

1. 研究課題・受託者・研究開発期間・研究開発予算

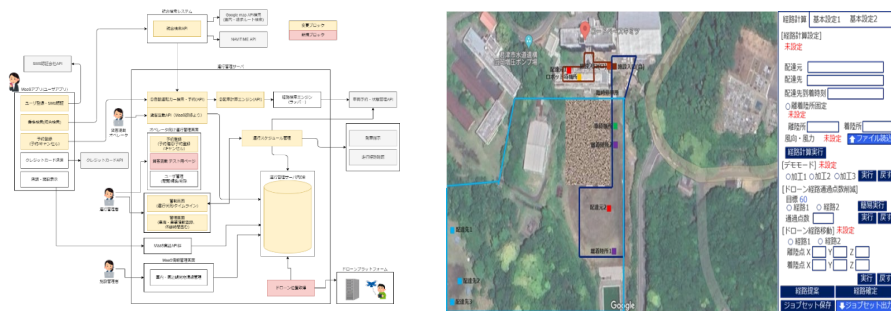
- ◆研究開発課題名 スマートモビリティプラットフォームの実現に向けたドローン・自動運転車の協調制御プラットフォームの研究開発
- ◆受託者 KDDI株式会社、アイサンテクノロジー株式会社
- ◆研究開発期間 令和3年度～令和6年度(4年間)
- ◆研究開発予算(契約額) 令和3年度から令和6年度までの総額1,587百万円(令和6年度300百万円)

2. 研究開発の目標

本研究開発においては、ドローン・自動運転車のプラットフォームのシステムを接続することによって、協調制御プラットフォームを確立するとともに、確立されたプラットフォームで複数のドローン・自動運転車を同時接続させた状態で遠隔制御することを目指す。

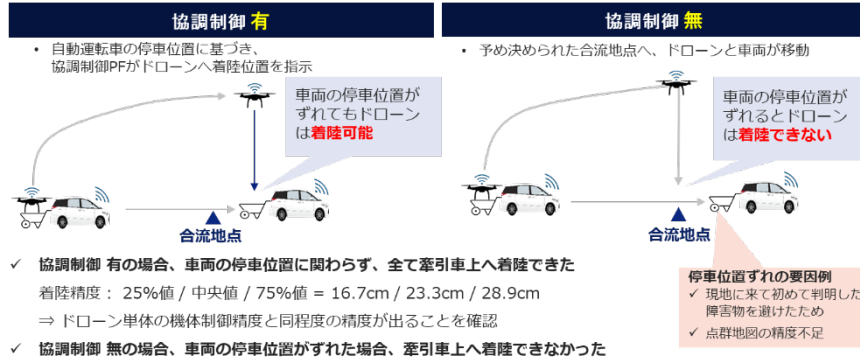
3. 研究開発の成果

研究開発項目1 ドローンと自動運転車の協調制御プラットフォーム化



自動運転車PFとドローンPFの連携図

統合配送経路計算画面



協調制御の有無による着陸精度を評価(九工大テストベッド利用実験)

● 1-a ドローン・自動運転車の遠隔監視・制御システムの連携

2021年度

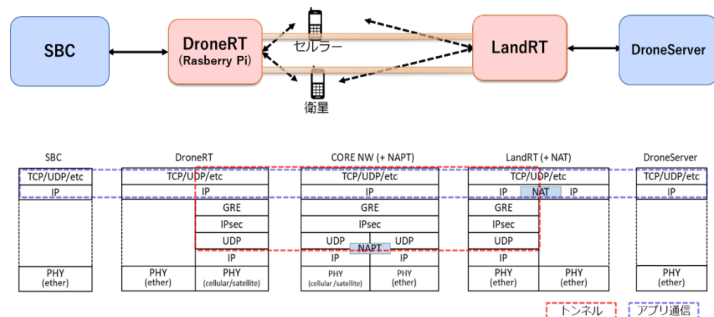
- 自動運転車PF・ドローンPFから双方の位置情報を協調制御PFに連携し、協調制御PF上でそれぞれの位置情報を確認する仕組みを構築した。
- 協調制御PF全体のアーキテクチャの設計、及びドローンの離発着時の自動運転車との位置合わせを実現する協調制御について、各測量情報の統合手法および統合時間を考慮したシステム設計課題を確認した。
- 本実証のユースケースにおける、端末と各PF間の通信要求について、衛星通信では数10～100kbps、100msec程度の通信速度・遅延性を想定しユースケース・仕様を具体化していく必要があることを見出した。

