

交通運輸技術開発推進制度  
研究成果報告書  
(ダイジェスト版)

物流用ドローンポートシステムの研究開発

平成 30 年 3 月  
ブルーイノベーション株式会社  
国立大学法人東京大学

## 研究成果要約

作成年月	平成 30 年 3 月
研究テーマ名	「交通運輸分野の国際競争力強化・新市場の創出－国際競争力強化に向けた物流の効率化に資する技術開発－」
研究課題名	物流用ドローンポートシステムの研究開発
研究代表者名	ブルーイノベーション株式会社 代表取締役社長 熊田 貴之
研究期間	平成 29 年 10 月 6 日～平成 30 年 3 月 30 日
研究の目的	<p><b>背景</b> 物流業界では、輸送のコストが増大するとともに、トラックドライバー等の労働力不足、また過疎地域における配送コストなどが課題として挙げられ、効率化・低コスト化が求められている。物流の効率化・低コスト化の対策の一つとして、無人航空機（ドローン）に注目が集まっている。ドローンを活用した物流サービスでは、荷物配送が無人化されるため人件費を抑制でき、また、空路で移動するため配達時間の短縮や定時性が向上し、物流の効率化・低コスト化が期待されている。</p> <p>一方、ドローンを物流へ活用する際には、安全性確保の点から目視外飛行の離着陸時に周囲の安全を確実に確保することと、技術上の点から高精度・安全な自動離着陸を可能にすることが課題となっている。</p> <p><b>目的</b> 本研究開発では、ドローンによる物流を実現するために、安全に自動離着陸が可能で、且つ安価に設置できる物流用ドローンポートシステムを開発する事を目的とする。</p>
研究成果の要旨	<p>(1) 安全で高精度な離着陸システムの研究開発</p> <p>①高精度なドローンの自動離着陸システムの開発</p> <p>②物流用ドローンポート周囲のリアルタイム風速・風向予測システムの開発</p> <p>③物流用ドローンポートへの第三者侵入検知システムの開発</p> <p>④物流用ドローンポートシステムの検証実験</p> <p>(2) IT を利用した物流用ドローンポートの統合管理クラウドの開発</p> <p>(3) 物流用ドローンポート連絡会の開催</p> <p>(4) 物流用ドローンポートシステムの実用化に向けた課題と対応策の机上検討</p> <p>(5) 過疎地における物流用ドローンポートシステムの利用マニュアル作成</p>
知的財産権 取得状況	<p>特許出願            1 件</p> <p>著作権登録        0 件</p>
研究成果発表実績	<p>論文発表：国内 0 件、海外 0 件</p> <p>口頭発表：国内 0 件、海外 0 件</p> <p>その他            :</p>

