

令和 6 年度研究開発成果概要書

採 択 番 号 01601
 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

(1) 研究開発の目的

本研究・実証においてはモノの物流の最適化に加え、よりミッションクリティカル性の高いヒトの移動の検証にもつながり、なおかつ生活者への幅広いサービス展開が見込まれる「次世代モビリティによる自由な場所での暮らしと必需品の配送」の実証につながる基盤技術の研究開発と実証実験を行うことで、ロボットが協調するプラットフォームの有効性を検証する。

(2) 研究開発期間

令和 3 年度から令和 6 年度 (4 年間)

(3) 受託者

KDDI 株式会社<代表研究者>
 アイサンテクノロジー株式会社

(4) 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)
 ※百万円未満切り上げ

(5) 研究開発項目と担当

- 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
 - ・研究開発項目 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 (KDDI)
 - ・研究開発項目 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 (KDDI)
- 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
 - ・研究開発項目 2-a ドローン・自動運転車の三次元地図の統合 (アイサンテクノロジー)
 - ・研究開発項目 2-b 電波伝搬システムの三次元モデル検証 (KDDI)
 - ・研究開発項目 2-c 三次元地図のリアルタイム更新: (アイサンテクノロジー)
- 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
 - ・研究開発項目 3-a 自動配送・ヒトの移動の実証実験 (KDDI)

(6) 特許出願、外部発表等

		累計 (件)	当該年度 (件)
特許出願	国内出願	14	3
	外国出願	3	0
外部発表等	研究論文	0	0
	その他研究発表	28	6
	標準化提案・採択	2	0
	プレスリリース・報道	6	2
	展示会	5	2
	受賞・表彰	0	0

(7) 具体的な実施内容と最終成果

● 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

・研究開発項目 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 (KDDI)

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、及び自動運転車からドローンが離発着時の正確な位置合わせを実現する協調制御の手法について検討を行った。上記検討により、測位情報と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。本実証にて想定するユースケースにおいて、端末からモビリティ PF、協調制御 PF への通信要求(通信速度、遅延性)について整理した。結果、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、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を実施し、着陸目標へ 25cm 程度の誤差での着陸が可能なことを確認した。

2023 年度…研究開発項目 3-a のなかで実施

2024 年度…統合配送経路計算について、ドローン、自動運転車、ロボットの効率的な運行を実現するための経路計算を行い、地形や電波状況を考慮して移動不可な場所を避けることができることを確認。シミュレーション評価では、長野県塩尻市でのシミュレーションにより、従来方式(A*)と比較して経路計算時間を大幅に短縮し、無駄な探索を減少させた。また、2 台運行やマルチデマンドにより、運行効率が向上し、デマンド成立数の増加や稼働率の減少が確認された。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実施した。

・研究開発項目 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 (KDDI)

2021 年度…ドローン・自動運転車が活用するネットワークとして、セルラーネットワークに加え、衛星ネットワークをバックアップネットワークとして活用するアーキテクチャの検討を行った。また、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いさ、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。

2023 年度…研究開発項目 3-a のなかで実施

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を設計した。

● 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

・研究開発項目 2-a ドローン・自動運転車の三次元地図の統合 (アイサンテクノロジー)

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 3 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えることを確認した。3 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。

・研究開発項目 2-b 電波伝搬システムの三次元モデル検証 (KDDI)

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…研究開発項目 3-a のなかで実施

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。

・研究開発項目 2-c 三次元地図のリアルタイム更新：(アイサンテクノロジー)

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

・研究開発項目 3-a 自動配送・ヒトの移動の実証実験 (KDDI)

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…2022 年塩尻市と協議の上、塩尻クリーンセンターには、実証に関する説明を実施し合意を得た上で、自動運転車とドローンの経路を確定させるために必要な測量を実施し、実証時の経路の確定を行い実証実験を実施した。