2022年度

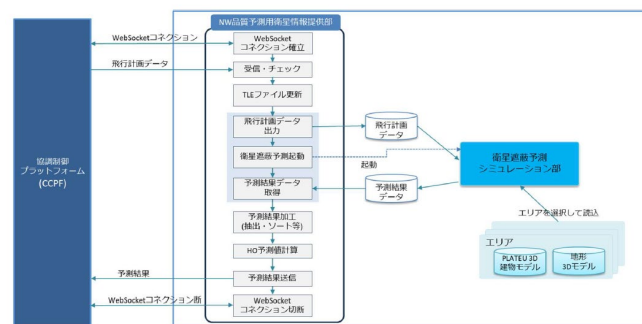
- 自動運転車の停車位置をもとにドローンの着陸場所を算出して、自動運転車両に接続したり発着用牽引車へ離着陸可能な協調制御機能の開発を実施した。また、開発した協調制御機能を用いたドローンの着陸精度評価実験で、着陸目標へ25cm程度の誤差での着陸が可能なことを確認。

2024年度

- ドローン、自動運転車、ロボットの3つのモビリティを用いた配送に関して、効率的な運行を実現するための統合配送経路計算を用いて、フィールド実証実験における実機による連携動作を確認した。
- 統合配送経路計算の特徴である2台運行やマルチデマンドを行うことで、デマンド成立数の増加や稼働率の削減など、運行効率の向上を確認した。
- 新しいモビリティを協調制御プラットフォームに接続するための共通仕様についてドキュメント化を行った。

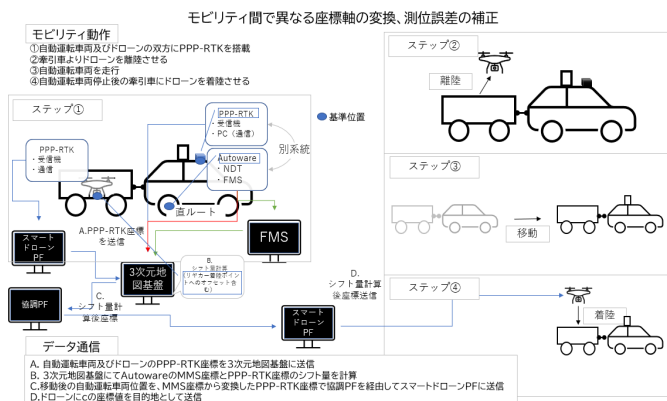


各機器間通信の概要



衛星軌道予測シミュレータのシステム構成

研究開発項目2 ドローン・自動運転車用三次元地図の共通化とセルラーにおける電波伝搬システムの三次元モデル検証



地図基盤と各モビリティで異なる座標を持つ場合の座標変換及び各管理システム(プラットフォーム)に送信するスキーム案

● 1-b セルラーと衛星のハイブリッド通信アーキテクチャ開発

2021年度

- ドローンの飛行可能範囲を広げるため、セルラーネットワークのバックアップとして衛星ネットワークを活用するアーキテクチャの検討を行った。
- SWARM・Astrocastを用いてメッセージベース/Non-IP接続での衛星接続の実証を行い、セルラー・衛星のシステム連携の有用性、及びNon-IP接続での通信量の限界や通信時の制約条件を確認した。
- その結果、システム連携は可能であり有望なユースケースも見出された一方、メッセージベースではリアルタイム対応が難しい、一度に送信できるデータ通信量が小さい、GPSがフィックスされていないと通信が出来ない、都市部(特に屋内)における通信が困難など今後協調制御のユースケースに適用していく上での課題も見出された。

2022年度

- セルラー端末及び衛星端末で計測したネットワーク品質をもとに、セルラー通信と衛星通信切り替えハイブリッドモジュールを開発した。

2024年度

- 協調制御プラットフォームと連携し、衛星通信利用時の通信断を避けたドローン飛行を提供するため、衛星軌道情報を最新に保つための自動更新機能の実装と実証実験場所の地図情報への対応を行った。
- また、映像伝送可能な衛星端末を搭載したドローン设计了。