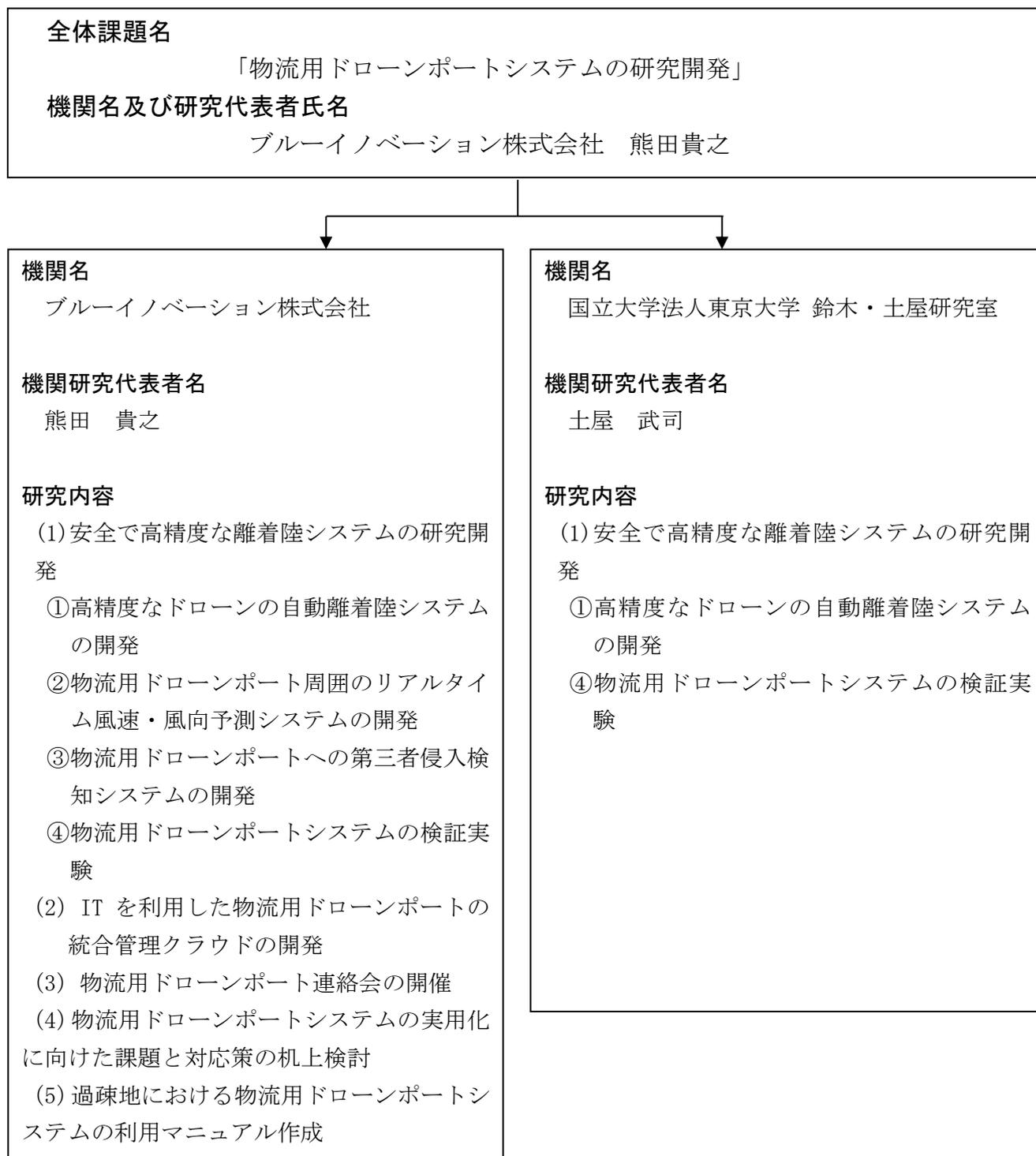
## 研究開発の目的と実施体制

### 研究開発の目的

ドローンによる物流を実現するために、安全に自動離着陸が可能で、且つ安価に設置できる物流用ドローンポートシステムを開発することを目的とする。

### 研究実施体制

本研究は、ブルーイノベーション株式会社を総括研究機関とし、国立大学法人東京大学 鈴木・土屋研究室と共同して実施した。担当機関の研究実施の流れを示すチャートは以下の通りである。



## 研究開発成果

### 1. 序論

#### (1) 研究の背景・課題及び目的

##### 1) 研究背景

2015年11月5日に開催された「未来投資に向けた官民対話」(第2回)において、安倍総理から「早ければ3年以内に、ドローン(小型無人航空機)を使った荷物配送を可能にすることを目指す」ことが示された。ドローンの飛行範囲は、高度0m~数百m程度の従来未利用な空間が対象となり、この空間の有効活用例として物流サービスが、世界的に注目されている。Amazonが2013年に宅配サービスの構想を発表した後、海外(スイス郵便、DHLなど)および国内で実現への取り組みが始まり、急速にドローンの物流サービスへの期待が高まっている。

一方、こうしたドローンの可能性に注目が集まるにしたがって、その安全性についても議論の対象となることが多くなってきたのではないだろうか。2015年4月の首相官邸への無人機落下事件はドローンの安全性について様々な議論を呼ぶこととなり、この事件を一つの契機としてドローン飛行に関する法整備が進められていった。2015年12月の航空法改正において、高さ150m以上の空域や、人口密度が1km<sup>2</sup>あたり4000人以上の人口集中地区上空においてドローンは原則飛行禁止となった。この飛行禁止区域では、飛行させるドローンに対して国土交通省による機体の性能や安全性についての審査が行われ、許可された場合のみ飛行が可能となる。また、物流における飛行と関連性が高いと考える目視外飛行について、機体の機能及び性能、無人航空機を飛行させる者並びに安全を確保するための体制に求められる要件等を明らかにするため、「無人航空機の目視外及び第三者上空等での飛行に関する検討会」を設けた。

また、国土交通省は、同検討会の分科会あたる「物流分科会」において、とりわけ物流利用に求められる要件等の検討を行った。これらの動きを通じて、わが国としてもドローンの物流サービス実施に向けた環境整備を整えつつある。

##### 2) 物流分野へのドローンの活用意義

物流業界では、輸送のコストが増大するとともに、トラックドライバー等の労働力不足が課題として挙げられ、効率化・低コスト化が求められている。労働力不足が深刻化する物流分野において、ドローンは、近い将来、人手を掛けずに短時間で貨物を届けることのできる輸送手段として、大きな期待が寄せられている。また、人口が薄く分散し、宅配便の配送効率が低下している過疎地等においては、人手を掛けずに配送出来ることは大きなメリットであり、いわゆる買い物難民対策としての活用が期待されており、過疎地や離島等は早期の事業化が期待される地域となっている。

##### 3) 物流分野へのドローンの活用に向けた主な課題

###### a) 物流分野固有の課題

ドローンを物流へ活用する場合、離陸後、配送先まで飛行し、一旦着陸する。その後、荷物を降ろした上で、再度離陸し、元の場所へ戻るなど、極めて複雑な物流プロセスとなる。事業化するためには、配送先までの飛行中や配送先での離着陸時などの安全性の確保が課題として挙げられる。

###### b) 改正航空法への対応

ドローンの使用に関しては、2015年の航空法の空域と飛行方法が定められ、飛行安全上リスクが高

い場合には、申請して許可を得ることが必要になる。ドローンによる物流においては、特に、第三者上空の飛行や、目視外の飛行安全を確保する必要がある。

c) 技術上の課題

ドローンの GPS を利用した自動飛行はすでに可能であるが、位置推定に数 m の誤差がある。ドローンによる物流を行なうには、離陸、着陸の自動化も求められるが、離着陸時は地面や物体に近づくため、ドローンの位置に大きな誤差があると、衝突・墜落などの危険性が排除できない。したがって、①「ドローンの高精度な自動離着陸手法の確立」が課題である。また、離着陸時の強風や人の侵入に対して安全に離着陸するには、②「ドローン離着陸時の安全確保」も課題と考えられる。

d) 本研究開発の目的

ドローンの物流への活用を実現するためには、安全に自動離着陸が可能なドローン用の離着陸基地（ドローンポート）とそのシステムを開発することが、ドローンの物流利用の最大の課題と言える。その際、ドローンの利便性を活かし全国に普及させるためには、安価に設置できるものでなくてはならないといった制約も存在する。本研究開発は、安全に自動離着陸が可能で、且つ安価に設置できる物流用ドローンポートシステムを開発する事を目的とする。

