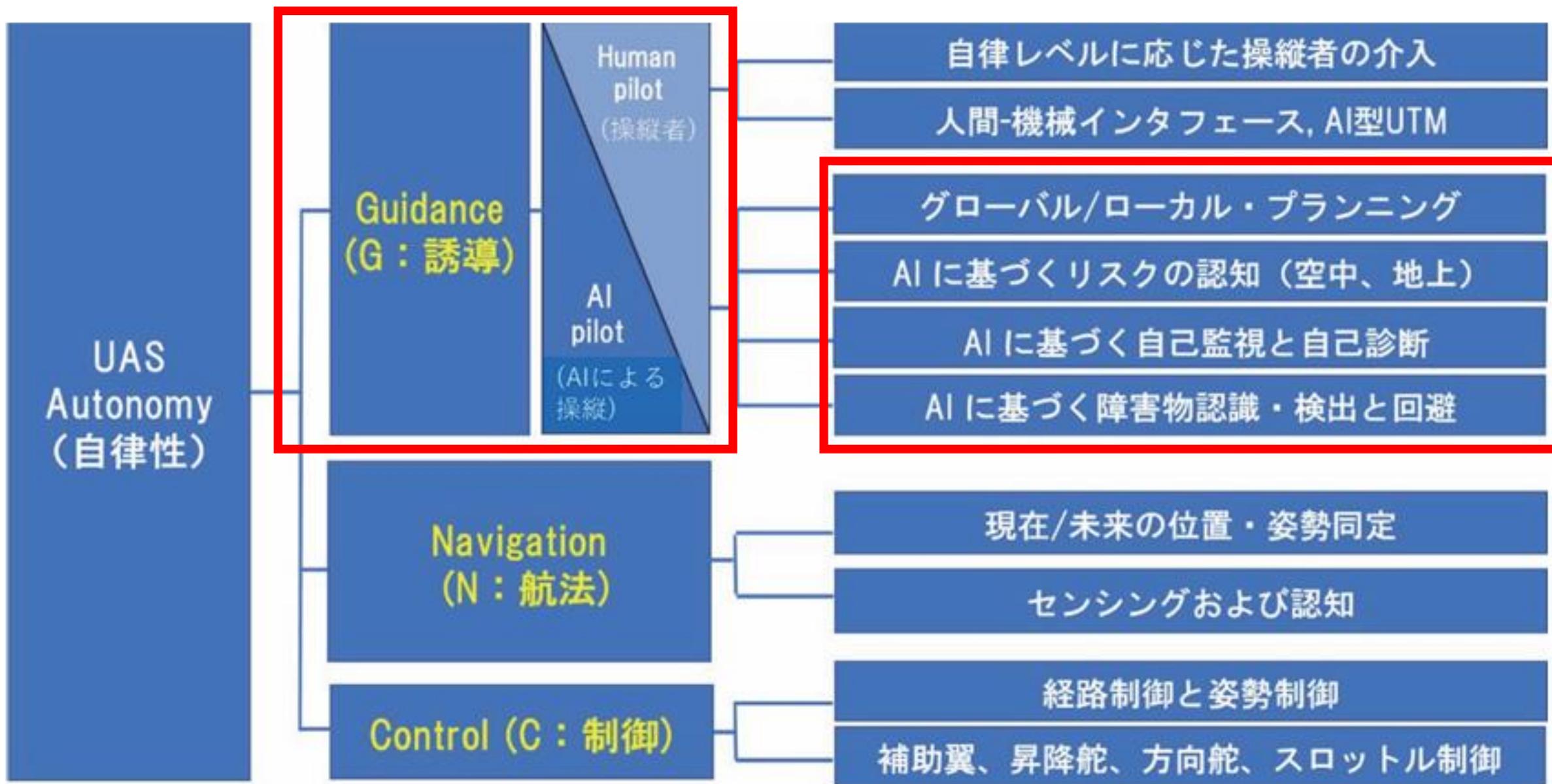
- レベル1A：人間拡張
 - 情報収集や分析の補助
- レベル1B：人間の支援
 - 意思決定と行動選択における人間の認知支援

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



大脳型ドローンレベルとGuidance, Navigation and Control (GNC)