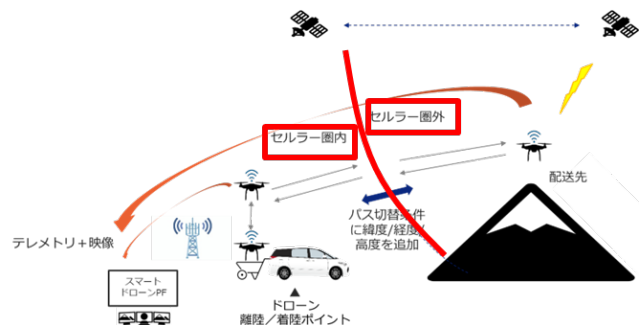
● 2-a ドローン・自動運転車の三次元地図の統合

2021年度

- 協調制御に求められる三次元地図基盤の要件について検討を行い、モビリティが接合するシーンにおいて、各モビリティの点群データの取得・統合以外にも、モビリティ間で異なる座標軸の変換(測地系、楕円体高/標高)、及び測位精度誤差の補正といった機能が三次元地図基盤に必要であることを確認した。

2022年度

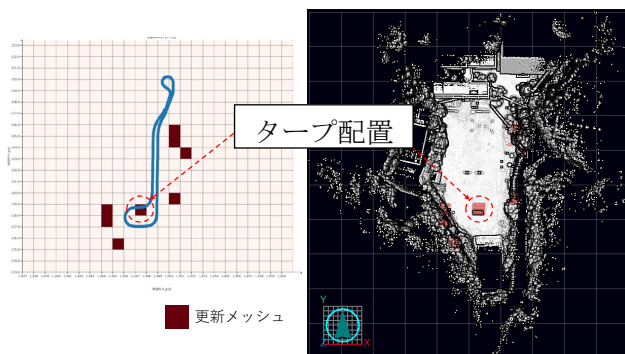
- ドローン、自動運転車が持つ地図情報を、開発したデータ変換、補正機能により三次元地図基盤PF上に展開し、試験により共通で位置情報を扱うことを確認した。三次元地図基盤PFに様々な点群データを合成する手法の試作及び検証を実施した。



- ✓ セルラー通信にてドローン運航が可能な箇所を可視化
- ✓ 情報を外部提供することで、ドローン運航・経路計画の効率化



シミュレーター上で自動運転中にLiDarでデータを収集している様子



地図更新が発生した箇所

● 2-b 電波伝搬システムの三次元モデル検証

2021年度

- NICTが保有する電波伝搬シミュレータと、KDDIが保有する既存手法について双方の原理比較、及び次年度以降に向けた評価軸の設計を行った。

2022年度

- 上空電波の可視化要件を整理し、既存の電波伝搬システムから各高度毎のモデル検証方針の立案を行った。

2023年度

- 最適な遠隔制御・経路選択・ネットワーク接続検証に向けた要件定義と、上空電波の可視化要件の整理と、三次元モデル化のアルゴリズムとパラメータの最適化を実測データを用いて行った。

2024年度

- 三次元データの組み込みに関する要件定義を完了。ドローン飛行時に得られる通信品質情報を基に、3エリアにてシミュレーション結果と実測結果の比較から伝搬モデルの評価を行った。
- 有償三次元モデルから、Plateauなどモビリティインフラとして提供される三次元データを活用することで伝搬モデルの影響の有無を確認する。
- エリアマップを外部システムに提供することで、経路計画・ドローン運航の効率化に資するUI等の検討し、試作評価を行う。

● 2-c ドローン・三次元地図のリアルタイム更新

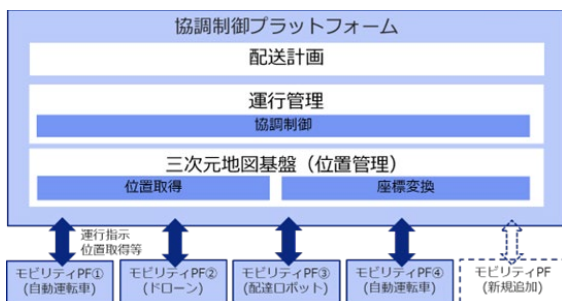
2023年度

- 三次元地図における統合点群データベースの更新を行う手法の開発と、三次元地図基盤プラットフォームから更新したデータの配信手法を開発し、2-cでの目標を達成した。具体的には、走行中の自動運転車両から点群地図の収集を行うシステムと、収集した点群地図を統合して、そのエリアを走行する自動運転車両へ点群地図を配信するサーバーシステムの開発を実施した。

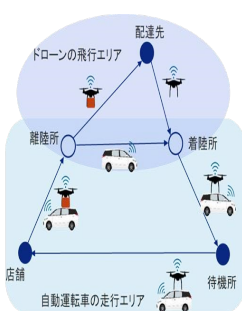
2024年度

- ローカル環境で構築した地図更新システムをクラウド上に構築し、実証フィールドで地図更新を行い、処理時間やデータ量を計測した。
- タープ設置前後でLidarを用いて地図を収集し、地図更新の影響を評価した結果、10mメッシュごとで合計8か所で更新が発生した。
- 地図更新前後で自己位置推定の変化を見るためにTPの変化を測定したところ、改善幅は小さいものの精度の向上を確認できた。
- 今後は動的環境の変化に対応するため、最新の点群地図を使用して自己位置推定の精度を向上させ、安定で継続的な自動運転サービスを目指す。