2. 本研究開発の目標と最終成果

(1) 本事業による最終成果

物流用ドローンポートシステムの開発により、ドローンによる物流サービス実現のための技術課題

①ドローンの高精度な自動離着陸、技術課題②ドローン離着陸時の安全確保が解決できる。

ドローンは、物流分野の課題（物流輸送コスト増加、物流数の増加、労働力不足、買い物難民への対策）などに貢献できると考えられる。

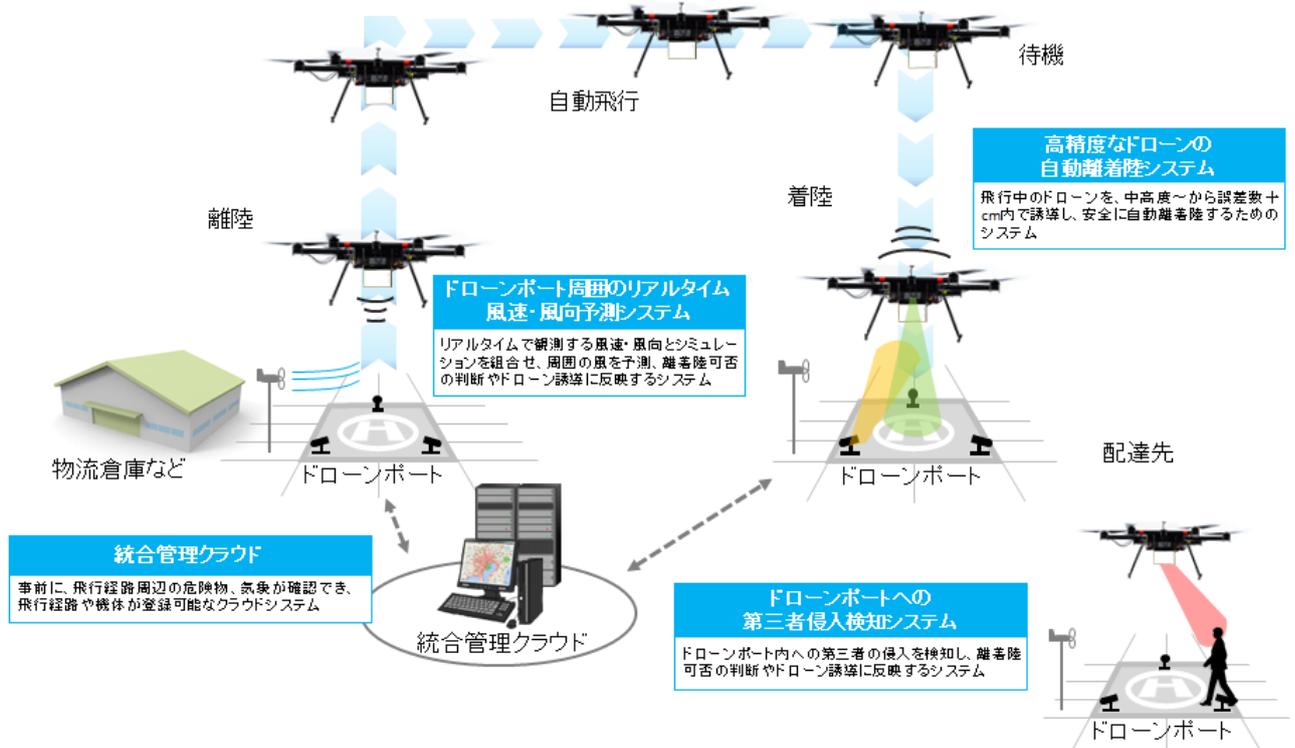


図 2.1 物流用ドローンポートのシステム概要

物流用ドローンポートは、物流事業者のニーズを踏まえ、様々な利用シーン・利用場所・コストに合わせて展開できるように、技術検討を進め、物流用ドローンポートの標準モデルを検討する。これにより、日本国内のみならず、新たな物流システムとして海外展開が可能となる。

### 3. 研究成果

#### (1) 研究結果のまとめ

本研究「物流用ドローンポートの開発」を達成するために、(1) 安全で高精度な離着陸システムと、(2) IT を利用した物流用ドローンポートの統合管理クラウドの開発、(3) 物流用ドローンポート連絡会の開催、(4) 物流用ドローンポートシステムの実用化に向けた課題と対応策の机上検討、(5) 過疎地における物流用ドローンポートシステムの利用マニュアル作成の目標と実施内容・結果について、表 3.1 にまとめた。

表 3.1 物流用ドローンポートの技術課題と平成 29 年度の達成目標

研究項目	実施目的・目標	実施内容	結果	
(1)	安全で高精度なドローンの自動離着陸システムの開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ポートへの離着地区可否の判断を受ける受信部分と同情報のドローンへの送信部分の開発</li> <li>・ドローンの飛行制御の開発</li> <li>・インターフェース仕様書の作成</li> <li>・風速・風向計の値より判断した離着陸可否について、ポートから統合管理クラウドへと通知する機能の開発</li> <li>・第三者侵入検知情報より判断した離着陸可否について、ポートから統合管理クラウドへと通知する機能の開発</li> <li>・物流用ドローンポートシステムの実験</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ドローンポートモジュールの開発</li> <li>・マーカージェットシステムのカメラ位置の変更</li> <li>・ドローンの飛行制御(空中静止・再開)の開発</li> <li>・マーカージェットの検討</li> <li>・インターフェース仕様書の作成</li> <li>・リアルタイム風速・風向観測システム及び第三者侵入検知システムの通知機能の開発</li> <li>・本システムの統合実証実験</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ポートへの離着陸可否の判断を受ける受信部分と同情報のドローンへの送信部分を開発した。</li> <li>・マーカージェットシステムのカメラ位置を真下から側面に変更し、荷物の自由度が増した。</li> <li>・ドローンの着陸の安全性が確認出来ない事象が発生した場合、本システムからモジュールを介してドローンの飛行制御(空中静止・再開)が出来る機能を開発した。</li> <li>・マーカージェットの配置方法を変更することで、着陸の安定性が高まった。</li> <li>・インターフェース仕様書を検討し、作成した。</li> <li>・風速・風向情報、第三者侵入検知情報を統合管理クラウドに伝達し、着陸不能時に通知する機能を開発した。</li> <li>・上記のシステムが動作することを確認するため、実証実験を行った。</li> </ul>
(2)	IT を利用した物流用ドローンポートの統合管理クラウドの開発	Web 上で各ドローンポートの情報・ドローンの情報・ドローンの離着陸の可否を閲覧表示可能なシステムの開発・検	Web 上で各ドローンポートの情報・ドローンの情報・荷物の情報・飛行計画の情報・ドローンの離着陸の可否を閲覧	