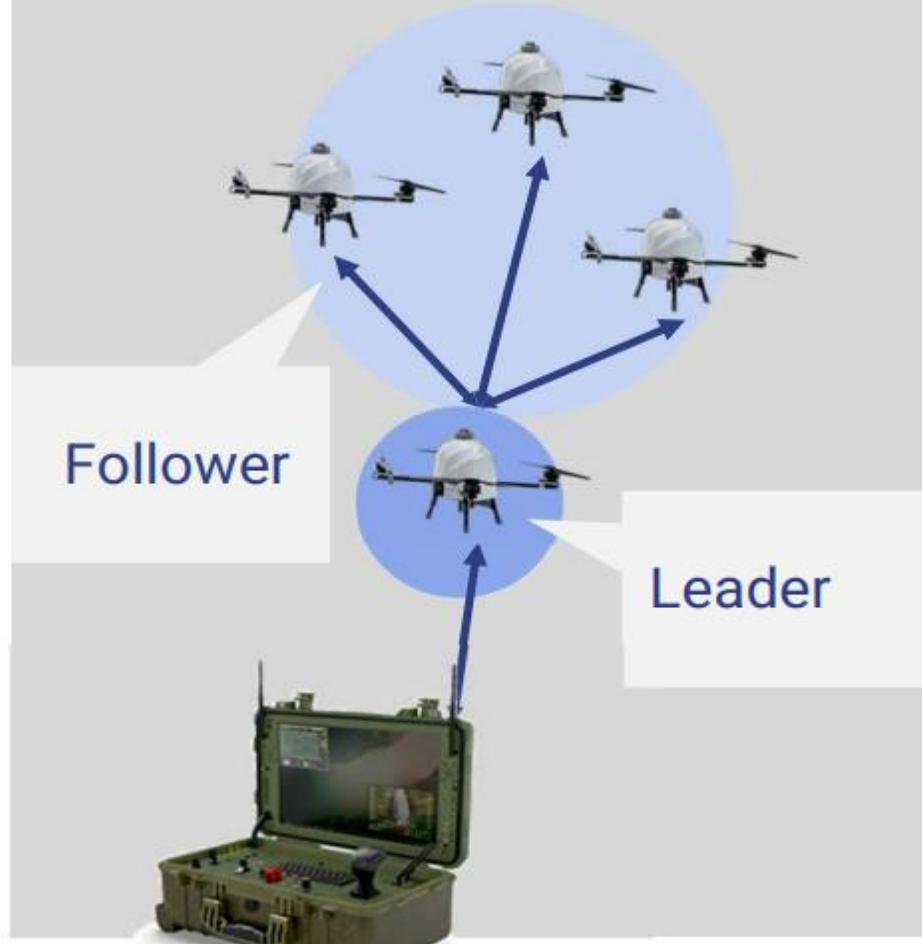
		Level 0	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	Level 5
		No Automation	Pilot Assistance	Partial Automation	Conditional Automation	High Automation	Full Automation
Guidance	Global Planning and Local planning	人	人	人	人とAI (レベル1~2A)	AI(レベル2B~3A) とUTM、最悪時に人	AI(レベル3B)
	Risk Awareness(air & ground)	人	人	人	人とAI (レベル1~2A)	AI(レベル2B~3A) とUTM、最悪時に人	AI(レベル3B) とUTM
	Self-monitoring and Self-diagnosis	人	人	人	人とAI (レベル1~2A)	AI(レベル2B~3A) と人	AI(レベル3B)
Navigation	Recognition, Detect and Avoid	人	人	人	人とAI (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	人とフライトコントローラ	フライトコントローラと人	フライトコントローラ	フライトコントローラ	フライトコントローラ
Control	Trajectory and Attitude Correction Control	人	人とフライトコントローラ	フライトコントローラと人	フライトコントローラ	フライトコントローラ	フライトコントローラ
AE Autonomy		N/A	N/A	Monitoring	Advisory and Alert	Conformance Automation	Full Automation

スウォーム飛行の3つの大分類

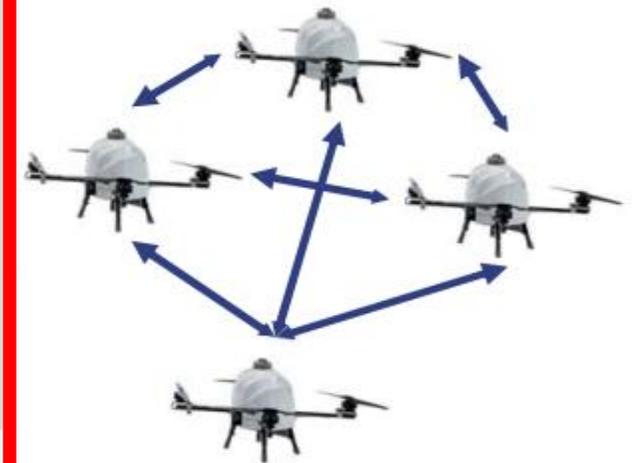
Centralized swarm Pre-programmed



Decentralized swarm Semi-Autonomous



Decentralized swarm Fully Autonomous



スウォーム飛行の応用（平常時：物流ミッション）



Swarming Logistics Value Proposition

- Rapid deployment
- Wide area coverage – scalable applications
- Flexible scheduling and route planning
- Agnostic to difficult terrain/remote areas



Sectors for Swarming Logistics

- eCommerce
- Healthcare
- Quick Commerce
- Mountainous, or Remote Terrain
- Secure Logistics
- Disaster Management

米国のドローン宅配を強力に進めているGoogle系のWing社のeVTOL



The Wing Delivery Network

ご清聴、ありがとうございました。



Adobe Stock | #1033745954