協調制御(プラットフォームの拡張性)…協調制御プラットフォーム上で、新規モビリティプラットフォームへの接続機能を追加する方式について設計を完了し、実装に着手した。本プロジェクト外で開発された宅配ロボットプラットフォームを題材に、モビリティプラットフォームの新規登録に必要な情報を整理し、プラットフォーム登録機能において、これらの情報を入力可能とした。

協調制御(統合配送経路計算)…統合配送経路計算アルゴリズムを設計・開発し、限定されたデマンドにて動作確認し、アルゴリズムが機能することを確認した。

衛星軌道予測シミュレータ…ドローンの位置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た。シミュレータで得られた情報から概ね衛星品質が低下するタイミングを検知することが

できた。

セルラー・衛星ハイブリッド通信アーキテクチャ検討…現状サービス提供されている衛星通信の品質を測定し、ドローン要件を満たす衛星種別の評価を行った。衛星通信の技術革新から今後目指すべきNW アーキテクチャ像について検討を行った。

電波伝搬システムの三次元モデル検証 …特定の演算手法にて国内の上空モバイル通信エリアマップを実装することができた。特定エリアにおいて、シミュレーションと実測の比較評価を行い、課題を整理した。

MEC の検証…点群地図をサーバに収集するシステムとして自動運転車両内にエッジ側の端末に設計し実装を行った。エッジ端末から地図サーバへの通信量を削減するため、エッジ端末で地図の差分を抽出し、更新に必要な箇所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。得られた成果としては以下の通り。

- ・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・監視できることを確認した。
- ・3 次元地図基盤を利用することで、自動運転車とロボット、自動運転車とドローンの接続点において、自動配送による荷物の受け渡しの観点で、実用上の問題が生じないレベルの位置制御の精度を得ることができた。
- ・衛星シミュレータとの連携で、衛星ハンドオーバーのタイミングでドローンを飛行させないための運行計画を策定できることを確認した。
- ・全試行の 7 割において、協調制御プラットフォームにて計算したスケジュール通りの運行ができることを確認した。スケジュールが遅れた要因としては、モビリティの移動完了判定が正確に行われない場合が多く、これを解消するには、協調制御プラットフォームあるいはモビリティプラットフォームの改善が必要となる。

(8) 研究開発成果の展開・普及等に向けた計画・展望

【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（对外発表）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对外発表を行う際に、協調制御プラットフォームの要素も反映できることを目指す。
 - ・ 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。
 - ・ 複数の自律型モビリティの位置情報をそろえて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。

【展望】

- 標準化の状況
 - ・ モビリティプラットフォームの機能、データ管理、API 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を増やしていくとともに、新たなモビリティを連携させる際に新たに生じる課題の分析を行い、三次元地図に関しては自動運転の地図の更新のみでなく、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関しては運用ノウハウを共有する仕組みや運用スキルの低減を図ることで、自動運転サービスの実現にあたっては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展開が具体的に始まってきており、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、配送サービスにおいて、配送手段、配送場所などの選択肢が増える。
 - ・ 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外部システムに提供することで、経路計画および運航効率化に寄与できる。提供にあたってPlateau等のモビリティインフラとして提供されるデータを活用し、広範エリアでのマップ提供と地図更新が見込まれる。
- 国民生活に対する効果
 - ・ 自動配送技術により、物流における運転手不足の問題を解決でき、配送の利便性が向上する。
 - ・ 上空エリアマップの提供や衛星通信を使えることで、通信できるカバレッジが広がり、配送エリアの拡大に寄与できる。
- 新たな研究開発への展開
 - ・ 協調制御プラットフォームに接続可能なモビリティプラットフォームが増えた際に発生する、適切な選択、冗長化などに関する研究開発が考えられる。
 - ・ 点群の更新のみでなく、更新した後の机上評価まで機械的に自動化することを目指し、通信やストレージのリソース削減を検討していく。
- 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利活用として、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に関しては更なるユースケースの検討を継続する。