		の離着陸の可否を確認	証	できることを確認した
(3)	連絡会の開催		事業者からの意見収集	29年度に2回開催し、物流事業者、技術者の意見を収集した。
(4)	物流用ドローンポートシステムの実用化に向けた課題と対応策の机上検討	ドローンポート実用化にあたっての課題と課題を解決する為の仮説を作成	以下の課題について、図表を使って整理 課題：想定顧客、設置地域、コスト、構成、素材、設置方法、フェイルセーフ	各課題について現状と対応策を整理し、連絡会の中で有識者から意見聴取を行った。
(5)	過疎地における物流用ドローンポートシステムの利用マニュアル作成	ドローンポートの利用方法についてわかりやすく整理	ドローンポートの利用方法に加えて、ドローン物流の運用上の諸留意事項について整理	ドローンポートの利用方法及びドローン物流の運用上の諸留意事項について整理し、連絡会の中で有識者から意見聴取を行った。

### (1) 安全で高精度な離着陸システムの研究開発

本研究項目では、物流用ドローンポートへの離着陸可否の判断をうける受信部分と同情報のドローンへの送信部分の開発と、ドローンの飛行制御（空中静止・再開）の開発、また、上記開発部分においてインターフェース仕様書を作成した。

#### a. 物流用ドローンポートへの離着陸可否の判断をうける受信部分と同情報のドローンへの送信部分の開発

物流用ドローンポートへの離着陸可否の判断をうける受信部分と同情報のドローンへの送信部分（以下、ドローンポートモジュール、略してモジュールという）を開発した。モジュールの外観は以下図3.1の通り。

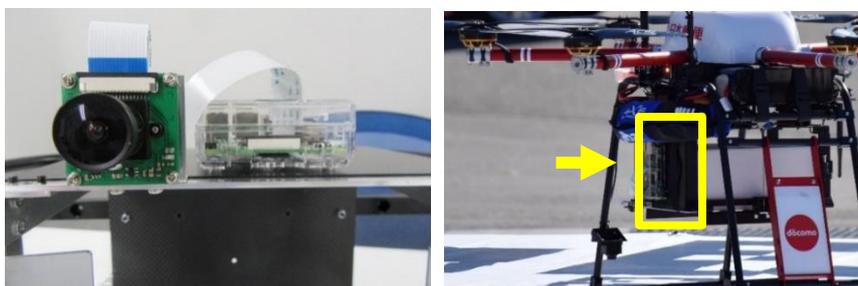


図 3.1 モジュール

モジュールは、機体のフライトコントローラーに接続することで、機体をドローンポートシステムと連動させ、制御できるようにする機能を持った部品であり、ドローンポートのマーカー検知用カメラ、および、認識したマーカー情報を処理してドローンポートシステムとの通信を行う小型コンピュータによって構成されている。

当該モジュールを用いる事で、実験専用機体ではなく一般機体に対してドローンポートシステムを接続する事が可能となった。(実験の詳細については、後段(3)「実証実験」の項参照)

b. ドローンの飛行制御（空中静止・再開）の開発

リアルタイム風速観測システム及び第三者侵入検知システムにより、ドローンの着陸の安全性が確認出来ないと事象が発生した場合、ドローンポートシステムからモジュールを介してドローンの飛行制御（空中静止・再開）が出来る機能を開発した。(実験の詳細については、後段 d. 「実証実験」の項参照)

c. インターフェース仕様書の作成

下記について、インターフェース仕様書を作成した。

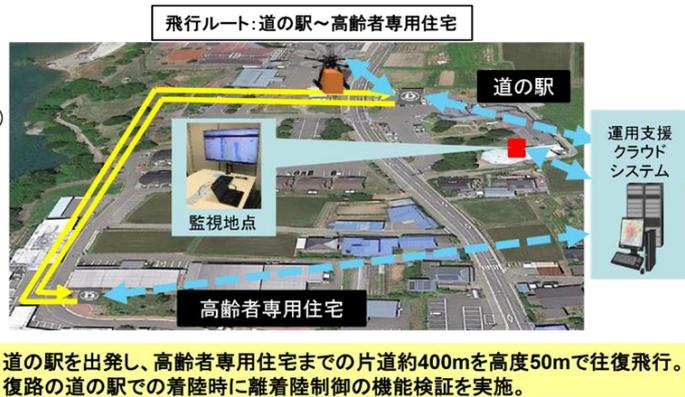
- ・ポート管理用 PC と統合管理クラウド間のやり取り
- ・ポート管理用 PC とモジュール間のやり取り

d. 実証実験

<参考実験(※)>

参考実験概要は以下図 3.2 の通り。

- 実施日時:9月6日(水)午前10時00分~12時00分  
※気象状況によっては中止
- 実施場所:長野県伊那市長谷地区  
(道の駅南アルプスむら長谷~長谷高齢者専用住宅)
- 実施協力:伊那市
- 使用機体:ブルーノバージョン(株)製  
機体仕様等  
機体寸法:1000×1000×580mm  
重量:約2kg、最大積載量:約1.5kg
- 機体に搭載する荷物:  
道の駅の商品(約0.5kg)を搭載予定



検証項目

<p><b>○運用支援クラウドシステムの機能検証</b> 離着陸地点から離れた場所に監視地点を設置し、クラウドシステムのインターフェースを通じて間接的にドローンポートの状況やポートへの離着陸動作に異常がないこと等を確認。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>現場</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>クラウド上(イメージ)</p> <p>遠隔地での確認イメージ</p> </div> </div>	<p><b>○ドローンポートによる離着陸制御の機能検証</b> 第三者の侵入又は強風の際、ドローンに着陸不可の指示を行い、安全に機体を停止可能かどうかを確認。また、異常が解消された際、安全に停止解除が可能かどうかを確認。</p> <div style="text-align: center;"> </div>
---	---

図 3.2 参考実験概要

実験結果：

① 遠隔監視地点において、統合管理クラウドを用いて各ドローンポートの情報が取得・表示可能であることと共に、ドローンポートによる機体の離着陸制御の様子を遠隔監視可能であることを確認できた。(以下、図 3.3 参照)