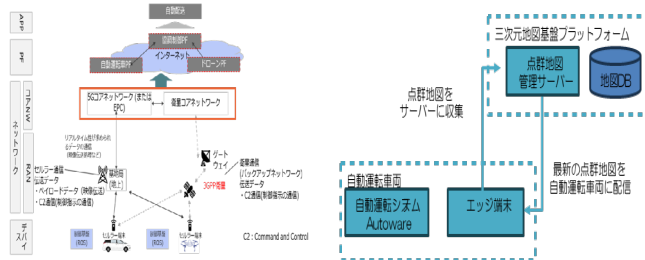
研究開発項目3 ドローン・自動運転車の協調制御プラットフォームによる 自動配送・輸送の実証



協調制御プラットフォームのアーキテクチャ

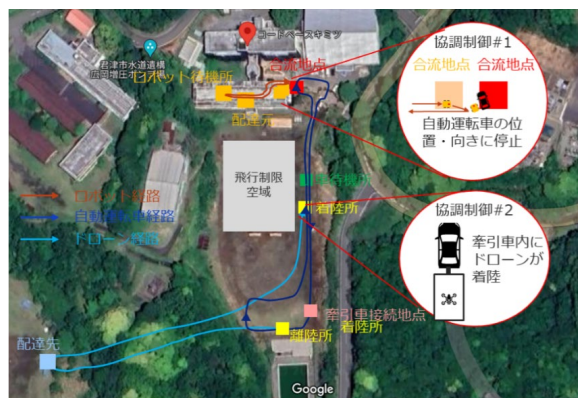


統合配送の流れ



FY25 以降の将来NW
アーキテクチャ像

三次元地図基盤PFと
エッジ端末の構成図



フィールド実証実験（2024）の概要

● 3-a 自動配送・ヒトの移動の実証実験

2022年度

- 長野県塩尻市の協力を得て実証実験を実施し、ドローンの飛行と自動運転車両の走行を制御する協調制御PFの基礎的な動作、およびセルラー・衛星通信のシームレスな切り替えが可能なことを確認した。

2023年度

自動配送・ヒトの移動の実証実験

- 2023年9月、自動運転車が走行に用いているSLAM方式をそのまま用いてドローンのPPP-RTK方式と離着陸用位置連携ができることを確認した。

プラットフォームの拡張性

- 協調制御プラットフォームに新プラットフォームの接続を容易にする機能拡張を行い、KDDI製のロボットプラットフォームを接続できることを確認した。また、フィールド試験を行い、実機で正着制御ができることを確認した。

統合配送経路計算

- オンデマンド配送のため、協調制御プラットフォームに、物資、配達先、配達希望日時が指定された配送デマンドの発生に基づき、車両・ドローンの運行スケジュールならびに移動経路を自動計算する機能を開発した。

ドローン衛星間予測シミュレータ

- 地形による遮蔽影響や衛星間ハンドオーバー時の衛星品質の劣化に対して、ドローンの飛行情報と衛星軌道から衛星品質を予測するシミュレータを開発し、衛星品質が低下するタイミングを検知できることを確認した。

セルラー・衛星ハイブリッド通信アーキテクチャ開発

- 現状サービス提供されている衛星通信の品質を測定し、得られた結果から目指すべき将来NWアーキテクチャを検討した。将来的にStarlinkがドローンへ搭載可能となることを想定したNWアーキテクチャ、およびセルラー端末と衛星の直接通信も考慮に入れたNWアーキテクチャも検討した。

電波伝搬システムの三次元モデル検証

- PGM(Planet General Model)を用いて、国内のサービスエリアを描画し、ドローン飛行時に得られる通信品質情報を基に、3エリアにてシミュレーション結果と実測結果の比較から伝搬モデルの評価を行った。

MEC の検証

- 点群地図を収集するシステムとしてエッジ側端末への実装を行った。
- エッジ端末から地図サーバーへの通信量を削減するため、エッジで地図の差分を抽出し、更新部分のみアップロードする仕組みを実装した。