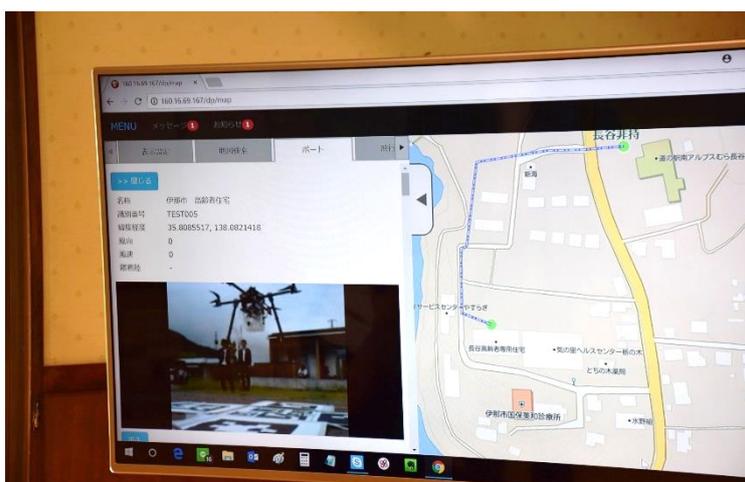


図 3.3 統合管理クラウドを利用したドローンポート状況の遠隔監視

② ドローンポート付近の異常を検知（侵入検知等）した際、機体の安全な空中停止がなされることを確認できた。（以下、図 3.4 参照）



図 3.4 第三者侵入検知時のドローンの飛行制御  
（人がドローンポートから離れ着陸を再開するシーン）

課題：

- ① 離陸してから着陸するまで、飛行中の機体位置を遠隔監視地点においてリアルタイムに表示する他のサービスと連携する必要性が明らかになった
- ② 実験専用機体を用いた検証だったため、他の機体でもシステムが正常に機能するか検証する必要は残った。

※契約期間外に実施した実証実験ではあるが、本事業に関連する内容の為、記載するもの。

<実証実験>

実証実験概要は以下図 3.5 の通り。

○実施日時  
平成29年11月13日(月) 午前10時00分～12時30分

○実施箇所  
長野県伊那市長谷地区  
(美和郵便局～道の駅南アルプスむら長谷)

○実施協力  
伊那市、日本郵便(株)、(株)自律制御システム研究所、(株)NTTドコモ

○使用機体: ACSL-PF1(提供:(株)自律制御システム研究所)

機体寸法: 全長1,173mm(プロペラ範囲)

高さ483mm、重量: 6.7kg(本体4.0kg)、

最大積載量: 3kg、防雨性: IPX3、

最高速度: 約70km/時



### 検証項目

#### ○物流用ドローンポートシステムの統合検証

統合した同システムを使用し、道の駅の商品を郵便局に輸送することを想定し、物流事業者による荷物の輸送実験を行い、同システムが正常に機能するかどうかを確認。



※今回の実証実験では、目視外飛行時の安全を確保するため、補助者を配置して実施。



図 3.5 実証実験概要

実験結果:

①モジュールを用いて一連の輸送実験を行うことで、一般機体も同システムにおいて運用が可能であることを確認できた。

(着陸誤差 数センチ程度(10cm以内))

参考: 公開実験では、飛行中の機体に異常が検知され、飛行を中止したことで検証が行えなかったが、事前に実施した計6回のリハーサルを通じて必要な検証結果を得ることでできた。

② 全ての飛行過程において、機体の位置及びドローンポートの状況等をリアルタイムで監視可能な事を確認できた。

課題:

実験専用機とは異なる機体のフライトコントローラーとの接続調整や、一時的な電波受信状況悪化による通信途絶など、様々な事象が発生した。

(事象1: フライトコントローラー側の接続調整難航)

物流用ドローンポートシステムでは、モジュールから機体のフライトコントローラーに対して機体制御のための情報を伝達し、当該情報を受けてフライトコントローラーが機体を制御するが、フライトコントローラー側での調整に時間を要した。

今回の実験を通じて、他のフライトコントローラーとの接続調整におけるノウハウなども得られた為、より接続調整が容易になるように接続仕様の明確化及びマニュアルの整備を行っていきたい。

(事象2: 一時的な電波受信状況悪化による通信途絶)

実験参加者が多く集まり、元來電波強度の低い現地WiFi回線への負荷が高まったことで、一時的に物

流用ドローンポートシステム側の電波受信状況が悪化し、統合管理クラウドとの接続に支障を来した。

今後は、他の電波帯使用による冗長化など、周辺の通信環境に応じた受信機能強化の検討が必要。

## (2) IT を利用した物流用ドローンポートの統合管理クラウドの開発

本研究開発においては、各ドローンポートの情報およびドローンポートに着陸するドローンの情報について、Web 上で各ドローンポートの情報・ドローンの情報・ドローンの離着陸の可否を閲覧表示可能なシステムの開発・検証を行った。今回開発を行った統合管理クラウドのインターフェースは以下図 3.6 の通り。

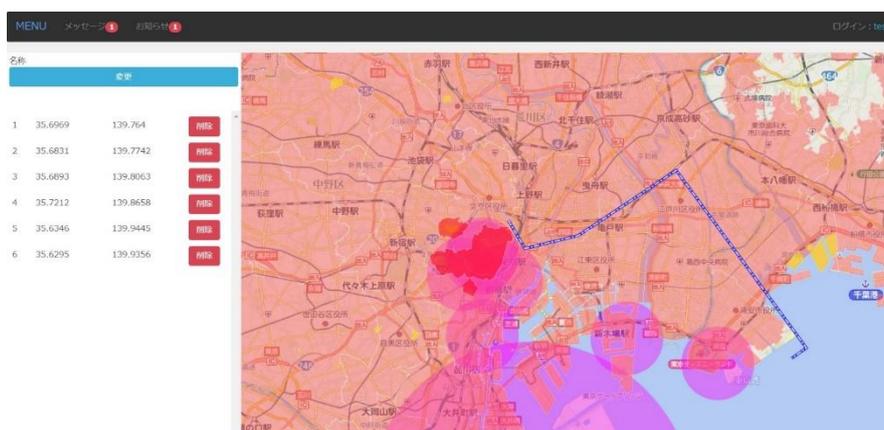


図 3.6 統合管理クラウドインターフェース

当該システムに搭載されている機能は以下の通り。

### ①地図表示

地図を表示し、当該地図上に以下のような様々なデータを表示させることが可能。

- 人口集中地区情報
- 空港情報
- その他重要施設情報
- ドローンポート位置
- 飛行計画

### ②ドローンポート情報表示

各ドローンポートの詳細情報を確認することが可能。確認できる情報は以下の通り。

- ドローンポート基礎情報(名称、識別番号、緯度経度など)
- ドローンポート周辺のリアルタイムカメラ映像(WEB カメラを通してポートの周辺情報をリアルタイムに確認可能)
- ドローンポート周辺の風シミュレーション情報

- 離着陸誘導状態表示
- ドローンポート使用可否情報
- ドローン接近情報

### ③機体情報管理

運航する機体の基礎情報（メーカー名、モデル、重量、サイズ、画像など）を登録可能。

### ④荷物情報管理

運航する荷物の基礎情報（荷物名、受取日時、サイズ、重量、画像、荷主情報など）

### ⑤アカウント管理

システムにログイン出来るアカウントを制御することが可能。

### ⑥運航計画設定・表示

運航計画（ルート、飛行開始時刻、作業予定時刻など）を設定可能。

### ⑦リアルタイム情報オーバーレイ表示拡張機能

離着陸危険状態（強風や、侵入者有）や、風情報のリアルタイム表示。

（更新速度を5秒から、最大1秒まで縮めて検証）

### （3）物流用ドローンポート連絡会の開催

物流用ドローンポートの研究開発にあたっては、標準化や国際化を視野に入れ、物流事業者等の意見を聴取し開発を行うことが重要であることから、「物流用ドローンポート連絡会」を2回開催する。なお、連絡会の運営については、国土交通省総合政策局と連携して行うものとする。

以下の会が開催された。

#### <第5回物流用ドローンポート連絡会>

日時：平成29年12月6日（水）10:00～12:00

場所：中央合同庁舎2号館 低層共用会議室3B

#### <第6回物流用ドローンポート連絡会>

日時：平成30年2月28日（水）15:00～17:00

場所：中央合同庁舎2号館 16階国際会議室

## (4) 物流用ドローンポートシステムの実用化に向けた課題と対応策の机上検討

物流用ドローンポートを実用化する上で下記課題の対応策の机上検討を行い、検討結果を図・表を用いて図3.7の通りまとめた。

検討する課題：想定顧客、設置地域、コスト、構成、素材、設置方法、フェイルセーフ

### 1. 設置地域

- ドローンが第三者上空を避けて飛行でき、物流用ドローンシステムの早期の普及が期待されることから、普及初期の設置地域としては以下が考えられる

地理状況あるいは交通網状況により配送効率が悪い地域(離島・山岳地帯、湖や川などの横断)  
⇒ドローンの導入によって配送時間を短縮し、人件費を削減する事が可能。

①過疎地 例1: 山岳地帯



(長野県伊那市 真谷谷合ラウンジ〜塩崎寺)

②過疎地 例2: 離島



(広島県竹原市 忠海港〜大久野島)

いずれの地形も過疎地である可能性が高く、飛行経路の工夫によっては第三者上空を避けて通れる為、早期の実現が見込まれる。

### 1-2. 設置地域(ご参考:前掲以外の用途)

1. 建築物の状況(高層ビル等)により、輸送時間が多くかかっている地域
2. 高頻度の監視・点検が必要な工場・設備が存在している地域



⇒非常に便利となるが、目視外飛行LV4が要求されることから、現行の法整備状況では対応する事が難しく、またコンシューマ向けのビジネスとなることから、単価が非常に低くなる事が想定され、回転率を如何にあげられるかがカギとなる。



⇒私有地であり、かつルートが決まっており、ある程度実現しやすいものと予想。正確な自動離着陸と自動充電、耐久性、カメラワークなどが操業のポイントとなる。

### 2. 設置・運用者として想定される者

【前提条件】

- 代理店は検討の対象外
- 物流用途のみに絞って記載
- オープン(誰でも使用可能)とクローズド(限られた利用者のみ使用可能)に分類

設置・運用者	オープン/クローズド	用途	用途のイメージ
自治体	オープン	広く一般に開放された発着場	公営の駐車場のような利用方法
警察・消防・病院・自衛隊等	クローズド	災害時などにおける緊急を要する物資輸送	病院等のヘリポートのような利用方法
物流事業者	クローズド	物流事業者による物資輸送	物流センターの駐車場のような利用方法
個人利用者	クローズド	マイドローンによる荷物受け取り	郵便ポストのような利用方法

【ご参考:その他の用途での想定顧客】

設置・運用者	オープン/クローズド	用途	用途のイメージ
警備会社・インフラ会社・製造メーカー等	クローズド	監視・設備等点検	風回リロボットの自動充電設備のような利用方法
E.Vステーション運営者	オープン	機体の充電・整備	ガソリンスタンドのような利用方法

### 3. ドローンポートシステムの構成

将来的にも構成は大きく変わらないと想定されるが、より一体化・簡略化を進めていき部品点数を減らしていく方が使い勝手よくなると考えられる。また、必要に応じて各種センサーや補完などオプションパーツは増やしていけるとよい。