2024年度

- フィールド実験は、2024年11月および12月の各一週間、3つのモビリティを運行可能なコードベーススキミツ(千葉県君津市)で実施した。旧小学校校舎内から敷地外の旧中学校グラウンドまで、ロボット、自動運転車、ドローンの3つを連携させて、荷物(救急ポーチ)を運搬した。
- 協調制御プラットフォームが、それぞれ異なるモビリティプラットフォーム配下の3つのモビリティを同時に制御できることを確認した。

4. 特許出願、論文発表等、及びトピックス

国内出願	外国出願	研究論文	その他研究発表	標準化提案	プレスリリース 報道	展示会	受賞・表彰
14 (3)	3 (0)	0 (0)	28 (6)	2 (0)	6 (2)	5 (2)	0 (0)

- **特許出願** ※成果数は累計件数、()内は当該年度の件数です。
- ・ 3年間で当初目標の10件に達した。4年目もさらに出願を行い、**当初目標を超える結果**となった。
- **一般口頭発表**
- ・ 当初目標では0件としていたが、**最終的に20件と大きく上振れた実績**となっている。
- **報道**
- ・ 実証実験の成果に関して、多くのメディアを通じて発信。
 - ・ 今年度の実証実験は**TVでは6局計8番組で報道され、WEB記事では元記事計22件、合計92件で報道された。**

5. 研究開発成果の展開・普及等に向けた計画・展望

(1) 計画

- **実用化や標準化に向けてどのような対応を採る計画か**
 - 複数のモビリティプラットフォームを協調制御する仕組みの基本設計に関して、**複数モビリティを使用する個別ソリューション案件への適用を進めていく。**
 - **地図更新を低コストで実現するサービスを構築し、自動運転のサービス導入に貢献する。**
- **一般向けのものを含めどのような広報(対外発表)を行う計画か**
 - IoTやモビリティのプラットフォームに関係する**対外発表を行う際に、協調制御プラットフォームの要素反映を目指す。**
 - **自律型モビリティの連携を図る企業に向けた広報活動を行い、地図更新技術については自動運転移動サービスの実現に向けて自治体・交通事業者などに向けて展開する。**
- **製品化等、成果の産業応用についてどのような見通しを立てているか**
 - **施設内の監視、山間部・離島への物流等において、複数モビリティの連携自動化が求められおり、協調制御プラットフォームの成果が生かせる。**
 - **複数のモビリティの位置情報を連携させるサービス(API)もしくはモジュール化を行い、物流/製造/鉱業向けに展開する。**
- **取得した特許等知的財産権をどのように活用する計画か**
 - **知財の利用で競争優位性を確保するとともに、技術力のアピールとしても活用する。**

(2) 展望 (5年後程度を想定して記載してください。)

- **標準化の状況**
 - **モビリティプラットフォームや通信エリアマップ等について動向をキャッチアップし、三次元地図に関しては位置情報が一意に特定できる規格に対応していく。**
- **関連する研究への貢献の状況**
 - **連携できるモビリティの拡大と、その際に新たに生じる課題の分析を行う。三次元地図は自動運転用地図更新のみならず、インフラメンテナンス分野に貢献していく。**
- **人材育成への貢献の状況**
 - **協調制御プラットフォームにおける運用ノウハウ共有と、自動運転サービスにおけるサービスへの教育メニューなど充実させ、サービスの持続可能性を高めていく。**
- **社会に対する新たな利便性提供に関する状況**
 - **セルラーと衛星のハイブリッド通信における衛星通信について、低軌道衛星とスマートフォンとの直接通信のサービスにおいて、一つの通信モジュールで両ネットワークをカバーできるようになることで、ドローン等機器の小型化や運べる荷物の重量の増加等に寄与でき、配送サービスにおける、手段・場所の選択肢が増える。**
 - **ドローン飛行に必要な上空モバイル通信のエリアマップを、Plateau等を活用して広範に作成し、外部提供することで、経路計画および運航効率化に寄与できる。**
- **国民生活に対する効果**
 - **自動配送による物流における運転手不足の問題を解決と利便性向上、上空エリアマップの提供や衛星通信による通信カバレッジ拡大で、配送エリアの拡大に寄与。**
- **新たな研究開発への展開**
 - **協調制御プラットフォームの適切なモビリティの選択、冗長化に関する研究開発。**
 - **点群更新後の机上評価までの自動化を目指し、各種リソース削減を検討する。**
- **上記以外の副次的な波及効果の状況**
 - **地図更新で収集した高精度三次元点群地図の、災害復旧、デジタルツインへの貢献を目指し、協調制御プラットフォームでは更なるユースケースの検討を継続する。**