機名	現在の構成の内容	現在の構成の課題	対応策(例)
ドローンポートモジュール	・フライトコントローラーとの位置情報とのやりとり ・カメラで読み取った情報の処理・交換 ・ドローンポートPCとの通信 ・リアルタイム風速・第三者侵入を監視 ・ポート状況(映像)を統合管理システムに送信 ・障害物回避を判断し、統合管理システムで表示	モジュール化された汎用化されたのはよいが、モジュールを別途装着する事で機体重量が増える事に加え、カメラの画像にリアルタイムで対応する必要がある	ドローンポートモジュールの仕様が標準化され、機体に初期搭載される
ドローンポートPC	・ドローンポートとの通信 ・リアルタイム風速・第三者侵入を監視 ・ポート状況(映像)を統合管理システムに送信 ・障害物回避を判断し、統合管理システムで表示	現在は通常のノートパソコンを接続しているだけであり、雨天時などは雨水から保護できない。	ドローンポートハードウェアと一体化する(ハードウェア内に組み込む)又は可搬式のポートの場合は携帯端末で代替できるようにする
ドローンポートハードウェア	・ドローン着陸時の台座(水平を保持、着陸の衝撃に耐えるなど)	特になし	特になし
統合管理システム・操作・監視用PC	・利用可能なポートを表示、飛行計画などの利用情報を入力可能	別個のPCを用意する必然性はない	携帯端末で確認可能になれば、据え置き型のpcは不要
ドローンポートマーカー	・位置補正情報がマーカー側に搭載してあり、ドローンポートモジュールのカメラでマーカーを認識する	マーカーの図柄は印刷されている為ドローンポートハードウェア上面マーカーのアルゴリズム認識などにディスプレイを配置し、マーカー図柄を投影する	ドローンポートハードウェア上面マーカーのアルゴリズム認識などにディスプレイを配置し、マーカー図柄を投影する
その他(センサー類等)	・侵入検知センサー ・風速計 ・Webカメラ	ポートに接続可能なパーツ類が限定されている為、ラインナップを充実し、侵入者対策用の電子認証させる必要がある。	自動充電機構や荷物の自動検知機構、侵入者対策用の電子認証つき など

#### 4-1. 設置方法①

##### 常設(固定式)ドローンポートの設置手順

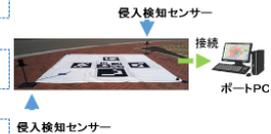
- ①台座の4つのフレームを、3m×3mになるように並べる
- ②アジャスターを調節し、台座を水平にする
- ③台座の上にマーカーを固定する
- ④侵入検知用センサー2つを台座の隅に対角線上になるように固定する
- ⑤風速計を台座の周囲2mから3mの場所に設置する
- ⑥ポートPCを台座の周囲2mから3mの場所に設置する
- ⑦ポートPCに風速計と侵入検知センサーを接続する



#### 4-2. 設置方法②

##### 臨時(可搬式)ドローンポートの設置手順

- ①マーカーを地面に固定する
- ②侵入検知用センサー2つをマーカーの隅に対角線上になるように固定する
- ③風速計をマーカーの周囲2mから3mの場所に設置する
- ④ポートPCを台座の周囲2mから3mの場所に設置する
- ⑤ポートPCに風速計と侵入検知センサーを接続する



### 4-3. 設置方法③

#### 製品化のための課題と対応策の例

分類	課題	対応策 (例)
常設	台座の水平調整に手間がかかる	足の長さの調節を電動化する
	地面が固い場所でないとう設置できない	足を着脱し、場所によっては地面に打ち込みとする
臨時	マーカー及び侵入検知センサーの固定ができない	マーカーの裏に分割式の薄いパネルを貼り、センサーの固定穴を用意
	台座の水平調整ができない	パネルの下に取り外し可能な高さ調整用の足を設置
共通	放熱のための手当てがとられていない	ポートPC付近には放熱用のファンを設置
	場所をとる (サイズが大きい)	カメラの画像数及びフレームレートをあげる
共通	ある程度水平な場所でないとう設置できない	傾斜地専用の調節脚の大きい足を取付

### 5. フェールセーフ

フェーズ	想定されるリスク	起因箇所	フェールセーフ (案)
飛行前	電圧強度が弱く統合管理システムに接続できない	通信装置	常に通信装置 (無線LANなど) を複数用意しておく
	ドローンポートが統合管理システム上で認識されない	通信装置	常に通信装置 (無線LANなど) を複数用意しておく
	モジュールの電源が入らない	モジュール用バッテリー	常に予備用のモジュール用バッテリーを複数用意しておく
		モジュール用PC	常に予備用のモジュール用PCを複数用意しておく
		モジュール用カメラ	常に予備用のモジュール用カメラを複数用意しておく
着陸時	テスト用マーカーを認識できない	FC	FCとの接続がうまくいかない場合は機体マーカーに相談しつつ、必要に応じてシステムの利用を中止する
	侵入検知センサーが作動しない	侵入検知センサー	常に予備の侵入検知センサーを用意しておく
	風速計が作動しない	風速計	常に予備の風速計を用意しておく
着陸時	マーカー着陸システムが作動しない	モジュール/FCとの接続など	手動モードに切り替えて、手動で着陸させる。また、着陸モードに入ってもマーカー着陸システムが作動しない場合は、統合管理システム上で警報を出すなどの手当てを講じる必要がある
	侵入検知センサー作動しない	侵入検知センサー	Webカメラでポートの状況を確認し、人や物の立ち入りか認められる場合は手動モードに切り替えて、手動で着陸させる。明らかに強風であると認められる場合は、手動モードに切り替えて、手動で着陸させる。現場の運転管理者に判断を仰ぐ。
	風速計が作動しない	風速計	常に予備の風速計を用意しておく

### 6-1. 素材①

部品名	素材	備考
台座	フレーム：アルミ製	- 分解フレームサイズ (1台)：150cm×150cm×30cm …… 4台 - フレーム重量 (1台)：約40kg - 完成重量 (一式)：約180kg
マーカー	タイベック製 (高い防水性あり)	- 反射防止のためツヤ消し塗料を塗布 - サイズ：3m×3m



ポート完成図 マーカー取り付け箇所 侵入検知センサー取り付け箇所

現在は常設型のための想定のため、重量が非常に重く可搬性が低い。可搬式も見据えて、台座の軽量化が求められる。また、自動着陸精度が上げれば台座のサイズ自体も小型化が可能になり、全体の重量も抑えられる。

### 6-2. 素材②

#### 素材検討比較

分類	素材	重量	対候性	耐久性	対錆性	コスト
台座	アルミ	○	○	×	○	○
	鉄	×	△	○	×	○
	ステンレス	×	○	○	○	×
マーカー	FRP	○	○	○	○	△
	タイベック	△	○	○	○	△
マーカー	ビニール	○	○	×	○	○
	紙	×	×	×	○	○
	布	○	×	×	○	○
	プラスチック	○	○	△	○	△

今回のプロトタイプ制作では、ある程度の対候性や重量なども意識しつつも、コストを重視した設計とした。

### 6-3. 素材③

#### 製品化のための課題と対応策の例

分類	課題	対応策 (例)
台座	耐荷重性が不十分	天板を厚くする
	重量が重い	アルミ材からFRP材に変更 (重量約半減) する。また、カメラの性能をアップさせる事で、サイズ自体をより小さくできる可能性があり、それによっても重量低減が可能。
	素材コストが高い	量産化 (成型のみの型が高い為、ロットを増やして1台あたりの型費を感減させる)
	耐久性 (継続的着陸による変形等への対応等)	加速劣化試験や反復試験など製品化に向けた各種試験を実施する
マーカー	可搬式ポート用の台座の設計	マーカーだけでは侵入検知センサーの固定が出来ない事に加え、ドローンの着陸時の風圧でマーカーがめくれてしまい、ドローンポートとしての役割を果たさない為、取り込み・持ち運び可能な可搬式用台座の設計を行う必要がある。
マーカー	反射の抑制が不十分	素材及び塗料の更なる研究を行う
共通	機体や荷物の落下時の衝撃吸収性がない	台座の天板またはマーカー部分に衝撃吸収性のある素材を用いる

### 7. コスト(顧客への提供価格)

現状は特注の為、製作原価が非常に高い。ただし、今後普及が見込まれることにより量産体制を敷いた場合、価格は現行の2分の1程度まで下げられる可能性がある。また、自動充電を搭載、ドローンポートPC内蔵型などハイエンドモデルも想定した。

試作ポート(現行)	製品版ポート(量産版)	製品版ポート(自動充電)
<p>【機能】 - マーカー自動着陸機能 - 侵入検知機能 - 風速計測機能 - 機体接続用モジュール - 統合管理システム - ドローンポートPC</p> <p>初期：100万円～200万円 (台座の素材による) 月額：未定</p>	<p>【機能】 - 試作ポートの全機能 - 耐久性向上 (法定耐用年数5年での償却想定)</p> <p>初期：50万円～100万円 (量産体制確立後) 月額：未定</p>	<p>【機能】 - 試作ポートの全機能 - 自動充電機能 - 耐久性向上 (法定耐用年数5年での償却想定) - ドローンポートPC一体型</p> <p>初期：200万円～300万円 (量産体制確立後) 月額：未定</p>

図 3.7 机上検討検討結果

## (5) 過疎地における物流用ドローンポートシステムの利用マニュアル作成

過疎地において、物流用ドローンポートシステムを運用する為の実務マニュアルを作成した。マニュアルの見出しは以下の通り。

1. はじめに.....	1
2. 本システム利用時の運用に関する前提条件.....	2
3. システム概要.....	3
3.1 機能.....	3
3.1.1 機能概要.....	3
3.1.2 高精度なドローンの自動離着陸支援機能.....	4
3.1.3 ポート周囲のリアルタイム風速・風向予測機能.....	5
3.1.4 ポートへの第三者侵入検知機能.....	6
3.1.5 運用支援機能.....	7
3.2 構成.....	8
3.3 基本諸元.....	10
3.3.1 モジュールの基本諸元.....	10
3.3.2 ポート管理用 PC 基本諸元.....	10
3.3.3 ポート基本諸元.....	11
3.3.4 統合管理クラウド操作・閲覧用 PC 基本諸元.....	15
3.3.5 統合管理クラウド基本諸元.....	15
3.3.6 風速シミュレーター用 PC 基本諸元.....	15
4. 利用条件.....	16
4.1 機体条件.....	16
4.1.1 サイズ・重量.....	16
4.1.2 フライトコントローラ要求条件.....	16
4.1.3 電源.....	17
4.2 環境条件.....	18
4.2.1 天候.....	18
4.2.2 設置場所.....	18
4.2.3 電波環境.....	18
5. 利用方法.....	19
5.1 飛行前準備.....	19
5.1.1 設置場所の用意.....	19
5.1.2 ポート管理者の用意.....	19
5.1.3 設備の用意.....	19
5.1.4 ポート設置方法.....	20
5.2 接続・設定方法.....	21
5.2.1 機体とモジュールの接続・設定.....	21

5.2.2	モジュールとポート管理用 PC の接続・設定	22
5.2.3	統合管理クラウドの設定	22
5.3	ポート上空の飛行経路の設定	22
5.4	離着陸の方法	22
5.4.1	離陸の方法	22
5.4.2	着陸の方法	23
5.5	トラブルシューティング	24
6.	ポート上空以外の飛行経路の設定	25
6.1	空路設定の基本的な考え方	25
6.2	空路設定における留意点	25
7.	荷物輸送を行う際の注意事項	27
8.	機体の選定	29
9.	運航にあたっての安全管理の実施	31
9.1.	安全運航管理者の設置	31
9.1.1	安全運航管理者とは	31
9.1.2	安全運航管理者の義務・役割	31
9.2.	リスクアセスメントの実施	32
9.3.	事故への対応	33
9.3.1	事故対応マニュアルの整備	33
9.3.2	事故発生時の対応	33
10.	おわりに	34

### 3. 結論

本年度の研究活動により、当初の目的であった「ドローンによる物流を実現するために、安全に自動離着陸が可能で、且つ安価に設置できる物流用ドローンポートシステムを開発する事」が概ね実現された。現状のドローンポートシステムは安価ではないため、今後コストダウンを図ることが課題である。

### 4. 知的財産権取得状況

特許出願 1 件

発明の名称：飛行管理システム

発明者：ラーベ, クリストファー トマス

鈴木 真二

土屋 武司

熊田 雅之

酒井 和也

松尾 卓

千葉 剛

出願日：平成 30 年 2 月 27 日

### 5. 研究成果発表実績

#### 1) 論文発表

国内 0 件、海外 0 件

#### 2) 口頭発表

国内 0 件、海外 0 件

#### 3) その他（研究内容報告書、機関誌発表、プレス発表等）